

风力发电机组变流器的检修和维护研究

王誉杰

国电电力内蒙古新能源开发有限公司 内蒙古 呼和浩特 010040

摘要：本文深入探讨了风力发电机组变流器的检修与维护。首先详述了变流器结构，包括功率模块、控制系统、冷却系统及保护系统，明晰其工作原理为将不稳定电能转为稳定电能。分析了功率模块高负荷散热不佳、控制系统硬件老化软件漏洞、冷却系统风扇散热片故障等常见故障。然后提出预防性、故障及改进性检修策略，并强调日常维护重要性，介绍维护周期制定与维护措施。最后展望智能化检修与新材料新技术应用，将为变流器稳定运行提供新动力，革新维护工作。

关键词：风力发电机组；变流器；检修；维护

1 风力发电机组变流器的结构与工作原理

1.1 风力发电机组变流器的结构

风力发电机组变流器在整个发电系统里占据关键地位，其结构精妙且复杂，主要由功率模块、控制系统、冷却系统和保护系统四大部分协同构成，共同确保将风力发电机产出的不稳定电能，高效且稳定地转换为契合电网标准的电能。功率模块作为变流器的核心，承担电能转换重任，多由绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、门极可关断晶闸管（GTO）这类高性能半导体器件搭建。以IGBT为例，其内部结构包含P型、N型半导体层，通过控制栅极电压，能够快速精准地实现导通与关断，在高电压、大电流工况下，将风力发电机发出的交流电整流为直流电，再逆变为符合电网频率、电压要求的交流电。功率模块的选型与制造工艺，直接关乎变流器的转换效率与可靠性，像一些大功率变流器，会选用耐压高、通流能力强的IGBT模块，并采用先进的封装技术，降低热阻，提升散热性能。（1）控制系统宛如变流器的“中枢神经”，全方位监控、调节变流器运行。它依托数字信号处理器（DSP），凭借高速运算能力，依据风力发电机转速、输出电压与电流等实时参数，经复杂算法与控制策略，动态调控功率模块开关状态。例如，当风速突变致使发电机输出电压波动时，控制系统能迅速响应，调整IGBT的导通时间与频率，稳定输出电压。同时，控制系统配备丰富通信接口，如CAN总线，以双绞线为物理介质，采用差分信号传输，具备抗干扰能力强、传输速率高的优势，可与风力发电系统其他部分顺畅交换信息，协同作业。（2）冷却系统对变流器稳定运行至关重要。功率模块工作时，因电流热效应会产生大量热量，若不及时散热，器件温度急剧攀升，将引发性能劣化甚至损坏。风冷式冷却系统，通常在功率模块附近安装散

热鳍片，利用风扇强制对流散热，风扇转速可依据温度传感器反馈信号智能调节。水冷式冷却系统则通过冷却液循环带走热量，冷却液一般选用水与乙二醇混合液，具备良好比热容与防冻性能，循环泵确保冷却液在封闭管路中持续流动，散热效果更为高效。（3）保护系统是变流器安全运行的坚实后盾，涵盖过流、过压、欠压、过热等多重保护机制。以过流保护为例，当检测到功率模块电流超出设定阈值，快速熔断器瞬间切断电路，避免器件因大电流烧毁；过热保护则通过在功率模块关键部位布置热敏电阻，一旦温度过高，控制系统立即降低功率输出，启动冗余散热措施，防止过热损坏。这些保护机制严格遵循相关安全标准设计，保障变流器在复杂工况下稳定运行^[1]。

1.2 变流器的工作原理

风力发电机组变流器工作原理基于整流、逆变与滤波等电力电子技术。风力发电机运转产生频率、幅值不稳定的交流电，先经整流器处理。整流器由二极管或晶闸管组成，以二极管不控整流电路为例，利用二极管单向导电性，将交流电负半周“翻转”为正半周，输出单向直流电，但此直流电存在电压纹波，稳定性欠佳。随后，直流电进入逆变器环节。逆变器以IGBT等功率开关器件为核心，搭配控制电路，依据控制系统指令，快速切换IGBT开关状态，精准调控输出交流电的频率、幅值与相位。例如，采用脉宽调制（PWM）技术，通过改变脉冲宽度，调节输出电压平均值，实现与电网电压、频率匹配，确保电能顺利并网。在整流、逆变过程中，因电力电子器件非线性特性，会产生谐波成分。滤波器随即发挥作用，常见的LC滤波器，由电感L与电容C组成谐振电路，利用电感对高频电流的阻碍、电容对高频电流的旁路特性，滤除特定频率谐波，输出纯净交流电，保

