

附件 3

《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及
检测方法（征求意见稿）》
编制说明

《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法》

标准编制组

二〇二六年一月

项目名称：固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法

项目统一编号：2025-17

承担单位：中国环境监测总站、上海市环境监测中心、江苏省南京环境监测中心、中国环境保护产业协会

编制组主要成员：周刚、邓宝卿、张晨、唐帅、裴冰、杨文雨、徐晗、任向、张坤、张永涛

环境标准研究所技术管理负责人：雷晶

生态环境监测司项目负责人：高锋亮

目 录

1	项目背景	1
1.1	任务来源	1
1.2	工作过程	1
2	标准制修订的必要性分析	2
2.1	二氧化碳与温室效应	2
2.2	相关生态环境标准和环境管理工作的需要	3
2.3	标准合法合规性分析	4
3	二氧化碳监测分析方法、自动监测仪器调研及国内外相关仪器标准研究	5
3.1	二氧化碳分析方法	5
3.2	废气二氧化碳自动监测系统调研	6
3.3	国外固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准	7
3.4	国内固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准	9
4	标准制订的基本原则和技术路线	10
4.1	标准制订的基本原则	10
4.2	标准制订的主要技术内容和依据	11
4.3	标准制订的技术路线	12
5	标准主要技术内容	13
5.1	标准主要内容	13
5.2	标准主要内容说明	14
6	方法验证	45
6.1	验证方案	45
6.2	验证过程及结果	45
7	实施本标准的管理措施、技术措施建议	45
8	参考文献	46
	附件一 方法验证报告	48

《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法（征求意见稿）》编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

根据《关于发布 2023 年国家生态环境监测标准预研究项目清单（第一批）的通知》（监测函〔2023〕23 号）要求，中国环境监测总站承担该标准预研究工作。预研究结题后，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）要求，生态环境部下发了《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法》标准制订工作计划，项目统一编号为 2025-17，项目的承担单位为中国环境监测总站，协作单位为上海市环境监测中心、江苏省南京环境监测中心、中国环境保护产业协会等。

1.2 工作过程

1.2.1 成立标准编制组，制订标准编制技术路线

2023 年 7 月~8 月，该项目任务下达后，中国环境监测总站作为承担单位，召集协作单位成立了标准编制组，明确任务分工，按照《生态环境标准管理办法》（生态环境部令 2020 年 17 号）、《国家生态环境标准制修订工作规则》（国环法规〔2020〕4 号）、《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2010）要求，确定标准制订的基本原则和技术路线。

1.2.2 开展文献资料查询与市场调研

2023 年 8 月~2024 年 3 月，编制组查阅了国内外相关标准和文献资料，梳理了废气二氧化碳现行主要监测分析方法、二氧化碳自动监测技术、国内外固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准。通过市场调研，了解几种代表性原理仪器，总结功能及技术指标。经初步的讨论、分析、比较，形成了本标准的初稿草案。

1.2.3 征集筛选验证测试仪器，组织方法验证

2023 年 8 月~9 月，在碳监测评估试点钢铁企业部分排口进行二氧化碳正确度性能指标验证。2024 年 4 月~8 月，对固定污染源废气二氧化碳自动监测系统实验室检测性能指标验证测试工作进行仪器征集和选型，结合国内外各仪器生产商自动监测系统技术水平和国内外相关仪器标准确定实验室验证测试方案，根据验证测试方案开展了 6 个型号（每个型号 3 台）涵盖主流废气二氧化碳自动监测原理的仪器验证测试工作。

1.2.4 梳理仪器适用性检测数据和碳监测评估试点数据，完善标准征求意见稿

中国环境监测总站质检中心长期开展各类环境监测仪器适用性检测工作，2022 年启动

了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的检测项目，积累了大量的仪器检测数据。2024年6月~10月，编制组对固定污染源废气二氧化碳自动监测系统和近年来其他类型废气自动监测系统适用性检测数据进行了梳理，研究分析二氧化碳监测单元24小时零点和量程漂移、系统响应时间、示值误差、二氧化碳正确度、流速正确度、湿度正确度等性能指标收严的必要性；分析碳监测评估试点数据确定拟定指标技术要求的科学性、适用性，在此基础上完善标准征求意见稿、编制说明及验证报告。

1.2.5 征求意见稿专家技术讨论会

2024年10月25日，标准编制组组织召开征求意见稿专家技术讨论会，专家对标准征求意见稿及编制说明进行了审查，提出如下意见：

1、编制单位提供的标准文本格式规范，内容翔实，可操作性强，编制说明要素齐全，验证实验数据完整，符合标准立项要求；

2、标准中仪器检测技术指标设置合理，检测方法科学规范。

专家组建议将本标准尽快纳入标准立项程序。

1.2.6 预研究项目结题暨制修订项目开题论证会

2024年12月27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，专家组对标准的主要技术内容和制修订工作过程进行了论证，提出以下意见：

1、项目主编单位提供的材料齐全、内容完整、格式规范；

2、项目主编单位对国内外方法标准及文献进行了充分调研；

3、项目定位准确，技术路线合理可行，验证内容完善。

1.2.7 征求意见稿技术审查会

2025年11月17日，生态环境部生态环境监测司组织召开标准征求意见稿技术审查会，经专家质询和论证，提出以下意见：

1、标准主编单位提供的材料齐全、内容完整、格式规范，符合征求意见稿技术审查会要求；

2、标准规定的技术内容合理，依据充分，具有较好操作性。

专家提出以下修改意见和建议

1、建议与国家温室气体相关监测标准或其他行业标准的衔接；

2、结合公开征求意见等后续工作，进一步完善流速监测相关技术内容。

会后，编制组按照专家的意见对征求意见稿及编制说明文本进行修改完善，待公开征求意见。

2 标准制修订的必要性分析

2.1 二氧化碳与温室效应

2.1.1 二氧化碳的理化性质及来源

二氧化碳，化学式为 CO_2 ，化学式量为44.0095，常温常压下是一种无色无味而其水溶液略有酸味的气体，在物理性质方面，二氧化碳的沸点为 $-78.5\text{ }^\circ\text{C}$ （101.3 kPa），熔点为 $-56.6\text{ }^\circ\text{C}$ ，密度比空气密度大（标准条件下），可溶于水。在化学性质方面，二氧化碳的化

学性质不活泼，热稳定性很高（2000 °C时仅有 1.8%分解），不能燃烧，通常也不支持燃烧，属于酸性氧化物，具有酸性氧化物的通性。

二氧化碳的排放来源主要分为自然源和人为源，自然源主要有动植物呼吸、海洋脱气以及腐败作用等；人为源则是指因人类活动造成的二氧化碳排放，如化石燃料燃烧、森林、草地退化等。人为活动是造成二氧化碳浓度上升的主要原因，尤其是工业革命以来，大量化石燃料的燃烧、森林和草地的破坏都使二氧化碳浓度不断上升^[1]。

2.1.2 温室效应

《京都议定书》中明确规定控制的 6 种温室气体为：二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化合物（HFCs）、全氟碳化合物（PFCs）、六氟化硫（SF₆）。其中，CO₂ 是对温室效应贡献最大的气体，大气中二氧化碳浓度增加一倍，可使地表温度上升 5 °C ~ 6 °C^[1]。温室效应，又称“花房效应”，是指地球从太阳热辐射中得到的热量比向大气层外散失的热量多，从而使地球表面温度升高的现象。太阳对地球的热辐射主要为可见光部分，其以可见光形式进入地表后，大约有 30%的能量被云尘、沙漠和积雪等反射，其余部分则被地表吸收，地表温度随之上升，地球在吸收太阳热辐射后会以红外线为主要形式向大气发出红外辐射，以此散失热量，但由于大气层中存在水分子、二氧化碳等物质，这些物质对红外线有强烈吸收能力，一定程度上减少了地球向大气层外的热量散失^[2~4]。

2.2 相关生态环境标准和环境管理工作的需要

2.2.1 我国碳监测工作开展情况

为了稳步推进“双碳”目标落地落实，2021 年 9 月生态环境部印发《碳监测评估试点工作方案》^[5]工作方案，在火电、钢铁、石油天然气开采、煤炭开采和废弃物处理 5 类重点行业选取 22 台发电机组、29 个钢铁企业排放口、9 块油气田、11 座煤矿、9 家废弃物处理企业开展温室气体试点监测，其中涉及二氧化碳自动监测的主要是火电、钢铁以及废弃物处理行业。2023 年 8 月，生态环境部印发《深化碳监测评估试点工作方案》^[6]，二氧化碳试点监测新增水泥行业，二氧化碳自动监测数量拓展至 114 台发电机组、29 个钢铁企业排放口、7 个水泥窑尾排放口及 11 家废弃物处理企业。基于目前试点工作成果，标准编制组汇总了不同行业不同生产工段常见的二氧化碳排放浓度（如表 1 所示）。

表 1 各行业常见二氧化碳排放浓度

行业类别	排放点位	CO ₂ 浓度/%
火电	燃煤	8 ~ 15
	燃气	3 ~ 5
钢铁	烧结	5 ~ 8
	球团	1 ~ 3
	焦炉	3 ~ 18
	热风炉	20 ~ 25
	自备电厂	18 ~ 25
	石灰窑	20 ~ 25
垃圾焚烧	-	10 ~ 15

水泥	水泥窑尾	>20
----	------	-----

2.2.2 碳排放监测管理需要

2021年3月1日,《排污许可管理条例》正式实施,按照排污许可管理有关要求,重点排污单位均应安装烟气排放连续监测系统,以实现对其污染物的排放浓度、排放速率、排放量的实时监测。条例明确指出,“生态环境主管部门依法通过现场监测、排污单位污染物排放自动监测设备、全国排污许可证管理信息平台获得的排污单位污染物排放数据,可以作为判定污染物排放浓度是否超过许可排放浓度的证据”。自动监测数据在排污、监测、执法等环境管理工作中的作用随着管理需求的提升而逐渐扩大的同时,也表明我国的自动监测仪器技术已经较为成熟。

目前,世界主流的碳排放量统计方法包括核算法和监测法。其中,核算法应用最为广泛,主要是依靠政府间气候变化专门委员会(IPCC)建议的碳排放核算标准技术方法,该方法的原理是基于燃料消耗量乘以相应碳排放因子计算碳排放量。但在应用过程中,受制于皮带秤在使用过程中准确度逐渐偏离^[7]和燃料种类不单一等问题,核算法的数据质量难以得到根本保障。

2022年10月,国家市场监督管理总局等部门联合印发《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》,提出“完善地区、行业、企业、产品等不同层面碳排放监测、核算、报告、核查标准”。2025年5月,生态环境部等部门联合印发《国家应对气候变化标准体系建设方案》,提出“温室气体监测标准是应对气候变化数据的‘度量衡’,为获取真实、准确、可比的应对气候变化数据提供技术依据和保障。主要包括温室气体监测技术指南、监测方法标准、监测设备标准、标准物质/样品,涵盖大气和排放源的自动监测、手工监测、遥感监测等。”

为助力“监测法”碳排放量统计的深入推进和进一步实施,完善我国碳排放量核算体系,规范废气二氧化碳自动监测系统技术要求和性能质量尤为重要。目前,我国尚未出台废气二氧化碳自动监测系统技术要求类行业或国家标准,缺少高水平的技术文件指导废气二氧化碳自动监测系统的设计和生产。加快推进废气二氧化碳自动监测系统技术要求相关研究,尽快出台相关仪器标准,推动我国废气二氧化碳自动监测系统达到国际水平,对于服务支撑“双碳”战略,具有重要意义。

2.3 标准合法合规性分析

根据《中华人民共和国环境保护法》第十七条的规定,监测机构应当使用符合国家标准监测的设备,遵守监测规范;《中华人民共和国大气污染防治法》第二十三条规定,国务院环境保护主管部门负责制订大气环境质量和大气污染源的监测和评价规范,组织开展大气环境质量和大气污染源监测。本标准可以作为环境监测设备商设计、生产固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的技术依据和监测机构开展固定污染源废气二氧化碳自动监测系统性能指标检测的技术依据。

根据《中华人民共和国环境保护法》第五十四条的规定,国务院环境保护主管部门统一发布国家环境质量、重点污染源监测信息及其他重大环境信息;《中华人民共和国大气污染

防治法》第九十一条规定，国务院环境保护主管部门应当组织建立国家大气污染防治重点区域的大气环境监测、大气污染源监测等相关信息共享机制。

3 二氧化碳监测分析方法、自动监测仪器调研及国内外相关仪器标准研究

3.1 二氧化碳分析方法

对于 CO₂ 气体的测定，目前国内外已公布的分析方法有化学法、色谱法、电化学法和光谱法等类型，包括化学吸收法（奥氏气体分析仪）、容量滴定法、气敏电极法、非分散红外吸收法（NDIR）、气体滤波相关红外法（GFC）、傅立叶变换红外光谱法（FTIR）、光腔衰荡光谱法（CRDS）、离轴积分腔输出光谱法（OA-ICOS）、可调谐激光光谱法（TDLAS）等。表 2 中列出了部分二氧化碳分析方法原理及特点。一般来说，应用于固定污染源废气二氧化碳自动监测的方法主要为非分散红外吸收法、气体滤波相关红外法、傅立叶变换红外光谱法和可调谐激光光谱法。

目前，我国部分发布实施的二氧化碳监测分析方法标准如表 3 所示，可用于固定污染源废气二氧化碳监测的为《固定污染源废气 二氧化碳的测定非分散红外吸收法》（HJ 870-2017）以及《固定污染源废气 气态污染物（SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂）的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法》（HJ 1240-2021）等，分别适用于浓度在 0.03%（0.6g/m³）以上和 0.05%（1g/m³）以上的现场监测。

表 2 二氧化碳相关分析方法及原理

方法	原理
非分散红外吸收法	CO ₂ 对波长为 4.26 μm 的红外辐射具有选择性吸收，在一定波长范围内，吸收值与 CO ₂ 浓度呈线性关系（遵循朗伯—比尔定律），根据吸收值确定样品中 CO ₂ 的浓度。
傅立叶变换红外光谱法	在一定条件下，CO ₂ 对红外线辐射有选择性吸收，吸收系数为一常数，吸收强度与 CO ₂ 浓度有关。傅立叶变换红外光谱法是利用迈克尔逊的光干涉原理，得到干涉光。干涉光在分束器会合后通过样品池，通过样品后含有样品信息的干涉光到达检测器，然后通过傅立叶变换对信号进行处理，最终得到透过率或吸光度随波数或波长的红外吸收光谱图，并与 CO ₂ 标准图谱相比较，对 CO ₂ 气体进行定量和定性分析。
气相色谱法 ^[8]	含有 CO ₂ 气体的样品由载气带入气相色谱柱，经热导检测器（TCD）检测，得到样品的色谱峰。根据标准气体样品色谱峰的保留时间进行定性，根据色谱峰面积外标法定量。
化学吸收法（奥氏气体分析仪） ^[9]	利用不同的溶液来相继吸收气体试样中的不同组分，用 40% 的氢氧化钠吸收试样中的二氧化碳；用焦性没食子酸钾溶液吸收试样中的氧气；用氨性氯化亚铜溶液来吸收试样中的一氧化碳。然后根据吸收前后试样体积的变化来计算各组分的含量。CH ₄ 和 H ₂ 用爆炸燃烧法测定，剩余气体为 N ₂ 。
气敏电极法	二氧化碳气体通过气透膜进入溶液中，用敏感膜电极测量溶液变化的 pH 计算 CO ₂ 的量。 化学反应为：CO ₂ +H ₂ O→HCO ₃ ⁻ +H ⁺ 。 气敏电极内充液为 HCO ₃ ⁻ ，且是酸碱平衡的。所用的敏感膜电极是 pH 电极，样品溶液中溶解的 CO ₂ 气体，通过气透膜扩散进入离子敏感膜表面与气透膜之间的极薄液层内，直到试剂和极薄液层内 CO ₂ 气体的分压相等，薄层内的离子活度的变化可由复合电极检出。

容量滴定法	二氧化碳被过量的氢氧化钡溶液吸收，生成碳酸钡沉淀，剩余的氢氧化钡溶液用标准草酸溶液滴定至酚酞试剂红色刚褪。由容量法滴定结果和所采集的体积，计算二氧化碳的浓度。
-------	---

表 3 国内二氧化碳监测分析方法标准

标准号	标准名称	备注
GB/T 31705-2015 ^[10]	气相色谱法本底大气二氧化碳和甲烷浓度在线观测方法	本底大气自动监测
GB/T 34286-2017 ^[11]	温室气体 二氧化碳测量离轴积分腔输出光谱法	环境空气
GB/T 34415-2017 ^[12]	大气二氧化碳 (CO ₂) 光腔衰荡光谱观测系统	本底大气自动监测
HJ 870-2017 ^[13]	固定污染源废气 二氧化碳的测定 非分散红外吸收法	固定污染源
HJ 1240-2021 ^[14]	固定污染源废气 气态污染物 (SO ₂ 、NO、NO ₂ 、CO、CO ₂) 的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法	固定污染源
NY/T 1700-2009 ^[15]	沼气中甲烷和二氧化碳的测定气相色谱法	农业

3.2 废气二氧化碳自动监测系统调研

标准编制组对国内废气二氧化碳自动监测系统进行了调研，主要了解测量量程、测量原理、测量方式、系统安装测量位置等，具体调研信息详见表 4。

通过调研了解到：

- (1) 国内市场废气二氧化碳自动监测系统包含国产和进口仪表；
- (2) 国内市场废气二氧化碳自动监测系统测量量程一般为 (0~20)% 和 (0~25)%，支持其他量程定制；
- (3) 国内市场废气二氧化碳自动监测系统测量原理主要为非分散红外吸收法、气体滤波相关红外法、傅立叶变换红外光谱法、可调谐激光光谱法；
- (4) 国内市场废气二氧化碳自动监测系统测量方式主要为直接抽取冷干法、直接抽取热湿法、稀释抽取法；
- (5) 国内市场废气二氧化碳自动监测系统安装测量位置主要为烟道内抽取通过样品传输管线输送至监测站房内分析仪器测量和烟道内抽取后输送至监测平台处分析仪器测量，2 种方式。

综上，我国市场上废气二氧化碳自动监测系统包含国产和进口仪表，且国产仪表型号数量相对可观。系统的测量原理与调研了解的适用于污染源监测的废气二氧化碳自动监测技术原理一致，各仪器厂商支持对测量量程定制，可满足目前各碳监测评估试点行业应用。测量方式以直接抽取和稀释抽取为主，直接抽取涵盖了冷干法（除湿后测量）和热湿法（不除湿直接测量）两种类型，但直接测量方式较为少见。安装测量方式包括监测站房内安装测量和监测平台处安装测量 2 种，前者为传统废气自动监测系统，后者往往集成度更高、体积小巧。

