

密闭空间作业卫生防护科普需求分析及教学实践对策

傅亚婷^{1*}, 胡雪菲¹, 马雪琪¹, 常文军¹, 沈 昊¹, 陈镜伯², 单文琪¹, 陈佳晖^{1#}

¹海军军医大学海军医学系海军环境与劳动卫生学教研室, 上海

²海军军医大学海军医学系航海医学国家级实验教学示范中心, 上海

收稿日期: 2026年9月10日; 录用日期: 2026年10月13日; 发布日期: 2026年10月21日

摘 要

密闭空间作业广泛覆盖航空航天、交通运输、矿产勘探、工程建设等多个国民经济重点行业, 其封闭隔离、危害因素复杂蓄积的环境特征对作业人员生理与心理健康构成多重复合风险。本文以远洋船舶这一典型密闭空间作业场景为研究核心, 系统梳理该场景下主要有害环境因素及其健康风险机制, 整合归纳国内外高危作业领域职业健康宣教的核心理论模型与成熟实践范式, 从职业健康需求、社会公众需求两个维度剖析当前密闭空间卫生防护科普工作的现实缺口, 针对性提出兼具科学性与可操作性的科普教学优化路径与落地实施框架, 为提升密闭空间作业人员自我防护能力、降低职业相关疾病发生率提供理论参考与实践依据。

关键词

密闭空间, 环境卫生, 科普教育, 职业健康, 船舶行业

Demand Analysis of Science Popularization for Health Protection in Confined Space Operations and Countermeasures for Teaching Practice

Yating Fu^{1*}, Xuefei Hu¹, Xueqi Ma¹, Wenjun Chang¹, Hao Shen¹, Jingbo Chen², Wenqi Shan¹, Jiahui Chen^{1#}

¹Department of Navy Environmental and Occupational Health, Faculty of Naval Medicine, Naval Medical University, Shanghai

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 傅亚婷, 胡雪菲, 马雪琪, 常文军, 沈昊, 陈镜伯, 单文琪, 陈佳晖. 密闭空间作业卫生防护科普需求分析及教学实践对策[J]. 职业教育发展, 2026, 15(10): 283-288. DOI: 10.12677/ve.2026.1510438

²National Demonstration Center for Experimental Nautical Medicine Education, Faculty of Naval Medicine, Naval Medical University, Shanghai

Received: September 10, 2026; accepted: October 13, 2026; published: October 21, 2026

Abstract

Confined space operations are widely carried out in key sectors of the national economy, including aerospace, transportation, mineral exploration, and engineering construction. Characterized by closed isolation and complex accumulation of hazard factors, the unique environment of confined spaces poses multiple compound risks to the physical and mental health of on-site operators. Focusing on the typical confined space operation scenario of ocean-going vessels, this paper systematically sorts out the main hazardous environmental factors and their underlying health risk mechanisms in such scenarios, summarizes the core theoretical models and mature practical paradigms of occupational health education and promotion in high-risk operation fields at home and abroad, and analyzes the practical gaps of current health protection science popularization for confined spaces from two dimensions: occupational health demands and general public needs. On this basis, this paper proposes targeted science popularization and teaching optimization paths and implementation frameworks with both scientific validity and operability, which can provide theoretical references and practical bases for improving the self-protection capabilities of confined space operators and reducing the incidence of work-related diseases.

Keywords

Confined Compartment, Environmental Hygiene, Science Popularization and Education, Occupational Health, Shipping Industry

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

本随着我国科技发展与产业升级, 航空航天、航海运输、地下勘探、工程建设等领域的密闭空间作业需求持续增长。密闭舱室封闭、受限空间环境对作业人员的生理和心理健康存在多重危害风险, 若防护不当极易引发急性中毒、职业病甚至安全生产事故。密闭舱室常见类型包括管道、烟道、隧道、下水道、涵洞、船舱、地下仓库、地窖等[1]。这类特殊作业环境普遍具有空间狭小、空气循环差、自然光照缺失等物理特征, 同时叠加任务难度大、作业强度高、突发情况多等工作属性, 对作业人员的身心健康与作业能力构成多重威胁。当前我国海洋资源开发、远海贸易及航运产业呈现快速发展态势, 我国远洋货运规模连续多年位居全球首位, 远洋运输船舶从业人员规模已超 60 万人。因此, 船舶密闭舱室作业群体规模持续扩张, 其职业健康风险也日益凸显[2]。

