

智能磨矿系统半自磨机控制关键参数研究

何荣权 尤腾胜 邓朝安

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 以某选矿厂半自磨工艺智能磨矿系统生产实践为基础,总结分析了智能磨矿系统半自磨机重要控制参数的影响和运行情况。通过分析生产实践数据发现,智能磨矿系统的关键控制参数为半自磨机转速、给矿粒度、半自磨机磨矿浓度。半自磨机转速对智能磨矿系统的控制最敏感,调节效果最显著,可快速调整磨矿系统运行状态;给矿粒度次之,能起到短时调节作用;半自磨机磨矿浓度敏感性最弱,可实现微调。通过上述关键参数的协同控制,能实现磨矿系统处理能力最大化,产品粒度可调可控。

[关键词] 智能磨矿系统;磨机转速;块度分析仪;给矿粒度;磨矿浓度;碎磨工艺

[中图分类号] TD921+.4

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2023)01-0017-04

DOI: 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2023.01.003

0 前言

随着近些年半自磨工艺技术发展,半自磨工艺因成熟可靠获得矿业界同仁的普遍认可,在国内外的中大型选矿厂已获得广泛应用^[1-4]。半自磨工艺具有流程短、占地面积小、操作人员少、给矿粒度大、矿石适应性强等优势,但半自磨工艺也面临着能耗高,对矿石性质波动敏感,控制过程具有多变量、非线性、强耦合、大滞后等特点。随着信息化、大数据技术发展,实现半自磨工艺智能优化控制是降低半自磨工艺能耗、更好适应矿石性质波动的最有效手段^[5-6]。

为了更好地发挥半自磨工艺优点,克服其缺点,实施半自磨工艺智能控制是国内外选矿厂普遍采用的方法。智能磨矿系统可实现半自磨工艺稳定生产和优化控制,提高生产效率,创造可观的经济效益。国内外众多专家和学者对半自磨系统工艺参数^[5]、磨矿系统智能控制原理和控制技术进行了较多研究

和报道^[5-8],为智能磨矿系统的推广应用提供了技术支持。本文以某选矿厂半自磨工艺智能磨矿系统生产实践为基础,总结分析了智能磨矿系统半自磨机重要控制参数运行和使用情况,以期为类似选矿厂进行智能磨矿系统建设提供更好借鉴。

1 智能磨矿系统简介

某选矿厂采用 SAB 半自磨工艺,磨矿系统由 1 台 $\Phi 7.5\text{ m} \times 3.2\text{ m}$ 、装机功率 2 600 kW 的半自磨机和 1 台 $\Phi 5.03\text{ m} \times 8.5\text{ m}$ 、装机功率 3 500 kW 的球磨机组成。选矿厂建设之初,完成了全厂的基础自动化建设,构建了完备的 DCS 控制系统,其中磨矿系统的主要设备半自磨机、球磨机均自带完善的运行监测 PLC 控制程序,配备的仪器仪表包括给矿带式输送机皮带秤、顽石返回带式输送机皮带秤、磨矿系统补加水检测控制系统、旋流器给矿浓度计和流量计、旋流器溢流浓度计和流量计、旋流器溢流粒度仪等。SAB 智能磨矿系统是在基础自动化基础上,引进原矿块度分析仪、磨音检测仪和磨矿专家系统,通过采集 DCS 系统主要参数(包括磨机运行功率、轴压、给矿量、旋流器给矿浓度、溢流浓度和产品细度等),根据控制目标形成智能控制策略,依据专家经验,利用先进的模糊控制算法执行有效控制逻辑,从而实现智能控制。SAB 智能磨矿系统如图 1 所示。

[收稿日期] 2022-12-20

[作者简介] 何荣权(1980—),男,湖南道县人,硕士,正高级工程师,主要从事选矿工程咨询、设计、项目管理及科研工作。

[引用格式] 何荣权,尤腾胜,邓朝安.智能磨矿系统半自磨机控制关键参数研究[J].绿色矿冶,2023,39(1):17-20.

