

核电站反应堆厂房构件池应急救援方法

许乐

中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/EPTSM.2025060002

摘 要 : 在核电站与常规电站的设计差异中, 反应堆厂房作为核裂变反应的核心区域, 其结构复杂性与安全要求远超常规电站的锅炉厂房。构件池作为反应堆厂房内的关键设施, 不仅承担上部构件、三角吊具的存放功能, 更是燃料厂房传输管道的重要接口区域, 其作业环境的特殊性决定了风险防控的极端重要性。

从作业风险来看, 构件池区域存在多重潜在威胁: 一是辐射安全风险, 该区域长期处于放射性环境中, 设备检修、构件吊装等作业可能导致人员受照剂量超标; 二是机械伤害及坠落风险, 大型吊具的启停、构件的转运、换料机夹爪拆装, 若操作不当或信号失误, 易引发碰撞、挤压、坠落等事故; 三是意外照射风险, 传输管道区域可能存在高放射性热点, 对周边区域造成高剂量照射。

针对上述风险引发的应急安全事件, 理论救援方案需构建多层次响应体系: 首先, 应立即通知主控运行人员及辐射防护工程师, 划定警戒区域, 确保未受影响人员的安全; 其次, 针对机械伤害、人员坠落事故, 需依托厂房内预置的应急救援通道, 通知消防队实施救援, 并同步监测环境辐射水平。

该方案的核心在于以辐射防护为前提, 结合机械应急与污染控制技术, 实现事故后果的最小化, 为核电站构件池区域的安全作业提供理论支撑。

关 键 词 : 核电站; 反应堆; 构件池; 应急救援

Emergency Rescue Method for Nuclear Power Plant Reactor Building Component Pool

Xu Le

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD, Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : In the design differences between nuclear power plants and conventional power stations, the reactor building, as the core area of nuclear fission reactions, has structural complexity and safety requirements far exceeding those of boiler buildings in conventional plants. The component pool, a critical facility within the reactor building, not only stores upper components and lifting equipment but also serves as a key interface area for fuel transfer pipelines. The unique working environment here makes risk prevention and control particularly crucial.

From an operational risk perspective, the component pool area faces multiple potential threats: First, radiation safety risks—long-term exposure to radioactive environments may lead to excessive radiation doses during equipment maintenance and component hoisting. Second, mechanical injury and fall risks—improper operation or signal errors during large equipment startup/shutdown, component transportation, or refueling machine gripper disassembly may cause collisions, compression, or falls. Third, accidental exposure risks—high-level radioactive hotspots in pipeline areas could expose surrounding areas to high-dose radiation.

To address these emergency scenarios, theoretical rescue plans require establishing a multi-level response system: First, immediately notify main control operators and radiation protection engineers to demarcate alert zones and ensure the safety of unaffected personnel; Second, for mechanical injuries and falls, utilize pre-installed emergency rescue channels to coordinate fire brigade rescue operations while monitoring environmental radiation levels. The core of this plan lies in radiation protection as the foundation, integrating mechanical emergency response and contamination control technologies to minimize accident consequences, thereby providing theoretical support for safe operations in nuclear power plant component pool areas.

Keywords : nuclear power plant; reactor; component pool; emergency rescue

引言

本文聚焦核电站构件池特殊环境下，人员突发晕倒或机械伤害导致无法自救时的救援机制，综合环境放射性、空间限制、设备适配性及响应时效等关键因素，构建系统性救援方案。

构件池作为辐射环境与机械操作的交叉区域，救援需兼顾多重约束：环境层面，需实时监测辐射剂量分布和污染情况，避免救援人员受照超标和人员体表 / 体内沾污；空间层面，受限区域对救援设备尺寸、移动路径提出特殊要求；时效层面，人员失能后的黄金救援窗口与辐射累积风险形成尖锐矛盾。

一、救援方式与工具

（一）换料机辅助吊钩救援

换料机作为核反应堆及构件池区域的专用轨道行车设备，其核心功能是实现核燃料组件的精准装载与卸出，同时承担换料夹爪等专用工具的吊运任务。在核设施运行的特殊环境中，构件池作为高风险作业区域，一旦发生人员意外被困且无法自主脱困的情况，换料机配置的辅助吊钩（图1）可转化为应急救援的关键设备，形成一套具有特定适用范围的救援方案。

从救援流程来看，当构件池内出现人员受困事故时，操作人员可通过远程操控将救生担架（图2）挂载于换料机辅助吊钩，利用轨道行车的定位精度将担架精准投放至池底事故点。待救援人员抵达现场后，可快速将受困人员转移至担架固定，再通过吊钩系统完成从池底到安全平台的垂直转运。这一过程的核心优势在于响应的即时性：相较于传统救援设备的部署流程，换料机作为常驻现场的行车，可省略设备调度与场地适配环节，在事故确认后短时间内即可启动吊运操作，显著缩短救援启动时间，为受困人员争取早期脱困机会^[1-3]。

