

冶金过程自动化技术丛书


刘玠
主编

国家重点图书

热轧生产 自动化技术

(第2版)

刘玠 杨卫东 刘文仲 编著

 冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

国家重点图书

冶金过程自动化技术丛书

热轧生产自动化技术

(第2版)

刘 玠 主编

刘 玠 杨卫东 刘文仲 编著



北京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书为《冶金过程自动化技术丛书》(第2版)之一,相对于第1版在如下几个方面进行了修订:将“生产控制管理级功能”统一归并到《冶金企业管理信息化技术》一书中。第4章增加了活套高度控制与张力控制的关系、卷取温度控制中的阀控制与带钢跟踪、卷取张力控制等内容。第6章中增加了粗轧设定模型和模型的自学习、精轧温度控制模型、精轧轧机刚度和油膜厚度测试方法及其数据处理、PC轧机设定模型及其模型自学习等内容,按照加热炉、粗轧、精轧、卷取的工艺流程的顺序,重新编排了第6章中各节的顺序。增加了第7章过程控制级系统的设计与实现。

本书可供从事冶金自动化技术的科研、设计、生产维护人员使用,也可供大专院校自动化专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

热轧生产自动化技术/刘玠等编著. —2版. —北京:冶金工业出版社, 2017. 8

(冶金过程自动化技术丛书/刘玠主编)

ISBN 978-7-5024-7342-6

I. ①热… II. ①刘… III. ①热轧—自动化技术
IV. ①TG335. 11-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第237716号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 戈 兰 李培禄 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7342-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2006年11月第1版,2017年8月第2版,2017年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 24.75印张; 595千字; 373页

118.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

《冶金过程自动化技术丛书》
第2版编委会

主 编 刘 玠

副主编 孙一康 马竹梧 蒋慎言 漆永新

许海洪 李龙珍 彭燕华

编 委 (以姓氏笔画为序)

马竹梧 王 京 刘 玠 刘文仲

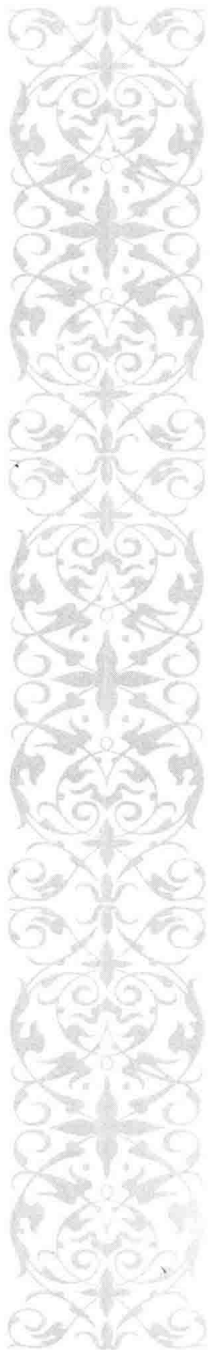
许海洪 孙一康 李龙珍 杨 荃

杨卫东 杨传福 何浩然 陈大纲

林 瑜 彭开香 彭燕华 蒋慎言

童朝南 漆永新

第2版序



《冶金过程自动化技术丛书》出版发行已经十多年了，在这十年中，中国的经济和钢铁工业又有了飞速的发展。经济规模GDP从2003年的13.5万亿元增长到2013年的56.8万亿元，增长了3.2倍；全国粗钢产量从2003年的2.2亿吨增长到2013年的7.82亿吨，增长了2.5倍。中国钢铁工业不仅规模飞速增长，而且产品品种、产品质量明显提高。我国进出口钢材的变化就是很好的证明：2003年进口钢材3724万吨，出口钢材712万吨，2013年进口钢材1408万吨，出口钢材6234万吨。出口钢材大幅度增加，说明我们的钢材质量和品种不仅越来越好地满足了我国经济发展及各行各业的需要，而且在国际市场上也有了强大的竞争力。然而，在我国经济和钢铁工业快速发展的同时，钢铁产能过剩，市场竞争日趋激烈，许多企业出现亏损，环保压力继续增大，资源日趋匮乏等问题已经非常明显地显露出来。对钢铁工业面临的这些问题，大家都在思考如何可持续发展，政府也已经出台了许多应对政策，专家们也有各种不同的见解，但是有一点看法是一致的，那就是一定要走创新发展之路，走节能减排之路，走智能化制造之路。这样的战略，必然对企业信息化和自动化提出更高的要求，也为信息化、自动化技术提供更广阔的应用空间。因为当今世界的工业创新发展和智能制造必然涉及工业的工艺、装备、管理、销售、人才、信息等方面，

