

变频调速技术在半自磨工艺中的应用研究

Study on the Application of Frequency Control Technology in SAG Process

尤腾胜, 邓朝安, 何荣权, 赵晨阳(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要:变频调速技术被广泛的应用到了社会各个领域,不仅能够起到明显的节能效果,也能满足生产中的各种工艺需求,为企业带来非常可观的经济和环境效益。本文对半自磨机变频调速的必要性和优势进行了阐述,并结合相关研究成果及应用案例进行了研究和分析,为推广应用磨机变频调速技术提供参考和借鉴。

关键词:变频调速技术; 半自磨工艺; 流程模拟; 智能控制

中图分类号: TD453 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)06-0064-05

Abstract: Frequency control technology has been widely used in various fields of society, not only can play an obvious energy-saving effect, but also can meet the needs of various processes in production, bringing very considerable economic and environmental benefits for enterprises. This paper describes the necessity and advantage of frequency control of semi-autogenous mill, and the research and analysis are carried out combined with the relevant research results and application cases. It is hoped to provide some reference for relevant personnel to popularizing and applying mill frequency conversion speed regulation technology.

Key words: frequency control technology; SAG process; process simulation; intelligent control

1 前言

近年来,随着工业智能化技术广泛应用,有色金属选矿厂机械化程度和自动化控制已达到较高水平,其中变频调速技术由于其所具有的许多不可替代的优势被广泛应用在选矿厂的各个环节并取得较好效果;目前大中型全自磨/半自磨机也逐步通过采用变速驱动装置调节其转速,不仅提高了磨机对不同矿石性质的适应性,同时也提升了生产效率,还能够降低电机能耗,更有利于保证磨矿产品的稳定性,实现磨机的灵活性控制^[1]。

本文从半自磨机变频调速的必要性和优势出发,结合笔者近期的研究成果,重点分析变频调速对半自磨机产能的影响及其在磨矿智能控制中的应用情况,希望通过应用案例使矿山企业认识到大型磨机变频调速在节能、操作控制等方面的重要意义,推动新建或改扩建选矿项目中积极采用磨机变频驱动方案。

2 变频调速的必要性和优势分析

在选矿厂设计建设阶段,一般是基于少量的矿

石样品通过做磨矿试验和落重试验来确定半自磨机的设备规格和磨机转速,但是在实际生产过程中矿石性质尤其是矿石硬度的波动会导致半自磨机处理能力发生相应变化,建设之初确定的磨机转速已不是最佳磨机研磨速度。

如果选矿厂安装的是定速半自磨机,那么在生产工况不稳定时,调整的手段主要依赖于给矿量、磨矿浓度和钢球添加量,这些手段存在滞后、灵活性差及效果不明显等问题;尤其在遇到较大的或者较硬矿石时会增大磨机的容积负荷和排矿粒度,会导致系统处理量的降低;同样,较小的或较软矿石会导致衬板易于受到钢球的直接冲击及增加系统处理量,排矿粒度将变细^[2];因此,对磨机稳定运行和磨矿产品合格率有较大影响,严重制约着半自磨机的运行效率及指标提升。鉴于这个原因,一些早期由于给矿性质均匀,或者由于投资节省原因安装的定速半自磨机,已经在实践中出现过高的衬板破损和缺少操作上的灵活性等问题,而改变为变速驱动^[3]。

当生产中矿石性质变化和磨机提升棒磨损时,可以通过调整磨机转速率来保证磨机处理能力的稳定,因此,半自磨机变频调速能够为工艺和设备保护带来诸多好处,主要表现在以下几个方面:

(1)半自磨机转速率与处理能力关系密切,通

[作者简介] 尤腾胜(1982-),男,高级工程师,从事选矿工程咨询设计及项目管理工作。

[引用格式] 尤腾胜,邓朝安,赵晨阳,等.变频调速技术在半自磨工艺中的应用研究[J].中国矿山工程,2022,51(6):64-68.

