

*DAIGANG RELIANZHA DE
MOXING YU KONGZHI*

带钢热连轧 的模型与控制

孙一康 编著

冶金工业出版社



ISBN 7-5024-3067-9



9 787502 430672 >

ISBN 7-5024-3067-9/TF · 599 定价 38.00 元

带钢热连轧的模型与控制

孙一康 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2002

内 容 提 要

本书系统、全面地介绍了带钢热连轧的模型与控制, 主要包括: 建模及模型自学习; 温度数学模型以及终轧与卷取温度控制; 厚度数学模型及自动厚度控制系统; 板形数学模型及自动板形控制系统; 宽度数学模型及自动宽度控制系统。

本书可供从事冶金自动化工作的工程技术人员、高等院校自动化专业的师生阅读, 对相关专业的工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

带钢热连轧的模型与控制/孙一康编著. —北京: 冶金工业出版社, 2002.10

ISBN 7-5024-3067-9

I. 热... II. 孙... III. ①带钢—热轧: 连续轧制—数学模型 ②带钢—热轧: 连续轧制—计算机控制
IV. TG335.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第055745 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 戈 兰 美术编辑 熊晓梅 责任校对 王贺兰 责任印制 李玉山

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2002 年 10 月第 1 版, 2002 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.5 印张; 373 千字; 234 页; 1-3000 册

38.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

带钢热连轧计算机控制是冶金工业中应用计算机控制最为成功、最有效的领域之一。近年来,随着带钢热连轧技术的迅速发展,我国已相继建成(包括在建的)16条带钢热连轧自动化生产线。与此同时,国内的科研人员对带钢热连轧计算机控制技术进行了深入的研究,对从国外引进的设备和技术进行系统的学习、改造和创新,为此,对国内外在带钢热连轧计算机控制方面的技术进行总结显得十分必要。

为了适应我国经济发展的需要,为大批新建的热连轧企业的工程技术人员提供一些有用的参考资料,作者将多年来在工程实践中的经验及相关国内外技术资料进行了补充、整理,编写成本书。

本书将着重讨论建模及模型自学习;温度数学模型以及终轧及卷取温度控制;厚度数学模型及自动厚度控制系统;板形数学模型及自动板形控制系统;宽度数学模型及自动宽度控制系统。

本书所反映的一些成果是与武钢、鞍钢热连轧厂工程技术人员共同完成的,部分内容吸收了王炎博士研究生、黄绍辉硕士研究生等的论文材料,在此一并表示感谢。

编 者
2002年5月

本书所用符号

(1) 厚度

H_S ——板坯厚度, mm

H_{Rij} ——粗轧区 R_i 轧机 j 道次轧出厚度, mm

H_{RC} ——粗轧机组出口厚度, mm

H_0 ——精轧机组来料厚度, mm

h_0 ——精轧机架轧入厚度(h_{0i} 为 i 机架入口厚度), mm

h ——轧出厚度(h_i 为 i 机架出口厚度), mm

h_n ——成品机架轧出厚度, mm

h_m ——变形区(精轧)平均厚度($h_m = \frac{h_0 + h}{2}$), mm

H_m ——变形区(粗轧)平均厚度, mm

h_γ ——对应中性角 γ 处的厚度, mm

δH_0 ——精轧来料厚度变动量, mm

δh_0 ——精轧机入口厚度变动量, mm

δh ——轧机出口厚度变动量, mm

(2) 工艺参数

l_c ——变形区接触弧长(水平投影), mm

l'_c ——压扁后接触弧长(水平投影), mm

u_m ——变形区内平均变形速度, 1/s

Δh ——绝对压下量, mm

ε ——相对变形程度

e ——真正变形程度

Q ——轧件塑性刚度, kN/mm

D ——轧辊直径, mm

R ——轧辊半径, mm

R' ——压扁后轧辊半径, mm

B ——带钢宽度, mm

B_S ——板坯宽度, mm

B_{RC} ——粗轧机组出口宽度, mm

- B_0 ——粗轧机入口带钢宽度, mm
 B_1 ——粗轧机出口带钢宽度, mm
 b_0 ——精轧机入口宽度, mm
 b ——精轧机出口宽度, mm
 b_n ——精轧机组出口宽度(成品宽度), mm
 ΔB ——绝对展宽量, mm
 B_m ——变形区平均带钢宽度, mm
 L ——入口带钢长度, mm
 l ——出口带钢长度, mm
 ϕ ——力臂系数
 f ——前滑值, %
 β ——后滑值, %
 α ——咬入角, rad
 γ ——中性角, rad
 δf ——前滑值变动量, %
 $\delta \beta$ ——后滑值变动量, %

