

超声波(矿浆)浓度计及工业应用

崔祜林 李云龙 杨九水 闫石
(丹东东方测控技术股份有限公司)

摘 要 浓度的准确测量是实现实时工业控制的必要条件,但一般的射线式、红外式、称重式、压力式等浓度计检测效果参差不齐,且受检测点矿浆性质、固体颗粒粒径差异影响较大,存在着可靠性、稳定性、耐磨性不够等问题。对基于超声波衰减原理设计的超声波(矿浆)浓度计的测量原理进行了阐述,并以DF-6420型超声波(矿浆)浓度计为例,介绍了其技术参数、应用领域与效果,分析了其优缺点。现场应用实践结果表明,超声波(矿浆)浓度计投资费用低,检测结果可靠、准确,稳定性高,耐磨性好,维修方便,可创造可观的经济效益和社会效益,具有较大的推广应用价值。

关键词 超声波 衰减 矿浆浓度

浓度是工业生产环节中必不可少的一个工艺参数。准确测量工艺流程连续生产过程中的介质浓度可以省去实验室分析中所需的昂贵的取样设备,同时能节约时间,并且可以直接得到过程数据用于评估或控制,进而改进产品质量,取得最大的经济效益。

目前市场上不同种类的工业浓度计所采用的工作原理也不同,主要有静压力法、重力法、浮子法、 γ 射线法、振动法、光电法、超声波法等。这些工业浓度计用于悬浊液浓度检测时检测效果好坏不一,特别是在矿山磨选工艺过程中不同工艺点进行浓度检测时,因检测点的矿浆性质、颗粒粒径存在较大差异,导致矿浆浓度检测仪表的长期可靠性、稳定性、耐磨性等不尽如人意。经多年应用实践,按超声波衰减原理设计生产的超声波(矿浆)浓度计在悬浊液浓度检测方面具有较强优势。

超声波(矿浆)浓度计是一种连续矿流在线检测仪器,是利用超声波穿透待测物质后,利用声速、声阻抗、声强等声学量的衰减与悬浊液中待测物质密度等相关关系,获得相应的浓度参数。基于超声波原理的浓度计大多是以声衰减法和声速(声时)法为基本原理进行设计的。其中声速(声时)法大多适用于溶液浓度测量,声衰减法大多以悬浊液浓度检测为主。基于声学原理的浓度检测仪表需克服悬浊液中微小气泡、颗粒粒径不规则以及仪表装置耐磨性不足等技术难题,另外需消除待测两相流混

杂的油物或固体物附着于超声换能器表面所带来的不利影响。

论文主要以悬浊液(两相流)待测介质为浓度测量对象,介绍了基于超声衰减原理的超声波浓度计的工业应用。

1 超声波(矿浆)浓度计测量原理

超声波(矿浆)浓度计测量原理以超声衰减为主,主要对矿浆这种典型的悬浊液或两相流形式存在的待测物质进行浓度检测。

悬浊液是一种分散系,分散质粒子直径在100 nm以上,多为很多分子的集合体,如泥浆等。悬浊液不透明、不均一、不稳定,不能透过滤纸,静置后分散质粒子在重力作用下逐渐沉降下来,出现分层。

两相流是指两相物质(至少一相为流体)所组成的流动系统。若流动系统中物质的相态多于两个,则称为多相流。两相或多相流是工业生产过程中为完成相际传质和反应过程所涉及的最普遍的黏性流体。根据构成流动系统的相态,通常分为气-液系、液-液系、液-固系、气-固系等。两相流的流动形态有多种,除了同单相流动一样可分为层流和湍流外,还可以依据两相相对含量(常称为相比)、相界面的分布特性、运动速度、流场几何条件(管内、多孔板上、沿壁面等)划分流动形态。文中提及的两相流是指固相通常以颗粒或团块的形式处于两相流中,例如冶金矿山磨选工艺中的矿浆、江河沉砂、淤泥等。

