

电导率温度深度剖面仪海上比测方法

(编制说明)

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方法编制说明

一、任务来源

海水温度、盐度和深度是海水状态的重要参数，对于其分布规律及变化的描述和分析，在海洋调查、海洋观测和海洋科学研究中都有着重要的作用。电导率温度深度剖面仪是用于测量海水温度、盐度和深度的仪器，常用于海洋科学调查、海上浮标和海洋台站等现场观测。然而由于海洋调查和监测活动不同于陆地开展的测量活动，海上作业具有周期长、环境恶劣的特点，再加上现场测量仪自身的限制，随着时间变化，电导率温度深度测量仪（以下简称 CTD）的测量结果会发生不同程度的漂移，从而影响仪器测量的准确度。因此对电导率温度深度剖面仪进行校准是保证温度、盐度测量数据准备可靠的有效途径。而由于陆地实验室条件（模拟的、静态环境）的限制及一些项目的要求，CTD 需要进行真实海况下的比测。

为了规范、统一 CTD 海上比测方法，根据“市场监管总局办公厅关于下达《2021 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划》的通知（市监计量发〔2021〕50 号）”，《电导率温度深度剖面仪海上比测方法》作为国家技术规范，由国家海洋标准计量中心负责制定任务，归口单位为全国海洋专用计量器具计量技术委员会。

二、调研情况

为了较全面掌握 CTD 海上计量性能的比测方法，首先搜集国内外关于 CTD 的校准方法、规程、标准等，资源检索发现国内校准主要依据 JJG763《温盐深测量仪》检定规程，国外如美国的 WHOI 海洋研究所的《CTD 校准与数据处理方法》是世界上较为知名的方法，采用的方法均是实验室内的检定校准，而海上现场相关的比测规范暂未检索到。

目前 CTD 国内外的主要生产厂家有中国国家海洋技术中心、美国海鸟公司、加拿大 RBR 公司、日本 JFE(ALEC)公司等(仪器图片见图 1，相关技术指标见表 1)。由于各个厂家有各自的测量范围、示值误差、校准器具及校准方法，并不一致，直接影响了测量数据的准确度。随着我国海洋技术和海洋开发的迅速发展，CTD 的使用量逐渐增加，其测量数据的质量直接影响我国海洋观测数据，进而间

接影响我国海洋环境调查、灾害预报等决策者的准确性，所以制定 CTD 海上比测方法，实现海上现场的比测校准，确保海上现场的数据质量非常有必要。



图 1 国内外 CTD 例子

表 1 常用的 CTD 信息一览表

制造厂家	序号	型号	温度 (°C)		电导率 (mS/cm)		压力 (MPa)	
			测量范围	最大允许误差	测量范围	最大允许误差	测量范围	最大允许误差
国家海洋技术中心	1	SZC15-2	-5~35	0.005	0~65	0.005	0~35	0.2% FS
	2	SZF4-1	-5~35	0.01	0~65	0.05	0~10	0.2% FS
美国 Sea bird 公司	1	911plus	-5~35	±0.001	0~70	±0.003	0~68	±0.015%FS
	2	917 plus	-5~35	±0.001	0~70	±0.003	0~68	±0.015%FS
	3	25	-5~35	±0.002	0~70	±0.003	0~68	±0.1% FS
	4	37SM	-5~35	±0.002	0~70	±0.003	0~68	±0.1% FS
	5	19plus	-5~35	±0.005	0~90	±0.005	0~68	±0.1%FS
加拿大 RBR 公司	1	XR-420CTD	-5~35	±0.002	0~70	±0.003	0~66	±0.05% FS
	2	XR-620CTD	-5~35	±0.002	0~70	±0.003	0~7.4	±0.05% FS
日本 ALEC 公司	1	COMPACT-CTD	-5~40	±0.02	0~60	±0.001	0~6 0~10	±0.3% FS
	2	Water Sampler	-5~40	±0.02	0~60	±0.05	0~3	±0.3%FS
	3	AAQ 1183	-5~40	±0.05	0~100	±0.05	0~1	±0.3% FS

三、校准规范制订的目的和意义

国内目前 CTD 校准时主要参照 JJG763《温盐深测量仪》检定规程，该规程中规定的主要是实验室内的温度、电导率和压力要素的检定方法，偏向于单要素的检定，而无法考虑要素间的相互影响。

