

电导率温度深度剖面仪海上比测方法

(实验报告)

国家海洋标准计量中心

二零二二年九月

电导率温度深度剖面仪海上比测实验报告

1 实验情况介绍

参试仪器为水下移动平台用 CTD (GP 式) (以下简称 GP-CTD), 样机照片见图 1。



图 1 GP-CTD 样机照片

比测仪器选择 SBE911PLUS CTD (以下简称 SBE-CTD), 参试仪器及比测仪器信息见表 1, 主要技术参数见表 2。

表 1 比测仪器及参试仪器

仪器类型	仪器名称	型号/规格	出厂编号	制造单位
参试仪器	水下移动平台用 CTD	GP	1702	国家海洋技术中心
比测仪器	CTD	SBE911PLUS	1183	美国海鸟公司

表 2 参试仪器与比测仪器主要技术参数

类型	GP-CTD		SBE-CTD	
	测量范围	最大允许误差	测量范围	最大允许误差
温度	(-2~35) °C	±0.003°C	(-2~35) °C	±0.002°C
电导率	(0~70) mS/cm	±0.005mS/cm	(0~70) mS/cm	±0.003mS/cm
压力	(0~20) MPa	±0.1%F.S.	(0~60) MPa	±0.1%F.S.
采样频率	4Hz/1Hz/7 秒一次		最大 24Hz	
最大测量深度	2000 米		6000 米	

2 进行比测的地点、海况及水深情况

搭载“实验 1 号”船，实验海区水深约 2200m，海况 3 级，海域位置见图 2。



图 2 试验海区位置示意图

3 比测的实验情况

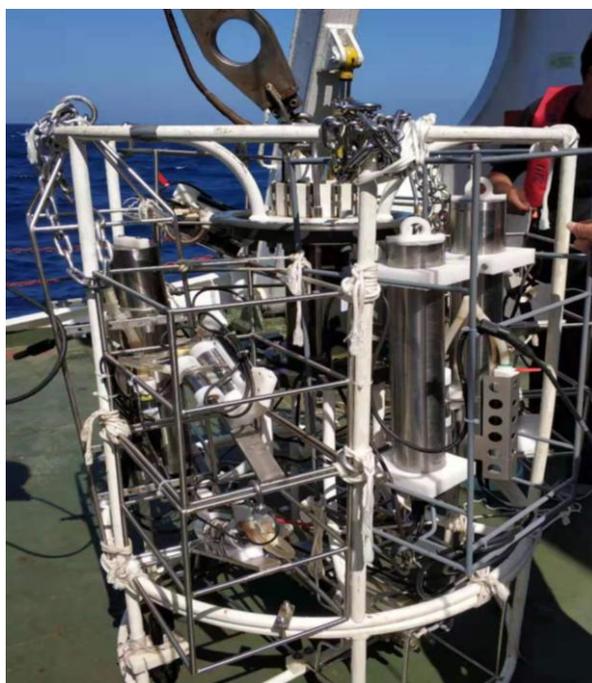


图 3 CTD 现场比测照片

现场试验照片见图 3。下水前两 CTD 统一校时，采样频率均选择 1Hz，深度点选择 100m、200m、400m、700m、1000m、1200m、1500m。记录表见附件 1。

