

矿用离心流动超细粉碎机多机启动参数控制方法研究

李晶

(闽西职业技术学院,福建 龙岩 364000)

摘要:离心流动超细粉碎机的粉碎原理与结构存在一定制约性,无法满足当前矿业应用需求,因此提出一种多机启动参数控制方法。分析粉碎机的粉碎原理,利用一个由电抗、电阻构成的等效电路近似表示离心流动超细粉碎机等效电路,求解转子电流折算值与启动电流;控制并设定被控粉碎机的切换时机,通过增量式PID控制器实现粉碎机速度控制;依据不同粉碎机电源频率的傅里叶级数形式变化,获取各粉碎机的最佳启动参数。经过对比数据结果,验证所提方法具有高效低耗的粉碎处理性能,能够满足金属矿山与水泥行业等领域的应用需求。

关键词:离心流动超细粉碎机;多机启动;PID控制

中图分类号:TP273 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)03-0203-04

Research on Multi-machine Start Parameter Control Method of Mine Centrifugal Flow Superfine Pulverizer

LI Jing

(Minxi Vocational and Technical College, Longyan 364000, China)

Abstract: The comminution principle and structure of centrifugal flow ultra-fine pulverizer have some limitations, which can not meet the current mining application requirements. A multi-machine start-up parameter control method was proposed. The pulverizing principle of the pulverizer was analyzed. An equivalent circuit composed of reactance and resistance was used to approximate the equivalent circuit of centrifugal flow superfine pulverizer. The conversion value of rotor current and start-up current were solved. The switching time of controlled pulverizer was controlled and set, and the speed control of pulverizer was realized by incremental PID controller. According to the Fourier series form of different power frequency of pulverizer, the optimal start-up parameters of each pulverizer were obtained. The results show that the proposed method has high efficiency and low consumption, and can meet the application needs of metal mine and cement industry.

Keywords: centrifugal flow superfine pulverizer; multi machine start-up; PID control

0 引言

矿用离心流动超细粉碎机结构是保障矿用调度粉碎机械运行的关键,其结构性能好坏关系到整个生产系统的安全可靠运行。随着大中型机械设备的使用,相关的矿用离心流动超细粉碎机械密封结构设计和启动参数控制方法研究受到人们的极大关注。作为一种新型节能技术,其控制技术在各个工业、农业以及通信领域中得到广泛应用^[1]。

文献[2]为解决复杂飞行器建模精度不足而产生的无法过载跟随等问题,研究得出一种深度强化学习的控制方法,基于强化学习算法与PID控制结构调整参数,获取典型指令信号,使跟踪飞行器的过载指令更加精确;文献[3]针对智能电网建设需求与真空断路器电机操动机构的控制属性,结合智能控制技术,架构一种电机机构智能控制系统,采用全数字化伺服电机操动机构控制系统控制工作状态,经检测分合闸、速度追踪、分阶段速度调控以及自动重合闸等操作性能,验证控制方法的有效性。

矿业是与我国经济发展紧密相关的基础产业之一,其中的一个关键环节就是矿物加工。作为该环节中的重要工艺过程,粉碎物料的目的是为进一步的处理、加工以及应用提供理想的加工原料。实现多碎少磨的最直接方法就是使用离心流动超细粉碎机。基于上述文献方法的优点,本文将智能控制技术与离心流动超细粉碎机相结合,提出一种多机启动参数控制方法。架构复合模糊控制器,提升控制性能;引入增量式,防止控制量计算阶段对偏差求和;设定目标函数为均方根螺旋运行转矩最小值,抑制周期性交变载荷对粉碎机运行的干扰,提升稳定性与使用寿命。

1 离心流动超细粉碎机下多机启动参数智能控制

忽略物料的动力特性,就能够获得粉碎机上的物料参与振动质量,再通过折算系数进行计算,考虑粉碎机托辊以及悬垂的阻力问题,同时还要考虑到带式粉碎机的系统线路形态变化。经过简化系统的运行线路,得到粉碎机基本运行工作状态。

