

## 15 钢管冷加工

### 15.1 钢管冷加工概述

#### 15.1.1 钢管冷加工的特点和工艺流程

钢管冷加工包括冷轧、冷拔、冷张力减径和旋压等方法，它是生产精密薄壁和高强度管的主要方法。其中冷轧、冷拔是普遍使用的钢管冷加工高效生产方法。

与热轧相比，冷加工有下列优点：可生产大直径薄壁管材；几何尺寸精度高；表面光洁；有助于晶粒细化，配以相应的热处理制度，可获得较高综合力学性能；可生产各种异型和变断面管及一些热加工温度范围窄、高温韧性低而室温塑性好的材料。冷轧的突出优点是减壁能力强，并可显著改善来料的性能、尺寸精度和表面质量。冷拔的道次减面率比冷轧低，但设备较简单，工具费用少，生产灵活，产品的形状规格范围也较大。因此现场需要合理联用冷轧、冷拔方式。近年来冷张力减径、焊管冷加工、超长管冷拔工艺等，可提高机组的产量，扩大品种规格范围，改善焊缝质量，为冷轧、冷拔提供合适的管料。此外，温加工近年来备受重视，通常感应加热至 200~400℃，使管坯塑性提高，温轧的最大延伸率约为冷轧的 2~3 倍；温拔的断面收缩率提高 30%，使一些塑性低、强度高的金属也有可能得到精加工。

尽管冷加工管的规格范围、尺寸精度、表面质量和组织性能均比热轧优异，但其生产中存在四个方面的问题：循环次数多、生产周期长、金属消耗大、中间处理过程复杂。

图 15-1 是碳钢管和合金钢管的冷轧、冷拔生产一般工艺流程图。各种钢管由于其材质、技

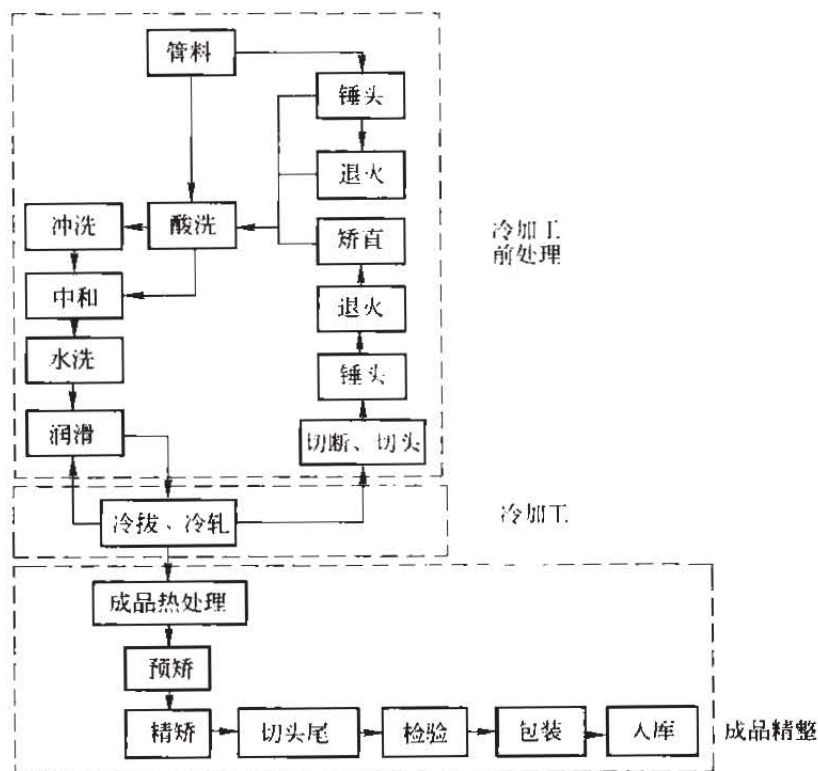


图 15-1 冷轧、冷拔生产一般工艺流程

术条件、规格不同，其生产工艺流程及工艺制度也有所不同，但总的来说由下列主要工序组成：1) 冷加工前处理，其中包括尺寸形状、组织性能和表面状态三方面的准备；2) 冷加工，其中包括冷拔、冷轧和旋压等；3) 成品精整，其中包括成品热处理、切断、矫直和检验等。

### 15.1.2 管材冷轧的主要方法

周期式冷轧是目前高精度薄（厚）壁管和异形管的主要方法。常用设备为二辊周期式冷轧管机和三辊周期式冷轧管机。二辊周期式轧机的生产规格范围：外径4~210mm，壁厚0.1~40mm，并可生产  $D_c/S_c = 60 \sim 100$  的薄壁管（ $D_c > 200\text{mm}$ ， $D_c/S_c > 100$  时，采用旋压方式生产）。图15-2 是二辊周期式冷轧管机工作原理图。

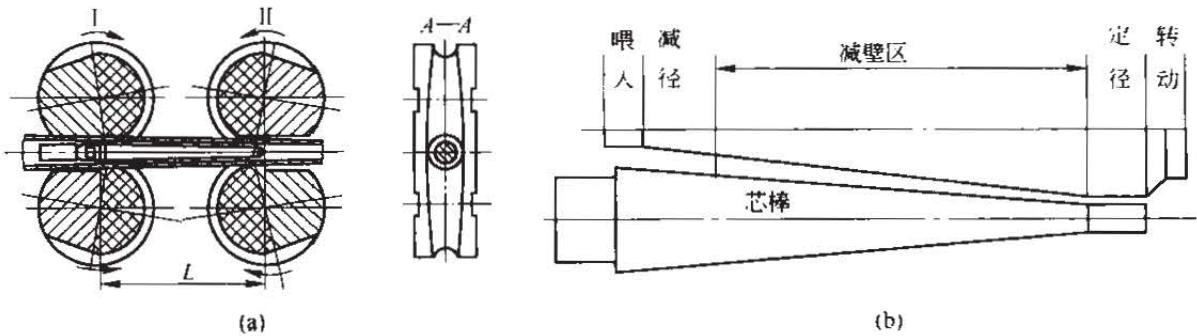


图 15-2 二辊周期式冷轧管机工作原理图  
(a) 轧辊结构及正反向轧制示意；(b) 变形区展开图

二辊周期式冷轧管机的孔型沿工作弧由大向小变化：入口比来料外径略大，出口与成品管直径相同，再后孔型略有放大以便管料转动。轧辊随机架往复运动在轧件上前后滚轧，芯棒与轧件作相应旋转，转角略有差异，使芯棒磨损均匀。轧辊回轧时能消除壁厚不均。轧辊回至原位，完成一个变形周期，如此反复直至整根管料轧完。

图 15-3 为多辊周期式冷轧管机工作原理图。其操作过程和两辊式相同，只是对轧件的加工是由安装在隔离架内的3~5个小辊进行。小辊沿固定在机头套筒中的楔形滑轨作往返运动，从而实现压下。其辊径小，轧制力小；孔型切槽浅，轧件和工具间滑动小，因而可生产高精度极薄管。规格范围： $D_c = 4 \sim 120\text{mm}$ ， $S_c = 0.03 \sim 3.0\text{mm}$ ， $D_c/S_c = 150 \sim 250$ 。

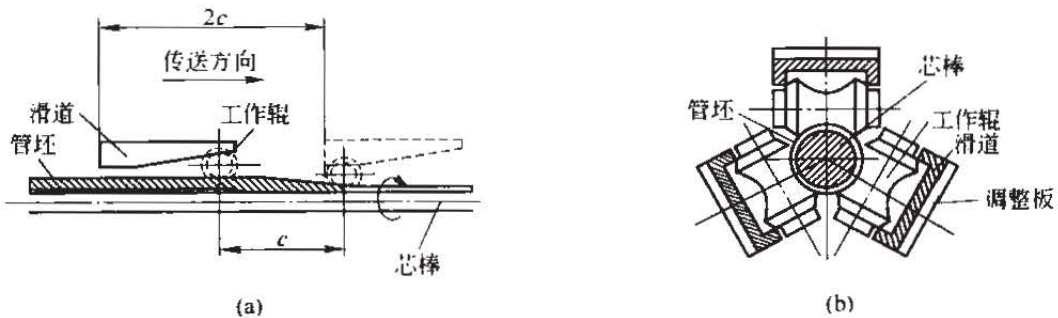


图 15-3 多辊周期式冷轧管机工作原理图  
(a) 轧机构造；(b) 轧辊

冷轧的发展趋势是多线、高速、长行程（大送进量）、长管料。

### 15.1.3 管材冷拔的主要生产方法

冷拔可以生产直径0.2~765mm、壁厚0.015~50mm的钢管，是毛细管、小直径厚壁管以

及部分异形管的主要生产方式。目前直线运动冷拔机的最大拔制长度达 50m。图 15-4 是现有冷拔管材的主要生产方法。

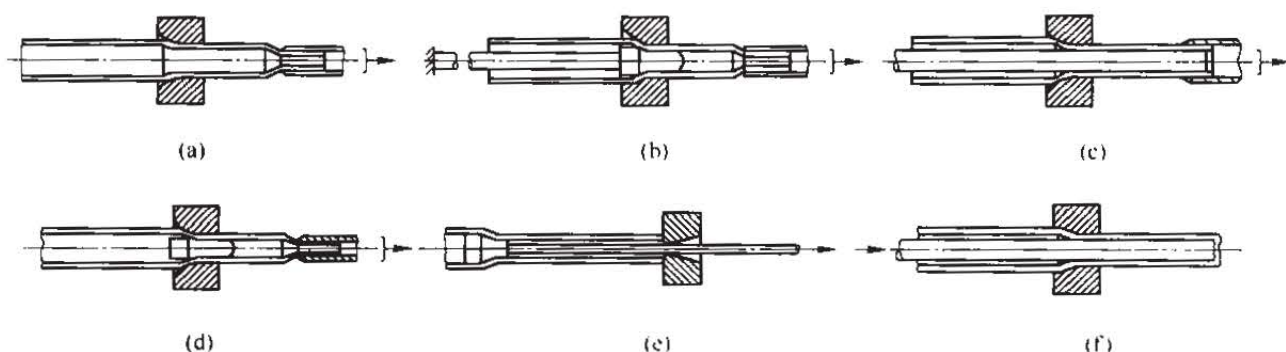


图 15-4 管材拉拔示意图

(a) 无芯棒拉拔; (b) 短芯棒拔制; (c) 长芯棒拔制  
(d) 游动芯棒拔制; (e) 扩拔; (f) 顶管

无芯棒拔制也称空拔，用于减径、定径，每道最大延伸系数 1.5，主要受变形区横断面不均匀变形和管料强度限制，薄壁管还需考虑形状失稳的限制。所以来料壁厚系数不得小于 0.04。游动芯棒拔制主要用于生产小直径长管，道次延伸系数 1.2 ~ 1.8。它与空拔都是毛细管、小径厚壁管生产的主要方法，均可采用卷筒拔制。卷筒拔制的最大管径：钢管 36mm，铜管 60mm；最大拔制速度：钢管 300m/min，铜管 720m/min；拔制长度在 130 ~ 2300m；卷筒直径：管径大、壁厚薄，卷筒直径较大。卷筒拔制延伸系数比直线拔制小 15% ~ 20%。