表 4 国内部分废气二氧化碳自动监测系统调研信息

序号	单位	型号	量程	测量原理	测量方式	安装位置
1	北京雪迪龙科技股份有限公司	SCS-900C GHG	(0~25)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
2	北京雪迪龙科技股份有限公司	SCS-900FT	(0~25)%可定制	FTIR	直接抽取热湿	监测站房内
3	杭州泽天春来科技股份有限公司	CEMS-5000C	(0~25)%可定制	TDLAS	直接抽取冷干	监测站房内
4	西克麦哈克(北京)仪器有限公司	SMC 9021GHG-S7CO2	(0~25)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
5	ABB(中国)有限公司	ACX-C150	(0~20)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
6	北京新叶科技有限公司	XYKJ-3000	(0~25)%可定制	TDLAS	直接抽取热湿	监测平台处
7	四方光电(武汉)仪器有限公司	Gasboard-9050G HG	(0~25)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
8	上海北分科技股份有限公司	SBF1200 C	(0~25)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
9	安荣信科技(北京)股份有限公司	ARX-G320	(0~25)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
10	佛山市南华仪器股份有限公司	NHEM-3	(0~20)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测站房内
11	恩威雅环境技术(北京)有限公司	MIR9000	(0~20)%可定制	GFC	直接抽取冷干	监测站房内
12	南京柯普士仪器科技有限公司	KPS-6000	(0~20)%可定制	FTIR	直接抽取热湿	监测站房内
13	聚光科技(杭州)股份有限公司	CMS-200	(0~25)%可定制	NDIR	直接抽取冷干	监测平台处
14	赛默飞世尔科技(中国)有限公司	Model 200-C	(0~25)%可定制	NDIR	稀释抽取	监测站房内

3.3 国外固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准

为进一步了解国际社会对于固定污染源废气二氧化碳自动监测系统功能要求、性能指标等规定，标准编制组详细调研了国际标准化组织、欧洲、美国、日本等国际组织或发达国家现行的仪器标准和法令法规，形成有关调研结果如下：

国际标准化组织针对固定污染源废气二氧化碳自动监测系统出台的标准为《Stationary source emissions — Determination of the mass concentration of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygen in flue gas — Performance characteristics of automated measuring systems》（ISO 12039:2019）^[16]，主要技术指标包括：响应时间、重复性、线性、24 小时零点和量程漂移、长期漂移，样气压力变化、环境温度变化、电压变化、干扰成分的影响以及采样损失、光束偏移（原位测量方式）等。

欧洲标准化委员会（CEN）和欧洲电气标准化委员会（CENELEC）发布的《Air quality — Certification of automated measuring systems — Part 3: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources》（EN 15267-3:2023）^[17]对固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的检测分为实验室和现场两部分。实验室检测中主要考察系统的响应时间、重复性、线性误差，环境温度变化、样气压力变化、流量变化、电压变化、振动、干扰成分以及光束偏移（直接测量方式）的影响。现场检测中主要考察系统响应时间、长期漂移、线性误差、比对等。

日本产业标准《Continuous analyzer for carbon dioxide in flue gas》（JIS B7986:2006）^[18]中提出了响应时间、零点和量程漂移、重复性、示值误差、检出限、流量变化影响、电压变化影响等性能指标。

美国联邦法典 40 号第 75 部分排放连续监测（40 CFR PART 75 Continuous emission monitoring）^[9]中对于二氧化碳自动监测系统除提出了二氧化碳浓度监测单元相关性能指标外，还提出了流速、湿度连续监测系统性能指标要求，主要包括：校准误差（漂移）、线性检查（示值误差）、正确度（包括二氧化碳、流速、湿度）等。另一方面，40 CFR PART 75 中还提出了“Reduced RATA Frequencies”（减少正确度测试频次）的相关要求，即当正确度指标测试结果满足一定要求时，可以将半年开展一次的正确度测试延长至一年开展一次。

上述标准具体指标要求，见表 5。

表 5 国外固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准技术指标比较^[16--19]

指标名称	美国 40 CFR PART 75		欧洲 EN 15267-3:2023		日本 JIS B7986:2006	国际标准化组织 ISO:12039-2019
	基本要求	Reduce RATA	实验室检测	现场检测		
响应时间	/	/	≤200 s	≤200 s	≤240 s	≤200 s
重复性	/	/	≤±2.0% F.S.	/	≤±2% F.S.	≤2.0% F.S.
拟合偏差（线性）	/	/	≤±2.0% F.S.	≤±2.0% F.S.	≤±4% F.S.	≤2.0% F.S.
24h 零点漂移	/	/	/	/	≤±2% F.S.	≤2.0% F.S.
24h 量程漂移	/	/	/	/	≤±2% F.S.	≤2.0% F.S.
无人值守期零点漂移	/	/	/	≤±3.0% F.S.	/	≤3.0% F.S.
无人值守期量程漂移	/	/	/	≤±3.0% F.S.	/	≤3.0% F.S.
样气压力变化（3kPa）	/	/	≤±2.0% F.S.	/	/	≤3.0% F.S.
流量变化影响	/	/	≤±2.0% F.S.	/	≤±2% F.S.	≤2.0% F.S.
环境温度变化影响	/	/	≤±5.0% F.S.	/	/	≤3.0% F.S.
电压变化影响	/	/	≤±2.0% F.S.	/	≤±2% F.S.	≤2.0% F.S.
原位式交叉叠加测量光束偏移影响	/	/	≤±2.0% F.S.	/	/	≤2.0% F.S.
干扰物质影响	/	/	≤±4.0% F.S.	/	/	≤4.0% F.S.
振动的影响	/	/	≤±2.0% F.S.	/	/	/
复现性	/	/	/	≤±3.3% F.S.	/	/
数据有效率	/	/	/	≥95%	/	/
最小维护间隔	/	/	/	8 天	/	/
采样管线与处理系统的损耗与泄漏	/	/	/	/	/	≤2.0%测量值
7 天连续校准误差（现场 24h 漂移）	绝对误差≤0.5%（气体标称值）	/	/	/	/	/
线性检查（示值误差）	相对误差≤5.0%（气体标称值） 绝对误差≤0.5%	/	/	/	/	/

	(气体标称值)					
检出限	/	/	/	/	≤1% F.S.	/
二氧化碳正确度	相对准确度≤10.0% 或绝对误差≤1.0%	相对准确度≤7.5% 或绝对误差≤0.7%	/	与标准参比方法测量结果的相关函数 R ² ≥0.85	/	/
流速正确度	相对误差≤10.0% 或流速≤10.0 FPS 时绝对误差≤2.0 FPS	相对误差≤7.5% 或流速≤10.0 FPS 时绝对误差≤1.5 FPS	/	/	/	/
湿度正确度	相对误差≤10.0% 或绝对误差不超过±1.5%	相对误差≤7.5% 或绝对误差不超过±1.0%	/	/	/	/

3.4 国内固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准

我国已发布的固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准主要为：《气体分析 一氧化碳含量、二氧化碳含量及氧气含量在线自动测量系统性能特征的确定》（GB/T 40789-2021）^[20]、《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》（DL/T 2376-2021）^[21]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]。其中，国标 GB/T 40789-2021 以 ISO:12039-2019 为基础制订，性能指标参考了 ISO:12039-2019 的规定；电力行业标准 DL/T 2376-2021 中主要规定的是连续监测过程中设备质量控制的性能指标，参照《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）^[23]，主要考核系统响应时间、示值误差、24 小时零点和量程漂移、二氧化碳正确度、流速正确度、烟温正确度、湿度正确度等，相关技术指标在 HJ 75-2017、40 CFR PART 75 的基础上有所收严；2022 年，标准编制组主要单位根据碳监测试点管理需求，结合《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》^[24]和行业排放实际研究制订了《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）团体标准，主要在排放现场考察设备的系统响应时间、示值误差、24 小时零点和量程漂移、二氧化碳正确度、流速正确度、烟温正确度、湿度正确度等指标，该标准为生态环境保护行业方面首个废气二氧化碳监测仪器标准，为支撑管理需求，标准编制组也依据此标准技术内容开展了适用性检测工作，检测结果统计情况附后。国内固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准规定性能指标，如表 6 所示。

表 6 国内固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准技术指标比较^[20-22]

指标名称	国标 GB/T 40789-2021	电力行业 DL/T 2376-2021	环保产业团体标准 T/CAEPI 47-2022
响应时间	≤200s; ≤90s	≤200 s	≤200 s
重复性	≤2.0% F.S.	/	/
拟合偏差（线性）	≤2.0% F.S.	/	/
24h 零点漂移	≤2.0% F.S.	/	/
24h 量程漂移	≤2.0% F.S.	/	/
无人值守期零点漂移	≤3.0% F.S.	/	/
无人值守期量程漂移	≤3.0% F.S.	/	/
样气压力变化（3kPa）	≤3.0% F.S.	/	/
流量变化影响	≤2.0% F.S.	/	/
环境温度变化影响	≤3.0% F.S.	/	/

电压变化影响	≤2.0% F.S.	/	/
原位式交叉叠加 测量光束偏移影响	≤2.0% F.S.	/	/
干扰物质影响	≤4.0% F.S.	/	/
振动的影响	/	/	/
复现性	/	/	/
数据有效率	/	/	/
最小维护间隔	/	/	/
采样管线与处理系统的 损耗与泄漏	≤2.0%测量值	/	/
7天连续校准误差 (现场24h漂移)	/	≤±2.5% F.S.	≤±2.5% F.S.
线性检查 (示值误差)	/	相对误差不超过±5% (气体标称值) 绝对误差不超过±0.5% (气体标称值)	相对误差不超过±5% (气体标称值)
检出限	/	/	/
二氧化碳正确度	/	相对准确度 ≤5%	≥20%时, 相对准确度≤10% ≥14% ~ <20%时, 绝对误差≤2% ≥7% ~ <14%时, 相对误差≤15% <7%时, 绝对误差≤1%
流速正确度	/	相对误差不超过±6% (新建)	≤10m/s 时, 相对误差±12% >10m/s 时, 相对误差±10%
温度正确度	/	±3 °C	±3 °C
湿度正确度	/	≤5.0%时, 绝对误差不超过±1.5% >5.0%时, 相对误差≤25%	≤5.0%时, 绝对误差不超过±1.5% >5.0%时, 相对误差≤25%

除以上标准外,国家市场监督管理总局还发布了《锅炉碳排放在线监测技术指南》(GB/T 45869-2025),该标准提出了锅炉碳排放自动监测的系统性能指标、安装、运行维护和数据处理等要求,其中流速正确度按照锅炉额定蒸发量进行分类规定,适用于燃用化石燃料的锅炉。工业和信息化部也印发了《钢铁企业二氧化碳排放监测技术规范》(YB/T 6215-2024)、《焦化企业二氧化碳排放监测技术规范》(YB/T 6218-2024)、《铁合金企业二氧化碳排放监测技术规范》(YB/T 6219-2024),标准中均规定废气二氧化碳自动监测系统现场安装、调试和验收技术要求应符合 HJ 75 的相关要求,也可选用固定污染源二氧化碳自动监测的其他方法标准。目前,我国火电、钢铁、水泥、铝冶炼等重点行业均纳入碳排放权交易市场,各行业废气排放工况、安装点位条件、二氧化碳排放浓度均不同,达到国际“监测法”应用水平且普遍适用于各重点行业的仪器技术要求类标准仍是空白。

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

本次标准制订以科学性、先进性和可操作性为原则,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》,按照《生态环境标准管理办法》(生态环境部令〔2020〕17号)、《国家生态环境监测标准预研究项目管理办法(试行)》的有关规定,在我国现有标准、规范的基础上,编制本标准。标准制订的基本原则如下:

主要功能、指标体现现有技术水平的科学性、先进性,满足相关生态环境标准和生态环

境管理工作的要求。

检测方法科学、具有可操作性和普遍适用性，易于推广。

为开展固定污染源废气二氧化碳自动监测系统选型提供技术支撑。

支撑二氧化碳排放量统计。

引导仪器生产厂商对仪器性能和功能提升与改进。

4.2 标准制订的主要技术内容和依据

标准的资料性概述要素、规范性一般要素、规范性技术要素等技术内容的编排、陈述形式、引导语等遵循《国家环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）^[25]、《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）^[26]中的有关规定，本标准内容重点参考《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 76-2017）^[24]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAPEI 47-2022）^[22]和 40 CFR PART 75，具体的技术要素与依据如下：

1) 适用范围

在查阅国内外废气二氧化碳自动监测系统技术资料，调查固定污染源自动监测设备应用情况，结合生态环境部门管理需求，研究比较国内外固定污染源废气二氧化碳自动监测系统相关标准的基础上，确定的适用范围。本标准规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的组成结构、技术要求、性能指标和检测方法，适用于固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的设计、生产和检测。

2) 系统的组成和结构

目前，固定污染源废气二氧化碳自动监测技术主要包括非分散红外吸收法、傅立叶变换红外光谱法、气体滤波相关红外法、可调谐激光光谱法等。各种技术原理具有不同的技术特点和特性，本着促进监测技术进步，引领技术创新，提高标准适用性的原则，本标准中规定的固定污染源废气二氧化碳自动监测系统组成和结构涵盖上述国际主流监测技术原理的监测系统。

3) 技术要求

主要在外观要求、工作条件要求、安全要求和功能要求 4 个方面进行规范，重点参考了《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 76-2017）^[24]。围绕管理需求，进一步明确了稀释抽取测量方式废气二氧化碳自动监测系统音速小孔后端绝对气压（或真空度）、稀释气流量监控等功能要求。为了提高仪器智能化水平，标准中针对数据采集和传输设备、二氧化碳自动质控设备和数据采集记录处理软件提出了一些新的功能要求。

4) 性能指标与检测方法

性能指标与检测方法的制订主要参考《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 76-2017）^[24]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAPEI 47-2022）^[22]和 40 CFR PART 75 相关规定，并通过分析编制组多年以来积累的废气二氧化碳自动监测系统和废气参数自动监测系统适用性检测数据结果以及碳监测评估试点数据，检验方法的可操作性，制订各性能指标要求。

4.3 标准制订的技术路线

1) 确定开展固定污染源废气二氧化碳自动监测系统仪器标准研究的可行性

编制组首先梳理了固定污染源废气二氧化碳主要分析方法、调研了国内固定污染源废气二氧化碳自动分析技术和相关标准，对各自动监测分析方法的适用性进行研究。随后，开展国内外废气二氧化碳自动监测系统相关仪器标准调研并对各仪器标准中对仪器组成结构、技术要求、主要性能指标及检测方法方面的规定进行总结。最后，进一步调查了解国内外仪器设备生产商废气二氧化碳自动监测系统技术水平、成熟程度，确定我国市场上相关仪器的技术状况和现行标准同仪器设备实际的差距，确定开展固定污染源废气二氧化碳自动监测系统仪器标准研究的可行性，并初步编制形成标准征求意见稿草案。

2) 梳理适用性检测数据，研究现行标准技术指标收严的可能性

标准编制组对近年来废气（SO₂、NO_x、HCl、CO、CO₂、颗粒物）排放连续监测系统、烟气参数连续监测系统、废气非甲烷总连续监测系统适用性检测情况进行了梳理统计，重点分析废气二氧化碳监测系统的24小时零点和量程漂移、示值误差、二氧化碳正确度、流速正确度、湿度正确度检测数据和结果，对比国外仪器标准相关技术要求，研究上述重要指标要求加严的可能性。

3) 补充验证测试数据

国内现行标准《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAPEI 47-2022）^[22]中对二氧化碳浓度测量方面性能指标均为现场检测指标，一方面在现场应用过程中，设备可能会受到温度变化、工况流量变化、现场电压变化等影响；另一方面，我国现行的仪器行业标准，如《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 76-2017）^[24]、《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》（HJ 1013-2018）^[27]均规定了实验室检测环节和现场检测环节。本标准征求意见稿中增加了实验室检测性能指标。

根据标准征求意见稿草案，标准编制组制订了验证测试方案，征集了6个型号、每个型号3台套设备（共18台套）进行实验室性能指标验证测试。设备测量原理涵盖各主流自动监测技术。

在二氧化碳排放浓度较高的行业对3个型号4台废气二氧化碳自动监测系统进行了验证测试，补充二氧化碳正确度比对数据。

4) 结合碳监测评估试点成果，完善标准征求意见稿和编制说明

根据适用性检测数据统计分析、国内外标准、补充验证测试数据，结合碳监测评估试点数据，确定标准征求意见稿的科学性、先进性和可操作性，修改完善标准征求意见稿和编制说明。

具体标准制订技术路线见图1。

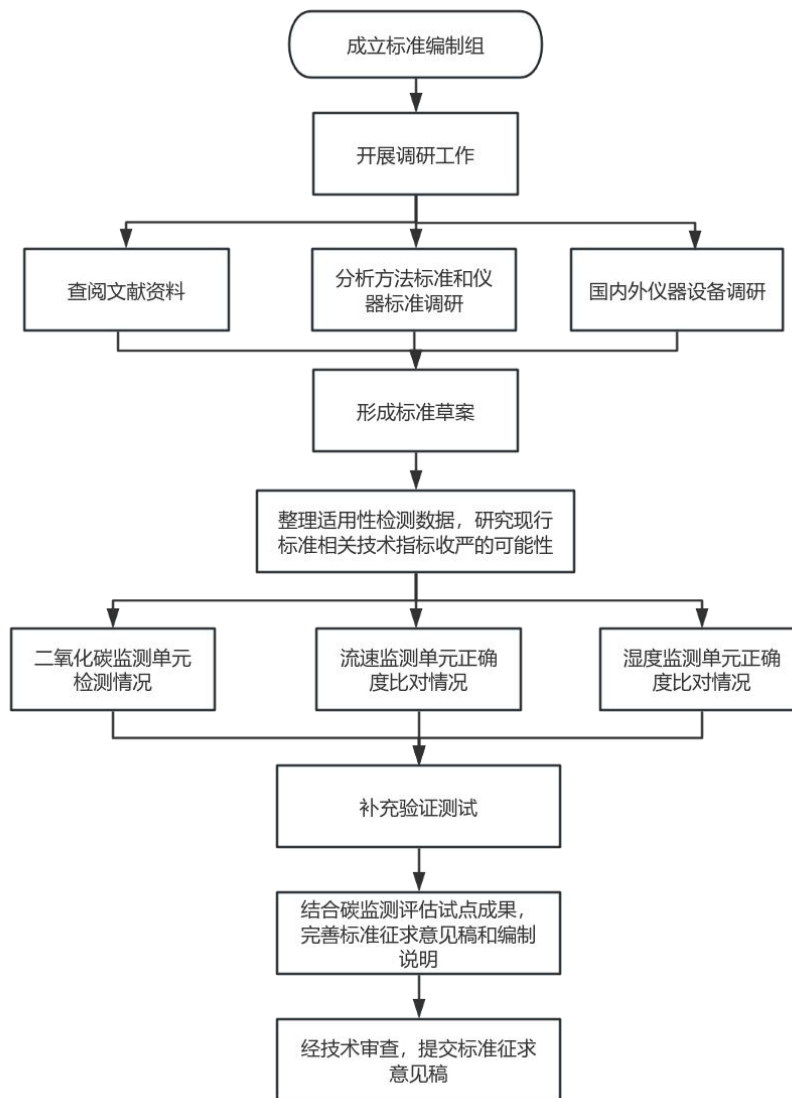


图1 标准制订的技术路线图

5 标准主要技术内容

5.1 标准主要内容

本标准主要包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、系统的组成和结构、技术要求、性能指标、检测方法、质量保证、检测项目及附录等。经文献、标准和市场调研，固定污染源废气二氧化碳自动监测系统可认为是烟气/废气排放连续监测系统的一种类型，本标准主要内容参考《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 76-2017）^[24]和《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]编写。

（1）适用范围：规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的组成结构、技术要求、性能指标和检测方法，适用于固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的设计、生产和检测。

- (2) 规范性引用文件：明确了编制本标准所依据的标准规范。
- (3) 术语和定义：明确了本标准中的术语和定义。
- (4) 系统结构和组成：明确了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的结构和组成。
- (5) 技术要求：规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的外观要求、工作条件、安全要求、外观要求、功能要求等。
- (6) 性能指标：规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统性能指标及指标技术要求。
- (7) 检测方法与要求：规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的检测要求、检测条件及各性能指标的具体检测方法和检测结果计算方法。
- (8) 质量保证：明确了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的安装质量保证、检测质量保证及运行期质量保证。
- (9) 检测项目：详细列举了实验室检测、现场初检、现场复检的检测项目和指标技术要求。
- (10) 附录：包括A、B共2个附录，附录A为规范性附录，规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测日报表、月报表和年报表；附录B为规范性附录，规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统数据采集记录和处理要求。

