

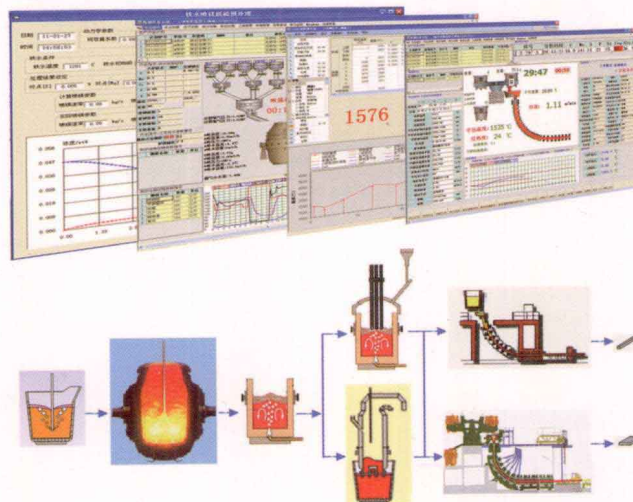


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

冶金过程控制 基础及应用

钟良才 祭程 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



ISBN 978-7-5024-5467-8



9 787502 454678 >

定价33.00元

销售分类建议:冶金工程/工业自动化



普通高等教育“十二五”规划教材

冶金过程控制基础及应用

钟良才 祭 程 编著

北 京
冶金工业出版社
2011

内 容 提 要

本书结合钢铁冶金生产过程, 主要介绍过程控制的基本组成、原理和方法; 先进过程控制系统的原理; 钢铁冶金中的典型过程建模与控制; 冶金过程参数检测技术, 最后简要介绍计算机过程控制系统。

本书是为大学本科冶金专业学生编写的教材, 目的是使该专业的学生了解现代冶金生产过程采用的控制方法和技术, 并能够在将来的工作中, 配合自动化专业的工程技术人员, 解决实际的冶金过程控制问题。本书可供冶金专业及相关专业本科生、研究生教学使用, 还可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金过程控制基础及应用/钟良才, 祭程编著. —北京:
冶金工业出版社, 2011. 9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5467-8

I. ①冶… II. ①钟… ②祭… III. ①冶金过程—过程
控制—高等学校—教材 IV. ①TF01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 167221 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 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5467-8

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

2011 年 9 月第 1 版, 2011 年 9 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 16.75 印张; 402 千字; 255 页

33.00 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(100010) 电话: (010) 65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

生产过程需要对温度、流量、压力、液位、成分等过程工艺参数进行控制，现代化的生产要求对生产过程参数实现自动化控制，以提高生产效率，降低生产成本，提高产品质量，减轻劳动强度。过程控制是利用过程检测仪表或先进测量技术，对生产过程的控制参数进行检测，采用与生产过程相适应的过程控制方法，应用自动化设备与装置、计算机等自动化技术工具，对生产过程进行自动控制，以获得最佳的生产技术经济指标。

随着冶金工业的发展和各种检测仪表、测量技术、自动化控制技术和计算机技术的开发以及在冶金工业中的应用，过程控制在冶金工业生产中发挥着越来越重要的作用。本书是针对冶金专业的学生编写的过程控制教材，主要是使该专业的学生在学习冶金专业知识的基础上，进一步学习和了解冶金过程的基本建模方法、检测技术、过程控制理论和技术。以便使该专业的学生在实际的工作中，能够理解冶金工厂生产过程控制的方法和技术，并能与自动化专业的工程技术人员合作，解决实际冶金过程控制问题。

