

# 风电项目建设过程中的电气工程施工质量把控措施

田 健

华电新疆发电有限公司新能源分公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**风电项目建设涉及了场内道路、风机基础施工、电气安装以及升压站建设等方面，其中电气安装是重要组成部分，电气安装工程质量直接影响着风电项目整体建设质量，同时也对风电场建设系统运行有着直接关系。需要对风电项目电气工程施工整体流程进行分析，了解其中的问题，以拨正电气安装工程质量，进而确保风电项目质量。

**关键词：**风电建设；电气质量；创新；质量把控

电能是我国基础能源之一，人们日常生活需要电能作为保障。当前电能生产包括火力、水力、太阳能、风力发电等类型，其中风电结合得到了较大的推广与应用。<sup>[1]</sup>电能生产各个环节与电气工程关系密切，电气工程建设和电气设备安装都十分重要。

## 1 风电项目电气工程施工问题及防治措施

### 1.1 电缆敷设与路径设计问题

**问题描述：**电缆路径设计不合理导致冗余线路，抗风能力不足；箱变、风机与终端杆塔位置偏离直线，增加安全隐患。电缆穿墙保护管预埋深度不足、密封性差，易引发腐蚀或机械损伤。

**防治措施：**①设计优化，基于地质勘察数据优化集电线路布局，确保风机、箱变与终端杆塔直线对齐，减少冗余线路；②施工规范，严格按图纸要求预埋电缆保护管，采用密封胶封堵管口，并核查管位深度与密封性；③隐蔽工程验收，对预埋管线进行全流程检查，留存影像资料，确保符合设计标准。

### 1.2 电气设备安装与调试问题

**问题描述：**设备安装角度偏差（如塔筒垂直度超差、叶片倾角错误），导致运行稳定性下降；控制系统参数配置错误或逻辑冲突，引发并网异常或保护装置失灵。

**防治措施：**①标准化安装，制定设备安装手册，明确塔筒垂直度（误差 $\leq 1\%$ ）、叶片倾角等关键参数，使用激光校准仪复测；②动态调试，通过程序测试验证控制逻辑，耐压测试检测线路绝缘性能，优化电压、频率等参数；③分阶段验收，按子系统（变流器、升压站）进行单机调试和联调测试，记录异常并闭环整改。

### 1.3 电气系统故障隐患

**问题描述：**设备选型不当（如防护等级不足或耐低温性能差），导致短路、过载等故障；接地系统不完善（接地电阻 $> 4\Omega$ ），高湿度或盐雾环境下易引发绝缘失效。

**防治措施：**①设备选型，优先选用IP65及以上防护等

级的耐候性设备，核查供应商资质及产品认证（如CE、UL）；②接地优化，采用铜包钢接地极，增加接地网密度，定期检测并控制接地电阻 $\leq 4\Omega$ ；③安全防护，配置差动保护、过流保护装置，设置避雷器和防雷接地系统，降低雷击风险。

### 1.4 施工管理与人员素质问题

**问题描述：**施工人员未按规范操作（如高空接线未使用绝缘工具），存在触电、坠落风险；施工记录缺失或数据不完整，导致质量追溯困难。

**防治措施：**①培训与考核：开展技术交底、安全培训（如高空作业规范、带电操作流程），考核合格后上岗；②责任落实，建立施工日志、测试报告等档案，明确质检员和技术负责人职责，实现全流程可追溯；③第三方监管：引入监理团队对关键工序（电缆接头制作、设备吊装）旁站监督，形成整改闭环。

### 1.5 环境与安全风险

**问题描述：**极端天气（强风、低温）导致电缆脆化、设备性能下降；高空作业、带电调试环节存在触电、设备坠落风险。

**防治措施：**①环境适应性设计，采用耐寒电缆（ $-40^{\circ}\text{C}$ 级）和加热型电气柜，加强设备保温措施；应急预案：②制定极端天气停工标准，配置专职安全员监督高危作业，配备应急电源和救援设备；③实施要点总结-协同管理，统筹电气与土建专业接口（如电缆沟与基础同步施工），减少交叉作业冲突；④智能化监测，利用物联网技术实时采集设备温度、振动数据，实现故障预警；⑤标准化文档，完善施工记录、验收报告等档案，为后期运维提供数据支持。

