

钢铁工业

自动化

GANGTIE

GONGYE

ZIDONGHUA

· 轧钢卷 ·

ZHAGANGJUAN

薛兴昌 马竹梧 沈标正 张剑武 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

钢铁工业自动化

轧钢卷

薛兴昌 马竹梧 沈标正 张剑武 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2010

内 容 提 要

《钢铁工业自动化》一书共四卷,本书为轧钢卷,内容包括轧线仪表和传感器、轧机电气传动系统、轧机液压伺服系统、板带热连轧轧制自动化、板带冷连轧轧制自动化、可逆冷轧和处理线生产自动化、中厚板轧制自动化、炉卷轧机自动化、无缝钢管生产自动化、焊接钢管生产自动化、型钢轧制自动化和轧钢工业炉自动化。

本书可供从事钢铁工业自动化研究、设计、生产维护人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁工业自动化. 轧钢卷/薛兴昌等编著. —北京:冶金工业出版社, 2010. 1

ISBN 978-7-5024-4509-6

I. 钢… II. 薛… III. ①钢铁工业—自动化 ②轧钢学—自动化 IV. TF31 TG33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 211803 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 戈 兰 美术编辑 李 新 版式设计 张 青 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4509-6

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

2010 年 1 月第 1 版, 2010 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 51 印张; 1237 千字; 796 页; 1-2000 册

149.00 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

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

马竹梧、邱建平同志编著的《钢铁工业自动化》一书，涉及我国钢铁工业生产的主要工艺过程——炼铁、炼钢、轧钢和冶金管理等方面的自动化技术，其目的是全面系统地介绍近年来我国钢铁工业自动化技术的发展。这是一本关于钢铁工业自动化工作的有益参考书。

当前我国钢铁工业正处于结构调整、产品升级换代的关键时期，在生产流程紧凑化、连续化、高效化过程中，必须广泛提高过程自动化水平。在继续提高基础自动化基础上，要加强对引进数模的消化吸收和开发创新，开展各种生产过程自动化系统方法和软件平台的研究开发，把钢铁工业自动化水平（当然也包括硬件、装备）提到一个新的高度，使我国钢铁生产过程实现自动化、工艺智能化、管理信息化。

马竹梧同志是原冶金部自动化研究院总工程师，是钢铁工业自动化方面一位有造诣的知名专家，长期在钢铁工业自动化工作中做出了贡献。本书是基于他多年的工作经验积累，与其他同志合作完成编著的。相信本书在钢铁工业自动化进程中，定会为新的宏伟钢铁大厦建设添砖加瓦。

中国工程院院士

马竹梧

前言

轧钢是钢铁工业的成材工序，轧钢自动化是钢铁工业自动化极其重要的组成部分。随着轧制过程不断地向连续化和高速化的发展，为减少故障率提高作业率，节能降耗，提高产品质量和生产国民经济发展急需的品种，许多环节都已非人力所能胜任。轧钢自动化系统已经成为必不可少的重要装备和生产力的基本要素。

改革开放以来，我国轧钢自动化技术取得长足的进步。特别是进入 21 世纪以来我国轧钢自动化系统和技术开始高速发展和大规模的推广应用。各种线棒材轧机三电自动化系统国产化比例越来越高，到 2005 年占到 90% 以上，鲜有成套进口的自动化系统，目前几乎全部都是国内开发和集成的系统。2003 年以来大型板带热连轧三电自动化系统国内自主集成发展很快，已经建成 20 多条生产线。大型板带冷连轧三电自动化系统自主开发集成也开始应用于实际工程，并走向海外。现在国内已经有能力开发、设计和集成制造各类轧线的成套自动化系统。也正是由于国内具有了自主设计和制造现代化轧机三电自动化系统的能力，大大降低了系统造价，显著缩短了工程周期，有力地促进钢铁工业高速发展。近些年来平均每年增加 5000 多万吨钢的生产能力，自动化系统国产化为此做出了极其突出的贡献！

