

航空发动机气态排放物(NO_x)测量 系统校准规范编制说明

名 称： 航空发动机气态排放物（NO_x）测量系
统校准规范

编制单位： 商用航空发动机有限责任公司

航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统校准规范编制说明

一、任务来源及计划要求

《航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统校准规范(标准立项名称)》标准的编制计划由市场监管总局办公厅印发《2025 年国家计量技术规范制定、修订计划》，公文号市监计量发〔2025〕45 号，计划序号为第 290 项，计划名称为《航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统校准规范(标准计划名称)》。根据工作安排，本标准由中国航发商发等主编，编制周期为 2025 年 1 月至 2026 年 12 月。

需求来源：民用航空发动机的排放标准是由国际民航组织(简称 ICAO)颁布，航空发动机排放审定包括烟、气态排放物（一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、未燃碳氢化合物(UHC)、氮氧化物(NO_x)）和非挥发颗粒物，国内航空发动机目前面临着气态排放物测量系统校准方法不统一、不满足适航规章技术参数的问题，CCAR—34 部和国际民航组织(ICAO)附件 16《环境保护》第 II 卷——航空器发动机的排放物等标准中规定了气态排出物测量仪器的规格与计量特性，包括不限于重复性、零点漂移、稳定度、响应时间、线性度、噪声、干扰等参数，其中，线性度、干扰、噪声无现行有效计量技术规范或校准方法。

本标准编制组针对航空发动机气态排放物中氮氧化物测量系统校准方法缺失、校准方法不统一等现状，开展了气态污染物排放测量仪对于实际工况下多种气体交叉干扰校准技术研究，通过制订本标准，能够填补航空发动机气态排出物(NO_x)测量系统干扰、噪声、线性度等校准方法的空白，有效支撑航空发动机气态排放物测量数据测量结果的准确性和有效性，为航空发动机适航审定工作提供量值溯源有效性依据。

二、规范制定的目的和意义

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定》(CCAR—34)和国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷——《航空器发动机的排放物》，加强航空发动机气态排放物监测工作，提出了本校准规范制定计划。

温室气体控制和航空发动机气态污染物是建立在有效监测数据基础之上的。随着航空业的快速发展，航空发动机排放物对环境产生的影响越来越受到关注，由于成本和安全性的原因，航空动力的气态排放物测量与机动车存在着明显不同。国际民航航空排放法规的对象是额定推力较大的喷气式发动机，而发动机排放测量是作为适航认证的一个必要过程来实施。航空排放认证旨在模拟航空器的起飞、爬升、降落和滑行四个阶段(LTO 循环)排放的气态排放物（一氧化

碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、未燃碳氢化合物(UHC)、氮氧化物(NO_x)。民用航空发动机的排放标准是由国际民航组织(简称ICAO)颁布的,ICAO推荐的测试规程中包含对测试设备(如采样探针、采样管路、温度控制、分流器、稀释器、旋风分离器、测量仪器等)的要求,对测试程序(如泄漏检查、清洁检查、反冲洗准备、测试准备、采样过程、测量仪器校准等)的要求,同时对测试数据的记录及计算分析方法等也有详细描述。ICAO附件16第II卷及美国汽车工程师协会ARP 1256—航空器涡轮发动机气态排放物连续采样和测量程序明确了校准选点(量程30%、60%、90%)和仪器性能要求、ARP 1533—航空器发动机气态排放物分析和评估程序明确了氮氧化物分析仪规格与技术要求。GB/T 18345.1 燃气轮机 烟气排放 第一部分:测量与评估标准明确了氮氧化物分析仪规格与技术要求但备注不适用于航空燃气轮机,HB 6117 航空燃气涡轮发动机气态污染物的连续取样及测量方法明确了氮氧化物分析仪规格与技术要求,这些标准未规定校准方法。目前可参考的计量技术文件包括JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程、JJF1585—2016 固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范和JJF 1907—2021 环境空气在线监测气体分析仪校准规范。目前航空发动机气态排放物(HC、CO、CO₂、NO_x)校准存在以下问题:一、国内对于仪器线性误差、干扰、噪声等特性无校准方法,二、实际工况下复杂多样的气体成分对仪器的响应未进行评估。

