

文章编号:1002-4026(2011)01-0010-06

基于 ARM 的海水总有机碳含量现场分析仪的硬件设计

马然,程岩,任国兴,刘岩

(山东省海洋环境监测技术重点实验室,山东省科学院海洋仪器仪表研究所,山东 青岛 266001)

摘要:针对海洋生态调查对海水总有机碳含量(TOC)的要求,研制了一种基于化学发光法检测海水 TOC 值的现场分析仪。该仪器硬件基于 SOC 技术,采用 ARM 架构 S3C2440 微处理器,嵌入 Windows CE 操作系统。经过多次海试测量验证,该分析仪在保证测量精度的前提下,提高了测量速度,具有很好的现场应用性。

关键词:TOC 现场分析仪;ARM 架构;Windows CE 嵌入式操作系统;光电倍增管

中图分类号:TP391.8 文献标识码:A

Hardware design of ARM architecture based TOC online seawater analyzer

MA Ran, CHENG Yan, REN Guo-xing, LIU Yan

(Shandong Provincial Key Laboratory of Ocean Environment Monitoring Technology, Institute of Oceanographic Instrumentation, Shandong Academy of Sciences, Qingdao 266001, China)

Abstract: We developed a chemiluminescence based total organic carbon (TOC) online seawater analyzer for the requirement of ocean ecological investigation to TOC. This instrument is based on SOC technology, and includes an ARM instruction set based microprocessor S3C2440 and an embedded Windows CE operating system. A vast number of online tests show that this analyzer can guarantee not only measurement precision but also higher measurement speed, so it has better application potency.

Key words: TOC online analyzer; ARM architecture; Windows CE Embedded OS; PMT

海水总有机碳含量(TOC)是海水中有机物含量的综合指标,是海洋环境监测所需的重要数据之一。目前我国海洋环境污染日趋严重,现有的基于实验室的测量方法远远不能满足当前海洋环境监测的需求。因此,研制开发具备现场、快速、自动分析功能的海水 TOC 现场分析仪势在必行,这也是海洋生态分析技术的发展方向和趋势。

在国家 863 计划的支持下,通过自主开发的海水臭氧氧化发光现场分析技术^[1],本实验室项目组研制成功了基于 ARM 的臭氧氧化发光法检测海水总有机碳含量(TOC)现场分析仪(以下简称海水 TOC 现场分析仪)。本文介绍了该分析仪的实现原理、嵌入式硬件架构的设计和海试现场的测试结果。大量实验数据表明,该分析仪具有可靠性高、测量快速、结果准确等特点。

收稿日期:2010-07-06

基金项目:国家高技术研究与发展计划(863)项目(2007AA09210111)

作者简介:马然(1983-),男,助理研究员,硕士,研究方向为嵌入式技术与智能仪器仪表,Email:maxouc@yahoo.cn

1 设计方案

1.1 实现原理

海水 TOC 现场分析仪是依据检测臭氧氧化有机碳发光量大小的原理进行设计的。首先将待测海水加热到预定温度 45 °C,从而破坏大部分藻类细胞,将其分解为有机碳;然后通过半导体制冷模块使海水降温到 20 °C,以避免光电倍增管(PMT)因高温产生过多暗电流^[2];最后通过水泵,将处理好的海水送入反应室。臭氧通过臭氧发生器对空气高压放电产生,经过气泵,送入反应室。

在反应室中,海水中的有机碳经臭氧氧化之后便能够发光,通过 PMT 检测发光量的大小判断有机碳的含量。这里需注意的是 PMT 需要保持尽可能低的工作温度^[3],采用半导体制冷可将温度控制在 10 °C 以下。

海水经反应室反应之后连接一个 2 进 1 出的电磁阀,将海水排出。该电磁阀的作用是,一旦反应室内海水与臭氧反应达到一个平衡值且持续一段时间(称为基线测量),则切换电磁阀将海水直接切走,利用反应室内剩余的海水进行反应,直到预设的最小值,然后再将电磁阀切换回来,继续下一轮基线测量。这样便得出一组动态曲线,利用电压与 TOC 值的关系系数进行均方差运算进而得出所求的 TOC 值。

