



高等专科学校教学用书

GAODENG
ZHUANKE
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

钢管生产

中国工业大学

图书馆藏

冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

钢 管 生 产

上海冶金高等专科学校 许云祥 编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

高等专科学校教学用书

钢管生产

上海冶金高等专科学校 许云祥 编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街高板院北巷 39 号)

新华书店总店科技发行所发行

香河县第二印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 14.75 字数 350 千字

1993 年 10 月第一版 1993 年 10 月第一次印刷

印数 1~2600 册

ISBN 7-5024-1231-X

TG·168 (课) 定价 7.00 元

前 言

钢管生产工艺繁多,加工方法多种多样,各种加工方法的变形过程复杂且各具特点。本书讲述有关钢管生产的原理、设备和工艺,并以自动轧管机和钢管热轧机组作为典型,介绍钢管的斜轧、纵轧和空心轧(拔)理论,以及钢管生产的一般性工艺问题,对钢管的其他生产方法和国内外钢管生产的新工艺、新技术也作了简要介绍。

本书内容共分为9章。第1章介绍钢管生产的一般情况;第2~8章介绍钢管热轧机组(包括挤压)的轧制理论与工艺;第9章为焊管生产。

本书在编写过程中,选用了有关文献中的数据和资料;天津大学冶金分校王秀忠同志和重庆钢铁高等专科学校胡彬同志审阅了本书初稿,提出了不少宝贵意见。在此对文献作者和审稿人表示深切的谢意。

由于本人经验不足、水平有限,书中难免有错误和不当之处,切望读者批评、指正。

编 者

1991年8月

目 录

1 钢管生产概论	1
1.1 钢管的用途和分类	1
1.2 钢管的技术要求	3
1.3 钢管的主要生产方法	6
2 热轧钢管生产工艺过程	10
2.1 一般工艺过程	10
2.2 各钢管热轧机组生产工艺过程特点	17
3 管坯及管坯加热	20
3.1 管坯及其轧前准备	20
3.2 管坯加热	25
4 管坯穿孔	35
4.1 二辊斜轧穿孔机及穿孔过程	35
4.2 斜轧穿孔运动学	41
4.3 斜轧穿孔过程的咬入条件	47
4.4 孔腔形成机理	54
4.5 斜轧穿孔时金属变形	59
4.6 轧制力参数计算	63
4.7 穿孔机工具设计	73
4.8 穿孔机调整参数确定	77
4.9 二辊斜轧穿孔的新工艺	79
4.10 其他穿孔方法	81
4.11 毛管延伸	87
5 毛管轧制	92
5.1 自动轧管机及其轧管过程	92
5.2 自动轧管变形过程与变形区几何参数	97
5.3 圆孔型中轧管运动学特点	99
5.4 轧管咬入条件	101
5.5 自动轧管轧制力参数计算	105
5.6 自动轧管机工具设计	110
5.7 荒管均整	111
5.8 连续式轧管机轧管	115
5.9 三辊轧管机轧管	125
5.10 Accu-Roll 轧管机轧管	130
5.11 挤压钢管	132

6 钢管定径与减径	150
6.1 钢管空心轧制理论	150
6.2 二辊式定、减径工艺	158
6.3 张力减径工艺	163
7 轧制表编制	171
7.1 轧制表编制原则和编制程序	171
7.2 轧制表编制方法	175
7.3 轧制表编制实例	179
8 钢管的冷却和精整	183
8.1 钢管冷却	183
8.2 钢管的精整和检查	186
8.3 钢管质量的保证	198
9 焊管生产	200
9.1 各种焊管生产工艺过程概述	200
9.2 焊管成型的基本问题	209
9.3 电焊管焊接方法	222
参考文献.....	229

1 钢管生产概论

1.1 钢管的用途和分类

所谓钢管是指两端开口并具有中空断面，其长度与横断面周长之比较大的钢材。钢管具有中空断面和断面系数大的几何形状，属于经济断面钢材，在国民经济各部门中得到了广泛的应用，成为钢材生产中的重要产品之一，其产量在钢材总产量中占 8~15%。

