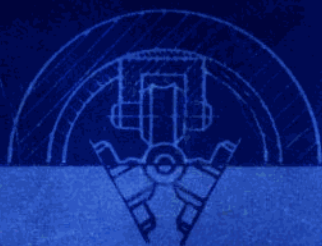


高精度薄壁钢管生产

林 松



贵州人民出版社

高精度薄壁钢管生产

林 松

贵州人民出版社

责任编辑 滕传方

高精度薄壁钢管生产

林 松

贵州人民出版社出版发行
(贵阳市延安中路9号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092毫米 32开本 4.75印张 95千字 10插图
印数 1—6,019

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

书号: 15115·134 定价: 1.25元

ISBN 7-221-00076-X/TG·01

前 言

1960年后,我国才开始生产 $\phi 30\text{mm}$ 以下的冷拔、冷轧无缝高精度薄壁钢管,相继从无到有、从粗到精地迅速发展和建成了十多个生产基地,打破了多年来依赖进口的局面。相信到本世纪末,我国钢管工业定能进入世界先进行列。

目前,国内的薄壁管生产,有待提高工艺和质量,增加产量和品种,力求采用新技术和设备,进一步合理规划生产管理,加强产品的标准化和科技情报等工作。

本书就以上问题,着重介绍了生产中的现实内容,如冷轧(拔)制、荒管穿孔、强力旋压、热处理、酸洗润滑、检验清理、故障处理、缺陷修补等工艺操作;同时对国外新动态如超声波拔管、流体动力润滑、电热张力矫直、激光切割、连续冷轧等进行了力所能及的收列和探索,从而阐述了作者多年来的专业心得。书中还附录了实用的各种数据表,可供广大专业工程技术人员、工人及有关院校师生使用或阅读参考。另有典型合金管生产、车间设计、变形工具的设计及制造等章节拟待再版时加入。书中胶印图均集中在正文后。

本书由北京钢铁学院芦于速教授审改,并得到陕西钢铁研究所领导同志,高级工程师张振远和敖宏元、白元栋、毛玉生等同志的关怀与帮助,谨此致谢。限于个人水平,书中不足之处,请予指正。

作 者 1986年秋于西安

目 录

一 概 述.....	(1)
一、规范和分类.....	(1)
二、使用及加工技术参数.....	(3)
三、国外生产概况.....	(7)
四、术语.....	(12)
二 荒管的生产及穿孔机.....	(13)
一、 $\phi 40\text{mm}$ 穿孔机及其原理.....	(14)
二、穿孔机生产荒管的工艺规范.....	(18)
三、 $\phi 40\text{mm}$ 穿孔机的结构及改进.....	(22)
四、 $\phi 40\text{mm}$ 穿孔机的孔型调整及操作.....	(23)
五、辊式穿孔工艺问题.....	(27)
六、 $\phi 40\text{mm}$ 穿孔机与 $\phi 30\text{mm}$ 三辊斜轧机联合生产 荒管.....	(33)
七、荒管的质量.....	(34)
三 钢管生产工艺.....	(37)
一、深冲法.....	(37)
二、冷拔法.....	(37)
三、冷轧法.....	(47)

四、综合法及强力旋压..... (47)

四 冷轧管机和冷轧钢管..... (59)

一、概况..... (59)

二、冷轧管机及其工艺..... (60)

三、冷轧管机常见故障..... (68)

- (一) 机头的漏油和飞车 (二) 减速箱齿轮断
损引起同步破坏 (三) 快速往返运行失灵
(四) 压下调整系统失灵 (五) 芯棒串动、拉
断造成轧卡(闷车) (六) 机头(或机架)跳动
(七) 芯棒粘结金属末导致裂断 (八) 轧辊或轧
槽粘结金属末

四、冷轧管缺陷及其分析..... (70)

- (一) 管表面横向划伤 (二) 管表面纵向划伤
(三) 管端开裂 (四) 管坯对头切入 (五) 中
间开裂 (六) 管面波纹 (七) 管异形 (八) 中
间轧卡 (九) 管内缺陷及管材问题 (十) 几何
尺寸偏差

五 钢管的热处理..... (73)

一、热处理工艺理论..... (73)

二、热处理方法及设备..... (76)

- (一) 氧化热处理 (二) 亚氧化热处理
(三) 无氧化热处理

三、气体保护法..... (78)