过调整磨机转速,可以优化筒体内钢球介质和矿石的抛落曲线,尤其是钢球抛着点,减少钢球对衬板的直接冲击;随着磨机转速率的提高,加强了钢球与矿石之间的冲击破碎作用,保证矿石得到充分的磨剥,加快矿石的排矿速度,可以有效提高半自磨机处理能力。

(2)利用半自磨机变频调速功能,结合磨矿智能控制系统,可以实现磨机负荷状态等特征的自动识别,能够根据磨机功率、轴压、给矿量等参数进行磨机转速的自适应调节,从而更好地适应矿石性质波动以及衬板提升条磨损的动态变化,实现半自磨机的安全稳定及精细化控制,提高系统产能的同时降低衬板、钢球以及单位矿石处理量的电能消耗^[4]。

(3)定速半自磨机在启动时存在大电流冲击问题,主电机空载启动瞬间将对电网产生额定电流4~7倍的电流冲击,严重影响电网的稳定性和机械设备的使用寿命;采用变频器驱动方式启动磨机,启动电流和启动转矩都可以得到精确控制,能够做到磨机启动过程的平稳精确控制,因此可避免冲击转矩对磨机大小齿轮的损伤,延长其使用寿命^[5-7]。

(4)半自磨机在选型时电机装机功率一般会考

虑20%~30%的富裕量,这样就为采用变频器带来节能的可能性,当通过变频调速降低电机转速时,电机的运行功率将随着转速的降低成正比的降低。

3 变频调速对半自磨机产能的影响研究

基于某选矿厂产能提升的需要,根据流程考查数据与矿石碎磨特性参数,利用JKSimMet软件对该选厂半自磨-球磨系统进行建模、模拟,还原至近似于实际生产状态,在此基础上通过调节半自磨机转速率研究不同转速条件下对磨矿系统产能的影响,在保证最终磨矿产品浓细度要求的前提下,为选矿厂产能提升及半自磨机变频调速技术改造提供科学依据。

模拟过程中,除磨机新给矿量及转速率可调整外,其它如给矿粒度、钢球尺寸、钢球充填率、磨矿浓度等操作参数均保持不变;同时模拟采用磨矿产品细度达到工艺要求-0.074 mm占68%~72%、半自磨机综合充填率在25%±0.3和球磨分级回路循环负荷约为250%三个重要的指标来衡量磨矿流程是否模拟完成。

不同转速率条件下,磨矿回路模拟结果见表1、表2、图1所示。

表1 不同转速率条件下模拟结果

调整参数		模拟结果(最大钢球尺寸 φ140 mm, 钢球充填率 12%)					
新给矿量	转速率	综合充填率	顽石产率	圆筒筛筛下 -0.074 mm	半自磨机运行 功率	球磨回路 循环负荷	溢流产品 -0.074 mm
t/h	%	%	%	%	kW	%	%
400	71	24.706	15.69	28.039	2370.600	251.385	69.497
	72	23.919	15.06	27.812	2391.229	252.760	69.427
	73	23.190	14.46	27.590	2411.621	249.432	69.742
	74	22.516	13.88	27.373	2431.915	250.721	69.677
	75	21.891	13.33	27.160	2452.226	251.995	69.614

表2 不同转速率条件下模拟结果

调整参数		模拟结果(最大钢球尺寸 φ140 mm, 钢球充填率 12%)					
转速率	新给矿量	综合充填率	顽石产率	圆筒筛筛下 -0.074 mm	半自磨机运行 功率	球磨回路 循环负荷	溢流产品 -0.074 mm
%	t/h	%	%	%	kW	%	%
70	385	24.959	15.93	28.617	2332.428	252.120	69.318
71	400	24.706	15.69	28.039	2370.600	251.385	69.497
72	425	24.801	15.69	27.273	2419.595	248.805	69.885
73	450	24.854	15.65	26.552	2467.710	252.187	69.774
74	475	24.868	15.57	25.874	2514.996	252.203	69.940

由表1模拟结果可知,在相同新给矿量条件下,随着磨机转速率的提高,半自磨机综合充填率呈下降趋势,顽石产率也同步下降,圆筒筛筛下产品粒度变粗,半自磨机运行功率逐步提高;说明随着磨机转速率的提高,钢球介质及矿石的运动轨迹发生了改变,强化了介质与矿石及顽石之间的冲击破碎作用,加快了矿石的排矿速度,同时由于排矿速度加快,介质与矿石之间的研磨时间相应减少;且由于转速率的提高,提升了钢球介质抛落高度,需要消耗更多的能耗,半自磨机运行功率也相应升高。

