

冶金过程自动化技术丛书

刘玟
主编

国家重点图书

冷轧生产 自动化技术

(第2版)

孙一康 童朝南 彭开香 编著

 冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

非外借

国家重点图书

冶金过程自动化技术丛书

冷轧生产自动化技术

(第2版)

刘 玠 主编

孙一康 童朝南 彭开香 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,本书分7章描述了板带冷轧自动化控制系统,主要内容包括单机架冷轧机到连续轧机以及联合全连续冷轧生产线自动化控制系统,其中重点放在连续轧机部分的基础自动化系统与过程自动化系统,同时兼顾了轧机入口与出口处理线的自动化,也简述了彩色涂层自动化系统以及联合企业的生产执行控制级自动化。本次修订主要修改的部分有:一些专业用语的更正;第3章基础自动化中的部分内容的调整;第4章过程自动化中增加了关于板形辊型的计算;第5章中修改管理自动化为综合自动化;第6章加强了连退线的内容。

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

冷轧生产自动化技术/刘玠主编.—2版.—北京:冶金工业出版社,2017.8

(冶金过程自动化技术丛书)

ISBN 978-7-5024-6855-2

I. ①冷… II. ①刘… III. ①冷轧—自动化技术 IV. ①TG335.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 057851 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 978-7-5024-6855-2

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 10 月第 1 版,2017 年 8 月第 2 版,2017 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 393 千字; 238 页

78.00 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 刘珩

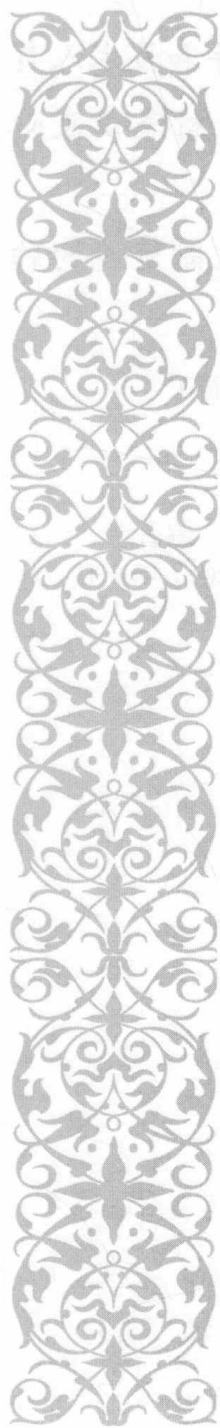
2004年仲夏

第2版前言

在我国工业现代化进程中，钢铁工业一直处于基础产业的主导地位，而冷轧板带的生产又是钢铁工业发展中的重要过程之一，同时也是高经济效益的生产过程。因此，近40年来国内外冷轧板带产品的生产技术得到了很大发展，尤其是带钢冷轧计算机控制技术发展尤为迅速，我国在建或准备建设的带钢连续冷轧生产线约20条，还有单机架、双机架冷轧机生产线，其中单个机架（包括有色金属加工企业）约200架次。与此同时，国内的科研人员对带钢冷轧计算机控制技术进行了深入研究，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，对国内外在带钢冷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，为大批新建或待建的冷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。本次修订是应读者的需求，并且按照读者的反馈意见加以修改的。

本书分7章描述了板带冷轧自动化控制系统，涵盖了主轧线和辅助线上的自动化一级、二级、三级自动化系统。重点阐述了板带冷轧计算机控制系统的设计，控制方法的理论基础，控制功能的实现。全书包括单机架冷轧机到连续轧机以及联合全连续冷轧生产线自动化控制系统，



其中重点放在连续轧机部分的基础自动化系统与过程自动化系统，同时兼顾了轧机入口与出口处理线的自动化，也简述了彩色涂层自动化系统以及联合企业的生产执行控制级自动化。本次修订主要修改的部分有：一些专业用语的更正；第3章基础自动化中的部分内容的调整；第4章过程自动化中增加了关于板形辊形的计算；第5章中修改管理自动化为综合自动化；第6章加强了连退线的内容。

本书在编写过程中得到了鞍山钢铁集团公司冷轧厂领导和技术人员协助和支持，在此对鞍钢冷轧厂张俊民等同志提供部分素材表示衷心感谢。

本书中参考或直接引用了大量的文献资料，对于这些文献资料的作者，请恕在此不能逐位提名，仅表示由衷的感谢。

谨以此书献给辛勤工作在冷轧生产第一线的工程技术人员！

编著者
2017年6月

第1版前言

在工业现代化进程中，钢铁工业一直处于基础产业的定位，而冷轧板带的生产又是钢铁工业发展中的重要课题之一。因此，近年来国内外冷轧板带产品的生产技术得到了很大发展，尤其是带钢冷轧计算机控制技术发展尤为迅速，我国在建或准备建设的带钢冷轧生产线约 10 多条。与此同时，国内的科研人员对带钢冷轧计算机控制技术进行了深入研究，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，对国内外在带钢冷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，为大批新建或待建的冷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。

本书分 7 章描述了板带冷轧自动化控制系统，重点阐述了板带冷轧计算机控制系统的设计、控制方法的理论基础、控制功能的实现。全书内容包括单机架冷轧机、连续轧机以及联合全连续冷轧生产线自动化控制系统，其中重点放在连续轧机部分的基础自动化系统与过程自动化系统，同时兼顾了轧机入口与出口处理线的自动化，同时简述了彩色涂层钢板生产线自动化系统以及联合企业的生产执行控制级自动化。

本书在编写过程中得到了鞍山钢铁集团公司冷轧厂领



导和技术人员的大力协助和支持,在此对鞍钢冷轧厂张俊民等同志提供部分素材表示衷心感谢。

本书中参考或直接引用了大量的文献资料,对于这些文献资料的作者,请恕不能在此逐位提名,仅表示由衷的感谢。

谨以此书献给辛勤工作在冷轧生产第一线的工程技术人员!

