

海水电导率、温度和深度测量技术探讨

张兆英

(国家海洋技术中心 天津 300111)

摘要 海水电导率(Conductivity)、温度(Temperature)和深度(Depth)即CTD测量技术是海洋科学研究海洋资源开发和海洋灾害监测的关键技术之一。本文简述了海水CTD传感器测量技术的基本原理,介绍了国内外CTD测量技术的现状和动向。同时,还探讨了CTD技术的发展趋势和关注的几个问题。

关键词 CTD测量技术 现状 发展

Discussion on CTD Measurement Technology

Zhang Zhaoying

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300111, China)

Abstract The CTD measurement technique is one of key ocean technologies. The principle on CTD measurement technique is briefly stated. The status and perspective of it are also introduced. In addition, some points of view about trend and focus of CTD measurement technique are discussed as well.

Key words CTD measurement technology Status Development

1 引言

电导率温度和深度CTD(Conductivity Temperature Depth)测量技术是海洋研究和应用的最基本的技术。“九五”、“863”计划使我国CTD测量技术发生了巨大变化。高精度CTD剖面仪(SZC-15 CTD系统)是“九五”“863”成果之一。无论从CTD剖面仪研制上,还是CTD检定设备标准方面,都赶上或达到了国际同类产品的先进水平。随着海洋世纪的到来,CTD测量技术越来越受到重视,在国内国际具有很大的市场。

2 CTD测量技术

2.1 CTD测量技术简介

对于海水CTD参数K的测量,可以归结到一种物理量R的测量。

$$K = K(R)$$

实际上传感器感应的海水CTD变化,通过转换电路可以成为电信号输出。一般说来传输特性为高次多项式。

$$K = \sum_{i=0}^n a_i R^i$$

为取得传感器的定标方程,要求严格的试验程序:第一,需要足够精度的测试设备。第二,权威的计量标准。第三,根据传感器的特点与定标设备,设计测量方案,制定操作步骤,测量取数。第四,进行符合传感器物理特性的定标方程的拟合。

高精度CTD剖面仪的定标水槽,直径850mm,深度1300mm,控温精度十万分之一度(0.000001℃)。其水平温场和垂直温场的不均匀度小于0.0003℃。利用精度为0.001℃的基准铂电阻温度计,由F18电桥测温。使用8400B实验室盐度计,由国际一级标准海水校验。利用十万分之五的压力计测压。根据传感器研制测试经验,设计了定标试验的操作步骤。取得高精度CTD剖面仪传感器的定标方程。下面给出了高精度CTD剖面仪的传感器定标方程。

2.1.1 电导率传感器定标方程(S/M)^[2]:

$$\gamma = \frac{g + hf^2 + if^3 + jf^4}{10(1 + dt + eP)}$$

式中: γ ——电导率(S/m)

f ——频率(Hz)

t ——温度(℃)

P——压力(dB)

D——温度系数

e——压力相关的系数

g, h, i, j——回归方程确定的系数

2.1.2 温度传感器定标方程(℃)^[3]:

$$T_{90} = \frac{1}{a + b \ln\left(\frac{n_0}{n}\right) + c \ln^2\left(\frac{n_0}{n}\right) + d \ln^3\left(\frac{n_0}{n}\right) + e \ln^4\left(\frac{n_0}{n}\right)} - 273.15$$

式中: T_{90} ——温度(℃)

n——温度传感器频率(Hz)

n_0 ——常数

a, b, c, d, e——回归方程确定的系数

2.1.3 压力传感器定标方程(MPa):

$$P = 0.006895 \times C \left(1 - \frac{T_0^2}{T^2}\right) \left[1 - D \left(1 - \left(1 - \frac{T_0^2}{T^2}\right)\right)\right]$$

式中: P——压力(MPa)

T——压力传感器的周期(μs)

t——压力传感器壳内的温度(℃)

