

我国选矿自动化的现状及发展趋势^{*}

杜五星^{1,2}, 戴惠新^{1,2}, 何东祥^{1,2}, 于慧敏^{1,2}, 赵泓铭^{1,2}

(1. 复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室, 云南 昆明 650093; 2. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘 要: 主要介绍国内选矿过程中破碎、磨矿分级、浮选的自动化应用情况以及存在的问题, 并对国内选矿自动化的发展前景进行了展望。

关键词: 选矿过程; 检测; 控制; 评述

中图分类号: TD928.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2016)01-0074-05

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2016.01.013

Present Situation and Development Tendency of China Mineral Processing Automation

DU Wuxing^{1,2}, DAI Huixin^{1,2}, HE Dongxiang^{1,2}, YU Huimin^{1,2}, ZHAO Hongming^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming 650093, China; 2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: This paper mainly introduced the application and problems of domestic mineral processing automation in the process of crushing, grinding-classification and flotation. And the development tendency of mineral processing automation was also proposed.

Key words: beneficiation process; testing; control; commentary

选矿自动化即利用现代的信息检测技术, 对选矿各作业流程进行自动化控制的过程^[1]。选矿自动化技术诞生于20世纪40年代初期, 经过半个多世纪的发展, 极大地改变了传统选矿技术落后的情况。在传统的选矿生产中, 由于工人凭借生产经验进行手动调节, 对生产过程的控制既不精确又不及时, 所以很难获得较好的生产指标。选矿自动化控制能够及时准确地指示选矿生产过程中各参数的变化, 根据所测结果, 准确、及时地对有关变量进行调节。选矿自动化提高了选矿指标, 节约了能源消耗, 改善了工作条件。近年来, 新发展起来的选矿自动

化技术能够综合考虑选矿过程中各项影响因素, 能够随着入选矿石性质的变化而自动改变对各变量的控制, 使选矿指标达到最佳值^[2]。

根据相关资料统计显示, 选矿厂采用自动控制技术以后一般可使设备的生产能力提高10%~15%, 劳动生产率提高25%~50%, 生产成本降低3%~5%, 能源消耗减少5%~40%, 同时能显著提高选矿回收率等生产指标^[3]。因此实现选矿工艺过程自动化控制, 对发展我国国民经济, 提高工业生产技术水平, 具有重要意义。

国内对于选矿自动化的研究开始于上个世纪

* 收稿日期: 2015-12-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51264020)

作者简介: 杜五星(1990-), 男, 河南开封人, 硕士研究生, 主要从事选矿工艺方面的研究。

通讯作者: 戴惠新(1966-), 男, 教授, 主要研究方向磁电理论与工艺, Email: dhx6688@sina.cn。

50年代末^[4],经过多年的研究和实践,在选矿自动化方面取得了长足的发展。本文对我国选矿过程中的破碎、磨矿分级、浮选作业的自动化应用情况进行了综述,分析了我国在实现选矿自动化过程中面临的主要问题,并指出了以后的发展趋势。

1 破碎的自动控制

破碎工序是选矿作业的第一道工序,在选厂的整个生产工艺过程中,破碎起着为后续作业提供物料的作用,但是破碎工序存在能耗大、能量转换效率低等问题^[5]。对破碎系统进行自动化控制能够实现“多碎少磨”、低能耗、高效益,提高破碎的综合处理能力等目标。

破碎自动化控制有两个重点:一是优化粗、中、细碎的负荷配置;二是优化碎矿与磨矿之间的负荷配置,即破碎应尽可能为磨矿提供最佳粒度分布的入磨矿石原料^[6]。目前国内在碎矿过程自动化控制方面主要以连锁控制为主,即破碎自动化控制系统利用先进的检测设备,通过对油温、油压的检测,实现对破碎机安全工作状态的分析和报警;通过对破碎机负荷的检测和分析,实现破碎机优化给矿控制;通过对料仓料位的检测和各破碎机能力的分析,实现自动布料和破碎机负荷优化平衡控制;此外还要对主要皮带的跑偏、打滑实施自动化控制,以及对相关设备实施逻辑连锁与保护控制。通过以上措施确保整个破碎系统安全、稳定、高效地运行,从而达到保护机械设备、稳定操作、提高效率以及降低能耗的目的^[7]。

