

电力高压试验设备的智能化发展趋势及关键技术研究

郭浩天

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 电力高压试验设备的智能化发展以数据为核心驱动,通过多技术融合与功能集成,推动设备从单一检测工具向“感知-分析-决策”一体化系统升级。未来,随着国产化技术突破(如完全自主的硬件与算法)和行业标准完善,使其在电力系统安全、高效和可持续发展中扮演越来越重要的角色。

关键词: 电力高压试验设备;智能化发展趋势;关键技术

在电力高电压测试中,智能技术已经将其运用到了设备监控、负荷测试、远程工作和数据分析等各个方面。其主要的价值是:提高测试的效率(例如AI负载柜),降低安全风险(例如带电的机器人),以及(例如,数字孪生)的优化决策功能。在今后的研究中,伴随着大规模建模和边界计算的深入融合,高电压测试将朝着更加高效和自治的方向发展。

1 智能化发展趋势概述

1.1 远程监控与故障诊断:采用先进的传感器、通讯技术及资料分析技术,对电网进行遥控监测及故障排除。比如,具有远程监控、故障诊断、预报维修等功能智能配电箱,以及可以对工作状况进行实时监控并进行负载调整的智能变压器。

1.2 自主越障与多维感知:电力高电压测试装置利用了自主越障和多维传感功能,实现了跨障碍、多维度信息获取。比如,“吠云-灵动”巡检机器人,利用世界先进的车轮-腿转换技术,实现了自动越障,集成了光学、声学、气体及电磁等多维度传感系统。

1.3 在线监测与数据分析:采用一种在线监控体系,持续或定期地对所述电气装置进行监控,采用红外线测温、X光、超声波等多种技术方法,对所述装置的运行状况进行实时分析,并形成巡视报告。比如,利用手持测试装置,利用巡视器或巡视机器人实现带电测试,而在线监控系统包括了传感器技术,计算机和信息处理技术,通信系统等。

2 电力高压试验设备智能化对行业的影响

2.1 推动行业技术升级与标准重构。(1)技术门槛提升与研发投入增加。物联网的智能化对传感器、人工智能算法和数字孪生等关键科技的需求迫切需要企业在高精度感知和多源数据的融合上不断提升自己的研究与开发力度。比如,利用无源无线传感技术对特高压GIS设备进行绝缘特性的在线检测,促进了常规试验设备向数

字化和模块化方向发展。(2)行业格局变化:由于高技术门槛和严格的资质要求,没有独立创新的小企业将会被逐步淘汰,产业的集中度明显提高。(3)测试标准与流程优化。基于智能器件的自动检测和电源配置,推动工业对传统的测试规程进行修正(例如:由手工测量到数字兆欧计),提升检测的准确性和安全性。

2.2 促进产业链协同与市场扩展。(1)跨领域技术融合与生态合作。其中,智能装备需要与新能源、储能等应用场景相适应,推动动力装备厂商与通信、AI等企业深度合作。比如5G和工业互联网的结合,可以完成“三遥”的遥控作业,促进了试验装置和电力网络的协调。(2)拓展新能源应用场景。特高压建筑和智能电网的发展,带来了风电和光伏并网设备的高电压容忍试验等新的试验要求,推动了智能装载柜、带电作业机器人等产品的市场成长。

2.3 重塑运维模式与经济效益。(1)从“被动检修”到“预测性维护”。以语音识别和X光检测为代表的人工智能技术,可以有效地减少人员的巡检次数,减少不必要的停工。通过该系统,该系统一年可为公司节约运行维护费用160万左右。(2)降低成本,提高效率,最大限度地利用资源。智能装备可以通过遥控、自动检测来减少实验周期(例如:高电压的AC装载箱的效能提高30%),减少了人工的投入。

3 智能化在电力高压试验中的应用案例

3.1 设备状态监测与预测性维护。(1)数字孪生与AI诊断平台。项目以“高压开关设备数智化运维检修解决方案”为研究对象,以数字孪生技术、边缘感知智能体、X光检测机器人为核心,对GIS、穿墙套管等高电压装备的工作状况进行实时监测,并利用人工智能算法进行故障早期诊断与维修决策。此方法已经用于多个变电站及示范站,大大提高了设备的状态辨识精度。典型情景:利用“设备状态辨识平台”,对变电站的绝缘老化

