

DOI: 10.16369/j.ohcr.issn.1007-1326.2024.03.004

· 专稿: 化学中毒卫生应急新技术 ·

基于化学中毒事件卫生应急处置的“采样检测机器人”设计及应用研究

Design and application of a “sampling and testing robot” for emergency response to chemical poisoning incidents

麦秋苑^{1,2}, 唐侍豪^{1,2}, 张晋蔚^{1,2}, 赵远^{1,2}, 冯玉超^{1,2}, 周丽屏^{1,2}, 王致^{1,2}

MAI Qiuyuan^{1,2}, TANG Shihao^{1,2}, ZHANG Jinwei^{1,2}, ZHAO Yuan^{1,2}, FENG Yuchao^{1,2}, ZHOU Liping^{1,2}, WANG Zhi^{1,2}

1. 广州市第十二人民医院(广州市职业病防治院), 广东 广州 510620;

2. 广州医科大学职业与环境卫生研究所, 广东 广州 511436

摘要:突发化学中毒事件中通常存在多种有毒有害气体,常伴随窒息、中毒及爆炸等风险,通过机器人等智能装备辅助救援人员安全完成化学中毒现场采样检测任务,有助于降低应急处置人员中毒风险及提高救援效率。介绍了一款应用于化学中毒事件卫生应急处置的采样检测机器人,该机器人具备远程实时侦察、远程毒物检测采样、现场气象检测、障碍清理、爬坡越障等多种功能,能够适应草地、楼梯及废墟等多种复杂环境,可应用于化学物泄漏事件等应急场景。在某化工厂化学毒物泄漏事件等场景实战和演练中,该机器人各项性能指标运行稳定、可较好地辅助应急处置人员进入化学中毒事故外围区域开展毒物应急采样检测任务,降低人员安全风险的同时提高采样检测效率。

关键词:机器人; 采样检测; 化学中毒; 应急处置; 智能化

中图分类号: R135.1; X830.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-1326(2024)03-0302-04

引用: 麦秋苑, 唐侍豪, 张晋蔚, 等. 基于化学中毒事件卫生应急处置的“采样检测机器人”设计及应用研究[J]. 职业卫生与应急救援, 2024, 42(3): 302-305.

突发化学中毒事件具有突发性、复杂性、救援难度大等特点,发生重大化学中毒合并火灾爆炸等复合型灾害事故时,常规的应急处置通常是由救援人员穿戴重型化学防护服、正压式呼吸防护器、手持检测仪等进入核心区外围进行现场毒物检测,但这类传统的应急处置方式存在行动不便、体能消耗大、检测效率低、易出现通信障碍等弊端,且面对高温、有毒有害气体、化学品泄漏和浓烟等复杂危险环境时,救援人员若贸然进入事故现场会增加伤亡的风险,国内已发生过救援人员伤亡的化学品爆炸事件^[1]。针对现场情况复杂且救援难度大的应急处置事件,单纯依靠专业的救援队伍力量,难以完成现场应急处置任务^[2]。但若能借助应急救援机器人等智能装备来辅助救援人员完成采样检测,尽快明确毒物种类及浓度,那么将有助于保障救援人员安

全并节省救援人员体力,提升应急救援效率。因此,研发小型化、智能化机器人用于化学毒物采样检测应急处置任务对提升化学中毒救援智能化作战能力具有重要意义^[3-4]。本研究基于国内外采样检测机器人研发现状,结合化学中毒卫生应急处置场景需求,设计了一款可应用于化学中毒事件卫生应急处置的采样检测机器人,根据其技术亮点,在实战和模拟化学中毒事故演练中进行了应用及验证,现将结果报告如下。

1 国内外采样检测机器人研发现状

近年来,我国学者及工程师对无人化、智能化设备在应急救援相关行业的应用进行了大量研究及实践探索。有研究^[5-6]基于危险化工原料和放射性物质泄漏所致燃烧、爆炸、坍塌等复杂且救援难度大的场景,设计了应用于消防救援场景的机器人,其能够有效辅助救援人员靠近火源及危险场所进行侦察、灭火等作业,同时具备探测事故现场的有毒有害易燃气体含量及热成像人员搜救等功能,有效提高了复杂火场环境下的救援工作效率,但消防机器人受限于其功能需求,整机均较笨重,其中

