

附件19

《固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法
(征求意见稿)》
编制说明

《固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法》

标准编制组

二〇二五年九月

项目名称：固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法

项目统一编号：2025-8

承担单位：中国环境监测总站、上海市环境监测中心

编制组主要成员：邱立莉、刘通浩、宋钊、陆立群、李莉娜、
秦承华、刘常永、王勇、宋梦洁、晏立衡

国家环境分析测试中心技术管理负责人：曹冠

生态环境监测司项目负责人：仇鹏

目 录

1	项目背景	1
1.1	任务来源	1
1.2	工作过程	1
2	标准制订的必要性分析	2
2.1	含湿量定义	2
2.2	相关生态环境标准和生态环境管理工作的需要	4
2.3	相关法律法规要求	5
3	国内外相关方法研究	6
3.1	主要国家、地区及国际组织相关方法研究	6
3.2	国内相关方法研究	7
3.3	与本标准的关系	10
4	标准制订的基本原则和技术路线	12
4.1	标准制订的基本原则	12
4.2	标准制订的技术路线	12
5	方法研究报告	14
5.1	方法研究目标	14
5.2	适用范围	14
5.3	规范性引用文件	14
5.4	术语和定义	15
5.5	方法原理	15
5.6	干扰和消除	16
5.7	试剂和材料	20
5.8	仪器和设备	21
5.9	样品	27
5.10	分析步骤	27
5.11	结果表示	28
5.12	质量保证和质量控制	28
5.13	注意事项	30
5.14	附录	30
6	方法比对	31
6.1	方法比对方案	31
6.2	方法比对结果	31
6.3	结果分析	33
7	方法验证	33
7.1	方法验证方案	33
7.2	方法验证过程及结果	35

7.3 验证结论	38
8 与开题报告差异说明	39
9 标准实施建议	39
10 参考文献	40
附件一 方法验证报告	43

《固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法（征求意见稿）》编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

根据《关于开展 2025 年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2025〕243 号），《固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法》列入 2025 年标准制修订项目，项目统一编号为 2025-8。由中国环境监测总站承担本标准制订任务，上海市环境监测中心为协作单位。

1.2 工作过程

1.2.1 开展文献资料查询

2023 年 3~7 月，中国环境监测总站接到生态环境部监测司《固定污染源废气 湿度的测定 电阻电容法》预研究项目后，成立编制组。编制组按照《国家生态环境标准制修订工作规则》《环境监测分析方法标准制修订技术导则》（HJ 168-2020）^[1]和《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）^[2]相关要求，查询和收集国内外相关标准和文献资料，制定标准研究技术路线和实验方案。

1.2.2 开展研究工作，组织方法验证

2023 年 8~9 月，编制组确定方法检出限、测定下限、精密度和正确度等方法特性指标。2024 年 1 月 10 日，对某冷轧电镀酸雾废气开展了方法比对补充测试；2025 年 11 月 26 日，对某化工企业高温烟气开展了现场补充测试；12 月 4 日，开展了混合气体干扰补充测试。

2023 年 10 月，编制组组织河北省生态环境监测中心、山东省生态环境监测中心、湖北省生态环境监测中心站、重庆市生态环境监测中心、江苏省南京环境监测中心和上海金艺检测技术有限公司等 6 家实验室开展了方法验证，并形成方法验证报告。2025 年 11 月 24 日，编制组开展了方法检出限的补充验证测试。

1.2.3 编写征求意见稿和编制说明

2023 年 12 月~2025 年 3 月，中国环境监测总站组织召开了多次专家咨询会和预研究项目专题审查会，对标准文本和编制说明内容进行内部技术审查。编制组根据专家意见进一步补充完善，形成标准征求意见稿和编制说明。

1.2.4 预研究项目结题暨制修订项目开题

2025 年 4 月 1 日，生态环境监测司组织召开预研究项目结题暨制修订项目开题论证会，专家组提出了将标准名称修改为《固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法》等意

见，建议修改完善后提请立项。6月19日，生态环境部办公厅发布《关于开展2025年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2025〕243号），将本标准正式纳入2025年度国家生态环境标准项目。

1.2.5 通过标准征求意见稿技术审查

2025年12月9日，生态环境监测司组织召开了标准征求意见稿专家审查会。专家组听取了标准主编单位所作的标准文本和编制说明的内容介绍，经质询、讨论，通过了标准征求意见稿的技术审查，并提出以下修改意见：删除文本中重量法方法比对相关内容，删除规范性引用文件中HJ 1405并同步删除相关内容；标准文本中进一步完善原位式测量和抽取式测量的相关表述，并补充零点检查的判定依据；按照《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）和《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）对标准文本和编制说明进行编辑性修改。

会后，编制组根据征求意见稿技术审查会意见，删除了重量法方法比对以及HJ 1405的相关内容，仪器组成和测试准备中将原位式和抽取式仪器分开表述，补充了零点检查的判定依据，并进一步修改完善了标准征求意见稿文本和编制说明。

2 标准制订的必要性分析

2.1 含湿量定义

含湿量是表示废气干湿程度的物理量，相关国家标准及文献中的定义或表述方式多样。《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T16157-1996）^[3]中含湿量表述为“排气中水分含量”，列出了干湿球法、冷凝法和重量法的计算公式，但未给出明确的术语定义。

（1）干湿球法

$$X_{sw} = \frac{P_{bv} - 0.00067(t_c - t_b)(B_a + P_b)}{B_a + P_s} \times 100 \quad (\text{公式1})$$

式中： X_{sw} —排气中水分含量体积百分数，%；

P_{bv} —温度为 t_b 时饱和水蒸气压力，Pa；

t_b —湿球温度，°C；

t_c —干球温度，°C；

P_b —通过湿球温度计表面的气体压力，Pa；

B_a —大气压力，Pa；

P_s —测点处排气静压，Pa。

（2）冷凝法

$$X_{sw} = \frac{461.8(273+t_r)G_w + P_v V_a}{461.8(273+t_r)G_w + (B_a + P_r)V_a} \times 100 \quad (\text{公式2})$$

式中： X_{sw} —排气中水分含量体积百分数，%；

t_r —流量计前气体温度，°C；

G_w —冷凝器中的冷凝水量，g；

P_v —冷凝器出口饱和水蒸气压力, Pa;

V_a —测量状态下抽取烟气的体积, L;

B_a —大气压力, Pa;

P_r —流量计前气体压力, Pa。

(3) 重量法

$$X_{sw} = \frac{1.24G_m}{V_d \left(\frac{273}{273+t_r} \times \frac{B_a+P_r}{101300} \right) + 1.24G_m} \times 100 \quad (\text{公式 3})$$

式中: X_{sw} —排气中水分含量体积百分数, %;

G_m —吸湿管吸收的水分重量, g;

V_d —测量状况下抽取的干气体体积, L;

t_r —流量计前气体温度, °C;

P_r —流量计前气体压力, Pa;

B_a —大气压力, Pa。

《空气和废气监测分析方法指南(上册)》^[4]规定, 烟气含湿量是指烟气中水蒸气的含量, 通常用 1kg 干空气中含有的水蒸气量或湿空气中水蒸气含量的体积百分数表示。

《湿度测量》^[5]规定: 水分体积百分数是指在标准压力和温度下, 湿空气中水汽体积与总体积之比。根据阿马格分体积定律和道尔顿分压定律, 湿空气中水汽的体积百分数用下式计算。

$$V = \frac{e}{P} \times 100\% \quad (\text{公式 4})$$

式中: V —水分体积百分数, %;

e —水汽分压, Pa;

P —气体的总压力, Pa。

《湿度与水分计量名词术语及定义》(JJF 1012-2007)^[6]规定, 湿度是指气体中水蒸气的含量。

《烟气含湿量测量仪校准规范(送审稿)》规定, 烟气含湿量是指烟气中的水蒸气的体积占烟气总体积的百分数, 以%表示。

综合上述标准和规范内容, 并结合监测行业专家意见可知:

1) “含湿量”通常指一定体积烟气中的水分含量; “湿度”通常指气体中水蒸气的含量, 包括绝对湿度、相对湿度等不同概念。相较而言“含湿量”比“湿度”可以提供更具体的度量, 精确性更高。

2) 在不同的学科领域, 如气象学、环境科学等, 含湿量的使用有助于避免不同湿度概念之间的混淆。

3) 在固定污染源废气监测中, 含湿量是一个常用的术语, 更符合行业惯例。

4) 行业专家基于深入的理解和广泛的应用经验, 更推荐使用“含湿量”。因此本标准采用“含湿量”的表述方式, 标准名称改为《固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法》, 旨在提高术语和定义的准确性和专业性。

2.2 相关生态环境标准和生态环境管理工作的需要

2.2.1 弥补现行含湿量监测方法标准局限性的需要

国内现行有效的固定污染源废气含湿量监测方法标准为《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T 16157-1996）和《固定源废气监测技术规范》（HJ/T 397-2007）^[7]，其中规定：“排气中水分含量应根据不同的测量对象选用冷凝法、干湿球法或重量法中的一种方法测定”。三种方法存在着较高烟温测量准确性较差、校准溯源困难、时效性较差、便携性一般或人员操作要求高等不足，已不能完全满足固定污染源废气监测的新要求。近年来随着监测技术的不断发展，电阻电容法得到了越来越广泛地应用，但缺乏方法标准，导致监测结果的准确性、有效性和一致性等无法保证。因此需要尽快制定适用的电阻电容法含湿量测定标准，为含湿量的测定提供有效的技术指导，进一步完善固定污染源监测方法体系，推动监测技术发展，提高监测数据质量。

2.2.2 落实相关方法标准中含湿量测定的需要

《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》（HJ 836-2017）^[8]规定，废气水分含量的测定采用冷凝法、重量法和仪器法。仪器法测定装置通常由采样单元、含湿量分析单元和数据处理与记录等单元构成，应具有含湿量校准功能。冷凝法和重量法因设备结构复杂，环境条件和操作水平要求高，现场监测应用较少。仪器法的应用则越来越广泛，其中电阻电容法仪器具有结构简单、体积小、操作方便、环境适应性强等特点，成为低浓度颗粒物测定时最常见的含湿量测量仪器，但标准只规定了仪器结构组成，未明确性能指标、测定方法和质量控制要求等。实际工作中，监测人员只能按照仪器说明书操作，未考虑校准溯源质控等问题，测定结果应用存在法律风险。

《固定污染源废气 二氧化硫的测定 便携式紫外吸收法》（HJ 1131-2020）^[9]和《固定污染源废气 氮氧化物的测定 便携式紫外吸收法》（HJ 1132-2020）^[10]等近年发布的方法标准规定，采用热湿法测定废气样品的仪器应配置测定废气中水分含量的检测器，无需配置除湿装置，但应当同步测定废气中水分含量。（注：热湿法是指废气不经过冷凝除水而是直接测定高温湿态废气浓度的方法）要满足上述标准要求，配置的含湿量检测器必须具备结构简单，响应速度快，操作方便，适用范围广，成本较低等特点，因此采用热湿法的便携式紫外吸收法仪器大多配置了电阻电容法传感器。只有尽快制定适用的电阻电容法方法标准，准确测定废气含湿量，才能确保采用热湿法的便携式紫外吸收法仪器得到有效应用。

《固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范》（HJ 75-2017）^[11]中规定，CEMS 在现场安装运行以后，应对包括湿度在内的烟气参数指标进行准确度验收，至少获取 5 个同时段测试断面值数据对，计算湿度 CEMS 准确度。烟气湿度与参比方法同时段测定的平均烟气湿度值计算绝对误差或相对误差。采用重量法或干湿球法作为参比方法，存在着操作难度较大、响应速度较慢等不足，难以高效地开展 CEMS 湿度验收或比对。

尽快制定适用的电阻电容法含湿量测定标准可以满足生态环境执法监测、污染源在线监测、企业自行监测等实际需求。

2.2.3 满足污染物排放标准中标干状态计算的需要

我国固定污染源废气排放标准中污染物的浓度是指标准状态下干排气中污染物的含量，即通过测定工况条件下排气的体积和含湿量计算获得标准状态下干排气的体积。含湿量作为一项重要的烟气参数需要精确测量并参与计算，其准确性与否直接影响排放总量或污染物浓度的计算。按照 GB/T 16157 和 HJ/T 397 规定，污染物排放速率按下式计算：

$$G = \bar{C} \times Q_{sn} \times 10^{-6} \quad (\text{公式 5})$$

式中：G——污染物排放速率，kg/h；

\bar{C} ——污染物实测排放浓度，mg/m³；

Q_{sn} ——标准状态下干排气流量，m³/h。

标准状态下干排气量按下式计算：

$$Q_{sn} = Q_s \times \frac{B_a + P_s}{101325} \times \frac{273}{273 + t_s} (1 - X_{sw}) \quad (\text{公式 6})$$

式中： Q_{sn} ——标准状态下干排气流量，m³/h；

Q_s ——工况下湿排气流量，m³/h；

B_a ——大气压力，Pa；

P_s ——排气静压，Pa；

t_s ——排气温度，°C；

X_{sw} ——排气中水分含量体积百分数，%。

2.2.4 提升现场监测工作效率的需要

为支撑打赢污染防治攻坚战，生态环境监测确立了“真、准、全、快、新”的“五位一体”发展战略。其中，“快”强调了监测数据的快速获取与处理，对及时响应环境问题具有决定性作用。“新”则指向采用前沿技术和方法，推动监测装备的创新升级。为促进环境监测技术的先进性，提高国产监测装备的整体实力，并推动监测装备向精准、快速、便携化方向发展，近年来国内众多的电阻电容法仪器厂商努力提升仪器精确度和稳定性，不断开发体积小、重量轻、便携性好的监测设备，以适应现场快速部署和移动监测的需求，并增强现场监测仪器的抗干扰能力和环境适应性，确保在复杂环境下的监测准确性。

尽快制定适用的电阻电容法含湿量测定标准可以规范含湿量测量的质量管理和质量控制要求，确保数据的准确性和可靠性，满足固定污染源现场监测工作在准确性、时效性、便携性和易用性方面的实际需求，顺应监测技术发展的趋势，为生态环境保护提供强有力的技术支撑。

2.3 相关法律法规要求

《中华人民共和国环境保护法》第十七条规定“国家建立、健全环境监测制度。国务院环境保护主管部门制定监测规范，会同有关部门组织监测网络，统一规划国家环境质量监测站（点）的设置，建立监测数据共享机制，加强对环境监测的管理”；第三十二条规定“国家加强对大气、水、土壤等的保护，建立和完善相应的调查、监测、评估和修复制度”。

《中华人民共和国大气污染防治法》第二十三条规定“国务院生态环境主管部门负责制定大

气环境质量和大气污染源的监测和评价规范，组织建设与管理全国大气环境质量和大气污染源监测网，组织开展大气环境质量和大气污染源监测，统一发布全国大气环境质量状况信息”。

因此，为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》，防治生态环境污染，改善生态环境质量，规范固定污染源废气中含湿量的测定方法，有必要开展固定污染源废气中含湿量的便携式电阻电容法标准制订。

3 国内外相关方法研究

3.1 主要国家、地区及国际组织相关方法研究

(1) 美国

1988年，美国国家环保署（US EPA）首次发布 METHOD 4 “Determination of Moisture Content in Stack Gases”^[12]，其中提出了三类废气含湿量测定方法：1）Reference Method（参比方法）；2）Approximation Method（近似方法）；3）Alternative Means for Approximating the moisture content（可选择方法）。

基本原理是以恒定速率采集污染源废气，水分从废气中分离并采用体积法或重量法测定。参比方法为重量法，要求冷凝吸湿后使用天平称重，精确到 0.5g。适用于污染源废气计算干基或湿基污染浓度和排风量换算所需含湿量的测定；近似方法为冷凝法，结果为估算值，不能直接参与污染物排放计算，除非近似方法的结果满足使用需要（误差控制在参比方法的 1%以内）；可供选择的方法包括干燥管法、干湿球法、冷凝法、化学计算法、经验法等，不建议参与污染物排放计算。其中干湿球法应用较多，采取将干湿球直接插入烟道内测量的方式。

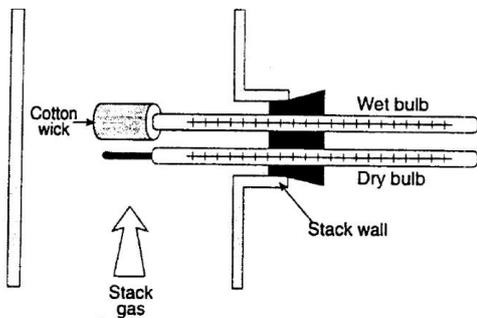


图 1 干湿球法示意图

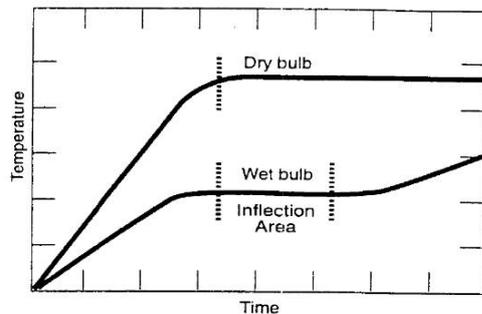


图 2 干湿球温度变化曲线和最佳测定时段

如存在以下情况可能影响干湿球测定结果：1）气体中的酸性气体浓度较高如 SO_2 、 SO_3 、 HCl ；2）气体中的烃类物质浓度较高；3）气体压力与大气压力差别明显；4）废气温度过高；5）废气流速过高或过低；6）高浓度颗粒物可能污染湿球的纱布。

