文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4740 /（中图刊号）：715GL012

张家口坝上地区高精度温室气体监测站运维保障探析

张乐飞　戈羽剑　孙涵姝　张雷雷　侯晓琦
河北省康保县气象局
DOI:10.32629/eep.v9i8.3298

[摘　要] 温室气体监测在高寒、风沙以及偏远地区运行时,数据连续性和准确性容易受到供电波动、气候扰动以及设备状态变化的影响。以张家口坝上康保高精度监测站为例,研究先从区域气候条件以及设备运行特性入手,梳理极端环境可能带来的采样不稳、运行中断以及数据偏差问题,再把标准化运维流程、量值溯源以及质量控制体系引入站点管理。智慧运维平台则承担远程监控和预防性维护任务,用于及时发现潜在风险。围绕采样温控、电力保障以及智能预警等环节形成综合解决方案,可为生态屏障区域类似高精度监测站的建设和运行维护提供实践参考。
[关键词] 温室气体监测；运行维护；张家口坝上；质量控制；康保站
中图分类号：X16　**文献标识码**：A

Analysis on the operation and maintenance guarantee of high-precision greenhouse gas monitoring station in Bashang area of Zhangjiakou

Lefei Zhang　Yujian Ge　Hanshu Sun　Leilei Zhang　Xiaoqi Hou
Kangbao County Meteorological Bureau, Hebei Province

[Abstract] To address the impact of cold, wind and sand, and unstable electricity in remote areas on greenhouse gas monitoring, the study takes the high-precision monitoring station in Zhangjiakou Bashang Kangbao as an example, analyzing regional climate and equipment operation characteristics, establishing standardized operation and maintenance procedures, measurement traceability, and quality control systems, and combining them with an intelligent operation and maintenance platform to achieve remote monitoring and preventive maintenance. The study analyzes the potential threats of extreme environments to data continuity and accuracy, and proposes comprehensive solutions such as sample temperature control, power supply assurance, and intelligent early warning, providing practical reference for high-precision monitoring in similar ecological barrier areas.
[Key words] Greenhouse gas monitoring; Operation and maintenance; Zhangjiakou Bashang; Quality control; Kangbao Station

引言

在国家落实“双碳”战略与京津冀生态功能区建设的背景下,张家口坝上地区作为重要的生态屏障,其温室气体本底监测对于评估区域碳循环、支撑减排决策至关重要[1]。本文以坝上地区的康保高精度温室气体监测站为研究对象,依据区域气候规律与设备运行机理,深入探讨克服低温强风、电力波动等不利因素的运维策略[2]。通过整合标准化管理流程、严格的质量控制与创新的工程技术措施,旨在建立一套科学完备的运维保障方案,以强化监测系统在复杂生境下的可靠性与数据产出精度,为区域气候变化研究和政府决策提供科学依据。

1 环境特征与监测站概况

1.1地理与气候特征

张家口坝上地区位于内蒙古高原南缘与冀北山地过渡地带,海拔1300－1600m,地形开阔、地势平缓,属温带大陆性季风气候,高寒、干旱、多风。冬季漫长,极端最低气温可低于-35℃,积雪覆盖约五个月[3]。年平均风速高,春季常有沙尘天气。独特下垫面与大气环流,使该区成为华北重要生态屏障和碳汇研究关键区域。大气垂直廓线变化明显,背景大气受人为干扰较少,有利于高精度温室气体观测。但剧烈温差与复杂边界层对局地小气候影响显著,监测设施需具备耐候性与物理防护能力。

1.2监测站功能定位与系统构成

康保国家基本气象站(温室气体站)于2024年建成试运行,2026年正式业务准入。其核心功能是对CO_2、CH_4等温室气体浓度进行长期、连续、高精度监测,同时记录三维风速、辐射及土壤温湿度,阐明气体浓度与气象因子的耦合关系[4]。作为区域碳监测网络节点,站点校验卫星遥感数据,支撑碳收支核算及生态屏障固

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

碳评估,为减排策略和生态补偿提供数据支撑[5]。系统采用国产TQE1型分析仪,构成包括样气采集与处理、样气选择、多级标气、CRDS测量及数据采集处理单元,符合《高精度温室气体浓度观测系统规范化建设与验收技术方案》,并对标WMO/GAW标准,实现国际可比高精度观测[6]。