相关研究显示, 在远洋运输货舱中, 密闭空间内 CO₂ 浓度上升不仅会显著影响个体的心率变异性, 还会导致情绪状态和认知表现出现不同程度恶化; 舱室内非金属复合材料挥发和热解可释放多种有毒有害气体, 除货物释放的苯、甲醛等挥发性有机化合物外, 还存在磷化氢、硫酰氟等用于熏蒸防腐的有毒物质, 在此工作的船员报告肢体麻木及干咳等症状的概率显著增高[3]。近年来我国硫化氢、一氧化碳

中毒事故频发,分析事故原因发现近半数以上中毒事件发生在密闭空间作业场景中[4]。因此,面向一线作业人员和卫生监测人员开展科学有效的卫生防护科普工作,是提升作业人员风险认知水平、规范作业操作、降低健康损伤发生率的重要前置措施,是开展职业健康安全教育范畴内的岗位防护技能培训的重要补充手段,对保障劳动者职业健康权益、减少相关安全生产事故具有重要现实意义。

2. 密闭空间作业环境主要危害因素及健康影响

2.1. 理化类危害

密闭空间作业环境中存在多重理化类危害因素,可对人体多系统造成损伤。噪声与振动是常见物理危害。水下动力舱室降噪后噪声仍可达 80~90 dB,长期暴露会导致噪音性耳聋、听力损伤,同时噪声与高频振动的联合作用还会加重心血管系统负担[5]。有害气体污染物同样是重点防控对象。密闭空间内设备运转、材料挥发、人体代谢等都会释放多种污染物,除甲醛、TVOC、CO₂等常见污染物外,还可能存在氢、硫酸雾、氟利昂、胂类等特殊污染物,甲醛超标可引起头痛、咳嗽、流泪、皮肤发红等症状,其衍生物具有明确致癌性;超过标准限值的电磁辐射则会对人体神经系统、生殖系统、循环系统产生不良影响[6]。

温度与湿度异常也是典型危害。部分密闭作业舱室(如冶金行业反应釜检修空间、远洋货轮动力舱)温度可超过 45℃,而地下冷库等密闭作业空间温度可低于 6℃,同一作业区域垂直温差可达 6℃,极端温差与高温高湿环境会显著增加作业人员的生理负荷,导致热损伤、冻伤、皮肤病等问题,研究显示高温密闭舱室作业人员的躯体疲劳症状发生率显著高于常温环境作业人员[7]。此外,当密闭空间空气中氧浓度低于 19.5%或超过 22.5%时,还会引发缺氧或爆炸风险;有害物质浓度超过职业接触限值时,可直接导致职业中毒,严重时可能造成窒息死亡[8]。

2.2. 生物类危害

密闭空间的空气流通受限特性使其成为生物污染高发场景,空气微生物污染是主要生物类危害因素。长期密闭作业空间是空气传播疾病爆发的高风险区域,呼吸道感染、不明原因发热、皮肤浅表感染、口腔炎症性感染及群体性腹泻等致病微生物所致的感染性疾病一直居长期密闭作业人员疾病谱首位[9]。相关调查显示,密闭空间航行/作业期间空气微生物浓度显著高于通风良好的对照场景,人员密度大、活动频繁的区域(如住舱、餐厅、操作舱)空气微生物浓度普遍高于人员活动少的储藏、设备区域,空调系统出风口还易出现沉积微生物二次污染情况。空气微生物超标易引发作业人员过敏及感染性疾病,微生物代谢产物及霉菌毒素的低剂量长期暴露还可能诱发精神损害、癌症及遗传性致畸等多种疾病[10]。针对鞍山地区密闭空间作业场所的调查显示,当地常见密闭作业场景包括各类储罐、下水道、地下管道、隧道、粮食筒仓、锅炉、化工反应罐、矿井、化粪池等,常见有害物包括硫化氢、一氧化碳、甲烷、二氧化锰等,作业人员防护不当可引发中毒、缺氧,严重时可导致窒息死亡[4]。虽然,据短期内地下矿山(半封闭空间)作业人员半数以上出现头痛、关节痛等自觉症状,然而截止 2021 年的荟萃分析显示,各类封闭空间内呼吸道感染传播风险约为开放空间的 3 倍[11][12]。

