

# 基于MSP430的ROV舰艇阴极保护电位测量系统

王小伟<sup>1</sup>, 金牡丹<sup>2</sup>

(1. 海军装备技术研究所 上海研究室, 上海 200083; 2. 91287 部队 舰载系统处, 上海 200083)

**摘要:** 文章介绍了一种新型的可用于水下机器人 (ROV) 的舰船水下电位测量系统的设计与实现, 文章给出了系统的工作原理、系统结构、电路和软件实现方法。

**关键词:** 水下船体; 阴极保护; 状态监测; 嵌入式系统

**中图分类号:** TP39, U672 **文献标识码:** C **文章编号:** 1001-8328 (2006) S1-0011-03

**Abstract:** A new type of ship underwater cathodic protection voltage measurement system for ROV is put forward. This article describes the systems principle, architecture, electric circuit implement and software implement.

**Key words:** underwater ship hull; cathodic protection; condition monitor; embedded system

## 1 概述

舰船因为船体腐蚀, 壳体变薄, 以致发生水线以下局部腐蚀穿孔而漏油、漏水, 往往不到修理时间而被迫停航, 提前安排修理的现象时有发生。不仅花费大量人力、物力、财力, 而且严重影响了舰船的在航率和战斗力。随着对以可靠性为中心的现代维修理论的重视和应用, 海军的修理体制逐渐向基于状态的维修 (CBM) 方式转变。为了保护船体水下部位及其附体免受海水腐蚀, 主要采用外加电流阴极保护法 (ICCP) 和牺牲阳极保护法。当舰船的阴极保护系统工作时, 水下船体及其附体处于受保护状态, 船体不会受到电化学腐蚀。为了及时了解船体的情况, 需要对舰船的阴极保护电位进行定期检测。水下机器人 (ROV) 携带仪器观察、测量和检查水下船体、附件, 在发达国家已经得到应用, 成为水下检测技术发展的方向之一。

## 2 系统工作原理

对水下船体和其他钢质结构体的电位测量一般是用参比电极作为传感器 (测量方法如图 1 所示), 常用的有银-氯化银参比电极和铜-硫酸铜参比电极, 对于同一船体电位两种参比电极之间有

一个差值, 他们的换算关系为:  $E_{\text{银-氯化银}} = E_{\text{铜-硫酸铜}} + 0.05 \text{ V}$ ; 银-氯化银参比电极携带方便、不易极化、性能稳定, 是 GB/T7387-1999 规定的水下电位测量参比电极, 在现场测量中使用普遍。

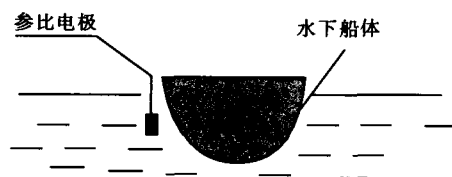


图1 船体电位测量方法示意图

ROV 以其经济、安全、作业深度大, 能在比较恶劣的海况下从事作业等优点, 部分替代了潜水员的水下工作, 受到人们的广泛青睐, ROV 水下无损检测技术在国外开始得到应用。对人有危险的场合, 如水下射线探伤和大深度检测, ROV 是一个理想的平台。ROV 检测技术为水下结构的检验提供了一种新的手段, 进一步完善、丰富和发展了水下无损检测技术。

ROV 只是一个水下平台, 要完成水下检测修理等作业需要相应的工具和仪器来完成功能。ROV 完成水下保护电位测量需要将参比电极作为传感探头安装在 ROV 上, 探头将电位信号传入电位测量

**作者简介:** 王小伟 (1974-), 男, 重庆市人, 工程师, 在读博士研究生, 主要从事装备维修、嵌入式系统、计算机测控、水下检测研究; 金牡丹 (1977-), 女, 浙江金华人, 助理工程师, 大学本科, 主要从事舰船电子装备维修研究。

仪器内,有仪器来完成电位的测量与数据处理。

### 3 系统结构

根据水下 ROV 检测需求,参考国外 ROV 水下检测系统结构,我们提出了 ROV 水下电位测量系统的总体结构。整个系统分为水下和水面两部分。水下测量部分是本测量系统的主要部分,包括电位信号的输入、信号调理、模数转换、单片机,数据传输模块组成。信号调理模块主要是对输入的电位信号进行滤波,过滤掉噪声信号。模数转换是将输入的模拟信号转换成便于存储、处理和传输的数字信号。单片机主要是对数字进行滤波,将确定信号写入单片机存储器,并控制信号的传输。水面部分,主要是接收水下来传的数据,控制数据的显示、存储、打印,并具有一定的人工智能,能够根据数据进行分析,并给出提示、建议或报警。还具有系统自诊断功能,能够对系统自身模块、传输线路等进行诊断。还能够把测量位置和数据记录在一起,便于分析保护电位的分布情况。