本教材第1章首先介绍过程控制的基本概念和基本构成、过程控制的任务和特点、过程控制分类、控制系统的过渡过程及其性能指标等；第2章介绍过程控制回路中的被控对象的建模方法；第3章介绍单回路控制系统，重点介绍控制系统中调节器的调节规律；第4章介绍复杂过程控制系统，包括串级控制、前馈控制、前馈-反馈控制、比值控制、选择性控制、均匀控制以及大延时系统的控制；第5章介绍先进控制系统，包括预测控制、软测量技术、推断控制、自适应控制、模糊控制、专家控制、神经网络控制；第6章介绍典型钢铁冶金过程建模与控制，主要有热风炉蓄热室传热过程、铁液-熔渣反应过程、氧气转炉炼钢过程、CAS-OB钢液精炼过程、RH钢液真空精炼过程的建模，连铸结晶器液位控制、结晶器漏钢和铸坯黏结预报、连铸动态二冷控制、连铸动态轻压下控制；第7章介绍现代冶金过程参数检测技术，在温度测量中，介绍黑体空腔式中间包钢水连续测温、铁水温度连续测定、铁水、钢水温度间歇测定、热风温度检测，在液位、料位测量中，介绍连铸结晶器液面测量、高炉料线检测，在成分分析中，介绍炉气氧含量测定、钢液氧、硅、硫、碳的直接测定，在转炉炼钢终点测定中，介绍炉气分析法、副枪法、

VAI-CON CHEM 法,最后介绍基于图像分析的转炉下渣检测技术;第8章对计算机过程控制系统进行简要的介绍,主要介绍计算机过程控制系统的特点、构成和类型,钢铁公司管理与生产计算机控制和转炉炼钢计算机控制。

本书绪言、第1~5章、第6章的6.1~6.5节、第7章和第8章由钟良才编写,第6章的6.6~6.9节由祭程编写,另外祭程还参与了第5章的5.5节的编写并对书中的图和公式进行整理。全书由钟良才负责统稿和整理。

在本书的编写过程中参考了许多过程控制方面的书籍和相关文献,本书的编者向这些书籍和文献的作者表示衷心的感谢!

东北大学教务处对本教材的编写和出版给予了大力支持,编者在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中的不足和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010年12月

目 录

绪言	1
1 控制系统的基本概念	5
1.1 概述	5
1.1.1 生产过程控制系统	7
1.1.2 工业生产对过程控制的要求	8
1.1.3 过程控制的任務	8
1.1.4 过程控制的特点	9
1.2 控制系统的组成及作用	9
1.3 控制框图	10
1.4 控制系统的分类	11
1.4.1 按给定值的特点分	11
1.4.2 按系统被控变量对操作变量影响分	12
1.4.3 按系统的复杂程度划分	13
1.4.4 按系统克服干扰的方法分	13
1.5 控制系统的过渡过程及其性能指标	14
1.5.1 控制系统的过渡过程	15
1.5.2 控制系统的性能指标	16
2 过程控制的建模	20
2.1 被控对象的建模及特性	20
2.1.1 建模方法	20
2.1.2 被控对象的机理建模	21
2.1.3 被控对象的特性参数	29
2.1.4 测试建模	31
2.2 铁水喷镁脱硫过程建模	39
3 单回路控制系统	42
3.1 单回路控制系统设计	42
3.1.1 设计控制系统的步骤	42
3.1.2 被控变量的选择	42
3.1.3 操纵变量的选择	43
3.1.4 检测变送环节	43

3.1.5 执行器环节	44
3.2 调节器的调节规律	45
3.2.1 位式调节	45
3.2.2 比例 (P) 调节	47
3.2.3 比例积分 (PI) 调节	50
3.2.4 比例积分微分 (PID) 调节	52
3.3 调节规律的选取	59
3.4 调节器参数的工程整定	60
3.4.1 经验法	60
3.4.2 稳定边界法	62
3.4.3 衰减曲线法	62
4 复杂控制系统	65
4.1 串级控制系统	65
4.1.1 串级控制的基本原理	65
4.1.2 串级控制系统的工作过程	67
4.1.3 串级控制系统的主要特点	68
4.2 前馈控制系统	69
4.2.1 前馈控制的基本原理	69
4.2.2 前馈控制的类型	71
4.3 前馈-反馈控制系统	73
4.4 比值控制系统	75
4.4.1 定比值控制系统	76
4.4.2 变比值控制系统	79
4.4.3 比值控制系统的设计	80
4.5 选择性控制系统	84
4.5.1 选择性控制的基本原理	84
4.5.2 选择性控制的类型	85
4.6 均匀控制系统	88
4.6.1 均匀控制特点	88
4.6.2 均匀控制的形式	89
4.7 大延时系统的控制	91
4.7.1 常规控制方案	91
4.7.2 采样控制方案	93
4.7.3 Smith 预估补偿方案	94
5 先进控制系统	98
5.1 预测控制	98
5.1.1 模型预测	99
5.1.2 反馈校正	99

