



核电厂运行许可证延续评估中电仪设备的老化管理审查研究

孔 静, 张 奇, 陈子溪, 高 轩

Study on Aging Management Review of Electric and I&C Equipment in Evaluation of Nuclear Power Plant Operation License Extension

Kong Jing, Zhang Qi, Chen Zixi, and Gao Xuan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13832/j.jnpe.2022.S1.0060>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

核电厂仪控系统误动作事故分析

Analysis of Mal-Operation Accidents of Nuclear Power Plant I&C System

核动力工程. 2021, 42(5): 167-172

核电厂电气贯穿件设备延寿再鉴定方法研究

Study on Life Extension and Re-Qualification Method for Electrical Penetration Assembly of Nuclear Power Plants

核动力工程. 2020, 41(1): 140-144

运行核电厂安全生产标准化管理信息系统的研发

Research and Development of aManagement Information System for Standardization of Safety Production in an Operating Nuclear Power Plant in China

核动力工程. 2018, 39(4): 152-156

关于核电厂可靠性保证大纲的核安全审查探讨

Discussion on Reviewingof Reliability Assurance Programfor Nuclear Power Plants

核动力工程. 2018, 39(6): 141-145

核电厂数字化主控室操纵员界面管理任务特征的研究

Characteristics of Operator Interface Management Tasks in Digital Main Control Room of Nuclear Power Plants

核动力工程. 2019, 40(4): 91-95

CNP650长燃料循环长短交替运行管理研究

Management Study on Alternate Long and Short Cycle of CNP650 Long Cycle Management

核动力工程. 2020, 41(4): 26-29



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

文章编号: 0258-0926(2022)S1-0060-05; DOI:10.13832/j.jnpe.2022.S1.0060

核电厂运行许可证延续评估中电仪设备的 老化管理审查研究

孔 静¹, 张 奇¹, 陈子溪², 高 轩²

1. 生态环境部核与辐射安全中心, 北京, 100082; 2. 中核核电运行管理有限公司, 浙江嘉兴, 314300

摘要: 通过研读《<核电厂运行许可证>有效期限延续的技术政策(试行)》, 并参考国外核电厂延寿活动中的经验, 结合国内核电厂的运行许可证延续(OLE)评估活动的实际情况, 介绍了核电厂 OLE 中的电仪设备老化管理筛选、老化效应识别评估和管理活动审查的实施流程及方法; 分别以实例形式给出了“物项组”、“假想故障”以及“区域空间法”等的应用策略。策略的应用优化了筛选流程, 提高了老化管理审查(AMR)活动的效率, 对核电厂 OLE 有一定借鉴意义。

关键词: 运行许可证延续(OLE); 老化管理审查(AMR); 电厂整体评估(IPA); 老化管理大纲(AMP)

中图分类号: TL334 文献标志码: A

Study on Aging Management Review of Electric and I&C Equipment in Evaluation of Nuclear Power Plant Operation License Extension

Kong Jing¹, Zhang Qi¹, Chen Zixi², Gao Xuan²

1. Nuclear and Radiation Safety Center, Beijing, 100082, China; 2. China Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314300, China

Abstract: By studying the *Technical Policy for Extension of Validity Period of Nuclear Power Plant Operation License (Trial)*, referring to the experience of foreign nuclear power plants in life extension activities, and combining with the actual situation of domestic nuclear power plant operation license extension (OLE) evaluation activities, this paper introduces the implementation processes and methods of aging management screening, aging effect identification and evaluation, and management activity review of electric and I&C equipment in OLE of nuclear power plants; The application strategies of “item group”, “hypothetical fault” and “regional space method” are given in the form of examples. The application of the strategy optimizes the screening process and improves the efficiency of aging management review (AMR) activities, which can be used as a reference for nuclear power plant OLE.

