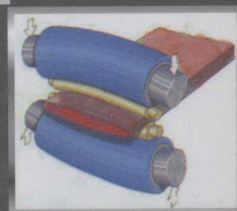




ZHAGANG SHEBEI JI
ZIDONG KONGZHI

轧钢设备 及 自动控制

曹建国 张 杰 张少军 等编著



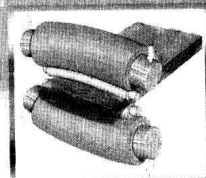
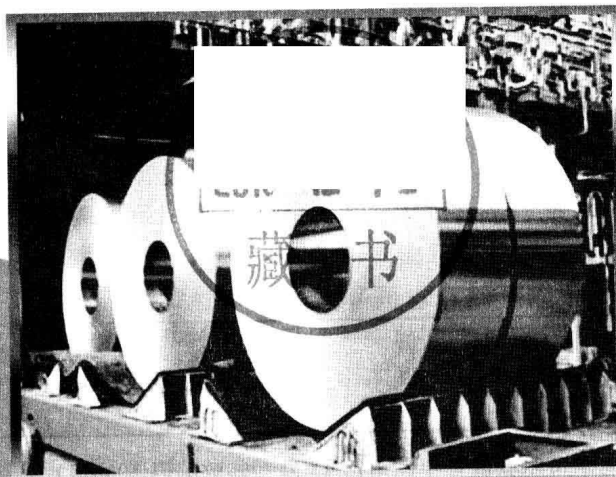
化学工业出版社



ZHAGANG SHEBEI JI
ZIDONG KONGZHI

轧钢设备 及 自动控制

曹建国 张杰 张少军 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

轧钢设备及自动控制/曹建国等编著. —北京: 化学工业出版社, 2010.6

ISBN 978-7-122-08681-5

I. 轧… II. 曹… III. 轧制设备-自动控制系统
IV. TG333

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 105529 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 战河红

文字编辑: 张燕文
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 562 千字 2010 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 79.00 元

版权所有 违者必究

前言

“人猿相揖别。只几个石头磨过，小儿时节。铜铁炉中翻火焰，为问何时猜得，不过几千寒热。”随着生产技术的不断发展，钢铁产品的应用日趋广泛和深入，世界钢材消耗量占全部金属的95%以上，钢铁作为结构-功能材料具有不可替代的主导地位。钢铁工作属于资源、资金和科技密集型产业，包括了地质、采矿、选矿、炼铁、炼钢、轧制和金属制品等系列工程，是生产、经营、科技和经济的综合体。现代钢铁联合企业是由炼铁、炼钢和轧钢三个主要生产系统组成的。轧钢生产就是将钢坯轧成钢材的生产环节，在钢铁工业生产过程中属于技术含量最高的工序。钢只有成材，才更具有使用价值和经济效益。用轧制方法生产钢材，具有生产率高，品种多，生产过程连续性强，易于实现高速化、大型化、连续化和自动化等优点，约90%的钢材都是用轧制方法生产的。

我国钢铁工业通过持续高速增长已经成为引领世界钢铁业的一支重要力量，随着产品同质化竞争压力加大和成本压力加剧，以及碳减排的现实压力，开始逐步进入追求低成本、低消耗、低排放、高效率、高水平改造和建设、高品质生产的自主创新阶段，必须努力建成循环经济的示范产业，开发新型的冶金装备的设计能力和集成制造能力。近年来，我国先进的轧钢装备和控制技术，已成为轧钢生产的主流，具有连续、高速、高效、柔性、可控特征，为轧钢过程的高效、高速和稳定生产创造了良好条件。

本书主要介绍了轧钢过程数学模型，带钢轧制厚度控制、板形控制核心技术与轧机机型，轧钢控冷设备及自动化，高位出钢机及自动化，以及SP定宽压力机、飞剪机、矫直机和卷取机等轧钢机械主要设备的工作原理和设计计算方法。书中融入了编者近十五年来完成的国家科技攻关、国家自然科学基金和我国重要板带生产基地在轧钢方面的科研合作项目成果，并尽可能反映了轧钢设备及自动化方面的发展趋势，可供冶金机械及自动化、轧制、机械制造工艺及设备等方面的读者阅读。

本书由曹建国、张杰、张少军等编著。其中，第1~3章由曹建国编写，第4章由闫晓强编写，第5章由杨光辉编写，第6章由李洪波编写，第7章由刘国勇、张少军编写，第8章由张杰、许焕宾、曹建国编写，第9章由杨竞编写。在本书编写过程中，孔宁、米凯夫、徐小照、刘思佳、覃业均、何茜晨、包仁人等同志协助整理了部分资料，在此一并表示感谢。同时感谢“北京市与中央高校共建项目——特色专业建设”在本书编写过程中的资助。

由于轧钢装备和控制技术发展迅速，书中不当之处难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 轧钢生产概述	1
1.1 钢材种类及生产方式	1
1.1.1 钢材种类	1
1.1.2 轧钢生产方式	2
1.2 轧钢生产工艺流程	2
1.2.1 中厚板轧制	2
1.2.2 热连轧板带轧制	3
1.2.3 冷轧和冷连轧板带轧制	4
1.2.4 钢管轧制	8
1.2.5 型钢轧制	9
1.3 轧钢机械设备	9
1.3.1 轧钢机械设备的分类	9
1.3.2 轧钢机械设备的发展趋势	19
1.4 轧钢设备及生产技术发展概况	21
1.4.1 宽带钢热连轧机及生产技术	21
1.4.2 宽带钢冷连轧机及生产技术	24
1.4.3 中厚板轧机及生产技术	29
1.4.4 钢管轧机及生产技术	31
1.4.5 线材轧机及生产技术	32
1.5 轧钢生产过程自动化控制系统	33
1.5.1 主要功能模块及系统软件结构	33
1.5.2 计算机控制系统网络结构	36
第 2 章 轧钢基本理论及数学模型	37
2.1 轧钢基本概念	37
2.1.1 弹性变形与塑性变形	37
2.1.2 点的主应力状态图	37
2.1.3 体积不变条件与最小阻力定律	38
2.2 轧制原理基本知识	39
2.2.1 简单轧制过程与非简单轧制过程	39
2.2.2 轧制过程的变形区及参数	40
2.2.3 金属塑性变形条件——塑性方程式	44
2.3 秒流量连续方程	45
2.4 轧机刚度模型	46
2.4.1 弹跳方程与广义弹跳方程	46

