

# 海洋环境监测站盐度传感器的现场校准和不确定度评定

公栋梁, 苏继琨, 邢国辉, 曲延峰

(国家海洋局北海标准计量中心 青岛 266033)

**摘要:** 文章依据相关国家标准, 结合海洋环境监测站的实际工作需求, 针对环境自动观测系统的盐度传感器, 提出新的现场校准方法, 即直接比较法; 根据不确定度来源, 分别计算由测量重复性、盐度标准器、测量环境、测量人员和恒温水槽引入的不确定度分量并合成标准不确定度, 据此计算扩展不确定度和合成标准不确定度的有效自由度, 由此得出盐度传感器现场校准测量结果的不确定度为 0.17。本研究提出的盐度传感器现场校准方法更契合海水盐度的变化规律, 可实现盐度分量的量值溯源, 具有准确度高和溯源途径清晰的特点; 不确定度评定方法科学合理, 且具有一定的推广价值。

**关键词:** 海洋标准计量; 海洋环境监测; 量值溯源; 盐度传感器; 仪器校准

中图分类号: P76; P716+.14

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2018)06-0043-03

## The On-Site Calibration Method and Uncertainty Evaluation of Salinity Sensor in Ocean Station

GONG Dongliang, SU Jikun, XING Guohui, QU Yanfeng

(North China Sea Center of Ocean Standards and Metrology, SOA, Qingdao 266033, China)

**Abstract:** According to the relevant national standards and the actual work requirements of the marine environmental monitoring station, a new field calibration method was proposed for the salinity sensors of the environmental automatic observation system, which was named direct comparison method. Based on the sources of uncertainty, the component of uncertainty introduced by measurement repeatability, salinity standard apparatus, measuring environment, surveyors and constant temperature water tank was calculated respectively. Then the standard uncertainty was synthesized finally. According to it, the effective degree of freedom of the expansion uncertainty and the uncertainty of the synthetic standard were explicit. Thus, the uncertainty of the calibration measurement results of the salinity sensor was 0.17. The field calibration method of salinity sensor proposed in this study was more suitable for the changing law of seawater salinity, which could be traced to the source of salinity components, and it had the characteristics of high accuracy and clear tracing way. The evaluation method of uncertainty was scientific and reasonable.

**Key words:** Ocean standards and metrology, Marine environmental monitoring, Size of measurement traceability, Salinity sensor, Instrument calibration

收稿日期: 2017-11-09; 修订日期: 2018-05-28

基金项目: 国家海洋局北海分局海洋科技项目(2017B09)。

作者简介: 公栋梁, 助理工程师, 硕士, 研究方向为海洋计量检定和质量监督管理

我国是陆地大国,也是海洋大国。坚持陆海统筹,加快建设海洋强国离不开海洋数据的准确获取,也离不开海洋观测仪器量值的有效溯源。北海区海洋环境监测站的盐度传感器现场校准以往都是采用同一温度、不同海水下的盐度比对方法,本研究采用同一海水、不同温度下的盐度比对方法,同时对引入现场校准不确定度的因素进行分析,对盐度测量结果的不确定度进行评定。

## 1 现场校准

依据《温盐深测量仪计量检定规程》(JJG 763—2002)、《电极式盐度计检定规程》(JJG 761—1991)和《测量不确定度评定与表示》(JJF 1059.1—2012)等国家标准,在温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、湿度不大于70% RH的环境条件下,对海洋环境监测站环境自动观测系统的盐度传感器进行现场校准。

### 1.1 校准过程

盐度传感器的现场校准采用直接比较法。将被测传感器和标准器同时放入可调节恒温水槽内,倒入海水直至没过盐度探头;设置恒温水槽的温度,一般由低温到高温( $5^\circ\text{C}$ 、 $10^\circ\text{C}$ 、 $15^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ 和 $30^\circ\text{C}$ )依次检测,在调温过程中保持整个过程的变化趋势,即在升温过程中不能有降温,反之亦然;当温度达到平衡状态并稳定后,分别记录标准器和被测传感器的盐度值,二者之差即被测传感器的示值误差<sup>[1-2]</sup>。

### 1.2 误差计算

根据上述过程,被测盐度传感器在每个测点的示值误差可表示为<sup>[3]</sup>:

$$\Delta S = S_{\text{示}} - S_{\text{标}}$$

式中: $S_{\text{示}}$ 表示被测传感器的显示值; $S_{\text{标}}$ 表示标准器的显示值。

盐度平均示值误差可表示为:

$$\overline{\Delta S} = \sum_{i=1}^n |\Delta S_i| / n$$

式中: $\Delta S_i$ 表示每个测点的盐度示值误差; $n$ 表示测点个数。

## 2 不确定度评定

### 2.1 不确定度来源

依据全面分析、不遗漏、不重复和“重大避小”

的原则,从测量设备、测量方法、测量人员、测量环境和被测对象等方面综合考虑盐度传感器现场校准中可能引入不确定度的因素<sup>[3]</sup>。以测量盐度 $S = 35.00$ 的海水为例进行分析。