## 2 风电项目电气工程质量预防措施

**2.1 设计与设备选型优化。**①路径与布局设计，基于地质勘察数据优化电缆路径和集电线路布局，确保风机、箱变与终端杆塔直线对齐，减少冗余线路。选用耐

候性电气设备（防护等级  $\geq$  IP65），适配盐雾、低温等恶劣环境，并核查供应商资质及产品认证（如CE、UL）。②接地与防护系统，采用铜包钢接地极并增加接地网密度，定期检测接地电阻（控制  $\leq 4\Omega$ ）；③配置差动保护、过流保护装置及防雷系统（避雷器、避雷针），降低雷击风险。

2.2 施工过程规范管理。①电缆敷设与预埋，严格按图纸预埋电缆保护管，采用密封胶封堵管口，核查深度与密封性；隐蔽工程（如管线预埋）需全流程验收，留存影像资料备查。②设备安装校准，制定标准化安装手册，明确塔筒垂直度（误差  $\leq 1\%$ ）、叶片倾角等参数，使用激光校准仪复测；设备安装后需分阶段验收（单机调试、联调测试），确保信号稳定性与设备兼容性。③集电线路施工，基坑开挖前复核桩位高程，避免超挖或欠挖；基础顶面按设计要求抹成斜面，保证塔脚板接触紧密。

### 2.3 系统调试与检测

程序测试：通过模拟输入信号（如风速、电压波动）验证控制系统逻辑，动态调试优化电压、频率参数。

耐压与绝缘检测：耐压测试采用额定电压2倍+1000V标准，维持1分钟监测泄漏电流，排查绝缘缺陷；定期开展绝缘电阻检测，高湿度环境下需确保测试环境干燥。

2.4 运维与监测机制。①定期维护与检修，建立设备老化监测机制，重点检查叶片裂纹、齿轮箱油温、发电机绝缘性能等；②完善电气系统维护计划，及时更换老化元件，降低故障率。③智能化监测，利用物联网技术实时采集设备温度、振动数据，实现故障预警与远程诊断。

2.5 人员培训与安全管理。①技能与安全培训，组织技术交底、高空作业及带电操作规范培训，考核合格后持证上岗。②风险管控：制定极端天气停工标准，配置专职安全员监督高危作业，配备应急电源及救援设备；混塔式项目需强化施工平台荷载标识、安全带挂点检查，确保施工本质安全。③多环节协同：统筹设计、施工与运维阶段，强化电气与土建接口匹配（如电缆沟与基础同步施工）；标准化文档：完善施工日志、测试报告及验收记录，为质量追溯与后期运维提供数据支持。

## 3 风电项目电气工程质量把控措施

3.1 标准化施工与材料管理。①规范安装流程，制定电气设备安装标准化流程，明确电缆敷设、设备固定、线路连接等环节的技术要求，确保施工工艺符合行业标准。②严格材料验收，对电气设备（如继电保护装置、差电保护装置）及电缆等材料实施供应商资质审查和进场抽样检测，杜绝不合格品流入现场。

3.2 关键环节质量验证。①设备测试与验证：通过程

序测试验证控制系统逻辑功能，开展耐压测试检测线路绝缘性能，提前暴露隐患。对于高海拔、低温等特殊环境，需强化设备防护等级和接地措施。②管线预埋与隐蔽工程控制：规范电缆穿墙保护管、通信管线等预埋施工，严格检查管位、深度及密封性，确保符合设计标准。