Key words: Operation License Extension (OLE), Aging Management Review (AMR), Integrated Plant Assessment (IPA), Aging Management Program (AMP)

0 引言

在世界各国的监管体系中, 核电厂的运行许可证均有其时效限制, 通常为 30~40 a。大多数

核电机组在许可证到期前, 选择向本国的监管机构提交运行许可证延续(OLE)申请。以美国为例, 截止 2019 年 3 月, 共有 89 座核电机组(占

收稿日期: 2022-01-18; 修回日期: 2022-04-12

作者简介: 孔 静(1980—), 女, 硕士研究生, 现主要从事核电厂电力系统研究, E-mail: jingkong2011@126.com

全美核电机组的 90%) 已经提交 OLE 申请, 并且全部通过了美国核管理委员会 (NRC) 的审查和批准^[1]。这是由于核电机组在设计上存在较大的安全裕量, 在可接受的技术性能和安全水平条件下, 核电厂具备在其“实际寿期”内运行的能力。在新核电机组建造速度大幅下降的情况下, 通过运行延续以充分利用现有机组, 也逐渐成为世界各国应对能源短缺的通常做法^[2]。

1 OLE 安全评估

OLE 是指核电厂在其运行许可证当前有效期到期后, 经重新评估后继续运行的活动, 核电厂的安全论证应证明在其延续期限内仍具备可接受的技术性能和安全水平, 其安全性由国家核安全局审查。目前, 我国尚没有完备的 OLE 安全评估相关的标准及程序体系, 我国 OLE 相关技术路线借鉴了国外成熟的 OLE 相关的法规标准及程序来开展安全评估工作。从现有运行核电厂的技术路线及国际上已有成功的 OLE 经验来看, 美国执照更新 (LR) 的法规标准体系完整, 可操作性强, 故参考美国 LR 体系 (10 CFR 54、NUREG-1800、NUREG-1801、NEI-95 等) 指导我国现申请核电机组 OLE 的相关工作。

2015 年, 国家核安全局颁布了《<核电厂运行许可证>有效期限延续的技术政策 (试行)》(以下简称《技术政策》), 要求核电厂运营单位在提交 OLE 申请时, 必须提交包括《核电厂运行许可证有效期限延续安全评估报告》在内的一系列文件资料, 以证明核电厂在其所延续的期限内仍具备可接受的技术性能和安全水平。在《核电厂运行许可证有效期限延续安全评估报告》中, 运营单位必须确定评估的边界范围, 列出属于老化管理审查 (AMR) 范围的构筑物和部件的清单, 描述 AMR 所使用的方法, 并且证明老化效应得到了合理控制, 在申请的 OLE 内系统、构筑物和部件 (SSCs) 能够执行预定的功能^[3]。

2 电厂整体评估 (IPA)

IPA 是执照持有者开展的一项评估活动, 包括 2 部分内容: ①证明核电厂已根据《技术政策》的要求识别出了需要进行 AMR 的 SSCs, 即 AMR 筛选; ②证明在延续运行期间老化对这些

SSCs 功能的影响会得到管理, 从而使延寿期间预期功能能够与现行执照基准保持一致。AMR 筛选第 1 步是根据筛选原则识别《技术政策》中评估范围要求的所有 SSCs 也称为范围筛选, 范围筛选包括 SSCs 或物项组的筛选; 第 2 步是在上述评估范围内, 识别出需要开展 AMR 的 SSCs 即对象筛选, 对象筛选在核电厂执行过程中分为机械系统部件、构筑物构件和电气仪控系统部件的筛选。AMR 用以证明在延续运行期内老化效应能够得到充分的管理, 包括老化效应的识别和评价、老化管理大纲 (AMP) 的审查、运行经验的审查等。

3 电气和仪控系统 AMR 筛选

3.1 范围筛选原则

AMR 范围和对象筛选针对全厂的 SSCs, 筛选需要参考电厂的设计、运行、变更改造等各类信息, 根据《技术政策》的规定, SSCs 范围筛选原则如表 1 所示。