2.4.2	轧制力和弯辊力的纵向刚度	48
2.4.3	轧制力和弯辊力的横向刚度	49
2.5	带钢轧制过程中的温度模型	50
2.5.1	带钢轧制过程中的温度研究简介	50
2.5.2	轧制过程中带钢和轧辊温度测量	51
2.5.3	轧制过程中带钢温度仿真模型	52
2.5.4	轧制过程中轧辊温度仿真模型	54
2.6	轧制力数学模型与在线计算模型	64
2.6.1	基于塑性理论的轧制力计算模型	65
2.6.2	基于有限元分析的轧制力计算模型	66
2.6.3	基于人工智能的轧制力计算模型	67
2.6.4	轧制力在线计算模型	69

第3章 轧钢机及板形板厚控制 75

3.1	轧钢机的组成及调整机构	75
3.1.1	轧钢机的组成	75
3.1.2	轧辊的调整机构和平衡装置	77
3.1.3	轧钢机主传动装置	82
3.2	轧辊与轧辊轴承	84
3.2.1	轧辊辊系设计	84
3.2.2	轧辊磨损与辊形评价	98
3.2.3	轧辊制造技术	105
3.2.4	轧辊剥落的控制与效果	108
3.2.5	轧辊轴承	120
3.3	带钢轧制厚度控制	121
3.3.1	带钢厚度差产生原因分析	121
3.3.2	轧件厚度的影响因素和厚度控制方案分析	124
3.3.3	轧机液压 AGC 系统动态特性	126
3.3.4	监控 AGC 和快速监控 AGC	129
3.3.5	Smith-AGC 和改进的 Smith-AGC	132
3.3.6	常规秒流量 AGC 和扩展秒流量 AGC	136
3.3.7	热连轧机 AGC 厚度自动控制系统	138
3.3.8	冷连轧机 AGC 厚度自动控制系统	140
3.3.9	森吉米尔二十辊冷轧机 AGC 厚度自动控制系统	143
3.4	带钢轧制板形控制与轧机机型	144
3.4.1	板形及板形控制性能指标	145
3.4.2	板形控制基本理论	156
3.4.3	热连轧机机型设计	163
3.4.4	冷连轧机机型设计	173
3.4.5	热连轧机板形控制	181
3.4.6	冷连轧机板形控制	189
3.4.7	森吉米尔二十辊冷轧机板形控制	202
3.5	板形板厚综合控制	206

3.5.1	板形板厚综合控制系统的耦合关系	206
3.5.2	板形板厚设定控制的解耦与应用	210
3.5.3	板形板厚动态解耦控制	215
第4章	高位出钢机及自动化	218
4.1	概述	218
4.2	高位出钢机的组成与性能	219
4.3	电气控制系统的功能	220
4.3.1	控制系统的功能	221
4.3.2	PLC系统的构成	223
4.4	电气控制系统工作原理	224
4.4.1	电气控制系统构成	224
4.4.2	电气控制系统工作原理	224
4.4.3	出钢机的操作过程	226
第5章	SP定宽压力机	228
5.1	带钢宽度控制简介	228
5.1.1	立辊调宽法	229
5.1.2	SP定宽压力机调宽法	230
5.2	定宽压力机工作原理与结构	231
5.2.1	定宽压力机的作用及工作原理	231
5.2.2	定宽压力机的结构	232
5.2.3	定宽压力机的运动学分析	233
5.3	定宽压力机的控制	236
5.3.1	定宽压力机的同步控制	236
5.3.2	定宽压力机的调宽轧制	237
第6章	飞剪机	239
6.1	概述	239
6.1.1	飞剪机的基本要求	239
6.1.2	飞剪机的类型及设备配置	239
6.2	飞剪机调长方式	244
6.2.1	启动工作制飞剪机的调长方式	244
6.2.2	连续工作制飞剪机的调长方式	245
6.2.3	飞剪机的同步机构	246
6.3	飞剪的力能参数计算	248
6.3.1	飞剪的剪切拉应力计算	248
6.3.2	飞剪的电动机功率	249
6.4	飞剪机的结构	250
第7章	控冷设备及自动化	255
7.1	控冷的目的和作用	255
7.2	控冷过程的换热特性	256
7.2.1	射流冲击的换热特性	256

7.2.2 沸腾换热	258
7.3 淬火与控冷过耦合场	260
7.3.1 温度场的求解	260
7.3.2 钢板冷却与变形	262
7.4 控冷模型	262
7.5 控冷的一般方式	263
7.6 热轧板带材的控冷	264
7.6.1 热轧中厚板的控冷	264
7.6.2 热轧带材的控冷	270
7.7 热轧型钢的控冷	272
7.7.1 热轧 H 型钢的控冷	272
7.7.2 热轧角钢的控冷	274
7.8 热轧线、棒材的控冷	275
7.8.1 控制冷却技术在线、棒材生产中的应用	275
7.8.2 棒材穿水冷却	276
7.8.3 线材控制冷却	278
7.9 钢管的控冷	280
7.9.1 国外钢管控冷发展	280
7.9.2 国内钢管控冷发展	280
7.9.3 钢管淬火控冷装置	281

第 8 章 矫直机

8.1 概述	284
8.1.1 矫直机的作用与类型	284
8.1.2 弹塑性弯曲的基本概念	285
8.2 辊式矫直机	287
8.2.1 轧件矫直过程与矫直工艺	287
8.2.2 辊式矫直机力能参数计算	290
8.2.3 辊式矫直机基本参数及结构	292
8.3 拉伸弯曲矫直机组	295
8.3.1 拉伸弯曲矫直机组的特点与结构	295
8.3.2 拉伸弯曲矫直机组的矫直原理	298
8.3.3 拉伸弯曲矫直机组的驱动形式	300

第 9 章 卷取机

9.1 热带钢卷取机	303
9.1.1 热带钢卷取机的工艺要求	303
9.1.2 热带钢卷取机的设备组成	306
9.2 冷带钢卷取机	311
9.2.1 冷带钢卷取机的工艺要求	311
9.2.2 冷带钢卷取机的结构	312
9.2.3 冷带钢卷取机的设计计算	316

