

# Research on Preventive Testing Method and Fault Diagnosis for New Energy Box Substation

Tian'ao Gao Xianzhe Deng

Huadian Henan New Energy Power Generation Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

Against the backdrop of continuous expansion in renewable energy generation capacity and accelerated power system restructuring, new energy container substations—as critical grid-connected equipment—play a pivotal role in operational reliability that directly impacts power generation efficiency and system safety. Compared to conventional scenarios, these substations endure prolonged exposure to complex environments characterized by significant temperature fluctuations, high humidity, and corrosive conditions, which frequently lead to insulation degradation, electrical contact failures, and protective device malfunctions. Preventive testing serves as a vital tool for identifying equipment vulnerabilities and assessing operational status, proving essential for mitigating fault risks. Systematic implementation of insulation inspections, performance evaluations, and condition monitoring coupled with operational data analysis can significantly enhance fault detection capabilities. Building upon this foundation, it is imperative to standardize testing protocols and diagnostic methodologies while optimizing technical approaches and management frameworks to elevate maintenance standards and equipment reliability.

## Keywords

new energy container substation; preventive testing; fault diagnosis; insulation testing; condition-based maintenance

## 新能源箱变预防性试验方法及故障诊断研究

高天翱 邓先喆

华电河南新能源发电有限公司, 中国·河南 郑州 450000

## 摘要

在新能源发电规模持续扩大与电力系统结构加快调整的背景下, 新能源箱式变电站作为并网关键设备, 其运行可靠性直接关系到发电效率与系统安全。相比传统场景, 新能源箱变长期处于温差大、湿度高及腐蚀性强的复杂环境中, 易引发绝缘老化、接触不良及保护装置失效等问题。预防性试验作为识别设备隐患与评估运行状态的重要手段, 对于降低故障风险具有重要意义。通过系统开展绝缘检测、性能测试及状态评估, 并结合运行数据分析, 可提升故障识别能力。在此基础上, 有必要梳理试验内容与诊断方法, 优化技术路径与管理机制, 从而提高运维水平与设备运行可靠性。

## 关键词

新能源箱变; 预防性试验; 故障诊断; 绝缘检测; 状态检修

## 1 引言

随着“双碳”目标持续推进, 风电、光伏和储能等新能源项目建设速度不断加快, 大量箱式变电站被应用于场站集电、升压与并网系统之中。新能源箱变兼具变压器、高低压开关设备、保护装置和辅助系统等多种功能, 具有布置集中、安装灵活、维护便捷等优点, 已成为新能源电站电气系统中的关键单元。由于新能源出力波动较大, 设备启停频繁, 负荷变化快, 加之部分场站地处荒漠、高寒、高海拔、沿海等特殊环境, 箱变运行条件明显复杂于常规配电设备, 极易在绝缘老化、接头发热、套管受潮、开关机构卡涩和保护误

动等方面积累隐患。若缺乏科学有效的预防性试验和及时准确的故障诊断, 箱变故障不仅会造成单台设备停运, 还可能影响整条集电线路甚至整个场站送出能力, 带来较大的经济损失和安全风险。因此, 研究新能源箱变预防性试验方法及故障诊断机制, 既是提升设备本体可靠性的现实需要, 也是推动新能源场站精细化运维的重要内容。

## 2 新能源箱变运行特点与预防性试验的现实意义

### 2.1 新能源箱变运行环境复杂且工况波动明显

新能源箱变大多安装于户外, 受自然环境影响较大。风电场常分布在山地、戈壁、沿海和草原地区, 光伏电站则多位于荒漠、高原及日照强烈区域, 这些场景中温度变化幅度大, 风沙、雨雪、盐雾和紫外线辐射等环境因素对设备外

【作者简介】高天翱(2006-), 男, 中国河南开封人, 硕士, 工程师, 从事电气保护、电气试验研究。

绝缘、金属构件和密封性能形成长期侵蚀。与此同时，新能源发电具有随机性和波动性，箱变负荷会随着风速变化、辐照强度变化及储能充放电状态频繁调整，运行中容易产生较为明显的热应力和电应力变化。长时间处于这种复杂环境和动态工况之下，箱变内部绝缘材料、接触连接部位和辅助电气元件更容易发生劣化，故障概率随运行年限增加而上升。

## 2.2 箱变结构集成度高使局部缺陷易演化为系统问题

新能源箱变通常采用紧凑集成式结构，将变压器、高压负荷开关、熔断器、低压开关柜、保护测控装置、温控系统及通风散热部件布置在有限空间内。这种设计虽然减少了占地和安装工作量，但也使设备内部热量积聚更明显，局部故障更易相互影响。例如，高压侧接点接触不良会导致发热升温，若散热条件不足，温度进一步传导至邻近绝缘件，可能引起绝缘老化和局部放电；低压侧输出接头松动引起的过热，也会影响箱内温湿度平衡和控制元件稳定性。由于设备一体化程度高，单点缺陷在未被及时发现时，往往可能发展为多部位联动异常，进而影响整套箱变运行安全。因此，开展预防性试验并通过多指标综合分析识别早期劣化特征，显得尤为重要。