表 1-1 钢管按用途分类表

用 途	钢 管 名 称	技 术 标 准	常用生产方法
管道用管	水煤气管 石油输送管 石油—天然气干线用管 蒸汽管道用无缝管	YB 234—10 YB 242—6 YB 231—70 专门协议 YB 231—70	炉焊、电焊 直缝电焊、热轧 直缝电焊、螺旋焊 热 轧
热工设备和 热交换器用管	普通锅炉管 高压锅炉管	YB 232—70 YB 529—70	热轧、电焊、冷拔 热轧、电焊、冷拔
机械工业用管	航空结构管 汽车拖拉机结构管 半轴及车轴管 柴油机高压油管 拖拉机冷却器用管 农机用方矩形管 轴承钢管 变压器用管	YB678—71 YB679—71 YB680—71 YB681—71 YB 231—70 YB 242—63 专门协议 YB 240—64 YB 241—60 YB 233—64 专门协议 YB 242—63	热轧、冷拔 热轧、电焊、冷拔 热轧、电焊、冷拔 冷 拔 冷 拔 热轧、冷拔 热轧、冷拔 电 焊
石油地质工业用管	地质钻探管 石油油管 石油钻探管 石油套管 石油钻杆、钻铤、方钻杆	YB 235—70 YB 239—63 YB 528—65 YB 690—70 YB 691—70	热轧、冷拔 热轧、冷拔 热轧、冷拔、电焊 热轧、冷拔、电焊 热轧、冷拔、电焊
化工用管	石油裂化管 化肥用高压管 化工设备及管道用管	YB 237—70 YB 800—70 YB 804—70 YB 231—70	热轧、冷拔 热轧、冷拔 热轧、冷拔
其它用管	容器用管 仪表用管 表壳用管	专门协议 专门协议 YB 446—64	热轧、电焊、冷拔 冷 拔 冷 拔

钢管具有空心断面，可用作液体、气体和一些固体的输送管道，故钢管也称之为工业部门的“血管”。同时，钢管的抗弯、抗扭能力比同样面积的实心钢材大，因而成为制造各种机械和建筑结构的重要材料。例如在石油钻井、地质钻探、化工、建筑、锅炉制造、造船、机械制造、飞机和车辆制造，以及国防工业与日用轻工制品等行业中，均需要大量品种规格各不相同，技术要求不一的钢管。

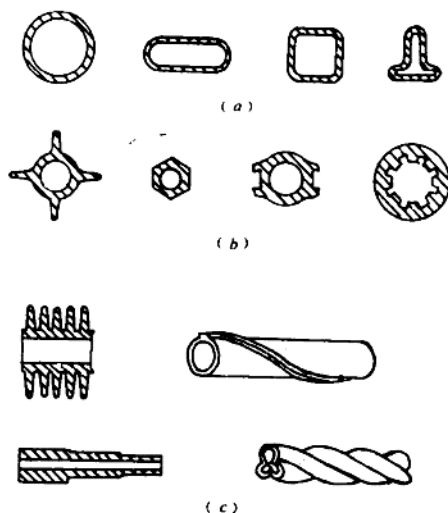


图 1-1 钢管按断面形状分类
(a) 等壁管；(b) 异壁管；(c) 纵向变截面管

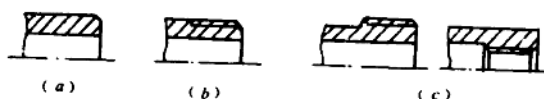


图 1-2 钢管按管端形状分类
(a) 光管；(b) 普通车丝管；(c) 加厚管

钢管的种类繁多，性能要求各异，从规格上看，尺寸范围很宽，目前，外径范围为 0.1~4500mm，壁厚范围为 0.1~100mm。为了区分其特点，钢管通常可按以下几种方法分类：

(1) 按用途分类

如表 1-1 所示，钢管的用途不同，则技术标准不同，致使生产钢管的方法亦有所不同。

(2) 按断面形状分类

钢管按断面形状可分为圆管与异型钢管两类。其中异型钢管又可分为壁厚沿横断面周边不变的等壁异型管和壁厚变化的异型管，以及壁厚和外径沿钢管长度方向上变化的纵向变截面管（图 1-1）。

(3) 按材质分类

目前用来制造钢管的材质有普通碳素钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、合金钢、轴承钢、不锈钢和双金属等。另外有时钢管表面采用镀或涂复其它材料，如镀锌、镀铅和涂塑管等。

