

Research on Medium-to-Long-Term Management Optimization of Preventive Projects for Nuclear Power Unit Overhauls

Yanying Huang Ke Xu

Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Preventive maintenance projects during nuclear power plant outages are a critical component of maintenance projects. Their scientific and reasonable arrangement helps improve equipment reliability, enhance unit power generation capacity, reduce collective dose and operating costs, thereby enhancing the safety and economy of the power plant. This paper analyzes the current status and problems in the long-term management of preventive maintenance projects during an outage of a certain nuclear power plant, and proposes targeted optimization solutions, including long-term resource planning for preventive maintenance projects during outages, establishing partial equivalence standards for such projects, developing equivalence screening and automatic identification tools for them, and establishing bidirectional associations for preventive maintenance projects requiring coordinated arrangement during outages.

Keywords

Outage; Preventive Maintenance Projects; Long-term Planning

核电机组大修预防性项目中长期管理优化研究

黄艳英 徐科

大亚湾核电运营管理有限责任公司，中国·广东 深圳 518000

摘 要

核电厂大修预防性维修项目是维修项目的重要组成部分，其科学合理安排有利于提高设备可靠性水平、提升机组发电能力、降低集体剂量与运营成本，从而提升电厂的安全性与经济性。本文通过对某核电厂大修预防性维修项目中长期管理现状与问题分析，针对性地提出大修预防性维修项目中长期资源规划、建立大修预防性维修项目部分等效标准、开发大修预防性维修项目等效排查和自动识别工具以及建立需要协调安排的大修预防性维修项目双向关联的优化方案。

关键词

大修；预防性维修项目；规划

1 引言

核电厂设备维修项目分为预防性维修和纠正性维修两大类。预防性维修项目是针对构筑物、系统和设备（Structures, Systems and Components）开展的防止和缓解性能劣化或故障，或对设备的性能与状态进行定期检测、检查及跟踪，以保持或延长设备使用寿命而开展的定期维修项目^[1]。核电机组的预防性维修项目按照实施窗口主要分为日常预防性维修项目和大修预防性维修项目，日常预防性维修项目是指在功率运行模式实施的预防性维修项目，大修预防性维修项目是指在机组换料大修窗口实施的预防性维修项目。

【作者简介】黄艳英（1985-），女，中国广东广州人，本科，工程师，从事大修规划计划、预防性数据库管理、大修成本研究。

大修预防性维修项目中长期管理是指在确定预防性维修项目的检修内容和周期后，进行中长期安排其执行的大修轮次的管理过程，其核心目标是确保大修预防性项目在最佳大修轮次安排，保证设备可靠性的前提下尽可能提高经济性。

