

# 投弃式温度剖面仪校准规范

(编制说明)

主要起草单位：国家海洋局南海标准计量中心

参加起草单位：国家海洋局东海标准计量中心

国家海洋标准计量中心

国家海洋局北海标准计量中心

中山大学

二零二四年八月



# 投弃式温度剖面仪校准规范编制说明

## 一、任务来源

投弃式温度剖面仪（XBT）是一种通过投弃温度感应探头，在温度探头的快速下降过程中感应海水温度剖面的一次性测量设备，主要应用于走航中或定点快速测量海洋温度剖面数据，依据科学合理的校准方法对其进行校准是保证其测量数据准确可靠的必要技术手段。

根据《市场监管总局办公厅关于印发 2022 年国家计量技术规范项目制定、修订及宣贯计划的通知》（市监计量发〔2022〕70 号），由国家海洋局南海标准计量中心作为主要起草单位，国家海洋局东海标准计量中心、国家海洋标准计量中心、国家海洋局北海标准计量中心和中山大学作为参与起草单位制定《投弃式温度剖面仪校准规范》，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

国外从 20 世纪 30 年代开始，便着手开发船载投弃式海洋仪器设备，发展形成了谱系化的船载、机载和潜艇载系列投弃式温度剖面测量设备。目前，市场上主流的投弃式温度剖面仪生产公司主要有两家，分别是美国 Sippican 公司和日本 Tsurumi（TSK）公司。另外，韩国也有相关设备的生产厂商。

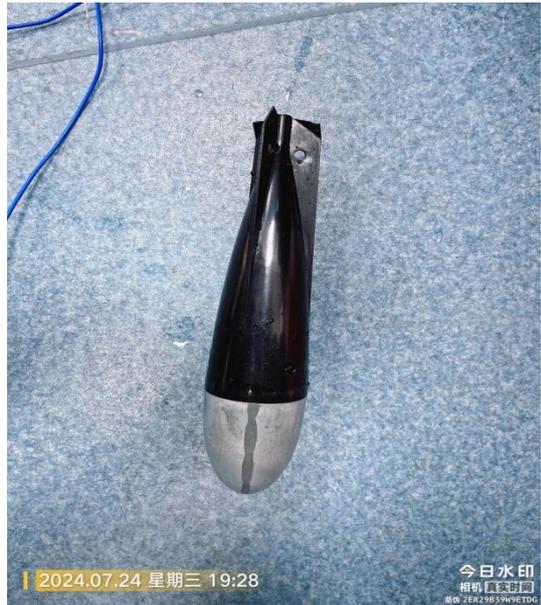
国内的投弃式海洋仪器设备研发始于 20 世纪 80 年代，多家单位开展了投弃式海洋参数剖面测量设备中有关探头运动仿真、数据通讯传输、系统集成测试等方面的研究工作。经过多年发展，国家海洋技术中心、中科院声学所东海站、西安天和防务公司和北京星天海洋公司等单位已经基本掌握了投弃式温度剖面仪的设计技术和制造工艺，并实现投弃式温度剖面仪产业化生产。

目前，日本 TSK 公司生产的投弃式温度剖面仪在国内海洋调查工作中使用的最为广泛。具体参数如下：

制造厂家	序号	型号	测量范围℃	最大允许误差℃	分辨力℃
TSK	1	TSK-T	-2~35	±0.2	0.001
中科院声学研究所	2	D3、D5、D7	-2~35	±0.2	0.001
西安天和防务	3	TH-T	-2~35	±0.2	0.001



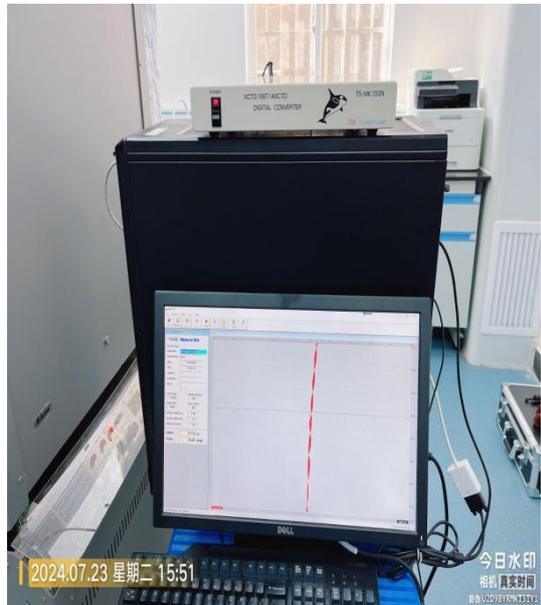
数据采集器



探体



发射器



水上机和软件

### 三、校准规范制定的目的和意义

海洋剖面温度是重要的海洋水文要素。水温度梯度变化和分布规律是研究气候变化和海气耦合作用的物理机制的重要指标，海洋大尺度垂直剖面温度是海洋环境数据分析工作中极为重要的基础数据，特别是作为影响声速梯度的重要因素，其数据的准确直接关系到各类水声探测设备的使用效能，对海洋资源探测、军事辅助决策等具有重要作用。因此，依据科学合理的校准方法对其进行校准是保证其测量数据准确可靠的必要技术手段。

