

石油化工行业一种受限空间作业全方位数字化安全管理研究

叶卫民

中石化九江石化分公司, 江西 九江 332099

[摘要] 为了系统性地解决受限空间作业的全过程安全管控, 特别是作业现场安全管控问题, 探讨建立了包含信息化作业现场过程管控的实时气体分析、作业行为分析、作业人员生命体征监测、数据传输等模块, 解决受限空间气体分析不到位、监管不到位等系列问题, 提升管控力度、救援能力。

[关键词] 安全科学技术; 受限空间作业; 特殊作业; 4G/5G

DOI: 10.33142/sca.v7i7.12766

中图分类号: TQ086

文献标识码: A

Research on Comprehensive Digital Safety Management for Restricted Space Operation in the Petrochemical Industry

YE Weimin

Sinopec Jiujiang Company, Jiujiang, Jiangxi, 332099, China

Abstract: In order to systematically address the entire process safety control of confined space operations, especially the safety control issues at work sites, this study explores the establishment of real-time gas analysis, operation behavior analysis, monitoring of vital signs of operators, data transmission and other modules that include information technology operation site process control. This solves a series of problems such as inadequate gas analysis and supervision in confined space, and enhances control and rescue capabilities.

Keywords: safety science and technology; working in confined spaces; special assignments; 4G/5G

1 石化行业受限空间作业的安全风险

1.1 石化行业受限空间作业具有高度安全危险性

按照《危险化学品特殊作业安全规范 GB 30871—2022》定义, 受限空间指进出受限, 通风不良, 可能存在易燃易爆、有毒有害物质或缺氧, 对进入人员的身体健康和生命安全构成威胁的封闭、半封闭设施及场所, 受限空间作业是进入或探入受限空间进行的作业。石化行业受限空间作业数量大、范围广, 危险性高, 涉及的装置和设施数量庞大。石化行业受限空间作业是所有作业类型中最容易发生安全事故的类型之一, 是安全生产管理的重中之重。根据中国化学品安全协会法规标准部《2008—2021 年我国危险化学品特殊作业事故统计分析》, 危化行业受限空间作业事故起数和死亡人数占总事故起数和死亡人数比例高达 50% 和 43%。^[1]

1.2 石化行业受限空间的安全风险分析

石化行业受限空间的安全风险因素主要包括:

(1) 受限空间内作业环境复杂, 潜在威胁因素多由于受限空间狭小, 呈封闭或半封闭状态, 不利于气体流动, 容易造成气体堆积, 氧气浓度过低或过高, 易燃易爆气体或蒸汽浓度超标、有毒有害气体或蒸汽浓度超标, 狭窄空间内作业也更易造成机械伤害, 周围暗流渗透或突然涌入造成人员溺水, 人员滑倒, 跌落等危险。^[2] 其中, 尤其是危险气体浓度变化, 在受限空间相关事故中所引发的事故

占比超过了 1/3。^[3]

(2) 受限空间内外部信息沟通难。受限作业外部监护监管人员和企业安全管理人员无法及时了解内部作业状况, 内部作业人员也不能及时传递信息到外部。尤其是在较大作业面时, 相邻作业点之间不能及时获取某作业点危险信息, 各种信息传递障碍造成应急救援时机的延误。

(3) 作业数量大, 空间隐蔽, 监管难。石化行业企业受限空间及检修作业数量多、作业地点分散、作业人数多, 空间隐蔽, 监管难度较大, 监护人员和安全员难以全程监管, 作业人员不规范操作时有发生。

1.3 石化行业对受限空间的管理要求

为加强受限空间作业安全管理, 中国石油化工集团公司早在 2015 年就发布了《中国石化进入受限空间作业安全管理规定》。应急管理部颁布《危险化学品企业特殊作业安全规范》(GB 30871—2022) 国家标准, 于 2022 年 10 月 1 日起作为国家强制性标准正式实施。新规范中, 进一步明确了受限空间作业的安全规范。

2 受限空间作业实现数字化管理的重难点

对受限空间作业进行数字化管理, 对作业全程进行数字化保护和数字化监管, 一直是安全生产信息化建设追求的一个课题。目前对作业申请、分析、审批等作业前置流程, 大部分企业已经通过建设电子作业票系统实现电子化和流程化, 但在作业现场过程的数字化管理, 还需要重点

克服几个关键问题。

(1) 可靠的网络通信是基础。受限空间作业数字化首要解决受限空间网络信号屏蔽的问题,有了空间内外可靠的网络通信,才可能在这个基础上构建数字化应用。

(2) 全面的数字化感知是保障。由于受限空间作业危险因素多,单一手段对风险判定不全面,因此需要多种数字化设备对受限空间的作业状态环境、人员、过程等信息进行全方位采集。

