

天津市地方计量技术规范

JJF(津)118-2024

分布式光纤振动传感系统计量校准规范

Metrological Calibration Specification for Distributed Optical Fiber
Vibration Sensing Systems

2024-03-30 发布

2024-06-30 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

分布式光纤振动传感系统
计量校准规范

JJF(津) 118-2024

Metrological Calibration Specification
for Distributed Optical Fiber
Vibration Sensing Systems

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

参加起草单位：天津大学

天津求实飞博科技有限公司

天津精仪精测科技有限公司

天津慧感光电科技有限公司

本规范主要起草人：

李元耀（天津市计量监督检测科学研究院）

张 涛（天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

刘红光（天津市计量监督检测科学研究院）

丁振杨（天津大学）

刘 柯（天津求实飞博科技有限公司）

封 皓（天津精仪精测科技有限公司）

刘 震（天津慧感光电科技有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
4.1 最大测量长度.....	(2)
4.2 定位误差.....	(2)
4.3 空间分辨率.....	(2)
4.4 输出光功率.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 校准用计量器具.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(2)
6.1 校准前的准备.....	(2)
6.2 最大测量长度.....	(3)
6.3 定位误差.....	(3)
6.4 空间分辨率.....	(3)
6.5 输出光功率.....	(4)
7 校准结果表达.....	(4)
8 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 校准证书内页推荐格式.....	(5)
附录 B 校准原始记录推荐格式.....	(7)
附录 C 分布式光纤振动传感系统不确定度评定示例.....	(8)

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、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》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次制定。

分布式光纤振动传感系统计量校准规范

1 范围

本规范适用于分布式光纤振动传感系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 959 光时域反射计检定规程

JJF 1198-2022 通信用可调谐激光源校准规范

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

3 概述

分布式光纤振动传感系统，又称分布式光纤振动检测（DVS）系统，是由监测主机和传感光缆组成。

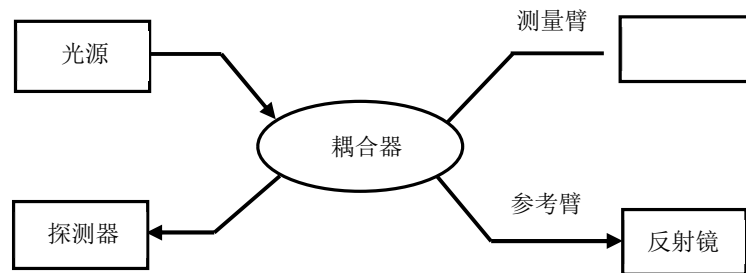


图 1 分布式光纤振动传感系统工作原理图

传感系统依据光弹效应或者拉曼散射等基本原理解实现监测。光弹效应使光纤在受到微小应变时折射率发生变化，进而引起光纤中瑞利散射光信号的干涉相位发生变化，实现对探测光缆周围环境中的振动或者声波信号的分布式探测；而利用光纤的本征特性、光纤受激拉曼散射的放大原理、光纤的反斯托克斯拉曼散射波强度受光纤振动调制的原理和光时域反射原理也可以实现振动传感监测。其工作原理图如图1所示。

入射光与光纤沿线某点的后向散射光产生干涉，该点上的声音或振动的变化会引起该干涉光相位的线性变化，因此在接收端对该点的干涉光相位进行解调就可以确定声音或振动的变化量。由于光纤在空间中的连续分布，可以定量检测到空间上的任意一点发生的物理量的变化，从而实现分布式传感。

4 计量特性

- 4.1 最大测量长度： $\geq 10\text{km}$ 。
- 4.2 定位误差：优于 $\pm 20\text{m}$ 。
- 4.3 空间分辨率： $\leq 10\text{m}$ 。
- 4.4 输出光功率： $(-30\sim+14)\text{dBm}$ 。
- 4.1、4.3 按送检仪器技术说明书要求。

注：校准工作不做判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 环境温度： $(23\pm 5)\text{℃}$ ，校准期间温度变化不超过 2℃ 。
- 5.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ 。
- 5.1.3 供电电压：交流 $(220\pm 11)\text{V}$ ，频率： $(50\pm 1)\text{Hz}$ 。
- 5.1.4 周围无影响校准结果的振动和强磁场。

