

黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) XX—2025

力值变送器校准规范

Calibration Specification for Force Transmitters

(审定稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

黑龙江省市场监督管理局 发布

力值变送器校准规范

Calibration Specification for
Force Transmitters

JJF (黑) XX—2025

归口单位：黑龙江省市场监督管理局

主要起草单位：黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司

参加起草单位：哈尔滨飞机工业集团有限责任公司

中国航发哈尔滨东安发动机有限公司

本规范主要起草人：

薛文瑞（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

王晓靓（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

薛 燕（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

尹承楠（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

张 旭（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

石 剑（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

韩若曦（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

参加起草人：

王玉志（哈尔滨飞机工业集团有限责任公司）

王 荣（哈尔滨飞机工业集团有限责任公司）

代相军（中国航发哈尔滨东安发动机有限公司）

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 非线性	(2)
4.2 重复性	(2)
4.3 滞后	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 校准项目	(3)
6.2 校准方法	(3)
7 校准结果表达	(6)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 力值变送器校准记录格式 (推荐性)	(8)
附录 B 力值变送器校准证书内页格式 (推荐性)	(9)
附录 C 力值变送器示值测量结果不确定度评定示例	(10)

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了JJG 391—2009《力传感器检定规程》、JJG 882—2019《压力变送器检定规程》、GB/T 18271.2—2017《过程测量和控制装置通用性能评定方法和程序 第2部分：参比条件下的试验》的相关内容。

本规范为首次发布。

力值变送器校准规范

1 范围

本规范适用于应变式力传感器经信号转换器输出标准化模拟电信号或数字电信号的力值变送器的校准。其他构型力值变送器可参考本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 391-2009 力传感器检定规程

JJG 882—2019 压力变送器检定规程

GB/T 18271.2-2017 过程测量和控制装置通用性能评定方法和程序 第2部分：参比条件下的试验

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 概述

力值变送器是将力值变量转换为标准化模拟或数字输出信号的仪器，主要用于力值参数的测量和控制。常见的标准化输出信号与力值成线性关系，按工作原理可分为模拟输出型和数字输出型两种，可以为（4~20）mA电流信号、（0~10）V电压信号或其他数字信号输出等。

模拟输出型力值变送器通过内部电位器的调节实现输出信号的调整，其结构示意图见图 1。

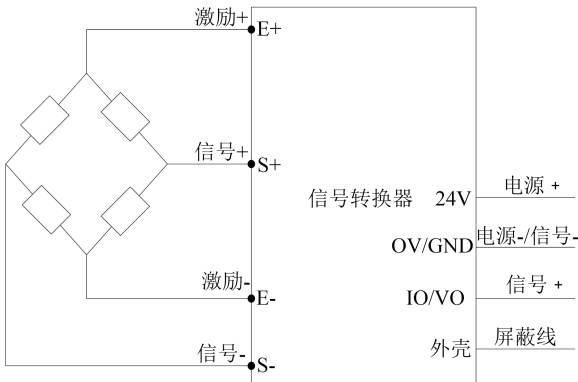


图 1 模拟输出型力值变送器结构示意图

数字输出型力值变送器将力传感器输出的差分信号转化成数字量，一般采用自由协议或标准 Modbus-Rtu 协议，通过 RS485 上传至 PLC、上位机以及其他采集终端显示，通过寄存器的调节实现输出信号的调整，其结构示意图见图 2。

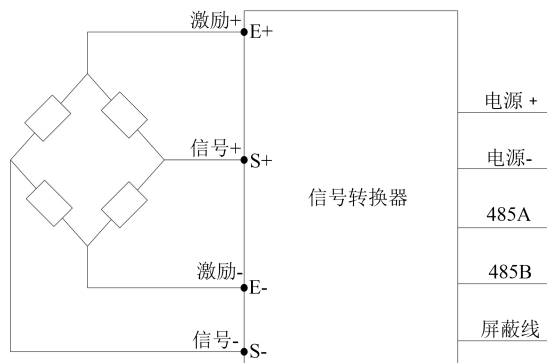


图 2 数字输出型力值变送器结构示意图

4 计量特性

4.1 非线性

进程平均曲线与选定直线之间的最大正或负偏差以输出量程的百分数表示，%FS；

4.2 重复性

进程重复校准中，各负荷点输出值之间的最大差值以输出量程的百分数表示，%FS；

4.3 滞后

回程平均校准曲线与进程平均校准曲线偏差的最大值以输出量程的百分数表示，%FS。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：15℃～25℃。

5.1.2 相对湿度：≤85%。

5.1.3 其他：周围无影响测量的机械振动、冲击、电磁场或其他干扰源。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 1。

表 1 测量标准及其他设备

序号	名称	技术要求
1	力标准机	准确度等级或不确定度优于力值变送器指标的 1/3
2	力值砝码	准确度等级或不确定度优于力值变送器指标的 1/3
3	输出信号 电测设备	直流电流表 上限不低于 20mA，最大允许误差优于力值变送器指标的 1/3
		直流电压表 上限不低于 10V，最大允许误差优于力值变送器指标的 1/3
		数据终端采集器（过程校准仪或手持终端） 具备读取协议或者其他类型数字信号功能
4	直流稳压电源	输出电压范围 40V~30V，最大允许误差：±1%

