

核电厂高空作业防坠落措施有效性分析

管 鹏 王平强 辛本军 秦晓瑜 张敬振

华能海南昌江核电有限公司 海南 昌江 572700

【摘要】：核电厂作为高风险、高精度的能源设施，高空作业贯穿设备安装、检修、运维全流程，作业区域多涉及反应堆厂房、汽轮机厂房等关键部位，作业高度高、环境复杂且作业空间有限。近年来，国内外核电厂高空坠落事故偶有发生，不仅造成人员伤亡，还可能影响核电厂正常运行，引发安全隐患。因此，明确高空作业坠落风险特征与影响因素，分析现有防坠落措施的有效性，对保障核电厂人员安全、维护设施稳定运行具有重要现实意义，需结合核电厂作业特殊性开展针对性分析。

【关键词】：核电厂；高空作业；防坠落措施；有效性

DOI:10.12417/2811-0528.26.10.048

引言

高空作业是核电厂生产运营中的重要环节，涵盖设备吊装、管道铺设、仪表检修等多项作业内容，其安全管理水平直接关系到人员生命安全和核电厂安全生产秩序。由于核电厂作业环境特殊，高空作业面临的坠落风险更为复杂，一旦发生坠落事故，不仅会造成人员伤亡、设备损坏，还可能导致核安全风险扩散，造成恶劣社会影响和巨大经济损失。当前，核电厂已制定多项高空作业防坠落措施，但实际应用中仍存在有效性不足的问题，因此，系统分析坠落风险与防坠落措施有效性，优化防控策略，成为核电厂安全管理的重要课题。

1 核电厂高空作业坠落事故风险特征

1.1 事故后果严重性高

核电厂高空作业坠落事故与普通工业领域相比，后果更为严重且影响范围更广。一方面，高空作业多集中在核岛、常规岛等关键区域，作业人员坠落不仅会造成自身伤亡，还可能撞击下方精密设备、管道等关键设施，导致设备损坏、介质泄漏，进而影响核电厂正常运行，甚至引发核安全相关隐患。另一方面，事故发生后，核电厂需暂停相关作业、开展安全排查与整改，造成巨大的经济损失，同时还会影响公众对核能源安全的信任，引发社会层面的不良影响。

1.2 风险场景复杂性强

核电厂高空作业场景复杂多样，不同作业环节、不同区域的坠落风险呈现差异化特征，增加了风险防控难度。作业场景涵盖室外高空平台、室内高空廊道、设备顶部等多种类型，部分作业区域空间狭窄、光线不足，且存在高空阵风、高温、低温等恶劣天气影响，进一步加剧了坠落风险。同时，核电厂高空作业多为交叉作业，不同专业、不同班组的作业人员在同一高空区域协同作业，作业流程衔接复杂，易出现操作冲突、防护干扰等问题，增加了坠落事故发生的概率。

1.3 风险防控专业性要求高

核电厂高空作业涉及核安全相关规范，对作业人员的专业能力、防护操作以及风险防控措施的专业性要求远高于普通高空作业。作业人员须熟悉核电厂高空作业安全规范、设备结构特点以及放射性防护要求，同时具备熟练的高空作业技能和应急处置能力，否则易因操作不当、防护不到位引发坠落事故。此外，核电厂高空作业的防坠落措施需结合核电厂的特殊性进行定制化设计，既要满足普通高空作业的防护要求，还要兼顾放射性区域的防护特殊性，避免防护措施与核电厂生产运营、放射性防控产生冲突，这对防坠落措施的设计、实施和管控提出了更高的专业要求。

2 核电厂高空作业主要坠落风险因素

2.1 作业人员自身因素

作业人员自身能力和行为习惯是引发高空坠落事故的核心人为因素，诸多问题直接增加了坠落风险。部分作业人员未经过系统的高空作业安全培训，不熟悉高空作业操作规范、防护设备的正确使用方法，对作业过程中的风险认知不足，易出现违规操作行为，如未按要求系挂安全带、在高空平台随意走动、违规攀爬设备等。部分作业人员存在侥幸心理，认为高空作业经验丰富，忽视安全防护要求，简化作业流程，进而引发坠落事故。此外，作业人员的身体状态和心理状态也会影响作业安全，身体疲劳、酒后作业、患有高血压、心脏病等疾病，以及情绪波动、注意力不集中等情况，会降低作业人员的反应能力和操作准确性，增加坠落风险。

2.2 设备设施因素

高空作业相关设备设施的质量和状态存在诸多问题，直接构成坠落风险隐患。高空作业平台、脚手架、梯子等作业载体存在质量不达标情况，如平台材质不符合承重要求、脚手架搭设不规范、梯子存在裂纹、磨损等缺陷，在作业过程中易发生

