

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2020.05.020

矿浆多参数在线检测系统设计

王 方¹, 雷金辉¹, 陈 焰¹, 李朝辉², 高 波³, 张矿伟⁴

(1. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 昆明 650500;

2. 云南华联锌铟股份有限公司, 云南 文山 663701;

3. 云南省计量测试技术研究院, 昆明 650228;

4. 玉溪师范学院 物理与电子工程学院, 云南 玉溪 653100)

摘 要:针对现有矿浆浓度检测系统存在的测量数据单一、取样过程易沉降、难以检验所取样品均匀性等缺点,设计了一种矿浆多参数在线检测系统。基于称重法测量原理实现对矿浆浓度、体积流量、质量流量等多参数的在线检测。使用基于旋流消能法的取样器实现对原矿浆均匀化及防沉降处理。基于水力学孔流原理实现对取样矿浆的均值化处理及均匀性检验。在云南某选矿厂的长期应用结果表明:检测系统所测数据与浓度壶所测数据差值在2%以内,满足工业精度要求。由取样器取出样品的不均匀度在1%以内,取样过程未出现沉降、堵塞等现象,取样效果良好。

关键词:多参数检测;旋流消能法;孔流原理;取样均值化

中图分类号:TD463

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2020)05-0107-05

Design of Multi-parameter Online Measurement System for Pulp

WANG Fang¹, LEI Jinhui¹, CHEN Yan¹, LI Chaohui², GAO Bo³, ZHANG Kuangwei⁴

(1. School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Yunnan Hualian Zinc Indium Co., Ltd., Wenshan 663701, Yunnan, China;

3. Yunnan Institute of Measuring and Testing Technology, Kunming 650228, China;

4. School of Physics and Electronic Engineering, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, Yunnan, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of the existing pulp concentration measurement system, such as single measurement data, easy settlement of sampling process, and difficulty in testing the uniformity of samples taken, a multi-parameter on-line measurement system for slurry was designed. On-line measurement of multiple parameters such as slurry concentration, volume flow, mass flow rate and so on were detected based on the weighing method measurement principle. The homogenization and anti-settling treatment of the original slurry was realized by using a sampler based on the swirling energy dissipating method. Based on the principle of hydraulic pore flow, the mean value treatment and uniformity test of the sampled slurry were realized. The long-term application results of a concentrator in Yunnan indicate that the difference between the measured data of the measurement system and the data measured by the concentration pot was within 2%, which met the requirements of industrial precision. The unevenness of the sample taken was within 1%, and during the sampling process, there was no sedimentation and blockage and the sampling effect was good.

Key words: multi-parameter measurement; swirl energy dissipation method; pore flow principle; sampling mean

收稿日期:2019-11-25

基金项目:云南省应用基础研究项目(2018FD093)

作者简介:王方(1996—),男,陕西咸阳人,硕士研究生,研究方向为检测技术与自动化装置。E-mail:wf313kmust@163.com

通信作者:陈焰(1965—),男,贵州石阡县人,高级工程师,硕士,自动化仪表专业,主要从事测控技术与自动化装置的开发与研究。E-mail:chy01@sina.com

矿浆浓度是矿浆中矿石含量的百分数,是选矿过程中的一个重要技术参数,对精矿品位、回收率、药剂用量、生产能力、能耗等方面都有重要影响^[1],也是选矿流程中重要的判断依据和参考指标^[2]。在选煤、化工、石油加工等领域,固液混合浆体的浓度也是重要的技术指标,需要在线精确检测。目前常用的检测方法主要包括超声波法、压差法、辐射法、浓度壶法、称重法。超声波法易受气泡的影响^[3];压差法需要保持矿浆在一段直管里静止,易受矿浆流速变化的影响^[4];辐射法具有一定的危险性^[5];浓度壶法存在易受人为因素影响,测量数据单一的缺点^[6];称重法具有与浓度壶法测量原理相同、结构简单等优点而得到广泛应用,但该方法对取样要求较高,在实际应用中大多使用取样器。但现有取样器在设计过程中未考虑矿浆易沉降的特性给取样造成的干扰,且大部分取样器仅有1个取样口,无法在实际应用中对取出样品进行对比分析,难以检验取样均匀性。且目前对取样口取出矿浆能否代表取样器内部矿浆的检验方法大多为仿真分析法,而仿真分析所得结果与实际结果必然存在一定误差^[7-10]。

