



## 秦山核电厂运行许可证延续技术路线研究与应用

陶 钧, 石文翔, 张江涛, 姜 赫

### Research and Application of Technical Route for Operation License Extension in Qinshan Nuclear Power Plant

Tao Jun, Shi Wenxiang, Zhang Jiangtao, and Jiang He

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13832/j.jnpe.2022.S1.0007>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

##### 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

##### 主曲线方法在核电厂压力容器老化延寿中的应用

Application of Master Curve in Reactor Pressure Vessel Ageing

核动力工程. 2020, 41(2): 45-48

##### 秦山CANDU-6重水堆压力管变形对延寿的影响研究

Study on the Influence of Pressure Pipe Deformation on Life Extension of QINSHAN CANDU-6 HWR

核动力工程. 2021, 42(6): 199-202

##### 某核电厂安全级DCS网络结构分析与改进研究

Analysis and Improvement of Safety Class DCS Network Structure in a Nuclear Power Plant

核动力工程. 2021, 42(6): 148-154

##### 核电厂安全壳地坑过滤器化学效应试验研究

Experimental Study on Chemical Effects of Nuclear Power Plant Sump Strainer

核动力工程. 2019, 40(5): 124-129

##### 核电厂人员闸门气动回路优化设计与密封检测工艺改进研究

Optimum Design of Personnel Airlock Pneumatic Circuit and Improvement of Tightness Detection Procedure for Nuclear Power Plants

核动力工程. 2019, 40(2): 120-122



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

文章编号: 0258-0926(2022)S1-0007-04; DOI:10.13832/j.jnpe.2022.S1.0007

# 秦山核电厂运行许可证延续技术 路线研究与应用

陶 钧, 石文翔, 张江涛, 姜 赫

中核核电运行管理有限公司, 浙江海盐, 314300

**摘要:** 通过调查研究国际上核电厂主流的延寿技术路线, 制定了适于我国核电厂延寿的技术要求, 确定了安全评估的主要内容。采用该技术路线在秦山核电厂开展了安全评估的范围筛选、对象筛选、老化评估、最终安全分析报告增补、环境影响评价、工程改造等方面的工作。实践应用表明, 该技术路线切实可行, 满足我国的核安全监管要求, 秦山核电厂的运行许可证延续 (OLE) 项目最终通过了监管部门的审评, 获得了延续运行许可证。

**关键词:** 核电厂; 延寿; 老化; 安全改进

**中图分类号:** TL48 **文献标志码:** A

## Research and Application of Technical Route for Operation License Extension in Qinshan Nuclear Power Plant

Tao Jun, Shi Wenxiang, Zhang Jiangtao, Jiang He

CNNC Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Haiyan, Zhejiang, 314300, China

**Abstract:** By investigating and studying the main life extension technology routes of nuclear power plants in the world, the technical requirements suitable for life extension of nuclear power plants in China are formulated, and the main contents of safety assessment are determined. Using this technical route, the scope screening, object screening, aging assessment, supplement of final safety analysis report, environmental impact assessment and engineering transformation of safety assessment have been carried out in Qinshan NPP. The practical application shows that this technical route is feasible and meets China's nuclear safety regulatory requirements. The Operation License Extension (OLE) Project of Qinshan NPP finally passed the review of the regulatory authority and obtained the extended operation license.

**Key words:** Nuclear power plant, Life extension, Ageing, Safety improvement

## 0 引 言

根据国际原子能机构 (IAEA) 网站发布的最新数据, 截止 2021 年 7 月, 全球在运核电机组有 443 台, 其中有近三分之二的机组运行已超 30 a。核电厂初始设计寿期, 一般为 30 a 或 40 a, 当到达初始寿期时, 有 2 条方案可供选择: 延寿或退役。事实上大部分到达设计寿期的

核电厂都采取了延寿的策略, 截止 2021 年 7 月, 美国在运的 99 台核电机组中的 94 台机组已通过美国核管理委员会 (NRC) 的许可证更新 (LR) 批准, 运行期限可至 60 a, 而且有 6 台机组通过 NRC 的许可证二次更新 (SLR), 运行期限可延长至 80 a。

秦山核电厂是由我国自主研究设计、自主建

收稿日期: 2022-01-18; 修回日期: 2022-03-17

作者简介: 陶 钧 (1968—), 男, 硕士研究生, 现主要从事核电厂老化、延寿及退役方面的研究, E-mail: taoj@cnpn.com.cn

造调试、自主运营管理的第一座核电厂。1991年6月,秦山核电厂首次装料,并于2021年6月达到原运行许可证30a的有效期。鉴于其良好的运行业绩,参考国外核电机组通用经验,秦山核电厂于2012年开始启动核电厂运行许可证延续(OLE)相关研究工作,以确保机组通过安全评估能够在原寿期结束后继续安全运行。

