

现代钢铁 工业技术

现代带钢 热连轧机的自动化

唐 谋 凤 编 著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书着重介绍现代带钢热连轧机生产过程自动化,同时也介绍与生产过程自动化有关的轧制工艺、设备、加热炉、供电等方面七十年代、八十年代的高新技术。全文共十一章,其中第一章叙述了带钢热连轧机及自动化发展概况;第二章至第四章叙述了带钢热连轧生产的工艺流程与自动化、工艺设备基本参数及有关方程、工艺特点及其对电力拖动自动控制的要求,第五章叙述了精轧机主传动电控系统,第六章至第七章分别叙述了带活套与不带活套装置的微张力自动控制系统,第八章叙述了带钢热连轧机的计算机控制与轧线检测仪表,第九章至第十一章分别叙述了带钢热连轧机的厚度自动控制、位置自动控制、温度自动控制。

本书可供从事冶金自动化工作的科技人员、具有一定文化水平的技术工人、高等院校的有关专业师生参考;对其它部门从事自动化工作的工程技术人员也有一定的参考价值。

现代钢铁工业技术 现代带钢热连轧机的自动化

唐谋凤 编著

(内部发行)

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街原铁院北楼39号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 20 1/2 字数 487 千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

印数00,001~1,200册

ISBN 7-5024-0064-8

TF·17 定价5.05元

前 言

宽带钢是现今用途最广、用量最多的一种钢材。它不仅是汽车、电机、化工、造船等工业不可缺少的材料，还可用于焊管及冷弯型钢，因此它是一种重要的工业材料。而目前大规模高效率地生产优质的宽幅钢板，主要是在连续式和半连续式带钢热连轧机上进行的。近几十年来，热连轧板卷的生产在轧钢生产中发展最迅速，亦是各种新技术得到最广泛应用的一个领域，而生产过程自动化是迅速提高产品产量和获得优质产品的重要途径。因此，在一定程度上各国轧钢自动化水平都以带钢热连轧机自动化的程度来衡量。

目前国内现有带钢热连轧机(除由日本引进的武钢1700毫米带钢热连轧机和正在建设中的、从西德引进的宝钢2050毫米带钢热连轧机外)与国外同类型轧机先进水平相比，差距甚大，基本上属于四十、五十年代水平，要达到使用计算机控制和管理、使之接近国际先进水平，必须做出艰苦努力，各方通力合作，吸收国外先进技术和经验，不断进行技术改进和设备更新，以实现带钢连续轧制工艺和轧机生产过程自动化。

有关现代带钢热连轧机自动化的书籍(文献)目前比较缺乏。本书是根据参加1700毫米带钢热连轧机的安装、调试工作的实践和对国内外有关具有七十、八十年代水平的现代带钢热连轧自动化新技术资料的消化理解而写成的。

第一章至第四章由武汉钢铁设计研究院王广泰副总工程师负责审阅。第五章至第十一章由武汉钢铁设计研究院李庆尧副总工程师负责审阅。

本书在编写过程中，得到冶金部基建局设计处王洪才同志、武汉钢铁设计研究院黄卫中院长的极大支持和帮助；上海工业大学自动化系陈伯时教授、中南工业大学自动化系张明达副教授对书稿的内容提出了宝贵的意见，武汉钢铁设计研究院肖远康同志帮助绘制了一部分书稿插图，在此谨致衷心的感谢。

由于编著者水平有限，不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者

1986年10月

目 录

第一章 带钢热连轧机及其自动化的发展概况	1
第一节 带钢热连轧机的发展概况	1
一、概述	1
二、现代带钢热连轧机技术发展的特点	3
三、现代带钢热连轧机的新技术和新工艺	5
第二节 带钢热连轧机自动化发展概况	10
一、概述	10
二、控制系统和自动化	16
三、计算机控制	17
第二章 带钢热连轧机的生产工艺过程及其自动化	22
第一节 带钢热连轧机的基本型式	22
一、半连续式带钢热连轧机粗轧机组的布置形式	22
二、全连续式带钢热连轧机粗轧机组的布置形式	22
三、四分之三连续式连轧机粗轧机组的布置形式	23
第二节 带钢热连轧机的生产工艺过程	25
第三节 带钢热连轧机轧线主要设备及自动化	29
一、加热炉区主要设备及自动化	29
二、粗轧区主要设备及自动化	36
三、精轧区主要设备及自动化	37
四、卷取区主要设备及自动化	45
第三章 带钢热连轧机生产的基本参数及其方程	51
第一节 带钢热连轧机生产基本参数	51
一、基本参数的分类	51
二、轧制过程的基本参数	52
第二节 带钢热连轧机生产过程的基本方程	62
一、弹性变形方程与弹跳方程	62
二、板型方程	66
三、流量方程	69
第四章 带钢热连轧的工艺特点及其对电力拖动自动控制的要求	71
第一节 带钢热连轧机生产工艺的特点	71
一、生产工艺过程连续性	71
二、错综复杂的综合系统	72
第二节 带钢热连轧工艺对电力拖动自动控制系统的要求	76
一、对各个机架轧制速度匹配的要求	76
二、对静差率的要求	77
三、对调速范围 D 的要求	79
四、对动态指标的要求	79

