

# 无缝钢管生产知识全书

## 目录

### 第一章 钢管生产概论

- 1.1 钢管的分类
- 1.2 钢管的技术要求
  - 1.2.1 钢管生产的技术依据
  - 1.2.2 对钢管的尺寸偏差的要求
  - 1.2.3 对钢管的长度要求
  - 1.2.4 外形
  - 1.2.5 重量
  - 1.2.6 不同用途的钢管应各有什么样的技术条件
  - 1.2.7 我公司的主要产品管线管、油管和套管的主要技术要求
  - 1.2.8 钢管技术要求中常用术语
- 1.3 钢管的主要生产方法

### 第二章 热轧钢管生产工艺流程

- 2.1 一般工艺流程
  - 2.1.1 穿孔
  - 2.1.2 轧管
  - 2.1.3 定减径（包括张减）
- 2.2 各热轧机组生产工艺过程特点
  - 2.2.1 连续轧管机的几种形式
  - 2.2.2 三辊（斜）轧管机轧管
  - 2.2.3 各机组的异同
- 2.3 轧钢的几种形式
  - 2.3.1 纵轧
  - 2.3.2 横轧
  - 2.3.3 斜轧

### 第三章 管坯及管坯加热

- 3.1 管坯准备
  - 3.1.1 管坯库
  - 3.1.2 管坯上料
  - 3.1.3 管坯锯切
- 3.2 管坯加热
  - 3.2.1 环形炉简述
  - 3.2.2 炉子结构及辅助设备
  - 3.2.3 环形炉自动化系统（资料不全待定）

### 第四章 穿孔

- 4.1 二辊斜轧穿孔机及穿孔过程
- 4.2 斜轧穿孔运动学
  - 4.2.1 两辊穿孔机运动学



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

- 4.3 穿孔的咬入条件
  - 4.3.1 一次咬入条件
  - 4.3.2 二次咬入条件
- 4.4 孔腔形成机理
- 4.5 斜轧穿孔时的金属变形
  - 4.5.1 管坯受力情况
  - 4.5.2 金属变形
- 4.6 穿孔工具及设计
  - 4.6.1 轧辊
  - 4.6.2 导盘
  - 4.6.3 导板
  - 4.6.4 顶头
- 4.7 穿孔机调整参数确定
- 4.8 其他穿孔方法
  - 4.8.1 压力穿孔
  - 4.8.2 推轧穿孔
  - 4.8.3 斜轧穿孔
- 4.9 力能参数的计算
  - 4.9.1 轧制力
  - 4.9.2 顶头轴向力的确定
  - 4.9.3 斜轧力矩计算
- 4.10 穿孔机的设备组成
  - 4.10.1 斜轧穿孔机的设备由哪几部分组成?
  - 4.10.2 主传动的方式及特点?
  - 4.10.3 管坯定心机的组成结构?
  - 4.10.4 穿孔机机座(牌坊)有哪几部分组成?
  - 4.10.5 导盘调整方式有哪几种?
  - 4.10.6 三辊定心的作用和结构?
  - 4.10.7 顶杆的冷却形式有哪些?
  - 4.10.8 顶头的使用方式有几种?
- 4.11 常见工艺问题
  - 4.11.1 内折
  - 4.11.2 前卡
  - 4.11.3 中卡
  - 4.11.4 后卡(镰刀)
  - 4.11.5 链带
  - 4.11.6 壁厚不均

## 第五章 毛管轧制

- 5.1 限动芯棒连轧管机(MPM)
  - 5.1.1 工艺描述
  - 5.1.2 MPM连轧管机的设备结构、平面布置及相关技术参数
  - 5.1.3 MPM连轧管机组的工作原理和工艺控制
  - 5.1.4 主要设备及参数



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

- 5.1.5 MPM连轧管机轧制工具
- 5.1.6 MPM连轧机的孔型设计
- 5.1.7 连轧机组在线检测系统
- 5.1.8 常见生产事故
- 5.2 PQF连轧机组 (PREMIUM QUALITY FINISHING)
  - 5.2.1 概述
  - 5.2.2 连轧工艺
  - 5.2.3 PQF主机说明
  - 5.2.4 脱管机说明
  - 5.2.5 芯棒循环系统
  - 5.2.6 工具准备与更换
  - 5.2.7 常见质量缺陷
  - 5.2.8 连轧基本理论
- 5.3 新型 ASSEL 轧管机
  - 5.3.1 主要工艺设备
  - 5.3.2 主要调整参数
- 5.4 其他热加工钢管的延伸方法
  - 5.4.1 自动轧管机轧管
  - 5.4.2 Accu-Roll轧管机轧管
  - 5.4.3 顶管机顶管
  - 5.4.4 挤压钢管
  - 5.4.5 周期轧管机 (皮尔格轧管机) 轧管
  - 5.4.6 热扩钢管

## 第六章 钢管的再加热、定径与减径

- 6.1 钢管空心轧制理论
  - 6.1.1 张减速度制度原理
  - 6.1.2 CARTAT系统介绍
- 6.2 定径工艺
  - 6.2.1 工艺描述
  - 6.2.2 定径机的设备结构、平面布置及相关技术参数
  - 6.2.3 定径机组的工作原理和工艺控制
  - 6.2.4 操作及调整
  - 6.2.5 常见事故处理方法
  - 6.2.6 质量缺陷及控制要点
- 6.3 张力减径工艺
  - 6.3.1 工艺概述
  - 6.3.2 设备参数及工艺数据介绍
  - 6.3.3 质量检查
  - 6.3.4 关于可调机架
  - 6.3.5 轧制之前的现场检查
  - 6.3.6 工具的准备和更换过程
  - 6.3.7 工艺控制参考

## 第七章 轧制表的编制



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

- 7.1 编制原则和程序
  - 7.1.1 编制原则
  - 7.1.2 编制轧制表的要求
  - 7.1.3 编制轧制表的步骤
  - 7.1.4 轧制表编制方法
- 7.2 编制方法
- 7.3 编制实例

## 第八章 钢管的冷却和精整

- 8.2 轧管厂精整管排锯
  - 8.2.1 精整锯切机组设备概述
  - 8.2.2 管排锯的切割过程及工艺控制要点
  - 8.2.3 常见切割缺陷的处理方法
- 8.3 轧管厂精整矫直机
  - 8.3.1 精整矫直机组设备概述
  - 8.3.2 矫直机相关参
  - 8.3.3 矫直原理
  - 8.3.4 矫直机的矫直过程及工艺控制要点
  - 8.3.5 常见矫直缺陷的处理方法
  - 8.3.6 工具管理
- 8.4 热处理
  - 8.4.1 前言
  - 8.4.2 热处理的定义和意义
  - 8.4.3 热处理基本原理
- 8.5 无损检测
  - 8.5.1 无损探伤概论
  - 8.5.2 漏磁探伤
  - 8.5.3 涡流（ET）检测
  - 8.5.4 磁粉检测
  - 8.5.5 电磁超声
- 8.6 人工检查
  - 8.6.1 检查程序
  - 8.6.2 热轧无缝钢管缺陷
- 8.7 钢管的质量保
  - 8.7.1 质量保证的控制要点简述
  - 8.7.2 质量控制点
  - 8.7.3 工艺文件的编制与执行
  - 8.7.4 其它

## 第九章 钢管的试验检测

- 9.1 钢管的力学性能
  - 9.1.1 前言
  - 9.1.2 金属材料的力学性能
  - 9.1.3 管材工艺性能试验



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

## 9.2 钢中的各种组织和夹杂物

### 9.2.1 钢中的各种组织简介

### 9.2.2 钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法

### 9.2.3 金属平均晶粒度测定方法

### 9.3.1 直读光谱仪

### 9.3.2 碳硫分析仪



↑  
访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注



访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注

# 第一章 钢管生产概论

## 1.1 钢管的分类

凡是两端开口并具有中空断面，而且其长度与断面周长之比较大的钢材，都可以称为钢管。

钢管是一种经济钢材，是钢铁工业中的一项重要产品，通常占全部钢材总量的 10% 左右，它在国民经济中的应用范围极为广泛。由于钢管具有空心断面，因而最适合作流体的输送管道；同时与相同重量的圆钢比较，钢管的断面系数大、抗弯抗扭强度大，而成为各种机械和建筑结构上的重要材料，尤其在石油钻采、冶炼和输送需用最多，其次地址钻探、化工、建筑业、机械工业、飞机和汽车制造、以及锅炉、医疗器械、家具和自行车等方面，都需要大量的各种钢管。近年来，随着原子能、火箭、导弹和航天工业等新技术的发展，使钢管在国防工业、科学技术和经济建设中的地位愈加重要，有着工业“血管”之称。总的就用途来说，管道用管最多，结构次之。

钢管的种类繁多，用途不同，则技术要求各异，生产方法亦有所不同。目前生产的钢管外径由 0.1~4500 毫米、壁厚为 0.01~250 毫米。为了区分其特点，通常按如下的方法对钢管进行分类：

按生产方式分：钢管分为无缝管和焊管两大类，无缝钢管又可分为热轧管、冷轧管、冷拔管和挤压管等；冷拔、冷轧是钢管的二次加工；焊管分为直缝焊管和螺旋焊管等。

按钢管的断面形状分：按横断面形状可分为园管和异形管；异形管有：矩形管、菱形管、椭圆管、六方管、八方管以及各种断面不对称管等；按纵断面形状可分为等断面管和变断面管；变断面管有锥形管、阶梯形管和周期断面管等。

按钢管的材质分：钢管分为普通碳素钢管、炭素结构钢管、合金结构管、合金钢钢管、轴承钢管、不锈钢管以及为节省贵金属和满足特殊要求的双金属复合管、镀层和涂层管等。

按管端形状分：根据管端状态可分为光管和车丝管（带螺纹钢管）。车丝管又可分为普通车丝管（输送水、煤气等低压用管，采用普通圆柱或圆锥管螺纹连接）和特殊螺纹管（石油、地质钻探用管，采用特殊螺纹连接，对于重要的车丝管），对一些特殊用管，为弥补螺纹对管端强度的影响，通常在车丝前先进行管端加厚（内加厚、外加厚或内外加厚）。

按外径（D）和壁厚（S）之比（D/S）的不同将钢管分为特厚管（ $D/S \leq 10$ ）、厚壁管（ $D/S = 10 \sim 20$ ）、薄壁管（ $D/S = 20 \sim 40$ ）和极薄壁管（ $D/S \geq 40$ ）。

按用途分：油井管（套管、油管及钻杆等）、管线管、锅炉管、机械结构管、液压支柱管、气瓶管、地质管、化工用管（高压化肥管、石油裂化管）、船舶用管等。

## 1.2 钢管的技术要求

### 1.2.1 钢管生产的技术依据

钢管的产品标准是现场组织钢管生产的技术依据，是钢管产品的考核标准，也是供需双方在现有生产水平下所能达到的一种技术协议。

一般国家和行业标准规定的内容如下：

- 1) **品种，即钢管产品的规格标准。**规定了各种钢管产品应具有断面形状，单重，几何尺寸及其允许偏差等。

- 2) **技术条件，即钢管产品的质量标准（或性能标准）。**规定了钢管产品的化学成分、机械性能、工艺性能、表面质量以及其他特殊要求。
- 3) **验收规则和试验方法，即钢管产品的检验标准。**规定了检查验收的规则和做试验时的取样部位。同时还规定了试样的形状尺寸、试验条件及试验方法。
- 4) **包装、标志和质量证明书，即钢管产品的交货标准。**规定了成品管交货验收时的包装要求、标志方法及填写质量证明书等。

有些专用钢管需要按照国际或国外先进标准组织生产，如石油专用管（如套管、油管、钻杆和管线管等）按照 API 标准，锅炉管按照 ASME 标准等。

### 1.2.2 对钢管的尺寸偏差的要求

根据国标 GB/T17395《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》对尺寸偏差的要求，可分为标准化和非标准化两种，四个等级。

表 1-2 壁厚允许偏差

标准化壁厚允许偏差				
偏差等级	壁厚允许偏差			
	S/D			
	0.1 < S/D	0.05 < S/D ≤ 0.1	0.025 < S/D ≤ 0.05	S/D ≤ 0.025
S1	±15%，最小±0.6mm			
S2	A	±12.5%，最小±0.4mm		
	B	+正偏差取决于重量要求 -12.5%		
S3	A	±10%，最小±0.2mm		
	B	±10%	±12.5%，最小±0.4mm	±15%
	C	+正偏差取决于重量要求 -10%		
S4	A	±7.5%，最小±0.15mm		
	B	±7.5%	±10%	±12.5% ±15%
S5	±5%，最小±0.10mm			
非标准化壁厚允许偏差				
偏差等级	壁厚允许偏差，%			
NS1	+15			
	-12.5			
NS2	+15			
	-10			
NS3	+12.5			
	-10			
NS4	+12.5			
	-7.5			

注：S 是钢管公称壁厚，D 是钢管公称外径。

表 1-1 外径允许偏差

标准化外径允许偏差	
偏差等级	外径允许偏差
D1	±1.5%，最小±0.75mm
D2	±1.0%，最小±0.50mm
D3	±0.75%，最小±0.30mm
D4	±0.50%，最小±0.10mm
非标准化外径允许偏差	
偏差等级	外径允许偏差，%
ND1	+1.25 -1.50
ND2	±1.25
ND3	+1.25 -1.0
ND4	±0.8

### 1.2.3 对钢管的长度要求

根据国标 GB/T17395《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》对钢管的长度要求，可分通常长度、定尺长度和倍尺长度。

#### 1.2.3.1 通常长度

钢管一般长度以通常长度交货。通常长度应符合以下规定：

热轧管：3000~12000mm

冷轧管：2000~10500mm

热轧短尺管的长度不小于 2 m，冷轧短尺管的长度不小于 1 m。

#### 1.2.3.2 定尺长度和倍尺长度

定尺长度和倍尺长度应在通常长度范围内，全长允许偏差分为三级。每个倍尺长度按以下规定留出切口余量：

外径≤159mm：5~10mm；

外径>159mm：5~10mm。

表 1-3 全长允许偏差

全长允许偏差等级	全长允许偏差，mm
L1	0~20
L2	0~10
L3	0~5

### 1.2.4 外形

根据国标 GB/T17395《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》对钢管外形尺寸的要求，包括弯曲度、椭圆度。

#### 1.2.4.1 弯曲度

钢管的弯曲度分为全长弯曲度和每米弯曲度两种。

## 1 对钢管全长测得的弯曲度称为全长弯曲度，全长弯曲度分为 5 级。

表 1-4 全长弯曲度

弯曲度等级	全长弯曲度，%
	不大于
E1	0.20
E2	0.15
E3	0.10
E4	0.08
E5	0.06

## 2 每米弯曲度

对钢管每米长度测得的弯曲度称为每米弯曲度，每米弯曲度分为 5 级

表 1-5 每米弯曲度

弯曲度等级	每米弯曲度，mm/m
	不大于
F1	3.0
F2	2.0
F3	1.5
F4	1.0
F5	0.5

### 1.2.4.2 椭圆度

钢管的椭圆度分为 4 级

表 1-6 钢管的椭圆度

椭圆度等级	椭圆度不大于外径允许偏差，%
NR1	80
NR2	70
NR3	60
NR4	50

### 1.2.5 重量

根据国标 GB/T17395《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》对钢管重量的要求，钢管按实际重量交货，也可按照理论重量交货。实际重量交货可分为单根重量或每批重量两种。钢管每米的理论重量按下面的公式计算：

$$W = 0.003.1416 \rho (D-S)$$

式中：W--钢管的理论重量，kg/m；

$\rho$ —钢的密度，kg/dm<sup>3</sup>；

D—钢管的公称外径，mm；

S--钢管的公称壁厚，mm。

#### 1.2.5.1 按照理论重量交货的钢管，单根钢管理论重量与实际重量的允许偏差分为 5 级。

表 1-7 重量允许偏差

重量允许偏差等级	单根钢管重量允许偏差, %
W1	±10
W2	±7.5
W3	+10 -5
W4	+10 -3.5
W5	+6.5 -3.5

### 1.2.5.2 按理论重量交货的钢管，每批不小于 10 吨钢管的理论重量与实际重量允许偏差

为±7.5%或±5%。

### 1.2.6 不同用途的钢管应各有什么样的技术条件？

通常，按照钢管的用途及其工作条件的不同，应对钢管尺寸的允许偏差、表面质量、化学成分、机械性能、工艺性能及其他特殊性能等提出不同的技术条件。

一般无缝钢管用作输送水、气、油等各种流体管道和制造各种结构零件时，应对其机械性能如抗拉强度、屈服强度和伸长率作抽样试验。输送管一般在承压的条件下工作，还要求做水压试验和扩口、压扁、卷边等工艺性能试验。对于大型长输原油、成品油、天然气管线用钢管更是增加了碳当量、焊接性能、低温冲击韧性、苛刻腐蚀条件下应力腐蚀、腐蚀疲劳及腐蚀环境下强度等要求。

普通锅炉管用于制造各种结构锅炉的过热蒸汽管和沸水管。高压锅炉管用于高压或超高压锅炉的过热蒸汽管、热交换器和用于高压设备的管道。上述热工设备用钢管都在不同的高温高压的条件工作，应保证良好的表面状态、机械性能和工艺性能。一般均要检验其机械性能，做压扁和水压试验，高压锅炉管还要求做有关晶粒度的检验以及更严格的无损检测。

机械用无缝钢管根据用途要求须有较高的尺寸精度、良好的机械性能和表面状态。如轴承管要求较高的耐磨性、组织均匀和严格的内、外径公差。除做一般的机械性能检验项目外，还要做低倍、断口、退火组织（球化组织、网状光、带状），非金属夹杂物（氧化物、硫化物、点状等）、脱碳层及其硬度指标等试验。

化肥工业用高压无缝钢管常在压力为 2200~3200Mpa、工作温度为-40℃~400℃和腐蚀性的环境下输送化工介质（如合成氨、甲醇、尿素等）。化肥工业用高压无缝钢管应具有较强的抗腐蚀性能、良好的表面状态和机械性能。除做机械性能、压扁和水压试验外，应根据不同的钢种作相应的精简腐蚀试验、经理度和更严格的无损检测。

石油、地质钻探用钢管在高压、交变应力、腐蚀性的恶劣环境下工作，故应有高的强度级别，并能抗磨、抗扭和耐腐蚀等性能。按照钢级的不同应做抗拉强度、屈服强度、伸长率、冲击韧性及硬度等试验。对于石油油井用的套管、油管 and 钻杆，更是详细划分了钢级、类别，以及适用于不同环境、地质情况由用户自己选择的较高要求的附加技术条件，满足不同的特殊需求。

化工、石油裂化、航空和其他机械行业用的各种不锈钢耐热耐酸管除做机械性能与水压试验外，还要专门作晶间腐蚀试验，压扁、扩口及无损检测等试验。

## 1.2.7 我公司的主要产品管线管、油管和套管的主要技术要求

### 1.2.7.1 目前国内外广泛使用的油气输送钢管采用的标准

目前国内外广泛使用的油气输送钢管采用的标准有：（1）美国石油学会的 API SPEC 5L 《管线管规范》，（2）国际标准 ISO3183-1、2、3 《石油天然气 输送钢管 交货技术条件》，（3）对于一些重要的长输管线，根据具体的使用环境都有自己的补充采购技术条件。

### 1.2.7.2 在 API 油气输送钢管标准中钢管的分类及其主要区别

按照 API SPEC 5L 的规定，输送钢管分为 PLS1 和 PLS2 两个产品级别，对这两类产品规定了不同的技术条件。

其主要区别是：相对于 PLS1，PLS2 级别对碳当量、断裂韧性、最大屈服强度和最大抗拉强度规定了强度要求。对硫、磷等有害元素的控制也加严了要求。无缝管的无损检验成为强制要求。对质保书必须填写的内容及试验完成后可追溯性成为强制要求。

### 1.2.7.3 在 ISO 油气输送钢管标准中钢管的分级及其主要区别

在 ISO3183 油气输送钢管标准中，钢管按照质量要求之间的差异，共分为 A、B、C 三部分，也被称为 A、B、C 三级要求。

其主要区别是：在 ISO3183 -1 A 级标准要求中制定了与 API SPEC 5L 的规定相当的基本质量要求，这些主要的质量要求是通用的。在 ISO3183 -2 B 级标准中除基本要求之外附加了有关韧性和无损检验方面的要求。还有某些特殊用途，例如酸性环境、海洋条件及低温条件等对钢管的质量和试验有着非常严格的要求，这些主要反映在 ISO3183 -3 C 级标准中。

### 1.2.7.4 油气输送管道对钢的主要性能要求

油气输送管道对钢的主要性能要求是：

- 1 强度。**一般的油气输送管道都是根据钢材的屈服强度设计的。采用屈服强度较高的钢管，可以提高管道工作压力，获得较好的经济效益。因此，管道用钢的屈服强度已经从最初的碳素钢逐步发展起来，四十年代为 X42~X52 钢级，六十年代末达到 X60~X70 钢级。现已正式生产和正式使用屈服强度更高的 X80~X100 钢级。
- 2 韧性。**五十年代和六十年代，世界许多地区都发生过油气管道的破裂事故。通过对这些事故的分析，大大促进了人们对管道韧性指标的认识。API 5L 规定，除常规的机械性能检验外，生产厂还应按 SR5 和 SR6 补充要求进行 V 型缺口夏比冲击试验和落锤撕裂试验（即 DWTT）。钢管出厂前应进行严格的无损检验。尽管如此，对于长输管道来说，要完全避免起裂（Initiation of fracture）是困难的，还必须着眼于裂纹失稳扩展的阻止。研究表明，可以用控制 DWTT 值的办法达到止裂。为此，世界许多国家对管道钢规定了 DWTT 试验的断口剪切面积百分比的最低值。
- 3 可焊性。**由于野外敷设管道的现场条件恶劣，钢管对接焊接时，要求有良好的可焊性。可焊性差的钢管焊接时易在焊缝产生裂纹，并使焊缝及热影响区硬度增加、韧性下降，增加管道破裂的可能性。钢材可焊性设计原则实际上是对马氏体转变点及淬硬性的控制。根据合金元素对马氏体转变点的影响和实际经验确定的碳当量计算公式，被用来评定钢的可焊性。普遍采用的碳当量公式为：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$C_{eq}$  一般应控制在 0.40 以下。实际上, 大多数钢厂均控制在 0.35 以下。

- 4 **延展性**。如果延展性不足, 将导致冷弯成型过程钢板劈裂, 或在焊接过程产生层状撕裂。因此, API 标准对管道焊管除规定进行压扁试验外, 还要求进行导向弯曲试验。为提高延展性, 关键是减少钢中非金属夹杂物, 并控制夹杂物的形态和分布。
- 5 **耐腐蚀性**。输送含硫油气时, 管道内壁接触硫化氢和二氧化碳, 从而导致氢脆和应力腐蚀破裂。一般采用降低钢的含硫量、控制硫化物形态、改善沿壁厚方向的韧性等措施。其主要特点是通过微合金化和控制轧制, 在热轧状态获得高强度、高塑性、韧性和良好的可焊性。为了全面满足石油天然气输送管道对钢的性能要求, 除了严密的合金设计外, 对硫、磷等有害元素的控制也非常严格。一般含硫量控制在 0.010% 以下, 以提高钢的塑性、韧性, 特别是横向韧性。

### 1.2.7.5 石油专用管中的油管和套管在 API 标准中的分类

石油专用管中的油管和套管在 API 5CT 标准中分类为: 表 1-8

组别	钢级	类型	制造方法	热处理	最低回火温度 (°C)
1	2	3	4	5	6
1	H40	-	S 或 EW	None	-
	J55	-	S 或 EW	None	-
	K55	-	S 或 EW	N、N&T	-
	N80	1	S 或 EW	N、N&T	-
	N80	Q	S 或 EW	Q&T	-
2	M65	-	S 或 EW	N、N&T、	-
	L80	1	S 或 EW	Q&T	566
	L80	9Cr	S	Q&T	593
	L80	13Cr	S	Q&T	593
	C90	1	S	Q&T	621
	C90	2	S	Q&T	621
	C95	-	S 或 EW	Q&T	538
	T95	1	S	Q&T	649
	T95	2	S	Q&T	649
3	P110	-	S 或 EW	Q&T	-
4	Q125	1	S 或 EW	Q&T	-
	Q125	2	S 或 EW	Q&T	-
	Q125	3	S 或 EW	Q&T	-
	Q125	4	S 或 EW	Q&T	-
S-无缝管; EW-焊管 N-正火; N&T-正火+回火; Q&T-淬火+回火					

在 API 5CT 中套管和油管分为 4 组、19 个钢级。按照制造方法，又分为无缝管和焊管两大类。除 L80-9Cr、L80-13Cr、C90-1、C90-2、T95-1、T95-2 共计 6 钢级限定使用无缝管外，其它钢级除可以使用无缝管还可以使用电阻焊或电感应焊接方法生产的直缝焊管。其热处理工艺，除第 1 组 3 个钢级外，第 1 组 N80Q 类、第 2、3、4 组共在 API 5CT 中套管和油管分为 4 组、19 个钢级。按照制造方法，又分为无缝管和焊管 14 个钢级都必须进行全长淬火+回火处理，并对第 2 组的 8 个钢级规定了最低回火温度。对第 1 组、第 2 组 M65 钢级和第 3 组共 7 个钢级只规定了 S、P 含量最大值，而未规定其它主要化学成分。对第 2 组和第 4 组共 12 个钢级规定了化学成分要求。

### 1.2.7.6 油管和套管的钢级表达的具体含义

在 API SPEC 5CT 标准中，套管和油管的钢级标明其屈服强度和一些特殊的特征。钢级标注通常用 1 个字母和 2 或 3 个数字表示，如 N80。在大多数情况下，按照字母在字母表中的顺序，越往后的字母，代表管子的屈服强度越大。例如，N80 一级钢材的屈服强度要比 J55 的大。

数字符号是以千磅每平方英寸表示的管材最小屈服强度来确定的。例如：N80 钢级的最低屈服强度为 80,000lb/in<sup>2</sup>。

API SPEC 5CT 标准列出的套管钢级有：H40、J55、K55、N80、M65、L80、C90、C95、T59、P110、Q125；套管钢级有：H40、J55、N80、L80、C90、T59、P110。

### 1.2.7.7 为满足油田特殊地质工况环境，目前国内外使用的非 API 油管、套管种类

除了 API 标准的套管外，国内外还研究和开发了满足油田特殊地质工况环境使用的非 API 套管，包括：用于深井的超高强度油管、套管；高抗挤毁套管；含硫化氢油气井中使用的抗硫化氢应力腐蚀油管、套管；用于低温油气井的高强度油管、套管；用于只有二氧化碳和氯离子，几乎不含硫化氢腐蚀性环境下使用的油管、套管；用于硫化氢、二氧化碳和氯离子三者共存强烈腐蚀性环境下使用的油管、套管。

### 1.2.7.8 石油专用管中的油管和套管 API 标准的螺纹连接的基本情况

石油专用管中的油管和套管 API 标准的螺纹连接由两部分组成：管子或公端和接箍或母端。有外螺纹的叫管子或公端。有内螺纹的叫接箍或母端。

两个公端用一个接箍连接起来，接箍是一段外径比管子稍大的短管。两端车有内螺纹。所有带 API 螺纹和接箍的套管和管线管都是不加厚的。

油管是不加厚或外加厚。管端的内径大约等于管体的内径。但加厚端的外径比管体大。整体连接油管的两端是加厚的。

API 规范中包括 4 种螺纹，即管线管螺纹、圆螺纹、偏梯形螺纹以及直连型螺纹。管线管、圆螺纹、偏梯形的螺纹在拧接装配时要求配合在一起，达到用密封填充脂一起阻止从螺纹泄漏。直连型套管螺纹末设计成密封的。直连型连接的密封是采用金属对金属的密封来达到的。

API 标准螺纹的主要参数

API 标准螺纹的主要参数有：

螺纹长度（除偏梯形螺纹）：从螺纹起点（管端）到消失点的长度。

螺纹高度：即螺纹齿顶到齿底间的距离。

螺距：即螺纹任一点沿轴向到相邻齿的对应点的距离。

螺纹锥度：即以英寸表示的每英寸螺纹长度的螺纹直径变化。

紧密距：即管子或接箍端面到环规或塞规拧紧位置间沿轴向测得的距离。

螺纹尾扣锥度(仅偏梯螺纹):即切削工具的快速退刀造成螺纹末端有一个陡峭的斜度。

## 1.2.8 钢管技术要求中常用术语

### 1.2.8.1 通用术语

#### 1 交货状态

是指交货产品的最终塑性变形或最终热处理的状态。一般不经过热处理交货的称热轧或冷拔(轧)状态或制造状态;经过热处理交货的称热处理状态,或根据热处理的类别称正火(常化)、调质、固溶、退火状态。订货时,交货状态需在合同中注明。

#### 2 按实际重量交货或按理论重量交货

实际重量--交货时,其产品重量是按称重(过磅)重量交货;

理论重量--交货时,其产品重量是按钢材公称尺寸计算得出的重量。

#### 3 保证条件

按现行标准的规定项目进行检验并保证符合标准的规定,称做保证条件。保证条件又分为:

- A 基本保证条件(又称必保条件)。无论客户是否在合同中注明。均需按标准规定进行该项检验,并保证检验结果符合标准规定。如化学成分、力学性能、尺寸偏差、表面质量以及探伤、水压实验或压扁或扩口等工艺性能实验,均属必保条件。
- B 协议保证条件:标准中除基本保证条件外,尚有“根据需方要求,经供需双方协商,并在合同中注明”或“当需方要求.....时,应在合同中注明”;还有的客户,对标准中基本保证条件提出加严要求(如成分、力学性能、尺寸偏差等)或增检验项目(如钢管椭圆度、壁厚不均等)。上述条款及要求,在订货时,由供需双方协商,签署供货技术协议并在合同中注明。因此,这些条件又称为协议保证条件。

#### 4 批

标准中的“批”是指一个检验单位,即检验批。若以交货单位组批,称交货批。当交货批量大时,一个交货批可包括几个检验批;当交货批量少时,一个检验批可分为几个交货批。

“批”的组成通常有下列规定(详见有关标准):

- A 每批应由同一牌号(钢级)、同一炉(罐)号或同一母炉号、同一规格和同一热处理制度(炉次)的钢管组成。
- B 对于优质碳素钢结构管、流体管,可以不同炉(罐)的同一牌号、同一规格和同一热处理制度(炉次)的钢管组成。
- C 焊接钢管每批应由同一牌号(钢级)、同一规格的钢管组成。

#### 5 纵向和横向

标准中称纵向是指与加工方向平行(即顺加工方向)者;横向是指与加工方向垂直(加工方向即钢管轴向)。

做冲击功实验时,纵向试样的断口因与加工方向垂直。故称横向断口;横向试样的断口因与加工方向平行,故称纵向断口。

### 1.2.8.2 钢管外形,尺寸术语

#### 1 公称尺寸和实际尺寸

- A 公称尺寸:是标准中规定的名义尺寸,是用户和生产企业希望得到的理想尺寸,也是合同中注明的订货尺寸。
- B 实际尺寸:是生产过程中所得到的实际尺寸,该尺寸往往大于或小于公称尺寸。这种大于或小于公称尺寸的现象称为偏差。

## 2 偏差和公差

A 偏差：在生产过程中，由于实际尺寸难于达到公称尺寸要求，即往往大于或小于公称尺寸，所以标准中规定了实际尺寸与公称尺寸之间允许有一差值。差值为正值的叫正偏差，差值为负值的叫负偏差。

B 公差：标准中规定的正、负偏差值绝对值之和叫做公差，亦叫“公差带”。偏差是有方向性的，即以“正”或“负”表示；公差是没有方向性的，因此，把偏差值称为“正公差”或“负公差”的叫法是错误的。

## 3 交货长度

交货长度又称用户要求长度或合同长度。标准中对交货长度有以下几种规定：

A 通常长度（又称非定尺长度）：凡长度在标准规定的长度范围内而且无固定长度要求的，均称为通常长度。例如结构管标准规定：热轧（挤压、扩）钢管 3000mm~12000mm；冷拔（轧）钢管 2000mm~10500mm。

B 定尺长度：定尺长度应在通常长度范围内，是合同中要求的某一固定长度尺寸。但实际操作中都切出绝对定尺长度是不大可能的，因此标准中对定尺长度规定了允许的正偏差值。

以结构管标准为例：生产定尺长度管比通常长度管的成材率下降幅度较大，生产企业提出加价要求是合理的。加价幅度各企业不尽一致，一般为基价基础上加价 10%左右。

C 倍尺长度：倍尺长度应在通常长度范围内，合同中应注明单倍尺长度及构成总长度的倍数（例如 3000mm×3，即 3000mm 的 3 倍数，总长为 9000mm）。实际操作中，应在总长度的基础上加上允许正偏差 20mm，再加上每个单倍尺长度应留切口余量。以结构管为例，规定留切口余量：外径≤159mm 为 5~10mm；外径>159mm 为 10~15mm。

若标准中无倍尺长度偏差及切割余量规定时，应由供需双方协商并在合同中注明。

D 范围长度：范围长度在通常长度范围内，当用户要求其中某一固定范围长度时，需在合同中注明。

例如：通常长度为 3000~12000mm，而范围定尺长度为 6000~8000mm 或 8000~10000mm。

可见，范围长度比定尺和倍尺长度要求宽松，但比通常长度加严很多。

## 4 壁厚不均

钢管壁厚不可能各处相同，在其横截面及纵向管体上客观存在壁厚不等现象，即壁厚不均。为了控制这种不均匀性，在有的钢管标准中规定了壁厚不均的允许指标，一般规定不超过壁厚公差的 80%（经供需双方协商后执行）。

## 5 椭圆度

在圆形钢管的横截面上存在着外径不等的现象，即存在着不一定互相垂直的最大外径和最小外径，则最大外径与最小外径之差即为椭圆度（或不圆度）。为了控制椭圆度，有的钢管标准中规定了椭圆度的允许指标，一般规定为不超过外径公差的 80%（经供需双方协商后执行）。

## 6 弯曲度

钢管在长度方向上呈曲线状，用数字表示出其曲线度即叫弯曲度。标准中规定的弯曲度一般分为如下两种：

A 局部弯曲度：用一米长直尺靠量在钢管的最大弯曲处，测其弦高（mm），即为局部弯曲度数值，其单位为 mm/m，表示方法如 2.5mm/m。此种方法也适用于管端部弯曲度。

B 全长总弯曲度：用一根细绳，从管的两端拉紧，测量钢管弯曲处最大弦高（mm），然后换算成长度（以米计）的百分数，即为钢管长度方向的全长弯曲度。

例如：钢管长度为 8m，测得最大弦高 30mm，则该管全长弯曲度应为：

$$0.03 \div 8m \times 100\% = 0.375\%$$

## 7 尺寸超差

尺寸超差或叫尺寸超出标准的允许偏差。此处的"尺寸"主要指钢管的外径和壁厚。此处的偏差可能是"正"的,也可能是"负"的,很少在同一批钢管中出现"正、负"偏差均出格的现象。

### 1.2.8.3 化学分析术语

钢的化学成分是关系钢材质量和最终使用性能的重要因素之一,也是制定钢材,乃至最终产品热处理制度的主要依据。因此,在钢材标准的技术要求部分,往往第一项就规定了钢材适用的牌号(钢级)及其化学成分,并以表格形式列入标准中,是生产企业和客户验收钢及钢材化学成分的重要依据。

#### 1 钢的熔炼成分

一般标准中规定的化学成分即指熔炼成分。它是指钢冶炼完毕、浇注中期的化学成分。为使其具有一定代表性,即代表该炉或罐的平均成分,在取样标准方法中规定,将钢水在样模内铸成小锭,在其上刨取或钻取样屑,按规定的标准方法(GB/T223)进行分析,其结果必须符合标准化学成分范围,也是客户验收的依据。

#### 2 成品成分

成品成分又叫验证分析成分,是从成品钢材上按规定方法(GB/T222)钻取或刨取样屑,并按规定的标准方法(GB/T223)进行分析得来的化学成分。钢在结晶和以后塑性变形中,因钢中合金元素分布的不均匀(偏析),因此允许成品成分与标准成分范围(熔炼成分)之间存在有偏差,其偏差值应符合GB/T222之规定。

#### 仲裁分析

由于两个实验室分析同一样品的结果有显著差别并超出两个实验室的允许分析误差,或者生产企业与使用部门、需方与供方对同一样品或同一批钢材的成品分析有分歧意见时,可由第三方具有丰富分析经验的权威单位进行再分析,即称之为仲裁分析。仲裁分析结果即为最终判定依据。

### 1.2.8.4 力学性能术语

钢材力学性能是保证钢材最终使用性能(机械性能)的重要指标,它取决于钢的化学成分和热处理制度。在钢管标准中,根据不同的使用要求,规定了拉伸性能(抗拉强度、屈服强度或屈服点、伸长率)以及硬度、韧性指标,还有用户要求的高、低温性能等。

#### 1 抗拉强度(R<sub>m</sub>)

试样在拉伸过程中,在拉断时所承受的最大力(F<sub>m</sub>),除以试样原横截面积(S<sub>o</sub>)所得的应力,称为抗拉强度(R<sub>m</sub>),单位为N/mm<sup>2</sup>(MPa)。它表示金属材料在拉力作用下抵抗破坏的最大能力。计算公式为:

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}$$

式中:F<sub>m</sub>--试样拉断时所承受的最大力,N(牛顿);

S<sub>o</sub>--试样原始横截面积,mm<sup>2</sup>。

#### 2 屈服点

具有屈服现象的金属材料,试样在拉伸过程中力不增加(保持恒定)仍能继续伸长时的应力,称屈服点。若力发生下降时,则应区分上、下屈服点。屈服点的单位为N/mm<sup>2</sup>(MPa)。

上屈服点(Re<sub>L</sub>):试样发生屈服而力首次下降前的最大应力;



洛氏硬度试验同布氏硬度试验一样，都是压痕试验方法。不同的是，它是测量压痕的深度。即，在初试力（ $F_0$ ）及总试验力（ $F$ ）的先后作用下，将压头（金钢厂圆锥体或钢球）压入试样表面，经规定保持时间后，卸除主试验力，用测量的残余压痕深度增量（ $e$ ）计算硬度值。其值是个无名数，以符号 HR 表示，所用标尺有 A、B、C、D、E、F、G、H、K 等 9 个标尺。其中常用于钢材硬度试验的标尺一般为 A、B、C，即 HRA、HRB、HRC。

硬度值用下式计算：

当用 A 和 C 标尺试验时， $HR=100-e$

当用 B 标尺试验时， $HR=130-e$

式中  $e$ --残余压痕深度增量，其值系以规定单位 0.002mm 表示，即当压头轴向位移一个单位（0.002mm）时，即相当于洛氏硬度变化一个数。 $e$  值愈大，金属的硬度愈低，反之则硬度愈高。

上述三个标尺适用范围如下：

HRA（金刚石圆锥压头）20-88

HRC（金刚石圆锥压头）20-70

HRB（直径 1.588mm 钢球压头）20-100

洛氏硬度试验是目前应用很广的方法，其中 HRC 在钢管标准中使用仅次于布氏硬度 HB。洛氏硬度可适用于测定由极软到极硬的金属材料，它弥补了布氏法的不足，较布氏法简便，可直接从硬度机的表盘读出硬度值。但是，由于其压痕小，故硬度值不如布氏法准确。

### C 维氏硬度（HV）

维氏硬度试验也是一种压痕试验方法，是将一个相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力（ $F$ ）压入试验表面，经规定保持时间后卸除试验力，测量压痕两对角线长度。

维氏硬度值是试验力除以压痕表面积所得之商，其计算公式为：

$$HV=1.8544 \times \frac{F}{d^2}$$

式中：HV--维氏硬度符号，N/mm<sup>2</sup>(MPa)；

F--试验力，N；

d--压痕两对角线的算术平均值，mm。

维氏硬度采用的试验力  $F$  为 5（49.03）、10（98.07）、20（196.1）、30（294.2）、50（490.3）、100（980.7）Kgf(N) 等六级，可测硬度值范围为 5~1000HV。

表示方法举例：640HV30/20 表示用 30Hgf（294.2N）试验力保持 20S（秒）测定的维氏硬度值为 640N/mm<sup>2</sup>(MPa)。

维氏硬度法可用于测定很薄的金属材料 and 表面层硬度。它具有布氏、洛氏法的主要优点，而克服了它们的基本缺点，但不如洛氏法简便。维氏法在钢管标准中很少用。

## 6 冲击韧性指标

冲击韧性是反映金属材料对外来冲击负荷的抵抗能力，一般由冲击功（ $A_k$ ）表示，其单位为 J（焦耳）。

冲击功试验（简称“冲击试验”），因试验温度不同而分为常温、低温和高温冲击试验三种；若按试样缺口形状又可分为“V”形缺口和“U”形缺口冲击试验两种。

冲击试验：用一定尺寸和形状（10×10×55mm）的试样（长度方向的中间处有“U”型或“V”型缺口，缺口深度 2mm）在规定试验机上受冲击负荷打击下自缺口处折断的实验。

冲击吸收功  $A_{kv}(u)$ --具有一定尺寸和形状的金属试样，在冲击负荷作用下折断时所吸收的功。单位为焦耳（J）。

常温冲击试验温度为 20±5℃；低温冲击试验温度范围为 <15~-192℃；高温冲击试验温

度范围为 35~1000℃。

低温冲击试验所用冷却介质一般为无毒、安全、不腐蚀金属和在试验温度下不凝固的液体或气体。如无水乙醇（酒精）、固态二氧化碳（干冰）或液氮雾化气（液氮）等。

### 1.3 钢管的主要生产方法

钢管主要生产方法有热轧（包括挤压）、焊接和冷加工三大类。冷加工是钢管的二次加工。

热轧无缝钢管生产过程是将实心管坯（或钢锭）穿孔并轧制成具有要求的形状、尺寸和性能的钢管。整个过程有三个主要变形工序：1）穿孔——将实心坯（锭）穿轧成空心毛管；2）轧管——将毛管轧成接近要求尺寸的荒管；3）定减径——将荒管不带芯棒轧制成具有要求的尺寸精度和真圆度的成品管。生产中，按产品品种、规格和生产能力等条件不同而选择不同类型的轧管机。由于不同类型的轧管机轧管时轧件的运动学条件、应力状态条件、道次变形量、总变形量和生产率等有所不同，因此必须为它配备在变形量和生产率方面都匹配的穿孔机和其他前后工序的设备。这样一来，不同的轧管机相应构成了不同的轧管机组。热轧无缝钢管的生产方法就是以机组中轧管机类型分类的，目前常用的热轧无缝钢管生产方法见表 1-9。一个机组的具体名称以该机组品种规格和轧管机类型来表示，如 168 连轧管机组就是指其产品的最大外径为 168mm 左右的、轧管机为连轧管机的机组。钢管热挤压机组用挤压机的最大挤压力（吨位）或产品规格范围来表示其型号。

焊接钢管的生产方法是将管坯（钢板或钢带）用各种成型方法弯卷成要求的横断面形状，然后用不同的焊接方法将焊缝焊合的过程。成型和焊接是其基本工序，焊管生产方法就是按这两个工序的特点来分类的。连续直缝焊主要使用有 ERW 和高频焊两种方法；UOE 法是生产大口径直缝电焊的主要方法，为非连续的；另外还有螺旋焊，主要是当年钢板宽度受限制时为生产大口机管而采取的方法。

钢管冷加工方法有冷轧、冷拔和冷旋压三种，其产品范围见表 1-10。冷旋压本质上也是冷轧。冷轧机和冷旋压机的规格用其产品规格和轧机型式表示；冷拔机规格用其允许的额定拔制力来表示。如 LG-150 表示成品外径最大为 150mm 的二辊周期式冷轧管机；LD-30 表示成品外径最大为 30mm 的多辊式冷轧管机；LB-100 表示拔制力额定值为 100 吨的冷拔管机。

表 1-9 常用热轧无缝钢管生产方式

生产方法	原料(管坯)	主要变形工序用设备		产品范围			
		穿孔	轧管	外径(D) (mm)	壁厚(S) (mm)	D/S	荒管最大长度(m)
自动轧管机组	园轧坯	二辊式斜轧穿孔机 桶形辊或锥形辊	自动轧管机 (plug mill)	12.7~426	2~60	6~48	10~16
	连铸园坯			165~406	5.5~40		
	连铸方坯	推轧穿孔机 (PPM)和延伸机					
连轧管机组	园轧坯	二辊式斜轧穿孔机 桶形辊或锥形辊	浮动、半浮动和 限动(MPM、PQF)	16~194	1.75~25.4	6~30	20~33
	连铸园坯			48~426	3~40	6~40	
	连铸方坯	推轧穿孔机 (PPM)和延伸机	限动(MPM)				
三辊轧管机组	园轧坯 连铸坯	二辊斜轧或三辊斜轧	三辊轧管机 (ASSEL)	21~250	2~50	4~40	8~13.5
皮尔格轧机组	园锭	二辊斜轧穿孔	皮尔格轧机	50~720	3~170	4~40	16~28
	方锭或多棱锭	压力穿孔和斜轧延伸					
	连铸管坯						
顶管机组	方坯	压力穿孔和斜轧延伸	顶管机	17~1200	3~220	4~30	14~16
	园坯	斜轧穿孔					
热挤压机组	园锭、方锭或多棱锭	压力穿孔或钻孔 后压力穿孔	挤压机	25~1425	2~	4~25	~25

表 1-10 目前钢管冷加工的产品规格范围

冷加工方法	产品范围				
	外径 D, mm		壁厚 S, mm		D/S
	最大	最小	最大	最小	
冷轧	500.0	4.0	60.0	0.04	60~250
冷拔	762.0	0.1	20.0	0.01	2~2000
冷旋压	4500.0	10	38.1	0.04	可达 12000 以上

## 第二章 热轧钢管生产工艺流程

### 2.1 一般工艺流程

热轧无缝钢管的生产工艺流程包括坯料轧前准备、管坯加热、穿孔、轧制、定减径和钢管冷却、精整等几个基本工序。

当今热轧无缝钢管生产的一般主要变形工序有三个：穿孔、轧管和定减径；其各自的工艺目的和要求为：

#### 2.1.1 穿孔

将实心的管坯变为空心的毛管；我们可以理解为定型，既将轧件断面定为圆环状；其设备被称为穿孔机。对穿孔工艺的要求是：首先要保证穿出的毛管壁厚均匀，椭圆度小，几何尺寸精度高；其次是毛管的内外表面要较光滑，不得有结疤、折叠、裂纹等缺陷；第三是要有相应的穿孔速度和轧制周期，以适应整个机组的生产节奏，使毛管的终轧温度能满足轧管机的要求。

#### 2.1.2 轧管

将厚壁的毛管变为薄壁（接近成品壁厚）的荒管；我们可以视其为定壁，即根据后续的工序减径量和经验公式确定本工序荒管的壁厚值；该设备被称为轧管机。对轧管工艺的要求是：第一是将厚壁毛管变成薄壁荒管（减壁延伸）时首先要保证荒管具有较高的壁厚均匀度；其次荒管具有良好的内外表面质量。

#### 2.1.3 定减径（包括张减）

大圆变小圆，简称定径；相应的设备为定（减）径机。对定减径工艺的要求是：首先在一定的总减径率和较小的单机架减径率条件下来达到定径目的，第二可实现使用一种规格管坯生产多种规格成品管的任务，第三还可进一步改善钢管的外表面质量。

20世纪80年代末，曾出现过试图取消轧管工序，仅使用穿孔加定减的方法生产无缝钢管，简称CPS，即斜轧穿孔和张减的英文缩写），并在南非的Tosa厂进行了工业试验，用来生产外径： $33.4 \sim 179.8$  mm，壁厚3.4~25mm的钢管，其中定径最小外径为101.6mm；张减最大外径我101.6mm。经过实践检验，该工艺在产生壁厚大于10mm的钢管时质量尚可，但在生产壁厚小于8mm的钢管时通过定径、张减不能完全消除穿孔毛管的螺旋线，影响了钢管的外观质量。在随后的改造中不得不在穿孔机于定减径机之间增设了一台MINI-MPM(4机架)来确保产品质量。

### 2.2 各热轧机组生产工艺过程特点

我们通常将毛管的壁厚加工称之为轧管。轧管是钢管成型过程中最重要的一个工序环节。这个环节的主要任务是按照成品钢管的要求将厚壁的毛管减薄至与成品钢管相适应的程度，即它必须考虑到后继定、减径工序时壁厚的变化，这个环节还要提高毛管的内外表面质量和壁厚的均匀度。通过轧管减壁延伸工序后的管子一般称为荒管。轧管减壁方法的基本特点是在毛管内按上刚性芯棒，由外部工具（轧辊或模孔）对毛管壁厚进行压缩减壁。依据变形原理和设备特点的不同，它有许多种生产方法，如表1所示。一般习惯根据轧管机的形式来命名热轧机组。轧管机分单机架和多机架，单机架有自动轧管机、阿塞尔轧机、

ACCU-ROLL 等,斜轧管机都是单机架的;连轧管机都是多机架的,通常 4~8 个机架,如 MPM、PQF 等。目前主要使用连轧(属于纵轧)与斜轧两种轧管工艺。

表 2-1 轧管减壁的工艺方法

变形原理	设备、工具特点		加工工艺方式	延伸系数	
	外工具、设备	芯棒			
纵轧法	单机架		短(固定)	自动轧管机(plug mill)	1.5~2.1
	多机架连轧		长(浮动)	MM	3~4.5
			中长(半浮、限动)	Neuval-R, MRK-S, MPM, PQF	3~6.5
斜轧法	二辊	导板	短(固定、限动)	二次穿孔、延伸机	<2.5
		导盘	长(浮动)	狄舍尔延伸机(Diescher)	2~5.0
			中长(限动)	ACCU-ROLL	2~5.0
	三辊		中、长(浮动、限动、回退)	三辊轧管机(Assel, Transval)	1.3~3.5
	多辊		中长(固定)	行星轧管机(PSW)	5~14
锻轧法	周期断面辊		中长(往复)	周期式轧管机(Pilger)	8~15
顶管法	一系列模孔		长(与出口管端同步)	顶管机	4~16.5
挤压法	单模孔		中长(固定)	挤压机	1.2~30

### 2.2.1 连续轧管机的几种形式

连轧管机是在毛管内穿入长芯棒后,经过多机架顺序布置且相临机架辊缝互错(二辊式辊缝互错  $90^\circ$ , 如图 1 所示;三辊式辊缝互错  $60^\circ$ )的连轧机轧成钢管,它是当今被最广泛应用的纵轧钢管方法。连轧管机轧制过程中,轧件变形实际上是受多组(4~8 组)轧辊与芯棒的反复作用从圆到椭圆…椭圆再到圆的过程。

连轧管机的发展历史悠久,早在 19 世纪末就曾尝试在长芯棒上进行轧管,但种种原因,至 1950 年世界上仅有 6 台连轧管机。1960 年后,随着科学技术的进步和生产的发展,特别是电子计算机技术的飞速发展和应用,使连轧管机在生产工艺和设备上日趋完善,得到了迅速的发展和推广。在浮动芯棒连轧管机的基础上,限动芯棒连轧管机于 20 世纪 60 年代中期进行了工艺试验,获得了可喜的成果。1978 年世界上第一套限动芯棒连轧管机(MPM)在意大利达尔明钢管厂建成投产,连轧管工艺发展到了一个新的水准。20 世纪 90 年代末又推出了三辊连轧管机(PQF)技术,使连轧管工艺装备跃上了更高的台阶。

连轧管机在 PQF 出现以前,都是两辊式的,即由两个轧辊为一组组成孔型,二辊式的机架既有与地面呈  $45^\circ$  交错布置的,也有与地面垂直、水平交错布置的;PQF 为三辊式的,即由三个轧辊为一组组成孔型;;MPM 与 PQF 孔型构成见(图 2);连轧管时,孔型顶部的金属由于受到轧辊外压力和芯棒内压力作用而产生轴向延伸,并向圆周横向宽展,而孔型侧壁部分的金属与芯棒不接触,但它被顶部轴向延伸的金属对它附加的拉应力作用而产生轴向延伸,并同时产生轴向拉缩。不论两辊式的还是三辊式的连轧管机,按芯棒的运行方式可分为以下三种形式。

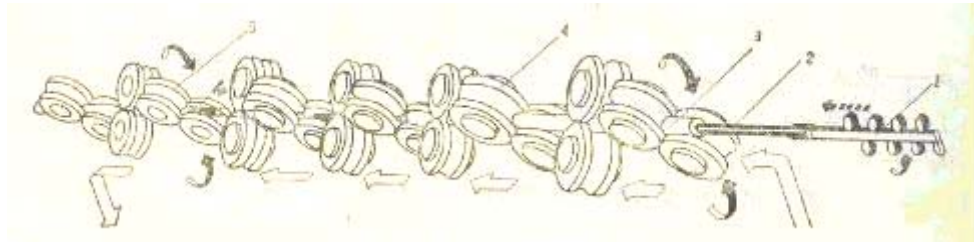


图 2-1 MPM 轧管工艺过程图示

1-芯棒限动装置 2-芯棒 3-毛管 4-连轧管机 5-脱管机

### 2.2.1.1 浮动芯棒连轧管机（或全浮动芯棒连轧管机）

简称 MM（Mandrel Mill）。轧制过程中对芯棒速度不加以控制，芯棒由被辗轧金属的摩擦力带动自由跟随管子通过轧机，芯棒的运行速度是不受控的；轧制过程中芯棒的运行速度随着各机架的咬入、抛钢有波动，从而引起管子壁厚的波动；轧制结束后，芯棒随荒管轧出至连轧机后的输出辊道，在轧制中、薄壁管时芯棒的几乎全长都在荒管内，见图 3；带有芯棒的荒管横移至脱棒线，由脱棒机将芯棒从荒管中抽出以便冷却、润滑后循环使用。其特点是轧制节奏快，每分钟可轧 4 支甚至更多的钢管；但荒管的壁厚精度稍低、设有脱棒机其工艺流程较长、芯棒的长度接近于管子的长度；适合生产较小规格（外径小于 177.8mm）的无缝钢管。比较有代表性的浮动芯棒连轧管机有德国米尔海姆厂的 RK2 机组和我国宝钢的  $\phi 140$  mm 机组。

浮动芯棒连轧管机的工作特点是：由于在轧制时不控制芯棒速度，因此在整个轧制过程中，芯棒速度多次变化。例如，在一台 8 机架的连轧管机上，当金属进入第一机架时，芯棒在摩擦力的作用下，以接近第一机架的轧制速度运行；当金属进入第二机架时，芯棒速度就要改变，以第一和第二机架轧制速度之间的某个速度运行；当进入第三机架时，则芯棒速度已变为第一、第二和第三机架轧制速度之间的某个速度；依此类推，直至进入第八机架，芯棒速度便经过了 8 次变化，已 1~8 机架间的某个速度运行，进入一个相对稳定的轧制阶段。在此阶段，前面机架的轧制速度比芯棒速度慢（称为慢速机架），后面机架的轧制速度比芯棒速度快（称为快速机架），如果中间某个机架的轧制速度恰好与芯棒运行速度相同则称为同步机架。随后当金属逐渐从有关机架中轧出时，在芯棒速度变化为 2~8 机架间的某个速度；当金属由第二机架轧出，则芯棒速度又变为第三至第八机架间的某个速度，以此类推，直至金属从第八机架轧出为止。

由上可以看出，在钢管的轧制过程中，芯棒的速度至少要变化 15 次，芯棒速度的变化将导致金属流动条件的改变。浮动芯棒连轧管机由于轧制过程中芯棒速度改变而使得金属流动发生变化，因金属流动的不规律而引起钢管纵向的壁厚和直径变化，尽管对此采取了不少措施并取得了一定的效果，当轧制条件的变化依然存在，且产品管的尺寸精度始终不如限动芯棒轧机。此外，芯棒长，使制造费用加大，制造困难，且长芯棒的重量也很大，钢管带着过重的芯棒在辊道上运行将会导致钢管表面损伤。故目前浮动芯棒连轧管机均用于小型机组。

连轧管时，荒管可以看作是在不同直径的轧辊间连续轧制形成的。穿在钢管中的芯棒可以看作是曲率半径无穷大的内轧辊。浮动芯棒轧制时，芯棒除受到轧辊经轧件传递来的作用力外，再无其他外力作用。当轧件头部经第一机架咬入后，随着轧件逐一走向后面的延伸机架，作用在芯棒上的机架数相继增多，故芯棒速度不断提高，这个阶段称为“咬入”阶段。当轧件头部进入最末机架后，整个轧件处在连轧管机所有机架的轧制中，芯棒速度维持不变，称为“稳定扎着急”阶段。当轧件尾部离开第一机架后，芯棒速度逐级提高，直到轧出延

伸,称为“轧出”阶段。轧辊工作圆周速度是按“稳定轧制”状态下设定的。轧制过程中轧件又是遵循着体积不变定律的。然而由芯棒引起的轧件速度的升高,使流入后面机架的金属必然增多,也就是说,后面的机架由芯棒送入了比其设定的轧辊圆周速度所允许的还要多的金属,这就出现了使断面积增大的金属积累。这种逐步流入的附加金属造成的较大断面,尽管在最后的机架上得到了加工,但仍然导致在荒管的一些部位上直径变大和壁厚变厚,这种现象称为“竹节”。原则上讲可能在整根钢管上均出现“竹节”。显然“竹节”现象属纵向壁厚不均,对随后的张减机轧制是不利的,应尽可能防止。

为了防止或减少“竹节”形成,孔型设计分配压下量时,在保证总延伸不变的前提下,适当增加前几架压下量。这样,就可在后面几个机架中使芯棒速度的跃增得到减弱,从而减轻芯棒速度变化的影响。良好的芯棒润滑有利于延伸和降低能耗,也可以减少竹节的形成。还可以采用电控技术防止竹节的产生。由电子计算机进行预设,轧辊转速按要求变化,当轧件通过时对轧辊进行校准,使各机架的出口速度与芯棒速度的变化相适应。

70年代盛行浮动芯棒连轧管机组。由于受到芯棒重量的限制,至今这种机组仅能生产直径小于177.8mm以下的钢管。

### 2.2.1.2 半浮动(或半限动)芯棒连轧管机

德国人称MRK-S(Mannesmann bohr-Kontimill Stripper);法国人称Neuval-R。

德国设计的工艺为:在轧制过程中,前半程,芯棒不是自由地随轧件前进,而是受限动机构的控制,以一恒定速度前进,芯棒与轧件的速差分布是不一致的,第1架的轧件出口速度小于芯棒速度;自第2架开始,轧件的速度快于芯棒的速度,形成稳定的差速轧制状态;当完成主要变形、管子脱离倒数第3架时,限动机构加速释放芯棒,像浮动芯棒一样由钢管将芯棒带出轧机。德国式的半浮动芯棒连轧管机于20世纪80年代初在日本八幡厂建成投产。

法国研制的工艺为:在钢管由最后一个机架轧出时才松开芯棒,即在轧制过程中具有有限动芯棒轧机的工艺特点,而在终轧后松开芯棒;芯棒随荒管至连轧机后的输出辊道。法国式的半浮动芯棒连轧管机于20世纪70年代后期在法国的圣索夫钢管厂投入生产。

不论德国工艺还是法国工艺,半浮动芯棒轧管机轧制结束后,约有1/3长的荒管(尾部)包住芯棒前端,见图4;带有芯棒的荒管横移至脱棒线,由脱棒机将芯棒从荒管中抽出以便冷却、润滑后循环使用。其特点是荒管壁厚的精度较高、节奏较快,每分钟可轧3支甚至更多的钢管,芯棒长度虽然比浮动式的短得多,而比限动芯棒轧机略长一些;设有脱棒机工艺其流程较长;适合生产较小规格(外径小于219mm)的无缝钢管。德国模式的代表机组有日本的八幡厂的 $\phi 194\text{ mm}$ 机组和我国衡阳的 $\phi 89\text{ mm}$ 机组;法国模式的机组至今仅有一套,就是法国V&M公司圣索夫厂的 $\phi 127\text{ mm}$ 机组。

半浮动芯棒连轧管机在轧制过程中对芯棒速度也进行控制,但在轧制结束之前即将芯棒放开,像浮动芯棒连轧管机一样由钢管将芯棒带出轧机,然后由脱棒机将芯棒从荒管中抽出。在对芯棒速度进行限动时,就在一定程度上解决了金属流动规律性的问题,将芯棒放开以后,又如同浮动芯棒连轧管机一样要考虑脱棒条件的限制,因此半浮动芯棒连轧管机所轧制的钢管直径不宜太大。

半浮动芯棒连轧管机兼顾了限动芯棒与浮动芯棒轧管机的优点,既保持了较高的轧制节奏,又确保了钢管的壁厚精度及内外表面质量,只是由于需要设置脱棒机,使其轧制规格的上限受到限制。

### 2.2.1.3 限动芯棒连轧管机

简称MPM(Multi-Stand Pipe Mill)。轧管时芯棒的运行是限动的、速度是可控的;芯棒的速度应高于第一架的咬入速度而低于第一架的轧出速度。轧制的整个过程中芯棒速度是

恒定不变的,从而确保管子壁厚的精度,轧制不同的管子时芯棒的速度可在一定范围内调节。轧制结束后,芯棒停止,由脱管机将荒管从芯棒中脱出,而后芯棒回送离开轧机,拨出轧线冷却、润滑后循环使用。其特点是荒管的壁厚的精度高,用脱管机取代了脱棒机,缩短了工艺流程,芯棒较短;但轧制节奏慢,每分钟可轧2支或稍多一点的钢管;适合生产中等规格(外径小于460mm)的无缝钢管。代表性机组有意大利达尔明的 $\phi 356\text{ mm}$ 机组和我国天津钢管公司的 $\phi 250\text{ mm}$ 机组。

为了解决浮动芯棒连轧管机轧制过程中金属流动不规律的问题,缩短芯棒长度,解决芯棒制造上的困难,20世纪60年代国外就开始试验限动芯棒轧制,70年代获得成功,在意大利的达尔明厂投入工业生产。

限动芯棒连轧管机的基本特点就是控制芯棒的运行速度,使芯棒在整个轧着过程中均以低于第一机架金属轧出速度的恒定速度前进,这是相当重要的工艺改进,使限动芯棒轧机具有浮动芯棒轧机不可比拟的优越性。近年来的实践表明,芯棒的速度应高于第一机架的咬入速度而低于第一机架的轧出速度。这样,在整个轧着过程中芯棒的移动速度均以低于所有机架的轧制速度,避免了不规律的金属流动和轧制条件的变化。由于芯棒速度受到控制,每一机架的轧制压力都较小,金属流动有规律,延伸系数可达一些,这就可以获得非常好的壁厚偏差。

由于芯棒速度限动,可大大缩短芯棒的长度,轧制32m的钢管,芯棒的工作长度只有15m。钢管从芯棒上轧出后用脱管机将其从芯棒前端抽出,芯棒快速返回,不像在浮动芯棒轧机上受脱棒条件的限制,因此可以生产中型和大型规格的无缝钢管。

限动芯棒连轧管机是在浮动芯棒连轧管机的基础上发展起来的。与浮动芯棒连轧管机相比,限动芯棒连轧管机有如下优点:

1)降低了工具消耗。由于限动芯棒连轧管机的芯棒较之浮动芯棒连轧管机的芯棒要短,钢管与芯棒的接触时间短,从而提高了芯棒的使用寿命,一般使芯棒消耗降至每吨钢管1公斤左右。

2)改善了钢管的质量。由于限动芯棒连轧管机具有搓轧(芯棒与钢管内表面相对运动)性质,有利于金属的延伸,加之带有微张力轧制状态,从而减小了横向变形,根本不存在浮动芯棒连轧所产生的“竹节”现象,使钢管内外表面和尺寸精度有了很大提高。

3)取消了脱棒机,缩短了工艺流程,提高了钢管的终轧温度。部分品种可省去定径前的再加热工序,从而节省了能源。

4)扩大了产品规格。由于采用了限动芯棒轧制,可以减小芯棒的长度,减轻了芯棒的重量,允许加大芯棒的直径,使钢管的最大外径由177.8mm扩大到426mm甚至更大。另外,限动芯棒连轧管机还可轧制径壁比更大( $D/S > 40$ )的钢管。

限动芯棒连轧管机代表着现代无缝钢管生产的先进技术,它集中体现了无缝钢管生产的连续性、高效率、机械化及工业自动化的发展趋势。80年代以后已经在无缝钢管生产领域占了主导地位。

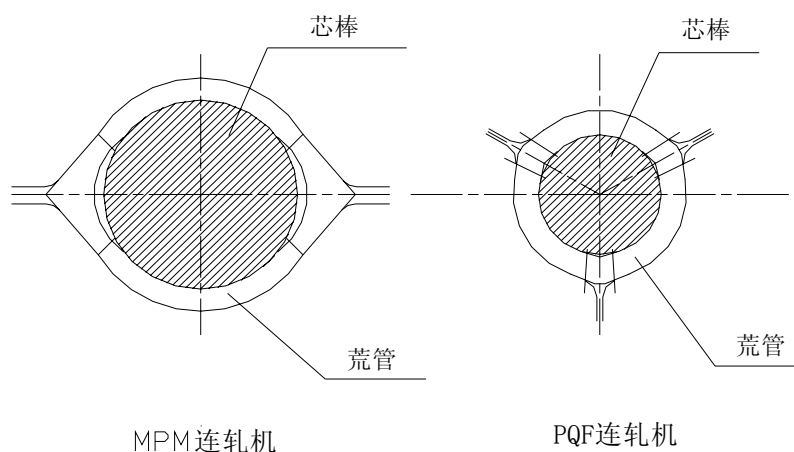
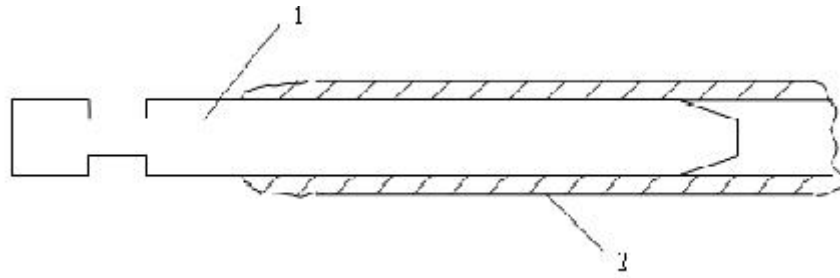


图 2-2 连轧管孔型构成

#### 2.2.1.4 PQF( (Premium Quality Finishing)

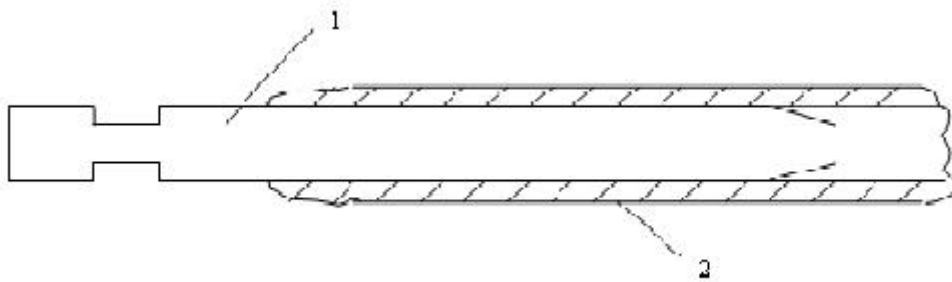
也是限动芯棒连轧管机，只不过每个机架由三个轧辊组成孔型；采用三辊设计的孔型比传统的两辊设计的孔型圆度好，且孔型的半径差小，有利于轧件的均匀变形和轧辊的均匀磨损。轧槽底部和轧槽顶部之间的圆周速度差较小，从而能在稳定的条件下使轧制时的金属变形更加均匀。凸缘面积(不与轧辊或芯棒接触的管子面积。也就是辊缝处壁厚/外径的凸起面积)有所减小，即流向凸缘的金属量减少了。这一优点在轧制不受外端及其它机架约束的钢管尾端时尤为重要。事实上钢管尾端在三辊式轧管机上轧制时受控是由于凸缘面积较小(比二辊式的小 30%左右)以及轧槽底部与轧槽顶部间的圆周速度差较小的缘故。因此，能避免或大大减少管端折叠和飞翅的形成。因圆周压应力较高，从而能在轧制时使辊缝处产生的纵向拉应力的危险性大大降低。孔型中芯棒的稳定性较高。PQF 机组可以生产高强度(P110 以上)特殊钢级油井用管、高压锅炉管及 13Cr、304L 等不锈钢管。PQF 最大的优势是：由于三辊孔型的半径差小于两辊，轧件变形更加均匀、平稳，使产品的壁厚精度和表面质量高于 MPM。 $\phi 168\text{mm}$ PQF 机组由于采用了独特的芯棒运行方式，使其轧制节奏达到 24 秒/支。代表性机组为我国天津钢管公司的  $\phi 168\text{ mm}$  机组。

限动芯棒连轧管机芯棒运行有两种方式：一是轧制结束时，芯棒停止运动，待荒管从芯棒中脱出后，芯棒快速返回，拨出轧制线，冷却、润滑后循环使用，传统的 MPM 均采用此中运行方式；另一种运行方式为：轧制结束时，芯棒停止运动，待荒管由脱管机从芯棒中脱出后，芯棒不是回送，而是向前快速运行跟随荒管之后依次通过脱管机，芯棒穿过脱管机后，拨出轧线再回送、冷却、润滑循环使用，该方法减少了芯棒的在线待轧(非轧钢)时间。从而有效地缩短了轧制周期，加快了轧制节奏。PQF 采用此中运行方式；两种运行方式的主要区别是脱管完成后，芯棒是与荒管反向运行回退离开轧机后拨出轧制线冷却、润滑、循环使用；还是同向运行芯棒前行离开轧机后、穿过脱管机后拨出轧制线冷却、润滑、循环使用。第二种方法因芯棒要通过脱管机，在轧制薄壁管(脱管机的减径量大于等于 2 倍的荒管壁厚)时要求脱管机轧辊必须具备快开快合功能，以免芯棒撞损脱管机轧辊。



1—芯棒； 2—荒管

图 2-3 浮动芯棒轧制后芯棒/荒管示意图



1—芯棒； 2—荒管

图 2-4 半浮动芯棒轧制后芯棒/荒管示意图

### 2.2.1.5 关于脱管机和脱棒机

为了完成将连轧管机轧出的荒管与芯棒脱开分离的工艺目的,便于荒管在后道工序进一步加工成品钢管,一般采用两种方法:

2. 2.1.5. 1 一是轧制结束后荒管/芯棒被一起移出轧制线,荒管受轴向约束不动,用装置将芯棒从荒管中抽出;我们将这种荒管不动,芯棒动的设备称为脱棒机。当带芯棒的荒管进入脱棒位置后,脱棒链上的脱棒卡紧装置就勾住芯棒的尾柄,而液压开闭的卡板挡住荒管,脱棒链从荒管中抽出芯棒。脱棒链转过半圈完成一次脱棒动作,链所走过的距离约为芯棒长度的 1.1 倍。脱棒机的最大速度大于 4.5m/s。到达终位的误差为 $\pm 50\text{mm}$ 。脱出的芯棒经输送辊道送到芯棒定位升降挡板前,然后由芯棒移送装置把芯棒送入芯棒冷却槽,循环使用。脱棒机安装位置与连轧管机平行。脱棒机有两列脱棒链。这两列脱棒链用横梁连接起来。两列脱棒链间共有两个脱棒横梁及多个承载横梁。脱棒横梁用来从荒管中抽出芯棒,而承载横梁用来在脱棒过程中支承芯棒。在脱棒横梁上用螺栓紧固与轧件尺寸相关的脱棒卡紧装置。当更换轧制芯棒时,需要更换脱棒卡紧装置。

2. .2.1.5. 2 另一种是轧制结束后,芯棒停止运动,荒管在线被装置将其从芯棒中脱出;我们将这种芯棒不动,荒管动的设备称为脱管机。脱管机既有两辊式的,也有三辊式的。脱管机的设置有两个重要的工艺目的:一是将荒管从芯棒上抽出,完成脱管目的。在轧制线上脱管,省去了脱棒机,缩短了工艺流程,提高了终轧温度;二是起校正(定径)作用,也就是说在每一支钢管生产中,该机也有延伸和定径作用。为生产薄壁管和中厚壁管,每架脱管机的孔型名义直径必须小于轧管机芯棒直径。在生产薄壁管时,脱管机的减径量要相应加大,否则薄壁管不易被脱出。每架脱管机上都装有安全白,以防止芯棒进入脱管机时损伤轧辊及相关的机械部分。在事故情况下,假如当带芯棒的荒管进入脱管机孔型时,若脱管机轧辊承

受的径向载荷大于预设值，则轧辊孔型会相应张开，防止芯棒顶坏轧辊及设备。

### 2.2.1.6 连轧管机按芯棒运行方式进行分类的方法/原则?

1 连轧管机限动芯棒与半浮动芯棒工艺主要区别在于以下两点：一是轧制过程中芯棒速度是否恒定不变；二是使用脱管机还是脱棒机。限动芯棒工艺应该同时满足轧制过程中芯棒速度恒定不变和使用脱管机这两个条件。因此，将目前建成投产的这套 PQF 机组称为三辊限动芯棒连轧管机较为恰当，而称之为半浮动芯棒显然是欠准确的。

2 曾有学者提出用半限动替代半浮动这一名称，意在强调对芯棒的限动功能；但从已发表的许多文章来看，绝大多使用都半浮动这一名称。还有人认为法国式的机组因其轧制过程中芯棒速度是受控的，应该属于限动芯棒类型。由于机组配备的是脱棒机，轧管机孔型设计是要考虑脱棒间隙，孔型的侧壁开口角度要比 MPM 的大，故将法国人设计的连轧管机组归为半浮动类型。

3 采用脱出荒管之后，芯棒向前行进通过脱管机、绕轧机出口侧进行循环这一独特的运行方式，与传统的限动芯棒机组相比：明显地减少了芯棒的运行时间、加快了限动芯棒连轧管机组的轧制节奏、提高生产效率，实现了人们的对限动芯棒连轧管机既要钢管壁厚精度高、又要轧制节奏快这一美好愿望，但对脱管机的要求较高，需具备辊缝快开快合功能；这并不能说明为提高轧制节奏，在其它中、大型限动芯棒连轧管机组也适用这种芯棒运行方式，因为随着芯棒规格、重量的增加，芯棒在向前输送通过脱管机的过程中可能要遇到一些困难。

### 2.2.1.7 空减机（空心坯减径机的简称）的配置

一套连轧管机为使其产品外径范围尽可能地宽，设计时一般选用 2~5 个孔型，轧管机后配备张减机的选择孔型数较少；轧管机后配备定径机的选择孔型数较多。由于孔型尺寸的变化相应地轧管机入口的毛管外径也要随着发生变化；为适应轧管机入口毛管外径变化，通常有两种方法：一是选用几种外径的管坯，针对不同的孔型选用不同规格的管坯，每次更换孔型时需对穿孔机的受料槽、导卫装置（导板或导盘）进行更换，这样做有两点不足，一方面占用较多工作时间；另一方面管坯料场、穿孔机工具需要场地较大。第二种方法是在穿孔机与轧管机之间布置一台空减机，通过空减机可使用一种外径尺寸的管坯满足轧管机不同孔型成为可能。

#### 1 浮动芯棒连轧管机组

采用穿孔机与轧管机之间布置空减机的方法比较经济，这样既可仅用一个规格的管坯组织生产，减少了管坯库的面积和穿孔机相关的轧制工具数量，又可以减少换孔型的时间，提高了机组的作业率。经空减机后的毛管在运往连轧管机入口台架前，先通过一个吹灰装置用压缩空气吹去毛管内的细小氧化铁皮，以减少对芯棒的磨损和管子内表面缺陷。同时空减机亦消除了导盘式穿孔机所造成的毛管头尾外径差，使轧制过程稳定。这种单独布置的空减机一般使用三辊式、3~6 个机架。

#### 2 半浮动芯棒连轧管机组

将空减机布置在连轧管机的入口侧，即与连轧管机串列布置，一般为两辊式、2~4 架；在保持了原有空减机优点的同时，可缩短工艺流程，减少占地面积。这种变化一方面是因为锥形辊穿孔机的应用使变形前移，轧管机的机架数相应减少（减少 2~3 架），串列布置因芯棒的长度增加而引起的轧制节奏变化不是很多（因轧制终止了芯棒向前运动）；另一方面串列布置可减少毛管在纵向移动过程中内表面的氧化和温降，能更有效地确保钢管质量。

#### 3 限动芯棒连轧管机组

在最初时没有空减机，采用的是一种规格的管坯对应一个孔型，这主要是因为轧制时芯棒与轧件内表面的相对运动比浮动是的大，芯棒的工作条件更为恶劣，芯棒更容易磨损和划

伤。限动芯棒工艺上不允许毛管在进入轧管机前做纵向运动。必须有效的防止毛管内表面的二次氧化，才能确保钢管的质量，因此不可能像浮动芯棒那样在穿孔机与轧管机之间布置空减机。如采用半浮动芯棒的串列布置，因芯棒长度的增加使轧制节奏更加变慢，（因轧制終了芯棒向后运动），将影响机组的产能的发挥，也是不经济的。近十年来，限动芯棒机组也在不断吸收其他机组的长处，在轧管机入口侧串列布置 1 架空减机（二辊、三辊、四辊形式均有），目的在于消除毛管内表面与芯棒之间的间隙和毛管外径的头尾直径偏差，使轧制更加平稳，从而提高轧辊的使用寿命，确保钢管的几何尺寸精度和内外表面质量。

#### 2.2.1.8 吹硼砂的工艺目的

限动芯棒连轧管机组比浮动、半浮动机组多了一个工序是在轧管机入口前向毛管内用氮气喷抗氧化剂，其工艺目的是去除内表面的氧化铁皮并防止二次氧化。抗氧化剂在高温时呈熔融状态可起到很好的润滑作用。对抗氧化剂的成分、颗粒尺寸、化学稳定性、物理稳定性及吹撒的数量、喷吹的压力、时间都有严格的要求，主要是解决轧管机的延伸大，轧制时芯棒与轧件间相对运动较大，芯棒的工作条件更为恶劣，芯棒更容易磨损和划伤，润滑条件不好时容易发生轧卡事故或轧制終了时脱管机不能将荒管从芯棒中顺利的抽出。

#### 2.2.1.9 芯棒的选材的原则

连轧管机的芯棒选材时根据其工作环境而定的，浮动芯棒在轧制时芯棒只受径向的压、拉应力，轴向除经轧件的张力传递外，基本不受力，只是在脱棒时有很小的轴向力；限动芯棒、半浮动芯棒在轧制时芯棒既受径向的压拉应力，也要承受很大的轴向拉应力，工作条件更为恶劣。一般浮动芯棒选用 H11 材料，限动芯棒选用 H13 材料，半浮动芯棒两者均可。

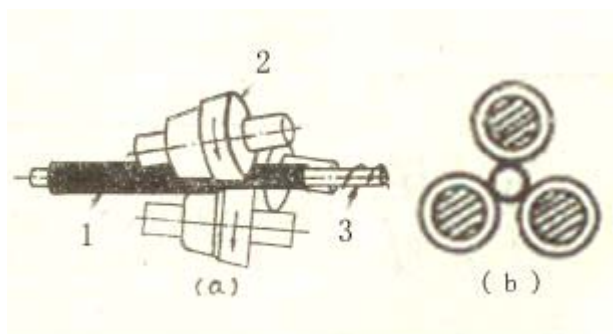
浮动的芯棒一般是一段式的；限动的芯棒一般采用三段式，由工作段、延长杆和尾柄组成。少机架（4~5 架）连轧管机也有将芯棒设计成两端带夹持尾柄，可以调头使用，以减少芯棒消耗。

#### 2.2.2 三辊（斜）轧管机轧管

在 PQF 以前，三辊轧管机专指阿塞尔（ASSEL）轧机或其改进型特朗斯瓦尔（Transval）轧机。阿塞尔轧机由美国蒂姆肯公司工程师 W·J·Assel 于 1932 年发明的，当时主要用来生产管壁较厚的轴承管。阿塞尔轧管机不适宜轧制薄壁管；经改进增加轧辊快开功能后，一般产品  $D/S < 20$ ；这种轧管机由三个带辊肩的布置在以轧制线为形心的等边三角形的顶点，（三个轧辊互成  $120^\circ$  配置）轧辊轴线与轧制线成两个倾斜角度。轧辊轴线在垂直方向与轧制线倾斜一个喂入角，用来实现螺旋

轧制；在水平方向与轧制线交错一个辗轧角。在三个轧辊和一根芯棒所包围的空间（即孔型，图 3 所示）内，由穿孔送来的毛管套在长芯棒上，用喂管器送入轧管机中轧制；毛管在变形区（图 4）中经咬入、减壁（同时减径）、平整和归圆而成为荒管。斜轧螺旋轧制时金属在变形区内受到轧辊与芯棒的周期连续作用而产生形状和尺寸的变化。轧件变形实际上是从圆到圆三角再到圆的过程。特朗斯瓦尔轧机由法国人在 ASSEL 的基础上发展起来的，本质上还是阿塞尔轧机，所不同的是可在轧制过程中实现变喂入角、变轧制速度，即根据需要能在每根管子轧制过程中迅速按要求改变喂入角和轧辊转速，主要是解决轧制薄壁管问题，可轧制  $D/S > 35$  的荒管。阿塞尔轧管机优点是：产品精密性高，因为带芯棒的斜轧，在一道次中多次的辗压作用，使壁厚精度大大提高，也不易产生划道、耳子和青线等缺陷；生产中灵活性大，借助轧辊的离合就可改变孔型尺寸，特别适应较小量多批定货，对组织生产有很大的优越性；可生产  $D/S=2.5$  的特厚壁管；工具储备数量少。不足是规格范围窄，品种受限制，不能生产不锈钢等难变形材质；产能低，年产低于 25 万吨；延伸较小（一般  $\mu <$

2.5) ; 荒管 D/S 一般 <35、长度小于 15 米。



1-轧件 2-轧辊 3-芯棒

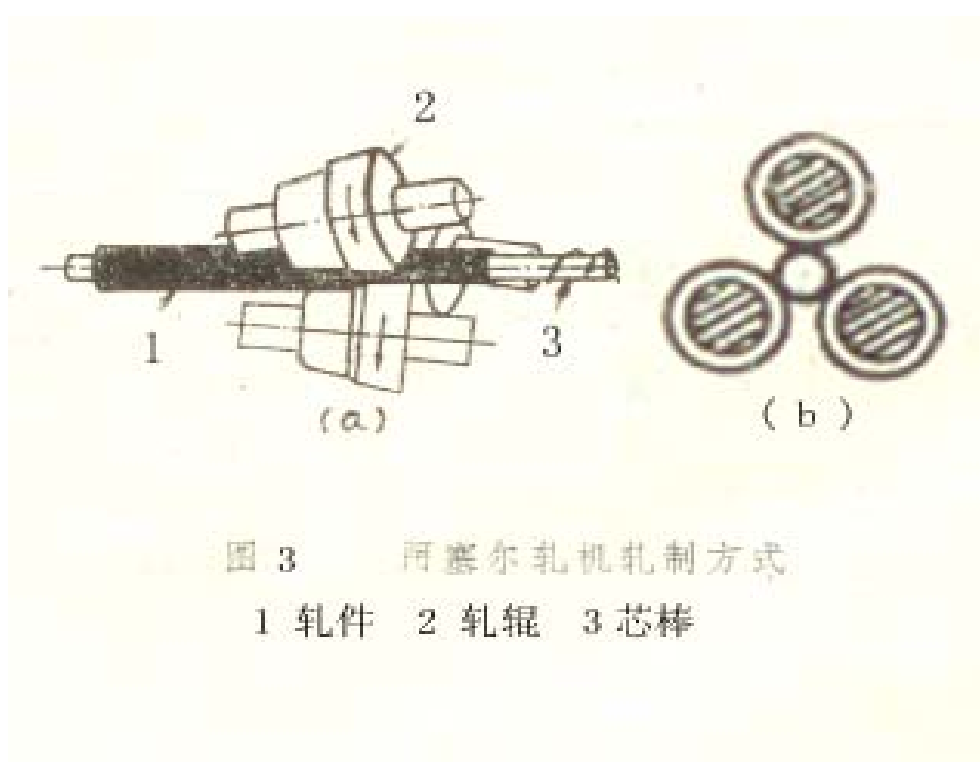


图 2-5 轧机轧制方式

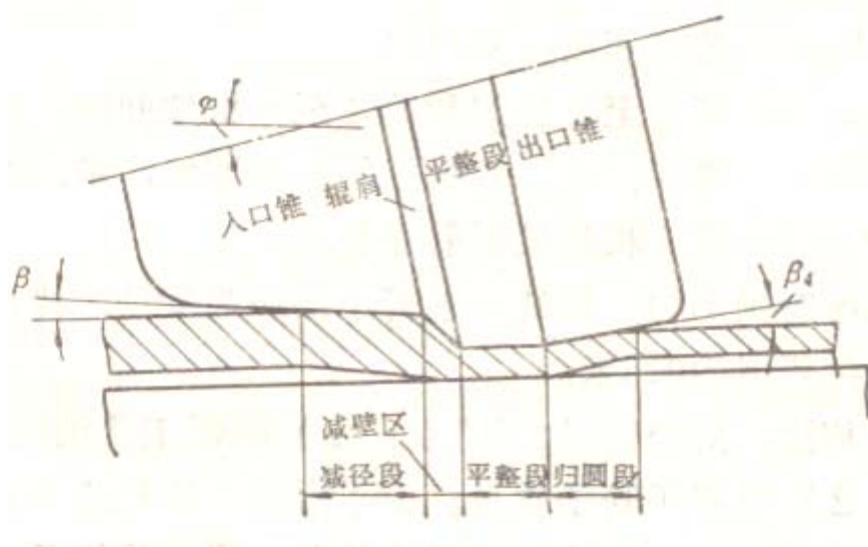


图 2-6 阿塞尔轧机的变形区

三辊轧管机，按芯棒的运行方式也可分为以下三种形式。

### 2.2.2.1 浮动式

与上述连轧管机的浮动芯棒形式相同。

### 2.2.2.2 限动式

与上述连轧管机的限动芯棒形式相近，芯棒前进的速度比荒管的小，由专门机构控制，只是使用一支空心芯棒，芯棒在线内水冷，轧制结束后，将芯棒从荒管中回退抽出并返回原始位置，继续进行下一根管子的轧制操作。三套就是采用这种芯棒运行方式的。

### 2.2.2.3 回退式

将芯棒装在小车上，芯棒的运行受到小车的限制，芯棒穿过毛管并达到最前部极限位置时开始轧管，轧制时开动芯棒小车使芯棒按给定速度后退，芯棒逐渐地从钢管已轧完的部分中抽出，轧制结束时抽出工作已全部完毕。这种方式可生产  $D/S=2.5$  的特厚壁管。

## 2.2.3 各机组的异同

### 2.2.3.1 PQF 和 Assel

都是三辊轧管机。PQF 是多机架连轧管机，轧制时，钢管及芯棒一起作直线运动；而 Assel 是单机架斜轧管机，轧制时，钢管及芯棒一起作螺旋运动；当产品规格相同或相近时，PQF 的产量约是 Assel 的 2~4 倍。

### 2.2.3.2 PQF 机组

生产效率高，延伸系数大 ( $\mu > 6$ ) 能轧制长达 30 米以上的荒管，产品质量好 (体现在内外表面上)，壁厚精度高；品种、规格范围宽，即能生产碳钢、合金钢，又能生产不锈钢；可生产  $D/S > 45$  的薄壁管，生产成本低，金属消耗低；适合大批量连续化生产。不足是一次投资大，轧制工具占用资金较多；生产的灵活性稍差；更换孔型时间较长，不适宜小批量的生产；限动芯棒连轧管机在轧制厚壁管时受连轧机与脱管机距离的制约，致使许多规格的厚

壁管产品不能生产。

### 2.2.3.3 Assel 轧机

适宜轧制中厚壁钢管，适应高精度、小批量、多品种的高附加值产品的生产，借助轧辊的离合就可改变孔型尺寸，特别适应较小量多批定货。钢管公司在现有两套适于生产大批量专用管材的连轧管机组的基础上，第三套采用了 Assel 三辊斜轧机组，在生产市场急需的壁厚 $>40\text{mm}$ 的厚壁管的时，因没有脱管机轧制厚壁管时限制较少，三辊轧管机（Assel）可作为连轧管机组生产品种的补充，可进一步优化公司的产品结构、合理地调配资源、增加生产的灵活性、特别在是应对小批量、多品种、多规格的市场的的需求时使公司的市场竞争能力得到加强。

## 2.3 轧钢的几种形式

根据轧件变形原理，一般将轧钢分为以下三种形式：

### 2.3.1 纵轧

轧件的运行方向（轴线）与轧辊轴线垂直，轧件作直线运动；型钢、板材生产及无缝钢管的连轧（一根轧件同时在两个或两个以上的孔型或机架中轧制称为连轧）等都属于纵轧。

### 2.3.2 横轧

轧件的运行方向（轴线）与轧辊轴线平行，轧件作回转运动；机车轮毂、自行车轴等的生产属于横轧。

### 2.3.3 斜轧

轧件的运行方向（轴线）与轧辊轴线既不垂直也不平行，轧件除了前进运动外，还有绕本身轴线之旋转，作螺旋前进运动；最常见的无缝钢管穿孔（推轧穿孔、挤压穿孔除外）生产属于斜轧；三套的 ASSEL 轧管也是斜轧。

## 第三章 管坯及管坯加热

### 3.1 管坯准备

#### 3.1.1 管坯库

轧管二套机组管坯直径为  $\phi 200$  或  $\phi 210$ (预留  $\phi 150\text{mm}$ )，长度为  $4000\sim 9600\text{mm}$ ，管坯最大重量为  $2350\text{kg}$ ，管坯库可以摆放管坯存放架  $70\sim 80$  个。管坯由 PU1 或天钢东移提供，汽车运输 2 台磁盘吊车吊运。

管坯要求：

尺寸、偏差 直径：  $200\text{mm}$  、  $210\text{mm}$

外径公差：  $\pm 1.4\%$

椭圆度：  $< 2.5\%$

管坯端面偏差：  $3.0^\circ$ (自垂直,最大  $5\text{mm}$ )

冶金要求：

如果没有另外规定化学成分，在管坯的化学成分分析中，不应超过下述限度：

$P+S < 0.045\%$

$O_2 < 40\text{ppm}$

$N_2 < 100\text{ppm}$

$H_2 < 4\text{ppm}$

管坯运至轧机，不应有任何内部和表面缺陷，这些缺陷会影响无缝钢管的质量，如：管坯的表面缺陷，最大允许深度  $0.5\text{mm}$ 。对于较大的缺陷，应打磨掉。边缘要避免锋利。打磨深度不应超过管坯直径的  $1.4\%$ 。不能焊接修理。管坯不能有飞边，不能有缩孔。对于管坯内部质量的进一步要求，要经买卖双方共同确定。

圆管坯在滑道上应能够滚动，其弯度不应超过  $2.5\text{mm/m}$ 。

按轧管机要求，可购买的钢管可以是单一的长度或者多种长度，偏差不应超过长度的  $1\%$ 。

#### 3.1.2 管坯上料

两台  $17.5+17.5$  吨磁盘吊将管坯由料架吊到上料台架上，拨料钩将管坯放到运输辊道上经测长称重合格的管坯拨翻至缓冲台架(不合格的剔到剔除台架上)步进式台架将管坯横移至链式提升机。

#### 3.1.3 管坯锯切

链式提升机将管坯提升至  $5\text{m}$  平台拨至台架上，然后从台架上用拨料钩拨至锯前分配小车上，通过小车横移分配给三台锯。管坯锯为卧式圆盘锯，型号为  $HK700E-55$ ，由奥地利 MFL 公司设计制造。

参数：

锯片直径  $D_{\text{max}}=800\text{mm}$

$D_{\text{min}}=630\text{mm}$

锯片法兰直径  $240\text{mm}$

齿数  $50\sim 60$

对 130/185 工件计算切屑厚度	0.1~0.15mm
每次重磨后锯片寿命	10~20m <sup>2</sup>
锯片重磨次数	8~10
锯片更换用时	3~5min
主驱动 AC 电机	55kw
芯轴旋转无级变速	34~90rpm (180)
AC 电机进给能力	6.9kw
无级变速进给	100~2000mm/min
快速返回恒定值	8000mm/min
中心润滑系统	0.1kw
刷扫装置	0.12kw
液压 3 条锯切系统	2×75kw
西门子控制系统	S7
表示质量 Ra	25μm
平直度最大	0.5/100 mm
毛刺高度	1.2mm
切屑长度公差	±1mm
尺寸： 宽	大约 2850mm
长	大约 1200mm
高	大约 1920mm
每条坯总重	大约 14000kg

一个切断周期为 70 秒(包括夹紧、管坯切断、锯片返回、打开夹紧装置和管坯出料以及切头、切尾的时间，但不包括管坯运输时间)。

3 台锯的最大生产能力为 50 万吨/年。管坯锯有一特殊的倒向装置(液压伺服装置)有利于减振和提高锯的使用寿命(只在进给时起作用)。锯床有两个夹紧装置分布于进出口(输入区有辊道支撑保证弯坯的夹紧)锯切后入口端。夹紧打开保证锯片返回时不与坯子接触。

—进给锯齿轮

—锯齿轮减振，由三个固定齿轮的减振组成，作为可移动的减振避免了锯片相对于轴向的摆动。

—刷扫装置

—在锯片的底部安装有一个驱动刷扫装置，清扫齿上的铁屑，不会影响锯片的寿命。

—锯片喷射润滑。为了提高锯片的使用寿命，高负载润滑剂的容器由空气雾化少量浇注在锯片上，没有残留。

—锯片冷却装置。一个特殊的喷嘴，冷的空气-5oC 喷在锯片上。

锯切后的定尺坯经出口辊道和称重装置后拨至装料机前缓冲链(注：3#锯前有一尚需切头的单倍尺坯上料台架，称重后有一回炉坯上料台架)，缓冲移送链将管坯运至装料机下辊道前，坯子由翻料钩从链上翻至辊道上称重合格的管坯由装料机装入环形炉，称重不合格的管坯由辊道运输至剔除台架前剔除。

## 3.2 管坯加热

### 3.2.1 环形炉简述

环形炉在热轧生产线中的作用是将管坯锯切之后的合格定尺管坯由常温(20℃)加热到 $1280\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以供穿孔机组进行穿孔工序。环形炉是目前世界上用于加热圆管坯的最理想的工业炉炉型。此炉型的特点是炉底呈环形,在炉底驱动装置的作用下承载管坯由入料端旋转至出料端,再由出料机从出料炉门将加热好的管坯取出。在管坯随炉底运动过程中通过炉墙、炉顶等处的烧嘴加热达到合格的出料温度,并满足温度均匀性要求。

为了达到理想的加热质量,从热工控制上将炉子从圆周方向上分成若干控制区,依次形成预热段、加热段、均热段,各段亦可再分若干控制区以提高控制精度,例如我厂环形炉就分成7个控制区,预热段一个控制区,加热段四个控制区,均热段一个控制区,最后一个出料区。各控制区按不同的温度进行控制,实现对管坯的合理加热,达到要求的加热质量。各区的基本加热设备是烧嘴,烧嘴将助燃空气、燃料按合理的比例(空燃比)混合燃烧形成火焰加热管坯。其中燃料由管道系统运送,助燃空气是由鼓风机(助燃风机)经由换热器加热,再由空气管道分配至各区烧嘴参与燃烧。而温度的调节由自动化控制系统通过调节管道上的阀门开度实现燃料及配风的流量来实现。而燃料燃烧产生的烟气通过烟囱排入大气。炉底、炉墙、烟道、烟囱等是由耐火材料砌筑而成的,以达到保温节能的效果。

与其它的炉型相比,环形炉具有以下优点:

- ★环形炉最适合加热圆管坯,并能适应各种不同直径和长度的复杂坯料组成,易于按管坯规格的变化调整加热制度。
- ★管坯在炉底上间隔放置,坯料能三面受热,加热时间短,温度均匀,加热质量好。
- ★管坯在加热过程中随炉底一起转动,与炉底之间没有相对运动和摩擦,氧化铁皮不易脱落。炉子除装出料门外无其它开口,严密性好,冷空气吸入少,因而氧化烧损较少。
- ★炉内管坯可以出空,也可以留出不装料的空炉底段,便于更换管坯规格,操作调度灵活。
- ★装料、出料和炉内运转都能自动运行,操作的机械化和自动化程度高。

环形炉的缺点是:炉子是圆形的,占用车间面积较大,平面布置上比较困难;管坯在炉底上呈辐射状间隔布料,炉底面积的利用较差,单位炉底面积的产量较低。

目前,国际上DALMING厂环形炉中径为 $\phi 46\text{m}$ 。ALGOMA厂环形炉中径为 $\phi 36\text{m}$ ,国内宝钢环形炉中径为 $\phi 35\text{m}$ ,成都无缝厂环形炉中径为 $\phi 20\text{m}$ ,包头无缝厂环形炉中径为 $\phi 35\text{m}$ ,我厂一套环形炉中径 $\phi 48\text{m}$ ,这些都是环形炉在无缝钢管厂使用的一些例证。我厂管坯加热采用环形炉,中径 $33.25\text{m}$ ,年加热管坯量约为50万吨,造价近4000万人民币。

#### 3.2.1.1 环形炉在生产中的布置和作用

##### 1 布置

环形炉为高架布置,座落在+5m平台上。炉体在A-B跨和B-C跨内,占据着两个跨。从纵向看在3柱和6柱之间。连铸管坯经冷锯切割成定尺管坯后,管坯经由运输设备送至炉子装料机夹钳下方,装料机夹钳夹起管坯装入炉内。加热好的管坯用出料机从炉内取出送至穿孔工艺工序。

##### 2 作用

轧管厂设置一座管坯加热炉,供连铸圆坯轧制前加热。

##### 1) 生产任务

管坯规格:

直径 (mm) : 200      210      150

长度 (mm) : 1122~4200

最大单重 (kg) : 1040

注: 管坯材质为低合金钢、合金钢。

## 2) 工艺要求

管坯加热温度: 1260~1280℃

允许温差:  $\pm 5^{\circ}\text{C}$

### 3.2.1.2 环形炉基本尺寸

炉底中心平均直径: 33250mm

炉膛内部宽度: 4800mm

炉底宽度: 4350mm

炉膛高度: 1800mm

装出料炉门夹角: 14.47°。

有效炉底面积: 600.85m<sup>2</sup>

## 3.2.2 炉子结构及辅助设备

### 3.2.2.1 结构概述:

环形炉由转动的炉底和固定的炉墙、炉顶组成。

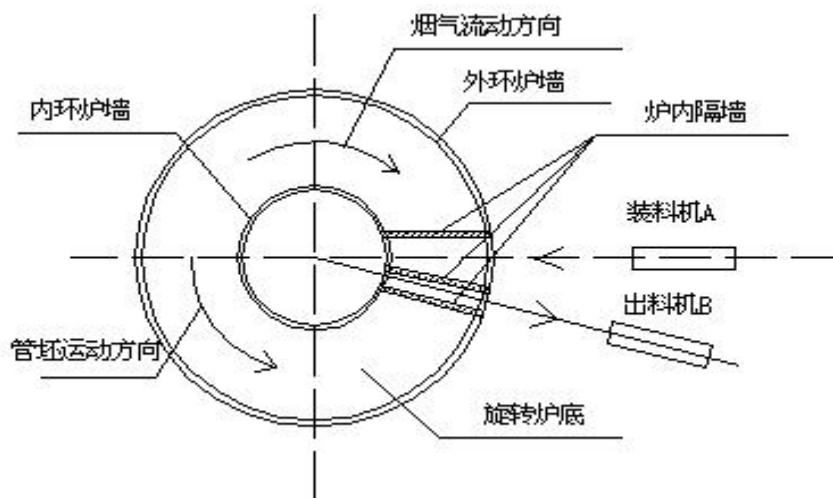


图 3-1 环形炉运转示意图

管坯由装料机 A 送入环形炉并放置在炉底上, 随炉底一起转动, 在转动过程中, 被安装在炉子侧墙和炉顶的烧嘴加热, 转动一圈后, 由出料机 B 将被加热好的管坯取出。

环形炉炉内烟气按照与炉底转动相反的方向流动, 加热管坯后废气经由装料端内环侧墙上的排烟口排除炉外。

具体的特点如下:

#### 1 炉子的钢结构:

炉体外壳由轧制型钢焊接的柱梁和炉皮钢板组成。炉顶钢结构承载吊挂炉顶的耐火材料。

#### 2 环缝与水封:

为了保证炉底运转良好,炉底和侧墙的内外环之间留有一定的缝隙,即环缝.考虑到炉子工作时受热膨胀,炉子外环缝要比内环缝的缝隙稍大一些。

炉底和炉墙之间的环缝采用水封,水封系统由水封槽、活动刀和固定刀组成。活动刀安装在炉墙上不动。在活动刀底部装有刮板,这样炉底在转动时,通过刮板,把水封槽内的氧化铁皮和其它一些杂质刮到水封槽的漏斗处,最后通过漏斗清渣。

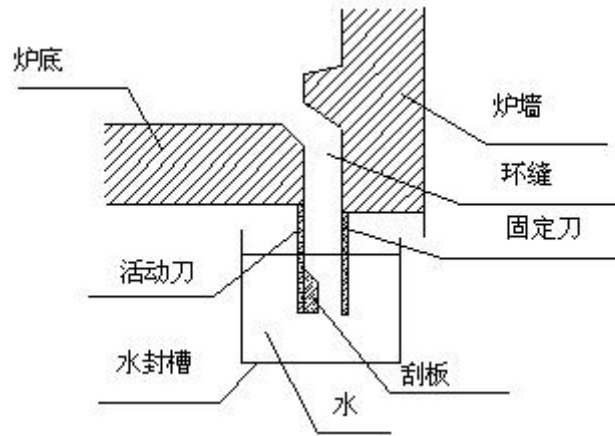


图 3-2 环缝水封示意图

### 3 隔墙:

在装料门和出料门之间的炉膛内设有一道隔墙 A,其目的是减少低温管坯区对高温管坯区及高温出炉管坯的吸热。及高温烟气直接进入低温区形成烟气短路。

在装料门后烟气出口前又设有一道隔墙 B,因为烟气出口处为负压,即有抽力。为了防止炉膛从装料门吸入大量的冷空气,造成热耗和烧损的增加,就设置了这道隔墙 B。出料段与均热段间设有一道隔墙 C,起到了隔离均热段与出料段,提高加热均匀性,进一步防止烟气短路。

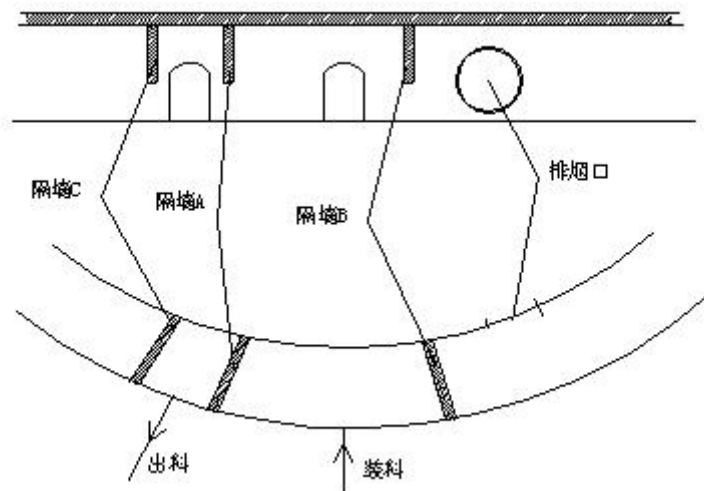


图 3-3 隔墙位置示意图

### 4 炉门及其它

炉子四周设有必要的检修门和观察门。操作平台,走道和梯子可以通达所有的烧嘴和阀门处。

#### 3.2.2.2 炉子机械

##### 1 装出料机

## 1) 结构

装出料机都是由一个固定的钢架和安装在钢架上的操作小车组成,操作小车又由带有夹钳的机械臂的提升装置组成。操作小车的运动用电动机驱动,夹钳用液压缸开闭,所有暴露在炉膛高温下的机械部件都采用水冷,装有绞盘,在紧急情况下把机械臂从炉内退出。

为了使夹钳夹管坯平稳,最大行程为 7600mm,且出料机夹钳可以左右摆动。扒渣机设在装料机之间负责扒除炉底氧化铁皮积渣。

## 2) 动作描述

装出料机可以同步工作,也可以分别工作,所有动作都是由液压传动来完成的。装出料机的动作可以近似看为一个矩形,机械臂提升→前进→下降→夹钳打开(夹紧夹钳)→提升→后退

## 3) 技术参数:

起重能力: 1040kg

运行速度: >1m/s

运送行程: 7600mm

动作频率: 180 次/小时

## 2 炉底装置

## 1) 结构

环形炉的中枢部分是在炉底结构。转动炉底是由一个型钢制成的双层钢架,上下两层钢架之间不是紧固连接的。上层钢架承载炉底耐火材料,下层钢架的横断面呈梯形,可把传动设备、支撑辊、定心辊布置在炉底两侧,有利于设备的更换和维修。

## 2) 转动机械

环形炉通过均匀分布在炉底圆周上的两台液压马达销轮和柱销装置驱动,柱销安装在炉底下层钢架的外环侧。炉底可以反向转动,通过液压靠紧装置可以保持传动销轮和柱销之间始终能良好的咬合。

表 3-1

每步转动距离 mm	321.4
炉内根数	313
每步周期(最小)S	20
布料排数	单排或交错

## 3 定心辊和支撑辊

## 1) 定心辊

为了使炉底以一个固定中心转动,采用了水平定心辊来实现定心,即沿圆周设有 12 组带弹簧压紧装置的弹簧式定心辊。定心是从内环方向向外顶住炉底下层钢架来实现。定心力的大小通过调节弹簧的压力来实现。

## 2) 支撑辊

整个炉底由 96 个锻钢滚轮支撑。

## 4 炉门开闭机械

装料门、出料门和清渣门用加筋的钢结构制成,内衬以浇注料,传动采用液压缸,炉门的开闭与装、出料机操作连锁。

## 3.2.2.3 炉子的供热与燃烧系统

## 1 概述

环形炉烧天然气,按照加热制度分为七个控制段供热,从装料门开始,第一段为预热段,中

间四段为加热段,第六段为均热段,第七段为出料段,预热段、加热段侧墙上均装有德国 Krom 公司的高速型侧烧嘴,均热段和出料段炉顶装有德国 Krom 公司的平焰顶烧嘴。

## 2 燃烧系统的组成及设备性能

燃烧系统由一台助燃风机、空气管道、一台烟气稀释风机、一台空气换热器、一套燃气分配系统和烧嘴形成。构成燃烧系统的这些设备,保证了燃料、助燃空气通过烧嘴达到正常燃烧的目的。下面分别介绍:

### 1) 助燃空气鼓风机(1台)

鼓风机的作用是提供足够的助燃空气。

直联离心式	风量	60000m <sup>3</sup> /h
	风压	12000pa
	转速	1450r/min
	功率	355kw(10kv 50HZ)

### 2) 烟气稀释风机(1台)

作用: 烟气出炉温度很高时(850℃),则起动稀释风机,向烟气内鼓入冷空气,这样烟气温度就下降,保证烟气到达换热器处的温度最高值低于允许温度(930℃),保护换热器不至于被烧毁.这种操作是自动进行的,随烟气温度的升降自动开闭稀释风机。

性能:	型式	直联离心式
	风量	12000m <sup>3</sup> /h
	风压	1960pa
	转速	1450r/min
	功率	15kw

## 3 空气预热器

### 1) 作用

烟气出炉温度很高近 1000℃,具有很高的热能,把这部分能量传给空气,这样便可回收一定的热能,达到节能,提高热效率的目的。

### 2) 结构

换热器是由许多无缝钢管组成的。钢管内部走空气,换热器置于烟道内,这样,钢管内的空气就被加热了。由于烟气的走向和空气的走向是相反方向的,所以叫做逆流管状换热器。

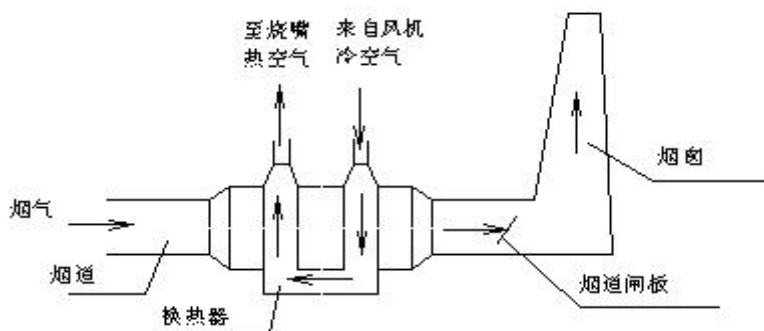


图 3-4 换热器工作示意图

### 3) 性能参数表:

表 3-2 环形炉换热器设计参数

名称	单位	设计	最大	最小
燃料热值(天然气)	kcal/Nm <sup>3</sup>	9300	9300	9300

空气过剩量	%	10	10	10
总烟气量	Nm <sup>3</sup> /h	56.620	71.159	32.144
总空气量	Nm <sup>3</sup> /h	51.540	60.675	31.060
废气冷却	°C	900~524	950/900~547	850~445
空气加热	°C	20~500	20~500	20~500
热功率	KW	9.246	10.880	5.576
压力损失:				
废气侧	mmH <sub>2</sub> O	13	20	3.5
空气侧	mmH <sub>2</sub> O	190	250	75
最高允许温度:				
废气	°C	930		
空气	°C	520		
换热器面积	m <sup>2</sup>	605		

