

附件 3

《固定污染源废气 一氧化碳和氯化氢连续监测技术规范（征求意见稿）》编制说明

《固定污染源废气 一氧化碳和氯化氢连续监测技术规范》

标准编制组

二〇二四年三月

# 目 录

1 项目背景.....	1
1.1 项目来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 标准制订的必要性分析.....	2
2.1 目标化合物对环境的危害.....	2
2.2 有效实施众多污染物排放标准的客观需要.....	3
2.3 按环境管理要求安装的污染源在线监测设备应确保其数据准确有效.....	4
2.4 现行相关标准的实施情况和存在问题.....	6
3 国内外相关标准情况.....	7
3.1 我国 CEMS 发展及现状.....	7
3.2 国外主要国家和地区 CEMS 发展及应用状况.....	9
3.3 国内外固定污染源一氧化碳和氯化氢在线监测技术.....	12
3.4 本标准和国内外标准的关系.....	18
4 标准制订的基本原则和技术路线.....	18
4.1 标准制订的基本原则.....	18
4.2 标准制订的技术路线.....	18
5 方法研究报告.....	19
5.1 适用范围.....	19
5.2 术语及定义.....	20
5.3 系统组成和功能要求.....	20
5.4 技术性能要求.....	20
5.5 站房要求.....	21
5.6 安装要求.....	21
5.7 技术性能指标调试检测.....	21
5.8 技术验收.....	22
5.9 日常运行维护要求.....	22
5.10 质量保证和质量控制要求.....	23
5.11 数据审核和处理.....	24
6 技术指标的验证和确定.....	24
6.1 HCl-CEMS 技术指标.....	24
6.2 CO-CEMS 技术指标.....	31
6.3 正确度的现场验证.....	39
6.4 不同水分含量对 HCl 吸附干扰试验.....	52
7 与开题报告的差异说明.....	54
8 标准实施建议.....	54
9 标准征求意见稿技术审查情况.....	54
10 参考文献.....	55

# 《固定污染源废气 一氧化碳和氯化氢连续监测技术规范 (征求意见稿)》编制说明

## 1 项目背景

### 1.1 项目来源

为规范指导固定污染源废气一氧化碳(CO)和氯化氢(HCl)自动监控设施建设运行,进一步提高固定污染源CO和HCl自动监测数据质量,更好地发挥自动监控在环境监管执法中的作用,生态环境部于2019年将“固定污染源废气一氧化碳、氯化氢自动监测技术规范”项目确立为绿色通道标准项目,由中国环境监测总站承担项目编制任务,协作单位为浙江省生态环境监测中心,项目统一编号为:2019-L-18。

### 1.2 工作过程

#### 1.2.1 成立标准编制组

2019年12月,该项目任务下达后,中国环境监测总站作为项目承担单位,召集协作单位浙江省生态环境监测中心相关人员,成立了标准编制组,签订了项目任务书和合同,拟定了方法标准制订的基本原则和技术路线,并严格按照《国家生态环境标准制修订工作规则》(国环法规〔2020〕4号)的要求,并结合《固定污染源烟气(SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物)排放连续监测技术规范》(HJ 75)开展标准研究工作。

#### 1.2.2 调研及资料查询

2020年1月~3月,编制组查询和收集了国内外相关标准和文献资料,分析了现有标准规定的各项技术指标,经过详细的调研,制定了相关技术指标验证测试初步方案,形成了标准初稿。

#### 1.2.3 技术指标确定与现场验证

2020年4月~12月,编制组完善了技术指标验证测试方案,对各项技术参数和条件进行优化,确定了具体的方法试验内容,包括各类原理仪器的示值误差、系统响应时间、正确度、零点漂移和量程漂移等性能指标的试验。并整理和分析了近年来现场连续监测设备比对和监测结果,初步确定了各项性能指标,开展了现场验证试验,根据试验结果确定标准中部分调试和验收技术指标的方向,在积累了充分试验数据的基础上,完成了标准初稿和编制说明。

#### 1.2.4 形成征求意见稿

2021年1月~7月,标准编制组召开3次内部视频会议,针对标准中关键技术环节及技术指标进行研讨,形成标准征求意见稿初稿和编制说明。

2021年8月~10月，标准编制组组织专家函审，根据专家意见对标准征求意见稿和编制说明进行了完善。

2021年11月10日，标准编制组召开专家研讨会，深入讨论了征求意见稿和编制说明中的关键技术环节和技术要求，根据专家意见对标准征求意见稿和编制说明进行了完善。

2021年12月10日，中国环境监测总站组织专家召开站内预审会，对标准征求意见稿和编制说明内容进行了内部技术审查，根据审查意见对标准征求意见稿和编制说明进行了完善。

2023年4月25~26日，生态环境部生态环境监测司组织专家集中审查，经审查后确定本标准符合召开征求意见稿技术审查会的条件，编制组根据审查意见对标准征求意见稿和编制说明进行了完善。

### 1.2.5 征求意见稿技术审查会

2023年5月18日，召开标准征求意见稿技术审查会，专家组审查后认为标准主编单位提供的材料齐全、内容完整；标准主编单位对国内外方法标准及文献进行了充分调研；标准定位准确，技术路线合理可行，方法验证内容完善。专家组通过该标准征求意见稿的技术审查。建议按照以下意见修改完善后，提请公开征求意见：

- (1) 标准名称修改为“固定污染源废气 一氧化碳和氯化氢连续监测技术规范”；
- (2) 编制说明中进一步完善对氯化氢标准气体稳定性的说明；
- (3) 标准文本中完善人员作业安全要求；
- (4) 按照《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。

编制组按照以上专家意见对本标准征求意见稿文本和编制说明进行了修改和完善。

## 2 标准制订的必要性分析

### 2.1 目标化合物对环境的危害

#### 2.1.1 一氧化碳对环境的危害

一氧化碳是大气中分布最广和量最多的污染物，也是燃烧过程中生成的重要污染物之一。一氧化碳对环境的污染主要体现在对人的伤害上。一氧化碳是一种对血液与神经系统毒性很强的污染物，空气中的一氧化碳通过呼吸系统，进入人体血液内，与血液中的血红蛋白、肌肉中的肌红蛋白、含二价铁的呼吸酶结合，形成可逆性的结合物。不仅降低血球携带氧的能力，而且还抑制、延缓氧血红蛋白的解析与释放，导致机体组织因缺氧而坏死，严重者则可能危及人的生命。

由于一氧化碳在大气中很稳定，容易扩散迁移，同时一氧化碳的污染源非常多，因此人群暴露于中低浓度一氧化碳的几率很高。长时间接触低浓度的一氧化碳是否会造成慢性中毒，目前有两种看法：一种认为在血液中形成的碳氧血红蛋白可以逐渐解离，只要脱离接触，一氧化碳的毒作用即可逐渐消除，因而不存在一氧化碳的慢性中毒。另一种认为接触低浓度的一氧化碳能引起慢性中毒。近年来，许多动物实验和流行病学调查都证明，长期接触低浓度一氧化碳对健康是有影响的，主要表现在：一是对心血管系统的影响。当血液中碳氧血

蛋白达 8%时，静脉血氧张力降低，从而引起心肌摄取氧量减少和促使某些细胞内氧化酶系统停止活动。当血中碳氧血红蛋白达 15%时，能促使大血管内膜对胆固醇的摄入量增加并促进胆固醇沉积，使原有的动脉硬化症加重，从而影响心肌，使心电图出现异常。二是对神经系统的影响。脑是人体内耗氧最多的器官，也是对缺氧最敏感的器官。动物实验表明，脑组织对一氧化碳的吸收能力明显高于心、肺、肝、肾等。一氧化碳进入人体后，大脑皮层和苍白球受害最为严重。缺氧还会引起细胞呼吸内窒息，发生软化和坏死，出现视野缩小，听力丧失等；轻者也会出现头痛、头晕、记忆力降低等神经衰弱症候群，并兼有心前区紧迫感 and 针刺样疼痛。三是造成低氧血症。出现红细胞、血红蛋白等代偿性增加，其症状与缺氧引起的病理变化相似。四是对后代的影响。通过对吸烟和非吸烟孕妇的观察，吸烟孕妇的胎儿，有出生时体重小和智力发育迟缓的趋向。

美国卫生部门把碳氧血红蛋白(CO)不超过 2%作为制定空气中的一氧化碳限值标准的依据。人体内正常水平的碳氧血红蛋白含量为 0.5%左右，安全阈值约为 10%。当碳氧血红蛋白含量达到 25%~30%时，显示中毒症状，几小时后陷入昏迷。当碳氧血红蛋白含量达到 70%时，即刻死亡。血液中的碳氧血红蛋白含量达到 30%~40%时，血液呈现樱红色，皮肤、指甲、粘膜及口唇部均有显示。同时，还出现头痛、恶心、呕吐、心悸等症状，甚至突然昏倒。深度中毒者出现惊厥，脑与肺部出现水肿，心肌受到损害等症状，如不及时抢救，极易导致死亡。

### 2.1.2 氯化氢对环境的危害

氯化氢可由氯和氢直接合成，或由氯及水蒸气通过燃烧的焦炭而制成。氯化氢主要用于制造氯化钡、氯化铵等，在冶金、制造燃料、皮革鞣制、金属表面处理、化工生产及染色。除上述工业生产过程中副产物含有氯化氢外，垃圾焚烧、危废焚烧、锅炉、工业窑炉等烟气中也会排放氯化氢，其主要来源于原料和燃料中的氯化物，如 PVC、橡胶、皮革以及厨余中的氯化钠和氯化钾等。氯化氢气体会对余热锅炉受热面和监测仪表产生高低温腐蚀，影响余热锅炉安全并限制了过热蒸汽参数的提高，氯化氢气体的存在升高了烟气露点，导致排烟温度升高，降低锅炉热效率。氯源在一定条件下与重金属反应生成低沸点的金属氯化物，从而加剧了重金属的挥发，导致重金属在飞灰上的富集，增加飞灰毒性。氯化氢气体能促进氯酚、氯苯、氯苯并呋喃等“三致”有机物的生成，而且 PVC 裂解后生成的氯化氢被认为能促进多环芳烃(PAHs)的生成。

氯化氢气体对人体有较强的伤害性，氯化氢吸入后大部分被上呼吸道粘膜所滞留，并被中和一部分，对局部粘膜有刺激和烧灼作用，引起炎性水肿、充血和坏死。氯化氢有强腐蚀性，能与多种金属反应产生氢气，遇氰化物产生剧毒氰化氢，这是一种致命的毒素。此外，氯化氢对环境的影响也很大，由于氯化氢极易溶于水，因此排放到大气中的氯化氢会与空气中的水蒸气结合并生成盐酸，盐酸具有强腐蚀性，与雨水一同落入地面就形成腐蚀性比较强的酸雨，对植物、建筑物等危害很大，渗入地下还可能污染地下水和土壤。

## 2.2 有效实施众多污染物排放标准的客观需要

目前，国内已发布实施的《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)、《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18484—2020)、《医疗废物焚烧环境卫生标准》(GB/T

18773—2008）、《火葬场大气污染物排放标准》（GB 13801—2015）等排放标准中对固定污染源废气中一氧化碳的排放限值做出了规定，具体标准限值见表 2-1。

国内已发布实施的《大气污染物综合排放标准》（GB 16297—1996）、《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2014）、《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484—2020）、《水泥窑协同处置固体废物污染物控制标准》（GB 30485—2013）、《医疗废物焚烧环境卫生标准》（GB/T 18773—2008）、《火葬场大气污染物排放标准》（GB 13801—2015）、《陶瓷工业污染物排放标准》（GB 25464—2010）、《镁、钛工业污染物排放标准》（GB 25468—2010）等 20 个排放标准中规定了固定污染源废气中氯化氢的排放限值要求，具体标准限值见表 2-2。

可见，对于特定的工业企业固定污染源废气中一氧化碳和氯化氢的排放监控十分重要，因此，编制本标准，也是为了更好地实施这些排放标准的需要，更有利于控制这些重要污染物的排放，保证污染防治等环境管理工作的实施。

### 2.3 按环境管理要求安装的污染源在线监测设备应确保其数据准确有效

对于生活垃圾焚烧、危废焚烧等重点行业的排放标准中，不仅对新建及现有污染源烟气排放一氧化碳和氯化氢提出了排放控制要求，还提出了安装自动监控设备的要求<sup>[1,2]</sup>。

《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484—2020）中要求焚烧设施安装污染物排放自动监控设备，应依据有关法律和《污染源自动监控管理办法》的规定执行。

《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2014），要求烟气在线监测应至少包括烟气中颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl 和 CO 等 5 项指标。2017 年 4 月，生态环境部印发《关于生活垃圾焚烧厂安装污染物排放自动监控设备和联网有关事项的通知》，要求垃圾焚烧企业于 2017 年 9 月 30 日前全面完成“装、树、联”三项任务，同时要求环境监管部门依据在线监测数据进行执法、监督和管理。为规范生活垃圾焚烧发电厂自动监测数据使用，推动生活垃圾焚烧发电厂达标排放，依法查处环境违法行为，2019 年 10 月 11 日生态环境部发布《生活垃圾焚烧发电厂自动监测数据应用管理规定》，进一步规范了生活垃圾焚烧发电厂的自动监测数据应用管理<sup>[3]</sup>。

为满足相应排放标准和环境管理对于安装污染源在线监测设备的要求，急需配套建立并完善相应的技术规范，确保其数据准确有效。本标准主要对固定污染源废气 CO 和 HCl 连续监测系统的组成和功能、技术性能、监测站房、安装、技术指标调试检测、技术验收、日常运行维护、质量保证和质量控制以及数据审核和处理等内容作出技术规定，规范固定污染源废气 CO 和 HCl 连续监测系统的安装、调试、验收和运行，推动固定源废气 CO 和 HCl 在线监测在环保行业中的应用，为排污单位、社会化运维机构以及环境管理部门提供技术依据和支撑，有利于形成固定污染源烟气排放连续自动监测完整、协调的标准体系。

表2-1 国内固定污染源废气中一氧化碳排放浓度标准限值

排放标准名称	一氧化碳排放浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	
生活垃圾焚烧污染物控制标准 (GB 18485—2014)	1 小时均值	100
	24 小时均值	80

排放标准名称	一氧化碳排放浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	
	危险废物焚烧污染物控制标准 (GB 18484—2020)	1 小时均值
24 小时均值		80
医疗废物焚烧环境卫生标准 (GB/T 18773—2008)	焚烧量≤300 kg/h	100
	焚烧量 300~2500 kg/h	80
	焚烧量≥2500 kg/h	80
火葬场大气污染物排放标准 (GB 13801—2015)	现有单位遗体火化	300
	新建单位遗体火化	150
	遗物祭品焚烧	200

表 2-2 国内固定污染源废气中氯化氢排放浓度标准限值

排放标准名称	氯化氢排放浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	
	大气污染物综合排放标准 (GB 16297—1996)	现有排放源
新建排放源		100
生活垃圾焚烧污染控制标准 (GB 18485—2014)	1 小时均值	60
	24 小时均值	50
危险废物焚烧污染物控制标准 (GB 18484—2020)	1 小时均值	60
	24 小时均值	50
水泥窑协同处置固体废物污染物控制标准 (GB 30485—2013)	—	10
医疗废物焚烧环境卫生标准 (GB/T 18773—2008)	焚烧量≤300 kg/h	100
	焚烧量 300 kg/h~2500 kg/h	70
	焚烧量≥2500 kg/h	60
火葬场大气污染物排放标准 (GB 13801—2015)	新建单位遗体火化	30
	遗物祭品焚烧	50
镁、钛工业污染物排放标准 (GB 25468—2010)	所有排放源	80
铜、镍、钴工业污染物排放标准 (GB 25467—2010)	所有排放源	80
再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准 (GB 31574—2015)	再生铝	30
陶瓷工业污染物排放标准 (GB 25464—2010)	现有排放源	50
	新建排放源	25
电镀污染物排放标准 (GB 21900—2008)	现有排放源	50
	新建排放源	30
合成树脂工业污染物排放标准 (GB 31572—2015) (有机硅树脂)	现有和新建企业	30
	特别排放限值	20
电池工业污染物排放标准 (GB 30484—2013) (太阳电池)	现有企业	8.0
	新建企业	5.0

