

# 风力发电项目升压站电气设备的安装、调试要点分析

贺麟强

国投云南新能源有限公司, 云南昆明, 650200;

**摘要:** 在风力发电场进行建设时, 升压站属于电能汇集、送出的关键部位, 其中电气设备的安装质量、调试效果, 对于风电场投入运行后的安全性与稳定性有着直接影响。本文以风力发电项目的升压站主要电气设备为核心, 整理了变压器、断路器、隔离开关、二次屏柜等设备在安装过程中的关键技术要点, 同时针对设备调试阶段所涉及的绝缘测试、机械特性试验、保护装置校验、回路检查、信号对点等环节进行了分析工作, 并提出了各个环节应当关注的技术细节、质量控制措施。经过安装与调试这两个阶段的紧密配合、规范操作, 能够提高升压站电气设备的运行可靠性, 从而为风力发电项目的高质量并网给予技术支持。

**关键词:** 风力发电; 升压站; 电气设备; 安装工艺; 调试技术

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.05.001

随着风力发电在能源结构里所占比重持续提高, 风电项目的建设规模渐渐扩大, 升压站作为风电场跟电网之间的连接枢纽, 肩负着电压变换、电能分配、系统保护、调度控制等多项功能。升压站内电气设备的安装精度跟调试质量, 对风电场能否安全、稳定且高效地投入运行有着直接影响。在实际工程实践当中, 因为很多风力发电项目处在偏远地区, 自然环境复杂, 施工条件受到限制, 再加上设备种类繁多、技术参数要求较高, 所以安装与调试工作面临着诸多挑战。系统梳理升压站电气设备安装跟调试的技术要点, 明确各环节的操作规范和质量控制要求, 对保障风力发电项目顺利并网、长期稳定运行意义重大。

## 1 风力发电项目升压站电气设备的安装要点

风力发电项目升压站电气设备安装阶段涉及到多个程序, 相关人员应着重分析具体要求, 明确安装细节, 保障基本的安装质量。

### 1.1 变压器本体就位调平

安装人员在变压器就位以前, 要对基础轨道或者预埋钢板的水平度加以复核, 运用精密水准仪去测量基础表面各个关键点的高程, 保证偏差能控制在设备技术文件所规定的范围之内<sup>[1]</sup>。本体运输到现场之后, 运用液压千斤顶与滚杠配合这种方式, 把变压器慢慢推移到基础中心线位置, 推移过程里要让设备本体处于水平状态, 防止因倾斜致使内部绝缘结构受到损害。就位完成以后, 技术人员使用框式水平仪在变压器顶盖上平面或者专用调平基准面上进行测量, 借助调整基础与本体之间垫铁的厚度来消除水平度偏差, 一般来讲沿绕组轴线方向、

垂直于轴线方向的水平度都不能超过千分之一。调平工作结束后, 需把垫铁与基础预埋件进行点焊固定, 并且复测水平度确认没有变化之后才能够进入后续工序。

### 1.2 附件散热器密封安装

相关人员在具体操作时应明确各个部件的安装标准, 落实好安装细节。散热器属于变压器的关键附件, 其密封安装状况对于变压器油的循环冷却成效、绝缘性能有着直接的关联。在安装之前, 施工人员要逐个检查散热器本体在运输期间是否存在碰撞变形的情况, 并且运用压缩空气对散热器内部加以吹扫, 以此清除有可能存在的灰尘、杂物<sup>[2]</sup>。当散热器与变压器本体进行连接时, 一般会采用法兰盘搭配耐油橡胶密封垫的结构形式, 在安装之前要在密封垫表面均匀涂抹一层较薄的密封胶, 并且把密封垫准确放置在法兰的密封槽内, 绝对禁止出现扭曲或者偏移的状况。紧固法兰螺栓的时候应当采用对角交替紧固的方法, 分三次逐步施加力矩, 让密封垫均匀受压, 最终力矩值要符合设备技术文件的规定。对于采用蝶阀控制的散热器组而言, 安装完毕之后需要将蝶阀全部打开, 并且检查各个连接部位是否有渗漏现象, 必要之时可以对散热器系统进行油压试验来验证密封效果。

### 1.3 断路器垂直固定检漏

断路器垂直固定检漏乃是保障断路器开断性能、绝缘水平的关键点。就拿 SF6 断路器来说, 在安装之前, 要针对其基座或者支架的安装面进行水平度校验工作, 借助水准仪来测量安装面的高程偏差, 并且通过垫铁调整, 以此保证断路器本体在安装就位的时候处于垂