## 4 空气管道:

## 1) 作用

将冷空气送至换热器, 将热空气从换热器送至各段烧嘴处, 供燃烧用。

## 2) 结构

冷空气管道用钢板管制成, 热空气管道用岩棉包扎起保温作用, 外有镀锌铁皮壳保护。

## 5 天然气管道及分配系统(资料不全)

## 3.2.2.4 热工工艺特点

## 1 烧嘴的分布

烧嘴在炉内的分布, 决定了炉内热负荷的分布。是实现炉子温度的条件。各段烧嘴布置和供热能力如表 3-3 所示。

表 3-3

	烧嘴型式	烧嘴数量	单个烧嘴供热能力×106(KJ/h)	段供热能力×106(KJ/h)	安装位置
预热段	80Nm <sup>3</sup> /h 天然气直焰烧嘴	12	3.12	37.44	内外侧墙均匀分布
第一加热段	80Nm <sup>3</sup> /h 天然气直焰烧嘴	14	3.12	43.68	内外侧墙均匀分布
第二加热段	80Nm <sup>3</sup> /h 天然气直焰烧嘴	15	3.12	46.8	内外侧墙均匀分布
第三加热段	80Nm <sup>3</sup> /h 天然气直焰烧嘴	15	3.12	46.8	内外侧墙均匀分布
第四加热段	80Nm <sup>3</sup> /h 天然气直焰烧嘴	12	3.12	37.44	内外侧墙均匀分布
均热段	28Nm <sup>3</sup> /h 天然气平焰烧嘴	18	1.09	19.66	内外侧墙均匀分布
出料段	17Nm <sup>3</sup> /h 天然气平焰烧嘴	3	0.66	1.99	炉顶布置
合计		89	17.35	1544.2	

均热段和出料段根据其工艺特点, 要求烧嘴单个供热能力要小, 个数要多, 以达到炉内

火焰分布均匀，管坯加热的目的。

## 2 热工工艺特点

国内环形炉，从结构上看，在预热段炉顶都有一个压下趋势，其目的就是减少炉膛横断面积，在烟气量一定的情况下，可提高烟气流速，增大烟气对管坯的对流给热系数。

我厂环形炉（包括一套）在预热段处，炉顶却没有压下趋势，这正是环形炉采用新工艺的一大特点。

环形炉出炉温度高达 950℃，在这么高的炉温下，炉内热交换主要是以辐射传热为主，对流传热所占比例很小，在以辐射传热为主的热工制度下，在炉内要保证有一定的辐射空间，即平均有效射线行程 L。

$$L = \eta \cdot 4V/S$$

η 为系数一般取 0.9

V 为炉膛体积

S 为炉膛内表面积

所以提高炉膛高度，便可增大 L。

炉内烟气的辐射传热，主要是三原子气体 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 向管坯的辐射传热。而增大 L 的效果是提高 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的黑度。这样，就增大了炉气对管坯的传热。

高温烟气出炉后，可通过换热器把热量回收，这样，就可提高炉子产量，提高设备的利用率。大中径炉子，高烟气出炉温度，高产量，这是世界 80 年代采用的新工艺，与国内截然相反，我厂环形炉充分体现了这一先进工艺。

### 3.2.2.5 排烟系统

#### 1 烟气走向及系统布置

炉内烟气从装料端内环侧墙的烟道口引出后进入烟道，烟道用钢板管，内衬浇注料制成。车间烟道，空气换热器，助燃空气鼓风机和烟气稀释风机都布置在炉子内环的空间里。

车间烟道在换热器后分为两路，线路 2 通余热锅炉，此时闸门 1 关闭，闸门 2、闸门 3 打开。另一线路直接通至烟囱，此时闸门 2 闸门 3 关闭，闸门 1 打开，如图线路 1 所示（在锅炉停炉时用）。

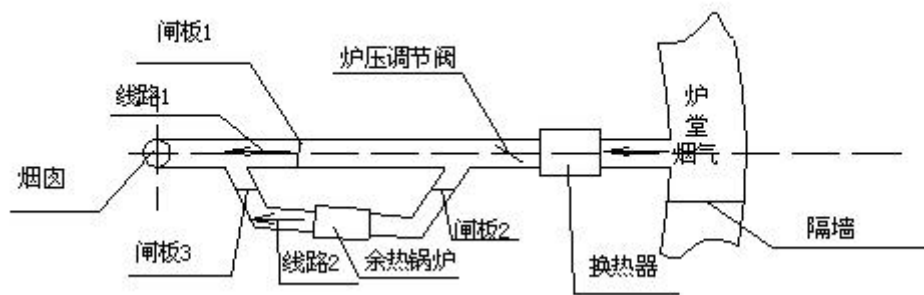


图 3-5 排烟系统示意图

#### 2 余热锅炉

作用：是一种余热回收装置，烟气经过换热器后温度仍然很高，达 500℃。让烟气通过余热锅炉加热其内部的水，使之变成蒸气，加以利用，达到了回收热量的目的。这样，烟气温度由 500℃ 降至 170℃，经排烟机引入烟囱排放。

#### 3 烟气参数

烟气量：71195Nm<sup>3</sup>/h(500℃)

61160Nm<sup>3</sup>/h(470℃)32370Nm<sup>3</sup>/h(390℃)

## 4 压力调节

## 1) 作用

调节炉内压力，使炉子出料端处于微正压，既要防止炉压过高，造成向外溢气，又要防止炉压过低，吸入大量冷空气。

## 2) 压调节方法

当烟气通过换热器后，通过安装在换热器后的耐热钢蝶阀节炉压，通过气动执行器操作（见排烟系统示意图）。

## 5 烟囱

## 1) 作用

产生抽力，使炉内烟气经烟道排向大气。当烟气经换热器直至烟囱时，烟气靠烟囱的自然抽力排向大气。如经余热锅炉至烟囱时，由于沿程阻力损失大，要使用排烟机与烟囱一道将烟气排向大气。

## 2) 结构

烟囱为自立式钢烟囱，内衬绝热材料，出口内径为 2.4m，高为 75m。烟囱的抽力决定烟囱的高度和烟气温度。烟囱高度升高，烟气温度升高，则抽力增大，同时要求烟囱要有良好的气密性，才能保证烟囱的设计抽力。

## 3.2.2.6 耐火材料

表 3-4

1	耐火材料 炉底内衬 总厚度 表层采用耐温 1400℃ 的耐火浇注料 中层层铺耐温 1260℃ 的耐火陶瓷纤维毡 外层层铺耐温 1000℃ 的绝热板	mm mm mm mm	350 200 50 100
2	耐火材料 隔墙（水冷）3 套 底部采用特殊设计的水管保温横梁 上部为耐火浇注料，横向厚度	mm	250
3	耐火材料 炉墙 总厚度 表层采用耐温 1400℃ 的耐火浇注料 中层层铺耐温 1350℃ 的轻质耐火砖 外层层铺耐温 1000℃ 的绝热板	mm mm mm mm	560 250 230 80
4	耐火材料 炉底 总厚度 表层采用耐温 1400℃ 的抗渣浇注料 第 2 层铺耐温 1350℃ 的轻质耐火砖 第 3 层铺耐温 1100℃ 的轻质耐火砖 外层铺耐温 1000℃ 的高强度绝热砖	mm mm mm mm mm	602 250 116 136 100

### 3.2.3 环形炉自动化系统（资料不全待定）

#### 3.2.3.1 自动控制系统

自动化系统主要由三个部分组成，即：

- 测量和控制系统用于监控和控制炉内的热工工程过程。
- 基础自动化控制传动和运动（一级），包括材料的跟踪和信号传递。
- 过程计算机系统（二级）有炉子操作过程优化，热工工程的自动化数学模型。

和上位轧机计算机的数据交换通过通用接口。

为了对过程的可视化和操作提供了一个监控屏幕站，它是由一台 PC（奔腾）带有显示器和键盘组成。

登记和长期（记录）存档于硬盘，记录可存储半年。

应用上面所提到的设备组态，要保证所有的控制和监视功能在上屏显示，并能通过键盘改变。

#### 3.2.3.2 热工测量和控制系统

测量和控制工程中，炉子分为 6 个区：

- 预热段
- 加热 1 段，加热 2 段，加热 3 段，加热 4 段，
- 均热段
- 平焰烧嘴和出料段
- 在出料区有一个测温点

为控制功能的实现，一个 SPC 提供了所有必要的部件。SPC 的软件控制器能够管理各单独电路。

更进一步，测量和控制系统完成下列功能：

- 六个区的温度控制；作用在空气管路中的调节挡板；温度测量借助各区的热电偶。

有燃烧空气的温度补偿。

煤气和空气流量的测量通过流量孔板。

煤气总管压力的控制，阀前后现场及仪表室压力显示。

煤气总管加设压力开关一套。

氮气压力的现场及仪表室的指示和记录。

水循环总管加装压力开关及流量检测，仪表室压力显示。

浊环水加装流量计。

压缩空气总管加装压力开关及仪表室压力显示。

煤气总管加装孔板，测量流量。

- 出料门的控制
- 炉子压力控制，均热段的炉压采集并通过调节废气管道中的炉压调节挡板。
- 空气压力控制，空气总管的压力采集并作用到燃烧空气风机（进气）调节器。
- 热交换保护控制

a) 废气温度太高时，在热交换器前注入冷空气。

b) 助燃空气温度太高时，在热交换器后进行热风放散。

- 测量废气中的氧气
- 进入和流出设备的冷却水回路监控
- 累计总煤气量同时还通过叠加各区流量。

- 报警元件对超温，元件断裂和媒介不足的声光指示。
- 所有自动阀门，原则上采用气动驱动，驱动用压缩空气接点压力为 6 bar。

传动设备和基础自动化

电气传动单元和用电设备设计用 380v 电压。

计算机的数字化控制被用于自动的控制所有的运动部件以及材料跟踪。

设备的操作是借助于监视器和键盘或通过控制台。

操作模式：

设备的操作是借助于监视器和键盘或通过控制台。

操作模式：

- 点动：所有运动部件都可以由操作者手动控制。
  - 手动：可以由操作者启动一个周期内的某一步动作。
  - 半自动：所有的周期运动部件都可以由操作者手动控制。
  - 全自动：所有的运动部件都可以由自动化系统自动控制。
- 一个带有所有必要元件 SPC 自动化装置用于炉子进行自动化操作。

自动化装置控制下列系统部分：

- 进料炉门
- 装料机
- 出料炉门
- 出料机
- 液压系统（泵，油箱，阀）
- 燃烧空气和冷却风机
- 炉底转动

自动化装置把所有的材料数据传递到炉子控制系统。需要时，这些数据被显示到屏幕上。炉底待轧回转不影响正常的物料跟踪，在装出料隔墙两侧各设光栅一套，以保证隔墙的安全。

### 3.2.3.3 计算机过程控制系统 二级控制

对于自动化，炉子的热工工程，炉子计算机系统用数学模型，为炉子耗能最优化提供了计算最优化的加热条件，并作为测量和控制系统的设定值。

### 3.2.3.4 目标

要通过过程指导系统达到下列目标：

对于加热产品

- 预设定常规的，与材料相关的和可重复的加热最终温度和热渗透。
- 刻度的最小化
- 操作中中断的自动响应

对于加热炉单元

- 能量消耗最小化
- 炉子瓶颈区域期间时钟的最佳性能和协调控制
- 建立定单和班记录

在过程计算机系统故障的情况下，要保证炉子能用通常的方法，继续操作测量和控制系统。

### 3.2.3.5 过程监视

炉子指导系统提供了过程监视和文件处理的可能性，它显示当前的过程状态，显示操作

测量值，显示炉子的使用状况和所用产品的当前温度。过程变量，有用的产品数据，加热形状，温度精度的信息以及产品报告可以建立，归档。

### 3.2.3.6 过程计算机策略的描述

数学模型的理论背景：

#### 1 加热坯子内部

##### 1) 管坯加热数据

根据导热性的物理值，导热性和平均比热，数学模型计算出的炉内坯料的温度。在默认情况下，三种级别的合金钢在离线情况下预先定义好。它们可以用于非合金钢，低合金钢和高合金钢。它们的值在以下子部分中给出。

##### 2) 导热性

管坯中导热率和热变化率对于热流来说十分重要。非合金钢和低合金钢的曲线在大约 800°C 左右有一个折线弯曲。这是因为在这个温度点处的金属网格的改变。下面的曲线是导热性的曲线。高合金钢的曲线大约是一条直线，而另外两条（非合金钢曲线在上面）在大约 800°C 左右有一个负向转折弯曲。这是因为金属内部在这个温度点处发生了改变。高合金钢的曲线大约是一条直线。

##### 3) 热传导（热扩散）

热传导表示温度扩散值。根据管坯内部区域温度曲线斜率变化情况可知温度扩散非常高。高合金钢热传导曲线是一条直线，而低合金钢和非合金钢（上部）大约在 800°C 左右有一反向折线弯曲。

##### 4) 平均比热

非合金钢和低合金钢的平均比热曲线是相同的，而高合金钢的平均比热曲线是一条直线。

##### 5) 坯料尺寸

数学模型的算法是高度依据装料坯子的对称性和尺寸的。每个模式单独适应坯料的对称，即它仅用于对称性相似的坯料。

##### 6) 温度分布

在炉内管坯内部，数学模型定义了一组温度支持点，用于表示温度分配情况，入炉坯子内部的每个温度支持点都有一个固定位置（坐标），温度支持点的位置把坯料分割为若干层/几何形状相等的模型。

##### 7) 递归结构

在一个固定的时间间隔内数学模型整个计算过程是递归的，即本次计算总是源于上次计算的结果和周围温度环境状况。坯料内温度支持点的最小距离  $\Delta S$  是依据于每次计算的时间  $\Delta T$  的。降低  $\Delta S$  也意味着降低  $\Delta T$  以确保数学模型的稳定性。

#### 2 炉子参数

##### 1) 炉子细分

按物理结构把炉子细分为炉子上层和炉子下层两部分，炉子上层及下层代表不同的热传递的状况和能源消耗。

##### 2) 热传递区域

热传递区域有辐射传热（ $\epsilon(T)$ ）和对流传热（ $\alpha(T)$ ）。例如特定区域的温度范围满足 0 到 1400°C。 $\alpha$  和  $\epsilon$  在这个区域可能被定义为  $\alpha=20$  和  $\epsilon=0.5$  或  $0 \leq \alpha \leq 20$  和  $0 \leq \epsilon \leq 0.7$ 。除了最高及最低两个温度支持点外，没一段区域根据炉子需要定义更多个温度支持点，支持点之间的间隔可用一条插入直线来定义。

##### 3) 炉子温度控制/段控制思想

管坯的假如目标是为了提供一个理想的轧制温度。为了达到这个目的定义一个温度设定曲线来描述炉内每个位置加热管坯的平均温度。对于每个段或个别的坯子，计算机对来自于管坯的计算温度和具体位置管坯的设定温度的偏差进行优化。根据偏差和炉子限制，计算机优化功能独立地提升降低段温度来达到理想的温度设定曲线。离出炉位置最近的坯子对控制影响最大。

根据作用原理，计算机优化自动响应轧制中断或轧制节奏的改变。跟踪预先设定温度的能力受到炉子特性和性能的限制。

#### 数学模型

当工件经过炉子的时候在考虑到热从炉子传到工件和工件本身的热传导，数学过程模型可以计算出工件的温度，并将合适的温度设定值设到炉子的各区。在装料和卸料期间该计算可以自由选择。

系统包括了观察过程模块和预期过程模块，观察过程模块决定实际的过程状态，预期过程模块决定每个控制区的最优温度。

观察过程模块的任务包括：

- 数据采集

测量的预处理数据，跟踪材料的流量，给定的设定，炉子状态的描述，被插入到每个炉子的文件中。用此模块，各炉子的状况被保存，炉子业绩被统计。

- 炉子的热平衡

根据测量值，各区热平衡被建立，给出每区的热流和温度值。

- 产品温度

根据炉子的热平衡和有用热流的计算，决定各温度区有用产品的平均温度升。

预期过程模块的任务包括：

- 格式曲线

根据有用产品尺寸，目标炉特性和退火温度，每一个有用的产品都给出个加热曲线。为保证质量，错误的升温曲线通过上述的工作，可以汇集起来。

- 标称有效热流

根据赋予每个有用产品的标称曲线，实际热容量和现行的退火循环所需的有用热流可被确定。

- 标称温度

以每一个控制区的有用热流和满足临界值为基础，要求标准燃烧空气的体积流量和由它得出标称的温度来确定。为了这个目的，借助于所用的热平衡，现行的热交换就确定了。标称燃烧空气体积流量或标称温度可保证送入炉中必要的燃料热流，一直到下一个计算循环。

- 标称退火循环

根据现行的有用产品的加热和物料流动，与最佳特性相适应的退火循环就可计算出，对于下一个有用产品的适当卸料时间被计算出来并被显示，根据以前的物料的通过量，计算出另外使用或储存或其他有热损失的地方。

为了全自动化的控制炉子，需要提供过程模块并带有相关的数据，这数据包括在炉中的正在加热的产品的数据，连续操作的测量值以及有计划和非计划的轧机操作的数据。

需要加热产品数据包括：

- 单元的确认

- 位置的确认

- 大小

- 重量

- 加热组

- 通过滚动轮作用时间
- 装入时间
- 卸货时间

这个数据或者从滚动轮计算机转换成自动（例如：鼓动程序）或必须通过对话框手动输入。下一个被卸货的有用产品的特性及建议的卸货时间显示在对话框中。按一个功能键就可认证触发卸货。

要求操作的测量值包括：

- 燃料和助燃空气的体积流量
- 助燃空气的温度
- 使用热电偶测量炉温
- 换热器前的废气温度

测量和标称物控制值的输出用一种专用的有相关的协议调节器来实现。

炉子停机报告

轧机中的有计划停机通过物料流动，或他们与炉子的计算机通过专用的对话框进行通讯。非计划停机一旦被发现也通过对话框进行通过。

### 3.2.3.7 以过程计算机运用多组操作参数控制炉子工作的可行性

操作人员可选择如下方式：

#### 1) 关闭过程计算机

通常，可以通过测量和控制系统来控制炉子（手动方式）。在手动操作，设定值可直接由控制器上的键盘预先设定。

#### 2) 开启过程计算

### 3.2.3.8 过程计算机控制

#### 1 过程控制计算机

##### 1) 过程控制计算机停止/开始（二级）

当设备处于静止状态时，加热炉过程控制计算机并不执行任何动作。所有通信和计算都停止。计算机一直处于静止状态，直到“开始”功能重新被击活。停机是通过和关闭计算机和应用程序同样的方式进行的。

##### 2) 手动/自动（一级）

控制器的手动/自动开关是通过基础自动化系统实现的。如果炉子控制器在自动模式下，仅可能通过炉子过程控制计算机来实现炉子的控制。

##### 3) 内部/外部设定点（一级）

基础自动化系统的当前段温度的设定是居于控制器的内部设置或加热炉过程控制的外部设定。

内部和外部的转换被基础自动化系统执行。然而，对计算机控制的一个条件是：计算机控制需要在加热炉过程控制计算机（操作面板）中执行。当内设点向外设点转换时，为了设置点不突然跳出，新选择的控制模式将继续控制存在的设置点。加热炉过程控制计算机中至接管控制之后，立即从设置点开始执行。然而，这假定了控制条件被执行。要不然，存在的设定点保留在操作中。总的来说，一级和二级加热控制计算机能根据需要调用。任意一个能被设置为默认值，而另一个则选择开或关。

##### 4) 过程控制计算机的控制状况

加热炉过程控制计算机的控制条件被定义在相关段。换句话说，一个段是温度控制的，这时：

- 至少提供一根可计算的加热坯料
- \*不提供未知的或无效数据的坯料
- 计算并知道坯子的位置和温度
- 在段中没有热电偶损坏
- 对这段选择一级和二级计算机控制
- 没有通信失败

在操作中可被用到的功能在随后的章节中描述。

\*没有定义的坯子的数量能在被计算机剔除之前设定。

## 2 带耦合的可用功能和计算机过程控制

以下描述的是计算机的操作功能，并且二级密码操作员可使用这些功能。

### 1) 启动/停止（密码级：维护）

此功能用作启动/停止环形炉过程控制计算机的所有功能。有关过程计划和基本通信伙伴的信息交换将被停止。H1—ISO 基本连接和本地数据库连接仍保持联系。

### 2) 空炉计算机控制

最后被加热的坯料出空后，“出空”功能使环形炉进入减温（例如 800 或 1000）区状态。此功能在最后一根出料前将被自动击活。此状态可用“生产开始”功能取消。今后将会给出一个有用的是，例如实际时间为+5 分钟。从出空功能开始到环形炉出空，环形炉过程控制计算机不改变设定段的温度。

### 3) 开始生产时计算机控制

带有“生产开始”功能的计算机要被给予继续生产计划时间（日期、时间）。利用理想的最终段温度和目前的低温，系统会寻找开始加热的正确的开始时间。为了获得管坯的加热准备或使环形炉升到轧制温度，段温会以 100°C/h 的梯度从开始点直线增加。

### 4) 生产停止/中断

如果生产停止在大约 20 分钟和几个小时之间，“生产停止”功能将导致比计算机自动提供的更快的温度降低速度和一个能够达到加热坯子的准备的更低的温度，但加热准备的保证只有在生产降低时结束。随时可取消生产停止，然而它会对获得加热准备的影响较快，但不会直接引起。

### 5) 段耦合

利用操作面板“段耦合”，操作员可通知环形炉过程控制计算机段耦合是理想的。属于段的框被选中确认后，完成段控制的条件是必需的。如果情况属实，计算机就以当前最有效的的控制器设定点接管段温度控制。

### 6) 固定的段温设定点

操作者可按一级中的操作选择每一段来手动预设固定的设定点。

### 7) 加热温度的改变

如果生产计划系统错误指定了设定加热温度，改变加热温度功能可负责纠正环形炉中管坯的设定的加热温度。改变加热温度会对要被加热的管坯的平均计算温度产生长期的影响，并且从环形炉上料结束（=0%）开始直到出料结束（100%）影响会连续增加。此功能应该用于特殊的应用。如过改变了加热温度设定点，应该认真地对待此影响，因为平均管坯加热温度的改变点总是对段温度设定点的改变有着增加的影响。因此，如果环形炉段温增加或它不能达到性能极限，那么必须首先检查它。在此条件下如果增加加热温度不会有任何正面影响，但实际上它会产生一些负面影响。

## 3 物料追踪特别模式

## 4 环形炉装炉剔料

此操作从一级坯料跟踪信息为基础。在内部坯料跟踪系统中考虑了从环形炉入口剔除的

被加热的管坯。设有其它的信号或转移信息发生。

#### 5 环形炉出料出管坯追加

此操作以一级坯料跟踪信息为基础。被加热管坯的输入在环形炉剔料处被考虑进了内部坯料跟踪。没有其它的信号或转移信息发生。

#### 6 轧制计划系统数据描述

此功能以手动输入数据为基础。如果用于传输的计划数据的一个存在通信通道失败，必要的到会进入计划面板。

# 第四章 穿孔

## 4.1 二辊斜轧穿孔机及穿孔过程

今天在无缝钢管生产过程中,穿孔工艺被广泛应用而且非常经济。1886年德国的曼内斯曼兄弟申请了用斜辊穿孔机生产管状断面产品的专利。专利中描述了金属变形时内部力的作用和使用两个或多个呈锥形的轧辊进行穿孔,因此被称作曼内斯曼穿孔过程。

由 R.C 斯蒂菲尔发明的导板使得穿孔后的毛管长度得到增加。后来狄舍尔发明了导盘,使穿孔效率得到更大提高。在 1970 年出现了锥形辊的穿孔机,它比以前的穿孔机在金属的变形上有明显的改进。

在无缝钢管生产中,穿孔工序的作用是将实心的管坯穿成空心的毛管。穿孔作为金属变形的第一道工序,穿出的管子壁厚较厚、长度较短、内外表面质量较差,因此叫做毛管。如果在毛管上存在一些缺陷,经过后面的工序也很难消除或减轻。所以在钢管生产中穿孔工序起着重要作用。

当今无缝钢管生产中穿孔工艺更加合理,穿孔过程实现了自动化。

斜轧穿孔整个过程可以分为三个阶段

第一个不稳定过程--管坯前端金属逐渐充满变形区阶段,即管坯同轧辊开始接触(一次咬入)到前端金属出变形区,这个阶段存在一次咬入和二次咬入。

稳定过程--这是穿孔过程主要阶段,从管坯前端金属充满变形区到管坯尾端金属开始离开变形区为止。

第二个不稳定过程—为管坯尾端金属逐渐离开变形区到金属全部离开轧辊为止。

稳定过程和不稳定过程有着明显的差别,这在生产中很容易观察到的。如一只毛管上头尾尺寸和中间尺寸就有差别,一般是毛管前端直径大,尾端直径小,而中间部分是一致的。头尾尺寸偏差大是不稳定过程特征之一。造成头部直径大的原因是:前端金属在逐渐充满变形区中,金属同轧辊接触面上的摩擦力是逐渐增加的,到完全充满变形区才达到最大值,特别是当管坯前端与顶头相遇时,由于受到顶头的轴向阻力,金属向轴向延伸受到阻力,使得轴向延伸变形减小,而横向变形增加,加上没有外端限制,从而导致前端直径大。尾端直径小,是因为管坯尾端被顶头开始穿透时,顶头阻力明显下降,易于延伸变形,同时横向展轧小,所以外径小。

生产中出现的前卡、后卡也是不稳定特征之一,虽然三个过程有所区别,但他们都在同一个变形区内实现的。变形区是由轧辊、顶头、导盘(导板)构成。见图 4-1。

从图中可以看出,整个变形区为一个较复杂的几何形状,大致可以认为,横断面是椭圆形,到中间有顶头阶段为一环形变形区。纵截面上是小底相接的两个锥体,中间插入一个弧形顶头。

变形区形状决定着穿孔的变形过程,改变变形区形状(决定与工具设计和轧机调整)将导致穿孔变形过程的变化。穿孔变形区大致可分为四个区段,如图 4-2 所示。

I 区称之为穿孔准备区,(轧制实心圆管坯区)。I 区的主要作用是为穿孔作准备和顺利实现二次咬入。这个区段的变形特点是:由于轧辊入口锥表面有锥度,沿穿孔方向前进的

管坯逐渐在直径上受到压缩，被压缩的部分金属一部分向横向流动，其坯料波面有圆形变成椭圆形，一部分金属轴向延伸，主要使表层金属发生形变，因此在坯料前端形成一个“喇叭口”状的凹陷。此凹陷和定心孔保证了顶头鼻部对准坯料的中心，从而可减小毛管前端的壁厚不均。

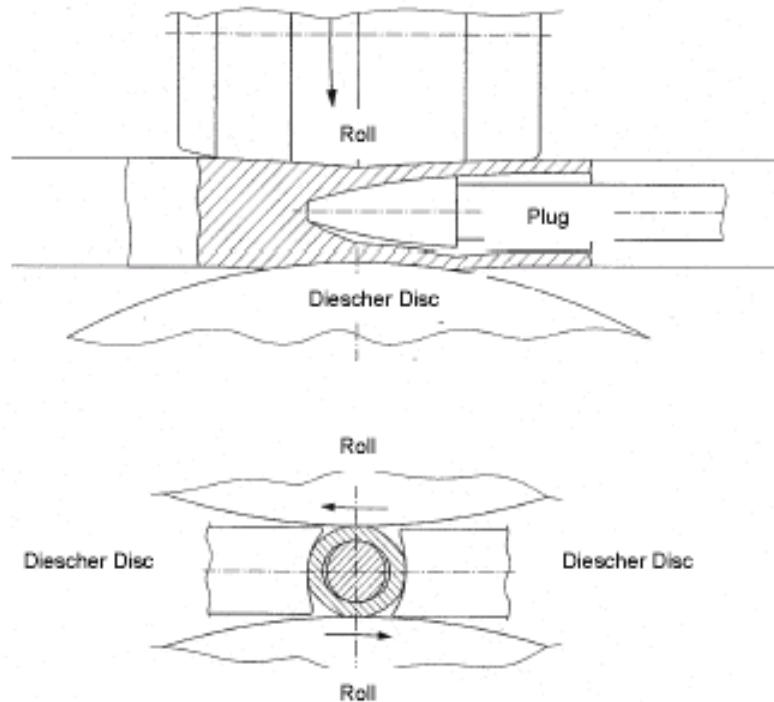


图 4-1 孔型图

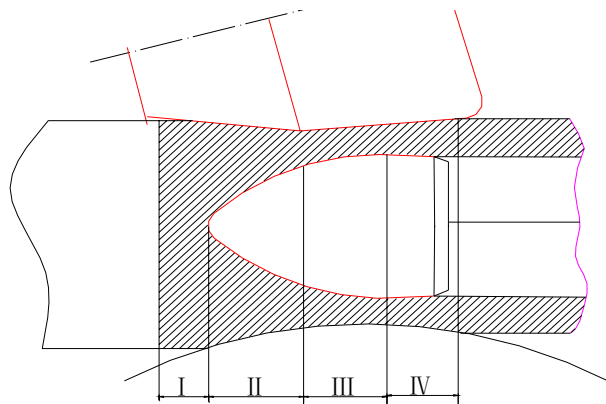


图 4-2 穿孔变形区中四个区段

II区称为穿孔区，该区的作用是穿孔，即由实心坯变成空心的毛管，该区的长度为从金属与顶头相遇开始到顶头圆锥带为止。这个区段变形特点主要是壁厚压下，由于轧辊表面与顶头表面之间距离是逐渐减小的，因此毛管壁厚是一边旋转，一边压下，因此是连轧过程，这个区段的变形参数以直径相对压下量来表示，直径上被压下的金属，同样可向横向流动(扩径)和纵向流动(延伸)但横向变形受到导盘的阻止作用，纵向延伸变形是主要的。导盘的作用不仅可以限制横向变形而且还可以拉动金属向轴向延伸，由于横向变形的结果，横截面呈椭圆形。

III区称为碾轧区,该区的作用是碾轧均整、改善管壁尺寸精度和内外表面质量,由于顶头母线与轧辊母线近似平行,所以压下量是很小的,主要起均整作用。轧件横截面在此区段也是椭圆形,并逐渐减小。

IV区称为归圆区。该区的作用是把椭圆形的毛管,靠旋转的轧辊逐渐减小直径上的压下量到零,而把毛管转圆,该区长度很短,在这个区变形实际上是无顶头空心毛管塑性弯曲变形,变形力也很小。

变形过程中四个区段是相互联系的,而且是同时进行的,金属横截面变形过程是由圆变椭圆再归圆的过程,见图 4-3。

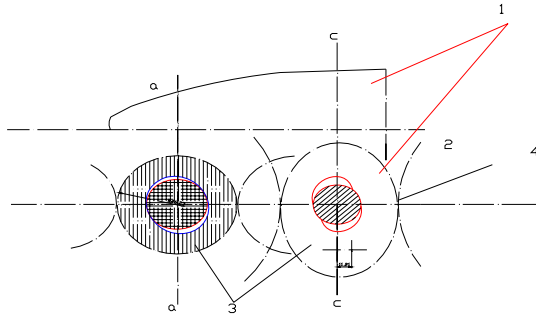


图 4-3 轧件横截面变化图

## 4.2 斜轧穿孔运动学

### 4.2.1 两辊穿孔机运动学

#### 4.2.1.1 螺旋轧制的速度分析

穿孔机轧辊是同一方向旋转,且轧辊轴相对轧制轴线倾斜,相交一个角度称作前进角。当圆管坯送入轧辊中,靠轧辊和金属之间的摩擦力作用,轧辊带动圆管坯—毛管反向旋转,由于前进角的存在,管坯—毛管在旋转的同时向轴向移动,在变形区中管坯—毛管表面上每一点都是螺旋运动,即一边旋转,一边前进。

表现螺旋运动的基本参数是:切向运动速度、轴向运动速度、和轧辊每半转的位移值(螺距)。

首先来讨论轧辊上任意一点的速度,如果轧辊圆周速度为  $V_R$ ,则可以分解为两个分量(切向分量和轴向分量)。

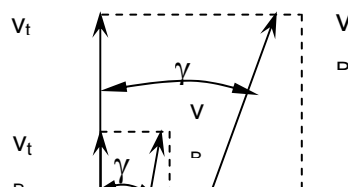


图 4-4 速度分解图

$$V_{aR} = V_R \cos \beta = \pi D N_b / 60 \times \cos \beta \text{ -----切向旋转速度} \quad (1)$$

$$V_{tR} = V_R \sin \beta = \pi D N_b / 60 \times \sin \beta \text{ -----轴向速度} \quad (2)$$

式中  $D$ ----所讨论截面的轧辊直径, mm;

$N_b$ ----轧辊转速, rpm; $v$

$\beta$  ----咬入角。

在轧制过程中由于坯料靠轧辊带动, 轧辊将相应的速度传递给管坯, 则管坯速度为:

$$V_B = \pi D N_b / 60 \times \cos \beta \quad (3)$$

但实际上轧辊速度和金属速度并非完全相等。一般金属运动速度小于轧辊速度, 即两者之间产生滑移, 可用滑移系数来表示两者速度, 这样

$$V_{aR} = \pi D N_b / 60 \times \cos \beta \times \eta_\tau \quad (4)$$

$$V_{tR} = \pi D N_b / 60 \times \sin \beta \times \eta_0 \quad (5)$$

式中:  $\eta_\tau$  ---切向滑移系数,

$\eta_0$  ---轴向滑移系数,两者小于 1。

不同的材料有不同的滑移系数, 参考如下:

碳钢  $\eta_0 = 0.8 \sim 1.0$

低合金钢  $\eta_0 = 0.7 \sim 0.8$

高合金钢  $\eta_0 = 0.5 \sim 0.7$

在生产中最有实际意义的是毛管离开轧辊时的那一点速度, 众所周知, 出口速度愈大, 即生产率也愈高。为了简化计算, 一般假设轧辊出口速度等于  $V_{tR}$ , 实际误差包含在滑移系数中。

毛管离开轧辊一点的轴向滑移系数可用公式(2)求出轴向速度,除以毛管长度得出理论的穿孔时间,再和实测时间相比,即  $\eta_0 = T_{理} / T_{实}$ 。这样确定  $\eta_0$  后,则可计算出毛管离开轧辊的轴向速度。

螺距在变形中是个可变值, 并且随着管坯进入变形区程度增加而增加, 这是由于管坯-毛管断面积不断减小而轴向流动速度不断增加所致。

毛管离开轧辊一点的螺距值计算公式为:

$$T = \pi/2 \times \eta_0 / \eta \tau \times d \times \text{tg} \beta$$

式中:  $d$ —毛管直径

### 4.3 穿孔的咬入条件

斜轧穿孔过程存在着两次咬入,第一次咬入是管坯和轧辊开始接触瞬间,由轧辊带动管坯运动而把管坯曳入变形区中,称为一次咬入。当金属进入变形区到和顶头相遇,克服顶头的轴向阻力继续进入变形区为二次咬入。

一般满足了一次咬入的条件并不见得就能满足二次咬入条件。在生产中我们常常看到,二次咬入时由于轴向阻力作用,前进运动停止而旋转继续着即打滑。

#### 4.3.1 一次咬入条件

一次咬入既要满足管坯旋转条件又要满足轴向前进条件。

管坯咬入的力能条件由下式确定:

$$M_t \geq M_p + M_q + M_i$$

式中:  $M_t$  - 使管坯旋转的总力矩;

$M_p$ —由于压力产生的阻止坯料旋转力矩

$M_q$ —由于推料机推力而在管坯后端产生的摩擦力矩

$M_i$ —管坯旋转的惯性矩

如果忽略  $M_q$ 、 $M_i$  (值很小) 则一般的表达式为:

$$n(M_t + M_p) \geq 0 \quad (n\text{—轧辊数}) \quad (6)$$

前进咬入条件是指管坯轴向力平衡条件,也就是,曳入管坯的轴向力应大于或等于轴向阻力,其表达式为:

$$n(T_x - P_x) + P' \geq 0 \quad (7)$$

式中:  $T_x$ —每个轧辊作用在管坯上的轴向摩擦力

$P_x$ —每个轧辊作用在管坯上正压力轴向分量

$P'$ —后推力 (一般为零)

一次咬入所需旋转条件

下面的公式表明在管坯咬入时力的平衡,两个重要参数,摩擦系数和角速度可以通过下面公式计算。

$$\mu \geq \tan \omega + \frac{\sin \alpha_e}{\tan \gamma \cos \omega}$$

$$\omega = \arccos \frac{D_w - \Delta d}{D_w} \quad (8)$$

式中:  $\alpha_e$  — 轧辊入口锥角

$\gamma$  — 咬入角

$\Delta d$  — 辊喉处的直径减径值

若想管坯咬入顺利些,可以将咬入角变大些、轧辊的入口锥角小些,或者通过施加管坯

的推入力和加大轧辊表面的辊花深度。

### 4.3.2 二次咬入条件

二次咬入的力能条件

二次咬入中旋转条件比一次咬入增加了一项顶头 / 顶杆系统的惯性阻力矩,其值很小。因此二次咬入旋转条件,基本和一次咬入相同。二次咬入的关键是前进条件。

二次咬入时轴向力的平衡条件:

$$n(T_x - P_x) - Q' \geq 0 \quad (9)$$

式中:  $Q'$ —顶头鼻部的轴向阻力

二次咬入所需旋转条件

二次咬入的条件在轴向管坯的推入力要大于顶头和管坯与轧辊之间的摩擦力,能实现二次咬入的前提是在管坯接触顶头前 ( $x$ =自由长度) 管坯至少要旋转一周。

$$x = \pi * d_B * \tan \gamma$$

式中:  $d_B$ ——管坯直径

## 4.4 孔隙形成机理

斜轧实心管坯时,在顶头接触管坯前常易出现金属中心破裂现象,当大量裂口发展成相互连接,扩大成片以后,金属连续性破坏,形成中心空洞即孔隙。见图 4-5。在顶头前过早形成孔隙,会造成大量的内折缺陷,恶化钢管内表面质量,甚至形成废品,因此在穿孔工艺中力求避免过早形成孔隙。

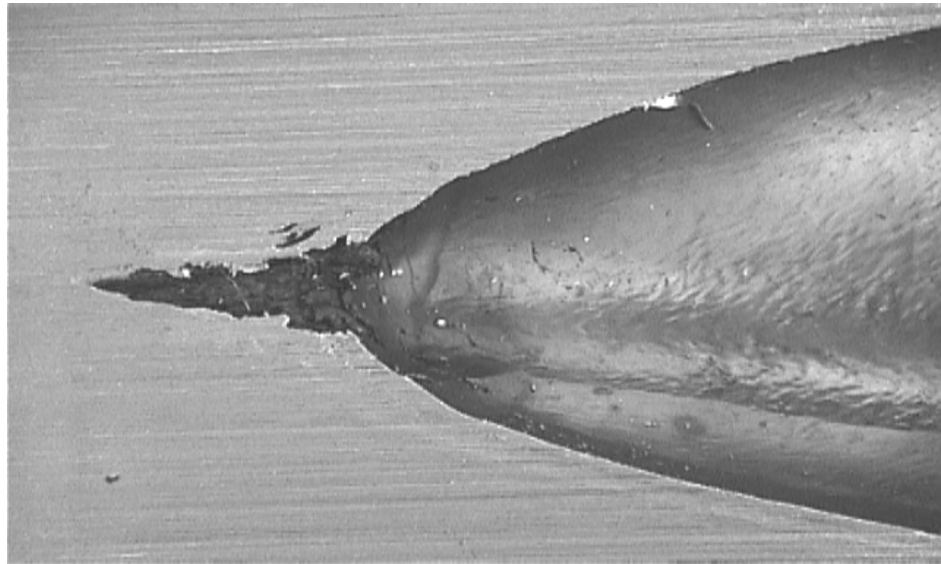


图 4-5 孔隙示意图

影响孔隙形成的主要因素有:

变形的不均匀性 (顶头前压缩量)

不均匀变形程度主要决定于坯料每半转的压缩量 (称为单位压缩量), 生产中指顶头前

压缩量。顶头前压缩量愈大则变形不均匀程度也愈大，导致管坯中心区的切应力和拉应力增加，从而容易促进孔隙的形成。一般用临界压缩量来表示最大压缩量值的限制，压缩量小于临界压缩量则不容易或不形成孔隙。

#### 椭圆度的影响

穿孔过程中在管坯横断面上存在着很大的不均匀变形，椭圆度愈大，则不均匀变形也愈大。按照体积不变定律可知，横向变形愈大则纵向变形愈小，将导致管坯中心的横向拉应力、切应力以及反复应力增加，加剧了孔隙的形成趋势

#### 单位压缩次数的影响

在生产中主要指管坯从一次咬入到二次咬入过程中管坯的旋转次数，次数的增多就容易形成孔隙。

#### 钢的自然塑性

钢的自然塑性由钢的化学成分、金属冶炼质量以及金属组织状态所决定，而组织状态又由管坯加热温度和时间所影响。一般来说塑性低的金属，穿孔性能差，容易产生孔隙。

## 4.5 斜轧穿孔时的金属变形

### 4.5.1 管坯受力情况

图 4-6 显示管坯的受力情况，图中显示  $F$  为轧辊方向（平面）的力，为压应力，在接触点的位置显示为最大。中心部位（导盘方向）显示为拉应力，理论上在导盘的中心部位受力为最大。因为管坯的不断旋转，同一部位的受力情况不断变化，导致中心部位的金属受到交变应力的作用，中心产生疏松，形成孔隙。

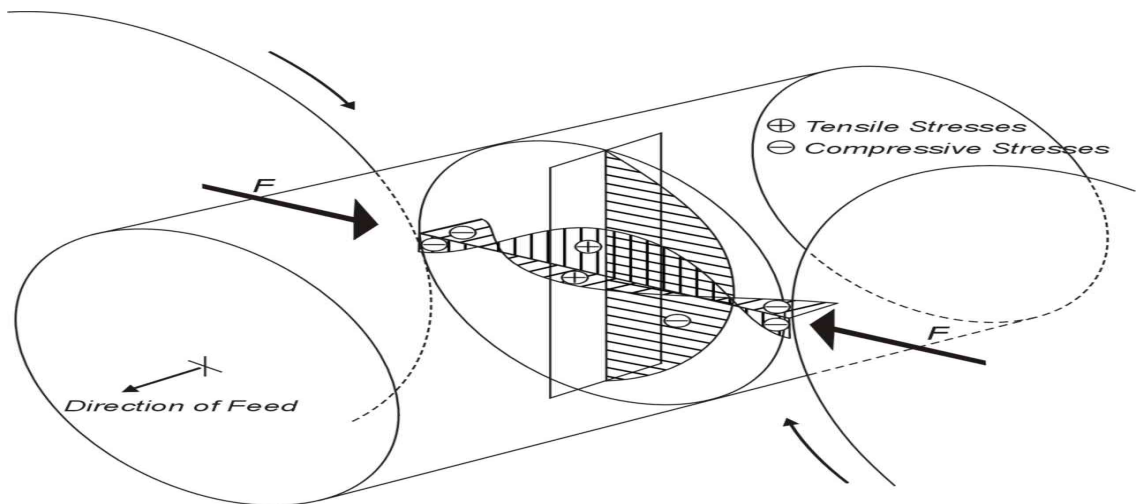


图 4-6

### 4.5.2 金属变形

基本变形完全是几何尺寸的变化，与材料的性质无关，而且基本变形取决于变形区的几何形状（由工具设计和轧机调整所决定）。

附加变形指的是材料内部的变形，是直观不到的变形，附加变形是由于材料中内应力所引起的，是增大材料的变形应力，引起材料中产生的缺陷，所以在实际生产中如何来减小附加变形是很重要的。

#### 4.5.2.1 基本变形

基本变形即延伸变形，切向变形和径向变形（壁厚压缩）。这三种变形都是宏观变形，表示外观形状和尺寸变化。基本变形可用下式表示：

径向应变增量：

$$\varphi_r = \ln \frac{s_1}{s_0}$$

纵向（延伸）应变增量：

$$\varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0}$$

切向（圆周）应变增量：

$$\varphi_t = \ln \frac{2 \cdot (D_1 - s_1)}{D_0}$$

#### 4.5.2.2 附加变形

附加变形包括有扭转变形，纵向剪切变形等，附加变形是由于金属各部分的变形不均匀产生的，附加变形会带来一系列的后果，如造成变形能量增加，以及由于附加变形所引起的附加应力，容易导致毛管内外表面上和内部产生缺陷等。

纵向剪切变形主要是由于顶头的轴向阻力所造成的，一方面轧辊带动管材轴向流动，而顶头要阻止金属轴向流动，最终导致各金属轴向流动有差异，可是各层金属又是互相联系的，是一个整体，所以在各层金属间必然产生附加变形和附加应力，特别是和轧辊、顶头直接接触的表面层金属，由图中可看出，附加变形更大些，因此毛管内外表面很容易出现缺陷或者使管坯表面原有的缺陷发展扩大。

切向剪变形往往是造成毛管内外表面产生缺陷原因之一（如裂纹、折迭、离层等缺陷）。

## 4.6 穿孔工具及设计

穿孔机工具主要包括：轧辊、顶头和导板（导盘）。这些工具是直接参与金属变形的。除此之外，还包括顶杆、毛管定位叉、导管、导槽等部件。

工具的尺寸和形状要求合理，这样才能保证穿出高质量的毛管，保证穿孔过程的稳定、生产率高、低能耗、工具耐磨性高、使用寿命长的要求。

### 4.6.1 轧辊

穿孔机轧辊形状主要有盘式辊、桶形辊和锥形辊，盘式辊很少使用，常用的是桶形辊和锥形辊。

从大体的形状来看,桶形辊和锥形辊度一般是由两个锥形段组成的,即入口锥和出口锥。如果细分的话,入口锥又可以分为一段式和两段式,两段式是为了改善咬入条件和减少从车次数。根据毛管扩径量的需求,出口锥也可以分为一段式和两段式,两段式用于大扩径量的机组。

另外,有的轧辊在入口锥和出口锥之间采用过渡带即轧制带,有的则没有。轧制带的作用是防止两锥相接处形成尖锐棱角,这种棱角在穿孔时会使毛管外表面产生划伤。

轧辊的特征尺寸指轧辊最大直径和辊身长,轧辊最大直径和辊身长度是根据轧辊长度、轧制速度、咬入条件、轧制产品规格、电能消耗、轧辊重车次数等因素确定。

轧辊直径增加,则咬入条件改善、轧制速度提高、轧辊重车次数增加、轧辊的利用率高,但同时也增加了轧制压力和电能消耗。

#### 4.6.1.1 轧辊的入口锥角和出口锥角?

轧辊入口锥的角度大小决定管坯能否顺利咬入和积累足够的力以克服顶头阻力使管坯穿成毛管。相关的文献指出,入口锥角在 $2\sim 40$ 之间,一般情况下将轧辊的入口锥设计成两段,第一段的角度在 $1\sim 30$ 之间,为的是保证管坯的咬入,第二段的角度在 $3\sim 60$ 之间,为的是防止形成孔隙。

轧辊的出口锥角在 $3\sim 40$ 之间,这取决于管坯的扩径量,扩径量越大,角度越大。

#### 4.6.1.2 轧辊的入口锥和出口锥长?

确定轧辊入口锥和出口锥的长度首先为了校核轧辊的长度是否满足毛管咬入和扩径的要求,其次为在生产中合理使用轧辊。

轧辊入口锥长的计算公式为:

$$L_e = \frac{DB - E}{2 \cdot \tan(\alpha_e)}$$

轧辊出口锥长的计算公式为:

$$L_a = \frac{DH - E}{2 \cdot \tan(\alpha_a)}$$

注: DB—管坯直径;

E—轧辊距离;

DR—毛管直径;

$\alpha_e$ —轧辊入口锥段的空间角,可以近似等于轧辊入口锥角;

$\alpha_a$ —轧辊出口锥段的空间角,可以近似等于轧辊出口锥角。

## 4.6.2 导盘

导盘的作用是封闭孔型。导盘设计要素主要有:接触弧半径和厚度。见图 4-7。

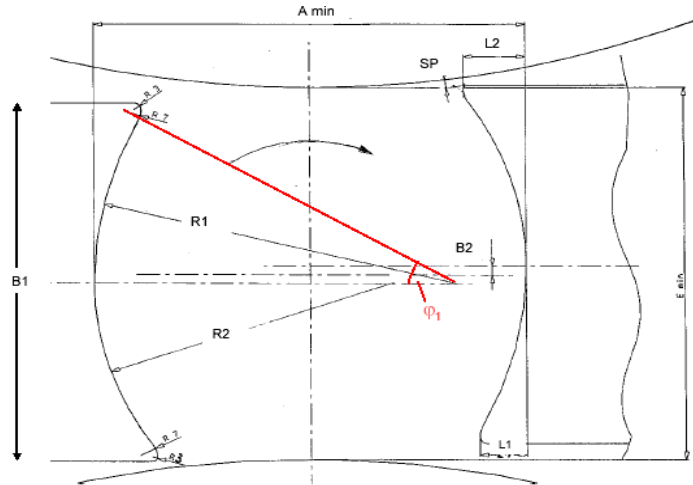


图 4-7

#### 4.6.2.1 导盘的轮廓

导盘的轮廓是由一般有两个半径入口半径  $R_2$ 、出口半径  $R_1$  组成, 根据经验我们可以确定其值的大小:

$$\text{入口半径: } R_2 = (0.66 \sim 0.70) * DB$$

$$\text{出口半径: } R_1 = (0.8 \sim 0.87) * DB$$

#### 4.6.2.2 导盘厚度

到盘厚度由最小轧辊距离和导盘与轧辊的最小间隙决定。大小为:

$$B = (0.8 \sim 1.0) * DB$$

注:  $DB$ —管坯直径

#### 4.6.3 导板

导板的设计原则是: 一种管坯需要设计一种导板, 如果是用一种管坯生产不同尺寸的毛管, 可以只设计一种导板。

导板的纵剖面形状应与轧辊辊形相对应, 也有入口锥、压缩带和出口锥组成。导板入口锥主要起到引导管坯的作用, 使管坯中心线对准穿孔中心线。当管坯与上、下导板接触时, 它起着限制管坯椭圆度的作用。限制椭圆度是为了避免过早形成孔隙, 同时促进金属的纵向延伸。导板的出口锥起限制毛管横变形, 并控制毛管轧后外径的作用。

压缩带是过渡带, 它不在导板的中间, 而是向入口方向移动, 移动值一般在  $20 \sim 30\text{mm}$ , 也有到  $50\text{mm}$  的。移动的目的是: 可以减小管坯在顶头上开始碾轧时的椭圆度和减小导板的轴向阻力, 提高穿孔速度。

导板的入口锥角一般等于轧辊入口锥角或比轧辊入口锥角大  $10 \sim 20$ , 出口锥角一般等于轧辊的出口锥角或比轧辊的出口锥角小  $0.50 \sim 10$ 。

导板的横断面形状是个圆弧形凹槽, 这是为了便于管坯和毛管旋转。凹槽的圆弧可做成单半径或双半径的。

导板的长度由变形区长度决定, 压缩带宽度一般为  $10 \sim 20\text{mm}$ 。

导板的厚度根据轧辊距离来确定, 以薄壁毛管为设计对象。适应薄壁管的导板一定适应

厚壁管的生产。

#### 4.6.4 顶头

顶头的种类按冷却方式来分,有内水冷、内外水冷、不水冷顶头(穿孔过程和待轧时间内都不冷却,主要指生产合金钢用的钼基顶头):

按顶头和顶杆的连接方式来分,有自由连接和用连接头连接顶头。

按水冷内孔来分,有阶梯形、锥形和弧形内孔顶头。内孔与外表面之间的壁厚有等壁和不等壁两种。

按顶头材质分,有碳钢、合金钢和钼基顶头。

从扩径段分:有2段式、3段式、4段式。扩径率小于20%用2段式顶头,大于20%用3或4段式顶头。

为延长顶头的使用寿命,应通过加强冷却水的压力来提高顶头在孔型中顶头的冷却,尤其是顶头的前部。使用内水冷主要是为了降低顶头内部温度,应尽可能降到最低水平,冷却水压应保证在10~15 bar。

影响顶头寿命的因素:

管坯材质,合金含量越高,变形抗力越大,顶头寿命越低;

顶头化分和热处理工艺,热处理工艺决定顶头寿命。

穿孔时间和管坯长度,穿孔时间越长,顶头温度越高,顶头越容易变形和损坏。

顶头在穿孔过程中,顶头承受着交变热应力、摩擦力及机械力的作用,力的大小影响顶头的寿命。顶头过分磨损会划伤毛管内表面,粘钢后产生内折。

顶头一般是轧制的、锻造的或者是铸钢的。搬运顶头时应保护表面的氧化层,避免脱落,否则影响使用寿命。

更换标准是:

顶头头部磨损,磨损带长度超过5mm,破损面积超过30cm<sup>2</sup>。

穿孔段出现裂纹;裂纹长度超过60mm,宽度在1.0mm左右。

粘钢,有粘钢就该更换。

报废的顶头原则上不能重复使用,若重车,需要再次热处理。

##### 4.6.4.1 计算过程:

下面以2段式顶头举例说明设计过程,设计的前提是必须已知轧辊的尺寸和管坯直径、毛管直径、毛管壁厚及咬入角。

——确定轧制带处(HP)的辊距(E)

辊距(E)的大小取决于:

材料的钢级

~管坯的直径

毛管壁厚

下面是一些常见钢中的辊距值(E)

碳钢:  $E = 0.84 \text{ to } 0.9 * DB = 84 \text{ to } 90 \%$ , usual 86 – 89 %

低合金钢:  $E = 85 \sim 90 \%$ , 87 ~ 90 %

高合金钢  $E = 88 \sim 91 \%$ , 88 ~ 90 %

确定轧辊的入口长度( $L_e$ )和出口长度( $L_a$ ),计算它们是为了验证其长度是否超过

轧机的设计长度，公式见前面轧辊设计部分。如果计算的结果是入口长度（Le）或出口长度（La）比轧辊现有的相应部分大的话就得加大轧辊间距(E)或者增加入口锥角和出口锥角

——确定顶头直径（Dd）

$$Dd = DH - 2 * SH - CH$$

$$CH_{CTP} = 1,5 * CH$$

——毛管与顶头的间隙值（CH），目前仍以经验值或经验公式为主

$$CH = (0,09 + 0,076 * DB) - (0,007 + 0,0013 * DB) * SH$$

——确定顶头平滑段的长度（LGT2）

平滑段的作用是均匀壁厚的偏差，长度至少要保证毛管能够转一周并加上保险系数。即

$$LGT2 = SF * \pi * \frac{DH}{2} * \tan \gamma$$

$SF$  —平滑系数 1.2 ~2, 通常为 1.5  
 $\gamma$  --咬入角

LGT2 必须小于顶头过 HP 处的长度，否则的话减小系数值。平滑段的角度  $\beta_{GT2}$  近似等于轧辊的出口锥角

——确定顶头穿孔段末端的直径（DR）

$$DR = DD - 2 * LGT2 * \tan \beta_{GT2}$$

——计算顶头前伸量 Ld1

顶头前伸量的大小影响着穿孔的过程和毛管的质量.生产中应避免在顶头的前部形成空腔，这样有利于减轻毛管内表面的缺陷。但起决定性的影响内表面缺陷的因素有顶头前直径减径率和管坯接触顶头前转动的次数。换句话说，顶头前直径减径率的参考极限值如下：

碳钢  $\rho = 0.04 \text{ to } 0.1 * DB = 4 \text{ to } 10 \%, \text{ usual } 6 - 9 \%$

低合金钢  $\rho = 4 \text{ to } 8 \%, \text{ usual } 6 - 8 \%$

高合金钢  $\rho = 4 \text{ to } 7 \%, \text{ usual } 5 - 6,5 \%$

——自由段长度（GL），机关批从接触轧辊到顶头前的长度，必须保证管坯转一周。

$$GL = \pi * DB * \tan \gamma * GF$$

GF 1 to 1.5

如果轧辊之境与管坯直径的比值较大的话，GF 可以取值范围为 0.8 to 1

所以顶头位置（Ld1）为，

$$Ld1 = Le - GL$$

顶头前伸量的值至少要大于 40mm,系数 GF 通常影响顶头位置和 顶头前的压下量。

——确定顶头长度（Ld）

顶头再 HP 后长度 (Ld2) 计算公式如下:

$$LD2 = \frac{Dd + 2 * SH - E}{2 * \tan \alpha_A}$$

所以顶头长 (Ld) 为

$$Ld = Ld1 + Ld2$$

—— 确定顶头鼻部的直径 (F)

一般情况下  $F = 0.25 \text{ to } 0.30 * Dd$  ( $Dd < 80 \text{ mm}$ )

$F = 0.18 \text{ to } 0.25 * Dd$  (大顶头) 但不能小于 16 毫米

—— 确定顶头圆弧半径 (Rd) , 公式如下:

其中圆弧段的长度的求法是:

$$LR = Ld - LGT2$$

圆弧半径为:

$$Rd = \frac{LR^2 + \left(\frac{DR - F}{2}\right)^2}{2 * \left(\frac{DR - F}{2} * \cos \beta_{GT2} - LR * \sin \beta_{GT2}\right)}$$

圆弧半径值 (Rd) 的范围在 300~900 mm 之间. 2 段式顶头的圆弧半径值不要取上限值。

#### 4.6.4.2 顶头计算过程 (2 段式顶头)

—— 给定

$$DB = 200 \text{ mm} \quad \alpha_{e_{av.}} = 3,0^\circ$$

$$DH = 222 \text{ mm} \quad \alpha_{a_{av.}} = 3,2^\circ = \beta_{GT2}$$

$$SH = 20 \text{ mm} \quad \gamma = 12^\circ$$

—— 计算

辊距

E 177,2 mm (选择直径压下率为 88.6 % of DB, 见附表 1 )

入口锥长度

$$Le = \frac{DB - E}{2 * \tan \alpha_{e_{av.}}} = \frac{200 - 177,2}{2 * \tan 3,0}$$

$$Le = 217,2 \text{ mm}$$

出口锥长度

$$La = \frac{DH - E}{2 * \tan \alpha_a} = \frac{222 - 177,2}{2 * \tan 3,2}$$

$$La = 400,7 \text{ mm}$$

顶头与毛管的间隙

Clearance:

CH 10 mm (见附表 2) 桶形棍——CH

$$CH_{CTP} = 1,7 * CH = 17 \text{ mm} \quad (\text{锥形辊取值比桶形辊大})$$

$$Dd = DH - 2 * SH - CH = 222 - 2 * 20 - 17$$

$$Dd = 165 \text{ mm}$$

平滑段长度

$$SF = 1,6$$

$$LGT2 = SF * \pi * \frac{DH}{2} * \tan \gamma = 1,6 * \pi * \frac{222}{2} * \tan 12$$

$$LGT2 = 118,6 \text{ mm}$$

故取  $LGT2 = 120 \text{ mm}$

确定平滑段开始处的直径

$$\beta_{GT2} = \alpha_a$$

$$\beta_{GT2} = 3,2^\circ$$

$$DR = Dd - 2 * LGT2 * \tan(\beta_{GT2}) = 165 - 2 * 120 * \tan 3,2$$

$$DR = 151,6 \text{ mm}$$

自由工作段长度 (咬入段)

选择 GF 1.05

$$GL = \pi * DB * \tan \gamma * GF = \pi * 200 * \tan 12 * 1,05$$

$$GL = 140,2 \text{ mm}$$

顶头前伸量

$$Ld1 = Le - GL = 217,5 - 140,2$$

$$Ld1 = 77,3 \text{ mm}$$

顶头在 HP 点后的长度

$$Ld2 = \frac{Dd + 2 * SH - E}{2 * \tan \alpha_a} = \frac{165 + 2 * 20 - 177,2}{2 * \tan 3,2}$$

$$Ld2 = 248,6 \text{ mm}$$

顶头长

$$Ld = Ld1 + Ld2 = 77,3 + 248,6$$

$$Ld = 325,9 \text{ mm}$$

核查顶头前伸量  $\rho$

$$\rho_{act.} = \frac{DB - (E + 2 * Ld1 * \tan \alpha_e)}{DB} = \frac{200 - (177,2 + 2 * 82 * \tan 3)}{200} * 100$$

$$\rho_{act.} = 7,1 \%$$

核查实际的咬入系数

$$F = 0,2 * 165$$

$$F = 33 \text{ mm}$$

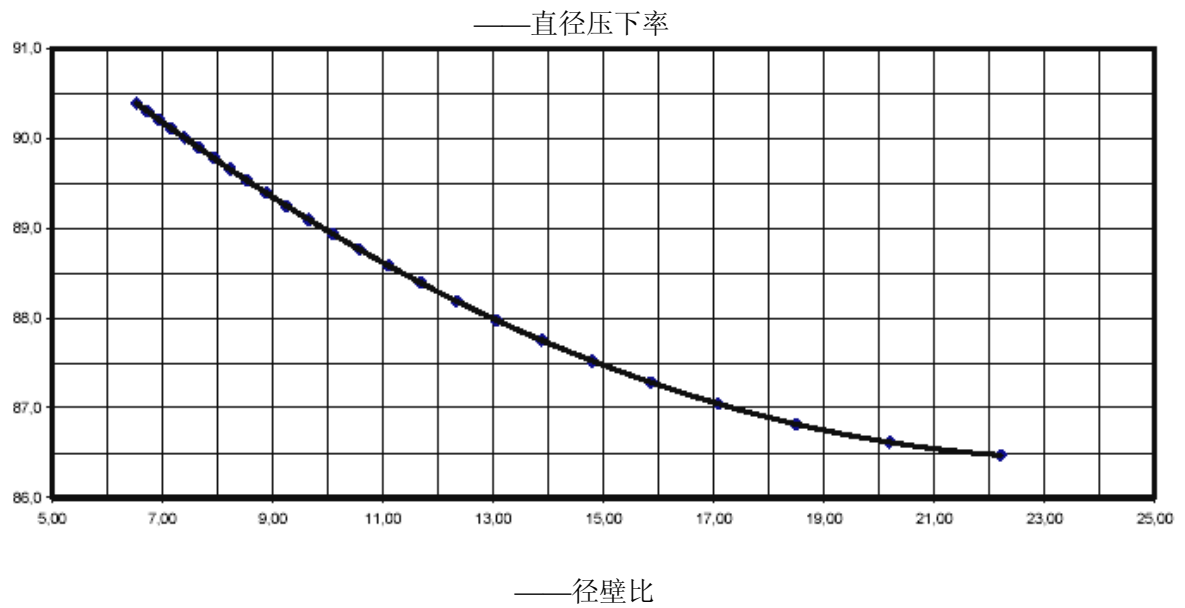
$$LR = Ld - LGT2 = 330 - 120$$

$$LR = 210 \text{ mm}$$

$$Rd = \frac{LR^2 + \left(\frac{DR-F}{2}\right)^2}{2 * \left(\frac{DR-F}{2} * \cos \beta_{GT2} - LR * \sin \beta_{GT2}\right)} = \frac{210^2 + \left(\frac{151,6-33}{2}\right)^2}{2 * \left(\frac{151,6-33}{2} * \cos 3,2 - 210 * \sin 3,2\right)}$$

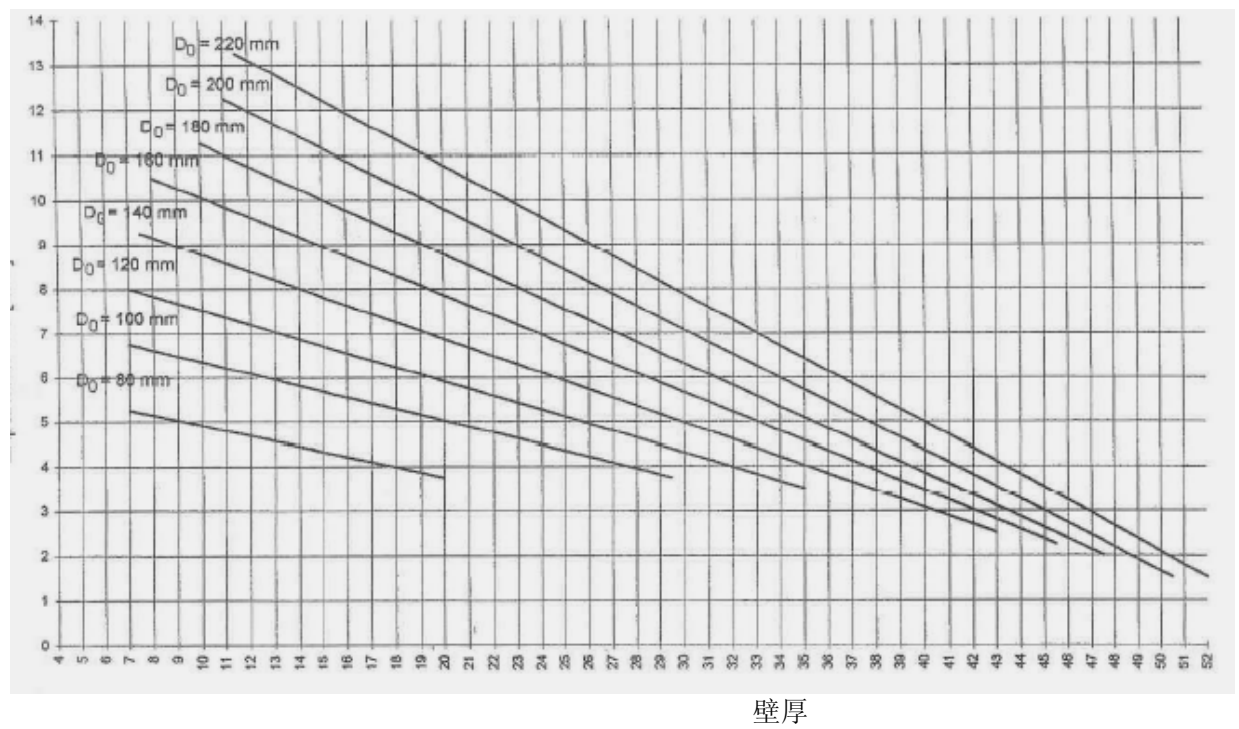
$$Rd = 501,4 \text{ mm}$$

附表 1:



附表 2:

CH



## 4.7 穿孔机调整参数确定

现代的穿孔机在整个机组中承担的变形量愈来愈大。表示穿孔变形的参数有：直径扩径率、延伸系数、轧制带处的压下量、顶头前压下量。

### 直径扩径率

一般在3~40%的范围内，锥形辊穿孔机的扩径率明显高于桶形辊穿孔机。扩径率大，容易产生内外表面缺陷或恶化壁厚不均，因此最好采用等径或小扩径穿孔。图4-8显示锥形辊与桶形辊扩径值的比较。

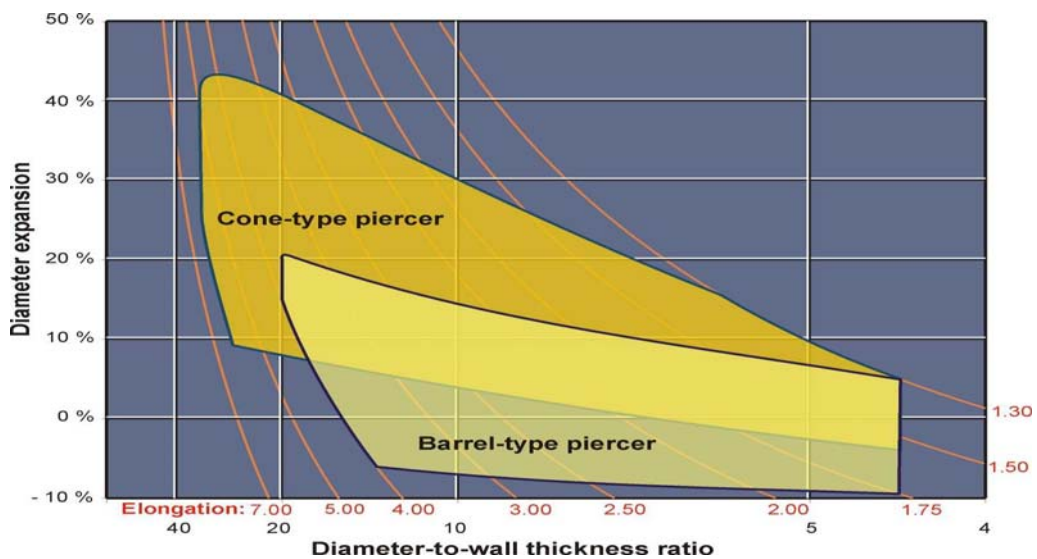


图4-8 扩径值比较

### 延伸系数

延伸系数大意味着毛管壁厚薄。管坯直径愈大，在同一壁厚下，延伸系数愈大。随着锥形辊穿孔机的广泛使用，以180机组为例，穿孔毛管的最小壁厚可以达到8mm。

### 轧制带处的压下量

它表示管坯直径在轧制带处的变化量，取值范围在9~12%，穿孔薄壁管取大值，厚壁管取小值。

它表示管坯直径从一次咬入点到二次咬入点的变化量，它的大小决定管坯的二次咬入效果，过大又容易形成钢管内折缺陷。

穿孔机主要的调整参数有轧辊距离、顶头前伸量、导板（导盘）距离、前进角的大小和轧辊转速（导盘速度）。

调整的基本原则是毛管几何尺寸满足轧管机组的要求，壁厚均匀且内外表面良好。

调整的方法可以参考下表（表中没有涉及到前进角的调整）：

原因	辊距	导距	顶前量
壁厚稍微厚	减小	—	—
壁厚稍微薄	增加	—	—
壁厚太厚	减小	—	增加
壁厚太薄	增加	—	减小
外径太大	增加	— (减小)	增加
外径太小	减小	— (增加)	减小
外径稍微大	—	减小	—
外径稍微小	—	增加	—
外径、壁厚都太大	— (增加或减小)	—	多增加
外径、壁厚都太小	— (增加或减小)	—	多减小
外径太大、壁厚太小	多增加	—	(增加)
外径太小、壁厚太大	多减小	—	(减小)

如何确定轧辊距离？

轧辊距离指的是两个轧辊的轧制带之间的距离，它是重要的调整参数之一。确定轧辊距离（E）的前提条件是应明确：

- 管坯材质
- 管坯直径
- 毛管壁厚

下列数据为标准数据：

碳钢： $E = (0.84 \sim 0.90) * DB$  通常为  $(0.86 \sim 0.89) * DB$

低合金钢： $E = (0.85 \sim 0.90) * DB$  通常为  $(0.87 \sim 0.90) * DB$

高合金钢： $E = (0.88 \sim 0.91) * DB$  通常为  $(0.88 \sim 0.90) * DB$

一般情况下，厚壁管上限值为  $0.93 * DB$ ，薄壁管取下限。

如何确定导盘距离？

导盘距离与轧辊距离的比值决定着轧件在变形区中的椭圆度，而椭圆度又影响毛管质量、咬入条件、轴向滑移、穿孔速度、扩径量、轧卡及毛管尺寸控制等。特别是对毛管质量（穿孔合金钢管）影响更为明显，椭圆度越大，毛管内表面出现裂纹的可能性越大，过早形成空腔的可能性越大。

生产中，导盘距离总是大于轧辊距离，二者比值即椭圆度系数，一般在  $1.07 \sim 1.15$  之间，穿孔厚壁管和合金管时取小值。

确定导盘距离可按椭圆度系数推导：

$$A = (1.07 \sim 1.15) * E$$

注：A—导盘距离

E—轧辊距离

导盘调整主要指导盘的间距调整、高度调整和轴向调整。

导盘的间距调整，一般由电机、蜗轮蜗杆组成，驱动导盘装置的底座并配以消除间隙的平衡装置；

导盘的高度调整，因孔型封闭的要求，左右导盘的高度不同，调整的方式有垫片调整即

直接在刀盘下面加垫片和楔块调整调整即通过楔块并配以平衡装置。

导盘的轴向调整,这种方式不常用。因导盘在穿孔时的接触长度比导板短,为了减小毛管尾部的椭圆度,在穿孔机的设计阶段就将导盘的中心线向后移动一些距离。后移的距离使机组大小而定,一般在 30 毫米以内。

如何确定顶头前伸量?

顶头前伸量的测量方法是,将顶头 / 顶杆深入到轧辊之间,测量顶头头部到轧辊轧制带之间的距离。

确定顶头前伸量的步骤如下:

$$Ld1 = Le - X$$

$$Le = \frac{DB - E}{2 * \tan(\alpha_e)}$$

$$X = \pi * DB * \tan(\beta) * FE$$

注:  $Ld1$ —顶头前伸量

$Le$ —轧辊入口锥长

$\beta$ —前进角

$FE$ —系数,取值范围在 1~1.5 之间

顶头前伸量和轧辊距离有着密切的联系,顶头前伸量增加,顶头前压下量减小,相反顶头前伸量减小,顶头前压下量增加。

顶头前伸量调整在生产中有着重要意义。因为顶头前伸量的大小和毛管质量、咬入条件、轴向滑移、穿孔速度、轧卡以及毛管尺寸控制等都有关。

什么是扩展值? 如何确定顶头与毛管的间隙量?

毛管内径与顶头之差叫做扩展值,计算扩展值是选择顶头直径的重要依据,不同壁厚毛管的扩展值是不同的,不同形式的穿孔机扩展值变化的规律也不一样。影响扩展值的因素还有: 变形区椭圆度、穿孔温度、钢种等。

扩展值用  $CH$  表示,大小为:

$$CH = DH - 2 * SH - Dd$$

使用锥形辊穿孔机的扩展值  $CH$  值与桶形辊穿孔机的扩展值  $CH$  关系是:

$$CH_{ctp} = 1.5 * CH$$

$CH$  的经验值计算方法是:

$$CH = (0.09 + 0.076 * DB) - (0.007 + 0.0013 * DB) * SH$$

注:  $DB$ —毛管外径

$SH$ —毛管壁厚

$Dd$ —顶头直径

如何计算穿孔的轧制时间?

穿孔的轧制时间的多少往往表示一个机组的能力大小,斜轧穿孔机的工作时间由下面公式计算:

$$T = \frac{L_0 + L_1}{\frac{\pi * Dw * n}{60} * \eta_s * \sin \gamma}$$

式中  $Dw$ —轧辊的工作直径;

L1—变形区长—；  
 L0—毛管长；  
 n—轧辊转速；  
 $\eta_0$ —轴向滑移系数；  
 $\beta$ —前进角（轧辊倾角）

如何选择轧辊的前进角？

前进角及轧辊轴线与轧制线在水平面内的夹角。选择的范围在 8~150 之间，常用的角度为 10~120。前进角的选择影响以下几方面：

前进角越大，毛管的出口速度越大，轧制时间相应减少，可以提高机组的节奏，还可以降低工具消耗；

前进角越小，管坯咬入条件越好，原因是管坯与轧辊的接触面积增大，摩擦力增大的缘故。

前进角的大小决定轧制力的大小，角度越大，轧机负载越大。若在一个轧辊上使用不同直径的管坯（不同孔型），角度随管坯直径增加而减小。

## 4.8 其他穿孔方法

管坯的穿孔方式有压力穿孔，推轧穿孔和斜轧穿孔。

### 4.8.1 压力穿孔

压力穿孔是在压力机上穿孔，这种穿孔方式所用的原料是方坯和多边形钢锭。工作原理是首先将加热好的方坯或钢锭装入圆形模中（此圆形模带有很小的锥度），然后压力机驱动带有冲头的冲杆将管坯中心冲出一个圆孔。这种穿孔方式变形量很小，一般中心被冲挤开的金属正好填满方坯和圆形模的间隙，从而得到几乎无延伸的圆形毛管，延伸系数最大不超过 1.1。

### 4.8.2 推轧穿孔

推轧穿孔是在推轧穿孔机上穿孔，这种穿孔方式是压力穿孔的改进。把固定的圆锥形模改成带圆孔型的一对轧辊。这对轧辊由电机带动方向旋转（两个轧辊的旋转方向相反），旋转着的轧辊将管坯咬入轧辊的孔型，而固定在孔型中的冲头便将管坯中心冲出一个圆孔。为了便于实现轧制，在坯料的尾端加上一个后推力（液压缸），因此，叫做推轧穿孔。

这种穿孔方式使用方坯，传出的毛管较短，变形量很小，延伸系数一般不大于 1.1。

推轧穿孔的优点如下：

坯料中心处于全应力状态，过程是冲孔和纵轧相结合，不会产生二辊斜轧的内折缺陷，毛管内表面质量好，对坯料质量要求较低；

冲头上的平均单位压力比压力穿孔小 50% 左右，因而工具消耗较小；

穿孔过程中主要是坯料的中心部分金属变形，使中心粗大而疏松的组织很好的加工而致密化，同时在压应力作用下，毛管内外表面不易产生裂纹。

生产率比压力穿孔高，可达每分钟两支；

以上两种穿孔多生产特殊钢种的无缝钢管，现存的机组很少，因变形量很小，毛管短且厚，因而在热轧无缝钢管机组中要设置斜轧延伸机，将毛管的外径和壁厚减小并使管子延长。

另外容易产生较大的壁厚不均。

### 4.8.3 斜轧穿孔

这种穿孔方式被广泛的应用于无缝钢管生产中，一般使用圆管坯，靠金属的塑性变形加工来形成内孔，因而没有金属的损耗。

斜轧穿孔机的分类

斜轧穿孔机按照轧辊的形状可分为锥形辊穿孔机、盘式穿孔机和桶形辊穿孔机。按照轧辊的数目分又可分为二辊斜轧穿孔机和三辊斜轧穿孔机。

锥形辊穿孔机、桶形辊穿孔机 是当今广泛使用的主要机组，锥形辊穿孔机的历史较短，具有更多优点。比较如下：

桶形辊穿孔机的轧辊可以上下和左右布置，而锥形辊穿孔机的轧辊只能上下布置；

桶形辊穿孔机的轧辊由两个锥形组成，锥形辊穿孔机的轧辊由一个锥形组成；

桶形辊穿孔机的轧件速度变化为小一大一小，锥形辊穿孔机的轧件速度随轧辊直径的增加从小逐步增大；

毛管在孔型中的宽展，锥形辊穿孔机要小些，更有利金属轴向延伸变形,附加变形小,毛管内表面质量好，壁厚精度较桶形辊穿孔机高；

锥形辊穿孔机的延伸系数比桶形辊穿孔机大，更适合穿孔薄壁毛管，使得轧管机组的机架数目可以减少；

斜轧穿孔机不管轧辊的形状如何不同，为了保证管坯曳入和穿孔过程的实现，都由以下三部分组成：穿孔锥（轧辊入口锥），辗轧锥（轧辊出口锥）和轧辊压缩带——由入口锥到出口锥之过渡部分。

二辊式穿孔机和三辊式穿孔机的特点？

二辊式穿孔机主要有带导辊的穿孔机、带导板的穿孔机和带导盘的穿孔机，带导辊的穿孔机一般不常用，只用于穿孔软而粘的有色金属，如铜管、钛管等。带导板的穿孔机具有孔型封闭好、接触变形区长、穿出的毛管壁厚可以更薄的特点而仍然得到重视；带导盘的穿孔机越来越得到发展，它的特点是：

生产率高，这是由于主动导盘对轧件产生轴向拉力作用，导致毛管轴向速度增加。最快可以达到3~4支/分；

由于导盘的轴向力作用，使管坯咬入容易一些，减少了形成管端内折的可能性，也可以提高壁厚的精度；

导盘比导板有较高的耐磨性，从而减少了换工具的时间并提高了工具寿命；

三辊式穿孔机的特点是：

由于三个辊呈等边三角形布置，因而在变形中管坯横断面的椭圆度小；

由于三个辊都是驱动的，仅存在顶头上的轴向力，因而穿孔速度较快，但顶头上的轴向阻力比二辊式大；

在轧制实心管坯时，由于管坯始终受到三个方向的压缩，加上椭圆度小，一般在管坯中心不会产生破裂，即形成孔隙，从而保证了毛管内表面质量。这种变形方式更适合穿孔高合金钢管。三个轧辊穿孔时坯料和顶头容易保证对中，因此毛管几何尺寸精度高，即毛管横断面壁厚偏差小。

因穿孔薄壁毛管时容易形成尾三角，使毛管尾端卡在轧辊辊缝中，更适合穿孔中厚壁毛管。

## 4.9 力能参数的计算

### 4.9.1 轧制力

计算总轧制压力，首先要确定接触面积。

#### 4.9.1.1 变形区长度的确定

变形区的长度是入口断面到出口断面的距离。如图 4-9 所示。考虑送进角  $\alpha$  时，变形区长度按 4.1 式计算[11]。

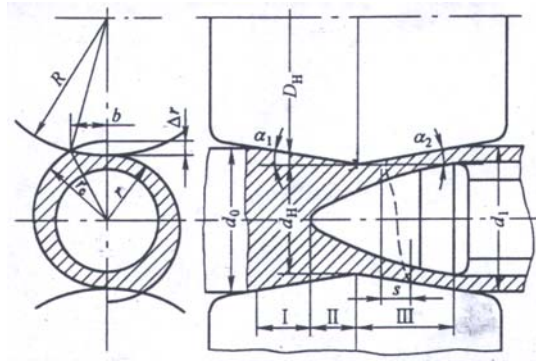


图 4-9 穿孔时的变形区图示

$$l = l_1 + l_2 = \left( \frac{d_p - d_H}{2 \operatorname{tg} \alpha_1} \right) \cos \alpha + \left( \frac{d_m - d_H}{2 \operatorname{tg} \alpha_2} \right) \cos \alpha \quad (4.1)$$

其中： $d_p$  ——入口断面上的管坯直径， $mm$ ；  
 $d_m$  ——出口断面上的毛管直径， $mm$ ；  
 $d_H$  ——轧辊之间的最小距离， $mm$ ；  
 $\alpha_1$  ——轧辊的入口锥母线倾角，度  
 $\alpha_2$  ——轧辊的出口锥母线倾角，度  
 $\alpha$  ——送进角，度。

#### 4.9.1.2 接触面宽度的确定

在斜轧穿孔时，沿变形区长度，接触表面的宽度是变化的。任一断面的接触宽度  $b$  [12]，如图 4-10 所示。

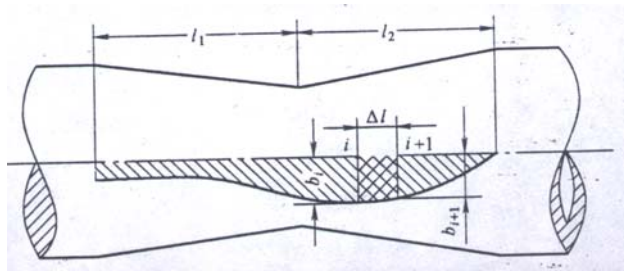


图 4-10 穿孔时的接触面积

$$b = \sqrt{\frac{\Delta r d + 2\Delta r^2}{1 + \frac{d}{D} + 2\frac{\Delta r}{D}}} \quad (4.2)$$

式中： $D$ ——该断面上的轧辊直径；

$d$ ——该断面上的坯料直径；

$\Delta r$ ——径向压下量；

上式中的径向压下量  $\Delta r$ ，根据图 4-1。对各个区域分别按下列公式计算。

对于区域 I， $\Delta r$  表示坯料在  $k$  转中两相邻断面半径之差

$$\Delta r = s \tan \alpha_1 \quad (4.3)$$

对于区域 II， $\Delta r$  表示坯料在  $k$  转中两相邻断面壁厚之差

$$\Delta r = s(\tan \alpha_1 + \tan \gamma) \quad (4.4)$$

对于区域 III，

$$\Delta r = s(\tan \gamma - \tan \alpha_2) \quad (4.5)$$

式中： $\gamma$ ——顶头锥体的母线的倾斜角；

$s$ ——螺距。

$$s = \pi \frac{\eta_0 F_1 d_1}{\eta_t F K} \tan \alpha \quad (4.6)$$

式中： $F_1$ ——金属在出口断面上的面积；

$F$ ——金属在所研究断面上的面积；

$d_1$ ——管坯在出口断面上的直径；

$\eta_t$ ——出口断面的切向滑动系数， $\eta_t \approx 1$ ；

$\eta_0$ ——轴向滑动系数；

$$\eta_0 = 0.68 \left( \ln \alpha + 0.05 \frac{d_0}{d_p} \varepsilon_0 \right) f \sqrt{k} \quad (4.7)$$

式中： $d_0$ ——管坯的外径，mm；

$d_p$ ——顶头的外径，mm；

$f$ ——摩擦系数；

$\alpha$ ——送进角；

$\varepsilon_0$ ——顶头前坯料的径向压下量，%；

轧制过程中产生大的滑动是不利的，它会使生产率降低，工具磨损加快，能量消耗增加，

轧件质量恶化。因此，合理的设计应使滑动系数尽可能增大。

由式(4.6)可见，螺距是变化的，其值随轧件进入变形区坯料横断面面积的减小而增大。

接触面积为

$$F = \sum \frac{b_i + b_{i+1}}{2} \Delta l \quad (4.8)$$

式中： $b_i$ 、 $b_{i+1}$ ——在分点*i*及*i+1*上的接触宽度；  
 $\Delta l$ ——分点*i*及*i+1*间的距离。

#### 4.9.1.3 平均单位压力 $\bar{p}$ 的计算

$$\bar{p} = v n_{\sigma}^{\prime} n_{\sigma}^{\prime\prime} n_{\sigma}^{\prime\prime\prime} \sigma_s \quad (4.9)$$

式中： $v$ ——中间主应力影响系数（取 $v=1.15$ ）；  
 $n_{\sigma}^{\prime}$ ——外摩擦及变形区几何参数影响系数（取 $n_{\sigma}^{\prime}=1$ ）；  
 $n_{\sigma}^{\prime\prime}$ ——外端影响系数；  
 $n_{\sigma}^{\prime\prime\prime}$ ——张力影响系数（取 $n_{\sigma}^{\prime\prime\prime}=1$ ）；  
 $\sigma_s$ ——一定的变形温度、变形速度及变形程度金属的变形抗力， $MPa$ ；

##### 1 外端影响的应力状态系数 $n_{\sigma}^{\prime\prime}$ 的计算

入口锥侧变形区：

$$n_{\sigma 1}^{\prime\prime} = 1.5 (1 - 2.7\varepsilon^2) \quad (4.10)$$

$\varepsilon$ ——孔喉处的相对压下率；

$$\varepsilon = (d_p - d_H) / d_p \quad (4.11)$$

出口锥侧变形区：

$$n_{\sigma 2}^{\prime\prime} = 0.75 n_{\sigma 1}^{\prime\prime} \quad (4.12)$$

##### 2 入口锥侧变形区平均单位压力

$$p_1 = 1.15 \times 1.5 (1 - 2.7\varepsilon^2) \sigma_s \quad (4.13)$$

式中： $\sigma_s$ ——不同变形温度、变形速度及变形程度时，沿入口锥长度的平均变形抗力；

##### 3 出口锥侧变形区平均单位压力

$$p_2 = \frac{4}{3} p_1 \quad (4.14)$$

##### 4 平均单位压力

$$\bar{p} = \frac{7}{6} p_1 \quad (4.15)$$

##### 5 变形抗力 $\sigma_s$ 的确定

变形抗力的确定首先是计算穿孔时的变形温度，变形速度和变形程度数值，然后根据该钢种的实测变形抗力曲线，确定该变形条件下的变形抗力。确定入口锥的平均变形阻力：

1) 变形温度：根据已有现场实测参考数值在 1180℃~1240℃

2) 变形程度：

在斜轧穿孔入口锥碾轧实心坯的区域，变形程度为：

$$\varepsilon = \frac{2\Delta r}{d_x} \quad (4.16)$$

在斜轧穿孔出口锥碾轧毛管的区域，变形程度为：

$$\varepsilon = \frac{\Delta r}{S + \Delta r} \quad (4.17)$$

式中： $\Delta r$ ——该截面的径向压下量；

$S$ ——该截面毛管壁厚；

$\Delta r = z_x (\tan \alpha_1)$ ；

$z_x$ ——单位螺矩；

$\alpha_1$ ——入口锥辊面锥角；

$d_x$ ——该截面轧件直径；

$$Z_x = \frac{1}{2} \pi \xi_x d_x \frac{\eta_x}{\eta_y} \tan \alpha \quad (4.18)$$

式中： $\xi_x$ ——椭圆度系数；

$\eta_x$ ——轴向滑动系数，查图表可得；

$\eta_y$ ——切向滑动系数，近似为 1；

$\alpha$ ——送进角。

3) 变形速度：

在斜轧穿孔入口锥碾轧实心坯的区域，任一断面的沿接触弧的平均变形速度：

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v_t}{R^2 \omega_0} \frac{\Delta r}{1+m} \quad (4.19)$$

在斜轧穿孔出口锥碾轧毛管的区域，任一断面的沿接触弧的平均变形速度：

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v_t}{\omega_0 (R+r)} \left[ \frac{\Delta r}{R} + \left( \frac{r_p}{R} + 1 \right) \ln \left( \frac{r + \Delta r - r_p}{r - r_p} \right) \right] \quad (4.20)$$

其中：

$$m = \frac{r}{R} \quad (4.21)$$

$$\omega_0 = \arcsin \frac{b}{R} \quad (\text{弧度}) \quad (4.22)$$

式中： $\omega_0$ ——毛管咬入点所对应轧辊中心角；

$R$ ——入口区管坯任一断面的轧辊半径；

$r$ ——入口区管坯任一断面的管坯半径；

$\Delta r$ ——径向压下量；

$v_t$ ——金属切向速度分量；  
 $r_p$ ——顶头半径；  
 $b$ ——轧辊和管坯接触宽度[13]；

$$b = \sqrt{\frac{2Rr_e\Delta r}{R+r_e}} + \frac{Rr}{R+r}(\xi - 1) \quad (4.23)$$

$r_e$ ——轧前管坯半径，即为

$$r_e = \frac{d_p}{2} ;$$

椭圆度

$$\xi = \frac{a_b}{d_h} ;$$

式中： $a_b$ ——导盘距离；  
 $d_h$ ——轧辊距离；

#### 4.9.1.4 轧制压力 P 的计算

$$P = \bar{p} \times F \quad (4.24)$$

#### 4.9.2 顶头轴向力的确定

确定斜轧穿孔时轴向力的大小对于生产有很重要的意义。轴向力即为作用在顶杆上的压力，轴向上的大小直接影响着顶杆强度及工作的稳定性。

顶头轴向力对轧辊所受的轴向力大小和轧制力矩的大小有直接影响。因此在设计中，为了计算轧辊止推轴承，电机功率，顶杆的弯曲强度和顶杆的止推轴承，都要求较准确的确定顶头轴向力的大小。如图 4-11 所示。

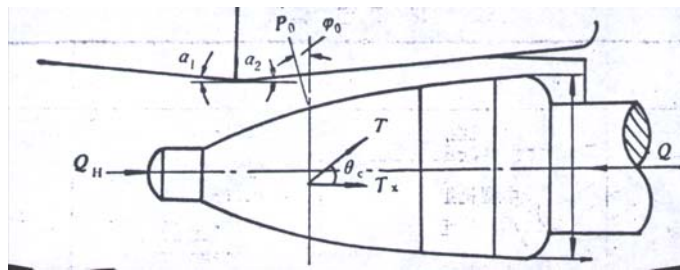


图 4-11 作用在顶头上的力

顶头的轴向力是由作用在顶头尖端上和主体上的两部分轴向力所组成。顶头主体是由头部、定径段和圆柱段组成。试验表明顶头尖端的轴向力只占顶头轴向力的 15%左右。因此，顶头上的轴向力主要由作用在主体上的力决定。主体上的轴向力与坯料每转的送进距离有关，送进距离越大，金属与工具接触面增大，作用在顶头上的轴向力就增大。

送进角愈大，送进距离也愈大，轴向速度增加，同时由于轧制压力的增加，其轴向分力也增加，所有这些因素都使顶头所受的轴向力有较大的增长。

穿孔过程中与顶头有关的重要力能参数指标有两个：一个是顶头对金属的轴向力，这个力越大，顶杆产生的弯曲也越大，这样导致毛管壁厚不均匀增加；另外一个指标是顶头的轴向力与轧辊上所受的总压力的比值  $Q/P$ ，这个比值越小，金属对轧辊的轴向滑动就越小，因而越有利于穿孔过程的力能条件。

顶头轴向力的确定用理论方法计算是很复杂的。根据顶头受力的平衡条件而求出的轴向力解析计算公式十分庞大，式中的各分力很难正确算出，因此在实际中无法应用。

作用在顶头轴向上的力基本公式计算为[12]：

$$Q = Q_H + 2P_0(\sin \varphi_0 + f \cos \varphi_0 \cos \theta_c) \quad (4.25)$$

式中： $Q, Q_H$  ——作用在顶头上和作用在顶头鼻部上的轴向力；

$P_0$  ——作用在顶头上的正压力；

$\varphi_0$  ——顶头母线的倾斜角；

$\theta_c$  ——倾斜角。

目前在设计时广为应用的办法是根据实际测定的  $Q/P$  比值来确定。 $Q/P$  比值的范围在 27%~44% 内，故推荐经验公式：

$$Q = (0.35 \sim 0.50) P \quad (4.26)$$

我们这里暂定为  $Q = 0.35 P$ 。

### 4.9.3 斜轧力矩计算

#### 4.9.3.1 转动轧辊所需的力矩

当没有顶头的情况下如图 4-12 所示，即轧件在前进方向没有受到轴向阻力时：

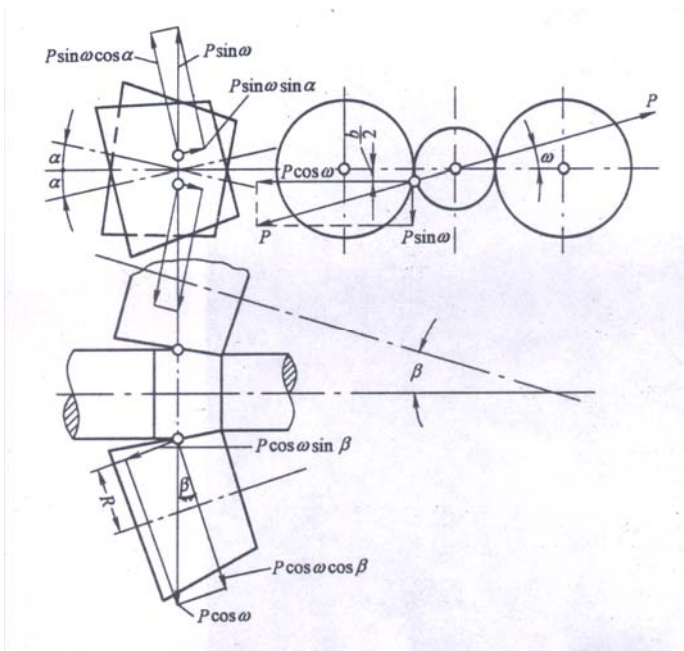


图 4-12 在没有顶头作用下斜轧的受力分析

$$M_z = P \left( R \sin \omega \cos \alpha + \frac{b}{2} \cos \omega \right) \quad (4.27)$$

$\omega$ 角——由下式确定：

$$\tan \omega = \frac{b}{d_x} \quad (4.28)$$

式中： $b$ ——轧辊与轧件平均接触宽度；  
 $d_x$ ——轧制力作用面内的坯料直径；  
 $R$ ——合压力作用面上轧辊半径；  
 $\alpha$ ——送进角。

当有顶头时如图 4-13 所示，在前进方向受到顶头的轴向阻力（ $Q$ ），这时传动轧辊所需总轧制力矩为：

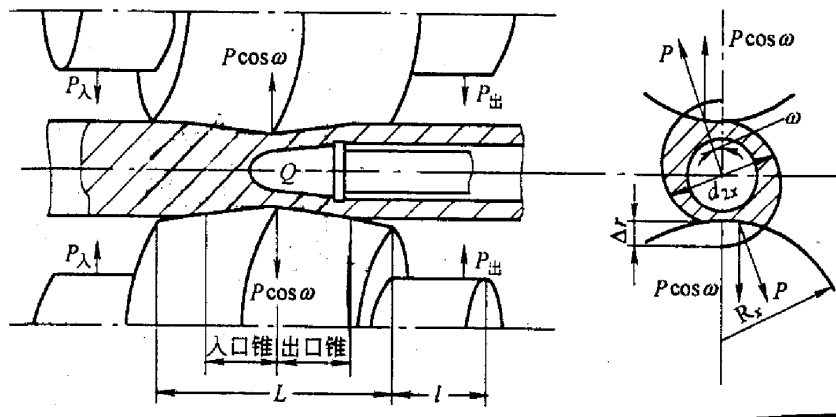


图 4-13 二辊穿孔机轧辊受力分析

$$M_z = P \left( R \sin \omega \cos \alpha + \frac{b}{2} \cos \omega \right) + \frac{Q}{K} R \sin \alpha \quad (4.29)$$

式中： $K$ ——轧辊数目；  
 $Q$ ——顶头上的轴向力。

#### 4.9.3.2 电机所需力矩

电机所需力矩除了轧制力矩外，还有摩擦力矩，空转力矩，动力矩。这些力矩的计算方法与一般纵轧相同。

当不考虑动力矩时所需电机力矩：

$$M_{\text{电}} = \frac{k}{\eta_1 \eta_2} \left( \frac{M}{i} + \frac{M_m}{i} + M_k \right) \quad (4.30)$$

式中： $K$ ——轧辊数；  
 $M$ ——一个轧辊所需的轧制力矩；  
 $i$ ——减数箱传动比；  
 $M_m$ ——产生在轧辊轴承中的摩擦力矩。

由于传动扭矩是由穿孔主电机直接经主传动轴传至轧辊。所以减数箱传动比  $i = 1$ ;

$$M_m = Pf \frac{d_m}{2} \quad (4.31)$$

式中:  $f$  ——轧辊轴承中的摩擦系数, 滚珠轴承可取  $f = 0.004 \sim 0.006$ , 滑动轴承可取  $f = 0.08 \sim 0.1$ ;

$P$  ——轧制力;

$d_m$  ——轴承摩擦圆直径, 即为轧辊辊颈直径;

$\eta_1$  ——齿轮机座传动效率, 一般取  $0.92 \sim 0.95$ ;

$\eta_2$  ——接轴传动效率, 为  $0.99$ ;

$M_k$  ——空转力矩, 空载时传动轧机主机列所需的力矩, 它应等于所有转动机件空转力矩之和。一般可按经验方法确定如下:

$$M_k \approx 0.03M_H \quad (4.32)$$

$M_H$  ——电动机的额定转矩。

额定功率 = 3800kw      转速 = 62~110r/min

$$M_H = 9.55 \frac{P_h}{n} = 9.55 \times \frac{3800}{62} = 585.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (4.33)$$

$$M_k = 17.55 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### 4.9.3.3 电机功率的计算

根据已转换到电机轴上的总力矩  $M_{电}$ , 可求出电机功率:

$$N = 0.105 M_{电} n \quad (4.34)$$

式中:  $N$  ——电机功率, kw;

$M_{电}$  ——总力矩, kN·m;

$n$  ——电机转速, r/min。

#### 4.9.3.4 穿孔机轧制时间的确定

在电机校核中, 需要用到纯轧时间和间隙时间。

##### 1 纯轧时间的计算

斜轧的纯轧时间是指轧件通过变形区所需的时间——由管坯前端接触轧辊起到轧出的毛管尾端离开轧辊止的时间间隔。

$$T = \frac{l + L}{\eta_x \frac{\pi D_1 n_r}{60} \sin \alpha} \quad (4.35)$$

式中:  $l$  ——变形区长度;

$L$  ——毛管长度;

$T$  ——纯轧时间;

$\eta_x$  ——出口断面的轴向滑动系数;

$D_1$ ——出口断面上的轧辊直径;

$n_r$ ——轧辊的转速;

$\alpha$ ——送进角

由此可见,为提高轧机生产效率,缩短纯轧时间,可以通过提高轧辊转速和加大送进角来实现。虽然也可以通过加大轧辊直径和增加滑动系数使纯轧时间减少,但受到轧机结构和咬入条件的限制,后面的方法是不可取的。

## 2 间隙时间的确定

由实际情况确定。

## 4.10 穿孔机的设备组成

### 4.10.1 斜轧穿孔机的设备由哪几部分组成?

穿孔机设备由主传动、前台、机架和后台四大部分组成。主传动一般由主电机或主电机+变速箱组成。前台设备一般包括受料槽、导管和推钢机组成。机架中包括轧辊和导向设备(导盘或导板)。

后台设备主要包括定心辊、毛管回送辊道、顶杆小车、顶杆小车的止推座及将毛管从穿孔机组运送到轧辊机组的运输设备,常见的运输设备有传送链、回转臂和电动车。

### 4.10.2 主传动的方式及特点?

穿孔机的主传动电机可以使用直流电机或交流电机。直流电机一般通过传动轴直接与轧辊连接,而交流电机则通过减速机和传动轴与轧辊连接。

一个机组可以使用一个电机,即一个电机连接减速机,减速机输出两个输出轴。也可以两个电机串联后再接减速机单独驱动一个轧辊。

穿孔机使用的接轴有万向接轴和十字头接轴。十字头接轴具有良好的调节性能,无论在水平面和垂直平面内都可以产生相对的角度位移。

### 4.10.3 管坯定心机的组成结构?

定心方法有两种,即热定心和冷定心。热定心是用压缩空气或液压在热状态下冲孔。特点是生产效率高,设备简单,同时由于冲头形状与顶头鼻部形状相适应,能获得良好的定心孔形状。从近些年的发展来看,热定心工序有逐步被取消的趋势。

冷定心是在离线状态下在机床上钻孔,冷定心仅在高合金或重要用途钢管的生产中采用。

### 4.10.4 穿孔机机座(牌坊)有哪几部分组成?

穿孔机的机座大多由包括以下几部分:

转鼓,又称作轧辊箱。作用是放置轧辊,轧辊在转鼓内滑动或与转鼓紧固在一起。

轧辊倾角调整装置,常用的驱动设备是电机+蜗轮蜗杆+定位器(编码器),作用在转鼓上。一般放置的位置在牌坊的侧面。由于立式穿孔机的下转鼓在水平面以下,冷却水及氧化铁皮的长时间冲刷,工作环境恶劣,给电机的维护带来困难,用液压马达替代电机可以解决此问题。

#### 轧辊倾角调整的平衡装置

与轧辊倾角调整装置组合，消除穿孔过程中产生的间隙和冲击。根据转鼓的形状不同，安装的位置可以与倾角调整装置在一侧或另外一侧。常使用液压缸实现此功能。

#### 轧辊的平衡装置

作用是消除穿孔过程中对轧辊的瞬间冲击。

#### 机盖

机盖上一般安装轧辊间距的调整装置。

### 4.10.5 导盘调整方式有哪几种？

导盘调整主要指导盘的间距调整、高度调整和轴向调整。

导盘的间距调整，一般由电机、蜗轮蜗杆组成，驱动导盘装置的底座并配以消除间隙的平衡装置；

导盘的高度调整，因孔型封闭的要求，左右导盘的高度不同，调整的方式有垫片调整即直接在刀盘下面加垫片和楔块调整调整即通过楔块并配以平衡装置。

导盘的轴向调整，这种方式不常用。因导盘在穿孔时的接触长度比导板短，为了减小毛管尾部的椭圆度，在穿孔机的设计阶段就将导盘的中心线向后移动一些距离。后移的距离使机组大小而定，一般在 30 毫米以内。

### 4.10.6 三辊定心的作用和结构？

由于顶杆很长且直径较小，因此顶杆的刚度较差。为了增加顶杆刚度和防止顶杆在穿孔过程中的抖动，在穿孔机的后台设置定心辊装置。老式穿孔机因毛管较短，定心辊的数目一般为 3~4 架，随着毛管长度的增加现代的穿孔机定心辊数目为 6~7 架。

每一台定心辊装置有三个互为 120° 布置定心辊组成，即上定心辊和 2 个下定心辊。

在轧制过程中定心辊的另外作用是：

当毛管未接近定心辊时，三个定心棍将顶杆抱住，并随顶杆而转动。作用是使顶杆轴线始终保持在轧制线上，不至于因弯曲而产生甩动；

当毛管接近定心辊时，上下定心辊同时打开一定距离（小打开位置），使毛管进入三个定心辊之间，毛管就在三个定心辊中旋转前进，其导向的作用；

当一只毛管完全穿透之后，上定心辊向上抬起一个较大的距离（大打开位置），布置在定心辊之间的升降辊同时将毛管托住。定心辊的驱动最早是由气缸完成的，使用在小机组上。后来被液压缸代替。

定心辊小打开的间距需要根据毛管直径的变化而调整，调整距离指导行毛管时三个辊的距离，距离的大小为毛管直径加毛管跳动量，毛管的跳动量一般为 8~12 毫米左右，薄壁管可以取上限，厚壁管取下限。

小打开位置调整一般通过调整丝杠来限制液压缸的行程，最新型的液压缸缸体内带有位置检测装置，调整行程只需在调整终端上修改数值即可，具有简单、安全、快捷的优点。

第一架三辊定心辊的位置大多放置在机架以外，为了减小毛管头部的壁厚不均，最新的设计机组将第一架三辊定心辊伸入到机架内或者在机架内设立四辊或三辊式的定心装置。

### 4.10.7 顶杆的冷却形式有哪些？

顶杆的循环方式主要有两种。

一种为顶杆不循环，此种方式顶杆一般为内水冷式，而顶头为外水冷式，每穿孔一次更换一个顶头或者直到一个顶头损坏才更换；

另一种方式为顶杆循环使用，此种顶杆结构简单、维护方便，每组一般需要 6~12 支才能循环使用。

#### 4.10.8 顶头的使用方式有几种？

顶头的使用方式主要有以下几种：

顶头与顶杆连接在一起一同进行循环的。顶头损坏后需要离线进行更换，一般情况下，一组顶杆 6~7 支，冷却站在轧线之外，占地面积较大。

顶头在线循环。即使用一支顶杆，每穿孔一次，顶头更换一次，一般情况下使用三个顶头，顶头循环的次序是 1, 2, 3, 再 1, 2, 3。这种方式只更换顶头，使用方便，生产节奏快。但要求顶头的定位精确，工具加工精度高，设备运转正常，否则的话，容易发生顶头与顶杆连接不牢，顶头脱落的情况。

一个顶头 / 顶杆单独使用。当顶头损坏后，须在线更换顶头顶杆。

### 4.11 常见工艺问题

#### 4.11.1 内折

钢管内折缺陷是指在钢管内表面存在着与整体金属熔合的紧贴着的重叠层，或存在钢管的头部，或存在整根钢管内，或有规律，或无规律。有此缺陷的钢管轻者可以修磨使用，重者降级使用或报废。主要影响因素有：

连铸坯质量与内折的关系

如图 4-14 照片所示的铸坯试样，在管坯的端部缩孔严重的容易形成内折缺陷。

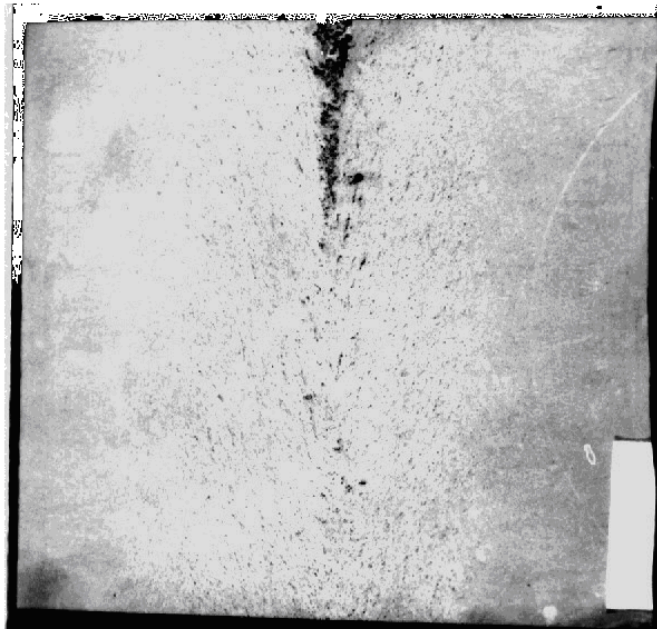


图 4-14 铸坯低倍组织

缩孔形成的原因是在连铸过程中，在液相穴凝固末端，铸坯的中心凝固速度和表面凝固速度相比有很大差异，由此会引起中心收缩和表面收缩的差异，一般表现为中心的收缩速度快。凝固末端液相穴狭窄且钢水的粘性较大，如果中心收缩造成的体积空隙不能得到及时补充，就会在铸坯中心形成中心缩孔。

如果柱状晶细小，致密；中心缩孔小且在铸坯中心有断断续续地集中疏松，这样在铸坯加热时端部缩孔即使氧化也比较短，形成的内折集中在管端很短范围内，绝大多数可以切掉。有的铸坯根本就没有中心缩孔。

另外对管坯进行缓冷处理，尤其是对合金钢坯进行缓冷后，内折的降低更加明显。

#### 轧制参数调整对内折缺陷的影响

轧辊转速的大小是根据铸坯材质、延伸系数、滑移系数及辊径大小等多方面而设计的。结果表明：高转速更容易形成内折，降低转速，内折相应减少。究其原因主要是增大轧辊转速将导致滑移增加，也就是轴向效率降低，管坯在咬入段旋转次数增加，形成内折的可能性加大。试验结果确定了穿孔机的调整方向是：使用大的咬入角，随着咬入角加大管坯滑移减小，滑移的减小可以减少管坯咬入所需的旋转次数。综合国外厂家的经验，咬入角在 10~12 度时前进效率最佳。

