JJF

**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJF××××—××××**

**线位移传感器校准规范**

**Calibration Specification for Linear Displacement Sensors**

（征求意见稿）

**××××-××-×× 发布 ××××-××-×× 实施**

**国家市场监督管理总局 发布**

**线位移传感器校准规范**

**JJF ××××—××××**

**代替JJF 1305-2011**

**Calibration Specification for**

**Linear Displacement Sensors**

归口单位：全国几何量工程参量计量技术委员会

主要起草单位：广东省计量科学研究院

北京长城计量测试技术研究所

黑龙江省计量检定测试院

参加起草单位: 贵州省计量测试院

交通运输部公路科学研究院

本规范委托全国几何量工程参量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](#_Toc18284) (**错误!未定义书签。**)

[1 范围 (1](#_Toc29194))

[2 引用文件 (1](#_Toc15863))

[3 术语 (1](#_Toc21507))

[4 概述 (1](#_Toc25108))

[5 计量特性 (3](#_Toc20020))

[5.1 线性度 (3](#_Toc20020))

[5.2 灵敏度 (3](#_Toc20020))

[5.3 回程误差 (3](#_Toc20020))

[5.4 重复性 (3](#_Toc20020))

[5.5 示值误差 (3](#_Toc20020))

[6 校准条件 (3](#_Toc29201))

[6.1 校准条件 (4](#_Toc29201))

[6.2 测量标准器及其他设备 (4](#_Toc29201))

[7 校准项目和校准方法 (4](#_Toc3122))

7.1 [线性度 (4](#_Toc29201))

[7.2 灵敏度 (6](#_Toc20020))

[7.3 回程误差 (6](#_Toc20020))

[7.4 重复性 (6](#_Toc20020))

[7.5 示值误差 (6](#_Toc20020))

[8 校准结果表达 (7](#_Toc12626))

[9 复校时间间隔 (7](#_Toc6487))

[附录A 交流差动变压器式位移传感器线性度测量结果的不确定度评定 (8](#_Toc1355))

[附录B 电感式位移传感器示值误差测量结果的不确定度评定 (13](#_Toc5850))

[附录C 校准证书内容及内页格式 (16](#_Toc32498))

引 言

JJF1071—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》和JJF 1059. 1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了GB/T 7666-2005《传感器命名法及代码》、GB/T 18459-2001《传感器主要静态性能指标的计算方法》和GB/T 37367-2019《岩土工程仪器 位移计》。与JJF 1305—2011相比，除编辑性修改外，本规范主要技术变化如下：

—— 根据被校准线位移传感器类型设置计量特性，对输出长度量线位移传感器，计量特性为示值误差、回程误差、重复性。输出其他量的线位移传感器计量特性：灵敏度、线性度、回程误差、重复性；

—— 取消了原规范中的允许误差；

—— 修改了校准用主要设备的表达方式；

—— 增加了输出长度量线位移传感器的校准方法；

—— 删除了基本误差的校准方法；

—— 修改了测量不确定度评估示例；

本规范的历次版本发布情况：

—— JJF 1305-2011。

**线位移传感器校准规范**

1 范围

本规范适用于线位移传感器的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 18459 传感器主要静态性能指标的计算方法

GB/T 7665 传感器通用术语

GB/T 37367 岩土工程仪器 位移计

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）适用于本规范。

1. 术语

3.1 线位移传感器linear displacement transducer/sensor

能感受长度尺寸变化并转换成可用输出信号的器件。

3.2 线性度 linearity

传感器正、反行程实际平均特性曲线相对于参比直线的最大偏差与满量程输出的百分比。

注：随参比直线的不同，有多种线性度，本规范参比直线采用最小二乘直线。

3.3 灵敏度 sensitivity

传感器输出量变化值与相应输入量变化值之比。

3.4 满量程输出 full scale output

在规定条件下，传感器输出的上限值与下限值之间的代数差。

注：对于振弦(应变)式位移传感器，由于其输出量的特殊性，满量程输出为传感器输出范围内最大输出频率的平方与最小输出频率的平方的代数差，如果振弦(应变)式位移传感器是以频率模数（输出频率的平方除以1000）为输出量，则满量程输出为其最大输出频率模数与最小输出频率模数的代数差。

4 概述

线位移传感器是一种能感知直线位移量并转换成可用输出信号的测量仪器，线位移传感器可用来测量位移、距离、位置和应变量等长度尺寸，广泛应用于工业自动化领域。按其工作原理可分为电感式线位移传感器、磁致伸缩式线位移传感器、拉线（绳）式线位移传感器、振弦（应变）式线位移传感器等。线位移传感器输出信号的类型多，绝大部分线位移传感器输出电压或电流等模拟量；也有些线位移传感器已集成了信号转化功能，能直接以数字方式或其他方式输出长度量。