短芯棒拔制可同时减径减壁，应用较广。最大道次延伸系数 1.7，主要受管体拔后屈服强度和头部抗拉强度限制，小直径管有时受到芯棒强度的限制。

长芯棒拔制减壁能力强，可获得尺寸精度较高、表面质量较好的管材，是目前  $D_0 \leq 3.0\text{mm}$ 、 $S_0 \leq 0.2\text{mm}$  小直径薄壁管生产的唯一方法。其最大道次延伸系数 2.0 ~ 2.2。在线脱棒工艺：冷拔的同时辗轧管壁，拔后自行脱棒。

扩拔主要用于生产大直径薄壁管、定内径、制造双金属管等，一般扩径量 15% ~ 20%。

此外，还有双模拔制、辊模拔制、多线拔制、连拔、温拔以及超声波拔制等多种方法。

目前冷拔的发展趋势是多条、快速、长行程和拔制操作连续化。

## 15.2 冷轧管生产

### 15.2.1 冷轧管轧制过程

图 15-5 为二辊周期式冷轧管机的轧制进程工作图示。其工作进程如下：(1) 管料送进 (图 15-5a)：轧辊位于进程轧制的起始位置，也称进轧的起点 I，管料送进  $m$ ，I-I 移至  $I_1 - I_1$ ，轧制锥前端由 II - II 移至  $II_1 - II_1$ ，管体内壁与芯棒间形成间隙  $\delta$ ；(2) 进程轧制 (图 15-5b)：轧辊向前滚轧，轧件被推碾前移，前部的间隙  $\delta$  随之扩大。瞬时变形区由两部分组成：瞬时减径区和瞬时减壁区，各自所对应的中心角分别为减径角  $\theta_1$  和减壁角  $\theta_2$ ，两者之和为咬入角  $\theta$ ；(3) 转动管料和芯棒 (图 15-5c)：滚轧到管件末端后，孔型直径稍大于成品外径，管料转动  $60^\circ \sim 90^\circ$ ，芯棒同时转动，但转角略小。轧件末端滑移至 III - III，一次轧出总长  $\Delta L_1 = \mu_x m$  ( $\mu_x$  为总延伸系数)。轧至中间任意位置时，轧件末端移至  $II_x - II_x$ ，轧出长度为  $\Delta L_x = \mu_x m$  ( $\mu_x$  为中间任意位置的积累延伸系数)；(4) 回程轧制：轧辊从轧件末端回轧。因为正轧时机架有弹性变形，金属横向有宽展，所以回程轧制时仍有一定减壁量，约占一个周期总减

壁量的 30% ~ 40%。回轧时的瞬时变形区与进程轧制相同，也由减径和减壁区构成。回轧时，金属仍向原延伸方向流动。

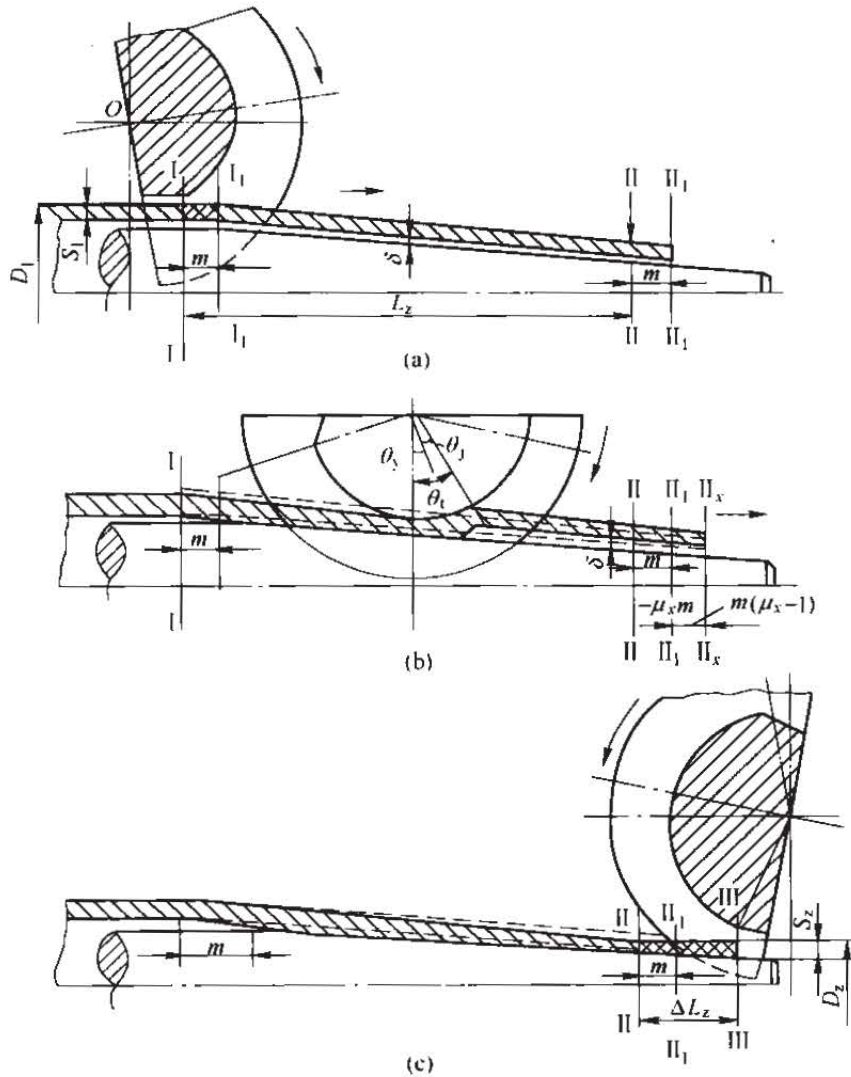


图 15-5 二辊周期式冷轧管机的进程轧制工作图示

每一周期管料送进体积为  $mF_1$  ( $F_1$  是来料横截面积)，轧件出口横截面积为  $F_2$ ，按体积不变条件可得

$$\Delta L_z = \mu_z m = \frac{(D_1 - S_1) S_1}{(D_2 - S_2) S_2} m \quad (15-1)$$

式中  $\Delta L_z$  ——一次轧制长度增量，mm；

$m$  ——送进量，mm；

$D_1$ 、 $D_2$  ——来料和轧出外径，mm；

$S_1$ 、 $S_2$  ——来料和轧出壁厚，mm。

沿着轧辊周向有四个变形区：减径区、压下区、预精整区和精整区（图 15-6）。

(1) 空轧送进区：管料送进  $m$ ；

(2) 减径区：压缩管料外径直至内表面与芯棒接触为止。减径时略有增壁，增壁量  $\Delta S$  按式 (15-2) 计算

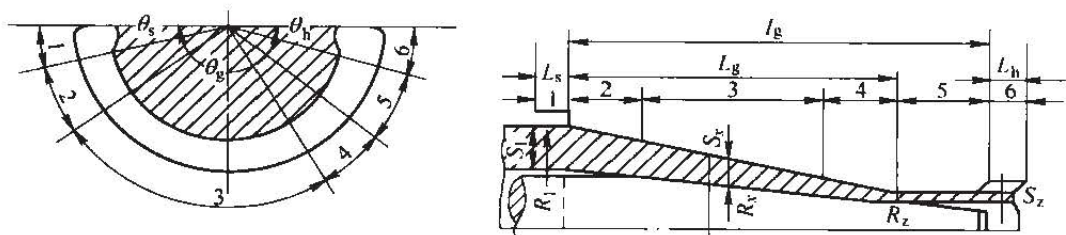


图 15-6 二辊周期式冷轧管机孔型展开图

1—空轧送进区；2—减径区；3—压下区；4—预精整区；5—精整区；6—空轧转动区

$$\Delta S \approx (0.7 \sim 0.8) S_1 \frac{\Delta D_1}{D_1} \quad (15-2)$$

式中  $D_1$ 、 $\Delta D_1$ 、 $S_1$  ——管料的外径、外径减缩量 and 壁厚。

由于减径增壁过程中金属的塑性有所降低，变形不均匀性增加，宜采用较小减径量，一般插棒间隙  $\Delta_1 \leq (3\% \sim 6\%) d_1$ ， $d_1$  为来料内径。