马钢南山矿业公司^[8]在碎矿工艺流程改造过程中,建立了一个碎矿全流程计算机控制和视频监控系统,利用先进的工业以太光纤网络将破碎筛分流程各控制分站的流程组态画面、工艺参数、设备状态、工作场景实况等向中央监控主站进行传送。同时,中央监控系统主站将生产指令传送到各分站,从而实现了粗碎、中碎、细碎以及高压辊磨的实时有效监控,确保整个破碎系统安全、稳定、高效地运行。山东华联矿业股份有限公司选矿厂^[9]和首钢水厂选矿厂^[10]在选厂内建立集中控制室,破碎系统都是采用一套PLC进行自动化控制,实现一键式开车。所有在线运行的破碎系统设备启停信号均被传送到集中控制室,由计算机集中显示设备运行状态,当设备运行参数超出设定参数和发生故障时,系统能够

及时报警,能够对设备进行自动保护(包括过流、事故、主要皮带系统的跑偏、打滑、撕裂),从而提高了破碎车间的效率。

排山楼金矿^[11]选矿碎矿系统采用GE公司的PLC作为控制器,监控站则采用澳大利亚CIT公司的监控软件开发系统平台,实现了对破碎、筛分和输送设备的运行逻辑控制和自动连锁保护,能够对破碎筛分的过程进行实时检测和控制,使车间的处理能力有了很大提高,同时节约电能的效果也很明显。由于国内对破碎机方面的研究起步较晚,破碎机的自动化程度较低,相对比较落后,控制器以PLC控制为主,控制算法相对比较简单,控制精度比较低,破碎自动化未来的发展方向是加强先进控制算法的理论设计与研究,提高控制的精度。

2 磨矿分级的自动控制

磨矿分级是破碎的后续作业,也是入选前物料准备的最后一道作业。磨矿分级作业的效率和产品质量的好坏直接影响着选别作业的指标以及整个选矿厂的效益。通过采用先进的控制方式,对磨机负荷和给水量等因素进行综合分析判断,可实现对磨机给矿、磨矿浓度、分级溢流浓度和粒度的优化控制,磨机球荷球比的分析和调整,磨机油路润滑系统的安全保护等;同时,还能实现磨矿分级作业参数的自动检测、显示和各种故障报警,使磨矿分级作业始终在最优的状态下运行^[12-13]。对磨矿分级实施自动化控制能够有效地解决其生产能力偏低、能耗较高、过磨、欠磨等问题。

磨矿分级作业是一个非线性的过程,参数的耦合性很强,仅靠单输入、单输出的PID控制回路很难取得较好的控制效果,必须由一模糊控制器进行协调,确保各控制回路的工作协调进行,才能实现磨矿分级控制系统的自动化控制^[14]。邯邢北洺河铁选厂^[15]采用PID控制和模糊控制的方法,将磨机声音、功率、一次分级机返砂量3个主要参数输入模糊控制器,模糊控制器根据3个主要参数的变化或变化趋势进行模糊判定,对应每一种变化趋势模糊控制器都会给出一特定的给矿原则,然后PID控制器会根据其给矿原则调整变频器控制给矿机的给矿速度,从而实现了磨矿分级的全流程自动化控制,提高了选厂的产品质量、资源综合利用率和生产能力;实现了增效节能,优化控制;保证了选矿生产过程持

续、稳定和高效的运作;实现了金属回收率和经济效益的最大化。

招远夏甸金矿^[16]的磨矿分级自动化控制系统,采用浓度计检测溢流浓度,引入监测分级机的电流来检测返砂比,从而通过控制排矿水、返砂水来调节溢流浓度和磨矿浓度,控制返砂比,减少甚至避免“胀肚”现象。另一方面在溢流浓度和排矿浓度的基础上,系统引入电耳传感器对磨机工作声音进行监测:当磨机“空肚”运行时,机内的声音主要是砸磨的声音,对应的磨音电耳值高;反之,当磨机“胀肚”运行时,机内的声音主要是切磨的声音,对应的磨音电耳值低,通过与功率变送器的信号进行比较,对系统的球荷球比进行分析,并根据分析的结果确定当前给矿量的设定值,通过调节给矿机电机的转速,使给矿量始终处于设定的最佳值。