1.1 离心流动超细粉碎机

离心流动超细粉碎机系统的闭回路粉碎体系主要组成部分是离心流动超细粉碎机、分级皮带轮、送风式离心分级机、补集装置、旋风分离器以及加料器等。动力特性对于系统的安全可靠和正常运行起着非常重要的作用,它能使粉碎机完成水平粉碎工作以及倾斜粉碎工作,以应付粉碎作业中各种恶劣环境。

离心流动超细粉碎机为被粉碎物料提供电动机的生成能量,提升工作效率,并使粉碎球与被粉碎物料做三维螺旋运动,该运动轨迹与中心轴呈垂直关系,强化粉碎效果。其粉碎原理为:转盘水平旋转导致粉碎球与被粉碎物料受到离心力^[4],并沿着环形曲面不断上升,重力作用又导致粉碎球与被粉碎物料沿着环形曲面下降,经过循环往复,两者共同进行三维螺旋运动,被粉碎物料因受到较强冲击力与摩擦力的同步作用,实现物料粉碎。

1.2 粉碎机多机启动

为了实现矿用离心流动超细粉碎机优化设计,根据多机启动参数控制方法实现矿用粉碎机机械密封结构的弹性模量特征提取,采用主成分约束控制的方法,构建矿用粉碎机机械密封结构的加工模型^[5]。用堵转的等值电机近似表示转动的离心流动超细粉碎机,用定子侧近似表示转子绕组,用一个由电抗、电阻构成的等效电路近似表示离心流动超细粉碎机的等效电路^[6]。电路图如图1所示。

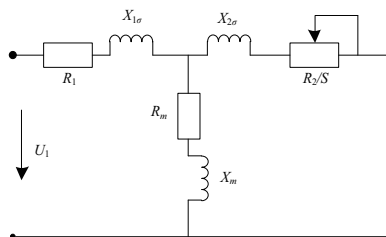


图1 粉碎机等效电路示意图

图1中: U_1 表示点源相电压有效值;励磁电阻、定子电阻以及粉碎机转子电阻折算值分别是 R_m 、 R_1 与 R_2 ;励磁电抗、定子漏抗以及转子漏抗折算值分别是 X_m 、 $X_{1\sigma}$ 以及 $X_{2\sigma}$;S表示转差率。

根据图1中的粉碎机等效电路,构建下列等效电路的转子电流折算值计算公式:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2}} \quad (1)$$

进行多机启动的过程中,转子电流与励磁电流为负相关,对此忽略不计后,将S取值为1,并代入式(1)求解启动电流:

$$I_{st} \approx I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2}} \quad (2)$$

若粉碎机转差率固定不变,则启动电流与电源电压为正相关,因此,为实现多机启动,应从几个主要的性能影响因素入手。

1.3 参数控制

1) 温度控制

温度参数主要指的是粉碎机中的粉碎球与被粉碎物料温度,对粉碎效果有直接影响。温度越高时需降低被粉碎物料的过冷度,减小形核率,否则,会出现粒度较大、物料强度下降且塑性变差等情况。物料收缩应力与温度之间的关系表达式如下:

$$\sigma = E \times \alpha (T_1 - T_2) \quad (3)$$

式中: σ 为物料收缩应力; E 为弹性模量; α 为收缩系数; $T_1 - T_2$ 为温度参数差值。

由此结合模糊控制与PI控制架构复合模糊控制器(图2),利用切换开关控制被控粉碎机,根据误差与误差变化率设定切换时机。

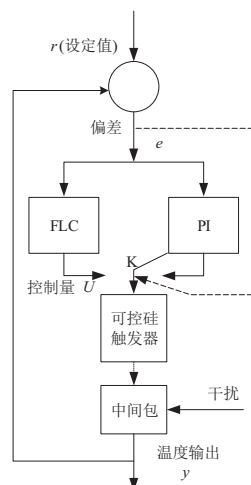


图2 复合模糊控制器示意图

图2中的PI、FLC以及K分别表示比例积分调节器、模糊控制器和控制开关。复合模糊控制器具有较大的误差与误差变化率,如果趋近稳态,则降低误差变化率;若误差较大,则切换为PI控制;如果稳态误差始终在允许范围内变化,则采用模糊控制,一旦复合模糊控制器被影响,就转换成PI控制,直到消除稳态误差。