1993年 EPA 发布“EMC ALT-008 Alternative Method Moisture Midget Impingers”^[13]，该方法是 EPA METHOD 4 的改进，也属于重量法。

(2) 欧盟

CSN EN14790: 2017“Stationary Source Emissions-Determination of the Water Vapor in Ducts”^[14]规定了标准方法为冷凝吸湿法。测定范围体积浓度为 4%-40%RH，质量浓度为

29~250g/m³。该方法也属于重量法，测定的废气含湿量可以参与污染物排放计算，但不能用于水蒸气饱和状态。方法规定了废气中液滴的处理方法，可应用于焚烧企业。

3.2 国内相关方法研究

(1) 测量方法

①干湿球法：使气体在一定的速度下流经干、湿球温度计。根据干、湿球温度计的读数和测点处排气压力，计算出排气的水分含量。由于干湿球法现场操作较简单，各级监测部门以及社会监测机构均以干湿球法作为常规测定方法。HJ/T 397 规定，基于干湿球法原理的含湿量自动测定装置，其微处理器控制传感器测定湿球、干球表面温度、通过湿球表面的压力以及排气静压等参数，同时由湿球表面温度导出该温度下的饱和水蒸气压力，结合输入的大气压，根据公式自动计算出废气含湿量。干湿球法测定烟温 100℃以上的废气含湿量准确性较差，对测定断面要求高，测定过程中稳定读数时间较难控制，无法校准溯源，采取手工测定方式和手工计算结果，难以满足在线监测系统比对的连续测定要求。

②冷凝法：由烟道中抽取一定体积的排气使之通过冷凝器，根据冷凝水量及冷凝器排出的饱和气体含有的水蒸气量，计算排气中的水分含量。

③重量法：由烟道中抽取一定体积的排气，使之通过装有吸湿剂的吸湿管，排气中的水分被吸湿剂吸收。吸湿管的增重即为已知体积排气中的水分含量。冷凝法和重量法优势在于准确性较高，但测定周期较长，设备便携性一般，人员操作要求高。适用于工作量较少，精确度要求较高的执法监督监测等场景。

④激光吸收光谱法：利用激光能量被气体分子“选频”吸收形成吸收光谱测定气体浓度。由半导体激光器发射出特定波长的激光束（仅能被被测气体吸收），穿过被测气体时，激光强度的衰减与被测气体浓度成一定函数关系，因此，通过测定激光强度衰减信息可分析获得被测气体的浓度^[15]。该方法精密度和正确度较好，可以实时测定和存储数据，但仪器价格昂贵，操作维护要求较高，不太适用于现场监测。

⑤干/湿氧法：通过氧化锆检测器测定废气中的湿氧含量和脱水后的干氧含量（双检测器测定），计算得到废气中的含湿量。该方法具有操作简便、无需温度稳定、测试温度高（0~650℃）等优势。但由于氧化锆的物理特性，含硫化物（还原性气体）的废气测定会产生一定干扰，如废气温度骤然变冷或含有大量水蒸气时锆管容易炸裂，不太适用于现场监测，更适用于抽取式冷干法在线监测系统^[16]。

⑥红外吸收法：利用每一种分子所特有的一组“特征吸收带”，根据吸收光谱的强弱和所在的波段来测定水分的含量。含湿量测定主要利用近红外区，水分子在 1450nm 及 1940nm 吸收峰较强^[17]。该方法对于低湿范围具有很高的灵敏度，在非常宽的水汽浓度范围内能够快速响应，适合连续测定瞬时含湿量。但仪器结构复杂，价格比较昂贵，易受压力和温度等因素影响。

⑦微波含湿量计法：利用 cm 或 mm 级的电磁波在介质中传播的特性进行含湿量测定，包括能量损耗、折射和反射等^[18]。测定对象可以是固体、液体或气体。由于不同物质具有不同的介电常数，而水的介电常数比许多物质高得多，因此物质中含水量发生微小变化，就会使复合介电常数发生变化，当微波通过被测介质时，其能量随介电常数而变化。微波

折射仪传感器部分由两个腔式谐振器组成，一个是参比腔，其中充满干气，另一个是试样腔，充满被测气体，通过两个谐振频率差的测定，即可测定含湿量。该方法对于中、高含湿量具有良好的重复性，且灵敏度和正确度高、量程宽和性能稳定、操作简便、成本较低，但易受标准频率发生器的误差、经验常数误差以及温度、压力和参比气的干燥程度等影响，需要经常修正。

⑧压电吸收法：当物质受到机械压力作用时产生电压，反之在电压作用下会发生机械形变。检测器晶体表面涂覆一层吸水物质。当吸水膜吸收水分时，晶体的质量增加，从而改变振荡频率，通过质量变化与频率改变之间的关系，建立检测器信号与涂覆晶体性能的定量关系，换算得到含湿量^[9]。该方法对水分以外的气体不敏感，适用于检测工业气体含水量，具有灵敏度高、检测快速等优点，测定信号以频率形式输出，便于遥测和数字直读。

⑨电阻电容法：废气中水蒸气含量的变化引起湿敏元件阻容值变化，经电路处理和算法处理后得到含湿量。与其他方法相比，电阻电容法具有体积小、操作方便，环境适应性强、稳定性好等优点。多年来国内监测仪器厂商对电阻电容法进行了深入研究，研发出众多款式的便携式电阻电容法仪器，部分厂商已掌握了核心技术专利，有利于电阻电容法仪器在国内的广泛应用。

根据进样方式分为原位式和抽取式。目前市场上采用原位式的主要品牌有南京埃森、青岛崂应、青岛众瑞和青岛明华等。原位式电阻电容法仪器的传感器位于前端，不需要抽气泵提供动力，主要依靠烟气扩散。优点在于结构简单，便于一体化设计，功耗更小，可内置电池工作；缺点在于结构固定，适用场景存在局限。采用抽取式的主要品牌有青岛崂应、青岛众瑞、青岛明华和武汉洪兴等。抽取式电阻电容法仪器的传感器位于后端，通过抽气泵提供动力并全程加热。优点在于前端加热取样管可以随意延伸，适用场景更广泛。缺点是抽气泵和加热管线功耗大，且测定准备需要开展气密性检查，监测条件和步骤要求更高。按照传感器原理分为电容式和电阻式，目前环境监测行业基本采用电容式传感器。电阻式传感器主要用于露点测量，应用较少。

表 1 常见便携式电阻电容法仪器简介

序号	品牌型号	性能指标及主要特点	图例
1	埃森环境 HMS545P	1、测量范围：0~40%；测量温度：0~180℃。加热温度 100~120℃；颗粒物过滤粒径 30μm。 2、壳体防护等级：IP54；外置打印机数据打印。	
2	青岛崂应 1062A	1、测量范围：0~40%；分辨率：0.01%；加热温度 50~120℃；颗粒物过滤粒径 50μm。 2、自带工况压力和温度自动补偿，提高测量精度。探头采用特殊材料，使其耐腐蚀能力更强。	
3	青岛众瑞 ZR-D13E	1、测量范围 0~40%，分辨率 0.01%；加热温度 80~120℃；颗粒物过滤粒径 2μm。	

序号	品牌型号	性能指标及主要特点	图例
		2、可单独使用，也可和其他手持式设备配套使用。对测量探头进行特殊防护，适应高温高湿高粉尘、高腐蚀、静电等复杂恶劣的测量环境。采用 316 不锈钢管，可选配加长管适应不同厚度烟道。	
4	青岛众瑞 ZR-3063	1、测量范围 0~40%，分辨率 0.01%；加热温度 80~120℃；颗粒物过滤粒径 2μm。 2、皮托管可拆卸、移动、旋转；伴热均匀可靠，提高测量准确性，降低结露风险，延长使用寿命；宽温高亮显示屏，可靠、耐用，人机交互界面友好；实时工况压力测量，参与算法修正，提高准确度；具备存储、查询、蓝牙打印、导出、RS485 通信功能；不锈钢材质耐腐蚀，标配有效长度 1 米。	
5	青岛明华 MH3041	1、适用温度：0~180℃，优于±3.0℃；测量范围：0~40%。加热温度 80~160℃；颗粒物过滤粒径 50μm。 2、结构便携一体化原位式测量含湿量；能测含湿量、温压流等工况数据；气室恒温加热，防止有冷凝水产生，测量结果准确；工况参数自动记忆。	
6	青岛明华 MH3041B	1、含湿量：0~40%。加热温度 80~160℃；颗粒物过滤粒径 50μm。 2、结构便携一体化，抽取法测量含湿量；能测含湿量、温压流等工况以及烟气采样等功能；双路烟气自动恒流技术采样；全程伴热并对传感器保温，测量结果准确；工况参数自动记忆。	
7	德图多功能烟气水分测量仪	1、露点测量范围：-50~100℃；温度测量范围：0~180℃。 2、主机重约 0.5kg，便携性较好；传感器保护帽适用于微腐蚀测量环境，且能自由更换，保护传感器；配备专业分析管理软件；借助随机附带的湿度盐瓶，可即时探头校准；可实现多点同时测量；采用外接手持式探头，快速更换探头。	

电阻电容法不仅适用于便携式仪器，在固定污染源废气在线监测中也得到了广泛的应用。通过调研典型电阻电容法在线监测设备适用性检测情况，含湿量准确度范围为-17.50%~13.30%，其技术性能符合《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》（HJ76-2017）要求：含湿量>5.0%时，相对误差为±25%。

表 2 典型电阻电容法在线监测仪器

序号	仪器厂商	在线仪器型号	测定原理	量程范围	仪器性能指标 (方法比对准确度)
1	南京贝毅	PEC370	阻容法	0~40%	-17.50%~10.20%
2	碧兴物联	BX-CEM2000F	阻容法	0~40%	-5.70%~2.40%
3	杭州绰美	CM-CMES-8000	阻容法	0~40%	-5.90%~0.40%
4	广州怡文	EST-CEM-2000	阻容法	0~40%	4.30%~10.50%

5	中煤科工	CEPM-40	阻容法	0~40%	-2.40%~7.50%
6	北京新叶	XYKJ-6000	阻容法	0~40%	3.40%~13.30%
7	上海北分	SBF1100	阻容法	0~40%	-4.90%~3.60%

(2) 排放标准

现行固定污染源排放标准均规定排放限值以干烟气为基准，因此含湿量成为废气测定的重要参数。

表 3 主要排放标准中含湿量相关要求^{[20]~[25]}

标准名称	标准要求
《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996) ^[20]	本标准规定的各项标准值，均以标准状态下的干空气为基准。
《火电厂大气污染物排放标准》 (GB13223-2011) ^[21]	本标准中所规定的大气污染物浓度均指标准状态下干烟气的数值。
《锅炉大气污染物排放标准》 (GB13271-2014) ^[22]	
《饮食业油烟排放标准》 (GB18483-2001) ^[23]	
《危险废物焚烧污染控制标准》 (GB 18484-2020) ^[24]	
《固定污染源废气(SO ₂ 、NO _x 、颗粒物)排放连续监测技术规范》(HJ75-2017)	含湿量正确度要求：烟气含湿量>5.0%时，相对误差不超过±25%；烟气含湿量≤5.0%时，绝对误差不超过±1.5%。
《固定污染源废气(SO ₂ 、NO _x 、颗粒物)排放连续监测技术要求及检测方法》(HJ76-2017) ^[25]	采用氧传感器通过测定烟气含氧量计算得到烟气含湿量。

3.3 与本标准的关系

表 4 国内外含湿量测定方法标准概况

国别	标准名称	标准特点	与本标准关系
美国	METHOD 4 “Determination of Moisture Content in Stack Gases”	参比方法为重量法，测定结果可参与污染物排放计算；近似方法为冷凝法，可供选择的方法包括干燥管法、干湿球法、冷凝法、化学计算法、经验法等。测定结果均不能直接参与污染物排放计算。	未规定电阻电容法为代表的仪器法测定方法。
	EMC ALT-008 Alternative Method Moisture Midget Impingers	EPA METHOD 4 的改进，属于重量法。	
欧盟	CSN EN14790: 2017 “Stationary Source Emissions-Determination of the Water Vapor in Ducts”	标准方法为冷凝吸湿法，也属于重量法，测定结果可参与污染物排放计算。	
中国	《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T 16157-1996)	根据不同的对象选用冷凝法、干湿球法或重量法中的一种方法测定。	
	《固定源废气监测技术规范》(HJ/T 397-2007)	定义了基于干湿球法原理的含湿量自动测定装置原理。其他冷凝法、干湿球法或重量法测定要求与 GB/T 16157 相同。	
	《固定污染源废气低浓度颗粒物的测定重量法》(HJ 836-2017)	冷凝法和重量法测定装置应符合 GB/T 16157 中冷凝法和重量法测定装置的要求；仪器法测定装置通常由采样单元、含湿量分析单元和数据处理与记录等单元构成，应具有	未明确仪器法的性能指标、测定方法和质量控制要求等。

		含湿量校准功能。	
	《含湿量测定方法》（GB/T 11605-2005） ^[26]	规定了用伸缩法、干湿球法、冷凝露点法、氯化锂露点法、电阻电容法、电解法和重量法测量气体的湿度。适用于工业、农业、气象、科研等领域的湿度测量。	

根据调研结果，国外固定污染源废气含湿量的测定方法主要为重量法，未发布电阻电容法相关方法标准，对本标准的制订工作不能提供直接的参考和借鉴。

国内已发布的电阻电容法相关标准中，GB/T11605 规定了环境空气含湿量的测定范围和基本方法，不适用于固定污染源废气。HJ 836 规定了废气中水分含量的测定方法为冷凝法、重量法和仪器法，取消干湿球法，其中只规定仪器法可用于低浓度颗粒物废气含湿量测定，未明确仪器法的性能指标、测定方法和质量控制要求等。

本标准在制定过程中，主要参考国内现有相关标准，同时依照 HJ 168 的有关规定，通过实验确定技术指标、仪器条件、方法干扰及质量保证和质量控制等内容，编制适用的固定污染源废气含湿量便携式电阻电容法方法标准。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订的基本原则

依照科学性、先进性和可操作性的原则，本标准制定依据《国家生态环境标准制修订工作规则》^[27]《国家生态环境监测标准预研究工作细则（试行）》^[28]《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）^[29]、《环境监测分析方法标准制修订技术导则》（HJ 168-2020）和《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）等的规定要求，体现其管理思路，将管理技术化和规范化。本标准制定符合以下要求：

（1）方法测定范围满足环保标准和环保工作的要求。

在我国现有标准、规定和实际要求的基础上，立足于国内生产的电阻电容法含湿量仪器，确定方法的检出限、测定下限和测定范围等。

（2）方法稳定可靠，满足各项方法特性指标的要求。

依照 HJ 168 的有关规定，开展实验室和现场实验，以保证方法切实稳定可靠，且能满足特性指标要求。

（3）方法具有普遍适用性，易于推广使用。

邀请设备厂商验证该方法适用的普遍性，以保证后期标准推广使用。

4.2 标准制订的技术路线

本标准的主要技术内容包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、方法原理、试剂和材料、仪器和设备、样品、分析步骤、结果表示、准确度、质量保证和质量控制及注意事项等。

在参考国内外文献资料基础上，通过验证实验确定方法检出限、测定下限、测定范围、精密度和正确度等方法特性指标，完善质量保证和质量控制内容，并进行方法比对和方法验证，保证方法的科学性、规范性和可操作性。本标准的制定技术路线如下。