针对上述问题,设计了一种矿浆多参数在线检测系统。基于称重法的测量原理实现了对矿浆浓度、体积流量、质量流量等多参数的在线检测。采用基于旋流消能法、节流原理、伯努利原理的两级井式取样器,实现了对原矿浆的均匀化、防沉降处理。基于水力学孔流原理实现了对取样器内部矿浆的均值化处理及均匀性的在线检验。最后在云南某选矿厂进行了应用,效果良好。

1 检测、取样、防沉降、均值化原理

1.1 多参数检测原理

检测参数包括:矿浆密度、矿浆浓度、矿浆干料质量、矿浆质量流量、矿浆体积流量。检测原理如下,通过测出测量桶内固定体积的矿浆与桶自身重量之和,做差得出矿浆净重,根据式(1)计算出矿浆密度。

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

式中: M —矿浆净重, kg; V —矿浆体积, L; ρ —矿浆密度, kg/m³。根据矿浆密度与浓度的关系式(2),计算出矿浆浓度 C 。

$$C = \frac{\rho_0(\rho - \rho_c)}{\rho(\rho_0 - \rho_c)} \quad (2)$$

式中: ρ_0 —矿石密度, kg/m³; ρ_c —水的密度, kg/m³; C —矿浆浓度, %。根据矿浆浓度与干矿之间的关系式(3),计算出矿浆干料的质量。

$$C = \frac{m_0}{m_0 + m_c} \times 100\% \quad (3)$$

式中: m_0 —干矿质量, kg; m_c —水的质量, kg。根据矿浆质量流量与矿浆质量之间的关系式(4),计算出矿浆的质量流量。

$$q_m = \frac{m}{t} \quad (4)$$

式中: q_m —矿浆质量流量, kg/s; t —时间, s, 下同。根据矿浆体积流量与流过截面的矿浆体积之间的关系式(5),计算出矿浆体积流量。

$$q_v = \frac{v}{t} \quad (5)$$

式中: q_v —体积流量, m³/s; v —矿浆流速, m/s。

1.2 取样及防沉降原理

取样器由两层嵌套的空心圆柱体构成,内层圆柱体底部边壁开有四个等面积小孔,外层圆柱底部封闭,中部开有若干等高度、等面积分流孔,取样器结构如图1所示。取样原理及方法为水力学旋流消能法,通过构建两级井式结构使进入井内的矿浆在内层顶部形成水跃,在井底形成强烈的紊流,起到对底部矿浆的搅拌作用,利用矿浆在井内的碰撞摩擦,将动能转化为内能,使外层矿浆高度保持恒定、流速保持平稳。

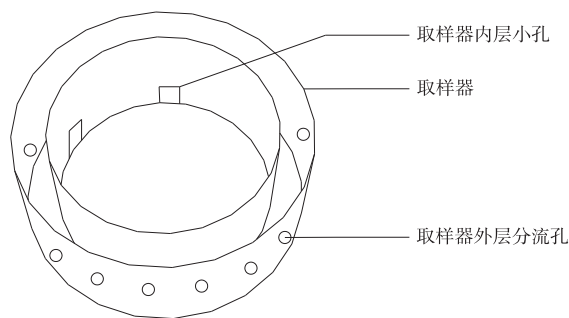


图1 取样器结构

Fig. 1 Sampler structure

防沉降原理为节流原理与伯努利原理,通过在井底构建四个截面积较小的小孔对取样器底部矿浆的流速进行增大补偿,使取样器内、外层底部矿浆一直处于紊流状态,不断对矿浆进行搅拌,防止矿浆分层、沉降、堵塞。

由节流原理可知,当流体流经截面积缩小的阀门、小口后,会出现压力降低的现象^[11]。再由伯努利原理可知,流体在流动过程中有如下关系式:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = C \quad (6)$$

式中: ρ —流体密度, kg/m³; v —流体流速, m/s; P —流体所受压强, Pa; g —重力加速度, m/s²; h —

流体所处深度, m ; C —常数。由式(6)可知, 流体流动过程中压力势能、动能、重力势能之和为常数^[12]。当流体所处深度为定值而压强减小时, 流体所受重力势能不变, 压力势能减小、动能增大。

1.3 均值化原理

均值化原理为水力学孔流原理^[11]和水压强原理, 根据水力学孔流原理可知, 当容器内部某一小孔被水流淹没后, 小孔流出水流量可由式(7)计算。

$$Q = \mu A \sqrt{2g H_0} \quad (7)$$

式中: Q —小孔流量, m^3/s ; μ —孔口流量系数, 一般取固定值 0.61; A —小孔面积, m^2 ; g —重力加速度, m/s^2 ; H_0 —小孔中心与水面垂直距离, m 。由式(7)可知, 当孔口面积、水面高度相等时, 孔口流出的体积流量相等。

