

温盐深测量仪(CTD)资料质量对比分析*

任 强 于 非^① 魏传杰 范聪慧 司广成

(中国科学院海洋研究所 海洋环境工程技术研究发展中心, 青岛 266071)

摘要 温盐深测量仪(CTD)是目前国际上应用最为广泛的物理海洋调查仪器设备之一。2014 年, 中国科学院海洋研究所在黄海布放的潜标上搭载了 3 种不同型号的 CTD(37Coastal、CTD48 和 304Plus), 本文分别对这 3 种 CTD 所获取的数据资料进行了对比分析。三者数据两两对比结果显示, 37Coastal 与 CTD48 压力及温度数据最为接近, 盐度数据则为 37Coastal 与 304Plus 相差最小。3 种设备的压力、温度及电导率数据稳定性对比结果如下: 37Coastal 压力数据稳定性表现最好; 三者温度数据稳定性表现一致; 而 37Coastal 盐度数据稳定性和 CTD48 一致。三种设备均能适应海洋真实的物理环境参数变化观测, 同时各自有其不同的使用环境, 对于不同海域环境使用需要进行详细评估, 综合各个方面的因素确定最终适合自身科学研究需求的方案。

关键词 CTD; 传感器; 质量

中图分类号 P715.4 **doi:** 10.12036/hyxxjk20160719003

物理海洋学的研究离不开大量的实测海洋数据, 海洋调查是获取实时海洋数据最直接且最为有效的方法, 集成了各种性能优异的传感器仪器设备是海洋调查的基础。海洋的温盐深观测是现今海洋调查的基本内容之一, 从 20 世纪 60 年代开始温盐深测量仪(CTD)已经被广泛应用于海洋调查中(陈上及和马继瑞, 1991; 张爱军, 1992), 它的发展随着科学技术的进步而同步前进。CTD 能适应如走航实时观测、定点自容观测、抛弃式探头观测等多种观测方式, 并且获取调查海区水体现场实时

的高精度物理环境参数, 是目前物理海洋调查中使用最为广泛的仪器设备之一。传感器技术是调查设备的基础, 其各方面性能是衡量仪器设备好坏的关键, 同时也是调查数据质量的保证, 各种数据订正方案应运而生(Fofonoff et al., 1974; Giles and McDougall, 1986; Grose, 1981; 任强等, 2014), 但是在长期的观测中, 传感器的稳定性、漂移、准确度等指标依然是最重要的部分。目前, 世界上已有许多设备生产厂家推出了高精度的 CTD, 但是各个厂家采用不同类型的传感器, 因而传感器性能等

* 资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020301); 国家自然科学基金委青年基金(41206020, 41306021); 国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目(U1406401)。任强, 男, 硕士研究生, E-mail: rqiocas1989@163.com

① 通讯作者: 于非, 男, 研究员, 博士生导师, 从事海洋调查与区域海洋学研究工作, E-mail: yuf@qdio.ac.cn

收稿日期: 2016-07-19, 收修改稿日期: 2016-07-31

方面会存在一定的差异性。本文将对 3 种不同型号的 CTD 所测数据进行对比分析。

1 传感器性能及资料来源

中国科学院海洋研究所于 2014 年 6 月在黄海中部布放坐底潜标, 其上搭载了 3 种不同厂家生产的温盐深测量仪, 型号分别为美国 Sea-Bird 公司的 SBE 37 Coastal(以下简称 37Coastal)、德国 Sea&Sun 公司的 CTD 48, 以及意大利 Idronaut 公司的 304Plus, 3 种设备适

用于近海应用并且都能够添加溶解氧等附加传感器。表 1 为 3 种 CTD 的各个传感器参数, 从表 1 中可知, 各 CTD 的压力、温度和电导率传感器的精度和分辨率差别较小, 其传感器指标能满足近海海洋的长期观测, 并且能够获得高精度和高分辨率的压力、温度及盐度等数据。该潜标布放时间为 4 个月左右, 3 种设备在潜标的位置如图 1 所示。本文主要针对 3 种设备所获取的温盐深数据质量进行对比分析, 讨论传感器精度及稳定性等指标参数。

