

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.03.004

适用于水下滑翔器的 CTD 传感器设计

吕 斌^{1,2}, 宋文杰^{1,2*}, 刘 鹏^{1,2}, 刘 杰^{1,2}, 贺海靖^{1,2}, 吴承璇^{1,2}, 高金龙^{1,2}

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266001;

2. 山东省海洋环境监测技术重点实验室, 山东 青岛 266001)

摘 要:为满足水下滑翔器连续获取海洋剖面水文动力高质量数据的应用需求,利用自主研发的电磁感应式电导率传感器,集成快速响应的热敏电阻与压力传感器,以 PIC18F2520 单片机为电路系统的核心控制器,设计出一种适用于水下滑翔器搭载的微型化、低功耗、重量轻的 SZQ1-1 新型 CTD 传感器。该 CTD 测量仪经实验室多次标定,数据质量达到海试要求。2016 年 10 月,该 CTD 传感器与海鸟 SBE19 Plus 在青岛胶州湾进行了海试比测。海试结果证明,该 CTD 传感器与 SBE19 Plus 测量结果相近,实时获取的温、盐、深剖面数据精度满足水下滑翔器的搭载要求。

关键词:CTD 传感器; 水下滑翔器; 温度测量; 深度测量; 电导率测量

中图分类号:TP212

文献标志码:A

文章编号:1003-2029(2019)03-0021-07

海水的电导率(Conductivity)、温度(Temperature)、深度(Depth),即 CTD 测量技术是研究、利用海洋的关键技术之一,其技术研究在海洋科学调查、资源开发利用、国际海洋合作研究以及军事海洋学应用等方面有着重大的意义^[1]。温盐深(CTD)传感器作为重要的水文调查工具,可获取海洋物理学环境参数,对海洋物理学在环境、流场及水动力等方面的研究提供重要的温、盐、深等基础性数据^[2-3]。水下滑翔器是将浮标潜标技术与传统水下机器人技术相结合而产生的一种新型水下机器人^[4]。与传统水下机器人相比,它具有能耗低和对母船依赖小等突出优点,可以用于远距离、大范围、长时间海洋环境测量和监测,也可于雷区探测和海域监视。与浮标和潜标相比,水下滑翔器具有优越的机动性、可控性和实时性,可以完成沿垂直剖面 and 水平剖面的大尺度海洋环境测量和监测作业^[5]。水下滑翔器可搭载多种传感器外设,其中获取温、盐、深基本的海洋动力参数,是水下滑翔器实际应用最基本的需求^[6]。目前市面上现有的 CTD 传感器在功耗、体积及性能稳定性方面无法适用水下滑翔器的搭载需求。

目前国内外研制的水下滑翔器搭载的 CTD 传感器多为电极式电导率传感器,其电导池多为两电极、三电极、四电极或七电极构成,具有响应时间快,抗电磁干扰强等优点,但存在长期使用电极出现极化效应,且不易清洗等缺点^[7-8]。而感应式电导率传感器在抗海洋生物污染方面相对电极式拥有先天优势,并具有尺寸短、孔径大、易清洗、易维护等性能^[9]。美国伍兹霍尔海洋研究所 Raymond 和 Robert 于 2006 年研制的一种新型四电极 CTD 传感器经有限元建模与积分法测试,可有效地降低传感器阻抗以提高水下滑翔器滑翔性能,其电导池可以快速清洗,低流体动力阻力的优点^[10]。美国海鸟公司的 Carol 于 2011 年介绍了一种搭载于水下滑翔器的 CTD 传感器具有模块化、低功耗的优点,流经电导池的流量可以精确控制^[11]。随着 CTD 传感器技术的发展,水下滑翔机还可以搭载有泵的 CTD,以控制与增强被测海水在电导池中的流动性^[12-13]。意大利北约海洋研究和实验中心 Alberto 等学者于 2013 年通过对水下滑翔机搭载有泵和无泵两种 CTD 的比测海试,证明有泵的 CTD 传感器可以获取更高精