根据水压强原理可知, 等密度、等深度的物体受到的压强相等。当取样器外层矿浆高度保持恒定、

各分流孔所处深度相等的情况下, 通过观察取样器外层各小孔流出矿浆的流出距离、厚度可以判断取样器内部矿浆分布是否均匀。通过检测各分流孔流出矿浆浓度, 并对所得数据进行对比分析, 可以检验取出样品的均匀性以及由单个分流孔取出样品是否能够代表取样器内部矿浆。

2 系统结构及工作过程

系统主要由称重检测组件、均值化取样组件、控制组件构成。称重检测模块包括锥斗型测量桶、称重传感器、液位传感器。均值化取样模块由包括外层中部位置开有若干等间距、等面积、等高度小孔, 内层底部开有四个位置相对小孔的两级井式取样器, 截面积、所处高度均与取样器外层分流孔相等的取样管组成。控制模块包括 PLC、开关阀、推杆电机, 检测系统结构如图 2 所示。

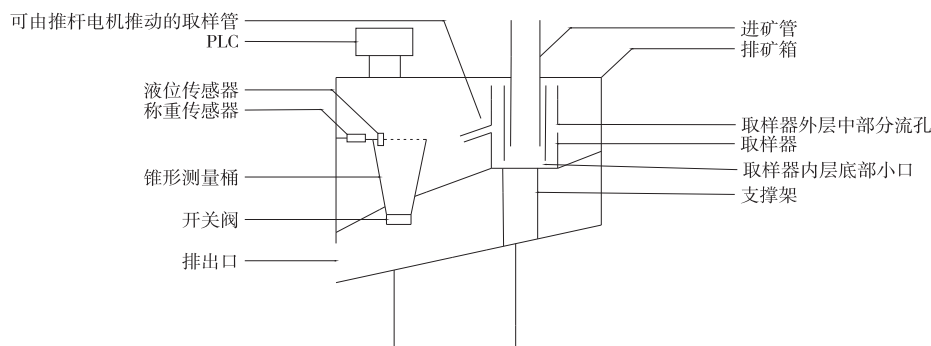


图 2 检测系统结构

Fig. 2 Structure of measurement system

检测系统在使用过程中由 PLC 设定工作时间, 对某一时间段内的矿浆参数进行多次测量, 取平均值作为该时段内矿浆的浓度数据, 并将其作为工艺参数提供给其他需要的地方作为参考。

当未处于检测时间段内时, 推杆处于初始位置, 锥斗型测量桶底部开关阀常闭, 由进矿管排入取样器的矿浆首先在取样器内层顶部形成水跃, 在底部形成强烈的紊流, 使矿浆混合搅拌, 然后从内层底部小口流入取样器外层, 外层矿浆分别从外层顶部、中部分流口、取样管流出取样器, 最后流入排矿箱底部经排出口排出进入后续作业。

处于检测时间段内时, 称重传感器首先测出空测量桶质量并将数据送入 PLC 内部存储, 再由 PLC 控制推杆电机推动取样管矿浆排入测量桶内, 同时时间继电器开始计时, 当测量桶内矿浆达到设定的液位高度时, 液位传感器发出信号, PLC 控制推杆阀退回原位, 由称重传感器测出矿浆与测量桶质量之

和, 时间继电器记录达到设定高度的时间, 并将相应数据送入 PLC 内部按照前述理论公式进行计算, 计算结束后 PLC 控制开关阀全开, 测量桶内矿浆全部由底部开关阀排出至排矿箱底部, 经排出口进入后续作业, 该次检测结束。

在测量过程中, 可通过观察取样器外层各小孔流出矿浆的距离和厚度, 判断取样器内部矿浆分布是否均匀。通过使用浓度壶对取样器外层不同分流孔流出的矿浆进行抽样检测, 对所得浓度数据进行对比分析, 检验该检测时段内, 各分流孔矿浆样品的均匀性以及单个分流孔流出矿浆样品是否能代表取样器内部矿浆。

3 工业应用

检测系统设计完毕后, 在云南某选矿厂斜板盒浓密机底流处进行了应用, 目前已稳定运行超过 3 个月。因检测系统应用的具体对象为浓密机底流矿

浆,主要参数为浓度,故仅对矿浆的浓度进行实测。在应用检测系统之前,该选矿厂一直使用浓度壶对底流矿浆浓度进行检测,所设计取样器及均值化处理方法的实际运行效果如图3所示。



