

# 输变电一次设备状态检修策略优化与成本效益分析

鲍宇浩

北京唐浩电力工程技术研究有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i6.4525

**[摘要]** 输变电一次设备状态检修对电力系统的稳定运行意义重大,本文先指出传统定期检修的弊端,强调状态检修借助先进技术能精准评估设备状态,科学安排检修计划。接着阐述策略优化,包括改进状态监测技术、优化故障诊断模型、制定检修决策及明确实施要点。然后进行成本效益分析,成本涵盖直接与间接成本,效益包含经济与社会效益,介绍了净现值法等评估方法。最后提出提高成本效益的措施,如优化检修策略、加强设备管理、推进技术创新、强化成本管理等,以提升输变电一次设备状态检修水平,保障电力系统稳定运行与经济效益最大化。

**[关键词]** 输变电; 一次设备; 状态检修; 策略优化; 成本效益

中图分类号: TM72 文献标识码: A

## Optimization of Condition-Based Maintenance Strategy and Cost-Benefit Analysis for Primary Equipment in Power Transmission and Transformation

Yuhao Bao

Beijing Tanghao Electric Power Engineering Technology Research Co., Ltd.

**[Abstract]** Condition-based maintenance of primary equipment in power transmission and transformation is of great significance for the stable operation of power systems. This paper first points out the drawbacks of traditional periodic maintenance, emphasizing that condition-based maintenance can accurately assess equipment status and scientifically plan maintenance schedules using advanced technologies. It then elaborates on strategy optimization, including improving condition monitoring technology, optimizing fault diagnosis models, making maintenance decisions, and clarifying implementation key points. Subsequently, cost-benefit analysis is conducted, with costs covering direct and indirect costs, benefits including economic and social benefits, and evaluation methods such as net present value method are introduced. Finally, measures to improve cost-effectiveness are proposed, including optimizing maintenance strategies, strengthening equipment management, promoting technological innovation, and enhancing cost management, aiming to improve the level of condition-based maintenance for primary equipment in power transmission and transformation, ensuring stable operation of the power system and maximizing economic benefits.

**[Key words]** power transmission and transformation; primary equipment; condition-based maintenance; strategy optimization; cost-benefit

### 引言

在电力系统中,输变电一次设备的稳定运行是保障电力可靠供应的基础。传统定期检修模式存在过度检修和检修不足的问题,影响设备寿命与电力系统安全,且成本高昂。状态检修凭借先进监测与数据分析技术,能精准评估设备状态,合理安排检修计划。本文深入探讨输变电一次设备状态检修策略的优化,涵盖状态监测、故障诊断、检修决策等方面,并对其成本效益展开分析,提出提高成本效益的措施,为电力行业提供有益参考。

### 1 输变电一次设备状态检修的重要性

传统定期检修是按固定时间间隔对设备开展检修作业,然而这种方式很难与设备实际运行状态精准匹配。在此情形下,过度检修的情况频繁出现,对设备频繁拆解、维护,会加快设备零部件的磨损速度,使设备使用寿命缩短,还会消耗大量的人力、物力与财力,导致整体维修成本大幅增加。与此同时,检修不足的问题也不容小觑,设备潜在故障若不能及时发现和处理,随着运行时间不断延长,故障会逐渐恶化,最终可能引发设备故障,造成局部甚至大面积停电事故,这会对电力系统安全稳定运行产生严重影响,给社会生产生活带来极大的不便

和损失。而状态检修借助先进的监测技术和数据分析手段，能够实时收集设备运行过程中的温度、振动、绝缘性能等关键参数数据。通过对这些数据进行深度剖析，可以准确评估设备的健康状况，清楚地了解设备当前的运行状态以及未来的发展趋势<sup>[1]</sup>。基于这样的评估结果，能够科学合理地安排检修计划，依据设备的实际需求开展检修工作，避免盲目检修。这不仅大幅提高了检修的针对性和有效性，确保设备故障能得到及时有效地处理，还能减少不必要的检修作业，降低检修成本，同时能让输变电一次设备始终保持良好的运行状态，为电力系统的可靠运行筑牢坚实基础。

## 2 输变电一次设备状态检修策略优化

### 2.1 状态监测技术的改进

其一，采用多参数监测技术。对输变电一次设备运行状态全面监测，除传统电气参数如电压、电流、功率等，还需增加温度、湿度、振动、局部放电等非电气参数监测。综合分析多参数变化，能更精准判断设备运行状态与故障隐患。其二，在线监测与离线监测相结合。在线监测可实时获取设备运行数据，及时察觉设备异常，但成本较高；离线监测在设备停电时开展，能对设备进行更细致检查与测试，却无法实时反映运行状态。二者结合，可充分发挥各自优势，提升状态监测准确性与可靠性。其三，应用智能传感器技术。这能提高状态监测自动化水平与数据采集精度。智能传感器具备自诊断、自补偿和自校正等功能，可自动调整监测参数与采集频率，满足不同工况下设备监测需求。同时，借助无线通信技术，智能传感器能把监测数据实时传输至监控中心，便于管理人员远程监控与分析，及时掌握设备状况，为输变电一次设备状态检修策略优化提供有力数据支持，保障电力系统稳定运行。