C, D, T_0 ——回归方程确定的系数

2.2 高精度CTD剖面仪

高精度CTD剖面仪是国家“863”计划支持, 研制成功的测量仪器。可用于全球海洋测量以及国际海洋合作项目, 是海洋科学考察研究, 海洋资源调查开发, 海洋环境监测预报以及海洋军事应用的基础仪器。

2.2.1 技术指标

表1 传感器特性^[1]

类别	测量范围	测量精度	分辨率	响应时间
T	-5~35℃	±0.001	±0.0005	0.07s
C	0~65mS/cm	±0.003	±0.0005	0.07s
DO	0~15mg/L	±0.2	±0.02	2.0s
pH	2~14	±0.1	±0.01	1.0s
P	0~30MPa	±0.015%	±0.05	0.02ms

2.2.2 CTD测量技术研究 CTD剖面仪研制是CTD测量技术核心。研制过程大致分为如下几步: 传感器研制, 系统安装, 信号采集, 数据处理。

(1) 传感器研制为关键。概括分为几个过程: 敏感元件研制, 转换电路研制和测试定标设计实施。首先, 制作敏感元件。包括生产、测试与开发应用研究。然后, 设计转换电路。最后, 进行传感器性能试验以及定标测试。

(2) 系统安装。不仅采用耐压、水密和防腐材料, 而且要考虑加工和特殊工艺处理。高精度CTD剖面仪设计了专门结构(如海水路线)与维护方案(如电导池清

洗流程)^[4]。

(3) 信号采集。设计硬件逻辑语言(HDL)和有结构定义的数据格式。高精度CTD剖面仪开发了CPLD频率采集技术, 精确度达到±0.05Hz。设计了FLASH(8MB)存储。制定了通讯命令, 数据按帧传送^[5]。

(4) 数据处理。首先, 根据传感器定标方程和海洋稳定特性标志奇异数组。然后, 根据传感器结构和安装条件消除盐度尖峰, 压力效应和温度效应等。并且对于电导池热惯性, 温度传感器结构与海水粘滞效应进行订正^[1]。

3 CTD测量技术现状

目前, CTD剖面仪的温度传感器, 广泛采用热敏电阻或者铂电阻。热敏电阻的阻值(R_0)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, 稳定度达到0.001℃/年, 响应时间60ms。电导率传感器主要为电极式和感应式。电极式测量精确度高, 抗干扰能力强。但是时间常数大, 易污染, 清洗复杂。感应式的坚固稳定, 响应速度快, 易清洗, 但是易受电磁干扰, 精度不高。压力传感器为应变式与硅阻传感器。精度在0.1%F.S.左右。高精度0.01%压力传感器则采用带有温度补偿的石英压力传感器。

表2 美国几个厂家的CTD仪器性能一览表

项 目	SBE911 +	ICTD	513D
T 范围	-5~35	-2~35	-5~45
	精度 ±0.001	±0.001	±0.02℃
℃ 响应	65ms	20ms	1400ms
C 范围	0~70	0~70	0~65
mS/c 精度	±0.00	±0.002	±0.02
m 响应	65ms	50ms	20ms
P 范围	0~6800	0~6000	0~6000
mpa 精度	±0.015%	±0.01%	±0.15%
响应	35mS	30mS	
厂家	SeaBird	FSI	I.O.

3.1 美国CTD测量技术检定设备, 无论在质量上还是数量上均名列前茅, 仪器精度和种类雄霸世界海洋技术市场。CTD研制生产单位近百家。在我国颇有名气公司如海鸟、FSI、IO和YSI等近十家(表2)。20世纪90年代, 加拿大贝德副海洋研究所(BIO)对MK3和SBE911两种CTD仪器进行海上比测, 结论是, 性能均达到WOCE计划的要求^[6]。

3.2 日本CTD仪器特点是体积小、重量轻且功耗低。面向海洋调查,注重发展链式系留传感器测量技术,而且致力于近岸环境检测与向内河水体物理化学等参数的观测应用。同时,也出现了多功能——结合化学和光学参数测量—传感器综合测量仪器。其中ALEC采用超小型结构设计,令人耳目一新。