表 1 传感器技术指标表
Tab.1 Technical index of sensor

型号	压力			温度			电导率		
	范围 (m)	分辨率 FS(%)	精度 FS(%)	范围 (°C)	分辨率 (°C)	精度 (°C)	范围 (mS/cm)	分辨率 (mS/cm)	精度 (mS/cm)
CTD48	0~500	0.002	±0.01	-2~36	0.0006	±0.001	0~70	0.001	±0.001
304Plus	0~500	0.0015	±0.05	-5~35	0.0001	±0.002	0~90	0.0003	±0.003
37Coastal	0~350	0.002	±0.1	-5~45	0.0001	±0.002	0~70	0.0001	±0.003

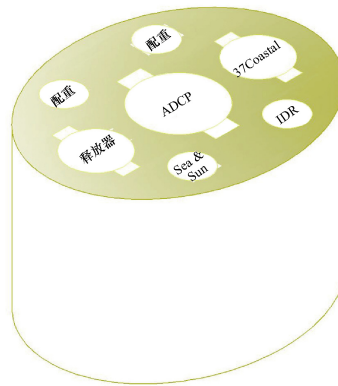


图 1 潜标构造及 CTD 分布图

Fig.1 Construction of subsurface buoy and distribution of CTD

2 数据对比分析

2.1 压力数据对比

图 2(见文后彩图)为 3 种传感器获取的压力数据, 蓝色曲线代表 37Coastal, 红色代表 304Plus, 黑色代表 CTD48。从图 2 中可以看出, 三者所获得的压力呈周期波动, 其波动周期均为 15d, 与大小潮周期一致。37Coastal 的压力曲线与 CTD48 基本重合, 而 304Plus 的压力曲线与其

他二者存在微小偏差。进而, 对三者压力数据进行两两相减并求各自方差(图 3 见文后彩图), 结果显示, CTD48 与 37Coastal 的压力差最小, 平均压力差值为 0.02m 左右, 两者方差为 0.0796m; 304Plus 比其他两者压力差稍微偏大, 偏差值约为 0.2m。由于海底地形复杂, 受地势及海底沉积物的影响, 潜标在海底的真实状态可能是倾斜的, 所以会造成安装设备出现绝对高度差, 导致 304Plus 测量的压力与其他两者存在偏差。