另外,环保部为加强环境自动监测站质量管理先后颁布实施了环办监测函〔2017〕2024号附件:2018年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案、HJ 759—2015 环境空气 挥发性有机物的测定罐采样气相色谱—质谱法、HJ 76—2017 固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法、HJ 654—2013 环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统技术要求及监测方法等技术法规。而国家市场技术监督部门还没有相应的计量技术法规跟进管理,本规范的立项制定具有重要的行业之间的管理对接意义。

本标准在考虑设备本身性能、设备使用情况以及经济成本的条件下,对计量特性增加了线性误差、噪声、协同效应等要求,并给出了气体污染物排放测量仪校准参数结果的使用方法建议,使用者综合考虑计量特性并将协同效应带入气体污染物排放指数的计算过程中,使其符合适航审查的要求。本标准的编制贯彻实施后,能够满足国内航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统校准的需求,统一国内航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统对于实际工况下多种气体干扰因子、噪声、线性度等计量特性的校准方法,提高航空发动机气态排放物测量仪校准方法的规范性、合理性、可操作性,为提升适航取证试验数据的有效性、规范性具有重大意义,能够有效指导在研、在役型号的航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统现场校准、仪器标定、不确定度评定和数据分析工作。

本标准是计量数据满足适航标准应用的实践要求，保证航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统的量值准确可靠，支撑新一代航空发动机气态排放物适航审定的要求。

三、规范制定的依据

《航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统校准规范》前期已经形成企业标准，并在企业内部进行有效验证。

编制参考了下面法规技术指标和名词术语和定义：

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1907—2021 环境空气在线监测气体分析仪校准规范

HJ 654—2013 环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统技术要求及监测方法

国际民用航空公约 附件 16《环境保护》 第 II 卷 —《航空器发动机的排放物》

其中 JJF1071—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》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范中航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统的校准方法主要参考了国际民用航空公约 附件 16《环境保护》 第 II 卷 —《航空器发动机的排放物》、HJ 654—2013《环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统技术要求及监测方法》、JJF 1585—2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》、JJF 1907—2021《环境空气在线监测气体分析仪校准规范》、JJG 801—2004《化学发光法氮氧化物分析仪》检定规程、SAE ARP 1256 E Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Gaseous Emissions from Aircraft Turbine Engines 等标准。

四、规范制定的主要内容及说明

按照 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》要求，编写了引言部分。

1 范围

本规范适用于化学发光法原理的航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统的校准，其他原理的仪器可参照本规范执行。

规范的适用范围主要根据《涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定》(CCAR—34)和国际民用航空公约 附件 16《环境保护》 第 II 卷 —《航空器发动机的排放物确定气态排放物排放指数要求和性能参数要求。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

CCAR-34 涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定

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 术语和定义

重复性 repeatability 参考 JJF 1001 5.13 定义，标准中不再定义。

检测器 detector 参考 JJF1001 6.9 定义，标准中不再定义。

分辨力 resolution 参考 JJF 1001 7.14 定义，标准中不再定义。

零点漂移 zero drift 参考 JJF1001 7.21（仪器漂移）和 ICAO 国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》，在标准中不再定义。

稳定性 stability 是国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》中名词，根据 Doc9501 环境技术手册 第 II 卷航空器发动机排放审定程序，稳定性指量程稳定性有时也指量程漂移量，在规定时间段和规定环境条件下（即同样浓度的样本通过仪器且不经修正时），输出的最大变化。SAE ARP 1256 中术语为 span drift，参考 JJF1001 7.19（稳定性）、JJF1001 7.21（仪器漂移），标准中不再定义。

线性度 linearity 参考是国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》中名词，SAE ARP 1256 中术语为 linearity，参考 GB/T 13966-2013 2.87 线性度(linearity)定义和 GB/T 18459-2001 3.8 线性度(linearity)计算公式与解释，标准中不在定义。

零气 zero gas 参考 JJF 2159-2024 3.1 定义，在标准中进行定义，通过对环境空气净化产生的用于航空发动机气态排放物（NO_x）测量系统零点调整的气体。