五、对主传动速度制度的要求	81
六、对其他方面的要求	85
第五章 带钢热连轧机精轧主传动电控系统	86
第一节 精轧机主传动电控系统的主要特点	86
一、电控设备	86
二、可控硅整流装置	86
三、在供电系统上采取的改善可控硅供电对电网影响的措施	90
四、控制系统	94
第二节 主传动系统的结构形式及其对典型环节的分析	95
一、电压调节器	96
二、电流变化率调节器	106
三、负荷平衡控制调节器	110
四、电流检测装置与反馈环节	111
五、自动增益切换(或称速度自适应)环节	113
第六章 带钢热连轧机活套装置微张力自动控制	124
第一节 活套装置微张力自动控制的必要性	124
第二节 活套装置	126
一、活套装置的作用及其类型	126
二、现代带钢热连轧机对活套装置性能的要求	128
三、机架间活套量的计算	133
四、活套装置所需之力矩	134
第三节 活套高度自动控制(电动活套为例)	137
一、活套高度自动控制的概念	137
二、活套高度自动控制系统的工作原理	137
三、几个主要单元的说明	140
第四节 活套装置张力自动控制	147
一、活套张力控制的概念	147
二、活套张力自动控制系统	148
第七章 现代带钢热连轧机的无活套微张力自动控制	155
第一节 问题的提出	155
第二节 张力的检测	157
第三节 张力与速度变化的关系	161
第四节 粗轧机组双机连轧的无活套微张力自动控制系统	165
一、系统的工作原理	165
二、几个主要环节的说明	168
第五节 精轧机组无活套微张力自动控制的探讨	176
一、机架间张力确定的方法	176
二、试验控制系统	178
第六节 结束语	180
第八章 带钢热连轧机的计算机控制与轧线检测仪表	181

第一节 概述	181
一、带钢热连轧机的计算机控制发展概况及我国带钢热连轧机计算机控制系统现状	181
二、某些控制概念和名词术语	182
三、计算机控制的主要功能	186
第二节 计算机控制系统的构成	187
一、控制系统的基本结构	187
二、硬件系统的构成(以某带钢热连轧机为例)	188
三、软件的配置	194
第三节 轧件的跟踪	196
一、跟踪的目的与要求	196
二、轧制线上跟踪区段的划分及跟踪指示器	197
三、计算机控制系统跟踪功能的实现与数据区结构	199
第四节 轧制节奏控制	203
一、轧制节奏控制的目的	203
二、轧制节奏控制方式	204
第五节 精轧机组速度的设定	205
一、速度设定方式(参见第四章第二节)	205
二、减速开始机架的确定	208
第六节 带钢热连轧机轧线检测仪表简介	209
一、概述	209
二、主要几种检测仪表简介	210
第九章 带钢热连轧机厚度自动控制AGC (Automatic Gauge Control)	221
第一节 概述	221
第二节 带钢纵向厚度波动的原因	222
一、轧件来料厚度的波动	222
二、带坯纵向温度变化的影响	224
三、连轧过程中辊缝的变化	225
第三节 AGC的控制原理及其基本形式	227
一、AGC控制原理	227
二、厚度自动控制的基本形式	229
三、几种形式AGC的数学模型	229
第四节 几种形式的AGC控制系统	231
一、直接测厚方式AGC系统	231
二、GM(厚度计)方式AGC系统	231
三、FF(前馈或预控)式AGC系统	238
四、监控AGC系统	240
五、张力微调AGC系统(简称TV系统)	241
六、各种补偿AGC	242
第五节 液压式厚度自动控制系统	246
一、液压AGC系统的基本原理	246
二、液压AGC自动控制系统实例	249

第六节 DDC-AGC系统实例	256
一、系统简介	256
二、应用效果	257
第十章 带钢热连轧机位置自动控制	261
第一节 概述	261
一、APC系统简介	261
二、APC程序包	261
第二节 位置自动控制系统的基本原理	266
一、APC系统的组成	266
二、DDC-APC系统的基本原理(参见图10-6)	274
第三节 提高位置控制精度和安全可靠性的措施	275
一、校核、检查	275
二、重复设定	275
三、消除间隙	275
第四节 DDC-APC系统具体实例	276
一、精轧机压下系统主要设备参数	276
二、压下装置对控制系统的要求	277
三、压下装置的工作方式	277
四、压下位置的设定计算	278
五、压下装置APC控制框图及设定过程	284
第十一章 带钢热连轧机的温度自动控制	292
第一节 带钢热连轧机生产过程中的温降方程	292
一、传热的三种基本方式	292
二、带钢热连轧过程中的温降方程	295
第二节 终轧温度自动控制	300
一、带钢头部终轧温度控制	300
二、带钢全长终轧温度控制	301
第三节 卷取温度自动控制	304
一、带钢卷取温度自动控制的意義与控制手段	304
二、卷取温度控制的基本原理	306
三、卷取温度控制数学模型的基本结构	309
四、几个具体的控制模型	312
五、控制方案	313
六、卷取温度控制模型几个主要参数的调整	315
参考文献	318

第一章 带钢热连轧机及其自动化的发展概况

第一节 带钢热连轧机的发展概况

一、概述

薄板、带钢生产比重日益增长是现代轧钢生产发展的一个主要趋势。热轧及冷轧带钢不仅直接用于汽车、电机、化工、机械制造、罐头、建筑、造船等工业部门，而且还大量地用于制造焊管和冷弯型钢等钢材。因此，热轧和冷轧带钢是重要的工业原料，在国民经济中占有重要的地位。

