

论著

DOI: 10.16369/j.oher.issn.1007-1326.2023.01.021

·应急管理·

无人机应用于化学中毒卫生应急处置的 PEST-SWOT 分析

PEST-SWOT analysis on application of unmanned aerial vehicle in health emergency response of chemical poisoning

唐侍豪¹, 李欣², 张晋蔚¹, 麦秋苑¹, 梁嘉斌¹, 周丽屏¹, 王致¹TANG Shihao¹, LI Xin², ZHANG Jinwei¹, MAI qiuyuan¹, LIANG Jiabin¹, ZHOU Liping¹, WANG Zhi¹

1. 广州市第十二人民医院、广州市职业病防治院、广州市第十二人民医院职业环境与健康重点实验室, 广东 广州 510620;

2. 暨南大学基础医学与公共卫生学院, 广东 广州 510620

摘要:目的 总结无人机在化学中毒应急处置领域的应用现状, 提出相应的发展战略和政策建议。方法 通过文献检索、无人机产品特性分析, 结合实践经验, 建立 PEST-SWOT (politics economy society technology-strengths weaknesses opportunities threats) 模型, 对无人机用于化学中毒处置的内部和外环境因素做定性分析。结果 我国利用无人机进行化学中毒应急处置的经验尚少。在政治、经济、社会、技术等 4 个方面, 无人机在化学中毒应急的应用领域中都具有较为鲜明的优势和一定的劣势, 同时面临着良好的机遇和潜在的威胁。结论 无人机作为智慧应急网络体系的重要组成部分, 可为我国应急管理体系现代化提供有力支撑。应从多个层面, 制定有利于无人机参与突发化学中毒事件应急救援的政策, 提高救援效率。

关键词: 无人机; 化学中毒; 卫生应急; PEST-SWOT

中图分类号: U298.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-1326(2023)01-0098-06

引用: 唐侍豪, 李欣, 张晋蔚, 等. 无人机应用于化学中毒卫生应急处置的 PEST-SWOT 分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2023, 41(1): 98-103.

因有毒化学物质使用不规范或大量泄漏而造成的突发职业中毒和社区民众环境公害性群体中毒事件常有发生^[1-2], 化学中毒事件常对现场应急处置人员的人身安全构成威胁。加强化学中毒卫生应急救援技术的研究, 对提升应急救援能力, 维护应急处置人员和公众生命健康, 保障社会稳定具有重要意义。近年来, 随着人工智能技术的蓬勃发展, 服务机器人、医疗机器人、无人机等在工作、生活场景中应用广泛^[3], 其中无人机因其灵活、易操作, 在消防、公安等救援处置中发挥其独特优势而得到广泛应用。无人机是无人驾驶航空器的简称, 指利用无线电遥控设备和自备程序控制装置操纵的可反复使用的无人飞行器^[4], 无人机通过远程操控实现人机分离, 因此可以有效规避传统应急处置中存在的安全风险, 最大限度减少应急处置人员的伤亡。

本文通过分析无人机产品特性、检索文献和新闻报道, 结合广州市第十二人民医院在化学中毒应急处置无人机队伍建设过程中的探索和研究, 建立 PEST-SWOT (politics economy society technology-strengths weaknesses opportunities threats) 模型, 全面分析无人机参与化学中毒卫生应急处置的内部和外部环境, 总结影响无人机应用于化学中毒应急处置领域的因素, 并提出发展战略和政策建议, 为充分激发传统应急技术与新兴技术有机碰撞, 促进化学中毒应急救援领域应用无人机参与处置提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

总结广州市第十二人民医院化学中毒事件卫生应急处置无人机队伍针对化学中毒现场自主研究设计的资料和使用经验, 利用学术期刊网(包括中国知网、万方数据、PubMed 等数据库)以及政府网站关于政治、经济、社会、技术、机遇和威胁等信息, 对近五年无人机应用于化学中毒卫生应急处置的发展现状及前景进行分析。

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金项目(A2021318); 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); 广州市卫生健康科技重大项目(2021A031003)

