

钢铁工业

自动化

GANGTIE

GONGYE

ZIDONGHUA

· 炼铁卷 ·

LIANTIEJUAN

马竹梧 邱建平 李江 编著

冶金工业出版社

钢铁工业自动化

炼铁卷

马竹梧 邱建平 李江 编著

北京
冶金工业出版社
2000

内 容 提 要

《钢铁工业自动化》一书分四卷出版，此书为炼铁卷，内容包括原料场、炼焦、烧结、球团和高炉以及非高炉炼铁的自动化技术，即工艺简况、监测仪表、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，也可供大专院校相应专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢铁工业自动化：炼铁卷/马竹梧等编著. —北京：冶金工业出版社，2000.2

ISBN 7-5024-2496-2

I. 钢… II. 马… III. ①黑色金属冶金-自动化②炼铁-自动化 IV. TF31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 68711 号

出版人 卿岩 (北京沙滩北街 39 号，邮编 100009)

责任编辑 关志美 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕荣 责任印制 李玉山

北京梨园彩印厂印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2000 年 2 月第 1 版，2000 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16，20 印张；1 插页；478 千字；303 页；1-2000 册

40.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010) 64044283 传真：(010) 64013877

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
一九九七年九月四日

前言

过去我国发展钢铁工业是采用投入一些资金,增加些原料和设备,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;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,其年产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800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,从此使人们认识到,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,而且能获得重大的经济效益。

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。是作者根据从事设计、科研开发和调试的多年经验并考察和收集了国内外资料,特别是宝钢和国内外大、中型钢铁厂的情况和有关报告等编写而成,可供从事钢铁工业自动化、包括

EAA45/02

研究、设计、生产维护等工作人员之用，各级领导干部、大专院校自动化、计算机和工艺专业的人员和师生也可参考。本书是第一卷，其余三卷将陆续出版。

本书共6章，其中绪论、第2章、第4章及第6章由马竹梧编写，第1章，第3章由马竹梧、邱建平共同编写，第5章由马竹梧、邱建平、李江共同编写。

本书的初稿曾由东北大学杨自厚教授审查，特此向参加本书审查、编辑和提供咨询及帮助的专家、学者表示感谢。由于时间紧迫，水平有限，不妥之处请读者批评指正。

编者

1999年10月



作者简介

马竹梧，广州市人，1931年生。1951年毕业于中山大学电机工程系。教授级高级工程师，享受政府特殊津贴。长期从事工业自动化及人工智能应用的研究及设计工作，曾多次获得国家、部级科技奖。历任冶金工业部自动化研究院副院长、总工程师，机电部科技委员会委员，全国过程检测及控制标准化技术委员会副主任委员，中国金属学会理事，中国自动化学会科普委员会委员，中国人工智能学会视觉与智能控制学会理事等职务。

绪 论

炼铁就是通过冶炼铁矿石，从中得到金属铁的过程。现代炼铁法包括高炉炼铁法和非高炉炼铁法。高炉炼铁法，即传统的以焦炭为能源的炼铁法。由于高炉炼铁技术经济指标好，工艺简单、可靠，产量大，效率高，能耗低，这种方法生产的铁占世界生铁总产量90%以上，高炉炼铁这种主导地位预计在相当长时期内不会改变。一些缺乏焦炭资源的国家和地区，也使用不同形式的非高炉炼铁法。非高炉炼铁法，即高炉以外的，不用焦炭，而以煤、燃油、天然气、电为能源基础的炼铁方法。非高炉炼铁法主要有直接还原法和熔融还原法，此外还有电炉炼铁法。直接还原法是指铁矿石在低于熔化温度之下还原成海绵铁的炼铁生产过程，其产品是直接还原铁，也称海绵铁。它有气体直接还原法（竖炉法）和固体还原剂直接还原法（主要是回转窑法）。近年来，直接还原法发展迅速，在世界钢铁工业已有一定地位，在一些国家则居主要地位。熔融还原法是指一切不用高炉冶炼液态生铁的方法，发展熔融还原法的目的在于取代目前的高炉炼铁法，它是用高品位铁精矿，经预还原在高温熔融状态下直接还原成液态金属。熔融还原法是正在发展的、很有前途的一种方法。电炉炼铁法是以电热代替焦炭燃烧，但仍用少量焦炭或碳素作还原剂，产品是液态生铁，它只用于水电资源丰富而又缺乏焦炭的地区和国家。

