

电力运动系统的常见故障及预防措施

杨进松

国家电投集团新疆能源化工有限责任公司兰州分公司 甘肃 兰州 730000

摘要: 本文围绕电力运动系统的常见故障及预防措施展开深入研究,详细阐述系统的核心构成、运行原理及故障分类,重点分析发电端、电力电子变换端、传输接入端及控制保护系统的典型故障与深层成因,结合新能源系统间歇性、低惯量、强电力电子化的特性,提出针对性、可操作的预防措施,为提升系统运行稳定性、降低故障发生率、保障新能源消纳与电网安全提供理论支撑和实践指导,助力电力运动系统高效、安全、可靠运行。

关键词: 电力运动系统; 常见故障; 预防措施

引言: 随着新能源大规模并网应用,电力运动系统逐步向强电力电子化、低惯量方向转型,其运行特性愈发复杂,故障发生率也随之上升,不仅会造成新能源发电单元停机、能源浪费,还可能破坏系统能量平衡,引发电网失稳,严重影响供电可靠性与新能源消纳效率。因此,系统梳理电力运动系统的常见故障类型及成因,探索科学有效的预防措施,对推动电力系统清洁低碳转型、保障能源安全具有重要现实意义。

1 电力运动系统相关基础理论

1.1 电力运动系统的构成与特点

(1) 核心构成: 主要包括四大模块,新能源发电单元是能量来源,涵盖光伏组件、风电机组等;电力电子变换装置负责能量转换与调节,实现电能形式适配;传输网络承担电能输送任务,连接各单元与负荷;控制保护系统是核心中枢,保障系统安全稳定运行。(2) 新能源特性: 具有鲜明的固有特性,间歇性体现在发电依赖自然条件(光照、风速),无法持续稳定输出;波动性指发电功率随自然条件变化而剧烈波动;低惯量源于新能源发电单元缺乏旋转部件,抗扰动能力弱;强电力电子化则因大量电力电子装置的应用,改变了系统传统运行特性。(3) 与传统电力运动系统的差异对比: 传统系统以火电、水电等同步机组为主,惯量大、稳定性强,控制方式相对简单;本系统以新能源为核心,惯量低、波动性强,对控制精度和响应速度要求更高,且电力电子装置的广泛应用使系统运行机制更复杂。

1.2 电力运动系统的运行原理

(1) 光伏/风电发电单元的能量转换原理: 光伏单元通过光伏效应将太阳能转化为直流电;风电单元通过风轮捕捉风能,带动发电机将机械能转化为电能,两者均需后续变换装置处理才能接入系统。(2) 电力电子装置的调控机制: 逆变器将新能源产生的直流电转化为交

流电,实现与电网频率、电压的匹配;变流器调节电能的幅值、频率和相位,保障电能质量,提升系统运行灵活性。(3) 源网荷储协同运行的基本逻辑: 以“源随荷动、储随源补”为核心,发电端根据负荷需求调整出力,储能装置平抑新能源功率波动,传输网络优化电能分配,负荷端合理响应调度,实现全系统能量平衡^[1]。

1.3 电力运动系统故障的分类与影响

(1) 按故障发生部位的分类: 发电端故障包括光伏组件损坏、风机故障等;变换端故障如逆变器、变流器损坏;传输端故障有线路短路、设备老化等;控制端故障涉及控制保护系统失灵、信号传输异常。(2) 按故障影响范围的分类: 局部故障仅影响单个单元或小范围区域,如单台风机故障,对整体系统影响较小;系统性故障波及整个系统或大部分区域,可能导致系统电压、频率异常,甚至大面积停电。(3) 故障对新能源消纳与电网稳定的危害: 故障会导致新能源发电单元被迫停机,降低消纳效率,造成能源浪费;同时破坏系统能量平衡,引发电压波动、频率偏移,严重时导致电网失稳,影响供电可靠性。

2 电力运动系统的常见故障及成因分析

2.1 新能源发电端常见故障及成因

(1) 光伏组件故障: 主要表现为功率衰减,核心成因包括遮挡、老化和热斑效应。遮挡分为自然遮挡和人为遮挡,导致组件接收光照不足;长期暴露在户外环境中,组件封装材料老化、电池片性能衰退,会逐步降低发电效率;热斑则是因组件局部遮挡或性能不一致,使部分区域过热,进一步加剧功率衰减,严重时损坏组件。(2) 风电设备故障: 常见类型有叶片损伤、齿轮箱失效、发电机故障。叶片长期承受风载荷、雨雪侵蚀,易出现裂纹、磨损甚至断裂;齿轮箱作为传动核心,因润滑不足、齿轮磨损、轴承损坏,易发生卡滞、失效;

