

风力发电机组故障诊断与应对措施

曾子文

华润新能源投资有限公司宁夏分公司 宁夏 银川 750000

摘要：随着世界能源需求及环保意识持续提高，可再生能源的使用变成了人类关心的话题。风力发电是可再生能源的主要部分，拥有洁净、可再生、无污染的优势，因而获得了更广阔的应用空间。然而，风力发电设备实际运营过程中还存在诸多问题，致使风力发电机组稳定性与可靠性不足。因此，对风力发电机组故障诊断与应对措施进行研究具有重要实际意义。

关键词：风机发电机组；故障诊断；应对措施

引言：本文概述的风力发电机组是将风能转化为机械能，再将机械能转化为电能的机电一体化设备，主要包括变流器、叶轮（轮毂+叶片）、传动链（主轴+齿轮箱）、发电机及主控系统。本文将深入分析现存风力发电机组存在典型故障及应对措施。

1 风力发电机组概述

风力发电机组是风力发电系统的核心部件，其主要功能是通过风轮捕获风能并将其转化为旋转机械能，进而驱动发电机发电。风力发电机输出功率与风速成三次方关系，根据风电机组控制功率的方式，可分为定桨距失速型风力发电机组和变桨距型风力发电机组，而变桨距型风力发电机组为目前发展主流。

1.1 叶轮

叶轮是风力发电机组的关键部件，其设计考虑了风速、风向以及空气动力学等因素，以确保在各种风况下都能有效地捕捉风能，叶轮决定着风力发电机组的工作效率，而叶轮的优劣则取决于叶片的数量、叶片的弦长、扭角及叶片所用翼型的空气动力学特性等。

1.2 传动链

传动链主要是将叶轮捕获的风能以机械能的形式传递给发电机的整个轴系及组成部分，主要包括主轴和齿轮箱。

1.3 发电机

发电机是风力发电机组将机械能转化为电能的主要装置，其不仅影响到输出电能的品质与效率，而且还影响到整个风力发电系统的结构与性能，根据其并网发电后叶轮转速可分为定速恒频发电机和变速恒频发电机。

1.4 主控系统

主控系统主要由机舱与塔基两部分构成，为综合性控制系统，具备监测、保护及控制功能。

1.5 变流器

变流器是使电源系统电压、相位、频率等特性发生变化的电气设备，包括网侧变流器、机侧变流器、预充电回路、并网开关系统、冷却系统等^[1]。

2 风力发电机组的常见故障

2.1 叶轮运行故障

叶轮包括叶片、轮毂及变桨系统，风电机组在运行过程中，为保证风轮最大限度获取风能及风能利用最大化，风电机组主控系统根据风速、风向等信息向变桨控制系统下达指令，因风速变化导致叶片频繁动作，同时由于风切变影响，将使叶片连接螺栓不断受到冲击、横向振动等交变载荷，致使叶片螺栓松动，在维护不及时的情况下，叶片螺栓疲劳寿命降低，最终出现叶片螺栓疲劳断裂。同时因选型、变桨轴承自身质量问题及运行工况问题，引发变桨轴承失效；叶片引雷线设计及铺设缺少余量，引发风机叶片引雷线拉裂或引雷线电阻超过标准范围 $50\text{m}\Omega$ ，致使叶片遭遇雷击损坏；当然不排除叶片制造厂商制造工艺、材料运行不当所造成的叶片断裂、叶片柔性环开裂等叶片问题，严重威胁叶轮及风电机组安全稳定运行^[2]。

2.2 传动链运行故障

齿轮箱主要包括箱体、行星架、齿轮、轴承以及冷却润滑系统等部件，齿轮箱本体的损坏主要表现在零部件的失效，而齿轮失效是风电机组齿轮箱损坏最常见的问题，也是导致齿轮箱箱体和其他部件失效的主要原因，主要表现为齿轮断齿和齿面点蚀、胶合、异常磨损及齿面塑性变形等。齿轮箱轴承失效主要包括疲劳剥落，过量的永久变形和异常磨损，比如装配工艺和叶轮对风偏差等问题，造成风电机组存在偏载现象，通过主轴传递至齿轮箱，极易造成齿轮箱LSS转架叶片侧轴承圆柱滚珠侧面被啃食失效，持续发展将造成轴承内外轴圈开裂或滚珠严重受损。至于冷却润滑系统故障主要有齿轮箱油

温高、油压不足等常规故障。

2.3 发电机运行故障

发电机是风力发电机组将机械能转化为电能的重要设备，主要有定子、转子、冷却系统组成。发电机属于旋转电气设备，其发生的故障的主要类型有电气故障和机械故障，电气故障主要有集电环拉弧、绕组绝缘不足、温度监测元器件损坏等；机械故障主要轴承损坏、动平衡不足所引发的振动、温度异常等故障，造成轴承失效的主要原因有接地不良引起的电蚀、润滑冷却不良造成轴承异常高温，而造成动平衡不足多为转子动平衡衬块脱落；永磁同步发电机除上述失效原因外，还表现在永磁体转子消磁故障。