图3 取样器与均值化方法实际运行效果

Fig. 3 Actual operation effect of sampler and averaging method

可以看出,取样器内层的矿浆翻滚碰撞、紊流效果十分剧烈,而外层矿浆的高度基本保持不变,流速也较为平稳,取样器外层各分流孔流出矿浆的厚度、排出距离基本一致,同时取样器内部也未出现沉降、堵塞现象。从外部观察的现象可以得出结论:各分流孔流出矿浆的均匀性特性基本一致,取样器内部矿浆分布也较为均匀。现用浓度壶对各分流孔流出矿浆的浓度进行抽样检测,进一步验证外部观察所得结论是否正确。该选矿厂工艺规定,底流矿浆浓度通过泵控制在25%~50%。使用浓度壶对在该浓度范围内的取样器外层各分流孔流出矿浆样品抽样检测所得浓度数据对照图如图4所示,为节省篇幅,仅列出4个分流孔的部分数据。

从图4可以看出,取样器外层各分流孔流出矿浆浓度差值基本在1%以内,再结合外部观察得到的结论,不仅说明取样器内部矿浆分布较为均匀,也说明所取样品的均匀性较好,取样器外层任意一个分流孔流出的矿浆样品都可以代表取样器内部矿浆。

为检定检测系统相对于浓度壶的测量精度,现使用检测系统对由取样管排出矿浆的浓度进行检测,同时使用浓度壶对取样管排出矿浆浓度进行检测,对所得数据进行分析,所得数据对照表如表1所示,因该选矿厂工艺规定,每间隔1 h对底流浓度进行5次检测,取平均值作为最终结果,故表中数据均为取5次测量值后得到的平均值。

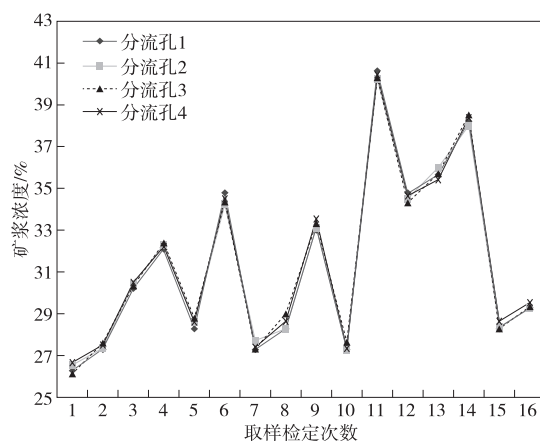


图4 分流孔矿浆浓度抽检数据对照图

Fig. 4 Drainage pulp concentration sampling data comparison chart

表1 检测系统与浓度壶测量
取样管矿浆浓度数据对照表

Table 1 Test system and concentration
pot measurement sampling tube pulp
concentration data comparison table /%

浓度壶测量数据	检测系统测量数据	差值
26.28	26.69	-0.41
28.28	29.37	-1.09
27.29	26.41	0.88
29.26	28.84	0.42
32.09	32.29	-0.20
33.00	33.67	-0.67
34.79	35.55	-0.76
36.52	37.08	-0.56
38.21	37.74	0.47
39.09	40.73	-1.64
41.43	40.36	1.07
42.97	42.36	0.61
43.72	44.63	-0.91
45.92	47.15	-1.23
47.34	48.13	-0.79
48.72	49.64	-0.92

从表1中数据可以看出,采用浓度壶所测浓度数据与使用检测系统所测浓度数据差值在2%以内,满足工业精度要求。

4 结论

1)矿浆多参数在线检测系统具有结构简单、稳定可靠的优点,实现了对矿浆浓度、矿浆密度、矿浆体积流量、矿浆质量流量等多个参数的在线连续自动测量。

2)所用基于旋流消能法、节流原理、伯努利原理的取样器不仅可对矿浆进行搅拌,提高矿浆分布均匀性,也有效地减小了矿浆易沉降特性给取样造成

的干扰误差。

3)所用基于孔流原理在取样器外槽开孔的方法与结构,实现了对取样器内部矿浆的均值化取样以及对所取样品特性的对比分析,提供了一种检验取样器取出样品均匀性的方法与结构。

