

风力发电运行值班过程中突发天气下机组启停操作研究

牛 帅 于 杨 李洪涛 王 禹

华能新能源股份有限公司河北分公司 河北 石家庄 050051

摘 要:随着风力发电规模持续扩大,突发天气对机组安全运行的影响愈发显著,其在强风、雷电、低温冰冻等场景下的复杂性,使机组启停操作面临更高要求,也带来了流程适配与风险管控的新挑战。本研究针对风力发电运行值班中的突发天气应对需求,结合值班操作实际,解析不同突发天气下机组启停的操作原则,同时针对突发天气下机组启停操作要点研究,希望能为风电场值班人员高效应对突发天气、减少设备故障提供相关参考。

关键词:风力发电;突发天气;机组启停操作;运行值班

引言

1 突发天气对风力发电机组的影响分析

1.1 强风天气

风力发电厂遇到强风天气比较普遍,其一般指的是风速达到12~16m/s而超过风力发电机组设计额定风速。如果风速达到25m/s的切出风速标准,此时风力发电机组在运行时会引发严重的安全事故。突发强风天气对风力发电机组运行的影响,主要为如下几个方面:

1) 机械载荷过载。强风天气造成风轮承受过大的气动荷载,而引发主轴、叶片、齿轮箱等部件超出设计标准的扭矩与弯矩,其引发叶片裂纹、主轴变形、齿轮箱齿轮磨损或断齿等故障,严重情况下会造成风力发电机组引发风轮飞车现象^[1]。

2) 塔架稳定性下降。强风作用下风力发电机组塔架稳定性下降,会产生塔架强烈摇晃或振动。一旦塔架振动频率和固有频率相近会引发共振现象,进而出现塔架结构疲劳损伤、塔架倾斜、倒塌等风险。

3) 发电系统故障。强风天气造成风力发电机组转速快速升高,一旦机组转速超出额定转速范围会引发过电流、过电压等情况,进而导致风力发电机转子、绕组定子、励磁系统等损坏,也会出现变压器、变流器的严重冲击引发故障。

1.2 雷电天气

风力发电机组塔架高度一般为80~150m,这时叶片旋转处于高空开阔区域容易发生雷电风险。雷电天气对于机组危害主要从如下两个方面进行分析:

1) 直接雷击危害。雷电直接击中风力发电机组叶片、塔架或机舱,在机组内部形成数十至数百千安的雷

电流,这时瞬间产生极高的温度和电磁能量。雷电流经过叶片传导会造成叶片内部复合材料、防雷引线损坏,进而出现叶片开裂、烧毁的现象;雷电流经过塔架传导会在塔架金属结构形成过大的电磁效应,进而出现塔架焊缝融化、部件损坏等问题;雷电流进入到机舱内部冲击发电机、控制柜等设备,也会导致电气元件烧毁、程序破坏而引发机组停机。

2) 感应雷击危害。风力发电机组在运行过程中,即使雷电没有直接冲击机组,也会导致雷电在放电过程中周围形成强烈变化电磁场,这时会给风力发电机组的动力电缆、控制电缆等电缆线路形成较大的电压、大电流浪涌信号,这些浪涌信号沿着电缆进入到变流器、控制系统、传感器等设备导致信号传输受到影响,也会引发传感器、集成电路故障而造成风力发电机组无法正常工作。

1.3 低温冰冻天气

风力发电厂如果处于冬季或高海拔区域极易遇到低温冰冻天气,这时温度在0℃以下且存在冻雨、降雪等情况引发机组结冰现象,极大影响机组正常运行,如下:

1) 叶片结冰影响。风力发电机叶片出现结冰情况导致其外形变化而降低升阻比,进而出现风轮捕获风能效率降低、机组发电量减少的现象。同时,叶片结冰导致整个风力发电机组叶片质量不均匀,此时叶片旋转会形成不平衡离心力导致叶片剧烈振动,加速叶片疲劳损伤,也会造成叶片与机舱、塔架等碰撞引发设备损坏^[2]。

2) 机舱及塔架结冰影响。风力发电机组机舱顶部和侧面结冰会导致机舱重量增加,这就会造成机舱重心位置变化而影响整体设备的平衡;塔架平台、爬梯结冰需要由运维人员进入现场进行维护处理,这导致人员作业时容易引发坠落、滑倒等安全事故。此外,低温条件下造成风力发电机组液压油黏度升高、流动性变差,进而造成液压系统、齿轮箱的散热与润滑功能下降,出现风

