

JJF 中华人民共和国计量技术规范

JJFXXX—××××

公路基础设施分布式光纤传感系统 校准规范

Calibration Specification of the Distributed Optical
Fiber Measurement System for highway infrastructure

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

公路基础设施分布式 光纤传感系统校准规范

Calibration Specification of
the Distributed Optical Fiber
Measurement System for highway
infrastructure

归口单位：全国公路专用计量器具计量技术委员会

起草单位：

本规程委托全国公路专用计量器具计量技术委员会负责解释。

本规程主要起草人：

参加起草人：

目录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	3
5 校准条件	3
6 校准项目和校准方法	3
7. 校准结果	6
8. 复校时间间隔	7
附录 A 校准记录表格式	8
附录 B 校准证书内页格式	10
附录 C 校准结果通知书内页格式	12

引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2010《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

公路基础设施分布式光纤传感系统校准规范

1 范围

本规范适用于公路基础设施分布式光纤传感系统的校准。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JT/T 1037 公路桥梁结构安全监测系统技术规程

GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范

GB/T 18459 传感器主要静态性能指标计算方法

JJF 1305 线位移传感器校准规范

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

3 概述

公路基础设施分布式光纤传感系统（简称光纤传感系统）是用于结构物应变测量的设备系统，一般由数据处理分析主机、分布式光纤采集仪、传感光纤等部分组成，光纤传感系统主要基于光纤布里渊散射或拉曼散射的原理进行测量。其主要结构如图 1 所示。由于光纤受外部的应变及温度等参数大范围变化影响，通过光纤内部折射率分布发生变化进而通过解调仪进行计算，可实现大范围空间上应变和温度等参数的连续测量，其具有监测距离远、监测点位多的特点。光纤传感系统测量距离一般不小于 10 公里。

