



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1630—2017

分布式光纤温度计校准规范

Calibration Specification for Fiber-optic Distributed Thermometers

2017-09-26 发布

2017-12-26 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

分布式光纤温度计校准规范

Calibration Specification for

Fiber-optic Distributed Thermometers

JJF 1630—2017

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

中国计量大学

北京市交通行业节能减排中心

参加起草单位：上海市计量测试技术研究院

北京交通大学

新疆维吾尔自治区计量科学研究院

辽宁省计量科学研究院

本规范主要起草人：

张 克（北京市计量检测科学研究院）

陈 乐（中国计量大学）

刘 莹（北京市交通行业节能减排中心）

参加起草人：

张丽萍（上海市计量测试技术研究院）

梁 生（北京交通大学）

马晓春（新疆维吾尔自治区计量科学研究院）

董 亮（辽宁省计量科学研究院）

目 录

引言	(Ⅱ)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 分布式光纤温度计	(1)
3.2 感温光纤	(1)
3.3 最小感温长度	(1)
3.4 温度定位	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 标准器及配套设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
7.3 校准结果的处理	(5)
8 校准结果的表达	(5)
附录 A 分布式光纤温度计校准原始记录	(7)
附录 B 校准证书内页格式	(9)
附录 C 分布式光纤温度计最小感温长度的验证方法	(10)
附录 D 分布式光纤温度计温度示值误差校准不确定度评定实例	(11)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》起草，其中测量结果不确定度的评定依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》进行。

本规范为首次发布。

分布式光纤温度计校准规范

1 范围

本规范适用于分布式光纤温度计在 $(-20\sim 100)\text{℃}$ 范围内的校准，在其他温度范围的校准可以参考本规范。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 160 标准铂电阻温度计

GB/T 2421.1—2008 电工电子产品环境试验 概述和指南

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1 分布式光纤温度计 fiber-optic distributed thermometer

是利用光纤几何上的一维传输特性进行测量，在整个光纤长度上对应光纤路径分布的温度进行连续测量的系统。系统提供了获取温度的空间分布状况和随时间变化状态。

3.2 感温光纤 temperature-sensing optical fiber

在分布式光纤温度计中具有感温功能的光纤或光缆。

3.3 最小感温长度 minimum length of temperature-sensing

分布式光纤温度计对沿光纤长度分布的温度进行准确测量所需要的感温光纤的最小长度。

3.4 温度定位 temperature positioning

在分布式光纤温度计的定位功能中，以温度-位置关系通过感温光纤温度极值确定的相应的感温光纤长度位置。

注：本规范所述温度极值，表示当校准温度高于环境温度时，取最高值；当校准温度低于环境温度时，取最低值。

4 概述

分布式光纤温度计又称为分布式光纤测温系统，是一种用于实时测量空间温度场的测量系统。主要包括分布式光纤温度计主机和感温光纤。感温光纤既是传感介质也是传输介质。目前分布式光纤温度计主要采用光纤拉曼散射的温度效应测温，感温光纤所处空间各点温度场调制了光纤中传输的拉曼散射波，经解调后，将空间温度场的信息实时显示出来；在时域中，利用光时域反射，由光纤中光的传播速度和背向散射光回波时间对测温点进行定位。分布式光纤温度计的最小感温长度，也称空间分辨力或标准报警长度，在实际测量中只有感温光纤的浸没长度不小于其最小感温长度，分布式光纤温度计

