

电力系统自动化技术在变电站施工中的应用

乔科科

润建股份有限公司 广西南宁 530000

DOI:10.12238/ems.v7i6.13853

[摘要] 为提升变电站施工阶段的工程效率与运行质量,本文聚焦电力系统自动化技术在变电站施工中的应用。研究基于典型变电站工程实例,对自动化系统的技术构成和安装部署流程及故障响应机制进行系统分析,并结合实际施工数据对比不同技术路径下的运行表现。结果表明自动化技术能有效压缩调试周期、降低故障频次并提升远程控制精度。希望能为构建高可靠性、高智能化的电力设施施工标准提供实践支撑。

[关键词] 电力系统自动化; 变电站施工; 系统集成; 故障响应; 工程效率

1 引言

随着电力系统规模不断扩展与智能化水平持续提高,变电站作为输配电网络的关键节点,其施工过程对系统稳定运行提出更高要求。传统施工模式存在人工干预频繁、调试周期冗长和系统联动滞后的问题,难以适应当前复杂电网结构和实时运行调控需求。电力系统自动化技术在此背景下成为优化施工流程和提升工程质量的重要支撑,其核心在于实现设备间的信息交互、状态感知与远程控制的有机融合。自动化系统集成于变电站施工过程中,不仅提升了关键节点的智能响应能力,也为故障预警、状态检测与远程协同作业提供了技术基础。当前多类变电工程已逐步引入自动化调控平台、SCADA 终端与数字信号采集网络,但在实际部署中仍面临设备适配、信号一致性、调试同步等关键问题亟待解决。本文立足典型施工工程,系统探讨自动化技术在各施工阶段的应用路径,分析其部署机制与技术效益,旨在为后续电力工程

建设提供结构清晰、实施可行的自动化施工方案。

2 自动化技术应用

2.1 工程概况

广西南宁市某 220kV 变电站是区域输变电网络的重要节点,承担电力输送与负荷分配的枢纽作用。由于输配电网络的复杂性及远程控制需求,项目在施工规划阶段即明确引入自动化系统,以提升工程实施效率和运行安全性。工程施工包括土建阶段、一次设备安装期和全站调试交付阶段,采用分步嵌入式自动化技术部署策略,实现施工过程智能化和调试阶段的高效性。该变电站施工面临设备种类多、现场布线复杂、监控终端分散等实际难题,要求自动化系统具备高可靠性、快速部署性和运行监控的可视化能力。在系统设计中,优先考虑模块化成套安装和分层架构布置,通过标准化接口实现多系统集成,形成涵盖通信、保护和监控三大子系统的综合自动化平台^[1]。