5.1.3 滚动优化	99
5.1.4 参考轨迹	100
5.1.5 在线滚动的实现方法	100
5.2 软测量技术	101
5.2.1 辅助变量选择	101
5.2.2 测量数据处理	102
5.2.3 软测量模型建立	102
5.2.4 软测量模型的在线校正	103
5.3 推断控制	103
5.3.1 信号分离	104
5.3.2 估计器 $E(s)$	104
5.3.3 推断控制器 $G_1(s)$	104
5.4 自适应控制系统	105
5.4.1 简单自适应控制系统	105
5.4.2 模型参考自适应控制系统	105
5.4.3 自校正控制系统	106
5.5 模糊控制	106
5.5.1 最大隶属度函数法	109
5.5.2 重心法	110
5.5.3 加权平均法	110
5.6 专家控制系统	113
5.6.1 专家系统	113
5.6.2 专家控制系统	115
5.7 人工神经网络控制系统	117
5.7.1 神经元及其数学模型	117
5.7.2 人工神经网络模型及学习算法	119
5.7.3 感知器网络	122
5.7.4 BP 神经网络	124
5.7.5 RBF 神经网络	128
5.7.6 神经网络控制	130
6 钢铁冶金典型过程建模与控制	136
6.1 自身预热热风炉蓄热室传热过程	136
6.1.1 热风炉蓄热室传热数学模型的建立	136
6.1.2 数值计算方法	138
6.1.3 自身预热热风炉数值计算条件	139
6.1.4 自身预热热风炉数值计算结果	141
6.2 铁液-熔渣反应过程	142
6.3 氧气转炉炼钢过程	147
6.3.1 统计模型	148

6.3.2 理论模型	150
6.4 CAS-OB 钢液精炼过程	169
6.4.1 过程反应模型	169
6.4.2 模型参数确定及数值计算方法	171
6.5 RH 真空脱碳过程	173
6.5.1 Ar 气泡的脱碳	173
6.5.2 真空室自由表面脱碳	175
6.5.3 CO 气泡脱碳	176
6.5.4 进入真空室的钢液碳含量的变化	176
6.6 连铸结晶器液面控制	177
6.6.1 结晶器液位控制系统数学模型	178
6.6.2 非线性 PID 控制器	180
6.6.3 结晶器液面控制仿真	183
6.7 结晶器漏钢和铸坯黏结预报	189
6.7.1 结晶器漏钢预报检测机理	189
6.7.2 神经网络漏钢预报	192
6.8 连铸动态二冷控制技术	197
6.8.1 连铸二冷制度	197
6.8.2 连铸二冷控制方法	198
6.8.3 连铸动态二冷控制模型	201
6.9 动态轻压下控制技术	205
6.9.1 压下区间的分配计算	206
6.9.2 固相率的计算	207
6.9.3 压下起始段轻压下辊缝设定值计算	208
6.9.4 压下结束段轻压下辊缝设定值计算	208
6.9.5 扇形段入口、出口设定值计算	209
6.9.6 选择轻压下作用方式	209
7 现代冶金过程参数检测技术	211
7.1 温度测量	211
7.1.1 温度测量方法	211
7.1.2 黑体空腔式中间包钢水连续测温	211
7.1.3 铁水温度连续测定	213
7.1.4 铁水、钢水温度间歇测定	213
7.1.5 热风温度检测	215
7.2 液位、料位测量	215
7.2.1 连铸结晶器液面测量	215
7.2.2 高炉料线检测	219
7.3 成分分析	220
7.3.1 炉气氧含量测定	221

