

海上风电机组主要机械故障机理分析

彭冬宇 储银贺

(国家电投集团山东能源发展有限公司 山东 济南 250000)

摘要: 海上风电因为运行环境关系,所以在实际运转的过程中出现故障的概率相对较高,故障修复时间长且维护困难,因此出现故障停运的现象,不仅会对电力企业造成严重的经济损失,对我国的能源控制管理工作也会造成消极影响。本文主要针对海上风电机组的主要机械故障机理进行分析,进而结合我国信息技术和计算机技术进行一定的综述,优化海上风电机组机械故障维修方案,为降低海上风电机组出现故障风险提供一定的理论支持,以供参考。

关键词: 海上风电机组; 机械故障; 机理

0 引言

我国风力能源十分丰富,陆上风力资源开发程度较高,在我国的能源管理控制工作中发挥了极为重要的作用,但是在我国海上风力发电开发过程中还存在一定的问题影响我国电力工作。例如,一旦海上风电机组在运行过程中出现主要机械故障,需要相关技术人员到现场对机械进行维修,而维修工作还受到环境以及天气的制约,因此海上风电机组的故障严重影响了电力企业的经济效益和社会效益目标实现。为了保证我国电力企业的良好发展,应该尽可能降低海上风电机组的故障次数,降低运维频率,因此对风电机组的运维提出了更高的要求。尤其是现阶段我国正在大力开展经济深化改革发展,对能源的质量提出了更为严格的要求,应该重视海上风电机组的控制,从而推动我国经济建设和发展,为我国的社会发展和进步贡献良好的能源助力。

1 海上风电机组的故障特点

1.1 海上风电机组的故障统计和分析

欧洲是发展海上风力发电最早的地区,也是目前世界上海上风力发电技术最成熟的地区。因此,本文结合欧洲海上风力发电场的运行规律来探究海上风电机组的主要机械故障和机理。结合该风力发电场的运行数据发现,在该风力发电场运行的第二年风电机组出现的主要故障是风力机组的变速箱故障。在出现该故障之后,该风电场将所有的变速箱全部更换,之后出现普遍的大规模故障主要是风电机组中的控制系统和齿轮箱故障。控制系统故障是该风电场的主要故障来源,但是结合我国风力发电场的运行状态来看,控制系统的故障已经不是发电机组故障的主要原因,风电机组内部故障成为导致

风电机组不能正常工作的主要原因。但是也有一部分电气系统中存在接线开关、变流器以及控制系统故障的现象。系统停机最常见的故障主要是发电机故障和齿轮箱故障。

1.2 电子变流器故障特点

电子变流器故障是电气故障的一部分,对于变速风力发电系统而言,出现变流器故障的概率逐渐增加。出现这种情况的主要原因是功率半导体器件和直流电容是变流器中最薄弱的环节,因此其出现故障会直接引发电子变流器故障。同时因为电力变流器是风电机组运行的最基本元件之一,所以其出现故障直接会导致风电机组的机械故障。

目前能够发现的变流器故障主要有变流器误触、过电压、过电流和过热等。过电压主要指的是在电流转换过程中的直流回路滤波电容器出现故障,变流器负载突降导致直流回路回馈能量,造成直流侧短时间内出现能量集中回馈,进而引发电压故障。过电压故障是因为变流器负载分配不均导致输出短路进而引发的。以上故障都会导致变流器开关断路、短路以及直流电容容易损坏,进而会导致电子变流器故障出现。

2 海上风电机组故障原理

2.1 叶片故障

第一,叶片的表面粗糙程度。通常情况下,叶片经过长时间旋转之后,表面会因为积灰、沾有其他杂质导致叶片表面变得粗糙,同时在长时间过大风力和不良环境的影响下,叶片经常会出现油漆破裂、坏洞和结冰等现象,对叶片的表面的光滑程度造成消极影响^[1]。粗糙的叶片表面会增加叶片的运动摩擦力,同时破坏叶片表面的空气动力场,降低了海上风电机组的电力输出效果。

在长时间的影响下，叶片故障会逐渐影响到的海上风电机组的运转效果。

第二，叶片不平衡也是海上风电机组运行过程中极为常见的一种故障。叶片的不平衡运动会导致叶片叶轮的振动，增加了风机的损坏概率。通常情况下，叶片会因为各种因素导致质量改变，进而出现不平衡的现象。例如，叶片在运转过程中会出现结冰或者是腐蚀穿洞的现象，此外在长时间运转的情况下，叶片内部的结构会出现松动现象，这也是造成叶片质量不平衡的主要原因之一。

第三，叶片运行空气动力场不对称。对于现阶段使用的变桨距风电机组而言，如果在组装过程中出现失误，可能会导致叶片攻角不同，进而会造成风电机组运转过程中的空气动力场不平衡，长时间的运转会导致内部结构出现一定故障，同时也增加了风电机组的故障概率。因此需要相关技术人员对风电机组的叶片故障进行重视，降低风电机组的故障出现。