作者简介: 唐侍豪(1986—), 男, 硕士, 副主任医师

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

1.2 方法

1.2.1 PEST-SWOT 方法介绍

PEST 分析是对研究目标面临的宏观环境进行分析,主要分析其面临的政治(politics,P)、经济(economy,E)、社会(society,S)、技术(technology,T)4个方面;SWOT 分析是对研究目标的微观环境进行分析,主要分析其所拥有的优势(strengths,S)、劣势(weaknesses,W),以及遇到的机遇(opportunities,O)、威胁(threats,T)。PEST-SWOT 分析方法,将上述两种方法进行结合,从宏观、微观环境两个层次对研究目标进行全面系统的分析和探讨。

1.2.2 具体分析步骤

将 PEST 分析与 SWOT 分析进行整合,建立 PEST-SWOT 分析矩阵模型,对无人机应用化学中毒处置的内部和外环境因素做定性分析^[5]。分别从政治、经济等4方面分析无人机在化学中毒卫生应急领域中发展的优势和劣势,以及面临的机遇和威胁,全方位、系统地分析其内部和外环境因素,认识其发展前景,并提出相关发展战略和政策建议。

2 结果

2.1 无人机应用于化学中毒卫生应急处置的 PEST-SWOT 分析模型

建立 PEST-SWOT 分析模型,从政治、经济、社会、技术四个宏观环境方面,对无人机应用于化学中毒卫生应急处置的优势、劣势、机遇和威胁进行全面分析,结果见表1。

表1 无人机应用于化学中毒事件卫生应急处置的 PEST-SWOT 分析矩阵

PEST-SWOT	优势(S)	劣势(W)	机遇(P)	威胁(T)
政治(P)	国家正大力支持无人机应用于应急救援领域	无人机救援法律体系仍不健全	无人机纳入中央应急物资储备库	空域制度约束应急处置的投放使用
经济(E)	应急处置无人机产业规模发展态势良好	无人机操作需持续投入训练	无人机成为热门投资领域	资金渠道限制发展
社会(S)	无人机广泛应用于应急救援任务	专业技术人员缺乏	无人机行业协会成立	无人机市场未得到规范化监管
技术(T)	无人机功能强大且可定制选配	无人机机身性能仍存在明显短板	无人机技术正在加速演变	无人机面临网络安全风险

2.2 政治环境(P)

2.2.1 优势(S):国家正大力支持无人机应用于应急救援领域

为破解无人机发展限制,中央空中交通管制委员会正牵头推进《无人驾驶航空器飞行管理暂行条

例》及配套规章制度出台。近年来,我国工信部发布了《关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》^[6]、民航局发布了《关于推进新型基础设施建设五年行动方案》^[7]等政策,旨在促进民航基础设施高质量发展,明确工业级无人机作为国家战略性新兴产业的定位。国家将无人机产业纳入了“中国制造2025计划”,民用无人机产业保持着快速发展的势头,并逐渐往高端化设备方向发展。

2.2.2 劣势(W):无人机救援法律体系仍不健全

我国无人机应急处置实施主体的法律地位尚不明确,参与应急处置工作缺乏法律保障,开展救援也缺乏相应的标准规范^[8],目前国家现有法律,如《中华人民共和国民用航空法》^[9]《中国民用航空应急管理规定》^[10]中关于无人机应急处置的内容都只是概括性的内容。化学中毒事件发生时,若存在多种易燃易爆物质,现场救援工作将面临巨大挑战,目前无人机在开展化学中毒事件应急处置时,无法律保障,也无行业内操作标准,将不利于利用无人机开展有效的救援工作。

2.2.3 机遇(P):无人机纳入中央应急物资储备库

《“十四五”国家应急体系规划》^[11]明确提出科技创新驱动工程建设,指出在应急救援领域应用应急救援机器人检测、无人机实战验证。同时《“十四五”应急救援力量建设规划》^[12]也强调全面推进应急救援能力现代化建设,推动航空应急救援力量常态化部署。近年来,全国中央应急物资储备库的储备品种从过去的124种增至165种。其中,侦察无人机作为新增储备品种之一,进一步增强了应急保障的科技水平。化学中毒卫生应急作为应急救援领域的重要组成部分,也将迎来发展机遇。