2.4 控制系统运行故障

控制系统控制功能有桨距控制、转矩控制、偏航控制、液压刹车控制、温度控制、启停机控制。控制系统故障可有风电机组诸多设备、外部环境原因导致，不同的故障会引发控制系统产生不同动作，触发不通控制系统故障，与控制系统有关的故障主要表现在通讯类故障、安全链故障、控制器类故障、传感器类故障、模块类故障、后备电源类故障等故障类型。

2.5 变流器运行故障

风力发电机组变流器运行过程中主要故障包括：NTC热敏电阻异常或IGBT内部异常高温引起的IGBT温度过高故障；变流器清灰不及时或设计过于紧凑，变流器在北方风沙较大地区运行，导致变流器整体温度较高，极易造成排线等电气元件老化，报出通讯等故障；风力发电机在接近切入风速附近运行时，因风速不稳定，使叶轮获取能量不确定，导致变流器并网接触器频繁动作，容易造成并网接触器拉弧失效引发故障，当然，变流器在运行过程还会报出预充电、Crowbar动作、并网接触器卡分等故障，严重威胁风力发电机组安全稳定运行。

3 风力发电机组故障应对措施

3.1 叶轮故障应对措施

为了减少风力发电机组叶轮运行故障，工程师必须制定良好的措施、处置方法，具体方法如下：

(1) 以叶片无人机外观检查、叶片内巡视、叶片防雷检测等传统叶片检查方法及借助叶片检测系统实现叶片实时状态监测，及时发现叶片雷击、开裂、透光、泛白等缺陷，并予以维修，避免叶片持续恶化，造成叶片无可挽回的损伤。

(2) 针对叶片螺栓疲劳断裂问题，除定期对螺栓进行紧固外，借助超声波相控阵螺栓检测仪发现叶片螺栓早期裂纹；超声波螺栓轴向应力测量仪检测螺栓预紧力是否满

足设计要求，否则予以紧固；同时加强施工前期叶片螺栓材质检测，可有效防止叶片螺栓疲劳断裂故障。

(3) 为有效减少叶轮变桨电气设备故障，应坚持每年开展机械零点校准及自学习，保证叶片位置在规定 $90\pm 1^\circ$ 范围内，减少机组报出三支桨叶不同步故障；加强位置传感器、变桨柜哈廷头、润滑系统检查，定期登录变桨系统软件，及时查看变桨系统告警，并予以消除，避免因变桨系统长期不良运行引发故障。

3.2 传动链故障的优化措施

针对传动链故障的优化措施，关键在于建立一套完善的故障分析与预防处理机制，以最大限度地降低人为操作对传动链运行的影响。

(1) 在运行方面，运行人员定期查看主轴轴温、齿轮箱油温、齿轮箱高低速轴温及齿轮箱各处压力传感器等数据，尤其在风机发电机组大发状态下，通过查看风力发电机组运行数据，可有效发现传动链等设备运行状态，必要时予以维修。风力发电机组加装CMS实时振动监测系统，通过传感器实时传送传动链数据，通过专业振动分析，可有效发现传动链内部运行缺陷，及时干预将有效降低传动链故障率，延长寿命，消除安全隐患。

(2) 在检修方面，加强传动链油品管理，每年开展2次齿轮箱油品检测及主轴轴承油脂抽检工作，及时掌握油品品质，如有必要及时添加微量元素改善油脂品质；每年开展1次齿轮箱内窥镜检测，直观深入掌握风力发电机组齿轮箱运行健康状态，重点关注轴承、轮系等易受损部件，定期执行传动链运行状态全面评估，确保所有部件均在规定的额定需求内稳定运行。

3.3 发电机故障的优化措施

(1) 双馈发电机集电环为发电机提供励磁电流调节定子电压、频率、有功、无功功率等，是发电机系统重要功率单元，主要有滑环组、电刷、刷架等组成，因发电机运行过程中产生碳粉无法有效排除，经常附着于滑道表面，长此以往，造成集电环表面相间爬电、打火，引发集电环滑道受损，产生斑点、凹坑、灼伤等现象，发电机高速运转情况下，因集电环滑道不光滑，碳刷弹跳，进一步加剧集电环滑道恶化，最终导致集电环损坏，为有效结果此问题，要求运行人员每季度对发电机集电环碳粉室进行一次清理及碳刷长度检查，保证其内部清洁及碳刷长度满足运行要求，同时加强碳刷压簧弹力检查，如弹力不足及时予以更换，有效改善集电环运行状态，延长使用寿命。

