JJF

陕 西 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（陕）XXX－2021

一体化振动变送器校准规范

Calibration Specification for Integrated Vibratory Transmitter

（报批稿）

2021－XX－XX 发布　　2021－XX－XX 实施

陕 西 省 市 场 监 督 管 理 局 发布

一体化振动变送器校准规范

Calibration Specification for Integrated Vibratory Transmitter

JJF(陕)XXX－2021

归 口 单 位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：陕西省计量科学研究院

参加起草单位：西安航天计量测试研究所

西安热工研究院有限公司

本规范委托陕西省市场监督管理局负责解释

本规范主要起草人：

白　洁（陕西省计量科学研究院）

王　玲（陕西省计量科学研究院）

郑慧慧（陕西省计量科学研究院）

参加起草人：

李　勍（陕西省计量科学研究院）

王占忠（西安航天计量测试研究所）

权李方（陕西省计量科学研究院）

瞿丽莉（西安热工研究院有限公司）

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　零点输出……（2）
4.2　频率响应……（2）
4.3　幅值线性度……（2）
5 安全性能 ……（2）
5.1　绝缘电阻……（2）
5.2　绝缘强度……（2）
6　校准条件……（2）
6.1　环境条件……（2）
6.2　测量标准及其他设备……（3）
7　校准方法……（3）
7.1　仪器外观及校准前检查……（3）
7.2　零点输出……（3）
7.3　频率响应……（4）
7.4　幅值线性度……（4）
7.5　绝缘电阻……（4）
7.6　绝缘强度……（4）
8　校准结果表达 ……（4）
9　复校时间间隔……（5）
附录 A：一体化振动变送器理论输出值的计算 ……（6）
附录 B：一体化振动变送器校准原始记录（推荐）格式 ……（7）
附录 C：校准证书内容及（内页）（参考）格式 ……（8）
附录 D：校准不确定度评定示例 ……（10）

引　　言

本规范依据 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》等基础性系列规范文件进行制定。

本规范为首次发布。

一体化振动变送器校准规范

1 范围

本规范适用于（0.1～5000）Hz 频率范围内的一体化振动变送器的校准。

2 引用文件

JJG 134-2003 磁电式速度传感器

JJG 233-2008 压电加速度计

JJG 644-2003 振动位移传感器

JJF 1094-2002 测量仪器特性评定

GB/T 13823.1-2005 振动与冲击传感器的校准方法 基本概念

GB/T 20485.21-2007/ISO 16063-21:2003 振动与冲击传感器校准方法 第 21 部分：振动比较法校准

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

一体化振动变送器（以下简称一体化变送器）是集振动传感器、精密测量电路（有些具备显示单元）在一起，将机械运动振动参量（振动加速度、速度、位移等）转换成规定的标准输出信号的器件或装置。

一体化变送器是由振动传感器和信号调理单元组成，能将现场感应到的振动量直接变换为对应量程的（4～20）mA、（1～5）V 标准信号输出。并将输出信号接至集散控系统（DCS）监视器、可编程控制器（PLC）、采集器、记录仪或其它监控设备，实现工业过程振动参数的测量和监控。

一体化变送器按工作原理可分为压电式、电容式、磁电式、电涡流式、电阻式等。一体化变送器原理框图如图 1 所示。

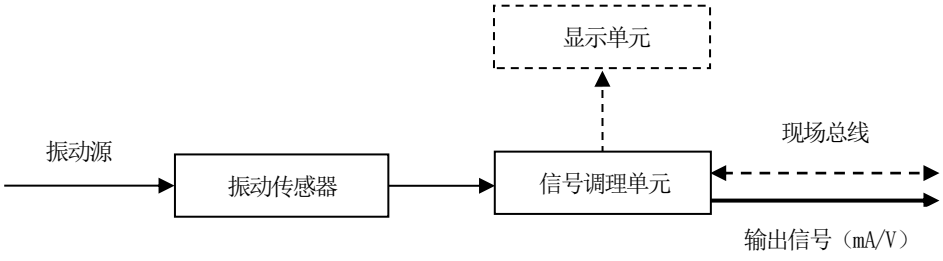


图 1 一体化变送器原理框图

4 计量特性

4.1 零点输出

零点输出误差为 ±3%。

4.2 频率响应

频率响应为 ±10%。

4.3 幅值线性度

幅值线性度为 ±5%。

注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

5 安全性能

5.1 绝缘电阻

在环境温度为15℃～35℃，相对湿度为45%～75%时，一体化变送器各组端子（包括外壳）之间的绝缘电阻应不小于表1的规定。

表1 绝缘电阻的技术要求

试验部位	技术要求	说明
输入、输出端子短接—外壳	20MΩ	适用于二线制一体化变送器
电源端子—外壳	50MΩ	适用于三线制、四线制一体化变送器
输入、输出端子短接—电源端子	50MΩ	

