

矿物

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
矿物加工工程专业规划教材

PLANNED TEXTBOOK FOR MINERAL PROCESSING ENGINEERING

丛书主编 胡岳华

加工过程检测与控制

主编 李世厚



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

**MONITORING AND
CONTROL OF MINERAL PROCESSING**

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
矿物加工工程专业规划教材

矿物加工过程检测与控制

主 编 李世厚
副主编 何桂春 王永田



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

矿物加工过程检测与控制/李世厚主编. —长沙:中南大学出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 5487 - 0099 - 9

I. 矿... II. 李... III. ①选矿 - 自动检测 - 高等学校 - 教材
②选矿 - 过程控制 - 高等学校 - 教材 IV. TD9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 169734 号

矿物加工过程检测与控制

主编 李世厚

-
- | | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------------|--|
| ☐ 责任编辑 | 胡业民 | | |
| ☐ 责任印制 | 文桂武 | | |
| ☐ 出版发行 | 中南大学出版社 | | |
| | 社址:长沙市麓山南路 | 邮编:410083 | |
| | 发行科电话:0731-88876770 | 传真:0731-88710482 | |
| ☐ 印 装 | 长沙超峰印刷有限公司 | | |
-
- | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------|
| ☐ 开 本 | 720 × 1092 1/16 | ☐ 印张 12 | ☐ 字数 294 千字 | ☐ 插页 |
| ☐ 版 次 | 2011 年 12 月第 1 版 | ☐ 2011 年 12 月第 1 次印刷 | | |
| ☐ 书 号 | ISBN 978 - 7 - 5487 - 0099 - 9 | | | |
| ☐ 定 价 | 28.00 元 | | | |
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
矿物加工工程专业规划教材

编 审 委 员 会

主 任 王淀佐

丛书主编 胡岳华

委 员(按姓氏笔画排序)

马少健	文书明	王毓华	王华军	冯其明
孙体昌	吕宪俊	刘新星	刘炯天	李世厚
张一敏	林 海	邱廷省	赵跃民	胡岳华
段希祥	顾帼华	龚文琪	陶秀祥	韩跃新
童 雄	雷绍民	魏德洲		

矿物加工过程检测与控制

编 委 会

主 编：李世厚

副 主 编：何桂春 王永田

参 编：贾瑞强 戈保梁 林 喆

主 编 单 位：昆明理工大学

副主编单位：江西理工大学

中国矿业大学

总序

.....

“人口、发展与环境”是 21 世纪人类社会发展的主题，矿物资源是人类社会发展和国民经济建设的重要物质基础。从石器时代到青铜器、铁器时代，到煤、石油、天然气、原子能的利用，人类社会生产的每一次巨大进步，都伴随着矿物资源利用水平的飞跃发展。

人类利用矿物资源已有数千年历史，但直到 19 世纪末至 20 世纪 20 年代，世界工业生产快速发展，对矿物原料的需求增大，加上 18 世纪产业革命的推动，使机械化成为可能。造成了“选矿”技术从古代的手工作业向工业技术的真正转变，使选矿技术在处理天然矿物原料方面获得大规模工业应用。

20 世纪 60 年代以来，随着世界经济的快速发展，人类对矿物资源的需求不断增加。特别是 20 世纪 90 年代以来，我国矿产资源消费需求高速增长，而目前我国正进入快速工业化阶段，资源的人均消费量及消费总量仍将高速增长，我国未来发展的资源压力巨大。我国金属矿产资源总量不少，但禀赋差，主要特点是品位低、多金属共生、复杂难处理，无法得到有效利用；金属矿产资源和二次金属资源综合利用率低。

矿物加工科学与技术的发展，需要解决以下问题。

(1) 复杂贫细矿物资源的综合回收：人类对矿物资源的消耗逐年增加，而易选矿物资源的不断开采利用，愈来愈多的是复杂、贫细、大型多金属矿床，需要被开采利用，这些矿床的特点是金属品种及伴生稀有、贵金属品种多、品位低、难处理。

(2) 废石及尾矿的加工利用：在金属矿选矿过程中，经过碎磨过程，消耗了大量原材料和能耗，一般只回收了占总矿石重量约 10% 的有色金属矿物或约 30% 的黑色金属矿物，大量的伴生非金属矿(尾矿)需要利用。