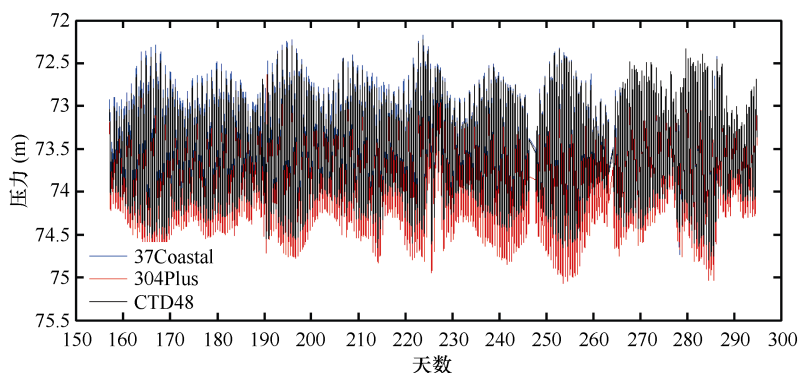


图2 压力曲线图

Fig.2 Pressure curve

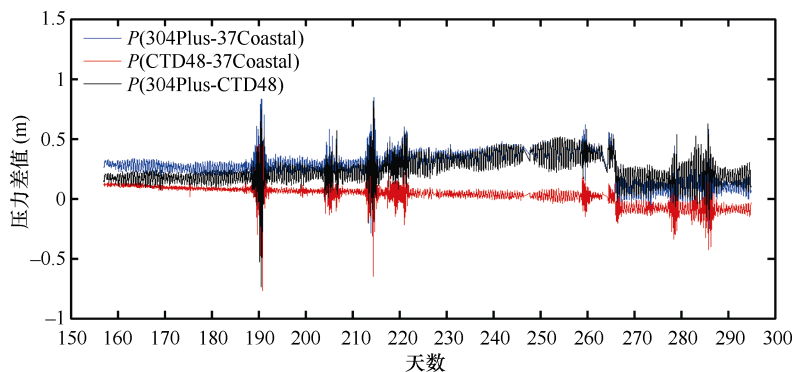


图3 各组压力差值图

Fig.3 Pressure difference among groups

3 种 CTD 的采样间隔均为半小时, 在海洋中某个点上的要素值在半小时内正常变化值非常微小, 其对应的传感器获取的数据波动范围也应该很小, 因此能够利用数据梯度值(两两相减)判断获取的数据稳定程度, 同时数据的稳定程度能够反映传感器的稳定性能。根据三者的压力数据求压力梯度 ∇P 的绝对值(图 4), 平均绝对值小则表示数据波动小且数据稳定。计算结果如下: 37Coastal 的平均绝对值 ∇P 和 ∇P 标准差分别为 0.008m 和 0.004m; 304Plus 的平均绝对值 ∇P 和 ∇P 标准差分别为 0.1275m 和 0.1562m; CTD48 的平均绝对值 ∇P 和 ∇P 标准差分别为 0.1232m 和 0.1492m。数值结果表明, 37Coastal 平均绝对值 ∇P 和 ∇P 标准差均为三者中最小, 而

CTD48 和 304Plus 的数值结果几乎相等。同时, 三者的压力方差分析 P 值均大于 0.05, 说明三者之间不存在显著的差异。

图 4 压力梯度 ∇P 与图 3 的压力差 dP 显示, 在相同的时间节点上出现了数据振幅异常增大的现象。而后对 2014 年 6~10 月西太平洋台风过境该潜标点的时间进行了统计(表 2), 从时间上可以看出, 压力变化剧烈期与台风过境时间相一致, 说明台风的过境造成水体大幅扰动, 短时间内急剧变化的水体扰动对传感器有一定影响, 使自身测量受到一定的干扰。并且, 不同的传感器对剧烈变化的环境参数响应时间不一致, 使同一时间测量到的压力值不相等, 因此在水团环境剧烈变化时期内, 不同传感器压力测量值有一定偏差。从

以上压力数据分析表明, 三种压力传感器性能方面都表现良好, 在不考虑安装角度及潜标姿态的情况下对于本次实验来说 CTD48 与 37Coastal 压力数据相差最小, 如果把潜标的

姿态造成的高度差进行修正过后, 其三者的压力数据都几乎相等, 因此在数据准确度方面基本相同, 且 37Coastal 压力传感器在稳定性方面具有优势。

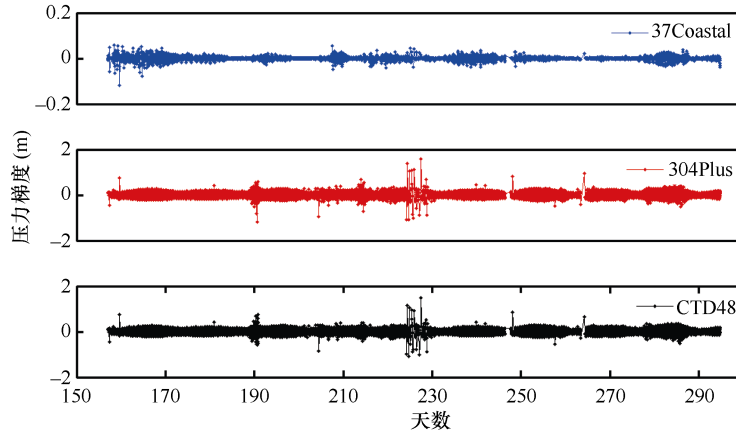


图 4 压力梯度曲线
Fig.4 Pressure gradient curve

表 2 台风过境时间表
Tab.2 Transit time of typhoon

台风	浣熊	麦德姆	夏浪	娜基莉
台风编号	201408	201410	201411	201412
过境时间	2014-07-09	2014-07-25	2014-08-08	2014-08-02
JulianDay (d)	189	205	218	212