2.3. 心理认知类影响

密闭隔绝环境与自然光照缺失会对作业人员的心理认知功能产生显著负面影响。自然光照缺失场景下通常使用人造光源维持照明,人造光源会通过抑制褪黑素分泌扰乱人体昼夜节律,导致内分泌和代谢紊乱,流行病学研究发现昼夜节律紊乱与癌症、糖尿病、心血管疾病、肥胖及情绪障碍等多种疾病发病率有关[3]。长期井下作业环境暴露还会诱发抑郁、焦虑、社交退缩和认知衰退等心理问题,可导致信息

处理速度下降、注意力不集中等认知功能损伤,严重时会影响作业效率与操作安全性[13]。

3. 密闭舱室作业环境卫生防护科普需求分析

3.1. 国内外职业健康教育研究进展

除国际上针对高危作业场景的职业健康教育已经形成了较为成熟的理论体系,其中具有代表性的包括健康信念模型(Health Belief Model, HBM)、计划行为理论(Theory of Planned Behavior, TPB)等,被广泛应用于农业、建筑、冶炼等高风险行业的作业人员安全培训实践中[14][15]。在密闭舱室作业防护培训领域,发达国家已形成标准化实施规范。美国职业安全与健康管理局(OSHA)2019年发布的《受限空间作业防护培训标准指南》¹明确要求培训覆盖风险识别、应急处置、实操演练三个核心模块,采用“理论讲解+情景模拟+实操考核”的三阶教学模式,该指南落地后全美受限空间作业事故发生率较实施前显著下降[16];欧盟方面除将密闭舱室防护培训纳入《海员培训、发证和值班标准国际公约(STCW 公约)》²马尼拉修正案的强制要求外,还将相关要求转化为欧盟内部统一法规,配套“理论讲解+情景模拟+实操考核”的标准化教学模式,要求所有欧盟籍船舶的作业人员必须通过相关技能认证方可上岗[17]。

国内针对高危作业职业健康教育的研究近年来逐渐增多,但多数研究集中于建筑、煤矿等行业,针对船舶行业密闭舱室作业的专项防护科普研究相对较少。现有研究普遍存在理论模型应用不足、实践案例缺乏系统性评估、科普内容适配性不足等问题,尚未形成针对上述场景的标准化、可推广的科普教学体系。

因此,本文首次聚海洋船舶及高关联行业的密闭舱室作业场景,结合国内一线作业人员的认知水平与实际需求,提出适配性的科普内容体系与实施路径,填补了相关领域的研究空白,同时充分借鉴国际先进经验优化了科普教学的实践模式,提升了对策的可操作性。

3.2. 职业健康需求

提升密闭空间作业人员自我防护能力、降低职业病发生率是科普工作的核心需求。当前大量企业尤其是中小民营企业的管理人员对密闭空间作业的危险性认识不足,组织管理松懈、操作要求不严格,部分企业甚至缺乏科学可操作的密闭空间作业管理制度与操作规程,对作业场所存在的有害因素、防护方法、应急处置流程认知不足[18]。同时多数一线作业人员未接受系统的防护知识培训,对作业危险性认识不足,存在违规操作、盲目施救等问题。据调查,近半数密闭空间中毒死亡事件中包含盲目救人导致的伤亡扩大情况,作业人员缺乏自救、互救能力,未掌握紧急逃生与求助方法,甚至存在不佩戴或不规范佩戴个人防护用品、未进行通风就进入作业场所等侥幸行为[19]。开展系统的卫生防护科普是职业健康一级预防的重要措施,可有效提升管理人员与一线作业人员的风险认知水平,减少违规操作与事故发生。

3.3. 社会公众需求

尽开展密闭空间卫生防护科普也是公共宣传与科普教育的重要组成部分。一方面,通过科普可提升社会公众对密闭空间作业这一特殊职业群体的认知与理解,营造关注职业健康的社会氛围。另一方面,相关科普内容也可向普通公众普及密闭空间(如密闭停车场、地窖、密闭储物间等)的风险防范知识,降低公众日常生活中的相关安全事故发生率。目前我国针对普通公众的密闭空间风险科普内容供给不足,公众对密闭空间中毒、窒息风险的认知水平普遍较低,易发生非职业场景的相关安全事故[20]。

¹<https://www.oshaeducationcenter.com/non-permit-confined-space-hazard-training/>