表 1 AMR 范围筛选原则

Tab. 1 AMR Scope Screening Principle

序号	AMR 筛选原则
原则 1	《核电厂最终安全分析报告》中所描述的执行控制反应性、排出堆芯热量以及包容放射性物质和控制运行排放, 限制事故释放几项基本安全功能的 SSCs
原则 2	其故障可能影响上述 SSCs 执行功能的核电厂其他 SSCs
原则 3	《核电厂最终安全分析报告》中所描述的防火设计、火灾探测和灭火系统
原则 4	《核电厂最终安全分析报告》中所描述的超设计基准事故的预防或缓解措施; 《核电厂最终安全分析报告》中包含的超设计基准事故有: 未能紧急停堆的预期瞬态 (ATWS) 和全厂断电 (SBO)
原则 5	未纳入《核电厂最终安全分析报告》, 但经国家核安全局批准或国家核安全局所要求的改进项中涉及上述范围的 SSCs

《技术政策》要求将核电厂最终安全分析报告中描述的超设计基准事故的预防或缓解设施纳入到 AMR 的评估范围之内。其中 SBO 属于超设计基准事故之一, 预防或缓解设施包括 SBO 事件的“应对”和“恢复”阶段过程中涉及的 SSC。其中“恢复阶段”涉及核电厂内与核电厂外电源连接的电力系统, 主要指核电厂交流配电系统从核电厂外电网或核电厂内应急交流电源重新获得电力供应的过程。核电厂内 1E 级电源系统可供恢复的电源包括: 核电厂用变压器供电、辅助变

压器供电以及应急柴油发电机供电。SBO事件的“应对”和“恢复”阶段所需的核电厂内电气系统及设备被纳入电气和仪控系统 AMR 的筛选范围^[4-6]。

3.2 对象筛选原则

电气及仪控设备对象的筛选依据“非能动”、“长寿命”2个原则，即属于 AMR 的构筑物和设备包括但不限于：

原则 1：在执行预定功能时，结构和特征不发生改变的构筑物和部件，但不包括活动部件，即指“非能动”的部件和构筑物。

原则 2：不基于鉴定寿命和规定时间进行更换的构筑物和部件，即指“长寿命”的构筑物和部件。通过定期试验、监测、维护或更换等方式保证使用期内功能的设备或部件不纳入审查范围。

3.3 范围及对象筛选过程

核电厂的电仪系统设备繁杂，若按照机械设备从系统到部件逐个进行功能分析，将导致极大的工作量。第一批美国核电厂在延寿评估中经历类似困境后，美国电力科学研究院在其《执照更新电气手册》^[7]中给出了更为高效的筛选方法。在国内核电厂 OLE 评估中也遵循该方法，开展相关实践。相关策略包括：

3.3.1 物项组类的分类筛选 电仪设备在执行预定功能时，大多有“活动”特征；以物项组为单位，根据“非活动”判据可以将绝大多数电仪设备筛选，大大简化筛选流程。物项组的识别工作通常在系统筛选后开展，包括以下 3 部分：

(1) 识别物项组：列出机组所有的电仪物项类别（如熔丝、开关柜、电缆等），将电气和工艺系统范围内的物项组清单作为接下来的物项组分类输入；物项组通常可以参考 NEI-95 附录 B 按照核电厂具有相同主要属性和预定功能的设备进行分组。

(2) 筛选活动物项：根据设备执行预定功能的特征和工业习惯，将物项组进行分类，与 NEI95-10 附录 B 的物项组类别对应，筛选被定义为“活动”物项组类别的设备。

(3) 筛选短寿命物项：未被筛选的设备将以物项组别为单位，执行接下来的长寿命筛选。

3.3.2 功能筛选的聚焦分析 设备级的功能分

析通常仅聚焦在核电厂希望筛选的设备物项上。功能筛选可以在老化管理筛选和审查的任何一个环节穿插进行，从而实现聚焦分析，简化工作流程。实践经验表明，针对电缆等数量庞杂的物项，功能筛选甚至可以在老化效应评估之后开展，即针对有显著老化效应的对象执行功能分析，将其中不执行延寿评估范围功能的设备筛选。