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表2。

表 2 校准项目

序号	校准项目名称	项目对应条款
1	非线性	6.2.3
2	重复性	6.2.3
3	滞后	6.2.3

6.2 校准方法

6.2.1 外观及附件检查

用目测的方法检查力传感器和信号转换器的外观和标志等。力传感器应有铭牌，标明产品名称、型号、额定力值、制造厂名称或商标、编号等信息。信号转换器应有型号、编号、制造厂及接线方式等标识。

观察力传感器及其连接件表面不应有影响使用的裂纹、损伤及其他缺陷，连接件应具有足够的刚度。

6.2.2 校准前准备

力值变送器校准前应在校准条件下放置足够长的时间，保证其温度与和测量标准的

温度相同并稳定，推荐放置的时间不少于 8h。力值变送器应进行开机预热，预热时间一般不少于 30min。

力值变送器的安装应保证力值变送器的主轴线和加荷轴线相重合，使倾斜负荷和偏心负荷的影响减到最小。校准前若需要调整，经过预拉或预压三次后，在上、下限力值状态时进行调整，使其与理论的上、下限相一致。校准过程中，不得调整零点或其他校准点输出值。

6.2.3 非线性、重复性和滞后

6.2.3.1 将力值变送器安装调整到工作状态。对力传感器施加预负荷至少 3 次，每次额定负荷的保持时间应为 30s~1min。每次加荷至额定负荷后卸荷到零负荷，等待至少 30s。

6.2.3.2 校准点的选择，初级负荷一般为满量程的 10%~20%，校准点应尽量均匀分布，一般不少于 5 点（不包括零负荷）。

6.2.3.3 逐级施加递增负荷，直到额定负荷。在每一级负荷加到后，保持一定时间，再读取输出值。负荷保持时间可取 5s、15s、30s 或 1min，推荐取 30s。

6.2.3.4 达到额定负荷后，逐级施加递减负荷。在每一级负荷退回后，保持一定时间，再读取输出值。负荷保持时间可取 5s、15s、30s 或 1min，推荐取 30s。

6.2.3.5 退回到零负荷，保持 1min，读取零点输出值。

6.2.3.6 连续进行 7.2.3.3~7.2.3.5 步骤至少 3 次。

6.2.3.7 对于 0.05 级及以上力传感器与信号转换器的组合，在完成 7.2.3.5 步骤后，将力传感器绕其主轴线依次转到 120°、240° 方位角上，若无法实现上述转角位置，则允许采用下面的位置：0°、90°、180°、270°。每次转动后，应预加额定负荷 1 次，再对力传感器施加额定负荷 1 次，并记录各方位下的额定负荷输出值，退回到零负荷。

6.2.3.8 依据上述校准结果，参考校准曲线示意图（图 3），按公式（1）~（5）计算相应的技术指标。

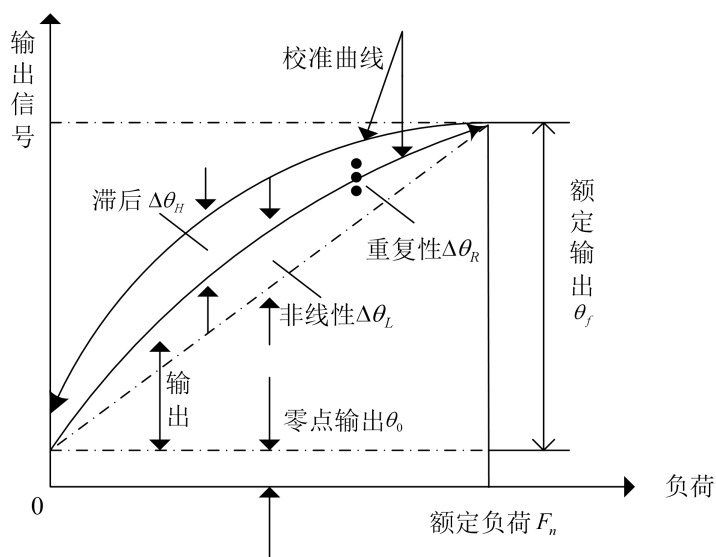


图3 力值变送器校准曲线示意图

额定负荷下输出:

无方位试验时

$$\theta_f = \theta_{f\varphi}(\varphi = 0^\circ) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\theta_{fj} - \theta_{0j}) \quad (1)$$

式中:

$\theta_{f\varphi}(\varphi = 0)$ —— 0° 方位角时变送器的额定输出值;

θ_{fj} —— 0° 方位角, 第 j 次测量时, 额定负荷时的输出值;

θ_{0j} —— 0° 方位角, 第 j 次测量时, 零负荷时的输出值;

m ——校准循环的次数;

j ——测量次数, $j = (1, 2, \dots, m)$ 。

有方位试验时

$$\theta_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_{f\varphi} - \theta_{0\varphi}) \quad (2)$$

式中:

$\theta_{f\varphi}$ —— φ 方位角时, 变送器的额定输出值;

