· 综 述 ·

被动策略预防溺水技术研究进展

朱银潮[1]，王思嘉[1]综述；郭丽花[2]审校

1.宁波市疾病预防控制中心，浙江 宁波 315010；2.浙江省疾病预防控制中心，浙江 杭州 310051

摘要：溺水是全球性的公共卫生问题，具有发生突然、表现隐匿和健康预后不良等特点，这对溺水防控技术的时间敏感性、判断准确性和应对可靠性提出了更高要求。在溺水防控策略中，被动策略通过采用安全设计的产品即可达到伤害防控目的，较主动策略更有效。本文检索2015年1月—2025年8月溺水防控技术相关文献、著作和专利网页，基于溺水基本特征，围绕溺水危险环境隔离、溺水者识别和救援等被动策略的创新技术进行综述，分析并比较其技术原理、适用场景与优缺点，为推动溺水防控技术的跨学科研究和实践应用提供依据。

关键词：溺水；识别；检测；救援

中图分类号：R649.3 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-5087（2026）02-0145-05

Research progress on passive strategies for drowning prevention technology

ZHU Yinchao[1], WANG Sijia[1], GUO Lihua[2]

1.Ningbo Center for Disease Control and Prevention, Ningbo, Zhejiang 315010, China;

2.Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China

Abstract: Drowning is a global public health issue characterized by sudden occurrence, insidious presentation, and poor health prognosis, which poses higher requirements for the time sensitivity, judgment accuracy, and response reliability of drowning prevention and control technologies. Among drowning prevention and control strategies, passive strategies can achieve injury prevention and control purposes through safely designed products, making them more effective than active strategies. This paper reviewed literature, books, and patent webpages related to drowning prevention and control technologies from January 2015 to August 2025. Based on the basic characteristics of drowning, this paper summarized innovative technologies for passive strategies including physical drowning hazard environments, drowning person identification, and rescue, analyzed and compared their technical principles, applicable scenarios, advantages and disadvantages, so as to provide the evidence for promoting interdisciplinary research and practical application of drowning prevention and control technologies.

Keywords: drowning; identification; detection; rescue

溺水是指淹没或浸没在液体中，造成呼吸受损的过程[1]。2000—2021年全球溺水死亡率下降了38%，但2021年全球溺水死亡人数仍超过30万人，15岁以下儿童所占比例达43%[2]，溺水仍是全球性重大公共卫生问题。2021年我国居民溺水死亡率为3.28/10万，是1~14岁儿童的首位死因[3]。溺水可通过被动策略和主动策略进行预防控制，如世界卫生组织（WHO）总结提出十项溺水预防策略，可从社会、政策与立法等角度完善溺水预防体系[4]。被动策略通过采用安全设计的产品即可达到伤害防控目的[5]，较主动策略更有效。本文检索了中国知网、PubMed和Web of Science等数据库2015年1月—2025年8月的相关文献、著作和专利网页，从技术原理、适用场景、优势与不足等方面，对溺水危险环境隔离、溺水者识别和救援等被动策略的创新技术进行综述，为推动溺水防控技术的跨学科研究和实践应用提供依据。

1 溺水相关特征

溺水发生是一个非常迅速的过程，且具有识别困难和预后不良等特点。溺水者在水面停留仅20~60 s后下沉[6]，2 min后丧失意识，4~6 min后产生不可

DOI：10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2026.02.008

基金项目：2023年宁波市卫生健康科技计划项目（2023Y32）

作者简介：朱银潮，硕士，主任医师，主要从事伤害监测和干预、社区健康教育与促进等工作，E-mail：19015439@qq.com

逆的神经系统损伤[5]。根据意识状态，溺水者可分为有意识和无意识2类[7]。有意识溺水者主要处于溺水发生初期，可能表现出挣扎行为，但因水浸没口鼻时自发屏气或呼吸暂停[8]而无法呼救；无意识溺水者常呈现安静直立姿势，无明显求救动作。溺水发生受个体因素、物理环境和社会环境等多重因素综合影响[5]，其表现形式复杂多样，较难在第一时间准确识别出溺水者。溺水结局包括死亡、病态和非病态3类[7]。2002—2015年澳大利亚溺水数据回顾性分析结果发现，致死性与非致死性溺水比例达1∶2.71[9]，部分溺水存活者遗留严重神经功能损伤[5]。研究表明，淹没时间是预测溺水者预后可靠的独立因素[10]，能否及时获救并脱离水体在很大程度上决定溺水者的健康结局[11]。鉴于上述特征，有效的溺水防控技术需具备时间敏感性、判断准确性和应对可靠性，其中时间敏感性尤为关键[10]。