以泰山核电厂 1 号机组为例，其非活动物项组包括了非绝缘接地导体物项。需逐项分析其是否执行《技术政策》第四章评估范围所规定的五项功能。根据最终安全分析报告和历次安全监管改进活动记录，可以较容易地确认该物项不执行其中的安全、防火等相关功能。功能分析的难点往往是明确对象是否属于“非安全但其故障会影响安全相关设备执行功能”。

为避免无限度扩大评估范围，美国 LR 体系中的 NUREG-1800 提出了“假想故障”的概念。核电厂无需考虑现行执照基准之外的、之前未经历过的或不适用于电厂设施的假想故障。为了证明非绝缘接地导体属于假想故障，可从以下方面提供依据：

(1) 该物项不属于现行执照基准，在最终安全分析报告中，没有该物项故障后果的相关描述。

(2) 该物项的故障后果在核电厂概率安全分析（PSA）等分析中没有涉及。

(3) 在相关的运行经验中，未发现因非绝缘接地导体故障而导致的事件；运行经验包括所有记录在案的核电厂运行经验和业内通用的运行经验，如核安全局的通用信函和事件报告、核电厂的状态报告、行业报告和工程评价等。

3.3.3 区域空间法的应用 区域空间法是以核电厂区域空间作为单位，对空间内的特定物项进行统一的功能分析或老化效应评估。这种方法适用于数量庞杂且老化机理取决于空间环境特点的物项，如绝缘电缆等。

以泰山核电厂 1 号机组为例，以空间区域为单位列出该区域内的电缆型号厂家，通过分析空间内电仪和工艺系统的分布，可以判定是否将该区域内的电缆纳入评估范围。如安全壳厂房内的电缆可全部纳入筛选结果，而除盐水厂房的电缆

则无需考虑。在后续的老化效应审查中，可以避免对每根电缆详细敷设路径信息的依赖。

3.4 老化效应识别

通过上述章节的筛选和物项组分类后，对于筛选出的设备进行老化效应识别。审查实践表明，基于区域空间的边界法，可以将材料不明的绝缘统一归类为最敏感材料（如聚氯乙烯），以识别潜在老化敏感的区域空间和材料组合。这种方法能够显著提高审查效率，且足够保守，可以被审查者接受。

设备的服役环境由 2 部分组成：外部环境以及电缆的自发热温升：

（1）外部环境。将审查范围内电缆所处的空间区域划分为多个分区，使用该区域的最恶劣环境参数作为该区域的边界参数。通常需要关注的环境参数包括：温度、辐照剂量率以及潮湿等。该部分工作的输出成果为“外部环境边界值清单”，常见的内容要素包括：①空间编号：Q1-OLE-1；②空间名称：控制棒驱动机构冷却风罩内；③绝缘材料：交联聚乙烯、乙丙橡胶（非动力电缆）；④边界温度：62.1℃；⑤数值来源：现有仪表测量。

（2）自发热温升。对于动力电缆回路，其服役温度除了外界环境温度之外，还包括自发热温升，相应的分析方法如下：

以电缆规格清单为基础，通过分析电缆的负荷清单，建立核电厂各典型电气负荷与各规格材料电缆的匹配关系，从而明确各规格材料电缆的实际载流量和额定载流量；然后根据各电缆的载流比，计算各电缆规格对应的欧姆热温升；最终确定各绝缘材料对应的自温升，输出成果为“各绝缘材料自温升边界值清单”。

结合上述“外部环境边界值清单”和“各绝缘材料自温升边界值清单”，即可得出各个区域空间内服役的绝缘材料所遭受的最恶劣服役温度、辐照剂量率等参数。

3.5 老化效应评估

针对上述电气设备的材料及其环境组合，综合 NUREG-1801 通用老化经验报告（GALL）、行业标准、工业领域运行经验，识别出机组适用的老化效应。然后，基于机组的内部运行经验、行业内经验以及历次 PSR 审查弱项的审查，对

