

核电站日常作业风险评估与管理

王新兵

中国广核集团大亚湾核电运营管理有限责任公司，广东 深圳 518124

DOI:10.61369/EPTSM.2025010013

摘要： 本文深入探讨了核电站日常作业风险评估与管理的全流程。本文介绍了工单产生到现场执行的大致流程，详细描述了作业过程前及期间的风险控制情况。电站在日常作业管理中，从工单准备阶段的风险识别，到日计划中作业风险标识与管控原则，提出了通过风险分级评估、风险挑战制度等方法，实现对作业风险的前端充分识别、过程严格管控、风险挑战科学合理，保障机组安全稳定运行。

关键词： 核电站；风险评估；风险管理；风险挑战制度

Daily Operation Risk Assessment and Management of Nuclear Power Plants

Wang Xinbing

China General Nuclear Power Group Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co.,
LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract： This paper delves into the entire process of risk assessment and management for daily operations at nuclear power plants. It outlines the general workflow from work order generation to on-site execution, providing a detailed description of risk control measures before and during the operation. In daily operational management, the plant identifies risks from the preparation stage of work orders to the identification and control principles of operational risks in daily plans. The paper proposes methods such as risk classification evaluation and risk challenge systems to achieve comprehensive front-end identification of operational risks, strict process control, and scientifically reasonable risk challenges, ensuring the safe and stable operation of the unit.

Keywords： nuclear power plant; risk assessment; risk management; risk challenge system

引言

核电站的日常作业复杂多样，涉及众多专业领域和大量的人力物力资源。确保作业风险的提前识别和有效控制，是核电站安全运行的核心任务之一。本文将从核电站日常作业的计划管理方式入手，详细阐述如何在各阶段落实风险评估与管理措施。

一、核电站日常作业计划管理方式

核电站采用 12 周计划与三天滚动计划相结合的管理方式。通过协调执行专业合理安排人力，充分发挥各部门专业优势，提前识别作业风险，准备隔离指令，在工作周小组详细安排三天滚动计划时，将各项作业时间安排与机组的实时状态有机结合，从而牢牢掌控作业风险，实现各类工作的有序进行^[1]。

二、工单准备阶段的风险识别

（一）总体原则

从 12 周计划流程的工作准备阶段开始，将风险控制环节深度

嵌入。专业、辐射防护部门、安保、工业安全、运行部门充分识别该项工作可能产生的核风险及运行风险、辐射防护风险、工业安全（人身）风险、环境风险、消防风险、安保风险，专业准备工程师针对识别的风险，制定针对性的缓解措施，要求缓解措施符合 SMART 原则^[2]。

（二）风险评估的载体

专业在工单完成准备后，要进行《日常生产活动的风险分级评估单》的填写，该风险单在 SAP 系统中以工单附加许可证的形式，各环节进行内容填写及审批^[3]。

1. 专业准备工程师根据工单准备过程的风险分析和制定的缓解措施，填写《日常生产活动的风险分级评估单》中由专业负责的部分，包括：“本工作是否涉及大纲项目或定期试验的 A/B/R 类工作”、“五新（新技术、新材料、新工艺、新设备、新窗口）”

范围内工作、“近3年内发生过 LOE/IOE 事件或导致专设安全设施误启动的工作”，若有一项涉及，需要进入填写“失效概率”，并会进入“核风险及运行风险分级评估”（运行隔离经理填写）环节^[4]。

本工作是否涉及“辐射防护风险”“工业安全（人身）风险”“环境风险”“消防风险”“安安全风险”，若有涉及，则需填写“失效概率”，并会进入对应风险涉及到的模块进行评估。

若上述内容均不涉及，结束风险分级评估流程。

2.失效概率：准备工程师根据执行的频度，得出不同的失效概率值。

3.执行专业工作风险相关信息：保护动作、执行机构动作、设备启停、缓解措施失效可能导致的具体后果等信息。

4.根据对应的风险进行评估，该模块得分与失效概率相乘，得出风险值，进而得出是否需要启动风险挑战会的结论，若计算得到中风险结论，需流转到辐射防护、消防、工业安全等对应部门给出缓解措施意见，及是否需要启动风险挑战会的建议。准备工程师根据建议选择是否启动风险挑战会。

