

风电工程建设电气管理

张文强

华润新能源（锡林浩特）有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i10.8472

[摘要] 随着新能源产业的快速发展，风电工程作为清洁能源开发的重要组成部分，其建设质量与效率直接影响风电项目的投产运营与经济效益。电气管理作为风电工程建设的核心环节，涵盖设备选型、安装调试、安全管控等多个方面，对保障风电系统稳定运行具有关键作用。本文结合新能源风力发电工程建设场景，分析了当前风电工程电气管理存在的技术标准不统一、安装质量把控不足、安全管理薄弱等问题，从电气设备管控、施工技术管理、安全体系构建、智能化管理应用等方面探讨了优化策略，通过案例验证了实践效果，并提出针对性建议，为提升风电工程建设电气管理水平、推动新能源项目高质量发展提供参考。

[关键词] 风电工程；电气管理；工程建设；新能源；施工管控

Electrical Management in Wind Power Engineering Construction

Zhang Wenqiang

China Resources New Energy (Xilinhot) Co., Ltd.

[Abstract] With the rapid development of the new energy industry, wind power projects, as a crucial component of clean energy development, directly impact project commissioning, operational efficiency, and economic benefits through construction quality and efficiency. As a core aspect of wind power engineering construction, electrical management encompasses equipment selection, installation and commissioning, safety control, and other aspects, playing a pivotal role in ensuring stable system operation. This paper analyzes current challenges in wind power project electrical management, including inconsistent technical standards, inadequate installation quality control, and weak safety management, based on real-world construction scenarios. Through case studies, it explores optimization strategies in electrical equipment management, construction technology management, safety system development, and intelligent management applications. The research validates practical effectiveness and proposes targeted recommendations to enhance electrical management standards in wind power projects, providing valuable references for promoting high-quality development of new energy initiatives.

[Key words] wind power engineering; electrical management; engineering construction; new energy; construction control

一、引言

风电工程建设涉及风电场选址、风机基础施工、电气设备安装、并网调试等复杂流程，其中电气系统作为能量转换与传输的核心，包括风机变流器、箱式变压器、集电线路、升压站等关键设备，其管理水平直接关系到风电项目的发电效率、运行安全性与使用寿命。据统计，我国风电装机容量已突破 4 亿千瓦，随着大型化、智能化风机的广泛应用，电气系统的复杂度显著提升，传统“重施工、轻管理”的模式已难以满足工程需求。

当前，风电工程电气管理面临诸多挑战：设备型号多样导致技术标准不统一，安装过程中易出现接线错误、绝缘不良等问题；施工环境恶劣（如高山、海上）增加了电气设备防护难度；并网调试阶段的参数匹配不当可能引发电网波动。因此，

构建科学的电气管理体系，对风电工程建设全过程实施精准管控，成为新能源行业高质量发展的必然要求。

二、风电工程建设电气管理的现状与问题

2.1 现状分析

风电工程电气管理主要集中在三个阶段：前期设备采购与选型（依据项目装机容量、风速条件确定设备参数）、中期安装调试（包括风机电气系统、集电线路、升压站设备的安装）、后期调试与验收（电气设备联动测试、并网性能检测）。目前，行业已形成初步的管理规范，例如：《风电场工程电气设计规划》（NB/T 10320-2019）对电气设备选型提出明确要求；大型风电企业多采用“施工单位自检 + 监理单位抽检 + 业主单位验收”的三级质量管控模式。

2.2 面临的问题

设备管控存在漏洞：电气设备采购缺乏全生命周期理念，部分项目为降低成本选择低资质厂商产品，导致设备运行稳定性差（如变压器故障发生率超 5%）；设备进场验收流于形式，未严格检测绝缘电阻、耐压性能等关键指标，某风电场因箱变进场时绝缘不合格，投运后 3 个月内发生 2 次短路事故。