4)所用锥形测量桶、通过差值法获取矿浆净重的结构与方法有效减小了矿浆飞溅、沉淀在桶内给检测带来的误差,不需要频繁进行清洗、标定等维护措施。

5)检测系统在长期使用过程中,测量精度在2%以下,满足工业精度要求。在云南某选矿厂超过3个月的长期应用过程中,取样器内部未出现矿浆沉降、堵塞等现象,取样器内部矿浆分布也较为均匀,由取样器各取样孔取出样品的差值在1%以内,取样均匀性良好,具有推广和实用价值。

参考文献

- [1] 杨文旺,武涛,李阳,等.浮选机泡沫流速影响因子分析与试验研究[J].有色金属(选矿部分),2017(2):72-75.
YANG Wenwang, WU Tao, LI Yang, et al. Analysis and experimental study on the impact factor of flotation froth velocity[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(2): 72-75.
- [2] 赵海利,赵建军,赵宇.一种差压式浓度计在江西铜业某选矿厂的应用[J].中国矿业,2015,24(增刊2):246-249,273.
ZHAO Haili, ZHAO Jianjun, ZHAO Yu. Application of a differential pressure type concentration meter in a concentrator of Jiangxi Copper Corporation[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(S2): 246-249, 273.
- [3] MORKUN V, MORKUN N, PIKILNYAK A. The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp[J]. Ultrasonics, 2015, 56: 340-343.
- [4] 韩中园.基于ARM的智能型矿浆浓度在线检测系统的研究与设计[D].昆明:昆明理工大学,2014.
HAN Zhongyuan. Research and design of an intelligent on-line detection system for pulp concentration based on ARM[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014.
- [5] 汪建新,高鑫,张艳萍.超声波在尾矿浆传播中的衰减特性数值模拟分析[J].工矿自动化,2018,44(3):65-69.
WANG Jianxin, GAO Xin, ZHANG Yanping. Numerical simulation analysis of attenuation characteristics of ultrasonic propagation in tailings slurry[J]. Industrial and Mine Automation, 2018, 44(3): 65-69.
- [6] 李先海,张覃,李龙江,等.智能矿浆浓度测定仪的开发及性能测试研究[J].有色金属(选矿部分),2017(增刊1): 172-176.
LI Xianhai, ZHANG Qin, LI Longjiang, et al. Development and performance test research of intellectualized ore pulp concentration measuring instrument [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(S1): 172-176.
- [7] 卢双豪,赵建军,田锐,等.基于X荧光品位分析仪滤网的矿浆代表性研究[J].中国矿业,2015,24(增刊1): 368-372.
LU Shuanghao, ZHAO Jianjun, TIAN Rui, et al. Research on pulp sample representation of strainers based on X-ray fluorescence analyzer[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(S1): 368-372.
- [8] 赵海利,赵建军,周成,等.一种载流式称重法浓度计的设计[J].中国矿业,2016,25(增刊1):473-475.
ZHAO Haili, ZHAO Jianjun, ZHOU Cheng, et al. Design of an online weighting method concentration meter [J]. China Mining Magazine, 2016, 25 (S1): 473-475.
- [9] 严凡涛,李传伟,王志民,等.常压管道取样器的设计及运用[J].有色金属(选矿部分),2016(6):80-82.
YAN Fantao, LI Chuanwei, WANG Zhimin, et al. Research and use of gravity pipe sampler [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2016(6): 80-82.
- [10] 夏正一.叶轮式矿浆浓度检测仪的设计与研究[D].昆明:昆明理工大学,2014.
XIA Zhengyi. Design and research of impeller-type pulp concentration detector [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014.
- [11] 鄢志丹,耿艳峰,魏春明,等.连续波脉冲随钻数据传输系统设计与实现[J].电子测量与仪器学报,2018,32(12): 85-92.
YAN Zhidan, GENG Yanfeng, WEI Chunming, et al. Design and implementation of a drilling data transmission system based on the continuous wave pulse [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2018, 32(12): 85-92.
- [12] 马震宇,王正鹤,徐梦飞,等.伯努利方程教学实验与数值仿真应用[J].实验室科学,2018,21(5):37-40,44.
MA Zhenyu, WANG Zhenghe, XU Mengfei, et al. Teaching experiment and numerical simulation application of Bernoulli equation [J]. Laboratory Science, 2018, 21(5): 37-40, 44.
- [13] 张琦,李得天,杨长青,等.限流元件流导测量技术研究进展[J].真空与低温,2017,23(2):76-81.
ZHANG Qi, LI Detian, YANG Changqing, et al. Research on measurement method for orifice conductance [J]. Vacuum and Cryogenics, 2017, 23(2): 76-81.