

高压变电站设备安装调试施工技术研究

贺章渊

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：随着高压电力工程的快速发展，高压变电站作为电力系统的重要节点，其设备的安装调试施工技术显得尤为关键。电力系统的复杂性和重要性日益增加，高压变电站设备的高效安装与精确调试，成为保障电力系统安全稳定运行的基础。然而，由于高压变电站设备涉及多个专业领域，其安装调试过程中面临诸多技术难题和工程挑战。因此，深入研究高压变电站设备安装调试施工技术，对于提升电力系统的运行稳定性和可靠性具有重要意义。

关键词：高压变电站；设备安装调试；施工技术

高压变电站设备安装调试需融合先进技术、标准化流程和严格管理，以保障电力系统安全稳定运行。未来可进一步探索智能化调试工具和绿色施工技术，推动行业技术升级。

1 高压变电站设备安装调试施工技术

1.1 核心技术要点。变压器安装与调试。本体安装需确保油箱保持微正压状态，按标识顺序装配冷却器、储油柜等组件，减少器身暴露时间；特高压变压器需通过电流极性验证试验，匹配保护装置与TA极性。调试时需检查高压线包完整性、湿度控制装置功能，并依据规范完成主铁芯和外壳的可靠接地，安装水平度公差 $\leq 2\text{mm}$ ，垂直度公差 $\leq 1.5\text{mm}$ 。断路器与隔离开关调试。断路器机械特性参数（分合闸时间、速度）需符合设计要求；隔离开关安装后需重点检查触头清洁度及接触压力，避免接触不良引发过热。母线及电缆施工。母线校正采用高精度激光定位技术，水平度误差控制 $\leq 2\text{mm}$ ；电缆敷设需规范转角、孔洞处的防护措施（如加装护套），防止绝缘层损伤。二次设备与保护系统联调。微机监控和保护装置需进行逻辑功能测试（过流保护、差动保护等），并通过分系统调试验证与一次设备的联动可靠性。

1.2 施工全流程优化。施工前准备。制定施工图纸交付计划、工艺细则及应急预案，明确材料验收标准（核对型号、数量及外观检查），确保施工进度与图纸匹配。采用三维建模技术预装配设备，优化工序衔接，减少现场返工。设备安装阶段^[1]。优先安装一次设备（变压器、开关柜），二次设备（保护装置）在完成单体调试后接入系统；推广无油化、免维护型设备，降低后期运维成本。变压器牵引就位时需使用手拉葫芦配合吊车，沿轨道缓慢拖入并定位，避免瓷瓶和高压线包损坏。系统调试与验收。分阶段实施单体调试、分系统调试及全

站联调，重点验证设备接口兼容性；验收依据国网标准，确保工艺质量“一次过”并完成技术归档。

1.3 关键管理措施。标准化与工艺控制。制定统一工艺安装标准及效果图，缩小施工团队水平差异；采用激光定位、数字化调试工具提升安装精度。安全与质量监管。严格执行变电站安全文明施工规范，加强孔洞、高处作业等危险点的监护；引入实时监测设备（如带吹气清洁功能的摄像头），保障施工过程可视化与安全性。技术创新与培训。推广智能化调试技术（如数字化试验仪器），定期组织技术培训，提升人员对新型设备（如特高压变压器）的安装调试能力。

2 高压变电站设备影响分析

2.1 电磁环境影响。电磁辐射与干扰。高压变电站运行时产生的电磁场会对周围环境造成辐射，长期暴露可能引发健康风险（如疾病发生率上升、生殖能力下降）。50Hz工频电磁场能量随距离快速衰减，符合安全距离标准（如50万伏高压线塔距居民楼 $\geq 25\text{米}$ ）时，对人体无显著危害。电磁干扰可能影响周边通讯设备、广播电视等电子设施，威胁紧急情况下的设备使用安全。国际标准与争议。国际癌症研究机构（IARC）将工频电磁场列为2B类致癌物，但实际风险与暴露剂量密切相关。部分国家（如美国、瑞典）设定工频电磁辐射安全值为 $0.4\mu\text{T}$ ，需结合本地化监测数据评估风险。

2.2 安全风险与事故隐患。高压设备风险。变压器、高压线缆绝缘老化或过载可能引发电弧放电、短路甚至火灾，威胁周边居民生命财产安全。变电站倒闸操作产生的电弧光可能引发公众恐慌，需加强设备维护与安全警示。施工与运维风险。施工阶段使用大型机械可能造成噪音污染，高压线塔维护不当易导致结构安全隐患^[2]。开关柜内部湿气积聚会降低绝缘性能，加速金属腐蚀，需采用智能除湿设备实时监测调控。

