

风力发电运行值班期间突发故障应急处置策略分析

李洪涛 王 禹 牛 帅 于 杨

华能新能源股份有限公司河北分公司 河北 石家庄 050051

摘 要：由于风力发电机组在运行过程中受到强温差、高风速、沙尘、雷击等恶劣环境影响，其作为风电系统核心设备运行工况复杂、故障发生率较高。风电场安全运行需要由值班人员进行安全巡护，能够针对突发故障采取应急处理措施以降低损失、缩小影响范围。近年来风力发电运行时突发故障呈现出升高趋势，对于风电运行效果存在直接影响。本文深入分析风力发电运行值班的工作场景，结合风力发电机组运行原理与应急管理理论，系统性分析风力发电机组突发故障类型与形成原因并且制定应急处置流程，采取针对性优化措施为风力发电厂应急处置水平提供有力支撑。

关键词：风力发电；运行值班；突发故障；应急处置；故障类型；处置策略

引言：风力发电机组长期暴露于野外复杂环境，受强风、雷电、低温、沙尘等自然因素影响，容易出现叶片断裂、齿轮箱卡滞等突发故障，不仅会导致单台机组停机时长延长，造成日均发电量损失可达数千千瓦时，更可能引发机组部件二次损坏，甚至出现塔架倾斜、火灾等重大安全事故，对企业经济收益与人员生命安全构成双重威胁。因此，深入研究风力发电运行值班期间突发故障的应急处置策略，明确不同类型故障的响应流程、操作要点与风险防控措施，能在一定范围内提升值班团队应急能力、缩短故障处置时间、保障风力发电系统稳定运行。

1 风力发电运行值班期间常见突发故障类型

1.1 机械故障

风力发电机组运行中，机械故障是发生率极高的一种故障类型，其主要出现在制动系统、传动系统、叶片组件。制动系统作为风力发电机组重要组成部分，其故障主要形成原因是液压管路异常、刹车片损耗超标等，进而造成制动失效或者响应延迟。传动系统在风力发电机组运行较长时间内出现部件磨损、油位异常、润滑油液化等情况引发故障，这是传动系统受到交变荷载时会形成轴承过热、齿轮箱异响、主轴转动卡塞等。叶片组件故障与环境侵蚀存在直接关系，其主要表现形式为叶片老化、涂层脱落等，造成裂纹或者叶尖扰流器、驱动装置异常造成功能调节障碍，无法满足机械设备运行安全性和传动效率要求^[1]。

1.2 电气故障

作者简介：李洪涛（1987年11月01日），男，汉族，内蒙古通辽人，本科学历，工程师，研究方向：风力发电运维

风力发电机组的变流器、发电机、电缆系统容易发生电气故障，极大影响风力发电机组发电与电力传输功能。变流器故障类型是电网电压波动、散热异常等，这与环境温度、电网状态等存在直接关系，并且会造成变流器中直流母线电压失衡、IGBT模块损坏等现象。发电机在运行过程中往往会因为转子励磁、回路接触不良造成励磁电流波动、定子绕组温度异常升高等，进而出现发动机冷却系统失效而影响发电质量。电缆系统在运行中存在绝缘层老化、电缆固定松动等故障问题，其形成原因是高温环境、振动作用出现短路或者损坏问题。极大影响风力发电机组的正常发电。

1.3 控制系统故障

风力发电机组中控制系统主要为PLC控制系统、传感器、通讯模块，这对整个机组的运行监测与执行有重要作用。PLC控制系统在运行中受到电源波动、电磁干扰等影响出现死机与输入模块信号中断，进而使整个机组出现系统瘫痪或者功能紊乱。传感器运行中存在部件老化、线路破损、安装偏差等问题，出现风向、风速、转速等数据采集不准而影响机组正常运行。通信系统故障主要是无线通讯模块、光纤链路中断等造成数据传输中断，值班人员无法获取记录运行数据而导致操作滞后引发整个机构损伤。

1.4 外部环境引发的故障

风力发电机组在运行中受到外部异物、极端天气影响出现故障，这与机组处于野外复杂环境存在直接关系。风力发电机组受到极端台风天气影响出现叶片损坏、风轮超速，暴雨则会因为电缆沟积水引发短路，暴雪覆盖叶片增加荷载引发停机，雷击则烧毁传感器与控制系统等精密电子元件。外部异物是在机组运行中受到