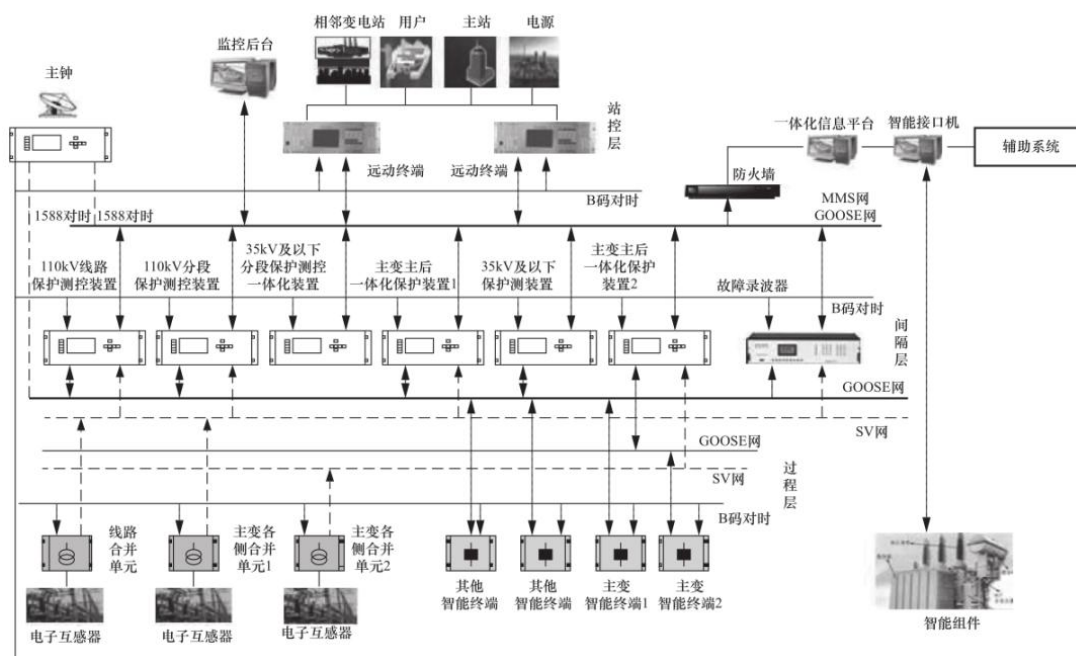


图1 典型变电站自动化系统构成示意图

2.2 自动化技术应用

电力系统自动化技术作为现代变电站运行控制的核心支撑,其构成涉及多个功能子系统与控制单元的协同工作。变电站自动化系统包括远动通信模块、智能监控平台、保护控制装置、数据采集与处理设备、图像与环境监测模块及自动化调度平台。自动化系统的核心在于构建实时数据交互与远程控制的一体化平台。远动通信模块依托光纤和数字电路,实现站内外设备状态的同步感知和数据回传。保护控制装置具备高实时性和抗干扰能力,通过对断路器、互感器等一次

设备的监测和控制,保障设备运行状态的稳定性。数据采集与处理模块则负责设备运行参数、环境监测数据和图像信息的实时采集,并进行边缘计算和初步分析。自动化系统中的监控平台集成 SCADA 与 HMI 界面,为运维人员提供状态监测、故障追溯和参数优化的操作入口。通过融合 UPS 冗余电源、网络防火墙与自检机制,确保在复杂运行环境下系统的稳定性和安全性。在施工过程中,自动化系统的集成特征体现为“标准化接口设计、分层分布部署、软硬件融合控制”。通过 IEC 61850、MODBUS 等通信规约,自动化设备与一次设备实

现信号逻辑一致性。现场测控层和站控层通过智能终端完成数据转换和高速交互。系统采用站控层、间隔层和过程层三级架构，确保任务分解与局部隔离能力。设备布置时注重功能逻辑、信号路径和施工便利性，通过模块化安装减少交叉布线。在自动化装置中嵌入电压无功调控、故障录波及跳闸联动功能，使得自动化系统具备现场决策和远程管理双重能力。SCADA 平台与数字孪生技术联动，实现设备运行状态的 3D 可视化和调试模拟验证。图 1 展示了典型变电站自动化系统的构成关系，各单元模块之间的数据链路及信号流动方向一目了然。

2.3 系统集成特征

自动化系统在变电站施工中的集成特征体现为“标准化接口设计、分层分布部署、软硬件融合控制”三个方面。标准化接口设计是自动化装置与一次设备协同工作的前提，依赖 IEC 61850、MODBUS、DL/T 634 等通信规约实现数据结构和信号逻辑的一致性。现场测控层与站控管理层之间根据智能终端完成协议转换与数据缓冲，既保证上送数据的完整性，也提高现场指令的执行速度^[2]。分层分布部署结构将系统划分为站控层、间隔层与过程层三大功能域，便于任务下沉与局部故障隔离，提升系统整体运行的灵活性与可维护性。结构层面设备布置须兼顾功能逻辑、信号路径与施工工艺，采用预制舱和模块化成套柜或分布式安装架构，减少线路交叉与重复布线。软硬件融合控制体现于设备本体与控制逻辑协同构建运行模型，如电压无功协同控制、分布式故障录波、智能跳合闸联动等功能均内嵌于现场硬件逻辑中。SCADA 平台与数字孪生模型实现运行状态可视化并动态映射至 3D 建模系统中，形成施工期间可校验以及调试阶段可模拟和运行过程中可追溯的全生命周期模型闭环^[3]。自适应控制策略则依托 AI 算法实现对运行场景的动态识别与联动响应，涵盖保护参数整定、负载优先分配、故障转移路径规划等环节^[4]。

3 应用实践分析

3.1 工程部署流程

广西南宁市某 220kV 变电站新建工程为应用场景，自动化系统部署贯穿土建阶段后期、一次设备安装同步期与全站调试交付阶段，整体采用分步嵌入式策略实施。系统部署计划明确通信、保护与监控三大子系统的进场节奏与对接节点评估，避免工序干扰与施工资源浪费。现场自动化装置均布置于二次设备室，按间隔配置安装方式进行物理隔离，辅以光缆链路进行相间数据传输，并在站控层汇集至 SCADA 平台。保护装置部署涵盖母线、进线、变压器与备自投各区域，使用 IEC 61850 标准协议完成数据信号建模，消除逻辑重复与传输模糊问题^[5]。