(3) 二次资源：矿山、冶炼厂、化工厂等排出的废水、废渣、废气中的稀有、稀散和贵金属，废旧汽车、电缆、机器及废旧金属制品等二次资源。由于一次资源逐步减少，二次资源的再生利用技术的开发无疑成了矿物加工领域的重要课题。

(4) 海洋资源：海洋锰结核、钴结壳是一种赋存于深海底的巨大矿产资源，除含锰外，铜、钴、镍等金属的储量十分丰富，此外，海水中的金属等在未来陆地资源贫化、枯竭时，将成为人类的宝贵资源。

(5) 非矿物资源：城市垃圾、废纸、废塑料、油污土壤、石油开采油污水、内陆湖泊中的金属盐、重金属污泥等，更需要新的加工利用技术。

面对上述问题，矿物加工科技工作者及相关学科的科技工作者，在矿物加工领域及相关学科领域不断进行新的探索和研究，矿物加工工程学与相邻学科的相互交叉、渗透、融合，如物理学、化学与化学工程学、生物工程学、数学、计算机科学、采矿工程学、矿物学、材料科学与工程已大大促进了矿物加工学科的拓展，形成各种高效益、低能耗、无污染矿物资源加工新技术及新的研究领域。

矿物加工的主要学科方向有：

(1) 浮选化学：浮选电化学；浮选溶液化学；浮选表面及胶体化学。

(2) 复合物理场矿物加工：根据流变学、紊流力学、电磁学等研究重力场、电磁力场或复合物理场(重力+磁力)中，颗粒运动行为，确定细粒矿物的分级、分选条件等。

(3) 高效低毒药剂分子设计：根据量子化学、有机化学、表面化学研究药剂的结构与性能关系，针对特定的用途，设计新型高效矿物加工用药剂。

(4) 矿物资源的生化提取：用生物浸出、化学浸出、溶剂萃取、离子交换等处理复杂贫细矿物资源，如低品位铜矿、铀矿、金矿的提取，煤脱硫等。

(5) 直接还原与矿物原料造块：主要从事矿物原料造块与精加工方面的科学研究。

(6) 复杂贫细矿物资源综合利用：研究选-冶联合、选矿、多种选矿工艺(重、磁、浮)联合等处理一些大型复杂贫细多金属矿的工艺技术和基础理论，研究资源综合利用效益。

(7) 矿物精加工与矿物材料：通过提纯、超细粉碎、表面改性等方法，不经冶炼，将矿物直接加工成可用的材料。

因此，现今的矿物加工工程科学技术与 20 世纪 90 年代以前的相比，已经不可同日而语。为了适应矿业快速发展的形势，国家需要大批具有现代矿物加工知识的专业人才，因此，开展教材建设，更新教材内容对优秀专业人才的培养就显得至关重要。

矿物加工工程专业目前使用的教材，许多是在 20 世纪 90 年代前出版的教材

基础上,各高校自编的,教材更新已迫在眉睫。近几年尽管出版了一些新教材,但缺乏系统性。随着教育部专业教育规范及专业论证等有关文件的出台,编写系统的、符合矿物加工专业教育规范的全国统编教材,已成为各高校矿物加工专业教学改革的重要任务。2006年10月在中南大学召开的2006—2010年地矿学科教学指导委员会(以下简称地矿学科教指委)成立大会指出教材建设是教学指导委员会的重要任务之一。会上,矿物加工工程专业与会代表酝酿了矿物加工工程专业系列教材的编写拟题,之后,中南大学出版社主动承担该系列教材的出版工作,并积极协助地矿学科教指委于2007年6月在中南大学召开了“全国矿物加工工程专业学科发展与教材建设研讨会”,来自全国17所院校的矿物加工工程专业的领导及骨干教师代表参加了会议,拟定了矿物加工专业系列教材的选题和主编单位。此后分别在昆明和长沙又召开了两次矿物加工专业系列教材编写大纲的审定工作会议。系列教材参编高校开始了认真的编写工作,在大部分教材初稿完成的基础上,2009年10月在贵州大学召开了教材审稿会议,并最终定稿,交由中南大学出版社陆续出版。

