

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXX—××××

光纤光栅拉索索力测量系统校准规范

Fiber optic Grating Lasso force

Measurement System

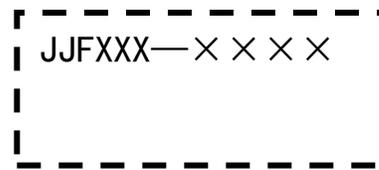
(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

光纤光栅拉索索力测量系统 校准规范



JJF xxxx-xxxx
Fiber optic Grating Lasso
Force Measurement System

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：交通运输部公路科学研究所

本规范委托全国公路专用计量器具计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

参加起草人：

目录

| | |
|-------------------------|-----|
| 引 言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 引用文件 | 1 |
| 3. 术语和定义 | 1 |
| 3.1 线性度 Linearity | 1 |
| 4. 概述 | 1 |
| 5 计量特性 | 3 |
| 5.1 温度示值误差 | 3 |
| 5.2 线性度 | 3 |
| 5.3 索力测量重复性 | 3 |
| 6 校准条件 | 3 |
| 6.1 环境条件 | 3 |
| 6.2 测量标准及其他设备 | 3 |
| 7. 校准项目和校准方法 | 4 |
| 7.1 温度示值误差 | 4 |
| 7.2 线性度 | 4 |
| 7.3 测量重复性 | 4 |
| 8 校准结果 | 5 |
| 8.1 校准原始记录 | 5 |
| 8.2 校准证书 | 5 |
| 8.3 校准结果不确定度评定 | 5 |
| 9 复校时间间隔 | 5 |
| 附录 A | 6 |
| 附录 B | 7 |
| 附录 C | 8 |

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 1059.1-2012《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。

光纤光栅拉索索力测量系统校准规范

1 范围

本规范适用于光纤光栅拉索索力测量系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范

JT/T 1037 公路桥梁结构安全监测系统技术规程

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. 术语和定义

3.1 线性度 Linearity

光纤光栅拉索在其特定的幅值范围内输出量值的线性程度。

4. 概述

光纤光栅拉索索力测量系统是用于桥梁拉索索力的设备，用于公路基础设施结构服役性能的监测。

光纤光栅技术是利用紫外曝光等技术在光纤芯中引起折射率的周期性变化和分布，这种光纤内部折射率分布的周期性结构就是光纤光栅。测量过程是通过光源和光纤光栅传感器拉伸形成某一特定波长光的反射，从而形成光纤光栅的反射谱。光纤光栅拉索索力是在索体捻制过程中将最中心的平直钢丝(或钢绞线)替换为内嵌 Bragg 光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)的 CFRP 传感筋(或钢绞线)，借助拉索受力状态下端部的锚固和扭转效应，智能筋被自然握裹，达到智能筋(或钢绞线)和普通拉索钢丝(钢绞线)协同变形的效果。光纤光栅拉索索力测量系统可以将索力或微裂等外部长度变化或温度变化产生的长度参数转换为光纤光栅波长的变化，通过解调仪测出其当前波长，再经过计算求出其索力值。

光纤光栅拉索索力测量系统主要由反力台架、张拉螺杆、光纤线缆、显示模块、光源信号发射及采集端口等部分组成，其主要结构如图 1 所示。

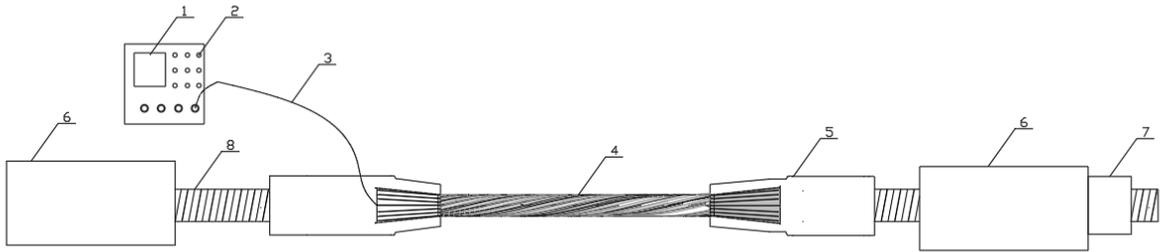


图 1. 光纤光栅拉索索力测量系统结构示意图

1. 显示模块；
2. 光源信号发射及采集端口；
3. 光纤线缆；
4. 光纤拉索；
5. 锚具；
6. 反力台座；
7. 张拉千斤顶（含压力传感器）。

5 计量特性

5.1 温度示值误差

光纤光栅拉索索力测量系统的温度示值误差应不大于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 线性度

光纤光栅拉索索力测量系统的线性度应不大于 $\pm 1\%\text{FS}$ 。

5.3 索力测量重复性

光纤光栅拉索索力测量系统的重复性应不大于 $0.5\%\text{FS}$ 。

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

a) 环境温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$

b) 环境湿度： $\leq 85\%$ ；

6.2 测量标准及其他设备

a) 反力装置：拉索张拉限位极限抗拉荷载应大于测试索力的1.5倍，反力装置变形量小于5mm；

b) 测力装置：测力装置的准确度等级应从以下序列中选取：0.02、0.05、0.1、0.2(0.25)、0.5、1.0、1.5、2.0(2.5)

c) 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 0.1°C ，温度波动性不大于 $0.05^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ；

