

附件 2

《改进核电厂维修有效性的技术政策 (试行) 》

编 制 说 明

一、编制背景

维修是核电厂重要的安全相关活动，对核电厂安全运行有着重要的意义。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 (Structure、System and/or Component, 以下简称 SSC) 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。随着我国投运机组的增加，建立适用于自身的、有效的维修管理和评价体系越来越受到核电营运单位的重视。同时，对核电厂维修活动有效性的监管已成为国家核安全局所关注的重点。

近年来，国际主要核电国家一直在不断改进维修技术，建立并完善维修活动有效性的评价及监管体系。以美国为例，上世纪九十年代中期美国核管会 (NRC) 及核工业界发布并实施了核电厂维修有效性监测的要求 (Maintenance Rule, 维修规则) 及指导文件，推进核电厂建立维修有效性评价体系，对其设备可靠性的提高及安全经济运行产生了积极的影响。

国家核安全局借鉴这种关注维修结果的有效性监管评价体系，并结合我国核电厂具体实践经验，制定《改进核电厂维修有效性的技术政策（试行）》（以下简称技术政策），希望通过技术政策的实施，促进国内核电营运单位制定适用于自身的维修评价体系，从而优化维修活动，提高设备可靠性，加强维修活动的风险评价及管理水平。对国家核安全局而言，本技术政策的实施，既能提高维修相关核安全监管活动的效率，也能为未来相关法规的制定和修订打下良好的实践基础。

二、美国核电厂维修规则监管体系

美国核工业界于 1963 年发布适用安全相关压力容器的在役检查标准（ASME 第 XI 章），针对安全相关的泵、阀门及管道的检查要求也相继发布，但对核电厂 SSC 的维修却没有普遍适用的法规和行业标准。NRC 及核工业界认识到，有效的维修对于核电厂安全可靠的运行尤为重要。与此同时，上世纪八十年代，因系统设备性能降低而引起的机组跳堆跳机等瞬态次数的增加引起了 NRC 的高度关注，而其中大部分设备（特别是非核安全设备）的维修并未纳入当时的监管范围。

NRC 成立的维修小组通过检查和研究发现，维修是否有效与机组的安全性（如：跳堆跳机等瞬态或对安全系设备的可操作性、可用性及可靠性的挑战次数等）之间有着密切联系。有效的维修能够使可能导致机组瞬态或事故的系统设备的故障率最小化。

基于上述结论，NRC 于 1991 年 7 月发布一份风险指引型、基于

性能的维修规则-10 CFR 50.65 《核电厂维修有效性监测要求》，该规则适用于对安全和部分非安全 SSC 的维修监管。为配合相关监管要求，美国核管理与资源理事会（NUMARC）于 1993 年 5 月提交一份维修规则的实施指导文件- NUMARC 93-01 《核电厂维修有效性监测行业指导》。为强调这份文件的适用性和重要性，核管会随后发布 RG 1.160 《监测核电厂维修的有效性》，对 NUMARC 93-01 进行了认可，并建议核电厂参考应用。

10 CFR 50.65 与 NRC 发布的其他法规明显不同，原因是该法规结合了风险指引型和基于性能的特点。10 CFR 50.65 关注的重点是维修结果是否满足既定性能目标，而非维修实施过程。同时，该法规也关注了核电厂维修导致系统设备不可用所引发风险是否可接受，以及营运单位是否采取适当的管理措施。

1994 年 9 月至 1995 年 3 月，NRC 在 9 个试点核电厂进行了维修规则的实施情况检查，并发布 NUREG-1526 《维修规则在九个核电厂早期应用的经验》。此后，10 CFR 50.65 于 1996 年 7 月 10 日正式生效。1996 年至 1998 年期间，NRC 对美国全境 71 个（包括 68 个运行、3 个退役）核电厂/机组进行维修规则实施情况检查，并发布检查结果《Maintenance Rule Baseline Inspections of 1996 - 1998》。

随着概率安全分析（PSA）方法在美国核电厂的逐步应用，NRC 于 1999 年 7 月对维修规则进行修订，进一步对维修活动所引发风险的管理提出要求，并将相应指导条款纳入 NUMARC93-01 中。此后，NRC 陆续发布检查程序（IP 62706、IP 62709、IP 71111.12、

IP 71111.123)、技术报告 (NUREG-1526、NUREG-1648)、检查人员备忘录 (SECY-00-074、SECY-99-133) 及基准调研报告等多份文件, 支持维修规则的推广应用。