障电网稳定运行。

2 风力发电机组变流器常见故障分析

2.1 功率模块故障

功率模块长期处于高电压、大电流且频繁开关动作的严苛工况,极易出现故障。器件击穿是常见故障形式,IGBT长期承受高电压应力,若超过其额定耐压值,内部PN结绝缘层被击穿,导致短路,使变流器输出异常。如某风电场,因电网电压瞬间波动,超出IGBT耐压范围,造成多台变流器功率模块击穿;过热烧毁也是频发故障,当冷却系统散热不良,功率模块热量积聚,温度超出正常工作范围,加速器件老化,最终引发烧毁。经统计,因冷却系统故障导致功率模块过热烧毁的案例,占功率模块故障总数的30%。开路故障常因模块内部焊点松动、导线断裂等,致使电流通路中断,变流器无法正常输出功率;短路故障则可能源于模块内部绝缘层损坏、外部异物短路等,引发大电流冲击,损坏周边电路元件。

2.2 控制系统故障

控制系统故障影响变流器精准调控。硬件故障方面,控制板上电容长期工作,电解液干涸,导致电容容量下降,影响电路滤波效果,引发电压波动,干扰控制信号传输;电阻因长期通流发热,阻值漂移,使控制电路参数改变,造成控制逻辑错误。软件错误可能源于程序编写时的逻辑漏洞,在特定工况下,如风速快速变化时,控制算法出现误判,导致变流器输出异常^[2]。通信故障多因通信线路老化、接触不良,CAN总线通信时,信号传输中断、误码率升高,使变流器与其他系统信息交互不畅,无法协同工作。

2.3 冷却系统故障

冷却系统故障严重威胁变流器稳定运行。风扇故障较为常见,风扇电机绕组短路,致使风扇停转,无法形成强制对流散热,功率模块温度迅速上升。散热片堵塞也是常见问题,风电场环境恶劣,灰尘、沙粒长时间积累在散热片缝隙,阻碍空气流通,散热效率大幅降低。冷却液泄漏可能因管道老化破裂、密封件磨损,导致冷却液减少,散热能力下降;循环不畅则可能由循环泵叶轮磨损、异物堵塞管路等引起,冷却液无法有效循环带走热量,造成功率模块过热。

3 风力发电机组变流器的检修策略与方法

3.1 预防性检修策略

预防性检修是保障变流器稳定运行的关键举措。依据变流器运行状况、厂家建议,制定详细维护计划,如每季度进行一次全面检查。利用智能监测设备,实时

采集变流器电流、电压、温度等参数,借助数据分析算法,构建变流器健康模型,提前预警潜在故障。定期对变流器进行清洁,使用压缩空气吹除功率模块、电路板上的灰尘,防止灰尘积累影响散热与电气性能。建立备品备件库,依据故障统计数据,储备常用功率模块、控制板、风扇等备件,确保故障发生时能迅速更换,缩短停机时间。

3.2 故障检修方法

故障发生后,检修人员首先通过观察变流器外观,查看是否有烧焦痕迹、元件炸裂等明显异常。使用万用表测量功率模块引脚间电阻,判断是否存在短路、开路;利用示波器检测控制信号波形,分析信号是否正常。根据变流器故障代码,查阅故障手册,确定故障类型与可能原因。例如,故障代码提示过流故障,进一步排查功率模块、电流检测电路等部位。针对确定的故障点,若功率模块损坏,需严格按照操作规程,先切断电源,释放电容残留电荷,再使用专用工具拆卸、更换模块,并进行焊接、紧固等操作;若为软件故障,重新下载正确程序,对控制参数进行校准^[3]。

3.3 改进性检修与技术改造

定期对变流器进行性能评估,测试其转换效率、输出谐波含量、动态响应时间等指标。针对评估发现的问题,如转换效率偏低,可升级功率模块,采用新型低导通电阻IGBT,降低导通损耗;优化散热设计,增加散热片面积、改进风道结构,提升散热效率。引入智能监测系统,利用物联网技术,实现变流器远程监控与故障诊断,实时掌握设备运行状态。在技术改造过程中,充分考虑变流器与原有系统兼容性,进行模拟测试,确保改造后系统稳定可靠。