发电机故障多由绕组绝缘老化、转子失衡、接线松动引发,导致发电效率下降或停机^[2]。(3)储能单元故障:主要包括电池衰减、充放电异常和热失控。电池长期充放电循环中,电极材料损耗、电解液老化,导致容量和充放电效率下降;充放电异常多由充放电管理系统故障、电压电流控制不当引发;热失控则是因电池散热不良、内部短路,导致温度急剧升高,引发安全隐患。

2.2 电力电子变换端常见故障及成因

(1)逆变器故障:核心成因包括IGBT器件损坏、拓扑结构异常和控制策略失效。IGBT器件因过压、过流、散热不足,易出现击穿、烧毁;拓扑结构异常多由元器件焊接不良、线路松动导致,影响电能转换;控制策略失效则因参数设置不合理、算法缺陷,导致逆变器输出不稳定,无法正常并网。(2)变流器故障:主要表现为换相失败、谐波畸变、过流过热。换相失败多由电网电压波动、触发信号异常引发,导致电能转换中断;谐波畸变源于变流器内部开关器件动作不平滑,干扰电网电能质量;过流过热则因负载过载、散热系统故障,导致器件损坏。(3)滤波装置故障:常见于电容老化、电感损坏,进而影响电能质量。电容长期工作在高频、高压环境下,电解质损耗导致容量下降、漏电流增大;电感因绕组绝缘破损、铁芯饱和,导致电感值异常,无法有效滤除谐波,影响后续设备正常运行。

2.3 传输与接入端常见故障及成因

(1)输电线路故障:多由雷击、覆冰、绝缘破损引发短路。雷击会产生瞬时过电压,击穿线路绝缘;冬季覆冰会增加线路载荷,导致线路断裂、杆塔倒塌,同时覆冰融化易引发闪络;线路长期暴露在外,受风雨、腐蚀影响,绝缘层破损,易造成相间或对地短路。(2)并网接口故障:主要表现为电压跌落、频率波动、相位失配。电压跌落多由电网扰动、负荷突变引发;频率波动源于新能源功率波动过大,超出电网调节能力;相位失配则因并网设备同步控制不当,导致接入端电压与电网相位不一致,影响并网稳定性^[3]。(3)宽频振荡故障:核心成因是变流器与电网阻抗耦合,产生负阻尼。随着电力电子装置大量接入,变流器控制特性与电网阻抗相互作用,打破系统阻尼平衡,引发宽频振荡,严重时影响电网安全稳定运行。

2.4 控制与保护系统常见故障及成因

(1)控制策略故障:主要包括虚拟同步机控制失效、锁相环异常。虚拟同步机控制失效多由参数整定不合理、响应滞后引发,无法模拟同步机组的惯量特性;锁相环异常则因电网电压畸变、频率波动,导致锁相精

度下降,影响控制信号输出。(2)保护装置故障:表现为误动、拒动、采样精度不足。误动由保护定值设置不当、干扰信号影响引发;拒动源于保护装置硬件损坏、逻辑错误,无法及时响应故障;采样精度不足则因采样元件老化、接线错误,导致故障判断偏差。(3)通信与监测故障:包括数据传输中断、测量盲区、伪振荡误判。数据传输中断多由通信线路损坏、信号干扰引发;测量盲区因监测设备安装不合理、覆盖范围不足导致;伪振荡误判则因监测算法缺陷,将正常波动误判为振荡故障,影响系统正常调度。

3 电力运动系统故障预防措施

3.1 发电端故障预防措施

(1)光伏/风电设备的定期巡检与状态监测:建立常态化巡检机制,结合红外检测与振动监测技术排查隐患。光伏组件采用红外热成像仪检测温度分布,及时清除表面遮挡杂物、更换老化破损组件;风电机组通过振动传感器捕捉关键部件异常信号,定期开展润滑维护与部件校准,精准判断叶片、齿轮箱、发电机的磨损或松动问题,降低故障发生率。(2)储能单元的精细化管理:围绕电池全生命周期实施管控,通过均衡控制技术平衡各单体电池的电压与容量,避免过度充放电加速衰减;搭建精准温控系统,根据工况自动调节储能舱温度,防范热失控与低温性能下降;定期校准电池容量、内阻等参数,及时更换衰减严重的电池,优化充放电策略,保障储能单元稳定运行^[4]。(3)抗极端天气防护设计:结合区域天气特点完善防护设施,在光伏阵列、风电机组等关键部位安装防雷装置并优化接地系统,降低雷击损坏风险;对输电线路、风机叶片采用防覆冰涂层与加热装置,及时清除覆冰避免过载或失衡;风沙多发区域加强设备密封防护,定期清理沙尘,防止部件卡滞故障。