(3) 持续数字化监管是重点。获取作业信息后,对信息的研判分析是数字化的重点,通过对信息持续的智能化分析,有效提升对作业危险因素的判断和预判,减少作业不规范行为,才真正管好受限空间作业,提升作业安全性。

3 系统能力设计

3.1 总体系统能力设计

提出的受限空间作业数字化管理系统综合物联网、传感器、人工智能、5G 等先进技术,按照工业互联网“云、边、端”体系进行架构。由气体检测仪、智能手环、智能安全帽、布控球等多种信息化设备构成“端”,负责采集受限空间内视频、环境、作业人员的数据,并充当作业人员信息化处理终端,由边缘无线通信模块、边缘服务器构成“边”,负责现场组网、Wi-Fi、4G/5G 等网络数据传输和现场的数据处理和边缘 AI 分析,“云”端管理平台主要负责对统一接收数据和监管作业,并进行云端 AI 分析。



图 1 系统架构图



图 2 系统能力模块架构

为了达到石化行业作业现场的要求,边、端设备全部达到防爆要求,统一集成到一体化作业箱中,方便作业人员携带和快速布设。

从系统实现的业务能力上看,整个系统包括网络通信能力模块、气体检测能力模块、单兵智能能力模块、通讯对讲能力模块、行为监管能力模块和云端作业过程管理能

力模块。

3.2 分系统能力设计思路

3.2.1 网络通信能力模块

(1) 目标与核心需求分析。通过网络通信能力模块,搭建南向(受限空间内)的各类信息化设备和北向(作业管理平台)的通信链路,为各种设备和基于设备的应用系统提供可靠、稳定的网络连接服务,构建受限空间数字化管理的基础。在南向通信端,受限空间内网络信号往往被装置、容器的金属板、建筑的钢筋混凝土所阻隔,需要在受限空间内部提供信号源,同时连接受限空间外的网络设备。石化行业受限空间从空间布局来可以分为竖井类、容器类、管廊类三种。竖井内垂直面狭窄,作业人数少,携带通信装备不多;容器类作业面宽,可容纳人数多,可携带较多通信装备;管廊类水平距离长,要求的通信距离更长。通信装置需要适应三种类型的空间格局。在北向端,目前石化企业在厂区往往提供 Wi-Fi 或 5G 覆盖,在野外往往也具备 4G 信号覆盖条件,因此在北向端,需要支持 Wi-Fi, 4G/5G 通信能力。

(2) 系统能力设计。通信模块包括带柔性天线的交换路由装置和无线桥接装置,交换路由装置支持本地热点和上行 Wi-Fi, WCDMA/CDMA/TD-SCDMA 上行 4G 或 5G, 带 1 个 WAN 网口, 自带电池供电。装置通过柔性天线将 Wi-Fi 热点部署在受限空间内部,对于管廊类受限空间,可以通过无线桥接器延长 Wi-Fi 信息覆盖范围,从而解决石化企业各种类型受限空间结构的网络通信问题。

3.2.2 气体检测能力模块

(1) 目标与核心需求分析。通过多种实时在线气体检测方式,解决受限空间作业中气体分析不实时、不到位造成的风险。受限空间作业的气体分析包括对氧气,有毒有害,可燃三类气体的浓度分析,对于石油化工行业,最主要的有毒有害气体包括一氧化碳(CO)和硫化氢(HS)等,最主要的可燃气体包括生产加工中可能产生的各类碳氢气体(如甲烷 CH₄, 乙烷 CH₃CH₃, 乙炔 C₂H₂, 乙烯 C₂H₄)等。

在《中国石化进入受限空间作业安全管理规定》中要求进入有限空间前要先取样。进入受限空间时,“作业人员进入受限空间要佩戴便携式气体报警仪,作业中应定时监测,至少每 2h 监测一次,如监测分析结果有明显变化,则应加大监测频率。”

同时,在受限空间作业过程中必须对气体浓度进行持续监控,特别是在作业面变化时,对新进入的作业面,应先通过泵吸式气体检测仪抽取气体检测合格后,作业人员再携带便携式气体检测仪达到新的作业面进行作业。

(2) 系统能力设计

设计具备 Wi-Fi 通信能力的两套气体检测装置,一套泵吸式,放置在受限空间外,另一套便携扩散式,由作业人员随身携带进入受限空间。检测的气体数据传到边缘服

务器,上发到云管理平台,边缘服务器和管理平台按照同一套判断规则同时对数据进行分析、告警、预警,避免在云端通信中断情况下的监测漏洞。

3.2.3 单兵智能能力模块

(1)目标与核心需求分析。信息化装备,为作业人员提供保护和充当信息化终端。作业人员配备单兵信息化智能终端,满足作业过程中对人员状态识别、通讯、告警等信息化需求。多人作业时,不同人员可以佩戴不同的终端类型,以满足不同的需求。