2.2 温度数据对比

图5(见文后彩图)为不同CTD采集的温度数据, 可以看出三者基本一致, 任意两者的相

关系数均在 0.99 以上。对温度进行两两相减(图 6(见文后彩图))可以看出, 37Coastal 和 CTD48 的温差最小且数据波动小, 平均温差

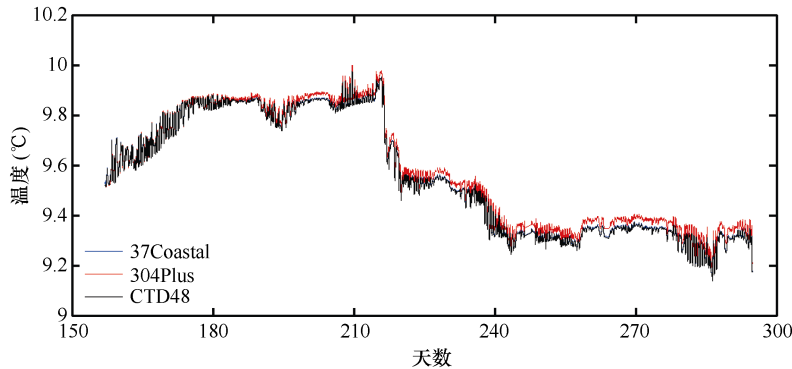


图 5 温度曲线图
Fig.5 Temperature curve

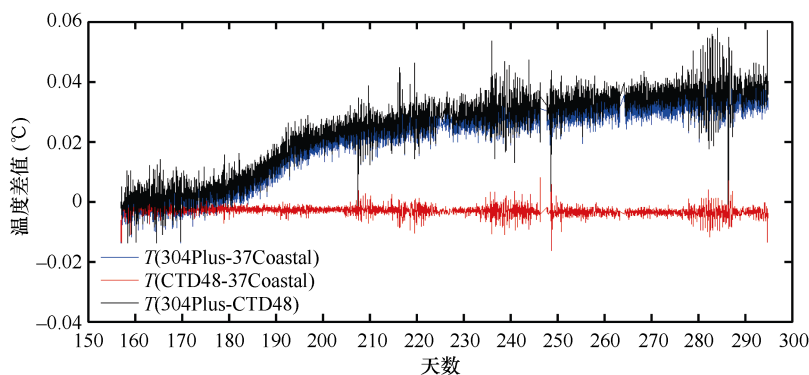


图6 各温度差值曲线图

Fig.6 Temperature difference among groups

为 -0.005°C , 其标准差为 0.0014°C 。而其他两组温度差均呈现出一个变大的趋势, 最大温度差为 0.055°C , 且标准差大于第一组(37Coastal和CTD48)。三者方差分析结果均为 $P>0.05$, 说明温度之间不存在显著性差异。

同处理压力数据类似, 对3组温度数据分别求时间序列上的温度梯度 ∇T (图7)。结果显示, 三者 ∇T 波动情况一致, 3组数据任意两

者相关系数在0.98以上, 说明三者温度测量值偏差非常小。37Coastal的平均绝对值 ∇T 和 ∇T 标准差分别为 0.0050°C 和 0.0084°C , CTD48的平均绝对值 ∇T 和 ∇T 标准差分别为 0.0050°C 和 0.0085°C , 304Plus的平均绝对值 ∇T 和 ∇T 标准差分别为 0.0059°C 和 0.0086°C , 数值显示三者温度传感器所获取的数据波动小, 其传感器稳定性能几乎一致。