(3) 速度和张力

- v ——带钢出口速度, m/s
 v_0 ——轧辊线速度, m/s 或 mm/s
 v' ——带钢入口速度, m/s
 n_0 ——对应于 v_0 的电机转速, r/min
 n_H ——电机额定转速, r/min
 δv ——带钢出口速度变动量, m/s
 $\delta v'$ ——带钢入口速度变动量, m/s
 δv_0 ——轧辊线速度变动量, m/s
 τ_b ——后张应力, MPa
 τ_f ——前张应力, MPa
 T_f ——前张力, kN
 T_b ——后张力, kN
 $\delta \tau_b$ ——后张应力变动量, MPa
 $\delta \tau_f$ ——前张应力变动量, MPa

(4) 力能参数

- P_i —— i 机架轧制力(精轧), kN
 F_i —— i 机架弯辊力, kN
 M_i —— i 机架轧制力矩, kN·m

- N_i —— i 机架电机功率, kW
 p_x ——坐标 x 处变形区单位压力, MPa
 p_φ ——坐标角 φ 处变形区单位压力, MPa
 t_x ——坐标角 x 处变形区摩擦力, MPa
 t_φ ——坐标角 y 处变形区摩擦力, MPa
 Q_r, Q_p ——应力状态系数
 P_0 ——预压靠力, kN
 σ ——材料变形阻力, MPa
 K ——平面变形时变形阻力(又称硬度), $K = 1.15\sigma$, MPa
 δP ——轧制力变动量, kN
 δK ——硬度变动量, MPa

(5) 板形参数

- CR_h, δ ——带钢出口凸度(轧出凸度), μm 或 mm
 CR_H, Δ ——带钢入口凸度(轧入凸度), μm 或 mm
 ω_H ——轧辊热辊型, μm 或 mm
 ω_W ——轧辊磨损辊型, μm 或 mm
 ω_O ——轧辊原始辊型, μm 或 mm
 ω_C ——可调辊型, μm 或 mm
 F_i —— i 机架弯辊力, kN
 δCR ——出口凸度变动量, μm 或 mm
 $\delta \omega_c$ ——CVC 或 PC 辊可调辊型变动量, μm 或 mm
 δF ——弯辊力变动量, kN

(6) 设备系数

- C_0 ——轧辊压靠法所测得的轧机纵向刚度, kN/mm
 C_P ——带钢宽度为 B 时的轧机纵向刚度, kN/mm
 C_F ——弯辊力对测厚仪所在处辊缝影响的纵向刚度, kN/mm
 K_P ——轧制力对辊系弯曲变形影响的横向刚度, kN/ μm 或 kN/mm
 K_F ——弯辊力对辊系弯曲变形影响的横向刚度, kN/ μm 或 kN/mm
 S ——辊缝仪显示的辊缝值, mm
 S_P ——辊缝弹跳量, mm
 S_F ——弯辊力造成的辊缝变化, mm
 S_w ——CVC 调节对测厚仪所在处辊缝的改变量, mm
 S_C ——轧辊中间点辊缝, mm
 S_e ——轧辊边部点辊缝, mm

- G_H ——轧辊热膨胀量, mm
 G_w ——轧辊磨损量, mm
 G 或 G_0 ——辊缝零位, mm
 O ——油膜轴承油膜厚度, mm
 δS ——辊缝变动量, mm
 δS_F —— S_F 的变动量, mm