5.辐射防护风险、工业安全(人身)风险、环境风险、消防风险、安安全风险等风险分级评估：

根据对应的辐射防护、工业安全（人身）风险、环境风险、消防风险、安安全风险进行评估，该模块得分与失效概率相乘，得出风险值，进而得出是否需要启动风险挑战会的结论，若计算得到中风险结论，需流转到辐射防护、消防、工业安全等对应部门给出缓解措施意见，及是否需要启动风险挑战会的建议。准备工程师根据建议选择是否启动风险挑战会。

6.核风险及运行风险分级评估：专业完成上述环节的评估后，进入“核风险及运行风险分级评估”填写，运行在审查工作包及隔离指令准备环节，从技术规格书/技术要求、反应性变化、冷却功能影响、屏障情况影响、支持功能动作或失去、运行风险等维度开展评估，每类不同情况对应不同分值，与失效概率相乘后得出风险值，进而得出是否需要启动风险挑战会的结论^[5]。

如果评估为高风险工作，则提交该项工作给运行主管日常生产副经理审查并启动风险挑战会，如评估为中风险工作，则根据风险和缓解措施情况决定是否启动风险挑战会。

（三）风险挑战制度

风险挑战分为部门级、TEF 级、公司级三级挑战制度。根据风险分级评估结果和工作的影响程度，决定是否启动相应级别的风险挑战会。风险挑战会对工作的执行条件、风险分析全面性等进行全方位挑战，确保风险降至可接受水平。

生产、维修、技术、工程改造等执行部门主管日常生产副经理，识别某项工作如需启动 TEF 层级风险挑战会，则提交该项工作给日常生产管理副总工审查。

日常生产管理副总工根据《日常生产活动的风险分级评估单》《风险及缓解措施挑战指引单》审查相应工作，并根据审查结果做出最终决策，决定是否启动 TEF 层级风险挑战会。启动风险挑战会则执行《TEF 级风险挑战会决议表》；

日常生产管理副总工识别某项工作如需启动公司层级风险挑战会，则提交该项工作给公司主管生产副总经理审查；

公司主管生产副总经理根据《日常生产活动的风险分级评估单》《风险及缓解措施挑战指引单》审查相应工作，并根据审查结

果做出最终决策，决定是否启动公司层级风险挑战会。如需启动公司级风险挑战会则执行《公司级风险挑战会决议表》；

风险挑战会内容：风险挑战会上由事先指定的挑战者先进行挑战，所有参会人员也均从各自专业角度对该工作的执行条件、风险分析全面性、缓解措施的适当性、执行人员资质及经验等方面进行全方位挑战；如果风险挑战会否决了该项工作，则风险挑战会需给出需要解决的问题和建议的风险缓解措施，以将该工作的风险降到可接受的水平。该项工作的准备工程师和工作负责人根据建议重新制定工作方案和措施，重新进行日常生产活动风险管控流程。

如果风险挑战会批准了该项工作，风险挑战会相关工作的专业安排将挑战问题和澄清答复信息填写完整发给与会人员审查，其作为附录放入工作包中并上传 SAP 存档。

三、日计划中作业风险标识与管控原则

（一）A/B/C/R 类活动管理

1. 风险等级分类及标识：将生产活动分为 A、B、C、R 类不同风险等级。A 类：如果发生一阶或者二阶失效/故障，即可导致跳机跳堆的生产活动；R 类：涉及反应性变化风险控制；B 类：如果发生三阶失效/故障，或者在工作区域附近有敏感设备，可能被误碰导致跳机跳堆的生产活动；C 类：除了 A、R 类和 B 类活动之外的其它所有的生产活动。在日常生产计划“类别”栏中标示风险类别，A/R 类活动红色显示突出^[6]。