## 2.3 预防性试验是保障新能源场站稳定运行的重要基础

预防性试验的核心目的在于通过周期性检测和状态分析，及时发现设备潜伏缺陷，防止故障在运行中突发暴露。对于新能源箱变而言，预防性试验不仅可以评估绝缘健康水平、导电回路质量和保护装置动作可靠性，还能为设备检修、改造和状态检修决策提供数据支撑。相比故障后抢修，预防性试验更强调风险前移和问题前控，有助于减少非计划停运次数，降低大面积脱网风险，提升新能源场站发电可用率。在当前新能源项目容量大、分布广、运维成本控制压力不断加大的背景下，预防性试验已不再只是传统检修制度中的固定环节，而逐渐成为设备全寿命周期管理的重要组成部分。

# 3 新能源箱变预防性试验的主要方法与实施要点

## 3.1 绝缘性能试验是箱变健康评估的核心内容

绝缘系统是新能源箱变安全运行的基础，其状态直接关系到设备能否承受长期运行电压和暂态冲击。预防性试验中，绝缘电阻测量、吸收比和极化指数测试是较为基础且常用的方法，可用于判断绕组、套管及控制回路是否存在受潮、污染或绝缘老化趋势。对于油浸式箱变，绕组介损因数、直流电阻、绝缘油击穿电压、微水含量及色谱分析等项目，能够进一步反映油纸绝缘系统的综合健康状况。对于干式箱变，则应重点关注绕组表面污秽、裂纹、受潮及局部放电迹象。绝缘试验在实施过程中应严格控制环境条件、试验顺序和放电处理程序，避免因残余电荷或测试方法不当导致结果失真。试验结果不能孤立判断，而应结合历史数据、

运行年限和现场环境进行趋势分析，才能更准确评估设备绝缘状态。

## 3.2 导电回路与机械特性试验直接关系设备运行可靠性

箱变在运行中承担电能转换和输送任务，导电回路接触质量与开关机构动作性能对其安全性影响极大。直流电阻测试可用于检查变压器绕组连接是否完好、分接开关接触是否良好以及绕组是否存在匝间异常。回路电阻测试则适用于检测高压负荷开关、低压断路器和母排连接部位的导电状态，若测得数值明显偏高，通常意味着接触面氧化、紧固力不足或局部烧蚀。机械特性试验主要针对高压开关设备和断路器，包括分合闸时间、动作同期性、速度特性及储能机构运行状态等内容。新能源箱变运行中启停频繁，机械机构更易出现磨损、卡涩和弹簧疲劳，因此机械特性试验对于发现潜在动作失灵问题具有重要意义。只有电气特性和机械特性均满足要求，箱变才具备长期稳定运行的基础条件。

## 3.3 保护、辅助系统及综合在线监测试验应同步推进

新能源箱变不仅包含主变本体和一次设备，还配置保护装置、测控单元、温控器、通风系统、除湿装置和通信模块等辅助系统，这些部件一旦异常，也会直接影响设备安全。预防性试验中，应对继电保护动作逻辑、定值准确性、信号上传功能和通信状态进行检查，确保过流、速断、过温、瓦斯及接地等保护功能可靠投入。对于温控和散热系统，则需检查风机启停逻辑、温度采样准确性和箱体内部通风状况，防止因散热失效引起局部过热。近年来，红外测温、在线局放监测、油色谱在线监测和无线测温等技术逐步应用于新能源箱变状态监控，为预防性试验提供了动态补充手段。将定期离线试验与在线监测相结合，有助于构建更完整的设备状态感知体系，提升故障预防的及时性和准确性。

# 4 新能源箱变常见故障类型及成因分析

## 4.1 绝缘故障是新能源箱变最具代表性的风险类型

绝缘故障在新能源箱变故障中占比较高，且危害最为直接。其表现形式包括绕组对地绝缘下降、套管表面爬电、局部放电增强、油纸绝缘受潮和干式绕组开裂等。造成此类故障的原因较为复杂，一方面与长期运行中热老化、电老化和环境受潮有关，另一方面也与制造工艺、密封性能、现场安装质量和运维水平密切相关。部分光伏场站昼夜温差大，箱变长期经历热胀冷缩循环，密封件易老化失效，外部潮气进入后会加速绝缘劣化。沿海风电场盐雾附着也容易降低外绝缘水平。绝缘缺陷在初期往往不易被肉眼发现，但若不及时干预，极易演化为击穿、闪络甚至设备烧毁事故。

## 4.2 导电连接与开关机构故障易在高负荷和频繁操作中暴露

新能源箱变运行中还常见导电回路发热、接线端子松动、母排接触不良及高压开关拒动、误动等问题。这类故障

通常与安装工艺不规范、螺栓预紧力不足、金属接触面氧化以及开关机构机械磨损有关。由于新能源出力变化快,箱变在负荷波动条件下运行,局部接触不良部位更容易因电流变化产生温升异常,时间一长便可能出现烧蚀、变色甚至熔损现象。高压负荷开关和断路器若长期缺乏维护,储能机构、传动连杆和分合闸线圈性能下降,也会影响动作可靠性。此类故障的隐蔽性较强,若不结合温升检测和机械特性试验进行综合判断,往往难以及早识别。