噪声 noise 参考 EPA 40 CFR Part 1065 《Engine Testing Procedures》，仪器噪声（Noise）的定义和测试方法主要针对连续排放监测系统（CEMS），参考 SAE ARP 1256 E Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Gaseous Emissions from Aircraft Turbine Engine，采用“测量系统在通入零气或量程气时输出信号的随机扰动变化，用合并样本偏差表示。”来定义噪声。（目前噪声定义有三类，一是以 GB 15097 船舶发动机排气污染物排放限值和测量方法中定义的“对零气、量距气在 10 秒期间的峰响应值不超过满量程 2%”，表征的是仪器极值统计。二是以 HJ 1012 环境空气和废气总烃甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法为代表的定义的“每 2 分钟记录一组数据平均值，获得 25 组数，计算 25 组数的标准偏差”，表征的是仪器长期稳定性

验证。三是和 GB18352 “10 个标准差均方根的两倍，每个标准差是以至少 1.0 Hz 的固定记录频率测量的对零信号响应 30s 平均值，不应超过满量程的 2%。”表征的是测试系统本底噪声。)

参考 ICAO 国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》和 HB 6117—2020 航空燃气涡轮发动机气态污染物的连续取样及测量方法对气态排放物、噪声、干扰进行了明确定义。

4 概述

描述了航空发动机气体排放物测量系统原理、构造和用途。

航空发动机气态排出物测量系统一般由采样单元、传输单元、气体检测单元、数据采集与控制单元和显示单元组成。航空发动机气态排放物由取样探针收集后，在传输管路中经过温度、压力、流量等调节，样气中被测组分通过离子传感模块经信号处理单元转化为电信号，再通过数据和采集模块转化为数字信号，由显示单元输出氮氧化物体积浓度，通过计算能得出气态污染物排放指数等性能参数，测量系统示意图见图 1。

依据测量原理不同，可以将其区分为三种测量子系统，分别为航空发动机气态排放物(HC)测量系统、航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统、航空发动机气态排放物(CO 和 CO₂)测量系统。本标准主要对象为航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统(以下简称系统)，氮氧化物气体检测单元原理是化学发光法。检测原理是基于一氧化氮与臭氧发生化学反应时，产生激发态的二氧化氮分子，激发态的二氧化氮分子回到基态时发出光，发出的光强与一氧化氮的浓度成正比关系。通过检测发光强度进行一氧化氮浓度检测。气体检测单元一般由臭氧发生器、转换器、检测器和电子器件或元件等组成。

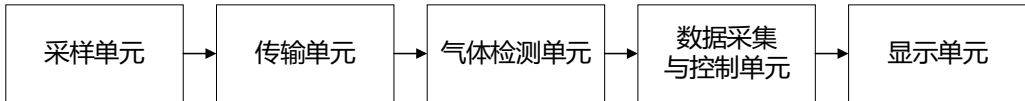


图 1 航空发动机气态排放物测量系统示意图

5 计量特性

描述了航空发动机气态排放物(NO_x)测量系统的计量特性及指标要求。

根据 ICAO 国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》附录 3 附录 C 氮氧化物分析仪的规格中的要求，对测量系统提出了计量特性(示值误差、线性度、重复性、漂移、噪声、干扰、转换效率)要求，同时参考 SAE ARP 1256 Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Gaseous Emissions from Aircraft Turbine Engines，以满足适航审查要求。

表 1 计量特性

序号	校准项目	技术指标
1	示值误差	不超过 $\pm 2\%$ FS
2	线性度	不超过 $\pm 2\%$ FS
3	重复性	不超过 $\pm 1\%$ FS 或 $\pm 1.0\ \mu\text{mol/mol}$ ，满足其一即可
4	响应时间	不超过 10 s
5	漂移	零点漂移：在 1h 内，不超过 $\pm 1\%$ FS 或 $\pm 1.0\ \mu\text{mol/mol}$ ，满足其一即可
		量程漂移(稳定性)：在 1h 内，不超过 $\pm 2\%$ FS 或 $\pm 1.0\ \mu\text{mol/mol}$ ，满足其一即可
6	噪声	采样频率 0.5 Hz 及以上，在 2 h 内，不超过 $\pm 1\%$ FS 或 $\pm 1\ \mu\text{mol/mol}$ ，满足其一即可
7	干扰	干扰(二氧化碳)：不超过读数的 0.05 %/1 %CO ₂ 干扰(水蒸气)：不超过读数的 0.1 %/1 %水蒸气
8	二氧化氮转换效率	不小于 90 %

仪器线性的计量性能要求主要是根据欧美等先进国家的类似在线校准的一贯做法，特别是美国 EPA 施行环境监测性能审核项目(The national performance audit program,NPAP)，国际民用航空公约 附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》明确提出了现场比对，最小二乘法拟合的办法来确定仪器的性能指标。