电感式（差动变压器式）、磁致伸缩式、拉线（绳）式等典型线位移传感器的结构示意简图如下。

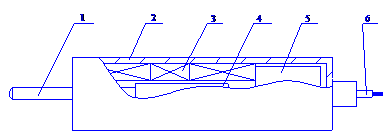


图1 电感式（差动变压器式）线位移传感器示意简图

1—测杆；2—外壳；3—线圈；4—移动铁芯；5—信号处理部件；6—电缆

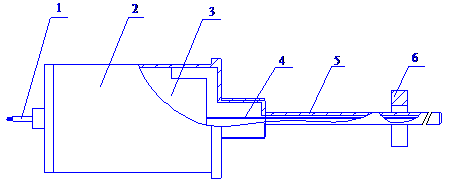


图2 磁致伸缩式线位移传感器示意简图

1—电缆；2—外壳；3—信号处理部件；4—波导线；5—不锈钢保护管；6—磁环

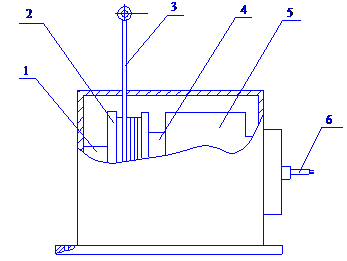


图3 拉线（绳）式线位移传感器示意简图

1—力平衡机构；2—轮毂；3—钢丝线（绳）；4—传感元件；5—信号处理部件；6—电缆

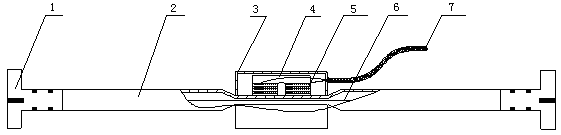


图4 振弦（应变）式线位移传感器示意简图

1—固定端；2—外壳；3—线圈保护罩；4—电子部件；

5—激励与接收线圈；6—钢弦；7—电缆

1. 计量特性
   1. 线性度

线性度典型指标为 0.05%～2.5%。

* 1. 灵敏度

根据线位移传感器输出信号的不同，灵敏度有不同的表达式。如：输出信号为电压：灵敏度典型值有0.04 V/mm；输出信号为电流，灵敏度的典型值有0.2 mA/mm，经校准的线位移传感器使用其灵敏度校准结果的测得值，一般不做指标限值规定。

* 1. 回程误差

回程误差典型指标为 0.01%～1.0%。

* 1. 重复性

重复性典型指标为 0.01%～1.0%。

* 1. 示值误差

线位移传感器的线性度典型指标为 ±（0.05% ～2.5%）。

注：输出长度量的线位移传感器校准：示值误差、回程误差、重复性，输出非长度量的线位移传感器校准：线性度、灵敏度、回程误差、重复性。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

6.1.1实验室温度、相对湿度和平衡温度时间的要求见表1。

表1环境条件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准室内温度 (℃) | 室 温 变 化 (℃/h) | 相 对 湿 度（%） | 被校准仪器在室内平衡温度的时间(h) |
| 20±2 | 1 | ≤75 | ≥2 |

6.1.2 校准时应避免外界磁场及振动等干扰因素。

6.2 测量标准器及其他设备

校准用的测量标准器及其他设备见表2，允许使用满足测量不确定度要求的其它测量标准及设备进行校准。

表2 线位移传感器校准用的测量标准器及其他设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术要求 |
| 1 | 测长装置 | MPE：±（0.5μm +10*L*） |
| 2 | 数字多用表 | MPE：DCV ±0.0035%，ACV ±0.06% |
| 3 | 直流稳压电源 | 纹波电压不大于0.5% |
| 4 | 励磁电源 | 频率1kHz～6k Hz正弦波，波形失真度不大于2% |
| 5 | 振弦式频率读数仪 | MPE：±0.5 Hz |
| 注：推荐使用的测长装置有：线位移传感器测量系统，测长机，量块，采用激光干涉仪为长度标准器与移动平台搭建的测量装置。 | | |

7 校准项目和校准方法

根据线位移传感器实际应用时的输出方式，选择需要校准的计量特性项目。按表2选择合适的测长装置为线位移传感器提供直线位移输入，采用相应的数字多用表等二次仪表读取线位移传感器的输出量（电压、电流、电阻、频率或模数）。对线位移传感器工作状态进行功能检查，必要时按说明书进行标定，确定没有影响计量特性的因素后再进行校准。