(2)系统能力设计。智能手环:具备心跳侦测、运动状态识别能力,能够对作业人员的生理和运动状态进行识别,具备 SOS 一键报警功能,具备摄像头功能,能够拍摄受限空间内部图片和视频,具备屏幕,能够进行实时对讲和查看告警信息。智能安全帽:具备摄像头功能,能够拍摄受限空间内部图片和视频,具备 SOS 一键报警功能,具备安全帽摘取报警功能,无屏幕,能够通过语音方式进行实时对讲和收听告警信息。作业记录仪:具备摄像头功能,能够拍摄受限空间内部图片和视频,具备 SOS 一键报警功能,具备屏幕,能够进行实时对讲和查看告警信息。

3.2.4 通讯对讲能力模块

(1)目标与核心需求分析。在边缘的 Wi-Fi 网络基础上,提供受限空间作业人员和监护人员之间实时沟通的信息化支持能力。多方多媒体通讯:受限空间作业可能存在多个工种同时操作,很多工作需要沟通配合才能完成。告警信息扩散:当受限空间作业出现异常事件时,需要将告警信息快速通知和扩散到所有受限空间作业的相关人员,以便迅速处置、撤离或者救援。远程作业指导:对于操作复杂或者存在一定问题的受限空间作业,还需要能够通过远程通讯能力,让远程的专家进行远程技术指导。

(2)系统能力设计。在作业记录仪、智能手环、智能安全帽、云平台、手机 5 类信息化终端上开发基于 IP 的软件 PTT 对讲能力,进行多方沟通,具备把图片、视频上传监控中心的能力,同时具备信息通知能力。

3.2.5 行为监管能力模块

(1)目标与核心需求分析。化工行业属于高危行业,而其作业过程由于兼具化学品和施工两大行业属性,风险因素交叉,部分化工企业从业人员安全技能不足,实际操作过程中各类违规操作、违章行为时有发生。根据对化工企业事故统计分析发现,企业从业人员“违章作业”导致的伤亡事故占事故总数的 55%以上,是造成事故发生的主要原因^[4]。

但是,对于受限空间作业的监管存在特殊的困难性,监护人员难以全程直接监管。《危险化学品企业特殊作业安全规范》(GB 30871-2022)中明确要求,监护人应在受

限空间外进行全程监护,不应在无任何防护措施的情况下探入或进入受限空间。在风险较大受限空间作业时,应增设监护人员,并随时与受限空间内的作业人员保持联络。

(2)系统能力设计。系统具备以下作业行为监管能力:

a.现场人员人脸识别:预先录入作业人员身份证或人脸,在作业现场通过 AI 对比,确保作业人员是作业票规定的作业人员。

b.现场视频监管:通过带云台控制功能的布控球,远程安全监管人员可以转动、缩放摄像头,查看作业现场的任意人员、任意活动的情况,以及作业周边的环境情况。

c.作业行为 AI 分析:云端运行 AI 算法模型,对作业人员安全帽佩戴、反光服穿戴等行为进行识别,当现场上行网络中断时,可以在边缘服务器运行 AI 分析程序,避免监管漏洞。

d.作业现场环境 AI 分析:对作业现场烟雾、作业中的设备,如灭火器等进行识别,确保作业支持环境的安全。

e.作业过程数字存档:对作业全过程的视频和各类采集信息进行存档,后期可以随时进行安全稽查复盘。

3.2.6 云端作业过程管理能力模块

作业监控中心通过云端作业过程管理,实时监控、管理、联动作业过程。抓药包括和企业安全生产管控平台的作业票对接,作业箱管理,实时作业监控,实时对讲,作业存档,历史作业稽查等。同时云端具备云边协同管理能力,对告警规则、AI 模型等在云端和边缘一体箱之间可以实现统一管理和分配。

4 结束语

本文提出的一种受限空间作业安全管理研究,是对应工信部《工业互联网+安全生产行动计划(2021-2023年)》中对安全信息化提出的快速感知、实时监控、系统评估、超前预警、联动处置的要求。通过系统能够实现对受限空间作业管理的全面数字化,能够有效提升受限空间作业的本质安全。包括:作业状态的数字化感知,作业现场的数字化协同,作业规章的数字化稽查,作业人员的数字化保护,作业过程的数字化资料。

[参考文献]

- [1]王攀.探究有限空间作业危险因素的分析与安全措施[J].江西建材,2018(2):248-249.
 - [2]Damien B V, Yuvin C, Ali B.管理受限空间进入的综合方法的必要性:文献综述和下一步的建议[J].职业与环境卫生杂志,2014,11(8):485-498.
 - [3]李彬,张建辉.浅谈石化企业直接作业环节的安全监管[J].石油化工安全环保技术,2019,35(5):3-5.
- 作者简介:叶卫民(1974.5—),男,单位名称:九江石化信息中心。