

电气试验中的自动化技术研究

王艳雯

宝钛集团有限公司 陕西 宝鸡 721014

摘要：本文聚焦于电气试验中的自动化技术，首先阐述了电气试验及自动化技术的重要性，深入分析传统电气试验存在的效率低、精度差、安全性不足等问题。接着详细探讨电气试验自动化技术的关键组成部分，涵盖传感器技术、数据采集与处理技术、智能控制技术等，并结合具体技术参数和实际应用场景说明。通过实际案例分析，展示自动化技术在提高电气试验效率、精度和安全性方面的显著效果，运用具体数据量化呈现改进成果。最后对电气试验自动化技术的发展趋势进行展望，旨在为电气试验领域的自动化发展提供全面且深入的理论支持和实践参考。

关键词：电气试验；自动化技术；传感器；智能控制

1 引言

电气试验在电力系统的运行、维护和检修中占据着举足轻重的地位。它能够对电气设备的绝缘性能、电气参数等进行精准检测和评估，及时发现设备存在的潜在缺陷和故障隐患，从而保障电力系统的安全稳定运行。随着电力行业的迅猛发展，电气设备日益复杂，对电气试验的精度、效率和安全性提出了更为严苛的要求。自动化技术作为现代科技的重要成果，融合了计算机技术、传感器技术、通信技术、智能控制技术等多学科知识，具备高效、精准、可靠等显著优势。将自动化技术应用于电气试验中，能够有效解决传统电气试验方法存在的诸多问题，提高试验的质量和效益。因此，深入研究电气试验中的自动化技术具有重要的现实意义。

2 传统电气试验存在的问题

传统电气试验存在诸多问题：一是试验效率低下，依赖人工操作，从设备准备、接线到数据记录处理，过程繁琐耗时，如大型变压器绝缘试验，仅接线、记录数据及后续处理就需大量时间，一次试验可能耗时4~5小时，严重影响进度；二是试验精度不足，人工操作难以保证试验条件一致稳定，易受环境及人为因素影响，导致结果误差大，且传统设备功能单一、测量范围和精度有限，难以满足高精度试验需求；三是安全性较差，电气试验涉及高压、大电流，人工操作有触电、电弧烧伤等风险，人为操作失误导致事故占比约30%，同时传统方法对现场安全监控手段有限，增加试验危险性。

3 电气试验自动化技术的关键组成部分

3.1 传感器技术

传感器是电气试验自动化系统的“感知器官”，能将电气设备物理量（如电压、电流等）转为可测量的电信号，为数据采集处理打基础。常用传感器有电压、电

流、温度、绝缘电阻传感器等。电压传感器常用电磁式和电容式。电磁式测量精度一般达 $\pm 0.2\%$ ，范围10kV-500kV；电容式绝缘好、成本低，精度约 $\pm 0.5\%$ ，范围110kV-1000kV。电流传感器常见霍尔电流传感器和电流互感器。霍尔响应快，精度 $\pm 0.1\%$ ，测量范围毫安到千安级；电流互感器应用广，精度 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ ，不同变比适用不同电流等级。温度传感器常用热电偶和热电阻。热电偶测温范围广（ $-200^{\circ}\text{C} \sim 2300^{\circ}\text{C}$ ），精度约 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；热电阻精度可达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，范围 $-200^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，用于高精度测温。绝缘电阻传感器采用新型智能测量技术，精度 $\pm 1\%$ ，范围几百千欧到几千兆欧。新型传感器不断涌现，光纤传感器抗电磁干扰、绝缘好、精度高，如光纤温度传感器测变压器内部温度精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 且不受干扰；智能传感器集成多种功能，能自动处理传输数据，提升智能化水平。

3.2 数据采集与处理技术

数据采集与处理是电气试验自动化技术的核心。数据采集系统采集、转换、存储传感器输出的电信号，为后续处理分析提供准确数据源。

3.2.1 数据采集

要保证实时性与准确性。用高速高精度数据采集卡，采样频率可达数MHz甚至更高，能满足快速变化信号采集需求，如采集瞬态电压信号，设为10MHz可捕捉其变化。同时，采用先进采样算法，如过采样技术，以高于奈奎斯特频率采样，再对多个采样值平均，能降低量化误差、提高精度。

3.2.2 数据处理

对采集数据滤波、分析、计算以提取有用信息。如对振动信号频谱分析，用快速傅里叶变换（FFT）算法，能快速将时域转频域，分析频率成分幅值和相位，判断

设备有无机械故障；对绝缘电阻测量数据趋势分析，用最小二乘法拟合其随时间变化数据，得趋势曲线，判断绝缘性能是否下降^[1]。常用方法还有小波分析、神经网络等，小波分析能多尺度分析信号、提取局部特征，适用于非平稳信号处理；神经网络有自学习与自适应能力，可对复杂非线性关系建模预测，在故障诊断和状态评估中前景广阔。