7.1 线性度

传感器的安装尽量满足阿贝原则。调整传感器的输出范围, 在其输出范围内大致均匀分布取11个校准点（包括上、下限），按顺序分别读出长度标准器给出的位移值*Li* 和各校准点上的输出值*yi* [对于振弦（应变）式位移传感器，*Li*为显示装置显示的位移值与振弦应变传感器基本长度的比值]。以正、反两个行程为一个测量循环，共测量三个循环，根据三个循环的测量结果, 采用最小二乘法计算参比直线方程, 见式（1）。

 (1)

式中:

*Y*i ── 被校准线位移传感器在第*i*个校准点处输出量的理论输出值；

*Y0* ── 参比直线的截距；

*K* ── 参比直线的斜率。

斜率*K*及截距*Y*0的计算公式如下：

 (2)

 (3)

式中:

── 被校准线位移传感器各校准点输出值的平均；

*Li* ──被校准线位移传感器在第*i*个校准点的位移值；

*i* ── 第*i*个校准点，*i*=1～*n* (*n=*11)。

按参比直线方程式（1）求出传感器在第*i*个校准点处的理论输出值*Y*i后，由式（4）计算各校准点的线性度，取各*i*点中绝对值最大的作为线性度测得值。

=×100% (4)

式中:

──传感器在第*i*个校准点上三个循环正、反行程输出量的平均值。

── 满量程输出, 由式(5) 确定, 下同。

** (5)

式中：

——位移至上限值时三个循环正、反行程所测得的实际输出量的平均值；

——位移至下限值时三个循环正、反行程所测得的实际输出量的平均值。

7.2 灵敏度

取式（2）中最小二乘法参比直线的斜率作为灵敏度的测量结果。

7.3 回程误差

按式（6）计算传感器各校准点的回程误差，取各*i*点中最大的作为测量结果。

×100% (6)

式中:

── 被校准线位移传感器三个循环正行程在第*i*个校准点输出量的平均值；

── 被校准线位移传感器三个循环反行程在第*i*个校准点输出量的平均值。

7.4 重复性

根据三个循环的测量数据，由正、反同向行程在第*i*个校准点三次测量输出值，求出同向行程中相互间的最大差值，取各点同向行程中差值最大的为，按式（7）计算重复性。

×100% (7)

7.5 示值误差

按式（8）得到被校线位移传感器在各校准点上的示值误差，取各*i*点中绝对值最大的作为示值误差测得值。

=×100% (8)

式中：

── 第*j*次循环各校准点*i*线位移传感器的示值误差，*i* =1～11，mm；

── 第*j*次循环各校准点*i*线位移传感器的输出值，*j*=1～3，mm；

── 各校准点*i*测长装置传感器测量系统读数，*j*=1～3，mm。

**8 校准结果表达**

经校准的线位移传感器出具校准证书。校准证书内容，见附录C。

**9 复校时间间隔**

由于复校时间间隔的长度是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送检单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

建议复校时间间隔为1年。

**附录A 交流差动变压器式位移传感器线性度测量结果的不确定度评定**

**A1 测量方法**

被校准的交流差动变压器式位移传感器的测量范围为±50.0mm, 输出值电压±2V, 准确度等级为0.2级。根据本规范采用3等量块做为长度位移标准值、采用安捷伦34401A数字多用表读取输出电压值。励磁电源是采用WAVETEK信号发生器，频率准确度1×10-7。按本规范规定的方法进行校准，均匀选取11个校准点，共测量3个测回，得到的数据如下表。