沙尘、风筝线、鸟巢等引发部件损坏或功能障碍，其处理难度较高，也会导致其他部件损伤严重。

2 风力发电运行值班突发故障应急处置原则

2.1 安全第一原则

风力发电运行值班突发故障应急处置需要秉承安全第一的原则，这是机组处置的首要原则，也需要保证人员与设备的安全。风力发电机组故障处理需要严格遵循操作规程，所有操作人员佩戴安全防护装备且禁止违章作业。例如，风力发电机组存在电气故障需要先断开电源并验电，然后再进行检修作业；机组叶片故障需要保证所有机组完全停机，并在现场设置警戒区域以保证无关人员不能进入现场^[2]。

2.2 快速响应原则

风力发电机组突发故障会导致发电量损失，停机时间长也会导致设备损坏、风险升高。因此，值班人员需要尽快采取处置措施缩短故障停机时间。风力发电机组应急处置快速响应原则如下：一是通过SCADA进行实时监控，如果测定机组存在转速异常、温度超标、电流波动异常等情况，立即发出警报并通知值班人员；二是值班人员在获取警报信息后快速确认信息，需要在5分钟时间内利用远程监控、现场巡检等方式确定故障位置和类型；三是根据确定故障信息立即启动应急处理方案，结合故障类型、故障位置制定应急预案以免故障扩大或者事故严重。

2.3 预防为主原则

应急处置需要重点进行故障分析构建形成完善预防措施，能够有效避免风力发电机组在后续运营中引发同类型故障。风力发电机组在故障处置结束后，由值班人员分析故障形成原因，及时发现管理、运维等薄弱环节以便制定整改方案。例如，机组由于润滑油没有按照规定周期更换造成齿轮箱故障，需要优化润滑油更换周期与检查制度；如果机组传感器故障造成停机，需要在后续运维中重点进行传感器的巡检与校准。在该背景下需要建设“处置→分析→预防”的闭环管理，能够提高风力发电机组运营可靠性。

3 风力发电运行值班突发故障应急处置策略

风力发电机组受野外复杂环境与设备长期运行影响，值班期间突发故障频发，且故障类型多样、危害程度不一。为快速响应故障、减少损失，需结合不同故障特性与值班工作实际，制定科学可行的应急处置策略，从故障响应、判断到处置形成完整闭环。

3.1 故障监测

风力发电运行值班人员需通过SCADA系统构建故障

监测体系，能够及时掌握风力发电机组温度、转速、电流、电压、液压压力等各项参数，一旦监测参数超出规定阈值则立即发出声光报警，并将故障码传输到值班人员手中。值班人员获取信息后在3分钟内判定故障类型，如故障信息显示“齿轮箱温度高报警”，初步确定传动系统故障；若显示“变流器过流保护”，初步判断为电气故障。

同时，值班人员接收报警信号后立即进入现场进行检测，通过红外测温仪等工具在5~10分钟内完成巡检以确定故障细节。例如“齿轮箱温度高报警”需要在现场检查齿轮箱油质、油位等，并通过红外测温仪检测齿轮箱温度以判定齿轮箱啮合是否达到正常状态；“传感器故障报警”信号需要检查传感器安装是否牢固、线路是否破损，并通过设备进行传感器精度校准。而在故障监测环节需要结合获取的信息进行故障分级，Ⅰ级故障：机组不能运行且存在安全隐患需要采取应急处置措施；Ⅱ级故障机组运行正常且无安全隐患，能够满足短时间运行需求；Ⅲ级故障（轻微故障）：机组出现轻微参数波动需要进行维护处理。

3.2 应急启动与分工

根据故障等级，启动对应的应急响应，明确人员分工，确保处置有序开展：

若为Ⅰ级故障，立即启动一级应急响应，通知风电场应急指挥小组（由场长、运维主管、安全主管组成），同时上报区域电力调度中心；若为Ⅱ级故障，启动二级应急响应，通知运维班长与技术人员；若为Ⅲ级故障，启动三级应急响应，由值班人员现场处置即可。应急启动需在5分钟内完成，确保相关人员接到通知。人员分工过程中，应急指挥小组根据故障类型，明确人员分工，通常分为三组：（1）现场处置组（2-3人）：负责现场故障排查、抢修作业，需具备设备维修资质，熟悉机组结构；（2）技术支持组（1-2人）：负责提供技术指导，查阅设备手册与故障案例，协助制定处置方案；（3）安全监护组（1人）：负责现场安全监护，设置警戒区域，检查安全防护措施，防止无关人员进入作业现场^[3]。