由于我国没有现行有效的关于 CTD 海上比测的规程/规范，而目前海洋仪器市场上海水温盐测量仪种类多，自校方法各异，并无统一的标准，无法确保仪器自身的稳定性和测量数据的准确性，从而无法保证观测数据的准确可靠，因此需要制定 CTD 现场比测方法，完善海洋水文仪器的量值溯源体系。近几年来，本中心已深入调研海 CTD 的实际使用情况并进行过相关的实验，取得了宝贵的第一手资料和经验。制定“电导率温度深度剖面仪海上比测方法”无论是从市场需要还是从制定时机等方面来看，都显得尤为必要和迫切。

四、校准规范编写依据

本规范的编写主要参考以下文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJG 763-2019 温盐深测量仪检定规程

GB/T 15920-2010 海洋学术语 物理海洋学

GB/T 23246-2009 电导率温度深度剖面仪

HY/T 141-2011 海洋仪器海上试验规范

五、与“国际建议”、“国际文件”、“国际标准”、“国内标准”等兼容情况

电导率温度深度剖面仪海上比测方法填补了国内在相关海洋仪器校准方法国家校准方面的空白，使得今后相关仪器的比测评价有章可循，与“国内标准”是兼容的，未查到相关“国际建议”、“国际文件”、“国际标准”。

六、校准规范内容说明

1 规范名称的确定说明

电导率温度深度剖面仪主要用于现场测量海水温度、电导率（盐度）和深度要素，按记录形式的不同分为自容式和直读式两种，自容式 CTD 设有存储器和独立的电源，待测量结束后在实验室内进行数据读取，通常在近岸浅海区长期使用；

直读式 CTD 的水下单元没有存储器和独立的电源，其电源由甲板上的水上单元通过铠装电缆供给，水下机测量的参数实时传输到水上机显示和记录，常与多路取样器组合进行剖面快速测量，主要应用在大型船舶海洋科考活动的各站点短期使用。在本规范中定义的 CTD，包含这两种记录形式的 CTD。

2 范围的确定说明

CTD 是用于现场测量海水温度、电导率（盐度）和深度要素的仪器，是海洋水文观测的常用仪器，应用于海洋科学调查、海上浮标和海洋台站等现场观测，其数据能真实快速地反映海水的温度、盐度状况。因此本校准规范针对 CTD，适用于 CTD 的海上比测及质量控制。温度盐度深度测量仪（STD）、温度深度测量仪（TD）、温度测量仪（T）及温度电导率测量仪（CT）的海上比测也可参照使用。

3 计量特性的确定说明

本规范充分考虑 CTD 的工作原理、使用环境、海洋调查观测任务的需求等条件，校准内容主要包括深度（压力）示值比测、温度示值比测、电导率（盐度）示值比测。

3.1 深度（压力）示值比测

根据仪器的量程或使用范围，选取几个深度点，进行深度（压力）示值比测。深度（压力）是 CTD 调查的基础，深度（压力）测得准其它参数才有意义。压力传感器存在漂移情况，所以需通过比测的方式确认其漂移情况。

3.2 温度示值比测

在深度比测的同时，进行温度示值的比测。温度传感器存在漂移情况，所以需通过比测的方式确认其漂移情况。

3.3 电导率（盐度）示值比测

在深度比测的同时，进行电导率（盐度）示值比测。电导率（盐度）传感器存在漂移情况，所以需通过比测的方式确认其漂移情况。

4 校准条件

4.1 关于环境条件

环境条件中对海况、水深及流的情况做了要求。为了使测量结果具有尽可能小的不确定度，需要建立一种较稳定的环境条件，降低环境因素对比测带来的影

响。

4.2 关于设备设施

对实验船或平台做了设施的要求，对比测仪器和参试仪器做了检定/校准的要求和建议。

4.3 关于仪器的设置和安装

对仪器的设置和安装，在校时、采样频率、固定位置和泵的使用等方面做了要求。

5 校准项目和校准方法

5.1 比测方法的确定

以往的CTD海上比测，只是求两台比测仪器同一参数的相关系数、误差（参试仪器与参考标准之间的差值）和相对误差（误差除以参考标准值的绝对值），得到结果而无法进行评判。而在实验室的校准和比对，条件又过于理想化，校准一般是在量程范围内选取几个不同校准点进行静态校准，且校准时只能考虑单一要素，而不能考虑不同要素间的影响，比对则可以简单总结为知道两台CTD的测量不确定度或最大测量允许误差，利用方和根法求临界值，看差值与临界值的大小关系。而实海况下，情况要复杂得多。如何确定比测的方法也就成了重中之重。