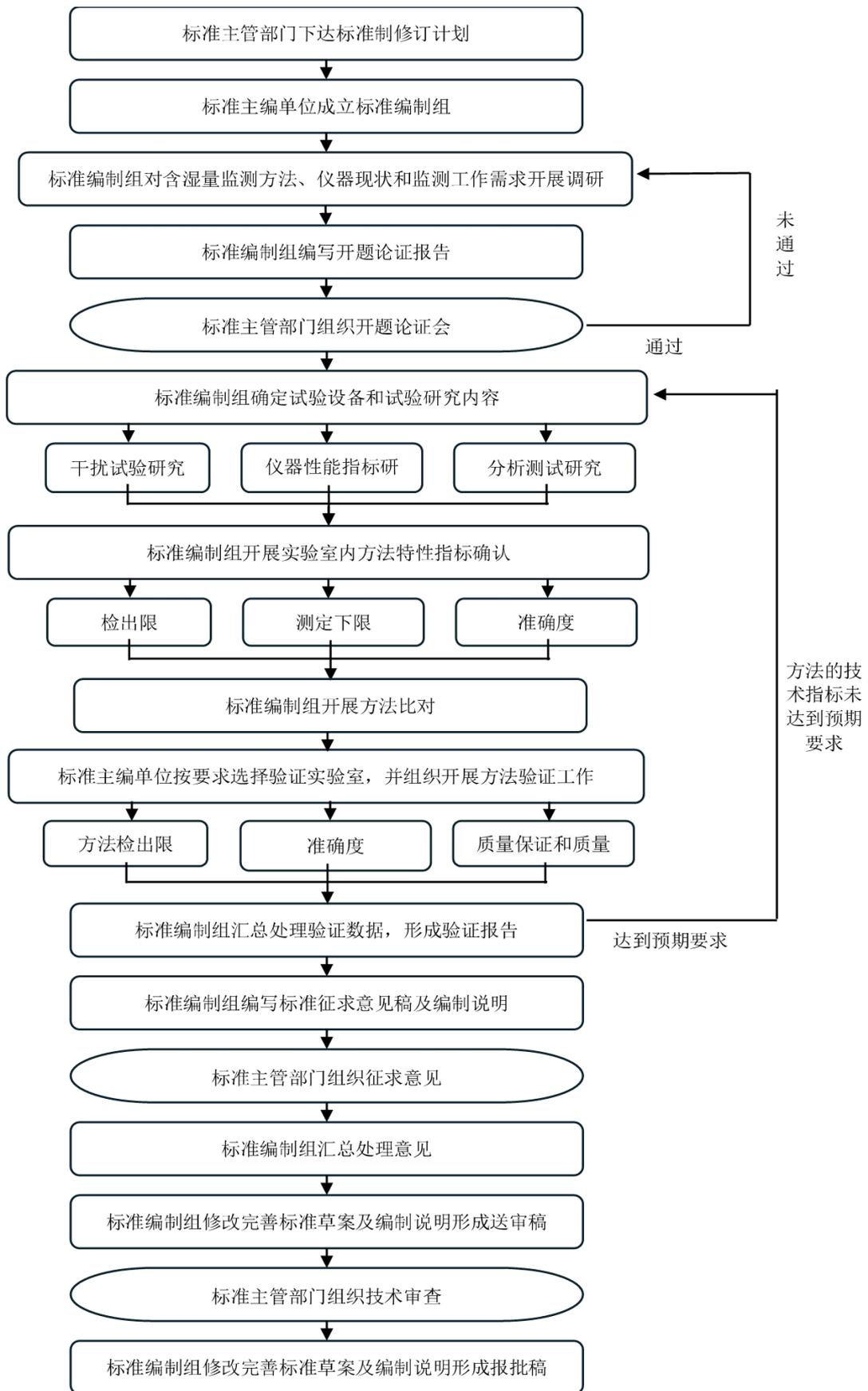


图 3 标准制订技术路线图

5 方法研究报告

5.1 方法研究目标

本标准研究的目的是制定测定固定污染源废气中含湿量的便携式电阻电容法标准。本标准制定过程中，严格按照开题论证确定的技术路线开展研究，达到了既定目标。

为了便于标准的使用以及结果的计算与表示等，通过方法研究实验和方法验证实验，明确了本标准的方法检出限、测定下限。

为了能够获得准确、可靠的监测数据，标准制定过程中加强质控技术研究，明确了质量保证和质量控制要求，规定了注意事项等。

标准制定过程中，编制组注重研究和提高方法的适用性，开展了干扰因子调查分析，进行了干扰实验，提出了干扰消除要求，达到了开题论证时确定的目标。

5.2 适用范围

本标准规定了测定固定污染源废气中含湿量的便携式电阻电容法。

本标准适用于固定污染源废气中含湿量的测定。进入电阻电容法传感器的废气温度高于 180℃时，本方法不适用。

方法检出限为 0.05%，测定下限为 0.20%，测定上限为 40.0%。

说明：

根据 HJ 168 第 8.6 条（适用范围应说明该标准适用的环境监测要素，目标物以及分析方法），规定“本标准规定了测定固定污染源废气中含湿量的便携式电阻电容法”。同时参考《固定污染源废气氨和氯化氢的测定便携式傅立叶变换红外光谱法》（HJ 1330-2023）^[30]、《固定污染源废气总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定便携式催化氧化-氢火焰离子化检测器法》（HJ 1331-2023）^[31]等标准，规定“本标准适用于固定污染源废气中含湿量的测定”。

根据调研情况，目前主要品牌电阻电容法传感器采用的镀膜高分子湿敏元件耐受温度不宜超过 180℃，为保证仪器正常运行，规定“进入电阻电容法传感器的废气温度应不高于 180℃”。对于超过 180℃的高温烟气，可采用延长杆控温后测量。

根据 HJ 168 第 8.6 条（适用范围中应说明被分析对象的检出限、测定下限和测定上限（必要时）或测定范围），验证实验含湿量检出限最大值为 0.02%，为确保方法可靠性并采取保守取值，规定“固定污染源废气中含湿量的检出限为 0.05%，测定下限为 0.20%”。

《湿度测量方法》（GB/T 11605-2005）规定“在-10℃-80℃条件下，电阻式湿度计的测量范围为 10% RH~90% RH；电容式湿度计的测量范围为 0% RH~100% RH”，经查饱和蒸气压表并根据理想气体状态方程计算，80℃下最大绝对湿度为 291.3g/m³，换算为体积浓度为 46.8%。根据市场调研，目前各主要品牌便携式电阻电容法仪器的标称测定上限均为 40%，且烟气含湿量测量仪校准规范规定的校准范围最高到 40.0%，因此规定“测定上限为 40.0%”。

5.3 规范性引用文件

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

HJ/T 397 固定源废气监测技术规范

说明：

依据标准的主要技术内容以及正文中引用到的标准情况，在规范性引用文件中列明。

5.4 术语和定义

为便于标准内容理解和使用，列出了含湿量、露点温度、校准量程、示值误差、零点漂移五个术语和定义。

说明：

依据 HJ 168 的规定，“术语和定义”是标准的可选要素。

(1) 含湿量的定义参考《空气和废气监测分析方法指南（上册）》的规定“烟气含湿量是指烟气中水蒸气的含量，通常用 1kg 干空气中含有的水蒸气量或湿空气中水蒸气含量的体积百分数表示”以及 JJF 1012 的规定“含湿量指气体中水蒸气的含量”。为保证本标准与其他固定污染源废气监测方法标准及排放标准更好地衔接，规定“含湿量又称水分含量”。

(2) 露点温度的定义参考 JJF1012。

(3) 校准量程的定义参考 HJ 1330 和 HJ 1331 等标准，规定：“仪器校准的含湿量上限，由校准用最高含湿量含湿气体的标称值确定，应小于或等于仪器的满量程”。

(4) 示值误差的定义参考 EPA method 7E^[32]、《固定污染源废气二氧化硫的测定定电位电解法》HJ 57^[33]和 HJ 1330 等标准，规定：“含湿气体直接导入仪器的测定结果与含湿气体标称值之间的绝对误差或相对误差”。

(5) 零点漂移的定义参考 HJ 1330 和 HJ 1331 等标准，规定：“样品测定前、后，仪器对同一零点气的测定结果的差值或差值与校准量程的百分比”。

5.5 方法原理

废气中的水蒸气进入湿敏电阻传感器或湿敏电容传感器，经感湿膜吸附扩散，传感器电阻值或电容量的变化与水蒸气相对湿度呈相关性，通过废气温度和压力关系曲线，计算废气中的含湿量。湿敏电阻传感器的电阻值与相对湿度呈指数或幂函数关系（公式 7）。湿敏电容传感器的电容值与相对湿度呈正相关关系（公式 8）。

$$R(RH) = R_0 \cdot e^{-k \cdot RH} \quad (\text{公式 7})$$

其中， $R(RH)$ -----电阻值， Ω ；

RH -----相对湿度，%RH；

R_0 -----基准电阻， Ω ；

k -----衰减常数。

$$C(RH) = C_0 + \alpha \cdot RH \quad (\text{公式 8})$$

其中， $C(RH)$ -----电容值，F；

RH -----相对湿度，%RH；

C_0 -----基准电容，F；

α -----感湿灵敏度。

说明：

湿敏元件在基片上覆盖一层感湿材料制成的膜，当空气中的水蒸气吸附在感湿膜上时，元件的阻容值发生变化，相对湿度与阻容值变化频率相关，利用这一特性可测量含湿量。湿敏元件分为电阻式和电容式，常用高分子材料有聚苯乙烯、聚酰亚胺、酪酸醋酸纤维等。

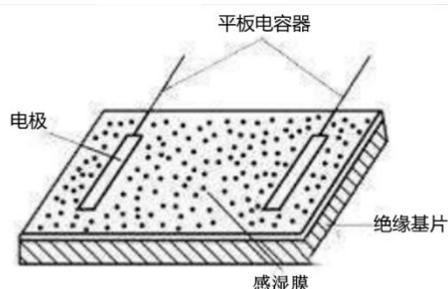


图 4 湿敏元件结构图

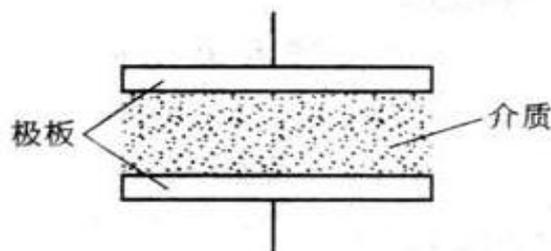


图 5 含水介质构成的平板电容器

电阻电容法传感器出厂前经测试生成温度、压力及相对湿度的关系曲线 $C=f(T, RH, P)$ ，各主机厂商在关系曲线的基础上，采用含湿气体发生装置作为基准，进一步修正曲线对应关系，建立适用的回归算法，再加入温度和压力补偿等，计算得到含湿量。

5.6 干扰和消除

依据开题论证意见，编制组开展了干扰因素调查分析和干扰实验等。

5.6.1 干扰因素

根据资料调研及应用经验，从方法原理分析没有明显的干扰因子。考虑到电阻电容法传感器可能受颗粒物、液态水或酸、碱性废气等废气常见组分的侵蚀或沾污，从而影响测定结果，因此开展上述因子的干扰实验。

5.6.2 仪器设备

表 5 干扰实验使用仪器设备

仪器名称	仪器型号	出厂编号	采样方式	性能状况
仪器 1#	HMSJ45P	ASC03GAP0023F07P2001	原位式	正常
仪器 2#	1062A	3u01061620	原位式	正常
仪器 3#	ZR-D13E	D13E40048836	抽取式	正常
仪器 4#	MH3041B	3041B0852221130	抽取式	正常
仪器 5#	HMS545P	GAP00232018070027	原位式	正常
仪器 6#	1062A	3u01061617	原位式	正常
仪器 7#	MH3041B	3041B0793221130	抽取式	正常
便携式湿度校准仪	PHG60H	ASM53GAR0078D01P010	含湿量发生范围：0~30%；准确度 ±1%；温度范围：0~180℃；响应时间 ≤90s	
高温标准湿度发生校准装置	HRHG508	/	含湿量发生范围 0~40%；准确度 ±0.2%；温度范围：0~180℃；响应时间 ≤120s	
低浓度粉尘仪检定装置	LYFJ-50B	/	粒径范围 <10 μm；浓度范围 0~50/1000mg/m ³ ；均匀性 ≤5%；响应时间 ≤15min；采样流量 25L/min	

5.6.3 干扰实验和结果

(1) 颗粒物干扰实验

待测仪器运行稳定后记录示值 a ，分别通入浓度为 10 mg/m^3 、 30 mg/m^3 、 60 mg/m^3 的颗粒物，拆卸仪器过滤装置，待示值稳定后记录示值 b ，重复测试 3 次，计算平均值。按下式计算每种干扰因素的影响 IE_i 。

$$IE_i = (\bar{b}_i - \bar{a})/R \quad (\text{公式 9})$$

式中： IE_i -----仪器测定第 i 种干扰因素的影响；

\bar{b}_i -----第 i 种干扰因素 3 次测定的平均值；

\bar{a} -----含湿气体 3 次测定平均值；

R -----仪器量程；

i -----测试干扰因素的序号。

(2) 液态水干扰实验

待测仪器运行稳定后，分别通入过饱和含湿气体（含有液态水），待示值稳定后记录示值 a ；在拆卸仪器过滤装置的情况下，待示值稳定后记录示值 b ，重复测试 3 次，计算平均值。

表 6 颗粒物干扰实验测试结果

干扰因素	次数	仪器 1# (%)		仪器 2# (%)	
		加装过滤器	拆卸过滤器	加装过滤器	拆卸过滤器
未发颗粒物	1	3.17	2.55	1.99	1.37
	2	3.12	2.48	1.98	1.37
	3	3.06	2.47	1.99	1.37
	平均值	3.12	2.50	1.99	1.37
	干扰影响	-	-1.54%	-	-1.54%
颗粒物 (10 mg/m^3)	1	0.10	0.10	1.00	1.00
	2	0.10	0.10	1.00	1.00
	3	0.10	0.10	1.00	1.00
	平均值	0.10	0.10	1.00	1.00
	干扰影响	-	0.00%	-	0.00%
颗粒物 (30 mg/m^3)	1	0.10	0.10	1.00	1.00
	2	0.10	0.10	1.00	1.00
	3	0.10	0.10	1.00	1.00
	平均值	0.10	0.10	1.00	1.00
	干扰影响	-	0.00%	-	0.00%
颗粒物 (60 mg/m^3)	1	0.10	0.10	1.00	1.00
	2	0.10	0.10	1.00	1.00
	3	0.10	0.10	1.00	1.00
	平均值	0.10	0.10	1.00	1.00
	干扰影响	-	0.00%	-	0.00%
干扰因素	次数	仪器 3# (%)		仪器 4# (%)	
		加装过滤器	拆卸过滤器	加装过滤器	拆卸过滤器
未发颗粒物	1	1.93	1.43	2.00	1.53
	2	1.93	1.41	2.01	1.53
	3	1.96	1.40	2.01	1.51
	平均值	1.94	1.41	2.01	1.52
	干扰影响	-	-1.32%	-	-1.21%
颗粒物 (10 mg/m^3)	1	0.70	0.60	0.85	0.7
	2	0.62	0.52	0.80	0.65
	3	0.63	0.50	0.78	0.64
	平均值	0.65	0.54	0.81	0.66

	干扰影响	-	-0.28%	-	-0.37%
颗粒物 (30mg/m ³)	1	0.60	0.52	0.73	0.67
	2	0.56	0.56	0.72	0.71
	3	0.56	0.58	0.72	0.74
	平均值	0.57	0.55	0.72	0.71
	干扰影响	-	-0.05%	-	-0.04%
颗粒物 (60mg/m ³)	1	0.52	0.65	0.70	0.77
	2	0.53	0.64	0.69	0.79
	3	0.52	0.68	0.69	0.81
	平均值	0.52	0.66	0.69	0.79
	干扰影响	-	0.33%	-	0.24%

表 7 液态水干扰实验测试结果

测试温度	次数	仪器 1# (%)		仪器 2# (%)	
		加装过滤器	拆卸过滤器	加装过滤器	拆卸过滤器
温度 60°C	1	22.8	22.7	21.3	21.5
	2	22.9	22.9	21.3	21.5
	3	22.8	22.8	21.3	21.5
	平均值	22.8	22.8	21.3	21.5
	干扰影响	-	-0.11%	-	0.45%
温度 80°C	1	34.3	34.2	32.6	32.8
	2	34.2	35.4	32.6	32.8
	3	34.3	35.55	32.6	32.8
	平均值	34.3	34.8	32.6	32.8
	干扰影响	-	1.35%	-	0.37%
测试温度	次数	仪器 3# (%)		仪器 4# (%)	
		加装过滤器	拆卸过滤器	加装过滤器	拆卸过滤器
温度 60°C	1	20.2	20.2	20.0	20.6
	2	20.2	20.3	20.1	20.7
	3	20.2	20.3	20.1	20.7
	平均值	20.2	20.3	20.1	20.7
	干扰影响	-	0.26%	-	1.50%
温度 80°C	1	30.0	29.6	29.9	31.1
	2	30.1	29.6	30.0	31.0
	3	30.1	29.6	30.0	31.1
	平均值	30.0	29.6	30.0	31.1
	干扰影响	-	-1.14%	-	2.75%

干扰测试结果显示，颗粒物的干扰影响范围为-1.54%~0.33%，液态水的干扰影响范围为-1.14%~2.75%，二者对含湿量测定结果影响均较小。

(3) 不同温度下酸性、碱性废气干扰实验

在 80°C 和 120°C 条件下，待仪器运行稳定后，通入含湿气体，记录仪器读数 a ；按照下表加入干扰因素，记录待测仪器读数 b 。含湿气体和每种干扰因素按上述操作重复测试 3 次，计算平均值 \bar{a} 和 \bar{b}_i ，计算每种干扰因素的影响 IE_i 。

表 8 酸、碱废气干扰因素

干扰类别	物质名称	测试浓度
酸、碱废气	二氧化硫 (SO ₂)	500 mg/m ³
	一氧化氮 (NO)	300 mg/m ³
	氨气 (NH ₃)	3 mg/m ³

表 9 80°C 干扰实验测试结果

干扰因素	次数	仪器 5# (%)	仪器 6# (%)
------	----	-----------	-----------

		含湿气体	混合气	含湿气体	混合气
SO ₂ (500mg/m ³)	1	4.47	4.50	5.19	5.24
	2	4.52	4.51	5.24	5.24
	3	4.53	4.51	5.25	5.24
	平均值	4.51	4.51	5.23	5.24
	干扰影响	-	0.00%	-	0.03%
NO (300mg/m ³)	1	4.41	4.56	5.10	5.31
	2	4.48	4.57	5.15	5.32
	3	4.56	4.58	5.27	5.32
	平均值	4.48	4.57	5.17	5.32
	干扰影响	-	0.22%	-	0.36%
NH ₃ (3mg/m ³)	1	4.52	4.59	5.17	5.41
	2	4.46	4.60	5.21	5.42
	3	4.48	4.61	5.24	5.42
	平均值	4.49	4.60	5.21	5.42
	干扰影响	-	0.28%	-	0.53%
SO ₂ (500mg/m ³)	1	12.6	13.1	14.5	15.1
	2	12.6	13.1	14.5	15.1
	3	12.6	13.1	14.5	15.1
	平均值	12.6	13.1	14.5	15.1
	干扰影响	-	1.13%	-	1.42%
NO (300mg/m ³)	1	12.6	12.9	14.5	14.9
	2	12.6	12.9	14.5	14.9
	3	12.6	12.9	14.5	14.9
	平均值	12.6	12.9	14.5	14.9
	干扰影响	-	0.78%	-	0.97%
NH ₃ (3mg/m ³)	1	12.6	12.8	14.5	14.8
	2	12.6	12.8	14.5	14.8
	3	12.6	12.8	14.5	14.8
	平均值	12.6	12.8	14.5	14.8
	干扰影响	-	0.49%	-	0.64%