5.2 绝缘强度

在环境温度为15℃～35℃，相对湿度为45%～75%时，一体化变送器各组端子（包括外壳）之间施加表2所规定的试验电压（频率50Hz），历时1min应无击穿和飞弧现象。

表2 绝缘强度试验电压

试验部位	试验电压/V	说明
输入、输出端子短接—外壳	500/750	适用于二线制一体化变送器
电源端子—外壳	500/750	适用于三线制、四线制一体化变送器
输入、输出端子短接—电源端子	500/750	

注：安全性能可依客户需求是否校准。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（23±5）℃；相对湿度：≤85%。

6.1.2 电源电压波动不应超过额定值的 ±10%；

6.1.3 供电电源：电压(220±22)V，频率(50±1)Hz，或满足仪器说明书要求；

6.1.4　校准室内应无强振源、强磁场等干扰。

6.2　测量标准及其他设备

1）标准振动台：加速度波形失真度≤5%，横向振动比≤10%；

加速度幅值稳定度≤0.5%，信噪比≥60dB。

2）标准加速度计套组：

参考灵敏度不确定度：160Hz 或 80Hz 时，为 0.5%(k=2)；

通频带频率范围时，为 1%(k=2)。

3）数字多用表：直流电流测量不确定度为 0.2%(k=2)；

直流电压测量不确定度为 0.2%(k=2)。

3）直流稳压源：12V～48V, ±1%；

4）动态信号分析仪：频率最大允许误差为 ±0.01%， 幅值最大允许误差为 ±0.2%；

动态范围≥70dB，通道一致性为 ±0.01dB。

5）绝缘电阻表：直流电压：100V ，500V，750 V；10 级

5）耐电压测试仪：电压最大允许误差：(0～750)V，±10%；泄漏电流限流 AC：（0～20）mA。

注：以上所有计量设备均应有效溯源。

7　校准方法

7.1　仪器外观及校准前检查

一体化变送器上应标出型号、出厂编号、商标等；金属表面应色泽均匀，无明显划痕等缺陷，安装基面应平整光滑。变送器的输出导线及各连接部件应配套齐全、完好、可靠。校准前需确认无影响计量特性的外观和机电功能方面的缺陷。确认仪器正常工作，再开始校准。

7.2　零点输出

一体化变送器在校准前应预热 15 分钟。

采用比较法将标准加速度计与被测变送器背靠背刚性地安装在振动台台面中心，对于特殊的一体化变送器按说明书要求进行安装，保证连接可靠。

振动台不输出振动幅值（静止状态下），一体化变送器的输出即为零点输出。零点输出误差按公式（1）

计算：$\delta_{A_0} = \frac{A_0 - A_i}{A_i} \times 100\%$　　（1）

式中：δ_{A_0}——一体化变送器零点输出误差，%；

A_0——一体化变送器零点输出标称值，mA 或 V；

A_i——一体化变送器零点输出实测值，mA 或 V；

7.3　频率响应

在一体化变送器工作频率范围内，均匀地或按倍频程选取至少 7 个频率值(其中包含参考点，推荐 160Hz 或 80Hz)，由标准振动台给出恒定的振动幅值，分别测量各频率点的输出值。一体化变送器频率响应误差按公式（2）计算：

$$\delta_{fi}=\frac{A_i-A_r}{A_r}\times 100\% \qquad (2)$$

式中：δ_{fi}——一体化变送器各测量点的频率响应误差，%；

A_i——一体化变送器各测量点输出值，mA 或 V；

A_r——一体化变送器在参考点输出值，mA 或 V；

7.4　幅值线性度

以一体化变送器工作频率范围内的某一频率点（推荐 160Hz 或 80Hz），在其测量范围内均匀选取包括上限值、下限值在内不少于 5 个振动幅值进行正弦激振。分别测量被校一体化变送器在不同幅值下的输出值，一体化变送器幅值线性度按公式（3）计算：