2 坝上地区高精度监测站运维挑战

张家口坝上地区独特的地理环境与自然条件,为高精度温室气体监测站的运维带来了多重严峻挑战：

第一,极端低温损害硬件。冬季气温常低于-35℃,极易导致采样管路结冰堵塞并引发光学监测元件基线漂移,严重威胁观测精度。

第二,强风沙尘干扰机械。春季强风沙尘会加速过滤器的损耗与堵塞,其引发的采样塔震动还会产生信号噪声,干扰对微量气体的精密解析[7]。

第三,电力与网络保障困难。偏远站址处于电网末梢,电压波动易损精密元器件,网络不稳定则会导致观测数据回传中断,影响远程监控的实时性。

第四,标气运输环节对环境稳定性要求较高,偏远地区物流周期较长,途中温差变化也较大,量值传递连续性因此受到影响。

第五,基层站务人员多承担兼职任务,对设备原理理解不深,遇到复杂故障时难以独立开展处置工作,运维响应容易受厂家远程支持限制。

3 高精度温室气体监测站运维保障体系建设

针对上述挑战,结合中国气象局相关业务规范(如《大气本底观测业务管理规定》、《高精度温室气体观测站业务运行准入技术要求》)及康保站实际运行经验,构建如下运维保障体系。

3.1构建全生命周期的标准化运行维护规程

针对坝上地区极端环境带来的设备稳定性问题,康保站把监测设备从投入运行到维护核查的全过程纳入统一规程,并将日常工作划分为“日监视、周巡检、月维护、年核查”四级责任体系。现场运维不只依靠人工巡查完成,还借助“天元”信息化平台开展记录留存、异常跟踪以及闭环处置工作,使设备状态变化、维护过程以及核查结果能够持续衔接[8]。

日监视需围绕分析仪压力、温度、水汽、采样泵以及报警状态开展每日核对,并记录标气压力,把系统时间偏差控制在1分钟以内,异常情况需马上上报。周巡检主要复核运行参数,检查气路密封性,清洁风扇过滤网,同时查看站房温湿度、消防等环境条件。月维护需开展全气路检漏,清洁或更换各级过滤器,检查空压机状态,并完成原始数据备份以及标气消耗统计[9]。年核查则进行线性、重复性、漂移等系统性能测试,清理设备内部灰尘,并对采样泵等关键部件开展预防性维护或更换。

3.2量值溯源与全过程质量控制体系

康保站将量值传递以及质量控制作为温室气体高精度监测的数据保障重点,站内同时运行高、低浓度日常工作标气以及目标标气,形成“双标气”模式。所有标气均需溯源至国家气象计量站,并对标WMO/GAW等国际通用标准,以保证观测结果具备统一量值基础。标气管理环节设置压力预警,气瓶压力低于500 psi时马上启动更换流程,旧瓶返校后再开展二次标定,减少量值链条中断风险。自动化校准依靠数据采集软件每隔6小时执行一次校准序列,并凭借实时监测结果对观测数据进行动态订正。数据质控依托“天衡”等业务平台开展自动监控以及异常逻辑检查,同时结合人工审核标记,识别并剔除受环境波动或设备维护影响的异常值[10]。这一闭环流程可保持站点数据连续性,并提高其国际可比性,为区域碳收支核算提供数据支撑。

3.3智慧运维平台与信息化技术

康保站把“天元”智慧运维平台作为运行管理支撑,将监测数据和设备状态一并纳入平台监测。平台依靠历史运行数据以及报警频率开展故障判别,发现性能下滑信号后,马上组织备件储备和应急预案编制。面对复杂故障,台站人员可凭借高清视频或增强现实技术接受专家远程指导,并把国家、省级以及台站力量连接起来,形成“国-省-台”三级联动机制[11]。站房环境调控也纳入信息化管理范围,如根据室外气温变化对采样管线加热功率进行自动调节。

4 康保站运维保障实践案例分析

4.1案例背景与设备概况

康保国家基本气象站(区站号:53392)作为河北省省级温室气体监测站,是张家口市首个高精度温室气体观测站。其核心设备为HY型(TQE1)高精度温室气体分析仪(序列号:507P245000E),观测要素为CO_2和CH_4。系统配备三级除水装置和双工作标气(高、低浓度)及目标标气。自2024年业务试运行以来,系统运行总体稳定。

4.2主被动协同温控策略

采样管线采用25mm厚高密度闭孔橡塑管与0.1mm工业级铝箔构成基础隔热层,管壁螺旋缠绕节距为18cm的自限温电伴热带。系统通过集成控制模块与热敏电阻,将采样管加热区间锁定在35℃至45℃。当气温降至-30℃以下时,伴热带利用PTC特性自动调节输出功率,确保样气流经10米塔架时始终高于露点温度,管路连接处辅以聚氨酯发泡密封以消除冷桥效应。在线监控平台每秒提取光腔压力(Cavity Pressure)与比例阀开度(VP Valve)参数。当压力持续低于139.5 Torr或开度异常超过阈值15%时,算法自动触发脉冲增温模式以消除冰堵初兆。系统同步对比样气水汽(H2O)含量与光腔温度的关联性,精准识别管路结露,并在判定积水时激活前端排水装置的强制排放流程,实现极寒环境下的热力自修复。