排放标准名称	氯化氢排放浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	
	轧钢工业大气污染物排放标准 (GB 28665—2012)	现有和新建企业
特别排放限值		酸洗机组 15 废酸再生 30
石油化学工业污染物排放标准 (GB 31571—2015)	含卤代烃有机废气	30
石油炼制工业污染物排放标准 (GB 31570—2015) (重整催化剂再生烟气)	现有和新建企业	30
	特别排放限值	10
无机化学工业污染物排放标准 (GB 31573—2015)	无机氯化物及氯酸盐工业	20
	其他	10
烧碱、聚氯乙烯工业污染物排放标准 (GB 15581—2016)	氯化氢合成、氯乙烯合成、焚烧炉	20
制药工业大气污染物排放标准 (GB 37823—2019)	现有和新建企业	30
农药制造工业大气污染物排放标准 (GB 39727—2020)	化学原料制造、农药中间体制造和农药研发机构工艺废气	30

## 2.4 现行相关标准的实施情况和存在问题

现行的《固定污染源烟气(SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物)排放连续监测技术规范》(HJ 75—2017)和《固定污染源烟气(SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法》(HJ 76—2017)<sup>[4,5]</sup>标准主要规定了SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物连续排放监测的技术要求,无法满足焚烧烟气排放特征因子氯化氢和一氧化碳连续监测的管理需求。

为有效支撑生活垃圾焚烧固定源烟气排放的监管,规范生活垃圾焚烧固定源烟气排放连续监测系统(CEMS)仪器的性能质量,构建符合我国垃圾焚烧污染源排放特点和现状,满足在线监测和管理需求的垃圾焚烧CEMS质量管理体系,中国环境监测总站开展了生活垃圾焚烧固定源烟气CEMS的适用性检测工作。为保证仪器检测科学规范,中国环境监测总站借鉴欧、美、日等国外相关标准,开展不同型号典型仪器验证测试,组织编制了《生活垃圾焚烧固定源烟气(颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO)排放连续监测系统技术要求及检测方法(检测作业指导书)》(HJC-ZY80-2017)<sup>[6]</sup>,为相关仪器的设计、生产提供指导,可以作为生活垃圾焚烧固定源烟气(颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO)排放连续监测系统适用性检测的技术依据。

截止目前,固定污染源烟气污染物排放连续监测标准体系已基本建立,但仍缺乏对一氧化碳、氯化氢连续监测技术的规范性文件,因此在全面规范指导固定污染源一氧化碳、氯化氢排放烟气连续监测系统的安装、调试、验收、运行维护、监督考核、质量保证和数据审核等各个环节的实际问题上面临着诸多疑问。本标准的制定,进一步推动了固定污染源烟气污染物排放连续监测标准体系的完善,为生活垃圾焚烧固定源烟气排放的监管提供必要的技术依据。



### 3 国内外相关标准情况

#### 3.1 我国 CEMS 发展及现状

##### 3.1.1 大陆地区 CEMS 发展情况

我国的环保产业起步相对比较晚，相应的 CEMS 产品的应用也晚于西方发达国家，主要经历了以下六个发展阶段：

(1) CEMS 从无到有的阶段。1980 年随着 300 MW、600 MW 火电站项目的引进（国家十二项重点建设项目之一），我国首次从国外引进了一套自动烟气连续监测系统，就此开始了烟气 CEMS 引进和开发阶段。

从 1980 年至 1996 年属于 CEMS 发展的初级阶段，处于 CEMS 应用的摸索阶段。那时候对火电厂的排放管理也仅限于是否冒烟（颗粒物）、酸雨（SO<sub>2</sub> 的排放）、有毒气体（CO）等。国内也在根据引进的技术进行自己产品的研发，北京分析仪器厂开始根据引进的国外技术开发自己的产品。在此之前对火电厂的排放监测都是使用人工取样，实验室分析，工作量大且实时性差。引进了连续烟气监测系统在当时是个很大的提高，但这个阶段对环境保护的意识淡漠，CEMS 重要性没有得到充分的认识及足够的重视。对自动连续烟气监测仪还没有法规的要求，缺乏专业的使用人员和维护人员，致使当时价格昂贵的进口 CEMS 大部分成了摆设。

(2) 从 1997 年到 2000 年为第二个阶段。1997 年我国第一部关于火电厂的 CEMS 的法规性的文件《火电厂大气污染物排放标准》正式发布。文件中明确提出火电厂的污染物排放需要装设 CEMS 连续监测系统。随后在 1998 年 2 月 6 日的《酸雨两控区和二氧化硫污染控制区划方案》中，对两控区重点二氧化硫排放源要求安装在线式连续监测计量装置（即 CEMS），并进行长期连续监测。

在此阶段，CEMS 的安装和应用是有法规的要求，CEMS 也逐渐应用到火电厂以及城市锅炉、化工厂锅炉等污染源排放检测。此时安装的 CEMS 产品就比较多种多样，五花八门，各种方法都有。但部分照搬国外的技术和方法，没有考虑到我国的实际国情。由于缺乏统一的技术规范，这个阶段出现的 CEMS 产品参差不齐，良莠难辩。同时也缺乏统一的管理和数据处理上的一致性，实际测得的数据缺乏权威性。这时候安装的 CEMS 产品基本属于实验性质，为后来制定 CEMS 的技术规范和要求奠定了重要基础。

(3) 从 2001 年到 2004 是第三个阶段。在此阶段，《火电厂烟气排放连续监测技术规范》（HJ/T 75—2001）和《固定污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ/T 76—2001）正式发布，从技术层面对 CEMS 的安装、调试、检测和验收做出详细要求和说明，标志着我国的 CEMS 的应用走上正轨。另外，随着计算机的发展和自动控制、自动检测技术的应用发展，CEMS 产品的自动化程度也得到极大的提高。而计算机通信的发展也为 CEMS 数据的处理和数据通信提供了很好的平台，GPRS、ADSL 宽带网络等也相继应用于 CEMS。

(4) 从 2005 年到 2008 年是第四个阶段。在此阶段，原国家环保总局发布了《污染源自动监控管理办法》（国家环保总局令第 28 号）、《主要污染物总量减排监测办法》（国发〔2007〕36 号）、《污染源自动监控设施管理办法》（环发〔2008〕6 号）。这一系列办

法的出台标志着我国的 CEMS 建设工作已全面展开，CEMS 的安装已不仅仅只是针对火电行业，还包括钢铁、水泥、能源、垃圾焚烧、废物焚烧等各行各业。

(5) 从 2009 年到 2017 年是第五个阶段。在此阶段，原环境保护部相继发布了《关于加强燃煤脱硫设施二氧化硫减排核查核算工作的通知》（环办〔2009〕8 号）、《国家重点监控企业污染源自动监测数据有效性审核办法》（环发〔2009〕88 号）、《关于应用污染源自动监测数据核定征收排污费有关工作的通知》（环办〔2011〕53 号）。这一系列办法和通知的出台，标志着我国的 CEMS 工作已逐步从 CEMS 安装阶段转型为管理阶段，CEMS 工作日益成熟。

我国 CEMS 的发展经历了从无到有，从有到日趋成熟的过程，并逐步构建了一套较为完善的体系，CEMS 数据也逐步用于总量核定、排污征收、环境执法等管理工作中。

(6) 2017 年至今为第六阶段，为深入推进“放管服”改革，确保各项改革措施有效落实，根据《国务院办公厅关于进一步做好“放管服”改革涉及的规章、规范性文件清理工作的通知》（国办发〔2017〕40 号）、《国务院法制办关于做好法规清理工作的函》（国法函〔2017〕84 号）的要求，生态环境部对截至 2017 年 6 月底印发的现行有效规范性文件进行了清理。废止了《关于印发〈国家监控企业污染源自动监测数据有效性审核办法〉和〈国家重点监控企业污染源自动监测设备监督考核规程〉的通知》（环发〔2009〕88 号，2009 年 7 月 22 日公布）、《关于加强国家重点监控企业污染源自动监测数据有效性审核工作的通知》（环办〔2010〕116 号，2010 年 8 月 18 日公布）、《关于进一步做好污染源自动监测数据有效性审核工作的通知》（环办函〔2011〕1117 号，2011 年 9 月 19 日公布）等一系列关于连续监测规范性文件，同时修订了《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测技术规范》（HJ 75—2017）和《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ 76—2017）。使得 CEMS 的管理体系由环境主管部门转变为企业自主负责，CEMS 数据也逐步应用于总量核定、排污费征收、环境执法等管理工作转变为排污许可证申报、自行监测开展、环境税申报等企业自我应用。

### 3.1.2 台湾地区 CEMS 发展情况

台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》<sup>[7]</sup>规定了二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、氯化氢等六类污染物 CEMS 的性能指标要求。其中，关于一氧化碳和氯化氢在线监测仪器的性能要求详见表 3-4。

表 3-1 台湾地区一氧化碳和氯化氢在线监测仪器性能要求

监测指标	指标名称	指标要求	
一氧化碳	相对准确度	测试查核（调试）	排放标准 ≥ 200 μmol/mol 时： （1）参比方法测定结果平均值 ≥ 50% 排放标准时，相对准确度不超过 10%； （2）参比方法测定结果平均值 < 50% 排放标准时，相对准确度不超过 5%。 排放标准 < 200 μmol/mol 时：相对准确度不超过 7.5%。

监测指标	指标名称	指标要求	
		查核 (验收)	排放标准 $\geq 200 \mu\text{mol/mol}$ 时： (1) 参比方法测定结果平均值 $\geq 50\%$ 排放标准时，相对准确度应在 $\pm 7.5\%$ 以内； (2) 参比方法测定结果平均值 $< 50\%$ 排放标准时，相对准确度应在 $\pm 4\%$ 以内； 排放标准 $< 200 \mu\text{mol/mol}$ 时：相对误差应在 $\pm 6\%$ 以内。
	零点和量程漂移 (24 h)		$\leq 5\%$ F.S.
	示值误差		$\leq 15\%$
	操作测试时间		$\geq 168$ h
	响应时间		$\leq 15$ min
	相对准确度	以标准气体查核方式代替 (示值误差)	
氯化氢	零点和量程漂移 (24 h)		$\leq 5\%$ F.S.
	示值误差		$\leq 15\%$
	操作测试时间		$\geq 168$ h
	响应时间		$\leq 15$ min

### 3.2 国外主要国家和地区 CEMS 发展及应用状况

标准编制组对美国、欧盟已经颁布实施的有关测定气态污染物的方法标准进行了收集和研究，经梳理归纳如下。

#### 3.2.1 美国

CEMS 在美国已有近 50 年的发展历史，1971 年，美国国家环境保护总局制定了“新源执行标准” (New Source Performance Standards, 简称 NSPS)，美国第一台 CEMS 的出现，主要是用于检测污染治理设施是否正常运行和维护，而非用于判断污染排放是否达标。1979 年，对 CEMS 相关规范进行了修正，CEMS 逐渐用于考核污染物排放浓度的达标情况。1990 年，清洁空气法案做了重大修正，其中包含总量控制和排污权交易计划。排污权交易计划的一个关键基础要素就是要求通过持续监测污染物浓度和烟气体积流量等重要参数来获取并报告准确的排放数据，交易计划中的排放源基本监测要求就是采用 CEMS 监测所有污染物和参数，并报告排放量<sup>[8]</sup>。

随着 1995 年“酸雨计划” (Acid Rain Program)、2003 年“氮氧化物排污交易计划” (NO<sub>x</sub> Budget Trading Program)、2009 年“清洁空气州际法则” (Clean Air Interstate Rule) 以及 2010 年提上议程的“空气污染物传输规则” (Transport Rule) 等项目的陆续开展，美国 CEMS 得到了迅速发展，在 CEMS 相关技术与管理应用方面积累了丰富经验<sup>[9,10]</sup>。《联邦法律汇编第 40 卷第 60 部分 新建固定污染源的执行标准》(40 CFR Part60 — Standards of Performance for New Stationary Sources) 和《联邦法律汇编第 40 卷第 75 部分 烟气排放连续监测系统现场审核手册》(40 CFR Part75 — CEMS Field Audit Manual) 是美国 CEMS 基础的技术规范和法规诠释，同时颁布了一系列仪器性能要求标准 (Performance Specification,

PS), 其中包含一氧化碳连续排放监测系列标准 Performance Specification4<sup>[11]</sup>、Performance Specification4a<sup>[12]</sup>和 Performance Specification4b<sup>[13]</sup>, 氯化氢连续监测标准 Performance Specification18<sup>[14]</sup>, 傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测标准 Performance Specification15<sup>[15]</sup>以及相关质量保证技术规范 Procedure 1<sup>[16]</sup>和 Procedure 6<sup>[17]</sup>, 这些标准均在 2020 年 7 月进行了修订。美国 EPA 一氧化碳和氯化氢在线监测仪器性能要求分别见表 3-2、3-3。

表 3-2 美国 EPA 一氧化碳在线监测仪器性能要求

标准号	标准名称	指标名称	指标要求		
PS 4	固定污染源一氧化碳连续监测系统性能规范	适用范围	固定源废气中的一氧化碳 ( $\leq 1000 \mu\text{mol/mol}$ )		
		参比方法	Method 10	方法原理	便携式直读仪器法
			Method 10A		非分散红外吸收法
			Method 10B		气相色谱法
		相对准确度	相对准确度 $\leq 10\%$ 或 5%排放限值, 取大者。		
零点和量程漂移	应在 F.S $\pm 5\%$ 以内				
PS 4a	固定污染源一氧化碳连续监测系统性能规范	适用范围	固定源废气中的一氧化碳 ( $\leq 200 \mu\text{mol/mol}$ )		
		参比方法	同 PS 4 中要求相同		
		相对准确度	相对准确度 $\leq 10\%$ 或 5%排放限值, 或 $\leq 5 \mu\text{mol/mol}$ (置信度 $>95\%$ ), 最大值。		
		零点和量程漂移	应在 F.S $\pm 5\%$ 以内		
		响应时间	$< 240 \text{ s}$		
PS 4b	固定污染源一氧化碳连续监测系统性能规范	适用范围	新建一氧化碳连续监测系统		
		参比方法	同 PS 4 中要求相同		
		相对准确度	同 PS 4a 中要求相同		
		零点和量程漂移	应在 F.S $\pm 3\%$ 以内		
		响应时间	$< 240 \text{ ts}$		
		示值误差	应在 F.S $\pm 5\%$ 以内		
Procedure 1	固定污染源气态物质连续监测系统质量保证技术规范	适用范围	气态物质包括污染物 ( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 等) 及常量气体 ( $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 等)		
		相对准确度	相对准确度 $\leq 15\%$ 或 7.5%排放限值		
PS 15	固定污染源抽取式傅立叶在线连续监测系统性能规范	适用范围	有害气体物质 (HAPs) 以及其他挥发性有机物/无机物		

标准号	标准名称	指标名称	指标要求
	能规范	零点和量程漂移	应在 F.S±5%以内

表 3-3 美国 EPA 氯化氢在线监测仪器性能要求

标准号	标准名称	指标名称	指标要求		
PS 18	固定污染源氯化氢连续监测系统性能规范	适用范围	新建氯化氢连续监测系统		
		参比方法	Method 26A	方法原理 冷凝过滤吸收法（仅用于指定 CEMS 系统）	
			Method 320/321		傅立叶变换红外光谱法吸收法
			ASTM D6348-12		傅立叶变换红外光谱法吸收法
		相对准确度	相对准确度≤20%		
		零点和量程漂移	应在 F.S±5%以内		
		示值误差	应在 F.S±5%以内		
Procedure 6	固定污染源氯化氢连续监测系统质量保证技术规范	适用范围	氯化氢连续监测系统		
		相对准确度	相对准确度≤20%		
PS 15	固定污染源抽取式傅立叶在线连续监测系统性能规范	适用范围	有害气体物质(HAPs)以及其他挥发性有机物/无机物(包括氯化氢)		
		零点和量程漂移	应在 F.S±5%以内		

### 3.2.2 欧盟

CEMS 在欧盟也发展的较早，尤其是在德国，几乎与美国同时起步，德国战后经济高速发展，但当时经济实力有限，人们缺乏环保意识，因此，经济的高速发展是以消耗和牺牲资源与环境为代价的。20 世纪 70 年代，德国在尝到被严重污染的环境反馈给人们的苦果后，开始意识到不顾环境的经济发展是没有生命力的，经济必须与环境协调发展。自 20 世纪 60 年代末到 70 年代初，德国已先后制定了《废弃物处置法》《联邦水管理法》《大气污染控制法》等早期的环境法律。之后，随着 1976 年《能源节约法》、1980 年的《化学品法》、1985 年的《原子能控制法》、1987 年的《废水纳税法》等法律的制定，到 80 年代末，德国环境立法领域已经相当广泛。90 年代，随着一些有关全球环境问题立法的颁布，德国的环境法制体系达到了比较完善的程度。欧盟成立之后，制定了统一的环保标准，即烟气 CEMS 的相关技术标准有《空气质量自动监测系统认证第三部分：固定源自动监测评价标准及测试步骤》（Air quality — Certification of automated measuring systems — Part 3: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources BS EN 15267-3-2007）<sup>[18]</sup>。欧盟气态污染物在线监测仪器性能要求详见表 3-4。