参考文献

轧钢生产概述

1.1 钢材种类及生产方式

1.1.1 钢材种类

钢材种类很多,根据钢材断面形状一般可分为板带材、型材、管材和钢丝四大类。

板带材(简称板带)是一种宽厚比和表面积都很大的扁平钢材,按厚度不同分为极薄板或箔材(厚度在 0.2mm 以下)、薄板(厚度在 0.2~4mm)、中板(厚度在 4~25mm)和厚板(厚度>25mm,其中 60mm 以上者为特厚板)四种。目前箔材最薄可达 0.001mm,而特厚板可厚至 500mm 以上。板带产品由于其外形具有可裁剪、拼合、弯曲、冲压成形及护盖包容能力的特点,是广泛应用于国民经济各部门的重要产品,因而有“万能钢材”之称。同时还由于板带断面形状简单,便于采用大型化、高速度、自动化和连续化的先进生产方式进行百万吨级的规模生产,致使板带在金属材料总产量中所占地位和比例不断提高。板带的经济性与板带冲压技术及成形、焊接技术的发展决定了具有高技术附加值的板带产品成为国内外冶金工业发展的重点。

型材是一种具有一定截面形状和尺寸的实心长条钢材,其断面形状和品种最多,按其断面形状不同分为简单断面和复杂或异型断面两种。前者包括圆钢、方钢、扁钢、六角钢、不等边角钢和角钢;后者包括钢轨、工字钢、槽钢、H 型钢、窗框钢和异型钢等。直径在 6.5~9.0mm 的小圆钢称线材,如普线、高线和螺纹钢。此外,用纵轧、横轧、斜轧或楔横轧等特殊加工方法,可以加工出各种周期断面或特殊断面钢材,如螺纹钢、竹节钢、犁铧钢、车轴、变断面轴、锚杆等。

管材是一种中空截面的长条钢材,按其截面形状不同可分为圆管、方形管、六角形管和各種异形截面钢管;按加工工艺不同又可分为无缝钢管和焊管钢管两大类。

钢丝是线材的再一次冷加工产品,按形状不同分圆钢丝、扁形钢丝和三角形钢丝等。钢丝除直接使用外,还用于生产钢丝绳、钢绞线和其他制品。

钢材按化学成分可分为非合金钢材、低合金钢材、合金钢材和不锈钢材四大类。非合金钢材进一步按化学成分可分为普通质量非合金钢材、优质非合金钢材和特殊质量非合金钢材;低合金钢材进一步按化学成分可分为普通质量低合金钢材、优质低合金钢材和特殊质量低合金钢材;合金钢材进一步按化学成分可分为优质合金钢材和特殊质量合金钢材;不锈钢材进一步按化学成分可分为铬系不锈钢材、铬镍系不锈钢材和耐热不锈钢材。

1.1.2 轧钢生产方式

钢材的生产方式有轧制、锻造、拉拔、挤压等。

轧制是指金属坯料通过旋转轧辊间的缝隙（各种形状），因受轧辊的压缩使材料横截面减小而在长度方向产生延伸的过程，具有生产效率高、品种多、质量好，且易于采用连续化、机械化、自动化生产和计算机控制的特点，是钢材生产最常用的方式，绝大部分钢材均采用轧制方式生产，主要用来生产板带材、型材、管材。轧制按轧制温度的不同可分为热轧和冷轧：前者是指再结晶温度以上的材料形变轧制过程，但材料物理性质并无变化，具有轧制温度高、变形量大的特点；后者是指对已经过热轧、除麻点除氧化工序的材料在再结晶温度以下的材料形变轧制过程，冷轧材表面质量好、光洁度高、产品尺寸精度高，产品的性能和组织能满足一些特殊的使用要求，如电磁性能、深冲性能等。

锻造是指利用锻锤的往复冲击力或压力机的压力使坯料改变成所需形状和尺寸的一种压力加工方法，常用作生产大型材、开坯等截面尺寸较大的材料。锻造一般分为自由锻和模锻，前者是用锻锤对（热）钢材毛坯直接进行锻打，产品精度差；后者是把自由锻后的毛坯产品放入模具中再进行锻打，使其成为模具空腔形状的产品。

拉拔是将已经轧制的金属坯料（型、管、制品等）通过模孔拉拔成截面减小、长度增加的加工方法，大多用作冷加工。

挤压是将金属放在密闭的挤压筒内，一端施加压力，使金属从规定的模孔中挤出而得到不同形状和尺寸的成品的加工方法。

此外，金属板料成形作为薄板直接投入消费前的主要深加工方法，已在整个国民经济中占有重要地位。传统的金属板料加工方法主要是用模具在压力机上进行冷冲压成形，具有生产效率高，适用于大批量生产的优点。但随着市场竞争的日趋激烈，产品的更新换代速度日益迅速，采用模具成形生产周期长，而且缺乏柔性，因此一些新型的无模成形技术应运而生，如喷丸成形、数字化渐进成形、无模多点成形、激光热应力成形、激光冲压成形等，如压力容器封头和奥运鸟巢扭梁等制件就是采用无模多点成形技术分段压制生产的。

1.2 轧钢生产工艺流程

1.2.1 中厚板轧制

中厚板是钢铁工业不可缺少的重要钢材品种，典型生产工艺流程见图 1-1。宝钢 5000mm 中厚板生产线从德国 SMS 引进的 5000mm 轧机工作辊尺寸 $\phi 1210\text{mm} \times 5300\text{mm}$ 、支持辊尺寸 $\phi 2300\text{mm} \times 4950\text{mm}$ ，轧制力达到 100MN，电机功率达到 $10\text{MW} \times 2$ ，单侧牌坊重达 388t，机架刚度达到 84MN/mm。已能大批量生产市场急需的船板、桥梁板、建筑结构用钢板、容器锅炉板^[1]。日本 JFE 和德国萨尔茨吉特等宽厚板厂值得关注，后者生产工艺流程见图 1-2。