3.3 现场处置与抢修

现场处置与抢修是应急处置的核心环节，需根据故障类型采取针对性措施，确保安全高效：

（1）Ⅰ级故障处置。针对严重故障，优先采取安全隔离措施，再开展抢修。例如，对于制动失效故障：第一步，值班人员立即通过远程控制系统触发紧急停机按钮，若远程控制失效，现场操作机械制动手柄，强制停机；第二步，安全监护组设置警戒区域，悬挂“禁止靠

近”警示牌,断开机组电源开关与电网连接开关,验电确认无电;第三步,现场处置组检查制动系统,若为液压管路泄漏,更换泄漏管路,补充液压油;若为刹车片磨损,更换刹车片;第四步,技术支持组协助调试制动系统,确保制动响应时间符合要求(≤ 2 秒)。

(2) II级故障处置。对一般性故障需要保证机组运行安全性的前提下,选择使用短时间停机或在线处置方式解决故障问题。例如,风力发电机组传感器偏差故障,可选择使用在线校准方式。而现场处置组使用校准设备完成传感器校准,使其偏差在合理范围内;传感器确定无法使用需要进行更换,则申请30分钟内停机以便进行传感器更换。

(3) III级故障处置。轻微故障问题由值班人员进入现场处置,此时不需要停机即可完成处置工作。比如,风力发电机组齿轮箱润滑油油位过低,则由值班人员进入现场进行润滑油加注,并且记录加注量与时间;电缆接头轻微过热故障,使用扳手紧固并且测量接头位置温度保证其正常运行。风力发电机组应急抢修需要遵循如下安全规程:高空作业佩戴安全带、电气作业佩戴绝缘装置、动火作业配置火器材。技术支持组提供技术支持以提升抢修速度,针对技术难题需要联系厂家技术员进行远程指导。

3.4 第恢复运行与复盘

风力发电机组突发故障应急抢修结束后,机组恢复正常运行需要展开故障处置过程复盘,总结经验教训:

(1) 恢复运行。针对机组故障类型确定分步骤恢复运行,如下:第一步,现场处置组检查抢修质量确保机组故障已经排除,如齿轮箱温度正常、传感器数据准确。第二步,安全监护组现场设置警戒区域,并且恢复电源连接,无任何安全隐患后再开机运行。第三步,值班人员远程操控控制系统启动机组,且在开启后10~30分钟空载运行,确保设备温度、转速、电压处于正常稳定的状态。第四步,空载运行无异常,则将机组调整到额定功率,再继续监测1~2小时查看各项参数是否正常^[4]。

(2) 故障复盘。风力发电机组故障排除后进入到正

常运行状态,通过连续运行24小时无任何问题,则由应急指挥小组召开复盘会议。故障复盘包含值班人员、现场处置组、技术支持组,确保所有人员进入到会议中进行探讨。故障复盘时需要分析故障发生时间、原因、影响范围,了解整个故障发生的基本情况以便进行全面分析。同时,分析在故障解决处理过程中各项处置措施是否正确、各环节衔接是否流畅、各项处理措施是否准确无误。而后评估各项故障处理措施是否科学,再分析是否具备改进空间、检查物资准备是否充分、人员分工是否合理,防止在后续故障处理环节存在分工混乱、物资短缺等情况影响应急处置工作进行^[5]。

4 结语

风力发电机组运行环节突发故障发生率较高,这时值班人员需要根据突发故障制定应急处置策略,确保风力发电机组能够稳定运行。风力发电运行值班期间突发故障应急处置,需要遵循安全第一、快速响应、科学处置、预防为主的基本原则,并且构建形成完善的处置流程,从而形成“故障监测与识别→应急启动与分工→现场处置与抢修→恢复运行与复盘”的应急处置工作体系,进而保证风力发电运行达到安全、稳定的要求。而在风力发电运行值班期间,突发故障应急处置结束后需要进行故障复盘,主要进行故障发生时间、原因、应急处置是否得当等方面综合性分析,并且总结出改进措施以保证后续在突发故障处置过程中能够快速完成。

参考文献

- [1]张强.关于风力发电安全生产管理的行业思考[J].科技创新导报,2019,16(33):176+178.
- [2]胡祥兴.风力发电设备技术现状与关键问题探析[J].中国设备工程,2023,(21):215-217.4
- [3]李向小.风力发电场运维管理的有效措施研究[J].电气技术与经济,2023,(08):224-226.
- [4]倪铭,王伟.风力发电机组火灾事故分析与消防处置对策研究[J].消防界(电子版),2024,10(13):104-106.
- [5]王双林.海上风电场风力发电机状态监测与运行维护策略[J].海峡科学,2024,(08):48-51.