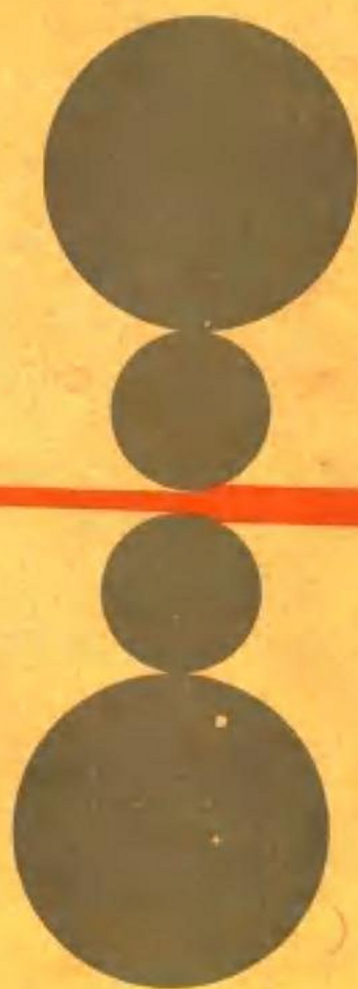


板带车间 机械设备设计

(上 册)

冶金工业出版社



内 容 简 介

本书以反映现代板、带材生产设备为重点,较系统地介绍了板、带轧机及其辅助设备的新结构、新的计算理论和计算方法。

全书分上、下两册,分别叙述了板、带轧机的主机及辅助设备。全书共二十一章,其中第一章叙述了板、带材生产工艺流程及设备概况,第二至第十二章叙述了轧机各组成部分的结构与计算方法,第十三至第十九章较系统地阐述了卷取机、矫正机、飞剪等各类辅助设备的结构选择与设计计算,最后两章扼要地介绍了液压伺服系统的设计计算及计算机控制的某些基础知识。为便于设计计算,书中附有大量的计算图表和数据,并列举了计算实例。

本书可供从事轧钢机械设计、研究、制造和生产技术人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

板带车间机械设备设计

(上 册)

冶金工业部有色金属加工设计研究院 主编

责任编辑 葛志祺

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 30 1/4 字数 721 千字

1983年3月第一版 1983年3月第一次印刷

印数 00,001~2,200 册

统一书号: 15062·3943 定价3.15元

前 言

随着国家四化建设的发展,国民经济各部门对板、带材的需要量愈来愈大,板、带材在整个轧材生产中所占的比重日趋增大,对产品的质量要求愈来愈高。

近十年来,板、带轧制设备有了新的发展,出现了许多新设备和新结构。除了直接引进国外新的技术装备外,国内正在设计和制造新的轧制设备,现有生产设备也需要用新技术改造,以实现挖潜、革新,进一步提高生产技术水平。为了适应当前技术发展的需要,在消化引进国外新技术的同时,我们编写了这本书,供从事板、带轧制设备设计研究、制造和生产的技术人员参考。

本书重点反映了七十年代板带车间机械设备的新结构、新的计算理论和计算方法;较系统地总结了国内各设计研究单位和制造厂设计板、带轧机的实践经验。鉴于液压技术和计算机技术的广泛应用,在书中我们选编了液压伺服系统的设计和轧机自动控制与检测元件两章,向读者提供这方面的基础知识。

本书分上、下两册出版。上册主要介绍轧机主机部分各类设备的结构与计算方法,下册介绍轧机辅机部分各类设备的结构与计算方法。

本书由冶金工业部武汉钢铁设计研究院、冶金工业部有色金属加工设计研究院、冶金工业部北京钢铁设计研究总院、上海冶金设计研究院、北京冶金设计院、鞍山钢铁公司设计院、冶金工业部重庆钢铁设计研究院等单位的有关技术人员集体编写。上册由冶金工业部有色金属加工设计研究院主编,由陈述良高级工程师负责审阅;下册由冶金工业部武汉钢铁设计院主编,由宗俊章高级工程师负责审阅。

参加上册的编写人员有:

欧光辉、喻飞鹏、周国盈、王宗萱、王泽彬、朱凤仪、盘才、朱学北、陈行忠、朱志强、叶楠、徐锡才、王红英、赵国安、胡和才。

参加下册的编写人员有:

鲍思贺、陈述良、刘启森、杨孝声、丛书和、邹祖华、樊经恕、张成阁、汪声铎、高荣元、秦季勋、刘洪武、陈启荣、王宗萱、唐经岳、田荣精、冯恩民、胡和才、汪兴培、宗俊章、范宝金。

上册插图由潘冬梅、孙潞兰描绘,下册插图由乔长英描绘。

本书在编写过程中,得到武汉钢铁公司、鞍山钢铁公司、太原钢铁公司、一机部第一重型机器厂、第二重型机器厂、上海重型机器厂、太原重型机器厂、西安重型机械研究所、北京钢铁学院、东北重型机械学院、重庆大学、中南矿冶学院等单位的大力支持和帮助,并提供了有关技术资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中存在的不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1981年10月