本次矿物加工专业系列教材是在总结以往教学和教材编撰经验的基础上,以推动新世纪矿物加工工程专业教学改革和教材建设为宗旨,提出了矿物加工工程专业系列教材的编写原则和要求:①教材的体系、知识层次和结构要合理;②教材内容要体现科学性、系统性、新颖性和实用性;③重视矿物加工工程专业的基础知识,强调实践性和针对性;④体现时代特性和创新精神,反映矿物加工工程学科的新原理、新技术、新方法等。矿物加工科学技术在不断发展,矿物加工工程专业的教材需要不断完善和更新。本系列教材的出版对我国矿物加工工程专业高级人才的培养和矿物加工工程专业教育事业的发展将起到十分积极的推进作用。

感谢所有参加矿物加工专业系列教材编写的老师,感谢中南大学出版社热情周到的出版服务。

王汝佐

2010年10月

前 言

《矿物加工过程检测与控制》教材，是为矿物加工工程四年制本科专业编制的一门专业课程教材，所需学时数为 30 ~ 60 学时，开课学期为第六或第七学期。教材也适合于矿物加工工程技术人员、参数检测与控制的工程技术人员阅读。

矿物加工过程参数的自动检测与控制，自 20 世纪 50 年代诞生以来，对矿物加工工程技术发展起到了积极的作用，近年来发展更为迅速，但与化工、冶金、机械等行业的差距日益加大，矿物加工过程参数的自动检测与控制日益受到各方面重视。因此，矿物加工工程领域已经加快步伐，从学校的教学和人才培养入手，各企业、学校、研究院所加大研究投入，大量的自动化机电一体化设备，各种仪表控制，由单片机控制、PLC 控制、和计算机控制的工艺、设备应运而生。从而提高了工艺、设备的技术水平和装备水平，也很大程度地提高了资源的利用率，节约了材料消耗和能源消耗，减轻了工人的劳动强度，改善了劳动条件，增加了企业的效益。

本教材主要包括以下内容：矿物加工过程参数的自动检测技术及原理，参数检测常用仪器仪表和设备；矿物加工过程参数的经典控制原理和方法，以及在矿物加工过程参数的自动控制中的应用；矿物加工过程参数的计算机控制原理与技术、现代控制原理简介等。

本教材编写的目的是结合当前的教育体制改革，增强学生的能力，拓宽学生的知识面，让学生掌握更多的交叉学科知识，培养更具广泛性矿物加工工程类的人才，特别是加强矿物加工工程专业学生的自动检测与控制知识。要求通过本课程的学习，使学生了解到矿物加工工程与自动化的必然联系及重要性，掌握矿物加工参数的控制原理及自动检测的基本内容，熟悉和了解一些自动检测、自动化系统和仪表的原理及使用方法，为进一步学习和加深矿物加工过程专业知识打下更好的基础。

教材是将矿物加工工艺和设备的特点与跨学科的自动检测和自动控制有机地结合在一起，将发展成熟的传统矿物加工工程技术与现代的检测控制方法结合起来，这将进一步提升传统矿物加工工程专业的水平和增加其内涵，也将推动自动检测和自动控制在矿物加工工程专业中的进一步发展，

本教材由昆明理工大学李世厚教授任主编，编写了第1章的内容，第3章的1、2、4、6节的内容；由江西理工大学何桂春教授任副主编，编写了第2章的1、2、3节的内容；由中国矿业大学王永田教授任副主编，由王永田教授、林喆老师编写了第2章的4节以及第3章的5节内容；由昆明理工大学贾瑞强教授参编了第3章的3节以及第3章的7节内容；由昆明理工大学戈保梁教授参编了第4章的内容。

由于编者水平有限，错误和不当之处难免。望广大读者给予谅解和批评指正。

编者

2011年10月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 矿物加工过程检测与控制的意义及内容	(1)
1.1.1 矿物加工过程检测与控制的意义	(1)
1.1.2 矿物加工过程检测与控制的主要内容	(1)
1.2 矿物加工过程检测与控制的发展与现状	(4)
1.2.1 国外发展与现状	(5)
1.2.2 国内发展和现状	(5)
1.2.3 今后发展的趋势	(6)
习 题	(6)
第2章 矿物加工过程参数检测原理与仪表	(7)
2.1 概述	(7)
2.1.1 自动检测系统的构成	(7)
2.1.2 检测环节常见信号类型	(7)
2.1.3 检测环节中的信号形式	(8)
2.2 检测环节的质量指标	(8)
2.2.1 测量	(8)
2.2.2 测量误差	(9)
2.3 矿物加工参数检测常用传感器原理	(11)
2.3.1 电阻应变式传感器原理	(11)
2.3.2 电感式传感器原理	(13)
2.3.3 电容式传感器	(16)
2.3.4 辐射式传感器	(19)
2.3.5 其他形式的传感器	(25)
2.4 矿物加工生产过程参数常用检测仪表	(27)
2.4.1 皮带秤	(27)
2.4.2 粒度仪	(28)
2.4.3 浓度计	(30)
2.4.4 流量计	(32)
2.4.5 密度计	(35)
2.4.6 pH计	(37)

