

团 体 标 准

T/ACEF 295—2026

固定源排放温室气体（CO₂）自动 监测系统技术规范 火电行业

Specifications for automatic monitoring system for greenhouse gas (CO₂)
emissions from stationary sources - Thermal power industry

2026-08-13 发布

2026-08-13 实施

中 华 环 保 联 合 会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统设计 3

5 系统安装环境和条件 7

6 系统安装测试 9

7 监测计划评审 9

8 系统数据质量验证 9

9 系统验收评审 12

10 系统持续质量控制与年度监视测试 14

附录 A（资料性） 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统技术性能评估表 17

附录 B（资料性） 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统验收测试评估表 18

附录 C（资料性） 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统持续质量控制评估表 19

附录 D（资料性） 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统年度监视测试表 20

附录 E（规范性） 固定源排放烟气连续监测系统数据采集和处理方法 21

参考文献 28

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件规定了固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统的系统设计、系统安装环境和条件、系统安装测试、监测计划评审、系统验收评审等技术要求。

本文件的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 为资料性附录，附录 E 为规范性附录。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件为首次发布。

本文件起草单位：中国环境科学研究院环境工程技术有限公司、中国环境科学研究院环境检测与实验中心、生态环境部环境标准研究所、粤港澳生态环境科学中心、陕西榆林能源集团有限公司、中国地方煤矿有限公司、中理检验有限公司、中碳实测（北京）科技有限公司、中华环保联合会大气污染物与温室气体协同减排专业委员会。

本文件主要起草人：唐成金、杨文、刘淑、孙琦、雷晶、张鹏、高利孝、郭子岗、卓尔、何超、石安泰、谭新星、王宗爽、徐舒、谭玉菲、武明玥、毋振海、耿春梅、吴克食、许夏。

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统 技术规范 火电行业

1 范围

本文件规定了火电行业固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统的设计、安装、调试、验收、运行维护、数据质量验证及持续质量控制等技术要求。

本文件适用于以燃煤、燃气、燃油等化石燃料为主要燃料的火电厂锅炉、工业/民用锅炉以及工业炉窑等固定排放源二氧化碳连续自动监测及数据系统。

生活垃圾焚烧炉、危险废物焚烧炉等需要采用化石燃料作为辅助燃料的固定源排放二氧化碳连续自动监测系统可参照本文件执行。

其它行业的固定排放自动监测系统相应标准未正式颁布实施前，可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 36090 气体分析 在线自动测量系统质量保证指南

HJ 75 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

固定源排放二氧化碳连续自动监测系统 gas automatic monitoring system for CO₂ from stationary sources, GAMS-CO₂

现场永久安装的自动监测系统，包括分析系统、采样系统、预处理设备及数据系统等。如无特殊说明，本文件的“系统”特指：固定源排放温室气体连续自动监测系统（GAMS）。

3.2

参考方法 standard reference method, SRM

验证临时安装在现场的标准测量装置的方法。

3.3

控制图 control chart

GAMS 系统的持续质量控制的方法，控制图用于记录与分析零点和量程检查结果，根据漂移量和精度变化累积对监测系统进行质量参数及相关控制的计算。可选控制图例如：Shewhart 图、EWMA 图或 CUSUM 图。

3.4

系统响应时间 response time, T90

从 GAMS 系统最前端接触样气的部件开始通入标准或实验气体的时刻起，到分析仪示值达到标准或实验气体标称值 90% 的时刻止的时间间隔。包括系统内部管线及部件的传输时间和仪表响应时间。

3.5

零点漂移 zero drift

在仪器未进行维修、保养或调节的前提下，GAMS 按规定的时间运行后通入零点气体，仪器的读数与零点气体初始测量值之间的偏差相对于满量程的百分比。

3.6

量程漂移 span drift

在仪器未进行维修、保养或调节的前提下，GAMS 按规定的时间运行后通入量程校准气体，仪器的读数与量程校准气体初始测量值之间的偏差相对于满量程的百分比。

3.7

变异性 variability

SRM 和 GAMS 平行测量之间的差的标准差。

3.8

数据采集与处理系统 data acquisition and processing system, DAS

用于采集 GAMS 系统监测数据并进行分层级数据处理以达到报告要求的系统。

3.9

原始数据 raw data

未经处理的原始 GAMS 系统监测数据，包括传感器信号、系统各单元状态、故障信号等直接采集的数据。

3.10

短期平均数据 short-term average, STA

基于 FLD 数据，进行设定周期内的短期平均值计算，以及周期内状态值进行判定后的数据。

3.11

短期平均标准化数据 standardized short-term average, SSTA

基于 STA 数据及状态值、外围参数值，结合标准状态下的温度值、压力值、水蒸气体积分数、氧气体积分数进行标态转化计算后的数据。

3.12

有效短期平均数据 **valid short-term average, VSTA**

基于 SSTA 数据值，分析系统不确定度并做数据处理后的数据。

3.13

长期平均数据 **long-term average, LTA**

基于 SSTA 或 VSTA 数据及状态值，对长周期的数据平均值计算后的数据。

3.14

环境参数 **peripheral parameter**

将测量值转换至规定条件的特定物理或化学量。该参数用于数据标准化处理，确保测量结果在不同环境条件下的可比性。

3.15

有证参考物质 **certified reference material**

一种或多种特性值经过充分确定，并具有规定不确定度的物质或装置，其特性可用于校准设备、评价测量方法或给材料赋值。

4 系统设计

4.1 系统设计条件

系统设计条件应包含表 1 规定的内容。

表 1 系统设计条件

序号	类别	内容	备注
1	报告	年度企业温室气体排放报告	
2	数据	年度入炉煤	
3	数据	碳排放数据统计表	
4	数据	年度固废转运台账	
5	图纸	排放源工艺流程图	需结合工艺特点确定
6	图纸	排放源主要设备工艺布局图	
7	图纸	排放管路内外部结构图	
8	图纸	排放点结构图	
9	图纸	其他影响碳排放数据精度的图纸	

4.2 设计输入条件

系统设计应基于以下输入条件：

- a) 烟道几何参数：截面尺寸、直管段长度、烟道走向；
- b) 烟气参数范围：正常运行工况下的温度、压力、流速、含湿量及 CO₂浓度范围；
- c) 潜在干扰成分：SO₂、NO_x、CO、CH₄、H₂O 的浓度范围；
- d) 粉尘浓度及粒径分布；
- e) 安装位置的环境条件：温度范围、湿度范围、振动等级。

4.3 系统功能设计

4.3.1 系统组成

系统应当具备以下基本功能单元：温室气体（CO₂）分析单元、数据采集单元、数据处理单元、专线通讯系统。

4.3.2 温室气体（CO₂）分析单元

温室气体（CO₂）分析单元应具备依据监测计划进行温室气体的采集并使用不同的分析系统输出温室气体数据及相关原始数据的功能。

4.3.3 数据采集单元

数据采集单元应根据系统功能及综合可控性提供保障，采集所需的关键数据，并具备数据标记功能，具备系统操作日志的记录和调阅功能，日志保存期限不少于 1 年，且保存期限内不可修改和删除。系统操作日志应包含登录操作、工作状态、运行维护、参数修改、计算公式修改、时间修改等，以及相关操作的用户、时间、内容、数值或状态前后变化情况等。