3.3 调试与运行保障。①系统联调与参数优化，结合风电项目整体运行需求，调试电压、频率等参数，验证并网稳定性和保护装置灵敏性。通过动态调整解决设备兼容性、信号干扰等异常问题。②分阶段验收机制，按子系统分阶段验收，确保各环节功能达标，并完善施工记录、测试报告等技术档案。

3.4 过程监督与责任体系。①第三方监理与巡检：引入监理团队定期检查施工工艺合规性，重点核查隐蔽工程和施工记录，形成问题整改闭环。②人员能力建设：开展施工人员技术交底和安全培训，明确质检工程师、技术负责人等岗位职责，建立质量追溯制度。

3.5 风险预防与应急管理。①环境适应性设计：针对风电场恶劣环境（如盐雾、高湿度），优化设备防护等级和防腐措施，延长设备寿命。②安全风险管控：制定短路、过载等故障应急预案，配置专职安全员监督高空接线、带电调试等高危作业。

实施要点总结：①全流程协同，统筹设计、施工、调试阶段，强化跨专业协作（如电气与机械接口匹配）；②数据化监测，采用智能化系统实时采集设备运行数据，辅助质量评估与故障预警；③标准化文档，建立完整的施工日志、测试报告等档案，为后期运维提供依据。

## 4 风电项目电气工程质量控制要点

### 4.1 设计阶段控制

(1) 设计优化与图纸审查。基于地质勘察数据优化集电线路布局，确保风机、箱变与终端杆塔直线对齐，减少冗余线路；审查施工图纸的完整性，重点核对电缆沟、预埋管线与土建结构的接口匹配性。<sup>[2]</sup>

(2) 接地系统设计。接地网设计采用铜包钢接地极，增加接地网密度，接地电阻需控制  $\leq 4\Omega$ ；防雷系统需配置避雷器、避雷针及防雷接地装置，适配高盐雾、潮湿等恶劣环境。

### 4.2 设备选型与材料控制

(1) 设备防护与防腐。优先选用防护等级  $\geq$  IP65的耐候性电气设备，适配低温、盐雾环境，并核查供应商资质及产品认证（如CE、UL）；升压站设备外壳需采用316不锈钢或特殊防腐涂层，满足C4/C5-M级防腐标准。

(2) 电缆与管线材料。电缆选用耐寒型（-40℃级）或抗风振型号，预埋保护管需采用密封胶封堵管口，防

止渗水腐蚀；电缆敷设需分层排列，避免交叉干扰，并预留检修通道。

#### 4.3 施工过程控制

(1) 电缆敷设与预埋。严格按图纸要求预埋电缆保护管，核查管位深度与密封性，隐蔽工程需留存影像资料备查；电缆沟施工需同步清理淤泥，设置支架并做好防渗处理。

(2) 设备安装校准。塔筒垂直度误差需  $\leq 1‰$ ，叶片倾角需使用激光校准仪复测，确保设备安装精度；配电箱预埋时需加固支撑结构，防止混凝土浇筑导致箱体变形。

(3) 焊接与接地施工。接地扁铁焊接需选用合格焊工，焊缝无夹渣、咬边，焊接长度符合规范；防雷引下线与接地极连接点需逐项验收，确保电气通路可靠。

#### 4.4 系统调试与检测

(1) 程序测试。通过模拟风速、电压波动信号验证控制系统逻辑，优化电压、频率参数；分阶段进行单机调试（变流器、升压站）及联调测试，记录异常并闭环整改。

(2) 耐压与绝缘检测。耐压测试采用额定电压2倍+1000V标准，维持1分钟监测泄漏电流，排查绝缘缺陷；高湿度环境下需确保测试环境干燥，优先采用交流耐压试验验证电缆长期可靠性。