表 10 120°C干扰实验测试结果

干扰因素	次数	仪器 5# (%)		仪器 6# (%)	
		含湿气体	混合气	含湿气体	混合气
SO ₂ (500mg/m ³)	1	3.52	3.56	2.55	2.87
	2	3.52	3.57	2.58	2.89
	3	3.53	3.56	2.59	2.90
	平均值	3.52	3.56	2.57	2.89
	干扰影响	-	0.10%	-	0.78%
NO (300mg/m ³)	1	3.53	3.41	2.58	3.03
	2	3.55	3.4	2.56	3.02
	3	3.48	3.39	2.57	3.03
	平均值	3.52	3.40	2.57	3.03
	干扰影响	-	-0.30%	-	1.14%
NH ₃ (3mg/m ³)	1	3.55	3.63	2.58	3.13
	2	3.56	3.62	2.58	3.14
	3	3.55	3.61	2.53	3.13
	平均值	3.55	3.62	2.56	3.13
	干扰影响	-	0.17%	-	1.43%
SO ₂ (500mg/m ³)	1	10.7	10.6	11.9	11.9
	2	10.7	10.6	11.9	11.9
	3	10.7	10.5	11.9	11.9
	平均值	10.7	10.6	11.9	11.9
	干扰影响	-	-0.40%	-	-0.01%
NO (300mg/m ³)	1	10.7	10.5	11.9	11.8
	2	10.7	10.5	11.9	11.8
	3	10.7	10.5	11.9	11.8
	平均值	10.7	10.5	11.9	11.8
	干扰影响	-	-0.46%	-	-0.21%

NH ₃ (3mg/m ³)	1	10.7	10.4	11.8	11.8
	2	10.7	10.4	11.8	11.8
	3	10.7	10.4	11.8	11.8
	平均值	10.7	10.4	11.8	11.8
	干扰影响	-	-0.70%	-	-0.09%

干扰测试结果显示，SO₂的干扰影响范围为-0.40%~1.42%，NO的干扰影响范围为-0.46%~1.14%，NH₃的干扰影响范围为-0.70%~1.43%。常见酸、碱废气对含湿量测定结果影响均未超过±2%，不需要采取消除干扰措施。

(4) 混合气体干扰实验

待仪器（7#）运行稳定后，分别通入 5.09%、15.8%和 30.1%的含湿气体，记录仪器读数 a；按照下表加入干扰因素，记录待测仪器读数 b。按上述操作重复测试 3 次，计算每种干扰因素的影响 IE_i。

表 11 混合气体干扰因素

干扰类别	物质名称	测试浓度 (mg/m ³)
混合气体 1	NO、CO、SO ₂ 混合气体	NO 67\CO 6250\SO ₂ 143
混合气体 2	NO、CO、SO ₂ 、C ₃ H ₈	NO 26.8\CO 2500\SO ₂ 57\ C ₃ H ₈ 160
混合气体 3	NO、CO、SO ₂ 、NH ₃	NO 26.8\CO 2500\SO ₂ 57\NH ₃ 10
混合气体 4	C ₃ H ₈ 、NH ₃	C ₃ H ₈ 160\NH ₃ 30

表 12 混合气体干扰实验测试结果

次数	含湿气体	混合气体 1	混合气体 2	混合气体 3	混合气体 4
1	5.08	5.05	5.06	5.09	5.07
2	5.11	5.03	5.03	5.04	5.04
3	5.07	4.99	5.04	5.09	5.02
平均值	5.09	5.02	5.04	5.07	5.04
干扰影响	-	-1.25%	-0.85%	-0.26%	-0.85%
1	15.8	15.5	15.6	15.6	15.6
2	15.8	15.6	15.6	15.6	15.6
3	15.7	15.6	15.6	15.6	15.6
平均值	15.8	15.6	15.6	15.6	15.6
干扰影响	-	-1.27%	-1.06%	-1.06%	-1.06%
1	30.3	30.5	30.2	30.5	29.7
2	29.8	30.3	30.1	30.5	29.8
3	30.3	30.5	30.4	30.2	30.0
平均值	30.1	30.4	30.2	30.4	29.8
干扰影响	-	1.00%	0.33%	0.88%	-1.00%

干扰测试结果显示，NO、CO、SO₂混合气体的干扰影响范围为-1.27%~1.00%；NO、CO、SO₂、C₃H₈混合气体为-1.06%~0.33%；NO、CO、SO₂、NH₃混合气体为-1.06%~0.88%；C₃H₈、NH₃混合气体为-1.06%~-0.85%。各种混合气体对含湿量测定结果影响均未超过±2%，不需要采取消除干扰措施。

5.7 试剂和材料

零点气：纯度≥99.999%的氮气，其含湿量（体积分数）≤3×10⁻⁶。

说明：

为确保电阻电容法仪器的准确性和可靠性，本标准中规定了零点漂移核查要求，需要用到零点气。零点气应具备质量合格、价格合理且获取方便等特点。根据 GB/T 8979-2008

表 1 规定，纯度 $\geq 99.999\%$ 的纯氮气水分含量（体积分数） $\leq 0.0003\%$ ，适合用作零点气。标准物质证书通常不直接列出水分含量，可要求标准气体供应商提供全项分析报告。

5.8 仪器和设备

5.8.1 仪器组成

便携式电阻电容法含湿量测定仪（以下简称“仪器”）分为原位式和抽取式。原位式仪器一般由预处理单元、分析单元、数据采集和处理单元组成。预处理单元包括颗粒物过滤器和加热装置等；分析单元包括湿敏电阻传感器或湿敏电容传感器等；数据采集和处理单元包括存储设备、分析软件和打印机等。抽取式仪器一般由采样单元、预处理单元、分析单元、数据采集和处理单元组成。采样单元包括采样管、导气管、抽气泵和流量计等，其他单元与原位式相同。

说明：

仪器组成参考 HJ 1330 和 HJ 1331 中相关内容，结合主要品牌仪器的结构组成，并经主要仪器厂商确认。预处理单元、分析单元、数据采集和处理单元是原位式和抽取式仪器的通用结构组成。预处理单元中颗粒物过滤器可防止样品中的颗粒物堵塞管线及沾污传感器。加热装置是对传输管线进行加热的设备，防止水分冷凝。分析单元主要包括电阻电容法传感器，要求具备校准功能。数据采集和处理单元实现数据采集和数据处理，应具备记录存储、分析和打印功能。抽取式仪器还包括采样单元，其中采样管是前端进气部分，导气管是连接采样管和分析单元的管路，抽气泵提供动力，流量计确保按照规定流量抽取废气。

5.8.2 性能要求

仪器应满足以下性能要求：

（1）示值误差：校准量程 $\leq 5.00\%$ 时，绝对误差在 $\pm 0.50\%$ 以内；校准量程 $> 5.00\%$ 时，相对误差在 $\pm 10\%$ 以内。

（2）零点漂移：校准量程 $\leq 5.00\%$ 时，绝对误差在 $\pm 0.20\%$ 以内；校准量程 $> 5.00\%$ 时，相对误差在 $\pm 4\%$ 以内。

（3）响应时间： ≤ 60 秒。

（4）采样单元和预处理单元应具备加热保温功能，加热温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，所用材质应耐高温、防腐蚀，宜采用不锈钢或钛合金等材质；颗粒物过滤器应至少能过滤 $50\text{ }\mu\text{m}$ 粒径的颗粒物。

（5）数据存储容量能够满足工作要求，存储时长不低于 1 年。

说明：

（1）示值误差

为测试仪器的性能要求，编制组对平均含湿量分别为 3.67%、8.55%、16.3%、21.6%、35.4%和 40.0%的含湿气体开展了示值误差实验。

$$\text{绝对误差: } L_{ei} = \overline{C_{di}} - C_{si} \quad (\text{公式 10})$$

$$\text{相对误差: } L_{ei} = \frac{(\overline{C_{di}} - C_{si})}{C_{si}} \times 100\% \quad (\text{公式 11})$$

式中： L_{ei} -----待测仪器测定第 i 种含湿气体的示值误差；

C_{si} -----第 i 种含湿气体含湿量标称值；

$\overline{C_{di}}$ -----待测仪器测定第 i 种含湿气体 6 次测定平均值；

i-----测定含湿气体序号 (i=1~6)。

表 13 平均含湿量 3.67%的含湿气体示值误差测试结果

序号	含湿气体 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)	仪器 4# (%)
1	3.68	3.90	3.75	3.82	3.83
2	3.67	3.89	3.74	3.96	3.84
3	3.66	3.89	3.73	4.03	3.83
4	3.65	3.93	3.72	4.11	3.84
5	3.67	3.90	3.71	4.10	3.84
6	3.68	3.94	3.68	4.05	3.93
平均值	3.67	3.91	3.72	4.01	3.85
绝对误差	-	0.24	0.05	0.34	0.18
相对误差	-	6.54%	1.45%	9.36%	5.00%
标准偏差	-	0.02	0.02	0.11	0.04
相对标准偏差	-	0.55%	0.67%	2.70%	1.00%

表 14 平均含湿量 8.55%的含湿气体示值误差测试结果

序号	含湿气体 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)	仪器 4# (%)
1	8.55	8.36	8.02	8.50	8.65
2	8.56	8.34	8.03	8.53	8.63
3	8.54	8.37	8.03	8.60	8.64
4	8.55	8.38	8.04	8.61	8.65
5	8.56	8.40	8.02	8.60	8.95
6	8.55	8.39	8.05	8.61	8.96
平均值	8.55	8.37	8.03	8.58	8.75
绝对误差	-	-0.18	-0.52	0.02	0.19
相对误差	-	-2.09%	-6.08%	0.27%	2.28%
标准偏差	-	0.02	0.01	0.05	0.16
相对标准偏差	-	0.26%	0.15%	0.56%	1.85%

表 15 平均含湿量 16.3%的含湿气体示值误差测试结果

序号	含湿气体 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)	仪器 4# (%)
1	16.3	16.1	15.9	15.4	16.1
2	16.4	16.1	15.9	15.3	16.2
3	16.4	16.1	15.9	15.4	16.2
4	16.4	16.1	15.9	15.3	16.3
5	16.3	16.1	15.9	15.3	16.1
6	16.4	16.2	15.9	15.4	16.3
平均值	16.3	16.1	15.9	15.3	16.2
绝对误差	-	-0.23	-0.42	-1.01	-0.15
相对误差	-	-1.41%	-2.56%	-6.15%	-0.91%
标准偏差	-	0.02	0.01	0.01	0.09
相对标准偏差	-	0.14%	0.05%	0.05%	0.55%

表 16 平均含湿量 21.6%的含湿气体示值误差测试结果

序号	含湿气体 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)	仪器 4# (%)
1	21.6	21.3	20.1	22.6	20.5
2	21.6	21.4	20.1	22.6	20.5
3	21.6	21.4	20.1	22.6	20.4

4	21.6	21.4	20.1	22.6	20.4
5	21.6	21.2	20.1	22.6	20.5
6	21.6	21.3	20.0	22.6	20.5
平均值	21.6	21.3	20.1	22.6	20.5
绝对误差	-	-0.29	-1.54	0.97	-1.15
相对误差	-	-1.32%	-7.13%	4.50%	-5.30%
标准偏差	-	0.07	0.04	0.02	0.05
相对标准偏差	-	0.31%	0.19%	0.10%	0.24%

表 17 平均含湿量 35.4%的含湿气体示值误差测试结果

序号	含湿气体 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)	仪器 4# (%)
1	35.1	34.8	35.1	35.7	37.0
2	35.4	35.1	35.1	35.7	37.1
3	35.6	34.8	35.1	35.8	37.2
4	35.4	35.1	35.1	35.7	37.1
5	35.4	35.3	35.1	35.7	37.1
6	35.4	35.2	35.1	35.7	37.2
平均值	35.4	35.1	35.1	35.7	37.1
绝对误差	-	-0.33	-0.28	0.33	1.73
相对误差	-	-0.94%	-0.80%	0.94%	4.90%
标准偏差	-	0.21	0.00	0.04	0.08
相对标准偏差	-	0.59%	0.00%	0.12%	0.21%

表 18 平均含湿量 39.9%的含湿气体示值误差测试结果

序号	含湿气体 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)	仪器 4# (%)
1	40.1	39.1	38.8	40.2	42.2
2	40.1	38.9	38.8	40.2	42.2
3	39.8	38.9	38.8	40.3	42.2
4	39.8	40.3	38.8	40.2	41.3
5	39.7	40.4	38.8	40.3	41.4
6	39.9	40.3	38.8	40.2	41.4
平均值	39.9	39.7	38.8	40.2	41.8
绝对误差	-	-0.25	-1.10	0.33	1.88
相对误差	-	-0.63%	-2.76%	0.84%	4.72%
标准偏差	-	0.75	0.00	0.05	0.46
相对标准偏差	-	1.89%	0.00%	0.13%	1.15%

测定平均含湿量为 3.67%含湿气体时，绝对误差范围为 0.05%~0.34%，相对误差范围为 1.45%~9.36%；测定平均含湿量为 8.55%含湿气体时，绝对误差范围为-0.52%~0.19%，相对误差范围为-6.08%~2.28%；测定平均含湿量为 16.3%含湿气体时，绝对误差范围为-1.01%~-0.15%，相对误差范围为-6.15%~-0.91%；测定平均含湿量为 21.6%含湿气体时，绝对误差范围为-1.54%~0.97%，相对误差范围为-7.13%~4.50%；测定平均含湿量为 35.4%含湿气体时，绝对误差范围为-0.33%~1.73%，相对误差范围为-0.94%~4.90%。测定平均含湿量为 39.9%含湿气体时，绝对误差范围为-1.10%~1.88%，相对误差范围为-2.76%~4.72%。

考虑到不同类别固定污染源废气含湿量差异较大，借鉴 HJ1330 和 HJ1331 等便携式仪器标准要求，拟按不同含湿量区间确定性能要求。基于常见含湿量分布及现场监测经验，并参考 HJ75 的示值误差要求并考虑不同类别固定污染源废气含湿量的特征，拟分为“≤5.00%”（主要为工艺废气及干法末端处理设施排气）以及“5.00%”（主要为湿法末端处理设施排气）两个区间。

在“≤5.00%”区间，以绝对误差不超过±0.50%为评价要求。测试结果 100%符合要求。该评价要求也严于 HJ 75（烟气含湿量≤5.0%时，绝对误差不超过±1.5%）；以相对误差不超过±10%为评价要求，测试结果只有 87.5%符合要求，因此该区间采用绝对误差作为评价要求。

在“>5.00%”区间，以相对误差不超过±10%为评价要求。测试结果 100%符合要求，该评价要求明显严于 HJ75（烟气含湿量>5.0%时，相对误差不超过±25%）。以绝对误差不超过±0.50%为评价要求，测试结果仅有 55.0%符合要求，因此该区间采用相对误差作为评价要求。

(2) 零点漂移

待仪器运行稳定后，通入零点气，记录仪器稳定读数，连续记录 3 个数据，取平均值为 \bar{Z} ；然后通入含湿量为 27.5%的含湿气体，仪器正常工作运行 1h（期间不允许任何校准和维护）后通入同一零点气，记录仪器稳定读数，连续记录 3 个数据，取平均值为 \bar{Z}' 。按下式计算待测仪器零点漂移的绝对误差或相对误差。

$$\Delta Z = \bar{Z}' - \bar{Z} \quad (\text{公式 12})$$

$$Z_d = \frac{\Delta Z}{C.S.} \times 100\% \quad (\text{公式 13})$$

式中： ΔZ ——零点漂移绝对误差，%；

\bar{Z} ——零点初始值，%；

\bar{Z}' ——1 h 后零点最终值，%；

Z_d ——零点漂移相对误差，%；

C.S.——校准量程，%。

表 19 零点漂移测试结果

序号	仪器 1# (%)		仪器 2# (%)		仪器 3# (%)		仪器 4# (%)	
	初始值 \bar{Z}	最终值 \bar{Z}'	初始值 \bar{Z}	最终值 \bar{Z}'	初始值 \bar{Z}	最终值 \bar{Z}'	初始值 \bar{Z}	最终值 \bar{Z}'
1	0.14	0.15	0.18	0.16	0.18	0.13	0.14	0.12
2	0.13	0.15	0.16	0.15	0.13	0.12	0.14	0.15
3	0.14	0.13	0.16	0.17	0.13	0.13	0.14	0.14
平均值	0.137	0.143	0.167	0.160	0.147	0.127	0.140	0.137
绝对误差 (%)	0.006		-0.007		-0.020		-0.003	
相对误差 (%)	0.02		-0.02		-0.07		-0.01	

4 台测试仪器 1 h 零点漂移绝对误差范围为 -0.020%~0.007%；相对误差范围为 -0.07%~0.02%，规定校准量程≤5.00% 时，绝对误差在±0.10%以内；校准量程>5%时，相对误差在±2%以内。

(3) 响应时间

待测仪器运行稳定后，通入含湿气体，读数稳定后记录 C_i 。通入零气，待零点读数稳定后，再次通入含湿气体，同时用秒表开始计时；当仪器读数上升至 90% C_i 时停止计时，记录所用时间即为仪器的响应时间，重复操作 3 次，计算平均值。