而这些方面的提升必须要与信息化、自动化技术紧密结合，除此别无其他选择。

同时，十年来，信息化和自动化技术又有了惊人的发展，不仅计算机本身的运行速度、存储容量、网络技术、通信能力、智能化水平等都有极大的提高和极快的发展，而且应用功能，比如大数据分析和决策，云计算技术、虚拟技术、物联网、电子商务等层出不穷。钢铁行业的信息化、自动化技术应用水平也与十年前不可同日而语。如宝钢、鞍钢、武钢、唐钢、邯钢、太钢等企业的信息化及自动化系统的开发和建设就取得了许多可贵的成绩和经验。以上所涉及的方方面面，钢铁工业发展面临的形势，计算机科学技术的发展水平，对我们的《丛书》无疑提出了新的要求，我们感觉到需要对《丛书》内容进行修改、补充。

此外，《丛书》第1版出版发行以来，除了受到了广大读者的欢迎以外，也有许多读者指出《丛书》中存在的一些缺陷和不足。为了回馈读者，我们也应该进行修改和重编。为此，本次修订工作，从作者的安排，编写的要求，到增删、改写内容及归纳、审定等等，几次开会讨论，我们做了多方面的工作，力争做到与时俱进。例如修订中广泛吸收了上述一些企业的实践经验和技术，在内容上进行了大幅度地调整和修改；为此在编写人员方面也作了一些调整，吸收了一些参与企业信息化和自动化建设的高级工程技术人员，以使《丛书》第2版更具有实践的经验可供借鉴和参考的价值。


本次修订，尽管我们努力做到正确、完整，但仍可能有一些技术观点和论述不全面、不恰当，敬请广大读者批评指正。

中国工程院院士

刘阶

2014年9月

第 1 版序



新中国建立以来，冶金工业在我国国民经济的发展中一直占据很重要的位置，1949 年我国粗钢产量占世界第 26 位，到 1996 年粗钢产量为一亿零一百万吨，上升到世界第 1 位。预计今年钢产量能达到二亿六千万吨左右，稳居世界第 1 位。根据国家统计局数据，2003 年我国冶金工业总产值为 4501.74 亿元，占整个国内生产总值的 4.8%。

统计表明，国民经济增长和钢材需求之间有着非常紧密的关系。2000 年我国生产总值增长率为 8.0%，钢材需求增长率为 8.0%。2002 年我国生产总值增长率为 7.5%，钢材需求增长率为 21.3%。预计今年我国生产总值增长率为 7.5%，而钢材需求增长率为 13%。据美国《世界钢动态》杂志社的研究，钢材需求受经济增长的影响是：如果经济年增长率为 2%，钢材需求通常没有变化，但是如果经济增长为 7%，钢材需求可能会上涨 10%。这也就是 20 世纪 90 年代初期远东地区和中国钢材需求量迅猛上涨的原因。

从以上的数据中我们可以清楚地看出冶金工业在国民经济中的地位和作用。在中国共产党的正确领导下，经过半个世纪，尤其是改革开放的 20 多年来的努力奋斗，我国已经成为世界的钢铁大国，但还不是钢铁强国，有许多技术经济指标还落后于技术发达的国家。如我国平均吨钢综合能耗，在 1995 年为 1516kg/t, 2003 年降低为 778kg/t,