²<https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/raft-of-shipping-rules-in-force-from-1-january-2026.aspx>

3.4. 公当前科普工作短板

统一使用公式编辑器当前密闭空间卫生防护科普工作存在明显供给缺口：一是专业知识未做科普化转化，现有内容多为专业技术规范，晦涩难懂，不适合普通作业人员与公众学习；二是现有课程内容冗长单调，多为理论灌输，缺乏实操性与趣味性，受众接受度低；三是公开科普作品真实性与针对性不足，多数内容未结合不同行业(如交通运输、矿山、化工、航空航天等)密闭空间作业的实际场景，适用性差。同时我国密闭空间作业场所的职业病危害控制技术发展较缓慢，缺乏统一可行的防护科普内容标准，也是当前科普工作面临的突出问题[21]。

4. 密闭舱室作业环境卫生防护科普教学实践优化对策

4.1. 科普内容体系构建

论科普内容构建应聚焦核心防护要点，简化专业知识以适配不同受众认知水平。针对作业人员的科普内容应重点涵盖：密闭空间常见危害因素识别、个人防护用品正确使用规范、作业前检测与通风要求、应急逃生与自救互救流程、盲目施救的风险警示等核心内容，避免冗余的理论表述，突出实操性[22]。针对管理人员的科普内容则应增加管理制度建设、应急预案制定、风险评估方法等内容。针对普通公众的科普内容应重点聚焦日常生活场景中的密闭空间风险识别与基本防范常识。同时应针对不同行业密闭空间作业的特性，开发适配不同场景的细分科普内容，提升内容针对性[23]。

4.2. 教学形式创新

论采用多元教学形式提升科普内容吸引力：一是开发系列微课，将核心知识点拆解为 5~10 分钟的短视频，方便作业人员利用碎片化时间学习[24]；二是采用情景小剧场、事故案例还原等形式，通过直观的场景演示提升受众记忆点；三是开发互动式模拟演练工具，让受众在模拟操作中掌握应急处置流程；四是制作通俗易懂的宣传手册、海报、顺口溜等轻量化传播内容，方便在作业场所张贴、发放。同时可结合 VR/AR 等技术，开发沉浸式培训场景，提升实操培训效果。

4.3. 实施路径建议

建议由职业卫生专业机构、行业协会牵头开发标准化科普资源，结合不同行业的作业特性编制统一的科普内容大纲与培训教材，确保科普内容的科学性与准确性[25]。推广层面应结合企业日常职业培训场景落地，将密闭空间防护科普纳入新员工入职培训、定期安全培训的必修内容，配套开展定期考核与应急演练，确保作业人员切实掌握相关技能。同时可通过短视频平台、社区宣传、安全生产月活动等渠道，向社会公众普及相关科普知识，扩大科普覆盖范围[26]。

5. 结论与展望

当前我国密闭空间卫生防护科普工作存在明显的供给缺口，无法满足行业职业健康需求与社会公众科普需求。未来需加快构建系统化、多场景适配的科普资源体系，针对不同行业、不同受众群体开发分层分类的科普内容，创新科普传播形式，提升科普内容的实用性与接受度。科普工作开展过程中应兼顾职业健康价值、安全生产价值与社会宣传价值，切实为提升密闭空间作业人员健康水平、减少相关安全事故提供支撑。

参考文献

- [1] 张敏, 李涛, 王焕强, 等. 密闭空间的职业病危害与控制技术[J]. 工业卫生与职业病, 2005(1): 5-8.