才能获得其相应的测温准确度。分布式光纤温度计工作原理框图见图 1，分布式光纤温度计瞬时记录示意图见图 2。

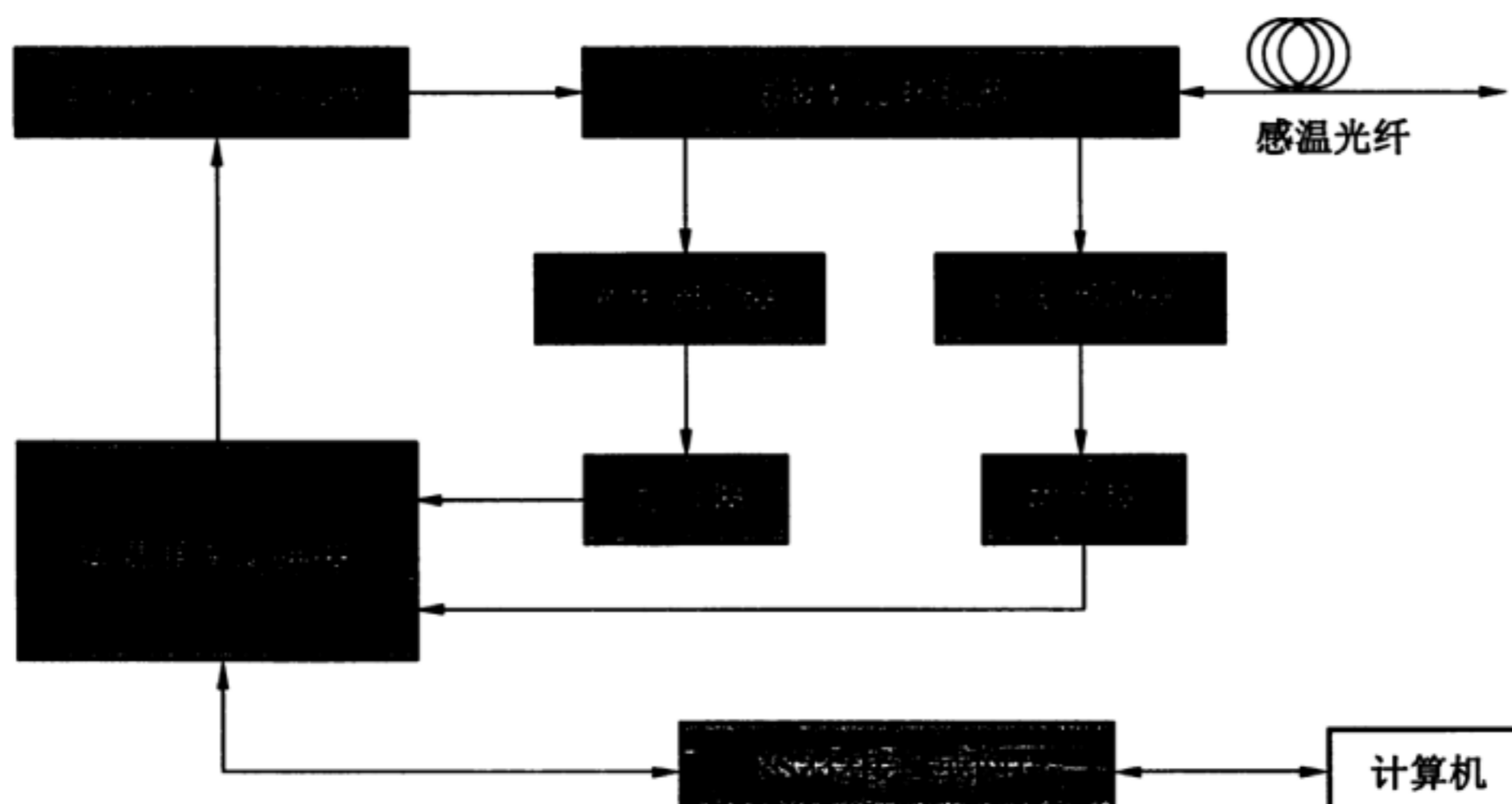


图 1 分布式光纤温度计工作原理框图

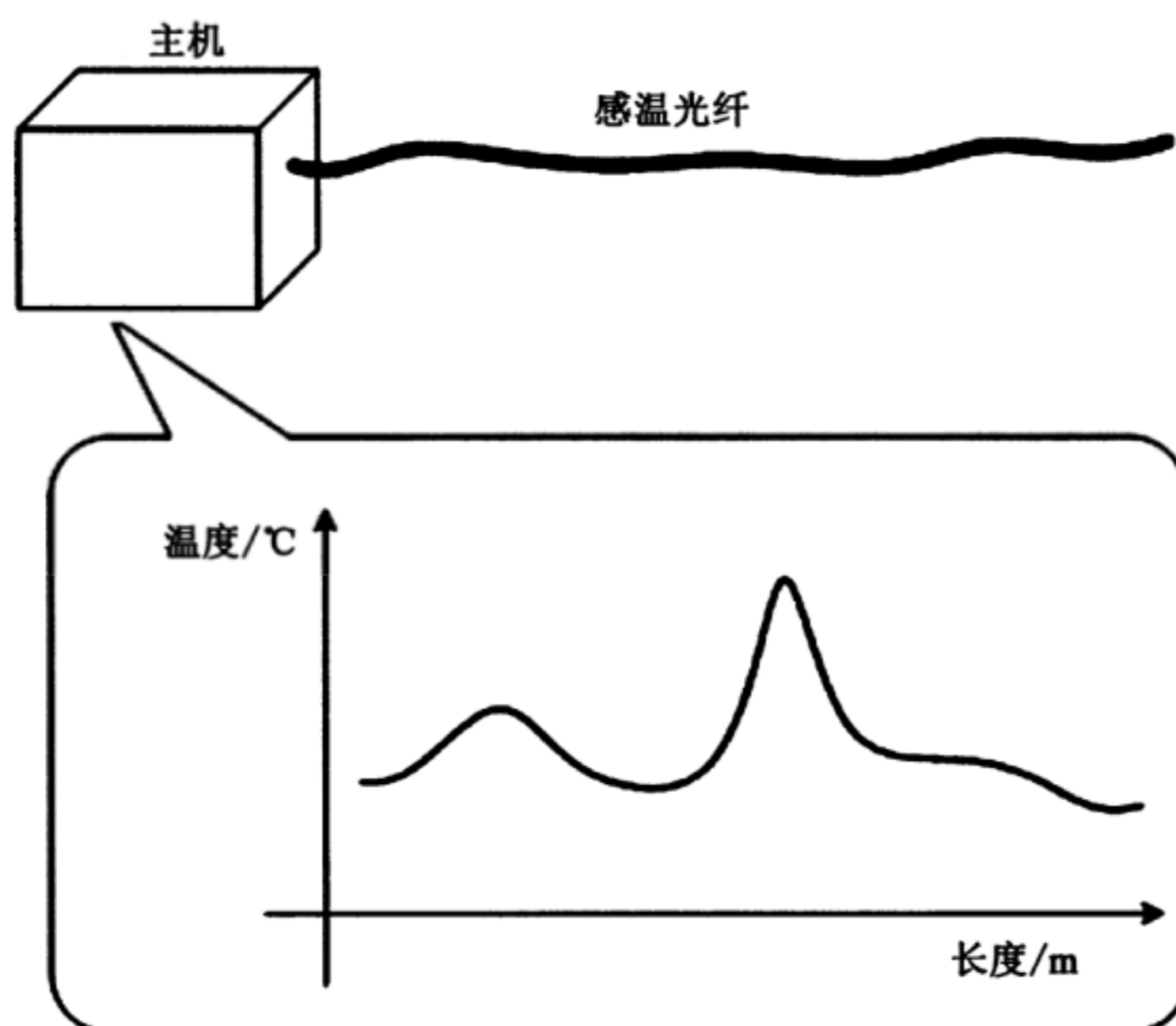


图 2 分布式光纤温度计瞬时记录示意图

5 计量特性

5.1 温度示值误差

分布式光纤温度计的温度示值误差应不超过 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 温度定位重复性

分布式光纤温度计的温度定位重复性应不超过 1 m。

注：以上指标不做合格判定。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：15 ℃~35 ℃；环境湿度：(25~75) %RH

[电工电子产品环境试验 概述和指南 (GB/T 2421.1—2008)]

6.1.2 电测仪器设备的环境条件应满足其相应要求。

6.2 标准器及配套设备

标准器及配套设备见表 1。

表 1 测量用标准器及配套设备

序号	设备名称	技术要求		用途
1	铂电阻温度计	二等标准，测量范围-20 ℃~100 ℃		温度标准器
2	电测设备	0.05 级，电测设备配接标准器后，最小分辨力相当于 0.01 ℃		配套电测设备
3	恒温槽	温度范围	-20 ℃~100 ℃	恒温装置
		温度均匀性	0.02 ℃	
		温度波动性	0.04 ℃/10 min	
		恒温区域	深×直径：25 cm×15 cm 或者容积是被校温度计体积的 5 倍以上	
5	测长工具	(0~10) m		长度测量

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 温度示值误差
- b) 温度定位重复性

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备

- a) 开启电测设备进行预热，预热时间至少 20 min 或满足其使用说明书的相应要求。
- b) 将二等标准铂电阻温度计放入预先冻制好的水三相点瓶中，测量其水三相点值。
- c) 按恒温槽使用说明书的要求使其处于正常工作状态，并保证工作区域的液面处于规定的位置。
- d) 分布式光纤温度计主机开机预热，进入测量状态。
- e) 核验分布式光纤温度计的最小感温长度，如产品没有标注最小感温长度，可以参考附录 C，进行比对测量，得到实际最小感温长度。