2) 速度控制

从生产效率角度出发,在确保粉碎质量的前提下,应采用最高的三维螺旋运动速度。利用具有下式所示原理的PID控制器,实现粉碎机速度控制:

$$U_{(t)} = K_p \left[e_{(t)} + \frac{1}{T_i} \int e_{(t)} dt + T_d \frac{de_{(t)}}{dt} \right] \quad (4)$$

式中: $e_{(t)}$ 与 $U_{(t)}$ 分别表示控制器的输入与输出;比例系数用 K_p 指代; T_i 和 T_d 分别是积分时间与微分时间。

采用下列表达式描述基于离散控制系统的PID控制差分方程:

$$u(n) = K_p \left(e_n + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^n e_i T_i + T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{T_i} \right) \quad (5)$$

式中: $u(n)$ 与 e_n 分别为采样周期为N时的输出与偏差。

3) 电源频率控制

多机启动参数控制方法的最核心部分即为电源频率控制阶段,根据不同粉碎机电源频率的傅里叶级数形式变化,获取各粉碎机的最佳启动参数。

输入电源频率是一种周期性的连续函数,采用展开傅里叶级数形式描述电源输入频率如下:

$$f(t) = a_0 + \sum_1^N [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (6)$$

式中: a_0 为粉碎机离散变频时当前时间间隔的频率挡位; ω 为三维螺旋运转的角速度;与采样周期 N 的关系表达式如下:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (7)$$

根据上列表达式取得一组 a_n 与 b_n 的未知变量,设定成设计变量之后,求取优化目标函数最优解。

周期性交变载荷影响粉碎机的正常运行,会使输出功率与电流产生强烈变化,降低粉碎机工作稳定性与使用寿命,因此,设定目标函数为均方根螺旋运行转矩最小值。

为确保电源频率变化前后的周期相等,约束输出电源频率在固定范围中,设计出下列最优化函数的约束条件:

$$\begin{cases} f_{\min} \leq f(t) \leq f_{\max} \\ T' = T_0 \\ \xi_1 \leq \frac{t_u}{t_d} \leq \xi_2 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $f_{\max}$ 与 $f_{\min}$ 分别是变频器可调节的频率极值; T_0 与 T' 分别为频率变化前后的周期时长; t_u 和 t_d 分别表示对应周期粉碎系数; ξ_1 与 ξ_2 分别表示周期约束系数。

依据输入电源频率参数的均方根转矩最小化目标函数,建立电源变频优化函数,实现最佳多机启动参数控制。

2 参数智能控制方法实际案例分析

2.1 样品选取

从某矿业公司选矿厂采集到主要金属矿物是钛铁矿、磁铁矿,外加少许赤铁矿、次生磁铁矿以及褐铁矿的钒钛磁铁矿矿石,该矿石的硫化物成分分别为磁黄铁矿与少许钴镍黄铁矿等,普通辉石与斜长石为其主要脉石矿物。

矿用离心流动超细粉碎机所需一个传送带的长度是 25 m,传送带的头和尾之间的高度差是 3 m,传送带上部距地面的高度大约是 28 m,传送带的宽度是 1.35 m,传送带的速度是 5.1 m/s,由交流电机驱动,通过减速器与连接器相连。选取 10 t 左右的矿石作为超细粉碎样品,该矿样取自于细碎粉矿仓,属于磨矿机给矿,铁品位含量约为 30%,硬度为中硬矿石,约为 15,密度值约为 4。表 1 所示为钒钛磁铁矿的粒度组成。

表 1 钒钛磁铁矿粒度组成统计表

粒度级别/mm	质量/g	产率/%	负累积/%
+27	120.4	3.14	100.00
-22+5	965.9	16.42	96.49
-10+7	803.8	23.07	73.86
-9+6	999.7	21.73	64.18
-5+3	1 068.6	20.86	43.77
-2	957.1	14.78	23.06
合计	4 915.5	100.00	—

