

海水温度测量仪校准规范

（编制说明）

国家海洋标准计量中心

二零二一年九月

海水温度测量仪校准规范编制说明

一、任务来源

根据国家市场监管总局下发的《市场监管总局办公厅关于下达<2020 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〔2020〕38 号），《海水温度测量仪校准规范》作为国家计量技术规范进行制修订，国家海洋标准计量中心为主要起草单位，国家海洋局北海标准计量中心、国家海洋局南海标准计量中心为参加起草单位，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

海水温度测量仪（以下简称温度测量仪）主要用于现场测量海水温度要素，为海洋工程、海洋调查和海洋科学研究提供海洋环境信息。起草组先后走访调研天津、青岛、厦门等地，了解到目前国内海水温度测量仪的主要生产厂家有国家海洋技术中心、青岛道万科技有限公司、广州海洋地质调查局、杭州浅海公司等，其中以国家海洋技术中心生产的 SWY1 型、OST 型温度传感器和青岛道万公司生产的 DW12 系列温度测量仪为主，还包括华北电力大学 HDOFT 型光纤温度传感器、广州海洋地质调查局的 FY-1 型温度仪、杭州浅海科技有限责任公司生产的 MONOT 等新型的温度测量仪；国外的主要生产厂家包括美国 Seabird 公司生产的 SBE 系列温度测量仪、加拿大 RBR 公司生产的 Solo 型温度测量仪等。

使用较为广泛的是美国 Seabird 公司生产的 SBE 系列温度测量仪，包括 SBE56、SBE38、SBE39，加拿大 RBR 公司生产的 SoloT，国家海洋技术中心生产的 SWY1、OST30、OST31，青岛道万科技有限公司生产的 DW12 系列温度测量仪。

表 1 常用的海水温度测量仪信息一览表

制造厂家	序号	型号	测量范围(℃)	最大允许误差(℃)	分辨率(℃)
国家海洋技术中心	1	SWY1	-5~35	±0.002	0.0001
	2	OST30			
	3	OST31D			
	4	OST31M			
	5	OST31IM			
青岛道万科技有限公司	1	DW12 系列	-5~35	±0.01	0.001

广州海洋地质调查局	1	FY-1 型	-2~52	± 0.002	0.001
美国 Sea bird 公司	1	SBE56	-5~45	± 0.002	0.0001
	2	SBE38	-5~45	± 0.002	0.0001
	3	SBE39	-5~45	$\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ (-5~35) $^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ (35~45) $^{\circ}\text{C}$	0.0001
加拿大 RBR 公司	1	RBR Solo ³ T	-5~35	± 0.002	<0.00005

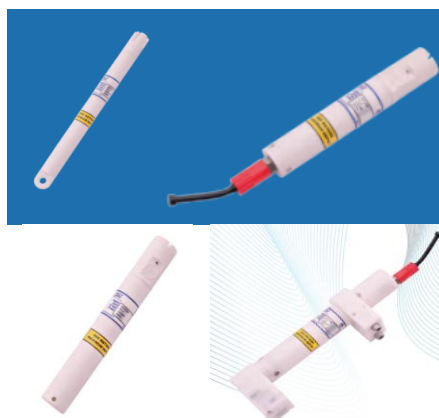


图 1 国家海洋技术中心 OST30/OST31D/OST31M/OST31IM 海水温度测量仪



图 2 青岛道万科技有限公司 DW12 系列自容式海水温度测量仪



图 3 美国 Sea bird 公司 SBE56（左）、SBE38（右）海水温度测量仪



图 4 美国 Sea bird 公司 SBE39 海水温度测量仪



图 4 加拿大 RBR 公司 RBR solo³T 海水温度测量仪

起草组在综合多年以来对大量常用海水温度测量仪的运行、使用及校准方法的经验基础上，开展了常用海水温度测量仪的实际使用情况调研，分析校准技术要点和难点，选定了规范的技术路线，确定校准方案，在经验总结和完善方法的基础上制定《海水温度测量仪校准规范》。

