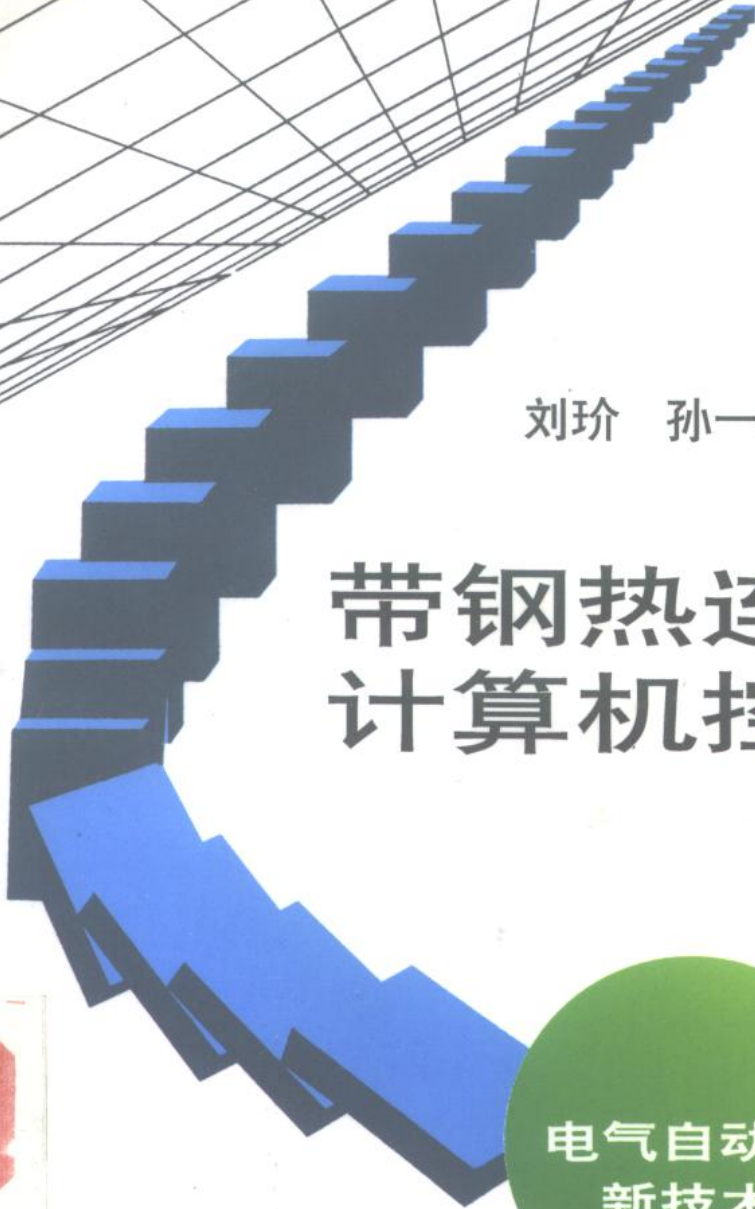




刘玠 孙一康 主编

带钢热连轧 计算机控制



电气自动化
新技术
丛书



机械工业出版社

电气自动化新技术丛书

带钢热连轧计算机控制

刘 玠 孙一康 主编



机械工业出版社

本书是根据作者多年来从事带钢热连轧计算机控制系统的配置、软件开发及现场调试的经验编写的，重点介绍了带钢热连轧计算机控制系统的配置和控制功能。

全书共分为8章，内容包括计算机控制系统的系统配置、模型及控制功能的理论基础、主速度及张力控制、厚度及宽度控制、板形控制、温度控制和热连轧过程数字仿真。

本书可供从事带钢热连轧自动化技术的科研、设计和现场工作的工程师参考，亦可供教学人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

带钢热连轧计算机控制/刘玠，孙一康主编．—北京：机械工业出版社，1997.4

(电气自动化新技术丛书)

ISBN 7-111-05480-6

I. 带… II. ①刘…②孙… III. 带材轧制：连续轧制—热轧—计算机控制 IV. TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 21464 号

出版人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037）
责任编辑：孙流芳 版式设计：王颖 责任校对：李秋荣
封面设计：姚毅 责任印制：路琳
机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1997年4月第1版第1次印刷
850mm×1168mm^{1/32}·7.75印张·193千字
0 001—2 500册
定价：15.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