5.2 标准主要内容说明

5.2.1 适用范围

本标准规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的组成结构、技术要求、性能指标和检测方法。本标准适用于固定污染源废气二氧化碳自动监测系统（以下简称系统）的设计、生产和检测。

5.2.2 规范性引用文件

本标准引用文件为《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)^[28]、《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 76)^[24]、《污染物自动监测监控系统数据传输技术要求》(HJ 212)^[29]、《排污单位污染物排放口监测点位设置技术规范》(HJ 1405-2024)、《固定污染源废气二氧化碳自动监测技术规范》。

5.2.3 术语和定义

本标准规定了校准、调整、系统响应时间、标准状态共4个术语和定义。

5.2.3.1 校准

在规定条件下测定标准物质/标准样品，确定标准物质/标准样品提供的量值与相应示值之间的关系。

参照近年来发布的生态环境监测标准，明确校准的定义，与HJ 76-2017标准中所规定校准有所区分。

5.2.3.2 调整

为使仪器提供相应于给定被测量值的指定示值，对仪器进行的操作。

参照近年来发布的生态环境监测标准，明确调整的定义，在 HJ 76-2017 标准中称作校准。

5.2.3.3 系统响应时间

从系统机柜的校准管线通入标准气体起，经废气样品采集传输测定相同路径，到分析仪示值达到标准气体标称值的 90% 止，中间的时间间隔。

近年来发布的固定污染源废气非甲烷总烃以及一氧化碳和氯化氢自动监测技术规范中对系统响应时间的定义为“从固定污染源废气自动监测站房的校准管线通入标准气体起到分析仪示值达到标准气体标称值的 90% 止中间的时间间隔”，考虑到部分废气二氧化碳自动监测系统安装在采样平台处而非监测站房内，本标准在该定义基础上作出修改。

5.2.3.4 标准状态

《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 76-2017）^[24]中定义“标准状态”为“温度为 273 K，压力为 101.325 kPa 时的状态。本标准中污染物质量浓度均为标准状态下的干烟气浓度”。由于废气中二氧化碳浓度一般可达到百分比级别，往往以体积浓度（体积分数）表示。因此本标准中将术语“标准状态”修改为“温度为 273 K，压力为 101.325 kPa 时的状态。本标准中的二氧化碳体积浓度（体积分数）均为标准状态下的干基浓度”。

5.2.4 系统的组成和结构

废气二氧化碳自动监测系统组成与结构同 HJ 76-2017 标准规定的烟气排放连续监测系统组成与结构基本一致，但由于二氧化碳没有排放限值，排放浓度无需根据氧气进行折算，因此氧含量监测单元非必要组成。参照《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 76-2017）^[24]，规定废气二氧化碳自动监测系统由二氧化碳监测单元、废气参数监测单元、大气压力监测单元、数据采集与处理单元、二氧化碳自动质控单元组成。系统测量废气中二氧化碳浓度、废气参数（温度、压力、流速或流量、湿度等）、大气压力，同时计算二氧化碳排放速率和排放量，显示（可支持打印）和记录各种数据和参数，形成相关图表，并通过报表、图文等方式传输至固定源排放监控管理系统和污染治理设施运行监控系统。为提高废气二氧化碳自动监测的智能化水平和仪器感知能力，提高数据质量，本标准中增加了系统应当配置二氧化碳自动质控单元的规定。环境大气压力数值参与排放速率和排放量的统计计算，在《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 76-2017）^[24]中规定自动监测系统的大气压监测单元为可选装置，一般作为可设置修改的参数，为提升系统监测二氧化碳排放量的精确度，本标准规定大气压力监测单元为系统必要组成。

规定系统结构主要包括样品采集和传输装置、预处理设备、分析仪器、数据采集和传输设备、二氧化碳自动质控设备和其它辅助设备。依据系统测量方式和原理的不同，由上述

全部或部分结构组成。

规定样品采集和传输装置主要包括采样探杆、采样探头、样品传输管线、流量控制设备和采样泵等；采样装置的材质和安装应不影响仪器测量。一般采用抽取测量方式的系统均具备样品采集和传输装置。与《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 76-2017）^[24]相比，样品采集和传输装置组成新增加了采样探杆，目的在于在技术要求中进一步明确采样探杆应加热。

规定预处理设备主要包括样品过滤设备和除湿设备等，预处理设备的材料和安装应不影响测量。采用抽取测量方式的系统具备全部或部分预处理设备。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 76-2017）^[24]中规定“部分采用抽取测量方式的 CEMS 具备预处理设备”，实际上部分采用直接测量方式的自动监测系统在颗粒物浓度较高情况下也可以安装过滤器，同样具备预处理设备。结合热湿测量方式的系统无除湿设备，因此本标准中修改为“采用抽取测量方式的系统具备全部或部分预处理设备”。

规定分析仪器用于对采集的污染源气体样品进行测量分析，与《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 76-2017）^[24]一致。

规定数据采集和传输设备用于采集、处理和存储监测数据，并能按中心计算机指令传输监测数据和设备工作状态信息，与《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 76-2017）^[24]一致。

规定采用抽取测量方式的系统，其辅助设备主要包括尾气排放装置、反吹净化及其控制装置、稀释零空气预处理装置及冷凝液排放装置等；采用直接测量方式的系统，其辅助设备主要包括气幕保护装置和标气流动等效校准装置等，与《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 76-2017）^[24]一致。

新增二氧化碳自动质控设备相关要求，二氧化碳自动质控设备用于定时对系统进行质控，或可接收平台指令远程对系统进行校准和调整、漂移和示值误差校准等。

上述在《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 76-2017）^[24]基础上进行修改完善的内容均符合仪器设备实际。

5.2.5 功能要求

5.2.5.1 外观要求

参考《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 76-2017）^[24]中 5.1 对自动监测系统的外观要求，增加了铭牌信息中应包含量程的要求，市场自动监测系统铭牌基本注明了量程。

5.2.5.2 工作条件

参考《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 76-2017）^[24]中 5.2 对自动监测系统工作条件的要求，包括温度、湿度、电压、大气压等方面的规定。

5.2.5.3 安全要求

参考《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 76-2017)^[24]中 5.3 对自动监测系统安全要求作出的规定,包括绝缘电阻、绝缘强度和漏电保护等要求。其中,5.3.3 在《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 76-2017)中无标题,本标准中新增标题“漏电保护”,技术内容未变化。

5.2.5.4 功能要求

a) 样品采集和传输装置要求

主要参考《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 76-2017)^[24]对样品采集和传输装置的功能要求作出规定。

与《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 76-2017)^[24]相比,5.4.1.1 条目中明确了“采样探杆和采样探头加热温度一般应在 120 °C 以上,且应高于废气露点温度 10 °C 以上”,主要考虑自动监测系统的实际应用中,存在仅对探头加热对探杆不加热的情况。二氧化碳虽然溶解度较低,但当烟温较低、样品采集和传输装置不加热时,采样管路内存积液态水可能导致分析测量部件损坏。同时,当湿度测量装置安装在系统的机柜中时,可能导致湿度测量不准确。

标准规定采样探杆、采样探头、伴热管线加热温度均应在 120 °C 且高于废气露点温度 10 °C 以上,主要参考 ISO 12039:2019 附录 A 中 A.3,该标准规定过滤器和采样探针的加热温度不低于烟气中水或酸露点温度的 10 °C ~ 20 °C,伴热管线加热温度不低于烟气中水或酸露点温度的 15 °C,参照该条日本标准规定加热温度一般为 120 °C 以上。

本标准 5.4.1.2 ~ 5.4.1.6、5.4.1.9 条目均与《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 76-2017)^[24]5.4.1 条目下相关内容和要求一致。

本标准中新增加了“5.4.1.7 稀释抽取测量方式的系统应具备稀释抽取采样装置音速小孔出口端(文丘里管喉部)绝对气压(或真空度)的监控功能,绝对气压应≤40 kPa(或真空度≥60 kPa),实际测量绝对气压(或真空度)应能够在系统软件中显示记录和查询”的规定,主要依据稀释抽取测量方式系统的实际测量原理:当音速小孔两端存在一定压差时,气体通过小孔的流速随着压差增大而增大,而当小孔两端压差满足临界条件时,气体通过限流孔的流速仅取决于气体分子流经小孔时的振动速度,流过小孔的气体流量将保持不变,与小孔两端的压差变化无关。在理想状态下,把废气视作空气,则该临界压力比为 0.5283。本标准规定了系统应能在大气压为(80~106) kPa 的环境条件下工作,此时音速小孔下游绝对压力临界值约 42 kPa,考虑到烟道负压、压力传感器测量误差等因素,本标准中将绝对气压(或真空度)的临界值规定为 40 kPa(或真空度 60 kPa)。而当绝对气压或真空度不满足上述条件时,则稀释比可能发生变化,造成自动监测数据失真。进一步明确该功能要求,可以直接对系统运行状态做出判断并可为系统故障时排除部分原因。

与《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 76-2017)^[24]相比,本标准中新增加了“5.4.1.8 稀释抽取测量方式的系统应具备稀释零空气流量(或气压)监控功能,稀释零空气的流量(气压)应保持稳定,波动范围不超过设定值的±3%。稀释零空气采用流量控制方式的系统,稀释零空气设定流量和实测流量应能

够在系统软件中显示记录和查询。稀释零空气采用压力控制方式的系统，稀释零空气设定气压、设定流量（换算后）、实测气压和实际流量（换算后）应能够在系统软件中显示记录和查询”的规定，主要考虑稀释抽取测量方式的系统实际测量原理，稀释抽取式系统实际测量的是稀释后样气中二氧化碳的浓度，再根据稀释比计算得到废气中二氧化碳的实际浓度。在正常运行状态下，稀释零空气流量正常波动范围较小，对测量结果影响有限，而如果设备在某稀释比下完成全系统标定后，稀释零空气流量提高，将导致测量结果偏低，因此稀释抽取式系统有必要增加稀释零空气流量监控功能。而稀释零空气流量的监控可以通过流量计直接测量或通过测量稀释零空气压力换算得到，本标准中对两种稀释零空气流量监控方式均作出了规定。

b) 预处理设备要求

主要参考《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 76-2017）^[24]对预处理设备的要求，并在其基础上进一步完善，具体如下。

目前常见的除湿设备包括机械制冷除湿、电子制冷（如帕尔贴半导体）除湿、纳分除湿，前两者属于冷凝除湿，除湿过程会产生冷凝水；纳分除湿将气态水从废气中脱除，除湿过程不产生冷凝液。本标准中根据除湿方式的不同，将 HJ 76-2017 标准 5.4.2.2 和 5.4.2.4 条目进行了合并，并进一步明确为“5.4.2.2 除湿设备出口废气露点温度应≤4℃，冷凝除湿设备的设置温度应保持在 4℃左右，正常波动在±2℃以内，其实际温度值应能够在机柜或系统软件中显示查询，冷凝除湿设备除湿过程产生的冷凝液应采用自动方式通过冷凝液收集和排放装置及时、顺畅排出”。

本标准中规定的其他关于预处理设备的要求均与《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 76-2017）^[24]5.4.2 条目下相关内容和要求一致。

c) 辅助设备要求

主要参考《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 76-2017）^[24]对辅助设备的要求，并在其基础上进一步完善，具体修改完善内容如下。

HJ 76-2017 中规定“5.4.3.6 具备稀释采样系统的 CEMS，其稀释零空气必须配备完备的气体预处理系统，主要包括气体的过滤、除水、除油、除烃及除二氧化硫和氮氧化物等环节”。在此基础上，本标准中对稀释抽取式系统的稀释零空气预处理系统增加了对稀释零空气进行加热，加热温度应保持稳定，波动范围不超过设定值±3℃，其设定值和实测值应能够在机柜或系统软件中显示查询等规定，主要考虑到在实际应用中稀释零空气的流量受温度影响，外界环境温度发生变化时，可能会影响稀释比，从而影响测量结果，增加稳定加热的相关要求，可以保障稀释抽取式系统的稳定运行。

本标准中规定的其他关于辅助设备的要求与《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 76-2017）^[24]中 5.4.3 条目下相关内容和要求一致。

d) 校准功能要求

本标准在《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 76-2017）^[24]中对校准功能要求基础上，修改如下：

HJ 76-2017 中规定“CEMS 应能用手动和（或）自动方式进行零点和量程校准”，本标准规定“5.4.4.1 系统应能用手动和自动方式进行零点和量程校准、调整”，本标准中规定系统应配置二氧化碳自动质控设备。

HJ 76-2017 中规定“采用直接测量方式的 CEMS，应具备稳定可靠和便于操作的标准气体流动等效校准功能；即能够通过内置或外置的校准池，完成对系统的等效校准”。本标准围绕二氧化碳自动质控设备，进一步提出要求：“校准池应能导入不同浓度标准气体，浓度水平至少包含（20%~30%）满量程值、（50%~60%）满量程值、（80%~100%）满量程值。校准池材质和安装应不影响二氧化碳的正常测量”，避免校准池无法满足示值误差自动校准功能。

为助力国家生态环境监测网络数智化转型，降低人工运维介入率，提高污染源废气自动监测质控规范性，本标准围绕二氧化碳自动质控相关校准功能，新增要求：

1、“5.4.4.4 二氧化碳自动质控设备应能够按照设定的气体浓度和流量发出零点气体和（20%~30%）满量程值、（50%~60%）满量程值、（80%~100%）满量程值标准气体，配气浓度和实时浓度分钟均值应能够显示记录和查询。二氧化碳自动质控设备各气体流量计使用流量一般不低于流量满量程值的 20%”。该要求规定了二氧化碳自动质控设备可以通过稀释配气方式获得不同浓度标准气体，且应记录配气浓度和实时浓度分钟均值，保证配气浓度出现偏差时，可溯源。同时，对于热式气体质量流量计，流量低于分界流量和高于分界流量时的准确度等级和最大允许误差不同，分界流量一般为流量满量程的 20%，为避免实际工作中使用高浓度标气以较高稀释比进行质控，超出流量计流量分界点，使浓度偏差变大，提出相关规定。

2、“5.4.4.5 二氧化碳自动质控设备应支持编辑性操作，可通过编辑标准气体种类、质控时间、通气时长、配气浓度和质控结果取数规则等设置自动质控任务完成零点和量程自动校准、调整以及零点漂移、量程漂移、示值误差自动校准等，至少支持设置 10 条质控任务。当零点漂移、量程漂移和示值误差超出 6.2.1.1、6.2.1.3 技术要求时，应能发出并记录报警信息”，该要求目的在于保障二氧化碳自动质控设备满足同时设置多条质控任务，标准气体种类指氮气或二氧化碳，质控时间指每条任务的执行日期时间，通气时长指每个质控任务通标气的时长，配气浓度指通过稀释配气获得的目标二氧化碳浓度，质控结果取数规则指漂移、示值误差计算结果来源（如通气后某时间区间均值或某分钟数值）。

3、“5.4.4.6 当使用新的标准气体时，二氧化碳自动质控设备应根据设置的标准气体浓度，自动更新内部配气比例，以完成不同量程值气体的配置输出”，即二氧化碳自动质控设备能够通过设置标准气体浓度和目标配气浓度，自动计算气体流量计的流量值，避免手工计算配气比再输入各流量计流量值，出现计算失误的情况。

4、“5.4.4.7 应具备制定质控计划的功能。可预设至少 30 d 的质控计划，定时完成质控”，该规定旨在将人工介入运维的时间间隔从一周延长至一个月。

5、“5.4.4.8 应具备自动记录的功能。当完成零点漂移、量程漂移、示值误差自动校准后，应按照《固定污染源废气二氧化碳自动监测技术规范》附录 C 的格式，自动生成校准、调整记录表，并且具备 1 a 以上存储能力”，该规定旨在由系统自动根据《固定污染源废气

二氧化碳自动监测技术规范》标准要求形成校准、调整记录等，降低人工运维工作量。

6、“5.4.4.9 应具备质控日志的功能。当完成自动质控后，应形成一条质控日志，日志内容包括：时间、操作人员、内容和结果，并且具备 1 a 以上存储能力”，该规定旨在将自动质控情况形成日志记录，可查。

7、“5.4.4.10 应具备质控参数的修改功能，应记录修改前后情况。质控参数包括：标气浓度、配气浓度、总输出流量、通气时长、流量计校准系数和截距等”，该规定提出影响质控结果的部分重要参数，旨在规定上述重要参数修改时应留痕。

8、“5.4.4.11 二氧化碳自动质控功能均应在全系统校准或流动等效校准状态下进行”，明确自动质控为全系统全流路的自动质控。

2025 年，中国环境监测总站编制了《城市环境空气质量监测点位智能站房检测作业指导书》（CNEMC-03-ZJZX-040-2025），以上校准功能要求，是在该作业指导书中关于智能站房自动质控相关要求的基础上经修改提出的。编制组通过调研了解到，虽然国内市场上暂无能够满足具备以上自动校准、调整功能的污染源废气自动质控设备，但本标准中所述二氧化碳自动质控设备，实际上近似于环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统动态校准仪，技术路线已经成熟，实现以上功能并不存在较大难度。

e) 数据采集和传输设备要求

主要参考《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 76-2017）^[24]对数据采集和传输设备的要求，并在其基础上进一步完善，具体修改完善内容如下。

HJ 76-2017 中规定“5.4.5.4 具备数字信号输出功能”，未明确数据传输必须使用数字信号。为避免（4~20）mA 电流传输模拟量过程的电流损耗以及上位机零点量程设置错误，本标准明确规定“5.4.5.4 应使用数字信号直接输出测量结果”，不可使用模拟量或模拟量转数字信号的方式传输。此外，使用模拟量传输只能传输电流，无法记录校准调整等人为操作信息，而数字信号可有效传输人为校准调整信息并在工控机上解析从而实现校准调整操作、调整情况的记录。

本标准中规定的其他关于数据采集和传输设备的要求与《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 76-2017）^[24]中 5.4.5 条目下相关内容和要求一致。

5.2.6 性能指标及检测方法

5.2.6.1 实验室检测

对二氧化碳监测单元和二氧化碳自动质控单元进行实验室检测。

a) 一般要求

本标准中主要参考《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 76-2017）^[24]实验室检测“7.1.1 一般要求”作出规定。条目 7.1.1.6 新增要求“一周零点和量程漂移测试期间应关闭自动校准和调整功能”，符合周漂移的检测方法规定。

b) 标准物质要求

规定“7.1.2.1 零点气体（零气）：纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气或不干扰测定的洁净空气，零气中二氧化碳浓度不超过 $400 \mu\text{mol/mol}$ ，含有其它气体的浓度不得干扰仪器的读数”，该规定主要根据美国 40 CFR PART 75 和 40 CFR PART 72，40 CFR PART 75 中规定零空气要求参照 40 CFR PART 72， $\xi 72.2$ 规定了零空气中二氧化碳的含量不应超过 $400 \mu\text{mol/mol}$ 且含有其他气体组分不得干扰自动监测系统读数。

本标准中 7.1.2.2 条目对标准气体的规定与《固定污染源烟气（ SO_2 、 NO_x 、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ 76-2017）^[24]对标准气体的规定一致，该规定也符合 40 CFR PART 75 中对标准气体的要求。

c) 实验室检测性能指标、技术要求及检测方法

本标准中二氧化碳监测单元实验室检测性能指标、各指标技术要求及检测方法参考《固定污染源烟气（ SO_2 、 NO_x 、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ 76-2017）^[24]作出规定。