目前大规模高效率地生产优质热轧薄板和带钢，主要是在连续式和半连续式带钢热连轧机上进行的。因此，近几十年来热连轧板卷的生产，在轧钢生产中发展最迅速，也是各种新技术应用最广泛的一个领域。故热轧带钢轧机的水平，在一定程度上反映了一个国家钢铁工业的技术水平。

本书所指的带钢热连轧机均系宽带钢轧机。所谓宽带钢是相对窄带钢而言的。一般以宽度等于或小于600毫米的带钢称为窄带钢，而宽度大于600毫米的带钢则称为宽带钢。由于各国习惯不同，其规定稍有差异，例如美国是以635毫米（相当25英寸），欧洲一些国家是以500毫米，日本和我国基本上是以600毫米作为宽带钢与窄带钢划分的界限。就轧机而言，是以辊身长度为864毫米（相当34英寸）作为宽带钢和窄带钢的划分界限的。一般将辊身长度大于900毫米的轧机，均称为宽带钢轧机。

世界上第一套宽带钢半连续式热轧机，于1892年建于捷克斯洛伐克的特布里兹，但未能正式投产。其主要原因是轧制速度太低（2米/秒），并且是二辊式轧机。因此，无法生产出合格的热轧带钢。直到1926年才在美国实现了热宽带钢的连续轧制。

由于带钢热连轧机的产量高，能轧制较薄的带材，特别是厚度在15~16毫米以下的带材必须采用高温轧制，否则在轧制过程中，带材将会很快地冷下来，难以轧制，所以自1926年第一套带钢热连轧机在美国投产以来，许多国家相继迅速建设了这类轧机。据不完全统计，到1985年为止，世界上拥有的宽带钢热连轧机约为162套。

在带钢热连轧机问世及相继发展的同时，还出现了炉卷轧机。但是这种轧机轧出的带钢厚差大、表面质量差、生产成本低，影响了它的广泛使用。随后又出现了行星式热轧带钢轧机。这种轧机占地面积小，可以轧制特种钢，但因轧制时振动大、设备磨损快、轧机作业率低、产品质量差，因此也没有得到广泛使用。最近奥钢联开发一种热轧带钢生产的新工艺，采用一种可逆式紧凑轧机生产热轧带钢。其典型的车间布置方案是两架串列布置的四辊式带钢可逆轧机。可生产尺寸公差和组织性能均匀的热轧带钢。目前热轧带钢绝大部分还是由带钢热连轧机生产的。

根据带钢热连轧机的生产工艺和轧机的装备水平不同，其发展过程大致分为三个时期（即所谓“三代”）：

1960年以前为“第一代”；

1961~1969年为“第二代”；

1970年~现在为“第三代”。

三个时期的技术指标发展概况如表1-1所示。

表 1-1 带钢热连轧机发展概况

技 术 参 数	年 代		
	1960年以前	1961~1969年	1970年~现在
年产量, 百万吨	1~2	2.5~3.5	3.5~6
轧制速度, 米/秒	10~12	15~21	28~30
板坯重量, 吨	5~10	27~40	30~45
带卷单位宽度重量, 公斤/毫米	4~11	12~21	27~36
板坯尺寸, 毫米厚度×长度	125~200×5000~6000	180~250×12500	250~360×12000~15000
成品带钢厚度, 毫米	2~10	1.5~12.7	0.8~25.4
板坯加热炉能力, 吨/小时·座	50~120	150~250	300~420
粗轧后板坯厚度, 毫米	20	30	30~60
精轧机组机架数, 架	5~6	6~7	7~9
粗轧机组机架数及热轧方式	1~2架可逆或四架全连轧	5~6架全连轧或3/4连轧	5~6架(预留第7架)全连轧或3/4连轧
粗轧机组主传动功率, 千瓦	22000	44000	59000
精轧机组主传动功率, 千瓦	22000	59000	88000
轧机主传动总功率, 千瓦	可达44000	100000	150000
供电方式	机组和承弧整流	承弧整流和可控硅	可 控 硅
成品厚度公差, 毫米	±0.15~0.10	±0.10~0.05	±0.05~0.03
成品宽度公差, 毫米	±20~30	±10~15	±5~10
终轧温度公差, ℃	±50~20	±20~15	±15~10
卷取温度公差, ℃	±50~20	±20~15	±15~10
换辊时间, 分(更换整个精轧机组)	60(6架)	10~15(7架)	小于10(大于、等于7架)

“第一代”轧机, 由于长期受精轧机和卷取机咬入速度的限制, 精轧速度(精轧机组末架出口速度)低, 最高只能达10~12米/秒。因此, 热连轧机的年产量不高, 最高不超过200万吨。直到六十年代初期, 由于大功率电机的制造成功, 美国首创的升速轧制成为现实, 将延续三十多年的“第一代”带钢热连轧机推进到“第二代”, 其轧制速度由10~12米/秒增至15~21米/秒; 轧机年产量由1~2百万吨增至2.5~3.5百万吨; 带卷单位宽度重量也由4~11公斤/毫米增至12~21公斤/毫米; 成品带钢厚度由2~10毫米扩大至1.5~12.7毫米。同时, 带钢热连轧机的自动化也进入了一个新阶段。主机的调速系统由电机放大机-发电机-电动机调速系统发展到可控硅-电动机调速系统; 对工艺参数的控制, 由人工手动加上单机自动化阶段进入到单机自动化和计算机控制并存的新时期; 在轧制工艺上由大张力轧制发展到恒定的小张力微套量轧制。此外, 还采取增加精轧机的架数、引入厚