2.3 生态环境与社会影响。生态破坏。高压输电线路建设可能破坏植被覆盖，干扰野生动物栖息环境，需通过优化线路规划减少影响。噪声与心理影响。变压器高负荷运行或深夜时段产生的噪音易引发居民烦躁、失眠等精神困扰。变电站释放的轻微气味可能对敏感人群造成不适，需加强通风与环保设计。

2.4 防护与治理措施。安全距离与规划。严格执行高压设备与居民区的安全距离标准（如22万伏线塔 ≥ 15 米），降低电磁辐射和雷击风险。技术优化。推广无油化、免维护设备减少运维污染，采用三维建模预装配技术降低施工干扰。通过无功补偿装置改善电网功率因数，结合防雷设计提升系统稳定性。监管与公众沟通。建立电磁环境实时监测系统，定期公开数据以缓解公众疑虑。强化应急预案，确保高压设备故障时快速响应，减少次生灾害。

3 高压变电站施工管理与安全措施

3.1 施工管理体系构建。责任与制度落实。建立以项目经理为核心的安全责任体系，明确各级管理人员职责，确保安全管理制度、施工方案和风险预控措施有效执行。推行标准化作业流程，制定《工艺安装标准图集》和《施工指导书》，统一施工团队操作规范，减少人为失误。信息化管理平台应用。采用三维建模技术预装配设备，优化工序衔接；利用实时监控系統（如带吹气清洁功能的摄像头）实现施工现场可视化，及时发现安全隐患。

3.2 安全风险全流程管控。风险评估与隐患管理。施工前需对现场进行实地勘察，采用科学方法评估高空作业、高压设备操作等关键风险点，并模拟潜在事故场景制定预控措施。定期开展隐患排查，重点检查孔洞防护、高处作业安全绳状态及设备接地可靠性，整改记录需存档备查。应急预案与响应机制。针对触电、火灾等突发事件制定专项预案，明确报警、疏散和急救流程；每季度组织应急演练，提升人员快速响应能力。

3.3 现场安全措施细化。人员防护与作业监护。施工人员必须持高压电工证上岗，佩戴绝缘手套、防护眼镜等装备；倒闸操作、高空作业需双人监护，禁止单人接触带电设备。划定高压危险区并设置硬质围栏，悬挂“禁止入内”“高压危险”警示标识，限制非施工人员进入。施工环境安全管理。恶劣天气（如雷雨）禁止室外高压设备操作，巡视需穿绝缘靴；高压室门锁闭管理，防止无关人员误入。规范临时用电线路布置，确保接地可靠，避免漏电风险；严禁明火作业，推广防爆型电动工具。

3.4 关键技术措施。设备安装与调试安全。变压器安装时需保持油箱微正压，牵引就位使用手拉葫芦配合吊车，避免瓷瓶损伤；调试阶段验证保护装置与TA极性匹配。母线校正采用激光定位技术（误差 ≤ 2 mm），电缆转角处加装护套，防止绝缘层机械损伤。绿色施工与工艺优化。推广无油化、免维护设备减少运维污染；采用无功补偿装置改善电网功率因数，降低过载风险。

3.5 人员培训与考核。施工前开展高压电气安全、应急处理等专项培训，考核合格方可上岗；定期复训更新技能（如新型智能设备操作）。引入事故案例警示教育，强化“违章即事故”意识，提升团队风险预判能力。高压变电站施工管理需以责任落实、风险评估和技术优化为核心，结合信息化工具与标准化流程，实现安全、效率双提升。未来可深化智能监控（如AI隐患识别）和绿色施工技术应用，推动行业向本质安全转型。

4 高压变电站施工人员安全培训与防护措施

4.1 安全培训体系。培训内容与责任落实。施工前需开展高压电气安全专项培训，涵盖触电急救、反违章操作、设备绝缘性能检测等内容，确保全员掌握基础安全知识及应急处理技能。通过“班前会”强化安全交底，明确作业风险点（如高压设备操作、高空作业）及标准化操作流程，要求“安全措施不落地，现场作业不启动”。实操与考核机制。定期组织应急演练（如消防疏散、触电急救），每季度至少1次，重点模拟高压设备故障、火灾等场景，提升人员快速响应能力。采用“师徒结对”模式，由技术骨干带教新员工进行现场实操，并通过技能考核认证（如高压电工证）后方可上岗。