本标准中对环境温度变化的影响检测方法进行了修正，以系统安装测量位置进行划分。系统测量方式分为直接测量方式、直接抽取测量方式、稀释抽取测量方式。直接测量方式的系统安装在烟道上进行测量，系统暴露于环境条件中；稀释抽取测量方式的系统，将废气从烟道中抽取后传输至安装在监测站房内的系统机柜测量；直接抽取测量方式的系统，部分同稀释抽取测量方式系统一致，在监测站房内完成测量，部分与直接测量方式系统一致，安装在监测平台处进行测量，暴露于环境条件中。对于在监测站房内完成测量的，按照 $25 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 35 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 25 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 15 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ，5 个温度点进行环境温度变化的影响检测；对于安装测量位置暴露于环境条件中的，应满足本标准 5.2 条目规定的 $-20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 的工作条件，按照 $20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 50 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow -20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ，5 个温度点进行环境温度变化的影响检测。 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度点参考了 HJ 76-2017 标准中对颗粒物监测单元环境温度变化影响检测温度点，颗粒物监测单元一般安装在监测平台处测量，同样暴露于环境条件下。具体检测方法、技术要求未修改。

本标准中对干扰成分的影响中干扰物质的种类和浓度进行了修正。《固定污染源烟气（ SO_2 、 NO_x 、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ 76-2017）^[24]中规定的干扰物质的种类和浓度为 CO (300 mg/m^3)、 CO_2 (15%)、 CH_4 (50 mg/m^3)、 NH_3 (20 mg/m^3)、 HCl (200 mg/m^3)，技术要求为正干扰和负干扰不超过满量程的 $\pm 5\%$ ，该指标主要参考了 EN 15267-3 标准。根据 EN 15267-3 标准 2023 年最新版对干扰成分影响的修订内容，结合我国污染源排放实际，规定废气二氧化碳自动监测系统干扰成分的影响指标干扰物质和对应浓度如下（见表 7），具体检测方法、技术要求未修改。

其他性能指标，仪表响应时间、重复性、线性误差、24 小时零点漂移和量程漂移、一周零点漂移和量程漂移、进样流量变化的影响、供电电压变化的影响、平行性等指标检测方法均在 HJ 76-2017 基础上结合最新要求作出规定。

由于本标准中规定了系统应配置二氧化碳自动质控设备，因此参照《环境空气气态污染物（ SO_2 、 NO_2 、 O_3 、 CO ）连续自动监测系统技术要求及检测方法》（HJ 654-2013）^[31]提出了“流量线性误差”性能指标，考察流量计流量的线性精度，性能指标技术要求与 HJ 654-2013 一致，检测方法中明确了流量检测点位 20%、50%、80% 满量程流量共 3 个测量点。

表 7 实验室检测使用的干扰成分气体

序号	干扰物质	浓度值
1	H ₂ O	15%
2	CO	300 mg/m ³
3	CH ₄	50 mg/m ³
4	N ₂ O	20 mg/m ³
5	NO	300 mg/m ³
6	NO ₂	30 mg/m ³
7	NH ₃	20 mg/m ³
8	SO ₂	200 mg/m ³
9	HCl	50 mg/m ³

本标准二氧化碳监测单元实验室检测指标验证测试,征集了6个型号,每个型号3台(套),共18台设备进行,参与验证测试的仪器设备情况如表8所示。

表 8 验证测试设备基本情况

设备	测量原理	量程	国产进口情况
型号 1	傅立叶红外	(0~20)%	国产仪表
型号 2	非分散红外	(0~20)%	国产仪表
型号 3	傅立叶红外	(0~25)%	国产仪表
型号 4	非分散红外	(0~20)%	国产仪表
型号 5	可调谐激光	(0~20)%	国产仪表
型号 6	气体滤波相关红外	(0~20)%	进口仪表

1) 仪表响应时间

按照标准规定的检测方法,对6个型号每个型号3台,共18台仪器进行了仪表响应时间验证测试,测试结果如表9和表10所示,18台仪器均达标,上升响应时间测试结果分布在16s~94s,通过率100%;下降响应时间测试结果分布在15s~86s,通过率100%。

表 9 上升响应时间验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	55 s	66 s	65 s
型号 B	25 s	27 s	29 s
型号 C	42 s	43 s	43 s
型号 D	18 s	16 s	18 s
型号 E	35 s	37 s	33 s
型号 F	90 s	93 s	94 s
技术要求	≤120 s		

表 10 下降响应时间验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	67 s	64 s	60 s
型号 B	21 s	23 s	25 s
型号 C	45 s	46 s	47 s
型号 D	16 s	16 s	15 s
型号 E	31 s	33 s	30 s
型号 F	86 s	86 s	86 s
技术要求	≤120 s		

2) 重复性

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了重复性验证测试，测试结果如表 11 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在 <0.1% ~ 0.5% (<0.1% 指测试结果 <0.05%)，通过率 100%。

表 11 重复性验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	0.4%	0.4%	0.5%
型号 B	0.1%	0.1%	0.2%
型号 C	0.1%	0.1%	0.2%
型号 D	0.2%	0.3%	0.3%
型号 E	0.1%	0.1%	0.1%
型号 F	<0.1%	<0.1%	<0.1%
技术要求	≤2%		
注：<0.1%指测试结果<0.05%			

3) 线性误差

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了线性误差验证测试，测试结果如表 12 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在 -1.6% F.S. ~ 1.1% F.S. (F.S.指满量程)，通过率 100%。

表 12 线性误差验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	1.1% F.S.	-0.7% F.S.	-0.5% F.S.
型号 B	-1.5% F.S.	-1.6% F.S.	-1.3% F.S.
型号 C	0.1% F.S.	-0.3% F.S.	-0.2% F.S.
型号 D	-0.1% F.S.	-0.3% F.S.	0.3% F.S.
型号 E	-0.2% F.S.	0.3% F.S.	0.7% F.S.
型号 F	-0.3% F.S.	-0.3% F.S.	-0.4% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程。			

4) 24 小时零点漂移和量程漂移

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了 24 小时零点漂移验证测试，测试结果如表 13 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-0.9% F.S. ~ 1.2% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%；对 18 台仪器进行了 24 小时量程漂移验证测试，测试结果如表 14 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-1.3% F.S. ~ 1.8% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

表 13 24 小时零点漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	1.2% F.S.	-0.2% F.S.	0.1% F.S.
型号 B	-0.1% F.S.	-0.2% F.S.	0.3% F.S.
型号 C	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.
型号 D	0.5% F.S.	-0.3% F.S.	<0.1% F.S.
型号 E	<0.1% F.S.	-0.9% F.S.	0.3% F.S.
型号 F	0.2% F.S.	-0.1% F.S.	-0.3% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

表 14 24 小时量程漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	1.7% F.S.	-1.0% F.S.	-0.9% F.S.
型号 B	1.2% F.S.	-1.3% F.S.	1.2% F.S.
型号 C	1.1% F.S.	1.8% F.S.	-0.8% F.S.
型号 D	0.5% F.S.	-0.4% F.S.	-0.4% F.S.
型号 E	1.0% F.S.	0.6% F.S.	-1.3% F.S.
型号 F	-0.9% F.S.	0.9% F.S.	-0.7% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程。			

5) 一周零点漂移和量程漂移

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了一周零点漂移验证测试，测试结果如表 15 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-0.7% F.S. ~ 2.4% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%；对 18 台仪器进行了一周量程漂移验证测试，测试结果如表 16 所示，1 台超出，达标结果分布在-1.1% F.S. ~ 1.2% F.S.（F.S.指满量程），通过率 94.4%。

表 15 一周零点漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	2.4% F.S.	-0.1% F.S.	0.1% F.S.
型号 B	-0.1% F.S.	-0.2% F.S.	-0.1% F.S.

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 C	-0.4% F.S.	-0.2% F.S.	0.2% F.S.
型号 D	-0.3% F.S.	<0.1% F.S.	-0.3% F.S.
型号 E	<0.1% F.S.	0.9% F.S.	0.3% F.S.
型号 F	-0.4% F.S.	-0.1% F.S.	-0.7% F.S.
技术要求	不超过±3% F.S.		

注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。

表 16 一周量程漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	3.3% F.S.	0.4% F.S.	0.8% F.S.
型号 B	0.6% F.S.	0.7% F.S.	0.6% F.S.
型号 C	-0.8% F.S.	-0.6% F.S.	-1.1% F.S.
型号 D	0.6% F.S.	-0.4% F.S.	-0.5% F.S.
型号 E	1.2% F.S.	0.3% F.S.	-1.0% F.S.
型号 F	-0.4% F.S.	0.5% F.S.	-0.6% F.S.
技术要求	不超过±3% F.S.		

注：F.S.指满量程。

6) 环境温度变化的影响

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了环境温度变化的影响验证测试，测试结果如表 17 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-1.0% F.S. ~ 0.9% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

表 17 环境温度变化的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	-0.4% F.S.	0.6% F.S.	0.9% F.S.
型号 B	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.
型号 C	0.2% F.S.	0.3% F.S.	0.3% F.S.
型号 D	<0.1% F.S.	0.6% F.S.	0.4% F.S.
型号 E	-0.4% F.S.	-1.0% F.S.	-0.1% F.S.
型号 F	0.2% F.S.	-0.3% F.S.	0.2% F.S.
技术要求	不超过±5% F.S.		

注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。

7) 进样流量变化的影响

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了进样流量变化的影响验证测试，测试结果如表 18 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-0.8% F.S. ~ 0.6% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

表 18 进样流量变化的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	<0.1% F.S.	0.2% F.S.	0.3% F.S.

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 B	0.1% F.S.	0.1% F.S.	0.2% F.S.
型号 C	0.6% F.S.	-0.5% F.S.	-0.8% F.S.
型号 D	0.2% F.S.	0.2% F.S.	0.1% F.S.
型号 E	-0.3% F.S.	-0.1% F.S.	-0.1% F.S.
型号 F	0.3% F.S.	0.3% F.S.	0.4% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

8) 供电电压变化的影响

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了供电电压变化的影响验证测试，测试结果如表 19 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-1.3% F.S. ~ 0.3% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

表 19 供电电压变化的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	-1.2% F.S.	-1.3% F.S.	-1.3% F.S.
型号 B	0.2% F.S.	0.2% F.S.	0.2% F.S.
型号 C	<0.1% F.S.	0.1% F.S.	0.2% F.S.
型号 D	0.2% F.S.	-0.1% F.S.	0.2% F.S.
型号 E	0.3% F.S.	0.1% F.S.	0.1% F.S.
型号 F	<0.1% F.S.	<0.1% F.S.	0.1% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

9) 干扰成分的影响

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了干扰成分的影响验证测试，测试结果如表 20 所示，1 台超出，达标结果分布在-0.6% F.S. ~ <0.5% F.S.（F.S.指满量程；<0.5% F.S.指各干扰成分的正干扰和负干扰均不超过±0.5% F.S.），通过率 94.4%。

表 20 干扰成分的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	-5.9% F.S.	<0.5% F.S.	-0.5% F.S.
型号 B	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.
型号 C	-0.6% F.S.	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.
型号 D	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.
型号 E	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.
型号 F	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.	<0.5% F.S.
技术要求	不超过±5% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.5% F.S.指各干扰成分的正干扰和负干扰均不超过±0.5% F.S.。			

10) 平行性

按照标准规定的检测方法，对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了平行性验证测试，测试结果如表 21 所示，6 个型号均达标，测试结果分布在 0.4% ~ 1.6%，通过率 100%。

表 21 平行性验证测试结果汇总表

厂家	平行性
型号 A	0.7%
型号 B	0.4%
型号 C	0.8%
型号 D	0.4%
型号 E	1.6%
型号 F	0.4%
技术要求	≤5%

5.2.6.2 污染源排放现场检测

a) 一般要求

本标准中主要参考《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 76-2017）^[24]污染物排放现场检测“7.2.1 一般要求”作出规定。条目 7.2.1.9 新增要求“7.3.1、7.3.2、7.3.3 技术性能指标检测均应在全系统校准或流动等效校准状态下进行”，明确现场检测时 24 小时零点漂移和量程漂移、示值误差、系统响应时间技术性能指标应在全程通标气的状态下完成检测。

b) 标准物质要求

现场检测所使用的标准物质不再额外提出要求，同本标准 7.1.2 条目对实验室检测标准物质的要求。

c) 污染源排放现场检测性能指标、技术要求及检测方法

本标准中现场检测分为二氧化碳监测单元检测和废气参数（流速、温度、湿度）监测单元检测。二氧化碳监测单元检测性能指标为示值误差、系统响应时间、24 小时零点漂移和量程漂移、正确度（即 HJ 76-2017 标准中准确度，下同）；废气流速监测单元检测性能指标为速度场系数精密密度、正确度；废气温度监测单元和废气湿度监测单元检测性能指标为正确度。

1) 示值误差

■ 检测方法

本标准中示值误差的检测方法与《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 76-2017）^[24]“7.2.3.1.1 示值误差”的检测方法一致。

■ 技术要求

《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 76-2017）^[24]中对氧气示值误差的技术要求为不超过±5%气体标称值，参照 HJ 76-2017 标准编制的《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]中对二氧化碳示值误差的技术要求为不超过±5%气体标称值。40 CFR PART 75 对二氧化碳线性检查（检测方法和标准气体浓度要求与本标准示值误差一致）技术要求为≤5%气体标称值（计

计算公式差异，等同国内仪器标准规定的不超过±5%气体标称值），或绝对误差≤0.5%（计算公式差异，等同国内仪器标准规定的绝对误差不超过±0.5%），两者取限制性较小者。

40 CFR PART 75 规定的技术要求，可以将绝对误差不超过 0.5%与不超过±5%气体标称值按照量程进行分段衔接，按照量程 10%划分，通入 100%满量程高浓度水平标准气体时，以气体标称值±5%计算，绝对误差为±0.5%，即二氧化碳测量量程≥10%时，相对误差不超过±5%气体标称值；二氧化碳测量量程<10%时，绝对误差不超过±0.5%。

本标准规定的示值误差技术要求为：二氧化碳测量量程≥10%时，相对误差不超过±5%气体标称值；二氧化碳测量量程<10%时，相对误差不超过满量程的±2.5%。

目前，我国尚未发布相关的政策或技术文件对不同行业二氧化碳自动监测设备的量程作出规定，在研计量技术规范《固定污染源二氧化碳连续监测系统现场校准规范（征求意见稿）》中示值误差校准项目规定“系统量程设置应能覆盖日常二氧化碳浓度变化范围，一般设置为系统试运行期间二氧化碳最高浓度值的 1.5 ~ 2 倍”。在 40 CFR PART 75 中，给出了一些行业二氧化碳测量量程的建议，如燃气轮机适用二氧化碳量程为 6% ~ 14%，锅炉适用二氧化碳量程 14% ~ 20%。考虑到燃气电厂、球团等部分行业二氧化碳实际排放浓度较低，其应用量程可能低于其他行业，而量程较低时，低浓度水平标准气体的示值误差以气体标称值相对误差±5%作出要求，往往指标较为严格，而以相对误差不超过±2.5%满量程作为要求，既在低量程范围有所放宽，提高了合理性，同时也较 40 CFR PART 75 规定的测量值与气体标称值绝对误差不超过 0.5%有所收严。

■ 数据基础

标准编制组参照《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 76-2017）^[24]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]开展了 59 个型号（截至 2025 年 6 月）废气二氧化碳自动监测系统的适用性检测工作，检测结果如表 22 所示，检测结果分布在-2.0% ~ 2.8%，均符合本标准要求。

表 22 示值误差检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	示值误差 (%)	型号	测量量程 (%)	示值误差 (%)	型号	测量量程 (%)	示值误差 (%)
型号 1	30	-1.5	型号 21	20	1.7	型号 41	20	-0.9
型号 2	20	0.3	型号 22	25	1.2	型号 42	20	-1.8
型号 3	20	-1.7	型号 23	20	0.9	型号 43	25	0.4
型号 4	20	1.1	型号 24	20	-1.1	型号 44	20	-1.5
型号 5	20	-2.6	型号 25	20	1.9	型号 45	20	-0.8
型号 6	20	0.4	型号 26	25	-0.7	型号 46	25	-0.5
型号 7	20	-0.3	型号 27	20	1.6	型号 47	25	1.0
型号 8	25	-2.5	型号 28	25	-1.5	型号 48	20	0.5
型号 9	20	-1.3	型号 29	25	1.4	型号 49	25	1.0
型号 10	25	2.6	型号 30	20	1.0	型号 50	25	2.8
型号 11	25	-1.3	型号 31	20	-1.3	型号 51	25	-1.5
型号 12	20	0.9	型号 32	20	-1.3	型号 52	25	-2.0
型号 13	20	0.7	型号 33	25	-1.4	型号 53	25	1.1
型号 14	25	0.7	型号 34	20	2.0	型号 54	20	-0.9
型号 15	20	-2.8	型号 35	25	0.6	型号 55	20	-1.7
型号 16	30	0.8	型号 36	25	-1.2	型号 56	25	-1.4
型号 17	20	-1.5	型号 37	25	0.5	型号 57	20	-1.1
型号 18	25	0.6	型号 38	30	0.4	型号 58	25	2.2
型号 19	20	-1.0	型号 39	25	-1.0	型号 59	20	-0.9
型号 20	25	-1.9	型号 40	30	1.8			

注：表中所列检测结果为低、中、高三种浓度水平中示值误差的最大值。

2) 系统响应时间

■ 检测方法

本标准中“系统响应时间”检测方法与《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 76-2017）^[24]“7.2.3.1.2 系统响应时间”的检测方法一致。

■ 技术要求

《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 76-2017）^[24]中对二氧化硫、氮氧化物、氧气系统响应时间的技术要求为≤200 s；《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]中对二氧化碳系统响应时间的技术要求为≤200 s；欧洲《Air quality — Certification of automated measuring systems — Part 3: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources》^[17]（EN 15267-3:2023）规定的二氧化碳系统响应时间为≤200 s。

参照以上标准，本标准规定系统响应时间为≤200 s。

■ 数据基础

标准编制组参照《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 76-2017)^[24]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》(T/CAEPI 47-2022)^[22]开展了 59 个型号（截至 2025 年 6 月）废气二氧化碳自动监测系统的适用性检测工作，检测结果如表 23 所示，59 个型号的系统响应时间检测结果最大值为 98 s，均符合本标准要求。

表 23 系统响应时间检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	系统响应时间 (s)	型号	测量量程 (%)	系统响应时间 (s)	型号	测量量程 (%)	系统响应时间 (s)
型号 1	30	73	型号 21	20	44	型号 41	20	<30
型号 2	20	83	型号 22	25	45	型号 42	20	52
型号 3	20	31	型号 23	20	84	型号 43	25	37
型号 4	20	55	型号 24	20	72	型号 44	20	82
型号 5	20	58	型号 25	20	65	型号 45	20	<30
型号 6	20	<30	型号 26	25	<30	型号 46	25	<30
型号 7	20	64	型号 27	20	42	型号 47	25	42
型号 8	25	88	型号 28	25	64	型号 48	20	66
型号 9	20	77	型号 29	25	33	型号 49	25	<30
型号 10	25	36	型号 30	20	91	型号 50	25	93
型号 11	25	58	型号 31	20	35	型号 51	25	42
型号 12	20	<30	型号 32	20	45	型号 52	25	<30
型号 13	20	34	型号 33	25	51	型号 53	25	47
型号 14	25	22	型号 34	20	<30	型号 54	20	92
型号 15	20	<30	型号 35	25	43	型号 55	20	33
型号 16	30	43	型号 36	25	<30	型号 56	25	40
型号 17	20	76	型号 37	25	34	型号 57	20	54
型号 18	25	38	型号 38	30	43	型号 58	25	<30
型号 19	20	<30	型号 39	25	79	型号 59	20	38
型号 20	25	50	型号 40	30	<30			