(7) 上标和下标

上标

* —— 实测值

下标

i —— 机架号

s —— 设定值

m —— 平均值

n —— 成品机架参数

0 —— 入口处值

H —— 额定值

SET —— 设定值

REF —— 给定值

FB —— 反馈控制参数

FF —— 前馈控制参数

MN —— 监控值

EC —— 轧辊偏心值

注: 某些仅用于局部公式的符号请见文中各公式的说明

目 录

本书所用符号

第1章 综述	1
1.1 带钢热轧生产工艺的发展	1
1.1.1 传统带钢热连轧	1
1.1.2 连铸连轧生产工艺	4
1.1.3 新型炉卷轧机	6
1.1.4 热带生产工艺的新动向	6
1.2 带钢热轧机电设备的发展	8
1.2.1 侧压压力机及除鳞装置	8
1.2.2 压下系统	8
1.2.3 主传动系统	9
1.2.4 检测仪表	10
1.2.5 板形控制系统	11
1.3 带钢热轧计算机控制系统的发展	13
1.3.1 带钢热轧计算机控制功能	13
1.3.2 带钢热轧计算机控制系统的配置	16
第2章 带钢热轧数学模型的理论基础	29
2.1 变形区工艺参数	29
2.1.1 基本工艺参数	29
2.1.2 变形速度	32
2.1.3 轧制时的前滑和后滑	33
2.1.4 变形区应力状态与塑性方程	35
2.2 轧制力模型的理论基础	38
2.2.1 接触弧水平投影长度	38
2.2.2 外摩擦应力状态系数 Q_P	39
2.2.3 张力影响系数	42
2.2.4 热轧金属塑性变形阻力	44
2.3 轧制力矩及轧制功率	49
2.4 前滑模型的理论基础	52
2.4.1 变形区中性角及前滑	52

2.4.2 前滑张力影响系数·····	54
2.5 温降模型的理论基础·····	55
2.5.1 概述·····	55
2.5.2 传热学基础·····	56
2.5.3 传热学基本公式·····	58
第3章 带钢热轧数学模型的基本方程 ·····	63
3.1 弹跳方程·····	64
3.2 辊缝形状方程·····	68
3.2.1 K_P 及 K_F 的计算 ·····	69
3.2.2 轧辊热辊型模型·····	71
3.2.3 磨损辊型模型·····	75
3.3 平直度方程·····	76
3.4 流量方程·····	79
3.5 套量方程·····	80
3.6 连轧张力方程·····	82
第4章 数学模型及模型自学习 ·····	85
4.1 概述·····	85
4.2 带钢热连轧的数学模型·····	86
4.3 在线模型的建立方法·····	87
4.3.1 概述·····	87
4.3.2 一元线性回归·····	89
4.3.3 多元线性回归·····	92
4.3.4 非线性回归·····	94
4.4 模型自学习·····	98
第5章 温度模型与控制 ·····	105
5.1 概述 ·····	105
5.2 精轧机组温降模型 ·····	105
5.2.1 带钢(钢坯, 带坯)传送时的温降 ·····	106
5.2.2 高压水除鳞 ·····	107
5.2.3 低压喷水冷却 ·····	108
5.2.4 轧制过程的热量得失 ·····	109
5.2.5 精轧机组简化温降计算 ·····	110
5.3 精轧机组终轧温度控制 ·····	112
5.3.1 带钢头部终轧温度设定 ·····	113
5.3.2 带钢全长终轧温度控制 ·····	114
5.4 卷取温度控制(CTC) ·····	115

5.4.1 卷取温度控制的基本问题	116
5.4.2 卷取温度控制模型	117
5.4.3 卷取温度控制策略	122
第6章 厚度模型与控制	124
6.1 概述	124
6.2 厚度设定模型	128
6.2.1 精轧机组厚度分配	128
6.2.2 精轧设定所涉及的模型	129
6.2.3 设定时序	138
6.2.4 设定模型的自学习	139
6.2.5 穿带自适应	143
6.3 自动厚度控制(AGC)	144
6.3.1 图解分析法	144
6.3.2 传统 AGC 系统的组成	149
6.3.3 KFF-AGC 系统	157
6.3.4 电动-液压混合 AGC 系统	160
6.3.5 厚控时的活套补偿	161
第7章 板形模型与控制	164
7.1 概述	164
7.2 带钢断面形状与平直度	166
7.2.1 凸度	166
7.2.2 楔形	166
7.2.3 边部减薄	167
7.2.4 断面形状的数学表达式	167
7.2.5 平直度	167
7.3 良好平直度的条件	168
7.4 热轧带钢板形控制策略	171
7.5 热带轧机板形控制装置	173
7.5.1 CVC 系统	174
7.5.2 PC 辊	174
7.5.3 HC 辊	175
7.5.4 弯辊装置	175
7.6 以板形最优为目标的最优负荷分配	176
7.6.1 负荷分配的最优化方法	176
7.6.2 负荷分配的智能优化	180
7.7 板形设定模型	183
7.8 自动板形控制系统(ASC)	184