$$\delta_{Li}=\frac{A_i-A_n}{A_n}\times 100\% \qquad (3)$$

式中：δ_{Li}——一体化变送器各测量点的幅值线性度，%；

A_i——一体化变送器各测量点实际输出值，mA 或 V；

A_n——一体化变送器各测量点理论输出值，mA 或 V；

注：一体化变送器的理论输出值计算见附录 A。

7.5　绝缘电阻

断开一体化变送器电源，用绝缘电阻表按表 1 规定的部位进行测量。测量时应稳定 10s 后读数。

7.6　绝缘强度

断开一体化变送器电源，按表 3 的规定将各对接线端子依次接入耐电压测试仪两极上，缓慢平稳地升至规定的电压值，保持 1min，观察是否有击穿和飞狐现象。然后，将电压缓慢平稳地降至零。

注；为保护一体化变送器试验时不被击穿，试验时可使用具有报警电流设定的耐电压测试仪。设定值一般为 5mA（特殊要求除外）。使用该仪器时，以是否报警作为判断绝缘强度合格与否的依据。

8　校准结果表达

经校准的一体化振动变送器发给校准证书，校准结果应在校准证书上反映。

9　复校时间间隔

建议光一体化振动变送器复校时间间隔不超过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，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔

附录 A

一体化振动变送器的理论输出值计算

理论输出值计算公式

$$A_n = \frac{A_r - A_0}{V_r} \times V_i + A_0$$

式中：A_n——一体化振动变送器各测量点的理论输出值，mA 或 V；

A_r——一体化振动变送器参考点的输出值，mA 或 V；

A_0——一体化振动变送器零点输出值，mA 或 V；

V_r——一体化振动变送器参考点的振动幅值，m/s^2、mm/s 或 mm；

V_i——一体化振动变送器各测量点的振动幅值，m/s^2、mm/s 或 mm。

附录 B

一体化振动变送器校准原始记录（推荐）格式

唯一识别号：

委托单位		环境温度：　　℃		环境湿度：　　%RH	
被 校 仪 器		主 标 准 器			
仪器名称		仪器名称			
型号规格		型号规格		出厂编号	
出厂编号		测量范围			
制造厂		证书编号		证书有效期	
地 址		准确度等级或最大允许误差			
校准技术依据					
校准地点					

1. 外观及校准前检查：_____

2. 零点输出：_____

3. 频率响应（_____）：

频率值/Hz	幅值/（　　）	输出值/（　　）	误差/%	U_{rel}(k=2)

4. 幅值线性度（ f = _____ Hz ）：（U_{rel}=　　，k=2）

幅值/（　　）	输出值$_{理论}$/（　　）	输出值$_{实际}$/（　　）	误差/%

5. 绝缘电阻：

6. 绝缘强度：

校准员　　**核验员**　　**日期**

附录C

校准证书内容及内页格式（参考）格式

C.1 校准证书至少应包括以下信息

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） 送检单位的名称；

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） 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

C.2 校准证书的内页格式（参考）

校准证书内页格式

证书编号：XXXX-XXXX

校准结果

1.外观及校准前检查：_____

2.零点输出：_____

3.频率响应（_____）：

频率值/Hz	幅值/（　　）	输出值/（　　）	误差/%	U_{rel}(k=2)

4.幅值线性度（ f = _____ Hz ）：（U_{rel}=　　，k=2）

幅值/（　　）	输出值$_{理论}$/（　　）	输出值$_{实际}$/（　　）	误差/%

5.绝缘电阻：

6.绝缘强度：

附录 D

校准不确定度评定示例

D1 一体化振动变送器频率响应误差测量结果的不确定度评定示例

D1.1 概述

在频率响应误差校准项目中，一体化振动变送器各测量点输出值与参考频率点输出值的偏差是关键参数。这里用标准加速度计套组、标准振动台和数字多用表，采用正弦激励，将振动台调整到参考频率 160Hz、参考幅值 10mm/s 下进行校准。以下给出了“一体化振动变送器频率响应误差”不确定度评定实例。