示值误差参考实验数据及线性度指标制定。由于航空发动机气态排放物测量系统，通过气态分析仪子系统、辅助气子系统、控制和数据采集子系统将输出值转化成气体浓度，所以我们参考线性度指标确定示值误差指标。

6 校准条件

6.1 环境条件

主要参考 JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程、JJF 1585—2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》、JJF 1907—2021《环境空气在线监测气体分析仪校准规范》等标准对环境条件、气体标准物质、校准用设备进行了明确。计量标准器主要是根据现有的标准气体溯源能力参考 ICAO 国际民用航空公约附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》附录 3 附录 D 校准和测试气体，明确了校准用气体、测试用气体和零点气体的种类和不确定度要求。同时，通过对模拟航空发动机变工况（如起飞-巡航-降落-滑行）下测量数据分析，得出上述测量系统选用的测量范围。

7 校准项目和校准方法

根据 ICAO 国际民用航空公约附件 16《环境保护》第 II 卷 — 《航空器发动机的排放物》附录 3 中仪器规格的要求，明确了校准项目。

7.1 校准前的准备

JJG 693—2011 规定预热稳定后开始工作，JJF 1907—2021 规定仪器通电预热，保持正常工作状态，JJG 801—2004 规定给仪器预热至少 1.5h。本标准按照图 2 开展进行设备连接，接通电源，按照仪器说明书规定的时间预热稳定后，调整仪器的零点和量程点，先通入零气体，待示值稳定后，仪器示值调到与零点一致。通入量程 90%左右的气体浓度的标准气体，待示值稳定后，将仪器示值调到与标准值一致。



图 2 测量系统校准示意图

7.2 示值误差

示值误差校准方法与 JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程、JJF 1585—2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》、JJF 1907—2021《环境空气在线监测气体分析仪校准规范》等标准基本一致，《化学发光法氮氧化物分析仪检定规程》示值误差选点 20%、50%、85%，《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》选点 20%、50%、80%，《环境空气和废气总烃、甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法》仪器示值误差选点 20%、50%、80%，仪器间平行性通入浓度为（20%~30%）满量程值、（40%~60%）满量程值、（80%~90%）满量程值 3 种标准气体。国际民用航空公约附件 16《环境保护》第 II 卷—《航空器发动机的排放物》和 HB 6117 航空燃气涡轮发动机气态污染物的连续取样及测量方法中校准要求，引入浓度约为满量程 30%，60%和 90%标准气体进行校准。选取 11 个点开展试验，校准浓度越大对示值误差影响较大，所以本标准综合考虑后选点为满量程 30%，60%和 90%。

表 2 示值误差校准数据

序号	标气浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器测量值($\mu\text{mol/mol}$)			平均值 ($\mu\text{mol/mol}$)	示值误差 ($\mu\text{mol/mol}$)	相对误差 (%FS)
		1#	2#	3#			
1	24.51	24.51	24.8	24.8	24.8	24.8	0.03%
2	49.62	49.62	49.6	49.8	49.8	49.7	0.01%
3	99.87	99.87	99.8	100	100.2	100	0.01%
4	199.84	199.84	200.5	200.8	201.1	200.8	0.10%
5	300.18	300.18	301.6	302.1	302.4	302.0	0.19%
6	400.6	400.6	402.5	402.4	402.8	402.6	0.20%
7	500.57	500.57	500.9	503.7	503.8	502.8	0.22%
8	600.22	600.22	606.3	607.8	608.2	607.4	0.72%
9	801.97	801.97	814.4	815.6	816	815.3	1.34%
10	900.74	900.74	908.5	910.3	910.8	909.9	0.91%

7.3 重复性

重复性校准方法与 JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程、JJF 1585—2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》、JJF 1907—2021《环境空气在线监测气体分析仪校准规范》等标准基本一致，数据处理方式分为绝对误差和引用误差两种。分别选取满量程 30%、60%、90%三个浓度点开展重复性试验，数据见表 3，现有计量技术规范通常选取中间点开展重复性，所以选取 60%浓度点。