收稿日期:2019-01-03

基金项目:山东省重点研发计划资助项目(2017GHY15130);海洋公益性行业科研专项经费资助项目(201205035)

作者简介:吕斌(1980-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为深远海探测与海洋调查装备技术。E-mail:lvbin20031@163.com

通讯作者:宋文杰(1971-),男,应用研究员,主要研究领域为海洋调查仪器装备技术。E-mail:song060@sina.com

度的盐度数据,更适用于近海表层海水测定,但高精度的数据获取受限于水下滑翔器平台的运动速度^[14]。

国内针对适用于水下滑翔机的温盐深测量技术相关研究也取得了一定的进展。2014 年 9 月至 10 月中国科学院沈阳自动化研究所“海翼号”水下滑翔机完成南海多滑翔机同步区域覆盖观测试验,获得了 229 个 1 000 m 温盐深剖面观测数据,经数据分析,揭示了两次海洋上层水体混合层变冷现象^[15]。2015 年天津大学 Petrel II 型水下滑翔机搭载海鸟公司的 UCTD 在台湾浅滩以东海区域进行环境监测,通过分析温盐深数据捕捉到南海孤立波,并获得了孤立波的振幅、周期等重要特征^[16]。

综上所述,为解决国内现有技术不足,本文介绍了一种新型适用于水下滑翔器的 CTD 传感器的研制过程,所研制的 CTD 传感器在微型化、低功耗、重量轻等方面有所创新与突破,可作为水下滑翔器的主要搭载仪器,实时连续测量温、盐、深海洋动力参数。CTD 传感器还可根据上位机控制指令,设定系统时钟、数据采样时间,进行系统休眠与唤醒,提供后备存储数据,与其它仪器设备进行数据交换。

1 温盐深传感器微型化减重结构设计

微型化 CTD 传感器总体结构包括传感器前端盖、耐压舱体、后端盖、内部电路系统及水密连接器几大部分。其中,前端盖集成有热敏电阻、压力传感器及电导率传感器探头。端盖结构设计中,将电导率传感器置于端盖中间位置,温度传感器与压力传感器分置两侧。使 3 个传感器探头分布紧凑、外型美观。CTD 传感器耐压舱体内部设有电路板安装支架,主控电路板与电导率信号处理电路板安装在支架上。传感器后端盖体与五芯水密连接器进行硫化,与水下滑翔器对应接口进行连接,适用于水下滑翔器的 CTD 传感器实物图如图 1 所示。



图 1 CTD 传感器实物图

Fig.1 The actual photo of CTD sensor

该 CTD 传感器体积小,传感器端盖内径 45 mm,密封壳体外径 49 mm,五芯水密接头外露尺寸长 20 mm,密封壳体长 145 mm,传感器探头最长 50 mm。在其整体机械机构设计的基础上,重点解决传感器重量轻的问题。CTD 传感器耐压壳体与端盖均采用不锈钢 316L,电导率磁环封装采用工程塑料以降低仪器重量。传感器内部结构紧凑,减少不必要的系统冗余,热敏电阻、压力传感器及电导率传感器的导线与电路板直接焊接,并加支架进行固定,端盖设有 O 型圈,与密封壳体紧密连接,整个仪器重量为 920 g,去掉传感器耐压壳体,在非水密设计状态下,仪器仅重 460 g。

2 微型化集成温盐深传感器设计

2.1 温度传感器设计

目前,CTD 剖面仪的温度传感器,广泛采用的是热敏电阻或者铂电阻^[17]。热敏电阻的阻值较大,灵敏度高,温度的传输函数为指数线性,易于制作,一般为珠状或片状。铂电阻最大特点是温度的传输函数是线性,铂的性能稳定。缺点是同样尺寸的铂电阻阻值比热敏电阻小,精度和稳定性两者相差无几^[18-19]。根据两种传感器的特点,考虑到海水的特性及测温方便性,我们选用灵敏度高,易于制作的热敏电阻,并带有不锈钢螺纹封装,有利于密封耐压设计。