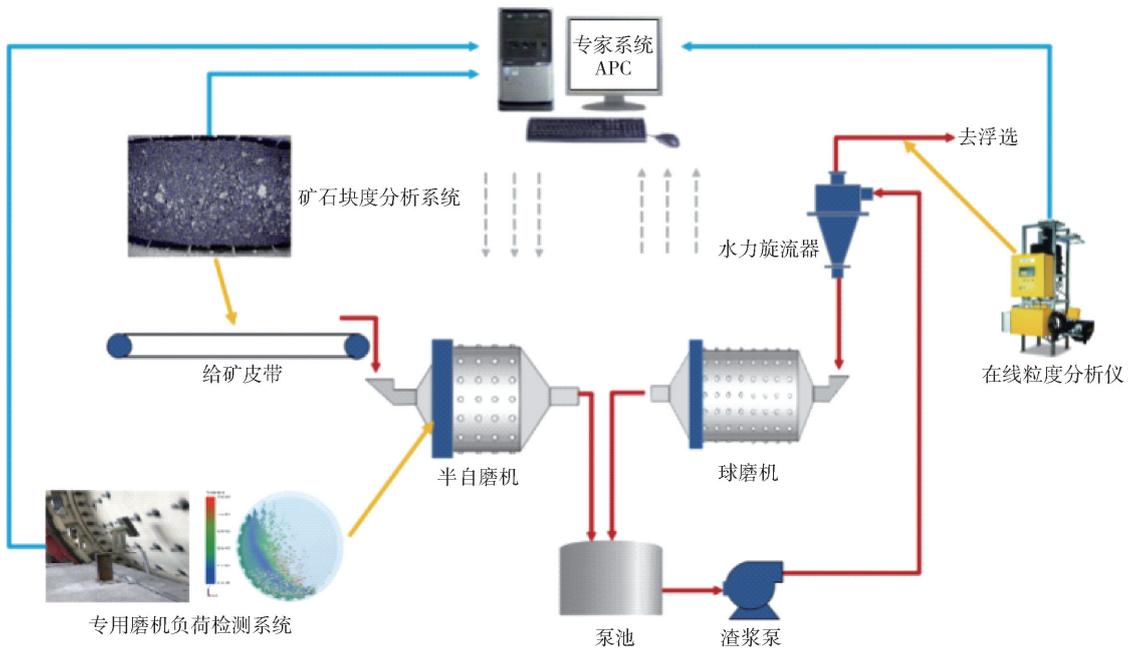


图1 SAB智能磨矿控制系统

2 关键控制参数研究

智能磨矿系统实施,通常是采集系统仪器仪表在线检测数据进行对比分析,然后按照控制目标、策略和逻辑执行控制。根据现有大量文献报道^[5-7,9],以半自磨工艺为主的智能磨矿系统的控制参数包括磨矿系统给矿量、给矿粒度、半自磨机转速、半自磨机磨矿浓度、磨矿系统给水量、磨矿系统钢球添加量及添加尺寸等,其中半自磨机转速、给矿粒度、半自磨机磨矿浓度构成了智能磨矿系统中半自磨机控制的三大关键参数。

2.1 半自磨机转速

半自磨机安全稳定运行是智能磨矿系统的控制核心,半自磨机的处理能力关系着整个选矿厂的生产能力。在保证选矿厂整体系统稳定运行的前提下,智能磨矿系统的控制目标是处理能力稳定,其控制策略是确保半自磨机处理能力持续稳定在设定值395 t/h。智能磨矿系统投运后,通过长期的数据收集和分析,某生产时段(19:00—23:00)半自磨机运行功率与半自磨机变频器频率智能调节的典型变化趋势如图2所示。

由图2可知,半自磨机功率上限的控制目标为2400 kW(装机功率2600 kW,即负荷率92%)。在生产运行过程中,功率低位运行时,从节约能耗角度考虑,磨机转速智能调节在低值;当功率升高时,通过提高转速控制功率增长趋势,确保功率在合理区

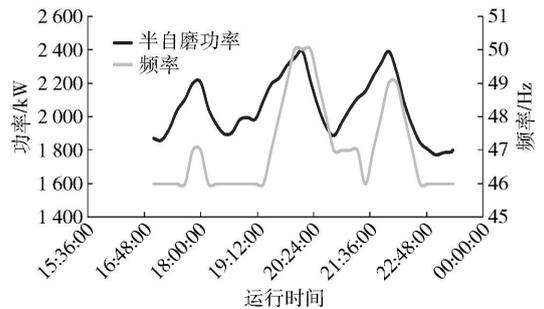


图2 某时段运行功率与变频器频率典型变化趋势图
间内。此外,功率对转速变化极其敏感,当功率升高时,通过增加转速能够有效控制功率上升,且20 min左右即可有效控制功率上升,使功率回归至正常值。在半自磨机运行过程中,确保处理能力维持在设定值长期运行,一方面确保系统产能,另一方面可实现处理软矿石时半自磨机以转速低值运行,处理硬矿石时半自磨机以转速高值运行,使磨矿系统适应矿石性质波动,快速响应。

