

国家计量技术规范

编制说明

名 称： 航空信号调理系统校准规范

编制单位： 中国航空工业集团公司

西安飞机设计研究所

二〇二六年八月

一、任务来源及计划要求

根据国家市场监督管理总局办公厅文件-市监计量发〔2025〕45号，由中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所、中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、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共同承担了计划项目编号为“MTC32-2025-05”的《航空信号调理系统校准规范》制订项目。

二、编制过程

2.1 编制原则

在规范制订过程中主要考虑了以下因素：

1) 本规范适用于航空信号调理系统的校准。其他航空综合测试装置中的信号调理（转换）功能的校准也可参照此规范；

2) 经过调研和参考国内主流的航空信号调理系统生产厂商的技术资料，如西安正翼电子科技有限公司、西安鼎诚测量科技有限公司、西安民杰电子科技有限公司、西安环测自动化技术有限公司等。以上列举生产厂商的产品，本规范均适用。

3) 根据有关国家标准、企业标准和专家的意见、建议，重点考虑规范的完整性、规范性、合理性和适用性等方面，综合国内各厂商航空信号调理系统的技术指标，结合各方面的经验，充分考虑各单位的实际情况，列出其需要校准的计量特性参数和指标要求，保证测试方法切实可行。

4) 对于规范技术操作的可行性、文字表达的规范性、数据评价的合理性、不确定度评定的完整性、规范使用的适用性等方面，力求科学严谨，有理有据。

5) 本规范为首次发布，JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》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。

2.2 征求意见情况

初稿完成后，邀请了北京长城计量测试技术研究所、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等单位的计量技术专家和西安正翼电子科技有限公司等制造公司的技术专家对规范初稿进行了初审。编制组根据初审意见，对规范进行修改。

2026 年 07 月 22 日，航空专用计量测试技术委员会组织专家对该规范初稿进行了审核，编制组依据专家意见对初稿进行了修改并形成征求意见稿。

2.3 编制阶段工作情况

- 2025 年 05 月，计量技术规范编制项目立项申请；
- 2025 年 06 月至 11 月，编写《航空信号调理系统校准规范（初稿）》；
- 2026 年 01 月，邀请北京长城计量测试技术研究所、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、西安正翼电子科技有限公司等 6 家单位的技术专家对规范初稿进行初审；
- 2026 年 04 月，进行校准项目实验验证，进一步完善校准规范初稿。
- 2026 年 07 月 航空专用计量测试技术委员会组织对该规范初稿进行了审核，修改后形成征求意见稿；

三、 主要技术内容的说明

3.1 国内文件相关规定

标准规范编制过程中，按照国际文件、国内法规、用户（生产商）三个层级，收集相关文件。经过项目组的逐条讨论和核对，按照采纳-考虑-放弃三个层级进行了梳理，整理出相关性。

经过梳理，目前国际文件中没有涉及航空信号调理系统的相关文件。在国内的法规及相关标准规范中，参照 JJF 1048 《数据采集系统校准规范》和 GB/T 13978-2008 《数字多用表通用技术条件》中的相关条件可用于本规范的方法指导。

本规范最主要的参考依据为厂家提供的用户手册，主要用于航空信号调理系统的校准项目、技术指标等的确定。

3.2 制造厂商技术指标

目前根据国内主要生产商的设备指标如下表 1 所示。

表 1 航空信号调理系统技术指标汇总表

项目/参数	西安正翼电子科技有限 公司 XHTLX 系列	西安鼎诚测量科 技 有 限 公 司 DEV-16/DEF-16	西安民杰电子科技有限 公司 XJRY 系列	西安环测自动化 技术 有 限 公 司 DEV-16/DEF-16
-------	---------------------------	---	--------------------------	--

