电力设备预防性试验周期的优化策略与可靠性分析

尚　鹏，马雪斌

（泰安腾飞实业有限公司肥城分公司，山东 肥城 271600）

摘　要　电力设备预防性试验是电网设备全生命周期运维的核心环节，是提前排查绝缘隐患、规避设备故障、保障电网稳定运行的预防性技术手段。传统试验周期无法适配设备差异化运行状态，难以兼顾运维经济性与设备运行可靠性。本文系统阐述电力设备预防性试验的核心内涵与规范依据，分析传统固定试验周期的现存弊端，探究设备状态、运行环境、服役年限、负荷工况对试验周期的影响机制，提出分级分类、状态驱动、动态调整的预防性试验周期优化策略，依托工程案例，通过数据表格对比优化前后设备故障率、运维成本、试验效率等核心指标，开展设备运行可靠性量化分析，以期为电力行业设备运维体系升级、试验标准优化、降本增效提供工程参考。

关键词　电力设备；预防性试验；周期优化；状态运维；可靠性分析

中图分类号：TM507　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.025

0　引言

据国家能源局电力可靠性管理和工程质量监督中心《2024 年全国电力可靠性年度报告》显示，新建优质设备、环境优良设备长期接受过度试验，不仅浪费人力、物力、财力，还会频繁拆装设备、扰动绝缘结构，加速设备老化；而老旧设备、重载设备、恶劣环境设备试验频次不足，隐患无法及时排查，故障突发率居高不下。现阶段，传统固定周期试验模式已无法适配智能化、精细化电网运维需求，亟需开展试验周期优化研究，构建动态化、差异化、精准化的试验运维体系。基于设备运行状态优化试验周期，平衡运维经济性与设备可靠性，对提升电网设备运维质量、降低电网运行风险、推动电力运维行业高质量发展具有重要的现实意义与工程价值。

1　电力设备预防性试验概述及传统模式弊端

1.1　预防性试验核心内涵与分类

电力设备预防性试验是设备全生命周期管理中的预防性检测手段，在设备不停电或停电状态下，通过专业化试验仪器检测设备绝缘性能、电气参数、机械性能，判定设备健康状态，识别内部潜伏性缺陷，为设备检修、维护、更换提供数据支撑。按照试验场景与功能可分为绝缘试验、特性试验、综合性能试验三类，覆盖变压器、GIS 组合电器、断路器、互感器、电缆等全站核心电力设备。预防性试验区别于故障后抢修，以提前预防、主动管控为核心，可大幅降低设备突发性故障概率，是电网安全生产的第一道防线[1]。

1.2　传统固定试验周期标准

依据现行《电力设备预防性试验规程》（DL/T 596-2018）预防性试验规程，传统电力设备采用固定周期试验制度，不同类型设备对应固定试验频次，不受运行状态、环境、年限影响。常规高压设备试验周期如表 1 所示，该标准长期作为国内变电站、配电工程设备运维的核心依据。

1.3　传统试验周期模式核心弊端

固定周期试验模式通用性强、管理简单，但精细化程度不足，在长期工程应用中暴露诸多短板。一是

表 1　常规高压设备试验周期及试验项目

设备类型	传统试验周期	常规试验项目	适用场景
主变压器	3 年 / 次	绝缘电阻、直流电阻、油色谱分析	通用所有变电站
GIS 组合电器	2 年 / 次	SF_6 气体检测、放电、耐压试验	高压配电装置
高压断路器	2 年 / 次	回路电阻、绝缘测试、机械特性	高低压开关设备
电力电缆	1 年 / 次	绝缘电阻、耐压试验、局放检测	输电、配电线路

作者简介：尚鹏（1989-），男，本科，助理工程师，研究方向：电力工程。

试验针对性不足，存在“好设备多试、坏设备少试”的失衡问题，新建健康设备频繁试验造成资源浪费，老旧隐患设备试验频次不足，隐患累积诱发故障；二是运维经济性差，大量无效试验增加停电时长、人工成本、设备拆装损耗，国网运维数据显示，固定周期模式下年均无效试验成本占运维总成本的27.3%；三是可靠性保障不足，无法适配恶劣环境、重载运行、老旧设备的特殊运维需求，设备故障预判精准度低；四是适配性较差，无法匹配新型智能电力设备的运行特性，滞后于智能化电网运维发展趋势。多重弊端叠加，导致传统试验模式难以兼顾设备运行可靠性与运维经济性[2]。