作者简介:牛帅(1994年4月9日),男,汉族,山西省吕梁人,本科学历,助理工程师,研究方向:风力发电运维

力发电机组部件损坏而停机。

3) 电气设备低温故障。风力发电机组受到低温作用导致系统绝缘性能下降, 由于电缆绝缘层、电机绝缘漆存在变硬、变脆等情况, 再加上温度变化、振动持续作用引发开裂现象造成绝缘击穿; 蓄电池在低温条件下容量减小、放电性能变差, 容易出现风力发电机组备用电源无法工作的情况, 这就导致发电无法正常进行。

2 突发天气下风力发电机组启停操作原则

2.1 安全优先原则

突发天气条件下, 在风力发电机组启停操作时, 各级工作人员需要将人员与设备安全放在首位。风力发电机组突发天气条件下启停操作需要对天气状况、机组工作情况进行评估, 判定是否满足设备启停操作的安全性要求。如果天气条件极为恶劣, 容易给人员、设备引发安全风险, 需要采取必要预防应对措施, 禁止盲目启动操作; 风力发电机停机时需要按照规定流程进行操作, 保证各机组平稳停机以防操作不当引发事故。

2.2 及时性原则

突发天气条件主要特点是发展速度快、突发性强, 如果不能及时进行风力发电机组停机会导致更加严重的事故。值班人员对突发天气情况的发生、发展进行全面监控, 如果预报即将发生恶劣天气条件需要立即启动停机操作, 以免因为突发天气条件对风力发电机组造成不利影响。例如, 强风来临前需要提前停止机组运行, 防止风速超过切出风速后机组被迫紧急停机而引发设备冲击^[3]。

2.3 科学性原则

风力发电机组启停操作遵循科学性原则, 需要充分考虑到突发天气状况、设备机组操作要求和运行参数制定适宜启停方案。风力发电机组启停操作需要按照机组启停速度和各项运行参数进行, 防止对于风力发电机组产生过大冲击反应。例如, 低温冰冻天气条件下启动机组需要进行机组预热, 确保液压油、润滑油温度处于合理范围内, 以免油液黏度过高引发设备磨损加剧; 风力发电机停机时逐步降低机组转速, 防止突然停机导致齿轮箱、发电机等部件承受过大惯性力。

3 不同突发天气下风力发电机组启停操作要点

3.1 强风天气下的启停操作流程

3.1.1 停机操作流程

风电场需要建设天气状况监测系统, 如果监测发现风速超出预警值, 或者值班人员从气象部门获取强风预警信息, 则立即进入到应急操作状态。值班人员通过远程控制获取风力发电机组运行参数, 并且逐一查看风力发电机组的风轮转速、发动机功率、电压、电流、

齿轮箱温度、轴承温度等数据, 再观察监控系统内显示页面是否存在部件位移或异常抖动, 能够及时获取机组运行信息。

监控人员发现风力发电机组处于运行稳定性状态后, 通过监控系统直接发出指令。如果监控系统存在短暂卡顿或指令传输延迟, 则及时切换到现场控制柜进行手动控制。风力发电机组在停机时, 由值班人员紧密观察参数变化情况, 重点检查风轮转速是否按照预设速度逐步下降、发动机是否顺利和电网断开连接、液压系统叶尖制动是否正常^[4]。

3.1.2 启动操作流程

强风天气消退后, 由值班人员对现场风速进行监测, 在风速处于稳定的启动范围且持续15min没有明显波动, 并且气象部门解除强风预警, 确认未来24h不会出现强风侵袭再开启设备。在风力发电机组启动之前, 运维人员进入现场进行全面排查, 没有任何问题后再启动设备。

运维人员需要先绕风力发电机塔架一周检查是否存在基础倾斜或沉降现象, 塔架表面无损伤, 再使用望远镜观察叶片表面是否残留异物、是否清洁以及损伤痕迹。然后进入机舱检查电气设备是否牢固、润滑系统是否处于正常范围, 液压压力是否达标。

上述检查结束且完全合格后, 值班人员返回监控中心查看监控设备显示的机组启动参数, 重点掌握额定功率上限、风速阈值、并网电压范围等, 并且将机组控制模块切换为自动模式, 然后联系电网调度部门确定电网电压频率稳定符合并网要求^[5]。

3.2 雷电天气下的启停操作流程

3.2.1 停机操作流程

风力发电机组值班人员利用气象预警平台获取雷电黄色及以上预警, 或者值班人员观察到乌云快速聚集, 听到由远及近的雷电声需要立即进入到应急停机程序。通过远程监控系统给风力发电机所有机组发送紧急停机指令, 如果有些机组因为信号干扰不能获取远程指令, 则立即组织运维人员进入现场, 在机组控制柜上执行启停操作, 确保所有机组在短时间能够快速停机。