2 溺水危险环境隔离技术

暴露于危险水体是溺水重要的危险因素之一[5]，通过策略性设置物理屏障限制人员接近，可直接、有效地降低溺水风险。在泳池等固定水域周边，安装带有自闭门或自锁门的围栏是预防儿童溺水证据级别最高的干预措施之一，可预防超过50%的相关溺水事件，该措施在部分国家通过立法强制执行[1-2]。除实体围栏外，近年来电子围栏等隐形屏障技术逐步发展。根据监测对象的不同，电子围栏主要分为2类：一是监测物理环境指标，如监测水位或水流的危险水体预警系统[12]、基于传感器的越界报警系统[13]等；二是监测人体活动，如利用微波和（或）红外感应监测危险水体闯入者的声光警示装置[14]。此外，在水体周围安装固定摄像头或使用无人机巡逻，借助实时语音劝离闯入者，也能在一定程度上实现“物理隔离”的效果。相比于实体围栏，电子围栏具有成本低、适用场景灵活、覆盖范围广、持续性强和时效性高等优势。该类技术在我国已有部分实践[7, 15]和相关报道，但其实际防控效果仍有待系统评估。

气候变化导致全球极端天气及其衍生的自然灾害（如洪水、飓风）频发，直接增加了溺水风险，与洪水有关死亡中溺水占75%[2]。值得关注的是，气候变化的影响并不止于直接灾害，还会通过复杂的社会经济途径间接增加溺水风险。例如，海洋变暖导致近海渔业资源减少，迫使渔民转向风险更高的远海作业，增加溺水风险[16]。目前，全球超过71%的国家已建立台风、洪水、海啸和海浪等自然灾害的预警系统，通过提供免费的气象及灾害预警服务，提醒公众远离危险水域，从而减少溺水事件发生[2]。

3 溺水者识别技术

自2001年法国Vision IQ公司推出第1套商业化的溺水检测和报警系统Poseidon[17]以来，各类溺水识别技术迅猛发展。按照识别实施主体，可分为人工识别和自动识别两大类，包括旁观者识别技术、基于物理信号的自动识别技术和基于传感设备的自动识别技术等。

3.1 旁观者识别技术

旁观者直接观察是识别溺水事件的直接方式。但对于普通的现场目击者而言，第一时间准确识别溺水者存在较大困难[11]。即便对于经验丰富的专业救生员，也可能因视野限制、生理疲劳和人为疏忽等不能及时、准确地判断出正在发生的溺水事件。此外，救生员有限，无法覆盖数量众多的开放性水域。通过视频监控辅助开展水体实时监控和溺水事件识别，可有效扩大水体监测范围。例如，使用固定或移动摄像机（如无人机等）采集图像信息进行持续监控[18]。该技术已在铁人三项等体育赛事中试验，已证明其安全可行[19]。

3.2 基于物理信号的自动识别技术

研究表明，声呐扫描技术可用于溺水者的探测和定位[20]，并显示出良好的识别准确性[11]。基于溺水者身体遮挡导致泳池壁光照量变化，还可通过光敏电阻捕捉变化信号识别溺水者[21]。此外，借助雷达对微多普勒特征的捕捉能力和环境适应性，有研究者提出了新型的潜在溺水检测系统[22]。上述技术主要依赖溺水者的水下占位所引起的声波、光线和电磁波的变化进行识别，多针对已下沉或沉底的溺水者，因而常错失最佳救援时机。

自全球首个泳池溺水实时视觉监控系统（Drowning Early Warning System，DEWS）[23]投入使用以来，基于计算机深度学习的图像自动识别技术成为研究热点。该类技术主要由视觉组件和事件推理模块组成。研究者在Darknet开源深度学习框架基础上，已成功设计并训练出不同版本的You Only Look Once（YOLO）网络模型[24-25]，不仅能从动态背景中准确分离、检测和跟踪移动目标，还能依照沉底、速度异常、身体处于危险直立姿势、潜水时间异常等溺水特征，实现对潜在溺水者的智能判断[6, 11]，从而在溺水初期进行识别，有助于早期介入和干预。其图像信息主要通过水上和（或）水下摄像机实时采集，但水