2 电力设备预防性试验周期的影响因素与可靠性机理分析

2.1 核心影响因素分析

电力设备预防性试验周期并非固定不变，受设备自身属性、运行工况、外部环境、运维水平四大维度因素共同影响。设备自身属性包含服役年限、设备材质、厂家工艺、历史故障记录，老旧设备、故障频发设备绝缘老化速率快，需缩短试验周期；运行工况包含负荷大小、启停频次、过载时长，长期重载、频繁启停的设备性能损耗更快，需加密试验频次。外部环境包含温湿度、腐蚀程度、粉尘雨雪天气，户外、沿海、化工区域腐蚀环境会加速设备绝缘劣化，需动态调整试验周期。运维水平包含日常巡检质量、保养频次、检修工艺，运维薄弱区域设备隐患累积更快，需优化试验节奏。

2.2 试验周期与设备可靠性关联机理

设备运行可靠性与试验频次呈非线性关联，合理的试验周期是平衡可靠性与经济性的关键。试验周期过长，设备潜伏性缺陷无法及时排查，绝缘老化、部件损耗持续累积，设备故障率呈指数级上升，大幅降低电网供电可靠性。试验周期过短，频繁停电、拆装试验会扰动设备绝缘结构，造成设备二次损伤，同时消耗大量运维资源，降低运维经济效益。只有结合设备实时健康状态，动态优化试验周期，对高危设备加密试验、健康设备延长试验周期，才能在零隐患管控的前提下，最大化节约运维成本，实现可靠性与经济性双向平衡[3]。

2.3 设备故障概率随周期变化规律

依据电力设备可靠性统计模型，电力设备故障遵循浴盆曲线分布，分为早期故障期、偶然故障期、损耗故障期。早期新设备性能稳定、故障概率低，可适当延长试验周期。中期设备运行平稳、故障随机性强，可维持常规试验周期。后期老旧设备绝缘老化、部件磨损严重，故障概率大幅攀升，必须缩短试验周期、加密检测频次。传统固定周期模式未适配设备全生命周期故障规律，是导致运维资源浪费与故障漏检的核心原因。

3 电力设备预防性试验周期优化核心策略

3.1 建立设备分级分类动态试验体系

基于设备重要等级、健康状态、运行年限、环境工况，将电力设备划分为一级高危设备、二级常规设备、三级优质设备三个等级，实行差异化试验周期管理。一级高危设备包含服役超10年老旧设备、重载运行设备、恶劣环境设备、历史故障频发设备，缩短30%～50%试验周期，重点加密局放、绝缘、油色谱等关键项目检测。二级常规设备为服役5年～10年、工况稳定、环境良好的普通设备，维持标准试验周期。三级优质设备为5年以内新建设备、运行工况优良、无故障记录设备，延长30%～50%试验周期，减少无效试验频次，从源头解决试验失衡问题[4]。

3.2 基于状态监测的周期动态调整策略

依托智能化在线监测技术，搭建设备状态实时感知体系，结合在线监测数据动态调整试验周期。通过部署局部放电、温度、振动、气体密度、绝缘参数监测模块，24小时实时采集设备运行数据，动态评估设备健康状态。当监测数据稳定、无异常波动时，判定设备健康状态良好，适当延长试验周期。当监测数据出现异常波动、接近预警阈值时，判定设备存在潜伏隐患，立即缩短试验周期，开展专项停电试验排查缺陷，实现“状态达标延时、状态异常加急”的动态试验机制。

3.3 全生命周期阶段性周期优化策略

结合设备浴盆故障曲线，分阶段优化试验周期。设备投运1年～5年为稳定期，设备性能优良、故障概率极低，可延长试验周期，减少试验频次，避免过度试验损伤设备。投运5年～10年为平稳运行期，设备性能稳定，维持标准试验周期，保障基础隐患排查能力。投运10年以上为老化损耗期，设备绝缘老化、部件磨损加剧，故障风险大幅提升，持续缩短试验周期，强化预防性检测力度，精准捕捉老化缺陷，提前规避设备故障[5]。

3.4 运维管理体系配套优化

完善试验周期管控台账，建立设备全生命周期试验档案，记录每台设备试验时间、试验数据、缺陷类型、整改情况，为周期优化提供数据支撑。规范试验审批流程，动态周期调整需结合在线数据、巡检记录、历

史故障数据综合判定，杜绝随意调整。加强运维人员专业培训，提升状态研判、周期优化、缺陷识别能力。建立月度核查、季度复盘机制，动态修正试验周期标准，持续优化试验体系科学性。