3) 24 小时零点漂移和量程漂移

■ 检测方法

本标准中现场检测项目 24 小时零点漂移和量程漂移的检测方法与《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 76-2017)^[24]“7.2.3.1.3 24 小时零点漂移和量程漂移”的检测方法一致。

■ 技术要求

《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 76-2017)^[24]中对二氧化硫、氮氧化物、氧气 24 小时零点漂移和量程漂移的技术要求为不超过±2.5%满量程；《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》(T/CAEPI 47-2022)^[22]中对二氧化碳 24 小时零点漂移和量程漂移的技术要求为不超过±2.5%满量程；40 CFR PART 75 对二氧化碳 7 天校准误差测试（检测方法和标准气体浓度要求与本标准 24 小时零点漂移和量程漂移一致）技术要求为与标准气体标称值绝对误差≤0.5%（计算公式差异，

等同国内仪器标准规定的绝对误差不超过±0.5%)。

本标准规定的 24 小时零点漂移和量程漂移技术要求为：不超过±2.5%满量程。

与 40 CFR PART 75 相比，当系统测量量程<20%时，本标准规定系统测量值与标准气体标称值绝对误差与满量程之比不超过±2.5%，即绝对误差不超过±0.5%，严于美国标准。当系统测量量程>20%时，较美国标准要求有所放宽。但实际上，当系统量程较高时，以量程 30%为例，如以绝对误差 0.5%为技术要求，则等同 1.5%满量程，较为严格。综合来看，本标准规定的不超过±2.5%满量程，对于低量程和高量程均有较好的适用性。

■ 数据基础

标准编制组参照《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 76-2017)^[24]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》(T/CAEPI 47-2022)^[22]开展了 59 个型号（截至 2025 年 6 月）废气二氧化碳自动监测系统的适用性检测工作，该标准检测方法与本标准一致，24 小时零点漂移检测结果如表 24 所示，检测结果分布在-0.6% ~ 1.7%；24 小时量程漂移检测结果如表 25 所示，检测结果分布在-2.0% ~ 1.8%，均符合本标准要求。

表 24 24 h 零点漂移检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	零点漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	零点漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	零点漂移 (% F.S.)
型号 1	30	0.5	型号 21	20	0.1	型号 41	20	<0.1
型号 2	20	-0.2	型号 22	25	-0.6	型号 42	20	0.2
型号 3	20	0.3	型号 23	20	1.7	型号 43	25	<0.1
型号 4	20	-0.4	型号 24	20	<0.1	型号 44	20	-0.4
型号 5	20	-0.2	型号 25	20	0.1	型号 45	20	0.2
型号 6	20	-0.1	型号 26	25	<0.1	型号 46	25	<0.1
型号 7	20	-0.2	型号 27	20	-0.2	型号 47	25	<0.1
型号 8	25	-0.1	型号 28	25	-0.3	型号 48	20	0.2
型号 9	20	0.1	型号 29	25	0.5	型号 49	25	<0.1
型号 10	25	0.2	型号 30	20	0.2	型号 50	25	<0.1
型号 11	25	<0.1	型号 31	20	<0.1	型号 51	25	0.7
型号 12	20	-0.1	型号 32	20	-0.1	型号 52	25	0.1
型号 13	20	-0.1	型号 33	25	-0.2	型号 53	25	-0.3
型号 14	25	0.3	型号 34	20	-0.1	型号 54	20	-0.4
型号 15	20	-0.1	型号 35	25	-0.1	型号 55	20	-0.1
型号 16	30	<0.1	型号 36	25	<0.1	型号 56	25	-0.2
型号 17	20	-0.2	型号 37	25	0.2	型号 57	20	0.2
型号 18	25	-0.2	型号 38	30	<0.1	型号 58	25	0.3
型号 19	20	-0.1	型号 39	25	0.2	型号 59	20	0.2
型号 20	25	-0.2	型号 40	30	-0.2			

注：F.S.指满量程；<0.1 指检测结果不超过±0.05% F.S.；表中所列检测结果为初检和复检期间 24 小时零点漂移最大值。

表 25 24 h 量程漂移检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	量程漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	量程漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	量程漂移 (% F.S.)
型号 1	30	1.1	型号 21	20	1.0	型号 41	20	1.1
型号 2	20	0.4	型号 22	25	-1.0	型号 42	20	-0.7
型号 3	20	0.5	型号 23	20	0.8	型号 43	25	0.8
型号 4	20	-0.3	型号 24	20	-0.9	型号 44	20	1.0
型号 5	20	0.7	型号 25	20	1.3	型号 45	20	0.6
型号 6	20	0.9	型号 26	25	0.3	型号 46	25	0.6
型号 7	20	1.5	型号 27	20	-1.6	型号 47	25	0.5
型号 8	25	0.7	型号 28	25	-0.8	型号 48	20	-0.6
型号 9	20	-0.7	型号 29	25	1.1	型号 49	25	-1.5
型号 10	25	1.8	型号 30	20	0.5	型号 50	25	-0.8
型号 11	25	0.7	型号 31	20	1.2	型号 51	25	0.5
型号 12	20	-0.1	型号 32	20	0.6	型号 52	25	-0.2
型号 13	20	1.0	型号 33	25	-0.8	型号 53	25	1.1
型号 14	25	1.4	型号 34	20	1.2	型号 54	20	0.6
型号 15	20	0.8	型号 35	25	-0.6	型号 55	20	-2.0
型号 16	30	1.3	型号 36	25	0.2	型号 56	25	-1.0
型号 17	20	1.1	型号 37	25	0.9	型号 57	20	-1.1
型号 18	25	-0.3	型号 38	30	0.6	型号 58	25	-1.8
型号 19	20	1.6	型号 39	25	-0.3	型号 59	20	0.3
型号 20	25	-0.4	型号 40	30	0.6			

注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指检测结果不超过±0.05% F.S.；表中所列检测结果为初检和复检期间 24 小时量程漂移最大值。

4) 二氧化碳正确度

■ 检测方法

本标准中二氧化碳正确度检测方法主要参考《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》(T/CAEPI 47-2022)^[22]“7.3.4 准确度”和《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 76-2017)^[24]“7.2.3.1.4 准确度”，HJ 76-2017标准所述准确度即为本标准中正确度，具体如下。

当 24 小时零点漂移、量程漂移、示值误差检测通过，生产设备正常且稳定运行的条件下，可进行正确度检测。

- a) 待测系统运行稳定后，分别进行零点校准和满量程校准、调整；
- b) 待测系统与参比测试方法同步对污染源排放二氧化碳进行测量，由数据采集器每分钟记录 1 个累积测量值，连续记录至参比方法测试结束；
- c) 取同一时间区间内（一般为 5 min~15 min）参比方法与系统测量结果平均值组成一个数据对，确保参比方法与系统测量数据在同一条件下（废气温度、压力和湿度等，一般取标态干基浓度）；
- d) 每天获取至少 9 组数据对，用于正确度计算；

e) 当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $<7\%$ 或 $\geq 14\% \sim < 20\%$ 时，按公式（1）、（2）、（3）计算全部数据对系统与参比方法测量数据平均值的绝对误差的绝对值；

f) 当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $\geq 7\% \sim < 14\%$ 时，按公式（2）、（3）、（4）计算全部数据对系统与参比方法测量数据平均值的相对误差的绝对值；

g) 当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $\geq 20\%$ 时，按公式（2）、（5）~（9）计算全部数据对系统与参比方法测量数据的相对误差的95%置信上限。

$$AE = \left| \overline{RM} - \overline{AMS} \right| \dots\dots\dots (1)$$

式中： AE ——系统与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值，%；

\overline{RM} ——参比方法全部数据对测量结果的平均值，%；

\overline{AMS} ——系统全部数据对测量结果的平均值，%。

$$\overline{RM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RM_i \dots\dots\dots (2)$$

$$\overline{AMS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AMS_i \dots\dots\dots (3)$$

式中： RM_i ——第*i*个数据对中的参比方法测量值，%；

AMS_i ——第*i*个数据对中的系统测量值，%；

i——数据对的序号（ $i=1 \sim n$ ）；

n——数据对的个数（ $n \geq 9$ ）。

$$RE = \left| \frac{\overline{RM} - \overline{AMS}}{\overline{RM}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中： RE ——系统与参比方法测量结果平均值相对误差的绝对值，%。

$$RA = \frac{\left| \bar{d} \right| + |cc|}{\overline{RM}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中： RA ——系统与参比方法测量结果数据对之间相对偏差的95%置信上限，%；

\bar{d} ——系统与参比方法测量各数据对差的平均值，%；

cc——置信系数，%。

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \dots\dots\dots (6)$$

$$d_i = RM_i - AMS_i \dots\dots\dots (7)$$

式中： d_i ——每个数据对参比方法与系统测量值之差，%。

注：在计算数据对差的和时，保留数据差值的正、负号。

$$CC = \pm t_{f,0.95} \frac{S_d}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (8)$$

式中： $t_{f,0.95}$ ——统计常数，由 t 表（见表 26）查得， $f=n-1$ ；

S_d ——系统与参比方法测量各数据对差的标准偏差，%。

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (9)$$

表 26 计算置信系数参数表

f	t_f	f	t_f	f	t_f
8	2.306	15	2.131	22	2.074
9	2.262	16	2.120	23	2.069
10	2.228	17	2.110	24	2.064
11	2.201	18	2.101	25	2.060
12	2.179	19	2.093	30	2.042
13	2.160	20	2.086	35	2.030
14	2.145	21	2.080	40	2.021

与《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]相比，本标准对正确度检测方法中参比方法与系统测量结果组成同一数据对的连续测量时间进行了修改，原标准中规定一个数据对的时间一般取（3~15）min，而本标准中规定了二氧化碳浓度测量参比方法可选择《固定污染源废气 二氧化碳的测定 非分散红外吸收法》（HJ 870）^[13]和《固定污染源废气 气态污染物（SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂）的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法》（HJ 1240）^[14]，两项标准中规定的二氧化碳测定时长分别为至少 5 min 和（5~15）min。因此本标准规定的参比方法与系统测量结果组成同一数据对的连续测量时间一般取（5~15）min。

■ 技术要求

《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]中二氧化碳正确度技术要求为：当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值≥20%时，系统与参比方法测量结果相对准确度（等同本标准中系统与参比方法测量结果相对误差的 95%置信上限，下同）：≤10%；当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值≥14% ~ <20%时，系统与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值≤2%；当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值≥7% ~ <14%时，系统与参比方法测量结果平均值相对误差的绝对值≤15%；当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值<7%时，系统与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值≤1%。该标准制订时主要参考了美国 40 CFR PART 60 中《Performance Specification 3—Specifications and test procedures for O₂ and CO₂ continuous emission monitoring system in stationary sources》^[32]，该标准为仪器性能指标标准，提出的技术要求为相对准确度≤20%或绝对误差≤1%。

在美国，当废气二氧化碳自动监测系统用于温室气体排放监测时，遵循的技术文件为 40 CFR PART 75，该标准提出的正确度技术要求为相对准确度 $\leq 10.0\%$ 或绝对误差 $\leq 1.0\%$ ，可理解当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $< 10\%$ 时，系统与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值 $\leq 1.0\%$ ；当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $\geq 10\%$ 时，系统与参比方法测量结果相对准确度 $\leq 10\%$ 。

根据 40 CFR PART 75，美国各排污单位也需要对废气二氧化碳自动监测系统以半年为频次开展一次正确度的检测，以确保数据质量。为了降低比对的频次，在 40 CFR PART 75 中还提出了“Reduced RATA Frequencies”的技术要求，为相对准确度 $\leq 7.5\%$ 或绝对误差 $\leq 0.7\%$ 。

我国《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]进行二氧化碳浓度测量正确度性能指标技术要求的浓度段划分时，主要根据碳监测试点工作情况，对各行业二氧化碳排放浓度范围进行了梳理（见表 1），大体可分为（0~8）%、（8~15）%、（15~20）%、高于 20%，同时为了与各浓度段技术要求做好衔接，最终研究确定以 7%、14%、20%三个浓度点进行划分。该三个浓度点划分的 4 个浓度区间（即 $< 7\%$ 、 $7\% \sim 14\%$ 、 $14\% \sim 20\%$ 、 $> 20\%$ ）同时也与 40 CFR PART 75 中建议的燃气轮机适用二氧化碳量程（6% ~ 14%）、锅炉适用二氧化碳量程（14% ~ 20%）基本对应。

各浓度段技术要求方面，《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]严于 40 CFR PART 60 PS 3 但较 40 CFR PART 75 而言有所宽松。本标准参考 40 CFR PART 75 的基本要求和降低正确度测试频次要求，结合适用性检测数据基础和补充验证测试数据并考虑各分段的衔接，规定为：当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $\geq 20\%$ 时，系统与参比方法测量结果相对误差的 95%置信上限 $\leq 7.5\%$ ；当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $\geq 14\% \sim < 20\%$ 时，系统与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值 $\leq 1.4\%$ ；当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $\geq 7\% \sim < 14\%$ 时，系统与参比方法测量结果平均值相对误差的绝对值 $\leq 10\%$ ，当参比方法测量废气中二氧化碳体积浓度（体积分数）平均值 $< 7\%$ 时，系统与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值 $\leq 0.7\%$ 。

■ 数据基础

标准编制组参照《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 76-2017）^[24]、《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》（T/CAEPI 47-2022）^[22]开展了 59 个型号（截至 2025 年 6 月）废气二氧化碳自动监测系统的适用性检测工作，各浓度区间正确度检测结果如表 27 ~ 表 30 所示。系统与参比测试方法同步对污染源排放二氧化碳进行测量，参比仪器测量结果平均值 $< 7\%$ 时，11 个型号的检测结果显示在 0.1% ~ 0.5%（绝对误差），均符合本标准要求；参比仪器测量结果平均值 $\geq 7\% \sim < 14\%$ 时，49 个型号的检测结果显示在 0.9% ~ 9.6%（相对误差），均符合本标准要求；参比仪器测量结果平均值 $\geq 14\% \sim < 20\%$ 时，5 个型号的检测结果显示在 0.1% ~ 1.2%（绝对误差），均符合本标准要求；参比仪器测量结果平均值 $> 20\%$ 时，1 个型号的检测结果显示为 2.4%（系统与参比方法测量结果相对误差的 95%置信上限），符合本标准要求。

表 27 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值 $< 7\%$ ）

序号	型号	参比方法测量平均值 (%)	绝对误差 (%)
1	型号 4	6.8	0.1
2	型号 5	6.6	0.2
3	型号 6	6.8	0.3
4	型号 8	5.8	0.3
5	型号 9	6.1	0.3
6	型号 12	5.2	0.3
7	型号 13	6.2	0.5
8	型号 14	6.5	0.5
9	型号 18	6.1	0.2
10	型号 19	5.8	0.2
11	型号 20	6.5	0.3
12	型号 52	5.8	0.1
13	型号 56	5.8	0.3
14	型号 57	5.8	0.1
15	型号 59	5.8	0.2

表 28 二氧化碳正确度检测结果汇总表 (参比方法测量平均值 $\geq 7\%$ ~ $< 14\%$)

序号	型号	参比方法测量平均值 (%)	相对误差 (%)
1	型号 1	10.9	3.1
2	型号 2	12.4	1.2
3	型号 3	12.8	5.0
4	型号 5	7.2	2.0
5	型号 7	11.8	4.4
6	型号 9	7.2	1.4
7	型号 10	11.6	3.2
8	型号 11	12.5	1.0
9	型号 15	13.2	7.8
10	型号 16	10.7	2.9
11	型号 17	11.3	3.7
12	型号 18	7.2	0.9
13	型号 19	12.7	2.0
14	型号 21	10.8	3.2
15	型号 22	11.8	0.9
16	型号 23	10.4	3.5
17	型号 24	11.9	5.4
18	型号 25	11.3	4.3
19	型号 27	10.3	4.6
20	型号 28	13.7	3.6
21	型号 29	13.2	6.1

22	型号 30	10.5	3.1
23	型号 31	8.3	4.7
24	型号 32	11.4	2.9
25	型号 33	11.3	2.8
26	型号 34	9.8	7.5
27	型号 35	9.9	5.3
28	型号 36	11.0	3.1
29	型号 37	11.3	1.3
30	型号 38	11.1	9.6
31	型号 39	12.8	3.1
32	型号 41	9.8	6.1
33	型号 42	10.9	5.6
34	型号 43	11.0	2.3
35	型号 44	12.3	3.6
36	型号 45	12.0	6.5
37	型号 46	11.7	2.4
38	型号 47	9.8	7.6
39	型号 48	12.0	2.4
40	型号 49	12.4	5.4
41	型号 51	12.5	7.4
42	型号 52	11.0	1.4
43	型号 53	13.1	4.6
44	型号 54	13.1	1.0
45	型号 55	13.1	1.8
46	型号 56	11.0	2.2
47	型号 57	11.9	4.3
48	型号 58	11.6	3.8
49	型号 59	11.0	1.8

表 29 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值 $\geq 14\%$ ~ $< 20\%$ ）

序号	型号	参比方法测量平均值（%）	绝对误差（%）
1	型号 11	14.1	0.1
2	型号 16	14.6	0.1
3	型号 26	15.1	0.2
4	型号 38	14.6	0.1
5	型号 50	14.4	1.2

表 30 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值 $\geq 20\%$ ）

序号	型号	参比方法测量平均值（%）	相对误差的 95%置信上限（%）
1	型号 40	28.0	2.4

■ 验证数据

由于已开展适用性检测的 59 个型号（截至 2025 年 6 月）废气二氧化碳自动监测系统的正确度比对数据中，参比方法测量平均值在 $\geq 14\%$ ~ $< 20\%$ 和 $\geq 20\%$ 的较少，编制组按照标准规定的检测方法对安装在 2 个热风炉和 1 个焦炉烟囱的 3 个型号 4 台废气二氧化碳自动监测系统进行了补充验证，每台开展了 2 次正确度比对，结果如表 31 所示，型号 I 的 2 台废气二氧化碳自动监测系统的 4 次比对中参比方法测量平均值 $\geq 20\%$ ，系统与参比方法测量结果相对误差的 95% 置信上限分布在 4.0% ~ 6.2%，均符合本标准要求；型号 II 和型号 III 2 个型号 4 次比对中参比方法测量平均值 $\geq 14\%$ ~ $< 20\%$ ，绝对误差分布在 0.1% ~ 1.3%，均符合本标准要求。

表 31 二氧化碳正确度比对补充验证测试结果汇总表

序号	型号	参比方法测量平均值(%)	浓度范围 (%)	比对结果	地点
1	型号I-1	27.4	≥ 20	相对误差的 95% 置信上限 4.8%	热风炉 1
2	型号I-1	28.4	≥ 20	相对误差的 95% 置信上限 5.5%	热风炉 1
3	型号I-2	24.9	≥ 20	相对误差的 95% 置信上限 6.2%	热风炉 2
4	型号I-2	26.1	≥ 20	相对误差的 95% 置信上限 4.0%	热风炉 2
5	型号II	17.1	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.1%	焦化
6	型号II	17.2	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.2%	焦化
7	型号III	17.1	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 1.2%	焦化
8	型号III	17.2	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 1.3%	焦化