施工技术标准不统一：不同施工团队对电气安装规范的理解存在差异，例如：电缆敷设的弯曲半径控制、接线端子的压接力度缺乏统一标准，导致集电线路接头过热现象频发；风机与箱变的电气连接工艺不规范，造成能量传输损耗增加 1%-3%。

安全管理体系薄弱：高空作业（如风机机舱电气安装）未严格执行防坠落措施，触电风险防控不到位（临时用电接地不规范）；极端天气（如雷雨、大风）下的施工安全预案缺失，某海上风电场因台风预警不及时，导致未安装完毕的升压站设备进水损坏。

调试与验收衔接不畅：电气调试缺乏系统性方案，各设备单体调试完成后，未进行充分的联动测试，导致并网时出现保护装置误动作；验收标准与电网要求脱节，部分项目因电压波动、谐波含量超标无法通过电网公司验收，延误投产时间。

人员专业能力不足：施工人员对新型电气设备（如智能变流器、SVG 静止无功发生器）的原理与安装要求掌握不足，依赖设备厂商技术支持，导致安装效率低；管理人员缺乏新能源电气专业知识，难以有效识别施工中的技术风险。

三、风电工程建设电气管理的优化策略

3.1 电气设备全周期管控

精准选型与采购管理：根据风电场风速特性、并网要求确定设备参数，例如：年平均风速 10m/s 以上的风场选用 2.5MW 及以上机型，配套的箱变容量需预留 10% 余量；建立合格供应商名录，优先选择通过 ISO 9001 认证、具有 3 年以上风电设备供应经验的厂商，签订合同时明确设备质保期（不低于 5 年）与技术服务条款。某风电项目通过严格选型，设备故障率从 8% 降至 2.5%。

严格进场验收流程：制定《电气设备进场验收标准》，对变压器、电缆、开关柜等设备进行开箱检查：核对型号规格与设计一致性；检测电缆绝缘电阻（应 $\geq 1000M\Omega$ ）、开关设备耐压性能（按 1.5 倍额定电压测试）；对关键部件（如风机主控系统）进行通电测试，记录运行参数。验收不合格的设备严禁入场，某项目通过该流程拦截了 3 批存在绝缘缺陷的电缆。

存储与防护管理：根据设备特性制定存储方案，例如：电气控制柜应存放在干燥通风的库房，相对湿度控制在 50%-70%；电缆盘需架空放置，避免受潮；海上风电设备需采取防盐雾腐蚀措施（如喷涂防腐涂料）。建立设备存储台账，记录出入库时间与状态，防止错用、混用。

3.2 施工过程电气技术管理

标准化施工工艺：编制《风电工程电气施工工艺手册》，明确关键工序的技术要求：

电缆敷设：35kV 及以上电缆弯曲半径不小于 15 倍电缆直径，敷设后需进行绝缘测试与耐压试验；

接线工艺：端子压接应使用专用工具，压接深度符合规范，多股导线需加装线鼻子，确保接触电阻 $\leq 0.01\Omega$ ；

接地系统：风机基础接地网接地电阻应 $\leq 4\Omega$ ，采用热镀锌扁钢连接，焊接长度不小于扁钢宽度的 2 倍。

某风电场通过标准化施工，集电线路接头过热故障减少 90%。

分阶段技术交底：施工前组织技术交底会，向施工团队讲解设计图纸、工艺标准、安全注意事项；针对复杂工序（如升压站 GIS 设备安装），邀请设备厂商进行专项培训，现场演示操作流程；每个施工班组配备技术指导人员，实时解决现场技术问题。

过程质量抽检：监理单位按 5% 的比例对电气安装质量进行抽检，重点检查：电缆绝缘层是否受损、接线端子是否紧固、接地焊接是否达标；使用红外测温仪检测接头温度，确保运行时不超过 70℃；对已安装的电气设备进行密封性测试（如 IP65 防护等级测试）。发现问题立即整改，整改合格后方可进入下一工序。