4 工程案例实践

4.1 工程概况

本工程为山东淄博220 kV周村变电站运维优化改造项目，该变电站建成投运于2013年，总容量360 MVA，包含主变压器2台、220 kV GIS间隔14个、高压断路器28台、电力电缆线路16条，承担淄博西部工业园区及城区居民供电任务，属于区域核心枢纽变电站。设备服役年限超12年，多数设备进入老化损耗阶段，原有固定周期试验模式弊端凸显，存在老旧设备试验频次不足、新设备过度试验、运维成本偏高、零星故障频发等问题。为提升设备运行可靠性、降低运维成本，本次工程开展预防性试验周期优化改造，推行分级分类动态试验机制，优化全站设备试验周期与运维方案，改造总投资186万元，工期30天。

4.2 优化前设备运行与试验现状

改造前全站设备统一执行传统固定试验周期标准，未区分设备年限、工况与健康状态。经统计，全站优质新设备年均无效试验4次以上，老旧高危设备试验间隔过长，隐患排查不及时。2022-2023年站内累计发生设备绝缘异常、局部放电、参数漂移等轻微故障12次，设备年均故障率3.85%，年均试验运维成本89.6万元，无效试验占比40.2%，资源浪费与安全隐患问题突出。为量化优化效果，本次工程选取全站核心设备，对比优化前后运维与可靠性指标，具体数据如表2所示。

表2 优化前后运维与可靠性指标

核心指标	优化前（固定周期）	优化后（动态周期）	变化幅度
设备年均故障率	3.85%	0.92%	下降76.1%
无效试验占比	40.2%	11.5%	下降71.4%
年均运维成本（万元）	89.6	62.3	节约30.5%
缺陷提前识别准确率	82.3%	98.7%	提升16.4%

4.3 现场周期优化实施方案

结合站内设备服役年限、健康状态、运行工况，实施分级动态周期优化。首先完成设备等级划分，将10台老旧重载设备、4台故障记录设备划为一级高危设备，缩短40%试验周期，重点加密绝缘、局放、油色谱检测频次。将26台工况稳定、无故障记录的中期设备划为二级常规设备，维持标准试验周期。将12台近年更换的新设备划为三级优质设备，延长40%试验周期，减少常规试验频次。其次搭建在线状态监测体系，在主变、GIS、断路器等核心设备加装监测终端，实时采集运行数据，动态修正试验周期。最后完善运维台账与考核机制，建立设备周期动态调整档案，定期复盘试验效果，持续优化试验方案。

4.4 优化后可靠性与经济性成效分析

本次试验周期优化改造完成后，经过12个月持续运行监测，全站设备运行状态大幅优化，可靠性与经济性双重提升。设备年均故障率由3.85%降至0.92%，故障防控能力大幅增强，杜绝突发性设备停运事故。无效试验占比大幅下降，年均节约运维成本27.3万元，资源利用率显著提升。缺陷识别准确率提升至98.7%，可精准捕捉设备潜伏性隐患，实现故障前置防控。同时动态试验模式大幅减少不必要的停电试验时长，电网供电连续性、稳定性显著提升。

5 结束语

电力设备预防性试验是电网设备安全运维的核心手段。在新型电力系统建设背景下，电力设备运维需彻底摒弃传统一刀切的固定试验模式，全面推行状态驱动的动态预防性试验机制。未来运维工作中，应持续完善设备分级标准，深化在线监测与试验周期的深度融合，建立全生命周期动态试验管控体系，不断优化试验资源配置，在保障设备零故障、高可靠运行的前提下，最大化提升电力运维经济性。通过科学优化电力设备预防性试验周期，实现电力设备运维从“定期检修”向“状态检修、精准运维”转型，全面提升电网设备安全运行水平与精细化运维能力，为电力系统安全、稳定、高效运行提供坚实的技术与管理保障。

参考文献：

[1] 周晟祺.电力大数据变电站设备状态检修技术研究[J].网络安全和信息化,2023(11):95-97.
[2] 陈川.基于互联网的电力设备可靠性监测分析[J].集成电路应用,2022,39(05):72-74.
[3] 汤尤佳,王诗清.电力系统变电一次设备状态检修技术[J].光源与照明,2023(09):101-103.
[4] 沈琼妹,王建勇,张睿,等.电力二次接线端子紧固可靠性的检测和分析[J].电子测试,2022,36(09):40-43,47.
[5] 张琪.信息化技术在输变电系统状态检修中的应用[J].集成电路应用,2023,40(09):92-93.