表 3 重复性校准数据

标准气体浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器测量值($\mu\text{mol/mol}$)						标准偏差 ($\mu\text{mol/mol}$)	重复性 (%FS)
	1#	2#	3#	4#	5#	6#		
300.18	302.8	303.2	304.2	304.5	304.7	304.8	0.84	0.08%
600.22	606.5	606.5	607.2	608.7	610.1	610.9	1.89	0.19%
900.74	899.7	902.5	904.5	906.3	905.7	906.6	2.67	0.27%

7.4 漂移

漂移(零点漂移和量程漂移)校准方法与 JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程和 JJF 1585—2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》等标准基本一致，数据处理方式分为绝对误差和引用误差两种。常规实验室条件漂移通常选 8 小时，环境监测选取 24 小时，国际民用航空公约附件 16《环境保护》第 II 卷一《航空器发动机的排放物》中定义 1 小时漂移量，并且试验中每一小时需要提供漂移数据，如不满足要求则重新试验。分别选取满量程 30%、60%、90%三个浓度点开展漂移校准，不同浓度点零点漂移和量程漂移的数据差异不大，现有计量技术规范通常选取大量程点开展漂移校准，所以选取 90%浓度点。

表 4 漂移校准数据

浓度 $\mu\text{mol/mol}$	测试次数	零点示值 Z_i $\mu\text{mol/mol}$	浓度示值 S_i $\mu\text{mol/mol}$	零点漂移 ΔZ_i %FS	量程漂移 ΔS_i %FS
300.18	0#	-0.019	296.2	/	/
	1#	-0.024	298.1	-0.001%	0.191%
	2#	0.022	299.0	0.004%	0.276%
	3#	-0.026	299.8	-0.001%	0.361%
	4#	-0.049	300.4	-0.003%	0.423%
	5#	-0.089	300.9	-0.007%	0.477%
	6#	-0.159	301.3	-0.014%	0.524%
600.22	0#	-0.011	599.9	/	/
	1#	-0.079	602.6	-0.007%	0.277%
	2#	-0.093	604.7	-0.008%	0.488%
	3#	-0.023	606.0	-0.001%	0.611%

	4#	-0.062	607.4	-0.005%	0.755%
	5#	-0.008	607.8	0.000%	0.790%
	6#	0.013	608.4	0.002%	0.848%
900.74	0#	0.138	899.7	/	/
	1#	0.059	901.8	-0.008%	0.218%
	2#	0.016	902.3	-0.012%	0.272%
	3#	0.093	900.7	-0.005%	0.105%
	4#	0.230	901.0	0.009%	0.121%
	5#	0.329	902.4	0.019%	0.251%
	6#	0.463	903.4	0.033%	0.338%

7.4 噪声

噪声主要校准零点噪声和量程噪声，参考附件 16《环境保护》第 II 卷 —《航空器发动机的排放物》，要求 0.5Hz 及其以上，小于所取量程满刻度的±1%或±0.5ppmC，参考 HJ 1012 环境空气和废气总烃甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法和 HJ 654 环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统技术要求及监测方法等文件，采用均方差进行数据处理。分别对采样频率 1s，2s，5s 进行试验，采样频率 1s 噪声值偏大，且满足 0.5Hz 及其以上要求。

表 5 零点噪声校准数据

序号	2min 为周期		5min 为周期	
	标准偏差 SN	零点噪声 N ₀	标准偏差 SN	零点噪声 N ₀
1	0.164	0.016%	0.161	0.016%
2	0.156	0.016%	0.134	0.013%
3	0.173	0.017%	0.138	0.014%
4	0.110	0.011%	0.146	0.015%
5	0.112	0.011%	0.129	0.013%
6	0.105	0.011%	0.151	0.015%
7	0.155	0.015%	0.169	0.017%
8	0.126	0.013%	0.138	0.014%
9	0.143	0.014%	0.139	0.014%
10	0.169	0.017%	0.157	0.016%
11	0.117	0.012%	0.145	0.014%
12	0.133	0.013%	0.146	0.015%
13	0.145	0.014%		
14	0.159	0.016%		
15	0.145	0.015%		
16	0.145	0.014%		
17	0.157	0.016%		
18	0.202	0.020%		
19	0.113	0.011%		
20	0.143	0.014%		

21	0.141	0.014%		
22	0.139	0.014%		
23	0.130	0.013%		
24	0.172	0.017%		
25	0.155	0.015%		
26	0.149	0.015%		
27	0.161	0.016%		
28	0.115	0.012%		
29	0.163	0.016%		
30	0.122	0.012%		