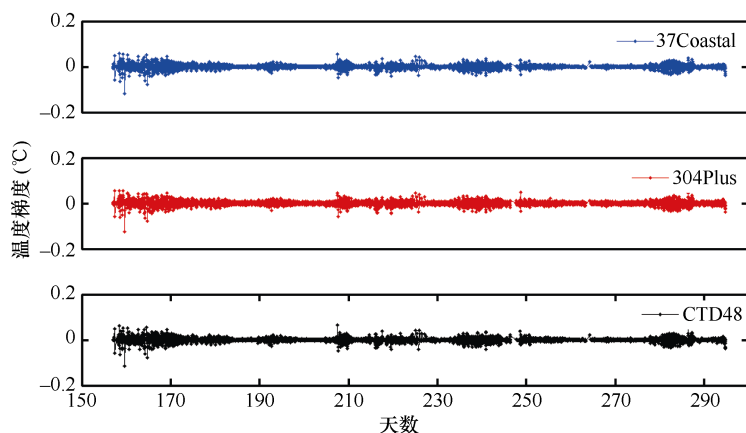


图7 温度梯度曲线图

Fig.7 Temperature gradient curve

2.3 盐度数据对比

在长时间序列的测量过程中, 传感器本身的异常电信号干扰等会产生少量的错误异常值, 应先删除部分异常错误数据, 图8(见文后彩图)为去掉异常数据后的盐度曲线。数据

显示, 三者都在160(开始测量时间)~265d(图8中盐度突变时间点)的数据吻合程度较好, 而在第265d以后37Coastal的数据与其他两者的数据出现了较大偏差, 其他两组数据出现突变且高度一致趋势。

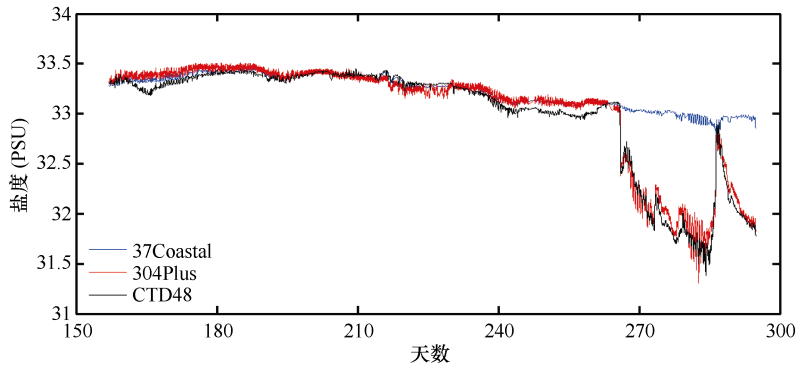


图 8 盐度曲线图
Fig.8 Salinity curve

第 293d 为该潜标回收时间点,且在潜标回收后对该点进行了 SBE 9 型 CTD 的投放,该 CTD 是国内外应用非常广泛且具有高数据质量的温盐深测量仪器。在该时间点上 37Coastal、304Plus 与 CTD48 的盐度值(PSU)分别为 32.9、31.8、31.8,三者盐度最大相差 1.1。图 9 为 SBE9 型 CTD 所获取的该点盐度数据,与潜标同一深度的盐度为 32.9,与 37Coastal 测得的盐度相同。因此,可以判断 304Plus 和 CTD48 盐度数据异常,同时能够说明 304Plus 和 CTD48 在第 265d 以后所测得的

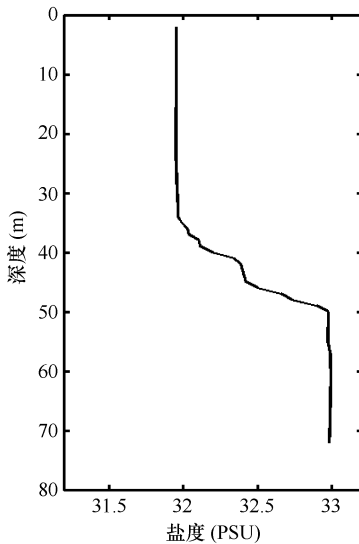


图 9 SBE911 盐度曲线图(第 293d)
Fig.9 SBE911 salinity curve (293th day)

盐度异常。3 种 CTD 基本在同一深度位置,304Plus 和 CTD48 盐度值同时出现异常突变,考虑到不同设备的传感器探头同时出现同样故障的概率极低,导致该现象出现的可能是二者的电导率传感器同时被某生物附着,电导率测量管堵塞,测量值出现异常。