限于篇幅，本书着重阐述炼铁的原料准备，包括原料场、烧结、球团、炼焦的自动化。对炼铁本身则着重叙述高炉自动化，并简述非高炉炼铁自动化。

目录

绪 论

第 1 章 原料场自动化

1.1 概述	1
1.2 检测仪表及其控制	3
1.2.1 仪表设备的概况及其在原料系统中的功能	3
1.2.2 原料系统中的自动化称量装置——电子皮带秤	3
1.2.3 料槽料位计	4
1.2.4 定量给料装置	5
1.2.5 矿石中金属物检测及除铁装置	6
1.3 电力传动及其控制	7
1.3.1 概述	7
1.3.2 胶带运输机群控	7
1.3.3 往复式卸料机控制	9
1.3.4 移动机械控制	10
1.4 过程计算机系统	14
1.4.1 原料场使用过程计算机的目的	14
1.4.2 原料场过程计算机功能简述	14
1.5 近年来国内建设的大中型原料场三电自动化系统	17
1.5.1 马钢原料场自动化系统	17
1.5.2 唐钢原料车间自动化系统	19
1.5.3 酒钢原料场自动化系统	20
1.5.4 济钢原料场自动化系统	21
1.5.5 重钢原料场自动化系统	23
1.6 原料场自动化技术的新进展	23
1.6.1 节能控制	23
1.6.2 整粒车间使用模糊控制理论的远程自动控制	24
1.6.3 矿槽内原料堆积控制	25
1.6.4 矿层混矿均匀控制	25
1.6.5 运输机械知识工程控制	26
1.6.6 使用混合式数学模型编制供料计划	27

1.6.7 专家系统的应用	29
---------------	----

第 2 章 炼焦自动化

2.1 概述	31
2.2 检测仪表及其控制	33
2.2.1 专用检测仪表	33
2.2.2 备煤的检测及自动控制	36
2.2.3 成型煤的检测及自动控制	36
2.2.4 焦炉的检测及自动控制	39
2.2.5 干熄焦检测及自动控制	43
2.2.6 水处理检测及自动控制系统	46
2.3 电力传动及其控制	46
2.3.1 电动机控制系统	46
2.3.2 自动运转系统	47
2.3.3 推焦车、导焦车及焦罐三车联锁	49
2.3.4 系统运转应用 PLC 举例	49
2.4 过程计算机系统	52
2.4.1 引入过程计算机系统的作用和目的	52
2.4.2 过程计算机的功能	52
2.5 数学模型及人工智能的应用	56
2.5.1 焦炉燃烧辅助控制 COHC 系统	56
2.5.2 配煤过程专家系统	57
2.5.3 配煤优化数学模型	58
2.5.4 焦炭质量预测神经网络系统	59
2.5.5 日本川崎钢铁公司人工智能混匀配煤系统	60
2.5.6 日本钢铁公司炼焦过程中人工智能的应用	62
2.6 近年来建设的现代大中型焦炉三电自动化系统	62
2.6.1 宝钢一、二期焦炉三电自动化系统	62
2.6.2 宝钢三期焦炉三电自动化系统	63
2.6.3 鞍钢 15 号、16 号焦炉自动化系统	65
2.6.4 芬兰罗德洛基钢铁集团公司炼焦自动化系统	66
2.7 炼焦自动化的新进展	67
2.7.1 干熄焦 (CDQ) 最优控制系统	67
2.7.2 燃烧室分别控制系统	70
2.7.3 结焦速度控制系统	71
2.7.4 操作管理支持系统	73
2.7.5 焦炉综合自动控制系统	74

