

电气自动化技术在电力工程精细化管理中的应用

文 / 温 杰 深圳市龙华区建筑工务署

摘要：本文围绕电力工程精细化管理的内涵与需求，分析电气自动化技术的发展历程与现状，重点探讨自动化实践中的关键技术。结合变电站自动化控制系统的精细化运维、输配电网的实时监控与智能调度、施工阶段电气设备的智能化管理及电力系统数据分析在管理决策中的辅助作用，系统阐述电气自动化技术在提升电力工程管理精细化水平中的具体应用。通过构建统一智能平台、强化系统协同能力和注重人才培养，推动电气自动化与精细化管理深度融合，有效促进电力工程管理效率和安全性提升。研究表明，智能化技术融合对实现电力行业现代化管理具有重要意义。

关键词：电气自动化；电力工程；精细化管理；智能监控

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.064

引言

随着电力系统规模不断扩大和运行环境日益复杂，传统管理方式已难以满足电力工程对安全性、效率和可靠性的高标准要求。提升电力工程管理的精细化水平，增强系统的智能化和自动化能力，成为保障电力系统安全稳定运行的重要任务。推动电气自动化技术与精细化管理的融合，有助于实现资源优化配置和风险有效控制，对于促进电力行业现代化建设和提升整体竞争力具有重要的现实意义和深远的战略价值。

一、电力工程精细化管理的内涵与需求

电力工程的精细化管理是指在工程项目的设计、建设、运行和维护全过程中，采用科学的方法和先进的技术手段，细化管理内容，强化过程控制，实现资源的最优配置和风险的有效防控。随着电力系统规模的不断扩大和运行环境的复杂化，传统粗放式管理方式已难以满足现代电力工程对安全性、经济性和可靠性的多重要求^[1]。精细化管理不仅强调管理的系统性和规范性，还注重数据的全面采集和分析，通过多维度、多层次的监控与反馈，提升管理决策的科学性。

电力工程项目中涉及众多环节和复杂设备，任何环节的失控都可能影响整体运行的安全稳定，因此在精细化管理中，细节的把控显得尤为重要。合理规划施工进度、精确控制设备安装质量、动态调整运行参数、及时预警潜在风险等环节都依赖于精细化的管理体系，电力工程精细化管理流程关键节点设计见图1。电力工程精细化管理不仅提高工程的整体效益，还大幅降低了运行和维护成本，增强对突发事件的响应能力和恢复能力，促进了电力行业的可持续发展。在这种背景下，构建一套科学、高效的精细化管理体系成为提升电力工程管理水平的关键，直接关系到电力系统的安全运行和服务质量。

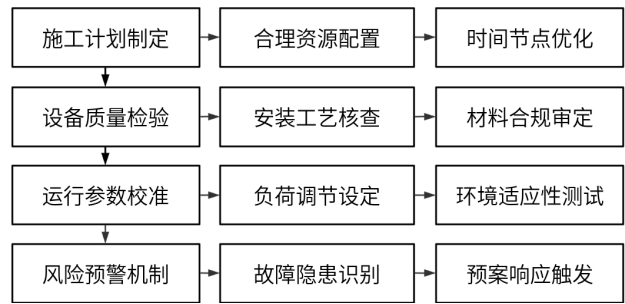


图1 电力工程精细化管理流程关键节点设计

二、电气自动化技术的发展现状与关键技术

(一) 电气自动化技术的发展历程与现状

电气自动化技术经历了从简单的机械控制到现代智能化系统的转变，逐步实现了设备运行的自动感知、智能判断与自主调节。早期的电气自动化主要依赖继电保护和机械开关，随着电子技术和计算机技术的进步，自动化水平不断提升，智能化控制成为趋势。如今，电气自动化技术广泛应用于电力系统的各个环节，形成了涵盖传感器技术、通信网络、控制算法和数据处理的完整体系。技术集成度的提高不仅改善了系统的实时性和可靠性，还推动了电力系统向数字化和智能化方向发展^[2]。当前，电气自动化正逐渐融合大数据、人工智能和物联网技术，使得对复杂电力系统的动态监控和精准控制成为可能。面对日益增长的电力需求和复杂的运行环境，电气自动化技术的不断革新为提升电力工程管理的精细化水平提供了坚实的技术保障。

(二) 电气自动化实践中的关键技术

关键技术是电气自动化系统高效运行的核心支撑，其中传感技术、通信技术和智能控制技术尤为重要。传感技术实现对电力设备状态的实时采集，保障数据的准确性和完整性，为系统提供了可靠的监测基础。通信技术则构建了信息传递的高速通道，使各环节数据得以快速共享和反馈，保障控制指令的即时执行。智能控制技术