基金项目: 广州市科学技术局重点研发计划项目(202206010061);

广州市医学重点学科建设项目(2021—2023年);广州市校(院)企联合资助专题(广州市职业环境与健康重点实验室)(2023A03J0502);广

州市校(院)企联合资助项目(2023A03J0498)

作者简介: 麦秋苑(1992—),女,大学本科,主管医师

通信作者: 王致,主任医师, E-mail: zhi_wang@outlook.com

有的重达 2 000 kg, 存在设备调度使用及运输不便利等弊端。有研究^[7-9]基于有限空间作业存在缺氧、有毒有害气体、爆燃等安全风险, 设计了几款气体检测机器人, 其可在狭小的空间内对有毒有害气体进行检测, 通过无线传输技术将检测数据传输到计算机终端, 一定程度上可降低检测人员安全风险, 但存在可检测气体种类较少等问题。另有研究^[10-11]基于在工业可燃气体运输、存储和使用过程中, 易燃、易爆、有毒有害气体存在泄漏等的风险, 设计了专门用于化学气体泄漏检测机器人, 这些机器人具有操作灵活、稳定性高、体积小、成本低等优点, 但也存在摄像头可视角度有限、检测气体种类有限等缺点。

在国外, 早在 20 世纪 80 年代就已经对机器人应用于工业等领域进行了初步的研究探索。例如, 印度研究者^[12]基于减少下水道清理工人安全风险, 设计了一款机器人用于实现下水道堵塞清理作业的有毒气体检测, 可通过 ZigBee 无线传输机器人所检测到的有害气体浓度信息。美国研究者^[13]基于气体泄漏可能会造成灾难性的风险, 提出了一种小型自主机器人用于检测泄漏气体, 该机器人可以在使用超声波传感器的避障模式和使用红外传感器的巡线模式下运行, 并且可以通过小区域导航来检测气体泄漏, 实时监测泄漏强度。菲律宾研究者^[14]介绍了用于检测可燃气体和有毒气体的全向机器人, 其可应用于发生气体泄漏的管道, 可在狭窄的空间中移动并检测 6 种气体, 即乙醇、苯、一氧化碳、氢气、甲烷和液化石油气, 在商业建筑、地下停车场和印刷公司等多个场所测试验证了其检测气体浓度的能力。日本研究者^[15]设计了一种移动机器人, 可以有效地跟踪地板上的化学痕迹, 通过在机器人上安装 3 个金属氧化物气体传感器, 检测地板上存在的化学痕迹的位置, 可应用于化学事故现场, 追踪地面化学品扩散方向。

从总体上看, 目前国内外气体采样检测机器人大多适用于消防救援、工业气体探测等场景, 消防救援机器人侧重于灭火及人员搜救, 工业探测机器人侧重于气体泄漏检测且大部分不具备气体采样功能。在中毒事件处置现场, 除了应对现场环境远程侦察、有毒有害气体实时采样检测需求, 同时需对风向风速实时检测, 用于辅助判定毒气扩散方向及安全区域划分决策, 上述机器人在功能上未能完全兼顾化学中毒采样检测场景的相关需求。因此, 广州市职业病防治院自主研究设计了一款可应用于化学中毒应急处置现场的“一种多功能集成的毒物采样检测机器人”(已获得实用新型专利), 综合

运用机器人所具备的机动灵活、可远程侦察、可检测现场风速风向和热成像搜救等多功能集成的优势, 辅助救援人员进入突发化学中毒事件现场核心区外围区域完成毒物现场采样检测任务, 以此降低应急救援人员进入外围区域可能面临的二次爆炸、气体中毒等安全风险, 在保障救援人员生命安全的同时, 协助快速判明事件的类型、规模、毒剂种类及危害程度, 为现场洗消、诊断、医疗救治等提供可靠信息。

