

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.05.014

水下低功耗浊度仪系统*

叶彦雷, 杨厉坤, 叶 炳, 秦华伟

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对水下长时间浊度数据采集的问题, 研制了一种水下低功耗浊度仪系统。通过对水下浊度测量方法的分析比较, 选取了散射法作为浊度的测量原理。基于以 MSP430F149 为核心的微控制芯片, 对电路进行了外围设计, 实现了系统的低功耗性能; 考虑到装置工作在 0~6 000 m 的水深范围, 系统必须要承受高压, 故对装置的探头和壳体进行了抗压和密封设计; 在实验室用高岭土配制出了 19 种不同浓度的浊度液, 通过与 WT-RCOT 型浊度仪数据进行对比, 对系统进行了浊度标定, 并用浊度仪系统在钱塘江进行了浊度测试, 在试验过程中采集到了相应的浊度数据, 并绘制出了浊度变化曲线。研究结果表明, 该浊度仪系统具有低功耗、高抗压、高密封性能, 能够满足水下长时间离线式浊度采集要求。

关键词: 浊度仪; 散射法; 低功耗; MSP430F49

中图分类号: TH764

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)05-0574-03

Low-power underwater turbidimeter system

YE Yan-lei, YANG Li-kun, YE Bing, QIN Hua-wei

(Department of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the requirement of turbidity collecting underwater for a long time, a kind of underwater-low power consumption-turbidity measuring system was developed. Through the analysis and comparison of different methods of turbidity measurement, scattering method was selected for turbidity measurement principle. Based on MSP430F149 core micro-controller chip, the outer part also was designed elaborately, and the performance of low power was realized. The equipment must be working well in the high pressure as the work environment is 0~6 000 m underwater, so the probe and shell were designed as sealed and be able to resist pressure. The turbidity was calibrated through contrasting the result of different concentrations of kaolin-turbidity liquid that this instrument measures with WT-RCOT turbidity instrument. In the Qiantang River, a lot of dates were collected by this instrument, and the turbidity curve was protracted. The results indicate that the turbidity meter system has low power consumption, high compressive strength, high sealing performance, and it is able to collect turbidity data offline underwater for a long time.

Key words: turbidimeter; scattering method; low power consumption; MSP430F149

0 引 言

当前, 我国正面临着水污染加重、生态环境恶化的窘况。据“新华网”报道: 我国 70% 水体遭受污染, 75% 的江河、湖泊遭受水体富营养化影响。污染物的排放量远远超过水环境的容量, 而水污染最直接表现之一就是水体的浑浊度。浊度仪可以检测水体的浑

浊度, 因此浊度仪的研制对水体环境的监测具有重要而深远的意义。

国外浊度仪发展起步早, 技术也比较成熟, 特别是进入 20 世纪 90 年代以后, 国外的许多仪器仪表公司都推出了技术先进、性能优良的浊度仪, 目前已占据了我国主要市场。其主要代表有美国哈希公司生产的 2100p 型浊度仪, 德国 WTW 仪器公司的 Turb355T/

收稿日期: 2012-11-12

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)资助项目(21012R407043)

作者简介: 叶彦雷(1991-), 男, 甘肃天水人, 主要从事机械设计制造及其自动化方面的研究。E-mail: zhangqi650418@163.com

通信联系人: 秦华伟, 男, 副教授, 博士, 硕士生导师。E-mail: qinhw@hdu.edu.cn

355IR型便携式浊度仪,英国ABBKent公司研制的4600型浊度仪^[1-3]。这些浊度仪测量范围在0~1 100 NTU,精度一般都在±2%,测试值分辨率在0.01 NTU,且能够长时间稳定工作,但是其价格也是相当昂贵,并且部分技术对我国是保密的。相对于国外来说,国内的研究起步较晚,其可靠性、灵敏度、稳定性相比国外同类产品也具有较大差距。国内大部分的同类产品,其测量范围在0~1 000 NTU,基本误差在±2.5%,测试值分辨率在0.1 NUT左右,且一般在水下工作时间短,稳定性不高。

综上所述,国内浊度仪发展虽然取得了一定的成绩,但是与国外相比,我国浊度仪整体水平有着明显的劣势,其测量精度低,工作时间短,同时可靠性和稳定性也需要极大的提高。

基于以上原因,基于MSP430F149^[4]单片机,本研究设计一种用于浊度测量的水下低功耗浊度仪。

1 浊度的测量原理

目前,浊度探测方法有3大类:分光光度法、直接观测法、仪器观测法。其中分光光度法和直接观测法通过配比溶液进行浊度观测比对,这两种方法测量精度低,且不适合用于深海浊度检测。第3种仪器观测法按光接收方式进行分类,可以分为透射法、散射法、透射-散射法。因为散射测量法具有高灵敏度且检测方便容易,愈来愈适应于水下浊度的测量。其中散射浊度法按照入射光与反射光的夹角,分为直角散射(90°或270°)、锐角散射(<90°)和钝角散射(>90°)^[5]。

