

机械式旋转脉冲水深水位测量装置的设计与应用*

张业明¹, 李智国¹, 王 耿¹, 李中凯², 刘 旭¹, 王昆鹏³

(1. 河南理工大学 机械与动力工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 中国矿业大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221116;

3. 厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘 要: 针对超声波、光电等水深水位传感器抗污染能力差, 无法实现水深水位同时检测的问题, 提出了一种机械式旋转脉冲水深水位测量装置, 该测量装置分滚筒提升装置、夹紧装置和控制装置三部分。在重锤下降的过程中, 通过实时检测光电编码器输出的旋转脉冲数可以得到重锤下降的位移、速度、加速度, 找出重锤下降的加速度突变点, 由此判断出蓄水池的水面和固液界面两个临界点, 进而计算出蓄水池的水深、水位和沉淀物厚度。测试结果表明: 该装置抗污染能力强, 在重锤为 510 g、采样时间间隔为 0.10 s 时测量效果最佳, 测量误差小于 1%。

关键词: 旋转脉冲; 水深水位测量; 可编程序控制器; 高速计数器

中图分类号: TP212 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2015)10-0072-04

Design and application of mechanical rotation pulse device for water depth and water level measurement*

ZHANG Ye-ming¹, LI Zhi-guo¹, WANG Geng¹, LI Zhong-kai², LIU Xu¹, WANG Kun-peng³

(1. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. School of Mechanical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

3. School of Physics and Mechanic & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A new type of mechanical rotation pulse measurement device is proposed, aiming at problem that ultrasonic and photoelectric sensors have poor ability to resist pollution and can't realize water depth and water level detection at the same time. The measurement device points cylinder lifting device, clamping device and control device. In falling process of heavy hammer, the downward displacement, velocity, acceleration of heavy hammer can be obtained through real-time detection on output rotation pulse number of photoelectric encoder. Then the two falling acceleration mutation points of heavy hammer can also be founded when heavy hammer gets into the water and arrives at the solid-liquid interface in a reservoir. Thus the reservoir water depth, water level and precipitation material thickness can be calculated. The measurement result shows that the pollution resistance capability of the device is strong and the water depth measurement error of the device is less than 1% when the weight of heavy hammer is 510 g and the sampling time interval is 0.10 s.

Key words: rotation pulse; water depth and water level measurement; programmable controller; high speed counter

0 引言

在化工、煤炭等生产企业大量存在蓄水池、水仓等设施, 这些设施的水深和水位信息对于企业的安全生产非常重要。目前, 水位的检测有直读式液位仪表、差压式液位仪表^[1-3]、浮力式液位仪表、光电或光纤液位仪表^[4-5]、超声波液位仪表^[6-9]和电容式液位仪表^[10, 11]等。常规的检测方法

存在以下问题: 接触式传感器一旦浸入水中, 容易导致传感器遇水短路、腐蚀等检测问题, 最终导致检测信号异常, 无法实现液位和水深的同时检测; 非接触式传感器因为蓄水池内有悬浮物、颗粒等物料, 无法准确测量出水深。当前还没有一种传感器能够同时检测水深和水位。

为解决准确测量蓄水池水深和水位的问题, 本文设计

收稿日期: 2015-02-29

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1204107, 51475459); 河南省高等学校精密制造技术与工程重点学科开放实验室开放基金资助项目(PMTE201318A); 河南理工大学博士基金资助项目(B2012-101); 河南理工大学教改项目(2014JG061); 河南省教育厅科技技术研究重点项目(14B460033)

了一种带增量式编码器的滚筒提升重锤的测量装置,实现了蓄水池水深和水位的可靠测量。

1 测量装置的系统构成

图 1 为新型机械式旋转脉冲水深水位测量装置的剖视图。图 2 为测量装置的俯视图与电气接线。图 3 为测量装置的测量原理图,其中重锤直径为 D_2 ,外壳距离蓄水池底面的高度为 L_0 ,蓄水池高度为 H ,蓄水池水深为 h_1 ,蓄水池沉淀物料厚度为 h_2 ,蓄水池水面处为 x ,固液界面处为 y 。