为便于设备的标准化，中厚板轧机系列分为 1800mm、2300mm、2800mm、3300mm、3800mm、4300mm、4800mm 以及 5300mm 共八个级别^[2]，优先数为 500mm。每级上下波动幅度为 200mm。1800mm 轧机在我国广钢原有一台，淘汰后全球基本上没有。济钢 2500mm 轧机是由 2300mm 轧机发展起来的，邯钢 3000mm 轧机原来就是 2800mm 轧机，现在大批新建 3500mm 轧机是由 3300mm 轧机放大的，宝钢 5000mm 轧机是与 4800mm 轧机同属于一个等级的轧机，日本三台 5500mm 轧机也是从室兰 5280mm 和鹿岛 5335mm 两台

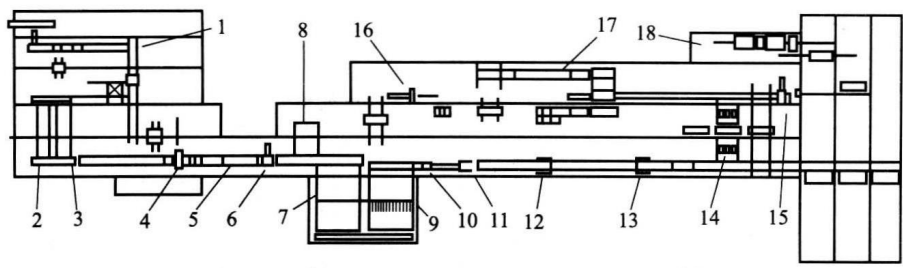


图 1-1 宝钢 5000mm 中厚板生产工艺流程^[1]

- 1—板坯二次切割线；2—连续式加热炉；3—高压水除鳞箱；4—精轧机；5—加速冷却装置；
6—热矫直机；7—宽冷床；8—特厚板冷床；9—检查修磨台架；10—超声波探伤装置；
11—切头剪；12—双边剪和剖分剪；13—定尺剪；14—横移修磨台架；
15—冷矫直机；16—压力矫直机；17—热处理线；18—涂漆线

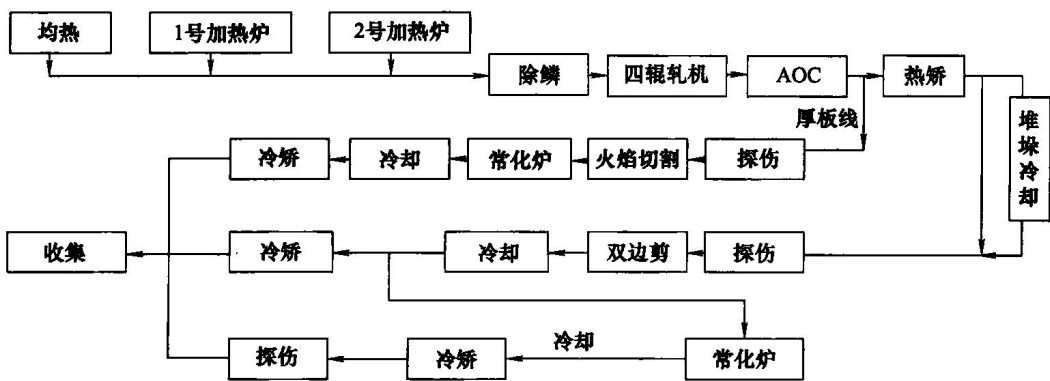


图 1-2 德国萨尔茨吉特宽厚板厂工艺流程

轧机发展起来的。

1.2.2 热连轧板带轧制

热轧薄板从宽度上分为宽带和窄带，其中，宽带钢热连轧机的工艺装备、技术及产品代表了热轧薄板的最高水平，典型宽带钢热连轧机工艺参数与机型比较见表 1-1，产品极限规格比较见表 1-2。我国热轧宽带钢轧机生产的产品规格为：厚度 1.2~25.4mm，宽度 600~2130mm，钢卷内径 762mm，钢卷外径（最大）2160mm，钢卷质量 43.6t，单位宽度质量（最大）23kg/mm，强度可达 800MPa 级别。

表 1-1 宽带钢热连轧机工艺参数与轧机机型

轧机类型	鞍钢 1580mm 轧机	武钢 1700mm 轧机	鞍钢 1780mm 轧机	宝钢 2050mm 轧机	武钢 2250mm 轧机
工作辊辊身长度/mm	1580	2000	1780	2250	2550
工作辊直径/mm	630~700	740~800(F1~F3) 700~760(F4~F7)	640~700	765~850(F1~F3) 685~760(F4~F7)	630~700
最大弯辊力/tf	120	200	160	100	160
最大轧制压力/tf	3000	3500	3500	4500(F1~F3); 4000(F4~F7)	4500
精轧机轧机功率/kW	6000	7600	8000	12000	10000
轧机机型	PC	WRS	PC	CVC	CVC+SFR

注：1tf=9.80665kN。

表 1-2 宽带钢热连轧机极限规格比较

mm

轧机类型	鞍钢 1580mm 轧机	武钢 1700mm 轧机	鞍钢 1780mm 轧机	宝钢 2050mm 轧机	武钢 2250mm 轧机
最薄极限 强度级别 $\leq 300\text{MPa}$	1.2×1050 1.5×1200 3.5×1450	1.2×1050 1.5×1200 4.0×1500	1.2×1050 1.5×1200 4.0×1600	1.3×1050 1.7×1450 2.3×1900	1.2×1250 1.5×1600 2.0×2130
中级极限 强度级别 $\leq 500\text{MPa}$	2.7×1050 3.2×1200 4.0×1450	2.7×1050 3.2×1200 4.0×1500	2.7×1050 3.2×1200 4.0×1600	1.3×950 2.6×1450 3.2×1850	2.0×1250 2.7×1600 4.0×2130
高级极限 强度级别 $\leq 800\text{MPa}$	4.0×1050 5.5×1200 7.5×1450	4.0×1050 5.5×1200 7.5×1500	4.0×1050 5.5×1200 7.5×1600	1.9×1050 3.4×1450 4.2×1900	2.7×1250 3.5×1600 7.6×2130
最厚极限	12.7×1450	12.7×1580	16.0×1580	25.4×1850	25.4×2130