2 核电站大修预防性项目管理基础

2.1 大修类型

根据大修项目和标准工期的不同，核电厂大修分为不同的类型。以国内某压水堆核电厂为例，大修分为 A/B/C/D 四类。

① A 类大修：实施机组的全面检查、维修和试验。以十年为周期，核岛标志性项目为完整在役检查。A 类大修可分为首次大修、十年大修、二十年大修、三十年大修等。

② B 类大修：两次 A 类大修之间安排一次 B 类大修，集中安排较大规模的预防性项目、工程改造、纠正性维修

项目。

③ C类大修：实施一般规模的预防性维修、工程改造和纠正性维修项目。

④ D类大修：实施小规模预防性维修项目（主要为周期1C的项目）、工程改造和纠正性维修项目。

上述类型的大修中，除了A类大修外，B/C/D类大修都是年度大修。

对于标准18个月换料的机组，两个A类大修之间有5个年度大修，一般长短交替安排，其中包含1个B类大修，1个C类大修和3个D类大修。

2.2 大修项目中长期规划原则

为了确保大修项目安排合理，大修项目中长期规划一般遵循如下原则：

①同一专业的重要检修活动数量，需参考该轮大修类型作安排，在考虑现有资源的条件下，以不影响大修关键路径为原则，对大修工期无影响的活动尽量均匀分配在历次大修中实施。

②对于同类设备，应充分考虑检修所需的资源是否足够，包括人员、工具、场地以及相邻作业现场的影响等。

③对于某些核安全相关设备的检修，还应该考虑可能因检修缺陷造成的共模故障对于安全重要系统的影响，如A/B列电源的同一类型的重大备件更换最好错开大修轮次安排。

④不同专业的相关项目尽量同时安排，同一个设备或设备组上涉及不同专业的全面检查尽可能安排在同一次大修中执行。

⑤检修窗口要求高且工期较长的项目，尽可能安排在工期较长的A/B/C类大修中安排。

3 大修预防性维修项目中长期管理现状与问题分析

大修预防性项目中长期管理主要包括大修预防性维修项目十年大纲制定、大修预防性维修项目等效和大修预防性维修项目变更。

3.1 大修预防性维修项目十年大纲制定

大修预防性维修项目十年大纲是根据电站长期发电计划，将预防性维修大纲中的大修项目按一定的原则和规律编制的十年大修计划^[2]。统计分析某机组某6个次连续换料大修预防性维修项目数量见表1，可以看到项目数量波动较大。

表1 某机组某6个次连续换料大修预防性维修项目数量

轮次	1	2	3	4	5	6
预防性项目数量	2765	3128	2902	3184	4128	3033

造成上述现象的原因主要是大修类别、预防性项目历史执行点和周期等原因所导致的。为了均衡资源需求，避免项目过度集中，在机组商运后前几轮的大修中，大修预防性

维修项目并不是统一等到周期到期才安排，而是根据大修的类型和规划工期，有序地安排至项目到期前的若干个大修中，在工期长的大修中多安排，在工期短的大修中少安排。但是随着后续机组运行，到了下一个周期执行点时，由于周期不同、纠正性维修等效等原因，原来安排的规律会被打破，就是导致大修项目梳理与工期的最佳关系不能持久维持。

3.2 大修预防性维修项目等效管理

当设备突发缺陷紧急维修后，若完成的纠正性维修内容包含某预防性维修项目时，则称为某预防性维修项目被该纠正性维修项目等效，下次预防性维修项目的执行以该纠正性维修项目的执行点作为起始点重新安排，从而避免项目过度维修。

纠正性维修等效大修预防性维修项目的识别一般在大修后进行批量人工梳理，识别的完整性受个人的经验水平、信息记录准确性和完整性、识别动作是否规范、是否存在跨专业等情况影响较大，常有发生未及时识别，导致预防性维修项目确定后变更的情况。

对于纠正性维修执行了某预防性维修项目一部分内容的情况，有两种处理方式，一是下个预防性维修执行点不变，完整执行整个预防性维修项目，另一种方式是下个到期点只执行剩余部分，再下一个预防性维修项目起始点根据纠正性维修的执行点加周期进行安排。上述两种情况哪种更合理难以判断。

3.3 大修预防性维修项目变更管理

为了核电机组大修工作的有效准备，在大修开始前需要提前确定大修预防性维修项目。在大修预防性维修项目确定后，若需要取消或调整执行内容，则需要进行大修预防性维修项目变更。在大修预防性维修项目确定的过程中，根据大修项目中长期规划原则，会提前优化调整安排。但是在大修预防性项目发生变更后，可能会打乱原有安排，从而可能影响资源和窗口的最优化安排。

4 大修预防性维修项目中长期管理优化

4.1 运用ABC作业成本法进行资源规划

ABC作业成本法(Activity-Based Costing)是以“产品消耗作业，作业消耗资源”为基本原理，通过确认及计量作业动因，将成本归集到产品中去的一种成本核算和管理方法，广义的作业成本法也包括成本计划^[9]。对于某使用基于企业管理解决方案系统(SAP)的核电站，是用工单来管理现场作业的，可以在系统中配置基于工单的物料领用和人力资源信息。通过对SAP系统的专项开发，可以实现基于SAP的ABC作业成本管理，从而实现资源规划，为不同大修的资源提前进行规划和优化安排。具体方式如下：

①建立大修预防性维修项目标准工日库：对每个预防性维修项目添加标准工日、合作伙伴单位、不同工种人员数量等信息；

②开发大修中长期规划工日统计报表：根据大修预防性维修项目的安排情况，自动分类统计每个大修、每个合作伙伴、每种工种所需要的人力。

③建立大修预防性项目标准化窗口：通过对大修预防性维修项目标准化窗口的维护和分析，结合计划排程软件中对大修窗口的安排，自动计算每日需要的每类人员数量。

通过上述报表开发和统计，可以实现每个大修每天需要的人力资源分析，对于多个大修同时安排的情况，叠加后与人力资源上限阈值进行比较，对于超过阈值的项目进行优化调整安排，从而实现大修人力资源前置性规划。