表2 模拟结果表明,通过新给矿量和磨机转速

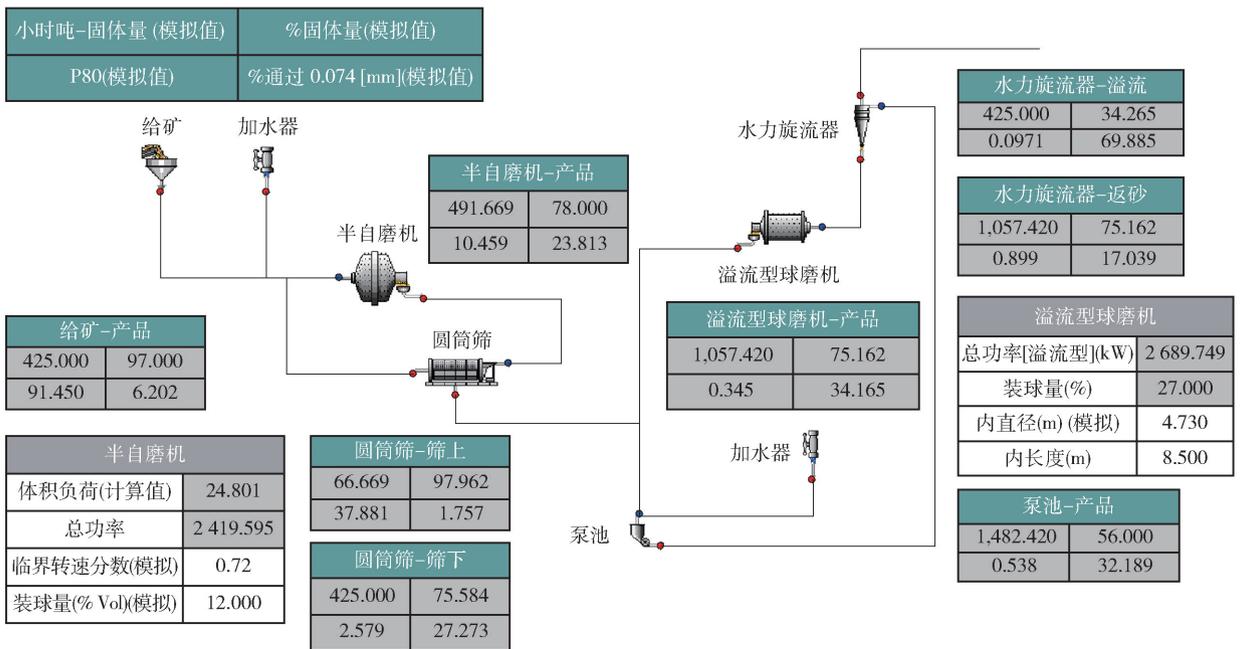


图1 半自磨机72%转速率条件下模拟结果

4 变频调速在磨矿智能控制中的应用

磨矿智能控制是基于现场智能仪表精准采集的各种工艺参数(给矿量、磨矿浓度、产品粒度等)、设备参数(功率、轴压、频率等)等,利用工艺过程先进控制软件,集成操作人员、工艺专家的先进思维和知识经验,实现磨矿回路给矿粒度、给矿量、磨矿浓度及磨机转速率等参数的优化调整,减少或杜绝人为因素对流程及指标的不利影响,提高工艺流程及指标的稳定性,可以在提升系统处理量的同时,降低能耗和衬板、钢球等材料消耗,为企业创造可观的经济效益。

根据国内外的生产实践,磨矿介质、介质充填率及磨机转速率是影响半自磨机运行性能的最关键操作因素^[5],而转速率具有更加容易操作和灵活控制

率的同时调整,磨矿流程模拟完成,全部满足上述三个判定指标要求,实现了流程的总体平衡。在保证半自磨机安全运行的前提下(半自磨机装机功率2 600 kW),随着转速率的提高,新给矿量可以逐步增加。

研究表明,在保证半自磨机综合充填率基本稳定的情况下,磨机转速率与处理能力的关系密切,提高处理能力的同时需要相应的提高转速率来保证综合充填率,且半自磨机运行功率可控制在较合理范围内,这充分的表明通过变频调速,是提高半自磨机产能的有效手段之一。

的特点,尤其是在半自磨机智能控制过程中起到不可替代的作用,通过利用变频调速功能,能够更加容易控制钢球的抛着点,优化钢球的抛落曲线,从而更好地适应矿石性质波动以及衬板提升条磨损的动态变化,实现磨矿过程的稳定、精细化控制,同时降低衬板和钢球的消耗,可有效延长衬板的使用寿命。

