



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

航空信号调理系统校准规范

Calibration Specification of Aviation Signal Conditioning System

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

航空信号调理系统校准规范

Calibration Specification for Aviation
Signal Conditioning SyStem

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国航空专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所

北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：中航西安飞机工业集团股份有限公司

上海飞机制造有限公司

本规范委托全国航空专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

薛战军（中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所）

付军立（北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

同爱丽（中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所）

陈鑫虎（中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所）

周蕊（中航西安飞机工业集团股份有限公司）

杨野（上海飞机制造有限公司）

目录样式

引言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	2
5 校准条件.....	2
6 校准项目和校准方法.....	3
7 校准结果表达.....	9
8 复校时间间隔.....	10
附录 A 原始记录内页格式.....	11
附录 B 主要项目校准不确定度评定示例.....	13

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》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

航空信号调理系统校准规范

1. 范围

本规范适用于航空信号调理系统的校准。

2. 规范性引用文件

本规范引用了下列文件，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）适用本规范。

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF1048 数据采集系统校准规范

GB/T 13978-2008 数字多用表通用技术条件

3. 概述

航空信号调理系统（又称航空信号调理器、信号适配器、信号隔离器、信号调理箱等）是飞行器测试、监测与控制体系中的关键中介设备，位于传感器（或信号源）与数据采集设备/控制系统之间。其主要功能是对原始传感器输出的微弱、高阻抗或含有噪声的电子信号进行隔离、放大、滤波、线性化、转换等处理，将其转换为标准、稳定、低阻抗的信号（如 0~10V、4 mA~20mA、数字信号等），以便被数据采集系统或自动飞行控制系统准确、可靠的读取和利用。通常由信号输入模块、电源模块、信号调理模块（放大器、滤波器、隔离器等）、信号输出模块等组成。航空信号调理系统的组成原理框图如图 1 所示。

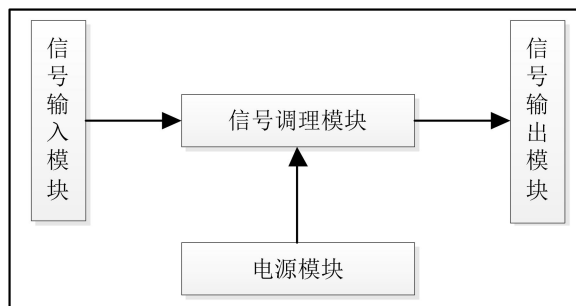


图 1 航空信号调理系统组成原理框图

4. 计量特性

依据使用说明书及用户需求，常用的技术指标如下：

4.1 示值误差

4.1.1 输入电流—输出电压

输入：(4~20)mA；

输出：(1~5) V；

最大允许误差：±0.2%FS。

4.1.2 输入电压—输出电压：

输入：(-10~+10)mV，(0~10) V；

输出：(-10~+10) V，(0~10) V；

最大允许误差：±0.2%FS。

4.1.3 输入频率—输出频率：

输入：(0~8) kHz；

输出：(0~8) kHz；

最大允许误差：±0.2%FS；

4.1.4 输入频率—输出电压：

输入：(0~8) kHz；

输出：(0~8) V；

最大允许误差：±0.2%FS。

4.2 增益误差

增益档位：×1、×5、×10、×50

最大增益误差：±0.2%FS

4.3 共模抑制比（CMRR）

$CMRR \geq 120\text{dB}$ (DC~50Hz)