首先，如何排除传感器响应时间的影响。以往的做法是看比测仪器的某一要素随时间变化的对比趋势图，通过不断修正某一仪器的时间，来让两者的曲线尽可能重合，通过不断修正，可达到图2、图3的效果。

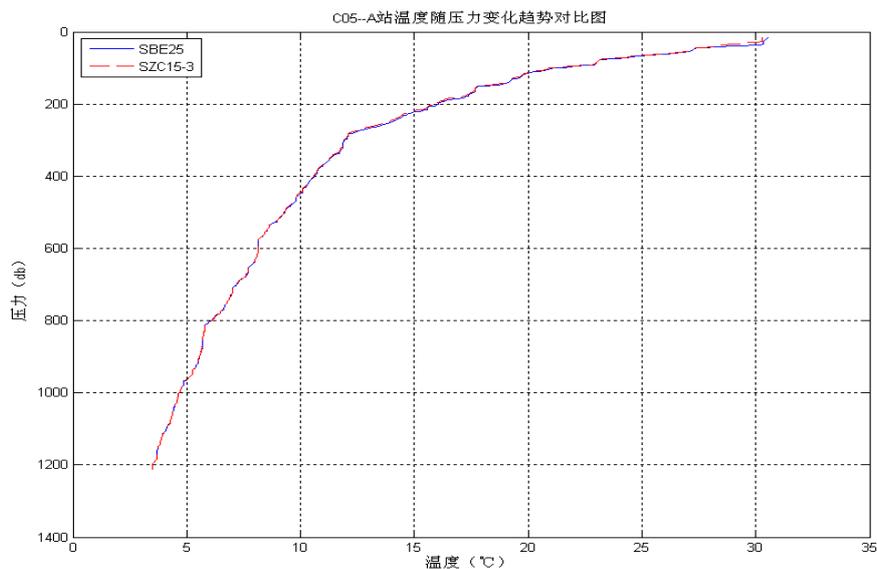


图2 温度随压力变化趋势对比图

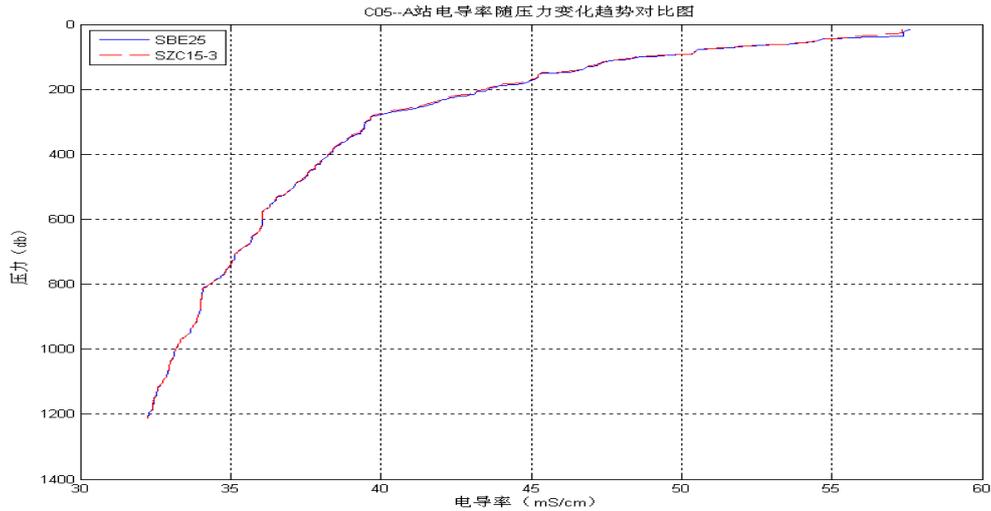


图3 电导率随压力变化趋势对比图

那么如何避免通过修正时间来达到图2和图3的效果呢？参考实验室内CTD的检定校准方法，设置不同的点，在这些比测点上进行数据的比测分析。

5.2 数据采集

如何选取比测点？借鉴 GB/T 12763.2-2007 海洋调查规范第2部分：海洋水文观测中标准观测层次的设置（见表2），从中选择比测点。

表2 标准观测层次

单位为米

水深范围	标准观测水层	底层与相邻标准层的最小距离
<50	表层, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 底层	2
50~100	表层, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 底层	5
100~200	表层, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 底层	10
>200	表层, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000 (水深大于3 000m时, 每千米加一层), 底层	25

注1：表层指海面下3m以内的水层。

注2：底层的规定如下：水深不足50m时，底层为离底2m的水层；水深在50m~200m范围内时，底层离底的距离为水深的4%；水深超过200m时，底层离底的距离，根据水深测量误差、海浪状况、船只漂移情况和海底地形特征综合考虑，在保证仪器不触底的原则下尽量靠近海底。

