变电站安装调试中的安全风险识别与控制策略研究

黄文杰

浙江华云清洁能源有限公司　浙江　杭州　310000

摘　要：变电站作为电力系统核心枢纽，其安装调试阶段安全风险隐蔽性强、危害大，涉及触电、电弧、机械伤害、物体坠落及火灾等多种风险。本文从设备、环境、交叉作业及人为因素等角度分析风险成因，提出管理制度、安全设施、操作流程、技术手段及人员培训等多维度风险控制策略，并展望智能化防控、主动安全技术、全要素协同管理等未来趋势，为变电站安全建设提供参考。

关键词：变电站；安装调试；风险识别；控制策略

1 变电站安装调试安全风险概述

变电站作为电力系统的核心枢纽，承担着电压转换、电能分配及系统保护等关键功能。其安装调试过程涉及高压设备、复杂电气系统及多工种协同作业，安全风险具有隐蔽性强、危害性大、连锁反应显著等特点。根据行业统计，变电站事故中约60%发生于安装调试阶段，主要风险包括触电、电弧灼伤、机械伤害、物体坠落及火灾等，可能导致人员伤亡、设备损毁甚至电网瘫痪[1]。安全风险的形成源于多重因素叠加：一是设备复杂性，高压开关柜、变压器等设备内部结构精密，调试过程中可能因绝缘失效、误操作引发电弧故障；二是作业环境高危性，高空作业、有限空间作业（如电缆沟）频繁，防护措施不到位易导致坠落或窒息；三是交叉作业干扰，土建、电气、机械等多专业同步施工，空间冲突与时间协调不当易引发次生灾害；四是人为因素主导性，操作人员技能不足、安全意识淡薄或违规操作是事故发生的主因。新技术应用（如智能变电站、数字化调试）带来新挑战。因此，变电站安装调试安全风险控制需构建“技术-管理-人员”三维防护体系，通过风险识别、评估、预警及应急响应的全流程管理，实现从被动应对到主动防控的转变，保障电力系统建设与运行的安全稳定。

2 变电站安装调试具体安全风险识别

2.1 触电风险

触电是变电站安装调试的首要风险，主要源于直接接触带电体或间接通过导电物体触电。典型场景包括：调试未接地设备时误碰带电端子；使用绝缘工具不当（如绝缘手套破损）导致漏电；跨步电压触电（如接地网施工缺陷）；以及感应电伤害（如邻近带电设备产生的静电感应）。高压试验环节风险尤为突出，例如耐压试验中设备绝缘击穿产生的瞬时高压可能击穿空气形成电弧，操作人员若未保持安全距离或未穿戴绝缘装备，将直接遭受电击。

2.2 电弧风险

电弧故障是变电站事故的“头号杀手”，其能量释放可达数千摄氏度，伴随强光、高压冲击波及有毒气体。电弧产生条件包括：设备绝缘老化（如电缆头绝缘层开裂）、金属异物短路（如螺丝掉落至母线排）、操作过电压（如断路器分合闸时的电弧重燃）以及人为误操作（如带负荷拉刀闸）。智能变电站中，二次系统网络化调试可能因软件漏洞或通信故障引发保护装置误动，导致一次设备非计划动作，进而产生电弧。例如，某220kV变电站调试中，因保护装置逻辑错误导致断路器频繁分合，最终引发母线电弧爆炸，造成设备全毁及3人重伤[2]。

2.3 机械伤害风险

机械伤害主要涉及起重吊装、设备搬运及转动机械操作。起重作业中，钢丝绳断裂、吊物坠落或起重机倾覆是常见风险，例如变压器吊装时若未使用专用吊具或未校准重心，可能导致设备滑落砸伤人员。转动机械（如轴流风机、磨煤机）调试阶段，若防护罩未安装或联锁装置失效，操作人员可能被卷入机械部件。此外，高压开关柜手车推进/拉出时，若未确认断路器分闸状态，可能因机械卡涩导致手车倾倒，砸伤操作人员。

2.4 物体坠落风险

物体坠落包括高空坠物和人员坠落两类。高空作业（如构架安装、避雷器调试）中，工具、材料或零部件若未固定牢固，可能因振动或风力作用坠落，击中下方人员或设备。例如，某500kV变电站构架安装时，一名工人未系安全带，从15米高处坠落，导致颅脑损伤死亡。人员坠落风险还涉及脚手架坍塌、临边防护缺失（如电缆沟盖板未覆盖）等场景。设备运输过程中若未绑扎固定，急刹车或颠簸可能导致设备移位倾覆，压伤周围人员。