目 录

前言

第一章 板、带车间工艺概况及设备组成	1
第一节 热轧钢板、带材的生产与设备.....	1
一、热轧钢板和带材.....	1
二、板、带热轧机的分类.....	1
三、连轧生产的工艺过程和设备组成.....	5
四、热轧带钢的精整设备.....	13
第二节 冷轧钢板、带材的生产与设备.....	17
一、冷轧钢板和带材.....	17
二、普通薄钢板生产(包括深冲钢板).....	18
三、镀层钢板生产.....	25
四、电工硅钢板生产.....	28
五、不锈钢板生产.....	32
第三节 有色金属轧制工艺及设备.....	34
一、铜、铝及其合金板、带、箔材.....	34
二、铜、铝及其合金的轧制工艺.....	35
三、铜、铝及其合金的轧制设备.....	36
第二章 轧机的力能参数计算	43
第一节 轧制压力的计算.....	43
一、轧制过程基本概念.....	43
二、轧制时金属的变形阻力.....	45
三、轧制压力的计算公式.....	53
第二节 辊系受力分析与轧制力矩.....	61
一、简单轧制过程.....	61
二、单辊驱动的轧制过程.....	62
三、带张力的轧制过程.....	63
四、四辊轧机的轧制过程.....	64
五、四辊轧机辊系的稳定性.....	68
六、四辊冷轧机传动力矩的简化计算方法.....	72
七、二十辊轧机的辊系受力分析.....	74
第三节 轧机主电机功率计算.....	75
一、轧机的工作制度与主电机选型.....	75
二、主电机容量计算.....	79
第三章 轧机主传动装置	84
第一节 轧机主机列简介.....	84
一、轧机主机列的基本组成.....	84

二、轧机主机列的基本类型	84
第二节 齿轮机座和主减速器	87
一、齿轮机座的结构	87
二、主减速器的结构	93
三、齿轮传动参数	97
四、齿轮材料及热处理	98
第三节 万向接轴	99
一、万向接轴的结构	99
二、万向接轴的附属机构	103
三、万向接轴的运动学分析	107
四、滑块式万向接轴的尺寸参数与强度计算	110
第四节 弧形齿接轴	117
一、弧形齿接轴的优缺点	117
二、弧形齿接轴的结构	117
三、弧形齿齿形的几何计算	122
第五节 轧机主传动系统的扭转振动	124
一、系统扭振的基本问题	124
二、扭振系统的简化	125
三、扭振系统的固有频率	127
四、扭矩放大系数 (TAF)	130
五、电子计算机程序计算	132
六、系统设计过程	138
第四章 轧辊	140
第一节 轧辊的结构	140
一、轧辊的基本类型	140
二、减少轧辊应力集中的结构措施	141
三、空心辊的内孔结构	141
四、镶套式支承辊的结构与基本参数	144
第二节 轧辊的基本尺寸	148
一、轧辊辊身长度与支承辊直径	148
二、工作辊直径	148
三、轧辊的其他重要尺寸	150
第三节 轧辊的挠度计算	152
一、支承辊的挠度计算	153
二、工作辊的挠度计算	156
三、轧辊辊身中部与边部压力差值 Δq 之确定	157
四、计算实例	160
第四节 轧辊的强度计算	162
一、轧辊表面的接触应力	163

二、轧辊受横向压缩引起的应力·····	165
三、冷轧辊中的热应力·····	170
四、在轧辊中由弯矩和扭矩作用所产生的应力·····	177
五、轧辊的静强度计算及许用应力·····	183
六、轧辊的疲劳强度计算及疲劳安全系数·····	184
七、计算实例·····	189
第五节 轧辊材料与制造技术要求·····	192
一、轧辊材料·····	192
二、轧辊制造技术要求·····	193
第五章 轧辊轴承 ·····	197
第一节 滚动轴承·····	197
一、滚动轴承的类型·····	197
二、轴承的选用计算·····	204
三、轴承的润滑与密封·····	209
四、轴承组件的装配·····	212
第二节 动压轴承·····	214
一、动压轴承的工作原理·····	214
二、动压轴承的结构·····	216
三、动压轴承几何参数的选择·····	220
四、动压轴承的承载计算·····	223
五、动压轴承的设计计算步骤与计算实例·····	230
六、动压轴承的供油系统·····	232
第三节 静压轴承·····	233
一、静压轴承的特点与工作原理·····	233
二、静压轴承的结构·····	236
三、静压轴承的参数选择·····	237
第四节 动—静压轴承·····	238
一、动—静压轴承的工作特点·····	238
二、动—静压轴承的供油系统·····	239
第六章 轧机机架 ·····	242
第一节 牌坊的结构·····	243
一、整体式牌坊·····	244
二、组合式牌坊·····	246
第二节 牌坊的尺寸参数·····	248
第三节 闭式牌坊的强度计算·····	250
一、牌坊的受力分析·····	250
二、用分析法确定弯矩·····	252
三、用图解法确定弯矩·····	258
四、牌坊的静强度计算·····	265