风力发电机组在停稳之后, 由运维人员进入现场断开机组主电源开关, 并且依次切断电源控制柜、变压器输入输出开关, 而后再断开机组和风电场通信网络远程监控系统连接线, 避免雷电形成浪涌信号经过线路进入到设备造成损坏。

3.2.2 启动操作流程

值班人员监测风电场的雷电活动完全停止, 天空放晴且无雷声、闪电等情况, 气象部门解除雷电预警后继

续观察1~2h,在确认没有任何雷电风险后进入到设备启动准备中。运维人员对于风力发电机组防雷装置、接地系统、接地电阻进行检测,检查叶片防雷引线、机舱避雷针等是否存在损坏现象。上述检测确认正常后再按照规定程序发送机组启动指令,并且在风力发电机组启动时密切关注各部件运行状态,观察风轮启动是否平稳、发动机是否有异常振动、电气设备是否有报警信号等。风力发电机组并网后持续观测30min,并且每10min记录一次电压、电流、功率等参数,确保参数稳定在合理范围内且无异常现象,再将机组交付给系统进行自动化控制。

3.3 低温冰冻天气下的启停操作流程

3.3.1 停机操作流程

风力发电机组停机操作必须保持平稳停机,利用远程监控系统直接发送停机指令,防止使用紧急停机功能,也要避免因为低温条件下设备部件因为受力引发断裂或变形。风力发电机停机时需要保证风轮转速缓慢下降,确保发电机平稳脱网,且停机时关注风力发电机组液压系统油温变化。如果液压系统油温过低造成制动动作迟缓,需要延长制动时间保证整个机组平稳停机。风力发电机组停稳后,立即启动机舱内电加热装置和热油循环加热系统,使机舱内温度保持5℃以上。同时,运维人员进行液压油箱、齿轮油箱单独加热,确保液压油、润滑油温度在0℃以上,以防油液冻结影响后续操作。风力发电机舱内温度回升后,运维人员穿戴防滑防寒设备,并且携带除冰工具进入现场开展除冰操作。除冰环节需要先将塔架平台、爬梯上冰层清理干净,穿戴防滑垫保证现场作业人员安全性。同时,通过专用除冰铲或热风枪将叶片表面冰层清理干净,且清理时确保工具和叶片有足够安全距离。

3.3.2 启动操作流程

风电场环境温度回升到-5℃以上,且持续12h未有冰冻现象,地面冰雪基本融化,气象部门发布未来12h不会出现冰冻天气,即可进入到设备启动中。首先启动风力发电机舱加热系统,使液压系统齿轮箱、发动机轴承预热达到良好的温度状态。

风力发电机预热时间间隔30min记录一次油温数据,使润滑油温度达到10℃以上、液压油温度15℃以上。在油温稳定且达到目标温度后保持20min停止预热,进行液压系统、润滑系统检查,保证系统无渗漏、油位正常,再检查加热系统正常启动防止出现过热。风力发电机各设备检查结束且准备完成即可发出启动指令,这时需要先控制风轮以较低转速运转,并且进行10~15min低速运行。在这个过程中需要监测风力发电机组轴承温度、振动值、齿轮箱温度等,查看是否存在异响或振动。如果试运行达到正常状态即可逐步提升风轮转速,达到发动机额定转速并由变流器调整输出参数达到并网要求。风力发电机组在并网完成后需要持续观测机组运行1~2h,并间隔15min记录一次部件温度、输出功率、振动情况等运行数据,使整个机组参数无波动、运行平稳后即可进入正常运行状态,做好整个启动过程中的数据记录以便归档保存。

4 结语

本研究针对强风、雷电、低温冰冻三类突发天气,梳理的机组启停操作流程,聚焦安全与效率,明确各环节核心要点与风险控制点。流程可直接为风力发电运行值班人员提供实操指导,帮助快速应对突发天气,减少设备损坏与安全事故,保障风电场稳定运行。后续需结合技术发展持续优化流程,进一步提升风电场应对极端天气的能力,为可再生能源高效利用奠定基础。

参考文献

- [1]邢晓坡.风力发电叶片运行状态监测与故障诊断技术近况[J].中国设备工程,2018,(13):111-112.
- [2]崔耀辉.风力发电机组状态监测和故障诊断技术研究[J].门窗,2019,(18):273.
- [3]李沿君.风力发电机组状态监测和故障诊断技术研究[J].光源与照明,2024,(02):100-102.
- [4]季洁,牟文涛.风力发电系统中的状态监测和故障诊断技术应用[J].电子技术,2024,53(04):206-207.
- [5]李巽.基于标准化的光伏和风力发电系统性能和可靠性分析[J].大众标准化,2024,(14):10-12.