热敏电阻封装外壳材料采用不锈钢 316L,采用一体式封装,热敏电阻紧贴外壳,具有良好的导热性,不影响热敏电阻的技术指标。外壳中间设有 O 型圈凹槽,引出导线使用绝缘材料,如图 2 所示。



图 2 热敏电阻及封装外壳

Fig.2 Thermistor and its packaging housing

2.2 压力传感器设计

选用的压力传感器为 OEM 设计,该传感器直径在同类产品中尺寸较小。传感器是设计用在有腐蚀性介质恶劣环境中的高压的应用场合,适用于深海应用环境。此压力传感器有一个油绝缘外壳,带有温补和校准用的一体式陶瓷,内有质量成熟的压敏电阻半导体传感器芯片。此设计被原厂商大量实际应用证明性能极可靠、稳定和精确。该传感器有

一个焊接的套环和具有高循环寿命能力的特殊背支承环,可与电压或电流供电一起使用。

压力传感器外加不锈钢 316L 管螺纹封装,螺纹后端台阶加装 O 型圈。为降低功耗,压力传感器使用 5 V 弱电激励,对输出数据进行电路放大处理,如图 3 所示。

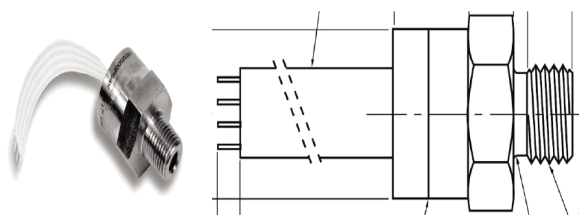


图 3 压力传感器及封装外壳

Fig.3 Pressure sensor and its packaging housing

2.3 电导率传感器设计

感应式电导率传感器的测量原理见图 4。将定频率的激励交流电源加在初级线圈上,在初级线圈圆周截面上感应到一个定频率的交流感应电动势^[20]。在此电动势的作用下周围的流体形成一个电流回路,其交流电流为 I ,则次级线圈感应到 I/m (m 为次级线圈匝数)的交流电流,通过整流放大电路可得到一个与流体电导率相关的交流电压信号,同时可消除次级线圈磁场特性影响^[21-22]。电导率信号处理电路还设有全波整流电路,它将初级线圈输出的参考信号进行整理,与放大电路输出电导率信号经比较处理电路运算,输出给主控电路板的 ADC,以进行电导率数据采集与处理。

为适用水下滑翔器测量电导率的需要,电导率传感器特采用流体式结构设计,感应式磁环灌塑设计出特制模具并整体密封,并加强非金属与金属件结合处的强度与耐压性能,如图 4 所示。

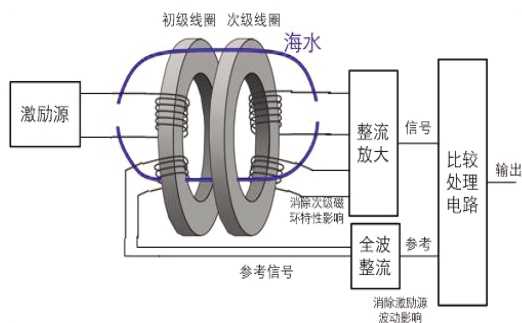


图 4 电导率传感器测量原理图

Fig.4 The Schematic diagram of conductivity sensor measurement

3 低功耗电路系统设计与试验

3.1 低功耗电路系统设计

由于水下滑翔器对 CTD 传感器的体积与功耗要求严格,因此我们重新设计了传感器的电路。CTD 传感器电路控制系统包括控制板和电导率信号处理板两部分。电路结构示意图如图 5 所示。