- (一) 氢保护热处理 (二) 氮氢混合保护热处理

四、真空法.....	(81)
(一) 两室真空热处理炉 (二) 台车卧式真空 热处理炉	
五、电热法.....	(83)
六 钢管的酸洗及工艺润滑.....	(85)
一、钢管酸洗及工艺润滑的意义.....	(85)
二、钢管酸洗的原理.....	(85)
三、影响酸洗的因素.....	(86)
四、酸洗的设备及工艺.....	(89)
五、酸洗的质量及分析.....	(92)
六、酸洗公害的治理.....	(94)
七、除油.....	(97)
八、钢管的工艺润滑.....	(99)
九、化学镀铜润滑.....	(101)
十、石灰乳液及乳浊液润滑.....	(102)
七 钢管的检验及清理.....	(103)
一、钢管缺陷的判定及修补.....	(103)
(一) 超声波探伤 (二) 涡流探伤 (三) 外 表面缺陷的修补 (四) 内表面缺陷的修补	
二、钢管的矫直.....	(109)
三、钢管的抛光.....	(110)
四、钢管的切管、标志和包装.....	(111)
八 冷拔机及其他设备.....	(112)

一、冷拔机	(112)
(一) 链式	
(二) 丝杆式	
(三) 拔管卷筒	
(四) 组合链式	
二、压头(轧尖)设备	(114)
(一) 空气锤压头机	
(二) 辊式压头机	
(三) 悬锻回转式压头机	
三、修磨设备	(116)
(一) 无芯磨床	
(二) 深孔镗床和管内修磨机	
四、切管设备	(117)
(一) QJ-111型切管机	
(二) 无齿锯切管机	
(三) 无屑切管机	
五、矫直设备	(118)
(一) 辊式矫直机	
(二) 框架式矫直机	
(三) 柔管式矫直机	
九 钢管生产新工艺	(120)
一、荒管生产新工艺	(120)
二、冷轧管机的新趋势	(122)
三、超声波振动拔管	(128)
四、游动芯棒拔管的新发展	(130)
五、钢管的温拔和热拔	(134)
六、流体动力润滑拔管的研究	(135)
七、电热张力矫直新工艺	(136)
八、激光切割钢管新工艺	(137)
九、三酸清洗管材缺陷新工艺	(137)
十、冷拔流水作业线	(138)
附录: 高精度薄壁钢管理论重量对数表	(140)

一 概 述

一、规范和分类

高精度薄壁钢管（以下或简称钢管）的直径、壁厚、不直度、椭圆度等及尺寸偏差以 $\pm 0.0A\text{mm}$ 为考核单位，光洁度一般不低于 $\nabla 7$ ，冷轧管高于 $\nabla 12$ 。根据我国目前批量生产的成规情况，一般是以外径在 30mm 以下、壁厚在 3mm 以下、直径 ϕ 与壁厚 S 之比大于或等于 $10(\phi/S \geq 10)$ 为规范。钢管的精度高、质量轻、耐温和抗腐蚀性好、安装体积小、经多道次加工变形后的晶粒组织致密，因而具有良好的综合机械性能和优异的物理性能，广泛应用于国民经济各领域，尤其在精密机械、仪表、化工、航空、军事等工业中更具有重大价值，被喻为工业的“毛细血管”。

目前，我国钢管的详细分类尚未统一，有的按直径（大、中、小）分；有的按生产方式（焊缝、无缝、热轧、冷轧或拔）分；有的按形状（圆形、异形）分。这给现代化生产和科研工作带来许多不便之处。如按管材和用途可更适用地分为8个类型：

（一）**碳素钢型**：以普通碳素钢（如20A钢和45号钢）制成的钢管，少数用作常规武器的附件，绝大多数作民用（家具、工农业工具等）。此类钢管易生产、价格低，虽机械

性能较低，但用途广用量较大。

(二) 不锈钢型：广泛用于仪表、无线电、化工、航空、原子能等工业，如制作发动机油管等。用量最大的如以 $1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9\text{Ti}$ 、 $1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9$ 为代表的奥氏体不锈钢管；以 2Cr_{13} 、 3Cr_{13} 、 4Cr_{13} 为代表的马氏体不锈钢管；还有无磁不锈钢($\text{OCr}_{18}\text{Ni}_{14}$)、两相不锈钢、耐蚀不锈钢等。