注：上述指标仅为参考，不用于合格判定。

5. 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(20±5)℃

5.1.2 相对湿度：30 % ~ 80%

5.1.3 供电电源：(220±11) V，(50±5) Hz

5.1.4 其它：无影响仪器正常工作的电磁干扰及机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

校准用设备应经过计量技术机构检定或校准，满足校准使用要求，并在有效期内。

5.2.1 多功能校准源

直流电压输出：0~30V，最大允许误差：±(0.0012%读数+0.000015) V；

直流电流输出：0~30mA，最大允许误差：±(0.014%读数+0.002) mA；

频率输出：0.1Hz~8kHz，最大允许误差：±(0.0025%读数)。

5.2.2 数字多用表

直流电压测量范围：0~10V，最大允许误差：±(0.0035%读数+0.0005%量程) V；

频率测量范围：0~10kHz，最大允许误差：±(0.01%读数) Hz。

5.2.3 双路同步直流电压源

直流电压输出范围：(0~30) V，额定值：±20%，纹波：≤5%。

5.2.3 直流电阻

电阻值 R 为 1kΩ，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 1。

表 1 校准项目汇总表

序号	校准项目	对应条款
----	------	------

1	外观及工作正常性	6.2.1
2	示值误差（含零位误差）	6.2.2
3	增益误差	6.2.3
4	共模抑制比CMRR	6.2.4

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

被校信号调理系统的外观应完好，无影响正常工作的机械损伤，其开关、按钮、按键应牢固且调节正常，输入输出插座应无松动，接通电源后，信号调理系统能正常工作。将检查结果记录于附录 A 的表 A.1 中。

6.2.2 示值误差

6.2.2.1 输入电流—输出电压模块校准

校准连接框图见图2。

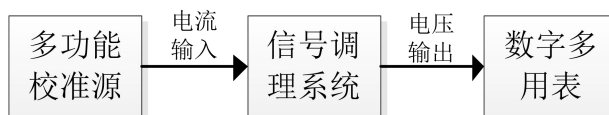


图2 输入电流—输出电压模块示值误差校准连接示意图

- 多功能校准源选择直流电流输出模式，数字多用表选择直流电压测量模式，信号调理系统选择输入电流—输出电压模块，按照图2连接校准用设备和被校设备；
- 调节多功能校准源的直流电流输出，分别输出量程范围内均匀分布的6个点（尽可能包含或接近量程上下限点）的直流电流 $I_{\text{输入}}$ ，记录数字多用表对应的直流电压实测值 $U_{\text{测量}}$ ；
- 根据公式（1）计算信号调理系统输入电流—输出电压模块的示值误差 Δp ，将校准结果记录于附录 A 的表 A.2 中；
- 按照上述 6.2.2.1a)～c) 方法依次对所有输入电流—输出电压模块通道分别进行校准并进行记录。

示值误差为：

$$\Delta p = \frac{U_{\text{测量}} - \left(1 + \frac{I_{\text{输入}}^{-4}}{4}\right)}{U_{\text{上限}} - U_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

Δp ——示值误差；

$U_{\text{测量}}$ ——输出电压测量值，V；

$I_{\text{输入}}$ ——输入电流值，mA；

$U_{\text{上限}}$ ——理论电压输出上限值，V；

$U_{\text{下限}}$ ——理论电压输出下限值，V；

6.2.2.2 输入电压—输出电压校准

校准连接框图见图3。

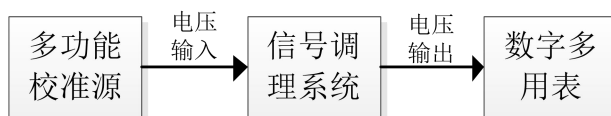


图3 输入电流—输出电压模块示值误差校准连接示意图

- 多功能校准源选择直流电压输出模式，数字多用表选择直流电压测量模式，信号调理系统选择输入电压—输出电压模块，按照图3连接校准用设备和被校设备；
- 调节多功能校准源的直流电压输出，分别输出量程范围内均匀分布的6个点（尽可能包含或接近量程上下限点）的直流电压 $U_{\text{输入}}$ ，记录数字多用表对应的直流电压实测值 $U_{\text{测量}}$ ；
- 根据公式（2）计算信号调理系统输入电压—输出电压模块的示值误差 Δp ，将校准结果记录于附录A的表A.2中；
- 按照上述6.2.2.2a)～c)方法依次对所有输入电压—输出电压模块通道分别进行校准并进行记录。

$$\Delta p = \frac{U_{\text{测量}} - U_{\text{输入}}}{U_{\text{上限}} - U_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