(2) 针对发电机驱动端\非驱动端轴承电蚀损坏问题，要求运行人员每季度登机巡检期间，加强发电机前

后端接地电阻长度及接触有效情况进行检查,保证接地电阻可有效泄放轴承等部件运行过程中滑动摩擦产生的静电。

(3) 针对发电机驱动端\非驱动端轴承温度高故障,主要原因有润滑不良、过度润滑、油脂堵塞、轴承异常磨损及测温元件异常等,为有效消除发电机驱动端\非驱动端轴承温度高故障,可采取如下措施:

①改善发电机油脂润滑及流动性,更换为黏度小、流动性强的润滑油脂,如克虏伯141油脂;

②优化轴承注油量及注油控制逻辑,少量多次;

③整年定检期间,严格按照作业流程对发电机进行机械队中,提高发电机安装质量,减少发电机转子重心于轴承中心偏差距离,确保轴承内外轴圈间隙与窜动量符合设计要求,减少轴承自身偏载发热。

④保证发电机散热系统正常运转。

3.4 控制系统故障应对措施

电气控制系统在光伏风电系统中起着至关重要的作用。对于电气控制系统的故障,应采取以下措施:

(1) 加强日常巡检。技术人员应定期对风力发电机组电气控制系统的各个部件进行检查,包括传感器、控制器、执行器等,确保其工作正常。检查内容包括外观是否有损坏、连接是否松动、信号是否稳定等。

(2) 建立故障预警机制。利用先进的监测技术,如传感器网络、数据分析等,通过SCADA监控系统对电气控制系统的运行状态进行实时监测。一旦发现异常情况,立即发出预警信号,以便技术人员及时采取措施^[1]。

(3) 提高维修技术水平。电气控制系统的故障往往比较复杂,需要技术人员具备较高的维修技术水平。因此,应加强对技术人员的培训,提高他们的故障诊断和维修能力。

(4) 做好备件管理。对于易损件和关键部件,应做好备件管理,确保在故障发生时能够及时更换,减少停机时间。

3.5 变流器故障优化措施

变流器故障多由外部原因引发,但变流器通讯、网侧三相电压不平衡、并网接触器拉弧、卡分等故障依然值得运行人员高度重视。

(1) 针对变流器内部高温促使变流器通讯排线等电气元件提前老化触发变流器故障问题,运行人员应在夏季高温来临之前,对变流器冷却系统进行检查,及时清

理变流器各柜体通风口滤棉灰尘,保证变流器冷却系统良性运行,如冷却风量不足,可考虑技改,增加冷却风量,降低变流器运行温度,延缓变流器电气元件老化速度。

(2) 针对并网接触器故障,及时关注并网接触器拉弧情况,必要时,提前开展维护、检修,避免因长期拉弧导致触电消融,同时并网接触器动作振动较大,日常加强其相关部件检查,避免因部件振动松动引发故障。

(3) 其他变流器故障可根据实际情况综合判断处理。

3.6 加强人员培训与管理

人员是风力发电系统运行的关键因素。为了确保系统的稳定运行,应加强对人员的培训与管理:一方面,开展专业技能培训。针对风力发电系统的特点,对技术人员进行专业技能培训,包括电气知识、机械知识、自动化控制知识等。培训内容应涵盖系统的安装、调试、运行、维护等各个环节,提高技术人员的专业水平。另一方面,强化安全意识教育。风力发电系统涉及到高、低压电、高空作业、有(受)空间作业等危险因素,因此,应加强对人员的安全意识教育,提高他们的安全防范意识。教育内容包括安全操作规程、应急处理措施等,确保人员在工作过程中的安全。此外,建立健全考核机制。对技术人员的工作表现进行定期考核,考核内容包括工作质量、工作效率、安全意识等;通过考核,激励技术人员不断提高自身素质,为系统的稳定运行提供有力保障。

结语:综上所述,风力发电机组作为可再生能源的重要利用方式,其稳定运行对于保障能源供应和环境保护具有重要意义。通过本文的探讨,我们了解了风力发电机组的基本构成和工作原理,以及可能遇到的故障诊断和应对措施。为了确保系统的稳定运行,我们需要不断优化系统性能、加强故障诊断和应对能力、提高人员素质和安全意识。还需要不断探索新的技术和方法,以适应可再生能源领域的发展需求。

参考文献

- [1]于海芹,林平,于洪水.基于人工智能的太阳能光伏发电系统的应用[J].黑龙江科学,2024,15(06):125-127
- [2]王宗满,胡振坤,李玲,等.基于智能系统的光伏发电场故障检测研究[J].无线互联科技,2024.21(05):111-113
- [3]王艳忠.探讨风电电气运行中的常见故障及应对措施[J].建材与装饰.2021(12):202-203