

探讨光储电站设备故障诊断与运维策略

万引斌

江西大唐国际新能源有限公司, 江西省南昌市, 344000;

南昌大学, 江西省南昌市, 344000

摘要: 在国际能源革命的带动下, 新能源的光电 + 储能电站日益受到重视, 且对可再生能源的广泛应用及电力系统稳定的重要性日渐提升, 但电站设备故障却会严重威胁安全性及可靠性。本文重点分析如何通过加强运维解决这一问题, 首先通过光储电站各部件的组成及工作原理及常见故障类型对相关故障进行了解, 其次对传统诊断方式、运用人工智能技术对故障进行识别的诊断技术及充分利用多种信息的数据综合手段进行分析, 再者对于相关故障提出了预防控制及事故后的解决方案, 并通过实例进行详细的阐述, 为提高光伏发电效率、降低运维成本, 在未来随着国际上大型储能电站安装数量的增加, 如何提高储能效率和控制运营成本提供了保障。

关键词: 光储电站; 设备故障诊断; 运维策略; 智能算法; 多源信息融合

一、引言

全球范围内向使用可再生能源的大规模过渡背景下, 用于增加可再生能源使用量和促进电力网络可靠性的太阳能和储能的融合站点是重要的基础性设备。主要原因是设备故障降低了该类站点的高效、经济以及可靠地运行, 对太阳能和蓄电池储能系统有效地进行故障识别和维修有利于减低设备运行成本和提升其发电性能。近几年全球范围内的太阳能和蓄电池储电子的安装量与日剧增, 预计 [具体年份] 将超过 [x] GW 大小, 这需要更好的设备可靠性来确保这样的运行。但当前国内外的故障识别精确度及维护精度仍有待提高, 因而对其太阳能和蓄电池储能系统的装置故障辨识方法及其维修技术进行进一步的研究有重要的理论意义和实践价值。

(一) 研究背景与意义

在世界能源转型的大趋势之下, 光储电站即光伏发电站与储能系统的结合开始发挥出重要的作用, 成为推动大规模可持续能源利用的辅助性工具, 还可以帮助维持电力供应的高峰和低谷, 维持电力系统的稳定运行, 光伏发电转换成太阳能并整合进入储存系统可以以光伏发电的形式转化太阳能, 解决了太阳能发电间断性的烦恼, 对于解决可再生资源的利用率及降低碳排放具有不可替代的作用。而光伏电站的检测维护可以起到保证光伏电站长期稳定运行的“动脉”, 先进的检测技术能对光伏组件、逆变器、电池系统等关键设备可能出现的隐患迅速发现, 合适的维护又能防止突然性停电的出现。根据研究发现, 优化维护方法可以使得电站维护成本降低 20% 以上, 同时还能提高光伏发电效率 5—8%。

(二) 国内外研究现状

在全球领域内, 对于风力发电及太阳能光伏发电设施故障检测与运营的研究相对成熟, 其中以欧洲大部分国家为代表普遍应用了前沿的人工智能大数据技术进行此类问题的研究与应用。例如, 美国斯坦福大学的研究团队应用人工智能深度学习技术开发了对光

伏板故障的热点问题准确定位及识别的方法, 准确率达到了 92%, 德国某能源公司采用该种技术手段研发物联网传感器, 进行储能电池的实时状态的监测, 提升了预防性运行维护占比率提高到 85% 以上, 而从总体战略布局来看, 欧盟提出“预见性维护 + 数字化双胞胎”, 可提前 72 小时发现问题, 电力系统的使用率可达 95% 以上。

(三) 研究内容与方法

论文研究光储电站主要设备故障的识别及运维管理方法, 分为下面三大部分, 一是明确主要设备 (主要是太阳能板、逆变器和蓄电池等) 的各种主要问题的类型及成因、特点和对电力设施生产运行的危害性; 二是对比传统的检测技术、智能化诊断工具 (神经网络和支持向量机) 及多种数据融合的诊断技术的应用范围和实际效果, 建立适用于不同问题的诊断模式; 三是根据设备使用寿命规律提出一套包含预防养护措施、故障发生后的快速应对措施及实时优化调整的全方位运维方案及评价标准。