3.3 欧洲、英国、意大利和挪威等一直进行CTD测量技术的研究开发。Aadaraa公司以海流计海洋仪器为主,同时配有CTD传感器,精度偏低。意大利Idronaut公司开发了300系列CTD仪器,研制出小型的大口径的电极电导率传感器,直接挑战SeaBird的带泵的三电极电导率传感器。2002年7月,瑞典的海洋科学工作者将Idronaut的320与SeaBird的911CTD进行海上比测,结论是两者性能一致^[7]。

3.4 我国正跻身世界CTD测量技术前列。“九五”、“863”研制成功的高精度CTD剖面仪技术指标已经达到或接近世界同类先进水平。2002年5月,由中国海洋大学将国产高精度CTD剖面仪和SBE911⁺CTD进行海上比测,结果是测量数据相近,趋势一致^[8]。现在,我国的CTD测量技术迅速发展,不仅有自容式、电缆式和电磁耦合式CTD测量仪,同时,还有近海、远洋多种类型的CTD测量仪器。如:船体固定式CTD,拖曳式CTD、抛弃式XCTD、浮标自返式CTD剖面仪等。在精度与稳定性上已经达到或赶上世界先进水平。特别需要指出的是,不仅在价格上具有竞争性,更重要的是,在面向用户服务、技术支持以及技术培训等方面,优于国外任何厂家。

4 CTD测量技术发展趋势

CTD测量技术应用在海洋科学的宏观研究与微观研究中,并且取得了显著效果。通过极区南大洋调查,发现了地转流^[9](geotropic current);通过国际海洋合作调查,如全球海洋流量实验(WOCE),研究了海气交换与海气耦合作用,发现了影响人类生产生活的重要气候现象——厄尔尼诺现象(El Niño)和拉尼那现象(La Niña);海水的应力(strain and shear)对于潜艇进攻防御具有重要影响^[10],海水的温度蒸发与盐度扩散具有因果关系和不同的规律——盐手(saltfinger)现象^[11]。展望CTD测量技术有如下特点。

4.1 小型低耗多能CTD仪器市场非常看好

小型低耗CTD仪器适用于海洋监测,寿命达到两年。体积大耗电高而又笨重大型仪器将缺乏竞争力。

所谓多功能CTD仪器不仅与化学传感器如pH

溶解氧,还有水文、生物和光学传感器。其中将CTD与海流计共同配置日益多见。如与S4电磁海流计一起进行系留测量。上个世纪末,国外已经使用投放式声学多普勒海流计LADCP—Lowered ADCP^[13]。现在,国内已开展海流计与CTD剖面仪安装在一起的深海CT-DC研究。

4.2 高速采集CTD测量技术日益重要

高速采集测量技术适用于海洋环境中特殊平台的要求。要求研究短周期海洋剖面的变化规律,如潜艇的攻击、逃逸或悬停等。影响武器发射轨道的海洋剖面变化的有效时间很短,因此需要时间分辨率与空间分辨率均很高。例如为了海水应力研究,模拟水下导弹发射现场状态试验,对于一个500m浅海测量剖面的测量频率要求达到500次/天^[10]。

4.3 高频响应CTD测量技术要求迫切

传统的CTD测量已经无法满足海洋事业发展的需要。对于海洋变化的时空同步或准同步测量要求日益迫切。解决的方法之一是提高CTD平台载体的速度。拖曳式CTD剖面仪,速度达到3~6m/s^[12],抛弃式XCTD下降速度均为6m/s,固定在船体平台的速度更快,一般在10m/s以上。目前国内外CTD剖面仪的设计速度为0.5~1.0m/s。但是,我国拖曳式CTD超过4m/s,XCTD下降速度6m/s而船体固定式CTD运行速度远大于10m/s。众所周知,高精度CTD剖面仪下放速度约1m/s左右。为此,温度电导率传感器的时间常数达到70ms左右。而市场上出售的不论是拖曳式CTD,还是XCTD。几乎全部为仪器经销商组装的,传感器的响应时间与传统CTD完全一样,仅仅是简单的将采购的CTD剖面仪与拖体组装为整体。其传感器响应时间与传统CTD没有区别,只是平台速度提高而已。因而,迫切要求研究高频响应CTD测量技术,解决传感器的快速响应问题。由于载体平台的运行速度提高,要求传感器响应时间常加快。研制快速传感器,对于材料结构等必将提出更高要求。