度自动控制等技术来增加轧机的产量和提高带钢的质量。

带钢热连轧机经过半个多世纪的发展,至七十年代初已进入“第三代”高速(达30米/秒)、巨型轧机的领域。轧机的年产量可达3.5~6百万吨。带卷单位宽度重量为27~36公斤/毫米,成品带钢的厚度为0.8~25.4毫米,轧制速度可达28~30米/秒。在该阶段轧制工艺和设备等方面都有很大的进步,并采用了许多新技术:如增加粗轧机组的机架数量,并在粗轧机组的最后两个机架上实行双机连轧;精轧机组的架数进一步增多,由原来的六个机架增到七个机架,并预留有第八机架甚至第九机架的可能性;出现了步进式加热炉;在工艺上采用调速轧制法,以控制终轧温度,并应用了高效率的层流冷却系统以控制卷取温度和成品带钢的组织性能;为了改善板型,在精轧机组上采用新式结构的轧机、设置弯辊装置及其它新技术;为适应不同厚度的产品,增设了近距离薄带钢卷取机;为保证带钢厚度均匀一致,不断完善厚度自动控制系统,简称AGC(Automatic Gauge Control),发展到整个生产过程全部采用计算机控制等。目前新建的带钢热连轧机已毫无例外的都采用计算机控制。

二、现代带钢热连轧机技术发展的特点

自六十年代以来,带钢热连轧机不仅在数量上增长很快,在生产技术上的发展也是很迅速的。其技术发展的特点是:设备大型化、生产高速化、工艺连续化和控制自动化。但在七十年代末和八十年代初,由于钢铁工业不景气,轧机开工率低,巨型热轧机的建设速度放慢了,其技术发展的重点是在节约能源、提高产品质量和提高成材率,以获得高的经济效益。

1. 生产能力的提高

过去由于轧制速度、轧机作业率低,板坯重量小,故轧机的生产能力低。“第一代”轧机的设计年产量,一般为100~200万吨;“第二代”为250~350万吨,而目前已增加到350~600万吨。可见现代带钢热连轧机的生产能力增长是很迅速的。

七十年代薄板和带钢产量增长最多的国家是日本,净增了1716万吨,增长了60%,板带产量占热轧材产量的比重从1969年的42.6%提高到1977年的46.5%。薄板和带钢比重最大的是美国,最高的1976年达58.3%。大多数国家板带比重在七十年代期间都有不同程度的增长。图1-1示出了热轧宽带钢生产的发展。

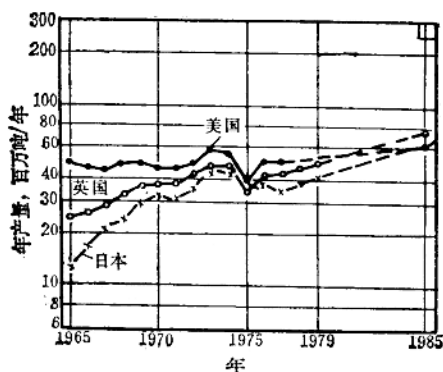


图 1-1 热轧宽带钢生产的发展

2. 轧制速度的提高

带钢热连轧机的生产能力，一般受精轧机能力的限制。因此，提高精轧机组末架的出口速度，是提高生产能力的主要途径之一。“第一代”轧机，其精轧机组末架的出口速度一直只有10~12米/秒。随着生产技术的发展，自动化的引入，轧制速度得到很大的提高。目前已增加到28~30米/秒。但轧制速度的提高，一方面导致主传动电动机功率的增加，另一方面当轧制速度超过12米/秒时，带钢在精轧机组后面的输出辊道上运行会产生“飘浮”现象，不便输送，同时由于卷取机结构的原因，一般卷取机的咬入速度为10~12米/秒左右。后来采用了升速轧制的方法，使精轧机组末架的出口速度得以飞跃提高。目前现代带钢热连轧机上均采用升速轧制的方法，即开始以10米/秒左右的低速进行咬钢轧制，待带钢头部被卷取机咬入并卷上两圈之后，精轧机组和卷取机同步加速到正常轧制速度。这种升速轧制，还可提高带钢尾部的终轧温度，以补偿带钢长度方向的温降，使终轧温度均匀一致。

3. 板坯重量的增加

加大板坯重量即加大钢卷的重量，也是提高轧机产量的一个重要途径。过去带钢热连轧机轧制的板坯重量一般为5~10吨左右，钢卷的单位宽度重量一般为4公斤/毫米。现代带钢热连轧机轧制速度的提高，为板坯重量的增加创造了条件。目前板坯重量已增加到30~45吨，有趋势向更大坯重发展。钢卷的单位宽度重量增加到27~36公斤/毫米。

4. 机架数量的增加

随着卷重的增加，板坯尺寸亦增大，而板坯宽度由产品规格决定（目前带钢宽度大多为1550毫米以下）。为了不增大轧制的总延伸率，一般来说，首先应将板坯加长，目前板坯的长度已由“第一代”的六米左右增加到十五米左右。如再增长将使加热炉结构复杂。因此，只有增加板坯的厚度，板坯的厚度已由“第一代”的125~200毫米增加到250~360毫米。从而导致了粗轧机组组成方式的改变及精轧机组机架数目的增加。过去带钢热连轧机的粗轧机组，一般由1~2架可逆式轧机（半连轧）或4架跟踪式轧机（全连轧）组成。现代带钢热连轧机的粗轧机组，一般在两架可逆式机座后面再增加两架连轧机座（四分之三连轧）或由5~6架轧机组成全连轧。为了不使粗轧机组出来的带坯过长，造成过大的头尾温差，就要加大粗轧机组出口带坯的厚度，即增加精轧机组的延伸系数。目前带坯的厚度已由过去20毫米增加到30~50毫米，这样就促使精轧机组数目的增加，现大都为7个机架，并预留第8机架甚至第9机架的位置。