下摄像机因安装复杂、存在影像重叠和遮挡等问题，在单独应用中受限。总体而言，基于图像的自动识别技术实时性强、精确度高，能同时监测多人，但也存在成本高昂、安装复杂和适用场景有限等不足，目前多局限于特定场景使用[26]。

3.3 基于传感设备的自动识别技术

用于溺水识别的传感设备可分为 2 类，即人体生理传感设备和物理环境传感设备。前者通过监测心率脉搏[27-29]、血压[28]、血氧饱和度[27, 29-30]、呼吸[30]、体温[6]和运动模式[23, 27, 29, 31]等人体生理指标识别溺水风险；后者则通过监测是否入水[6]、水深[6, 27, 32]、压力[31]和蓝牙信标信号[33]等物理环境参数进行判断。传感设备通常由发送端和接收端 2 部分构成。发送端包括传感器、微处理器、通信模块和电源等组件[6]，其中微处理器作为核心组件，负责将传感器采集的数据与预设阈值进行实时快速比对，并在异常指标持续超过设定时间时判定为溺水，随即通过射频信号发出预警。接收端由信号接收器、应用程序、显示器和蜂鸣器等组成[26]，除提供声光警报外，还可通过网页、移动应用等实现救生员或监护人对入水者状态的实时监控。

基于传感技术的溺水识别产品通常体积较小、方便佩戴，支持个体化参数设置，能第一时间实现对溺水危险的预警。同时，该类产品成本较低、操作简单，适用场景广泛，适合在中低收入国家推广。随着人工智能和物联网技术的迅速发展，其准确性低[21]、信号传输不稳定[6]等问题有望得到妥善解决，如通过多个传感指示指标组合提升识别准确性[27]，应用前景较为理想。

4 溺水者救援技术

回顾性分析我国 225 起媒体报道的溺水救援事件发现，17.8% 的事件中至少有 1 个救援者死亡[34]，溺水救援可能带来致命风险。在溺水救援中，器材救援优于徒手救援，岸上救援优于下水救援[7]。因此，更推荐与溺水者非直接接触的器材救援技术，如远程遥控救援、自主机器人救援和穿戴式救援等。

4.1 远程遥控救援

为规避近距离救援中可能发生的遇险者拖拽、救援者体力透支等风险，远程遥控救援技术允许岸上操作人员采用遥控方式，通过空中或水上途径将救生圈、救生艇等设备准确投送至遇险者位置，并将其拖带回安全区域。该技术具有覆盖范围广、响应速度快和投送精度高等优势，在洪水、低温等恶劣环境或复杂水域中尤为适用，但其运行全程依赖人工遥控操作。

4.2 自主机器人救援

目前，已有多项针对游泳池等封闭水域的溺水自动救援研究案例。例如，有研究通过在泳池底部安装电机驱动亚克力板，在接收到溺水信号后，电机可快速启动并将板块移动至溺水者下方，通过抬升板块将溺水者托出水面[17]。另有研究借鉴抓取装置的工作原理，在泳池上方架设集成溺水识别系统的龙门架；系统一旦识别溺水，即触发 LED 屏和报警装置，同时发送坐标信息，随后在对应位置释放带链条的环形浮标，将溺水者拖回岸边[35]。

近年来，相关研究逐步拓展至户外开放水域并取得进展。中国科学院合肥物质科学研究院研发的防溺水智能监控和机器人自主救援系统，利用光学和热成像摄像机阵列对水域进行全方位全天候监控，识别可疑溺水者后，系统自动派出水面自主救援机器人，通过释放救援臂和浮力装置实施救援，初步实现了户外开放水域的无人化溺水救援[36]。国外也有研究将基于图像的自动识别技术和自主无人机相结合，用于海上等户外开放水域的溺水者搜救[18]。值得注意的是，上述多数救援设备[35-36]均依赖于溺水者主动抓取浮力装置，因此主要适用于溺水初期的有意识溺水者。

4.3 穿戴式救援

除复杂的溺水自主救援设施外，简单、轻便的可穿戴式救援装备也在不断发展。有报警功能的智能定位救生衣[37]，便于开放性水域溺水者的定位和搜救。可安装于腕带、腰带等人体附着物中的便携式安全气囊[21]，危险信号触发后会自动膨胀，带领溺水者浮至水面。但穿戴式救援设备依赖于使用者穿戴习惯，一旦取下便失去作用。

