

浅析变频器在球磨机调速控制中的应用

曾哲

(紫金矿业集团股份有限公司 福建 龙岩 364000)

摘要: 球磨机是矿山企业的重要设备,同时也是大型高耗能设备。为了提高球磨机效率,需要对球磨机效率的影响因素进行研究。本文针对球磨机运行过程中磨球的不同运行形态,分析了球磨机效率与球磨机转速的关系,提出了球磨机的调速需求,并采用变频器调速控制技术来提升球磨机效率。球磨机调速可以选用具备 PLC 功能的开环控制的通用变频器,按照渐进式调速方式进行调速。结果表明,变频器输出频率与三相异步电动机输出转速变化呈近似线性关系,达到多段位调速的作用,以有效提高球磨机的工作效率。

关键词: 变频器; 球磨机; 调速控制; 应用

0 引言

球磨机是矿山行业生产中的一种传统粉磨设备,具有操作简单和可靠性高等优点^[1]。球磨机靠磨球对矿石的冲击和研磨来实现对矿石的破碎,由于精细化管理的不断深入开展,发现球磨机效率低问题^[2]。因此,找出影响球磨机效率的因素,提高球磨机效率,对矿山企业经济技术指标及成本控制均起到关键性作用^[3]。随着工业自动化的不断发展,采取自动化技术对生产装备进行升级,提高企业生产效率,是实现企业可持续发展的重要手段^[4]。球磨机的启停和转速利用变频器控制,不仅实现了平滑软启、软停,而且还能够调节电源频率。变频器使电动机获得较宽的调速范围,降低了球磨机生产能耗的同时,提升了磨矿产品质量^[5]。因此本文对变频器在球磨机调速控制中的应用进行分析。

1 球磨机工作机理

破碎的矿石进入进料螺旋,然后在装有许多球磨介质的圆筒内进行破碎,被破碎后的矿石运至选粉机进行筛选,不符合颗粒粒度要求的矿粉继续返回球磨机破碎,合格的进入下一道程序。在磨矿作业中,根据给水情况分为湿式磨矿和干式磨矿^[5]。球磨机组成结构包括磨机衬板、筒体和球磨介质,对球磨机效率的研究主要是对球磨介质的运动形态进行研究。球磨介质选用硬度及比重较大的锻钢制磨球,磨球在筒体内做上升和下落循环运动,从而通过磨球的冲击力和磨削力,将矿石磨碎。矿石破碎研磨过程,

会使进料端与出料端产生料面差,因此,矿石在料面差、磨球冲击和磨仓内气流的共同作用下强制流动,使得破碎矿石缓慢流向出料端,完成粉磨作业。

2 球磨机转速对球磨机效率的影响

2.1 磨球运行形态

磨球运动形态主要取决于球磨机的结构、球磨转速大小以及磨球的数量^[6]。其中,根据球磨转速的大小将磨球运动形态分为:泻落式、抛落式、离心式。在球磨机运行过程中,三种运动形态共存,球磨转速的大小直接决定主要以哪种运动形态存在^[7]。

在球磨机工作过程中,筒体旋转速度较低时,磨球被不断旋转的筒体带到一定的高度,然后借自重与水平线成自然休止角下落,聚集在筒体下半部分,磨球与筒体之间不停地相互运动,磨球主要产生磨剥力,该种磨矿工作制度是泻落式工作制度,如图 1 所示。

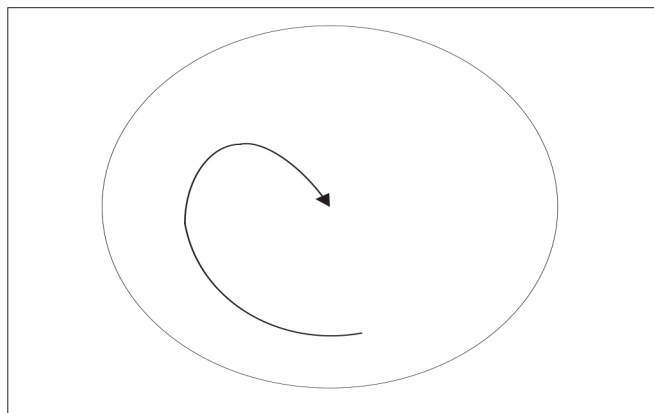


图 1 泻落式工作制度

当筒体旋转速度增加时,磨球的旋转高度随之提升,达到一定高度后,磨球离开筒壁呈抛物线轨迹下落,在水平初速度的作用下,磨球具有较大的冲击力,对矿石主要是冲击作用。该种磨矿工作制度是抛落式工作制度,如图2所示。