7.3.2 钢液直接定氧	222
7.3.3 铁水硅直接测定	224
7.3.4 铁水硫直接测定	225
7.3.5 钢水碳直接测定	225
7.4 转炉炼钢终点测定	226
7.4.1 烟气分析法	226
7.4.2 副枪法	227
7.4.3 VAI - CON CHEM 法	228
7.5 基于图像处理的转炉出钢下渣检测技术	228
8 计算机过程控制系统简介	232
8.1 计算机过程控制系统的特点和构成	232
8.1.1 计算机过程控制系统的特点	232
8.1.2 计算机过程控制系统的构成	233
8.2 计算机过程控制系统的类型	234
8.2.1 计算机数据采集系统	234
8.2.2 操作指导控制系统	235
8.2.3 直接数字控制系统	235
8.2.4 监视控制系统	236
8.2.5 分级控制系统	237
8.2.6 集散控制系统	238
8.2.7 现场总线控制系统	239
8.2.8 计算机集成制造系统	239
8.3 计算机过程控制系统的发展趋势	240
8.4 钢铁公司生产管理的计算机控制系统	241
8.4.1 企业管理级	242
8.4.2 生产管理级	242
8.4.3 过程控制级	244
8.4.4 基础自动化级	245
8.4.5 转炉冶炼计算机过程控制	246
参考文献	253

绪 言

工业按其特点可分为流程工业、离散工业和间歇工业。流程工业是指将原料按照一定的工艺生产流程在一系列的生产装备中制造出合格产品的工业，它包括在国民经济中占有重要地位的石化、炼油、化工、冶金、制药、建材、轻工、造纸、采矿、环保、电力等工业行业。流程工业产品的生产需要采用过程装备，过程装备包括单元设备与单元机器。

成套过程装备则是组成流程工业的所有装备，它通常是一系列的过程机器和过程设备，按一定的流程方式连接起来的连续生产系统，再配以必要的控制仪表和装置，能把各种原材料，让其在装置内部经历必要的物理化学过程，制造出人们需要的流程性工业产品。如各种钢材的长流程生产过程，首先铁矿石经过高炉炼铁成为铁水，然后铁水经铁水预处理、转炉炼钢、炉外精炼成为合格钢水，钢水经过连铸浇铸成合格铸坯，最后铸坯经过各种轧机轧制，才成为国民经济需要的各种钢材，如图 0-1 所示。