采用中频比较法将标准加速度计与被校变送器背靠背刚性地安装在振动台台面中心。在参考频率和振动幅值下读取一体化振动变送器的输出值，计算其频率响应。

D1.2 数学模型

$$\delta_{fi} = \frac{A_i - A_r}{A_r} \times 100\% \qquad \text{（D1.1）}$$

式中：δ_{fi}——变送器各测量点的频率响应误差，%；

A_i——变送器各测量点实际输出值，mA 或 V；

A_r——变送器在参考点实际输出值，mA 或 V；

公式$\delta_{fi} = \frac{A_i - A_r}{A_r} \times 100\%$　　简化为$\delta_{fi} = \frac{A_i}{A_r} - 1$ ，-1 为常数，则$\delta_{fi} = A_i A_r^{-1}$

D1.3 合成标准不确定度

由于以上输入量相互之间独立无关，相对合成不确定度为：

$$u_{crel}{}^2\delta = \frac{u_c(\delta)^2}{\delta^2} = \sum_{i=1}^{n} (p_i u_{reli}(\delta_i))^2$$

其中$p_1 = 1$，$p_2 = -1$

$$u_{crel}{}^2（\delta） = u_{rel1}{}^2 + u_{rel2}{}^2$$

所以有：

$$u_{crel}（\delta） = \sqrt{u_{rel1}{}^2 + u_{rel2}{}^2} \qquad \text{（D1.2）}$$

D1.4 不确定度来源分析

D1.4.1 重复测量引入的 A 类标准不确定度u_{rel1}。

D1.4.2 160Hz 加速度幅值不确定度引入的 B 类标准不确定度u_{rel21}。

D1.4.3 一体化振动变送器刚性安装而引入的 B 类标准不确定度 u_{rel22}

D1.5 测量结果不确定度的评定

D1.5.1　重复测量引入的 A 类标准不确定度u_{rel1}

标准振动台 4808 在 160Hz，振动幅值 10mm/s 下对其进行 10 次等精度测量得如下数据：

表 D1.1 10 次测量结果

单次输出值/mA					平均值/mA
10.31	10.32	10.36	10.35	10.36	10.31
10.32	10.30	10.29	10.28	10.25	

得单次测量结果的标准差为：　$s(A_r)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i-\overline{A})^2}{n-1}}=0.0362$ mA

实际测量情况是以单次测量值为测量结果，则可以得到：u_{rel1}=0.35%

D1.5.2　B 类不确定度分量的评定

D1.5.2.1　装置在160Hz加速度幅值不确定度引入的B类标准不确定度分量u_{rel21}

按照传递系统，装置在 160Hz 加速度幅值不确定度为 1.0%，(k=2)。因此标准不确定度分量为 $u_{rel21}=\frac{1.0\%}{2}=0.50\%$

D1.5.2.2　被校一体化振动变送器刚性安装而引入的 B 类标准标准不确定度分量 u_{rel22}

根据相关资料，由于安装因素带来的误差估计在±0.80%之内，可以认为是均匀分布，则

$$u_{rel22}=\frac{0.80\%}{\sqrt{3}}=0.46\%$$

D1.6　标准不确定度分量一览表

表 D1.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源			不确定度分量	
u_{rel1}		测量重复性	0.35%	
u_{rel2}	u_{rel21}	标准传递	0.50%	0.68%
	u_{rel22}	刚性安装	0.46%	

D1.7　合成标准不确定度

合成标准不确定度为：　u_{crel}（δ）$=\sqrt{{u_{rel1}}^2+{u_{rel2}}^2}$=0.765%

D1.8　扩展不确定度

取包含因子$k=2$，得到一体化变送器幅值线性度测量结果的扩展不确定度

$$U_{rel}=k\times u_c=2\times 0.765\%=1.53\%$$

取两位有效数字，则$U_{rel}=1.6\%$。

一体化振动变送器参考点频率响应误差测量结果的扩展不确定度为：

U_{rel}=1.6%，k=2（160Hz，10mm/s）

D1.9　其它频率点频率响应误差测量结果不确定度的评定同理于160Hz，结果如下表

频率/Hz	测量不确定度 U_{rel}（k=2）
10	3.3%
20	2.4%
30	2.4%
40	2.4%
60	2.4%
80	2.4%
120	2.4%
160	1.6%
200	2.4%
320	2.4%
640	2.4%
800	2.4%
1000	2.4%

D2　一体化振动变送器幅值线性度测量结果的不确定度评定示例

D2.1　被测量

在幅值线性度校准项目中，一体化振动变送器各测量点输出值与理论值的偏差是关键参数。这里用标准加速度计套组、标准振动台和数字多用表，采用正弦激励，将振动台调整到参考频率160Hz、参考速度10mm/s下进行校准。以下给出了“一体化振动变送器幅值线度” 不确定度评定实例。

