

风力发电机组故障诊断与预测技术探究

张旭

吉林电力股份有限公司

摘要: 风能作为重要的可再生能源,近几十年来,全球风能使用规模迅速增长,陆上和海上风力发电机组发电容量不断增加。风电清洁又安全,然而,风力发电机存在维护成本高、难度大的特点。为保证风电机组的稳定运行,有必要进行科学、合理的故障诊断及预测。本文结合当前风力发电及发电机组的发展现状,简要分析了风电机组运行过程中的常见故障,并深入探讨了风电机组的故障诊断及预测技术,以期能够进一步提高风力机组运行的稳定性,促进风力发电行业的健康发展。

关键词: 风力发电; 机组; 故障诊断

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.06.075

引言

“双碳”战略目标背景下,我国对于可再生清洁能源的使用愈发重视,风力发电逐渐成为主流供电方式。与火力发电、核发电相比,风力发电更加清洁、健康,在为社会提供优质电能的同时,能够维护环境健康,促进生态的可持续发展。但由于风力发电机组结构十分复杂,再加上叶片长时间受外力作用,因此很容易出现各种故障,降低了风力发电的安全性和稳定性。因此,如何对风力发电机组的故障进行有效诊断并精准预测,是当前风力发电行业需要研究的重点问题。

一、风力发电与风力发电机组发展现状

近年来,各国对新能源产业的呼声越来越大,并着力发展太阳能、风能等。截至到2021年,全球资源中风能约为 2.74×10^9 MW,其中约为73%为可利用风能,其利用率相比水能具有超过十倍的优越性。我国地域广阔,具有极为良好的风能开发条件,据初步统计,我国陆地可开发风能超过2.53亿千瓦,海上可开发风能为7.5亿千瓦,按照五十米范围推算,总风能可达到20亿千瓦,可利用风能可达到14.6亿千瓦,风能可开发总量仅次于俄罗斯与美国。风能作为新能源的一种,不仅具有良好的开发机制,还兼备宝贵的清洁属性,与太阳能同属于新能源的核心种类。随着我国科学技术水平的持续提升,风力发电设备装机容量持续加大,在技术水平的进一步提升下,风能开发成本将进一步压缩,并且将实现大规模普及。据资料显示,我国近年风力发电设备装机容量持续扩大,已经超过19.66GW,并且仍在持续上涨中。从世界范围来看,我国新增风力发电装机容量超过全球新增风力发电装机容量的三分之一,位居世界首位,相比排名第二的美国高出12.64GW。我国总装机容量占比

约为全球的35%。从数据中可知,我国风力发电事业正处于高速发展阶段,并且还有大量等待开发的风力装机场所。

二、风力发电机组常见运行故障

(一) 叶片故障

风力发电机组中叶片是其主要构件之一。机组在工作过程中叶片将承受十分巨大的压力,由于机组全天候运作,因此叶片承受的压力会伴随在机组运行全程,是最容易出现故障的构件之一。比如,叶片运行时会和蒸汽和空气接触,在压力的影响下会加快叶片腐蚀,从而出现陀螺的问题。当叶片运作时间过长时,内部配件容易出现松动的问题,从而导致叶片连接不稳定,引发故障。如果叶片受外力影响产生裂纹及形变,将释放出高频瞬态的声发射信号,此信号是叶片损伤评估的主要途径之一。当叶片出现故障后,将导致叶片的转子受力失衡,此种受力会通过主轴传送到机组内部,从而导致机舱出现震动,轻者导致局部故障,重者导致机组基础失衡。

(二) 齿轮箱故障

风力发电机组中齿轮箱的作用是连接机组主轴和发电机,可让主轴转速更快,一方面满足机组运行需求,另一方面提升经济效益。齿轮箱中包含行星齿轮和两级平行齿轮两部分,由于齿轮箱工况恶劣,且运行中受力情况复杂,当机组处于运行状态时很容易对齿轮箱施加冲击力与交变应力,促使齿轮箱出现磨损、滑动等问题。齿轮箱作为内部构件,大多数情况不暴露在空气中,因此发生故障的概率很小。即便如此,齿轮箱仍然是故障诊断与异常排查的重要环节,这是因为齿轮箱故障后机组将无法运行,并且齿轮箱维修周期较长,且维修费用高昂,所以齿轮箱故障诊断是近年风电机组故障诊断的核心方向,是确保风电机组稳定运行的基础。