表 20 响应时间测试结果

仪器	含湿气体 C_i (%)	测定结果	
		t90 (秒)	平均值 (秒)
仪器 1#	19.0	39.7	37.5

	19.1	36.6	
	19.2	36.3	
仪器 2#	18.0	32.9	32.3
	18.0	32.1	
	18.0	31.8	
仪器 3#	17.6	10.0	7.9
	17.6	6.8	
	17.6	7.0	
仪器 4#	19.6	32.0	33.5
	19.3	42.8	
	19.3	25.7	

仪器的响应时间均小于 60 秒，因此规定响应时间 \leq 60 秒。

(4) 采样和预处理

发出含湿量为 5.00%、15.0%和 30.0%左右的含湿气体，将便携式电阻电容法仪器的加热温度分别设置为 80℃、100℃、120℃和 160℃，测定不同加热温度下的含湿量，计算各含湿量的示值误差。

表 21 加热温度测试结果

仪器加热温度 (℃)	测试编号	含湿气体含湿量 (%)	仪器 1# (%)	仪器 2# (%)	仪器 3# (%)
80	1	5.08	5.04	5.08	5.14
	2	5.08	5.00	5.08	5.15
	3	5.08	4.97	5.08	5.14
	平均值	5.08	5.00	5.08	5.14
	绝对误差	-	-0.08	0.00	0.06
	相对误差	-	-1.51%	0.00%	1.25%
	1	15.7	15.5	15.8	15.6
	2	15.7	15.5	15.7	15.6
	3	15.7	15.6	15.8	15.7
	平均值	15.7	15.5	15.8	15.6
	绝对误差	-	-0.17	0.07	-0.07
	相对误差	-	-1.06%	0.42%	-0.42%
	1	29.5	28.5	29.5	29.8
	2	29.5	28.5	29.4	29.9
	3	29.5	28.5	29.4	29.8
	平均值	29.5	28.5	29.4	29.8
	绝对误差	-	-1.00	0.933	0.35
	相对误差	-	-3.39%	3.27%	1.18%
100	1	5.08	4.97	5.15	5.21
	2	5.08	4.97	5.13	5.23
	3	5.08	4.97	5.17	5.22
	平均值	5.08	4.97	5.15	5.22
	绝对误差	-	-0.11	0.07	0.14
	相对误差	-	-2.17%	1.38%	2.76%
	1	15.7	15.5	15.8	15.3
	2	15.7	15.5	15.8	15.4
	3	15.7	15.5	15.8	15.4
	平均值	15.7	15.5	15.8	15.4

	绝对误差	-	-0.20	0.10	-0.35
	相对误差	-	-1.27%	0.64%	-2.21%
	1	29.5	29.5	29.3	29.22
	2	29.5	29.4	29.4	29.4
	3	29.5	29.4	29.3	29.4
	平均值	29.5	29.4	29.3	29.3
	绝对误差	-	-0.067	-0.17	-0.15
	相对误差	-	-0.23%	-0.56%	-0.52%
120	1	5.08	4.96	5.10	5.37
	2	5.08	4.97	5.10	5.37
	3	5.08	4.97	5.09	5.37
	平均值	5.08	5.0	5.10	5.37
	绝对误差	-	-0.11	0.02	0.29
	相对误差	-	-2.23%	0.33%	5.71%
	1	15.7	15.7	15.8	15.81
	2	15.7	15.7	15.9	15.76
	3	15.7	15.6	15.8	15.71
	平均值	15.7	15.7	15.8	15.76
	绝对误差	-	-0.03	0.13	0.06
	相对误差	-	-0.21%	0.85%	0.38%
	1	29.5	29.1	29.50	28.91
	2	29.5	29.2	29.50	28.88
	3	29.5	29.3	29.50	28.90
	平均值	29.5	29.2	29.50	28.90
	绝对误差	-	-0.30	0.00	-0.60
	相对误差	-	-1.02%	0.00%	-2.05%
160	1	5.08	4.9	5.11	-
	2	5.08	4.89	5.12	-
	3	5.08	4.9	5.11	-
	平均值	5.08	4.90	5.11	-
	绝对误差	-	-0.183	0.03	-
	相对误差	-	-3.61%	0.66%	-
	1	15.7	15.8	15.9	-
	2	15.7	15.7	15.9	-
	3	15.7	15.6	15.9	-
	平均值	15.7	15.7	15.9	-
	绝对误差	-	0.00	0.20	-
	相对误差	-	0.00%	1.27%	-
	1	29.5	29.6	29.4	-
	2	29.5	29.6	29.4	-
	3	29.5	29.6	29.4	-
	平均值	29.5	29.6	29.4	-
	绝对误差	-	0.10	-0.10	-
	相对误差	-	0.34%	-0.34%	-

3台测试仪器设置加热温度为100℃时相对误差范围为-2.21%~2.76%，偏差最小，仪器响应最稳定，且可以保证测量过程中均高于烟气露点温度，不发生冷凝影响测量结果。经调研，各主要品牌仪器均可以设置到100℃，因此规定“加热温度为100℃±5℃”。

规定仪器适用材质，减少水分吸附。明确颗粒物过滤器粒径要求，防止颗粒物损坏传感器。根据调研结果，市售主要品牌仪器的颗粒物滤芯粒径范围为2~50 μm。另外根据干扰实验结果，颗粒物影响范围仅为-1.54%~0.33%，说明颗粒物对含湿量测量结果没有明显影响。因此规定“过滤器应至少能过滤50 μm粒径的颗粒物”。

(5) 数据存储

仪器存储容量应满足常规使用要求。为确保监测数据可溯源，参照《关于加强技术防控提升排污单位自行监测质量的通知》（环办监测函〔2024〕214号）要求，规定数据存储时长不低于1年。

5.9 样品

按照GB/T 16157、HJ/T 397等有关规定，确定采样位置、测点及频次，测定含湿量。

说明：

GB/T 16157、HJ/T 397等标准规定了固定污染源废气采样要求，因此含湿量测定参考上述标准确定采样位置和测点。

5.10 分析步骤

测试准备：原位式仪器按照使用说明书连接各组成单元，开启仪器，待仪器运行稳定后，将零点气导入仪器，按照使用说明书规定的步骤进行零点检查。抽取式仪器按照使用说明书连接各组成单元，开启仪器，待仪器运行稳定后，按照使用说明书操作步骤开展气密性检查。若气密性检查不合格，应查漏和维护，直至检查合格。再以仪器规定的采样流量将零点气导入仪器，按照仪器使用说明书规定的步骤进行零点检查。

含湿量测定：将采样管前端置于排气筒中并尽量靠近中心位置，封堵采样孔。待仪器运行稳定后开始按分钟保存测定数据，取至少连续5min测定数据的平均值作为一次测定值。

仪器关机：测定完成后，将采样管前端置于环境空气中清洗仪器，待其示值稳定后关闭电源，断开仪器各部分连接，结束测定。

说明：

根据含湿量的分布特点及现场监测技术要求，规定分析步骤。测试准备主要包括连接设备、开展零点检查和气密性检查，检查合格后才能继续下一步操作，如检查不合格，需要对仪器进行维护，直至检查合格。参照零点漂移测试结果（表19），原位式和抽取式仪器零点检查结果应不超过0.20%。抽取式仪器气密性检查可采用密封堵头堵住前端进气口，若2min内流量归零或内部压力达到-20kPa以上，表明气密性合格。

因固定污染源中含湿量通常较均匀，将采样管前端置于排气筒中，放到采样点位即可。但要确保采样孔堵严，防止外界空气吸入排气筒，引起管道流场紊乱影响测定。为保证标准的科学性和实用性，要求仪器运行稳定后方可开始测量，并规定了测量时长。在一次测定过程中，不合理的分钟数据应剔除舍弃。

电阻电容法仪器长时间连续测定高含湿量环境后直接断电，残留的水蒸气可能冷凝损坏传感器。为更好地保护传感器，延长仪器使用寿命，提高数据准确性，要求测定完成后，将仪器探头取出，置于环境空气中，清洗仪器，当仪器读数稳定在环境空气的含湿量后，确认清洗完成。

5.11 结果表示

以%表示。当测定结果 $<10.0\%$ 时，保留至小数点后2位；当测定结果 $\geq 10.0\%$ 时，保留3位有效数字。

说明：

为规范结果表示，根据主要品牌仪器的示值分辨率，参考HJ 1330等便携式仪器标准要求，规定了不同含湿量区间测定结果保留的有效数字。

当结果低于方法检出限时应按照环境监测报告制度有关规定执行，本标准不另行规定。

5.12 质量保证和质量控制

(1) 期间核查要求

仪器使用期间，每半年至少核查1次零点漂移和示值误差。使用零点气核查1h零点漂移；使用含湿气体发生装置发生含湿气体的方式核查示值误差，填写附录A。对于长期未使用的仪器（超过半年），应在下次使用前核查零点漂移和示值误差，核查结果应符合6.1.2的要求，若核查结果不符合要求，应及时调整、维护或修复仪器，直至符合要求方可使用。当仪器使用频次较高，或者现场监测条件较为恶劣时，应适当缩短核查周期，增加核查次数。

说明：

由于使用频率高、废气工况复杂等原因，仪器在较长时间使用后，零点和量程可能发生漂移，影响测定结果的准确性。为了解仪器状态，维护仪器设备在两次校准期间的可信度，减少由于仪器稳定性变化造成的结果偏差，有必要在两次周期检定（校准）之间进行性能核查。核查指标为仪器性能要求的零点漂移和示值误差，结果应满足标准6.1.2的要求。根据仪器应用情况和相关技术规范现状，规定期间核查采用以下方式。含湿气体发生装置发出低（约5.00%）、中（约12.0%）、高（约25.0%）含湿气体样品，也可根据需要确定含湿气体样品的含湿量。采用电阻电容法仪器直接测定，每种样品分别测定3次，参照附录A计算绝对误差或相对误差。含湿气体发生装置采用校准或传递标准校准方式开展计量溯源。校准可委托符合《计量校准管理办法》要求的机构开展。中国环境监测总站和部分计量院均可以开展便携式电阻电容法含湿量测定仪的传递标准进行校准或者计量，基本流程如下图。

(2) 含湿气体发生装置要求

含湿气体发生装置可采用高温精密露点仪和高温湿度标准箱或其他等同装置（技术指标要求见附录B）。各技术指标校准方法参照相关计量校准规范，计量校准规范发布后从其规定。

说明：

含湿气体用于电阻电容法仪器的核查。含湿气体的含湿量与温度、压力等相关，难以长期保持稳定，需通过含湿气体发生装置现场发出。根据市场调研，主要采用高温精密露点仪或高温湿度标准箱。为保证含湿气体含湿量的准确性和稳定性，参考《阻容法露点湿度计校准规范》（JJF1272-2011）^[34]《温湿度标准箱校准规范》（JJF1564-2016）^[35]和《精密露点仪检定规程》（JJG499-2021）^[36]《阻容法烟气含湿量测定仪校准规范》（JJF（新）129-2024）《污染源烟气温压流湿监测仪校准规范》（JJF（蒙）089-2024）《阻容法烟气含湿量检测器校准技术规范》（T/SBX 094-2024）《烟气含湿量测量仪校准规范》（送审稿）等相关校准规范，规定了高温精密露点仪的露点温度测量范围、最大允许误差和重复性要求，以及高温湿度标准箱的露点温度范围、露点均匀度、20min内露点温度波动度和2min间露点温度波动度。

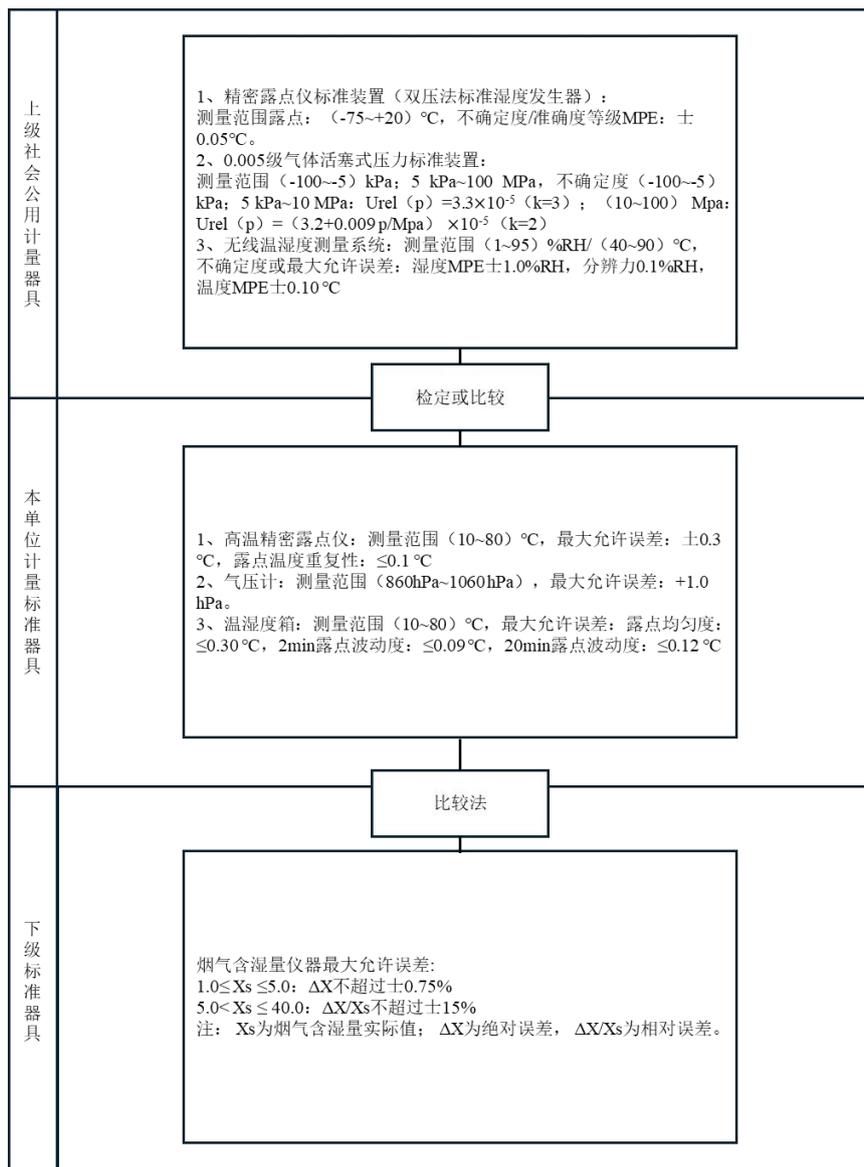


图 6 传递标准基本流程

5.13 注意事项

本标准根据固定污染源废气现场监测质量保证和质量控制相关技术规范的各项要求，结合便携式电阻电容法仪器的特性，提出了两项注意事项。

5.14 附录

附录 A：仪器性能核查记录

附录 B：含湿气体发生装置技术指标要求

说明：

为获得准确、可靠的监测结果，以资料性附录 A 的形式明确了核查方法要求及结果记录，以资料性附录 B 的形式明确了含湿气体发生装置技术指标要求，便于标准的使用。

6 方法比对

6.1 方法比对方案

按照 HJ 168 要求，方法标准中的目标化合物已有现行环境监测分析方法标准的，应将新方法标准与现行标准进行比对。重量法是公认的含湿量测定经典方法，适用于各类固定污染源废气。而干湿球法作为应用最广泛的测定方法，适用于低温低湿固定污染源废气的测定。因此，标准编制组以重量法和干湿球法作为方法比对的参比方法，方法依据为 GB/T 16157 和 HJ/T 397。比对场景选择冷轧电镀酸雾废气（烟温 32℃）、钢铁废气（烟温 117℃）、生活垃圾焚烧厂废气（烟温 151℃）和化工废气（烟温 480℃）。其中化工废气比对时，电阻电容法仪器前端加装控温装置，确保进入仪器的烟气温度不高于 180℃；未采用干湿球法作为参比方法。每个场景测得 7 组配对测定数据，以重量法单个样品测量时段作为每组数据对的测量时段。

按照 HJ 168 关于方法比对结果评价规定，当新制订的方法标准中涉及的目标化合物已有现行方法标准的，应将新方法标准与现行方法标准进行测定结果的显著性差异检验。本标准采用配对样品 t 检验法，分别判断电阻电容法与参比方法的测定结果是否具有显著差异。置信度为 95%时（ $\alpha=0.05$ ，双侧），t 检验法的计算见下式。

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}} \sim t_{(n-1, 0.95)} \quad (\text{公式 14})$$

式中： \bar{d} -----配对差值算术平均值；

S_d -----配对差值的标准差；

n -----样本数量。

6.2 方法比对结果

表 22 方法比对结果

污染源	样品编号	电阻电容法 (%)	重量法 (%)	干湿球法 (%)	电阻电容法和重量法配对差值 (%)	电阻电容法和干湿球法配对差值 (%)
冷轧电镀酸雾废气（烟温 32℃）	1	1.44	1.36	1.50	0.08	-0.06
	2	1.71	1.34	1.60	0.37	0.11
	3	1.69	1.23	1.60	0.46	0.09
	4	1.59	1.40	1.60	0.19	-0.01
	5	1.52	1.51	1.60	0.01	-0.08
	6	1.49	1.52	1.60	-0.03	-0.11
	7	1.50	1.40	1.60	0.10	-0.10
	平均值	1.56	1.39	1.59	0.17	-0.02
	相对误差	-	-	-	12.23%	-1.3%
	标准偏差	-	-	-	0.184	0.090
t	-	-	-	2.424	-0.671	
显著性（双侧）	-	-	-	0.052	0.527	
钢铁废气（烟温 117℃）	1	14.7	14.4	13.7	0.3	1.0
	2	14.9	14.0	13.7	0.8	1.2
	3	15.0	13.9	13.7	1.0	1.3
	4	15.0	14.1	13.7	0.9	1.3
	5	15.0	16.7	13.7	-1.7	1.3
	6	15.0	16.4	14.0	-1.4	1.0
	7s	15.0	16.2	14.3	-1.2	0.7
	平均值	14.9	15.1	13.8	-0.2	1.1