2.2 给矿粒度

给矿粒度对半自磨机处理能力和稳定运行均有较大影响,但是由于矿石粗碎后通常进入储存设施,破碎产品粒度变化存在滞后性,对半自磨机控制的影响无法得到及时体现。本项目的矿堆直径大、下料点多,储存物料存在离析现象,即矿堆不同排料口产品粒度存在差异,这为实现短期给矿粒度调节创造了条件。本项目通过引入矿石块度分析仪对矿堆下部给矿设备和半自磨机给矿带式输送机的矿石粒

度进行检测,然后根据半自磨机功率变化和粒度检测结果对给矿粒度进行智能调节。在确保处理能力稳定条件下,半自磨机功率与给矿粒度智能调节的典型变化趋势如图3所示。

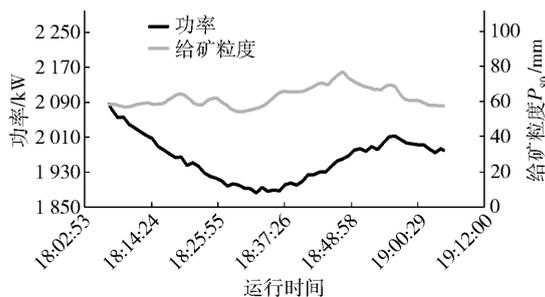


图3 某时段功率与给矿粒度智能调节变化趋势

由图3可知,半自磨机功率降低,给矿粒度 P_{80} 呈下降趋势,但由于给矿粒度可调范围有限,调整效果不明显。图中18:48时起半自磨机功率持续升高,为了有效控制半自磨机功率,智能控制系统降低给矿粒度,随后半自磨机功率开始小幅下降,说明给矿粒度对调整半自磨机功率存在一定作用。由于粒度整体可调范围有限,就矿山生产全生命周期而言,离析是一个短暂过程,所以给矿粒度调整幅度和对半自磨机功率的影响均较磨机转速弱。

2.3 半自磨机磨矿浓度

半自磨机磨矿浓度是保证半自磨机磨矿效率、实现磨矿合格产品及时排出的重要保证参数,对半自磨机运行功率也存在一定影响。通过分析长期生产运行数据发现,磨矿浓度对半自磨机运行功率有影响,但与磨机转速、给矿粒度相比,影响较小。在确保处理能力稳定条件下,半自磨机磨矿浓度与功率的典型智能调节变化趋势如图4所示。

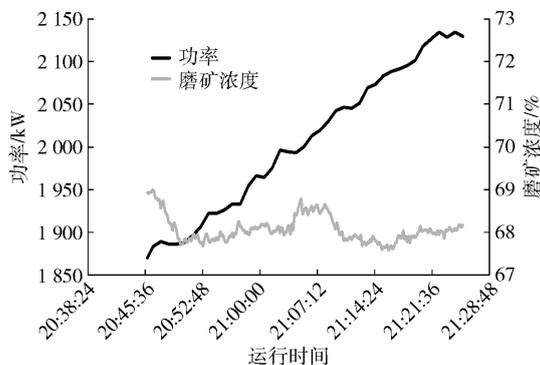


图4 某时段功率与磨矿浓度调节关系图

由图4可知,在某时段半自磨机功率持续增长时,通过调整半自磨机磨矿浓度可起到一定的调节作用。图中20:52时,半自磨机功率开始升高,降低

磨矿浓度后,功率出现小幅下降,然后仍然持续增加,说明磨矿浓度在较短时间内可影响功率变化,但无法影响其整体趋势,属于较弱控制手段。

2.4 多参数协同控制作用

通过分析半自磨机转速(变频器频率)、给矿粒度和磨矿浓度对半自磨机功率影响可知,以上三个参数都能影响半自磨机运行,可以在智能控制中起到调节作用,但灵敏度差异较大。实践中,智能磨矿系统通常不是由单参数直接控制,多以三个参数按照控制逻辑优先级进行协同控制。某时段三个参数对半自磨机功率实施智能控制的整体变化趋势如图5所示。