(三) 机组系统的故障

目前,偏航系统的功能包括风向跟踪和解除电缆缠绕两种。前者可引导风电机组对风向进行追踪,最大限度提高风能的接受比率;当机组对风向进行跟踪时,很容易出现电缆缠绕的问题,因此偏航系统会判断电缆缠绕的严重程度,当超过阈值后会自动解除缠绕。当偏航系统发生故障时,继续风向跟踪与电缆缠绕解除功能失效。变桨系统的功能是当风速发生变化时,该系统可调整叶片角度让空气动力扭矩更大,从而提高机组运行规律。如果风速过快或机组出现故障,变桨系统可通过调整叶片状态的方式实现制动,将损失降到最低。由于叶

片是风电机组的主要元件，而变桨系统主要对叶片角度与运行模式进行调整，因此需注重变桨系统的维护，可通过调整叶片和风速的匹配程度来判断变桨系统是否出现故障。

三、风力发电机组运行状态的影响因素

传统的风力发电机组的维护只涉及其运行状态，但是由于风电机组的零部件数量众多，其生产、运输、安装等方面均有可能影响其运行状态，其影响因素贯穿了其整个生命周期：在设计阶段，主要有物理特性、疲劳特性等因素以及风轮几何参数、叶片材料、内部结构等结构因素；在生产阶段，则为配套问题、采购不当以及部件质量低等装配问题；在运输阶段，其影响因素则为存储不当、运输损耗等人为因素；在安装阶段，则存在着安装误差等人为因素；在运行阶段，影响因素更加广泛，如周边环境、地形和海况等地理因素，盐雾、风速、温度、大气压强和空气湿度等气象因素，风湍流等随机性载荷因素以及主轴的上倾角、叶片重力、塔影效应、偏航误差和风剪切等确定性载荷因素，另外还有电网负荷变化、电压脉冲、瞬时短路和转差等电气因素；在维修阶段，则有着维护不当以及未实时维护等因素。

四、风力发电机组故障诊断技术

（一）齿轮箱的状态监测及故障诊断

齿轮箱的故障一般主要包括其内部齿轮和轴承的故障。轴承是齿轮箱的关键部件，容易出现磨损、点蚀、裂纹以及表面剥落等故障。齿轮故障主要为断齿、齿面疲劳和胶合等。在齿轮箱的状态监测中，相对常用的方法一般为振动监测和温度监测。振动监测主要利用测量振动的仪器来测量齿轮箱的振动频率并进行纪录，然后将设计数据和实际运行数据做比较分析，进而明晰齿轮箱各个部件的运行状态。温度监测主要是通过温度传感器对齿轮箱各个部件运行过程中的温度变化进行感知和分析诊断，通过和常态下的温度相比较，能够及时获知齿轮箱零部件的工作状态信息。

（二）叶片的状态监测及故障诊断

目前，对于叶片的故障检测，主要利用材料在不同受力情况下的应力变化判断其故障状态。GHOSHAL等基于振动检测方法，通过设置压电陶瓷传感器获取振动信号，提出了多种用于叶片故障诊断的方法，如借助多普勒激光扫描测振仪，将叶片健康时的测量数据作为参考，利用动态变形分析方法诊断叶片故障，虽然诊断结果比较准确，但在实际环境中难以大量应用；也可安装压电陶瓷传感器和激振器，借助传感器信号之间的响应差，比较判断叶片是否存在异常，此方法较为简单，但受传感器安装位置影响，有其局限性。

