

电力设备预防性维护计划的优化与实施效果评估

黄洪超

广东省华侨物业发展有限公司 广东广州 510000

摘要：电力设备作为电力系统安全稳定运行的核心载体，预防性维护计划的科学性直接影响设备可靠性与运维效益。本文剖析传统预防性维护计划的局限性，从设备状态、风险评估、资源配置三个维度提出优化路径，构建涵盖可靠性、成本效益、管理效率的综合评估体系。研究旨在为电力企业完善预防性维护机制、提升运维管理水平提供理论参考与实践指导，助力电力系统实现安全高效运行。

关键词：电力设备；预防性维护；计划优化；效果评估

电力系统是国民经济重要基础设施，电力设备稳定运行关乎社会生产生活与公共安全。预防性维护是保障电力设备性能、降低故障风险的关键，可避免设备突发故障致供电中断，减少经济损失。但随着电力系统规模扩大、设备类型复杂，传统预防性维护计划暴露出适应性不足、效率低等问题，难以满足现代化电力运维要求。传统维护模式采用统一化策略，未考量设备个体差异，易造成过度或不足维护，前者增加成本、浪费资源，后者导致故障频发、影响供电可靠性。当前，电力企业需优化预防性维护计划，构建科学高效维护体系，控制成本并保障设备可靠性。所以，分析传统预防性维护局限，探索优化路径与效果评估方法，对提升电力设备运维管理水平、保障电力系统安全稳定运行意义重大。

1 传统预防性维护计划的局限性分析

1.1 维护策略缺乏差异化与针对性

传统预防性维护计划多基于行业通用标准或设备出厂要求制定，采用“一刀切”的统一化维护策略，未能充分考虑设备实际运行状态、使用环境、负荷强度等个体差异。不同电力设备在运行过程中，受安装位置、工作负荷、环境条件等因素影响，其老化速度、故障风险存在显著差异。同一类型的变压器，在工业负荷集中区域与居民生活区域的运行强度不同，故障概率也截然不同。

传统维护策略忽视这种差异，对所有设备执行相同的维护项目与标准，导致部分高负荷、高风险设备因维护强度不足而故障频发，部分低负荷、低风险设备因过度维护而增加不必要的成本。这种缺乏差异化的维护方式，既无法精准防控关键设备的运行风险，又造成维护资源的浪费，影响维

护工作的整体效能。

1.2 维护周期设定不合理

传统预防性维护计划的周期设定多依赖经验判断或固定时间间隔，缺乏科学的数据支撑与动态调整机制。维护周期过长，可能导致设备在两次维护之间出现性能退化或潜在故障，未能及时发现并处理，进而引发突发故障；维护周期过短，则会增加维护次数与成本，同时频繁的维护作业可能对设备正常运行造成干扰。

部分电力企业沿用多年前制定的维护周期，未根据设备运行年限、性能变化、技术升级等因素进行调整，导致维护周期与设备实际需求脱节。例如，部分老旧断路器的维护周期未随设备老化程度适当缩短，增加了故障发生的风险；而部分新型智能设备仍采用传统维护周期，造成过度维护。这种静态的周期设定方式，难以适应设备运行状态的动态变化，影响预防性维护的有效性^[1]。

1.3 维护成本与设备可靠性难以平衡

传统预防性维护计划在制定过程中，缺乏对维护成本与设备可靠性的系统性考量，难以实现二者的动态平衡。部分企业为追求设备绝对可靠，盲目增加维护项目与频率，导致维护成本大幅上升。维护成本不仅包括人工、材料、设备停运损失等直接成本，还包括维护资源占用、机会成本等间接成本，过度维护会显著增加企业运营负担。

另有部分企业为控制成本，刻意缩减维护投入，减少维护项目或延长维护周期，导致设备维护不足，可靠性下降。设备故障引发的供电中断，会给企业带来经济损失与声誉损害，同时影响用户正常用电。传统维护计划未能建立维护成

本与设备可靠性之间的量化关联，无法根据设备重要程度、故障损失等因素，合理分配维护资源，导致维护工作陷入“成本与可靠性两难”的困境^[2]。

2 电力设备预防性维护计划的优化路径

2.1 基于设备状态的维护策略优化

基于设备状态的维护策略优化，核心是通过实时监测设备运行状态，精准判断设备健康状况，制定针对性的维护方案。这种策略以设备实际运行数据为依据，替代传统的统一化维护模式，实现维护工作的精准化。