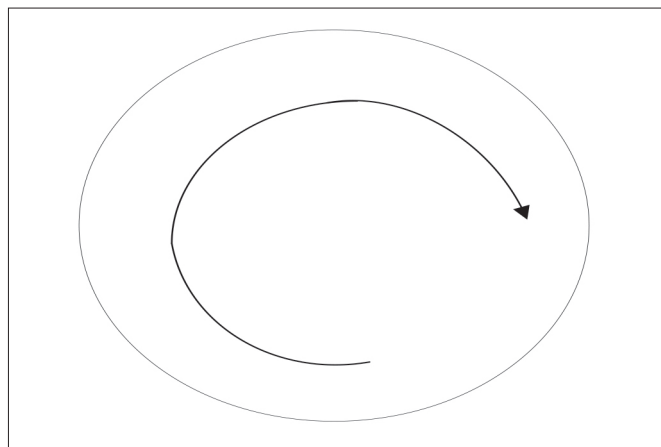


图2 抛落式工作制度

如果筒体旋转速度继续提升,当达到临界转速时,磨球会随筒体一起转动,运动形态呈圆形轨迹,不脱离筒壁,磨球之间的相对运动处于静止,此时,该种磨矿工作制度是离心式工作制度,对矿石没有任何冲击与磨削作用,如图3所示。

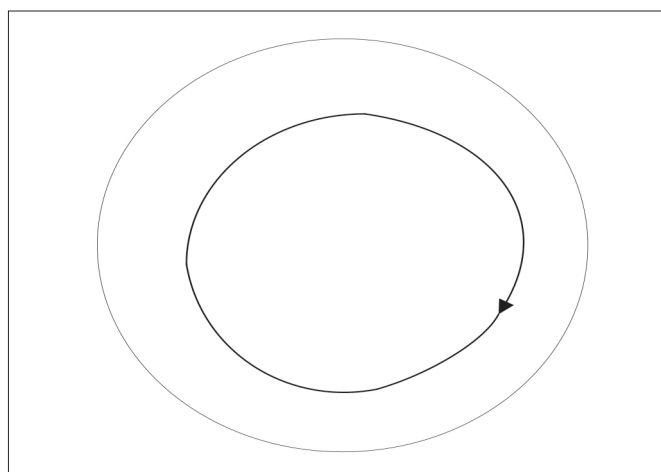


图3 离心式工作制度

2.2 球磨机效率

球磨机效率是指球磨机内向被球磨粉末输送机械能量的快慢。球磨机主要依靠磨球的冲击力和磨削力将矿石磨碎,因此,球磨机机械能量大部分来自于磨球的能量,即筒体内多个磨球多强度多频率的碰撞产生的能量^[8]。但并不是所有能量都传递给粉末,还会产生热和噪声。在摩擦系数和载球量确定时,

球磨机转速越快,磨球被提升高度越高;同时,球磨机转速还决定衬板与磨球的分离点、衬板与磨球下落的接触点。转速达到临界转速,衬板与磨球不存在分离点和接触点,做离心运动;转速过小时,磨球无法达到合理高度,只能形成泻落式运动形态,不能很好地冲击粉碎矿石。因此,球磨机转速直接决定球磨机效率。

3 球磨机的调速需求

通过对球磨机实际运行工况的调查分析发现,球磨机在运行过程中,大磨球多分布于外圈做抛落运动,大块矿石也多分布于外圈,大磨球实现对大块矿石的粉碎作用;小磨球多分布于内圈做泻落运动,细小矿石也多分布于内圈,小磨球实现对小块矿石的研磨作用。因此,当矿石较大时,应该使磨球以抛落运动形态为主,对矿石产生冲击作用;当矿石较小时,应该使磨球以泻落运动形态为主,对矿石产生研磨作用。

球磨机实际转速选定非常关键,选取为临界转速的65%~85%。但由于受到衬板消耗、钢球尺寸变化、不同工艺条件要求、入磨矿石性质变化、入磨粒度变化、产品粒度及生产能力匹配等因素的影响,使得传统球磨机转速不满足生产需求。因此,要结合球磨机转速的实际需求,对球磨机电动机进行调速。

3.1 异步电动机转速的调节原理

三相异步电动机通电后会产生旋转磁场,任意改变两相绕组,磁场方向改变,电动机转动方向也随之改变,其转速方程式见公式(1)。

$$n = \frac{60f_1}{p}(1-s) \quad (1)$$

式中: n — 三相异步电动机转速;

f_1 — 供电频率;

p — 定子绕组极对数;

s — 转差率。

基于公式(1)得知:转速调节有改变供电频率、调整定子绕组极对数和调节转差率三种方法^[9]。

(1) 改变供电电源频率。在三相异步电动机标准设计中,电压保持不变时,频率向下调节,气隙磁通饱和;频率向上调节,气隙磁通减弱。因此,改变供电频率属于变压变频调速。