5. 主传动电机容量的增大

随着板坯重量的增加、轧制速度的提高和升速轧制方式的采用，轧机（特别是精轧机）主传动电机容量在加大（见表1-1）。

6. 产品规格范围的扩大

由于用户对钢材品种规格的要求越来越多，生产带钢品种规格的范围亦随之扩大。“第一代”带钢热连轧机生产的成品带厚一般为2~10毫米。而现代带钢热连轧机生产成品带厚可为0.8~25毫米左右，向着薄规格和厚规格两个方向发展，这样既可减轻冷轧机的加工量，又可承担部分中厚板轧机的产品。

7. 自动化程度不断提高

由于对成品带钢质量的要求日益严格，对生产高效率、经济高效益的要求日趋迫切，

因此，就促使在带钢热连轧机上采用一系列自动控制系统（如厚度自动控制、位置自动控制、温度自动控制、速度自动控制、恒定微张力自动控制系统等）和在整个生产过程中全部采用计算机控制，并在整个轧制线上配置各种自动化检测仪表。这样就保证了带钢热连轧机的高效率、高产量、优质和低消耗的生产。

由于带钢热连轧机自动化水平的迅速提高，在一定程度上各国都以其带钢热连轧机自动化程度作为本国轧钢自动化水平的标志。

三、现代带钢热连轧机的新技术和新工艺

带钢热连轧机在七十年代末和八十年代初，在围绕节能、提高产品质量和成材率等方面，都出现了引人注目的新技术和新工艺。例如板坯热送热装、直接轧制、低温出炉、热轧工艺润滑、中间辊道上安装卷取箱、层流冷却、板形控制与厚度自动控制等等。下面将对卷取箱技术、热送热装与直接轧制工艺和低温出炉轧制技术等作一简要介绍，其它各项将在后面有关章节中叙述。

1. 卷取箱技术

卷取箱技术是加拿大钢公司在1969年提出的一项新技术。该公司从1973年起，在西德、美国和英国等申请专利，并不断改进完善该项新技术。此项技术不仅适用于新建带钢热连轧机，而且更适合于现有带钢热连轧机的改造。目前世界上已有加拿大、澳大利亚、西德和瑞典等八个国家共计在十一套新建或改建的带钢热连轧机上采用了此项新技术。其中，加拿大阿尔格马（ALGOMA）钢公司生产的热轧带钢为最宽（2180毫米），西德乌珀曼（WupperMANN）钢厂生产的热轧带钢为最窄（765毫米）。目前正在设计或安装的最宽卷取箱为3300毫米，这项技术由于具有一系列优点，预计将会得到较快的发展。

卷取箱技术就是在粗轧机组和精轧机组之间的中间辊道上设置一个无芯的下卷式的卷取机（称为卷取箱）。当带坯从粗轧机组轧出后，就进入卷取箱进行卷取。带坯的尾端进入卷取箱后卷取停止。随即将钢卷反转，带坯的尾部先进入精轧机组进行轧制，而头部最后离开精轧机组（参见图1-2）。该项新技术不但解决了轧件在中间辊道上的温降问题，而且具有节能显著、减少投资、提高产量和质量、扩大品种、提高成材率以及可降低对精轧机组自动控制的要求等一系列优点。

（1）减少装机容量或精轧机组的架数

采用卷取箱技术后，带坯在中间辊道上的温降减少了，故不需为补偿温降而采用常规的升速轧制，同时还避免因带坯尾部温降过大而造成的尖峰负荷。因此，在产量、质量相同的前提下，可减少装机容量或精轧机组的架数；相反，在精轧机组的架数或装机容量不变的前提下，采用卷取箱技术可加大板坯重量，提高轧机产量、扩大产品规格范围及提高产品质量。

轧件在中间辊道上的温降，对精轧机组轧制功率的影响是很大的。带坯温度降低55℃，其轧制功率大致要增加25%。而带坯在中间辊道上的温降是可观的，如32毫米厚的带坯，每分钟的温降为67℃，25毫米厚的带坯，每分钟的温降为95℃。例如由厚为25毫米的板坯，轧制成单重为18公斤/毫米、厚为1.5毫米的成品薄带钢，精轧机组所需轧制时间约为150秒，其带坯尾部温降要达到200℃左右。由此可见，带坯的温降将使轧制功率增加，装机容量增大。

（2）带坯首尾温差减小，滑轨水印温差消除，终轧温度均匀一致，成品带钢质量显

著提高

因为带坯从粗轧机组出来经过卷取箱卷取后，首尾倒换，所以带坯头尾的温差大大减小，使成品带钢的终轧温度均匀一致。同时由于中间带坯成卷保温，因此，板坯在加热过程中出现的水印温差可消除，带钢纵向温度均匀一致，纵向厚度公差大为减小，成品带钢质量显著提高。

