

有毒有害气体检测仪在石油钻井现场中的应用和存在的问题

吴若天

中石化经纬有限公司 河南 郑州 450001

摘要: 本文聚焦有毒有害气体检测仪在石油钻井现场的应用与问题, 阐述了其技术原理与分类, 包括电化学、红外吸收等多种检测技术及固定式、便携式等设备类型。接着说明该检测仪在实时监测预警、指导安全生产决策、环保监测与合规方面的应用。同时指出其应用存在设备故障、检测误差、维护与管理问题。最后提出设备改进升级、误差校准补偿、完善维护管理机制等对策, 助力钻井现场安全生产与环保合规。

关键词: 有毒有害气体; 气体检测仪; 石油钻井; 安全监测

1 有毒有害气体检测仪的技术原理与分类

1.1 检测技术原理

有毒有害气体检测仪的核心技术基于气体物理化学特性, 主流技术包括电化学、红外吸收、催化燃烧及光离子化检测。电化学传感器通过气体与电极、电解质的电化学反应生成电流信号, 电流强度与气体浓度成正比, 适用于硫化氢、一氧化碳等低浓度剧毒气体检测, 具有灵敏度高、响应快 (< 30 秒) 的特点, 但电解质易受温湿度影响 (温度每升高 10°C , 误差增加 5%), 需定期更换 (通常 $3\sim 6$ 个月)。红外吸收技术利用气体对特定波长红外光的吸收特性, 通过测量透射光强衰减计算浓度, 适用于甲烷、二氧化碳等气体检测, 稳定性好 (寿命 > 5 年)、抗氧气干扰, 但设备成本高 (约为电化学式的 $2\sim 3$ 倍), 且对粉尘、水汽敏感, 需配套过滤装置 (维护周期 $1\sim 2$ 周)。催化燃烧技术通过气体在催化剂表面氧化反应释放热量, 导致电阻变化推算浓度, 主要用于甲烷等可燃气体检测, 响应迅速 (< 15 秒)、成本低, 但催化剂易被硫化物、卤素中毒失效, 需避免在含此类气体的环境中使用。光离子化检测技术通过高能紫外线电离气体, 离子流强度与浓度相关, 可检测挥发性有机物及部分有毒气体, 范围广 ($0.1\sim 10000\text{ppm}$), 但对惰性气体无响应, 且紫外线灯强度衰减 (半年后衰减 20%) 需定期校准。

1.2 设备分类与特点

有毒有害气体检测仪按安装方式分为固定式与便携式, 按检测气体数量分为单一气体与多气体复合检测仪。固定式检测仪安装于井口、泥浆池等关键区域, 采用壁挂或支架式设计, 支持 24 小时连续监测, 可与报警装置、控制系统联动 (超标时触发声光报警并上传数据至监控中心), 优势在于监测范围固定、稳定性强 (故

障率 $< 1\%$), 但灵活性差 (无法移动), 安装受设备布局、供电条件限制 (狭窄区域覆盖困难)。便携式检测仪体积小 (如腕戴式、腰挂式)、重量轻 ($< 500\text{g}$), 适合移动监测, 实时显示浓度并具备声光震动三重报警, 部分设备集成跌倒报警、低电量提醒功能, 但续航有限 (通常 $8\sim 12$ 小时), 检测量程与精度受体积限制 (部分仅支持 $1\sim 2$ 种气体检测)。单一气体检测仪针对特定气体 (如硫化氢), 精度高 (误差 $\pm 3\%$)、成本低, 但功能单一 (多气体场景需多台设备)。多气体复合检测仪可同时检测 $2\sim 6$ 种气体 (覆盖硫化氢、甲烷等), 集成度高、携带方便, 但交叉干扰可能导致检测偏差 (高浓度混合气体中误差达 $\pm 10\%$), 且设备价格高 (为单一式的 $1.5\sim 2$ 倍)、维护复杂^[1]。

2 有毒有害气体检测仪在石油钻井现场的应用

2.1 实时监测与预警

在石油钻井现场, 有毒有害气体检测仪的核心应用之一是实时监测与预警, 通过对关键区域气体浓度的持续监控, 及时发现气体泄漏、积聚等风险, 避免安全事故发生。井口及钻台区域是气体泄漏的高发区, 地层气体可能随钻井液溢出, 或因井涌、井喷前兆释放, 此处部署的固定式多气体检测仪可实时采集硫化氢、甲烷等气体浓度数据, 一旦浓度达到预设报警阈值, 立即启动现场声光报警, 同时将信号传输至钻井控制室, 提醒工作人员采取应急措施。作业人员随身携带的便携式检测仪则能实现个人周边环境的实时监测, 当人员进入钻台下方、泥浆池附近等潜在危险区域时, 若气体浓度突然升高, 检测仪通过震动、语音报警等方式及时警示, 帮助人员快速撤离。在钻井液循环系统周边, 如振动筛、除气器附近, 检测仪可实时监测钻井液分解或地层侵入

