

ICS 13.020.01

CCS Z 10

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

天地一体化高光谱遥感温室气体监测 系统技术规范

Space-ground integrated hyperspectral remote sensing greenhouse gas
monitoring system technical specification

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 1

 4.1 系统架构 1

 4.2 系统核心功能 2

 4.3 系统总体技术要求 2

5 设备技术参数 3

6 监测作业规范 3

 6.1 监测前期准备 3

 6.2 分层协同监测流程 3

 6.3 辅助参数同步观测 4

7 数据处理与反演要求 4

 7.1 数据预处理 4

 7.2 温室气体反演要求 4

 7.3 多源数据融合 4

 7.4 通量核算要求 4

8 质量控制要求 4

 8.1 设备质量控制 4

 8.2 监测过程质量控制 5

 8.3 数据成果质量控制 5

9 成果输出 5

 9.1 成果输出要求 5

 9.2 数据存储与传输 5

10 运行与维护 5

 10.1 日常运维管理 5

 10.2 定期巡检与校准 5

 10.3 故障处置 5

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。

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

天地一体化高光谱遥感温室气体监测系统技术规范

1 范围

本文件规定了天地一体化高光谱遥感温室气体监测系统的总体要求、设备技术参数、监测作业规范、数据处理与反演要求、质量控制要求、成果输出、运行与维护等内容。

本文件适用于天基、空基、地基一体化高光谱温室气体监测系统的集成建设、设备验收、常态化监测作业与系统运维，主要应用于大气二氧化碳、甲烷、氧化亚氮的立体定量监测，其他类型温室气体遥感监测工作可参照本文件执行。

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 4208 外壳防护等级(IP代码)

HJ 212 污染物自动监测监控系统数据传输技术要求

HJ 818 环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统运行和质控技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

天地一体化高光谱遥感温室气体监测系统 space-ground integrated hyperspectral remote sensing greenhouse gas monitoring system

集成天基卫星高光谱探测、空基航空器高光谱观测、地基定点与移动高光谱监测设备，配套数据处理、质量控制、成果输出模块，实现大气温室气体立体、协同、定量监测的一体化技术系统。

3.2

高光谱遥感探测 hyperspectral remote sensing detection

在紫外、可见、近红外、短波红外波段内，以纳米级连续光谱通道获取地物与大气辐射光谱信息，基于气体特征吸收谱线实现温室气体组分识别与浓度定量反演的探测技术。

3.3

多源数据融合 multi-source data fusion

对系统天基、空基、地基不同空间分辨率、时间分辨率、精度层级的监测数据，开展时空配准、偏差校正、权重融合，生成统一标准网格化数据集的系统数据处理技术。

4 总体要求

4.1 系统架构

4.1.1 天基监测层

作为系统宏观感知单元，依托在轨高光谱卫星载荷，完成区域尺度温室气体全域常态化普查，获取大气柱浓度空间分布数据，筛查高浓度异常区域，为空基精细化监测提供靶向作业依据。

4.1.2 空基监测层

作为系统精细观测单元，依托无人机载高光谱设备，针对工业排放区、固废填埋区、异常高值区等重点区域开展网格化精细监测，精准定位疑似排放源，弥补天基遥感空间分辨率不足的短板。