三、 校准规范制订的目的和意义

海水温度是表征海水状态的重要参数，是其他物理和化学要素测定的根本和前提，同时也对海洋生物的栖息、生长和繁殖过程有着至关重要的影响。对海水温度分布规律及变化的描述和分析，是海洋调查、海洋观测和海洋科学研究的重要内容。海水温度测量仪因其测量准确度高、速度快、性能稳定等优点，是目前用于现场自动测量海水温度的主要手段。因此对海水温度测量仪进行校准，全面评价其计量性能，保证其量值溯源需要，是保证海水温度测量数据准确可靠的重要途径。

海水温度测量仪是具有高精度温度传感器的测温仪器，其不仅局限于对海水表层温度的测量，也可用于剖面测量、快速测量，其精度高，测量深度更广，与传统的海洋电测温度计有很大的不同。当前，我国现行 JJG223-96《海洋电测温度计》检定规程制定于 1996 年，经过 20 多年的发展，已经无法满足海水温度测量仪校准需求。目前，没有现行有效的关于海水温度测量仪的检定规程/校准规范，而海洋仪器市场上海水温度测量仪成为主流测量海水温度的仪器，其种类多，自校方法各异，且并无统一的标准，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，因此需要制定海水温度测量仪校准规范，完善海洋水文仪器的量值溯源体系。

目前，对海水温度测量仪的检定校准主要依据和参考 JJG763-2019《温盐深测量仪检定规程》，该规程规定的检定温度范围为（-2~35）℃。但美国 Sea bird 公司、加拿大 RBR 公司以及国家海洋技术中心、青岛道万科技有限公司等绝大多数厂家所生产的海水温度测量仪的测量范围均已能够低至-5℃。且近年来，我国的南北极科考事业取得了跨越式的发展，极地海洋调查的范围不断扩大，所使用的海洋仪器也越来越多，这对海洋仪器在极地低温环境下的数据质量提出了新的要求。

因此，为了进一步全面的评价海水温度测量仪的计量性能，满足温度量值传递的需要，亟需对海水温度测量仪的校准方法进行研究，制定海水温度测量仪的校准规范，以满足海洋科学发展对于海水温度测量仪校准的需要。

四、 校准规范编写依据

依据 JJF1002-2010《国家计量检定规程编写规则》编制。以 JJG763-2019《温盐深测量仪》为参考，结合海水温度测量仪的发展和使用现状进行制定的。主要参考以下依据进行校准规范的制定：

本规范的编写主要参考以下文件：

1. JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》
2. JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》
3. JJG 763-2019《温盐深测量仪》
4. JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》
5. GB/T 23246-2009《电导率温度深度剖面仪》

五、 与“国际建议”、“国际文件”、“国际标准”、“国内标准”等兼容情况

海水温度测量仪校准规范填补了国内在相关海洋仪器校准方法方面的空白，使得今后相关仪器的验收、检验、质量评价有章可循。

国际方面，关于温度测量仪的校准方法，未查询到相关的“国际建议”、“国际文件”和“国际标准”，查询到美国 Woods Hole Oceanographic Institution 1993 年发布的技术报告 CTD Calibration and Processing Methods used at Woods Hole Oceanographic Institution，与其内容是完全兼容的。

国内方面，2009 年发布的国家标准《电导率温度深度剖面仪》（GB/T23246-2009）与本校准规范内容兼容，其测试温度范围为（0~35）℃。2018 年发布的

行业标准《海水温度测量仪器检测方法》(HY/T 268—2018),方法与本校准规范一致,测试温度范围为 $(-2\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 。2019年新修订的检定规程《温盐深测量仪》(JJG763-2019),方法与本校准规范一致,测试温度范围为 $(-2\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 。因此,新修订的海水温度测量仪校准规范与“国内标准”是兼容的。

六、 校准规范内容说明

本校准规范结合对仪器实际使用情况的调研及经验积累,充分考虑仪器的工作原理,使用环境,任务需求,同时兼顾方法的科学性,权威性和实用性原则,确定校准规范内容说明为以下几项:

1. 规范名称的确定说明

海水温盐测量仪主要用于海水温度的测量。温度测量仪测量时主要依靠传感器,温度传感器绝大多数都是热敏电阻,有直读式和自容式两种。

2. 范围的确定说明

海水温度测量仪是用于测量海水温度的仪器,是海洋水文观测的常用仪器,应用于海洋台站、海上浮标和海洋科学调查等现场观测,其数据能真实快速地反映海水的温度状况。因此本校准规范针对测量海水温度的仪器,适用于海水温度测量仪或温度传感器的校准。