2.2.4 威胁(T):空域制度约束应急处置无人机的投放使用

由于化学中毒事件的发生地点常以生产性工厂企业为主,而目前城市中部分工厂企业限制或禁止飞行器飞行,部分区域由于处于航道范围或其他原因,无人机内置的电子围栏也使得无人机无法起飞。即使进行空域申请,审批程序也复杂繁琐,无法适应无人机灵活使用的要求。

2.3 经济环境(E)

2.3.1 优势(S):应急处置无人机产业规模发展态势良好

2021年《中国民用无人机发展报告》^[13]公布的数据显示,2020年中国无人机产业规模达到531亿元,产业稳步发展且领先全球。其中,应用于应急救援无人机市场测算预计可达70亿元的规模。伴随

着无人机产业的快速发展,应用于化学中毒应急处置的无人机技术的研发和投资也将所有体现。

2.3.2 劣势(W):无人机操作需持续投入训练

若突发化学中毒事件,尤其涉及化工企业园区因化学物泄漏而爆炸时,救援现场危险性系数更高,救援更加紧迫,需要无人机操作员具备更高的心理素质及无人机操作水平。但是无人机在日常救援工作中使用的频率较低,比如我院(广州市第十二人民医院)针对化学中毒卫生应急处置定制的工业级无人机,在日常工作中投入使用的机会并不是很多。因此无人机操控人员若长时间未参训或进行操作实战,在遇到紧急事件发生时就很可能难以顺利完成任务。

2.3.3 机遇(P):无人机成为热门投资领域

无人机在农业植保、灾难救援、快递运输、娱乐、测绘等领域有着丰富的需求。随着企业对无人机在应急处置领域的不断研究,其在应急处置中作用将不断扩大。目前我国多个省已推出无人机应急救援常态化相关规划^[14]。我国是化学品生产应用大国,每年数以千计的新型化学品被合成以及用于工业生产,新原料、新工艺的出现,也给我国带来严峻的化学中毒危害的防治形势,为了更好地应对化学中毒事件,推动无人机在化学中毒应急处置的发展及应用的时机已日渐成熟。

2.3.4 威胁(T):资金渠道限制发展

目前无人机在应急救援领域的应用仍处于初级阶段,发展极大程度依赖于各级政府、企业单位的资金投入,未形成稳定的市场^[15]。无人机研发过程依靠高精尖技术支持,需要大量资金投入研发,尤其是针对开展化学中毒应急救援的无人机,参与救援任务时往往面临现场环境复杂、伴随爆炸火灾等情况,这些情况要求无人机的飞控系统技术、搭载技术、机体材料等不断优化,以便达到救援要求,发挥其救援优势,这也导致救援无人机相关技术研发需要花费更多的成本。但由于生产无人机的中小型企业属于轻资产企业,大多数企业都难以得到银行支持而易造成研发资金匮乏。

2.4 社会环境(S)

2.4.1 优势(S):无人机广泛应用于应急救援任务

目前,无人机在国内外应急救援工作中出现的频率越来越高,如城市消防救援,森林防火灭火,野外走失救援,地震、洪水、泥石流等自然灾害救援^[16-17];新型冠状病毒肺炎疫情期间,多家公司的无人机也参与了疫情防控任务^[18]。警用、应急、农业等用户大力推动无人机装配应用,为无人机在化学中毒应急

处置领域的应用和可持续健康发展提供了良好的环境。

2.4.2 劣势(W):专业技术人员缺乏

虽然目前无人机在消防救援、灾害救援方面的应用有一定的普及率,但无人机在化学中毒事件应急处置应用方面还处在初步发展阶段,能熟练掌握无人机操作且取得操作资格证书的专业技术人员仍然缺乏^[19]。特别是参与化学中毒应急处置任务时,现场情况复杂多变,对操控无人机的专业救援人员,不仅要求他们经受过无人机操作技术的系统培训,还要求他们熟悉化学中毒的应急处置规范,能掌握不同化学物质急性中毒人员的应急处置和对事故现场的应急处置技术。

2.4.3 机遇(P):无人机行业协会成立

2018年,中国航空器拥有者及驾驶者协会、各地民用无人机协会等144家部门、协会、科研院所和企业成立了中国民用航空应急救援联盟应急无人机专业委员会。成立该协会的目的在于组建全国统一的民用常备应急无人机支援力量,组织相关成员企业参与政府部门的应急救援行动,这也为无人机应用于化学中毒应急处置领域提供了发展的契机。