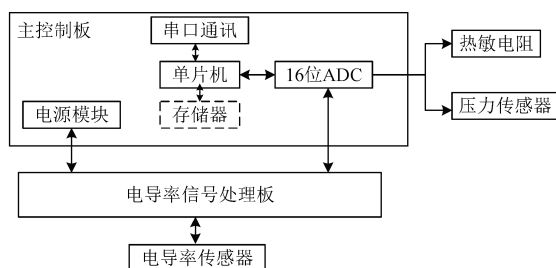


图 5 CTD 传感器电路结构示意图

Fig.5 The schematic diagram of sensor circuit structure

控制板是传感器信号采集处理核心控制单元,其主要资源包括:功耗管理性能良好的单片机,用于采集温度、盐度与深度的 16 位模数转换器,用于传感器与上位机通讯的 RS232 串口电路及必要的 LDO 稳压电路与参考电压电路。为降低系统功耗,且 CTD 传感器设计为直读式而非自容式传感器,去除 FLASH 存储电路与 RTC 时钟电路。

为降低系统功耗,微处理器共有五种运行模式可互相切换,根据不同系统任务,通过关闭 CPU、时钟源,可显著降低系统功耗,最小运行电流仅 $0.1 \mu A$ 。由于 CTD 按照预先设定的时间间隔间歇工作,故而,在系统运行过程中,除必需的数据采集工作和供电部分外,其余所有模块都断电或进入低功耗休眠模式,可显著提高单片机系统的运行周期且降低系统功耗。其它主要器件均选用低功耗器件,所有的贴片电阻电容在满足系统设计需求的基础上,均选用小功率 0603 封装模式。此外,主控电路板设有针对电导率信号处理板激励供电电源的开关电路,间歇式开启控制需要较大功耗的电导率传感器,以降低系统功耗。

为使水下滑翔器适用不同海况下的应用环境,在电路设计中增加电导率信号处理板的定位螺孔,改变原来舱体内 CTD 传感器主控板与电导率信号处理板扎条固定的方式,改用铍铜合金紧固件与接插件进行连接固定,大大提高了仪器抗振性能。在电路板没有空间增加时钟芯片的情况下,无法在每

个数据包中加时间,因此单片机程序通讯数据增加了序列号定时输出格式。

3.2 功耗试验

功耗实验采用青智公司型号 ZW1622A 的盘装直流电量表,测试 CTD 传感器的系统功耗,CTD 传感器满负荷累计消耗电量 296.9(A.s),工作时间累计 8 699 s,则计算出传感器的平均工作电流 34.13mA,满足水下滑翔器搭载要求。

4 CTD 传感器标定

4.1 温度传感器标定

温度传感器标测试验使用低温恒温槽,该设备底部带有强磁力搅拌,具有二级搅拌及循环系统,使槽内温度更为均匀,可单独做低温、恒温循环泵使用及提供恒温冷源。槽体温控表精度高,操作简便,具有 PID 整定功能,温度设定和测量温度均为数字显示,清晰直观。标定试验温度范围 $-5\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,分辨率 $0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验设备与原始数据曲线如图 6 所示, X 轴为电路控制系统 ADC 测得的模拟电压值, Y 轴为实测温度值。

