

钢铁工业

自动化

GANGTIE

GONGYE

ZIDONGHUA

· 炼钢卷 ·

LIANGANGJUAN

马竹梧 邹立功 孙彦广 邱建平 编著

冶金工业出版社

钢铁工业自动化

炼钢卷

马竹梧 邹立功 孙彦广 邱建平 编著

北 京

冶金工业出版社

2003

内 容 提 要

《钢铁工业自动化》一书分四卷出版,此书为炼钢卷,内容包括铁水预处理、氧气转炉、电弧炉、炉外精炼、特种冶炼和连续铸钢以及炼钢相关机组(制氧、铁合金、活性石灰)的自动化技术,即工艺简况、检测仪表、电力传动控制、过程计算机、数学模型、人工智能的应用和近年来投产的机组三电一体化自动化系统以及工艺过程自动化的最新进展。

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·炼钢卷/马竹梧等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2003.7

ISBN 7-5024-3226-4

I. 钢… II. 马… III. ①钢铁工业—自动化技术
②炼钢—自动化技术 IV. TF3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 012657 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 李 心 责任校对 符燕蓉 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

2003 年 7 月第 1 版, 2003 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 42 印张; 1021 千字; 656 页; 1-2000 册

98.00 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)

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。

马竹梧

一九九九年九月四日

前言

建国以来,我国发展钢铁工业是采用投入一些资金,增加一些原料和设备,建设一些新厂,但这些粗放经营方式难以达到高效、节能降耗的效果;而西方则已采用“精耕细作”的方式,使用电子和自动化技术使生产获得高效、高产、优质以及很低的消耗。早在20世纪60年代,日本就已采用大型化、新技术和新工艺、临海建厂、自动化和计算机技术,这五大法宝,使日本钢铁工业跃居世界先进行列,其效率之高,更为世界第一。年产1000万t且品种极多的君津厂仅7900人,年产800万t的大分厂更是只有3000人。我国从日本引进的并在1976年投产的武钢1700mm热轧带钢厂,从加热炉、粗轧、精轧到卷取全线采用计算机自动化控制,从而使生产达到高效、高产、优质和低耗的效果,从此使我们认识到,采用自动化技术不仅是钢铁工业现代化的标志和必不可少的环节,而且能获得极大的经济效益。

目前国内外有关钢铁工业自动化的书籍大都是局部的,即自动化仪表、计算机控制、电力传动等某一方面的,而本书的特点是从系统工程出发,使读者对钢铁工业自动化有完整的概念,从而全面了解钢铁工业自动化的内容和技术,其中不仅包括仪表、电力传动以及计算机控制技术、基础自动化、过程自动化以及管理自动化等概念,而且包括工艺简述、数学模型和先进控制的应用、管理-控制一体化等。此外,还列出近年来国内外建设的各工序、各机组的三电自动化系统,并叙述了各工序、各机组的检测、自动化特别是数模和先进控制的最新进展,从而对管理决策、设计、生产、教学甚至对工程引进都有所帮助。

本书共分四卷,即炼铁卷、炼钢卷、轧钢卷和管理卷,是作者根据多年从事设计、科研开发和调试的经验并考察和收集了国内外资料,特别是宝钢及国内外大、中型钢铁

厂的情况和有关报告等资料编写而成的,可供从事钢铁工业自动化、包括研究、设计、生产维护等工作人员使用,也可使各级领导干部以及大专院校自动化、计算机和工艺专业的人员和师生参考。第一卷已经出版,本书是第二卷,其余两卷将陆续出版。

本书共7章,其中绪论、第1章、第4章、第5章及第6章由马竹梧编写,第2章由马竹梧、邹立功、邱建平共同编写,第3章由孙彦广编写,第7章由王玉华和马竹梧共同编写。

在本书编写过程中承蒙各方面专家、学者,如冶金自动化研究院李雨青教授级高级工程师、本钢的童锐教授级高级工程师、鞍钢的蒋慎言教授级高级工程师、太钢司玉敏高级工程师、庞志宏高级工程师、宝钢杜斌博士以及北京钢铁研究总院工艺所各位教授级高级工程师提供帮助、咨询和指导,编者特此致谢。由于时间紧迫,水平有限,不妥之处请读者批评指正。