而日本在2003年为658kg/t。很显然是有差距的，要缩小这些差距，除了进行产品结构的调整，新工艺流程的研究与开发，建立现代企业管理制度以外，很重要的一条，就是要遵循党的十六大所提出的“以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走新型工业化道路”的伟大战略。

众所周知，自从电子计算机诞生半个世纪以来，尤其是近几年来信息技术和自动化技术的迅猛发展，为提高冶金企业的市场竞争力，缩短技术更新周期与提高企业科学管理水平提供了强有力的手段，也使得冶金企业得以从产业革命的高度来认识信息技术和自动化技术所带来的影响。各冶金企业，谁对信息技术、自动化技术应用得好，谁的产品质量就稳定，谁的竞争优势就增强，谁的市场信誉就提高，谁就能在激烈的市场竞争中生存、发展。因此这种“应用”就成了一种不可阻挡的趋势。

2003年，中国钢铁工业协会信息与自动化推进中心及信息统计部就全国65家主要冶金企业的信息与自动化现状进行了调查，调查的结果表明：

第一，我国整个冶金企业在主要的工序流程上，基本普及了自动化级（L1），今后仍将坚持和普及。

第二，过程控制级（L2）近年也有了一定的发展，但由于受到数学模型的开发及引进数学模型的消化、吸收较为缓慢的制约，过程控制级仍有较大的发展空间，今后应关注控制模型的引进、消化和开发，它是提高产品质量重要的不可替代的环节。

第三，生产管理级（L3）、生产制造执行系统（MES）尚处于研究阶段，还不足以引起企业领导的足够重视，这一级在冶金企业信息化体系结构中的位置和作用是十分重要的，它是实现控制系统和管理信息系统完美集成的关键。

由此可见，普及、提高基础自动化，大力发展生产过程自动化，重视制造执行系统（MES）建设，加快企业信息化、自动化的建设进程，早日实现我国冶金企业信息化、自动化及管、控一体化，是“十五”期

间乃至今后若干年内提升冶金工业这一传统产业，走新型工业化道路的重要目标和艰巨任务。

为了加速这一重要目标的实现和艰巨任务的完成，我们组织编写了这套《冶金过程自动化技术丛书》。根据冶金工业工艺流程长，而每一个工序独立性、特殊性又很强，要求掌握的技术很广、很深的特点，为了让读者能各取所需，本套丛书按《冶金过程自动化基础》、《冶金原燃料生产自动化技术》、《炼铁生产自动化技术》、《炼钢生产自动化技术》、《连铸及炉外精炼自动化技术》、《热轧生产自动化技术》、《冷轧生产自动化技术》、《冶金企业管理信息化技术》等8个分册出版，其中《冶金过程自动化基础》是论述研究一些在冶金生产自动化方面共性的问题，具有打好基础的作用，其他各册是根据冶金工序的不同特点编写的。

这套丛书的编著者都是在生产、科研、设计、领导一线长期从事冶金工业信息化及自动化工作的专家，无论是在技术研究的高度上，还是在解决复杂的实际问题方面都具有很丰富的经验，而且掌握的实际案例也很多，因此书中所介绍的内容也是读者感兴趣的，在实际工作中需要的，同时书中所讨论的问题也是当前冶金企业进行大规模技术改造迫切需要解决的问题。

时代的重任，国家的需要，要求我们每一个长期从事冶金企业信息化自动化的工程技术人员，以精湛的技术、刻苦求实的精神，搞好冶金企业的信息化及自动化，无愧于我们这一伟大的时代。相信，这套丛书的出版，会对大家有所帮助。

中国工程院院士 刘阶

2004年仲夏

第2版前言

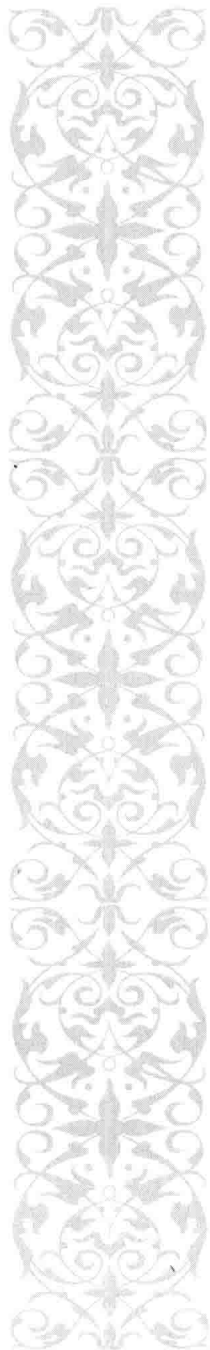
本书在第1版的基础上,进行了如下重要修改:

(1) 根据编委会的决定,将“生产控制管理级功能”统一归并到《冶金企业管理信息化技术》一书中,所以删除了本书第1版中的第7章“生产控制管理级功能”的内容。

(2) 根据读者的要求以及编委会的决定,增加了“过程控制级系统的设计与实现”,列为本书的第7章。第7章给出了设计方法和设计实例,都来源于实际工程,在生产线上实际使用的热轧计算机控制系统。这些设计方法适用于冶金轧制过程控制系统。

(3) 第4章增加了“活套高度控制与张力控制的关系”;改写了AGC的相关内容;增加了卷取温度控制中的“阀控制与带钢跟踪”;增加了“4.9节卷取张力控制”。

(4) 第6章“热连轧数学模型”中,增加了“粗轧设定模型和模型的自学习”、“精轧温度控制模型”、“精轧轧机刚度和油膜厚度测试方法及其数据处理”三节的内容;改写了“加热炉燃烧控制模型”一节的内容,用国内热连轧生产线应用较多的一种加热炉燃烧控制模型取代了原书中的“加热炉自动燃烧控制模型”;增加了PC轧机设定模型及其模型自学习的内容。按照加热炉、粗轧、精轧、卷取的工艺流程的顺序,重新编排了第6章中各节的



顺序。

(5) 根据热轧自动化技术的发展,在第5、6章中增加和改写了有关内容,增加了很多新的插图,以便读者对有关内容加深理解。

(6) 改写了公式中的一些符号和单位。

(7) 删除了第1版中的“绪论”。

编者
2017年6月

第1版前言

在冶金工业生产过程中，轧钢生产过程是各种高新技术应用较为广泛的一个领域，而带钢热连轧生产过程自动化系统又是发展得最迅速、最成熟，并且取得经济效果最明显的自动化系统。

本书是作者根据多年从事设计、集成、开发和调试带钢热连轧自动化系统的经验并且收集了国内外有关文献、报告等资料编写而成的，可供从事冶金自动化工作的工程技术人员使用，也可供大专院校自动化、计算机和工艺专业的师生参考。