五、牌坊的疲劳强度计算	267
第四节 闭式牌坊的挠度计算	269
一、牌坊在垂直方向上的挠度	269
二、牌坊在水平方向的挠度	274
三、计算实例	275
第五节 用有限单元法计算牌坊	280
第六节 牌坊制造的尺寸精度及制造、安装技术要求	284
一、牌坊的尺寸精度	284
二、牌坊制造技术要求	285
三、牌坊安装技术要求	287
第七节 机架的倾翻力矩计算与机架附件	287
一、机架的倾翻力矩计算	287
二、机架附件	290
第七章 轧辊的调整与平衡机构	293
第一节 电动压下装置	293
一、电动压下装置的结构	295
二、电动压下装置的传动型式	295
三、压下螺丝回松装置	300
四、压下装置的电磁离合器	303
五、压下装置的设计与计算	304
六、计算实例	313
第二节 液压压下装置	316
一、液压压下的发展	316
二、液压压下装置的特点	317
三、液压压下装置的基本类型	319
四、液压压下装置的控制方式	320
五、压下油缸	324
六、电液伺服阀	332
第三节 轧辊的平衡装置	337
一、平衡装置的类型	337
二、平衡力的确定	337
三、计算实例	342
第八章 轧机刚度	344
第一节 轧机刚度及其定义	344
一、轧机的刚度	344
二、轧机刚性系数的定义	345
第二节 轧机刚度与板厚控制	347
一、轧机的弹塑曲线(P-H图)	347
二、轧机刚度与板厚控制的关系	351

三、轧机的可控刚度	354
四、轧机刚性系数与板宽的关系	355
第三节 轧机弹性变形的计算方法	356
一、轧机工作机座弹性变形的组成	356
二、轧辊系的弹性变形 f_1	356
三、轧辊轴承的变形 f_2	361
四、牌坊的弹性变形 f_3	362
五、压下系统的弹性变形 f_4	362
六、轴承座的弹性变形 f_5	366
七、垫板等其他零件的弹性压缩变形 f_6	367
八、压力调心垫板的接触变形 f_7	368
九、计算实例	368
第四节 轧机刚度的实测方法与统计分析	375
一、轧机刚度的实测方法	375
二、轧机各部分的刚性	376
三、轧机刚性系数与支承辊直径的关系	376
四、提高轧机刚性的途径	377
第九章 轧机的辊型调节	379
第一节 辊型调节的基本概念	379
一、板材的横向厚差与板形	379
二、影响辊缝形状的各种因素	382
三、带材厚差的基本方程	383
第二节 辊型调节装置	384
一、辊型控制的方法	384
二、液压弯辊装置	385
第三节 液压弯辊的控制系统	390
一、减压阀控制系统	390
二、伺服阀控制系统	392
第四节 弯辊力的计算	394
第十章 换辊装置	402
第一节 换辊装置的基本类型	402
一、工作辊换辊装置的基本类型	402
二、支承辊换辊装置的基本类型	408
第二节 工作辊快速换辊装置	414
一、快速换辊装置的特点及设备组成	414
二、快速换辊装置的结构	414
三、快速换辊装置的综合分析	432
第三节 支承辊换辊装置	433
第十一章 活套支持器和导卫装置	439

第一节 活套支持器	439
一、电动活套支持器	439
二、气动活套支持器	446
三、液压活套支持器	451
第二节 导卫装置	451
一、热连轧机精轧机组的导卫装置	451
二、五机座冷连轧机的导卫装置	452
第十二章 立辊轧机	458
第一节 立辊轧机的用途及特点	458
一、立辊轧机的特点	458
二、立辊轧机的用途	458
三、生产工艺对立辊轧机的设计要求	458
第二节 立辊轧机的形式和结构	459
一、立辊轧机的组成	459
二、下传动式立辊轧机	459
三、上传动式立辊轧机	461
四、立辊的结构	466
五、立辊侧压螺丝的结构	469
第三节 立辊轧机的参数选择	470
一、立轧时金属的变形	470
二、立辊轧机的参数	470
参考文献	472

第一章 板、带车间工艺概况及设备组成

第一节 热轧钢板、带材的生产与设备

一、热轧钢板和带材

热轧钢板品种范围很大，按厚度和宽度分为厚板、薄板和带材三类。板材厚度等于或小于4毫米的为薄板，厚度大于4.5毫米、小于60毫米的为厚板，厚度在6毫米以下并以成卷供应时为带材。但习惯上热轧钢板又可分为特厚板、厚板、中板、薄板和带材几大类。热轧钢板的厚度和宽度范围见表1-1。

热轧钢板的分类 表 1-1

分 类	厚 度 范 围 ， 毫 米	宽 度 范 围 ， 毫 米
特 厚 板	>60	1200~5000
厚 板	20~60	600~3000
中 板	4.5~20	600~3000
薄 板	0.2~4.5	500~2500
带 材	<6	20~1500

热轧钢板按钢种可分为普通碳素钢板、优质碳素结构钢板、低合金结构钢板、碳素及合金工具钢板、电工硅钢薄板、不锈钢板、耐热及耐酸钢板、高温合金板及双金属复合钢板等。

按照钢板的不同用途，结构钢板可分为桥梁建筑钢板、锅炉钢板、压力容器钢板、造船钢板、汽车大梁钢板、航空用钢板、搪瓷薄钢板及焊管坯等。

热轧钢板的尺寸公差，尤其是厚度公差具有重要意义。它关系到金属的节约和制品的精度，因此，轧钢厂都争取按负公差轧制钢板，以节约金属用量。近年来对热轧钢板的宽度公差也给予极大的重视。