表A.1 测量数据列表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点序 | 位移*L*i  （mm） | 输出电压值 *y*i （V） | | | | | |
| 第1测回 | | 第2测回 | | 第3测回 | |
| 正行程 | 反行程 | 正行程 | 反行程 | 正行程 | 反行程 |
| 1 | -50.0000 | -2.0608 | -2.0593 | -2.0606 | -2.0585 | -2.0597 | -2.0578 |
| 2 | -40.0001 | -1.6472 | -1.6469 | -1.6481 | -1.647 | -1.6487 | -1.6473 |
| 3 | -30.0000 | -1.2347 | -1.2361 | -1.2349 | -1.2355 | -1.2351 | -1.2354 |
| 4 | -20.0003 | -0.8233 | -0.8242 | -0.8236 | -0.8242 | -0.8237 | -0.8232 |
| 5 | -10.0000 | -0.4131 | -0.4107 | -0.4128 | -0.4112 | -0.4138 | -0.4117 |
| 6 | 0.0000 | -0.0014 | 0.0012 | -0.002 | 0.0019 | -0.0014 | 0.0017 |
| 7 | 9.9999 | 0.4129 | 0.4108 | 0.4126 | 0.4111 | 0.4122 | 0.4112 |
| 8 | 20.0000 | 0.8237 | 0.8226 | 0.8239 | 0.8224 | 0.8237 | 0.8222 |
| 9 | 29.9998 | 1.2375 | 1.2372 | 1.2382 | 1.2369 | 1.2375 | 1.2375 |
| 10 | 39.9999 | 1.6494 | 1.6472 | 1.6499 | 1.6477 | 1.6499 | 1.6472 |
| 11 | 49.9997 | 2.0605 | 2.0592 | 2.0602 | 2.0591 | 2.0599 | 2.0582 |

**A2 数学模型**

根据线位移传感器校准特性的输出值和标准器读数，取一个测量循环中的输出值和标准器读数为一组,共3组,线位移传感器的参比直线采用最小二乘线性回归的直线，理论直线方程式为：

 (A.1)

式中：

—线位移传感器在第*i*个校准点处输出量的理论输出值；

── 线位移传感器的截距；

*K* ── 线位移传感器的灵敏度；

*i* ── 线位移传感器第*i*个校准点的位移量。

灵敏度*K*及截距*Y*0公式如下：

 (A.2)

 (A.3)

式中：

 ── 各校准点的正行程和反行程输出值的算术平均值；

*Li* ── 被校准线位移传感器在第*i*个校准点的位移值；

计算各校准点输出值的平均值与最小二乘线性回归直线的差值

 (A.4)

线位移传感器第*i*个受检点的线性度为：

 (A.5)

 (A.6)

线位移传感器的线性度为：

 (A.7)

式中：

——位移至上限值时三个循环正、反行程所测得的实际输出量的平均值；

——位移至下限值时三个循环正、反行程所测得的实际输出量的平均值。

──输出信号量程。

A3 **方差和灵敏系数**

**** (A.8)

根据线性度公式  (A.9)

则： 

；

；

；



= -

取 V；线性度绝对值最大值出现在校准点*Li* = 20 mm。

**A4 标准不确定度分量**

A4.1 线位移传感器的灵敏系数*K*和截距引入的标准不确定度分量 采用最小二乘法计算出的理论直线方程式

 *n*=11（采用的测量点数） (A.10)

因各独立，则：

 自由度

 自由度

其中：  

则： 0.0003 V

0.00001 V/mm

A4.2 由量块的测量不确定度引入的标准不确定度分量

3等量块中心长度的扩展不确定度为0.10 μm+1×10-6*L*，*k*=2.8,本次测量中*L*取为20 mm，则由标准器的扩展不确定度引入的不确定度分量为：



A4.3 标准器在工作环境条件引入的不确定度 

由于量块中心长度会受工作环境影响，校准传感器的环境温度控制在（20±5）℃，传感器和量块的标称热胀系数均为 *α*=(11.5±1)×10-6℃-1，则两者的热胀系数差界限为 ±2×10-6 ℃-1，按均匀分布，对于50 mm的最大校准点，则传感器和量块热胀系数不一致引入的不确定度 =2×10-6/×50000=0.06 μm。同时, 在校准过程中传感器和量块之间温度不一致，估计温差以等概率落于区间 -1 ℃至+1 ℃内任何处，对于20 mm的校准点，则传感器和量块之间温差引起的不确定度 =20000×11.5×10-6×（1/）=0.13 μm，将两者合成。

==0.14 μm

再将和合成，可得标准线位移量引入的标准不确定度分量为：

0.15 μm

A4.4 数字电压表引入的标准不确定度分量

数字电压表的交流测量示值误差限为±0.06%，满量程输出电压值是2.061 V，服从均匀分布，则：

 V

因测量值取正、反行程3个测回的平均值，所以

V

A4.5 被校传感器满量程测得值引入的标准不确定度分量 

被校传感器的满量程为4.1213V，满量程测得值引入的标准不确定度分量由长度标准器量块和数字电压表两部分组成。对于量块而言，此时对应的校准点*Li* = 50 mm，按前面A4.3方法有 *u*(*Li*)=0.34 μm，对于数字电压表来说，采用A4.4计算结果有*u*(*yi*)=0.00033V, 考虑到上限线影响两次，灵敏系数*K=*0.0412V/mm，则*u*(*YFS*)估算如下：