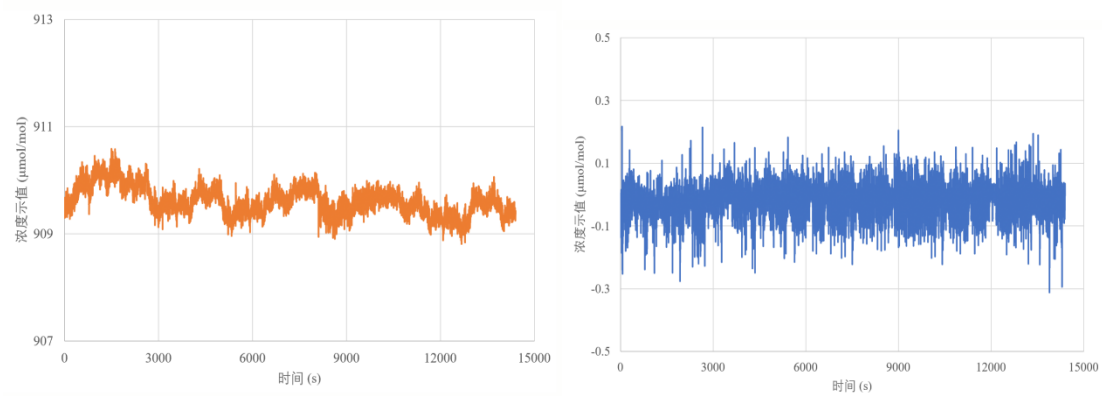


图 3 噪声校准数据图

7.5 响应时间

响应时间校准方法与 JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程、JJF 1585—2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》、JJF 1907—2021《环境空气在线监测气体分析仪校准规范》等标准基本一致。引入浓度约为满量程 30%，60%和 90%标准气体进行校准，数据见表 6，现有计量技术规范通常选取中间点开展响应时间校准，所以选取 60%浓度点。

表 6 响应时间校准数据

标准气体浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	响应时间(s)			平均值(s)
	1#	2#	3#	
300.18	5.5	5.3	5.4	5.4
600.22	4.3	4.2	4.2	4.2
900.74	4.1	4.2	4.1	4.1

7.6 干扰

二氧化碳气体干扰，完成二氧化碳气体干扰试验。

表 7 二氧化碳气体校准数据

标准气体		测量次数	浓度示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	平均值 ($\mu\text{mol/mol}$)	干扰误差
氮中一氧化氮、	NO:	1#	295.2	295.5	-0.36%

二氧化碳	301 $\mu\text{mol/mol}$ CO ₂ :5.06%	2#	295.6		
		3#	295.8		
氮中一氧化氮、 二氧化碳	NO: 602 $\mu\text{mol/mol}$ CO ₂ :5.10%	1#	594.6	595.9	-0.20%
		2#	596.3		
		3#	596.9		
氮中一氧化氮、 二氧化碳	NO: 916 $\mu\text{mol/mol}$ CO ₂ :5.09%	1#	879.9	880.8	-0.75%
		2#	881.3		
		3#	881.3		

水蒸气干扰，完成水蒸气混合气体干扰试验。

表 8 水蒸气校准数据

标准气体		测量次数	浓度示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	平均值 ($\mu\text{mol/mol}$)	干扰误差
氮中一氧化氮、 水蒸气	NO: 315.7 H ₂ O:2.0%	1#	322.8	322.8	1.12%
		2#	321.9		
		3#	323.6		
氮中一氧化氮、 水蒸气	NO: 309.6 H ₂ O:4.0%	1#	315.0	315.6	0.48%
		2#	315.8		
		3#	316.1		
氮中一氧化氮、 水蒸气	NO: 303.8 H ₂ O:6.0%	1#	305.2	305.7	0.10%
		2#	305.5		
		3#	306.4		
氮中一氧化氮、 水蒸气	NO: 642.2 H ₂ O:2.0%	1#	649.2	650.0	0.61%
		2#	650.2		
		3#	650.5		
氮中一氧化氮、 水蒸气	NO: 629.8 H ₂ O:4.0%	1#	638.7	639.1	0.37%
		2#	639.5		
		3#	639.0		
氮中一氧化氮、 水蒸气	NO: 617.9 H ₂ O:6.0%	1#	623.6	621.9	0.11%
		2#	620.2		
		3#	621.8		