5.2 校准用计量器具

- 5.2.1 光时域反射计(OTDR)：优于 $\pm(1+2\times 10^{-5}\cdot L+\text{取样分辨率})\text{m}$ ，L为测试距离。
- 5.2.2 振动标准装置：加速度测量不确定度优于 $3\%(k=2)$ 。
- 5.2.3 光功率计：测量不确定度： $5\%(k=2)$ 。
- 5.2.4 标准钢卷尺：MPE： $\pm(0.03+0.03L)\text{mm}$ ，L以米为单位，当L不是整数米时，取最接近的较大整数。
- 5.2.5 校准用光纤：FC/APC单模光纤。

注：允许使用其他满足测量不确定度要求的标准器进行校准。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前的准备

- 6.1.1 目视检查部件安装是否牢固，表面有无影响计量性能的碰伤、划痕及影响校准

结果的其它缺陷。

6.1.2 按被校分布式光纤振动传感系统要求的电压加电，观察自检是否通过，显示是否正常，有无异味等异常现象。

6.1.3 按被校分布式光纤振动传感系统要求进行自校校准。

6.2 最大测量长度

a) 按仪器技术说明书的最大测量长度准备校准用光纤，光纤两端熔接 FC/APC 光纤跳线，也可以一端熔接 FC/APC 光纤跳线，另一端用切割刀处理端面；

b) 将校准用光纤放置在隔震平台，将校准用光纤接入到 OTDR 中；

c) 测量背向反射曲线，搜索末端反射峰位置，计算反射峰平均位置，得到校准用光纤长度；

d) 重复步骤 c) 3 次，取平均值为校准用光纤标准长度 L_1 ；

e) 将校准用光纤接入待检仪器，重复步骤 c) d)，得到校准用光纤长度 L_2 ，则 $L=L_2-L_1$ 为最大测量长度示值误差。

6.3 定位误差

a) 准备 ≥ 3 段长度不等的校准用光纤，每段光纤均两端熔接 FC/APC 接头，每段光纤长度 $>$ 待检仪器的空间分辨率，将校准用光纤用法兰盘连接，连接后总长度小于待检仪器的最大测量长度；

b) 将待测光纤放置在隔震平台，若校准用光纤 ≥ 10 m，则将校准用光纤接入到 OTDR 中，测量背向反射曲线，搜索反射峰位置，计算反射峰平均位置，得到校准用光纤 ≥ 3 处损耗位置（法兰盘连接处），分别为 P_{11} ， P_{21} ， P_{31} ；若校准用光纤 < 10 m，则用标准钢卷尺读取位置间隔（法兰盘连接处），分别为 P_{11} ， P_{21} ， P_{31} ；

c) 将校准用光纤接入待检仪器，重复步骤 b)，得到校准用光纤长度 P_{12} ， P_{22} ， P_{32} ，分别计算损耗处的位置示值误差， $P_1 = P_{12} - P_{11}$ ， $P_2 = P_{22} - P_{21}$ ， $P_3 = P_{32} - P_{31}$ ，取 P_1 ， P_2 ， P_3 平均值为最终测量结果。

6.4 空间分辨率

a) 按仪器技术说明书，准备校准用光纤，光纤两端熔接 FC/APC 接头，光纤上任意位置取两点，间隔为待检仪器的标称空间分辨率。将选取的两点位置粘于振动台上，其余光纤位于振动台外；

b) 将校准用光纤一段接入待检仪器，开启振动台，观察待检仪器示值，并调整待检位置间隔，直到待检仪器极限分辨为止，然后关闭振动台；

c) 若待检仪器空间分辨率 ≥ 10 m，则将校准用光纤接入 OTDR，在极限分辨力处的两点绕环，读取位置间隔，将此间隔的平均值作为第一次测量结果；若待检仪器空间分辨率 < 10 m，则在极限分辨力处的两点绕环，用标准钢卷尺读取位置间隔，将此间隔的

平均值作为第一次测量结果；

d) 重复步骤 c)，测量 3 次取平均值作为校准结果。

6.5 输出光功率

a) 仪器连接示意图如图 2 所示；

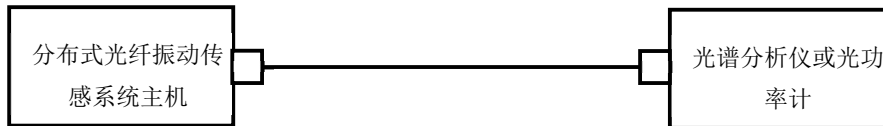


图 2 光功率校准连接示意图

b) 按被较仪器说明书要求选择波长；

c) 在光谱仪或光功率计上读出输出功率值，并记录。

7 校准结果表达

校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（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) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、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。

