

基于设备全寿命周期的燃煤火电厂电气检修策略优化

彭冲

江苏阚山发电有限公司，江苏 徐州 221134

DOI:10.61369/EPTSM.2025010020

摘要： 本文围绕燃煤火电厂电气设备的全寿命周期管理展开，分析了传统检修模式的局限性，提出了基于全寿命周期（LCC）的电气检修策略优化方法。首先阐述了设备全寿命周期管理的核心概念，包括规划、采购、运行、维护、退役等阶段。随后从技术、经济、环境等维度构建了电气检修策略优化模型，重点探讨了状态监测技术、风险评估方法、检修资源优化配置等关键技术。最后，提出了基于 LCC 的检修策略实施路径，旨在降低设备全寿命周期成本、提高设备可靠性和安全性，为燃煤火电厂的可持续发展提供理论支持。

关键词： 燃煤火电厂；全寿命周期管理；检修策略优化

Optimization of Electrical Maintenance Strategy for Coal-Fired Power Plant Based on the Whole Life Cycle of Equipment

Peng Chong

Jiangsu Fanshan Power Generation Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221134

Abstract： This paper focuses on the full lifecycle management of electrical equipment in coal-fired power plants, analyzing the limitations of traditional maintenance models and proposing an optimized electrical maintenance strategy based on the full lifecycle (LCC). First, it elucidates the core concepts of full lifecycle management, including planning, procurement, operation, maintenance, and decommissioning phases. Subsequently, it constructs an optimization model for electrical maintenance strategies from technical, economic, and environmental perspectives, with a focus on key technologies such as condition monitoring, risk assessment methods, and optimal allocation of maintenance resources. Finally, it proposes an implementation path for maintenance strategies based on LCC, aiming to reduce the full lifecycle cost of equipment, enhance reliability and safety, and provide theoretical support for the sustainable development of coal-fired power plants.

Keywords： coal-fired power plant; whole life cycle management; maintenance strategy optimization

燃煤火电厂作为我国能源结构中的重要组成部分，承担着保障电力供应的重要任务。随着电力需求的不断增长和环保要求的日益严格，燃煤火电厂面临着设备老化、维护成本上升、运行效率降低等多重挑战。电气设备作为火电厂的核心组成部分，其运行状态直接影响电厂的安全性和经济性。传统的检修模式主要基于时间周期或故障后维修，存在过度检修或检修不足的问题，难以适应现代火电厂对设备可靠性和经济性的要求。因此，基于设备全寿命周期（Life Cycle Cost, LCC）的电气检修策略优化成为火电厂管理的关键课题。

一、设备全寿命周期管理概述

（一）全寿命周期管理的定义

设备全寿命周期管理是一种系统性的管理理念，旨在通过规划、采购、运行、维护、退役等全过程的协同管理，实现设备全寿命周期成本（LCC）的最小化。LCC 包括设备采购成本、运行成本、维护成本、故障损失成本及退役处理成本等。

（二）全寿命周期管理的阶段划分

全寿命周期管理涵盖设备从规划到退役的完整过程。在规划阶段，需明确设备需求、技术参数及性能指标，为后续工作奠定

基础。采购阶段则聚焦于选择适宜供应商，完成设备选型与采购任务，确保设备质量与性能符合要求。运行阶段涉及设备安装调试、日常运行及性能监测，旨在保障设备稳定运行并实时掌握其性能状况。维护阶段重点开展定期检修、故障维修及备件管理，通过预防性维护降低设备故障率。退役阶段则负责设备报废处理及残值回收，实现资源最大化利用。各阶段紧密衔接，共同构成设备全寿命周期管理的完整体系。

（三）全寿命周期管理的目标

全寿命周期管理旨在达成多维度目标，以实现设备综合效益的最大化。经济性方面，聚焦于降低设备从规划、采购、运行、

维护直至退役整个全寿命周期的成本，通过合理规划资源分配、优化采购策略及提升运行维护效率等手段，减少不必要的资金投入。可靠性上，致力于提高设备运行过程中的可靠性与安全性，降低故障发生率，保障生产稳定。环保性目标强调减少设备运行对环境造成的负面影响，推动绿色发展。同时，注重优化设备维护策略，降低维护难度，提升维护工作的可操作性与有效性。

二、传统检修模式的局限性

（一）时间周期检修的不足

传统时间周期检修（Time-Based Maintenance, TBM）以固定时间间隔作为检修依据，存在显著局限性。一方面，这种模式易导致过度检修，许多设备在未出现故障迹象时就被拆解维护，不仅耗费大量人力、物力，还可能因不当操作引入新隐患。另一方面，检修间隔过长又会引发检修不足问题，部分设备因长期缺乏有效维护，故障率悄然攀升，严重影响设备运行可靠性。此外，TBM未结合设备实际运行状态，检修策略缺乏针对性，难以实现精准维护，导致检修效果大打折扣。