我国的热轧钢板尺寸公差见国家标准GB708—65和GB709—65的规定。

热轧钢板的板型公差，国家标准规定每米波浪度和瓢曲度对优质钢板应不大于10毫米，普通钢板（包括普通低合金结构钢板）不大于15毫米。

其他表面缺陷，一般以修磨后不超过板厚公差为限。

为检查钢板质量是否符合要求，除进行尺寸和外观的检查外，根据不同用途还要进行拉伸、冲击、冷弯、深冲、硬度和探伤等检验以及必要的化学成分分析和金相组织检查等。

随着生产技术的不断提高，用户对钢板和带材的质量要求日趋严格，同时也对轧制、精整及热处理等生产工艺不断提出更高的技术要求。

二、板、带热轧机的分类

板、带热轧机型式繁多，通常可分为特厚板轧机（或宽厚板轧机）、中厚板轧机、中

板轧机、叠轧薄板轧机、窄带钢轧机、行星轧机、炉卷轧机及连轧机等。从轧制工艺来说，有单张和成卷轧制之分。除特厚板和厚板轧机外，现代化轧机多趋向于成卷轧制工艺，以提高生产率和成品质量。

1. 特厚板和中厚板轧机

特厚板和中厚板轧机多采用单机座四辊轧机，或在前面再增设一台二辊或四辊粗轧机而构成双机座型式。生产产品除国防用钢板外，大量用于造船、大直径焊管、高压锅炉容器及大型建筑构件等。原料大多用初轧坯或扁锭，近年来也有使用连铸坯的。

这种类型的轧机特点是轧辊辊身长，轧机刚度大，轧制时承受的载荷大。它的产品范围很大，从厚度4毫米到250毫米以上，甚至有的达到400毫米。例如2800轧机可以生产4~50毫米的中厚板，4200毫米轧机可以生产8~250毫米的钢板。现代化的特厚板轧机所用的坯料重达45吨以上。轧辊辊身长度达5500毫米，支承辊直径达2000毫米，牌坊立柱断面达10000厘米²，年生产能力单机座达150万吨，双机座达200万吨。

此外，特厚板的热处理工作量甚大，这也是它的一个特点。用户经常要求钢板按调质、常化、退火、淬火或高温回火等状态交货，这样使车间工艺流程复杂化，一般精整区所占面积达全车间的40%以上。因此，近年来广泛采用了“控制轧制”等新工艺，以部分代替热处理工艺。所谓“控制轧制”，就是将板轧加热到低于传统轧制温度的奥氏体化温度（950~1100℃），保温一定时间，然后将开轧温度、变形程度、变形速度、终轧温度及冷却程序控制在一定范围内的轧制方法，使轧材得到理想的金相组织，如呈细晶粒的铁素体。这就要求轧机在低温大压下量的条件下工作，因而要求轧机的刚度大，承载能力强和自动控制水平高。

2. 行星轧机

行星轧机的工艺流程如图1-1所示。板坯在快速加热炉中加热到所需温度后，经过立辊轧边，高压水除鳞装置清除氧化铁皮后，由送料辊通过导板喂入行星轧机进行轧制。轧出的带材由精轧机轧平行星辊留下的周期性增厚部分。行星轧机与精轧机之间设有活套支持器，带钢与轧机间保持有均匀的张力。从精轧机出来的带钢，在运输辊道上由飞剪切去头尾，并喷水冷却到卷取温度，送入卷取机卷成带卷。

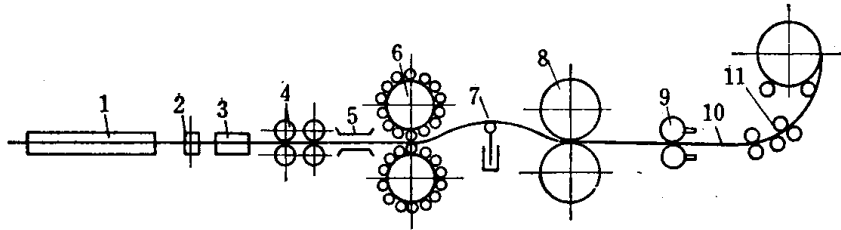


图 1-1 行星轧机工艺流程示意图

1—快速加热炉；2—立辊；3—高压水除鳞装置；4—送料辊；5—导板；6—行星轧机；7—活套支持器；8—精轧机；9—飞剪；10—运输辊道；11—卷取机

行星轧机除了典型的二辊式外，尚有单辊行星轧机和双层行星辊的行星轧机，前者可以简化复杂的同步机构，后者据称可以不设精轧机。

行星轧机可以热轧厚度2~6毫米的钢带（有时最小厚度可达0.8毫米）。目前国外轧辊辊身长度为1450毫米的行星轧机能生产宽度为1300毫米的带卷。轧制速度一般不大于2米/

秒。这种轧机的缺点是生产能力不高，结构复杂，工作时振动大，设备磨损快，作业率低。优点是设备重量和厂房生产面积都较小，板坯经一个道次就能轧成薄板，压缩率高达90%以上，因此轧件头尾温差小，轧制温度容易控制。同时由于压下量大，轧制时轧件温度可上升达200°C，因此加热温度可较低。由于行星轧机具有上述特点，适于小批量、多品种特别是加工温度范围窄及难于变形的特殊钢和高合金钢的生产。