(3) 压下区：为主要变形区，可同时减径、减壁。此段的变形曲线和孔型宽度是孔型设计的主要内容，应根据加工材料的性能和质量要求进行设计；

(4) 预精整区：定壁，完成主要变形。

(5) 精整区：定径，并提高表面质量和尺寸精度；

(6) 空轧转动区：管料旋转  $60^\circ \sim 90^\circ$  以便回轧，对正轧时各种弹性变形所造成的变形余量和孔型侧部的金属进行精整加工。

### 15.2.2 变形区内金属的应力状态分布

变形区内应力状态影响因素主要有外摩擦、变形均匀性和变形分散程度。

#### 15.2.2.1 外摩擦的影响

孔型中轧制、芯棒的摩擦作用以及轧制时金属只流向进程轧制方向流动，使得前滑区金属承受三向附加压应力，在后滑区承受轴向附加拉应力，其他两向为附加压应力。回轧时轧辊反向旋转，孔底金属在外摩擦力作用下受三向附加压应力，孔侧部分金属受轴向拉应力，其余两向为压应力。芯棒接触表面的摩擦方向，因轧件始终向机架进程轧制的运行方向延伸，所以对接触表面的金属总是造成三向附加压应力。

#### 15.2.2.2 不均匀变形的影响

与所有纵轧相同，孔型开口处的金属受附加轴向拉应力，孔底金属受附加轴向压应力。出口截面上出现的工作应力状态分布将如图 15-7 所示。孔型开口处始终承受着拉应力，严重时甚至可能出现横裂，这是限制冷轧管一次变形率的主要原因之一。

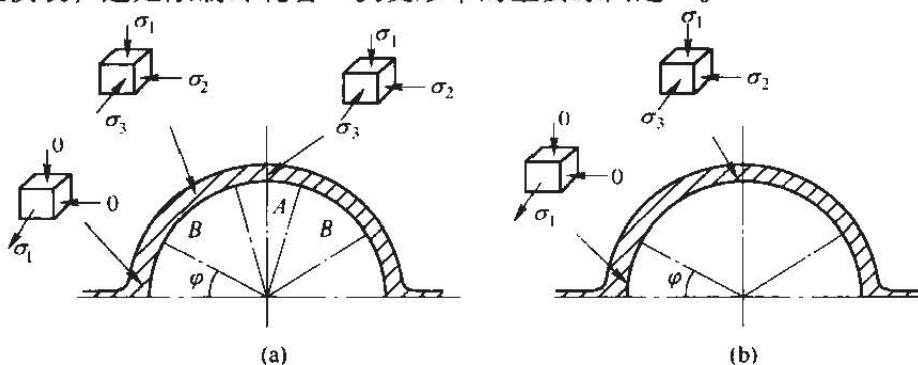


图 15-7 周期式冷轧管机的工作应力状态图

(a) 正行程轧制；(b) 回程轧制

15.2.2.3 加工分散程度的影响

正轧和回轧造成的残余应力以及变形的不均匀性可以通过回轧前旋转 60° ~ 90°，再加以回轧便能互相抵消。减小一次变形量，增加轧制次数，可降低每次产生的残余应力，但增加加工时间。所以分散系数  $n_b$  应按不同材料规定一个允许的最小值，以控制产品质量。不同材料的管材可在实践中确定允许的最小变形分散系数，作为孔型设计的依据之一。表 15-1 列出了一些材料允许的最小分散系数。

$$n_b = \frac{3l_1}{m(1+2\mu_z)} \tag{15-3}$$

式中  $l_1$  ——变形区压下段水平长度，mm；

$m$  ——送进量，mm；

$\mu_z$  ——一个轧制周期的延伸系数。

表 15-1 几种材料的最小分散系数

孔 型	材 质	变形程度/%	允许最小变形分散系数 $n_b$
68 × 4 → 41 × 1.0	钢	85	6 ~ 7
70 × 6 → 38 × 2.0	不锈钢	81	11 ~ 12

15.2.3 周期轧制主要变形参数的计算

周期轧管通过累积变形获得成品尺寸，需要计算由坯料尺寸轧到变形锥内任一剖面时的“积累变形量”，和变形锥内任一剖面的“瞬时变形量”。

变形锥内任一横截面  $F_x$  的瞬时延伸系数等于与  $F_1$  相距  $\Delta x$  的前一横截面  $F_{x-1}$  与  $F_x$  之比。而一个轧制周期截面移动所包含的体积等于该轧制周期的送进体积  $mF_1$ ， $F_1$  为来料横截面积。如图 15-8 所示，I - I 与 II - II 断面的间距为  $\Delta x$ ，它们之间所包括的体积等于送进体积。根据送进体积与一个轧制周期所轧成钢管体积相等原则，有

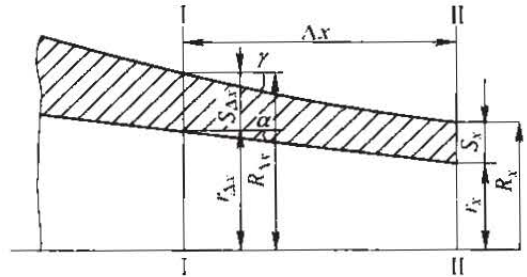


图 15-8 变形区中的一段工作锥

$$\Delta x = \mu_z m = \frac{(D_1 - S_1) S_1 m}{(D_x - S_x) S_x} \tag{15-4}$$

式中  $\mu_z$  ——一个轧制周期的延伸系数；

$D_1$ 、 $S_1$  ——来料外径和壁厚，mm；

$D_x$ 、 $S_x$  ——轧出直径和壁厚，mm。

外半径、内半径和壁厚的变化可表示为：

$$R_{\Delta x} = R_x + \Delta x \tan \gamma \tag{15-5}$$

$$r_{\Delta x} = r_x + \Delta x \tan \alpha \tag{15-6}$$

$$S_{\Delta x} = S_x + \Delta x (\tan \gamma - \tan \alpha) \tag{15-7}$$

送进体积为

$$V_m = \pi \int_0^{\Delta x} S_{\Delta x} (2r_{\Delta x} + S_{\Delta x}) d(\Delta x) = \pi (D_1 - S_1) S_1 m \tag{15-8}$$

将式 (15-6)、式 (15-7) 代入式 (15-8) 并忽略高次项，积分后得

$$\Delta x = \frac{\sqrt{(2r_x + S_x)^2 S_x^2 + 4 \frac{V_m}{\pi} [r_x (\tan \gamma - \tan \alpha) + S_x \tan \gamma]} - S_x (2r_x + S_x)}{2[r_x (\tan \gamma - \tan \alpha) + S_x \tan \gamma]} \quad (15-9)$$

$\Delta x$  已知后, 通过式 (15-5)、式 (15-6)、式 (15-7) 分别求出  $R_{\Delta x}$ 、 $r_{\Delta x}$  和  $S_{\Delta x}$  各值, 可得延伸系数  $\mu_x$ 、相对减面率  $\Delta F_x/F_x$  和相对减壁量  $\Delta S_x/S_x$  如下:

$$\mu_x = \frac{S_{\Delta x} (2r_{\Delta x} + S_{\Delta x})}{S_x (2r_x + S_x)} = \sqrt{1 + 4 \frac{V_m}{\pi} \frac{R_x (\tan \gamma - \tan \alpha) + S_x \tan \alpha}{S_x^2 (R_x + r_x)^2}} \quad (15-10)$$

$$\frac{\Delta F}{F} = 1 - \frac{1}{\mu_x} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 4 \frac{V_m}{\pi} \frac{R_x (\tan \gamma - \tan \alpha) + S_x \tan \alpha}{S_x^2 (R_x + r_x)^2}}} \quad (15-11)$$

$$\frac{\Delta S}{S} = 1 - \frac{S_x}{S_{\Delta x}} = 1 - \frac{S_x}{S_x + \Delta x (\tan \gamma - \tan \alpha)} \quad (15-12)$$

回程轧制的减壁量约占总减壁量的 30% ~ 40%。

#### 15.2.4 周期冷轧管机的孔型设计

设计内容包括: 孔型各段长度的计算、孔型底部的展开线、计算孔型横断面尺寸、计算芯棒形状和尺寸。

##### 15.2.4.1 计算孔型长度

如图 15-6 所示, 孔型由工作段  $L_w$ 、送进段  $L_s$ 、回转段  $L_h$  构成, 对应的是工作角  $\theta_w$ 、送进角  $\theta_s$ 、回转角  $\theta_h$ 。设计时应尽量缩短送进和回转段的长度, 增加工作段的长度。

孔型常用的半圆形轧块最大回转角  $\gamma_{\max} = 180^\circ \sim 215^\circ$ , 且应满足以下条件:

$$\theta_s + \theta_w + \theta_h \leq \gamma_{\max} \quad (15-13)$$

$$L_s + L_w + L_h \leq \pi D_j \frac{\gamma_{\max}}{360^\circ \times 3600} \quad (15-14)$$

式中  $D_j$  —— 主动齿轮节圆直径, mm。

##### 15.2.4.2 设计孔型槽底的纵向展开曲线

孔型槽底纵向展开曲线分为四段 (图 15-6), 其中减径段、预精整段为直线, 与轧制线成一定倾角; 定径段是与轧制线平行的直线; 压下段是按一定变形规律设计的光滑曲线, 是孔型设计的关键部分。

图 15-9 为减径区段图示, 其中减径长度  $l_j$  为

$$l_j = \frac{\Delta_1}{\tan \gamma - \tan \alpha} \quad (15-15)$$

管料的减径段锥度为  $\gamma = 6.8^\circ \sim 11.3^\circ$ , 轧制薄壁管时的插棒间隙  $\Delta_1 = 1.0 \sim 1.5 \text{ mm}$ 。

精整段也称定径段, 孔型直径应与成品管外径相等, 长度取决于进入预精整段管料直径与成品管的直径差, 以及进入精整段管料的椭圆度。椭圆度小, 孔型开口度不大, 则芯棒锥度  $2 \tan \alpha \leq 0.01$ , 精整次数可以少些, 一般取 1 ~ 2 次, 相应定径段长度为

$$l_d = (0.1 \sim 2.0) m \mu_x \quad (15-16)$$

预精整段长度视管料每一断面可能受到的预精整次数而定, 次数多少取决于压下段瞬时延

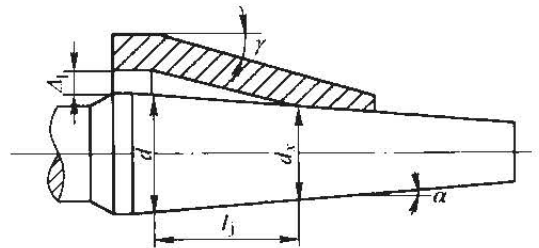


图 15-9 减径区段示意图

伸率，尤其是进入预精整段前的瞬时延伸率，压下段瞬时延伸率大则预精整次数多。压下段多采用逐渐减缓瞬时延伸率的光滑曲线，精轧系数取 1.0~1.5，相应长度为

$$l_y = (1.0 \sim 1.5) m \mu_{\Sigma y} \quad (15-17)$$

式中  $\mu_{\Sigma y}$ ——预精整段始点的积累延伸系数，一般  $\mu_{\Sigma y} = (0.95 \sim 0.98) \mu_{\Sigma}$ 。

