

# 基于可靠性的电气设备全生命周期维护策略在电力工程中的应用

陈向东

广东东南能源系统科技有限公司, 广东 广州 510000

**摘要：** 随着电力工程规模的不断扩大和技术的日益复杂, 电气设备的可靠性对于电力系统的稳定运行至关重要。本文聚焦于基于可靠性的电气设备全生命周期维护策略在电力工程中的应用研究。详细阐述了电气设备全生命周期的各个阶段, 包括规划设计、采购安装、运行维护以及退役处置, 并深入探讨在每个阶段如何将可靠性理念融入维护策略中。通过对设备可靠性评估方法的分析, 如故障树分析、可靠性指标计算等, 为制定科学合理的维护决策提供依据。同时, 探讨了大数据、人工智能等新兴技术在电气设备全生命周期维护中的应用, 以实现设备状态的实时监测、故障预测和精准维护。研究表明, 基于可靠性的全生命周期维护策略能够有效提高电气设备的可靠性, 降低设备故障率, 减少维护成本, 提升电力工程的整体效益。本文的研究成果对于推动电力工程领域的可持续发展具有重要的理论和实践意义。

**关键词：** 电气设备; 全生命周期维护; 可靠性; 电力工程; 故障预测

## Application of Whole-life Cycle Maintenance Strategy of Electrical Equipment in Power Engineering

Chen Xiangdong

Guangdong Southeast Energy System Technology Co., LTD. Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract:** With the continuous expansion of the power engineering scale and the increasing complexity of the technology, the reliability of the electrical equipment is very important for the stable operation of the power system. This paper focuses on the application research of reliability-based full-life cycle maintenance strategy of electrical equipment in power engineering. It details the various stages of the whole life cycle of electrical equipment, including planning and design, procurement, installation, operation and maintenance, and de-commissioning and disposal, and discusses in depth how to integrate reliability concepts into the maintenance strategy in each stage. Through the analysis of equipment reliability evaluation methods, such as fault tree analysis, reliability index calculation, etc., to provide a basis for the formulation of scientific and reasonable maintenance decisions. At the same time, the paper discusses the application of big data, artificial intelligence and other emerging technologies in the maintenance of the whole life cycle of electrical equipment, so as to realize the real-time monitoring, fault prediction and accurate maintenance of equipment status. The research shows that the reliability-based full-life-cycle maintenance strategy can effectively improve the reliability of electrical equipment, reduce the equipment failure rate, reduce the maintenance cost, and improve the overall benefit of power engineering. The research results of this paper have important theoretical and practical significance for promoting the sustainable development in the field of electric power engineering.

**Keywords:** electrical equipment; full life cycle maintenance; reliability; power engineering; fault prediction

### 引言

在现代社会, 电力作为一种关键能源, 其稳定供应直接关系到经济发展和社会生活的各个方面。电力工程中的电气设备作为电能转换、传输和分配的核心载体, 其运行可靠性起着决定性作用。任何电气设备的故障都可能引发局部甚至大面积的停电事故, 不仅会给电力企业带来巨大的经济损失, 还会对工业生产、居民生活等造成严重影响。<sup>[1]</sup>

传统的电气设备维护策略往往侧重于事后维修或定期检修, 这种方式缺乏对设备实际运行状态的精准把握, 容易导致过度维修或维修不足的情况。随着电力系统规模的不断扩大和设备复杂性的增加, 传统维护策略已难以满足日益增长的可靠性要求。基于可靠性的电气设备全生命周期维护策略应运而生, 它从设备的规划设计阶段开始, 贯穿采购安装、运行维护直至退役处置的整个生命周期, 始终将设备的可靠性作为核心考量因素, 通过科学的方法和先进的技术手段, 实现对设备维护的精细化管理, 确保设备在整个生命周期内都能保持较高的可靠性水平。因此, 研究基于可靠性的电气设备全生命周期维护策略在电力工程中的应用具有重要的现实意义和广阔的应用前景。<sup>[2]</sup>

## 一、电气设备全生命周期阶段划分

### （一）规划设计阶段

电气设备全生命周期始于规划设计阶段，此阶段综合考量电力工程实际需求、运行环境及未来发展规划。精准的负荷预测为设备选型与容量配置提供关键依据，像变电站变压器需依据区域用电负荷增长趋势与季节性变化确定合适容量与类型，避免容量不当影响可靠性或造成资源浪费。<sup>[3]</sup>合理的设备布局设计至关重要，充分考虑电气连接、散热及维护便利性，减少电磁干扰，提升运行稳定性并方便后期巡检维护。引入如平均无故障时间（MTBF）、故障概率等可靠性指标，模拟不同工况预测故障模式，提前优化设计，从源头保障设备可靠性，为后续阶段筑牢根基。