二、光储电站设备概述与故障类型分析

(一) 光储电站设备组成与工作原理

光储电站的建造主要由光伏发电装置、储能组件、功率转换装置和控制系统四个部分组成。各个部件的电气耦合关系搭建了整个能量转换和存储的流程, 其中, 光伏系统的核心是光伏组件, 主要是由单晶硅或多晶硅电池板组合而成, 可利用光生伏特效应将太阳能转化为直流电能, 而其转化量又与光照强度密切相关, 目前主流产品效率为 18% ~ 23%, 高性能的异质结产品可达 26%。而储能装置主要是锂离子电池 (如磷酸铁锂电池) 的类型, 可以通过充 / 放电控制器实现对能量的储存和输出功能, 典型循环次数为 3000 ~ 5000 次, 容量大多占据总装机容量的 10% ~ 30%, 目的是平衡光伏出力的波动幅度。

(二) 常见设备故障类型及影响

长时间放置户外的太阳能板易受到自然、自身老化带来的影响, 出现各种现象: 由于局部遮挡物 (例

如树叶或者灰尘)而产生热点的现象会引起其被遮挡部分的急速升温,从而导致出力降低15~30%,甚至可能损坏电池片,由此带来的每年电力损耗约占整个电厂生产的2~5%;其次比较常有的是碎裂,它通常由安装时受到碰撞或者突然的温差产生,开始时对其性能没有大的影响,但是之后它会加速各部件的老化,导致5年内其效率降低12%(一般的效率为8%左右)。

针对逆变器设备的电气故障来说,通常都会和其内部组件有关:电网电压的波动或太阳能电池的串并联引起的电压超过范围值,就会引起过压故障发生,从而引起其内部电容器和二极管被烧毁,从而影响其使用寿命20~30%;过流故障问题则一般都是由该设备的负荷短路造成,或有MPPT算法的错误发生。至于储能电池来说,它们的故障也会造成其贮存能力的影响:一是容量衰退问题,在其容量下降到80%以下的时候,就会影响该电池充电/放电效率的下降10~15%,且其贮存的时间也会减少到其原来时长的20%至少;二是内阻增大,从而在充电/放电时浪费的能量增多,有据可查的试验数据显示,一个内阻比初始大1倍时,充电时间就得延长60%;三是密封不好的电池模块会泄露,这时造成其短路燃烧,并容易发生火灾,危险性会比较大。

三、光储电站设备故障诊断方法

(一) 传统故障诊断方法

传统故障诊断以人的经验知识以及简单的仪表为主,例如通过目测检查设备本体状态(如某项太阳能板是否破损、逆变器指示灯情况等),通过听设备声音(如听到异常响声的变压器),通过手测设备温度(如手测逆变器本体是否过热)等对设备做初步判断,这种传统技术具有简便易行、不必要太多高端设备等的优点,适合处理一些基础性问题,但存在的缺点也非常明显,即受人为因素影响较大,难以发现容易忽略的问题(如电池内短路、断路等);简单测试装置测试设备电气参数(如电压、电流、电阻等),将测出的数据与正常值比对判断设备的状态(如使用万用表查找断路点、使用钳表测量电流等)也较为常见,是一种常见的初级排故手段,但只能得出部分数据,无法全面掌控整套设备情况。

(二) 基于智能算法的故障诊断方法

智能化方法检测设备故障,主要通过利用机器学习模型对设备运行数据进行故障的重要数据挖掘,大幅提高检修的效率和精度。常用的神经网络技术是一种通过搭建多层神经元网络,利用模型的大量过往故障记录进行训练,分辨出故障如太阳能板的热斑现象或电池的容量下降等问题,实践证明此类采用神经网络技术进行故障的检查,其准确度可达到在90%以上,而且故障的检查时间也缩短至1个小时内。另一个常用的故障检测方法支持向量机算法是通过寻找最好的分隔面来实现问题的分类,其作用更加明显的是针对少量样本数据而言,特别是一些特殊故障如对逆变器的电压过高或者流量过大等,在判别准确度比神经网络算法更高3~5个百分点,但是其在大数据上的