#### 升速比的影响

采用升速比的作用是轧辊低速旋转，有利于管坯平稳咬入，咬入后高速轧制高速抛钢。一般按 30% 设定，生产中视轧辊磨损情况常采用的是 40% 或 45%，实验结果显示：采用 30% 的升速比穿孔产生的内折量低于采用 45% 升速比穿孔产生的内折量。理论根据是，在低速咬入阶段和高速轧制阶段，二者速度差小，铸坯的变形条件相近。也就是说，在低速向高速转变时，金属流动能够平稳过渡。若二者速度差大，金属变形产生波动就容易产生大片内折。这种内折常在毛管前端 400~500MM 处发现。

#### 顶头预旋转速度的影响

顶头预旋转的作用同样是有利于管坯的咬入，预旋转速度值一般按管坯旋转速度的 70% 设定且旋转方向一致。试验结果表明，20% 预旋转速度产生的内折量明显低于 100% 设定转速。

#### 内折形式

根据现场取典型试样，并作金相分析，内折形式大体上表现为端部内折和通体内折，具体如下：

#### 端部内折

主要形式为钢管端部 1.5 米内分散的起皮状折叠。形成原因为管坯端部有露头的中心缺陷，加热时氧化，穿孔时形成折叠，随经后续变形变薄，不能轧合就在管端形成了薄片状内折，特点是分散零乱。另一种原因为轧制内折，特点是内折较集中，方向性较强。

#### 大片内折

主要集中在低合金钢种，钢管无规分布着 4~5 片铁皮，铁皮与基体附着力不大，有内折的钢管经酸浸后内折部分可以脱落。经电镜观察可以看到铁皮根部有块状的含 Cr 氧化物和氧化圆点。由此判断此种内折形成原因为，管坯高温加热后，在端部内形成含 Cr 氧化物，穿孔后即形成内折。

#### 通体内折

小螺距有规律内折，形式为螺旋状起皮，起皮大小一般为 5~10MM，厚为 150~1300um。将起皮点连线就会发现螺距较小，一根钢管内有几个螺距。起皮处有轻微的氧化脱碳，组织

与基体基本一致，未发现又夹杂物异常。产生的原因是顶头破损所致。

大螺距有规律内折，形式为大螺旋状，比 5.2.1 内折小，内折翘起的方向相同。将各点连线，连线与钢管轴线大约呈 5 度夹角。每个点相隔约 450~500MM。

形成原因：顶头与顶杆连接的销子窜出划伤，或者是顶头反锥处有粘钢。此种内折出现的几率非常小。

形成内折的原因

——工具磨损引起的内折

——铸坯质量引起的内折

——轧制内折

解决方向

通过以上分析，可以看出，钢管内折的形量过大所造成的轧制内折外主要是铸坯质量差和轧制工具磨损引起的。因工具所致的内折可以避免，故攻关的重点应放在改善铸坯的组织结构上。主要方法有：

- 1) 增设缓冷料架，有效释放管坯内部应力；
- 2) 扩大铸坯等轴晶率，缩短柱状晶长度，改善铸坯中心疏松和中间裂纹；
- 3) 注意轧制工具的磨损；
- 4) 穿孔机调整应采用大角度、低转速等调整方法。

#### 4.11.2 前卡

前卡，又称不咬入。是穿孔机最常见的工艺问题，处理办法有：

将顶头前伸量减少

减小辊距

升温

前卡的图片见图 4-15 图 4-16。



图 4-15 前卡断面



图 4-16 前卡断面

#### 4.11.3 中卡

中卡问题不常见，多是由于电机负荷过高或管坯打滑所致。

处理办法有：

避免顶头熔化

避免轧辊磨损严重

防止管坯温度过低引起电机过载，或管坯过烧。I

#### 4.11.4 后卡(镰刀)

后卡常见的形式有两种，一种是管坯尾部刚刚穿透一个小孔，另一种是为不开花（见图 4-17）。

处理的办法有：

将顶头前伸量增加

增加辊距



图 4-17 后卡

#### 4.11.5 链带

链带的产生是由于金属窜入轧辊与导盘（导板）缝隙，并且导盘的边缘磨损锋利，管坯表面的金属被切削而形成的链袋状。

处理的办法有：

增加导盘的稳定性

即使更换工具

#### 4.11.6 壁厚不均

钢管的壁厚不均也是最常见质量问题，主要形式有端部的壁厚不均和通体的壁厚不均。

处理的办法有：

管坯端部要垂直；

管坯的加热温度要均匀

穿孔机的轧线要居中

轧机的辊缝要对称

定径机的轧辊安装对称，机架安装到位。

# 第五章 毛管轧制

## 5.1 限动芯棒连轧管机（MPM）

### 5.1.1 工艺描述

#### 5.1.1.1 限动芯棒连轧管机的特点

限动芯棒连轧管机是在全浮动芯棒连轧管机的基础上发展起来的。在轧制过程中，芯棒的运动受到限动力的作用，始终以一个恒定的速度前进，其速度低于或等于第一机架轧机的轧制速度，各机架均处于一个稳定的限动轧制状态。在靠近轧机的最后一架处，管子从芯棒上由脱管机脱出，芯棒快速返回从而结束轧制过程。

限动芯棒连轧管机（MPM）与浮动芯棒连轧管机（MM）相比有如下特点：

- 1 降低了工具消耗。由于限动芯棒连轧管机的芯棒较之浮动芯棒连轧管机的芯棒要短，钢管与芯棒的接触时间短，从而提高了芯棒的使用寿命，一般可使芯棒消耗降至每吨钢管 1kg 左右。
- 2 改善了管子的质量。由于限动芯棒连轧管具有搓轧性质，有利于金属的延伸，加之带有微张力轧制状态，从而减小了横向变形，根本不存在浮动芯棒连轧所产生的“竹节”现象，使管子内外表面质量和尺寸精度有了很大的提高。
- 3 取消了脱棒机，缩短了工艺流程，提高了连轧管的终轧温度。如果不考虑在线热处理新工艺应用的条件，完全可以省去定、减径前的再加热炉，从而节省了能源。试验资料表明，轧制压力和电能消耗比浮动芯棒连轧管机低 1/3。
- 4 扩大了产品规格。由于采用了限动芯棒轧制，可以减小芯棒的长度，允许加大芯棒的直径，为多规格产品的生产创造了条件，使生产钢管的最大直径由 177.8mm 扩大到了 365mm，甚至更大。另外，限动芯棒连轧机还能轧制更厚或更薄的管子。
- 5 所轧管子的延伸系数可达 6~10。可以采用较厚的毛管，为使用连铸坯为原料创造了条件。
- 6 产量高、单位投资比较低。虽然限动芯棒连轧机的生产率比较低（每分钟只能生产 2~2.5 根，浮动芯棒连轧机为 4~4.5 根 / 分），但它所轧的管子直径大、管壁厚，因此限动芯棒连轧管机的年设计产量一般比较高，为 50 万吨左右，发挥潜力为 60~80 万吨 / 年。虽然一次性投资比较高，但平均产量的投资还要比浮动连轧管机降低 20~30%。

总之，限动芯棒连轧管机代表着现代无缝钢管生产的先进技术，它集中体现了无缝钢管生产的连续性、高效率、机械化及工业自动化的发展趋势。也反映了一个国家钢铁、钢管生产的技术水平，是一个国家钢铁企业，科技水平集中体现的一个重要方面。

### 5.1.1.2 工艺任务和目的:

穿孔后的毛管为厚壁管，一般壁厚与直径之比在 0.1-0.25 之间，在几何尺寸上有如下特点：

- 1 壁厚大：这样的钢管还不能在实际中应用。
- 2 表面质量不能满足成品要求。

连轧在整个金属热变形过程中起主要延伸作用。它的任务是将穿孔后的毛管经减径减壁变形轧制成外径、壁厚符合要求的荒管的过程，在保证产品几何尺寸精度方面连轧管机应达到如下工艺目的：

- 1 毛管延伸，将厚壁毛管变成薄壁荒管。
- 2 要求连轧后的荒管具有较高的壁厚均匀度。
- 3 要求连轧后的荒管具有良好的内外表面质量。

上述 1 的要求是任何类型的轧管机组所必须达到的，2, 3 则是限动芯棒连轧管机所特有的，即比早期的其它类型机组在 2, 3 所述的质量要好得多。限动芯棒工艺的采用就是为了消除浮动芯棒连轧管机产生“竹节”现象而引起的产品壁厚不均，尽管采用限动芯棒工艺在工艺设计、设备结构上要比浮动升棒复杂得多，芯棒循环系统的设备和占地比主机系统还要大，这些完全是为了保证产品质量，即壁厚均匀度而设计的。芯棒循环系统和润滑保护系统占用了大量的位置和设备，目的在于轧制时使产品有良好的内表面质量。所以说一切高设备装备水平的设置和先进设备的采用均是满足工艺目的服务的。

### 5.1.2 MPM 连轧管机的设备结构、平面布置及相关技术参数

#### 5.1.2.1 设备结构与平面布置情况

$\phi 250$  MPM 连轧管机分为七架轧机，机架轧辊轴线与水平面成  $450^\circ$ ，相邻机架互成  $90^\circ$ （如图 5-1），每个连轧机架由铸钢牌坊包括轧辊轴、支撑轴承座和轧辊，用于轴承座调整的压下和压上机构（由一个交流 1-5 架或直流 6-7 架电机传动），半联轴器、轴承座锁紧机构，安装在牌坊上的管线、测压头（每个机架 2 个，装在压下机构两个压下丝杠上）及位置传感器（每个机架 1 个）组成。

四个三辊式芯棒自动对中装置——芯棒支撑架，带有随芯棒规格进行调整的调整装置。

毛管定位叉，在轧机入口处，带垂直升降装置，液压操作。

焊接的轧机底座分为三件，用以支撑连轧机架，与水平呈  $450^\circ$  定位。28 个装在底座上的机架锁定装置。一套斜楔系统用于机架之间的联结。14 个带齿轮联轴器的接轴，有大小两个型号，分别用于 1-3 架和 4-7 架，并将轧辊轴加工成扁平的，以便换辊或轧机出现故障时快速将轧辊轴与轧辊分开。另外 7 个液压缸安装在底座上，当更换工具时用来推出和拉回轴承座及轧辊部件。

14 个换辊小车用于接受轧辊，用液压缸与垂直平面铰接，全套包括使换辊车平行轧机中心线移动的液压缸。

7 个双输出轴减速箱，装在主电机的底座上，在主电机和齿轮箱之间有齿轮联轴器。

MPM 连轧管机组平面布置情况，如图 5-2

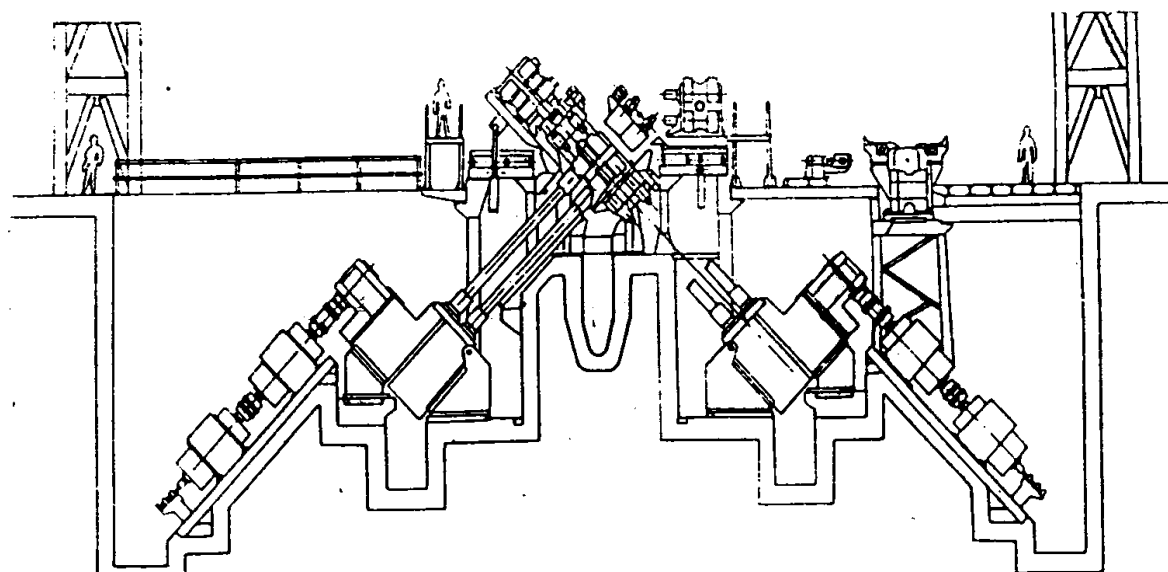


图 5-1 MPM 轧机结构简图

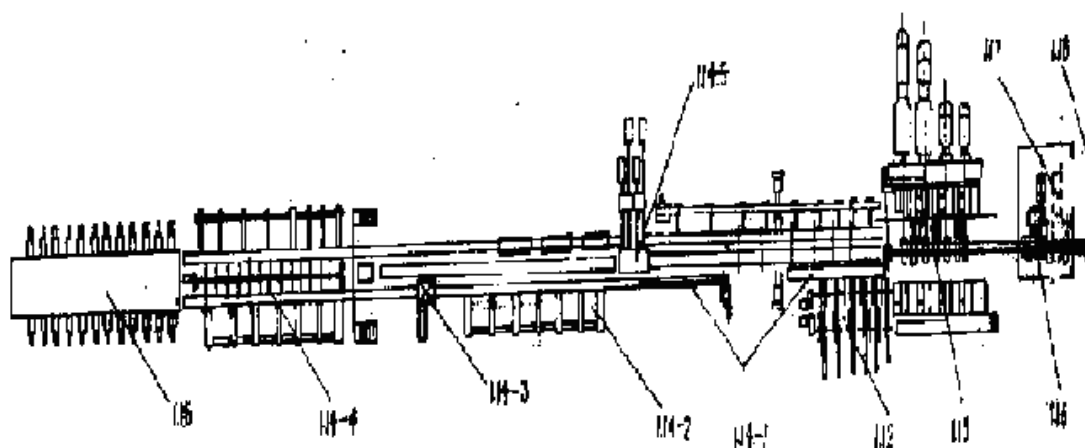


图 5-2 MPM 连轧管机组平面布置图

- 1.12-穿孔机到限动芯棒轧机的毛管输送设备。
- 1.13—限动芯棒连轧管机。
- 1.14—芯棒循环系统。
- 1.14-1—芯棒预穿系统。
- 1.14-2—芯棒缓冲台架。
- 1.14-3—芯棒润滑站。
- 1.14-4—芯棒冷却站及上、出料台架。
- 1.14-5—芯棒限动设备。
- 1.15—芯棒预热炉。
- 1.16—脱管机。
- 1.17—钢管速度和长度测量系统。
- 1.18—热测壁厚系统（已拆除）。

1.19—限动芯棒连轧管机到再加热炉的钢管输送设备。

### 5.1.2.2 设备性能参数介绍

#### 1 连轧机：φ250 七机架二辊式限动芯棒连轧管机

机架类型：二辊式

机架数：7

机架配置：相邻机架轧辊中心线互成  $90^{\circ}$  角，轧辊中心线与水平面成  $45^{\circ}$  角

最大出口速度：6m/s

最小出口速度：1.5m/s

最大入口速度：2m/s

最小入口速度：0.7m/s

#### 2 轧制力：

	1-3 架	4-7 架
最大正常轧制力（吨）	480	240
最大异常轧制力（吨）	550	300
最大正常轧制力矩（吨·米）	70	19
最大异常轧制力矩（吨·米）	81	22

#### 3 机架中心间距：

夹送辊--1 架	1850 mm
1-2 架	1395 mm
2-3 架	1815 mm
3-4 架	1310 mm
4-5 架	1645 mm
5-6 架	1225 mm
6-7 架	1645 mm
7-1 架总长	9035 mm
连轧脱管间距	10500 mm

#### 4 芯棒支承架位置：

第一架支承架：连轧第三机架入口处	夹送辊—1 架	4152.5	距芯棒头部	4152.5
第二架支承架：连轧第五机架入口处	1—2 架	3040	距芯棒头部	9172.5
第三架支承架：连轧第七机架入口处	2---3 架	2870	距芯棒头部	10062.5
第四架支承架：连轧第七机架出口处	3—4 架	1032.5	距芯棒头部	11095

#### 5 机架传动： 1-4 机架马达数：每个机架 2 个

5-7 机架马达数：每个机架 1 个

每台马达功率 DC：1400Kw

速度： 350/400—1000rpm

最大过载： 8 秒 200% + 每 40 秒 1 秒 270%

总装机功率： 15400Kw

机架变速比：	1 机架	13.03
	2 机架	8.958
	3 机架	6.188

4-5 机架	4.0
6-7 机架	3.4

## 6 芯棒限动系统

芯棒最大直径	338.9 mm
最小直径	127.8 mm
工作段长度	15000 mm
芯棒全长	22500 mm
在线一组芯棒最多支数	8 支
芯棒最大重量	10.887 吨
限动速度	最大 1.5m/s
回程速度	最大 4.5m/s
齿条最大行程（插入和限动）	20500 mm
脱管机第一架中心线距芯棒前端的最小距离	735 mm
在最大插入行程时，最长毛管尾端与齿条前端的距离	11500 mm
限动力	最大 300 吨
传动马达数	8 个
每个马达功率	DC: 384KW
马达速度	0/460~1530rpm
总装机功率	3072KW

## 7 脱管机

轧辊名义辊径两种	550 mm	800 mm
机架间距	700 mm	
工作机架数	3-5 架	
机架传动马达数	1 台	
马达功率	DC: 1400KW	
速度	350/400~1000rpm	
机架传输速比	1 机架	3.095
	2 机架	3.047
	3 机架	3.047
	4 机架	3.0
	5 机架	3.0

### 5.1.3 MPM 连轧管机组的工作原理和工艺控制

#### 5.1.3.1 MPM 生产工艺流程描述

为了获得良好内外表面质量的荒管，同时减少对轧制工具的磨损和防止抱棒，连轧前应除去毛管内外表面的氧化铁皮，并对芯棒表面和毛管内表面做适当润滑。

经穿孔延伸的毛管，抽出顶杆后被送至硼砂站，由一特制的喷嘴向毛管内部喷入硼砂，其作用是：一、吹刷毛管内部的氧化铁皮；二、硼砂在高温状态下生成雾状气体，充满毛管内部，防止其在随后的运动中发生内表面二次氧化，附着在毛管内表面的燃烧产物也可起到相当好的润滑作用。吹硼砂后毛管由回转臂送至连轧管机芯棒预穿线。

在预穿线，毛管定位后，测量过表面温度并涂过石墨润滑剂的芯棒，由预穿链将其插入毛管内。由 1 号回转臂将预穿到位的芯棒和毛管一起翻到主轧线，与此同时，从轧线返回的前一根轧后芯棒由 2 号回转臂送至返回辊道。

在主轧线上，芯棒的尾柄卡在限动齿条夹持头上，通过齿轮与齿条传动系统，将芯棒前端推至连轧机架间的一个预设位置上。再由夹送辊将毛管夹住送到轧机进行轧制，此时芯棒的最大限动速度为 1.5m/s。在毛管进入连轧机前还需要通过压力为 130-180 巴的高压水除鳞装置，以去除毛管外表面的氧化铁皮，同时测量入口毛管的温度。轧制完毕芯棒快速退回，此时，芯棒返回速度最大为 4.5m/s。退回的芯棒被另一个预穿着毛管的芯棒所替换，以进行下一根管子的轧制。被换下的芯棒通过返回辊道和设在辊道中间的冷却巷道喷水冷却，用过的芯棒外表面温度高达  $700^{\circ}\text{C}$  左右，先将其冷却至  $140^{\circ}\text{C}$  左右，再由返回辊道到冷却站步进梁，冷却站共有 3 个站，每个站都有 8 组旋转盘，在 1#、2#站用 10 个大气压的高压水进行冷却。为了防止芯棒弯曲，冷却过程中用旋转盘带动芯棒旋转，有必要时可以对芯棒进行分段冷却，冷却至  $70\text{-}130^{\circ}\text{C}$ （或重新预热到此温度）的芯棒，经辊道和运输链到润滑站喷涂石墨进行循环使用。经喷涂石墨后的芯棒，由运输链送至预穿前设定位置。如更换新芯棒时，需在芯棒预热炉内将其预热到  $100\pm 30^{\circ}\text{C}$  后再出炉，经润滑后再投入使用。用过的旧芯棒分别在冷却站两侧台架上剔除和收集。

从 MPM 出来的荒管随即进入 3-5 架三辊式脱管机。连轧完毕时毛管尾部由脱管机拉出连轧机最后一架，芯棒快速退回零位。在脱管机出口处有激光装置，用来测量出口钢管速度和长度。同时，通过一套两通道热测壁厚装置（已拆除），直接测量热态荒管的壁厚，以便及时发现和控制荒管壁厚精度。轧后荒管用光学高温计逐根测量表面温度。

毛管在相互交叉的 7 机架连轧机上进行轧制，根据规格的大小采用了  $\phi 181\text{ mm}$ 、 $\phi 235\text{ mm}$ 、 $\phi 291\text{ mm}$  三种孔型系列，经过改造后又增加了  $\phi 247\text{ mm}$ 、 $\phi 310\text{ mm}$ 、 $\phi 356\text{ mm}$  三个孔型系。最大轧制速度为 181 孔型 5.6m/s，最短轧制周期 27s。（181、235、247）5.0 m/s，291 孔型 4.5 m/s，310、356 孔型 4.0 m/s

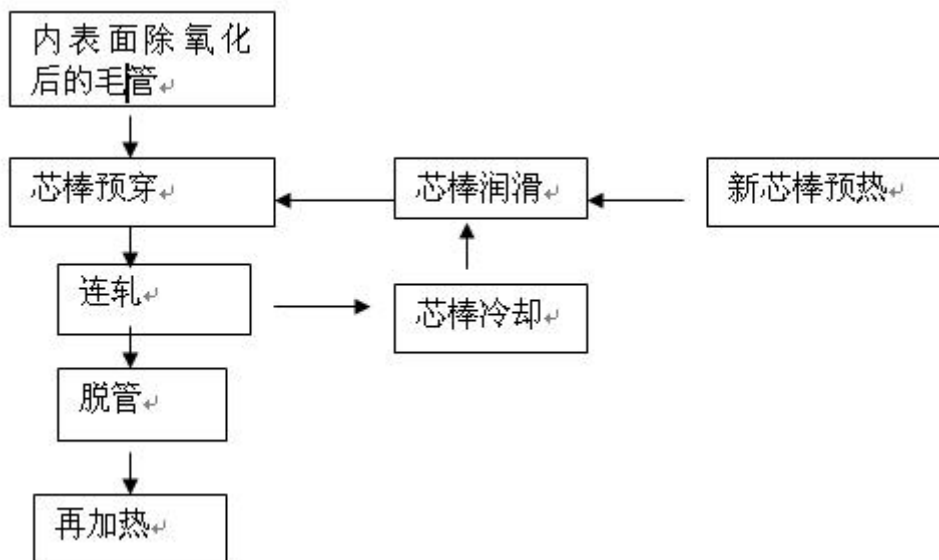


图 5-3 MPM 连轧管机组工艺流程图

### 5.1.3.2 连轧管轧制原理

连轧管金属流动的基本方程式

连轧管时，管子内表面在孔型顶部处与芯棒接触，而在侧壁处则不与芯棒接触。孔型顶部的金属由于受轧辊的外压力和芯棒的压力作用延伸，并在轴向延伸的同时产生圆周方向的宽展，而孔型侧壁的金属在孔型顶部金属延伸时也被拉伸，并相应在纵向产生拉缩。此时，如若孔型顶部的金属宽展和孔型侧壁的拉缩数量比例不当，则导致过分充满或欠充现象。

孔型过充满时，则会出现耳子，如过充满特别显著时，则会产生飞翅，造成轧卡故障，并且某一机架出现铁耳子以后随后机架的压下量过大，再产生新的耳子，这种恶性循环一直延续到成品机架。耳子会导致折迭缺陷或尺寸超差。

孔型欠满时，会使随后的机架，及至到成品机架孔型欠满，使成品管圆度和尺寸精度达不到要求。

为了使孔型顶部金属展宽与侧壁金属拉缩较为协调，使孔型正常充满，从金属塑性变形角度，建立连轧管金属流动的基本方程。

#### 1 基本方程式

孔型中轧管的变形方式可分为两个区域：孔型顶部区和侧壁开口区。孔型顶部区金属受径向内外压力，且向压力和轴向压力，处于三向应力状态，金属减壁延伸，并向侧壁开口方向流动，（展宽）。侧壁开口区金属径向受外力，切向压力和轴向压力（附加）被拉缩。要使孔型正常充满，则应

$$\sigma_1 A + \sigma'_1 A' = 0$$

式中： $\sigma_1 A$ —孔型顶部的轴向应力， $kgf/mm^2$

$A$ —孔型顶部金属的横断面积， $mm^2$

$\sigma'_1 A'$ —孔型侧壁金属的轴面拉应力， $kgf/mm^2$

$A'$ —孔型正常充满时侧壁金属的横断面积， $mm^2$

#### 2 连轧基本方程

金属在轧制过程中，钢管在各机架间应遵守金属秒体积流量相等的连轧基本方程——流量方程

$$\Delta 1 = \Delta 2 = \dots = \Delta 7$$

$$F_1 V_1 = F_2 V_2 = \dots = F_7 V_7$$

上两式中： $\Delta$ ——各机架的金属秒流量体积

$F$ ——各机架的钢管横断面积

$V$ ——各机架的钢管出口速度<sup>n</sup>

### 5.1.3.3 连轧管变形过程分析

予穿芯棒后的毛管在连续轧管机中轧制，对每个机架孔型来说，变形区分为减径区和减壁区两个区域，如图 5-4:

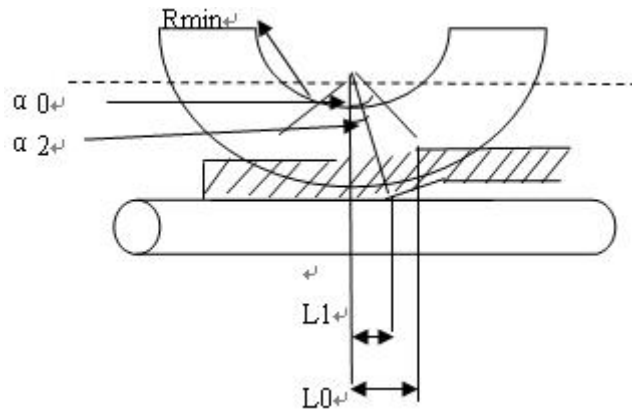


图 5-4

被送入轧辊孔型中的环形毛管，首先是四个点先与轧辊孔型接触，如图 5-5：

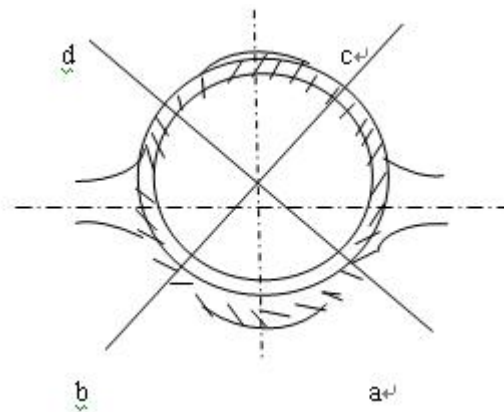


图 5-5

然后，在轧辊的曳入力作用下，依次进入减径区和减壁区二时限塑性变形。整个变形过程分三个阶段：第一阶段为压扁变形，第二阶段为减径变形，第三阶段为减壁变形。

在减径区中，由于毛管是空心体，开始时仅几点接触，轧管孔型接触面很小，所以钢管首先发生压扁变形，即管壁发生塑性弯曲变形。此时钢管周长或横断面积不变，只是被轧辊孔型压缩处高度减小，而不与孔型接触的钢管其径向尺寸加大。随着管子逐渐进入变形区，压扁程度加大，同时，管子与孔型的接触面积增加，将接触面积增至一定程度后，孔型槽壁对管壁的支撑作用加大，管子除继续发生压扁变形外，将同时发生减径变形，直到毛管整个外圆完全与孔型壁接触时，压扁变形阶段结束，变形全部转入第二阶段——减径。

在减径变形阶段，管子平均直径和平均周长减小，金属纵向延伸，管壁有所增厚。管壁增厚相当于横向变形。由于变形区中管子横断面上各处的金属的应力状态不同，因而增厚变形不同。孔型顶部（槽底）管壁外侧受孔型径向压力，且金属外流受槽壁限制，管壁增厚只能向管子内表面发展，故增厚较小，孔型开口处（辊缝处附近）金属处于自由锻造状态，金属可向管内外壁流动，故增厚较多，其他部位介乎于上述两者之间，逐渐过渡。

在孔型中，由压扁变形过渡到减径变形的位罝，与许多工艺因素，如孔型形状，管子金属的变形抗力，轧辊直径和管子（直）径壁（厚）比等有关。宽高比大的孔型压扁变形大些，厚壁管（径壁比小的）压扁变形小些。

从管子内表面接触芯棒起，到荒管离开变形区为止，是减壁变形阶段，此时壁厚迅速减壁，同时也有少量的减径变形，因而获得较大的眼神。在此区中，管壁压下变形主要发生在

孔型顶部（槽底），孔型开口处管壁金属得不到加工，或只由于孔型顶部金属延伸对开口处金属施加以横向附加拉应力而使其壁厚稍许减薄，结果导致荒管横向壁厚不均匀性增加，并使开口处管壁金属受轴向附加拉应力作用，如果拉应力过大会导致荒管两侧周期性横裂。经轧制后的荒管，其横断面已成椭圆形，在进行随后道次的轧制时，管子首先与孔型顶部（槽底）接触，但其变形仍按压扁、减径和减壁三个阶段进行。

### 5.1.3.4 连轧机速度制度

#### 1 芯棒速度制度

芯棒速度一般约为 0.7~1.5m/s，芯棒速度过小，使芯棒负荷大，磨损增加，寿命低。速度过高，则芯棒过长，局部升温高也不利于提高寿命。

#### 2 轧辊转速计算

##### 1) 轧辊工作直径

轧辊工作直径为轧辊圆周速度与钢管速度相等的直径：

$$D_k(I) = D(I) + \Delta S(I) - \phi d(I)$$

式中：Dk(I) ——I 机架轧辊工作直径

D(I) ——I 机架轧辊肩部直径

$\Delta S(I)$  ——I 机架轧辊辊缝设定值

d(I) ——I 机架轧辊孔型直径

$\phi$  ——经验系数

##### 2) 轧辊转速计算

$$n(i) = 60C / [\pi \cdot A(I) \cdot D_k(I)]$$

式中：C ——秒流量

A(I) ——I 机架钢管横断面积

#### 3 马达转速

$$n_{电}(I) = N(I) \cdot i(I)$$

式中：i(I) ——I 机架减速比

#### 4 钢管速度计算

##### 1) 计算延伸率 $\lambda_{(I)}$

$\lambda_{(I)}$ ：I 机架延伸率

A(I) ——I 机架钢管横断面积

##### 2) 钢管速度计算：

$$V_1 = V_{(I-1)} \cdot \lambda_{(I)} = V_0 \cdot A_0 / A_{(I)} = C / A_{(I)}$$

式中：V<sub>0</sub>：MPM 入口速度

A<sub>0</sub>：MPM 入口管的横断面积

C：秒流量

### 限动芯棒连轧管的运动学特点

#### 1 限动芯棒连轧管的轧件出口速度

带长芯棒的连轧管过程可看成是不同辊径的差速轧制过程。芯棒看成是半径无穷大的轧辊，当芯棒参与连轧系统工作时，芯棒相当于速度按某一特定的主动轧辊参与变形，形成在变形区内产生差速轧制。

限动芯棒连轧管时，芯棒速度  $V_m$  是恒定的，而且芯棒速度小于第一机架的轧辊圆周速度。为此，对芯棒而言所有机架均是导前机架，芯棒对金属的摩擦力的方向是与轧制方向相反的。此时，各机架的轧件出口速度是恒定的。

$$V_{ix} = (V_i + V_m f_m) / (f + f_m)$$

式中： $V_{ix}$ ——第  $i$  机架的轧件出口速度

$V_i$ ——第  $i$  机架的轧辊平均圆周速度

$V_m$ ——限动芯棒速度

$f$ ——轧辊与钢管之间的摩擦系数

$f_m$ ——芯棒与钢管之间的摩擦系数

这样，如果按秒流量相等的原则，调整好各架架的轧辊速度，就可以保证轧制过程稳定性。由于限动芯棒连轧管中，芯棒速度小于第一机架的轧件速度，因而它是一种稳定的磨擦轧制状态。使轧制压力降低，促进金属在孔型中的纵向延伸，并且可采用圆孔型轧制，提高成品管尺寸精度。

但是，芯棒与轧件的差速分布是不均的，第一机架最小，以后的机架逐渐加大，至第七架达到最大，这种情况使各机架对管子的差速轧制效果不同，管子头尾所得到的轧制效果与管子中部不同。

## 2 限动芯棒连轧管的芯棒速度

限动芯棒连轧管轧制过程中，芯棒的速度是恒定的，且由专门装置控制的。

芯棒速度对轧制过程的影响主要有三个方面：

### 1) 影响轧制过程的差速轧制

芯棒速度越低于轧件的差速越大，则差速效果越明显，可降低轧制力，减少宽展，不仅有利于延伸，并且有利于提高轧后钢管尺寸精度。为使全部轧机均为差速轧制，芯棒速度应低于第一机架变形区中轧件的平均速度。

### 2) 影响芯棒的长度

芯棒全长为两部分：工作段和连接杆

可以看出，芯棒速度越快，则轧制统一长度的管子所需要的工作长度越长。

### 3) 影响芯棒的寿命

芯棒速度过低，相对速度大，摩擦热大，会导致芯棒磨损快，会使芯棒某些界面受轧制压力作用次数的几率增加，也会降低寿命。

总之，确定芯棒速度的基本原则，首先是芯棒速度必须低于任一机架速度，使各机架均处

于同一方向的差速状态，据此芯棒速度应小于第一机架的轧件速度，然后再合理处理好芯棒长度与芯棒寿命的关系，使芯棒不致太长，寿命也有保证。

### 5.1.3.6 连轧管机力能参数的计算

计算力能参数采用将轧制钢管简化成一种等效的平板轧制情况，见图 5-6，原因是三维模型太复杂难以求解，即使能求解也不能保证结果准确。

#### 1 变形区几何参数的确定

##### 1) 轧辊工作直径

由于已经将轧管转化成一种等效的平板轧制过程，如图 5-6，轧管机轧辊的工作直径，就相当于平板轧制时的轧辊直径。

## 2) 等效厚度

轧管机上钢管的入口和出口壁厚也等效于平板轧制时的轧机的入口和出口厚度。

入口厚度:  $XHE = S_E = R_E - R_m$

$$R_E = \sqrt{\frac{4A_E}{\omega} + R_m^2}$$

式中:  $R_E$ ——钢管平均等效外半径

$R_m$ ——芯棒半径

$A_E$ —— $\omega/2$ 角所对应的入口处钢管断面积

$\omega$ —— $\omega = 2\alpha_2, \alpha_2$ 为芯棒脱离角

出口厚度:  $XHU = S_u = R_E - R_m$

$$R_E = \sqrt{\frac{4A_v}{\omega} + R_m^2}$$

式中:  $A_v$ —— $\omega/2$ 角所对应的出口处钢管面积

## 3) 接触长度

参照图 5-7:

接触长度为:

$$X_{\max} = lc = \sqrt{R^2 - (R + S_u - S_e)^2}$$

## 4) 接触角的划分

用有限元法计算轧制压力, 并将接触弧分为  $N_s = 100$  等份, 每个单元的坐标和宽度为:

$$\Delta x = lc / N_s$$

$$Ax(k) = Ax(k-1) - \Delta x$$

## 2 相对速度的计算

钢管 / 轧辊的相对速度  $V_{Rl(k)}$

钢管 / 芯棒的相对速度  $V_{ml(k)}$

符号表示见图:

$$S(k) = S_u + R - \sqrt{R^2 - A^2 x(k)} \text{ (mm)}$$

$$V_r = v_{(l)} \times S_u \times 2(S_{(k)} + S_{(k+1)}) \text{ (mm/s)}$$

$$V_p = \pi DP_{(l)} \bullet n_{2(l)} / 60 \text{ (mm/s)}$$

$$V_{RT(K)} = (V_p \cos \theta - V_r) / 1000$$

$$V_{MT(K)} = (V_t - V_m) / 1000$$

$$\cos \theta = \Delta x / \sqrt{(S_{(k)} + S_{(k+1)})^2 + \Delta x^2}$$

## 3 摩擦系数的计算

在轧辊和钢管之间, 以及芯棒和钢挂内之间的摩擦系数是作为钢管/工具间的相对速度和金属温度的函数来计算的。

$$C_1(T) = 0.409 + 0.85T - 0.777T^2$$

$$C_2(T, V_1) = (0.027 - 0.116V_1 + 0.0265V_1^2)(0.747 + 3.23667T - 2.73334T^2)$$

$$C_3(T, V_1) = 0.4090 + 0.0704T + 0.657T^2 - V_1(0.044 + 0.0934T - 10.0857T^2)$$

式中:  $T$ ——温度  $^{\circ}C/1000$

$V_1$ ——相对速度

$$0 < V_1 \leq 0.25 \quad \text{则} \quad \mu = C_1(T)$$

$$0.25 < V_1 \leq 1.6 \quad \text{则} \quad \mu = C_1(T) + C_2(T, V_1)$$

$$1.6 < V_1 \leq 5 \quad \text{则} \quad \mu = C_3(T, V_1)$$

#### 4 轧制力矩计算

一旦已知每个单元的压力  $P_1$ , 则可计算出每个单元的剪切力。

$$\tau = \mu \cdot P_1$$

其累计值有下式计算

$$T_F = \sum (\tau \cdot \Delta_x / \cos\theta)$$

轧制力矩为:

$$M = T_F \cdot \omega \cdot D_1 / 2 \cdot DP_{(l)} \cdot V_{m1}$$

式中:  $D_1$ —— $d_m + 2s_u$

$d_m$ ——芯棒直径

$DP_{(l)}$ ——见图

$V_{m1}$ ——修正系数

#### 5 电机功率 $D_1$

每台电机所需的功率为:

$$N_{(l)} = M \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{9.81}{1000} \cdot n_2(I)$$

#### 6 轧制力计算

$$P = \omega \cdot D_1 \cdot 2 \times 1000 \cdot P\phi \cdot NS \cdot \Delta x \cdot V_{m1}$$



↑  
访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注

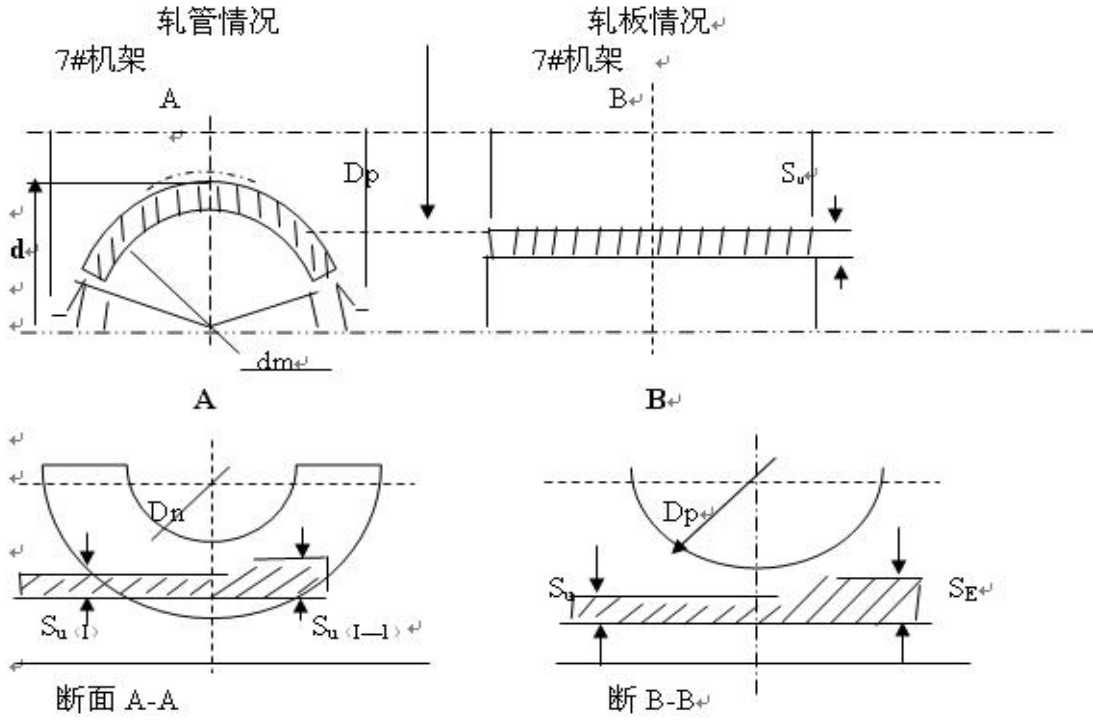


图 5-6 轧管与轧板之间的关系

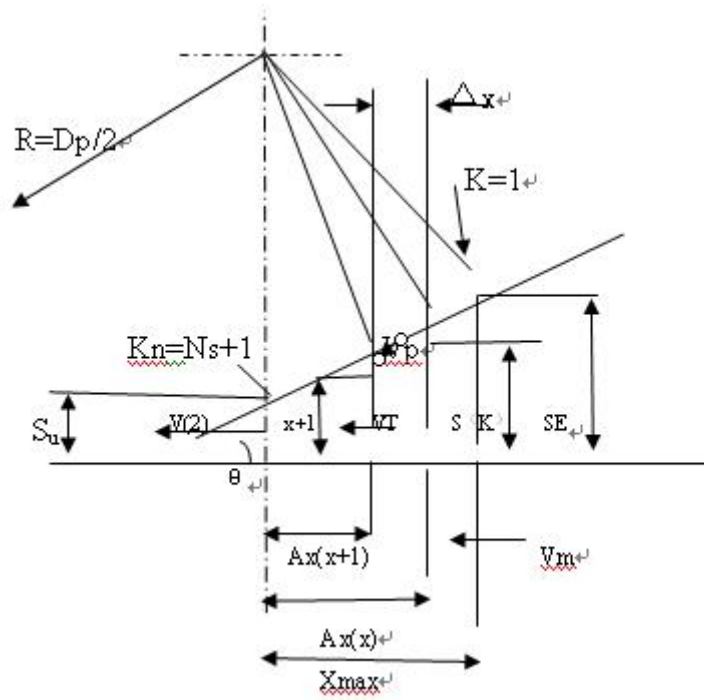


图 5-7 管子 / 轧辊与管子 / 芯棒相对速度图

## 5.1.4 主要设备及参数

## 5.1.4.1 轧机孔型系:

表 5-1 轧机孔型系表

孔型系		φ 181	φ 235	φ 247	φ 291	φ 310	φ 356	
管坯	直径mm	210	270	270	310	310	350	
	单重kg/m	270.16	466.59	466.59	588.72	588.72	750.45	
毛管	外径mm	220	283	294	340	356	402	
	壁厚mm	20.5~60.0						
	长度 m	3.5~11.0						
连轧后	外径mm	181	235	247	291	310	356	
	壁厚mm	4.5~39.65						
	长度 m	11.5~34.5						
脱管后	外径mm	173.4	225.8	239	281	285-302.3	323.9-344.1	
	壁厚mm	4.58-39.96						
	长度 m	11.78-35.0						
轧辊直径mm	1架	最大mm	700	730	730	780	780	780
		最小mm	637	660	660	720	735	735
	2架	最大mm	700	730	730	780	780	780
		最小mm	640	660	660	720	735	735
	3架	最大mm	700	730	730	780	780	780
		最小mm	588	660	660	720	730	730
	4架	最大mm	600	650	650	670	670	670
		最小mm	500	590	590	610	640	640
	5架	最大mm	600	650	650	670	670	670
		最小mm	530	590	590	610	630	630
	6架	最大mm	600	650	650	670	670	670
		最小mm	504	590	590	610	630	630
	7架	最大mm	600	650	650	670	670	670
		最小mm	510	590	590	610	620	620
辊身长度	1-3 mm	450	450	450	450	505	505	
	4-7 mm	400	400	400	400	480	480	
辊颈直径	1-3 mm	355	355	355	355	355	355	
	4-7 mm	254	254	254	254	254	254	
芯棒直径mm		127.8-171.3	166.6-224	188.5-235.4	210.3-277.1	250.3-295.7	302.4-338.9	
事故叉开口直径mm		175.5	228	241	281	301	345	
入口叉开口直径mm		180	233	244	286	305	348	

### 5.1.4.2 连轧调整

#### 1 基本调整原则

- 1) 按目标长度计算连轧后长度，打印轧制表，输入辊径、辊缝、转速、限动速度、预插入行程，预穿鞍座高度、芯棒直径、在线支数、润滑速度、芯棒位、毛管位、芯棒支撑架、下夹送辊位置和速度、单辊位置、脱管后辊道位置和速度等参数。
  - 2) 限动速度不允许低于 86%，特殊情况需要说明。限动速度选取小于第一架出口速度，芯棒提前管头到达第七架，避免出现空轧，终轧行程在 18.5-19.5 之间，避免限动超行程。
  - 3) 正常生产时需压 1d mm（1 个辊缝），可直接压 6、7 架，需压 2d mm 及以上时，应从第一架开始由前向后各机架压相同值，以保证金属流量平衡，增加壁厚均匀性，减少抱棒。同样放 1d mm 时，可直接放 6、7 架，需放 2d mm 以上时，应从 7 架开始由后往前放同样辊缝。
  - 4) 轧制力曲线反映各机架之间速度关系，堆、拉趋势，由于毛管壁厚、外径、温度影响以及各架磨损不同，测量误差等，应适当调整转速和辊缝，才能真正建立金属流量平衡。调整过程中要根据辊缝、电流、轧制进行。压下量优先原则和 n-1 架调整法，压下量优先原则也就是调整时要根据情况优先保证压下量的正确和均匀，再进行其他方面的调整。n-1 架调整法：也就是在正常情况下，当 n 架出现堆拉不当时应当调整第 n-1 架。
- ① 当各机架的金属秒流量不平衡时，机架间就会出现堆拉现象（见下面的曲线图，仅以其中某一架为例）。

连轧调整时，要避免堆钢、拉钢，因为这两个现象对保证正常的稳定轧制和良好的壁厚质量不利。当生产薄壁管时，甚至会因为拉钢严重而出现钢管拉断现象。而生产某些规格的高钢级钢管时，堆钢轧制很容易引起连轧辊安全白崩断，影响生产。

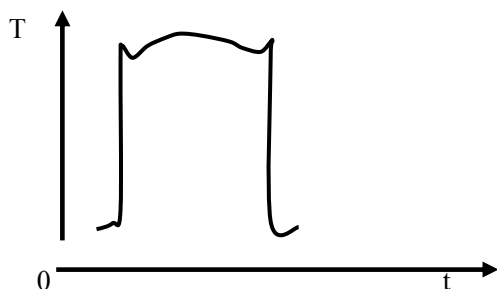


图 5-8 堆钢轧制轧制力曲线图

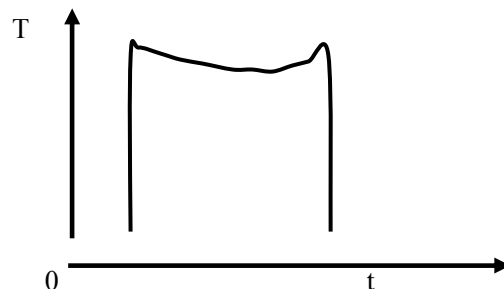


图 5-9 拉钢轧制轧制力曲线图

t——时间 (s)      T——轧制力 (吨)

- ② 安全白断裂：正常轧制时，轧制力某架突然降低 20%~50%左右，而且下一架轧制力随之突然增高，可判断该架有一个安全白发生断裂。如果轧制力突然下降 60%或更多，可判断为该架可能有两个安全白同时发生断裂。为了避免判断失误，可以同时查看轧

制电流曲线的情况，其形态与断臼后的轧制力曲线形态基本相似。下图为 2 架断臼前后的轧制力曲线，断臼后 3 架的轧制力过高（压力信号失真，曲线出现平台现象）。

轧辊断臼后不能继续轧制，应迅速适当调整各架变形量（重点调整断臼机架的压下）和各架轧制速度，恢复正常轧制状态，否则会造成堆钢事故。同时，立即通知调度室，准备换辊。

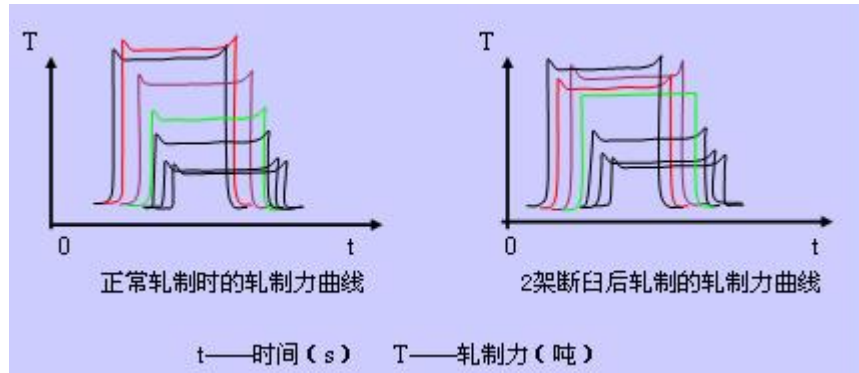


图 5-10 正常轧制时的轧制力曲线

图 5-11 2 架断臼后轧制的轧制力曲线

③ 空轧现象。当芯棒预插入长度、限动速度、限动行程的设定值不适当时，常出现第 7 架轧机空轧现象，影响钢管壁厚质量。

为了消除空轧现象，可在条件允许的条件下对芯棒预插入长度、限动速度、限动行程的设定值进行适当修正，保证芯棒提前于轧件到达最后一架连轧机孔型，并且在轧制完毕后才快速返回。

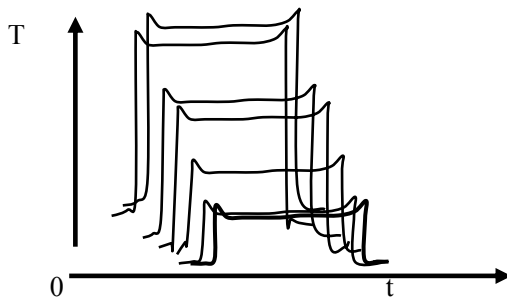


图 5-12 正常轧制时的轧制力曲线

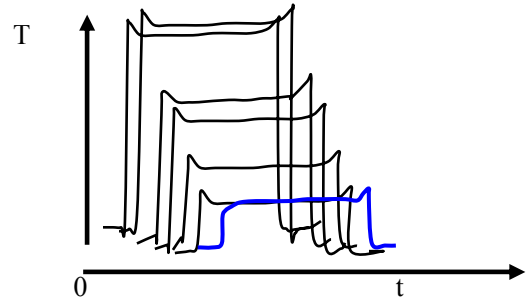


图 5-13 7 架空轧时的轧制力曲线

④ 轧制力曲线台阶。例如：由于 1 架辊速过高、辊缝过大，2 架辊速过低、辊缝过小而引起的变形制度不匹配，轧制力曲线异常（如下图）。

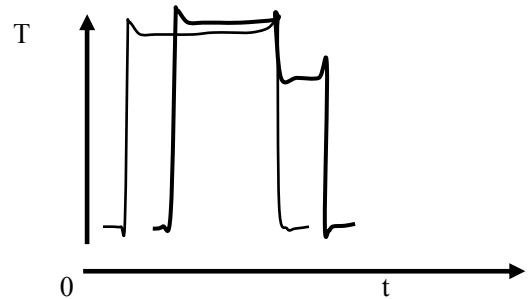
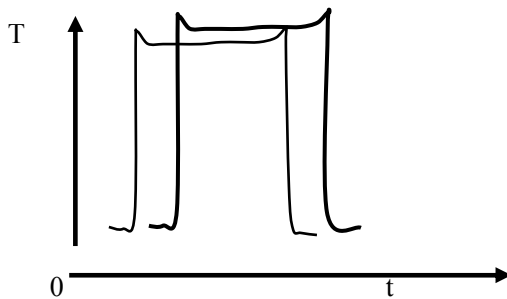


图 5-14 正常轧制时 1、2 架的轧制力曲线

图 5-15 变形制度不匹配时的轧制力曲线

## ⑤ 毛管壁厚过薄现象。

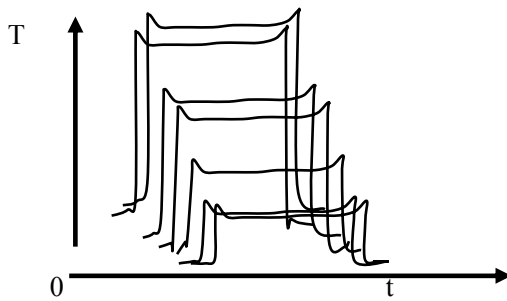


图 5-16 正常轧制时的轧制力曲线

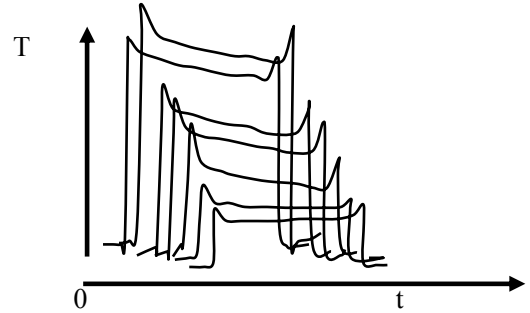


图 5-17 毛管壁厚过薄时的轧制力曲线

## 2 换规格调整

- 1) 提前做好将来值输入，修正值记录，热测壁厚目标值、附加辊缝调整的计算工作，并进行复查确认。
- 2) 如果芯棒不换，可在本规格最后一支料后空约 3 步，即可让环形炉出一支下规格管坯，再空一个料位即可连续出料。如果壁厚由薄变厚（由厚变薄）时，应在辊缝修正值多放（压）差值  $2 d$  mm，连轧第一架升速（降速）1-2%，注意如脱管后长度、定径后长度、常化入炉长度接近极限值时，先不要多压差值，以免管子超长，可根据轧后实际情况进行调整。
- 3) 如果更换芯棒，壁厚变化不超过 2 mm 时，连轧除正常调整外，可不作附加调整。壁厚变化 2-5 mm 时，由厚变薄除正常调整外，每架多压 2-3  $d$  mm，1 架降 2%；由薄变厚时，除正常调整外每架多放 3-4  $d$  mm，1 架升 2%，2 架升 1%。连轧壁厚变化大于 5 mm 时，应实测 1-7 辊缝，并参考原修正值，考虑轧辊磨损影响、辊缝偏差，进行实际调整。
- 4) 换规格时根据实测热测壁厚，轧制后长度进行调整。如果有异常应检查热测壁后、外径、温度等参数是否正确输入，热测装置是否到位，影响测量结果。
- 5) 在更换芯棒的同时，芯棒支撑架、芯棒支撑辊、芯棒位和毛管位同步进行调整。

## 3 换辊开轧

- 1) 空轧前，辊缝压到位，测量准确，对发现异常辊缝要进行复核，并调整到位。
- 2) 空轧时，1 架、2 架辊缝多压 10-50  $d$  mm，以保证空轧效果。
- 3) 开轧第一支时，辊缝 1 架放 30-60  $d$  mm，2 架放 15-30  $d$  mm，其余各架放 10-20  $d$  mm，转速 1 架降 2-7%，2 架降 1-4%，脱管机升速 1-4%，其余各架不变。1 架辊缝放车最多不要超过第七架辊缝值的 50%，限动速度降 1-2%。遇有高钢级开轧，毛管外径大控制不下来，轧制大孔型等为了顺利开轧，避免不咬入等发生，可加大调整力度。辊缝 1 架放 60-100  $d$  mm，2 架放 30-50  $d$  mm，3-7 架 20-40  $d$  mm，转速 1 架降 5-9%，2 架降 2-6%，脱管升 3-8%，限动速度降 2-3%。
- 4) 当第一支轧过后，按正常辊缝压回，转速升回，并根据实测钢管长度、壁厚进行调整，达到目标值。

## 4 芯棒循环使用的参数调整

- 1) 按要求选取限动速度，步进行程、步距。
- 2) 经常检查石墨黏度和设备工作情况，保证喷涂和润滑效果。润滑环在  $\phi 291$  及以上孔型时进行高度调整（加垫升高）。石墨喷涂长度根据生产和喷涂有效长度，一般不大于

14 米。预穿鞍座准确调整，控制好毛管直度，保证顺利预穿和石墨层不被划掉。

- 3) 正常轧制时，控制好芯棒工作段的温度（80-1200C），这样有利于迅速蒸发润滑剂中的水分，石墨润滑剂可以很好的附着在芯棒上，形成一层坚固的膜，保证轧制时的润滑效果。若芯棒工作段的温度过高，会使润滑剂中的溶剂很快全部蒸发，石墨无法附着在芯棒上，达不到很好的润滑效果。若温度过低，润滑剂也不能牢固附着，容易剥落。待轧时间在 30 分钟以上时，芯棒喷石墨上缓冲台架，保证石墨润滑效果。

表 5-2 各孔型芯棒的预热时间经验值：

规格	时间（分钟）	新芯棒时间（分钟）
181	>40	>60
235	>50	>90
247	>60	>100
291	>60	>120
310、356	>70	>150
芯棒预热温度应在 80-120 <sup>0</sup> C 范围内。		

- 4) 芯棒支撑架调整要精确，以轻触为好， $\phi$  291 及以上孔型略紧。芯棒支撑架如发生故障，必须及时修复，不允许长时间短。
- 5) 合理控制生产节奏，发挥主轧机的生产能力。

#### 5 新芯棒开轧

若使用新芯棒直接开轧不做调整，会产生剧烈震动大，而且容易发生抱棒事故，影响生产和芯棒使用寿命。为此，应做如下调整：

- 1) 提前做好开轧准备。  
 转速 1 架降 1-3%，2 架升 1-2%，  
 辊缝 6、7 架放 10-15d mm。
- 2) 限动速度降 1-2%。
- 3) 适当降低出口速度。
- 4) 如生产厚壁管，轧制力、电流低时，可适当减轻调整或不做调整。  
 同时，保证芯棒加热时间、温度和良好的石墨喷涂效果。

#### 6 轧制力调整

##### 5.1.5 MPM 连轧管机轧制工具

##### 5.1.5.1 轧制工具的作用

轧制工具是指那些与轧件直接接触的，并使轧件在高温下产生塑性变形的，具有一定几何形状的工具。

在无缝钢管生产过程中，由于轧制工具在空间组成的几何形状，决定了产品的形状和尺寸，因此轧制工具几何尺寸的大小直接影响产品的质量。在轧制过程中，由于轧制工具在轧制压力、高温、骤冷的恶劣条件下工作，因此在制造工具、工艺上有严格的要求。它一方面满足轧制工艺对轧制工具的几何形状的要求，使工具的形状符合金属变形的特点，另一方面，

还要在材质及表面热处理工艺上满足对轧制工具寿命的要求。

轧制工具的使用寿命是衡量轧制工具质量的主要指标。工具寿命降低，则其消耗大，相应的提高了产品的成本。同时，由于更换工具减小了机组作业率，从而降低了产品产量。

连轧机工具主要有轧辊，芯棒，脱管机轧辊，下面分别讨论。

### 5.1.5.2 限动芯棒连轧管机的轧辊

#### 1 轧辊的设计特点

- 1) 轧辊材质采用球墨铸铁，提高了表面硬度和耐磨性，保证了轧制荒管的表面质量。
- 2) 291、310、356 孔型系由于 1-2 架轧制力较大，采用铸钢轧辊，保证了生产顺利进行。
- 3) 辊径的设计根据轧制力大小的不同和各机架磨损情况的不同，而大小不同，节约了材质。
- 4) 轧辊结构合理，采用辊身和轴热压合。辊身的浇铸形状合理，节约了材质，降低了工具重量，减少了工具成本。
- 5) 辊身浇铸采用圆弧过度，减小了应力集中，增加了辊身的强度。

#### 2 辊身技术条件

- 1) 辊身的材质为合金球墨铸铁，其成分如下：（%）

C: 3.20-3.60,      Cr: 0.20-0.50  
Si: 1.30-1.80,      Ni: 2.50-3.50  
Mn: 0.40-0.80,      Mo: 0.70-1.00

其屈服强度为  $60 \text{ kgf/mm}^2$ ，表面硬度为 400-440HB。

- 2) 291、310、356 系列 1-2 架轧辊为 X37CrMoV51-KV-UN1-2955,其成分如下（%）：

C: 0.32-0.42,      Mo: 1.20-1.70,  
Si: 0.90-1.20,      Mn: 0.25-0.55, Cr: 4.50-5.50, V: 0.30-0.50, P、S:  $\leq 0.03$

表面硬度为 360-380HB。

如图：连轧辊示意图

- 3) 连轧辊更换和使用

- ① 连轧辊轧制到使用寿命时需进行更换。

表 5-3

孔型	机架	参考轧制支数	实际控制支数
181	1-3	3500	3000
	4-7	6500	6000
235 247	1-3	3000	2500
	4-7	5500	5000
291、310、356	1-3	3000	2000
	4-7	5500	4000

- ② 出现质量问题，如碓辊、龟裂、粘钢等时，在钢管外表面产生缺陷，应更换连轧辊。

- ③ 连轧辊的要求

- 1 上下扁轴与水平垂直上下辊前箱与框架前立柱间隙不大于 10 mm。
- 2 框架小车前后定位块完好，四轮及舌头用单手可移动。
- 3 框架小车后燕尾块完好，与框架接触牢固。
- 4 上架液压缸完全收回，两快速接头内密封圈良好。
- 5 防尘罩无变形，轴承箱端盖紧固。

- 6 上架安全白完好，下架铜柄完好。
- 7 上架两连接软管完好。
- 8 上架后箱止落挡块无磨损。
- 9 轴承和平衡缸已做试压试验，伸出和回收均正常。
- 10 连轧 1-4 架磨辊花（用手提砂轮），且辊面不能有明显油污。
- 11 孔型加工无缺陷，孔型样板与辊面间隙应小于 0.3 mm。
- 12 在换辊前对上下轴承箱两侧滑板及轴头涂油。
- 13 保证 1-7 架牌坊冷却水嘴通畅及水嘴方向正确。
- 14 生产过程中，轧辊使用造成孔型磨损严重或不均时应更换连轧辊。

### 5.1.5.3 限动芯棒连轧管机的芯棒

限动芯棒连轧管机的芯棒由于其各段的工作性质不同而由三部分构成，其装配示意图如图：

280.8 及以上芯棒为空心芯棒（ $d=110\text{ mm}$ ）

302.4 及以上芯棒为空心芯棒（ $d=190\text{ mm}$ ）

#### 1 芯棒尺寸

。表 5-4 芯棒尺寸

孔型系列	181	235	247	291	310	356
芯棒直径	127.8	166.6	188.5	210.3	250.3	302.4
	131.8	181.8	194.4	220.3	255.5	310.4
	139.8	187.1	199.9	232.7	260.4	317.3
	143.8	197.2	205.1	238.9	264.8	323.1
	147.8	201.8	209.8	250.3	268.6	328.1
	151.7	206.2	214.3 218.4	255.5	271.9	332.3
	155.4	210.3	222.2	260.4	274.7	335.9
	158.8	215.8	225.8	264.8 268.6	277.1 280.8	338.9
	161.7	217.9	229.1	271.9	284.4	
	166.6	220.2	231.8 232.7	274.7	287.7	
	168.3	222.2	234	277.1	290.3	
	169.9 171.7	224	235.4		293.5 295.7	

#### 2 芯棒的设计特点和技术条件

##### 1) 芯棒的设计特点

- ① 由于各部分工作状态不同，芯棒采用工作段，延长杆和尾柄三部分组合而成，方便了工作段的加工，降低了成本，也便于运输。
- ② 由于芯棒工作段表面镀铬后脱氢，热处理后表面硬度达到 60-62HRC，使得芯棒消耗下降，仅为 1 kg/t。工作段前端采用锥形，防止芯棒穿入毛管时划伤毛管内表面。

③ 各段由于作用不同，分别采用不同材质加工，使工具成本下降，由于各部分的工作性质不同其加工和热处理方式不同。

## 2) 芯棒的技术条件

① 工作段：材质 X35CrMoV05，成分如下（%）

C: 0.30-0.38,	Mn: ≤0.6,
Si: 0.70-1.20,	Cr: 4.50-5.50,
V: 0.80-1.20,	Mo: 1.00-1.50,
S: ≤0.008,	S+P: ≤0.020

表面镀铬层原设计厚度为 0.045-0.055 mm，经过试生产，芯棒使用效果不好，改为 0.055-0.070 mm 后，使用效果较好。所以镀铬层厚度 0.055-0.070 mm，然后脱氢处理。全段最大弯曲不大于 3 mm，屈服强度  $95 \text{ kgf/mm}^2$ ，表面硬度为 350-390HB。

② 延长杆：材质 42CrMo4，热处理后表面硬度为 270-300HB。

③ 尾柄：材质 42CrMo4，热处理后表面硬度为 280-320HB，与芯棒夹持套（衬瓦）接触要求表面硬度 54-58HRC，深 0.8-1.0 mm。

芯棒的工作段、延长杆、尾柄三部分采用螺纹连接。

3) 报废芯棒可重车使用，改为较小规格芯棒，或采用堆焊工艺进行重复利用。重车时，有的需要重新加工螺纹，故工作段会短一些，用长的延长杆与之配合，来保证芯棒总长度不变。

## 4) 连轧机芯棒使用及更换。

① 当芯棒表面有局部缺陷（凹坑、掉肉、裂纹等）时，应及时下线进行修复，芯棒修复处应圆滑过度。

② 当在芯棒头部 5m 范围内，出现深 2 mm、宽 3 mm、长 6 mm 的缺陷或在距芯棒头部 5-15m 范围内出现深 5 mm、宽 10 mm、长 120 mm 的缺陷时，需对芯棒进行重车或报废。

③ 润滑前芯棒表面温度应控制在 70-130<sup>0</sup>C 温度范围内（冬季略高 100-130<sup>0</sup>C），保证喷涂芯棒表面润滑剂的厚度层。

## ④ 修复

1 对下线后芯棒实行逐支滚动检验芯棒表面，对细小而浅的微伤，用手锤将其砸平滑，不要出现一个个锤坑，尽量不动砂轮机或焊补，以保镀铬层的存在。

2 对于纵向刮伤较为严重的，手锤砸不平的，但又没有必要焊的，可采用砂轮机人工研磨掉，将缺陷的尖角边磨圆，打磨粗糙的地方，研磨时应仔细谨慎进行，禁止干预与缺陷无关的区域，以免造成不必要的镀铬层损坏。

3 需要焊补的严重缺陷和裂纹，首先用砂轮机将缺陷内部修磨干净，去除所有氧化痕迹，露出清洁表面，尽量将表面裂纹磨掉，修磨出焊接座。

4 对焊接部位进行预热，温度为 250-300<sup>0</sup>C（刚下线的热芯棒可不预热），并对电焊条进行烘烤，温度为 300-350<sup>0</sup>C，保温 2 小时，进口焊条烘干温度为 90<sup>0</sup>C，保温 2 小时以上。

5 焊接时，采取直流电源反极接法，电焊条接正极。短电弧，小电流和直线运条法。应从四周边缘起焊，然后由外至内一圈圈的顺序焊接。

6 对于芯棒损伤面积尺寸在  $181 \leq 100 \times 200 \text{ mm}$ ， $235、247 \leq 150 \times 250 \text{ mm}$ ，291 以上  $\leq 150 \times 300 \text{ mm}$  范围内的缺陷，必须按上述方法进行补焊。

7 对于大面积损伤的芯棒， $181 > 100 \times 200 \text{ mm}$ ， $235、247 > 150 \times 250 \text{ mm}$ ，291 及以上

>150×300 mm，要求将缺陷边缘和较深影响管子质量的凹坑按上述方法焊补好。

8 焊补完后，用砂轮机将高于芯棒表面的焊补金属打磨光滑，并且与原芯棒表面平滑过度，修复表面应光滑无缺陷和小台阶，修磨时尽量不要伤及周围原芯棒表面。

#### 5) 芯棒工艺要求

- ① 芯棒经过表面研磨和抛光，表面光洁度要达到 7 以上，芯棒外径尺寸公差不得超过±0.05 mm (7 相当于 Ra>0.63-1.25)。
- ② 经过矫直的芯棒弯曲度要小于 0.25 mm/m。
- ③ 芯棒材质要求耐磨性高，热应力小，在较高温度下能够保持一定的热硬性，芯棒表面热处理后硬度应达到 Hs=50-60 (HRC 为 50-60)。
- ④ 每根芯棒可返修 2-5 次，总轧制量为 12000 支钢管左右。
- ⑤ 对芯棒表面进行镀铬，以提高芯棒的耐磨性，改善荒管的内表面质量。
- ⑥ 连接杆和尾柄使用寿命

表 5-5

名称	规格范围	规定寿命说明
连接杆	280.8 及以上	每次更换工作段，进行探伤，如无缺陷连续使用
	277.1-255.5	正常使用寿命 7000 支，或正常使用 4 支工作段
	250.3-232.2	每次更换工作段，进行探伤，如无缺陷连续使用
	235.4-188.5	
	224.0-187.1	每次更换工作段，进行探伤，如无缺陷连续使用
	171.3-164.3	正常使用 7000 支或正常使用 4 支工作段
	161.7-155.4	正常使用 8000 支或正常使用 4 支工作段
	151.7-127.8	每次更换工作段，进行探伤，如无缺陷连续使用
尾柄	255.5 及以上	正常使用 7000 支后，进行探伤检查，无缺陷继续使用
	250.3-187.1	尾柄到第三支工作段后，进行探伤检查，无缺陷继续使用，当连接杆粘扣后，对尾柄进行探伤检查，无缺陷继续使用
	171.3-164.3	使用寿命 7000 支以后或正常使用 4 支工作段后，报废处理
	161.7-155.4	使用寿命 8000 支以后，报废处理
	151.7-127.8	尾柄到第三支工作段后，进行探伤检查，无缺陷继续使用，当连接杆粘扣时，对尾柄探伤检查，无缺陷继续使用。

- ⑦ 连接杆报废后，可修复 2 次，以后不再进行修复，彻底报废。
- ⑧ 螺纹检查：工作人员在上线前，利用螺纹环规（塞规）和锥度卡板（塞板）进行检查，检验合格后方可上线使用。
- ⑨ 螺纹间隙 6±2 mm 为佳，芯棒总长 22500+7-10 mm

#### 5.1.5.4 脱管机

##### 1 脱管机减径变形分配，

为了得到良好的脱管作用，出口钢管具有较圆的外形，脱管机第 1 架根据 MPM 连轧机后两架的设定情况进行工作，但应保证减径率至少在 0.5%，最后一架（第三架或第五架圆孔型）应有较小的减径率，脱管机的总减径率为 2.63%至 8.71%。

## 2 轧辊的设计特点和技术条件

1) 设计特点: 采用三个轧辊构成封闭孔型, 加大了金属与轧辊间的作用力, 有利于脱管过程的顺利进行和金属的纵向变形。

2) 技术条件

材质: 球墨铸铁, 其成分如下 (%)

C: 3.20-3.70,                      Ni: 1.00-2.00,  
Si: 1.80-2.40,                      Mo: 0.20-0.40,  
Mn: 0.30-0.80,                      Cr: 0.30-0.80,  
P: ≤0.10,                              S: ≤0.01

表面经热处理后要求硬度为 380HB, 厚 80 mm (从 R55 mm-R135 mm) 的冷硬层。

3) **脱管机出现青线、砧辊、老化时, 要及时更换脱管机。**脱管机两辊间隙过大, 或两辊装配高度不一样高, 以及辊边倒角不合格时, 会在钢管表面产生青线, 当脱管机表面出伤时, 会在脱管后钢管表面产生规律性外表面缺陷。

$$L = \pi D_{\text{工作}}$$

$$D_{\text{工作}} = D_{\text{名义}} - AD_{\text{荒管}}$$

其中 A 为系数, A=0.95-0.955

### 5.1.6 MPM 连轧机的孔型设计

连轧管轧辊孔型设计方法是多种多样的, 各国厂家都有自己的设计方法和经验, 并且作为工艺诀窍。这里介绍一般的方法和步骤。

每一套连轧孔型仅可以轧制出一种外径规格的钢管。但在一套连轧孔型里采用不同直径的芯棒进行轧制, 可获得同一直径而壁厚不同的钢管。这样设计可极大减少备用工具的数量和更换工具的频次, 有利于大批量连续生产, 提高生产效率。最后通过定径工序既实现多个外径规格钢管的生产, 又保证了管子的外径精度。

每套轧辊孔型的设计, 是按该孔型系列轧制的最薄的钢管的条件进行的。在这种条件下, 该连轧管机孔型系的总延伸系数最大。按轧制壁厚最薄的钢管条件设计的轧辊孔型, 可有效用于轧制厚壁管。

#### 5.1.6.1 孔型基本参数

##### 1 连轧机的总延伸系数

连轧管机组中塑性变形是由穿孔、连轧管和定减径三个工序共同完成的。

连轧管机的总延伸系数选定, 既要考虑连轧管机的能力又要考虑穿孔、连轧管和定减径三个工序的生产能力平衡。各国厂家对机组的变形分配是不同的。西德是穿孔机采用较大的延伸系数(连铸坯最大可达 4.5), 和连轧管机采用适度的延伸系数(8 机架连轧管机  $\mu_{\Sigma} < 4.5$ , 7 架  $\mu_{\Sigma} < 4$ )。意大利则采取穿孔机较小的延伸系数, 连轧管机采取较大的延伸系数(最大  $\mu_{\Sigma}$  可达 7)。从连轧管机的能力来说, 7~8 机架的限动芯棒连轧管机, 最大延伸系数可达 7.5~10。但是连轧管机采用大的延伸系数, 对芯棒寿命不利, 因为会因芯棒与管子相对速度加大而使芯棒热负荷增加, 从而加速芯棒磨损; 此外, 新建的机组, 限动芯棒连轧管机的延伸系数多在 5 以下。(墨西哥塔姆萨厂的  $\phi 114.3 \sim 273$  机组最大延伸系数为 5.9; 加拿大阿尔戈玛厂  $\phi 48.3 \sim 177.3$  机组为 5.31)。

设计孔型时连轧后的荒管外径和壁厚是已知的, 因此选定连轧机总延伸系数后, 即可求

出穿孔后毛管尺寸:

$$D_m = d_D + \Delta_m$$

$$d_D = d_z - \Delta$$

$$D_m = (4\mu_\Sigma F_z / \pi)^{1/2} + d_m$$

$$\delta_m = (D_m - d_m) / 2$$

$$F_z = \pi(D_z^2 - d_z^2) / 4 = \pi(D_z - d_z)\delta_z$$

式中:  $d_m$ —穿孔后毛管内径尺寸, mm;

$D_m$ —穿孔后毛管外径尺寸, mm;

$\delta_m$ —穿孔后毛管壁厚尺寸, mm;

$d_D$ —连轧芯棒直径, mm;

$\mu_\Sigma$ —连轧机总延伸系数;

$F_z$ —连轧后荒管断面面积,  $mm^2$ ;

$D_z$ —连轧后荒管外径, mm;

$d_z$ —连轧后荒管内径, mm;

$\delta_z$ —连轧后荒管壁厚, mm;

$\Delta$ —连轧后荒管内径与芯棒的间隙量, mm;

$\Delta_m$ —毛管内表面与芯棒的间隙量, mm.

适当的毛管-芯棒间隙 $\Delta_m$ 可便于芯棒顺利插入毛管内,完成芯棒预穿工序, $\Delta_m$ 是经验值(一般为5~12mm)。

适当的连轧后荒管-芯棒间隙量 $\Delta$ 有利于连轧后的脱棒工序顺利进行。全浮动芯棒连轧管机的 $\Delta$ 值一般为1~3.5mm。限动芯棒连轧管机的 $\Delta$ 值可为0,以提高钢管轧制精度。

## 2 变形量分配

总延伸系数确定后(总减壁量和总减径量可确定),下一步要将变形量分配到各机架上。

各机架变形(延伸系数、减壁率、减径率)的分配规律是:最初几个机架是大延伸机架,用以实现高温条件下的大变形(延伸);中间为小变形机架,用以精轧;后几架为精轧机架,以保证高的壁厚精度和外径圆度(对全浮动芯棒连轧机来说,还为了形成脱棒间隙 $\Delta$ )。以8机架限动芯棒连轧管为例,第1~4架单机减壁率可达35%~50%,有的高达70%;第5~6架单机架减壁率为10~20%,第7架变形量极微小,单机架减壁率在8%以下;第8架变形量接近于零,即延伸系数接近于1。

各机架变形分配曲线有两种类型:一种按半抛物线型分配,例如前苏联列宁钢管厂提供的7机架全浮动芯棒连轧管机分配方案如表5-6所示:

表 5-6

机架号	1	2	3	4	5	6	7
延伸系数	1.35 ~ 1.45	1.45~ 1.55	1.45~ 1.50	1.27~ 1.50	1.16~ 1.20	1.10	1.05

第1架变形量略小于第2、3、4架是考虑适应来料尺寸波动。

另一种是按递减型分配变形。即变形量从第1架至第n架递减。按何种规律递减,各厂有所不同。例如,意大利达尔明厂提出限动芯棒轧管机的延伸系数按如下规律分配:

$$\mu_n = 1.02, \quad \mu_i = (\mu_\Sigma / 1.02^{1/(n-1)}) K_i$$

式中： $\mu_i$ —第  $i$  机架的延伸系数；  
 $\mu_n$ —第  $n$  机架的延伸系数；  
 $\mu_\Sigma$ —第  $\Sigma$  机架的总延伸系数；  
 $n$ —连轧机的机架数；  
 $K_i$ —试验系数。

以 8 机架连轧机架为例，当  $\mu_\Sigma = 8$  时，各机架的延伸系数分配如表 5-7 所示：

表 5-7

Ki	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_i$	1.26 ~ 1.70	1.17 ~ 1.58	1.12 ~ 1.50	0.98 ~ 1.32	0.92 ~ 1.23	0.81 ~ 1.09	0.76 ~ 1.02

各机架延伸系数的乘积应等于总延伸系数。

所选择的延伸系数系列是初步的，是供计算孔型尺寸用的。各机架的实际延伸系数要在计算出各机架处管子端面面积后才能求出。

各机架的单机架减壁率和单机架减壁量也参照延伸系数分配规律进行分配。

在圆孔型中轧管时，减壁只能在轧辊孔型顶部处进行。连轧管机相邻机架间轧辊轴线互成  $90^\circ$  布置，第  $i$  架孔型顶部压缩第  $i-1$  架孔型开口（辊缝处）的管子壁厚。据此，如不考虑拉缩，假定孔型辊缝处壁厚近似的等于前一架孔型顶部的管子壁厚，则对于 7 机架连轧管机来说：

$$\Delta\delta_\Sigma = \Delta\delta_1 + \Delta\delta_3 + \Delta\delta_5 + \Delta\delta_7$$

$$\Delta\delta_\Sigma = \Delta\delta_2 + \Delta\delta_4 + \Delta\delta_6$$

$$\delta_\Sigma = \delta_m - \delta_z$$

式中  $\Delta\delta_\Sigma$ 、 $\Delta\delta_1 \cdots \Delta\delta_i$  是连轧机总减壁量，第 1 机架减壁量，第  $i$  机架减壁量。

$\delta_m$  和  $\delta_z$  分别为毛管壁厚和连轧后荒管壁厚。

实际上，辊缝处管壁有拉缩。由于这个原因使第  $i$  架辊缝处管子壁厚略小于第  $i-1$  架孔型顶部的管子壁厚，故上述减壁量计算是近似的。

各机架孔型顶部的管子壁厚为：

$$\delta_7 = \delta_6 = \delta_z$$

$$\delta_5 = \delta_z + \delta_7$$

$$\delta_4 = \delta_z + \Delta\delta_6$$

$$\delta_3 = \delta_5 + \Delta\delta_5 = \delta_z + \Delta\delta_5 + \Delta\delta_7$$

$$\delta_2 = \delta_4 + \Delta\delta_4 = \delta_z + \Delta\delta_4 + \Delta\delta_6$$

$$\delta_1 = \delta_3 + \Delta\delta_3 = \delta_z + \Delta\delta_3 + \Delta\delta_5 + \Delta\delta_7$$

$$\text{或 } \delta_1 = \delta_m - \Delta\delta_1$$

$$\delta_2 = \delta_m - \Delta\delta_2$$

### 3 孔型高度

各架孔型高度

$$a_i = d_D + 2\delta_i$$

当需留芯棒间隙  $\Delta$  时，最后机架（成品机架）的孔型高  $a_n$  为：

$$a_n = d_D + \Delta + 2\delta_z$$

式中： $d_D$  和  $\delta_z$  分别为芯棒直径和轧后管子壁厚。

#### 4 孔型宽度

各机架孔型宽度

$$b_i = \xi_i a_i$$

式中： $\xi_i$  孔型宽高比，或称孔型椭圆度。为保证顺利咬入，第 1 架的孔型宽  $b=(1.025\sim 1.03)D_m$

$\xi_i$  值较大时，变形比较均匀，管子壁厚不均也较轻，但过小会出现过充满。 $\xi_i$  值应与变形分配相对应。

#### 5 孔型开口角

孔型开口角  $\phi_i$  应与  $\xi_i$  对应。通常前部几架采用大一些的  $\phi_i$  和  $\xi_i$  值，有利于金属自由流动。最后几架采用较小的  $\phi_i$  和  $\xi_i$  值，以保证变形均匀和提高管子尺寸（外径和壁厚）精度。

#### 6 开口圆弧半径

通常，第 1~3 架用直线开口孔型，其他机架用圆弧开口孔型。开口圆弧半径  $R_1$  与  $a$ 、 $\xi$  和  $\phi$  互有关系，已知其中三个参数，即可求出另一个参数。

$$R_1 = a(1 + \xi^2 - 2\xi \cos \phi) / [4(1 - \xi \cos \phi)]$$

$$U = R_1 / R = 2R_1 / a = 1 + (\xi^2 - 1) / [2(1 - \xi \cos \phi)]$$

意大利达尔明公司推荐的 8 机架联动芯棒连轧管机的孔型开口角、椭圆度和孔型开口半径如表 5-8 所示：

表 5-8

机架号	1~2	3	4~8
$\phi^\circ$	30	25	25
U	$\infty$	3	1.5
$\xi$	1.155	1.066	1.032

#### 7 圆角半径和辊缝

圆角半径  $r$  的取值范围一般为 30~5mm，第 1 机架为 20~30mm，以后逐渐减小，最后机架为 5~10mm，靠经验选取。辊缝  $\Delta g$  一般为 5~12mm，常用 5~8mm，可以各机架相同，也可以是顺轧制方向逐渐减小。

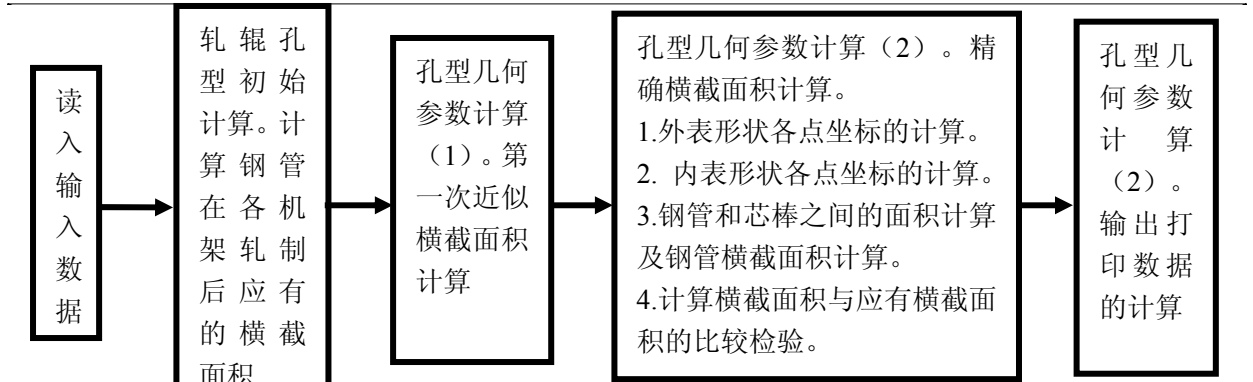
##### 5.1.6.2 孔型设计原理

###### 1 设计步骤

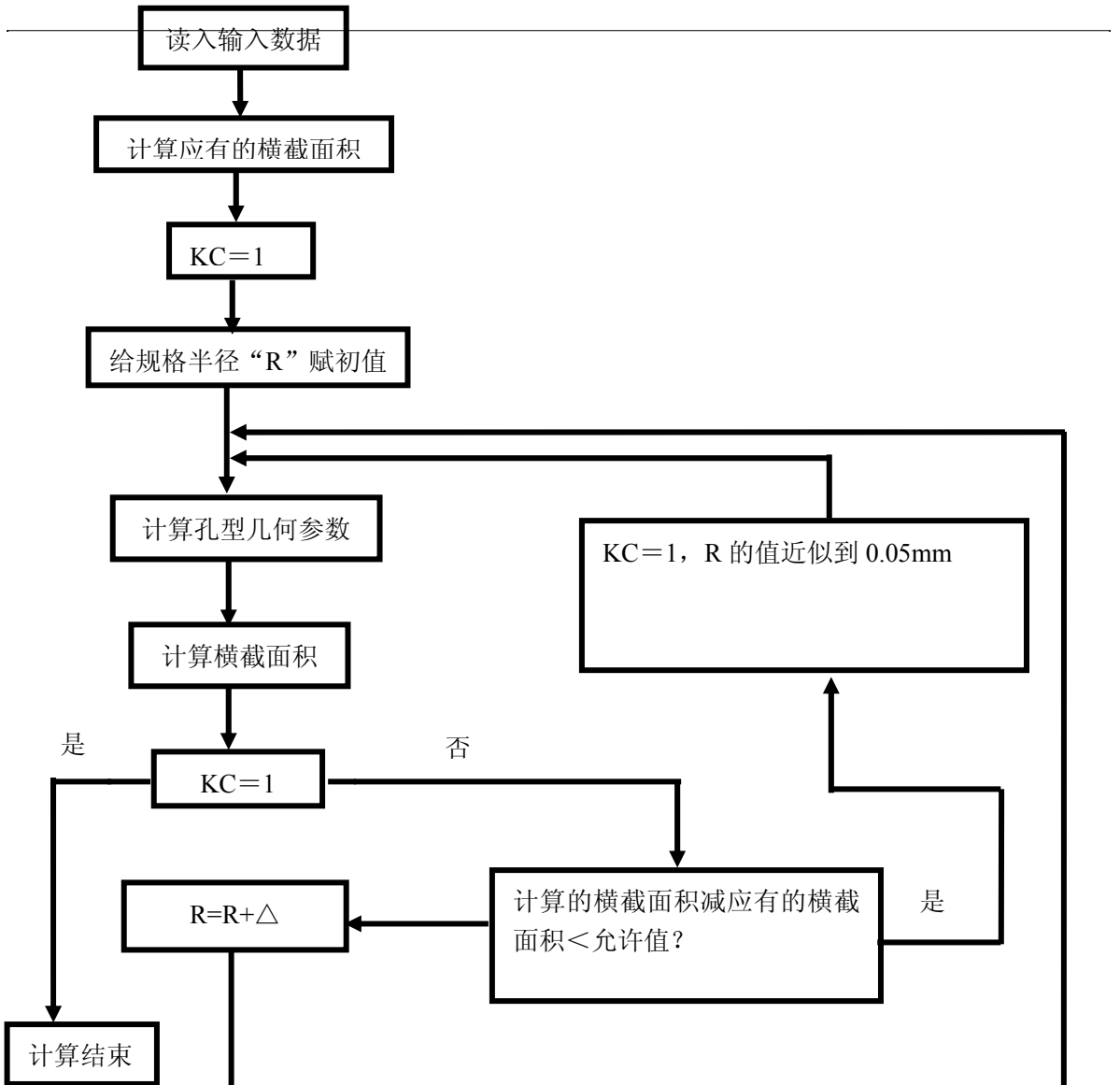
- 1) 确定该孔型系列轧制最薄钢管的规格和芯棒直径。
- 2) 确定轧机的总延伸系数。
- 3) 计算毛管规格，分配各架轧机的延伸系数。
- 4) 根据分配的延伸系数计算出轧件在各架孔型处的轧件横截面积  $S_1$ 。
- 5) 选定孔型基本参数和相应的尺寸参数。
- 6) 根据选定的孔型参数计算各架孔型轧件横截面积  $S_2$ 。当  $|S_1 - S_2| \geq$  规定数值时，认为孔型几何尺寸不合理，重新调整尺寸参数，再进行计算。直到当  $|S_1 - S_2| \leq$  规定偏差时确认孔

型尺寸的设计是合理的。因为连轧孔型设计中的几何公式计算较复杂，而且人工计算工作繁重，因此通过在计算机上编制几何学程序来进行计算是最佳的手段。

## 2 轧制道次计算程序组成，见表 5-9 表 5-9



## 3 计算流程，见表 5-10 表 5-10



给定的各机架孔型横截面积,是根据相应机架的延伸系数和入口处轧件横截面积计算得来的。第一架得入口横截面积就是毛管得横截面积。

计算各机架孔型的轧件横截面积时,首先要确定规格半径  $R$ ; 其余的孔型数据(半径和角度)是给定的,或是作为  $R$  的函数计算得到的。

后一架的参数是根据前一架相应的数据而赋予的。每个机架的原始规格半径  $R$  的数值是给定的。

对每一机架的孔型,所有的几何参数和横截面积都要进行计算,得到的轧件横截面积计算值与给定值进行比较后重复进行计算(每次  $R$  都要改变  $0.5\text{mm}$ , 之后改变  $0.025\text{mm}$ ), 直到给定的横截面积与计算值之差小于  $0.002\text{mm}^2$ 。

从  $R$  的最终值开始,  $R$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_4$  近似到  $0.05\text{mm}$ , 而  $R_5$  近似到  $0.1\text{mm}$  (如果不赋值)。以下为连轧孔型结构几何图形。

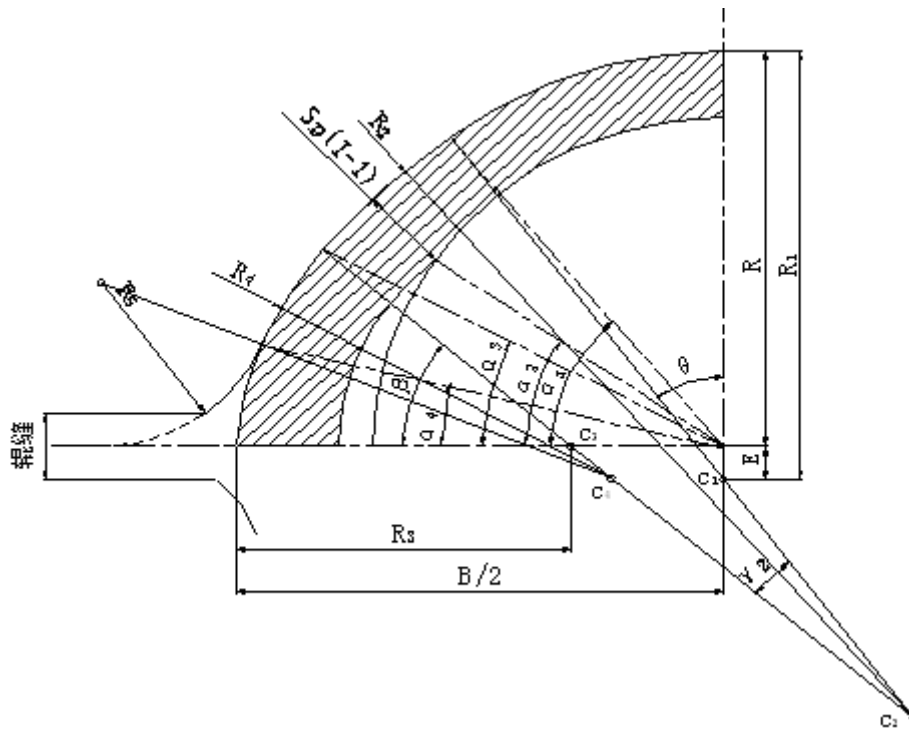


图 5-18 MPM 连轧辊孔型结构图

其中: 1 角度

$\alpha_1$  = 脱离角;  $\alpha_2$  = 芯棒脱离角;

$\alpha_3$  = 轧辊脱离角 (第二次脱离角);  $\alpha_4$  = 连接角

2 半径

$R$  = 规格半径;  $R_1$  = 顶部半径;  $R_2$  = 脱离半径

$R_3$  = 辊缝处钢管半径;  $R_5$  = 连接半径

3 其他参数

E=偏心距；B=孔型宽度；Sp(I-1)=前一机架遗留壁厚；  
C1~C5为圆心； $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\theta$ 为横截面角。

表 5-11 轧管厂  $\phi 181$  连轧孔型参数表。

Φ 181 规格连轧辊孔型设计参数									
毛管：外径 220.00mm 壁厚 20.50mm									
荒管：外径 181.00mm 壁厚 4.75mm									
延伸率：4.864									
参数名称	单位	入口处	第 1 架	第 2 架	第 3 架	第 4 架	第 5 架	第 6 架	第 7 架
<b>钢管一般数据</b>									
所需横截面积	mm <sup>2</sup>	12848	8503	5635	4174	3366	2902	2687	2630
横截面积	mm <sup>2</sup>	12848	8512	5638	4175	3372	2911	2687	2642
平均延伸率			1.509	1.510	1.350	1.238	1.159	1.083	1.017
辊喉底部壁厚	mm		12.35	9.00	6.80	5.60	5.00	4.75	4.75
辊喉底部延伸率			1.660	2.278	1.186	1.607	1.360	1.179	1.053
芯棒直径	mm		171.50	171.50	171.50	171.50	171.50	171.50	171.50
<b>轧辊辊型尺寸</b>									

轧辊辊型尺寸(I-1)			1.000	1.030	1.025	1.025	1.020	1.015	1.018
轧辊喉部辊型尺寸	mm		110.00	55.99	65.44	76.12	80.09	81.22	81.22
轧辊唇转角( $\alpha_2$ )	度		196.20	189.50	185.74	182.67	181.19	181.10	181.10
轧辊唇高度	mm		150.55	95.75	99.35	99.95	96.75	98.50	98.50
芯棒脱角( $\alpha_3$ )	度		120.09	150.00	180.00	160.00	180.00	170.00	150.00
钢管芯棒间隙	mm		2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
脱离区辊型尺寸	mm		17.42	12.90	10.47	9.32	7.93	7.01	7.01
轧辊辊缝数据 <sub>1</sub>	度		35.00	35.00	35.00	40.00	40.00	35.00	35.00
脱角辊缝(R2)	mm		251.35	256.90	288.25	149.85	136.15	195.75	195.75
脱角辊缝(R2/R1)	mm		20.50	20.50	22.25	18.75	15.50	11.50	11.50
<b>粗加工辊型参数(ECC=0)</b>									
轴加长半径R1	mm	691	640.6	604.3	588.0	580.8	584.3	581.0	581.0
轴加长减小率	%		8.4818	5.3884	4.758	12.648	0.970	0.563	0.903
辊缝处辊型尺寸	mm	562	546	542	541	542	541	541	541
穿板级脱角( $\alpha_3$ )	度		2.98	0.4787	0.094	29.62	0.090	0.5145	29.19
分割角脱离半径(R4)	mm			236.90	75.25	87.55	92.10	97.45	97.45
第2级脱离比率(R4/R3)	度		53.856	55.000	50.900	50.900	50.900	52.000	52.000
GAMMA <sub>2</sub> 度( $\alpha_4$ )	度		7.670	8.200	7.300	8.200	8.000	8.000	8.000
BEA半径(R5)	mm		24.876	26.087	30.000	22.087	19.000	18.000	18.000
<b>辊缝处钢管尺寸</b>									
孔型宽度(B/2)	mm		110	101	97.1	94.9	93.2	92.1	92.1

## 5.1.7 连轧机组在线检测系统

### 5.1.7.1 测温

#### 1 钢管温度测量

采用一光学高温计对钢管温度进行测量。其目的是检测进入轧机的钢管是否符合规定的要求，即温度制度，以确保所轧钢管的质量。脱管机后也有一测温装置，用以确保进入定径机所需温度。

#### 2 芯棒温度的测量

采用一接触式测温计对芯棒进行测试，其目的是用来检查芯棒的润滑条件。芯棒的温度过低时，润滑剂涂抹不均匀；温度过高，又使润滑剂容易剥落。这些缺点都会使金属变形不均匀，管子的横向壁厚不均，内外表面质量不高，而且芯棒磨损比较快，寿命降低，所以必须对芯棒温度进行测量。

### 5.1.7.2 测速

#### 1 轧制速度及芯棒速度

对于 MPM 及脱管机，要对轧制速度进行测试，测试装置采用脉冲发生器。连轧管时，各机架间的速度关系对金属在孔型中的变形特点有重大影响，速度的变化直接影响到管子的内外表面质量，而芯棒的速度在 MPM 中是恒定的，它的变化与否对轧制过程有很大影响，所以为了更好地设定和校核各机架与芯棒的速度，必须对轧机本体（含脱管机）及芯棒进行速度控制，并以此为依据进行工艺研究。

#### 2 钢管速度的测定

- 1) 测定最后一台机架的管子出口速度。在 MPM 出口及脱管机入口各安装一个光电管，这两个光电管能测出管子在轧机出口到脱管机入口之间运行的时间，而管子从轧机出口到脱管机入口的距离是一定的，所以根据时间、距离就能测量出管子出 MPM 时的速度。
- 2) 脱管机里钢管的速度。采用激光系统对钢管速度进行测量，其目的是为了对工艺进行进一步的控制，激光测试系统包括计算管子速度所必须的全部设备及一个数字显示器。

### 5.1.7.3 钢管长度的测量

测试装置为激光系统，带有两个电气—光学探测头，用于识别管子的始端和末端，测量的目的是控制管子的长度以进行工艺控制。

### 5.1.7.4 钢管壁厚测量

测量装置主要是一个传感器，它是由一个带极靴的磁芯组成，用来接近被测量管子。在磁芯上绕有通电线圈，而缠绕在磁芯上的通有正弦信号发生器的交流线圈，可在热管壁的金属上引起涡流，其强度与钢管的壁厚和传感器至被测的钢管间距离有关，通过测量线圈阻抗的值，可求得被测量壁厚的值。

### 5.1.7.5 其它

#### 1 轧机功率

测试装置采用电流、电压交换器，目的是用于对轧机进行校核和进行工艺研究。

#### 2 轧制力

采用测压头进行测试，目的是对轧机的轧制力进行测量，并对轧机进行校核，同时也可用作工艺研究。

### 3 限动力

对于限动芯棒限动力的测量可以采用马达电流，主要用途是用来对轧制进行校核和进行工艺研究。

### 4 脱管机的轧制功率

和连轧机轧制功率一样，采用电流、电压交换器，用来对脱管机的轧制进行校核并进行工艺研究用。

## 5.1.8 常见生产事故

### 5.1.8.1 抱棒、轧卡、跳停

辊缝、转速调整不当，新芯棒开轧等情况易造成抱棒，主机并不跳停，芯棒会带着荒管抽回。此种情况应将主机 F 区和回转臂 E2 区改为手动，主传动停止。防止限动回到零位后，回转臂将芯棒带荒管一同翻起，损坏设备，造成事故。

轧卡多发生于单架过压，某架或限动电机、传动出现故障时。

主机、限动出现异常报警跳停，轧制中的管子留在轧机中。

处理上述事故步骤如下：

- 1 主机停转后，立即关闭轧辊冷却水及前台冷却水。
- 2 连轧压下打开到换辊位。
- 3 芯棒带荒管退回，齿条退至-120 cm处。
- 4 沿芯棒前端面切割荒管。
- 5 齿条回零位，前端荒管与芯棒分开一定距离。
- 6 剔除抱棒芯棒。
- 7 将轧机内荒管退出剔除。
- 8 检查更换损坏轧辊。
- 9 调整轧机进行生产。

如遇堆钢轧卡，轧机未同时停转或调整处现严重错误时，造成金属流量失衡，钢管堆积在一处。在处理过程中，要将堆钢处用气割切割挤入辊缝的耳朵，直到能在无负荷或较小负荷下抽回芯棒为止。

### 5.1.8.2 轧断

轧制时管子发生断裂，轧制力张力过大（拉钢轧制太严重）造成。

连轧机调整不当流量失衡，毛管来料尺寸偏差过大。

实测辊缝进行调整，保证各架压下量均衡，尤其是上游机架，并测量毛管尺寸，调至要求范围内。

轧断时，前部断管从脱管机内脱出，从辊道上翻走。后部断管一般较短，如在芯棒上带回，直接将其剔除。如能从脱管机脱出，要注意用天车吊走，防止管太短，掉到设备下。

如停在连轧脱管之间，要用钢丝绳捆牢钢管，用天车将其吊出。

检查更换损坏轧辊后进行轧制。

### 5.1.8.3 脱管前堆钢

多发生于 1 架断白、开轧，主要是金属流量失衡严重。应保证 1 架压下量到位，开轧时，1 架调整要与其他机架调同步。并适当提升脱管机转速，避免脱管机出现负电流的堆钢轧制。

发生堆钢后，主机停转，将堆钢处钢管用气割切断分开吊出，芯棒带荒管退回剔除，检查更换损伤轧辊及设备调整轧机开轧。

### 5.1.8.4 芯棒断

发现芯棒断要及时拍下紧急停车按钮，防止芯棒进脱管机，将断棒同荒管倒回切割剔除，检查更换脱管机。如芯棒同荒管一起从脱管机通过，要将该管同芯棒一起剔除，更换新脱管机进行轧制。

芯棒断原因较复杂，一般认为有芯棒位调整偏差过大，来料尾部壁厚偏差过大，抛钢时产生剧烈抖动，芯棒在使用吊运中造成损伤。

## 5.2 PQF 连轧机组（Premium Quality Finishing）

### 5.2.1 概述

内容：PQF 简介

要点：了解 PQF 的先进性

该套连轧机组为限动/半浮动芯棒连轧管机组，又称 PQF（Premium Quality Finishing 高效、优质、精轧管机组）机组。本机组为 SMS-Meer 公司 INNSE 设计制造。它是目前世界最先进的连轧管设备，有多处采用新工艺、新技术。三辊连轧钢管孔型设计、独特的轧辊压下、平衡方式，先进的自动化控制管理系统等方面均在轧管领域最前沿。

从工艺角度讲，PQF 与 MPM 比较具有以下优点：

- 1) 三辊孔型设计使孔型槽底与轧槽侧壁之间的圆周速度差异减小，从而使金属变形也变得均匀，轧管过程也更平滑、稳定，芯棒在孔型中的稳定性也更高。

由于环孔型上各点金属流动速差减小，故减小了槽底金属对侧壁金属的阻碍作用，从而可以消除在侧壁的波纹之类的缺陷。而且这种均匀变形可以提高延伸，增加轧制薄壁管和高钢级品种的轧制能力。这样就减少了机架数，减轻了对轧制工具的磨损，延长工具使用寿命。

- 2) 三辊孔型设计使凸缘区(钢管既不与轧辊也不与芯棒接触的区域)更小，约比二辊减少 30%。这也使轧制工具磨损均匀，减小材料损失。
- 3) 三辊几何形可以在相同芯棒下有更大的调节范围，且无大的公差影响。这样可以增大同规格芯棒的可轧壁厚范围，大大减少了芯棒数量(减少 50%)，减少了工具更换频率。表 5-12 即为外方提供的 PQF 185 孔型和 MPM 185 孔型规格比较。

表 5-12 PQF 185 孔型和 MPM 185 孔型芯棒规格比较

## PQF—185 孔型

N	芯棒直径 mm	壁厚			下限				上限			
		名义 mm	最小 mm	最大 mm	mm	%	附加 公差 %	出口 OD mm	mm	%	附加 公差 %	出口 OD mm
1	176.4	4.20	4.00	4.70	0.20	4.8	0.81	184.8	0.50	11.8	1.70	185.6
2	174.8	5.25	4.75	5.90	0.50	9.6	1.69	184.2	0.65	12.3	1.76	186.2
3	172.3	6.61	5.95	7.40	0.66	9.9	1.75	183.9	0.79	12.0	1.73	186.5
4	169.0	8.26	7.45	9.25	0.81	9.8	1.72	183.4	0.99	12.0	1.73	187.0
5	164.9	10.31	9.30	11.55	1.01	9.8	1.72	183.0	1.24	12.0	1.74	187.5
6	160.3	12.61	11.60	14.10	1.01	8.0	1.38	183.0	1.49	11.8	1.71	188.0
7	155.3	15.17	14.15	16.65	1.02	6.7	1.13	183.0	1.48	9.8	1.45	188.0
8	150.3	17.72	16.70	19.20	1.02	5.7	0.96	183.0	1.48	8.4	1.25	188.0
9	145.2	20.27	19.25	21.75	1.02	5.0	0.84	183.0	1.48	7.3	1.10	188.6

## MPM---185 孔型

N	芯棒直径 mm	壁厚			下限					上限				
		名义 mm	最小 mm	最大 mm	mm	%	附加 公差 %	出口 OD mm	EM OD 减 壁 率	mm	%	附加 公差 %	出口 OD mm	EM OD 减 壁 率
1	176.4	4.20	3.98	4.30	0.22	5.1	1.75	184.6	5.18	0.10	2.4	1.39	185.2	5.51
2	175.6	4.59	4.35	4.70	0.24	5.1	1.75	184.5	5.16	0.11	2.5	1.46	185.2	5.52
3	174.8	5.01	4.75	5.15	0.26	5.1	1.75	184.5	5.14	0.14	2.9	1.67	185.3	5.55
4	173.8	5.48	5.20	5.65	0.28	5.1	1.75	184.4	5.12	0.17	3.1	1.79	185.3	5.58
5	172.8	6.00	5.70	6.15	0.30	5.1	1.75	184.4	5.09	0.15	2.4	1.42	185.3	5.55
6	171.7	6.53	6.20	6.70	0.33	5.1	1.75	184.3	5.06	0.17	2.5	1.47	185.3	5.57
7	170.6	7.11	6.75	7.30	0.36	5.1	1.75	184.3	5.03	0.19	2.6	1.52	185.4	5.59
8	169.3	7.75	7.35	7.95	0.40	5.1	1.75	184.2	5.00	0.20	2.6	1.53	185.4	5.61
9	168.0	8.43	8.00	8.65	0.43	5.1	1.75	184.1	4.96	0.22	2.6	1.50	185.4	5.63
10	166.5	9.17	8.70	9.45	0.47	5.1	1.75	184.1	4.92	0.28	3.1	1.77	185.6	5.69
11	164.8	10.01	9.50	10.30	0.51	5.1	1.75	184.0	4.88	0.29	2.9	1.67	185.6	5.70
12	163.0	10.91	10.35	11.20	0.56	5.1	1.75	183.9	4.83	0.29	2.7	1.55	185.6	5.70
13	161.1	11.86	11.25	12.20	0.61	5.1	1.75	183.8	4.78	0.34	2.9	1.68	185.7	5.75
14	159.0	12.91	12.25	13.30	0.66	5.1	1.75	183.7	4.72	0.39	3.0	1.75	185.8	5.80
15	156.7	14.07	13.35	14.50	0.72	5.1	1.75	183.6	4.66	0.43	3.0	1.77	185.9	5.84
16	154.2	15.33	14.55	15.80	0.78	5.1	1.74	183.4	4.60	0.47	3.0	1.77	185.9	5.88
17	151.4	16.70	15.85	17.20	0.85	5.1	1.74	183.3	4.53	0.50	3.0	1.74	186.0	5.91
18	148.5	18.19	17.25	18.70	0.94	5.1	1.76	183.1	4.44	0.51	2.8	1.64	186.0	5.93
19	145.3	19.76	18.75	20.35	1.01	5.1	1.75	183.0	4.36	0.59	3.0	1.73	186.2	6.00
20	141.8	21.50	20.40	22.15	1.10	5.1	1.75	182.8	4.26	0.65	3.0	1.75	186.3	6.06

- 4) 三辊的刚性轧辊设计, 减少了轧制时的轧辊弯矩, 也就使得可以轧制薄壁管和高钢级品种。
- 5) 均匀变形及合理的几何孔型设计, 使得可以每个轧辊一个液压缸控制压下量, 实现辊缝调整模型化。从而提高了壁厚精度, 减少荒管头尾与中部的壁厚差异。

总之, 本套 PQF 连轧机组是现代无缝钢管生产先进技术的集中体现, 它做到了无缝钢管生产连续、高效, 而且具有极高的机械化、自动化程度。它反映着我国钢管生产的最新技术水平, 同时也是世界钢管生产的先进技术水平, 为我公司早日成为世界石油套管生产基地奠定了坚实基础。