(3) 明显地缩短了轧制作业线

带坯从粗轧机组出来后，在卷取箱内卷成带坯卷，因此，中间辊道长度可大大缩短，一般可缩短75米左右。由于精轧机组不需采用升速轧制来保证终轧温度恒定，而层流冷却辊道长度是带钢最高速度的函数，故输出辊道（即层流冷却辊道）长度亦可大大缩短。由此可见，采用卷取箱后明显地缩短了轧制作业线。轧制作业线的缩短，又给带钢热连轧机的生产带来一系列优越性。即可减少带坯在中间辊道上的温降，相应降低板坯的出炉温度，从而提高加热炉的能力，节省能源；还可缩短轧制周期，提高热轧机的能力，即节省投资费用等。

(4) 减少事故废品，提高成材率

当精轧机组发生故障时，中间带坯可在卷取箱内成卷保温。若故障在五分钟之内被排除掉，带坯可由卷取箱开卷继续进行轧制。故可减少事故废品，提高成材率。

(5) 降低轧制能耗

在常规轧制时，轧机所需能耗是不断上升到达最高点的。采用卷取箱后，带钢整个长度方向的总轧制能耗可保持均衡（参见图1-3）。

(6) 轧制节奏最佳化

在采用卷取箱后，中间坯料厚度不受中间辊道长度的影响，故可按粗、精轧机组的轧制节奏进行调整。例如，当粗轧机组的轧制节奏影响产量时，可采用轧制较厚的中间坯料；而当精轧机组为薄弱环节时，则可采用较薄的中间坯料。

(7) 降低对精轧机组自动控制（如速度、温度和厚度自动控制）的要求，节省投资

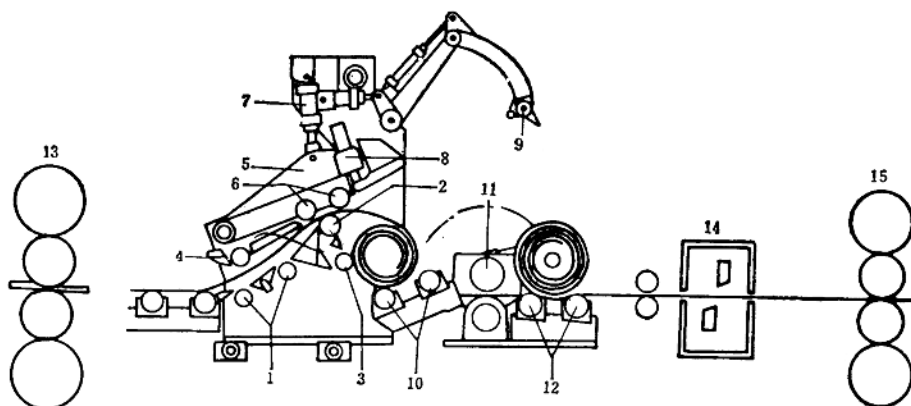


图 1-2 卷取箱位置结构图

- 1—可升降送进辊；2—下弯曲辊；3—成形辊；4—导辊；5—带调节装置的摇臂；
6—上弯曲辊；7—调整液缸；8—弯曲辊辊缝调节装置；9—开卷刀；10—卷取站；11—翻卷机；12—开卷站；13—粗轧机；14—切头飞剪；15—精轧机组

卷取箱技术不仅在宽带钢热连轧机上可以采用，而且在窄带钢热连轧机上也可采用。不过，在宽带钢热连轧机上采用比在窄带钢热连轧机上的优越性要大一些。对于年产在250万吨以下的新建厂和精轧机组无升速轧制能力的老厂改造，效益更为明显。

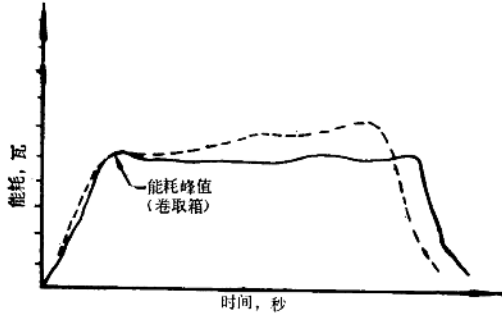
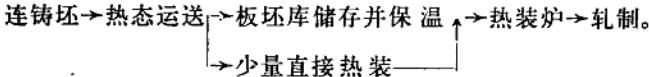


图 1-3 典型精轧机总能耗曲线的比较

——普通轧制，
——卷取箱轧制

2. 板坯热送、热装与直接轧制工艺

板坯热送、热装，主要将连铸坯由铁路用特制保温车或采用带有耐火材料衬罩的辊道运送到板坯库保温，再用钳式吊车将热板坯装入加热炉内，或者不经保温直送热装炉内。目前大多数工厂热送、热装新工艺流程采用如下的方式：



热送、热装节能新工艺的发展，是七十年代中、末期和八十年代初以来，由于炼钢和连铸技术发展到一个新阶段，表面无缺陷连铸坯达到了一个很高水平，连铸机生产板坯“在线调宽”技术难关的攻克，以及轧机、加热炉等相应的技术改造的实现，为热送、热装创造了条件。目前低碳、中碳铝镇静钢，高碳钢，低合金钢，APIX65，X70，UOE用钢，海洋结构钢（Z向钢），硅钢，不锈钢等均可在连铸机上生产。允许热装的钢种，不仅是普通碳素钢、低合金钢，而且硅钢、不锈钢和碳素工具钢等也都能热装。