（二）故障后维修的缺陷

故障后维修（Run-to-Failure Maintenance, RTF）模式仅在设备出现故障时才启动维修流程，这种策略存在明显缺陷。设备故障往往伴随着长时间的停机或停产，不仅打乱生产计划，还可能造成原材料浪费、订单延误等连锁反应，导致重大经济损失。同时，故障设备在运行过程中可能已存在安全隐患，故障发生时极易引发安全事故，对人员安全构成严重威胁。此外，紧急维修通常需要调用高成本的资源，包括专业技术人员、特殊工具及备件等，进一步推高了维修成本。

三、基于全寿命周期的电气检修策略优化模型

（一）优化目标

基于全寿命周期的电气检修策略优化，核心目标在于构建一套更为科学、高效且经济的设备维护体系。首要任务是达成最小化LCC（全寿命周期成本），这要求在检修策略的制定上，不仅要考虑直接维修成本，还需兼顾设备采购、运行能耗、退役处理等全链条成本，通过精准预测设备状态、合理规划检修周期与内容，实现成本的有效控制^[1]。同时，提高设备可靠性是优化策略的关键。通过引入先进的监测技术与数据分析方法，实时掌握设备运行状态，提前预警潜在故障，采取预防性维护措施，从而显著降低设备故障率，延长其使用寿命，保障生产连续性与稳定性。此外，降低检修风险亦不容忽视。优化策略需注重检修过程的安全管理，通过标准化作业流程、强化人员培训、提升应急响应能力等措施，有效减少检修过程中的人员伤亡和设备损坏风险，确保检修工作安全、高效进行^[2]。

（二）优化模型构建

在构建优化模型时，需从技术、经济与环境三个维度综合考量。技术维度上，引入状态监测技术，借助传感器与数据采集系

统，实现对设备运行状态的实时监测；运用故障诊断技术，基于监测数据，采用机器学习、深度学习等先进方法，精准识别设备故障；同时，采用风险评估技术，对设备故障风险进行量化评估，明确检修优先级^[3]。经济维度方面，开展全面的成本分析，涵盖设备采购、运行、维护、故障损失及退役处理各环节成本；通过成本效益分析，对比不同检修策略下的经济效益，为决策提供依据，选择最优检修方案。环境维度上，注重环保性能评估，考量设备运行对环境的影响，通过优化检修策略减少污染排放；在设备退役阶段，实施资源回收利用，提高资源利用率，降低环境负荷，实现经济效益与环境效益的双赢^[4]。

（三）关键技术

在设备全寿命周期管理中，关键技术涵盖状态监测、风险评估及检修资源优化配置等方面。状态监测技术是保障设备稳定运行的基础，其中振动监测通过振动传感器实时捕捉设备振动信号，依据信号特征判断设备运行状态；温度监测借助红外热像仪等设备，对设备温度进行精准监测，提前预防过热故障；电气参数监测则关注电压、电流、功率因数等关键指标，全面评估设备性能。风险评估方法为设备检修决策提供科学依据，故障模式与影响分析（FMEA）能够识别设备潜在故障模式，并评估其对系统的影响程度；风险矩阵法基于故障发生概率和影响程度构建风险矩阵，直观确定风险等级^[5]。此外，检修资源优化配置至关重要，人力资源优化根据检修任务需求合理调配人员，提升检修效率；备件管理优化采用先进库存模型，在降低备件库存成本的同时，确保检修需求得到及时满足。

四、基于全寿命周期的电气检修策略实施路径

（一）规划阶段

在设备规划阶段，科学合理的规划是确保设备高效运行、降低运营成本的关键。需求分析是规划的基石，需全面、精准地明确设备功能需求，涵盖设备应具备的基本功能以及特殊功能要求；详细界定技术参数，如功率、精度、效率等具体指标；设定明确的性能指标，包括可靠性、可维护性、安全性等方面的标准，为后续工作提供清晰方向。LCC估算至关重要，基于设备全寿命周期成本模型，综合考虑设备购置成本、运行能耗、维护保养、故障修复、备件更换及报废处理等各个环节的费用，对设备全寿命周期成本进行精确估算，全面评估设备的经济性^[6]。根据LCC估算结果，选择最优检修策略，平衡设备维护成本与运行可靠性，实现设备全寿命周期成本的最小化，保障设备长期稳定、高效运行。

（二）采购阶段

在采购阶段，各环节紧密衔接且至关重要。供应商选择是采购的源头把控，需全面考察供应商的信誉状况，了解其在行业内的口碑、过往合作案例中的表现，同时评估其技术实力，包括研发能力、生产工艺水平等，确保能提供高质量产品与优质服务，为后续合作奠定坚实基础。设备选型需紧密围绕检修策略需求展开，深入分析检修工作对设备性能、功能的具体要求，以此为依