4.3.4 数据处理单元

数据处理单元应具备依照监测计划对采集原始数据进行分类存储、处理并记录结果的能力。

4.3.5 专线通讯系统

专线通讯系统应具备将连续监测系统数据处理信息分类发送给数据申报单元的能力。

4.4 系统性能设计

系统基础硬件性能指标应符合表 2 规定，系统数据质量指标分级按照表 3 执行。

本章及表 3 中“系统合成不确定度”指合成标准不确定度（ u_c ），以相对值表示（相对于仪器认证量程上限）。系统扩展不确定度 U 计算方法见公式（1），用于验收、监督测试和年度监视测试中的符合性判定。各分量的定义及合成公式见《固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统技术要求 火电行业》附录 C。

$$U = k \times u_c \dots\dots\dots (1)$$

式中：

k ——扩展因子，95 %置信区间 $k=2$ ；

u_c ——合成标准不确定度。

表 2 系统基础硬件兼容性能指标要求

检测项目		技术性能指标要求
CO ₂	系统响应时间	≤200 s
	示值误差	当系统检测 CO ₂ 满量程值 ≥10 % 时, 示值误差应在标准气体标称值 ±5 % 以内; 当系统检测 CO ₂ 满量程值 ≤10 % 时, 示值误差应在 F.S. 的 ±2.5 % 以内。
	24 h 零点漂移和量程漂移	应在 F.S. 的 ±2.5 % 以内。
	正确度	当参比方法测量二氧化碳浓度的平均值: 1) ≥20 % 时, 相对误差的 95 % 置信上限 ≤7.5 %; 2) 在 [14 %, 20 %) 之间时, 平均值的绝对误差应在 ±1.4 % 以内; 3) 在 [7 %, 14 %) 之间时, 平均值的相对误差应在 ±10 % 以内; 4) <7 % 时, 平均值的绝对误差应在 ±0.7 % 以内。
流速	流速场系数精密度	≤5 %
	相关系数 ^a	≥9 个数据时, 相关系数 ≥0.90。
	正确度	流速 >10 m/s, 平均值的相对误差应在 ±8 % 以内; 流速 ≤10 m/s, 平均值的相对误差应在 ±10 % 以内。
温度	正确度	平均值的绝对误差应在 ±3℃ 以内。
湿度	正确度	>15.0 % 时, 平均值的相对误差应在 ±15 % 以内; >5.0 % ~ ≤15.0 % 时, 平均值的相对误差应在 ±20 % 以内; ≤5.0 % 时, 平均值的绝对误差应在 ±1.5 % 以内。
注 1: 本文件中“正确度”“相对误差的 95 % 置信上限”在 HJ 75 中称作“准确度”“相对准确度”, 计算方法按照 HJ 75 相关要求执行;		
注 2: F.S. 表示满量程;		
注 3: 根据自身质量管理要求, 相关行业企业检测项目可增加含氧量, 技术指标按照 HJ 75 相关要求执行。		
^a 当精密度不满足本文件要求, 进行相关系数调整时应满足本条要求。		

表 3 系统数据质量指标分级表

检测项目		技术性能指标分级		
		A	B	C
系统整体评价指标	系统合成不确定度 ^a	≤3.0 %	≤5.0 %	≤7.5 %
	校准函数确定系数	≥0.98	≥0.95	≥0.90
	变异性评估	≤0.5 σ ₀ ·k _v	≤0.8 σ ₀ ·k _v	≤σ ₀ ·k _v
	系统响应时间	计入系统合成不确定度综合评价；详见附录评价表		
注：二氧化碳参比方法与自动监测系统的比对及数据评价，建立在相同基准的短期平均标准化数据之上。即参比方法测定值与自动监测测定值均应通过同步获取的实时工艺、处理过程及分析相关参数（温度、压力、湿度），严格折算为标准状态（温度 273.15 K，压力 101.325 kPa）下质量浓度（mg/m ³ ）或标态干基体积浓度，严禁直接使用未经热力学补偿的仪表原始读取浓度进行不确定度与变异性评估。				
^a 系统合成不确定度计算方法详见《固定源排放温室气体（CO ₂ ）自动监测系统技术要求 火电行业》附录 C。				

4.5 监测计划设计

4.5.1 监测计划的总体要求

项目建设单位应当在项目设计阶段组织编写监测计划, 并重点从数据的透明性、完整性、一致性、可比性、准确性评审监测计划。监测计划应符合《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》(2006 年版及其后续修订/精细化版本) 相关规定, 结合从数据收集到数据报告的具体要求进行总体方案设计、质量控制以及持续改进。总体测算原则与边界识别监测计划的编制必须遵循从“宏观碳核算边界筛查”到“微观物理流场测点确立”的逐级递进原则, 并在计划中完整溯源以下标准的符合性:

- 基于 ISO 14064 的源项与边界筛查: 在确定具体物理烟道测点之前, 必须依据 ISO 14064-1/2 及相关国家温室气体核算指南的要求, 对企业的碳排放空间边界、运行装置、生产工艺及排放类型(如化石燃料燃烧排放、过程排放等)进行全面盘查与筛选, 以确认连续监测系统(GAMS)的部署范围能完整覆盖法定的排放源;
- 流场模拟与布点设计(以 CFD 为主导): 在锁定具体的排放源后, 物理测点的选取必须结合

烟道流体力学特征。优先推荐依据 ISO 16911-2 建立计算流体力学（CFD）有限元分析模型，在无物理探头侵入的自然状态下评估截面速度场与浓度场的均匀性，确定理论最佳监测平面，并量化位置不确定度。若受限于技术条件无法开展 CFD 建模，可依据 ISO 15259 采用网格法进行物理测量断面的代表性判定。但采用此方法时，必须考量并说明物理布设探头所带来的“二次干扰”对流场分布及不确定度的影响；

- c) 现场实测数据验证：监测计划中基于 CFD 模型或网格法所确立的测量点位及预期位置不确定度，最终必须在系统安装后，通过现场标准参考方法的实际平行测量数据进行包含合成不确定度及变异性在内的完整验证。

4.5.2 监测计划内容要求

4.5.2.1 系统合成不确定度按照 GB/T 36090 执行。系统合成不确定度是考量系统性能的重要指标，在编制计划时，必须全面识别并量化（位置不确定度 U_{pos} ）、以及烟道内实际工艺压力、温度、流速和湿度的动态波动对系统最终系统合成不确定度产生的影响。现场实际安装时若存在复杂的外围环境干扰，必须建立明确的动态热力学补偿模型及不确定度合成基线。

4.5.2.2 碳排放装置信息：确认企业温室气体排放类型为有组织排放方式，确定排放产生的来源及过程，记录企业排放形式。包括固定排放设施的类型、原料种类及碳排放类型、碳排放口数量和位置、碳排放装置中用于减少碳排放或其他污染物排放的设施。

4.5.2.3 固定排放源的生产工艺分析：根据生产装置清单、工艺流程清单，依据相关现行的国际国内温室气体法规确定温室气体在装置及工艺中的产生过程及最终可能排放情况。

4.5.2.4 碳排放时间边界：温室气体排放的时间边界为 24 h 连续不间断监测。

4.5.2.5 碳排放空间边界：核算边界为发电设施，主要包括燃烧系统、汽水系统、电气系统、控制系统和除尘及脱硫脱硝等装置的集合，不包括厂区内其他辅助生产系统以及附属生产系统。

4.5.2.6 碳排放数据边界：根据《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施》（环办气候函〔2022〕485 号），报告主体应核算的排放源类别和气体种类包括：

- a) 化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放：一般包括发电锅炉（含启动锅炉）、燃气轮机等主要生产系统消耗的化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放，以及脱硫脱硝等装置使用化石燃料加热烟气的二氧化碳排放，不包括应急柴油发电机组、移动源、食堂等其他设施消耗化石燃料产生的排放。对于掺烧化石燃料的生物质发电机组、垃圾（含污泥）焚烧发电机组等产生的二氧化碳排放，仅统计燃料中化石燃料的二氧化碳排放，并应计算掺烧化石燃料热量年均占比；
- b) 购入使用电力产生的二氧化碳排放。

4.5.2.7 监测位置：采用科学方式确认温室气体连续监测系统取样位置，包括但不限于有限元分析、均质性、不确定性和代表性，应至少包含完整记录监测位置选取的计算书、均质性、不确定性和代表性计算分析等信息。取样位置的选取应量化消除复杂烟道截面可能引发的系统性测量偏差，不应仅依靠静态物理距离（如前 4D 后 2D）作为选点唯一依据。对于大管径或流场复杂的排放源，必须提供计算流体力学（CFD）有限元分析仿真报告或采用网格法进行均质性判定，以科学量化位置不确定度对整体排放数据的偏差影响，并在监测计划中完整归档选位计算书与仿真评价报告，确保选点具备严密的统计学代表性。

4.5.2.8 数据质量保证措施：包括但不限于相关数据来源、数据获取方式、数据验证方式、数据质量保证计划。

5 系统安装环境和条件

5.1 公用工程

5.1.1 电力设施

5.1.1.1 配电系统

配电系统应满足以下条件：

- a) 配电箱需主备电源各 1 路，备用电源需配置 UPS 不间断电源，并应设置独立空开及电源保护措施；
- b) 应优先利用电厂已有的电缆桥架、管廊或支架等设施，避免重复建设，路径需经三方（施工方、电厂、监理）共同确认；
- c) 电缆规格需满足系统所需供电要求，电缆保护层无破损，接头连接牢固；
- d) 施工用电设备金属外壳应接地，接地电阻应满足现场及制造商要求，系统应设置“有电危险”“专业人士操作”等相关警示标识。