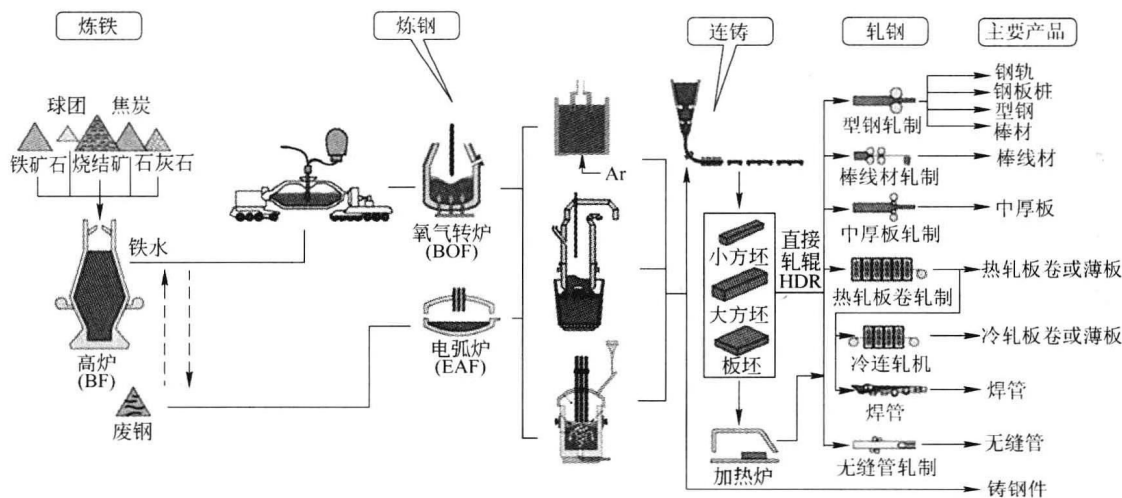


图 0-1 各种钢材的生产过程及过程装备

在生产过程中涉及到生产流程中的各种过程装备，每一个装备中都有一个自己的生产过程。对于大工业生产，复杂的生产工艺，不可能完全靠人工来控制生产过程，需要配备自动控制系统来进行生产的组织和控制。如何对生产中的工艺参数和生产过程进行控制，就是过程控制理论需要解决的课题。

人类社会的发展是不断创新进步的过程，涉及到冶金流程工业产品先进制造技术的主要创新技术包括以下几个方面：

(1) 冶金过程原理与技术的创新：在冶金热力学、动力学的理论上突破，如研究一

些新的渣系或工艺,以提高去除金属液中杂质元素的能力;改善反应器中的动力学条件,如强化反应器内的搅拌,提高反应组元的传质系数,从而提高杂质元素的去除速度和效率,生产得到质量优良的产品。

(2) 冶金工艺流程技术的创新:改变传统的工艺流程,提出新的工艺流程,以满足生产的要求。如钢铁冶金工艺流程,传统的流程是高炉炼铁,转炉、电炉或平炉炼钢,模铸;现代的流程是高炉炼铁或非高炉炼铁,铁水预处理,顶底复吹转炉或超高功率电炉炼钢,炉外精炼,连铸或连铸连轧。

(3) 冶金过程装备技术的创新:新工艺流程的出现,必然会要求过程装备技术的创新。如出现了铁水预处理、炉外精炼和连铸新工艺后,必须有能够实现这些新工艺的过程装备如铁水预处理设备、LF 精炼炉、RH、RH-OB、RH-KTB 真空处理设备、连铸机的出现。

(4) 冶金过程控制技术的创新:冶金流程工业是大工业、重工业,不可能完全依靠人工操作来进行生产,必须要应用自动化装置对生产进行自动控制,以提高劳动生产率,减轻劳动强度,降低生产成本,保证产品质量,提高企业的竞争力。

要得到质量优异的冶金产品和开发新的钢铁冶金产品,需要钢铁冶金过程原理和技术的创新以及工艺流程技术创新。这种创新,往往需要过程装备技术创新的支持,开发新的冶金装备。新的冶金技术和新的过程装备又需要冶金过程控制技术的创新。所以上述的技术创新密不可分,它们互为依托,相辅相成,共同支撑钢铁冶金流程性工业产品先进制造技术,如图0-2所示。