2.4.7 品位仪	(39)
习 题	(40)

第3章 矿物加工过程参数经典控制原理基础

3.1 概述	(41)
3.1.1 经典控制技术的发展与现状	(41)
3.1.2 矿物加工过程自动控制系统分类	(45)
3.1.3 控制系统的品质指标	(45)
3.2 过程参数经典控制系统的组成结构	(47)
3.2.1 自动调节系统结构及各单元信号连接	(47)
3.2.2 自动调节系统各单元特性	(51)
3.2.3 自动调节系统的控制过程	(69)
3.3 矿物加工控制系统数学模型	(70)
3.3.1 微分方程	(71)
3.3.2 传递函数	(75)
3.3.3 响应曲线	(86)
3.4 矿物加工过程自动控制系统常用电动仪表及设备	(91)
3.4.1 电动调节器	(91)
3.4.2 电动执行器	(93)
3.4.3 传感器	(93)
3.4.4 显示仪表	(94)
3.5 矿物加工过程主要自动控制系统介绍	(96)
3.5.1 破碎过程自动控制	(96)
3.5.2 磨矿-分级过程自动控制系统	(97)
3.5.3 选别过程控制	(100)
3.5.4 浓密机底流的浓度自动控制	(104)
3.6 现代控制原理简介	(105)
3.6.1 概述	(105)
3.6.2 控制系统的状态空间描述	(109)
3.6.3 线性状态方程的解	(118)
3.6.4 线性系统的可控性及可观测性	(120)
3.6.5 自动控制系统	(123)
习 题	(126)

第4章 矿物加工过程参数计算机控制技术基础

4.1 计算机控制技术的发展、特点和分类	(129)
4.2 矿物加工过程参数直接数字控制系统(DDC)	(143)
4.2.1 直接数字控制系统(DDC)的硬件构成	(143)
4.2.2 直接数字控制系统(DDC)的控制过程	(149)

4.2.3 DDC 系统中的基本调节规律	(149)
4.2.4 DDC 在矿物加工过程参数控制中的应用	(158)
4.3 矿物加工过程参数集散计算机控制系统(DCS)	(166)
4.3.1 集散计算机控制系统(DCS)概述	(166)
4.3.2 集散计算机控制系统(DCS)的硬件构成	(167)
4.3.3 集散计算机控制系统的软件	(173)
4.3.4 DCS 在矿物加工过程中的典型应用	(174)
习 题	(177)
参考文献	(178)

第1章 绪论

1.1 矿物加工过程检测与控制的意义及内容

1.1.1 矿物加工过程检测与控制的意義

矿物加工是传统的基础工业，目前其突出的问题是能耗高、效率低、劳动生产率低和工人劳动强度大。

随着科学技术的飞速发展，自动检测与自动控制被广泛应用于各个领域。我国矿物加工自动检测与自动控制技术的研究和应用，起步于20世纪70年代，虽然起步较晚，但发展很快，是一个带有方向性的重要技术领域。

在矿物加工生产过程中，用自动化仪表、自动化设备和装置以及计算机等代替人工，对生产过程的物料量、浓度、粒度、成分、流量、料位、药剂量、pH值等参数，按工艺要求进行检测与控制，称为矿物加工过程自动检测与自动控制。自动检测与自动控制的主要作用是保证生产过程稳定，保证产品质量，提高资源利用率，充分发挥生产设备潜力，提高劳动生产率，节约原材料，减少能量消耗和废物排放，降低生产成本，提高经济效益，减轻操作工人和管理者的劳动强度。如矿物加工工厂采用自动检测与控制后，一般可使设备生产能力提高10%~15%，能耗减少5%~40%，劳动生产率提高25%~50%，生产成本降低3%~5%。