目前此类仪器尚无统一的法定的量值溯源方法，仅通过现场比测判断其测量

数据是否准确，无法有效溯源到国家基标准。由此可见，开展投弃式温度剖面仪量值溯源方法研究具有重要的意义，也是完善海洋温度量值溯源体系的需要。通过起草本计量技术法规并发布实施，可有效解决投弃式温度剖面仪无法量值溯源的困难，确保海洋剖面温度调查数据的准确、可靠、可比。

#### 四、校准规范编写依据

本规范依据 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》的规定编写。主要参考以下依据进行校准规范的制定：

JJG 763-2019《温盐深测量仪检定规程》

JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》

GB/T 2828.1《计数抽样检验程序 第一部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划》等

#### 五、与“国际建议”、“国际文件”、“国际标准”、“国内标准”等兼容情况

投弃式温度剖面仪校准规范填补了国内在相关海洋仪器校准方法方面的不足，对使得今后相关仪器的验收、检验、质量评价有章可循，与“国际建议”、“国际文件”、“国际标准”和“国内标准”等兼容协调。

#### 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

投弃式温度剖面仪是一种通过投弃温度测量传感器，主要应用于走航中或定点快速测量海洋温度剖面数据，在温度测量传感器的快速下降过程中感应海水温度剖面的一次性测量设备，包括探体、发射器、甲板处理单元及计算机软件，其中探体是发射入水中消耗掉的部分，探体置于套筒中，内部安置温度测量传感器以测量海水温度，探体一般为鱼雷型流线结构，温度测量传感器将采集的信号通过导线传输到船上的甲板处理单元处理并显示。发射时，将探体和发射器连接，拔出释放插销后使探体自由下落入水，温度测量传感器入水后，其电极通过海水

与接地线形成回路开始测量，采集海水温度的同时计算探体的下落深度，并由计算机显示，实时观察海洋的温度剖面，温度测量传感器达到最大深度后，断开导线，完成测量。本规范确定名称为《投弃式温度剖面仪校准规范》，限于采用上述测量方法的一次性手动或自动投放进行海洋温度剖面测量的仪器。

## 2.范围的确定说明

本规范适用于投弃式温度剖面仪温度示值误差、温度测量重复性和温度测量传感器动态响应特性的校准。

## 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.计量特性的说明

本规范充分考虑投弃式温度剖面仪的工作原理、使用环境、海洋调查观测任务的需求等条件，对仪器的计量特性提出了推荐参考，包括温度示值误差、温度测量重复性和动态响应特性，详见表 1。

**表 1 投弃式温度剖面仪参考技术指标**

计量特性	参考技术指标
温度测量误差	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
温度测量重复性	$\leq 0.07^{\circ}\text{C}$
动态响应特性	温度测量传感器的时间—温度响应曲线应能有效识别动态响应特性的特征参数值。

## 5.校准条件的说明

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。

### (1) 环境条件

环境条件主要根据投弃式温度剖面仪校准所使用的计量标准器具要求的环境条件确定，为了满足标准器稳定，环境温度要求达到 $(10\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 。参考相关计量标准器使用说明书，温度主要影响水上数据采集和处理设备的使用，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；投弃式温度剖面仪校准时，应注意震动对测量的影响，使用数据采集器、数字示波器、数字电压表等时，应注意环境电磁场的影响。具体要求如下：

环境温度：（10~35）℃；

相对湿度：（20~80）%RH；

电磁场、振动情况：除地磁场外，应无显著电磁干扰、无显著振动源存在。

## （2）校准用计量标准器具及主要配套设备

温度示值误差和重复性校准的计量标准器具及主要配套设备，按照 JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》的要求，计量标准器具及主要配套设备示值误差的不确定度与被评定仪器的最大允许误差的绝对值之比应小于或等于 1：3，按实际校准的仪器级别进行选择。