注3：底层与相邻标准层的距离小于规定的最小距离时，可免测接近底层的标准层。

在下放阶段选择至少5个不同水深点，水深宜选择符合表1规定的水层，且宜避开表层、强流区和温跃层。每个水深点宜停留1min后开始采集数据，采集至少10组数据。

5.3 数据处理

1) 温跃层数据处理

图4、图5是某次比测试验两台CTD温度和电导率差值随压力的变化曲线，由图分析可知，差值并不是一个固定值，而是分布在一定范围内的某些值，差值比较大的地方往往就是这个剖面的温盐跃层。

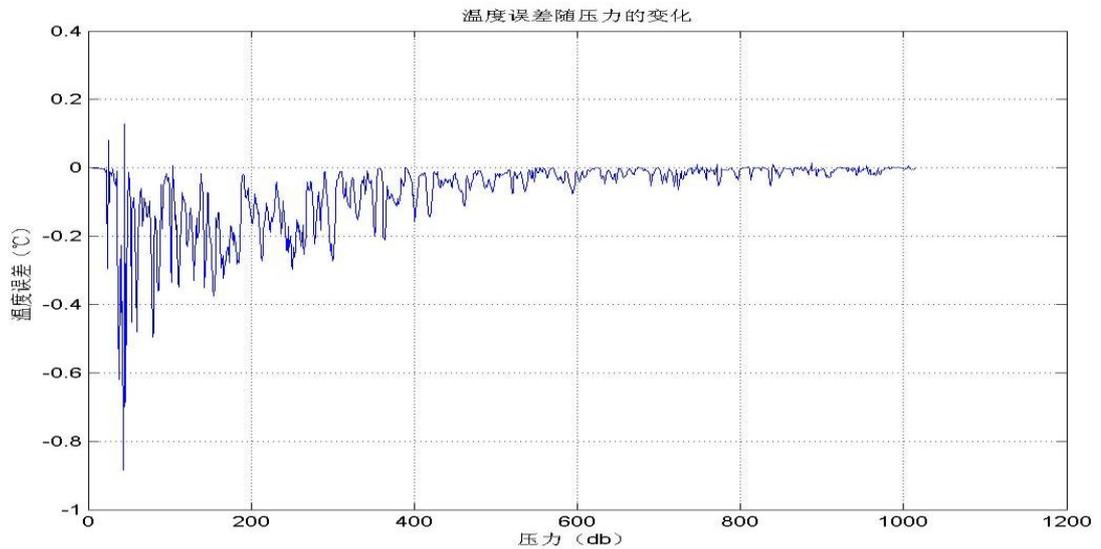


图4 温度差值随压力的变化

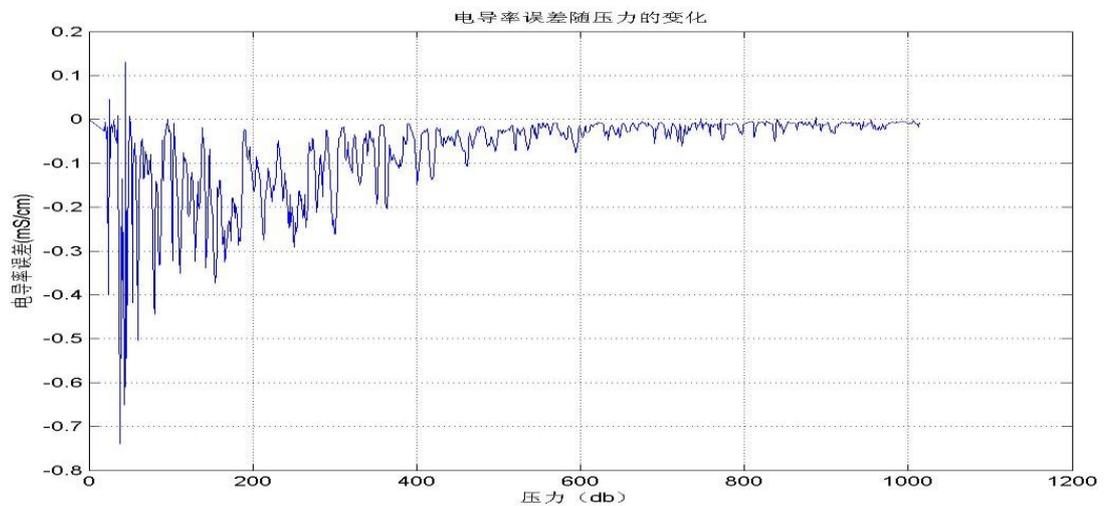


图5 电导率差值随压力的变化

温跃层的水深点不宜作为比测点。

2) 异常值数据处理

在比测用水深点，选择比测时间段的数据，按照 3σ 准则，判别剔除异常值。

3) 比测用数据处理

剔除异常值后，每个比测时间段的数据求取平均值、实验标准偏差 $s(x_k)$ 和

平均值的实验标准差 $s(\bar{x})$ 。

4) 强流区及晃动异常点

实海况下除了温盐跃层的影响，还有浪流及船体晃动等要素的影响。如何判定某水深点为强流区或晃动引起的异常深度点呢？

a) 对某次下放近 5000m 的 SBE911plus CTD 各停留层数据进行了分析处理，结果见表 3。

表 3 比测点压力数据分析

比测停留层 (m)	比测点最大值最小值差 ($\times 10^4\text{Pa}$)	实验标准偏差 ($\times 10^4\text{Pa}$)
34	1.49	0.45
51	2.82	0.48
200	2.71	0.62
300	2.21	0.49
501	3.95	0.65
800	3.18	0.71
1000	4.00	0.75
1999	3.56	0.67
2999	5.69	1.05
3999	4.16	0.69
4780	4.80	0.89

b) 对某次比测试验 SBE911plus CTD 在约 700m 深停止放缆后记录的压力情况进行分析，见图 6，约 2.5 分钟的时间，压力变化了 $13.7 \times 10^4\text{Pa}$ ，实验标准偏差为 $3.99 \times 10^4\text{Pa}$ 。



图 6 压力随时间变化图

通常实验标准偏差均小于 $2.00 \times 10^4 \text{Pa}$ ，实验标准偏差大于 $2.00 \times 10^4 \text{Pa}$ 的停留层为强流区及晃动异常水深点，该点不利于进行比测，宜剔除该水深点，不参与比测。

5.4 传感器示值比测

以某次1500m深度的SBE19plus（参试仪器）和SBE 911plus（比测仪器）数据分别进行深度（压力）、温度、电导率（盐度）示值比测的分析，结果见表4~表6。