（三）发电机的状态监测及故障诊断

风力发电机的运作原理是通过发电机将机械能转换为电能，发电机是风力发电机组的核心部件。在风力发

电机组运行过程中，工况变化、电磁环境会对发电机造成一定程度的影响，引发振动过大、轴承过热、线圈短路、发电机温度超标等问题，继而影响到风力发电效果。状态监测工作中，工作人员可以使用信号技术掌握发电机的实际运行状态，或者使用该技术准确判断发电机故障的具体位置。该信号的原理如下：收集监测转子/定子的电流信号、电压信号、输出功率信号，观察收集数据值的谐波分量变化情况对故障进行判断。比如，在发电机出现故障后，工作人员根据获取的输出电流、电压、功率等信号对故障进行准确识别，在明确故障类型的同时分析故障成因，如轴承过度磨损等，及时采取专业措施。

（四）其他设备状态监测和故障诊断技术

风力发电机涉及的设备比较多，除了上述三种外，还包括变频器等多种电气设备。风力发电机在实际应用中可能会出现短路、过电压、过电流、过温等问题，继而造成发电机的损坏。在具体监测过程中，工作人员使用性能参数监测技术收集输出电压、电流、功率、温度等数据，并将收集的数据与标准值进行比对分析，以此对其他电气设备的运行健康状态进行判断。比如，要明确液压传动系统是否良好运行，工作人员可以使用油液监测技术，通过检测润滑油、液压油中的颗粒物情况分析故障情况，并采取具体的处理手段。需要注意的是，风力发电机中的各组件的运行状态、运行环境存在差异，工作人员需要根据具体情况选择合适的状态监测技术，保证所收集的数据的真实性与有效性。

五、风力发电机组故障预测技术研究分析

（一）风电机组机械结构系统故障预测

与故障诊断不同，故障预测主要是通过日常监测发电机组的运行状态、运行数据从而对可能发生的故障进行分析，并采取相应措施防止故障或降低故障发生率。二者虽然存在本质上的区别，但也有一定的相似之处。例如，在预测风电机组机械结构故障的过程中，可以参考风电机组的振动数据。风电机组运行过程中，不同结构都有其独特的功能和特性，因此通过对振动数据的监控分析，能够全面预测发电机组的机械部位可能存在的的功能问题。首先，风电机组日常运行过程中，需要定期收集风电机组振动所产生的参数数据；其次，对收集到的数据进行深度分析，提取其中的频率信号、时域信号。通过分析信号的特征值，能够精确定机组机械结构各部件的运行状态，发现可能存在的故障问题；最后，以统计学理论为基础，根据风电机组的运行规律制定报警数值，进而在保证不影响机组正常运行的状态下对可能发生的严重故障问题进行精准预测。

（二）基于设备故障模型和大数据神经网络预测

随着状态监测和故障诊断技术的不断进步，20世纪末逐渐发展起来一种新的维修方式——基于状态的维修

(CBM)。该维修方式综合运用各种技术手段获取设备的运行状态信息,并运用数据分析与维修决策技术对设备状态进行实时或者周期性的评价,最终做出科学化的维修决策。实现了通过状态监测预测即将发生的故障,制订合理的维修决策。本文将智能诊断技术进行有效融合,通过大数据神经网络、机组设备故障模型,构建了一套风电机组核心设备的数字化镜像模型,能够完全还原机组的真实运行状态,从理论上将具有与机组相同的状态结果。与传统的警报预测相比,基于大数据神经网络的机组故障模型预测进一步提高了对机组运行异常数据的捕捉能力,提升了异常记录以及警报的准确性。不仅如此,该模型除具有警报功能外,还能够对可能发生的故障进行定性、定位,预估可能造成的危害性,并根据风电机组的实际情况提供可行的检修方案,更加智能化、便捷化。该模型主要参考机组设备、系统的运行参数,并根据重要性对所收集到的参数进行类别划分,同时通过对过程报警的进一步整合,在很大程度上提高了报警的准确性,降低了误报警情况的发生。另外,为进一步缩短故障处理时间,该模型还设置了越限报警功能、故障致因诊断功能,并还能提供故障零部件劣化趋势信息,在很大程度上保证了风电机组的稳定运行。该模型还存储了大量的机组运行数据,通过挖掘、分析这些数据,还能够根据不同工艺系统的特征进行建模。机组实际运行过程中,可以将运行参数带入带预警模型中,通过深度分析计算,能够精准获得各工艺段、设备的运行故障诊断和事故预报信息,这些信息都有助于机组运行状态的监测和预警,进而及时发现可能存在的故障关联点。