==0.00045 V

**A5 合成标准不确定度**





**A6 扩展不确定度**

取包含因子*k*=2，则有：

*U*=*kuc=*2×0.00012=0.00024；*U*=0.024%

**附录B**

**电感式位移传感器示值误差测量结果的不确定度评定**

**B.1 测量方法**

按本规范的方法校准电感式位移传感器，被校准的电感式位移传感器直接输出长度尺寸, 量程为20 mm, 分辨力为 0.001mm。采用的测长标准器为传感器测量系统，分析校准电感式位移传感器示值误差测量结果的扩展不确定度。

**B.2 数学模型**

×100%

**B.3 方差和灵敏系数**

依 

得: 

其中： =，= -，= -

上式中， =20 mm, 最大误差出现的校准点出现在=16.005 mm, =16.0004 mm, 将数据代入有：

=0.05 mm-1，=0.00001 mm-1，= -0.05 mm-1

： 传感器输出值读数引入的标准不确定度分量；

： 传感器满量程输出值引入的标准不确定度分量；

： 测量过程中传感器测量系统引入的标准不确定度分量。

**B.4 标准不确定度一览表**

表B.1 标准不确定度一览表（量程 20 mm，分辨力为0.001 mm ）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度值 |  |  |
|  | 传感器测量重复性引入的标准不确定度分量 | 1.15 μm | 0.05 mm-1 | 0.000058 |
|  | 传感器满量程输出值引入的标准不确定度分量 | 0.33 μm | 0.00001 mm-1 | 3.3×10-9 |
|  | 测量过程中传感器测量系统引入的标准不确定度分量 | 0.21 μm | -0.05 mm-1 | 0.000011 |
| *k*=2  *U=*2*uc*=2×0.000058=0.012% | | | | |

**B.5 计算分量标准不确定度**

B.5.1 测量重复性估算的不确定度分量 

对分辨力为0.001 mm、测量范围为（0~20）mm的电感式位移传感器，在重复性条件下对10 mm校准点重复测量10次, 所得测量数据见下表，得到单次实验标准差*s*=1.15μm， 则有:

****=1.15 μm

表B.1 重复性测量数据 (mm)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 10.002 | 10.002 | 10.000 | 10.002 | 10.001 | 10.003 | 10.002 | 10.003 | 10.004 | 10.001 | 10.002 |

B.5.2 传感器满量程测得值引入的标准不确定度分量 

传感器测量满量程为20 mm，满量程测得值引入的标准不确定度分量由长度标准器传感器测量系统和传感器读数本身的影响两部分组成。传感器测量系统最大允许误差为±(0.2μm +10*L*），*L*=20 mm，服从均匀分布带入，则传感器测量系统引入的分量0.33 μm。而传感器读数本身的影响则按前面B.5.1来处理，1.15 μm，两者合成，同时考虑到上下限测量影响两次，代入有:

= 1.20 μm

B.5.3 测量过程中传感器测量系统引入的标准不确定度分量 

测量过程中传感器测量系统引入的标准不确定度还是由其最大允许误差引入的，仍按均匀分布处理，考虑校准点位置 *L*=16 mm, 忽略环境温度和热膨胀系数差的影响，估算如下：

= (0.2+16000×10×10-6)/=0.21 μm

**B.6 合成标准不确定度**

将上述不确定度分量按下式合成：



将各标准不确定度分量以毫米为单位表示，代入上式, 有：



=

=0.000058

该值已是比例值，转化成百分形式有 0.0058%。

**B.7 扩展不确定度**

取包含因子 *k*=2，扩展不确定度为

*U* = *kuc* = 2×0.0058% ≈0.012%。

对于电感式位移传感器，其示值最大允许误差一般为±0.05%，示值误差校准的扩展不确定度与其最大允许值之比 ≤1/3，方法可行。

附录C  
校准证书内容及内页格式

C.1 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（如果与在实验室的地址不同）；

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）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。

C.2 校准证书内页格式见表C.1

表C.1 校准证书内页格式

证书编号：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 校准值 |
| 1 | 线性度 |  |
| 2 | 灵敏度 |  |
| 3 | 回程误差 |  |
| 4 | 重复性 |  |
| 线性度测量结果的扩展不确定度 | | |

注：校准证书的内容应符合JJF1071《国家计量校准规范编写规则》的要求。由于各实验室对校准证书有自己的设计，本附录仅建议与校准结果相关部分的内页格式。其中的部分内容可以由于实验室的证书格式不同而在其他部分表述。