第 3 章 烧结自动化

3.1 概述	78
3.2 检测仪表和自动控制	79
3.2.1 烧结过程主工艺线过程检测仪表和自动控制系统	79
3.2.2 抽风机系统检测仪表系统	81
3.2.3 水处理设备检测仪表系统	81
3.2.4 废热回收系统的检测仪表和自动控制系统	81
3.2.5 专用检测仪表	83
3.2.6 主要自动控制系统简述	87
3.3 电力传动及其控制	90
3.3.1 电动机控制方式	90
3.3.2 电力传动系统运转及其监视系统	91
3.4 烧结过程计算机系统	96
3.4.1 引入过程计算机的目的和作用	96
3.4.2 过程计算机的主要功能	96
3.5 数学模型及人工智能的应用	99
3.5.1 国外烧结数学模型及人工智能的应用	99
3.5.2 国内烧结数学模型及人工智能的应用	106
3.6 近年来国内建设的大中型现代烧结机的三电自动化系统	116
3.6.1 宝钢二烧结 450m ² 烧结机三电自动化系统	116
3.6.2 马钢 300m ² 烧结机自动化系统	125
3.6.3 武钢二烧结 393m ² 烧结机自动化系统	127
3.6.4 本钢 265m ² 烧结机三电自动化系统	130
3.6.5 重钢三烧结 105m ² 烧结机三电自动化系统	132
3.6.6 其他最近新建的烧结厂三电自动化系统	133
3.7 烧结自动化的新进展	135
3.7.1 专用检测仪表的进展	135
3.7.2 设备诊断的进展	138
3.7.3 自动控制系统的进展	139

第 4 章 球团自动化

4.1 概述	142
4.2 装有带式焙烧机的球团厂自动化系统	144
4.3 装有链篦机-回转窑的球团厂自动化系统	146
4.4 装有竖炉的球团厂自动化系统	150

第 5 章 高炉自动化

5.1 概述	153
5.2 检测仪表及其控制	154
5.2.1 专用检测仪表	154
5.2.2 高炉主要工艺线的仪表控制系统	170
5.2.3 高炉鼓风机自动控制系统	182
5.2.4 高炉炉顶余压透平发电装置 (TRT) 检测和自动控制系统	183
5.2.5 高炉水渣自动控制系统	187
5.2.6 制煤粉车间的检测和自动控制系统	189
5.3 电力传动及其控制	190
5.3.1 热风炉换炉自动控制系统	190
5.3.2 槽下配料、放料等顺序控制系统	192
5.3.3 无料钟炉顶自动控制系统	197
5.3.4 煤粉喷吹电力传动控制系统	201
5.3.5 高压炉顶余压透平发电装置 (TRT) 电力传动控制系统	203
5.3.6 出铁场除尘控制	207
5.3.7 给排水电力传动系统控制	210
5.4 过程计算机系统	212
5.4.1 原、燃料作业数据处理	212
5.4.2 原、燃料装入数据处理	212
5.4.3 高炉炉体和热风炉炉壳温度监视	213
5.4.4 渣、铁数据处理	214
5.4.5 炉内数据处理	215
5.4.6 热风炉燃烧控制	215
5.4.7 技术计算	215
5.4.8 数据记录	215
5.4.9 数据显示	216
5.4.10 数据通信	216
5.5 高炉数学模型及其实践	217
5.5.1 热风炉数学模型	217
5.5.2 配料计算与优化数学模型	219
5.5.3 高炉炉况预测数学模型	220
5.5.4 无料钟布料控制数学模型	230
5.5.5 软熔带形状推断数学模型	232
5.5.6 高炉炉底侵蚀推断模型	235
5.5.7 高炉操作预测模型	236
5.5.8 热风炉操作预测模型	237