表 3-4 欧盟气态污染物在线监测仪器性能要求

监测指标	指标名称	指标要求
气态污染物	相对准确度	/
	零点和量程漂移	≤3% F.S.
	示值误差	≤2%
	响应时间	≤200 s (HCl ≤400 s)

### 3.3 国内外固定污染源一氧化碳和氯化氢在线监测技术

一套完整的 CEMS，根据烟气目标监测因子不同，主要包括污染物监测子系统、烟气排放参数监测子系统、数据处理与传输子系统等几个部分。

气态污染物监测子系统：主要对排放烟气中气态形式存在的污染物进行监测。

烟气排放参数子系统：主要对排放烟气的温度、压力、湿度、含氧量等参数进行监测，用于污染物排放量的计算以及将污染物的浓度转化成标准干烟气状态和排放标准中规定的过剩空气系数下的浓度。

数据处理与传输子系统：主要完成测量数据的采集、存储、统计功能，并按相关标准要求将数据传输到环境监管部门。

其中烟气排放参数子系统、数据处理与传输子系统在 HJ 75 中进行了规定，以下主要对 HCl 和 CO 气态污染物监测子系统进行简单介绍。

#### 3.3.1 采样方式

HCl 和 CO 气态污染物 CEMS 的采样方式主要分为两种，即直接测量法和抽取式测量法，抽取式测量法又分为冷干式抽取法、热湿式抽取法和稀释抽取法。

##### (1) 直接测量法

直接测量法又称现场测量法，是对烟气中的污染物进行直接测量，在烟道两侧分别安装发射装置和接收装置，发射装置发出一束红外或紫外线穿过烟道到达接收装置，利用烟道作为样品气室吸收特征光谱进行测量，这种方法的优点是不需将烟气抽取出来，减少了中间环节，因此，设备结构简单，成本低廉，但由于直接测量法的分析系统安装在现场，现场恶劣的工作环境使得分析系统工作不稳定，系统的维护工作量非常大，而且无法现场标定。

##### (2) 抽取式测量法

直接抽取法主要由加热取样探头、伴热样气管线、样气预处理装置（除湿装置）、分析仪器、数据采集处理系统及远程监测子系统组成。由伸入烟道中的取样探头抽取烟气，经过滤器滤去烟尘，再经伴热样气管线送到样气预处理系统（除湿装置），烟气经取样探头及伴热管线加热、保温于烟气露点以上，探头过滤器可除去 2 μm 以上的烟尘。样气预处理系统包括采样泵、精过滤器、流量控制器等部件。样气预处理系统提供采样动力，除去烟气中水分和微尘，以干燥、洁净、真实的样气送给分析仪器。系统还包括探头反吹、分析仪器自动校正装置、数据采集器等。

### 1) 冷干式抽取法

冷干式抽取法最常见的除尘除湿取样系统，采用加热过滤取样探头系统，样品除尘除湿处理后在样品传输到分析站房内的冷却除湿装置，其主要的除湿原理包括：水冷却技术、压缩机冷凝技术、半导体冷凝技术、涡旋管制冷技术以及 Nafion 膜式气体干燥技术等。各类冷干式抽取法除湿原理优缺点比较见表 3-5。

#### a. 水冷却技术

一般可使样品露点降至 25 °C~30 °C，即环境温度。常用的水冷却器，有列管式、盘管式、套管式几种结构类型，通过与冷却水的换热实现样品的降温。采用水冷却器对气体样品降温除水，除湿效果有限。因为水冷却器只能将样品温度降至常温，即 25 °C~30 °C 左右，此时常压气体的含水率约为 3%，样品带压水冷时，除水效果稍好一些。水冷却器只适用于对除水要求不太高的场合。

#### b. 压缩机冷凝技术

又称冷剂循环冷却器，其工作原理和电冰箱完全相同。压缩机冷凝器主要用于湿度高的气体样品降温除水。压缩机冷凝技术除湿效果最好，但价格较高，体积较大。

#### c. 半导体冷凝技术

根据帕尔贴热电效应原理工作，除湿效果也较好，结构简单，价格便宜，使用于除湿要求不高、入口样品温度不高的场合，半导体冷凝器一般不能用在防爆场所。

#### d. 涡旋管制冷技术

一般可使样品露点降至-10 °C，涡旋管冷凝器根据我选制冷原理工作，对气源要求高（包括压力和质量），耗气量大，适用于防爆场所。

#### e. Nafion 膜式气体干燥技术

也称 Nafion 管干燥技术，其是一种除湿干燥技术，以水合作用的吸收为基础进行工作，具有除湿能力强、速度快、选择性好、耐腐蚀等优点，但它只能除去气态水而不能除去液态水，所以在前端需要加热。

表 3-5 各类冷干式抽取法除湿原理优缺点比较

除湿原理	水冷却	压缩机冷凝	半导体冷凝	涡旋管制冷	Nafion 膜式干燥
适用条件	对除水要求不高	湿度高的烟气	样品温度、湿度均不高	对气源要求高	无液态水、碱性气体少
除湿效果	差，露点 25 °C~30 °C	较好，露点 3 °C~5 °C	较好，露点 3 °C~5 °C	好，露点-10 °C	好，露点-20 °C
HCl 等丢失	会丢失	会丢失	会丢失	会丢失	不会丢失
成本	低	较高	较低	较高	高
维护量	少	较少	较少	较多	较多
市场应用	极少	较少	广泛	极少	极少

### 2) 热湿式抽取法

热湿式抽取法是从样品抽取、分析全过程要求保持样品气原有的“热湿”状态，即要求从取样探头取样、传输、样品处理到分析的全过程中被测样品气的温度都应保持在样品气露点以上。该方法需配套高温分析仪表，针对如 SO<sub>2</sub>、HCl、NH<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 等易溶于水的待测气体时，样品温度全程高于露点，从而有效的避免在除湿过程中冷凝水带走待测气体中的污染物气体造成的误差。

### 3) 稀释抽取法

稀释抽取法采样系统是采用大量洁净的干空气(称稀释气)稀释烟气，经稀释的烟气(样气)含水量下降，露点温度可达到-20℃以下。这样样气中的水汽在采样管路中不会冷凝。其主要由稀释探头、稀释头控制器、零空气发生器、分析仪器、数据采集处理系统及远程监控系统等组成，稀释探头由零空气作为稀释气通过稀释喷射器的空气喷嘴产生真空，将样气从过滤器室吸入，经喷射器的样气石英限流孔进入稀释室内，以一定的比例被稀释(如 100:1)，稀释控制器用来控制稀释比例、监测稀释空气的压力和真空度及石英喷嘴的湿控等。经过稀释的样气一般无需伴热样气管线传送，可直接送分析仪器<sup>[19]</sup>。

## 3.3.2 分析测试原理

一氧化碳和氯化氢气态污染物 CEMS 从工作原理上主要可分为气体滤波相关红外光谱法(GFC)、傅立叶变换红外光谱法(FTIR)、可调谐半导体激光吸收光谱法(TDLAS)。这三种方法原理的优缺点详见表 3-6。

### (1) 气体滤波相关红外光谱法(GFC)

两个独立光源红外线通过两个气室，一个是充以不断流过的被测气体的测量室，另一个是充以无吸收性质的背景气体的参比室。工作时，当测量室内被测气体浓度变化时，吸收的红外线光量发生相应的变化，而基准光束(参比室光束)的光量不发生变化。从二室出来的光量差通过检测器，使检测器产生压力差，变成电容检测器的电信号。此信号经信号调节电路放大处理，送往显示器以及总控的 CRT 显示。该输出信号的大小与被测组分浓度成比例。

气体滤波相关红外光谱法(GFC)应用一般有两种类型。一种是采用抽取式、高温型气体滤波相关红外光谱分析技术，与高温 FTIR 法同为高温法，取样分析的全过程是在高温条件下完成。该方法能实现多组分气体的监测，不产生液态冷凝水，确保 SO<sub>2</sub>、HCl、NH<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 等不损失。另一种为抽取渗透除湿分析法，烟气取样后采用渗透法除水，然后采用常温型气体滤波相关红外光谱分析技术进行分析。渗透法除水的优点是除水时水分在气态下被析出，样品中的待测组分不会通过渗透膜，样品气中的易溶于水的气体不会损失<sup>[20]</sup>。

其中抽取渗透除湿分析法，由于受相关因素局限(需要大量干燥的仪表空气和易受氨等碱性气体腐蚀)在实际工作中极少应用，而高温型气体滤波相关红外光谱技术应用较为广泛。

### (2) 傅立叶变换红外光谱法(FTIR)

当波长连续的红外光照射被测物质的分子时，与分子固有振动频率相同的红外光被吸收，得到以波数为横坐标、吸光度为纵坐标的红外吸收光谱。不同物质对红外光的吸收不同，表现为特征吸收峰的波数不同。傅立叶变换红外光谱法是把红外光源发出的光经迈克尔逊干涉



仪转变为干涉光，再用干涉光照射气体样品，得到红外干涉图，由计算机系统经傅立叶变换处理后得到红外吸收光谱图。通过比对气体样品的红外吸收光谱与标准谱图库中标准物质的红外吸收光谱，可对样品进行定性分析。在一定条件下，红外吸收光谱中目标化合物的特征吸收峰强度与其浓度遵循朗伯-比尔（Lambert-Beer）定律，根据吸收峰强度可对目标化合物进行定量分析。高温型 FTIR 取样、分析的全过程是在高温条件下完成。该方法能实现多组分气体的监测，不产生液态冷凝水，确保 SO<sub>2</sub>、HCl、NH<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 等不损失<sup>[21]</sup>。

傅立叶变换红外光谱法目前应用于垃圾焚烧、危废焚烧烟气中气体污染物的在线监测已非常广泛。

### （3）可调谐半导体激光吸收光谱法（TDLAS）

基于可调谐半导体激光器吸收光谱技术，以电流和温度调谐半导体二极管激光器的输出波长扫描被测其他的某一条吸收谱线，通过检测吸收光谱的吸收强度获得待测物质浓度。该方法在实际测试中还需输入温度和压力值进行补偿，如果过程气态的温度和压力变化比较大，则需要通过温度和压力传感器的实测数据进行补偿<sup>[22]</sup>。

该方法通常一台分析仪（或分析单元）只能分析一个气体组分，用于像垃圾焚烧、危废焚烧等需要监测多种气体组分时，需配多台气体分析仪（或多个分析单元），另外该分析原理无法测试 SO<sub>2</sub> 气体，所以一般应用于过程气体的监测，极少应用于排放烟气的监测。

表 3-6 三种方法原理优缺点

方法原理	高温气体滤波相关光谱法（GFC）	高温傅立叶变换红外光谱法（FTIR）	可调谐半导体激光吸收光谱法（TDLAS）
采样方法	高温抽取	高温抽取	直接测量
测试方法	湿基测量	湿基测量	湿基测量
伴热方法	探头管线加热	探头管线加热	原位式
测量组分	SO <sub>2</sub> /NO/CO/HCl 等 6-8 种组分	SO <sub>2</sub> /NO/CO/HCl 等大于 12 种，可测量有机物	每个分析仪（或分析单元）测一个因子，不能测 SO <sub>2</sub>
主要问题	测量组分最多只有 8 种，无法扩容，信噪比和灵敏度较低	对工程、维护人员要求高	颗粒物、水汽对测试影响大，使用、维护复杂，信噪比和灵敏度低
维护量	较少	较少	较多
干扰	受水分干扰，需定期校准	受水分干扰，需定期校准	受水汽、颗粒物等透光度干扰
HCl 丢失情况	不丢失	不丢失	不丢失
成本	中等	较贵	中等
实际应用情况	应用广泛	应用广泛	应用少，主要针对工业过程
代表产品	国产	雪迪龙 SCS—900D 等	聚光 CEMS2000BFT、谱育 FTIR2000、雪迪龙 SCS-900FT 等
	进口	SICK MCS100E、福德世 MCA10 等	ABB MBGAS—3000、SICK MCS100FT、GASMET CX—4000 等
			FPI CEMS2000BF+LGA、泽天科技 LGT-100 等
			ABB AO2000-LS25、日本富士 ZSS 等

### 3.3.3 CEMS 仪器设备性能

目前国内市场上氯化氢和一氧化碳安装、应用的在线仪器品牌、类型较多，进口及国产仪器均已投入市场，但国外品牌应用已十分成熟，国内产品处于起步阶段，应用较少。

随着近几年国内主要环境仪器生产商针对高温傅立叶变换红外光谱技术和高温气体滤波相关光谱技术研发的重点支持和投入，多家国产在线仪器生产商已具有自主生产相关仪器设备的能力。针对本标准中的氯化氢和一氧化碳在线监测，目前国内主要有两种原理的仪器，分别为高温傅立叶变换红外光谱法（FTIR）和高温气体滤波相关光谱法（GFC），主流的大部分国产及进口仪器均具备较高的在线监测水平，性能指标均能够满足生态环境部环境监测仪器质量监督检验中心《生活垃圾焚烧固定源烟气（颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO）排放连续监测系统技术要求及检测方法（检测作业指导书）》（HJC-ZY80-2017）相关技术要求。性能技术要求见表 3-7，部分国产仪器适用性检测结果见表 3-8。

表 3-7 《生活垃圾焚烧固定源烟气（颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO）排放连续监测系统技术要求及检测方法（检测作业指导书）》（HJC-ZY80-2017）性能指标和技术要求

目标物	HCl						CO								
	示值误差	系统响应时间	零点漂移	量程漂移	正确度		示值误差	系统响应时间	零点漂移	量程漂移	正确度				
技术要求	满量程≥163 mg/m <sup>3</sup> ，应在±5%（标称值）以内； 满量程<163 mg/m <sup>3</sup> ，应在 F.S. 的±2.5%以内	≤400 s	应在 F.S. 的±2.5%以内	应在 F.S. 的±2.5%以内	<82 mg/m <sup>3</sup> 时，绝对误差 ≤24 mg/m <sup>3</sup>	82 mg/m <sup>3</sup> ≤ $\bar{x}$ < 408 mg/m <sup>3</sup> 时，相对误差 ≤30%	≥408 mg/m <sup>3</sup> 时，相对准确度 ≤30%	满量程≥250 mg/m <sup>3</sup> ，应在±5%（标称值）以内； 满量程<250 mg/m <sup>3</sup> ，应在 F.S. 的±2.5%以内	≤200 s	应在 F.S. 的±2.5%以内	应在 F.S. 的±2.5%以内	<25 mg/m <sup>3</sup> 时，绝对误差 ≤8 mg/m <sup>3</sup>	25 mg/m <sup>3</sup> ≤ $\bar{y}$ < 63 mg/m <sup>3</sup> 时，相对误差 ≤30%	63 mg/m <sup>3</sup> ≤ $\bar{y}$ < 313 mg/m <sup>3</sup> 时，绝对误差 ≤25 mg/m <sup>3</sup>	≥313 mg/m <sup>3</sup> 时，相对准确度 ≤5 mg/m <sup>3</sup>

表 3-8 部分国产仪器适用性检测结果

仪器型号	目标物	HCl						CO						
	性能指标	线性误差	响应时间	零点漂移	量程漂移	正确度		线性误差	响应时间	零点漂移	量程漂移	正确度		
CEMS2000BFT	初检	1%	131 s	0.2%F.S.	0.4%F.S.	4 mg/m <sup>3</sup>	3%	-0.2%F.S.	79 s	0.6%F.S.	0.4%F.S.	2 mg/m <sup>3</sup>	/	10 mg/m <sup>3</sup>
	复检	/	/	0.1%F.S.	1.0%F.S.	1 mg/m <sup>3</sup>	/	/	/	-0.2%F.S.	-0.4%F.S.	1 mg/m <sup>3</sup>	/	/
FTIR2000	初检	-0.4%	205 s	0.6%F.S.	0.4%F.S.	1 mg/m <sup>3</sup>	/	-0.4%F.S.	118 s	-0.5%F.S.	-0.4%F.S.	3 mg/m <sup>3</sup>	8%	/
	复检	/	/	-0.1%F.S.	0.5%F.S.	0.1 mg/m <sup>3</sup>	/	/	/	0.1%F.S.	-0.9%F.S.	0.4 mg/m <sup>3</sup>	/	/
SCS—900FT	初检	1.0%F.S.	100 s	-0.3%F.S.	-1.0%F.S.	3 mg/m <sup>3</sup>	/	-1.2%F.S.	71 s	-0.3%F.S.	-0.8%F.S.	5 mg/m <sup>3</sup>	/	/
	复检	/	/	<0.1%F.S.	0.4%F.S.	10 mg/m <sup>3</sup>	/	/	/	0.7%F.S.	-0.2%F.S.	1 mg/m <sup>3</sup>	/	/
SCS—900D	初检	-1%	146 s	0.2%F.S.	0.7%F.S.	16 mg/m <sup>3</sup>	8%	-0.4%F.S.	107 s	-0.4%F.S.	1.4%F.S.	4 mg/m <sup>3</sup>	/	/
	复检	/	/	<0.1%F.S.	-0.5%F.S.	12 mg/m <sup>3</sup>	/	/	/	-0.1%F.S.	-1.0%F.S.	4 mg/m <sup>3</sup>	/	/