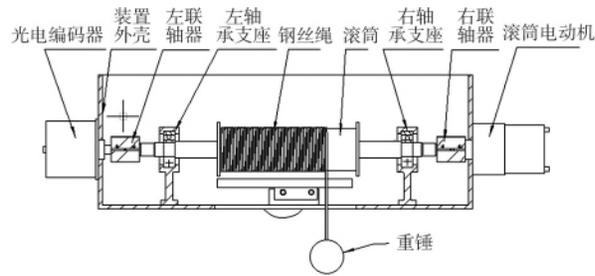


图 1 水深水位测量装置的剖视图

Fig 1 Sectional view of water depth and water level measurement device

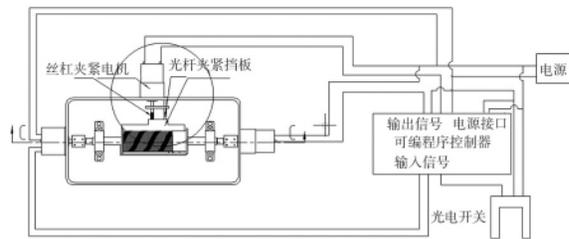


图 2 水深水位测量装置的俯视图与电气接线
Fig 2 Top view of water depth and water level measurement device and its electrical wiring

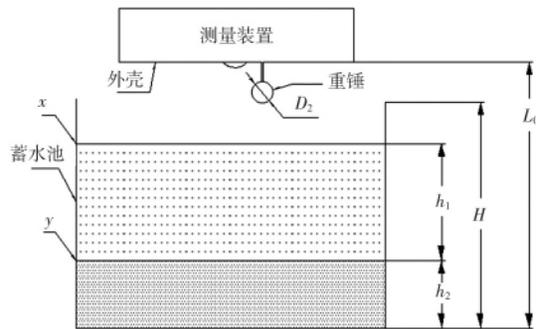


图 3 水深水位测量装置的测量原理图

Fig 3 Measuring principle diagram of water depth and water level measurement device

新型机械式旋转脉冲水深水位测量装置由滚筒提升装置、夹紧装置和控制装置三部分组成。

1) 在滚筒提升装置中,滚筒电动机通过右联轴器与滚筒轴相连,滚筒上缠绕着钢丝绳,钢丝绳末端连接重锤,滚筒轴通过左联轴器与光电编码器相连;滚筒电动机转动带动滚筒旋转,实现钢丝绳收绳的动作,将重锤提起。

2) 夹紧装置由丝杠、夹紧电动机、光轴和夹紧挡板组成;夹紧电动机的轴与丝杠连接在一起,丝杠的另一端连接带有螺纹孔夹紧挡板,同时夹紧挡板的光孔与光轴来连接;

当夹紧挡板紧压在滚筒表面时,由于滚筒表面摩擦力,阻止滚筒旋转,从而使重锤停止自由下落。

3) 控制装置由可编程序控制器、光电编码器、光电开关、电源、滚筒电动机和夹紧电动机组成。可编程序控制器型号为西门子 S7-200 SMART SR20,光电编码器型号为 HN3806-600-AB,光电开关型号为 E3S-GS15N。滚筒电动机和夹紧电动机采用 37GB528 型 12 V 供电减速马达。

2 测量装置的测量原理与测量步骤

2.1 测量原理

由于重锤的自身重力大于滚筒电动机的减速器的机械阻力,当夹紧装置松开以后,重锤会因为重力作用下加速下落。在重锤自由下降的过程中,通过实时检测光电编码器输出的旋转脉冲数,可以得到重锤下降的位移、速度、加速度,找出重锤下降的加速度突变点,由此判断出蓄水池的水面和固液界面两个临界点,进而计算出蓄水池的水深和水位。

从测量装置外壳底部重锤开始自由下落起,至下落到蓄水池的固液界面处 y 的整个过程中,以时间间隔 Δt 为采样周期,实时采集重锤下降的位移 L_0, L_1, \dots, L_n 。设光电编码器旋转一圈输出脉冲数为 M ,滚筒直径为 D_1 ,重锤直径为 D_2 ;设在某一时刻 t ,可编程序控制器采集到光电编码器输出的脉冲数为 N ,则重锤下降位移 L 为