经校准的传感系统出具校准证书，校准证书校准内容见附录 A。

8 复校时间间隔

标准块复校时间间隔可根据实际使用情况由使用用户确定，建议复校时间间隔一般不超过 1 年。



附录 A

校准证书内页推荐格式

证书编号：

共 页第 页

一、 仪器最大测量长度

仪器显示值(km)	平均校准用光纤长度实测值(km)	扩展不确定度($k=2$) (m)

二、 仪器定位误差

仪器显示值(m)	平均定位误差实测值(m)	扩展不确定度($k=2$) (m)

三、 仪器空间分辨率

平均空间分辨率实测值(m)	扩展不确定度($k=2$) (m)

四、 仪器输出光功率

测试波长： nm

平均输出光功率实测值(dBm)	扩展不确定度($k=2$) (dBm)

附录 B

校准原始记录推荐格式

证书编号：

共 页第 页

一、外观及工作正常性检查

外观	
基本操作功能	
菜单操作、数据存储功能	

二、仪器最大测量长度

测量次数 i	最大测量长度显示值(km)	最大测量长度参考值(km)
1		
2		
·	·	·
·	·	·
·	·	·
n		
平均值		
示值误差(m)		

测量结果的不确定度($k=2$): m

三、仪器定位误差

测量点 P_i	定位误差显示值(m)	定位误差参考值(m)
P_1		
P_2		
P_3		
平均值		
示值误差(m)		

测量结果的不确定度($k=2$): m

四、仪器空间分辨率

测量次数 i	空间分辨率实测值(m)
1	
2	
3	
平均值	

测量结果的不确定度($k=2$): m

五、仪器输出光功率

测试波长:

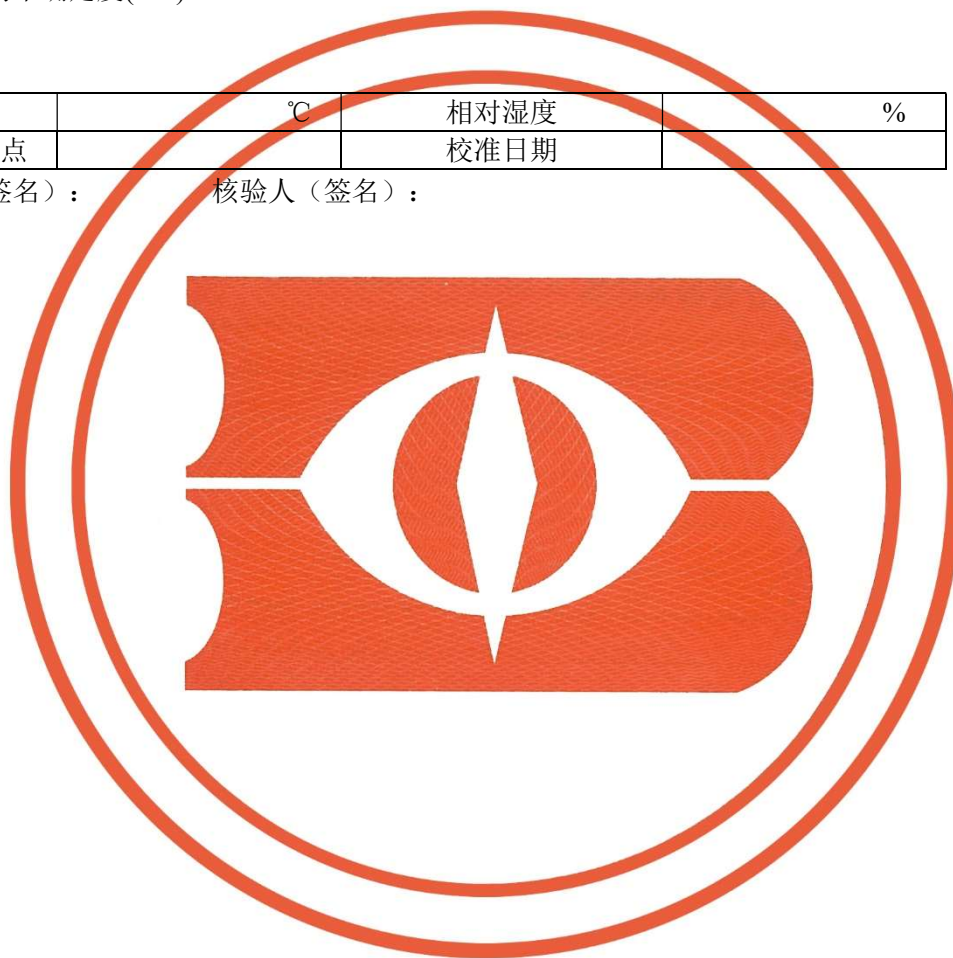
测量次数 i	输出光功率实测值(dBm)
1	
2	
·	·
·	·
n	
平均值	