部署过程中设立多节点分段调试机制，边界节点配置临时终端作为联动仿真载体，实现分区试验与联锁联动分步推进。系统核心采用边缘处理服务器作为调度中枢，具备环境感知、设备调配与参数写入多重控制权限，在系统联调阶段实现了热备切换、全网数据同步与一键逻辑校验功能。监控中心结合 RTU 采集模块与 HMI 图形平台，完成对场站运行状态、电量趋势与运行告警的动态展示与远程诊断，具备工况上报、操作审核、指令回溯等闭环能力。整体部署过程覆盖 102 个保护单元、12 组测控装置与超过 420 个信号通道，施工周期内未出现接口失配与系统崩溃事件，工程交付阶段联调一次成功，交接资料完整率达到 100%。

3.2 故障响应能力

自动化系统上线后运行期内在广西南宁市某 220kV 变电站多次成功应对接地故障、电压跌落与切负荷操作等异常情况，表现出极高的响应稳定性和处理准确性。以 2023 年 5 月一次 10kV II 段母线短路事件为代表，现场微机保护装置即时识别电流越限信号并下达跳闸命令，SCADA 平台记录并回显母联断开、I 段转移带负荷的全过程，系统完成故障隔离所用时间为 0.78 秒。事件期间，调度系统完成全程回溯记录、波形数据同步上传与继电保护自检，远程技术人员依托保护定值表与站内接线图完成复归^[6]。系统全程动作链路稳定、无误动与拒动记录，动作顺序与逻辑对应准确展现保护

装置、通信网络与监控平台三位协同运行的整体效能。事件未扩展至主供线路区域也未触发备用电源启动，反映出系统配置裕度充足与联动策略设置合理。根据 2023 年 5 月的三次主要故障响应数据，整理得到表 1：

表 1 主要故障响应能力对比

故障响应调试	次	自动化施工方案 (秒)	传统人工方案 (秒)
信号采集时间	1	0.02	0.15
	2	0.03	0.14
	3	0.01	0.16
数据传输延迟	1	0.1	0.5
	2	0.12	0.48
	3	0.09	0.52
指令执行时间	1	0.15	0.75
	2	0.14	0.78
	3	0.16	0.73

针对该突发事件后的系统运行恢复情况，站控平台自动生成完整的动作时序日志与事件波形包，供调度终端与工程后台联合开展数据回溯与逻辑复审。技术人员依据系统导出数据建立数字模型，并在仿真环境中对跳闸闭锁逻辑与设备响应延迟进行复验，发现该次短路事件中的动作链路响应时间在历史 50 次记录中处于最优水平，响应一致性达 100%。系统具备的快速识别、联动隔离和远程重构能力，为后续其他故障情景提供可参照的响应模板。该事件也验证出当前自动化架构中设备配置的分布合理性与信息路径设计的精度，进一步巩固了工程方案在结构布局与逻辑集成上的科学性。故障响应机制的稳定运行不仅降低了故障对运行安全的影响程度，也为站端自主闭环控制的深入推广奠定了工程基础^[7]。

3.3 效益数据对比

为定量评估自动化系统在变电站施工环节的实际价值，选取广西南宁市某 220kV 变电站工程为对比样本，对比传统人工控制方案与自动化系统方案在多个工程关键参数上的表现。两种方案在施工周期、人工投入、调试效率、故障响应时间和维护指标方面均有显著差异，自动化系统在施工周期压缩和调试效率提升与故障响应速度方面具有显著优势。施工周期减少 28 天，有效缓解工期压力，节约人工投入 223 人日，降低施工组织成本与调度难度。调试阶段耗时缩短超过一半，故障处理效率提升约 6 倍，保障设备在初期运行中的稳定性。维护响应方面，由于自动化系统具备实时报警和远程处置能力，首年现场维护工单数量控制在个位数，显著降低运维工作强度。整体结果表明，自动化技术不仅提升变电工程施工阶段的运行效率，也优化了投运后系统的稳定性与安全性，对推广全过程信息化建设具有实证支持价值。

4 结论

电力系统自动化技术在变电站施工中的实际应用显著提升了工程实施的标准化水平与运行保障能力，表现出在部署效率、故障处理及时性以及运行维护负荷等方面的综合优势。系统集成设计、边缘控制逻辑与远程监控手段的有效结合，为构建智能、安全、高效的电力基础设施提供了技术支撑。自动化建设路径具备可复制与推广价值，有望成为未来变电站施工的核心导向。

[参考文献]

- [1] 张一博. 配网自动化技术在电力系统中的应用 [J]. 光源与照明, 2025, (02): 219-221.
- [2] 林晓明. 火力发电厂电力系统自动化技术的创新运用探讨 [J]. 能源与环境, 2025, (01): 35-37.
- [3] 赵帅. 自动化技术在电力工程中的应用分析 [J]. 灯与照明, 2025, 49 (01): 157-159+163.
- [4] 王顺超, 朱笑葵. 智能技术在电力系统自动化系统中的应用 [J]. 电子技术, 2025, 54 (02): 252-253.