(2) 改变定子绕组极对数。定子极对数存在限制,

只能在特定的调速范围运转,并且电动机的机械特性不好。

(3) 改变转差率。该方法通过调压调速、串电阻调速等,均以损耗转差功率为代价,效率较低、浪费大。

在以上三种调速方法中,都会产生大量的转差功率,使转子发热,经济型较差,因此,球磨机调速可以采用变频器调速,转差功率损耗小且效率高。利用变频器根据生产实际的变化,可以控制不同的频率对应不同的转速。低频段时,实现恒转矩调速;高频段时,实现恒功率调速。经过充分分析磨球的运动形态对矿石球磨过程中的冲击、研磨的变化,找出球磨机最佳转速,得出球磨机运行成本、磨矿产品合格粒级分布和球磨机效率的最佳平衡点,使球磨机达到理想的效果。

3.2 变频器及 PLC 技术

变频技术主要是变频器的应用,对电动机进行无极调速^[10]。同时,变频器自身具有过流、过压、过载等多重保护功能,实现对球磨机转速的有效控制。随着电子电力技术的发展,变频器不再是设备结构复杂、价格昂贵,而是向着简单可靠、价格便宜、静差率小、转速稳定性好、调速范围广等方向发展。可以说,变频器的使用越来越广泛,只要有三相异步电动机,就会存在变频器。变频器由整流、逆变、滤波、驱动单元、制动单元、微处理单元和检测单元等组成。变频器的主要工作原理是依靠内部电力电子元件的开断,将三相交流电调整为电动机所需的电压和频率,以实现电动机的调速。

在变频器自动控制中,采用 PLC 是一种比较典型的应用。PLC 是一种数字运算操作的电子装置,其具有编程简单、使用方便、可靠性高、适应性强、抗干扰能力强、应用灵活等优点,应用极其广泛。PLC 是带有存储器和编序的控制器,执行逻辑运算、顺序控制、计数和算术等指令,输入输出以数字式和模拟式两种方式,控制生产过程。PLC 控制数字变频器应用广泛。PLC 整个扫描过程需要的时间被称为扫描周期。根据输入信号的状态,控制执行用户程序的要求指令,直到

用户程序全部被执行完,最后进入产生控制输出。整个过程包括三个阶段:输入刷新、用户程序执行、输出刷新,具体如图 4 所示。

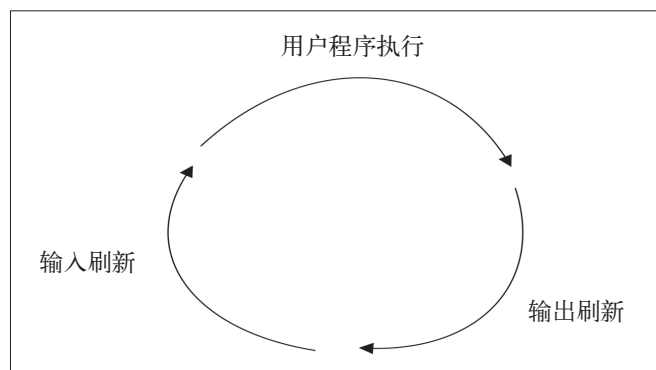


图 4 循环扫描过程

4 变频器在球磨机调速控制中的应用

球磨机转速可通过变频调速技术进行控制,实现球磨机工作中的转速调节。但是,频繁调节电动机转速是不可取的,这样会影响球磨机的稳定性。因此,要对电动机调速方式进行研究,选择一种最佳的调速方式。

4.1 采用渐进式调速

常见的电动机调速方式有脉冲式调速和正反转调速。采用脉冲式调速方式,虽然可以得到较好的球磨效率,但会对电动机的冲击较大,直接影响电动机的使用寿命。而采用正反转调速方式,在实际生产中不能获得最大的球磨效率。因此,采用一种渐进式调速方式,如图 5 所示。采用此种渐进式调速方式,有效避免了脉冲式调速方式和正反转调速方式的缺点,同时,也可以提高了球磨机效率。