然而，该救援方式的技术局限性需从设备特性与环境风险两方面综合考量。在设备性能层面，辅助吊钩的运行速度受设计规范限制，速度较为缓慢。在救援场景中可能导致转运耗时过长若受困人员遭遇心肌梗死、脑卒中等需紧急医疗干预的急症，极可能因超出“黄金4分钟”抢救窗口而危及生命。

在安全风险层面，辅助吊钩的结构设计以承载刚性构件为目标，缺乏针对柔性负载的动态平衡系统。当担架承载人员时，受人体重心偏移、池内气流扰动等因素影响，易产生横向摆动或旋转。这种不稳定性不仅可能造成受困人员二次伤害，更存在固定装置失效导致人员坠落的隐患，尤其对脊柱损伤、骨折等伤者的风险更为突出。

基于上述特性，换料机辅助吊钩救援法的适用边界需严格界定：仅适用于意识清醒、生命体征平稳且无需紧急医疗处置的受困人员。具体而言，包括因机械挤伤、物体磕碰等外伤导致下肢行动障碍，或因突发肌肉痉挛、关节扭伤而丧失行动能力，但无内出血、颅脑损伤等危急症状的情况。在实际应用中，需结合现场医疗评估结果，通过多参数监测确认受困人员状态后再启动救援，以在发挥设备应急价值的同时，最大限度降低二次风险，为核设施应急救援体系提供补充性技术支撑^[4-6]。

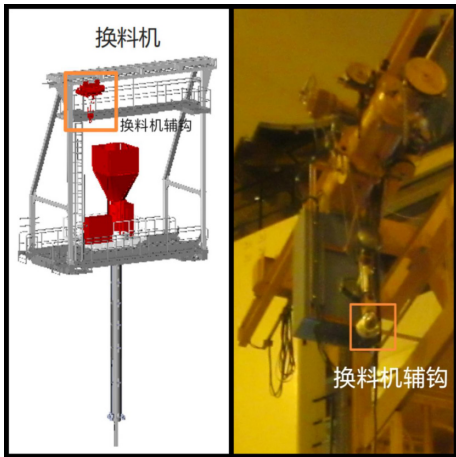


图1 换料机辅助吊钩

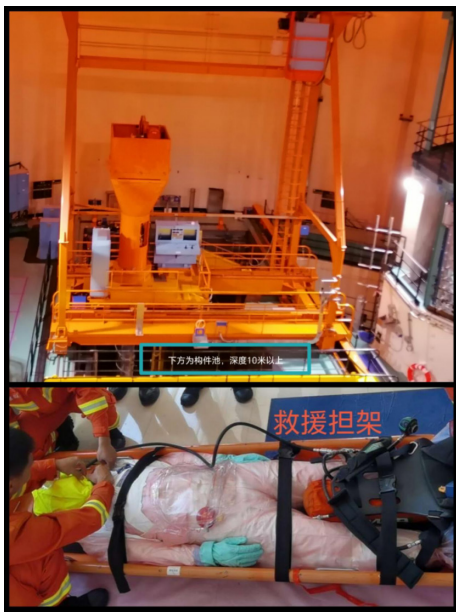


图2 构件池区域、救生担架（模拟场景）

（二）安装专用救援设备

一旦发生人员遭遇大出血、心跳骤停等危及生命的紧急情况，必须迅速启动全套专用救援设备，以系统化的应急响应机制为生命争取生机。此时，第一时间通过紧急通讯系统同步通知主控人员启动应急指挥流程、联系消防救援队伍请求专业支援，并向直属领导汇报现场情况，确保多方力量协同联动，形成救援合力。与此同时，立即安排经过专业培训的工作组成员快速穿戴防护装备：身着具备防污与基础防护功能的纸衣，佩戴能有效隔绝

有害环境的全面罩呼吸器，检查并系紧高强度安全带确保作业安全，随后借助应急下降装置快速、平稳地抵达构件池底部。由于被救援人员通常身穿全覆盖式气衣，这种装备虽能提供全面防护，但也给急救带来关键难点——急救前必须通过应急脱离方式为其脱出气衣，救援人员需熟练操作气衣的快速释放卡扣与拉链系统，在保持伤者身体稳定的前提下，按照“先松懈颈部固定、再解除躯干束缚、最后脱离肢体覆盖”的顺序规范操作，既要避免因操作不当导致气衣内气压骤变对伤者造成额外冲击，又要在最短时间内暴露胸部、颈部等关键急救部位，为后续措施争取时间，这一步骤的熟练度直接影响整个急救流程的推进效率。抵达后，完成气衣脱除的救援人员需立即对失去自主能力的受伤人员展开初步急救：若为大出血，需迅速识别出血点，用专用止血带或压迫法实施止血，同时观察伤者意识与脉搏变化；若为心跳骤停，则立即进行胸外按压与人工呼吸，保持心肺功能的基础循环。在实施急救的同时，迅速启动专用救援工具，小心将伤者平稳转移至升降平台（图3），确保搬运过程中避免二次伤害，同时安排另一名救援人员同步登上平台，在上升过程中持续进行心肺复苏或止血处理，确保急救措施不中断。当升降平台抵达顶部后，立即将伤者转移至预先划定的坚实平整地面，利用现场配备的AED（自动体外除颤器）进行心律分析与除颤操作（如适用），同时配合止血包、绷带等工具深化止血处理，持续监测生命体征变化。在此过程中，所有救援人员需保持高度专注，与等待中的专业救援队伍保持实时通讯，清晰传递伤者状况与已实施的急救措施，为后续专业救治提供关键信息。整个救援流程的核心要义在于，从发现险情到实施急救的每一个环节都必须以“不间断”为准则，通过无缝衔接的急救操作与高效的转运流程，牢牢把控4-6分钟的黄金救援窗口期，用专业与速度为生命筑起防线，直至专业救援力量接手，最大限度提高伤者的生存概率，这既是对生命的敬畏，也是应急救援体系效能的直接体现^[7-10]。