### 3.4 本标准和国内外标准的关系

《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测技术规范》（HJ 75—2017）已于 2017 年发布实施，而该标准中未对一氧化碳、氯化氢等气态污染物连续监测技术进行明确规定。本标准是对 HJ 75 的补充，完善了一氧化碳和氯化氢气态污染物连续监测技术规定，为全面规范指导固定污染源废气 CO 和 HCl 连续监测系统的安装、调试、验收、运维、监督考核和数据审核等各个环节提供了依据。同时 CO 和 HCl 气态污染物连续监测技术在我国和部分欧美国家已得到了应用，对本标准的制定工作具有参考和借鉴意义，详见本编制说明第五和第六章节。

## 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

（1）本标准的制订本着科学性、先进性和可操作性的原则，符合《国家生态环境标准制修订工作规则》（国环规法规〔2020〕4号）、《生态环境标准管理办法》（部令〔2020〕第17号）及《国家生态环境标准制修订工作规则》（国环规法规〔2020〕4号）等的要求，能满足相关环保标准和环保工作的需要，可在未来数年内有效实施，促进环境管理。

（2）考虑到标准的持续性和连贯性，参考《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测技术规范》（HJ 75—2017）的基本框架，参考美国、欧盟以及我国台湾地区的相关标准，结合我国实际情况和当前世界的科学技术水平，不断深入研究和完善，制订本标准。从而规范全国氯化氢和一氧化碳污染源在线连续监测系统建设安装、调试、验收、运行，推动固定源废气氯化氢和一氧化碳在线监测在环保行业中的应用，为相应的环境管理工作提供技术支撑。

（3）有利于形成固定污染源烟气排放连续自动监测完整、协调的标准体系。

### 4.2 标准制订的技术路线

标准制订技术路线如图1所示。

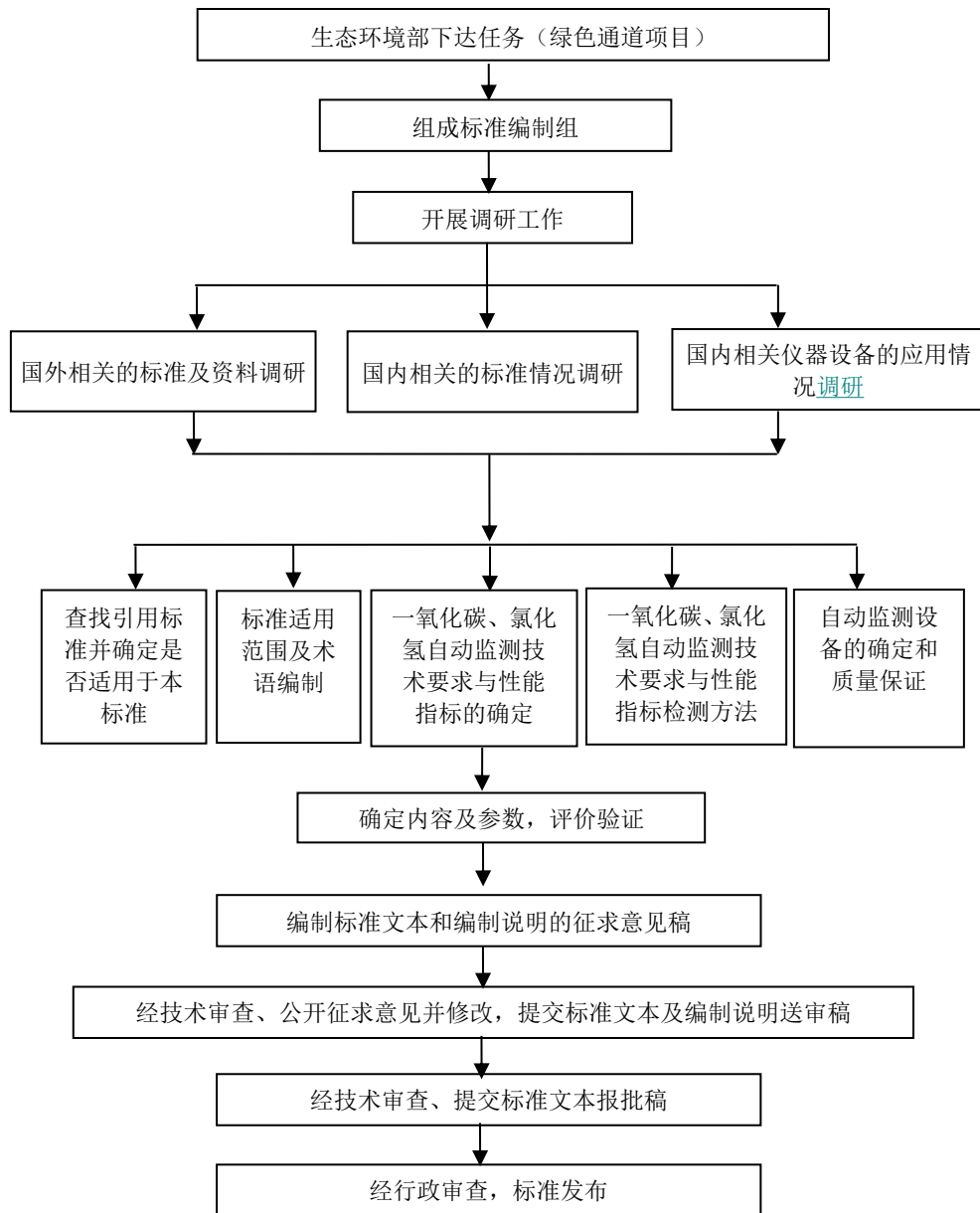


图1 标准制订的技术路线图

## 5 方法研究报告

### 5.1 适用范围

《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2014）和《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484—2020）中均要求焚烧设施安装污染物排放自动监控设备，且烟气在线监测应至少包括烟气中颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl和CO等5项指标。目前生活垃圾焚烧、危废焚烧等重点行业均已按相关要求建设了CEMS，但HJ 75只规定了颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>的相关技术要求，尚未对CO、HCl排放连续监测系统其安装、验收、运行及数据应用等内容作出明确的技术要求，为此立项主要解决此类企业缺少规范要求的问题，其他排污单位如安装CO、HCl自动监控设备，同样也适用。

本标准规定了固定污染源废气一氧化碳（CO）、氯化氢（HCl）和相关废气参数连续监测系统的组成和功能、技术性能、监测站房、安装、技术指标调试检测、技术验收、日常运行维护、质量保证和质量控制以及数据审核和处理等有关要求。

本标准适用于排污单位固定污染源废气排放口一氧化碳（CO）、氯化氢（HCl）连续监测系统的安装、验收、运行和管理。

## 5.2 术语及定义

本标准规定了连续监测系统、排放连续监测系统、核查、系统响应时间等 4 个术语定义：其中“连续监测系统”和“排放连续监测系统”引自 HJ 75。

核查参考了中国合格评定国家认可委员会《化学检测仪器核查指南》中关于核查的定义，即按照规定程序验证设备功能或计量特性能否满足方法要求或规定要求而进行的操作，并加注说明文中的正确度核查即为连续监测相关标准中的校验，以便于理解。

系统响应时间是指从 CEMS 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。与 HJ 75 中的系统响应时间定义有所不同，与 HJ 1286 定义保持一致。HJ 75 是从 CEMS 系统采样探头通入标准气体算起，HJ 1286 规定的是从 CEMS 监测站房的校准管线通入标准气体算起，经过采样探头后再进入分析仪，这种方式目前较为广泛且方便，因此采用与 HJ 1286 一致的定义。

另外，HJ 75 界定的术语和定义也适用于本标准。

## 5.3 系统组成和功能要求

本节内容参考 HJ 75 中第 4 部分，并结合对国内外固定污染源一氧化碳和氯化氢在线监测技术的调研（详见 3.3），在此提出了一氧化碳、氯化氢 CEMS 监测系统的组成和功能要求。

CEMS 由 CO 和（或）HCl 监测单元和废气参数监测单元、数据采集与处理单元组成。CEMS 应实现连续测量废气中气态污染物 CO 和（或）HCl 浓度、废气参数，同时计算废气中污染物排放速率和排放量，显示（可支持打印）和记录各种数据和参数，形成相关图表，并可将数据、图文等传输至管理部门等功能。输出参数计算、湿基浓度和干基浓度转换应参照 HJ 75 相关要求。

根据全程高温抽取测量方式的 CO/HCl-CEMS 的特点，故要求高温预处理部件整体控制温度达到  $\geq 180$  °C，其实际温度值应能够在机柜或系统软件中显示和查询。

此外，HJ 75 标准中未对安装视频监控作要求，但是各地对此需求较为明确，近些年已陆续作出了在现场端安装视频监控的要求，并已发挥了较好的监督作用。因此，本标准中增加了在采样探头平台上应安装视频监控设备的要求。同时，由于日志记录作为数据有效性判别的关键证据，不能被忽略，本标准提出了对于日志记录的要求。

## 5.4 技术性能要求

本节提出了要满足 HJ 76 相关技术要求，以及表 1 中所列的性能指标要求。

## 5.5 站房要求

本章节主要参照 HJ 75 中监测站房的要求，此外，由于 HCl 气体相较于 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等气体具有更强的吸附性，故相较于 HJ 75 中对监测站房与采样点之间距离的要求进行适当加严，因此提出了监测站房与采样点之间距离应尽可能近，原则上采样管线长度不超过 50 m。

监测站房内应配备零点气和标准气体，以满足日常零点校准、量程校准、正确度核查的需要。零点气和标准气体应符合本标准 11.5 要求。

监测站房内应安装视频监控设备。

其他要求按照 HJ 75 执行。

## 5.6 安装要求

本节内容参考 HJ 75 中的固定污染源烟气排放连续监测系统安装要求。其中考虑现场实际情况室外部件未遮挡，防水等级相较于 HJ 75 中要求进行适当加严，应达到 GB/T 4208 中 IP55 防护等级要求。

此外，由于一氧化碳气体是一种对血液与神经系统毒性很强的污染物，空气中的一氧化碳通过呼吸系统，进入人体血液内，与血液中的血红蛋白、肌肉中的肌红蛋白、含二价铁的呼吸酶结合，形成可逆性的结合物。不仅降低血球携带氧的能力，而且还抑制、延缓氧血红蛋白的解析与释放，导致机体组织因缺氧而坏死，严重者则可能危及人的生命。本标准从安全方面考虑，为保障现场监测人员、运维人员安全，参考了《工业企业煤气安全规程》（GB 6222-2005）<sup>[23]</sup>，提出“当固定污染源 CO 排放限值高于 30 mg/m<sup>3</sup>（24 μmol/mol）时，应在监测站房、封闭式监测平台等有限空间安装 CO 报警装置”的要求。

## 5.7 技术性能指标调试检测

CO/HCl-CEMS 调试检测和验收技术指标包括示值误差、系统响应时间、24 h 零点漂移、量程漂移以及正确度。考虑到传输时间过长会影响在线数据的准确性和稳定性，也会增加运维工作的难度，因此，将系统响应时间也作为调试检测和验收技术指标中必不可少的一项。

氧气 CMS 调试检测和验收技术指标包括示值误差、系统响应时间、零点漂移、量程漂移以及正确度。

流速 CMS 调试检测和验收技术指标为速度场系数精密度和正确度。

温度 CMS、湿度 CMS 调试检测和验收技术指标为正确度。

相关指标的检测应在生产设备正常且稳定运行的条件下开展；调试检测技术性能指标应满足本标准相关要求；各技术性能指标的调试检测方法按照附录 A 执行。宜选用便携式仪器监测分析方法作为参比方法，也可选用国家发布的其他生态环境监测标准。调试检测数据记录格式参见附录 B，调试检测完成后编制调试检测报告，报告的格式参见附录 C，CO/HCl-CEMS 调试检测结果应达到表 1 的要求，流速、温度、湿度和氧气 CMS 调试检测结果应达到 HJ 75 的要求。若调试检测结果不满足本标准技术性能指标要求，按照 HJ 75 中技术指标调试检测结果分析和处理方法执行。

各技术性能指标的确定，主要参考了生态环境部环境监测仪器质量监督检验中心编制的《生活垃圾焚烧固定源烟气（颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO）排放连续监测系统技术要求

及检测方法》(HJC-ZY80-2017)的相关指标,以及国外相关规定,并结合国内外主流品牌氯化氢和一氧化碳在线监测系统的技术性能指标和实际测试结果作出了规定。各技术性能指标确定的依据和详细说明,详见本编制说明第6章节。

## 5.8 技术验收

该章节参考了 HJ 75 中关于技术验收的内容设置,同样分为总体要求、技术验收条件、技术指标验收和联网验收等内容。

### (1) 总体要求

总体要求基本与 HJ 75 保持一致,规定了 CO/HCl-CEMS 在完成安装、调试检测、联网后,应进行系统技术指标验收和联网验收,此外,与 HJ 75 不同的是,提出了正确度验收的顺序,应在其他各项技术指标验收合格后开展。

### (2) 技术验收条件

技术验收条件中规定了 CO/HCl-CEMS 的安装位置及手工采样位置符合本标准第7章要求;根据本标准第8章要求完成 72 h 的调试检测,并提供调试检测合格报告及调试检测结果数据。除此之外,数据采集和传输以及通信协议、调试检测后应至少稳定运行 7 d 的要求,与 HJ 75 保持一致。

### (3) 技术指标验收

技术指标验收规定了验收的一般要求、验收内容和验收报告三部分,其中,验收报告内容及格式引用 HJ 75 的规定,不在本标准中重复规定。对于技术指标验收的一般要求、验收内容均为本标准特有内容,技术指标验收内容包括零点漂移、量程漂移、示值误差、系统响应时间和正确度验收。采用参比方法进行正确度验收时,流速、烟温、湿度应采集不少于 5 个有效的数据对,CO、HCl 采集不少于 9 个有效的数据对。安装有氧气 CMS 装置的,还需对其进行验收。采用参比方法进行正确度验收时,含氧量应采集不少于 9 个有效的数据对。

### (4) 联网验收

联网验收内容和技术指标按照 HJ 75、HJ 212 相关要求执行,不在本标准中重复规定。

### (5) 参比方法的选择

针对参比方法,编制组对国外和我国台湾地区的相关技术标准进行了统计分析,其中美国 EPA 针对一氧化碳连续监测标准 Performance Specification 4、Performance Specification 4a 和 Performance Specification 4b 均规定可选用 Method 10、Method 10A 和 Method 10B 作为参比方法;氯化氢连续监测标准 Performance Specification 18 则要求参比方法应选用 Method 26A、Method 320、Method 321、ASTM D6348-12,这些参比方法除 Method 26A 外均为便携式仪器分析监测方法,且规定 Method 26A 仅用于指定 CEMS 系统;而台湾原“环境保护署”发布的《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》中,对 HCl 的正确度不做要求,是采用标准气体考核代替。同时由于手工参比测试需把控的环节较多、难度相对较高、采样误差较大,编制组经综合考虑,建议优先选用便携式仪器监测分析方法作为参比方法。