### 2.2 故障诊断模型的优化

一是基于大数据的故障诊断模型构建。借助大数据技术收集输变电一次设备的历史运行、故障及检修等数据，建立设备故障数据库。通过对海量数据的分析与挖掘，找出设备故障的特征规律和影响因素，进而构建基于大数据的故障诊断模型。此模型能实现对设备故障的实时预测与诊断，提升故障诊断的准确性和及时性。二是人工智能算法的应用。引入神经网络、支持向量机、决策树等人工智能算法对故障诊断模型进行优化。这些算法具备强大的非线性映射能力和自适应学习能力，可处理复杂的设备故障数据。神经网络能通过学习大量故障样本数据，自动提取故障特征，完成对设备故障的分类与识别；支持向量机和决策树等算法也能从不同角度对故障数据进行分析处理，提高故障诊断的精度和效率。三是多模型融合的故障诊断方法<sup>[2]</sup>。鉴于单一故障诊断模型存在局限性，采用多模型融合的方式，将不同类型、原理的故障诊断模型集成。把基于大数据的故障诊断模型与基于人工智能算法的故障诊断模型相结合，能充分发挥各模型优势，综合不同模型对故障的判断结果，提高故障诊断的可靠性和鲁棒性，增强对设备故障的预测和诊断能力，为输变电一次设备的安全稳定运行提供有力保障。

### 2.3 检修决策的制定

第一，建立基于风险评估的检修决策模型至关重要，该模型需综合设备故障概率、故障后果以及检修成本等因素，对设备检修优先级进行科学排序，通过风险评估明确设备检修的先后顺序，进而提升检修资源利用效率、降低检修成本。第二，动态检修计划制定不可或缺，要依据新能源发电情况和电力系统运行需求灵活调整输变电一次设备检修计划，在新能源发电高峰期尽量压缩设备检修时间以保障新能源电力顺利传输，在发电低谷期合理安排检修工作以提高检修效率与质量，同时结合设备运行状态和故障隐患情况及时调整计划，预防设备故障发生。第三，检修资源优化配置同样重要，要合理调配检修人员、检修设备和检修材料等资源保障检修工作顺利开展，依据设备检修优先级和任务要求合理安排检修人员数量与专业技能以提高工作效率，还要加强检修设备和材料管理，确保质量可靠、供应及时，避免因资源问题影响检修进度和质量，为输变电一次设备稳定运行筑牢坚实保障。

### 2.4 优化策略实施的关键要点

(1) 人员培训与技术交流方面，要强化对检修人员的技术培训，提升其对状态监测技术、故障诊断方法以及检修决策制定的理解与掌握水平，使其能够熟练运用相关技术方法开展工作，并且积极开展技术交流活动，学习借鉴国内外先进的状态检修经验与技术，推动企业状态检修水平不断提高。(2) 制度建设与标准制定方面，需建立健全状态检修管理制度和标准体系，明确工作流程、质量要求以及考核指标等内容，通过制度与标准规范状态检修工作，保障状态检修策略有效落地。(3) 信息化建设与数据管理方面，要加强信息化建设，构建完善的状态监测系统和检修管理信息系统，实现设备状态数据实时采集、传输、存储与分析<sup>[3]</sup>。还要重视设备状态数据管理，保证数据安全性和完整性，为状态检修策略优化提供可靠的数据支撑，确保输变电一次设备状态检修工作高效、有序开展，提升电力系统运行的稳定性与可靠性，表1为状态检修策略优化前后的对比。

表1 状态检修策略优化前后对比

对比项目	优化前	优化后
状态监测技术	单一参数监测，在线监测与离线监测分离	多参数监测，在线监测和离线监测相结合，并应用智能传感器技术
故障诊断模型	基于经验的故障诊断，模型单一	基于大数据和人工智能算法的多模型融合故障诊断
检修决策制定	依赖经验判断，检修计划固定	基于风险评估的动态检修计划制定，检修资源优化配置
检修效果	故障发现不及时，检修成本高	故障预测准确，检修针对性强，检修成本降低

## 3 输变电一次设备状态检修成本效益分析

### 3.1 成本分析

直接成本方面，涵盖设备购置成本，即用于状态监测的传感器、监测设备及数据分析软件等的采购费用；监测系统建设成本，包括监测系统设计、安装、调试与维护等环节产生的费用；