本研究采用90°直角散射法作为测量原理,其测量原理图如图1所示。

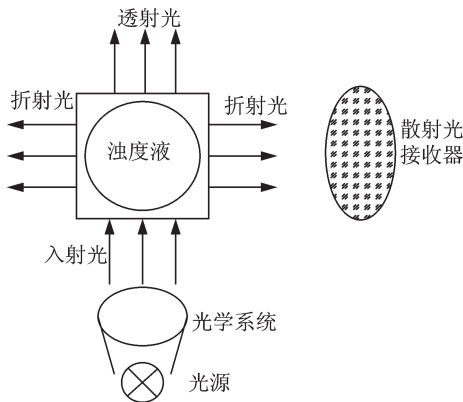


图1 散射法测量原理图

由丁铎尔效应(Tyndall effect)可知,散射光强与液体的浊度成正比,故本研究通过对散射光的测量就可以计算出浊度的大小,即:

$$I_s = I_0 \frac{9\pi^2 V^2 N}{\lambda^4 L^2} \left(\frac{\gamma^2 - \gamma_0^2}{\gamma^2 + 2\gamma_0^2} \right)$$

式中: I_s —散射光强; I_0 —入射光强; V —每个粒子的体积; N —单位体积内粒子数目; λ —波长; L —探测器与被测样品间的距离; γ —粒子折射率; γ_0 —溶液折射率。

2 系统的总体电路设计

低功耗浊度仪的系统组成如图2所示。该系统由浊度信号的检测、滤波与放大、实时时钟控制、数据信号存储、信号的通讯传输等模块组成。其工作原理是:将采集到的浊度信号经过滤波和放大后,输入到主控制器MSP430F149单片机自带的12位A/D转换模块中,从而实现模拟信号和数字信号的转换^[6]。与此同时,主处理器将从实时时钟芯片中读取采样时间,将上述数据编码通过SPI通讯模式储存到Flash芯片中。该系统通过控制LTC1385芯片来达到与外计算机的RS232通讯的目的,实现采集浊度数据的任务。

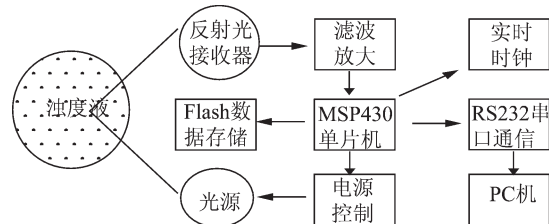


图2 系统总体电路设计

系统的设计要求为该系统能够在水下连续工作20天以上,便携轻巧,电源供给不能使用体积过大的电池,因此,需要对系统进行低功耗设计,来降低电能的消耗,延长系统的使用时间。本研究通过硬件和软件两方面来实现对浊度仪的低功耗的设计。

2.1 硬件低功耗器件的选择

在电子元器件中,同样功能的部件的低功耗差别却是非常大的,经过分析比较本研究最终选取低功耗元器件,作为系统的组成部分,如表1所示。

表1 低功耗元器件

元器件	型号	功耗
主控制器	MSP430F149	低功耗模式下 40 μA
实时时钟芯片	PCF8563	<200 μA
外接Flash存储	AT45DB321B	动态时 4 mA 静态时 3 μA
RS232电平转换芯片	LTC1385	200 μA

2.2 软件低功耗设计

本研究所选用的浊度仪的数据采集和通信均采用中断方式,充分发挥了芯片的休眠低功耗功能。一旦到达采集时间点,MSP430单片机将被中断,从低功耗模式激发并开始工作,之后单片机发出控制电平将电源芯片打开,开始对系统供电。当完成数据采集任务

后,开关芯片和带开关功能的数字芯片将关闭,MSP430F149将进入LPM3低功耗模式,当处于LMP3模式时,CPU中的CPU、MCLK、SMCLK、DCO模块处于休眠状态,而ACLK模块处于活动状态。在浊度仪作为从机和主机进行RS232数据传输时,该过程由主机发起,浊度仪的USART模块直接接收来自主机的异步通信中断子程序,通过这种方法降低了功耗的同时又简化了软件流程。最后当所有中断服务子程序结束时,调用LPM3_EXIT函数,让MSP430单片机退出低功耗模式并且再次循环,进入主程序的处理中^[7-9]。