3.3 智能控制技术

智能控制技术是电气试验自动化系统的“大脑”，依据数据处理结果和预设试验要求，自动控制试验设备，实现试验自动化。

3.3.1 模糊控制

模拟人的思维决策，有效控制具不确定性与模糊性的系统。在电气试验中，能根据设备状态和环境条件自动调整试验参数，提升适应性与稳定性。如变压器空载试验，受环境温度、电源电压等因素影响，模糊控制算法可依其实时变化，自动调整分接开关位置，让试验在最佳条件下进行。其响应时间通常几十毫秒到几百毫秒，能快速反应系统变化。

3.3.2 专家系统

将专家知识经验以规则形式存于计算机，通过推理判断为试验人员提供决策支持。在电气试验中，能根据设备类型、试验项目和数据判断设备是否故障，给出可能原因与解决方案。如断路器分合闸时间异常，专家系统可依故障诊断规则判断故障原因并给出维修建议。其诊断准确率达80%~90%，可提高故障诊断效率与准确性。

3.3.3 遗传算法

一种优化算法，用于优化试验方案和参数，提高试验效率与精度。如设计电气试验测试点布局时，采用该算法可搜索最优位置，覆盖设备关键部位，减少测试点数量，降低成本。其优化过程通常需几十代甚至上百代迭代，能在较短时间内找到近似最优解。

3.4 通信技术

通信技术是电气试验自动化系统实现信息传输共享的关键，能将传感器、数据采集系统、智能控制系统等各部分相连，实现数据实时传输与远程监控。有线通信常用以太网和RS-485。以太网传输快、距离远、抗干扰强，速率可达100Mbps甚至更高，距离数千米，可用于连接上位机监控软件与现场数据采集控制设备，实现快速传输与实时监控。RS-485是半双工通信，成本低、连接方便，速率9600bps-115200bps，距离1200米，常用于连接多个现场设备实现数据通信^[2]。无线通信安装方便、灵

活、可扩展性强，应用广泛。Wi-Fi可实现试验设备与上位机无线数据传输，速率数十Mbps，室内距离几十米、室外数百米。ZigBee是低速率、低功耗无线通信技术，速率20kbps-250kbps，距离几十米到几百米，适用于构建小范围无线传感器网络，实现电气设备分布式监测。蓝牙短距离、高速率，速率1Mbps-3Mbps，距离10米内，常用于连接便携式试验设备与上位机快速传数据。

4 电气试验自动化技术的应用案例分析

4.1 案例背景

某电力公司负责对一座大型变电站进行定期检修和电气试验，其中包括变压器的绝缘试验、断路器的特性试验等多项内容。传统的人工试验方法存在效率低、精度差、安全性不足等问题，为了解决这些问题，该公司引入了电气试验自动化系统。

4.2 自动化系统组成

该电气试验自动化系统主要由传感器、数据采集与处理单元、智能控制单元、通信网络和上位机监控软件等部分组成。

传感器：采用高精度的电压、电流、温度、绝缘电阻等传感器。电压传感器选用电容式电压互感器，测量精度为 $\pm 0.3\%$ ；电流传感器采用霍尔电流传感器，测量精度为 $\pm 0.1\%$ ；温度传感器使用热电阻，测量精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ；绝缘电阻传感器采用智能测量技术，测量精度为 $\pm 1\%$ 。

数据采集与处理单元：采用高速数据采集卡，采样频率为1MHz，能够实时准确地采集传感器输出的信号。数据处理单元采用先进的算法对采集到的数据进行滤波、分析和计算，提高数据的准确性和可靠性。

智能控制单元：根据预设的试验方案 and 数据处理结果，自动控制试验设备的运行。采用模糊控制和专家系统相结合的智能控制策略，能够根据试验设备的状态和环境条件自动调整试验参数，同时为操作人员提供决策支持。

通信网络：采用以太网和无线通信相结合的方式，实现数据的实时传输和远程监控。在变电站内部采用以太网连接各个设备，确保数据传输的快速性和稳定性；对于一些移动设备或难以布线的区域，采用Wi-Fi通信技术实现无线数据传输。

上位机监控软件：具有友好的人机界面，能够实时显示试验数据和设备状态，并提供数据存储、查询、分析等功能。操作人员可以通过上位机软件远程监控试验过程，及时调整试验参数，处理异常情况。