7.2.2 校准过程

7.2.2.1 温度示值误差

- a) 测量温度点一般选择分布式光纤温度计的下限值、中间值和上限值。为保证示值有效，所选温度点应偏离环境温度至少 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 将感温光纤与光纤测温系统主机相连，使其处于正常工作状态。使用测长工具从感温光纤的末端量取 10 m 长度，再延续量取等于最小感温长度的测量段，测量段位置的选择见图 3。将测量段盘绕成环状或螺旋状，其弯曲半径不应太小，应满足产品说明书要求，将测量段固定在支架上，缓慢放入恒温槽中的恒温区域，让测量段的感温光纤保持松散状态，保证感温光纤与恒温槽内的液体导热介质充分地接触。同时将标准铂电阻温度计放入恒温槽中，浸没深度不小于 15 cm 。分布式光纤温度计温度示值误差测量见图 4。

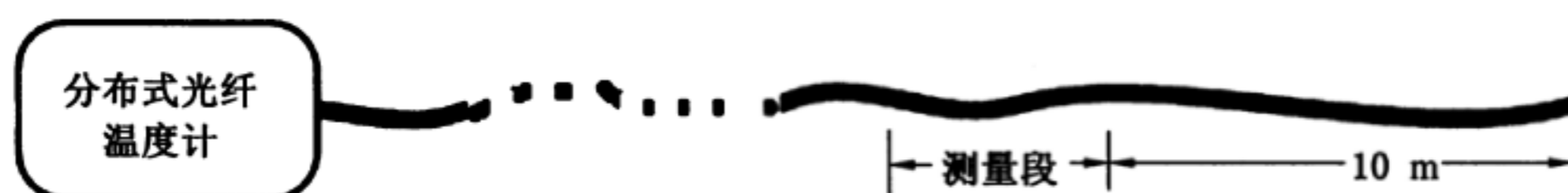


图 3 测量段位置的选取

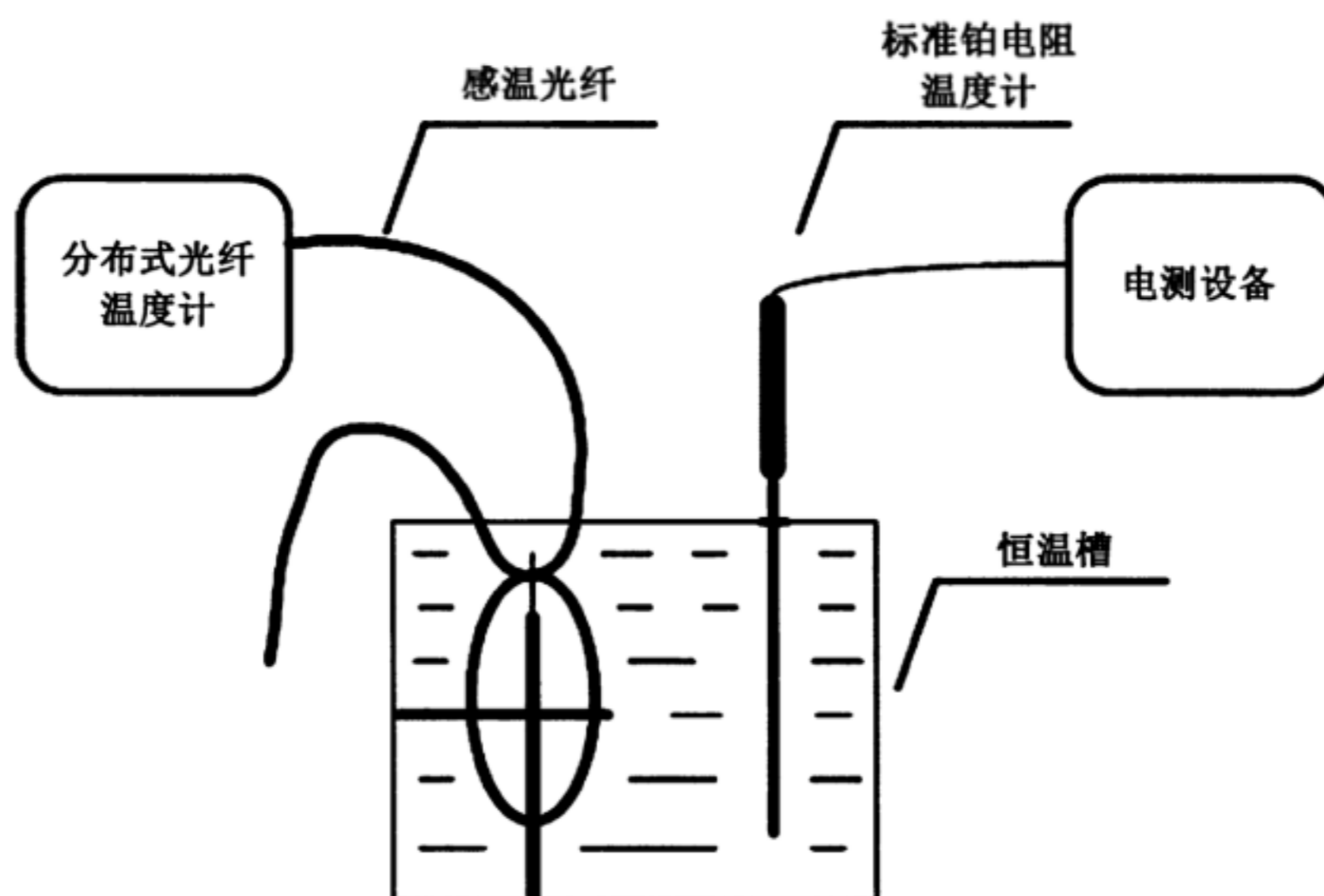


图 4 分布式光纤温度计温度示值误差测量原理图

- c) 将恒温槽设定在下限温度，待恒温槽温度稳定在下限温度附近，实际温度最大偏差不超过 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时（以标准器为准），稳定 10 min ，分别读取标准器和测量段中的温度极值 t_1^0 ，按以下顺序，连续 4 次测量。

标准器 (t_1^*) \rightarrow 测量段极值 (t_1^0)
 \downarrow
 标准器 (t_2^*) \leftarrow 测量段极值 (t_2^0)
 \downarrow
 标准器 (t_3^*) \rightarrow 测量段极值 (t_3^0)
 \downarrow
 标准器 (t_4^*) \leftarrow 测量段极值 (t_4^0)