	相对误差	-	-	-	-1.19%	7.80%
	标准偏差	-	-	-	1.204	0.235
	t	-	-	-	-0.386	12.151
	显著性（双侧）	-	-	-	0.713	0.000
生活垃圾焚烧厂废气 （烟温 151℃）	1	23.2	20.2	22.3	3.1	0.9
	2	23.4	25.0	26.7	-1.5	-3.3
	3	22.9	22.2	25.0	0.7	-2.1
	4	22.0	21.6	23.5	0.5	-1.5
	5	20.6	22.3	22.1	-1.7	-1.5
	6	20.8	20.2	22.7	0.6	-1.9
	7	20.9	23.0	23.9	-2.1	-3.0
	平均值	23.2	22.1	23.7	-0.1	-1.7
	相对误差	-	-	-	-0.27%	-7.33%
	标准偏差	-	-	-	1.838	1.355
t	-	-	-	-0.093	-3.4	
显著性（双侧）	-	-	-	0.929	0.014	
化工废气 （烟温 480℃）	1	6.92	6.87	-	0.05	-
	2	6.93	6.90	-	0.03	-
	3	6.89	6.96	-	-0.07	-
	4	6.75	6.87	-	-0.12	-
	5	6.75	7.06	-	-0.31	-
	6	6.74	6.76	-	-0.02	-
	7	6.70	6.83	-	-0.13	-
	平均值	6.81	6.89	-	-0.08	-
	相对误差	-	-	-	-1.17%	-
	标准偏差	-	-	-	0.10	-
t	-	-	-	1.775	-	
显著性（双侧）	-	-	-	0.126	-	

对冷轧电镀酸雾废气采用电阻电容法与重量法、电阻电容法与干湿球法比对，结果显示双侧检验 $P > \alpha$ （显著性水平）=0.05，说明电阻电容法与重量法、干湿球法测定结果无显著差异。

对钢铁废气采用电阻电容法与重量法比对，结果显示双侧检验 $P > \alpha$ （显著性水平）=0.05，说明两种方法的测定结果无显著差异。采用电阻电容法与干湿球法比对，结果显示双侧检验 $P < \alpha$ （显著性水平）=0.05，说明两种方法的测定结果存在显著差异。

对生活垃圾焚烧厂废气采用电阻电容法与重量法比对，结果显示双侧检验 $P > \alpha$ （显著性水平）=0.05，说明两种方法的测定结果无显著差异。采用电阻电容法与干湿球法比对，结果显示双侧检验 $P < \alpha$ （显著性水平）=0.05，说明两种方法的测定结果存在显著差异。

对化工废气采用电阻电容法与重量法比对，结果显示 $P > \alpha$ （显著性水平）=0.05，说明两种方法的测定结果无显著性差异。在电阻电容法仪器加装控温装置后，烟气温度被降至 103~173℃，可通过仪器显示值确认进入传感器的气体温度不超过 180℃，验证了电阻电容法在加装控温装置后用于高温烟气含湿量测定的可行性与准确性。

比对实验数据的统计分析结果表明，执行本标准的电阻电容法与重量法测定结果无显著差异，具有可比性。对于低含湿量的冷轧电镀酸雾废气，电阻电容法与干湿球法测定结果差异无显著差异。对于钢铁废气和生活垃圾焚烧厂废气，电阻电容法与干湿球法测定结果存在显著差异。

6.3 结果分析

分析便携式电阻电容法与干湿球法方法比对结果存在显著性差异的原因可能包括^[37]:

(1) 测量原理不同。电阻电容法通过测量传感器材料的电阻或电容变化来直接测量含湿量,受环境因素影响较小,可以保证测量准确性。而干湿球法是一种间接测量方法,依赖于水的蒸发冷却效应,通过测量干球和湿球的温度差来计算含湿量,受温度计的精度、纱布水套、空气流动、烟气温度、压力等因素影响较大。方法比对过程中,钢铁废气和生活垃圾焚烧厂废气为正压烟气且烟气流速较大,可能显著改变湿球测量值,且抽取采样过程还会存在烟气冷凝结露等干扰,导致测量误差较大。

(2) 操作方式不同。电阻电容法仪器连续自动测量并记录,有效降低了人为误差。对钢铁废气和生活垃圾焚烧厂废气的方法比对过程中,干湿球法仪器操作较为复杂,测量时间较长,干球温度上升速度较快,测量结果出现不规则波动,监测人员仅凭个人经验难以准确读取数值,导致测量误差明显变大。

综上,便携式电阻电容法与干湿球法在测量原理和操作方式上存在较大差异,干湿球法测量过程中干扰因素较多,导致两种方法监测结果存在显著性差异。

7 方法验证

7.1 方法验证方案

7.1.1 验证实验室和验证人员

选取 6 家验证实验室为:河北省生态环境监测中心、山东省生态环境监测中心、湖北省生态环境监测中心站、重庆市生态环境监测中心、江苏省南京环境监测中心、上海金艺检测技术有限公司。参加方法验证的实验人员均符合《固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范》(HJ/T 373-2007)^[38]规定。

表 23 参加验证人员情况

姓名	性别	年龄	职称	专业	相关工作年限
贾建华	男	46	助理工程师	军交运输管理	12
齐堃	男	39	工程师	化学工程与工艺	15
张智源	男	37	高级工程师	环境监测	14
刘雄	男	32	工程师	环境监测	10
唐敏	女	45	正高级工程师	环境科学	20
陈骁	男	32	工程师	环境管理	7
谷树茂	男	40	高级工程师	环境科学	16
俞黎明	男	42	工程师	环境工程	15
倪飞	男	30	助理工程师	环境监测	8
贲强	男	42	高级作业员	环境监测	18

7.1.2 仪器使用情况

表 24 仪器情况登记表

验证单位	仪器型号	仪器编号	仪器类型	实验室编号
河北省生态环境监测中心	HMS545P	ASC03GAP0023F07P2001	原位式	1
湖北省生态环境监测中心站	MH3041B	3041B0852221130	抽取式	2
重庆市生态环境监测中心	1062A	3u01061620	原位式	3
山东省生态环境监测中心	ZR-D13E	D13E40048836	抽取式	4

江苏省南京环境监测中心	1062A	3u01062456	原位式	5
上海金艺检测技术有限公司	ZR-D13E	D13E40046931	抽取式	6

7.1.3 试剂和材料

(1) 含湿气体：由经检定的含湿气体发生装置发出含湿量为 3.33%、9.29%、14.2%、23.7% 的含湿气体。发生装置由 HRHG508 高温标准湿度发生校准装置和 HRHG408 高温模拟烟气混合装置、HRHG608 冷凝器性能检测装置及高温标准湿度发生校准装置测试软件构成。含湿量发生范围 0~40.0%，准确度±0.2%，温度范围≤180℃，响应时间≤120s。补充实验采用可程式恒温恒湿试验箱，温度范围-20℃~+150℃，相对湿度范围 20%~98%，相对湿度偏差±3.0%。

(2) 零点气为市售有证氮气标准气体，纯度≥99.999%。

(3) 实际样品：选择对某电厂废气（含湿量约 5.00 %）和某水泥厂废气（含湿量约 13.0%）进行测定。

7.1.4 验证方案

(1) 方法检出限（MDL）

按照 HJ 168 要求，采用附录 A 中“a) 空白试验中检测出目标物”来确定本标准检出限，按照样品分析的全部步骤，重复 n ($n \geq 7$) 次空白测定，将各测定结果换算为样品中的浓度或含量。计算 n 次平行测定的标准偏差，按下式计算方法检出限 MDL，并及时判断其合理性。

$$MDL = t_{(n-1, 0.99)} \times S \quad (\text{公式 15})$$

式中：MDL——方法检出限；

n ——样品的平行测定次数；

t ——自由度为 $n-1$ ，置信度为 99% 时的 t 分布；

S —— n 次平行测定的标准偏差。

其中，当自由度为 $n-1$ ，置信度为 99% 时的 t 值可参考下表取值。

表 25 置信度为 99% 时的 t 值分布表

平行测定次数 (n)	自由度 ($n-1$)	t ($n-1, 0.99$)
7	6	3.143
8	7	2.998
9	8	2.896
10	9	2.821
...
21	20	2.528

(2) 方法测定下限（MQDL）确定

以 4 倍方法检出限作为测定下限（MQDL）。

(3) 方法精密度验证

按照 HJ 168 有关规定，对含湿气体和实际样品进行实验室内和实验室间的方法精密度测定。

含湿气体测定：6 家实验室分别对低、中、高 4 个不同含湿量水平的含湿气体进行分析测试，含湿量分别为 3.33%、9.29%、14.2%、23.7%，按全程序每个样品平行测定 6 次，

分别按 HJ 168 附录 A（方法特性指标确定方法）A.4.2，计算不同标准物质样品的实验室内平均值、标准偏差、相对标准偏差等。

实际样品测定：6 家实验室分别对电厂废气和水泥厂废气进行测定，其中电厂废气处理工艺为碳酸氢钠干法脱硫+生物钙基选择性非催化还原脱硝+袋式除尘；水泥厂废气处理工艺为高效再燃脱硝+饱和蒸汽催化再燃脱硝+布袋除尘+石灰石-石膏法脱硫。按全程序每个样品平行测定 6 次，分别按 HJ 168 附录 A（方法特性指标确定方法）A.4.2 计算不同实际样品的实验室内平均值、标准偏差、相对标准偏差等。

编制组对各验证实验室的数据进行统计，按 HJ 168 附录 A（方法特性指标确定方法）A.4.3 和 A.4.4 计算不同样品的实验室间相对标准偏差、重复性限和再现性限。

（4）方法正确度验证

6 家验证实验室对编制组提供的 4 个不同含湿量的含湿气体进行测定，按 HJ 168 附录 A（方法特性指标确定方法）A.5.2 计算各实验室测定结果与标准物质给定值之间的相对误差、相对误差均值、相对误差的标准偏差，确定相对误差最终值。

7.2 方法验证过程及结果

7.2.1 方法检出限与测定下限验证

表 26 验证实验室检出限结果

测定次数	实验室 1	实验室 2	实验室 3	实验室 4	实验室 5	实验室 6	
含湿量测定值 (%)	1	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08
	2	0.09	0.08	0.08	0.07	0.09	0.08
	3	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08
	4	0.09	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08
	5	0.09	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08
	6	0.09	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08
	7	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08
	8	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08
	9	0.08	0.08	0.08	0.07	0.09	0.08
	10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08
	11	0.08	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08
	12	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.07
	13	0.08	0.08	0.08	0.07	0.09	0.07
	14	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
	15	0.08	0.08	0.09	0.07	0.09	0.07
	16	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07
	17	0.07	0.08	0.09	0.07	0.09	0.07
	18	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.07
	19	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.07
	20	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.07
	21	0.07	0.08	0.09	0.07	0.09	0.07
平均值 (%)	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	
标准偏差 (%)	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	
检出限 (%)	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	
测定下限 (%)	0.08	0.00	0.05	0.08	0.00	0.05	

6 家验证实验室按照 HJ 168 的附录 a 测试得出检出限最大值为 0.02%，符合“任意测定值之间可允许的差异范围为‘空白试验测定值的均值±估计检出限的 1/2’以内”的要求。本标准检出限经适当取整为 0.05%，以 4 倍检出限作为测定下限为 0.20%。

7.2.2 精密度验证

(1) 含湿气体精密度测定

选择平均含湿量为 3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体进行测定。根据 HJ 168 规定的统计方法对验证数据进行统计。

表 27 平均含湿量为 3.33%的含湿气体精密度测定结果

实验室号	1 次 (%)	2 次 (%)	3 次 (%)	4 次 (%)	5 次 (%)	6 次 (%)	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	3.26	3.31	3.37	3.39	3.39	3.41	3.36	0.06	1.7%
2	3.12	3.25	3.17	3.05	3.30	3.09	3.16	0.10	3.0%
3	3.03	3.03	3.02	3.03	3.02	3.02	3.03	0.01	0.18%
4	3.52	3.56	3.59	3.64	3.71	3.76	3.63	0.09	2.5%
5	3.24	3.27	3.29	3.29	3.29	3.29	3.28	0.02	0.62%
6	3.53	3.55	3.55	3.56	3.56	3.55	3.55	0.01	0.31%

实验室内相对标准偏差：0.18%~3.0%；实验室间相对标准偏差：6.9%。重复性限为 0.17%；再现性限为 0.66%。

表 28 平均含湿量为 9.29%的含湿气体精密度测定结果

实验室号	1 次 (%)	2 次 (%)	3 次 (%)	4 次 (%)	5 次 (%)	6 次 (%)	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	8.68	8.72	8.89	9.06	8.95	9.02	8.89	0.16	1.8%
2	8.64	8.50	8.50	8.48	8.62	8.44	8.53	0.08	0.95%
3	8.71	8.72	8.73	8.73	8.81	8.70	8.73	0.04	0.45%
4	8.68	8.72	8.75	8.74	8.75	8.72	8.73	0.03	0.30%
5	8.71	8.77	8.76	8.76	8.83	8.89	8.79	0.06	0.72%
6	9.27	9.24	9.18	9.43	9.39	9.38	9.32	0.10	1.1%

实验室内相对标准偏差：0.30%~1.8%；实验室间相对标准偏差：3.0%。重复性限为 0.25%；再现性限为 0.77%。

表 29 平均含湿量为 14.2%的含湿气体精密度测定结果

实验室号	1 次 (%)	2 次 (%)	3 次 (%)	4 次 (%)	5 次 (%)	6 次 (%)	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	13.4	13.4	13.5	13.5	13.6	13.7	13.5	0.12	0.91%
2	15.1	14.8	14.5	14.9	14.8	15.0	14.9	0.21	1.4%
3	13.8	13.8	13.9	14.0	14.0	14.1	13.9	0.12	0.86%
4	14.4	14.3	14.4	14.5	14.5	14.5	14.4	0.06	0.42%
5	14.0	14.0	14.1	14.2	14.2	14.3	14.1	0.13	0.89%
6	13.3	13.5	13.6	13.7	13.8	13.8	13.6	0.19	1.4%

实验室内相对标准偏差：0.42%~1.4%；实验室间相对标准偏差：3.6%。重复性限为 0.41%；再现性限为 1.48%。

表 30 平均含湿量为 23.7%的含湿气体精密度测定结果

实验室号	1 次 (%)	2 次 (%)	3 次 (%)	4 次 (%)	5 次 (%)	6 次 (%)	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	26.0	26.3	26.3	26.6	26.3	26.2	26.3	0.21	0.79%
2	25.1	24.7	24.5	25.0	25.3	25.2	25.0	0.31	1.2%
3	22.5	22.9	22.8	23.0	23.0	23.0	22.9	0.19	0.83%
4	24.6	24.6	24.6	24.5	24.5	24.6	24.6	0.05	0.20%
5	22.2	23.0	22.6	22.7	22.8	22.9	22.7	0.27	1.2%
6	22.4	22.7	22.7	22.7	22.5	22.3	22.6	0.17	0.74%

实验室内相对标准偏差：0.20%~1.2%；实验室间相对标准偏差：6.3%。重复性限为0.60%；再现性限为4.29%。

(2) 实际样品精密度测定

6家验证实验室对电厂废气和水泥厂废气进行测定，根据HJ 168规定的统计方法对验证数据进行统计。

表 31 电厂废气含湿量精密度测定结果

实验室号	1次 (%)	2次 (%)	3次 (%)	4次 (%)	5次 (%)	6次 (%)	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	5.86	6.41	6.59	6.24	6.66	6.66	6.40	0.18	2.9%
2	6.24	6.15	6.14	5.96	5.71	5.72	5.99	0.22	3.6%
3	6.10	5.89	5.85	5.63	5.55	5.62	5.77	0.15	2.6%
4	4.92	5.27	5.39	5.53	5.46	5.61	5.36	0.13	2.4%
5	6.92	6.77	6.75	6.51	6.44	6.5	6.65	0.15	2.3%
6	5.51	5.69	5.84	5.94	6.08	6.12	5.86	0.18	3.0%

含湿量范围为5.36%~6.65%，实验室内相对标准偏差：2.3%~3.6%；实验室间相对标准偏差：7.7%。

重复性限为0.48%；再现性限为0.98%。

表 32 水泥厂废气含湿量精密度测定结果

实验室号	1次 (%)	2次 (%)	3次 (%)	4次 (%)	5次 (%)	6次 (%)	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	12.1	11.5	12.1	12.8	12.8	12.7	12.3	0.56	4.6%
2	13.9	13.9	14.0	14.0	14.0	13.7	13.9	0.13	0.94%
3	13.5	13.7	13.7	13.2	12.6	13.1	13.3	0.45	3.4%
4	12.9	13.0	13.0	13.1	13.2	13.3	13.1	0.12	0.89%
5	13.8	13.9	13.9	13.5	12.9	13.5	13.6	0.42	3.1%
6	12.3	13.3	13.5	13.4	13.4	13.4	13.2	0.06	0.43%

