

电气自动化应用于变电站和电力调试环节的实践

李 祥 何嘉轩 李许斌

嘉兴市恒光电力建设有限责任公司南湖分公司 浙江 嘉兴 314033

摘 要：电气自动化融合多技术，是现代电力系统稳定运行核心支撑。本文阐述其核心技术及变电站、电力调试基础理论，分析其在变电站智能巡检、程序化操作、设备状态监测，以及电力调试分布式平台、数字孪生仿真、自动化测试用例生成等方面的实践应用，并提出技术、管理优化建议，展望其智能化、一体化等发展方向，为电力系统高质量发展提供参考。

关键词：电气自动化；变电站运维；电力调试；智能巡检

引言：在现代电力系统中，保障稳定运行与高效调试至关重要。电气自动化作为融合多技术的综合性技术，为解决传统变电站运维和电力调试中的效率、安全等问题提供了新途径。深入研究电气自动化在变电站和电力调试环节的实践应用，有助于提升电力系统运行水平，满足不断增长的电力需求，推动电力行业向智能化、高效化方向发展。

1 电气自动化相关基础理论

1.1 电气自动化核心技术概述

电气自动化是融合电力电子技术、控制理论、计算机技术和通信技术的综合性技术，核心是通过自动化设备和系统实现电力生产、传输、分配和使用的智能化管理，减少人工干预，提升运行效率与安全性。其核心技术体系涵盖电力电子变换技术、自动控制技术、现场总线通信技术和嵌入式系统技术四大模块。电力电子变换技术实现电能的形态转换与参数调节，是电气设备高效运行的基础；自动控制技术通过闭环控制、模糊控制等算法，实现对电力系统参数的精准调控；现场总线通信技术保障设备间的数据高效传输，构建互联互通的控制网络；嵌入式系统技术则为自动化设备提供小型化、高性能的控制核心^[1]。这些技术相互融合，支撑电气自动化系统从传统的单机控制向分布式、智能化、一体化方向发展，广泛应用于电力、工业、建筑等多个领域，是现代电力系统稳定运行的核心支撑。

1.2 变电站相关基础理论

变电站是电力系统中连接发电厂与用户的关键枢纽，核心功能是实现电压变换、电能分配和电力控制，其基础理论围绕电力变换、设备运行和系统保护三大核心展开。电压变换是变电站的核心任务，通过变压器将发电厂输出的高压电能转换为适合传输和使用的中低压电能，满足不同用户的用电需求。变电站设备主要包

括变压器、断路器、隔离开关、互感器等，每种设备都有明确的工作原理和运行规范，例如互感器用于监测电力系统的电压、电流参数，为控制和保护系统提供精准信号；断路器用于在故障时快速切断电路，防止事故扩大。变电站的系统保护理论至关重要，包括过流保护、过压保护、接地保护等，通过继电保护装置实现故障的快速检测、判断和切除，保障变电站设备和电力系统的安全稳定运行，为电气自动化技术的应用提供了基础硬件和理论支撑。

1.3 电力调试相关基础理论

电力调试是电力系统投运前和运行中的关键环节，核心是通过专业的测试、调整和校验，确保电力设备和系统符合设计要求，能够安全、稳定、高效运行，其基础理论涵盖调试原理、测试方法和标准规范三大方面。调试原理基于电气设备的工作特性和电力系统的运行规律，通过模拟运行工况、检测设备参数，排查设备隐患和系统缺陷。测试方法包括绝缘测试、直流电阻测试、耐压测试、保护装置校验等，每种方法都有对应的技术要求 and 操作流程，例如绝缘测试用于检测设备绝缘性能，防止漏电事故；保护装置校验用于验证继电保护装置的動作准确性和可靠性。同时电力调试需严格遵循国家和行业相关标准规范，确保调试结果的科学性和权威性。电力调试的核心目标是保障设备投运后无故障运行，提升电力系统的供电可靠性，为电气自动化技术的实践应用提供必要的检验和保障。

2 电气自动化技术在变电站的实践应用

2.1 智能巡检系统

智能巡检系统是电气自动化技术在变电站实践中的核心应用之一，旨在替代传统人工巡检，解决人工巡检效率低、误差大、作业风险高的问题，实现变电站巡检的智能化、精准化和高效化。该系统主要由巡检机器