(三) 精密合金型：是具有特殊物理性能（如磁性、弹性、膨胀等）的合金管。常用的有：1~4J型，如4J29膨胀管是国内目前产量最大的品种，它具有与玻璃相近似的膨胀系数，可与玻璃封接用于电子、仪表工业（如晶体管生产和微波通讯用的播导管生产）。

(四) 高温合金型：具有良好的成形性能和耐高温，用于国防、航空、化学等工业，如制作热电偶、飞机发动机燃油管等。

(五) 轴承钢型：具有硬度高、冷轧拔性能好、尺寸精确等特点，如 G_{15} 、 G_{19} 等牌号，用于冷轧拔精密轴承的内、外圈，不仅可减少加工时间、节约原材料，同时还提高了轴承的精度和使用寿命。

(六) 锅炉钢型：具有耐压、耐温、抗蠕变、抗腐蚀的良好性能，如 12CrMoWB 等牌号。目前国内正大批量生产 $\phi 16 \times S3 \times 4,000\text{mm}$ 的锅炉钢管。

(七) 合金结构工具钢型：具有硬度高、韧性好等特点，主要用于石油勘探、采矿等工业。目前大量生产的有 30CrMnSiA 等牌号。

(八) 复合材料型：为满足科研和某些特殊用途的需要而生产的不锈钢和钛的复合管、铜和4J29的复合管。这类钢

管预计将会随着科技发展的新需求而继续发展。

工、使用及加工技术参数

(一) 使用技术参数

1. 钢种：决定于管材的化学成分，如 20A 钢管和 $1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9\text{Ti}$ 钢管的管材性能有很大的差异。

2. 几何尺寸：国产钢管除少数加有注明者外，其内外径及长度、壁厚等尺寸（包括尺寸偏差），一律用公制 mm（毫米）为单位。钢管外径 ϕ 、内径 ϕ 内、壁厚 S ($S =$

$\frac{\phi - \phi \text{内}}{2}$)、长度 L （有定尺或倍尺和不定尺两种）。常表示为： $\phi \times S \times L$ 。如 $1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9\text{Ti} \phi 22^{+0.04} \times S1^{+0.05} \times L1,100$ 。为外径 22 (21.96~22.04)、壁厚 1 (0.95~1.05) mm 和定尺长度 1.1m 的 $1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9\text{Ti}$ 不锈钢管，亦可以内径表示为 $\phi 22^{+0.04} \times \phi 20 \text{内} \times 1,100$ 。

钢管的椭圆度（亦可理解为不圆度或圆度差），一般以绝对值 mm 表示；弯曲度（不直度）用单位长度米 (m) 允许的最大弯曲度表示 ($X \text{ mm/m}$)；不均度是同一横截面上最大与最小壁厚之差，以 mm 表示。

3. 性能：通常表示机械和物理两种性能，如不锈钢 $1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9\text{Ti}$ 管要求：强度极限 σ_b (kg/mm^2)、屈服极限 σ_s (kg/mm^2)、延伸率 σ (%) 和晶界腐蚀；4J29 膨胀管要求：膨胀系数 $\alpha_1 = 5 \sim 6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、在 -78°C 时金相组织无马氏体和晶粒变，如膨胀系数不符合要求或低温有晶粒变，就会引起与

玻璃封接处开裂。

4. 光洁度：与一般钢材加工的光洁度标准相同，如一般冷拔管光洁度要求大于 ∇_7 ，冷轧管成品光洁度大于 ∇_{12} ，强力旋压管的光洁度高达 ∇_{14} 以上。

5. 检验：检验项目统一规定为扩口、缩口、弯曲、卷边、压扁、液压共六项，各项的分栏详细数据较多，可另见国家部颁标准GB241~246(63)。

(二) 加工技术参数

钢管的生产加工，主要为减径、减壁到精确的预定尺寸。常用道次绝对减径量 $\Delta\phi$ 、减壁量 ΔS 来表明加工变形程度。

$$\Delta\phi = \phi_0 - \phi_1$$

$$\Delta S = S_0 - S_1$$

(ϕ_0 、 ϕ_1 、 S_0 、 S_1 分别为加工前后的管径和壁厚。)

1. 减壁率 η ：减壁是钢管变形加工的主要内容之一，也是影响加工硬化、生产周期、质量优劣的主要因素。

$$\eta = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

(S_0 为加工前的壁厚， S_1 为加工后的壁厚，单位都为mm。100%为可变常数1，视管材不同而变化。)

$$2. \text{减径率 } K = \frac{\phi_0 - \phi_1}{\phi_0} \times 100\% \quad (2)$$

(ϕ_0 、 ϕ_1 分别为加工前、后的管径，余同上式。)

$$3. \text{延伸系数 } \mu > 1 = \frac{L_1}{L_0} \quad (3)$$

(L_0 、 L_1 分别为加工前、后的管长。)