矿物加工自动化技术自产生以来，取得了重大的进展，从根本上改变了传统生产技术落后的局面。按传统的矿物加工生产，工人凭经验对工艺参数进行人工调节，对生产过程的控制既不及时又不准确，因此较难获得好的生产技术指标，同时劳动强度也大。自动检测能够及时准确地获得矿物加工过程各参数，自动控制能够及时根据自动检测的结果，准确地对相关变量进行调节及控制。这两项自动化技术的应用提高了矿物加工指标，节约了能耗，减轻了工人的劳动强度。特别是近年来发展起来的矿物加工智能控制技术，能够综合考虑矿物加工过程中各项影响因素，自动对各变量进行有效控制，使矿物加工指标达到最佳值。

近年来，矿物加工领域不断采用新工艺、新设备，如大型磨矿机、自动压滤机、自动拣选机、大型浮选机、浮选柱等新设备和选冶联合、生物浸出、化学矿物加工等新工艺。要保证生产过程稳定、设备高效率运行和矿物加工产品质量靠传统的人工操作是不容易达到的，这就需耍靠自动检测和自动控制来实现。在对传统选厂的工艺、设备技术改造和升级中，采用自动检测与控制技术，其效果也很显著。因此，实现矿物加工工艺过程和装备的自动检测与控制，对发展我国国民经济，提高工业生产技术水平，有重要的意义。

1.1.2 矿物加工过程检测与控制的主要内容

矿物加工过程检测与控制主要包括对破碎、筛分、磨矿与分级、选别、过滤、浓缩、尾矿

输送等生产过程的自动检测与控制。目前，在矿物加工自动化技术中，应用最广泛最成熟的几项技术包括：碎矿过程的 PLC 时序控制，磨矿与分级过程的多参数综合控制，浮选过程基于品位分析的自动加药、矿浆液位自动控制，尾矿高浓度浓缩与输送的控制，铁精矿高浓度远距离管道输送控制等。在参数检测方面，除了常规的矿量、流量、料位、浓度、温度等参数之外，还对一些矿物加工工艺的关键参数，如品位、矿物粒度、矿浆电位、药剂浓度、泡沫图像、煤炭灰分等进行自动检测，这对工艺操作和控制能起到很好的指导作用。另外，变频调速技术的应用对矿物加工生产的节能降耗效果显著，专家系统、模糊控制、最优控制、神经网络控制等先进控制方式与传统的模型控制技术结合应用，也显著地改善了矿物加工过程控制的效果；矿物加工自动化技术与计算机信息管理技术的结合，又使生产管理者产生了观念性的变化。这些都给矿物加工工业的技术进步带来了积极的影响。

矿物加工过程检测与控制的主要参数见表 1-1。

表 1-1 矿物加工工艺过程检测与控制的主要参数

作业名称		选 矿 厂	选 煤 厂
破碎		1. 给矿量；2. 矿仓料位；3. 产品粒度；4. 破碎机排矿口尺寸；5. 车间粉尘含量；6. 除铁；等等	1. 灰分；2. 过大块含量；3. 金属物；4. 车间粉尘含量；等等
磨矿与分级		1. 给矿量；2. 磨矿浓度；3. 磨机负荷；4. 钢球充填率；5. 补加水量；6. 返砂量；7. 溢流浓度；8. 产品粒度；等等	1. 筛分的处理量；2. 筛下物量；等等
磁选		1. 给矿量；2. 选别浓度；3. 磁场强度；4. 冲洗水量；5. 精矿品位；等等	1. 给矿量；2. 选别浓度；3. 磁场强度；4. 冲洗水量；5. 精矿品位；等等
重选	跳汰	1. 给矿量；2. 筛下补加水量；3. 重产品产率；4. 床层厚度和松散度；等等	1. 给矿量；2. 筛下补加水量；3. 轻产品产率；4. 轻产品灰分；5. 床层厚度和松散度；等等
	重介质	1. 给矿量；2. 给矿浓度；3. 介质密度；4. 介质补加量；等等	1. 给矿量；2. 给矿浓度；3. 介质密度；4. 介质补加量；5. 轻产品灰分；等等
	摇床	1. 给矿量；2. 给矿浓度；3. 重产品产率；4. 冲洗水量；等等	
浮选		1. 给矿量；2. 浮选浓度；3. 浮选时间；4. pH 值；5. 各种药剂添加量；6. 充气量；7. 浮选液面高度；8. 泡沫刮出量；等等	1. 给矿量；2. 浮选浓度；3. 浮选时间；4. pH 值；5. 各种药剂添加量；6. 充气量；7. 浮选液面高度；8. 泡沫刮出量；等等
浓缩、脱水、过滤		1. 精矿量；2. 精矿含水量；3. 过滤机转速；4. 过滤机真空度；5. 压缩空气压力；6. 浓密机底流矿浆浓度；7. 浓密机液流浊度；等等	1. 精矿量；2. 精矿含水量；3. 过滤机转速；4. 过滤机真空度；5. 压缩空气压力；6. 浓密机底流矿浆浓度；7. 浓密机液流浊度；等等

