

重要性分级在核电站备件管理中的应用

周来 王慧强 谢宏志

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i2.12434

[摘要] 群堆模式下的核电站备件多达数十万项^[1],如何实现核电站备件的标准化、专业化、集约化管理,是一个重大研究课题。重要性分级广泛应用于不同行业领域,在核电行业中设备安全分级是其应用实践,表明重要性分级有助于安全风险管控、资源优化配置,进而提升核电站安全与经济性。为满足核电站备件日益严格的精益化管理要求,本文将探讨重要性分级在核电站备件管理中的应用,并给出相应的结论与展望。

[关键词] 重要性分级; 备件管理; 战略备件; 关键敏感设备备件; 核监管备件
中图分类号: TM623 **文献标识码:** A

Application of Importance Classification in Spare Parts Management of Nuclear Power Plants

Lai Zhou Huiqiang Wang Hongzhi Xie

China General Nuclear Power Operation Co.,Ltd.

[Abstract] There are hundreds of thousands of nuclear power plant spare parts under the group reactor mode^[1]. How to realize the standardization, specialization and intensive management of nuclear power plant spare parts is a major research topic. Importance classification is widely used in different industries, and equipment safety classification is its application practice in nuclear power industry, which shows that importance classification is helpful to safety risk control, resource optimization allocation, and then improve the safety and economy of nuclear power plants. In order to meet the increasingly strict lean management requirements of nuclear power plant spare parts, this paper will discuss the application of importance classification in nuclear power plant spare parts management, and give the corresponding conclusions and prospects.

[Key words] Importance classification; Spare parts management; Strategic spare parts; Critical sensitive spare parts; Nuclear regulatory spare parts

引言

在国内某核电集团,出于群堆管理的需要,成立了专业化的备件管理团队来落实备件的标准化、专业化、集约化管理。面对降本增效的总体目标、内外部的严峻供应形势,备件管理团队一直在研究如何实现核电站备件的精益化管理,以进一步提升核电站安全与经济性^[2]。因此,探讨重要性分级在核电站备件管理中的应用显得尤为重要。

1 重要性分级的应用实践

重要性指某一事项在特定情境下对决策或判断等有显著的影响。重要性分级是指重要程度的划分,常见的划分有“重要、不重要”、“重要、一般、不重要”、“特别重要、重要、一般、不重要”等。重要性分级在核电站备件管理中也有着较为广泛的应用实践,本文将从战略备件、关键敏感设备备件及核监管备件等重要备件管理方面介绍其应用。

1.1 战略备件管理

在核电站运营阶段,可以通过设备状态监测与趋势分析、预防性维修等手段来提高设备可靠性,降低在运设备非预期损坏概率,进而降低强损事件导致的停机损失。但是,运行实践表明,仅依靠现有的设备维修手段无法杜绝非预期强损事件的发生,故在核电备件管理领域提出战略备件管理。

表1 重要性评估表

影响因素 是否重要	评价标准					
	高	低	有	无	长	短
核安全影响或机组可用率影响	√					
核电站设计寿命内预期更换需求				√		
备件价格	√					
故障维修周期					√	

战略备件一般考虑:(1) 备件损坏是否导致机组停运或降功

率; (2) 备件有无预期更换需求; (3) 备件储备成本是否高昂; (4) 备件损坏时有无缓解措施, 维修更换周期是否可接受。可是, 核电站系统设计复杂、设备安装数量庞大, 与核安全或机组可用率直接相关的备件数以千计, 全部列入战略备件管理是不科学的, 会极大的增加核电站的储备和管理成本。通过重要性分级, 从表1中可知, 对于那些核安全或机组可用率影响高、无预期更换需求、价格昂贵且故障维修周期长的备件重要性程度高, 才合适列入战略备件进行管理。

结合国内某核电集团内的管理实践经验, 将战略备件判定条件设置如下:

- ①核安全影响: 使反应堆后撤至热备用或以下状态;
或可用率影响: $\geq 15\%$ 负荷;
- ②不常换: 核电站设计寿期内无预期更换周期;
- ③价格: 单价 ≥ 5 万美元;
- ④故障维修周期: ≥ 1 周。

值得注意的是, 核电站的管理实践水平是动态变化的, 战略备件的判定条件也可以根据管理实践动态优化。

1.2 关键敏感设备备件管理

为建立有效的风险管理机制, 进一步提升核电机组的安全性, 需识别出对核电站安全与机组可用率影响最大的备件, 并对其重点监督和管理, 以优化资源配置, 故在核电备件管理领域提出关键敏感设备备件管理。