## 5.2.2 连轧工艺

内容：PQF 连轧的工艺目的、流程和工艺参数

要点：了解和掌握连轧工艺目的、流程，了解和熟悉连轧产品尺寸特性、设备能力、技术要求及连轧工艺数据

### 5.2.2.1 工艺目的

连轧管工序是钢管生产的重要工序，在热轧钢管生产中，轧管工序的主要工艺目的在于：将穿孔工序移送来的毛管进行减径、延伸并相应减壁，同时改善荒管内、外表面光洁度，提高壁厚均匀度。

### 5.2.2.2 工艺流程

除去内表面氧化物的毛管通过横移车放入轧线后，经润滑后的芯棒经另外一辆横移车也放至轧线，在预穿推杆推动下快速预穿入至设定位置，推杆夹持头打开，推杆返回。同时限动齿条夹持头锁紧芯棒。芯棒在限动齿条的推动下预插入轧机内，然后在 PQF 前夹送辊将毛管喂入轧机的同时高压水除鳞，此时齿条以与轧制规格匹配的限动速度（最大 1.35m/s）前进，随着毛管的轧制，芯棒支撑机架依次打开，完成轧制过程。当荒管与芯棒脱开后通过脱管机后第一段辊道，停止于 P Q F 前的齿条夹持头释放芯棒，脱管机打开，芯棒穿过脱管机后翻到冷却站。芯棒经过冷却站后，通过 3 个巷道再经润滑环喷涂石墨，以备下一支轧制。齿条释放芯棒后以最大 5.5m/s 高速返回。

此设计中，芯棒侧挂在齿条轧线侧。齿条返回零位后，夹持头锁紧芯棒尾柄，开始新的轧制周期。限动结束后夹持头打开。由于为侧挂式所以在齿条到零位之前预穿好的芯棒可以在主轧线上等待下一支轧制，提高轧制节奏。工艺流程详见图 5-19。

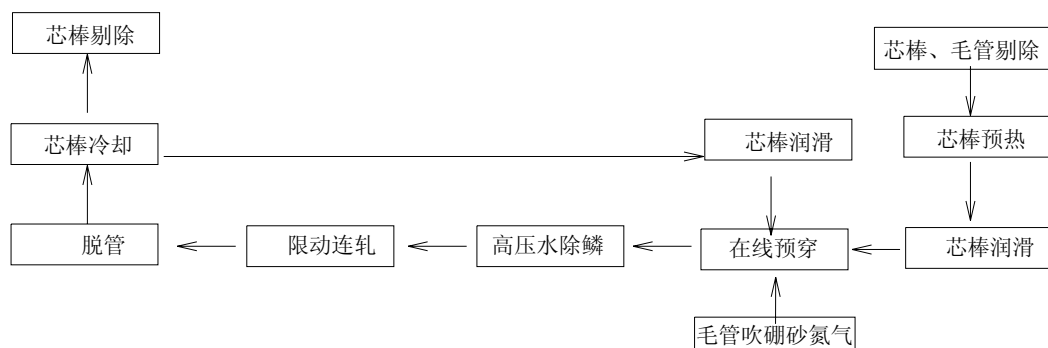


图 5-19 连轧工艺流程图

### 5.2.2.3 工艺数据

VRS 前毛管规格	Φ210mm 料坯	Φ150mm 料坯
外径	222mm	172mm
壁厚（最小—最大）	13.0~30.0mm	10~30mm
毛管长度	4, 400~9, 500mm	

**PQF 前毛管规格**

外径	215mm	165mm
壁厚（最小—最大）	13.2~30.2mm	10.1~30.3mm

**PQF 出口荒管**

外径	185mm	142mm
壁厚（最小—最大）	4.1~21.7mm	3.2~18.0mm

最大长度	26.8m	27m
------	-------	-----

总延伸量	3.67~1.60	3.64~1.73
------	-----------	-----------

入口速度（max）	1.5m/s	
-----------	--------	--

出口速度（max）	4.0m/s	
-----------	--------	--

轧制节奏（max）	150pcs/h	
-----------	----------	--

**脱管机**

入口荒管直径	185mm	142mm
--------	-------	-------

入口荒管壁厚(min~max)	4.5~21.7mm	3.2~18.2mm
-----------------	------------	------------

出口直径	175mm	132mm
------	-------	-------

出口壁厚	4.2~22.1mm	3.3~18.2mm
------	------------	------------

**5.2.3 PQF 主机说明**

内容：PQF 连轧机、芯棒支撑机架结构、工艺目的和工艺数据

要点：了解和掌握主机动作原理；

了解和熟悉主机工艺目的及产品特性、设备能力等工艺参数

**5.2.3.1 机架形式**

连轧机组为 1 架 VRS（Void Reduce Stand 空减机架）和 5 架 PQF（Premium Quality Finishing）连续布置。各机架之间由钩子连接。牌坊为隧道式，如示意图所示。连同 VRS，各机架均为三辊轧制，每个轧辊由一台电机单独驱动。三个轧辊互成 120°，前后机架轧辊互成 60° 布置。

**5.2.3.2 压下装置****1 特点**

在本套连轧机组中，压下装置采用独特设计。过去的轧机压下设计都是压下装置直接作用在轧辊的轴承座上，每个轧辊有两个压下丝杠或者液压缸，而这套压下装置采用液压伺服压下。液压缸头直接作用在“C”形臂上，每个轧辊只用一个压下头。这种伺服液压压下控制，变电气控制为液压、电气联合控制，可以实现辊缝调整模型化。这样提高了壁厚精度，减少荒管头尾与中部的壁厚差异。

**2 结构与原理**

各液压缸与轧辊对应布置在牌坊上。压下装置如图 5-20 所示。

工作原理：需要调整辊缝时，若需要压辊缝，通过油口向缸体内加油增压，推动缸头下压。若需要抬辊缝，油口向外排油减压，在平衡力作用下轧辊抬起。液压缸头的最大行程为 105mm。

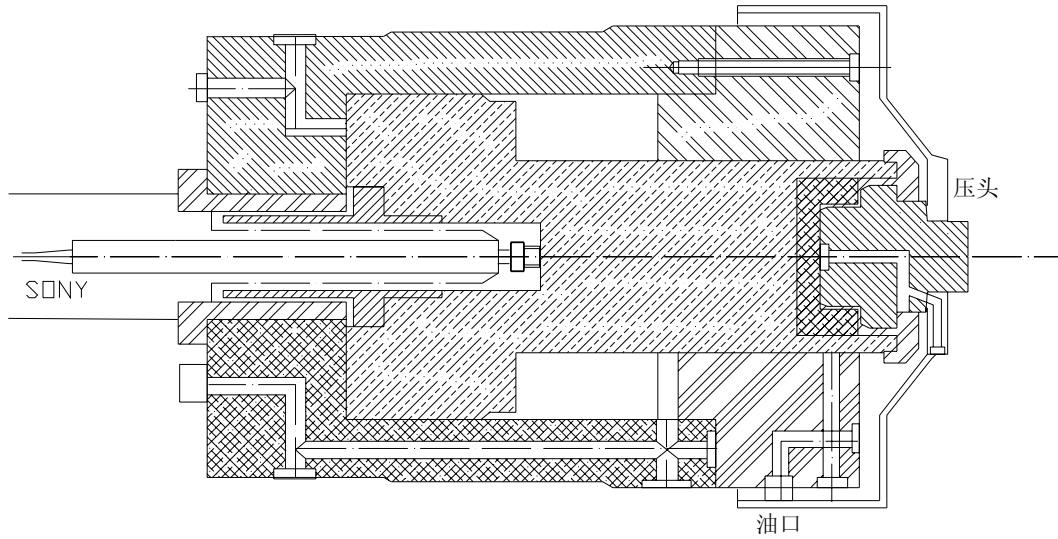


图 5-20 液压缸示意图

之所以称伺服液压压下，是因为在缸体内装有位置传感器。由它随时检测缸头的位置，同时检测缸体内压力变化。通过它返回的信号值，系统进行轧制参数计算和校核。当检测到压力过载时，信号立即反馈给系统，油口排油减压，达到保护设备的作用。

### 5.2.3.3 平衡装置

由于 PQF 三辊轧机轧辊的特殊装配方式，平衡装置也配套采用新型设计，其装置为液压缸带动一拨叉，拨叉压在“C”形臂的“肩”上，压下装置的力是向轧制中心线的力，平衡力是反力。由于 PQF 的布置方式，三个平衡叉中，上两个为单向拨叉，下面的一个为双向拨叉。它们的行程为：上两个：100mm；下拨叉：81mm。平衡叉结构见图 5-22。

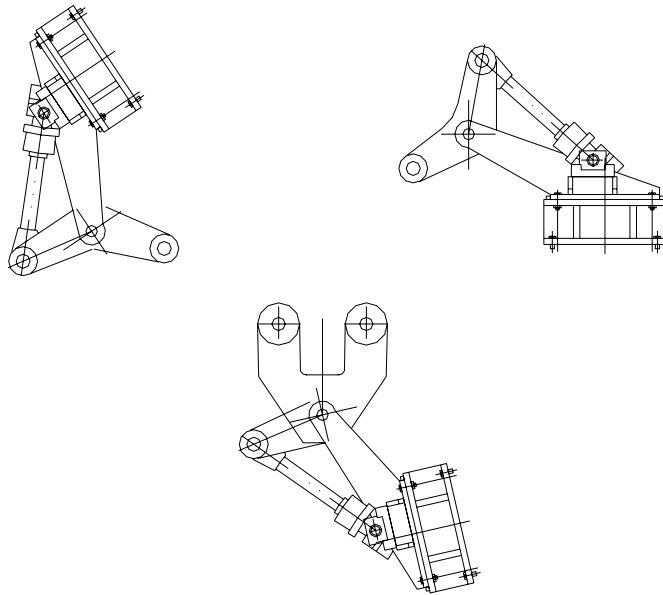


图 5-22 平衡叉结构图

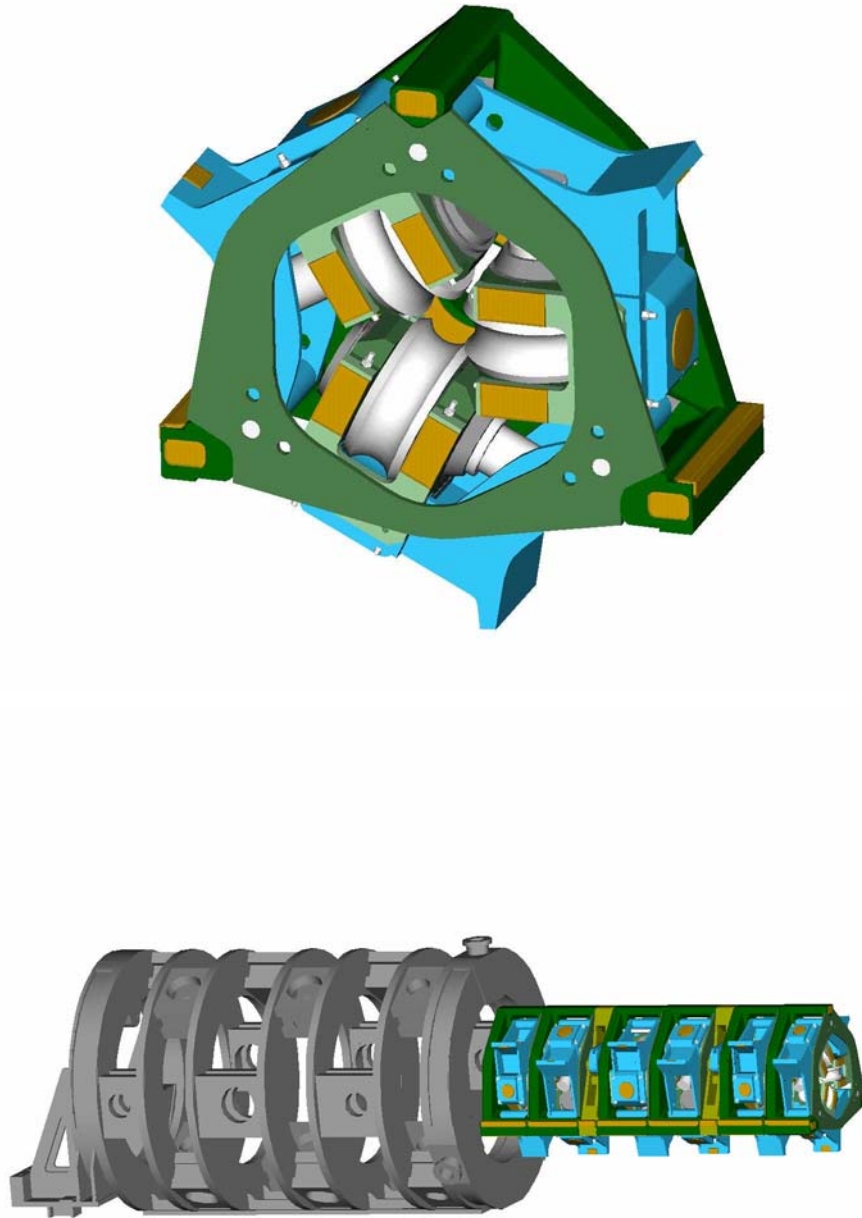


图 5-21 PQF 连轧机架示意图

### 5.2.3.4 锁紧装置（如下图）

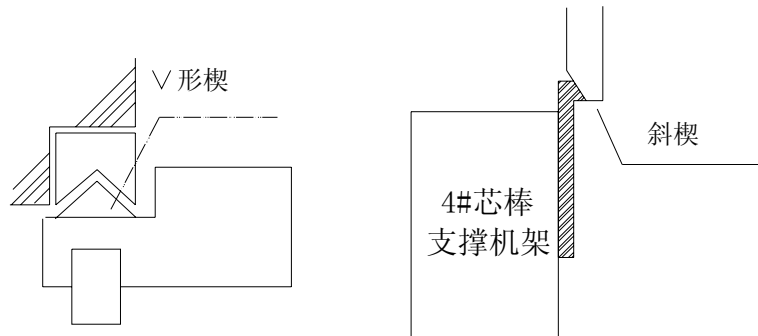


图 5-23 锁紧装置示意图

#### 1 横向锁紧

当支撑缸将机架升起后，机架一侧的底座上有“^”形突起，它可以嵌入牌坊上的另一个“^”形槽，以此实现横向锁紧。

#### 2 轴向锁紧

当 1VRS+5PQF 机架及芯棒支撑机架推入牌坊之后，沿轧制线轴向上须锁紧。在入口侧，由第一架芯棒支撑架固定，出口侧装有三个斜楔。当机架到位后，斜楔扣住。扣板上侧为斜楔形，牌坊头装有液压缸推动的另一半斜楔，它向下压下以锁紧机架，使各机架紧紧挤在一起。

### 5.2.3.5 芯棒支撑架

在连轧机架之间有 4 个三辊式芯棒自对中装置，这些机架都带有依芯棒规格进行调整的装置。芯棒支撑辊由液压缸控制，在没有毛管通过时抱住芯棒，使芯棒处在轧制中心线上。当毛管逐架轧到之前，支撑辊打开使毛管处于轧辊轧制下，芯棒位置由轧制孔型确定在轧制线上。从结构上保证芯棒处于轧制中心线，使轧出的管子减少壁厚不均等缺陷。这四架三辊支撑架分别位于 VRS 前、1~2 之间、3~4 之间和第 5 架之后。芯棒支撑架结构如下图。

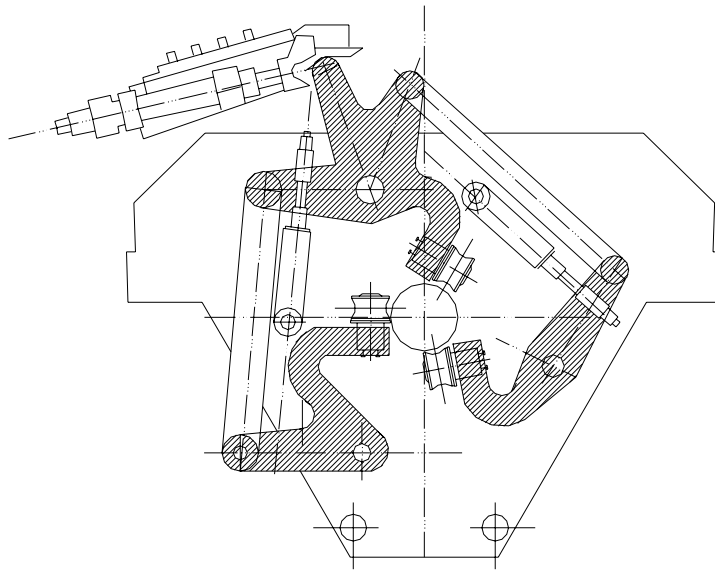


图 5-24 芯棒支撑架结构图

## 5.2.4 脱管机说明

内容：脱管机工艺目的和工艺数据

要点：了解和掌握脱管机动作原理；

了解和熟悉脱管机工艺目的及产品特性、设备能力等工艺参数

### 5.2.4.1 脱管工艺目的及特点

#### 1 工艺目的

脱管机设置主要有两个目的：

- 1) 将荒管从芯棒上脱出，完成脱管。在线脱管，缩短了工艺流程，提高终轧温度。
- 2) 起校正（定径）作用，即在钢管生产中，脱管机轧制也有延伸和定径作用。

#### 2 工艺特点

在本套机组中，根据工艺要求，芯棒须穿过脱管机。因此，脱管机设计有打开装置。当荒管通过脱管机后第一段辊道，脱管机轧辊打开（最大打开度 10mm）。而且脱管机设计中采用了单辊单电机驱动。本套机组的另外的优点为轧辊设有平衡(打开—弹簧)装置和压下(液压)装置，这样通过压下装置可以取代原垫片调整方式。

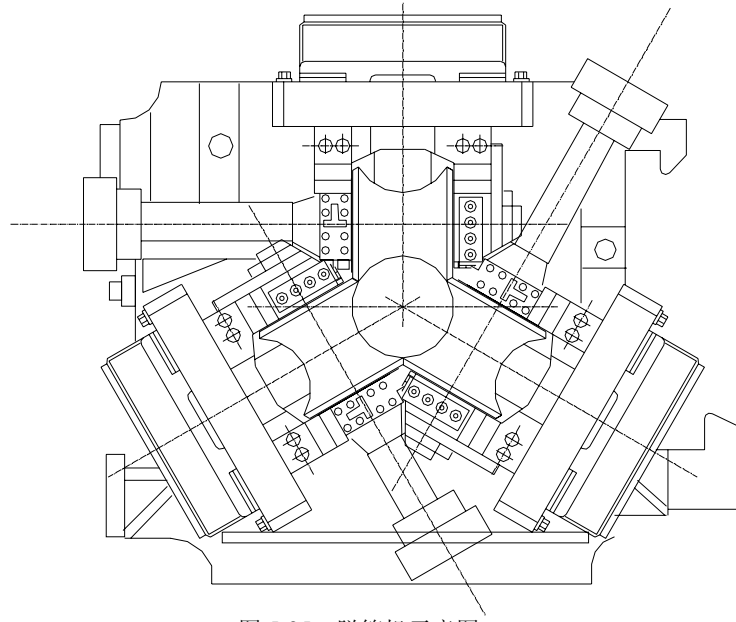


图 5-25 脱管机示意图

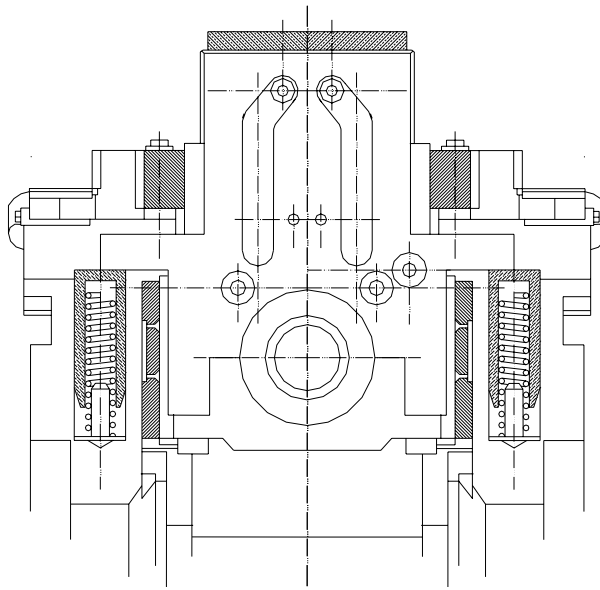


图 5-26 平衡装置（打开装置）

#### 5.2.4.2 工艺数据

入口荒管直径	185mm	142mm
入口荒管壁厚(最小~最大)	4.5~21.7mm	3.2~18.2mm
最大入口长度	27m	
出口直径	175mm	132mm
出口壁厚	4.2~22.1mm	3.3~18.2mm
最大入口速度	4 m/s	

表 5-13 各机架减径率表

0	185	142	185	142
1	180.52	137.72	2.42	3.01
2	175.52	132.66	2.77	3.67
3	175.00	132.00	0.3	0.5

### 5.2.5 芯棒循环系统

内容：芯棒循环过程、芯棒预热、芯棒润滑及芯棒循环系统参数

要点：了解和掌握芯棒循环过程，熟悉系统参数；了解和掌握芯棒预热、润滑工艺目的

芯棒循环系统是连轧管机组的一个重要组成部分，其工艺目的是延长芯棒的使用寿命，从而确保连轧后的钢管有一个良好的内表面质量，同时通过芯棒润滑保证轧制过程稳定。芯棒循环系统工艺流程如下图所示：

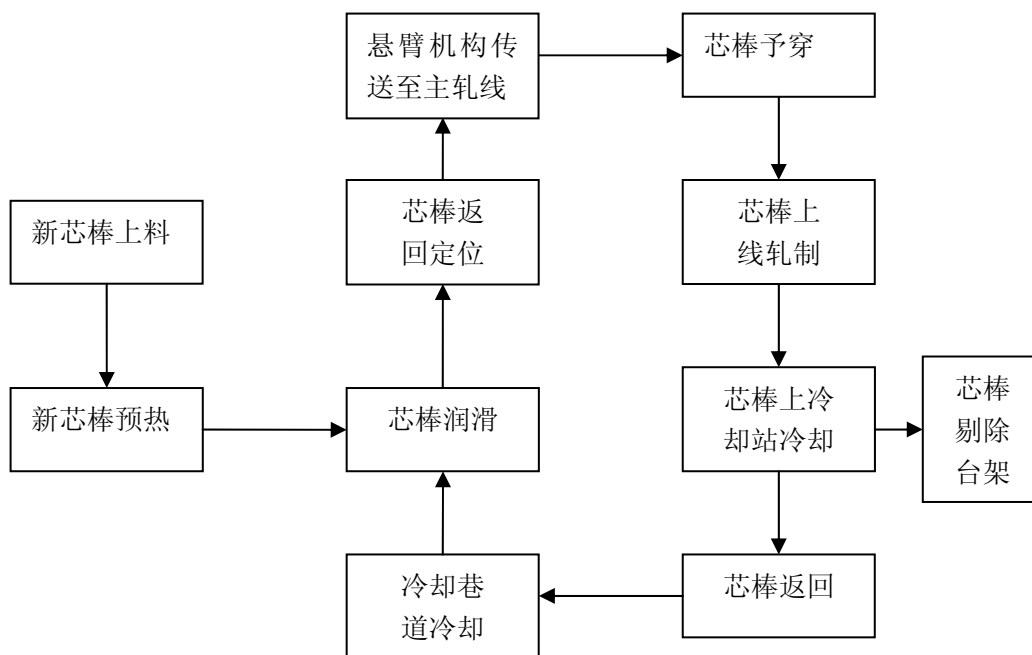


图 5-27 芯棒循环系统工艺流程图

#### 5.2.5.1 芯棒循环工艺过程描述

芯棒在预热炉预热后上线使用，芯棒从预热炉出炉后，上链式移送机经润滑站（出炉侧）润滑后于横移小车东侧挡板前定位，经推料机构及缓冲接料机构动作，经推料机构推动及拨叉拨动至芯棒传送位，横移小车接料钩升起，将芯棒送至芯棒予穿线前，经拨叉翻至主轧线。芯棒予穿在主轧线上完成，芯棒由予穿齿条锁紧及推动定位，芯棒头部予穿至第二机架入口处定位，予穿齿条解锁返回，同时限动齿条锁紧开始预插入及轧制。

轧制过程结束后，芯棒解锁，通过连轧机、脱管机，经脱管后第一段辊道减速，于芯棒

冷却站前挡板定位。芯棒由冷却站拨料钩翻至一号冷却站冷却，由回转臂将芯棒从一号站翻至二号冷却站冷却。芯棒冷却结束后，由回转臂翻至回转运输链并拨至芯棒返回辊道，在此位置有一个芯棒剔除台架，可以将芯棒在此剔除。

芯棒经返回辊道返回，途中经过三个冷却巷道进一步冷却，并经润滑站（芯棒横移小车前）润滑，芯棒返回至芯棒预热炉出口前挡板定位。完成芯棒循环全过程。

### 5.2.5.2 芯棒预热

新的芯棒投入循环使用之前，必须在芯棒预热炉内预热，其目的是为了在下一道工序芯棒润滑时，使润滑剂牢固的粘附在芯棒表面上。

芯棒预热炉的技术参数：详见工艺说明工业炉部分。

芯棒的出炉温度为  $100 \pm 20^\circ\text{C}$ ，在这个温度范围内，才能在下道芯棒润滑工序中，使润滑剂黏附在芯棒表面，并干燥形成一层坚固的膜。芯棒温度超过设定温度范围，将影响形成润滑剂层的干燥、致密程度。

### 5.2.5.3 芯棒润滑

石墨润滑站主要设备简述：

- ◆ 石墨润滑剂存储罐
- ◆ 加压泵
- ◆ 润滑箱
- ◆ 润滑环

石墨润滑站在 5 米平台上设置了两个润滑箱（内置润滑环），分别位于芯棒预热炉出口及芯棒返回线上。两个润滑箱单独使用，一个用于从预热炉出来的新上线芯棒的润滑，一个用于在线使用芯棒的润滑。当一个润滑箱使用时，另一个润滑箱处于准备状态，润滑剂由同一组压力泵传送至润滑箱。用于新芯棒上线润滑的润滑箱除上线润滑时使用外，不参与轧制润滑，在使用完毕后应用水及时冲洗内外管路及润滑环，以防止润滑环堵塞。

芯棒润滑的目的在于提高芯棒的使用寿命，同时在轧制过程中降低管子内表面与芯棒表面的摩擦系数，从而降低轧制力及限动力，减轻轧制过程的震动。

在连轧机轧制过程中，金属在轧辊和芯棒间进行延伸变形，芯棒速度是恒定的，由于轧件延伸变形使得芯棒和金属之间产生滑动。芯棒润滑，就是使芯棒和金属之间有一层润滑膜，从而降低芯棒与轧件间的摩擦系数。从而降低轧制压力及限动力，同时延长芯棒的使用寿命。为实现上述工艺目的，则必须使润滑剂均匀致密地喷涂在芯棒表面。润滑剂是一种水基悬浮液，芯棒经预热或经冷却后温度控制在  $100 \pm 20^\circ\text{C}$ ，是为确保润滑剂中的水分蒸发，从而保证润滑剂层的坚固、致密，更好地发挥润滑的效果。同时，对芯棒润滑层的厚度也有一定的要求。润滑膜过厚，其附着力会降低，容易造成润滑膜的脱落。润滑膜过薄，则润滑的效果不好。控制润滑膜的厚薄的方法如下：

#### 1 控制芯棒表面温度

芯棒过热时，润滑剂中水分沸腾蒸发形成大量气泡，影响润滑层的形成，使润滑剂无法良好附着。芯棒过冷时，润滑剂无法干燥，从芯棒表面流失，影响润滑膜的形成。

#### 2 控制润滑剂浓度

润滑剂过稀，润滑时附着力差，芯棒表层单位面积石墨重量少，影响润滑层厚度。润滑剂过浓，润滑时芯棒表面润滑层喷涂不均匀，而且润滑涂层容易成片脱落。

### 3 单位面积石墨润滑剂用量为 98g/m<sup>2</sup>。

热芯棒经辊道送至链式运输机，经链式运输机通过润滑站润滑。链式运输机可保证润滑速度的稳定，同时保证润滑层不被磨掉。

#### 5.2.5.4 芯棒循环区主要设备及参数

链式运输机长度：16 米

润滑站：一套润滑系统，两个润滑箱。

冷却巷道：3 组。

横移小车：1 组。

予插入齿条：1 组。

芯棒冷却站：两个冷却工位。

#### 5.2.6 工具准备与更换

内容：PQF 连轧区域主要轧制工具技术参数及更换方式；PQF 连轧孔型设计及参数

要点：了解和掌握轧制工具技术性能和更换方式；

了解 PQF 孔型设计过程及参数意义

##### 5.2.6.1 概述

轧制工具是指那些与轧件直接接触的、或者使轧件在高温下产生塑性变形的、具有一定几何形状的工具。

在连轧区涉及的轧制工具有：

主机区工具：轧辊、芯棒、对齐叉、限动齿条衬瓦、预穿推杆衬瓦；

脱管机工具：轧辊、入口导嘴、出口导嘴。

下面进行逐项介绍。

##### 5.2.6.2 轧辊

###### 1 技术条件

连轧机轧辊材质：球墨铸铁

表面硬度：400~440HB

屈服强度：UTS>60KG/MM<sup>2</sup>

成分：C： 3.20~3.60

Si: 1.30~1.80

Mn: 0.40~0.80

Cr: 0.20~0.50

Ni: 2.50~3.50

Mo: 0.70~1.00

脱管机轧辊材质：GHG-CrNiMo 480

表面经热处理后要求有硬度为 460~530HV，厚度 R63.5~R85。

###### 2 轧辊性能

1#~3#机架

名义直径 (mm)

760~700

辊环直径 (mm)	650~590
辊环宽度 (mm)	220
4#~5#机架	
名义直径 (mm)	640~580
辊环直径 (mm)	550~490
辊环宽度 (mm)	200
功率	
VRS 主传动	
功率	3×160kw
转速	300/600—1000rpm
PQF 主传动	
1--4--5 功率	3×400kw
转速	300/600—1000rpm
2--3 功率	3×600kw
转速	300/600—1000rpm
脱管机	3×160kw
轧制力	
VRS	
负载最大力: (t)	26
过载最大力: (t)	31
1#~3#机	
负载最大力: (t)	250
过载最大力: (t)	285
4#~5#机架	
负载最大力: (t)	110
过载最大力: (t)	130

### 3 轧辊孔型设计

将钢锭或钢坯在轧辊孔型中经过若干次的轧制变形,以获得所需要的断面形状、尺寸和性能的产品,为此而进行的设计和计算工作称之为孔型设计。

当某机组孔型数据确定后,整个厂家的可轧产品规格范围就确定了,要扩充产品范围,就必须进行孔型设计。因此有必要了解孔型结构。此套机组的孔型结构如图 5-28。

此孔型设计中,属于首次在连轧钢管孔型中使用三辊孔型设计。由于穿孔后毛管壁厚较小,所以在 PQF 中相对变形量较小,相应宽展量也小,故此套孔型与二辊 MPM 孔型相比,辊缝值小,而且孔型圆弧为 3 段,而 MPM 孔型圆弧为 4 段。所以其产品附加公差小,轧制精度高。具体孔型数据如表 5-14, 5-15。

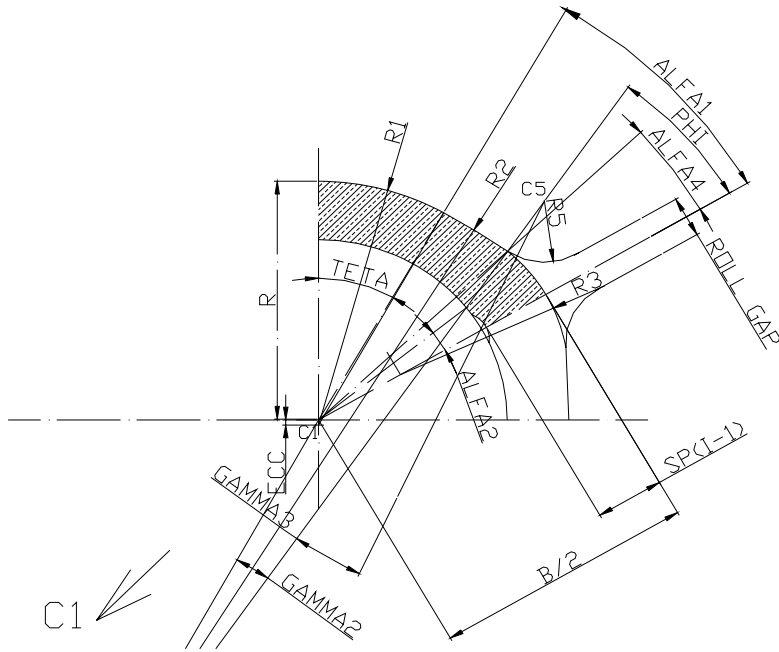


图 5-28 孔型参数图

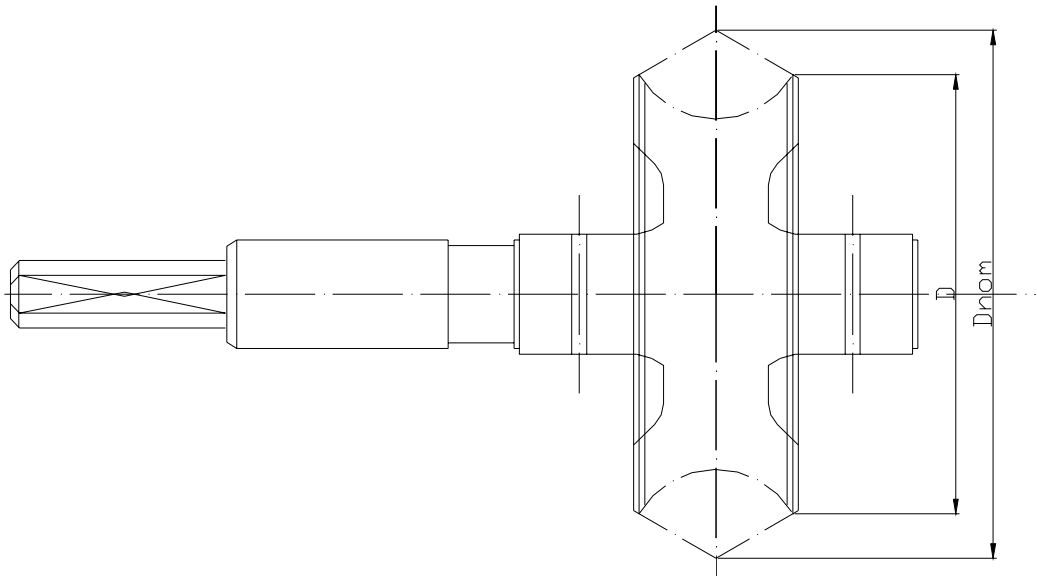


图 5-29 轧辊图

表 5-14 PQF 孔型参数表

因西	O. D. (mm)		壁厚 (mm)		延伸率		孔型: 185
	毛管	215.00	13.20				
	荒管	185.00	4.20		3.491		
机架号		1	2	3	4	5	
平均延伸系数		1.548	1.485	1.314	1.138	1.015	
芯棒直径		176.6	176.6	176.6	176.6	176.6	
孔型直径 2R		191.30	187.60	185.30	185.00	185.00	

槽底半径 R1	98.65	95.80	92.65	92.50	92.50
偏心 (R1-R)	3.00	2.00	0.00	0.00	0.00
脱离角 (ALFA1) 度	30.00	30.00	32.00	30.00	30.00
脱离半径 R2	295.95	287.40	324.30	231.25	231.25
连接角 (ALFA4) 度	16.00	13.00	13.00	8.00	8.00
连接半径 R5	34.30	24.00	28.30	14.00	14.00
孔型宽度 B/2	108.0	98.3	95.2	93.8	93.9
宽展系数	1.005	1.028	1.015	1.012	1.015
辊缝半径 R3	107.50	63.04	77.16	83.70	82.75
轧辊脱离角 (ALFA3) 度	7.22	16.89	24.27	25.12	24.64
芯棒脱离角 (ALFA2) 度	11.50	17.27	19.71	25.88	30.00
THETA 度	29.129	29.402	28.000	30.000	30.000
GAMMA2 度	4.610	5.672	5.552	9.011	9.011
PHI 度	26.261	24.926	26.448	20.989	20.989
GAMMA3 度	30.763				

表 5-15 脱管机孔型数据表

孔型	H1+H2 mm	H1 mm	H2 mm	D mm	E mm	2H1 mm	Df mm
EA01	180.52	88.12	92.40	189.64	36.33	176.24	203.76
EA02	175.52	87.50	88.02	176.61	12.80	175.00	205.00
EA03	175.00	87.50	87.50	175.00	0.00	175.00	205.00

### 5.2.6.3 芯棒

#### 1 芯棒技术条件

本套机组采用两段式芯棒，即芯棒由工作段和延长杆构成。锥形芯棒也是一大特点。表 4-3 中列出的前 3 种为锥形芯棒。锥形芯棒不仅利于预穿对正，而且利于脱棒。以下为芯棒技术条件。

材质:	X35CrMoV05KU-UNI2955
淬火、回火硬度:	HB315/360
伸长率:	8%min
断面收缩率:	25%min
冲击韧性:	15Jmin.KV
成分:	C: 3.20~3.60
	Si: 0.70~1.20
	Mn: 最大 0.60
	Cr: 4.50~5.50
	V: 0.80~1.20
	Mo: 1.00~1.50

S: 最大 0.008

S+P: 最大 0.020

## 2 芯棒规格

如前所述,该机组的芯棒规格比较少,对 185 孔型只有 9 种规格,对 142 孔型有 10 种规格,具体如下表。

表 5-16 185 孔型芯棒规格表

N	芯棒直径 mm	壁厚			下限				上限			
		名义 mm	最小 mm	最大 mm	mm	%	附加 公差 %	出口 OD mm	mm	%	附加 公差 %	出口 OD mm
1	176.4	4.20	4.00	4.70	0.20	4.8	0.81	184.8	0.50	11.8	1.70	185.6
2	174.8	5.25	4.75	5.90	0.50	9.6	1.69	184.2	0.65	12.3	1.76	186.2
3	172.3	6.61	5.95	7.40	0.66	9.9	1.75	183.9	0.79	12.0	1.73	186.5
4	169.0	8.26	7.45	9.25	0.81	9.8	1.72	183.4	0.99	12.0	1.73	187.0
5	164.9	10.31	9.30	11.55	1.01	9.8	1.72	183.0	1.24	12.0	1.74	187.5
6	160.3	12.61	11.60	14.10	1.01	8.0	1.38	183.0	1.49	11.8	1.71	188.0
7	155.3	15.17	14.15	16.65	1.02	6.7	1.13	183.0	1.48	9.8	1.45	188.0
8	150.3	17.72	16.70	19.20	1.02	5.7	0.96	183.0	1.48	8.4	1.25	188.0
9	145.2	20.27	19.25	21.75	1.02	5.0	0.84	183.0	1.48	7.3	1.10	188.6

142 孔型的芯棒规格为:Φ135.3、Φ133.7、Φ131.6、Φ129.0、Φ125.9、

Φ122.4、Φ118.9、Φ115.4、Φ111.9、Φ108.4。(mm)

## 3 芯棒润滑

本套芯棒循环系统中具有两个芯棒润滑箱。一个位于预热炉出口处,另外一个位于芯棒冷却返回辊道。两个润滑箱不同时工作。预热炉出口润滑箱润滑新上线芯棒,返回辊道润滑箱润滑循环中的芯棒。

润滑箱高度可调,以对正芯棒中心线,保证芯棒的良好润滑。

本套芯棒润滑特点:

一套润滑系统为两个润滑箱工作,切换简单。

对备用喷射环离线水清洗;对预热炉前喷射环进行水清洗,保证间断 4 小时后仍正常工作。

轧机停机 1~4 小时时,可让润滑系统处于工作状态,在线喷射环每隔 10~60 分钟喷射一次,每次喷 5~15 秒钟,避免堵塞,便于观察。

滑阀动作迅速,接到信号后 1 秒钟内开/关,保证润滑长度准确(±200 mm)。

润滑剂成分为 30%干粉末和 70%水配置成悬浮液,其中干粉末中含:石墨约 3/4,添加剂约 1/4,水份最大 1%。

### 5.2.6.4 PQF 机架更换

本套 PQF 机组,由于机架及其牌坊的特殊设计,机架置于隧道式牌坊中,因此相应配有一套机架更换系统。该系统多数为液压缸动作。该系统为位于 PQF 和脱管机之间的一组横移换辊小车,它具有三个位置:

位置 1: 正对 PQF 出口和脱管机之间的辊道。

位置 2: PQF 出口一侧平台,安放换下来的机架。

位置 3: PQF 出口另一侧平台, 安放新备轧辊。

机架更换时, 当 PQF 主机停机、冷却水关闭后, 条件具备后做如下操作:

- 1、小车解锁;
- 2、小车到更换位对中;
- 3、小车锁紧;
- 4、机架到更换位, 即将机架由轧钢位降到滑轨上;
- 5、芯轴支撑缸打到更换位;
- 6、芯轴与轧辊脱开;
- 7、机架侧锁紧缸打开;
- 8、机架平衡缸打开;
- 9、小车锁紧台打开 (位于 PQF 出口侧);
- 10、机架下锁紧缸打开;
- 11、抽出缸到位;
- 12、抽出机架;
- 13、小车解锁;
- 14、新机架推上中间小车;
- 15、小车锁紧;
- 16、机架推入;
- 17、机架侧锁紧缸锁紧;
- 18、机架下锁紧缸锁紧;
- 19、小车锁紧台锁紧 (位于 PQF 出口侧);
- 20、平衡缸锁紧;
- 21、芯轴啮合;
- 22、芯轴支撑让开干扰位;
- 23、推入缸打开并返回;
- 24、小车解锁;
- 25、辊道返回轧钢位;
- 26、小车锁紧;
- 27、芯棒支撑到位;
- 28、机架升起到轧钢位。

操作结束。

#### 5.2.6.5 脱管机更换

该部分外方资料比较少, 现仅作简要说明。

该套脱管机更换方式与现有 MPM 机组(一套)定径更换方式相同. 概述如下:

脱管机主机停机, 冷却水关闭后, 机架与“C”形架脱开后, 将载有新备机架的换辊车推到机架前, 抽出旧机架, 横移换辊车, 推入新机架, 实现快速换辊。

#### 5.2.7 常见质量缺陷

内容: 连轧荒管常见质量缺陷

要点：了解和掌握质量缺陷产生原因及其预防措施

## 1 内棱

钢管内表面存在棱状突起，或存在线状、槽状划伤，称为内棱。

产生原因：主要由于芯棒表面存在缺损、热环效应、粘钢等缺陷，轧制时造成钢管内表面缺陷。

预防措施：1.加强芯棒日常维护，加强巡视；  
2.提高芯棒润滑质量；  
3.工艺参数设定，减小芯棒磨损。

## 2 轧折、折迭

钢管外表面存在纵向的带状凹陷和折迭称为轧折和折迭。

产生原因：主要是由于孔型过充满时，金属在辊缝处挤出，在进入下道轧制时，金属不能压合，从而出现轧折缺陷。它们表现为轧折或折迭形式，折迭多在头尾出现，严重时通体出现。另外，轧辊孔型侧壁粘钢或者辊沿倒角磨损也会导致轧件产生条状折迭。还有一种折迭是因轧辊过热，在轧辊表面产生龟裂，轧制时造成轧件表面产生折迭。

预防措施：1.注意控制毛管尺寸，防止产生过充满；  
2.注意调整工艺参数，防止过充满；  
3.注意轧辊使用寿命，防止过度磨损。  
4.注意冷却水喷淋角度、给水量及冷却时间。

## 3 外结疤

产生原因：轧辊出现碰伤或其它缺陷，导致在管体外表面出现规律性结疤。

预防措施：通过调整好连轧机前台高度和芯棒支撑机架的同心率防止芯棒对轧辊的碰撞，并加强对轧件外表面质量的巡视。

## 4 拉凹

产生原因：由于孔型欠充满，使得管子内表面产生平滑椭圆形凹坑，严重时造成产品壁厚超差。如果是管坯温度不均，往往为局部的单个凹坑；若为工艺调整不好，压下量或者速度不匹配则会在轧件纵向上断续出现。

预防措施：1) 提高加热质量，保证管坯温度均匀；  
2) 进行合理的工艺参数调整。防止轧制时机架间金属流量不平衡。

### 5.2.8 连轧基本理论

内容：连轧金属变形机理以及基本方程；连轧轧制速度计算以及芯棒速度制度

要点：了解变形机理并掌握简单方程；了解连轧轧制速度计算方法；了解芯棒速度对轧制的影响

#### 5.2.8.1 基本方程

连轧管时，管子内表面在孔型顶部处与芯棒接触，而在侧壁处则不与芯棒接触。孔型顶

部的金属,由于受轧辊的外压力和芯棒的压力作用而延伸,并在轴向延伸的同时产生圆周方向的宽展,而孔型侧壁的金属在孔型顶部金属延伸时也被拉伸,并相应在纵向产生拉缩。此时,如若孔型顶部金属的宽展和孔型侧壁金属拉缩数量比例不当,则导致过充满或欠充满。孔型过充满时,辊缝及孔型开口处则会出现凸起,如过充满特别显著时,造成轧制缺陷,并且某一机架出现严重凸起后将使随后机架的压下量过大。在产生过充满或折叠,这种恶性循环一直延续到成品机架,造成产品缺陷。

孔型欠充满时,会使随后机架,及直到成品机架孔型欠充满,使成品管圆度和尺寸精度达不到要求或产生产品缺陷。

为了使孔型顶部金属宽展与侧壁金属拉缩较为协调,使孔型正常充满,从金属塑性变形角度,建立连轧管金属流动方程。

按照塑性理论分析变形区分为孔型顶部区和侧壁开口区。

孔型顶部区:受径向内、外压应力,切向压力,轴向压力,为三向压应力状态,金属减壁延伸,并向侧壁开口方向宽展。

侧壁开口区:受径向外压应力,切向压力,轴向(附加)拉力,为两压一拉的异名应力状态,金属受孔型顶部区牵拉而延伸,切向被拉缩。

要使孔型正常充满应满足:

$$\sum P_l = \sigma_l A + \sigma'_l A' = 0$$

式中:  $\sigma_l$ ---槽底轴向压应力

$A$ ---槽底金属截面积

$\sigma'_l$ ---侧壁轴向拉应力

$A'$ ---侧壁金属截面积

### 5.2.8.2 秒流量相等

金属在轧制过程中,钢管在各机架间应遵循金属秒流量相等的连轧基本方程——流量方程:

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = \dots = \Delta l_n = \dots = \Delta l_n = C \quad \text{即}$$

$$F_1 V_1 = F_2 V_2 = \dots = F_i V_i = \dots = F_n V_n = C$$

式中:  $\Delta l_i$ ——各机架秒流量体积;

$F_i$ ——各机架的钢管横截面积;

$V_i$ ——各机架的钢管出口速度。

以上为自然连轧时的方程,实际轧制时应该考虑张力系数  $C_i$ :

$$1 \sim 2 \quad C = 1.01$$

$$3 \sim 4 \quad C = 1.005 \sim 1.008$$

$$5 \quad C = 1.0$$

$$F_n V_n = F_{n-1} V_{n-1} C_{n-1} = F_{n-2} V_{n-2} C_{n-1} C_{n-2} = \dots = F_1 V_1 C_{n-1} C_{n-2} \dots C_1$$

### 5.2.8.3 变形分析

#### 1 变形过程

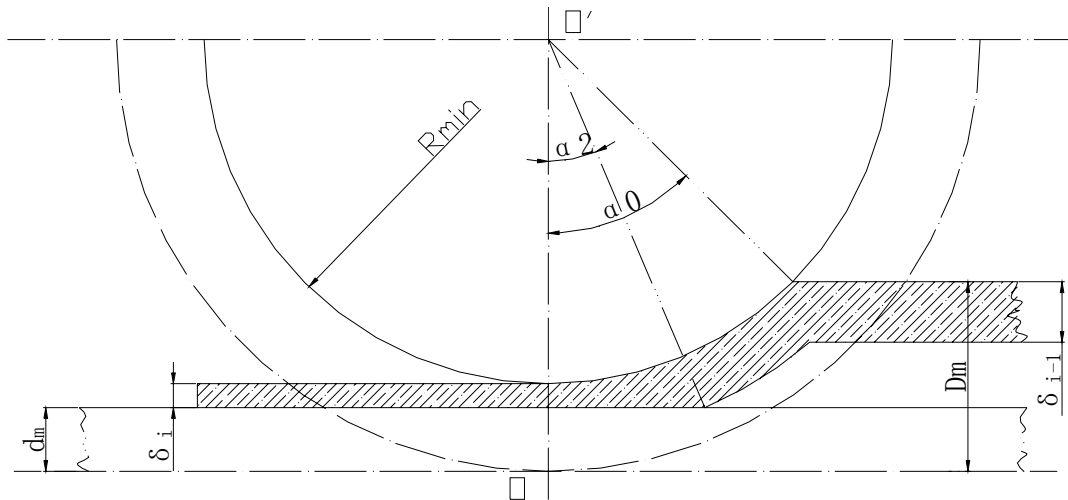


图 5-30 带芯棒连轧管变形区示意图

圆孔型带芯棒轧管时，变形区分为减径区和减壁区两个部分，整个变形过程分三个阶段：压扁变形阶段、减径变形阶段和减壁变形阶段。如图 5-30 所示。

在减径区中，由于毛管是空心体，开始时仅六点接触轧辊孔型或接触面很小，故管子首先发生压扁变形，即管壁产生塑性弯曲变形。此时管子周长或横断面积不变，只是被轧辊孔型压缩处高度减小，而不与孔型接触处径向尺寸加大。随着管子逐渐进入变形区，压扁程度加大，同时管子与孔型的接触面积增加，待接触面增至一定程度后，孔型侧壁对管壁的支撑作用加大，管子除继续发生压扁变形外，将同时发生减径变形。至毛管整个外周完全与孔型槽壁接触时，压扁变形阶段结束，变形全部转入第二阶段——减径变形阶段。管子平均直径和平均周长减小，金属轴向延伸，管壁有所增厚。管壁增厚相当于宽展变形。由于变形区中管子横断面上各处金属的应力状态不同，因而增厚变形也不同。减径变形的同时，由于芯棒轧辊的共同作用，管子发生减壁变形，金属轴向延伸。

## 2 变形参数

圆孔型带芯棒轧管的主要变形参数有：咬入角、高向压下量、槽底减壁量、延伸系数、减壁系数等。

### 1) 咬入角 $\alpha_0$

$$\cos \alpha_0 = 1 - \Delta D / R_{\min}$$

$$\text{式中： } \alpha_0 = \arccos(1 - \Delta D / R_{\min})$$

$\Delta D$ ---高向压下量；

$R_{\min}$ ---孔型槽底半径；

### 2) 高向压下量

$$\Delta D_i = b_{i-1} - a_i$$

式中： $b_{i-1}$ --- $i$  机架轧前管子高度

$a_i$ ---  $i$  机架孔型高度

### 3) 孔型顶部减壁量

$$\Delta \delta = \delta_{i-1} - \delta_i$$

式中： $\delta_{i-1}$ --- $i$  机架孔型顶部管子轧前壁厚

$\delta_i$ --- $i$  机架孔型顶部管子轧后壁厚

### 4) 延伸系数

$$\mu_i = l_i / l_{i-1}$$

式中:  $l_i$ — $i$  机架轧后长度  
 $l_{i-1}$ — $i$  机架轧前长度

$$\mu_i = A_{i-1} / A_i$$

$A_i$ — $i$  机架轧后截面积  
 $A_{i-1}$ — $i$  机架轧前截面积

### 5) 减壁系数

$$\eta_i = \delta_{i-1} / \delta_i$$

### 5.2.8.4 脱管机变形

脱管机作用在于将荒管与芯棒脱开, 也兼有定径作用。其变形理论与定径机类同。

### 5.2.8.5 速度计算

连轧速度计算

#### 1 计算延伸率

$$\mu_i = A_{i-1} / A_i$$

式中:  $A_i$ — $i$  机架轧后截面积  
 $A_{i-1}$ — $i$  机架轧前截面积

#### 2 钢管速度计算

$$V_i = V_{i-1} \cdot \mu_i$$

式中:  $V_i$ — $i$  机架钢管速度  
 $V_{i-1}$ — $i-1$  机架钢管速度  
 $\mu_i$ — $i$  架延伸系数

#### 3 工作直径计算

$$D_{wn} = DN - \beta \cdot d$$

式中:  $D_{wn}$ —轧辊工作直径  
 $DN$ —轧辊名义直径  
 $\beta$ —经验系数, 一般 0.8~1.0。  
 $d$ —荒管名义出口直径

#### 4 轧辊转速计算:

按照

$$n_n = 60 \cdot v_n / (D_{wn} \cdot \pi) = 19.0986 \cdot v_n / D_{wn}$$

$$n_i = D_{wi+1} \cdot n_{i+1} / (D_{wi} \cdot C_{i+1} \cdot \mu_{i+1})$$

式中:  $n_i$  为轧辊转速, 单位转/分。

#### 5 电机转速计算

$$N_i = n_i \cdot i$$

式中:  $i$ —传动比  
 $n_i$ —轧辊转速, 单位转/分

本套连轧机各机架传动比为:

机架号	VRS	1#机架	2#机架	3#机架	4#机架	5#机架
传动比	10.00	13.00	8.50	6.50	4.40	4.40

### 5.2.8.6 芯棒速度制度

#### 1 限动芯棒连轧管的运动学特点

带长芯棒的连轧管过程可看成是不同辊径的差速轧制过程。芯棒看成是半径无穷大的轧辊，当芯棒参与连轧系统工作时，芯棒相当于速度按某一特定的主动轧辊参与变形，形成在变形区内的差速轧制。

限动芯棒连轧管时，芯棒速度  $V_m$  是恒定的，而且芯棒速度小于等于第一机架的轧辊圆周线速度。为此，对芯棒而言所有的机架均是导前机架，芯棒对金属的摩擦力的方向是与轧制方向相反的。此时，各机架的轧件出口速度是恒定的。

$$V_{ix} = (V_{if} + V_m f_m) / (f + f_m)$$

式中： $V_{ix}$ ---第  $i$  机架的轧件出口速度

$f$ ----轧辊与管子的摩擦系数

$V_m$ ---芯棒限动速度

$f_m$ ----芯棒与管子的摩擦系数

$V_i$ ----第  $i$  机架的轧辊平均圆周速度

这样，按照秒流量相等的原则，调节好各机架的轧辊速度，就可以保持轧制过程的稳定性。由于限动芯棒连轧管中，芯棒速度小于第一机架的轧件速度，因而它是一种稳定的差速轧制状态。使轧制力降低，促进金属在孔型中的纵向延伸，并且可采用圆孔型轧制，提高成品管的尺寸精度。

#### 2 限动连轧管的芯棒速度

限动芯棒连轧管轧制过程中，芯棒的速度是恒定的，其速度是由限动装置来控制的。

芯棒速度对轧制过程的影响主要有三个方面：

##### 1) 影响轧制过程的差速轧制过程。

芯棒速度越低，与轧件速差越大，则差速的效果越明显，可减低轧制力，减少宽展，促进延伸，并有利于提高轧后钢管尺寸精度。为使全部机架均为差速轧制，芯棒速度应低于第一机架变形区中轧件的平均速度。

##### 2) 影响芯棒的长度

芯棒全长分为两部分：工作段和延长杆。

可以看出，芯棒速度越快，则轧制同一长度的管子所需的工作段长度越长。

##### 3) 影响芯棒寿命

芯棒速度过低，相对速度过大，摩擦热大，会导致芯棒磨损快。

但芯棒速度过快，会使芯棒某些截面受轧制力作用次数增加，也会降低寿命。此套连轧管机组芯棒的最大限动速度为 1.35m/s，下图为芯棒速度示意图。

。

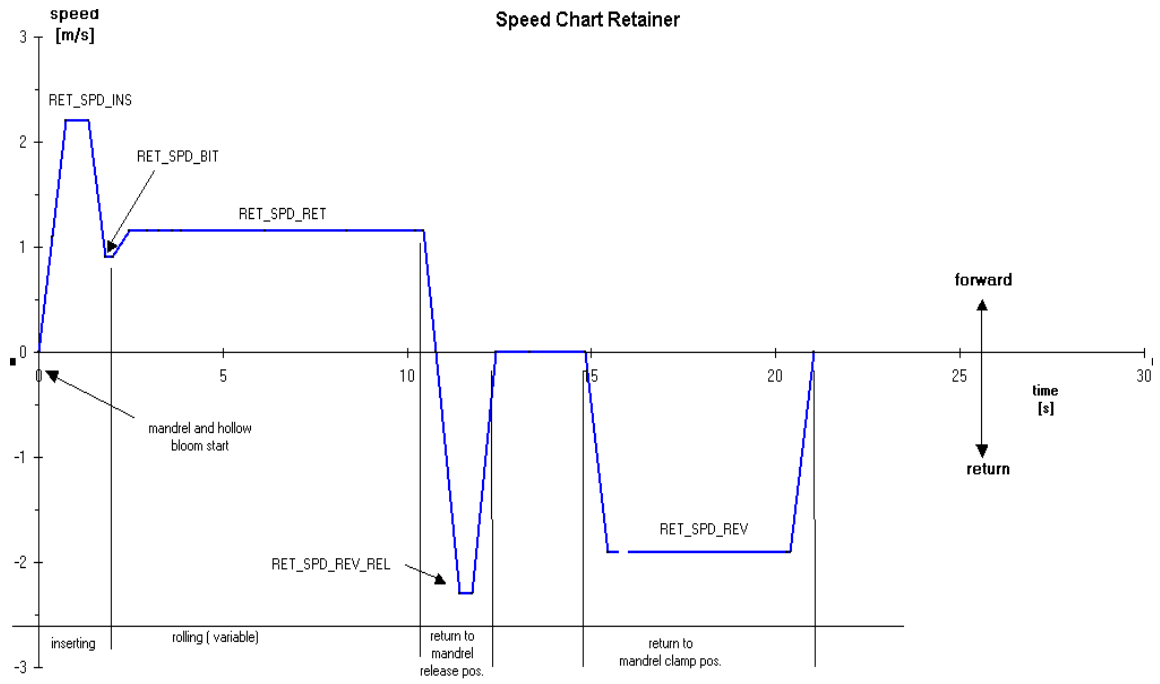
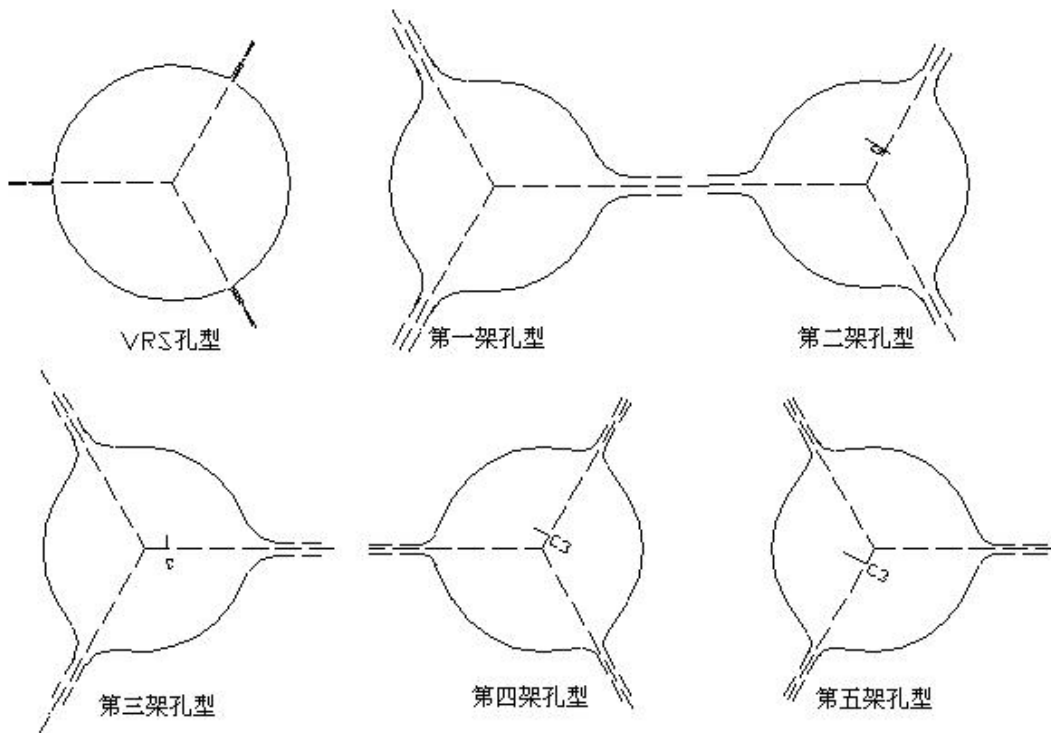


图 5-31 芯棒速度示意图

附录 1:

图 5-32 连轧孔型图



## 附录 2： PQF 三辊式限动芯棒连轧机组生产知识问答

### 1 “PQF” 的含义是什么？

答：“PQF”是 Premium Quality Finishing 的缩写，它的中文含义是“高质量轧机”

### 2 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组前台设备有何特点？

答：前台使用横移车传送芯棒和毛管至主轧线外接收装置，使用装置在主轧线上的预穿齿条实现芯棒在主轧线内的预穿，芯棒预穿完毕后返回，同时限动夹持头立即锁紧开轧，限动齿条预插入的过程与毛管咬入过程同时进行。

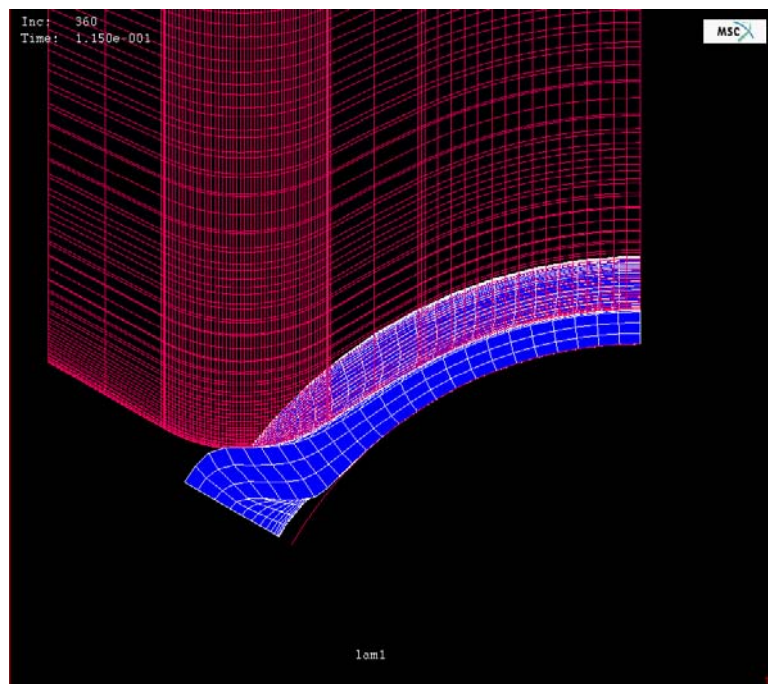
前台设备布置紧密，设备动作行程小，大大缩短了毛管从穿孔机穿出至连轧开轧的时间，最大限度的减少了毛管的温度损失。同时，由于采用芯棒从主轧线内预穿至毛管内的方法，使预穿后的毛管在最短的时间内开始轧制。大大缩短了毛管内表面与芯棒表面的接触冷却时间。

PQF 三辊式限动芯棒连轧机组前台设备体现了先进的工艺设计思想，在设备形式及细部设计上体现了最大限度减少毛管温降的工艺目的，既保证连轧机组的开轧温度稳定，又不影响轧制节奏。使影响生产的质量控制和轧制节奏控制两大矛盾得到了有机结合。

前台设备的动作采用连杆装置配合带有位置传感器的液压缸驱动，结合比例阀控制，使液压缸的工作行程在设备动作时得到精确控制，既缩短了设备动作周期，又确保了设备动作精度。前台的设备调整实现了与关键参数相关联的统一控制，大大缩短了工具更换时的调整时间。提高有效作业率。

### 3 三辊式连轧机组与传统两辊式连轧机组比较有什么工艺优点？

答：使用三辊式的孔型设计，从工艺角度讲，PQF 与传统两辊式限动芯棒连轧机组（MPM）比较具有以下优点：



- 1) 三辊孔型设计使孔型槽底与轧槽侧壁之间的圆周速度差异减小,从而使金属变形也变得均匀,轧管过程也更平滑、稳定,芯棒在孔型中的稳定性更高。

由于环孔型上各点金属流动速差减小,故减小了槽底金属对侧壁金属的阻碍作用,从而可以消除在侧壁的波纹之类的缺陷。而且这种均匀变形可以提高延伸系数,增加轧制薄壁管和高钢级品种的轧制能力。这样就减少了机架数量,减轻了对轧制工具的磨损,延长工具使用寿命。使得吨钢轧制工具消耗大大降低。

- 2) 三辊孔型设计使凸缘区(钢管既不与轧辊也不与芯棒接触的区域)更小,约比二辊减少30%。这也使轧制工具磨损均匀,减小材料损失。
- 3) 三辊几何形可以在相同芯棒下有更大的调节范围,且无大的公差影响。这样可以增大同规格芯棒的可轧壁厚范围,大大减少了芯棒的规格(减少50%),减少了工具更换频率。生产组织更加自由。
- 4) 三辊的刚性轧辊设计,减少了轧制时的轧辊弯矩,也就使得轧机可以轧制超薄壁管和高钢级品种。
- 5) 均匀变形及合理的几何孔型设计,使得可以每个轧辊一个液压缸控制压下量,实现辊缝调整模型化。从而提高了壁厚精度,减少荒管头尾与中部的壁厚差异。

#### 4 为什么说 PQF 连轧机组属于新一代的限动芯棒连轧机组。

答: 使用三辊式的工艺设计,克服了传统两辊式限动芯棒连轧机组的缺点,在工艺设计思想上形成了新的创新,为现代钢管制造的生产工艺研究提供了一个新的平台。

三辊式工艺设计,结合新式的机械、液压和电气控制装置,体现了当今钢管轧机制造行业的最高科技水平。

使用三辊式的工艺设计,在提高了钢管的几何尺寸精度的同时,降低了终轧钢管的切头尾损失。克服了传统限动芯棒连轧机组的质量缺陷,大大降低了孔洞、拉凹、壁厚不均等质量缺陷的比率,从而提高成材率。

另外,使用三辊式的工艺设计结合电机单独传动,使用液压压下装置及线外孔型校准装置控制孔型精度,使轧机始终保持高精度的工艺参数设定和调整。使轧制过程控制更加规范。产品质量控制更加稳定。

#### 5 PQF 连轧机的机架是如何布置的?

答: 连轧机组为1架VRS(Void Reduce Stand 空减机架)和5架PQF(Premium Quality Finishing)连续布置。各机架之间由钩子连接。牌坊为隧道式,如示意图所示。连同VRS,各机架均为三辊轧制,每个轧辊由一台电机单独驱动。三个轧辊互成 $120^\circ$ ,前后机架轧辊互成 $60^\circ$ 布置。

图 5-33 PQF 轧辊布置示意图

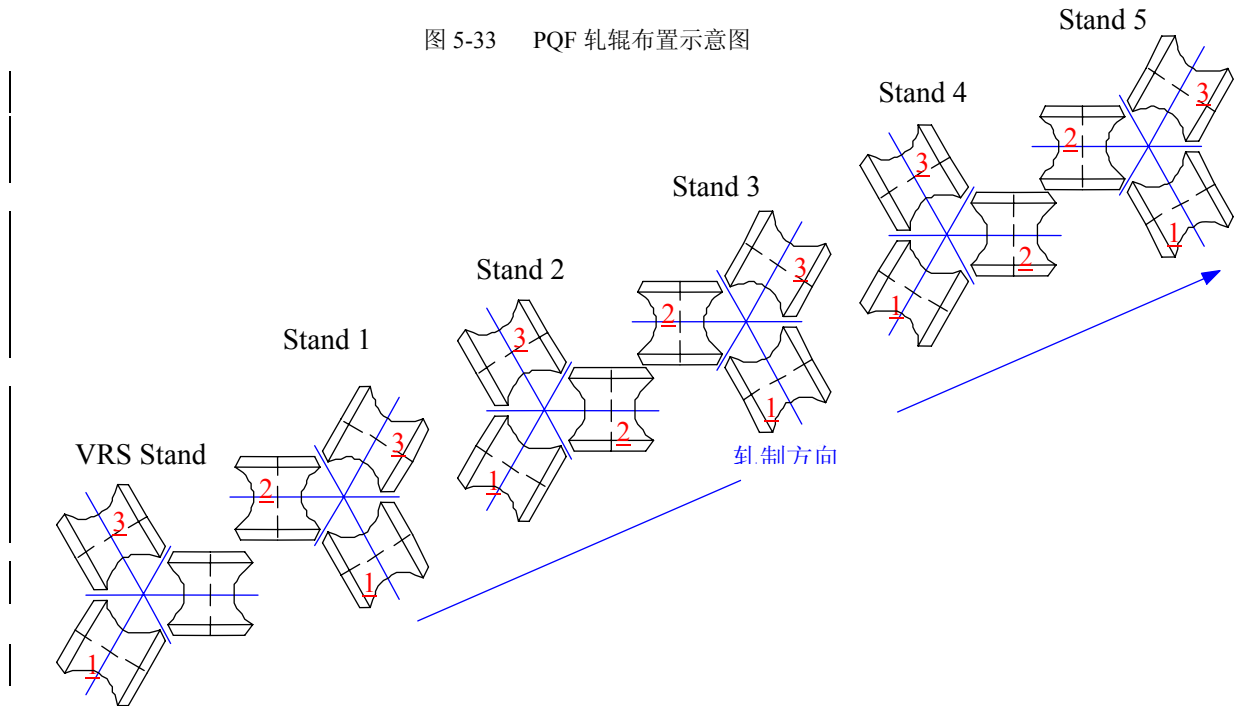
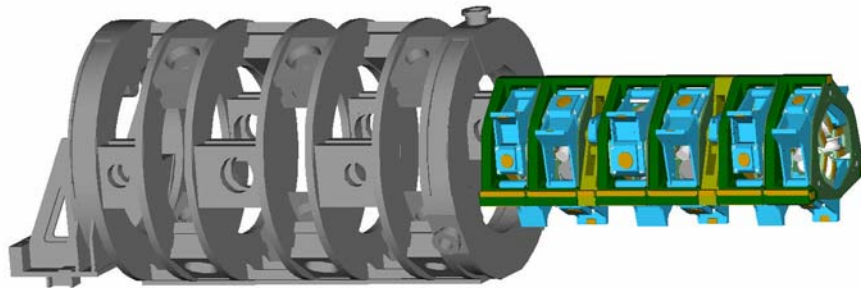


图 5-34 PQF 轧机布置示意图



## 6 PQF 轧机如何换辊?

答：本套 PQF 机组，由于机架及其牌坊的特殊设计，机架置于隧道式牌坊中，因此相应配有一套机架更换系统。该系统多数为液压缸动作。该系统为位于 PQF 和脱管机之间的一组横移换辊小车，它具有三个位置：

位置 1：正对 PQF 出口和脱管机之间的辊道。

位置 2: PQF 出口一侧平台, 安放换下来的机架。

位置 3: PQF 出口另一侧平台, 安放新备轧辊。

机架更换时, 当 PQF 主机停机、冷却水关闭后, 条件具备后做如下操作:

- 1) 小车解锁;
- 2) 小车到更换位对中;
- 3) 小车锁紧;
- 4) 机架到更换位, 即将机架由轧钢位降到滑轨上;
- 5) 芯轴支撑缸打到更换位;
- 6) 芯轴与轧辊脱开;
- 7) 机架侧锁紧缸打开;
- 8) 机架平衡缸打开;
- 9) 小车锁紧台打开 (位于 PQF 出口侧);
- 10) 机架下锁紧缸打开;
- 11) 抽出缸到位;
- 12) 抽出机架;
- 13) 小车解锁;
- 14) 新机架推上中间小车;
- 15) 小车锁紧;
- 16) 机架推入;
- 17) 机架侧锁紧缸锁紧;
- 18) 机架下锁紧缸锁紧;
- 19) 小车锁紧台锁紧 (位于 PQF 出口侧);
- 20) 平衡缸锁紧;
- 21) 芯轴啮合;
- 22) 芯轴支撑让开干扰位;
- 23) 推入缸打开并返回;
- 24) 小车解锁;
- 25) 辊道返回轧钢位;
- 26) 小车锁紧;
- 27) 芯棒支撑到位;
- 28) 机架升起到轧钢位。

操作结束。

## 7 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组都有哪些控制系统?

答: PQF 三辊式限动芯棒连轧机组使用 HCCS、PSS 系统实现生产工艺过程的控制, 其中, 使用 HCCS 系统控制连轧机的液压压下装置的动作, 实现辊缝控制, 另外, 通过工艺参数的计算和控制实现温度补偿、咬入冲击控制、锥形芯棒伺服、头尾削尖等功能。使用 PSS 系统进行工艺设定参数的计算, 同时通过对轧机力能参数的信号采集和图表化显示, 对每支钢管轧制过程进行监控和数据分析、存档。

## 8 HCCS 系统有哪些功能?

答: 使用 HCCS 系统控制连轧机的液压压下装置的动作, 实现辊缝控制, 另外, 通过工艺参数的计算和控制实现温度补偿、咬入冲击控制、锥形芯棒伺服、头尾削尖等功能。

- 1) 温度补偿:

根据入口测温装置读出的温度采样数据，在轧制过程中实现辊缝的微调，以改善轧制物料因长度方向上的温度不均所形成的壁厚差异。

2) 咬入冲击控制:

依据轧机弹跳模量数据计算出咬入和抛钢瞬间的辊缝弹跳值，按照此参数控制轧机辊缝预压下，在加载和卸载信号出现前后，控制连轧压下缸的动作，从而补偿因轧机弹跳造成的钢管头尾壁厚增量。

3) 锥形芯棒伺服控制:

使用锥形芯棒伺服控制功能，通过对芯棒锥度的计算，控制压下缸的工作行程，实现依据芯棒长度方向上的锥度计算出的辊缝值，进行实时控制，从而补偿因锥形芯棒使用造成的钢管长度方向上的壁厚差异。

4) 头尾削尖功能:

通过对压下缸位置和电机转速的精确快速控制，实现轧制出的物料头尾壁厚减薄，从而抵消后序空减变形过程行程的头尾壁厚增量。降低切头尾长度，提高成材率。

## 9 PSS 系统的功能有哪些?

答: 使用 PSS 系统进行工艺设定参数的计算，同时通过对轧机力能参数的信号采集和图表化显示，对每支钢管轧制过程进行监控和数据分析、存档。其主要作用如下:

- 1) 通过 PSS 系统中的数学模型，计算各种规格在不同轧制工具参数下的工艺设定参数，同时，为 HCCS 系统实现上述功能计算不同的控制参数。
- 2) 采集连轧机和脱管机各个单辊的电机扭矩、电机速度、轧制力、压下缸行程。限动齿条电机扭矩及电机速度。以上信号经过系统的分析，以图表化的曲线方式显示在监控终端上。操作工依据这些反馈信息对轧机生产过程进行监控。同时通过分析各类曲线的趋势，对轧机进行相应的调整。
- 3) 上述提及的采样信号，以数字化的形式进行存档，形成质量的原始记录，工艺技术人员可以随时调用这些数据进行工艺研究和轧制过程分析。按照分析出的结论和成果优化数学模型，使生产过程得到控制和优化，实现质量活动的闭环控制。

## 10 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组都有哪些在线质量监控系统?

答: 在连轧机前台备有测温装置，可以检测毛管温度，在连轧机后台备有在线测厚及测长装置，可以对钢管的出口温度、长度、壁厚、外径进行测量。此装置可以对钢管的壁厚进行截面方向不同角度的数据进行采集，以壁厚曲线的形式进行反馈，从而对轧机调整提供参考。

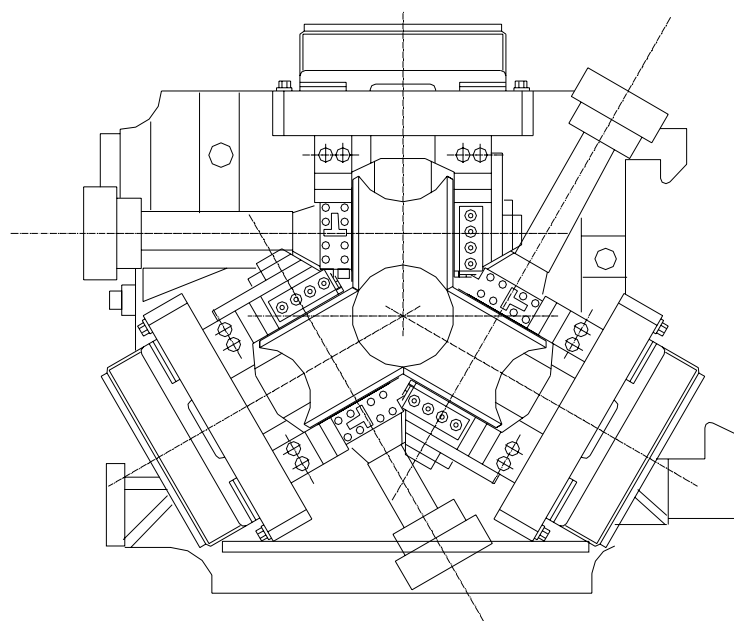
## 11 可调式脱管机有哪些优点?

答: 脱管机采用单辊单电机单独驱动，每个轧辊配有单独的压下缸控制辊缝，实现轧制循环中的打开和闭合。以便芯棒在每个轧制周期结束时，可以从连轧后台通过，到达后台的冷却站。通过液压压下系统的控制，按照不同的钢管规格，设定不同的脱管机压下量，使脱棒过程保持稳定。

可调式脱管机的设计成功，使芯棒在轧制结束后通过轧机释放成为可能，大大缩短了轧制节奏。同时减少了芯棒循环区域的占地面积，省略了部分辅助设备，从而降低了工程造价。

另外，通过对单机架辊缝值的调整，可以更好的控制荒管的外径精度，保证了减径量较小的终轧产品的外径精度。

图 5-35 可调式脱管机轧辊示意图



## 12 为什么说 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组轧制节奏高于传统限动轧机？

答：PQF 三辊式限动芯棒连轧机组配备有可调式脱管机，在轧制过程结束后芯棒从前台释放，通过整个轧制线到达连轧后台，从而省略了传统限动芯棒轧机轧制结束后芯棒从前台返回并翻出的过程。使得设备运转周期大为缩短。

## 13 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组辅助设备的先进性是什么？

答：PQF 三辊式限动芯棒连轧机组辅助设备的优点在于控制手段先进，由于大量采用了比例阀结合位置传感器的液压缸驱动方式，提高了设备的定位精度和定位速度。设备构造简单，易于维护。轧机辅助设备位置设定的关键值可以与轧制规格直接挂钩，大大省略了人工输入的时间。同时，液压缸位置传感器的反馈数值精确，可以是轧机辅助设备运行状态得到很好的保持与监控。有利于故障判断和周期点检定修计划的实施。

## 14 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组质量控制的优越性在哪里？

答：PQF 三辊式限动芯棒连轧机组可以在长度方向和截面方向对钢管的壁厚和外径进行精确的控制，从而确保了终轧产品的壁厚精度。结合在线质量和生产过程控制系统的使用，使每一只钢管的生产过程得到稳定的控制。数字化的生产过程数据采集全面、精确，有利于工艺改进和质量问题分析。使工艺研究有据可依。

## 15 为什么说 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组在轧制高合金钢及超薄壁钢管方面更有优越性？

答：综前所述，三辊式限动芯棒连轧机组孔型闭合程度好，轧机刚性强。变形过程更加稳定，因此，可以解决高合金钢生产过程中出现的高温塑性差，变形抗力高，轧制工具容易粘钢等难题。为批量生产高合金钢创造有利条件。

在轧制超薄壁钢管的过程中，PQF 机组可以发挥出轧制过程稳定，凸缘处金属流量与槽底金属流量差异小的优点，可以有效控制孔洞和内表面拉凹缺陷的产生。由于连轧前台的紧凑式设计。使得毛管温度差异小，轧制过程更加稳定。

## 16 PQF 轧机调整要点

### 1) 注意配合好压下量和速度的关系:

轧制新规格前,按照轧制表输入轧机的各项控制参数后进行轧制,过钢后应立即对轧制力曲线进行分析,一般来说,仅仅需要微调即可。

在调整过程中需要按照连轧机秒流量相等的原则进行调整。第一步,需要对轧制力水平进行判断,依据轧制力偏高或偏低,决定辊缝调整量的大小。对第一变形机架轧制力的判断尤其重要。连轧第一架轧制力的高低,除受堆钢和拉钢条件的影响之外,还受毛管几何尺寸的变化影响。毛管截面积较大时,连轧压下量相对较大,轧制力也因此偏高。若毛管偏厚,从毛管长度上可以较明显的反映出来。此时,要结合第二架轧制力判断毛管是否偏厚。若连轧一架轧制力总体水平偏高,而二架轧制力正常,同时毛管长度短于理论计算长度,可以判断毛管偏厚。针对此状态的调整,一方面要求上游机组进行相应调整以外,可以采用将第一架转速适当降低的方法缓解第一架的堆钢轧制状态。对于 PQF 轧机来说,由于孔型封闭的较严,建议采用微张力的轧制状态,以防止金属在孔型凸缘处挤出量偏大形成缺陷。

### 2) 掌握好连轧机终轧长度与理论计算长度之间的关系,使调整尽快一步到位。

在使用 PSS 系统生成连轧机组轧制表时,需要按照来料长度对荒管长度进行精确计算,当新规格开始轧制的前几支,需要对荒管长度实际值和理论数据进行比较,按照长度差异估算荒管壁厚的调整量。对荒管长度的估算可以采用重量守恒的原则。此时的连轧调整可以采用整体调整的方式,一般情况下工作机架的调整量要稍大于精轧机架的调整量。以避免精轧机架工作状态不稳定影响产品精度。精轧机架轧制力偏低或偏高都会影响产品精度。轧制力偏高,则机架有可能处于过充满状态,需要适量加大上游机架的压下量。轧制力偏低,则机架有可能处于欠充满状态,需要适量减少上游机架的压下量。

### 3) 掌握好“对称”原则。

“对称原则”指的是,由于各个机架孔型的交错布置,单数机架和双数机架的调整量要单独考虑,同时又要要有机的结合。当壁厚精度发生对称性差异时,可以考虑对不同轧制方向上的轧制机架进行单独调整。以修正上述差异。

## 17 锥形芯棒在使用上有什么优点,如何使用锥形芯棒进行生产?

答: PQF 三辊式限动芯棒连轧机组在生产薄壁钢管时使用锥形芯棒进行生产,其优点如下:

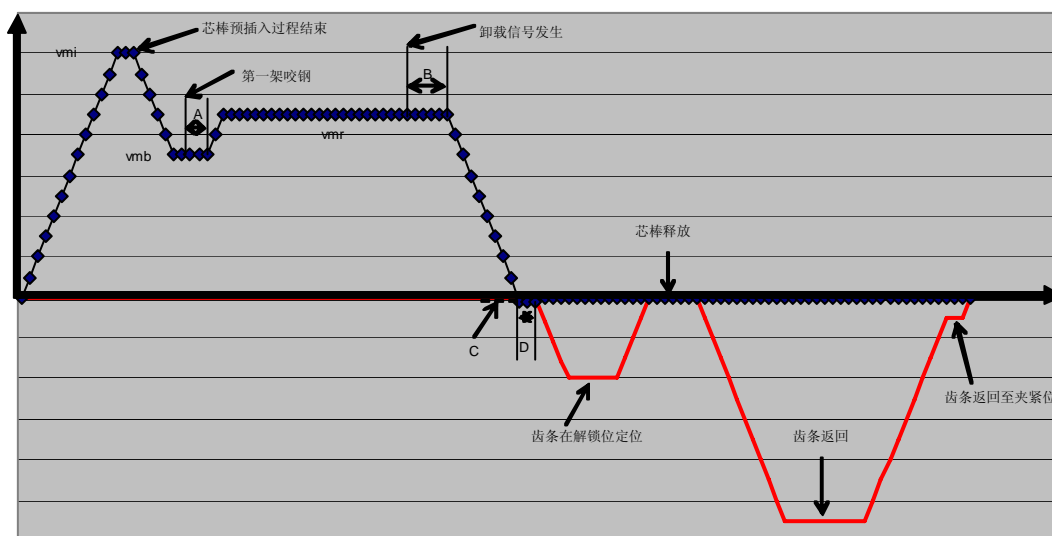
- 1) 使用锥形芯棒,可以有效降低限动力,从而保证轧制过程稳定。实际数据分析表明,使用锥形芯棒,限动电机扭矩比同规格圆柱型芯棒低 10% 左右。
- 2) 使用锥形芯棒,在轧制过程中可以有效降低芯棒表面与轧件的摩擦力,从而降低芯棒表面温升,有利于提高芯棒的使用寿命。
- 3) 使用锥形芯棒有利于 PQF 终轧后脱棒,在终轧后轧件内表面与芯棒间间隙相应加大,从而使脱棒变得更加容易,使用锥型芯棒可以有效防止薄壁管生产中频繁出现的工艺抱棒问题。轧制过程更加稳定。

因为锥形芯棒在长度方向存在锥度,芯棒外径沿长度方向发生了变化。如果不采取相应的措施,在生产过程中将不可避免的发生钢管壁厚沿长度方向上的壁厚不均,因此,使用锥形芯棒需要配合液压压下缸的精确控制。当使用锥形芯棒时,须同时使用液压压下缸的伺服控制系统进行精确控制。同时,在设定各机架的压下量时须要精确计算芯棒的工作区。以配合辊缝计算。当锥形芯棒轧制开始时,压下缸控制系统沿芯棒锥度斜率精确设定打开行程斜率,这样,可以有效补偿钢管因芯棒锥度造成的壁厚变化。

实践证明，使用锥形芯棒配合液压伺服压下控制轧制的钢管，与使用圆柱型芯棒轧制的钢管在壁厚精度上的区别很小。

### 18 PQF 三辊式限动芯棒连轧机组的芯棒速度控制有何特点？

芯棒速度控制的时间曲线



答： PQF 三辊式限动芯棒连轧机组芯棒限动系统的设计充分体现了尽量缩短轧制周期和芯棒在毛管内的待轧时间的工艺目的。在芯棒速度控制上实现了芯棒预穿过程、咬入过程和限动过程限动齿条速度变化的“无缝连接”。在轧制开始时，毛管在夹送辊带动下实现送钢。同时，限动齿条以预插入速度完成芯棒预插入。限动齿条完成预插入后立即降至咬入速度。完成咬入过程后立即将限动齿条速度升至限动速度。这几个步骤，需要依靠对齿条电机极为精确的速度控制才能完成。此过程的实现，体现了当今电机速度精细化控制的先进科技水平。

在工艺参数的计算上也极为严密，因为采用了预插入速度控制代替了限动齿条坐标控制，在进行工艺参数的计算过程中需要精确计算预插入速度和限动速度以及齿条定位坐标。

由于采用了速度控制代替坐标控制的手段控制芯棒限动过程，减小了各个步骤之间因为速度变化过大导致的冲击载荷。在芯棒限动控制上体现了新的科技进步。

## 5.3 新型 Assel 轧管机

1937年，美国工程师 W.J.Assel 在俄亥俄州 Wooster 市 Wayne Co. 钢管厂对伍斯特尔轧机 (Wooster Mill) 重新进行了改造设计，他将这种改造设计后的斜轧管机以其名字命名为阿塞尔轧管机 (ASSEL Mill)。由于这种斜轧管机采用了三个轧辊，因此一般称之为三辊轧管机，而欧美各国则习惯于称它为阿塞尔轧管机 (ASSEL Mill)。

阿塞尔轧管机 (ASSEL Mill) 的三个轧辊在机架中呈 120 度角布置，与长芯棒构成一个相对封闭的环状孔型。轧辊轴线相对于轧制中心线垂直方向和水平方向均倾斜于一定角度，分别叫喂入角和辗轧角。轧辊形状呈锥形，中间段有一个凸起叫做辊肩，轧制时与长芯棒完成集中变形，实现较大的压下量，延伸系数可达 2 左右。

### 5.3.1 主要工艺设备

阿塞尔 (ASSEL) 轧管机主要包括四部分，即：

#### 5.3.1.1 前台入口端

它包括毛管移送系统，由一个杠杆式移送臂将毛管送入插芯棒位置；

芯棒移送系统，芯棒通过法兰盘与小车联接，带有预旋转装置的芯棒小车在底座导轨上水平往返移动，芯棒小车的往返水平移动由双链轮传动系统驱动；为保证轧制时芯棒移动速度处于控制状态，由安装在导轨底座上的两个液压缸来限制芯棒小车在轧制过程中的前进速度，芯棒的冷却由配制在小车上的水管接头从小车尾部插入芯棒进行内水冷；在芯棒小车导轨中间的芯棒托辊托住芯棒，确保芯棒平稳插入毛管，在芯棒小车前进和后退过程中四个芯棒托辊依次抬起或依次落下，避免与小车相撞。

可调式三辊定心装置，分布在芯棒移送系统和轧机之间，它的作用一是抱毛管，二是抱芯棒，三是打开接受毛管；

芯棒润滑系统，在芯棒小车止推器与最末可调式三辊定心装置之间，在芯棒插入毛管的过程中对芯棒工作带进行轧制前的润滑；

升降输送辊、轧机前调整辊和夹送辊，确保毛管准确送入轧辊；挡管器，它是确保芯棒插入毛管的一个装置。

#### 5.3.1.2 主机

机架，由牌坊底座和旋转顶盖组成。



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

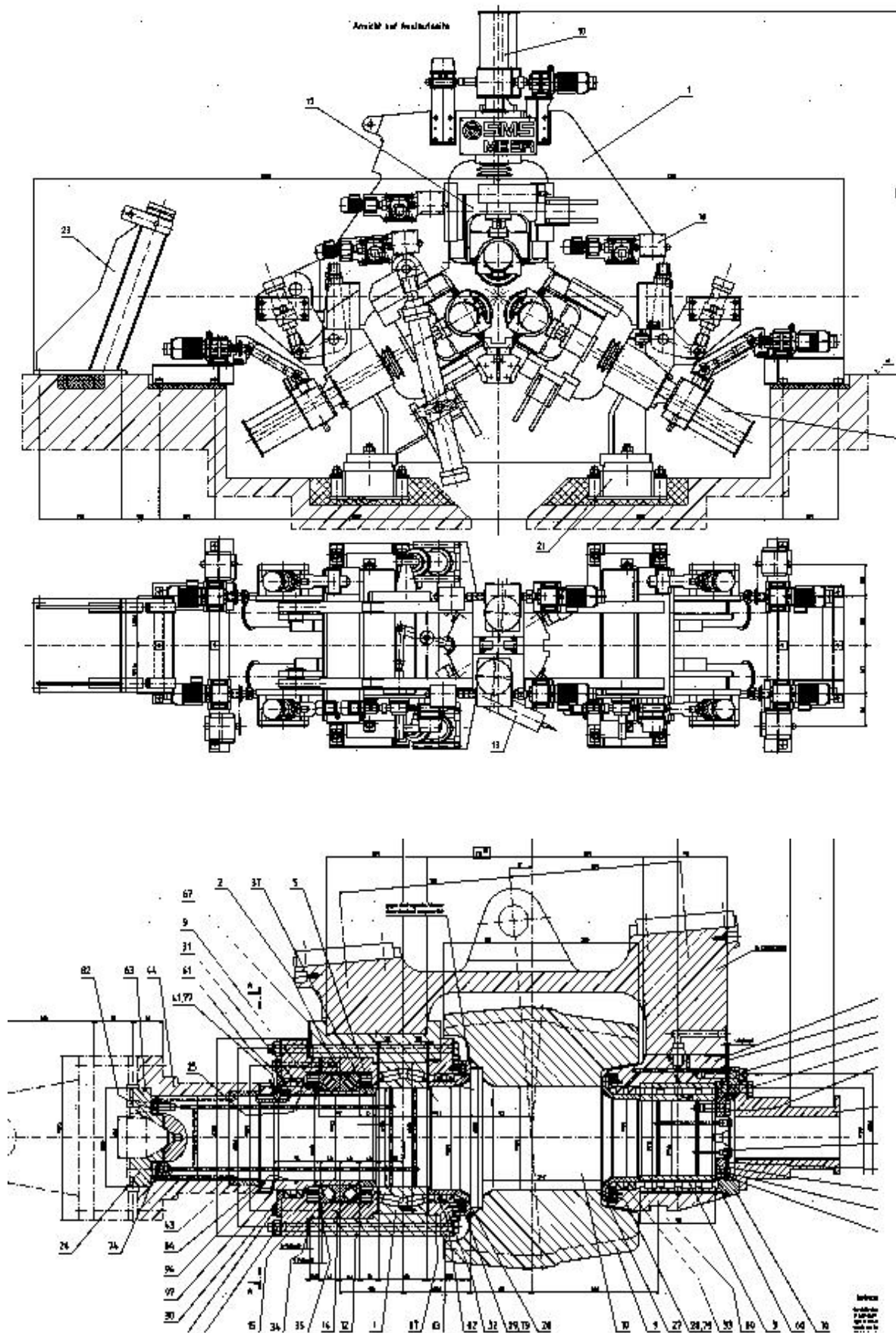


图 5-36 轧辊总成

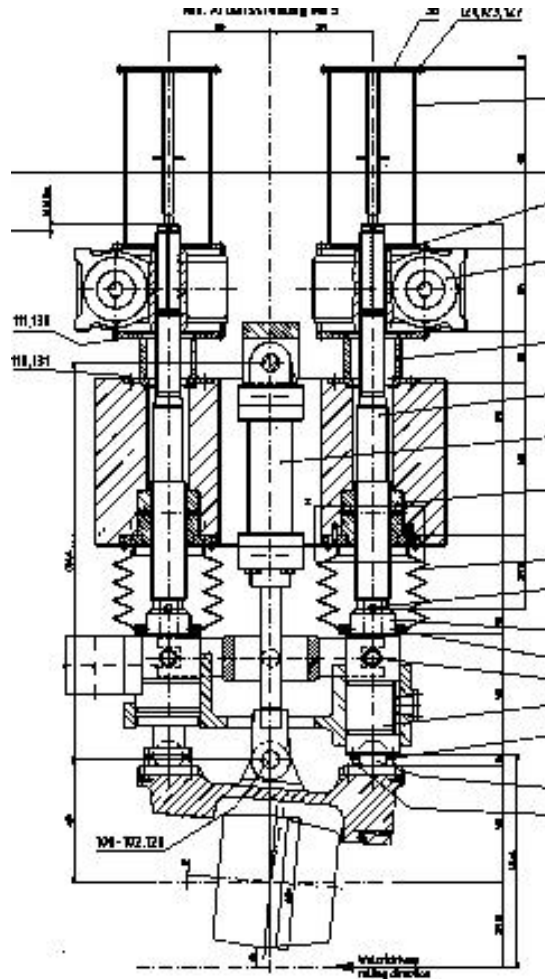


图 5-37 轧辊调整系统

更换轧辊是，机架上盖通过两个液压缸打开，落在一个撑接支架上，以便三个轧辊通过吊车和换辊装置进行更换。牌坊底座和旋转顶盖在轧制期间由四个液压夹紧缸锁紧。三个工作辊安装在轧机机架上，呈  $120^\circ$  布置，按这种方式顶部一个轧辊，底部两个轧辊。

三个工作轧辊装配包括带轴的轧辊，耐磨轴承和两个轴承箱，装配后形成一个更换件，该更换件装入轧辊座内。

轧辊调整装置保证按照轧制要求调整孔喉和辗轧角，由两个电动压下丝杠完成的，它们可单独操作，也可以同时操作，当两个压下丝杠进行反向运动时，可调整轧辊的辗轧角，确定辗轧角后，两个丝杠同时压下或抬起可调整轧辊的孔喉尺寸。在两个压下丝杠之间，机架内有一个液压缸与轧辊座连接，它的作用是保持辊箱的稳定，避免压下丝杠端部与转轂之间产生间隙，我们称之为平衡缸。

轧辊座(小转轂)安装在转轂(大转轂)内，当调整喂入角时，转轂就由一个主轴传动系统旋转到适当角度。每个转轂都有一个独立的传动系统，前进角从  $0^\circ \sim 12^\circ$  范围内无级可调，每个转轂都有两个液压夹紧缸锁紧。

在上辊出料侧的压下丝杠、轧辊调整装置和轧辊轴承座之间，安装了一个液压快开装置，它的作用是在轧制快结束时投入工作。它用一个连接环限制行程并满足运行要求，当活塞向内运动时，轧辊提起，以实现毛管尾部的无压下轧制，以此防止毛管尾部形成三角形喇叭口。

整个牌坊机架放置在紧固于基础上的两个底板上。

5.3.1.3 后台出口端

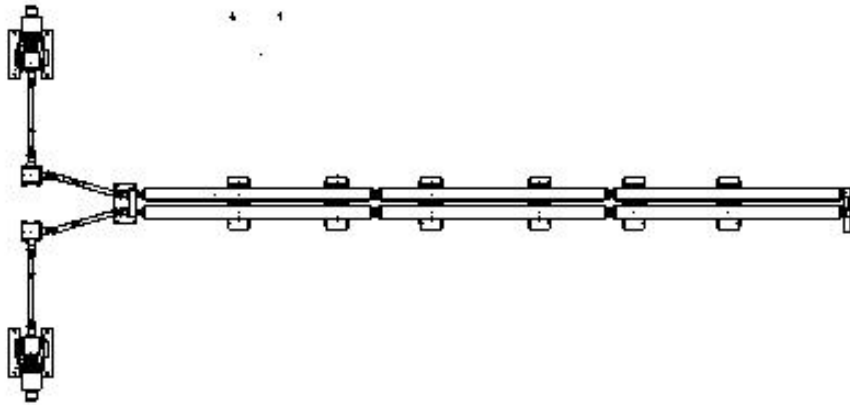


图 5-38

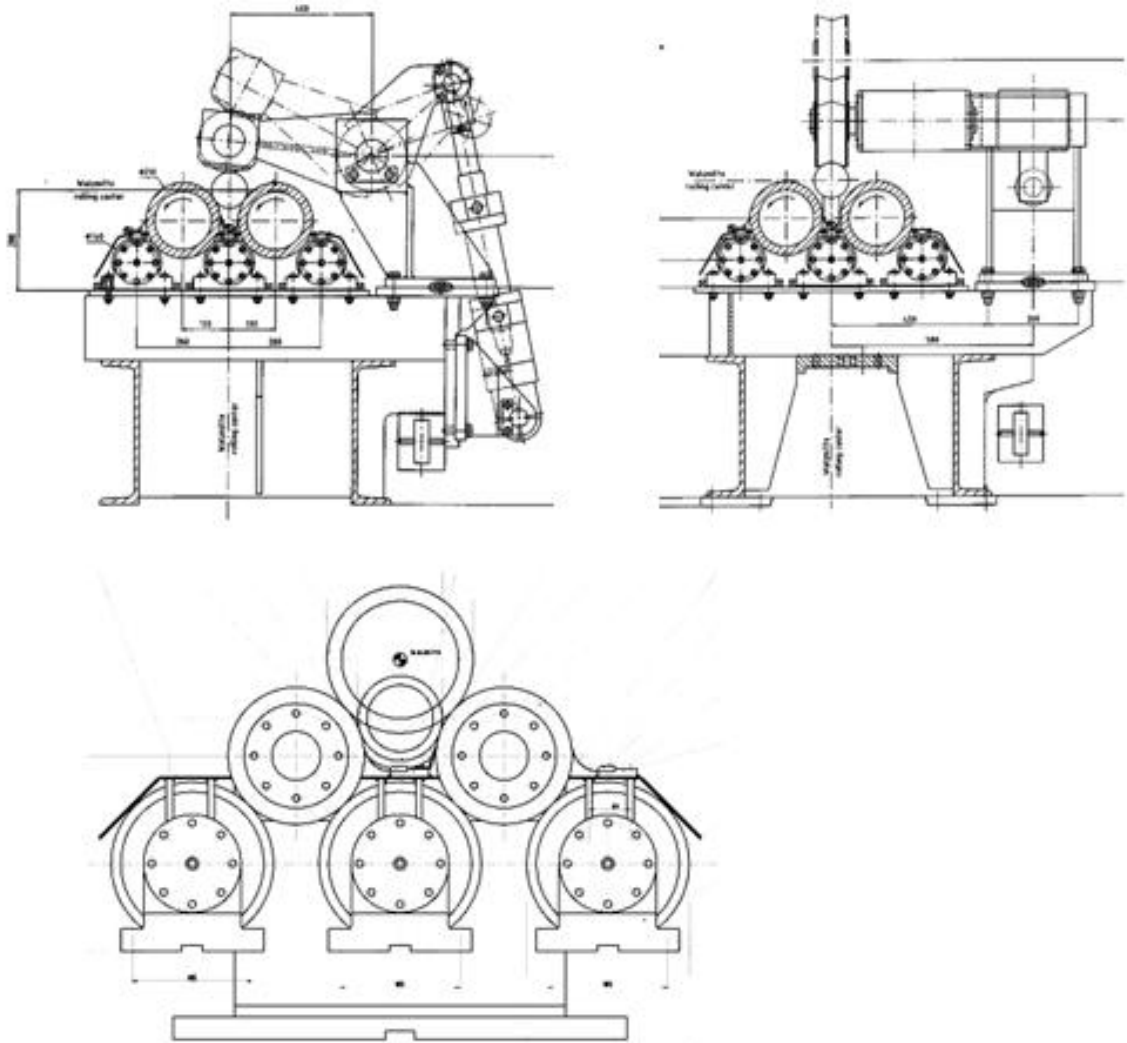


图 5-39

为防止荒管表面划伤和薄壁管发生表面扭曲现象，在轧机出口处装有一个辊式导向装置，它同两条与轧制方向平行排列的长驱动辊相连，长驱动辊以均匀的转速导卫钢管前进，当轧制结束时，上导辊抬起，两个下导辊之间的输送辊抬起，夹送辊压下，通过输送辊驱动将荒管送往后面的输送辊道。长驱动辊底座根据荒管直径的不同，可整体上下调整中心线。

#### 5.3.1.4 传动系统：

每个轧辊均有独立的传动系统，由万向接轴，减速机和电机组成，轧机采用后台传动方式。

### 5.3.2 主要调整参数

基本概念（均以上辊为例）

喂入角：轧辊轴线和轧制线分别在水平面上进行投影，它们的投影线之间的夹角称为喂入角（feed angle、前进角、送进角、）

辗轧角：轧辊轴线和轧制线分别在垂直平面上进行投影，它们的投影线之间的夹角称为辗轧角（spread angle）

#### 5.3.2.1 轧辊喉径和辗轧角的调整

Assel 轧机的三个工作辊在轧机机架里成  $120^\circ$  布置，轧辊安装在轧辊座上，轧辊座安装在转轂里。每个转轂都由两个压下丝杠调整，一个在入口侧，一个在出口侧，两个压下丝杠可分别单独调整，以得到适合的“轧辊喉径”和“辗轧角”。

##### 1 辗轧角设定

以轧辊座的底面作为测量表面，当这表面与轧制中心线平行时，辗轧角为零。在机架牌坊的出、入口设有测量点，三个转轂共有 6 个测量点，测出的数据存入计算机。

当轧辊座上两块止推板到轧制中心距离相等时，辗轧角为  $5^\circ$

##### 2 辗轧角和轧辊喉径的调整

辗轧角的调整：

辗轧角（ $\beta$ ）调整时，轧机出口和入口侧的压下丝杠做反向调整，以出口打开，入口压下为正调整（辗轧角增加）。

出口丝杠行程=标准行程+轧辊半径\* $(1-\cos(\beta-5^\circ))$ + $350*\tan(\beta-5^\circ)$

入口丝杠行程=标准行程—轧辊半径\* $(1-\cos(\beta-5^\circ))$ + $350*\tan(\beta-5^\circ)$

轧辊喉径的调整：

在 Assel 孔型中安装测量棒，同时在轧机出口和入口分别安装测量架。将轧辊座上出口和入口的测量栓与测量架上的测量栓分别对正。此时的辗轧角为  $5^\circ$ ，测量棒与测量架拆除后，压下丝杠做同向同步调整就相应的改变轧辊喉径。

调整后喉径=原喉径+2\*丝杠调整距离

轧辊中心与轧制中心的距离= $(\text{轧辊直径}+\text{轧辊喉径})/2$

当轧辊直径改变时，需重新在计算机中输入轧辊直径，通常情况下，辗轧角和轧辊喉径的设定和调整通过计算机控制完成。

#### 5.3.2.2 喂入角的设定和调整

Assel 轧机的轧辊安装在三个转轂里，通过对转轂的旋转调节，可以得到某一喂入角轧辊的  $0^\circ$  喂入角，对应于轧辊的拆装位置，轧机的喂入角  $0\sim 12^\circ$  可调。

图中给出的是上辊喂入角的调节方式，在 Assel 轧机上，上辊（1#辊）和左辊（3#辊）

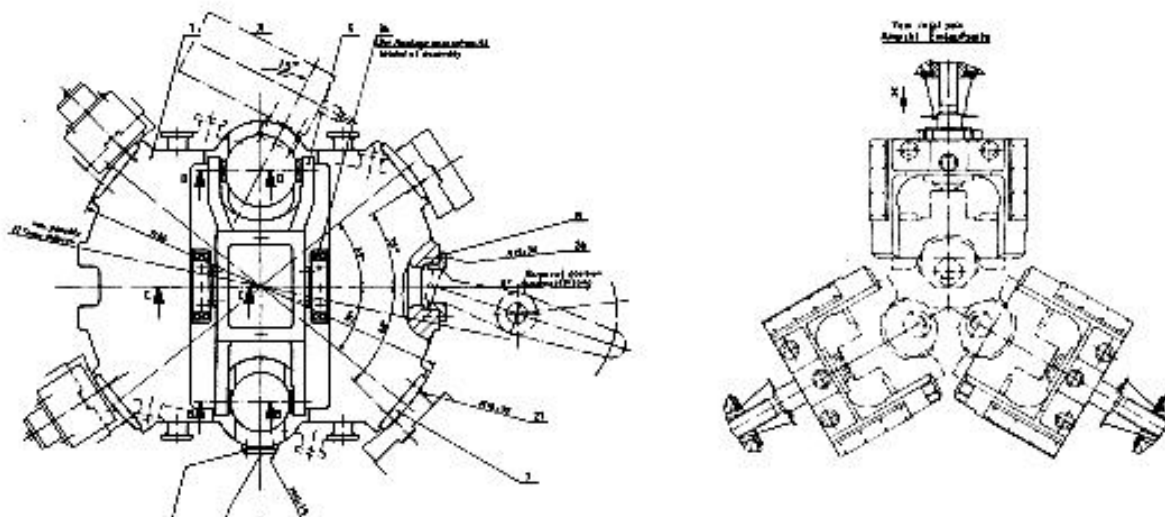


图 5-40

的喂入角调节行程是一致的，而右辊（2#辊）由于调节装置安装方向与前两个辊相反，因此它的调节行程与另两个辊不同。

### 5.3.2.3 Assel 轧管机的工作过程

#### 1 前台

穿孔后的毛管通过横移车移送至 Assel 轧机前台，然后由毛管移送臂将毛管送入轧机入口侧辊道上，移送臂回到原位。辊道输送毛管至挡板前，定心辊抱住毛管，停在等待芯棒插入的位置上。

芯棒在辊子的支撑下，由原始位置通过芯棒小车的驱动高速插入毛管中（1.5m/s）。芯棒的工作段在穿过石墨润滑箱时被喷上石墨润滑剂。芯棒的支撑辊随着芯棒小车的前进逐个落下。

芯棒到达插入位置后，挡板升起，夹送辊落下，输送辊道启动，毛管和芯棒同步前进。芯棒在到达工作位置之前，由芯棒小车上的带有超越离合器的辅助驱动装置进行预旋转，带动毛管旋转进入 Assel 轧机的工作辊中。在芯棒到达工作位置之前，芯棒小车与限动梁联锁。限动梁开始控制芯棒的前进速度（0.07~0.2m/s），使芯棒的前进速度低于钢管的前进速度。随着毛管被 Assel 轧辊咬入，入口侧输送辊道全部集体落下至低位。随着轧制过程中钢管不断地旋转前进，钢管尾部每离开一架三辊定心，该架三辊定心从原来的抱毛管位，变为抱芯棒位。

在轧制结束后，前台输送辊升起至托芯棒位，三辊定心集体打开至低位，芯棒小车高速退回原始位置（4m/s），限动梁在液压缸的带动下退回原位。在芯棒小车回退过程中，芯棒托辊逐架抬起，托住芯棒。芯棒的工作段通过石墨润滑箱时被喷上石墨润滑剂。

#### 2 主机

轧辊在开始咬入前处于低速旋转，当毛管随芯棒进入轧辊后开始一次咬入，在此时毛管只在直径上受到压缩，随着钢管前进，在轧辊的台肩开始毛管内表面接触芯棒表面进行减壁，实现二次咬入。正常咬入后轧辊转速提高到设定的轧制速度，进行高速轧制。在轧制结束后轧辊转速降回低速。通常咬入速度是轧制速度的 70%