3 水下低功耗浊度仪的机械壳体设计

低功耗浊度仪系统的机械壳体主要由耐压壳体、浊度探头两部分组成。其总体结构如图3所示。

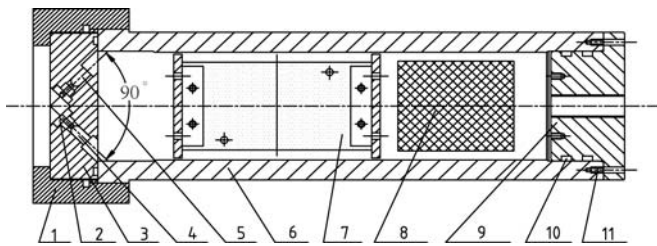


图3 浊度仪的总体封装设计

1-压盖;2-探头镜片;3-光学测量探头;4-光敏二极管;5-红外发光二极管;6-圆柱筒壳体;7-MSP430主控制器;8-电池板;9-断面压盖;10-密封圈;11-六角螺栓

3.1 装置的壳体设计

系统工作于水下0~6 000 m,抗压性和密封性则是在机械结构设计中最为重要的环节。为保证浊度仪能在高压环境下正常工作,本研究对浊度仪的内压腔及端部进行了抗压设计,圆柱筒壳体与两个端盖采用径向和轴向密封。壳体设计标准如表2所示。

表2 壳体设计标准

水深/m	压强 P/MPa	温度	壳体材料	壳体长度 L/mm	壳体直径 D/mm
6 000	60	小于120℃	表面碳化处理的1Cr17Ni2	220	54

3.1.1 壳体壁厚计算

屈服强度 $\sigma_{0.2}=635$ MPa,取 $n_s=2$,则 $[\sigma_s]=635/2=317.5$ MPa;

抗拉强度 $\sigma_b=1 080$ MPa,取 $n_b=3$,则 $[\sigma_b]=\sigma_b/n_b\approx 360$ MPa;

$[\sigma_b]>[\sigma_s]$,许用应力 $[\sigma]=[\sigma_s]=317.5$ MPa,焊接系数 $\varepsilon=1$,壁厚 $M\geq PD/(2[\sigma]\varepsilon-P)\approx 6$ mm,腐蚀余量为1.5 mm,加工余量为0.5 mm,断面密封1 mm;

壁厚设计为 $M=8$ mm;

耐压壳体外径 $D_0=D+2M=54+2\times 8=70$ mm。

3.1.2 端盖的设计

端盖厚度 $N=D\sqrt{0.31P/[\sigma]}+C\approx 18$ mm,取平盖外径 $D_1=100$ mm。

3.1.3 壳体密封设计

本研究在探头一端采用螺纹密封,且端面安装密封O圈。此外,在另一端采用轴向密封方式,端盖与腔体通过螺钉紧固,通过端盖上的水密接插件实现电路腔与PC机的通信。

3.2 装置的探头设计

因浊度的测量采用直角散射法,笔者在设计探头光学线路时,让发光二极管与光敏二极管对称放置于浊度仪的两侧,其入射光与反射光之间的夹角成90°(如图3所示)。选材时要求要有一定的抗压能力,且具有良好的光学性能,本研究选择有机玻璃作为浊度仪透明窗口材料。

其化学性能为:

- (1)透光率92.8%以上;
- (2)电绝缘性能良好,耐稀酸、碱、油脂;
- (3)软化温度大于135℃。

物理性能为:机械强度和韧性良好。

4 实验室浊度标定

本研究通过采用武汉沃特公司研制的WT-RCOT浊度仪对自制浊度仪进行了实验标定,WT-RCOT浊度仪的测量范围为0~2 000 NTU,测量精度为2.5%。

本研究使用高岭土配置出了19种不同浊度的标准液^[10],让自制浊度仪和WT-RCOT浊度仪对标准液进行分别测量。根据标定测量数据,并绘制出了标定曲线如图4所示。通过图4可知,笔者所研制的浊度仪的线性度为0.993,测量精度为2.6%。该装置能够满足精度设计指标要求。

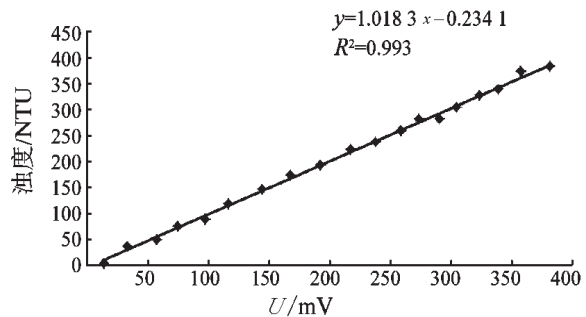


图4 采用WT-RCOT浊度仪标定图

在实际的电力系统中,输电线路往往会受到雷电的冲击、开关的倒闸操作等多种扰动,这都会导致输电线路电流发生变化,影响到输电线路故障定位的可靠性。所以在实际工作中,需要针对多种扰动情况进行大量的研究和分析工作,以提高输电线路故障定位的准确性。

参考文献(References):

- [1] 陈 双,何正友,李小鹏. 基于行波固有频率的特高压输电线路故障选相[J]. 电网技术,2011,35(6):15-21.
- [2] 段建东,张保会,周 艺,等. 基于暂态量的超高压输电线路故障选相[J]. 中国电机工程学报,2006,26(3):1-6.
- [3] 何正友,陈小勤,罗国敏,等. 基于暂态电流小波熵权的输电线路故障选相方法[J]. 电力系统自动化,2006,30(21):39-43.
- [4] 麦瑞坤,何正友,符 玲,等. 基于电流行波能量和小波变换的输电线路故障选相研究[J]. 电网技术,2007,31(3):38-43.