由表 1 可知,钒钛磁铁矿粒度质量合计可达 4 915.5 g,在一定程度上,可为矿用离心流动超细粉碎机粉碎颗粒带来较好的粉碎效果。

2.2 操作流程

将 5.16 m³ 容积的矿斗置于离心流动超细粉碎机前方,待破碎矿石称重后装满矿斗,经过多机启动,矿口打开,电振给矿机按照一定速度连续均匀地给矿,利用 1 台螺旋输送机把物料送进粉矿仓,经粉碎后由给矿机与输送机的排矿端排出。每 5 min 采集 1 次矿样集中筛选,依据粉碎机开关盘上的电表与电流表以及记录的 1 斗矿石粉碎时间,获取其实际耗电度数,采用处理量与运转时长,解得单位物料电耗,根据矿石堆密度计算粉碎机加工量。

2.3 控制效果对比

1) 不同给矿粒度下的粉碎效果

利用文献[2]、文献[3]方法得到的多机启动参数与本文方法参数做对比,根据不同的给矿粒度,整理得到下列数据对比结果,如图 3 所示。

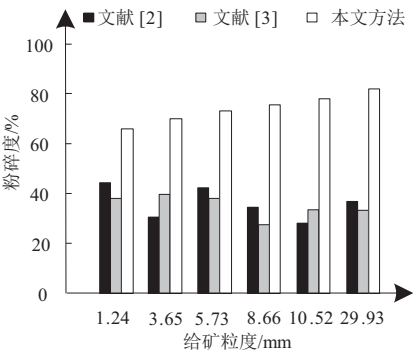


图 3 不同给矿粒度下各参数粉碎效果

由图 3 可以看出,随着粒度的不断增加,多机启动参数优势愈加明显,相对比文献[2]、文献[3]方法,本文方法因为根据实际生产情况,合理、适宜地启动粉碎机,所以在粉碎一些中硬矿石的过程中,可以很好地碾碎矿石,却又不会将已经磨细的粉状矿石再碾压成饼状,具有比较理想的磨矿效果。

2) 多机启动参数对排矿粒度的影响

图 4 所示为各方法启动参数与排矿粒度之间的关系。

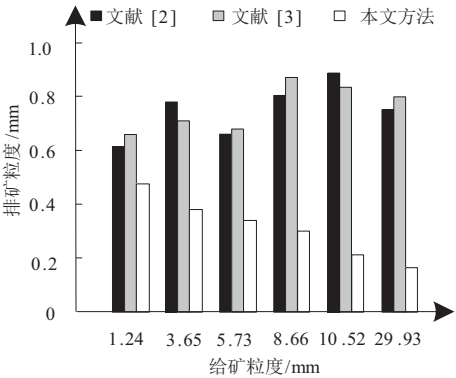


图 4 各方法排矿粒度对比图

通过图4中对比结果可以看出,相对比文献[2]、文献[3]方法,本文方法提供的启动参数所得到的排矿粒度更细,这是因为该方法可以将输入能量有效转为有用功,通过智能启动多个粉碎机,粉碎中压料层,使破碎矿层变薄,并维持破碎间隙,增加排矿粒度的细度与均匀程度。

3) 多机启动参数对功耗的影响

启动参数除了对粉碎机的生产能力具有影响力,而且与运行功耗也存在一定的相关性,粉碎矿石过程中各方法的启动参数与功耗之间的关系如图5所示。

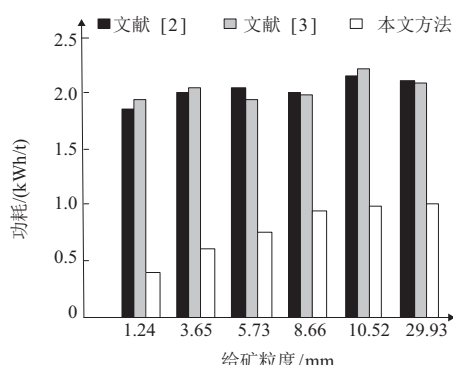


图5 各方法功耗对比图

从图5中的曲线走势可以看出,由于本文方法可依据运行条件与情况,智能启动各粉碎机,电源频率控制阶段是多机启动参数控制方法的核心部分,通过对不同粉碎机电源频率的傅里叶级数形式进行变换,得到每个粉碎机的最佳启动参数,因此,比文献[2]、文献[3]方法节省了更多的粉碎能量,大幅度降低了相同给矿量的工作能耗。