六、风力发电机组的维护

(一) 常规维护工作

(1) 加注润滑油。通过加注润滑油,控制和减少机组的磨损故障。如,在机组运行过程中,部分结构增加冷却液、润滑油以及液压油等装置。尤其是液压油,要求整个机组卸压之后,液压油油液应该为2/3位置。

(2) 定期对元件进行更换。部分元件为整个机组的消耗品。因此,风力发电机组维护工作实施的过程中,需要针对设备元件进行更换。实际上,设备软件更换实施的过程中,可以采取必要的措施进行更换管控。如,定期对滤芯进行更换,确保滤芯始终保持良好的工作状态,确保滤芯应用良好。(3) 对风机进行定期清洁。对风机进行定期清洁也十分重要。实际上,风机清洁实施的过程中,主要针对塔筒、机场内部、轮毂、浆叶等进行定期清理。

(二) 维护技术的升级

风力发电机组运行过程中,需要在机组维护时采用新型技术。技术具体应用实施的过程中,可以通过这项技术应用,确保风电机组运行控制有效。如现代风电机

组维护技术应用时,已经开始应用远程控制技术、智能机电保护等装置,利用多种技术,实现机组的智能化维护,确保机组运行状态良好。

七、风力发电机组监测和诊断未来的研究方向

目前,国内外针对风力发电机的状态监测虽然已经提出不少检测方法,但是其中绝大部分还处于离线检测阶段,部分已安装在线监测设备的风电场除风速、电压、电流等常规监测外,也仅限于轴承振动或温度的在线监测。针对此问题,未来的研究方向主要包括以下几方面。(1) 风力机组故障机理的研究。针对风力发电机组的运行工况研究其故障的发生与演化机理,不仅要相对于较易失效或故障高发的部件进行研究,对于其他关键部件的状态监测也应引起重视。(2) 风力发电机机械和绝缘故障的关联性研究。风力发电机与传统发电机有很多区别,往往针对发电机的监测更偏向于大型高压发电机。而风力发电机功率高,电压低,转子频率变化大,目前仅可实现对振动的在线监测,但诊断方法也需考虑风电机组自身摆动等产生的影响。对于局部放电来说,如何分离局部放电信息和干扰仍是需要首先解决的问题。(3) 应用于风力发电中数字孪生系统的研究。如何实现对建成的风电场及设备进行精细、直观、有效的运营管理,是必须解决的问题。通过在风电机组设备上安装传感器,利用现代网络技术将实时监测数据上传到服务器,实现数据的动态更新,提升对风机设备故障的诊断、评估及预测能力,是未来保证风电场稳定高效运营的关键。

结束语

现阶段,为满足“双碳”战略发展目标,风力发电逐渐成为主流供电方式,为保证风电机组的稳定运行,亟须制定一套高效、精准度机组运行故障、预测方法。本文结合当前风力发电及发电机组的发展现状,简要分析了风电机组运行过程中的常见故障,并深入探讨了风电机组的故障诊断及预测技术,以期能够进一步提高风力机组运行的稳定性,促进风力发电行业的健康发展。

参考文献

- [1] 黄瑜珈. 风电新能源及其并网探讨[J]. 光源与照明, 2022(9): 229-231.
- [2] 许春福. 风力发电机组故障诊断与预测技术研究综述[J]. 能源与环境, 2022(3): 46-47.
- [3] 陈飞. 浅谈风力发电机组变桨逆变器故障原因和处理[J]. 广西电业, 2022(5): 32-34.
- [4] 魏协奔, 卢旭锦, 孙培明, 等. 浅谈风力发电机组振动状态监测与故障诊断[J]. 中国设备工程, 2021(16): 148-149.
- [5] 王维娜, 吴玲敏, 高海瑞. 基于物联网的风力发电机电状态监测系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2019(6): 56-58.