为保证纵向壁厚均匀性，应使该段与芯棒母线保持平行  $\tan \gamma = \tan \alpha$ 。

压下区槽底纵向展开线的设计原则是充分利用金属塑性。因为轧制过程中随着变形量的增加金属塑性相应下降，所以沿变形区长度方向的壁厚压下率应按逐渐减小的原则设计。

按下区轧制压力不变原则，压下量分布的经验公式为

$$\Delta S_x = \frac{m \left( \frac{S_j}{S_{yx}} - 1 \right) n_1}{1 - e^{-n_1}} \left( 1 - n_2 \frac{x}{l_{yx}} \right) \quad (15-18)$$

式中  $\Delta S_x$ ——压下区的瞬时壁厚压下量，mm；

$S_j$ 、 $S_{yx}$ ——分别为减径区和压下区出口位置的壁厚，mm；

$n_1$ ——常数， $n_1 = 0.64$ ；

$n_2$ ——按下区轧制压力为常数而确定的系数。

对应坐标  $x$  的各点壁厚为

$$S_x = \frac{S_j}{\frac{S_j \left( \frac{2 - n_2 \frac{x}{l_{yx}} \right) x}{S_{yx} \left( \frac{2 - n_2}{l_{yx}} \right) x}} \quad (15-19)$$

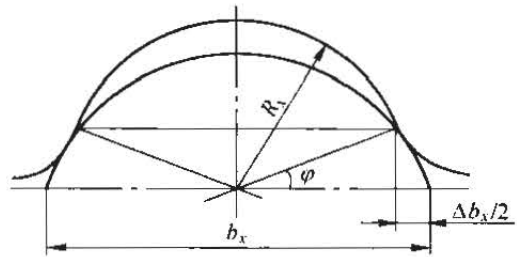


图 15-10 孔型结构图

### 15.2.4.3 孔型断面尺寸 (图 15-10)

孔型开口角  $\varphi$  对于咬入和变形的影响规律如同一般椭圆孔轧制过程。其值如表 15-2 所示。

表 15-2 孔型开口角  $\varphi$  值

辊径/mm	开口角 $\varphi / (^\circ)$			
	减径开始	压下区	预精整区	精整区
300	35 ~ 32	32 ~ 29	29 ~ 27	27 ~ 25
364	31 ~ 24	31 ~ 27	27 ~ 25	25 ~ 23
434	25 ~ 20	25 ~ 22	22 ~ 20	20 ~ 18
550	18 ~ 16	22 ~ 20	22 ~ 20	17 ~ 15

侧宽余量  $\Delta b_x$  可按式 (15-20) 计算

$$\Delta b_x = 2K m \mu_{\Sigma x} \tan \alpha \quad (15-20)$$

式中  $K$ ——考虑金属强迫宽展和工具磨损的系数，取 1.10~1.15；

$\mu_{\Sigma x}$ ——变形区横截面累积延伸系数。

### 15.2.4.4 芯棒尺寸 (图 15-11)

芯棒主要参数为锥角  $\alpha$ 、外径  $D_1$ 、长度  $L_1$ 。 $L_1$  应大于减径段、压下段和预精整段长度的总和。精整段（定径段）起点的芯棒外径为  $D_d$ 。

芯棒定径段起点的直径为

$$D_d = D_x - 2S_x \quad (15-21)$$



式中  $D_2$ 、 $S_2$  ——成品管的外径和壁厚，mm。

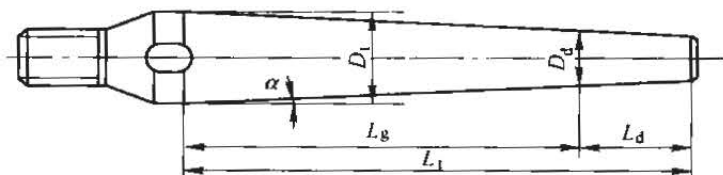


图 15-11 芯棒结构图

芯棒直径为

$$D_1 = D_2 - 2S_1 - \Delta_1 = D_2 + 2L_g \tan \alpha \quad (15-22)$$

式中  $D_1$ 、 $S_1$  ——来料的外径、壁厚，mm；

$\Delta_1$  ——插棒间隙，mm。

芯棒的锥度按下式计算：

$$2 \tan \alpha = \frac{D_1 - (D_2 - 2S_2)}{L_g} = \frac{(D_1 - D_2) - 2(S_1 - S_2) - \Delta_1}{L_g} \quad (15-23)$$

芯棒锥度小，可减少不均匀变形和轧制压力、减少瞬时减径量、改善瞬时金属流动。但过小则易使管料端部相互咬合。芯棒锥度最小值为：0.002 ~ 0.005。硬质材料和薄壁管选用较小的芯棒锥度。

### 15.2.5 冷轧管轧制力计算

轧制压力

$$P = \bar{p}F \quad (15-24)$$

式中  $F$  ——冷轧时管壁压下区接触表面的水平投影，mm<sup>2</sup>；

$\bar{p}$  ——平均单位压力，MPa。

二辊冷轧机的平均单位压力计算可采用式 (15-25)、式 (15-26)。

$$\text{正轧时: } \bar{p} = R_m \left[ 1.05 + f \left( \frac{S_1}{S_x} - 1 \right) \frac{R_x}{R_j} \frac{\sqrt{2\Delta S_j R_x}}{S_x} \right] \quad (15-25)$$

$$\text{回轧时: } \bar{p} = R_m \left[ 1.05 + (2 \sim 2.5) f \left( \frac{S_1}{S_x} - 1 \right) \frac{R_x}{R_j} \frac{\sqrt{2\Delta S_h R_x}}{S_x} \right] \quad (15-26)$$

式中  $R_m$  ——所计算断面的金属抗拉强度，MPa；

$S_1$ 、 $S_x$  ——来料壁厚和所计算断面的轧件壁厚，mm；

$R_j$ 、 $R_x$  ——主动传动齿轮节圆半径和所讨论断面孔型底部轧辊半径，mm；

$f$  ——摩擦系数，对钢和铝合金  $f=0.08 \sim 0.10$ ；紫铜和黄铜  $f=0.05 \sim 0.07$ ；

$\Delta S_j$ 、 $\Delta S_h$  ——进程和回程时管壁压下量， $\Delta S_j = (0.7 \sim 0.8) \Delta S_1$ ， $\Delta S_h = (0.2 \sim 0.3) \Delta S_1$ ， $\Delta S_1$  为一个轧制周期管壁总压下量。

管壁压下区接触面的水平投影按下式计算

$$F = b_x \sqrt{2R_x \Delta S_x} \quad (15-27)$$

式中  $b_x$  —— $x$  断面的孔型宽度，mm；

$\Delta S_x$  —— $x$  断面的壁厚压下量，mm。

## 15.3 冷拔管生产

### 15.3.1 管材拔制的工艺特点

拔管主要有短芯棒、长芯棒、游动芯棒和无芯棒拔制四种方法。冷拔加工之前，管坯需要进行拔前准备，其中包括对管坯形状的准备：切断、锤头、矫直等；管坯的组织性能准备：适当的热处理；管坯表面的准备：酸洗、喷丸、表面润滑处理等。

冷拔金属在变形过程中的加工硬化、延伸变长、管端不能继续穿过模孔、表面润滑膜破损等一系列变化，需要进行适当的处理，比如采用热处理工艺对管料加以软化、对管端需要锤头以便穿过模孔、进行管料的中间切断以适应拔机长度、对管料进行酸洗以去除表面氧化层以及重新润滑等以便继续加工。通常将这一系列工序统称为中间处理，所有的冷拔之前的加工内容称做拔前准备工作。中间处理或拔前准备工作对冷拔加工过程和产品的加工质量至关重要。

与冷轧相比，冷拔的道次变形量较小，小规格成品需要经过多次冷拔才能获得，通常需要多次退火处理。一次退火后冷拔直至下一次退火之间的工艺过程叫做一个拔程，一个拔程中包括冷加工和中间处理过程。

因此，尽管冷拔管具有通常冷加工金属的所有优点，并且设备简单操作容易，但与冷轧相比，冷拔工艺道次多、中间处理工序多、成材率低。

### 15.3.2 拔管时的变形区受力与拔制条件

各种拔管方式，管料在变形区内受到拉模和芯棒的作用力如图 15-12 所示。固定模座拔管变形力或变形功的 40% ~ 60% 用于克服摩擦力或摩擦功。因此，为减少拔制力，除了要降低金属变形抗力和合理设计模具外，还需充分润滑以降低摩擦系数。