水面部分放置于工作母船或者码头上,水下部分随着 ROV 与探头一起在水下测量船体或者其他水下钢结构的保护电位,如图 2 所示。

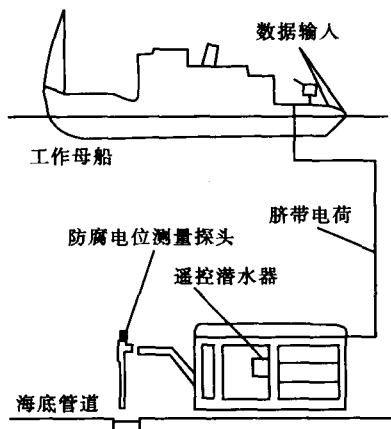


图 2 ROV 水下电位检测系统示意图

### 4 电位测量仪器电路设计

基于单片机的嵌入式水下电位测量系统的水下部分实际上是电位测量仪器,主要由单片机、电压信号检测/调理/数模转换、数据存储电路串行通讯接口电路、CPU 监控电路和电源等部分组成一个嵌入式低功耗单片机系统,系统方案见图 3 所示。

CPU 为测量仪器的核心,由于 MSP430 系列是

一个超低功耗的单片机、可靠性高、该系列将大量外围期间整合到片内,便于开发,是仪器以表处理器的主流产品,因此我们选用了 MSP430F149 这款单片机作为我们电位仪的 CPU。MSP430F149 是 16 位的体系结构,寄存器和常数发生器,可使 MSP430 实现了最大化的代码效率。

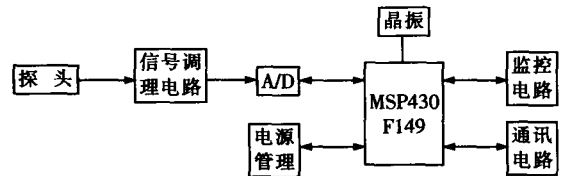


图 3 水下电位测量仪电路框图

由于检测的对象是水下船体阴极保护电压,而该电压值在阴极保护系统正常工作时,电压在 0.80 ~ 0.90 V (相对于 Al - AgCl 参比电极),电压值的变化范围是 -2 ~ +2 V,而且电流很小,受检测信号变化频率低,对仪器冲击可以忽略。因此检测信号经过电容滤波后直接加到 A/D 转换电路输入端。仪器的指标要求精度是 10 mV,即 0.01 V,测量范围是 -2 ~ +2 V,那么  $(4/400 = 0.01 V)$ ,  $2^9 = 512 > 400$ ,故 A/D 转换电路至少是 9 位,由于信号变化范围是 -2 ~ +2,所以需要双极性 A/D。

MAXIM 公司 1494 是低功耗、4 位半模数转换器 ADC,集成了 LCD 驱动器,工作在 2.7 V 至 5.25 V 单电源下。这些器件内部包括内部基准、高精度片上振荡器,以及多路复用的 LED 显示驱动器。单电源工作时,内部电荷泵可以产生负电源,用来为集成输入缓冲器供电。ADC 可以配置成  $\pm 2 V$  或  $\pm 200 mV$  的输入范围,转换结果可以输出给 LCD 或微控制器 ( $\mu C$ )。 $\mu C$  通讯可以通过 SPITM/QSPITM/MICROWIRE™ 兼容的串口实现。MAX1494 不需要外部的精密积分电容、自动调零电容、晶振、电荷泵及其它双斜率 ADC (普遍用于面板式仪表) 需要的电路。这些器件还为差分信号和基准输入提供了片上缓冲器,可以与高阻信号源直接接口。另外,这些器件采用连续的内部失调校准,提供 >100 dB 的 50 Hz 和 60 Hz 电源噪声抑制。其他特性包括数据保持、峰值检测、超量程与欠量程检测,以及用户可编程的低电池电压监视器。所以 MAX1494 是水下电位测量仪器模数转换的理想选择,因此我们选择它,图 4 是它引脚分布图。

由于电位测得的电位数据除了存储在其内部 Flash 中外, 还要水面上实时观察和分析数据, 因此需要将测量结构传输到水面, 由于数据量不是很大, 串行通讯协议的带宽满足我们的要求。但是由于传输距离大于 15 m, 不能简单地用 RS-232 协议直接通讯, 我们需要用 RS-485 (RS-485 传输距离大于 2 km) 协议, 我们采用了 MAX3483E 芯片来完成协议转换。