2.5 火灾风险

火灾风险贯穿变电站安装调试全周期，主要源于电气故障、易燃材料及人为因素。电气火灾占比较高，例如电缆头制作工艺缺陷导致局部过热，引发绝缘层燃

烧；电容器组调试时过电压冲击导致介质击穿，产生电弧引燃周围可燃物。新型储能装置（如锂电池）的接入进一步加剧火灾风险，其热失控反应可能释放大量可燃气体，形成爆炸性混合物。焊接作业、动火作业若未清理易燃物或未配备灭火器材，可能引发火灾。

3 变电站安装调试风险控制策略

3.1 管理制度层面的风险控制

管理制度是变电站安装调试风险控制的基石，需构建“企业-项目-班组”三级管控体系。企业级负责制定安全政策与目标，明确风险控制方向；项目级需结合工程特点编制专项安全方案，细化高风险作业（如高压试验、起重吊装）的防护措施；班组级则落实日常检查与整改，确保安全制度穿透至作业末端。关键措施包括：责任落实方面，明确项目经理为安全第一责任人，通过签订安全责任书将风险指标纳入绩效考核，形成“责任到人、奖惩分明”的闭环管理；标准化作业方面，编制《变电站安装调试安全操作规程》，明确各环节安全要求（如试验前核查接地线状态、动火作业清理易燃物），避免因操作随意性引发事故；监督机制方面，设立独立安全监理，对高风险作业实施全程旁站监督，每日填写安全日志并上传至管理平台，实现风险动态追踪；应急管理方面，制定火灾、触电等专项预案，每季度组织演练，确保人员熟悉逃生路线及急救设备使用，提升应急响应能力。通过制度刚性约束与文化柔性引导相结合，筑牢安全管理的第一道防线。

3.2 安全设施层面的风险控制

安全设施是变电站安装调试风险防控的物理屏障，需从“个人-设备-环境”三维度构建防护体系。个人防护装备（PPE）方面，为操作人员配备绝缘手套、安全帽、防电弧服及双钩安全带，定期检测绝缘性能，确保防护有效性；电气防护装置方面，安装漏电保护器、接地电阻监测仪及电弧防护罩，调试阶段设置临时围栏并悬挂“止步，高压危险”标识，阻断触电与电弧风险路径；机械防护设施方面，对转动机械加装防护罩，起重设备配置限位器、超载报警装置及防脱钩装置，防止机械伤害与物体坠落；消防系统方面，布置灭火器、消防沙箱及自动喷淋系统，电缆沟设置防火隔板，储能装置区域配置气体灭火装置，构建“预防-灭火-隔离”三级防火体系。针对智能变电站特点，增设网络安全防护设备（如防火墙、入侵检测系统），防范二次系统网络攻击导致的设备误动。通过“硬件投入+定期维护”双保障，确保安全设施始终处于可靠状态，为作业人员提供全方位保护。

3.3 操作流程层面的风险控制

操作流程是变电站安装调试风险控制的关键环节，需严格遵循“停电-验电-接地-挂牌”四步法，形成标准化作业闭环。高压试验环节，试验前必须断开所有无关设备电源，设置专人监护并核查接地线状态，试验后充分放电并拆除接地线，防止残余电荷伤人；起重吊装环节，起吊前检查钢丝绳、吊钩及制动装置，吊物下方严禁站人，风力超过5级时停止作业，避免物体坠落与起重设备倾覆；高空作业环节，使用双钩安全带并确保高挂低用，构架安装时设置临时爬梯及防坠器，严禁上下交叉作业，降低坠落风险；动火作业环节，办理动火许可证并清理周围10米内易燃物，配备灭火器及看火人，焊接完成后检查无火种残留，防止火灾事故[3]。针对智能变电站调试，增加“网络隔离-数据备份-逻辑验证”步骤，确保二次系统安全。通过流程细化与执行刚性化，将风险控制在作业萌芽阶段，实现“零事故、零违章”目标。

3.4 技术手段层面的风险控制

技术手段是变电站安装调试风险防控的核心驱动力，需融合智能化与数字化技术提升防控效能。在线监测方面，部署局部放电传感器、温度传感器及气体成分分析仪，实时监测设备绝缘状态，异常时自动报警并推送至管理终端，实现风险早发现、早处置；智能锁具方面，对高压开关柜、接地刀闸加装智能锁，需授权码或指纹识别方可操作，防止误动导致电弧事故；虚拟调试方面，利用数字孪生技术构建变电站三维模型，在虚拟环境中预演调试流程，提前识别碰撞或短路风险，优化作业方案；区块链技术方面，记录调试数据（如试验电压、接地电阻值）至区块链平台，确保数据不可篡改，为事故追责提供可信依据。另外，引入AI图像识别技术，实时监测作业人员安全帽佩戴、安全带使用情况，违规时自动触发警报并通知监护人。通过技术赋能，推动风险控制从“人工巡检”向“智能感知”升级，构建“数据驱动、精准防控”的新型安全管理体系，为变电站安装调试提供全生命周期技术保障。