本文调查研究了国际上主流的核电厂延寿技术路线,并结合我国核电监管要求,提出适于我国核电厂延寿的技术路线,并在秦山核电厂进行示范应用,以期为后续核电厂的延寿提供参考。

## 1 OLE 技术路线的研究

### 1.1 国际上延寿技术路线

目前国际上核电厂延寿技术路线主要包括2种:①美国的LR策略;②IAEA的长期运行(LTO)策略<sup>[1]</sup>。无论是LR,还是LTO,其关注的重点都是构筑物、系统和部件(SSCs)的老化问题,所以为了核电厂延寿而进行的安全评估的重点是延寿关注范围内SSCs的老化管理审查(AMR)及时限老化分析(TLAA),并根据评估结果,对不满足当前执照基准要求的问题采取纠正措施,确保这些系统设备部件在延寿运行期间也能执行其预定功能。所以对于延寿机组的整体评估以及和机组延长运行期限有关的TLAA是延寿安全评估的最主要内容。美国的LR包括了安全评估及环境影响评价2部分内容,而IAEA的LTO仅对安全评估作出了规定。

由于美国是最先开展核电机组LR的国家,也是完成核电机组LR最多的国家,因此美国的LR技术体系建立也比较完整,无论是法规、导则、管理要求,还是具体执行的技术导则等都规

定的比较清楚,表1给出了美国LR申请相关的文件体系。IAEA目前LTO相关的主要文件是核电厂老化管理与长期运行大纲的制定(SSG-48),IAEA的通用老化经验报告(IGALL)目前还在编制完善中,缺乏具体执行的技术导则。

### 1.2 秦山核电厂OLE技术路线

秦山核电厂依据国家监管要求,结合国际良好实践,制定了OLE技术路线。相对于美国的LR或是IAEA的LTO,秦山核电厂OLE技术路线不仅包括所涵盖的AMR、TLAA、最终安全分析报告(FSAR)增补分析、环境影响评价的内容,同时考虑了核电厂持续安全改进相关的工程改造和设备替换等,另外还涵盖了支持核电厂长期运行的老化管理大纲(AMP)体系,以及核电厂全寿期运行瞬态管理、核电厂寿命周期管理、核电厂过时管理等内容。

**1.2.1 AMR** AMR包含范围筛选、对象筛选、老化效应审查等3个部分。

**1.2.1.1 范围筛选及对象筛选** 包含系统筛选和设备筛选2个部分。系统筛选以国家核安全局《核电厂运行许可证》有效期限延续的技术政策(试行)(简称《技术政策》)<sup>[2]</sup>中所规定的安全评估范围包含的5类SSCs为筛选原则,以FSAR中的SSCs、核电厂系统清单和安全改造设计的SSCs为对象,满足一项或多项原则的系统或构筑物都纳入OLE AMR范围。同时依据该筛选原则进一步进行系统中设备的筛选。构筑物由于不存在设备的概念,所以没有设备筛选环节。为了保证筛选不出现遗漏现象,对机械、电仪和构筑物不同专业,需要先进行各专业组间的边界划分。

对象筛选以范围筛选结果为输入,根据对象

表1 美国核电厂LR的安全审查文件体系

Tab. 1 Safety Review Document System of American Nuclear Power Plant LR

层次	文件编号	文件名	适用对象	首次发布时间
法规	联邦法规10 CFR 54	核电厂运行执照更新要求	总体	1991-01-02
	联邦法规10 CFR 51	美国执照及相关监管职能的环保法规	总体	1991-01-02
导则	核能研究院NEI 95-10	实施核电厂运行执照更新要求行业指南	申请者	1996-03
	监管导则RG 1.188	核电厂运行执照更新申请的标准格式和内容	申请者	2001-07
审查要求	NRC技术文件UREG-1800	核电厂执照更新申请的标准审查大纲	审查者	2001-07
	NRC技术文件UREG-1801	通用老化经验报告	审查者/申请者	2001-07

筛选原则确定其中的构筑物构件和部件。主要的筛选原则为：①非能动部件是指执行预期功能时，不含转动部件，或结构/属性不发生变化的部件；②长寿命部件指不根据鉴定寿命或特定期限进行更换的部件。