2.4.4 威胁(T):无人机市场未得到规范化监管

目前无人机企业除部分龙头企业外,多数为小规模企业,其研发技术水平和质控能力不足,部分企业没有研发能力,只能加工组装。其次,市场发展虽然吸引资本投入,但是部分资本只为了市场获利,不在乎产品好坏,使得许多产品实用性不足,这将阻碍无人机技术的可持续发展^[20]。随着我国化工行业的快速发展,在化学品生产、运输等过程,发生意外泄漏、中毒或者爆炸事故的风险较大^[21]。若无人机产品质量参差不齐,在救援现场出现故障,发生坠机,不仅影响救援任务的开展,还会增大地面人员的安全风险,甚至引起二次灾害,引发公众担忧。

2.5 技术环境(T)

2.5.1 优势(S):无人机功能强大且可定制选配

无人机操作简便、响应能力迅速、体积小,在化学中毒应急处置中可发挥其独特的优势,同时还与大数据、人工智能、信息网络等进行技术融合,更能满足复杂、危害严重事件的应急处理。无人机在化学中毒应急处置中可以通过连接卫星,搭载热成像仪对事故进行侦察,提供事故数据,为指挥决策提供信息支持;可以挂载通信中继,使通信能够覆盖中毒事件现场,解决通信难题;救援现场情况复杂

时,可以通过无人机抛投功能,为中毒者投放救援物资。在江苏省某化工厂爆炸事件中,无人机通过倾斜摄影技术对现场进行三维建模,较全面地获取了救援现场的信息,极大地降低了救援人员的安全风险^[22]。

2.5.2 劣势(W):无人机机身性能仍存在明显短板

续航问题是无人机最明显的短板。目前大部分无人机续航时间只有几十分钟,尚不能满足长时间应急处置中对飞行时间的要求。由于无人机自身载重存在限制,目前广州市第十二人民医院自主研究的用于搭载毒物快速检测仪器的定制支架,仅可承载2~3台约500g的毒物快速检测仪,每台快速检测仪仅可检测4~5种化学毒物,可实现远程检测的毒物类型数量有限。如发生化学中毒事件,事故点其厂房布局等楼间距太窄,或者厂房附近存在有高压线等,则难以被无人机自动避障功能识别,在空中很可能与其发生碰撞,产生二次危害。另外,中毒现场若伴随其他恶劣的自然环境,如暴雨、强风、高温等,无人机参与救援的能力也将大大受到限制。

2.5.3 机遇(P):无人机技术正在加速演变

新技术革命推动下,人工智能、通信技术、电子芯片、5G等技术快速发展,为无人机等航空领域的发展提供了重大技术支持,这些技术包括自主飞行、图像捕捉、自动视觉识别、避障技术等^[23]。同时可根据中毒现场需求,无人机可以搭载多种功能的设备对现场开展救援,包括毒物检测仪、红外热成像仪、温测仪、风速仪等。救援无人机将更加智能化、专业化。

2.5.4 威胁(T):无人机面临网络安全风险

低空遥感技术因其成本低、精度高等优点,而被广泛应用于无人机数据收集,但数据网络安全风险一直存在,如黑客侵入无人机系统或传播病毒,可能造成信息泄漏风险,尤其是涉及国家安全信息时,造成的危害将更严重^[24]。

3 发展对策

3.1 政策策略

3.1.1 完善健全无人机救援体系

不断完善无人机应急处置法律体系,为应急处置任务的开展提供保障。沿海经济发达城市,可先制定无人机参与应急处置的标准,出台关于无人机应急救援的地方性法规,使无人机在当地参与应急救援时得到法律支持,同时地方政府可以完善应急救援预案数据库,针对不同性质的危险化学物,形