(4) 按管端形状分类

钢管端部形状有光管和车丝管两种（图 1-2）。后者又可分为普通车丝管和管端加厚车丝管。若车间生产管端车丝管，则应设置管加工工段。

(5) 按生产方法分类

钢管的生产方法可分为无缝钢管与焊管两大类。无缝钢管又可分为热轧管、冷轧管和冷拔管等。焊管可分为炉焊管和电焊管等。

(6) 按钢管的 D_s/S_s 值分类

钢管的外径 D_s 与壁厚 S_s 之比值 $D_s/S_s \leq 10$ 为特厚管； $D_s/S_s \approx 10 \sim 20$ 为厚壁管； $D_s/S_s = 20 \sim 40$ 为薄壁管； $D_s/S_s \geq 40$ 为特薄壁管。

1.2 钢管的技术要求

1.2.1 技术要求的内容

各种钢管的技术要求在国家标准（GB）、部颁标准（YB）或专门的技术协议中有明确的规定，其主要包括以下内容：

(1) 品种规格 规定钢管应具有断面形状、尺寸及其允许偏差、理论重量等。圆管规格通常以 $D_s \times S_s$ 表示，例如 $\phi 50 \times 2\text{mm}$ 表示钢管的外径为 50mm、壁厚为 2mm。尺寸精度有壁厚精度、外径精度和椭圆度等。

(2) 表面质量要求 规定钢管的内外表面状态和表面允许缺陷存在的程度等。

(3) 化学性能 规定钢种化学成分和 P、S 的最大含量以及试验方法等。

(4) 组织和物理性能 规定钢种应具有的金相组织、机械性能和工艺性能等。

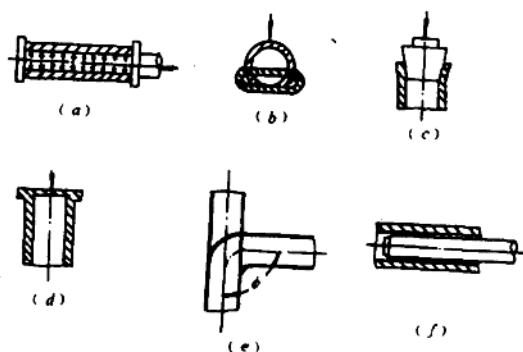


图 1-3 钢管的一些工艺性能试验方法

(a) 水压试验；(b) 压扁试验；(c) 扩口试验；(d) 卷边试验；

(e) 弯管试验；(f) 通棒试验

(5) 检验标准 规定检验项目、取样部位、试样形状和尺寸、试验条件和方法等。在钢管生产中除了与其它钢材一样采用常规的试验项目外,为满足使用要求,尚需进行一些工艺性能试验,见图 1-3。

(6) 交货标准,规定钢管交货验收时钢管的包装、标记的方法,以及质量证明书的内容等。

1.2.2 各类钢管的主要技术要求

由于钢管的工作条件和用途不同,对它的技术要求亦不同。

1.2.2.1 管道用钢管 一般工作压力不大于 6MPa,用作暖汽、水、煤气、天然气及石油的输送管道。对这类钢管的机械性能、表面质量和几何尺寸精度均无特殊要求,但应进行水压试验,以测定其承载能力。对焊管均需进行水压试验,以保证焊缝质量。这类钢管一般采用甲类钢或优质低碳结构钢制造。

1.2.2.2 热工设备用钢管 制造在高温、高压条件下工作的设备,如锅炉用的沸水管、火管、蒸汽过热器管、蒸汽再热器管以及蒸汽输送管道等热工设备用管。高压锅炉中的工作压力 10~14MPa,温度一般在 450℃ 左右,有的过热器和再热器的管壁温度高达 600~620℃。因此,对这类钢管不但要求具有良好的室温机械性能,而且还须具有好的高温性能(包括高温强度与塑性、抗氧化抗蚀性和组织稳定性等)、弯管和焊接等工艺性能。这类钢管采用优质碳素结构钢、低合金结构钢和高合金钢制造。成品除经热处理和水压试验外,还要做力学性能、低倍组织和显微组织检验,以及进行压扁、扩口、卷边和弯管等工艺性能试验。