目前我国轧钢自动化系统和技术已经得到广泛的应用，根据中国钢铁工业协会统计，重点钢铁企业轧钢自动化系统中基础自动化系统普及率为 99.67%，过程控制级普及率为 68.76%。在轧钢自动化工程技术方面，我们已全面接近和大部分达到国际先进水平，正在走向世界市场。

本书是钢铁工业自动化轧钢卷，是当代轧钢自动化系统工程技术的总结。它包括了轧钢自动化系统和技术各个方

面,涵盖了各种类型轧机的自动化控制系统和技术。书中绝大部分内容均是来自工程实践,编者均是从事轧钢自动化工程多年的专家。

本书对从事轧钢自动化和轧钢工艺的工程技术人员是一本极有价值的工具书,也可作为高等院校自动化、计算机和工艺专业师生的参考书。

参加本书编写的有:薛兴昌、张剑武、黄维纲联合编写第1章;马竹梧、杨溪林、邱忠义、高增雪联合编写第2章;沈标正、路尚书、徐海涛联合编写第3章;田征、张剑武联合编写第4章;薛兴昌、王全生、张剑武、张宇联合编写第5章;薛兴昌、刘松斌、张剑武、张宇联合编写第6章;陈春雨、胡宇联合编写第7章;第8、9、10、11、13章由马竹梧编写;胡宇、王全生、马竹梧联合编写第12章。

胡仁安、纪尚坤审阅了全书,并提出许多宝贵意见,编者在此深表感谢!由于时间紧迫,水平所限,书中不妥之处敬请读者批评指正。

编 者
2009年2月

目 录

第1章 综 述

1.1 我国轧钢自动化发展的历史和现状	1
1.2 轧钢自动化系统功能述评和技术发展	3
1.2.1 轧钢自动化系统的功能述评	3
1.2.2 轧钢自动化的技术发展	6
1.3 轧制过程基础控制和公共控制	9
1.3.1 自动位置控制	10
1.3.2 轧线速度控制	11
1.3.3 轧件跟踪	14
1.3.4 数据通信	16
1.3.5 轧线控制逻辑	16
1.4 轧钢自动化工程开发设计支撑体系	17
1.4.1 冶金自动化工程开发设计规范	18
1.4.2 轧制自动化系统开发平台	22
1.4.3 轧制自动化系统工程技术库	29
1.4.4 系统测试和现场调试工具	30
参考文献	31

第2章 轧线仪表和传感器

2.1 概述	33
2.1.1 轧线仪表和传感器	33
2.1.2 轧钢主要仪表和传感器的特点和检测环境	37
2.2 特殊轧件跟踪仪表与传感器	38
2.2.1 热金属检测器 (HMD)	38
2.2.2 冷金属检测器 (CMD)	40
2.2.3 带钢对中控制装置	41
2.3 轧制力测量仪	45
2.3.1 压磁式传感器	46

2.3.2 应变电阻式传感器	49
2.3.3 电容式传感器	52
2.3.4 油压式传感器	53
2.3.5 拉杆式传感器	53
2.3.6 轧制力传感器的标定	54
2.4 张力测量	56
2.5 辊缝测量	58
2.5.1 辊缝测量方法	58
2.5.2 位置传感器	61
2.6 线速度测量	65
2.6.1 发电型转速计	65
2.6.2 脉冲式转速计	65
2.6.3 线速度的相关测量法	66
2.6.4 线速度的光束切断测量法	67
2.6.5 激光式线速度计	68
2.7 厚度测量	70
2.7.1 X射线测厚仪	71
2.7.2 核辐射测厚仪	73
2.7.3 激光测厚仪	74
2.7.4 钢板凸度仪	77
2.7.5 带钢板镀层厚度测量	80
2.7.6 钢管壁厚测量	81
2.8 宽度测量仪	83
2.9 板形测量	87
2.9.1 平直度定义	87
2.9.2 冷轧带钢板形测量	87
2.9.3 热轧带钢板形测量	90
2.10 线径测量	93
2.10.1 ORBIS 型无接触式线(棒)径测量仪	93
2.10.2 RDMS 激光测径系统	94
2.11 长度测量	95
2.11.1 脉冲发生器法	96
2.11.2 光束切断法	97
2.11.3 激光法	98
2.12 缺陷测量与无损检测	98
2.12.1 概述	98
2.12.2 无缝钢管的缺陷检测	99
2.12.3 螺旋焊管的缺陷检测	100
2.12.4 轮轴的缺陷检测	102

