

## 附件 1

# 改进核电厂维修有效性的技术政策

(试行)

### 一、前言

维修是核电厂重要的安全相关活动。在核电厂运行过程中，必须保证维修活动的有效性，使核电厂构筑物、系统和设备在各种运行工况、设计基准事故工况，以及选定的超设计基准事故工况下，能够有效的执行预定的安全功能，减少挑战核电厂安全的瞬态次数，保证核电厂运行安全。

传统上核电厂均采取定期预防性维修和纠正性维修方法，但广泛的国际运行经验表明，维修不足、过度维修以及维修不当可能会对核电厂构筑物、系统和设备产生不利影响，从而降低核电厂的运行安全水平。近年来的国际实践表明，核电厂建立维修有效性评价体系（即维修规则），能够更加合理、有效的提高设备的可靠性。

我国核安全法规《核动力厂运行安全规定》（HAF103-2004）对核电厂维修的有效性提出了相关要求，如“维修、试验、监督和检查大纲必须考虑运行限值和条件以及其他适用的核安全管理要求，并且还必须根据运行经验进行重新评价”“核动力厂运行管理者必须保证在计划停役和强迫停役期间维修活动的有效实施和管理”等。

国家核安全局制订本技术政策，目的在于指导核电厂营运单位对构筑物、系统和设备的维修有效性以及维修活动的风险进行监测和管理。营运单位在执行本技术政策时应保证核电厂安全水平得以维持甚至提高。

## 二、概念及术语

本技术政策中使用的概念和术语解释如下：

**构筑物、系统和设备：**本技术政策主要针对核电厂的构筑物、系统和设备，不涉及组成设备的具体部件。

**维修规则：**对核电厂构筑物、系统和设备维修活动进行有效性评价的规则体系，其实施的基本原则为：首先基于安全重要原则，确定适当的构筑物、系统和设备范围，纳入维修有效性管理。随后确定这些构筑物、系统和设备的风险重要类，结合其运行或备用的状态，制定适当的性能指标，并开展监测。核电厂运行中，定期对这些构筑物、系统和设备的实际运行情况进行评价，判定是否满足已制定的性能指标，并根据评价结果对维修策略进行优化调整。同时，对开展维修活动所引入的机组运行风险进行评估，必要时采取相应的预防措施。

**维修有效性：**构筑物、系统和设备维修的“有效性”通常会反映在其运行、维修过程中所表现的性能上，如可靠性、可用性等。对某一特定的构筑物、系统和设备，可按照其设计基准、运行经验设定具体的性能指标。通过比较上述指标与该构筑物、系统和设备在运行、维修、试验中所表现实际性能的相符性，关注维修结果而

非维修过程，并用于判断维修是否有效。

**风险指引：**涵盖风险信息和分析、决策和管理的方法。该方法将风险信息与传统工程分析要考虑的因素结合起来，使得营运单位和核安全监管机构对核电厂的设计和运行的关注水平与他们对健康和安全的重视程度相一致。需指出的是，对核电厂构筑物、系统和设备实施维修（特别是在线维修）所导致的相应功能丧失或冗余度降低也应该引起重视。通过定量或定性的风险分析来合理安排和管理核电厂维修活动是目前国际上主要核电国家的普遍实践。

**性能指标：**对单个设备、系列、系统乃至整个电厂设定的用于监测的可靠性、可用性指标。如有必要，对单个设备还可设定其参数状态（振动、流量、温度等）作为性能指标。对构筑物可设定其外观状态（腐蚀、壁厚、倾斜度等）作为性能指标。

**监测：**通过对构筑物、系统和设备进行预防性维修、定期试验、巡检，或对其物理参数进行持续监测，收集构筑物、系统和设备当前的性能状态，或对其性能进行趋势分析。

**事故规程：**包括事件导向或状态导向的应急运行规程，但不包括严重事故管理规程。

### 三、维修规则的实施

维修规则实施流程主要包括：

#### （一）确定所涉及的构筑物、系统和设备范围

维修规则所涉及的范围应包括所有安全构筑物、系统和设备。此外，由于某些非安全构筑物、系统和设备的功能失效也可能危及

核电厂的安全运行，导致汽轮机跳闸甚至反应堆紧急停堆等瞬态，因此部分非安全构筑物、系统和设备也应纳入维修规则管理范围。

这部分非安全构筑物、系统和设备应包括：

1. 最终安全分析报告中给出的用于缓解事故或瞬态的非安全构筑物、系统和设备。

2. 事故规程中使用到的能够缓解设计基准事故的非安全构筑物、系统和设备。

3. 失效后会妨碍安全功能执行的非安全构筑物、系统和设备。

4. 可能导致反应堆紧急停堆、汽轮机跳闸或触发安全系统动作的非安全构筑物、系统和设备，营运单位可根据自身及行业的运行经验筛选出此类非安全相关构筑物、系统和设备。

## **(二) 确定构筑物、系统和设备的风险重要类**

利用概率安全分析（PSA）方法能够有效的确定构筑物、系统和设备的风险重要度，具体可以结合风险减少重要度（RRW）、风险增加重要度（RAW）及堆芯损坏频率（CDF）贡献等方法进行分析。采用 PSA 以外的其他方法确定风险重要度时，应对方法的适用性进行论证。如通过专家判断风险重要类，则要求专家具备相关领域丰富的经验和足够的能力。