4 比测结果

4.1 温跃层判断

利用 SBE-CTD 的数据，做温度随压力变化的曲线，见图 4。

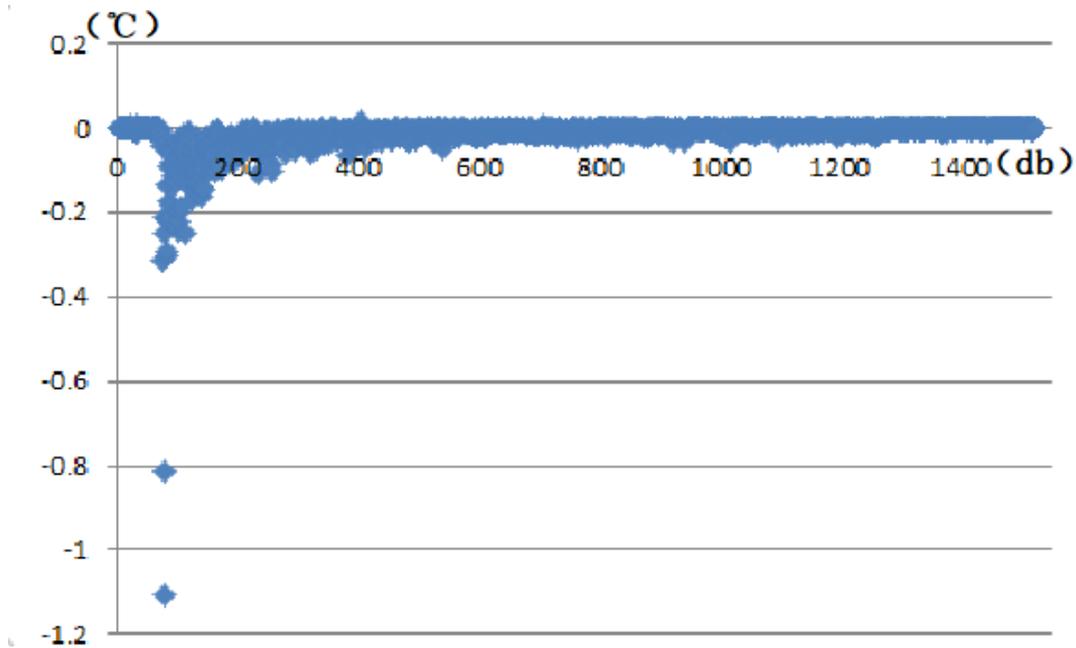


图 4 海水温度铅直方向变化曲线

海水温度铅直方向变化达到或超过每米 0.2°C 的水层为跃层，由图4及 SBE911的数据分析可知，温度跃层水深范围约为： $(70\sim 110)$ db。因此100m 水层不宜作为比测点。

4.2 数据选择及异常值剔除

每个层停留3分钟，选取停留时间段的后2.5分钟数据进行处理。

利用 3σ 准则，分别判别剔除比测仪器与参试仪器的异常值。

4.3 比测用数据处理

每个比测时间段的数据求取平均值、实验标准差 $s(x_k)$ 和平均值的实验标准差 $s(\bar{x})$ 。

表 3 GP-CTD 数据处理

深度点 (m)	压力 ($\times 10^4$ Pa)			温度 ($^{\circ}\text{C}$)			电导率 (mS/cm)		
	平均值	$s(x_k)$	$s(\bar{x})$	平均值	$s(x_k)$	$s(\bar{x})$	平均值	$s(x_k)$	$s(\bar{x})$
100	100.74	0.35	0.03	21.2239	0.0560	0.0046	48.6492	0.0579	0.0047
200	198.43	1.17	0.10	14.6085	0.0565	0.0046	42.1307	0.0545	0.0044
400	395.27	1.50	0.12	10.0743	0.0268	0.0022	37.7635	0.0239	0.0020
700	699.98	3.91	0.32	6.9232	0.0480	0.0039	35.0154	0.0400	0.0033
1000	1004.92	1.90	0.16	4.7922	0.0087	0.0007	33.2890	0.0061	0.0005
1200	1208.82	1.30	0.11	3.6901	0.0078	0.0006	32.4373	0.0056	0.0005
1500	1524.76	0.57	0.05	2.7829	0.0005	0.0000	31.8017	0.0004	0.0000

备注: $n=150$

表 4 SBE-CTD 数据处理

深度点 (m)	压力 ($\times 10^4$ Pa)			温度 ($^{\circ}\text{C}$)			电导率 (mS/cm)		
	平均值	$s(x_k)$	$s(\bar{x})$	平均值	$s(x_k)$	$s(\bar{x})$	平均值	$s(x_k)$	$s(\bar{x})$
100	101.03	0.34	0.03	21.1630	0.0873	0.0071	48.6010	0.0864	0.0071
200	198.64	1.20	0.10	14.5902	0.0539	0.0044	42.1192	0.0540	0.0044
400	395.53	1.52	0.12	10.0669	0.0270	0.0022	37.7625	0.0246	0.0020
700	700.40	3.89	0.32	6.9199	0.0483	0.0039	35.0190	0.0412	0.0034
1000	1005.35	1.91	0.16	4.7897	0.0105	0.0009	33.2932	0.0081	0.0007
1200	1209.21	1.30	0.11	3.6881	0.0077	0.0006	32.4419	0.0059	0.0005
1500	1525.02	0.57	0.05	2.7829	0.0005	0.0000	31.8091	0.0003	0.0000

备注: $n=150$

4.4 强流区及晃动异常点剔除

由表 3 及表 4 分析可知, 700m 深度点压力的实验标准差大于 2.00×10^4 Pa, 不宜参与比测处理; 其余各个深度点的深度(压力)的实验标准差均没有大于 2.00×10^4 Pa。