《电气自动化新技术丛书》

序 言

科学技术的发展，对于改变社会的生产面貌，推动人类文明向前发展，具有极其重要的意义。电气自动化技术是多种学科的交叉综合，特别在电力电子、微电子及计算机技术迅速发展的今天，电气自动化技术更是日新月异。毫无疑问，电气自动化技术必将在建设“四化”、提高国民经济水平中发挥重要的作用。

为了帮助在经济建设第一线工作的工程技术人员能够及时熟悉和掌握电气自动化领域中的新技术，中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会联合成立了《电气自动化新技术丛书》编辑委员会，负责组织编辑《电气自动化新技术丛书》。丛书将由机械工业出版社出版。

本丛书有如下特色：

一、本丛书是专题论著，选题内容新颖，反映电气自动化新技术的成就和应用经验，适应我国经济建设急需。

二、理论联系实际，重点在于指导如何正确运用理论解决实际问题。

三、内容深入浅出，条理清晰，语言通俗，文笔流畅，便于自学。

本丛书以工程技术人员为主要读者，也可供科研人员及大专院校师生参考。

编写出版《电气自动化新技术丛书》，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

本丛书选题将随新技术发展不断扩充，凡属电气自动化领域新技术均可作为专题撰写新书。我们也面向社会公开征稿，欢迎自列选题投稿。来稿或索取稿约请函寄 300180 天津市津塘路 174

号天津电气传动设计研究所转《电气自动化新技术丛书》编辑委员会。

《电气自动化新技术丛书》
编辑委员会

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会成员

主任委员：陈伯时

副主任委员：喻士林 夏德铃 李永东

委员：（以姓氏笔划为序）

王 炎 王文瑞 王正元

刘宗富 孙 明 孙武贞

孙流芳 过孝瑚 许宏纲

朱稚清 夏德铃 陈伯时

陈敏逊 李永东 李序葆

张 浩 张敬民 周国兴

涂 健 蒋静坪 舒迪前

喻士林 霍勇进 戴先中

《电气自动化新技术丛书》

出版基金资助单位

机械工业部天津电气传动设计研究所

深圳华能电子有限公司

北京电力电子新技术研究开发中心

天津普辰电子工程有限公司

前 言

人类几千年的文明史是一篇与大自然斗争的历史。在这场斗争中，人们不断探索大自然的奥秘，不断创造出新的工具，不断地改造大自然，同时不断地改造和发展人类自己。进入 20 世纪，人类在与大自然的斗争中，在探索宇宙的奥秘中，有了许多巨大的技术突破，最具有代表性的突破是 50 年代电子计算机的发明，并使之成为一个广泛的新的技术领域。计算机是人类创造的先进工具，这样的工具无疑可以运用在人与大自然斗争的各个领域，而且一旦和其他领域的技术结合起来，又会出现新的奇迹。计算机技术运用于带钢热连轧领域就是这样一种典型的实例。

大家都知道，人类发明工具以来，钢铁就是必不可少的材料。在这方面，人们开始不断地开发探索，发明了钢铁的冶炼技术、轧制技术。在轧钢技术领域中，带钢热连轧又是最具有代表性的。钢在相变温度 723°C 以上最具有可塑性，最容易塑性加工，而且对性能影响比较小。因此，在钢的大变形量的加工过程中，多数是把钢加热到 1300°C 以下，相变温度 723°C 以上的条件下进行。对此，我们称之为热加工，或称为热轧制。热连轧机的出现，正是人们掌握了钢塑性变形的客观规律，而有效地利用这些规律的结果。带钢热连轧机诞生以来得到飞速的发展。

带钢热连轧机需要有高速运转、灵敏控制的系统，可以在每秒轧制几十米带钢这样的速度水平上控制轧机的动作，以便生产精度等级为几十微米的钢板，这是用人的手和眼来操作轧机不可能做到的，而计算机控制系统却很容易做到。因此，应用计算机控制系统的带钢热连轧机就产生了巨大的生命力，在世界范围内，如雨后春笋般迅猛发展起来。

随着科学技术的发展，出现了液压控制技术、激光技术、电

力电子技术、计算机图像处理技术等。它们都在带钢热连轧机上得到应用。一套带钢热连轧机,年产量都在120万t以上,最高达500万t。这是其他热加工方式无法比拟的。因此这些技术在带钢热连轧机上的应用成为高效率和高经济性的技术应用,而计算机的应用成为这些技术应用的核心。