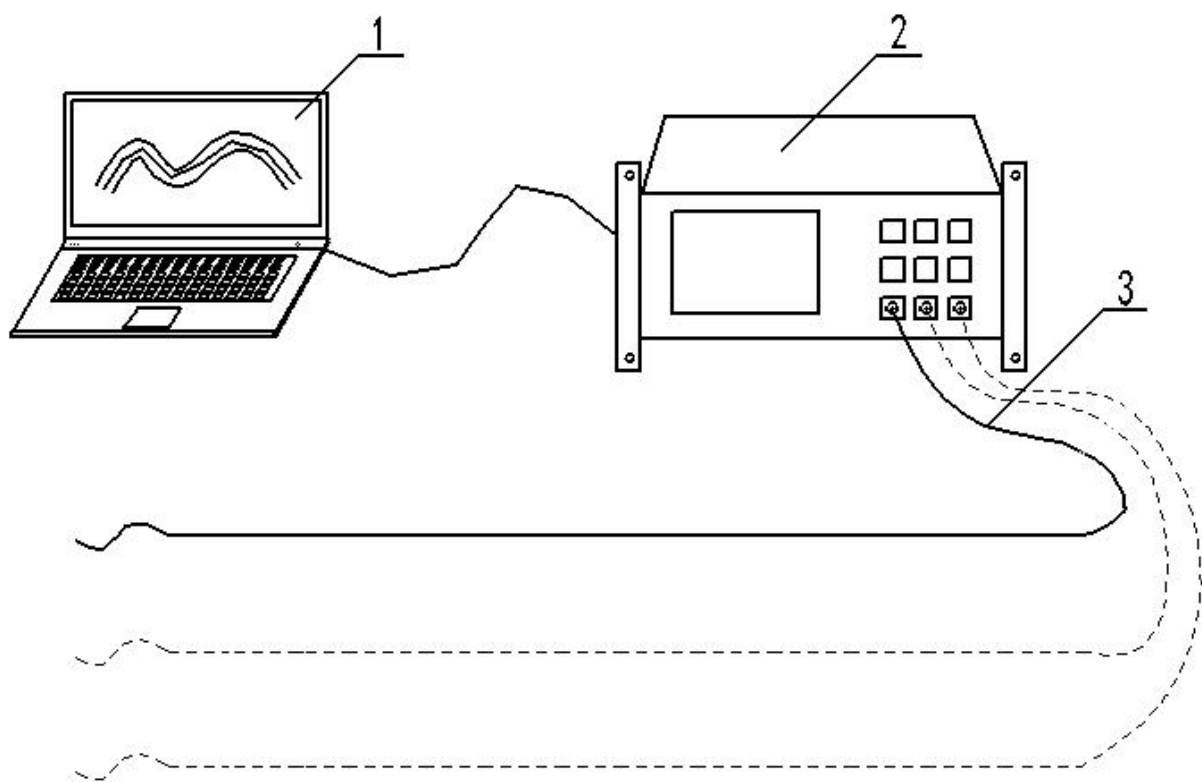


图 1. 光纤传感系统结构示意图

1——数据处理分析主机；2. 分布式光纤采集仪；3. 传感光纤

4 计量特性

4.1 温度示值误差

光纤传感系统的温度示值误差应不大于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 应变示值误差

光纤传感系统的应变示值误差应不大于 $\pm 20\mu\text{m}/\text{m}$ 。

4.3 应变重复性

光纤传感系统的重复性应不大于 $\pm 4\mu\text{m}/\text{m}$ 。

4.4 线性度

光纤传感系统的线性度不大于 $\pm 1\%\text{FS}$

4.5 定位示值误差

光纤传感系统定位示值误差不大于 0.1m 。

注：本计量特性适用于应变测量范围应不小于 $1500\mu\text{m}/\text{m}$ 的光纤传感系统。

5 校准条件

5.1 环境条件

a) 环境温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

b) 环境湿度： $\leq 85\%\text{RH}$ ；

5.2 校准设备

a) 测长装置：位移测量最大允许误差不大于 $1\mu\text{m}$ ；

b) 恒温槽：温度范围应包含 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀性不大于 0.05°C ，温度波动性不大于 $0.05^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ；

c) 温度计：温度测量范围应包含 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，分度值不大于 0.1°C ；

d) 卷尺：最大允许误差不大于 3mm ；

e) 测距装置。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 1，应尽可能详细地记载测量数据和计算结果，记录格式见附录 A。

表 1 校准项目一览表

校准项目	首次校准	后续校准	使用中检查
温度示值误差	+	+	+
应变示值误差	+	+	+
应变重复性	+	+	-
线性度	+	+	-
定位示值误差	+	+	+
注：须校准的项目用“+”表示，无须校准的项目用“-”表示。			

6.2 校准方法

6.2.1 温度测量示值误差

a) 启动恒温槽，将其温度设定为待校准光纤传感系统温度测量范围内均匀分布多点，待恒温槽温度恒定后，用标准温度计测量恒温槽的温度，记为 T_{Ri} ；

b) 在满足最大测量距离的光纤尾端，将一段大于 2 倍空间分辨率的光纤盘成圈后放入恒温槽中，静置 5min 后读取中间平台区域的温度示值，并计算其对应温度，记为 T_i ；每个设定温度重复测量 5 次，取算术平均值作为测量结果 $\bar{T}_i$ 。

c) 当光纤传感系统已经布设在公路基础设施时，需要采用在线计量的方法进行，针对温度测量示值误差可采用温度比较测量方法进行在线校准，在线校准用温度计最大允许误差绝对值应不大于被校仪器相应项目最大允许误差绝对值的 1/3，或采用其他满足测量不确定度要求的测量设备进行在线校准。

d) 按式 (1) 计算温度示值误差

$$\Delta T_i = \bar{T}_i - T_{Ri} \quad (1)$$

式中：

ΔT_i —温度示值误差，℃；

$\bar{T}_i$ —光纤传感系统温度示值平均值，℃；

T_{Ri} —标准温度，℃。

6.2.2 应变示值误差

a) 在满足最大测量距离的光纤尾端，将一段大于 2 倍空间分辨率的光纤固定在测长装

置上，开启测量系统；

b) 将光纤传感系统满量程的应变变量按 20%分档，从最低档到最高档逐级进给应变，读取并记录每个档位的标定装置的位移值，记为 L_{Ri} ；记录光纤传感系统测量的应变变量，记为 ε_{Si} ；

c) 当光纤传感系统已经布设在公路基础设施时，需要采用在线计量的方法进行，针对应变测量示值误差可采用高精度非接触式变形采集系统进行在线校准，非接触式变形采集系统最大允许误差绝对值应不大于被校仪器相应项目最大允许误差绝对值的 1/3，或采用其他满足测量不确定度要求的测量设备进行在线校准；

d) 按式（2）分别计算测长装置产生的微应变 ε_{Ri} ；

$$\varepsilon_{Ri} = \frac{L_{Ri}}{L} \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中：

ε_{Ri} —专用测长激励的第 i 个标准微应变值；

L_{Ri} —测长装置输出的位移值，mm；

L —传感器标距，mm。

e) 按照公式（3）计算光纤传感系统的微应变示值误差 $\Delta\varepsilon_i$ ；

$$\Delta\varepsilon_i = \varepsilon_{Si} - \varepsilon_{Ri} \quad (3)$$

式中：

$\Delta\varepsilon_i$ —光纤传感系统的示值误差；

ε_{Si} —光纤传感系统测量应变值；

ε_{Ri} —测长装置输出的应变值。

6.2.3 示值测量重复性

a) 在满足最大测量距离的光纤尾端，将一段大于 2 倍空间分辨率的光纤固定在测长装置上，开启测量系统；

b) 将光纤传感系统满量程应变变量按 50%分档，从最低档到最高档逐级进给应变，在每个档位停留 10min，将测长装置输出的应变值记为 ε_{Ri} ，记录光纤测量系统输出的应变值 ε_{Si} 。按式（4）和（5）分别计算每个档位的变异系数。

$$c_{V\varepsilon} = \frac{S_\varepsilon}{\varepsilon_{Ri}} \times 100\% \quad (4)$$

$$S_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_{Si} - \bar{\varepsilon}_{Ri})^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中：