人、红外测温设备、高清摄像头、数据传输模块和后台管理平台组成,通过自动化设备替代人工完成设备巡检任务。巡检机器人可按照预设路线自主移动,搭载的红外测温设备和高清摄像头能够实时采集设备的温度、外观、运行状态等参数,通过数据传输模块将采集到的信息传输至后台管理平台。后台管理系统对数据进行分析、处理和预警,当设备出现温度异常、外观破损等隐患时,及时发出报警信号,提醒工作人员及时处理。智能巡检系统不仅大幅提升巡检效率,减少人工劳动强度,还能实现24小时不间断巡检,有效避免了人工巡检中的漏检、误检问题,为变电站的安全稳定运行提供有力保障,目前已广泛应用于各类大中型变电站^[2]。

2.2 程序化操作(POC)系统

程序化操作(POC)系统是电气自动化技术在变电站操作环节的重要应用,核心是通过自动化控制逻辑替代传统人工操作,实现变电站设备操作的标准化、规范化和自动化,减少人为操作失误,提升操作安全性和效率。该系统基于变电站的一次设备和二次设备布局,预设标准化的操作流程,涵盖设备的合闸、分闸、切换等各类操作,操作人员只需在后台管理平台发出操作指令,系统即可自动完成整个操作流程,并实时反馈操作状态。POC系统具备操作权限管理、操作流程校验、异常情况报警等功能,能够有效避免误操作、漏操作等问题,同时减少操作时间,例如传统人工操作一组设备需30分钟左右,而程序化操作仅需5-10分钟。另外,系统还能记录操作全过程,便于后续追溯和管理,适用于变电站的日常操作、检修操作等各类场景,显著提升了变电站的运营管理水平和操作安全性。

2.3 设备状态监测与预测性维护

设备状态监测与预测性维护是电气自动化技术在变电站设备管理中的核心应用,打破了传统“定期检修”的模式,实现了设备维护的智能化和精细化,降低了设备故障率和维护成本。该系统通过在变电站关键设备上安装各类传感器,实时采集设备的运行参数,包括温度、振动、绝缘性能、油液质量等,通过自动化数据处理技术对参数进行分析,判断设备的运行状态和健康水平。基于大数据和人工智能算法,系统能够预测设备可能出现的故障类型、故障时间和故障位置,提前发出维护预警,指导工作人员开展针对性的维护工作,实现“事前预防、精准维护”。与传统定期检修相比,预测性维护能够避免过度检修造成的资源浪费,同时减少因设备故障导致的停电事故,提升变电站设备的运行可靠性和使用寿命。目前,该技术已广泛应用于变电站的变

压器、断路器、互感器等关键设备的维护管理中,取得了显著的应用效果。

3 电气自动化在电力调试环节的实践应用

3.1 分布式自动化调试平台

分布式自动化调试平台是电气自动化技术在电力调试环节的重要实践应用,主要针对大型电力系统调试范围广、设备分散、调试任务复杂的问题,实现调试工作的分布式协同、高效推进。该平台基于分布式计算技术和通信技术,将调试任务分解为多个子任务,分配给不同的调试终端,各终端可同时开展调试工作,实现多设备、多环节的并行调试,大幅提升调试效率^[3]。平台具备统一的数据库和数据管理系统,能够实时汇总各终端的调试数据,实现数据的共享、分析和对比,便于工作人员全面掌握调试进度和设备状态。同时,平台还具备调试流程标准化、调试数据自动化记录等功能,能够规范调试操作,减少人为误差,确保调试结果的准确性和可靠性。分布式自动化调试平台适用于大型变电站、输电线路等电力系统的调试工作,有效解决了传统集中式调试效率低、协同性差的问题,推动电力调试工作向自动化、智能化方向发展。

3.2 数字孪生仿真调试技术

数字孪生仿真调试技术是电气自动化与数字孪生技术深度融合的产物,在电力调试环节具有重要的实践价值,能够实现调试工作的虚拟化、可视化和精准化,降低调试成本和风险。该技术通过构建电力系统的数字孪生模型,精准复刻变电站、输电线路等电力设备的物理形态、工作特性和运行环境,将真实设备的运行参数实时映射到数字模型中。在调试过程中,工作人员可通过数字孪生模型模拟各类运行工况和故障场景,开展虚拟调试,提前排查设备隐患和系统缺陷,无需对真实设备进行实际操作,有效避免了调试过程中可能对设备造成的损坏,降低了调试风险。数字孪生模型还能模拟不同调试方案的效果,为工作人员提供最优调试方案,提升调试质量和效率。目前,该技术已逐步应用于电力系统的新建、改造和检修调试中,成为电力调试领域的核心技术之一。