4.3强风沙与不稳定电力供应的系统性防护

在沙尘频发的春季与雷雨交加的夏季,运维重点向供电稳定性与抗物理干扰领域倾斜。监测站配备了续航能力达2小时以上的大容量在线式UPS及多级防雷系统,能够有效缓冲偏远电网频繁出现的电压波动及瞬时断电风险,保护精密电子元器件免受电涌损害。针对春季强风沙尘,台站制定了动态维护计划,通过加密采样口过滤器更换频率,并结合智慧质控算法进行数据

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

清洗，利用相关性分析精准区分气象因子引起的天然浓度波动与设备进气受阻引发的故障信号。2026年一季度运行报告显示，康保站CO_2与CH_4数据获取率达100%，准确率高达99.99%，实现期间“零故障”及100%稳定运行。这一成效充分验证了综合防护体系在提升数据连续性与可靠性方面的关键作用，确保特殊天气下观测数据的科学性。

4.4案例实施成效评估与运维保障价值

康保站在标准化运维以及综合保障体系运行后，面对坝上地区极端气候时，站点运行稳定性得到进一步增强。数据获取率、数据正确率以及稳定运行率等关键指标，经定量评估后均高于《业务准入技术要求》中的行业标准。日常任务固化、巡检维护细化以及平台记录连续推进，使台站逐步摆脱单纯依赖故障后处置的模式，转向以预防管理为主的运行方式，平均故障修复时间较常规站点缩短35%以上。严格执行标气管理以及量值溯源流程后，每组观测数据均可追溯至国际标准，也为区域碳源汇核算、政策订正以及全球碳监测网络数据交互提供支撑。该案例说明，把制度标准化、技术信息化以及保障系统化纳入统一运维体系，是生态屏障区高精度监测建设以及“双碳”战略落实的重要支撑路径。

5 结语

研究选取张家口坝上地区康保高精度温室气体监测站开展分析，重点关注极端气候条件下监测系统运行中容易出现的稳定性、保障性以及数据质量问题，并将标准化管理、质量控制以及智慧化平台共同纳入运维保障框架。采样温控、电力保障以及数据质控等措施落地后，监测站运行稳定性和数据质量得到改善，也为高海拔、高寒地区开展温室气体监测运维提供了可借鉴的方案。

后续还需继续开展观测人员专业培训，特别是加强其对设备原理以及数据处理流程的理解；备品备件储备管理也应进一步优化，以缩短故障修复时间。同时，可把人工智能技术用于故障早期预警以及数据智能审核，并探索数字孪生等远程运维方式，推动监测网络智能化和协同化发展，为“双碳”战略目标落实提供数据支撑。

[参考文献]

[1]羊强,林芹,宋晓东.“双碳”战略背景下温室气体监测策略分析[J].黑龙江环境通报,2026,39(01):125-128.

[2]高明,何畅,宋永臣,等.二氧化碳地质封存三位一体监测技术进展、实践及展望[J].石油学报,2026,47(01):172-197.

[3]黄升,岳一骁,王宏宇,等.高精度手持式SF6气体密度测试仪的研制及应用[J].宁夏电力,2025,(06):73-78+84.

[4]沈玉亮,张昊,曹辉,等.温室气体观测系统进样阀的测试分析[J].分析仪器,2025,(06):132-138.

[5]张京伟.“双碳”目标下温室气体排放环境影响评价的实践与挑战[J].皮革制作与环保科技,2025,6(21):159-161.

[6]周志峰,王耀,王奇,等.河北张家口坝上地区退化林修复碳排放估算[J].西北林学院学报,2023,38(02):250-256.

[7]张媛.环境空气自动监测站SO2分析仪动态校准技术的优化研究[J].标准生活,2025,(06):164-166.

[8]陈清华,曾昊川,林春艳.高精度温室气体观测站的建设及维护经验探讨[J].农业灾害研究,2025,(08):107-109.

[9]沈玉亮,赵旭辉,张昊,等.温室气体观测系统测试与质量评估方法研究[J].成都信息工程大学学报,2026,41(02):253-259.

[10]沈玉亮,胡泽玉,陈菁菁,等.高精度温室气体观测站建设规范编制初探[J].中国标准化,2025,(20):165-171.

[11]赵翠平,金弈,董磊华,等.抽水蓄能电站水库温室气体排放监测与分析[J].水电与抽水蓄能,2025,11(04):46-49+65.

作者简介：

张乐飞(1998--),男,满族,内蒙古自治区乌兰察布市凉城县人,本科,研究方向：温室气体监测。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.