在测量过程中，恒温槽温度变化不超过 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

d) 根据上述 c) 的测量要求，依次测量在中间温度和上限温度状态下，标准器和光纤末端 a 点的温度示值。

e) 温度测量点、测量段位置的选择也可以根据客户的要求，按照上述方法进行测量。

7.2.2.2 温度定位重复性

按照 7.2.2.1 中 b) 和 c) 的要求，将恒温槽稳定在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ （或其他至少偏离环境温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度点）附近。从分布式光纤温度计主机中读取测量段极值所对应的长度 d^0 ，连续读取 6 次示值，分别为 d_1^0 、 d_2^0 、 d_3^0 、 d_4^0 、 d_5^0 和 d_6^0 ，见图 5。

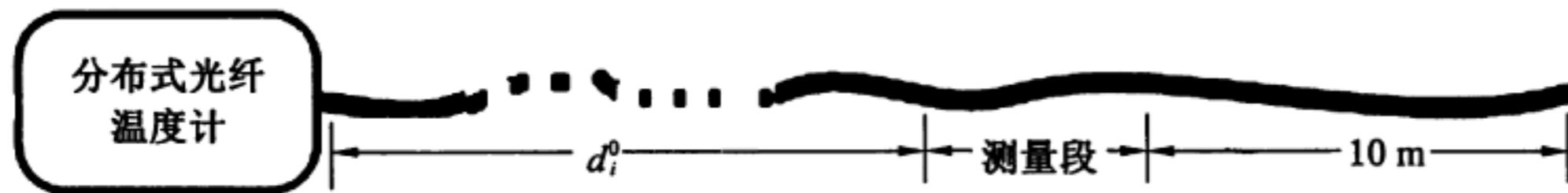


图 5 温度定位示意图

温度定位重复性中长度的选择也可以按照客户的要求，按照上述方法进行测量。

7.3 校准结果的处理

7.3.1 温度示值误差按下式计算：

a) 依据 JJG 160 的规定，将标准铂电阻温度计 4 次测量值换算为相应温度值，并计算其平均值 \bar{t}^* ：

$$\bar{t}^* = (t_1^* + t_2^* + t_3^* + t_4^*) / 4$$

b) 计算感温光纤 4 次温度示值的平均值。

$$\bar{t}^0 = (t_1^0 + t_2^0 + t_3^0 + t_4^0) / 4$$

c) 计算感温光纤的温度示值误差：

$$\delta_i = \bar{t}^0 - \bar{t}^*, \text{ 修约到 } 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