进行预警,减少了变电站的非正常停电。(2)声纹识别与放电定位。我国首次提出了基于语音特征的电力系统泵送电力系统智能化数据解析平台,通过语音识别对电力系统中的电力系统进行准确的故障定位,并在此基础上,实现超过90%的人工巡检。由于设备的损坏和维修,每年可为用户节省停车费用达160多万。

3.2 智能试验设备与负载技术。(1)高压智能交流负载柜。公司开发的AC10.5 kV-2200kW高压智能化交流负荷箱,采用模块化的结构和功率分布方式,适用于发电机、变压器等高压装备的寿命周期监测。它的云处理能力可以对系统进行远距离的调试和报警,使试验的效率提高了30%。(2)带电作业机器人。四代智能化配电网带电工作机器人利用3D场景重构与视觉辨识等方法,实现对高压输电线路的剥线、换线等复杂作业,适应于复杂的地域与狭窄的空间。这种机器人可以提高50%的带电工作效率,并且大大减少电击的危险。

3.3 远程协同与AR辅助。(1)AR远程诊断协作。采用AR眼镜与虚拟信息重叠等方法,实现了在高电压测试过程中对仪器的异常位置进行快速的定位,并与多名专家进行协同工作。比如,实现了对变压器卸压阀门的实时状况提醒及错误报告,减少了对事故的反应速度。云端数据与智能决策。第一阶段的高压配电网通过综合综保护装置的实时信息收集与云平台分析,产生电力报告和故障警报。实现了对电压和电流等参数的远程监测,从而达到了优化测试过程,保证了测试的安全性。

3.4 大模型与知识融合应用。由电力公司和百度共同开发,并采用了基于知识图的“云上大模式”,实现了对高电压设备的故障预报及维修报表的自动化。比如,对大模型的历史测试资料进行解析,对隔离检测的参数进行了优化,提高了测试的准确性。

4 电力高压试验设备智能化关键技术

4.1 智能传感与在线监测技术。无源无线传感器:通过无线被动传感器对设备进行温度、振动、局部放电等参量进行在线检测,从而达到对高压设备进行无损伤检测(例如:特高压GIS设备的绝缘特性评价)。多模态信息融合:整合多维的光学、声学、电磁等多维信息,提高缺陷的辨识精度(如语音识别等)。

4.2 多源数据融合与智能诊断技术。人工智能算法和数据挖掘技术:通过对以往测试数据进行深度学习,对设备绝缘老化、机械磨损等隐患进行智能检测,形成维修方案(例如:大数据建模)。数字孪生建模:建立高电压装备的“虚拟镜面”模型,实现对极限工作条件下的运行特性的仿真,实现对测试参数的最优和风险的预

测(以变电站装备的健康管理为例)。

4.3 数字化测试与自动化控制技术。远程“三遥”操作:基于5G和工业互联网(5G)的远程遥测、遥控和遥信,以及无人作业(例如,智能化开关远程耐压试验)。动态功率分配:模块化负载设备通过动态调节功率输出,适配不同容量设备的全生命周期检测需求(如高压智能交流负载柜)。

4.4 智能巡检与机器人技术。无人机与机器人协作巡检:装备有红外热成像、激光雷达等装置的无人机及爬塔机器人,可在复杂环境中对设备进行故障自动辨识(例如,电线断裂探测效率提高50%)。R辅助运维:利用AR眼镜,将装置的实时状况资料与AR眼镜结合起来,帮助工程师迅速找到问题,进行远程合作。

4.5 高压设备集成与通信技术。超高压传输技术整合:在大容量开关、同塔双送等关键技术上取得突破性进展,提高高压装备的整体兼容能力和操作效能(例如超高压可控高电压技术的运用)。统一通信协议标准:以物联网为基础,使终端之间能够进行互联,使之能够进行多种场合的协作试验(例如:能量存储和新能源装置的共同探测)。

4.6 预测性维护与安全防护技术。预测性维护模型:综合使用历史与实际监控的结果,对设施的剩余使用年限进行预估,并制订维修方案(例如,GIS装备的绝缘老化警告)。智能安全防护系统:整合了过电压保护和电弧监视等特性,能够及时切断非正常工作状态,保证测试者和仪器的安全性。科技发展的趋向。随着智能科技的发展,高电压测试装备由单纯的测试手段,发展到了“传感-分析-决策”的集成体系,核心方向包括:边缘计算与云端协同:增强对新能源装置(如分布式能源、能量存储系统)的兼容测试。国产化技术突破:推进传感器、控制器等关键硬件和算法的自主研发,减少对国外的依赖。