3.5 人员培训层面的风险控制

人员培训是变电站安装调试风险控制的根本保障，需覆盖“意识-技能-应急”全维度。安全意识教育方面，通过案例分析、VR事故模拟等方式，还原触电、电弧等事故场景，强化“四不伤害”（不伤害自己、不伤害他人、不被他人伤害、保护他人不受伤害）理念，提升风险敬畏心；技能培训方面，开展高压试验、起重指挥、急救技能等专项培训，采用“理论授课+实操考核”模式，考核合格后颁发上岗证，确保人员具备专业操作能力；应急演练方面，模拟触电急救、火灾逃生等场景，培训人员使用AED除颤仪、正压式空气呼吸器等设备，每季度组织跨专业联合演练，提升协同应急能力；文化塑造方面，设立“安全标兵”评选机制，对发现重大隐患或避免事故的人员给予奖励，将安全行为纳入企业文化，通过安全宣传栏、班组安全日等活动营造“人人讲

安全、事事为安全”的氛围。针对智能变电站调试需求，增加网络安全、数字孪生等新技术培训，帮助人员适应技术变革。通过“培训-考核-激励”闭环管理，打造一支安全意识强、技能水平高、应急能力优的专业队伍，为变电站安装调试安全提供人力支撑。

4 变电站安装调试安全风险控制的未来趋势

4.1 智能化防控体系深化应用

随着人工智能、物联网技术的发展，安全监测将实现从“被动记录”到“主动预警”的跨越。例如，基于深度学习的图像识别技术可实时监测作业人员安全帽佩戴、安全带使用情况，违规时自动触发警报；而大数据分析可挖掘历史事故数据中的潜在规律，预测高风险环节（如某时段电弧故障概率上升），提前调整作业计划。智能机器人将逐步替代人工完成高压试验、设备巡检等高危任务，降低人员暴露风险。

4.2 主动安全技术成为主流

传统安全控制以“事后处理”为主，未来将向“事前预防”转型。例如，自适应保护装置可根据系统运行状态动态调整定值，避免因保护误动引发电弧；而新型绝缘材料（如纳米复合绝缘子）可显著提升设备绝缘性能，减少触电与电弧风险。数字孪生技术将实现调试过程的全生命周期模拟，通过虚拟环境中的“试错”优化实际作业方案，从源头消除风险。

4.3 全要素协同管理机制建立

变电站安装调试涉及设计、施工、监理、设备供应商等多方主体，未来需构建“数据共享、责任共担”的协同管理平台。例如，通过BIM（建筑信息模型）技术整合各专业设计数据，提前识别空间冲突（如电缆桥架与管道碰撞）；而区块链技术可实现调试数据的全链条追溯，确保各参与方责任清晰。政府、行业协会将推动建立统一的安全标准与认证体系，例如对智能变电站调试人员实施“持证上岗+动态考核”制度，提升行业整体安全水平。

4.4 绿色安全理念深度融合

在“双碳”目标下，变电站安装调试需兼顾安全与环保。例如，推广使用环保型绝缘气体（如C4F7N替代SF6），减少温室气体排放；而储能装置调试中需加强热失控监测，防止锂电池火灾引发的环境污染[4]。模块化变电站技术将缩短现场施工周期，减少高空作业与交叉作业风险，同时降低施工扬尘与噪音对周边环境的影响。

4.5 人员能力升级持续推进

未来操作人员需具备“电气+机械+信息技术”复合技能，例如掌握智能变电站二次系统调试、数据分析及网络安全防护能力。企业需与高校、职业院校合作，开设“智能电网安全技术”专业，培养适应新技术需求的专业人才。同时，建立“终身学习”机制，通过在线课程、仿真培训等方式，持续更新人员知识体系，应对不断演变的安全挑战。

结束语

变电站安装调试安全风险控制是保障电力系统稳定运行的关键环节。面对新技术应用与复杂作业环境，需构建“技术-管理-人员”三位一体防控体系，通过智能化监测、标准化作业及专业化培训等手段，实现风险主动预警与精准处置。未来，随着绿色安全理念深化与全要素协同机制完善，变电站安装调试安全将迈向更高水平，为能源转型与“双碳”目标实现提供坚实支撑。

参考文献

[1]朱泽继,吴毅力,王炳昱,等.特高压变电站设备检修安全风险评估与防控技术研究[J].电力设备管理,2025,(01):223-225.

[2]张继敏,郑合欢.变电站设备状态检修方法研究[J].办公自动化,2024,29(21):88-90.

[3]王小明.变电站安全管理与风险评估研究[J].电力系统与清洁能源，2021，37(5)：45-52.

[4]刘宏伟.变电站电力设备检修与管理优化措施探讨[J].自动化应用,2021,(05):97-99.