5.1.1.2 气路系统

气路系统应满足以下条件：

- a) 气体预处理装置应具备除尘、除湿、稳压及流量调节等功能。装置的气路工作压力范围、标定流量等关键参数应由设备制造商在技术文件中明确规定；
- b) 气管铺设路径需与电缆桥架分离，避免交叉干扰，气管连接需密封无泄漏；存在冷凝水排放口的系统需明确定期检查要求。

5.1.2 材料与设备

5.1.2.1 物料要求

- a) 关键材料（如法兰、钢管、采样探头、伴热管、仪表阀门等）及设备，必须提供制造商出具的材质证明书、产品合格证及必要的性能检测报告；
- b) 密封垫材质、螺栓规格、垫圈等参数需由制造商提供；
- c) 物料存储需防火、防水、防锈，开箱验收需由监理单位确认；
- d) 施工单位应根据设计文件和制造商技术要求，编制详细的材料与工具配置清单，纳入施工组织设计或专项施工方案设计。

5.1.2.2 工具配置

- a) 施工设备包括交流电焊机、氩弧焊机、角磨机、手动葫芦等，并应通过安全检测（绝缘性、防护装置完好）；
- b) 制造商应在详细施工计划及施工记录中提交明确的工具及配置清单。

5.1.3 环境与安全

5.1.3.1 作业区域划分

施工区域应在详细施工计划予以划定并于施工记录中记录，至少应划分为加工区、焊接区、安全隔离区，各区配备必要的消防应急处置设施及安全保障设施。

现场需悬挂施工标识，设置围挡，非作业人员禁止进入，工程方应提交详细的施工计划记录施工过程。

5.1.3.2 人员防护

作业人员需穿戴安全帽、防护服、三防鞋、防噪耳塞及劳保手套，特殊工种（电工、焊工）需持《特种作业操作证》上岗。

工程方应提交详细的施工计划及安全规范。

5.2 监测分析系统安装环境

5.2.1 GAMS 系统应在实验室进行环境不确定性测试，以用于评估及验证在环境条件改变时系统合成不确定度。

5.2.2 系统应具备必要的防水、防潮、隔热、保温措施，在特定场合还应具备防爆功能。

5.2.3 系统应具备环境参数的记录功能，能够完整记录并实时计算环境变化对最终数据的综合影响。

5.2.4 当安装现场的环境条件无法满足系统设计规格书中声明的环境参数范围时，应部署监测站房，为监测分析系统提供稳定可靠的运行环境。

5.2.5 监测站房的部署设计应满足以下要求：

- a) 监测站房应具备能够满足系统数据传输要求的通讯条件，且与采样点之间的距离需满足系统响应时间性能要求；
- b) 监测站房的基础荷载强度应满足工程建设所在装置的安全要求；
- c) 监测站房内应配置满足监测环境参数范围要求的环境控制设备；
- d) 监测站房的配电功率应满足监测分析系统的功率需求。

监测站房内应配备带有计量资质且在有效期内的系统零点及量程浓度的标准气体。标准气体应至少包含零气和 GAMS 测量相关的各种气体的量程标气，以满足日常零点、量程校准、校验的需要。如低浓度标准气体由高浓度标准气体通过经校准合格的等比例稀释设备获得（精密度不超过系统合成不确定度），则制造商应说明其不确定性影响。

5.3 系统设备安装条件

5.3.1 一般要求

系统安装前，施工单位应严格遵循监测计划进行现场施工条件复核，安装全过程应满足客户相关要求、行业技术标准与操作规程，确保系统有效、稳定、安全地运行。

5.3.2 施工前准备及施工参数确认

5.3.2.1 应在施工区域设置明显标识和围挡，确保施工环境整洁且无干扰。

5.3.2.2 所有施工人员应接受安全培训，电工、焊工等人员必须持证上岗，并配备安全帽、防滑鞋、绝缘手套等防护装备。

5.3.2.3 施工用电需通过漏电保护装置测试，电缆敷设需避开高温区域并固定牢靠。

5.3.2.4 施工区域需明确划定，并进行严格的安全检查，确保所有施工人员穿戴好安全保护用品，且电工、焊工等特种作业人员必须持有有效期内的《特种作业操作证》。

5.3.2.5 施工前需进行详尽的技术交底，包括施工图纸的交接、施工内容、顺序、技术要求、验收标准以及人员防护、施工用电、设备操作、消防安全等方面的要求。

5.3.3 系统安装

5.3.3.1 法兰工程的安装，包括法兰盘、法兰盲板的铆焊、调整与焊接，工程方需明确法兰垂直度、焊接质量等相关标准并实时记录。

5.3.3.2 系统需配套安装设备平台、配电箱、电缆桥架及气源盒等关键组件，每个组件的安装均需按照监测计划及设计图纸进行精确定位与牢固焊接，并涂刷防腐油漆以延长使用寿命。

5.3.3.3 系统安装完成后需进行全面的硬件验收与安全验收，确保系统稳定运行并满足环保监测需求。

5.4 安装位置现场安全要求

测量现场的安装方式应符合国家安全要求，至少应考虑以下方面：

- a) 安装位置即测量现场应具备简便、安全的进入条件；
- b) 如果测量地点不在地面，需考虑运输工具（例如用于运输测量仪器的起重机或升降机等）的使用安全性；
- c) 安装位置应避免存在意外排放源的区域，例如爆破片、过压阀或蒸汽排放；
- d) 安装位置应通过工程或程序措施避免任何危险；

- e) 安装位置应避开具有显著正向压力的区域；
- f) 应采取有效措施，确保后续设备测试人员或维护人员了解任何可能危及安全的操作故障；
- g) 应确保厂房内具备容纳测量测试平台或测量场地的可能性；
- h) 应保护工作区域免受高温和灰尘的影响；
- i) 应采取保护措施确保人员和所用设备的必要环境条件，如防风雨和供暖措施；
- j) 测量现场应安装适当尺寸的电源连接，并按照国家要求进行保护。

6 系统安装测试

应当在系统安装现场进行监测系统测试，安装前后应严格按照监测计划进行设备测试和数据验证，以验证监测系统在实际应用中能否持续运行并满足相关性能标准。

被测系统评估程序和评估标准参见附录 A。

7 监测计划评审

在项目实施前，项目建设单位均应进行技术评审。评审内容和具体项目包括但不限于：

- a) 系统功能完整性：是否包含本文件 4.3 所述的主要功能单元，功能设计是否符合相关规范且完整、可靠；
- b) 系统利用有限元分析等科学方法进行仿真建模过程和模型的科学性、合理性、与工况的符合性，必要时应要求应标单位在投标时提供完整的分析过程和可展示的成果；
- c) 是否在监测计划中重点描述了数据质量验证措施：包括但不限于相关数据来源、数据获取方式、数据验证方式、数据质量保证计划；
- d) 是否有确保系统工程和数据交付的专业项目管理团队和项目控制程序；
- e) 监测计划中是否明确系统持续运行过程中的数据质量风险清单，以及数据质量持续控制程序；
- f) 监测计划是否明确了系统建设完成后系统设备运行维护的具体要求。

8 系统数据质量验证

在 GAMS 系统安装完成后，工艺运行前应进行 GAMS 的校准及验证测试，该测试用于：

- a) 确定其获得的测量值的变异性；
- b) 数据质量评价，以证明 GAMS 系统在安装后适用于该安装场景；
- c) 正常运行期间，上述校准及验证测试应至少每 3 年重复一次；
- d) 当工厂运行条件与监测计划制订的内容产生重大变化时，或 GAMS 设备发生故障恢复运行后，应立即重新进行校准及验证测试；
- e) 其他触发条件依照相关法规另行约束；
- f) 测试过程应包括功能测试、与标准参考方法（SRM）的平行测量、数据评估、校准函数的确定及其变异性测试及数据质量的综合评价。