5 结 论

虽然传统的CTD测量已经无法满足海洋事业发展的需要。但是,高精度CTD剖面仪的研制成功,必为解决CTD测量技术存在的问题奠定基础。

参考文献

- 1 张兆英. 高精度CTD剖面仪研制中的问题与对策. 海洋技术, 2001, (1).

- 2 王云泉,李红志. 高精度CTD剖面仪电导率传感器的研究和实验. 海洋技术,2001,(1).
- 3 吴明钰,李建国. 高精度CTD剖面仪温度传感器. 海洋技术,2001,(1).
- 4 王欣. 高精度CTD剖面仪研制过程中的专用设备. 海洋技术,2001,(1).
- 5 杜英华. CPLD在数据采集系统中的应用. 海洋技术,2001,(1).
- 6 R. M. Hendry, Bedford Institute of Oceanography CTD trials. Canada Technical Report of Hydrography and Ocean Science, April 1992.
- 7 François Nyffeler et al. . A practical comparison between Seabird SBE911 and Ocean Seven 320 CTD probes, University of Neuchâtel, Switzerland, Jun 2002.
- 8 东方红船舶中心. 高精度CTD剖面仪使用报告. 中国海洋大学,2002,5.
- 9 P. J. H. SUTTON et al. . Absolute geotropic currents in the East Auckland Current region. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research,2002,36: 751~762.
- 10 Jeffrey Sherman et al. . Estimates of vertical wave-number-frequency spectra of vertical shear and strain. Journal of Physical Oceanography,1990.
- 11 Gargett A. E. ,Schmitt R. W. Observations of salt fingers in the central waters of the eastern North pacific. Journal of Geophysical Research,1982,87(C10).
- 12 Jack Barth et al. . Sea Soar Observations During Coastal Mixing and Optics. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, 1997.
- 13 Eric Firing. Lowered ADCP Development and Use in WOCE. International WOCE Newsletter, Number 30, March 1998.

(上接第35页)

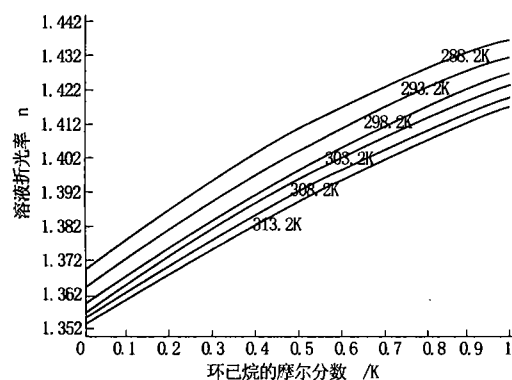


图2 环己烷-乙醇溶液折光率-组成关系曲线图

参考文献

- 1 A. Weissberger Ed. Techniques of Chemistry, Vol. I: Physical method chemistry, pt III, A: Refraction, Scattering of Light and microscopy, John Willey & Sons. Inc,1972,207.
- 2 蔡显鄂,项一非,刘衍光. 修订. 复旦大学,等编. 物理化学实验,北京:高等教育出版社,1997. 266.
- 3 孙尔康,徐维清,邱金恒. 物理化学实验. 南京:南京大学出版社,2002. 197.
- 4 东北师范大学,等校. 物理化学实验,北京:高等教育出版社,1995. 82.
- 5 罗旭. 化学统计学,北京:科学出版社,2001. 172.
- 6 John H. Mathews, Kurtis D. Fink. Ed. Numerical Methods Using MATLAB (Third Edition). Beijing: Publish House of Electronics Industry,2002,252.