

表层水温表测量结果不确定度评定

黄亚飞, 巨龙, 钱飞

(国家海洋局南海标准计量中心 广州 510700)

摘要: 文章以表层水温表为研究对象, 根据 JJG 289—2005 表层水温表检定规程的要求, 以计量标准器二等标准铂电阻温度计及配套设备制冷恒温槽为基础, 详细分析了表层水温表温度测量值的不确定度来源, 从而得到表层水温表温度示值误差的扩展不确定度, 并给出了减小合成标准不确定度的方法。

关键词: 表层水温表; 温度; 不确定度评定; 二等标准铂电阻温度计; 垂直度偏差

中图分类号: TB942 ; P7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005—9857(2019)05—0048—03

Evaluation of Uncertainty in Surface Temperature Measurement

HUANG Yafei, JU Long, QIAN Fei

(South China Sea Center of Ocean Standards and Metrology, SOA, Guangzhou 510700, China)

Abstract: According to the requirements of JJG 289—2005 “Surface water thermometer”, this study took the surface temperature as the subject investigated. By using the measuring standard device which including the second class standard platinum resistance thermometer and the refrigeration thermostat, the source of uncertainty of surface temperature measurement was analyzed in detail. Thus the expanded uncertainty of surface temperature indication error was obtained, and the method of reducing the combined standard uncertainty was given.

Key words: Surface water thermometer, Temperature, Evaluation of uncertainty, Grade II standard Platinum resistance thermometer, Perpendicularity deviation

0 引言

海水温度是海洋水文参数中最重要参数之一, 常作为研究水团及水团运动的参数指标, 同时也对研究海水温度的地理分布、海上捕捞作业等非常重要。表层海水温度一般是指水面以下 0.5 m 以内的水层温度, 目前国内较多采用表层水温表进行测量。表层水温表除了测量海水温度, 还可测量湖泊、河流、水库、池塘等表层水温。

为更加全面地分析表层水温表校准的不确定

度来源, 满足不确定度评定的需求, 本研究参照 JJG 289—2005 表层水温表检定规程的方法, 采用二等标准铂电阻温度计、超级测温仪、制冷恒温槽对表层水温表进行校准, 通过对测量结果的不确定度评定, 表明测量结果具有较窄的不确定度, 满足了表层水温表不确定度的需求^[1-2]。

1 方案设计

1.1 测试环境

实验室室温应控制在 10℃ ~ 30℃, 相对湿度不

收稿日期: 2018-12-19; 修订日期: 2019-04-10

作者简介: 黄亚飞, 助理工程师, 硕士, 研究方向为海洋计量检定

通信作者: 巨龙, 助理工程师, 硕士, 研究方向为海洋计量检定

大于 80%RH,本研究开展的试验在 24℃ 的室温, 50%RH 的环境中进行。

1.2 测量仪器

表层水温表:宁波市温度表厂,型号 SWL1-1, 编号 159,温度测量范围为 $-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 、分度值为 0.2°C 。二等标准铂电阻温度计:昆明特普瑞仪表有限公司,型号 WZPB-2,编号 8067,二等,温度测量范围为 $-189.344^{\circ}\text{C} \sim 419.527^{\circ}\text{C}$,溯源机构为广东省计量科学研究院,检定证书编号:RZD201803018。测温电阻比较仪:FLUKE,型号 1594A,编号 B08032, $U=0.3 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}$ ($k=2$),电阻测量范围为 $0 \sim 500\text{k}\Omega$,溯源机构为广东省计量科学研究院,检定证书编号:DYL201800332。制冷恒温槽:湖州晶觅试验设备有限公司,型号 RTS-20A,编号 17067,温度测量范围为 $-35^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$,溯源机构为国家海洋局南海标准计量中心,检测证书编号:NHC2018164。读数望远镜:Odylley,型号 OCC-1031。水三相点瓶:昆明特普瑞仪表有限公司,型号 DFTP-1。