2.12.5 钢轨的缺陷检测	103
2.12.6 钢板的缺陷检测	104
2.12.7 在役轧辊的缺陷检测	108
2.12.8 镀层板的针孔检测	109
2.13 连续铁损测量	111
2.13.1 连续铁损仪的构成	111
2.13.2 连续铁损仪的测量原理	112
2.13.3 连续铁损仪校正因素	113
2.13.4 连续铁损仪信号显示	114
2.13.5 连续铁损测量仪的技术参数	114
2.14 温度测量	114
2.15 机器视觉的应用	115
2.15.1 基于机器视觉的重轨表面缺陷检测系统	116
2.15.2 基于机器视觉的焊缝自动跟踪系统	120
参考文献	122

第3章 轧机电气传动系统

3.1 轧机主传动系统	128
3.1.1 轧机主传动系统特点	128
3.1.2 轧机主传动系统发展历程	128
3.1.3 轧机主传动系统发展与电力电子技术发展的关系	129
3.1.4 交流变频调速系统对于电机类型的选择	130
3.1.5 轧机直传动系统	130
3.1.6 轧机交流变频调速传动系统	131
3.2 轧机主传动变频器	133
3.2.1 交交变频调速系统	133
3.2.2 负载换相交直交变频调速系统	136
3.2.3 可关断器件交直交变频调速系统	138
3.3 轧机主传动整流变压器	143
3.3.1 整流变压器结构形式	143
3.3.2 交流变频整流变压器设计需要考虑的问题	144
3.3.3 整流变压器的防转移电压措施	145
3.3.4 干式整流变压器的温度保护装置	146
3.4 轧机主传动电动机	147
3.4.1 用于轧机主传动电动机的类型	147
3.4.2 直流电动机	147
3.4.3 异步电动机	154
3.4.4 同步电动机	156

3.4.5 对轧机主传动电动机的技术要求	160
3.5 直流与交交变频传动系统的 SVC 装置	162
3.5.1 变频器产生的谐波与无功	162
3.5.2 SVC 装置工作基本原理	163
3.5.3 SVC 装置技术性能指标	167
3.6 轧机主传动扭振问题	167
3.6.1 轧机的扭振现象	167
3.6.2 轧机扭振分析和计算方法	173
3.6.3 轧机轴系扭振力学模型	174
3.6.4 控制扭振的措施	178
3.6.5 应用现代控制理论来解决扭振问题	181
3.7 轧机辅传动	181
3.7.1 轧机辅传动的供电方式	182
3.7.2 轧机辅传动接线方式	182
3.7.3 轧机辅传动电动机的制动方式	183
3.7.4 轧机辅传动整流器结构	183
3.7.5 轧机辅传动电动机的类型	183
3.7.6 交-直-交卷取机控制系统介绍	184
参考文献	189

第 4 章 轧机液压伺服系统

4.1 液压伺服系统简介	190
4.2 电液伺服阀	191
4.2.1 电液伺服阀控制的液压辊缝调节原理	191
4.2.2 流量电液伺服阀结构	191
4.3 伺服油缸	192
4.3.1 油缸的分类	192
4.3.2 伺服油缸设计的特点	192
4.3.3 油缸的设计	193
4.3.4 典型应用设计实例	196
4.4 检测元件	200
4.4.1 位置传感器	200
4.4.2 压力传感器	201
4.5 液压伺服供油系统	201
4.5.1 高压泵系统	201
4.5.2 低压泵系统	202
4.5.3 伺服油缸控制装置	202
4.5.4 油箱及回油系统	203