5 小 结

本文系统梳理了溺水防控中被动策略的研究与应用进展，重点聚焦于溺水危险环境隔离、溺水者识别和救援的创新技术。电子围栏的隐形屏障、气象与灾害预警可从物理层面有效限制人员接近危险水体。溺水自动识别技术主要包括基于声、光和影像等物理信号的监测技术，以及基于可穿戴传感设备的生理与环境传感技术，有助于及时识别溺水者，开展溺水救援。其中远程遥控设备和自主机器人已成为降低救援者自身溺水风险的重要手段，同时，穿戴式救援设备也逐步应用于辅助救援。各类技术均有其优势与局限，未来仍需进一步的研究提升其可靠性、适应性和

可及性。建议推动跨学科合作并完善相关法规与标准，从而促进该类技术的转化与应用。同时，需认识到这些识别与救援技术主要聚焦于溺水事件的末端应对，建议将其与前端防控策略有机结合，包括改善水域环境、加强成人监护、普及游泳与自救技能、开展公众健康教育和强化相关立法与执法等，从而构建“防-控-救”联动的多层次防控体系，有效降低溺水风险，提升整体防控成效。

参考文献

[1] DENNY S A, QUAN L D, GILCHRIST J, et al. Prevention of drowning [J/OL]. Pediatrics, 2019, 143 (5) [2025-12-04]. https://doi.org/10.1542/peds.2019-0850.

[2] World Health Organization. Global status report on drowning prevention 2024 [M]. Geneva: WHO, 2024.

[3] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心，国家卫生健康委统计信息中心. 中国死因监测数据集 2021 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2022.

[4] World Health Organization.Global report on drowning: preventing a leading killer [M]. Geneva: WHO, 2014.

[5] 段蕾蕾，王临虹. 伤害与暴力预防控制理论与方法 [M]. 北京：人民卫生出版社，2020.

[6] JALALIFAR S, BELFORD A, ERFANI E, et al.Enhancing water safety: exploring recent technological approaches for drowning detection [J/OL].Sensors, 2024, 24 (2) [2025-12-04].https://doi.org/10.3390/s24020331.

[7] 段蕾蕾，邓晓，孟瑞琳，等. 儿童溺水防控技术指南 [M]. 北京：人民卫生出版社，2025.

[8] ARMSTRONG E J, ERSKINE K L. Investigation of drowning deaths: a practical review [J]. Acad Forensic Pathol, 2018, 8 (1): 8-43.

[9] PEDEN A E, MAHONY A J, BARNSLEY P D, et al. Understanding the full burden of drowning: a retrospective, cross-sectional analysis of fatal and non-fatal drowning in Australia [J/OL].BMJ Open, 2018, 8 (11) [2025-12-04].https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-024868.

[10] QUAN L D, BIERENS J J L M, LIS R, et al.Predicting outcome of drowning at the scene: a systematic review and meta-analyses [J].Resuscitation, 2016, 104: 63-75.

[11] KAO W C, FAN Y L, HSU F R, et al. Next-Generation swimming pool drowning prevention strategy integrating AI and IoT technologies [J/OL].Heliyon, 2024, 10 (18) [2025-12-04].https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35484.

[12] 乔姣姣，吕仁梦，周庆豪，等. 一种自适应动态虚拟电子围栏的防溺水预警系统：CN120148187A [P].2025-06-13.

[13] 魏银库，潘继民，李民宗，等. 一种海滨浴场越界预警及溺水报警装置：CN206249532U [P].2017-06-13.

[14] 陈学飞，郭寿凯，吕吉法. 一种监测预警装置：CN219553061U [P].2023-08-18.

[15] 陈榕，陈学飞，杨永鑫，等. 夏季户外防范溺水事故工作策略与思考——以宁海水利防溺水事故工作为例 [J]. 地方水利技术的应用与实践，2024 (1): 74-81.

[16] SINDALL R, MECROW T, QUEIROGA A C, et al. Drowning risk and climate change: a state-of-the-art review [J].Inj Prev, 2022, 28 (2): 185-191.

[17] KANCHANA A, KAVYA GR, KAVITHA C, et al. Automated drowning detection and security in swimming pool [J]. International Research Journal of Engineering and Technology, 2017, 4 (6): 2938-2940.