d) 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 ；

注：允许采用满足测量不确定度要求的其它测量标准器。

7. 校准项目和校准方法

7.1 温度示值误差

a) 将光纤光栅拉索测点区域放入恒温槽中，启动恒温槽，将其温度设定为-20℃，待恒温槽恒定后，用标准温度计测量恒温槽的温度，记为 T_{Ri} ，同时记录光纤光栅拉索索力测量系统的示值，记为 T_i ；重复测量 3 次，

b) 重复 a 的步骤，分别在 0℃、20℃、40℃、60℃时进行测量，在每个设定温度重复采集记录 3 次，取 T_i 的算术平均值作为测量结果 \bar{T}_i ；

c) 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，单位为：℃；

\bar{T}_i —光纤光栅拉索索力测量系统示值平均值，单位为：℃；

T_{Ri} —恒温槽的温度，单位为：℃。

7.2 线性度

a) 将光纤光栅拉索索力测量系统的传感端固定在测力系统上，开启测量系统；

b) 将光纤光栅拉索索力测量系统满量程拉索力按 10%分档，从满量程的下限开始，单向进给应变至满量程上限，读取并记录每个档位测力系统的力值，记为 F_{Ri} ；按式 (2) 计算光纤光栅拉索索力测量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。

$$\gamma = \frac{\Delta F_i}{F_{FS}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ —光栅索力测量系统的线性度；

ΔF_i —单点示值误差；

F_{FS} —索力测量系统的满量程输出，单位为：KN。

7.3 测量重复性

选取光纤光栅拉索索力测量系统满量程索力量的 60%位值，从满量程的下限开始单项加载，重复测量 3 次，计算每次测量的示值，将示值的最大值记为 F_{simax} ，最小值记为 F_{simin} ，

按式（3）计算测量重复性。

$$C_{V\varepsilon} = \left[\frac{(F_{simax} - F_{simin})}{\frac{F_{FS}}{C_n}} \right] \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$C_{V\varepsilon}$ —测量重复性；

F_{simax} —示值的最大值，单位为：KN；

F_{simin} —示值的最小值，单位为：KN；

C_n —极差系数, 1.69。

注：若测量系统有多根内嵌光纤光栅拉索，则选择需要校准的内嵌光纤光栅拉索，重复以上步骤，直至所有测量系统完成校准。

8 校准结果

8.1 校准原始记录

光纤光栅拉索索力测量系统的校准记录应信息齐全、内容完整，校准记录式样见附录 A。

8.2 校准证书

光纤光栅拉索索力测量系统的校准结果以校准证书的形式记录，校准证书包含的信息及内页式样见附录 B。

8.3 校准结果不确定度评定

光纤光栅拉索索力测量系统校准结果的不确定度评定按照 JJF 1059.1 执行，不确定度评定示例见附录 C。

9 复校时间间隔

光纤光栅拉索索力测量系统的复校时间间隔建议为 6 个月。由于复校时间间隔的长短是由光纤光栅拉索索力测量系统的使用情况、使用者等诸因素所决定的，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。

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 | 线性度 | 满量程 20%分位： | | | | | |
| | | 满量程 40%分位： | | | | | |
| | | 满量程 60%分位： | | | | | |
| 3 | 索力测量重复性 | 满量程 60%分位： | 第一次 测量值 | | 第二次 测量值 | | 第三次 测量值 |

附录 B

光纤光栅拉索索力测量系统校准证书信息及内页式样

B.1 校准证书信息

光纤光栅拉索索力测量系统校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 校准实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书编号、页码及总页数；
- e) 委托单位的名称和地址；
- f) 样品接收日期，报告批准日期；
- g) 被校准仪器的信息；
- h) 进行校准的日期；
- i) 校准所依据的技术规范名称和代号；
- j) 所用测量标准或主要设备的名称、编号、主要技术参数及溯源证书有效期；
- k) 校准时的环境条件；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 校准报告批准人的签名或识别信息；
- n) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明；
- p) 如可获得，任何调整或修理前后的结果；
- q) 相关时，与要求或规范的符合性声明；

已与客户达成协议时，给出复校时间间隔的建议。

附录 C

光纤光栅拉索索力测量系统测量不确定度评估示例

1 线性度不确定度评定

测量模型

$$\Delta F_i = F_i - F_0$$

ΔF_i : 测量点位线性度误差;

F_i : 测量点位的线性度;

F_0 : 测量点位线性度标称值。

不确定度分析

由测量模型可知, 光纤光栅拉索索力测量系统的测量点位线性度误差 ΔF_i 的不确定度 u_s 主要有 2 个来源:

(1) 由重复性引入的不确定度 u_1

在评定上, 不确定度参照 A 类, 可以通过下列公式进行计算, 仪器的不确定度确定为 3 次重复性标准差, 其标准不确定度:

$$\mu_1 = \frac{R}{C_n \sqrt{n}}$$

其中:

R —极差;

C_n —极差系数, 1.69。

(2) 温度变化引入的不确定度 u_2

通过调研和高低温试验验证等手段发现对测量结果造成主要影响的环境因素就是温度, 除此之外的环境因素造成的影响都可以忽略不计。通过下列公式对温度影响的不确定度分量进行准确的计算:

$$\mu_2 = \frac{\Delta_2}{k_2}$$

其中:

Δ_2 —均匀分布的半宽;

k_2 —置信因子