5.5.9 碳-直接还原率 (C-DRR) 模型	237
5.6 人工智能在高炉中的应用	239
5.6.1 概述	239
5.6.2 人工智能系统的开发工具	241
5.6.3 高炉操作人工智能系统	242
5.6.4 热风炉燃烧模糊控制	259
5.6.5 水渣脱水槽分配控制专家系统	261
5.6.6 料槽料罐等排出原料速度模糊控制系统	261
5.7 近年来国内外建设的大中型现代高炉三电自动化系统	262
5.7.1 概述	262
5.7.2 宝钢 1 号高炉三电自动化系统	264
5.7.3 宝钢 2 号高炉三电自动化系统	266
5.7.4 宝钢 3 号高炉三电自动化系统	267
5.7.5 包钢 4 号高炉三电自动化系统	267
5.7.6 本钢 5 号高炉三电自动化系统	268
5.7.7 国外高炉自动化系统	269
5.8 高炉自动化的新进展	276
5.8.1 专用检测仪表的进展	276
5.8.2 自动控制系统的进展	280

第 6 章 非高炉炼铁自动化

6.1 概述	285
6.2 直接还原自动化	287
6.2.1 煤基直接还原自动化	287
6.2.2 气基直接还原自动化	293
6.3 熔融还原自动化	294
6.3.1 炉子本体系统	294
6.3.2 煤干燥系统	295
参考文献	298

第 1 章 原料场自动化

1.1 概 述

为了供给高炉、烧结(或球团)、焦炉和转炉等冶炼设备所需原料并有一定储备须设原料场。原料场主要承担全厂铁矿石、焦煤、动力煤等主副原料的输入、储备、破碎、匀矿以及向各生产厂供料,是使炼铁等获得成分均匀的精矿和高的技术经济指标必不可少的车间。

图 1-1 示出了现代化大型原料场的工艺及其流程。由卸料机把原料从船上卸到岸上,或陆运车辆卸在料槽中,再用堆料机(ST)把原料堆积到矿石场、辅助原料场和煤场。大块矿石等原料由取料机(RC)送破碎、筛分,把筛选矿送到精矿场,筛下粉料送分层贮料场,在那里用均匀矿堆料机均匀不同牌号的精矿粉,并分层堆放。取料时则由均匀矿取料机从其侧面垂直截取以得到均匀的原料。最后,由料场取出的原料分别由胶带输送机送相应生产厂,例如高炉、烧结等的矿槽。此外,料场还接受炼焦和烧结分厂产生的落地焦、落地烧结矿等返原料和外运料。

原料处理过程有以下三个特点:

(1)原料由厂外运入是随机的,因此,需要有存贮二至三个月使用量的范围广大的综合原料堆场,且设备繁多。例如日本川崎钢铁公司水岛钢铁厂的原料场面积达 100 万 m^2 ,贮存能力约 230 万 t,有 30 台料场机械,460 条胶带运输机群,3 个整粒工场,150 个中继槽;我国宝钢一期原料场面积达 83 万 m^2 ,贮存能力约 258 万 t,有堆取料机 16 台,矿石破碎机 5 台,