编 者

2001年10月

绪 论

钢是碳、硅、锰及其他元素在铁中的固溶体。钢中存在的元素可大致分为两大类：碳、锰、硅等是用以改善钢的性能、以满足工程材料要求的有益元素；另一类如磷、硫、氧、氢及氮等，是从炉料或从大气中进入钢中的，它们的存在会使钢的性能变坏。炼钢的任务在于通过化学反应，除去原材料（铁水等）中的杂质，并调整钢水的成分和温度，达到规定的要求，最后铸成合格的钢锭或铸坯。

现代大规模生产的炼钢方法，按热能来源的不同，可分为两大类，即转炉炼钢法和电炉炼钢法。电炉炼钢法广义地应包括电弧炉炼钢法、感应炉炼钢法、电渣炉炼钢法等，但通常电炉炼钢法是指大规模生产的电弧炉炼钢法。当然，感应炉炼钢法、电渣炉炼钢法在特种冶炼中也占有很重要的地位。

钢铁是工业的“粮食”，对工业的发展，国家经济力量的水平及其增长都有很大的关系。我国钢的产量已超过 1 亿吨，居世界第一位，生产这么多钢，需要大量的原料和能源，故有效的操作、高产、高效、优质、节能降耗、多品种和低成本是至关重要的。国内外经验表明，采用新工艺、新技术、新型设备、大型化、自动化和电子计算机的应用是达到上述要求的有效方法。特别是自动化和电子计算机的应用是我国一再提出的“用电子技术改造传统工业”这一方针的主要内容。它不仅是现代钢铁工业的标志，而且是能获得重大经济效益并在激烈的市场竞争中立于不败之地的重要措施。

现代炼钢过程自动化和电子计算机的应用主要内容是进行基础自动化、过程自动化和管理自动化，包括检测仪表及控制、电力等传动系统控制和监控与管理计算机的应用。由于计算机的发展与进步，仪表及控制、电力等传动系统控制都是采用以微型机为核心的 PLC、DCS 或现场总线设备来执行的，并连成网络，形成如图 1 所示的 EIC（即电力传动、仪表及控制、计算机监控与管理，由于同属电类，我国钢铁界称之为三电系统）系统和多级计算机自动化系统。这种结构是钢铁工业自动化系统的普遍形式。

