

# 风电场电气控制回路的故障排查与处理方法

赵祥凯 石峰 毕伟杰 吴旭东 田波

华能内蒙古蒙东新能源有限公司, 内蒙古赤峰, 024000;

**摘要:** 风电场电气控制回路是机组运行的核心调控单元, 运行稳定性直接影响风电场的发电效率和设备安全。本文主要研究风电场电气控制回路故障排查与处理, 先明确控制回路的核心构成及故障影响, 再阐述故障排查的前期准备要点, 系统提出直观检查、仪表测量、回路分割等排查方法, 针对性给出不同类型故障的处理策略, 最后总结故障预防的关键措施。通过规范的排查流程、科学的处理方法可以有效提高控制回路故障处置效率, 减少故障停机损失, 为风电场电气系统稳定运行提供技术支持。

**关键词:** 风电场; 电气控制回路; 故障排查

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.03.005

## 引言

风电能源规模化发展过程中, 风电场电气控制回路承担着机组启停、功率调节、安全保护等重要功能, 风电场整体运行效益的好坏取决于风电场电气控制回路工况的稳定性。由于风电场大多处在恶劣的户外环境中, 控制回路的故障很容易受到温度、湿度变化、电磁干扰、机械磨损等因素的影响, 如果处理不及时或者方法不当, 会造成机组停机甚至造成设备损坏。因此建立科学规范的故障排查体系, 掌握精准高效的处理方法, 对于保证风电场电气控制回路持续稳定运行有着十分重要的现实意义。本文根据风电场电气控制回路运行特点, 对故障排查与处理的主要技术要点进行分析。

## 1 风电场电气控制回路的构成与故障影响

### 1.1 电气控制回路的核心构成

风电场电气控制回路主要由塔基主控制站、机舱控制站、变桨距控制系统、变流器控制回路、安全链保护回路等组成, 各单元之间通过工业以太网、CANOPEN等现场总线进行数据交换和指令传输。塔基主控制站是中枢, 装有高性能控制器和 I/O 模块, 用组态软件来实现机组运行逻辑的精确控制; 机舱控制站负责采集转速、温度等运行参数, 与主控制器配合完成偏航、解缆等任务; 变桨距和变流器控制回路通过调节桨叶角度和电能变换, 保证机组运行在最佳发电状态; 安全链保护回路是独立于主控系统的硬件防护单元, 串联各种致命故障监测节点, 保证危急工况下机组紧急停机脱网<sup>[1]</sup>。

### 1.2 故障对风电场运行的影响

电气控制回路故障会直接造成机组控制功能失效, 引起各种运行问题: 变桨距控制回路故障会致使桨叶调

节失灵, 机组不能根据风速变化来捕获最佳风能, 甚至会出现超速风险; 变流器控制回路异常会造成电能变换受阻, 影响机组并网稳定性, 引发功率波动; 安全链回路故障会导致保护功能缺失, 不能在超工况下及时停机, 加重设备损坏程度; 控制电源回路故障会导致整个控制体系失电, 机组全面停机, 造成发电量的大幅损失。

## 2 风电场电气控制回路故障排查的前期准备

### 2.1 技术资料与工具准备

故障排查前要全面收集控制回路的电气原理图、接线图、设备说明书等技术资料, 明确回路中各个元件的型号参数、接线方式、逻辑关系, 给故障定位提供理论依据。同时需要准备相应的检测工具和防护装备, 检测工具包括万用表、示波器、绝缘摇表、回路通断测试仪等, 可以对电压、电流、电阻、信号波形进行准确的测量; 防护装备包括绝缘手套、绝缘鞋、验电器等, 保证排查过程中的人身和设备安全<sup>[2]</sup>。另外还要准备临时接线、备用元件等辅助材料, 便于排查过程中对电路进行测试和应急处理。

### 2.2 安全防护措施落实

风电场电气控制回路多用高压元件和直流电源, 在排查之前必须严格落实安全防护措施。首先要经调度许可, 将故障机组操作到冷备用状态, 退出相关保护装置和自动控制功能, 避免排查操作造成误动作; 控制回路停电操作后, 必须用验电器确认停电状态, 在电源端挂上“禁止合闸, 有人工作”的标志, 并装设接地线进行短路保护; 排查过程中必须严格遵守高压作业规程, 不能单人操作, 重要环节要安排专人监护, 防止感应电、电弧灼伤等安全事故发生<sup>[3]</sup>。