基于 INPO AP-913 的设备可靠性分级, 实质是设备的重要性分级应用, 指导核电站设备的分级、监督和管理, 根据设备故障直接失效后果将设备划分为高关键设备、低关键设备、非关键设备、可运行至维修设备。其中, 高关键设备出现故障对核安全或机组可用率影响最大, 失效将导致停堆停机, 也即关键敏感设备。根据导致机组停机停堆的方式不同, 关键敏感设备可分为: (1) 单一失效导致自动非计划停机停堆的设备; (2) 单一失效导致第一组 I0 且必须非计划停机停堆才能恢复或验证其可用的设备; (3) 单一失效因无法到达或无法隔离而不能进行维修导致强迫非计划停机停堆的设备。关键敏感设备数以千计, 对应的零部件则数以万计, 不可能全部纳入关键敏感设备备件管理。因此, 我们需将关键敏感设备按部件逐一拆解, 对其零部件进行故障影响分析, 直至列出正常运行情况下单一故障导致机组停运的设备或零部件清单, 也即筛选出重要程度最高的备件列入关键敏感设备备件管理。

1.3 核监管备件管理

国家核安全局2008年1月1日发布《民用核安全设备监督管理条例》、《民用核安全设备目录(第一批)》, 将目录范围内执行核安全功能的核安全机械设备和电气设备纳入监督管理, 并于2018年1月1日起施行《中华人民共和国核安全法》。为了满足相关的法律法规要求, 保证核安全相关设备的质量控制要求等, 在核电备件管理领域中提出核监管备件管理。

核监管备件的判定主要取决于两个因素, 设备安全分级是否为机械1/2/3/LS级或电气1E级、设备是否纳入《民用核安全

设备目录》范围内: (1) 设备安全分级, 在核电站设备设计选型环节, 设计单位根据设备对于核电站安全的重要性进行划分, 编制了适应本电站的《设备分级清单》、系统设计手册、管道图以及系统流程图等, 比如有明确功能位置的设备都能从设计文件中查询到设备核安全等级, 无明确功能位置的备件可通过其使用位置确认核安全等级或通过RCC-M等级与K1/K2/K3鉴定等级进行判定(电缆、探头、机架等电仪大宗材料可根据回路安全级别进行确认, 核级管道、管件等机械大宗材料可根据流程图等文件进行确认, 核级支承件、法兰等可通过制造等级进行确认); (2) 《民用核安全设备目录》, 由国家核安全局组织修订及发布, 并补充发布《关于发布〈民用核安全设备目录(2016年修订)〉及有关解释说明的通知》, 进一步明确民用核安全设备许可范围和监管要求, 以保障核电站的安全运行、降低核事故发生的风险。

不同核安全级设备在技术标准、质量管理、国产化进程以及监管职责和手段等方面存在差异, 并非所有核安全级设备都纳入民用核安全设备目录范围内。通过设备的安全分级、基于核安全设备质量和安全性的《民用核安全设备目录》, 筛选出对核电站安全性影响程度最高的备件纳入核监管备件管理。

2 重要性分级的应用评价

在重要备件管理中, 重要性分级应用帮助我们不同维度筛选出重要性程度高的备件, 实现重要备件的重点监督和管理、优化资源配置。但是, “重要性”是抽象化概念, 而重要性分级没有十分清晰的标准或界限, 导致重要性分级应用成果会存在一定的模糊性。

2.1 应用分析

战略备件管理实践经验表明, 重要性分级的界定条件存在一定模糊性, 会导致部分重要备件不能有效识别并被给予足够的监督和管理关注。以战略备件早期“可用率影响 $\geq 50\%$ ”判断条件为例: 某机型APA耦合器转子, 无预期更换需求、单价达百万元、制造周期超1年, 失效将导致一台APA泵不可用, 机组降负荷至85%运行90天, 若90天后仍无法修复则机组停运。假设APA耦合器转子能够在第8天完成维修, 直接发电损失达数百万元; 若无法维修需加工制造新备件, 直接发电损失将高达近亿元。诚然, APA耦合器转子失效造成的经济损失并不被核电站所接受, 需升版战略备件判断条件为“机组可用率影响 $\geq 15\%$ ”。