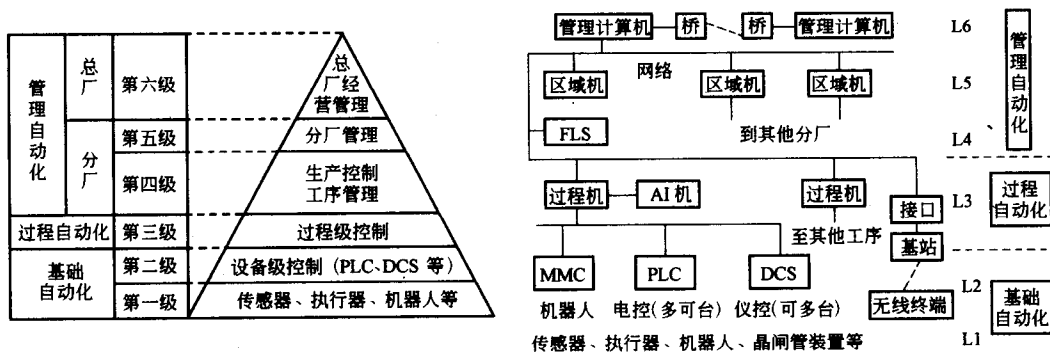


图 1 ISO 建议的 CIMS 结构图

为了获得更良好的控制品质,以满足炼钢的复杂过程,更进一步节能降耗、降低成本以及生产高附加值的产品,自动化已不仅使用常规控制(如PID算法的负反馈的单回路、单参数控制),而且采用先进控制的方法,如各种建模方法(机理模型、经验模型、统计模型、人工智能模型、现代控制理论建模等)构成的模型控制、协调控制、预测控制以及智能控制(模糊控制、专家系统、神经元网络和遗传算法等)等,而使控制品质达到更高水平从而收到重大的经济效益。在检测技术和检测仪表方面也得到很大的发展,它不仅利用新的检测方法、遥测技术、数字化技术和人工智能技术进行处理而且使用软测量技术,使炼钢过程许多过去无法得出的信息得以解决或某种程度的解决(如铁水预处理的混铁车位置人造卫星定位、铸坯结壳厚度、转炉过程中的熔池内钢水温度和成分等连续检测或预报等),从而大大有利于生产正常化并为先进控制创造先决条件。在人机联系、画面显示方面也日趋先进,如可视化技术(利用众多的传感器信息、数学模型和图像处理技术来构成)使复杂的炼钢过程及连铸凝固过程的内在看不见和只能估计的过程成为可视的易懂、易看、易解释和易操作的画面,甚至是三维的和活动的画面,从而更便于操作,有利于事故减少和安全生产。总之,运用最新技术构成高效、品质优良、满足生产要求和低成本的自动化系统是炼钢自动化的趋向,并借此使炼钢过程进入第四代操作(第一代操作是只有极少检测手段主要靠操作员经验的炼钢操作方法,第二代操作是第一个五年计划以后的靠安装有较多的检测仪表和自动控制系统以及人工判断的操作方法,第三代操作是靠如宝钢从日本引进的设有较完善的检测仪表和自动控制系统,并设有数学模型的以及人工监视和某些判断的操作方法,其最高水平为“一按按钮的炼钢方法”,第四代操作是装备有人工智能的自动化系统,它最终可代替操作员的判断而自动达到熟练操作员的操作水平,并使炼钢过程无人化或只有在管制中心设有值班人员,这阶段正在开始中)。

现代钢铁生产有多种流程,但主要是以高炉→铁水预处理→转炉→炉外精炼→连铸构成的长流程和以直接还原铁→电弧炉→炉外精炼→连铸构成的短流程,故本卷主要介绍长流程和短流程中有关炼钢部分的自动化。

限于篇幅,本书着重阐述炼钢过程的铁水预处理、氧气转炉、电弧炉、炉外精炼、连续铸钢自动化。此外,还阐述其有效操作对炼钢过程的质量和成本有密切关系,且其他卷难以列入的相关机组,如铁合金、制氧和石灰窑的自动化。

目 录

绪 论

第 1 章 铁水预处理自动化

1.1 概述	1
1.1.1 工艺简述	1
1.1.2 自动化的效益	3
1.1.3 自动化内容及系统结构	3
1.2 主要检测及仪表	4
1.2.1 铁水温度测量传感器与检测仪表	4
1.2.2 铁水成分分析用的传感器与检测仪表	6
1.2.3 鱼雷铁水车、铁水罐等砌体形状等检测	9
1.2.4 铁(钢)水液位高度检测	10
1.2.5 混铁车车号监测	10
1.2.6 铁水运输动态监测	11
1.2.7 铁水重量检测	12
1.3 铁水预处理基础自动化	13
1.3.1 高炉炉前脱硅自动化系统	13
1.3.2 喷吹法铁水单脱硫预处理基础自动化	13
1.3.3 搅拌法铁水单脱硫预处理基础自动化	17
1.3.4 喷吹法脱硫、脱磷、脱硅的铁水三脱预处理基础自动化	19
1.4 铁水预处理过程自动化	21
1.5 典型的铁水预处理三电自动化系统	23
1.5.1 宝钢一二期铁水预处理三电自动化系统	23
1.5.2 宝钢三期铁水预处理三电自动化系统	24
1.5.3 宝钢三期计算机铁水监控及管理系统	28
1.5.4 本钢二炼钢铁水预处理三电自动化系统	33
1.5.5 国外铁水预处理三电自动化系统	37
参考文献	39