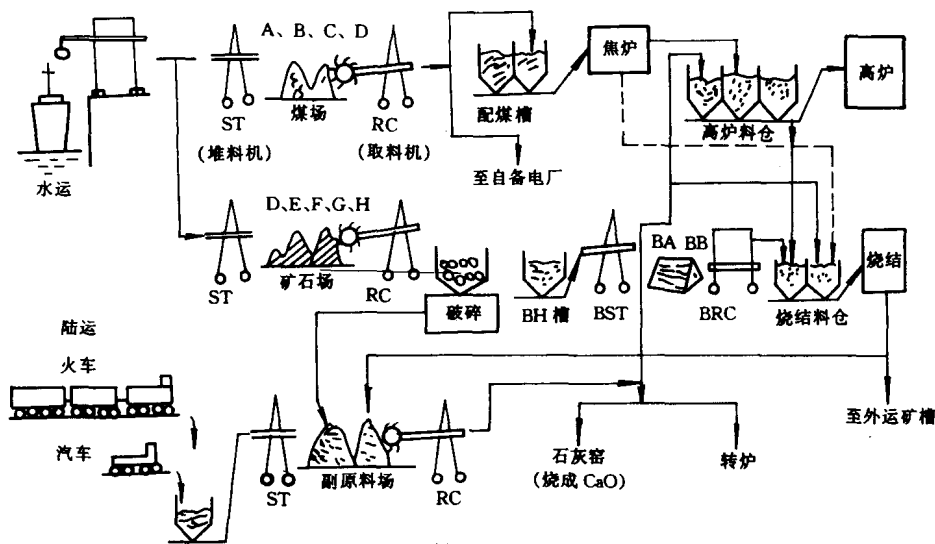


图 1-1 现代原料场生产流程举例

粉碎机 4 台,各式振动筛 15 台,电动机 1082 台以及 266 条总长 45.19km 的胶带输送机。

(2)现代化的钢铁厂差不多全部采用皮带运输机运输原料。以前,各个设备的控制装置按运送物流的方向,采用联锁控制的方法,现在为了提高设备的效率,把皮带机连成了复杂的网络,常使用同一个设备进行多目的地运输。

(3)被处理的原料全部是粉、粒状的

由于有这些特点,如果仅仅采用简单联锁控制,很难实现高效率地进行原料处理作业管理,此外,根据人的判断来运用这样范围广泛的设备群,其效率也受到限制,因此,把各个控制装置有机地结合起来,由计算机进行作业管理就非常必要了。现代大型原料场,为了正确无