1.2.2.3 机械工业用管 用来制造液压缸、气缸、活塞、高压容器、滚动轴承内、外套,以及各种军械等机器零件。这类钢管的特点是要求具有较高的几何形状尺寸精度、良好的机械性能和表面质量,有的还要求具有良好的耐磨性。这类钢管一般多用优质碳素结构钢、低合金结构钢或专用钢来制造。

1.2.2.4 石油、地质钻探用管 在石油和地质钻探中使用的钻杆、固定井壁用的套管、取样用的岩心管、从油井中提取石油的油管、以及制造管接头的钢管等都属此类。这类钢管在工作时受很大的工作应力、并经受地下水、气的高压和腐蚀作用,故应具有较高的强度和抗腐蚀能力。这类钢管均采用优质中碳钢和低合金钢制造,成品需进行车丝加工,为保证螺纹部分强度和密封性,有的在车丝前先进行管端加厚。这类钢管出厂时应配上管接头和保护套,以防在运输过程中损坏螺纹。

1.2.2.5 化学工业用管 这类钢管包括炼油厂内输送石油产品管道、加热装置中的裂化管以及各种化工设备上其它用途的管。对于在工作温度 800℃、压力 10MPa,并在腐蚀性介质下工作的裂化管,用合金钢制造;对于工作温度低于 450℃、压力不超过 6MPa 的裂化管,可采用 10 钢和 20 钢制造;对于工作压力在 32MPa 以上(最高达 200MPa)、工作温度为 -40~400℃,并且长期与腐蚀介接触的化肥等化工设备用管,应具有良好的抗腐蚀性能、光洁的表面,采用不锈钢或其它合金钢制造,成品应进行动载荷试验及金相组织检查。

为了满足各类钢管的使用要求,钢管生产工程技术人员必须熟悉产品标准和钢管材质的钢种特性,结合车间生产的具体条件,制订合理的生产工艺。同时产品技术条件将随使用部门的发展而提高,因而钢管生产厂需要不断挖掘潜力、改进工艺、提高装备水平和采用新技术,以满足用户要求。