采用中频比较法将标准加速度计与被校变送器背靠背刚性地安装在振动台台面中心。在参考频率和振动幅值下读取变送器的输出值，计算其幅值线性度。

D2.2　数学模型

$$\delta_{Li}=\frac{A_i-A_n}{A_n}\times 100\% \qquad \text{（D2.1）}$$

式中：　δ_{Li}——变送器各测量点的幅值线性度，%；

A_i——变送器各测量点实际输出值，mA或V；

A_n——变送器各测量点理论输出值，mA或V；

公式$\delta_{Li}=\frac{A_i-A_n}{A_n}\times 100\%$　简化为$\delta_{Li}=\frac{A_i}{A_n}-1$　，-1为常数，则$\delta_{Li}=A_iA_n^{-1}$

D2.3　合成标准不确定度

由于以上输入量相互之间独立无关，相对合成不确定度为：

$$u_{crel}{}^2\delta = \frac{u_c(\delta)^2}{\delta^2} = \sum_{i=1}^{n}(p_i u_{reli}(\delta_i))^2$$

其中$p_1 = 1$，$p_2 = -1$

$$u_{crel}{}^2（\delta）= u_{rel1}{}^2 + u_{rel2}{}^2$$

所以有：

$$u_{crel}（\delta）= \sqrt{u_{rel1}{}^2 + u_{rel2}{}^2} \qquad （D2.2）$$

D2.4　不确定度来源分析

D2.4.1　重复测量引入的 A 类标准不确定度u_{rel1}。

D2.4.2　160Hz 加速度幅值不确定度引入的 B 类标准不确定度u_{rel21}。

D2.4.3　一体化振动变送器刚性安装而引入的 B 类标准不确定度 u_{rel22}

D2.5　测量结果不确定度的评定

D2.5.1　重复测量引入的 A 类标准不确定度u_{rel1}

标准振动台 4808 在 160Hz，振动速度 10mm/s 下对其进行 10 次等精度测量得如下数据：

表 D2.1　10 次测量结果

单次输出值/mA					平均值/mA
10.31	10.32	10.36	10.35	10.36	10.31
10.32	10.30	10.29	10.28	10.25	

得单次测量结果的标准差为：　$s(A_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}{n-1}} = 0.0362$ mA

实际测量情况是以单次测量值为测量结果，则可以得到：u_{rel1}=0.35%

D2.5.2　B 类不确定度分量的评定

D2.5.2.1　装置在160Hz加速度幅值不确定度引入的B类标准不确定度分量u_{rel21}

按照传递系统，装置在 160Hz 加速度幅值不确定度为 1.0%，(k=2)。因此标准不确定度分量为

$u_{rel21} = \frac{1.0\%}{2} = 0.50\%$

D2.5.2.2　被校一体化振动变送器刚性安装而引入的 B 类标准标准不确定度分量 u_{rel22}

根据相关资料，由于安装因素带来的误差估计在±0.80%之内，可以认为是均匀分布，则

$$u_{rel22} = \frac{0.80\%}{\sqrt{3}} = 0.46\%$$

D2.6　标准不确定度分量一览表

表 D2.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源			不确定度分量	
u_{rel1}		测量重复性	0.35%	
u_{rel2}	u_{rel21}	标准传递	0.50%	0.68%
	u_{rel22}	刚性安装	0.46%	

D2.7 合成标准不确定度

合成标准不确定度为： u_{crel}（δ）$=\sqrt{{u_{rel1}}^2+{u_{rel2}}^2}$ =0.765%

D2.8 扩展不确定度

取包含因子$k=2$，得到一体化变送器幅值线性度测量结果的扩展不确定度

$$U_{rel}=k\times u_c=2\times 0.765\%=1.53\%$$

取两位有效数字，则$U_{rel}=1.6\%$。

一体化振动变送器参考点频率响应误差测量结果的扩展不确定度为：

U_{rel}=1.6%，k=2（160Hz，10mm/s）

D2.9 160Hz 其它幅值下线性度测量结果不确定度的评定同理于 10mm/s，结果如下表

幅值/（mm/s）	测量不确定度 U_{rel}（k=2）
2	1.8%
5	1.8%
10	1.6%
15	1.7%
20	1.7%