3. 关于概述的说明

描述了仪器用途、构造及原理,绘制了仪器示意图。

4. 计量特性的确定说明

本规范充分考虑海水温度测量仪的工作原理、使用环境、海洋调查观测任务的需求等条件,校准内容主要包括温度示值误差、温度测量重复性。

3.1 温度示值误差

由于不同海区、不同深度海水的温度不同,同时考虑仪器本身测量范围,一般为 $(-5\sim 35)^{\circ}\text{C}$,选择不同的温度点进行校准。

3.2 温度测量重复性

温度测量仪(传感器)在使用一段时间后,存在漂移,重复性会下降,影响测量精度,因此需要对温度测量重复性进行校准。

4. 校准条件

校准条件包括校准用标准器、配套设备和校准环境条件。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，降低环境因素对标准器带来的附加误差，本校准规范是按上述原则确定的校准条件。

4.1 环境条件

环境条件主要根据海水温度测量仪校准所使用的计量标准器具要求的环境条件确定，参考 JJG763-2019《温盐深测量仪》检定规程，为了满足标准器稳定，环境温度要求达到 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。参考相关计量标准器使用说明书，温度方面没有严格要求，室温下正常使用即可，湿度方面多数说明书建议“相对湿度 $\leq 85\%$ ”或“相对湿度 $\leq 80\%$ ”，确定温湿度要求，具体要求如下：

环境温度： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度： $\leq 80\%$ ；

电源电压： $(220\pm 10)\text{V}$ ；

电源频率： $(50\pm 1)\text{Hz}$ 。

4.2 校准用标准器具

进行海水温度测量仪校准主要用到的标准器有恒温槽、标准铂电阻温度计、测温电桥等。通过改变恒温槽中介质的温度，提供不同的温度校准点来实现海水温度测量仪的校准。

在恒温槽中放置介质，推荐酒精或防冻液，也可在 $(-2\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 使用天然海水， $(-2\sim 5)^{\circ}\text{C}$ 更换为酒精或防冻液，通过控制系统对恒温槽内温度在 $(-5\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 之间控制，可控温至温度校准点。在温度稳定时，利用测温电桥获得恒温槽内的标准温度值，读取被校仪器的测量值，通过计算仪器温度测量值与标准温度之差即可得出温度示值误差。

按照 JJF1094-2002《测量仪器特性评定》的要求，当示值误差的不确定度 U_{95} 与被评定仪器的最大允许误差的绝对值 MPEV 应满足 1:3 的关系，使用标准铂电阻温度计和测温电桥，也可以使用满足要求的其他测量系统。

5. 校准项目和校准方法

5.1 外观检查

参考国家计量校准规范编写规则和各厂家仪器的说明书，并考虑到海洋仪器的工作环境和海水的腐蚀性，确定了外观检查的内容：外壳、铭牌、电缆连接等部分。

5.2 温度示值误差

首先介绍了采用的校准方法及数据处理的方法。校准点的选取，根据海水温度测量仪的测量范围作出了详细规定，给出了具体的校准操作步骤。最后对校准数据的处理方法作出了详尽的说明。

利用恒温槽，在被校海水温度测量仪的测量范围内选取一系列温度测量点，按照海水温度测量仪的操作规则，进行不同温度点的校准。温度点的选取宜覆盖其量程范围，在 35℃、30℃、25℃、20℃、15℃、10℃、5℃、0℃、-2℃、-5℃ 中选取不少于 5 个温度校准点。考虑到对整个世界大洋来说，约 75% 的水体温度在（0~6）℃ 之间，其整体变化范围在（-2~30）℃ 之间。温度范围为-2℃ 时可直接在海水恒温槽中进行，温度范围为-5℃ 时需将恒温槽中的介质换成 10% 的乙二醇或防冻液。