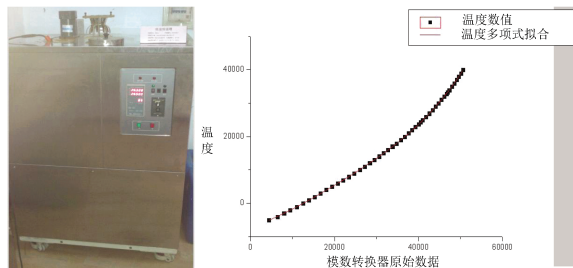


图 6 温度传感器标定试验与原始数据曲线

Fig.6 Temperature sensor calibration test and original data curve

4.2 压力传感器标定

压力传感器标测试验使用山东省海洋环境监测技术重点实验室的 25-0120101 型活塞式压力计,该压力计准确度 0.05 级,测量范围 0~60 MPa。活塞式压力计通过特制铜管连接螺母槽,压力计中充满锭子油至螺母槽口。将温盐深传感器的压力传感器前端螺纹旋入压紧螺母槽中,逆时针拧紧,给传感器通电。使用手摇转盘对预压泵加压,将压力值分别设定在 0 MPa,1 MPa,2 MPa,3 MPa,4 MPa,5 MPa,6 MPa,7 MPa,在压力计上加入与被测量压力相应的砝码,先用双手转动砝码使其转动,转速大约为 30~60 r/min,再用调压器加压,使活塞上升,

持续保压,当压力值稳定时,读取传感器显示值,试验设备与原始数据曲线如图 7 所示, X 轴为电路控制系统 ADC 测得的模拟电压值, Y 轴为实测深度值。

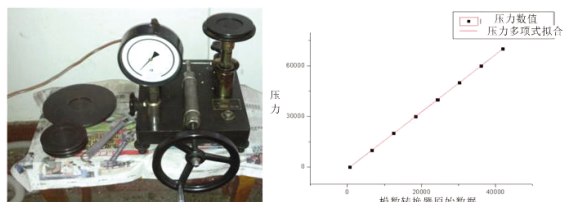


图 7 压力传感器标定试验与原始数据曲线

Fig.7 Pressure sensor calibration test and original data curve

4.3 电导率传感器标定

按照国标方法,温度和电导率传感器的标定都应在恒温海水槽中进行。等待海水槽温度达到平衡后,在 3 min 之内读取 10 组温度和电导率数据;同时从测温电桥上读取 10 组一等铂电阻温度计数据,作为该测试点温度标准值^[23]。在读取温度标准值时,进行海水取样。电导率传感器标测试验使用台式电导率计,其电导率测试量程 0.000 uS/cm~500 mS/cm,精度 $\pm 0.1\text{ mS/cm}$ 。实验过程中,使用台式电导率测试仪测定不同温度点取样海水的电导率值,与国际盐标公式换算得出的电导率值进行比对,试验设备与原始数据曲线如图 8 所示, X 轴为电路控制系统 ADC 测得的模拟电压值, Y 轴为实测电导率值。

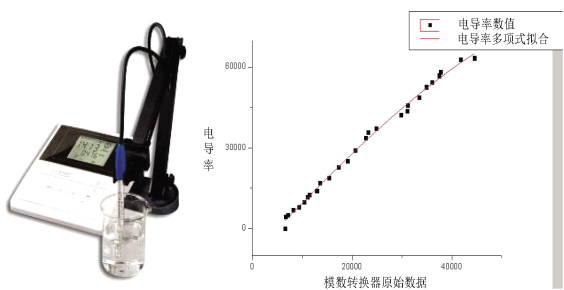


图 8 电导率传感器标定试验与原始数据曲线

Fig.8 Conductivity sensor calibration test and original data curve

5 海试及结果

5.1 海试

2016 年 10 月 26 日,项目组租用青钓 338 船在青岛胶州湾进行了为期 1 d 的海试,选取 3 个站位,分别为站位 1($36.03.016\text{ }^{\circ}\text{N}$, $120.15.767\text{ }^{\circ}\text{E}$),站位 2($36.04.084\text{ }^{\circ}\text{N}$, $120.15.629\text{ }^{\circ}\text{E}$),站位 3($36.05.187\text{ }^{\circ}\text{N}$, $120.15.902\text{ }^{\circ}\text{E}$)。研制的适用于水下滑翔器的 CTD