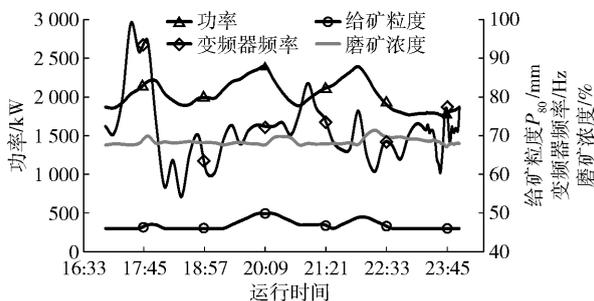


图5 磨机转速、给矿粒度和磨矿浓度协调控制半自磨机功率

从图5可知,在一个生产班运行时间内,维持处理能力不变情况下,运行功率一直控制在设定值范围内,未出现因功率问题导致处理量降低工况。磨机转速与功率变化趋势基本一致,波峰和波谷一一对应,关系紧密;给矿粒度在部分关键时段能够对功率产生影响;磨矿浓度变化影响最弱。在整个过程中,随着磨机功率变化,根据工艺控制逻辑相应智能调节三个关键参数,使磨机功率运行在合理范围,即控制不超过2400 kW。三个参数协同控制可保证智能磨矿系统稳定运行,三个参数各自发挥特点,使半自磨机适应矿石性质引起的功率变化,通过交互控制达到生产能力持续稳定。

3 结论

通过研究和分析某选矿厂智能磨矿系统运行数据发现,半自磨机转速、给矿粒度、磨矿浓度是智能磨矿系统半自磨机控制的三个关键参数,它们对过程控制的贡献和作用具有典型特征。

1) 半自磨机变频控制、转速调节是智能磨矿系统的重要控制手段之一,可迅速调节半自磨机运行状态,使半自磨机适应矿石性质的波动,维持功率在

合理区域内。

2)调整给矿粒度是智能磨矿系统控制的次要手段,堆存导致的离析,为磨矿系统处理能力、半自磨机功率调节提供了给矿粒度调节的可能性,可实现智能磨矿系统区间稳定调节。

3)调整磨矿浓度是调节半自磨机运行效率,进一步优化磨矿效果的重要手段之一,但是此因素对整个系统影响较弱,可以作为微调手段。

4)磨机转速、磨矿浓度、给矿粒度的协同控制,最终能够实现磨矿系统智能控制,保证磨矿系统处理能力最大化、产品粒度和浓度满足后续工艺要求,半自磨机稳定可靠运行。

[参考文献]

[1] 黄国智,方启学,任翔,等.全自磨半自磨磨矿技术[M].北京:冶金工业出版社,2018.

- [2] 杨松荣.自磨半自磨磨矿工艺及应用[M].北京:冶金工业出版社,2019.
- [3] 夏菊芳.半自磨工艺在我国矿山的应用现状[J].中国矿山工程,2004(5):37-39.
- [4] 邹毅仁,邓朝安,夏自发,等.极硬矿石碎磨工艺探讨[J].中国矿山工程,2022,51(3):62-67.
- [5] 何荣权.半自磨系统主要控制参数研究[J].中国矿山工程,2011,40(6):27-29.
- [6] 孙静,吴同春.一种半自磨机智能控制技术[J].金属矿山,2015(12):124-128.
- [7] 王庆凯,杨佳伟,邹国斌,等.半自磨机优化控制技术研究[J].有色冶金设计与研究,2016,37(3):1-6.
- [8] M. N. 布罗迪,肖芳,李长根.变速半自磨机[J].国外金属矿选矿,2004(9):21-25,29.
- [9] 张兴勋,叶志勇,饶明生,等.多源矿点配矿的SAB流程磨矿优化控制技术应用[J].有色金属(选矿部分),2021(3):75-82,87.

Research on the Key Control Parameters of Intelligent Grinding System

HE Rongquan, YOU Tengsheng, DENG Chaoan

Abstract: Based on the production practice of intelligent grinding system of semi-automatic grinding process in a concentrator, the effect of important control parameters and operation conditions of semi-autogenous mill of intelligent grinding system were summarized and analyzed. Through the analysis of production practice data, it is found that the key control parameters of the intelligent grinding system are semi-autogenous mill speed, feeding size and grinding concentration. The speed of semi-autogenous mill is the most sensitive parameter to the control of intelligent grinding system, and the regulation effect is the most significant. It can quickly adjust the operation state of grinding system. The feeding particle size takes the second place, which can play a short-term adjustment role; the grinding concentration has the weakest sensitivity and can achieve fine adjustment. Through the collaborative control of the above key parameters, the processing capacity of the grinding system can be maximized, and the product size can be adjusted and controlled.

Key words: intelligent grinding system; mill speed; lumpiness analyzer; feeding particle size; grinding concentration; grinding process