

通信人井有毒有害气体防控与施工安全技术研究

李慧勇 许超超

河南省信息咨询设计研究有限公司 河南 郑州 450000

摘要：通信人井作为通信网络的关键节点，因其封闭空间特性易积聚甲烷（CH₄）、硫化氢（H₂S）、一氧化碳（CO）等多种有毒有害气体，严重威胁通信设施安全运行和维护作业人员的人身安全。本文系统分析气体来源、分布规律及危害机制，对比检测技术优劣，提出“精准防控-规范约束-智能救援”三位一体安全体系。通过轻便型三脚架救援装备、通风系统优化及AI预警平台的创新应用，实现事故发生概率降低的目的，为通信基础设施安全运维提供理论依据和技术支撑。

关键词：通信人井；有毒有害气体；有限空间作业；气体检测；智能救援

引言：通信人井承担光缆/电缆布设与维护任务，但其封闭环境易积聚有毒气体。据统计，大多数的人井事故是由气体中毒引发。现有研究集中于单一技术领域，缺乏系统性防控方案。本文融合多源研究成果，从气体特性、检测技术、工程防控及智能装备四维度构建全链条安全保障体系。

1 有毒有害气体特性与分布规律

1.1 有毒有害气体特性及危害

通信人井中的有毒有害气体主要来源于以下几个方面：首先是市政管道泄漏，如污水管道、煤气管道等可能因老化或施工不当发生泄漏，导致硫化氢、一氧化碳等有毒气体进入通信人井。其次是化学反应，井内的积水、金属电缆及其他材料在特定条件下可能发生化学反应，产生有害气体。此外，生物降解也是一个不可忽视的来源，井内的有机物质在厌氧条件下被微生物分解，会释放出甲烷、硫化氢等气体。这些气体不仅对维护人员的健康构成威胁，还可能对通信设备造成损害。

硫化氢（H₂S）常温常压状态下是一种具有强烈臭鸡蛋气味的无色气体，具有极高的毒性。其密度比空气大，约为空气的1.19倍，易溶于水。主要经呼吸道吸收，急性中毒时，局部刺激症状为流泪、眼部烧灼疼痛、剧烈咳嗽等，随着中毒加重，可出现呼吸困难、心慌，甚至抽搐、昏迷、死亡。

一氧化碳（CO）常温常压状态下是一种无色、无味、无刺激性的气体，与空气的密度相近，它难溶于水，与氧气混合后遇明火或高温极易发生爆炸。经呼吸道吸入与排出，轻度中毒可出现头痛、头晕、心悸等症状；中度中毒除上述症状外，尚有步态不稳、意识模糊等；重度中毒者可迅速陷入昏迷，直至死亡。

甲烷（CH₄）常温常压状态下是一种无色无味的气体，密度比空气小，约为空气的0.55倍。甲烷微溶于水，具有可燃性。浓度过高时，使空气中氧含量明显降低，使人窒息。当空气中甲烷含量达到爆炸浓度（5%至16%）时，遇明火可引起剧烈的化学反应，发生爆炸。

二氧化碳（CO₂）常温常压状态下是一种无色无味或无色无臭而其水溶液略有酸味的气体，其密度比空气大，约为空气的1.5倍，可溶于水。高浓度二氧化碳会导致窒息。轻度中毒患者有呼吸困难、头晕等症状；中度中毒患者出现气短、痉挛，甚至意识丧失；重度中毒患者出现痉挛、嗜睡、中枢神经系统抑制和窒息^[1]。

1.2 有毒有害气体特性分布规律

在通信人井空间中，有毒有害气体的分布呈现明显的分层现象。具体来说，硫化氢和二氧化碳由于密度比空气大，通常会聚积在人井的底部；一氧化碳的密度与空气相近，因此一般会在人井的中部区域积聚；而甲烷由于密度比空气小，容易在人井的上部区域积聚。

2 安全检测技术与防控规范

2.1 常见安全检测技术

半导体式气体传感器是利用半导体材料在接触到特定气体时其电阻值发生变化的原理来工作的，常见的有便携泵吸式有毒有害气体检测报警仪。这种传感器成本低廉，响应速度快，可以同时检测一氧化碳、甲烷、氧气、硫化氢、二氧化碳等多种气体浓度值，任一气体浓度超标都会发出声光振动报警，提醒现场作业人员，但在精度和选择性上存在一定的局限性。由于其结构简单、体积小，被广泛应用于家庭和工业气体检测中。

红外线吸收式气体传感器利用不同气体对特定波长的红外线具有吸收特性的原理来工作。这种传感器检测

精度高, 响应速度快, 适用于检测二氧化碳、甲烷等气体。红外线吸收式气体传感器因其高精度和稳定性, 被广泛应用于工业和环境监测中^[2]。

可调谐激光式气体传感器等新兴检测技术, 通过调节激光波长来精确检测特定气体的吸收光谱。这种传感器具有极高的检测精度和选择性, 适用于复杂环境下的气体检测。可调谐激光式气体传感器在气体检测技术中处于领先地位, 被广泛应用于科研和工业领域。