将行星轧机和连续铸钢机联合起来，直接用经过均热的连铸坯生产薄板，或在行星轧机后配一组连轧机，来提高轧制速度和产量。这是较理想的方案。

3. 炉卷轧机

炉卷轧机的工作机座前后部分，设有带保温炉的卷取机（图1-2），因此可以在热状态下实现成卷带钢的可逆轧制。

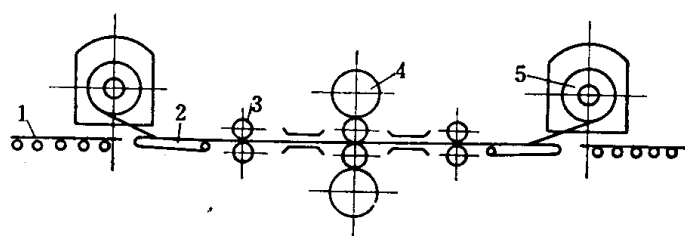


图 1-2 炉卷轧机示意图

1—运输辊道；2—活动导板；3—送料辊；4—四辊可逆轧机；
5—带保温炉的卷取机

板坯在连续式加热炉中加热后，通过高压水除鳞，然后在二辊宽展轧机和带立辊的四辊万能粗轧机上分别轧制一定道次，将板坯轧成厚10~20毫米的带坯，在飞剪机上切除头尾，然后喂入带炉内卷取机的四辊可逆式精轧机进行可逆轧制。由于每道轧制轧件端部均需通过轧辊，因而每道次开始时都需以咬入速度（0.5~2.5米/秒）轧制，使轧件端部容易进入卷取机。咬入后，卷取机与轧机同步增速到正常轧制速度，而在每道次终了时，必须及时制动，以防轧件尾部进入保温炉内。这样频繁改变的操作制度必须依赖自动控制才能实现并限制了轧机速度的提高。一般在炉卷轧机上轧制3~5道次，轧成要求厚度后，通过运输辊道冷却到卷取温度，在成品卷取机上卷成钢卷。

轧机的产品厚度范围一般为1.5~10毫米，轧制速度变化范围为0.5~8.5米/秒，年产量约15~60万吨。

炉卷轧机的优点是可以轧制变形温度范围较窄的难变形钢种，并且可以调节炉温，控制轧件的终轧温度；其次，与连轧机相比，设备重量轻，占地面积小。其缺点是轧机操作复杂，金属烧损多，轧出带钢厚度偏差大，表面质量及板形均较差，生产能力也不高，因而影响到它的广泛使用。

4. 连续式轧机

热带钢连轧机主要用来生产成品厚度为1.2~16（或0.8~25）毫米的热轧宽带钢。由板坯初轧机或连续铸钢机供给坯料。经过清理的板坯，在加热炉中加热到要求温度（约1250°C）后，通过破鳞机清除加热时产生的氧化铁皮，再送到粗轧机组轧成厚度为20~40毫米的带坯，然后由中间辊道输送到精轧机组上进行轧制。在进入精轧机前，先经飞剪切去头尾，经破鳞机清除中间辊道上形成的再生氧化铁皮，在精轧机组上轧成要求厚度的带

钢，通过输出辊道，经强制冷却到卷取温度（约600℃），并在卷取机上卷成钢卷，经过打捆、称量、打印等工序，由链式运输机送到钢卷仓库堆放冷却。

宽带钢热连轧机按粗轧机组的不同配置可分为全连续式、半连续式和四分之三连续式等（图1-3）。全连续式与半连续式相比，除生产能力更大外，还具有操作简单，成品质量较好的优点。近年来，出现了四分之三连轧机，除生产能力与全连轧相仿外，还具有投资较省、适应性较大和适于分期建设等优点。

