

基于5G+AIOT的铁路供电段有限空间作业安全监测系统

吕斌 陈亮

中国铁路上海局集团有限公司杭州供电段

摘要：电能是保证铁路正常运行的基础，供电段有限空间内施工作业中可能存在一定的安全风险隐患，通过应用作业安全监测系统有助于提高供电作业可靠性，为此，本文重点探讨以5G+AIOT为基础的铁路供电段的作业安全监测方式。

关键词：铁路供电段有限空间；5G+AIOT；边缘计算；安全监控

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.14.080

一、引言

有限空间作业因涉及行业领域广泛、地点形式多样作业环境复杂和事故救援难度大等特点作业风险较高。一旦麻痹大意或防范措施不到位，极易发生缺氧窒息中毒和燃爆等事故，造成严重后果¹。据统计近几年我国有限空间作业较大事故平均每年发生36起、死亡126人，安全生产总体态势为较大事故下降不明显、一般事故接连不断，有限空间作业安全生产形势不容乐观。

国内外对有限作业都有着自己的安全法规标准，国外标准普遍比较重视作业人员的培训和经验，对承担重要职责的人员提出资格要求，同时国外对作业前的风险评估也非常重视，大多法规在风险评估方面设置独立条款，对风险评估的实施人员、实施方法等进行详细规定；国外对应急救援的规定也更为具体，部分标准给出较为详细的事故应急救援指导性建议。我国内地也制定了相应的法规和各层级的技术标准，但是缺少指导全行业、全领域、全类型有限空间作业安全的专项法规和国家标准，现行标准部分技术内容也有修订需要。

无论是指定法规还是国家、地方标准或是企业规章，最终都要通过人员执行达到有效杜绝事故的目的。比如有限空间作业前设置警示标志，警示作业人员，防止无关人员进入，严格遵守“先通风、再检测、后作业”的原则，在对有限空间采取通风措施后，对有限空间氧浓度、易燃易爆物质浓度、有毒有害气体浓度等指标进行检测等。如何从人盯人的安全管理和靠经验的准备措施逐步演进到自动化的监督安全行为和作业环境，才是需要研究的科学模式。

二、铁路建设和发展需求

电缆井、集油井、电缆夹层、电力管廊等有限空间是供电段检修作业重要场所，及时有效的运检和抢修对铁路正常运转的安全性、稳定性极为重要。

有限空间作业具有高危作业属性，所以针对上述场景内的设备维修维护、日常巡检管理，除了需要具备健

全的管理组织和有效的运营策略外，智慧化的安全、环境监测和管理手段也必不可少。

三、系统设计原则

（一）数据采集实时化原则

供电段有限空间分布广泛，通信资源匮乏，缺少传统的数据采集及上传手段。通过多形态物联网传感器实时采集井内环境数据，并通过5G/4G或内网实时上传给作业安全管理平台是本系统的一大设计原则。

（二）告警信息本地输出原则

无论采用哪种形态的网络，都有可能出现网络阻塞、延迟等问题，但作业安全不能完全依赖网络，所以需采用本地输出告警信息的原则，即采用边缘计算的方式对超过阈值及违规行为发生情况进行告警提醒，即使在脱网状态下，系统仍可通过本地判断逻辑对危险情况进行研判和告警输出。

四、系统架构

供电段有限空间作业安全监测系统采用了电力人工智能（AI）、物联网（IOT）以及边缘计算等前沿技术，通过一套设备提供环境监测、作业行为监测、智能分析、策略调用、通信融合等众多能力，集成多种传统设备的能力，算力、物联、存储、反控、接入等功能。主设备一体化网关需支持Docker容器技术、支持APP安装应用，本身既是服务平台，并具备完善的南北向接口，可对铁路上层平台传送核心数据，可级联多个作业空间、不同地理位置的项目。配合结构化数据的归属配置，为大数据分析提供底层基础。

该系统包括有限空间内的边缘计算网关、各类传感器和摄像头、人员穿戴式设备等。通过公网或内网向安全作业平台发送数据，安全作业平台通过接口与上层管理平台或第三方平台对接，系统网络拓扑图如下（部分传感器为可选型号，根据项目要求配置）：