2.2 传动机故障

传动机是风电机组中极为重要的组成部分，传动机的主要作用就是负责将机械能转化为电能，同时降低强度较大的风力势能机械作用，对风电机组内部实现良好的保护^[2]。现阶段导致传动轴故障的原因比较多，包括但不限于传动轴长时间处于设计负荷下转矩超负荷、材料问题、转子不对称导致弯曲问题等，上述原因的出现都会导致传动机构损坏或者是不平衡。因此需要在建立风电机组之前对环境进行全面准确的勘察，同时尽可能提高运行和安装工作的监测水平。此外，滚动轴承的故障也会导致传统机械出现故障。通常情况下，滚动轴承位于发电机内部齿轮箱和发电机中，属于经常出现故障的部件之一，为了能够保证风电机组的长时间稳定运行应该对滚动轴承的常见故障进行原因分析，通过这种方式对滚动轴承进行维护。现阶段滚动轴承出现的故障主要有磨损、超负荷、超温、腐蚀以及导电，不同的故障原因不同，例如润滑不良或者是长时间在高负荷状态下运行，这种故障也会导致轴承间隙加大以及破裂的现象。腐蚀现象的出现主要是因为轴承中的润滑剂受到水或者其他污染，导致磨损现象的增加。

2.3 齿轮故障

齿轮常见故障种类有裂缝、破裂、齿轮牙表面、超温、腐蚀和导电等。齿轮的损坏直接影响到风电机组的正常工作效果，出现这种现象的主要原因就是齿轮长时间超负荷运转，面对的阻塞应力难以实现控制，进而造成齿牙断裂和表面脱落的现象。此外，长时间过热温度运行或者是冷却时间较短的情况，会造成轴承部件的损坏。齿轮的腐蚀和导电主要是因为齿轮在运行过程中受到外力影响，例如，腐蚀是受到海水污染，而导电可能是因为受到雷击或者是轴承传递高压电流对齿轮造成破

坏。这些现象的出现都会导致齿轮的齿牙出现裂缝和断裂，在长时间工作的背景下裂缝会逐渐加大，同时齿轮还会受到其他不良因素的影响，进而会导致齿轮的齿牙断裂。齿牙的断裂标志着齿轮工作质量的下降，对应力控制有限，严重的会导致风电机组的整体故障。因此需要相关技术人员对齿轮进行全面实验和检测，了解齿轮的工作时间和相关参数，降低风电机组机械故障的出现概率。

3 海上风电机组机械故障常见维修方案

3.1 定期维护

定期维护主要指运维人员对风电机组进行周期性的检查和维修，优点就是能够帮助运维人员及时发现系统中存在的故障或者是先兆，进而及时落实维修和更换相关配件的措施，缺点是不能够对突然出现的故障进行及时的修理和补救，对保证风电机组的正常运行能够起到积极的作用，同时能够有效的提高相关配件的使用寿命，降低配件能源损耗^[3]。但是因为海上风电机组的运行环境较为恶劣，所以定期维护的时间相对较长，需要使用的人力资源、资金较好，不适用于长时间的海上风电机组故障维修。通常定期维护用于海上风电机组刚开始运行阶段，降低后续运行工作中出现的相关风险。此外，对于长时间运行中的海上风电机组也能够使用定期维护维修方案，但是一般在维修中将快到使用寿命的行管配件进行更换即可。

3.2 停机维护

停机维护就是对海上风电机组进行系统停止然后落实维修措施，这种维修的概率相对较小，因为停机维护会降低风电机组运行的经济效益，制约电力企业实现良好的管理发展和对电力供应造成消极影响。通常停机维护应用在系统风电机组出现重大故障之后，如果风电机组继续运行可能会对风电机组造成无可挽回的损失时才会使用停机维护的维修措施。停机维护的特点就是维修时间相对较长，所以需要投入的经济资源和人力资源也比较大。另外，停机维护的维修方案受到海上天气的影响，所以在实际对风电机组进行维修的过程中可能会出现天气影响严重，及时维修难度较大的现象，进而风电机组会处于长时间的停机状态，电力损失和经济损失较大。所以对于近海风电场而言，停机维修方案不适用。

3.3 状态监测

状态监测方案就是利用目前的信息技术和数据传输技术来对风电机组的主要设备进行实时监测，对各种设备通过信息通路反馈回来的信号进行识别和分析，如果发现故障信号时，对相关问题进行及时处理。所以在状态监测的维修方案中，应该保证设备在限定的使用寿命和磨损范围内进行工作，在设备达到极限之前进行更换。