设备老化效应做进一步的补充和完善。

在老化效应评估中，以服役区域的运行环境参数为基础，采用边界审查法，将绝缘材料所在区域内服役的边界参数与运行寿期（如 60 a）的耐受温度限值和耐受辐照剂量限值与其进行比较，筛选出服役边界参数在耐受限值以下的绝缘材料使用情况，从而识别出机组中绝缘材料热和辐照老化效应最为显著的电缆。

4 电气和仪控系统 AMR

在明确了审查对象及其老化效应后，为了论证核电厂的管理活动是否足以缓解寿期内的老化效应，避免其对预期功能造成影响，需要基于 GALL AMP 等基准开展审查活动。这种审查活动的结论既可以用来评估和提升大纲的有效性，也可以为安全监管响应提供输入。

4.1 AMP 要素审查

该审查的目的是通过 AMP 九要素的内容比对，分析核电厂现行 AMP 与标准要求是否保持一致。如有不一致，应对合理性进行论证，否则，应制定“大纲优化”的承诺项，承诺 AMP 经承诺的优化活动后，覆盖了所有的老化效应；各要素内容将与 GALL 推荐的 AMP 相关内容保持一致。

4.2 管理活动审查

该审查的目的是从具体实施层面对核电厂的管理程序和活动记录进行审查，分析核电厂的执行情况是否满足标准要求。活动审查通常包括 3 个部分：①日常检维修记录；②异常记录；③PSR 相关弱项及处理情况。对于未完全满足标准大纲要求的实施项目，应制定“大纲执行”的承诺项，承诺在规定时间内补充执行相关活动。

4.3 承诺项

如前所述，承诺项包括“大纲优化”和“大纲执行”2 个层面。在安全监管（如定期安全审查 PSR）中，这些承诺项将作为审查弱项的响应，纳入到安全监管机构的后续跟踪活动中。

5 结束语

电仪设备的 AMR 遵循与机械设备一致的筛选、老化效应识别和管理审查流程；但在具体实施时，针对电仪设备的特点，采取适用的策略和优化流程，可以大幅提高管理活动的效率。本文

介绍了物项组分类、“假想故障”应用，以及区域空间法等一系列电仪设备老化管理的实施策略，在美国和我国核电厂的延寿审查实践中，这些策略已经得到了验证，可以在核电厂安全监管和电仪设备老化管理活动中进一步推广。

参考文献：

- [1] U. S. NRC. Status of license renewal applications and industry activities[R]. Washington, DC: U. S. NRC, 2019.
- [2] 叶奇蓁. 后福岛时期我国核电的发展[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(11): 1-8.
- [3] 国家核安全局. <核电厂运行许可证>有效期限延续的技术政策（试行），国核安发[2015]280号[EB/OL]. 北京：中华人民共和国环境保护部. [2015-12-31].https://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/haq/201601/t20160105_321062.htm.
- [4] NRC. Standard review plan for review of license renewal applications for nuclear power plants: NUREG-1800, revision 2[R]. Washington, DC: Office of Nuclear Reactor Regulation, 2010.
- [5] NRC. Generic aging Lessons Learned (GALL) report-final report: NUREG-1801, revision 2[R]. Washington, DC: Office of Nuclear Reactor Regulation, 2010.
- [6] Nuclear Energy Institute. Industry guideline for implementing the requirements of 10 CFR Part 54 – the license renewal rule: NEI 95-10, revision 6[R]. Washington, DC: Nuclear Energy Institute, 2005.
- [7] EPRI. Plant support engineering: license renewal electrical handbook: EPRI 1003057, revision 1[R]. Palo Alto: Electric Power Research Institute, 2007.

（责任编辑：张明军）