## 5.9 日常运行维护要求

CEMS 运行维护单位应根据使用说明书和本标准的要求编制仪器运行管理规程,确定系



统运行操作人员和管理维护人员的工作职责。运行维护人员应当熟练掌握 CEMS 的原理、使用和维护方法。

CEMS 日常运行维护应包括日常巡检和日常维护保养，需满足 HJ 75 中的相关要求，相关记录格式参见附录 D。

满足 HJ 75 中常见故障分析及排除的相关要求，记录格式参见本标准附录 D。

考虑本标准中的 CO 和 HCl 固定污染源烟气排放连续监测系统的排放烟气的特点，日常运行管理均参考 HJ 75 的相关内容。

## 5.10 质量保证和质量控制要求

本章主要规定了定期校准和调整、定期维护、正确度核查以及数据失控时段的判别与修约。

定期校准和调整主要规定了具有自动校准功能、无自动校准功能的 CO/HCl-CEMS、氧气 CMS、流速 CMS 的校准周期和内容，以及全系统校准如何开展。正确度核查主要规定了具有自动校准功能、无自动校准功能的正确度核查周期，规定了核查方式是用参比方法和 CO/HCl-CEMS 同时段数据进行比对。定期校准和调整、正确度核查相应的技术指标均应满足本标准文本中表 2 的要求。

另外，本标准对标准气体的要求进行了统一的规定，包括标准气体须在有效期内使用，其标准物质认定证书中不确定度应在±2%以内；零点气一般为高纯氮气（纯度≥99.999%），如含有其他气体，浓度不得干扰仪器的读数；HCl 标准气体应配置专用气体减压阀，并不与其他气体混用；采用稀释设备对标准气体进行稀释配比的，等比例稀释装置的精密度在 1% 以内。

本标准在实施过程中用到的标准气体包括目标化合物标准气体及零点气，标准气体质量对在线监测数据质量起到至关重要的作用。编制组对市场在售的 CO 和 HCl 标准气体质量进行了调研，其中，CO 标准气体相对稳定，质量有所保障。HCl 标准气体因其活性较大，质量差异较大，要保证监测数据的准确性，须采用质量满足要求的标准气体，市场调研与测试分析发现，要达到不确定度为 2% 的最低浓度普遍为 10 μmol/mol，基本能满足现场实际测试和维护的要求，因此，根据调研情况对标准气体质量要求做出了明确规定。具体调研情况如下：

表 5-1 氯化氢标准气体市场调研情况

生产单位	证书	浓度范围 (μmol/mol)	不确定度 (%)
四川鼎标科技有限公司#中国测试技术研究院化学研究所	GBW(E)062576	10~1000	2
四川中测标物科技有限公司#中国测试技术研究院#	GBW(E)082657	10~1000	2
重庆瑞信气体有限公司	GBW(E)062832	10~300	2
杭州新世纪混合气体有限公司	GBW(E)062868	10~2000	2
河南源正特种气体有限公司	GBW(E)063328	10~200	3
上海伟创标准气体分析技术有限公司	GBW(E)062859	10~1000	2

生产单位	证书	浓度范围 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	不确定度 (%)
大连大特气体有限公司	GBW(E)062379	5~1000	2
中昊光明化工研究设计院	GBW(E)061850	1~1000	3
北京海普气体有限公司	GBW(E)060599	50~1000	4

在氯化氢标准气体稳定性方面,编制组使用了傅立叶变换红外光谱仪对临近有效期限的氯化氢标准气体进行了测试,标气定值信息及测试结果详见表 5-2。试验结果表明:正规厂家生产的临近有效期限的氯化氢标准气体较为稳定,测试的示值误差为-1.7%-0.6%,能保证本标准的顺利实施。

表 5-2 标气定值信息及测试结果

标准 气体	气体浓度定值信息			测试相关信息		
	标称值 ( $\text{mg/m}^3$ )	编号及不确定度	定值日期/有效期	监测日期	监测结果 ( $\text{mg/m}^3$ )	示值误差 (%)
氮气中氯化氢	48.3	156220400083/2%	2023-05-05/6 个月	2023-10-12	47.5	-1.7
					48.1	-0.4
					48.4	0.6

对部分或全部 CEMS 技术指标抽检时,检测结果应符合本标准表 1 要求。对 CEMS 技术指标进行抽检时,可不开展零点校准和量程校准。参比方法开展 CEMS 正确度抽检时,监测样品数量可相应减少,CO、HCl 和氧量至少获取 6 个数据对,流速、温度和湿度至少获取 3 个数据对。开展系统响应时间抽检时,可按照 9.3.1.6 操作,也可从采样探头处通入标准气体,检测结果均应满足表 1 中系统响应时间要求。

### 5.11 数据审核和处理

该章节内容均按照 HJ 75 中 CEMS 数据审核和处理的相关要求进行规定。

## 6 技术指标的验证和确定

### 6.1 HCl-CEMS 技术指标

#### 6.1.1 示值误差

关于示值误差的要求,美国 EPA 标准 40CFR Part 60 PS 18、欧盟标准 BS EN 15267-3-2007 和 HJC-ZY80-2017 都进行了规定,详见表 6-1。

本标准确定的示值误差要求参照 HJC-ZY80-2017 规定,通过对生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心近些年对多种已安装的 HCl-CEMS 的初检测试结果分析和编制组现场开展测试,其结果基本能满足上述指标要求,详见表 6-2、6-3。

表 6-1 HCl-CEMS 示值误差要求比较

技术指标	HJC-ZY80-2017	40CFR Part60 PS18	BS EN 15267-3-2007	我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》
示值误差	当满量程 $\geq 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 $\text{mg/m}^3$ ) 时, $\pm 5\%$ (标称值)	在 $\pm 5\%$ 以内	在 $\pm 2\%$ 以内	$\leq 15\%$
	当满量程 $< 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 $\text{mg/m}^3$ ) 时, $\pm 2.5\% \text{F.S.}$			

表 6-2 不同厂家 HCl-CEMS 适用性检测初检结果 (示值误差)

仪器厂家编号	CEMS 原理	20%~30%满量程标准气体	50%~60%满量程标准气体	80%~100%满量程标准气体
1	高温傅立叶变换红外光谱法	2.5%	-0.1%	0.9%
2	高温傅立叶变换红外光谱法	-3.6%	0.5%	1.2%
3	高温非分散红外光谱法	-0.4%	-0.3%	-0.8%
4	高温傅立叶变换红外光谱法	0.3%	0.9%	0.3%

表 6-3 现场测试不同品牌 HCl-CEMS 示值误差结果汇总

污染源类型	CEMS 型号	安装年限	方法原理	仪表量程	示值误差绝对值范围 (%)
垃圾焚烧	1	3 年	高温傅立叶变换红外光谱法	80	1.7~3.44
垃圾焚烧	2	7 年	高温非分散红外光谱法	200	2.18~7.38
垃圾焚烧	3	2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	200	3.39~3.47
污泥焚烧	4	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	100	0.16~1.01
污泥焚烧		2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	100	0.6~3.34
垃圾焚烧	5	<1 年	高温非分散红外光谱法	100	0.02~0.99
垃圾焚烧		<1 年	高温非分散红外光谱法	100	1.0
危废焚烧	6	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.23~0.87
垃圾焚烧		1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	100	0.08~0.32

污染源类型	CEMS 型号	安装年限	方法原理	仪表量程	示值误差绝对值范围 (%)
垃圾焚烧	7	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.79~3.52
垃圾焚烧	8	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.09~0.42

### 6.1.2 系统响应时间

关于系统响应时间的要求，相对于 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等其他污染物，氯化氢气体具极强的吸附性，为此 HJC-ZY80-2017 和 BS EN 15267-3-2007 规定 HCl-CEMS 的系统响应时间都进行了适当的放宽，要求系统响应时间≤400 s，而美国 EPA 40CFR Part60 PS18 中则未对该指标进行规定，详见表 6-4。

编制组结合现场对国产及进口 HCl-CEMS 现场仪器性能测试数据的基础上，对其系统响应时间要求参考了 HJC-ZY80-2017 和 BS EN 15267-3-2007 的技术要求，确定本标准中要求 HCl-CEMS 系统响应时间≤400 s。

表 6-4 HCl-CEMS 系统响应时间要求比较

参考文献和标准编号	监测因子	系统响应时间技术指标要求
HJC-ZY80-2017	HCl	≤400 s
BS EN 15267-3-2007	HCl	<400 s
EPA 40CFR Part 60 PS18	HCl	无要求
我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》	HCl	≤15 min

表 6-5 不同厂家 HCl-CEMS 适用性检测初检结果（系统响应时间）

仪器厂家编号	CEMS 原理	管路传输时间 $t_1/2$ (s)	CEMS 显示值达到标称值 90%时的时间 $t_2$ (s)	响应时间 $t_1/2+t_2$ (s)
1	高温傅立叶变换红外光谱法	10	64	74
		11	151	162
		13	170	183
		13	216	229
		11	237	248
2	高温傅立叶变换红外光谱法	22	104	126
		24	135	159
		25	113	138
		21	126	132
		26	126	138
3	高温非分散红外光谱法	16	106	122
		19	98	117
		20	140	160
		20	120	140

仪器厂家编号	CEMS 原理	管路传输时间 $t_1/2$ (s)	CEMS 显示值达到标称值 90%时的时间 $t_2$ (s)	响应时间 $t_1/2+t_2$ (s)
		20	120	140
4	高温傅立叶变换红外光谱法	23	49	72
		31	29	60
		34	46	80
		31	36	67
		31	48	79

表 6-6 现场测试不同品牌 HCl-CEMS 响应时间汇总

污染源	CEMS 型号	安装年限	方法原理	管线长度 (m)	系统响应时间 (s)
垃圾焚烧	1	3 年	高温傅立叶变换红外光谱法	22	875~922
垃圾焚烧	2	7 年	高温非分散红外光谱法	22	118~186
垃圾焚烧	3	2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	22	109~158
污泥焚烧	4	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	70	76~83
污泥焚烧		2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	70	90.8~97.5
垃圾焚烧	5	<1 年	高温非分散红外光谱法	30	335~350
垃圾焚烧		<1 年	高温非分散红外光谱法	35	338
危废焚烧	6	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	70	27~31
垃圾焚烧		1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	40	27~31
垃圾焚烧	7	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	50	405~438
垃圾焚烧	8	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	30	101~109

### 6.1.3 24 h 零点漂移和量程漂移

关于 HCl-CEMS 的零点漂移和量程漂移要求，美国 EPA40CFRPart60 PS18、PS16 和我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》中规定均为 $\leq 5\%$  F.S.，而欧盟 BS EN 15267-3-2007 规定为在 $\pm 2\%$  F.S.以内，HJC-ZY80-2017 则要求在 $\pm 2.5\%$  F.S.以内，详见表 6-7。

编制组统计了生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心对部分仪器检测结果，并综合现场对国产及进口 HCl-CEMS 现仪器性能测试数据分析，参照 HJC-ZY80-2017 的技术要求，确定 HCl-CEMS 24 h 零点漂移和量程漂移在 $\pm 2.5\%$ 以内。

表 6-7 HCl-CEMS 24 h 零点漂移和量程漂移要求比较

参考文献和标准编号	零点漂移	量程漂移
HJC-ZY80-2017	在 $\pm 2.5\%$ F.S.以内	在 $\pm 2.5\%$ F.S.以内
40CFR Part60 PS16	$\leq 5\%$ F.S.	$\leq 5\%$ F.S.
40CFR Part60 PS18	$\leq 5\%$ F.S.	$\leq 5\%$ F.S.
BSEN15267-3-2007	在 $\pm 2\%$ F.S.以内	在 $\pm 2\%$ F.S.以内
我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》	$\leq 5\%$ F.S.	$\leq 5\%$ F.S.
本标准	应在 F.S.的 $\pm 2.5\%$ 以内	应在 F.S.的 $\pm 2.5\%$ 以内

表 6-8 不同厂家 HCl-CEMS 适用性检测初检结果 (24 h 零点漂移和量程漂移)

仪器厂家	CEMS 原理	零点漂移				量程漂移			
		零点读数		绝对误差	零点 漂移 (%)	量程点读数		绝对误差	量程 漂移 (%)
		起始 (Z <sub>0</sub> )	最终 (Z <sub>i</sub> )	$\Delta Z=Z_i-Z_0$		起始 (S <sub>0</sub> )	最终 (S <sub>i</sub> )	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	高温傅立叶变换红外光谱法	—	0.27	—	—	—	172.69	—	—
		0.27	0.11	-0.16	-0.08	172.69	171.51	-1.18	-0.59
		0.11	0.12	0.01	0.01	171.51	174.05	2.54	1.27
		0.12	0.10	-0.02	-0.01	174.05	173.57	-0.48	-0.24
		0.10	0	-0.1	-0.05	173.86	173.68	-0.18	-0.09
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-0.16	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			2.54
		零点漂移 (%)			-0.08	量程漂移 (%)			1.27
2	高温傅立叶变换红外光谱法	—	0.06	—	—	—	140.07	—	—
		0.06	0	-0.06	—	140.07	140.48	0.41	—
		0	0.02	0.02	—	140.48	141.48	1	—
		0.02	-0.13	-0.15	—	141.48	142.22	0.74	—
		-0.13	0.14	0.27	—	142.22	142.02	-0.2	—
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			0.27	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			1.00
		零点漂移 (%)			0.18	量程漂移 (%)			0.67
3	高温非分散红外光谱法	—	0.1	—	—	—	132.6	—	—
		0.1	0.2	0.1	—	132.6	130.9	-1.7	—
		0.2	0.1	-0.1	—	130.9	130.6	-0.3	—
		0.1	0.1	0	—	130.6	130.1	-0.5	—
		0.1	0	-0.1	—	130.1	129.9	-0.2	—
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-0.1	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-1.7
		零点漂移 (%)			-0.07	量程漂移 (%)			-1.13
4	高温傅立叶变换红外光谱法	—	0	—	—	—	133.7	—	—
		0	0	0	—	133.7	134.5	0.8	—
		0	0	0	—	134.5	135.6	1.1	—
		0	0	0	—	135.6	136.3	0.7	—
		0	0	0	—	136.3	137.5	1.2	—
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			0	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			1.2
		零点漂移 (%)			0	量程漂移 (%)			0.8

表 6-9 现场测试不同品牌 HCl-CEMS 24 h 零点漂移和量程漂移监测结果

污染源名称	CEMS 型号	方法原理	零点漂移	量程漂移
垃圾焚烧	1	高温非分散红外光谱法	0.2	0.76
污泥焚烧	2	高温傅立叶变换红外光谱法	0.02	0.67
垃圾焚烧	3	高温非分散红外光谱法	0.15	0.4
垃圾焚烧		高温非分散红外光谱法	0.28	2.12

污染源名称	CEMS 型号	方法原理	零点漂移	量程漂移
垃圾焚烧	4	高温傅立叶变换红外光谱法	0.10	-0.59
危废焚烧	5	高温傅立叶变换红外光谱法	0.30	0.70
垃圾焚烧	6	高温傅立叶变换红外光谱法	-0.16	0.37
垃圾焚烧	7	高温傅立叶变换红外光谱法	0.24	2.49

#### 6.1.4 正确度

##### 6.1.4.1 全国部分固定源 HCl 在线监测浓度分布情况

随着近年来国家及地方对企业 HCl 排放管控力度的提高，各类 HCl 除酸控制技术也较成熟，国家发布的涉及固定污染源废气中 HCl 排放的标准限值日趋严格，整体来看，多数要求安装 HCl-CEMS 的固定污染源排放标准在  $60 \text{ mg/m}^3$  以下。

编制组通过生态环境执法局“全国污染源自动监控数据平台”收集整理了焚烧行业正常工况条件下 HCl 排放在线连续监测数据，包括 2020 年度 528 家企业 1100 余个 HCl 日均值监测数据，以及 2021 年 1~10 月 47 家企业 100 余个 HCl 日均值监测数据。经统计分析，固定污染源 HCl 的实际排放浓度控制在  $<50 \mu\text{mol/mol}$  的占 99.95%，详见表 6-10。

表 6-10 2020 年~2021 年 10 月全国部分固定污染源 HCl-CEMS 浓度分布统计

HCl 浓度范围	2020 年		2021 年 1~10 月	
	频次 (次)	占比 (%)	频次 (次)	占比 (%)
0~10 $\mu\text{mol/mol}$	226257	70.2	16382	77.3
10 $\mu\text{mol/mol}$ ~50 $\mu\text{mol/mol}$	96188	29.8	4812	22.7
50 $\mu\text{mol/mol}$ ~250 $\mu\text{mol/mol}$	22	0.007	7	0.03
$\geq 250 \mu\text{mol/mol}$	8	0.002	2	0.01

##### 6.1.4.2 正确度划分考虑

(1)  $\geq 50 \mu\text{mol/mol}$  ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) 的浓度水平分布较少

对于较高的 HCl 排放浓度水平而言，考虑到当前可供试验的排放现场极少，绝大多数企业的 HCl-CEMS 仅在排放口安装，未在处理工艺前端安装，经综合考虑，本标准针对参比法测量  $\geq 50 \mu\text{mol/mol}$  ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) 的浓度水平，仍依照《关于加强生活垃圾焚烧发电厂自动监控和监管执法工作的通知》（环办执法〔2019〕64 号）和 HJC-ZY80-2017 中的相应要求来执行。