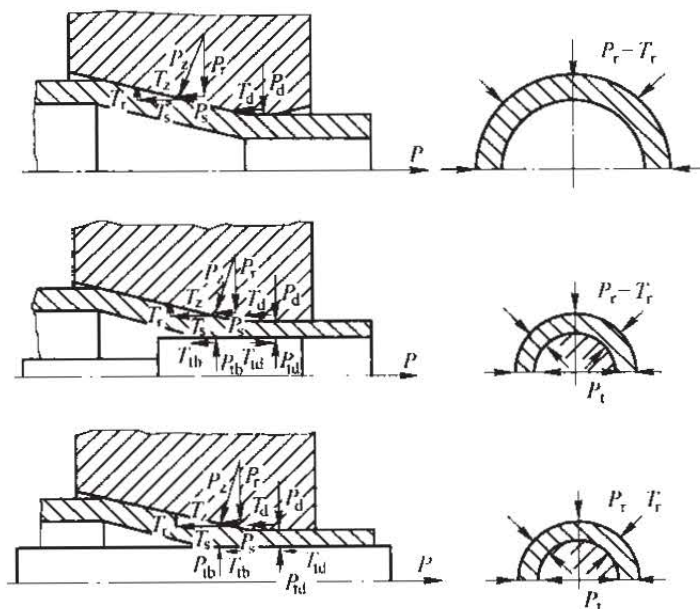


图 15-12 变形区内作用力示意图

通过对变形区受力特点分析，可进一步分析变形区各个部分金属的应力应变状态，并且可得实现拔制过程的条件为

$$\sigma_z = \frac{P}{F_1} < \sigma_s \quad (15-28)$$

式中  $\sigma_z$  ——出口断面单位拔制力, MPa;

$P$  ——拔制力, N;

$F_1$  ——冷拔管出口断面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$\sigma_s$  ——拔后管身的屈服强度, MPa。

同时, 管料锤头部分所受的拔制应力应小于该处的强度极限

$$\frac{P}{F_0} < \sigma_b \quad (15-29)$$

式中  $F_0$  ——管料锤头部分断面积,  $\text{mm}^2$ ;

$\sigma_b$  ——锤头部分的强度极限, MPa。

### 15.3.3 拔管时金属的变形

#### 15.3.3.1 无芯棒拔制时的变形

无芯棒拔制也称做空拔, 主要作用为减径。主要模具形式有锥形外模和弧形外模两种 (图 15-13), 其变形区分为减径区和定径区两个区域 (图 15-14)。

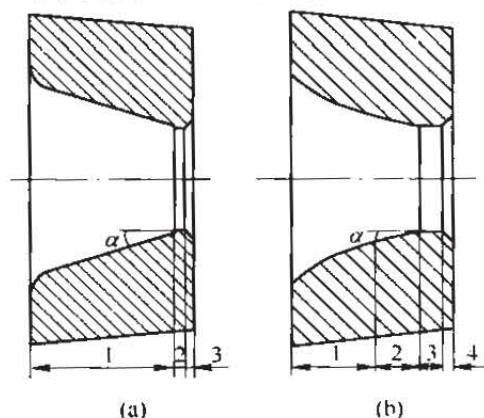


图 15-13 冷拔外模的两种形式

(a) 锥形外模; (b) 弧形外模

1—入口锥; 2—圆弧段; 3—定径段; 4—出口锥

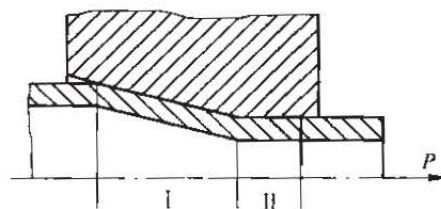


图 15-14 空拔变形区图示

I—减径区; II—定径区

空拔变形区管料内表面为自由表面, 外表面受外模减径压下, 且作用有摩擦阻力, 其减径变形是由于外模径向施压造成管料的周向压缩, 因而空拔变形特点可归纳为: 1) 变形、应力分布严重不均; 2) 具有管壁的稳定性问题, 使得道次减径量受到限制; 3) 具有缩径现象, 管料拔后直径略小于模孔直径; 4) 具有均壁作用, 使得这种加工方式适用于成壁后道次; 5) 壁厚增减的变化规律如同热轧定减径。

空拔道次减径量一般为 4~10mm (<15mm), 每道次的面积缩率为 25%~30% (<35%), 延伸系数最大值为 1.5~1.6。此法一般用于生产小直径 ( $D < 30\text{mm}$ 、壁厚  $S < 1.0\text{mm}$ ) 的管材以及各种冷成形管的成品道次和成品前几道次的定径。

#### A 壁厚变化规律

空拔时, 钢管除了减径外, 壁厚同时发生变化。由全量理论所推导的下式可分析空拔壁厚随减径量的变化规律。

$$\ln \frac{S_0}{S_1} = \frac{2\sigma_r - \sigma_n - \sigma_t}{2\sigma_n - \sigma_r - \sigma_t} \ln \frac{D_0}{D_1}$$

式中  $S_0$ 、 $D_0$  —— 来料壁厚和外径，mm；

$S_1$ 、 $D_1$  —— 拔后壁厚和外径，mm；

$\sigma_r$ 、 $\sigma_\theta$ 、 $\sigma_z$  —— 作用于变形区微分体的径向、切向和轴向应力。

生产过程中可采用以下经验公式计算空拔壁厚变化

$$\frac{\Delta S}{S_0} = \frac{1}{6} \frac{\Delta D}{D} \left[ 3 - 10 \left( \frac{S_0}{D_0} \right)^2 - 13 \left( \frac{S_0}{D_0} \right) \right] \quad (15-30)$$

式中  $\Delta S$  —— 冷拔一道次前后壁厚变化量，mm；

$D_0$ 、 $S_0$  —— 来料外径和壁厚，mm；

$\bar{D}$  —— 冷拔一道次前后平均直径，mm。

或

$$\Delta S = \pm D \times 10^{-3} \quad (15-31)$$

来料壁厚系数  $\nu_0 < 0.2$  时取正， $\nu_0 > 0.2$  时取负。

图 15-15 所示为空拔时壁厚变化与减径率、来料壁厚系数之间的关系。

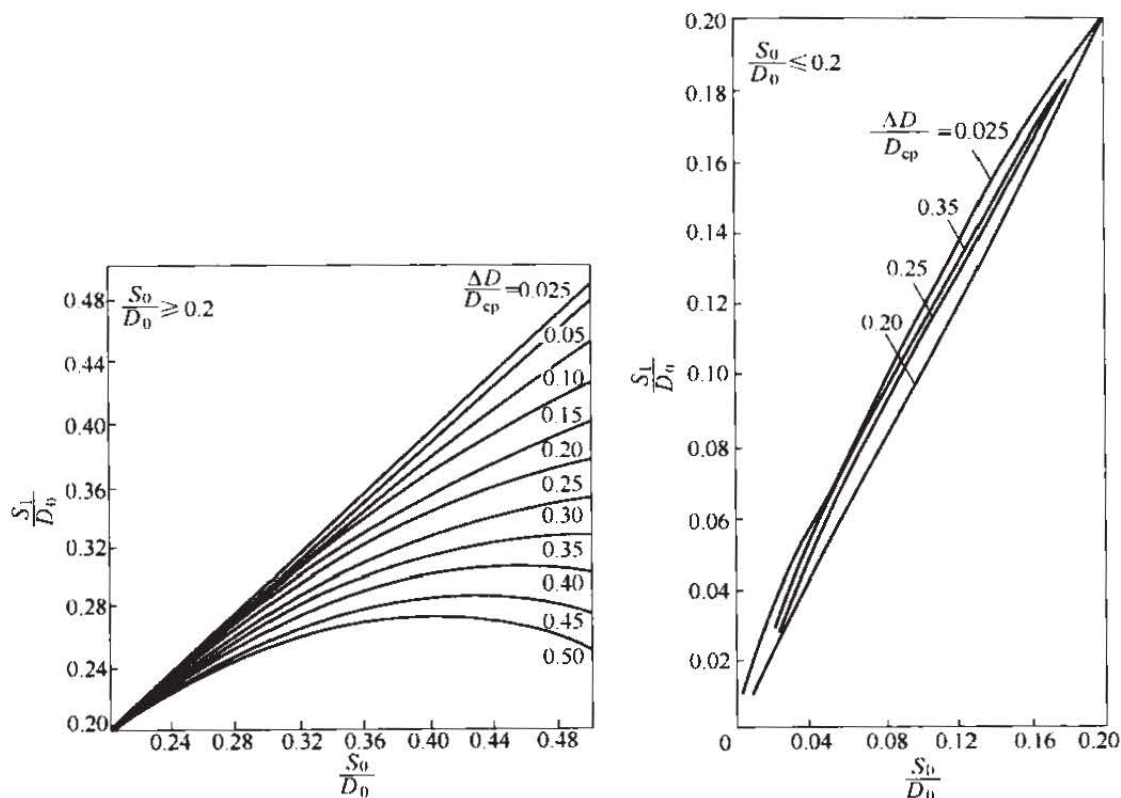


图 15-15 空拔时壁厚变化与减径率、来料壁厚系数之间的关系

也可以按经验方法估算壁厚变化值：来料管外径和壁厚比值  $D_0/S_0 > 5 \sim 6$  时，钢管减径 10mm，则壁厚约增厚 0.1mm；来料  $D_0/S_0 < 5 \sim 6$  时，钢管减径 10mm，则壁厚约减薄 0.1mm。

### B 管壁失稳问题

管料失稳拔折是减径变形受限的主要因素，其临界减径率可按下式计算

$$\varepsilon_n = 2.8 \nu_0 \times 10^4 \quad (15-32)$$

式中  $\nu_0$  —— 来料壁厚系数。

生产中应注意：1) 锤头形状对管壁失稳影响较大，肩部皱褶不宜过深过长；2)  $\nu_0 < 0.04$  时注意控制；3) 采用模具锥角  $\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$ ，并且  $\Delta D < 6S_0$ 。

### C 残余应力问题

空拔特定的变形状态,会产生严重的不均匀变形,导致残余应力分布不均,严重时会导致管材纵裂。这也同样使变形量受到限制。从空拔变形情况看,其外表面摩擦导致如下结果:沿壁厚方向,内层金属的相对减径量大于外层;内层金属的长度方向上的相对变形量大于外层;内层金属的相对减壁量大于外层。这一现象导致拔后管出现如图 15-16 所示的残余应力分布情况。外层金属所呈现的较大周向残余拉应力,容易造成管材纵裂(图 15-17)。因此,空拔时应适当控制连拔次数,并且  $\Delta D$  不宜过大(薄壁管容易拔折,厚壁管容易纵裂)。