表 4 不同深度点的压力比测结果

深度点 (m)	比测仪器压力示值 ($\times 10^4 \text{Pa}$)	参试仪器压力示值 ($\times 10^4 \text{Pa}$)	压力示值差值 ($\times 10^4 \text{Pa}$)
100	101.05	101.06	0.01
200	198.56	198.48	-0.08
400	395.34	395.08	-0.26
1000	1005.35	1005.07	-0.28
1200	1209.22	1209.26	0.04
1500	1524.50	1525.23	0.73

表 5 不同深度点的温度比测结果

深度点 (m)	比测仪器温度示值 ($^{\circ}\text{C}$)	参试仪器温度示值 ($^{\circ}\text{C}$)	温度示值差值 ($^{\circ}\text{C}$)
100	21.1600	21.2095	0.0495
200	14.5955	14.6038	0.0083
400	10.0729	10.0762	0.0033
1000	4.7897	4.7888	-0.0009
1200	3.6881	3.6877	-0.0004
1500	2.7799	2.7787	-0.0012

表 6 不同深度点的电导率比测结果

深度点 (m)	比测仪器电导率示值 (mS/cm)	参试仪器电导率示值 (mS/cm)	电导率示值差值 (mS/cm)
100	48.5979	48.6357	0.0378
200	42.1245	42.1231	-0.0014
400	37.7679	37.7639	-0.0040
1000	33.2932	33.2871	-0.0061
1200	32.4420	32.4365	-0.0055
1500	31.8063	31.8002	-0.0061

5.5 校准处理

因为传感器存在漂移，所以比测时可以对参试仪器进行校准修正。修正后需再次进行比测判定，看其是否满足指标要求或调查要求。

6. 关于校准结果的表达和复校时间间隔

校准结果的描述采用了 JJF 1071-2010 中规定的内容。其中“校准结果及其测量不确定度的说明”中给以具体化的要求：应给出每个被校点对应的输出平均值，以及相应的不确定度，如各被校点的扩展不确定度以线性增加，可取最大的扩展不确定度作为最终结果。

仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等直接影响仪器的计量性能，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。根据仪器的实际情况建议如下：

新购置或修理后的仪器，宜及时校准。

为确保仪器准确可靠，通常情况下建议仪器使用前各校准1次。