7.8.1	FF-ASC	184
7.8.2	FB-ASC	186
第8章 宽度模型与控制		187
8.1	概述	187
8.2	带坯轧制的宽展理论	188
8.2.1	平辊轧制的宽展计算	188
8.2.2	立辊-平辊轧制的宽展计算	191
8.3	粗轧设定模型	193
8.3.1	外区影响应力状态系数 Q_r	200
8.3.2	平辊辊缝设定	201
8.3.3	立辊开口度设定	202
8.4	自动宽度控制(AWC)	204
8.4.1	带坯全长宽度变动的原因	205
8.4.2	AWC的组成	205
第9章 热连轧过程综合分析		210
9.1	概述	210
9.2	解析分析方法	211
9.2.1	增量厚度方程	213
9.2.2	增量轧制力方程	213
9.2.3	增量凸度方程	214
9.2.4	增量前滑方程	215
9.2.5	增量入口速度及增量出口速度方程	215
9.2.6	增量套量方程和增量张力方程	216
9.3	热连轧静态综合分析——影响系数法	219
9.4	热连轧静态综合分析实例	221
9.5	热连轧动态仿真分析法	227
9.6	实时仿真系统	231
附录 单位换算表		233
参考文献		234

第 1 章 综 述

1.1 带钢热轧生产工艺的发展

自 1924 年第一套带钢热连轧机(1470mm)在美国阿斯兰问世以来,带钢热轧生产的工艺在七十多年中发生了一系列变化。特别是近十年来,随着连铸连轧紧凑型、短流程生产线的发展,以及正在试验中的无头轧制,极大地改进了热连轧生产工艺。

由于带钢热轧生产的高产量和高效益,带钢热连轧机的建设已成为钢铁企业提高产量,增加经济效益的首选建设项目,全世界七十多年来已建成二百多套带钢热连轧生产线。我国从 1978 年武钢 1700mm 热连轧生产线建成投产至今,已建成及正在建设的宽带钢热连轧机亦达到了 16 套,如加上拟建的几套,年生产能力将达到 4000 万 t 以上。

带钢热连轧生产工艺在相当长的一段时间内变化不大,直到 20 世纪 90 年代连铸连轧的出现,才发生了明显的变化。为了与新发展的热轧带钢生产工艺相区别,将过去长期以来所采用的带钢热连轧工艺称为传统带钢热连轧。下面将分别对以下带钢热轧生产工艺进行阐述:

- (1) 传统带钢热连轧;
- (2) 连铸连轧短流程带钢热连轧;
- (3) 新型炉卷轧机;
- (4) 热带生产新动向,超薄带生产及无头轧制技术的应用。

1.1.1 传统带钢热连轧

虽然将过去长期使用的带钢热连轧工艺称之为“传统”带钢热连轧,但并不意味着它的发展终止,传统带钢热连轧不仅仍是目前主要的生产工艺(无论是从产量和品种上讲目前主要还是由传统带钢热连轧所生产),而且其本身已有了很大变化,并且还在不断发展。年产量在 300 万 t 以上以及带宽超过 1600mm 的项目仍需选用传统生产工艺。

所谓传统生产工艺是指:板坯(连铸坯)厚度 200mm 以上,长度一般为 4.5~9m(亦有达到 12.5m);具有一定容量的板坯库;具有加热炉区(一台或多台步进式加热炉);具有粗轧区;后接精轧机组及地下卷取机(一台到多台)的生产线(图 1-1)。

由图 1-1 可知,传统带钢热连轧生产线包括:板坯库(其中设有与连铸机出口或热坯运输车连接的辊道以便于热装)、加热炉区、粗轧区、粗精轧之间的中间辊道及飞剪、精轧区、热输出辊道及层流冷却装置、卷取区、运输链、成品库(包括出厂运输及与冷轧厂连接的运输链)等。