7.3.2 定位重复性按下式计算：

$$\bar{d}^0 = (d_1^0 + d_2^0 + d_3^0 + d_4^0 + d_5^0 + d_6^0) / 6$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d_i^0 - \bar{d}^0)^2}{5}}$$

式中：

\bar{d}^0 —— 为感温光纤 L_0 段峰值温度所对应的长度平均值；m，修约到 0.1 m ；

σ —— 为定位测量重复性，m，修约到 0.1 m 。

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 各校准项目检查结果的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

附录 A

分布式光纤温度计校准原始记录

环境温度：_____℃ 环境湿度：_____ %RH

委托单位：		校准记录编号：	
产品名称：		型号/规格：	总长度： m
外观状况： _____ ； 光纤 <input type="checkbox"/> \ 光缆 <input type="checkbox"/> ；			
最小感温长度： m	测温范围： _____ ℃	采样频率或周期：	
制造单位：			
校准地点：			
本次校准依据 JJF 1630—2017 《分布式光纤温度计校准规范》			

主要计量标准器具

名称	型号规格	最大允许误差/ 准确度等级/ 不确定度	仪器编号	证书编号	复检（校） 日期

1. 温度示值误差

℃

校准温度	序号	标准器示值	分布式光纤温度计示值
下限温度	1		
	2		
	3		
	4		
	平均值		
	示值误差：		
中间温度	1		
	2		
	3		
	4		
	平均值		
	示值误差：		

表(续)

℃

校准温度	序号	标准器示值	分布式光纤温度计示值
上限温度	1		
	2		
	3		
	4		
	平均值		
	示值误差:		

校准

核验

日期

2. 温度定位重复性

m

序号	主机位置读数
1	
2	
3	
4	
5	
6	
平均值 \bar{d}^0	
定位测量重复性: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d_i^0 - \bar{d}^0)^2}{5}} =$	

校准

核验

日期

附录 B

校准证书内页格式

1. 温度示值误差

℃

名义校准温度	示值误差	不确定度

2. 温度定位重复性：_____ m

注：

1. 最小感温长度_____ m。
2. 采样周期或采样频率_____。

附录 C

分布式光纤温度计最小感温长度的验证方法

C.1 如图 C.1 所示，将感温光纤与光纤测温系统主机相连，使其处于正常工作状态。使用测长工具从感温光纤的末端量取 10 m 长度，再延续量取等于 9 m 长的测量段 L_1 ，延续相隔 10 m，再量取 1 m 长测量段 L_2 ，将测量段 L_1 和 L_2 分别盘绕成环状或螺旋状。其弯曲半径不应太小，应满足产品说明书要求。将测量段固定在支架上，缓慢放入恒温槽中的恒温区域，让测量段的感温光纤保持松散状态，保证感温光纤与恒温槽内的液体导热介质充分接触。将标准铂电阻温度计放入恒温槽中，按照本规范 7.2.2.1 要求。测量 L_1 、 L_2 的温度示值误差 δ_{L_1} 和 δ_{L_2} ，当 δ_{L_1} 和 δ_{L_2} 都满足不大于 $\delta_{t_{\max}}$ （温度示值最大允许误差）时， L_2 的长度即为该光纤温度计的最小感温长度。

C.2 若 δ_{L_1} 大于 $\delta_{t_{\max}}$ ，说明该分布式光纤温度计的参数设置存在问题，需要重新调整相关参数。

C.3 若 δ_{L_1} 不大于 $\delta_{t_{\max}}$ ，而 δ_{L_2} 大于 $\delta_{t_{\max}}$ 。重复上述 C.1，改变测量段 L_2 的长度，以 1 m 为增量，依次调整 L_2 为 2 m、3 m、…等长度。相应测量 L_2 的温度示值误差 δ_{L_2} ，当 δ_{L_2} 满足不大于 $\delta_{t_{\max}}$ 时，此时 L_2 的长度即为该光纤温度计的最小感温长度。