2 采样检测机器人系统

2.1 结构设计

采样检测机器人系统由远程操控终端(operational conversion unit, OCU)、机器人车体、多自由度机械手臂、视频监控系统、气体风速检测系统等 5 个基本单元组成。具体见图 1。化学中毒应急救援人员可通过 OCU 控制机器人进入中毒事件现场外围区域, 现场配合车体内置毒物气体传感器检测模块, 实现快速精确检测现场多种有毒气体浓度。为保证机器人检测数据的准确性, 机器人内置的气体检测传感器, 每年由原厂家使用标准气体进行校准, 完成校准后出具合格证明。



注:右图为搭载平台内部。

图 1 采样检测机器人结构图及搭载平台内部

2.2 技术亮点

(1) 远程实时侦察: 机器人车体设置有 3 路高清视频图像。操作者可根据不同情况改变视频画面显示模式, 使多个画面同时显示, 保障行驶过程中随时观察车体周围环境状况。支持控制终端及指挥中心同时在线观看, 实现对事件现场环境全方位的远程实时侦察, 协助判断事件现场环境状况。

(2) 远程毒物采样检测: 机器人车体内置检测仪模块设置了 8 种气体传感器, 进入事故现场后 OCU 可实时显示现场氧气、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢、氯气、氨气、氰化氢、总挥发性有机物等 8 种气体浓度及变化情况(传感器可根据需求更换), 车身中部设置搭载平台, 用于灵活搭配外置空气采样仪或气体检测仪采集及检测现场有毒气体, 最多可放置 4~6 台设备, 检测范围可拓展至 20 种不同种

类气体,采样及检测范围覆盖较广,可有效辅助救援人员完成远程采样检测任务。

(3) 人员搜救:车身前方另外设置 1 路热成像摄像头,可在移动行驶过程中清楚拍摄车体前端有无热源并实时传输视频画面至指挥终端,用于辅助搜查突发化学中毒或泄漏事故现场是否有受困伤员。

(4) 现场气象检测:机器人车体配置了可升降式风向风速检测仪,可对现场温度、湿度、风速、风向进行实时检测并将检测数据回传指挥终端,协助对现场毒物扩散方向、现场三区划分、人员疏散决策提供参考依据。

(5) 障碍清理:手臂采用模块化结构组合,每个模块都有不同的摆动和旋转角度,使手抓能多方位运动和抓取;通过操作机器人多自由度机械手臂,可完成部分障碍清理和物资搬运等现场救援工作任务。手抓可夹取负载 50 kg 的重物。

(6) 爬坡越障:机器人整机重量仅 50 kg,调用灵活且运输相对便捷,可攀爬 40°斜坡、35°楼梯、30 cm 垂直障碍、45 cm 宽度壕沟,适应水泥、泥泞路面、草地、楼梯、废墟等多种复杂环境。

3 实战和模拟化学中毒事故演训中应用

3.1 现场作业流程

为了保证采样检测机器人及救援人员正常安全开展作业,制定了采样检测机器人现场作业的详细流程,如图 2 所示。具体步骤如下:

(1) 确认现场环境:应急救援人员携带装备到达现场后,要确认所在作业区域环境情况,包括地理环境、气象条件等,确认现场温度、湿度、大气压等使用环境条件是否符合要求。

(2) 作业前检查:作业前确认机器人设备性能状态是否良好、救援人员是否为经过培训的人员且熟悉机器人操作。

(3) 作业前准备:首先在作业区域外围划定警戒线,避免无关人员靠近,其次明确作业区域内及周边有无障碍物或特殊区域;综合机器人最大无线控制距离、行驶速度、续航时间等参数进行采样检测路径规划,在保证检测效率的前提下,合理设计采样检测作业路径。

(4) 制定作业方案:根据初步掌握的可疑中毒化学物等信息,结合车体内置气体传感器配置情况,利用机器人机身中部搭载平台的运输功能,灵活搭载外置的大气采样仪及有毒气体检测仪,尽可能扩大量体采样检测范围,形成完善的采样检测作业方案,提高采样检测效率。

(5) 采样检测作业:根据现场设计的作业路线及采样检测方案进行作业,现场救援人员在操控机器人作业过程中可通过远程监控系统实时查看机器人当前的工作状态、现场气象检测及多种毒物气体检测结果,对于超出机器人检测范围的气体,通过搭载外置的大气采样仪及有毒气体检测仪分别对现场空气样进行采样、检测,并将采集的空气样品运载回现场指挥中心进一步开展有机成分分析,甄别毒气种类,明确现场事故源的气体组分及浓度。