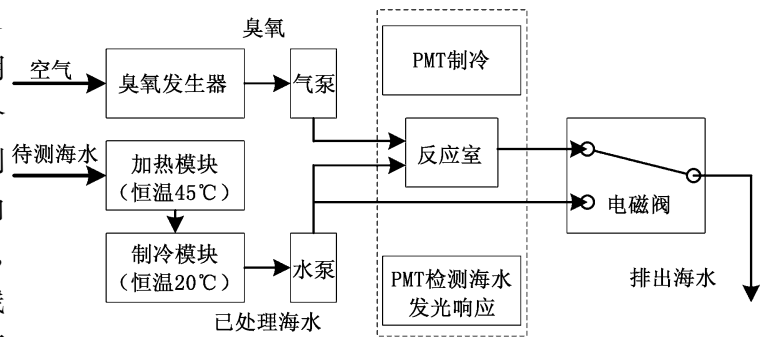


图 1 TOC 现场分析仪的实现原理

Fig. 1 The realization principle of TOC local analyzer

整套系统的样品流程采用全管路设计,除反应室外无任何腔体,因此加快了测量速度。实现原理如图 1 所示。

1.2 总体设计思路

海水 TOC 现场分析仪是一款能够实时显示测量数据以及多条测量曲线的船载分析仪器,设计的要求是可靠性高、测量准确、实时性强且操作简单。考虑到以上因素,同时为了缩短开发周期及成本,硬件上我们采用 ARM9 核心板 + 外设电路及其他设备的方式。配套的嵌入式操作系统选择最新的 Windows Embedded CE 6.0,相比其他嵌入式操作系统具有稳定性高、开发速度快、图形显示功能强等特点。

硬件上,6 层核心板包括 MCU、FLASH、SDRAM 等维持最小系统所必须的电路。底板采用双面板,主要包括信号采集、供电、控制、通信、显示等模块。

软件上,WinCE 内核在裁剪时,尽可能地精简对本设计没有用处的组件,例如:影音播放、网络等功能的组件。而关键部分,包括硬件驱动、应用程序则要写入系统镜像中^[4]。