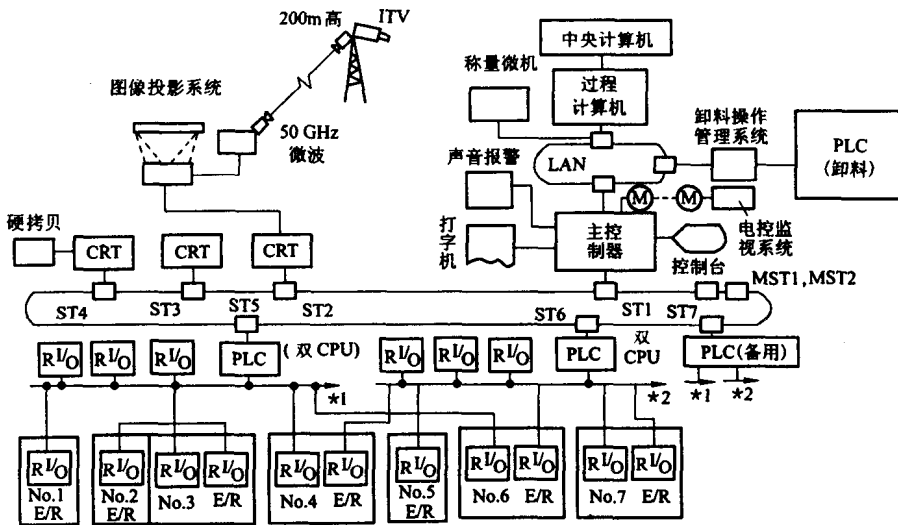


图 1-2 日本川崎钢铁公司水岛厂原料场自动化系统

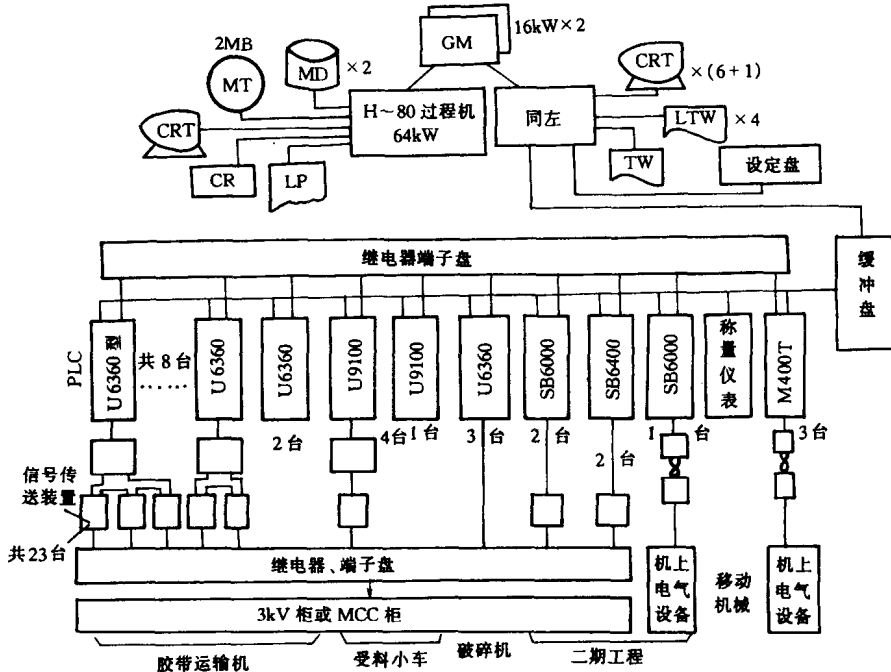


图 1-3 我国宝钢一、二期原料场自动化系统

误运行,并达到高效、节能、低耗和高品质,大都用计算机管理,使用数十台 PLC 和成百套仪表组成 EIC 一体化系统(图 1-2 和图 1-3)。

1.2 检测仪表及其控制

1.2.1 仪表设备的概况及其在原料系统中的功能

原料车间的仪表设备分两大部分,即称量装置(包括相关装置及仪表)与常规仪表,前者用于原料输送系统,后者用在原料车间的供排水设施中。称量装置有三种,即皮带秤、各式料位计和定量排料装置。

大型高炉等的原料输送及处理系统,其设备是否能正常运转,输送作业计划的编排是否合理等,将直接影响发电、烧结、焦化和炼铁等各部工序生产的顺利进行。整个原料车间的自动化系统是由称量仪表、计算机和电控设备组成的综合控制系统,这三部分设备之间互有信息联系,相互配合,对原料处理及输送过程进行检测、计量、控制、监视、数据处理、企业管理及计划安排等。

电子皮带秤用来对原料输送量进行检测,自动连续地进行称量显示、积算和报警。

料槽料位计主要有称重式料位计和重锤式料位计两种,此外还有超声波料位计和微波料位计。料位计主要用作检测、控制、指示与报警。

定量给料装置用来对匀矿配料槽作定量给料控制。

由称量仪表检测出的原料输送量信号需送计算机。计算机的主要功能是:发出起动、停止和切换胶带机的指令;发出卸料机等运行位置指令;对定量给料装置给出排料量的设定值等。

电控设备也设有一些仪表,其主要用途是对皮带机进行各种检测(如皮带跑偏、打滑、溜槽堵塞以及原料中废铁块的探测并去除等)、对卸料机和取料机等的定位控制、皮带机的总体控制等。

1.2.2 原料系统中的自动化称量装置——电子皮带秤

电子皮带秤的称重与一般秤不同,它属动态称重计量方式,用以测量皮带机在单位时间内所输送的物料重量,其称重原理可用下式表示。

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} q dt$$

$$q = Wv$$

式中 Q ——单位时间的物料输送量;

q ——瞬时物料输送量;

t_1, t_2 ——时间;