成相应的救援预案。只有不断完善法律体系,才会使无人机在应急处置上更加规范有序。

3.1.2 优化空域管理制度

化学中毒事件突发性强,覆盖面广,造成危害较大,尤其是化工园区、石油企业火灾事故,造成的社会危害巨大。为避免错失救援最佳时机,应优化空域管理制度,提高应急处置效率。首先,随着无人机广泛用于各类灾害救援行动中,中国民用航空局可积极推进民用无人机低空空域管理制度改革;其次,应急处置用无人机需要有统一的监管主体,建立应急处置无人机的飞行空域申请备案制度,避免出现限制飞行等情况而耽误救援。最后,加强云监管系统建设,完善无人机登记和飞行许可制度,便于掌握空域中无人机各类信息,从而降低无人机潜在的飞行危险。

3.2 经济策略

3.2.1 构建多种无人机救援模式

通过构建多种形式协同的救援模式,更大程度满足化学中毒应急处置需求。单架无人机在获取及监测化学毒物信息等功能有限,若在应急处置中发生故障,单一无人机将可能影响救援的质量。建立多架无人机智能协同救援模式,协同路径规划、自主感知等技术,将更加高效地完成应急处置任务。

3.2.2 加大救援无人机研发投入

应加大对化学中毒应急处置无人机市场的投资。政府积极引进有关化学事故应急处置的无人机项目,设置专项资金,同时积极鼓励民营企业投资,推动无人机企业主动参与化学中毒事件救援;还可通过现有知名无人机品牌,积极普及应急处置无人机优势,推动应急救援无人机产业规模的发展。

3.3 社会策略

3.3.1 强化应急处置无人机队伍建设

目前市场上无人机培训多为基础飞行操作,操作人员的能力素质未完全能满足化学中毒应急处置的需求,因此针对无人机操作人员,需严格开展中毒救援相关技能训练,可通过VR技术模拟多种复杂化学中毒或因化学物泄漏等导致爆炸的场景进行训练,同时加强实战演练,不断改善演练和实战中存在的不足,培养出专业齐全、技术过硬的无人机救援队伍^[25]。还可加强与高校合作,开设无人机相关应用课程,打造无人机操作平台、培训中心,增加相关企业实习机会,为应急救援体系建设提供人才储备。

3.3.2 提高无人机的飞行安全性

为避免因无人机质量问题造成对人民群众的

伤害,对应急处置用无人机,需要提高中小企业的研发及生产水平,设置最低基数和参数要求,确保产品质量合格。同时企业还需建立无人机安全性检测系统^[26],检测机身零件、飞行器、系统等安全稳定性,减少在救援过程中出现的安全事故,降低对地面人员、财产安全的不良影响。

3.4 技术策略

3.4.1 推动应急处置无人机技术创新

加快技术研发创新。首先推动技术研发高性能电池,强化电池储蓄容量,优化电池消耗问题,同时减轻无人机自重,解决无人机救援续航难题。目前有液态氢动力的无人机,采用燃料电池动力系统,续航时间可达9 h^[27]。其次加大力度推动无人机飞控系统发展,与人工智能、5G技术等进行融合,提高无人机自主感应技术和雷达技术,提升无人机在复杂的化学品泄漏、爆炸、中毒现场主动识别障碍物的能力^[28]。最后优化无人机抗风、耐高温、抗化学腐蚀、防烟雾等能力,不断提升其综合性能,满足在各种化学毒物环境中的运行能力。

3.4.2 加强无人机网络安全建设

提升应急处置无人机信息安防技术,降低数据泄露风险。优化系统保密容量,提升系统安全传输速率,保证无人机信息交互的保密性,有效抵御黑客攻击。加强网络防御设计,强化应急处置无人机对防御系统干扰攻击的自主监测与响应能力,实现对网络安全潜在威胁的实时监测。

4 展望

在国外发达国家,无人机在突发灾害事故救援中发挥着重要作用,美国救援队曾通过无人机对被困在海拔4 000 m以上高山的受害者进行救援,对受害者进行定位并取得联系,对其投放物资和援助^[29]。美国研发的火情探测无人机,用于海上、山林、城市建筑等火灾事故的救援^[30];研发的太阳能无人机,续航时间可达25 d,用于灾害监测及救援等任务。以色列研发的大型救护无人机 Med UAV,在复杂混乱的救援环境中既能飞行救援,也能陆地驾驶救援。土耳其为无人机配备了红外热成像仪、高清相机等设备开展火灾救援,能迅速定位现场起火点并判断火势,并将现场数据传输到指挥中心,为救援提供依据,提高救援效率^[31]。但目前国外针对利用无人机进行化学中毒的应急处置的相关报道较少。