(6) 洗消作业:机器人完成采样检测任务后,从危险区域进入安全区域前,需经过洗消并确保无毒后方可进入安全区,洗消时由穿着 C 级防护服的卫生应急处置人员在缓冲区使用适用于精密设备物表洗消的化学洗消剂,例如 Decon100 型洗消剂、GD-5 溶液,对机器人表面进行擦拭洗消,以免产生二次环境污染^[16-17]。

(7) 撤离:完成机器人洗消作业后,收机撤离现场。

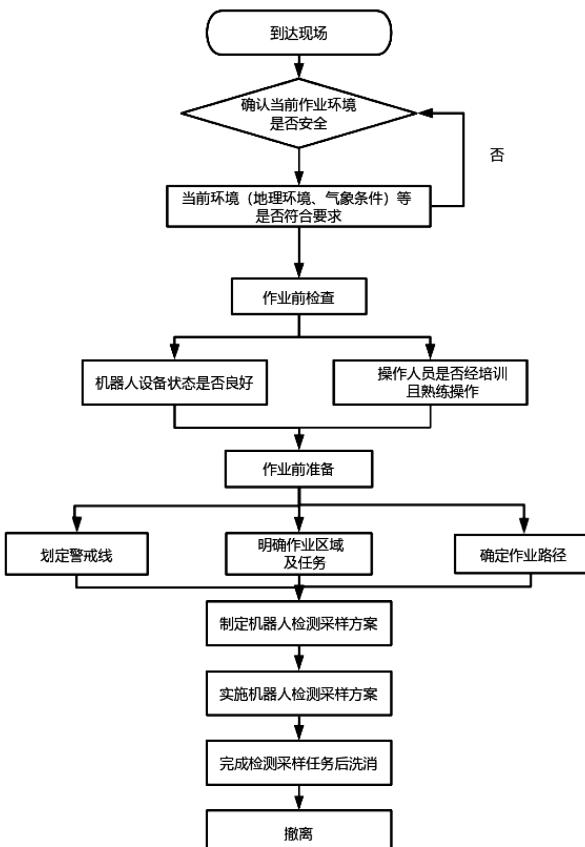


图 2 采样检测机器人现场作业流程

3.2 真实事件处置和多种场景演练中的应用

目前,采样检测机器人已在某化工厂化学品泄漏中毒事件和多种应急演练场景中投入使用。在该泄漏中毒事件中,采样检测机器人进入泄漏区域抓取原料桶,减少了人员进入核心区的安全风险。模

拟情景设定为某药厂发生疑似不明气体泄漏事件，卫生应急处置人员操控采样检测机器人按照上述现场作业流程进行了远程检测，检测结果显示现场温度 17 ℃、相对湿度 31%、风向 0 度、风速 0 m/s，现场可燃气为爆炸下限的 1.9%，氧气体积分数为 20.8%、二氧化碳体积分数为 0.07%，另外现场空气中一氧化碳、硫化氢、氯气、氨气、氰化氢、总挥发性有机物均未检出。图 3 为真实事件中应用的场景，图 4 为模拟化学中毒事件现场采样检测的场景，图 5 为采样检测机器人的 OCU 监控界面。实操应用对采样检测机器人行驶、爬坡、越障、远程侦察、远程检测、视频画面及检测数据无线传输等多个功能均进行了验证，为未来无人化应急救援设备在化学中毒事件卫生应急处置领域的应用及实践提供了参考依据。