3.3 安全管理体系构建

风险分级防控：开展电气施工安全风险辨识，将高空作业、带电调试、雷雨天气施工列为一级风险，制定专项防控措施：高空作业时必须使用双钩安全带，搭设安全网；带电作业前办理工作票，设置监护人，使用绝缘工具；遇雷雨天气立即停止户外电气施工，将设备接地保护。

临时用电管理：严格执行《施工现场临时用电安全技术规范》（JGJ46-2005），临时电缆采用架空或穿管敷设，避免碾压；配电箱加装漏电保护器（动作电流 $\leq 30mA$ ，动作时间 $\leq 0.1s$ ），实行“一机一闸一保护”；每天施工前检查临时用电线路绝缘情况，严禁私拉乱接。

应急能力建设：编制电气施工应急预案，涵盖触电、设备火灾、台风等突发事件，明确应急处置流程与责任人；配备应急物资（如绝缘手套、灭火器、急救箱），定期组织演练（每季度至少 1 次）；与附近医院、供电部门建立应急联动机制，确保突发事件能快速响应。

3.4 调试与验收管理

系统性调试方案：制定分阶段调试计划，包括单体调试（如变流器功能测试）、分系统调试（如集电线路通电测试）、整套启动调试（如风机并网测试）。调试前检查设备接线、接地、绝缘等状态，调试过程中记录关键参数（如变流器转换效率、升压站电压偏差），确保符合设计要求。例如：风机并网时需测试有功功率调节范围、无功补偿能力，谐波电流总畸变率应 $\leq 5\%$ 。

并网验收协同：提前与电网公司沟通验收标准，邀请电网调度人员参与调试过程，重点关注：电压波动（ $\leq \pm 2\%$ 额定电压）、频率偏差（ $\leq \pm 0.2Hz$ ）、低电压穿越能力（电压跌落至 20% 额定值时保持并网 $\geq 0.6s$ ）。对验收中发现的问题（如谐波超标），及时调整设备参数（如增加滤波器容量），确保一次性通过电网验收。

资料归档管理：收集整理电气施工全过程资料，包括设备合格证、安装记录、调试报告、验收证书等，按《建设工程文

件归档规范》（GB/T 50328-2014）要求归档，为后续运维提供依据。

3.5 智能化管理技术应用

BIM 技术应用：构建风电工程电气系统 BIM 模型，模拟电缆敷设路径、设备安装位置，提前发现空间冲突（如电缆与管道交叉）；通过模型可视化交底，提高施工团队对复杂电气系统的理解效率，某项目应用 BIM 后，电气施工返工率下降 30%。

物联网监控系统：在关键电气设备（如箱变、开关柜）安装传感器，实时监测温度、湿度、电流、电压等参数，数据传输至管理平台，异常时自动报警。例如：箱变温度超过 80℃ 时，系统推送预警信息，管理人员可及时安排检查，避免设备过热损坏。

移动验收平台：使用手机 APP 记录电气安装验收数据，上传现场照片与测试结果，实现验收流程线上审批，提高验收效率与数据可追溯性。某风电项目通过移动平台，验收周期从 15 天缩短至 7 天。

四、应用案例

某 50MW 陆上风电项目为提升电气管理水平，实施了以下优化措施：

1. 设备管控：选用知名品牌 2.5MW 风机，配套 35kV 箱变，进场验收时增加绝缘电阻与耐压测试，合格率 100%；存储过程中对电缆采取防潮措施，定期检测绝缘性能。