$c_{V\varepsilon}$ —应变偏差系数；

S_{ε} —标准偏差；

$\bar{\varepsilon}_{Ri}$ —n 次测量的平均值；

n—测量次数；

ε_{Ri} —第 i 次测量的光纤传感系统的应变值。

6.2.4 线性度

采用 6.2.2 过程的测量值，按式（6）计算光纤传感系统各点位的线性度。取绝对值最大的，作为线性度的测量结果。

$$\gamma = \frac{\Delta \varepsilon_i}{\varepsilon_{FS}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

γ —光纤传感系统的线性度；

ε_{FS} —光纤传感系统的满量程输出，单位为： $\mu\text{m}/\text{m}$ 。

6.2.5 定位示值误差

选取任意一点应变值进行测量，分别记录应变测量点位的标准值和光纤传感系统的定位示值，重复测量三次，取三次测量结果的平均值为测量结果，与标准值作差记录为定位示值误差。

7 校准结果

7.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽地记载测量数据和计算结果，保证信息齐全、内容完整，校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

校准证书由封面和校准数据组成，经校准的光纤传感器系统应出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

当客户要求时，可以根据计量特性进行符合性判定，并将结论列入校准证书。进行符合性判定时，光纤传感系统的校准不确定度评定按照 JJF 1059.1 进行，见附录 C。

8 复校时间间隔

光纤传感系统的复校时间间隔，建议不超过 12 个月。由于复校时间间隔长短取决于传感系统的服役情况、安装场所、使用方法等诸多因素，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。若传感系统部分损坏经过维修、更换重要部件或传感系统性能有变化时，应随时校准。

附录 A 校准记录表格式

记录编号：

第 X 页共 X 页

送检单位				校准日期			
型号规格				出厂编号			
生产厂家				出厂日期			
环境温度				环境湿度			
其 他				备 注			
项目 序号	校准项目			校准结果			
1	温度示值误差	-20℃	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		0℃	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		20℃	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		40℃	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		60℃	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
2	应变示值误差	满量程 20%分位：					
		满量程 40%分位：					
		满量程 60%分位：					
		满量程 80%分位：					
		满量程 100%分位：					
3	线性度	满量程 20%分位：					
		满量程 40%分位：					
		满量程 60%分位：					

		满量程 80%分位:						
		满量程 100%分位:						
4	应变测量重复性	满量程 60%分位:	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值	
5	定位示值误差	测量点位:	第一次 标准值		第二次 标准值		第三次 标准值	
			第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值	
			示值误差					

附录 B 校准证书内页格式

校准证书第 2 页

证书编号××××××-××××

校准机构授权说明

校准环境条件及地点:

温 度	℃	相对湿度	%RH
地 点			

校准使用的计量（基）标准装置

名 称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至

校准使用的标准器

名 称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至

第 2 页 共 3 页

校准证书第 3 页

证书编号××××××-××××

校 准 结 果

序号	被检项目	校准结果	结论
1	温度示值误差		
2	应变示值误差		
3	应变重复性		
4	空间分辨力		
5	传感距离		
6	定位示值误差		
注： 1 本报告校准结果仅对该计量器具有效； 2 本证书未加盖“校准专用章”无效； 3 下次校准时请携带（出示）此证书。			

以下空白

第 3 页共 3 页

附录 C 校准结果通知书内页格式

校准结果通知书第 2 页

证书编号××××××-××××

校准机构授权说明

校准环境条件及地点：

温 度	℃	相对湿度	%
地 点			

校准使用的计量（基）标准装置

名 称	测量范围	不确定度/准确 度等级/最大 允许误差	计量（基）标准 证书编号	有效期至

校准使用的标准器

名 称	测量范围	不确定度/准确 度等级/最大 允许误差	计量（基）标准 证书编号	有效期至

第 2 页 共 3 页

校准结果通知书第 3 页

证书编号××××××-××××

校 准 结 果

序号	(校准) 项目	校准结果	备注
1	温度示值误差		
2	应变示值误差		
3	应变重复性		
4	空间分辨力		
5	传感距离		
6	定位示值误差		

注:

- 1 本报告校准结果仅对该计量器具有效;
- 2 本证书未加盖“校准专用章”无效;
- 3 下次校准时请携带(出示)此证书。

未经授权, 不得部分复印本证书。

附加说明

说明校准结果不合格项

以下空白