检修人员培训成本,指对检修人员开展状态检修技术培训所需的支出;检修材料成本,为检修过程中使用的备品备件、消耗材料等费用。间接成本方面,有设备停电损失成本,因设备检修或故障引发停电,给电力企业带来发电、售电及用户停电等方面的经济损失;设备故障损失成本,既包含设备故障后维修与更换产生的费用,也有因设备故障致使电力系统运行不稳定而造成的间接损失;环保成本,指设备故障排放污染物对环境造成损害,以及为治理此类环境污染所支付的费用。全面考量这些成本,有助于准确评估状态检修的经济性,为制定合理的检修策略、优化资源配置提供依据,保障电力系统稳定的运行与经济效益最大化。

### 3.2 效益分析

经济效益上,主要体现在检修成本降低、设备停电损失减少以及设备利用率提高。优化状态检修策略能增强检修的针对性与有效性,规避过度检修和检修不足问题,进而降低检修成本。及时察觉并处理设备故障隐患,可减少故障发生次数,降低设备停电带来的损失。而且,合理的检修计划能延长设备使用寿命,提升设备利用率,为电力企业增添经济收益。社会效益方面,主要表现在电力系统可靠性与稳定性提升、社会用电需求得到保障以及新能源发展得到促进。优化输变电一次设备状态检修,可减少设备故障,提高电力系统运行的可靠性与稳定性,确保社会用电稳定<sup>[4]</sup>。同时,稳定的电力系统能为新能源大规模接入和消纳提供支撑,推动新能源发展,减少对传统化石能源的依赖,降低环境污染,对社会发展具有积极意义,能带来良好的社会效益,推动社会在能源利用和环境保护等多方面实现良性发展。

### 3.3 成本效益评估方法

一是净现值法,净现值法是将状态检修项目在未来各年产生的现金流量按照一定的折现率折现到当前时点,然后计算其净现值。如果净现值大于零,说明该项目在经济上是可行的;如果净现值小于零,说明该项目在经济上不可行。二是内部收益率法,内部收益率法是使状态检修项目的净现值等于零时的折现率。内部收益率反映了项目本身的实际收益率水平,如果内部收益率大于企业的基准收益率,说明这个项目在经济上是可行的;如果内部收益率小于企业的基准收益率,则说明该项目在经济上不可行。内部收益率可以通过试错法或内插法进行计算。三是投资回收期法,投资回收期法是指通过计算状态检修项目的投资回收期来评估项目的经济性。投资回收期是指项目投资所产生的现金流量收回初始投资所需的时间。投资回收期越短,

说明项目的经济性越好。投资回收期可以分为静态投资回收期和动态投资回收期,静态投资回收期不考虑资金的时间价值,动态投资回收期考虑资金的时间价值。

### 3.4 提高成本效益的措施

优化检修策略方面,持续改进状态检修策略,提升检修精准度与效率以降低成本。依据设备实际运行状态和故障隐患,合理调整检修计划与内容,规避不必要的检修。加强设备管理,强化输变电一次设备管理,提高设备运行可靠性和使用寿命。定期维护保养设备,及时发现处理潜在问题,减少故障发生。同时合理选型规格,提升设备质量性能。推进技术创新时,积极推动状态监测、故障诊断及检修技术创新,提高状态检修自动化与智能化水平。研发先进状态监测设备和故障诊断模型,降低监测成本与诊断误差,提升检修决策科学性与准确性。强化成本管理方面,建立健全成本管理制度,加强对状态检修成本的控制管理<sup>[5]</sup>。详细核算分析检修成本,找出成本控制关键点与潜力点,采取有效措施降低成本。同时加强检修材料和备品备件管理,合理控制库存水平,减少库存成本,以此全面提升输变电一次设备状态检修的成本效益。

## 4 结语

综上所述,输变电一次设备状态检修策略优化意义重大,通过改进状态监测技术、优化故障诊断模型、科学制定检修决策等措施,可显著提升检修效果,降低检修的成本。成本效益分析表明,优化策略能带来可观的经济与社会效益。采用净现值法、内部收益率法等评估方法可科学衡量项目价值。为进一步提高成本效益,需持续优化检修策略、加强设备管理、推进技术创新、强化成本管理。如此,才能保障电力系统稳定运行,实现经济效益与社会效益的双赢。

### [参考文献]

- [1]陈敏.变电一次设备故障预测及检修方法研究[J].电工技术,2024(S2):4-6.
- [2]李俊业,邵杰.电力一次设备的在线监测和状态检修技术研究[J].数字通信世界,2025(6):77-79.
- [3]宋高宇.电力系统变电一次设备状态检修技术探析[J].电力设备管理,2025(6):50-52.
- [4]姜修林.变电站一次设备检修工作的策略管窥[J].中国设备工程,2025(10):181-183.
- [5]殷彦华,成钢.输变电设备全寿命周期检修策略的研究及应用[J].计算机与数字工程,2021,49(3):573-578.