传统带钢热连轧的设备布置,在粗轧区、粗轧区出口部分及精轧区入口部分有多种方案。下面分别对各区功能简述。

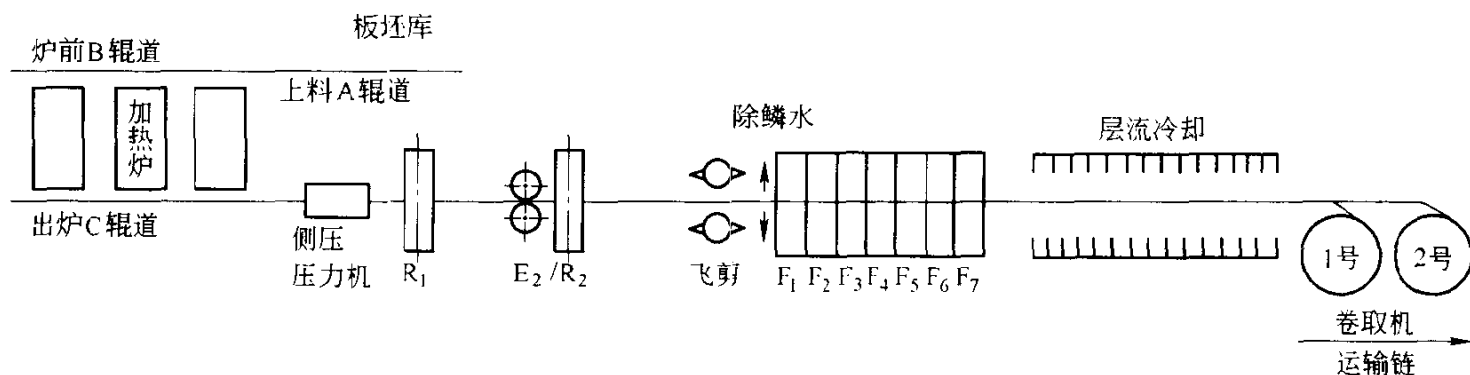


图 1-1 传统热连轧生产线

1.1.1.1 板坯库

为了节省能源，一般希望能加大热装比例，但为了便于品种灵活变动，宽度的调节以及缓冲轧机与连铸机生产间的不协调，保证轧机的高产量，传统带钢热连轧需设置一定面积的板坯库。板坯在库内以 (x, y, z) 坐标存放，由生产控制级计算机通过无线遥控天车进行吊装。

1.1.1.2 加热炉

板坯加热质量将直接影响轧制带钢质量。板坯的上、下面加热不均将在粗轧时形成翘头(或扣头);长度方向加热不均将影响成品厚度精度(同板差),而前后板坯加热时间不同将造成较大的异板差。推钢式加热炉由于炉内滑道将造成“水印”而产生厚度波动,目前已基本上被步进炉所替代。步进炉在采取步进梁“上升下降比例”控制后可减小水印。加热炉出炉温度为 $1200\sim 1280^{\circ}\text{C}$ 。

1.1.1.3 粗轧机

粗轧机的布置几十年来发生了多次变化,图 1-2 给出了粗轧机布置的四种方案。图 1-2a 为全连续式布置,粗轧区设置 5~6 台粗轧机进行连续(不可逆)轧制,这种布置由于粗轧道次限制为 5~6 道次,加上设备重量过大,生产线过长,目前基本不再采用。

图 1-2b 为 3/4 连轧,即 R_1 轧制一道, R_2 为可逆轧机可轧制 3~7 道次, R_3, R_4 为连轧机组,这一布置增加了灵活性,缩短了轧线长度,但设备重量仍较大。