在笔者近期实施完成的某选矿厂半自磨-球磨回路智能控制系统中,通过与现场操作人员、工艺专家及管理者讨论制定工艺控制策略,将半自磨机转速率连同给矿量、给矿粒度及磨矿浓度等操作参数工艺控制逻辑共同写入了智能控制系统,经过逐条的工艺控制逻辑测试、系统调试、试运行和性能考核,磨矿智能控制系统实现了各种工况条件下

的工艺稳定运行和智能调节。通过智能控制系统的实施,磨矿系统产能提升5%以上,产品浓细度合格率均在95%以上,达到了双方约定的性能考核指标。

图2所示为磨矿智能控制系统性能考核期间4

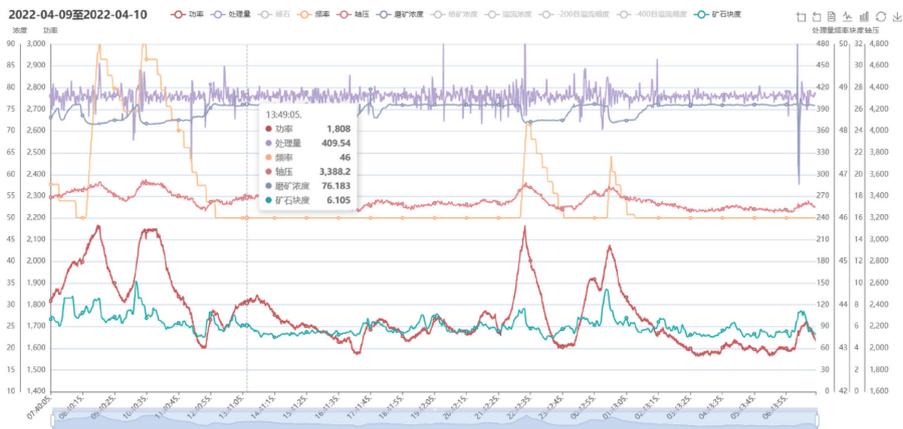


图2 系统智能性调节参数变化趋势图

4月9日当天根据选矿厂生产计划及矿石性质情况,智能控制系统处理量设定最高值为405 t/h,从图2可以看出,磨矿系统始终在设定的最高值附近运行,由于给矿块度或者硬度的变化,半自磨机功率发生了几次较大波动,在这个过程中,随着半自磨机功率的波动变化,磨机轴压也发生同向变化,变频器频率、给矿粒度、磨矿浓度等按照工艺控制逻辑优先级快速进行了相应自动调节,将磨机功率和轴压尽快恢复到设定的合理区间,以保证系统的安全稳定运行。

该时段半自磨机运行功率呈现4次波峰,半自磨机功率保持在1 600~2 300 kW区间内进行自动调整,经过统计,变频器频率共计自动调整36次;其中8:50~10:00时间段,半自磨机功率逐步上升,按照工艺控制逻辑,变频器频率自动调节,由46 Hz逐步增加至50 Hz,再配合给矿自动配矿、磨矿浓度自动调整逻辑,控制半自磨运行功率回落,在功率下降过程中变频器频率逐步降低,由50 Hz降低至48.5 Hz。

10:30~12:40时间段,半自磨机功率由低功率区间增加至2 150 kW时,变频器频率自动调节,由48.5 Hz增加至50 Hz,再配合给矿自动配矿、磨矿浓度自动调整逻辑,控制半自磨运行功率回落,在功率下降过程中变频器频率由50 Hz降低至46 Hz。

月9日7:40~4月10日7:40在给矿性质剧烈波动条件下,系统智能性调节过程中,各控制参数和被控参数的变化趋势曲线;本节主要分析在系统智能性调节过程中为保证系统安全稳定运行变频器频率随半自磨机功率变化而自动调节的情况。

22:30~23:30时间段,半自磨功率由1 850 kW快速上升至2 200 kW左右,通过变频器频率自动调节,由46 Hz快速增加至48.5 Hz,再配合给矿自动配矿、磨矿浓度自动调整逻辑,控制半自磨功率回落至1 800 kW左右,在功率下降过程中变频器频率同向变化,由48.5 Hz降低至46 Hz。

01:00~02:00时间段,变频器频率随着半自磨功率上升由46 Hz快速增加至47.5 Hz,在自动配矿及磨矿浓度工艺逻辑的协同控制下,半自磨机运行功率逐步下降,在功率下降过程中频率同向变化,由47.5 Hz降低至46 Hz。