2. 安排原则：合理安排高风险活动，避免在同一时间或相近时间安排多项高风险活动，确保专业人力合理分配。

3. 监护制度：A/R 类工作实行操作监护制和管理巡视制，B 类工作实行操作监护制，明确责任人并落实于计划中。

（二）重要敏感区域作业管理

1. 区域界定：机组功率运行期间，可能引起停机、停堆及重大瞬态的设备所在的区域，或存在重大触电人身伤害风险的区域。在现场，一般以地面警示线或进入通道处的警示牌为该区域的界限，界限内（包括该界限）即为重要敏感区域。重要敏感区域作业：运行经理之外的专业在重要敏感区域内实施的试验、检修、改造工作、执行专业人员到现场进行的缺陷诊断或确认，以及其配合工作^[7]。

2. 作业分类及要求：分为一类和二类敏感区域作业，专业准备工程师需进行风险分析并指定监护人，计划工程师在日计划中进行标识和提示说明。

专业准备工程师准备工作时，根据工作内容，对照敏感区域设备清单或到现场核实该工作是否为重要敏感区域作业，要求负责该区域的专业协助提供风险分析和监护人。

计划工程师审查工作包时，需要关注风险分析是否完整、准确，重要敏感区域作业需要使用隔离申请，并在日计划会上对即将开工的重要敏感区域作业进行提示说明。对于一类敏感区域作业，在计划中备注监护人。

（三）核安全相关工作管理

原则上核安全相关工作（A 类、R 类、LCO/TLCO）应由专业部门指定该项工作的核安全责任人，核安全责任人依据《核安全责任人风险控制指引单》，对所负责的工作进行核风险管控，

核安全责任人列入日计划^[8]。

(四) 首次执行高风险工作的风险管理

工作周隔离经理依据如下首次执行高风险工作的定义进行识别。Ⅰ类：机组首次执行或间隔大于（不含）一个燃料循环的日常生产工作，经风险分级评估单评估需启动风险挑战会的工作；Ⅱ类：大修后，本燃料循环首次执行的高风险工作：A类/LCO、TLCO类/IS1类^[9]。

工作周隔离经理对于Ⅰ类首次执行高风险工作，在相关文件上加盖专用章，计划工程师标识列入计划，并做好备注，与其它高风险工作错开安排；通过风险监测器进行电厂配置风险管理；要求专业安排经验丰富的工程师作为工作负责人，同时安排管理巡视。

(五) 工业安全风险及高辐射工作的管理

1. 工业安全风险分级与标识：对工业安全风险作业进行分级，识别风险级别并标识，明确责任人及职责。

电厂内的工业安全风险作业按风险由高到低分为一、二、三级，电厂典型的一、二、三级工业安全风险作业有：特殊作业、高处作业、地井、密室、容器作业、起重作业等^[10]。

准备工程师识别出风险级别，必要时与工作负责人一起确定作业风险级别。在工作包标识出高风险作业等级。在高风险工序中加盖工业安全一级、二级、三级高风险的风险分级印章。

计划工程师在日常生产计划中标识工业安全风险类别，并落实日常一级高风险作业的执行责任人、管理责任人、监督责任人，并根据具体职责要求进行现场作业及管控。

2. 高辐射作业管理：高辐射作业标准：由于操作本身需要移动高辐射源或破坏辐射源系统固有的屏蔽边界，具有潜在的、较大的易变化的辐射风险。具体界定标准如下：一般高辐射风险作业：工作人员处场所剂量率大于2mSv/h的工作，但地点在黄区；人员进入放射性容器内作业；水池中可能因活化而产生高剂量率的异物打捞作业。

特殊高辐射风险作业：堆芯组件、高放射性浓缩液、树脂、过滤器与高度活化材料等高放射性物品失控后的处理操作；工作人员处场所剂量率大于100mSv/h的工作；堆芯内异物打捞作业。