1.3 测量方法

试验前,先测定二等标准铂电阻温度计在水三相点的 R_p 电阻值,以提高标准铂电阻温度计的测量精度。将表层水温表的外壳卸下,取出温度表,将温度表和二等标准铂电阻温度计放入制冷恒温槽中,依次设定制冷恒温槽 0°C 、 10°C 、 20°C 、 30°C 、 40°C ,在每个温度点稳定后两个人自二等铂标准温度计至表层水温表依次循环读取两组数据并记录。为使得扩展不确定度在数值上保留两位有效数字,本研究计算标准不确定度分量时取小数点后 4 位^[3-4]。

2 测量模型

2.1 温度测量模型

$$T = T_b - T_s$$

式中: T 为 t 温度时的示值误差; T_b 为 t 温度时表层水温表读数平均值; T_s 为 t 温度时二等标准铂电阻温度计读数平均值。

2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial T}{\partial T_b} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial T}{\partial T_s} = -1$$

式中: c_1 为 T_b 的不确定度影响被测估计值的不确定度 T 的灵敏程度; c_2 为 T_s 的不确定度影响被测

估计值的不确定度 T 的灵敏程度。

3 测量结果及不确定度评定

3.1 输入量 T_b 标准不确定度 u_{1i}

3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{11}

以 0°C 为例,表层水温表的 4 次读数为 0.04°C 、 0.04°C 、 0.06°C 、 0.06°C 。测量值的标准不确定度 s 可由贝塞尔公式得出:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{bi} - T_b)^2}{(n-1)}} = 0.0115^{\circ}\text{C}$$

式中: s 为试验标准偏差,表征了测得值 T_{bi} 的分散性; T_{bi} 为表层水温表的实际测得值。

算术平均值 $\overline{T_b}$ 的标准不确定度为:

$$u_{11} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.0058^{\circ}\text{C}$$

3.1.2 表层水温表分辨率引入的标准不确定度分量 u_{12}

表层水温表分度值为 0.2°C ,被测量可能值区间的半宽度 a 为 0.02°C ,在此区间,服从均匀分布,按照 B 类不确定度评定,置信因子 k 取 $\sqrt{3}$,表层水温表分辨率引入的标准不确定度分量为:

$$u_{12} = \frac{a}{k} = 0.0115^{\circ}\text{C}$$

3.1.3 读数望远镜与表层水温表垂直度引入的标准不确定度分量 u_{13}

通过实际操作,读数望远镜与表层水温表的垂直度偏差导致被测量值偏离真值达到表层水温表的半个分度值即 0.1°C ,被测量可能值区间的半宽度 a 为 0.05°C ,在此区间,服从均匀分布,按照 B 类不确定度评定,置信因子 k 取 $\sqrt{3}$,读数望远镜与表层水温表垂直度引入的标准不确定度:

$$u_{13} = \frac{a}{k} = 0.0289^{\circ}\text{C}$$

3.2 输入量 T_s 标准不确定度 u_{2i}

3.2.1 制冷恒温槽温差及温度稳定性引入的标准不确定度分量 u_{21}

(1)根据检测证书,制冷恒温槽工作空间最大温差为 0.002°C ,区间的半宽度 a 为 0.001°C ,在此区间,服从均匀分布,按照 B 类不确定度评定, $k = \sqrt{3}$,制冷恒温槽温差引入的标准不确定度为:

$$u'_{21} = \frac{a}{k} = 0.000\ 6^{\circ}\text{C}$$

(2)根据检测证书,制冷恒温槽 10 min 温度稳定性最大为 0.012℃,区间半宽度 a 为 0.006℃。在此区间,假设服从均匀分布,按照 B 类不确定度评定, $k=\sqrt{3}$,制冷恒温槽温度稳定性引入的标准不确定度:

$$u''_{21} = \frac{a}{k} = 0.003\ 5^{\circ}\text{C}$$

制冷恒温槽温差及温度稳定性引入的标准不确定度分量为:

$$u_{21} = \sqrt{u'^2_{21} + u''^2_{21}} = 0.003\ 6^{\circ}\text{C}$$

3.2.2 超级测温仪引入的标准不确定度分量 u_{22}

(1)超级测温仪分辨率为 $3\times 10^{-5}\ \Omega$,被测量可能值区间的半宽度 a 为 $1.5\times 10^{-5}\ \Omega$,在此区间,服从均匀分布,按照 B 类不确定度评定, $k=\sqrt{3}$,超级测温仪分辨率标准不确定度 u'_{22} 为 0.000 1℃。