示值误差	输入电流—输出电压： 范围：输入：(4~20)mA， 输出：(1~5)V 输入电压—输出电压： 范围：输入：(-10~ +10)mV，输出：(-10~ +10)V， 输入频率—输出频率： 范围：输入：(0~10)kHz， 输出：(0~10)kHz 输入频率—输出电压： 范围：输入：(0~10)kHz， 输出：(0~10)V 最大允许误差：± 0.2%FS。	输入电流—输出 电压： 范围：输入：(4~ 20)mA，输出： (1~5)V 输入频率—输出 电压： 范围：输入：(0~ 8)kHz，输出： (0~8)V 最大允许误差： ±0.2%FS。	输入电流—输出电压： 范围：输入：(4~20)mA， 输出：(1~5)V 输入电压—输出电压： 范围：输入：(-10~ +10)mV，输出：(-10~ +10)V， 输入频率—输出频率： 范围：输入：(0~10)kHz， 输出：(0~10)kHz 输入频率—输出电压： 范围：输入：(0~10)kHz， 输出：(0~10)V 最大允许误差：± 0.2%FS。	输入电流—输出 电压： 范围：输入：(4~ 20)mA，输出：(1~ 5)V 输入频率—输出 电压： 范围：输入：(0~ 8)kHz，输出：(0~ 8)V 最大允许误差：± 0.2%FS。
增益	增益档位：1×、5×、 10×、50× 最大增益误差：± 0.2%FS	增益档位：1×、 5×、10×、50× 最大增益误差： ±0.25%FS	增益档位：1×、5×、10 ×、50× 最大增益误差：± 0.25%FS	增益档位：1×、5 ×、10×、50× 最大增益误差：± 0.25%FS
共模抑制 比	CMRR ≥ 120dB (DC~50Hz)	CMRR ≥ 120dB (DC~50Hz)		

3.3 规范主要内容的确定

3.3.1 适用范围

本规范适用于航空信号调理系统（航空信号调理器、信号适配器、信号隔离器、信号调理箱等）的校准。

3.3.2 概述

此章节简述航空信号调理系统的定义、原理结构和用途。

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 $\pm 10\text{V}$ 、 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 、数字信号等），已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）、信号转换输出模块等组成。

3.3.3 计量特性

本规范的计量特征的确定，是基于对航空测试需求的调研、对主流产品技术指标的统计分析及计量验证能力的综合考量。

3.3.3.1 示值误差

厂家指标分析：调研发现，国产同类设备在I/V、V/V、F/V转换通道上的标称误差普遍集中在 $\pm 0.2\%\text{FS}$ 左右。

应用需求：航空器地面试验数据通道要求系统级测量不确定度由于1%，作为中间环节的调理系统，其自身误差应控制在系统总误差预算的1/3~1/5以内， $\pm 0.2\%\text{FS}$ 能够满足绝大多数航空测试任务的准确度要求。

计量能力验证：当前国内高等级多功能校准源（如Fluke5720A、5520A、5522A等）直流电压/电流输出的准确度可达 $\pm (0.002\% \sim 0.005\%)$ ，六位半数字多用表测量准确度可达 $\pm (0.003 \sim 0.008\%)$ 。按照1/4的量传比要求，标准装置的最大示值误差远小于被交设备的允许误差。完全具备校准能力。

将示值最大允许误差定位 $\pm 0.2\%\text{FS}$ ，即符合主流产品技术水平，又能满足航空测试需求，且计量溯源可行。对于高准确度的设备，规范注明“以实际被校设备的技术说明书为准”，保留了灵活性。

3.3.3.2 增益误差

航空信号调理系统常需适配不同量程的传感器，多档位增益（1 $\times$ 、5 $\times$ 、10 $\times$ 、50 $\times$ ）是基本配置。增益误差直接影响宽量程测量的准确性。参考相关标准及厂家说明书，精密可编程增益放大器（PGA）在全温区内的增益漂移典型值为

$\pm 0.1\%FS \sim \pm 0.3\%FS$ 。综合考虑室温校准条件下的性能余量，设定 $\pm 0.2\%FS$ 作为校准合格判断是合理且可实现的。

3.3.3.3 共模抑制比CMRR

航空器现场电磁环境极其复杂，地电位差和共模干扰是影响信号质量的主要因素，差分输入通道的CMRR是衡量抗干扰能力的核心指标。查阅HB/Z 415及DO-160G相关章节，航空及精密测量设备的CMRR通常要求在100dB以上，主流高性能仪表放大器（如ADI、TI航空级器件）在DC~50Hz频段的CMRR典型值可达120dB~140dB。将下限设定为120dB,能够有效区分航空级与普通工业级产品的性能差异，确保在强干扰环境下的数据完整性。

3.3.4 环境条件

环境条件：规定温度为 $(20 \pm 5)^\circ C$ ，严于一般工业设备的使用要求，这是因为航空信号调理系统中的精密电阻、电位器等元器件对温度敏感，较宽的温区有助于减小温度附加误差，提高校准结果的一致性。