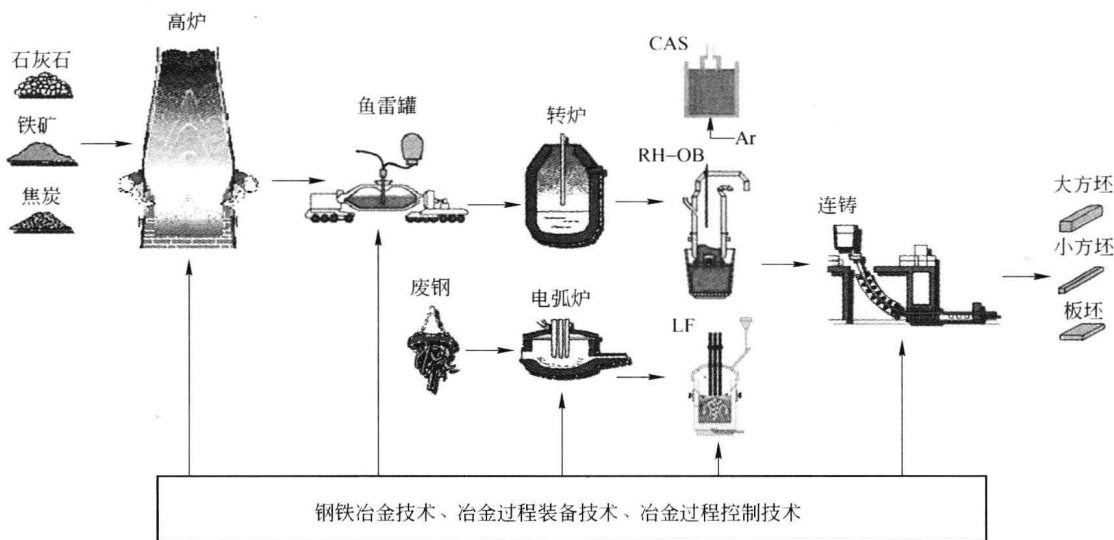


图0-2 钢铁生产过程的相关支撑技术

我国已成为世界钢材产量的第一大国,伴随着钢铁冶金工业的发展,冶金过程控制也发挥着越来越重要的作用。在基础控制方面,计算机控制技术取代了常规模拟控制技术,在冶金企业已全面普及。按钢铁生产工序划分,各工序的计算机控制的采用率已超过95%,有的工序已接近或达到100%。分布控制系统替代集中控制成为主流。在控制算法

上,普遍采用比例积分微分(PID)算法,智能控制、先进控制在转炉吹炼过程控制、电炉吹炼过程控制、二次精炼工艺过程控制、连铸过程控制、加热炉燃烧控制、轧机轧制控制等方面得到应用,并取得了一定成果。在检测技术方面,与控制相关的流量、压力、温度、重量等信号的检测仪表的配备比较齐全;高炉的软熔带形状与位置、高炉炉缸渣铁液位、炼钢炉熔池钢液含碳量和温度、转炉出钢下渣检测、连续铸钢过程的中间包连续测温、中间包液位测量、结晶器拉漏预报、铸坯表面温度测量等软测量技术取得了一定的成果。

在冶金过程建模和优化方面,计算机配置率有较大幅度提高。把冶金工艺知识、数学模型、专家经验和智能技术结合起来,在炼铁、炼钢、连铸、轧钢等典型工序的过程模型和过程优化方面取得了一定的成果,如高炉炼铁过程优化与智能控制系统、基于副枪或炉气分析的转炉动态数学模型、电炉供电曲线优化、智能钢包精炼炉控制系统、连铸二冷水优化控制、轧机智能控制等。

在生产管理控制方面,生产管理控制系统计算机配置率也得到提高。从功能上来讲,生产管理控制除了信息集成和事务处理的功能外,还应具有决策支持和动态管理控制的作用。近年来,冶金企业在综合应用运筹学、专家系统和流程仿真等技术,协调生产线各工序作业,进行全线物流跟踪、质量跟踪控制、成本在线控制、设备预测维护等方面取得了一定的成果。

在钢铁生产中,炼铁系统是钢铁生产长流程降低成本和提高环境质量的瓶颈,要进一步提高炼铁生产的技术经济指标,对过程控制技术的需求主要有:

(1) 开发更多的专用仪表,特别是直接在线检测的仪表,以便对高炉炼铁过程的参数进行直接检测;

(2) 针对高炉冶炼大滞后系统的特点,对生产过程采用先进控制技术,满足高炉炼铁生产过程控制的要求;

(3) 将数学模型、专家系统和可视化技术相结合,提高过程控制水平,保证冶炼过程顺利进行;

(4) 信息技术与系统工程技术相结合,不断优化操作工艺,提高生产技术指标;

(5) 开发直接还原和熔融还原(HISmelt、Corex、Finex技术)等新一代炼铁生产流程的过程控制技术。

炼钢是钢铁生产的重要工序,对降低生产成本,提高产品质量,扩大产品范围,冶炼洁净钢,具有决定性的作用。炼钢对过程控制技术的需求主要表现在:

(1) 需要完善动态数学模型,与副枪、炉气分析等技术结合以及开发新型检测技术,提高炼钢终点的自动控制水平;

(2) 为高的冶炼强度,短的冶炼周期,高的生产效率的生产过程提供理想的过程控制系统,达到节能降耗的目的;