8.1 功能测试

8.1.1 目视检查

8.1.1.1 原位式 GAMS 设备需目视检查分析仪内部、光学部件的清洁度、冲洗空气供应、光路中的障碍物。

8.1.1.2 抽取式 GAMS 设备需目视检查取样系统部件情况，如：采样探针、气体调节系统、泵、连接件、样品传输管线、电源、过滤器等。

8.1.1.3 系统应处于良好状态，没有任何可能降低数据质量的可见故障。

8.1.2 检漏测试

检漏测试应覆盖整个分析系统，确保分析系统无漏气点。

8.1.3 零点和量程检查

应使用零点和量程的标准样品（参考物质）来验证 GAMS 的相应读数。对于非抽取式 GAMS 设备，应使用无烟气的标准路径进行零点和量程检查。

8.1.4 线性测试

应使用五种不同的标准样品/参考物质（包括零浓度）检查分析仪响应的线性。

8.1.5 干扰测试

如待监测的工艺气体包含已确定的已知干扰成分，则应进行相应测试。

8.1.6 零点和量程漂移

零点和量程漂移应从持续质量控制程序的记录中获得并进行评估。

8.1.7 响应时间

应检查系统对气体变化的响应时间。

8.1.8 故障记录

数据质量测试应记录所有故障。如果判断故障对数据质量有影响，则操作员应采取必要的纠正和预防措施。

8.2 平行测量

8.2.1 应使用 GAMS 和 SRM 进行平行测量，以便使用独立方法校准和验证 GAMS。

8.2.2 GAMS 与 SRM 测试数据的结果均应被记录并用于系统合成不确定度的比对与评价。

8.2.3 SRM 的测试方法及具体的测试步骤，应在工程监测计划进行明确并满足相关要求。

8.2.4 为确保校准功能在工厂运行的条件范围内有效，校准期间的浓度应在工厂的正常运行范围内尽可能地变化。确保 GAMS 的校准在尽可能大的范围内有效，并涵盖大多数操作情况。

8.2.5 应对每种校准功能，即工厂的每种操作模式进行变异性测试。

8.2.6 采用 SRM 采样时，应在符合监测计划要求的管道取样平面进行采样，由制造商或工程单位明确所执行的标准。SRM 采样探头与 GAMS 采样探头应位于同一监测截面，水平间距不超过 1 m，且两者均应符合 4.4 CFD 选点确定的最优位置要求。两套系统的采样操作不得互相干扰。

8.2.7 SRM 设备与 GAMS 设备测量不得互相干扰。确保采样气流互不干扰，具体间距由监测计划依据 CFD 流场分析结果确定并归档。

8.2.8 校准工作应在工厂正常生产运行状态下开展，完成不少于 15 次有效平行测量。上述测量应在不少于 3 个自然日内均匀布设，每个测量日内的测量时段宜控制在 8 h~10 h 并均匀分布，全部测量工作应在 4 周内完成。

8.2.9 标准工况条件下，至少 95 % 的 GAMS 测量值相对 SRM 测量值的偏差，不得超出系统最大允许不确定度。

8.2.10 每个 GAMS 测量信号的时间段大于平均时间的 90 %。

注：不包括 GAMS 测量范围 100 % 以上或 0 % 以下的所有测量信号、内部检查（自动校准）期间获得的信号以及 GAMS 任何其他故障期间获得的信息。

8.2.11 每个样品开始之间的时间间隔应至少为 1 h。

8.2.12 从 SRM 获得的结果应在与 GAMS 测量的条件相同的条件下表示（例如压力、温度等条件）。

8.2.13 为了满足 GAMS 校准在尽可能大的范围内有效，并涵盖大多数操作情况的要求，每完成一组平行测量后，应在三天内完成该组数据的初步审核。审核内容包括测量有效性判定、异常值筛选及数据完整性检查。

8.2.14 需要对水蒸气浓度进行多次 SRM 测量。如果水蒸气的校准 GAMS 测量值可用，可将该数值用于将 SRM 数据转换为干基或湿基。当监测计划所选取的点位前端使用湿式减排技术时，废气是饱和的，水蒸气浓度通常为恒定或饱和状态。在这些情况下，应由制造商或工程单位明确系统的溶解损失情况以便用于计算系统的合成不确定度。

8.3 数据质量评估

8.3.1 GAMS 应在实际测量的条件下进行校准。应检查平行测量中获得的数据集是否存在可能的异常值。系统测试报告中应给出评估异常值的方法和排除异常值的原因。应在校准数据表和图表中报告和标识异常值。

8.3.2 系统测试校准功能至少需要 15 个有效数据点，建议采用额外的数据点，以排除异常值。除通过使用异常值测试排除或已被证明无效以外，所有数据点均应用于形成系统的变异性测试及合成不确定度评价。

8.3.3 在系统处于非正常测量模式（包括但不限于校准、维护、功能性测试、故障及系统失控状态）期间产生的数据应标记为无效。无效数据的识别、标记、记录及报告要求按照附录 E 的相关规定执行，且年度数据可用性不应低于 90 %。

8.3.4 GAMS 系统的数据采集与处理方法应参考附录 E 进行。

8.4 校准函数及其有效性

8.4.1 实施新的校准功能前，应使用现有的校准功能。

8.4.2 校准函数计算时，历次校准数据不得与本次校准数据合并使用。

8.5 变异性测试与评估

8.5.1 变异性测试

8.5.1.1 确定 GAMS 测量值的最大允许不确定度（以扩展不确定度 U 表示，扩展因子 $k = 2$ ，对应 95 % 置信区间），并将其转换为绝对标准偏差，用于后续变异性测试的判定。

8.5.1.2 变异性试验应基于系统制造商、监测计划、平行测量等工程的综合结果，不应包括使用参考物质或替代程序确定校准功能所获得的数据。

8.5.1.3 应对 GAMS 的测量值（校准值）进行变异性测试。

8.5.1.4 变异性测试及校准函数的建立，必须基于相同基准的标准化数据进行。参比方法（SRM）测定值与自动监测（GAMS）测定值均应通过同步获取的实时外围参数（温度、压力、湿度）折算为标准状态下的质量浓度（ mg/m^3 ）。不应直接使用未经热力学补偿的原始读取浓度进行变异性评估。

8.5.2 变异性评估

通过公式（2）对变异性测试结果进行评估：

$$S_D \leq \sigma_0 \cdot k_v \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

S_D ——变异性，即 GAMS 测量值与 SRM 测量值之间差值的标准偏差。基于 N 次有效平行测量数据对；

σ_0 ——要求的标准不确定度，即系统在置信水平下允许的最大标准偏差；

k_v ——变异性评估的统计因子，其值取决于有效平行测量次数 N ，取自单侧容许区间的 x^2 分布。

被测试 GAMS 系统应提交变异性评估结果报告，其评估结果值将纳入系统评级体系以证明系统的

标准符合程度。鉴于温室气体监测的核心在于绝对排放质量的统计学置信度，当系统按本节要求成功通过变异性测试（ $s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$ ）时，即证明该系统已具备全量程校准与动态热力学补偿能力，其合成不确定度处于受控状态。本文件明确以该变异性测试作为现场系统数据质量评估的决定性依据，其评价逻辑独立于传统的静态误差考核模型。（见附录 B）。

不同平行测量次数的 k_v 值见下表 4：

表 4 k_v 值参考表

平行测量次数 N	k_v
3	0.8326
4	0.8881
5	0.9161
6	0.9329
7	0.9441
8	0.9521
9	0.9581
10	0.9629
11	0.9665
12	0.9695
13	0.9721
14	0.9742
15	0.9761
16	0.9777
17	0.9791
18	0.9803
19	0.9814
20	0.9824
25	0.9861
30	0.9885

9 系统验收评审

系统验收应按照以下程序评审，以确认项目实施的过程、系统工程整体质量和数据质量均达到设计目标的标准。

9.1 文档资料审查

系统验收过程需对以下文档进行审查：

- 系统设计文档：监测计划、监测点有限元分析、数据流程图符合国际和国内相关要求；
- 设备出厂检验报告：系统校准记录和系统数据评估报告；
- 系统安装调试记录：安装日志、故障报告、完工报告；
- 测试记录：参考附录 A 所列各具体性能测试项目提供测试过程记录、测试数据记录、测试报告、系统故障报告；
- 数据采集与传输协议：系统通信协议、数据传输日志、数据报表；
- GAMS 系统计划；
- GAMS 系统运行测试文件和资质文件；
- 维保手册、用户手册等手册；
- 记录可能出现的故障和处理日志；
- 服务报告；
- 持续质量控制文件包括因失控情况而采取的行动；

- l) 维护、校准和培训的管理系统程序;
- m) 培训记录;
- n) 维护计划;
- o) 审计计划和记录。

9.2 硬件工程审查

系统验收过程需对以下工程项目进行审查:

- a) 温室气体 (CO₂) 分析单元, 需带有完整取样及样气处理功能: 加热取样、露点控制、温度控制、高温过滤、探头反吹、样品气溶解控制及标定接口;
- b) 数据采集单元, 须具备以下功能: 实施监测分析系统中样品气体积浓度、质量浓度实时计算、质量浓度计算相关的样品气体温度、压力、湿度、流量、溶解损失度、系统不确定度参数、可记录及输出相关数值、自动标定功能, 标定采用控制图确定标定频次及标定时间;
- c) 服务器: 标准机架式 2U 服务器, 采用正版 Linux 操作系统;
- d) 客户端: 国产台式电脑, 预装正版操作系统;
- e) 防火墙: 含三年及以上病毒库/特征库升级;
- f) 数据接口: 采集 SIS 系统机组实时数据, 将数据实时传输至碳排放在线监测平台;
- g) 软件部署: 二氧化碳在线监测平台。

9.3 数据质量评审

鉴于本文件采用系统合成不确定度管理体系, 系统在现场与参比方法 (SRM) 进行比对验收时, 应统一采用建立全量程现场专属校准函数并进行变异性测试的方法, 对数据质量进行综合评价。对于执行本文件的二氧化碳连续监测系统, 明确以变异性测试及合成不确定度评估结果作为最终数据质量验收的法定依据, 在此环节不再适用传统基于工程化误差模型的“相对准确度 (或相对误差的 95 %置信上限)”等单点考核指标。系统采集和分析数据的全过程应当符合附录 E 要求, 且数据质量评估报告至少应包括以下内容, 且经过分析满足附录 A 要求的指标:

- a) 工厂及其采样位置的描述及完整的设计图纸信息及计算书; 经验证或评审通过的监测计划与 CFD 有限元分析/网格法计算书 (验证现场测点与监测计划的一致性);
- b) 描述工厂的运行状况以及测试期间工厂使用的燃料;
- c) 测试实验室和进行测试的人员的姓名;
- d) 测试实验室的认证详情, 或相关主管部门的批准详情;
- e) 所用 GAMS 的描述, 包括所涵盖的被测对象、原理、类型、工作范围和位置;
- f) 所用 SRM 的描述: 包括原理、类型、工作范围、重复性、测量不确定度, 以及其 ISO 或国标参考号 (如适用);
- g) 平行测量的日期和时间;
- h) 从 GAMS 和 SRM 获得的所有测量值的详细数据 (必须为已完成热力学补偿折算的标态数据), 并按相关时段取平均值;
- i) 用于评估异常值和排除异常值的原因的方法;
- j) 校准函数和有效校准范围, 包括确定校准函数的程序以及用于计算校准函数和执行变异性测试的所有数据;
- k) 平行测量的 x-y 散点图, 包括有效校准范围;
- l) 上述功能测试的结果。

9.4 验收报告要素

验收报告应包含以下内容:

- a) 系统配置清单 (含设备序列号);
- b) 系统性能测试数据、系统测试报告;
- c) 数据质量评估表;
- d) 固定源排放温室气体 (CO₂) 自动监测系统技术性能评估表 (见附录 A)。

10 系统持续质量控制与年度监视测试

10.1 系统持续质量控制程序

10.1.1 一般要求

持续质量控制程序是保障温室气体自动测量系统（GAMS）在运行期间，持续满足监测要求的核心措施，由温室气体自动测量系统所有权单位负责组织实施，并确保将系统数据用于向主管部门报送时，相关程序规范有效执行。

10.1.2 控制图程序方案制订

系统集成商应明确评估 GAMS 漂移和精度变化的控制图。控制图应能够显示 GAMS 随时间变化的趋势，从而允许操作员在需要时进行调整或维护。

10.1.3 定期零点和量程点检查

为确保 GAMS 在持续运行过程中保持测量结果的准确性和可靠性，应定期对 GAMS 进行零点和量程检查，并使用控制图方法监控其漂移和精度。

操作人员需提交测试系统预订的频率方案，并按照该方案频率（通常不超过维护间隔）对 GAMS 进行零点和量程检查。可通过注入测试气体或使用其他参考物质来完成检查。零点和量程测量的频率至少应与 GAMS 的维护间隔相匹配，以确保 GAMS 的持续准确性。

10.1.4 调整与维护

当控制图显示 GAMS 系统性偏差或随机偏差过大时，操作人员需及时对 GAMS 进行手动或自动的调整与维护，以确保其测量结果的持续准确性。

10.1.5 文档记录与报告

所有零/量程测试数据、控制图及调整记录应完整存档，在需要时提供 GAMS 性能的可追溯文档。固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统持续质量控制评估表需定期记录并存档，其评估结果值将纳入系统评级体系以证明系统的标准符合程度（见附录 C）。

10.2 系统年度监视测试

10.2.1 一般要求

年度监视测试是对 GAMS 性能进行定期评估的程序，旨在评估 GAMS 在一年内的性能稳定性和校准函数的有效性，验证 GAMS 的测量值是否仍符合之前验收测试中证明的不确定性标准。

10.2.2 功能测试

在进行平行测量之前，应证明 GAMS 已按预期方式安装并运行。这包括检查 GAMS 的采样系统、测量室和分析仪等关键组件是否正常运行。其具体方法可参考本文件 8.1 章节。

10.2.3 平行测量

年度监视测试要求至少进行五次有效的平行测量，这些测量应在 GAMS 的校准范围内均匀分布。测量期间，GAMS 和参考方法（SRM）应同时采样，并覆盖相同的时间段。

10.2.4 数据评估

评估包括计算 GAMS 测量值的变异性，并与最大允许不确定性进行比较。同时，还要测试校准函数的有效性，以确保其仍在接受范围内。

10.2.5 变异性的计算

通过计算 GAMS 测量值与 SRM 测量值之间的差异的标准偏差来评估变异性。如果变异性超过最大允许不确定性的阈值，则需要对 GAMS 进行校准或维护。年度建设测试的变异性计算和评估方法应按照 8.5.2 的规定执行。

10.2.6 变异性与校准函数测试与评估

通过公式（3）进行变异性测试结果的评估：

$$S_D \leq 1.5\sigma_0 \cdot k_v \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

S_D ——变异性，即 GAMS 测量值与 SRM 测量值之间差值的标准偏差。基于 N 次有效平行测量数据对；

σ_0 ——要求的标准不确定度，即系统在置信水平下允许的最大标准偏差；

k_v ——变异性评估的统计因子，其值取决于有效平行测量次数 N，取自单侧容许区间的 x^2 分布。

除了变异性测试外，还需要验证校准函数是否仍然有效。这通常涉及检查 GAMS 测量值与 SRM 测量值之间的偏差是否在可接受的范围内。

通过公式（4）进行校准函数有效性结果的评估：

$$|\bar{D}| \leq t_{0.95;N-1} \frac{S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0 \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中：

S_D ——变异性，即 GAMS 测量值与 SRM 测量值之间差值的标准偏差。基于 N 次有效平行测量数据对；

σ_0 ——要求的标准不确定度，即系统在置信水平下允许的最大标准偏差；

N——有效平行测量次数；

$|\bar{D}|$ ——校准函数偏移幅度的绝对值；

$t_{0.95;N-1}$ ——自由度为 N-1，双侧 95 %置信水平的分布临界值。

不同平行测量次数的 k_v 值与 $t_{0.95;N-1}$ 见表 5：

被测试 GAMS 系统应提交变异性测试和校准函数有效性测试的评估结果报告，其评估结果值将纳入系统评级体系以证明系统年度监视测试的标准符合程度（见附录 D）。

表 5 k_v 值与 $t_{0.95;N-1}$ (t 分数) 参考表

平均测量次数 N	k_v	$t_{0.95; N-1}$
3	0.8326	2.920
4	0.8881	2.353
5	0.9161	2.132
6	0.9329	2.015
7	0.9441	1.943
8	0.9521	1.895
9	0.9581	1.860
10	0.9629	1.833

表 5 k_v 值与 $t_{0.95; N-1}$ (t 分数) 参考表 (续)

平均测量次数 N	k_v	$t_{0.95; N-1}$
11	0.9665	1.812
12	0.9695	1.796
13	0.9721	1.782
14	0.9742	1.771
15	0.9761	1.761
16	0.9777	1.753
17	0.9791	1.746
18	0.9803	1.740
19	0.9814	1.734
20	0.9824	1.729
25	0.9861	1.711
30	0.9885	1.699

10.2.7 年度监视测试报告

年度监视测试报告应包含有关工厂、采样位置、使用的 GAMS 和 SRM 的详细描述，以及平行测量的日期、时间和详细数据。报告还应包括用于评估异常值的方法和排除异常值的原因，以及实际的 GAMS 校准函数和有效校准范围。