4.2 现场防护措施。个人防护装备规范。施工人员必须佩戴绝缘手套、安全帽、防护眼镜、绝缘鞋等装备，高空作业时需加装全身式安全带及安全绳，防护用品需定期检测绝缘性能。接触带电设备时，使用绝缘棒、绝缘夹钳等专用工具，禁止徒手操作或使用非绝缘金属工具。作业监护与区域管理。倒闸操作、高空作业等高风险环节实行双人监护制，监护人需全程监督操作规范，及时纠正违章行为。划定高压危险区并设置硬质围栏和警示标识（如“高压危险”“禁止入内”），非施工人员严禁进入。环境与设备安全管控。高压设备安装前需完成接地电阻检测（ $\leq 1\Omega$ ），施工区域临时用电线路需规范布置，避免漏电风险。遇雷雨、大雾等恶劣天气时，禁止室外高压设备操作，巡视人员需穿戴全套绝缘装备。

4.3 应急与长效管理。隐患排查与响应。每日施工前开展设备状态检查，重点排查表计接线松动、绝缘老化

等隐患,整改记录存档备查。建立智能监测系统,实时追踪设备温升、湿气积聚等风险,通过远程预警提前干预。长效安全文化建设。推广“安全微课堂”常态化学习,结合事故案例强化“违章即事故”意识。联合社区开展用电安全宣传,提升公众对高压设施的安全认知,推动“电网责任”转化为“社会共识”。高压变电站施工安全需以专业化培训为基础,结合标准化防护装备和智能化监测技术,构建“人防+技防”双重防线。未来可深化AI风险预警、虚拟现实(VR)应急演练等技术的应用,实现安全管理从“被动响应”向“主动预防”升级。

5 高压变电站技术创新与节能措施

5.1 技术创新方向。智能运维与数字化升级。新一代智能变电站试点应用自动化设备孪生建模技术,构建虚实结合的远程运维体系,通过实时感知与镜像调试系统实现设备状态精准诊断与评估。采用三维建模技术预装配设备,优化施工工序衔接,降低现场调试风险,提升施工效率。新型设备与结构优化。35kV大容量构网型级联高压储能系统通过高压直挂拓扑结构取消升压变压器,循环效率提升至92%以上,并首创自同步电压源控制技术,增强电网惯量响应能力。非晶合金立体卷铁心电力变压器结合悬挂式铁芯设计,空载损耗较传统设备降低60%,抗短路能力显著增强,适配110kV及以上高电压场景。谐波治理与电气优化。混合式有源滤波器(HAPF)与SVG-APF技术集成应用,实现8倍以上谐波滤除能力,同时提供无功支撑与低频滤波功能,提升电网稳定性。创新配电装置设计(如500kV 8000A GIS设备)结合混合配串方案,减少大电流断路器数量,优化系统运行效率。

5.2 节能降耗关键措施。高效设备与材料应用。推广非晶合金变压器、低损耗硅钢材料等高效设备,空载损

耗降低20%-40%,结合智能负载调节技术实现动态能效优化。采用无功补偿装置(如电容器、同步补偿器)提高功率因数,减少线路损耗,电能质量监测系统实时调控补偿策略。运行模式优化与绿色工艺。基于物联网的远程监控系统实时调控变压器输出电压,结合峰谷负荷差异调整设备运行数量,减少低效能耗。推广无油化设备与免维护设计,减少运维污染;引入空气自然冷却、防爆型电动工具等绿色施工技术。储能与新能源协同。用户侧与电网侧规模化应用大容量构网型储能系统(如内蒙古91.5MW/366MWh项目),解决高能耗企业调峰矛盾,提升新能源消纳能力。无功补偿装置与新能源配套场景结合,实现风电平滑出力与电网稳定性增强。

5.3 未来发展趋势。智能化深化:AI隐患识别、VR应急演练等技术将推动安全管理从“被动响应”转向“主动预防”。绿色化转型:非晶合金材料、立体卷铁心技术等核心突破助力“双碳”目标达成,单台变压器年减排量可达72吨。集成化设计:混合级联接线、多电平叠加技术等创新方案将进一步提升系统综合能效与适应性。

总之,高压变电站技术创新以智能运维、设备结构优化和绿色材料为核心,节能措施则聚焦高效设备应用、运行策略优化及新能源协同。未来需持续深化智能化与绿色化技术融合,推动电力系统向本质安全、高效低碳方向升级。

参考文献

- [1]阮华.高压变电站设备安装调试施工技术探讨.2023.
- [2]王丽芹.关于高压变电站设备安装调试施工技术分析.2022.