无人机作为智慧应急网络体系的重要组成,为我国应急管理体系现代化提供了有力的支撑。展望未来,利用无人机技术参与突发化学中毒事件应急

救援,可在以下几个方面进行突破。

(1) 充分利用人工智能、北斗定位、5G通信等技术升级换代。进一步推动应急处置无人机的智能化、自主化发展,由人工远程遥控操作向智能自动化辅助控制转变;超快速充电技术及新型电池材料的研发应用将解决无人机续航时间问题,届时无人机飞行范围更广、性能更加灵活、安全性更高。

(2) 智能毒物检测技术在无人机飞行控制系统的融合应用。无人机可集成飞控系统 & 检测系统的传感器,实现飞控-监控-检测功能一体化设计,将无人机飞控系统、毒物检测系统、大数据、云计算、互联网等深度结合,能够自适应、自诊断、自决策、重规划,脱离人机一体的实体操作,可以实现飞行轨迹、操作控制、智能设定检测程序,飞行数据与检测数据传输一体化,更加贴合化学中毒应急检测处置任务的实际应用。

(3) 高度智能化的微小型无人机将实现多机型集群协同作战模式,可自适应处理的能力,协同配合完成复杂自主飞行、自主监控、自主检测任务,按不同救援模块协调实现救援任务能力扩展和整体应急救援作业效能提升。具备人工智能技术和自主决策的无人机集群协同应用将大大降低化学中毒应急处置人员的安全风险,同时提高应急救援现场中毒事件风险监测评估的效率。

作者声明 本文无实际或潜在的利益冲突

参考文献

- [1] SADEGHI F, KHOSHMANESH B, FATEMI F, et al. Effective parameters on chemical accidents occurrence: findings from a systematic review [J]. J Fail Anal Prev, 2020, 20 (4): 1184-1191.
- [2] WANG J H, FU G, YAN M W. Comparative analysis of two catastrophic hazardous chemical accidents in China [J]. Process Saf Prog, 2020, 39(1): e12137.
- [3] 张子俊, 李凤祥, 彭琳, 等. 机器人产业形成集群发展之势[N]. 南方日报, 2021-06-20(4).
- [4] 罗蔚敏. 浅谈无人机在消防救援当中的应用 [J]. 电子世界, 2020(15): 139-140.
- [5] 姚望. 基于SWOT-PEST分析范式的中国“走出去”战略环境研究 [J]. 经济论坛, 2006(22): 54-57; 64.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见: 工信部装 [2017]310号 [A]. 2017-12-06.
- [7] 中国民用航空局. 关于推进新型基础设施建设五年行动方案: 民航发 [2020]63号 [A]. 2020-12-24.
- [8] 俞青青, 邢更力. 我国无人机在应急救援中的应用与发展 [J]. 职业卫生与应急救援, 2021, 39(3): 350-355.

