

Analysis of the Application Process of Configuration Risk Management in Nuclear Power Plants

Shouning Yang

CGN Lufeng Nuclear Power Co, Ltd., Shanwei, Guangdong, 516500, China

Abstract

Configuration risk management in nuclear power plants is a core approach to controlling risks from maintenance activities and equipment out-of-service states, ensuring safe operation. To address the shortcomings of traditional qualitative risk management in the quantitative assessment of multiple equipment failures, China's nuclear safety regulations require the establishment of a systematic configuration risk management system. Meanwhile, the application of configuration risk management in nuclear power plants can continuously enhance safety and operational efficiency. Taking the practice of a domestic nuclear power plant as an example, this paper expounds on the process of establishing a configuration risk management system in nuclear power plants, introduces the detailed procedures for its establishment and the technical and management requirements in its application, and analyzes and discusses the requirements for formulating risk management measures during the system's application in power plants.

Keywords

configuration risk management; Risk management measures; Risk Management Matrix

配置风险管理在核电厂的应用过程浅析

杨首宁

中广核陆丰核电有限公司, 中国·广东 汕尾 516500

摘要

核电厂配置风险管理是控制维修活动及设备退出状态风险、保障安全运行的核心手段。针对传统定性风险管理在多重设备失效量化评估中的不足,我国核安全监管要求建立系统化的配置风险管理体系,同时核电厂应用配置风险管理能够持续提升安全性与运营效率。本文以国内某核电厂实践为例,阐述核电厂建立配置风险管理体系的过程,介绍了核电厂配置风险管理体系建立的详细过程和应用过程中的技术和管理要求,同时对于在电厂应用过程中的风险管理措施制定要求进行分析 and 讨论。

关键词

配置风险管理; 风险管理措施; 风险管理矩阵

1 引言

为保证核电厂的安全,核电厂必须实施维修活动和系统设备出现退出时制定一套有效的风险管理体系,控制核电厂维修活动和系统设备带来的风险变化,保证核电厂时刻处于安全运行的状态。为此,核电厂营运单位根据技术规格书、生产活动风险分类和设备分级等管理规定,制定了多种定性的风险管理方式,对核电厂配置(即核电厂维修活动开展和系统设备退出后所处的状态)进行管理。技术规格书针对各具体系统或设备给出允许的维修时间等限制,但不能对多重系统或设备失效进行有效管理,生产活动风险分类和设备分级对于风险进行了定性的分类,并不能有效量化各类活动风险的大小和风险所带来的后果,尽管有些技术规格书对多

重系统或设备失效做了一些规定,但由于核电厂运行配置的复杂性和多样性,这种对风险的控制方式并不完全合理。国际实践表明,对多重设备失效进行控制的有效方法是核电厂的配置风险管理。

2019年12月30日,国家核安全局下发《关于印发<核电厂配置风险管理的技术政策(试行)>^[1]的通知》,要求各核电运营单位制定实施计划,建立配置风险管理体系及开发风险监测工具。2022年,核安全局发布《核动力厂调试和运行安全规定》^[2]中明确要求运营单位建立核动力厂配置状态的风险管理体系。同时,维修配置风险管理是维修规则(MR)中a4:风险评价的手段和工具,是维修规则正式实施的必要前提条件之一。

本文将主要阐述国内某核电厂在建立和实施配置风险管理体系的总体要求和实施步骤,并对配置风险管理在电厂应用过程中的重要问题进行分析 and 讨论。

【作者简介】杨首宁(1988-),男,中国甘肃平凉人,本科,工程师,从事概率安全分析的应用研究。

2 核电厂配置风险管理体系的建立过程

以国内某核电厂建立配置风险管理过程为例,达到“使用风险监测工具来开展配置风险管理,建立配置风险管理流程,建立一套风险阈值和相应的风险管理矩阵来对不同的风险水平分类并进行分级管理”的体系建立,至少需要具备以下条件:①核电厂开发配置风险管理体系需要的运行阶段的PSA模型。②核电厂开发成熟的配置风险监测工具。③核电厂建立完整的配置风险管理体系流程。

3 核电厂配置风险管理体系建立的步骤详解

3.1 核电厂配置风险管理体系需要的运行阶段的PSA基准模型

根据《核电厂配置风险管理的技术政策(试行)》的要求:风险阈值对应的是全范围始发事件的风险,如果核电厂PSA范围尚不完善,可通过补充额外分析来扩大范围或对风险阈值进行适当调整。本核电厂实施配置风险管理时已开发内部事件一级PSA模型和内部事件LERF模型,未具备全范围的PSA模型,因此根据同类电厂及已开发模型与全范围PSA模型之间的风险占比,制定本厂的风险阈值。