优化过程中，首先需构建全面的设备状态监测体系，部署温度传感器、振动传感器、绝缘监测装置等设备，实时采集设备运行参数，包括温度、振动、绝缘电阻、油液品质等关键指标。通过数据传输网络将监测数据上传至运维管理平台，利用数据处理技术对监测数据进行分析，识别设备运行状态的异常信号。

根据设备状态评估结果，将设备划分为不同健康等级，针对不同等级制定差异化的维护策略。健康状态良好的设备，可适当延长维护周期，减少维护项目；状态一般的设备，按常规维护计划执行，重点关注关键参数变化；状态较差、存在潜在故障风险的设备，缩短维护周期，增加专项维护项目，及时排除故障隐患。通过这种差异化策略，实现对设备的精准维护，既保障关键设备的运行安全，又避免低风险设备的过度维护^[3]。

2.2 基于风险评估的维护周期调整

基于风险评估的维护周期调整，通过量化设备故障风险，结合故障损失程度，动态优化维护周期，实现风险防控与成本控制的平衡。风险评估需综合考虑设备故障概率与故障影响程度两个核心因素，故障概率取决于设备运行状态、老化程度、维护历史等；故障影响程度则与设备重要性、负荷等级、故障波及范围等相关。

首先建立设备风险评估指标体系，明确各指标的权重与评价标准，通过现场检测、数据分析、专家评审等方式，对设备故障概率与影响程度进行量化评估，计算设备风险值。根据风险值将设备划分为高、中、低三个风险等级，针对不同等级制定差异化的维护周期。高风险设备故障概率高、影响范围广，需缩短维护周期，增加维护频次，确保及时防控风险；中风险设备按常规周期维护，定期评估风险变化；低风险设备可适当延长维护周期，降低维护成本。

同时建立维护周期动态调整机制，定期收集设备运行数据与维护记录，重新评估设备风险等级，根据评估结果调整维护周期。当设备运行状态恶化、风险等级升高时，及时缩短维护周期；当设备经过维护后状态改善、风险等级降低时，可适当延长维护周期。这种动态调整方式，使维护周期与设备风险状态实时匹配，提升维护计划的科学性与适应性。

2.3 维护资源与任务的动态配置

维护资源与任务的动态配置，核心是根据设备维护需求、资源供给情况，合理分配人力、物力、财力等维护资源，优化维护任务安排，提升维护工作效率。传统维护计划多采用固定的资源配置模式，未根据维护任务的优先级、紧急程度进行动态调整，易出现资源分配不均的情况。

优化过程中，首先对维护任务进行优先级排序，根据设备重要性、故障风险等级、维护紧急程度等因素，将维护任务划分为不同优先级。关键设备的紧急维护任务列为最高优先级，优先调配资源；普通设备的常规维护任务列为一般优先级，按计划有序执行。通过任务优先级排序，确保有限资源集中用于关键维护工作，提升资源利用效率。

在资源配置方面，建立维护资源动态调度机制，实时掌握人力资源、设备工具、备品备件等资源的库存与分布情况。根据维护任务需求，合理调配资源，避免资源闲置或短缺。例如，在变电站设备集中维护期间，统筹调配不同区域的维护人员与设备工具，形成协同作业模式；根据设备故障类型与维护需求，提前储备常用备品备件，确保维护工作及时开展。同时，通过信息化手段实现维护资源与任务的可视化管理，实时监控资源使用情况与任务执行进度，及时调整资源配置方案，确保维护工作高效有序推进^[4]。

3 预防性维护实施效果的综合评估

3.1 设备可靠性与可用性的评估

设备可靠性与可用性是评估预防性维护效果的核心指标，直接反映维护计划对设备运行安全的保障能力。可靠性评估主要通过设备故障频率、平均无故障工作时间等指标衡量。故障频率指单位时间内设备发生故障的次数，维护效果越好，故障频率越低；平均无故障工作时间指设备两次故障之间的平均运行时间，该指标越长，说明设备可靠性越高。

某电网公司对辖区内 100 台变压器的预防性维护计划进行优化，采用基于设备状态的差异化维护策略，实施一年后，变压器故障频率从优化前的 0.3 次 / 台 · 年降至 0.1 次 /

台·年，平均无故障工作时间从8000小时延长至12000小时，设备可靠性显著提升。可用性评估主要通过设备可用率指标衡量，设备可用率指设备正常运行时间占总运行时间的比例，维护计划优化后，设备故障停机时间减少，可用率明显提高。某风电场优化风机预防性维护计划后，风机可用率从92%提升至97%，有效提升了发电效率。