坍塌、断裂等情况，导致作业人员坠落。防护设施不完善也是重要风险因素，部分高空作业区域未按要求设置护栏、安全网、防护挡板等防护设施，或防护设施安装不牢固、存在损坏、缺失等问题，无法有效阻挡作业人员坠落。此外，作业过程中使用的安全防护设备存在质量问题，如安全带老化、断裂、挂钩不牢固，安全绳磨损、长度不足，安全帽不符合安全标准等，无法发挥有效的防护作用，一旦发生意外，作业人员无法得到有效保护，进而引发坠落事故。部分老旧设备设施未及时更新更换，老化问题持续存在，进一步加剧风险。

2.3 作业环境因素

核电厂高空作业环境复杂多变，诸多环境问题直接增加了坠落事故发生的概率。室外高空作业受天气影响较大，高空阵风、暴雨、暴雪、高温、低温等恶劣天气，会影响作业人员的操作稳定性和防护设备的性能，如阵风可能导致作业人员重心偏移，高温可能导致作业人员中暑、注意力不集中，低温可能导致作业人员手脚僵硬、操作不灵活。室内高空作业部分区域光线不足、通风不良，作业人员视线受阻，易误判作业环境，出现操作失误，进而引发坠落事故。此外，核电厂部分高空作业区域存在油污、积水、杂物堆积等情况，作业面湿滑、杂乱，易导致作业人员滑倒、绊倒，引发坠落。同时，部分作业区域存在放射性辐射，作业人员需佩戴厚重的防护装备，影响操作灵活性，增加了坠落风险。

2.4 安全管理因素

核电厂高空作业安全管理体系存在诸多漏洞，管理不到位直接放大了坠落风险。安全管理制度不完善，未结合核电厂高空作业的特殊性制定针对性的安全管理规定，对作业流程、防护要求、应急处置等方面的规定不明确，导致作业人员无章可循，易出现违规操作。作业审批流程不严格，部分高空作业未按要求办理作业许可，存在未经审批擅自开展高空作业的情况，作业前未进行充分的风险评估和安全交底，作业人员不了解作业风险和安全要求。安全监管不到位，现场监管人员数量不足、专业能力不足，无法及时发现和制止作业过程中的违规操作行为，对防护设施、设备设施的检查不及时，未能及时排查和整改安全隐患。

3 核电厂高空作业防坠落措施有效性策略分析

3.1 强化作业人员安全管理与能力提升

提升作业人员的安全意识和专业能力，是保障防坠落措施有效性的核心。建立完善的安全培训体系，结合核电厂高空作业的特殊性，制定针对性的培训内容，涵盖高空作业安全规范、防护设备正确使用方法、风险识别技巧、应急处置流程等，培训方式采用理论讲解、实操演练、案例分析等多种形式，确保

培训效果。严格落实作业人员持证上岗制度，对高空作业人员进行全面考核，考核合格后方可允许开展高空作业，定期对作业人员进行复训和考核，及时更新培训内容，提升作业人员的专业能力。加强作业人员的日常管理，建立作业人员健康档案，定期对作业人员进行体检，严禁身体不适、患有禁忌疾病以及酒后、疲劳的人员开展高空作业。同时，加强安全宣传教育，通过安全例会、警示标语、事故案例宣讲等形式，强化作业人员的安全意识，摒弃侥幸心理，引导作业人员严格遵守作业规范，自觉落实安全防护要求，从源头上减少人为因素引发的坠落风险。

3.2 完善高空作业设备设施防护体系

健全的设备设施防护体系是防范高空坠落的重要保障，需从设备采购、安装、维护、更换等全流程加强管理。严格规范高空作业设备设施的采购标准，优先选用符合核电厂安全要求、质量合格的作业载体和防护设备，如高空作业平台、脚手架、安全带、安全网等，杜绝不合格设备进入作业现场。规范设备设施的安装与搭设，安排专业人员按照相关规范进行操作，确保高空作业平台、脚手架等搭设牢固，防护设施安装到位，安装完成后需经过严格验收，验收合格后方可投入使用。建立设备设施定期检查与维护制度，安排专业人员定期对高空作业设备设施进行全面检查，重点排查平台、脚手架、护栏、安全网等的磨损、锈蚀、损坏、缺失等情况，以及安全带、安全绳等防护设备的老化、破损情况，发现隐患及时整改，无法整改的及时更新更换。此外，在关键高空作业区域设置警示标识，明确作业范围和风险点，提醒作业人员注意安全，进一步提升设备设施防护的有效性。