■ 试点数据

为确保二氧化碳正确度技术要求的科学性和适用性，编制组调研了碳监测评估试点期间部分点位比对情况，比对结果如表 32 所示。当参比方法测量值 $\geq 14\%$ ~ $< 20\%$ 时，获得 8 组比对结果，绝对误差分布在 0.03% ~ 1.0%，均符合本标准要求；当参比方法测量值 $\geq 20\%$ 时，共获得 27 组比对结果，5 组超出，达标结果分布在 0.2% ~ 7.1%，达标率 81.5%。

表 32 二氧化碳正确度比对碳监测试点结果汇总表

型号	参比方法测量平均值 (%)	浓度范围 (%)	比对结果
1	16.2	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.7%
2	16.9	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.7%
3	17.5	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.5%
4	18.0	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.1%
5	18.3	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.6%
6	18.5	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.4%
7	18.7	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 0.03%

8	19.0	$\geq 14 \sim < 20$	绝对误差 1.0%
9	25.0	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 3.7%
10	25.3	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 7.9%
11	21.9	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 3.7%
12	23.1	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 3.2%
13	29.0	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 9.6%
14	24.5	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 0.5%
15	25.6	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 6.1%
16	22.6	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 0.2%
17	26.2	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 1.2%
18	25.4	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 1.1%
19	21.2	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 5.8%
20	29.5	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 7.1%
21	26.0	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 0.6%
22	23.4	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 1.4%
23	24.4	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 9.7%
24	28.0	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 9.8%
25	26.0	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 0.7%
26	23.4	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 2.8%
27	26.0	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 2.0%
28	25.3	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 2.7%
29	22.2	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 5.5%
30	25.4	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 0.9%
31	24.9	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 1.8%
32	25.6	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 8.5%
33	22.1	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 2.7%
34	23.6	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 2.8%
35	24.3	≥ 20	相对误差的 95%置信上限 4.6%

5) 废气流速监测单元

■ 检测方法

本标准中废气流速监测单元检测性能指标“速度场系数精密度”“正确度”检测方法与《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 76-2017)^[24]“7.2.3.3.1 速度场系数精密度”“7.2.3.3.2 准确度”一致。

■ 技术要求

《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 76-2017)^[24]中对速度场系数精密度的技术要求为 $\leq 5\%$ ；对流速正确度的技术要求为参比方法测量流速 $> 10\text{m/s}$ 时，相对误差不超过 $\pm 10\%$ ，参比方法测量流速 $\leq 10\text{m/s}$ 时，相对误差不超过 $\pm 12\%$ 。40 CFR PART 75 中对废气流速自动监测单元的技术要求为相对准确度 $\leq 10.0\%$ 或流速 $\leq 10\text{FPS}$ （英尺每秒，1英尺约0.305米）时，绝对误差 $\leq 2.0\text{FPS}$ ，即可近似理解为流速 $\leq 3\text{m/s}$ 时，绝对误差 $\leq 0.6\text{m/s}$ ；流速 $> 3\text{m/s}$ 时，相对误差 $\leq 10\%$ 。40 CFR PART 75 中规定的降低流速正确度比对频次的技术要求为相对准确度 $\leq 7.5\%$ 或流速 $\leq 10\text{FPS}$ 时，

绝对误差 ≤ 1.5 FPS（约 0.46 m/s）。

与 40 CFR PART 75 相比，HJ 76-2017 中流速正确度技术要求可看作在参比方法测量流速值在 3 m/s 至 10 m/s 间略宽松，其他范围内严于或等同于 40 CFR PART 75。

本标准规定的流速正确度技术要求为：当参比方法测量废气流速的平均值： > 10 m/s 时，系统与参比方法测量结果平均值的相对误差不超过 $\pm 8\%$ ； ≤ 10 m/s 时，系统与参比方法测量结果平均值的相对误差：不超过 $\pm 10\%$ ，可近似认为严于或等同于 40 CFR PART 75。

■ 数据基础

标准编制组梳理了近年来烟气（SO₂、NO_x、颗粒物、CO₂、HCl、CO 等）排放连续监测系统和非甲烷总烃连续监测系统适用性检测报告，统计了 194 个型号的流速正确度检测结果（见图 2、3），其中流速 > 10 m/s 的共 59 个，检测结果分布在 $-7.8\% \sim 5.0\%$ ，均符合本标准技术要求；流速 ≤ 10 m/s 的共 135 个，1 个型号超出本标准技术要求，达标结果分布在 $-9.7\% \sim 9.9\%$ ，达标率 99.3%。

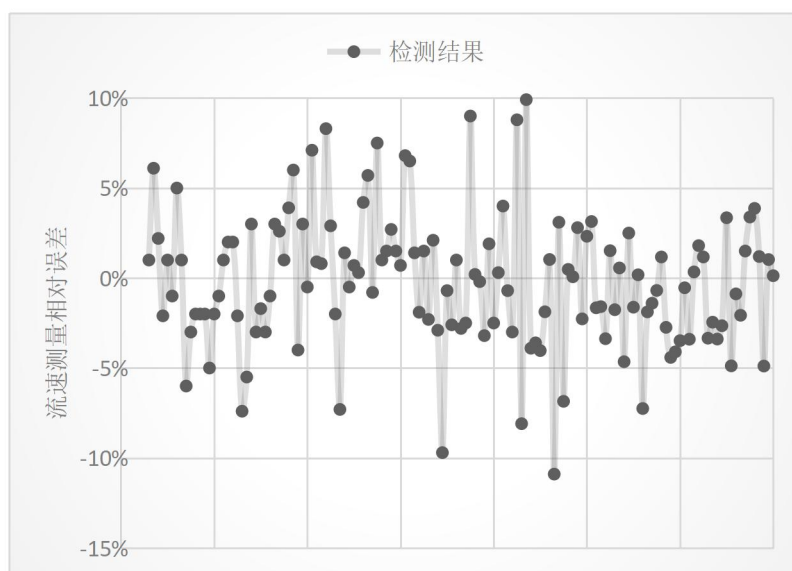


图 2 参比方法测量流速 ≤ 10 m/s 检测结果分布

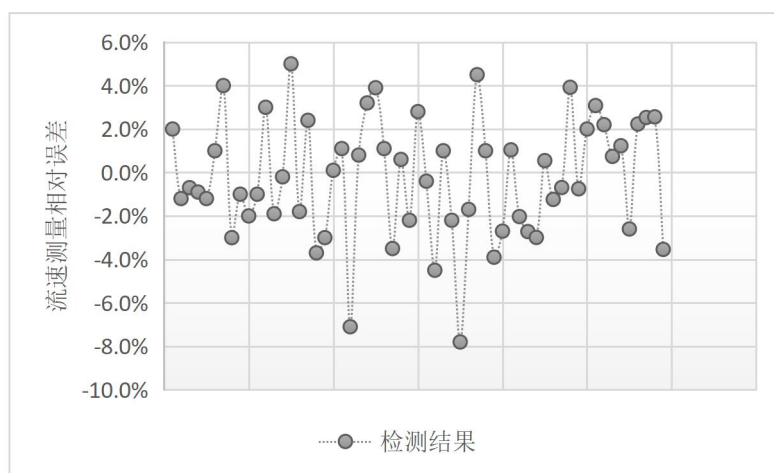


图 3 参比方法测量流速 > 10 m/s 检测结果分布

6) 废气温度监测单元

■ 检测方法

本标准中废气温度监测单元检测性能指标“正确度”检测方法与《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 76-2017)^[24]“7.2.3.4.1 准确度”一致。

■ 技术要求

本标准中废气温度监测单元检测性能指标“正确度”技术要求为不超过±3℃与《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 76-2017)^[24]一致。

7) 废气湿度监测单元

■ 检测方法

本标准中废气湿度监测单元检测性能指标“正确度”检测方法与《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 76-2017)^[24]“7.2.3.5.1 准确度”一致。

■ 技术要求

《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 76-2017)^[24]中对湿度正确度的技术要求为参比方法测量湿度>5.0%时,相对误差不超过±25%;参比方法测量湿度≤5.0%时,绝对误差不超过±1.5%。

40 CFR PART 75 中对废气湿度监测单元的技术要求为相对准确度≤10.0%或绝对误差不超过±1.5%,即可以近似理解为湿度≤15%时,绝对误差不超过±1.5%;湿度>15%时,相对误差≤10.0%。规定的降低湿度正确度比对频次的技术要求为相对准确度≤7.5%或绝对误差不超过±1.0%。

本标准规定的湿度正确度技术要求为:参比方法测量湿度≤5.0%时,绝对误差不超过±1.5%;参比方法测量湿度>5.0%~≤15.0%时,相对误差不超过±20%;参比方法测量湿度>15.0%时,相对误差不超过±15%。

本标准规定的湿度正确度要求较 HJ 76-2017 有所收严,较 40 CFR PART 75 仍有所宽松。美国规定了湿度可以使用自动监测法,同时也给出了不同类型燃料可以直接代入数据采集处理系统的湿度定值,亦可以通过测量温度再根据水分表得到湿度(适用于饱和和烟气)。另一方面美国在开展湿度正确度比对前,可以使用 K 系数对湿度测量值进行调整,这可能是其湿度正确度指标要求较为严格的原因。

■ 数据基础

标准编制组梳理了近年来烟气(SO₂、NO_x、颗粒物、CO₂、HCl、CO 等)排放连续监测系统和非甲烷总烃连续监测系统适用性检测报告,统计了 194 个型号的湿度正确度检测结果(见图 4),其中湿度≤5.0%的,技术要求未做修改,不再列出;湿度>5.0%~≤15.0%的共 107 个,4 个型号超出本标准技术要求,达标结果分布在-17.0%~18.7%,达标率 96.3%;湿度>15.0%的共 28 个,1 个型号超出本标准技术要求,达标结果分布在-13.9%~7.9%,达标率 96.4%。

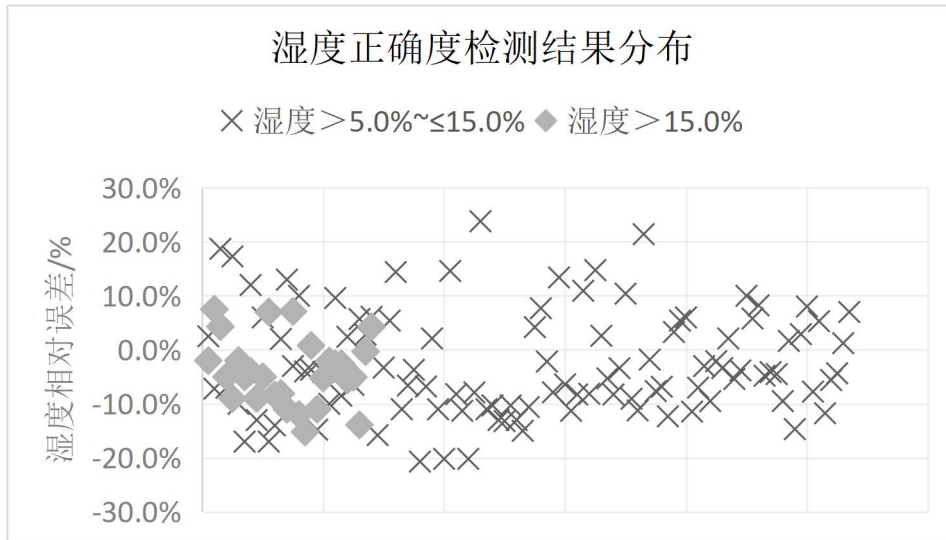


图 4 湿度正确度检测适用性检测结果

5.2.7 质量保证

本标准中质量保证分为安装质量保证、检测质量保证、运行期质量保证，主要参考《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 76-2017）^[24]“8 质量保证”作出规定，并在其基础上进一步完善，具体调整内容如下。

安装质量保证：规定安装位置、现场配套环境条件、烟囱或烟道设置的采样平台和爬梯应符合《固定污染源废气二氧化碳自动监测技术规范》相关规定；删除 HJ 76-2017 中关于气态污染物正确度比对达不到要求时可以修改偏差调节系数进行比对的规定。删除 HJ 76-2017 中关于一个固定污染源排气先通过多个烟道或管道后进入该固定污染源的总排气管时，不得只在其中的一个烟道或管道上安装系统，并将测定值作为该源的排放结果；但允许在每个烟道或管道上安装相同的监测系统的规定，该规定与仪器检测过程中安装质量保证关联性不强。

检测质量保证：删除了 HJ 76-2017 中规定的仪器分析法。废气二氧化碳监测已有 HJ 870 和 HJ 1240 两项现行标准分析方法。

运行期质量保证参照 HJ 76-2017 作出规定。

5.2.8 检测项目

本标准中主要参考《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 76-2017）^[24]“9 检测项目”，列举了实验室和现场检测项目及对应技术要求。

5.2.9 附录

本标准附录共有 2 个。

附录 A 为废气二氧化碳自动监测日报表、月报表和年报表，为规范性附录。

附录 B 为废气二氧化碳自动监测系统数据采集记录、处理和软件要求，为规范性附录，主要参考《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 76-2017) [24]附录 B，并在其基础上进一步完善，修改内容主要包括：

B.1 数据采集记录存储要求中增加了“**B.1.10** 稀释抽取式系统除满足以上数据采集记录存储要求，还应能实现至少每 1 min 记录存储一组系统测量的分钟数据，数据为该时段的平均值；主要包括：音速小孔出口端（文丘里管喉部）绝对气压（或真空度）、稀释零空气流量或稀释零空气气压及稀释零空气气压换算实际流量。至少每 1min 记录存储一组稀释比、稀释零空气流量设定值或稀释零空气气压设定值、稀释零空气气压设定值换算流量设定值”。对应本标准 5.4.1.7 音速小孔出口端（文丘里管喉部）绝对气压（或真空度）的监控功能和 5.4.1.8 稀释零空气流量（或气压）监控功能相关规定。

B.4 数据处理计算方法、公式和要求，增加了“**B.4.6** 稀释零空气采用压力控制方式的系统，应能显示稀释零空气气压与流量之间的转换公式”相关规定。

B.5 数据软件功能要求，结合《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）附件1《现场检测设备不够完备可能存在不当干预功能的情形》有关要求，修改“**B.5.1.3** 软件应对全部外部人员控制操作均自动记录、保存，形成系统操作和运行状态记录日志，并可查询。日志保存时间不得少于 1 a，任何管理权限均不可修改或删除日志”，新增日志保存时间的要求和日志记录修改删除的相关要求，强化留痕管理；增加要求“**B.5.1.5** 日志记录至少应包含：人员登录操作、系统运行状态、参数修改、通讯修改、自动/手动质控、远程下发质控指令和操作、断电上电等内容，应详细记录相关操作的用户、时间、内容等，数值和状态变化时均应记录变化前后的情况，明确日志记录的内容形式，明确自动质控的相关操作也应记录在日志中等；增加要求“**B.5.2.6** 软件进行升级时，原有信息应能够自动备份保存，并能在升级后的软件中显示查询”，避免软件升级导致原有信息丢失；为规范系统日常应用，保障监测数据真实准确，本标准结合《污染物自动监测监控系统数据传输技术要求》（HJ 212-2025），在 B.3 参数和公式设置和修改要求中详细罗列了系统的基本参数，并规定了参数类别，具体见表 33。增加 **B.5.4** 校准调整识别要求，规定应具备校准系数修改限制功能，当校准示值误差超过±10%标准物质标称值时，应能发出报警信息，并终止调整操作，避免不正当校准调整行为。

表 33 系统基本参数要求

项目	参数名称	参数类型	备注	
二氧化碳 监测单元	当前工作量程上限	设定值		
	当前工作量程下限	设定值		
	量程校准浓度	设定值		
	零点校准浓度	设定值		
	零点校准开始时间	测量值		
	零点校准结束时间	测量值		
	量程校准开始时间	测量值		
	量程校准结束时间	测量值		
	零点偏差率	测量值	两者可二选一	
	零点校准系数（当前零点）	测量值		
	量程偏差率	测量值	两者可二选一	
	量程校准系数（校准系数）	测量值		
	稀释比	设定值	稀释法	
	音速小孔出口端绝对气压（真空度）	测量值	稀释法	
	稀释零空气流量或稀释零空气气压及稀 释零空气气压换算流量	设定值和测量值	稀释法	
	稀释零空气加热温度	测量值	稀释法	
	采样探杆温度	测量值	根据应用工况可选	
	采样探头温度	测量值		
	样品传输管线温度	测量值	稀释法管线不加热时无需	
	分析仪加热箱温度	测量值	热湿法	
	冷凝器温度	测量值		
	分析仪流量	设定值和测量值		
	分析仪气室温度	测量值		
	分析仪气室压力	测量值		
	光源强度下限	设定值		
分析仪光源强度	测量值			
废气流速 监测单元	速度场系数	设定值		
	皮托管系数	设定值	差压式流速仪	
	安装角度	设定值	超声波流速仪	
其他	日期和时间	设定值		
	安装地点	设定值		
	污染源排放口的尺寸（烟道截面积）	设定值		
	当地大气压	测量值		
	系统反吹时长	设定值		
	系统反吹时间间隔	设定值		
	维护时间间隔	设定值		
	耗材和部件的维护周期	设定值		

6 方法验证

6.1 验证方案

本标准适用于固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的生产设计、应用选型和性能检测等，验证工作由中国环境监测总站、上海市环境监测中心、江苏省南京环境监测中心、中国环境保护产业协会等组织，进行实验室性能指标验证测试和现场检测性能指标补充验证（详见附件1方法验证报告）。

本次编制标准验证方案：

1) 实验室检测性能指标验证测试方案：征集6个型号、每个型号3台，共计18台固定污染源废气二氧化碳自动监测系统，按照标准规定实验室检测性能指标和检测方法开展验证测试，汇总分析测试结果并同标准中初步拟定的技术要求进行比较确定最终性能指标技术要求。用于验证测试的6个型号仪器选择原则为：（1）覆盖主流固定污染源废气二氧化碳自动监测系统测量原理（即傅立叶变换红外光谱法、气体滤波相关红外法、非分散红外吸收法、可调谐激光光谱法）；（2）验证仪器基本满足本标准征求意见稿中规定的系统组成和结构、系统各单元功能要求和安全要求等；（3）仪器厂家有较为丰富的仪器应用经验，能够确保测试期间仪器各项运行、测量参数处于正常状态，能够配合完成验证测试工作。

2) 现场检测性能指标验证测试方案：首先，梳理近年来适用性检测数据（流速正确度、湿度正确度、二氧化碳正确度、24小时零点和量程漂移、系统响应时间、示值误差）；第二，根据统计结果，在污染源排放口开展补充验证；最后，结合检测结果和现场补充验证测试数据，研究确定标准征求意见稿现场检测性能指标技术要求。

6.2 验证过程及结果

本次编制标准的验证工作主要由标准编制单位组织集中验证完成。2023年8月～9月，按照标准编制文本中要求的性能指标和检测方法在钢铁行业焦化、高炉炼铁热风炉排放口对3个型号4台废气二氧化碳自动监测系统开展二氧化碳正确度验证测试。2024年4月～8月按照标准编制文本中要求的性能指标和检测方法在实验室开展6个型号、每个型号3台，共18台废气二氧化碳自动监测系统进行验证测试，具体数据汇总与分析见附件一《方法验证报告》。

7 实施本标准的管理措施、技术措施建议

本标准规定了固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的组成结构、技术要求、性能指标和检测方法。各地方生态环境管理部门及排污单位在进行仪器设备选型时可参考本标准；各仪器生产厂商在研发、设计、生产固定污染源废气二氧化碳自动监测系统时应执行本标准；各检测检验机构在对此类仪器进行性能检测时也应按照本标准的规定开展。