[18] LYGOURAS E, SANTAVAS N, TAITZOGLOU A, et al.Unsupervised human detection with an embedded vision system on a fully autonomous UAV for search and rescue operations [J/OL].Sensors, 2019, 19 (16) [2025-12-04].https://doi.org/10.3390/s19163542.

[19] HOMIER V, DE CHAMPLAIN F, NOLAN M, et al.Identification of swimmers in distress using unmanned aerial vehicles: experience at the Mont-tremblant IRONMAN triathlon [J]. Prehosp Emerg Care, 2020, 24 (3): 451-458.

[20] K Y S, K P O, V R R.Autonomous utility vehicle (auvs) based emergency human drowning detection system using sonar and thermal detection methods [C] //2019 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER). August 11-12, 2019, Manipal, India. IEEE, 2020: 1-6.

[21] MARINHO F, CARVALHO C M, APOLINÁRIO F R, et al.Measuring light with light dependent resistors: an easy approach for optics experiments [J/OL].Eur J Phys, 2019, 40 (3) [2025-12-04].https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.10053.

[22] YU X L, CAO Z H, WU Z J, et al.A novel potential drowning detection system based on millimeter-wave radar [C] //2022 17th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV).December 11-13, 2022, Singapore, Singapore.IEEE, 2023: 659-664.

[23] ENG H, TOH K, YAU W, et al.DEWS: a live visual surveillance system for early drowning detection at pool [J].IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 18 (2): 196-210.

[24] XUE W Q, ZHANG Y J.Marine drowning detection method based on improved YOLOv5 [C/OL] //4th International Conference on Internet of Things and Smart City (IoTSC 2024).March 22-24, 2024. Hangzhou, China. SPIE, 2024 [2025-12-04]. https://doi.org/10.1117/12.3034947.

[25] CUI Y H, LI M Q, HUANG X P, et al.Lightweight UAV image drowning detection method based on improved YOLOv7 [C] // 2024 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA). August 23-23, 2024, Beijing, China. IEEE, 2024: 350-356.

[26] SHEHATA A M, MOHAMED E M, SALEM K L, et al.A survey of drowning detection techniques [C] //2021 International Mobile, Intelligent, and Ubiquitous Computing Conference (MIUCC). May 26-27, 2021, Cairo, Egypt.IEEE, 2021: 286-290.

[27] JALALIFAR S, KASHIZADEH A, MAHMOOD I, et al.A smart

（下转第155页）

[28] WANG F E, YE L Z, JIANG X H, et al.Specific CpG sites methylation is associated with hematotoxicity in low-dose benzene-exposed workers [J/OL] .Environ Int, 2024, 186 [2025-11-16] . https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108645.
[29] 王爱红，李晓海，冷朋波，等 . 低浓度苯暴露与外周血淋巴细胞 miR-223 和 miR-155 表达的关联研究 [J] . 预防医学，2022，34 (1)：11-16.
[30] LV Y R, LI Z X, CHEN Y C, et al.miR-451a and miR-486-5p: biomarkers for benzene-induced hematotoxicity [J] .Arch Toxicol, 2025, 99 (2)：717-728.
[31] 许蕾，杨蕾，吴凡，等 . 小鼠 miR-144/451 降低红细胞活性氧簇水平抑制 AKT 蛋白磷酸化的实验研究 [J] . 实用临床医药杂志，2020，24 (2)：29-32，37.
[32] QIAO Y M, ZHAO Y Y, WANG G, et al.Protection from benzene-induced immune dysfunction in mice [J/OL] .Toxicology, 2022, 468 [2025-11-16] . https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153103.
[33] ZHOU B X, WU Q S, FAN S H, et al.Mediating effect of oxidative stress on blood pressure elevation in workers exposed to low concentrations of benzene, toluene, and xylene (BTX) [J/OL] . Sci Rep, 2024, 14 (1) [2025-11-16] .https://doi.org/10.1038/s41598-024-77689-9.
[34] JELIC M D, MANDIC A D, MARICIC S M, et al. Oxidative stress and its role in cancer [J] .J Cancer Res Ther, 2021, 17 (1)：22-28.
[35] 段丹萍，李艳，陈琳，等 . 低浓度职业性苯接触工人热休克蛋白 90α 水平及氧化应激效应研究 [J] . 职业卫生与应急救援，2024，42 (2)：181-185.
[36] 王爱红，李晓海，冷朋波，等 . 低浓度苯暴露男性工人尿 8-OHdG 水平的影响因素 [J] . 环境与职业医学，2020，37 (3)：243-248.
[37] ELKAMA A, ŞENTÜRK K, KARAHALIL B.Assessment of genotoxicity biomarkers in gasoline station attendants due to occupational exposure [J] .Toxicol Ind Health, 2024, 40 (6)：337-351.
[38] JAFARI ROSHAN S, MANSOORI Y, HOSSEINI S R, et al.Genetic variations in ATM and H2AX loci contribute to risk of hematological abnormalities in individuals exposed to BTEX chemicals [J/OL] .J Clin Lab Anal, 2022, 36 (4) [2025-11-16] .https://doi.org/10.1002/jcla.24321.
[39] LOVREGLIO P, STUFANO A, ANDREOLI R, et al.Urinary biomarkers of nucleic acid oxidation and methylation in workers exposed to low concentrations of benzene [J] .Toxicol Lett, 2020, 331：235-241.
[40] ZHANG Q Q, LU F F, ZHANG C X, et al.Blocking exosomal secretion aggravated 1, 4-benzoquinone-induced cytotoxicity [J] . Environ Toxicol, 2024, 39 (3)：1099-1106.
[41] 张宁 . 雾霾暴露对室内外工作人员外周血炎症、氧化、凋亡指标的影响以及 IL-10 改善 $PM_{2.5}$ 诱导的肺损伤作用和机制研究 [D] . 石家庄：河北医科大学，2021.
[42] 徐守香 .MicroRNA let-7e-5p 靶向调控 p21 和 Caspase-3 在苯致造血毒性中的作用与机制研究 [D] . 南京：东南大学，2021.