热轧薄板生产主要有叠轧、炉卷和高速连轧（包括连铸连轧）等轧制方式。

叠轧薄板是最古老的热轧薄板生产方式，它是把数张钢板叠放在一起送进轧辊进行轧制。叠轧薄板属于单张轧制，效率很低，且轧制产量、产品质量和成材率低，劳动强度大，成本高。因此，此种方法已经基本被淘汰。

炉卷轧机，即将钢板卷起放置在加热炉内，一边加热保温，一边轧制。其优点是投资相对热连轧机要小，生产比较灵活，适合生产加工温度范围较窄的特殊带钢。缺点是产品质量比较差，消耗高，工艺操作比较复杂。

采用连轧是生产薄板带的主要发展趋势。常规宽带钢热连轧（相对连铸连轧）的生产工艺过程主要包括原料准备推钢机、加热炉、出钢机或板坯拖出机、立辊轧机、一至四架粗轧机、保温罩或热卷箱、七架精轧机、层流冷却系统及卷取机等，具体工艺流程可参见图 1-3。

薄板坯连铸连轧的生产工艺过程主要设备包括连铸机、辊底式隧道炉、液压事故剪、高压水除鳞箱、立辊轧机、七架精轧机或一至二架粗轧机和五架精轧机、快速冷却系统和层流冷却装置、飞剪、地下卷取机等，具体工艺流程见图 1-4。

为了大幅度提高产量，广泛采用全连续式轧机。全连续就是指轧件自始至终没有逆流轧制的道次，而半连续则是指粗轧机组各机架主要或全部为可逆式而言。全连续式轧机粗轧机组每架只轧一道，轧制时间往往要比精轧机组的轧制时间少得多，亦即粗轧机的利用率并不很高。为了充分利用粗轧机，同时也为了减少设备和厂房面积，节约投资，而广泛发展一种 3/4 连续式布置形式，它是在粗轧机组内设置一至二架可逆式轧机，把粗轧机由六架缩减为四架。

1.2.3 冷轧和冷连轧板带轧制

冷轧板带产品以热轧带钢作为原料，因其表面有氧化铁皮，所以在冷轧前要把氧化铁皮清除掉，故酸洗是冷轧生产的第一工序。酸洗后即可轧制。若从来料到成品的变形量很大，在轧制到一定厚度时，必须进行中间退火，使带钢软化，然后继续轧制。若变形量较小，可一次轧成，不需要中间退火。退火之前由于带钢表面有润滑油，必须把油脂清洗干净，否则在退火中带钢表面形成油斑，造成表面缺陷。经过脱脂的带钢，在带有保护性气体的炉中进行退火。退火之后的带钢表面是光亮的，所以在进一步的轧制或平整时，不需要酸洗。带钢轧至所需尺寸及精度后，通常进行最终退火，为获得平整光洁的表面及均匀的厚度尺寸和调节力学性能，一般要经过平整，即进行 3% 以下的小变形轧制。带钢在平整之后，根据订货