4.5.5 阀架	203
4.6 液压伺服系统的使用与维护	203
4.6.1 安装	203
4.6.2 液压系统的调试	204
4.6.3 检查与维护	205
4.6.4 液压系统故障及排除	205
4.6.5 液压元件的故障及排除	207
参考文献	210

第5章 板带热连轧轧制自动化

5.1 概述	211
5.1.1 宽带钢热连轧机的主要设备布置形式	211
5.1.2 两种主要热连轧工艺的比较	212
5.1.3 热轧窄带钢	214
5.2 轧线仪表和传感器	214
5.2.1 热连轧轧线仪表和传感器布置	214
5.2.2 主要轧线仪表和传感器说明	215
5.3 自动化系统结构、配置和功能分配	216
5.3.1 系统总体方案	216
5.3.2 自动化系统设备选型和配置	220
5.3.3 系统功能分配	223
5.4 基础自动化系统的功能	229
5.4.1 飞剪控制	230
5.4.2 活套控制	232
5.4.3 自动宽度控制	237
5.4.4 自动厚度控制	240
5.4.5 板形控制	248
5.4.6 热卷箱控制	249
5.4.7 卷取机控制	253
5.5 过程控制计算机系统功能	263
5.5.1 过程控制计算机系统开发平台	263
5.5.2 过程控制计算机数据组织	264
5.5.3 轧制计划的输入和管理	266
5.5.4 过程控制计算机的数据通信	270
5.5.5 轧件跟踪	273
5.5.6 轧制节奏控制	276
5.5.7 轧制模型控制逻辑	279
5.5.8 轧制过程模型综述	281

5.6 轧制过程数学模型和人工智能应用	282
5.6.1 粗轧模型	282
5.6.2 精轧模型	289
5.6.3 模型参数自学习	304
5.6.4 人工智能应用	306
参考文献	307

第6章 板带冷连轧轧制自动化

6.1 概述	308
6.2 轧线仪表与传感器	309
6.2.1 测厚仪	309
6.2.2 压头	310
6.2.3 张力计	310
6.2.4 激光测速仪	310
6.2.5 平直度仪	310
6.2.6 焊缝检测器	310
6.2.7 脉冲码盘	310
6.2.8 位移传感器	311
6.3 自动化系统的结构、选型和功能分配	311
6.3.1 自动化系统总体结构	311
6.3.2 自动化系统选型和配置	311
6.3.3 自动化系统的功能分配	313
6.4 基础自动化系统功能	317
6.4.1 入口段控制	318
6.4.2 速度主令控制	323
6.4.3 自动厚度控制 (液压 AGC)	324
6.4.4 机架间张力控制	332
6.4.5 动态变规格控制	336
6.4.6 板形控制	342
6.5 过程控制计算机系统功能	349
6.5.1 过程控制计算机系统结构	349
6.5.2 原始数据管理子系统	350
6.5.3 轧件跟踪子系统	352
6.5.4 轧辊数据管理	353
6.5.5 数据采集	354
6.5.6 报表子系统	356
6.6 数学模型及人工智能的应用	357
6.6.1 冷连轧数学模型简介	357

6.6.2	设定计算的步骤和方法	358
6.6.3	轧制力、轧制力矩和轧制功率计算	365
6.6.4	实用工程模型	367
6.6.5	模型参数自适应	375
6.6.6	智能控制应用	378
参考文献		379