7.7 转换效率

表 9 二氧化氮转换效率校准数据

序号	标气浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	测量值($\mu\text{mol/mol}$)						转换效率
		b	c	d	e	f	g	
1	301.99	302.5	268.6	59.6	265.1	270.2	302.6	97.58%
2		302.6	269.3	60.9	264.2	270.8	302.8	96.86%
3		303.0	269.7	60.7	265.5	271.6	302.8	97.11%

8 校准结果的处理

校准结束后出具校准证书，校准证书应准确、客观地报告校准结果。根据《国家计量校准规范编写规则》，明确了校准记录信息格式，包括记录的名称、

唯一性编号, 计量标准器具名称、证书号、有效期, 被校准对象的名称、编号、型号/规格、校准单位, 依据的校准技术文件, 环境条件、校准地点, 测量数据与处理结果、测量不确定度, 校准人/核验人签字、校准日期等信息。

9 复校时间间隔

航空发动机气态排放物 (NO_x) 测量系统建议的复校时间间隔一般不超过 12 个月。

附录 A 航空发动机气态排放物 (NO_x) 测量系统校准记录格式

附录 B 航空发动机气态排放物 (NO_x) 测量系统校准证书内页格式

附录 C 航空发动机气态排放物 (NO_x) 测量系统示值误差的测量不确定度评定示例

五、其他需说明的事项

1、验证试验的情况和结果

2024 年 3 月-2025 年 5 月开展过多次校准试验, 本标准方法已通过商发企业标准在型号中于一应用, 应用效果良好。民用适航审定中心审定代表已于 2025 年 3 月批准试验大纲, 并于 2024 年 8 月和 2025 年 5 月分别目击了氮氧化物分析仪的校准过程, 对校准方法表示认可, 试验过程仪器均满足适航要求。

2、与现行相关法律、法规、规章及标准的协调性

本标准提出的校准方法、合格判据与国外同类标准水平相当。比国内相关气态污染物测量仪合格判据要求更严格, 例如响应时间由 60s 提高到 10s, 增加了噪声、干扰、线性度要求。

国内与航空发动机排气排出物测试仪相关的法律、法规、标准主要有《航空发动机适航审定》(CCAR—33R2)、《涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定》(CCAR—34)、ICAO 国际民用航空公约 附件 16 环境保护 第 II 卷 — 航空器发动机的排放物、ICAO Doc 9501 环境技术手册 第 II 卷 — 航空器发动机排放审定程序。本标准可用于支持表明对 ICAO 国际民用航空公约 附件 16 环境保护 第 II 卷 — 航空器发动机的排放物附录 3 附录 C 氮氧化物分析仪的符合性验证工作。本标准与现有文件无相互冲突的内容。

3、本标准(编制说明)编制过程中参考资料如下:

JJG 801—2004 化学发光法氮氧化物分析仪检定规程

JJF 1585—2016 固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范

JJF 1907—2021 环境空气在线监测气体分析仪校准规范

GB/T 13966—2013 分析仪器术语

GB/T 18345.1—2001 燃气轮机 烟气排放 第 1 部分: 测量与评估

GB/T 18459—2001 传感器主要静态性能指标计算方法

HJ 76—2017 固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法

HJ 654—2013 环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统技术要求及检测方法

HJ 1012—2018 环境空气和废气总烃甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法

HJ 1013—2018 固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法

HB 6117—2020 航空燃气涡轮发动机气态污染物的连续取样及测量方法

ICAO 国际民用航空公约 附件 16 环境保护 第 II 卷 — 航空器发动机的排放物，第五版，2023 年

ICAO Doc 9501 环境技术手册 第 II 卷 — 航空器发动机排放审定程序，第四版，2020 年

SAE ARP 1256 E Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Gaseous Emissions from Aircraft Turbine Engines

SAE ARP1533 C Procedure for the Analysis and Evaluation of Gaseous Emissions from Aircraft Engines

EPA 40 CFR Part 1065 Engine Testing Procedures

六、总结

在校准规范的修订过程中，编制小组以国内外技术资料及相关标准、大量试验数据为技术依据，本着科学合理、易于操作和普遍适用的原则进行了起草。希望经过审核，规范将更科学、更全面、更合理。