(2)  $<50 \mu\text{mol/mol}$  ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) 的浓度水平分布占多数

考虑到 HCl-CEMS 在国内经过数年的发展，各项技术性能已进一步优化成熟，标准编制组进一步针对排放浓度  $<50 \mu\text{mol/mol}$  ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) 的排放源选取了不同品牌的 HCl-CEMS 开展了相关测试试验，综合试验数据分析，在较低浓度范围内，HJC-ZY80-2017 中绝对误差在  $\pm 15 \mu\text{mol/mol}$  ( $24 \text{ mg/m}^3$ ) 以内的要求较为宽松。

由于当前国内固定污染源 HCl-CEMS 的监测结果 < 10  $\mu\text{mol/mol}$  的占 70% 以上，低浓度水平较为普遍，因此，将 < 50  $\mu\text{mol/mol}$  (82  $\text{mg/m}^3$ ) 正确度考核要求进行了细分，进一步划分为两档，分别是参比方法测量 HCl 浓度平均值 < 10  $\mu\text{mol/mol}$  (17  $\text{mg/m}^3$ )、10  $\mu\text{mol/mol}$  (17  $\text{mg/m}^3$ )  $\leq$  HCl 浓度的平均值 < 50  $\mu\text{mol/mol}$  (82  $\text{mg/m}^3$ )。

### (3) 低浓度 HCl-CEMS 正确度技术指标的确定

将生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心适用性检测结果 (表 6-11、表 6-12) 和编制组现场测试结果分别按同时段 HCl-CEMS 监测数据和参比方法为傅立叶变换红外法的监测数据作对比，得到 HCl 正确度测试结果，详见表 6-13。

按照当参比方法测量 HCl 浓度的平均值 < 50  $\mu\text{mol/mol}$  (82  $\text{mg/m}^3$ ) 时，绝对误差在 15  $\mu\text{mol/mol}$  (24  $\text{mg/m}^3$ ) 以内，适用性检测结果中 19 组数据均满足此要求，达标率为 100%；现场测试结果共计 81 组数据中 74 组满足此要求，7 组不满足此要求，合格率为 91.4%。

按照当参比方法测量 HCl 浓度的平均值 < 10  $\mu\text{mol/mol}$  (17  $\text{mg/m}^3$ ) 时，绝对误差应在  $\pm 4 \mu\text{mol/mol}$  (7  $\text{mg/m}^3$ ) 以内，10  $\mu\text{mol/mol}$  (17  $\text{mg/m}^3$ )  $\leq$  HCl 浓度的平均值 < 50  $\mu\text{mol/mol}$  (82  $\text{mg/m}^3$ ) 时，相对误差应在  $\pm 40\%$  以内，适用性检测结果中 21 组数据均满足此要求，达标率为 100%；现场测试结果共计 81 组数据中 63 组满足此要求，18 组不满足此要求，合格率为 77.8%，其中参比方法测量 HCl 浓度的平均值 < 10  $\mu\text{mol/mol}$  (17  $\text{mg/m}^3$ ) 的合格率为 83.9%，10  $\mu\text{mol/mol}$  (17  $\text{mg/m}^3$ )  $\leq$  HCl 浓度的平均值 < 50  $\mu\text{mol/mol}$  (82  $\text{mg/m}^3$ ) 的合格率为 72.0%。因此根据相关试验结果进行了适当的细化和加严，正确度具体技术指标详见表 6-14。

表 6-11 不同品牌 HCl-CEMS 适用性检测初检结果汇总 (正确度)

仪器厂商编号	仪器原理	参比方法原理	参比方法 (A) ( $\text{mg/m}^3$ )	CEMS (B) ( $\text{mg/m}^3$ )	数据对差 = B - A ( $\text{mg/m}^3$ )
1	高温傅立叶变换 红外光谱法	傅立叶变换红外 光谱法	2.89	9.81	6.92
			50.72	51.00	0.28
			18.39	19.05	0.66
			28.26	26.59	-1.67
2	高温傅立叶变换 红外光谱法	傅立叶变换红外 光谱法	8.00	13.60	5.61
			2.64	5.13	2.47
			3.14	6.10	2.99
			9.56	10.59	1.03
3	高温非分散红外 光谱法	傅立叶变换红外 光谱法	14.43	11.76	-2.68
			16.16	12.24	-3.91
			9.52	7.99	-1.53
			20.93	16.69	-4.24
4	高温傅立叶变换 红外光谱法	傅立叶变换红外 光谱法	48.99	35.84	-13.16
			18.22	17.22	-1.00
			10.62	11.30	0.68
			32.82	32.23	-0.59



表 6-12 不同品牌 HCl-CEMS 适用性检测复检结果汇总（正确度）

仪器厂商编号	仪器原理	参比方法原理	参比方法 (A) (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS (B) (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差=B-A (mg/m <sup>3</sup> )
1	傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法	2.21	4.96	2.79
2	高温非分散红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法	13.28	13.44	0.17
3	傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法	36.27	25.51	-10.76
4	傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法	15.13	15.67	0.54

表 6-13 HCl-CEMS 正确度测试结果

参比方法测量 HCl 平均浓度	技术性能指标要求	适用性检测结果			现场测试结果		
		测试数量 (次)	绝对误差 (相对误差) 范围	合格率 (%)	测试数量 (次)	绝对误差 (相对误差) 范围	合格率 (%)
0~10 $\mu\text{mol/mol}$	绝对误差平均值应在 $\pm 4 \mu\text{mol/mol}$ ( $7 \text{ mg/m}^3$ ) 以内	11	-3.91 $\text{mg/m}^3$ ~ 6.92 $\text{mg/m}^3$	100	56	-8.55 $\text{mg/m}^3$ ~ 8.90 $\text{mg/m}^3$	83.9
10 $\mu\text{mol/mol}$ ~ 50 $\mu\text{mol/mol}$	相对误差应在 $\pm 40\%$ 以内	8	-29.67%~ 3.59%	100	25	-56.37%~ 4.71%	72.0
<50 $\mu\text{mol/mol}$	绝对误差平均值应在 $\pm 15 \mu\text{mol/mol}$ ( $24 \text{ mg/m}^3$ ) 以内	19	/	100	81	/	91.4

表 6-14 HCl-CEMS 正确度考核要求

检测项目			技术性能指标要求
CO/HCl-CEMS	HCl	正确度	参比方法测量氯化氢浓度平均值 ( $\bar{x}$ ): a. $\bar{x} < 10 \mu\text{mol/mol}$ ( $17 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 绝对误差平均值应在 $\pm 4 \mu\text{mol/mol}$ ( $7 \text{ mg/m}^3$ ) 以内; b. $10 \mu\text{mol/mol}$ ( $17 \text{ mg/m}^3$ ) $\leq \bar{x} < 50 \mu\text{mol/mol}$ ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 相对误差应在 $\pm 40\%$ 以内; c. $50 \mu\text{mol/mol}$ ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) $\leq \bar{x} < 250 \mu\text{mol/mol}$ ( $408 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 相对误差应在 $\pm 30\%$ 以内; d. $\bar{x} \geq 250 \mu\text{mol/mol}$ ( $408 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 相对误差的 95% 置信上限 $\leq 30\%$ 。

## 6.2 CO-CEMS 技术指标

### 6.2.1 示值误差

关于示值误差的要求, 美国 EPA 标准 40CFR Part60 PS4b 规定应在满量程  $\pm 5\%$  以内; 欧盟标准 BS EN 15267-3-2007 规定应在满量程的  $\pm 2\%$ ; 我国台湾地区《固定污染源空气污

染物连续自动监测设施管理办法》则统一要求为 $\leq 15\%$ ；HJC-ZY80-2017 规定满量程值 $\geq 200 \mu\text{mol/mol}$ ，应在标准气体标称值 $\pm 5\%$ 以内；满量程值 $< 200 \mu\text{mol/mol}$ ，应在满量程 $\pm 2.5\%$ 以内，详见表 6-15。

本标准确定的示值误差要求参照 HJC-ZY80-2017 规定，同时编制组对生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心近些年对多种 HCl-CEMS 的初检测试结果以及编制组现场测试结果进行了分析，其结果基本能满足确定的指标要求，详见表 6-16。

表 6-15 主要国家和地区对 CO-CEMS 示值误差要求比较

技术指标	HJC—ZY80—2017	40CFR Part60 PS4b	BS EN 15267-3-2007	我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》
示值误差	当满量程 $\geq 200 \mu\text{mol/mol}$ ( $250 \text{ mg/m}^3$ ) 时， $\pm 5\%$ (标称值)	应在 $\pm 5\%$ 以内	应在 $\pm 2\%$ 以内	$\leq 15\%$
	当满量程 $< 200 \mu\text{mol/mol}$ ( $250 \text{ mg/m}^3$ ) 时， $\pm 2.5\% \text{ F.S.}$			

表 6-16 不同厂家 CO-CEMS 适用性检测初检示值误差结果

仪器厂家编号	CEMS 原理	20%~30%满量程标准气体	50%~60%满量程标准气体	80%~100%满量程标准气体
1	高温傅立叶变换红外光谱法	-0.1%	-0.3%	-0.3%
2	高温傅立叶变换红外光谱法	-3.6%	0.4%	-0.1%
3	高温非分散红外光谱法	0.25%	-0.90%	-0.2%
4	高温傅立叶变换红外光谱法	-3.0%	-0.48%	0.26%

表 6-17 CO-CEMS 示值误差现场试验结果

污染源	CEMS 型号	安装年限 (年)	方法原理	仪表量程	示值误差绝对值范围 (%)
垃圾焚烧	1	3	高温傅立叶变换红外光谱法	300	0.72~4.01
垃圾焚烧	2	7	高温非分散红外光谱法	300	0.47~3.25
垃圾焚烧	3	2	高温傅立叶变换红外光谱法	300	0.89~2.06
垃圾焚烧		2	高温傅立叶变换红外光谱法	300	0.10~1.38
污泥焚烧	4	1	高温傅立叶变换红外光谱法	300	0.01~2.05
污泥焚烧		2	高温傅立叶变换红外光谱法	300	3.43~4.14
垃圾焚烧	5	$< 1$	高温非分散红外光谱法	200	0.08~0.67

污染源	CEMS 型号	安装年限 (年)	方法原理	仪表量程	示值误差绝对值范围 (%)
垃圾焚烧		<1	高温非分散红外光谱法	200	1.72
危废焚烧	6	1	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.64~3.03
垃圾焚烧		1	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.16~0.46
垃圾焚烧	7	1	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.06~1.95
垃圾焚烧	8	1	高温傅立叶变换红外光谱法	200	0.20~0.75

### 6.2.2 系统响应时间

关于 CO-CEMS 系统响应时间的要求, 美国 EPA 40CFR Part60 PS4a 和 PS4b 要求 <240 s, 欧盟标准 BS EN15267-3-2007 和生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心作业指导书 HJC-ZY80-2017 则要求 ≤200 s, 详见表 6-18。

编制组考虑 CO 与 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等常规气态污染物在系统响应时间在技术上不存在显著差异, 并综合现场对国产及进口 CO-CEMS 现场仪器性能测试数据分析, 决定参考 HJ 75 和 HJC-ZY80-2017 确定技术要求, 规定 CO-CEMS 系统响应时间 ≤200 s, 详见表 6-19、6-20。

表 6-18 不同国家和地区对 CO-CEMS 系统响应时间要求比较

参考文献和标准编号	监测因子	系统响应时间技术指标要求
HJC-ZY80-2017	CO	≤200 s
EPA 40CFR Part60 PS 4a	CO	<240 s
EPA 40CFR Part60 PS 4b	CO	<240 s
BS EN15267-3-2007	CO	≤200 s
我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》	CO	≤15 min

表 6-19 不同厂家 CO-CEMS 适用性检测初检结果 (系统响应时间)

仪器厂家编号	CEMS 原理	管路传输时间 $t_1/2$ (s)	CEMS 显示值达到标称值 90%时的时间 $t_2$ (s)	响应时间 $t_1/2+t_2$ (s)
1	高温傅立叶变换红外光谱法	15	22	37
		15	25	40
		15	22	37
		14	44	58
		13	42	55
2	高温傅立叶变换红外光谱法	22	33	55
		16	54	70

仪器厂家编号	CEMS 原理	管路传输时间 $t_1/2$ (s)	CEMS 显示值达到标称值 90%时的时间 $t_2$ (s)	响应时间 $t_1/2+t_2$ (s)
		16	57	73
		26	29	55
		23	34	57
3	高温非分散红外光谱法	12	107	119
		20	83	103
		20	80	100
		20	90	110
		20	90	110
4	高温傅立叶变换红外光谱法	12	23	35
		17	26	43
		20	26	46
		17	23	40
		20	23	43

表 6-20 CO-CEMS 系统响应时间现场试验结果

企业类别	CEMS 型号	安装年限	方法原理	管路运输长度	响应时间范围 (s)
垃圾焚烧	1	3 年	高温傅立叶变换红外光谱法	22 m	18.66~22.75
垃圾焚烧	2	7 年	高温非分散红外光谱法	22 m	22.83~24.67
垃圾焚烧	3	2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	22 m	25.17~25.83
垃圾焚烧		2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	30 m	125~128.7
污泥焚烧	4	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	70 m	123~125.5
污泥焚烧		2 年	高温傅立叶变换红外光谱法	70 m	71~79.5
垃圾焚烧	5	<1 年	高温非分散红外光谱法	30 m	132~134
垃圾焚烧		<1 年	高温非分散红外光谱法	35 m	129
危废焚烧	6	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	70 m	87~96.83
垃圾焚烧		1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	40 m	22~24
垃圾焚烧	7	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	50 m	103~114
垃圾焚烧	8	1 年	高温傅立叶变换红外光谱法	30 m	70~78

### 6.2.3 24 h 零点漂移和量程漂移

关于 CO-CEMS 的零点漂移和量程漂移要求,美国 EPA 40CFR Part60 PS4、PS4a、PS4b、PS15 和我国台湾地区《固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法》中规定均为 $\leq 5\%$  F.S., 欧盟 BS EN 15267-3-2007 规定为 $\pm 2\%$  F.S. 以内, HJC-ZY80-2017 则要求在 $\pm 2.5\%$  F.S.