第7章 可逆冷轧和处理线生产自动化

7.1	冷轧生产概览	380
7.2	可逆冷轧机轧制自动化	381
7.2.1	概述	381
7.2.2	仪表和传感器	383
7.2.3	自动化系统结构、选型和功能分配	384
7.2.4	自动化系统功能	387
7.2.5	设定与设定计算	388
7.2.6	厚度自动控制	396
7.3	酸洗生产线自动化	404
7.3.1	概述	404
7.3.2	仪表和传感器	405
7.3.3	自动化系统结构的选型和功能分配	406
7.3.4	自动化系统功能	408
7.3.5	张力控制	410
7.4	退火生产线自动化	411
7.4.1	概述	411
7.4.2	仪表和传感器	412
7.4.3	自动化系统结构, 选型和功能分配	413
7.4.4	自动化系统的功能	415
7.4.5	连续退火线的速度控制	415
7.5	平整机组生产自动化	421
7.5.1	概述	421
7.5.2	仪表和传感器	422
7.5.3	自动化系统结构, 选型和功能分配	422
7.5.4	自动化系统的功能	424
7.5.5	伸长率控制	426
7.5.6	伸长率、轧制力、张力、弯辊力的综合优化	433
7.6	镀锌、镀锡生产线自动化	435
7.6.1	概述	435
7.6.2	仪表和传感器	436

7.6.3 自动化系统结构、选型和功能分配	436
7.6.4 自动化系统的功能	438
7.6.5 活套的控制	439
7.6.6 镀层厚度控制	442
7.7 彩涂生产线自动化	444
7.7.1 概述	444
7.7.2 仪表和传感器	445
7.7.3 自动化系统结构、选型和功能分配	446
7.7.4 自动化系统的功能	448
7.7.5 涂层厚度的控制	449
参考文献	451

第8章 中厚板轧制自动化

8.1 概述	453
8.2 轧线仪表和传感器	454
8.3 自动化系统结构、选型和功能分配	457
8.3.1 自动化系统结构和选型	457
8.3.2 自动化系统功能分配	457
8.4 主要自动化系统	461
8.4.1 粗轧机自动控制	461
8.4.2 粗轧机板宽自动控制 (RAWC)	463
8.4.3 精轧机自动控制	465
8.4.4 平面形状自动控制	470
8.4.5 轧后冷却控制	472
8.4.6 热矫直机自动控制	476
8.4.7 中厚板淬火自动控制	478
8.5 数学模型及人工智能应用	480
8.5.1 粗轧机展宽数学模型	480
8.5.2 板宽数学模型	481
8.5.3 平面形状控制的几种数学模型	487
8.5.4 轧后冷却控制数学模型	494
8.5.5 热矫直机数学模型	498
参考文献	499

第9章 炉卷轧机自动化

9.1 概述	502
9.1.1 工艺简述	502

9.1.2 炉卷轧机的发展与前景	503
9.2 轧线检测仪表	505
9.3 自动化系统结构和功能分配	505
9.3.1 MES (制造执行系统) 级的功能分配	506
9.3.2 过程自动化级的功能分配	509
9.3.3 基础自动化级的功能分配	511
9.3.4 计算机系统结构	514
9.4 自动化系统的主要功能	515
9.4.1 炉卷轧机入侧出侧卷取炉燃烧自动控制	515
9.4.2 炉卷轧机板带厚度自动控制 (AGC)	517
9.4.3 炉卷轧机板形自动控制 (ASC)	532
9.4.4 炉卷轧机卷筒料口自动定位控制系统	535
9.4.5 炉卷轧机卷取机的张力调节系统	536
9.4.6 炉卷轧机自动运转	537
9.5 数学模型及人工智能应用	539
9.5.1 炉卷轧机保温炉内卷曲带钢的温度场模型	539
9.5.2 宽中厚板炉卷轧机轧制温度模型	542
9.5.3 炉卷轧机层流冷却模型	546
9.5.4 炉卷轧机轧制规程计算和设定模型	549
9.5.5 人工智能的应用	551
参考文献	552

第10章 无缝钢管生产自动化

10.1 概述	554
10.1.1 热轧无缝钢管生产	554
10.1.2 冷加工无缝钢管生产	554
10.2 轧线检测仪表及传感器配置	555
10.3 自动化系统结构、选型和功能分配	557
10.3.1 自动化系统结构	557
10.3.2 自动化系统装备的选型	559
10.3.3 自动化系统功能及其在各级的分配	560
10.4 主要的自动化系统	562
10.4.1 热轧无缝钢管管坯锯切区自动控制	562
10.4.2 热轧无缝钢管穿孔机自动控制	566
10.4.3 热轧无缝钢管连轧管机自动控制	570
10.4.4 热轧无缝钢管张力减径机自动控制	578
10.4.5 冷轧无缝钢管自动控制	584
10.4.6 冷拔无缝钢管自动控制	586