图3 构件池升降平台概念图（由AI生成）

二、结语

本文围绕核电站构件池这一特殊高风险区域的应急救援机制展开系统性研究，通过对换料机辅助吊钩救援与专用救援设备应用两种核心方案的技术特性、适用边界及风险控制的深入分析，

构建了一套兼顾辐射安全与救援时效的应急响应体系，为核设施构件池区域的安全作业与应急处置提供了理论支撑与实践参考。

构件池作为辐射环境与机械操作的交叉重叠区域，其救援工作面临着环境放射性、空间局限性、设备适配性及响应时效性等多重约束的严峻挑战。本文提出的换料机辅助吊钩救援方案，依托常驻现场的专用设备实现了救援响应的即时性，在受困人员意识清醒、生命体征平稳的场景下能够发挥快速转运的优势，有效缩短了早期脱困时间，为非紧急状况下的应急救援提供了补充性技术路径。而针对大出血、心跳骤停等危及生命的紧急状况，专用救援设备的系统化应用则构建了从应急通讯、防护装备穿戴、气衣脱除、现场急救到转运衔接的全流程响应机制，通过无缝衔接的操作环节牢牢把控黄金救援窗口期，彰显了专业设备在极端场景下的生命保障价值。

研究同时揭示了现有救援方案的技术局限性：换料机辅助吊钩在运行速度与动态平衡方面的设计缺陷，使其难以满足急症患者的紧急转运需求；专用救援设备的高效应用则高度依赖救援人员的专业素养与操作熟练度，尤其是气衣脱除等关键环节的操作规范直接影响急救成效。这些局限性也明确了未来核设施应急救援体系优化的方向：需加强救援设备的专项研发，针对构件池环境特性设计兼具高速转运与动态平衡功能的专用救援吊钩系统；完善救援人员的常态化培训机制，通过模拟演练强化复杂场景下的应急处置能力，提升关键操作环节的规范性与效率。

在核安全日益受到重视的背景下，构件池区域的应急救援能力建设是核电站安全生产体系的重要组成部分。本文构建的救援方案体系，以辐射防护为前提，以生命保障为核心，通过技术方案的差异化应用与风险的精准管控，实现了事故后果最小化的核心目标。后续研究可进一步结合智能化技术，探索远程操控救援机器人、实时生命体征监测系统等在构件池救援中的应用，持续推动核设施应急救援技术的创新发展，为核电站的安全稳定运行筑牢防线。

参考文献

- [1] 孟维民, 李炯, 郝中航. 核电厂起重设备全面质量管理[J]. 设备管理与维修, 2024, (05): 8-10.
- [2] 张建军, 贾军辉, 邓晓阳, 等. 核电站建造阶段重型起重设备费用分析及选型[J]. 起重运输机械, 2025, (03): 89-93.
- [3] 朱东科, 石蓓蓓, 朱诗威. 核电起重设备经验反馈体系的建立[J]. 起重运输机械, 2015, (07): 78-79.
- [4] 白杰; 王博; 姚兴瑞. 压水堆核电站反应堆保护系统投运与退出方案论述[J]. 自动化博览, 2015(12): 106-108.
- [5] 吕国伟; 张智勇; 徐嘉伟. 大型水电工程起重设备群防撞避让监控技术[J]. 四川水泥, 2021(12): 39-41.
- [6] 杨光远; 赵喜松; 周兰花; 王备; 谢振波. 核电厂火灾与应急响应预案体系化构建与实践研究[J]. 中国设备工程, 2025(S2): 1-3.
- [7] 曹冉冉; 杨嘉. 国内外核电厂吸取取水头部调研及取水安全分析[J]. 给水排水, 2024(S1): 650-654.
- [8] 董建玉. 核电厂地质测绘工程项目的进度与质量标准化控制策略[J]. 大众标准化, 2025(10): 25-27.
- [9] 曹钟引; 陈伟. 关于核电厂厂房混凝土氯离子危害与防治探究[J]. 中国核电, 2024(02): 278-282.
- [10] 代传波; 闫洋洋; 江灏; 刘海峰; 王杰. 压水堆核电站燃料元件破损在线监测分析方法[J]. 设备管理与维修, 2022(06): 37-39.