以内，详见表 6-21。

通过对生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心部分仪器检测结果进行统计，并综合现场对国产及进口 CO-CEMS 仪器性能测试数据分析，参照 HJC-ZY80-2017，确定 HCl-CEMS 24 h 零点漂移和量程漂移应在 F.S. 的±2.5%以内，详见表 6-22、6-23。

表 6-21 不同国家和地区的 CO-CEMS 24 h 零点漂移和量程漂移要求比较

标准编号	零点漂移	量程漂移
HJC-ZY80-2017	≤±2.5% F.S.	≤±2.5% F.S.
40 CFR Part60 PS4	≤±5% F.S.	≤±5% F.S.
40 CFR Part60 PS4a	≤±5% F.S.	≤±5% F.S.
40 CFR Part60 PS4b	≤±5% F.S.	≤±5% F.S.
40 CFR Part60 PS15	≤±5% F.S.	≤±5% F.S.
BS EN 15267-3-2007	≤±2% F.S.	≤±2% F.S.
本标准	应在 F.S.的±2.5%以内	应在 F.S.的±2.5%以内

表 6-22 不同厂家 CO-CEMS 适用性检测初检结果（24 h 零点漂移和量程漂移）

仪器厂家编号	CEMS 原理	零点漂移				量程漂移			
		零点读数		零点漂移绝对误差	零点漂移 (%)	量程点读数		量程漂移绝对误差	量程漂移 (%)
		起始 (Z <sub>0</sub> )	最终 (Z <sub>i</sub> )	ΔZ=Z <sub>i</sub> -Z <sub>0</sub>		起始 (S <sub>0</sub> )	最终 (S <sub>i</sub> )	ΔS=S <sub>i</sub> -S <sub>0</sub>	
1	高温傅立叶变换红外光谱法	—	0.02	—	—	—	179.84	—	—
		0.02	0.03	0.01	0.01	179.84	179.53	-0.31	-0.16
		0.03	0.02	-0.01	-0.01	179.53	179.65	0.12	0.06
		0.02	0.02	0	0.00	179.65	178.96	-0.69	-0.35
		0.02	0	-0.02	-0.01	178.96	179.27	0.31	0.16
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-0.02	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-0.69
		零点漂移 (%)			-0.01	量程漂移 (%)			-0.35
2	高温傅立叶变换红外光谱法	—	-0.02	—	—	—	269.75	—	—
		-0.02	-0.2	-0.18	—	269.75	268.88	-0.87	—
		-0.2	-0.13	0.07	—	268.88	269.3	0.42	—
		-0.13	-1.44	-1.31	—	269.3	268.9	-0.4	—
		-1.44	-0.78	0.66	—	268.9	266.84	-2.06	—
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-1.31	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-2.06
		零点漂移 (%)			-0.44	量程漂移 (%)			-0.69
3	高温非分散红外	—	0	—	—	—	265.2	—	—
		0	0	0	—	265.2	266.6	1.4	—

仪器厂家编号	CEMS 原理	零点漂移				量程漂移				
		零点读数		零点漂移绝对误差	零点漂移 (%)	量程点读数		量程漂移绝对误差	量程漂移 (%)	
		起始 (Z <sub>0</sub> )	最终 (Z <sub>i</sub> )	$\Delta Z=Z_i-Z_0$		起始 (S <sub>0</sub> )	最终 (S <sub>i</sub> )	$\Delta S=S_i-S_0$		
		0	0	0	---	266.6	264.8	-1.8	---	
		0	0	0	---	264.8	264.6	-0.2	---	
		0	0.1	0.1	---	264.6	262.5	-2.1	---	
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )				0.1	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			-2.1
		零点漂移 (%)				0.03	量程漂移 (%)			-0.7
4	高温傅立叶变换红外光谱法	---	-0.2	---	---	---	265.2	---	---	
		0	0	0	---	265.2	265	-0.2	---	
		0	0	0	---	265	267.7	2.7	---	
		0	-0.2	-0.2	---	267.7	265.9	-1.8	---	
		-0.2	-0.1	0.1	---	265.9	268.8	2.9	---	
		绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )				-0.2	绝对误差最大值 (mg/m <sup>3</sup> )			2.9
		零点漂移 (%)				0.07	量程漂移 (%)			0.97

表 6-23 现场测试不同品牌 CO-CEMS 24 h 零点漂移和量程漂移监测结果

污染源名称	CEMS 型号	方法原理	零点漂移	量程漂移
垃圾焚烧	1	高温非分散红外光谱法	0	0
污泥焚烧	2	高温傅立叶变换红外光谱法	0.31	0.26
垃圾焚烧	3	高温非分散红外光谱法	-0.23	0.70
垃圾焚烧		高温非分散红外光谱法	0.75	0.75
垃圾焚烧	4	高温傅立叶变换红外光谱法	-0.05	-0.51
危废焚烧		高温傅立叶变换红外光谱法	0.60	0.90
垃圾焚烧	5	高温傅立叶变换红外光谱法	0.58	0.23
垃圾焚烧	6	高温傅立叶变换红外光谱法	0.39	0.98

## 6.2.4 正确度

### 6.2.4.1 全国部分固定源 CO 在线监测浓度分布情况

随着近年来国家及地方对企业 CO 排放管控力度的提高,国家发布的涉及固定污染源废气中 CO 排放的标准限值日趋严格。整体来看,多数要求安装 CO-CEMS 的固定污染源排放标准在 100 mg/m<sup>3</sup> 以下。

编制组通过生态环境执法局“全国污染源自动监控数据平台”收集整理了焚烧行业正常工况条件下 CO 排放在线连续监测数据,包括 2020 年度 528 家企业 1100 余个 CO 日均值监测数据,以及 2021 年 1~10 月 47 家企业 100 余个 CO 日均值监测数据。经统计 2020 年样本中 CO 的实际日均排放浓度控制在 <50 μmol/mol (63 mg/m<sup>3</sup>) 的占 98.93%,2021 年样本中 CO 的实际日均排放浓度控制在 <50 μmol/mol (63 mg/m<sup>3</sup>) 的占 99.41%,详见表 6-24。

表 6-24 2020 年~2021 年 10 月全国部分固定污染源 CO-CEMS 监测结果

CO 浓度范围	2020 年		2021 年 1~10 月	
	频次 (次)	占比 (%)	频次 (次)	占比 (%)
0~20 $\mu\text{mol/mol}$	283093	87.78	19255	90.81
20 $\mu\text{mol/mol}$ ~50 $\mu\text{mol/mol}$	35941	11.15	1823	8.60
50 $\mu\text{mol/mol}$ ~250 $\mu\text{mol/mol}$	3387	1.05	120	0.57
$\geq 250 \mu\text{mol/mol}$	67	0.02	5	0.02

#### 6.2.4.2 正确度划分考虑

对于较高的浓度水平而言,可供试验的排放现场较少,绝大多数企业的 CO-CEMS 仅在排放口安装、而未在处理工艺前端安装,故标准编制组仅针对  $< 50 \mu\text{mol/mol}$  ( $82 \text{ mg/m}^3$ ) 的排放水平开展了深入研究。具体分析如下:

将生态环境部环境监测仪器质量监督检测中心适用性检测结果(表 6-25、表 6-26)和现场测试结果分别按同时段 CO-CEMS 监测数据和参比方法为定电位电解法、傅立叶变换红外法的监测数据作对比,得到 CO 正确度测试结果,详见表 6-27。

按照 HJC-ZY80-2017 中正确度考核的要求,适用性检测结果中 19 组数据均满足此要求,达标率为 100%;现场测试结果共计 99 组数据中 97 组满足此要求,2 组不满足此要求,合格率为 98.0%,其中参比方法测量 CO 浓度平均值  $< 20 \mu\text{mol/mol}$  ( $25 \text{ mg/m}^3$ ) 的合格率为 96.8%,  $20 \mu\text{mol/mol}$  ( $25 \text{ mg/m}^3$ )  $\leq$  CO 浓度平均值  $< 50 \mu\text{mol/mol}$  ( $63 \text{ mg/m}^3$ ) 的合格率为 100%,  $50 \mu\text{mol/mol}$  ( $63 \text{ mg/m}^3$ )  $\leq$  CO 浓度平均值  $< 250 \mu\text{mol/mol}$  ( $313 \text{ mg/m}^3$ ) 的合格率为 100%,详见表 6-27。

经上述分析,生态环境部《关于加强生活垃圾焚烧发电厂自动监控和监管执法工作的通知》(环办执法〔2019〕64 号)和 HJC-ZY80-2017 的相关要求较为科学合理,本标准引用其相关规定的要求,详见表 6-28。

表 6-25 对不同品牌 CO-CEMS 适用性检测初检结果汇总(正确度)

仪器厂商编号	仪器原理	参比方法原理	参比方法(A)	CEMS 法(B)	数据对差=B-A
1	高温傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	15.99	19.83	3.84
			11.24	10.86	-0.38
			8.63	8.22	-0.42
			10.88	11.51	0.62
2	高温傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	0	0.66	0.66
			0	1.28	1.28
			0	-3.07	-3.07

仪器厂商编号	仪器原理	参比方法原理	参比方法 (A)	CEMS 法 (B)	数据对差= B-A
			0	-0.66	-0.66
3	高温非分散红外	傅立叶变换红外光谱法吸收	10.29	9.04	-1.24
			0.29	0.68	0.42
			7.50	11.33	3.83
			20.53	15.07	-5.47
4	高温傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	1.99	2.46	0.47
			18.84	19.67	0.82
			14.88	14.49	-0.38
			20.06	22.29	2.23

表 6-26 不同品牌 CO-CEMS 适用性检测复检结果汇总 (正确度)

仪器厂商编号	仪器原理	参比方法原理	参比方法 (A)	CEMS 法 (B)	数据对差= B-A
1	高温傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	2.26	0.64	-1.62
2	高温非分散红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	101.69	91.30	-10.39
3	高温傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	0.43	2.72	2.29
4	高温傅立叶变换红外光谱法	傅立叶变换红外光谱法吸收	6.82	6.40	-0.42

表 6-27 CO-CEMS 正确度测试结果

参比方法测量 CO 平均浓度	适用性检测结果			现场测试结果		
	测试数量 (次)	绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	合格率 (%)	测试数量 (次)	绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	合格率 (%)
0~20 μmol/mol	18	-5.47~3.84	100	63	-9.0~2.44	96.8
20 μmol/mol~50 μmol/mol	0	/	/	6	-11.94~2.62	100
50 μmol/mol~250 μmol/mol	1	-10.39	100	30	-4.75~8.0	100



表 6-28 CO-CEMS 正确度考核技术指标

检测项目		技术要求
CO/HCl-CEMS	CO	参比方法测量一氧化碳浓度平均值 ( $\bar{y}$ ) : a. $\bar{y} < 20 \mu\text{mol/mol}$ ( $25 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 绝对误差平均值应在 $\pm 6 \mu\text{mol/mol}$ ( $8 \text{ mg/m}^3$ ) 以内; b. $20 \mu\text{mol/mol}$ ( $25 \text{ mg/m}^3$ ) $\leq \bar{y} < 50 \mu\text{mol/mol}$ ( $63 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 相对误差应在 $\pm 30\%$ 以内; c. $50 \mu\text{mol/mol}$ ( $63 \text{ mg/m}^3$ ) $\leq \bar{y} < 250 \mu\text{mol/mol}$ ( $313 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 绝对误差平均值应在 $\pm 20 \mu\text{mol/mol}$ ( $25 \text{ mg/m}^3$ ) 以内; d. $\bar{y} \geq 250 \mu\text{mol/mol}$ ( $313 \text{ mg/m}^3$ ) 时, 相对误差的 95% 置信上限 $\leq 15\%$ 。

### 6.3 正确度的现场验证

编制组以实际排放废气为研究对象开展了一系列现场测试, 涵盖了生活垃圾焚烧、一般污泥焚烧、危废焚烧等 13 个涉 CO、HCl 废气排放企业, 废气处理采用了应用成熟广泛的多种废气处理工艺, 排放废气涉及多种温度、湿度等不同特征, 且测试对象包含了目前市面上多种品牌及不同原理的 CEMS, 具有一定代表性。

#### 6.3.1 污泥焚烧企业

测试时间: 2020 年

在线仪器: 傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法: 表 6-29 中选用的方法为《固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法》(HJ/T 27—1999); 表 6-30 中选用的方法为《固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法》(HJ 973—2018)。

表 6-29 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 ( $\text{mg/m}^3$ )	CEMS 法 ( $\text{mg/m}^3$ )	数据对差= (B-A) ( $\text{mg/m}^3$ )
1	2020.10.14	<0.9	0.5	0.1
2		<0.9	0.3	-0.1
3		<0.9	0.2	-0.2
4		<0.9	0.1	-0.3
5		<0.9	0.2	-0.2
6		<0.9	0.3	-0.1
7		<0.9	0.2	-0.2
8		<0.9	0.1	-0.3
9		<0.9	0.3	-0.1
平均值	<0.9	0.2	-0.2	

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-0.2		
结果评价		<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

表 6-30 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020.10.14	70	68.28	-1.72
2		71	70.46	-0.54
3		73	68.75	-4.25
4		74	71.90	-2.10
5		75	73.47	-1.53
6		79	78.80	-0.2
7		74	72.66	-1.34
8		70	69.71	-0.29
9		72	67.25	-4.75
平均值		70	68.28	-1.72
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-1.72		
结果评价		50μmol/mol (63 mg/m <sup>3</sup> ) ≤ CO 浓度平均值 < 250μmol/mol (313 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.2 垃圾焚烧企业

测试时间：2020 年

仪器：高温红外吸收法连续监测系统

参比方法：《固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法》(HJ 973—2018)

表 6-31 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020.03.06	92	91.11	-0.89
2		5	3.82	-1.18
3		92	93.05	1.05
4		72	73.29	1.29
5		47	46.35	-0.66
6		12	12.34	0.34
7		22	21.55	-0.45
8		42	41.33	-0.67
9		26	26.43	0.43
平均值		46	45.47	-0.08

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-0.08		
相对误差 (%)		-0.1		
结果评价		20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) ≤ CO 浓度平均值 < 50 μmol/mol (63 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 相对误差应在 ±30% 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.3 垃圾焚烧企业

测试时间: 2019 年

仪器: 高温红外吸收法连续监测系统

参比方法: 《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-32 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019.10.23	13.88	14.29	-0.41
2		11.21	12.10	-0.89
3		10.89	10.82	0.07
4		9.14	8.93	0.21
5		9.55	9.60	-0.05
6		10.69	9.81	0.88
7		11.14	11.29	-0.15
8		9.39	10.15	-0.76
9		8.17	8.25	-0.08
平均值		10.45	10.58	-0.13
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-0.13		
结果评价		< 10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

表 6-33 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019.10.23	5.92	6.08	0.16
2		6.25	6.86	0.61
3		4.06	3.81	-0.25
4		5.25	4.09	-1.16
5		6.51	5.51	-1.00
6		7.68	5.53	-2.15
7		28.77	31.39	2.62
8		6.55	5.31	-1.24
9		6.21	4.50	-1.71

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
平均值		8.58	8.12	-0.46
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-0.46			
结果评价	<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

### 6.3.4 危废焚烧企业

测试时间: 2019 年

仪器: 高温红外吸收法连续监测系统

参比方法: 表 6-34 中选用的方法为《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019); 表 6-35 中选用的方法为《固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法》(HJ 973—2018)。

表 6-34 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019.9.27	61.0	40.0	-21.0
2		60.9	37.2	-23.7
3		74.2	36.0	-38.2
4		80.7	37.4	-43.3
5		72.3	35.3	-37.0
6		76.3	36.0	-40.3
7		81.6	35.6	-46.0
8		79.4	36.3	-43.1
9		76.2	37.2	-39.0
平均值		73.6	36.8	-36.8
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-36.8			
相对误差 (%)	50%			
结果评价	10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) ≤HCl 浓度平均值 <50 μmol/mol (82 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 相对误差应在±40%以内, 本次比对监测结果不符合要求。			

表 6-35 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019.9.27	10	1.3	-8.7
2		10	1.0	-9.0
3		9	1.3	-7.7
4		8	1.2	-6.8
5		8	1.2	-6.8

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
6		6	1.8	-4.2
7		6	1.8	-4.2
8		5	2.7	-2.3
9		8	3.2	-4.8
平均值		8	1.7	-6.1
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-6.1		
结果评价		<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.5 危废焚烧企业

测试时间：2021年

仪器：高温红外吸收法连续监测系统

参比方法：表 6-36 中选用的方法为《固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法》(HJ/T 27—1999)；表 6-37 中选用的方法为《固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法》(HJ 973—2018)。

表 6-36 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2021/8/18	1.0	21.7	20.7
2		1.4	26.6	25.2
3		1.3	25.6	24.3
4		1.0	24.5	23.5
5		1.1	24.3	23.2
6		0.9	21.8	20.9
7		0.7	20.7	20
8		0.6	18.4	17.8
9		1.4	18.9	17.5
平均值		1.0	22.5	21.5
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		21.5		
结果评价		<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果不符合要求。		

表 6-37 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2021/8/18	<2	0.09	-0.91
2		<2	0.28	-0.72
3		<2	0.20	-0.80
4		<2	0.10	-0.9
5		<2	0.15	-0.85
6		<2	0.17	-0.83
7		<2	0.14	-0.86
8		<2	0.15	-0.85
9		<2	0.16	-0.84
平均值		1	0.16	-0.84
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-0.84			
结果评价	<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

### 6.3.6 污泥焚烧企业

测试时间: 2019 年

仪器: 傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法: 表 6-38 中选用的方法为《环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法》(HJ 549—2016); 表 6-39 中选用的方法为《固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法》(HJ 973—2018)

表 6-38 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019.09.19	8.6	9.50	0.9
2		13.4	14.22	0.82
3		10.2	11.47	1.27
4		8.5	9.77	1.27
5		8.4	9.09	0.69
6		8.6	9.93	1.33
7		11.9	12.12	0.22
8		10.1	11.83	1.73
9		13.3	14.71	1.41
平均值		10.3	11.40	1.07
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	1.07			

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
结果评价	<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

表 6-39 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019.09.19	75	83.0	8.0
2		77	79.2	2.2
3		71	74.8	3.8
4		83	85.3	2.3
5		78	80.2	2.2
6		76	80.0	4.0
7		81	82.2	1.2
8		78	84.0	6.0
9		82	85.7	3.7
平均值		78	81.6	3.7
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	3.7			
结果评价	50 μmol/mol (63 mg/m <sup>3</sup> ) ≤CO 浓度平均值<250 μmol/mol (313 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