- [2] 陈勤勤. 船员职业安全与健康保护现状分析研究[J]. 中国海事, 2023(7): 9-13.
- [3] 李响. 复杂密闭舱室作业环境重复暴露人员情绪功能的事件相关电位研究[D]: [硕士学位论文]. 十堰: 湖北医药学院, 2026.
- [4] 门雁. 密闭空间作业场所的职业病危害控制[J]. 职业与健康, 2006(18): 1431-1432.
- [5] 杨理华, 张骁, 张翔鹏, 等. 潜艇舱室环境噪声危害及治理进展研究[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(12): 1-5.
- [6] 徐新宏, 江璐, 方晶晶, 等. 潜艇舱室气态污染与环控生保技术发展趋势[J]. 装备环境工程, 2021, 18(8): 107-114.
- [7] 鲍海阁, 许清, 施红旗, 等. 船舶湿热环境人体生理应激反应实验研究[J]. 船舶工程, 2007(6): 21-24.
- [8] 张敏, 李涛, 陈曙昉, 等. 我国硫化氢中毒的特点与控制对策[J]. 工业卫生与职业病, 2005(1): 12-14.
- [9] 张建平, 陈双红, 任小孟, 等. 航行期间潜艇舱室空气微生物浓度检测与分析[J]. 海军医学杂志, 2021, 42(6): 684-687.
- [10] 邵冉起, 苏丽琴, 韩旭, 等. 2022 年我国宾馆(酒店)客房室内空气细菌真菌污染状况及影响因素分析[J]. 环境卫生学杂志, 2025, 15(3): 186-192, 197.
- [11] 张永良, 郑世英, 智强, 等. 地下半密闭环境对作业人员健康影响的调查[J]. 环境与职业医学, 2007(1): 113-115.
- [12] Moon, J. and Ryu, B.H. (2021) Transmission Risks of Respiratory Infectious Diseases in Various Confined Spaces: A Meta-Analysis for Future Pandemics. *Environmental Research*, **202**, Article ID: 111679. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111679>
- [13] Hao, J., Bai, H., Hou, L., Xiao, W., Zhou, J., Sun, W., *et al.* (2025) Associated Factors of Anxiety and Depressive Symptoms among Coal Miners in Shanxi, China: A Cross-Sectional Study. *BMC Public Health*, **25**, Article No. 2838. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-24127-8>
- [14] Moradhaseli, S., Ataci, P., Van den Broucke, S. and Karimi, H. (2020) The Process of Farmers' Occupational Health Behavior by Health Belief Model: Evidence from Iran. *Journal of Agromedicine*, **26**, 231-244. <https://doi.org/10.1080/1059924x.2020.1837316>
- [15] Robertsen, Ø., Siebler, F., Eisemann, M., Hegseth, M.N., Førelund, S. and Vangberg, H.B. (2018) Predictors of Respiratory Protective Equipment Use in the Norwegian Smelter Industry: The Role of the Theory of Planned Behavior, Safety Climate, and Work Experience in Understanding Protective Behavior. *Frontiers in Psychology*, **9**, Article 1366. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01366>
- [16] Lemen, R.A., Mazzuckelli, L.F., Niemeier, R.W. and Ahlers, H.W. (1989) Occupational Safety and Health Standards. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **572**, 100-106. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1989.tb13581.x>
- [17] European Commission Directorate-General for Mobility and Transport (2026) Seafarers' Education and Training Rules in the EU. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/seafarers/education-and-training_en
- [18] 赵沛, 高荣, 许静. 多方协作共建科普阵地推进增强公众应急意识: “公共卫生应急科普能力建设与提升”专题论坛综述[J]. 科普研究, 2023, 18(5): 105-107.
- [19] 周萍, 单利玲. 二起密闭空间作业急性中毒事故调查[J]. 上海预防医学, 2013, 25(8): 471-472.
- [20] 朱少芳, 何健民, 张晋蔚, 等. 基于职业卫生现状调查的广州市职业病防治科普实践[J]. 职业卫生与应急救援, 2017, 35(5): 445-448.
- [21] 陆唯怡, 胥婷, 张舒娴, 等. 国内外突发公共卫生事件应急科普研究现状[J]. 健康教育与健康促进, 2022, 17(5): 493-496, 504.
- [22] 郝长付, 王威, 姚武. 预防医学职业卫生与职业医学课教学实践的探讨[J]. 河南医学研究, 2011, 20(2): 233.
- [23] 王玥, 于翠平, 付瑶, 等. 情景模拟教学法在职业卫生监督教学实践中的应用[J]. 中国高等医学教育, 2022(7): 108-109.
- [24] 雷梅珠, 林竹. 科普短视频在公共卫生健康科普宣教中的应用[J]. 健康教育与健康促进, 2023, 18(3): 310-312.
- [25] 徐昆伦, 王世强. 船舶修造密闭舱室作业危害因素分析及预防措施[J]. 安全, 2015, 36(2): 35-38.
- [26] 陈国青, 陈宇炼, 张绮. 环境卫生综合实验教学实践与探索[J]. 江苏卫生保健, 2007(3): 53-54.