排除生物附着等外力因素影响,对第 265d 以后的盐度数据进行截断,取 160~265d 盐度数据(三者相对稳定区间)进行对比(图 10 见文后彩图)。图 10 中显示,三者数据变化趋势整体一致,其中 37Coastal 与 304Plus 数据的相关系数较其他两组数据的相关系数高,达到了 0.97,37Coastal 与 CTD48 数据的相关系数为 0.9。对 3 组数据求相互盐度差值(图 11 见文后彩图),可以看出第一组盐度差(37Coastal 与 304Plus)波动最小,其平均值和标准差分别为 0.016 和 0.03,均小于其他两组数据。

同处理压力和温度数据类似,分别对 3 组盐度数据求时间序列上的盐度梯度 ∇S (图 12)。计算出 37Coastal 的平均绝对值 ∇S 和 ∇S 标准差分别为 0.003 和 0.0047,CTD48 的平均绝对值 ∇S 和 ∇S 标准差分别为 0.003 和 0.0067,304Plus 的平均绝对值 ∇S 和 ∇S 标准差分别为 0.020 和 0.029。说明 37Coastal 和 CTD48 在数据稳定性方面一致,但是从前文可知,37Coastal 和 304Plus 数据准确度更高。三种设备中只有 37Coastal 带有泵结构,通过泵的作

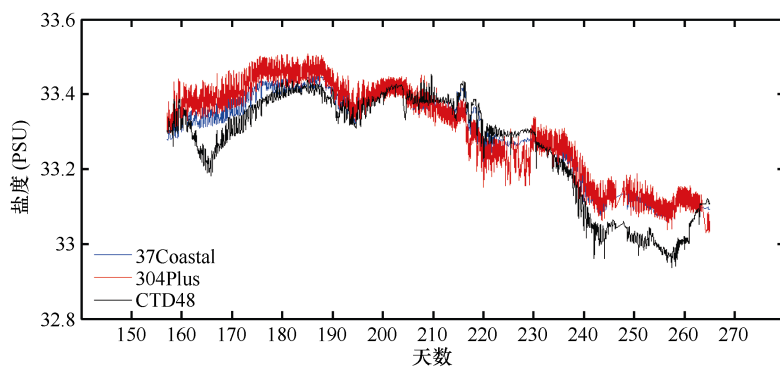


图 10 盐度曲线图(去除异常值)
Fig.10 Salinity curve (remove outliers)