安庆铜选厂^[17]为解决生产中的问题,采用了和招远夏甸金矿相似的自动化系统对磨矿分级系统进行改造,将两台 $\phi 3.2\text{m} \times 4.5\text{m}$ 球磨主系统磨矿分级部分的常规仪表改成了美国 honey well 公司的 s9000 系列 dcs100 集散系统,配一台 dell 上位机监控,并增加了变频、电耳、上位机、现场仪表箱、开停车信号检测等重要内容。有效地解决了“胀肚”和断矿的问题,实现了室内和现场两地信息互传及双重监控,较完美的发挥了自动化在选矿生产中的调控作用,最大限度的优化了生产操作。目前国内磨矿分级自动控制系统的检测仪表在精度、灵敏度等方面还有待提高,随着科技的不断进步,磨矿分级自动化控制正向着现代控制技术与人工智能技术相结合控制的方向发展。

3 浮选过程的自动控制

浮选过程需要控制的内容主要有:给矿量、浮选浓度、浮选矿浆 PH 值、浮选药剂剂量、浮选槽液位、浮选槽的充气量、泡沫刮出量等。国内浮选机械设备自动化,主要是对浮选加药和矿浆液面进行自动控制^[18]。

3.1 浮选加药控制

浮选过程是有用矿物成分的选别和富集过程,加药过程的好坏直接影响到浮选的指标。对加药过程进行自动化控制能够克服工人不能及时对浮选过程的变化做出相应调整所造成的不良影响。

浮选自动加药控制系统是一种可远距离自动控制及调节的准确定量、定时加药装置,采用程序控制加药机进行自动给药,可同时控制多个药点的给药量。目前国内浮选自动化药剂添加系统多采用流量控制方法,控制系统主要分为控制部分和执行机构,其中工业中多采用 PLC 进行控制,执行机构多采用电磁阀和加药泵,由于电磁阀成本较低,维护方便,现场应用最多的是电磁阀式控制。

大红山铜选厂^[19]浮选自动加药系统采用三菱的 PLC 作控制器,电磁阀作执行器,用浓度计和流量计分别实时测量进入浮选作业的矿浆浓度和流量,用测得的浓度和流量计算出进入浮选作业的干矿量从而计算出给药量,将加药量换算成电磁阀的通断时间,用 PLC 来控制电磁阀的通断时间从而控制药剂的添加量。

山东金岭铁选厂^[20]通过扩大生产规模和技术革新改造,优化工艺流程,采用 PLC 程序加药系统替换了老式的虹吸加药法。该系统利用孔口流的基本原理和间断加药方式,在一定周期内先把药液间断地加入一流量缓冲器内,然后通过管道连续地流到加药点,采用灵敏度较高的水银接点控制浮球阀,控制给药箱中药液的液面高度,使其保持恒定,药液通过安装在药箱侧面外部的电磁阀给出,因为药箱内液面调节是恒定的,在电磁阀打开相同时间内给出的液体量相同,这样用 PLC 控制电磁阀通过改变间断时间就可实现给药量调节,提高了加药的精度和选矿的指标,同时降低了药剂消耗,也减轻了工人的劳动强度,还对加强选矿的技术管理、稳定现场操作、改善工作条件等方面,起到了很大的积极作用。在浮选加药自动控制方面,有些药剂具有强烈的腐蚀作用,对加药机喷头的损害极大,因此设计出一些耐腐蚀的材料对浮选加药自动控制具有重大的意义。

3.2 浮选槽液位的控制

在选矿生产过程中,准确控制浮选槽液位和充气量,保持液面稳定,不但能稳定浮选作业,而且有利于提高有用矿物的品位和回收率等浮选指标^[21]。在浮选作业中,对浮选槽液位和充气量进行控制一直是个难题,国内目前大多采用间接测量的方法。近年来在浮选槽检测矿浆液位时,多采用浮子式液位变送器,也有的采用超声波测量浮球位移的浮选

槽液位计进行液面检测。

铜陵有色集团冬瓜山铜选厂^[22]的浮选液位自动控制系统,采用的是北京矿冶研究总院根据浮选机械设计原理以及选矿工艺特点专门设计成套的BFLC自动控制系统,其检测装置、控制器、执行机构的选型和设计加工制造特别适用于生产过程中的参数检测、操作因素调节和设备维护。生产实践表明,该系统实现了对多槽浮选作业的液位自动调节,保证了浮选流程的稳定生产,有效地控制了精矿品位和回收率,满足了工艺指标要求。