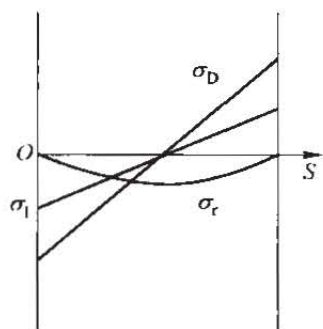


图 15-16 残余应力分布

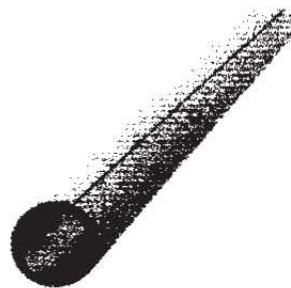


图 15-17 钢管纵裂缺陷

### D 缩径现象

所谓缩径现象是指空拔后管材外径略小于模孔内径的现象。造成缩径现象的原因有：1) 金属流动惯性，实验表明，拔制速度加大可导致缩径量增大；2) 最小弯曲半径，不同壁厚和材质具有不同的最小弯曲半径，其值越小，缩径值越小。通常，壁厚系数  $\nu_0 = 0.1 \sim 0.15$  时，缩径有最大值。同时，模具类型对缩径也有所影响，弧形外模缩径量较小(表 15-3)。

表 15-3 弧形外模缩径量

来料壁厚 $S_0$ /mm	缩径量/mm
2~5	0.03~0.04
>5	0.04~0.09

缩径量计算的公式为：

$$D_1 = \left( 1 + \frac{1.1\sigma_s}{E} \right) [d_1 - (2R - S_1)(1 - \cos\alpha) + k] \quad (15-33)$$

式中  $D_1$ 、 $S_1$  ——拔后外径和壁厚，mm；

$\sigma_s$  ——材料的屈服强度，MPa；

$E$  ——材料的弹性模量，MPa；

$d_1$  ——模孔直径，mm；

$R$  ——材料最小弯曲半径，mm；

$\alpha$  ——外模锥角，(°)；

$k$  ——模具材质系数，硬质合金模  $k=0$ ，钢模  $k=0.05 \sim 0.1$ 。

### E 均壁作用

空心轧制管材成形中壁厚变化的一般规律同样适用于空拔变形过程中局部管壁的变化：厚壁处趋向减薄、薄壁处趋向增厚。因此，空拔具有一定的均匀管壁的作用，在确保管件不产生弯曲的前提下，较大的模具锥角、增加空拔道次、加大道次减径量都有利于均壁。

### 15.3.3.2 短芯棒拔制时的变形

在锥形外模和柱形芯棒或弧形外模和锥形芯棒配合构成的环状模孔中进行的变形过程(图 15-18), 变形区由减径区、减壁区和定径区组成, 外模和芯棒均阻碍金属纵向流动, 但外模较大的压下和较长的接触面积使得外层金属的纵向流动始终滞后于内层, 但不如空拔严重。锥形外模柱形芯棒拔制力比弧形外模锥形芯棒小 20% 左右, 变形量较大, 适用于较大规格钢管冷拔。短芯棒拔制时, 管料内外侧上压下变形较大的一面具有较好的表面质量, 也就是说, 弧形外模锥形芯棒能够加工出内表面质量较好的钢管, 锥形外模柱形芯棒所拔制的管子外表面质量较好。

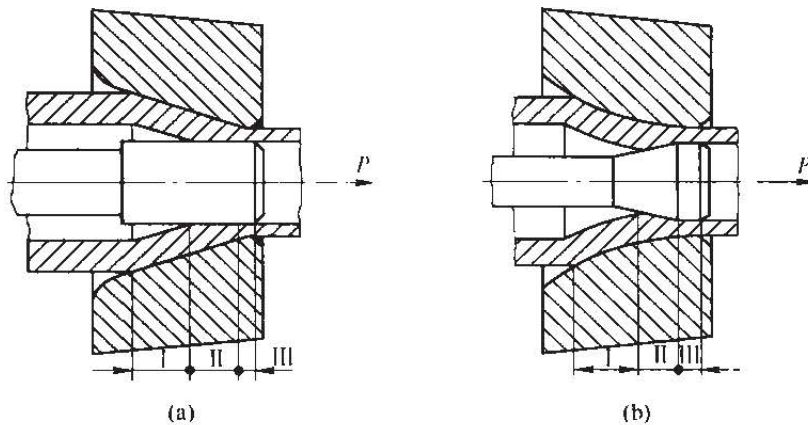


图 15-18 短芯棒拔制的两种形式及其变形区图示

(a) 锥形外模柱形芯棒; (b) 弧形外模锥形芯棒

I—减径区; II—减壁区; III—定径区

### 15.3.3.3 长芯棒拔制时的变形

长芯棒拔制时芯棒随管料一起向前移动, 因此芯棒对变形管料内表面的摩擦力要比短芯棒拔制小得多。第一道拔管变形区情况与短芯棒拔制相同, 分为减径区、减壁区和定径区(图 15-19a), 第二道连拔管变形区则只有减壁区和定径区(图 15-19b)。长芯棒拔制变形量可比短芯棒大, 同时管材的表面质量, 尤其是内表面质量较高。

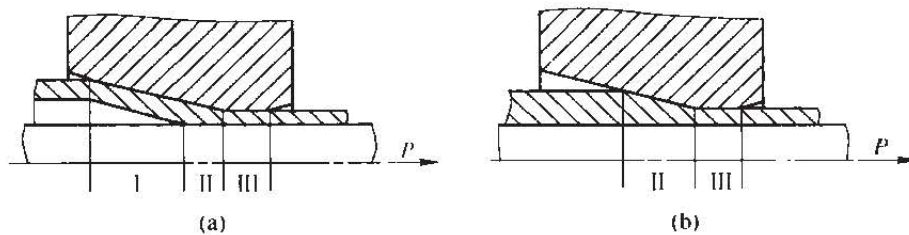


图 15-19 长芯棒拔管变形区图示

(a) 第一道拔制; (b) 连拔第二道

I—减径区; II—减壁区; III—定径区

长芯棒拔制需要脱棒工序。壁厚较薄的管料可以采用拔棒的方式进行拔制。

长芯棒拔制时管料与芯棒一起通过拔模, 管子与芯棒间摩擦力很小, 一般只有延伸率相同条件下的短芯棒拔制时的摩擦力的 1/6, 金属在拔模工作带的拉拔应力比短芯棒拔制时小 15%~20%, 因而该方法可生产壁厚为 0.01mm 的极薄壁管。长芯棒拔制道次变形量可达 40%~55%, 壁厚相对变形量为 30%~35%, 延伸系数为 2.2~2.25。该方法多应用于生产薄壁管的第一、二道次, 以获得较大的变形, 消除来料纵、横向壁厚不均。另外还用于生产小直径极薄壁管、毛细管以及塑性较差的特殊合金及有色金属管材。长芯棒拔制缺点是要求有材质

好、尺寸精确、表面需精加工且数量较多的芯棒，此法需要设置脱棒工序。

#### 15.3.3.4 游动芯棒拔制时的变形

游动芯棒拔管时的变形区可分作减径区、第一减壁区、第二减壁区和定径区四个区域(图 15-20)，随外界条件变化，变形区各段长度将有所改变，有的区域可能消失。

游动芯棒拔制时，芯棒应处于变形区稳定位置(图 15-21)，按芯棒所受到的正压力和摩擦力的水平分量之和应满足大于零，可得其自平衡条件为

$$\alpha \geq \alpha_1 > \beta \quad (15-34)$$

式中  $\alpha$  ——外模锥角，(°)；

$\alpha_1$  ——芯棒锥角，(°)；

$\beta$  ——管料与芯棒之间的摩擦角，(°)。

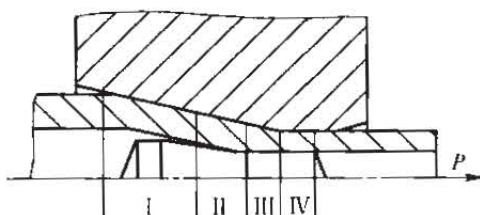


图 15-20 游动芯棒拔管变形区图示

I—减径区；II—第一减壁区；

III—第二减壁区；IV—定径区

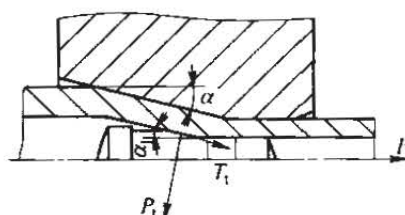


图 15-21 游动芯棒拔管芯棒

自平衡受力示意图

若不满足上述平衡条件，芯棒将受摩擦力作用而前移，与模孔构成对管料的剪切，使管料被拉断。

冷拔管金属变形受拔管形式、管料尺寸、变形程度、模具形状、润滑条件等多种因素影响。一般而言，摩擦条件和模具形状对变形不均匀程度影响较大，其中尤以无芯棒拔制方式所造成的不均匀变形程度较为严重，生产中应多加注意。

短芯棒拔制的道次减径量一般为 6~10mm，道次面缩率为 30%~35% (<40%)，延伸系数最大为 1.7~1.8 (个别情况下可达 2.1)。该拔制方法道次变形量大，且管子内表面质量好，所以多用于开始及中间道次以及成壁前的各道次，承担拔制生产过程中的主要变形。

### 15.3.4 拔制力及其影响因素

#### 15.3.4.1 拔制力计算

拔制力计算的意义在于校核拉拔过程中管料各截面上的拔制应力承受能力和选择适当的冷拔设备。

空拔时的拔制力

$$S < 0.05D \text{ 时} \quad P = 1.93 \bar{\sigma}_b F_1 \psi \quad (15-35)$$

$$S \geq 0.05D \text{ 时} \quad P = 2.11 \bar{\sigma}_b F_1 \psi \quad (15-36)$$

$$\text{短芯棒拔制时的拔制力} \quad P = 2.52 \bar{\sigma}_b F_1 \psi \quad (15-37)$$

式中  $\bar{\sigma}_b$  ——钢管拔制前后的平均抗拉强度，MPa；

$\psi$  ——钢管的面缩率。

计算拔制力的经验公式

$$P = K(F_0 - F_1) \quad (15-38)$$

式中  $F_0$ 、 $F_1$  ——钢管拔制前后的横截面积，mm<sup>2</sup>；

$K$ ——拔制力系数（由表 15-4 选取），MPa。

表 15-4 拔制力系数 (MPa)