$$L = \frac{\pi \times D_1}{M} \times N \quad (1)$$

根据采样周期 Δt 和位移序列,计算出各采样点间的平均速度序列 V_0, V_1, \dots, V_{n-1} ,其中 V_i 为

$$V_i = \frac{L_{i+1} - L_i}{\Delta t} \quad 0 \leq i \leq n-1 \quad (2)$$

根据采样周期 Δt 和速度序列 V_0, V_1, \dots, V_{n-1} ,计算出加速度序列 a_0, a_1, \dots, a_{n-2} 和相邻加速度差序列 b_0, b_1, \dots, b_{n-3} ;其中 a_i, b_i 分别为

$$a_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t} \quad 0 \leq i \leq n-2 \quad (3)$$

$$b_i = a_{i+1} - a_i \quad 0 \leq i \leq n-3 \quad (4)$$

假设: 1) 当 $i = x_1 (0 \leq x_1 \leq n-3)$ 相邻加速度差 b_i 由零变为负值,则此时重锤开始进入蓄水池水面,由于受到水的阻力作用,导致相邻加速度差 b_i 由零变为负值。由此确定出蓄水池 x 处的临界采样点 $x_1 (0 \leq x_1 \leq n-3)$,此时重锤下落的位移 L_{x_1+1} ; 2) 当 $i = y_1 (0 \leq y_1 \leq n-3)$,相邻加速度差取负值中的最小值,则此时重锤达到蓄水池固液界面交界处,由于受到蓄水池固态物料的阻力作用,导致相邻加速度差 b_i 为负值的最小值。由此确定出蓄水池 y 处的临界采样点 $y_1 (0 \leq y_1 \leq n-3)$,此时重锤下落的位移 L_{y_1+1} 。于是,有:

1) 蓄水池水深 h_1 为

$$h_1 = L_{y_1+1} - L_{x_1+1} \quad (5)$$

2) 蓄水池沉淀物料厚度 h_2 为

$$h_2 = L_0 - D_2 - L_{y_1+1} \quad (6)$$

3) 蓄水池水位 h 为

$$h = h_1 + h_2 = L_0 - D_2 - L_{x1+1} \quad (7)$$

2.2 测量步骤

1) 寻找检测零位

光电开关输入信号, 夹紧电动机正转解除滚筒闭锁, 启动滚筒电动机正转, 驱动重锤下降 0.5 m, 然后滚筒电动机反转, 驱动重锤上升到测量装置的外壳的表面, 此刻滚筒电动机反转堵转, 可认为重锤位于初始检测零位。

2) 检测蓄水池水面 x

滚筒电动机断电(此时夹紧电动机通电, 滚筒闭锁已经解除), 重锤在自身重力作用下, 克服减速机阻力、空气阻力等向下运动。重锤进入水面 x 的瞬间, 加速度发生突变。通过编码器测到的数据, 可算出重锤自初始检测零位到蓄水池水面 x 的位移量 L_{x1+1} 。

3) 检测蓄水池固液界面 y

重锤进入水中后, 继续往下运动。当接触到蓄水池固液界面 y 时, 重锤受到蓄水池固体物料的阻力, 加速度发生突变为负值的最小值, 记下此时编码器的脉冲数, 即得到初始零位到固液界面 y 的距离 L_{y1+1} 。

测量出初始检测零位到蓄水池底板的高度 L_0 , 根据公式(5)、式(6)、式(7), 计算出蓄水池水深 h_1 、蓄水池沉淀物厚度 h_2 和蓄水池水位 h 。

4) 重锤返回初始检测零位

当检测到重锤运动加速度发生突变为负值的最小值时, 延迟 0.1 s, 启动滚筒电动机反转, 通过钢丝绳将重锤提升上去。当重锤回到初始检测零位时, 夹紧电动机反转, 使滚筒闭锁, 滚筒电动机断电。本次测试结束。