Δp ——示值误差；

$U_{\text{测量}}$ ——输出电压测量值，V；

$U_{\text{输入}}$ ——输入电压值，V；

$U_{\text{上限}}$ ——理论电压输出上限值，V；

$U_{\text{下限}}$ ——理论电压输出下限值，V；

6.2.2.3 输入频率—输出电压校准

校准连接框图见图4。

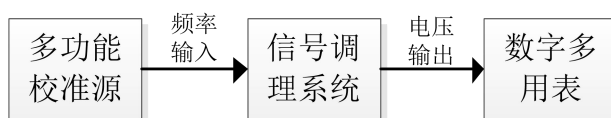


图4 输入频率—输出电压模块示值误差校准连接示意图

- 多功能校准源选择频率输出模式，数字多用表选择直流电压测量模式，信号调理系统选择输入频率—输出电压模块，按照图4连接校准用设备和被校设备；
- 调节多功能校准源的频率输出，分别输出量程范围内均匀分布的6个点（尽可能包含或接近量程上下限点）的频率 $f_{\text{输入}}$ ，记录数字多用表对应的直流电压实测值 $U_{\text{测量}}$ ；
- 根据公式（3）计算信号调理系统输入频率—输出电压模块的示值误差 Δp ，将校准结果记录于附录A的表A.2中；
- 按照上述6.2.2.3.a)～c)方法依次对所有输入频率—输出电压模块通道分别进行校准并进行记录。

$$\Delta p = \frac{U_{\text{测量}} - \left[U_{\text{下限}} + \frac{U_{\text{上限}} - U_{\text{下限}}}{f_{\text{上限}} - f_{\text{下限}}} (f_{\text{输入}} - f_{\text{下限}}) \right]}{U_{\text{上限}} - U_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

Δp ——示值误差；

$U_{\text{测量}}$ ——输出电压测量值，V；

$f_{\text{输入}}$ ——输入频率值，kHz；

$f_{\text{上限}}$ ——理论频率输入上限值，kHz；

$f_{\text{下限}}$ ——理论频率输入下限值，kHz；

$U_{\text{上限}}$ ——理论电压输出上限值，V；

$U_{\text{下限}}$ ——理论电压输出下限值，V；

6.2.2.5 输入频率—输出频率校准

校准连接框图见图5。

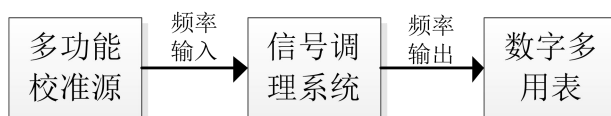


图5 输入频率—输出频率模块示值误差校准连接示意图

- 多功能校准源选择频率输出模式，数字多用表选择频率测量模式，信号调理系统选择输入频率—输出频率模块，按照图5连接校准用设备和被校设备；
- 调节多功能校准源的频率输出，分别输出量程范围内均匀分布的6个点（尽可能包含或接近量程上下限点）的频率 $f_{\text{输入}}$ ，记录数字多用表对应的频率实测值 $f_{\text{测量}}$ ；
- 根据公式（4）计算信号调理系统输入频率—输出频率模块的示值误差 Δp ，将校准结果记录于附录A的表A.2中；
- 按照上述6.2.2.5a)～c)方法依次对所有输入频率—输出频率模块通道分别进行校准并进行记录。

$$\Delta p = \frac{f_{\text{测量}} - f_{\text{输入}}}{f_{\text{上限}} - f_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

Δp ——示值误差；

$f_{\text{测量}}$ ——输出频率测量值，kHz；

$f_{\text{输入}}$ ——输入频率值，kHz；

$f_{\text{上限}}$ ——理论频率输出上限值，kHz；

$f_{\text{下限}}$ ——理论频率输出下限值，kHz；

6.2.3 增益误差

- 选择对应的输入-输出通道，分别按照 6.2.2 的连接方式选择对应的连接图，选择增益档位，调整多功能校准源输出特定值（建议选择中间值），记录数字多用表对应的实测值 $U_{\text{测量}}$ ，按照公式（5）计算增益误差 $\Delta\delta$ ，并将校准结果记录于附录 A 的表 A.3 中；
- 按照上述 6.2.3. a) 分别选择其他增益档位，完成校准并记录；
- 按照上述 6.2.3. a)～b) 的方法分别校准其他通道的增益。

$$\Delta\delta = \left(\frac{U_{\text{测量}}}{kU_{\text{输入}}} - 1 \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\Delta\delta$ ——增益档位的增益误差；