4.2 变频调速方案

采用开环控制的通用变频器调速方案,如图 6 所

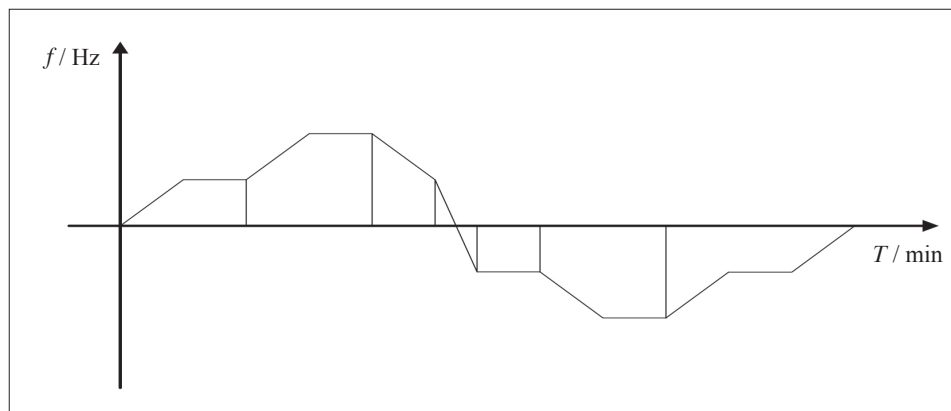


图 5 渐进式调速方式示意图

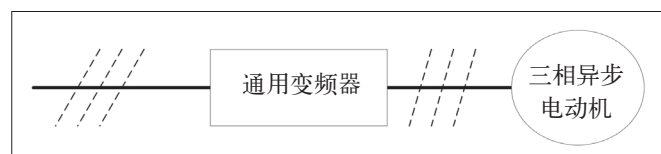


图 6 开环控制的通用变频器调速

示。该方案具有结构简单、可靠性高、经济实用的优点，因此，采用此方案按照渐进式调速方式进行调速。

4.3 变频器选择

三相异步电动机选定之后，根据额定参数选定合适的变频器。在选择变频器时，要同时考虑变频器容量和额定电流，避免变频器超电流烧毁。结合球磨机在启动时，要具备较大的启动转矩去克服静摩擦力，选用具备 PLC 功能的开环控制的通用变频器。

4.4 主回路连接

变频器主回路端子通过无熔丝断路器和电磁接触器连接到三相交流输入电源，保证变频器保护功能动作时，切断电源。变频器的输出也为三相交流电，变频器输出端直接连接到三相异步电动机输入端。在变频器内部，经过整流桥、并联电容组和逆变器，输出设定频率的交流电。变频器输出频率的变化使三相异步电动机输出转速变化，关系近似线性，进而达到多段位调速的作用。

5 结语

球磨机在实际工作中，磨球以泻落式、抛落式、离心式三种运动形态共存，但具体以哪种运动形态存在对球磨机效率起决定性作用。为了提高球磨机效率，取得良好的经济效益，本文对球磨机转速对球磨机效率的影响进行了研究，并提出了球磨机变频调速控制方案，通过变频调速方案使三相异

步电动机获得较宽的调速范围，有效避免了脉冲式和正反转调速的缺点，实现磨球运动规律的可行性，满足了球磨转速变化的需求，提高了球磨机效率。

参考文献：

- [1] 陈建东，应兆军，冼铭校，等．间歇式湿法球磨机转速与球磨效率的探讨与研究 [J]．佛山陶瓷，2022，32(07)：27-29.
- [2] 赵子瑞．选矿球磨机及其自动加球机监控系统设计 [D]．昆明：昆明理工大学，2021.
- [3] 石永丰．PLC 在球磨机自动化控制系统改造中的应用 [J]．电声技术，2019，43(11)：54-55+58.
- [4] 张纪华．基于 PLC 及传感器技术的球磨机电气控制系统 [J]．四川水泥，2019(04)：5.
- [5] 穆海芳，李明，胡学青．基于 PID 调节的球磨机调速控制研究 [J]．九江学院学报（自然科学版），2018，33(04)：35-38.
- [6] 舒云峰，周巧玲，王小冬，等．球磨机使用变频永磁直驱电机优势分析 [J]．现代矿业，2018，34(11)：169-170.
- [7] 李振喜．基于 PLC 的球磨机自动纠偏控制系统设计与实现 [C]// 全国冶金自动化信息网 2017 年会论文集．2017：201-202.
- [8] 孙毅，毛亚郎，计时鸣，等．变转速球磨机的波动频率研究 [J]．浙江工业大学学报，2017，45(01)：83-87.
- [9] 邹伟东．转速和填充率对球磨机粉磨效果的影响 [D]．广州：华南理工大学，2016.
- [10] 赵在超．球磨机转速对磨矿效果的实验研究及在矿山生产中的应用 [J]．科技创新导报，2015(22)：16-17.

作者简介：曾哲（1987.05-），男，汉族，山东菏泽人，硕士研究生，工程师，研究方向：设备管理。