截至目前, 美国已建立完善的核电厂维修规则评价体系, 其法规、导则、行业标准及相关文件如图 1 所示。

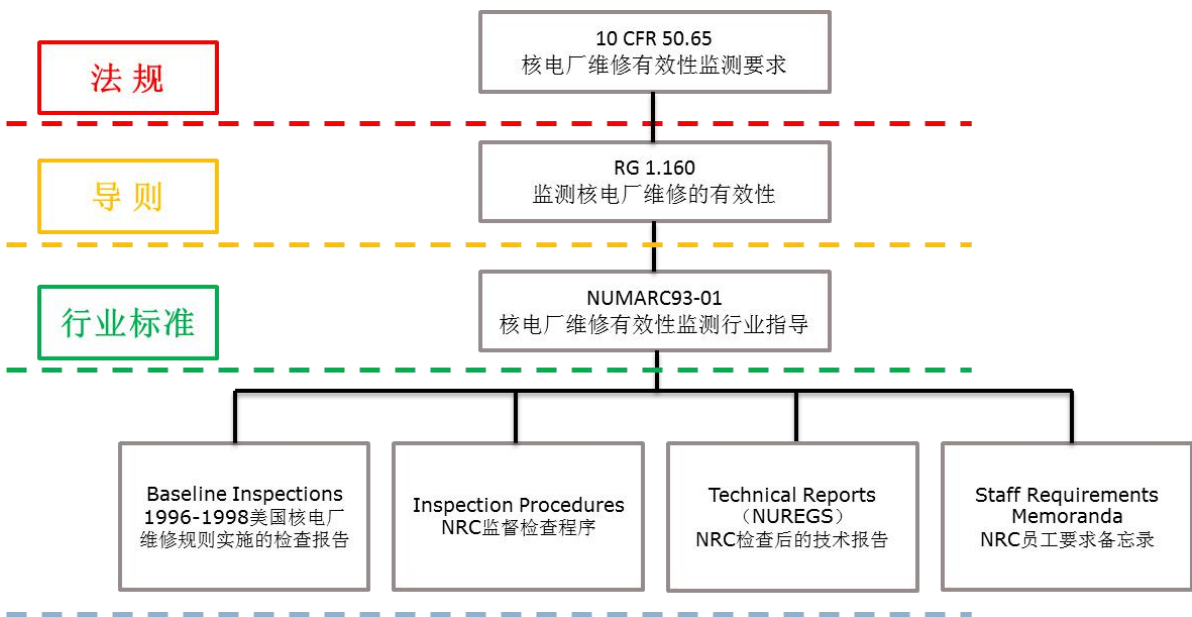


图 1 美国核电厂维修规则监管的文件体系

美国 NRC 及核工业界发布的上述法规标准, 对核电厂相关的维修及监管活动起到了积极推进作用。该监管方式更加关注维修活动的效果, 而非维修活动的实施过程。核电厂营运单位可根据系统设备实际性能制定或调整更为合理的维修策略, 确保系统设备的可靠性和可用性得到提高。同时, NRC 也提高了核安全监管效率。该维修评价体系值得国内核电厂营运单位以及核安全监管部门借鉴。

三、国内维修管理体系现状及技术政策实施的基础

1993 年 12 月, 国家核安全局颁布 HAF001/01 《核电厂安全许可

— 14 —

证件的申请和颁发》，要求《核电厂维修大纲》应作为《核电厂首次装料批准书》的申请文件之一提交国家核安全局审批。机组运行后，该文件将作为维修活动实施及相关核安全监管的主要依据文件。营运单位主要根据国家核安全局 2004 年颁布的 HAF103《核动力厂运行安全规定》以及 1994 年颁布的 HAD103/08《核电厂维修》编制完成《维修大纲》。

HAF103《核动力厂运行安全规定》中规定：“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”。

核电厂《维修大纲》中一般会包括维修技术及管理方面的内容，而对具体维修活动的指导则分布在预防性维修大纲和维修规程/程序中。上述文件对核电厂维修活动的管理和实施提出了规定，但并不适用于评价维修对设备性能的贡献情况，也不适用于维修有效性的评价。

随着核电运行机组数量的增加，以及运行维修经验的积累，国内一些核电营运单位或研究机构陆续开展设备可靠性管理和维修优化工作，在确保安全相关 SSC 可靠的同时，降低因维修过度或不足而导致的安全或经济影响。同时，随着设备状态监测技术的不断发展，在关键安全设备出现不可接受的性能劣化前，核电厂可适时开展预测性维修。

总体来看，国内核电厂在技术和经验方面已具备开展基于性能、

风险指引型维修规则的条件。国家核安全局编制本技术政策，作为对营运单位维修有效性监管的准则，确保核电厂能够满足法规要求：保证构筑物、系统和设备的可靠性和有效性与核动力厂整个寿期内的设计要求始终保持一致。

四、技术政策编制中的关注点

(一) 关于技术政策所涉及 SSC 的范围

即使确定为非安全 SSC，其失效也可能导致机组出现跳堆跳机等瞬态，危及核电厂安全运行。为确保维修有效性评价的完整性，维修规则所涉及评价对象的范围应尽可能完整且合理可操作。因此，技术政策中要求的 SSC 范围不仅包括所有安全 SSC，也包括部分非安全 SSC。

技术政策中对非安全 SSC 如何筛选给出 4 条准则，营运单位在具体执行中可依据确定论方法对核电厂所有非安全 SSC 进行分析筛选。对运行核电厂或有参考机组的新建核电厂，机组历史运行事件中所涉及的非安全 SSC 也可纳入技术政策范围。

(二) 关于 SSC 风险重要类的确定

确定 SSC 风险重要类的主要目的是对系统设备进行分组，以减少不必要的性能指标数量。

概率安全分析（PSA）方法能够有效的确定 SSC 风险重要度，可作为本技术政策确定风险重要类的方法。具体还可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。