5) 计算平均值

多次重复步骤(1)~(4)过程, 计算蓄水池水深、沉淀物厚度和水位的平均值, 并存储。

3 测量装置的控制程序设计

新型机械式旋转脉冲水深水位测量装置的 PLC 控制程序的总流程图如图 4 所示, PLC 控制程序的运行时序图如图 5 所示。

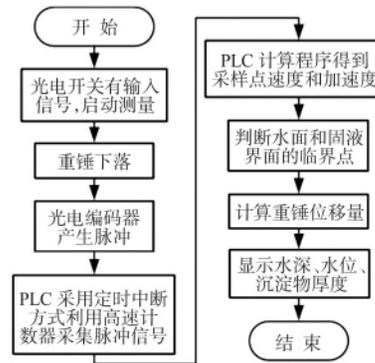


图 4 测量装置的 PLC 控制程序的流程图

Fig 4 Flow chart of PLC control program of measurement device

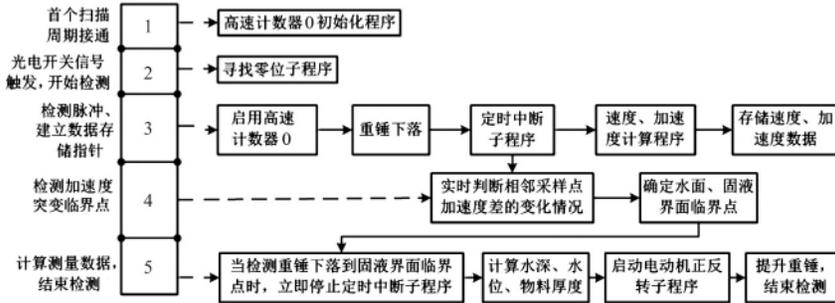


图 5 测量装置的 PLC 控制程序的运行时序图

Fig 5 Running sequence diagram of PLC control program for measuring device

4 具体应用与数据处理

重锤质量取 360, 510 g 两种情况, 采样时间间隔取 0.2, 0.15, 0.12, 0.10 s 四种情况, 分别在实验室进行测量实验。表 1 和表 2 分别为 360, 510 g 重锤在不同采样时间下的测量数据。

表 1 360 g 重锤时测量数据

Tab 1 Measurement datas when hammer weight is 360g

时间间隔 (s)	零位到水面位移量 L_{x1+1} (mm)	零位到固液界面位移量 L_{y1+1} (mm)	水深 h_1 (mm)
0.20	1275.75	1518.40	242.65
0.15	1293.87	1500.00	206.13
0.12	1276.31	1493.93	217.62
0.10	1318.25	1519.24	201.00

表 2 510 g 重锤时的测量数据

Tab 2 Measurement datas when hammer weight is 510 g

时间间隔 (s)	零位到水面位移量 L_{x1+1} (mm)	零位到固液界面位移量 L_{y1+1} (mm)	水深 h_1 (mm)
0.20	123.43	1491.76	245.34
0.15	1258.38	1552.12	293.74
0.12	1294.06	1527.00	232.94
0.10	1276.03	1516.63	240.60

图 6 为重锤 510 g 采样间隔 0.10 s 时的采样数据曲线。

经过大量实验数据对比可知, 采样时间越短其在临界位置的判断越为清晰, 但当采样时间过短时其脉冲间的数据波动较大而不利于水面和固液界面两个临界点的界定。综合分析, 确定出重锤为 510 g、采样时间间隔为 0.10 s 时

测量效果最佳, 实验数据结果最为理想, 其水深测量误差小于 1%。

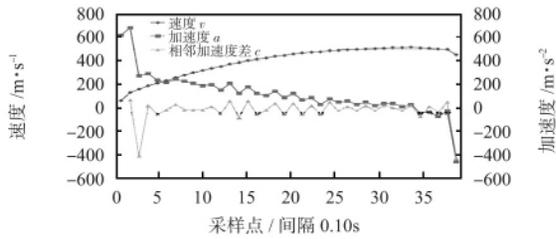


图 6 重锤 510 g 采样间隔 0.10 s 时的数据曲线

Fig 6 Data curve when hammer weight is 510 g and sampling interval is 0.10 s

5 结束语

机械式旋转脉冲水深水位测量装置采用 S7-200 SMART SR20 为控制器, 通过对重锤自由下降过程中光电编码器输出旋转脉冲数的实时检测, 完成蓄水池水深、水位、物料厚度的自动测量, 有助于实现蓄水池的可靠自动检测和状态监视。该测量装置抗污染能力强, 误差较小, 能同时检测水深、水位和沉淀物料厚度, 作为煤矿水仓自动控制系统的组成部分, 已经成功应用于企业生产。

参考文献:

[1] 郭凤仪, 李斌, 马文龙, 等. 深水水位检测用压力传感器补偿方法研究[J]. 仪表技术与传感器, 2010(6): 6-8.