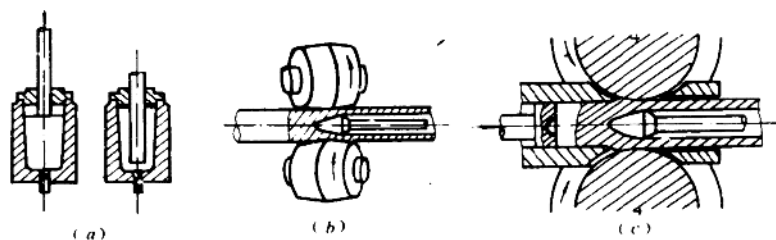


图 1-4 几种穿孔方法示意图

(a) 压力穿孔; (b) 斜轧穿孔; (c) 推轧穿孔

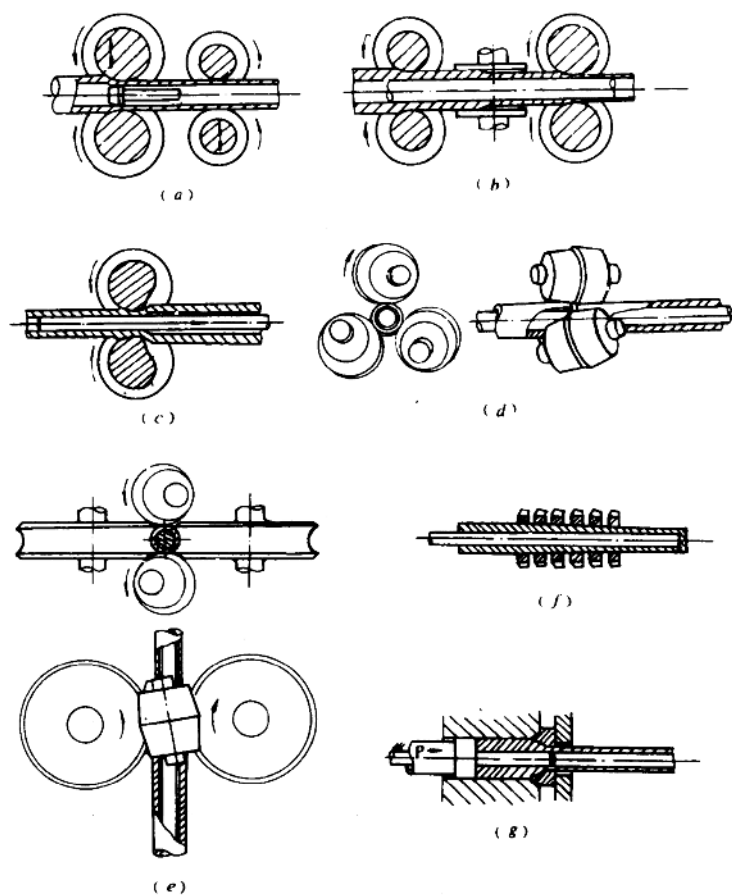


图 1-5 各种热轧无缝管轧管方法示意图

(a) 自动轧管机; (b) 连轧管机; (c) 皮尔格轧管机; (d) 三辊轧管机;
(e) 狄舍尔轧管机; (f) 顶管机; (g) 热挤压机

表 1-2 常用的热轧无缝管生产方法

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 ¹	壁厚 S , mm	D/S	轧管机轧后 最大长度 m
热 轧	自动式 轧管机组	圆轧坯	自动式轧管机	$\phi 12.7 \sim 660.4^2$	2~60	6~48	10~16
		连铸方坯		$\phi 165 \sim 406$	5.5~40.5		
	皮尔格 轧管机组	圆 锭	皮尔格轧管机	$\phi 50 \sim 100$	2.25~170	4~40	16~28
		方锭或 多角形锭					
		连铸方坯					
	连续式 轧管机组	圆轧坯	长心棒连轧 管机(MM)	$\phi 16 \sim 168.3$	1.75~ 25.4	6~30	20~33
		圆连铸坯 ^⑤					
		连铸方坯 ^⑥	多机架可控心 棒连轧管机 (MPM)	$\phi 48 \sim 340$	3~25	7~30	
轧	三辊轧 管机组	圆轧坯	三辊式轧管机	$\phi 21 \sim 240$	2~45	4~12 (~50)	8~10
	狄舍尔 轧管机组	圆轧坯	狄舍尔轧管机 (带主动导盘的 斜轧机)	$\phi 51 \sim 108$ ($\phi 39 \sim 203$)	2~8	4~35	~15
顶制	顶管 机组	方轧坯或 方连铸坯	顶管机顶制	$\phi 17 \sim 1070$	3~200	5~30	14~16
挤压	热挤压 机组	圆 锭 圆 坯	挤压机挤压	$\phi 25 \sim 1425$	≥ 2	4.5~25	~25

① 各机组 $\phi 50\text{mm}$ 以下的管是通过减径机或张力减径机生产的；

② 自动式轧管机组正常最大外径为 $\phi 26\text{mm}$ ， $\phi 660.4\text{mm}$ 的管是用扩径机生产的，扩径机目前可生产最大外径为 $\phi 1400\text{mm}$ 的管；

③ 1977 年 10 月投产的新工艺；

④ 机组未见投产报导；

⑤ 除狄舍尔穿孔机和三辊斜轧穿孔机可用连铸坯外，某些二辊斜轧穿孔机已采用连铸圆坯；

⑥ 1978 年投产。

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。

1.3.1 热轧无缝钢管生产方法

热轧无缝钢管的生产工艺过程是将实心管坯或钢锭穿孔并轧成符合产品标准的钢管。

整个过程有以下两个变形工序：

(1) 穿孔 即将实心管坯穿轧成空心毛管。常见的管坯穿孔方法有斜轧穿孔(二辊、狄舍尔和三辊)、压力穿孔和推轧穿孔(PPM)等三种(图 1-4)。另外还有直接采用离心浇注、连铸与电渣重熔等方法获得空心管坯,而省去穿孔工序。

(2) 轧管 是将空心毛管轧成接近成品尺寸的荒管。常见的轧管方法有自动轧管机、连续式轧管机(全浮动式 MM、限动心棒 MPM)、皮尔格轧管机(周期式轧管机)、三辊轧管机、狄舍尔轧管机、顶管和钢热挤压机等(图 1-5)。