钢种	空拔	短芯棒
低碳钢	65~75	75~85
中碳钢	90~100	110~120
合金结构钢	140~150	160~170
合金钢	140~150	170~180
不锈钢	140~150	160~170

### 15.3.4.2 拔制力影响因素

影响拔制力的主要因素有：1) 管料力学性能和变形程度。材料的屈服极限和强度越大，加工硬化程度越高，拔制力越大；2) 摩擦条件。克服摩擦力需占用较大部分的拔制力，生产中应尽可能改善摩擦条件；3) 模具形状。入口锥角过大或过小均可导致拔制力增加，一般  $\alpha = 12^\circ \sim 14^\circ$ ；定径带宽度越宽，拔制力越大；4) 钢管的几何尺寸。短芯棒拔制时，壁厚系数越小，拔制力越大。空拔时壁厚系数对拔制力影响不大；5) 芯棒位置。锥形外模柱形芯棒拉拔时，若芯棒位置过于靠前，使出口内表面摩擦力增加；6) 拔制速度。稳定拔制时，拔制速度对拔制力影响不大。开始拔制瞬间速度不宜过高，避免附加动载荷导致拔制力过大；7) 拔制方式。同样变形量条件下，短芯棒拔制力比空拔大，长芯棒拔制力比短芯棒拔制小。

### 15.3.5 冷拔工具设计

拔管工具对冷拔管材的产量、质量至关重要。对拔管工具的要求有：1) 工具表面的硬度高（HRC58~62）和耐磨性好，特别是在冷变形摩擦生热时仍应保持较高的硬度；2) 工具几何尺寸精确、形状合理；3) 工具表面光洁无损。

#### 15.3.5.1 外模设计

冷拔管外模有锥形和弧形两种形式，其结构参数如图 15-22 所示。入口锥起减径作用，生产实践证明锥形模锥角  $\alpha$  在  $12^\circ \sim 14^\circ$  时拔制力最小。

定径带起定径作用，其宽度  $b$  增大，拔制力增大，但钢管拔制稳定，拔后钢管弯曲小，空拔后缩径小；反之，定径带窄，拔制力小，但模具易磨损，拔后钢管弯曲大，空拔后缩径大，一般，锥形外模的定径带宽度为 3~7mm。出口锥的作用是使拔后管顺利脱模，不划伤外表面。出口锥角一般为  $30^\circ$ ，也可以弧形代替锥形，出口锥长度  $c$  一般近似等于定径带宽度  $b$ 。拔模厚度  $H$  按所需的最大减径量来选定，一般  $H$  值为 35~70mm，因  $d$  值而异。从保证拔模强度出发，一般拔模外径  $D \geq 2d$ 。为使模套有共用性，外模的外径  $D$  应尽可能统一。表 15-5、表 15-6 为现场使用的锥形外模和弧形外模尺寸。

拔管外模需要经受较大的摩擦，为提高拔模的使用寿命，改善拔管表面质量，目前普遍使用碳化钨硬质合金拔模，采用热压法装入钢套中，以免受冲击破碎。

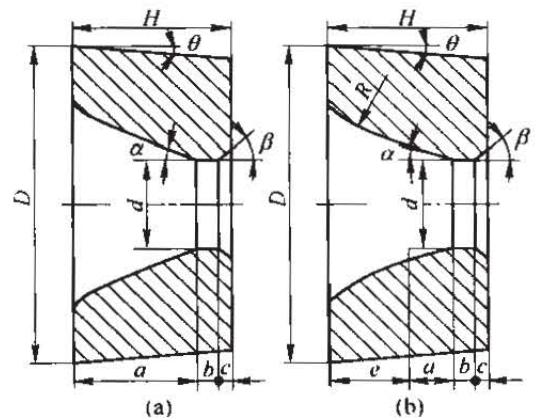


图 15-22 冷拔外模的两种形式  
(a) 锥形外模；(b) 弧形外模



表 15-5 短芯棒拔管锥形外模尺寸

$D/\text{mm}$	$d/\text{mm}$	$H/\text{mm}$	$b/\text{mm}$	$c/\text{mm}$	$\alpha/(\text{°})$	$R/\text{mm}$	$\beta/(\text{°})$
170	$\geq 70$	60	6	10	13	7	30
140	51 ~ 69	50	5	8	13	5	30
120	45 ~ 50	45	4	6	13	5	30
120	35 ~ 44	40	4	5	13	4	30
100	20 ~ 34	30	4	5	13	3	30

表 15-6 短芯棒拔管弧形外模尺寸

$D/\text{mm}$	$H/\text{mm}$	$d/\text{mm}$	$a/\text{mm}$	$b/\text{mm}$	$c/\text{mm}$	$e/\text{mm}$	$\alpha$	$R/\text{mm}$	$\beta/(\text{°})$
150	45	60 ~ 46	8	15	2	20	$3^{\circ}30'$	23.8	30
150	45	45 ~ 40	7	14	2	22	$3^{\circ}30'$	30.6	30
120	32	39 ~ 20	7	13	2	9	$3^{\circ}30'$	12.5	30
90	28	19 ~ 12	6	12	2	8	$3^{\circ}30'$	11	30

### 15.3.5.2 芯棒设计

短芯棒分柱形和锥形两种，柱形芯棒与锥形外模配合使用；锥形芯棒与弧形外模配合使用（图 15-18）。空心柱形芯棒用于拔制内径大于  $\phi 30\text{mm}$  的钢管；拔制  $\phi 30\text{mm}$  以下的钢管时，采用实心芯棒，如图 15-23 所示。空心芯棒机加工方便，可两头互换使用。柱形芯棒外径  $D_1$  等于拔后的钢管内径，芯棒长度  $L_1$  与直径  $D_1$  之比为 1 ~ 1.5。拔制内径小于 5mm 管材时，可采用钢丝代替芯棒，但拔后需经脱棒处理。

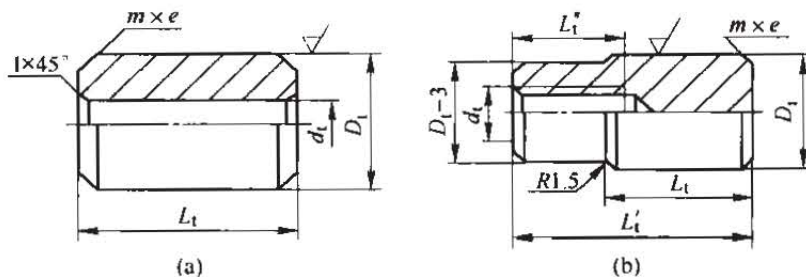


图 15-23 柱形芯棒

(a) 空心芯棒；(b) 实心芯棒

锥形芯棒（图 15-24）也分为实心 and 空心两种，它由三部分组成：1）顶端倒角区，使钢管平稳脱离内模而不划伤内表面；2）减壁区，其长度由减径量与圆锥角  $\beta$  决定，减壁量一定时， $\beta$  小则减壁带长，摩擦力大，使拔制力增大。反之， $\beta$  增大，减壁量集中在很窄的区域，单位压力及发热量增大，易烧坏芯棒， $\beta$  的取值范围  $8^{\circ} \sim 9^{\circ}$ ；3）芯棒定径带是用来控制钢管壁厚。定径带受力大，摩擦发热严重，一般以圆弧过渡，宽度为 1 ~ 3mm。

### 15.3.6 中间工艺制度

中间工序是用来消除加工硬化、调整管料尺寸、改善表面状态的必要过程，可使得变形过程顺利进行、设备能力充分发挥、提高模具使用寿命以及确保管料加工质量。主要工序有来料检验及选择、管料及半成品管的锤头、热处理、酸洗及润滑，高合金钢还需酸洗、检查、修磨或剥皮等。

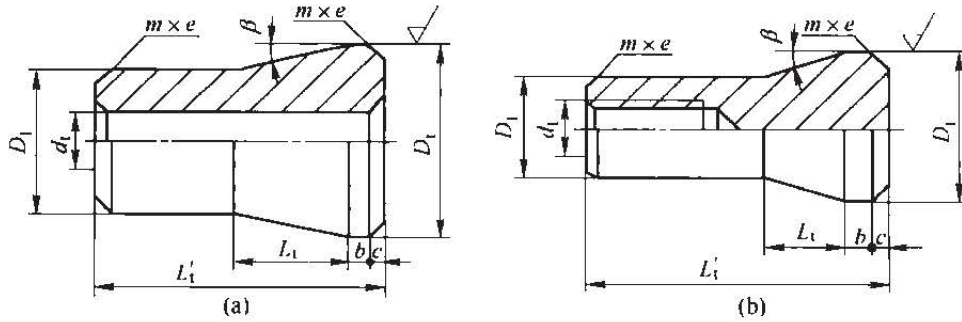


图 15-24 锥形芯棒

(a) 空心芯棒; (b) 实心芯棒

(1) 冷拔管料锤头，冷轧管料清除毛刺：锤头是将管料前端加热并锻打至小于模孔直径，以便拔管时打头部分先伸过模孔，让小车钳口夹紧管头，实现拔制过程。锤头直径按打头一次可以拔制 2~3 道为准。锤头长度要满足切头量最小以及保证钳口能正常夹紧，一般为 100~200mm，打头断面形状多为 S 形或 W 形。现代的拔管生产已采用头部强迫挤出技术。