关键敏感设备备件管理实践经验表明, 基于 INPO AP-913 框架的设备可靠性分级仅梳理出重要性程度最高的备件, 即单一故障最终导致停机停堆的备件, 但仍有部分相对重要的备件未纳入重要备件管理。比如, 单一故障导致不满足运行技术规范要求且无缓解措施的备件、单一故障导致自动或手动降功率 $\geq 10\%P_n$ 或功率瞬态 $\geq 10\%P_n$ 的备件等, 对核电站安全或机组可用率也具有关键影响作用, 失效后果严重且不被核电站所接受, 也应重点监督和管理。

核监管备件管理实践经验表明, 基于核安全级设备质量和可靠性的重要备件纳入了许可和监管范围, 但不能覆盖核安全

级设备的备件质量管理要求, 还需从核电站质量控制体系着手加强重要备件质量管理。比如, 应急柴油发电机组中属于目录中的燃油系统核安全3级泵, 制造商非持证单位且无持证意向, 备件无法按核监管要求采购, 只能通过成套设备商采购并按照核电站质量控制体系控制。此外, 对于暂未纳入目录监管的核安全设备, 核电站需要加强备件供应全过程质量管理和过程控制, 并对其使用和运行安全承担全面责任。

2.2 改进方向

电力行业竞争日益激烈, 对精益管理要求日益严格, 降本增效逐渐成为核电站关注焦点, 而备件储备水平高、缺货风险大, 且备件质量问题逐渐变得突出, 核电站迫切需要更加精细和高效的备件管理, 进一步提升核电站的安全性和经济性。结合重要性分级在备件管理中的应用实践, 将从以下方面探讨改进:

(1) 重要备件管理范围待优化。目前重要备件识别方法明确, 但重要性程度的界定并不十分清晰, 部分重要性高的备件未能纳入重要备件管理。战略备件中可用率影响的可接受水平、关键敏感设备备件中关键度判定、核监管备件中未纳入目录监管的核级备件等, 随着核电站综合治理水平的不断提升, 相应的备件监督与管理要求都将不断强化, 需要调整重要备件管理范围, 以进一步提升核电站的备件管理水平。(2) 备件储备策略对核电站经济性影响研究。备件重要性与储备策略紧密相关, 备件储备需考虑核电站综合的经济性影响, 要求尽可能降低重要备件缺货风险带来的发电损失的前提下, 备件库存维持在一个合理可行的水平。战略备件需考虑系列复杂因素, 并进行必要的技术与经济性分析, 再确定储备策略并输出最佳经济储备数量; 其他备件则考虑备件成本的系列因素等开发出不同应用场景下的库存参数模型, 并结合备件重要性(是否CCM、备件H/M/L分级)嵌入不同缺货容忍度, 分别测算出备件的个性化储备策略^[3]。(3) 加强

核电站备件质量管理。参照重要性分级, 依据备件对核安全或机组可用率的直接影响、间接影响、无影响等, 将其划分为C1、C2、C3以实现备件质量保证的分级管理, 因此需要提升核电站备件质保分级准确性, 以加强重要性程度高备件的质量管控, 比如C1备件要求编制采购技术规范及质量检查验收单、提供质量计划并设点监造等。此外, 需建设备件供应全过程的质量控制体系来加强核电站备件质量管理, 涵盖备件设计选型、主数据、采购技术规范、技术澄清、供应商管理及质量提升、备件采购防造假售假、备件监造、验收与保养、质量异常反馈等环节。

3 结论与展望

重要性分级在核电站备件管理中有着广泛应用, 能够指导我们抓住核电站备件管理中的主要矛盾, 有助于核电站备件管理过程中资源优化配置, 促进备件的精益化管理, 提升核电站的安全性与经济性。同时, 目前重要性分级在备件管理的应用中仍存在一定的局限性, 后续需要根据核电站综合治理水平的提升而进一步优化重要性分级标准, 并应用重要性分级推进备件分级管理与深化备件库存策略模型研究, 进一步加强备件供应全过程的质量管理。

[参考文献]

- [1] 周末, 核电站新机组备件批量编码若干质量管控措施[J]. 电力技术与安全管理, 2024(03):24-26.
- [2] 咎云龙, 核电站生产管理[M]. 原子能出版社, 2000.12.
- [3] 刘宝红, 赵玲, 供应链的三道防线: 需求预测、库存计划、供应链执行[M]. 机械工业出版社, 2018.

作者简介:

周末(1988—), 男, 汉族, 湖南省长沙市人, 大学本科, 工程师, 核电站备品备件管理。