4.1.3 地基监测层

作为系统真值校准单元，由定点监测站与车载移动监测设备组成，可长期连续采集高精度近地面温室气体浓度数据，为天基、空基遥感反演数据提供真值校正与精度验证支撑。

4.1.4 数据处理层

作为系统算法核心，集成光谱预处理、辐射校正、几何校正、气体反演、多源融合、通量核算、质量筛查等标准化算法，实现多源数据统一规范化处理，输出标准化网格化监测成果。

4.1.5 成果应用层

作为系统业务输出终端，集成数据存储、可视化展示、溯源分析、报表输出、数据上报与远程运维功能，支撑碳核查、生态监管、减排评估等常态化业务应用。

4.2 系统核心功能

系统应具备全链条闭环监测功能，覆盖观测、采集、处理、质控、输出、运维全流程，具体功能要求如下：

- a) 协同观测功能：支持天基常态化观测、空基机动观测、地基连续观测的多层级协同作业，可根据监测任务自动匹配普查、精测、核验作业模式；
- b) 光谱采集功能：稳定采集标准化高光谱原始数据，覆盖目标气体特征波段，具备异常光谱标记与无效数据自动剔除能力；
- c) 定量反演功能：内置固定参数标准化反演算法，自动完成CO₂、CH₄、N₂O柱浓度与近地面浓度定量反演；
- d) 多源融合功能：实现多平台监测数据时空配准、偏差校正与加权融合，生成全域无缝网格化数据集；
- e) 通量溯源功能：支持区域温室气体收支通量核算，可针对高值异常区域开展排放溯源与强弱分析；
- f) 智能质控功能：具备设备自检、数据筛查、残差判定、成果合规校验的全流程质控能力；
- g) 成果输出功能：支持标准化数据、空间图谱、监测报告一键导出；
- h) 远程运维功能：支持设备状态监控、参数远程配置、故障智能预警。

4.3 系统总体技术要求

4.3.1 精度要求

系统融合校正后综合RMSE（均方根误差） $\leq 4\%$ ；整体数据有效率 $\geq 95\%$ ，其中地基数据有效率 $\geq 98\%$ 、空基数据有效率 $\geq 95\%$ 、天基数据有效率 $\geq 90\%$ 。

4.3.2 响应性能要求

单条数据处理响应时间 $\leq 30s$ ，批量网格化数据处理时长 $\leq 10min$ ，断点续传恢复时长 $\leq 5s$ 。

4.3.3 兼容性要求

系统软硬件应适配主流卫星载荷、无人机平台、地基及车载监测设备，兼容多类遥感、地理、气象数据。

4.3.4 稳定性要求

系统应支持7×24h连续运行，全年稳定运行率 $\geq 95\%$ ；24h系统零点漂移 $\leq 2\%FS$ ，年度整机精度衰减 $\leq 3\%$ 。

4.3.5 环境适应性要求

系统环境适应性要求如下：

- a) 系统应能在 $-20^{\circ}C \sim 55^{\circ}C$ 环境下正常工作；
- b) 系统应能在10%RH~95%RH（无凝露）环境下正常工作；

c) 空基设备应耐受六级及以下风力作业，地基、车载设备应具备防尘、防淋雨能力，整体防护等级应不低于GB/T 4208中IP65的要求。

4.3.6 可靠性要求

系统可靠性要求如下：

- a) 系统应具备优异的长期运行可靠性，整机平均无故障工作时间（MTBF）≥2000h；
- b) 核心监测设备、算法模块、数据传输模块故障应快速自愈，系统故障恢复时间≤10min；
- c) 关键硬件设备使用寿命不少于5年，长期连续作业无频繁故障、性能衰减等问题。

4.3.7 安全要求

系统安全要求如下：

- a) 设备具备过压、过载、漏电防护等电气安全保护机制；
- b) 监测数据传输全程加密，支持操作权限分级管理、数据防篡改，原始数据可追溯、不应随意删除。

5 设备技术参数

系统天基、空基、地基各层级监测设备的核心技术参数应符合表1的规定。

表1 各层级监测设备技术参数要求

监测层级	设备类型	核心技术参数	要求
天基层	高光谱遥感卫星载荷	光谱范围	400nm~2500nm
		分辨率	≤0.3nm
		空间分辨率	≤30m;
		重访周期	≤5d
		反演精度	CO ₂ ≤1.5×10 ⁻⁶ mol/mol，CH ₄ ≤8×10 ⁻⁹ mol/mol
空基层	无人机载高光谱设备	光谱范围	450nm~2450nm
		采集效率	单谱线≤1min
		空间分辨率	≤10m×10m
		作业温区	-20℃~55℃
地基层	定点高光谱监测站	量程	CO ₂ : 0~5000×10 ⁻⁶ mol/mol；CH ₄ : 0~1000×10 ⁻⁹ mol/mol
		精度	CO ₂ : ≤0.1×10 ⁻⁶ mol/mol；CH ₄ : ≤3×10 ⁻⁹ mol/mol
		更新频率	1Hz
		零点稳定性	24h零点漂移≤2%FS
地基层	车载移动监测设备	适配车速	0km/h~60km/h
		监测半径	500m
		定位精度	±1cm
		单点时长	≤30s