直状态。断路器本体吊装就位之后,运用经纬仪在相互垂直的两个方向上测量瓷套或者绝缘筒的垂直度,垂直度偏差一般情况下不应超过千分之一,对于长杆型断路器结构而言,垂直度控制要求更为严苛。垂直度调整到位以后,对地脚螺栓进行紧固操作,紧固过程同样采用对角交替施力的方式,避免因紧固力矩不均致使设备倾斜<sup>[3]</sup>。断路器安装完毕后,需要进行气室的检漏工作,通常运用局部包扎法或者红外成像检漏仪对法兰连接面、阀门接口、密度继电器连接处等关键部位进行检测,检漏结果必须符合设备技术文件、相关标准的要求,任何泄漏点的存在都需要进行返工处理直至合格。

#### 1.4 隔离开关触头涂脂

施工人员在涂脂之前要对触头表面进行全面清洁工作,借助无水酒精或者专用清洗剂去擦除触头表面的氧化层、油污、残留的旧润滑脂,等到清洗剂完全挥发之后才能够进行涂脂作业。润滑脂的选择必须严格依照设备技术文件的规定来进行,一般会采用导电性能良好同时具备抗氧化、耐低温特性的电力复合脂。涂脂的时候运用毛刷或者专用工具把电力复合脂均匀涂抹在动触头与静触头的接触面上,涂覆厚度通常控制在0.1毫米至0.3毫米的范围当中,倘若过薄就很难形成有效的润滑与防护膜,要是过厚则有可能因为油膜电阻过大对导电性能产生影响。对于触指式结构而言,还得保证润滑脂进入触指弹簧缝隙,以此确保触指动作灵活且可靠。涂脂完成之后要进行分合闸操作试验,观察触头接触行程与接触压力是不是符合要求,并且检查涂脂层在分合过程中是否均匀展布。

#### 1.5 二次屏柜固定排线

在屏柜安装之前,技术人员要依据设计图纸来核对基础槽钢的布置位置、水平度情况,槽钢顶面标高偏差必须控制在允许的范围之内,相邻屏柜基础槽钢的中心距应当和屏柜宽度相互匹配。屏柜就位的时候,借助吊车或者液压搬运车把柜体平稳地移至基础槽钢上,依照设计顺序逐个排列,运用撬杠对屏柜位置进行微调,让其排列得整整齐齐。屏柜之间运用螺栓连接,连接螺栓紧固之后,利用水平尺和线坠检查屏柜的垂直度与水平度,垂直度偏差不可以超过千分之一点五,相邻屏柜的正面平面度偏差也不能超过规定的值。屏柜固定采用焊接或者螺栓连接的方式,焊接时要在基础槽钢与屏柜底框之间进行点焊,焊点要均匀分布并做好防锈处理。二次电缆排线遵循强电和弱电分开、交流和直流分开、输

入和输出分开的原则,电缆芯线进入端子排之前要预留适当的弯曲长度来消除应力,芯线束采用扎带或者缠绕管进行绑扎,绑扎间距均匀而且松紧合适。

## 2 风力发电项目升压站电气设备的调试要点

### 2.1 变压器绝缘电阻直流电阻测试

进行绝缘电阻测试时,调试人员要选用对应电压等级的兆欧表,分别测量高压绕组对低压绕组、地、低压绕组对高压绕组、地、铁心及夹件对地的绝缘电阻值。测试以前需把被测绕组充分放电,测试期间要记录环境温度与湿度,还要把实测值换算到同一温度条件下做比较,以此准确判断绝缘有没有受潮或者贯穿性缺陷<sup>[4]</sup>。直流电阻测试主要是检查绕组接头是否牢固、分接开关接触是否良好、绕组是否有断股或匝间短路。测试时一般用直流电阻测试仪,分别测量高压侧各分接位置下的直流电阻、低压侧各相的直流电阻,要求各相间误差不超过规定限值,而且和出厂试验数据相比没有明显变化。两项测试结束后,调试人员要整理完整的原始记录,将其当作设备是否具备耐压及投运条件的重要依据。

### 2.2 开关机械特性分合闸时间速度测定

调试人员要把机械特性测试仪和断路器操作机构进行正确连接,在额定操作电压的状况下进行分闸、合闸操作,记录各相触头的合闸时间、分闸时间、合闸同期性、分闸同期性,还有刚分速度、刚合速度等关键参数。测试的时候要分别模拟额定电压、最低操作电压、最高操作电压这三种工况,以此来验证操作机构在不同电源条件下的动作稳定性。对于采用弹簧储能机构的断路器,还得检查储能电机的运行状态、储能时间、储能指示是否正确。所有实测数据都要和断路器出厂试验报告、规程要求一项一项地比对,保证各项参数都在允许范围之内,以此保证开关在系统出现故障时能够依照预定程序准确切除故障电流。