$U_{\text{测量}}$ ——输出电压，V；

$U_{\text{输入}}$ ——输入电压，V；

k ——增益档位的增益倍数。

注：当输入为直流电流或频率，输出为直流电压时，公式（5）中 $U_{\text{输入}}$ 为增益为 $\times 1$ 时对应的理论输出电压，当输入为频率输出为频率时， $U_{\text{输入}}$ 和 $U_{\text{测量}}$ 分别对应 $f_{\text{输入}}$ 、 $f_{\text{测量}}$ 。

6.2.4 共模抑制比（CMRR）测量

校准连接框图见图6。

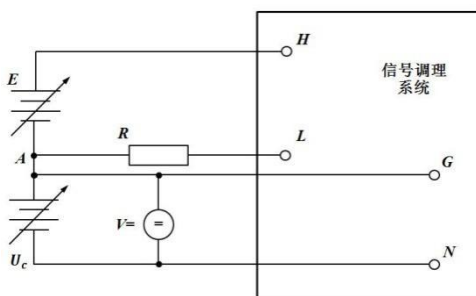


图6 共模抑制测量的电路示意图

- a) 按图6所示连接设备进行测量，输入端加入一个直流电压 E （使被测设备显示为满度值的70%左右）然后加入共模干扰电压 U_c ，逐渐加大 U_c ，使被测信号调理系统输出指示有一个明显的 ΔU 变化为止。电阻 R 为不平衡电阻，电阻值为 $R=1k\Omega$ ，记录数字多用表的读数 U_c ，并将结果记录在附录A的表A.4中；
- b) 按公式（6）计算直流共模抑制能力 CMRR。
- c) 按照上述 6.2.4. a)～b) 方法测量其他通道的共模抑制比。

$$CMRR = 20 \lg \frac{U_c}{\Delta U} \quad (6)$$

式中：

U_c ——共模干扰的直流电压值的峰值，V；

ΔU ——施加串模干扰电压前后的显示值变化所对应的电压值，V。

所允许的最大共模干扰电压应不大于该量程的允许最大输入电压值。

7、校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包含以下信息：

- 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说明；

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

建议复校时间间隔为 1 年。校准时间间隔的长短是由使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的，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

原始记录内页格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

外观及工作正常性检查	
检查结果	

A.2 示值误差

表 A.2 示值误差校准

通道	输入值	理论输出值	输出实测值	示值误差	不确定度 $U(k=2)$
CH1					
CH2					
.....					

A.3 增益

表 A.3 增益校准记录

增益档位	输入值	设定增益	实际增益值				最大增益误差
			CH1	CH2	CH3		
×1							
×5							
×10							
×50							

A.4 共模抑制比

表 A.4 共模抑制比测量记录

通道	共模干扰电压 U_c (V)	变化值 ΔU (V)	共模抑制比 CMRR (db)
CH1			
CH2			
....			

附录 B

主要项目不确定度评定示例

B.1 信号调理系统校准不确定度评定概述

本附录为信号调理系统测量不确定度评定的应用举例，阐述了其测量不确定度的评定方法。本示例中以输入电流—输出电压通道的示值误差的校准为例，采用的测量方法为直接测量方法。

B.1.1 测量方法

用 Fluke 的多功能校准源（型号：5522A）输入给信号调理系统直流电流，用 Agilent 的数字多用表（型号：34401A）测量信号调理系统的输出电压。增益档位选择×1。其测量模型如下所示：

$$\Delta p = \frac{U_{\text{测量}} - \left(1 + \frac{I_{\text{输入}}^{-4}}{4}\right)}{U_{\text{上限}} - U_{\text{下限}}} \times 100\%$$