- [9] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国民用航空法[A]. 2021-04-29.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. 中国民用航空应急管理规定[A]. 2016-03-17.
- [11] 中华人民共和国国务院. 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[A]. 2021-12-30.
- [12] 中华人民共和国应急管理部. 应急部关于印发《“十四五”应急救援力量建设规划》的通知:应急[2022]61号[A]. 2022-06-22.
- [13] 中国航空运输协会通航分会. 2021年中国民用无人机发展报告[R]. 2021-12-30.
- [14] 张琛,金伟,郭佳. 我国民用无人机产业发展与展望[J]. 中国安防,2022(3):52-56.
- [15] 蒋黔蓉,毛秋红. 我国民用无人机产业政策分析[J]. 内蒙古科技与经济,2021(23):9-11.
- [16] 于力,高明昊,龚杰. 国外救援无人机应用需求及发展趋势分析[J]. 飞航导弹,2018(4):33-36;82.
- [17] 杜璇. 无人机在突发事件应急救援中的应用探讨[J]. 中国应急救援,2018(3):51-54.
- [18] 孙永生,金伟,唐宇超. 无人系统在新冠肺炎疫情防控中的应用实践[J]. 科技导报,2020,38(4):39-49.
- [19] 中国航空运输协会通用航空分会. 2019中国民用无人机发展报告[R]. 2020-04-30.
- [20] 闫超,涂良辉,王聿豪,等. 无人机在我国民用领域应用综述[J]. 飞行力学,2022,40(3):1-6;12.
- [21] 姚翠翠. 化学事故预防中毒及应急救援的对策[J]. 化工管理,2021(20):115-116.
- [22] 卢均臣,张广文,付效朋. 倾斜摄影技术在化学品火灾爆炸事故调查中的应用研究[J]. 安全、健康和环境,2021,21(10):8-13.
- [23] 杨旸. 我国民用无人机产业及发展趋势研究[C]//劳动保障研究会议论文集(十四). [出版者不详],2021:134-135;138.
- [24] 郭亚东. 无人机低空遥感技术应用研究[J]. 产业与科技论坛,2022,21(3):37-38.
- [25] 车彦卓. 无人机全面助力“应急产业”迈进智慧化时代[J]. 中国安防,2021(9):72-75.
- [26] 韩浩东,薛俊杰,牛鹏鹏,等. 一种无人机安全性检测系统的设计方案[J]. 电子测试,2021(1):76-78.
- [27] 王波. 国内续航时间最长氢动力无人机成功首飞[J]. 能源研究与信息,2022,38(1):61.
- [28] 李明,饶弘. 基于北斗的无人机高精度自主导航与监控技术分析[J]. 电子元器件与信息技术,2022,6(1):164-166.
- [29] MCRAE J N,GAY C J,NIELSEN B M,et al. Using an unmanned aircraft system (Drone)to conduct a complex high altitude search and rescue operation:a case study [J]. Wild Environ Med, 2019,30(3):287-290.
- [30] 卢姗姗,王伟. 无人机在海上救援行动中的应用现状及发展展望[J]. 医疗卫生装备,2019,40(2):94-98.
- [31] 梁宁,袁新利,刘晓东. 无人机在森林防火领域的应用及发展[J]. 森林防火,2020(1):50-54.

收稿日期:2022-07-27

(上接第87页)

- 血液常规与淋巴细胞微核监测分析[J]. 实用预防医学, 2021,28(11):1307-1310.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 放射工作人员健康要求及监护规范:GBZ 98-2020[S]. 北京:中国标准出版社, 2020.
- [4] 王平,吕玉民. 染色体畸变指标作为辐射生物剂量计在国内的发展与展望[J]. 中国卫生检验杂志,2019,29(15):1919-1920.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 放射工作人员职业健康检查外周血淋巴细胞染色体畸变与评价:GBZ/T 248-2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [6] 白玉书,陈德清. 人类辐射细胞遗传学[M]. 第1版. 北京:人民卫生出版社,2006:99-100.
- [7] 张天喜,张苏贞,周齐红,等. 放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变分析[J]. 中国卫生检验杂志,2021,31(10):1250-1253.
- [8] 周文珊,王芳,易文峰,等. 湖北省2009—2018年放射工作人员职业性外照射剂量监测结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志,2021,41(2):122-127.
- [9] 单铁梅,王丽东,田欣鑫. 放射工作者淋巴细胞微核、染色体及血象分析[J]. 医学信息,2022,35(1):126-129.
- [10] 那向杰,张秋玲,田欣鑫,等. 职业照射对介入放射工作人员外周血淋巴细胞微核、染色体畸变及血细胞的影响[J]. 职业与健康,2021,37(24):3325-3328.
- [11] 杨勇,王强,张磊,等. 放射工作人员淋巴细胞染色体畸变及微核检测结果分析[J]. 预防医学,2019,31(5):517-519.
- [12] 陆雪,封江彬,田雪蕾,等. 小剂量长期慢性照射介入放射学工作人员细胞遗传学指标分析[J]. 中国职业医学,2021,48(2):208-212.
- [13] 赖专华,庄贵华,武永平,等. 不同职业放射暴露环境工作人员染色体和微核发生变化的影响因素分析[J]. 实用预防医学,2019,26(7):827-831.

收稿日期:2022-08-09