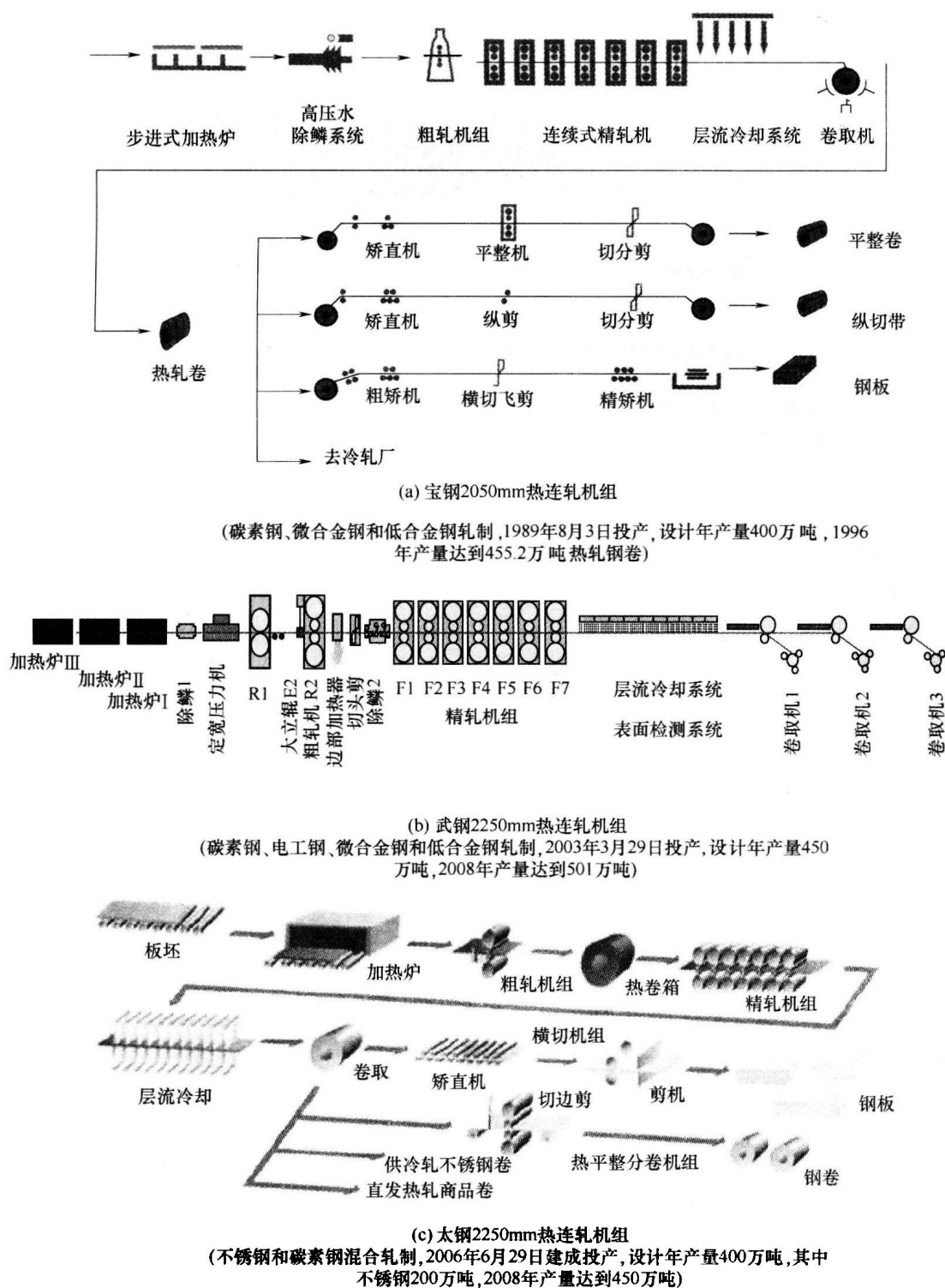


图 1-3 常规宽带钢热连轧机生产典型工艺流程

要求进行剪切。成张交货要横切，成卷交货必要时则纵切。

宽带钢、薄规格、高强度和高产能是冷轧发展目标，传统的带钢通过率（轧制通过量）概念早已不适当今冷轧生产要求^[3,4]。现代化宽带钢冷连轧机具有大型化、连续化、自动化和高速化等特点，冷连轧机末架最大轧制速度超过 20m/s 甚至高达 46.7m/s，最大的年生产能力可达 230 万吨，冷轧薄板产品的厚度范围在 0.15~3mm，厚度精度为成品厚度

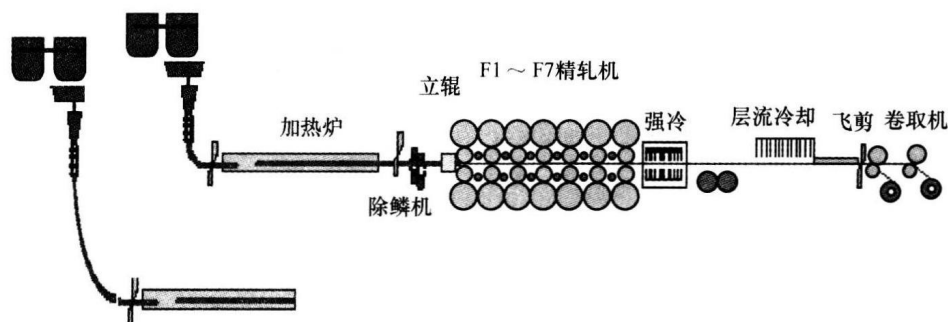


图 1-4 马钢 1800mm 薄板坯连铸连轧生产工艺流程

$\pm 1\%$ 甚至 $\pm 0.6\%$ 或 $\pm 5\mu\text{m}$ 甚至 $\pm 2\mu\text{m}$ 的范围以内，板形平坦度精度控制在 10IU 甚至 5IU 以内，以冷连轧机生产的中低牌号冷轧无取向硅钢薄板为例，其厚度范围在 0.35~0.5mm 左右，宽度通常为 1000~1300mm，在宽厚比达到 2000 以上的条件下高速轧制的冷轧无取向硅钢薄板的板形平坦度精度控制在几 IU，边降和凸度精度控制在几微米以内。现代化高速连轧生产在追求高成材率的同时，更注重带钢质量，边降板形控制要求越来越高，以板形平坦度为代表的浪形控制从简单的边浪、中浪等二次浪形控制向更复杂的高次浪形控制发展，同时还要求低成本，如辊耗、油耗、能耗等的控制，需要连轧机具有强大的功能和低轧制成本。

冷轧板带产品极为广泛，其具有代表性的产品有金属镀层板（镀锡板、镀锌板等）、深冲钢板（汽车板等）、电工钢板（硅钢板）与不锈钢板等。其生产工艺流程见图 1-5^[3]。

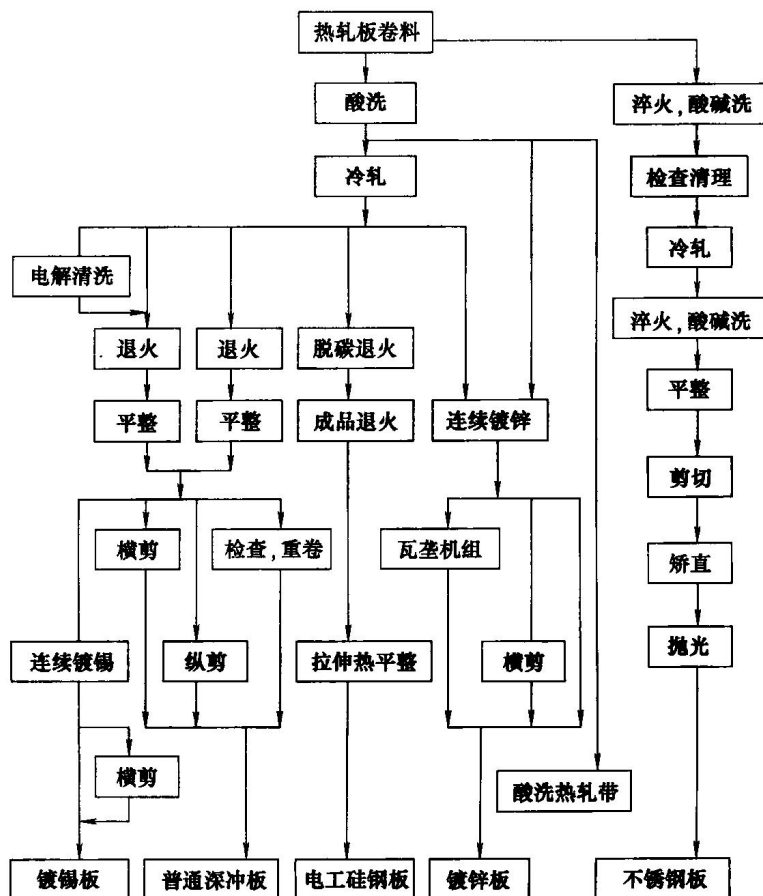
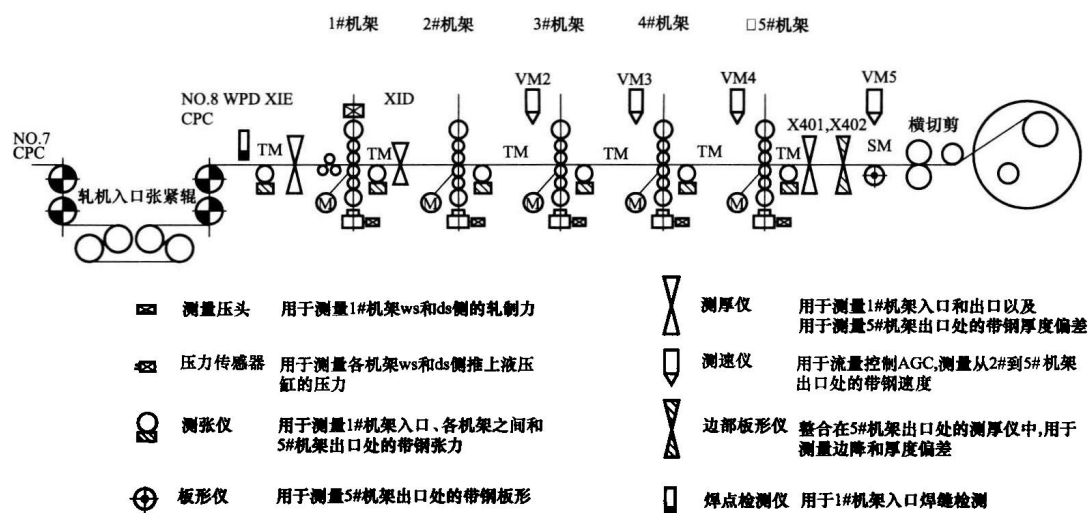