## **(三) 设定性能指标**

维修规则涉及的构筑物、系统和设备数量众多，如果对所有单个设备均设定性能指标，将导致需要监测的性能指标量大大增加，从系统功能来看也是不必要的。在实际操作中，可以按照风险重要

度并结合系统实际运行状态的原则来设定性能指标。

可分为 4 类情况：

1. 风险重要且备用：对具体设备或其所处的列设定性能指标（至少应包括：可靠性、不可用度）。

2. 风险重要且运行：对相应的列或整个系统设定性能指标（至少应包括：可靠性、不可用度）。

3. 非风险重要且备用：对相应的列或整个系统设定性能指标（至少应包括：可靠性）。

4. 非风险重要且运行：设定电厂级性能指标（通常包括：非计划停堆次数、非计划能力因子降低、触发安全系统动作次数）。

设定性能指标时可参考核电厂设备可靠性数据和运行维修经验，还应考虑行业内相关系统和设备的可靠性水平。

如需要，营运单位还可通过专家判断对分类情况和具体性能指标进行调整。

#### **（四）性能指标的监测**

对所有纳入维修规则管理的构筑物、系统和设备均应编制相应的预防性维修大纲和/或定期试验大纲（“运行到失效”的设备除外）。应当通过适当的方法（预防性维修、检查或定期试验等）来监测这些构筑物、系统和设备的性能状态，并将其与设定的性能指标进行比较，判断这些构筑物、系统和设备是否仍具备执行相应功能的能力。

##### **1. 性能状态满足设定的性能指标**

可认为该构筑物、系统或设备保持着执行相应功能的能力，可

以继续按照原有预防性维修大纲及定期试验大纲执行相应的维修、试验活动，并继续实施性能监测。

## 2. 性能状态不满足设定的性能指标

应对此进行根本原因分析，并采取适当的纠正行动（如：调整维修、试验或监督的频度及方法，进行性能趋势分析等）进一步优化维修、试验活动。也可能需要对该构筑物、系统或设备设定额外的性能指标（如：增加状态监测、设定短期及长期应满足的指标等）。必要时，核电厂需要进行工程或设备改造。

## 3. 调整

按照上述第 2 条款管理的构筑物、系统或设备，在其性能状态持续一定周期内均能满足设定的性能指标后，可以重新按照第 1 条款中的规定执行维修、试验活动。

### （五）对维修活动的有效性进行评价

应对每个换料周期的维修活动进行有效性评价，审查内容应包括：

1. “（四）性能指标的监测”中 3 个条款的执行情况。
2. 不能满足性能指标时相应纠正行动的执行情况。

如果对构筑物、系统和设备增加维修，可能会使其可靠性有所提高，但同时将导致其可用度降低，因此应定期对同一构筑物、系统或设备的可靠性和可用度指标进行适当平衡和优化。

## 四、维修活动的风险评价和管理

在实施维修活动（预防和纠正性维修、定期试验、维修后的再

鉴定等)前,应对维修活动可能引起的风险增量进行评价和管理。

### **(一) 风险评价的范围**

1. 功率运行模式下,对于确定为风险重要的构筑物、系统和设备,以及内部事件一级 PSA 模型所涉及的构筑物、系统和设备,应对其维修活动所引入的风险进行评价。

2. 停堆模式下,对于在停堆期间执行安全功能(如:余热排出、水装量控制、电源可用性、反应性控制、安全壳密封等)的构筑物、系统和设备,应对其维修活动所引入的风险进行评价。

### **(二) 风险评价方法**

对实施构筑物、系统和设备维修活动所引入风险的评价需利用核电厂 PSA 模型或基于 PSA 的核电厂风险监测器(Risk Monitor)。评价所使用的 PSA 模型(或风险监测器)应对核电厂构筑物、系统和设备及其相关性进行充分建模,能够反映核电厂当前的实际状态,其质量应得到确认。采用 PSA 以外的其他方法进行风险评价时,应对方法的适用性进行论证。

### **(三) 风险管理**

风险管理的目的,是控制因维修活动引起的瞬时风险(指维修活动期间的堆芯损坏频率)和风险增量(指维修活动导致堆芯损坏概率的增加),使核电厂平均的基准风险变化维持在最小范围内。实际工作中,通过分析风险评价的结果,可以合理的计划和安排维修活动,避免特殊配置下的瞬时风险超过某阈值,并在累积风险增量处于不同阈值范围内采取相应的措施。

在进行风险评价和管理时还应考虑核电厂执照文件，如技术规格书的相关规定。

#### **(四) 维修活动安排**

核电厂实施维修规则后，营运单位可根据维修有效性和维修风险管理来安排维修活动的方式、频次及实施窗口。

#### **五、维修规则的使用**

国家核安全局鼓励各核电厂按照本维修技术政策优化相关维修活动。核电厂在国家核安全局批准其运行许可证有效期限延续前，应建立维修有效性评价体系，对其能动设备、包含能动设备的系统及构筑物实施本维修规则。

为各核电厂构筑物、系统和设备设定一套适当的性能指标或维修目标体系是一项复杂的持续性工作，需要长期监测分析和不断优化完善。鉴于国内核电厂类型较多，设备种类繁多，国家核安全局将从实际情况出发，采用试点、示范的方式逐步推进维修规则相关工作，待积累一定经验后再纳入核安全法规要求。