五、AIoT边缘计算网关设计

（1）配置参数：

CPU：4核1.8GHz

内存：2GB DDR4/8GB Flash

系统：Ubuntu-18.04操作系统

网口：1个10G光口，4个千兆RJ45

串口：2个RS232，4个RS485接口 2个RS485/RS422

复用接口

USB：USB3.0 1个

尺寸：446mm*181*44mm

AI算力：标配2Tpos



网络架构图

(2) AI识别功能

人脸、安全帽、入侵、电子围栏、吸烟、打电话、在岗、脱岗等
 开关面板状态、馈线柜（仅高配版提供）
 红绿灯状态识别、小动物识别等（仅高配版提供）。

(3) 接入能力

- 支持5G NAS\SA网络
- 支持无线专网
- 支持WIFI 6 网络
- 支持边缘计算框架
- 支持铁路和电力加密卡
- 支持Docker容器技术、支持APP安装应用
- 支持MQTT、Modbus、内网穿透等小程
- 支持103、104、61850、28181等规约
- 支持有线传感器通过Modbus TCP Modbus RTU协议接入

接入

预留微功率无线接口，支持lora、WIFI、蓝牙等无线传感器接入

警设备联动。比如当气体传感器检测到二氧化碳浓度过高，超过安全作业阈值时，通过边缘网关自动控制打开有限空间内排风设备，进行换气动作，从而降低空间内二氧化碳浓度，直到达到安全阈值以下后，再由网关控制关闭风机。

此类系统联动及反控设计，可即时解决环境异常问题，减少人为干预的工作量，且无须长时间开启环控类设备，在确保安全的前提下实现低碳低排放的效果。

七、显示系统

显示系统主要包括手持终端设备、传感器显示屏、声光告警器、平台登录电脑等。

(一) 手持终端设备

通过主设备边缘计算网关的wifi网络接入，直接登录网关内本地平台，获取传感器上传数据及历史告警数据。

(二) 传感器显示屏

多种智能传感器带有LED显示屏，实时显示当前环境参数，巡检人员和维修人员可直接通过传感器自带显示屏进行当前环境状态判断。

(三) 声光告警器

声光告警器通过485接口接收网关发出的告警指令，一般安装在井上开放空间或者附近有人值守的值班室。对井内异常数据进行不同类型声光告警输出。

(四) 平台告警输出

通过本地wifi接入或远程网络接入，访问有限空间安全监测平台系统，通过不同岗位授权的登录账号，可查阅不同功能菜单。有告警数据可通过弹窗、首页滚动通知等输出。

八、与其他有限空间监测技术对比

(一) 人员便携式有限空间作业监测

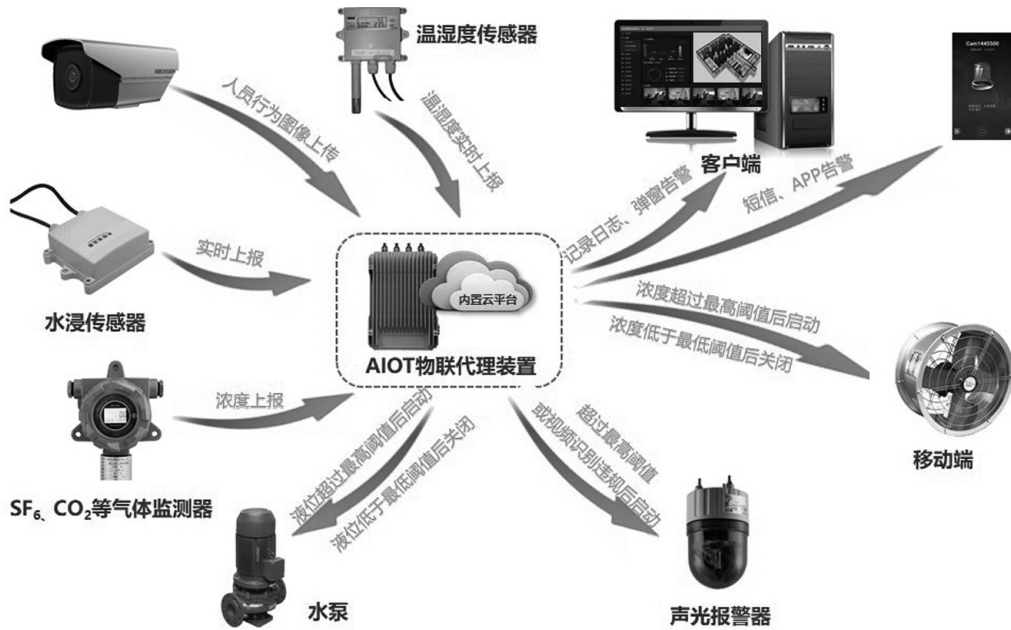
作业人员佩戴1台防爆移动作业监控终端（无线自组网传输）和1台便携式气体检测仪，监护人手持1台防爆移动作业监控终端（无线自组网传输和4G传输），可