2.2 安全防控规范

2.2.1 作业审批制

通信人井等有限空间作业前, 作业人员应严格落实有限空间作业审批制度, 经审批同意后方可作业, 严禁未经审批擅自进入人井作业。

2.2.2 强制通风

进入通信人井前, 应先将作业部位的人井井盖以及作业部位路由方向上相隔最近的人井井盖打开, 采用手提式轴流风机进行强制通风, 通风时间不得小于30分钟。如通风前, 人井底部存在积水, 应先采用抽水机将底部积水抽干, 然后再进行通风操作。抽水机的排气管不得靠近人井口, 应处在人井口的下风方向。

2.2.3 气体检测

通风结束后, 应使用泵吸式有毒有害气体检测报警仪对人井的上、中、下三个部位分别进行检测, 人井内气体浓度达到检测合格标准后, 方可进入人井作业。任一气体检测值超过接触限值时, 严禁进入人井作业。常见气体的职业接触限值标准如下: 氧气容许浓度19.5%~23.5%, 硫化氢的最低容许浓度10mg/m³, 一氧化碳的时间加权平均容许浓度20mg/m³、短时间接触容许浓度30mg/m³, 甲烷的爆炸极限浓度19.5%~23.5%。

2.2.4 现场安全防护

施工作业现场及人井口应采用安全警示标志(如警示锥、警示带或安全围挡)设立作业区域, 并设置安全警示标识牌, 标识牌摆放方向应与行人及车辆运动方向相同。人井外应设置安全监护人员, 监护人员要严格按照安全操作规范和标准进行现场监督及检查。

进入人井施工作业人员应佩戴安全帽、五点式安全带、个人防中毒窒息面具, 随身佩戴便携式有毒有害气体检测仪。安全带应系安全绳, 安全绳一端应可靠挂扣于安全带背部D型承重挂点, 另一端应与智能三脚架绞盘挂钩相连或由井外监护人员握持。

作业人员配备的正压式呼吸器、防毒面具及防静电服, 避免直接接触有害气体。正压式呼吸器能够在有害气体浓度较高的环境中提供稳定的新鲜空气供应, 适

用于长时间作业或气体泄漏紧急情况; 防毒面具主要用于过滤空气中的有毒物质, 适用于短时间、高浓度气体暴露场景; 防静电服则能防止静电积累, 避免在易燃易爆环境中引发火灾或爆炸。这些防护用品可以有效地保护作业人员免受有害气体的侵害, 确保作业过程中的安全。

作业人员应使用绝缘梯或智能三脚架进入人井, 严禁通过蹬踩光(电)缆托板的方式进入。作业人员使用照明灯具的, 应选用36V安全电压的防爆照明灯具, 如人井内部潮湿时, 应选用12V安全电压的防爆照明灯具。

井下作业人员应随时关注随身佩戴的便携式有毒有害气体检测仪检测数值, 如数值临近有毒有害气体的职业接触限值90%, 应当立即撤离人井, 并采取强制通风, 待重新检测合格后方可进入。

井外监护人员应每隔30分钟按气体检测要求进行检测, 如检测数据临近有毒有害气体的职业接触限值90%, 应立即通知井下作业人员, 通过智能三脚架或绝缘梯进行撤离。

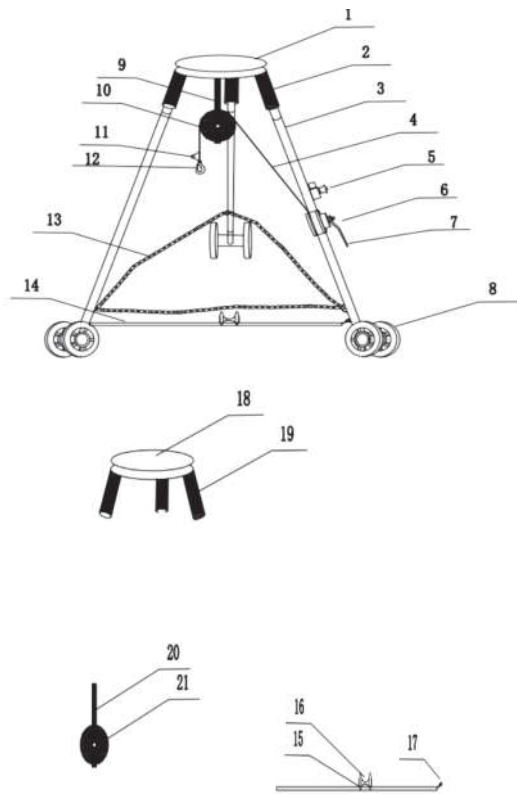
2.2.5 教育培训及演练

在进行通信人井等有限空间作业前, 项目经理应组织项目所有人员进行系统性的安全教育培训。培训内容应涵盖有限空间的定义、分类、危险因素、有毒有害气体的特征、个人安全防护的规范、事故应急救援措施等。所有人员必须通过考核后方可上岗作业, 确保作业安全。同时针对有限空间中毒窒息事故, 组织现场应急演练活动, 清晰界定演练人员的具体职责, 以增强其在实际应急情况下的处置能力和反应速度^[3]。