钢管生产中,按产品品种规格和生产能力等要求不同,而选用不同类型的轧管机。采用不同类型的轧管机轧管时,由于轧件的运动条件、应力状态条件、道次变形量和生产率等条件不同,故必需为它配备变形量和生产率等方面相匹配的穿孔及其它前后工序设备,因而不同的轧管机就构成了相应的钢管热轧机组。热轧无缝钢管机组也就是以轧管机类型来分类。目前常用的热轧无缝钢管生产方法见表 1-2。一个机组的具体名称以该机组生产钢管的最大规格和轧管机的类型来表示。例如,140 自动轧管机组,即机组生产的最大外径为 $\phi 140\text{mm}$,轧管机型式为自动轧管机。同例有 140 连续式轧管机组、133 顶管机组、318 周期式轧管机组等。而钢管热挤压机组则采用挤压机的最大挤压力或产品规格范围来表示其型号,例如 3150 挤压钢管机组,即挤压机的最大挤压力为 3150t。

在热轧钢管机组中,为了提高产品质量和扩大机组的产品规格范围,通常在轧管机后面需设置均整机、定径机、减径机或扩径机等荒管轧制设备(图 1-6)。

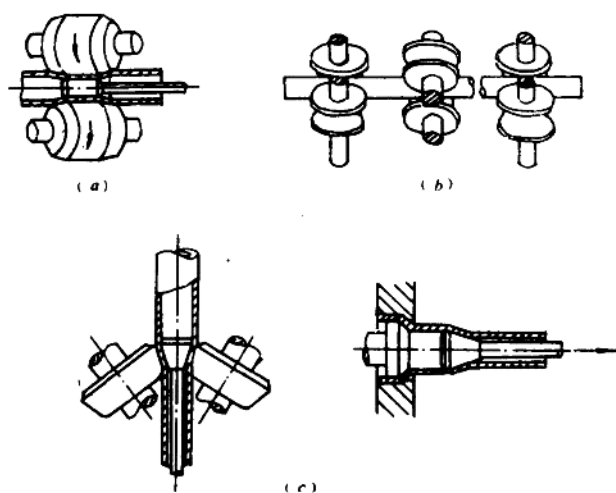


图 1-6 荒管轧制设备示意图

(a) 均整机; (b) 定、减径机; (c) 扩径机

1.3.2 焊管生产方法

焊接钢管的生产工艺过程是将管坯(板带钢)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而获得钢管的过程。因此成型和焊接是它的两个基本工序,而不同的成型和焊接方法构成不同的焊管生产方法(表 1-3)。一个焊管机组的具

体名称，是用机组生产的产品范围、以及成型和焊接的方法来表示的，例如产品外径范围为 $\phi 20 \sim 102 \text{mm}$ ，采用直缝连续成型和高频电阻焊接的机组，被表示为 20~102 连续高频电阻焊管机组。

表 1-3 常用的焊管生产方法

生产方法		原 料	基 本 工 序		产 品 范 围		
			成 型	焊 接	外径 D_1 mm	壁厚 S_1 mm	D_1/S_1
炉 焊	链式炉焊机组	短钢带	管坯加热后在链式炉焊机上用碗模成型和焊接		$\phi 19 \sim 89$	2~10	5~28
	连续炉焊机组	钢带卷	管坯加热后在连续成型—焊接机上成型并焊接		$\phi 10 \sim 114$	1.9~8.6	5~28
电 焊	直缝连续电焊机组	钢带卷	连续辊式成型机成型或排辊成型	高频电阻焊、高频感应焊、氩弧焊	$\phi 5 \sim 660^{\text{①}}$ ($\phi 400 \sim 1219$)	0.5~15 ^① (6.4~22.2)	~100
	UOE 直缝电焊机组	钢 板	UO 压力机(直缝)成型	电弧焊、闪光焊或高频电阻焊	$\phi 406 \sim 1625$	6.0~40.0	~80
	螺旋电焊机组	钢带卷	螺旋成型器成型	电弧焊、高频电阻焊	$\phi 89 \sim 3660$	0.1~25.4	~100

