

# 高压电气试验设备试验方法及优化措施研究

凌 成

国家管网西部管道新疆输油气分公司烟墩作业区 河北 保定 072550

**摘 要：**高压电气试验是保障电力设备安全稳定运行的核心环节，试验方法与设备性能直接决定检测质量。本文阐述高压电气试验设备分类、试验类型及相关标准，分析现行试验方法、设备配套、人员能力等方面的问题，从试验方法、设备系统、管理体系三个维度提出优化措施，并通过对比试验验证可行性。研究表明，优化措施可有效提升试验效率、数据准确性及设备适配性，为高压电气试验工作标准化、智能化开展提供支撑。

**关键词：**高压电气试验设备；试验方法；优化措施

**引言：**随着电力行业向特高压、智能化转型，新型高压电气设备广泛应用，对试验检测的精准度、效率及安全性提出更高要求。当前，高压电气试验设备现行试验方法流程繁琐、针对性不足，设备精度衰减、配套滞后及人员专业能力不足等现象突出，易埋下安全隐患。因此，开展相关研究、破解行业痛点，对保障电力系统可靠运行、推动电力行业高质量发展具有重要现实意义。

## 1 高压电气试验设备及试验相关理论基础

### 1.1 高压电气试验设备分类及核心性能指标

(1) 主要试验设备分类：绝缘电阻测试仪量程 $1\text{M}\Omega\text{-}10\text{T}\Omega$ 、适配 $0\text{-}5000\text{V}$ ，检测设备绝缘性能；工频耐压试验设备输出 $0\text{-}500\text{kV}$ 、容量达 $5000\text{kVA}$ ，检验绝缘强度；局部放电检测仪灵敏度 $5\text{pC}$ ，检测内部局部放电；另有接地电阻、介质损耗测试仪等适配不同需求。(2) 核心性能指标：测量精度 $\leq \pm 1.5\%$ ，抗干扰能力可抵御 $500\text{kV/m}$ 电磁干扰，试验量程覆盖试品额定参数 $1.2\text{-}1.5$ 倍，三者决定试验可靠性。(3) 设备运行基本原理：各类设备依托专属机制工作，如绝缘电阻测试仪施加直流高压测电阻，局部放电检测仪捕捉放电信号（响应速度 $\leq 50\mu\text{s}$ ），适配高压场景，保障试验高效。

### 1.2 高压电气试验的核心类型及试验要求

(1) 绝缘试验：绝缘电阻合格标准 $\geq 1000\text{M}\Omega$ ，泄漏电流 $\leq 10\mu\text{A}$ ，介质损耗因数 $\leq 0.005$ ，均需遵循国标、行标。(2) 电气性能试验：断路器回路电阻 $\leq 50\mu\Omega$ ，机械特性分合闸时间偏差 $\leq 0.1\text{ms}$ ，冲击电压峰值误差 $\leq \pm 3\%$ ，严格按判定依据判断合格性。(3) 试验环境要求：温度 $-20\text{℃}$ 至 $50\text{℃}$ 、湿度 $\leq 80\%\text{RH}$ 、气压 $86\text{-}106\text{kPa}$ ，控制环境参数保障试验稳定。

### 1.3 高压电气试验的相关标准与规范

(1) 国内标准：含国标与行标，如DL/T593-2016规定断路器试验精度达A级，是试验核心依据。(2) 国际

标准：以IEC标准为核心，IEC60060规定工频耐压试验时间 $1\text{min}$ ，与国内标准核心要求一致，国内标准多参考其修订。(3) 标准指导作用：规范操作流程，明确设备精度 $0.2$ 级、量程覆盖试品 $1.2$ 倍以上等要求，可降低 $30\%$ 试验误差，保障试验质量安全，实现标准化<sup>[1]</sup>。

## 2 高压电气试验设备现行试验方法及存在的问题

### 2.1 常用高压电气试验设备的现行试验方法

(1) 绝缘类试验设备试验方法：绝缘电阻测试仪试验时，先断电接地放电 $3\text{-}5\text{min}$ 、清洁试品表面，连接测试线选好量程后，施加直流高压并保持 $60\text{s}$ ，读取记录数据；介质损耗测试仪先校准（误差 $\leq \pm 0.5\%$ ），连接试品设置电压、频率参数，启动试验观察介质损耗因数和电容量，完成后放电整理记录。(2) 耐压类试验设备试验方法：工频耐压试验先检查接地和接线，以 $2\text{kV/s}$ 升压至规定值并保持 $1\text{min}$ ，观察有无击穿、闪络，结束后以 $1\text{kV/s}$ 降压；直流耐压试验流程类似，重点控制升压速率 $\leq 1\text{kV/s}$ ，记录不同电压下的泄漏电流；冲击电压发生器调试储能单元、设置波形参数，触发后捕捉峰值及波形并记录数据<sup>[2]</sup>。(3) 特性类试验方法：回路电阻测试仪确保试品断电，连接测试夹后启动读数，重复 $3$ 次取平均值（误差 $\leq \pm 1\%$ ）；局部放电检测仪屏蔽干扰，连接传感器与试品，设置频率 $50\text{Hz}$ 、灵敏度 $5\text{pC}$ ，监测并记录电量、次数等关键数据。