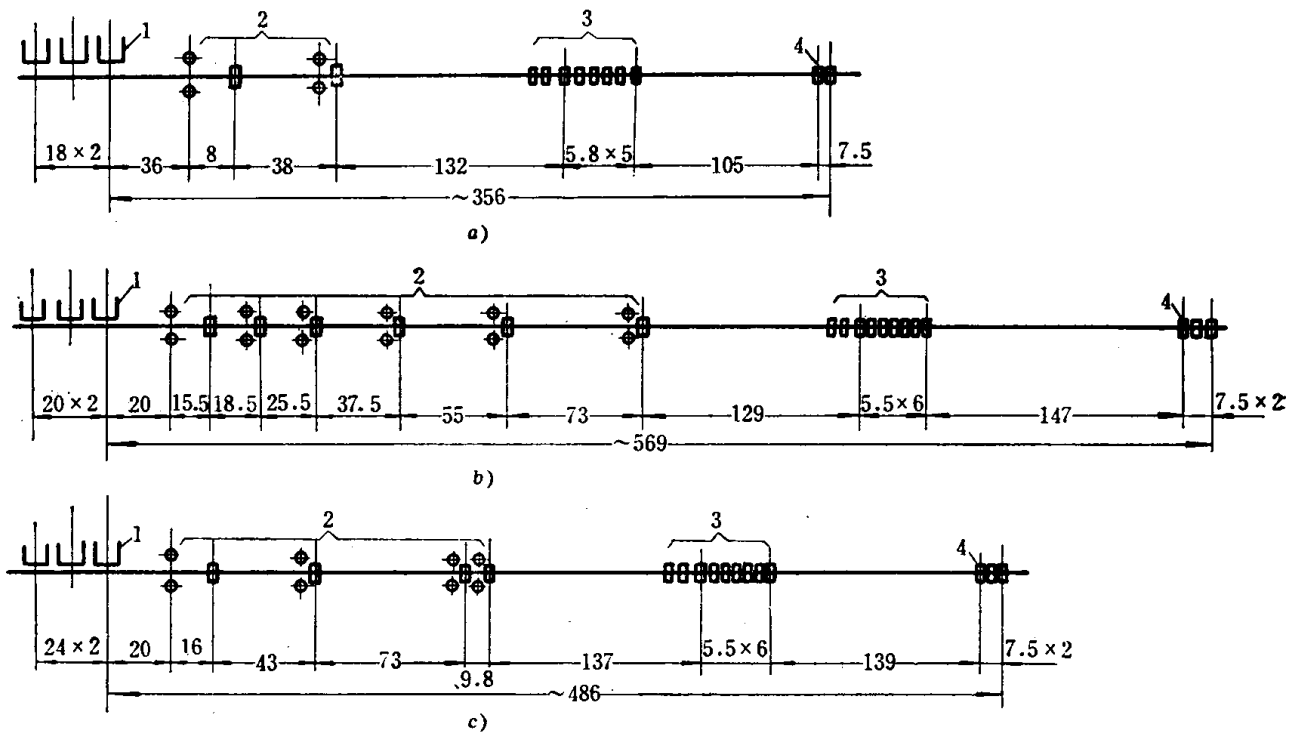


图 1-3 宽带钢热连轧机的设备组成（图中单位以米计）

a—半连续式；b—全连续式；c—3/4连续式

1—加热炉；2—粗轧机组；3—精轧机组；4—卷取机

除了图1-3配置型式外，还有双可逆式粗轧机等型式。所谓双可逆式粗轧机，就是用两台相同的四辊可逆式万能轧机来代替初轧机组，以连轧方式进行可逆轧制。这种配置方式可使轧制线大为缩短，生产能力也不受粗轧机组的影响，具有分期建设的条件，但使主电机控制系统复杂化。

现代化的宽带钢热连轧机尽管设备重量大，投资高，建设时间长，但由于它具有生产能力大，金属收得率高及产品质量稳定、操作简单、适于自动化等显著优点，因此获得广泛的应用。

连轧机的发展大致可分三个阶段，即所谓第一代、第二代和第三代轧机。第一代轧机的精轧机用人工操作，加速时张力不能稳定控制，轧机速度受穿带速度的限制，一般出口速度小于10米/秒。由于温降的影响，也就限制了板坯重量的加大。1961年出现的第二代轧机，采用了厚度自动控制、恒张力控制等一系列自动化措施，改善了主电机的供电调速系统，使精轧实现了升速轧制工艺，出口速度提高到20米/秒，板坯重量也相应加大，轧机能力成倍提高。同时，由于采用了板形控制系统等装置，带钢质量也有很大改善。在计算机控制技术应用到连轧生产以后，就出现了第三代轧机。目前计算机已能控制生产的全过

程，包括一系列的溫度控制措施，如改善加熱制度，實現調速軋制，採用控制冷卻等措施獲得理想的終軋溫度和卷取溫度，使板坯全長上的溫差下降到最小程度，加之軋機工作機座數量的增加，軋制速度的提高，近距離卷取機的採用，使軋機的生產能力和產品質量都有大幅度的提高，產品規格也進一步擴大。

各發展階段的热帶鋼連軋機的主要參數列於表1-2。

熱帶鋼連軋機各發展階段的主要技術指標 表 1-2

技 術 指 標	第 一 代	第 二 代	第 三 代
年產量，萬噸	80~150	150~300	300~600
成品厚度，毫米	1.8~8	1.2~12	1~25 ^①
最大出口速度，米/秒	10	15~20	24~27 ^②
單位卷重，噸/米	5~10	10~18	27~36
板坯厚度，毫米	120~180	150~250	300~360
板坯長度，米	5	10	12~15
板坯重量，噸	5~10	10~27	25~45
粗軋機機座數，個	4（全連軋） 2（半連軋）	6（全連軋） 4（3/4連軋）	6（全連軋） 4（3/4連軋）
精軋機機座數，個	5~6	6~7	7~(9) ^③
精軋機軋輥直徑，毫米	650/1250	725/1520	760~850/1700
成品厚度公差，毫米	±0.3	±0.1	±0.05
成品寬度公差，毫米	—	—	+5

注：①設置9個機座時，成品厚度最薄可達0.8毫米。

②設置9個機座時，最大出口速度可達30米/秒。

③第9機座是預計裝設的機座。

從表1-2所列數據可以看出，今后的軋機正向大型、高速和自動化方向發展。熱帶鋼連軋機將達到以下指標：板坯（連鑄坯）重量50~70噸，板坯厚度350~400毫米，精軋機工作機座數量8~9個，出口速度35米/秒，軋制厚度0.8~25毫米，年產量600~800萬噸。隨着產品規格的擴大，連軋機正向按成品板厚分類和向專用化的方向發展。

三、連軋生產的工藝過程和設備組成

1. 原料準備

連軋機採用初軋坯或連鑄坯為原料，坯料厚度為120~300毫米，最厚達350毫米。選擇板坯厚度，必須考慮板坯初軋機或連鑄機的能力和連軋機上的軋制道次。在新建的連軋機上，由於單位卷重的增加，常採用厚度大於300毫米的板坯。