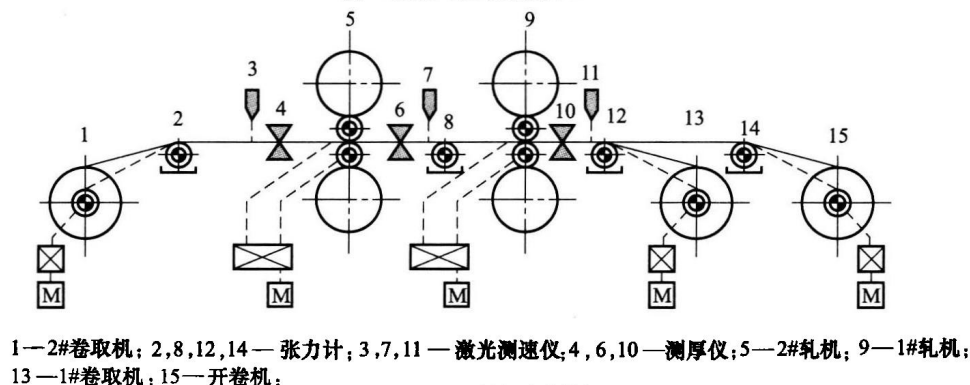
图 1-5 冷轧薄板生产工艺流程

冷轧带钢生产主要有可逆式轧制和连续式轧制两种形式。在可逆式轧制方式中可以是单机架可逆轧制，也可以是双机架连续可逆轧制。连续式轧制中机架数量为三至六机架不等。实际生产表明，六机架冷连轧机组所生产的薄板，其力学性能不如二次冷轧的效果好。故目前新建或改造的冷连轧生产线基本上以五机架或四机架为主，如图 1-6 (a) 所示。

单机架可逆轧机受到产量的限制，生产低碳钢时年产量一般在 15 万~40 万吨。一台 20 辊森吉米尔轧机生产高合金钢时，其年产量低于 15 万吨，轧制取向电工钢时，其年产量只有 10 万吨左右。单机架可逆轧机若生产 0.3mm 以下镀锡板，产量一般也在 10 万吨/年左右。可逆式轧制方式是单卷轧制，具有生产灵活性高的优点，通过改变道次的压下量、速度、张力等参数的设定值，可以灵活地组织不同品种规格、不同钢种、不同批量的柔性生产，容易满足市场的需要和适应市场的变化^[5]。在可逆式轧制过程中，带钢在轧机中往复轧制，每完成一道次轧制都要经过启动-加速-匀速-减速-停机的完整过程，不仅轧制速度受到限制导致产量的限制，而且穿带启动、加速、甩尾减速等过渡阶段较长且轧制条件不断变化易导致带钢成材率降低和实物质量不稳定。因此，可逆式轧制主要适合多钢种、多规格、小规模产品。近年来适合年产量在 50 万~90 万吨规模范围的双机架可逆冷轧机组，称为紧凑型冷轧机 (Compact Cold Mill)，简称 CCM 轧机，开始受到国内外厂家的青睐，设计产能为 84 万吨/年的济钢 CCM 双机架冷轧机组设备和仪表配置如图 1-6 (b) 所示，轧机主要技术参数见表 1-3^[5]。它是单机架可逆式轧制和多机架连续式轧制之间的过渡方式，除了具有单机架可逆式轧制灵活的优点外，还有投资少、产量高、见效快的特点。



(a) 五机架六辊冷连轧机组



(b) CCM双机架冷轧机组

图 1-6 典型冷轧板带钢机组设备和仪表配置

表 1-3 双机架可逆冷轧机的主要技术参数

项 目	参 数 值	项 目	参 数 值
工作辊直径×辊身长/mm	($\phi 1150 \sim 1250$) $\times 1950$	来料规格/mm 普碳钢	(5.0~2.5) $\times$ (900~1650)
支持辊直径×辊身长/mm	($\phi 400 \sim 450$) $\times 1750$	深冲钢	(5.0~2.5) $\times$ (900~1650)
最大轧制力/kN	22000	成品尺寸/mm 普碳钢	(2.5~0.3) $\times$ (900~1650)
轧制速度/m $\cdot$ min ⁻¹	1350	深冲钢	(2.5~0.3) $\times$ (900~1650)
工作辊轴向调整范围/mm	100		

冷轧板带生产的产量在 100 万吨/年以上时,应优先采用具有大型化、连续化、自动化和高速化等特点的现代化冷连轧机组,尽量避免采用多台单机架或双机架的可逆轧制方式,以提高生产效率。

多机架连续式轧制又分为常规单卷连轧、全连续无头方式轧制、酸洗-冷连轧联合和酸洗-冷连轧-连续退火联合四种。

常规单卷连轧是较早时期的一种连轧形式,由于每个钢卷都必须经过穿带、加速和甩尾降速过程,带钢厚度和板形的控制精度受到限制,存在带钢甩尾时易损坏轧辊表面且由于生产节奏慢导致产能受到一定的限制。