测量结果的不确定度($k=2$): dBm

温度	℃	相对湿度	%
校准地点		校准日期	

校准人(签名):

核验人(签名):



附录 C

分布式光纤振动传感系统不确定度评定示例

依据分布式光纤振动传感系统计量校准规范的各校准项目的计量特性、校准条件及校准方法的规定，对型号为 QS-SDVS402A 的分布式光纤振动传感系统进行了校准。下面主要针对分布式光纤振动传感系统最大测量长度和输出光功率校准的不确定度进行分析。

C.1 DVS 长度示值校准的测量不确定度评定

C.1.1 测量模型

$$\Delta L = L_u - L_s \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔL ——被校分布式光纤振动传感系统长度测量示值误差；

L_u ——被校分布式光纤振动传感系统测量长度传递标准的结果平均值；

L_s ——长度标准的标准值；

C.1.2 不确定度来源：

- a) 长度标准引入的标准不确定度分量 u_1 ；
- b) 被校分布式光纤振动传感系统测量分辨力引入的标准不确定度分量 u_2 ；
- c) 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_3 ；

C.1.3 计算各分量标准不确定度

C.1.3.1 长度标准引入的标准不确定度分量 u_1

由上级校准证书，可以得到量程 50km，脉宽 200ns 时，OTDR 长度测量的最大允许误差 $\pm 1.1\text{m}$ ，取均匀分布，因此由标准器 OTDR 带入的不确定度为：

$$u_1 = 1.1/\sqrt{3} = 0.63\text{m}$$

C.1.3.2 被校分布式光纤振动传感系统测量分辨力引入的相对标准不确定度分量 u_2

根据技术指标可知，其分辨力为 1 m，设均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则相对标准不确定度分量 u_2 为：

$$u_2 = (1/2)/\sqrt{3} = 0.29\text{m}$$

C.1.3.3 长度传递标准重复性引入的标准不确定度分量 u_3

进行 3 次长度测试，分别得到长度值：10.353km、10.343km、10.353km。采用极差法，查表得测量次数 $n=3$ 时， $C=1.69$ ，则相对标准不确定度分量 u_3 为：

$$u_3 = \frac{L_{max} - L_{min}}{\sqrt{3}C} = \frac{10}{1.69 \times \sqrt{3}} = 3.42m$$

C.1.4 合成标准不确定度

设各相对标准不确定度分量间不相关，则对应的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 3.49m$$

C.1.5 扩展不确定度

设各相对标准不确定度分量间不相关，则对应的合成标准不确定度为：取包含因子 $k=2$ ，则 $U_{rel}=k \times u_c=2u_c=7m$

C.2 DVS 输出光功率校准的测量不确定度评定

C.2.1 测量模型

$$P=P_u \tag{C.2}$$

式中， P ——被校分布式光纤振动传感系统输出光功率测量示值；

P_u ——被校分布式光纤振动传感系统测量输出光功率传递标准的结果平均值；

C.2.2 不确定度来源：

- a) 标准光功率计引入的不确定度分量 u_1 ；
- b) 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2 ；

C.2.3 计算各分量标准不确定度

C.2.3.1 标准光功率计引入的不确定度 u_1

根据上级溯源证书，标准光功率计在 1550nm 处的最大允许误差为 0.03dB，取均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则由光功率计引入的不确定度 u_1 为：

$$u_1 = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017dB$$

C.2.3.2 输出光功率测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2

进行 3 次输出光功率测试，分别得到输出光功率值：13.334dBm、13.339dBm、

13.902dBm。采用极差法，查表得测量次数 $n=3$ 时， $C=1.69$ ，则相对标准不确定度分量 u_3 为：

$$u_2 = \frac{P_{max} - P_{min}}{\sqrt{3}C} = \frac{0.568}{1.69 \times \sqrt{3}} = 0.19\text{dB}$$

C.2.4 合成标准不确定度

设各相对标准不确定度分量间不相关，则对应的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.19\text{dB}$$

C.2.5 扩展不确定度

设各相对标准不确定度分量间不相关，则对应的合成标准不确定度为：取包含因子 $k=2$ ，则 $U_{rel}=k \times u_c=2u_c=0.38\text{dB}$ 。