武涛^[23]等人开发出了一种可以对大型浮选机矿浆液面进行自动化控制的系统。该系统以SIE-MENSS7系列PLC控制器为核心,用激光传感器、浮球检测矿浆液位高度,以自适应模糊PID算法为液位控制策略,对尾矿双调节阀实时控制,以达到稳定浮选机液位的目的;用热式质量流量计作为充气量检测装置,配有带限位功能的PID控制算法,用气动蝶阀作为气量控制执行器,从而实现浮选机气量的稳定控制。该系统已成功应用于多家选厂的多种规格大型浮选机上。

浮选柱没有剧烈搅拌,可通过间接测量法测得液位的实际高度,通过调节尾矿阀的开度或泵的转速,控制尾矿量的排出,达到稳定液位的目的。江西德兴铜矿^[24]在大山选厂安装了一台2.44 m×10 m CPT浮选柱,取得了很好的生产效益。浮选柱和机械浮选机两者的生产指标表明:浮选柱铜精矿品位比机械浮选槽铜精矿品位平均提高了4.62%,铜和金的作业回收率分别提高了3.89%和4.06%。由于传感器的精度、灵敏度等原因,造成了在一些难选矿石浮选过程中不能很精确地对浮选槽液位进行检测,因此开发精度更高、灵敏度更高、更为先进的传感器已迫在眉睫。

4 国内选矿自动化存在的主要问题

近年来,虽然国内选矿自动化取得了很大的成就,应用和实践的范围也逐渐扩大。但是同世界上一些矿业比较发达的国家相比还有很大的差距,如美国、南非、加拿大、澳大利亚、巴西、智利、芬兰等国的大中型选矿厂的自动化技术大多采用了当代最先进的控制技术,取得了巨大的综合生产效益。国内自动化技术发展过程中存在以下几个问题:

(1) 缺乏专业人才和技术骨干。虽然选厂采用

了自动化控制,但是自动化设备只有在人的操作下才能正常运转。大多数选矿厂在自动化控制系统的长期使用和维护方面,都没有足够的重视,认为只要自动化控制系统投入使用后就可以一劳永逸,生产现场严重缺乏对自动化系统进行维护和调整的相关专业技术人员,在系统开发商减少技术服务后,很多测控设备因缺乏正常维护而难以正常运作。

(2) 选矿厂自动化控制系统的设计和开发还不尽合理。有的设计开发根本不合实际,主要表现在控制程序设计还不够完善,有些程序过于冗长,使得控制系统的快速性、准确性不足,这是许多控制系统无法长期稳定运行的重要原因^[25]。

(3) 因为采用自动化技术的前期投入比较大,加上国内的劳动力比较廉价,国内很多中小型选厂根本就不愿意采用自动化技术。

5 选矿自动化的发展趋势

尽管国内选矿自动化还存在许多的问题,但还是取得了很大的进步。随着科学技术的不断发展和对选矿自动化的重视,以及在激烈的市场环境竞争压力下,国内选矿自动化将得到迅速发展,以下几点是选矿自动化发展的主要趋势。

(1) 先进自动化技术与新型选矿工艺和高效节能选矿设备的结合。传统选矿工艺和设备在能耗、成本、环保、效率等方面有局限性,一些新型的选矿工艺和选矿设备正在逐步改进或替代原有的生产方式。把自动化技术与新的工艺和设备进行结合能够更好地实现“高效益、低能耗、无污染”的生产。

(2) 不断向智能化、集成化和网络化等方向进步发展。现代选矿企业的自动化系统已经从对某个单独系统独立的管理监督逐渐的向网络集成方向发展,通过对整个生产过程的监控、管理实现对整个企业的产业化运行,智能化和系统集成化是选矿企业的重要研究方向^[26]。

(3) 自动化技术的远程化发展。选厂的地址一般都比较偏僻,当选矿设备出现问题,同时厂内的技术人员无法解决,而其他联络方式也无法起作用时,只能等待选矿设备厂商技术人员上门维护,在设备停止工作的那段时间里,无法避免的会对选矿厂造成一定的经济损失。如果设备厂家能远程监控设备运行状况,就能指导厂内技术人员进行维护,及时的解决故障。

(4) 选矿自动化向着数字化方向发展。随着计算机技术、网络技术和自动化技术的发展,选矿厂必然向着数字化的方向发展。随着选矿企业将信息管理局域网和各个独立的生产控制网络有机地连接起来,实现底层的控制信息和中间层的管理信息及高层的决策信息高度集成,最终将实现选矿企业的数字化管理。