编著者
2006年7月

本书所用符号

(1) 厚度

H_0 ——冷轧来料厚度 (热轧卷带钢厚度), mm;

h_0 ——机架入口厚度 (h_{0i} 为 i 机架入口厚度), mm;

h_1 ——机架出口厚度 (H_i 为 i 机架出口厚度), mm;

h_n ——成品架轧出厚度, mm;

h_m ——平均厚度 $h_m = \frac{h_0 + h_1}{2}$, mm;

h_γ ——对应中性角 γ 处的厚度, mm;

δH_0 ——来料厚度的变动量, mm;

δh_0 ——入口厚度的变动量, mm;

δh_1 ——出口厚度的变动量, 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, mm;

u_m ——变形区内平均变形速度, s^{-1} ;

Δh ——绝对压下量, mm;

ε ——相对变形程度;

ε_0 ——入口累计相对变形程度;

ε_1 ——出口累计相对变形程度;

$\dot{\varepsilon}$ ——真正变形程度;

e ——秒流量, mm^3/s ;

Q ——轧辊直径, mm;

D ——轧辊半径, mm;

R ——压扁后轧辊半径, mm;

R' ——带钢宽度, m;

B ——入口带钢宽度, m;

B_0 ——出口宽度, m;

B_1 ——绝对宽展量, m;

ΔB ——平均带钢宽度, m;

L_0 ——入口带钢长度, m;

L_1 ——出口带钢长度, m;

φ ——力臂系数;
 μ ——变形区摩擦系数;
 f ——前滑值, %;
 β ——后滑值, %;
 α ——咬入角, rad;
 γ ——中性角, rad;
 η ——压下系数;
 χ ——宽展系数;
 λ ——延伸系数;
 $\delta\mu$ ——摩擦系数变动量, %;
 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;
 v' ——带钢入口速度, m/s;
 n_0 ——对应于 H_0 的电机转速, r/min;
 n_H ——电机的额定转速, 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;
 τ_i —— i 机架前张应力, 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;
 $\delta\tau_i$ —— i 机架前张应力变动量, MPa;
 $\Delta\tau_i$ ——附加前张应力 (i 机架前张应力变动量), MPa;
 K_T ——张力影响系数。

(4) 力能参数

P_i —— i 机架轧制力, kN;
 P_E ——带钢弹性恢复区附加轧制力, 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 处变形区单位摩擦力, MPa;

t_{φ} ——坐标角 φ 处变形区单位摩擦力, MPa;

Q_P ——变形区应力状态系数;

P_0 ——预压靠力, kN;

σ ——材料变形阻力, MPa;

k, K ——材料强度, MPa;

K_0 ——材料强度基本值, MPa;

K_E ——材料强度增量, MPa;

δP ——轧制力变动量, kN;

δK ——材料强度变动量, MPa;

$\delta k, \delta K_0$ ——材料强度基本值变动量, MPa;

δF ——弯辊力变动量, kN。

(5) 板形参数

CR ——带钢出口凸度 (轧出凸度), δ 即 CR , mm;

CR_0 ——带钢入口凸度 (轧入凸度), Δ 即 CR_0 , mm;

Δ_0 ——冷连轧来料凸度 (热轧卷带钢凸度), mm;

ω_H ——轧辊的热辊型, mm;

ω_W ——轧辊的磨损辊型, mm;

ω_0 ——轧辊的原始辊型, mm;

ω_C ——CVC 辊可调辊型, mm;

δCR ——出口凸度变动量, mm;

$\delta \omega_C$ ——CVC 辊可调辊型变动量, mm。

(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/mm;

K_F ——弯辊力对辊系弯曲变形影响的横向刚度, kN/mm;

S ——辊缝仪显示的辊缝值, mm;

S_0 ——辊缝零位, mm;

S_P ——辊缝弹跳量, mm;

S_F ——弯辊力造成的辊缝变化量, mm;

S_C ——轧辊中间点辊缝, mm;

S_e ——轧辊边部点辊缝, mm;

S_H ——轧辊热膨胀量, mm;

S_{ω} ——轧辊磨损量, mm;

G ——辊缝零位自学习值, mm;

O ——油膜轴承油膜厚度, mm;

δS ——辊缝变化量, mm;

δS_F —— S_F 的变动量, mm。

(7) 上标

*——实测值;

A——动态变规格的前带钢 (A 材) 参数;

B——动态变规格的后带钢 (B 材) 参数;

U——上限值;

L——下限值。

(8) 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;

MR——主令速度值;

SR——相对速度值;

TH——穿带参数;

BG——动态变规格楔形区起始点参数;

WLD——焊缝处参数;

max——最大值;

min——最小值;

RL——稳态轧制时参数。

注: 某些仅用于局部公式的符号请见文中各公式的说明。