[2] 李加念, 洪添胜, 倪慧娜. 基于太阳能的微灌系统恒压供水自动控制装置研制[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 86-93.
 [3] 徐磊, 时维铎, 邢玉秀. 基于 DZ-H 扩散硅液位变送器的水位测量系统设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(6): 104-110.
 [4] 朱高中. 基于单片机远程水位检测系统的研究[J]. 光电子技术, 2012, 32(4): 246-250.
 [5] 张玉, 孙旋, 刘电霆. 光纤传感器在液位检测中的应用[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(6): 123-125.
 [6] 刘小平, 苏真伟, 王珩. CNG 储气井检测中的水位自适应控制系统[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(6): 1348-1350.
 [7] 张文. 无线超声波液位测量仪的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(11): 41-43.
 [8] 刘赞, 王波, 刘智超. 一种基于超声测距技术的超声液位仪设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(9): 91-93.
 [9] 卢伟, 王杨, 赵红东, 等. 高精度超声波液位测量系统的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2013(7): 46-48.
 [10] 符欲梅, 张巧娥, 詹昕武, 等. 微分法实现与介质无关的电容式液位测量[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(5): 139-145.
 [11] 赵远鹏, 靳宝全, 程珩. 基于变介质感测的液位传感器研究[J]. 自动化与仪表, 2012(7): 20-23.

作者简介:

张业明(1979-)男, 山东肥城人, 博士, 副教授, 研究方向为自动化技术、气动节能技术等。

(上接第 71 页)

表 4 系统告警测试结果

Tab 4 Alerting test results of system

传感器编号	安全值范围	平均测量值	红色告警灯状态	告警正确率 (%)
1	1825 ~ 20000 kg	2653 kg	灭	100
1	1825 ~ 20000 kg	1210 kg	亮	100
2	0 ~ 6.9 MPa	4.5 MPa	灭	100
2	0 ~ 6.9 MPa	8.2 MPa	亮	100
3	280 ~ 710 °C	340 °C	灭	100
3	280 ~ 710 °C	783 °C	亮	100
4	5 ~ 30 L	20.6 L	灭	100
4	5 ~ 30 L	2.8 L	亮	100
5	-30 ~ 80 °C	35.4 °C	灭	100
5	-30 ~ 80 °C	97.5 °C	亮	100
6	0.25 ~ 0.78 MPa	0.36 MPa	灭	100
6	0.25 ~ 0.78 MPa	0.9 1MPa	亮	100

4 结论

本文设计了基于 AS-i 总线的发动机告警系统。分析了系统的各组成部分及其功能; 介绍了硬件和软件设计的过程; 测试了系统的性能。AS-i 总线简化了控制器与传感器/执行器的连接方式, 减少了电缆数量, 使系统安装和维护更方便, 成本更低。实验结果验证了 AS-i 总线应用于发动机告警系统的可行性, 实现了对发动机参数的实时监测

和告警。

参考文献:

[1] 桂建勋. 发动机指示和机组告警原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
 [2] 姜晓莲, 蔡忠春, 辛健, 等. 浅析发动机指示和空勤告警系统[J]. 装备制造技术, 2011(11): 17-20.
 [3] 陈哲, 刘柳. 飞机 EICAS 的模拟系统设计[J]. 飞机工程, 2007(1): 28-31.
 [4] 严平, 曹同强, 周洁敏. 基于 C++ Builder 和 USB 的飞机发动机综合警戒系统数据采集与处理研究[J]. 仪器仪表和分析监测, 2004(3): 15-18.
 [5] 李振寰. AS-i 高压配电控制中的应用[J]. 有色金属设计, 2013, 40(1): 81-84.
 [6] 罗江瀚. AS-Interface 总线技术在数控机床中的应用[J]. 低压电器, 2009(23): 30-32.
 [7] 张弛, 杨明, 吕显民. AS-i 总线技术及其接口的设计[J]. 现代电子技术, 2014, 37(23): 25-27.
 [8] 全国低压电器标准化技术委员会. GB/T 18858.2-2012. 低压开关设备和控制设备控制器: 设备接口(CDI)第 2 部分: 执行器传感器接口(AS-i) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

作者简介:

邓俊(1991-)男, 湖南益阳人, 硕士研究生, 研究方向为光电探测系统测试与故障诊断方法研究。