热送、热装工艺，不仅在带钢热连轧机上广泛采用，而且在厚板轧机和大型型钢轧机上也得到广泛重视和应用。这一新技术日本发展较快，特别是八十年代以来，发展更为迅速，并已收到显著成效，在世界上处于领先地位。表1-2为日本新日铁、日本钢管等四大钢铁公司的七个带钢热连轧厂，在1983年达到的热装率和热装温度等情况。

板坯热送、热装的主要效果是有效利用钢坯显热、降低燃料单耗，另外还可提高金属收得率，降低成本等。从连铸厂运来的板坯，按常规轧制是先冷却，然后检查清理，再送到加热炉加热，在轧制线上进行轧制。连铸后的板坯温度，一般为700~1000℃。据有关资料报导，每吨这样的热坯约含有175~190×10³千卡的显热，如按过去常规的生产流程，这部分显热就白白地被浪费掉了。而热装炉可降低燃料单耗50~250×10³千卡/吨。带钢热连轧机的年产量，一般为300~450万吨，因此，热送、热装工艺在带钢热连轧机上的节能效果是很显著的。热送、热装特别是直送热装，是今后节能技术的发展方向。

表 1-2 1983年一些日本工厂采用热送热装技术情况

公司名称	工厂名称	方 式	热装率%	平均热装温度 ℃	平均在板坯库 存放时间小时	燃料单耗 $\times 10^3$ 千卡/吨	生产管理计算 机系统
新日铁	大分厂	连铸→定宽轧机→热装	85.0	800	3.0	200	有
	君津厂	连铸→热装	73.1	520	8.5	235	有
	八幡厂	连铸→热装	70.0	500	12.0	260	有
	名古屋	连铸→热装	46.3	600	10.0	275	有
日本钢管	福山厂	连铸→热装	30.0	500	—	290	有
	川崎制铁	连铸→热装	50.0	420	—	300	有
	住友金属	连铸→初轧→热装	55.0	500	—	274	有

直接轧制，就是将连铸坯直接送热轧机进行轧制的方法。据报导，在带钢热连轧机上采用直接轧制，其主要效果有：

1) 直接轧制省去加热炉的再加热工序，其燃料单耗一般可降低 $250 \sim 300 \times 10^3$ 千卡/吨。日本新日铁的名古屋厂甚至达到 $350 \sim 450 \times 10^3$ 千卡/吨；

2) 直接轧制，由于没有再加热引起的铁皮损耗和减少冷板坯清理损失，金属收得率可提高0.2~1.7%；

3) 由于板坯不经加热炉进行再加热，没有水印温差，带钢纵向厚度公差减少；

4) 直接轧制还可减少加热炉废热量，改善周围环境条件。表1-3为日本住友金属和歌山厂采用直接轧制的综合效果。

表 1-3 住友金属和歌山厂采用直接轧制的综合效果

项 目		效 果	备 注
燃 料	均热炉单耗 $\times 10^3$ 千卡/吨	增加73	
	加热炉单耗 $\times 10^3$ 千卡/吨	减少284	
电能单耗，度/吨		增加2.4	
轧材收得率，%		提高0.2	
质 量	板厚变化	减少	由于没有滑轨黑印
	板宽变化	减少	由于没有滑轨黑印
其 它	减少废热量，%	15	直接轧制比例为20%时
	减少清理板坯工时数，%	20	直接轧制比例为20%时
	缩短生产周期，天	2	

板坯直接轧制比热装炉工艺，更能有效利用板坯显热和降低燃料单耗。目前国际上采用直接轧制的新工艺逐渐增多，日本有九家轧钢厂采用此工艺，其中七家是带钢热连轧厂。新日铁堺厂的热带轧机，月产量的80%采用直接轧制。直接轧制时对板坯热状况的要求比热装时更为严格，特别是在运输过程中板坯边缘温度明显下降，使板坯横断面上温度分布不均。为了避免上述缺陷，有的厂设置自送式保温台车，将板坯送至热连轧机，并在轧机前面的辊道上罩上隔热罩或增加一个“边缘加热器”等。

由于采用热装和直接轧制的新工艺，热连轧机的电控系统、自动控制和检测仪表等均作相应的技术改造：

1) 采用上述新工艺后，带钢热连轧机的粗轧机组，其大立辊VSB (Vertical Scale Breaker) 和粗轧机组的第一机架 R_1 ，由不可逆轧机改为可逆式轧机，并靠近以串联式布置。这样主动传动系统也相应发生较大的变化，由交流同步电动机改为直流或交流调速系统。粗轧机 R_1 的轧制力矩大而轧制速度低，使电动机的体积大，轧辊只能采用上下辊分别单独传动的方式：

2) 由于连铸机生产板坯还存在宽度单一化的缺点，故目前连铸机已发展了“在线调宽”技术，可根据需要进行连铸机调宽。一般平均一炉钢调宽1~2次，每次调宽50~70毫米，最大可调200毫米。为了使连铸机在调宽过程中所产生的“过渡坯”和“余坯”，其钢种合适而宽度不合适的板坯也能进行轧制，将粗轧机 R_1 前面的大立辊由小侧压不可逆式轧机，改为带孔型的并具有大侧压的可逆式轧机。从而实现了用一种宽度的板坯轧出几种不同宽度的带钢。然而大侧压量又使带坯的前后鱼尾增加以及出现头尾宽度变窄的现象。为了解决这一个问题，在大立辊上设置液压短冲程控制装置。另外，为了提高板宽精度，在粗轧机架前面的小立辊上设有液压宽度自动控制系统；