本书共分7章。

第1章热轧生产工艺及设备，介绍了传统带钢热连轧、薄板坯连铸连轧、新型炉卷轧机的生产工艺和设备的发展状况。

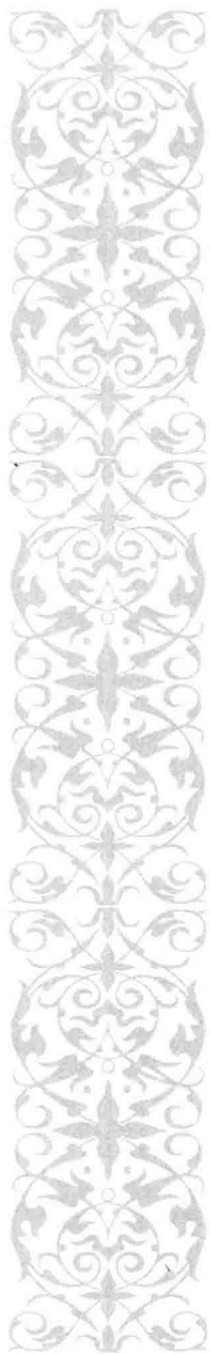
第2章热连轧计算机系统与检测仪表，介绍了热轧计算机系统和热轧检测仪表的概况。

第3章热轧工艺理论基础，介绍了与热轧生产过程有关的理论公式和实用方程。

第4章基础自动化级功能，介绍了基础自动化级的主要控制功能。

第5章过程控制级功能，介绍了过程控制级的主要控制功能。

第6章热连轧数学模型，介绍了热轧生产过程有关的



数学模型。

第7章生产控制管理级功能，介绍了生产管理级的主要功能。

全书由刘玠、杨卫东、刘文仲编著。参加本书编著的还有：北京科技大学孙一康（第3章）、杨荃（2.4.2、2.4.4、2.4.5、4.6、6.5.2.1节）；鞍山钢铁公司热轧厂郑雷（第7章）、武汉钢铁公司热轧厂王越平（6.7节）。北京科技大学研究生傅剑、陈连贵、王培元做了很多文字录入工作。

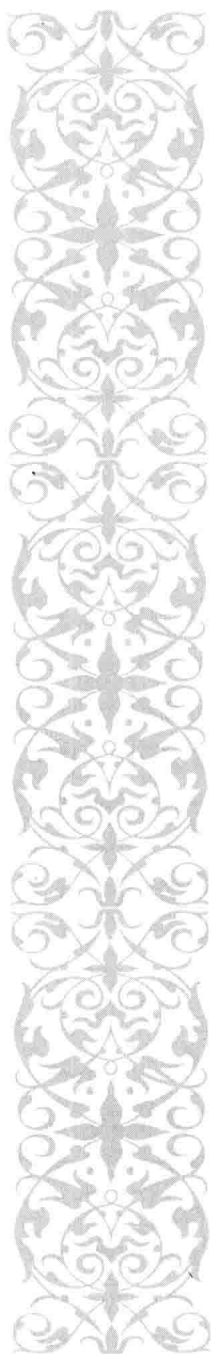
本书的编写参考并引用了许多国内公开出版物的内容（如参考文献部分所示），也采纳了一些没有列入参考文献的内部资料的内容，限于本书的编写体例，在文中没有一一列出，谨此向上述文献资料的作者和提供单位表示真诚的感谢。

由于水平所限和时间紧迫，书中难免有不妥之处，恳请专家、学者和广大读者指正。

编者
2006年9月

目 录

第1章 热轧生产工艺及设备	1
1.1 带钢热连轧生产工艺概述	1
1.1.1 传统带钢热连轧	1
1.1.2 薄板坯连铸连轧	4
1.1.3 新型炉卷轧机	6
1.1.4 热轧无头轧制技术与超薄带的生产	7
1.2 机械设备	9
1.2.1 粗轧机组	9
1.2.2 精轧机组	14
1.2.3 带钢冷却装置	19
1.2.4 卷取机	20
1.2.5 辊道	22
1.3 电气设备	24
1.3.1 概述	24
1.3.2 供电系统	24
1.3.3 电气传动系统	26
第2章 热连轧计算机控制系统与检测仪表	29
2.1 带钢热连轧计算机控制流程概述	29
2.1.1 加热炉区	30
2.1.2 粗轧区	31
2.1.3 中间辊道	32
2.1.4 精轧区	33
2.1.5 热输出辊道	35
2.1.6 卷取运输链区	36
2.1.7 其他	37
2.2 带钢热连轧计算机系统的分级与功能划分	38
2.2.1 生产管理计算机系统功能	38
2.2.2 生产控制计算机系统功能	40