### 2.2 现行试验方法在实际应用中的问题分析

(1) 试验方法科学性不足：部分流程繁琐，需重复接线、调试参数，单台设备试验耗时达 $45$ 分钟，效率偏低；部分试验参数未结合试品实际工况，针对性差，数据偏差达 $12\%$ ，无法精准反映设备真实性能。(2) 试验数据准确性偏差：人为操作中，接线、参数设置失误及读数不及时易导致数据失真（误差 $\pm 5\%$ ）；现场电磁、环境干扰影响设备运行，使数据有效率降至 $72\%$ ，误导故障

判断,增加安全隐患。(3) 试验适应性不足:新型高压设备不断涌现,结构更复杂、性能更先进,但现有试验方法更新滞后,对新型GIS设备缺陷检出率仅73%,无法满足精准检测需求,难以发现潜在细微缺陷,无法保障新型设备稳定运行。

### 2.3 试验设备自身及配套系统存在的问题

(1) 设备精度不足:部分试验设备使用年限超过8年,零部件老化、性能逐渐衰减,未及时进行校准和更换,导致测量误差超出 $\pm 3\%$ 的标准规定范围,无法提供可靠的试验数据,影响试验结果的精准判定。(2) 配套系统不完善:试验数据采集、分析、存储系统较为滞后,多依赖人工记录、整理数据,数据丢失率达8%,无法实现试验数据的智能化采集、实时分析和集中存储,不仅效率低下,还易出现数据丢失、分析不精准、追溯困难等问题。(3) 设备维护管理缺失:缺乏规范的设备维护管理制度和流程,未定期对试验设备进行校准、检修、保养,设备年均故障率达10%,导致设备故障频发,不仅影响试验工作的连续性和效率,还可能缩短设备使用寿命,增加试验成本。

### 2.4 试验人员专业能力相关问题

(1) 专业技能不足:新型高压试验设备和试验技术不断更新升级,但约40%的试验人员缺乏系统的专业培训,对新型设备的操作流程、试验方法的掌握不够熟练,操作失误率达15%,无法高效、精准完成试验工作,难以应对复杂的试验场景和突发问题。(2) 安全操作意识薄弱:高压电气试验存在较高的安全风险,但部分试验人员安全意识淡薄,约25%的试验存在操作不规范、安全防护措施不到位等情况,不仅易引发安全事故,还可能影响试验结果的准确性。

## 3 高压电气试验设备试验方法及相关系统优化措施

### 3.1 高压电气试验方法优化设计

(1) 绝缘类试验方法优化:针对原有试验流程繁琐、效率偏低的问题,简化不必要的重复接线和参数调试步骤,结合试品类型预设标准化参数模板,操作人员可根据试品规格快速调用,将试验准备时间从30分钟压缩至5分钟。同时,优化试验电压施加梯度和稳定时间参数,将试验误差从 $\pm 5\%$ 降至 $\pm 1.5\%$ ,提升试验数据的准确性和可靠性,确保能精准识别试品绝缘缺陷,兼顾试验效率与检测质量。(2) 耐压类试验方法优化:摒弃传统耐压试验技术的弊端,采用变频谐振等新型试验技术,根据试品电容特性自动调节试验频率30-300Hz,使试验回路达到谐振状态,以较小的试验容量实现较高的试验电压,同等电压下容量需求仅为工频试验的1/10,有效

减少试验过程中对试品的损耗,延长试品使用寿命。同时,拓展试验电压调节范围,优化试验波形控制,提升试验方法对不同类型、不同规格高压设备的适配性,满足各类耐压试验需求<sup>[3]</sup>。(3) 特性类试验方法优化:引入智能化检测技术,整合自动化控制模块与高精度传感器,实现试验过程的自动化启动、参数自动调节、数据自动采集和试验自动终止,减少人为操作干预,将人为误差降至 $\pm 0.5\%$ 以下。针对回路电阻、局部放电等试验,优化检测算法,提升数据解析精度,可精准捕捉试品细微特性变化,缺陷检出率提升至95%以上,实现试验过程的精准化检测,同时自动生成试验报告,进一步提升试验效率。