3.3.5 标准器配置

明确要求标准器与被校设备的准确度比不低于1:4，这是计量溯源的基本原则。推荐使用的多功能校准源和高精度数字多用表均为各计量机构普遍配备的设备，降低了规范的实施门槛。

3.3.6 校准项目设置

按照航空信号调理系统的技术说明书及实际使用需求，对其校准项目进行了梳理主要包含外检及工作正常性、示值误差、增益误差、共模抑制比等，详见表2。

在日常使用中示值误差是其最主要的技术指标，所以用户可根据使用的转换功能确定示值误差的校准项目（如输入直流电流—输出直流电压、输入直流电压—输出直流电压、输入频率—输出直流电压、输入频率—输出频率）。

增益误差主要集中在部分老旧信号调理系统中，主要考虑到在早期的测量中对应部分输出信号较小的传感器的信号进行调理放大，根据不同的放大倍数设置有对应的增益档位（如 $\times 1$ 、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 、 $\times 50$ 等），近年来由于使用的传感器的规格的逐步统一，绝大多数新生产的信号调理系统是没有增益功能的（或增益为 $\times 1$ ），故校准时根据不同的校准对象及使用需求选择对增益误差的校准。

共模抑制比的测量主要考虑到部分输入信号调理系统为差分输入型，主要集中在输入信号交小的信号调理系统中（如小电压输入）。输入的源和测量不是同一个接地，两点之间有电位差。考虑到日常的应用，共模抑制比的测量考虑在首次校准的时候开展，后续周期校准根据用户需求选择性测量。

表2 校准项目汇总表

序号	校准项目
1	外检及工作正常性
2	示值误差
3	增益误差
4	共模抑制比CMRR

3.3.7 校准方法

3.3.7.1 外观及工作正常性

结合信号调理系统的系统外观及主要组成，其外观检主要是按钮、旋钮、输入输出插座等，检查其是否有松动调节是否正常即可，对其工作正常性的检查主要是通电后能工作正常即可。

3.3.7.2 示值误差

航空信号调理系统的示值误差的校准方法，主要根据其使用场景和功能，对其输入-输出转换的性能进行评价，考虑到信号调理系统在使用中的输入信号主要为测量系统中的传感器的输入，故校准方法中可使用性能指标较高的信号源（如多功能校准源）模拟传感器的输出，为信号调理系统提供一个比较稳定且技术指标较高的输入值（如直流电压、直流电流、频率等），施加在信号调理系统的输入端。信号调理系统本身不具备直接读数或显示功能，故对示值误差的校准需要在其输出端连接能够测量其输出值的测量设备（如数字多用表等）。校准时，通过调节信号源的输入大小，同时观测输出测量设备的大小，按照对应的关系计算其示值误差。根据市场上的常见的信号调理系统的输入-输出功能的技术指标，在校准时，建议考虑从量程下限点开始逐步增大输入直至满量程上限，中间的校准点建议按照均匀分布。

3.3.7.3 增益误差

信号调理系统增益误差的校准，首选是选择增益档位（如×1、×5、×10、×50等），重点考虑的是每个通道在不同增益倍数下的误差，故在对每个通道的增益性能进行校准评价时，选择一个特定的即可（通常建议选择中间值或日常使用比较频繁的值），其校准的方式和示值误差的校准方式相同，测量该特定值在不同的增益档位下的误差。

3.3.7.4 共模抑制比的测量

共模抑制比的测量主要参照 GB/T 13978-2008《数字多用表》中的 6.20.7.1 节直流共模抑制能力的测量，其计算公式参照 5.15.1.7 节中的公式（6）进行计算。

四、 验证实验的情况和结果

根据国内主要生产厂家的功能和技术指标，选择西安正翼电子科技有限公司 XHTLX 系列航空信号调理系统及西安环测自动化技术有限公司 DEF-16 型作为验证试验的对象，因其功能指标包覆盖了其他厂家的产品的功能指标。所以以此为验证对象，能够满足校准规范所有校准项目及计量特性的验证。详细验证结果见验证报告。

通过实验验证，该方法对计量特性和校准项目的确定、校准用设备的选择、校准方法及数据处理等均可行且满足实验对象的校准需求。

五、 与现行法规、标准的关系

本规范系新制定的国家规范，与现行的法规、标准之间并无相应的对应关系。

六、 参考资料

1. JJF1001-2011《通用计量术语及定义》
2. JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》；
3. JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》；
4. JJF 1048《数据采集系统校准规范》；
5. GB/T 13978-2008《数字多用表通用技术条件》。