1. 破碎作业的检测和控制

对于多数圆锥破碎机，排矿口尺寸不能动态调整，生产中采用固定排矿口，定期进行人工重新调整的方法来控制产品粒度。控制系统主要选取主传动电机的功率作为被控参数，控制方案一般采用定值功率或优化功率方式，动态调整给矿机给矿量的大小，使主机的负荷稳定运行在设定的范围之内。同时检测冷却润滑系统的温度、压力等，具有完备的保护功能。

细碎、筛分实施自动控制后,破碎机台时处理量可提高 10% ~ 15%。细碎合格粒度提高 15% 以上,节电 20% 以上,设备故障率明显降低。

有的圆锥破碎机控制系统,其控制主参数选取了传动电机功率和破碎机排矿口尺寸两个参数作为被控变量,通过检测给矿量、功率、油温、排矿口尺寸等来动态调整排矿口尺寸和给矿量,其目标函数是排矿口尺寸最小、给矿量最大。系统的所有控制动作均是向这两个目标逼近。

目前应用最多和最成熟的破碎作业控制方法是 PLC 时序控制,某选矿厂 2003 年厂采用了 PLC 可编程控制系统,对破碎系统设备的控制方式进行了改造,提高了设备连锁开、停的及时性和有效性。该系统还对设备的运行状况实时检测,通过计算机终端动态显示其运行状况,当设备运行参数超出设定参数时,系统及时报警,当运行设备发生故障时,系统及时指出故障设备,并控制相关设备停止运行,避免事故发生。

2. 磨矿与分级作业参数的检测和控制

磨矿与分级作业是矿物加工工厂生产工艺流程中关键的环节之一,磨矿作业在矿物加工工厂的电耗、钢耗中占有很大的比例。同时,磨矿作业是整个矿物加工工厂的“瓶颈”,直接关系到矿物加工生产的处理能力和磨矿产品的质量(粒度特性、单体解离度),对后续作业的指标乃至整个矿物加工工厂的经济、技术指标有很大的影响。

影响磨矿过程指标的因素很多,属于物料性质方面的有矿石可磨性、给料粒度、产品细度等;属于磨机结构方面的有磨机规格、型式、衬板形状等;属于操作方面的有介质形状、尺寸配比及材质、介质充填率、磨机转速率、补加球制度、料球比和磨矿浓度等。上述因素中,第一类和第二类因素一经确定后通常不会改变,通常变化的因素是磨机转速率、介质充填率、料球比和磨矿浓度。一旦磨机转速率固定,则其余三个因素是可变的,它们是磨机中球负荷、物料负荷以及水量的总和,统称为磨机负荷,是磨矿过程的一个重要参数,直接影响到磨矿的效果。在实际生产过程中,由于矿石性质的波动以及许多外界因素的干扰和操作水平的差异等,使球磨机的负荷难以维持在最佳水平。因此,在磨矿过程自动控制中,能否准确检测出球磨机的负荷是整个球磨机优化控制的关键。

为了解决上述问题,人们研究出一种基于多传感器(声音传感器、振动加速度传感器和有功率传感器)信息融合的球磨机负荷检测系统,此检测系统能够检测出球磨机的内部负荷参数(介质充填率、料球比和磨矿浓度)。最终根据需要来调整介质加入量、给矿量及给水量,从而实现球磨机优化控制的目的。