#### 4.3 辅助系统与保护回路故障会放大主设备运行风险

新能源箱变中许多事故并非直接起源于主变本体,而是由辅助系统和保护回路异常诱发或放大。例如,温控器失灵会导致风机不能按需启动,引发箱内持续高温;除湿装置失效会加剧潮气积聚,影响绝缘状态;保护装置定值错误或通信异常,则可能造成故障切除不及时甚至误跳闸。部分场站在运维中更关注主设备测试,而对二次回路、辅助电源、控制线路和信号传输系统重视不足,导致小故障逐步演变为大问题。由于新能源箱变通常分布分散、数量较多,一旦辅助系统问题在多个设备中同时存在,整体风险会被明显放大,因此必须将其纳入故障诊断的重要范围。

### 5 新能源箱变故障诊断与运维提升策略

#### 5.1 建立基于试验数据与运行数据融合的故障诊断机制

提升新能源箱变故障诊断水平,不能仅依赖单次试验结果,而应构建试验数据、在线监测数据和日常运行数据融合分析机制。预防性试验能够提供阶段性健康评估结果,在线监测则反映设备动态变化过程,运行数据和故障记录则有助于揭示异常与工况之间的关系。将绝缘电阻、介损、直流电阻、油色谱、红外测温、局放水平和保护动作记录等多类数据统一纳入分析框架,可以更准确识别设备劣化趋势和故障特征。例如,当油色谱中乙炔含量上升同时伴有红外局部高温现象时,往往指向内部放电或接触过热问题;若绝缘参数下降伴随湿度长期偏高,则应重点排查密封与除湿系统。数据融合分析能够显著提升诊断针对性,减少单项判断偏差。

#### 5.2 推进状态检修理念在新能源箱变运维中的应用

传统周期性检修模式虽然具有制度清晰的优点,但对新能源箱变这种运行环境差异大、工况波动明显的设备而言,单纯按周期安排试验和检修,容易出现检修不足与过度维护并存的问题。应逐步引入状态检修理念,根据设备运行

环境、监测数据变化、故障历史和试验结果制定差异化检修策略。对于绝缘老化趋势明显、温升异常频繁或保护误动多发的箱变,应适当缩短试验周期,加密监测频次;对于状态长期稳定、运行工况平稳的设备,则可在保证安全前提下优化检修安排,提高运维资源利用效率。状态检修强调“以状态定检修、以数据定策略”,有助于降低维护成本,提升设备可用率,更符合新能源场站集约化运维的发展方向。

#### 5.3 完善现场管理和人员能力建设是提升诊断质量的保障

再先进的试验方法和诊断技术,最终仍需依靠规范的现场执行和专业人员判断才能发挥作用。新能源箱变预防性试验和故障诊断质量的提升,离不开现场管理水平提高和运维人员能力建设。应建立更加细化的试验标准、缺陷分级标准和故障处置流程,确保不同场站、不同设备、不同人员在工作中执行统一规范。与此同时,要加强对运维人员在绝缘分析、油样判断、红外诊断、保护校验和故障案例分析等方面的培训,使其具备从多维信息中识别隐患的能力。对于典型故障,还应建立案例库和经验反馈机制,通过复盘分析不断优化诊断规则。只有技术、管理和人员三方面协同提升,新能源箱变运维水平才能真正实现持续进步。

### 6 结语

新能源箱变是新能源场站电气系统中的关键设备,其运行可靠性直接关系到新能源发电系统的安全性与经济性。由于运行环境复杂、负荷波动频繁、设备集成度高,新能源箱变在绝缘、导电连接、开关机构和辅助系统等方面更易积累隐患。预防性试验作为设备状态评估和风险防控的重要手段,应从绝缘性能、导电回路、机械特性和保护辅助系统等多个维度综合展开,并与在线监测技术形成有效互补。未来,随着状态检修理念深化应用和智能运维技术不断发展,新能源箱变运维模式将进一步由传统经验型向数据驱动型、预测预防型转变。只有持续优化预防性试验方法、完善故障诊断体系并强化现场管理,才能更好保障新能源箱变安全稳定运行,为新能源电站高质量发展提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1] 李小超,郭威,徐政阳,等.装配式箱变基础在沿海多雨地区新能源工程中的应用[J].黑龙江水利科技,2025,53(10):62-67.
- [2] 张磊,丁艳厂.智能型新能源风光发电箱变设计研究[J].中国战略新兴产业,2024,(32):85-87.
- [3] 王奔,张金文.基于预制架空式箱变基础的集中式山地光伏项目光伏方阵和集电线路优化[J].企业管理,2024,(S2):354-355.