### （二）采购安装阶段

采购安装是将规划设计转化为实体设备的关键环节。采购时严格筛选供应商，审查设备技术参数、制造工艺及质量检测报告，确保符合设计要求与相关标准，对于高压断路器等关键设备，重点关注开断能力、绝缘性能等直接影响运行可靠性的指标。安装过程遵循严格规范与工艺流程，安装人员凭借专业技能与丰富经验，确保设备安装牢固、接线正确、调试精准。安装完成后全面开展电气性能、机械性能及可靠性试验等验收测试，只有通过测试的设备才能投入运行，为设备在运行阶段的可靠表现奠定坚实基础，保障设备从初始投入就具备良好性能。

### （三）运行维护及退役资源管理

运行维护是全生命周期中历时最长且最为关键的阶段。建立完善的设备监测体系，借助传感器实时采集温度、湿度、振动、电流、电压等参数，如变压器通过绕组和铁芯上的温度传感器监测温度，超阈值及时预警。运用数据挖掘、机器学习等技术建立故障预测模型，如利用支持向量机（SVM）分析变压器油色谱数据预测潜伏性故障，并据此制定差异化维护计划。当设备进入退役处置阶段，全面评估剩余价值与可再利用性，修复改造有价值设备实现资源合理利用，对含有害物质设备按环保要求专门回收处理，防止污染，同时整理归档设备数据，为新设备规划设计与维护提供参考，实现设备全生命周期的资源有效管理与环保目标。

## 二、基于可靠性的电气设备维护策略制定

### （一）可靠性评估方法

准确的可靠性评估是制定合理维护策略的基础。故障树分析（FTA）是一种常用的可靠性评估方法，它通过对设备故障现象进行层层分解，找出导致故障发生的各种原因及其逻辑关系，构建故障树模型。通过对故障树模型的定性和定量分析，可以计算出设备的故障概率、重要度等可靠性指标，从而确定设备的薄弱环节和关键故障模式。<sup>[4]</sup>

此外，还可以采用可靠性指标计算的方法，如平均无故障时间（MTBF）、平均修复时间（MTTR）等。MTBF 反映了设备

在两次相邻故障之间的平均工作时间，MTTR 则表示设备发生故障后平均修复所需的时间。通过对这些可靠性指标的计算和分析，可以评估设备的整体可靠性水平，并与行业标准或设计要求进行对比，为维护策略的制定提供数据支持。

### （二）维护决策制定

基于可靠性评估结果，制定科学合理的维护决策。对于故障概率较高、对系统可靠性影响较大的设备或部件，应优先安排维护工作，采取预防性维护措施，如定期更换易损件、进行设备检修和调试等。对于故障概率较低但一旦发生故障后果严重的设备，要加强状态监测，实时掌握设备运行状态，一旦发现异常及时进行处理。

在维护决策制定过程中，还需综合考虑维护成本、设备可用性以及电力系统运行的实际需求等因素。采用优化算法，如遗传算法、粒子群优化算法等，对维护计划进行优化，以实现维护成本与设备可靠性之间的最佳平衡。例如，通过优化算法确定设备的最佳维护周期，在保证设备可靠性的前提下，使维护成本最小化。

### （三）维护资源配置

合理配置维护资源是确保维护策略有效实施的关键。维护资源包括人力资源、物资资源和技术资源等。在人力资源方面，要根据设备的数量、类型以及维护工作的复杂程度，配备足够数量且具备专业技能的运维人员。对运维人员进行定期培训，提高其技术水平和故障处理能力。

在物资资源方面，要建立完善的备品备件管理体系，根据设备的易损件清单和历史故障数据，合理储备备品备件，确保在设备发生故障时能够及时更换，减少设备停机时间。同时，要加强对物资的采购、存储和配送管理，提高物资资源的利用效率。在技术资源方面，要引进先进的检测设备和诊断技术，如红外热成像仪、局部放电检测仪等，为设备的状态监测和故障诊断提供技术支持。

### （四）风险评估与应对策略

在电气设备运行过程中，面临着诸多内外部风险因素，对设备可靠性产生影响。风险评估需综合考虑设备老化、环境变化、操作失误以及自然灾害等因素。例如，对于地处恶劣气候环境的电气设备，如高温、高湿或强风地区的输电线路和变电站设备，需评估极端天气对设备绝缘性能、结构稳定性等方面的影响。采用失效模式与影响分析（FMEA）方法，识别设备可能出现的失效模式，分析其对系统功能的影响程度，并确定风险等级。针对高风险的失效模式，制定相应的应对策略，如加强设备防护措施、增加巡检频次、制定应急预案等，以降低风险发生的概率和影响程度，保障设备的可靠运行。

### （五）维护策略的动态调整

电气设备的运行状态和工作环境处于动态变化之中，因此维护策略也应具备动态调整能力。建立设备运行状态实时监测与反馈机制，利用物联网技术将设备的各类运行数据实时传输至维护管理系统。通过数据分析算法，持续评估设备的可靠性水平和维护策略的有效性。当设备运行状态发生显著变化，如出现异常的

振动、温度升高等情况，或电力系统运行需求发生改变，如负荷突然增加时，系统自动触发维护策略调整流程。根据设备的实时状态和新的可靠性评估结果，重新优化维护计划，包括调整维护周期、更换维护方式以及调配维护资源等，确保维护策略始终与设备实际情况相适配，最大程度提升设备的可靠性和电力系统的运行稳定性。<sup>[4]</sup>