- [5] 叶朝辉,黄康乐,孔凡坊,等. 基于分层模糊推理的快速综合故障选相新算法[J]. 电力系统保护与控制,2011,38(5):10-15.
- [6] LIN W, YANG C, LIN T H, et al. A fault classification method by rbf neural network with ols learning procedure[J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**,2011,41(16):473-477.
- [7] 何谋超. 高压输电线路故障选相方法的研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2008:5-10.
- [8] 李广臣. 输电线路接地故障选相判据研究[J]. 电气技术,2011(10):67-83
- [9] 李 伟,毕天姝,徐振宇,等. 相间接地故障时常规选相元件动作行为分析及改进措施[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(3):67-72.
- [10] 庄侃沁,张旭航,杨增辉,等. 超高压电网故障电流限制器在RTDS上的仿真试验研究[J]. 华东电力,2011,39(1):56-60.

[编辑:李 辉]

(上接第 576 页)

5 钱塘江浊度测试

2012年9月25日,笔者在钱塘江采用自制浊度仪进行了浊度测试,测试图如图5所示,由实验室标定可知浊度和电压成线性关系。在15:32~15:40左右系统处于待机状态,未进入水中浊度显示较小;在15:40~15:43涨潮,水中浊度迅速变大;在15:43~16:15,潮水处于一波又波的状态,浊度的大小也在上下波动;16:15~18:35潮水慢慢退去,泥沙也慢慢地沉淀到水底,水中的浊度逐渐变小。

通过此次钱塘江河试,测试结果表明,该自制浊度仪能够用于水下浊度的现场测试。

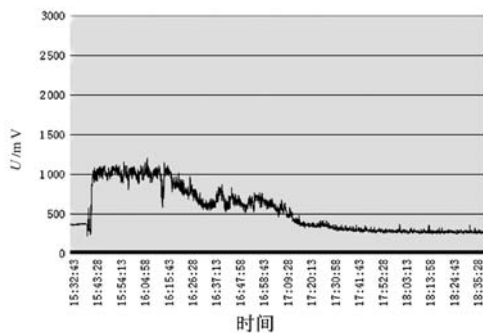


图5 钱塘江浊度测试

6 结束语

基于国内浊度仪发展现状,针对水下长时间浊度数据采集的问题,笔者设计研制了一种水下低功耗浊度仪系统。

(1) 基于低功耗的设计原则,笔者采用MSP430F149

单片机为主控制器,对其电路进行了精心设计,经过分析、优化,其电池能量足够提供系统在水下工作20天。

(2) 基于水深6 000 m的设计要求,系统能够承受高压,具有高的密封性能。本研所得到的装置体积小、质量轻,便携易用。

(3) 本研究对所研发的浊度仪系统在钱塘江进行了河试,试验结果表明该浊度仪能够用于水下浊度的测试。

参考文献(References):

- [1] 薛元忠,许卫东. 光学后向散射浊度仪简介及应用研究[J]. 海洋工程,2001,19(2):79-84.
- [2] 罗荣芳. 基于Cygnal单片机便携式浊度仪设计[D]. 吉林:东北电力大学自动化学院,2008.
- [3] 梅 玫,黄 勇. 水体中浊度测定方法的研究进展[J]. 广东化工,2012,39(9):158-159.
- [4] 沈建华,杨艳琴. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 杨 建. 散射光式水下在线浊度仪的研究与设计[D]. 上海:上海交通大学自动化系,2007.
- [6] 刘仲明. 深海浊度探头及其信号处理技术研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学系,2005.
- [7] 杨 微,秦华伟. 基于MSP430的深海低功耗数据采集系统[J]. 机电工程,2009,26(5):16-19.
- [8] 盛 强. 散射光式浊度仪及信号处理的研究[D]. 太原:太原理工大学信息工程学院,2007.
- [9] 秦华伟,杜加友,杨 微. 水下低功耗数据采集器设计[J]. 杭州电子科技大学学报,2007,27(3):63-66.
- [10] 黄伟莉,张帮亮,杨风华. 新型标准浊度液的研制[J]. 茂名学院学报,2010,20(4):7-10.

[编辑:张 翔]