释放的气体，当检测到气体浓度异常时，提前预警钻井液气侵问题，为现场调整钻井参数、启动除气设备争取时间，有效防止气体在循环系统积聚引发爆炸、火灾等事故，保障钻井作业连续安全进行。

2.2 指导安全生产决策

有毒有害气体检测仪采集的实时数据与历史数据，为石油钻井现场安全生产决策提供重要依据，帮助管理人员科学调整作业流程、优化资源配置，降低安全风险。在钻井参数调整方面，当检测仪监测到井口甲烷浓度持续上升，可能表明地层气体侵入量增加，管理人员可依据这一数据，决策提高钻井液密度，增强钻井液对地层的压力控制，防止气体进一步侵入；若检测到硫化氢浓度异常，可判断钻井液脱硫剂用量不足，及时增加脱硫剂添加量，减少硫化氢释放。在作业人员调度与防护措施制定上，根据不同区域检测仪反馈的气体浓度分布情况，可合理安排人员作业范围，将高浓度气体区域的作业时间压缩，或配备更高级别的防护装备；同时，结合历史检测数据，分析不同钻井阶段气体浓度变化规律，如钻进至特定深度时易出现气体浓度峰值，提前制定针对性防护预案，调整作业节奏。在设备运行管理方面，若检测仪数据显示某区域气体浓度反复超标，可能提示该区域设备存在密封泄漏问题，管理人员可决策对相关设备进行检修维护，避免因设备故障导致气体泄漏风险加剧，通过数据驱动的决策方式，使钻井现场安全生产更具科学性与针对性^[2]。

2.3 环保监测与合规

随着环保法规对石油行业要求日益严格，有毒有害气体检测仪在钻井现场的环保监测与合规方面发挥着关键作用，助力企业满足环保标准，减少对周边环境的影响。在气体排放监测上，检测仪可实时监测钻井作业中向大气排放的硫化氢、二氧化硫等有毒有害气体浓度，确保排放值符合国家《石油天然气工业污染物排放标准》等法规要求，若检测到排放浓度接近限值，及时调整作业工艺，如优化钻井液配方、加强尾气处理设备运行，避免超标排放面临处罚。在周边环境影响监测方面，部分钻井现场靠近居民区或生态敏感区，检测仪可部署在钻井现场边界区域，定期监测周边空气中有毒有害气体浓度，记录监测数据并形成报告，作为企业履行环保责任、向监管部门报备的依据，防止气体扩散对周边居民健康、动植物生存造成危害。在钻井作业结束后，检测仪可用于井场遗留气体监测，确保场地内有毒有害气体浓度降至安全标准以下，方可进行场地恢复作业，避免遗留气体对后续场地使用及环境造成长期影

响，帮助企业在安全生产的同时，实现环保合规运营，树立良好的行业形象。

3 有毒有害气体检测仪在石油钻井现场应用存在的问题

3.1 设备故障问题

石油钻井现场恶劣环境导致有毒有害气体检测仪故障频发，影响监测可靠性。高温是主要诱因，夏季钻台温度常超40℃，内部电子元件、传感器性能衰减，甚至引发电路短路，导致设备死机或数据中断。沿海及潮湿地区水汽渗入设备，腐蚀电路板和传感器电极，降低灵敏度并缩短寿命。强振动导致内部接线松动、部件脱落，如便携式检测仪显示屏因振动裂痕，固定式安装支架移位，无法准确监测。另外，现场粉尘堵塞进气口和过滤装置，导致数据失真；油气附着传感器表面，引发化学反应，导致催化剂中毒失效（如催化燃烧式传感器活性下降），增加维修成本并引发安全隐患。

3.2 检测误差问题

检测仪在钻井现场易受环境干扰产生误差，影响风险判断。粉尘覆盖电化学传感器表面，阻碍气体接触电解质，导致检测值偏低；水汽进入红外系统吸收红外线，干扰信号，使甲烷检测结果偏高。交叉气体干扰显著，如硫化氢检测仪在二氧化硫环境中因电极反应产生偏差；催化燃烧式检测仪检测甲烷时，氢气参与反应导致结果虚高。设备自身因素包括传感器老化（灵敏度下降）、校准周期过长或操作不规范（如未用标准气体标定），导致测量基准偏移。误差可能使工作人员误判风险，轻则影响效率，重则引发安全事故^[3]。

3.3 维护与管理问题

钻井现场检测仪维护与管理存在诸多漏洞，导致设备性能下降。校准与检定不规范，部分团队未按说明书及标准周期校准（如电化学传感器校准周期延长至1年以上），或仅用简单对比替代标准气体标定，使设备“带病工作”。维护保养不足，缺乏专业人员，故障后仅能临时更换设备，增加成本；日常维护未针对现场特点（如未清理进气口粉尘、检查防水密封），导致故障频发；便携式检测仪电池充放电不当，容量衰减快。人员操作问题突出，作业人员不熟悉流程（如报警阈值错误、数据记录不规范），安全意识薄弱（未佩戴设备或报警后未撤离）。同时，设备管理制度缺失，采购、使用、报废全流程缺乏跟踪，台账混乱，难以实现精细化管理。