含湿量范围为12.3%~13.9%，实验室内相对标准偏差：0.43%~4.6%；实验室间相对标准偏差：4.0%。重复性限为1.36%；再现性限为1.74%。

7.2.3 正确度验证

表 33 平均含湿量为 3.33%的含湿气体正确度测定结果

实验室号	1次 (%)	2次 (%)	3次 (%)	4次 (%)	5次 (%)	6次 (%)	平均值 (%)	相对误差%	相对误差均值	相对误差的标准偏差
1	3.26	3.31	3.37	3.39	3.39	3.41	3.36	2.0	-0.13%	7.71%
2	3.12	3.25	3.17	3.05	3.30	3.09	3.16	-5.3		
3	3.03	3.03	3.02	3.03	3.02	3.02	3.03	-12		
4	3.52	3.56	3.59	3.64	3.71	3.76	3.63	9.0		
5	3.24	3.27	3.29	3.29	3.29	3.29	3.28	-1.3		
6	3.53	3.55	3.55	3.56	3.56	3.55	3.55	6.6		

相对误差范围：-12%~9.0%；相对误差最终值：-0.13%±15%。

表 34 平均含湿量为 9.29%的含湿气体正确度测定结果

实验室号	1次 (%)	2次 (%)	3次 (%)	4次 (%)	5次 (%)	6次 (%)	平均值 (%)	相对误差%	相对误差均值	相对误差的标准偏差
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	-------	--------	-----------

1	8.68	8.72	8.89	9.06	8.95	9.02	8.89	0.64	-0.52%	0.81%
2	8.64	8.50	8.50	8.48	8.62	8.44	8.53	-0.47		
3	8.71	8.72	8.73	8.73	8.81	8.70	8.73	-1.1		
4	8.68	8.72	8.75	8.74	8.75	8.72	8.73	-1.2		
5	8.71	8.77	8.76	8.76	8.83	8.89	8.79	-1.3		
6	9.27	9.24	9.18	9.43	9.39	9.38	9.32	0.27		

相对误差范围：-1.3%~0.64%；相对误差最终值：-0.52%±1.6%。

表 35 平均含湿量为 14.2%的含湿气体正确度测定结果

实验室号	1 次 (%)	2 次 (%)	3 次 (%)	4 次 (%)	5 次 (%)	6 次 (%)	平均值 (%)	相对误差 %	相对误差均值	相对误差的标准偏差
1	13.4	13.4	13.5	13.5	13.6	13.7	13.5	-4.4	-3.4%	1.73%
2	15.1	14.8	14.5	14.9	14.8	15.0	14.9	-0.34		
3	13.8	13.8	13.9	14.0	14.0	14.1	13.9	-5.4		
4	14.4	14.3	14.4	14.5	14.5	14.5	14.4	-3.2		
5	14.0	14.0	14.1	14.2	14.2	14.3	14.1	-2.9		
6	13.3	13.5	13.6	13.7	13.8	13.8	13.6	-4.2		

相对误差范围：-5.4%~-0.34%；相对误差最终值：-3.4%±3.5%。

表 36 平均含湿量为 23.7%的含湿气体正确度测定结果

实验室号	1 次 (%)	2 次 (%)	3 次 (%)	4 次 (%)	5 次 (%)	6 次 (%)	平均值 (%)	相对误差 %	相对误差均值	相对误差的标准偏差
1	26.0	26.3	26.3	26.6	26.3	26.2	26.3	2.8	-2.1%	3.43%
2	25.1	24.7	24.5	25.0	25.3	25.2	25.0	0.27		
3	22.5	22.9	22.8	23.0	23.0	23.0	22.9	-6.7		
4	24.6	24.6	24.6	24.5	24.5	24.6	24.6	-2.1		
5	22.2	23.0	22.6	22.7	22.8	22.9	22.7	-1.9		
6	22.4	22.7	22.7	22.7	22.5	22.3	22.6	-4.9		

相对误差范围：-6.7%~2.8%；相对误差最终值：-2.1%±6.9%。

7.3 验证结论

7.3.1 方法检出限与测定下限

本标准规定含湿量的检出限为 0.05%，测定下限为 0.20%，满足 HJ 168 要求。

7.3.2 方法精密度

6 家验证实验室对含湿量分别为 3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体重复测定 6 次。

实验室内相对标准偏差分别为：0.18%~3.0%、0.30%~1.8%、0.42%~1.4%和 0.20%~1.2%；

实验室间相对标准偏差分别为：6.9%、3.0%、3.6%和 6.3%；

重复性限分别为：0.17%、0.25%、0.41%和 0.60%；

再现性限分别为：0.66%、0.77%、1.48%和 4.29%。

6 家验证实验室对电厂废气和水泥厂废气含湿量重复测定 6 次。电厂废气含湿量为 5.36%~6.65%，平均值为 6.01%；水泥厂废气含湿量为 12.3%~13.9%，平均值为 13.2%。

实验室内相对标准偏差分别为：2.3%~3.6%和 0.43%~4.6%；

实验室间相对标准偏差分别为：7.7%和 4.0%；

重复性限分别为：0.48%和 1.36%；

再现性限分别为：0.98%和 1.74%。

7.3.3 方法正确度

6 家验证实验室对含湿量分别为 3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体重复测定 6 次。

相对误差分别为：-12%~9.0%、-1.3%~0.64%、-5.4%~-0.34%和-6.7%~2.8%；

相对误差最终值分别为：-0.13%±15%、-0.52%±1.6%、-3.4%±3.5%和-2.1%±6.9%。

8 与开题报告的差异说明

无。

9 标准实施建议

- (1) 使用本标准时，按要求做好质控措施。
- (2) 仪器厂商尽快推出更多技术成熟、价格合理的含湿气体发生装置。
- (3) 尽快发布适用于电阻电容法仪器的计量校准规程。

10 参考文献

- [1] 生态环境部.环境监测分析方法标准制订导则:HJ 168-2020[S].北京:中国环境科学出版社.2020.
- [2] 环境保护部.环境保护标准编制出版技术指南:HJ 565-2010[S].北京:中国环境科学出版社.2010.
- [3] 国家环境保护总局.固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法:GB/T 16157-1996[S].北京:中国环境科学出版社.1996.
- [4] 空气和废气监测分析方法指南编委会.空气和废气监测分析方法指南上册[M].北京:中国环境科学出版社.2006.
- [5] 李英干,范金鹏.湿度测量[M].北京:气象出版社.1990.
- [6] 全国物理化学计量技术委员会.湿度与水分计量名词术语及定义:JJF 1012-2007 [S].北京:中国标准出版社.2007.
- [7] 国家环境保护总局.固定源废气监测技术规范: HJ/T 397-2007 [S].北京:中国环境科学出版社.2007.
- [8] 生态环境部.固定污染源废气低浓度颗粒物的测定重量法: HJ 836-2017[S].北京:中国环境科学出版社.2017.
- [9] 生态环境部.固定污染源废气二氧化硫的测定便携式紫外吸收法: HJ 1131-2020[S].北京:中国环境科学出版社.2020.
- [10] 生态环境部.固定污染源废气氮氧化物的测定便携式紫外吸收法: HJ1132-2020[S].北京:中国环境科学出版社.2020.
- [11] 环境保护部.固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范:HJ 75-2017[S].北京:中国环境科学出版社.2017.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency. Determination of Moisture Content in Stack Gases: Method 4 [S/OL]. EMC.2020. https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2020-12/documents/method_4.pdf.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency. Emission Measurement Center Approved Alternative Method - Alternative Moisture Measurement Method Midget Impingers: ALT-008 [S/OL]. EMC.1993. <https://www3.epa.gov/ttn/emc/approalt/alt-008.pdf>.
- [14] European Committee for Standardization. Stationary source emissions - Determination of the water vapor in ducts: EN 14790:2017 [S/OL]. 2017. https://webstore.ansi.org/preview-pages/BSI/preview_30293552.pdf.
- [15] 周灵辉,杨凯,谢馨,等.不同烟气含湿量测量方法比较与分析[J].环境监测管理与技术,2012,24(1):66-69.
- [16] 朱卫东,朱建平,徐淮明,等.烟气排放连续监测系统的烟气参数在线监测技术[J].分析仪器,2011,(01):83-88.
- [17] 卢鑫坡.便携式近红外水分仪系统的研制[D].吉林大学,2022.
- [18] 牟圣杰,王宁,宋瑾,等.对微波水分仪进行现场校准的探讨[J].计量与测试技术,2023,50(02):69-71+75.

- [19] 陈桥.基于压电石英晶体的调频式湿度传感器研究[D].电子科技大学,2023.
- [20] 国家环境保护总局. 大气污染物综合排放标准:GB 16297-1996 [S].北京:中国环境科学出版社.1996.
- [21] 环境保护部. 火电厂大气污染物排放标准:GB13223-2011 [S].北京:中国环境科学出版社.2011.
- [22] 环境保护部. 锅炉大气污染物排放标准:GB13271-2014 [S].北京:中国环境科学出版社.2014.
- [23] 国家环境保护总局. 饮食业油烟排放标准:GB18483-2001 [S].北京:中国环境科学出版社.2001.
- [24] 生态环境部. 危险废物焚烧污染控制标准:GB 18484-2020 [S].北京:中国环境科学出版社.2020.
- [25] 环境保护部. 固定污染源废气 (SO₂、NO_x、颗粒物) 排放连续监测技术要求及检测方法:HJ 76-2017[S].北京:中国环境科学出版社.2017.
- [26] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.湿度测量方法: GB/T11605-2005 [S].北京: 中国标准出版社.2007.
- [27] 生态环境部. 国家生态环境标准制修订工作规则[Z/OL].2020.<https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk03/202101/W020210108568678849242.pdf>.
- [28] 生态环境部. 国家生态环境监测标准预研究工作细则 (试行) [Z/OL].2023. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6910522.htm.
- [29] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 标准化工作导则第 1 部分: 标准化文件的结构和起草规则:GB/T 1.1-2020 [S]. 北京: 中国标准出版社.2020.
- [30] 生态环境部. 固定污染源废气 氨和氯化氢的测定便携式傅立叶变换红外光谱法:HJ 1330-2023 [S].北京:中国环境科学出版社.2023.
- [31] 生态环境部. 固定污染源废气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 便携式催化氧化-氢火焰离子化检测器法:HJ 1331-2023 [S].北京:中国环境科学出版社.2023.
- [32] U.S. Environmental Protection Agency. Determination of Nitrogen Oxides Emissions From Stationary Sources: Method 7E [S/OL]. EMC.2024. <https://www.epa.gov/emc/method-7e-nitrogen-oxide-instrumental-analyzer>.
- [33] 环境保护部. 固定污染源废气二氧化硫的测定定电位电解法:HJ 57-2017[S].北京:中国环境科学出版社.2017.
- [34] 国家质量监督检验检疫总局. 阻容法露点湿度计校准规范:JJF1272-2011[S]. 北京: 中国标准出版社.2011.
- [35] 国家质量监督检验检疫总局. 温湿度标准箱校准规范:JJF1564-2016[S]. 北京: 中国标准出版社.2016.
- [36] 国家市场监督管理总局. 精密露点仪检定规程:JJG499-2021 [S]. 北京: 中国标准出版社.2021.
- [37] 国家环境保护总局, 空气和废气监测分析方法编委会.空气和废气监测分析方法增补版 [M]. 北京:中国环境科学出版社.2007.

[38] 国家环境保护总局. 固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范:HJ/T 373-2007 [S].北京:中国环境科学出版社.2007.

附件一

方法验证报告

方法名称：固定污染源废气 含湿量的测定 便携式电阻电容法

项目主编单位：中国环境监测总站、上海市环境监测中心

验证单位：河北省生态环境监测中心、山东省生态环境监测中心

湖北省生态环境监测中心站、重庆市生态环境监测中心

江苏省南京环境监测中心、上海金艺检测技术有限公司

项目负责人及职称：邱立莉正高级工程师

通讯地址：北京市朝阳区安外大羊坊八号院乙电话：010-89656888

报告编写人及职称：邱立莉正高级工程师

报告日期：2024年1月20日

1 基本情况

参加验证人员情况见下表。

附表 1 参加验证人员情况

姓名	性别	年龄	职称	专业	相关工作年限
贾建华	男	46	助理工程师	军交运输管理	12
齐堃	男	39	工程师	化学工程与工艺	15
张智源	男	37	高级工程师	环境监测	14
刘雄	男	32	工程师	环境监测	10
唐敏	女	45	正高级工程师	环境科学	20
陈骁	男	32	工程师	环境管理	7
谷树茂	男	40	高级工程师	环境科学	16
俞黎明	男	42	工程师	环境工程	15
倪飞	男	30	助理工程师	环境监测	8
贲强	男	42	高级作业员	环境监测	18

仪器使用情况见下表。

附表 2 仪器情况登记表

验证单位	仪器型号	仪器编号	仪器类型	实验室编号
河北省生态环境监测中心	HMSJ45P	ASC03GAP0023F07P2001	原位式	1
湖北省生态环境监测中心站	MH3041B	3041B0852221130	抽取式	2
重庆市生态环境监测中心	1062A	3u01061620	原位式	3
山东省生态环境监测中心	ZR-D13E	D13E40048836	抽取式	4
江苏省南京环境监测中心	1062A	3u01062456	原位式	5
上海金艺检测技术有限公司	ZR-D13E	D13E40046931	抽取式	6

方法验证实验采用的含湿气体由经检定的统一含湿气体发生装置发出。装置由 HRHG508 高温标准湿度发生校准装置和 HRHG408 高温模拟烟气混合装置、HRHG608 冷凝器性能检测装置及高温标准湿度发生校准装置测试软件组成。含湿量发生范围 0~32.0%，准确度 $\pm 0.2\%$ ，温度范围 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ ，响应时间 $\leq 120\text{s}$ 。补充实验采用可程式恒温恒湿试验箱，温度范围 $-20^{\circ}\text{C}\sim +150^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度范围 20%~98%，相对湿度偏差 $\pm 3.0\%$ 。零点气为市售有证氮气标准气体，纯度 $\geq 99.999\%$ 。

2 原始测试数据

2.1 方法检出限、测定下限测试数据

采用 HJ 168 附录 A.1.1 “a) 空白试验中检测出目标物”的方法，6 家验证实验室首先对纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气标准气体进行了 21 次平行测定。经统计发现，检出限未满足“任意测定值之间可允许的差异范围为‘空白试验测定值的均值 \pm 估计检出限的 1/2’以内”的要求。编制组通过可程式恒温恒湿试验箱开展空白试验（ -20°C 时含湿量为 0.05%），进行方法检出限补充实验。

附表 3 方法检出限、测定下限测试数据

验证单位：实验室1

测试日期：2025年11月24日

平行测定编号	测定结果 (%)	备注
1	0.09	-
2	0.09	-
3	0.09	-
4	0.09	-
5	0.09	-
6	0.09	-
7	0.09	-
8	0.08	-
9	0.08	-
10	0.08	-
11	0.08	-
12	0.08	-
13	0.08	-
14	0.08	-
15	0.08	-
16	0.08	-
17	0.07	-
18	0.07	-
19	0.07	-
20	0.07	-
21	0.07	-
平均值/ (%)	0.08	-
标准偏差/ (%)	0.01	-
方法检出限/ (%)	0.02	-
测定下限/ (%)	0.08	-

附表 4 方法检出限、测定下限测试数据

验证单位：实验室2

测试日期：2025年11月24日

平行测定编号	测定结果 (%)	备注
1	0.08	-
2	0.08	-
3	0.08	-
4	0.08	-
5	0.08	-
6	0.08	-
7	0.08	-
8	0.08	-
9	0.08	-
10	0.08	-
11	0.08	-
12	0.08	-
13	0.08	-
14	0.08	-
15	0.08	-
16	0.08	-

17	0.08	-
18	0.08	-
19	0.08	-
20	0.08	-
21	0.08	-
平均值/ (%)	0.08	-
标准偏差/ (%)	0.00	-
方法检出限/ (%)	0.00	-
测定下限/ (%)	0.00	-

附表 5 方法检出限、测定下限测试数据

验证单位：实验室3

测试日期：2025年11月24日

平行测定编号	测定结果 (%)	备注
1	0.09	-
2	0.08	-
3	0.08	-
4	0.09	-
5	0.09	-
6	0.09	-
7	0.09	-
8	0.09	-
9	0.08	-
10	0.09	-
11	0.09	-
12	0.09	-
13	0.08	-
14	0.08	-
15	0.09	-
16	0.09	-
17	0.09	-
18	0.08	-
19	0.08	-
20	0.08	-
21	0.09	-
平均值/ (%)	0.09	-
标准偏差/ (%)	0.00	-
方法检出限/ (%)	0.01	-
测定下限/ (%)	0.05	-

附表 6 方法检出限、测定下限测试数据

验证单位：实验室4

测试日期：2025年11月24日

平行测定编号	测定结果 (%)	备注
1	0.08	-
2	0.07	-

3	0.09	-
4	0.07	-
5	0.07	-
6	0.07	-
7	0.08	-
8	0.09	-
9	0.07	-
10	0.08	-
11	0.07	-
12	0.09	-
13	0.07	-
14	0.08	-
15	0.07	-
16	0.08	-
17	0.07	-
18	0.08	-
19	0.07	-
20	0.07	-
21	0.07	-
平均值/ (%)	0.08	-
标准偏差/ (%)	0.01	-
方法检出限/ (%)	0.02	-
测定下限/ (%)	0.08	-