5 电力高压试验设备未来展望与挑战

5.1 未来展望。(1)智能化与自主化加速演进。人工智能和数字孪生的深度融合:利用深度学习的方法,对装备的失效进行建模,利用数字孪生的方法,对极限工作条件进行仿真,从而达到对测试参数的实时调节和对危险的预判。(2)新能源场景适配能力提升。兼容新型电力设备:增强对新能源应用的适应性。与新的功率器件兼容:针对风电、光伏、储能等新能源装备,发展高精密容忍试验方法,提高特高压传输和多元能量协同探测的能力。灵活的试验技术:可实现电力的动态配置和多工作状态仿真,以适应各种分散能量接入装置的复

杂试验需要。(3) 高效测试与绿色化转型。“数字化测试工具”的推广:采用数码兆欧表、智能负载箱等装置代替了以往的人工作业,提高了30%的检测效率,减少了人工和能源消耗。绿色材料与工艺应用:使用环境友好的隔热材质和节能的设计,降低测试流程中的二氧化碳排放量,为“双碳”的达成提供支持。

5.2 核心挑战。(1) 技术瓶颈与研发投入压力。高精密度感知与算法优化:PD检测和声纹识别等方法准确性有待提高,需要继续加大人工智能算法的改进和多模态信息的融合研究。对极限工作条件的仿真研究不够:对高温高湿等特殊条件的试验能力还没有得到充分验证。(2) 数据安全与标准统一难题。跨平台交互的危险:由于设备的连接,导致了对网络的袭击,需要制定一个统一的密码协议和安全保护系统。行业标准滞后:智能检测装置和常规装置之间没有统一的界面规范,限制了协作检测的效能。(3) 成本与市场化推广阻力。

“中小企业的转变难度很大,因为升级的过程中,对研发的投资很大,一些公司因为没有足够的资金和技术储备而被淘汰。”“系统使用者的接受度有待提高”:常规的运营管理工作不熟练,需要进一步的训练和营销宣传。(4) 人才与生态协同需求。复合型人才缺口:精通高压测试和人工智能、数据分析的跨领域人才匮乏,限制了该领域的应用。产业链协同不足:电力设备生产商、通信公司、科研院所需要进一步加强协作,建立科技分享的生态。

5.3 新技术在电力高压试验设备中的应用前景。

(1) 智能化与AI驱动。AI故障预测与数字孪生技术。利用深度神经网络和数字孪生等方法,对高压装备的极限工作状态进行实时仿真(例如:超高压GIS装备的绝缘特性仿真),进行危险预测和参数优化,提高试验精度。利用大数据建立的维修预测模型,可以对设备老化

(如绝缘老化、PD等)进行预警,减少意外停机概率。边缘计算与云端协同。采用局部边缘运算,对高频率的信息进行实时分析(如振动、温度监控),减少了反应时间;将多个装置的资料集成到云计算中,实现全球决定的最佳化。(2) 高精度传感与多模态融合。无线无源传感器应用。采用光学、声学等被动传感器进行无损检测,降低了对装置的重构要求,适合用于超高压电力系统中的振动和温度的实时测量。声波纹辨识通过多源信息的融合,实现了对放电体的精确定位,其缺陷辨识精度提高了30%以上。提升数字测试工具。采用数字式兆欧表、智能装载柜等代替了人工仪表,使检测效率提升30%,同时实现了多个参量的综合检测(包括绝缘和介电损失同时检测)。(3) 物联网与远程控制技术。远程“三遥”操作。基于5G与工业互联网,实现远程遥测、遥控和遥信等功能,并支撑非人式的高电压实验通过将各部件的运行信息进行集成,以达到跨地域协作的检测和维护。一种是智能化的巡逻机器人。采用红外热像仪和激光雷达技术的无人机和爬塔机器人,可以在恶劣的环境下,对断线、绝缘子破损等故障进行自主检测,提高50%的检测效率。

结束语

总之,随着新的科技发展,高电压检测装备向智能化、高精度、场景化发展,人工智能、物联网、数字孪生等新科技将深入到检测过程的各个环节。在极端工况仿真和跨平台数据安全方面需要着重解决的关键问题,通过产业链的合作,加快我国自主研发和海外市场的发展。

参考文献

- [1]王振东,电力高压试验设备的智能化发展趋势与关键技术.2022.
- [2]刘智亮.浅谈电力高压试验设备的智能化发展趋势及关键技术研究.2023.