### 2.3 保护装置定值输入与传动试验

调试人员会先根据设计图纸、正式下发的保护定值单,把各保护装置的定值一项一项地输入进去,这里面包括电流、电压、时间等整定参数,还有保护功能的投退状态。定值输入完毕后,要借助打印或者导出功能来进行复核,以此保证输入的内容和定值单完全一样,避免因人为疏忽致使保护出现误动或者拒动的情况。在传动试验阶段,调试人员利用继电保护测试仪模拟一次系统的各种故障,给保护装置施加相应的电气量,检验

保护装置能不能依照预设值准确动作,并且通过操作箱或者智能终端出口跳开相应的断路器,与此同时发出动作信号。传动试验应当涵盖主保护和后备保护,像过流保护、零序保护、差动保护、非电量保护等类型,试验过程中要一项一项记录动作值、动作时间、出口逻辑,保证保护装置的动作特性和整定要求相契合,而且跳闸出口回路准确无误。

#### 2.4 电流电压回路通流加压检查

在电流回路检查工作中,调试人员一般会运用通流法,也就是从电流互感器的一次侧施加试验电流,在二次侧借助钳形电流表去测量各相电流的幅值、相位,以此来确定二次回路没有开路情况,极性是正确的,变比相互匹配,并且接地方式契合设计要求。要是回路涉及差动保护,那么还需要进行六角图测试,以此保证两侧电流的相位关系能够满足保护装置的规定<sup>[5]</sup>。电压回路检查运用的是加压法,是从电压互感器的二次侧或者端子箱处施加额定电压,在保护装置、测控装置、计量表计这些地方分别测量电压的幅值、相序、相位关系,进而确认回路没有短路,接地正确,相序和一次系统保持一致<sup>[6]</sup>。当这两项检查都完成之后,调试人员要形成详细的测试记录,并且在一次设备送电之前再次组织回路核查,确保所有二次回路的正确性、可靠性能够得到最终的确认。

#### 2.5 信号上传调度核对完整无误

调试人员完成保护装置、测控装置、智能终端等设备的单体调试之后,要配合调度中心进行信号对点工作。在对点过程里,现场人员于站端逐个模拟各类开关量信号,像断路器分合闸位置、隔离开关位置、保护动作信号、装置异常信号还有事故总信号等,由调度端人员同步确认接收到的信号名称、状态、时标是否和现场实际相符<sup>[7]</sup>。对于模拟量信号,借助加量或者改变运行状态的方式,验证电流、电压、功率、频率等遥测数据上送调度的准确性与实时性。对点工作要逐点进行、逐项确认,所有信号核对无误后,双方共同签署信号对点确认单,作为系统具备投运条件的重要凭证。到这时,升压站电气设备的各项调试工作才宣告完成,为后续整站带

电、风电机组并网运行提供了坚实保障。

### 3 结语

总的来说,风力发电项目升压站电气设备的安装与调试是保障风电场安全并网及稳定运行的关键所在。安装阶段要着重留意变压器本体就位调平、附件密封安装、断路器垂直固定与检漏、隔离开关触头涂脂、二次屏柜固定排线等要点,以此保证设备初始状态符合运行要求。调试阶段借助变压器绝缘电阻与直流电阻测试、开关机械特性测定、保护装置定值输入与传动试验、电流电压回路通流加压检查、信号上传调度核对等步骤,达成设备性能验证与回路完整性确认。唯有把安装工艺控制和调试质量把关结合起来,严格依照技术规范操作,方可确保升压站电气设备以最优状态投入运行。

#### 参考文献

- [1] 钟伟. 浅谈风电场35kV接地变故障联跳汇集母线断路器逻辑判据的改进与优化[J]. 风能, 2026, (02): 88-90.
- [2] 陆翔宇. 深远海海上风电升压站电气设备施工调试关键技术与管理实践——以青洲六项目为例[J]. 工程建设与设计, 2026, (02): 29-31.
- [3] 李岩, 刘晓坤, 赵文乾, 宋浩源, 甄冠成, 梁雨薇. 基于DMST-PSO算法的海上风电集电系统升压站优化选址[J]. 电力科学与技术学报, 2025, 40(03): 133-140.
- [4] 马智, 蔺红, 樊艳芳. 基于有限控制集模型预测控制的全直流风电系统电压稳定控制[J]. 可再生能源, 2025, 43(04): 534-541.
- [5] 张振, 李炬添, 毕书奇, 徐晓燕, 林睿, 欧阳金鑫. 基于改进CRITIC熵权组合赋权法的海上风电系统规划综合评价方法[J]. 电工电能新技术, 2024, 43(11): 1-10.
- [6] 陈健. 构建海上风电项目安全智能管控体系服务涉海新业态高质量发展[J]. 中国海事, 2024, (09): 44-45.
- [7] 易海, 吕宙安, 张伶俐, 陈希, 柳典, 黄雨薇, 韩星星, 许昌. 基于改进模糊C-均值聚类的陆上风电场集电线路回路划分与拓扑结构优化[J]. 发电技术, 2024, 45(04): 675-683.