某一频率的超声波在均匀悬浮液如矿浆中传播时,其振幅随被测矿浆中固体含量的多少及颗粒大小的变化而变化,即超声发生衰减。选择合适频率

崔祜林(1971—),男,高级工程师,118002 辽宁省丹东市沿江开发区滨江中路136号。

的超声波透过被测矿浆,根据超声波衰减量与矿浆浓度的相关关系,检测超声波衰减量并通过标定刻度就能知道被测矿浆的浓度。在一定条件下,当矿浆中颗粒很小时,黏滞吸收衰减起主要作用;当颗粒很大时,散射衰减起主要作用。根据声学原理得知,平面超声波在矿浆中传播时,穿过一定距离后,其电压 E 的变化可用下式表示:

$$E = E_r \exp(-\alpha L), \quad (1)$$

式中 E 为穿过 L 距离后的电压, V ; E_r 为发射电压, V ; α 为衰减系数, dB/m ; L 为穿过的距离, m 。

根据公式(1)可知,设矿浆中有悬浮颗粒时的衰减率和接收电压分别为 $(\alpha_0 + \alpha_x)$ 和 E_x ; 没有悬浊颗粒时的衰减率和接收电压分别为 α_0 和 E_0 ; 发射、接收端之间的距离为 L , 发射电压为 E_r , 则:

$$E_0/E_r = A \exp(-\alpha_0 L), \quad (2)$$

$$E_x/E_r = A \exp\{-(\alpha_0 + \alpha_x)L\}, \quad (3)$$

式中 E_0 为清水时接收电压, V ; E_x 为矿浆中有悬浮颗粒时的接收电压, V ; A 为振幅, m ; α_0 为超声波在清水中的衰减率, dB/m ; α_x 为超声波在悬浮颗粒中的衰减率, dB/m ; 根据公式(2)、(3), 悬浊颗粒引起的衰减率为:

$$\alpha_x = (\ln E_0 - \ln E_x) / L. \quad (4)$$

由接收探头接收到的声波振幅将随悬浮液浓度的增加而衰减, 声波振幅转换成的电压值也随浓度的增加而衰减。标定浓度-电压衰减曲线后, 即可从测量电压读出矿浆浓度值。

2 DF-6420 型超声波(矿浆)浓度计

丹东东方测控技术股份有限公司在 DF-PSM 超声波在线粒度仪研制过程中发现, 超声波在矿浆中传播时声学参量与介质粒度、浓度等工艺参数具有很好的相关性。通过综合分析选矿工艺流程中矿浆流体特性、矿浆中微量气泡的存在形式以及对超声波传输衰减的影响程度等, 设计出特有的测量装置以避免复杂的除气装置, 确保仪表在工艺矿浆等悬浊液中颗粒粒径差异性较大、含气量不稳定等恶劣工况下也具有足够的动态测量范围和检测灵敏度。设计过程中选择合适的耐磨内衬材料, 成功解决了在线应用测量装置耐磨度不佳的关键问题。目前 DF-6420 型超声波(矿浆)浓度计已成功应用于 40 多个工业现场, 在超过 200 个矿山磨选工艺中的给矿、溢流、底流、沉砂等工艺点的矿浆浓度测量中得到验证。

2.1 技术参数:

①在线测量精度: $2.0\% (1\sigma)$; ②浓度测量范围: $-70\% (S.G., \text{与测量介质有关})$; ③浓度信号输出: $4 \sim 20 \text{ mA}$, 最大负载 750Ω ; ④继电器输出: 高、

低浓度报警(120 mA , 250 Vac); ⑤测量装置结构: 管段式(标准)、浸入式; ⑥防护等级: 变送器 IP65, 管段式传感器 IP68, 浸入式传感器大于 IP68。

2.2 应用领域与效果

DF-6420 型超声波(矿浆)浓度计共有两种测量装置。一为管段式, 为标准型, 可以直接在待测浓度的工艺管道上选取合适位置安装, 例如冶金矿山领域上给矿、溢流、底流、沉砂、尾矿等工艺点; 二为浸入式, 适合大口径的管道、敞口容器(槽、罐、池)等。