第2章 氧气转炉自动化

2.1 概述	40
2.1.1 转炉炼钢发展概况	40
2.1.2 转炉炼钢的主要设备及工艺操作过程	41
2.2 过程检测及仪表	44
2.2.1 概述	44
2.2.2 铁水及钢水重量检测	56
2.2.3 钢(铁)水温度测量传感器与检测仪表	60
2.2.4 钢水定碳传感器与检测仪表	62
2.2.5 钢水定氧传感器与检测仪表	62
2.2.6 判断吹炼终点的仪表	64
2.2.7 在线炉气成分分析系统	66
2.2.8 转炉煤气流量检测	71
2.2.9 光电直读光谱成分分析仪	72
2.2.10 炉衬检测仪	72
2.3 主要自动控制系统	73
2.3.1 供氧系统自动控制	73
2.3.2 副枪系统检测及报警	75
2.3.3 底吹系统检测和自动控制	75
2.3.4 转炉 OG 检测和自动控制	76
2.3.5 炉口微差压调节	80
2.3.6 程控装置	81
2.4 电力传动及其控制	82
2.4.1 炉体倾动电力传动装置及其控制系统	82
2.4.2 氧枪的传动及其控制系统	86
2.4.3 副枪的传动及其控制系统	89
2.4.4 副原料输送和投料系统的电气控制	90
2.5 过程自动化级与生产控制级计算机系统	93
2.5.1 作用和目的	93
2.5.2 控制范围	94
2.5.3 计算机系统的结构及功能划分原则	94
2.5.4 转炉操作与过程计算机和生产控制计算机系统	95
2.5.5 过程计算机的主要功能	97
2.5.6 生产控制计算机的主要功能	103
2.6 转炉数学模型及人工智能的应用	103
2.6.1 静态控制模型	103
2.6.2 动态控制模型	105

2.6.3 合金模型	106
2.6.4 转炉煤气回收控制模型	106
2.6.5 转炉吹炼控制专家系统	109
2.6.6 编制炼钢操作规程专家系统	111
2.7 近年来建设的转炉三电自动化系统	112
2.7.1 宝钢一二期一炼钢转炉三电自动化系统	112
2.7.2 宝钢一炼钢厂自动化系统改造	122
2.7.3 宝钢二炼钢转炉三电自动化系统	128
2.7.4 武钢三炼钢转炉三电自动化系统	134
2.7.5 鞍钢三炼钢转炉三电自动化系统	136
2.7.6 鞍钢一炼钢转炉三电自动化系统	138
2.7.7 包钢转炉三电自动化系统	142
2.7.8 国内其他钢铁厂转炉三电自动化系统	144
2.8 转炉炼钢过程控制的新进展	149
2.8.1 检测技术的进步	149
2.8.2 利用废气信息进行吹炼控制	151
2.8.3 利用炉渣信息进行吹炼控制	153
2.8.4 直接出钢控制技术	157
2.8.5 全自动吹炼控制	158
2.8.6 吹炼过程熔池温度和碳含量连续显示神经网络系统	159
2.8.7 转炉吹炼终点人工智能静态控制模型	160
2.8.8 基于“神经网络+知识库”的转炉动态模型	161
2.8.9 转炉合金优化模型	171
2.8.10 机器人的应用	173
参考文献	174

第3章 电弧炉自动化

3.1 概述	180
3.2 电弧炉基础自动化系统	181
3.2.1 主要功能	181
3.2.2 电弧炉炼钢原料的称量与控制	182
3.2.3 电弧炉冷却系统控制	184
3.2.4 电弧炉排烟与除尘系统的控制	186
3.2.5 电弧炉电极升降控制	188
3.2.6 辅助能源输入控制	193
3.2.7 电弧炉本体设备的保护和联锁控制	194
3.2.8 直流电弧炉的供电及其控制	196
3.2.9 直流电弧炉的炉底温度监控	197