6 结语

近两年来,随着矿产品价格的不断下跌,国内选矿企业的经济效益普遍下滑,同时选矿行业还面临着生产成本高和资源综合利用率低等问题。选矿自动化技术在降低生产成本、提高生产效率、稳定生产指标、企业减员增效等方面带来了显著的经济效益,实施自动化控制是选矿企业提高生存能力和市场竞争能力的必由之路。

参考文献:

- [1] 韩龙. 选矿过程控制的发展现状和前景展望[J]. 有色金属, 2000, 52(4): 123 - 125.
- [2] 王丰雨, 张覃, 黄宋魏, 等. 我国选矿自动化评述[J]. 国外金属矿选矿, 2006, 43(8): 18 - 22.
- [3] 李世厚. 矿物加工过程检测与控制[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2011.
- [4] 卢胜英. 国内外选矿自动化的现状与发展趋势[C]//全国冶金矿山采选自动化学术会. 南通: 中国金属学会, 1987, 54 - 54.
- [5] 汪昭乾, 汪兴亮, 尹斌, 等. 破碎机控制器的研制及应用[J]. 金属矿山, 2001(11): 33 - 36.
- [6] 周俊武, 徐宁. 选矿自动化新进展[J]. 有色金属(选矿部分), 2011(z1): 47 - 54, 63.
- [7] 刘思为, 黄光耀, 曹玉川, 等. 选矿自动化的应用与发展趋势[J]. 矿冶工程, 2015(z1): 78 - 82.
- [8] 葛之辉, 曾云南, 赵保坤, 等. 选矿过程自动检测与自动化综述[J]. 中国矿山工程, 2006, 35(6): 37 - 42.
- [9] 赵兴法. 山东华联选矿厂自动化系统的设计与应用[J]. 自动化博览, 2013(z2): 156 - 158.
- [10] 刘承军. 首钢水厂选矿厂破碎系统集中控制效益显著[J]. 冶金自动化, 2005(4): 17 - 17.
- [11] 李德军. 选矿过程自动化系统[J]. 黄金, 2001, 22(8): 24 - 26.
- [12] 唐绍义, 徐晓东. 浅谈选矿自动化的应用[C]//2009 年金属矿产资源高效选冶加工利用和节能减排技术及设备学术研讨会. 桂林: 中国冶金矿山企业协会, 2009: 413 - 416.
- [13] 陈保新. 集散控制技术在选矿过程控制中的应用[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [14] 孙云东, 杨金艳. 国内选矿自动化技术应用及进展[J]. 黄金, 2010, 31(4): 35 - 38.
- [15] 王占楼, 王会杰. 磨矿全流程自动控制系统在北沼河选矿厂的应用[J]. 矿业工程, 2007, 5(1): 35 - 37.
- [16] 马良增, 李勇, 王彩霞, 等. 磨矿自动控制系统[J]. 设备管理与维修, 2002, (5): 26 - 27.
- [17] 杨克琴. 安庆铜矿磨矿分级自动化改造[J]. 有色金属(选矿部分), 2006(4): 34 - 36.
- [18] 张洪哲. 浮选机械设备的自动化技术[J]. 价值工程, 2010, 29(36): 240 - 240.
- [19] 李思. 大红山铜矿选矿厂浮选控制系统的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
- [20] 王雪梅, 张乐元. 选矿用 PLC 程控加药系统[J]. 矿山机械, 2004(3): 77 - 79.
- [21] 赵燕, 阮祥发, 郑钧宜. 矿浆液面自动控制系统研究[J]. 矿山机械, 2004(7): 48 - 49.
- [22] 邵之苗, 高扬. 铜选矿厂浮选过程控制系统的应用[J]. 矿冶, 2012, 21(1): 73 - 76.
- [23] 武涛, 杨文旺, 李强, 等. 大型充气机械搅拌式浮选机控制系统的设计与应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2012(5): 62 - 66.
- [24] 李振兴, 文书明, 罗良烽, 等. 选矿过程自动检测与自动化综述[J]. 云南冶金, 2008, 37(3): 20 - 24.
- [25] 秦虎, 刘志红, 黄宋魏, 等. 碎矿磨矿及浮选自动化发展趋势[J]. 云南冶金, 2010, 39(3): 13 - 16.
- [26] 谭尾琴. 选矿厂磨矿分级监控系统设计[D]. 赣州: 江西理工大学, 2012.