凡是悬浊液或两相流待测介质浓度检测均适合采用 DF-6420 型超声(矿浆)浓度计进行检测。截至 2014 年底, 已成功应用于 50 余个工业现场, 260 多台产品长期运行在矿山磨选工艺中的给矿、溢流、底流、沉砂等工艺点, 无需维护。装置的耐磨性能和可靠性能得到充分证明。

除了冶金矿山领域, 其它如市政污水、工业废水等环保处理工艺、化工、医药、食品等行业的工业生产和过程控制也可应用该产品。

3 超声波(矿浆)浓度计的优缺点

超声波(矿浆)浓度计用于检测矿浆等悬浊液或两相流的优势:

(1) 超声衰减与待测定介质的分散物质体积浓度相关, 与测定对象无关, 也不受悬浊液或两相流的颜色、pH 值、电导率的影响, 能检测固态、乳化颗粒等的悬浊颗粒。

(2) 超声频率和测量装置间距设计选择合适, 输出的超声衰减信号对于待测介质浓度呈单调关系, 因此可进行大动态范围的浓度检测和控制。

(3) 超声衰减测量装置系统没有突出部分和机械可动部分, 容易安装、保养和维修。

(4) 因其内装自动校正电路, 所以能测定系统的正常、异常工作状态。而且能够根据量程调整刻度。在满刻度的浓度测定范围中, 任意设定线性量程。

(5) 超声波(矿浆)浓度计响应速度快、测量周期短, 很适合在线浓度检测, 且可以根据工艺浓度检测点的具体情况设计成不同装置形式(管段式、浸入式等)。

基于超声衰减原理设计浓度计在应用中也有不足之处:

(1) 超声衰减易受悬浊液或两相流中气泡影响, 同一粒径的气泡与介质对超声衰减影响相差 2 个数量级。工业应用过程中, 待测介质中存在气泡时, 超声波散射作用加强, 表面上显示高浓度, 而实际浓度却较低, 甚至不能测量。可以在选择安装位置和超声衰减信号处理上采取适(下转第 233 页)

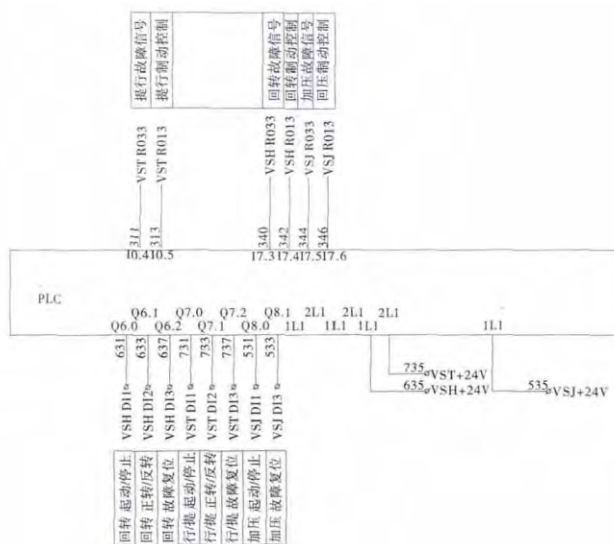


图2 改造部分 PLC 接线示意

控制信号及故障信号和制动控制通过 PLC 控制系统处理,在满足工作条件的前提下,实现逆变器的控制。图 3 是 PLC 控制系统改进部分软件设计的部分梯形图。

3 改进后的效果

2015年3月份实施改进方案,用时4d完成了现场线路敷设、硬件安装、试验和整体调试工作。此次改进备件成本约4万元,消除了该台牙轮钻的通讯方面的故障。根据设备运转台账记录,从4—10月份,另外4台钻机通讯方面的故障发生次数累计23次、故障维修时间累计167h、备件消耗成本合计7.6万元。可见,此次改进明显地提高了设备的利