#### 4.5 人员与安全管理

①技能培训。施工人员需通过技术交底、高空作业及带电操作规范培训，考核合格后持证上岗；监理需全程监督高危工序（如电缆接头制作、设备吊装），形成整改闭环。②应急预案。制定极端天气停工标准，配置应急电源及救援设备，降低电缆脆化、设备坠落风险；混塔施工需强化荷载标识与安全带挂点检查，确保高空作业本质安全。标准化文档：完善施工日志、测试报告及验收记录，确保质量可追溯；智能化监测：利用物联网技术实时采集设备温度、振动数据，实现故障预警。

### 5 风电项目电气调试与项目配合策略

#### 5.1 电气调试策略

(1) 分阶段调试流程。单体调试：对升压站变压器、断路器、互感器等设备进行绝缘测试、电压校准及保护功能验证，确保设备参数符合设计要求。分系统调试：按子系统（集电线路、升压站、控制系统）开展联调，验证变流器与电网同步性、无功补偿装置响应速度。系统联调：模拟风速波动、电压骤升/骤降等极端工况，测试整机并网稳定性与保护装置动作逻辑。关键设备调试要点。升压站设备：重点检测SF<sub>6</sub>气体密封性（泄漏率  $< 0.5\%/年$ ）及变压器油温（控制  $\leq 75^\circ\text{C}$ ），采用交流耐压试验（2倍额定电压+1000V）验证绝缘性能。接地系统：接地电阻控制在  $\leq 4\Omega$ ，防雷引下线与接地

网连接点需100%导通测试，避免高盐雾环境腐蚀导致绝缘失效。控制系统：通过SCADA系统验证数据采集精度（误差  $\leq 1\%$ ），优化变桨系统动态响应时间（目标  $\leq 5$ 秒）。常见问题处理。参数配置错误：调试中发现电压/频率保护阈值偏差时，需同步调整继电保护装置与电网调度参数。绝缘失效：高湿度环境下优先采用红外热成像仪定位电缆接头局部放电，及时更换受损绝缘层。通信异常：检查光纤环网节点冗余配置，修复因电磁干扰导致的PLC信号中断。

#### 5.2 项目配合策略

##### (1) 跨专业协同机制

①土建与电气接口管理。协调电缆沟、设备基础预埋件施工，确保箱变基础与塔筒法兰盘水平度误差  $\leq 3\text{mm}$ 。设计变更联动：风机位置调整时需同步更新集电线路路径、保护定值及通信拓扑图，避免调试冲突。②进度与资源保障。分段式节点控制：将调试周期划分为单机调试（7天/台）、集电线路联调（15天/回路）、全站联调（30天）三级节点，匹配人员与设备资源。动态资源调度：高峰期配置双班调试组（含高压试验、继电保护专业人员），优先保障升压站主变、GIS设备调试进度。③安全与质量管控。高危作业监护：吊装升压站GIS设备时设置安全警戒区，专职安全员监督防坠落装置使用合规性。闭环整改机制：建立调试缺陷清单（如接地电阻超标、通信丢包），明确责任人及整改期限（一般  $\leq 48$ 小时）。

#### 5.3 智能化与标准化支撑

①数字化调试工具。应用BIM模型模拟电缆敷设路径冲突，优化桥架空间利用率。部署物联网传感器实时监测升压站设备温度、振动数据，生成健康度评估报告。②标准化文档体系。编制调试日志模板，记录关键参数（如耐压试验泄漏电流、保护动作时间）并附现场照片。移交运维阶段提供设备调试报告、保护定值清单及故障处理手册。③实施效果优化方向。技术迭代，引入移动式调试平台（集成耐压测试仪、继电保护校验仪），减少设备搬运时间。经验复用，建立典型故障案例库（如箱变过热、集电线路跳闸），缩短同类问题处理周期。

总之，通过对风电项目建设问题和电气施工问题进行分析，提出一些解决措施，以保证整个风电项目电气施工安全，进而降低电气事故发生率，确保人民群众人身财产安全。

#### 参考文献

- [1]杨萍.风电电气工程自动化中的问题及解决对策研究.2022.
- [2]刘卫平.风电项目中土建工程技术质量的控制要点分析.2023.