3.2.10 钢水测温 and 定氧定碳	198
3.3 电弧炉过程自动化系统	199
3.3.1 电弧炉过程自动化主要功能	199
3.3.2 人机对话	202
3.3.3 数据库管理系统	207
3.4 数学模型及实践	208
3.4.1 电能分配模型	210
3.4.2 热平衡模型	213
3.4.3 冶金模型	220
3.4.4 生产调度控制	225
3.5 近年来国内外建设的电弧炉自动化系统	227
3.5.1 宝钢 150t 电炉自动化系统	227
3.5.2 Badische (BSW) 电炉炼钢厂分布式自动化系统	233
3.6 电弧炉自动化的新进展	240
3.6.1 利用 UHP 功率分析仪和闪变分析仪进行电弧炉操作优化	240
3.6.2 电极升降控制方面的进展	245
3.6.3 基于烟气分析的操作和能量优化	249
3.6.4 电弧炉中电耗和电极消耗的统计分析	252
参考文献	257

第 4 章 炉外精炼自动化

4.1 概述	259
4.1.1 工艺概述	259
4.1.2 炉外精炼自动化的作用和必要性	261
4.1.3 炉外精炼自动化的内容及概要	261
4.2 主要检测和仪表	263
4.2.1 脱气槽气体成分分析装置	263
4.2.2 锰含量的检测	265
4.2.3 钢(铁)水中全元素的在线检测	266
4.2.4 钢水中氢含量在线检测	266
4.2.5 钢水中渣的检测	267
4.3 基础自动化	268
4.3.1 钢包炉的基础自动化	268
4.3.2 RH 真空处理装置基础自动化	272
4.3.3 钢包喷粉基础自动化	281
4.3.4 CAS 或 CAS-OB 密封氩吹气成分微调装置基础自动化	284
4.3.5 IR-UT 钢包冶金站基础自动化	285
4.3.6 喂线机自动化	287

4.4 过程自动化	288
4.4.1 过程自动化级的作用和目的	288
4.4.2 过程自动化级的功能	290
4.4.3 过程自动化使用的设备	292
4.4.4 过程自动化举例	292
4.5 数学模型及人工智能的应用	296
4.5.1 数学模型的应用	296
4.5.2 人工智能的应用	313
4.6 近年来建设的炉外精炼三电自动化系统	321
4.6.1 宝钢一期工程炉外精炼三电自动化系统	321
4.6.2 宝钢二期工程炉外精炼三电自动化系统	321
4.6.3 宝钢三期工程炉外精炼三电自动化系统	322
4.6.4 包钢新建钢包精炼炉三电自动化系统	326
4.6.5 鞍钢 ANS-OB 钢水处理装置三电自动化系统	329
4.6.6 太钢 RH 真空处理装置三电自动化系统	334
4.6.7 武钢 2 号 RH 真空处理装置三电自动化系统	336
4.6.8 太钢 AOD 氩氧炉自动化系统	337
4.6.9 国外炉外精炼三电自动化系统	340
参考文献	350

第 5 章 特种冶炼自动化

5.1 电渣炉自动化	353
5.1.1 工艺概述	353
5.1.2 电渣炉自动化	354
5.2 真空自耗炉自动化	358
5.2.1 工艺概述	358
5.2.2 真空自耗炉自动化	359
5.3 真空感应炉自动化	362
5.3.1 工艺概述	362
5.3.2 真空感应炉自动化	362
5.4 电子轰击炉自动化	365
5.5 等离子电弧炉重熔自动化	366
参考文献	367