(3) 铁水预处理和炉外精炼的发展要求建立化学成分、洁净度、钢水温度在线高精度预报模型,并对合金化、造渣、成分调节进行优化控制;

(4) 优化高效连铸和近终型连铸技术,提升电磁搅拌、轻压下、二冷配水、拉漏预报等连铸自动控制技术;开发接近凝固温度、高均质、高等轴晶化的优化浇铸技术和铸坯质量保障系统;同时考虑薄板坯连铸、薄带连铸等新工艺的过程控制开发。

钢铁冶金过程控制技术的发展趋势是采用新型传感器技术、光机电一体化技术、软测量技术、数据融合和数据处理技术、冶金环境下可靠性技术,以关键工艺参数闭环控制、物流跟踪、能源平衡控制、环境排放实时控制和产品质量全面过程控制为目标,实现冶金流程在线检测和监控,包括铁水、钢水、熔渣成分和温度的检测和预报,钢水纯净度检测和预报,钢坯的温度、质量等参数检测和判断,在线废气和烟尘的监测等。基于机理模型、统计分析、预测控制、专家系统、模糊逻辑、神经网络等技术,以过程稳定、提高技术经济指标为目标,在关键工艺参数在线连续检测基础上,建立综合模型,采用自适应智能控制技术,实现冶金过程关键变量的高性能闭环控制,如冶炼闭环专家系统、铁水和钢水成分和温度闭环控制、铸坯质量闭环控制等。

1 控制系统的基本概念

1.1 概 述

在图 1-1 所示的钢液连铸中间包恒定液位控制系统中，只要保证流出中间包的钢液流量 q_2 和流入中间包的钢液流量 q_1 严格相等情况下，即 $q_1 = q_2$ 。这时进、出中间包的钢液流量处于平衡状态，中间包液位不会发生变化。但是在这个系统中，因钢包液位 h 是随时间下降的，设钢包水口的流通面积 A_1 不变，若钢包水口的流量系数为 C ，则进入中间包的流量

$$q_1 = CA_1 v_1 = CA_1 \sqrt{2gh}$$

也随钢包液位 h 降低而减小。为了保持 q_1 不变，需要不断调整钢包滑动水口的面积 A_1 ，以保证进入中间包的钢液流量 q_1 与从中间包流出的钢液流量 q_2 相等。如果依靠人工来控制中间包的液位保持不变，控制的任务就是在中间包流出流量不随时间变化的情况下，通过人工调节钢包滑动水口的开口度来控制流入中间包的钢液流量不变，以使中间包中的液位保持为设定值。

在上述连铸中间包液位的人工控制过程中，操作人员需要做以下的工作：

- (1) 大脑记忆中间包液位的设定值 H_0 ；
- (2) 眼睛不断观察实际中间包液位 H ；
- (3) 将设定液位值 H_0 和实际液位 H 比较，得到液位的偏差 $\Delta H = H_0 - H$ ；
- (4) 根据液位偏差大小调节钢包滑动水口的开口面积 A_1 ，即当 $\Delta H > 0$ 时，增加钢包滑动水口开口度；当 $\Delta H < 0$ 时，减小钢包滑动水口开口度。这样可以保持进入中间包的流量 q_1 不变，使 H 与 H_0 之间的偏差减小直至为零。

在过程控制中，常用框图和框图间带箭头的连线来表示组成控制系统的各部分功能

和信号传递之间的关系。液位人工控制系统框图如图 1-2 所示。图中用带有箭头的实线表示信号的传递方向，用方框表示各部分的功能。目标液位 H_0 为给定值， q_1 为被控对象——中间包的控输入（变）量，或称控制作用，实际液位 H 是被控对象中要控制的物理量，称为被控（变）量，也称控制系统的输出（变）量。除控制输入变量影响中间包液位外，还有一些其他不可预见的因素如钢包或中间包水口结瘤或被冲刷变大，造成钢包或中间包水口流通截面变化，导致流入或流出中间包钢液流量 q_1 、 q_2 发生变化，从而造