若核电厂采用其他方法来确定 SSC 风险重要类，应对方法的适用性进行充分论证。SSC 风险重要类确定中若需专家判断，专家应具备足够能力和相关领域的丰富经验。

(三) 关于性能指标设定

基于性能与维修规则关注维修结果，需要具体的判断准则，即 SSC 性能指标。

核电厂单项功能的实现一般涉及多个设备，因此可针对单项功能所对应的一组 SSC 来设定其性能指标。具体实施中可设定电厂级（非风险重要且运行），系统级（非风险重要且运行/备用），列级（风险重要且运行/备用）或设备级（风险重要且备用）的性能指标。可按不同级别性能指标所监测参数的情况，针对可靠性、不可用度、机组瞬态次数等设定参数。如表 1 所示：

表 1 SSC 性能指标的分类

运行状态 风险重要度	运 行	备 用
风险重要	系统级/列级（可靠性、不可用度）	列级/设备级（可靠性、不可用度）
非风险重要	电厂级（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）	系统级/列级（可靠性、不可用度）

设定性能指标可参考核电厂设备可靠性数据和运行维修经验，还可参照相应的行业指标、行业规范和标准、运行周期及性能等数据。SSC 性能指标设定过程中，应尽可能收集长期运行维修数据，以尽可能减少随机事件带来的影响。

(四) 关于性能指标监测

性能指标监测的目的是确定相关 SSC 性能与预期的一致性。根据技术政策相应条款，在对 SSC 性能进行监测的同时，还需根据监测结果对维修策略或性能指标进行调整。若维修策略的调整不足以改善设备性能，核电厂应考虑开展根本原因分析，必要时实施工程改造。

(五) 关于维修活动有效性评价

为评价维修活动的有效性，营运单位应周期性的对下述内容进行评价：性能指标设定、SSC 风险重要类、SSC 性能趋势，以及未满足性能指标时的纠正行动等。

考虑到核电厂系统设备的维修、试验等活动通常在换料大修期间实施，因此营运单位可选择在机组大修完成后开展维修有效性评价。

(六) 关于维修活动风险的评价和管理

营运单位应运用风险指引决策技术对计划实施维修活动的引入风险进行评价，并采取适当的行动以控制风险。对功率运行期间维修活动的评价应适当控制系统和设备的停役时间，对停堆期间维修活动的评价应考虑其对停堆安全功能的影响。

1. 风险评价的范围

并非技术政策涉及的所有 SSC 都需要在维修前进行风险评价。

功率运行期间的维修风险评价通常限于内部事件一级 PSA 模型中包括的 SSC，以及其他确定为风险重要的 SSC。对于缓解火灾始发

事件导致堆芯损坏的重要设备，功率运行期间隔离维修需开展风险评价。

机组停堆期间的维修风险评价范围包括关键停堆安全功能（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）所必要的 SSC。若 SSC 在停堆模式下无需执行功能且不需处于备用状态，可不进行维修风险评价。

2. 风险评价的方法

营运单位可采用定量、定性或二者结合的方法对维修活动引入的潜在风险进行评价。

若采用定量评价，营运单位应保证所使用核电厂 PSA 模型或基于 PSA 的核电厂风险监测器（Risk Monitor）已对核电厂 SSC 进行充分建模，能够反映核电厂当前实际状态。PSA 模型和风险监测器的质量应得到确认。

定性评价方法主要关注维修活动对关键安全功能的影响，外部事件对维修活动的影响等。

对已完成停堆工况 PSA 建模的核电厂，在进行停堆工况下维修互动风险评价时，应尽可能利用定量定性评价相结合的方法。

3. 维修活动的风险管理

维修活动的风险管理是通过控制维修活动引起的瞬时风险和累积风险增量，使核电厂平均基准风险变化维持在最小范围内，并在风险增量超过某个阈值的情况下采取额外控制措施。风险阈值的设置可基于定性分析（如：保持缓解能力）或定量分析（如：堆芯损

坏频率的增量), 也可两种分析方法结合使用。

(七) 关于维修活动的安排

对于某些系统设备, 在机组功率运行期间实施维修比在大修期间实施维修净风险影响更小, 尤其是停堆期间需执行重要功能, 或功率运行状态下有更多功能性冗余的系统。营运单位可通过不同运行工况下实施维修活动的风险评价, 选取适当的维修配置和维修计划, 以减少维修活动对运行的影响, 控制机组的平均风险水平。

五、关于维修规则的使用

我国核电机组类型较多, 设备种类繁杂, 为核电厂 SSC 设定适当的性能指标体系并进行评价是一项长期复杂的工作, 需不断优化和完善。技术政策对核电厂实施维修有效性评价体系提出了总体要求, 具体要求将在后续发布的技术文件中进一步说明。

考虑到维修有效性评价体系与我国核电厂目前的维修体系有一定差异, 本技术政策将采用示范、试点的方式逐步推进, 在实践中不断完善相应技术指导文件, 持续优化核电厂维修工作, 保障核电厂安全稳定运行。