(2) 管料热处理：主要是软化处理。管料的硬度和组织显著影响冷拔过程。硬度过高，冷拔（轧）时模具磨损快，电能消耗大，钢管易开裂或拔断。热轧低碳钢管料的硬度与组织符合冷拔要求时可不热处理；中、高碳钢及合金钢管料的终轧温度高、轧后冷却速度不均，因而导致管料组织与性能不均、内应力较大和硬度偏高，故拔（轧）前一般都要进行退火或正火处理。奥氏体类钢拔（轧）前需进行固溶处理；高碳工具钢、合金工具钢及滚珠钢，需进行球化处理；半成品管为消除冷加工硬化、提高塑性需进行中间热处理；成品管为提高钢管综合力学性能需进行最终热处理。钢管热处理所用设备，常用的有室式退火炉，辊底式连续退火炉和电接触加热或电感应加热退火设备。

(3) 酸洗和润滑：管料在冷加工之前，均须将内、外表面的氧化铁皮清除。氧化铁皮的存在，一方面影响润滑薄膜（铜层或磷酸盐或草酸盐）的析出，从而影响润滑层组织的致密性及其与基体的结合力；另一方面在冷加工时氧化铁皮会使钢管内、外表面出现压痕、麻点和划痕等缺陷。同时因润滑效果的破坏，使摩擦力增大，工具消耗增加，生产效率降低，并可能使拔制过程产生抖振，使钢管表面出现抖纹，严重时使钢管报废。因此酸洗和润滑是冷加工管材生产的重要工序。

现代钢管冷加工已采用免酸洗无氧化热处理工艺。

管料酸洗通常用的有三酸（硫酸、盐酸、硝酸）、氢氟酸及碱-酸复合酸洗等方法。各种酸液具有不同特点和一定的适用范围，因此要根据钢种及质量要求同时考虑经济上的合理性来选择酸洗方法。对普通钢和低合金钢钢管，一般可采用硫酸或盐酸酸洗，对一般没有特殊要求的碳素钢和低合金结构钢管通常可用硫酸酸洗。对表面质量要求高的优质碳素钢和低合金结构钢的精密钢管，一般采用盐酸酸洗。含有镍铬的合金钢管通常采用混合酸或碱-酸复合酸洗。对奥氏体类不锈钢采用氢氟酸酸洗。

采用硫酸酸洗时，氧化铁与硫酸溶液反应生成水溶性铁盐及亚铁盐，同时铁基体与硫酸作用生成氢气，其膨胀作用可将氧化铁皮剥离。表 15-7 为部分钢种的冷加工酸洗方法。

钢管在冷拔（轧）前润滑是为了减少拔（轧）加工时金属与工具间的摩擦，减少拔（轧）制力，提高钢管表面质量，减少工具磨损与消耗，加大这次变形量，提高变形速度，提高生产率。钢管的拔（轧）前润滑方法有化学镀铜法，草酸盐法，磷酸盐法及涂牛油-石灰等，在钢管表面上形成牢固的镀（涂）层。不同钢种采用不同的润滑方法。部分钢种的酸洗润滑制

度参看表 15-7。冷拔（轧）管润滑实例见表 15-8。

表 15-7 部分钢种冷加工酸洗方法

钢种	酸洗方法	溶液使用范围	使用温度/℃	时间/min
轴承钢、碳素结构钢、合金结构钢	硫酸酸洗	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 8% ~ 20% FeSO <sub>4</sub> 小于 200g/L	65 ~ 75	10 ~ 40
	盐酸酸洗	HCl 8% ~ 12% (冬、春、秋), 6% ~ 8% (夏) FeCl <sub>3</sub> 小于 100g/L	室温	10 ~ 30
	磷酸盐法	HNO <sub>3</sub> 18g/L, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 8g/L ZnO 15g/L, Fe 小于 2.5g/L	65 ~ 75	10 ~ 40
奥氏体不锈钢	氢氟酸洗	HF 4% ~ 6%, HNO <sub>3</sub> 8% ~ 12%, Fe 小于 18g/L	50 ~ 60	20 ~ 40
	草酸盐法	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 40 ~ 60g/L, NaCl 25 ~ 35g/L, NaSO <sub>3</sub> 2 ~ 4g/L	70 ~ 80	镀上为准
不锈钢		牛油:石灰 = 1: (9 ~ 10)	室温	
经磷化、草化后的管料	皂化法	磷化后, 游离碱小于 4g/L, 脂肪酸 50 ~ 80g/L	30 ~ 45	20 ~ 60
		草化后, 游离碱小于 4g/L, 脂肪酸 140 ~ 160g/L	30 ~ 40	20 ~ 60

表 15-8 部分钢种的润滑方法

钢种	加工方法	润滑方法
不锈钢	冷拔	1. 内外表面涂牛油石灰 + 烘烤 2. 草化 + 皂化 + 表面涂灰 + 烘烤 3. 草化 + 皂化 4. 镀铜 + 皂化 + 氯化石蜡 5. 白化 + 氯化石蜡
	冷轧	1. 镀铜 + 氯化石蜡 2. 镀铜 + 牛油石灰 + 皂化或机油 3. 白化 + 氯化石蜡 + 皂化或机油
碳钢合金结构钢	冷拔	1. 磷化 + 皂化; 2. 草化 + 皂化; 3. 镀铜 + 皂化
	冷轧	1. 镀铜 + 氯化石蜡

### 15.3.7 成品管精整和处理

成品管精整工艺包括成品管热处理、矫直和切管、表面质量和尺寸精度检验、物理性能检验、工艺性能检验、无损探伤以及化学成分鉴定等。有些成品管还要经酸洗及钝化、烘干、涂油包装等。

## 15.4 冷轧、冷拔制表编制

所谓冷轧、冷拔制表是指钢管冷加工的变形尺寸、加工方法、模具类型、中间工序和技术经济指标等参数所汇总而成的工艺表格。这一工艺表格对于生产组织、质量控制、设备管理具有重要意义。

### 15.4.1 拔制表编制原则

- (1) 合理选择加工方法和工艺流程, 充分发挥设备特点, 力求减少工序, 缩短生产周期。
- (2) 合理选择变形参数, 充分利用金属塑性, 采用较大变形量, 尽可能采用连拔。
- (3) 合理选用管料尺寸。保证变形量的前提下, 管料尺寸尽可能接近成品尺寸; 选用长管料以减少金属消耗; 考虑设备能力平衡。

### 15.4.2 拔制表编制步骤与方法

#### (1) 管料选择

$$D_0 = D_n + (5 \sim 30) \text{ mm}$$

$$S_0 = S_n + (0.5 \sim 1.5) \text{ mm}$$

#### (2) 确定总延伸系数

$$\mu_{\Sigma} = \frac{F_0}{F_n} \quad (15-39)$$

式中  $F_0$  —— 来料横截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$F_n$  —— 成品管横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

#### (3) 确定拔制道次

$$n = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{\lg \mu_{cp}} \quad (15-40)$$

式中  $\mu_{cp}$  —— 平均延伸系数, 一般为 1.30 ~ 1.60。

(4) 选定各道次加工方法和所用工具形式, 按塑性加工变形量规律分配各道次延伸系数, 并满足

$$\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_{n-1} \mu_n = \mu_{\Sigma} \quad (15-41)$$

(5) 确定各道次钢管尺寸。1) 按上述初定的  $\mu_i$  计算各道次钢管断面积:  $F_i = F_{i-1} / \mu_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ; 2) 确定道次减壁量:  $S_i = S_{i-1} - \Delta S_i$ ; 3) 计算道次管径  $D_i = S_i + F_i / (\pi S_i)$ ; 4) 按模具系列圆整  $D_i$ ; 5) 修正  $F_i$  和  $\mu_i$ , 并满足式 (15-41); 6) 确定各道次钢管长度:  $L_i = \mu_i L_{i-1}$ 。

(6) 计算拔制力, 选择冷拔机, 校核工艺可行性。

(7) 确定中间工序。根据需要选择连拔、切断、锤头、热处理、酸洗、润滑、中间矫直等工序。

(8) 其他工艺计算 (技术经济指标)。内容包括道次拔后管长、根数和重量; 每一中间工序金属消耗和总金属消耗; 吨钢投料量等。用于核算产品成本和物料平衡。

表 15-9、表 15-10 为轧拔制表示例。

表 15-9 20A $\phi$ 25mm  $\times$  2mm 锅炉管的拔制表

道次	钢管尺寸		延伸系数	拔制方法	拔制力/kN	拔机	中间工序
	$D \times S/\text{mm}$	$F/\text{mm}^2$					
0	57 $\times$ 3.5	588.0					锤头、酸洗、润滑
1	49 $\times$ 3	433.3	1.367	短芯棒	182	LB-30	矫直、润滑
2	40 $\times$ 2.4	283.4	1.53	短芯棒	167	LB-30	切头、切断、退火、锤头、矫直、酸洗、润滑
3	35 $\times$ 1.9	191.5	1.48	短芯棒	1.8	LB-15	矫直、润滑
4	25 $\times$ 2	144.4	1.33	空拔	55	LB-10	退火、矫直、切定尺

表 15-10 20A  $\phi 6\text{mm} \times 1\text{mm}$  钢管的轧拔制表

道次	钢管尺寸/mm	面积/mm <sup>2</sup>	延伸系数	轧拔制方法	中间工序
0	89 × 7	1085			
1	57 × 4	665	2.72	LG-75	热处理、切断
2	40 × 2	239	2.78	LG-55	热处理
3	25 × 0.85	64.5	3.54	LG-32	热处理、锤头、润滑
4	18 × 0.9	48.5	1.33	空拔	润 滑
5	13 × 0.95	36.0	1.34	空拔	连拔、热处理、切断、锤头、润滑
6	10 × 1	28.4	1.28	空拔	润 滑
7	8 × 1	22.1	1.28	空拔	连拔、润滑
8	6 × 1	15.4	1.4	空拔	连拔、成品热处理

加入“常州精密钢管博客官方知识星球”即可免费下载所有的专业技术文档!

**常州精密钢管博客** 知识星球

专业的 钢铁知识 钢管知识 热处理知识 钢铁行业资讯 分享网站

官方网站: <http://www.josen.net>

微信扫码加入星球

 知识星球