图 3 机器人在真实中毒事件中抓取原料桶



图 4 机器人模拟情景测试

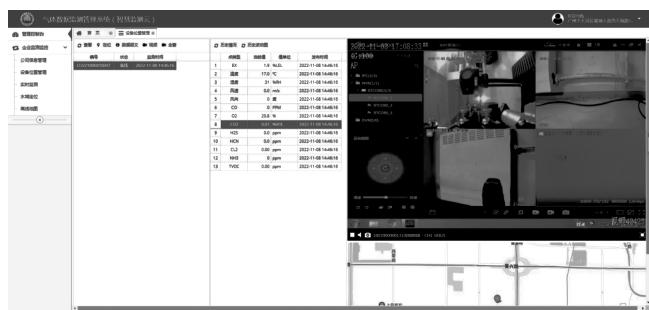


图 5 OCU 监控界面

4 小结

该采样检测机器人可应用于化学中毒或泄漏事件现场等应急救援场景，辅助应急处置人员进行远程采样检测操作，降低人员安全风险，同时提高采样检测效率，有助于现场应急指挥中心对事件发展作出快速有效的研判，为下一步的综合应急处置决策提供强有力的可视化数据支撑。该机器人为我国无人化化学中毒应急救援设备研究提供了新的思路和设计理念，对创新驱动应急建设、充分激发传统应急与新兴技术有机碰撞、推进国家应急体系规划具有参考价值。未来，应用于化学中毒救援的

特种机器人可与 5G 技术、物联网、人工智能等数字技术深度融合，辅助救援人员更加安全高效地处置应急事件。

作者声明 本文无实际或潜在的利益冲突

参考文献

- [1] 新华社. 天津港“8·12”瑞海公司危险品仓库特别重大火灾爆炸事故处置工作要闻链接[J]. 中国应急管理, 2015(9):6-10.
- [2] 董炳艳, 张自强, 徐兰军, 等. 智能应急救援装备研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报, 2020, 56(11):1-25.
- [3] 国务院. 国务院关于印发“十四五”国家应急体系规划的通知:国发[2021]36号[J]. 2022-02-14.
- [4] 聂志勇, 丁日高, 王汉斌, 等. “天津港 8·12 特大爆炸事故”防化应急处置经验与启示[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2015, 29(5):842-846.
- [5] 何皓宇, 章恺, 徐必勇, 等. HCFXF120 型四驱消防救援机器人[J]. 工程机械, 2023, 54(2):13-17.
- [6] 黄渊, 刘弘毅. 多模消防机器人在应急领域的设计和应用[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(1):37-39.
- [7] 董庆国, 邱木强, 孙振洲. 受限空间作业气体检测机器人设计及应用[J]. 化工安全与环境, 2022, 35(47):7-10.
- [8] 黄兆军, 娄安东, 李向阳, 等. 一种有限空间作业机器人: CN210391366U[P]. 2020-04-24.
- [9] 李志龙, 林宝森, 葛志强, 等. 机器人技术在有限空间气体检测中的应用[J]. 设备管理与维修, 2022(8):109-110.
- [10] 李宁, 邱选兵, 媚玉, 等. 工业可燃气体泄漏源搜索机器人设计[J]. 化工自动化及仪表, 2017, 44(6): 586-590.
- [11] 谢冠武. 化学气体泄漏检测机器人的设计与分析[J]. 机电信息, 2019(24):130-131.
- [12] THILAGAR K V, CHANDRAKALA D. Intelligent gas detection and elimination of blockage in sewer using robot mechanism[J]. J Popul Ther Clin Pharmacol, 2023, 30(12):46-51.
- [13] SAEED M S, ALIM N. Design and implementation of a dual mode autonomous gas leakage detecting robot [C]//2019 international conference on robotics, electrical and signal processing techniques (ICREST). Dhaka, Bangladesh, 2019:79-84.
- [14] TIU L, MANUEL M C E, ACOSTA M E T, et al. Development and application of an omni-directional robot for the detection of combustible and toxic gases [C]//2021 IEEE 13th international conference on humanoid, nanotechnology, information technology, communication and control, environment, and management (HNICEM). Manila, Philippines, 2021:1-6.
- [15] UNO T, SAWANO M, MATSUKURA H, et al. Detection of chemical trail on the floor by mobile robot: using fans to enhance chemical reception at gas sensors [C]//2020 IEEE SENSORS. Rotterdam, Netherlands, 2020:1-4.
- [16] 程振兴, 王连鸳, 朱海燕. 核生化洗消剂及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2018.
- [17] 慈颖, 王思, 王林, 等. 一种新型泡沫洗消剂对化学毒剂的洗消效果评价[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2017, 40(1):39-42.

收稿日期: 2024-03-22