目前，固定污染源废气二氧化碳自动监测系统分析仪的核心部件仍主要依赖于进口，且部分测量技术如气体滤波相关红外、傅立叶变换红外仍以进口设备为主。建议积极推动国产自动监测技术发展。

8 参考文献

- [1]张丰,胡狄瑞.碳达峰碳中和背景下的温室气体监测与减排研究[J].中国资源综合利用,2021,39(11):186-188.
- [2]徐世晓,赵新全,孙平,等.温室效应与全球气候变暖[J].青海师范大学学报(自然科学版),2001,(04):43-47+52.DOI:10.16229/j.cnki.issn1001-7542.2001.04.014.
- [3]张志强,曲建升,曾静静.温室气体排放评价指标及其定量分析[J].地理学报,2008,(07):693-702.
- [4]国务院发展研究中心课题组,刘世锦,张永生.全球温室气体减排:理论框架和解决方案[J].经济研究,2009,44(03):4-13.
- [5]关于印发《碳监测评估试点工作方案》的通知(环办监测函〔2021〕435号)
- [6]关于印发《深化碳监测评估试点工作方案》的通知(环办监测函〔2023〕293号)
- [7]李磊.烧结工序中皮带秤计量误差分析与对策[J].山西冶金,2023,46(09):254-256+261.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1167/tf.2023.09.098.
- [8] ASTM D1946-90 (Reapproved 2011), Standard Practice for Analysis of Reformed Gas by Gas Chromatography.
- [9]《空气和废气监测分析方法》(第四版增补版)中国环境科学出版社.
- [10]《气相色谱法本底大气二氧化碳和甲烷浓度在线观测方法》(GB/T 31705-2015)
- [11]《温室气体 二氧化碳测量离轴积分腔输出光谱法》(GB/T 34286-2017)
- [12]《大气二氧化碳(CO₂)光腔衰荡光谱观测系统》(GB/T 34415-2017)
- [13]《固定污染源废气 二氧化碳的测定 非分散红外吸收法》(HJ 870-2017)
- [14]《固定污染源废气 气态污染物(SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂)的测定便携式傅立叶变换红外光谱法》(HJ 1240-2021)
- [15]《沼气中甲烷和二氧化碳的测定气相色谱法》(NY/T 1700-2009)
- [16]《Stationary source emissions — Determination of the mass concentration of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygen in flue gas — Performance characteristics of automated measuring systems》(ISO 12039:2019)
- [17]《Air quality — Certification of automated measuring systems — Part 3: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources》(EN 15267-3:2023)
- [18]《Continuous analyzer for carbon dioxide in flue gas》(JIS B7986: 2006)
- [19]《40 CFR PART 75 Continuous emission monitoring》
- [20]《气体分析 一氧化碳含量、二氧化碳含量及氧气含量在线自动测量系统性能特征的确定》(GB/T 40789-2021)
- [21]《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》(DL/T 2376-2021)
- [22]《固定污染源二氧化碳排放连续监测系统技术要求》(T/CAEPI 47-2022)
- [23]《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)
- [24]《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

76-2017)

- [25] 《国家环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）
- [26] 《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）
- [27] 《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》（HJ 1013-2018）
- [28] 《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）
- [29] 《污染物在线监控（监测）系统数据传输标准》（HJ 212-2017）
- [30] 《40 CFR PART 72 Permits Regulation》
- [31] 《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 654-2013）
- [32] 《40 CFR PART 60 Standards of Performance for New Stationary Sources》

附件一

方法验证报告

方法名称：固定污染源废气二氧化碳自动监测系统
技术要求及检测方法

项目主编单位：中国环境监测总站

验证单位：中国环境监测总站、上海市环境监测中心、
江苏省南京环境监测中心、中国环境保护
产业协会

项目负责人及职称：周刚/ 高级工程师

通讯地址：北京市朝阳区安外大羊坊八号院乙

联系电话：010-84943050

报告编写人及职称：邓宝卿/ 工程师

报告日期：2024 年 10 月 6 日

1 验证测试依据

《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法（征求意见稿）》。

2 验证测试地点及时间

2023年8月～9月，在钢铁行业焦化、热风炉排口开展验证测试；
2024年4月～9月，北京昌平兴寿适用性检测基地开展验证测试；
2024年6月～9月，分析废气监测系统适用性检测数据。

3 验证测试方法

a) 实验室验证测试方法：选取6个型号（每个型号3台）固定污染源废气二氧化碳自动监测系统按照《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法（征求意见稿）》“7.1.3 实验室检测方法”，开展仪表响应时间等10个性能指标验证测试，“流量线性误差”为二氧化碳自动质控校准设备性能指标，参照HJ 654-2013标准作出技术要求规定，不再重复验证，具体如下：

(1) 保证验证测试地点环境条件符合征求意见稿“5.2 工作条件”的相关规定。

(2) 保证测试所用标准气体符合征求意见稿“7.1.2 标准物质要求”相关规定。

(3) 测试开始前由各仪器生产厂家工程师完成调试、校准和调整，确保仪器各测量、运行参数正常。

(4) 按征求意见稿“7.1 实验室检测”中相关要求和检测方法开展测试，各性能指标测试数据均采用数据采集与处理单元存储记录的最终结果，并按检测方法中规定的公式计算每台仪器每项性能指标的检测结果。每项性能指标检测期间，若某型号出现较为严重技术问题或故障，导致测量结果偏差大或无法继续进行测试，则终止该型号的测试；若测试数据异常但未出现故障，则继续测试，异常数据参与性能指标结果的计算和统计。

b) 现场验证测试方法：在碳监测评估试点钢铁企业2个高炉炼铁热风炉排放口和1个焦化焦炉烟囱开展3个型号4台固定污染源废气二氧化碳自动监测系统二氧化碳正确度验证测试，验证测试遵从《固定污染源废气二氧化碳自动监测系统技术要求及检测方法（征求意见稿）》“7.2 污染源排放现场检测”，具体如下：

(1) 保证系统安装点位符合征求意见稿“8.1 安装质量保证”的相关规定。

(2) 保证验证测试地点环境条件符合征求意见稿“5.2 工作条件”的相关规定。

(3) 保证测试所用标准气体符合征求意见稿“7.2.2 标准物质要求”相关规定。

(4) 保证二氧化碳正确度比对参比方法为国家或行业发布的标准方法。本标准验证测试使用参比方法为非分散红外吸收法。

(5) 测试开始前由各仪器生产厂家工程师完成调试、校准和调整，确保系统各测量、运行参数正常。

(6) 按征求意见稿“7.2.3.1.4 正确度”中检测方法开展测试，测试数据均采用数据采集与处理单元存储记录的最终结果，并按规定的公式计算性能指标的检测结果。

c) 现场检测二氧化碳 24 小时零点漂移和量程漂移、系统响应时间、示值误差、二氧化碳正确度、流速正确度、湿度正确度等适用性检测数据，检测中所用方法满足本标准征求意见稿检测要求，温度正确度技术要求引用 HJ 76-2017，不再重复验证。

4 验证仪器基本情况

本标准验证测试中共开展 6 个型号 18 台废气二氧化碳自动监测系统实验室验证测试，3 个型号 4 台废气二氧化碳自动监测系统现场补充验证测试，测量原理涵盖了傅立叶变换红外光谱法、可调谐激光光谱法、非分散红外法吸收法、气体滤波相关红外法，详见附表 1 和附表 2。参与验证测试的仪器选择原则为：（1）覆盖目前市场上固定污染源废气二氧化碳自动监测系统的主要测量原理；（2）验证仪器基本满足本标准征求意见稿中规定的系统组成和结构、系统各单元功能要求和安全要求等；（3）厂家有较为丰富的应用经验，能够确保测试期间系统各项运行、测量参数处于正常状态，能够配合完成验证测试工作。

附表 1 实验室验证仪器情况登记表

厂家名称	规格型号	仪器测试原理
北京雪迪龙科技股份有限公司	SCS-900FT	傅立叶变换红外光谱法
北京雪迪龙科技股份有限公司	SCS-900C GHG	非分散红外吸收法
杭州泽天春来科技股份有限公司	CEMS-5000C	可调谐激光光谱法
恩威雅环境技术（北京）有限公司	MIR9000	气体滤波相关红外法
佛山市南华仪器股份有限公司	NHEM-3	非分散红外吸收法
南京柯普士仪器科技有限公司	KPS-6000	傅立叶变换红外光谱法

附表 2 现场补充验证仪器情况登记表

厂家名称	规格型号	仪器测试原理
岛津企业管理（中国）有限公司	NSA-3090	非分散红外吸收法
上海北分科技股份有限公司	SBF1500	气体滤波相关红外法
ABB（中国）有限公司	MBGAS-3000	傅立叶变换红外光谱法

5 验证数据汇总

5.1 实验室检测性能指标验证结果

5.1.1 仪表响应时间（上升时间和下降时间）

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行仪表响应时间验证测试，测试结果如附表 3 和附表 4 所示，18 台仪器均达标，上升响应时间测试结果分布在 16 s ~ 94 s，通过率 100%；下降响应时间测试结果分布在 15 s ~ 86 s，通过率 100%。

附表 3 上升响应时间验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	55 s	66 s	65 s
型号 B	25 s	27 s	29 s
型号 C	42 s	43 s	43 s
型号 D	18 s	16 s	18 s
型号 E	35 s	37 s	33 s
型号 F	90 s	93 s	94 s
技术要求	≤120 s		

附表 4 下降响应时间验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	67 s	64 s	60 s
型号 B	21 s	23 s	25 s
型号 C	45 s	46 s	47 s
型号 D	16 s	16 s	15 s
型号 E	31 s	33 s	30 s
型号 F	86 s	86 s	86 s
技术要求	≤120 s		

5.1.2 重复性

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了重复性验证测试，测试结果如附表 5 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在 <0.1% ~ 0.5% (<0.1%指测试结果<0.05%)，通过率 100%。

附表 5 重复性验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	0.4%	0.4%	0.5%
型号 B	0.1%	0.1%	0.2%
型号 C	0.1%	0.1%	0.2%
型号 D	0.2%	0.3%	0.3%
型号 E	0.1%	0.1%	0.1%
型号 F	<0.1%	<0.1%	<0.1%
技术要求	≤2%		
注：<0.1%指测试结果<0.05%			

5.1.3 线性误差

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了线性误差验证测试，测试结果如附表 6 所

示, 18 台仪器均达标, 测试结果分布在 $-1.6\% \text{ F.S.} \sim 1.1\% \text{ F.S.}$ (F.S.指满量程), 通过率 100%。

附表 6 线性误差验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	1.1% F.S.	-0.7% F.S.	-0.5% F.S.
型号 B	-1.5% F.S.	-1.6% F.S.	-1.3% F.S.
型号 C	0.1% F.S.	-0.3% F.S.	-0.2% F.S.
型号 D	-0.1% F.S.	-0.3% F.S.	0.3% F.S.
型号 E	-0.2% F.S.	0.3% F.S.	0.7% F.S.
型号 F	-0.3% F.S.	-0.3% F.S.	-0.4% F.S.
技术要求	不超过 $\pm 2\% \text{ F.S.}$		
注: F.S.指满量程。			

5.1.4 24 小时零点漂移和量程漂移

对 6 个型号每个型号 3 台, 共 18 台仪器进行了 24 小时零点漂移验证测试, 测试结果如附表 7 所示, 18 台仪器均达标, 测试结果分布在 $-0.9\% \text{ F.S.} \sim 1.2\% \text{ F.S.}$ (F.S.指满量程), 通过率 100%; 对 18 台仪器进行了 24 小时量程漂移验证测试, 测试结果如附表 8 所示, 18 台仪器均达标, 测试结果分布在 $-1.3\% \text{ F.S.} \sim 1.8\% \text{ F.S.}$ (F.S.指满量程), 通过率 100%。

附表 7 24 小时零点漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	1.2% F.S.	-0.2% F.S.	0.1% F.S.
型号 B	-0.1% F.S.	-0.2% F.S.	0.3% F.S.
型号 C	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.
型号 D	0.5% F.S.	-0.3% F.S.	$<0.1\% \text{ F.S.}$
型号 E	$<0.1\% \text{ F.S.}$	-0.9% F.S.	0.3% F.S.
型号 F	0.2% F.S.	-0.1% F.S.	-0.3% F.S.
技术要求	不超过 $\pm 2\% \text{ F.S.}$		
注: F.S.指满量程; $<0.1\% \text{ F.S.}$ 指测试结果不超过 $\pm 0.05\% \text{ F.S.}$ 。			

附表 8 24 小时量程漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	1.7% F.S.	-1.0% F.S.	-0.9% F.S.
型号 B	1.2% F.S.	-1.3% F.S.	1.2% F.S.
型号 C	1.1% F.S.	1.8% F.S.	-0.8% F.S.
型号 D	0.5% F.S.	-0.4% F.S.	-0.4% F.S.
型号 E	1.0% F.S.	0.6% F.S.	-1.3% F.S.
型号 F	-0.9% F.S.	0.9% F.S.	-0.7% F.S.
技术要求	不超过 $\pm 2\% \text{ F.S.}$		
注: F.S.指满量程。			

5.1.5 一周零点漂移和量程漂移

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了一周零点漂移验证测试，测试结果如附表 9 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-0.7% F.S. ~ 2.4% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%；对 18 台仪器进行了一周量程漂移验证测试，测试结果如附表 10 所示，1 台超出，达标果分布在-1.1% F.S. ~ 1.2% F.S.（F.S.指满量程），通过率 94.4%。

附表 9 一周零点漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	2.4% F.S.	-0.1% F.S.	0.1% F.S.
型号 B	-0.1% F.S.	-0.2% F.S.	-0.1% F.S.
型号 C	-0.4% F.S.	-0.2% F.S.	0.2% F.S.
型号 D	-0.3% F.S.	<0.1% F.S.	-0.3% F.S.
型号 E	<0.1% F.S.	0.9% F.S.	0.3% F.S.
型号 F	-0.4% F.S.	-0.1% F.S.	-0.7% F.S.
技术要求	不超过±3% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

附表 10 一周量程漂移验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	3.3% F.S.	0.4% F.S.	0.8% F.S.
型号 B	0.6% F.S.	0.7% F.S.	0.6% F.S.
型号 C	-0.8% F.S.	-0.6% F.S.	-1.1% F.S.
型号 D	0.6% F.S.	-0.4% F.S.	-0.5% F.S.
型号 E	1.2% F.S.	0.3% F.S.	-1.0% F.S.
型号 F	-0.4% F.S.	0.5% F.S.	-0.6% F.S.
技术要求	不超过±3% F.S.		
注：F.S.指满量程。			

5.1.6 环境温度变化的影响

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了环境温度变化的影响验证测试，测试结果如附表 11 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-1.0% F.S. ~ 0.9% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

附表 11 环境温度变化的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	-0.4% F.S.	0.6% F.S.	0.9% F.S.
型号 B	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.	-0.2% F.S.
型号 C	0.2% F.S.	0.3% F.S.	0.3% F.S.
型号 D	<0.1% F.S.	0.6% F.S.	0.4% F.S.

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 E	-0.4% F.S.	-1.0% F.S.	-0.1% F.S.
型号 F	0.2% F.S.	-0.3% F.S.	0.2% F.S.
技术要求	不超过±5% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

5.1.7 进样流量变化的影响

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了进样流量变化的影响验证测试，测试结果如附表 12 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-0.8% F.S. ~ 0.6% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

附表 12 进样流量变化的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	<0.1% F.S.	0.2% F.S.	0.3% F.S.
型号 B	0.1% F.S.	0.1% F.S.	0.2% F.S.
型号 C	0.6% F.S.	-0.5% F.S.	-0.8% F.S.
型号 D	0.2% F.S.	0.2% F.S.	0.1% F.S.
型号 E	-0.3% F.S.	-0.1% F.S.	-0.1% F.S.
型号 F	0.3% F.S.	0.3% F.S.	0.4% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

5.1.8 供电电压变化的影响

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了供电电压变化的影响验证测试，测试结果如附表 13 所示，18 台仪器均达标，测试结果分布在-1.3% F.S. ~ 0.3% F.S.（F.S.指满量程），通过率 100%。

附表 13 供电电压变化的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	-1.2% F.S.	-1.3% F.S.	-1.3% F.S.
型号 B	0.2% F.S.	0.2% F.S.	0.2% F.S.
型号 C	<0.1% F.S.	0.1% F.S.	0.2% F.S.
型号 D	0.2% F.S.	-0.1% F.S.	0.2% F.S.
型号 E	0.3% F.S.	0.1% F.S.	0.1% F.S.
型号 F	<0.1% F.S.	<0.1% F.S.	0.1% F.S.
技术要求	不超过±2% F.S.		
注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指测试结果不超过±0.05% F.S.。			

5.1.9 干扰成分的影响

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了干扰成分的影响验证测试，测试结果如附

表 14 所示，1 台超出，达标结果分布在 $-0.6\% \text{ F.S.} \sim <0.5\% \text{ F.S.}$ （F.S.指满量程； $<0.5\% \text{ F.S.}$ 指各干扰成分的正干扰和负干扰均不超过 $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$ ），通过率 94.4%。

附表 14 干扰成分的影响验证测试结果汇总表

厂家	仪器 1	仪器 2	仪器 3
型号 A	$-5.9\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$-0.5\% \text{ F.S.}$
型号 B	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$
型号 C	$-0.6\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$
型号 D	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$
型号 E	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$
型号 F	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$	$<0.5\% \text{ F.S.}$
技术要求	不超过 $\pm 5\% \text{ F.S.}$		
注：F.S.指满量程； $<0.5\% \text{ F.S.}$ 指各干扰成分的正干扰和负干扰均不超过 $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$ 。			

5.1.10 平行性

对 6 个型号每个型号 3 台，共 18 台仪器进行了平行性验证测试，测试结果如附表 15 所示，6 个型号均达标，测试结果分布在 $0.4\% \sim 1.6\%$ ，通过率 100%。

附表 15 平行性验证测试结果汇总表

厂家	平行性
型号 A	0.7%
型号 B	0.4%
型号 C	0.8%
型号 D	0.4%
型号 E	1.6%
型号 F	0.4%
技术要求	$\leq 5\%$

5.2 现场检测性能指标验证结果

5.2.1 二氧化碳正确度

对安装在 2 个热风炉和 1 个焦炉烟囱的 3 个型号 4 台废气二氧化碳自动监测系统进行了补充验证，每台开展 2 次正确度比对，结果如附表 16 所示，型号 I 的 2 台系统的 4 次比对中参比方法测量二氧化碳平均值 $\geq 20\%$ ，系统与参比方法测量结果相对误差的 95%置信上限分布在 $4.0\% \sim 6.2\%$ ，通过率 100%；型号 II、型号 III 2 个型号 4 次比对中参比方法测量二氧化碳平均值 $\geq 14\% \sim <20\%$ ，绝对误差分布在 $0.1\% \sim 1.3\%$ ，通过率 100%。

附表 16 二氧化碳正确度补充验证测试结果汇总表

序号	型号	参比方法测量平均值	浓度范围	比对结果	地点
1	型号I-1	27.4%	≥20%	相对误差的 95% 置信上限 4.8%	热风炉 1
2	型号I-1	28.4%	≥20%	相对误差的 95% 置信上限 5.5%	热风炉 1
3	型号I-2	24.9%	≥20%	相对误差的 95% 置信上限 6.2%	热风炉 2
4	型号I-2	26.1%	≥20%	相对误差的 95% 置信上限 4.0%	热风炉 2
5	型号II	17.1%	≥14% ~ <20%	绝对误差 0.1%	焦化
6	型号II	17.2%	≥14% ~ <20%	绝对误差 0.2%	焦化
7	型号III	17.1%	≥14% ~ <20%	绝对误差 1.2%	焦化
8	型号III	17.2%	≥14% ~ <20%	绝对误差 1.3%	焦化