式中：

Δp ——示值误差；

$U_{\text{测量}}$ ——输出电压测量值，V；

$I_{\text{输入}}$ ——输入电流值，mA；

$U_{\text{上限}}$ ——理论电压输出上限值，V；

$U_{\text{下限}}$ ——理论电压输出下限值，V；

由于 $I_{\text{输入}}$ 和 $U_{\text{测量}}$ 相互独立，灵敏系统均为 1。

B.1.2 不确定度来源

经分析，影响示值误差测量结果的不确定度来源主要包括：

- 测量重复性引入的不确定度；
- 多功能校准源输出引入的不确定度；

- c) 数字多用表测量引入的不确定度;
d) 分辨力引入的不确定度。

B.1.3 测量不确定度的评定

B.1.3.1 测量重复性引入的不确定度

按 A 类方法评定, 输入范围为 (4~20) mA 的直流电流, 对应输出为 (1~5) V 的直流电压, 在重复性条件下, 其中 12mA 输入值对应理论输出值为 3V, 对其进行连续 10 次测量, 对应的直流电压输出值如下附表 B1 (单位: V):

附表 B1 重复性测量记录

次数 n	1	2	3	4	5
测量值 x_i/V	3.001	3.001	3.000	3.000	3.000
次数 n	6	7	8	9	10
测量值 x_i/V	3.001	2.999	2.999	3.000	3.000

用贝塞尔公式计算实验标准偏差 $s(x)$:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00074 \text{ V}$$

$$\text{相对实验标准偏差 } s'(x) = \frac{s(x)}{\text{量程}} \approx \frac{0.00074}{4} = 1.9 \times 10^{-4}$$

取单次测量值作为测量结果, 则测量重复性引入的不确定度分量:

$$u_1 = s'(x) = 0.019\%$$

B.1.3.2 多功能校准源直流电压输出引入的测量不确定度

查使用说明书, Fluke 多功能校准源 (型号: 5522A), 在 12mA 输出档位的最大示值误差为: $\pm (0.014\% \text{读数} + 0.002) \text{ mA}$, 按均匀分布 ($k = \sqrt{3}$), 其输出 12mA 时引入的测量不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.014\% \times 12 + 0.002}{\sqrt{3}} \approx 0.00213 \text{ mA}$$

其相对不确定度分量为:

$$u_{\text{rel}2} = \frac{u_2}{12} \approx 0.018\%$$

B.1.3.3 数字多用表直流电压测量引入的测量不确定度

查使用说明书，Agilent 34401A 型数字多用表的直流电压测量 10V 档位，最大允许误差为：±（0.0035%读数+0.0005%量程）。按均匀分布（ $k = \sqrt{3}$ ），其测量 3V 输出时引入的测量不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.0035\% \times 3 + 0.0005\% \times 10}{\sqrt{3}} \approx 8.95 \times 10^{-7} \text{ V}$$

其相对不确定度分量为：

$$u_{\text{rel}3} = \frac{u_3}{3} \approx 0.003\%$$

B.1.3.4 分辨力引入的分量

信号调理系统的输出信号主要由数字多用表进行读数，故数字多用表的分辨力是主要因素，查使用说明书，安捷伦 34401A 的直流电压测量 10V 档位分辨力为 10 uV，按均匀分布（ $k = \sqrt{3}$ ）

$$u_4 = \frac{10 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} \approx 5.77 \times 10^{-6} \text{ V}$$

其相对不确定度分量为：

$$u_{\text{rel}4} = \frac{u_4}{3} \approx 0.0002\%$$

由分辨力引入的相对不确定度分类明显小于测量重复性引入的相对不确定度，故分辨力引入的分量可忽略。

B.1.4 合成标准测量不确定度

各影响因素分量汇总表见表 B2：

附表 B2 各测量不确定度分量汇总表

序号	各分量	相对不确定度分量
1	测量重复性引入的不确定度分量	0.019%
2	多功能校准源输出引入的分量	0.018%
3	数字多用表测量引入的不确定度分量	0.003%

因各测量不确定度分量相互独立不相关，相对合成标准测量不确定度 u_{relc} 为：

$$u_{\text{relc}} = \sqrt{u_{\text{rel1}}^2 + u_{\text{rel2}}^2 + u_{\text{rel3}}^2} \approx 0.026\%$$

B.1.5 扩展不确定度

在工程应用中，扩展因子 $k=2$ ，相对扩展不确定度 U_{rel} 为：

$$U_{\text{rel}} = 2 \times u_{\text{relc}} = 0.052\% \quad (k=2)$$