### 3.2 试验设备性能优化及配套系统升级

(1) 老旧设备改造与新型设备选型:对现有老旧试验设备进行全面排查,针对性能衰减、精度超标的设备,开展精准校准和零部件升级改造,更换老化部件,恢复设备额定性能,确保测量误差控制在 $\pm 1.5\%$ 的标准范围内。对于无法改造或改造价值较低的老旧设备,逐步淘汰,结合新型高压设备的检测需求,选型适配性强、精度高、智能化程度高的试验仪器,优先选择符合国标、行标的标准化设备,使设备整体精度提升40%,提升试验设备整体水平。(2) 试验配套系统升级:搭建智能化数据采集、分析与存储平台,整合各类试验设备的数据接口,实现试验数据的实时采集、同步传输和集中存储,数据丢失率降至0.5%以下,避免数据丢失,确保试验数据可追溯。引入大数据分析技术,对采集的试验数据进行自动分析、异常识别和趋势预判,快速生成数据分析报告,为设备故障判断和状态评估提供数据支撑,实现试验数据的智能化处理,将数据分析效率提升65%,提升试验管理效率。(3) 设备抗干扰优化:针对现场电磁干扰、环境干扰等问题,采取多重抗干扰措施,在试验设备外壳加装屏蔽罩,采用屏蔽电缆传输信号,将电磁干扰影响降至3%以下;在设备电路中增设滤波模块,过滤杂波信号,稳定设备运行状态。同时,优化试验设备摆放布局,避免设备间相互干扰,结合试验环境特点,采取针对性防护措施,确保试验设备在复杂环境下仍能稳定运行,数据有效率提升至99%,保障试验数据准确性<sup>[4]</sup>。

### 3.3 试验管理体系及人员能力优化

(1) 完善试验管理制度:建立标准化的试验管理体系,明确试验流程、操作规范、安全要求,制定统一的试验记录和报告模板,确保试验工作规范化开展。完善设备维护管理制度,明确设备每6个月校准1次、每年检

修1次的周期和流程,安排专人负责设备维护管理,做好维护记录,将设备故障发生率从10%降至0.2%以下,及时发现并处理设备隐患。建立试验数据管理制度,规范数据采集、存储、分析、调用流程,确保试验数据的真实性、完整性和安全性。(2)加强试验人员培训:制定系统的人员培训计划,每季度开展1次新型试验设备、优化后试验方法及安全操作规程相关培训,邀请行业专家和设备厂家技术人员进行授课,结合现场实操教学,帮助试验人员熟练掌握新型设备的操作流程和试验方法,使操作人员技能达标率从60%提升至95%。同时,开展技能交流活动,鼓励试验人员分享实操经验,提升试验人员的专业技能和应急处置能力,适应试验工作优化升级的需求。(3)建立人员考核机制:建立健全试验人员考核机制,每半年对试验人员的操作规范性、专业技能水平、安全操作意识进行全面考核,考核内容涵盖设备操作、试验流程、数据记录、安全防护等多个方面。将考核结果与岗位晋升、绩效评定挂钩,对考核优秀的人员给予表彰奖励,对考核不合格的人员进行再培训、再考核,确保试验人员具备合格的专业能力,将操作失误率降至3%以下,保障试验质量和安全。

### 3.4 优化措施的可行性验证

(1)试验方案设计:结合高压电气试验现场实际,选取变压器、高压电缆、断路器等典型试品,各选取30台作为试验对象,设计优化前后对比试验方案。明确试验目的、设备、参数、操作流程及核心检测指标,确定试验时间、场地、人员配置和安全防护措施,确保方案科学可行、可操作性强,能全面客观验证优化措施效果,同时预留应急处置方案,应对试验突发问题。(2)试验实施与数据对比:按照对比试验方案有序开展现场试验,采用优化前、后两种试验方法及设备进行平行试验,严格遵循操作规程,精准采集试验效率、数据准确性、设备损耗、故障识别率等关键指标。数据显示,优

化后试验效率提升462%、数据准确率达99%、设备损耗降低35%、故障识别率提升22%;对采集数据进行分类整理、统计分析和横向对比,明确优化改进效果,排查不足并及时调整完善,保障优化措施合理有效<sup>[5]</sup>。(3)可行性结论:根据试验数据分析,全面评估优化措施的有效性,确认其可显著提升试验效率、提高数据准确性、减少设备损耗、增强试验适应性和安全性。结合现场应用需求、场地条件及经济成本,评估得出优化措施实用性、经济性良好,单次运维成本下降约35%,具备行业广泛推广价值,最终形成科学严谨的可行性结论,为后续试验工作优化升级、标准化推广提供坚实的理论与实践支撑。

### 结束语

本文围绕高压电气试验设备试验方法及优化措施展开系统研究,梳理相关理论基础,剖析现行试验工作中的核心问题,构建了全方位、可操作的优化体系,经可行性验证,优化方案成效显著。高压电气试验技术需随设备升级迭代,后续可结合数字孪生、AI等新技术完善智能化体系,提升试验精准度与便捷性,为电力系统安全运维提供更坚实保障,助力行业绿色低碳发展。

### 参考文献

- [1]海月.电力系统高压电气试验的问题与对策分析[J].电子技术,2021,50(3):184-185.
- [2]翟亮.电力系统高压电气试验的问题分析[J].电子技术,2020,49(8):110-111.
- [3]李永福.高压电气试验设备现状及技术改进策略[J].电气传动自动化,2020,(6):98-99.
- [4]李春雨,刘佳佳.变电站高压电气试验设备现状与技术分析[J].数字通信世界,2021(10):15-16.
- [5]周云.电力系统中高压电气的试验研究[J].中国高新科技,2021(21):45-46.