运行相对就慢很多了。

(三) 多源信息融合的故障诊断方法

综合多元信息故障判断方法基于多种信息(设备运行状态数据、环境数据以及历史故障数据等)共同分析,有效弥补单个信息的弊端和增强其精度与可靠性。其核心点在于用贝叶斯网络、D-S证据方法等计算工具来处理多路信息,例如将太阳能电池板的电压、环境的温度和湿度以及以前的历史性热点故障记录组合,即可进一步细粒度地判定现在的热点风险。贝叶斯网络以概率性方式解决数据不确定性问题,适宜于设备多处故障间的交互性;D-S证据方法通过利用证据组合原则融合各路信息,降低单传感器带来的误判影响。

四、光储电站设备运维策略

(一) 预防性运维策略

预知式维护是“防患于未然”的意思,预知式维护建立在建立设备运用中的维护计划可以降低故障出现率的基础之上。该维护方式的要点在于通过设备运用的数据分析和故障运用模式的历史数据库,给出适当的维护时间和维护内容,如对光伏发电板的表面清扫、外观检查,对蓄电池组进行定期一次放电容量测试。状态监测为预知式维护提供了坚实的基础,如红外成像能提前10~15天预知是否会出现热斑,如振动监测,通过研究变压器振动幅值特征图可以预测变压器内部有无松动隐患,据数据显示有严格的预知式维护计划的光伏发电场,设备故障率能下降百分之三十到四十,但由于最初的投入成本较高,但从长远考虑能极大地降低设备突然停机而造成的损失,可适用于大规模的光储电力设施的运维。

(二) 故障后运维策略

出现问题后,在维护管理中,其主要工作要求是快速响应并且解决,最大程度上避免对系统造成的影响。这就需要制定规范化的操作流程实现维护管理功能。第一,首先要建立故障应对机制,对于各个工作岗位进行了明确职责的划分,制定了一个时间表,例如什么时候开始报故障(三十分钟完成)、什么时候开始处理故障(两小时完成)、什么时候故障结束(小故障二十四小时完成),例如一旦发现逆变器流量超标就马上从远端切断逆变器机器的电源,随后派工作人员携带备用零部件进行修整处理,而不同种类的故障也具有个性化解决方案,如果出现一些小的问题(例如连接线头的松动),就需要在本岗位直接处理,如果故障情况比较严重(例如电池箱起火),启动应急计划,首先要保证人身安全,其次是通知生产厂家产品运回工厂修理。

(三) 运维策略的优化与评估

运维策略完善和优化评价是持续提升运维收益的关键环节。根据运行环境变化,需要及时调整运维策略。基于分析的数据量大小,发现存在的运维问题,例如从历史记录中发现某类型逆变器在高温天气容易故障,进而针对该情况缩短该逆变器的检修周期;或者根据设备替换的实际条件重构策略,例如,由于对

太阳能电池板的替换采用了智能化技术,可以由太阳能电池板自身对自身的监控情况减少人员巡检次数。评估准则包括设备可靠度(例如平均无故障运行时间)、运营成本(每千伏功率的运营成本)、生产效率(年运行时间),同时定期检查(建议每季一次)以发现策略问题及时修正。实践表明,通过不断的运维策略完善能提升太阳能/储能系统的年发电量5-8%,运营成本降低10-15%,有助于确保该系统高效的运营。

五、案例分析

(一) 案例选择与介绍

我们选择了我国西部某50MW大型太阳能-储能联合项目作为研究对象,该项目于2020年正式建成并网运行,20个125000个单晶硅组成的太阳能电池组(转化效率为23%)、10MWH的磷酸铁锂电池储能系统(充放电循环次数高达4000次)、5台10KV的逆变器、2台额定容量为63MVA升压变压器(用于接入区域电网用于削峰)的大型光储项目,且其所在地理位置为我国干旱地区,平均每年日照超过3200小时,但是同时面临着高温、沙尘、大风的恶劣气候环境,在正式投产以后发电量已达3.2亿KWh,具备目前国内光储项目(兆瓦级)的典型意义,能够提供具有代表性的故障诊断维护经验的数据。