术融合了先进的算法和自学习能力，能够根据实时数据自动调整设备运行参数，实现动态优化管理。除此之外，电气自动化中还涉及设备故障诊断、远程维护和数据安全等关键环节，这些技术的协同作用确保了系统的稳定性和安全性。随着工业互联网和云计算的发展，电气自动化的关键技术不断向智能化和网络化方向演进，进一步推动电力系统的运行效率和管理精度提升。

三、电力工程精细化管理中电气自动化技术的具体应用

(一) 变电站自动化控制系统的精细化运维

变电站自动化控制系统依托高灵敏度传感器网络，对断路器、互感器及主变压器等关键设备进行 24 小时连续监测。电流测量覆盖范围从 100A ~ 5000A，设备温度控制在 -20℃ ~ 50℃ 的安全区间内，温度传感器的测量精度达到 ±0.3℃。通过实时监控局部过热、振动和绝缘状态，能够及时识别设备异常，预防潜在故障。维护周期由传统的 23 个月延长至 6 个月以上，有效降低计划外停机风险，提高设备运行稳定性^[3]。系统支持多协议兼容，数据传输速率在 10 ~ 100kbps 之间，保障信息的快速准确传递。

自动化控制平台集成智能诊断功能，能够根据监测数据动态调整运行参数，实现设备的精准调控和故障预警。该平台还具备故障趋势分析和健康评估能力，为运维人员提供科学依据，显著提升运维效率和设备寿命。智能运维减少人为操作失误，保障变电站运行的高可靠性和安全性，提升整体电网的稳定运行水平。

(二) 输配电网络的实时监控与智能调度

输配电网络中部署的 LoRa 无线传感器具有广泛的覆盖能力，能够稳定监测电压、电流及频率等关键参数。其设计充分考虑复杂环境因素，确保设备在多变的气象

条件下保持高效运行。传感器节点依托边缘计算技术，实现数据的初步过滤与预处理，大幅减轻中心系统的负担，提升整体响应速度，输配电网 LoRa 无线传感器关键技术参数见表 1。智能调度系统融合历史负荷数据与实时监测信息，动态调整负载分配，有效降低线路损耗，显著提升供电系统的运行效率和可靠性。

智能调度平台支持远程故障定位与快速隔离，缩短故障恢复时间至 10 ~ 12 小时内。系统具备高度兼容性，能够与传统 SCADA 系统无缝集成，促进输配电网的统一管理。实时监控和调度机制不仅保障电网安全稳定运行，还提升对突发事件的响应能力，增强电网的灵活调控和适应能力。

(三) 工程施工阶段的电气设备智能化管理

施工现场应用 RFID 标签和智能监测设备，对用电设备进行全生命周期管理。监测参数涵盖工作电流范围 100A ~ 3000A、绝缘电阻及环境湿度保持在 0 ~ 7℃ 区间，确保施工设备处于安全状态。智能系统实时采集设备运行数据，实现自动异常报警，减少设备故障和安全事故。通过对设备状态的动态监控，施工现场的设备维护周期由定期调整为按需维护，显著提升管理效率，减少不必要的资源浪费，提高施工现场的安全保障水平。

此外，施工管理平台实现与智能监测系统的数据同步，确保施工进度与设备运行状态实时匹配，强化现场管理的精细化。智能化管理促进施工安全和质量提升，有效降低了因设备故障引发的工程延误。智能设备调配和维护不仅节约人力成本，也为施工现场营造更加安全可靠用电环境^[4]。结合无线通信技术和云端数据存储，实现设备信息的远程访问和管理，进一步提高了施工现场的响应速度和决策精准度，保障施工过程更加高效稳

表 1 输配电网络 LoRa 无线传感器关键技术参数

参数	技术指标	说明
LoRa 传感器覆盖半径	15 ~ 20 公里	保障广域无线监测范围
电压、电流监测频率范围	100 ~ 500 Hz	适应输配电网络电参数变化频率
环境风速	10 ~ 15 m/s	影响设备稳定性及监测精度
传感器工作温度范围	-40℃ ~ 120℃	适应复杂恶劣环境，保障传感器长期稳定运行
数据响应时间	数秒级	通过边缘计算技术减少数据处理和传输延迟
数据预处理方式	边缘计算	实现数据初步过滤与压缩，减轻中心系统压力
智能调度功能	负载自动平衡，线路损耗降低	基于实时与历史负荷数据，实现供电效率优化

定。系统具备高抗干扰能力，适应复杂环境变化，保障数据的稳定传输和准确性。

（四）电力系统数据分析在管理决策中的辅助作用

基于大数据技术，系统对电流、电压波动、设备负载及环境因素等进行多维度数据采集和分析，动态评估设备健康状况。结合机器学习算法，能够在设备异常出现前捕捉细微变化，为维护计划提供精准预测，避免无效检修。数据分析模型覆盖设备运行频率、温度变化及负荷波动，辅助管理层全面掌握系统运行态势，优化资源配置和风险控制。