传感器定型为 SZQ1-1, 同海鸟 SBE19 Plus 的 CTD 传感器进行比测。

海试过程中, 将 SZQ1-1 型 CTD 固定安装在 SBE19 Plus 的支架上, 将两套仪器同时定点投放, 并读取数据(如图 9 所示)。



图 9 海试过程

Fig.9 The sea trial process

在海试船舱中,通过水密缆实时读取各仪器采集的数据并进行存储。其中,站位 3 海试 10 组比测数据如表 1 所示。

表 1 海试比测数据表

Tab.1 Comparison data sheet of sea trial

SZQ1-1			SBE19 Plus		
温度/℃	电导率/ mS·cm ⁻¹	深度/m	温度/℃	电导率/ mS·cm ⁻¹	深度/m
19.314	35.505	0.25	19.337 2	35.132	0.055
19.399	35.498	3.16	19.841 6	35.342	3.213
19.497	35.489	6.38	19.878 6	35.466	6.402
19.640	35.490	9.05	19.888 9	35.469	9.201
19.670	35.473	12.21	19.856 8	35.456	12.219
19.729	35.397	14.85	19.832 7	35.465	14.835
19.729	35.455	17.62	19.807 3	35.461	17.774
19.713	35.442	21.30	19.790 9	35.456	21.456
19.720	35.443	24.10	19.786 8	35.458	24.139
19.751	35.686	26.40	19.781 2	35.459	26.414

表 2 比测数据误差表

Tab.2 Error table of comparison test data

比测深度 (SBE19 Plus)	温度误差/℃	电导率误差/ mS·cm ⁻¹	深度误差/m
0.055	-0.023 2	0.373	0.195
3.213	-0.442 6	0.156	-0.053
6.402	-0.381 6	0.023	-0.022
9.201	-0.248 9	0.021	-0.151
12.219	-0.186 8	0.017	-0.009
14.835	-0.103 7	-0.068	0.015
17.774	-0.078 3	-0.006	-0.154
21.456	-0.077 9	-0.014	-0.156
24.139	-0.066 8	-0.015	-0.039
26.414	-0.030 2	0.227	-0.014

5.2 结果分析

由表 1 及表 2 可以看出,SZQ1-1 和 SBE19 Plus 两台 CTD 传感器测得的温度、电导率与深度数据趋势一致,但存在一定的测量误差。例如,以 SBE19 Plus 测量数据作为真值,当仪器投放至 9.201 m 时 SZQ1-1 和 SBE19 Plus 测量的温度数据相差 0.248 9 ℃,测得的电导率数据相差 0.021 mS/cm,深度数据相差 0.151 m;当仪器投放至最大深度 26.4 m 时,SZQ1-1 和 SBE19 Plus 测量的温度数据相差 0.030 2 ℃,测得的电导率数据相差 0.227 mS/cm,深度数据相差 0.01 m。两台 CTD 传感器测量的温度最大误差为-0.442 6 ℃,电导率最大误差为 0.373 mS/cm,深度最大误差为 0.195 m。而最大误差都是仪器刚开始下放不久测得的。经对海试结果进一步分析,误差产生的主要原因是:

(1) 从比测的 2 种型号仪器采集的数据来看,明显可以看出 SBE19 Plus 的温度与压力传感器响应时间及数据稳定时间比 SZQ1-1 快,测量的电导率数据 SBE19 Plus 更加稳定。

(2) 两台被测仪器的温盐深探头没有处于同一水平位置,带来一定的系统误差。

(3) SZQ1-1 型 CTD 传感器集成的是电磁感应式电导率传感器探头,易受电磁场扩散效应干扰而影响电导率测量精度;而 SBE19 Plus 集成的是三电极式电导率传感器探头,且配有水泵控制流经电导池的海水的流速,因而响应时间更快,测量精度更高。

6 结束语

适用于水下滑翔器的新型 CTD 传感器 SZQ1-1,已被用于黄海和南海海洋调查和业务化推广及应用示范。该款仪器具有微型化、低功耗,重量轻、运行稳定等特点,特别适合水下滑翔器、拖曳体、AUV、ROV 或其它自动化观测平台,可实时连续测量温、盐、深海洋动力参数。其测温精度±0.1 ℃,电导率测量精度 0.03 mS/cm,深度测量精度±0.2% FS。但与国外先进 CTD 传感器相比,测量温度的响应时间及测量电导率数据的一致性,稳定性等方面还存在差距,有待于进一步改进。