3.3 自动化测试用例生成与执行

自动化测试用例生成与执行技术是电气自动化在电力调试环节的关键应用,主要用于电力自动化设备和系统的功能测试、性能测试和可靠性测试,解决传统人工测试用例生成繁琐、执行效率低、重复性强的问题。该技术基于电力设备的设计规范和运行要求,通过自动化算法自动生成标准化的测试用例,涵盖设备的各类功

能和运行场景,无需人工手动编写,大幅节省了测试准备时间。测试用例生成后,系统可自动执行测试任务,实时采集测试数据,对比测试结果与预设标准,判断设备是否符合要求,并自动生成测试报告,减少了人工干预,提升了测试效率和准确性。另外,该技术还支持测试用例的复用和修改,针对不同类型的设备和调试需求,可快速调整测试用例,适用于各类电力自动化设备的调试工作,有效提升了电力调试的标准化和自动化水平,为电力系统的安全稳定运行提供了有力保障。

4 电气自动化应用优化建议

4.1 技术优化

针对电气自动化技术在变电站和电力调试中的应用现状,技术优化需聚焦于提升系统的智能化水平、可靠性和兼容性,破解当前技术应用中的痛点难点。首先,加强人工智能、大数据技术与电气自动化技术的深度融合,优化智能巡检、设备状态监测等系统的算法,提升数据分析的精准度和效率,实现故障的精准预测和快速处置。其次,优化设备兼容性,统一不同厂家、不同类型自动化设备的通信协议和数据接口,解决设备间互联互通不畅的问题,构建一体化的自动化控制网络。同时加强技术创新,研发高性能的自动化设备和系统,例如小型化、低功耗的传感器、高效的数字孪生仿真系统等,提升技术应用的灵活性和适用性。此外,还需加强技术升级改造,对老旧自动化设备和系统进行更新换代,弥补技术短板,确保电气自动化技术能够适应电力系统高质量发展的需求,进一步提升应用效果。

4.2 管理优化

管理优化是提升电气自动化应用效果的重要保障,需围绕制度建设、人员管理和流程规范三个方面开展,确保自动化系统的高效、有序运行。完善管理制度,建立健全电气自动化设备和系统的运行管理、维护管理、安全管理等制度,明确各岗位的职责和工作标准,规范操作流程,避免因管理不规范导致的设备故障和安全事故。加强人员队伍建设,定期开展电气自动化技术培训,提升工作人员的专业技能和操作水平,培养一批既懂技术又懂管理的复合型人才,满足自动化系统运行、维护和调试的需求。同时优化管理流程,简化调试、维护等工作的审批流程,建立高效的协同工作机制,提升工作效率。加强数据管理,建立统一的自动化数据管理

平台,规范数据的采集、存储、分析和应用,充分发挥数据的价值,为管理决策提供科学依据,推动电气自动化应用的规范化、精细化管理。

4.3 发展方向

结合电力系统高质量发展的需求和技术发展趋势,电气自动化技术在变电站和电力调试中的应用将朝着智能化、一体化、绿色化和数字化方向发展。智能化方面,将进一步融合人工智能、机器学习等技术,实现自动化系统的自主决策、自主调控和自主维护,减少人工干预,提升系统的智能化水平^[4]。一体化方面,将打破变电站、电力调试、电力传输等环节的技术壁垒,构建一体化的电气自动化管控平台,实现各环节的协同联动和数据共享,提升电力系统的整体运行效率。绿色化方面,将聚焦节能降耗,研发低功耗、高效率的自动化设备和系统,优化控制策略,降低电力系统的能耗,助力“双碳”目标实现。数字化方面,将依托数字孪生、物联网等技术,构建全生命周期的数字化管控体系,实现电力设备和系统的数字化建模、数字化调试、数字化运维,推动电力系统向数字电网转型,为电力行业的高质量发展提供有力支撑。

结束语

电气自动化在变电站和电力调试环节的实践应用成效显著,提升了运维与调试的效率、安全性及精准度。通过技术与管理优化,可进一步发挥其优势。展望未来,智能化、一体化等发展方向将助力电气自动化更好地适应电力系统高质量发展需求,为构建安全、高效、绿色的现代电力体系提供坚实保障,推动电力行业持续进步。

参考文献

- [1]申青华.电气自动化应用于变电站和电力调试环节的实践[J].工程技术研究,2022,4(2):192-194.
- [2]张为光,张新超.电气自动化应用于变电站和电力调试环节的实践[J].装饰装修天地,2022(15):94-96.
- [3]梁坤,孙国跃.物联网通信技术在智能变电站电气自动化系统设计中的应用[J].通信电源技术,2025,42(16):65-67.
- [4]石璧.110kV变电站的电气自动化设计研究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):106-108.