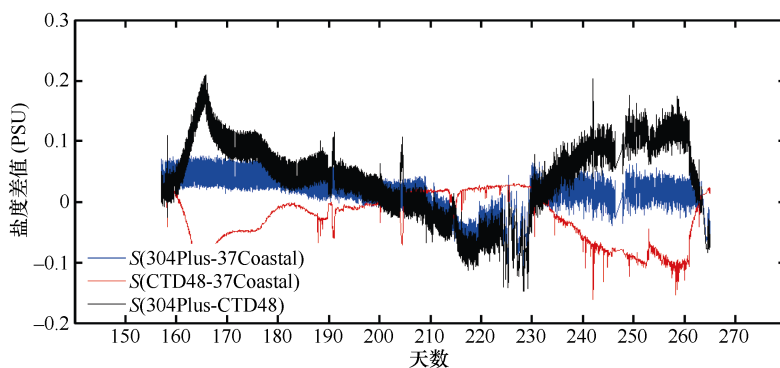


图 11 各组盐度差值曲线图
Fig.11 Salinity difference among groups

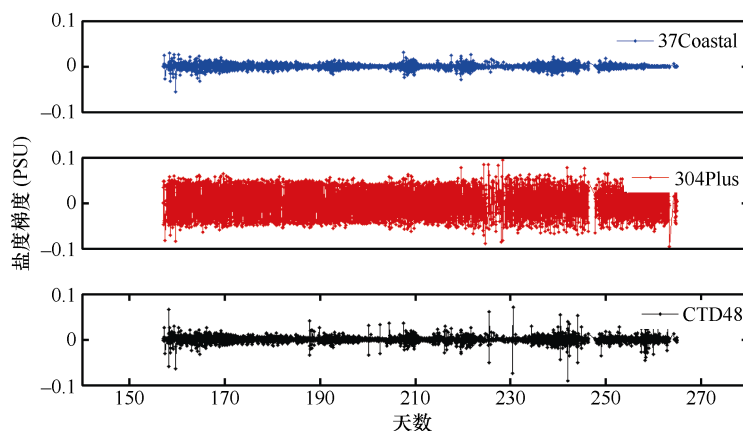


图 12 盐度梯度曲线图
Fig.12 Salinity gradient curve

用使三种传感器能对同一微水团进行测量，从最大程度上保证了数据的准确性，对于复

杂海况条件下及剖面式投放的数据测量具有优势。

3 结语

本文对搭载在坐底潜标平台上的 3 种不同型号的自容式温盐深测量设备(37Coastal、CTD48 和 304Plus)所获取的长时间序列的压力、温度和盐度数据进行对比分析。分析结果表明,三者传感器的数据准确度及稳定性等方面存在微小差异。37Coastal 专门被设计用于复杂的近海海况,因而其在变化剧烈的近海环境下所获取的温度和盐度数据质量均有优异的表现,而 CTD48 和 304Plus 的主要适应对象为深海探测,在以后的工作中将会通过其在大洋中的数据对比来比对各自传感器的性能。目前,从集成度、操作性及经济性等方面考虑,CTD48 和 304Plus 两种设备要优于 37Coastal。所以,3 种设备对海洋真实的物理环境参数变化观测在其准确度及稳定性等方面都有良好的保障,对不同的探测环境需要认真选择不同的探测传感器,以发挥仪器本身最大的应用价值。对于如何选择不同种类的温盐深传感器要结合自身的科研需求以及使用环

境等,根据需求而后详细评估目前各个型号的温盐深传感器的精度、准确度、量程及漂移性等方面指标,并且在布放的成本以及难度系数等方面也需要认真考虑,综合各个方面的因素确定最终适合自身科学研究需求的方案。

参 考 文 献

- 陈上及,马继瑞. 1991. 海洋数据处理分析方法及其应用. 北京: 海洋出版社
- 任强,于非,刁新源,等. 2014. 处理走航式海洋多参数剖面测量系统(MVP)温度和电导率滞后效应的方法. 海洋科学, 38(8): 59-66
- 张爱军. 1992. 几种常用的 CTD 资料时间滞后订正方法的分析和比较. 海洋通报, (5): 102-109
- Fofonoff N P, Hayes S P, Millard R C. 1974. W.H.O.I./Brown CTD Microprofiler: Methods of Calibration and Data Handling. Massachusetts: Woods Hole Oceanographic Institution
- Giles A B, McDougall T J. 1986. Two methods for the reduction of salinity spiking of CTDs. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 33(9): 1253-1274
- Grose P L. 1981. CTD data processing. Washington DC, USA: Center for Environmental Assessment Services, NOAA

Comparison and Analysis on Conductivity-Temperature-Depth System (CTD) Data Quality

REN Qiang, YU Fei*, WEI Chuan-Jie, FAN Cong-Hui, SI Guang-Cheng

(Marine environmental engineering technology research and Development Center, Institute of oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

*Corresponding author, Email: yuf@qdio.ac.cn

Abstract Conductivity-temperature-depth system (CTD) is one of the world's most widely used instruments in physical oceanography. In this paper, oceanographic data acquired by three different types of CTD (37Coastal, 304Plus, and CTD48) were compared and analyzed. These CTDs were carried in the subsurface buoy placed in the Yellow Sea by Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences in 2014. Results showed that the minimum pressure and temperature difference were both between 37Coastal and CTD48, while the highest correlation coefficient in salinity was between 37Coastal and 304Plus. The stability of the pressure, temperature and conductivity data acquired by those tree CTDs showed that pressure data of 37Coastal were the best of all. Three CTDs had similar stability on temperature data while the salinity data of 37Coastal were consistent with that of CTD48. This equipment can get the real environmental physical parameters accurately, and each one has its different use environment. It's must have detailed assessment that used at different marine environment, and comprehensive all aspects of factors to choose a scheme that suitable for scientific research.

Key words conductivity-temperature-depth; sensor; quality