用率,降低了设备故障率,为持续生产创造了良好的条件。

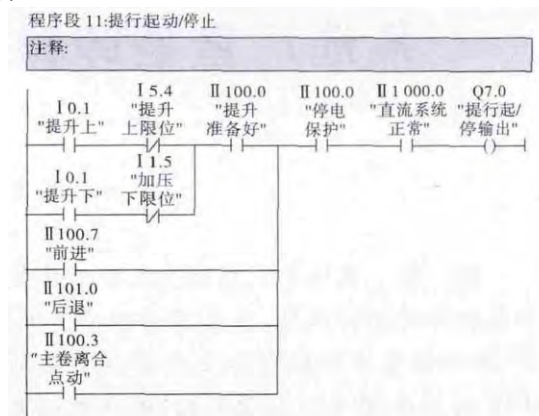


图3 主要改造部分梯形图

4 结 论

KY-310 牙轮钻机主机构逆变器控制系统的改进,在保证设备安全生产的基础上,不仅改善了设备性能、降低了故障率,而且简化了设备、减少了故障点,同时减少了备件使用和储备成本。改进后的系统在生产中运行效果良好,可完全满足现场生产的要求。

参考文献

- [1] 廖常初. S7-300/400 PLC 应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社 2007.
- [2] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

(收稿日期 2015-09-23)

(上接第 229 页) 当措施以克服矿浆中气泡的不利影响。如果待安装浓度计的位置极度不稳定, 气泡量很大, 则需增加附属装置来满足测量条件。

(2) 超声衰减与介质粒径有关。对于某一固定频率的超声波透过待测介质时,在一定粒度变化范围内介质粒径和衰减呈反比例的相关关系。对于某一工业生产工艺运行正常时,介质粒径分布是恒定的,大多呈正态分布。由于采用独有的专利方法来选择适合的超声频率和测量装置间距,DF-6420 型超声波(矿浆)浓度计受介质粒径的实际影响并不大。

4 现场应用实践

DF-6420 型超声波(矿浆)浓度计自 2010 年应用于西钢红水河选矿厂至今,安全可靠,故障率低,维修方便,精度较高。对现场精矿矿浆 20 个样品的浓度化验值和检测值进行对比,结果见表 1。

由表 1 可知,采用 DF-6420 型超声波(矿浆)浓度计对该选厂精矿矿浆 20 个样品的检测值与实际烘干化验值较为一致,结果最大差值仅 2.88 个百分

表1 红水河选厂精矿样品浓度化验值与检测值对比结果

样品 序号	化验值 /%	检测值 /%	误差 /百分点	样品 序号	化验值 /%	检测 /%值	误差 /百分点
1	27.60	28.01	0.41	11	40.08	42.96	2.88
2	29.10	28.16	-0.94	12	45.14	43.37	-1.77
3	42.08	43.38	1.30	13	44.67	46.42	1.75
4	45.49	46.50	1.01	14	49.45	47.18	-2.27
5	32.16	30.62	-1.54	15	43.83	41.78	-2.05
6	40.86	42.03	1.17	16	35.03	32.78	-2.25
7	38.20	39.96	1.76	17	26.27	27.64	1.37
8	34.17	34.35	0.18	18	39.47	37.98	-1.49
9	38.20	39.96	1.76	19	46.54	48.45	1.91
10	36.59	34.86	-1.73	20	45.37	47.32	1.95

点, 显示出该浓度计可靠性和准确性。

5 结 论

超声波(矿浆)浓度计可实现矿浆浓度的实时检测,具有精度高、量程大、标定简单、维护量小、投资费用低等优点,有助于实现生产过程的自动化控制。超声波(矿浆)浓度计目前在黑色、有色等金属矿山选厂,能有效提高磨选工艺生产效率,提升了选矿自动化水平,并带来可观的经济效益。

(收稿日期 2015-11-25)