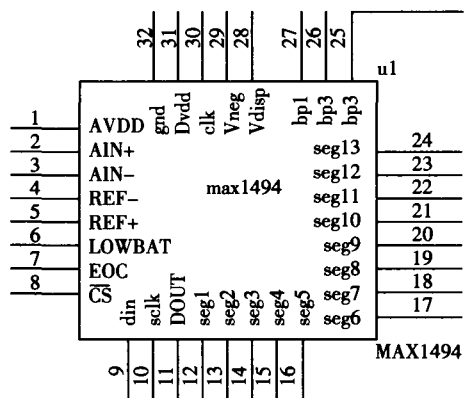


图 4 MAX1494 引脚分布图

### 5 系统软件设计

电测测量系统软件设计包括本机内固化的程序 (以下简称为电位仪程序) 及在 PC 机上运行的“水下电位测量仪数据采集与分析系统”程序设计。

水下电位测量仪程序包含有主程序、中断服务程序和功能性子程序等, 其组成框图如图 5 所示。

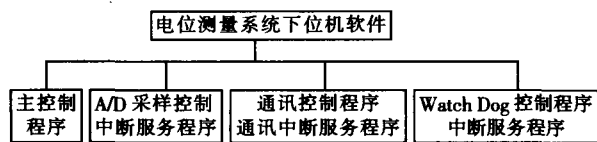


图 5 水下电位测量系统水下部分软件组成示意图

主程序主要完成内部 RAM、外部器件等的初始化工作, 数据采集与滤波, 与上位机通讯、执行上位机的命令等。中断服务程序包括 P0 端口中断服务程序和串行通讯接口 0 和串行通讯 1 中断服务程序。P0 中断服务程序主要负责输入端口控制。串行中断 1 服务程序完成水下电位测量仪与计算机进行通讯相关的全部操作, 如接收指令, 对水下电位测量仪参数进行设置、将记录数据上传给计算机等。串行中断 0 主要负责与 SPI 接口的 A/D 转换

器之间通信, 设置 A/D 转换器、读取 A/D 转换器状态 and A/D 转换结果。水下电位测量仪数据采集与分析系统是运行在 PC 机上 WINDOWS XP 环境下的一个应用程序。其主要功能是在水下电位测量仪中所保存阴极保护电位测数据采集到 PC 机上来, 并可对其进行存档和处理分析, 以便对阴极保护系统的工作状况进行判断。在水下电位测量仪数据采集子程序中, PC 机将根据通讯协议向水下电位测量仪发送数据读取命令, 此后将接收并以表格形式显示水下电位测量仪传送过来的全部记录数据。在数据表格中填写检测位置的坐标, 如肋骨号、水深, 每一个检测点测量 5 个电位数据, 取平均值。整条船阴极保护电位数据测量完成后, 电位的分布图形, 其组成框图如图 6 所示。

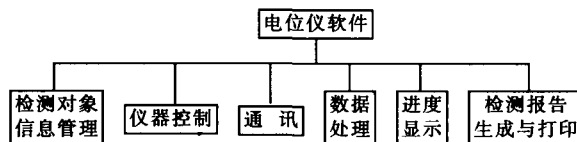


图 6 电位测量系统上位机软件组成框图

### 6 结论

基于 ROV 的水下电位测量仪不仅可以用于一般水下金属材料的电位检测, 还可以用于阴极保护 (外加电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护) 后金属材料保护电位的精确测定, 而且有利于阴极保护方案的合理设计和布置。

我们研制的基于 ROV 的水下电位测量系统通过了水密试验、基本性能试验与精度测试, 已通过技术鉴定, 能够测量并记录水下保护电位的数据, 并能够根据检测结果自动分析、自动生成检测报告。其主要技术性能指标: 工作深度: 0~100 m; 仪器测量精度: ±10 mV; 测量范围: -2~+2 V; 数据传输速度: 9 600 bps; 使用温度: 0~50 °C; 适合水下机器人和潜水员用; 能够进行数据存储、数据打印、数据传输, 自动分析监测数据、生成检测报告。

#### 参考文献

[1] 王小伟, 张文瑶. 无损检测技术及其在舰船水下维修中的应用 [J]. 中国修船, 2004, (1).  
 [2] 蒋安之, 程志虎. 遥控潜水器检测技术 [J]. 无损检测, 1998, (6).

收稿日期: 2006-05