选取常用的温度点，对两种常见海水温度测量仪进行温度校准的示值误差见表 2~表 4。

表 2 RBR solo³ 型海水温度测量仪温度示值误差校准结果

标准温度 (℃)	仪器温度 原始值	仪器初始温度示值 (℃)	仪器温度示值 (℃)	示值误差 (℃)
34.9634	0.2460776	34.9673	34.9634	0.0000
30.0586	0.2872363	30.0625	30.0585	-0.0001
25.0791	0.3343386	25.0836	25.0793	0.0002
20.0862	0.3866960	20.0908	20.0861	-0.0001
15.0730	0.4437409	15.0779	15.0728	-0.0002
10.0492	0.5042407	10.0546	10.0492	0.0000
4.9876	0.5669474	4.9935	4.9878	0.0002
0.4048	0.6236109	0.4108	0.4052	0.0004
-1.9856	0.6526047	-1.9809	-1.9863	-0.0007
-4.9772	0.6878901	-4.9719	-4.9769	0.0003
校准系数： a= 0.003526777271888 b=-0.000253828631285 c= 0.000002451049441 d=-0.000000067237775				

表 3 美国海鸟 SBE56 型海水温度测量仪温度示值误差校准结果

标准温度 (°C)	仪器温度示值 (°C)	示值误差 (°C)
34.9590	34.9584	-0.0006
30.0578	30.0572	-0.0006
25.0807	25.0800	-0.0007
20.0870	20.0863	-0.0007
15.0743	15.0735	-0.0008
10.0495	10.0489	-0.0006
4.9873	4.9872	-0.0001
0.4067	0.4069	-0.0002

表 4 SWY1 型海水温度测量仪温度示值误差校准结果

标准温度 (°C)	仪器温度原始值	仪器初始温度示值 (°C)	仪器温度示值 (°C)	示值误差 (°C)
34.9389	2.287515	34.9368	34.9389	0.0000
30.0276	1.892737	30.0271	30.0277	0.0001
25.0438	1.552805	25.0440	25.0437	-0.0001
20.0440	1.265518	20.0450	20.0440	0.0000
15.0246	1.024124	15.0262	15.0246	0.0000
9.9961	0.823087	9.9984	9.9961	0.0000
4.9316	0.656013	4.9347	4.9316	0.0000
0.3569	0.531247	0.3608	0.3569	0.0000
校准系数： $t_0 = 1.69348250 \times 10^{-3}$ $t_1 = 2.10052772 \times 10^{-4}$ $t_2 = 1.38555966 \times 10^{-5}$ $t_3 = -1.47505635 \times 10^{-6}$ $t_4 = 6.91313289 \times 10^{-8}$				

由表 2~表 4 可看出，海水温度测量仪的温度示值误差不大于被校仪器最大允许误差时，直接给出温度示值误差；海水温度测量仪的温度示值误差大于被校仪器最大允许误差时，可通过校准公式进行回归处理，回归后给出回归系数。

5.3 温度测量重复性

参照 JJG763-2019《温盐深测量仪》，温度测量重复性校准点选择 15℃，在该温度条件下进行海水温度测量仪的温度重复性测量，测量 6 次，根据贝塞尔公式计算仪器的实验标准差以表征海水温度测量仪温度传感器提供相近示值的能力。温度测量重复性见表 5~表 7。

表 5 RBR solo³型海水温度测量仪温度测量重复性

序号	仪器温度示值 ℃	示值平均值 ℃	重复性 ℃
1	15.0782	15.0778	3.1×10^{-4}
2	15.0780		
3	15.0775		
4	15.0778		
5	15.0774		
6	15.0777		

表 6 美国海鸟 SBE56 型海水温度测量仪温度测量重复性

序号	仪器温度示值 ℃	示值平均值 ℃	重复性 ℃
1	15.0733	15.0736	1.9×10^{-4}
2	15.0735		
3	15.0734		
4	15.0736		
5	15.0738		
6	15.0737		

表 7 SWY1 型海水温度测量仪温度示值误差校准结果温度测量重复性

序号	仪器温度示值 ℃	示值平均值 ℃	重复性 ℃
1	15.0264	15.0262	1.4×10^{-4}
2	15.0262		
3	15.0260		
4	15.0262		
5	15.0263		
6	15.0263		

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和包含因子，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。

一般，测量仪复校时间间隔的长短是由测量仪的稳定性等自身质量情况和使用情况所决定的，使用者可根据实际情况自主决定复校，但是根据实践建议复校时间一般不超过 1 年。新购置或更换或经过调试维修后的测量仪应及时进行校

准。由于海水温度测量仪使用环境的特殊性，为了保证测量数据的质量，建议在出海前后都要进行校准。