#### 2.1.1 由测量重复性引入的不确定度分量

由测量重复性引入的不确定度分量属于A类不确定度,须通过重复性实验获得,实验次数一般不少于10次。

使用盐度传感器在 $20^\circ\text{C}$ 恒温水槽内对盐度为35.00的海水进行10次等精度测量,得到测量序列 $\{x_i\}$ : 35.02, 35.01, 35.01, 35.02, 35.04, 35.01, 34.98, 34.97, 34.98, 34.98。10次测量中某个测得值 $x_i$ 的试验标准偏差 $A$ 可由贝塞尔公式计算得出<sup>[3]</sup>:

$$A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.023$$

考虑到被测对象在试验过程中也会对测量结果的分散性产生影响,由测量重复性引入的不确定度分量为<sup>[4]</sup>:

$$u_1 = A / \sqrt{n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0.007$$

自由度 $\nu_1 = 9$

#### 2.1.2 由盐度标准器引入的不确定度分量

由盐度标准器引入的不确定度分量属于B类不确定度,须通过查阅上一级计量检定单位提供的盐度标准器检定证书得知:电子单元扩展不确定度 $U_{\text{电}} = 0.1\%$ , $k_{\text{电}} = 3$ ;标准物质扩展不确定度 $U_{\text{标}} = 0.4\%$ , $k_{\text{标}} = 2$ 。由盐度标准器引入的不确定度分量为:

$$u_2 = S \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{电}}}{k_{\text{电}}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{标}}}{k_{\text{标}}}\right)^2} = 0.071$$

根据信息来源的可信程度估计即 $\Delta u_2 / u_2 = 0.10$ ,自由度 $\nu_2 = 50$ 。

#### 2.1.3 由测量环境引入的不确定度分量

根据以往盐度传感器现场校准的数据和经验,由测量环境(如温度和湿度)偏离技术规程要求引入的扩展不确定度 $U_3 \leq 0.05\% S = 0.0175$ ,为均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。由测量环境引入的不确定

度分量为:

$$u_3 = \frac{U_3}{k} = 0.010$$

根据信息来源的可信程度估计即  $\Delta u_3/u_3 = 0.20$ , 自由度  $\nu_3 = 12$ 。

### 2.1.4 由测量人员引入的不确定度分量

考虑到仪器设备的使用寿命和灵敏程度,海洋环境监测站环境自动观测系统中使用的盐度传感器在设计时选用的外壳材质不同。因此,在盐度传感器现场校准的过程中,当恒温水槽设置的温度稳定后,盐度传感器盐度稳定的时间不同。由测量人员的操作习惯和判断不准引入的扩展不确定度  $U_4 \leq 0.2\%S = 0.07$ , 为均匀分布,包含因子  $k = \sqrt{3}$ 。由测量人员引入的不确定度分量为:

$$u_4 = \frac{U_4}{k} = 0.040$$

根据信息来源的可信程度估计即  $\Delta u_4/u_4 = 0.20$ , 自由度  $\nu_4 = 12$ 。

### 2.1.5 由恒温水槽引入的不确定度分量

通过查阅便携式制冷恒温槽的校准证书得知,恒温水槽工作区域的最大温差为  $0.007^\circ\text{C}$ , 波动性为  $0.008^\circ\text{C}/10 \text{ min}$ 。由恒温水槽的不均匀性和波动性引入的扩展不确定度  $U_5 \leq 0.04\%S = 0.014$ , 为均匀分布,包含因子  $k = \sqrt{3}$ 。由恒温水槽引入的不确定度分量为:

$$u_5 = \frac{U_5}{k} = 0.008$$

根据信息来源的可信程度估计即  $\Delta u_5/u_5 = 0.10$ , 则自由度  $\nu_5 = 50$ 。

## 2.2 标准不确定度合成

已知各不确定度分量后,按照通用公式计算合成标准不确定度<sup>[4]</sup>:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)$$

式中:  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  表示灵敏系数,即  $x_i$  对  $y$  的影响程度,由  $y$  对  $x$  求偏导获得,当  $y = x_1 (\pm x_2 \pm \dots \pm x_n)$  时,

灵敏系数为  $\pm 1$ ;  $u(x_i, x_j)$  表示输入量  $x_i$  和  $x_j$  的协方差,当各输入量彼此独立或不相关时,此项为 0。故合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.083$$

## 2.3 计算扩展不确定度

综合分析各标准不确定度分量的分布类型,盐度传感器现场校准的测量结果符合正态分布。置信概率取 95.45%, 此时包含因子  $k = 2$ , 扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.166$$

当各分量间相互独立且输出量接近正态分布时,合成标准不确定度的有效自由度的计算公式为<sup>[4]</sup>:

$$\nu_{\text{eff}} = u_c^4 / \sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{\nu_i} \approx 66$$

综上所述,海洋环境监测站环境自动观测系统盐度传感器现场校准测量结果的不确定度为  $U = 0.17, k = 2$ 。

## 3 结语

本研究通过模拟真实盐度传感器的工作环境,更加准确地测量盐度传感器的误差。同时,对可能影响现场校准测量结果的不确定度分量进行分析,利用系统的不确定度评定方法,计算海洋环境监测站环境自动观测系统盐度传感器现场校准测量结果的不确定度。研究成果为海洋环境监测站环境自动观测系统盐度传感器的现场校准提供新的方法和思路,为出具校准证书提供理论支持和参考依据,具有一定的推广性。

## 参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 温盐深测量仪计量检定规程: JJG 763-2002[S]. 北京: 标准出版社, 2002.
- [2] 国家技术监督局. 电极式盐度计检定规程: JJG 761-1991[S]. 北京: 标准出版社, 1991.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059.1-2012[S]. 北京: 标准出版社, 2012.
- [4] 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.