第 6 章 连续铸钢自动化

6.1 概述	368
6.2 过程检测及仪表	372

6.2.1 钢水重量检测	380
6.2.2 钢水温度检测	381
6.2.3 钢流夹渣检测	382
6.2.4 中间包钢水液位检测	383
6.2.5 结晶器钢水液位检测	383
6.2.6 结晶器振动检测	392
6.2.7 结晶器热交换检测	392
6.2.8 结晶器内凝固壳断裂检测	393
6.2.9 二次冷却区检测	397
6.2.10 辊间距检测	399
6.2.11 结晶器开口度与倒锥度检测	403
6.2.12 铸坯长度检测	403
6.2.13 铸坯表面缺陷检测	404
6.3 主要自动控制系统	407
6.3.1 中间包钢水液位自动控制	407
6.3.2 保护渣加入自动控制	409
6.3.3 结晶器钢水液位自动控制	410
6.3.4 起浇自动控制	413
6.3.5 结晶器冷却水流量自动控制	414
6.3.6 二次冷却水自动控制	414
6.3.7 铸坯定长切割自动控制	416
6.4 电力传动控制	417
6.4.1 连铸过程对电力装备的要求	418
6.4.2 连铸过程电力传动系统的运转方式	419
6.4.3 连铸过程电力传动控制	420
6.4.4 连铸过程电力传动主要控制系统	422
6.5 过程自动化级与生产控制级计算机系统	439
6.5.1 作用和目的	439
6.5.2 计算机系统的结构	439
6.5.3 过程计算机的主要功能	440
6.6 连铸-连轧自动化	450
6.6.1 概述	450
6.6.2 连铸-连轧分类及其对自动化的要求	451
6.6.3 炼钢-轧钢生产一体化计算机管理系统	452
6.6.4 远程连铸-连轧自动化	454
6.7 薄板坯连铸连轧自动化	455
6.7.1 工艺流程及自动化的作用	455
6.7.2 自动化系统结构及其功能	456
6.8 水平连铸自动化	458

6.8.1 概述	458
6.8.2 水平连铸自动化系统的构成及其主要功能	460
6.9 数学模型及人工智能的应用	462
6.9.1 连铸漏钢预报	462
6.9.2 铸坯质量异常判断	473
6.9.3 二次冷却水控制数学模型	491
6.9.4 连铸切割长度控制及最优切割数学模型	504
6.9.5 压缩浇铸控制及其数学模型 (CPC 控制模型)	510
6.9.6 炼钢-连铸生产调度系统及其数学模型	518
6.9.7 连铸坯热送热装在线控制数学模型	523
6.9.8 连铸作业计划专家系统	528
6.10 近年来建设的连铸机的三电自动化系统	529
6.10.1 概述	529
6.10.2 宝钢 1900mm 板坯连铸三电自动化系统	532
6.10.3 宝钢 1450mm 板坯连铸三电自动化系统	537
6.10.4 宝钢圆 (方) 坯连铸三电自动化系统	538
6.10.5 鞍钢大板坯连铸三电自动化系统	540
6.10.6 武钢三炼钢 1 号、2 号板坯连铸三电自动化系统	543
6.10.7 攀钢 1350mm 板坯连铸三电自动化系统	546
6.10.8 舞钢 1900mm 板坯连铸三电自动化系统	550
6.10.9 济钢 4 号板坯连铸三电自动化系统	557
6.10.10 太钢二炼钢特殊钢板坯连铸三电自动化系统	559
6.10.11 兴澄钢铁公司大方坯连铸三电自动化系统	561
6.10.12 合金钢小方坯连铸三电自动化系统	562
6.10.13 珠钢薄板坯连铸连轧三电自动化系统	567
6.10.14 邯钢薄板坯连铸连轧三电自动化系统	569
6.11 连铸自动化的新进展	573
6.11.1 智能机器人的应用	573
6.11.2 连铸结晶器可视化技术	574
6.11.3 检测仪表及检测技术的新进展	575
6.11.4 控制系统的新进展	580
6.11.5 数学模型及人工智能应用的新进展	583
参考文献	587