**1.2.1.2 老化效应审查** 对于老化效应审查，每个专业的开展略有不同：

(1) 机械部件 AMR。主要包含：①老化效应识别；②老化效应审查；③AMP 对比审查；④特定 AMP 审查；⑤AMP 增补。

(2) 电仪设备老化管理审查。主要包含：①材料识别；②服役环境识别；③老化效应识别；④老化效应评估；⑤运行经验审查；⑥AMP 及活动审查；⑦AMP 增补。

(3) 构筑物老化管理审查。主要包含：①构筑物分组；②老化效应评估；③AMP 审查；④最终安全分析报告增补建议；

**1.2.2 TLAA** 依据《技术政策》，核电厂需要开展对于有特定时限的老化管理对象进行分析，目的是证明在申请的 OLE 内至少满足其中 1 条：①在申请的 OLE 期间，原有的分析仍然有效；②重新分析可以覆盖到申请的 OLE 末期；③在申请的 OLE 内能够充分地管理老化对预定功能的影响。

秦山核电厂的 TLAA 对象是以美国 LR 的经验、核电厂已有的设备状态评估成果、已完成的定期安全审查（PSR）审查结论、运行经验反馈为输入，根据制定的 TLAA 判断准则，确定通用 TLAA 项目以及若干电厂特定 TLAA 分析项。

**1.2.3 FSAR 增补** 对于 FSAR 增补的工作，秦山核电厂分 3 步开展相关工作：①OLE 安全论证基准的确认；②FSAR 增补内容的确定；③OLE 安全基准的更新。

**1.2.4 环境影响评价** 秦山核电厂 OLE 项目采用结合核电厂实际运行的数据进行《核电厂环境影响报告书》（运行阶段）的适当性以及延续运行期间环境影响的可接受性评价，及对《核电厂运行许可证》有效期限延续申请时有效的环境保护标准进行符合性评价的方法，完成秦山核电厂 OLE 环评补充评价。

**1.2.5 工程改造** OLE 项目中考虑的工程改造，主要是为了满足核电厂持续改进的需求。工程改

造项目确定的原则包括 3 个方面：①OLE 安全评估产生的承诺项（延续运行 20 a 需求）；②历次定期安全审查中安全改进措施的落实和完善；③国家安全局要求的核电厂其他安全改进的要求，这些要求可能是法规标准的变化或经验反馈等原因产生的。通过这些工程改造项目的实施，以进一步提升核电厂的安全性能，确保延续运行的安全可靠。

**1.2.6 AMP 体系及其关键技术** OLE 项目关心的核心问题是老化问题，对于需要进行安全评估的对象，需制定完整的 AMP，以对评估对象的老化机理和老化效应进行有效的管理。对 AMP 进行有效性评估，并根据评估结果完善或补充 AMP，为核电厂 OLE 工作的开展奠定基础。为了确保核电厂老化管理活动的顺利开展，在 OLE 项目开展同时策划了配套的科研项目，策划开发统一老化管理信息平台作为 AMP 及老化管理活动的管理载体，并根据 OLE 开展涉及的关键技术策划开发一系列老化行为研究技术及老化检/监测技术，强化老化管理能力，如电仪设备寿命评估及老化诊断技术、构筑物碳化与氯离子腐蚀及检验技术研究等、堆内构件围板螺栓超声检测等；同时也策划开发包括针对 600 合金的一种金属焊缝缓解与修复技术、高辐射水环境下特种加工与维修技术研究等老化缓解与维修关键技术。

**1.2.7 核电厂全寿期运行瞬态管理** 核电厂全寿期运行瞬态管理通过瞬态统计、趋势分析、技术规格书比较、延续运行预测、专项评估及运行反馈机制等关键技术建立全闭环的核电厂全寿期瞬态管理技术体系，在为金属疲劳 TLAA 提供数据输入的同时，也为核电厂瞬态管理和数据处理提供指导，是核电厂长寿期运行所应包含的关键技术。

## 2 OLE 技术路线的应用

### 2.1 安全评估

为确保安全评估工作有效开展，项目组结合《技术政策》的要求及核电厂实际，开发了 16 份工作程序，涵盖范围对象筛选（1 份）、AMR（4 份）、TLAA（9 份）、FSAR 增补分析（1 份）、环境影响评价（1 份）。