### 6.3.7 垃圾焚烧企业

测试时间：2021 年

仪器：傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-40 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2021.01.29	22.04	19.3	-2.74
2		16.26	22.3	6.04
3		9.95	18.5	8.55
4		8.20	17.1	8.90
5		6.96	20.8	13.84
6		10.27	17.2	6.93

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
7		17.19	18.0	0.81
8		16.82	20.2	3.38
9		16.41	20.2	1.41
平均值		12.68	19.3	5.24
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		5.24		
结果评价		<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

表 6-41 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2021.01.29	0.00	0.0	0.0
2		0.00	0.0	0.0
3		0.00	0.0	0.0
4		0.00	0.0	0.0
5		0.00	0.0	0.0
6		0.00	0.0	0.0
7		0.00	0.0	0.0
8		0.00	0.3	0.3
9		0.00	0.0	0.0
平均值		0.00	0.03	0.03
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		0.03		
结果评价		<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.8 危废焚烧企业

测试时间：2021 年

仪器：傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-42 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2021/07/03	5.86	7.46	1.60
2		6.05	7.39	1.34
3		6.23	6.7	0.47
4		7.68	6.9	-0.78
5		7.52	6.95	-0.57
6		6.53	6.38	-0.15



测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
7		6.55	6.81	0.26
8		6.19	6.32	0.13
9		6.30	6.63	0.33
平均值		6.55	6.84	0.29
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		0.29		
结果评价		<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.9 垃圾焚烧企业

测试时间：2020 年

仪器：傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-43 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/6/17	43.27	42.42	-0.85
2		39.86	38.20	-1.66
3		39.49	37.92	-1.57
4		41.82	40.48	-1.34
5		36.17	34.63	-1.54
6		37.26	35.40	-1.86
7		36.70	34.64	-2.06
8		35.50	34.17	-1.33
9		35.16	33.17	1.41
平均值		38.36	36.78	-1.58
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-1.58		
相对误差 (%)		-4.1		
结果评价		10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) ≤HCl 浓度平均值 <50 μmol/mol (82 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 相对误差应在 ±40%以内, 本次比对监测结果符合要求。		

表 6-44 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/6/17	178.72	183.98	5.26
2		180.59	186.46	5.87
3		180.91	188.64	7.73
4		183.78	191.74	7.96

5		184.20	191.31	7.11
6		190.63	198.25	7.62
7		175.99	181.79	5.80
8		177.14	182.44	5.30
9		170.15	175.46	5.31
平均值		180.23	186.67	6.44
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		6.44		
结果评价		50 μmol/mol (63 mg/m <sup>3</sup> ) ≤CO 浓度平均值 < 250 μmol/mol (313 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.10 垃圾焚烧企业

测试时间：2019 年

仪器：傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-45 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019/12/16	16.95	16.50	-0.45
2		15.38	15.42	0.04
3		15.90	16.85	0.95
4		16.30	15.46	-0.84
5		19.36	18.02	-1.34
6		19.64	18.71	-0.93
7		19.38	17.63	-1.75
8		19.33	15.22	-4.11
9		18.09	16.67	1.41
平均值		17.81	16.72	-0.78
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-0.78		
相对误差 (%)		-4.4		
结果评价		10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) ≤HCl 浓度平均值 < 50 μmol/mol (82 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 相对误差应在 ±40%以内, 本次比对监测结果符合要求。		

表 6-46 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2019/12/16	11.41	8.84	-2.57

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
2		47.57	35.63	-11.94
3		10.73	13.17	2.44
4		10.11	10.27	0.16
5		14.10	12.07	-2.03
6		30.19	24.19	-6.00
7		21.96	14.74	-7.22
8		12.93	13.37	0.44
9		10.41	10.68	0.27
平均值		18.82	15.88	-2.94
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-2.94			
结果评价	<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

### 6.3.11 垃圾焚烧企业

测试时间：2020 年

仪器：傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-47 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/11/09	<2.0	0.50	-0.50
2		<2.0	0.46	-0.54
3		<2.0	0.44	-0.56
4		<2.0	0.41	-0.59
5		<2.0	0.35	-0.65
6		<2.0	0.33	-0.67
7		<2.0	0.33	-0.67
8		<2.0	0.37	-0.63
9		<2.0	0.40	-0.60
平均值	1	0.40	-0.60	
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-0.60			
结果评价	<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

表 6-48 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/11/09	<2.0	0.37	-0.63
2		<2.0	0.38	-0.62
3		<2.0	0.29	-0.71
4		<2.0	0.23	-0.77
5		<2.0	0.21	-0.79
6		<2.0	0.54	-0.46
7		<2.0	0.81	-0.19
8		<2.0	0.38	-0.62
9		<2.0	0.96	-0.04
平均值		<2.0	0.46	-0.54
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-0.54		
结果评价		<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

### 6.3.12 垃圾焚烧企业

测试时间：2020 年

仪器：傅立叶变换红外光谱法吸收法连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-49 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/11/10	<2.0	0.59	-0.41
2		<2.0	0.62	-0.38
3		<2.0	0.60	-0.4
4		<2.0	0.59	-0.41
5		<2.0	0.49	-0.51
6		<2.0	0.57	-0.43
7		<2.0	0.60	-0.4
8		<2.0	0.66	-0.34
9		<2.0	0.62	-0.38
平均值		<2.0	0.59	-0.41
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		-0.41		
结果评价		<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

表 6-50 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/11/10	<2.0	0.95	-0.05
2		<2.0	0.66	-0.34
3		<2.0	0.63	-0.37
4		<2.0	0.63	-0.37
5		<2.0	0.61	-0.39
6		<2.0	0.67	-0.33
7		<2.0	0.63	-0.37
8		<2.0	0.62	-0.38
9		<2.0	0.62	-0.38
平均值		<2.0	0.67	-0.33
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-0.33			
结果评价	<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。			

6.3.13 垃圾焚烧企业

测试时间：2020 年

仪器：烟气排放连续监测系统

参比方法：《傅立叶变换红外测定固定源排气中有机和无机气态污染物》(EPA Method 320—2019)

表 6-51 HCl-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/11/17	5.96	0.00	-5.96
2		7.63	0.00	-7.63
3		7.89	0.00	-7.89
4		7.94	0.00	-7.94
5		8.29	0.00	-8.29
6		8.55	0.00	-8.55
7		6.18	0.00	-6.18
8		7.55	0.00	-7.55
9		6.01	0.00	-6.01
平均值		7.33	0	-7.33
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )	-7.33			
结果评价	<10 μmol/mol (17 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±4 μmol/mol (7 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果不符合要求。			

表 6-52 CO-CEMS 正确度验证监测结果

测点位置 编号	废气排放口			
	时间	参比方法 (mg/m <sup>3</sup> )	CEMS 法 (mg/m <sup>3</sup> )	数据对差= (B-A) (mg/m <sup>3</sup> )
1	2020/11/17	<2	3.87	2.87
2		<2	2.69	1.69
3		<2	2.83	1.83
4		<2	3.32	2.32
5		<2	2.97	1.97
6		<2	3.30	2.3
7		<2	2.83	1.83
8		<2	3.47	2.47
9		<2	2.43	1.43
平均值		<2	3.09	2.09
绝对误差 (mg/m <sup>3</sup> )		2.09		
结果评价		<20 μmol/mol (25 mg/m <sup>3</sup> ) 时, 绝对误差平均值应在 ±6 μmol/mol (8 mg/m <sup>3</sup> ) 以内, 本次比对监测结果符合要求。		

#### 6.4 不同水分含量对 HCl 吸附干扰试验

针对“HCl 在含湿量较大时, 如何避免吸附带来的误差”, 编制组使用便携式傅里叶红外烟气分析仪开展目标化合物 HCl 的水分吸附干扰试验, 选定 31.30 μmol/mol 的标准气体加热到 180℃, 并调节水分含量梯度分别为 5%、10%、15%、20%、25%和 30%进行干扰试验。试验结果表明: 不同水分含量下的 HCl 标准气体吸附干扰产生的示值误差在 -0.25 μmol/mol ~ -1.44 μmol/mol 之间, 仪器示值误差满足标准规定的小于 ±3 μmol/mol 的性能要求。因此, 在加热到 180 °C 的条件下, 含湿量较大时对 HCl 气体吸附带来的误差可控。不同水分含量对 HCl 吸附干扰试验结果见表 6-53。

表 6-53 不同水分含量对 HCl 吸附干扰试验结果

序号	HCl 标准气体浓度 (μmol/mol)	H <sub>2</sub> O 含量 (%)	实测 H <sub>2</sub> O 含量 (%)	实测 HCl 浓度 (μmol/mol)	示值误差 (μmol/mol)
1	31.30	5	4.70	30.92	-0.38
2			4.85	30.73	-0.57
3			4.75	30.46	-0.84
4			4.93	30.85	-0.45
5			4.91	30.73	-0.57
6			4.87	30.58	-0.72
7			4.92	30.36	-0.94
8			4.89	30.57	-0.73
9			4.95	30.43	-0.87
10			4.94	30.38	-0.92
11	31.30	10	10.19	30.70	-0.60

序号	HCl 标准气体浓度 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	H <sub>2</sub> O 含量 (%)	实测 H <sub>2</sub> O 含量 (%)	实测 HCl 浓度 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	示值误差 ( $\mu\text{mol/mol}$ )
12			9.85	30.67	-0.63
13			10.22	30.80	-0.50
14			10.14	30.48	-0.82
15			10.18	30.67	-0.63
16			10.2	30.46	-0.84
17			10.07	30.72	-0.58
18			10.11	30.49	-0.81
19			10.07	30.58	-0.72
20			10.1	30.69	-0.61
21			31.30	15	14.87
22	15	30.05			-1.25
23	15.03	29.86			-1.44
24	14.85	30.37			-0.93
25	14.79	30.60			-0.70
26	14.96	30.24			-1.06
27	14.98	30.45			-0.85
28	14.78	30.57			-0.73
29	14.78	30.64			-0.66
30	14.91	30.46			-0.84
31	31.30	20	20.03	30.35	-0.95
32			19.99	30.76	-0.54
33			19.59	30.50	-0.80
34			20.13	30.71	-0.59
35			19.82	30.93	-0.37
36			20.29	30.75	-0.55
37			19.4	30.08	-1.22
38			20.49	30.62	-0.68
39			20.31	31.05	-0.25
40			20.01	30.78	-0.52
41	31.30	25	24.61	30.80	-0.50
42			24.64	30.67	-0.63
43			24.57	30.52	-0.78
44			24.66	30.50	-0.80
45			24.52	30.35	-0.95
46			24.68	30.53	-0.77
47			24.69	30.48	-0.82
48			24.57	30.44	-0.86
49			24.79	30.67	-0.63
50			24.3	30.26	-1.04

序号	HCl 标准气体浓度 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	H <sub>2</sub> O 含量 (%)	实测 H <sub>2</sub> O 含量 (%)	实测 HCl 浓度 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	示值误差 ( $\mu\text{mol/mol}$ )
51	31.30	30	28.99	30.82	-0.48
52			28.65	30.12	-1.18
53			29.02	30.12	-1.18
54			29.26	30.61	-0.69
55			29.76	30.83	-0.47
56			29.53	30.90	-0.40
57			29.71	30.91	-0.39
58			29.31	30.52	-0.78
59			29.02	30.17	-1.13
60			29.31	30.57	-0.73

## 7 与开题报告的差异说明

与任务下达时的项目名称相比，本标准名称拟进行以下变更：由“固定污染源废气一氧化碳、氯化氢自动监测技术规定”，变更为“固定污染源废气 一氧化碳和氯化氢连续监测技术规范”，以便与其他已发布的标准名称的用词保持一致。

## 8 标准实施建议

本标准规定了固定污染源废气（CO、HCl）连续监测系统的组成和功能、技术性能、监测站房、安装、技术指标调试检测、技术验收、日常运行维护、质量保证和质量控制以及数据审核和处理等内容，可以满足当前环境管理对于固定污染源废气中不同浓度条件下一氧化碳和氯化氢的在线监测需求，通过本标准的实施，规范固定污染源废气一氧化碳和氯化氢连续监测系统的安装、调试、验收和运行，推动固定源废气一氧化碳和氯化氢在线监测在环保行业中的应用，为排污单位、社会化运维机构以及环境管理部门提供技术依据和支撑，有利于形成固定污染源废气连续监测完整、协调的标准体系。

## 9 标准征求意见稿技术审查情况

2023年5月18日，召开标准征求意见稿技术审查会，专家组审查后认为标准主编单位提供的材料齐全、内容完整；标准主编单位对国内外方法标准及文献进行了充分调研；标准定位准确，技术路线合理可行，方法验证内容完善。专家组通过该标准征求意见稿的技术审查。建议按照以下意见修改完善后，提请公开征求意见：

- (1) 标准名称修改为“固定污染源废气 一氧化碳和氯化氢连续监测技术规范”；
- (2) 编制说明中进一步完善对氯化氢标准气体稳定性的说明；
- (3) 标准文本中完善人员作业安全要求；
- (4) 按照《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。

编制组按照以上专家意见对本标准征求意见稿文本和编制说明进行了修改和完善。



## 10 参考文献

- [1] 环境保护部. 生活垃圾焚烧污染控制标准: GB 18485—2014[S]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [2] 生态环境部. 危险废物焚烧污染控制标准: GB 18484—2020[S]. 北京: 中国环境出版社, 2020.
- [3] 生态环境部《生活垃圾焚烧发电厂自动监测数据应用管理规定》( (2019) 部令 10 号) [S].
- [4] 环境保护部. 固定污染源烟气 (SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物) 排放连续监测技术规范: HJ 75—2017[S]. 北京: 中国环境出版社, 2017.
- [5] 环境保护部. 固定污染源烟气 (SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物) 排放连续监测系统技术要求及检测方法: HJ 76—2017[S]. 北京: 中国环境出版社, 2017.
- [6] 环境保护部环境监测仪器质量监督检验中心. 生活垃圾焚烧固定源烟气 (颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO) 排放连续监测系统技术要求及检测方法: HJC-ZY80-2017[S].
- [7] 台湾“环境保护署”. 固定污染源空气污染物连续自动监测设施管理办法[Z].
- [8] 孙焱婧. 中美固定源烟气排放连续监测系统对比浅析[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(6):68-72.
- [9] 朱法华, 李辉, 邱署光. 烟气排放连续监测技术的发展及应用前景[J]. 环境监测管理与技术, 2010,22(4):10-14.
- [10] SCHAKENBACHJ, VOLLAROR, FORTER. 依照“排污交易计划”实现成功监测、报告及核查的基本要素[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2006(56): 1576—1581.
- [11] US EPA Performance Specification 4 - Specifications and Test Procedures For Carbon Monoxide Continuous Emission Monitoring Systems In Stationary Sources [S].
- [12] US EPA Performance Specification 4a - Specifications and Test Procedures for Carbon Monoxide Continuous Emission Monitoring Systems in Stationary Sources [S].
- [13] US EPA Performance Specification 4b - Specifications and Test Procedures for Carbon Monoxide Continuous Emission Monitoring Systems in Stationary Sources [S].
- [14] US EPA Performance Specification 18 - Performance Specifications and Test Procedures for Gaseous Hydrogen Chloride (HCl) Continuous Emission Monitoring Systems at Stationary Sources [S].
- [15] US EPA Performance Specification 15 - Performance Specification for Extractive FTIR Continuous Emissions Monitor Systems in Stationary Sources [S].
- [16] US EPA Procedure 1 - Quality Assurance Requirements For Gas Continuous Emission Monitoring Systems Used For Compliance Determination [S].
- [17] US EPA Procedure 6 - Quality Assurance Requirements for Gaseous Hydrogen Chloride (HCl) Continuous Emission Monitoring Systems Used for Compliance Determination at Stationary Sources [S].
- [18] Air quality Certification of automated measuring systems. Performance criteria and test

procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources BS EN 15267—3:2007.[S].

- [19] 高喜奎.在线分析系统工程[M].北京：化学工业出版社，2013.
- [20] 谢耀，华道柱，齐宇，等. GFC-IFC 技术在多组分微量气体分析中的应用[J]. 中国光学，2021,14(6):1-8.
- [21] 张帅,钱江,李传新. 傅立叶变换红外光谱技术在多组分烟气在线监测中的应用[J].大气与环境光学学报,2016,11(1):31-36.
- [22] 张志荣，夏滑，董凤忠，等. 利用可调谐半导体激光吸收光谱法同时在线监测多组分气体浓度[J]. 光学精密工程，2013,21(11):2771-2777.
- [23] 国家质量监督检验检疫总局 工业企业煤气安全规程：GB 6222—2005[S]. 北京：中国标准出版社，2005.