在生产薄壁管时，为防止荒管前端产生喇叭形扩口，在毛管被轧辊咬入前，上轧辊的辊缝预先设定在比正常轧制辊缝稍大的位置，当毛管头部通过轧辊的台肩后，上轧辊快速恢复到正常轧制位置，我们把轧辊的这个动作叫做“快关”。

同样是在轧制薄壁管时，为了防止钢管尾部形成三角形而造成的轧卡，在钢管尾部通过轧辊台肩之前，上轧辊的辊缝被打开到一个较大的位置，对钢管尾部不减壁，从而避免了尾三角的形成。

通常情况下，当 Assel 轧后荒管径壁比  $(D/S) > 12$  时，采用快开动作，当径壁比  $> 16$  时，使用快关动作。

### 3 后台

在开始轧制时，由于芯棒端部首先伸出轧机进入后台，离轧机最近的双导辊首先托住芯棒端部，随着荒管从轧机中轧出，双导辊变换至托荒管位。

在轧制开始时，后台的长导辊处于高速转动状态，它的旋转方向与轧辊旋转方向一致，长导辊辊面线速度与荒管的表面线速度保持一致。当荒管进入双导辊时，导辊的辊面与荒管的表面几乎不产生滑动摩擦，一方面避免了对荒管表面的划伤，另一方面由于长导辊几乎对荒管的旋转不产生阻力，也避免了荒管的扭转。

荒管进入长导辊后，首先是两个连在一起的上导辊从打开位压下至抱荒管位，随着荒管的不断前进，后台的上导辊逐架由打开位压下至抱荒管位。

当荒管尾部离开轧机，轧制结束时，长导辊立即从高速转动降低到一个很低的转速，在长导辊最前端的两个连在一起的上导辊此时有一个抱紧荒管的动作，确保在抽芯棒时，荒管不会被芯棒带回轧机。

芯棒从荒管中抽出后，后台全部上导辊打开，长导辊中间的输送辊升起，后台的夹送辊压下，共同将荒管输送出长导辊，在长导辊后的三个固定输送辊继续将荒管输送至定径前升降辊道。

#### 5.3.2.4 Assel 轧机的变形过程

Assel 轧机的变形区是由三个相同的轧辊和芯棒组成的，三个轧辊同向旋转。轧机中心线和轧制线一致，从轧制线到三个轧辊的距离相等，一般在生产壁厚较大的钢管时采用回退式轧制方式，主要是厚壁管的脱棒间隙较小，不便于抽棒。通常情况下均采用限动轧制方式进行轧制。

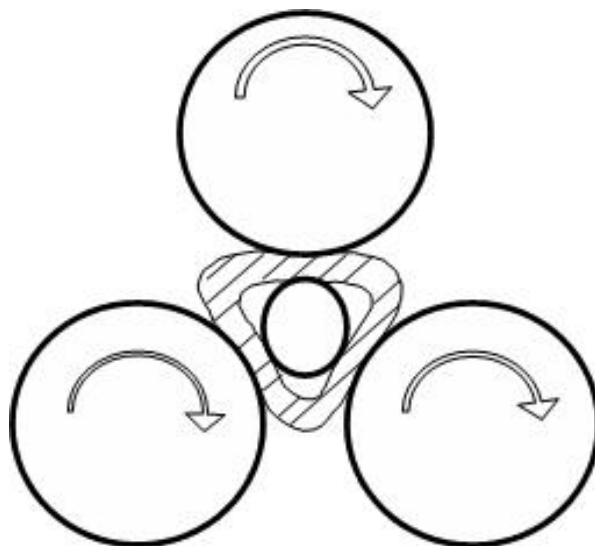


图 5-41 Assel 轧管变形区横截面

Assel 轧机的变形过程与二辊斜轧延伸机相类似，轧辊辊型也由咬入区（入口锥）、脊部（台肩）、均整区和出口区组成。

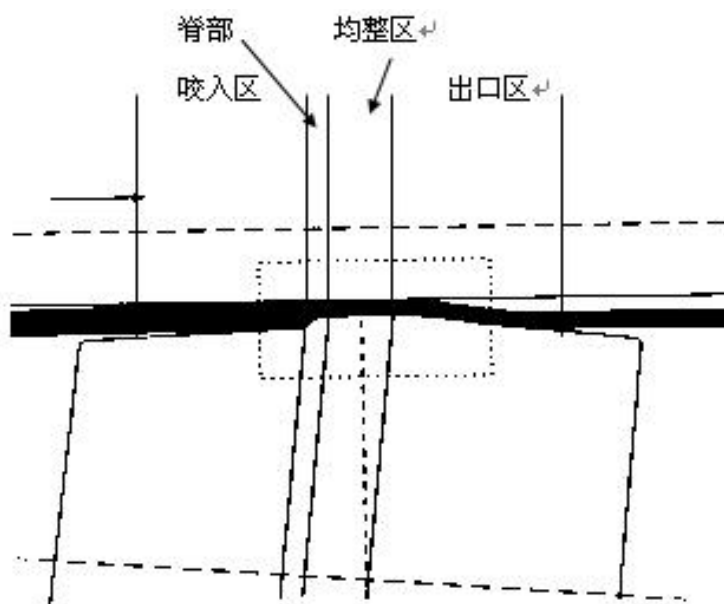


图 5-42

毛管被轧辊一次咬入后，进入入口锥，入口锥角一般约为  $2.5\sim 3^\circ$ ，由于毛管内径大于芯棒直径，首先进行减径，当直径上的压下量等于毛管内径与芯棒的间隙值（插棒间隙）时，毛管内表面开始接触芯棒表面，此时一次咬入阶段结束。由于辊面台肩急剧压下，而钢管内壁受到芯棒的限制因此开始减壁，进入二次咬入阶段。一次咬入主要是减径区，该区的主要作用是建立足够的曳入力，以克服来自轧辊脊部（台肩）的轴向阻力，实现二次咬入。有时为了实现二次咬入，在入口锥提前减壁。一般在入口锥的壁厚压下量等于  $(0.18\sim 0.25)H_s$ ， $H_s$  为台肩高度。

毛管到达台肩时，壁厚有较大的压下量，钢管的延伸变形主要集中在台肩完成。因为钢管的内径保持不便（减壁变形时钢管内径就等于芯棒直径），这时的壁厚压下量就等于直径压下量的一半。

毛管通过台肩后进入均整区，均整区的辊面在轧角为  $5^\circ$  的情况下是与轧制线平行的，因此该区的变形量很小，该区的作用是轧制壁厚，进行定壁。最后钢管经出口锥归圆轧出。



图 5-43

Assel 轧管机在轧制过程中，钢管横截面的变化是从圆到圆三角形，最后再归圆的过程。

由于变形区不是完全封闭的，有较大的辊缝存在。在轧制进行到钢管的尾端时，金属容易被挤入辊缝而形成尾三角，尾三角会卡在轧辊缝隙中造成后卡。通常采用在轧辊出口设置快开装置，提前放大轧辊与芯棒的距离，对钢管尾部不减壁的方法解决尾三角后卡的问题。采用快开方式在一定程度上解决了 Assel 轧制薄壁管时的后卡，但是如果轧机快开的控制不准确，往往造成钢管尾部增厚段过长，最终造成钢耗过大。

### 5.3.2.5 Assel 轧管机的液压快开装置

#### 1 设置快开装置的目的

在 Assel 轧管机上辊转轂的出口侧装有一个液压快开装置，它可以在轧制薄壁钢管的头部和尾部时进行动作，避免 Assel 轧机在轧制薄壁钢管时的头部喇叭口缺陷和尾部三角形缺陷。控制头部喇叭口的目的是为了给生产线上的下一道工序提供更稳定优质的原料；控制尾部三角的目的是防止轧机本身发生轧卡。

#### 2 快开装置的动作过程以及控制方法

快开液压缸的基本位置是满冲程，即液压缸伸出最大行程。该装置的动作分为“快关”和“快开”两种方式。在该液压缸内装有位置检测元件，可以对液压缸的动作行程进行设定。

##### 1) “快关”

当采用“快关”方式进行动作时，在轧机开始轧制前，液压缸回收一定的行程，由于该液压缸的上部顶住了轧机上辊出口侧的压下丝杠，下部顶住上轧辊座的出口侧，它回收了一定的行程，而轧辊座的入口仍保持在原压下位置，上轧辊座在上辊平衡液压缸的拉动下，带着上轧辊，以轧辊座入口的固定点为旋转中心，向上旋转一定的角度。

由于轧辊向上抬起，造成辊面与芯棒之间的距离加大，当毛管头部在此处通过时，可以减少轧辊对毛管壁厚的压下，由于壁厚压下量的减小从而减小了钢管的横变形，因此可

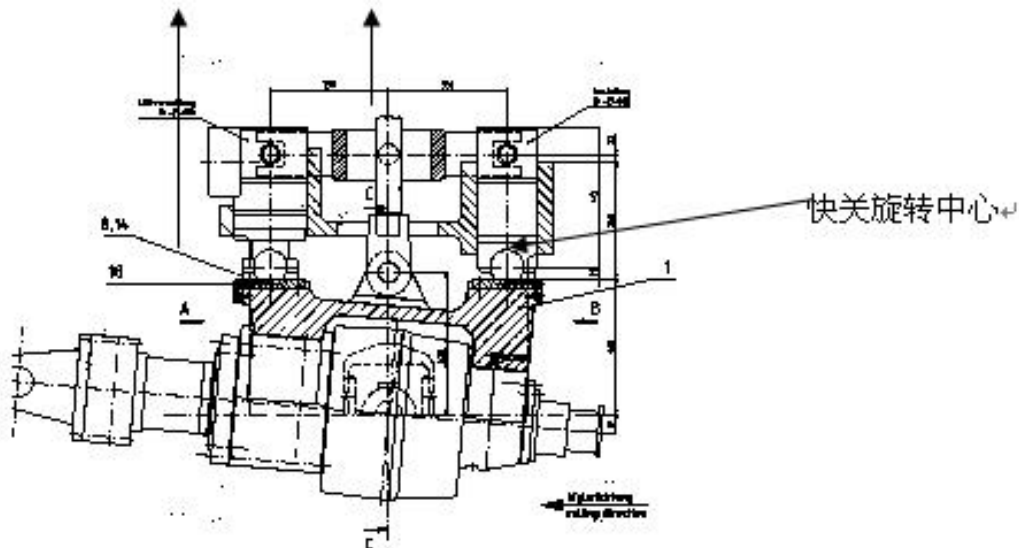


图 5-44

以减轻甚至消除 Assel 轧制薄壁管生产时的喇叭口现象。在毛管头部通过轧辊台肩后，为了保证钢管管体的壁厚精度，上轧辊需要迅速恢复正常轧制位置，快开液压缸应立即恢复满行程的工作位置。但是由于此时的轧辊压下正处于钢管轧制过程中，属于带钢压下，需要的压力很大，同时压下动作要求在极短的时间内完成（约 0.3 秒）。为此在原有的快开液压缸外设置了一个增压缸来保证“快关”动作的及时和准确。

## 2) “快关”动作的局限性

由于“快关”动作需要在毛管咬入前打开轧辊距离，但是为了保证毛管顺利进行一次咬入，轧辊距离不能打开过大（如果快关动作打开的轧辊距离过大，会造成轧机入口的辊距增大，将难以实现毛管的一次咬入）。因此“快关”动作对毛管头部减壁量的影响是有限的，最终对薄壁管喇叭口缺陷的改善能力也受到限制。

为了弥补“快关”动作消除薄壁管喇叭口能力上的不足，Meer 公司推荐使用阶梯芯棒配合“快关”动作共同完成对“喇叭口”的消除。

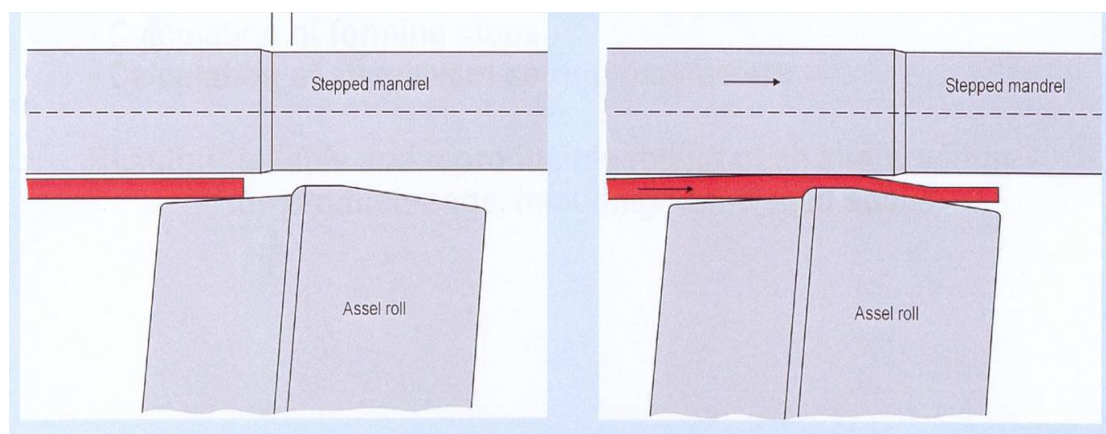


图 5-45

## 3) “快开”

“快开”动作应用于薄壁管轧制的最终阶段。在快开动作前，液压缸一直处于满行程的基本位置。在毛管尾部进入轧辊台肩进行减壁变形之前的一个很短的时间内，快开液压缸卸压，依靠钢管对上轧辊的反作用力，以及上辊平衡缸的拉力，将上辊打开一定的距离，从而不对毛管的尾部减壁，减少钢管尾部的横变形，避免尾三角的产生。由于是在轧制过程的最终阶段进行“快开”动作，不需要考虑钢管的一次咬入问题，因此可以采用尽量大的快开行程打开辊距，所以快开动作对尾三角的解决效果应该是能够令人满意的。

## 4) “快关”、“快开”动作的控制方式

在 Assel 主机的一侧，装有两个热金属检测器，分别为 HMD1 和 HMD2，其中的 HMD1 负责在开始轧制时检测毛管头部的位置，控制“快关”动作的实现，HMD2 负责在结束前检测毛管尾部的位置，控制“快开”动作的实现。由于在钢管轧制过程中，轧机的冷却水会产生较大的雾气，因此 HMD1 和 HMD2 均具有抗雾气干扰能力，从而保证检测信号的准确性。

### 5.3.2.6 Assel 轧机工艺参数

阿塞尔轧管机的主要作用是把穿孔毛管的壁厚进行碾轧减薄延伸，因此在轧管过程中涉及到的主要工艺参数有变形参数、速度参数和温度参数。

变形参数：毛管尺寸、荒管尺寸、延伸系数、辗轧角、孔喉直径和芯棒直径、插棒间隙、脱棒间隙等。

速度参数：喂入角、轧辊转数、芯棒限动速度等。

温度参数：轧制温度等

通常 Assel 轧机在设定工艺参数前，首先要确定下一道工序（定径）所要求的原料规格，即本机组应轧出的荒管尺寸，根据荒管规格以及工具准备情况确定本机组所需的毛管规格。

孔喉直径与芯棒直径配合保证荒管的壁厚

辗轧角：根据轧辊辊面锥角确定，本轧机为  $5^\circ$ ，辗轧角调整出现偏差可造成钢管壁厚不均、内螺纹等缺陷。

喂入角： $0\sim 12^\circ$  可调，喂入角加大，轧制出口速度加快，扩径值增加，但是随着喂入角的增大，轧制稳定性降低，壁厚不均呈增大趋势，容易产生内螺纹。

因此应在生产厚壁管时采用较大的喂入角，薄壁管生产采用较小的喂入角。但是在生产薄壁管时喂入角也不宜过小，因为喂入角过小，轧制速度慢，尤其是薄壁管时，轧制时间过长容易造成钢管头尾温差加大，形成在钢管长度方向上的壁厚不均。

插棒间隙：需要扩径轧制时，采用小插棒间隙。需要缩径轧制时，采用大插棒间隙。插棒间隙过大容易造成轧辊开口度不足，咬入困难，并且对钢管的内外表面质量会带来不利影响。插棒间隙过小容易造成插棒困难，甚至包芯棒。

轧辊转数：轧辊转数对钢管的影响与喂入角的影响一致。考虑到轧机力能参数的情况下，在轧制高强度、难变形金属时，应采用较低的轧辊转数或较小的喂入角。

芯棒限动速度：芯棒限动速度过慢，会造成芯棒工作段的磨损集中在一个较短的范围内，会使芯棒表面质量恶化，影响钢管内表面质量，同时也会增加芯棒的消耗量。

### 5.3.2.7 轧制工具

#### 1 Assel 轧管机的主要轧制工具

##### 1) 轧辊

共有三个轧辊，在机架内间隔  $120^\circ$  角布置。轧辊轴线与轧制线在不同平面上的投影分别形成辗轧角和喂入角。轧辊总体呈锥形，入口辊径小，出口辊径大。在轧辊的中部有一个突起，叫做轧辊台肩（hump）。台肩的作用是对钢管进行集中减壁。

轧机上安装的三个轧辊应成套配置，确保每一套三个轧辊的辊型和辊径一致，要求轧辊装配精确，避免轧辊轴向窜动，确保三个轧辊的台肩在变形区内保持在同一垂直平面内。要求三个轧辊的化学成分和表面硬度应均匀一致，避免在轧辊使用过程中由于三个轧辊磨损程度不一致而带来的产品缺陷。

##### 2) 轧辊的更换

传统的 Assel 轧管机，在更换轧辊过程中需要反复打开机架上盖（三次），然后将三个轧辊分别由天车吊走和吊入。新型 Assel 轧管机采用了三辊集中更换的新技术。只需要在换辊前将轧辊调整到规定的换辊位置，打开机架上盖后，三个轧辊同时由天车吊走，三个新辊同时吊入。在一次换辊过程中只需要打开一次机架上盖可以节省换辊时间，提高轧机工作效率。

##### 3) 芯棒

在轧制过程中，芯棒与轧辊共同完成对钢管的减壁和均壁工作，因此要求芯棒具有很好的高温耐磨性能，具有精确的直径、良好的平直度和同心度，以及光滑的表面。



## 2 轧辊设计

首先根据产品规格和轧制表计算轧辊入口和出口的开口度。

入口： $\Delta E = LE1 \cdot \tan \alpha_1 + HS$

出口： $\Delta A = R1(1 - \cos \alpha_2) + LA1 \cdot \tan \alpha_2$

$\Delta E \geq \Delta e$  ,  $\Delta e = CH/2 + (SH - SL)$  ;

$\Delta A \geq \Delta a$  ,  $\Delta a = CL/2$ ;

$CH = dH - 2SH - DM$

$CL = dL - 2SL - DM$

$\Delta E$  —— 轧辊入口的开口度;

$\Delta e$  —— 毛管需要的开口度;

$\Delta A$  —— 轧辊出口的开口度;

$\Delta a$  —— 荒管需要的开口度;

$LE1$  —— 轧辊入口锥长度;

$LA1$  —— 轧辊出口锥长度;

$\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  —— 入口辊面锥角、出口辊面锥角

$R1$  —— 过渡圆弧半径

$dH$ 、 $SH$ 、 $CH$  —— 毛管直径、毛管壁厚、插棒间隙;

$dL$ 、 $SL$ 、 $CL$  —— 荒管直径、荒管壁厚、脱棒间隙;

$DM$  —— 芯棒直径;

### 1) 入口侧的计算

咬入系数  $k$  的定义:

$k = LG/dH$

$LG = \Delta eR / \tan \alpha_1$

$\Delta eR = CH/2 + (SH - SL) - HS$

$LG$ : 一次咬入长度

$\Delta eR$ :

$k$  值一般应在 0.4~0.7 之间。

首先选择轧辊入口锥角  $\alpha_1$ ,  $\alpha_1$ :  $2.5^\circ \sim 4^\circ$ , 推荐  $3^\circ$ 。因咬入条件的限制, 小于  $2.5^\circ$  或者大于  $4^\circ$  时, 轧辊很难完成咬入过程。

### 2) 出口侧的计算

首先选择出口角  $\alpha_2$  和过渡半径  $R1$ , 建议开始时选择  $\alpha_2 = 3^\circ$  和  $R1 = 150 \sim 200\text{mm}$

以此计算下列变量:

$\Delta AR1 = R1(1 - \cos \alpha_2)$  ;

$\alpha_2$  的推荐值为  $2^\circ \sim 10^\circ$

下面可以计算所有毛管所需的出口侧长度:

$la = R1 \sin \alpha_2 + (\Delta a - R1(1 - \cos \alpha_2)) / \tan \alpha_2$

$la$  —— 任一荒管所需的出口长度

$\Delta a$  —— 荒管所需出口侧的开口度。

### 3) 轧辊台肩的计算

肩角  $\beta$  为  $50^\circ$ , 计算肩高  $H_s$  和肩长  $L_s$ :

$H_s = (R_s + r_s)(1 - \cos \beta) - r_s(1 - \cos \alpha_1)$

$L_s = (R_s + r_s) \sin \beta - r_s \sin \alpha_1$

### 4) 辗轧段长度的计算

辗轧段长度计算如下:

$$Lk=U \cdot \eta_a \cdot \pi \cdot dL/3 \cdot \tan \gamma$$

U——辗轧系数（1.6~2.2）

$\eta_a$ ——滑移系数（0.75~1.0）

$\gamma$ ——喂入角

## 5.4 其他热加工钢管的延伸方法

因坯料条件和穿孔机延伸能力的限制,造成穿孔后毛管在尺寸大小和精度上不能满足用户的使用要求,需对毛管进行进一步的加工,热加工延伸无缝钢管的方法很多,除了上述介绍的三种机型外,目前常用的还有以下几种方法。

### 5.4.1 自动轧管机轧管

自动轧管机是瑞士人斯蒂芬尔于1903年发明的,1906年建立了第一套机组。上世纪80年代前它是热轧无缝钢管的主要方法之一。由于其轧制的管长、壁厚精度等的限制,现已逐步被连轧管机组所替代;目前我国自动轧管机组使用最好的是包头的400机组,国外除前苏联及东欧一些自动轧管机组仍在发挥着作用外,其他大多已拆除。自动轧管机由主机、前台和后台三部分组成。主机是二辊不可逆式纵轧机,其特点是在工作辊后装设了一对高速反向旋转的回送辊,同时为满足回送钢管的需要,设有上工作辊和下回送辊快速升降机构。工作辊上车有园孔型。由穿孔机和延伸机送来的毛管,在由园孔型和顶头(圆锥形头或球形顶头)组成的环形孔型中轧制。通常轧制两道次。每轧制一道次后,将上工作辊和下回送辊提升一定高度,利用回送辊将毛管送回前台,然后将轧管恢复原工作位置,并将钢管翻转 $90^\circ$ ,再同一孔型中轧制第二道次。各道次的变形量大小靠两道次顶头直径差来调节。轧后钢管回送至前台后横移至均整机进行均整。其变形过程也是经过压扁、减径和减壁三个阶段。

自动轧管机的优点是生产的规格调整灵活,就钢种而言,适用范围宽,可生产低、中碳钢和低合金钢、不锈钢等;适于小批量、多品种生产。其缺点是变形能力差,两个道次的总延伸只有2.5以下;壁厚不均匀,经常出现内划道,必须用均整机消除;荒管长度短,影响成材率的提高。生产效率低(轧制节奏慢,但重小)。

### 5.4.2 Accu-Roll 轧管机轧管

Accu-Roll 轧管机轧管是上世纪90年代初起步于我国烟台鲁宝、成都等地,当时曾喧嚣一时,大有取代其他斜轧、连轧机组的势头,但后经实践检验,因其轧制的荒管长度较短使生产部分规格的3倍尺管受限制以及轧制薄壁管时荒管表面螺旋印较深影响钢管外观质量,至今也只在我国生存,特别是近期一些民营企业新建了一批小型Accu-Roll 轧管机组,目前尚未见到国外兴建该类型轧管机的报道。该机型不适宜生产大中口径的无缝钢管。它实际是一种带主动导盘的二辊卧式长芯棒斜轧机。

其轧机结构上有以下特点:

两个轧辊是锥形的。与锥形辊穿孔机一样,既有喂入角还有辗轧角,使轧辊直径顺轧制方向逐渐增大,有利于减少滑动,促进金属纵向延伸和减轻附加扭转变形。

采用两个大直径的主动导盘。

采用限动芯棒操作方式。

采用无辊肩轧辊辊型,据介绍这样克服了ASSEL因辊肩部分的减壁量集中,而降低轧辊寿命和均壁效果,从而提高荒管的壁厚精度。

### 5.4.3 顶管机顶管

顶管法生产无缝钢管早在 1892 年由德国海因里希·艾哈德提出。初期的顶管机组的穿孔工艺分为由水压穿孔法，用立式水压机将放在模具中的钢锭挤压成带杯底的毛管，而后用吊车取出毛管，放倒，将杯状的毛管套在长芯棒上，顶推芯棒使杯状毛管依次通过一组直径递减的环形模孔获得减径、减壁、延伸。变形的动力全部集中在顶杆尾部。顶管后需脱棒，然后切除杯底，特点是：生产率低，壁厚不均严重，钢管的 L/D 受限制，目前仅用此方法生产大口径（400~1400mm 的无缝钢管）。另一种方法被称为 CPE 法，是用斜轧穿孔法生产毛管，在将毛管一端进行缩口的方法为顶管机提供毛管。它可以提高产量和产品质量，为顶管工艺生产小口径无缝钢管恢复了生命力。

顶管法的优点是：

1) 投资少，设备、工具简单，生产成本低。

2) 顶管机组延伸大，可达 10~17。因而轧制同类产品顶管法所需的设备、工具数量可较少。

3) 品种规格范围宽。

缺点是壁厚精度不高，且内外表面容易出现划道缺陷。

### 5.4.4 挤压钢管

所谓挤压法是指将金属坯料置于由挤压筒、挤压模和挤压杆组成的“封闭”容器内，由挤压杆施加压力迫使金属从挤压模孔流出，而获得金属塑性成型的方法，这是一种历史悠久的无缝钢管制造方法。根据挤压杆施力方向与金属流动方向相对关系，挤压法可分为正挤压和反挤压两种。正挤压施力方向与金属流动方向一致，反挤压相反。反挤压具有挤压力小、挤压比大、挤压速度快、可降低挤压温度、改善挤压条件、容易实现等温/等压/等速挤压、提高产品组织性能和尺寸精度、可减少挤压结束时金属压余量，提高金属收得率等优点；但其操作相对不方便，且制品断面尺寸受挤压杆尺寸的限制。

金属挤压技术在工业中的应用已有百余年的历史，但钢的热挤压技术在使用是在 1941 年“塞希”发明玻璃挤压润滑剂后才逐渐发展起来的，尤其是无氧化加热、高速挤压技术、模具材料的发展，以及张力减径等技术的进步，使热挤压生产无缝钢管更加经济合理，产量和质量大大提高，品种范围进一步拓宽，从而受到各国的重视。

目前用挤压法生产钢管的产品范围一般为：外径：18.4~340mm，最小壁厚可达 2mm，长度为 15m 左右，小口径管可以得到 60m 的钢管。挤压机的能力一般为 2000~4000 吨，最大达 12000 吨。

挤压无缝钢管生产与其他热轧法相比具有以下优点：

加工工序少，在产量相同的情况下可节省投资。

由于挤压金属处于三向压应力状态，因此可以生产很难或不可轧制、锻造的材料，如镍基合金。

由于挤压时金属变形量大（挤压比大），同时在很短时间内完成完全变形，使产品的组织均匀，性能好。

内外表面缺陷少，几何尺寸精度较高。

组织生产灵活，适合小批量、多品种生产。

可以生产复杂断面的管材及双金属复合管材。

缺点为：

1) 对润滑剂和加热要求高，从而使生产成本增加。

2) 以及工具寿命低、消耗量大，且价格昂贵。

3) 成材率偏低, 使产品竞争力下降。

### 5.4.5 周期轧管机(皮尔格轧管机)轧管

周期轧管机 1990 年投入工业生产, 是单机架二辊式轧机, 在轧辊上车有一个变断面孔型, 两个轧辊反向旋转, 毛管逆轧辊转向喂入。轧辊转动一周轧辊推出毛管, 使毛管在孔型内受到减径、减壁、精轧而完成一段毛管的轧制。然后毛管再次喂入轧制, 一支毛管需在孔型中循环往复多次, 才能完成整个轧制过程, 故称为周期式轧管机, 又称皮尔格轧管机。采用变断面的轧辊孔型对管材进行周期性的加工, 并配合管料的喂入和回转操作, 使管壁受到多次积累变形, 获得较大的减壁量和延伸率。

这种生产方式的特点是:

- 1) 较适合于厚壁管的生产, 其壁厚可达 60~120mm;
- 2) 加工的钢种范围较宽, 由于其变形方式是锻轧结合, 可以生产低塑性难变形金属的管材, 且钢管的机械性能优异。
- 3) 轧出的钢管长度大, 可达 35m。
- 4) 轧机生产率, 一般为 60~80%, 因而产量低; 因此一台穿孔机需配备两台周期轧管机才能平衡。
- 5) 尾部不能加工, 造成较大切损, 成材率低。
- 6) 表面质量差, 壁厚不均严重。
- 7) 工具消耗大, 一般为 9~35kg/t。

### 5.4.6 热扩钢管

热轧无缝钢管机组生产的最大成品钢管外径, 自动轧管机组小于 530mm; 连轧管机组小于 460mm; 大型皮尔格小于 660mm。当需要更大直径的钢管时, 除了使用顶管方法、挤压方法外, 则可采用钢管热扩径方法, 这种方法目前可生产的最大无缝钢管外径达 1500mm 的薄壁管。

钢管热扩径有斜轧式、拉拔式和推进式三种方法, 这三种方法先后起步于上世纪 30 年代, 斜轧式和拉拔式需对钢管整体加热后才能进行变形加工, 而推进式不需要加热整根钢管。斜轧扩径机:

斜轧扩径工艺流程为: 经加热后的管料运往斜轧扩径机扩径。斜轧扩径机由两个形状相同的轧辊组成。两个轧辊轴线分别与轧制线成 30° 角, 两个轧辊分别由电机单独驱动, 作同向旋转。扩径变形区内有顶头参与变形, 钢管在变形区内作螺旋运动, 管壁经轧辊与顶头辗轧, 而使扩径扩大, 壁厚变薄, 顶头的轴向力由顶杆承受, 其顶杆既可布置在入口侧也可以安装在出口侧。

斜轧扩径可生产壁厚为 6~30mm, 最大外径 710mm 的钢管。其缺点是钢管内外表面存在残留的螺旋状痕迹, 使表面质量降低, 为此必须曾设均整机和定径机。这种扩径机设备庞大、投资费用高, 且品种受到一定的限制, 不能生产厚壁管。

拉拔式扩径机

拉拔式扩径是一种生产能力较低的生产方式, 但由于其设备和加工简单, 易于机械化操作, 目前还在应用。拉拔式扩径机既可冷拔也可热拔扩径, 当扩径量不大和要求改善钢管的物理和机械性能及尺寸精度时, 可采用冷拔扩径。钢管热拔扩径工艺流程为: 管料加热、管端扩口、扩拔管、矫直、切头尾、检验。每加热一次的扩径率为 60~70%, 最大可生产直径 750mm 的钢管。

拉拔式热扩径的主要工作原理是: 通过一组(一般 1~4 个)直径逐渐增大的顶头, 插入并通过钢管内孔全长, 使钢管直径扩大, 壁厚减薄, 长度略有缩短。

拉拔式扩径机主要工具有扩口顶头、扩管顶头和顶杆。优点是设备简单，操作方便，易于掌握；产品品种、规格范围宽，还可生产矩形等异形钢管。缺点是生产周期长，生产率低，工具和金属消耗大。

#### 推进式扩径机

推进式扩径机工作原理是将原料钢管置于中频感应线圈中，在经过中频感应加热后，靠液压缸活塞或卷扬机的推头运动，推动钢管尾部使钢从管头开始依次经过轴向固定的锥形芯棒，以达到扩径的目的；当钢管尾部被推进芯棒时，再在其后加入一支新的待加工的钢管，推头返回后继续推这支新钢管的尾部，新钢管的头部将前一支钢管的尾部推过芯棒，从而完成一支钢管的扩径。由于仅加热变形区段的钢管，变形后的钢管易弯曲，同时其扩径管材的壁厚和长度受到限制，推进式扩径机的优点是金属收得率高，设备简单，能耗低，缺点是钢管在长度方向上的性能一致性稍差，生产效率低。因其投资少，故近期在我国华北地区新建了许多套。顶推扩径目前可生产壁厚为 6~30mm，最大外径 860mm 的钢管。

# 第六章 钢管的再加热、定径与减径

## 6.1 钢管空心轧制理论

### 6.1.1 张减速度制度原理

内容：张减各工艺参数理论求取  
重点：明确速度制度建立的数学模型

#### 6.1.1.1 概述

钢管的张减过程是在一定张力的条件下，将来自脱管机的荒管轧制成符合成品外径和壁厚尺寸要求的钢管。整个过程是一个空心体连轧的过程，机架间的张力需要在一定压下率下，在电机允许的范围内调速实现。

在张减机轧制的过程中，现场工艺参数调节相对较少，张力的控制也受孔型（减径率）的制约，所以在轧制过程中，只能在秒流量相等的原则下，通过合理调节主叠加电机的转速来保证一定张力，进行壁厚微调（一般不会超过 1mm）。

#### 6.1.1.2 张力减径的前提条件

在生产实践中，我们遇到以下几种情况需要改变张减机的速度制度。

- ① 张减机的前部工序——一轧管机轧制某种薄壁管很难，易产生轧卡和外表面划伤。
- ② 用户要求较苛刻，如要求光管的壁厚只能有上偏差，或只能有下偏差。
- ③ 原产品大纲中，单机架减径率大而出现内折叠。
- ④ 生产市场上畅销而原产品中没有的规格时

当出现上述四种情况下，若不知其相应的速度制度，则肯定不能生产合格的光管。因为当张减机出口的外径一定时，电机转速的改变会带来光管壁厚的改变。

主叠加电机的调速，导致每一机架轧辊的调速。一般情况下，根据钢管的来料尺寸和成品尺寸，可以合理选择机架数和每机架的减径率。这将在[孔型设计](#)中进述。但其张力系数的建立相对较难。我们知道壁厚的微调主要通过调节各机架的张力系数来实现，而张力系数的建立需要相应的速度制度。我们并不能做到调整主叠加电机来使各机架达到一理想的速度，这是由集体差速传动的特点决定的。为保证各机架壁厚的精度及理论计算的方便，通常我们设想减壁率应和减径率匹配，在此假设下：

- 1 求平均张力系数
  - 2 再分配各机架张力系数
  - 3 求壁厚（通常计算量较大时，需要用迭代法通守编程来求解）。
  - 4 求通过各机架时钢管的横断面面积（求出壁厚后很容易求出各机架留出金属的断面积）。
  - 5 求出各机架的延伸率。
  - 6 根据轧制节奏选择入口速度。
  - 7 求各机架金属流动速度。
  - 8 求出各机架的工作辊径。
  - 9 计算出各机架轧辊的转速。
- ① 用第一、二架轧辊转速求主叠加电机 1 的转速，并同时以此校核 3 到 8 架轧辊转速。保证最大程度地线性逼近设定秒流量时各机架的转速值。

- ② 用 10 和 11 架轧辊转速求主叠加电机 2 的转速，同时以此校核 9 到 14 架轧辊的转速。保证最大程度地线性逼近设定秒流量时各机架的转速值。
- ③ 用 15 和 16 架轧辊的转速求主叠加电机 3 的转速，并以此校核 17 到 24 架轧辊的转速，保证最大程度地线性逼近设定秒流量时各机架的转速值。

如果各机架单独传动，很好确定。但对于集体传动，我们只能线性逼近。以上求法是一种理想求法，虽然主迭加电机相对一套的增加 4 台，相对减少了这一困难。但一般仍不可能求出合乎每一机架理论转速的电机转速。在实际生产中，根据实际情况，必须进行迭加电机的上下调速，范围不宜过大。当所有的工艺参数求出后，我们还有必要对轧制力进行校核。

求出钢管壁厚后，我们就可以计算轧制压力，并能校核孔型设计及减径率的设定。这一切都必须能从理论上掌握一套精确壁厚的算法，目前对于单独的电机传动，有很多文献介绍。但对于集体差速传动相对介绍很少。现参考有关资料介绍如下。

### 6.1.1.3 差速传动张力减径道次壁厚变化的计算

在孔型尺寸确定后，成品钢管的外径尺寸也就被确定。在主轴电机转速给定的情况下，各道次的转辊转数便随之确定，各道次的张力大小也就相应地确定。但是，各道次张力系数究竟是多少，则需计算才能得出。

计算方法是：首先根据给定的主辅电机转速折算出各道次轧辊转速（公式 1），然后设定各道次张力系数。由于孔型尺寸是一定的，所以设定好各道次的张力系数后，根据公式（2，3）可以计算出各道次轧辊的工作直径和各道次轧后的钢管壁厚。据此，可以计算出各道次钢管的延伸系数和出口速度（公式 4），然后再根据出口速度和轧制直径计算各道次轧辊转数（公式 5）。如果设定的张力系数不合适，那么，计算出的轧辊转数与根据主、辅电机转数折算出的轧辊转数就会出现差值。此时，可采用各道次转数差的绝对值之和作为是否终止计算的依据。如果此数值达到足够小，便可以终止计算。图 1 为用计算机进行道次壁厚计算的框图。

## 1 轧辊设定转数的折算公式

轧辊转数的折算公式为：

$$n_k = n_{\text{主}} / I_{\text{主}} + n_{\text{迭}} / I_{\text{迭}} \quad (\text{公式 1})$$

$$D_k = D_i - \cos \theta_k (a_i + b_i) \quad (\text{公式 2})$$

式中： $D_k$  工作直径

$D_i$  名义直径

$$\theta_k \text{ 中性角} \quad \theta_k = (\pi/6) \cdot (1 - l_i / f D_{0i})$$

壁厚计算：（迭代计算）

$$\delta_k = \delta_0 \times (D_0 / D_k)^A \quad (\text{公式 3})$$

式中： $\delta_0 = \delta_k \times (D_k / D_0)^A$

$$A = 2 \{ 1 - 3 \delta / D - 2Z \llbracket 1 - 2 \delta / D \rrbracket \}$$

$$/ \{ (1 - Z) + 3(1 - Z) \llbracket 1 - 2 \delta / D \rrbracket^2 + 2Z \llbracket 1 - \delta / D \rrbracket \}$$

$$\delta / D = \{ \delta_k / 2 D_k \} + \{ \delta_k / 2 D_k \} / \{ 1 + 2(1 - Z) \llbracket 1 - 2 \delta_0 / D_0 \rrbracket \times \llbracket D_0 / D_k - 1 \rrbracket \}$$

延伸系数及出口速度的计算：

$$\lambda_k = \{ \delta_0 \times (D_{c0} - \delta_0) \} / \delta_k \times (D_{ck} - \delta_k) \quad (\text{公式 4})$$

式中： $D_{c0}$  为入口处管子名义直径

$D_{ck}$  为出口管子名义直径

入口速度可以根据轧制节奏及要求选取。然后根据延伸系数可以算出出口速度

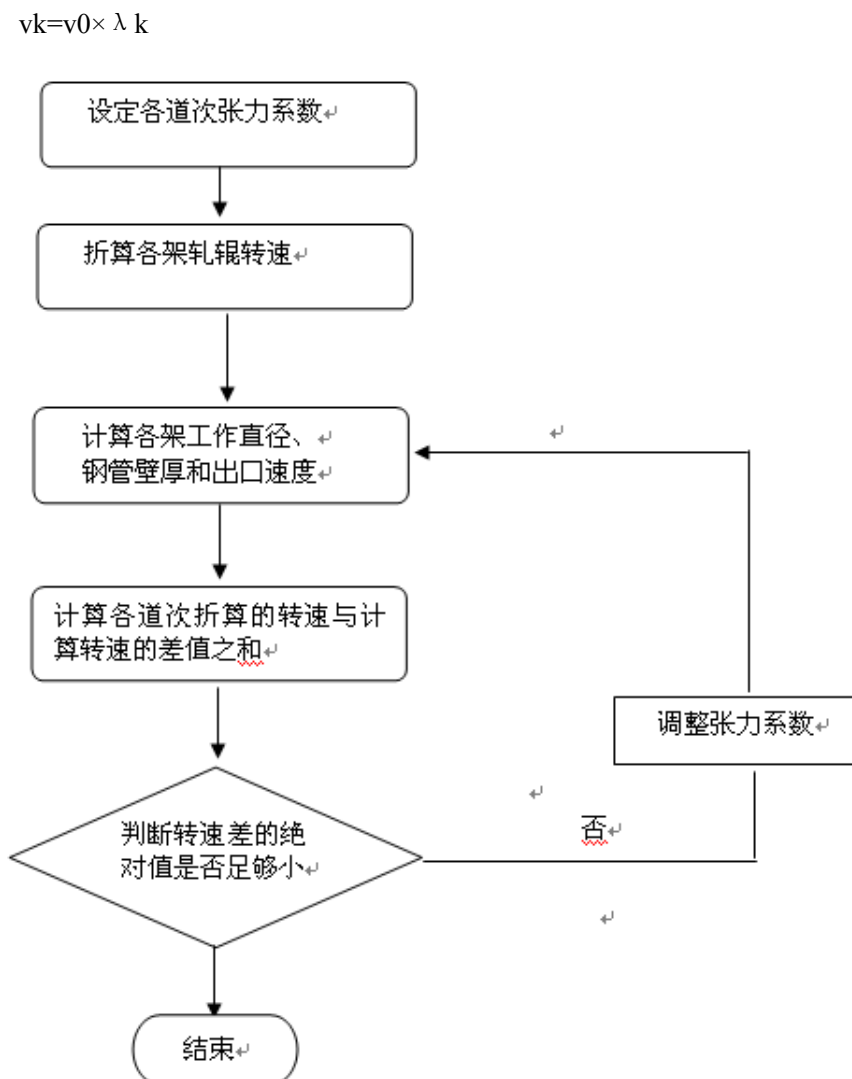


图 6-1 道次壁厚计算过程框图

## 2 壁厚计算的注意事项:

第一架入口和最末架出口的张力系数设为 0

设定中间架道次的张力应考虑两个因素:

- 1) 设定张力后轧辊的转数应与实际转数相符
- 2) 设定张力系数后还应计算后一架的中性角, 若后一架的中性角小于 0, 则说明设定的张力系数太大。此时张力系数应适当减小。
- 3) 由于张力减径所有轧机较多, 所需计算的末知数较多, 如果想优化计算的话, 需编程解决。
- 4) 计算精度要视要求而定, 一般计算精度高, 程序所要运行的时间会稍长。

在实际生产中, 还需要通过轧卡实验来验证一下你的理论算法。因为很多中间参数是需要你预先处理的。

### 6.1.2 CARTAT 系统介绍

内容: CARTAT 系统管理

要求: 了解 CARTAT 系统的意义

张力减径机选用的是外齿轮传动，其传动型式为 3 组串列式 6 电机传动。配备有 SMS-MEER 公司开发的先进 CARTA/自动化控制系统。

该系统英文名为 The CARTA Planning System，这意味着操作者能执行他自己的计划过程控制，其具体过程交给计算机自己完成。过程计划控制允许输入一个新的尺寸给系统，系统会自己决定所选择的孔型，并负责交给过程控制程序设置所需的数据。在出现质量问题或孔型尺寸需要作修改时，操作者就能通过这个软件功能来实行。而且系统提供有详细的计算和轧制数据的生动画面显示，可使技术人员更好地理解全过程的轧制情况，并能更快，更有效地解决现场的实际问题。

只要正确地使用该系统，它就能提高轧制成品质量，并能保证安全高效地轧制。这时，该系统可以说是一种工具，

该系统的主要功能是争对管端壁厚情况实行速度自调，有效减少管端壁厚增厚的情况。其过程控制主要包括三个部分，介绍如下：

**CEC (Crop End Control system) 控制：**通过 1~8 架三级动态速降动态调整轧辊线速度来减少头尾端增厚的长度。采用该技术能有效减少管头尾增厚端 50%的情况。（据有关介绍，该系统目前并不很成熟，存在着管尾严重拉簿的情况，按超出名义壁厚 6%来算，其实际切尾长度增长原来二倍多，具体得根据现场轧制情况来看。）

**WTCA (Average Wall Thickness Control system) 控制：**根据来料荒管的壁厚偏差测量结果，通过静态轧辊线速度设定来增加或减少张减机的延伸系数，以保证得到要求的目标平均壁厚精度。

**WTCL (Local Wall Thickness Control system) 控制：**

根据来料荒管的沿长度方向上的局部壁厚与平均壁厚的偏差值，通过动态调整轧辊线速度来保证该处的壁厚精度。

另外，该系统所提供的数学模型能对不同生产规格的管进行机架数的运算，机架位置设置，以及金属流动状态和各机架的载荷的计算。除此以外还能计算并设定各机架转速，并记录各过程控制参数以及提供机架及轧辊加工所需的一切工艺参数。

## 6.2 定径工艺

### 6.2.1 工艺描述

#### 6.2.1.1 定径机的特点

我公司轧管厂采用的定径机是三辊式集中差速传动的微张力定径机，轧机型号为 SRW550J14M,该机组能实现微张力减径，因此定径时管壁增厚较小。集中差速传动是一种电气、机械并用的调速传动，它和直流电机单独传动相比有如下特点：

- 1 速度刚性好：轧件咬入时电机虽有速降，但只影响定径机的轧制速度，而不改变机架间的速度比例；
- 2 电气控制系统较简单，投资较少；
- 3 结构紧凑，为缩小机架距离创造了条件；
- 4 维护方便，操作简单。

集中差速传动由于具有上述优点，虽然调速范围和调速灵活性差一些，但若主传动电机采用直流电机，调速范围也较大，能够满足生产工艺的要求，因此应用很广泛。

### 6.2.1.2 工艺任务和目的:

在轧管厂整个生产过程是连续进行的。而定径工序是热轧生产线的金属热变形的最后一道工序。本工序的工艺任务主要是通过一系列的操作后,除保持连轧后的钢管具有光滑的外表面光洁度和高精度的尺寸外,还要使热轧成品钢管具有优良的综合使用性能。其目的是,在一定的总减径率和较小的单机架减径率条件下来达到定径作用。另外,定径工序还可以实现用一种规格管材能够生产多种成品管的任务。

## 6.2.2 定径机的设备结构、平面布置及相关技术参数

### 6.2.2.1 设备结构与平面布置情况

定径区域的主要设备有:

- 1 入口辊道:高度可调,速度调整由再加热区域控制。作用是输送钢管。
- 2 除鳞机:主要由除鳞箱、除鳞环组成,除鳞环上均匀布置 10~15 个喷嘴。除鳞时高压水压力 18MP,作用是除去钢管表面氧化皮。
- 3 机架:按其作用不同分三种,即工作机架、传输机架和导向机架,机架外形为矩形,工作机架上装有驱动轴。机架上的三个轧辊互成 120°,分别安装在三个不可调整的轧辊轴上。机架安装在机座内,单数轴颈在下面,双数轴颈在上面,这样使相邻机架轧辊的辊缝互相交错成 90°。定径机机座上可安装至多 14 个机架,按照生产的要求确定工作机架,传输机架及导向机架的配置。传输机架的驱动轴必须在下面,导向机架无传动轴。
- 4 机架夹紧装置:机架在机座上的固定是靠 14 个锁紧缸锁定的,只有在机架锁紧缸压力不低于 80bar 时,才可以启动电机工作。
- 5 传动设备:主电机和叠加电机通过差速齿轮箱将动力输给齿轮箱的 14 个输出轴上,输出轴又和 14 个减径连轴器相连,然后传动力给机座上机架输入传动装置。主电机和齿轮箱之间装有一个齿轮联轴器;叠加电机和齿轮箱之间装有刹车盘和两个双颞制动器。剪针联轴器的作用是保护齿轮箱在轧制力矩超过某一特定数值时(冷管),因过载而被损坏。
- 6 机架拉出装置:主要由 2 个横梁、4 个液压缸、4 个支撑柱组成。
- 7 换辊小车及其驱动装置:换辊小车由 4 个小车组成,小车驱动装置由一个液压马达组成。
- 8 液压设备:由 H 再通过管线定径机的下列单供油:
  - 1) 机架锁紧缸;
  - 2) 换辊液压缸
  - 3) 换辊小车驱动装置的链轮调整装置
  - 4) 液压马达
  - 5) 叠加电机和齿轮箱之的双颞制动器。
  - 6) 机架冷却水的截流阀
- 9 出口辊道:高度可调
- 10 九通道在线检测设备:在线检测钢管外径、壁厚、温度等。能够采集、储存并分析测量数据。
- 11 回转臂:将定径后钢管移送至冷床。
- 12 冷床:步进梁式,由动梁和静梁组成。动梁由提升电机和平移电机驱动,这种冷床的特点:(1)冷却均匀,(2)钢管表面损伤少,(3)具有矫直功能
- 13 润滑设备:稀油润滑系统 L5 对齿轮箱进行润滑。G8 甘油站为机座上的耐磨轴承、辊道、回转臂、冷床进行润滑。

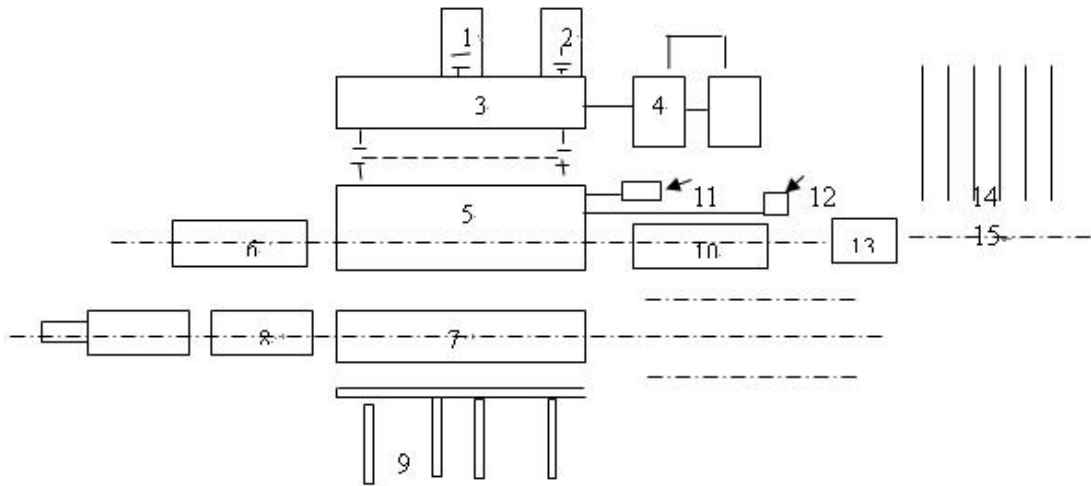


图 6-2 定径机组设备组成示意图

- 1、主电机
- 2、叠加电机
- 3、驱动装置
- 4、润滑油箱
- 5、机座
- 6、除磷水箱
- 7、换辊小车辊道
- 8、换辊小车
- 9、换辊小车拉出位置
- 10、出口辊道
- 11、油脂润滑
- 12、水截流阀
- 13、九通道
- 14、大冷床
- 15、回转臂

### 6.2.2.2 设备性能参数介绍

- 1 除磷设备：                  高压水压力 18Mpa
- 2 定径机
 

电源：电机：	3*380 V	50Hz	
控制设备：	24VCD (PLC) 或 220V, 50Hz		
电磁阀：	24V CD		
型号：	SRW 550I—14M		
形式：	三辊		
机架位数：	14 个		
标准辊径直径：	550mm		
机架间距：	500mm		
轧制力：	25T	轧制扭矩：	2500kgm
主电机：	950kw DC(额定)	最大 1190 kw	285~520~1300 rpm

- 叠加电机： 750kw (额定) 最大 1125 kw 52~520~1300 rpm
- 3 轧辊：  
 名义直径： 550mm，  
 材质： 球墨铸铁 硬度： 380HB 表面淬火深： R150mm
- 4 钢管  
 入口管： 外径：  $\phi 173.4\text{ mm}$ 、 $\phi 225.8\text{ mm}$ 、 $\phi 239\text{ mm}$ 、 $\phi 281.0\text{ mm}$   
 $\phi 285.0\text{ mm}$ ~ $302.3\text{ mm}$ 、  $\phi 323.9\text{ mm}$  ~  $\phi 344.1\text{ mm}$   
 壁厚： 4.58-39.96mm  
 长度： 11780-35000mm  
 出口管： 外径：  $\phi 114$ ~ $344.1\text{ mm}$ ，  
 其中外径 $\leq 285\text{ mm}$ 的钢管进行定径，外径 $> 285\text{ mm}$ 的钢管不需定径  
 壁厚： 4.58~40mm  
 长度： 37000mm (max)
- 5 冷床：  
 形式： 步进梁式  
 总长度： 58m  
 总宽度： 36m  
 齿数： 164  
 齿距： 350mm  
 步进梁间距： 第一段长 5m 500mm  
 第一段长 21m 1000mm  
 第一段长 32m 2000mm  
 提升电机： 2 台， 74.5KW  
 平移电机： 1 台， 52 KW
- 6 九通道：  
 适用范围： 钢管直径：  $\phi 114$ ~ $\phi 344.1\text{ mm}$   
 钢管壁厚： 4.58~40mm  
 管长： max 37000mm  
 温度： max 1400℃  
 更换钢管外径时，需调整九通道前、后辊道高度

## 6.2.3 定径机组的工作原理和工艺控制

### 6.2.3.1 定径生产工艺流程描述

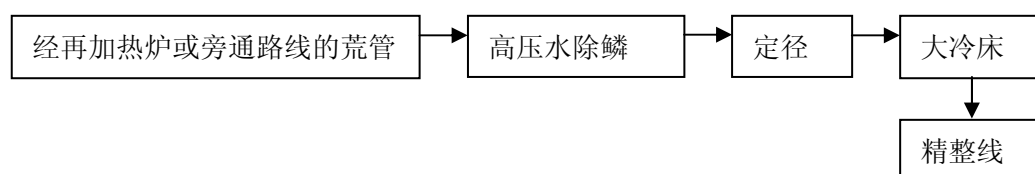


图 6-3 定径机组工艺流程图

### 6.2.3.2 定径机的基本结构和工作原理

- 1 基本结构：本厂定径机采用集体差速传动系统。其差速传动箱分为两个区域；叠加电机输入轴齿轮与一区第十二机架（NO.12）传动齿轮相啮合，并且按一定的传动比变速，变速后分别传入二区各自的小太阳轮。主电机输入轴经一级齿轮啮合，两个变速轴伸入二区，分别啮合 NO.6，NO.8 输入轴的太阳齿轮，使二区相邻两个齿轮轴互相啮合，其齿数传动比均相同，这样在叠加转速为零的条件下，输出轴转速均相同，这就是它的基本转速。大小太阳轮同时转动，使机架输出轴得到一个合成差速传动转速。
- 2 差速传动分析：主电机经一区传到二区的太阳轮（带有内啮合的大齿轮）其传动比为  $i'=9.162$ 。机架传动是由差动轮系的系杆带动。如图所示

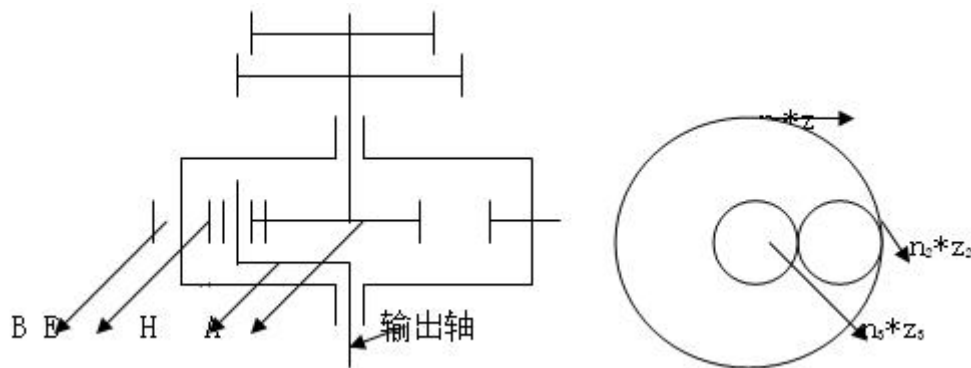


图 6-4

- A、太阳轮（由叠加电机带动）
- B、太阳轮（带内外齿圈）
- E、行星轮
- H、转臂（基本转速和迭加转速迭加）

太阳轮 1 由主电机传送，小太阳轮 3 由叠加电机传动，齿轮 2 为系杆，与齿轮 1 内啮合，与齿轮 3 外啮合。

- 3 设：各齿轮转速分别为  $n_1, n_2, n_3$ ，齿数分别为  $z_1, z_2, z_3$

由差速原理：
$$(n_1 - n_2) / (n_3 - n_2) = -z_3 / z_1$$

得：
$$n_2 = z_1 / (z_3 + z_1) * n_1 + z_3 / (z_1 + z_3) * n_3$$

设：
$$i_1 = (z_1 + z_3) / z_1, i_3 = (z_3 + z_1) / z_3$$

则：
$$n_2 = n_1 / i_1 + n_3 / i_3$$

已知：
$$z_1 = 69, z_2 = 25, z_3 = 18 \quad z_1 = 69, z_2 = 25, z_3 = 18$$

得：
$$i_1 = 1.261, i_3 = 4.833$$

已知：电机转速分别为  $N_1, N_2$  (rpm)

两电机传至二区的传动比

$$i_1' = 9.162, \quad i_3' \text{ 的值见表}$$

设：
$$i_3 * i_3' = I, \quad \text{可推得 } n_2$$

即 
$$n_2 = n_1 / i_1 + n_3 / i_3 = N_1 / i_1 * i_1' + i_3 * i_3' = N_1 / 11.55268 + N_2 / I$$

可以得出输出轴转速：

$$N = N_1 / 11.55268 + N_2 / i$$

叠加电机对各轴的传动比见下表

表 6-1

机架号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
传动比 I	162.35	86.32	56.74	41.47	32.67	26.87	22.72	19.77	17.45	15.81	14.74	14.02	13.41	13.41

由上表可知，速比顺轧制方向逐渐减小，即，顺轧机方向各机架的叠加转速递增。

### 6.2.3.3 定径机速度制度的确定

根据钢管对温度的要求（包括毛管出炉温度、初轧温度、终轧温度），毛管直径、壁厚、成品管直径、壁厚及钢种钢级、确定孔型系列，机架数、各孔型标准直径，再计算出电机转数、各机架速度。由于一种产品有一套确定的孔型及所以，在轧制一种产品时，当根据毛管尺寸、成品管尺寸及钢种钢级确定了孔型及主电机转速、叠加电机转速、压下量就均已确定，既确定了一套轧制该产品的孔型。所以，我们主要的目的在于根据已知条件确定孔型系列、电机转速，当然，一套孔型确定之后，各孔型的尺寸就确定了。

### 6.2.3.4 定径机的轧辊孔型设计

#### 1 变形制度

减径率和壁厚变化率是定径变形过程中的两个重要参数。成品质量主要取决于两个变形参数的大小和其比例选择的是否合理。

##### 1) 减径率及其分配

单机架的最大剪径率根据钢管的品种决定，其最大植称为临界值。本厂定径机张力系数小，减径时增厚，但增厚不大，同时由于张力存在，壁厚不均程度大为减少，单机架减径率较小，最大时为 3.1%。

减径率的分配就是把总减径率合理的分配到各机架上去。一般来讲，定径机的中间各架减径率最大，第一架和成品前一架的减径率一般为零。

##### 2) 壁厚变化率及其分配

与壁厚变化率有关的因素有减径率、壁厚（毛管）及张力系数。壁厚变化率的分配就把已求出的总壁厚变化率合理地分配到各机架上去。

实践证明，单机架减径率小于 4~5%时，不可能发生减壁现象。本厂定径机单机架最大减径率为 3.1%，则只可能发生壁增厚现象或壁厚基本保持不变。由毛管及成品尺寸经理论计算，本厂定径轧制钢管时，增壁率为 0.5%~14.5%，管壁增厚的绝对值最大为 1.7mm。

分配壁厚变化率的原则是：单机架的壁厚变化率必须与单机架的减径率相对应，减径越大，壁厚变化率也越大。

#### 2 孔型设计

1) 根据轧制所给定的毛管和成品管的尺寸，求出总变形量（总减径、总延伸系数），选定单机架减径率，求出所需机架数目：

$$n = \ln(D_n/D_e) / \ln(1 - \varepsilon D) + q$$

式中：n---机架数目

$D_n$ 、 $D_e$  --- 定径后，定径前钢管外径

$\varepsilon D$  --- 平均单机架减径率

q---减径率较小时机架的折合数

对于定径机， $\varepsilon D$  一般不小于 3.5% q 一般取 2

##### 2) 减径率的分配

分配各机架减径率，求出各机架孔型的平均值—  $D_t$ ，通常第一架减径率约为平均减径率

的 50% 左右，以适应来料尺寸波动，成品前二架为平均减径率的一半，成品前一架即成品机架一般没有减径率，以保证成品钢管的外径尺寸精度及其直圆度，其余机架的减径率平均，由此，便可求出孔型的标准直径  $D_i$ ：

得到： $\varepsilon_i = (D_{i-1} - D_i) / D_{(i-1)}$

式中： $D_1 = D_e(1 - \varepsilon_1)$

$D_2 = D_1(1 - \varepsilon_2)$

$D_{13} = D_{12}(1 - \varepsilon_{13})$

这样，根据孔型系列、孔型标准直径，便可确定孔型其他尺寸，相应的加工孔型的工具尺寸。

对于基础机架，一个孔型系列只有一套基础孔型，最多为 12 架，本厂有 AO\AM\AR\AF 四个孔型系列，则只有三种基础机架孔型，最后两个机架为精加工机架，精加工机架孔型的减径率很小，趋于零，椭圆度也趋于 1。每种产品均有一套精加工机架孔型，这样对于一个孔型系列的某种产品的定径来讲，则只要确定该系列的基础机架数目和生产该产品的精加工孔型，便确定了一套该产品的孔型。

这里，基础机架是机架中的主体部分，用于轧制精加工前的钢管，主要目的是减径，控制壁厚变化，精加工机架也叫成品机架。

## 6.2.4 操作及调整

### 6.2.4.1 操作要点

定径工序为特殊工序，开轧前必须检查设备及在线检测仪表，并按轧制表和相关技术文件输入工艺参数，确认无误后方可进行操作。

生产过程中要注意监视掌握设备情况，观察仪器仪表及显示信号，监视钢管运行和轧制情况，发现问题及时处理。

观察上冷床钢管的直度，防止管子弯曲度过大，致使在冷床上无法滚动，影响生产。按照相关文件配置机架。

当班人员负责本班生产所需更换工具的准备工作。

工具更换前依据生产计划和相关文件，检查核对所准备的工具的准确性，换完后应再次确认。

随时监控管子长度，发现问题及时通知连轧机组。

每小时至少巡视一次定径区域设备运行情况及冷却水情况，发现问题及时处理并通知调度室。

每小时至少巡视一次大冷床钢管外表面，发现问题及时通知相关机组及调度室。

记录本班生产过程中的设备运行状况，所发生的生产事故及其处理情况。

### 1 工具更换程序

#### 1) 更换机架前的准备工作

- (1) 确定定径机架
- (2) 按相关文件将机架摆放在小车上
- (3) 打开阀台的阀门联锁
- (4) 将链轮压入小车链条
- (5) 移动小车将空车停在 C 型座前并使两滑轨各处对齐
- (6) 停止要料
- (7) 回到手动状态并停车

- (8) 出口辊道切至手动
  - (9) 关机架冷却水
  - (10) 切换到地面操作
  - (11) 释放夹紧装置并检查所有液压缸退回
  - 2) 更换机架程序
    - (1) 通过手动搬手选择, 首先移动横梁并推进至机架前, 放下小钩
    - (2) 横梁将机架拉至小车中心线
    - (3) 横梁向前伸 1-3cm 以放松小钩
    - (4) 将小钩抬起
    - (5) 横梁拉至‘零’位
    - (6) 更换机架超过 7 架时需通过手动搬手移动另一个横梁, 方法同上
    - (7) 清理 C 型座内的导向板并涂油
    - (8) 移动带有机架的小车停在 C 型机座正前方将滑轨相互对正
    - (9) 选择首先移动的横梁
    - (10) 将机架推进到 C 型机座内
    - (11) 横梁退至原始位置
    - (12) 如果需要通过手动搬手移动另一横梁, 方法同上
    - (13) 接通机架夹紧装置并检查所有液压缸伸出
  - 3) 开机后的清理工作
    - (1) 将小车开至停止位
    - (2) 释放链轮
    - (3) 锁定阀台总阀门
    - (4) 工具下线
  - 4) 对更换机架操作注意事项的几点补充
    - (1) 换辊小车移动前应确认小车周围无人, 轨道上无杂物、换辊液压缸返回零位、钩子抬起, 小车上机架摆在中间位置, 且与横梁保持一定距离。
    - (2) 横梁如左右歪斜应及时恢复原位。
    - (3) 液压缸伸出时, 横梁上小钩不要提前放下。
    - (4) 小车一定要对正。
- ## 2 九通道操作程序
- 1) 九通道上线时的操作程序
    - (1) 停定径主机及叠加电机
    - (2) 确认定径出口辊道高度正确
    - (3) 在服务终端屏幕上输入正确的参数
    - (4) 确认数据库运行状态正常
    - (5) 按 F5 键将 O 型架开入测量点
    - (6) 启动定径主机及叠加电机
    - (7) 按 F1 键准备测量
  - 2) 九通道下线的操作规程
    - (1) 停定径主机和叠加电机
    - (2) 按 F6 键将 O 型架开到存储位
    - (3) 启动主机恢复生产

### 6.2.4.2 调整要点

#### 1 荒管除磷

- 1) 定径高压水压力为 13~18mpa。为保正成品钢管外表面质量，正常生产必须投入高压水除磷。开轧前应检查高压水压力及除磷环喷嘴状况，如有堵塞及时清理。
- 2) 为保证整支钢管都除磷，且避免除磷水喷入钢管内部，除磷开启和结束延时，根据入口辊道速度和主机速度的调整及时做相应的调整。
- 3) 为避免除磷水喷入炉内，除磷刷应根据挡水效果及时更换
- 4) 荒管温度不低于 8000C，即可进入定径机轧制，对有终轧温度要求的钢管品种因选择相应的工艺制度来满足要求。

#### 2 定径前后辊道高度调整

调整原则：

$$\text{钢管中心线} = \text{轧制中心线}$$

当荒管和成品管规格变化时，根据轧制表和辊道高度行程表进行调整，实际调整时应根据荒管和成品管的直度做适当修正，一般修正量不超过 5mm。

#### 3 定径机调整

定径机的速度调整要依据定径机的速度制度执行。定径机的速度制度由轧制表或其它相关文件提供，跟班工艺师根据生产的品种、规格，提取与之品种、规格相同或相近的轧制表提供给定径机组，或在其它相关文件中选择与之品种、规格相同或相近的定径机速度制度提供给定径机组。

在满足生产要求前提下，应选择较低转速，轧厚壁管时，转速不能太快，同时入口辊道速度应降低，减小对第一架的冲击。

#### 4 机架配置方式

- 1) 定径机的机架配置方式有两种形式：前充满方式和后充满方式。前充满方式指的是变形机架集中在定径机的前部分布置，而不参与变形的机架集中在后部分。后充满方式则相反。我厂采用的机架方式为前充满方式。

- 2) 机架分类：可分为三类：

- (1) 工作机架：是指参与钢管变形的机架，有传动轴
- (2) 传输机架：只是起到传送钢管的作用，不参与变形，有传动轴，第一架需上导嘴
- (3) 导向机架：不参与钢管金属变形，只起导向作用

导管内径：194.5， 248.5， 305.6

辊： 391 363.4， 307.6， 248.8

工作机架又分为：

- a) 通用机架：该机架用于同一孔型系列轧制不同规格的成品管，并完成主要的变形工作。
  - b) 精轧机架：该机架仅用于轧制一种尺寸的成品管，布置在通用机架之后
- 3) 机架编号：可根据机架编号布置机架，只有工作机架才有编号，其编号规则如下：
    - (1) 孔型系列由两位字母表示
    - (2) 通用机架编号的前一位（或两位）数按顺序编排，该数表示孔型直径的大小。其编号的后两位总是零
    - (3) 成品（精轧）机架安装在通用机架之后，其前面一架工作机架的孔型编号的头一位（或两位）数与精轧机架孔型编号相同。精轧机架用编号后两位数字来区分，一般每套精轧机架的第一架，孔型编号最后一位数字为 1，第二架为 2，其次类推。

- 4) 机架配置原则

- (1) 工作机架：根据生产计划和相关文件（《轧管厂定径孔型参数表》和《轧制工艺联络卡》）配置
- (2) 传输机架：安排在导向机架之间的单数机架位置上
- (3) 导向机架：安排在工作机架之后，填充传送机架间的空位
- 5) 机架配置中易出现的问题
- (1) 第一架导嘴用错；
- (2) 导向机架及传输机架错误；
- (3) 工作机架位置摆错；
- (4) 新旧辊搭配使用。
- 避免方法：
- (1) 上线前仔细测量导嘴、导管及传输辊尺寸是否正确
- (2) 认真核实孔型号，机架号及传输轴位置是否正确
- (3) 所用轧辊轧制寿命及现场工具使用情况，各孔型轧辊使用寿命见下表

表 6-2

孔型	使用寿命	
	通用	精轧
181	9000	5000
235	9000	5000
291	7000	4000

表 6-3 定径各孔型常用工具配置表

孔型	挡水刷	除磷箱导嘴	定径机架导嘴	传输辊	导向管
181	80	240	187.4	391 363.4	194.5
235	110	270	245.8	307.6	248.5
247	110	285	259.0	307.6	305.6
291	130	320	301.3	248.8	305.6
356	150	420	/	248.8	/

### 6.2.5 常见事故处理方法

- 卡管：**
- 1 通知再加热炉及环形炉停止出料
  - 2 通知再加热炉辊道反转
  - 3 关闭轧辊冷却水
  - 4 选择主传动手动反转
  - 5 荒管全部退出轧机后通知调度室并恢复生产

### 6.2.6 质量缺陷及控制要点

#### 6.2.6.1 外径超差

钢管外径超过控制标准，超过正公差成为外径大，超过负公差成为外径小；正负公差全部超差，椭圆度过大。

- 产生原因：
- 1 定径机架加工尺寸有问题
  - 2 轧辊过分磨损

- 3 终轧温度波动大
- 4 定径前台辊道高度调整不合适

处理方法: 1 更换正确的机架, 保证尺寸正确  
2 保证加热稳定性, 控制终轧温度

#### 6.2.6.2 表面麻点 (凹坑)

钢管表面呈现连续性的麻坑

产生原因: 1 轧辊, 轧槽磨损严重  
2 轧辊冷却不好, 表面发生粘钢  
3 运送辊道表面不光洁  
4 再加热炉内荒管高温加热时间过长, 造成过热、过烧  
5 定径高压水除鳞不正常, 氧化铁皮清除不干净压入钢管表面

处理方法: 更换机架或修磨轧辊表面

#### 6.2.6.3 外结疤

钢管外表面呈规律性分布的疤痕

产生原因: 1 定径机架辊面粘钢  
2 轧辊表面有伤

处理方法: 1 修磨定径后辊道  
2 更换机架或根据实际情况加垫

#### 6.2.6.4 青线

钢管外表面呈现对称或不对称得线型扎痕

产生原因: 1 脱管机、定径机架孔型错位  
2 孔型设计不合理, 长轴半径过小, 金属过充满  
3 定径机架配置不合理, 新旧机架搭配使用  
4 轧辊加工不好, 边部导角太小  
5 装配不好, 间隙量过大  
6 轧低温钢  
7 定径机主电机、叠加电机速度匹配不好

处理方法: 1 更换机架, 避免新旧机架混用  
2 改进孔型设计, 合理分配各机架金属变型量  
3 提高轧辊加工及装配质量  
4 合理设定定径转速  
5 不轧低温钢

#### 6.2.6.5 磕瘪

钢管外表面凹陷, 里面凸起, 壁厚无损伤

产生原因: 1 脱管后弯头, 头部磕脱管后辊道  
2 脱管后辊道高度不合适, 尾部摔造成  
3 定径前后辊道高度不好, 咬入及抛钢时运行不稳定  
4 大口径薄壁管尾部飞翅大

处理方法: 1 保证荒管在运输过程中不与辊道表面发生磕碰  
2 调整好辊道高度

### 3 适当降低辊道速度

#### 6.2.6.6 壁厚超差

钢管壁厚呈直线型，管体超过公差范围，多为偏薄，发生于机架较多时。

产生原因：出连轧荒管在进入定径机轧制时，在外径减少时发生壁厚增厚变形，由于进入定径时钢管冷却不均匀，造成局部增厚较小。

原因（1）定径除鳞水嘴掉（2）除鳞环开裂

处理方法：更换水嘴或除鳞环

#### 6.2.6.7 弯管

钢管在大冷床发生头部或管体弯曲

产生原因：1 定径机架装配不好，

2 轧辊未推到位

3 壁厚偏差较大

4 冷却不均匀

5 大冷床冷热管搭界

6 大冷床步进梁错位

处理方法：1 提高机架加工装配质量

2 清洁滑道，保证中心线

3 提高壁厚均度

4 禁止冷热管搭界，应空出料位

5 处理大冷床步进梁

#### 6.2.6.8 外表划伤

钢管外表面成直线型凹槽

产生原因：1 定径前后辊道转动不好，又研死的

2 定径导管，导嘴等表面粗糙

3 管头弯

处理方法：1 保证辊道转动灵活

2 导管，导嘴等酶标光滑，无毛刺、凸起

3 保证直度

## 6.3 张力减径工艺

### 6.3.1 工艺概述

内容：张减机的工艺概述

掌握要点：了解张减工艺、掌握本机组张减过程和基本设备组成

### 6.3.1.1 总述

张减的过程是一个空心体连轧的过程，除了起定径的作用外，还要求有较大的减径率，除此之外，张力减径还要求通过各机架间建立张力来实现减壁的目的。因而其工作机架数较多，一般为 12~24 架，多至 28 架，我厂二套选用的是 24 架，最大总减径率可达 72.6%。

### 6.3.1.2 工艺过程

荒管在再加热炉加热至  $920^{\circ}\sim 1050^{\circ}$  后出炉，在出炉辊道出口进行表面测温后，首先经 20Mpa 的高压水除鳞装置去除荒管在再加热过程中表面产生的氧化铁皮，然后在张力减径机中轧制成  $\Phi 48\sim 168\text{mm}$  外径的钢管，轧后最大管长达 80m。本车间选用的 24 架张减机，最大出口速度为 7m/s,张减机配有 Sms-Meer 的 CARTA 控制系统,采用该系统可以有效地进行钢管的头尾增厚的控制，平均壁厚控制及局部壁厚控制。荒管出张减机后在去冷床的辊道上进行壁厚、温度、外径、长度的连续测量。测量的结果可用于轧制过程中的闭环控制。

钢管出张减机后，输送到冷床入口辊道处，然后横移到步进式冷床上冷却。

其过程示意图如下：

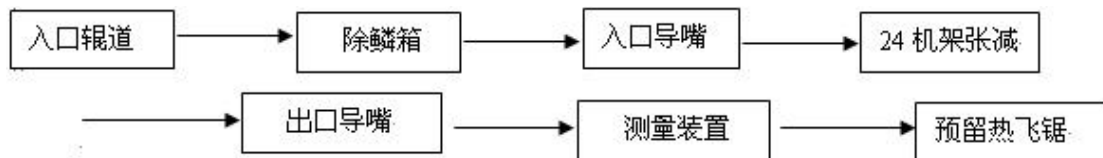


图 6-

### 6.3.1.3 张减段各设备简介

- 1) 入口导咀：内径 190mm（对应 175mm 荒管规格）
- 2) 张减辊：二种型式,三辊在打开到圆时，辊缝分别为 0.6mm(用于精轧机架加工)和 3.4mm(用于工作机架加工)，其图见孔型设计部分。
- 3) 导向管：分单向，二位，三位导管（各规格见下一节）
- 4) 导向辊：根据轧制规格的不同有 9 种规格（各规格见下节）
- 5) 张减后飞锯：预留切尾、分段。
- 6) 测量装置（用于现场工艺控制的参考及闭环控制）
  - 张减机的轧制功率，轧制力，轧制速度
  - 出口钢管温度测量
  - 超声波热态壁厚测量
  - 钢管长度测量
  - 钢管直径测量
- 7) 齿轮箱（三个减速箱体分别减速传动各机架轧辊）
  - 机架#1~#8 所使用的减速齿轮和行星齿轮单元
  - 机架#9~#14 所使用的减速齿轮和行星齿轮单元
  - 机架#15~#24 所使用的减速齿轮和行星齿轮单元
- 8) 可容纳 24 架轧机的焊接机座
- 9) 齿轮机座
- 10) 电机联接轴、轧辊传动轴
- 11) 驱动电机机座
- 12) 油润滑系统

13.) 张减机架，轧机由已装配好的 24 架三辊机架组成。

### 6.3.1.4 张减动力系统介绍

我厂二套采用集体差速传动的方式，最大 24 机架位排放。有三套主选加电机传动。采用的是三组串列式 6 电机集体差速传动的方式：

1~8 架	1 # 主电机和 1# 选加电机传动
9~14 架	2 # 主电机和 2# 选加电机传动
15~24 架	3 # 主电机和 3# 选加电机传动

三套主选加电机分别通过三套齿轮减速箱变速。变速后有 24 根轴从减速箱输出，成上下交错排列，出来的每一根轴经伞齿轮啮合另两根轴后分别作用一个机架的三个轧辊，采用的是一种集中外传动的方式。

——1#主电机和 1#选加电机到每一机架的传动比不同。

——2#和 3#主电机到各机架传动比相同。

——2#和 3#选加电机到各机架传动比不同。

其传动比将在工艺参数中给出。

与一套不同的是，对于单机架的三个轧辊，并不采用单轴输入内传动方式。在减箱的外部，通过两个伞齿轮传动两根轴，这样三根轴以相同的转速输入到机架轧辊。另外，2#和 3#主选加电机到齿轮箱齿轮啮合有两种状态选择，在 0 的状态下主传动比和选加传动比均为 1，在 1 的状态下，主传动比为 1.3，选加传动比为 1.9，这为各机架选取速度提供了更广阔的范围。

### 6.3.2 设备参数及工艺数据介绍

内容：各设备参数及轧制时的工艺数据

掌握要点：了解各设备及工艺参数意义

#### 6.3.2.1 产品特性（打括号的数据对应 142 孔型）

入口荒管外径（热态）	175mm (132mm)
入口荒管壁厚（热态）	4.2~22.1mm (3.3~18.2mm)
入口荒管长度（热态）	10.2m~27.5m
出口钢管外径（热态）	48.5 (32.2) ~169.9 mm
出口钢管壁厚（热态）	3.23~22.22 (2.52~18.2) mm
成品钢管直径（冷态）	48.0 (32) ~168.3 mm
成品钢管壁厚（冷态）	3.2~22 (2.5~18) mm
成品钢管长度（热态）	12.4~80m

#### 6.3.2.2 张减机

张减机型号	SRM-310-A24
机架形式	三辊式
传动方式	三组六电机差速传动
机架数	24
机架间距	290mm
单机减径率	5.7%(最大)
轧制力矩	22knm(最大)
轧制力	140kN (最大)

入口速度	0.5~1.4m/s
出口速度	0.51~7m/s (最大)
定径前的除鳞设备	
高压水压力:	20Mpa
喷水环类型:	九嘴

### 6.3.2.3 传动设备

电机数	6
主电机 I (1~8 架)	名义输出功率 90/900——900KW 最大输入功率 162/1620——1620KW 输出速度 80/800——2000 rpm
叠加电机 (1~8 架)	名义输出功率 25/250——250KW 最大输入功率 45/450——450KW 输出速度 80/800——1600 rpm
主电机 II (9~14 架)	名义输出功率 90/900——900KW 最大输出功率 162/1620——1620KW 输出速度 80/800——2000 rpm
叠加电机 II (9~14 架)	名义输出功率 25/250——250KW 最大输出功率 45/450——450KW 输出速度 80/800——1600 rpm
主电机 III (15~24 架)	名义输出功率 90/900——900KW 最大输出功率 162/1620——1620KW 输出速度 80/800——2000 rpm
叠加电机 III (15~24 架)	名义输出功率 63/630——630KW 最大输出功率 113.4/1134——1134KW 输出速度 80/800——1600 rpm
电机过载系数	2
控制系统	CARTA/Technology
更换轧机小车数	2
每车的轧机位	24

附表:

表 6- 主选加电机传动比:

i 机架	1	2	3	4	5	6	7	8
主电机 1	26.5	19.49	14.09	11.35	9.90	8.74	7.71	6.12
叠加电机 1	8.835	9.884	11.94	14.58	17.47	22.07	31.42	59.66

表 6- Stu=0 时

i 机架	9	10	11	12	13	14
主电机 2	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04
叠加电机 2	无	82.86	39.58	25.28	18.21	13.98

表 6- Stu=1 时

I 机架	9	10	11	12	13	14
主电机 2	6.04×1.3	6.04×1.3	6.04×1.3	6.04×1.3	6.04×1.3	6.04×1.3
叠加电机 2	无	82.86×1.9	39.58×1.9	25.28×1.9	18.21×1.9	13.98×1.9

表 6- Stu=0 时

I 机架	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
主电机 3	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04
叠加电机 3	11.18	9.19	7.71	6.57	5.66	4.93	4.54	4.33	4.24	4.2

表 6- Stu=1 时

I 机架	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
主电机 3	6.04×1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3	6.04× 1.3
叠加电机 3	11.18×1.9	9.19× 1.9	7.71× 1.9	6.57× 1.9	5.66× 1.9	4.93× 1.9	4.54× 1.9	4.33× 1.9	4.24× 1.9	4.2× 1.9

### 6.3.2.4 冷床介绍:

钢管经张减机轧制后,将通过辊道和回转臂运送到冷床上冷却,因为冷床较短,为确保冷却效果,有些厚壁管在冷床上需双排布料。

#### 1 冷床的技术性能

冷床按张减出口辊道速度 7m/s 设计

齿间距 200mm

齿高 42mm

冷床齿条圆度为 R=2mm

冷床最大承载能力为 270 吨

钢管的滚动倾斜度为 16 度

冷床输出侧排管输送辊道的辊面标高为+3525mm

管径 32~168.3mm

壁厚 2.5~22.0mm

管长最大 80.0m

最小 12.0m

类型 步进梁式

冷床宽 100m

冷床长 27m

平台高 5m

步进梁间距 分两段 第一段 500mm

第二段 1000mm

## 2 冷床工艺说明

- 动梁与静梁采用齿形错开布置的方式
- 管子在冷床上运行周期时间满足 18 秒的要求
- 出料端悬臂太长，梁易抖动，现还未处理
- 对于厚壁，大管径的钢管，应采用双排布料方式

## 3 主要设备简述

- 一套带梁焊接钢结构的提升移动架
- 一套带梁焊接钢结构的固定架
- 一套机架上下摆动支架
- 一套提升装置轴
- 一套移动装置轴

### 6.3.3 质量检查

内容：张减中可能出现的质量问题

目的：知道成品尺寸的公差带，掌握常见质量事故的处理方法

#### 6.3.3.1 张减中易出现的缺陷

##### 1 张减中容易引起的缺陷

- ◆ 结疤 其原因是出再加热炉时，氧化铁皮粘结在硬杂质残留在管面上，在张减机中压入表层而引起（加强除鳞效果）。
- ◆ 麻面 主要由轧辊孔型磨损引起，轻者通过修磨孔型来解决，严重要换辊。
- ◆ 轧折 主要是单机压下率过大，辊缝设置不正确，还与孔型的正负宽展，速度制度不匹配引起。
- ◆ 直径超差 由孔型设计不当、孔型磨损或轧机调整不正确所引起。这时一般精轧机架要更换，如果是可调机架，则可以进行微调。注意在微调中会引起一定的椭圆度的增加，所以要根据成品的公差范围和一定的椭圆偏信值来合理选定调整，如果不行，则应更换机架。
- ◆ 壁厚偏差 主要由来料尺寸波动和各机架张力系数设置不当引起。主要措施是严格控制来料尺寸波动，并根据壁厚超差设置相应的速度制度。
- ◆ 外径偏差控制
- ◆ 壁厚偏差控制

下面重点单独介绍两种常见的质量缺陷。

##### 1) 内六方缺陷

定义：当在张减机中轧制总减径量较大的厚壁管时，内部形状可能会出现六角形，通常这种轧制缺陷我们称作内六方缺陷，这种轧制缺陷是由轧制中实际情况决定的。

机理：在实际轧制中，沿管圆周截面压下量不同，造成张力不同，而形成的不均匀壁厚造成的。通常孔型底部压下量大，大部分接触区处在前滑区，形成的张力较大，管壁容易拉簿。在前后机架成 60 度布置的孔型中，有六个点被反复地加工，增厚减簿，最后总体趋势仍然是减簿，而在孔型底部顶点左右 30 度处，相对孔型底部金属来说形成一段内六角增厚段，这就形成了内六方缺陷。

方案：通常这种缺陷是可以通过合适的孔型来消除的，其实质就是建立在沿管周方向建

立合适的张力条件，通过改善轧辊接触轧件的长度来改善张力条件，保证管周有均匀张力。如Φ84mm的管，若采用1.07椭圆系数，接触长度为25mm，若采用1.02的孔型，将会达到33.5mm，减小接触长度就能显著减小孔型底部张力，有效防止壁厚拉簿。不过这种改变不是几个机架就能做到的，有时甚至需要10多个机架来实现。

质量参数（工艺人员掌握）：

内六方尺寸 Sa 和 Sb 值

$$PN = \frac{(\sum Sb - \sum Sa) / 6}{0.135 * (Da/2 - \sum Sa/6)}$$

$$PN = \frac{(\sum Sb - \sum Sa) / 6}{(\sum Sb + \sum Sa) / 6}$$

式中：Sa——孔型底部壁厚

Sb——孔型底偏离30度的壁厚

Da——在Sb方向上测得的直径

离心率  $E = (S_{max} - S_{min}) / (S_{max} + S_{min})$

S<sub>max</sub> 为取6个或12最大测量值的平均值

S<sub>min</sub> 为取6个或12最小测量值的平均值

## 2) 青线

定义：这是在轧制中辊缝处形成的一种纵向的轧制痕迹，俗称青线。

机理：由于减径率太大，而在辊缝处形成的。一般在前一机架轧制时辊缝处形成的小凸痕可以在下机架轧制时轧入轧件内，但会加大下一机架的轧件宽展量，如果连续几个机架都出现这种情况，很容易出现过充满，这时，除了表面青线存在外，还可能出现轧件内部轧折。一般在孔型中可以通过合适的宽展有效改善。

方案：选择椭圆孔型用负宽展轧制，尽可能用小的单机架减径率分配方案（具体根据提供的孔型特点选择）

## 2 实际操作中质量控制操作

1) 换规格时，仔细检查每一机架，仔细核对，确保无误。

2) 取样分析

外径——将钢管停在张减输出辊道

——氧化陷切头

——冷却切头

——截面上取两个互相垂直的位置来检查尺寸

壁厚：用手提超声波测厚仪检查时，取互成45度角的8个点测值并取平均值

长度：在张减出口辊道上设置参考点得到钢管长度检查

——入炉前管坯重量

——成品管直径

——成品管壁厚

外表面：凹痕——再加热炉时过氧化所致

步进梁印痕——步进梁上氧化物没被清除干净所致

折痕——薄壁管轧制时连轧材料缺陷所致

孔洞——带有横向趋势的裂孔

结疤——连轧孔型磨损所致

内表面：内折——穿孔造成鳞状物和材料破损

内直道——芯棒划痕所至

内结疤——除氧化剂未完全反应形成的残余物在钢管内表面造成的压痕，形成的凹坑。

### 3 产品尺寸规格公差要求

外径公差：±0.3mm (OD<Φ100mm)

±0.3% (OD≥Φ100mm)

壁厚公差：（公差检查按 2σ 统计法）

s<5mm ±6.5%

5mm≤s<7mm ±6.0%

7mm≤s<10mm ±5.0%

10mm≤s<13mm ±4.0%

s≥13 ±3.5%

### 6.3.4 关于可调机架

#### 6.3.4.1 几个重要公式的推导

如图中所示：

$$\sin \beta / e = \sin \theta / r_0$$

,由三角关系：

$$r_0 / \sin \theta = r_1 / (\sin (\theta - \arcsin \beta))$$

$$\cos \theta \times \sin \beta$$

$$r_1 = r_0 \times \cos \beta - r_0 \times \frac{\cos \theta \times \sin \beta}{\sin \theta}$$

$$r_1 = r_0 \times \cos \beta - \cos \theta \times e$$

$$\frac{\sin \theta \times e}{2} \quad 0.5$$

$$r_1 = 0.5 \times \left( 1 - \left( \frac{\sin \theta \times e}{r_0} \right)^2 \right) - \cos \theta \times e$$

$$r_1 = A$$

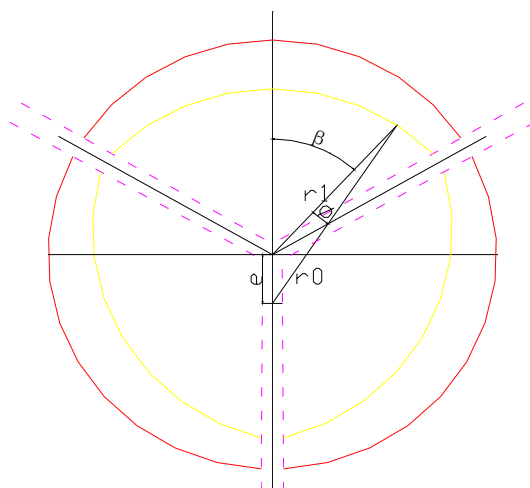


图 6-

$$r_0 = B + e$$

$$4r_0^2 - 3e^2 = 4A^2 + 4A \times e + e^2$$

$$r_0 = \frac{A^2 + B^2 - AB}{2B - A}$$

$$e = \frac{A^2 - B^2}{2B - A}$$

$$e = \frac{A^2 - B^2}{2B - A}$$

代入各 A 值和 B 值就能得到各孔型的半径和偏心距，以及 wa 和 wd 值，有公式计算，见可调机架。

如通过计算得到

$$r_{22} = (25.21^2 + 24.63^2 - 25.21 \times 24.63) \div (2 \times 24.63 - 25.21)$$

$$= 25.000 \text{mm}$$

$$e_{22} = (25.21^2 - 24.63^2) \div (2 \times 24.63 - 25.21)$$

$$= 1.000 \text{mm}$$

辊缝初设 Go 为 3mm, 圆角半径为 3mm, 则可计算此时的辊缝为

$$G_{22} = G_0 - 2 \times \cos 30^\circ \times e_{22}$$

$$= 1.268 \text{mm}$$

对于可调机架，因孔型增均直径与管径微小差而需要重调轧机，这时取平均直径系数 1.65。设直径的修正值为 x

则很容易求得  $1.65 \times (e_2 - e_1) = x$ ，这里不再推导。

此时新的辊缝值  $G_{22}' = G_{22} - 1.732 \times (x / 1.65)$

例如假设外径要调整 0.02, 则新的辊缝值为 1.2449mm

### 6.3.4.2 可调机架的压下原理

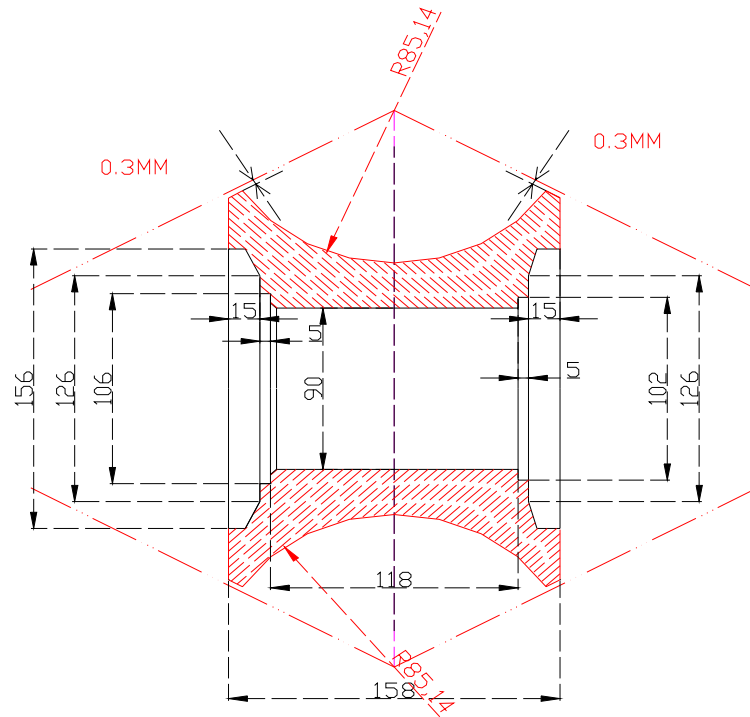


图 6-

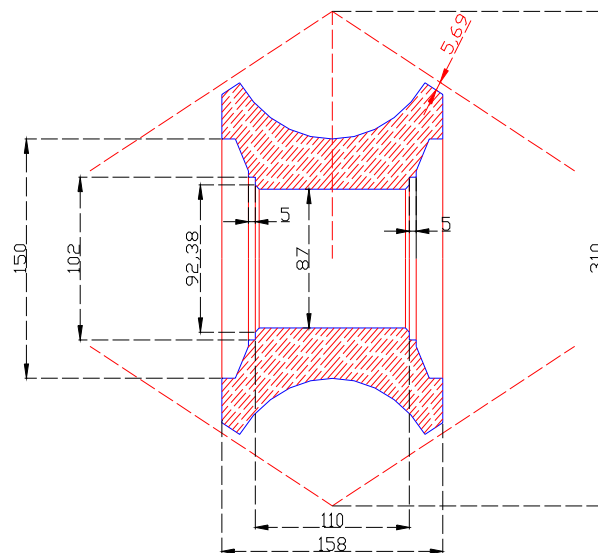


图 6- 轧辊图

我厂二套设计的孔型的轧辊形式有两种：

如图所示：

具体加工时，根据需要加工成各个机架孔型  $a, b$  值计算轧辊半径来选择相应可用来最经济加工的轧辊，再据  $a, b$  值计算刀具直径  $Wd$  和偏心距  $Wa$  值。一套孔型中每一个机架的孔型直径都是不一样的，需要根据设计的数据进行加工。而其加工原理事实上也正是可调机架

的调节原理。(可调机架的压下时就等效于工具加工中的偏心距  $Wa$  值增加, 他们之间有非线性型的函数关系, 推导略)

我们不考虑加工的过程, 假想可调机架在最大打开度, 轧辊的三段圆弧组成一个圆形。然后三辊下压的一个量后, 这三段圆弧不再是一个圆, 而是由三段偏心距为压下量的三段椭圆弧(相对于轧制中心线来说)。这时的短轴半径变成的  $R-E$  ( $E$  为压下量), 而长轴变成了  $R-0.5E$ 。这时的辊缝也发生了变化, 每个轧辊靠近辊缝中心线为  $\sqrt{3}/2E$ , 这样辊缝变化为  $\sqrt{3}E$ 。再看其平均直径的变化:

平均直径求取的思路是:

把圆周方向分成六段相同的弧, 如图建立坐标, 用极坐标的方法, 对一段弧积分, 求出其长度, 这样就精确求出了孔型周长。用这个值除以  $\pi$  就得到孔型的平均直径。

$$D = 6 \cdot \int_0^{60} (R0 - \cos \theta \cdot E) d\theta \text{ (在 } 0 \text{ 到 } 60 \text{ 度内积分)}$$

$$\text{得到 } D = D0 - 1.654E$$

看下表: (表 6- )

名称 \ 数值	压下前	压下后	差值
短半轴 b 值	b	b-E	E
长半轴 a 值	a	a-0.5E	0.5E
椭圆度	a/b	(a-0.5E)/(b-E)	0.001~0.003
平均直径	D	D-1.654E	1.654E
最大直径	Dmax	Dmax-1.732E	1.732E
最小直径	a+b	a+b-1.5E	1.5E

再看成品直径偏差变化:

$$732E - 1.5E = 0.232E$$

这说明压下后直径偏差增大了 0.232E。

### 6.3.4.3 工艺说明

通常为了提高管子的表面质量, 建议在生产过程中至少使用两架可调机架, 一架用于预精轧, 另一架用于精轧, 预精轧用于过渡, 使管子能在非可调机架间很好地过渡。特别是当调整量较大时, 中间预精轧机架的作用更为明显, 若缺少中间机架, 管子表面辊缝处易出现青线。如果要求更大的减径量和较好的管圆度, 就需要再增加一架可调机架, 其目的就是通过调整精轧孔型来达到一定的直径修正量, 以便补偿壁厚, 温度, 钢级的变化和轧辊的轻微磨损带来的影响。在轧机重调的过程中, 通常会带来轻微的椭圆度和一定的圆度, 他们与轧机压下量成线性关系。由于圆度一般可以修正, 而轻微的椭圆度一般这在实际生产中可以忽略。

### 6.3.5 轧制之前的现场检查

内容: 在轧制之前, 对工具和设定参数进行检查的步骤

目的: 保障良好的设备状态和产品质量。

在装配完所有工具和完成全部设定以后, 操作人员将在现场执行如下检查:

- 1 再加热炉与张减机之间的辊道高度;

- 2 张减机中传输机架的轧辊直径以及导向管内径（根据轧制表的要求）；
- 3 张减机后的辊道高度；
- 4 轧制机架的轧辊冷却；
- 5 轧之前要检查孔型的长短轴尺寸。

当所有的设定被检查时，张减机应再次启动并且打开机架冷却水，操作人员任务是目测每个机架系统是否正常工作。

（详细请参考操作规程及设备机械原理）

### 6.3.6 工具的准备和更换过程

内容：工具的更换过程

要求：了解各机架摆放的顺序

#### 6.3.6.1 更换过程的工艺简述

更换轧制规格时，需要先缩回电机输入轴，然后轧辊机架才能拉出。

为了保证实现快速换辊。首先机架被拖出机座并放置在一台换辊小车上,另一台小车摆好要求更换的机架,然后两小车同时移动,当第二架小车移到机座前时,将机架推入机座,然后液压缸锁紧。液压装置将电机轴插入轧机。

我厂二套采用机架前充满方式，机架摆放见附表。

#### 6.3.6.2 操作说明

对  $\phi 175\text{mm}$  规格的荒管用张减机减径需要根据成品外径和壁厚选择孔型和机架数。

对于入口为  $175\text{mm}$  外径的荒管，选择孔型时，可根据成品外径和壁厚通过查阅轧制表选择合适孔型和机架数及导管和传输机架。提供有 AR、AO、BO 三种孔型选择。

需要说明的是，AR 与 AO 的精轧机是一样的。在实际设计时，AR 所设计的精轧机孔型与 AO 的精轧机孔型是不一样的，但考虑到经济，所以决定共用一套精轧孔型。事实上，这是完全可行的。管子在精轧段宽展很小，椭圆系数相差微乎其微，管的外径几乎不会受到影响，即便是轧制较厚的厚壁管时，由于孔型椭圆度的微小改变造成压小量和宽展量的微小改变，也不会影响到壁厚。因为在精轧部分，我们基本可以忽略金属沿管圆周方向上各点的张力相对原孔型改变而改变造成的对横向壁厚不均的影响，而外径就更不用说了。

另外，我厂考虑到轧制时的实际情况，从经济出发，尽量减少机架类型。比方说，外径相差不到  $0.3\text{mm}$ （ $\Phi 48$  和  $\Phi 48.3$ ）的孔型用同一组精轧机架，这也是完全可行的。在实际生产中，我们完全可以在尽可能小的公差带内轧制，保证实际成品尺寸在公差范围内。名义壁厚在  $0.5\text{mm}$  内的变化控制很容易通过张力系数设定来实现。通过速度制度的设定，我们能实现  $1\text{mm}$  左右的减壁，这都是有可能的。

这三套孔型，每一套的工作机架为 21 架，根据成品外径和壁厚就可以选择相应的孔型及知道所需要的工作机架是 21 架中的前边哪几架，并选取配套的精轧机架。当机架数小于 24 架时，需要选用相应规格的传输机架和和导管装配。传输机架受传动轴的限制只能放在奇数位。且为防止钢管重心下易而发生管面划伤，两个导管间应有传输机架（[详细见工具的更换图](#)）。

#### 各孔型比较如下

- 1 AR 和 AO 都属于 A 减径系列，实行一套减径率分配方案，这两套孔型的平均减径率都为  $5.74\%$ ，即对应各机架孔型的平均外径相同。
- 2 AO 采用正宽展轧制，AR 采用的是负宽展轧制。
- 3 AR 比 AO 的圆度要好（主要指工作机架部分），AR 的工作机架所选择的椭圆系数在

1.02 左右,变化小于 0.01。而 AO 孔型的工作机架的椭圆系数在 1.07 左右。

- 4 A0 主要用来轧制薄壁管 ( $\delta/D < 0.125$ ),采用较大的椭圆系数主要是为增大孔型底部接触轧辊的长度,使底部金属有较大张力减壁来消减前一机架轧制时壁厚增厚量,来维持管壁的横向均匀度。
- 5 BR 相对于 A 孔型来说,有较小的平均减径率 2.67%和较小的椭圆系数,主要用于 89mm~141.3mm 规格的厚壁管的轧制。较小的压下率和较小的椭圆系数能有效防止管周方向上的张力不均引起的内六方缺陷。

#### 注意事项

在轧制中因管外伤需更换机架时需明白:

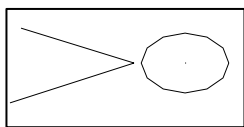
- 1 AR 和 AO 精轧机架共用
- 2 传输机架及导向管机架在几种孔型中同一规格(按表的内径尺寸看)可公用。
- 3 严格遵守机架摆放图的位置,在轧制前要严格检察。
- 4 在轧制中精轧部分要用到可调机架。其原理和调节方式见可调机架部分,有详述。

#### 图表说明

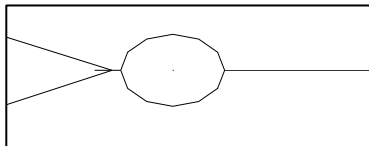
在选择机架摆放时,可先根据轧制表选择孔型,然后根据孔型选择成品外径即可知道机架摆放位置。

每个操作者在更换机架时,都需用上述方法检查现场机架摆放位置,确保无误。

单向导管(占一机架位)



二位导管(占两个机架位)



三位导管(占三个机架位)

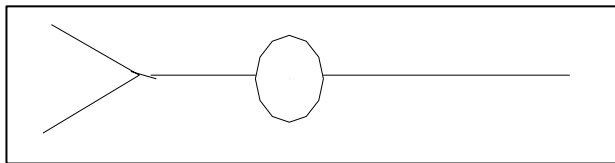


图 6-

第一张表格为 AO 孔型系列

第二张表格为 AR 孔型系列

第三张表格为 BR 孔型系列

### 6.3.7 工艺控制参考

#### 6.3.7.1 关于头尾增厚的控制

和管子的整体部分相比,管子的尾端的延伸率是逐渐减小的,这主要是为稳态轧制设计的主叠电机速比引起的。在管的尾端这种速比一般不高,不足以建立实际较大的张力。另外,

即使有最大可能的张力能够在管端建立，它也是不充分的，管的远端在一个很短暂的阶段不能产生轧制所必需的稳态张力。

在稳态和叠加变形的短暂阶段中张力作用的不同正是我们探索管端壁厚增厚数量的方法的出发点。

我们从轧制方向上看壁厚的断面，管头和管尾是不一样的，这是因为他们产生的原因略有不同，而且管端最大的壁厚值，壁厚增厚的部分和和壁厚增厚段纵向的长度在管的头尾都可能是不同的。

管尾增厚段的长度可能是管头增厚段长度的两倍，尤其当减径量和张力较大的时候。

以下是管端增厚的几个因素

- 1 平均张力的增加
- 2 总减径量增加
- 3 机架间距增加
- 4 每个机架的减径量增加
- 5 管径和轧辊直径比增加
- 6 摩擦力减小
- 7 径壁比增加

在测量和计算管壁增厚剖面的基础上总减径量和平均张力对管尾增厚的影响被举例证明在图解中。并且，在实际管生产中以下因素是对管端切头切尾损失百分数比较重要的：

- ※ 整个轧制过程张力的进行
- ※ 电机的控制响应
- ※ 输入金属壁厚的均匀性

通过主选加电机在轧制时的速比调节，可能减少金属切头切尾的损失：

在轧制开始时，在轧机的入口段用尽可能大的张力增加量，而在抛钢段，用尽可能大的张力减少量，因为这样与静态速度相比张力峰值减少了，而且在管端部分尽可能大的创造了和稳态轧制时相同的张力条件。

这种方法的缺点是：

- ※ 轧辊磨损增加
- ※ 可能加大出现表面缺陷钢管的数量

并且，尤其在抛钢阶段

- ◎ 可能出现钢裂纹
- ◎ 对依靠孔型和轧辊参数的内表面会有不利于变形的条件产生

因此，最期望的操作是在现场对轧制不同钢段设置最适宜的速比，即从稳态到抛钢段，让两者都尽可能的处于良好状态，使其能得到满意的产品质量和较高的生产率。

### 6.3.7.2 孔型设计：

考虑到一定孔型的轧辊被大量制造，则他们的轧辊孔型用尺寸  $D$ ， $\alpha$  或者  $a$  和  $b$  明确定义

在进行孔型加工时，并没有从机架里边移出轧辊逐个加工。所有的轧辊都用一个切削工具同时加工。一起加工三个轧辊优于单个加工，因为这样能避免装配误差。

### 6.3.7.3 孔型加工的原则：

当切削工具和轧辊接触时，轧辊很慢的旋转，此时工具离轧辊中心线有个  $WA$  的距离。在任何时刻三个切削刀刃仅和三个轧辊中的一个接触。通过工具头旋转，轧辊被沿着工具直径  $WD$  加工，它由三个切削刀刃组成。由于轧辊加工被作用在机架中心线前的一个点上，

所以轧辊孔型变成椭圆形。孔型的椭圆度随着 WA 的增加而增加。

孔型的形状由选择的加工机械刀具的偏心距 WA 和刀具直径 WD 定义。加工尺寸联系由以下公式给出：

$$WD = (B - B^2/RR - A/2 + A^2/RR) + 0.75 * \frac{A^2}{B - B^2/RR - A/2 + A^2/RR}$$

$$WA = \sqrt{(RR/2 - B)^2 - (RR/2 - WD/2)^2}$$

$$D = A + B; \quad \alpha = A/B$$

被工具加工之后在边缘留下的刺必须被除去，边缘的圆弧半径大约应该在 1.5~2.5 mm

#### 6.3.7.4 椭圆和圆孔型的应用

轧制缺陷随着以下趋势而出现：

- 1 管壁与管直径比增加总减径率增加管椭圆度和孔型椭圆度增加出现内六方的趋势增加，一般来说，壁厚的非均匀程度也随着每机架减径率的增加而增加。
- 2 如果一个孔型系列是这样的孔型它能使直径在辊缝处被减少的话，则在这种孔型中，小壁厚的管子很容易在持续的辊缝加工中引起轧制印痕。这种轧制印痕将不再影响精轧辊的质量，如果壁厚在临界点（一个生产实际中的经验值）以上的的话。

据以上分析，想提议：薄壁管在椭圆形孔型中，而厚壁管在圆孔型系中会被更好地轧制。

**注：薄壁管在圆孔型中易出现青线**

**厚壁管在椭圆型中易出现内六方**

经验告诉我们：

如果成品管壁厚与直径的比值大于 9%~12%的话，圆孔型系的应用是不可缺少的，否则，内部质量将会严重的被影响。因此，当小口径和大口径的管都需要生产时，把轧制计划细分成圆孔型和椭圆孔型是有必要的。

这意味着一个减径系列不得分成两套轧制孔型。

这样一种方法使得有足够机架数量可利用率和有效的孔型调整能力成为必要。在实际中，为了减少轧制计划中必要的孔型改变，应尽可能多地把产品轧制计划安排在一个较小减径率的孔型当中，因为较大直径和中间壁厚的管能被轧制成没有轧制印痕的管子。

# 第七章 轧制表的编制

## 7.1 编制原则和程序

### 7.1.1 编制原则

将管坯制造成为产品钢管，需要经过一系列的变形工序、把变形工序、各工序变形量和轧制后的钢管尺寸，各工序所选用的工具尺寸以及主要调整参数等列于表格内，此表格称为轧制表。轧制表是指计算轧管工艺过程变形工序主要参数的表格。它是轧管工艺过程的基础，是组织生产活动的主要技术依据。轧制表制定的合理与否，直接影响整个机组生产能力的发挥和产品质量，以及机组各项技术经济指标的水准。

### 7.1.2 编制轧制表的要求

1) 各轧机、机架的变形量和调整参数应在允许范围内以充分保证钢管质量和轧制过程正常进行；

2) 结合各机组设备条件，使各轧机（特别是穿孔机和轧管机的轧制节奏接近或相等，实际生产中一般要使前工序的轧制节奏大于后工序，确保整个机组的轧制节奏，消除薄弱环节，提高机组生产率）的能力和轧制负荷均衡匹配（一般前架略大于后架），以充分发挥机组的产能；