年度监视测试报告内容应包括以下内容：

- a) 工厂及其采样位置的描述；
- b) 所用 GAMS 的描述，包括所涵盖的被测对象、原理、类型、工作范围和位置；
- c) 所用 SRM 的描述：包括原理、类型、工作范围、重复性和/或测量不确定度，以及其 ISO 或国标参考号（如适用）；
- d) 平行测量的日期和时间；
- e) 从 GAMS 和 SRM 获得的所有测量值的详细数据，并按相关时段取平均值；
- f) 用于评估异常值和排除异常值的原因的方法；
- g) 校准函数和有效校准范围，包括确定校准函数的程序以及用于计算校准函数和执行变异性测试的所有数据；
- h) 平行测量的 x-y 散点图，包括有效校准范围；
- i) 精度与校准有效性的测试结果；
- j) 年度监视测试的功能测试结果。

附 录 A
(资料性)

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统技术性能评估表

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统技术性能评估表见表 A.1。

表 A.1 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统技术性能评估表-现场测试

序号	技术参数名称	评价标准			系统测试结果	评价结果
		A	B	C		
1	校准函数确定系数	≥0.98	≥0.95	≥0.90		
2	系统响应时间	≤50 s	≤100 s	≤200 s		
3	缺乏拟合（线性）	≤0.5 %	≤1.0 %	≤2.0 %		
4	维护间隔	30 天	15 天	8 天		
5	零点及量程点漂移	≤1.0 %	≤2.0 %	≤3.0 %		
6	系统可用性评估	≥98.0 %	≥97.0 %	≥95.0 %		
7	再现性评估	≤1.1 %	≤2.2 %	≤3.3 %		
8	系统合成不确定度	≤3.0 %	≤5.0 %	≤7.5 %		

附 录 B
(资料性)

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统验收测试评估表

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统验收测试评估表见表 B.1。

表 B.1 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统验收测试评估表

序号	技术参数名称	评价标准			系统测试结果	评价结果
		A	B	C		
1	功能测试检查不合格项	0	-	-		
2	变异性测试评估结果	$\leq 0.5\sigma_0 \cdot k_v$	$\leq 0.8\sigma_0 \cdot k_v$	$\leq \sigma_0 \cdot k_v$		

附 录 C
(资料性)

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统持续质量控制评估表

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统持续质量控制评估表见表 C.1。

表 C.1 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统持续质量控制评估表

序号	技术参数名称	评价标准			系统测试结果	评价结果
		A	B	C		
1	维护间隔内精度失控判断次数	0	1	2 或以上		
2	维护间隔内数据漂移对比控制限值	≤1.0 %	≤2.5 %	≤5.0 %		

附 录 D
(资料性)

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统年度监视测试表

固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统年度监视测试表见表 D.1。

表 D.1 固定源排放温室气体（CO₂）自动监测系统年度监视测试表

序号	技术参数名称	评级标准			系统测试结果	评价结果
		A	B	C		
1	功能测试检查不合格项	≤0	-	-		
2	变异性测试评估	≤0.8σ ₀ ·k _v	≤1.0σ ₀ ·k _v	≤1.5σ ₀ ·k _v		
3	校准函数有效性评估	≤0.5 倍标准值	≤0.8 倍标准值	≤标准值		

附 录 E

(规范性)

固定源排放烟气连续监测系统数据采集和处理方法

E.1 数据采集与处理系统 (GAMS-DCS 系统) 设计方法

E.1.1 原始数据

GAMS 系统通过数据采集功能,从排放烟气中采集监测气体的组分百分比% (气体组分包含: CO₂、CH₄、N₂O), 气体流量数据, 以及报告质量参数 (氧气浓度、水蒸气浓度、温度、压力等)。数据频次为两种模式: <10 s 的数据扫描监测或<1 min 平均时间的从原始数据计算得出的平均数据。

另一方面, 通过数据接入、用户录入的方法, 接收燃烧装置/工厂的状态数据和工艺数据。

以上两方面数据, 在系统中形成原始数据, 数据流向:

- a) 持续质量控制程序;
- b) 数据处理程序;
- c) 存储到大数据平台 (后台软件系统)。

E.1.2 持续质量控制程序

采用控制图程序, 可对设备进行自动校准, 对进入数据做失控判断和漂移计算, 对漂移数据进行修正数据补偿等可持续的数据监测与管控。基于精度和漂移的程序判断, 确保 GAMS 系统状态可控, 并发送 GAMS 状态数据 (正常/需维护等) 以及零点和满点检查数据到数据处理程序。

E.1.3 数据处理程序

E.1.3.1 原始数据将在此程序中进行各层级的数据处理, 层级数据依计算顺序包括: FLD 一级数据, STA 短期平均数据, SSTA 短期平均标准化数据, VSTA 有效短期平均数据, LTA 长期平均数据。

E.1.3.2 标准环境数据 SSTA 及排放质量计算

E.1.3.2.1 质量浓度 c(g/L)计算方法见公式 (E.1):

$$c=f \times \frac{M_{mol}}{V_{mol}} \dots \dots \dots (E.1)$$

式中:

f ——测量组分的体积百分比;

M_{mol}——摩尔质量, CO₂: 44.009 g/mol, CH₄: 16.043 g/mol, N₂O: 44.013 g/mol;

V_{mol}——摩尔体积, CO₂/CH₄/N₂O: 22.414 L/mol。

E.1.3.2.2 SSTA: 在标准状态下, 质量浓度 C_{ref} 计算方法见公式 (E.2):

$$C_{ref}=C \times \frac{T_m}{T_{ref}} \times \frac{P_{ref}}{P_m} \times \frac{100\%-h_{ref}}{100\%-h_m} \times \frac{21\%-O_{ref}}{21\%-O_m} \dots \dots \dots (E.2)$$

式中:

T_{ref} ——标准状态下的温度值, 273.15 K=0°C;

P_{ref} ——标准状态下的压力值, 101.3 kPa;

h_{ref} ——标准状态下的水蒸气体积分数(在干燥条件下 href=0);

O_{ref} ——标准状态下的氧气体积分数参考值 (应根据相关法规取参考值, 例如一般非污染区

O_{ref}~20.95 %) ;

T_m, p_m, h_m, O_m——实测的温度、压力、水蒸气体积分数、氧气体积分数。

E.1.3.2.3 SSTA: 在标准条件下, 气体体积流量 V_{ref} 计算方法见公式 (E.3):

$$V_{ref} = V_m \times \frac{T_{ref}}{T_m} \times \frac{p_m}{p_{ref}} \times \frac{100\% - h_m}{100\% - h_{ref}} \times \frac{21\% - O_m}{21\% - O_{ref}} \quad (E.3)$$

式中:

V_m——实测气体体积流量, L。

E.1.3.2.4 温室气体排放的质量流量 g 计算方法见公式 (E.4):

$$g = c_{ref} \times V_{ref} \quad (E.4)$$

式中:

c_{ref}——在标准状态下, 质量浓度, g/L;

V_{ref}——在标准条件下, 气体体积流量, L。

E.1.3.2.5 根据监测温室气体的组分有 CO₂、CH₄、N₂O, 温室气体排放量应以 CO₂ 当量的形式表示为 g_{CO₂eq(100y)} 和 g_{CO₂eq(20y)}, 计算公式见公式 (E.5) (E.6):

$$g_{CO_2eq(100y)} = g_{CO_2} \times GWP_{CO_2(100y)} + g_{CH_4} \times GWP_{CH_4(100y)} + g_{N_2O} \times GWP_{N_2O(100y)} \quad (E.5)$$

$$g_{CO_2eq(20y)} = g_{CO_2} \times GWP_{CO_2(20y)} + g_{CH_4} \times GWP_{CH_4(20y)} + g_{N_2O} \times GWP_{N_2O(20y)} \quad (E.6)$$

式中:

GWP——全球变暖系数, 国际上主要采用基于 100 年时间范围的 GWP 计算 GWP100 和基于 20 年时间范围的 GWP 计算 GWP20, 部分温室气体的 GWP 值见表 E.1。

表 E.1 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等温室气体的全球变暖系数值

气体组分	GWP100	GWP20
CO ₂	1	1
CH ₄	27.9	84
N ₂ O	273	264

E.2 数据采集与处理系统 (GAMS-DCS) 的设计要求

E.2.1 运行要求

E.2.1.1 系统应提供模拟和/或数字通信接口。

E.2.1.2 模拟通信接口的 A/D 整流器应满足以下要求:

- 分辨率应至少为 12 位, 但建议使用 16 位的分辨率;
- 相对精度应优于量程的 ±0.1 % (如果有多个量程, 这里则对应到每个量程);
- 输入范围应能够接收实时零信号, 例如 4 mA 或 2 V 的模拟信号。

系统应能够接收硬连线状态信号。

E.2.1.3 数字通信接口应处理向 GAMS-DCS 系统传输的数据, 包括输入数据和相关状态信息; 且能够提供如下功能:

- 提供数据完整性的有文件记录的通信协议, 例如 Modbus、PROFIBUS、OPC (标准通信协议提供了数据完整性的措施);
- 输入数据源的独一寻址, 例如测量系统, 在包含 GAMS-DCS 的系统内; 多个被测变量可以关联到同一个地址;
- 将所有被测变量和所有状态信号独一地分配到输入数据源的地址;
- 以 32 位浮点数的测量信号分辨率传输测量信号;
- 与测量信号相关联的状态信息至少包括有效测量信号的识别、测量系统的维护和测量系统的故障 (通过测量信号和测量系统的状态值区分对比, 可以允许在多个组件测量系统的情况下在

- 一个测量组件受到干扰时使用剩余的测量组件)；
- f) 测试 GAMS-DCS 和每个输入数据源之间的数字通信的能力；
 - g) 制造商应在每个输入数据源的数据表中指定接口特定的数据和访问该数据的操作程序。

E. 2. 1. 4 数据采集频次

从各种输入数据源收到的原始数据，应以足够快的速率连续采样，以确保信息不丢失。每个单独输入数据应至少每 10 秒一次采样。

E. 2. 1. 5 手动输入数据

GAMS-DCS 系统应支持提供：外环境参数的手动输入功能。GAMS-DCS 需要在事件日志中记录用户 ID 和变更内容。手动数据不能覆盖自动数据。

E. 2. 1. 6 远程数据记录器单元

远程数据记录器单元可以作为 GAMS-DCS 系统的一部分，用于临时存储原始数据，避免在 GAMS-DCS 数据处理单元掉线时造成数据丢失。该部分数据的转移，应通过在远程数据记录器单元和 GAMS-DCS 数据处理单元之间建立一个有安全保障的通信协议。

E. 2. 2 输入数据的处理

E. 2. 2. 1 输入数据的有效性

GAMS-DCS 应能够通过连接中断（如断路）识别模拟接口的故障，或通过数字通信中断识别数字接口的故障。在此期间获得的输入数据应标记为无效。

GAMS-DCS 应检查输入数据值是否在指定的测量范围内，如超出测量范围应标记该输入数据为“out of range”（在测量值高于或低于 GAMS 测量范围上限或下限的时间段内，GAMS 被认为“超出范围”。测量值可用于进一步计算，法律另有规定的除外）。

GAMS 原始数据应标记为“有效”，如果 GAMS 输入数据是有效的且 GAMS 处于正常测量模式，处于非正常测量模式（测试中、服务中、功能性测试中、失效等状态属于非正常测量模式）时，数据应标记为“无效”。

E. 2. 2. 2 一级数据处理（FLD）

E. 2. 2. 2. 1 GAMS-DCS 应可以形成和处理 FLD 数据，并应具备 FLD 数据存储功能。

E. 2. 2. 2. 2 当 FLD 数据通过 GAMS 原始数据进行单位转换（比例调整）而确定时，所有比例因子应是可召回的。单位转换如：从 mA 到 mg/m³，毫安到质量浓度；或 V 到 K，电压到温度。

E. 2. 2. 2. 3 用于确定工厂/装置状态的参数（从输入数据中）应是可编辑的。

E. 2. 3 报告数据

E. 2. 3. 1 警告、报警和违规信号

GAMS-DCS 应可以形成和处理报告数据，并应具备报告数据存储功能。

GAMS-DCS 应具备数据评估能力，能够对报告数据与指定限值或条件等设定进行比对，并产生对应的警告、报警和违规等信号（数据评估可以是简单的等级类型，即没有单个平均值可以超过特定的等级层；也可以是统计性质的，即在一个时期内，超过特定等级的值不超过 1 %）。

GAMS-DCS 应具备向外系统发送警告、报警和违规信号的功能。

警告、报警和违规信号需要绑定开始时间戳，或包含开始时间戳和结束时间戳的持续时间。

GAMS-DCS 应能够根据工厂/装置状态信号（如启动或关闭）应用不同的报警标准，报警或违规状态可能会随着工厂/装置操作模式而变化。

违规信号设定：STA 数据超出设定的有效校准范围数量时需要计量，同时应设定违规标准。

报警信号设定：当 GAMS-DCS 无法从输入数据源接收到数据时，应产生报警信号。

警告、报警、违规信号数据应进行存储。

E.2.4 报告

E.2.4.1 报告总则

GAMS-DCS 应可以自动或根据指令输出报告，形式可以是显示出报告、打印出报告或存储为电子报告。

GAMS-DCS 软件版本号应在每份报告中体现。

报告的数据应标明其时间段。时间应以标准时间表示，另有规定的除外。

E.2.4.2 GAMS-DCS 需根据表 E.2 要求，生成排放报告：

表 E.2 GAMS-DCS 排放报告

序号	报告项	日报	周报	月报	年报
1	STA 数据判定为合格的数量	X	X	X	X
2	STA 数据判定为不合格的数量	X	X	X	X
3	报告期内的 STA 周期数	X	X	X	X
4	VSTA 数据和标签值清单	X	-	-	-
5	VSTA 数据值超出排放限值的数量	X	X	X	X
6	LTA（日）数据清单	X	X	X	-
7	无效数据（日）数量	X	X	X	X
8	减排设备故障或失效及持续运行的所有时期清单	X	-	-	-
9	LTA 非日平均的数据清单	-	X	X	X
10	LTA 数据值超出排放限值的数量	-	X	X	X
11	无效数据（日）数量-从本年度 1 月 1 日开始	X	X	X	X
12	SSTA 数据超出校准范围的百分比	-	X	X	X
13	在连续的 12 个月内，减排设备和减排活动发生故障或失效的小时数	X	X	X	X
14	超出允许（期限）的减排设备和减排活动发生故障或失效的期数-从本年度 1 月 1 日开始	-	-	-	X
15	自上一次系统测试或年度监视测试以来，超过 5 % 的 SSTA 超出有效校准范围的周数量	-	X	-	-
16	自上一次系统测试或年度监视测试以来，超过 40 % 的 SSTA 超出有效校准范围的周数量	-	X	-	-
17	VSTA 超出排放限值的百分比-从本年度 1 月 1 日开始	-	-	X	X
18	每日 LTA 超出排放限值的百分比-从本年度 1 月 1 日开始	-	-	X	X
19	包含上限 FLD 的 STA 数量	-	-	X	-
20	包含 FLD 超出测量范围限值的 STA 数量	-	-	-	X
21	使用替代值计算的 SSTA 数量	-	-	X	X
22	总排放质量	-	-	-	X
23	排放质量计算中使用替代值的数量	-	-	-	X

E.2.4.3 GAMS-DCS 应可以根据选择的时间段进行报告：

- GAMS-DCS 失效期的清单；
- GAMS-DCS 失效小时数；
- 根据所选时期，生成的 FLD 数据；
- 系统测试/年度监视测试数据（如校准功能，有效校准范围）包括其流程的日期/时间和设置参数的时间；
- 校准数据；
- 事件日志条目；
- 报警、警告、违规信号清单，及日期时间。

E.2.4.4 GAMS-DCS 也应可以根据选择的任一时间点，报告以下内容：

- GAMS-DCS 配置参数和上一版本（日期/时间）的参数；

- b) GAMS-DCS 使用的所有软件单元的版本;
- c) GAMS-DCS 全年的可用性。

E. 2.5 数据存储

E. 2.5.1 数据存储总则

GAMS-DCS 应具备永久存储的数据库。在永久数据库中的数据, 应至少保留 5 年。

E. 2.5.2 时间戳

数据的存储应有一个时间戳(时间戳应是 UTC 或 UTC+全年固定偏移量)。

平均数据在存储时的时间戳, 应包括其平均周期的开始时间, 可包括其平均周期的结束时间。如只有一个时间戳被存储, 平均周期的时长和时间戳类型均需要被存储(如配置参数)。