本书正是介绍这些高科技和高技术的结合,启发人们的智慧和才能。虽然说的是热连轧的计算机控制系统,但是对其他行业的计算机应用都有普遍的参考意义。通过本书的叙述,也可以从更高的高度看到人类与大自然斗争中所得到的光辉的成果。本书对专业人员是一本很好的教材,而对非专业人员也会有深刻的启迪。

本书是在大量参阅各国最近发展的计算机控制功能和控制系统配置(部分内部资料未列入参考文献目录),并以我们参加武汉钢铁公司、太原钢铁公司热连轧计算机系统更新改造的实际经验为基础进行编写的。本书共分8章。

第1章综述,叙述了热连轧计算机控制的历史发展及当今新技术的应用,本章由刘玠、刘文仲编写。

第2章带钢热连轧计算机控制系统,分析和介绍了用于热连轧的各类计算机控制系统,本章由刘文仲、孙一康编写。

第3章理论基础,介绍了与模型有关的各种理论公式和实用方程,本章由孙一康、管克智编写。

第4章主速度及张力控制系统,介绍了主速度级联系统、活套控制及微张力控制,本章由童朝南编写。

第5章厚度及宽度控制,介绍了厚度设定模型、模型自学习、宽度设定模型、AGC和AWC系统,本章由孙一康、刘玠编写。

第6章板形控制,介绍了板形的基本概念、板形设定模型及自动板形控制系统,本章由孙一康编写。

第7章温度控制,介绍了终轧温度和卷取温度控制,本章由杨卫东编写。

第8章热连轧过程数字仿真介绍连轧过程综合分析方法,本

章由孙一康编写。

全书由刘玠，孙一康主编。

特别感谢陈春秋小姐对本书文字的整理，并感谢张勇军同志对全书插图的整理。

编 者

1996年7月31日

常用符号表

a	单位能耗
A	变形功或断面面积
B	板坯、带钢宽度
c	比热容
C_p	纵向刚度
C_F	相对于弯辊力的纵向刚度
d	直径
D	直径
e	真正变形程度
E	杨氏弹性模量
f	前滑值
F	表面面积或弯辊力
G	转矩或辊缝自学习常数
H	入口厚度
H_c	入口厚度 (带钢宽度中心点)
H_e	入口厚度 (离带边 40~50mm 处点)
h	出口厚度
h_c	出口厚度 (带钢中心点)
h_e	出口厚度 (离带边 40~50mm 处点)
Δh	绝对压下量
δh	厚度变化量 (增量)
i	速比
K	平面变形下变形阻力或冷却能力系数
K_P	轧制力作用下辊系变形刚度 (横向刚度)
K_F	弯辊力作用下辊系变形刚度 (横向刚度)

l ——长度
 l_c ——接触弧长
 l'_c ——压扁后接触弧长
 L ——距离
 M ——力矩
 N ——功率
 O ——油膜厚度
 p ——单位压力
 p_c ——平均单位压力
 P ——轧制力
 P_0 ——轧辊预压靠力
 Q ——总热量
 Q_p ——应力状态系数
 R ——轧辊半径
 S ——辊缝
 S_F ——弯辊力引起的辊缝变化
 S_0 ——零位辊缝
 S_P ——轧制力引起的辊缝变化（弹跳量）
 t ——时间
 T ——温度或总张力
 T_0 ——环境温度
 T_w ——水温
 u_c ——变形速度
 v_0 ——轧辊速度
 v ——轧件出口速度
 v ——轧件入口速度
 V ——体积
 α ——咬入角或对流传热系数
 ε ——相对压下量（变形程度）或黑度

γ ——密度或中性角
 σ ——变形阻力，应力或玻耳兹曼常数
 ϕ ——力臂系数或角度
 θ ——角度
 ω_c ——控制辊型
 ω_H ——热辊型
 ω_0 ——原始辊型
 ω_w ——磨损辊型
 ω_Σ ——综合辊型
 η ——效率
 Δ ——入口断面凸度
 δ ——出口断面凸度
CR——出口断面凸度
 τ ——单位张力
 λ ——伸长率或热导率

目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

前言

常用符号表

第 1 章 综述	1
1.1 带钢热连轧的工艺及设备	1
1.2 带钢热连轧计算机控制系统综述	9
1.3 带钢热连轧计算机控制功能综述	14
第 2 章 带钢热连轧计算机控制系统	26
2.1 系统配置的特点	26
2.2 传动及基础自动化级	29
2.3 过程自动化级	40
2.3.1 系统配置	40
2.3.2 系统软件及应用软件	43
2.3.3 数据结构及数据流程	50
2.4 生产控制级	53
第 3 章 理论基础	56
3.1 轧件塑性变形理论基础	56
3.1.1 轧制变形区参数	56
3.1.2 轧制力	60
3.1.3 热轧金属塑性变形阻力	69
3.1.4 轧制力矩	77
3.2 轧机弹性变形理论基础	80
3.2.1 轧机纵向刚度——弹跳方程及厚度方程	81
3.2.2 轧机横向刚度——辊缝方程	85
3.3 传热学基础及温降方程	92
3.3.1 概述	92
3.3.2 传热学基本公式	94