3) 为了保证钢坯质量，必须采用新型的高精度在线热板坯缺陷检测和清除装置。

3. 低温出炉轧制新技术

为了节能，低温出炉轧制新技术在七十年代末开始采用。低温出炉轧制，就是将板坯的出炉温度由常规的1250℃ (低碳钢、普通碳素钢和部分低合金钢) 降到1150℃或1100℃进行轧制。据有关资料介绍，温度降低100℃，每吨钢可节省燃料约 0.0325×10^6 千卡/吨。但电能消耗有所增加。据统计，轧制一吨低温出炉钢，每小时约增加4千瓦的电能，但总的能耗可降低6.9%左右。低温出炉轧制还可以提高成品带钢的表面质量并减少板坯烧损，提高现有加热炉的能力，对某些低合金钢，还能改善和提高其机械性能。

由于低温出炉轧制新技术的采用，在工艺和设备上也采取了相应措施，以减少在轧制过程中的温降。具体措施是：

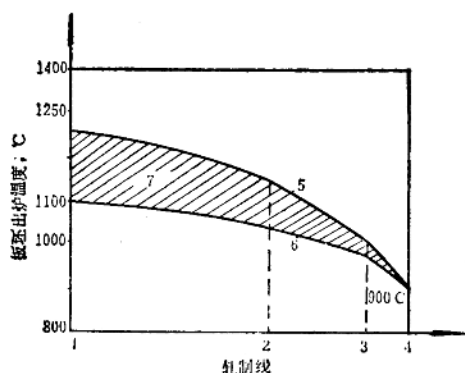


图 1-4 粗轧机组轧出的中间坯料厚度同板坯出炉温度的关系

1—加热炉；2—粗轧机组出口；3—精轧机组入口；4—精轧机组出口；5—坯厚为30毫米时之曲线；6—坯厚为80毫米时之曲线；7—放热损失

1) 适当增加粗轧机组轧出的中间坯料厚度。图1-4为粗轧机组轧出的中间坯料的平均厚度同板坯出炉温度的关系曲线。

从图上可看出：当粗轧机组轧出的中间坯料，平均厚度由30毫米提高到80毫米时，出炉温度可降低约150℃。另据有关资料介绍，粗轧机组轧出的中间坯料厚度，每增加10毫米，则板坯的出炉温度可降低20℃左右；

2) 增加中间辊道的绝热系统

中间辊道的绝热系统，是指在中间辊道上采用绝热材料将辊道封闭，以减少中间坯料在中间辊道上的热损失。据有关资料介绍，日本神户钢铁公司加古川厂，采用该项技术可使板坯出炉温度降低13℃；新日铁八幡厂，不但在中间辊道上设置绝热系统，而且在精轧机组前的二个绝热装置上还加了侧烧嘴，可提高中间坯料的边部温度70℃。另外，这种系统可提高精轧机组温度的均匀性，改善成品带钢厚度的精度、扩大产品规格范围、减少滑轨黑印、提高现有加热炉的能力等优点。

4. 改善热轧带钢板型（平直度和断面形状）的新技术

为了进一步提高板型质量，近年来已研制成功了几种改善板型的新装置。例如日本和歌山80英寸（2032毫米）带钢热连轧机精轧机组的第六机架上使用了VC（Variable Crown可变凸度）轧辊，对带钢平直度的控制有良好的结果，特别是VC轧辊与弯辊装置的联合使用，对平直度和断面形状的控制效果更好；日本八幡厂的新型带钢热连轧机的精轧机组，其最后的4个机架采用六辊轧机；千叶厂第1号带钢热连轧机的精轧机组，其3、4、5机架的工作辊改为上下在水平方向可以作相反移动的称之为K-WRS轧机，这些都是为了解决板型控制问题；西德施洛曼-西马克公司，在我国宝钢带钢热连轧机的精轧机组上，采用CVC（Continuously Variable Crown连续可调凸度）新技术，并配以弯辊装置，以改善板型。即在精轧机组的1~3机架上采用了成瓶状的CVC工作辊和弯辊装置控制热轧带钢的断面形状；在4~7机架上采用平辊型的CVC系统和弯辊装置控制带钢的平直度。

第二节 带钢热连轧机自动化发展概况

一、概述

带钢热连轧机电气自动控制技术的发展，大致经历了四个阶段：

1) 五十年代以前，即早期的带钢热连轧机，基本上没有自动控制，主要靠人工操作、断续控制（对电动机的起动、停止、加减速和正反转的控制）；

2) 五十年代中、后期，为手动操作加上单机自动控制系统（如主传动速度调节系统、压下机构辊缝调节系统、活套量控制系统等）；

3) 六十年代进入到单机自动控制与计算机并存（1960年美国麦克劳思厂在带钢热连轧机的精轧机组上，首先采用计算机控制）；

4) 七十年代已达到全部计算机控制。整个发展经历了由简单到复杂、由低级到高级的过程。

带钢热连轧机自动化程度，是随着生产的发展、工艺过程的日趋复杂和用户对成品带钢质量（例如带钢的纵向厚度公差、终轧温度公差、卷取温度公差和带钢的机械性能等）的要求愈来愈严格而不断迅速发展起来的。为了说明各个时期电气自动控制的技术、方式