6 监测作业规范

6.1 监测前期准备

监测作业前应完成设备整机自检、参数配置、气象核查、监测网格与航迹规划工作，全面检查设备光路、电路、通信及定位模块状态，根据任务需求配置采集与反演参数。

6.2 分层协同监测流程

6.2.1 天基宏观监测

调取合规卫星遥感数据，完成基础预处理，获取全域浓度分布数据，筛查高值异常区域，确定重点监测范围。

6.2.2 空基精细化监测

针对筛查出的重点区域，布设10m×10m网格化监测区域，开展全覆盖航测，记录作业参数，精准刻画局部浓度差异，定位疑似排放源。

6.2.3 地基核验监测

同步启用定点站与车载设备开展观测，获取高精度地面真值数据，校正天基、空基遥感反演偏差，验证整体监测精度。

6.3 辅助参数同步观测

监测过程同步采集温湿度、气压、风速、风向、太阳高度角等气象参数，匹配区域植被NDVI（归一化植被指数）与地形高程数据，所有辅助数据与光谱观测数据时序对齐，用于反演模型环境校正，降低外界环境干扰。

7 数据处理与反演要求

7.1 数据预处理

原始数据应统一完成降噪、辐射定标、大气校正、几何校正处理，卫星影像几何校正误差≤0.5个像素，空基、地基数据定位偏差≤2m，预处理后数据信噪比≥40dB，系统应自动剔除各类无效、异常数据。

7.2 温室气体反演要求

系统应采用大气辐射传输模型与最优光谱拟合算法完成定量反演，运算流程标准化、参数固定可追溯，全程留存拟合曲线、残差数据及运算日志，各层级数据反演指标应符合表2的规定。

表2 各层级数据反演指标要求

温室气体种类	监测层级	反演相对误差限值	拟合残差限值	数据有效率要求
CO ₂	天基	≤5%	≤0.02	≥90%
	空基	≤3%	≤0.015	≥95%
	地基	≤1.5%	≤0.01	≥98%
CH ₄ 、N ₂ O	天基	≤8%	≤0.025	≥90%
	空基	≤5%	≤0.02	≥95%
	地基	≤3%	≤0.012	≥98%

7.3 多源数据融合

系统以地基数据为真值基准、空基数据为校正依据、天基数据为空间基底，完成多源数据加权融合，统一空间分辨率为10m，融合成果RMSE≤4%，形成全域无缝、标准统一的网格化时序数据集。

7.4 通量核算要求

系统通量核算应遵循《2006年IPCC国家温室气体清单指南》，采用梯度通量算法，结合时序浓度、气象梯度与下垫面参数完成区域通量计算，输出成果标注核算参数、误差范围及95%置信区间，成果应可比、可溯源。

8 质量控制要求

8.1 设备质量控制

所有监测设备应执行日校准、周巡检、季比对、年检定制度，符合HJ 818质控要求，并完整归档设备运维、校准、故障处理记录。

8.2 监测过程质量控制

系统应全程留存原始数据、定位信息、气象参数及运行日志，异常数据自动标记归档，严禁人为篡改、删除原始监测数据，保障监测过程真实可追溯。

8.3 数据成果质量控制

监测成果应执行三级审核制度，通过系统自查、参数复核、质量终审完成合规校验。未达到精度、残差、有效率指标的成果判定为不合格，应重新监测处理。

9 成果输出

9.1 成果输出要求

系统输出成果应包含原始光谱数据、预处理数据、浓度反演数据、网格化分布图、通量核算成果及监测报告；成果格式应规范统一，满足行业归档、业务上报及科研分析使用需求。

9.2 数据存储与传输

系统采用本地+云端双备份存储，数据保存期限不少于5年；数据传输应符合HJ 212的规定，具备加密校验、断点续传、异常重传功能。

10 运行与维护

10.1 日常运维管理

应建立常态化运维机制，定期更新算法参数、基准数据，修复系统运行漏洞；每年应开展整机性能核验，全面核查设备精度、算法稳定性与成果质量。

10.2 定期巡检与校准

落实设备全周期运维管控机制，结合规范质控要求开展日校准、周巡检、季度性能比对、年度计量检定工作，及时排查设备光路、电路、通信及算法运行异常，完整留存各类运维、校准、故障处置记录。

10.3 故障处置

系统应具备故障智能预警能力，运维人员接收预警信息后应及时处置；建立设备备品备件保障机制与应急处置预案，应对野外设备故障、网络中断、数据异常等突发情况。