3) 尽量以较少的管坯和工具规格来生产多品种规格的钢管，连轧管机组则应以 1~3 种规格的管坯来生产全部规格的产品，以减少更换工具的时间和便于生产管理；

4) 操作轧机简便；

5) 尽量降低能耗。

### 7.1.3 编制轧制表的步骤

1) 根据产品规格及技术条件确定生产工艺流程；

2) 分配各轧机的变形量、计算各轧机轧后的钢管尺寸；

3) 选定各轧机的工具和计算调整参数；

4) 必要时校准轧辊强度和主电机能力。

### 7.1.4 轧制表编制方法

1) 逆轧制顺序计算；

2) 顺轧制流程计算；

3) 从轧管工序开始向前、后计算。

后一种方法现厂应用最广，但三者无原则区别。为便于掌握，在此介绍逆轧制顺序计算的方法。

## 7.2 编制方法

轧制表编制步骤大体是：

1) 根据已知成品外径  $D_c$ 、壁厚  $S_c$ 、内径  $d_c$ 、和长度  $L_c$  确定成品管的热尺寸；

2) 计算定径或减径的变形量和轧后钢管尺寸；

- 3) 计算轧管机的变形量、荒管尺寸和使用工具尺寸;
  - 4) 计算穿孔机的变形量、毛管尺寸、工具尺寸以及调整参数;
  - 5) 选定管坯尺寸。
- 有关各类机组的变形分配和工具选择, 目前只能按经验公式计算。

### 7.3 编制实例

在 250 MPM 连轧管机组中生产  $\phi 139.7 \times 7.72 \text{mm}$ 、11m 定尺长的 N80 石油套管 (钢号 30Mn4), 其技术条件要求见 API SPEC 5CT。已知机组有二辊斜轧穿孔机一台、七机架连轧管机一台、14 机架定径机一台。试编制轧制表。

#### 1) 热产品尺寸:

终轧稳定  $t=850\sim 800^\circ\text{C}$ ,  $1+\alpha t=1.01$ , 成品偏差

$D_c: (-0.5\sim+1.0)\%$

$S_c: (-10.0\sim+10.0)\%$

$D_{c,} = 0.5(1+\alpha t)(D_{c \max} + D_{c \min}) = 0.5 \times 1.01 \times (153.67 + 132.715) = 144.62 \text{mm}$

$S_{c,} = 0.5(1+\alpha t)(S_{c \max} + S_{c \min}) = 0.5 \times 1.01 \times (8.492 + 6.948) = 7.80 \text{mm}$

#### 2) 定径:

$D_d = D_{c,} = 144.62 \text{mm}$

$S_d = S_{c,} = 7.80 \text{mm}$

$dd = dc, = D_d - 2S_d = 144.62 - 15.60 = 129.02 \text{mm}$

#### 3) 轧管:

$D_h = 181 \text{mm}$

$Sh = S_d - \Delta S_d = 7.80 - 0.60 = 7.20 \text{mm}$

$\Delta S_d$  为定径时引起的壁厚增量, 依据经验该规格、温度、材质及减径量取 0.60mm。

$D_x = 166.6 \text{mm}$  (芯棒直径), ( $D_x = 181 - 2 \times 7.20$ )

#### 4) 穿孔

$S_m = Sh + \Delta Sh = 7.20 + 14.80 \approx 22.00 \text{mm}$

$D_m = D_x + 2 \times S_m + \Delta dz = 181 + 2 \times 22 + 10 \approx 220 \text{mm}$

#### 5) 管坯尺寸:

管坯直径  $D_p = D_m / (1.1 \sim 1.3) \approx 210 \text{mm}$

管坯长度  $L_p$  根据体积不变定律, 考虑管坯加热烧损 ( $RJ=2\%$ )、再加热烧损 ( $RZ=0.5\%$ )、钢管切头尾长度 (各 0.5m), 同时要考虑钢管的连接强度及单重要求所控制的壁厚偏移量等计算, 一般套管按名义壁厚的 1.013 倍控制壁厚。

$$L_p = [(D_c - 1.013 S_c) 1.013 S_c (3LC + LT + LW)] / RJ RZ D_p^{2/4}$$

$$= [(139.7 - 7.72 \times 1.013) \times 7.72 \times 1.013 \times (11 \times 3 + 0.5 + 0.5)] / 0.98 \times 0.995 \times (2202/4)$$

$$= 3.26 \text{m}$$

取管坯锯切长度为 3.3m。

顶头尺寸  $D_d = D_m - 2S_m + \Delta dt = 220 - 44 - 5 = 168 \text{mm}$

$\Delta dt$  为毛管膛大值, 根据经验取 5mm。



# 第八章 钢管的冷却和精整

## 8.1 钢管冷却

钢管经定径过后，将通过辊道运送到预精整区，精整线的首道工序就是冷却，冷却在冷床上进行。冷床的形式有链式冷床、齿条式冷床、螺旋式冷床、步进式冷床。我厂采用的是步进式冷床，这种冷床的特点：

- (1) 冷却均匀；
- (2) 钢管表面的损伤少；
- (3) 管子可在同一齿内旋转，以获得最大的直线度。

步进冷床的长度为 58 米，宽度 34 米，床面倾斜向下，倾角为  $2.78^\circ$ 。冷床沿宽度方向分四部分，每一部分各有一套提升和平移装置。冷床的末端设有水冷装置，以冷却厚壁管，冷却后管子的温度低于  $80^\circ\text{C}$ 。

### 8.1.1 冷床结构组成：

#### 1 回转臂移送机：

从定径机出来的管子通过辊道运送到冷床前端，再通过回转臂移钢机将管子送到冷床上冷却。

#### 2 床身

冷床床身包括一个焊接钢结构的运动框架、一个焊接钢结构的固定框架、活动梁的提升、移送装置。运动框架、固定框架分别固定有齿条。步进梁的提升和平移过程如图 8-1 所示，

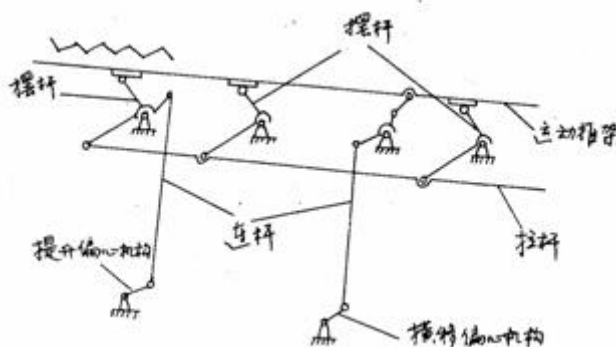


图 8-1 冷床结构示意图

当升降驱动电机驱动偏心轴转动时，通过连杆和拉杆使步进框架上、下运动，从而带动步进梁运动。因为偏心轴带动的摆杆和活动框架是滚动接触，这样就可以保证活动梁在提升驱动过程中只有升降运动，而无平移运动。同样当横移驱动电机驱动偏心轴转动时，通过连杆使摆动机构使运动框架水平移动。

钢管在步进梁的齿条和固定梁的齿条上通过对电气设备的控制将有两种动作方式，如图 8-2。

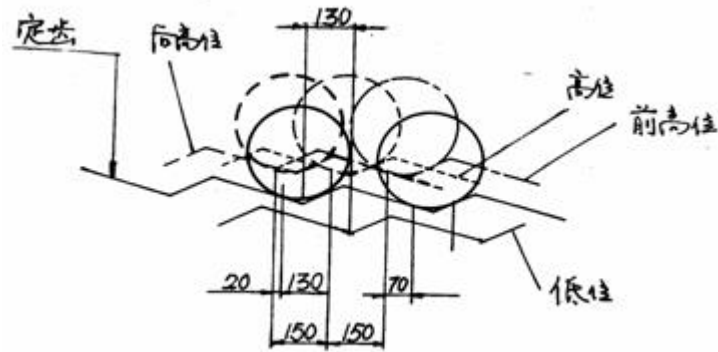


图 8-2 钢管提升移送图

为了说明钢管的运动情况，现将两种情况分解如下：

钢管分步前送时，如图 8-3。在一个周期内管子前移距离为四个步骤位移之和，为  $130+150+70+0=350\text{mm}$ ，等于一个齿形长。

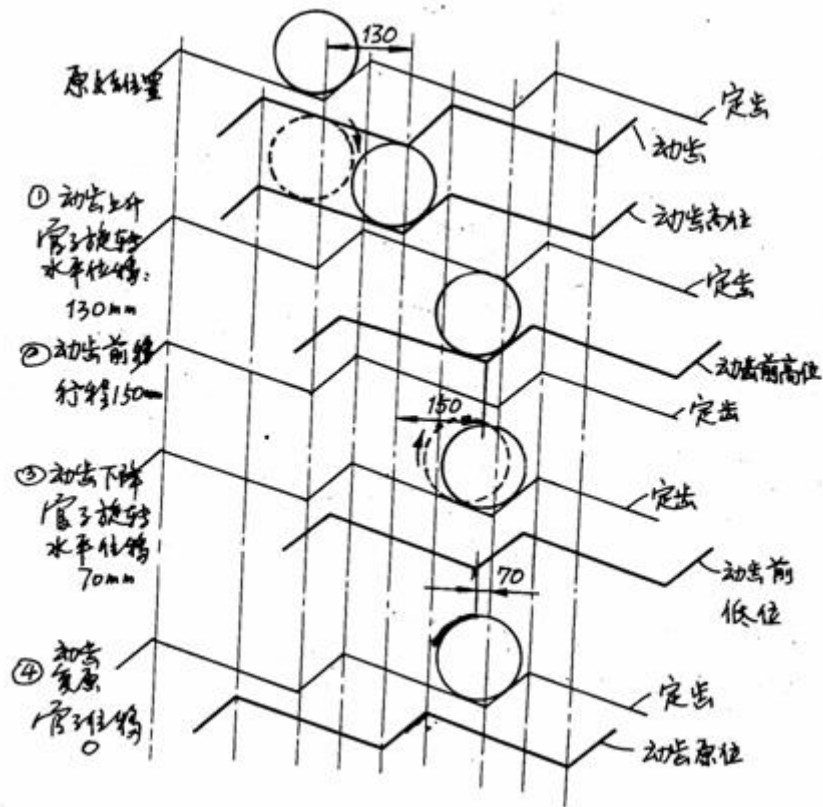


图 8-3 钢管步进动作图

钢管在同一个齿形内动作，如图 8-4。在一个周期内管子前移距离为四个步骤位移之和，等于  $130+(-150)+20+0=0$ 。

从上面的图上可以知道，不论采用哪一种工艺方法，管子在冷床上将不断地旋转。以获得良好的矫直度。

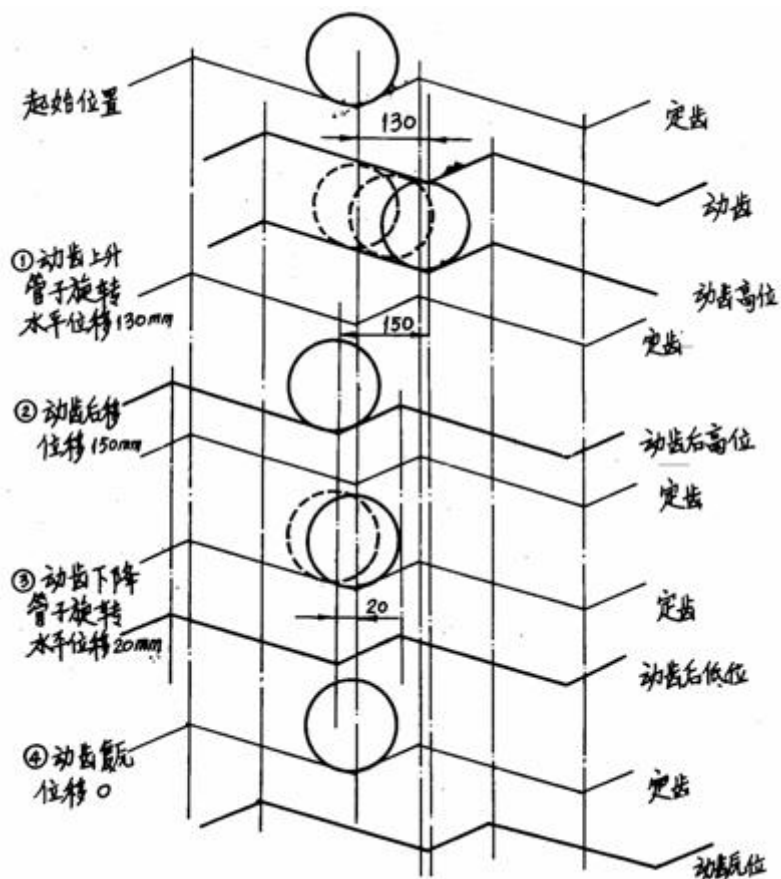


图 8-4 钢管原地动作图

### 3 臂式拨入机

钢管经过冷却后,在冷床的末端斜蓖条上将通过两台臂式拨入机送到水冷槽的旋转送料器上。臂式拨入机用液压缸操作。

### 4 水冷槽

如图 8-5 所示,当钢管在冷床上已经冷却到低于  $80^{\circ}\text{C}$  时,就无需进行水冷,这时钢管经旋转送料器(如图 8-6)直接越过水冷槽。对于经过冷床后未降到所需温度的钢管,将进入水槽冷却。这时只需使送料器反方向旋转即可。

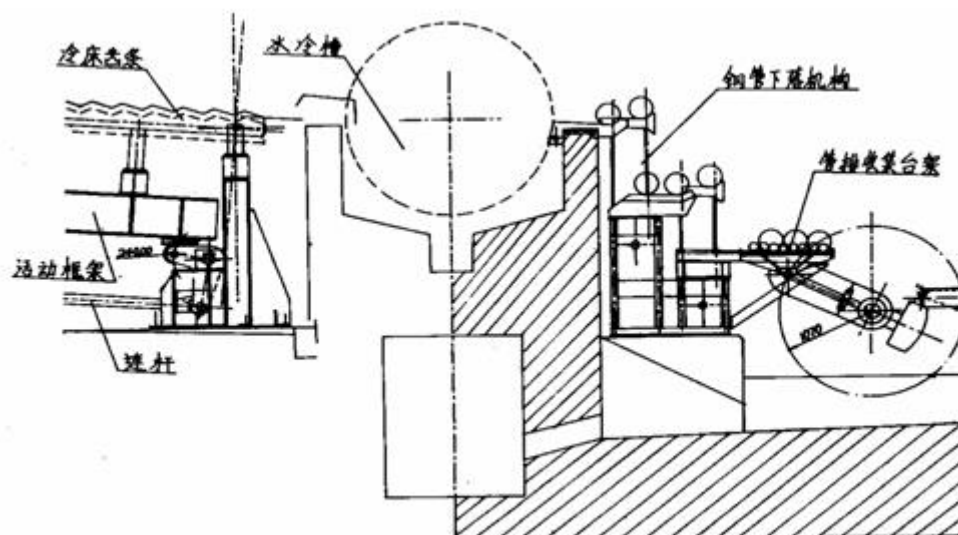


图 8-5 冷床后钢管水冷和下落机构

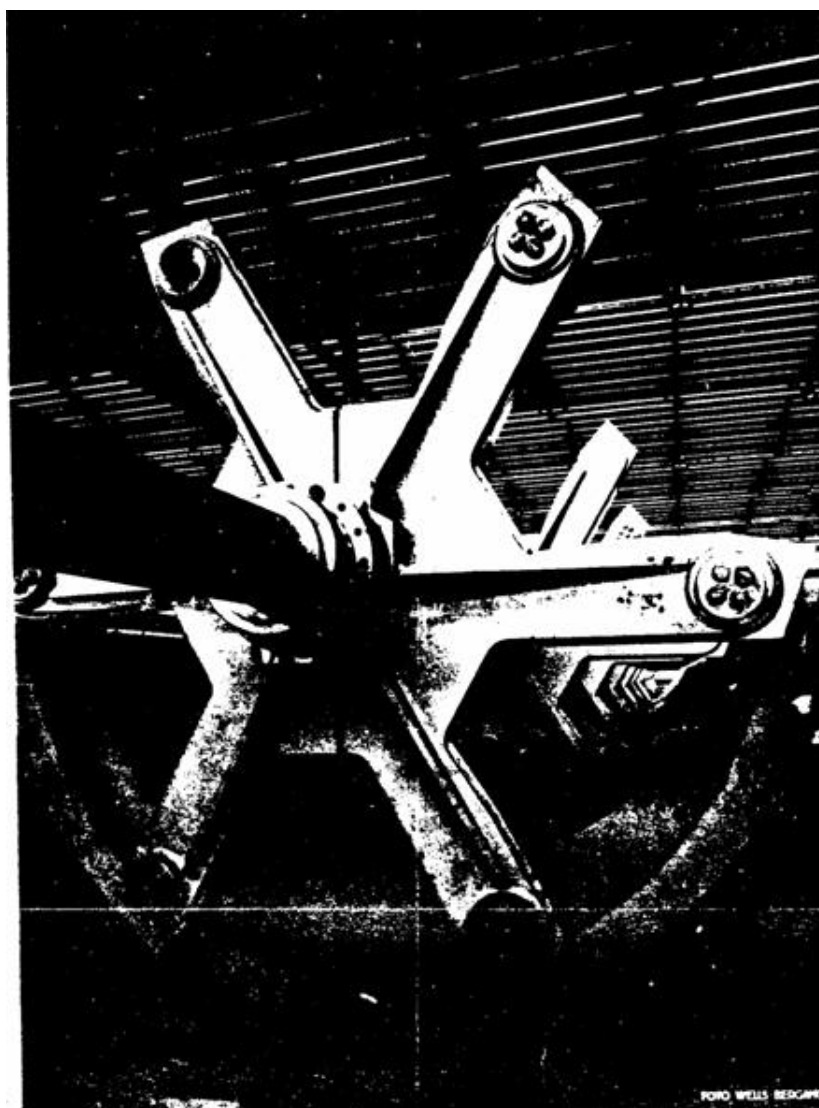


图 8-6 旋转送料器

此送料器可以两个方向旋转。送料器拨叉的头上安装有辊子，辊子和水槽底接触以减少摩擦。

## 5 钢管下落机构

为了使管子经水冷后下降到去预精整锯切的管排收集台架上，在水冷槽的后面安装有一套钢管下落机构，该机构为易降式液压杠杆系统，其结构如图 8-7 所示：

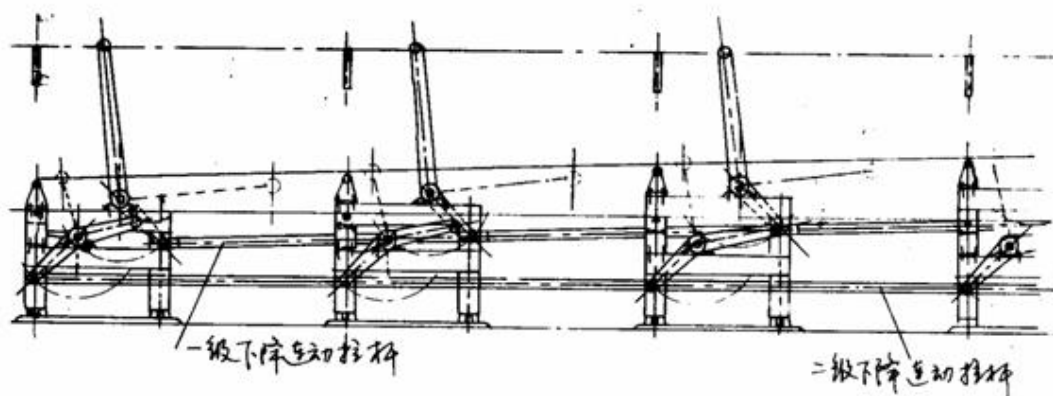


图 8-7 钢管下落机构

钢管离开水槽将自行滚动到第一级下降机构的固定梁上，然后被第一级下降机构的活动梁接收，第一级下降机构在液压缸操作下使连杆带动全部活动梁运动，将钢管送到第二级下降机构的固定梁上，然后通过同样的动作方式将钢管送至管排收集台架上。钢管被第一级下降机构送到第二级下降机构的固定梁的过程中，由于钢管在长度方向上下降的高度不同，因而使钢管倾斜，使管中残留的水排出。但通过第二级下降机构送至收集台架时，由结构决定使钢管下降高度在长度方向恢复了平衡。这样钢管就可以很稳定地进入精整锯切区域。

### 8.1.2 冷床的技术性能：

冷床型式：步进梁式

长度：58 米

宽度：34 米

齿数：164 个

齿距：350 毫米

步进梁间距：分三段。第一段（长 5 米）：500mm；

第二段（长 21 米）：1000mm；

第三段（长 32 米）：2000mm。

起始 2 米齿条梁：用铸铁板

步进梁传动：电气——机械传动

管子出料：用易降式杠杆系统

步进周期：约 15sec

提升电机：4 台 100KW1100rpm 直流

平移电机：4 台 22KW 1600rpm 直流

## 8.2 轧管厂精整管排锯

### 8.2.1 精整锯切机组设备概述

精整锯切机组主要由四台管排锯及其辅助设备组成。目的是将定径后经过冷床冷却的钢管进行切头尾、分段，使切后钢管的定尺长度、管端质量符合相关要求。精整管排锯可切割钢管规格为：外径从 $\Phi 114.3\sim 340\text{ mm}$ ；壁厚从 $4.5\sim 40\text{ mm}$ 。

四台管排锯中有三台为德国制造，型号为 WAGNER 1600R 的圆盘冷锯机，另一台为奥地利制造，型号为 KSA1600L 的圆盘冷锯机。辅助设备包括管排辊道、切头尾挡板、定尺挡板、回转臂、缓冲链等。

#### 8.2.1.1 锯切机组的基本构成

锯切机组主要由冷床及下料装置、主机和辅助设备构成

- 1 冷床：为步进式，有冷却均匀、钢管表面损伤小，同时起到钢管矫直的目的。  
冷床末端设有水冷槽，当钢管温度高时，可进入水冷槽中进行冷却。
- 2 下料装置：为了使冷床末端的钢管下降到管排收集台架上，在冷床末端安装有下料接料叉，其向两个方向倾斜。一是可以将钢管顺利地滚到接料叉上，二是将钢管倾斜，把水冷后钢管内的水倾倒干净。通过两级接料叉将钢管放到管排收集台架上。
- 3 主要设备参数
  - 1) 冷床
 

冷床长：	58m
冷床宽：	36 m
齿数：	164 个
齿距：	350 mm
冷床倾角：	2.77°
步进周期：	20 秒/支
生产能力：	120 支/小时      Max 130 支/小时
  - 2) 下料装置
 

拨叉间距：	3 m
拨叉数：	11 个
下落高度：	2 m
  - 3) 冷床动梁电机：
 

提升电机：	4 台直流电机	100KW	1100 rpm
平移电机：	4 台直流电机	22KW	1600 rpm
- 4 主机包括：锯牌坊、锯座、主传动装置、进给装置、夹具、锯片减震装置、锯片冷却装置、锯片清屑装置等。
  - 1) 锯牌坊：为支承锯座的重要部分、框架结构。底部与基础固定，中间由铜板作为锯座的滑道。锯座在锯牌坊中间进行上下滑动。
  - 2) 锯座：装有锯片主轴，内部为齿轮传动的减速机构，其主要作用为将主电机的动力传递到锯片主轴上，驱动锯片旋转。
  - 3) 主传动装置：由主电机及锯座内的齿轮构成，通过主电机、减速机使锯片主轴达到一定的转速和扭距。
  - 4) 进给装置：由进给电机带动进给丝杆，使锯座在牌坊的滑道中上下移动，完成锯机进给及返回动作，并由平衡液压缸保持其进给的平衡稳定性。

- 5) 夹具：由水平夹具、垂直夹具构成。水平夹具和垂直夹具每台锯上共有三对（入口一对，出口两对），分别由液压缸带动，可使管排保持在辊道正中，并对管排进行夹紧，使管排在切割过程中不会移动、打转。同时具有工位扩张功能，使锯片在返回时锯齿不会与钢管端面接触以保护锯齿及钢管端面的质量。
- 6) 锯片减震装置：在锯座左右两侧各安装一套减震装置。主要由铜导板，位置调整装置及液压缸组成。铜导板内侧有许多小孔，通有高压风，液压装置使铜导板在锯机进给过程中靠近锯片（约 0.05mm）使内外铜导板与锯片之间形成一个气垫，以达到锯片减震的目的。锯机返回时，液压装置使铜导板与锯片分离。
- 7) 锯片冷却装置：由一个叉型的风管组成，叉内侧开有很多小孔，高压风从中吹出，对锯片进行冷却，冷却空气温度可达 $-10^{\circ}\text{C}$ 。
- 8) 锯片清屑装置：由电机带动金属传送带，将切割后的锯屑运出。
- 5) 辅助装置包括：管排辊道、气动对中装置、切头尾小车及挡板、定尺装置、回转臂、缓冲台架等。
  - 1) 管排辊道：由上百个辊道组成，辊道较宽（920mm），分别由电机带动，以实现管排运输。
  - 2) 气动对中装置：锯机前后设有管排对中装置，由气动缸带动一对夹子，将管排固定在辊道的正中间，便于切割且可提高锯口端面质量。
  - 3) 切头小车及挡板：在管排锯出口处设有切头小车，由电机带动，齿轮传动使切头小车在齿条上行走，小车下装有升降挡板，使挡板可以在线、离线。小车行走约 1000mm，即可使切头长度在 200~1200mm 内调整，由 U31 编码器向上位机传递小车位置。
  - 4) 切尾小车及挡板：在管排锯入口处设有切尾小车，由电机带动，齿轮传动使切头小车在齿条上行走，小车下装有升降挡板，使挡板可以在线、离线。小车行走约 1000mm，即可使切尾长度在 200~1200mm 内调整。为了达到管头下料目的，在切尾挡板上装有推料液压缸。由 U31 编码器向上位机传递小车位置。
  - 5) 定尺装置：在管排锯后都装有定尺装置，其由液压缸带动升降挡板在线、离线。由另一个液压缸对定尺挡板位置进行锁定。由电机带动钢丝绳拖动定尺挡板进行位置调整，挡板位置由 U31 编码器向上位机上传递。定尺挡板的调整范围为 9 米，即可把定尺长度控制在 6~15 米的长度范围。定尺精度调整分精调和粗调两种。钢管主动切尾时实现粗调，精度为 100mm，钢管被动切尾时实现精调，精度为 1mm。
  - 6) 回转臂：由托盘及配重组成臂体，一根轴可连接多个臂体，达到横移管排的目的。精整锯切区域共有 8 个回转臂。
  - 7) 缓冲台架：有钢轨及链子组成，链子由链轮传动，达到横移钢管及缓冲的目的。
- 8) WVC 1600R 圆盘锯机主要参数
 

锯片直径：	1600 mm	盘体厚：9 mm（硬质合金锯片）
水平夹具开口度：	100~1100 mm	
垂直夹具开口度：	70~380 mm	
锯机进给行程：	580 mm	
最大管排宽度：	1050 mm	
锯片速度：	11~150 m/min	
锯片进给速度：	50~1000mm/min	
水平夹具压力：	0.5~7 Mpa	
水平夹具夹紧力：	6300~85000 N	
垂直夹具压力：	1~7 Mpa	
垂直夹具夹紧力：	3500~27500 N	

锯片驱动电机:	130KW	1500rpm
锯片进给电机:	12KW	1468rpm
液压泵电机:	18.5KW	1500rpm
冷却空气压力:	0.6MPa	

#### 9) KSA1600L 的圆盘锯机

锯片直径:	1600 mm	厚: 8.1 mm
水平夹具开口宽:	110 ~ 1050 mm	
垂直夹具开口高:	110 ~ 420 mm	
锯片速度:	max 250 m/min	
锯片送进速度:	10~1500 mm/min	
快速返回速度:	7000 mm/min	
夹具压力:	max 100 bar	
最大管排宽度:	1000 mm	

所有设备的动作, 都可由操作台上控制面板上的操作按钮实现。操作面板可实现钢管锯切全过程自动控制(自动), 部分设备的自动控制(半自动), 单体设备的动作控制(手动)。

## 8.2.2 管排锯的切割过程及工艺控制要点

### 8.2.2.1 管排锯的切割过程

- 1 管排在挡板处撞齐后(切头、切尾、定尺), 挡板离线。
- 2 气动对中装置动作, 将管排固定在管排辊道正中。
- 3 锯屑板下降, 锯主机前后升降辊道下降到低位。
- 4 垂直夹紧预夹紧。
- 5 水平夹具夹紧, 达到设定压力要求。
- 6 垂直夹紧二次夹紧, 达到设定压力要求。
- 7 锯片快速进给至转换点后, 转换成设定的工作进给速度。
- 8 锯片对管排进行切割, 到达锯片行程设定点后, 管排被完全切断。
- 9 出口夹具工位扩张打开, 锯片主轴向外伸出 3, 锯片减震器打开。
- 10 锯片快速返回到位。
- 11 锯片主轴 3 返回
- 12 水平夹具打开后垂直夹具打开。
- 13 夹具工位扩张返回。
- 14 锯屑板及锯主机前后升降辊道返回到高位。

### 8.2.2.2 管排锯工艺控制要点

#### 1 钢管切割温度

定径后, 钢管经过冷床冷却, 一些壁厚较厚及生产节奏较快的钢管, 在到达冷床末端时, 管体温度仍在 80 摄氏度以上(尤其是夏季), 这时, 钢管就必须进行水冷, 以便于进行锯切。

#### 2 钢管的成排收集

因管排辊道的宽度及锯机水平夹具宽度(最大 1100mm)原因, 收集后的管排宽度不应超过 1050mm(KSA1600L 的圆盘锯机管排最大宽度不能超过 1000 mm)

每排管最大支数见表 8-1。

表 8-1

外径 (mm)	≤120	≤ 140	≤ 195	≤ 250	≤ 300	≤344.1
支数	7	6	5	4	3	2

否则, 钢管最大宽度超过标准, 一是管排运行时撞坏锯机夹具, 二是管排在辊道上不能正常运行。

### 3 锯切参数的设定

根据被切钢管的规格、材质设定相应的锯切参数。锯切参数主要包括: 锯片速度(锯片线速度)、锯片单齿切屑量、锯片齿数还包括锯机夹具压力。具体参数的设定, 参照表 8-2。

表 8-2

钢管壁厚 S (mm)	锯切线速度 (m/min)	锯片进给速度 (mm/min)
S < 10	≤ 130	≤ 600
10 ≤ S ≤ 16	≤ 115	≤ 500
16 < S	≤ 105	≤ 400

表中锯片进给速度为调整锯片速度和锯片单齿切屑量后, 所生成的数值。根据生产钢管品种情况, 锯切速度和进给速度按以下公式计算:

$$\text{锯切速度: } V_1 = \frac{\pi D \cdot n}{1000} \text{ m/min}$$

式中: D: 锯片直径

n: 锯片转速

$$\text{进给速度: } V_1 = \frac{1000S/ZV_1}{T} = (S/Z) \cdot Z \cdot N$$

式中: S/Z: 单齿切屑量

Z: 齿数

T: 齿节数

### 4 夹具压力的调整

为防止钢管切割后, 由于锯机夹具压力过大, 造成管端椭圆度超标, 可根据被切钢管的径壁比和材质, 选择夹具压力。夹具压力分 P1、P2、P3 (夹具夹紧时的压力) 和保压 (二次夹紧后切割时的压力)。一般压力调整为: P1 约为 30~35 bar、P2 约为 45~50 bar、P3 约为 65~70 bar。保压调整为 25~30bar。径壁比大于 30 的选择 P1 压力, 22~30 的选择 P2 压力, 22 以上的选择 P3 压力。

### 5 切头尾长度调整

根据钢管壁厚的情况, 选择钢管的切头尾长度, 以保证切后管端壁厚在标准范围内, 并保证钢管头尾切割长度最短。此项工作可在操作台的上位机上实现。切头尾长度设定范围必须在 200mm~1200mm 之间。

### 6 定尺长度的调整

根据生产合同计划, 调整钢管切割定尺长度。使切后定尺长度满足合同要求。并使钢管定尺长度在规定范围内得以优化切割。定尺长度要求范围在 500mm 以外的, 锯机可采用主动切尾方式, 即最后一倍尺长度差与来料长度差相同 (都在定尺长度规定范围内), 定尺长度要求在 500mm 以内的, 可采用被动切尾方式, 即所有倍尺长度均相同。钢管定尺长度的调整及倍尺数, 可由位于操作台上的上位机来实现。

## 7 管端质量的控制

切后钢管断面平面度、切斜度及几何尺寸要在控制标准范围内。

### 8.2.3 常见切割缺陷的处理方法

#### 8.2.3.1 定尺长度超标。

##### 1 原因分析：

- 1) 定尺长度实际数值与 OIS 显示数值不符。
- 2) 定尺锁紧装置失灵，钢管在撞齐时，定尺挡板后移。
- 3) 来料钢管长度差超标。

##### 2 处理方法：

- 1) 调整 U31 编码器，使定尺长度实际数值与 OIS 显示数值相符。
- 2) 检查锁紧装置，调整传感元件位置，使定尺装置正常锁紧。
- 3) 调整定尺长度在标准范围内，采取被动切尾方式。

#### 8.2.3.2 锯口断面出现凸棱。

##### 1 原因分析：

- 1) 锯片有打齿现象或端跳变大。
- 2) 锯片齿宽差超标。
- 3) 锯片稳定器调整不适当与锯片间隙过大或过小。
- 4) 锯切参数设定不合理。

##### 2 处理方法：

- 1) 更换锯片。
- 2) 调整稳定器与锯片间隙在 0.1mm 左右。
- 3) 适当更改锯切参数。

#### 8.2.3.3 锯口断面切斜。

##### 1 原因分析：

- 1) 锯片端跳过大。
- 2) 锯片切割面积过大，锯齿变钝。

##### 2 处理方法：

- 1) 更换锯片。
- 2) 调整稳定器与锯片间隙在 0.1mm 左右。
- 3) 更改锯机切割参数。

#### 8.2.3.4 锯口椭圆度超标。

##### 1 原因分析：锯机夹具压力过大。

##### 2 处理方法：根据被切钢管材质和径壁比，采取相应的压力值。

#### 8.2.3.5 锯口断面粘有长条锯屑。

##### 1 原因分析：

- 1) 锯片进给行程不够。
- 2) 锯片锯齿变钝。

##### 2 处理方法：

- 1) 调整锯切行程。
- 2) 更换锯片。

## 8.3 轧管厂精整矫直机

### 8.3.1 精整矫直机组设备概述

轧管厂精整作业区生产线上安装有两台矫直机，主要作用是对来料钢管进行矫直，消除钢管在轧制、运输、热处理和冷却过程中产生的弯曲，使钢管直度符合相关要求，同时起到对钢管归圆的作用，保证管端及钢管外表面质量。

矫直机是由意大利 INCE 公司制造的，斜辊立式 2-2-2 型矫直机，由计算机实现自动控制。

矫直机的结构分主机和辅助设备组成

#### 8.3.1.1 主机设备

主机设备包括：机架、主传动装置、辊间距调整装置、角度调整装置、快开装置、矫直辊、液压站和控制系统等。

- 1 机架：由上下两部分组成，由六根立柱支撑。均由钢结构构成。上部装有三套间距调整装置、三套角度调整装置，出口辊装有一套快开装置；下部安装有三套角度调整装置，入口、中间辊分别各安装有一套快开装置，中间上辊的间距调整装置与下部的离合器由一根传动轴连接完成矫直机的挠度调整。矫直辊安装在六根立柱中间。
- 2 主传动装置：每台矫直机都有两套传动装置。分别用于传动三个上辊和三个下辊，传动装置与轧制轴线呈 30 度角布置。每一套传动装置包括一台电机、一台三路减速机（减速比约 1: 8）、三个万向接轴组成。
- 3 间距调整装置：由调整电机带动蜗轮蜗杆，使调整丝杠旋转，从而带动矫直机上转鼓上下移动，达到调整辊间距的目的。调整中间辊挠度时，离合器闭合，传动轴带动上下辊同时上下移动，使挠度增加或减少。间距调整完毕后，由消除间隙液压缸锁紧，减少在矫直过程中上辊对丝杠的冲击。
- 4 角度调整装置：矫直机的六个辊都可进行角度调整。分别由液压马达带动丝杠，使丝杠带动转鼓平台在一个角度范围内转动。角度调整完毕后，由每个平台上的两个液压锁紧缸将平台角度位置固定。
- 5 快开装置：在入口、中间下辊和出口上辊都装有快开液压缸，液压缸与转鼓平台相连，可使装在平台上的矫直辊快速闭合、打开。快开装置有利于钢管在矫直时顺利咬入，同时可避免钢管在矫直过程中，矫直辊对钢管端部的碰伤。
- 6 矫直辊：是钢管矫直的重要工具，由高铬钢为材料加工制成，根据产品大纲，用双曲线的方法设计辊面曲线。
- 7 液压站：每台矫直机由一台液压站提供动力，主要用于矫直辊快开装置、角度调整装置和消除间隙液压缸。

#### 8.3.1.2 辅助设备

辅助设备包括入口升降辊道、出口升降辊道、接料勾等。

- 1 入口升降辊道：由七个运输辊和 U 型半封闭护板组成，前四个、后三个运输辊分别由一个液压缸带动连杆使其升降。辊道设置为升降形式，主要是杜绝钢管在矫直过程中辊道对钢管表面的划伤。

- 2 出口升降辊道：由一个封闭的巷道和八个运输辊组成，由一个液压缸通过连杆带动运输辊道一起升降。封闭巷道的侧面是一个由液压缸开启的门，用于矫直后钢管从侧门放出。
- 3 接料钩：由一组 L 型的勾子和一个液压缸构成，目的是接住从出口侧门放出的钢管并把钢管放到探伤吹灰台架上。

### 8.3.2 矫直机相关参数

**8.3.2.1 矫直辊支点距离： 2100 mm**

矫直辊调整角度：  $30^{\circ} \pm 5^{\circ}$   
 矫直速度： 9 ~ 90 m/min  
 矫直辊辊身长度： 550 mm  
 矫直辊直径： 400 mm

#### 8.3.2.2 矫直范围

长度： 6 至 15 m  
 直径：  $\Phi 114 \sim 300 \text{mm}$   
 壁厚： 4.58 ~ 40 mm

**8.3.2.3 主传动电机： 2 台 200 KW 直流 最大 1200 rpm**

### 8.3.3 矫直原理

矫直作用主要是通过一对向上调节的中间辊来得到的，由此产生管子的纵向反复弯曲，与此同时，每对矫直辊还对钢管施加一定的压力，使钢管横截面发生椭圆变形；这种椭圆变形、弯曲变形叠加，促使钢管在变形过程中有一个拉得比较开的塑性变形范围。矫直过程中，管子的每个横截面在这一塑性范围内连续多次地横向来回弯曲，同时弯曲变形逐渐减小，达到钢管被矫直的效果。

#### 8.3.3.1 冷变形是软化过程小，硬化过程很强的变形过程。

冷变形的温度范围是其熔点绝对温度 0.25 倍以下，基本是在室温下完成的。由于温度低于 0.25T 熔时发生恢复很小，硬化在整个塑性变形过程中主导作用，因而冷变形时金属抗力指标随着所承受的变形程度的增加而持续上升。塑性指标则随着变形程度增加而逐渐下降，表现出明显的硬化现象，当积累的冷变形量过大时，在金属达到所要求的形状和尺寸以前，将因塑性变形能力的“耗尽”而产生破断。因此，材料的冷变形工作一般要进行多次，每次只能根据材料本身的性质及具体的工艺条件完成一定数值的总变形量，而且各次冷变形中间，需要将硬化了的、不能继续变形的坯料进行退火以恢复塑性。

冷变形的优点是所得到的制品表面光洁、尺寸精确、形状规整。恰当选择冷变形—退火循环时，可以得出具有任意硬度的产品。这是热变形很难实现的。

#### 8.3.3.2 关于包辛格效应：

多晶体金属在受到反复交变的载荷作用时，出现塑性变形抗力降低的现象，称包辛格效应。

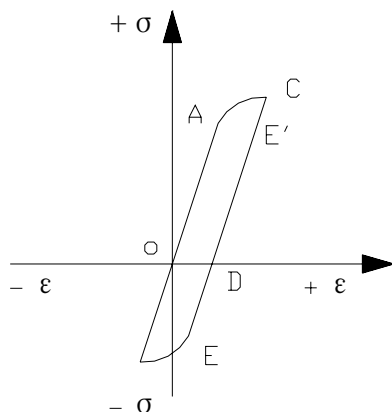


图 8-8 包辛格效应

如图 8-8，显示包辛格效应时，所得到的应力变形曲线的例子，拉伸时材料的原始屈服应力在 A 点，若对此材料进行压缩时，其屈服应力也与它相近（在点线的 B 点），以同样的试样使其受载荷超过 A 点而至 C 点，卸载后将沿 CD 线返回至 D，若在此时对它施以压缩负荷，则开始塑性变形将在 E 点，E 点的应力明显地比原来受压缩材料在 B 点屈服应力低，这个效应是可逆的，若原试样经塑性压缩再拉伸时，同样发生屈服应力降低的现象。

实际上，当连续变形是以异号应力来交替进行时，可降低金属的变形抗力，用同一符号的应力而有间隙地连续变形时，则变形抗力连续地增加。

（包辛格效应仅在塑性变形不太大时才出现。如黄铜是在给予 4% 以下的塑性变形时才出现明显的包辛格效应，对于硬铝则小于 0.7%。）

### 8.3.3.3 在钢管矫直的过程中，它的变形有轴向变形和径向变形，但是它的变形是复杂的。

#### 1 纵向弯曲分析：

纵向弯曲矫直是使钢管产生与弯曲相反方向的塑性变形来达到矫直弯曲的目的，而不弯曲的管子断面只产生弹性变形，塑性变形区占支撑距的 40% 长度。

#### 2 横向压扁效应：

横向压扁及通过叠加椭圆压扁变形来达到矫直的目的。在矫直截面中产生如图 8-9 中 BCDE 的塑性区。这对矫直效果是非常重要的，因为弯曲矫直不能使截面全部为塑性区，利用压扁变形来补偿。另外，对局部弯曲、管端弯曲、纵向弯曲矫直效果很差，必须是纵向弯曲和压扁的共同作用才能达到满意的矫直效果。（注：提高钢管壁厚精度可提高钢管的抗压

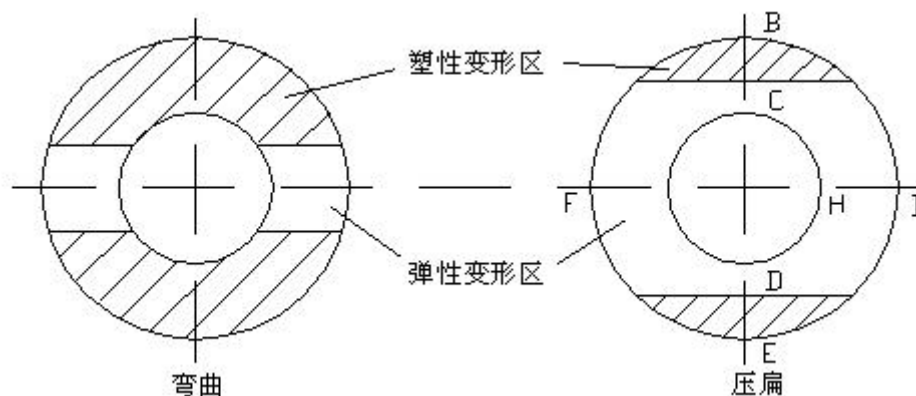


图 8-9 变形原理图

溃性能，矫直时，钢管压扁会在钢管中产生交变的切向应力，由于包辛格效应和残余应力的作用而使钢管强度降低。因此钢管的矫直要严格控制钢管的压扁量。)

### 3 螺旋接触带：

矫直时钢管螺旋前进，钢管与矫直辊的螺旋接触带必须沿钢管全长覆盖。如图 8-10，必须建立螺旋接触带与矫直辊倾角、矫直辊数量和矫直辊间距等的关系，使钢管每一断面均受到压扁产生椭圆效应，得到矫直效果。

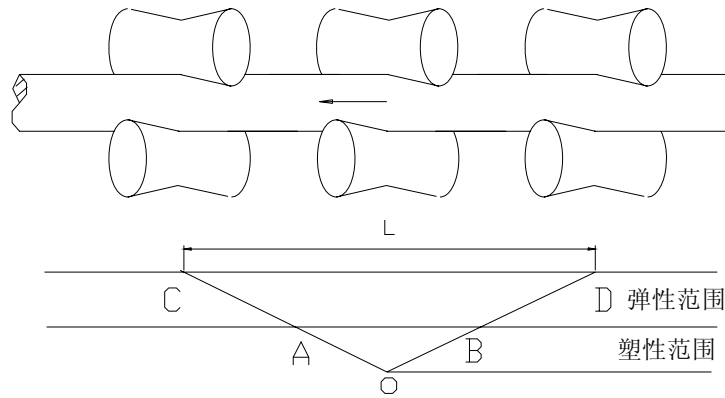


图 8-10 矫直原理图

对于对向布置的六辊矫直机它除利用弯曲矫直（通过提高中间下辊高度）外，在上下两个矫直辊之间还给予一个径向压力。如果设两端矫直辊的距离为  $L$ ，则在  $L$  的范围内，包括弹性变形区和塑性变形区两部分。一般情况下，塑性变形区为  $L$  的 40%，即钢管沿 COD 曲线弯曲。如图所示。但是 CA 和 BD 部分的钢管处于弹性变形区，所以钢管没有得到任何矫直，只有在 AOB 范围内，钢管由于发生塑性变形而得到矫直，而在 O 点的变形量最大，应该在此点（即中间辊）给钢管一个与它的原始曲率相同或稍大一点的弯曲曲率，使钢管得以矫直。

根据下式计算压下量和挠度值

压下量计算公式：

$$C = \frac{D-S}{D} \times 100\%$$

式中：C — 压扁度，一般取  $C=0.5\sim 1\%$ ；  
D — 钢管直径；  
S — 矫直时辊缝。

挠度计算公式：

$$f = \frac{\sigma_s \cdot L^2}{E \cdot D \cdot K}$$

式中：F — 挠度（中间辊偏移量）；  
 $\sigma_s$  — 钢管屈服强度；  
L — 矫直辊辊距；

- E — 钢管弹性模量；  
D — 钢管直径；  
K — 系数，一般取 20~50（随压扁度 C 变动）。

### 8.3.4 矫直机的矫直过程及工艺控制要点

#### 8.3.4.1 钢管的矫直过程

- 1 钢管由上游辊道进入矫直机入口辊道。
- 2 当钢管头部被入口辊道中间位置传感元件感应到时，辊道减速。
- 3 当钢管头部被入口辊道末端位置传感元件感应到时，入口辊道第一段下落，入口快开缸闭合延时开始计时。
- 4 管头进入入口矫直辊中间位置时，入口快开缸闭合，钢管被咬入，同时入口第二段辊道下落。
- 5 通过快开缸延时的设定，管头进入中间辊和出口辊中间位置时，中间辊、出口辊快开缸相继闭合，钢管进入矫直过程。
- 6 当管尾离开入口辊道中间位置传感元件时，入口辊道第一段上升。
- 7 当管尾离开入口辊道末端位置传感元件时，入口辊道第二段上升，同时通过快开缸延时的设定，管尾到达入口辊、中间辊和出口辊中间位置时，入口辊、中间辊、出口辊快开缸相继打开。
- 8 出口辊道上升，钢管被运送到出口辊道末端挡板处。
- 9 出口辊道下降，通道侧门打开，钢管靠重力滚到 L 型接料勺上。
- 10 接料勺下落，钢管滚到吹灰台架上，对钢管内表面氧化铁皮进行吹扫。

#### 8.3.4.2 工艺控制要点

##### 1 辊间距调整：

辊间距 = 钢管外径 - 压下量

压下量 = 钢管外径 × 压下率

压下率根据表 8-3 选择

表 8-3

单位：(mm)

壁厚(s) 压 下 率 孔型	S < 6	6 ≤ S < 8	8 ≤ S < 10	10 ≤ S < 12	12 ≤ S < 15	15 ≤ S < 20	S ≥ 20
	Φ 181	<2.5%	<2.1%	<1.7%	<1.4%	<1.1%	<0.8%
Φ 235、247	<3.0%	<2.5%	<2.0%	<1.6%	<1.2%	<0.9%	<0.7%
Φ 291、310	<3.5%	<3.0%	<2.5%	<2.0%	<1.6%	<1.0%	<0.8%

说明：①：此表为钢管允许最大压下率。

②：调整参数可根据钢管规格、材质在此范围内选择。

- 2 **挠度调整：**根据被矫钢管屈服强度及弯曲度按表 8-4 选择。（单位：mm）

##### 3 角度调整：

以满足钢管和矫直辊接触线长度大于辊身长度的 3/4 以上为准。

表 8-4

屈服强 挠度 (δ) 壁厚 S	δ < 300	300 ≤ δ < 400	400 ≤ δ < 500	500 ≤ δ < 600	600 ≤ δ < 700	δ ≥ 700
	S < 16	< 4.5	< 5	< 7	< 9	< 13
S ≥ 16	< 4	< 4.5	< 6	< 8	< 11	< 14

说明：此表为钢管允许最大挠度值。

#### 4 速度设定：见 表 8-5

表 8-5

钢管壁厚 S (mm)	主电机转速(rpm)	入口、出口辊道速度(m/s)
S < 10	≤ 1200	≤ 1.8
10 ≤ S ≤ 16	≤ 1050	≤ 1.7
16 < S	≤ 900	≤ 1.6

注：按上表根据钢管不同规格选择主电机及入口、出口辊道速度。

#### 5 快开缸闭合、打开延时调整：

通过调整快开缸闭合延时，既可保证管头不被矫直辊碰伤，又能够使管头弯曲得到最大限度的矫直。通过调整快开缸打开延时，可有效保证管尾不被矫直辊碰伤。

### 8.3.5 常见矫直缺陷的处理方法

#### 8.3.5.1 矫后钢管管体直度达不到要求

##### 1 原因分析：

- 1) 挠度值太大或太小。
- 2) 压下量太小。

##### 2 处理方法：

- 1) 根据钢管规格、材质及来料弯曲度，选择正确的压下量和挠度值。
- 2) 矫后钢管弯曲度大于来料弯曲度说明挠度值过大，如矫后弯曲度小于来料弯曲度（直度未达标）说明挠度值过小。

#### 8.3.5.2 矫后管头弯曲度超标，管体不超标。

##### 1 原因分析：

- 1) 压下量不够。
- 2) 出口辊闭合较慢。

##### 2 处理方法：

- 1) 调整合适的压下量。
- 2) 调整出口辊闭合延时，减少矫直盲区。

#### 8.3.5.3 管头压扁

##### 1 原因分析：

- 1) 矫直辊闭合过早，对管头产生碰伤。
- 2) 压下量过大。

##### 2 处理方法：

- 1) 调整矫直辊闭合延时。
- 2) 减少矫直辊压下量。

#### 8.3.5.4 管尾碰伤

##### 1 原因分析

- 1) 挠度值过大。
- 2) 入口上辊角度过小。
- 3) 调整中间辊打开延时。

##### 2 处理方法:

- 1) 降低挠度值。如来料弯曲较大,适当增加出口辊和中间辊压下量。
- 2) 适当增加入口上辊角度。

#### 8.3.5.5 管体矫痕

##### 1 原因分析:

- 1) 矫直辊角度过小或过大。
- 2) 矫直辊没有压下量。

##### 2 处理方法:

- 1) 适当调整矫直辊角度(找出产生矫痕的矫直辊)。
- 2) 适当调整矫直辊压下量。

#### 8.3.5.6 管体划伤。

##### 1 原因分析:

- 1) 入口、出口巷道因残存锯屑
- 2) 管端毛刺对巷道内衬板造成损伤,引起管体被划伤。

##### 2 处理方法:

- 1) 对巷道内残存锯屑进行清理,对划伤的衬板进行修磨。
- 2) 及时更换锯片,减少管端毛刺。

#### 8.3.5.7 出口巷道衬板接口造成对管头的碰伤。

1 原因分析:衬板接口错位,钢管在出口巷道内晃动,造成对管头的碰伤。

##### 2 处理方法:

- 1) 对出口巷道内衬板进行修磨整理。
- 2) 调整矫直参数(如增加挠度值、增加出口压下量等),减少钢管的晃动。

#### 8.3.5.8 管体表面被压伤。

1 原因分析:出口通道侧门打开后,由于L型接料勾,传感元件问题,导致两支钢管在其上,通道侧门闭合后,压在第二支钢管上,造成管体被压伤。

2 处理方法:调整由于L型接料勾传感元件的位置和灵敏性。

### 8.3.6 工具管理

矫直机的矫直工具为矫直辊,当矫直辊磨损较为严重,不能满足与钢管保持线接触或表面裂纹、粘钢影响钢管的矫直质量时,应对矫直辊予以更换。更换下来的矫直辊送到工具车间,对其辊套进行更换,以备再次使用。

## 8.4 热处理

### 8.4.1 前言

传统上人们认为轧管厂没有热处理工序，但是实际上控轧控冷、在线常化和芯棒光亮退火都可以认为属于热处理范畴。另外，一般公司都把热处理线设置在轧管厂。

控轧控冷是上世纪 80 年代以来的新工艺，大量应用于板材生产，主要是通过控制轧制温度（多数情况需要结合 V、Nb、Ti 等细化晶粒元素）和轧制后的冷却速度来使得强度韧性指标的提高。

在线常化即在轧制线进行常化（正火）热处理，就是将荒管加热到奥氏体化后经过定径机在大冷床上进行空冷来达到提高强度的目的。轧管厂最为常见的钢级是 N80 I 类、K55 接箍料等以下钢级。目前我公司还在开发在线准淬火的准贝氏体的 P110 纲级套管。

### 8.4.2 热处理的定义和意义

钢（管）的热处理是通过钢在固态下加热、保温和冷却的操作来改变钢（管）的内部组织，从而获得所需性能的一种工艺方法。通常根据目的要求，可以把钢的热处理工艺分为：退火、淬火+回火、调质处理、和表面处理。

通过热处理可以充分发挥钢材（管）的潜力，提高工件（钢管）的使用性能，减轻工件（钢管）重量，节约材料降低成本，延长使用寿命。另一方面，热处理工序还可以改善加工工艺性能，提高加工质量减少刀具磨损。同时，一些理化指标必须经过热处理才能获得。诸如：高抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能、不锈钢钢管的强化等。

对于我公司来说，无论是轧管厂还是管加工厂，热处理工序都提高了钢管的强韧性等理化指标，从而满足用户要求，提高经济效益。在轧管厂，通过在线常化工艺显著简化了工艺流程降低了生产成本；在管加工厂，主要通过调质处理来生产高附加值的钢管，特别是 TP 系列抗腐蚀、抗挤毁、既抗腐蚀又抗挤毁和超高强度的非 API 石油专用管。

### 8.4.3 热处理基本原理

#### 8.4.3.1 金属热处理工艺的发展过程

通过加热、保温、冷却的方法使金属和合金内部组织结构发生变化，以获得工件使用性能所要求的组织结构，这种技术谓之热处理工艺。同一种材料经过不同的热处理后，可以获得不同的性能，性能的变化是因为组织发生了变化，因此，了解热处理过程中钢的组织变化，是正确进行热处理的基础。

金属热处理工艺学和其它自然科学相同，是随着生产力的发展而发展的，同时和其它科学技术的发展紧密相关。热处理是古代冶金技术发展的结果，是作为冶金技术的一部分，逐渐发展而形成一门学科的。

在我国历史上，热处理工艺出现于铁器时代，是伴随着铸铁的出现产生的。古代的炼钢是采用铸铁脱碳退火及反复锻打方法进行的，即所谓“百炼成钢”。随着炼钢技术的发展，热处理技术也得到发展。从汉代开始，我国的热处理技术已有文字记载，内容包括一般淬火技术、淬火介质及渗碳工艺等，几乎涉及热处理技术的各个方面。例如《史记·天宫书》中载有：“火与水合为淬”，《蒲元别传》所载，蒲元在今陕西眉县一带的斜谷为诸葛亮制剑三千把，他说：“汉中的水钝弱，不任淬；蜀水爽烈”，于是派人到成都取水，淬之果然锋利。从出土文物的考证及一些文字的记载可以清楚的看出，我国的热处理工艺历史悠久，技艺高超是当时其他国家所不及的。

### 8.4.3.2 热处理的基础理论知识

#### 1 钢的组织结构

金属的晶体结构

物质是由原子组成的，按原子排列方式的不同可把物质分为二类，即晶体和非晶体。晶体中的原子排列是有规律的，即“有序排列”，这种规律的排列方式称为晶体的结构；而非晶体中的原子排列是无规律的，即“无序排列”。通常把原子的排列方式称为晶格结构，所有金属的原子排列方式都是有规律的，因此，金属是属于晶体。

铁的最基本的晶格结构有两种：即体心立方晶格（ $\alpha$ -Fe）和面心立方晶格（ $\gamma$ -Fe）。两种晶格结构见图 8-11 和图 8-12。

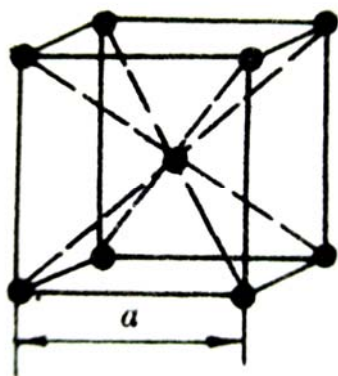


图 8-11 体心立方晶格

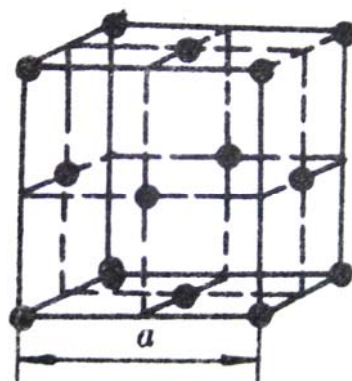


图 8-12 面心立方晶格

#### 2 钢的金相组织

“相”的概念：金属合金组织中的化学成分、晶体结构、物理性能相同的组分。在金属学的范畴称为金相，其中包括固溶体、金属化合物和纯元素。

“组织”的概念：泛指使用金相方法看到的，由形态、尺寸不同、分布方式不同的一种或多种相构成的总体，以及各种材料缺陷和损伤。

通常我们把铁（Fe）和一定的碳（C）组成的合金称之为钢，但碳在钢中是以铁与碳的化合物（Fe<sub>3</sub>C）形式存在。由于碳在钢中的存在，将对铁的晶格结构产生影响，并形成了不同的组织，一般将钢中的各种组织统称为金相组织。钢的金相组织不同，其性能具有很大的差别。而对钢进行不同的热处理，就可以获得不同的组织，最终获得我们所需要的性能，钢的基本组织有以下几种：

- (1) 奥氏体：铁和其它元素形成的面心立方结构的固溶体，一般指碳和其它元素在  $\gamma$  铁中的间隙固溶体。
- (2) 铁素体：铁和其它元素形成的体心立方结构的固溶体，一般是指碳和其它元素在  $\alpha$  铁中的间隙固溶体。
- (3) 马氏体：奥氏体通过无扩散型相变而转变成的亚稳定相。实际上，是碳在铁中过饱和的间隙式固溶体。晶体具有体心正方结构。
- (4) 珠光体：铁素体片和渗碳体片交替排列的层状显微组织，是过冷奥氏体进行共析反应的直接产物，也可理解为铁素体和渗碳体的机械混合物。
- (5) 贝氏体：过冷奥氏体在低于珠光体转变温度和高于马氏体转变温度之间范围内分解成的铁素体和渗碳体的聚合组织。在较高温度分解成的叫上贝氏体，呈羽毛状；

在较低温度分解成的叫下贝氏体，呈类似于低温回火马氏体针状组织的特征。

此外，在实际生产中，根据产品性能的要求及具体执行的热处理工艺，在钢中还会有其它一些组织，如索氏体、屈氏体、粒状珠光体、回火马氏体、回火索氏体等，但这些组织与上面的几个基本组织无本质上的区别。

### 3 钢在加热时的转变

无论是退火、正火、淬火、渗碳，都首先需要将钢件加热到奥氏体状态。奥氏体是碳原子固溶于铁的面心立方晶格间隙中的固溶体。奥氏体的成分，均匀性，晶粒大小以及其它相的数量、分布状况等，对冷却时奥氏体的分解过程和分解产物及其性能都有很大影响。同时，钢在加热过程中，也会引起表面质量和成分的变化（氧化和脱碳），这些都会影响工件的热处理效果。

为了保证热处理能够达到预期的目的，就需要掌握钢在加热时奥氏体形成和长大的规律，并运用这些规律去控制热处理效果。

#### (1) 奥氏体的形成

钢在加热时形成奥氏体的温度范围，一般可以根据铁—碳合金状态图（图 8-13）来说明。从图中可以看出，组织为珠光体的共析钢，由室温加热到  $A_1$  温度以下时，除铁素体的含碳量有微量的增高外，没有其它组织转变。当温度缓慢升高到  $A_1$  稍上时，珠光体转变为奥氏体。同样，具有铁素体和珠光体的亚共析钢，加热到  $A_1$  稍上时，珠光体转变为奥氏体，铁素体则未发生转变，而随着加热温度的继续升高，铁素体不断转变为奥氏体。当温度升高到  $A_3$  时，铁素体全部转变为奥氏体。

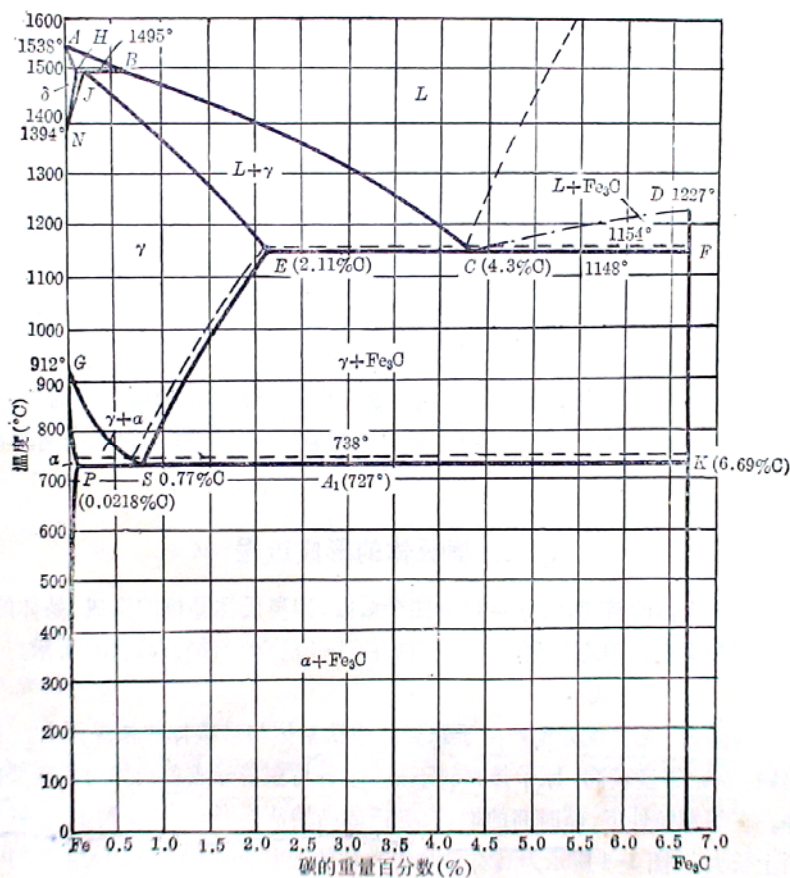


图 8-13 铁—碳合金状态图

#### (2) 奥氏体的形成过程

珠光体到奥氏体的转变，大致可分为四个阶段，即奥氏体晶核的形成、晶体的长大、残余碳化物的溶解及奥氏体的均匀化（图 8-14）。

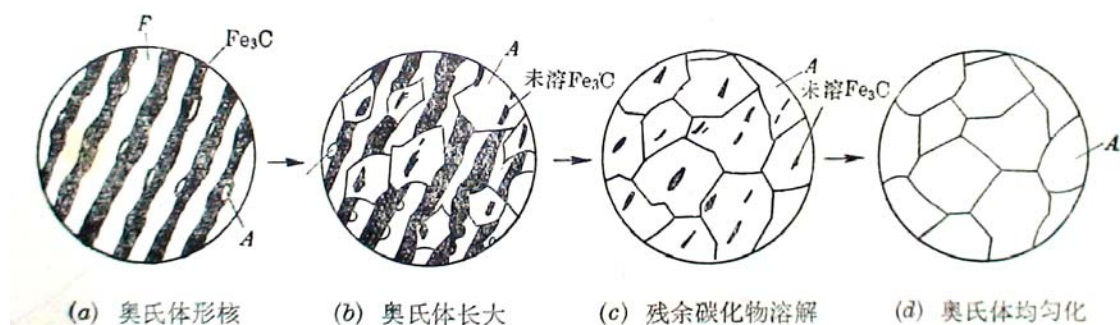


图 8-14 共析碳钢中奥氏体的形成过程

### ① 奥氏体晶核的形成

奥氏体晶核通常优先产生于珠光体中铁素体与渗碳体的相界面上，因为在相界面上原子排列较不规整，容易获得形成奥氏体时所需要的能量和浓度的条件。在等温条件下，随着时间的增长，奥氏体晶核从无到有，从少到多，在铁素体和渗碳体相界面上长大。

### ② 奥氏体的长大

奥氏体晶核形成以后，碳在奥氏体中的分布是不均匀的，随着碳扩散的进行，奥氏体与铁素体及渗碳体接触处的碳浓度在不断发生变化，即发生着碳浓度失去平衡和恢复平衡的反复循环过程，使奥氏体一方面向渗碳体长大，另一方面向铁素体长大，直至铁素体消失而全部转变为奥氏体。

### ③ 残余碳化物（渗碳体）的溶解

珠光体转变为奥氏体刚结束时，钢中还残留着一些未溶解的碳化物（渗碳体）。共析钢加热到  $A_1$  以上温度时，开始形成奥氏体，但还残余着碳化物，随着时间的增长，碳化物不断溶解，直至全部消失。

### ④ 奥氏体均匀化

当残余碳化物全部溶解时，奥氏体中的碳浓度仍是不均匀的，在原来碳化物的区域，含碳量较高，在原来铁素体的中心区域，含碳量较低。如果继续延长保温时间，通过碳的扩散，可使奥氏体的含碳量逐渐趋于均匀。亚共析钢和过共析钢的奥氏体形成过程，与共析钢基本相同，但是还具有过剩相溶解的特点。

亚共析钢的退火组织为珠光体和过剩铁素体。当缓慢加热到  $A_{c1}$  点时，珠光体转变为奥氏体，此时，成为奥氏体和自由铁素体的混合组织；如果进一步提高温度和保温时间，则自由铁素体将逐步转变为奥氏体。在温度超过  $A_{c3}$  时，自由铁素体完全消失，全部组织为较细的奥氏体晶粒。若进一步提高加热温度和保温时间，奥氏体晶粒将长大。

过共析钢的退火组织为珠光体和过剩渗碳体，其中过剩渗碳体往往呈网状分布。当缓慢加热到  $AC_1$  点时，珠光体转变为奥氏体，此时，成为奥氏体和过剩渗碳体的混合组织；如果进一步提高温度和延长保温时间，则过剩渗碳体将逐渐溶解于奥氏体。在温度超过  $A_{cm}$  时，过剩渗碳体完全溶解，全部组织为奥氏体，此时奥氏体晶粒已经粗化。对于过共析碳钢制造的工具或模具，在加热时不可使渗碳体完全溶入奥氏体，否则因奥氏体晶粒粗大，导致钢淬火后脆性增大，甚至产生淬火裂纹。因此正常的淬火加热温度控制在  $A_{C1} \sim A_{cm}$  的范围内。

### (3) 奥氏体的形成速度

为了能够控制钢的奥氏体化状态，必须了解奥氏体的形成速度。奥氏体的形成速度可在

奥氏体等温形成图中反映出来。图 8-15 为共析钢奥氏体等温形成图。从图的左面起，第一条线表示有 0.5%奥氏体形成，可作为奥氏体形成开始线；第二条线表示有 99.9%奥氏体形成，可作为奥氏体形成终了线；第三条线表示残余碳化物溶解完了；地四条线表示奥氏体碳浓度基本达到均匀。

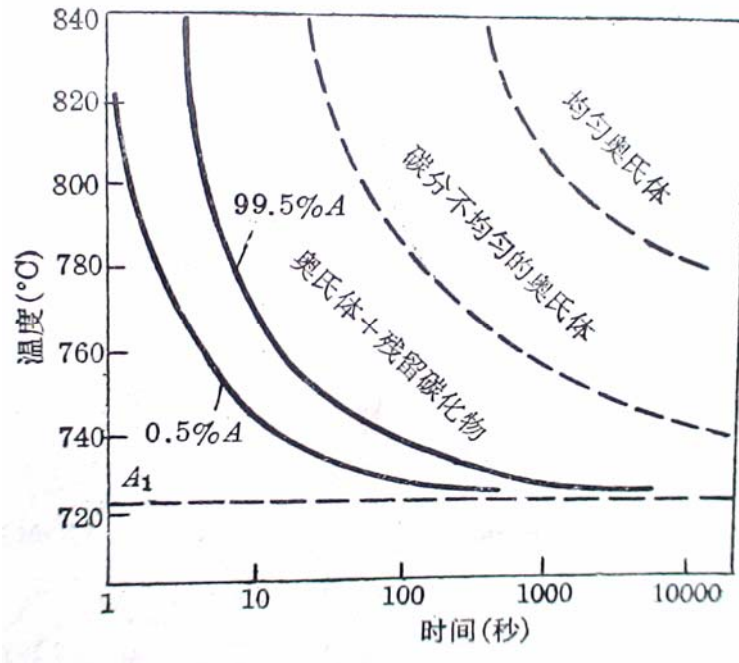


图 8-15 共析钢的奥氏体等温形成图

从图 8-15 可见：奥氏体化所需要的时间与等温转变温度有密切关系。在稍高于  $A_1$  温度时，奥氏体化所需时间较长；随着温度的提高，奥氏体化过程加快。

奥氏体形成的时间较短，残余碳化物溶解的时间较长，而奥氏体均匀化的时间更长。以 780°C 等温为例，形成奥氏体的时间不到 10 秒，要完全溶解碳化物却需要几百秒，要实现奥氏体均匀化就要 10000 秒（约 3 小时左右）。

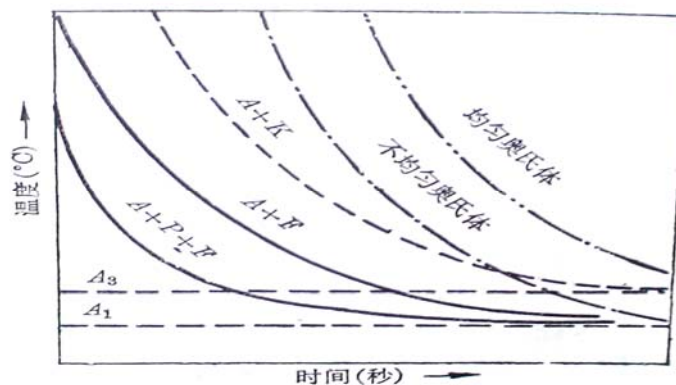


图 8-16 亚共析钢奥氏体等温形成图

在亚共析钢和过共析钢中，奥氏体等温形成图基本上与共析钢相同。但亚共析钢有其特点，如图 8-16 所示，即在含碳量较高的亚共析钢中，铁素体转变终了线与残余碳化物溶解线有交叉的特征，当温度较高时，自由铁素体溶解之后，仍有残余碳化物；而当温度较低时，

残余碳化物先溶解，而后自由铁素体再溶解，在 A3 温度以下，当残余碳化物溶解之后 仍有铁素体存在，而且不能全部溶解。

#### (4) 各种因素对奥氏体形成的影响

奥氏体形成是一个扩散过程。凡是影响扩散的一些因素如温度、成分等等都将影响奥氏体形成。

##### 1) 温度的影响

珠光体向奥氏体转变遵循形核并长大的规律。实验表明，奥氏体形核率 (N) 和长大率 (G) 与等温形成温度之间有密切关系。见表 8-6 所示。

表 8-6 等温温度对奥氏体转变参数的影响

转变温度 (°C)	奥氏体形核率 N (核数 / 毫米 <sup>3</sup> .秒)	奥氏体长大率 G (毫米/秒)	转变为 50%奥氏体 所需时间 (秒)
740	2280	0.0005	100
760	11000	0.01	9
780	51500	0.026	3
800	616000	0.041	1

表中指出，随着温度的升高，奥氏体的形核率和长大率都急剧增加，当温度从 740℃ 提高到 800℃ 时，奥氏体的形核率 (N) 约增加 270 倍，长大率 (G) 约增加 80 倍，从而使奥氏体转变速度大大加快。

##### 2) 成分的影响

###### A 碳的影响

随着钢中含碳量的增加，渗碳体的数量相应地增加，而铁素体的数量却相对地减少，因铁素体和渗碳体的相界面总量增多，从而加速了珠光体向奥氏体的转变。

###### B 合金元素的影响

钢中加入合金元素不改变加热时奥氏体的形成过程，但影响奥氏体的形成速度。

由于合金元素改变 A1、A3 或 Acm 点的位置，有的元素降低 A1 点，如 Ni、Mn 等；有的元素提高 A1 点，如 Cr、Mo、W、Si，在制定热处理的工艺时，应根据合金元素对临界点的影响，适当提高或降低奥氏体化温度。

合金元素影响碳原子在奥氏体中的扩散系数和残余碳化物的溶解。镍 (Ni) 既降低 A1 点，增加过热度，同时又增加碳在奥氏体中的扩散系数，从而加快了奥氏体的形成速度。硅 (Si) 和铝 (Al) 对碳原子在奥氏体中的扩散系数影响不大，但由于它们是升高 A1，降低过热度的元素，因此，它们对奥氏体的形成速度还是减慢的。

铬 (Cr)、钼 (Mo)、钨 (W)、钒 (V)、钛 (Ti) 等是能够形成稳定碳化物的元素，它们既升高 A1 点，降低过热度，又显著降低碳在奥氏体中的扩散系数，从而也就显著地减慢奥氏体的形成速度。上述元素是按其所形成碳化物的稳定性逐渐增强的次序排列的，其中以钛 (Ti) 所形成的碳化物最稳定。所形成的碳化物越稳定，就越难溶解，就越减慢奥氏体的形成速度。在实际生产中，为了加速稳定碳化物的溶解，经常采取大幅度提高加热温度的措施。

###### C 原始组织的影响

珠光体中碳化物的形态和分散度，对铁素体和渗碳体相界面多少及彼此间的距离都有影响，在相同的温度下，相界面越多，形核率越大；层间距离越小，奥氏体中碳浓度梯度越大，扩散速度便越快，另外，扩散距离缩短，使奥氏体晶体长大速度加快。所以，原始组织越细，奥氏体形成速度越快。

#### 4 连续加热时奥氏体的形成

实际生产中钢件的热处理大都是采用连续加热的方法，在连续加热的情况下，通过实验表明连续加热时奥氏体的形成与等温形成的规律基本相同，但是也有其特点，主要表现在以下几方面：

- (1) 连续加热时的加热速度改变了  $Ac_1$ 、 $Ac_3$  和  $A_{cm}$  点的位置，通常是随着加热速度的增大而提高，特别是  $Ac_3$  点提高得更明显。
- (2) 连续加热时奥氏体是在一个温度范围内形成的，而且随着加热速度的增大，形成温度增高，形成温度范围加大。
- (3) 钢中的原始组织对连续加热时的奥氏体形成有很大影响，原始组织中分散度越小，特别是有大块自由铁素体或渗碳体存在时，奥氏体的均匀化将移向高温。

#### 5 奥氏体晶粒长大及其控制

奥氏体的晶粒大小影响其转变产物的组织和性能，晶粒细化可以提高钢的强度和韧性，所以研究奥氏体晶粒长大问题，具有重要的实际意义。

##### (1) 奥氏体晶粒度的概念

根据奥氏体形成过程和晶粒长大情况，奥氏体晶粒度可分为：起始晶粒度、实际晶粒度和本质晶粒度三种。

起始晶粒度是指珠光体刚刚全部转变为奥氏体时的奥氏体晶粒度，一般情况是，奥氏体起始晶粒度比较细小，在继续加热或保温时将要长大。

实际晶粒度是指钢在具体的热处理或热加工条件下实际获得的奥氏体晶粒度。它的大小直接影响钢件的性能。实际晶粒一般总比起始晶粒大，因为热处理生产中，通常都有一个升温 and 保温阶段，在这段时间内晶粒有了不同程度的长大。

在不同牌号的钢中，奥氏体晶粒长大的倾向不同，有些钢的奥氏体晶粒随着加热温度的升高会迅速长大，而有些钢的奥氏体晶粒则不容易长大。我们可以将钢的奥氏体晶粒长大倾向分为二类，即本质细晶粒钢和本质粗晶粒钢。这两类钢的区别是：在一定的温度范围内，本质粗晶粒钢的奥氏体晶粒随着温度的升高而不断长大，也就是说晶粒长大的倾向性大；而本质细晶粒钢随着温度的升高奥氏体晶粒长大的倾向性小。“本质晶粒度”不是晶粒大小的实际度量，而是表示在规定的条件下奥氏体晶粒长大倾向性的高低。

在工业生产中，一般用铝脱氧的钢大都是本质细晶粒钢，只用硅猛脱氧的钢为本质粗晶粒钢。沸腾钢一般都为本质粗晶粒钢，镇静钢一般都为本质细晶粒钢，需要热处理的工件一般都采用本质细晶粒钢。

##### (2) 奥氏体晶粒长大及其影响因素

在高温下奥氏体晶粒长大是一个自发过程，实际上奥氏体晶粒长大基本上是一个晶界迁移过程，所以，一切影响奥氏体晶界迁移的因素，都能影响奥氏体晶粒的长大。

奥氏体化温度越高，晶粒长大越明显，当晶粒长大到一定程度后，即使继续延长保温时间，奥氏体晶粒不会再有明显的长大，如图 8-17 所示。奥氏体晶粒大小与以后的冷却速度无关。

随着钢中含碳量的增加，奥氏体晶粒长大倾向也增大，但是当碳含量超过某一限度时，

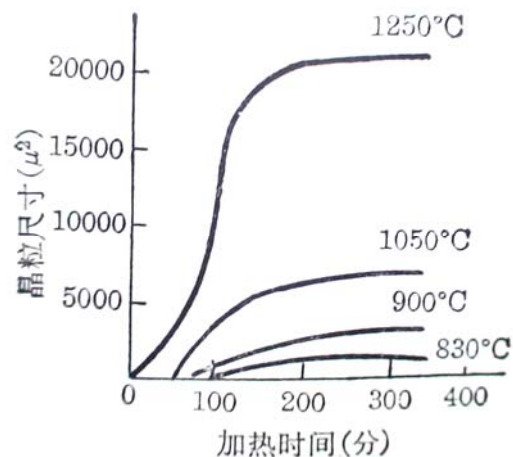


图 8-17 恒温奥氏体晶粒长大示意图

奥氏体晶粒反而细小，这是因为碳含量超过超过某一限度时，出现未溶渗碳体，渗碳体可以阻止晶界的迁移，所以晶粒反而长得慢，奥氏体实际晶粒较细小。

钢中加入合金元素也影响奥氏体晶粒长大。凡是产生稳定碳化物的元素（如钛、钒、铌、钨、钼、铬等），产生不溶于奥氏体的氧化物及氮化物的元素（如铝），都会阻碍奥氏体晶粒长大。而锰、磷则有加速奥氏体晶粒长大的倾向。在目前工业生产中，铝是广泛用来控制奥氏体晶粒度的元素，用铝脱氧的钢中存在着高熔点的 AlN 质点，阻碍奥氏体晶界的移动，从而细化了晶粒。一般钢中残余铝含量约 0.02~0.04% 可以获得本质细晶粒钢。

总之，合金元素对奥氏体晶粒长大作用的影响如下：

强烈阻止晶粒长大的元素有 Al、Ti、Zr、V；

能够阻止晶粒长大的元素有 W、Mo、Cr；

阻止晶粒长大作用较弱的元素有 Si、Ni、Cu；

促进晶粒长大的元素有 Mn（指高碳情况），P、C（指溶入奥氏体中的情况）。

### (3) 控制奥氏体晶粒长大和细化晶粒的措施

#### 1) 合理选择加热温度和加热时间加热

加热温度高一些，奥氏体形成速度就快一些。温度越高，奥氏体长大倾向性越大，实际晶粒就越粗。保温时，随着保温时间的延长也出现奥氏体晶粒长大，但是，加热温度对晶粒长大的影响要比保温时间的影响显著得多，故加热温度的合理选择十分重要。

合金钢的奥氏体形成和均匀化所需的时间比碳钢长，所以合金钢一般需要较长的加热时间。

#### 2) 合理选择钢的原始组织

钢的原始组织对奥氏体晶粒长大有影响，一般情况下，片状珠光体比粒状珠光体容易过热，因为片状碳化物溶解快，转变为奥氏体的速度快，奥氏体形成后，就较早地开始长大，所以，在生产中对于轴承钢、工具钢等要求其原始组织为粒状珠光体，原因之一就是这种组织不易过热。

#### 3) 加入一定量的合金元素

晶粒长大是通过晶界原子的移动来实现的，因此，可以通过加入某些合金元素来限制和推迟晶粒的长大。

其一是加入的合金元素在钢中形成弥散的化合物，如碳化物、氮化物、氧化物等等，这些弥散的化合物对晶界的迁移起到机械阻碍作用，阻碍了晶粒的长大。不过，这些化合物一旦被溶解后，阻碍作用就消失，晶粒将迅速长大，这时晶粒长大的速度甚至比本质粗晶粒钢还大，工件经热加工（轧制、锻造、铸造、焊接等）以后晶粒容易粗大，使其机械性能降低，同时对最终热处理也将带来不利影响，为此，可通过重结晶来细化晶粒，例如对于有粗大晶粒的亚共析钢工件，可以用完全退火（或正火）来细化晶粒。

## 6 钢的加热缺陷（含有轧制加热）及其防止措施

### (1) 欠热、过热及过烧

钢在加热过程中出现的欠热、过热及过烧等缺陷主要是由于炉温仪表不准或失灵，以及装炉方法不当，炉温不均匀等原因造成的。

所谓欠热，即亚共析钢的淬火组织中出现铁素体，从而造成淬火钢的应答不足；对于过共析钢淬火组织中有较多的未溶碳化物。所谓过热，即钢在加热时奥氏体晶粒的粗化，淬火后得到粗大的马氏体，使工件变脆。而过烧则是不仅发生了奥氏体晶粒的剧烈粗化，而且还有晶界的氧化，甚至晶界融化，造成工件报废。

为了防止这些缺陷的产生，应该经常检验测温仪表，并采用正确的加热规范和装炉方法。如果钢件在加热时一旦产生欠热或过热时，可将钢件进行一次退火或正火，然后再重新淬火。

## (2) 氧化、脱碳

氧化，是指钢的表面与加热介质中的氧、氧化性气体、氧化性杂质相互作用形成氧化铁的过程。由于氧化铁皮的形成，将使工件的尺寸减小，表面光洁度降低，还会严重影响淬火时的冷却速度，造成软点或硬度不足。钢的氧化虽然是化学反应，但在钢的表面形成氧化膜后，氧化速度便主要取决于氧和铁原子通过氧化膜的扩散速度。随着温度的升高，原子扩散速度增大，钢的氧化速度便急剧地增大，特别是在 600℃ 以上时，所形成的氧化膜是以 FeO 为主，它是不致密的，氧和铁原子容易通过这一氧化膜而透入内部，是氧化膜越来越厚；而在 600℃ 以下时，氧化膜则由比较致密的 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 所构成，所以氧化的速度比较缓慢。

脱碳，是指钢的表层中的碳被氧化，是表层含碳量降低。加热温度越高，钢的含碳量越高（特别是含有较多的硅、钼及铝等元素时），钢就更容易脱碳，由于碳的扩散速度较快，所以钢的脱碳速度总是大于其氧化速度，在钢的氧化层下面，通常总是存在着一定厚度的脱碳层。由于脱碳是钢的表层含碳量下降，导致工件淬火后表层硬度不足，疲劳强度下降，而且还容易在钢件的表面形成表面裂纹。

为了防止氧化、脱碳，可根据工件的要求和实际情况，采用保护气氛加热、真空加热、以及用表面涂料包装加热等方法；在盐浴中加热时，应建立规范的脱氧制度，定期加入脱氧剂。

## (3) 魏氏组织

在轧制过程中，如果轧制温度过高，随后的冷却过程中在特定的冷却速度下会形成网状魏氏组织。这会明显降低韧性指标。解决办法是通过正火来消除。

### 8.4.3.3 热处理在轧管厂的应用

控轧控冷是上世纪 80 年代以来的新工艺。主要是通过控制轧制温度（多数情况需要结合 V、Nb、Ti 等细化晶粒元素）和轧制后的冷却速度来使得强度韧性指标的提高。在我公司比较典型的品种是 X52~X60 钢级管线管。在生产中，即以加入 V、Nb、Ti 等元素或它们与其它元素的组合来达到强化的目的。

在线常化即在轧制线进行常化（正火）热处理，就是将荒管加热到奥氏体化后经过定径机在大冷床上进行空冷来达到提高强度的目的。轧管厂最为常见的钢级是 N80 I 类、K55 接箍料等以下钢级。目前我公司还在开发在线准淬火的准贝氏体的 P110 钢级套管。

正如在线常化、热装和直接轧制工艺的发展一样，目前在轧制后进行直接淬火+回火等热处理工艺会逐步得到应用，从而大大降低能源消耗。

## 8.5 无损检测

### 前言

钢铁产品是每一个工业化国家最重要的材料，为了保证钢铁产品的质量是相当重要的，随着钢铁企业生产的发展与各式各样无损探伤方法的发展相辅相成。

### 8.5.1 无损探伤概论

#### 8.5.1.1 无损检测的定义

顾名思义，所谓无损检测就是在材料、设备、结构等不被破坏的前提下，利用材料的物理性能随缺陷而改变的特性来检测缺陷是否存在及缺陷的形状、大小、位置以及发展趋势的检测方法（或过程）被称为无损检测。

### 8.5.1.2 缺陷的定义及种类

缺陷是指材料性能在连续性, 纯洁度均匀性方面的不足, 或总称为不连续性。而狭义上的伤是指几何上的不连续性, 是缺陷上的一种, 一般把伤和缺陷混在一起。

材料上的不连续性包括:

- 1 几何上的不连续性: 裂纹、缩孔、针孔、分层、气孔、尺寸公差等;
- 2 物理上的不连续性: 应力集中、组织不均匀等;
- 3 化学上的不连续性: 化学成份的偏析。

钢铁在生产过程中容易产生多种缺陷, 比如在进行压力加工时锻造会产生表面开裂、内裂、直横、脱碳、白点; 轧制过程中会产生尺寸公差、形状不规范, 以及在热处理过程中产生的热处理应力及热处理裂纹等。

### 8.5.1.3 无损探伤方法

目前, 几种常用的缺陷检测方法, 针对表面缺陷有涡流、漏磁、磁粉、渗透和目测等, 可以使用超声、射线等方式进行内部探伤, 最新还有声发射、声全息、远红外、中子射线、核磁共振和电磁超声等多种方式。根据涉及到的物理性能基本可以分成几种, 通过射线照射下的物理性能的方式称为射线检测(简称: RT); 采用弹性波方式的称为超声检测(简称: UT)包括声全息等; 利用钢铁的电磁特性的电磁检测包括磁粉(简称: MT)、涡流(简称: ET)、漏磁(简称: EMI); 利用金属表面特性的渗透检测(简称: PT); 除以上五大常规检测手段外还有利用产品热学性质的热成像、红外线检测……

### 8.5.1.4 无损探伤工序的任务

在生产线上, 采用无损探伤系统能快速准确地实现对产品进行监控、自动检测并进行分类, 以保证合格的成品进入成品库。

### 8.5.1.5 无损探伤人员

#### 1 探伤操作人员必须持有相应探伤方法的资格证书

I级探伤人员必须在II级探伤人员的指导下操作, II级探伤人员具有对操作人员操作设备及各种记录的填写进行审核的权利, 并保证相关技术文件的执行。

#### 2 探伤人员均应通过冶金无损检测人员技术资格鉴定规定考核

(Qualification and Certification Committee for Metallurgical Nondestructive Testing Personnel), 等效于SNT-TC-1A。

#### 3 无损探伤(检测)人员技术资格目前通常包括3个级别

I级—能够按照现有说明书进行调试、检测和评判工作

II级—能够安装和校核仪器, 并能根据规定、标准和技术要求对得到的结果进行解释和评估。必须会写书面说明和检测结果报告。

III级—负责开发新的检测技术、解释标准、以及设计使用新的检测方法和技术。在工艺方面必须有实际工作经验, 并熟悉其它常用的无损检测方法。

根据生产需要, 在预精整区经吹灰后洁净的钢管, 经横移台架和V形辊道送到两套无损探伤装置(NDE)上进行检查, 无损探伤装置采用漏磁探伤原理, 检查钢管纵向内外表面缺陷和横向内外表面缺陷。有缺陷(超过设定要求)的钢管, 分别打上不同颜色的标记。判废的钢管, 拨到探伤后的侧向收集台架上, 有缺陷可修磨的钢管, 进行修磨后测壁厚、复探等工作。无缺陷的钢管, 上入库台架。为了安全快速的进行无损检测, 要求进入探伤设备准备进行检测的钢管应为经过锯切、矫直整理并吹灰后的平头钢管, 要在保证钢管直度的同时

尽可能去除钢管表面的氧化铁皮和钢管内部的灰尘等干扰物质。下面针对漏磁探伤设备进行详细介绍。

## 8.5.2 漏磁探伤

### 8.5.2.1 探伤机组简介

预精整区探伤设备是从美国 TUBOSCOPE 公司引进的漏磁探伤机组，主要包括纵向探伤设备（AMALOG）、横向探伤设备（SONOSCOPE）、夹送辊装置、及集中传动辊道(国内、变频调速)等。采用漏磁探伤原理，检查钢管纵向内外表面缺陷和横向内外表面缺陷。

#### 1 横向探伤设备(SONOSCOPE)

##### 1) 横向探伤设备的基本组成

横向探伤设备主要由导向套、磁化线圈、检测探头、信号传输系统、气动件、横移电机、升降电机及主机平台组成。

##### 2) 横向探伤设备的工作原理及探头布置

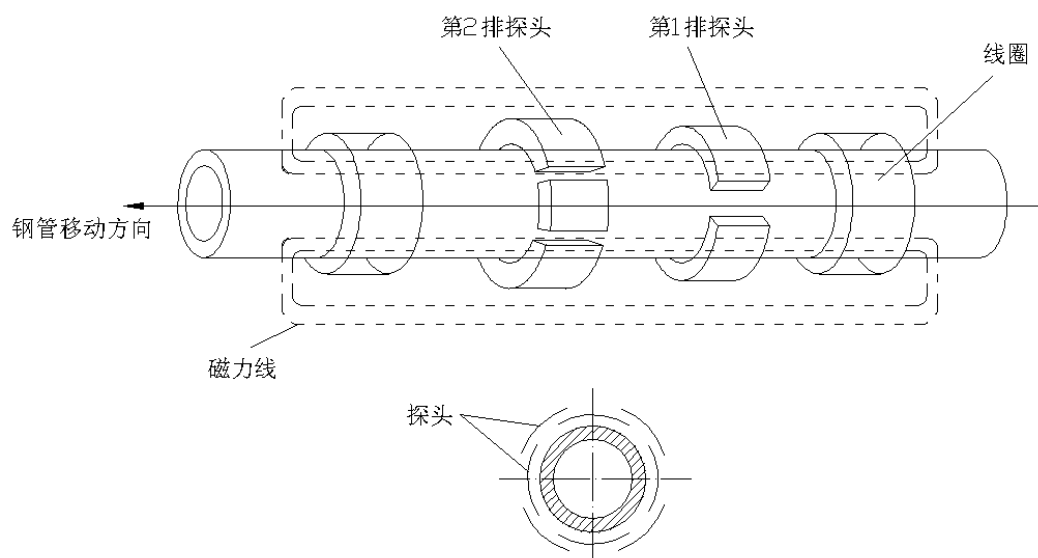


图 8-18 探头布置示意图

如图 8-18 所示，首先要有一个沿钢管纵向轴的磁力线的强磁场。为此需二个（或三个）磁化线圈。探头布置在沿钢管圆周，分 8 个 45 度扇形面积中各设一个探头，共 8 个分两排，与钢管外表面接触。当管端进入时为避免管端碰撞探头，故设有上下可移动的探头悬挂装置（气动）。

各相邻探头有一部分重合，以免漏探。

被检测钢管头尾部各有一段盲区，因为如图 8-18，只有钢管进入两个线圈，才能建立稳定的强磁场，才能进行探伤。

#### 2 纵向探伤设备(AMALOG)

##### 1) 纵向探伤设备的基本组成

纵向探伤设备主要由磁极、磁化线圈、旋转体、滑环、旋转电机、润滑系统、检测探头、信号传输系统、气动件、横移电机、升降电机及主机平台组成。

##### 2) 纵向探伤设备的工作原理及探头布置

如图 7-2 所示，AMALOG 载入稳定的直流电源，设备中产生一恒定磁场，磁力线的方向固定，当铁磁性无缝钢管进入设备中，磁力线在钢管管壁沿周向均匀分布（见图 8-19）。

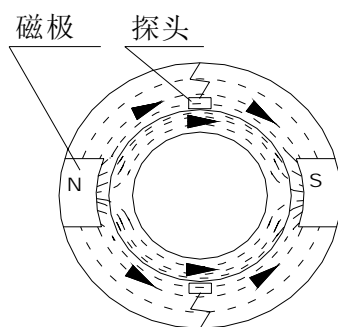


图 8-19 纵向工作原理示意图

如果钢管管体有纵向缺陷会对磁力线的传播造成阻碍，由于磁力线的连续性，磁力线将绕过形成障碍的缺陷在钢管表面形成磁桥。设备的两个探头跟随设备一同绕钢管旋转，每个探头中的线圈平行于钢管表面，一旦有缺陷存在线圈切割磁桥，在线圈中便产生感应电动势。这个感应电动势的大小取决于线圈切割磁桥处的磁通量，即由缺陷的大小决定。外表面缺陷会产生比较尖锐的磁桥而产生较高的感应电动势频率，内表面形成的磁桥还要经过管壁所以在表面处生成的磁桥比较平缓感生出的感应电动势频率较低（见图 8-20）。图中 1：磁场；2：探头；3：缺陷。探头检测出的电信号经过放大和信号处理，根据感应电动势频率的高低可以分辨并确认缺陷是内伤或是外伤然后在显示器上显示出来并可配合声光报警，同时可以转化为模拟数字量打印出来便于操作人员核查。

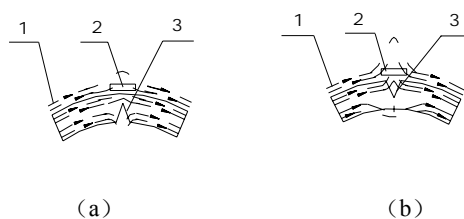


图 8-20 缺陷及磁桥示意图

### 3 设备的工艺性能参数

管径范围	Φ219.0---460.0mm
管子壁厚	5.56-----57.43 mm
钢管长度	6000-----15000 mm
钢管直度	1.5/1000 mm
钢管温度	-15-----80℃
探伤速度	0.8-----2.0m/S
剩余磁场	≤25 GAUSS
喷标标记精度	±50mm
管端盲区	≤230mm
探伤方法	测量漏磁量
材料	铁磁性

#### 8.5.2.2 工艺说明

漏磁探伤技术是根据铁磁性材料外表面或内表面存在缺陷处产生漏磁的原理来检测工

件缺陷。

固定式漏磁探伤装置 (SONOSCOPE) 用来检测钢管的横向缺陷, 旋转式漏磁探伤装置 (AMALOG) 用来检测钢管的纵向缺陷。两套装置安装于同一条传送辊道上, 通过计算机控制来实现连续地、自动地、无破坏地检测铁磁性无缝钢管内、外壁的横向和纵向缺陷, 并根据缺陷的位置和大小 (当量) 喷记不同颜色的标记。

### 8.5.2.3 漏磁探伤原理

#### 1 漏磁探伤的物理基础(EMI)

漏磁探伤技术是根据铁磁性材料表面或内部存在缺陷会使空间磁场分布改变的原理来检测其缺陷的存在。(铁磁性材料或工件磁化后, 在表面和近表面的缺陷处磁力线发生变形, 逸出工件表面形成可检测的漏磁场。)

#### 2 漏磁的产生

把一铁磁性工件置于恒磁场中, 它将被磁化, 若在材料均匀和无缺陷的情况下, 通过工件横截面的磁力线将是均匀分布的。假如在材料中存在缺陷, 例如裂纹, 那么在缺陷处的磁阻将增大, 此时, 磁力线将分成三部分, 其中一部分继续保持原来的路径, 通过缺陷 (尽管磁阻很大); 第二部分则绕过缺陷, 从缺陷以外的其他横截面通过; 而第三部分, 则从材料中逸出进入空气当中, 从空气中绕过缺陷又回到材料中, 这种磁力线逸出材料表面的现象称为“漏磁”。见图 8-21。

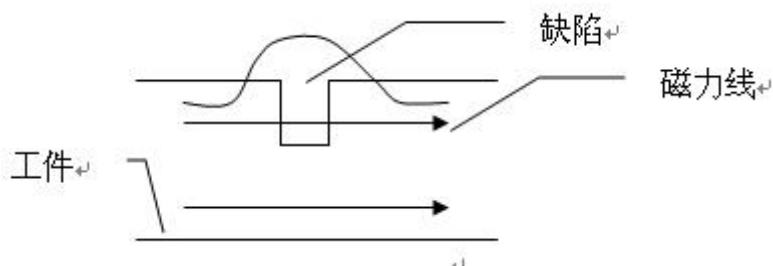


图 8-21

#### 3 漏磁的分量

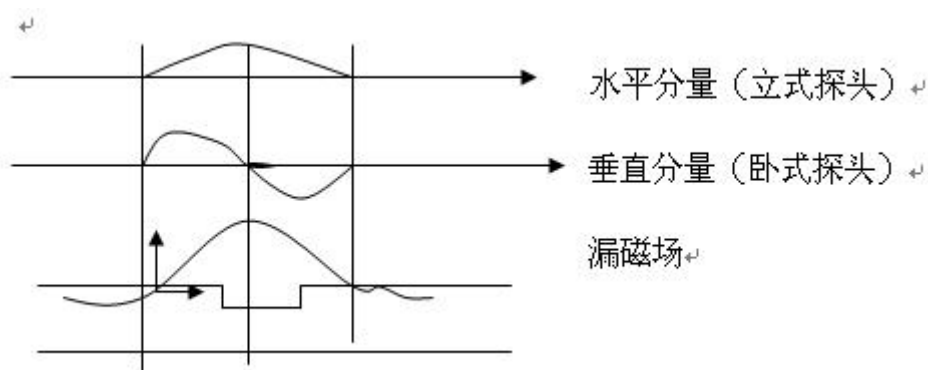


图 8-22

#### 4 影响漏磁探伤 (MFL) 信噪比的因素

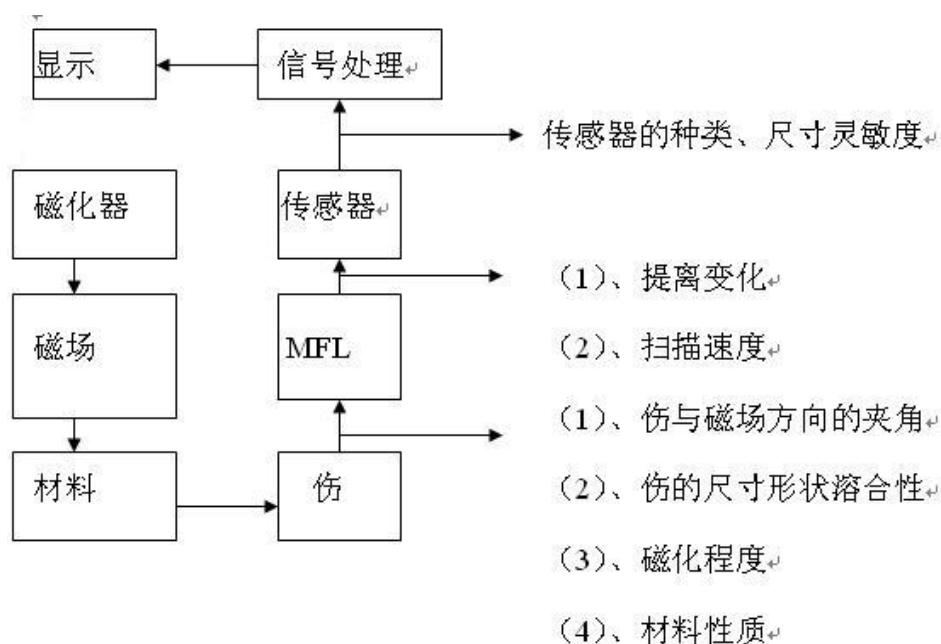


图 8-23

## 5 覆盖率的计算方法

$$V=N*S/60$$

式中：V---辊道的传输速度（M/S）（线速度）

N---主机旋转速度（RPM）

S---螺距

## 6 探头切向速度的计算方法

$$V=D*N*\Pi/60$$

式中：V---探头切向速度（M/S）

N---主机旋转速度（RPM）

D---钢管直径

$\Pi$ ---圆周率

## 7 漏磁探伤方法的局限性

---只对铁磁性材料（材料或其合金）有效

---材料必须被磁化到饱和或接近饱和

---需要大的磁化电流

---为了满足检验条件的要求，固定或旋转磁场的磁路形状常常很复杂

## 8.5.2.4 漏磁探伤设备的调整

## 1 探伤所需样管

校验(或标定)探伤设备所用样管根据 API 或相关标准制作，样管上的人工刻槽缺陷基本可以有三种：N5、N10、N12.5。其中数值代表公称壁厚的百分比，比如 N5 代表公称壁厚的 5%。数值越小即探伤标准越严格。除了按照 API 标准规定对不同的管材进行探伤外，通常根据用户要求选用样管的标准。

为适应国际标准规范的要求，样管材料应该是我厂自己轧制的钢管未经过加工自然合格的铁磁性钢管中挑选出来的，选出来制作样管的材料要详细记录其出处，比如：炉号、钢种、钢级、规格和批号等。经过加工制作好的样管要由具有计量资格的第三方测量合格后出

据合格证书，每根样管都有自己的名称标注出样管的规格和刻槽标准等要素，样管需要定期由第三方检查并剔除人工缺陷超标的样管以保证校验设备的准确性和可信性。

探伤操作人员应精心使用样管，保证样管的使用寿命。操作人员一旦发现样管有异常情况应立即通知有关人员及时补充避免影响正常生产。

## 2 设备参数(系统参数)的调整原则

### 1) 定义

校准--定义：探伤设备在检测钢管产品之前，必须进行校准。校准是标准化的一个准备步骤，它是把检验系统的所有通道予以调整使能对一有机加工`刻痕的参考标准（样管）产生等幅的信号。

对钢管产品的正确检验，校准是最重要的步骤。

对钢管产品的正确检验，校准是最重要的步骤。

标准化（系统灵敏度）--定义：标准化是对已校准的系统的总的灵敏度的调整，使系统能检测在钢管产品中的自然缺陷并按照 API（美国石油学会）（或其他）的规定将它们分等。

参考标准（样管）--定义：用于校准的参考标准为样品长度（从要检验的钢管产品上截下），具有切入表面的精确的机加工刻痕。参考标准应从可供应的最高质量的钢管产品中选择，笔直而且没有缺陷。应为每一种钢管产品的外径、壁厚和等级加工一个参考标准。

这些参考标准的长度取决于在校准过程中它们保持的位置的状态。

每个参考标准均应作出显著的标记。它们的标记和数据均应予以记录在案。

机加工的刻痕—定义：机加工的刻痕是用车床精确地割入参考标准（样管）的壁厚的模拟缺陷。切割的深度在尺寸上制定到一个按钢管产品检验标准预先决定的管壁厚度的百分数。它们为产生用于校准电子装置到预定检测电平的信号提供了已知的输入。

机加工的刻痕必须精确地切削到 API（或其他）的规定并用精密的微米测量仪器核实。

机加工的刻痕应小心保持，使它们能为重复的校准过程产生始终如一的信号输入。来自金属污垢和碎片能在机加工刻痕内堆积，机械撞击可改变其形状或者甚至使机加工刻痕部分的靠拢，连续的传感器接触可产生表面硬化作用破坏机加工刻痕的开口。这些情况中的任何一种都可导致磁通“跨过”刻痕来转向通过，“跨过”只能产生过弱的以致不能可靠地用于校准的信号。

### 2) 系统调整-----用于对机加工刻痕的校准

系统从一参考标准（样管）得到的校准响应取决于线圈增益、频带增益、磁化电流电平（大小）、前置放大器增益控制和滤波器增益等的选择。

#### ① 频带增益的选择（用于对机加工刻痕的校准）

每一频带的总的灵敏度可用调整频带增益予以增大或减小。每一频带可以有它自己的调整了的增益，或者所有三个频带均具有同样的增益电平。

频带增益电平是在探靴中所有线圈在一起的平均增益，并且只能应用于所选频带。

#### ② 前置放大器增益调整（用于对机加工刻痕的校准）

前置放大器增益选择器用于补偿对应于不同的钢管直径和壁厚的刻痕信

号的强度变化。对于恒定的转速，与较小直径的钢管相比，直径较大的钢管产生较快的传感器对钢管表面的速度。较快的传感器对钢管表面的速度与直径较小的钢管的较慢的传感器对钢管表面的速度相比具有较强的刻痕信号。类似的，较薄的管壁与较厚的比较可产生较强的内径刻痕信号。

这样，较大的前置放大器增益选择数对应于产生较弱信号的直径较小或管壁较厚的钢管。相反，较小的前置放大器增益选择数对应于产生较强信号的直径较大或管壁较薄的钢管。

#### ③ 滤波器值的选择（用于对机加工刻痕的校准）

通常，滤波器值的选择用于补偿与不同的钢管直径和壁厚对应的内径刻

痕频率（HZ）变化。对于恒定的转速，与较小直径的钢管相比，直径较大的钢管产生较快的传感器对钢管表面的速度。较快的传感器对钢管表面的速度与直径较小的钢管的较慢的传感器对钢管表面的速度相比较则可产生频率（HZ）较高的内径刻痕信号。类似的，较薄的管壁与较厚的比较可产生频率较高的内径刻痕信号。

这样，较小的滤波器值对应于产生较低频率的内径刻痕信号的直径较小或管壁较厚的钢管。相反，较大的滤波器值对应于产生较高频率的内径刻痕信号的直径较大或管壁较薄的钢管

#### ④ 磁化电流的调整（用于对机加工刻痕的校准）

磁化电流是无法适应所有的钢管产品的。产品中磁化电流的强度依赖于质量（壁厚和直径）和金属成份（等级）。必须为每一种产品等级、壁厚和直径决定一个磁化电流。

太高的磁化电流电平可能会由于过多的表面噪声和/或刻痕的掩蔽而不能识别。太低的磁化电流电平可能会使刻痕信号不能被检测或太弱而不能被应用。

在检验时，贯穿整个金属厚度的缺陷的检验必须只用一个磁化电流，由于内侧（ID）的缺陷与外侧的（OD）缺陷相比离外侧较远，它们的信号相应地比那些在外侧的要弱一些。

因此，内侧的缺陷检测决定要应用的磁化电流。然而，如果此电流过高，有些外侧（外径）检测可能被中断。通常，为检测内侧（内径）缺陷所必须的最低磁化电流将不会导致外侧（外径）缺陷信号的掩蔽。因此，确定磁化电流的一般原则是：应用在内径获得可用的缺陷信号所必须而又不会掩蔽外径缺陷信号的最低磁化电流。

### 3) 系统调整---用于对自然缺陷的标准化

① 被检验的钢管产品应与参考样管具有相同的外径、壁厚及缺陷等级

② 标准化处理的目标是建立对自然缺陷的适当的检测灵敏度（即设备的动态调整）

③ 标准（校准）用的样管上的机加工刻痕为已知形状和位置，而钢管产品内的自然缺陷可以是不同形状并可在钢管壁厚内任何地方发生。同样的，机加工刻痕具有已知的长度、深度和宽度，自然缺陷可有不同的长度、深度和宽度。自然缺陷的取向相对于磁通方向和检测器取向可为不同的相对位置。这样一些条件可能要求对一些系统控制作独特的调整以求对钢管产品内的自然缺陷进行适当的检测。