按照以上要求设计的总体方案见图 2。

总体方案采用模块化和分层设计,在具体设计开发过程中软硬件同时分工设计,大大缩短了开发时间。

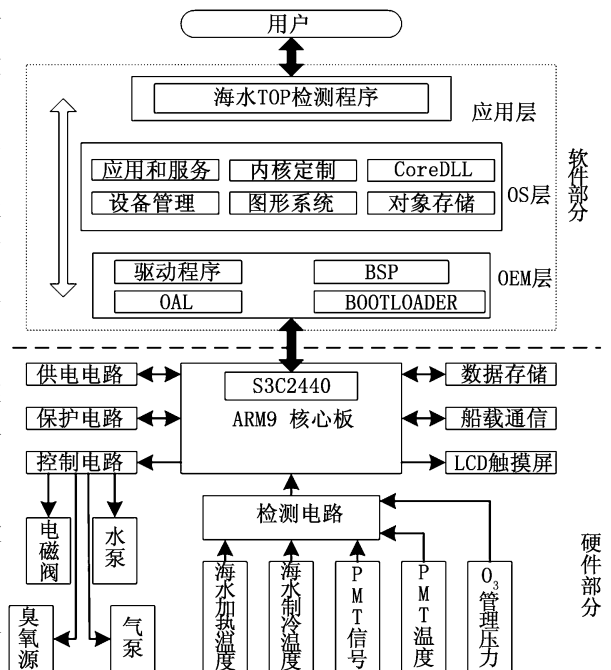


图 2 总体设计方案

Fig. 2 The total scheme of design

2 硬件平台设计

按照执行的功能不同,硬件平台设计被分为4个模块:核心电路、数据存储、信号采集传输和控制。整体硬件平台的详细结构框图如图3所示。

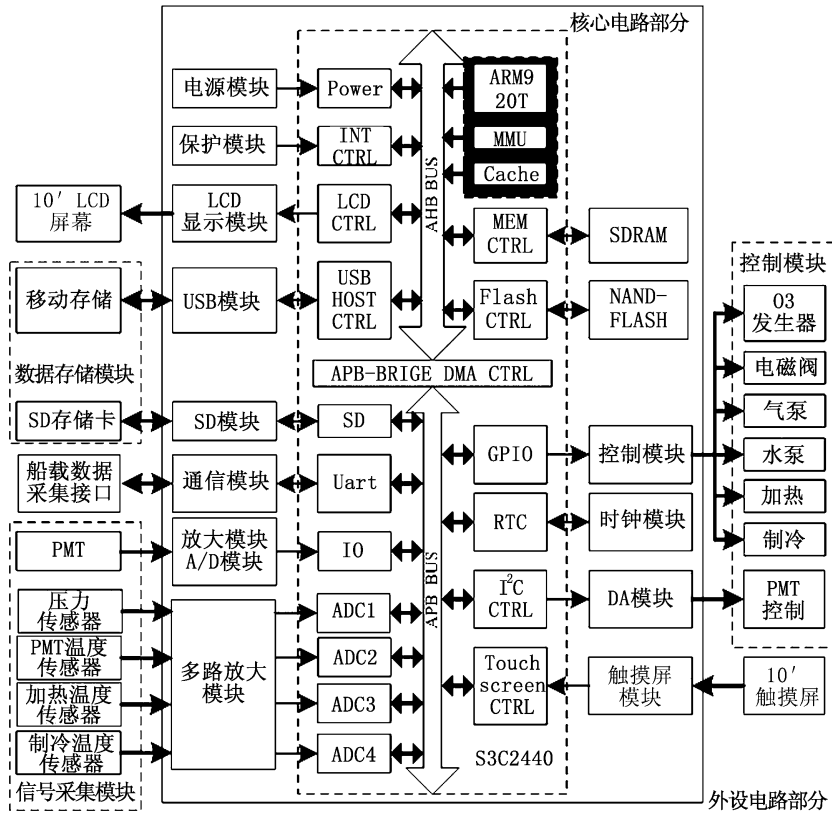


图3 硬件平台设计方案

Fig.3 The hardware scheme of design

各个模块的设计方案:

(1)核心电路部分:核心电路主要包括主处理芯片 S3C2440、FLASH、SDRAM、电源供电、LCD 显示及其他相关辅助硬件电路。

整个系统的核心处理器采用三星公司的 ARM9 芯片 S3C2440:主频 400 MHz,核心 ARM920T,集成 LCD 控制、8 路 10 位 A/D、4 通道 DMA、3 通道 UART 等丰富的接口,具有很强的扩展性^[5]。核心板上还包括 64 M 的 SDRAM、256 M 的 NANDFLASH、12 MHz 的晶振。

整个电路的供电系统包括 +24 V DC 功率控制,±12 V DC 选用 MORNSUN 公司的稳压型直流电源芯片 IA2412S 专门为 PMT 供电,+5 V DC 选用 LM2576 给主板绝大部分芯片供电,+1.8 V DC 和 +3.3 V DC 选用 LM1117 为 ARM 处理器供电,+1.2V DC 选用精密参考电源 LM4041A-1.2 专为模拟信号处理提供基准电源电压。

LCD 采用群创光电的 10.4 英寸 TFT 液晶屏 G104X1-L04,24 位色,由于 2440 芯片中集成了 LCD 控制器,所以不需要复杂的相关外设电路。

(2)数据存储模块:S3C2440 的存储控制器提供了访问外部存储器的控制信号。2440 将外部存储空间分为 8 组,每个组大小为 128 M,并有相应的片选信号(外部地址为 27 位,所以每组存储器的地址空间为 128 M)。所有组都可以接 ROM、SRAM 等静态存储器,其中后两组还可以接 SDRAM 等动态存储器。而外部的数据存储主要包括 USB 模块和 SD 卡模块,这两种数据存储方式可进行大量数据的实时存储,以便科研人员将数据调出后进行实验室数据分析。

(3)信号采集传输模块:信号采集部分主要是传感器信号放大和 AD 模块,串口通信模块。

光电倍增管选用日本滨松光子学公司的 H5784-04, ±12 V 供电,精度为 1/10000,实验室条件下,阴极输出暗电流的电压大小为 0.4 mV。放大器选用 AD 公司的精密仪表放大器 AD620,特点是双极性电源供电,高精度,抗共模干扰强,最大放大倍数为 1000 倍。仪表放大器主要应用于医疗设备、音视频处理及精密测试仪器中,放大噪声环境中信源输出的微弱信号;AD 芯片选用 ADS7816,12 位精度,串行输出。具体 PMT 信号处理原理如图 4 所示。

其他温度传感器和压力传感器因对测量数据仅起到辅助作用,因此只是选用一些低精度的传感器,这里不再赘述。

通信接口芯片采用 MAX232,可将采样信号实时传输给船载监视设备。

(4)控制模块:控制部分主要是通过 GPIO 及 I²C 总线控制外设器件。

本套系统中有水泵、气泵、电磁阀等设备,均是电磁线圈和功率部分,因此在电路设计上要在每个功率器件接口处并联一个续流二极管,以防止反向电动势对系统供电产生影响。

由于仪器中大部分功率器件都是 24 V 供电,所以在控制电路中避免使用电磁继电器,而采用 MOS 管 + 三极管的开关方式。当控制信号为低电平时,三极管基极电平 < 0.3 V,集电极和发射极无法导通,因此 MOS 管的源极电压为低,MOS 管未导通,功率输出引脚输出低电平;而当 MCU 输出高电平控制信号时,三极管导通,进而控制 MOS 管导通,功率输出为 24 V 电平。控制模块原理图如图 5 所示。