3.2 核电厂开发成熟的配置风险监测工具

3.2.1 实时风险模型的重构

实时风险模型的重构是实时风险评价与管理的技术核心。重构实时风险模型前需要确定核电厂用于开发RM的PSA模型。通常用于核电厂开发RM所采用的PSA模型是最新版活态PSA模型,而活态PSA模型只是一个平均风险模型,不能反映电厂的实时状态,无法直接用于电厂的实时风险评价,需要重构出符合电厂实际情况的实时评价模型,因而需要将最新版活态PSA模型转换成实时风险模型开展风险计算。实时风险模型重构主要依托国内外公认的方法或导则、技术标准,总体重构技术路线为:基于对技术导则的理解,借鉴已完成的国内外同类实时风险模型的功能和特点,由PSA人员和电厂人员共同进行具体研发。

3.2.2 计算引擎选型

目前国内外成熟的风险监测工具的核心计算引擎分为重解法和最小割集法。结合不可用数据实时风险评价、计划排程多组态风险评价等应用需求,本厂风险监测工具的核心计算引擎将采用最小割集法。

3.2.3 计划排程评价方案制定

目前国内外成熟的风险监测器工具在计划排程风险评价环节,均是在风险监测工具上进行,该方式在计划排程对应的不可用设备录入、风险结果查看、风险信息提示等环节并不友好。本厂采用风险监测工具与电厂计划排程软件一体化的方式实现计划排程风险评价。计划工程师将在计划排程软件内直接启动风险评价,调用风险监测工具核心计算引擎,并将计算结果直接在计划排程软件中进行展示。同时,在计划排程软件内可快速识别、查看中、高风险组态对应的

计划作业,并对需要调整的排程提供明确的方案。

3.2.4 系统设备不可用评价方案制定

为了快速对系统设备不可用进行风险评价,将机组不可用数据实时传送至风险监测工具,风险监测工具将实时获取机组不可用数据信息(包含即将产生不可用数据但可通过PSA模型评价的不可用设备信息)并实时显示风险评价结果,实现电厂风险的即时评价。同时开发了高风险警示功能,若机组出现中、高风险组态,软件将第一时间提醒相关人员,以便及时进行风险管控。

3.3 建立配置风险管理体系

根据《核电厂配置风险管理的技术政策(试行)》的要求,核电厂配置风险管理体系的建立包括确定风险阈值、建立风险管理矩阵和评价配置风险等三个步骤。

3.3.1 编制配置风险管理体系实施程序

核电厂编写《配置风险管理大纲》,该大纲中对配置风险管理涉及的技术要素进行明确,包括风险阈值的制定过程及依据、风险管理矩阵的制定过程及依据,同时还包括电厂各部门在配置风险管理体系中应尽的职责,具体实施流程和方法,配置风险管理体系的升版和维护机制,如风险阈值、风险管理矩阵、风险评价模型、风险监测器软件的升版和维护机制。

3.3.2 确定风险阈值

风险阈值制定的主要技术依据是《核电厂配置风险管理的技术政策(试行)》。技术政策推荐了一套针对全范围始发事件的风险阈值,并说明“如果电厂PSA范围尚不完善,可通过补充额外分析来扩大范围或对风险阈值进行适当调整”。现阶段我厂已完成开发内部事件一级/LERF实时风险模型,配置风险管理范围为内部事件一级/二级LERF概率安全分析(PSA)模型相关的系统、构筑物与设备(SSC),因此无法直接选取技术政策推荐的全范围风险阈值进行配置风险管理,需对该风险阈值进行适当调整,参考外部反馈及行业实践经验,调整方式为:

内部事件PSA风险阈值 = 全范围PSA风险阈值 × 内部事件PSA基准风险占比

计算内部事件一级/LERF模型的PSA基准风险在全范围一级/LERF模型的PSA基准风险的占比,并综合考虑群厂相似堆型阈值统一性,选取电厂的风险管理阈值。根据风险阈值将风险等级划分为三个等级,分别为绿区(正常控制区)、黄区(风险管理区)、红区(风险不可接受区)。

3.3.3 建立风险管理矩阵

风险管理矩阵主要是根据生产活动的风险等级来制定合适的管控措施,使得生产活动引入的风险维持在最小范围内,同时实现风险管理活动资源投入最优化^[3]。因此,结合目前电厂可投入的风险管控资源情况并依据《核电厂配置风险管理的技术政策(试行)》,将风险管理矩阵划分为正常控制区、风险管理区和风险不可接受区。

3.3.4 配置风险管理试运行

配置风险管理体系的试运作是对于配置风险管理体系正式运作前的检验，以期能够发现配置风险管理体系运作的不足和人员使用配置风险管理的熟悉程度。配置风险管理的运作包括了运行配置风险管理和维修配置风险管理两部分。