板坯寬度一般與軋成的帶鋼寬度相同或大於帶鋼寬度50~100毫米，這是因為在連軋機上大都取消了寬展的工藝，由於連鑄坯規格變化受結晶器的限制，因而採用大立輥軋制生產不同寬度的帶鋼。現代板坯初軋機生產的板坯寬度為1700~2300毫米。

板坯的長度為9~12米，最長達15米。板坯長度受加熱爐爐膛寬度的限制，更主要的是受軋件溫降的限制。對於溫度控制較嚴或難軋的鋼種，常取板坯正常長度的一半，以免軋制時軋件頭尾溫差太大。

對於板坯寬度與帶鋼寬度相同的情況，板坯長度與板坯厚度和單位卷重的關係如下：

$$L = 129 \frac{W}{H}$$

式中 L ——板坯长度，米；

W ——钢带卷单位宽度的重量，吨/米；

H ——板坯厚度，毫米。

板坯重量直接决定单位卷重。目前最大板坯重量达45吨，今后有增大的趋势。在现代化轧机上，最大单位卷重已达27~36吨/米。增加卷重可以显著提高轧机的产量和收得率。但卷重的增加，必须加大机械设备，增加工作机座数量和机座之间的距离。为了避免温降和头尾温差太大，必须提高轧制速度，因而也增加了主电机的功率。随着轧制速度和对轧材质量要求的提高，需要更复杂的自动控制技术，包括用计算机进行全过程的设定和监控。因此，板坯重量必须合理选定。

板坯在加热前必须清除表面缺陷，以保证成品带钢的表面质量。在一些板坯初轧机上，常设有火焰清理机全面清理板坯上、下表面，这对一般钢种来说，也创造了热态装炉的条件。对于质量要求较高的板坯，尚需进行局部修磨清理，以消除较深的缺陷。某些对温度敏感的钢种，还要求在热状态下进行局部修磨。

经过清理的板坯堆放于板坯库中，按计划送加热炉进行加热和轧制。在一个轧制单位（即精轧工作辊一个换辊周期）中，为适应精轧机工作辊磨损情况及得到最佳的产品质量，一般原则是先轧容易轧制的产品，如厚度适中、宽度不大的低碳钢带（通常称为始轧材），其目的是为了烫辊和取得数据进行再调整，然后迅速改换为宽而薄的品种规格，再逐步向窄而厚的品种过渡。

2. 加热炉

由于对成品质量和公差要求日趋严格，因此板坯的加热质量也就愈来愈得到重视。

连轧机的板坯加热设备，是由3~5座连续式或步进式加热炉组成。加热温度一般为1250~1280°C。连续式加热炉的优点是建造费用较低，燃料消耗和动力消耗也较少，机械设备简单，便于维护；缺点是加热过程中钢坯与滑道接触造成局部黑印和容易产生钢坯底面划伤，板坯厚度相差不能太大，均热时带氧化铁皮较多，停炉检修时炉内钢坯排空困难及炉子长度受板坯最小厚度的限制等。

当采用步进式加热炉时，由于钢坯在炉内没有滑动，钢坯间保持有一定的间隙，步进机构动作可根据要求灵活变更，因而基本上消除了连续式加热炉所存在的缺点，同时也扩大了炉子的生产能力。目前，步进式加热炉炉底强度一般可达700~800公斤/米²·小时，最大产量可达420吨/小时。现代化的加热炉均为多段式，各段温度能单独调节，并将均热段沿炉宽方向分成两个控制区，使板坯后端温度稍高于前端，以补偿轧制时的温降。近年来，加热炉开始采用电子计算机自动控制每块板坯的加热过程，使加热质量、燃料消耗、加热能力等更趋于理想。

加热炉的上料方式大致有以下三种：

- 1) 在加热炉输入辊道两端（或一端）设置分垛台，用以放置由吊车运来的成垛板坯。当板垛升高一定的距离时，用推钢机将一块块板坯推到输入辊道上，逐块运到加热炉前。

- 2) 为提高吊车使用率，装垛和分垛可分别在两个台上进行。受料台在受料时升起，接受板垛后下降，由中间辊道将板垛运往分垛台或暂存于中间辊道上。

- 3) 在有的机组上，采用一台横跨于上料辊道上专用于分块上料的半门型吊车。这样

成垛的板坯只要置于半门形吊车的吊装范围内，就可将板坯逐块吊放到上料辊道上。

在上料辊道上有时也设置板坯清洗装置，用水冲洗板坯表面；也有设置称量、打印设备的，以便测得准确的板坯重量。

板坯用推钢机推入加热炉内。推钢机的两个推杆一般可以单独操作和联合操作，以适应推单排长坯和双排短坯的需要。现代化连续式加热炉炉长可达板坯厚度的280倍，推钢机的推力达400吨以上。步进式炉的推钢机只用来将板坯推入炉内，一次只推一块板坯，因而设备可大大减轻。