3.3.3 带钢温降方程	100
第4章 主速度及张力控制系统	108
4.1 主速度级联系统	108
4.2 活套控制系统	111
4.2.1 活套机构的基本方程式	111
4.2.2 活套高度闭环控制	115
4.2.3 活套张力控制	116
4.3 无活套微张力控制	117
4.3.1 双机架连轧微张力控制	117
4.3.2 多机架连轧微张力控制	119
4.3.3 带负荷观测器的动态微张力控制	122
第5章 厚度及宽度控制	125
5.1 概述	125
5.2 精轧厚度设定模型	126
5.2.1 负荷(厚度)分配方法	127
5.2.2 辊缝设定及轧制力模型	130
5.2.3 速度设定	133
5.2.4 设定模型原理框图	133
5.2.5 设定时序	135
5.3 模型系数自学习	136
5.3.1 指数平滑法	136
5.3.2 设定模型参数的自学习	140
5.4 粗轧立辊开口度设定——宽度设定	142
5.5 自动厚度控制系统(AGC)	147
5.5.1 厚差产生的原因	147
5.5.2 $P-H$ 图	150
5.5.3 自动厚度控制系统	158
5.6 自动宽度控制(AWC)系统	171
5.6.1 产生宽度偏差的原因	171
5.6.2 自动宽度控制系统	172
第6章 板形控制	174
6.1 板形控制综述	174
6.2 板形的基本概念	177

6.3	辊缝方程和板形方程	181
6.4	轧辊热辊型模型	184
6.4.1	工作辊温度场计算	184
6.4.2	等效传热系数及等效环境温度	186
6.4.3	工作辊表面的热辊型	187
6.4.4	实用模型的建立方法	188
6.5	板形设定模型及模型自学习	188
6.6	动态负荷分配法	195
6.7	自动板形控制系统	198
第7章	温度控制	200
7.1	精轧机组终轧温度控制	200
7.1.1	带钢头部终轧温度设定	201
7.1.2	带钢全长终轧温度控制	203
7.2	卷取温度控制 (CTC)	206
7.2.1	卷取温度控制的基本问题	207
7.2.2	卷取温度控制模型	210
7.2.3	卷取温度控制方案	214
第8章	热连轧过程数字仿真	216
8.1	概述	216
8.2	连轧过程综合分析方法	219
参考文献		227

第1章 综 述

1.1 带钢热连轧的工艺及设备

从1924年美国在阿斯兰建设的1470mm带钢热连轧机和1926年在巴特勒建设的1070mm带钢热连轧机算起,带钢热连轧已经有70年的发展史。因为带钢热连轧生产的高效率、高经济性,因而在轧钢生产中发展得最为迅速,而且也是各种新技术应用最为广泛的一个领域。从某种意义上来说,带钢热连轧机的设备水平和工艺水平已经成为一个国家工业发展水平的一项重要标志。

1. 带钢热连轧设备布置 带钢热连轧机主要有三种布置形式。

- (1) 连续式;
- (2) 半连续式;
- (3) 3/4 连续式。

这三种布置形式的区别集中在粗轧区。连续式带钢热连轧机的主要特点是轧机均为不可逆轧机,带钢在粗轧区轧制时,每架轧机只按板坯的前进方向轧制一道,并且不形成连轧;半连续式带钢热连轧机的主要特点是至少有一架可逆式轧机,带钢在粗轧区内采用可逆式轧制,进行多道次压下,在粗轧机组不形成连轧;3/4 连续式带钢热连轧机的主要特点是带钢在粗轧区部分轧机采用可逆式轧制,而在最后的两架粗轧机内形成连轧。

很显然,全连续轧机的生产效率高,但轧线长度(从加热炉至卷取机的间距)较长,结果是建设投资加大,所以后来再建新带钢热轧机时,对全连续轧机基本持否定态度,多建设3/4 连轧或半连轧机。

本书中如果没有特殊说明,计算机的控制对象主要指3/4 连