运行配置风险评价主要是在日常和大修期间机组出现运行异常事件时采用风险监测工具进行配置风险评价。运行配置风险评价由机组运行人员实施评价，在核电厂发生异常导致一个或多个安全重要设备不可用时，核电厂运行人员除执行技术规格书、技术要求中规定的措施以外，还需采用风险监测工具评价配置风险，并根据风险所处的区域采取相应的行动。

维修配置风险评价由日常计划工程师、大修计划工程师实施评价，对于评价结果存在中、高风险的排程，计划工程师需要根据风险提示信息针对性调整计划排程。若排程无法调整，需要根据风险管理矩阵的要求执行风险管控措施。

4 配置风险管理应用过程中的重要问题

由于电厂风险控制的保守性和成熟的计划风险管理体系运作，在电厂实际工作中，电厂极少出现需要制定风险管理措施的配置，但是在出现风险高的电厂配置，尤其是出现重要设备随机不可用的情况下，风险管理措施的制定对于风

险的管理和后续机组的风险控制是极其重要的。为此，电厂需要加强风险管理措施制定的培训和指导，本电厂制定了风险管理措施的指导性文件。

5 风险管理措施制定与实施流程

①当机组需要制定风险管理措施时，运行配置风险理由电厂运行操作员组织制定风险管理措施，维修配置风险理由日常与大修计划人员组织制定风险管理措施。

②进入风险监测器的“风险预测”模块计算得到特定配置的风险见解。

③根据风险见解以及风险管理措施的维度制定风险管理措施，风险见解总共分为六个方面（评价配置、风险评价结果、RAW 重要 SSC、RRW 重要 SSC、FV 重要始发事件、SSC 优先恢复次序），在风险管理措施制定过程中需要重点关注 RAW、RRW、FV 重要始发事件、SSC 优先恢复次序。

④风险管理措施制定的四个维度与 RAW、RRW、FV 重要始发事件、SSC 优先恢复次序之间的关系如下图。

⑤风险管理措施制定完成后，由授权人员批准后执行 ACT 时间延长操作。

⑥执行风险管理措施延长 ACT 后若电厂的实际风险配置发生变化，需尽快评估原风险管理措施的适用性。

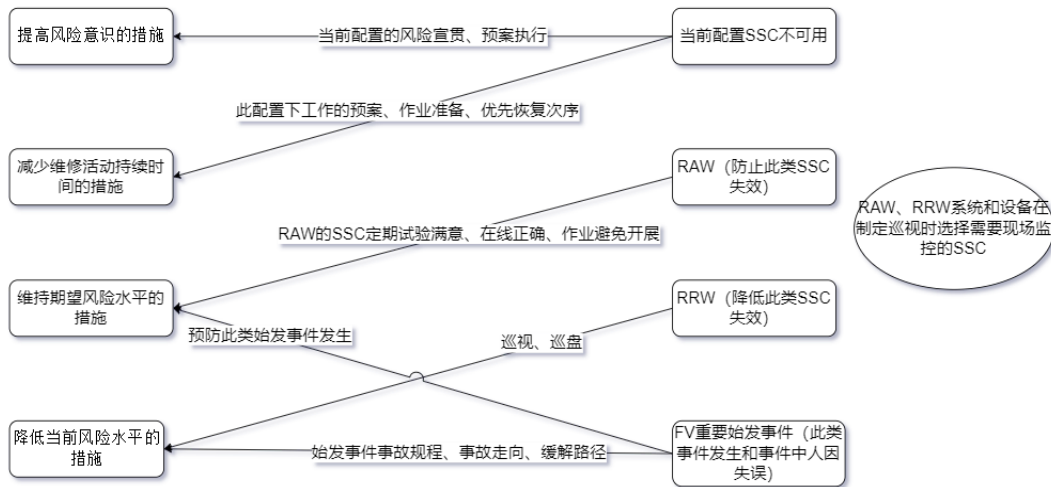


图 1 风险管理措施制定参考图

6 总结

配置风险管理不是一个静态的过程，而是需要不断更新和完善。核电厂配置风险管理体系运作后，电厂也应定期进行配置风险管理体系运作有效性审查，确保其能够适应新的技术变化和上游法律法规要求。同时，在电厂实际应用过程中识别潜在的不足，并持续优化改进。配置风险管理体系对于提升电厂安全性和运营效率尤为重要，应继续加强对配置风险管理的研究与实践，以应对日益复杂的核电运营

环境。

参考文献

[1] 国家核安全局. 核电厂配置风险管理的技术政策（试行）（国核安发〔2019〕262号）[S].北京：国家核安全局，2019.

[2] 国家核安全局. 核动力厂调试和运行安全规定：HAF103（国核安发〔2022〕97号）[S].北京：国家核安全局，2022.

[3] 韩治，吴晓燕，初永越，钱晓明. 核电厂配置风险管理风险阈值的设定方法研究核科学与工程[M]，2023，43（4）