E. 2.5.3 永久数据库-各类数据

- a) FLD 数值和其关联的状态信息, 以及单位(比例)换算用到的因子;
- b) STA、SSTA、VSTA 数据和其关联的状态信息;
- c) 校准数据;
- d) 报警、警告、违规信号数据;
- e) 事件日志和配置参数。

E. 2.6 系统功能

E. 2.6.1 事件日志

所有 GAMS-DCS 采取的行动均应存储至“事件日志”中; 每个事件日志条目需要包含以下信息:

- a) 事件类型(如登录操作失败、GAMS 通讯失效、停电、watch-dog 重启、系统时间 5 秒以上的改动);
- b) 事件描述;
- c) 分类(如重要事件需立刻处理, 不重要事件, 告知类事件);
- d) 用户名(发起事件的用户名);
- e) 事件条目的时间戳。

E. 2.6.2 配置

所有配置的改动均需要被记录到事件日志中。当日志记录配置调整时, 日志信息应包含调整前及调整后的数值, 以及任何重新计算的应用的的时间戳。

E. 2.6.3 导出数据

GAMS-DCS 应包括以文件化、简单和机器可读的格式从数据库中导出至少所有 FLD 的可能性。

E. 2.6.4 测试模式

GAMS-DCS 应具有测试模式, 以检查 GAMS-DCS 的数据接收、配置和计算。测试数据不得用于计算报告数据。测试模式的开始和结束应记录在事件日志中(GAMS-DCS 在测试模式下不可用)。

GAMS-DCS 应能够以文件化、简单、机器可读的格式导出测试模式期间产生的所有数据。

E.2.7 数据完整性

E. 2.7.1 GAMS-DCS 有效利用率

GAMS-DCS 应设计为可连续运行, 在一个日历年内提供至少 99 %的数据可用性。

当 GAMS-DCS 能够获取、计算和存储所有必需数据时，视为可用。

当外部数据记录器在 GAMS-DCS 故障期间正常工作时，并且如果在 GAMS-DCS 启动后检索到所需的所有数据，GAMS-DCS 的停机时间不会降低其可用性。数据可用性可以通过作为 GAMS-DCS 一部分的数据缓冲区来提高。

应能在不中断连续数据记录机制的情况下随时查询存储的数据。

E. 2. 7. 2 防篡改数据传输和处理

通过开放网络传输的数据应加密。

所有数据和配置参数的存储方式应防止未经授权的修改。

GAMS-DCS 的所有访问权限应仅限于授权人员专属登录。

每个登录均应受到保护，防止未经授权的使用，例如通过密码或访问代码。

GAMS-DCS 应提供可分配给每个登录的不同级别的权限，例如用于数据可视化、手动输入或配置更改。

E. 2. 7. 3 防止数据丢失

GAMS-DCS 应可以避免数据丢失，尤其是停电时期。

当供电恢复时，GAMS-DCS 应自动启动并运行。

运行系统应被配置为允许管理员手动调整系统时间。

GAMS-DCS 应建立一个确保能快速侦测出系统死机情况的监测系统。如遇系统死机，应标记事件并存储至事件日志中。

E. 2. 7. 4 数据备份

所有在永久数据库中的数据均应备份至独立的数据存储中介，保证数据可以在 GAMS-DCS 系统外、受保护的环境中至少存储 5 年。GAMS-DCS 数据备份频次至少为一天一次。

数据备份可以通过外部冗余永久数据存储来实现。

GAMS-DCS 应具备备份数据还原的功能，如果发生此类事件，该事件应被记录在事件日志中。

在软件修改的情况下，软件应能够读取修改前软件版本存储在永久数据存储中的数据，或者升级数据存储格式，以避免数据丢失或数据修改。

E. 2. 7. 5 GAMS-DCS 身份识别

GAMS-DCS 应赋予所有硬件单元和软件唯一性的身份识别代码。

E. 2. 7. 6 时间管理

GAMS-DCS 系统时间应通过外部精确时间源进行控制（主板 PC 时钟中的常规内置时钟不够精确。可以通过例如互联网 NTP 协议、无线电控制时钟或为固定 GPS 实现）。

系统时间应保持 ± 5 s 的精度。

启动时应定期检查系统时钟指示的时间，至少每天一次，必要时进行校正。

如果时间校正超过 ± 5 s，则应将校正记录在事件日志中。

如果使用外部数据记录器，其时间应与 GAMS-DCS 同步，并交付如上所述带有时间戳的数据。

E. 2. 8 文档要求

GAMS-DCS 系统运用的公式和流程应完整以文件形式记录下来。

最终用户可用的 GAMS-DCS 文件应至少包括以下内容：

- a) GAMS-DCS 系统认证；
- b) 硬件配置信息，包括对适当接口的描述；
- c) 操作手册和培训要求；
- d) 输入和输出列表；

- e) 数据流程图;
- f) 所有计算、校正和其他相关算法的列表;
- g) 所有警告、报警和违规信号清单, 包括警报标准、相关时间平均值和周期;
- h) 软件更新程序;
- i) 硬件故障或系统停止后的系统恢复程序;
- j) 备份程序, 包括验证和恢复;
- k) 检查程序: 永久数据存储的完整性和可修复点。



参 考 文 献

- [1] GB/T 4208 外壳防护等级 (IP 代码)
- [2] GB/T 36090 气体分析 在线自动测量系统质量保证指南
- [3] GB 50093 自动化仪表工程施工及质量验收规范
- [4] GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
- [5] ISO 7870-4 控制图 第 4 部分: CUSUM 控制图程序
- [6] ISO 12039 固定源排放-烟气中一氧化碳、二氧化碳和氧气质量浓度的测定-自动测量系统的性能特点
- [7] ISO 14064-1 温室气体 第 1 部分: 组织层面温室气体量化和排放指导规范
- [8] ISO 14064-2 温室气体 第 2 部分: 项目层面温室气体量化和排放指导规范
- [9] ISO 14064-3 温室气体 第 3 部分: 温室气体声明审定与核查的规范及指南
- [10] ISO 14064-4 温室气体 第 4 部分: ISO 14064-1 应用指南
- [11] ISO 14065 环境信息验证机构的一般原则和要求
- [12] ISO 14066 环境信息 环境信息审定与核查组能力要求
- [13] ISO 14080 温室气体管理和相关活动
- [14] ISO 14090 适应气候变化原则要求及指南
- [15] ISO 14091 适应气候变化脆弱性影响及评估
- [16] ISO 14097 温室气体管理和相关活动
- [17] ISO 14164 固定源排放-确定管道中气流的体积流量-自动监测方法
- [18] ISO 14385-1 固定源排放 温室气体-第 1 部分: 自动测量系统的校准
- [19] ISO 14385-2 固定源排放 温室气体-第 2 部分: 自动测量系统的持续质量控制
- [20] ISO 14956 空气质量-通过与要求的测量不确定度进行比较评估测量程序的适用性
- [21] ISO/EN 15259 空气质量-固定源排放的测量-对测量断面和位置以及测量目标、计划和报告的要求
- [22] ISO 16911-1 固定源排放-手动和自动测定管道中的速度和体积流量-第 1 部分: 手动参考方法
- [23] ISO 16911-2 固定源排放-手动和自动测定管道中的速度和体积流量-第 2 部分: 自动测量系统
- [24] ISO/IEC 17065 合格评定-对产品、流程和服务认证机构的要求
- [25] ISO 19694 能源密集行业温室气体排放的确定
- [26] ISO 20181 固定源排放-自动测量系统的质量保证
- [27] ISO/IEC Guide 98-3 不确定度的测量-第 3 部分: 测量不确定度表示指南
- [28] EN 14181 固定源排放-自动测量系统的质量保证
- [29] EN 14790 固定源排放-管道中水蒸气的测定-标准参考方法
- [30] EN 15267 空气质量-自动测量系统认证
- [31] EN 17255 固定源排放-数据采集和处理系统
- [32] EU 601/2012 欧盟温室气体排放监测与报告条例
- [33] EU 2003/87/EC 欧盟温室气体排放交易体系指令
- [34] EU 2018/2066 欧盟工业排放温室气体监测与报告规则
- [35] US EPA 40CFR Part 60 新建及改造固定源污染物排放性能标准

- [36] US EPA 40CFR Part 75 电力行业连续排放监测系统（CEMS）技术规范
 - [37] US EPA 40CFR Part 98 强制性温室气体报告规则
 - [38] PD CEN/TS 17198 固定源排放-预测性排放监测系统（PEMS）适用性、执行和质量保证
-