全连续轧制是在轧机前面增加焊机和活套,在钢卷进入轧机之前将钢卷焊接起来,活套的缓冲功能使得带钢源源不断地进入轧机进行连续轧制,一般情况下均采用全连续无头方式轧制,一次穿带后就可以连续地轧下去,轧机只有在带钢过焊缝和分卷时才需要降速。显然带头和带尾厚度超差的长度比常规连轧的短,一般不超过 20m。对少数较厚的带钢及材质较硬的带钢也可采用常规的单卷连轧方式。

20 世纪 80 年代初期发展的酸洗-冷连轧联合轧制方式,更显示出高度连续化、自动化和高速化的优势。酸洗-冷连轧联合方式节省了酸洗与轧机之间的中间库,同时也节省了两个工序之间如焊机、卷取和开卷、涂油等一些设备,占地少,节省了投资,金属收得率高,因此得到越来越广泛的应用。酸洗-冷连轧-连续退火联合生产是一种高度联合的生产方式,机组与机组之间的协调就显得非常重要,对各工序运行的可靠性、前后各工序速度匹配、自动化控制水平等要求就更高,尤其是冷连轧与连续退火联合生产的难度较大。如果其中某一环节发生故障,全线将因此而停机。因此,目前新建和改造的冷连轧生产线大多采用酸洗-冷连轧联合生产线。

1.2.4 钢管轧制

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。

钢管的轧制生产方法主要是热轧和冷轧成形生产方法。热轧无缝钢管的工艺过程是将实心管坯或钢锭穿孔并轧制成空心断面的钢管,它具有生产工序多和设备多样化的特点。无缝钢管的轧制生产过程有三个主要变形工序:管坯穿孔——将实心坯(锭)穿轧成毛管;延伸轧管——将毛管轧成接近要求尺寸的荒管;定减径轧管——将荒管轧成要求尺寸的钢管。热轧无缝钢管的工艺过程包括:坯料准备;坯料加热;穿孔获得毛管;碾轧延伸获得荒管;精轧;精整;获得最终尺寸、性能符合要求的成品管。每个工序均需配备相应的机械设备。与热轧管相比,钢管冷加工方法有减壁能力强、断面减缩率大的特点。它可生产薄壁、极薄壁、大直径管、小直径管和毛细管;可生产高几何尺寸精度和表面光洁度的管材,异型和变断面管材,以及厚壁、特厚壁管材。冷轧被广泛应用于制造高合金钢(耐蚀钢、耐热钢以及难变形钢种)、合金钢和碳钢管。由于温轧既可提高金属的加工性能和产品表面质量,又可提高产品的力学性能和物理性能,所以近年来得到了较快的发展。冷轧时,一个周期的延

伸系数可达2~7,当温轧(在变形区前将钢管加热到200~400℃)不锈钢和耐热钢时,一周期的延伸系数可达16,采取温轧可提高轧机产量50%~100%。钢管冷加工的特点是变形道次多,反复循环次数多^[6]。现代冷加工钢管车间的主要设备有冷轧机、冷拔机、减径机以及其他一些附属设备,其中包括退火、酸洗、坯料准备和精整等设备。

1.2.5 型钢轧制

型钢的品种规格是指钢材的断面形状和尺寸的总称,目前已达万种以上。型钢品种规格多是型钢生产的一个主要特点,除少数专用轧机生产专门产品外,绝大部分型钢轧机都进行多规格多品种的生产。按生产方法,可分为热轧型钢、冷轧型钢、冷拔型钢、冷弯型钢、焊接型钢和用特殊方法生产的型钢(如火车车轮、轮箍、钢球、齿轮、变断面阶梯轴)等。其中热轧型钢生产具有生产规模大、效率高、能耗少和成本低等优点,成为目前生产型钢的主要方法。

由于型钢品种规格多,钢种和用途不同,其工艺过程也各不相同。一般来说,热轧型钢生产工艺过程可由以下几个基本工序组成。

① 坯料准备。这一工序包括按坯料冶炼炉号堆放入库、清理表面缺陷和去除氧化铁皮等。

② 坯料加热。这是热轧生产中的一个重要工序,它将坯料加热到所要求的温度。

③ 轧制成材。这是型钢生产工艺过程的核心工序。加热后的坯料通过轧钢机轧制成具有一定形状和尺寸精度的钢材(型钢),并使其内部组织、性能和表面质量符合规定的要求。

④ 钢材精整。这是型钢生产工艺过程的最后一个工序,也是一个比较复杂的工序。精整工序通常包括钢材的切断或卷取、轧后冷却和矫直、成品热处理、成品表面清理和标志涂色,以及包装等具体工序。钢材精整工序对产品质量起着最终的保证作用^[6]。

1.3 轧钢机械设备

轧制钢材的机械设备称为轧钢机,简称轧机。轧钢生产中,除轧件在轧钢机上进行轧制变形的主要工序外,还包含一系列的辅助生产工序,因此需要种类繁多、数量很大的机械设备,广义来说,用于轧制钢材生产工艺全部所需的主要和辅助工序成套机组,也可称为轧钢机。因此,轧钢机械设备,是指用于轧钢生产工艺全部所需的主要和一系列辅助工序成套机组所需要的机械设备。一个轧钢车间的机械设备往往可达数千吨至数万吨。

1.3.1 轧钢机械设备的分类

轧钢机械设备可分为两大类:轧钢主要设备和轧钢辅助设备。随着轧钢生产机械化、自动化程度的提高,辅助设备所占整个车间机械设备总重比例越来越大,有时达主要设备重量的3~4倍以上。

轧钢主要设备是指直接使轧件产生塑性变形的设备,也称为主机列或主机。主机包括工作机座及其传动装置和主电机等,工作机座主要由轧辊、轴承、轧辊调整装置、导卫装置及机架等组成,传动装置主要由主联轴器、减速器、齿轮机座、万向或梅花接轴等组成。

轧钢辅助设备是指主机列以外的各种设备,它用于完成轧钢生产的一系列辅助生产工序,如运输、加热、翻钢、热卷取、边部加热、剪切、酸洗、轧辊毛化、连续退火、连续镀锌、热镀锌、矫直、抛光等设备。

轧钢机是轧钢生产的主要机械设备。