参考文献:

- [1] 李红志,王云泉.高精度 CTD 剖面仪电导率传感器的研究和实验[J]. 海洋技术,2001,20(1):147-153.
Li H, Wang Y. Study and test of conductivity sensor used by high precision CTD profiler[J]. Ocean Technology,2001,20(1):147-153.
- [2] 陈宗恒,盛堰,胡波. CTD 传感器在 ROV 系统中的扩展及其应用[J]. 海洋地质前沿,2003,29(11):72-75.
Chen Z,Sheng Y,Hu B. The extensive application of CTD sensor to the ROV system[J]. Marine Geology Frontier,2003,29(11):72-75.
- [3] 汪洋,李占桥,李洋,等.单温度传感器 CTD 资料处理研究[J].海洋测绘,2009,29(1):62-65.
Wang Y, Li Z, Li Y, et al. Research on the data processing of single temperature sensor CTD [J]. Hydrographic Surveying and Chartig, 2009,29(1):62-65.
- [4] 王斌.海洋生态环境监测体系建设的初步研究[J].海洋通报,2002,21(6):52-59.
Wang B. The pilot study on the construction of marine eco-environmental monitoring system in China [J]. Marine Science Bulletin, 2002,21(6):52-59.
- [5] 张禹,石莹,杨国哲,等.水下滑翔机器人控制系统研究与开发[J].制造业自动化,2009,31(5):26-28.
Zhang Y, Shi Y, Yang G, et al. Research and development of underwater glider control system [J]. Manufacturing Automation, 2009,31(5):26-28.
- [6] 李学聪,万频,邓庆华,等.一种新型温盐深传感器的数据采集与应用[J]. 微计算机信息,2007,23(4-1): 209-210+234.
Li X, Wan P, Deng Q, et al. The application of a new type CTD in the submarine [J]. Microcomputer Information, 2007,23(4-1): 209-210+234.
- [7] 范寒柏,胡杨,党武松. 七电极电导率传感器测量电路设计与实现[J]. 电子科技, 2013, 26(12): 75-77.
Fan H, Hu Y, Dang W. Design and implementation of seven-electrode conductivity sensor measurement circuit [J]. Electronic Science and Technology, 2013,26(12):75-77.
- [8] Budeus G. Autonomous Daily CTD Profiles Between 3,700 Meters and the Ocean Surface[J]. Sea Technology,2009,50(10):45-48.
- [9] 兰卉,吴晟,程敏,等.新型感应式电导率传感器技术研究[J]. 海洋技术学报, 2014, 33(3): 18-22.
Lan H, Wu S, Cheng M, et al. Research on the Key Technologies of a Novel Inductive Conductivity Sensor [J]. Journal of Ocean Technology. 2014,33(3):18-22.
- [10] Raymond W, Robert A. A fast response, stable CTD for gliders and AUVs[J]. Oceans , IEEEExplore, 2006 :1-5.
- [11] Carol D. Improving CTD data from gliders by optimizing sample rate and flow past sensors [J].Ocean News & Technology,2011,17(7): 22-23.
- [12] Hans V, Martin L. An in-situ experiment identifying flow effects on temperature measurements using a pumped CTD in weakly stratified waters[J]. Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers. 2016,111: 11-15.
- [13] 周达,商红梅,康建军,等.CTD 传感器中磁力泵的设计[J]. 海洋技术,2009, 28(3):33-35.
Zhou D, Shang H, Kang J, et al. The design of magnetic drive pump for CTD[J]. Ocean Technology,2009,28(3), 33-35.
- [14] Alberto A, Richard S, Alain M. Performance of pumped and un-pumped CTDs in an underwater glider[J]. Oceans, 2013, 71(1) :1-5.
- [15] Qiu C, Mao H, Yu J, et al. Sea surface cooling in the northern South China Sea observed using chinese sea-wing underwater glider measurements [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2015, 105: 111-118.
- [16] 张艺腾.水下滑翔机运动特性对温盐深测量质量的影响分析[D].天津:天津大学,2016.
Zhang Y. Effect Analysis of underwater glider motion characteristics on CTD measurement quality[D].Tianjin: Tianjin University,2016.
- [17] 吴明钰,李建国.高精度 CTD 剖面仪温度传感器[J]. 海洋技术,2001,20(1):143-146.
Wu M, Li J. Temperature sensor of high precision ctd profiler[J]. Ocean Technology, 2001,20(1):143-146.
- [18] 张兆英.海水电导率、温度和深度测量技术探讨[J].仪器仪表学报,2003,(4):38-41.
Zhang Z. Discussion on CTD measurement technology[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003,(4):38-41.
- [19] Marco C, Marco B, Marco T, et al. A high resolution interface for Kelvin impedance sensing [J]. IEEE Journal Of Solid-State Circuits, 2014,10: 2199-2212.
- [20] 王聪,秦明新,董秀珍,等. 磁感应方式电导率测量基础研究[J]. 中国医学物理学杂志,2004,21(3):182-186.
Wang C, Qin M, Dong X, et al. The basic research of the measurement of conductivity in a magnetic induction way[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2004,21(3):182-186.