2. 施工管理：制定标准化施工工艺，对电缆敷设、接地焊接等工序进行技术交底；监理单位按 10% 比例抽检，重点监控接头压接质量与接地电阻，整改合格率 100%。

3. 安全防控：识别一级风险点 8 处，配备绝缘工具与应急物资，开展触电应急演练 2 次；临时用电严格执行“一机一闸一保护”，未发生安全事故。

4. 调试验收：邀请电网公司参与调试，测试风机并网性能，通过调整 SVG 参数使谐波含量控制在 3% 以内，一次性通过并网验收。

5. 智能技术：应用 BIM 模型优化电缆路径，减少交叉敷设；在箱变安装温度传感器，实现实时监控。

项目投产后，电气系统运行稳定，设备故障间隔时间达 18 个月以上，发电效率比预期提升 2%，提前 15 天完成并网目标。

五、发展建议

5.1 完善行业标准体系

行业协会应牵头制定统一的风电工程电气管理标准，明确设备选型、安装工艺、调试验收的具体要求；推动新能源与电网标准衔接，避免因标准不一致导致的验收延误；定期更新标准内容，适应风机大型化、智能化的发展趋势。

5.2 加强专业人才培养

高校与职业院校增设风电电气专业，开设《风电场电气系统》《新能源并网技术》等课程；企业开展内部培训，邀请设备厂商、行业专家授课，每年培训时长不少于 80 学时；鼓励员工考取注册电气工程师（发输变电）资格证书，提升专业能力。

5.3 推动技术创新与应用

支持智能化管理技术研发，如基于 AI 的电气故障预警系统、无人机电缆巡检技术；推广 BIM、物联网等技术在风电工程中的应用，建立数字化管理平台；设备厂商应提升产品的智能化水平，如开发带远程诊断功能的变流器，降低运维难度。

5.4 强化全过程协同管理

建立业主、设计、施工、监理、设备厂商“五位一体”的协同机制，定期召开协调会解决电气管理问题；施工前共享设计图纸与技术要求，施工中实时沟通进度与质量，投产后共同参与调试验收，形成管理闭环。

六、结论

风电工程建设电气管理是保障风电项目安全稳定运行的核心。在设备全周期管控方面，从前期选型阶段，需结合风电场的实际地理环境、气候条件及预期发电量，运用大数据分析对比不同品牌、型号设备的性能参数与可靠性数据，筛选出适配设备；采购环节建立严格供应商评估体系，确保设备质量；安装调试阶段，依据详细的技术规范书进行精准安装与性能测试；运行维护阶段，通过物联网传感器实时采集设备温度、振动、电流等数据，运用故障预测模型提前预警潜在故障。

智能化技术应用中，引入数字孪生技术构建虚拟风电场模型，对电气系统运行状态进行实时模拟与优化；利用人工智能算法对海量运行数据进行深度分析，实现设备故障智能诊断与优化运行策略制定。通过这些策略，可有效解决当前存在的技术不规范、安全风险高、调试验收难等问题。例如，某沿海风电场项目在实施上述电气管理措施后，工程质量验收合格率从 85% 提升至 98%，建设周期缩短了 15%，发电效率提高了 12%，充分证明科学的电气管理能显著提升工程质量、缩短建设周期、提高发电效率。

未来，随着新能源产业的持续发展，风电工程电气管理将向“数字化、智能化、协同化”方向升级。数字化层面，全面构建基于 5G 与云计算的智能管理平台，实现电气设备全生命周期数据的实时共享与高效管理；智能化方面，不断迭代升级人工智能算法，提升设备故障预测与运维决策的精准度；协同化则加强风电项目各参与方如设计单位、设备供应商、施工单位、运维单位之间的信息共享与协同合作，打破信息孤岛。通过持续的技术创新与管理优化，为风电项目的高质量发展提供坚实支撑，推动我国清洁能源开发迈上新台阶。

[参考文献]

- [1]中国电力企业联合会。风电场工程建设标准汇编 [M]。北京：中国电力出版社，2022。
- [2]李建华，王军。风力发电场电气设计与施工 [M]。北京：机械工业出版社，2021。
- [3]张志强，刘敏。风电工程电气安装质量控制要点 [J]。电力建设，2023，44（3）：89-95。
- [4]陈勇，赵伟。智能化技术在风电场电气管理中的应用 [J]。新能源进展，2022，10（2）：167-173。
- [5]王明，杨丽。风电项目并网调试与验收技术规范研究 [J]。电网技术，2021，45（5）：1820-1826。