动态响应特性校准的计量标准器具及主要配套设备，按 JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》中温度阶跃系统和采集测试控制系统的内容，结合投弃式温度剖面仪动态响应特性校准的实际操作，确定计量标准器具及主要配套设备的要求。

### 温度计量标准器：

根据投弃式温度剖面仪温度测量误差的参考技术指标，温度测量系统示值误差的不确定度应优于 0.07℃，以标准温度计作为温度计量标准器，综合考虑标准温度计和恒温水槽等主要配套设备示值误差的不确定度，对所使用的温度计量标准器性能指标进行了规定，最大允许误差为±0.01℃。

### 温度测量的主要配套设备：

温度测量的主要配套设备为恒温水槽，用于提供稳定的水域环境，综合考虑标准温度计和恒温水槽等主要配套设备示值误差的不确定度，对所使用的恒温水槽性能指标进行了规定，控温波动性：≤0.02℃/10 min；温场均匀性：≤0.02℃。

## 6. 校准项目和校准方法的确定说明

本部分介绍了校准项目的选取和操作方法。

### （1）校准对象的抽选

因投弃式温度剖面仪在实际工作中使用量一般较大，且为一次性投放设备，在校准后一般无法回收使用，故规定可根据待校准投弃式温度剖面仪的数量，按照 GB/T 2828.1 中的抽样方法抽样后进行校准。

### （2）外观及功能检查

根据外观检查要求，目测投弃式温度剖面仪的外观是否完好，检查安装和信

号连接是否正常。

### (3) 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，根据海水电导率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。

校准温度点一般从 35℃、30℃、25℃、20℃、15℃、10℃、5℃、0℃中选取不少于 5 个温度点。连接数据采集器时，投弃式温度剖面仪探体入水后产生回路，可以在软件端读取温度值，故校准时保证将投弃式温度剖面仪投弃式温度剖面仪探体传感器测量部分完全浸没于水槽中且稳定即可。

探体固定于恒温水槽中，将温度计和投弃式温度剖面仪探体置于恒温水槽内，温度计尽量靠近投弃式温度剖面仪温度传感器位置。控制恒温水槽达到校准点温度，待温度稳定后，温度计和投弃式温度剖面仪同时测量不少于 10 组读数，取对应温度读数的算术平均值分别作为该校准点上的标准温度值和投弃式温度剖面仪温度示值，并记录。按同样的操作控制水槽温度，逐个校准点测量完成温度示值误差的校准。

### (4) 温度测量重复性

与温度示值误差校准同步进行，在温度示值误差校准过程中，任选 1 个校准点进行温度测量重复性校准，待校准点上温度稳定后，完成 10 次测量根据贝塞尔公式计算仪器的实验标准差以表征投弃式温度剖面仪提供相近示值的能力。

### (5) 动态响应特性

在本规范的投弃式温度剖面仪校准方法中，特别考虑到传感器的动态响应特性校准，因为投弃式温度剖面仪在实际使用过程中，探体以自由落体的形式入水，在水中快速下落测量剖面温度，在水中一般速度可达到（6~7）m/s，且在测量过程中，海水剖面温度常伴有温跃层的影响，温度变化在温跃层较为剧烈，故对于投弃式温度剖面仪的测量而言，传感器的动态响应特性是非常重要的实用参考。

本规范依照 JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》中温度传感器动态响应校准的方法，结合投弃式温度剖面仪的特点进行了优化。规定完成温度示值误差和温度测量重复性校准后，对满足校准条件的投弃式温度剖面仪进行温度传感器动态响应特性校准。满足校准条件主要是通过测试判断投弃式温度剖面仪的

动态响应特性、数据采集形式、采样频率、预期的时间常数和热响应时间等是否能符合动态响应特性校准用设备的指标要求。

动态响应特性校准用设备包括温度阶跃系统和采集测试控制系统。相关要求依据 JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》，并结合投弃式温度剖面仪动态响应特性校准的实际操作确定。

温度阶跃系统由恒温水槽和匀速运动控制装置组成，是为了给被校投弃式温度剖面仪提供一个定量的温度突变，产生温度阶跃所需的时间，应小于被校准传感器时间常数或  $\tau_{0.5}$  的 10%。匀速运动控制装置应能控制投弃式温度剖面仪探体在恒温水槽中以不小于 0.1 m/s 的速度垂直均匀运动，速度均匀度优于 10%。

采集测试控制系统可采用投弃式温度剖面仪配套的数据采集器和软件，或采用数字示波器、配置高速模数转换器的计算机或高速采样数字电压表等。记录仪表自身的响应时间应小于待校准投弃式温度剖面仪温度传感器时间常数的 10%，时间分辨力应优于待校准温度传感器时间常数的 1%；采用输出信号放大器时，输出信号放大器自身响应时间应不超过待校准温度传感器时间常数的 1%，并且放大倍数连续可调。