图2中曲线能够清晰的反映随着半自磨机运行功率呈现的4次波峰,变频器频率与半自磨磨矿浓度、给矿粒度进行了协同自动调整,由于原矿矿石性质波动,每次在半自磨机功率上升至波峰前,变频器频率、磨矿浓度及给矿粒度按照工艺控制逻辑优先级依次完成相应操作参数的自动调整,有效的保证了半自磨机在设定的功率区间内运行,最大化发挥磨矿系统产能,实现了磨矿系统的稳定运行。

以上实例证明,变频调速是半自磨机能够确保安全可靠运行的重要手段,由于矿石性质的变化,变频器频率随着运行功率变化快速实现同向调整,不断优化筒体内介质和矿石的抛落曲线,增强磨矿过程中的冲击和磨剥效果,避免钢球对衬板的直接冲

击,在提升系统产能的同时,保证磨矿系统的产品质量。

5 结论

当前,变频调速技术已经成为工艺优化、提高产能、改善产品质量、节能减排、保护设备及电气系统的有效措施,能够为企业带来非常可观的经济和环境效益,推广并应用变频调速技术具有非常重要的意义。

(1)JK模拟分析和磨矿智能控制生产实践均表明,转速可调的半自磨机不仅能够提高磨机对不同矿石性质的适应性,满足各种工艺需要,提升系统产能和保证产品质量的稳定性,还可以延长衬板使用寿命,降低电能消耗,实现磨矿过程的稳定、精细化智能控制。

(2)采用变频器驱动方式启动磨机,启动电流和启动转矩都可以得到精确控制,对机械设备无冲击,还可以降低电机启动时对电网冲击,做到磨机启动过程的平稳精确控制。

(3)高压变频器由于其价格较高等因素,目前在国内矿山还没有得到普遍应用,无论是工艺优化、

系统稳定,还是设备可靠性而言,磨机变频调速均具有优越性,希望矿山企业认识到磨机变频调速的必要性和好处,在新建或改造项目的磨机驱动方案中积极引入变频调速技术。

[参考文献]

- [1] 黄国智,方启学,等.全自磨半自磨磨矿技术[M].北京:冶金工业出版社,2018.
- [2] D·J·巴勒特,M·N·布罗迪,等.半自磨设计趋势-经济比较-磨机规格和传动方式[J].国外金属矿山,2001,(1):37-44.
- [3] 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.
- [4] M·N·布罗迪.变速半自磨机[J].国外金属矿选矿,2004,(9):21-29.
- [5] 李成学,王立平.铜冶炼制酸SO₂风机高压变频调速节能改造实践[J].有色冶金节能,2021,37(4):33-36.
- [6] 周栋梁.PLC变频调速控制系统在矿石破碎筛分系统的应用[J].有色冶金节能,2015,31(4):41-43.
- [7] 李玉芳.变频调速技术在粉煤排风机上的应用[J].有色冶金节能,2011,27(3):51-53,57.
- [8] 王亚伟,谷立臣,杨龙.基于LabVIEW的矿山风机性能测试系统的设计[J].矿山机械,2007,35(3):36-38.
- [9] 张博,陈俊智,万义东,等.声发射等多种技术在采空区稳定性监测中的应用[J].河南科学,2012,30(10):1488-1491.
- [10] 伍星华,王旭.国内虚拟仪器技术的应用研究现状及展望[J].现代科学仪器,2011(4):112-116.
- [11] 赵娟,吴建星.微震监测虚拟仪器系统的实现方法[J].工矿自动化,2012(1):15-16.
- [12] 邱振华,林秀云.特大型盲采空区的探测与治理[J].采矿技术,2022,22(1):32-35.
- [13] 王昌,王云海,张乃宝,等.非煤矿山采空区光纤监测研究[J].山东科学,2008,21(6):9-12.
- [14] 吕均琳,任高峰,王玉杰.基于虚拟仪器技术的采空区无线监测系统[J].金属矿山,2012(433):133-135.
- [15] 李示波,李占金,张洋,等.声发射监测技术用于采空区地压灾害预测[J].金属矿山,2014(3):152-155.
- [16] 张洋,李占金,张艳博.声发射监测系统在采空区地压监测中的应用[J].化工矿物与加工,2013(1):32-34.
- [17] 李俊平,周创兵.岩体声发射特征实验研究[J].岩土力学,2004,25(3):374-378.

(上接第63页)