所有进入高辐射区或进行高辐射风险作业的工作，必须办理“橙区工作许可证”或“红区工作许可证”。

计划工程师在日计划中标注高辐射，并落实执行责任人、管理责任人、监督责任人，跟据机组状态，选择适当的工作时间窗口，避免交叉作业引入额外的风险。

参考文献

- [1] 陆雪华. 泰山核电站日常运行计划风险及优化 [J]. 科技视界, 2015, (20): 242+313.
- [2] 李舒, 马宗伟, 毕军. 核电环境风险研究进展及管理启示 [J]. 中国环境管理, 2018, 10(3): 48-52.
- [3] 荆俊婷. 风险评估与控制 在电力企业安全管理中的应用 [J]. 企业改革与管理, 2023(15): 17-18.
- [4] 熊刚, 王飞跃, 侯家琛, 等. 提高核电站安全可靠性的平行系统方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 1018-1026.
- [5] 徐志辉, 刘鹏, 贾明, 等. 基于国际项目实践的核电站人因安全分析方法研究 [J]. 核科学与工程, 2023, 43(5): 996-1003.
- [6] 王川, 何俊男, 沈恩伟. 对集体剂量概念在核电站辐射防护管理中角色的理解和思考 [J]. 辐射防护, 2023, 43(6): 598-602.
- [7] 但体纯, 刘聪, 黄红科, 等. 我国核电站预防性防腐蚀管理 [J]. 腐蚀与防护, 2022, 43(5): 45-48.
- [8] 邹象, 郎明刚. M310核电站非能动安全改进措施研究 [J]. 原子能科学技术, 2015(7): 1184-1190.
- [9] 魏兴, 陈云. PSA风险分析方法在核电厂中的应用 [J]. 山东工业技术, 2018, (01): 70.
- [10] 张雨虹. 核电站生产运行系统风险分析与决策方法研究 [D]. 天津大学, 2018.

(六) LCO/TLCO 与风险配置管理

1. 计划工作排程风险管理：对涉及 LCO/TLCO 的工作进行风险分析，分为三个清单进行管理，避免并行安排高风险工作。

若工作涉及的 LCO/TLCO 全部已 PSA 模化，应用配置风险管理安排计划工作。

若工作涉及的 LCO/TLCO 全部或部分未 PSA 模化，则分为三个清单进行管理：清单一：“高风险 LCO/TLCO（未 PSA 模化）清单”、清单二：“低风险 LCO/TLCO（未 PSA 模化）清单”，清单三：非清单一及清单二里的工作（无论是否模化）。

通过配置风险管理及其他风险分析方法，甄别多个 LCO 和 / 或 TLCO 并行安排风险。

2. 配置风险管理：识别日常计划中需要配置风险管理评价的工作项目，开展配置风险评价，根据结果执行相应风险管理要求。

白班值隔离经理参照 PSA 编码规范识别日常计划中需要配置风险管理评价的工作项目的 PSA 编码，及时反馈日常计划工程师。

日常计划工程师将 PSA 编码列入三天滚动计划，并对三天滚动计划开展配置风险评价，根据评价结果所处风险区域，对照风险管理矩阵执行相应的风险管理要求，并将评价结果与计划排程一并输出并保存。

四、结论

综上所述，在日常作业安排与风险管理中，通过工作准备阶段，准备工程师、辐射防护、工业安全等部门工程师从工作给机组引入的风险，展开评价，并考虑工作失效概率，从而得出是否需要启动风险挑战会的结论，电站根据结论进一步进行风险挑战，从而使作业风险可知可控。计划编排阶段，通过对跳机跳堆风险工作、工业安全一级、高辐射风险、重要敏感区域工作进行合理安排并牵引电厂各相关部门严格安排相关管控人，落实管控措施，通过配置风险管理，科学安排电站 LCO/TLCO、PSA 工作，使电站配置风险处于较低区域。

通过在工单准备阶段全面识别风险，结合风险分级评估和风险挑战制度，以及在日计划中对各类高风险作业进行合理安排和严格管控，核电站能够实现对日常作业风险的全方位、多层次管理，为核电站的长期可靠性和可持续发展奠定了坚实基础。未来，随着技术的不断进步和管理经验的积累，核电站的风险评估与管理体系将不断完善，为全球能源安全和环境保护做出更大贡献。