状态监测维修方案的优点是能够最大化利用相关部件,停机的概率相对较低,检修方案能够按照相关计划来执行,部件供给方便,经济成本和人力成本相对较低。同时状态监测维修方案对因为结冰或海浪导致风电机组振动等情况进行全面的检测,进而能够实现风电机组主动的控制保护,能有效降低重大损坏现象的出现。但是状态监测维修方案对相应的软件和系统稳定性要求较高,所以状态监测维修方案的前期建设投入相对较多,对技术人员的要求相对较高。

4 现代海上风电机组机械故障运维技术

4.1 远程控制技术

现阶段远程控制技术成为状态监测维修方案中十分重要的组成部分,随着我国信息技术、人工智能技术、人工智能设备的应用,状态监测维修方案的优势显著提高。例如,远程控制技术就是多种高精尖技术的集成,通过远程控制技术实现对远程风电机组的重要元件控制,这样能显著降低风电机组运行过程中出现重大故障的风险,同时能够降低设备运行过程中因为部件故障导致其他严重故障出现的概率^[4]。例如,在风电机组实际运行过程中,技术人员能够通过远程控制技术发现叶片运行出现了一定的问题,导致风电机组输出功率下降,那么技术人员能通过操控人工智能设备来对叶片上存在的腐蚀物以及杂质进行清除,为了保证清除设备的良好运行效果,技术人员还能通过控制齿轮箱实现降低叶片转速的目标,进而对提高叶片运行效果和风电机组功率起到积极的作用。但是这种技术目前应用范围相对较小,更多处于试验试点阶段,大范围使用难度和成本较大,因此能够将其作为风电机组运维展望之一。

4.2 容错运行技术

容错运行技术主要就是通过软硬件的设计来隔离出发生故障的部件或者是系统,通过这种方式维持风电机组其他系统的运转效果和效率,然后采取相应措施来对故障进行一定的调整,保证其能够在可接受的性能指标下稳定运行。

目前应用的容错运行技术主要有两方面,分别是硬件容错系统和软件容错系统。硬件容错系统主要指的就是在原有的风电机组系统内部设置冗余硬件开关代替传统故障开关,通过这种方式来实现容错控制。例如,将冗余桥臂变流器拓扑应用在双馈感应发电机中,一旦设备检测到开路故障时,就能通过移除故障开关的门极信号实现故障隔离,而出现短路故障时,能够通过快速熔断器断开实现故障桥臂的隔离,进而通过冗余开关连接到电路中,通过这种方式提高运行的稳定性,降低停机现象出现的概率。软件容错系统设计的过程中,能够使用脉宽调制技术来实现对变流器的控制,进而实现软件

容错。技术人员也能够使用矢量控制来实现软件系统的容错目标。因为在风电机组中,矢量控制是将电流分解成为 d 轴电力和 q 轴电流,分别对其开展控制,经过矢量控制能够将脉宽调制算法进行改进,通过加大电容值或加大电机运行频率来减小直流电压的波动,进而实现软件容错的目标,降低风电机组停机概率。

4.3 大数据运行技术

现阶段可以利用大数据运行技术来推动海上风电机组的良好运行,降低故障的出现,技术人员能够通过传感器等相关部件来对风电机组运行过程中出现的相关数据进行及时的收集和回传,通过这种方式来实现对海上风电机组运行状态的完全监控。在对数据进行收集之后,能够使用相应的算法来对数据进行分类和分析,发现设备在运行过程中出现的相关特点,从而针对设备的特点进行设备故障的清除和设备维护。例如,在技术人员能够利用大数据技术对过去风电机组运行过程中出现的主要故障、故障时间、故障原因等数据进行统一的收集和分析,进而能够得到一定的设备故障周期性结论,那么电力企业能够结合设备故障出现的周期来对设备故障进行提前检修,通过这种方式来降低故障出现的概率,提高风电机组运行的寿命和效率,最终推动风电机组的输出效果提高,保证电力企业能够实现经济效益目标和社会效益目标。

5 结语

本文主要阐释了我国海上风电机组机械故障的主要类型和常见方案,还对现阶段常使用的风电机组机械故障运维技术进行了综述。因此,我国相关技术研究部门应该针对海上风电机组的机械故障原因和维修方案进行深度研究,结合目前市场中可靠的信息技术和计算机技术提高维修工作的质量和效率,为我国海上风力发电事业发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 徐孝峰,刘劲尧,夏曙光,等.海上风电机组故障监测一体化系统设计[J].电子设计工程,2022,30(14):77-81.
- [2] 高晨,赵勇,汪德良,等.海上风电机组电气设备状态检修技术研究现状与展望[J].电工技术学报,2022,37(1):30-42.
- [3] 葛畅,阎洁,刘永前,等.海上风电场运行控制维护关键技术综述[J].中国电机工程学报,2022,42(12):4278-4292.
- [4] 初岳峰,王凯,肖忠铭,等.海上风电船机与风电设备故障分析及应对策略综述[J].南方能源建设,2022,9(1):9-19.