据筛选出最适合的设备型号，保证设备投入使用后能高效满足检修作业需求，提升检修效率与质量^[7]。合同管理则是保障双方权益的关键环节，要在合同中明确设备质量保证条款，规定质量标准、验收方法及不合格处理方式；清晰界定售后服务内容，如响应时间、维修范围等，通过严谨的合同管理，规避潜在风险，确保采购活动顺利推进。

（三）运行阶段

在设备运行阶段，为保障设备高效稳定运行、降低故障风险，需从多方面开展工作。建立设备状态监测系统是基础，通过在设备关键部位安装传感器，实时采集振动、温度、电流等参数，全面掌握设备运行状态，及时发现异常情况。利用大数据分析技术是关键，对海量监测数据进行深入挖掘，运用机器学习等算法，识别设备运行规律，精准预测故障趋势，为提前采取措施提供依据。定期评估设备性能是保障，结合实际运行数据与性能指标要求，分析设备性能变化，若发现性能下降，及时调整检修策略，优化检修周期与内容^[8]。通过这三方面协同配合，实现对设备运行状态的精准把控，提高设备可靠性，延长设备使用寿命，降低运行成本。

（四）维护阶段

在设备维护阶段，为保障设备稳定运行、降低故障风险，需着重开展三项工作。预防性维护是核心，依托状态监测系统获取的实时数据，深入分析设备运行状态与潜在故障趋势，据此制定科学合理的预防性维护计划，通过定期检查、保养等措施，提前消除隐患，延长设备使用寿命。故障维修是保障，当设备突发故障时，迅速启动应急响应机制，组织专业技术人员进行故障排查与修复，尽快恢复设备正常运行，减少停机损失^[9]。备件管理是支撑，建立完善的备件库存管理系统，根据设备运行特点与检修需求，合理储备关键备件，确保在设备维修时能够及时供应所需

备件，提高维修效率，降低因备件短缺导致的延误风险，为设备维护工作提供坚实保障。

（五）退役阶段

在设备退役阶段，需严谨、系统地开展一系列工作，以实现资源合理利用与环境保护的双重目标。设备评估是首要环节，需综合考量设备的技术状况、剩余使用寿命、再利用潜力等因素，全面评估其退役价值，并依据评估结果确定最适宜的退役方式，如报废、转售、改造再利用等。残值回收是降低设备全寿命周期成本（LCC）的关键举措，通过专业的回收渠道与评估方法，最大化回收设备残值，减少企业在设备投入上的损失^[10]。环保处理则是不可忽视的社会责任，严格按照国家及地方环保法规要求，对退役设备进行无害化处理，确保有害物质得到妥善处置，减少对环境的污染，推动企业可持续发展，实现经济效益与环境效益的双赢。

五、结论

本文基于设备全寿命周期理论，针对燃煤火电厂电气检修策略展开深入研究，提出了优化检修策略的方法与路径。研究结果表明，传统以时间周期或故障后维修为主的检修模式存在过度检修或检修不足的问题，难以适应现代火电厂对设备可靠性和经济性的要求。而基于全寿命周期的电气检修策略，通过综合考量设备规划、采购、运行、维护及退役等各阶段的成本与效益，能够实现设备全寿命周期成本的最小化。同时，结合状态监测技术、风险评估方法及检修资源优化配置等关键技术，可显著提高设备运行的可靠性和安全性，降低检修风险，为燃煤火电厂的可持续发展提供了有力支撑。

参考文献

- [1] 陈志钊, 徐晓宇, 周高盛. 燃煤电厂输灰系统优化研究 [J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(6).
- [2] 张杨, 杜振, 晏敏, 等. 燃煤电厂脱硝催化剂全寿命管理模式研究 [J]. 化工管理, 2019, (28): 122-124.
- [3] 冯亮. 全寿命周期成本的电力变压器检修策略 [J]. 科技风, 2020, (12): 197.
- [4] 袁诚. 基于电力设备全寿命周期成本最优的检修策略研究 [J]. 电子测试, 2017, (15): 112-113.
- [5] 于东洋, 孙巍, 刘洋, 等. 低温环境下变压器全寿命周期成本优化及检修策略 [J]. 黑龙江电力, 2017, 39 (01): 50-53.
- [6] 雷成华. 全寿命周期管理理念用于输电设备状态检修管理的实现与效果分析 [J]. 机电信息, 2016, (15): 169-170.
- [7] 黄国日, 文福控, 刘昌, 等. 确定变压器更换策略的机会成本方法 [J]. 电力建设, 2016, 37 (04): 35-42.
- [8] 马淑菁. 基于全寿命周期管理的电网设备运维检修策略优化研究 [J]. 青海电力, 2015, 34 (04): 65-69.
- [9] 王佳明, 刘文颖, 魏帆, 等. 基于寿命周期成本管理的输变电设备状态检修策略研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39 (05): 77-80.
- [10] 郑淮, 陈海波, 杨凌辉, 等. 输变电资产全寿命周期管理的探索研究 [J]. 华东电力, 2009, 37 (05): 738-741.