### 3 风电场电气控制回路故障的排查方法

#### 3.1 资料与安全前置排查法

故障排查前要准备好控制回路接线图、设备说明书和历史故障记录,明确回路拓扑及关键节点参数,重点标注分支回路接口定义、保护元件型号及联动逻辑关系,通过历史故障记录对比分析高频故障点和季节相关性故障规律。严格实行上锁挂牌程序,切断回路电源和备用电源,用验电笔确认断电之后,再进行接地电阻测试,戴上绝缘手套、护目镜、绝缘鞋等全套防护装备,搭建临时安全警示区<sup>[1]</sup>。通过 SCADA 系统调取报警信息,按照时间轴、回路类型进行筛选,确定故障关联回路,先标注高压控制柜、继电器柜、通讯网关等关键区域,同时记录故障发生时电网电压、环境温湿度等辅助参数。

#### 3.2 先外后内分层检测法

按照先外部后内部、先简单后复杂的原则,先检查回路外部接线端子、插头是否松动、氧化,重点排查振动区、户外接头和潮湿环境下的导线绝缘层,查看有无破损、老化、鼠咬痕迹。用高精度万用表测量回路电压、电阻值,与设备说明书标注的标准参数对比,偏差超过 $\pm 5\%$ 时标记异常,同步用红外测温仪初查端子温升情况<sup>[4]</sup>。外部无异常之后,用专用工具逐步拆解控制柜,防止强行撬动造成部件损坏,检查继电器、接触器触点是否粘连、烧蚀,熔断器熔断时要记录熔断状态来判断故障类型。重点检测回路的关键节点通断情况,逐段排查断线、短路隐患,用兆欧表辅助检测绝缘情况,不能直接跳过基本环节拆卸内部件,大大提高排查效率和准确性<sup>[5]</sup>。

#### 3.3 模块替换与逻辑验证法

对于通讯类、控制模块类故障,使用同型号备用模块替换疑似故障模块,替换前核对模块版本、接线定义并拍照存档,替换后重启回路观察故障是否消除,快速定位故障部件。通过 PLC 编程软件读取控制回路逻辑指令,按照梯形图逐段分析逻辑行,校验 LD、OUT 等基本指令是否正常,核对信号传输路径是否通畅、逻辑设置是否符合规范,和备份程序进行对比排除误修改的情况<sup>[6]</sup>。对双重冗余回路做模拟故障情景测试,查看备用链路切换逻辑是否正常,检查切换延时是否在规定阈值内,排除程序延时、指令错误、链路优先级设置错误等。同时结合红外测温仪检测部件温升,重点检测模块引脚、通讯接口温升是否超过 $40^{\circ}\text{C}$ ,排查隐性接触不良故障,搭配 CAN 总线调试工具校验数据传输稳定性,保证电气和逻辑层面都没有隐患。

### 4 风电场电气控制回路常见故障的处理方法

#### 4.1 接线端子松动与氧化故障处理

此类故障容易造成回路接触电阻增大、信号中断,在断电之后做好接线标记。用细砂纸打磨氧化端子,清除表面锈蚀层,更换破损接线端子。用相应的扭矩扳手紧固螺丝,使接触电阻不大于 $0.5\ \Omega$ 。对振动区域的接线加装防松垫圈,用阻燃绝缘胶带缠绕加固。恢复接线之后测量回路的通断状态和绝缘电阻,保证 $\geq 100\text{M}\ \Omega$ 。处理后试运行 30 分钟,无异常再结束作业,防止振动造成松动<sup>[7]</sup>。

#### 4.2 继电器与接触器故障处理

故障多为触点粘连、线圈烧蚀,处理时先记下原来的接线位置并拍照存档。拆除故障继电器,清洗底座触点,换上同型号认证件,按原来的接线顺序复位,紧固端子至规定的扭矩。如果线圈烧蚀,就要同时检查供电电压是否稳定,排除过压冲击的隐患。更换之后手动触动触点通断三次,检验动作灵活无卡顿。对接触器补充或更换触点灭弧装置,检查铁芯吸合间隙,保证回路通断可靠,没有电弧灼烧的风险。

#### 4.3 回路绝缘破损与短路故障处理

先断电隔离故障回路,检查绝缘破损处,若导线局部破损用绝缘胶带缠绕修复,破损严重则更换同规格阻燃电缆。对相间短路故障,检查熔断器、断路器动作情况,更换损坏的保护元件。修复后用兆欧表进行绝缘试验,保证回路绝缘电阻符合要求,必要时做直流耐压试验。清理回路杂物、粉尘,优化布线防止导线挤压摩擦。对潮湿环境下的回路加装防潮装置,消除绝缘老化的原因,防止故障再次发生<sup>[8]</sup>。

### 5 风电场电气控制回路故障的预防措施

#### 5.1 完善日常巡检机制

建立常态化的控制回路巡检制度,制定出巡检清单,确定巡检周期、巡检内容、巡检标准。巡检时主要对控制回路的接线状况、元件运行情况、仪表指示数值进行检查,及时发现并处理导线松动、元件老化、积尘受潮等隐患;对户外端子箱、机舱控制站等容易受环境影响的部位加强密封检查,定期清理内部积尘,更换老化的密封件,防止雨水、湿气侵入;对接触器、继电器等重要控制元件定期做动作试验,保证元件性能稳定,隐患早发现、早处理<sup>[9]</sup>。