4. 减面率 A : 上述的减壁、减径一般都是同时进行并有主、次之分, 如空拔主要是减径, 而旋压则是以减壁为主。直径与壁厚的变化, 都将影响钢管有效截面积的变化, 可用减面率 A 表示。

$$A = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (4)$$

(F_0 、 F_1 分别为加工前、后的有效截面积。)

钢管的有效截面积 F 为:

$$F = \pi (R^2 - r^2) \quad (5)$$

亦可作
$$F = \frac{\pi}{4} (\phi^2 - \phi_{\text{内}}^2) \quad (6)$$

因
$$\phi_{\text{内}} = \phi_0 - 2S$$

故
$$F = \frac{\pi}{4} [\phi^2 - (\phi - 2S)^2]$$

$$= \frac{\pi}{4} (\phi^2 - \phi^2 + 4\phi S - 4S^2),$$

$$= \frac{\pi}{4} (4\phi S - 4S^2),$$

$$= \pi (\phi - S)S \quad (7)$$

将 (7) 代入 (4) 得:

$$A = \frac{(\phi_0 - S_0)S_0 - (\phi_1 - S_1)S_1}{(\phi_0 - S_0)S_0} \times 100\% \quad (8)$$

(ϕ_0 、 S_0 、 ϕ_1 、 S_1 分别为加工前后的直径、壁厚。)

延伸系数 μ 和减面率 A 之间的关系, 根据压力加工原理的“体积不变”定律, 可得出:

$$F_0 \cdot L_0 = F_1 \cdot L_1$$

$$\frac{L_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1} \quad (9)$$

将 (9) 代入 (3) 得:

$$\begin{aligned} u = \frac{L_1}{L_0} &= \frac{F_0}{F_1} = \frac{\pi(\phi_0 - S_0) S_0}{\pi(\phi_1 - S_1) S_1} \\ &= \frac{(\phi_0 - S_0) S_0}{(\phi_1 - S_1) S_1} \end{aligned} \quad (10)$$

从 (10) 式中可看到延伸系数 μ 等于加工前后的有效截面积之比。可用延伸系数 u 去衡量管变形程度和计算钢管加工前后的长度。

将 (10) 代入 (4) 得

$$\begin{aligned} A &= \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{F_1}{F_0}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \times 100\% \end{aligned}$$

从而得出减面率 A 可等于 1 减去延伸系数倒数之差的百分数。各道次延伸系数 $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$ 与总延伸系数及平均延伸系数 $\mu_{\text{平}}$ 之间的关系是:

设各道次的截面积分别为 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$, 则各道次的延伸系数分别为:

$$\mu_1 = \frac{F_0}{F_1}, \mu_2 = \frac{F_1}{F_2}, \mu_3 = \frac{F_2}{F_3}, \dots, \mu_n = \frac{\mu_n - 1}{\mu_n}$$

连乘得:

$$\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \dots \cdot \mu_n = \frac{F_0}{F_1} \cdot \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{F_2}{F_3} \cdot \dots \cdot \frac{F_n - 1}{F_n} = \frac{F_0}{F_n}$$

至此，可得出结论：各道次延伸系数的乘积，等于各道次的总延伸系数。在实际生产中，每一道次的延伸系数是不一样的，常用平均延伸系数 μ_{π} 来度量各道次平均变形程度。设加工各道次延伸系数相等，则：

$$\begin{aligned}\mu_{\pi} &= \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \cdots \cdots = \mu_n \\ \Sigma \mu_n &= \mu_{\pi}^n \quad \mu_{\pi} = \sqrt[n]{\Sigma \mu}\end{aligned}\quad (11)$$

5. 加工道次 n ：从 (11) 式两边取对数即得：

$$\begin{aligned}\lg \mu_{\pi} &= \frac{1}{n} \lg \Sigma \mu \\ n &= \frac{\lg \Sigma \mu}{\lg \mu_{\pi}}\end{aligned}\quad (12)$$