3.2 电力电子变换端故障预防措施

(1)器件选型与质量管控:优先选用高可靠性IGBT器件,结合系统运行工况,合理选择器件额定电压、电流参数,避免器件过载运行;采用冗余设计,在关键电路中增加备用器件,当主器件发生故障时,备用器件可及时投入运行,降低系统停机风险;建立严格的器件质量检验机制,对进场器件进行性能测试,杜绝劣质器件投入使用,从源头减少故障隐患。(2)控制策略优化:针对变换端谐波超标、抗扰动力弱等问题,优化控制算法,采用谐波抑制技术,减少逆变器、变流器输出的谐波含量,提升电能质量;引入自适应控制策略,实时跟踪电网运行状态和负载变化,自动调整控制参数,提

升设备抗电网扰动、负载波动的能力,避免因控制策略不合理导致的输出不稳定、器件损坏等故障。(3)实时监测与过热保护:搭建变换端设备实时监测系统,重点监测IGBT、电容、电感等关键器件的温度、电流、电压等参数,设置多级温度预警阈值,当器件温度接近预警值时,自动启动散热装置;当出现过流、过热等异常情况时,及时触发切断保护机制,停止设备运行,防止器件击穿、烧毁,同时记录故障数据,为后续故障排查和优化提供依据^[5]。

3.3 传输与接入端故障预防措施

(1)输电线路状态检修:采用无人机巡检与人工巡检相结合的方式,提升输电线路检修效率和覆盖面,无人机可实现远距离、全方位巡检,重点排查线路绝缘破损、导线断股、杆塔倾斜等问题;强化线路绝缘性能,定期对线路绝缘子进行清洁、检测,更换老化、破损的绝缘子,提升线路抗短路、抗闪络能力;定期紧固线路接头,防止接触不良引发发热故障。(2)并网接口优化:通过提升电网短路比,增强并网接口的稳定性,减少电压跌落、频率波动对并网设备的影响;配置无功补偿装置,实时调节并网接口的无功功率,维持电压稳定,避免因无功功率失衡导致的并网异常;优化并网同步控制策略,提升相位匹配精度,确保并网设备与电网同步运行,减少相位失配引发的故障。(3)宽频振荡抑制:采用阻抗匹配技术,优化变流器与电网的阻抗特性,减少两者耦合产生的负阻尼;引入阻尼控制策略,通过增加阻尼环节,抑制宽频振荡的产生和传播;结合AI监测技术,实时分析电网运行数据,精准识别振荡隐患,提前触发抑制措施,防止宽频振荡扩大,保障传输与接入端系统稳定。

3.4 控制与保护系统故障预防措施

(1)控制参数优化与定期校验:根据系统运行工况的变化,定期优化控制参数,避免参数失配导致的控制失效,重点对虚拟同步机控制参数、锁相环参数进行整定,提升控制精度和响应速度;建立控制参数定期校验

机制,采用专业设备对参数进行检测、校准,及时修正偏差,确保控制策略稳定有效。(2)保护装置升级与协同配置:定期对保护装置进行升级改造,采用高精度、高响应速度的保护器件,优化保护逻辑,提升保护装置的动作可靠性,避免误动、拒动现象;完善保护装置的协同配置,确保各区域、各设备的保护装置相互配合,形成全方位的保护体系,当发生故障时,能够快速、精准地切断故障区域,防止故障扩大。(3)监测与通信系统完善:提升监测系统的采样率,优化监测点位布局,消除测量盲区,确保能够全面、实时捕捉系统运行数据;加强通信系统建设,采用抗干扰能力强的通信线路和设备,完善数据加密、备份机制,防止数据传输中断、丢失;强化网络安全防护,防范网络攻击导致的监测、通信系统故障,保障控制与保护系统的稳定运行。

结束语

电力运动系统的安全稳定运行是新能源高效利用与电网可靠供电的核心保障,其故障诱因复杂多样,涉及设备损耗、环境影响、控制偏差等多个维度。本文系统分析了各环节常见故障及成因,提出的预防措施贴合实际运行需求,可有效降低故障风险、减少故障损失。未来需结合智能化技术,持续优化监测与控制体系,完善故障预防方案,不断提升系统抗扰动能力,为电力运动系统的高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]宋文英.电力变压器故障分析与技术改进[J].电子技术与软件工程,2023,17(22):238-240.
- [2]王瑞云.变压器故障分析与处理[J].电子技术与软件工程,2024,9(7):220-224.
- [3]黄丽.关于提高变电运行供电可靠性的措施[J].电源技术应用,2024,25(3):98-100.
- [4]王治国.浅谈电缆施工和使用中常见问题及预防措施[J].建筑工程技术与设计,2025,12(31):166-169.
- [5]方宇,于兴羽,王华锋,等.运动装置常见缺陷消缺思路分析[J].中国新技术新产品,2023,20(8):74-76.