(2)超级测温仪测量重复性引起的标准不确定度分量 u''_{22} 。每 10 s 记录一次,每分钟取平均值,共测 10 min,10 组平均值数据为 25.471 5Ω、25.471 4Ω、25.471 4Ω、25.471 6Ω、25.471 7Ω、25.471 3Ω、25.471 6Ω、25.471 4Ω、25.471 5Ω、25.471 3Ω,按照 A 类不确定度评定, u''_{22} 算术平均值的不确定度为 0.000 1℃。

超级测温仪引入的标准不确定度为:

$$u_{22} = \sqrt{u'^2_{22} + u''^2_{22}} = 0.000\ 1^{\circ}\text{C}$$

3.2.3 二等标准铂电阻温度计引入的标准不确定度分量 u_{23}

(1)根据检定证书,温度扩展不确定 $U=5\ \text{mK}$, $k=2$,则标准不确定度

$$u'_{23} = \frac{U}{k} = 2.5\ \text{mK} = 0.002\ 5^{\circ}\text{C}。$$

(2)根据检定证书,自热效应 U 为 1.3 mK,在此区间服从均匀分布,按照 B 类不确定度评定,置信因子 k 取 $\sqrt{3}$,则标准不确定度为:

$$u''_{23} = \frac{u}{k} = 0.75\ \text{mK} = 0.000\ 8^{\circ}\text{C}$$

二等标准铂电阻温度计引入的标准不确定度分量为:

$$u_{23} = \sqrt{u'^2_{23} + u''^2_{23}} = 0.002\ 6^{\circ}\text{C}$$

3.3 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度来源彼此独立不相关

如表 1 所示,因此 0℃时,表层水温表示值误差的合成标准不确定度为:

$$u = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{13}^2 + u_{21}^2 + u_{22}^2 + u_{23}^2}$$

$$= 0.032\ 0^{\circ}\text{C}$$

表 1 0℃时标准不确定度分量汇总

标准不确定度 分量 u_{ii}	不确定度来源	标准不确定度 / $^{\circ}\text{C}$	c_i	$ c_i \ u_{ii}$ / $^{\circ}\text{C}$
u_{11}	测量重复性	0.005 8	1	0.008 2
u_{12}	表层水温表分辨率	0.011 5	1	0.005 8
u_{13}	读数望远镜与表层 水温表垂直度	0.028 9	1	0.002 9
	制冷恒温槽温差及 温度稳定性			
u_{21}	超级测温仪	0.000 1	-1	0.000 1
u_{22}	二等标准铂电阻温度计	0.002 6	-1	0.002 6

3.4 扩展不确定度

$$U = 2u = 0.064^{\circ}\text{C},\ k = 2$$

4 结语

采用二等标准铂电阻温度计、超级测温仪、制冷恒温槽对表层水温表的不确定度进行评定,测量结果具有较窄的不确定度,满足了表层水温表不确定度的需求。从不确定度来源可知,读数望远镜与表层水温表垂直度的标准不确定度对合成标准不确定度影响最大。在现有条件的基础上,安装测量读数望远镜与表层水温表垂直度的标准装置,可减小测量示值误差的标准不确定度。测量重复性引入的标准不确定度,可通过提高读数望远镜的放大倍数,使整个显示器屏幕显示 1~1.5 个表层水温表分度值,进一步减小人为读数误差。

参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局.JJG 289—2005 表层水温表检定规程[S].北京:标准出版社,2005.

[2] 国家质量监督检验检疫总局.JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示[S].北京:标准出版社,2012.

[3] 中国计量测试学会.一级注册计量师基础知识及专业实务[M].北京:中国质检出版社,2013.

[4] 亚力坤,朱锐.热量表温度示值误差测量不确定度评定[J].计量与测试技术,2015,42(4):63—65.