3 结语

智能控制技术通过拓宽理论与应用领域,将自动控制观点引申至人机结合、智能互补的方向上,推动智能控制技术的飞速升级。因为智能控制技术相对复杂,不存在统一、规整的定理、规则以及定律。所以,研究智能控制方法具有重要的现实性与必要性。离心流动超细粉碎机是一种可以实现细碎粗磨的预碎设备,该设备的研发制造为矿业应用发展提供了有力的支撑,故本文将智能控制技术融入矿用离心流动超细粉碎机的研究中,提出一种矿用离心流动超细粉碎机的多机启动参数控制方法。根据控制方法的开放性与形式非唯一性,采用创新型神经网络算法、遗传算法等,促进该领域的研究发展,争取实现自动控制的高度智能化,并为离心流动超细粉碎机的进一步开发奠定了良好的理论基础。

参考文献:

- [1] 杨新民. 智能控制技术在火电厂应用研究现状与展望[J]. 热力发电, 2018, 47(7): 1-9.
- [2] 甄岩, 郝明瑞. 基于深度强化学习的智能PID控制方法研究[J]. 战术导弹技术, 2019(5): 37-43.
- [3] 王亮, 荆澜涛. 高压断路器电机机构智能控制系统研制[J]. 高压电器, 2018, 54(3): 59-69.
- [4] 刘波, 刘邱祖, 陆洋. 圆盘旋转冲击粉碎机转子参数优化EDEM仿真[J]. 机械设计与制造, 2018(4): 119-121.
- [5] 钱义, 王迪, 张珏, 等. 粉碎机异形筛片气流场数值模拟及试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(3): 79-87.
- [6] 张纪利, 韦建玉, 曹阳, 等. 拔秆粉碎机液压系统流量分配特性仿真分析[J]. 机床与液压, 2018, 46(19): 110-112, 180.

收稿日期: 2020-10-26

(上接第196页)

- [9] 杨光. 高速磁浮列车最优速度曲线及其跟踪控制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [10] 陈峙. 高速磁悬浮列车的停车区域数学模型及原理研究[M]. 上海: 同济大学, 2009.
- [11] 赖纳·沙赫, 彼得·耶勒, 勒内·瑞曼. 莫凡. 高速磁浮与高速轮轨交通系统比较[M]. 许晶, 翁秀玲, 译. 北京: 中国科学技术出版社, 2008.
- [12] ONO M, KOGA S, OHTSUKI H. Japan's superconducting Maglev train [J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2002, 5(1): 9-15.
- [13] ZHAO H H, CHEN Y J, LIAO Z M, et al. Fault injection technique applications in vehicle operation control system simulation tests for high-speed maglev transportation[C]//17th COTA International Conference of Transportation Professionals,

Shanghai, China, Reston, VA, USA: American Society of Civil Engineers, 2017: 2820-2829.

- [14] CHEN Y J, ZHAO H H, LIAO Z M, et al. Information flow analysis and software architecture design for the vehicle control system in a high-speed maglev transportation system[C]//16th COTA International Conference of Transportation Professionals, Shanghai, China, Reston, VA, USA: American Society of Civil Engineers, 2016: 1018-1032.
- [15] ZHAO H H, CHEN Y J, LIAO Z M. Safety location function and its realization mechanism for high-speed maglev transportation systems [C]// 15th COTA International Conference of Transportation Professionals, Beijing, China, Reston, VA, USA: American Society of Civil Engineers, 2015: 207-214.

收稿日期: 2020-05-06