10.4.7 无缝钢管管径自动控制系统 (AGC)	588
10.4.8 精整线定尺飞锯自动控制系统	591
10.5 数学模型及人工智能应用	593
10.5.1 概述	593
10.5.2 无缝钢管生产过程的控制模型	593
10.5.3 孔型和轧制表离线计算模型	595
10.5.4 设定计算模型	599
10.5.5 人工神经网络预测管材张减精度及斜轧穿孔毛管偏差	603
参考文献	608

第 11 章 焊接钢管生产自动化

11.1 概述	613
11.2 轧线检测仪表及传感器配置	615
11.2.1 轧线检测仪表及传感器配置简介	615
11.2.2 焊管的特殊和关键检测仪表	617
11.3 自动化系统结构、选型和功能及其分配	622
11.3.1 自动化系统结构和选型	622
11.3.2 自动化系统功能及其分配	623
11.4 主要自动化系统	625
11.4.1 水平螺旋活套自动控制	625
11.4.2 对头焊自动控制系统	627
11.4.3 焊缝自动跟踪	628
11.4.4 螺旋焊管焊缝间隙自动控制	637
11.4.5 焊枪小车步进电机驱动自动控制系统	638
11.4.6 焊缝温度自动控制	640
11.4.7 热量输入自动控制	642
11.4.8 自动引弧与焊缝火口部分焊接	643
11.4.9 高频焊管焊接过程自动控制	644
11.4.10 螺旋焊管直径自动控制	644
11.4.11 电焊钢管平均壁厚的测量与自动控制	646
11.4.12 焊管飞锯定尺自动控制系统	649
11.4.13 水压试验自动控制系统	651
11.5 数学模型及人工智能应用	652
11.5.1 埋弧焊缝自动跟踪模糊控制系统	653
11.5.2 水压试验机混合式智能伺服阀油压跟随控制系统	655
11.5.3 焊缝 X 光图像自动跟踪系统	656
参考文献	661

第 12 章 型钢轧制自动化

12.1 概述	663
12.2 轧线仪表和传感器	665
12.2.1 激光测距仪	667
12.2.2 活套扫描器	667
12.2.3 HITENSION 轧件外形尺寸检测器 SG5000	667
12.2.4 HiTEST/PR 用于圆钢表面缺陷的在线检测系统	668
12.2.5 HIPROFILE 激光外形检测系统	668
12.2.6 HiGAUGE 无接触光学测量系统	669
12.2.7 HILINE 光学辊箱位置和辊缝自动设定系统	669
12.3 自动化系统结构、选型和功能分配	669
12.3.1 大型型钢轧机自动化系统	670
12.3.2 中型型钢轧机自动化系统	676
12.3.3 小型型钢轧机自动化系统	676
12.4 基础自动化系统功能	680
12.4.1 微张力控制	680
12.4.2 尺寸自动控制 (AGC)	683
12.4.3 活套高度控制	685
12.4.4 飞剪剪切控制	687
12.4.5 轧件冷却控制	690
12.4.6 减定径机控制	691
12.4.7 夹送辊、吐丝机控制 (对线材而言)	692
12.4.8 风冷辊道及风机控制	693
12.4.9 集卷站控制 (对线材而言)	694
12.4.10 冷床自动控制	694
12.4.11 型钢锯切自动控制	697
12.4.12 打捆机自动控制	701
12.4.13 型钢堆垛自动控制	705
12.4.14 钢轨在线热处理自动控制	708
12.4.15 重轨翻钢机自动控制	711
12.5 数学模型的应用	713
参考文献	713

第 13 章 轧钢工业炉自动化

13.1 概述	716
13.2 主要仪表和传感器	717