磨矿与分级过程是一个非线性过程,一般的辨识方法对它不是很有效。人工神经网络技术是新发展起来的一种人工智能技术,用于磨矿与分级过程的系统辨识,具有非线性能力强、算法成熟、简单、增减变量容易、自学习方便等优点。并且所得的寻优及预测模型令人满意。因此,可采用人工神经网络技术对磨矿与分级过程进行在线辨识,找出磨机功率的最优值,并对磨机的运行状态进行预测。用学习之后的人工神经网络预测磨机矿量,在磨机功率检测器检测出变化之前就能动作,同时又能保持磨机运行在极值点附近,能够适应矿石性质出现大的变化波动。针对磨矿与分级过程的特点,采用模糊逻辑与神经网络相结合的方法,一个基于 Takagi - Sugeno 模型的模糊神经网络智能控制系统,对磨矿与分级的数据进行仿真。仿真结果表明:系统搜索速度快,控制精度较高,不依赖被控对象模型,具有较强的抗干扰能力和自学习、自适应能力,能够使磨机稳定运行在最佳工作点附近,且能避免“胀肚”事故的发生。

3. 浮选过程自动检测与控制

浮选过程控制内容主要有：给矿量、浮选浓度、浮选矿浆的 pH 值、浮选药剂量、浮选槽液位、浮选槽的充气量、洗涤水量、泡沫刮出量等。

(1) 浮选槽液位检测与控制：

在浮选过程中，对浮选槽液位和泡沫厚度检测与控制非常重要。近年来，浮选槽矿浆液位检测多采用浮子式液位变送器。采用超声波测量浮球位移的浮选槽液位计在南非、加拿大、美国等已被应用，国内在铜陵冬瓜山选厂也有应用。在金川有色金属公司新投入使用的 6000 t/d 磨浮控制系统中，对新型 BGRIMM 系列充气式自吸浆浮选机的液位控制系统进行建模，并用仿真方法对该型号浮选机的液位控制进行了多方案的研究，包括线性 PID 控制、模糊 PID 控制及其对不同特性阀门的适用性研究等。结果表明，由于系统存在非线性环节且控制受限，单纯采用线性 PID 控制不能同时将超调量和响应时间调节到理想状态，而应用模糊控制在线调整 PID 参数，实现非线性 PID 控制，使系统的动态性能得到了明显提高。而且模糊 PID 控制能使不同特性的阀门均获得良好的控制效果。

(2) 浮选柱控制：

浮选柱中矿浆与气泡是逆向流动的。泡沫层的厚度以及浮选柱内矿浆液面的高低是影响浮选柱精矿品位和回收率的重要因素。从浮选柱浮选效果而言，浮选柱控制主要包括 3 个方面的内容：矿浆入料流量控制、浮选柱矿浆液位控制以及充气量控制，其中关键是控制浮选柱矿浆的液位。在稳定控制的基础上，根据各分选过程的不同，随时调控各可调变量，使浮选柱工作在最佳状态，尽可能减少能耗和药耗，使浮选柱达到最佳分选效果。浮选柱在运行过程中，需要加入捕收剂和起泡剂等药剂，可采用在线品位分析仪检测产品质量的变化来控制药剂的添加量。

4. 高效浓密机自动检测与控制

高效浓密机操作要求比较严格，溢流质量、沉积层厚度、底流浓度和药剂添加量的自动控制是实现设备高效化的重要措施。高效浓密机的主要检测参数有给矿量、给矿浓度、底流流量、底流浓度、药剂添加量、驱动扭矩等。在对溢流水浊度要求高的地方，还要检测溢流水的浊度，其主要控制参数有底流排放量和絮凝剂添加量等。

如某单位研制的高效深锥浓密机的自动控制系统，可检测给矿流量、沉积层厚度及底流排放流量，检测的信号送入调节器，根据输出的电流信号，调节给药电磁阀门（或药剂计量泵的转速）大小。通过调节底流排放电动阀门的大小，控制浓密机内沉积层的厚度，保证与矿浆特性相适应的沉积层厚度。底流浓度的控制是在测量底流浓度后，通过电动执行机构来调节底流电动胶管阀的开度或底流泵的转速。当给矿固体量变化时，变换底流阀门大小，可获得稳定的高底流浓度和澄清的溢流水。

1.2 矿物加工过程检测与控制的发展与现状

随着自动控制技术、计算机技术、自动检测技术、信息处理技术的发展，矿物加工工艺过程和设备的自动控制系统不断更新换代。纵观国内、外矿物加工过程自动控制技术的发展，都是从简单到复杂，从对破碎车间的控制到磨矿、浮选的控制乃至整个工艺流程的控制。从单一控制某个参数到多个参数协调控制，再到优化控制。从单参数单回路控制到多参数多