3 创新安全技术

3.1 轻便型智能救援三脚架系统

针对通信人井智能安全救援装置缺失的现状, 提出一种基于集监测、报警、通信和救援功能于一体的轻便型智能救援三脚架系统。核心原理在于通过实时监测、快速响应和冗余保障机制, 解决传统救援效率低、二次风险高的问题。三脚架采用高强度钢材, 支腿设计为可伸缩调节式, 收缩后可放入车辆后备箱。装置集成动态感应监测模块, 实时感知施工环境危险; 当检测到异常(人员摔倒、长期静止未动、有害气体超标)时, 系统自动触发报警装置, 通过无线模块启动声光报警器和语音警报器并及时提醒井外监护人员, 第一时间通过手动绞盘, 井上监护人员可直接操作手摇绞盘配合滑轮组实施救援。救援带或挂钩用于固定被困人员, 通过滑轮组提升至井口, 减少救援难度, 大幅提升施工安全性。



智能三脚架的结构如图所示：1、顶盘机构，2、无缝钢套装，3、三角支架，4、钢丝绳，5、报警装置，6、手摇绞盘，7、摇柄手柄，8、三脚架轮子，9、吊挂装置，10、滑轮组，11、人体红外移动传感器，12、手动挂钩，13、防滑铁链，14、放缆装置，15、滑轮固定装置，16、放缆滑轮，17、固定挂钩，18、圆顶盘，19、无缝钢，20、吊挂钢管，21、滑轮组等组成。

3.2 自适应通风技术

在通风技术方面，创新地设计了一种自适应通风系统。该系统能够根据通信人井内的实时气体浓度、温度、湿度等参数，自动调节通风设备的运行状态，实现通风量的精准控制。通过建立气体流动模型和优化控制算法，使通风系统能够快速响应人井内环境的变化，提高了通风效率和效果。与传统通风系统相比，这种自适应通风系统能够更好地适应通信人井内复杂多变的环境，降低了能源消耗，同时提高了作业人员的安全性。

3.3 智能监测网络

智能监测网络是将多个智能传感器通过无线网络连接起来，形成一个分布式的检测系统，构建AI智能监控平台。这些智能传感器可以实时采集通信人井内的气体浓度、温度、湿度等信息，并通过无线通信技术将数据传输到监控中心。监控中心利用大数据分析和人工智能

算法对传感器采集的数据进行处理和分析，实现对有毒有害气体的实时监测、预警和定位。智能传感器网络中的传感器可以根据实际需求进行灵活部署，能够覆盖通信人井的各个角落，实现全方位的检测，实现了对通信人井的智能化、信息化管理，有效提高了安全管理水平和工作效率。通过对大量传感器数据的分析，可以准确地判断气体的来源、扩散路径和浓度变化趋势，为采取有效的防护措施提供科学依据。

4 通信人井安全防控的未来展望

4.1 分布式光传感技术

光纤不再限于通信，而是植入人井壁或管线，实时感知振动、温度、气体浓度、应力变化。在通信人井内部署永久式光纤，同步监测人井完整性、压力、气体浓度、温度及声波信号，精度达厘米级，一旦管线泄漏、有毒有害气体超标或外力破坏，可秒级定位坐标。光纤传感器采用耐低温、抗化学腐蚀封装，寿命长，适合污水、通信人井、燃气等环境。

4.2 技术融合深化

推进5G与北斗系统的融合定位技术，以提高复杂地下空间的定位精确度；普及虚拟现实（VR）技术在实训中的应用，增强作业人员对风险的警觉性；研发仿生机器人以替代人工执行高危井下作业；运用数字孪生技术构建井下安全的动态模型，实现风险模拟与应急预案的演练。

结束语

通信人井施工安全正经历从“被动响应”向“主动预防”、从“人工管控”向“智能防控”的深刻转型。当前创新实践已初步构建起监测-预警-防护-救援的全链条技术体系：光纤传感与磁通信突破环境限制，无人机基站实现“三断”场景下的应急覆盖，智能胸针与可穿戴设备保障个体安全的普及应用，将为通信人井的安全运行提供更加坚实的保障，推动通信行业的安全、稳定发展。

参考文献

- [1]元梁造.有限空间作业安全管理分析[J].低碳世界,2024,14(12):187-189. DOI:10.3969/j.issn.2095-2066.2024.12.063.
- [2]杨寅.有限空间作业危险源分析及管控优化[J].管理学家,2025(9):7-9.
- [3]冯卫星.浅析有限空间的危害因素及防控措施[J].中国有色金属,2017,(8).62-63.DOI:10.3969/j.issn.1673-3894.2017.08.030.