图 1-2c 为半连轧布置,即 R_1 和 R_2 都为可逆轧机,分别可轧制 3~5 道次,在粗轧区

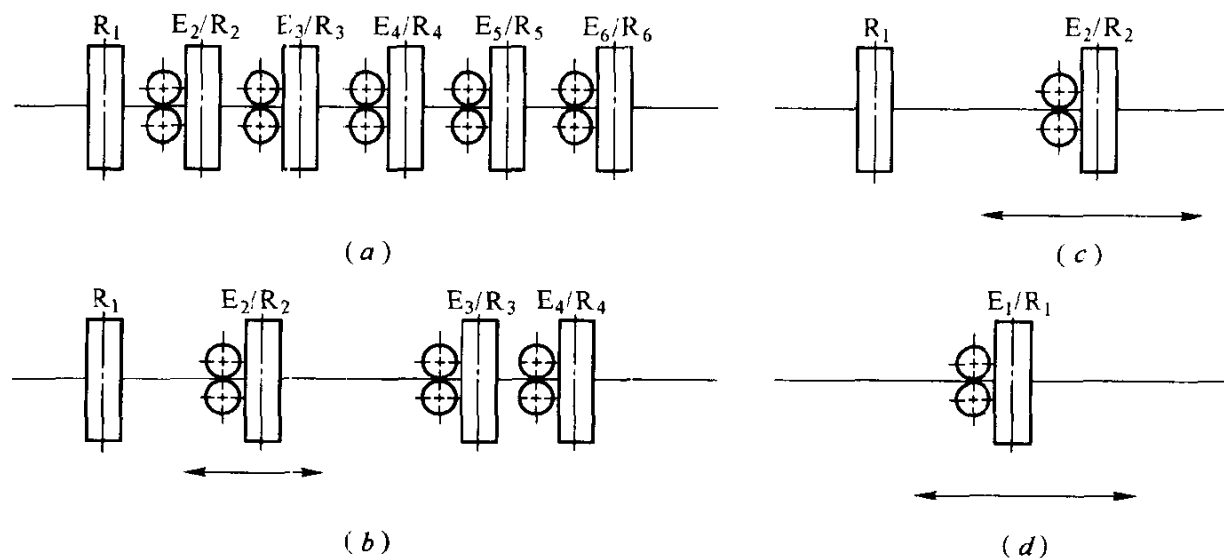


图 1-2 粗轧机布置的四种方案

出口可以设有热板卷箱，亦可以不设热板卷箱，由中间辊道直接送精轧区。

图 1-2d 则为目前较为流行的单机架方案，即采用一架强力粗轧机进行 3~7 道次可逆轧制来满足精轧的坯料要求。所谓强力粗轧机是指：允许轧制力达到 3000t 以上；主电机功率达到 10000kW 以上；轧制速度最高可达 5m/s。

强力粗轧每一道次压下量可达 35% 甚至更大。将厚度为 200mm 以上的板坯用 5~7 道次轧成 35~45mm 厚的带坯送精轧机。采用单机架粗轧机的布置大大缩短了粗轧区长度，这对减少板坯温降十分有利，而这将直接影响精轧成品的厚度。对精轧机来说，入口温度是一个十分关键的参数，如果入口温度能达到 1010~1040℃，则 $F_1 \sim F_3$ 能加大压下，使最终能轧出 1.5~1.8mm 的产品。为此希望粗轧出口温度能达到 1100℃ 以上。粗轧机出口设置保温罩或热板卷箱是减少带坯温降的一个有效方法，并且还具有以下优点：使带坯全长温度较为均匀，进一步消除水印；有利于二次氧化铁皮的消除，提高产品表面质量。

采用热板卷箱可以缩短中间辊道长度，减小精轧主电机功率，精轧机可采用恒速轧制，但板卷箱如果动作过慢将影响带头温度。

1.1.1.4 精轧机组

精轧机是带钢热连轧线的核心设备，产品质量控制功能主要集中在精轧区。精轧机组一般由 5~7 架轧机组成，近年来为了加大带坯厚度，减少中间辊道的温降，提出了在精轧机组前设置 M 机架或 F_0 机架的方案。在已有热连轧改造时常将一台粗轧机移到精轧前构成 M 机架，这样可减少粗轧道次，使带坯厚度增加到 50mm 以上，减少头尾温差和带坯温降，这有利于解决由于精轧能力不足而受限制的极限产品。M/ F_0 机架根据飞剪的能力可放在飞剪前或后。

精轧机目前由于采用强力机架而减少机架数量。以 1700mm 热连轧为例，20 世纪 60 年代设计的轧机、精轧机牌坊断面小于 4000mm²，轧机刚度 4000kN/mm 多一点，允许轧制力仅 20000 多 kN，而 20 世纪 90 年代设计的轧机，轧机刚度达到 6000kN/mm，允许轧制力达到 30000kN，甚至有些方案在 $F_1 \sim F_3$ 采用更粗的工作辊和支撑辊，使允许轧制力达到 35000kN，以达到加大压下量，减少机架数量或减小成品厚度的目的。

精轧终轧温度一般应控制在 830~880℃ (有些钢种要求更高的终轧温度)，正是由于希望终轧温度能高于相变点，使精轧机组在奥氏体范围内轧出成品，因此传统带钢热连轧如不采取特殊措施，其最小成品厚度的极限为 1.2mm 左右，一般以 1.5~1.8mm 为其最佳薄规格。

1.1.1.5 卷取区

精轧后的热输出道上设有层流冷却系统用于冷却成品带钢，其目的有两个，一是进行控制冷却，即通过控制冷却速度来改善带钢性能；二是将带钢温度降至 650℃ 左右以便进行卷取。