(12) 式表明钢管所要加工的道次 n ，等于总延伸系数的对数与平均延伸系数对数相除之商。在编制加工表时，可根据 μ_{π} 的经验值来确定加工道次。

此外，由钢管材质所决定的冷加工硬化曲线也是重要的加工技术参数。不同材质具有不同的加工硬化曲线，一般以常数百分比来表示，可由有关的数据表中查获。

三、国外生产概况

目前世界上钢管生产比较发达的国家有苏、美、日、英、西德等国

(一) 苏联战前冷轧管少，以冷拔为主；战后冷轧管生产迅增，1950 年拥有 XΠT-75 以下各种轧管机并已系列化（即 XΠT 型二辊式和 XΠTP 型多辊式，性能见表 1-1）。

产品除自用外还向波兰、保加利亚、瑞典、捷克、日本、英、法等国出口。

表1-1 苏联XΠT、XΠTP型冷轧管机主要性能参数

冷 轧 管 机 型 号	管 坯		成 品 管		生产效率 米/时
	直 径 ϕ mm	壁 厚 Smm	直 径 ϕ mm	壁 厚 壁厚Smm	
XΠT32	45~22	6~1.35	32~16	5~0.4	250
XΠT55	73~33	12~1.75	55~25	10~0.5	230
XΠT90	103~57	20~2.5	90~40	18~0.75	190
XΠTP15~13	16~33	2.5	15~30	0.15~2.5	13~35
XΠTP30~60	31~65	4.0	30~60	0.3~1.5	13~35
XΠTP60~120	62~126	3.5	60~120	0.6~12	12~35
XΠTP 4~8	4.5~9.5	1.3	4~8	0.08~1.5	13~35
XΠTP 8~15	9~16	1.8	15~8.0	0.15~2.5	13~35

苏联乌拉尔钢管厂掌握了400多种钢管的生产，南方钢管厂掌握了近2,000种钢管生产。产品正向大型化发展，如齐良斯克轧管厂安装一台XΠT型450二辊冷轧机，可轧制 $\phi 150 \sim 450 \times S 2.5 \sim 3$ mm、壁厚可沿长度方向变化的钢管。

(二) 美国钢管产量次于苏联居世界第二位，是使用冷轧最早、拥有冷轧机最多的国家。1932年首先采用了二辊式冷轧管机，战后制造出了4.5英寸(115mm)、6.5英寸(165mm)、8.5英寸(216mm)、10.5英寸(267mm)、16英寸(406mm)冷轧管机和120英寸(3,048mm)的旋压机。其中16英寸(406mm)

冷轧机专用于生产飞机喷气发动机钢管，该轧机采用了预应力机架，用二个 $\phi 330\text{mm}$ 的液压缸驱动，工作压力为154气压，行程每分钟100次，上辊固定不动，下辊用液压缸调整，用球面轴承补偿轧辊的挠度，轧制力为1,600吨，机架最大行程1,800mm，每次送进量23~13mm，送进速度每分钟21m，辊直径915mm，机身长约33m，机架重135吨。目前，美国主要发展两辊式冷轧机，品种规格为38~450mm；多辊式冷轧机则由苏联进口。

(三)日本钢管工业随钢铁工业的畸形发展而跃进，1951年后年平均增长30%，从战前的钢管进口国变为出口国。日本很少进行冷轧管机的设计、研制工作，主要力量集中在生产工艺理论的研究，讲求质量和经济效益的高水平。冷轧机则从苏联、西德等国引进后进行仿造。1953年才开始使用和仿造二辊式冷轧机，六十年代初的最大冷轧机是4.5英寸(115mm)。

目前，日本钢管不仅产量多，质量也驰名世界，小口径高精度薄壁管的生产水平可达到 $\phi 0.3 \times S 0.02\text{mm}$ 。

(四)英国冷加工钢管的历史悠久、驰名于世，大都采用冷拔法生产，拥有世界上最大的冷拔(拉力5,000吨)机。以大英精管公司为例，该公司资金三千万英镑，职工三百多人，年产量二百多万米约400吨不锈钢、高温合金精密钢管；品种为 $\phi 40 \sim 0.5 \times S 3.25 \sim 0.05\text{mm}$ ，此外还生产一定数量的焊接管、异型管及原子能工业用 $\phi 10\text{mm}$ 以下的管棒。生产中用喷沙工艺清理荒管的内氧化层及缺陷，用三氯乙烯除油槽(循环式)对冷轧冷拔半成品进行高质量的除油；在生产线上分设无损探伤，对半成品进行及时、分段检验和淘