边缘计算网关（室外融合型）

六、系统联动及反控

系统通过主设备多样性的通信接口及传输协议，可与现场水泵、风机、报警器、空调等多种环境调节及告



系统输联动及反控

在狭窄有限空间作业现场的气体监测、监控、预警等功能。

该技术本地传输组网采用无线自组网mesh通信技术、远程传输可选用4G或5G。解决方案中所使用的硬件设备，均具有无线传输、电池供电、防爆、携带方便、布设快捷等特点。但主要目的在于作业期间通过人员携带的设备进行通信和环境监测，没法实现人员进入前的环境监测。

(二) 可穿戴式智能感知装置

在传统电网作业场景中的有毒有害气体报警传感器应用于变电，配电有限作业空间中，由于设备的环境条件较为苛刻，传感器的响应能力，设备的稳定性会受到影响，进一步会给电力企业带来不可估量的损失，针对这种情而设计的可穿戴式智能感知装置用于测量电网有限空间环境数据，主控内核单片机与主采集模块多合一传感器模组共同实现对现场作业环境数据实时采集和处理分析，并通过蓝牙无线通信模块将信号传输至上位机和手机APP，实现对超阈值数据及时报警，有效保障作业人员的生命安全。

该方案的特点在于可穿戴式，但是整个系统依赖网络，将人员生命体征及环境传感数据上传至上位机才可进行危险情况判断，一旦遇到网络阻塞等特殊情况下，极有可能出现告警提示输出不及时，产生不必要的危险。

结论

铁路供电段的电缆井、管廊等是有限空间的典型场景，具有距离长、分布广、结构复杂、消防要求高、设备量巨大且密集等特点，管线深埋地下，事故频发，救援不易展开，往往会造成重大经济损失与人员伤亡，威胁铁路系统的正常运转。

基于5G+AIOT的铁路供电段有限空间作业安全监测

系统，实现有限空间作业过程的全过程安全监测。产品集成种类丰富的感知设备，在5G-AIoT核心模组的支撑下，实现环境监测、作业监管、安全操作、排险控制等有限空间作业安全生产中的核心问题。系统集成软硬件设备，业务逻辑实现线上线下协同，配以可穿戴模块，有效实现危险源预警、设备状态监测、人员行为管理等子系统间的互联互通；产品提供在线制定智能联动策略、设备巡检与智能维护等核心业务的开放接口，可与应用场景中的业务控制平台融合，释放自研核心模块的边缘计算能力，可用于各种有限空间作业中人员行为合规、环境及设备参数即时评判，告警管理的需求，对复杂设备、状态读取等图像信息，本系统亦可借助边缘设备AI功能实现本地图像分析处理并上传识别信息，大幅提升有限空间生产安全系数。

参考文献

[1] 韩猛. 高速铁路供电安全检测监测系统应用研究[J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2022, 34(1): 1-3.
 [2] 地下有限空间作业安全技术规范[J]. 安全, 2012, 33(9): 53-57, 59.
 [3] 王伟凡, 李艳龙, 杨志鹏, 等. 高速铁路供电安全检测监测系统检查评定方法研究[J]. 电气化铁道, 2020, 31(z2): 81-86.

作者简介:

吕钺; 吕钺, 1983年7月, 男, 汉族, 浙江省杭州市人, 中级职称, 本科学历, 主要负责研究铁路供电安全管理工作。

陈亮, 1983年9月, 男, 汉族, 湖北省武汉市新洲区人, 中级职称, 本科学历, 主要研究无线通信技术在产品中的应用。