卷取区设有侧导板、夹送辊、卷取机，以在带钢咬入卷取机后及时建立张力，保证成品卷不出塔形，边部齐整。

目前普遍采用液压助卷辊以实现踏步控制(AJC)，使带钢头部平稳进入每个助卷辊。

卷取机的能力(能卷取的最大厚度及最大卷取速度)往往限制了已有轧机能力的进一步提高及其能生产厚规格的限度。

1.1.2 连铸连轧生产工艺

1990年由SMS公司设计制造的紧凑型热带生产线(CSP)在美国NUCOR Crawfordsville厂投产(图1-3)。这是全新的短流程热带生产工艺,取消了加热炉区和粗轧区,由薄板坯连铸机直接浇铸出50mm板坯,通过近100m长的隧道炉进入精轧机(采用强力精轧机轧制50mm板坯),精轧机的后续布置类似于传统热连轧。

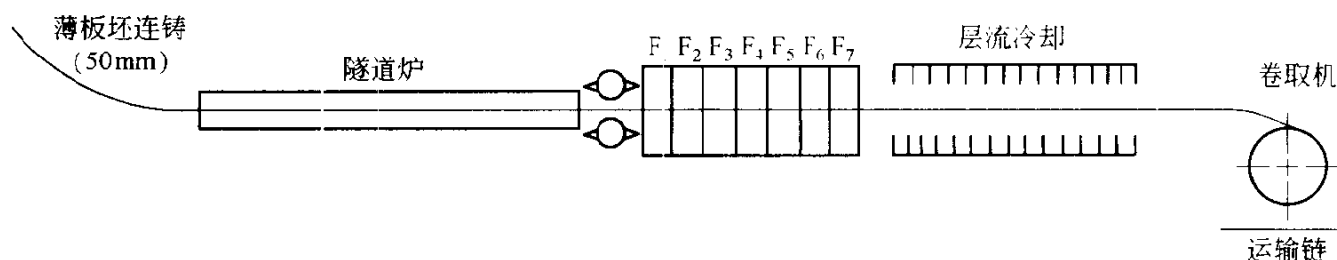


图1-3 CSP连铸连轧生产线

考虑到薄板坯连铸机的拉速为4.5~6m/min,因此从轧机与浇铸速度匹配角度考虑,可以设立两台薄板坯连铸机,但即使设两台连铸机轧机速度最高仍仅需10~15m/s。

CSP技术使带钢热连轧的初始投资及生产成本大为降低,仅需建一套电炉-连铸-热带轧机,即能生产出80~180万t热轧卷,因此不少新厂,特别是在美国等一些废钢、电能都较充足便宜的国家得到迅速发展。CSP进一步用于高炉-转炉-薄板坯连铸-热带轧机,使这一技术得到进一步的推广应用。

但是第一代CSP技术亦存在以下缺点:

- (1) 薄板坯连铸拉漏率高于常规连铸;
- (2) 连铸及连轧任一方的故障将造成全线停产;
- (3) 品种受到限制;
- (4) 产品表面质量稍差。

当然这些缺陷随着CSP技术的不断发展逐步得到克服。目前已有20多条CSP生产线在各国投产,我国亦相继建成三条生产线。

随着软压下技术的发展,CSP技术开始采用64mm结晶器通过软压下获得48mm的板坯送入精轧。亦可采用90mm结晶器通过软压下获得70mm板坯,经一架不可逆粗轧后送精轧机组。

1992~1995年德马克在意大利Arvedi厂及南非SALDANHA厂建立了ISP线,采用80~90mm结晶器经软压下获得60~70mm板坯,通过一架或两架不可逆粗轧机轧出带坯送入热板卷箱,然后进精轧轧出成品。

奥钢联在瑞典Aveats shefield厂试验CONROLL技术,即浇铸出厚度80mm板坯,经均热式加热炉短时加热后进轧机,并在20世纪90年代结合美国ARMCO老厂改造采用125mm的中薄板坯连铸机铸出板坯直接进入宽体步进炉,经短时加热后用该厂已有的粗轧及精轧机轧制不锈钢。

同一时间DANIELI公司亦在意大利Sabolarie厂采用薄板坯连铸机铸出90mm连铸坯通过软压下获70mm板坯,经隧道炉、粗轧及中间“热辊道”(保温及少量加热)进精轧的生产工艺。

可以说在20世纪90年代初期到中期各公司百花齐放推出了许多连铸连轧方案,图