通过范围界定和对象筛选工作的开展，秦山

核电厂确定的 OLE AMR 对象包含 8559 个机械部件、5 类电仪物项组以及 265 项构筑物构件, 筛选出的对象数量及分布与国外经验反馈结果较为符合<sup>[3]</sup>。针对上述对象, 项目组进一步开展了 AMR。识别出 SSCs 的材料及环境, 结合行业经验 (GALL 报告) 分析老化管理对象存在的老化机理及效应, 再针对现有 AMP, 开展 3 个部分的审查: ①核电厂现有 AMP 和强化大纲的可用性审查; ②AMP 的执行情况审查; ③SSCs 对于 AMP 的需求审查。通过审查, 证明现有的大纲或者强化的现有大纲可以合理地控制老化效应, 部件在延续运行期间可以执行其预定功能, 完成核电厂的整体评估工作。

秦山核电厂 OLE 项目共筛选出包括金属疲劳类分析项目 13 项、反应堆压力容器分析项目 4 项、蒸汽发生器分析项目 2 项、安全壳分析项目 1 项、电仪设备环境鉴定项目 7 项及核电厂特定 TLAA 项目 6 项共计 33 项 TLAA 项目, 并对这些项目开展了 TLAA, 确定了秦山核电厂重大设备能够满足延续运行 20 a 的要求。

秦山核电厂 OLE 项目 FSAR 增补的内容包含: ①AMP 的简介汇总; ②TLAA 相关大纲的简介汇总; ③TLAA 结果; ④核电厂 OLE 申请的承诺项; ⑤受 OLE 影响的技术规格书修改内容。

秦山核电厂经过对《核电厂环境影响报告书》(运行阶段) 的适当性、延续运行期间环境影响的可接受性以及延续申请时有效的环境保护标准符合性评价, 完成了 OLE 项目中环评的增补分析。

## 2.2 工程改造

秦山核电厂 OLE 项目前期共确定了 12 项工程改造项目, 随着安全评估的进行, 后又增加了 7 项承诺项 (TLAA 结论) 的改造, 其中包括主控室翻新、汽轮机更换等特大改造。由于改造项目涉及面大, 历时时间长, 秦山核电厂共安排了 3 次大修时间开展了所有的改造工作, 其中一个长大修历时超过半年时间。通过这些改造的实施, 进一步提高了机组的安全性能, 确保后续 20 a 机组的安全稳定运行。

## 2.3 科研支撑

在 OLE 项目安全评估工作开展的同时, 秦山核电厂还聚焦长寿命运行中老化关键问题的处理进行科研攻关。通过科研攻关, 一些研发技术

如 600 合金异种金属焊缝缓解和修复、堆内构件围板螺栓检测技术、一回路疲劳监测系统及乏燃料格架中子吸收体寿命评估技术等均已经成功应用到秦山核电厂 OLE 项目中。

## 2.4 应用结果

秦山核电厂经过长达 7 a 的工作, 完成了秦山核电厂 OLE 项目安全评估、工程改造及国家核安全局的安审对话工作。国家核安全局于 2020 年 4 月下发了秦山核电厂 OLE 安全评估报告的审评意见, 秦山核电厂的安全评估工作满足《技术政策》和《秦山核电厂运行许可证有效期限延续的安全审评指南》的相关要求, 总体可接受。并在后续历经国家核安全局的综合检查、专家委员会的审查以及各级行政审查, 最终于 2021 年 9 月正式批准了秦山核电厂的 OLE 申请。秦山核电厂 OLE 项目作为国内首个开展的延寿项目, 其成功开展证明了秦山核电厂所采取的 OLE 技术路线的可行性。

## 3 结束语

秦山核电厂 OLE 项目是我国核电机组运行 OLE 的首次尝试, 通过该项目, 探索了一条具有中国特色的核电机组 OLE 技术路线, 并依据此技术路线开展了秦山核电厂 OLE 项目的各项工作, 其最后的成果取得了国家核安全局及各级行政许可部门的认可。

实践证明, 秦山核电厂 OLE 项目的技术路线完全适合我国核电机组开展 OLE 工作, 对其成果的总结和提炼可以促进我国 OLE 监管体系的完善, 也可以形成完整的行业标准规范, 为我国核电机组的许可证延续工作起到很好的指导及示范作用。

### 参考文献:

- [1] 龚崑, 崔满满, 窦一康, 等. 核电厂运行许可证延续 (OLE) 安全监管的对策[J]. 核安全, 2015, 14(1): 1-11.
- [2] 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[R]. 北京: 国家核安全局, 2015.
- [3] 石文翔, 陶钧, 尚宪和, 等. 秦山核电厂运行许可证延续研究与应用[J]. 中国核电, 2021, 14(3): 312-316.

(责任编辑: 张明军)