- [21] 金若鹏.电导率传感器的理论关系式[J]. 纺织高校基础科学学报,1997,10(2):169-172.
Jin R. Theoretical and relational expression of the sensor for conductivity [J]. Basic Sciences Journal Of Textile Universities, 1997,10(2):169-172.
- [22] 王一新,王家林,王家映,等.瞬变电磁系统探测海底电导率的研究[J].地球物理学报,1998,41(6):841-847.
Wang Y, Wang J, Wang J, et al. The research of conductivity on sea-floor by transient electromagnetic system [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998,41(6):841-847.
- [23] 中国国家标准化管理委员会.电导率温度深度剖面仪:GB/T 23246—2009[S].天津:国家海洋技术中心,2009.
Standardization Administration of China. Conductivity-temperature-depth profiler: GB/T 23246—2009 [S].Tianjin: National Ocean Technology Center, 2009.

Design of a CTD Sensor Applied in Underwater Gliders

LV Bin^{1,2}, SONG Wen-jie^{1,2}, LIU Peng^{1,2}, LIU Jie^{1,2}, HE Hai-jing^{1,2}, WU Cheng-xuan^{1,2}, GAO Jin-long^{1,2}

1. *Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Qingdao 266001, Shandong Province, China;*

2. *Shandong Provincial Key Laboratory of Ocean Environmental Monitoring Technology, Qingdao 266001, Shandong Province, China*

Abstract: In order to meet the continuous measurement application demand of underwater gliders, and to obtain marine hydro-power high-quality cross-sectional data, a new miniaturization, low-power-consumption, light-weight SZQ1-1 CTD sensor has been designed in this paper for underwater gliders. The CTD has used the electromagnetic induction type principle to measure conductivity, integrated fast-responses thermistor and pressure sensor, and is controlled by PIC18F2520 microcontroller in the circuit. The CTD measuring instrument has been calibrated many times in the laboratory, and the data quality is proved to meet the requirements of sea test. In October 2016, the CTD sensor was compared with SBE19 Plus of Seabird in the Jiaozhou Bay, Qingdao. Sea test results show that the the measurement results of CTD sensor are similar to those from the SBE19 Plus, and the accuracy of temperature, salt and depth profile data obtained in a real-time manner meets the requirements of the underwater gliders.

Key words: CTD Sensor; underwater glider; temperature measurement; depth measurement; conductivity measurement