4 风力发电机组变流器的日常维护与保养

4.1 日常维护的重要性及其益处

日常维护是确保风力发电机组变流器长期稳定运行不可或缺的基石。这一步骤不仅关乎设备的持续高效运行,更是保障整个风电场经济效益与社会效益的关键。通过定期的检查,技术人员能够及时发现并处理那些可能引发大故障的潜在隐患,从而有效减少因设备故障导致的停机时间,进一步提升风电场的发电效率。另外,清洁保养工作同样不容忽视。风力发电机组通常暴露在较为恶劣的自然环境中,长时间积累的灰尘和异物可能会严重影响变流器的散热效果和电气性能。定期的清洁工作可以有效防止这种情况的发生,从而延长变流器的使用寿命。更重要的是,规范的日常维护能够显著降低因设备故障对电网的冲击,确保电网的稳定运行,为社

会的电力供应提供有力保障。

4.2 科学制定维护保养周期与计划

为了确保风力发电机组变流器的稳定运行,我们需要依据其运行环境、工作负荷以及厂家的专业建议,科学地制定维护周期。在风沙较大的地区,由于灰尘积累速度较快,我们建议每月进行一次外观清洁与电气连接检查,以确保设备外部和内部的清洁度以及电气连接的可靠性。同时,每季度进行一次全面性能测试也是必不可少的。这包括输出电压、电流、功率因数等重要指标的检测,以全面评估设备的运行状态。在制定维护计划时,我们需要明确每次维护的具体工作内容、所需的专业工具(如万用表、示波器、螺丝刀套装等)以及材料(如清洁布、散热硅脂等),并合理安排人员分工,以确保维护工作能够有序且高效地进行。此外,建立详细的维护记录档案也是至关重要的,它可以为后续的设备维护提供宝贵的参考依据。

4.3 维护保养的具体措施

外观检查时,仔细查看变流器外壳有无变形、破损,柜门密封是否良好,指示灯是否正常显示。使用干净软布擦拭变流器表面灰尘,对于散热片,使用毛刷或压缩空气清理缝隙内灰尘,确保散热顺畅。检查电气连接点,使用力矩扳手紧固螺丝,防止松动;观察连接线缆有无老化、破损,若有问题及时更换。利用专业测试仪器,按照标准测试流程,测量变流器输出参数,与正常范围对比,判断设备性能^[4]。一旦发现故障或异常,立即开展排查,如发现风扇转速异常,检查电机绕组电阻、电容容量,确定故障原因并修复;对于复杂问题,及时上报,组织专业人员会诊解决。

5 风力发电机组变流器检修与维护技术的发展趋势

5.1 智能化检修与维护技术

随着物联网、大数据、人工智能技术迅猛发展,变流器检修维护向智能化迈进。通过在变流器关键部位部署大量传感器,实时采集温度、振动、电流、电压等多维数据,借助物联网技术上传至云平台。利用大数据分析算法,挖掘数据潜在关联,建立故障预测模型,提前

精准预警故障。人工智能技术实现智能诊断,根据故障特征自动匹配解决方案。远程监控系统支持检修人员异地操作,远程调整控制参数、重启设备等,大幅降低现场维护成本与风险,提升设备可靠性与运行效率。

5.2 新材料与新技术应用

新型功率半导体器件如碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN),凭借高击穿电压、低导通电阻、高开关频率特性,显著提升变流器效率与可靠性。SiC器件导通电阻仅为IGBT的几十分之一,可大幅降低导通损耗,提升功率密度。模块化设计使变流器结构更紧凑,各功能模块独立封装,便于更换与维护,缩短停机时间。集成化技术将多种电路功能集成在一块芯片或模块中,减少元器件数量与连接线路,提高系统稳定性。先进散热技术如微通道散热、相变散热,有效解决高功率密度下散热难题,保障变流器稳定运行,使检修维护工作更高效便捷。

结束语

风力发电机组变流器稳定运行对风电场发电效能与经济效益意义重大。深入洞悉变流器结构、原理与常见故障,运用科学检修策略与日常维护手段,能切实提升其可靠性与使用寿命。展望未来,智能化检修维护技术与新材料新技术的广泛应用,将为变流器稳定、高效运行注入强劲动力。持续关注技术发展,不断优化检修维护策略,是保障风力发电机组变流器长期稳定运行的关键所在。

参考文献

- [1]左光群.周正.浅谈风力发电机组变流器的自动控制方法[J].电子世界,2020(11):166-167.
- [2]刘俊磊.曹娜.钱峰.等.考虑双馈风电机组变流器控制参数的风电场内机组振荡分析[J].电力系统自动化,2021,45(10):42-49.
- [3]吴振涛.浅谈某1.25MW风电机组变流器升级改造应用[J].电力设备管理,2022(5):135-137.
- [4]周国旭.风力发电机组电气与控制系统快速检修思路研究[J].中国设备工程,2021(14):68-69.