### 三、新兴技术在电气设备全生命周期维护中的应用

#### （一）大数据技术

大数据技术在电气设备全生命周期维护中具有巨大的应用潜力。通过对设备在规划设计、采购安装、运行维护和退役处置等各个阶段产生的海量数据进行收集、存储和分析，可以挖掘出设备运行的规律和潜在的故障信息。例如，在运行维护阶段，利用大数据分析技术对设备的历史监测数据进行分析，建立设备性能趋势模型，预测设备的剩余使用寿命和可能出现的故障类型。

大数据技术还可以实现对设备维护资源的优化配置。通过对维护历史数据的分析，了解不同设备在不同时间段的维护需求，合理安排运维人员和备品备件的调配，提高维护工作的效率和质量。此外，大数据技术还可以为电力企业的决策提供支持，如在设备采购决策中，通过分析市场上不同品牌、型号设备的可靠性数据和用户反馈，选择最适合电力工程需求的设备。

#### （二）人工智能技术

人工智能技术，如机器学习、深度学习等，在电气设备故障诊断和预测方面具有显著优势。机器学习算法可以根据设备的监测数据和故障历史数据进行训练，建立故障诊断模型，实现对设备故障的快速准确诊断。例如，利用深度学习中的卷积神经网络（CNN）对设备的图像数据（如变压器的油色谱图像）进行分析，识别设备内部的故障特征，判断故障类型和严重程度。

人工智能技术还可以实现设备的智能运维。通过智能算法，根据设备的实时运行状态和维护计划，自动生成最优的运维方案，并对运维过程进行实时监控和调整。例如，利用强化学习算法，让设备运维系统在不断的实践中学习最优的维护策略，提高设备的可靠性和维护效率。

#### （三）物联网技术

物联网技术为电气设备的全生命周期维护提供了便捷的通信和数据交互平台。通过在设备上安装物联网传感器，实现设备与设备之间、设备与运维人员之间的互联互通。运维人员可以通过移动终端随时随地获取设备的运行状态信息，及时接收设备故障报警信号，并远程对设备进行控制和调试。

物联网技术还可以实现设备的远程协同维护。当设备发生故障时，不同地区的专家可以通过物联网平台实时共享设备数据，进行远程会诊和协作处理，提高故障处理的效率和准确性。此外，物联网技术还可以将设备的运行数据上传至云端，为大数据分析和人工智能应用提供数据基础。<sup>[5]</sup>

#### （四）云计算技术

云计算技术在电气设备全生命周期维护中发挥着重要作用。

在设备规划设计阶段，借助云计算强大的计算能力，可对不同设计方案进行大规模模拟与优化。设计人员能够在云端快速构建虚拟模型，模拟设备在各种工况下的运行情况，通过分析大量数据评估设计方案的可靠性与性能，缩短设计周期并降低成本。

在运行维护阶段，云计算平台可集中存储和处理海量设备监测数据。通过弹性计算资源分配，确保数据处理的高效性，即使面对突发的大量数据涌入也能稳定运行。例如，利用云服务器对实时采集的设备振动、温度等数据进行实时分析，及时发现设备潜在问题。同时，基于云计算的软件即服务（SaaS）模式，为电力企业提供便捷的设备维护管理软件，企业无需在本地部署复杂软件系统，通过浏览器即可访问和使用，降低软件维护成本，提升维护管理的便捷性与灵活性。

### 四、结束语

基于可靠性的电气设备全生命周期维护策略在电力工程中具有重要的应用价值。通过在设备的规划设计、采购安装、运行维护和退役处置等各个阶段融入可靠性理念，采用科学的可靠性评估方法和维护决策制定机制，合理配置维护资源，并充分利用大数据、人工智能、物联网等新兴技术，能够有效提高电气设备的可靠性，降低设备故障率，减少维护成本，提升电力工程的整体运行效益。

然而，在实际应用过程中，仍面临一些挑战，如数据安全与隐私保护、技术标准的统一以及专业人才的短缺等。未来，需要进一步加强相关技术的研究和创新，完善技术标准体系，加强人才培养，推动基于可靠性的电气设备全生命周期维护策略在电力工程中的广泛应用和持续发展。随着技术的不断进步和应用的深入，相信这一维护策略将为电力行业的可持续发展提供更加强有力的支撑，保障电力系统的安全、稳定、可靠运行。

### 参考文献

- [1] 卢鲁振. 基于电气自动化技术在电力工程中的应用研究 [J]. 山东工业技术, 2017(4): 1.
- [2] 林江. 基于电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 轻松学电脑, 2021, 000(006): P.1-1.
- [3] 王明. 电气设备可靠性分析与维护策略研究 [J]. 电力工程技术, 2020, 39(6): 123-128.
- [4] 陈峰, 刘华. 基于状态监测的电气设备故障预测研究 [C]. 电气工程与自动化控制, 2018.
- [5] 张宇, 赵丽. 可靠性分析在电力工程中的应用与展望 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(1): 112-118.