第 7 章 炼钢相关机组自动化

7.1 制氧自动化	595
7.1.1 制氧及其工艺流程简介	595
7.1.2 检测仪表及自动控制的主要内容	599

7.1.3 主要检测仪表及自动控制系统	600
7.1.4 过程计算机的应用	612
7.1.5 近年来建设或改造的制氧三电自动化系统简况	616
7.2 铁合金自动化	617
7.2.1 现代铁合金厂工艺流程简述	619
7.2.2 检测及自动控制	620
7.2.3 电力传动及电量控制	625
7.2.4 过程计算机的应用及功能	629
7.2.5 国内外铁合金厂三电自动化系统举例	630
7.2.6 铁合金自动化的新进展	637
7.3 石灰窑自动化	639
7.3.1 石灰竖窑自动化	639
7.3.2 石灰回转窑自动化	645
参考文献	654

第 1 章 铁水预处理自动化

1.1 概述

1.1.1 工艺简述

近年来, 由于生产发展与技术进步, 对钢的机械性能和表面质量要求日益增加, 要求钢中含硫量控制在 0.02% 以下, 有的甚至要求磷、硫含量达到近乎“双零” (小于 0.01%) 水平。传统的高炉-转炉炼钢工艺很难满足上述要求, 这是因为低硫的原料和焦炭日益缺少, 铁水含硫量有逐渐升高的趋势, 而在高炉内脱硫, 需要一定碱度而增大渣量和增加焦比。同样, 转炉脱硫通常只有 30%~50% 左右, 用高硫铁水炼钢或用一般铁水炼低硫钢, 需要采用高碱度渣, 从而增加了渣量消耗, 延长了冶炼时间, 降低了金属收得率和炉衬寿命。为解决以上这些问题, 现广泛采用炉外脱硫的方法。炉外脱硫包括在高炉出铁时脱硫和在炼钢厂设置铁水预处理装置, 后者的优点更多因而被广泛采用。“高炉——铁水预处理——复吹转炉——炉外精炼——连铸连轧”已成为当代钢铁生产的主要模式与生产流程。

铁水预处理在 20 世纪 80 年代以前是进行预脱硫处理, 80 年代以后开始发展为三脱 (脱硫、脱磷和脱硅) 处理。我国目前大型钢铁厂已广泛采用预脱硫处理。脱硫剂主要是石灰和萤石或碳化钙。脱磷则主要采用 $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{CaF}_2$ 或 Na_2CO_3 。脱硅则主要采用 CaO 、氧化铁粉并吹氧。由热力学可知, 只有铁水含硅量 $[\text{Si}]$ 小于 0.15% 时, $[\text{P}]$ 与氧的亲合力才大于 $[\text{Si}]$ 与氧的亲合力, 故当铁水含硅量 $[\text{Si}]$ 大于 0.15% 时, 脱磷前必须先脱硅。

脱硅可以在高炉出铁场中连续或半连续进行, 也可以在运送工具如鱼雷罐车或铁水罐中进行。前者是在高炉出铁沟中进行, 主要方法是喷入脱硅剂进行脱硅。

脱磷一般是在运送工具如鱼雷罐车或铁水罐中进行, 主要方法是喷入脱磷剂进行脱磷。日本住友金属工业公司在复吹转炉中开发了新的 SRP 铁水脱磷法, 如图 1-1 所示, 将两座复吹转炉作为反应器, 一座作为脱磷炉, 另一座作为脱碳炉, 脱碳炉生成的炉渣作为脱磷剂返回到脱磷炉进行脱磷。这样可使石灰用量减少, 并有效地将锰矿熔态还原。我国包钢有此流程。

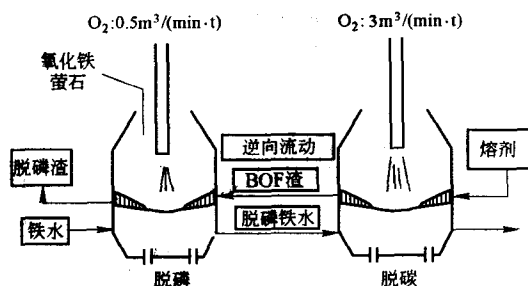


图 1-1 SRP 法示意图