4.2 建立大修预防性维修项目部分等效标准

对于周期为 T 的某预防性维修项目的安排点为 A_1 、 A_2 、 A_3 ，成本为 C ，当在 A_1 执行后且 A_2 执行前与 A_1 点间隔 xT 的时间点 B_1 (x 为时间占比百分数)，执行了纠正性维修项目，其检修内容包含该预防性维修项目的部分内容，包含部分成本为 yC (y 为成本占比百分数)。此时有两种处理方式，方式一是如图 1 所示， A_2 点继续完整执行；方式二是 A_2 点仅执行剩余部分，下个执行点为 B_2 点，根据 B_1 点加周期 T 进行安排 (如图 2)。方式二的处理方式即为进行部分等效处理。对比平均成本，当 $x(y+1) > 1$ 时，采用方式二处理更优。由此得出可进行大修预防性维修项目部分等效参考标准是 $x(y+1) > 1$ 。

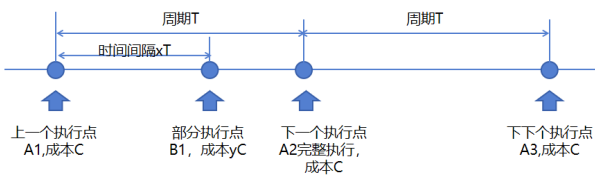


图 1 不进行部分等效处理示意图

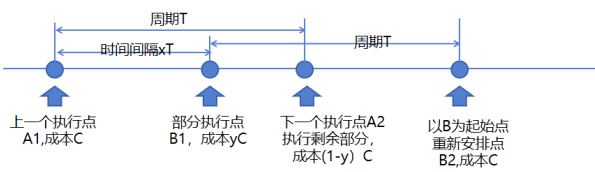


图 2 进行部分等效处理示意图

4.3 采用数字化手段进行预防性维修等效排查

目前大修后通过人工集中识别纠正性维修等效预防性维修的方式能解决大部分的等效的识别问题，但是受到人员知识经验和记录标准性的制约，有时会有遗漏的情况；除此

以外，当发生日常维修等效或是纠正性维修结束后增加大修预防性项目的情况，也无法通过大修后组织人工集中识别实现。为了解决此问题，某电厂开发了大修预防性维修等效排查小程序，运用数字化手段自动对比预防性维修项目预留备件以及同一设备历史备件领用情况，从数万条数据中排查出少量历史备件领用情况相同的项目，可有效排查历史纠正性项目等效遗漏识别的情况。

4.4 采用标准化工序实现预防性项目等效自动识别

建立维修项目标准工序体系，对于预防性维修项目中的关键工序进行重点标注，在纠正性工单准备过程中调用标准工序体系中的工序，当某纠正性维修调用的标准工序全部覆盖某个预防性项目，并且功能位置完全一致时，则系统自动提出大修预防性项目等效申请。

4.5 建立大修预防性项目双向关联

为了确保需要相互结合安排的预防性项目尽可能安排在一起，可建立大修预防性项目相互关联的标识以及自动提醒。具体如下：

①在大修预防性项目管理软件中对相互关联数据进行标识：增加“主项目”“跟随项目”字段栏位，若 B 需要跟随 A 项目窗口安排，则在 A 项目的“跟随项目”字段中写入 B 项目号码，在 B 项目的“主项目”字段中写入 A 项目号码。

②当调整“主项目”或“跟随项目”字段中有内容的项目时，若相关项目的下一个安排点不一致，则系统自动提醒相关项目一起安排。

5 结语

在核电站运行管理的过程中，高质量地安排大修预防性维修项目，有利于提高设备可靠性、提升机组发电能力、降低集体剂量和大修成本，最终提升电厂的安全性和经济性。本文通过分析大修预防性维修项目中长期管理现状与问题，提出了优化大修预防性维修项目中长期管理的方法，为从事大修预防性项目规划的相关人员提供参考。展望未来，随着技术不断进步，通过信息化、数字化手段，大修预防性项目的中长期规划安排将会更加科学和高效。

参考文献

[1] 段魁.VVER核电机组大修预防性维修项目优化[J].设备管理与维修.2019,No11(下):11-12.
 [2] 暂云龙.大修管理[M].北京:原子能出版社,2003.
 [3] 王红敏.ABC作业成本法在物流企业成本核算控制中的应用[J].财会通讯.2012,7(中):101-103.