4.3 应用效果

提高试验效率：采用自动化系统后，试验设备的接线和调试时间大幅缩短。例如，变压器的绝缘试验中，自动接线系统能够在30分钟内完成所有测试点的连接，相比传统人工接线时间缩短了70%。数据采集和处理实现了自动化，无需人工干预，数据采集时间从原来的30分钟缩短至5分钟，数据处理时间从原来的30分钟缩短至10分钟。在一次完整的变压器绝缘试验中，总试验时间从原来的8小时缩短至3小时，大大提高了试验效率。

提高试验精度：传感器的高精度测量和数据处理算法的优化，有效减少了试验误差。在断路器的特性试验中，动作时间的测量误差从原来的 $\pm 0.5\text{ms}$ 降低至 $\pm 0.1\text{ms}$ ，提高了试验结果的准确性。绝缘电阻的测量精度也得到了显著提高，测量误差从原来的 $\pm 5\% \sim 10\%$ 降低至 $\pm 1\%$ ，为设备的绝缘状态评估提供了更可靠的数据支持。

增强安全性：自动化系统实现了试验过程的远程监控和操作，操作人员无需直接接触高压电气设备，降低了触电风险。同时，系统具有完善的安全保护功能，如过压、过流保护等，能够及时处理试验过程中出现的异常情况。在引入自动化系统后，该变电站电气试验过程中的安全事故发生率降低了80%，保障了试验的安全性。

5 电气试验自动化技术的发展趋势

5.1 智能化程度不断提高

随着人工智能技术的不断发展，电气试验自动化系统将更加智能化。未来的系统将具备更强的自主学习和决策能力，能够根据试验设备的运行状态和历史数据，自动调整试验方案和参数，实现试验过程的自适应控制^[3]。同时，智能诊断技术将得到更广泛地应用，能够快速准确地诊断电气设备的故障类型和位置，为设备的维修和保养提供有力支持。例如，采用深度学习算法对电气设备的运行数据进行分析，能够自动识别设备的故障模式，提高故障诊断的准确性和效率。

5.2 集成化程度加深

电气试验自动化系统将向集成化方向发展，将多种试验功能和设备集成在一个系统中，实现一站式试验服务。例如，将绝缘试验、特性试验、油雾试验等多种试验功能集成在一起，减少试验设备的重复配置，提高试验效率。同时，系统还将与电力系统的其他自动化系统（如调度自动化系统、设备管理系统等）进行集成，实现信息共享和协同工作，提高电力系统的整体运行管理水平。

5.3 无线化应用更加广泛

无线通信技术的不断发展将为电气试验自动化系统带来更广阔的应用空间。未来的系统将更多地采用无线传感器网络和无线通信技术，实现对电气设备的无线监测和远程控制。无线化应用不仅可以降低系统成本和安装难度，还可以提高系统的灵活性和可扩展性，方便对不同位置和环境的电气设备进行试验检测^[4]。例如，采用低功耗广域网（LPWAN）技术实现对偏远地区电气设备的长期监测，无需频繁更换电池和维护设备。

5.4 绿色化发展

在全球倡导节能减排的背景下，电气试验自动化系统也将朝着绿色化方向发展。未来的系统将采用低功耗的传感器和设备，优化系统的能源管理，降低能源消耗。同时，在试验过程中将更加注重环保，减少对环境的污染，实现电气试验的可持续发展。例如，采用新型的节能型试验设备，降低试验过程中的电能消耗；采用环保型的试验材料，减少对环境的污染。

结语

电气试验中的自动化技术是电力行业发展的必然趋势。通过应用传感器技术、数据采集与处理技术、智能控制技术和通信技术等关键技术，能够有效解决传统电气试验存在的效率低、精度差、安全性不足等问题，提高电气试验的质量和效益。实际案例分析表明，电气试验自动化系统在提高试验效率、精度和安全性方面具有显著效果，能够大幅缩短试验时间、降低试验误差、减少安全事故发生率。未来，随着智能化、集成化、无线化和绿色化等技术的发展，电气试验自动化技术将不断完善和发展，为电力系统的安全稳定运行提供更有力的保障。因此，电力企业和相关科研人员应加强对电气试验自动化技术的研究和应用，推动电气试验领域的技术进步。

参考文献

- [1]杨明川.电气试验自动化控制技术的研究[J].设备管理与维修,2022,(14):41-43.
- [2]田冲.电气试验中的自动化控制技术分析[J].电子技术,2024,53(11):302-303.
- [3]任超凡.自动控制原理在电气自动化中的应用与仿真试验[J].造纸装备及材料,2024,53(11):67-69.
- [4]朱晶.电气试验中的自动化控制技术分析[J].集成电路应用,2023,40(10):240-241.