① 括号内为排辊成型的产品。

表 1-4 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_1 mm		壁 厚 S_1 mm		D_1/S_1
	最 大	最 小	最 大	最 小	
冷 轧	$\phi 450.0$	$\phi 4.0$	60.0	00.4	50~250
冷 拔	$\phi 762.0$	$\phi 0.1$	20.0	00.1	2.1~2000
冷 旋 压	$\phi 4500.0$	$\phi 10.0$	38.1	00.4	可达 12000 以上

1.3.3 钢管冷加工方法

钢管冷加工方法有冷轧、冷拔和旋压等三种（图 1-7）。各种冷加工方法生产的产品规格范围见表 1-4。旋压本质上也是一种冷轧，冷轧管机和旋压机的规格大小用其轧制的产品规格（最大外径）和轧管机型式来表示。例如 LG-150 表示轧管机的型式为二辊周期式冷轧管机，轧制钢管的最大外径为 150mm。LD-30 表示为多辊式冷轧管机，轧制钢管最大外径为 30mm。冷拔机的规格用其允许的额定拔制力大小和冷拔机的传动方式来表示，例如 LB-20 表示为额定拔制力 20t 的链式冷拔机；80t 液压冷拔机表示额定拔制力为 80t，采用液压传动。

因篇幅所限，本书不对钢管冷加工方法进行更细的阐述。

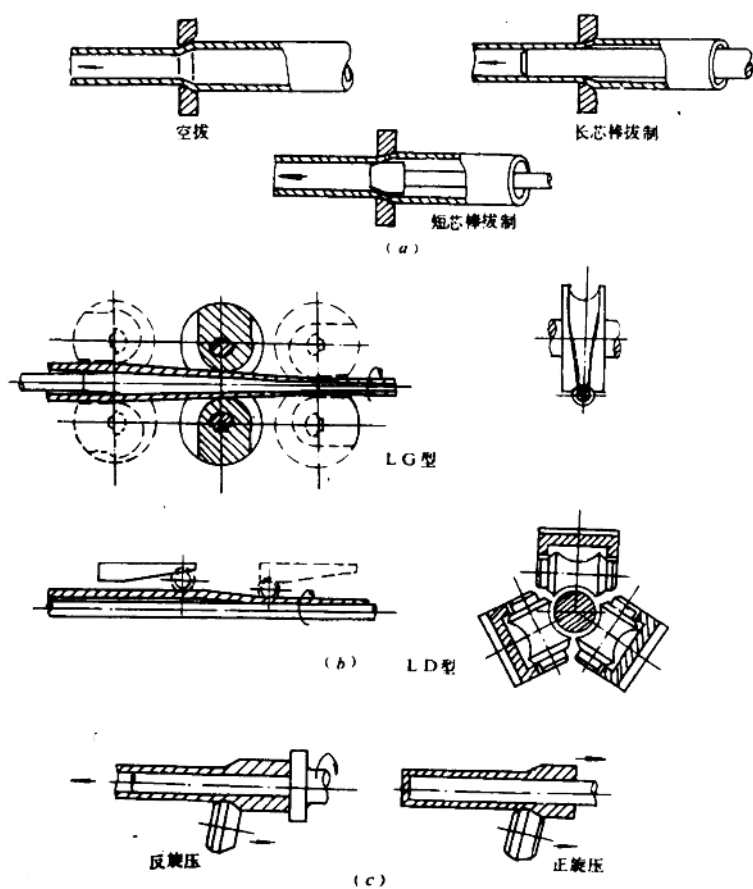


图 1-7 钢管冷加工方法示意图

(a) 冷拔; (b) 冷轧; (c) 旋压

2 热轧钢管生产工艺过程

2.1 一般工艺过程

2.1.1 工艺流程与平面布置

热轧无缝钢管的生产工艺过程与其它热轧钢材一样,包括坯料轧前准备、管坯加热、轧制(穿孔、延伸、轧管、均整、定径或减径等)和钢管冷却、精整等几个基本工序。但是,由于生产的产品和所选用的机组型式不同,具体的生产工艺流程内容亦有所变化。图 2-1~图 2-15 为典型热轧无缝钢管生产机组的工艺流程和车间平面布置。