实时数据与历史数据的融合促进了电网运行效率提升，通过多维度可视化展示，帮助管理者直观理解系统运行状况和潜在风险。数据驱动的决策支持增强电力工程的管理科学性和智能化水平，实现从被动维护向主动预防的转变，为电力系统稳定运行和持续优化提供了坚实基础。进一步利用云计算与边缘计算相结合的架构，提高了数据处理的速度和准确性，确保管理决策基于最新和最全面的信息。同时，跨部门数据共享打破信息孤岛，推动了管理协同和响应效率的提升^[5]。智能分析工具还能结合外部环境变化，如气象条件和负荷需求波动，辅助制定更加灵活和精准的运行策略，提升系统整体的适应能力和韧性。

四、电气自动化与精细化管理融合典型案例

（一）案例背景及精细化管理需求

某大型火电厂在设备运行过程中面临设备故障频发、维护周期不明确、信息孤岛严重等问题，导致运行效率低下且安全风险增加。该厂电气设备种类繁多，运行环境复杂，传统管理方式难以满足设备维护与故障预警的高要求。为了实现设备运行状态的动态监控、提高管理透明度和响应速度，火电厂迫切需要引入电气自动化技术，结合精细化管理理念，实现对设备全生命周期的智能化管理，推动运行安全和经济效益双提升。

（二）电气自动化技术实施方案

为了提升设备管理的智能化水平，火电厂引入先进的电气自动化技术，构建了高效的监控与维护系统。具体实施方案主要包括以下几个方面：

（1）集成化自动化监控平台建设，实现对主变压器、高压断路器及电机等关键设备的实时监测，保障设备运行的全面掌控。该平台支持多种设备类型的数据采集和处理，具备灵活的扩展性和高度的稳定性，能够满足复杂运行环境下的监控需求。同时，平台采用模块化设计，便于维护和升级，有效提升了系统整体运行的可靠性和安全性。

（2）采用高精度传感器采集多种运行参数，测量精度达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，电流覆盖范围为 $100\text{A} \sim 3000\text{A}$ ，确保

数据的精准和可靠。传感器能够监测温度、振动、电流等关键指标，实现对设备状态的全面感知。通过精细的数据采集，提高故障诊断的准确率，减少了人为误判的可能性，从而加强了设备的安全保障能力，延长了设备的使用寿命。

（3）通过高速光纤网络传输数据，时延控制在10毫秒以内，结合智能诊断和预测维护功能，自动生成维护建议，优化设备维护计划，并支持多厂家设备的数据无缝接入。网络传输的高速度和低延迟确保信息的实时性，有效提升监控响应速度。智能诊断系统基于大数据分析和机器学习算法，能够精准预测设备潜在故障，提前预警，显著降低停机风险，保障生产的连续性和稳定性。

（三）应用成效评估与经验总结

通过引入电气自动化技术与精细化管理的深度融合，火电厂实现设备运行的高度可视化和智能化，提升管理的科学性和响应速度。管理人员能够更加精准地掌握设备状态，提前发现并防范潜在故障风险，保障设备的安全稳定运行。该模式强化了团队协作与技术应用能力，推动维护策略的转型升级。整体来看，融合方案有效促进生产效益和安全管理水平的提升，为其他电力工程项目的智能化改造提供了重要的参考和借鉴价值。

结语

电气自动化技术可显著提升电力工程的管理效率与安全水平。未来，随着智能化技术和大数据分析的不断发展，电气自动化将在电力工程中扮演更加关键的角色。通过深度融合人工智能、物联网与云计算，管理系统将实现更高层次的智能决策与自主运维，推动电力工程向智能化、数字化和精细化方向发展。同时，强化人才培养和跨领域协作，将促进技术创新与管理优化的协同提升，为电力行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 李巍. 电气自动化技术在电力工程中的应用分析[J]. 光源与照明, 2023, (11): 216-218.
- [2] 练坚, 武亦文. 电气自动化技术在电力工程中的应用探索[J]. 中国品牌与防伪, 2023, (10): 64-67.
- [3] 刘鹏飞. 电气自动化技术在电力工程中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(07): 54-56.
- [4] 石磊. 电气自动化技术在电力工程中的应用及发展趋势[J]. 光源与照明, 2021, (10): 131-133.
- [5] 韦宗春. 电气自动化技术在电力工程中的应用研究[J]. 通讯世界, 2024, 31(06): 118-120.

作者简介：温杰，男，1995年3月30日，汉族，广东省梅州市梅县区，大学本科，助理工程师，研究方向：电气工程与自动化。