这样设计的优点一是减少电路板的体积,精简器件;二是缩短由于电磁继电器机械触点的吸合而产生的延迟;三是增强电路的稳定性,减少 EMI 干扰。

而加热系统和臭氧发生器是采用 220 V 交流供电,这里采用过零型固态继电器进行控制,因为加热控制是通过 PWM 方式进行 PID 闭环控制,为使得加热系统出水温度稳定在 45 °C,所以不能选用延迟非常严重的电磁继电器。

同时在控制电路中加入了过流保护电路,例如,一旦电机发生堵转,电流瞬间大幅度增加,系统会自动关闭相应电机的供电以保证电路的安全。

I²C 总线通过 DA 芯片 MAX518 控制光电倍增管的控制电压,为了使得测量准确,同时信号大小合适,通常光电倍增管的控制电压维持在 0.8 V,通过 I²C 总线可以很方便地用软件实现控制电压的调整,PMT 控制原理见图 4。

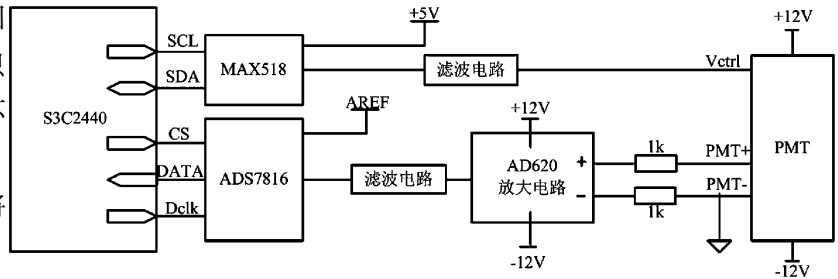


图 4 PMT 信号处理及控制原理图

Fig. 4 The scheme of PMT signal disposal & control

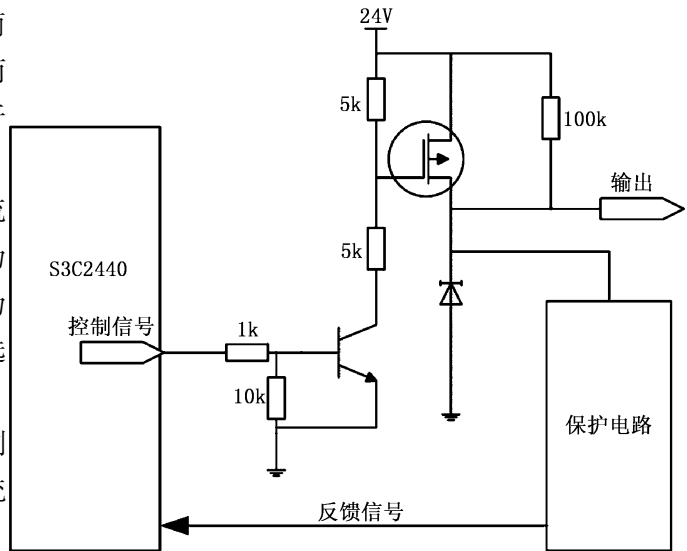


图 5 控制模块部分原理图

Fig. 5 The scheme of the control module

3 现场测试

通过东方红 2 号实验船进行了 2010 年春季海试,该分析仪在黄海、东海、南海和西太平洋各海域进行了全方位的测量,得出了大量极具科研意义的现场测量数据,因篇幅原因,现仅列出部分现场数据曲线和现场

工作照片,见图6和图7。

图6中,右侧的仪器是目前新研制的第二版 TOC 现场分析仪,采用嵌入式系统和一体化设计;而左侧是第一版 TOC 分析仪,需搭配外部工作站观测数据。背景环境为东方红2号4#实验舱。



图6 仪器现场工作情况

Fig.6 The fieldwork photo of the instrument

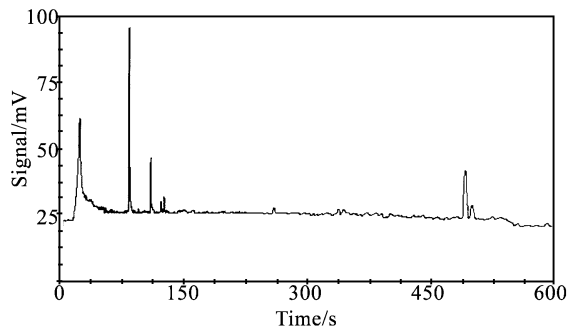


图7 现场样品监测曲线

Fig.7 The survey data curve of fieldwork sample

图7中显示的是基线测量曲线,测量时间2010-03-23-11:41,经纬度 $18^{\circ}59.972'N$ $119^{\circ}19.996'E$,实测电压基础值为20.2 mV,经换算得 TOC 值为0.56 mg/L,曲线中毛刺部分是藻类等单细胞生物,本次测量未开启海水加热系统。其他部分测量数据如表1所示。