收稿日期：2025-08-26 **修回日期**：2025-11-16 **本文编辑**：高碧玲

(上接第148页)

multi-sensor device to detect distress in swimmers [J/OL] . Sensors, 2022, 22 (3) [2025-12-04] .https://doi.org/10.3390/s22031059.
[28] JOHN S N, GODSWILL I, OSEMWEGIE O, et al. Design of a drowning rescue alert system [J] . International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 2019, 10 (1)：1987-1995.
[29] KAŁAMAJSKA E, MISIUREWICZ J, WEREMCZUK J.Wearable pulse oximeter for swimming pool safety [J/OL] .Sensors, 2022, 22 (10) [2025-12-04] .https://dpi.org/10.3390/s22103823.
[30] KULKARNI A, LAKHANI K, LOKHANDE S.A sensor based low cost drowning detection system for human life safety [C] //2016 5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO) .September 7-9, 2016, Noida, India.IEEE, 2016：301-306.
[31] ZHU T X, NI Y M, ZHAO K Y, et al.A breathable knitted fabric-based smart system with enhanced superhydrophobicity for drowning alarming [J] .ACS Nano, 2022, 16 (11)：18018-18026.
[32] HUNSUCKER J L, DAVISON S J.Analysis of rescue and drowning history from a lifeguarded waterpark environment [J] . Int J Inj Contr Saf Promot, 2011, 18 (4)：277-284.
[33] DANH L V Q, HOAN T N K, VAN PHA H, et al.An early drowning detection system capable of locating swimmers in real time [C] //Impact of Artificial Intelligence, and the Fourth Industrial Revolution on Business Success.Cham：Springer, 2023：175-186.
[34] ZHU Y C, JIANG X, LI H, et al.Mortality among drowning rescuers in China, 2013：a review of 225 rescue incidents from the press [J/OL] .BMC Public Health, 2015, 15 [2025-12-04] . https://doi.org/10.1186/s12889-015-2010-0.
[35] JOSE A, UDUPA G.Gantry robot system for preventing drowning accidents in swimming pools [J] .Mater Today Proc, 2021, 46：4975-4981.
[36] ZHAO W W, YU D Y. AI-powered drowning prevention system launched to enhance water safety [EB/OL] . Heifei Institues of Physical Sciences, Chinese Academy of Sciences [2025-12-04] . http://english.hf.cas.cn/nr/bth/202411/t20241101_693467.html.
[37] ZHOU T Y, YANG J, LONG Q, et al.Design of an intelligent water-rescue life jacket system based on satellite positioning [C] // 2023 13th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME) .November 24-26, 2023, Wuyishan, China.IEEE, 2024：510-514.

收稿日期：2025-09-12 **修回日期**：2025-12-04 **本文编辑**：高碧玲