附表 7 方法检出限、测定下限测试数据

验证单位：实验室5

测试日期：2025年11月24日

平行测定编号	测定结果 (%)	备注
1	0.09	-
2	0.09	-
3	0.09	-
4	0.09	-
5	0.09	-
6	0.09	-
7	0.09	-
8	0.09	-
9	0.09	-
10	0.09	-
11	0.09	-
12	0.09	-
13	0.09	-
14	0.09	-
15	0.09	-
16	0.09	-
17	0.09	-
18	0.09	-
19	0.09	-

20	0.09	-
21	0.09	-
平均值/ (%)	0.09	-
标准偏差/ (%)	0.00	-
方法检出限/ (%)	0.00	-
测定下限/ (%)	0.00	-

附表 8 方法检出限、测定下限测试数据

验证单位：实验室6

测试日期：2025年11月24日

平行测定编号	测定结果 (%)	备注
1	0.08	-
2	0.08	-
3	0.08	-
4	0.08	-
5	0.08	-
6	0.08	-
7	0.08	-
8	0.08	-
9	0.08	-
10	0.08	-
11	0.08	-
12	0.07	-
13	0.07	-
14	0.08	-
15	0.07	-
16	0.07	-
17	0.07	-
18	0.07	-
19	0.07	-
20	0.07	-
21	0.07	-
平均值/ (%)	0.08	-
标准偏差/ (%)	0.01	-
方法检出限/ (%)	0.01	-
测定下限/ (%)	0.05	-

3 方法精密度测试

3.1 标准样品测定

对含湿量为3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体进行测定。根据HJ 168规定的统计方法对验证数据进行统计。

附表 9 标准样品精密度测试数据

验证单位：实验室1

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.26	8.68	13.4	26.0
2	3.31	8.72	13.4	26.3
3	3.37	8.89	13.5	26.3
4	3.39	9.06	13.5	26.6
5	3.39	8.95	13.6	26.3
6	3.41	9.02	13.7	26.2
平均值/ (%)	3.36	8.89	13.5	26.3
标准偏差/ (%)	0.06	0.16	0.12	0.21
相对标准偏差	1.73%	1.76%	0.91%	0.79%

附表 10 标准样品精密度测试数据

验证单位: 实验室2

测试日期: 2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.12	8.64	15.1	25.1
2	3.25	8.50	14.8	24.7
3	3.17	8.50	14.5	24.5
4	3.05	8.48	14.9	25.0
5	3.30	8.62	14.8	25.3
6	3.09	8.44	15.0	25.2
平均值/ (%)	3.16	8.53	14.9	25.0
标准偏差/ (%)	0.1	0.08	0.21	0.31
相对标准偏差	3.04%	0.95%	1.40%	1.23%

附表 11 标准样品精密度测试数据

验证单位: 实验室3

测试日期: 2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.03	8.71	13.8	22.5
2	3.03	8.72	13.8	22.9
3	3.02	8.73	13.9	22.8
4	3.03	8.73	14.0	23.0
5	3.02	8.81	14.0	23.0
6	3.02	8.70	14.1	23.0
平均值/ (%)	3.03	8.73	13.9	22.9
标准偏差/ (%)	0.01	0.04	0.12	0.19
相对标准偏差	0.18%	0.45%	0.86%	0.83%

附表 12 标准样品精密度测试数据

验证单位: 实验室4

测试日期: 2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.52	8.68	14.4	24.6
2	3.56	8.72	14.3	24.6
3	3.59	8.75	14.4	24.6
4	3.64	8.74	14.5	24.5
5	3.71	8.75	14.5	24.5
6	3.76	8.72	14.5	24.6
平均值/ (%)	3.63	8.73	14.4	24.6
标准偏差/ (%)	0.09	0.03	0.06	0.05
相对标准偏差	2.52%	0.30%	0.42%	0.20%

附表 13 标准样品精密度测试数据

验证单位：实验室5

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.24	8.71	14.0	22.2
2	3.27	8.77	14.0	23.0
3	3.29	8.76	14.1	22.6
4	3.29	8.76	14.2	22.7
5	3.29	8.83	14.2	22.8
6	3.29	8.89	14.3	22.9
平均值/ (%)	3.28	8.79	14.1	22.7
标准偏差/ (%)	0.02	0.06	0.13	0.27
相对标准偏差	0.62%	0.72%	0.89%	1.21%

附表 14 标准样品精密度测试数据

验证单位：实验室6

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.53	9.27	13.3	22.4
2	3.55	9.24	13.5	22.7
3	3.55	9.18	13.6	22.7
4	3.56	9.43	13.7	22.7
5	3.56	9.39	13.8	22.5
6	3.55	9.38	13.8	22.3
平均值/ (%)	3.55	9.32	13.6	22.6
标准偏差/ (%)	0.01	0.1	0.19	0.17
相对标准偏差	0.31%	1.06%	1.41%	0.74%

3.2 实际样品测定

6家验证实验室对电厂废气和水泥厂废气进行测定。根据HJ 168规定的统计方法对验证数据进行统计。

附表 15 实际样品精密度测试数据

验证单位：实验室1

测试日期：2023年10月25日~26日

平行测定编号	测定结果 (%)	
	电厂废气含湿量	水泥厂废气含湿量
1	5.86	12.1
2	6.41	11.5
3	6.59	12.1
4	6.24	12.8
5	6.66	12.8
6	6.66	12.7
平均值/ (%)	6.40	12.3
标准偏差/ (%)	0.18	0.56
相对标准偏差	2.86%	4.57%

附表 16 实际样品精密度测试数据

验证单位：实验室2

测试日期：2023年10月25日~26日

平行测定编号	测定结果 (%)	
	电厂废气含湿量	水泥厂废气含湿量
1	6.24	13.9
2	6.15	13.9
3	6.14	14.0
4	5.96	14.0
5	5.71	14.0
6	5.72	13.7
平均值/ (%)	5.99	13.9
标准偏差/ (%)	0.22	0.13
相对标准偏差	3.60%	0.94%

附表 17 实际样品精密度测试数据

验证单位：实验室3

测试日期：2023年10月25日~26日

平行测定编号	测定结果 (%)	
	电厂废气含湿量	水泥厂废气含湿量
1	6.10	13.5
2	5.89	13.7
3	5.85	13.7
4	5.63	13.2
5	5.55	12.6
6	5.62	13.1

平均值/ (%)	5.77	13.3
标准偏差/ (%)	0.15	0.45
相对标准偏差	2.63%	3.42%

附表 18 实际样品精密度测试数据

验证单位：实验室4

测试日期：2023年10月25日~26日

平行测定编号	测定结果 (%)	
	电厂废气含湿量	水泥厂废气含湿量
1	4.92	12.9
2	5.27	13.0
3	5.39	13.0
4	5.53	13.1
5	5.46	13.2
6	5.61	13.3
平均值/ (%)	5.36	13.1
标准偏差/ (%)	0.13	0.12
相对标准偏差	2.43%	0.89%

附表 19 实际样品精密度测试数据

验证单位：实验室5

测试日期：2023年10月25日~26日

平行测定编号	测定结果 (%)	
	电厂废气含湿量	水泥厂废气含湿量
1	6.92	13.8
2	6.77	13.9
3	6.75	13.9
4	6.51	13.5
5	6.44	12.9
6	6.50	13.5
平均值/ (%)	6.65	13.6
标准偏差/ (%)	0.15	0.42
相对标准偏差	2.32%	3.08%

附表 20 实际样品精密度测试数据

验证单位：实验室6

测试日期：2023年10月25日~26日

平行测定编号	测定结果 (%)	
	电厂废气含湿量	水泥厂废气含湿量
1	5.51	12.3
2	5.69	13.3
3	5.84	13.5
4	5.94	13.4
5	6.08	13.4
6	6.12	13.4

平均值/ (%)	5.86	13.2
标准偏差/ (%)	0.18	0.06
相对标准偏差	3.01%	0.43%

4 方法正确度验证数据

对含湿量为3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体进行测定。根据HJ 168规定的统计方法对验证数据进行统计。

附表 21 标准样品正确度测试数据

验证单位：实验室1

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.26	8.68	13.4	26.0
2	3.31	8.72	13.4	26.3
3	3.37	8.89	13.5	26.3
4	3.39	9.06	13.5	26.6
5	3.39	8.95	13.6	26.3
6	3.41	9.02	13.7	26.2
平均值/ (%)	3.36	8.89	13.5	26.3
相对误差/ (%)	1.98%	0.64%	-4.35%	2.76%

附表 22 标准样品正确度测试数据

验证单位：实验室2

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.12	8.64	15.1	25.1
2	3.25	8.50	14.8	24.7
3	3.17	8.50	14.5	24.5
4	3.05	8.48	14.9	25.0
5	3.30	8.62	14.8	25.3
6	3.09	8.44	15.0	25.2
平均值/ (%)	3.16	8.53	14.9	25.0
相对误差/ (%)	-5.29%	-0.47%	-0.34%	0.27%

附表 23 标准样品正确度测试数据

验证单位：实验室3

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.03	8.71	13.8	22.5
2	3.03	8.72	13.8	22.9
3	3.02	8.73	13.9	22.8

4	3.03	8.73	14.0	23.0
5	3.02	8.81	14.0	23.0
6	3.02	8.70	14.1	23.0
平均值/ (%)	3.03	8.73	13.9	22.9
相对误差/ (%)	-11.81%	-1.09%	-5.35%	-6.74%

附表 24 标准样品正确度测试数据

验证单位：实验室4

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.52	8.68	14.4	24.6
2	3.56	8.72	14.3	24.6
3	3.59	8.75	14.4	24.6
4	3.64	8.74	14.5	24.5
5	3.71	8.75	14.5	24.5
6	3.76	8.72	14.5	24.6
平均值/ (%)	3.63	8.73	14.4	24.6
相对误差/ (%)	9.01%	-1.17%	-3.19%	-2.09%

附表 25 标准样品正确度测试数据

验证单位：实验室5

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.24	8.71	14.0	22.2
2	3.27	8.77	14.0	23.0
3	3.29	8.76	14.1	22.6
4	3.29	8.76	14.2	22.7
5	3.29	8.83	14.2	22.8
6	3.29	8.89	14.3	22.9
平均值/ (%)	3.28	8.79	14.1	22.7
相对误差/ (%)	-1.26%	-1.27%	-2.92%	-1.86%

附表 26 标准样品正确度测试数据

验证单位：实验室6

测试日期：2023年10月24日

平行测定编号	测定结果 (%)			
	含湿量 3.33%	含湿量 9.29%	含湿量 14.2%	含湿量 23.7%
1	3.53	9.27	13.3	22.4
2	3.55	9.24	13.5	22.7
3	3.55	9.18	13.6	22.7
4	3.56	9.43	13.7	22.7
5	3.56	9.39	13.8	22.5
6	3.55	9.38	13.8	22.3

平均值/ (%)	3.55	9.32	13.6	22.6
相对误差/ (%)	6.61%	0.27%	-4.21%	-4.91%

4 方法验证数据汇总

4.1 方法检出限和检出下限数据汇总

6家验证实验室的方法检出限和测定下限汇总统计数据见下表。

附表 27 检出限实验结果汇总

实验室号	测定结果 (%)	
	检出限 (%)	测定下限 (%)
1	0.02	0.08
2	0.00	0.00
3	0.01	0.05
4	0.02	0.08
5	0.00	0.00
6	0.01	0.05

经统计，任意测定值范围为 0.07%~0.09%，测定均值为 0.08%，根据 HJ168 要求估计检出限最大值为 0.02%，符合“任意测定值之间可允许的差异范围为‘空白试验测定值的均值±估计检出限的 1/2’以内”的要求。为确保方法可靠性并采取保守取值，本标准检出限规定为 0.05%，以 4 倍检出限作为测定下限为 0.20%。

4.2 方法精密度数据汇总

附表 28 标准气体精密度测定结果汇总

实验室号	含湿量 3.33%			含湿量 9.29%			含湿量 14.2%			含湿量 23.7%		
	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差									
1	3.36	0.06	1.7%	8.89	0.16	1.8%	13.5	0.12	0.91%	26.3	0.21	0.79%
2	3.16	0.10	3.0%	8.53	0.08	0.95%	14.9	0.21	1.4%	25.0	0.31	1.2%
3	3.03	0.01	0.18%	8.73	0.04	0.45%	13.9	0.12	0.86%	22.9	0.19	0.83%
4	3.63	0.09	2.5%	8.73	0.03	0.30%	14.4	0.06	0.42%	24.6	0.05	0.20%
5	3.28	0.02	0.62%	8.79	0.06	0.72%	14.1	0.13	0.89%	22.7	0.27	1.2%
6	3.55	0.01	0.31%	9.32	0.10	1.1%	13.6	0.19	1.4%	22.6	0.17	0.74%
实验室间相对标准偏差/ (%)	6.9			3.0			3.6			6.3		
重复性限/ (%)	0.17			0.25			0.41			0.60		
再现性限/ (%)	0.66			0.77			1.48			4.29		

结论：6家验证实验室对含湿量分别为3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体进行测定。实验室内相对标准偏差分别为：0.18%~3.0%、0.30%~1.8%、0.42%~1.4%和0.20%~1.2%；实验室间相对标准偏差分别为：6.9%、3.0%、3.6%和6.3%；重复性限分别为：0.17%、0.25%、0.41%和0.60%；再现性限分别为：0.66%、0.77%、1.48%和4.29%。

附表 29 实际样品精密度测定结果汇总

实验室号	电厂废气含湿量			水泥厂废气含湿量		
	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差	平均值 (%)	标准偏差 (%)	相对标准偏差
1	6.40	0.18	2.9%	12.3	0.56	4.6%
2	5.99	0.22	3.6%	13.9	0.13	0.94%
3	5.77	0.15	2.6%	13.3	0.45	3.4%
4	5.36	0.13	2.4%	13.1	0.12	0.89%
5	6.65	0.15	2.3%	13.6	0.42	3.1%
6	5.86	0.18	3.0%	13.2	0.06	0.43%
实验室间相对标准偏差/ (%)	7.7			4.0		
重复性限/ (%)	0.48			1.36		
再现性限/ (%)	0.98			1.74		

结论：6家验证实验室对电厂废气和水泥厂废气含湿量进行测定。电厂废气含湿量为5.36%~6.65%，平均值为6.01%；水泥厂废气含湿量为12.3%~13.9%，平均值为13.2%。实验室内相对标准偏差分别为：2.3%~3.6%和0.43%~4.6%；实验室间相对标准偏差分别为：7.7%和4.0%；重复性限分别为：0.48%和1.36%；再现性限分别为：0.98%和1.74%。

4.3 方法正确度数据汇总

附表 30 标准样品精密度测定结果汇总

实验室号	含湿量 3.33%		含湿量 9.29%		含湿量 14.2%		含湿量 23.7%	
	平均值 (%)	相对误差 (%)						
1	3.36	2.0	8.89	0.64	13.5	-4.4	26.3	2.8
2	3.16	-5.3	8.53	-0.47	14.9	-0.34	25.0	0.27
3	3.03	-12	8.73	-1.1	13.9	-5.4	22.9	-6.7
4	3.63	9.0	8.73	-1.2	14.4	-3.2	24.6	-2.1
5	3.28	-1.3	8.79	-1.3	14.1	-2.9	22.7	-1.9
6	3.55	6.6	9.32	0.27	13.6	-4.2	22.6	-4.9
相对误差均值/ (%)	-0.13		-0.52		-3.4		-2.1	
相对误差的标准偏差/ (%)	7.71		0.81		1.73		3.43	
相对误差最终值/ (%)	-0.13±15		-0.52±1.6		-3.4±3.5		-2.1±6.9	

结论：6家验证实验室对含湿量分别为3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体进行测定。相对误差分别为：-12%~9.0%、-1.3%~0.64%、-5.4%~-0.34%和-6.7%~2.8%；相对误差最终值分别为：-0.13%±15%、-0.52%±1.6%、-3.4%±3.5%和-2.1%±6.9%。

5 方法验证结论

5.1 方法检出限和检出下限

对6家验证实验室检出限测定结果取测量数据的最高值，为确保方法可靠性并采取保守取值，得到方法的检出限和测定下限。

方法检出限为0.05%，测定下限为0.20%。

5.2 方法精密度

6家验证实验室对含湿量分别为3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体重复测定6次。

实验室内相对标准偏差分别为：0.18%~3.0%、0.30%~1.8%、0.42%~1.4%和0.20%~1.2%；

实验室间相对标准偏差分别为：6.9%、3.0%、3.6%和6.3%；

重复性限分别为：0.17%、0.25%、0.41%和0.60%；

再现性限分别为：0.66%、0.77%、1.48%和4.29%。

6家验证实验室对电厂废气和水泥厂废气含湿量重复测定6次。电厂废气含湿量为5.36%~6.65%，平均值为6.01%；水泥厂废气含湿量为12.3%~13.9%，平均值为13.2%。

实验室内相对标准偏差分别为：2.3%~3.6%和0.43%~4.6%；

实验室间相对标准偏差分别为：7.7%和4.0%；

重复性限分别为：0.48%和1.36%；

再现性限分别为：0.98%和1.74%。

5.3 方法正确度

6家验证实验室对含湿量分别为3.33%、9.29%、14.2%、23.7%的含湿气体重复测定6次。

相对误差分别为：-12%~9.0%、-1.3%~0.64%、-5.4%~-0.34%和-6.7%~2.8%；

相对误差最终值分别为：-0.13%±15%、-0.52%±1.6%、-3.4%±3.5%和-2.1%±6.9%。

验证结果表明，本方法具有较好的重复性和再现性，方法检出限、精密度和正确度各项特性指标达到预期要求。