W ——单位长度上物料重量;

v ——皮带输送速度。

这样,只要测得单位皮带长度上的物料重量 W 和皮带速度 v ,便能得到单位时间所输送物料的重量。

电子皮带秤由机械杠杆系统(称量机本体)和电子仪表两大部分组成,其称重装置设置

在现场,而电子仪表装在称量仪表盘上。皮带秤的原理如图 1-4 所示。

传感器将重量信号变换成 $7.2\sim 25.2\text{mV}$ 的电信号,速度发信机将其变换成脉冲信号输出。这样将上述经变换后的重量信号和速度信号同时分别送入称重部放大器中的前置放大模块和脉冲放大模块,前者将电压信号变换为直流 $4\sim 20\text{mA}$ 电流信号输出,后者输出放大后的脉冲信号。与重量成比例的电流信号和与速度成比例的脉冲信号同时送至输送量积算器。另外,电流信号还送至负荷率指示器 (WI)。

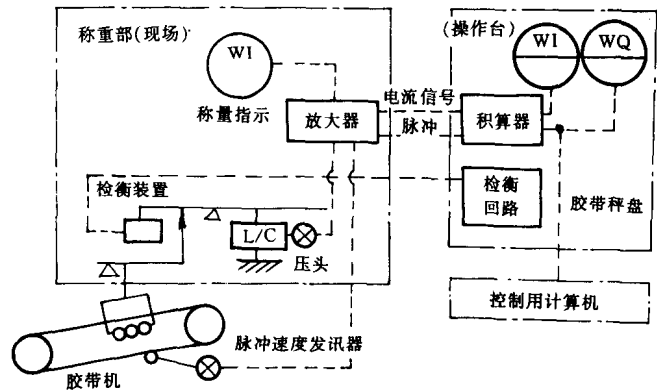


图 1-4 皮带秤原理图

称量机本体包括称量台架及称重部,前者设置在胶带机上,后者装在称量柜内,该柜设在胶带机上面的称量小房内。

为了对皮带秤进行日常的校验,在皮带秤上设有检衡机械,该装置包括远距离检衡装置及检衡锤。用此法检衡比较简单。检衡装置是在称重部内称重传感器的另一端加上重锤模拟皮带的重量,向称重传感器作模拟重量输入,并检测其输出。杠杆上所加的重锤称为检衡锤,检衡锤的上、下升降由电动机驱动,电机的起动与停止在仪表盘上遥控操作,进行远距离检衡,当微动开关切换到检衡状态时,偏心凸轮旋转 180° ,托盘下降,检衡锤重量加到杠杆上。反之,处于测量状态时,检衡锤置于托盘上的整个重量由偏心凸轮支承。

皮带秤上附有三个相当于 30% 的负荷率重锤,能检定 30% , 60% 和 90% 三点。

另外,当皮带不输送物料时,构成皮带机各部分的重量也会传入称重部,此时的重量称为空载荷重。由于存在空载荷重,因此要设置空载平衡锤,抵消称重时的空载荷重从而得到净重。要使在空载时称重传感器输出保持“零点”,实际上以称重传感器的额定负荷的 20% 作为工作起点,该点的传感器的输出信号为 7.2mV ,皮带装载有效工作区段的最大荷重,相当于传感器额定值的 70% ,输出电压为 25.2mV ,即秤的量程(称量段)按传感器额定值的 20% 到 70% 考虑。这样可使称量范围处于传感器工作特性的良好线性段上,以提高精度及过载能力。

1.2.3 料槽料位计

原料场料槽的料位检测,主要用以掌握库存量,通常有下列两种方式:

(1) 称重式料位计,通过检测料槽原料重量间接指示其料位,并可发出料位的“上”,“下”限报警。料位计的工作原理如图 1-5 所示,由装在料槽的荷重传感器〔把料槽支起,装设三个 (120° 分布) 或两个 (装在槽的一边,槽的另一边为活动支点) 荷重传感器〕、支承架、加算箱、放大器及料位指示报警计等部分组成。放大器设在现场盘上,指示报警器设在仪表室的称量仪表盘上,其余设在现场。传感器的桥路电压为直流 12V ,传感器的最大输出信号为 2mV/V 。

(2) 重锤式料位计。FMM-760 型重锤式料位计是德国在日本的分厂生产的,我国也有