C.4 L_2 的初始长度和增量幅度也可以按实际情况选择。

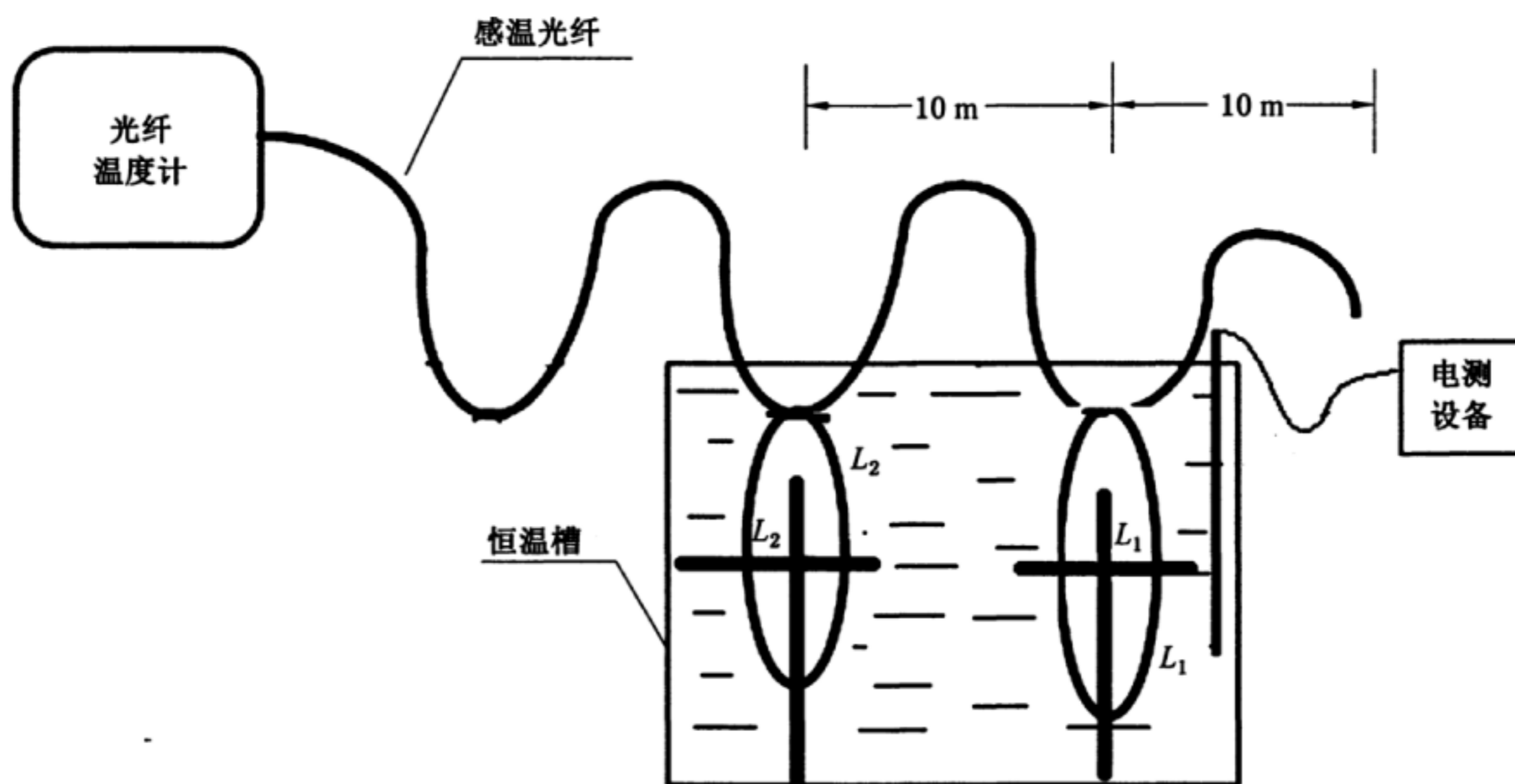


图 C.1 分布式光纤温度计最小感温长度验证示意图

附录 D

分布式光纤温度计温度示值误差校准不确定度评定实例

D.1 概述

D.1.1 测量方法

用二等标准铂电阻温度计和配套数字多用表为标准器，采用比较法校准分布式光纤温度计。被校分布式光纤温度计的最小感温长度为 3 m，测量范围 0 ℃~100 ℃。参照本规范 7.2.2 的要求，选择 60 ℃作为校准温度点。