表1 第二航段站位测量的部分 TOC 数据

Table 1 A part of the TOC data in the second voyage station survey

序号	时间	经度	纬度	TOC 测量值/ (mg/L)
1	2010.3.14 9:12	$118^{\circ}26.056'E$	$22^{\circ}10.338'N$	0.57
2	2010.3.14 20:00	$118^{\circ}31.230'E$	$22^{\circ}03.133'N$	0.53
3	2010.3.18 8:00	$120^{\circ}29.670'E$	$18^{\circ}49.871'N$	0.67
4	2010.3.18 14:00	$120^{\circ}29.352'E$	$19^{\circ}05.083'N$	0.48
5	2010.3.19 12:09	$120^{\circ}28.675'E$	$19^{\circ}21.357'N$	0.65
6	2010.3.19 17:13	$120^{\circ}30.221'E$	$19^{\circ}59.986'N$	0.45
7	2010.3.19 20:36	$120^{\circ}29.845'E$	$20^{\circ}20.016'N$	0.43
8	2010.3.20 2:18	$120^{\circ}29.907'E$	$21^{\circ}00.127'N$	0.48
9	2010.3.20 11:53	$120^{\circ}14.999'E$	$21^{\circ}03.751'N$	0.54

大量实验数据证明:在春季相比我国其他海域,南海的大部分水域藻类含量较少,TOC 值偏低,且相对稳定。

4 总结与展望

综上所述,基于 ARM 的海水 TOC 现场分析仪的优势在于结合了 Windows CE 6.0 强大和稳定的处理能力,通过动态曲线比对原理,在保证测量精度的前提下,大大提高了测量速度。这些优势提升了分析仪在该领域中的竞争力,具有广阔的发展前景。

目前该项目正处于科研样机阶段,今后面向产品化仍有很多工作要做。例如:(1)优化降低系统的功耗,在各个设备驱动中添加电源管理支持,使设备的功耗更低;(2)经过大量现场稳定性测试,增强检验仪器工作的稳定性;(3)通过进一步优化电路和代码,提高系统的性能等等。相信经过我们对该项目的继续深入研究和改进,在不久的将来能够实现产品化。

参考文献:

- [1]刘岩,白强,侯广利,等. 臭氧法海水化学需氧量(COD)现场快速分析技术研究[J]. 海洋环境科学. 2008, 27(2):182-185.
- [2]武兴建,吴金宏. 光电倍增管原理、特性与应用[J]. 国外电子元器件,2001(08):13-17.
- [3]郭从良,孙金军,方容川,等. 光电倍增管的噪声分析和建模[J]. 光子技术. 2003, 29(5):636-640.
- [4]张冬泉,谭南林,王雪梅,等. Windows CE 实用开发技术[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [5]SAMSUNG Electronics. User's manual S3C2440A-200MHZ & 266MHZ 32-bit risc microprocessor revision 1.0[DB/OL]. [2010-06-08]. <http://pdfdata.datasheetsite.com/pdf/Samsung/S3C2410A.pdf>

参考文献类型及其标识

1. 根据 GB3469 规定,以单字母方式标识以下各种参考文献类型:

参考文献 类型	普通 图书	会议 论文	期刊 文章	学位 论文	报 告	标 准	专 利	汇 编	参考 工具
文献类型 标识	M	C	J	D	R	S	P	G	K

2. 对于其他未说明的文献类型,建议采用单字母“Z”。

3. 对于数据库(database)、计算机程序(computer program)及电子公告(electronic bulletin board)等电子文献类型的参考文献,建议以下列双字母作为标识:

电子参考文献类型	数据库	计算机程序	电子公告
电子文献类型标识	DB	CP	EB

4. 电子文献的载体类型及其标识

对于非纸张型载体的电子文献,当被引用为参考文献时需在参考文献类型标识中同时标明其载体类型。采用双字母表示电子文献载体类型:联机网络(online)—OL,并以[文献类型标识/载体类型标识]表示包括了文献载体类型的参考文献类型标识:

如:[J/OL]—网上期刊;[DB/OL]—联机网上数据库;[EB/OL]—网上电子公告。