评估过程中，需建立长期的数据跟踪机制，收集设备维护前后的故障记录、运行时间等数据，进行对比分析，客观反映维护计划优化对设备可靠性与可用性的提升效果。同时，结合设备类型、运行环境等因素，制定合理的评估标准，确保评估结果的科学性与准确性。

3.2 维护成本效益的评估

维护成本效益评估旨在衡量维护计划优化在成本控制与效益提升方面的效果，通过对维护前后的成本支出与效益变化，评估维护计划的经济性。维护成本主要包括人工成本、材料成本、设备停运损失、备品备件储备成本等；维护效益主要包括故障损失减少、发电效率提升、设备使用寿命延长等带来的经济价值。

某电力企业优化输电线路预防性维护计划，通过基于风险评估的周期调整与资源动态配置，维护人工成本降低20%，备品备件储备成本降低15%，设备故障停运损失减少30%。虽然前期在状态监测设备安装方面有一定投入，但总体维护成本较优化前下降18%，同时因供电可靠性提升，减少了停电损失，提升了企业经济效益与社会声誉。

成本效益评估需建立全面的成本与效益核算体系，明确各项成本与效益的核算范围与方法，确保数据的完整性与准确性。通过计算成本效益比，即维护效益与维护成本的比值，直观反映维护计划的经济性。成本效益比大于1，说明维护计划的效益大于成本，优化方案可行；比值越高，说明维护计划的经济性越好。

3.3 维护管理水平与流程效率的评估

维护管理水平与流程效率的评估，主要通过维护流程规范性、任务执行效率、资源利用效率等指标衡量，反映维护计划优化对管理工作的提升效果。维护流程规范性评估主要考察维护计划制定、任务分配、作业实施、质量验收等环节的标准化程度，优化后的维护计划应具备清晰的流程规范与责任分工，减少流程漏洞与人为失误。

任务执行效率评估通过维护任务完成时间、工单闭环

率等指标衡量，维护计划优化后，任务分配更加合理，资源配置更加高效，维护任务完成时间应明显缩短，工单闭环率显著提升。某供电公司优化预防性维护计划后，维护任务平均完成时间从3天缩短至2天，工单闭环率从85%提升至98%，流程效率大幅提升。

资源利用效率评估主要通过人力资源利用率、备品备件周转率等指标衡量，优化后的维护计划应实现资源的合理配置，减少资源闲置与浪费。人力资源利用率指实际投入维护工作的工时占总工时的比例，备品备件周转率指备品备件的使用频率与周转速度，这些指标的提升的说明资源利用效率得到改善。通过综合评估这些指标，能够全面反映维护管理水平与流程效率的提升效果，为进一步优化维护体系提供依据^[5]。

4 结语

电力设备预防性维护计划的优化是提升电力系统运维管理水平的关键举措，能够有效解决传统维护模式存在的差异化不足、周期不合理、成本与可靠性失衡等问题。通过基于设备状态的维护策略优化、基于风险评估的维护周期调整、维护资源与任务的动态配置，能够构建科学高效的预防性维护体系，在保障设备可靠性与供电安全的同时，实现维护成本的合理控制。实施效果评估作为维护计划优化的重要环节，通过设备可靠性、成本效益、管理效率等多维度指标的综合考量，能够客观反映优化方案的实施效果，为维护体系的持续完善提供数据支撑。电力企业应充分认识预防性维护计划优化的重要意义，结合自身实际情况，构建符合企业需求的维护体系，持续提升运维管理水平。未来，随着大数据、人工智能等技术在电力行业的深度应用，电力设备预防性维护将向智能化、精准化方向发展。通过技术创新与管理优化的深度融合，不断提升预防性维护的科学性与高效性，为电力系统安全稳定运行提供坚实保障，助力能源行业高质量发展。

参考文献：

- [1] 裴卫政, 王威扬, 裴常卓. 变电站一键顺控技术在电力设备维护中的应用与效果评估 [J]. 通讯世界, 2023, 30(10):91–93.
- [2] 郭巍, 李晓博, 程帅, 等. OPGW 光缆故障案例分析及预防性监督措施研究 [C]//2022 年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛. 西安热工研究院有限公司, 2022.

- [3] 杨森森, 周文. 风力发电系统预防性维修决策技术分析 [J]. 中国设备工程, 2023(4):74–76.
- [4] 符杨, 黄路遥, 刘璐洁, 等. 基于状态自适应评估的海上风电机组预防性维护策略 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42(1):9.
- [5] 牛文晶, 李振国. 电力设备故障诊断与预防性维护技术研究 [J]. 数字化用户, 2023(42).