3.3 优化高空作业环境管控措施

针对核电厂高空作业环境复杂的特点，优化环境管控措施，减少环境因素对高空作业安全的影响。建立恶劣天气预警与管控机制，加强与气象部门的沟通对接，及时获取天气信息，当出现高空阵风、暴雨、暴雪、高温、低温等恶劣天气时，暂停室外高空作业，待天气好转、环境符合作业要求后，方可恢复作业。优化室内高空作业环境，完善照明设施，确保作业区域光线充足，改善通风条件，减少环境对作业人员的影响。及时清理作业区域的油污、积水、杂物等，保持作业面整洁、干燥，防止作业人员滑倒、绊倒。针对放射性区域的高空作业，优化防护方案，为作业人员配备合适的防护装备，合理安排作业时间，避免作业人员因长时间佩戴厚重防护装备导致疲劳、操作失误，同时加强作业区域的辐射监测，确保作业环境安全。此外，合理规划作业区域，避免交叉作业冲突，减少作业人员之间的相互干扰，降低坠落风险。

3.4 健全高空作业安全管理制度与监管机制

完善的安全管理制度和严格的监管机制,是确保防坠落措施有效落实的关键。结合核电厂高空作业的特殊性,修订完善高空作业安全管理制度,明确作业审批流程、安全交底要求、防护措施标准、应急处置流程等,确保各项作业有章可循。严格落实作业许可制度,所有高空作业必须提前办理作业许可,作业前组织相关人员进行充分的风险评估,明确风险点和防控措施,对作业人员进行全面的安全交底,确保作业人员了解作业风险和安全要求。加强现场安全监管,配备足够数量的专业监管人员,明确监管职责,监管人员需全程在岗,加强对作业过程的监督检查,及时发现和制止违规操作行为,对防护设施、设备设施的使用情况进行抽查,确保防护措施落实到位。建立隐患排查与整改机制,对排查出的安全隐患实行台账管理,明确整改责任人、整改措施和整改期限,确保隐患及时整改到位,同时定期开展安全专项检查,排查潜在风险,防范事故发生。

3.5 强化应急处置能力建设

提升高空坠落事故的应急处置能力,能够有效降低事故后果,减少人员伤亡和财产损失。制定针对性的高空坠落应急处置预案,结合核电厂高空作业的场景特点,明确应急组织机构、应急响应流程、救援措施、人员疏散路线等,确保预案具有可操作性。定期组织高空坠落应急演练,演练内容涵盖事故报警、

人员救援、设备保护、现场处置等环节,组织作业人员、监管人员、救援人员参与演练,提升相关人员的应急处置能力和协同配合能力,及时发现预案中存在的问题并进行修订完善。配备充足的应急救援设备和物资,如救援绳索、担架、急救药品、通讯设备等,定期对救援设备和物资进行检查、维护和更新,确保应急时能够正常使用。建立应急救援联动机制,加强与医院、消防等相关部门的沟通协作,确保事故发生后能够及时获得外部救援支持,提升应急处置效率,最大限度降低事故造成的损失,同时做好事故后的善后处理和原因分析,总结经验教训,优化防坠落措施。

4 结语

核电厂高空作业防坠落工作是保障人员安全和核电厂稳定运行的重要环节,其有效性直接关系到核安全和社会公共利益。当前,核电厂高空作业仍面临诸多坠落风险,作业人员、设备设施、作业环境、安全管理等多方面的问题,影响了防坠落措施的落实效果。通过强化人员管理、完善设备防护、优化环境管控、健全管理制度、提升应急能力等针对性策略,能够有效提升防坠落措施的有效性,防范高空坠落事故发生。未来,需结合核电厂发展需求,持续优化防坠落策略,加强技术创新和管理升级,不断提升高空作业安全管理水平,为核电厂安全生产提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 刘志龙,王成,杜俊男等.基于改进 YOLO11n 的电力高空作业安全防护装备检测算法[J/OL].电子测量技术,1-9[2026-03-13].
- [2] 王庆石,吴经纬.基于改进 YOLOv5 的电力高空作业现场危险行为识别[J].中国新技术新产品,2026,(03):143-145.
- [3] 马刚.核电厂的内部独立核安全监管制度研究[J].标准生活,2026,(01):215-217.
- [4] 张果,刘政杰,张峰,等.某核电厂安全壳冷却通风系统不同运行工况下的性能评估研究[J].暖通空调,2025,55(S2):507-509.
- [5] 季诚,王五妹,蔡宛睿.基于模型驱动的核电厂仪控系统网络安全漏洞动态预测修复技术研究[J].电子技术应用,2025,(S1):9-13.