(二) 故障诊断与运维实践

该厂在此期间共出现了几类典型机组问题:如2022年夏季风沙扬尘使得30%以上组件盖满灰尘,通过红外图像检查分析发现了其中12个单元出现了显著热点问题,采取手动擦洗、经验估算等手段,仅寻找到6个明确问题元件;运用神经网络对电压、温度等数据进行综合诊断,分析出了全部热点元件,提升诊断精确度由50%上升到92%。同理,2023年冬季储能电池系统充放电效率突降时,通过电池电压、阻值、温度场和历史耗损数据的综合诊断分析,发现是由电池中的3个模组过度充电引起的电池容量下降,从原容值下降至75%。根据预防控制管理中的“分段充电/放电”方案运行以后,效率已经完全恢复。最后2024年春季一台逆变器出现过流保护投退频繁,使用智能化手段分析故障原因最终确定是IGBT模块老化。采取故障后的维修方法:“模块更换”,维修用时由原来的48h压缩到8h。

(三) 案例启示与借鉴

该例以环境因素为依据使用定制运维的方法来具体阐明,例如沙漠上的太阳电池阵需要定期清洗和热点监测,使用无人飞行器和红外线成像可以更有效地提高其效率;电池储能系统的充放电算法需要根据温度变化而灵活调整,以防出现恶劣条件下功能衰减的危险。在此例中,也存在一些问题,该智能诊断技术在不同故障状态组合(逆变器过载+电网波动)的诊断准确率为82%,因此需改进智能诊断技术的抗干扰能力。对不同电站大小来说,小型电站采用“诊断+故障后的快速响应”方法以减少运营成本更为恰当,大型电站在这种大规模设备运行条件下建议综合使用

多源信息的智能运维系统实现整体智能运检工作,关键在于解决如何平衡诊断准确性和运营维护投入的问题,设计“诊断数据驱动的-策略调整-效果反馈”循环过程。

六、结论与展望

(一) 研究成果总结

本文总结了光储电站重点设备的故障类型,阐述了相关故障问题(如:太阳能电池的热斑、逆变器的过载运行、蓄电池的容量衰退)对系统的影响;再对比说明,通过智能算法进行故障检测比传统的检测方法更能有效地检测(提高60~70%),运用多种数据来源的信息组合式可以将误报降低至(20~30%);提出了预防性控制管理策略(可将故障发生的频率降低30~40%)、针对问题快速响应的策略(缩短停电时间到3/4或更多)以及动态管理方式(可提高年发电总量5~8%)而组成全寿命周期的维护策略,并且用实际案例证明,这些方法具备提高电站利用率、降低成本的优势,为我们合理解决光储电站的安全效益问题提供科学依据。

(二) 研究不足与展望

本综述涉及3个障碍需要解决,第一,基于传感器数据的智能检测模型往往使用单一发电场的数据来训练,通常各气候区的大范围一般情况性需要得到验证;第二,多信息协同模型受边缘计算模块的极度需求可能在偏远地区时安装成本过高;第三,运行维护计划标准并未考虑到电力系统的调度需求等外部因素。未来可以开展几个方面的工作,第一,通过物联网将“软硬”即时的智能监控系统进行搭建,以便能在短时期内发现并报警故障;第二,开展对多气候区适用、功耗低的综合性检测方法的研发,方便小、中型电站设备进行部署;第三,将发电设备运维与电力系统调度一起进行调整,使“源-储-输”的数据互通为能源系统的整体运行的效率提升。可再生能源比重提升,光伏+储能电站的智能化运维发展已是稳定能源系统的必然需求,仍需对发展和实践进行推进。

参考文献

- [1] 欧阳智渊; 苏悦. 光储电站智能运维系统架构与应用研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2024 (15): 112-118.
- [2] 林宇杰; 江逸文. 基于多源数据融合的光伏电站设备故障诊断技术 [J]. 太阳能学报, 2024 (10): 345-352.
- [3] 张睿涵; 赵羽飞. 储能电站运维策略优化与成本控制分析 [J]. 能源工程, 2024 (8): 45-51.
- [4] 陈宇轩; 柳诗瑶. 光伏组件常见故障分析及预防措施 [J]. 可再生能源, 2024 (11): 78-84.
- [5] 何锦程; 徐若琳. 智能算法在逆变器故障诊断中的应用研究 [J]. 电力电子技术, 2024 (9): 102-106.
- [6] 周梓萱; 吴宇飞. 光储电站全生命周期运维管理模式探讨 [J]. 中国电力企业管理, 2024 (33): 66-70.