开展动态响应特性校准除保证温度阶跃系统和采集测试控制系统满足条件外，还应确保恒温水槽深度满足开展校准的要求，既保证探体能在恒温水槽中匀速运动的时间不小于其热响应完成的时间。根据 JJF 1094-2002《测量仪器评定特性》 5.10 响应时间 的描述，仪器输出响应达到并保持其最终稳定值在某一个规定极限内（如  $\pm 5\%$  或  $\pm 2\%$ ）的瞬间，与输入激励瞬间的时间间隔，即为测量仪器相应于规定极限的响应时间。

确认投弃式温度剖面仪可以进行动态响应特性校准后，依照规定的校准方法，可以开展动态响应特性的校准：

控制恒温水槽内水温，与室温形成温度阶跃，一般控制温度阶跃量为不小于  $5^{\circ}\text{C}$ ；将投弃式温度剖面仪探体固定安装在温度阶跃系统的运动控制装置上，连接采集测试控制系统；待恒温水槽内水温稳定后，启动采集测试控制系统，待投弃式温度剖面仪在空气中示值稳定后，再启动温度阶跃系统，将投弃式温度剖面仪探体匀速（不小于 0.1 m/s）投入恒温水槽中，采集并记录投弃式温度剖面仪入水后温度与时间的变化关系，测量结束后，将投弃式温度剖面仪探体从水中提

出，恢复到初始状态。

按 JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》的规定，开展温度传感器动态响应校准，每个动态响应校准点应完成 3 次测量，3 次的测量值与 3 次的平均值的偏差不得大于 10%，否则再重复操作，直至满足要求。

开展动态响应特性的校准前，投弃式温度剖面仪应经过静态测量，确定投弃式温度剖面仪在阶跃起始温度和终止温度的示值。用于动态响应终点的判断、在评定测量不确定度时绘制投弃式温度剖面仪示值随时间变化的曲线等。

按 JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》的规定，动态响应特性数据采集后，由采集的信号与时间的变化关系绘制时间—信号响应曲线，经数字滤波光滑处理后，可直接用作图法算出动态响应特性的特征参数值。数字滤波的方式一般使用中值滤波或归一化均值等。

按下式计算动态响应特性的特征参数值 $\tau_n$ 。

$$\tau_n = t_n - t_0$$

式中：

$\tau_n$ —— $\tau_{0.9}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.1}$ 或 $\tau$ ；

$t_n$ ——投弃式温度剖面仪温度示值达到 $\tau_{0.9}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.1}$ 或 $\tau$ 时的时间，s；

$t_0$ ——温度阶跃开始时的时间，既投弃式温度剖面仪探体入水时间，s。

计算结果保留 3 位有效数字。

根据现有的参考文献和研究资料表明，因为温度的热交换速率原因，温度传感器的动态响应特性与其运动速度/流场速度有关，温度传感器运动速度/流场速度越快，动态响应的的时间越短；对于投弃式温度剖面仪的热电阻温度传感器，水浴环境产生的温度阶跃量对动态响应特性的特征参数并无可察觉的影响，故控制水槽温度和空气温度产生可保证信号—时间曲线有效识别的温度阶跃（不小于 $5^{\circ}\text{C}$ ）即可。在本规范中，将动态响应特性作为仪器使用的参考参数，可作为仪器间的横向对比，在动态响应特性校准过程中保证校准条件一致即可（即传感器的运动速度、数据采集方式等一致），故未对动态响应时间的计量特性做推荐，仅要求温度测量传感器的时间—信号响应曲线应能有效识别动态响应特性的特征参数值，能保证投弃式温度剖面仪具有良好的动态响应过程即可。本规范中，对动态响应特性校准时传感器的匀速运动最低速度要求不小于 $0.1\text{ m/s}$ ，其目的

是为了保证投弃式温度剖面仪探体下落过程中水流能稳定通过探体的导流孔，在温度传感器测量端确保温度稳定，实验室亦可根据自身条件在不小于 0.1 m/s 的情况下增加匀速运动的速度。

#### 7. 校准项目和校准方法的确定说明

校准结果的描述采用了 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》中规定的内容，给出了校准原始记录参考格式、证书内页格式和不确定度评定示例。

#### 8. 复校时间间隔

因投弃式投弃式温度剖面仪为一次性使用仪器，不可重复使用，不推荐复校时间间隔。