#### 5.2 强化环境防护改造

根据风电场恶劣的环境特点,对电气控制回路做针对性的环境防护改造。在高温高湿地区给控制柜加装空调、除湿装置,保持内部温湿度在合适的范围内,防止元件受潮、老化,在多风沙地区改进端子箱密封结构,加装防尘滤网,减少沙尘对元件触点的磨损,在雷电高发地区完善控制回路的防雷接地系统,在电源端、信号端加装防雷器,降低雷击对控制回路的损坏风险,同时采取电磁屏蔽措施,对敏感信号线路加装屏蔽层,减少变频器、电机等设备产生的电磁干扰,保证控制回路稳定运行。

### 5.3 提升运维人员技能

运维人员的专业技能决定着故障排查与处理的效率和质量,因此要加强对运维人员的技术培训,提高运维人员对控制回路原理、故障排查方法的掌握程度。定期开展技术交底和实操演练,模拟各种常见的故障场景,使运维人员熟悉排查流程和处理技巧,积累实战经验,建立技术交流平台,鼓励运维人员分享故障处理案例,总结排查过程中遇到的难点及解决方法,提高团队整体技术水平,配备先进的故障检测设备,开展智能化运维技术培训,使运维人员掌握仪器操作方法,提高故障定位的准确性。

## 6 故障排查与处理的质量管控要点

### 6.1 故障记录与分析

故障排查和处理时要对故障发生时间、工况条件、故障现象、排查步骤、测量数据、处理措施及结果等做详细的记录,形成完整的故障档案。对故障档案定时统计分析,找出故障高发的回路部位和元件种类,剖析故障产生缘由,给改进预防办法赋予数据支撑。同时对故障进行分析,从中总结出排查、处理过程中的不足,完善排查流程,提高故障处置的规范性、高效性。

### 6.2 处理后的验证测试

故障处理完毕后进行全面的验证测试,保证故障被彻底排除并且控制回路的功能恢复正常。测试内容包含回路通断测试、绝缘电阻测试、电气参数测量、信号传输测试等,检验回路接线是否正确可靠,模拟运行工况,检验控制回路指令执行情况,检验机组启停、参数调节、安全保护等功能是否正常,在机组恢复运行之后,持续监测控制回路运行状态,观察元件温度、仪表指示、

信号波形等参数,确认无异常之后完成故障处置闭环。验证测试过程中要做好记录,发现问题及时返工处理,防止故障遗留<sup>[10]</sup>。

## 7 结语

风电场电气控制回路故障排查与处理,是保证风电场正常运行的重要技术工作,应根据回路构成特点和运行环境特点,采用科学的排查方法和处理措施。通过完善前期准备工作、灵活使用直观检查、仪表测量、回路分割等排查手段,可以准确找到各种故障;对电源回路、控制元件、信号传输等不同类型的故障采取相应的处理措施,可以有效地恢复回路功能。同时加强日常巡检、环境防护、人员培训等预防工作,加强故障处理质量控制,可以有效地降低故障发生率,提高风电场运行的稳定性、经济性。今后要不断改进故障排查和处理技术,以适应风电场规模化、智能化发展的需要。

### 参考文献

- [1] 罗紫韧. 分布式储能型风电场一次调频控制策略研究[D]. 湖南大学, 2023.
- [2] 赵旭, 张利军, 王厚朋, 杨化君, 闫国栋, 李晓鹤. 某风电场电气系统谐波治理案例分析[A] 2021年电力行业技术监督优秀论文集[C]. 中国电力技术市场协会, 中国电力技术市场协会, 2021: 5.
- [3] 周春生. 风电场电气设备后评价内容探讨[J]. 中国设备工程, 2021, (17): 233-234.
- [4] 岳伟, 白友清, 李磊. 风电场防雷接地系统相关技术[J]. 电力设备管理, 2021, (07): 107-108.
- [5] 周恭金, 黄金定. 一起风电场电气误操作案例分析和防范措施[J]. 低碳世界, 2021, 11(05): 83-84.
- [6] 刘蔚峰. 风电场升压站电气主接线方案的探讨[J]. 中国电力企业管理, 2021, (09): 76-77.
- [7] 彭宁. 风电场电气设备安全运行的管理维护对策研究[J]. 低碳世界, 2020, 10(11): 126-127.
- [8] 唐书良. 风电场电气设备中风力发电机的运行维护[J]. 通信电源技术, 2020, 37(04): 220-221.
- [9] 严婷婷, 邱隽. 风电场电气功率预测数学建模研究[J]. 建材与装饰, 2019, (35): 236-237.
- [10] 徐邦伟. 风电场电气设备中风力发电机的运行维护[J]. 门窗, 2019, (22): 266.