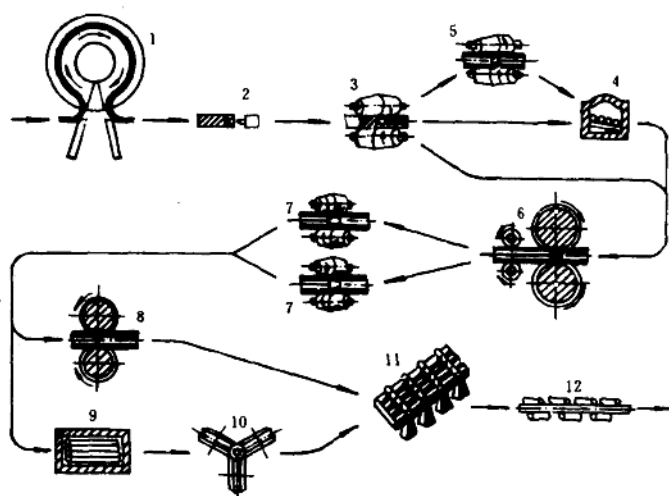


图 2-1 自动轧管机组工艺流程示意图

1—坯料加热; 2—定心; 3—斜轧穿孔; 4—毛管加热; 5—毛管二次穿孔; 6—毛管轧制; 7—荒管均整; 8—定径; 9—再加热; 10—减径; 11—钢管冷却; 12—钢管矫直

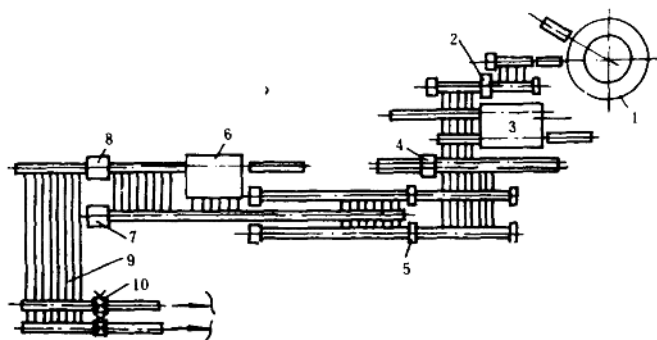


图 2-2 自动轧管机组平面布置

1—环形加热炉；2—穿孔机；3—再加热炉；4—自动轧管机；5—均整机；
6—再加热炉；7—定径机；8—减径机；9—冷床；10—矫直机

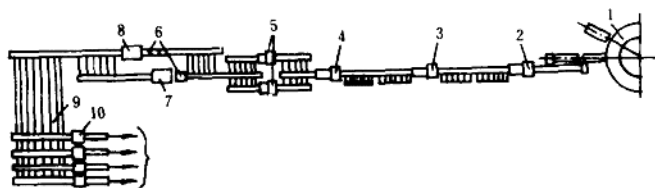


图 2-3 双机架纵列布置自动轧管机组

1—环形加热炉；2—菌式穿孔机；3—1"轧管机；4—2"轧管机；5—三辊斜轧均整机；6—感应式再加热炉；7—定径机；8—减径机；9—冷床；10—矫直机

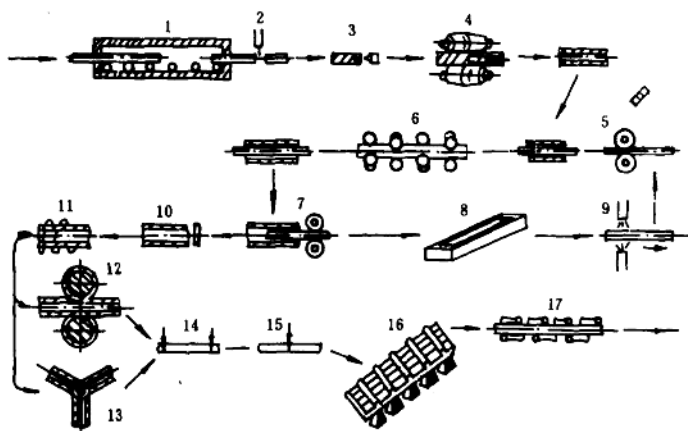


图 2-4 连续式轧管机组工艺流程示意图

1—管坯加热；2—热切断；3—定心；4—斜轧穿孔；5—插心棒；6—毛管轧制；
7—抽心棒；8—心棒冷却；9—心棒润滑；10—切管尾；11—再加热；12—定径；
13—减径；14—切管端；15—切定尺；16—冷却；17—矫直