D.1.2 测量设备

校准所用的测量标准及设备为二等标准铂电阻温度计、0.05 级数字多用表和恒温槽。

D.2 测量模型

$$\delta_i = \overline{t^0} - \overline{t^*}$$

式中：

δ_i ——被校分布式光纤温度计温度示值误差，℃；

$\overline{t^0}$ ——被校分布式光纤温度计温度示值平均值，℃；

$\overline{t^*}$ ——标准铂电阻温度计测得的标准温度的平均值，℃。

D.3 不确定度来源和传播公式

D.3.1 不确定度来源

D.3.1.1 被校温度计引入的标准不确定度

被校分布式光纤温度计测量重复性导致相应的标准不确定度。

D.3.1.2 标准装置引入的标准不确定度

标准铂电阻温度计量值溯源、配套电测仪器本身误差、标准铂电阻温度计稳定性以及恒温槽温场的不均匀也会导致相应的标准不确定度。

D.3.2 传播公式

传播公式中的各分量可认为彼此独立，所以被校分布式光纤温度计示值误差的测量不确定度传播率为：

$$u_c^2(\delta) = u^2(t^0) + u^2(t^*)$$

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 t^0 引入的标准不确定度

被校分布式光纤温度计测量重复性引入的不确定度 u_1

在 60 ℃重复测量 6 次，标准偏差 s 为

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} = 0.163(^\circ\text{C})$$

则 $u_1 = s = 0.163\text{ }^\circ\text{C}$

D.4.2 t^* 引入的标准不确定度

D.4.2.1 标准铂电阻温度计量值溯源引入的标准不确定度 $u_{2.1}$

二等标准铂电阻温度计在 60 °C 时扩展不确定度 $U=3$ mK, $k=2$ 。则标准不确定度 $u_{2.1}=3$ mK/2 = 1.5 mK

D.4.2.2 配套电测设备引入的标准不确定度 $u_{2.2}$

配套电测设备的准确度等级为 0.05 级, 60 °C 时标准铂电阻温度计的电阻比变化率, $dW_{60}/dt=3.91\ 600\times 10^{-3}$, 带来的温度误差 δ_t 为

$$\delta_t = \frac{0.000\ 5}{(dW/dt)} = 0.000\ 5/0.003\ 9 = 0.13\ (\text{°C})$$

按均匀分布, 则标准不确定度为

$$u_{2.2} = \delta_t / \sqrt{3} = 0.08\ (\text{°C})$$

D.4.2.3 标准铂电阻温度计稳定性引入的标准不确定度 $u_{2.3}$

二等标准铂电阻温度计在使用时, 未测量水三相点, 直接使用检定证书中的水三相点值, 带来的最大变化 8 mK, 为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u_{2.3} = 0.008 / \sqrt{3} = 0.005\ (\text{°C})$$

D.4.2.4 恒温槽温场不均匀引入的不确定度 $u_{2.4}$

在 60 °C 时, 恒温槽温场均匀性不超过 0.02 °C, 为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u_{2.4} = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\ (\text{°C})$$

D.5 合成不确定度计算

标准不确定度分量汇总一览表见表 D.1。

表 D.1 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	分布	标准不确定度/°C
1	被校分布式光纤温度计测量重复性引入的不确定度 u_1	统计	0.163
2	标准器量值溯源引入的不确定度 $u_{2.1}$	正态	0.002
3	配套电测设备引入的不确定度 $u_{2.2}$	均匀	0.08
4	标准器稳定性引入的不确定度 $u_{2.3}$	均匀	0.005
5	恒温槽温场不均匀引入的不确定度 $u_{2.4}$	均匀	0.012
合成标准不确定度 $u_c(\delta)$			0.18

D.6 测量结果的扩展不确定度

取 $k=2$, 则 $U=u_c(\delta)\times k=0.18\times 2=0.36\approx 0.4$ °C

D.7 不确定度报告

分布式光纤温度计示值误差的不确定度为:

$$U=0.4\ \text{°C} \quad k=2$$

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
分 布 式 光 纤 温 度 计 校 准 规 范
JJF 1630—2017

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 30 千字
2017年12月第一版 2017年12月第一次印刷

*

书号: 155026·J-3484 定价 21.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



JJF 1630-2017