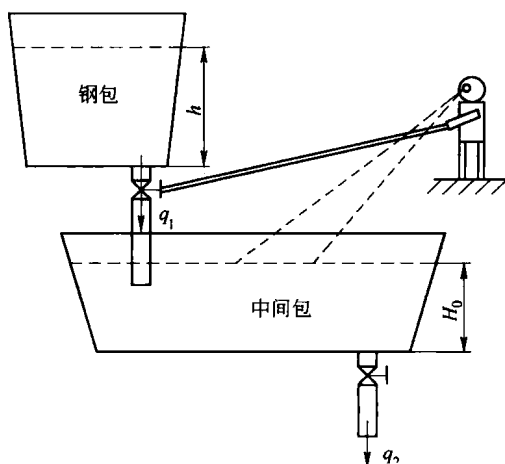


图 1-1 连铸中间包液位人工控制示意图

成中间包液位变化。这些因素是控制过程中不希望的，称为扰动输入或干扰。

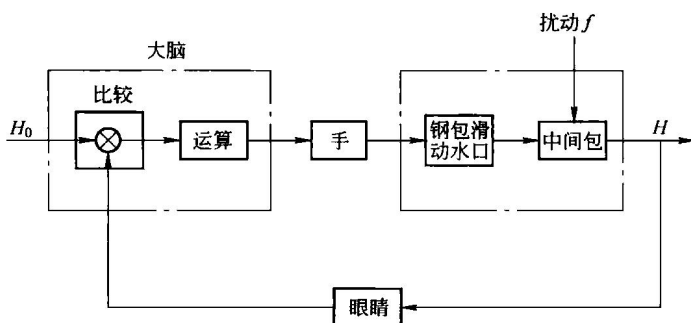


图 1-2 人工液位控制系统原理框图

上述人工液位控制系统之所以能够实现液位的恒定控制，是因为以偏差 ΔH ，而不是直接以目标值 H_0 为依据调节系统的。无论什么因素引起偏差，系统都将进行调节，直至消除偏差。这样的系统具有很好的抗干扰能力和较高的控制精度。由于该系统靠人来控制中间包液位，所以该系统称为人工控制系统。

能够代替人在人工控制系统中所起的作用，使系统在没有人直接参与的情况下完成控制任务的装置称为自动控制装置。用自动控制装置代替人工控制系统中人的眼睛、大脑和手并实现相应的功能，就形成了自动控制系统。按其在过程控制系统中的职能划分，可将自动控制装置分为四部分：

(1) 检测元件：也称测量元件，用于测量被控量的实际值。相当于人工控制中人的眼睛。

(2) 比较元件：将测量结果与给定值比较，得到偏差。

(3) 控制器：也称调节器、调节元件，按照偏差产生控制信号。比较元件和控制器相当于人工控制中人的大脑。

(4) 执行元件：根据控制信号执行控制任务，使被控量与目标设定值保持一致。相当于人工控制中人的手。

用自动控制装置代替人工控制系统框图中的人工部分，就可得到对应于图 1-2 的自动控制系统框图，如图 1-3 所示。

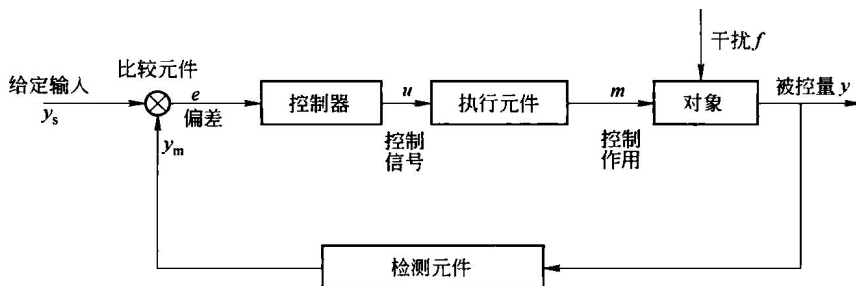


图 1-3 自动控制系统框图

过程装备控制是指在过程设备上，配上自动化装置以及自动控制系统来代替操作人员