④ 调整方法：A---频带增益的精确调整（调整增益）

B---缺陷标志系统的动作电平的调整（报废阀门的调整）

对这些参数（控制）的调整不损害系统的校准（即线性）

注意事项：前置放大器增益选择器、滤波器、磁化电流这些参数调整会损害系统的校准（线性）。一旦这些参数发生变化，设备必须进行重新校准。

## 8.5.2.5 漏磁探伤设备的常见故障及处理

### 1 主机小车不能正常进、出

可能原因：1) 主机轨道被异物阻塞

2) 齿轮链条故障

3) 操作台控制 IN/OUT 开关为断开位置

4) 主机接线立柱处的 IN/OUT 断路器为 OFF 位置

5) 横移电机故障

6) 小车底轮轴承损坏

故障处理：1) 清除主机轨道异物

2) 检查齿轮链条是否脱落或断开

3) 将操作台控制 IN/OUT 开关打到相应位置

- 4) 将主机接线立柱处的 IN/OUT 断路器打到 ON 位置
  - 5) 更换或修理横移电机
  - 6) 更换新的小车底轮
- 2 主机小车不能正常升/降
- 可能原因:
- 1) 操作台控制升/降的开关为断开位置
  - 2) 齿轮链条故障
  - 3) 主机接线立柱处的升/降断路器为 OFF 位置
  - 4) 升降电机故障
- 故障处理:
- 1) 将操作台控制升/降开关打到相应位置
  - 2) 检查齿轮链条是否脱落或断开
  - 3) 将主机接线立柱处的升/降断路器打到 ON 位置
  - 4) 更换或修理升降电机
- 3 夹送辊故障
- 故障现象:
- 1) 自动过管时, 夹送辊位置过低, 钢管撞击夹送辊。
  - 2) 在自动控制下, 显示值在夹管时高于管外径。
  - 3) 在自动控制下, 显示值在夹管时和实际值相差不合理, 由手动打自动后, 自动位有变化。
  - 4) 在自动控制下, 显示值为异常。
- 故障原因和解决方法:
- 1) 1 和 2 为连轴器松动, 紧固即可。
  - 2) 手动调连轴器, 显示值跃变时为编码器坏, 若是编码器坏了更换即可。
  - 3) 线断或编码器坏, 更换线或编码器即可。
- 4 励磁电源故障
- 故障现象:
- 1) AMALOG、SONSCOPE, 24V 电源前面板得电指示灯显示无电。
  - 2) 指示有电, 电流表指示为 0, 电压表有显示, 24V 亦同。
  - 3) 一上电就跳或无法正常工作 (在电流限幅最小, 电压限幅最大时)
- 故障处理:
- 1) 柜后保险烧, 同时调电压限幅到一半, 24VDC 原因较多。
  - 2) 柜后保险烧, AMALOG 烧: 查线圈电阻, 滑环和碳刷脏造成, 清理滑环和刷握。
  - 3) 在检查滑环正常的情况下, 更换电源。
- 5 编码器故障
- 故障现象:
- 1) 自动过管时, 夹送辊位置过低, 钢管撞击夹送辊。
  - 2) 在自动控制下, 显示值在夹管时高于管外径。
  - 3) 在自动控制下, 显示值在夹管时和实际值相差不合理, 由手动打自动后, 自动位有变化。
  - 4) 在自动控制下, 显示值异常。
- 故障原因:
- 1) 为连轴器松动。
  - 2) 为连轴器松动。
  - 3) 手动调连轴器, 显示跃变时为编码器坏。
  - 4) 线断或编码器坏。
- 6 计算机死机
- 由于 NDT 设备计算机系统较为复杂, 极易在通讯和交流数据时造成死机。
- 处理方法:
- 1) 操作和点击窗口的速度必须控制, 尤其是调节参数时必须注意连续动作的间隔时间。

2) 打开窗口操作设备时,原则上不允许同时打开两个或两个以上窗口,退出一个窗口,再进另一个操作窗口进行操作。

3) 系统死机:

现象:夹送辊动作不正常,自动不喷标,报警窗口不正常(探头起落不正常——这种情况很少见)。

建议处理方法:重新导入系统配置文件,然后重新输入该输入的参数。

#### 7 SON 探头不动作

可能原因:1) 无压缩空气

2) 气动件损坏

3) 主机处电气信号与气动件连接处的航空插头脱落

故障处理:1) 恢复压缩空气供给

2) 更换损坏的气动件

3) 将航空插头插上并拧紧

#### 8 探伤误报

可能原因:1) 死机

2) 探头损坏

3) 航空插头脏或松动、滑环脏

4) 相关滤波板损坏

故障处理:1) 关断所有电源,冷启计算机系统

2) 更换损坏探头

3) 清理航空插头并拧紧、清理滑环

4) 更换相关损坏的滤波板

### 8.5.3 涡流(ET)检测

#### 8.5.3.1 涡流检测原理

在涡流检测中,试件在检测线圈交变磁场作用下,感生出涡流。试件参数及试件和线圈相对位置等发生变化时就引起涡流幅度和相位变化,而涡流的变化又会引起检测线圈阻抗(感应电压)的变化。涡流检测试验正是根据线圈阻抗的变化间接地判断试件的质量情况。

如果金属导体置于变化的磁场中,金属导体内也要产生感应电流,当线圈中有交变电流时,金属导体内的磁通量发生变化,金属导体可看成是由很多圆筒状薄壳组成。由于穿过薄壳回路的磁通量在改变着,因而沿这回路就有感应电流产生,这种电流的流线在金属导体内自行闭合呈旋涡状,所以称之为涡电流,简称涡流。

在电磁感应现象中,闭合回路中出现感应电流,说明回路中的电荷受到电力的作用,可见,磁场的变化在回路中激发了电场,通常称为感生电场(或涡流电场)所以说,电磁感应就是变化的磁场产生电场的现象。

#### 8.5.3.2 涡流的趋肤效应

处于变化磁场中的导体在磁场作用下,导体中会形成涡流而涡流产生的焦耳又使电磁场的能量不断损耗,因此在导体内部的磁场是逐渐衰减的,表面磁场强度大于深层的磁场强度。又涡流是由磁场感应产生的,所以在导体内磁场的这种递减性自然导向涡流递减性。我们把这种电流随着深度的增加而衰减,明显地集中于导体表面的现象称为趋肤效应。

我们知道,涡流是由磁场感应产生的,既然导体的磁场呈衰减分布,可以料想,涡流分布也不会均匀。

导体内的磁场强度和涡流密度呈指数衰减，衰减的快慢取决于导体的  $\mu$ 、 $\sigma$  及交变磁场的  $f$ 。

为了说明趋肤效应的程度，我们规定磁场强度和涡流密度的幅度降至表面值的  $1/e$ （约为 37%）处的深度，称作渗透深度，用字母  $\delta$  表示：

$$\delta = 1/\sqrt{\pi\mu\sigma f}$$

工程上经常采用的渗透深度公式是：

$$\delta = \sqrt{\frac{5.033}{\mu r \sigma f}} \quad (1)$$

式中： $\mu r$ —相对磁导率，无量纲

$\sigma$ —电导率 单位：1/微欧姆·厘米（ $1/\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ）

$f$ —频率 单位：赫兹（Hz）

$\delta$ —渗透深度 单位：厘米（cm）

结论：导体内的磁场和涡流衰减很快，在渗透深度处磁场强度和涡流密度只有导体表面的  $1/e$ （约 37%），幅值较大的磁场和涡流都集中在导体的渗透深度范围以内。导体渗透深度以下分布的磁场强度和涡流密度均较小，但并非没有磁场和涡流存在。渗透深度是一个很重要的参数。

在涡流检测中，缺陷的检出灵敏度与缺陷处的涡流密度有关。导体表面涡流密度最大，具有较高的检出灵敏度；深度超过渗透深度，涡流密度衰减至很小，检出灵敏度就较低。根据公式可知，只要降低频率，就能获得较大的渗透深度。

相位滞后是描述导体内磁场和涡流的另一个重要物理量。

$$\theta = -\sqrt{\pi\mu\sigma f} x \quad (2)$$

式中： $\theta$  的单位是弧度（rad） 又： $\delta = 1/\sqrt{\pi\mu\sigma f}$

所以（2）式还可写成：

$$\theta = -\frac{x}{\delta} \quad (3)$$

当  $x$  等于渗透深度  $\delta$  时，相位滞后量为 1 个弧度或  $57.3^\circ$ ，也就是说，在渗透深度处的磁场和涡流的相位，比表面处的磁场和涡流的相位落  $57.3^\circ$ 。需要注意的是，这里的相位滞后不应与交流电路中电压和电流的相位差概念混淆。事实上，导体中的感应电压和感应电流随着深度的变化都存在相位滞后现象。

相位滞后在涡流检测信号分析中起着重要作用。在涡流探伤中，由于不同深度位置的缺陷处的涡流存在着相位滞后，故而这些涡流在检测线圈中感应的缺陷信号就会产生相位上的差。根据信号相位与缺陷位置之间的对应关系，我们可对缺陷的位置进行判定。

### 8.5.3.3 线圈阻抗的变化

#### 1 影响线圈阻抗的因素

##### 1) 与线圈自身有关的因素

线圈的形状、尺寸、匝数、层数、有无铁磁芯以及线圈的绕法等。一般用线圈的半径  $R$ 、长度  $L$ 、匝数  $N$  和自感  $L_0$  等来表示线圈阻抗的大小。

##### 2) 与试件有关的因素

试件的电导率  $\sigma$ 、磁导率  $\mu r$ ；试件的形状和尺寸，如圆棒的直径、管子的内外径和壁厚等。

##### 3) 与线圈和试件间相对位置有关的因素

线圈和试件间的距离（提离）、填充系数、偏心度、振动、端部以及线圈相对试件的运动速度等。以上诸因素引起的阻抗的变化分别称为提离效应、振动噪声、端头效应和速度效应等。

## 4) 缺陷

主要指不连续性缺陷,包括缺陷的尺寸(如缺陷的深度、宽度、长度)、形状、位置和取向(如倾角)等。

## 5) 与检测条件有关的因素

主要是检测频率。

铁磁性材料和非铁磁性材料对线圈的阻抗变化不同。即便同是非铁磁材料的电导率 $\sigma$ 发生变化,若改变工作频率,阻抗变化的幅度和相位情况是不同的。

频率能使各影响因素的阻抗变化特性发生改变的这种性质,对识别检测因素、抑制噪声最十分重要的。

## 2 各种因素引起的线圈阻抗变化

## 1) 电导率的变化

## 2) 试件尺寸变化

## 3) 磁导率变化、偏心程度

## 4) 提离变化、填充系数的变化

## 8.5.3.4 线圈阻抗的模型试验

试验结果:对于两个不同的试验物体,假若各自对应的填充系数 $\eta$ 和频率比 $f/f_g$ 相同,则所引起的线圈阻抗相同。这一结论称为线圈阻抗的相似定律。

$$D_1 = D_2 \quad \text{和} \quad f_1 \mu_1 \sigma_1 d_1 = f_2 \mu_2 \sigma_2 d_2 \quad (4)$$

式中的脚标分别代表与被检物体1和2相对应的条件和物理性质。

作用:为模型试验的合理性提供了理论依据。例如:在检测线材和小直径管材时,裂纹对线圈阻抗变化的影响,便可以用截面放大的带有人工缺陷的模型实验来获得。

## 8.5.3.5 涡流探伤装置及作用

检测线圈——在试件中感生涡流并测量出带有试件质量信息的涡流信号。

涡流探伤仪——从测量到的带有众多信息的信号中识别出伤的存在。

辅助装置——完成包括对工件进行饱和磁化,记录检测结果,传送被检测工件。

## 1 检测线圈

检测线圈有两个功能:

一是激励功能,建立一个能在试件中感生出涡流的交变磁场。

二是测量功能,测量出带有试件质量信息的涡流磁场的变化。

## 1) 检测线圈的分类

① 按适用方式分:穿过线圈、内插式线圈、探头式线圈(点探头)、马鞍式线圈

② 按用途分:

绝对式线圈——测量绕组只采用一个绕组进行工作。

自比较式线圈——测量绕组采用两个相距很近的相同绕组进行工作。

标准比较式线圈(他比式)——测量绕组采用两个相同的绕组进行工作,一个放在被测试件上,一个放在标准试件样上。

③ 按检出方式分:

自感式线圈——激励绕组和测量绕组共用同一个绕组。

互感式线圈——激励绕组和测量绕组是两个分立的绕组。

## 2) 检测线圈的一般特点

影响检测线圈检测效果的有以下几个方面：

- ① 检测线圈磁场的分布；
- ② 检测线圈的电感和感抗；
- ③ 检测线圈的提高效应和填充系数；
- ④ 检测线圈对各种缺陷和各种材料性能变化的响应。

## 2 涡流探伤仪

### 1) 工作原理：

信号发生电路产生交变电流供给检测线圈，线圈的交变磁场在工件中感生涡流，涡流受到试件材质或缺陷的影响反过来使线圈阻抗发生变化，通过信号处理电路，消除阻抗变化中的干扰因素而鉴别出缺陷效应，最后显示出探伤结果。

仪器应该具备三个基本功能：

- ① 产生交变信号；
- ② 识别缺陷因素；
- ③ 指示探伤结果。不论涡流探伤仪的组成方式如何，均应具备以上功能。

### 2) 涡流探伤仪原理框图：

信号发生电路→检测线圈→放大电路→信号处理电路→指示电路

### 3) 涡流探伤仪的信号处理方法：包括相位分析法、调制分析法、幅度分析法等。

- ① 相位分析法——是在交流载波状态下，利用伤的信号和噪声信号相位的不同来抑制干扰和检出缺陷的方法。
- ② 调制分析法——是利用伤信号与噪声信号调制频率的不同来抑制干扰和检出缺陷的方法。
- ③ 幅度分析方法——是利用伤信号与噪声信号幅度上的差异来抑制干扰和检出缺陷的方法。

#### 8.5.3.6 探伤中各参数的设定和调整

在完成探伤的技术准备工作之后和开始正式的涡流探伤之前，需要调节仪器和设备，选定如下技术参数：

- 检测频率；
- 激励电流；
- 灵敏度；
- 相位；
- 滤波方式和滤波器档位；
- 报警方式和报警电平；
- 探伤速度；
- 磁饱和电流强度；
- 标记的延迟时间。

### 1 检测频率的选择

一般依据下列因素进行选择：

#### (1) 涡流渗透深度和检测灵敏度

由于趋肤效应，导体中的涡流趋于导体表面流动。涡流在导体中的渗透深度由公式  $\delta = 1/\sqrt{\pi\mu\sigma f}$  决定。渗透深度是随频率的提高而减小的。在选择检测频率时，应兼顾考虑涡流渗透深度和检测灵敏度两个因素，即在综合考虑涡流分布及所需检出缺陷的大小和位置之后

再行选定检测频率。

## (2) 检出缺陷的阻抗特性

根据缺陷对线圈阻抗的影响选择频率，其方法分为两种：

- 1) 选择缺陷产生最大阻抗变化时的频率：从提高灵敏度考虑，对于较深的裂纹选择  $f/f_g=15$  较好，而对于较浅的裂纹选择  $f/f_g=50$  为佳。所以在这种情况下，探伤频率应在  $f/f_g=15\sim 50$  范围内选取。

频率越高，内部缺陷引起阻抗变化越小，也即检测能力越低。这时的探伤频率应该在  $f/f_g=4\sim 20$  的范围内选取。如果需要兼顾表面裂纹和皮下裂纹的检测，则检测频率应选取在  $f/f_g=5\sim 10$  附近。

$$\text{对于薄壁管: } f_g = \frac{50.66}{\mu_r \sigma d_o} W \quad (5)$$

$$\text{对于厚壁管: } f_g = \mu_r \sigma d_o^2 \quad (6)$$

式中： $f_g$  是工件特征频率，单位是赫兹（Hz）；

$\mu_r$  是工件的相对磁导率，为一无单位的纯数；

$\sigma$  是工件的电导率，单位是  $1/\text{微欧} \cdot \text{厘米}$  ( $\mu \Omega \cdot \text{cm}$ )；

$d_o$  是管材外径，单位是厘米（cm）；

$d_i$  是管材的内径，单位是厘米（cm）；

$w$  是管材壁厚，单位是厘米（cm）；

- 2) 选取缺陷与干扰所引起的阻抗变化之间有最大相位差时的频率：涡流探伤仪可以利用相敏检波技术将与缺陷信号相位不同的干扰信号抑制掉。并且，缺陷信号与干扰之间的相位差异越大（接近  $90^\circ$ ），检波后的信噪比就越高。而缺陷信号和干扰信号的相位都与激励频率有关，所以应选择激励频率使缺陷与干扰在相位上最易分离。

## 2 激励电流的选择

有些仪器的激励电流设置为可调方式，可根据探伤灵敏度要求、工件大小、填充系数和提离间隙等适当选择激励电流。一般来说，增加激励电流可以增大灵敏度。

## 3 灵敏度的确定

在涡流探伤中，灵敏度以能够检出的最小缺陷尺寸表示。在不考虑信噪比的情况下，影响探伤灵敏度的直接因素是仪器的放大倍数。

探伤时灵敏度的调整是用带有标准人工伤的对比试样作为参考基准的。在用对比试样调整、设定灵敏度时，应采用与实际探伤相同的激励频率、激励电流、磁饱和电流、工件传输速度等。如果仪器有相位和滤波调节功能，也应将它们事先设定好，因为各种检测信号是随着检波和滤波处理的不同而变化的。所以，灵敏度的最后设定应在其他检测条件和参数设定、调节完成之后进行。

灵敏度的确定与检测要求及所使用的仪器有关。习惯上是根据检测缺陷的大小，将与之相应的当量人工缺陷的信号指示调到显示器满刻度的 50% 左右的位置上，这样既在信号显示和灵敏度调节量上留有余量，又能保证读数的精确性。

## 4 相位的设定

这里的相位，是指仪器进行相敏检波的移相器的相位角。

检波相位的设定，通常是在适当的灵敏度下，采用对比试样反复地改变相位角进行试验。相位的选择应以能够最有效地检出对比试样上的人工缺陷为好。现代涡流探伤仪器都具有矢量光点显示，可以很快找到最佳相位。

相位的选择应依据如下几点来进行：

- 1) 选取缺陷信号在信噪比最大时的相位  
选择适当的检波相位可以使试件传输中因振动产生的噪声信号降低。
- 2) 选取能够区分并检出缺陷种类和位置时的相位  
检波相位选择还需要兼顾不同种类和不同位置缺陷的区分效果，比如在对管材探伤时，内外表面缺陷位置的区分。
- 3) 利用多扇区报警进行相位区分  
目前计算机化的涡流探伤仪器均带有扇区报警功能。它是将整个阻抗平面(即显示屏幕)按相位分为几个扇形区域并使只在符合某些特殊指定的相位角范围中的信号才能报警，而在其他相位时，信号再大也不会报警。

## 5 滤波方式的选择和滤波器档位的设定

一般来说，来自环境的电磁干扰（如电焊机和行车等）是高频成分，而由工件材质和尺寸变化以及工件传输中的振动产生的噪声是低频成分，它们都与缺陷信号的频率不同，应该可以通过滤波加以区分，但是，由于工件探伤中的传输速度不同，引起的伤信号频率也不相同。对于标准人工缺陷，由于工件探伤中的传输速度不同，引起的伤信号频率也不相同。对于标准人工缺陷，其信号调制频率  $f_s$  可用下面的公式来估算：

$$1) \text{ 穿过式线圈 } \frac{v}{f_s = d + b} \quad (7)$$

式中： $v$  是检测速度（mm/s）；

$b$  是穿过式线圈中两差动测量组的间距（mm）；

$d$  是钢管上通孔的直径（mm）。

$$2) \text{ 旋转点探头 } \frac{n}{f_s = 60} \cdot \frac{\pi D}{d_m + l} \quad (8)$$

式中： $n$  是点探头的转速（r/min）；

$D$  是被检管棒材的外径（mm）；

$d_m$  是点探头的直径（mm）；

$l$  是管棒上轴向槽伤的宽度（mm）。

选择滤波方式和设定滤波器档位，是在一定速度下使用对比试样进行研究的校准试验中，使人工缺陷的信号达到最大信噪比。

有些涡流仪同时具有高、低、带通三种滤波方式。对于这种滤波功能较全的仪器，首先应确定使用哪种滤波方式。一般来说，低通滤波适用于静态和速度较慢的动态探伤，如手工探伤；带通滤波适用于速度恒定或速度波动不大的动态探伤，冶金行业中的在线和离线自动化探伤大多使用带通滤波方式；高通滤波适用于速度较快且速度波动较大的动态探伤，如高速线材的在线探伤。

## 6 报警电平的设定

报警电平是衡量检测信号幅值大小的门限。一般门限值的高低可以调节，以适应不同的被检对象、不同探伤方法和不同探伤标准的需求。检测信号经过仪器的各种信号处理之后，将其幅度与报警电平相比较，如果超过预设的电平后，信号就会触发仪器报警装置，发出音响、灯光。所以报警电平相当于一把尺子，它的设定起着判别缺陷大小的作用，影响着被检工件探伤合格率的高低。

## 7 探伤速度的确定

探伤速度要根据生产工艺和探伤工艺来确定。一般来说，大批量金属材料 and 产品的涡流

探伤有两种方式，是“在线”探伤，即在生产流水线上对产品直接进行探伤，产品生产出来了，探伤也已完成；另一种是“离线”探伤，即对离开生产流水线的成品进行探伤。从原理上讲，涡流探伤对速度没有严格的限制，有时可以达到很高的速度。但是速度增高时，工件传输中的振动往往较大，处理不好会带来较大噪声，使信噪比降低，影响探伤的可靠性。这是我们需要加以注意的。

在进行自动探伤时，如果检测速度达到每秒钟数米以上时，还应考虑到对检测灵敏度的影响。

## 8 磁饱和和电流的设定

磁饱和和线圈中通入的直流电流强度，需根据被探工件的材质、形状及大小来设定。一般来说，要使金属材料完全达到磁饱和状态，所需要的磁场强度是非常强的。而在涡流探伤中，不一定需要材料达到深度饱和状态，只要所施加磁场能够使材料中的磁导率达到均匀即可。深度饱和往往会使检测灵敏度降低，这是我们需要避免的。由此可见，磁饱和和电流的设定原则是它产生的直流磁化场强度能有效克服磁噪声对涡流探伤的影响。涡流探伤中的磁饱和和装置是一种习惯叫法，也许称其为磁化装置更为贴切。

对于设备各参数的设定，除了上面已讲述的内容之外，还有几点需要注意。

第一，因为设定各参数的目的是为了在探伤中获得尽量高的信噪比，以确保探伤的可靠性，所以各参数的设定需相互协调。因为各参数并非孤立地影响着检测效果，它们之间存在着内在联系。例如在经过相位设定达到良好信噪比后，如果改变检测频率，我们会发现信号的相位随着发生变化，要想达到最佳信噪比还需重新调节相位。可见，在参数设定时应反复调整，才能达到最佳状态。

第二，探伤信噪比往往是相对于校准人工缺陷而言，所以在设定仪器和设备参数的同时，还需要经常核查一下标准人工缺陷是否准确。比如原来使用某对比试样设定各种参数之后探伤效果较好，而后来用同一试样和相同参数，探伤效果发生了改变。这时就需要考虑对比试样和标准人工缺陷是否有磨损和损坏，造成了信号变化和背景噪声变大，信噪比变差。

第三，即使在各参数调整设定完毕之后，仪器设备已经正常应用于实际探伤，也应经常检查仪器设备是否正常。比如每隔一定时间（2小时或4小时），用对比试样校验一次。如果发现异常，对已探过的工件，应在异常排除之后重新进行探伤。

第四，每次探伤结束时，也应利用对比试样对仪器设备状态进行校验，如果发现异常，应待正常后对已探过的工件进行重探。

### 8.5.3.7 天津钢管集团有限公司 168 厂涡流探伤装置简介

（Flawmark—Ec）系统包括以下几个主要部分：

- ◆ Flawmark—Ec 电器柜
- ◆ 磁饱和电源
- ◆ 磁饱和线圈
- ◆ 退磁单元
- ◆ 探头
- ◆ 夹紧辊装置
- ◆ 喷标系统
- ◆ 旋转编码器
- ◆ 光电管

## 1 Flawmark—电器柜

### 1) Flawmark—Ec 主单元

这是此设备的主要电器控制部分,所有其他外部单元都与它相连接并且系统控制件也在其中(在主单元中)。同时装有信号处理电路,可与另一台计算机进行标准通讯的 RS232C 系列界面,如果需要其中的并行接口还可安装惠普公司的喷墨打印机。

### 2) 打印单元

打印单元是一个推拉式的结构,内部有一个喷墨数据打印机,是一个与 PLC 系统兼容的并行接口打印机。

3) 多行装置在打印单元推拉装置前部,配置有蘑菇形急停开关,在紧急情况下该急停开关可以立即关闭多个系统。

4) 稳压器: 电器检测系统的稳定性依赖于几个因素,其中最重要的两个是周围磁场与电器环境。为使系统有一个稳定正常的电源供给进而延长电子单元的寿命,在系统主电器控制部分的底部安装有分离变压器。

## 2 磁饱和和电源

用涡流检测铁磁管材料时,要先进行磁饱和以消除磁导率变化造成的影响,这样可提高信噪比。磁饱和和电源内部安装有涡流探头。磁饱和和线圈内供给直流电。

在磁饱和和线圈上有个两档的开关控制磁饱和强度。

1) 加强用于需要强磁化材料

2) 一般用于其他较好材料

## 3 磁饱和和线圈

用涡流检测铁磁管材料需要使其磁饱和和磁化,当铁磁性钢管通过探头时直流磁场,使其饱和和磁化,直流电源来源于磁饱和和电源,探头置于磁饱和和线圈内。磁饱和和单元使钢管在一个待定方向产生了极性,在这套设备中只有两档:一般/加强来设置。

## 4 退磁线圈

被磁化的钢管需要再进行退磁以消除剩余磁场,退磁线圈就可以完成这个任务,一般退磁线圈置于离探头一定距离的位置上,退磁线圈来自于控制面板。

退磁单元分为直流退磁与交流退磁两个部分,直流退磁电源范围 0~30V,交流退磁电源要求 230V。

## 5 探头

探头是探伤工作的最重要的部分,探头是一个缠绕的检测线圈,采用穿过式,即探头静止钢管直线前进。铁磁管材料,检测线圈置于磁饱和和线圈内,如果检测非铁磁管材料,不需要磁饱和和线圈,探头通过一导线连接至电器单元。

## 6 夹送辊装置

V 形辊位置可根据钢管尺寸进行上下调整它有以下几个作用:

1) 使钢管平稳地进入主机

2) 使钢管不偏离传动系统中心线

3) 传送钢管

底部 V 形辊与上部压辊使钢管稳定地通过探头,很明显,当底部 V 形辊转到一定时,

钢管前进的线速度取决于钢管外径。

## 7 喷标系统

在系统中有三个喷标器，一个用于标记报废钢管，一个用于标记可挽救钢管，另外一个喷标器用于标记合格钢管。三个喷标器置于离探头一定距离的位置上由 Flawmark—Ec 主单元通过相应的继电器触发。工作时示系统在缺陷的圆周位置上喷标，但不能区分缺陷在圆周上的位置。

## 8 旋转编码器

负责向系统提供关于钢管从探头中传输的速度系统，所有延时可用距离单位代替而非时间单位，旋转编码器安装于系统的一个底部 V 形辊上，并通过导线连接至电器单元。

## 9 光电管

光电管工作电压 10~30V Dc 在磁阻和线圈两侧各有一个光电管，它们用来检测在探头中的钢管位置。

### 补充 1: 磁饱和和线圈装置升降/移动

因为探头包含在磁饱和装置内，所以磁饱和的升降/移动也就是探头的升降/移动。

磁饱和装置水平、上下移动无均靠旋转丝杠机械结构，粗调用旋转电机控制，可通过按下相应按钮，细调用手转控制进给时极小，以适于细调。

### 补充 2: 上部压辊调整垫

根据钢管外径不同，靠旋转电机调整上部压辊初始位置，可上下移动，初始位置调整后，上部压轮压力大小可通过手轮调整，通过压缩弹簧可加大压力。

## 测试题

### 一 填空题

- 1 如果以  $d$  表示试样直径， $D$  表示测量线圈平均直径，则填充系数  $\eta = (d/D)^2$  。
- 2 穿过式线圈适用于（管、棒、线材）的探伤。
- 3 磁场强度保持不变，试验  $f$  增加，则表面涡流密度（增大）。
- 4 法拉弟电磁感应定律公式： $\varepsilon = -d\Phi/dt$  的  $d\Phi/dt$  表示（磁通量随时间的变化率）。
- 5 涡流探伤信号处理方法有：（相位分析、调制分析、振幅分析）。
- 6 涡流检验线圈按应用分为（穿过式线圈、内插式线圈和探头式线圈）三种。

### 二 判断题

- 1 利用涡流检测方法进行检测，不仅应具有涡流仪器和探头，而且被检测试件必须具备能导电的性能。（√）
- 2 涡流检测与超声检测一样，都需要耦合剂。（×）
- 3 减少尺寸逐渐变化产生的显示，而保留缺陷产生的显示，其方法是在涡流检测仪器中加一个低通滤波器。（×）
- 4 涡流的渗透深度与材料的电导率、磁导率以及激励频率有关。（√）
- 5 涡流检测与超声检测一样，都需要耦合剂。（×）
- 6 磁化电流去掉后，试件上保留的磁感应强度称为矫顽力。（×）
- 7 由于受趋肤效应影响，涡流检测仪能用于检测材料表面的某些物理性能。（×）

- 8 试验线圈的感抗是阻抗的重要分量之一，它取决于频率和线圈电感。 (√)
- 9 涡流是在导体中用交变磁场方式感应出来的环电流。 (√)
- 10 涡流检测是根据检测线圈的阻抗变化来检测试件的材质变化。 (√)
- 11 涡流检测不适用于导电材料的表面和近表面检测。 (×)
- 12 高通滤波器可以抑制不希望有的高频谐波。 (×)
- 13 由试件尺寸或材质的变化所产生的显示，一般都是高频成分。 (×)

### 三 选择题

- 1 下列哪种材料最适用于制造探头线圈支架？ ( B )  
A. 铝 B. 玻璃纤维 C. 铜 D. 钢
- 2 下面哪种装置可用来抑制不必要的高频谐波？ ( A、E )  
A. 低通滤波器 B. 振荡器 C. 相位鉴别器  
D. 高通滤波器 E. 高频滤波器 F. 低频滤波器
- 3 将一根棒材放在一个围绕式线圈中时，什么位置的涡流密度最大？ ( A )  
A. 表面上 B. 中心 C. 表面和中心之间的中点 D. 以上都不是
- 5 用来描述在非常高的频率下涡流仅限于导体极薄外层流动的现象的术语是： ( A )  
A. 趋肤效应 B. 高频滤波 C. 低频滤波 D. 以上任一个
- 6 用试验信号中产生的相位角不同来鉴别零件中变量的技术叫做： ( D )  
A. 相位失真 B. 相移 C. 相位鉴别 D. 相位分析
- 7 如果一种材料的界限频率为 125HZ，给出  $f/f_g$  比为 10 时所需要的试验频率为： ( C )  
A. 1.25HZ B. 12.5HZ C. 1.25KHZ D. 12.5KHZ
- 9 试验线圈的阻抗通常可用哪两个量的矢量和表示？ ( A )  
A. 感抗和电阻 B. 容抗和电阻 C. 感抗和容抗 D. 电感和电容
- 10 下面哪一种线圈可消除或减少沿丝材长度逐渐发生的直径、化学成分、硬度等少量变化造成的影响？ ( B )  
A. 外部参考差动式线圈 B. 自比差动式线圈  
C. 单绝对线圈 D. 双绝对线圈
- 11 用一个围绕线圈检验管材时，内、外壁相同缺陷的输出信号的相位关系是： ( B )  
A. 信号相同 B. 外壁缺陷的相位比内壁缺陷的相位超前  
C. 内壁缺陷的相位比外壁缺陷的相位超前 D. 不定
- 12 为了对纵向裂纹进行检测应优先选用下列哪种探头？ ( B )  
A. 穿过式线圈 B. 点式旋转线圈 C. 扇形线圈 D. 内插式线圈
- 13 将直径为 13mm 的棒材插入一个直径为 25mm 的线圈内，其填充系数为： ( D )  
A. 50% B. 75% C. 100% D. 27%
- 14 从原理上讲，下列哪种材料不能使用涡流探伤？ ( B )  
A. 不锈钢 B. 玻璃钢 C. 高碳钢 D. 低碳钢

### 四 问答计算题

- 1 用穿过式线圈对同一缺陷进行 ET，当扫查速度为 20m/min 时，该缺陷的调制频率为 40HZ，当速度提至 45m/min 时，其它条件不变，调制频率为多少 HZ？
- 2 为了确保涡流探伤灵敏度。一般要求一个缺陷的调制波内包含 10 个以上的激励正弦波。在激励频率为 4KHZ 的情况下，为了使工件上  $\Phi 2\text{mm}$  的通孔得到好的灵敏度，则探伤速度最高不应超过多少？已知检测线圈中两测量绕组的间距为 2mm。
- 3 用直径为 62 mm 的穿过式线圈探伤内径为 50 mm，壁厚为 4 mm 的铝管，试计算其填充系数

为多少。(87.5%)

- 4 钢管自动涡流探伤系统综合性能测试方法执行什么标准,其测试项目和合格判据各为什么?

答: YB/T4083-2000

周向灵敏度差 $\leq 3\text{dB}$ ,对于外径 $\geq 100\text{mm}$ 的钢管不得大于 $4\text{dB}$ ;

信噪比 $\geq 10\text{dB}$ ,对于外径 $\geq 100\text{mm}$ 以上的钢管不小于 $8\text{dB}$ ;

漏报率 $\leq 1\%$

误报率 $\leq 3\%$

管端不可探区 $\leq 200\text{mm}$ 。

- 5 简述 ET 原理。

答: 涡流检测是以电磁感应原理为基础的。即检测线圈通以交变电流,线圈内交变电流的流动将在线圈周围产生一个交变磁场,这种磁场称为“原磁场”。把一导体置于磁场中时,在导体内将产生感应电流,这种电流叫做涡流。导体中的电特性(如电阻、磁导率等)变化时,将引起涡流的变化。利用涡流的变化检测工件中的不连续性的方法称为涡流检测原理。

## 8.5.4 磁粉检测

### 8.5.4.1 漏磁场探伤与磁粉探伤

#### 1 漏磁场探伤

漏磁场探伤是利用铁磁性材料或工件磁化后,在表面和近表面如有不连续性(材料的均质状态即致密性受到破坏)存在,则在不连续性处磁力线离开工件和进入工件表面发生局部畸变产生漏磁场,并形成可检测的漏磁场进行探伤的方法。漏磁场探伤包括磁粉探伤和利用检测元件探测漏磁场。其区别在于,磁粉探伤是利用铁磁性粉末——磁粉,作为磁场的传感器,即利用漏磁场吸附施加在不连续处的磁粉聚集磁痕,从而显示出不连续处的位置、形状和大小。利用检测元件探测漏磁场的磁场传感器有磁带、霍尔元件、磁敏二极管和感应线圈等。

#### 2 磁粉探伤

磁粉探伤磁粉探伤(Magnetic Particle Testing,缩写符号为 MT),又称磁粉检验或磁粉检测,是应用较为广泛的常规无损检测方法之一。磁粉探伤的基础是缺陷处漏磁场与磁粉的磁相互作用。

##### 1) 磁粉探伤原理

铁磁性材料和工件被磁化后,由于不连续性的存在,使工件表面和近表面的磁力线产生漏磁场,吸附施加在工件表面的磁粉,形成在合适光照下目视可见的磁痕,从而显示出不连续性的位置、形状和大小。如图 8-24 所示。

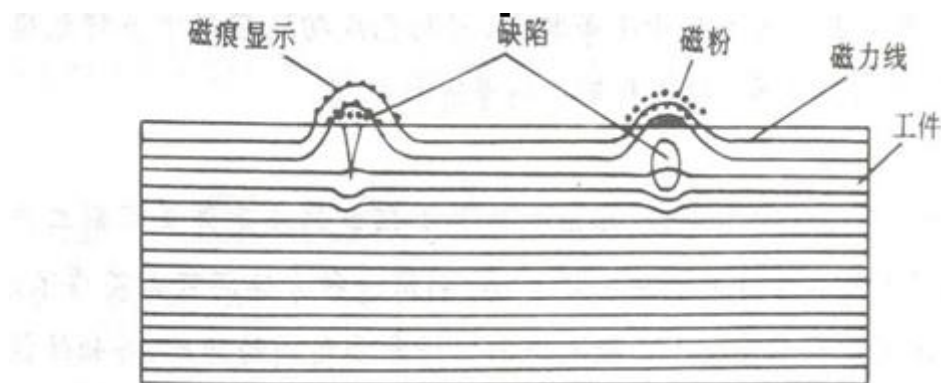


图 8-24 不连续处的漏磁场和磁痕分布

## 2) 磁粉探伤适用范围

磁粉探伤适用于检测铁磁性材料表面和近表面尺寸很小，间隙极窄（如可检测出长 0.1mm 宽为微米级的裂纹），目视难以看出的不连续性。

磁粉探伤可对未加工的原材料（如管坯）、加工的半成品、成品工件及在役或使用过的零部件进行探伤，还能对板材、型材、棒材、管材、焊接材、铸钢件及锻钢件进行探伤。

磁粉探伤不能检测奥氏体不锈钢材料和用奥氏体不锈钢焊条焊接的焊缝，也不能检测铜、铝、镁、钛等非磁性材料。马氏体不锈钢和沉淀硬化不锈钢具有磁性，可以进行磁粉探伤。

磁粉探伤可发现裂纹、夹杂、发纹、白点、折叠、冷隔和疏松等缺陷，但对于表面浅的划伤、埋藏较深的孔洞和与工件表面夹角小于  $20^\circ$  的分层及折叠难以发现。

## 3) 磁粉探伤的基本操作步骤

磁粉探伤最基本的六个步骤是：① 预处理；② 磁化被检工件；③ 施加磁粉或磁悬液；④ 在合适的光照下，观察和评定磁痕显示；⑤ 退磁；⑥ 后处理。

### 8.5.4.2 磁粉探伤物理基础

#### 1 铁磁性材料

##### 1) 磁畴

任何物质都是由分子和原子组成的，原子是由带正电的原子核和绕核旋转的电子组成，电子不仅绕核旋转，而且还进行自旋，而电子自旋效应是主要的，产生磁效应，相当一个非常小的电流环，原子、分子等微观粒子内电子的这些运动便形成了分子电流，这是物质磁性的基本来源，它相当于一个微小的磁铁和磁偶极子（一个可以用无限小的电流回路描述的磁体）。铁磁性材料内部自发磁化的大小和方向基本均匀一致的小区域称为磁畴，其体积约为  $10^{-3}\text{cm}^3$ ，在这个小区域内，含有大约  $10^{12}\sim 10^{15}$  个原子，各原子的磁化方向一致时，对外呈现磁性。但是在没有外加磁场的情况下，磁畴在铁磁性材料内部的方向是任意的，因此，它们各自的磁性相互抵消，就整体来说，对外不显示磁性，见图 8-25 (a)。

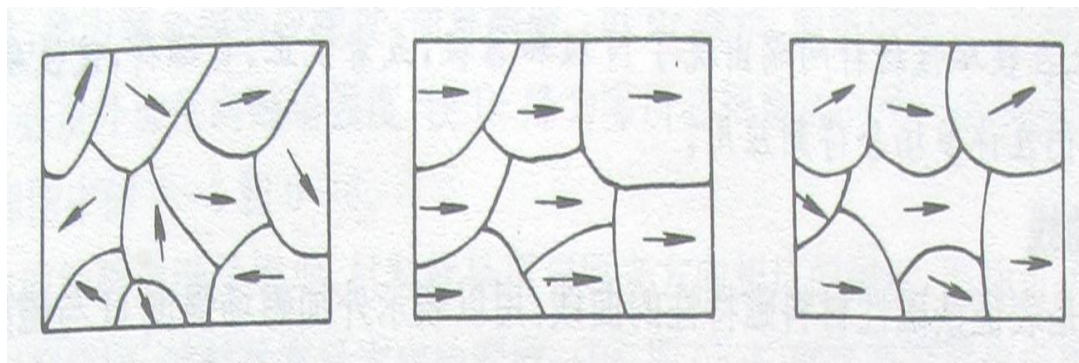


图 8-25 铁磁质的磁畴方向

## 2) 磁化过程

铁磁性材料的磁化过程可运用磁畴理论和磁荷理论来说明。当把铁磁性材料放到外加磁场中去时，磁畴就会受到外加磁场的作用，一是使磁畴磁矩转动，二是使畴壁（指相邻磁畴的分界面）发生位移，最后全部磁畴的磁矩方向转向与外加磁场方向一致，见图 8-25 (b)，铁磁性材料被磁化。铁磁性材料磁化后，就变成磁体，显示出很强的磁性来。

去掉外加磁场之后，磁畴出现局部转动，但仍保留一定的剩余磁性，见图 8-25 (c)。

在高温情况下，磁体中分子热运动会破坏磁畴的有规则排列，使磁体的磁性削弱。超过某一温度后，磁体的磁性全部消失，实现了材料的退磁。铁磁性材料在加热时，磁性消失变为顺磁性材料的临界温度称为居里点，或居里温度。如铁的居里点为 769. C。

下面举例详细介绍铁磁性材料的磁化过程，见图 8-26。

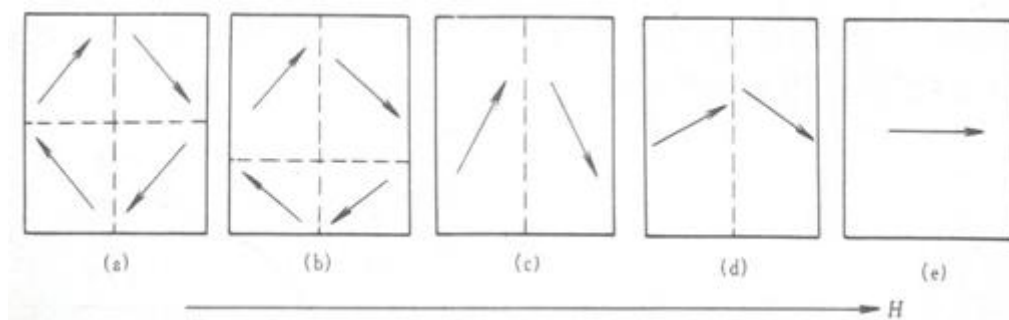


图 8-26 铁磁性材料的磁化过程

- ① 未加外加磁场时，磁畴磁矩杂乱无章，对外不显示宏观磁性，如图 8-26 (a)。
- ② 在较小的磁场作用下，磁矩方向与外加磁场方向一致或接近的磁畴体积增大，而磁矩方向与外加磁场方向相反的磁畴体积减小，畴壁发生位移，如图 8-26 (b)。
- ③ 增大外加磁场时，磁矩转动畴壁继续位移，最后只剩下与外加磁场方向比较接近的磁畴，如图 8-26 (c)。
- ④ 继续增大外加磁场场，磁矩方向转动，与外加磁场方向接近，如图 8-26 (d)。
- ⑤ 当外加磁场增大到一定值时，所有磁畴的磁矩都沿外加磁场方向有序排列，达到磁化饱和，相当于一个微小磁铁或磁偶极子，产生 N 极和 S 极，宏观上呈现磁性，如图 8-26 (e)。

铁磁性材料的磁化还可用磁荷理论来说明，磁极间的相互作用与正负电荷间的作用相似，所以人们认为，在磁体的两极上有一种叫做“磁荷”的东西，N 极上的叫正磁荷，S 极上的叫负磁荷，同性磁荷相斥，异性磁荷相吸，磁力线是从正磁荷出发，终止于负磁荷的闭合线，所以可以认为磁荷是带磁粒子的物体。它与电荷的显著区别是，磁荷总

是成对出现的，不管把一块磁铁分是多么小，它总是存在两个磁极。（实际上磁荷是不存在的，是一种假设）因此，铁磁化材料的每个磁分子都可以看作是一个磁偶极子，并且有磁偶极矩，在外加磁场力矩作用下，定向有序排列，宏观上在铁磁性材料两端出现了 N 极和 S 极，或者说正、负磁荷，使铁磁性材料磁化，磁荷理论迄今仍在许多场合得到应用。

### 3) 磁化曲线

磁化曲线是表征铁磁性材料磁特性的曲线，用以表示外加磁场强度  $H$  与磁感应强度  $B$  的变化关系。

将铁磁性材料做成环形样品，绕上一定匝数的线圈，线圈经过换向开关  $K$  和可变电阻  $R$  接到直流电源上，其电路如图 8-27 所示。通过测量线圈中的电流  $I$ ，算出材料内部的磁场强度  $H$  值。

用冲击检流计或磁通计测量此时穿过环形样品横截面的磁通量  $\Phi$ ，从而算出磁感应强度  $B$  值，由此可得到该材料的  $B\sim H$  曲线，又称磁化曲线，见图 8-28，它反映了材料磁化程度随外加磁场变化的规律。

各种铁磁性材料的曲线都是具有类似的形状。当外加磁场  $H=0$  时， $B=0$ ，铁磁性材料未被磁化，这一状态相应于坐标原点  $O$ 。当线圈中电流逐渐增加，因而  $H$  也增加，初始阶段（ $oa$  段）。第二阶段（ $ab$  段） $B$  增加的很快，曲线很陡，在  $B\sim H$  曲线的拐点  $c$  处，斜率最大，磁导率  $\mu$  达到最大值  $\mu_m$ ，能被强烈磁化，对应的磁场强度为  $H_{\mu m}$ 。第三阶段（ $bm$  段） $B$  的增加缓慢下来，到了  $m$  点，当外磁场再增加时， $B$  不再增加，铁磁性材料达到了磁化饱和，再饱和点  $m$  对应的磁场强度称为饱和磁场强度，用  $H_m$  表示；对应的磁感应强度成为饱和磁感应强度，用  $B_m$  表示。由此可以看出，铁磁性材料的感应强度  $B$  乃是外加磁场与附加磁场强度之和，实质上是铁磁性材料内部的合成磁场强度。

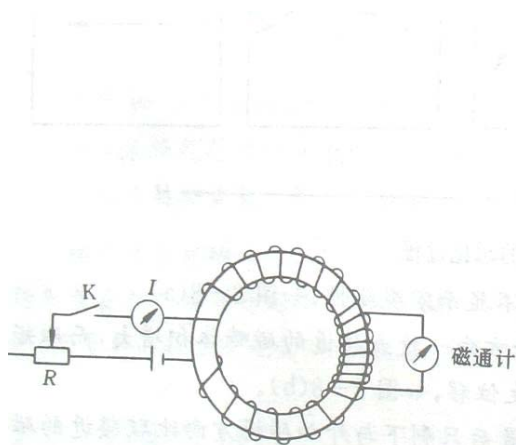


图 8-27 磁化曲线测量示意图

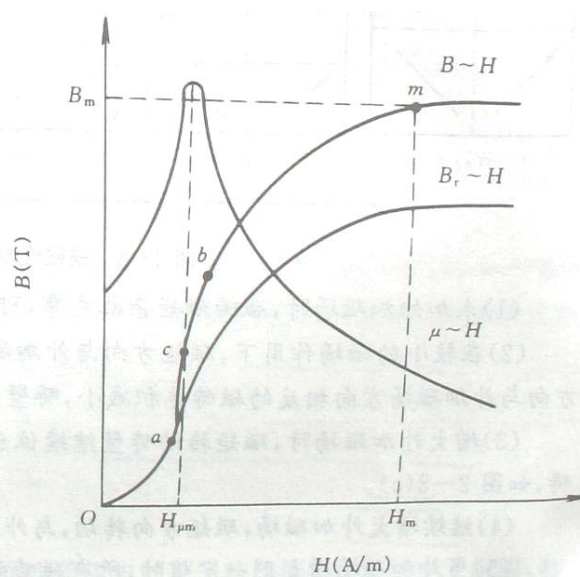


图 8-28 铁磁性材料磁化曲线

### 4) 磁滞回线

描述磁滞现象的一种闭合磁化曲线叫磁滞回线。它是在一定磁场强度下进行多次反复磁化时，由于磁感应强度滞后所得到的磁感应强度随磁场强度变化的闭合曲线，如图 8-29 所示。对一磁性材料进行磁化，当磁感应强度由 0 增加到饱和点 1 时，磁场强度增加但磁感应

强度不再增加，0~1 曲线成为初始（起始）磁化曲线。从 1 点开始减小励磁电流，即当  $H$  减小时， $B$  也相应减小，但并不沿原来的 0~1 曲线下降。当外加磁场强度  $H$  减小到 0 时，仍保留在材料中的磁性，成为剩余磁感应强度，称为剩磁，用  $B_r$  表示，如图中 0~2 合 0~5。为了使  $B_r$  减小到零，必须外加反向磁场强度，使  $B_r$  降为零所必须施加的反方向磁场强度成为矫顽力，用  $H_c$  表示，如图中的 0~3 和 0~6。

如果反向磁场强度继续增加，材料就与原来方向相反的磁性，同样可达到饱和点  $m$ ，当  $H$  从负值回到零时，材料具有反方向的剩磁  $-B_r$ ，即 0~5。磁场通过零值后再向正方向增加时，为了使  $-B_r$  减小到零，必须外加反向磁场强度  $H_c$ ，如图中的 0~6，磁场再正方向继续增加时曲线回到  $m$  点 1，完成一个循环，如图的 1-2-3-4-5-6-1，即材料内的磁场感应强度  $B$  时按照一条对称于坐标原点的闭合曲线变化的，该闭合曲线成为磁滞回线。

图中， $\pm B_m$ ——饱和磁感应强度，表示工件在饱和磁场强度  $\pm H_m$  磁化下  $B$  达到饱和，不再随  $H$  的增大而增大，对应的磁畴全部转向于磁场方向一致。 $\pm B_r$ ——工件的剩磁，表示工件经  $H_m$  磁化后，当  $H$  降为零时，因  $B$  滞后  $H$  在工件中保留的剩磁。 $\pm H_c$ ——工件的矫顽力，把工件中  $\pm B_r$  减小到零时所施加的反向磁场强度； $\alpha$ ——初始磁化曲线的切线与  $x$  轴的夹角， $\alpha = \text{tg}B/H$ 。 $\alpha$  大小也反映了工件材质被磁化的难易程度。

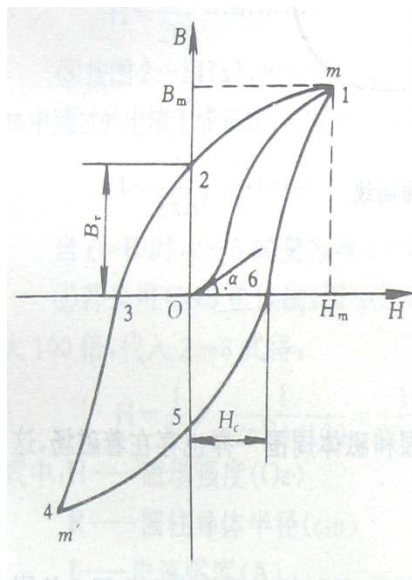


图 8-29 磁滞回线

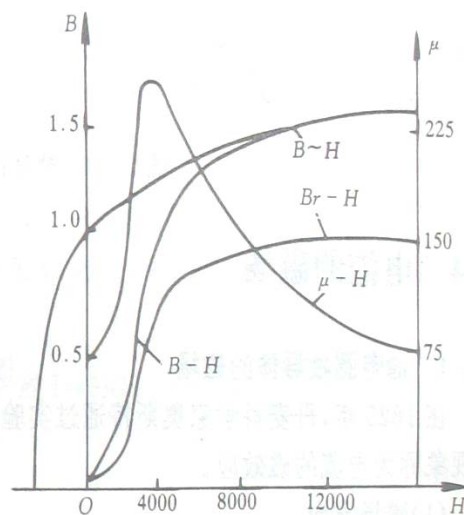


图 8-30 30GrMnSiA 的磁化曲线

图 8-30 为 30GrMnSiA 钢，880℃油淬、330℃回火状态下测得的磁化曲线。包括  $B \sim H$  曲线， $\mu \sim H$  和  $B_r \sim H$  曲线。根据上面的阐述，可归纳出铁磁性材料具有以下特性：

- ① 高导磁性——能在外加磁场中强烈的磁化，产生非常强的附加磁场。它的磁导率很高，相对磁导率可达数百、数千以上。
- ② 磁饱和性——铁磁性材料由于磁化所产生的附加磁场，不会随外加磁场增加而无限地增加。当外加磁场达到一定程度后，全部磁畴的方向都与外加磁场的方向一致，磁感应强度  $B$  不再增加，呈现磁饱和。
- ③ 磁滞性——当外加磁场的方向发生变化时，磁感应强度的变化滞后于磁场强度的变化。当磁场强度减小到零时，铁磁性材料在磁化时所获得的磁性并不完全消失，而保留剩磁。

根据铁磁性材料矫顽力  $H_c$  大小可分为软磁材料和硬磁材料两大类。 $H_c \geq 8000 \text{ A/m}$  ( $100\text{Oe}$ ) 认为是典型的硬磁材料， $H_c \leq 400 \text{ A/m}$  ( $5 \text{ Oe}$ ) 认为是典型的软磁材料。其磁滞回线见图 8-31。

软磁材料厂和硬磁材料具有以下特征:

- ① 软磁材料——是指磁滞回线狭长,具有高磁导率、低剩磁、低矫顽力和低磁阻的铁磁性材料.软磁材料磁粉探伤时容易磁化,也容易退磁.软磁材料如电工用纯铁、低碳钢和软磁铁氧体等材料.
- ② 硬磁材料——是指磁滞回线肥大,具有低磁导率、高剩磁、高矫顽力和高磁阻的铁磁性材料.硬磁材料磁粉探伤时难以磁化,也难以退磁.硬磁材料如:铝镍钴、稀土钴和硬磁铁氧体等材料.

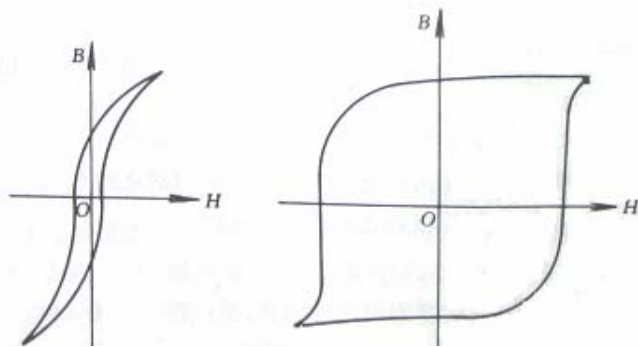


图 8-31 软磁材料和硬磁材料的磁滞回线

## 2 通电线圈的磁场

磁场方向:

在线圈中通以电流时,在线圈内产生的磁场是与线圈轴平行的纵向磁场.其方向可用线圈右手定则确定:用右手握住线圈,使四指指向电流方向,与四指垂直的拇指所指方向就是线圈内部的磁场方向.见图 8-32。

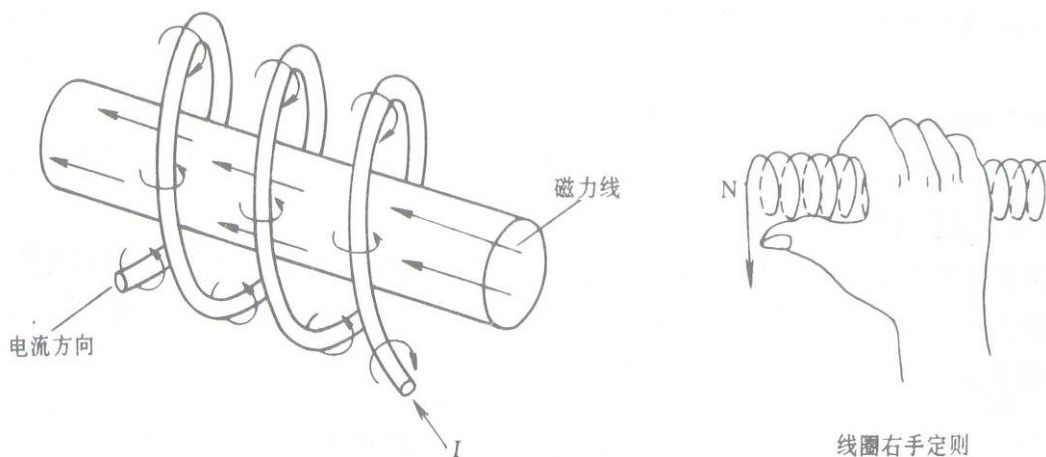


图 8-32 通电线圈产生的纵向磁场强度

## 3 漏磁场

### 1) 漏磁场的形成

所谓漏磁场,有时铁磁性材料磁化后,在不连续性处或磁路的截面变化处,磁感应线离开和进入表面时形成的磁场。

漏磁场形成的原因,是由于空气的磁导率远远低于铁磁性材料的磁导率。如果在磁化了

的铁磁性工件上存在着不连续性或裂纹,则磁感应线优先通过磁导率高的工作,这就迫使一部分磁感应线从缺陷下面绕过,形成磁感应线的压缩。但是,工件上这部分可容纳的磁感应线树木也是有限的,又由于同行磁感应线相斥,随意,一部分磁感应线从不连续性中穿过另一部分磁感应线遵从折射定律几乎从工件表面垂直的进入空气中去绕过缺陷又折回工作,形成了漏磁场。

## 2) 缺陷的漏磁场分布

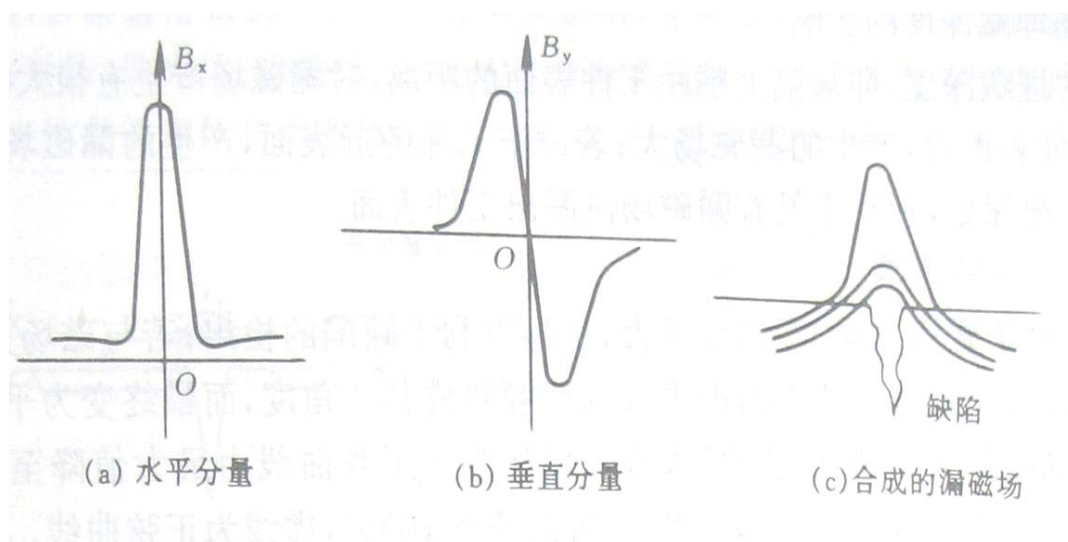
缺陷产生的漏磁场可以分解为水平分量  $B_x$  和垂直分量  $B_y$ , 水平分量与工件表面平行, 垂直分量与工件表面垂直。假设有一矩形缺陷, 则在矩形中心, 漏磁场的水平分量有极大价值, 并左右对称。而垂直分量为通过中心点的曲线, 其示意图见图 8-33, 图中 (a) 为水平分量, (b) 为垂直分量, 如果将两个分量合成, 则可得到如图 (c) 所示的漏磁场。

缺陷处产生漏磁场是磁粉探伤的基础。但是, 漏磁场是看不见的, 还必须有显示或检测漏磁场的手段。磁场探伤是通过磁粉聚量磁痕显示漏磁场进行探伤的。漏磁场对磁粉的吸附可看成是磁极的作用, 如果有磁粉在磁极区通过, 则将被磁化, 也呈现处 N 极和 S 极, 并沿着磁感应线排列起来。当磁粉的两极与漏磁场的两极相互作用时, 磁粉就会被吸附并加速移到缺陷上去。漏磁场的磁力作用在磁粉微粒上, 其方向指向磁感应线最大密度区, 即指向缺陷处。见图 8-34。

漏磁场的宽度要比缺陷的实际宽度大数倍至数十倍, 所以磁痕对缺陷宽度具有放大作用, 能将目视不可见的缺陷变成目视可见的磁痕使之容易观察出来。

磁粉除了受漏磁场的磁力之外, 还受重力、液体介质的悬浮力、摩擦力、磁粉微粒间的静电力与磁力的作用, 磁粉在这些力的合力作用下, 形成漏磁场吸附力把磁粉吸附到缺陷处。其受力分析见图 8-35。

图 8-33 缺陷的漏磁场分布



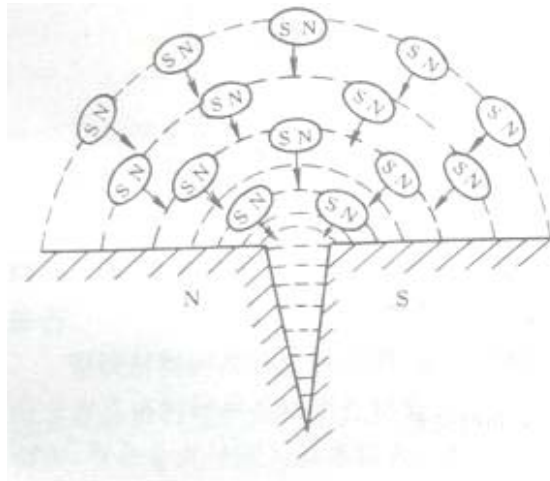
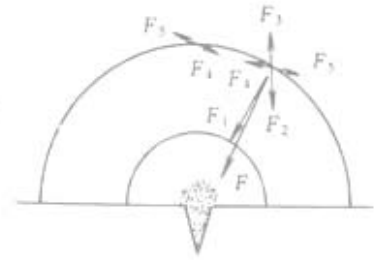
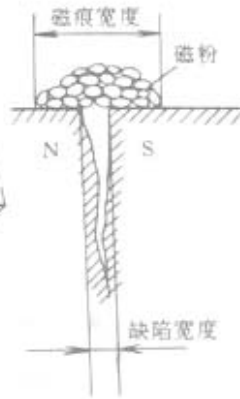


图 8-34 磁粉受漏磁场吸引



$F_1$ ——漏磁场磁力  
 $F_2$ ——重力  
 $F_3$ ——液体介质的悬浮力  
 $F_4$ ——磁力  
 $F_5$ ——静电力

图 8-35 磁粉的受力分析

#### 4 趋肤效应

交变电流通过导体时,导体表面电流密度较大而内部电流密度较小的现象称为趋肤效应(或集肤效应)。这是由于导体在变化着的磁场里因电磁感应产生涡流,在导体表面附近,涡流方向与原来电流方向相同,使电流密度增大;而在导体内部电流密度减弱,如图 8-36 所示。材料的电导率和相对磁导率增加时,或交流电的频率提高时,都会使趋肤效应更加明显。通常 50Hz 的交流电,其趋肤深度,也称穿透深度  $\delta$  为 2mm,穿透深度  $\delta$  可用下式表示。

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f\sigma\mu_r}}$$

式中  $f$ ——频率  
 $\sigma$ ——电导率  
 $\mu_r$ ——相对磁导率

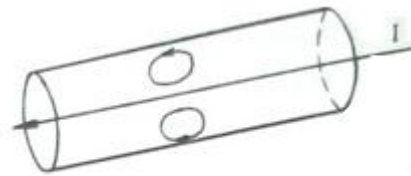


图 8-36 趋肤效应

在我国磁粉探伤中,交流电被广泛应用,是由于它具有以下优点:

- 1) 对表面缺陷检测灵敏度高场 由于趋肤效应在工件表面电流密度最大,所以磁通密度也最大,提高了工件表面缺陷的检测灵敏度。钢制件和压力容器焊缝的表面缺陷危害很大,容易形成疲劳源,所以有效地检测出工件表面的微小缺陷,已日益受到国内外的极大重视。
- 2) 容易退磁 原因:①交流电磁化的工件,磁场集中于工件表面所以用交流电容易将工件上的剩磁退掉;②退磁的实质就是对工件施加一个换向衰减的磁场,由于交流电的方向本身在不断地换向,所以退磁方法简单,容易实现。
- 3) 能够实现感应电流法磁化 根据电磁感应定律,交流电可以在磁路里产生交变磁通,而交变磁通又可以在回路产生感应电流,用感应电流以磁化环形件。
- 4) 能够实现多向磁化 多向磁化常用于两个交流磁场相互叠加来产生旋转磁场或用一个直流磁场和一个交流磁场量合成来产生摆动磁场。
- 5) 磁化变截面工件磁场分布较均匀 用固定式电磁轭磁化变截面工件时,可发现用交流电

磁化，工件表面上磁场分面较均匀。若用直流电磁化，工件截面突变处有较多的泄漏磁场，会掩盖该部件的缺陷显示。

- 6) 有利于磁粉迁移 由于交流电的方向在不断地变化，所产生的磁场方向不断地改变，它有利于搅动磁粉促使磁粉向漏磁场处迁移，使磁痕显示清晰可见。
- 7) 用于评价直流电（或整流电）磁化发现的磁痕显示 由于直流电磁化较交流电磁化发现的缺陷深，所以直流电磁化发现的磁痕显示，若退磁后用交流电磁化发现不了，说明该缺陷不是表面缺陷，有一定的深度。
- 8) 适用于在役工件的检验 用交流电磁化，检验在役工件表面疲劳裂纹灵敏度高，设备简单轻便，有利于现场操作。
- 9) 适用于 $\leq \phi 12\text{mm}$  弱簧钢丝的检验 用交流电磁化检验中、细弹簧钢丝表面缺陷灵敏度高，能够控制弹簧钢丝的质量。
- 10) 使用交流电磁化时，两次磁化的工序间可以不退磁。

### 8.5.4.3 电磁方法和磁化电流

#### 1 磁场方向与发现缺陷的关系

磁粉探伤的能力取决于施加磁场的大小和与缺陷的方向，还有缺陷的深度比与形状等因素有关。工件磁化时，当磁场方向与缺陷方向垂直时，缺陷处的漏磁场最大，检测灵敏度最高，当磁场方向与缺陷方向夹角为 45 度时，缺陷可以显示，但灵敏度降低。当磁场方向与缺陷方向平行时，不产生磁痕显示，发现不了缺陷。由于工件中缺陷有各种取向，难以预知，故应根据工件的几何形状，采用不同的方法直接、间接或通过感应电流对工件进行周向、纵向或多向磁化，以便在工件上建立各种不同方向的磁场，发现所有方向的缺陷，于是发展了各种不同的磁化方法。

#### 2 选择磁化方法应考虑的因素

- ① 工件的尺寸大小；
- ② 工件的外形结构；
- ③ 工件的表面状态；
- ④ 根据工件过去断裂的情况和各部位的应力分布，分析可能产生缺陷的部位和方向，选择合适的磁化方法。

#### 3 磁化方法的分类

根据工件的几何形状，尺寸大小和欲发现缺陷方向而在工件上建立的磁化方向，将磁化方法一般分为周向磁化、纵向磁化和多向磁化。所谓周向与纵向，是相对被检工件上的磁化方向而言的。



- 1) 周向磁化——是指给工件直接通电，或者是电流流过贯穿空心工件孔中的导体，旨在工件中建立一个环绕工件的并与工件轴垂直的周向闭合磁场用于发现与工件轴平行的纵向缺陷，即与电流方向平行的缺陷。
- 2) 纵向磁化——是指将电流通过环绕工件的线圈，使工件沿纵长方向磁化的方法，工件中的磁力线平行于线圈的中心轴线。用于发现与工件轴垂直的周向缺陷。利用电磁轭和永久磁铁磁化，使磁力线平行于工件纵轴的磁化方法亦属于纵向磁化。



将工件置于线圈中进行纵向磁化，称为开路磁化，开路磁化在工件两端产生磁极，因而产生退磁场。

将工件夹在电磁轭的两极之间，对工件进行整体磁化，或利用便携式电磁轭或永久磁铁的两极与工件接触，使工件得到局部磁化，称为闭路磁化，闭路磁化不产生退磁场。

- 3) 多向磁化——是指通过复合磁化，在工件中产生一个大小和方向随时间呈原形、椭圆型或螺旋形变化的磁场。因为磁场的方向与工件上不断的变化着，所以可发现工件上所有方向的缺陷。



- 4) 辅助通电法——是指将通电导体置于受检部位而进行局部磁化的方法，如电缆平行磁化法和铜板磁化法，仅用于常规磁化方法难以磁化的工件和部位，一般情况下不推荐使用。

#### 4 三种磁化方法的特点、应用范畴和优缺点

##### 1) 中心导体法

- A 中心导体法是导体穿入空心工件的孔中，并置于孔的中心，电流从导体上通过，形成周向磁场。所以又叫电流贯通法、穿棒法和芯棒法。由于是感应磁化，可以用于检查空心工件内、外表面与电流平行的纵向不连续性和端面的颈项不连续性。如图 8-37 所示。空心工件直接接通电法不能检查内表面的不连续性，因为内表面的磁场强度为零。但用中心导体法能更清晰的发现工件内表面的缺陷，由于内表面比外表面具有更大的磁场强度。



图 8-37 中心导体法

- B 对于一端有封头（亦称盲孔）的工件，应保证中心导体与封头端面有良好的电接触，将中心导体穿入工件孔中作为一端，封头作为另一端进行通电，完成中心导体法磁化。
- C 导体材料通常采用导电性能良好的铜棒，也可用铝棒或钢棒。若使用钢棒作为中心导体，磁化时应避免钢棒与工件接触产生磁写，所以最好在钢棒表面上包一层绝缘材料。
- D 中心导体法的优点是：
- ①磁化电流不从工件上直接流过，不会产生电弧；
  - ②在空心工件的内、外表面及端面都会产生周向磁场；
  - ③重量轻的工件可用芯棒支承，许多小工件可穿在芯棒上一次磁化；
  - ④一次通电，工件全长都能得到周向磁化；
  - ⑤内孔弯曲的工件，可用柔性电缆代替钢性芯棒检查；
  - ⑥工艺方法简单，检测效率高；

⑦有较高的检测灵敏度。因而是最有效、最常用的磁化方法之一。

其缺点是：

- ① 对于厚壁工件，外表缺陷的见灵敏度比内表面低；
- ② ②检查大直径管子时，采用偏置芯棒法，需转动工件，进行多次磁化和检验；
- ③ ③仅用于有孔工件的检验。

中心导体法适用于各种有孔的工件如轴承圈、空心圆柱、齿轮、螺帽、环形件、管子、管接头和空心焊接件的磁粉探伤。

## 2) 线圈法

A 线圈法是将工件放在通电线圈中，或用软电缆缠绕在工件上通电磁化，形成纵向磁场，用于发现工件的横向不连续性。适用于纵长工件如时接管、轴、管子、棒材、铸件和锻件的磁粉探伤。

B 线圈法包括螺管线圈法和绕电缆法两种，如图 8-38 和图 8-39 所示。

C 线圈法纵向磁化的要求

线圈法纵向磁化，会在工件两端形成磁极，因而产生退磁场。工件在线圈中磁化与工件的长度  $L$  和直径  $D$  之比 ( $L/D$ ) 有密切关系， $L/D$  愈小愈难磁化，所以  $L/D$  必须  $\geq 2$ ，若  $L/D < 2$ ，应采用下列措施之一进行磁化：

- a 以大约 90 度的分度在两上或多个方向上对工件进行周向磁化；
- b.把外径相似的两个或多个工件，端部与端部对接起来，使  $L/D \geq 2$ ；
- c.使用与工件外径相似的铁磁性延长块将工件接长，使  $L/D \geq 2$ ；
- d.使用电磁轭或永久磁铁补充磁化。

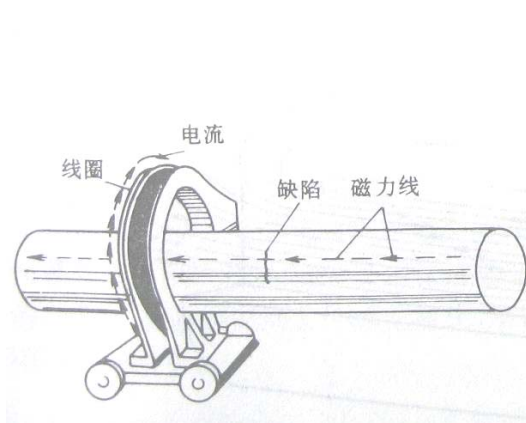


图 8-38 螺管线圈法

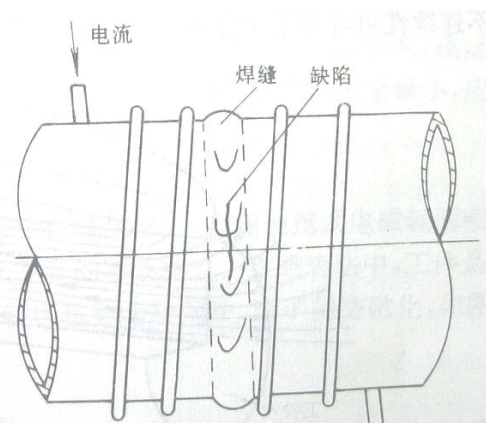


图 8-39 绕电缆法

D 线圈法的优点是：

- ①非电接触；
- ②方法简单；
- ③大型工件用绕电缆法很容易得到纵向磁场；
- ④有较高的检测灵敏度。

其缺点是：

- ①  $L/D$  值对退磁场和灵敏度有很大的影响，决定安匝数时要加以考虑；
- ② ②工件端面的缺陷检测灵敏度低；
- ③ ③为了将工件端部效应减至最小，应采用“快速断电法”。

## 3) 磁轭法

A 磁轭法使用固定式电磁轭两磁极夹住工件进行整体磁化，或用便携式电磁轭两磁极接触

工件表面进行局部磁化，用于发现与两磁极连线垂直的不连续性。在磁轭法中，工件是闭合磁路的一部分，在磁极间对工件感应磁化，所以磁轭法也称为极间法，属于闭路磁化，如图 8-40 和图 8-41 所示。

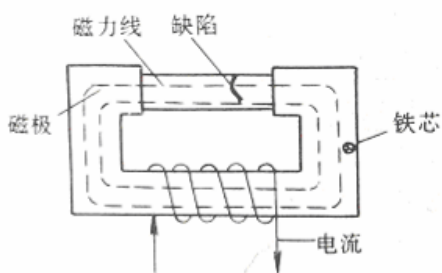


图 8-40 电磁轭整体磁化

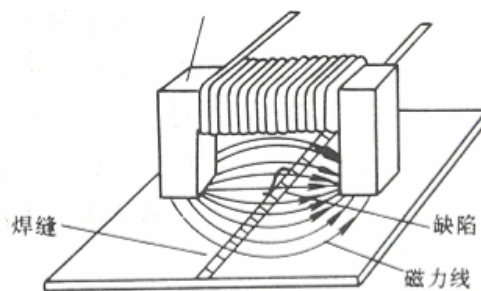


图 8-41 电磁轭局部磁化

### B 整体磁化

用固定式电磁轭整体磁化的要求是：

- ①只有磁极截面大于工件截面时，才能获得好的探伤效果。相反，工件中便得不到足够的磁化，在使用直流电磁轭比交流电磁轭时更为严重；
- ②应尽量避免工件与电磁轭之间的空气隙，应空气隙会降低磁化效果；
- ③当极间距大于 1m 时，工件便不能得到必要的磁化；
- ④形状复杂而且较长的工件，不宜采用整体磁化。

### C 局部磁化

用便携式电磁轭或永久磁铁的两磁极与工件接触，使工件得到局部磁化，两磁极间的磁力线大体上平行两磁极的连线，有利于发现与两磁极连线垂直的缺陷，如图 8-42 所示。

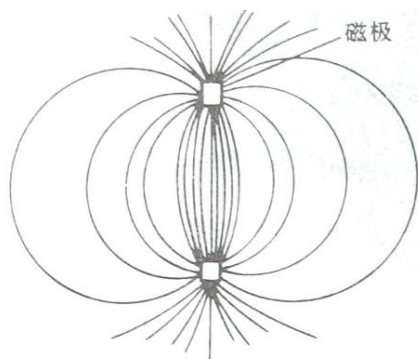


图 8-42 便携式电磁轭两极间的磁力线分布

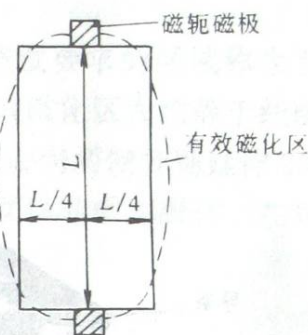


图 8-43 便携式电磁轭探伤有效范围

局部磁化的要求是：

- ①有效磁化范围，取决于探伤设备的性能、磁化规范、探伤条件及工件的形状，一般是以两极间连线为长轴（L），从两极连线中心处向两侧各 L/4 为短轴的椭圆形所包围的面积，如图 8-43 所示。有效磁化范围可通过实测工件表面磁场强度，或用标准或片试验得到；
- ②工件上的磁场分布，取决于磁轭产生的磁场强度和磁极的间距。当磁场强度一定时，工件表面的磁场强度随着两极间距的增大而减小；如果两磁极间中距过于小，由于磁极附近磁通密度过大会产生非相关显示，所以磁极间距通常选用 50-200mm 为宜；
- ③便携式电磁轭分固定式与活动关节式磁极两种，活动关节越多，磁阻越大，工件上得到的磁场强度越小；

- ④便携式电磁轭要通过测量提升力控制探伤灵敏度；
- ⑤如果磁极与工件接触不良，有间隙存在，对磁场强度也有一定的影响。并且间隙还会使接触处产生相当强的漏磁场，吸附磁粉，形成非相关显示，因而存在着探伤盲区。盲区范围随着间隙的增大而增大。
- ⑥交流电磁轭，由于趋肤效应，检验表面缺陷灵敏度高。
- ⑦直流电磁轭较交流电磁轭对近表面缺陷有更高的检出能力。
- ⑧直流电磁轭不适用厚工件的探伤。由于直流磁轭产生的磁通均匀地分布在被磁化的工件截面上，工件越厚，单位截面上的磁通越小，工件表面的磁场强度也越小，使探伤灵敏度降低。所以检验厚板表面缺陷应采取交流电磁轭。
- ⑨永久磁铁可用于无电源的现场和野外检验，但在检验大面积或大部件时，不能提供足够的磁场强度，磁场大小不能调节，也不容易从工件上取下来，磁极上吸附的磁粉不晚除掉，并且可能性把缺陷显示弄模糊。

#### D 磁轭法的优点是：

- ①非电接触；
- ②改变磁轭方位，可发现任何方向的缺陷；
- ③便携式磁轭可带到现场探伤，灵活，方便；
- ④可用于检验带漆层的工件（当漆层厚度允许时）；
- ⑤检测灵敏度较高。

其缺点是：

- ①几何形状复杂的工件检验较困难；
- ②磁轭必须放到有利于缺陷检出的方向；
- ③用便携式磁轭一次磁化只能检验较小的区域，大面积检验时，要求分块累积，很费时。

磁轭法适用于焊接件及各种大、中型工件的局部检验。

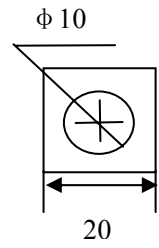
### 8.5.4.4 标准试片和灵敏度校验

#### 1 标准试片

A 型磁粉探伤标准试片。（见表 8-7）

- 1) 分母相同时，分子越小，试片显示灵敏度越低，检测灵敏度越高；
- 2) 分子相同时，分母越大，试片显示灵敏度越低，检测灵敏度越高。

表 8-7 A 型磁粉探伤标准试片品种规格

品种	规格尺寸 (μm)			材料状态	外型尺寸 (mm)
A1a	7/50	15/50	30/50	退火	
A1b	15/100	30/100	60/100	退火	

## 2 A 型磁粉探伤标准试片使用注意事项:

- 1) 标准试片使用过程中,不应将试片反复弯折或撕拉,以防槽底变形开裂,影响试片显示。如发现试片已经变形开裂,必须更换。
- 2) 试片使用前,应用溶剂清洗防锈油。如果工件表面贴试片处凹凸不平,应打磨平,并去除油污。
- 3) 试片用完后,用溶剂清洗并擦干。干燥后涂上防锈油,放回试片袋中保存。
- 4) 试片表面锈蚀或有褶纹时不能继续使用。
- 5) 将试片有槽的一面与工件受检面接触,用透明胶纸贴紧(间隙应小于 0.1mm),但透明纸不得盖住有槽的部位。
- 6) 有效的磁场方向应垂直与缺陷可能存在的方向。
- 7) 钢管表面的最小可见光强度为 50 英尺/烛光。

## 3 探头灵敏度的校验:

在正式探伤前,首先要检验探伤灵敏度,将(30/100)A型标准试片开槽的一面紧贴被测工件表面上,并用透明胶带粘牢试片的边缘,通电磁化,同时在标准试片上喷洒磁悬液,如标准试片上的人工刻槽清晰显示,则表明探伤灵敏度和磁悬液的配置均符合要求。

### 8.5.4.5 磁粉

磁粉是显示缺陷的手段,磁粉质量的优劣和选择是否恰当,将直接影响探伤效果。与任何关键性检测元件一样,磁粉作主磁场传感材料,需要人们全面了解和正确使用。

磁粉的种类很多,按磁痕观察分主荧光磁粉和非荧光磁粉;按施加方式分为湿法磁粉和干法磁粉。

#### 1 荧光磁粉

在紫外光下观察磁

痕显示的磁粉称为荧光磁粉。荧光磁粉是以磁性氧化铁粉、工业纯铁粉或羰基铁粉主核心,在铁粉外面用树脂粘附一层荧光染料而制成。

磁粉的颜色、亮度及与工件表面的对比度,对磁粉探伤灵敏度无不起着重要的作用。由于荧光磁粉在紫外光照射下,能发出波长范围在 510-550nm 为人眼接受最敏感的色泽鲜明的黄绿色荧光,所以荧光磁粉的可见度及与工件表面的对比度都很高,适用于任何颜色的受检表面,容易观察,探伤灵敏度高,也能提高检验速度。荧光磁粉一般只适用于湿法。

#### 2 非荧光磁粉

在可见光下观察磁痕显示的磁粉称为非荧光磁粉。常用的有四氧化三铁( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )黑磁粉和 $\gamma$ 三氧化二铁( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )红褐色磁粉。这两种磁粉既适用于湿法,又适用于干法。

湿法磁粉是将磁粉悬浮在油或水载液中喷洒到工件表面的磁粉;干法磁粉是将磁粉在空气中吹成雾状喷撒到工件表面的磁粉。

以工业纯铁粉等为原料,用粘合剂包覆制成的白磁粉或其它颜色磁粉,一般只用于干法。

JCM 系列空心球形磁粉是铁路铝的复合氧化物,具有良好的移动性和分散性,磁化工件时,磁粉能不断踊跃着向漏磁场处聚集,探伤灵敏度高,高温不氧化,在 400. C 下仍能使用,可在高温条件下和高温部件的焊接过程中进行磁粉探伤。空心球形磁粉只适用于干法。在纯铁中添加铬、铝和硅制成的磁粉也可用于 300. C—400. C 的高温焊缝探伤。

### 3 磁粉的性能

磁粉探伤是靠磁粉聚集在漏磁场处形成磁痕显示缺陷的，磁痕显示程序不仅与缺陷性质、磁化方法、磁化规范、磁粉施加方式、工件表面状态和检测环境照明等有关，还与磁粉本身的性能如磁特性、粒度、形状、流动性、密度和识别度有关，因此选择性能好的磁粉同样很重要。

#### 1) 磁特性

磁粉的磁特性与磁粉被漏磁场吸附形成磁痕的能力有关磁粉应具有高磁导率和低矫顽力及低剩磁。高磁导率的磁粉容易被缺陷产生的微弱漏磁场磁化和吸附，聚集起来便于识别。如果磁粉的矫顽力和剩磁大，磁化后，磁粉形成磁极彼此吸引聚集成团，不容易分散开，磁粉还会被吸附到工件表面不易去除，形成过度背景，甚至会掩盖相关显示；磁粉吸附在管道上，会使油路堵塞；干法检验中，第一次磁化后的磁粉会被吸附在最初接触的工件表面上，使磁粉移动性变差，难以为缺陷处微弱的漏磁场吸附，同样也会形成过度背景，影响缺陷辨认。

#### 2) 粒度

磁粉的粒度也就是磁粉颗粒的大小，粒度的大小对磁粉的悬浮性及漏磁场对磁粉的吸附能力都有很大的影响。

选择适当的磁粉粒度时，应考虑缺陷的性质、尺寸、埋藏深度及磁粉的施加方式。

检验暴露于工件表面的缺陷时，宜用粒度细的磁粉，检查表面下的缺陷宜用较粗的磁粉，因为粗磁粉的磁导率较细磁粉高，检验小缺陷宜用粒度细的磁粉，细磁粉可使缺陷的磁痕线条清晰，定位准确；检验大缺陷要用较粗的磁粉，粗磁粉可跨越大的缺陷。采用湿法检验时，宜用粒度细的磁粉，因为细磁粉悬浮性好；采用干法检验时，要用较粗的磁粉，因为粗磁粉容易在空气中分散开，如果用细的磁粉，会象粉尘一样滞留在工作表面上，尤其在有油污、潮湿、指纹和凹凸不平处，容易形成过度背景，会影响缺陷辨认或掩盖相关显示。

在实际应用中，要求发现各种大小不同的缺陷，也要求发现工件表面和近表面的缺陷，所以应使用含有各种粒度的磁粉，这样对于各类缺陷可获得较均衡的灵敏性。对于干法用磁粉，粒度范围为 10-50um，最大不超过 150um，对于湿法用的黑磁粉和红磁粉，粒度宜采用 5-10um，粒度大于 50um 的磁粉，不能用于湿法检验，因为它很难在磁悬液中悬浮，粗大磁粉在磁悬液流动过程中，还会滞留在工件表面干扰相关显示。而粒度过细的磁粉在使用中，它们会聚集在一起起作用，所以一般不规定粒度的下限，荧光磁粉因表面有包覆层，所以粒度不可能太小，一般在 5-25um 之间，但这并不意味着检测灵敏度的降低，因为荧光磁粉的可见度、对比度和分辨力高，所以仍能获得高的灵敏度。在磁粉探伤中，干法常用 80-160 目的粗磁粉，而湿法常用 300 目或 300 目以上的细磁粉。

#### 3) 形状

磁粉有各种各样的形状，如条形、椭圆形、球形或其它不规则折颗粒形状。

一般说来，条形磁粉（大的长径比）容易磁化并形成磁极，因而较容易被漏磁场吸附，这对于检测宽度比磁粉粒度大的缺陷和近表面缺陷是有利的，因为这类缺陷的漏磁场极为分散，若聚集成磁粉链条则容易形成磁痕。但如果完全由条形磁粉组成。就会产生严重聚集而导致灵敏度下降，磁粉的流动性也不好。对于干法用磁粉，条形磁粉相互吸引还会给喷撒操作带来困难。

球形磁粉能提供良好的流动性，但由于退磁场的影响不容易被漏磁场磁化，而空心球形磁粉能踊跃着趋向漏磁场区域，不需要风力带动磁粉向漏磁场聚集是一例外。

为了使磁粉既有良好的磁吸附性能,又有良好的流动性,所以理想的磁粉应由一定比例的条形、球形和其它形状的磁粉混合在一起使用。

#### 4) 流动性

在讨论磁粉形状时,已涉及到流动性问题,为了能有效地检出缺陷,磁粉必须能在受检工件表面流动,以便被漏磁场吸附形成磁痕显示。

在湿法检验中,是利用磁悬液的流动带动磁粉向漏磁场上流动,在干法检验中,是利用微风吹动磁粉,并利用交流电方向不断改变,产生的磁场也不断换向和单相整流电产生的磁场的强烈脉动性搅动磁粉,促进磁粉流动的。由于直流电不利于磁粉的流动,所以直流电不适用于干法检验。

#### 5) 密度

湿法用黑磁粉和红磁粉的密度约为  $4.5 \text{ g/cm}^3$ ,干法用纯铁粉的密度约为  $8 \text{ g/cm}^3$ ,空心球形磁粉的密度为  $0.7 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ ,荧光磁粉的密度除与采用的铁粉原料有关,还与磁粉、荧光染料和粘结剂的配比有关。

磁粉的密度对探伤结果有一定的影响,在湿法检验中,密度大,易沉淀,悬浮性差;在干法检验中,密度大,则要求吸附磁粉的漏磁场要大。密度大小与材料磁特性有关,所以应综合考虑。

#### 6) 识别度

识别度系指磁粉的光学性能,包括磁粉的颜色、荧光亮度及与工件表面颜色的对比度。对于非荧光磁粉,只有磁粉的颜色与工件表面的颜色形成很大的对比度,磁痕才容易观察到,缺陷才容易发现;对于荧光磁粉,在紫外光下观察时,工件表面呈紫色,只有微弱的可见光本底。磁痕呈黄绿色,色泽鲜明,能提供最大的对比度和亮度。但是,共表面由于荧光悬液的覆盖,也会产生微弱的荧光本底,因此荧光磁悬液的浓度不宜太高,大约为非荧光磁悬液浓度的十分之一。

总的来说,影响磁粉使用性能的因素有以上六个方面,但这些因素又是相互关联、相互制约的,如果孤立的追求某一方面而排斥另一方面,甚至可能导致实验的失败。如果磁性称量法可以反映磁粉的部分磁特性,但凭磁性称量法称出磁粉样品几克为合格磁粉,实践证明不是完全可靠的。最根本的方法应通过综合性能灵敏度实验的结果来衡量磁粉的性能。

### 8.5.5 电磁超声

#### 8.5.5.1 电磁超声(EMA)技术的发展与应用

##### 1 电磁超声(EMA)技术在国内外的的发展

无损检测技术的发展已历经一个世纪,其重要性在全世界已得到公认。作为无损检测技术的一个新军,EMA技术也越来越受到人们的青睐,它代表了超声检测的发展方向(无耦合),这一点在2000年第15届世界无损检测会议上得到了充分肯定。

EMA技术在国际上是从60年代末期开始崛起的,到了70年代中后期开始迅速发展,英,美,俄,德,日都相继进行了声波的EMA理论和实验,从而大大扩展了EMA技术革新的应用范围,到了70年代末西德Hofch钢厂研制出高分辨率的用于中厚板内部探伤及螺旋弹簧内部探伤的仪器设备,于此同时德国无损检测研究所也成功的研制并转产了火车轮动态EMA探伤装置。而到了80年代初,英国、日本也先后研制成功了高温EMA探伤及测厚装置,进入21世纪,经过了近50年的不懈努力,EMA技术已逐步进入了工业应用阶段。其应用领域从最初的中厚板、火车轮检测及高温测厚,发展到焊缝检测、钢棒检测、铁路钢轨检测、复合材料检测等众多领域。

我们国家 EMA 技术的研究，是从 70 年代开始的。主要代表是冶金钢铁研究总院张广纯教授等，经过 30 几年的深入研究与不断完善，从理论研究的水平看，与国际的 EMA 技术研究基本同步，而在实际应用方面的某些领域，我们与国外尚存在着一定的差距。但在钢管管体及管端的自动化探伤方面我们则走在了国际该领域的前列。

## 2 EMA 技术的基本理论与主要特点

EMA 与传统的压电超声同属于超声范畴，它们的本质区别就在于换能器不同，也就是发射接收方式不同，压电超声换能器是靠压电晶片的压电效应，发射和接收超声波的，它的能量转换是在晶片上进行的。而 EMAT 则是靠电磁效应发射和接收超声波的。其能量转换则是在工件表面的趋肤层内直接进行的，所以它不需要任何耦合介质。由此可见，要了解 EMA 技术，首先就要掌握 EMAT 的基本理论。

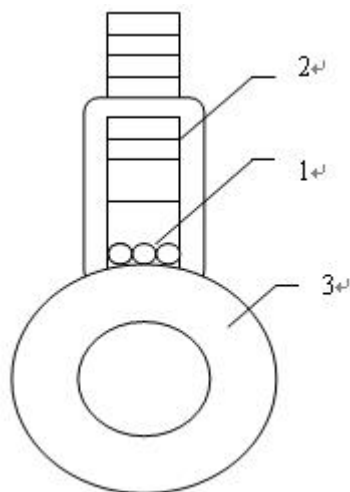


图 8-44

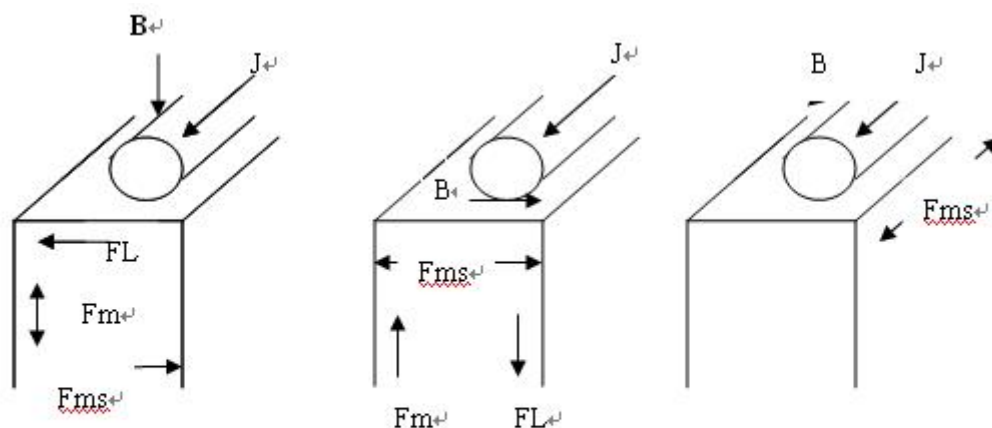
EMAT 的物理结构由三部分组成：（如图 8-44 所示）

高频线圈 ①：用于产生高频激发磁场。

磁铁 ②：用来提供外加磁场，它可以是永久磁铁或直流电磁铁，也可以是交流电磁铁或脉冲电磁铁。

工件 ③：检测对象它是 EMAT 的一部分。（简称 EMAT 三要素）但工件的材质必须具有导电性或铁磁性，或导电性和铁磁性都具有。

EMAT 作为一种超声发生器，它的基本原理是围绕着 EMAT 三要素展开的。当置于工件表面上的高频线圈通过高频电流时，它要在工件的趋肤层内产生涡流，（或感应磁场，相当于电动机的转子）此涡流在外加磁场（相当于电机定子磁场）的作用下，也会像电动机那样受到机械力的作用，而产生高频振动，形成了超声波波源。在接收超声波时，如同发电机的转子在定子的磁场中旋转，会在转子中产生感应电流一样，工件表面的震荡也会在外加磁场力的作用下，在高频线圈中感应出电压而被仪器接收。因此，存在于上述机制中的这些相互作用就构成了检测的全过程。图 8-45 给出了激发 EMAT 的各种机制（力）以及它们的方向。



注：J=导体中的电流；B=外加磁场产生的激励磁场  
 Fm=磁性力（铁磁体）；Fms=磁致伸缩力（铁磁体）  
 FL=洛伦磁力（电导体）

图 8-45

EMAT 可激发出所有超声波波形。与传统的超声波技术一样，材料的种类、可能产生的缺陷位置以及缺陷方向，决定了声束方向和振动波形的选择。但在实际应用中，EMAT 技术较之传统的压电超声技术具有明显的优势以及一系列压电超声所无法取代的特点：

1) 无需任何耦合剂

EMAT 的能量转换，时在工件表面的趋肤层内直接进行的。因而可将趋肤层看成是压电晶片，由于趋肤层是工件的表面层，所以 EMAT 所产生的超声波不需要任何耦合介质。

2) 灵活的产生各类波形

EMAT 在检测的过程中，在满足一定的激发条件时，则会产生表面波、SH 波和 Lamb 波。如改变激励电信号频率使之满足下式要求：

$$f=nC/2L\sin\theta \quad (n \text{ 为任意整数})$$

式中：C=声速；

f=电信号频率；

L=1/2 波长

则声波便以倾斜角  $\theta$  向工件内倾斜辐射（但其速度也随之下降），也就是说，在其他条件不变的前提下，只要改变电信号频率，就可以改变声的辐射角  $\theta$ ，这是 EMAT 的又一特点。由于这一特点的存在，我们就可以在不更换能器的情况下实现波模的自由选择。

3) 对被探工件表面质量要求不高

EMAT 不需要与声波在其中传播的材料接触，就可向其发射和接收返回的超声波。因此对被探工件表面不要求特殊清理，较粗糙的表面也可直接探伤。

4) 检测速度快

传统的压电超声的检测速度，一般都在 10 米/分钟左右（国产设备），而 EMAT 可达到 40 米/分钟，甚至更快。

5) 声波传播距离远

EMAT 在钢管或钢棒中激发的超声波，可绕工件传播几周甚至十几周。在进行钢管或钢棒的纵向缺陷检测时，探头与工件都不用旋转，使探伤设备的机械结构相对简单。

6) 所用通道与探头的数量少

在实现同样功能的前提下，EMA 探伤设备所选用的通道数和探头数都少于压电超声。

特别在板材 EMA 探伤设备上就更为明显，压电超声要进行板面的探伤需要几十个通道和探头，而 EMA 则只需要四个通道及相应数量的探头就可以了。

#### 7) 发现自然缺陷的能力强

用户反馈回来的信息就足以证明了这种说法的可信度，EMAT 对于钢管表面存在的折叠、重皮、孔洞等不宜检出的缺陷都能准确发现。

### 3 EMA 技术在工业生产中的成功应用

在我国虽然无损检测事业发展很快，应用的范围也越来越广泛，但是，由于各种探伤手段都有其局限性，到目前为止，仍有许多领域缺少可靠的探伤手段（如中厚板、火车轮、大口径钢管等），许多难点得不到解决（如钢管表面的发纹、内外折叠、重皮等），众多的用户急需可靠的检测设备，来保证产品的最终质量，到目前为止，EMA 产品主要有：

#### 1) 钢管管体 EMA 探伤设备

针对现场的不同情况以及检测标准要求的不同 EMA 探伤设备主要分成三种形式

钢管直线前进，两个探头沿管体周向 120 度布置，随动跟踪检测。此种方法可连续检测钢管的纵向缺陷。主要用户有天津市无缝钢管厂；天津钢管有限责任公司；鞍钢无缝钢管厂等。

钢管螺旋前进，纵、横向各两组探头分别沿着管体周向布置，探头各自对管体进行随动跟踪检测。此种方法可连续检测钢管的纵、横向缺陷。主要用户有沧州华北石油专用管材有限公司等。

钢管原地旋转，纵、横向各两组探头在拖动小车的驱动下，直线前进，对管体表面进行螺旋式扫查。此种方法也可以连续检测钢管的纵、横向缺陷。主要用户有衡阳华菱钢管有限公司；天津钢管有限责任公司等。

#### 2) 高频焊管焊缝在线 EMA 探伤设备

探伤主机放置在焊管机组的飞锯之前，两组探头骑在焊缝的两侧，在焊管连续焊接得过程中也同时完成了对焊缝的连续检测。主要用户有廊坊金华实业有限公司等。

#### 3) 管端 EMA 探伤设备

两台探伤主机分别布置在钢管横向移动装置两边，钢管在固定位置原地旋转，纵、横向探头沿管体直线前进对管端进行螺旋式扫查。既可实现管端得的纵横向缺陷的连续检测。主要用户有天津钢管有限责任公司，攀钢集团成都钢铁有限责任公司等。

#### 4) 板材 EMA 探伤设备

探伤主机放置在焊管机组成型前的合适位置，钢板直线前进，四个探头沿板面按特定的距离依次排列，对钢板进行 100% 的扫查最终实现钢板的连续检测。主要用户有辽阳钢管厂、锦西钢管厂等。

#### 8.5.5.2 电磁超声探伤设备常见故障的判断及处理

仪器和设备在长期使用过程中，难免会出现一些毛病和故障，当故障发生时，不要手足无措，也不要急于下手，这样可能会事倍功半，并且容易产生新的故障。当设备出现故障时，首先要冷静分析，根据故障的现象，划分出故障的所属范畴，缩小范围，在通过比较和观察的方法判断故障的所在位置，找出故障，加以排除。

为了能使设备检修人员在查找故障过程中，拓展排除故障的思路，为此，对一些常见故障排除，特作如下解析，作为参考。

#### 1 仪器有始波显示而无回波显示：

可从如下几方面查找：

- 1) 检查有无磁化电流（可观察电流表显示，应在 2A—4A 之间），若磁化电流显示正常请检查下一项。  
如无磁化电流请查找：  
检查磁化头线圈是否开路。  
检查磁化线是否有开路点或断线。  
检查磁化回路中的低通率波器，固态继电器，中间控制继电器是否有损坏的。  
检查调压器是否正常工作。  
优化查找：
  - a: 通过调换两个磁化头的磁化线（4 芯插头），可判断故障点是在磁化头内还是磁化头外。
  - b: 再通过调换磁化柜中两个通道的磁化线（4 芯插头）可判断故障点是在外部磁化线上还是磁化柜内，再作进一步查找。
- 2) 检查探头和探头线：  
检查探头芯保护膜是否破损漏线。  
检查探头芯的发射和接收线圈是否有断线。  
检查探头芯的 9 芯插座到磁化头的 5 芯插座的过渡连线是否有断线。  
检查前置放大器盒到磁化头的 5 芯探头线是否有开路点或断线。  
优化查找：
  - a: 通过调换两个磁化头的磁化线（5 芯插头），可判断故障点是在磁化头内还是外部探头线。
  - b: 再通过更换新的探头芯可判断出故障点是在探头芯上还是在磁化头的 9 芯变 5 芯的过渡插座上。

## 2 仪器没有始波和回波显示:

可从如下几方面查找:

- 1) 调换报警机箱后面板上的两个 20 芯插头，可判断出故障点是在机内还是机外（若两通道显示有变化说明故障点在机外，否则在机内）。
- 2) 将 20 芯插头恢复，调换两个前置放大器盒上的 7 芯插头，观察两个显示屏，可判断出故障点是 7 芯信号线还是前置放大器盒（若两个通道显示有变化说明故障点在前置放大器盒上，否则是 7 芯信号线有开路点或断线）。
- 3) 将 7 芯插头恢复，检查有故障通道前置放大器盒电源，检查 3 芯电源线插头上是否有 AC220V 电压，若无电压输出应检查电源线和该电源控制继电器。（应在该通道探头落下时检查电源）。
- 4) 若前置放大器盒电源正常，可将两通道探头落下，不加磁化，并将两个通道的衰减器置 0，增益最大，观察两个通道的电噪声电平是否基本一样，若一样表明故障点可能在发射电路；若有某一通道无电噪声显示，表明故障点可能在该前置放大器。
- 5) 若经判断故障在机内则：  
可查仪器机箱后面板，报警箱到显示箱的 14 芯连线是否有断头的。  
调换报警箱两个通道的主放板进行观察判断。  
调换显示箱两个通道的视放板进行观察判断。  
有故障通道若无闸门显示还应调换报警机箱两个通道的同步板进行观察判断。

## 3 回波信号弱

产生该现象有如下几种可能:

- 1) 若两个通道显示的回波信号都弱,可能是被探管的材质、热处理工艺、管子表面应力等外界因素所致。
- 2) 若只有一个通道回波信号弱,可按如下几点查找:
  - a. 调整该通道探头磁化电流,观察回波信号使其最佳。
  - b. 调整发射脉冲串频率电位器,观察回波信号使其最佳。
  - c. 检查磁化头铁芯和管子之间间隙是否过大(一般在 1.5—2.5mm 之间)
  - d. 检查探头是否和管子表面良好接触。
  - e. 观察动态时磁化头跟踪状态是否良好。

#### 4 探伤过程中突然增加干扰

可按如下几个方面查找原因:

- 1) 探头保护套(或脚轮)磨损严重,导致磁化头铁芯与钢管表面间隙太小,使铁芯和管子似接非接,会产生干扰杂波,应更换新的保护套(或脚轮)。
- 2) 探头芯表面的保护膜破损使发射或接收线圈通过氧化皮和灰尘与管子表面接触产生微小放电,会造成明显的干扰杂波,应更换新探头。
- 3) 磁化头内部吸浮的灰尘或氧化皮过多,使探头板焊点绝缘程度降低,产生高压放电造成干扰杂波,应定期用风管吹除灰尘杂质。
- 4) 管子表面锈蚀严重,使钢管不能良好接地(相当于一个接收天线)也会造成明显干扰,对此类钢管探伤时应加适当的接地刷,使管子良好接地消除干扰。
- 5) 有些钢管表面有一层膜,使导通电阻很大,接地效果也不好,同样会产生一些干扰。

#### 5 显示屏有亮点无基线

可从如下三方面查找:

- 1) 将显示机箱两个通道的扫描板调换观察显示,若有变化则证明扫描板有故障,如无变化应按下一步查找。
- 2) 检查报警箱到显示箱的后面板 14 芯连线插,看同步线是否断了,若没断则进一步查找。
- 3) 将报警箱的两个同步板调换,观察显示效果,看是否同步板有故障。

#### 6 无亮点无基线

可按以下几点查找:

- 1) 调整垂直位移电位器,看基线是否在显示屏以外。
- 2) 调整亮度电位器,看是否亮度关至最小。
- 3) 调换两个通道的扫描板,判断是否是扫描板增辉电路有故障。
- 4) 如上述几点都正常,就应查找该通道显示上的高压分配电阻是否有开路的。
- 5) 如上述几点都正常可能是该通道的倍压块或者是示波管损坏。

#### 7 有基线和回波信号无闸门显示

可按以下几点查找:

- 1) 调换报警机箱两个通道的监控板,观察显示是否有闸门,效果相反证明监控板(闸门形成电路)损坏,如果效果相同证明监控板是好的,可进行下一步查找。
- 2) 检查仪器后面板监控机箱到显示机箱的 14 芯信号连线插头是否有开路点或断线,如正常可进行下一步查找。
- 3) 调换显示机箱两个通道的视放板观察显示效果,判断视放板闸门入口元件是否有损坏的。

## 8 监视机箱有电源而显示机箱无任何显示

可按以下几点查找：

- 1) 检查仪器后面板监控机箱到显示机箱的 2 芯电源线是否接触不良，如正常可进行下一步查找。
- 2) 检查显示机箱电源保险丝是否熔断，若保险丝断了，更换新的保险丝，若没熔断，进行下一步查找。
- 3) 细听显示机箱内是否有轻微的逆变电源响声，如有响声证明逆变电源板的高压电源有故障，若无响声，应进行下一步查找。
- 4) 检查显示机箱低压电源稳压输出端是否有+12V 电源输出，若有证明逆变电源板损坏，应更换或检修，若无+12V 电源输出则证明稳压块损坏，应更换新的。

## 9 显示屏上有一个固定的窜动杂波存在

出现此种现象主要是报警机箱内的同步板上的同步触发角偏移所致，应由专业技术人员进行触发角校正，同时监视回波信号的幅度，在回波信号幅度最佳的前提下，通过调整触发角将窜动的杂波移到显示范围之外即可。

## 10 设备的维护和保养

为了充分发挥设备的使用效率，减少隐患，降低故障率，延长设备使用寿命，日常维护和定期保养设备非常重要。

- 1) 要经常检查移动部分、传动部分和行走部分的螺杆、螺帽，看是否有松动的应及时紧固。
- 2) 设备应经常除尘，尤其是移动部分、传动部分和行走部分的除尘。
- 3) 每班都应检查磁化头保护套（或脚轮）的磨损情况，当发现磁铁和管子间隙小于 0.5mm 时，应及时更换新的保护套（或脚轮），确保磁铁不被磨损。
- 4) 若仪器长期不使用，应定期通电烘干，一般冬季一个月通电一次，夏季半个月通电一次，每次一小时左右。

## 8.6 人工检查

### 8.6.1 检查程序

#### 8.6.1.1 职责

- 1 钢管几何尺寸、表面质量检查由钢管质量检查员依据相应的标准或技术协议进行检查、判定。
- 2 钢管判定由判定员依照相应标准或技术协议进行综合判定。

#### 8.6.1.2 钢管质量检查工作程序

##### 1 检查前的准备工作

- 1) 当班检查员应将用于本班检查标识的漆料及高温粉笔准备齐全，以备应用。
- 2) 检查外表面照明灯及内表面检查灯是否正常，若有问题应及时通知特种无缝钢管厂，由特种无缝钢管厂调度室委派电工修理，内表面检查灯不亮不得检查入库，夜间外表面检查用照明灯不亮不得检查入库。
- 3) 检查游标卡尺、壁厚千分尺等量具，量具是否在规定的校准有效期内，壁厚千分尺、游

标卡尺零位是否能对准,若有异常,应及时与站内主管量具的人员联系,及时更换。

- 4) 接班检查员要认真查看上班记录,了解上班主要质量问题及遗留问题;认真查看生产计划及工艺通知单或相应的标准,对本班将检查的钢管品种、规格及质量要求做到心中有数。

## 2 钢管检查的条件

- 1) 每炉钢管检查前必须有精整作业区转来的生产流动卡片。
- 2) 检查员必须核对生产流动卡片与生产计划及实物合同号、炉号、标准、规格、钢种是否相符,若有异议应与特种无缝钢管厂精整作业区当班班长取得联系,查找原因,原因未查清楚不得进行检查。