4.5 示值比测

求 GP-CTD 与 SBE-CTD 的压力、温度、电导率的差值，结果见表 5~
表 7。

表 5 不同深度点的压力差值

深度点 (m)	比测仪器示值 ($\times 10^4\text{Pa}$)	参试仪器示值 ($\times 10^4\text{Pa}$)	示值差值 ($\times 10^4\text{Pa}$)
100	101.03	100.74	-0.29
200	198.64	198.43	-0.21
400	395.53	395.27	-0.26
1000	1005.35	1004.92	-0.43
1200	1209.21	1208.82	-0.39
1500	1525.02	1524.76	-0.26

表 6 不同深度点的温度差值

深度点 (m)	比测仪器示值 ($^{\circ}\text{C}$)	参试仪器示值 ($^{\circ}\text{C}$)	示值差值 ($^{\circ}\text{C}$)
100	21.163	21.224	0.061
200	14.590	14.609	0.019
400	6.920	6.923	0.003
1000	4.790	4.792	0.002
1200	3.688	3.690	0.002
1500	2.783	2.783	0.000

表 7 不同深度点的电导率差值

深度点 (m)	比测仪器示值 (mS/cm)	参试仪器示值 (mS/cm)	示值差值 (mS/cm)
100	48.601	48.649	0.048
200	42.119	42.131	0.012
400	37.763	37.764	0.001
1000	33.293	33.289	-0.004
1200	32.442	32.437	-0.005
1500	31.809	31.802	-0.007

比测点的示值误差若不满足需求，可进行校准处理。

4.6 不确定度分析

4.6.1 参试仪器在 1000m 处的试验标准差最大，因此选取该深度的平均值实验标准差作为最佳估计值。压力比测结果的不确定度分量分别见表 8。

表 8 压力比测结果的不确定度分量

不确定度分量	标准不确定度 ($\times 10^4 \text{Pa}$)
参试仪器测量重复性	0.16
比测仪器检定校准引入的不确定度	0.03
比测仪器测量重复性	0.16

合成标准不确定度为 $0.24 (\times 10^4 \text{Pa})$,

包含因子取 $k=2$ ，因此扩展不确定度 U 为：

$$U=2 \times 0.24 (\times 10^4 \text{Pa}) = 0.48 (\times 10^4 \text{Pa})$$

参试仪器压力传感器量程 R_{\max} 为 20MPa，相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=U/R_{\max}=0.48/2000=0.03\%。$$

各深度点的压力比测结果的相对扩展不确定度为见表 9。

表 9 各深度点压力比测结果的相对扩展不确定度

深度点 (m)	相对扩展不确定度
100	0.01%
200	0.02%
400	0.02%
1000	0.03%
1200	0.02%
1500	0.01%

4.6.2 温度比测结果的不确定度分量分别见表 10。

表 10 温度比测结果的不确定度分量

不确定度分量	标准不确定度 (°C)
参试仪器测量重复性	0.0046
比测仪器检定校准引入的不确定度	0.00075
比测仪器测量重复性	0.0071

合成标准不确定度为 0.0085°C。

包含因子取 $k=2$ ，因此扩展不确定度 U 为：

$$U=2 \times 0.0085^{\circ}\text{C}=0.017^{\circ}\text{C}$$

各深度点的温度比测结果的扩展不确定度为见表 11。

表 11 各深度点温度比测结果的扩展不确定度

深度点 (m)	扩展不确定度 (°C)
100	0.017
200	0.013
400	0.007
1000	0.003
1200	0.003
1500	0.002

4.6.3 电导率比测结果的不确定度分量分别见表 12。

表 12 电导率比测结果的不确定度分量

不确定度分量	标准不确定度 (mS/cm)
参试仪器测量重复性	0.0047
比测仪器检定校准引入的不确定度	0.0011
比测仪器测量重复性	0.0071

合成标准不确定度为 0.0086 mS/cm。

包含因子取 $k=2$ ，因此扩展不确定度 U 为：

$$U=2 \times 0.0086 \text{ mS/cm} = 0.018 \text{ mS/cm}$$

各深度点的电导率比测结果的扩展不确定度为见表 13。

表 13 各深度点温度比测结果的扩展不确定度

深度点 (m)	扩展不确定度 (mS/cm)
100	0.018
200	0.013
400	0.007
1000	0.003
1200	0.003
1500	0.003

5 结论

根据《电导率温度深度剖面仪海上比测方法》，对编号 1702 的水下移动平台用 CTD 进行比测，可以满足需求，同时进行了不确定度评定，压力校准结果的相对扩展不确定度为 0.03%，温度校准结果的扩展不确定度为 0.017℃，电导率校准结果的扩展不确定度为 0.018mS/cm。

综上所述，《电导率温度深度剖面仪海上比测方法》适用于预期的用途，且满足 CTD 海上比测的需求。