2.2.3	过程控制计算机系统功能	41
2.2.4	基础自动化系统功能	44
2.3	带钢热连轧计算机系统结构	48
2.3.1	带钢热连轧计算机控制系统结构的演变	48
2.3.2	基础自动化系统组成及其特点	49
2.3.3	计算机控制系统的结构	50
2.4	轧线检测仪表	57
2.4.1	轧制力测量仪	57
2.4.2	宽度测量仪	58
2.4.3	厚度测量仪	60
2.4.4	凸度测量仪	62
2.4.5	平直度测量仪	63
2.4.6	温度测量仪	70
第3章	热轧工艺理论基础	72
3.1	变形区基本工艺参数	72
3.2	体积不变定律	73
3.3	流量恒定定律	73
3.3.1	变形区入口出口流量方程	73
3.3.2	连轧机多个机架的流量方程	75
3.4	热轧塑性变形方程	75
3.5	轧制力模型的理论基础	77
3.5.1	接触弧水平投影长度	78
3.5.2	外摩擦应力状态系数 Q_p	78
3.5.3	热轧金属塑性变形抗力	80
3.6	弹跳方程	81
3.7	凸度方程和板形方程	85
3.8	传热基本方程	87
3.8.1	概述	87
3.8.2	传热学基础	89
3.8.3	传热学基本公式	90
第4章	基础自动化级功能	95
4.1	轧件运送控制	95
4.1.1	概述	95
4.1.2	中间辊道控制	96
4.1.3	热输出辊道控制	98
4.2	自动位置控制	99

4.2.1	自动位置控制基本原理	99
4.2.2	压下控制系统概述	103
4.2.3	电动压下自动位置控制	107
4.2.4	液压压下自动位置控制	109
4.2.5	辊缝零调与轧辊水平调整	112
4.3	活套控制	114
4.3.1	基本概念	114
4.3.2	活套高度控制	115
4.3.3	活套张力控制	117
4.3.4	活套高度控制与张力控制的关系	119
4.4	自动厚度控制 (AGC)	119
4.4.1	厚度误差产生的原因	119
4.4.2	厚度控制的基本分析方法	122
4.4.3	自动厚度控制原理与算法	127
4.5	自动宽度控制 (AWC)	144
4.5.1	宽度误差产生的原因	144
4.5.2	自动宽度控制系统的结构与组成	145
4.5.3	自动宽度控制功能	146
4.6	板形控制 (ASC)	148
4.6.1	板形控制策略	148
4.6.2	前馈板形控制	152
4.6.3	反馈板形控制	153
4.6.4	板形板厚解耦	154
4.7	终轧温度控制 (FTC)	154
4.7.1	终轧温度控制原理	154
4.7.2	带钢头部终轧温度控制	155
4.7.3	带钢全长终轧温度控制	157
4.8	卷取温度控制 (CTC)	159
4.8.1	卷取温度控制原理	159
4.8.2	卷取温度的控制方式	162
4.8.3	阀控制与带钢跟踪	163
4.8.4	带钢冷却方式	164
4.9	卷取张力控制	165
4.9.1	卷取张力控制概述	165
4.9.2	卷取张力控制原理	166
4.9.3	卷取张力控制数学模型	168
4.9.4	卷径测量	168
4.9.5	卷取张力控制的实现	169

第 5 章 过程控制级功能	171
5.1 概述	171
5.2 设定计算	174
5.2.1 加热炉设定计算	174
5.2.2 粗轧机设定计算	175
5.2.3 精轧机设定计算	175
5.2.4 卷取机设定计算	176
5.2.5 卷取温度设定计算	176
5.3 生产计划和初始数据的处理	177
5.4 轧件跟踪	178
5.4.1 跟踪区的划分	179
5.4.2 跟踪指示器	180
5.4.3 跟踪功能的实现	181
5.4.4 跟踪修正	184
5.4.5 半无头轧制工艺下的跟踪	185
5.5 数据通信	189
5.5.1 和外部计算机的数据通信	189
5.5.2 和大型检测仪器的数据通信	194
5.6 数据记录和报表	194
5.7 人机界面	195
5.8 数据采集和处理	196
5.9 轧辊数据处理	196
5.10 历史数据处理	196
5.11 事件监视	197
5.12 产品质量数据分类	198
5.13 应用系统起动	198
5.14 模拟轧钢	198
第 6 章 热连轧数学模型	200
6.1 热连轧数学模型的概况	200
6.1.1 热连轧数学模型的发展特点	200
6.1.2 热连轧数学模型的发展趋势	201
6.1.3 热连轧数学模型的功能	203
6.2 加热炉燃烧控制模型	204
6.2.1 概况	204
6.2.2 板坯温度计算	205
6.2.3 炉温设定计算	208