4 解决有毒有害气体检测仪应用问题的对策

4.1 设备改进与升级

针对石油钻井现场设备故障问题，需从设备设计、

材质选择、结构优化等方面进行改进与升级,提升检测仪对恶劣环境的适应性。在耐高温、抗高湿设计上,采用耐高温电子元件与传感器,如选择工作温度范围为-40℃至70℃的工业级芯片,确保设备在高温环境下稳定运行;对检测仪外壳及接口进行防水密封处理,采用IP67及以上防护等级的外壳材质,防止水汽渗入,同时在设备内部加装除湿模块,降低湿度对元件的影响。为增强抗振动能力,优化设备内部结构,采用防震支架固定传感器、电路板等关键部件,选用耐振动的显示屏与接线端子,减少振动导致的部件松动或损坏;针对便携式检测仪,设计人体工学防震外壳,减轻携带过程中碰撞、振动对设备的影响。另外,改进设备防尘、防油气性能,在进气口加装高效过滤装置,可过滤粉尘、油气等杂质,并设计可拆卸式过滤芯,方便定期更换;对传感器表面进行特殊涂层处理,减少油气附着与化学腐蚀,延长传感器使用寿命,同时开发适用于钻井现场的专用检测仪,集成高温防护、防震、防尘功能,从根本上降低设备故障频率,提升监测可靠性。

4.2 误差校准与补偿技术

为解决检测误差问题,需建立完善的误差校准机制,并引入先进的补偿技术,确保检测仪数据准确。在规范校准流程方面,制定严格的校准制度,明确不同类型检测仪的校准周期,如电化学传感器每3个月校准一次,红外吸收式检测仪每6个月校准一次,采用标准气体进行标定,确保校准过程符合国家计量标准;引入专业校准设备与第三方校准机构,定期对现场检测仪进行检定,对校准不合格的设备及时维修或更换,避免误差累积。针对环境干扰引发的误差,开发环境补偿技术,在检测仪中加入温湿度补偿模块,实时监测环境温湿度变化,通过算法修正温湿度对检测结果的影响;在进气系统中加装粉尘、油气过滤装置,减少杂质对检测元件的干扰,同时在检测软件中加入干扰气体补偿算法,如针对硫化氢检测中二氧化硫的干扰,通过识别二氧化硫特征信号,对检测值进行修正,消除交叉气体影响^[4]。利用数据融合技术,将多台不同类型检测仪在同一区域的检测数据进行对比分析,结合历史数据建立误差修正模型,当某台设备检测数据出现异常偏差时,通过模型自动校准,提升整体检测数据的准确性,为钻井现场安全

决策提供可靠依据。

4.3 完善维护管理机制

完善的维护管理机制对保障有毒有害气体检测仪稳定运行至关重要,需从多方面提升设备管理水平。制度建设上,建立健全设备管理制度,制定检测仪从采购到报废的全流程管理规范,建立详细设备台账,记录型号、采购时间、校准及维修情况等,实现全生命周期跟踪;明确各部门与人员职责,如技术部门负责校准维修,作业班组负责日常使用检查,确保责任到人。定期组织专业培训,邀请厂家技术人员讲解检测仪工作原理、维护及故障排查技巧,提升维护人员专业能力;对作业人员开展操作培训,使其熟练掌握开关机、参数设置、报警处理等流程,强化安全意识教育,强调规范使用设备,定期组织应急演练,提升报警响应与处理能力;流程优化上,制定日常维护清单,要求作业人员每日检查便携式检测仪电量等,每周清理固定式检测仪进气口;建立故障快速响应机制,配备备用设备,故障时及时更换送修,减少监测中断;定期评估设备维护效果,总结问题,持续优化维护方案,确保机制有效运行,发挥检测仪安全监测作用。

结束语

有毒有害气体检测仪在石油钻井现场意义重大,关乎作业安全与环保合规。然而,现场恶劣环境使其应用面临诸多挑战,设备故障、检测误差、维护管理不善等问题亟待解决。通过设备改进与升级、误差校准与补偿技术应用、完善维护管理机制等对策,可有效提升检测仪性能与可靠性。未来,随着技术不断发展,检测仪将更智能、精准、耐用,为石油钻井行业安全生产与可持续发展提供更有力的保障,推动行业迈向更高水平。

参考文献

- [1]慕小军.复合式气体检测仪故障原因及对策研究[J].设备管理与维修,2024(14):116-119.
- [2]葛光辉.精细控压设备在石油钻井现场的应用[J].石油和化工设备,2024,27(10):87-90.
- [3]岳志华.浅析石油钻井现场安全监督与管理策略[J].中国化工贸易,2020(10):40-42.
- [4]赵全,郝龙,徐光,等.基于STM32的便携式有毒气体检测仪设计[J].现代电子技术,2023,46(12):27-31.