$\theta_{0\varphi}$ —— φ 方位角时, 零负荷时的输出值;

n ——旋转角度的个数;

φ ——旋转角度, 0° 、 120° 、 240° 或 0° 、 90° 、 180° 、 270° ;

注: 在有方位时, θ_f 的计算中 0° 方位角的额定输出值应为 0° 方位角第一个试验循环时额定负荷下的读数值。

非线性

$$L = \frac{\Delta\theta_L}{\theta_f} \times 100\% \quad (3)$$

重复性

$$R = \frac{\Delta\theta_R}{\theta_f} \times 100\% \quad (4)$$

滞后

$$H = \frac{\Delta\theta_H}{\theta_f} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$\Delta\theta_L$ ——进程平均曲线与选定直线之间的最大正或负偏差;

$\Delta\theta_R$ ——进程重复校准中, 各负荷点输出值之间的最大差值;

$\Delta\theta_H$ ——回程平均校准曲线与进程平均校准曲线偏差的最大值;

θ_f ——变送器的额定输出值。

7 校准结果表达

经校准的力值变送器应出具校准证书, 给出校准结果以及校准结果测量不确定度。校准记录格式(推荐性)见附录A, 校准证书内页格式(推荐性)见附录B。校准证书应至少包括以下信息:

- 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) 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。

8 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 12 个月。

由于复校时间间隔的长短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

力值变送器校准记录格式（推荐性）

委托单位		记录编号	
仪器名称		温 度	
型号规格		相对湿度	
出厂编号		校准依据	
制 造 厂		校准地点	
校准人员		校准日期	
核验人员		备 注	

校准使用的计量标准器具

标准器名称	型号/规格	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号及 有效期

一、外观及附件检查：

二、非线性、重复性和滞后

负 荷	变送器示值/								不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$
	第一循环		第二循环		第三循环		循环平均值		
	进程	回程	进程	回程	进程	回程	进程	回程	
非线性/%FS									
重复性/%FS									
滞后/%FS									

附录 B

力值变送器校准证书内页格式（推荐性）

校 准 结 果

一、外观及附件检查：

二、非线性、重复性和滞后

负 荷	变送器 进程平均值	变送器 回程平均值	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
非线性/%FS			
重复性/%FS			
滞后/%FS			

附录 C

力值变送器示值测量结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 被校仪器：单通道模拟量变送器（配接力传感器），量程300kN。

C.1.2 测量标准：力标准机，准确度等级：0.03级。

C.1.3 环境条件：环境温度：21.2℃；相对湿度：52%。

C.1.4 测量方法：使用力标准机对力值变送器进行加载，测量变送器输出信号，完成校准。

C.2 测量模型

$$y = x$$

式中：

y ——第 i 个负荷点的显示值。

x ——第 i 个负荷点三次示值的测量平均值；

C.3 不确定度传播律和灵敏系数

各输入量彼此独立不相关，因此：

$$u_c^2(y) = c_1^2 u_c^2(x_1) + c_2^2 u_c^2(x_2)$$

式中：

$u_c(y)$ ——力值变送器示值测量结果不确定度，mA；

$u(x_1)$ ——力值变送器示值引入的标准不确定度，mA；

$u(x_2)$ ——力标准装置引入的标准不确定度，mA；

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial y}{\partial x_1} = 1$

$$c_2 = \frac{\partial y}{\partial x_2} = 1$$

C.4 标准不确定度分量评定

C.4.1 由变送器示值引入的标准不确定度

C.4.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度

在20 mA校准点的重复测量10次，测量数据分别为20.046mA，20.049mA，20.047mA，20.048 mA，20.046 mA，20.047 mA，20.048 mA，20.049 mA，20.048 mA，20.046 mA。采用贝塞尔公式，则：

$$u_{x1A} = 0.0011 / \sqrt{3} = 0.0007\text{mA}$$

C.4.1.2 由输出信号电测设备的准确度引入的标准不确定度

最大允许误差为±0.03%，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{x1B} = \frac{0.0003 \times 20.047}{\sqrt{3}} = 0.00035\text{mA}$$

则：

$$u(x_1) = \sqrt{u^2(x_{1A}) + u^2(x_{1B})}$$

$$u(x_1) = 0.0037\text{mA}$$

C.4.2 由力标准装置引入的标准不确定度

以0.03级力标准机为例，最大允许误差为±0.03%，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，

$$u(x_2) = \frac{0.03\% \times 20.047}{\sqrt{3}} = 0.0035 \text{ mA}$$

C.5 不确定度分量汇总表

表 C.1 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度 u_i	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i$
$u(x_1)$	力值变送器	0.0037mA	1	0.0037mA
$u(x_2)$	力标准装置	0.0035mA	1	0.0035mA

C.6 合成标准不确定度

$$u_c^2(y) = c_1^2 u_c^2(x_1) + c_2^2 u_c^2(x_2)$$

$$u_c(y) = \sqrt{0.0037^2 + 0.0035^2} = 0.005 \text{ mA}$$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U=0.01 \text{ mA} \quad (k=2)$$

$$U_{\text{rel}} = 0.05\% \quad (k=2)$$