在旧式加热炉的出料端，有出炉滑架和缓冲器，以减轻板坯对辊道的冲击。在现代化加热炉中，出钢机将板坯托起移送到输出辊道上，这样既消除了冲击，又避免了板坯的划伤。

国内连轧机加热设备主要性能见表1-3。

国内连轧机加热设备主要性能

表 1-3

主 要 性 能	轧 机 规 格		
	2800/1700	本钢1700	武钢1700
轧机年产量,万吨	80	160	300
加热炉型式	三段连续式	六段连续式	八段步进式
加热炉数量,个	3	3	3 (5)
板坯尺寸(厚×宽×长),毫米	115~250×700~1550 ×1000~5500	120~250×800~1600 ×3500~9000	150~250×500~1600 ×4000~10000
最大板坯重量,吨	7.5	24	30
炉底面积(宽×长),米 ²	6.15×30.275	9.628×33.06	10.7×34
每座加热炉生产能力,吨/小时	100	200	270
上料方式	半门型吊, 辊道上料	同 左	同 左
推钢机型式	双排齿条式	同 左	同 左
推钢机推力,吨	240	400	30
推杆移动速度(工作/返回), 米/秒	0.19	0.1/0.22	0.25
推杆最大行程,米	2.7	3.8	5.0
步进梁最大行程,米	—	—	0.6
步进梁最长工作周期,秒	—	—	45
步进梁最大荷重,吨	—	—	665
出料方式	出炉滑架和缓冲器	梁抬升, 齿条移送式出钢机	同 左
出钢机最大行程,米	—	4.4	4.95
出钢速度,米/秒	—	0.56	0.6/1.2

3. 粗轧机组

板坯在轧制前必须彻底清除加热时产生的氧化铁皮。粗轧前，一般采用大立辊轧机破鳞，轧辊直径为1000~1200毫米，压下量为50毫米或稍大，大多数立辊轧机都由一台1000~1500千瓦的同步电动机传动，轧制速度为1~1.25米/秒。除破碎加热时所产生的氧化铁皮外，大立辊轧机还可起到控制和调节板宽的作用。立轧时的压下量不宜过大，以免造成板边折叠现象。近年来，由于板坯厚度的增加和连铸坯宽度规格的限制，有采用加大立轧总压下量（达150毫米）以改变板材宽度的作法，这就要求立辊机座的强度更高。

大立辊轧机的进口处设有侧导板，大立辊轧机前或后设有高压水除鳞装置，用120~150公斤/厘米²的高压水冲除板坯表面的氧化铁皮。为保证轧材质量，目前各粗轧机座前都有高压水喷嘴，以冲除再生氧化铁皮。

板坯的开轧温度为1180~1220℃，在粗轧机组上轧制5~7道次，可将厚度为120~300毫米的板坯轧成厚20~40毫米的带坯，总延伸率为8~12倍。各道次压缩率的分配如表1-4所示。当轧制道次较少时，取压缩率的较高值。

粗轧机组各道次压缩率的分配 表 1-4

轧制道次	1	2	3	4	5	6
相对压缩率 %	15~23	20~30	26~35	27~40	30~50	33~35

粗轧机的典型布置（图1-3）有全连续式、半连续式和四分之三连续式三种。半连续式是在大立辊后设置一个可逆或不可逆式二辊机座，可逆式二辊机座主要用于复合式半连续轧机，作为中厚板横轧宽展用。半连续式除投资较省外，还可灵活改变压下量和轧制道次。全连续式是在大立辊设置5~6个二辊或四辊不可逆机座，通常前2~3机座为二辊式，后几个机座为四辊式。除第一机座外，均带有立辊，以控制轧件宽度。四分之三连续式是在大立辊后设置3~4个粗轧机座，包括一个二辊不可逆式、一个带立辊的四辊可逆式和两个带立辊的四辊不可逆式机座。四分之三连续式综合了半连续式和全连续式的优点，在二辊可逆式机座上轧3~5道，后两个机座亦为连轧。由于薄钢板的产量受精轧机的限制，故四分之三连续式与全连续式生产能力相差不大。

粗轧机的轧辊直径，在二辊轧机上一般为1100~1270毫米，为改善咬入条件，有的将轧辊直径增大到1400毫米。四辊轧机的工作辊直径一般为900~1200毫米，支承辊直径通常与精轧机相同，多为1350~1570毫米，最大可达1700毫米。对于可逆式粗轧机，还要求有较大的开口度和较高的压下速度。粗轧机的出口速度一般为2~4.5米/秒，最大可达5.5米/秒。粗轧机的主电机对于不可逆轧机一般采用同步电动机，可逆轧机采用直流电动机。

连接粗轧机组与精轧机组的中间辊道的长度由带坯长度和操作制度决定。辊道的速度应随工艺过程要求而变。当轧件由末架轧机轧出时，中间辊道速度应与轧机同步；当轧件尾端出轧机后，辊道速度应立即下降到与切头飞剪的速度相适应；当轧件尾端离开辊道后，辊道速度应上升到与轧机同步的速度，以等待下一轧件的到来。中间辊道可分段进行控制。

在中间辊道上，大都设有废品推出机和废品台架，以处理轧废的带坯。也有装设废品剪切设备来处理的。

此外，随着单位卷重的增加和精轧机组速度的提高，为了控制轧件的终轧温度，必须考虑在中间辊道上设置保温和冷却装置，以便带坯较薄时进行保温，带坯较厚时进行冷却，获得理想的终轧温度。

国内连轧机粗轧机组主要技术性能见表1-5。

4. 精轧机组