## 3 钢管检查项目及方法

- 1) 钢管外表面质量检查依据相应标准要求逐支目测;内表面质量使用内表面检查灯,依据相应标准要求内容逐支目测。
- 2) 钢管外径及壁厚测量:钢管外径使用游标卡尺在管端测量,两个外径值  $D_1$ 、 $D_2$  应相互垂直。钢管壁厚使用壁厚千分尺在管端测量,均匀测量四个点的壁厚值。 $D_1$ 、 $D_2$  为两个外径值, $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  为四点壁厚值。
- 3) 当管子有弯曲度要求时,必须目测弯曲度,当一排钢管挤在一起出现明显的因管体弯曲,出现缝隙时,应通知生产人员,将弯曲管剔出重矫或判废;若管体弯曲不严重时有异议时,应将此管剔出,用拉线法或靠尺法测量钢管弯曲度,不超标者判合格,超标者判重矫或判废。

## 4 钢管质量检查的标识

- 1) 切修品,端部缺陷需切除的钢管,切除部分距端部 0.6 米以内时,应使用高温粉笔在需切割处画线及标注缺陷名称标识,切掉部位画折线,所画折线应尽可能在管段整个圆柱面上覆盖。
- 2) 当端部需切除的缺陷大于 0.6 米时应使用高温粉笔在管端画折线并用箭头结标出切割位置距离及标注缺陷名称标识,所画折线应尽可能在管段整个圆柱面上覆盖。
- 3) 废品,在管端 0.5 米以内画上“⊗”标记及标注缺陷名称标识。
- 4) 经检查出的修磨品,可在修磨的缺陷处画“○”标识,经修磨合格做“⊕”标记后方可跟队,若修磨不合格则在管端 0.5 米处画“⊗”标识,按废品处理。
- 5) 经再切修磨,回矫后的钢管,应重新检查。

## 5 钢管几何尺寸抽查的频次

接班时和更换规格的前 10 支钢管必须按照要求测量点检测几何尺寸;每炉钢管检查约 1/2 时,应抽检 10 支钢管的几何尺寸,每炉钢管几何尺寸测量记录值不得少于 10 支管的 60 个数值。

## 6 质量记录的填写

每炉钢管检查完或需交班而未检查完的炉号,必须填写《成品(半成品)检验记录》,填写记录时字迹应清晰,不准乱涂乱抹,记录数据应准确无误,几何尺寸抽检数据应随测随记,不得写回忆录,记录需修改处修改人应签署姓名。检查记录由站内统计员或判定员定期收集,并由统计员按炉整理归档。

## 7 异常质量信息的传递

当检查员发现同一缺陷连续出现时,应及时通知当班调度,并要求其查找原因排除故障。

## 8.6.2 热轧无缝钢管缺陷

### 8.6.2.1 内表面缺陷

#### 1 内折

特征：在钢管的内表面上呈现直线或螺旋、半螺旋形的锯齿状缺陷。

产生原因：

- 1) 管坯：中心疏松、偏析；缩孔残余严重；非金属夹杂物超标。
- 2) 管坯加热不均、温度过高或过低、加热时间过长。
- 3) 穿孔区域：顶头磨损严重；穿孔机参数调整不当；穿孔辊老化等。

检判：钢管内表面不允许存在内折，管端内折应修磨或再切，修磨处壁厚实际值不得小于标准要求最小值；通长内折判废。

#### 2 内结疤

特征：钢管内表面呈现斑疤，一般不生根易剥落。

产生原因：

- 1) 石墨润滑剂中带有杂质。
- 2) 荒管后端铁耳，被压入钢管内壁等。

检判：钢管内表面不允许存在，管端处应修磨及再切，修磨深度不应超标准要求负偏差；实际壁厚不得小于标准要求最小值；通长内结疤判废。

#### 3 翘皮

特征：钢管内表面呈现直线或断续指甲状翘起的小皮。多出现在毛管头部，且易于剥落。

产生原因：

- 1) 穿孔机调整参数不当。
- 2) 顶头粘钢。
- 3) 荒管内氧化铁皮堆积等。

检判：钢管内表面允许存在无根易剥落（或在热处理时可烧掉）的翘皮。对有根的翘皮应修磨或切除。

#### 4 内直道

特征：在钢管内表面存在具有一定宽度和深度的直线形划伤。

产生原因：

- 1) 轧制温度低，芯棒粘有金属硬物。
- 2) 石墨中含有杂质等。

检判：

- 1) 套管和普管允许深度不超过 5%（压力容器类最大深度 0.4mm）的内直道存在。慎独超查德内直道应修磨、切除。
- 2) 边缘尖锐的内直道应修磨平滑。

#### 5 内棱

特征：在钢管内表面存在具有一定宽度和深度的直线形凸起。

产生原因：芯棒磨损严重，修磨出不圆滑或过深等。

检判：

- 1) 套管、管线管允许存在高度不超过壁厚道 8%，最大高度不超过 0.8mm 不影响通径的内棱存在。超差应修磨及再切。
- 2) 普管、管线管允许存在高度不超过壁厚 8%（最大高度为 0.8mm）的内棱存在。超差应修磨及再切。

- 3) 对 L2 级 (即 N5) 探伤要求钢管, 内棱高度不得超过 5% (最大高度为 0.5mm)。超差应修磨及再切。
- 4) 边线尖锐的内棱应修磨平滑。

## 6 内鼓包

特征: 钢管内表面呈现有规律的凸超且外表面没有损伤。

产生原因: 连轧辊修磨量过大或掉肉等。

检判: 按照内棱要求检判。

## 7 拉凹

特征: 钢管内表面呈现有规律或无规律地凹坑且外表面无损伤。

产生原因:

- 1) 连轧调整不当, 各架辊轧速不匹配。
- 2) 管坯加热不均匀或温度过低。
- 3) 轧制中心线偏离, 钢管与连轧后辊道碰撞产生等 (注: 此种原因 2003.1 提出, 原理尚在探讨)。

检判: 不超过壁厚负偏差, 实际壁厚大于壁厚要求最小值的拉凹允许存在。超标的拉凹应切除。(注: 拉凹严重发展即为拉裂, 此种伤应严格检验)。

## 8 内螺纹 (此缺陷只在阿塞尔机组产生)

特征: 钢管内表面有螺旋状痕迹, 多出现在薄壁管内表面, 有凹凸不平的明显手感。

产生原因:

- 1) 斜轧工艺的固有缺陷。在阿塞尔轧管机工艺参数调整不当时, 这种缺陷更为突出。
- 2) 变形量分配不合理, 阿塞尔减壁量过大。
- 3) 阿塞尔轧型辊型配置不当。

检判: 钢管内螺纹缺陷深度不大于 0.3mm, 且在一定的公差范围之内。

### 8.6.2.2 外表面缺陷

#### 1 外折

特征: 在钢管外表面呈现螺旋状的层状折叠。

产生原因:

- 1) 管坯表面有折叠或裂缝。
- 2) 管坯的皮下气孔, 皮下夹杂较严重。
- 3) 管坯表面清理不良或有耳子、错面等。
- 4) 轧制过程中, 钢管表面被掀起划伤, 通过轧制又被压合到钢管的基体上, 形成外折等。

检判: 不允许存在: 轻微的可进行修磨, 修磨后壁厚和外径实际值不得小于标准要求的最小值。

#### 2 离层

特征: 在钢管表面上呈现螺旋形或块状的分层和破裂。

产生原因: 管坯中非金属夹杂物严重、残余缩孔或严重疏松等。

检判: 不允许存在。

#### 3 外结疤

特征: 钢管外表面呈现斑疤。

产生原因:

- 1) 轧辊粘钢、老化、磨损严重或碓辊。

- 2) 输送辊道粘有异物或磨损严重。

检判:

- 1) 外结疤成片分布应修磨或切除。
- 2) 在有外结疤的管段上, 外结疤面积超过 10%应切除或修磨。
- 3) 深度超过壁厚 5%的外结疤应修磨。
- 4) 修磨处的壁厚、外径实际值不得小于标准要求的最小值。

#### 4 麻面

特征: 钢管表面呈现高低不平的麻坑。

产生原因:

- 1) 钢管在炉内停留时间过长或加热时间过高, 使表面生成氧化铁皮过厚, 清除不净, 轧入钢管表面。
- 2) 高压水除磷设备不正常工作, 除磷不净等。

检判:

- 1) 局部不超过壁厚负偏差的麻面允许存在。
- 2) 麻面面积不得超过有麻面管段面积 20%。
- 3) 超差麻面可修磨或切除, 修磨处壁厚、外径实际值不得小于标准要求最小值。
- 4) 严重麻面判废。

#### 5 青线

特征: 钢管外表面呈现对称或不对称的直线形轧痕。

产生原因:

- 1) 定径机孔型错位或磨损严重。
- 2) 定径机轧辊孔型设计不合理。
- 3) 轧低温钢。
- 4) 轧辊加工不好, 轧辊边部倒角太小。
- 5) 轧辊装配不好, 间隙过大等。

检判:

- 1) 套管外表面允许高度不超过 0.2mm 青线存在, 超差应修磨。
- 2) 高压容器类管不允许有手感青线存在。有手感青线必须清除。修磨处应圆滑无棱角。
- 3) 普管类钢管(结构、流体、液压支架等)允许高度不超过 0.4mm 青线存在, 超差应修磨。
- 4) 边缘尖锐的青线应修磨平滑。
- 5) 修磨处壁厚、外径值实际值不得超过标准要求最小值。

#### 6 发纹

特征: 在钢管外表面上, 呈现连续或不连续的发状细纹。

产生原因:

- 1) 管坯有皮下气孔或夹杂物。
- 2) 管坯表面清理不彻底, 有细小裂纹存在。
- 3) 轧辊过度磨损、老化。
- 4) 轧辊加工精度不好等。

检判: 钢管外表面不允许存在肉眼可见的发纹, 如存在应完全清除, 清除后壁厚、外径实际值不得小于标准要求最小值。

#### 7 网状裂纹

特征: 钢管外表面上呈现带状且螺距大的鱼鳞状小裂纹。

产生原因:

- 1) 管坯有害元素含量过高(如砷元素)。
- 2) 穿孔辊老化、粘钢。
- 3) 导板粘钢等。

检判: 应完全清除。清除后的壁厚、外径实际值不得小于标准要求最小值。

## 8 划伤

特征: 钢管外表面呈螺旋形或直线形沟状缺陷, 大部分可以看到沟底。

产生原因:

- 1) 机械划伤主要产生于辊道、冷床、矫直、运输方面。
- 2) 轧辊加工不好或磨损严重或辊缝夹有异物等。

检判:

- 1) 钢管外表面允许局部存在不超过 0.5mm 的划伤, 超 0.5mm 划伤应修磨。修磨处壁厚、外径实际值不得小于标准要求最小值。
- 2) 边缘尖锐的划伤应修磨平滑。

## 9 碰瘪

特征: 钢管外表面呈现外凹里凸的现象, 而钢管壁厚无损伤。

产生原因:

- 1) 在吊运中碰击至瘪。
- 2) 矫直咬入时碰瘪。
- 3) 定径机后辊道碰瘪等。

检判: 局部不超外径负偏差且表面平滑的碰瘪可以存在。超差时切除。

## 10 碰伤

特征: 钢管外表面因碰撞产生无规律的伤痕。

产生原因: 可产生于冷区与热区的各种碰撞等。

检判:

- 1) 外表面允许局部存在深度不超过 0.4mm 的碰伤。
- 2) 超过 0.4mm 碰伤应修磨平滑且修磨处外径、壁厚实际值不得小于标准要求最小值。

## 11 矫凹

特征: 钢管外表面呈螺旋形的凹入。

产生原因:

- 1) 矫直机辊角度调整不当、压下量过大。
- 2) 矫直辊磨损严重等。

检判: 钢管外表面允许存在无明显棱角的和内表面不突出, 且外径尺寸符合公差要求的矫凹。对超标矫凹应切除。

## 12 轧折

特征: 钢管管壁沿纵向局部或通长呈现外凹里凸的皱折, 外表面成条状凹陷。

产生原因:

- 1) 孔型宽展系数选择太小。
- 2) 轧机调整不当致使孔型错位或轧制中心线不一致。
- 3) 连轧机各架压下量分配不当等。

由于以上原因使得钢管在轧制过程中金属进入轧辊间隙或者管子失掉稳定性造成管壁皱折。

检判: 不允许存在。应切除或判废。

### 13 拉裂

特征：钢管表面有拉开破裂现象，多产生在薄壁管上。

产生原因：

- 1) 由于管坯加热温度不均，使得变形部俊，温度低的部位拉力轧制，当拉力较大时，将管子拉裂。
- 2) 连轧机各架速度和辊缝调整不当，造成拉钢而撕破。
- 3) 毛管壁厚影响，当穿孔机供给连轧机的毛管壁厚较小时，在连轧机金属变形量比设计变形量减小，造成连轧机拉力轧制，拉力大时而撕破。
- 4) 管坯本身局部存在较严重的夹杂物。

#### 8.6.2.3 尺寸超差

##### 1 壁厚不均

特征：钢管在同一截面上壁厚不均匀，最大壁厚和最小壁厚相差大。

产生原因：

- 1) 管坯加热不均。
- 2) 穿孔机轧制线未调正，定心辊不稳定。
- 3) 顶头磨损或顶头后孔偏心。
- 4) 管坯定心孔补正。
- 5) 管坯弯曲度、切斜度过大。

检判：逐支测量，壁厚不均端应切除。

##### 2 壁厚超差

特征：钢管壁厚单向超差，超正偏差者称之为壁厚超厚；超负偏差者称之为壁厚超薄。

产生原因：

- 1) 管坯加热不均。
- 2) 穿孔机调整不当。

检判：逐支测量，端部超差应切除，全长超差应改判或判废。

##### 3 外径超差

特征：钢管外径超标，超正差者称之为外径大，超负差者称之为外径小。

产生原因：

- 1) 定径机孔型磨损过大，或新孔型设计并不合理。
- 2) 终轧温度不稳定。

检判：逐支测量，超标应给予改判或判废。

##### 4 弯曲

特征：钢管沿长度方向不平直或在钢管端部呈现鹅头状的弯曲称之为“鹅头弯”。

产生原因：

- 1) 人工热检时局部水冷造成。
- 2) 矫直时调整不当，矫直辊磨损严重。
- 3) 定径机加工、装配及调整不当。
- 4) 吊装运输中造成弯曲。

检判：弯曲度超标时，可二次重矫直，否则判废。无法矫直的“鹅头弯”应给予切除。

##### 5 长度超差

特征：钢管长度超出要求，超正差称长尺，超负差称短尺。

产生原因：

- 1) 管坯长度超标。

- 2) 轧制不稳定。
- 3) 分切时没控制好等。

检判：长尺管再切或改判，短尺管改判或判废。

## 8.7 钢管的质量保证

### 8.7.1 质量保证的控制要点简述

公司生产范围内：

TPCO 按合同组织生产。销售公司和进出口部接到合同后应转交制造管理部，由工艺技术人员对合同进行技术评审（难度大需科研支持的转钢管研究所），评审有难度的应签上意见返回销售公司和进出口部与用户再次沟通，评审通过的随后签署合同。制造部根据合同要求编制下发工艺单（科研项目编制质量控制计划），制定生产计划，各二级厂再根据工艺通知单向不同的生产岗位下发工艺卡、工艺联络票，这些文件对各工艺参数、控制要点有详细的规定，各生产厂严格按此规定及岗位操作规程、工艺技术规程进行操作。除在线检测设备（测温、测厚、测长、测速等）由计算机对铸坯、钢管的生产进行微观检测和调控外，炼钢、轧管、管加工三个主体厂还专门配备了工艺巡检师，他们的职责就是对铸坯、轧管、管加工生产的各个环节、工序、进行监督和检查，并填报工艺巡检记录，以备查阅。

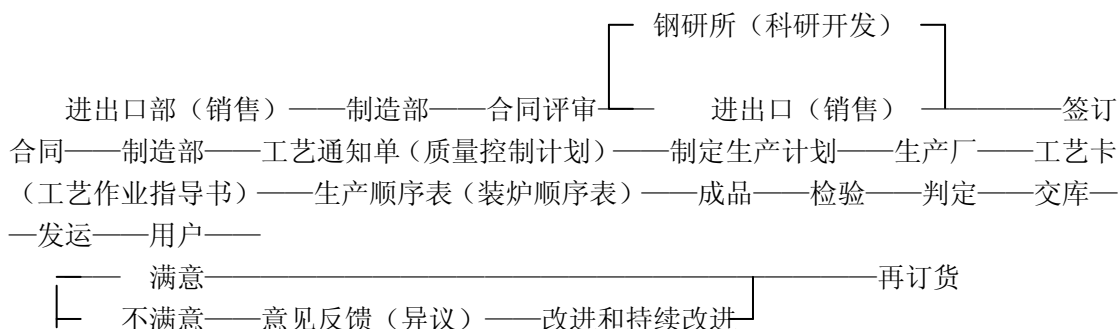
炼钢过程控制要点：采用优质废钢+铁水，确保钢中 Cu 及“五害”元素的低含量；强化脱磷、脱硫，严格按照要求控制化学成分的目标值及冶炼温度；保证足够的真空度和真空处理时间，确保脱气效果，连铸过程中要严格控制中间包的过热度及拉皮速度。

轧管控制要点：严格控制来料的质量，避免产生因铸坯端面斜度过大而引起的钢管头部不均和因铸坯表面渣孔等缺陷而引起的钢管裂纹、外结疤等；严格控制环形炉、在加热炉的加热温度，加大调整管坯热定心的检查力度，保证管坯定心孔的对中精度，确保钢管壁厚公差和壁厚不均度；加强高压水除鳞和钢管内外表面的保护，保证钢管内外表面质量的光洁度；为保证外径公差及外径圆度，采用新型的成品精轧孔型；NDT 探伤要求每半隔 4 小时对探伤用样管校验一次。

管加工控制要点：严格控制钢管的淬火、回火温度，提高钢管的屈服强度，降低钢管的内应力；按工艺要求控制热矫直温度，降低钢管表面残余应力；水压试验试验压力、稳压时间；扭矩、介质的控制等。

### 8.7.2 质量控制点

#### 8.7.2.1 质量控制流程



### 8.7.2.2 工艺控制点举例（以高锅为例）

20G 高压锅炉管的生产工艺比中低压锅炉管生产工艺更复杂，要求更严格，现以 20G 管的生产工艺为代表简介如下：

#### 1 冶炼工艺

150 吨超高功率电弧炉冶炼 → 钢包精炼 → 喂丝 → 六流连铸

在电弧炉冶炼中采用偏心炉底出钢，减少温降和钢水二次氧化；配有氧油烧嘴，吹氧助熔，减少熔化时间，节省能耗；采用泡沫渣冶炼，可进行长弧埋弧操作，不仅可节省电极，还可限制钢水在炉中增氮、增氢，降低氧量；全过程采用计算机控制，使冶炼过程最佳化。

精炼时，包底吹 Ar 气搅拌。这样不仅使钢水成分均匀，还有利于去气和夹杂物上浮，进一步纯净钢水。

设有两台喂丝机，可喂 Al 丝和 Si-Ca 丝。喂丝不仅可用于成分微调、脱硫、去氧、去除夹杂和改变夹杂物状态，还可以避免连铸水口结瘤。

根据 20G 钢种特点及标准要求制订了冶炼工艺，规定了内控成分范围。以 S 和 P 为例，其内控成分要求， $P \leq 0.020\%$ ， $S \leq 0.015\%$ 。确定了电弧炉出钢、钢包精炼结束即连铸大包钢水的温度控制范围，以确保连铸坯表面质量。

连铸机为弧形六流连铸，配有蝶式大包回转台，可同钢种多炉连浇，全过程计算机控制，保证铸坯质量合乎制管要求。

20G 管坯的质量判定执行内控标准 TGGK01-2004 内控标准，对化学成分、定尺长度允许公差、硫印检验、弯曲度、表面及端面确定质量要求。其边部裂纹、中部裂纹（半径 1/2）、芯部裂纹和洁净度内控合格级别均为  $\leq 2$  级。

#### 2 轧制工艺

##### 1) 管坯的加热

管坯锯切后在中径 48 米燃气式环形加热炉中加热。环形炉共分 9 个控制段，第 1、2 段为预热段，利用上游段和高温烟气加热；第 3、4、5 段为加热段，承担着全部加热任务，每段 22 支烧嘴；第 6、7、8、9 段为均热段，消除管坯经过加热段时所造成的内部和表面之间的温差，管坯采用高温加热，以管坯直径不同，总加热时间有所差别，管坯端面温差控制在  $\pm 10^\circ\text{C}$  以内。

##### 2) 穿孔和轧管

使用立式狄舍尔穿孔机穿孔。根据成品管规格，调整好穿孔机的辊距、导盘距、顶头前伸量、送进角和辗轧角，穿出适宜尺寸的毛管。穿好的毛管送至七架限动芯棒连轧机组进行轧制，根据数学模型计算的轧制表控制压下、连轧速度及芯棒石墨润滑。出连轧机的钢管再进入定径机。根据实践经验和理论分析找到 20G 管的外径和壁厚精度精度与钢管径壁比、碳当量、空型尺寸、总减径率和张力系数之间的函数关系，从而可以保证成品管外径和壁厚公差符合有关标准要求。

##### 3) 在线检测

轧管在线配备了优质完善的测温、测长、测径和测厚系统，可有效地进行过程控制。

##### 4) 漏磁探伤检验

在线设置了由美国进口的漏磁探伤机。可对高锅在线逐支进行探伤。根据 GNB/T12606-90《钢管及圆棒漏磁探伤方法》和 GB5310-95 要求，配备了探伤样管，对超标钢管予以剔出。

#### 3 成品管入库前的热处理

轧制完成的 20G 成品管转入管加工厂进行正火、超声波探伤、水压、取样等工序，性

能检验合格后入库。

根据生产实践，对于壁厚小于 14mm 的钢管，可以采用控制终轧温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ 代替正火处理工艺，对于壁厚大于 14mm 的钢管，要在管加工厂进行  $910^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  的正火处理。（当壁厚 $\leq 14\text{mm}$  的钢管用控制终轧温度而性能不合的钢管也需到管加工进行  $910^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  的正火处理）。

热处理后性能合格的钢管后续加工的工艺流程为：

钢级鉴别 → 管端检查 → 切头分切 → 导棱 → 钢管内部冲洗 → 水压试验 → 超声波探伤 → 测长、称重、打印、喷标 → 表面涂漆 → 烘干 → 成品入库

#### 4 特殊工序控制

##### 1) 特殊工序

特殊工序是对成品的外观和性能起决定作用的工序。其管理部门应对此工序进行实施确认。

特殊工序的综合管理部门为制造管理部，炼钢厂、第二炼钢厂、轧管厂、168 新型钢管厂、特种钢管厂、管加工厂、冷轧不锈钢管厂是特殊工序的操作、管理、实施部门。从事特殊工序的人员应由人力资源部组织培训考核，按岗位认定资格，合格后必须持证上岗。

##### 2) 特殊工序管理（以 PU2 为例）

设备方面：现场的设备必须满足工艺要求，仪器、仪表完好并经校准在有效期内，同时，按设备点检、定修制度进行维修保养，以确保特殊工序始终处于受控状态。且有特殊工序标志。

工艺方面：特殊工序对上道工序来料各项指标应符合相关标准及文件的规定。

轧管部分的再加热和定径为特殊工序。其主要的工艺参数为：钢管的加热温度、定径机速度制度以及钢管几何尺寸。每年定期对特殊工序进行鉴定，并产生相应的记录。

特殊工序的鉴定和管理：鉴定由制造管理部、设备管理部 and 生产厂相关人员一起对设备和工艺参数进行确认，并形成记录，记录保存期为 5 年。

#### 5 轧制中的质量保证

除了按体系严格执行工艺标准化以外还进行了以下措施：

- 1) 为保证产品的实物质量，满足用户要求，公司经过调研和走访用户，根据用户的特殊要求并结和我公司的工艺、装备情况，制订了企业标准（或相应的质量控制计划），并严格按次组织生产和内部考核；
- 2) 经常走访用户，定期召开用户座谈会，了解用户对我公司相应管质量的意见和建议，组织技术人员对主要质量问题进行技术攻关；
- 3) 增设了岗位巡检工艺师，分别对生产过程中的关键环节、工序、重点工艺参数进行抽样、监督和检查；
- 4) 完善人工检查条件，增设人工检查台架，加强检验；⑤轧制过程中及时检查轧辊、导向装置、输送滚道，定期更换磨损严重的轧辊。

### 8.7.3 工艺文件的编制与执行

#### 8.7.3.1 工艺文件的编制

工艺文件包括工艺通知单、质量控制计划标准和标准类文件。

工艺文件的编制是在合同正式签订后，又制造部（或钢研所）按照合同及标准要求，转

化成可执行的工艺条款，为了适应我公司的生产实际，还下发了相当于标准类型的文件，或针对实际问题所制订的管理办法。合同中在标准未明确的要求，应与用户再次确认详细，并在工艺中详细注明，以便于指导生产顺利进行；凡在合同执行期间有变更的情况，要及时联系，确认可操作性，并及时下发相应的补充或更改工艺文件，这类文件在编制时，进出口（或销售公司）应提供相应的证据作为工艺编制的依据。

### 8.7.3.2 工艺文件的执行

工艺文件一经制订，经核对后签发。相关部门（各生产厂、质保部门等）应遵照执行。二级生产厂针对工艺文件并结合本单位的生产情况进一步细化，编制成作业指导书，如果工艺成熟，可以归纳成工艺标准卡，审定后签发，工艺操作人员应严格执行。

### 8.7.3.3 工艺标准化检查

#### 1 标准化检查的依据和内容

为使工艺文件和工艺制度按体系的要求运行，制造部工艺人员与生产主管工艺师应对各生产厂按工序要求进行检查监督，对特殊工序进行详细的工艺审核，同时每年要对特殊工序作相应的工艺和设备检定。以保证本工序的生产有效性。为加强工艺标准化操作，提高工艺控制水平，达到“精益化生产”要求，使之真正服务于生产进度和交付合同，特制定本检查、考核实施细则。

- 1) 检查、考核依据：标准化操作检查的依据为体系文件、各厂的工艺技术规程、岗位操作规程，制造管理部、技术中心下发的工艺技术类相关文件。
- 2) 检查、考核内容：对产品质量有直接影响的设备及仪表的工作状态，各生产厂对生产工具更换及使用规定的执行情况，原始记录等。为便于检查，根据技术规程编制了“标准化操作检查指导项目”，根据现场的生产情况、质量状况，作为检查选择的项目，举例：见附件。

#### 2 标准化检查方法

- 1) 制造管理部不定期检查每月一次，由制造管理部工艺科组织实施。
- 2) 各生产厂标准化操作检查每周不少于一次，由各厂生产技术科组织实施。
- 3) 在出现重大、重复性质量问题时，制造管理部对有关岗位标准化作业的检查次数不限。
- 4) 标准化作业检查中发现的不合格项目，根据违标严重程度分重大不合格项目、一般不合格项目和观察项目：
  - a 重大不合格项目是指非偶发的，足以直接导致产品（中间产品）质量问题的违标作业及连续三次重复发生一般不合格项目；
  - b 一般不合格项目是指偶发的，可能间接影响产品（中间产品）质量问题的违标作业。
  - c 观察项目是指第一次发生，尚难确定将对质量产生何种影响的违标作业。

#### 3 标准化作业检查中发现不合格项目的处理

- 1) 对于标准化检查中发现的不合格项目，应根据二级程序文件关于纠正和预防措施管理程序，制造管理部下达不合格通知单，产生不合格项目的生产厂采取纠正措施。
- 2) 对于标准化作业检查中发现的不合格项目，制造管理部应对产生不合格项目的责任部门进行经济考核。

## 8.7.4 其它

### 8.7.4.1 工艺跟踪

对于不稳定的工艺、难轧产品，初次试轧品种应加以工艺跟踪，跟踪时，应对产品质量

相关的参数和工艺稳定性作相应的过程记录，以判定本机组、本工艺路线、温度制度等的合理性。如有必要时，召集生产、技术人员进行研讨，确定以后工作的思路，并作会议纪要，为以后合同的审核等工作提供技术支持。

#### 8.7.4.2 体系运行与工艺执行之间的关系

对于体系运行中对工艺方面的体现主要在现场质量工作的细化和完善，最终形成闭环。表现在：

- 1 按工艺标准、质量控制计划生产，严格执行岗位技术和操作规程；
- 2 对现场治理整顿，做好定置管理；
- 3 建立健全质量信息系统：设法建立的质量动态信息和质量反馈信息；
- 4 现场管理工作的细致到位：掌握产品质量波动的规律，预防、控制异常波动。



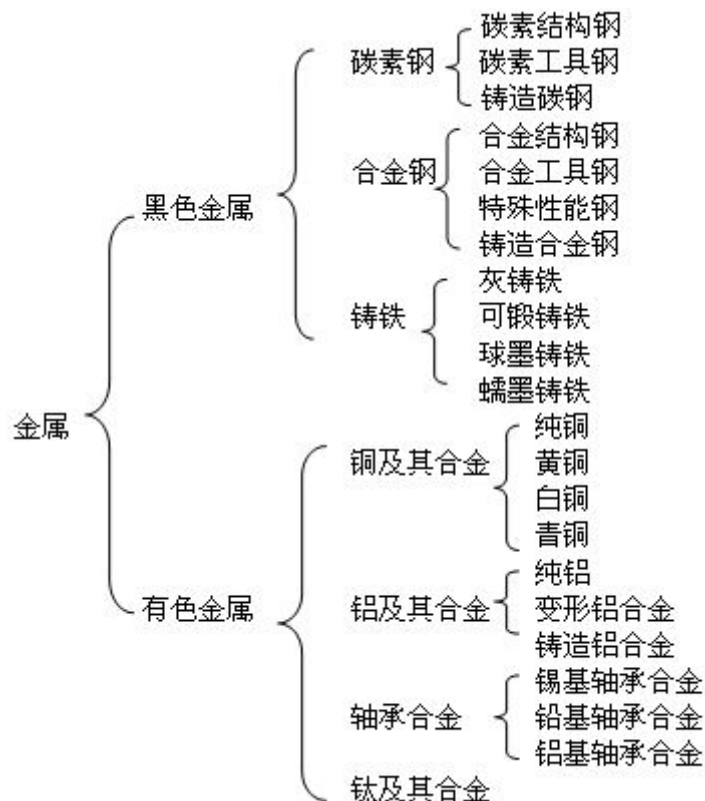
# 第九章 钢管的试验检测

## 9.1 钢管的力学性能

### 9.1.1 前言

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料。它之所以获得广泛的应用，不仅是由于它的来源丰富，而且还由于它具有优良的性能。此外，金属材料品种多，性能各异，可以通过不同的加工方法（例如热处理），使金属材料的某些性能获得进一步的改善，从而扩大其使用范围。

作为钢管公司的技术工人，无论从事生产制造或维修工作，都会遇到金属材料的选用及热处理问题。在生产中，如果选材不当，或者钢管的热处理工艺选得不合理，将使钢管不能满足用户的使用要求，造成很大的经济损失。为此，我们必须掌握常用金属材料的成分、加工方法、组织、性能、用途之间相互联系的基本知识，并运用这些知识去解决实际生产中遇到的具体问题。



我厂产品主要是根据美国石油协会 (API) 及其它规范生产的石油套管、油管、接箍、管线管、液压支架管、结构管等。

根据 API 5CT 标准及用户要求，对石油套管，要求使用时能达到地下 6000 米，并经激烈温差变化，腐蚀环境及其内外耐压要求为 2000psi。在这样的压力下，套管的外观不能有

变形和损坏，这就要求石油套管的抗拉强度、屈服极限、冲击韧性及管材的工艺性能应满足一定的要求。不难看出钢材从冶炼到轧制、管加工和热处理后要使化学成分、金相、力学、金属物理性能等达到使用要求。

金属材料的性能可分为两大类：

使用性能：包括力学性能、物理性能、化学性能

工艺性能：包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能。

本节主要介绍这些性能的概念、力学性能指标及测试方法。

## 9.1.2 金属材料的力学性能

定义：力学性能：金属抵抗外力作用的能力。

载荷：作用在金属材料上的外力。根据载荷的性质可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等。

常用的力学性能指标有：强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

### 9.1.2.1 强度和塑性

金属受到载荷作用后，其变形和破坏过程一般是：弹性变形→弹性变形加塑性变形→断裂。

弹性变形是指载荷全部卸除后，可完全恢复的变形；塑性变形是指在载荷去除后，材料中仍残留下来的变形。

#### 1 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下，抵抗变形和断裂的能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式，所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。钢管的强度一般可以通过金属拉伸试验来测定。

##### 1) 拉伸曲线

在静力单轴拉伸试验时，按国家标准规定的速度对试样施力，并利用拉力试验机上的自动绘图装置或者加设的自动绘图系统，可以绘出试样在试验过程中力与伸长之间的关系曲线，即拉伸曲线。由于该图不仅能明确显示出材料在拉伸过程中的变形特征，而且根据拉伸曲线可以得出主要的力学性能试验数据。因此，国际标准和国家标准都将拉伸曲线的绘制列入测定项目，并作了明确的精度要求。

拉伸机上，低碳钢缓慢加载单向静拉伸曲线见图 9-1。

曲线分为四阶段：

##### ① 阶段 I (oab) ——弹性变形阶段

a:  $P_p$  , b:  $P_e$  (不产生永久变形的最大抗力)

oa 段:  $\Delta L \propto P$  直线阶段即试样的伸长量与载荷成正比关系，符合虎克定律。

虎克定律：弹性的物体，在其弹性限度内，其受力的大小与其长度的改变量（伸长量）成正比。

注：弹性限度：当弹性物体受一力的作用时，当力的效应除去时，弹性物体仍能回到其未受力的状态，则此力为弹性限度。

ab 段：极微量塑性变形 (0.001--0.005%)

当  $P_p < P_e$  时，试样伸长量与载荷已不再成正比关系，拉伸曲线不成直线，但试样仍处于弹性变形阶段，此时去除载荷，试样仍能恢复原状。

##### ② 阶段 II (bcd) 段——屈服变形

载荷超过  $P_e$  后，除弹性变形外，试样开始产生塑性变形。当载荷达到  $P_s$  时，在拉伸曲线上出现了水平或锯齿形的线段，这表明在在载荷不增加甚至减少的情况下，试样仍继续变

形，这种现象称为“屈服”。

屈服点  $P_s$

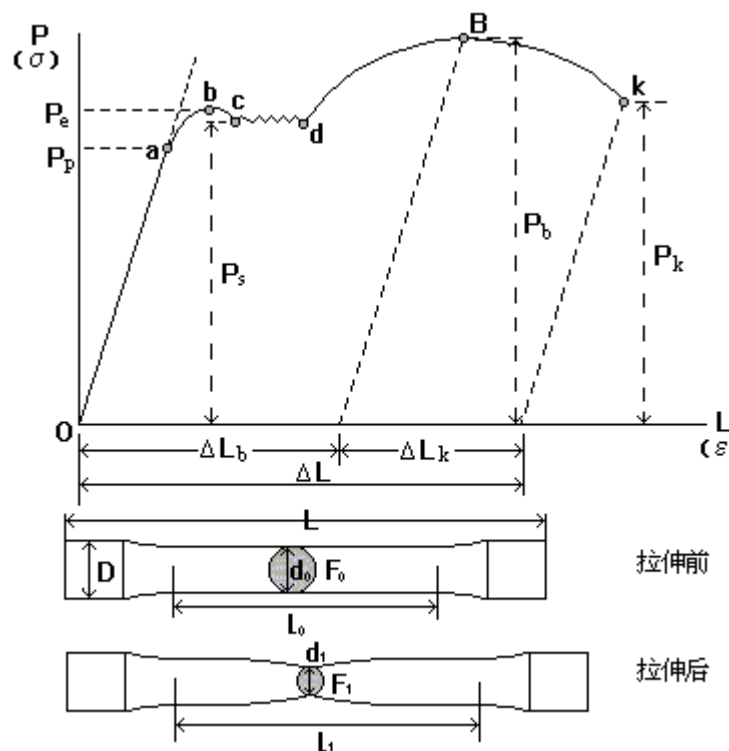


图 9-1 拉伸曲线

③ 阶段 III (dB) 段——均匀塑性变形阶段

屈服现象过后，变形量又随载荷的增加而逐渐增大，整个试样发生均匀而显著的塑性变形。

B:  $P_b$  材料所能承受的最大载荷

④ 阶段 IV (BK) 段——局部集中塑性变形

当载荷增加到某一最大值  $P_b$  后，试样的局部截面开始急剧减小，出现了“颈缩”现象。以后的变形主要集中在颈缩部分。由于颈部附近试样截面面积急剧减小，载荷也逐渐降低。当达到  $P_k$  时，试样在颈缩处断裂。

铸铁、陶瓷：只有第 I 阶段

中、高碳钢：没有第 II 阶段

2) 强度指标

根据拉伸曲线上各特殊点的载荷与试样原截面的关系，可以测得材料的强度指标。

试样在受载荷  $P$  作用时，材料内部产生同等大小的抵抗力。材料单位截面积上的抗力称为应力，即

$\sigma = P/F_0$  表示材料抵抗变形和断裂的能力

式中： $\sigma$ ——应力

$P$ ——载荷

$F_0$ ——试样原始横截面积

金属材料的强度，常用应力来表示。

## ① 抗拉强度

$$\sigma_b = P_b / F_0$$

式中： $\sigma_b$ ——试样在拉断前所承受的最大应力（材料抵抗外力而不致断裂的极限应力值）

$P_b$ ——试样在拉断前所承受的最大载荷

$\sigma_b$  越大，表示材料抵抗断裂的能力越大，即强度越高。 $\sigma_b$  也是设计、选择材料的主要依据，也是评定金属材料强度的重要指标之一。此外，它还是可以确定材料是否有缺陷，质量是否合格，作为改进生产工艺的依据。

② 屈服强度  $\sigma_s$  和条件屈服强度  $\sigma_{0.2}$ 

屈服强度  $\sigma_s$ （ $\sigma_s$  代表材料开始明显塑性变形的抗力，是设计和选材的主要依据之一。）

$$\sigma_s = P_s / F_0$$

式中： $\sigma_s$ ——屈服极限

$P_s$ ——试样发生屈服时的载荷

条件屈服强度  $\sigma_{0.2}$

有些金属材料，如中高碳钢及某些合金钢，在拉伸试验中没有明显的屈服现象，所以无法确定屈服点，按国家标准 GB228—87 规定，可以用条件屈服强度  $\sigma_{0.2}$  表示。 $\sigma_{0.2}$  为试样标距部分残余伸长达到原标距长度的 0.2% 时的应力值。

$$\sigma_{0.2} = P_{0.2} / F_0$$

式中： $P_{0.2}$ ——试样标距部分产生 0.2% 残余伸长时的载荷

由金属材料制成的结构件和零件，在使用时所受的应力只能限制在弹性变形范围内，而不允许超过  $\sigma_s$  或  $\sigma_{0.2}$ ，否则会引起明显的塑性变形，导致结构扭曲，机器无法正常工作。因此，材料的屈服强度是进行机器及结构设计的主要依据，也是评定金属材料强度的重要指标之一。

脆性材料： $\sigma_b = \sigma_s$  如：灰口铸铁。

金属材料的屈服极限与抗拉强度的比值（ $\sigma_s / \sigma_b$ ）叫屈强比。屈强比越小，安全可靠性越高，但材料强度的有效利用率越低；屈强比过大，说明材料的屈服极限接近抗拉强度，虽然材料强度的有效利用率高，但使用时容易发生脆断，安全可靠性较低。因此，实际中根据材料的工作条件，通过热处理和合金化来改变材料的屈强比，以保证在安全可靠的基础上，合理的使用材料。

## 2 塑性

所谓塑性是指金属材料在静载荷作用下产生永久变形而不破坏的能力。金属的塑性指标也是通过拉伸试验测得的。标志金属塑性好坏的两项指标是延伸率和断面收缩率。

## 1) 延伸率

试样拉断后，其标距部分内所增加的长度与原标距长度的比值称为延伸率。用符号  $A$  表示，单位为 %。按下式计算：

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： $L_0$ ——试样原标距长度

$L_1$ ——试样拉断后最终标距长度

由于对同一材料用不同长度的标准试样所测得的延伸率  $A$  数值不同，因此应注明试样尺寸比例。

延伸率与试样尺寸有关，5，10 ( $L_0 = 5d_0$ ,  $L_0 = 10d_0$ )，对于同一材料 5) 10。

## 2) 断面收缩率

试样拉断后,其断裂处横截面积的缩减量与原横截面积的比值称为断面收缩率,用符号  $S$  表示,单位为%。按下式计算:

$$S = \Delta F / F_0 = (F_0 - F_1) / F_0 \times 100\%$$

式中:  $F_0$ ——试样的原横截面积

$F_1$ ——试样拉断后断裂处的横截面积

$S$  越大,塑性愈好

塑性好的金属,可以通过多种压力加工的方法,如轧制、锻造、冲压等制成金属加工产品、零件毛坯或成品。塑性差的金属。它们的脆性大,在断裂前几乎不发生显著的伸长、弯曲或其他变形。

$S < 5\%$ , 脆性材料

### 9.1.2.2 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标。通常是指金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力,也可以说是金属材料抵抗变形的能力。硬度是固体所具有的性能,它表现在由于测量方法和测量条件的不同而不同,也表现在固体抵抗弹性变形、塑性变形或断裂的能力,或者有抵抗其中两种或三种情况同时发生的能力。

硬度是金属力学性能的一个重要指标。在质量检测中,硬度是标志产品质量的重要依据。

硬度试验具有以下几个特点:(1)在压应力状态下,无论是苏醒材料还是脆性材料都可以观察到它在外力作用下所表现的行为甚至象玻璃、硬质合金、碳化钨、金刚石等这些几乎完全非塑性材料,在进行硬度试验时,它们也可以表现为“塑性”状态。(2)与其它静力下机械性能指标之间存在一定的关系。(3)试验后不造成试件破损。(4)测量面广,适合各种不同材料,既能测量特大零件,又能测量微小零件的硬度;既能测量宏观上,又能测量微观上的晶粒硬度。(5)设备简单,操作方便,工作效率高。

硬度试验通常是按施加试验力的速度分类,有静力硬度试验如:布氏硬度试验、洛氏硬度试验、维氏硬度试验;动力硬度试验如:肖氏硬度试压、布氏硬度的动力近似试验等。我们主要介绍静力硬度试验。

由于硬度试验设备简单,操作方便、迅速,又可直接在零件或工具上进行试验而不破坏工件,因此,无论在生产上和科研上,硬度试验的应用都很广泛。

#### 1 布氏硬度

布氏硬度试验法的原理是在规定载荷  $P$  (Kgf) 的作用下,将一个直径为  $D$ (mm)的淬火钢球或硬质合金球压入被测试件表面并停留一定时间,使塑性变形稳定后,再卸除载荷,测量被测试金属表面上所形成的压痕直径  $d$ ,由此计算压痕球缺面积  $F$  (mm<sup>2</sup>),然后再求出压痕的单位面积所承受的平均载荷 ( $P/F$ ),以此作为被测试金属的布氏硬度值。

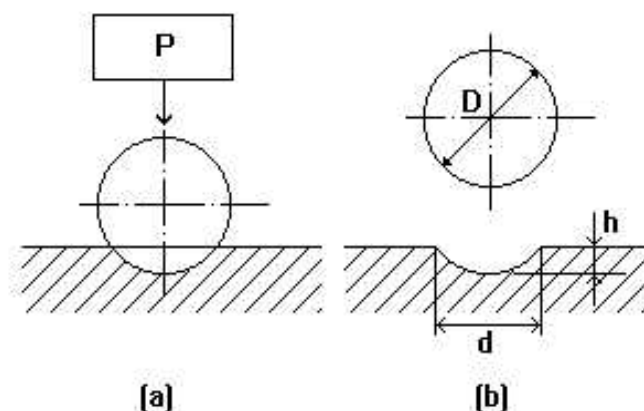


图 9-2

当压头为淬火钢球时，硬度符号用 HBS 表示，适用于硬度值低于 450 的金属材料，当压头为硬质合金球时，硬度符号用 HBW 表示，适用于硬度值为 450-650 的金属材料。

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

从上式可以看出，当所加载荷  $P$  与球体直径  $D$  已选定时，硬度值只与压痕直径  $d$  有关。 $d$  越大，说明金属材料对球体压入的变形抗力越低，即布氏硬度值越小，材料越软；反之， $d$  越小，布氏硬度值越大，材料越硬。实际测试时，硬度值并不需要按上述公式计算，一般用读数放大镜测出压痕直径  $d$ ，然后根据  $d$  值查表，即可求得所测的硬度值。习惯上只写明硬度值的数值而不标出单位，例如当布氏硬度值为 200 Kgf/mm<sup>2</sup> 时，一般均写成 200HBS。

布氏硬度适用于未经淬火的钢、铸铁、有色金属或质地轻软的轴承合金。

布氏硬度试验法的优点是测定的数据准确、稳定。其缺点是压痕较大，不宜测成品或薄片金属的硬度。此外，由于操作较缓慢，对大量逐件检验的产品不适用。

## 2 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是目前工厂中应用最广泛的试验方法之一。洛氏硬度试验的原理是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球为压头，在规定的载荷作用下压入被测金属表面，然后根据压痕深度来确定试件的硬度值。

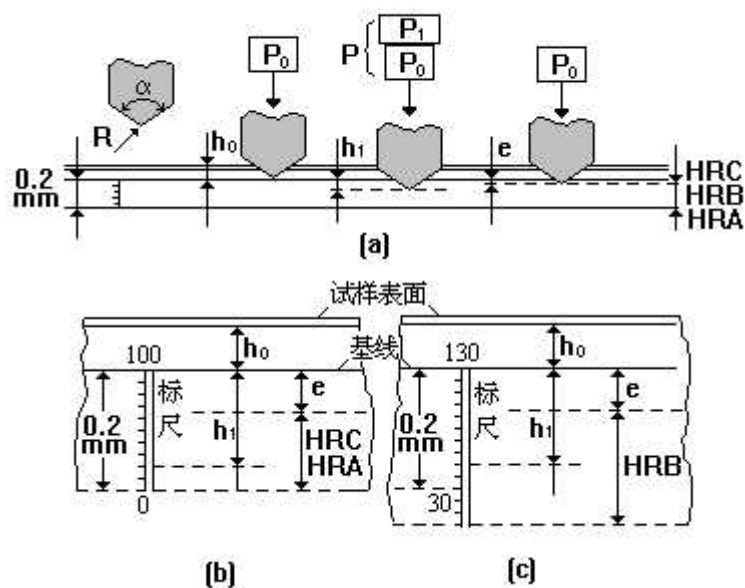


图 9-3

### 洛氏硬度试验原理

试验时，载荷分两次加上，先加初载荷 10kgf(98.06N),使压头紧密接触试件表面，并压入深度为  $h_1$ ，然后加主载荷，继续压入金属表面，待总载荷（初载荷+主载荷）全部加上并稳定后，将主载荷去除，由于被测试件金属弹性变形的恢复，压头压入深度是  $h_3$ ，压头在主载荷作用下压入金属表面的塑性变形深度就是  $h$  ( $h = h_3 - h_1$ )，并以此来衡量被测金属的硬度。显然， $h$  越大，金属的硬度越低；反之，硬度越高。考虑到数值越大硬度越高的习惯，故采用一个常数  $K$  减去  $h$  来表示硬度的高低，并用每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位，由此获得的硬度值称为洛氏硬度值，用  $HR$  表示。

$$HR = (k - h) / 0.002$$

定义：每 0.002mm 相当于洛氏 1 度

洛氏硬度试验时，其硬度值可由硬度计的指示器上直接读出，而无需测量压痕深度。硬度值只表示硬度高低而没有单位。

根据金属材料软硬程度不一，可选用不同的压头和载荷配合使用，测得的硬度值分别用不同的符号来表示。

洛氏硬度常用标尺有：B、C、A 三种

- ① HRB 轻金属，未淬火钢
- ② HRC 较硬，淬硬钢制品
- ③ HRA 硬、薄试件

洛氏硬度试验法的优点是操作简便、迅速，压痕较小，故可在工件表面或较薄的金属上进行试验，并适用于大量生产中的成品检查，测试的范围大，适用于各种软、硬材料。但是，因为压痕小，对于内部组织和硬度不均匀的材料，硬度值波动较大，一般同一试件应测试三点以上，取平均值。

### 3 维氏硬度——科学试验

维氏硬度试验是将一个顶角为  $136^\circ$  的金刚石正四棱锥压头，在规定载荷作用下，压如试件表面，保持一定时间后卸除载荷，然后根据压痕对角线长度来确定试件硬度。如图所示。

所得硬度值用符号 HV 表示。

HV 可根据压痕两对角线平均长度  $d$  值查表求出，也可用公式计算。

维氏硬度试验法适用于测试件表面硬化层、金属镀层以及薄片金属的硬度。试验时载荷很大范围内选择，而不影响其硬度值的大小，因此可以测试从极软到极硬的各种金属材料的硬度。

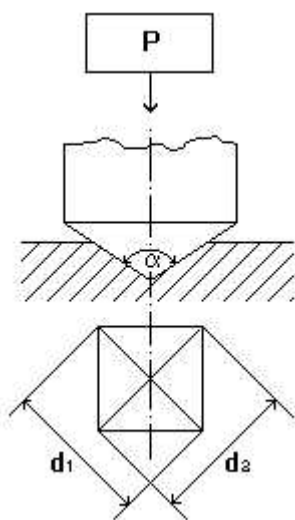


图 9-4

$$HV = \frac{2P \sin \frac{136}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

维氏硬度的压力一般可选 5, 10, 20, 30, 50, 100, 120kg 等，小于 10kg 的压力可以测定显微组织硬度。

### 9.1.2.3 冲击韧性

机械零部件在服役过程中不仅受到静载荷或震动载荷的作用，而且受到不同程度的冲击载荷的作用。如锻锤的锤杆、冲床的冲头、钳工用扁铲等。由于冲击载荷的加载速度大，作用时间短，被冲击体常常因局部载荷而产生局部变形和断裂。特别是用高强度低塑性材料制造的零部件，在服役过程中往往会发生无预兆的突然断裂而造成重大事故。因此，对于承受冲击载荷的零件和工具来说，仅具有高的强度是不够的，还必须具备足够的抵抗冲击载荷的能力。

实践证明，冲击试验对材料的缺陷很敏感。冲击试验是传统的常规力学试验方法，由于试样加工简便，试验时间短，同时容易辨别出材料及热处理工艺选择是否合理等，所以得到了工程界的广泛采用。

冲击试验是在冲击载荷作用下的一种动负荷试验，根据其试验条件的不同可作如下分类：

- 1 根据试样的受力状态可分为弯曲冲击，拉伸冲击等。
- 2 根据试验温度可分为常温、低温、高温冲击三种。
- 3 根据采用的能量和冲击次数可分为大能量的一次冲击和小能量的多次冲击试验。

常用的是摆锤式一次冲击弯曲试验。

按试验方法规定，需将金属材料制成一定形状和尺寸的试样。夏氏 U 型缺口试样，习惯上简称为梅氏试样；夏氏 V 型缺口试样，习惯上简称为夏氏试样。

冲击试样加工要求，冲击试样毛坯截取及其加工应符合 API 规范 5CT 套管和油管规范的有关章节内容及 ASTM E23 和 GB2106、GB2975 等有关标准要求，试样截取不应影响材料组织状态，所以无论采用砂轮切割或气焊切割都应留有一定余量，然后进行机械加工。加工时要用充分的冷却液冷却，以免影响材料原来的性能。

韧性：材料断裂前吸收变形能量的能力——韧度

冲击韧性：冲击载荷下材料抵抗变形和断裂的能力。

试验是在专门的摆锤式冲击试验机上进行。将试样安放在试验机的支座上，试样的缺口背向摆锤冲击方向。把质量为  $G$  的摆锤抬到  $H$  高度，使摆锤具有位能  $GHg$  ( $g$  为重力加速度)。然后使摆锤下落，将试样冲断，并向另一方向升到某一高度  $h$ ，这时摆锤具有位能  $Ghg$ 。故摆锤冲断试样失去的位能为  $GHg-Ghg$ ，这就是试样变形和断裂所消耗的功，称为冲击吸收功（冲击功），用符号  $AK$  表示，单位为焦耳（J）。根据试样缺口形状不同，冲击吸收功可分别用  $AK_u$  和  $AK_v$  表示。冲击吸收功的值可由试验机刻度盘上的指针直接指示出来。将冲击吸收功除以试样缺口处原横截面积  $F$  得到冲击值（冲击韧性），用符号  $aK$ （或  $aK_u$ 、 $aK_v$ ）表示，即

$$aK = \text{冲击破坏所消耗的功 } Ak / \text{标准试样断口截面积 } F \quad (\text{J/cm}^2)$$

一次冲击弯曲试验不仅能测定金属材料的冲击韧性值，还有如下应用：

### 1 判别材料的断裂性质

金属材料的断裂分为脆性断裂和韧性断裂两种，可用肉眼或放大镜观察试样冲断后断口的形貌加以区分。 $aK$  值低的材料叫做脆性材料，脆性断裂其断口没有明显的塑性变形，断口外表轮廓较平齐，断面有金属光泽，呈结晶状或瓷状。 $aK$  值高，明显塑变，韧性断裂其断口有明显的塑性变形，断口的外表轮廓有厚的突出的边缘，断口呈灰色纤维状，无光泽。实际上，冲击试样断口往往呈现混合型，即断口四周为纤维状，中间为结晶状；或者在纤维断面上，散布着亮灰色的小颗粒。

### 2 评定材料的低温变脆倾向

有些材料在室温  $20^\circ\text{C}$  左右试验时并不显示脆性，而在较低温度下则可能发生脆断，这一现象称为冷脆现象。为了测定金属材料开始发生这种冷脆现象的温度，可在不同温度下进行一系列冲击试验，测出该材料的冲击韧性值与温度间的关系曲线。如图所示。该图为某些材料的冲击韧性值与温度曲线示意图，由图可以看出，冲击韧性值随温度的降低而减小，在某一温度范围时，冲击韧性值显著降低而呈现脆性，这个温度范围称为冷脆转变温度范围。冷脆转变温度越低，材料的低温抗冲击性能越好。这对于在寒冷地区和低温下工作的工程结构和机械如输送管道等尤为重要，它们必须具有更低的冷脆转变温度，才能保证工作的正常进行。

冲击韧性与温度有关——脆性转变温度  $TK$

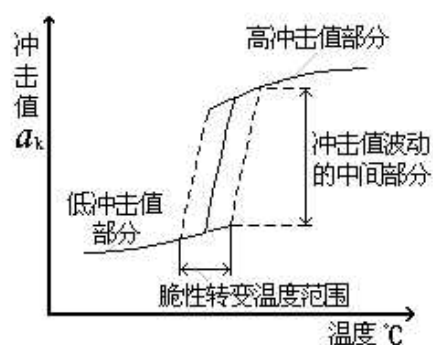


图 9-5

### 9.1.2.4 断裂韧性的概念

#### 1 问题的提出

低应力脆断——断裂力学

#### 2 应力场强度因子 KI

前面所述的力学性能，都是假定材料内部是完整、连续的，但是实际上，内部不可避免的存在各种缺陷（夹杂、气孔等），由于缺陷的存在，使材料内部不连续，这可看成材料的裂纹，在裂纹尖端前沿有应力集中产生，形成一个裂纹尖端应力场。表示应力场强度的参数——“应力场强度因子”。

$$K_I = Y \sigma \sqrt{a}$$

I: 单位厚度，无限大平板中有一长度 2a 的穿透裂纹

Y: 裂纹形状，加载方式，试样几何尺寸，试验类型有关的系数——几何形状因子。

$$Y = \sqrt{\pi}$$

#### 3 断裂韧性

对于一个有裂纹的试样，在拉伸载荷作用下，Y 值是一定的，当外力逐渐增大，或裂纹长度逐渐扩展时，应力场强度因子也不断增大，当应力场强度因子 KI 增大到某一值时，

$$\sigma_y = K_{Ic} \sqrt{2 \pi \gamma}$$

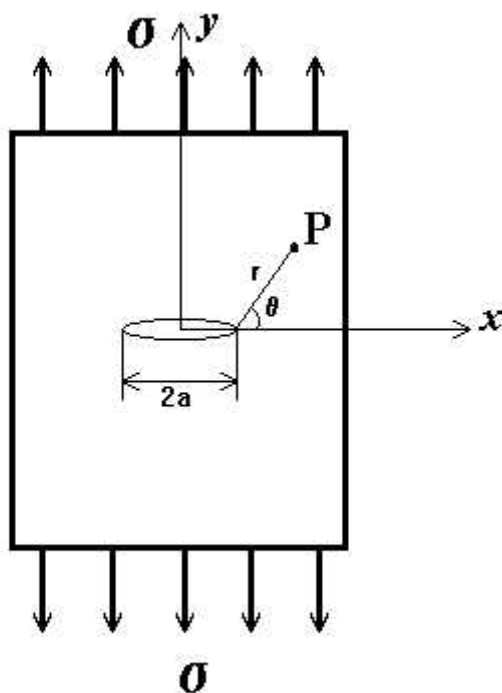


图 9-6

就可使裂纹前沿某一区域的内应力大到足以使材料产生分离，从而导致裂纹突然失稳扩展，即发生脆断。这个应力场强度因子的临界值，称为材料的断裂韧性，用  $K_{IC}$  表示，它表明了材料有裂纹存在时抵抗脆性断裂的能力。

当  $K_I > K_{IC}$  时，裂纹失稳扩展，发生脆断。

$K_I = K_{IC}$  时，裂纹处于临界状态

$K_I < K_{IC}$  时，裂纹扩展很慢或不扩展，不发生脆断。

$K_{IC}$  可通过实验测得，它是评价阻止裂纹失稳扩展能力的力学性能指标。是材料的一种固有特性，与裂纹本身的大小、形状、外加应力等无关，而与材料本身的成分、热处理及加工工艺有关。

#### 4 应用

断裂韧性是强度和韧性的综合体现。

- 1) 探测出裂纹形状和尺寸，根据  $K_{IC}$ ，制定零件工作是否安全  $K_I \geq K_{IC}$ ，失稳扩展。
- 2) 已知内部裂纹  $2a$ ，计算承受的最大应力。
- 3) 已知载荷大小，计算不产生脆断所允许的内部宏观裂纹的临界尺寸。

#### 9.1.2.5 金属疲劳的概念

(80%的断裂由疲劳造成)

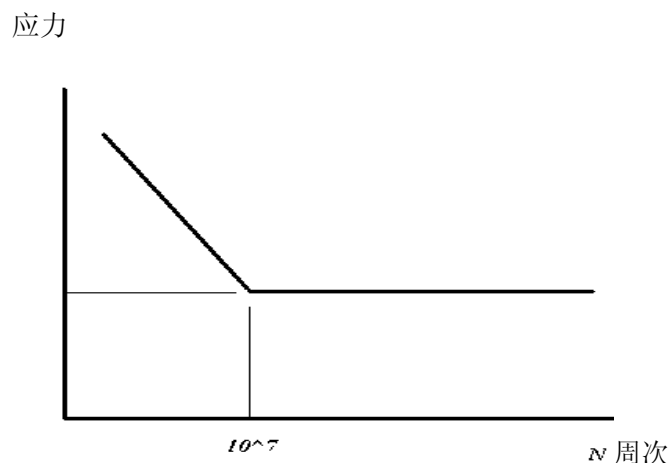


图 9-7

疲劳：承受载荷的大小和方向随时间作周期性变化，交变应力作用下，往往在远小于强度极限，甚至小于屈服极限的应力下发生断裂。

疲劳极限：材料经无数次应力循环而不发生疲劳断裂的最高应力值。

条件疲劳极限：经受  $10^7$  应力循环而不致断裂的最大应力值。

陶瓷、高分子材料的疲劳抗力很低，金属材料疲劳强度较高，纤维增强复合材料也有较好的抗疲劳性能。

影响因素：循环应力特征、温度、材料成分和组织、夹杂物、表面状态、残余应力等。

### 9.1.3 管材工艺性能试验

材料不但要进行机械性能试验还要进行工艺性能试验。所谓管材的工艺性能试验就是指材料适应于某种加工方法的能力。材料在应用过程中，所处的条件是极其复杂的，材料机械性能往往不能说明实际使用过程中的问题。例如：在静载荷作用下，一般强度高、塑性低的钢，在实际应用过程中有时要比强度低、塑性好的钢具有更好的变形能力这就要求我们对一些加工过程中需要承受较大变形的材料，除了做机械性试验外，还必须做工艺性能试验。

管材工艺试验的特点和分类

工艺试验的特点就是不考虑盈利的概念，而以受力后表面变形情况（如裂纹、裂缝、折断等）或变形后所规定的某些特征来进行质量的评定。它的特点就是试样一般不需要进行特殊的加工，试验可以在专门的设备中进行，也可以用各种简单的工具，直接适应它使用的情况作简单的试验。

管材常用的工艺试验有：压扁试验、扩口试验、弯曲试验、缩口试验、卷边试验等。

#### 9.1.3.1 管材压扁试验

管材压扁试验是检验金属管（无缝管和焊接管）压扁到规定尺寸的变形性能，并显示其缺陷的一种试验方法。我厂的压扁试验按照试验标准有关规定进行试验。

对试样的要求

- ① 试样可从外观检查合格的金属管上任一部位截取。一般采用锯切。
- ② 管材的内外壁均保留原表面，不做任何加工。
- ③ 试样长度  $L \approx D$  ( $D$  为管材外径)。当外径很大时，长度  $L$  也不超过 100mm, 当外径小于 20mm 时，则取  $L=20\text{mm}$ 。
- ④ 截取试样时不应损伤试样表面，不应因受热或冷加工而改变金属的性能，截口处棱边应挫圆。

### 试验方法

① 将试样放在两平行板之间，用压力机或试验机，以不大于 60mm/min 的速度均匀地压至有关技术条件规定的压扁距离 H。

② 试验可在冷、热状态下进行，如未规定试验温度，试验应在常温下进行，但不得低于 -10℃。

③ 试样压扁速度可采用 20~50mm/min。

④ 试样压扁到规定的压扁距离 H 后卸除负荷，取下试样。

### 试验结果的评定

试验后用肉眼检查试样弯曲变形处，如无裂缝、裂口则为合格，压扁试验评级可参考表 9-1 进行。

表 9-1 压扁试验评级参考

完好	微裂纹	小裂纹	大裂纹	断裂
无裂纹	长<2 mm 宽<0.2 mm	长 2~10 mm 宽 0.2~1 mm	长>10 mm 宽>1 mm	有一侧面 完全裂开

注意：试验时，压扁距离 H 是在负荷作用下测定，而不是卸荷后测定。

### 9.1.3.2 管材扩口试验

管材扩口试验是检验金属管径向扩张到规定直径的变形性能，并显示其缺陷。它适用于无缝和焊接金属管，对于所试验的金属管外径和壁厚的范围应在有关技术条件或双方协议中规定。

对试样的要求，试样应从外观检验合格的金属管任意部位截取，如有关技术条件或双方协议中对试样采取部位另有规定时，则按规定执行。截取试样时应防止损伤试样表面以及受热或冷加工而改变金属的性能。试样的截取面必须垂直于金属管的轴线，截口处棱边应锉圆。

试样长度：当扩口锥度 $\leq 30^\circ$ 时约为金属管外径的两倍；当锥度 $> 30^\circ$ 时，约为金属管外径的 1.5 倍。但最小长度不小于 50mm。

### 试验方法

1 根据有关技术条件或双方协议的规定，选用不同锥度的顶心。顶心的锥度  $\alpha$  一般采用  $6^\circ$ （相当于 1:10 的锥度）、 $12^\circ$ （相当于 1:5 的锥度）、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  或  $120^\circ$  数种。

2 计算扩口率，确定压入深度，扩口率按下式计算：

$$X = [(D_1 - D) / D] * 100\%$$

式中：D—原试样管端外径；

D<sub>1</sub>—扩口后管端外径。

3 将试样一端置于一平垫板上，将顶心用压力机或其它方法压入试样的另一端，使其均匀地扩张到规定的扩口率。

4 试验可在冷或热状态下进行。如未规定试验温度时，则在室温下进行，但温度不得低于 -10℃。

5 顶心压入试样的速度一般不作规定，但在仲裁试验时，顶心向试样的压入速度应为 20~50mm/min。

试验结果的评定，试验后检查试样的扩口处，如无裂缝、裂口或焊缝开裂，即认为合格。

## 9.2 钢中的各种组织和夹杂物

### 9.2.1 钢中的各种组织简介

#### 9.2.1.1 铁素体(F)

铁素体是碳与合金元素溶解在  $\alpha$ -Fe 中的固溶体（见图 9-8）。亚共析钢的铁素体呈块状、网状和针状。

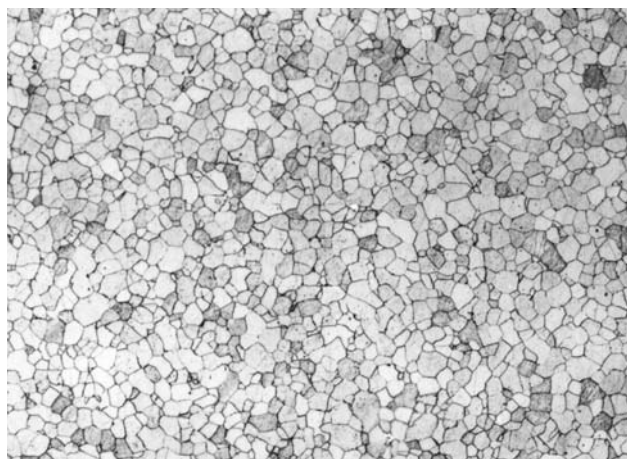


图 9-8 铁素体 100X

在金相显微镜下呈白色发亮的晶粒，各晶粒间由于位向不同，受腐蚀的情况略有差别而稍有明暗的不同。

铁素体具有良好的塑性和韧性，但强度和硬度不高，一般硬度为 50—80HBS。

#### 9.2.1.2 奥氏体(A)

奥氏体是碳与合金元素溶解在  $\gamma$ -Fe 中的固溶体（见图 9-9）。奥氏体在光学显微镜下呈规则多边形，如果钢中加入大量的 Mn 和 Ni，就能大大提高奥氏体在低温下的稳定性，从而使奥氏体保持于室温，这种钢称为奥氏体钢。奥氏体钢中有孪晶或滑移线，晶界比较直。淬火钢中的残余奥氏体分布在马氏体针的空隙处，颜色浅黄发亮。

奥氏体较铁素体有更高的塑性，所以钢在轧制或锻造时都要加热到形成奥氏体的温度以便压力加工。一般情况下硬度为 170—220HBS。

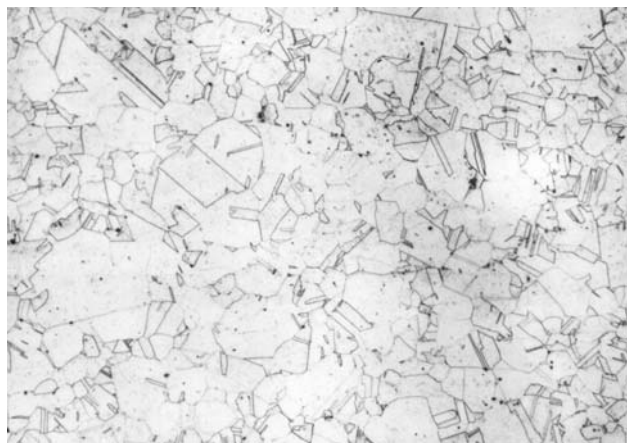


图 9-9 奥氏体组织 100X

### 9.2.1.3 渗碳体 [Fe<sub>3</sub>C, (Fe,Me)<sub>3</sub>C]

渗碳体是碳、合金元素与铁的化合物。含碳 6.67%，熔点约 1600℃。渗碳体不受硝酸酒精溶液浸蚀，在金相显微镜下呈白色发亮的片状、网状、球状或点状组织。

渗碳体的硬度很高，相当于 800HB，脆性大，塑性几乎等于零；是一个硬而脆的相，在钢中是主要强化相。

### 9.2.1.4 珠光体 (P)

珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物。

片状珠光体是由一层铁素体加一层渗碳体组成的，渗碳体呈窄条，铁素体呈宽条（见图 9-10）。500 倍以下能分辨片层者称片状珠光体，500 倍以上能分辨片层者称索氏体，电子显微镜下才能分辨片层者称屈氏体。它们统称为珠光体类组织。

它们的力学性能主要取决于片层间距离，片层间距越小，强度、硬度越高同时塑性与韧性也有所改善。珠光体硬度 < 25HRC，索氏体硬度 25—35 HRC，屈氏体硬度 35—40 HRC。

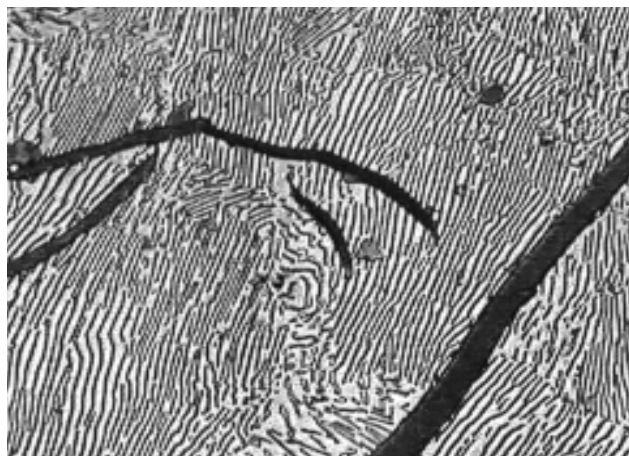


图 9-10 片状珠光体+片状石墨 500X

### 9.2.1.5 球状珠光体 (P 球)

也称粒状珠光体（见图 9-11）。渗碳体呈球粒状分布在铁素体基体上。采用球化退火工艺 AC<sub>1</sub>+(20-30℃)，可使片状珠光体变为球状珠光体。球化退火可以降低硬度，改善切削加工性能。

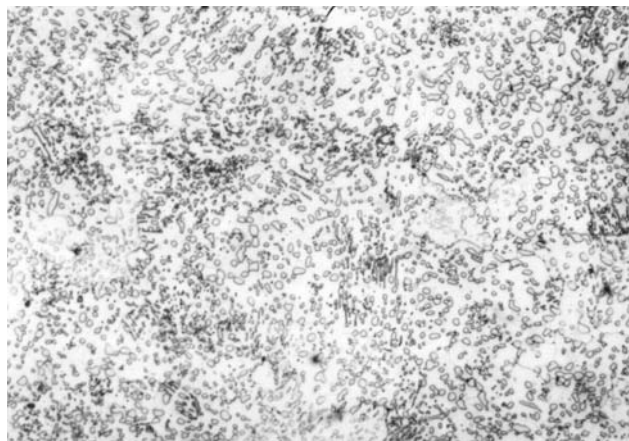


图 9-11 球状珠光体 500X

### 9.2.1.6 上贝氏体 (B 上)

过冷奥氏体在  $350^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$  之间形成的相变产物叫上贝氏体组织，以晶界为对称轴，呈羽毛状（见图 9-12）。这种羽毛组织是由平行排列的针状或板条状铁素体与分布在铁素体间的短条状渗碳体所组成，短条状渗碳体的方向大体与板条状铁素体平行。

上贝氏体强度高于同一成分的钢形成的珠光体的强度。上贝氏体硬度在 40—45HRC 之间。

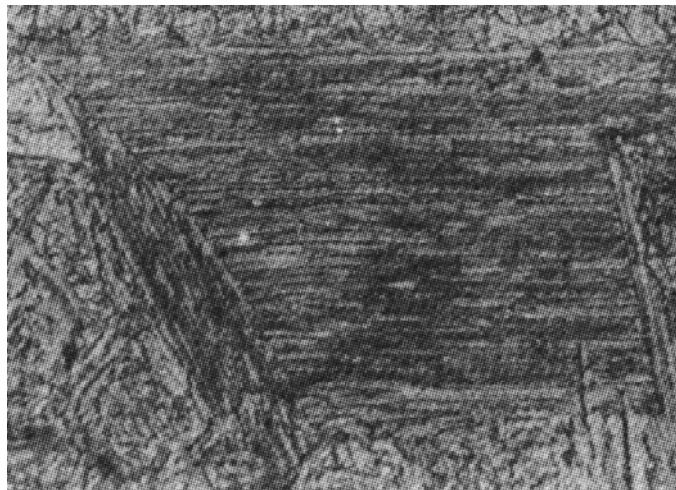


图 9-12 羽毛状上贝氏体 (中间) 600X

### 9.2.1.7 下贝氏体 (B 下)

$350^{\circ}\text{C}$  以下  $M_s$  点以上之间形成的针状组织叫下贝氏体（见图 9-13）。下贝氏体是针片状铁素体基体上分布着很细的碳化物片。在晶内呈针状、两端尖、针叶基本不交叉，但可交接，与回火马氏体不易区分。高碳高合金针叶比较细，颜色蓝黑，低碳低合金钢为灰色。

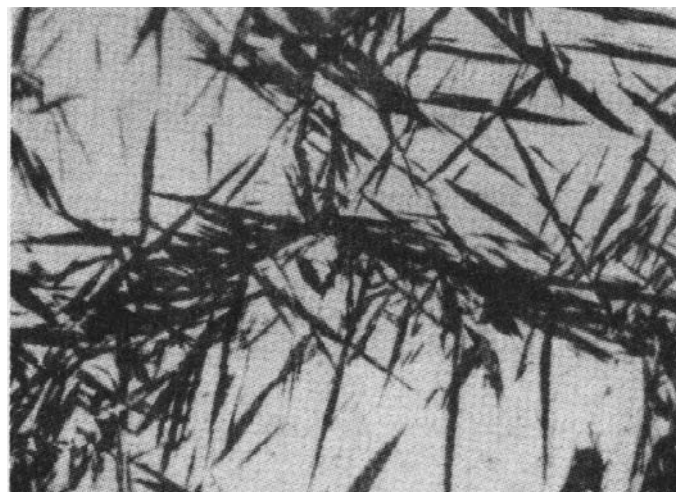


图 9-13 下贝氏体 500X

下贝氏体与上贝氏体相比不仅有高的强度、硬度与耐磨性，而且具有良好的塑性和韧性。下贝氏体强度和相应温度的回火马氏体相似，硬度在 45—55HRC 之间。

### 9.2.1.8 粒状贝氏体（B 粒）

大块铁素体内包含着一些渗碳体颗粒和“小岛状”组织。（见图 9-14）  
一般常出现在低碳低合金中。

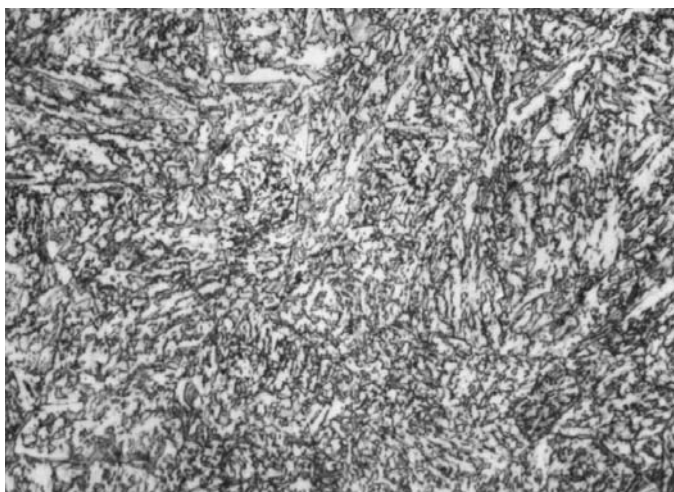


图 9-14 粒状贝氏体 400X

### 9.2.1.9 马氏体（M）

马氏体是碳在  $\alpha$ -Fe 中的过饱和固溶体。（见图 9-15）



图 9-15 低碳板条马氏体 500X

当钢的碳含量较低时，钢自奥氏体状态急速冷却时，在连续冷却过程中转变为板条状马氏体，又称低碳马氏体。板条马氏体形似薄木条，相互平行排列在一个晶面上。

板条马氏体具有较高的强韧性，还有较高的断裂韧性和较低的冷脆转变温度。高碳奥氏体形成片状马氏体，也称针状马氏体（见图 9-16）。马氏体向奥氏体晶内生长形成针状，针间呈一定的角度，彼此相交但不穿过。钢中马氏体具有高强度、高硬度，但塑性、韧性很低，脆性大。马氏体的强度、硬度随马氏体中含碳量的增加而增加，但塑性和韧性急剧降低。



图 9-16 片状马氏体 400X

#### 9.2.1.10 回火马氏体 (M 回)

马氏体在低温 (150~250℃) 回火时, 其中大部分过饱和的碳以高度弥散的渗碳体和碳化物形式从马氏体内部析出, 使马氏体片在金相试样制备时极易受到腐蚀, 而在显微镜下呈现黑色, 在光学显微镜下碳化物质点不能分辨。这样的马氏体称为回火马氏体 (见图 9-17)。回火马氏体保留了淬火马氏体针的方向性。

性能方面回火马氏体仍具有高硬度和高耐磨性, 而降低了淬火内应力和脆性。

回火后硬度一般为 58—64HRC。



图 9-17 回火马氏体 400X

#### 9.2.1.11 回火屈氏体 (T 回)

马氏体在中温 (350℃~500℃) 回火后得到的组织称为回火屈氏体 (见图 9-18)。回火屈氏体是铁素体与渗碳体的混合物, 其中渗碳体呈细粒状分布, 马氏体针方向明显, 颜色暗黑, 500 倍下不能分辨碳化物质点。

回火屈氏体具有很高的弹性极限、屈服极限和较高的韧性、塑性。中温回火主要用于各种弹簧和热模具, 回火后硬度一般为 35—50HRC。

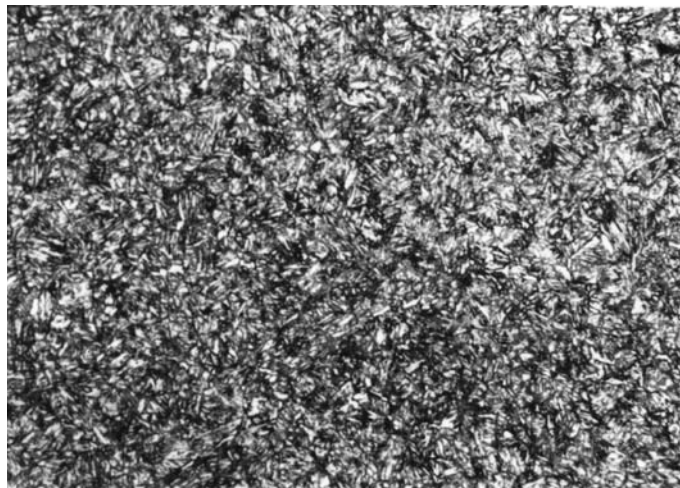


图 9-18 回火屈氏体 400X

#### 9.2.1.12 回火索氏体 (S 回)

马氏体高温 (500℃~650℃) 回火的产物称为回火索氏体。(见图 9-19)

回火索氏体也是铁素体和渗碳体的混合物, 其中渗碳体的颗粒比回火屈氏体中的粗, 在金相显微镜下已较清晰。

得到回火索氏体的目的是为获得强度、塑性和韧性都较好的综合力学性能。

回火后硬度一般为 20—35 HRC。

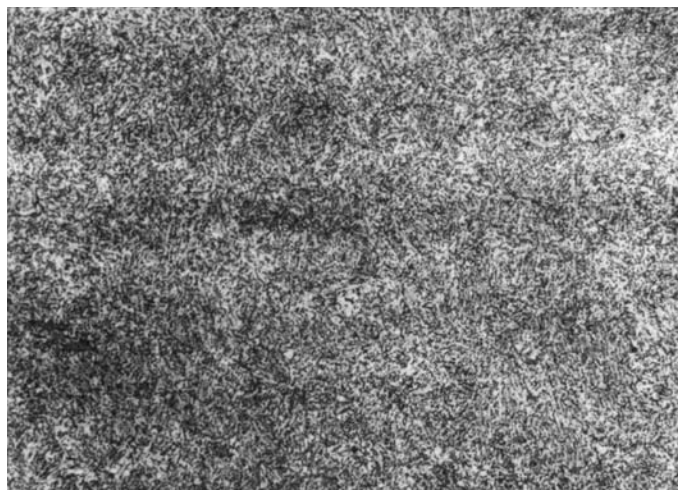


图 9-19 回火索氏体 400X

### 9.2.2 钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法

GB/T 10561-2005/ISO 4967:1998 (E)

#### 1. 范围

本标准规定了用标准图谱评定压缩比大于或等于 3 的轧制或锻制钢材中的非金属夹杂物的显微评定方法。

## 2. 取样

夹杂物的形态在很大程度上取决于钢材压缩变形程度，因此，只有在经过相似程度变形的试样坯制备的截面上才可能进行测量结果的比较。

用于测量夹杂物含量试样的抛光面面积应约为  $200\text{mm}^2$  ( $20\text{mm} \times 10\text{mm}$ )，并平行于钢材纵轴，位于钢材外表面到中心的中间位置。

如果产品标准没有规定，取样方法如下：

——直径或边长大于  $40\text{mm}$  的钢棒或钢坯：检验面为钢材外表面到中心的中间位置的部分径向截面。（见图 9-20）

钢管取样见图 9-21。

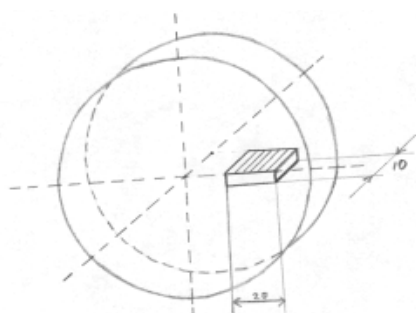


图 9-20 钢坯取样部位

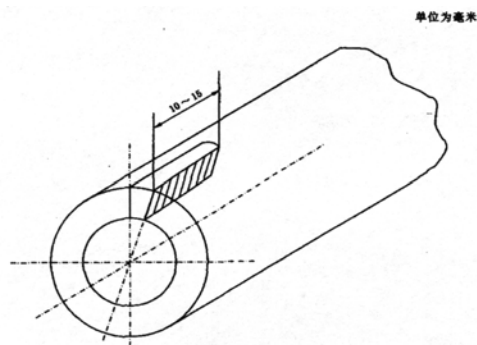


图 9-21 钢管取样部位

## 3. 原理

将所观察的试场与本标准图谱进行对比，并分别对每类夹杂物进行评级。

这些评级图片相当于 100 倍下纵向抛光平面上面积为  $0.50\text{mm}^2$  的正方形视场。

根据夹杂物的形态和分布，标准评级图分为 A、B、C、D 和 DS 五大类。

这五大类夹杂物代表最常观察到的夹杂物的类型和形态：

——A 类（硫化物类）：具有高的延展性，有较宽范围形态比（长度/宽度）的单个灰色夹杂物，一般端部呈圆角。

——B 类（氧化铝类）：大多数没有变形，带角的，形态比小（一般  $<3$ ），黑色或带蓝色的颗粒，沿轧制方向排成一行（至少有 3 个颗粒）。

——C 类（硅酸盐类）：具有高的延展性，有较宽范围形态比（一般  $\geq 3$ ）的单个呈黑色或深灰色夹杂物，一般端部呈锐角。

——D 类（球状氧化物类）：不变形，带角或圆形的，形态比小（一般  $<3$ ），黑色或带蓝色的，无规则分布的颗粒。

——DS 类（单颗粒球状类）：圆形或近似圆形，直径  $\geq 13\mu\text{m}$  的单颗粒夹杂物。

每类夹杂物又根据非金属夹杂物颗粒宽度的不同分成细系和粗系两个系列，见表 9-3。每个系列夹杂物级别评定见表 9-2。

表 9-2 评级界限（最小值）

评级图级别 i	夹杂物类别				
	A 总长度 $\mu\text{m}$	B 总长度 $\mu\text{m}$	C 总长度 $\mu\text{m}$	D 数量 个	DS 直径 $\mu\text{m}$
0.5	37	17	18	1	13
1	127	77	76	4	19
1.5	261	184	176	9	27

2	436	343	320	16	38
2.5	649	555	510	25	53
3	898 (<1181)	822 (<1147)	746 (<1029)	36 (<49)	76 (<107)

表 9-3 夹杂物宽度

类别	细系		粗系	
	最小宽度 $\mu\text{m}$	最大宽度 $\mu\text{m}$	最小宽度 $\mu\text{m}$	最大宽度 $\mu\text{m}$
A	2	4	>4	12
B	2	9	>9	15
C	2	5	>5	12
D	3	8	>8	13

## 4. 夹杂物含量的测定

在显微镜下将试样放大 100 倍，测量边长为 71mm 的正方形，实际面积为  $0.5\text{mm}^2$  的视场内评定夹杂物的级别。

生产检验使用 A 法

应检验整个抛光面。对于每一类夹杂物，按细系和粗系记下与所检验面上最恶劣视场相符合的标准图片的级别数，见附录。

对于个别的夹杂物如果其长度超过视场的边长 (0.71mm)，或宽度或直径大于粗系最大值 (见表 2)，则应当作为超尺寸夹杂物进行评定，并分别记录。但是，这些夹杂物仍应纳入该视场的评级。

对于不在一条直线上的条状夹杂物，如果两夹杂物之间的纵向距离小于或等于  $40\mu\text{m}$  且沿轧制方向的横向距离小于或等于  $10\mu\text{m}$  时，应视为一条夹杂物。

如果一条夹杂物内夹杂物的宽度不同，则应将该夹杂物的最大宽度视为该夹杂物的宽度。

如果夹杂物长度超长或宽度超尺寸，应单独记录，并计入视场内进行评级 (超长的长度按 0.71mm)。

## 5. 夹杂物级别的计算 (测量评级图片级别在 3 以上夹杂物)

A 类硫化物 (长度 L 用  $\mu\text{m}$  表示) :  $\text{Lg}(i)=[0.560\ 5\text{lg}(L)]-1.179$

B 类氧化铝:  $\text{Lg}(i)=[0.462\ 6\text{lg}(L)]-0.871$

C 类硅酸盐:  $\text{Lg}(i)=[0.480\ 7\text{lg}(L)]-0.904$

D 类球状氧化物, n 为每个视场中的数量:  $\text{Lg}(i)=[0.5\text{lg}(n)]-0.301$

DS 类单颗粒球状氧化物, d 为直径:  $i=[3.311\text{lg}(d)]-3.22$

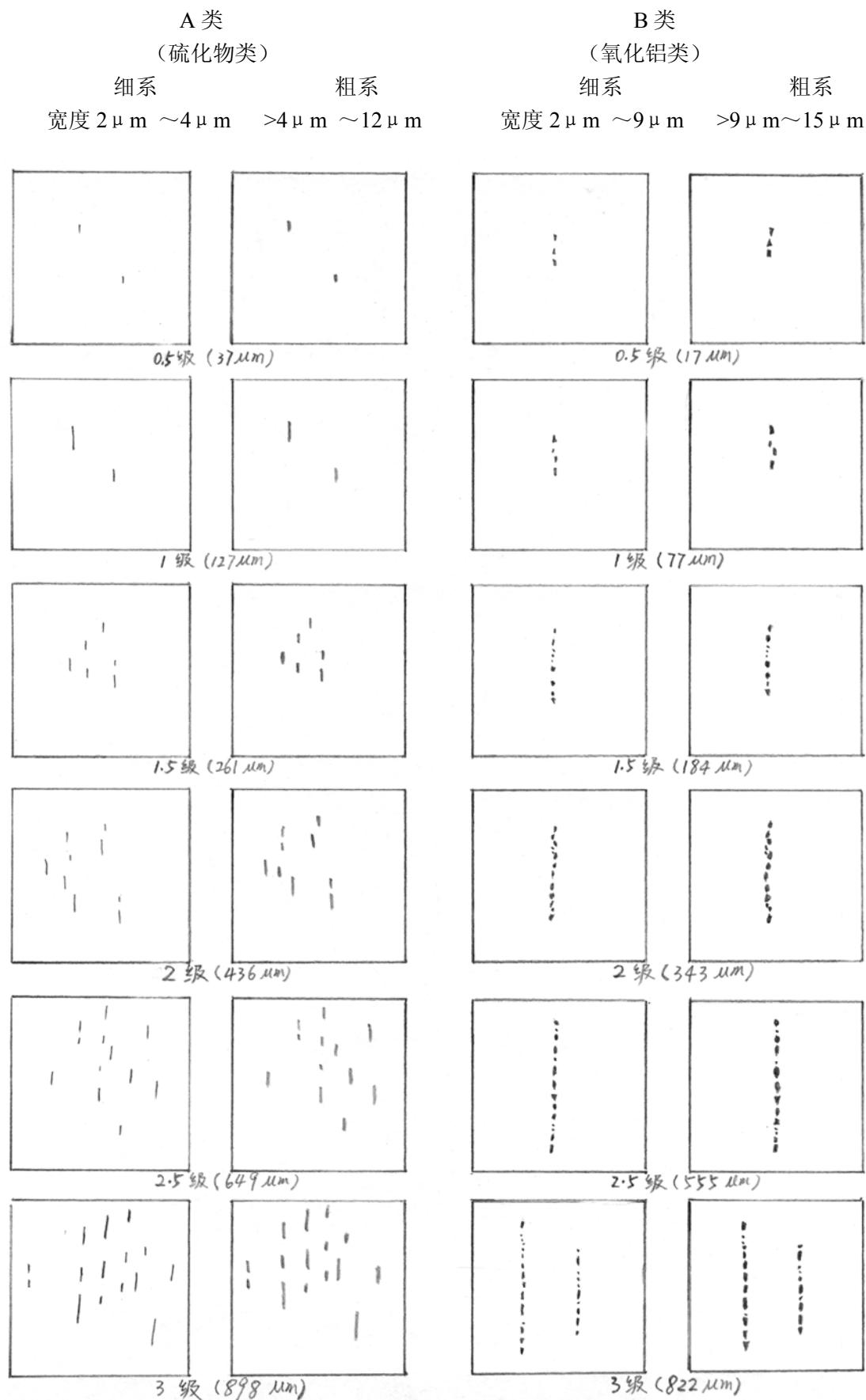


图 9-22

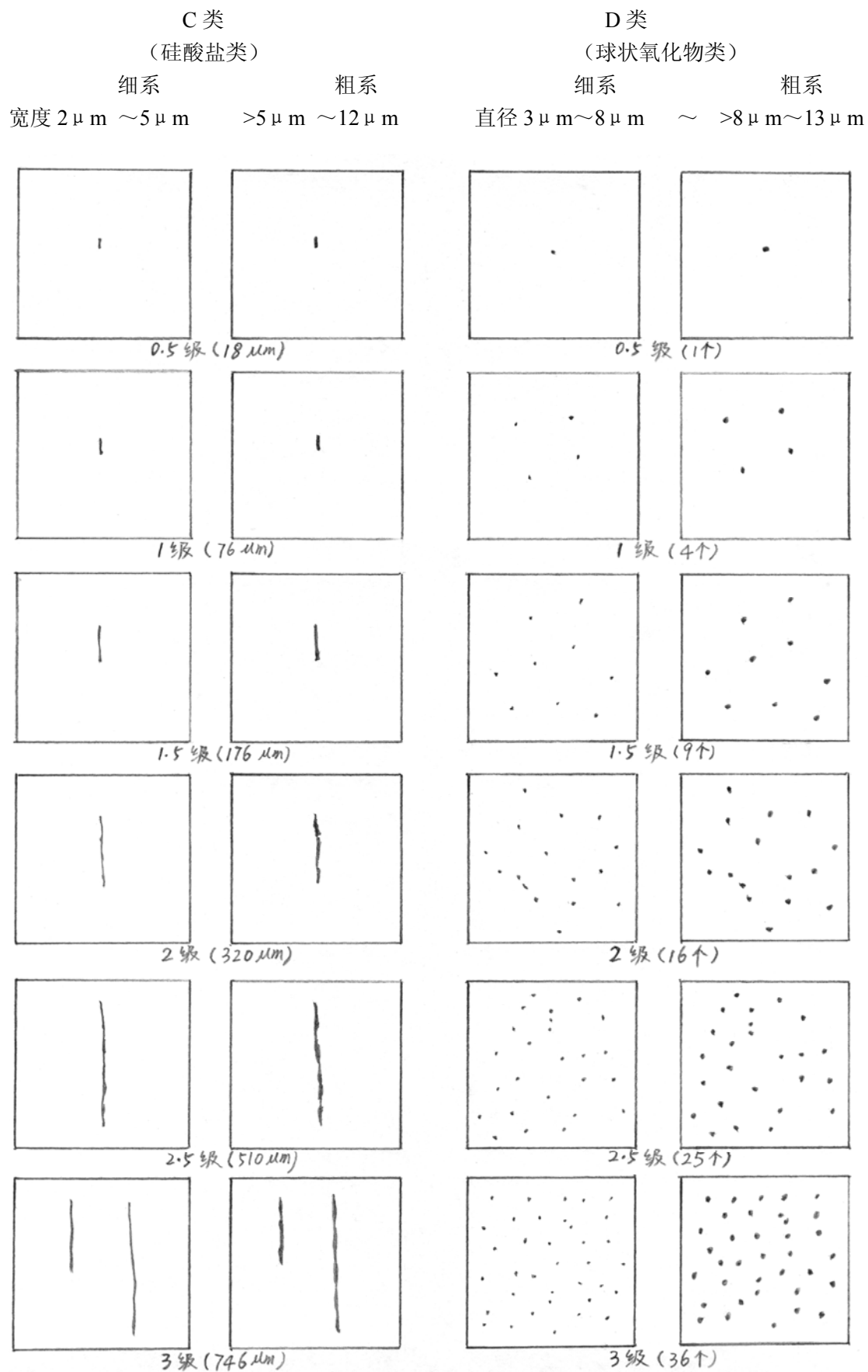


图 9-23

Ds 类  
(单颗粒球状类)  
直径  $13\ \mu\text{m} \sim 76\ \mu\text{m}$

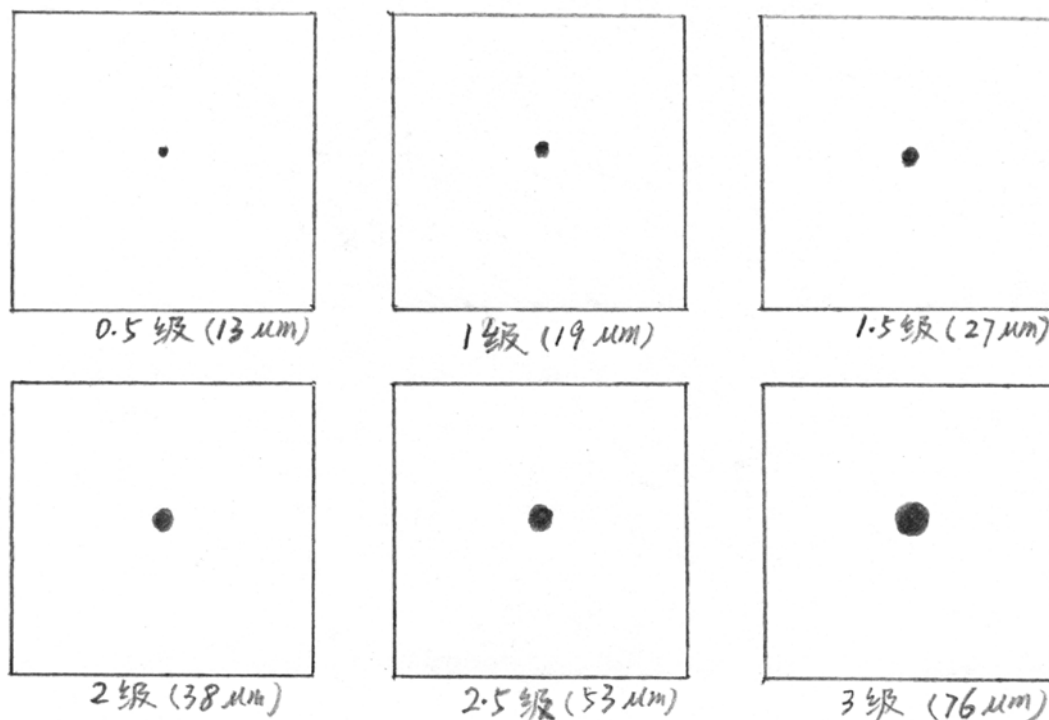


图 9-24

注：生产检验时，GB10561—2005 与 ASTM E45-97 均使用 A 法进行评定，评级图相同，评级界限值相同。不同之处在于国标多了大型球状夹杂物 DS 评级，而在美标里大型球状夹杂物是作为单独记录的，还有在国标里两条不在一条直线上的条状夹杂物横向距离间隔  $10\ \mu\text{m}$  作为一条夹杂，在美标里是间隔  $15\ \mu\text{m}$ 。

### 9.2.3 金属平均晶粒度测定方法

#### GB/T6394-2002

1. 本标准根据 ASTM E112—1996 重新起草。
2. 本标准规定了测定平均晶粒度的基本方法：比较法、面积法和截点法。生产中使用比较法。
3. 取样
  - 3.1 测定晶粒度的试样应在交货状态材料上切取。试样的数量及取样部位按相应的标准或技术条件规定。
  - 3.2 切取试样应避开剪切、加热影响的区域。不能使用有改变晶粒结构的方法切取试样。
  - 3.3 推荐试样尺寸为：
 

圆形（直径）：10—12mm；方形（边长）：10mmX10mm
  - 3.4 晶粒度试样不允许重复热处理。
4. 晶粒的显示

对于低合金低碳钢：4%硝酸酒精

回火索氏体晶粒：饱和苦味酸水溶液

奥氏体不锈钢：王水或 10%草酸水溶液

#### 5. 比较法

- 5.1 将腐蚀好的试样在金相显微镜下放大 100 倍，全面观察整个试样，选择有代表性的视场与标准系列评级图进行比较，选取与检测图象最接近的级别数，记录结果。  
评级图有的是标准挂图、有的是目镜插片。
- 5.2 用比较法评估晶粒度时一般存在一定的偏差（±0.5 级）。评估值的重现性与再现性通常为±1 级。
- 5.3 若试样中发现晶粒不均匀现象，经全面观察后，如属偶然或个别现象，可不予计算。如较为普遍，则应计算出不同级别晶粒在视场中各占面积百分比。若晶粒所占的面积大于 90%，则只记录此一种晶粒的级别数。否则，应用不同级别数来表示该试样的晶粒度，其中第一个级别数代表占优势的晶粒的级别。即遇混和晶粒度时，应分别报告各种晶粒度及其所占面积百分比。如 7 级 70%+2 级 30%
- 5.4 若采用其它放大倍数进行比较评定，评定的结果可以按下表换算成 100X 的晶粒度。

表 9-4 与标准系列评级图等同图象的晶粒度级别数

图象的放大倍数	标准系列评级图编号 (100X)									
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10
25	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
50	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
400	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
800	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16



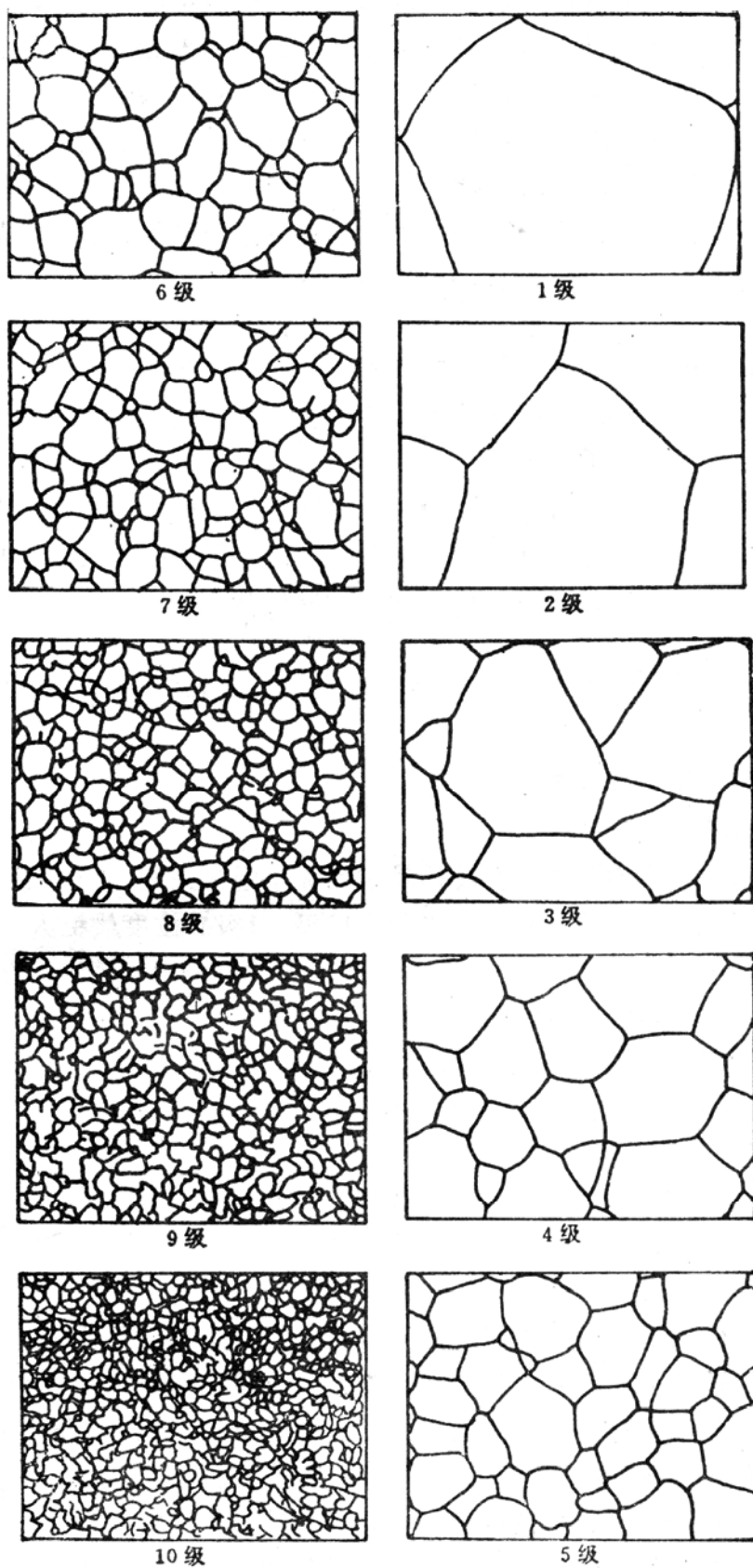


图 9-25 钢的晶粒度标准评级图

## 9.3 钢管化学成分

对于钢管的化学成分检测，主要目的为判断该批次成品管是否符合该钢级的产品标准，并以此次分析结果作为该批次成品管的判定依据。

目前，钢管研究所完成大批量分析成品管化学成分的分析仪器主要使用直读光谱仪、碳硫分析仪完成大量的在线成品管的生产检测任务，现将上述两台仪器作以简单介绍：

### 9.3.1 直读光谱仪

#### 9.3.1.1 基本原理

光谱分析是利用物质在外界能量的激发下而发射出的光来判断物质组成的一门技术，它的进步与物理学和化学方面的发展分不开的。物质由分子及原子组成并有其属性，通过用属性的区别，可以测定物质的组成部分。物质在一定的条件下能发射出特征的光谱，利用光谱的这个属性来测定物质的存在。光谱分析所得到的测定结果只能给出物质组成的元素的种类及其含量，不能显示物质的结构。光谱分析的三种方式：线状光谱、带状光谱及连续光谱。

#### 9.3.1.2 光谱的特点

直读光谱仪主要用于成品管中 C、Si、Mn、P、S、Ni、Cr、Mo、Cu、Al、V、Ti、Nb、B、Zn 及五害元素（Pb、Sn、As、Sb、Bi）的定量分析任务，目前对成品检测使用的仪器为 ARL4460，该类分析仪器具有如下特点：

- 1 分析灵敏度高，能作微量分析及痕量分析。仪器分析相对灵敏度可达 ppm 级，仪器分析适宜于微量及痕量分析；
- 2 对含量变化的灵敏度高；
- 3 光源有良好的稳定性及再现性；
- 4 光源激发出的谱线没有背景或背景很低；
- 5 分析结果不受样品组织结构不同而变化；
- 6 预燃及曝光时间短；
- 7 分析时对试样的破坏小，进行的是所谓微损或无损分析；
- 8 分析速度快：仪器分析可在短时间内完成一个分析周期（1 分钟左右），适宜于批量分析和自动分析；
- 9 分析所需试样少：仪器分析只需根据分析钢种，选择适合标钢，便可分析得出结果；
- 10 仪器分析用途广泛，除能分析铁基样品外，还可进行镍基、铬基样品检测。

#### 9.3.1.3 标准样品

光谱定量分析是一种比较的方法，进行分析所依靠的是应用标准样品做出的工作曲线，然后才能在工作曲线中找出未知样品的含量，标准样品是相当重要的。因此必须具备如下基本要求：

- 1 应有高度的均匀性；
- 2 化学成分应接近分析样品；
- 3 结构状态应与分析样品的结构尽可能的接近；
- 4 含量范围应稍大于分析样品，以保证分析结果的可靠性；
- 5 应有稳定的状态，并能长久保持；
- 6 分析元素结果应由几家分析单位给出，最好使用具有证书的标钢。

### 9.3.1.4 光谱定量分析条件的选择

光谱定量分析尤其是对低含量元素定量分析,为了要有低的检出限和高的准确度,除要对定性分析中所关心的光源选择、曝光时间等予以重视外,还要注意以下问题:

1 样品处理:试样加工过程中防止工具给样品带来的污染,试样加工过程中避免过热使表面氧化。加工完好的试样表面不应有裂纹、夹杂、砂眼等缺陷。

谱线强度与试样形状、大小、光源作用面积等有关,虽然激发光源的电流、功率大小相同,也会因为上述原因造成试样表面局部电流大小不同,致使元素蒸发、激发、温度不同而造成差别。因而,标样、试样的制备方法、形状、大小应尽量相同。换言之,样品分析时激发部位的条件尽可能接近;

2 辅助电极选择:对辅助电极最起码的要求是不含有被测元素或其材质为光谱纯;

3 分析间隙的选择:工作曲线制作过程中及未知试样分析过程中应保证试样与电极分析间隙一致,尤其是在清理维护后、分析之前确认;

4 曝光时间选择:至于曝光时间的长短问题,它取决于试样中分析元素含量多少、谱线性质、激发光源等因素。具体做法是在利用已知含量标准样品测出黑度,求出相应的量,以与标样含量一致的曝光时间为测定未知试样的曝光时间。(制作工作曲线时完成此事);

### 9.3.1.5 分析数据报出

仪器激发试样分析结束后,对分析结果与标准样品进行比较后,按照 GB/T8170《数据修约规则》进行修约后报出分析结果。

在成品检测中,为保证碳、硫元素分析的准确度。采用碳硫分析仪分析这两个元素。

## 9.3.2 碳硫分析仪

### 9.3.2.1 基本原理

载气(氧气)经过净化后,导入高频炉,样品在燃烧炉高温下通过氧气氧化,使得样品中的碳和硫氧化为 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 和 $\text{SO}_2$ ,所生成的氧化物通过除尘和除水净化装置后被氧气载入到硫检测池测定硫。此后,含有 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合气体一并进入到加热的催化剂炉中,在催化剂炉中经过催化转换 $\text{CO}\rightarrow\text{CO}_2$ , $\text{SO}_2\rightarrow\text{SO}_3$ ,这种混合气体进入到除硫试剂管后,导入碳检测池测定碳。残余气体由分析器排放到室外。与此同时,碳和硫的分析结果以% $\text{C}$ 和% $\text{S}$ 的形式显示在主机的液晶显示屏上。

### 9.3.2.2 分析特点

红外碳硫分析仪适用于各种钢铁(包括碳素结构钢,优质碳素结构钢,低合金高强度结构钢,不锈钢,铸钢等)。同时也适用于各种铁合金,生铁,石灰石,玻璃,陶瓷等其他无机材料的分析。由于光谱分析是样品表面分析,而碳硫分析在样品取样过程中为纵深取样,能够更加准确反映样品特征。目前使用的碳硫分析仪为美国力可公司CS-444,其仪器具有如下分析特点:

分析范围:(基于1g试样)碳:0.6ppm-6%;硫:0.6ppm-0.4%(可以通过减少样品称重扩大其分析范围);精度:碳:0.3ppm或 $\leq 0.5\%RSD$ 硫:0.3ppm或 $\leq 1.5\%RSD$ ;可读位:碳/硫0.001ppm;校准:线性、单点,多点,手动;分析时间: $\leq 40$ 秒

### 9.3.2.3 分析数据报出

碳硫分析仪具有良好的线性，在分析工作之前须对该设备进行维护和校准，并用标准物质进行数据验证。此分析方法同样为比较分析方法，未知试样的分析结果可根据标准物质的偏差情况进行修约（修约规则为 GB/T8170），经过修约的分析结果在确认后报出。

为完成大量的生产检测任务，且根据公司目前生产品种结构的特点及今后发展方向，我所于 06 年新增、更新部分大型精密仪器，目前分析所使用的分析仪器主要包括：直读光谱仪、碳硫分析仪、X 射线荧光、电位滴定仪、紫外可见分光光度计、原子吸收光谱仪、等离子体发射光谱、等离子体发射质谱等，目前这些仪器可根据不同分析方法、原理完成相应分析元素检测任务，并起到互相补充的作用，拓宽分析范围及领域。