5.3 适用性检测数据结果统计

5.3.1 二氧化碳监测单元

5.3.1.1 示值误差

59 个型号适用性检测示值误差检测结果如附表 17 所示, 检测结果分布在-2.0% ~ 2.8%, 通过率 100%。

附表 17 示值误差检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	示值误差 (%)	型号	测量量程 (%)	示值误差 (%)	型号	测量量程 (%)	示值误差 (%)
型号 1	30	-1.5	型号 21	20	1.7	型号 41	20	-0.9
型号 2	20	0.3	型号 22	25	1.2	型号 42	20	-1.8
型号 3	20	-1.7	型号 23	20	0.9	型号 43	25	0.4
型号 4	20	1.1	型号 24	20	-1.1	型号 44	20	-1.5
型号 5	20	-2.6	型号 25	20	1.9	型号 45	20	-0.8
型号 6	20	0.4	型号 26	25	-0.7	型号 46	25	-0.5
型号 7	20	-0.3	型号 27	20	1.6	型号 47	25	1.0
型号 8	25	-2.5	型号 28	25	-1.5	型号 48	20	0.5
型号 9	20	-1.3	型号 29	25	1.4	型号 49	25	1.0
型号 10	25	2.6	型号 30	20	1.0	型号 50	25	2.8
型号 11	25	-1.3	型号 31	20	-1.3	型号 51	25	-1.5
型号 12	20	0.9	型号 32	20	-1.3	型号 52	25	-2.0
型号 13	20	0.7	型号 33	25	-1.4	型号 53	25	1.1
型号 14	25	0.7	型号 34	20	2.0	型号 54	20	-0.9
型号 15	20	-2.8	型号 35	25	0.6	型号 55	20	-1.7
型号 16	30	0.8	型号 36	25	-1.2	型号 56	25	-1.4

型号 17	20	-1.5	型号 37	25	0.5	型号 57	20	-1.1
型号 18	25	0.6	型号 38	30	0.4	型号 58	25	2.2
型号 19	20	-1.0	型号 39	25	-1.0	型号 59	20	-0.9
型号 20	25	-1.9	型号 40	30	1.8			

注：表中所列检测结果为低、中、高三种浓度水平中示值误差的最大值。

5.3.1.2 系统响应时间

59 个型号适用性检测系统响应时间检测结果如附表 18 所示，检测结果最大值为 98 s，通过率 100%。

附表 18 系统响应时间检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	系统响应时间 (s)	型号	测量量程 (%)	系统响应时间 (s)	型号	测量量程 (%)	系统响应时间 (s)
型号 1	30	73	型号 21	20	44	型号 41	20	<30
型号 2	20	83	型号 22	25	45	型号 42	20	52
型号 3	20	31	型号 23	20	84	型号 43	25	37
型号 4	20	55	型号 24	20	72	型号 44	20	82
型号 5	20	58	型号 25	20	65	型号 45	20	<30
型号 6	20	<30	型号 26	25	<30	型号 46	25	<30
型号 7	20	64	型号 27	20	42	型号 47	25	42
型号 8	25	88	型号 28	25	64	型号 48	20	66
型号 9	20	77	型号 29	25	33	型号 49	25	<30
型号 10	25	36	型号 30	20	91	型号 50	25	93
型号 11	25	58	型号 31	20	35	型号 51	25	42
型号 12	20	<30	型号 32	20	45	型号 52	25	<30
型号 13	20	34	型号 33	25	51	型号 53	25	47
型号 14	25	22	型号 34	20	<30	型号 54	20	92
型号 15	20	<30	型号 35	25	43	型号 55	20	33
型号 16	30	43	型号 36	25	<30	型号 56	25	40
型号 17	20	76	型号 37	25	34	型号 57	20	54
型号 18	25	38	型号 38	30	43	型号 58	25	<30
型号 19	20	<30	型号 39	25	79	型号 59	20	38
型号 20	25	50	型号 40	30	<30			

5.3.1.3 24 小时零点漂移和量程漂移

59 个型号适用性检测 24 小时零点漂移和量程漂移检测结果如附表 19 和附表 20 所示，24 小时零点漂移检测结果分布在 -0.6% ~ 1.7%，通过率 100%；24 小时量程漂移检测结果分布在 -2.0% ~ 1.8%，通过率 100%。

附表 19 24h 零点漂移检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	零点漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	零点漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	零点漂移 (% F.S.)
型号 1	30	0.5	型号 21	20	0.1	型号 41	20	<0.1
型号 2	20	-0.2	型号 22	25	-0.6	型号 42	20	0.2
型号 3	20	0.3	型号 23	20	1.7	型号 43	25	<0.1
型号 4	20	-0.4	型号 24	20	<0.1	型号 44	20	-0.4
型号 5	20	-0.2	型号 25	20	0.1	型号 45	20	0.2
型号 6	20	-0.1	型号 26	25	<0.1	型号 46	25	<0.1
型号 7	20	-0.2	型号 27	20	-0.2	型号 47	25	<0.1
型号 8	25	-0.1	型号 28	25	-0.3	型号 48	20	0.2
型号 9	20	0.1	型号 29	25	0.5	型号 49	25	<0.1
型号 10	25	0.2	型号 30	20	0.2	型号 50	25	<0.1
型号 11	25	<0.1	型号 31	20	<0.1	型号 51	25	0.7
型号 12	20	-0.1	型号 32	20	-0.1	型号 52	25	0.1
型号 13	20	-0.1	型号 33	25	-0.2	型号 53	25	-0.3
型号 14	25	0.3	型号 34	20	-0.1	型号 54	20	-0.4
型号 15	20	-0.1	型号 35	25	-0.1	型号 55	20	-0.1
型号 16	30	<0.1	型号 36	25	<0.1	型号 56	25	-0.2
型号 17	20	-0.2	型号 37	25	0.2	型号 57	20	0.2
型号 18	25	-0.2	型号 38	30	<0.1	型号 58	25	0.3
型号 19	20	-0.1	型号 39	25	0.2	型号 59	20	0.2
型号 20	25	-0.2	型号 40	30	-0.2			

注：F.S.指满量程；<0.1指检测结果不超过±0.05% F.S.；表中所列检测结果为初检和复检期间 24 小时零点漂移最大值。

附表 20 24h 量程漂移检测结果汇总表

型号	测量量程 (%)	量程漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	量程漂移 (% F.S.)	型号	测量量程 (%)	量程漂移 (% F.S.)
型号 1	30	1.1	型号 21	20	1.0	型号 41	20	1.1
型号 2	20	0.4	型号 22	25	-1.0	型号 42	20	-0.7
型号 3	20	0.5	型号 23	20	0.8	型号 43	25	0.8
型号 4	20	-0.3	型号 24	20	-0.9	型号 44	20	1.0
型号 5	20	0.7	型号 25	20	1.3	型号 45	20	0.6
型号 6	20	0.9	型号 26	25	0.3	型号 46	25	0.6
型号 7	20	1.5	型号 27	20	-1.6	型号 47	25	0.5
型号 8	25	0.7	型号 28	25	-0.8	型号 48	20	-0.6
型号 9	20	-0.7	型号 29	25	1.1	型号 49	25	-1.5
型号 10	25	1.8	型号 30	20	0.5	型号 50	25	-0.8
型号 11	25	0.7	型号 31	20	1.2	型号 51	25	0.5
型号 12	20	-0.1	型号 32	20	0.6	型号 52	25	-0.2
型号 13	20	1.0	型号 33	25	-0.8	型号 53	25	1.1

型号 14	25	1.4	型号 34	20	1.2	型号 54	20	0.6
型号 15	20	0.8	型号 35	25	-0.6	型号 55	20	-2.0
型号 16	30	1.3	型号 36	25	0.2	型号 56	25	-1.0
型号 17	20	1.1	型号 37	25	0.9	型号 57	20	-1.1
型号 18	25	-0.3	型号 38	30	0.6	型号 58	25	-1.8
型号 19	20	1.6	型号 39	25	-0.3	型号 59	20	0.3
型号 20	25	-0.4	型号 40	30	0.6			

注：F.S.指满量程；<0.1% F.S.指检测结果不超过±0.05% F.S.；表中所列检测结果为初检和复检期间 24 小时量程漂移最大值。

5.3.1.4 正确度

59 个型号适用性检测二氧化碳正确度检测结果如附表 21 ~ 附表 24 所示。系统与参比测试方法同步对污染源排放二氧化碳进行测量，参比仪器测量结果平均值<7%时，11 个型号的检测结果分布在 0.1% ~ 0.5%（绝对误差），通过率 100%；参比仪器测量结果平均值≥7% ~ <14%时，49 个型号的检测结果分布在 0.9% ~ 9.6%（相对误差），通过率 100%；参比仪器测量结果平均值≥14% ~ <20%时，5 个型号的检测结果分布在 0.1% ~ 1.2%（绝对误差），通过率 100%；参比仪器测量结果平均值>20%时，1 个型号的检测结果为 2.4%（相对误差 95%的置信上限），通过率 100%。

附表 21 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值<7%）

序号	型号	参比方法测量平均值 (%)	绝对误差 (%)
1	型号 4	6.8	0.1
2	型号 5	6.6	0.2
3	型号 6	6.8	0.3
4	型号 8	5.8	0.3
5	型号 9	6.1	0.3
6	型号 12	5.2	0.3
7	型号 13	6.2	0.5
8	型号 14	6.5	0.5
9	型号 18	6.1	0.2
10	型号 19	5.8	0.2
11	型号 20	6.5	0.3
12	型号 52	5.8	0.1
13	型号 56	5.8	0.3
14	型号 57	5.8	0.1
15	型号 59	5.8	0.2

附表 22 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值≥7% ~ <14%）

序号	型号	参比方法测量平均值 (%)	相对误差 (%)
----	----	---------------	----------

1	型号 1	10.9	3.1
2	型号 2	12.4	1.2
3	型号 3	12.8	5.0
4	型号 5	7.2	2.0
5	型号 7	11.8	4.4
6	型号 9	7.2	1.4
7	型号 10	11.6	3.2
8	型号 11	12.5	1.0
9	型号 15	13.2	7.8
10	型号 16	10.7	2.9
11	型号 17	11.3	3.7
12	型号 18	7.2	0.9
13	型号 19	12.7	2.0
14	型号 21	10.8	3.2
15	型号 22	11.8	0.9
16	型号 23	10.4	3.5
17	型号 24	11.9	5.4
18	型号 25	11.3	4.3
19	型号 27	10.3	4.6
20	型号 28	13.7	3.6
21	型号 29	13.2	6.1
22	型号 30	10.5	3.1
23	型号 31	8.3	4.7
24	型号 32	11.4	2.9
25	型号 33	11.3	2.8
26	型号 34	9.8	7.5
27	型号 35	9.9	5.3
28	型号 36	11.0	3.1
29	型号 37	11.3	1.3
30	型号 38	11.1	9.6
31	型号 39	12.8	3.1
32	型号 41	9.8	6.1
33	型号 42	10.9	5.6
34	型号 43	11.0	2.3
35	型号 44	12.3	3.6
36	型号 45	12.0	6.5
37	型号 46	11.7	2.4
38	型号 47	9.8	7.6
39	型号 48	12.0	2.4
40	型号 49	12.4	5.4
41	型号 51	12.5	7.4

42	型号 52	11.0	1.4
43	型号 53	13.1	4.6
44	型号 54	13.1	1.0
45	型号 55	13.1	1.8
46	型号 56	11.0	2.2
47	型号 57	11.9	4.3
48	型号 58	11.6	3.8
49	型号 59	11.0	1.8

附表 23 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值 $\geq 14\% \sim < 20\%$ ）

序号	型号	参比方法测量平均值（%）	绝对误差（%）
1	型号 11	14.1	0.1
2	型号 16	14.6	0.1
3	型号 26	15.1	0.2
4	型号 38	14.6	0.1
5	型号 50	14.4	1.2

附表 24 二氧化碳正确度检测结果汇总表（参比方法测量平均值 $\geq 20\%$ ）

序号	型号	参比方法测量平均值（%）	相对误差 95%的置信上限（%）
1	型号 40	28.0	2.4

5.3.2 废气流速监测单元

5.3.2.1 正确度

194 个型号废气自动监测系统的流速正确度检测结果如附图 1 和附图 2 所示，流速 $> 10 \text{ m/s}$ 的共 59 个检测结果，分布在 $-7.8\% \sim 5.0\%$ ，通过率 100%；流速 $\leq 10 \text{ m/s}$ 的共 135 个检测结果，1 个型号超出，达标结果分布在 $-9.7\% \sim 9.9\%$ ，达标率 99.3%。

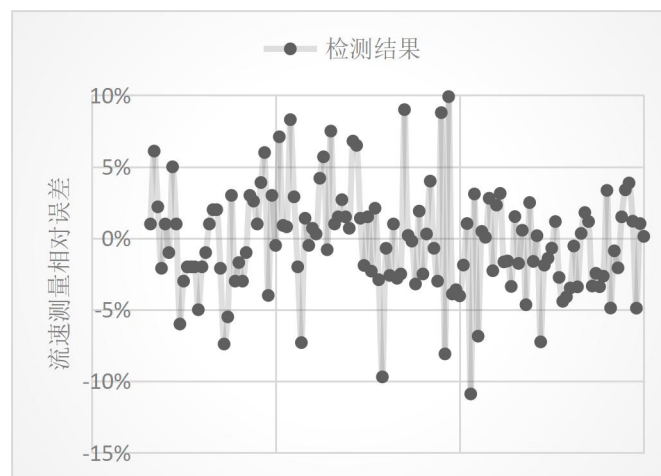


图 1 参比方法测量流速 ≤ 10 m/s 检测结果分布

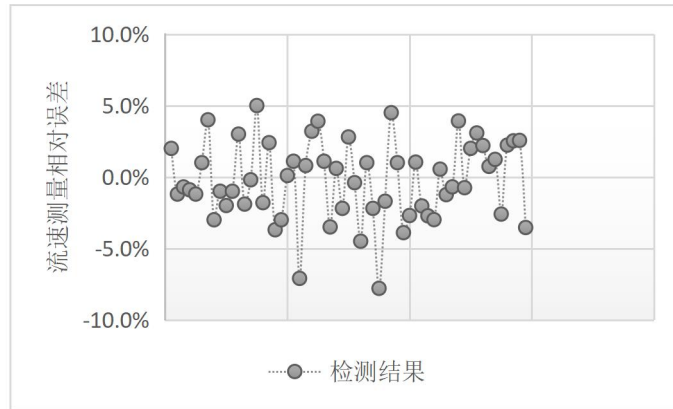
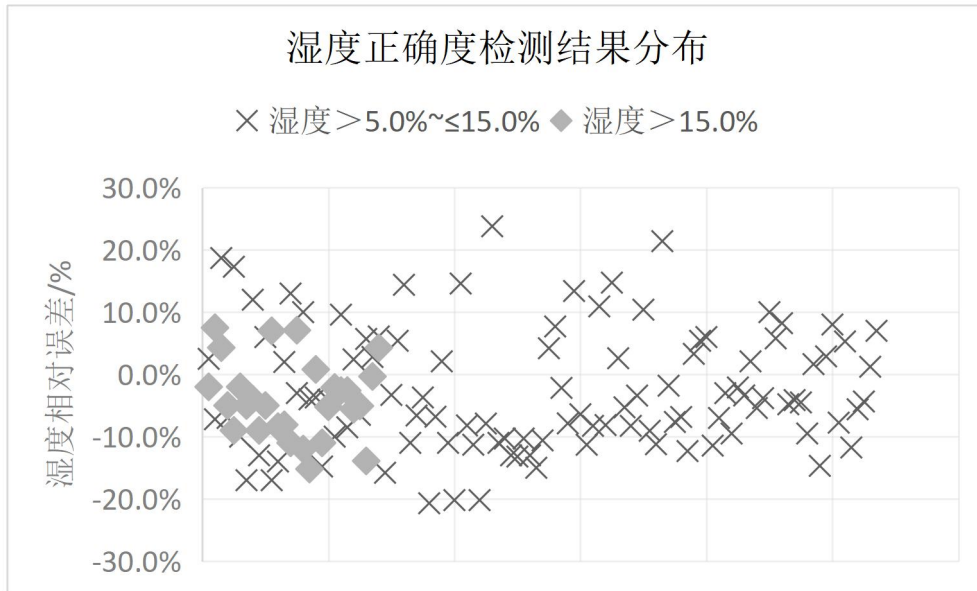


图 2 参比方法测量流速 > 10 m/s 检测结果分布

5.3.3 废气湿度监测单元

5.3.3.1 正确度

194 个型号废气自动监测系统的湿度正确度检测结果（见附图 3），其中参比方法测量湿度 $\leq 5.0\%$ ，技术要求未做修改，不再列出；湿度 $> 5.0\% \sim \leq 15.0\%$ 的共 107 个，4 个型号超出，达标结果分布在 $-17.0\% \sim 18.7\%$ ，达标率 96.3%；湿度 $> 15.0\%$ 的共 28 个，1 个型号超出，达标结果分布在 $-13.9\% \sim 7.9\%$ ，达标率 96.4%。



6 标准验证结论

通过数据汇总和分析，将标准性能指标技术要求规定如下。

附表25 固定污染源废气二氧化碳自动监测系统实验室检测项目

检测项目		技术要求
二氧化碳 监测单元	仪表响应时间（上升时间和下降时间）	≤120 s
	重复性	≤2%
	线性误差	±2% F.S.
	24h 零点漂移和量程漂移	±2% F.S.
	一周零点和量程漂移	±3% F.S.
	环境温度变化的影响	±5% F.S.
	进样流量变化的影响	±2% F.S.
	供电电压变化的影响	±2% F.S.
	干扰成分的影响	±5% F.S.
	平行性	≤5%
二氧化碳 自动质控单元	流量线性误差	±1%

注：F.S.表示满量程。

附表 26 固定污染源废气二氧化碳自动监测系统现场检测项目

检测项目		技术要求	
二氧化碳 监测单元	初检 期间	示值误差	满量程≥10%时，±5%（标称值） 满量程<10%时，±2.5% F.S.
		系统响应时间	≤200 s
		24h 零点漂移和量程漂移	±2.5% F.S.
		正确度	排放浓度平均值： ≥20%时，相对误差的 95%置信上限≤7.5% ≥14% ~ <20%时，绝对误差≤1.4% ≥7% ~ <14%时，相对误差≤10% <7%时，绝对误差≤0.7%
	复检 期间	24h 零点漂移和量程漂移	±2.5% F.S.
			正确度
废气流速 监测单元	初检 期间	速度场系数精密度	≤5%
	复检 期间	正确度	废气流速平均值： >10 m/s 时，相对误差±8% ≤10 m/s 时，相对误差±10%
废气温度 监测单元	初检 期间	正确度	±3 °C
	复检 期间	正确度	±3 °C
废气湿度 监测单元	初检 期间	正确度	废气湿度平均值： >15.0%时，相对误差±15% >5.0% ~ ≤15.0%时，相对误差±20% ≤5.0%时，绝对误差±1.5%
	复检 期间	正确度	废气湿度平均值： >15.0%时，相对误差±15% >5.0% ~ ≤15.0%时，相对误差±20% ≤5.0%时，绝对误差±1.5%

注：F.S.表示满量程。