

风电机组设备过热故障分析及检修技术关键点探讨

刘 强

(国能内蒙古电力蒙西新能源有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘 要 风电机组作为风力发电的核心设备, 其运行稳定性直接关系到风电系统的整体效能。然而, 由于风电机组长期暴露于复杂多变的环境工况下, 设备过热故障频发, 已成为制约风电产业高质量发展的关键问题。本文通过系统性故障分析, 提出风电机组过热故障检修的关键技术要点, 旨在为运维实践提供有益的技术参考, 进而保障风电机组运行的稳定性和安全性, 提高风力发电系统运行的可靠性和经济性, 实现风力发电可持续发展目标。

关键词 风力发电; 风电机组设备; 过热故障; 检修技术

中图分类号: TM31

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.041

0 引言

在能源需求持续增加和环保关注度提升的背景下, 风力发电凭借其清洁特性, 成为优化能源结构并控制碳排放的关键解决方案, 不仅可以优化整体能源结构, 同时可以控制碳排放。在风力发电过程中, 风电机组是核心设备, 风电机组运行稳定性关系到风电场的发电效益。但是风电机组运行环境复杂, 在实际运行中很容易受到复杂气象条件和机械负荷影响, 频繁发生设备过热故障, 对机组运行的正常性造成影响。出现过热故障不仅会降低发电效率, 同时会快速老化设备, 影响设备使用寿命, 甚至会引发严重的故障。因此, 需要深入分析风电机组过热故障的原因和检修技术关键点, 有利于提高风电场运行的稳定性和经济性。

1 风电机组设备过热故障分析

1.1 发电机过热故障分析

1. 电腐蚀失效原因。针对变频器供电双馈发电机, 电流通过轴承之后会引发电腐蚀失效情况。通常是在滚动体和滚道之间接触区域产生这一问题。产生电流路径之后, 将会引发轴承内部局部放电和高温问题, 从而损伤材料。在电机绕组中, 变频器输出的 PWM 电压将会输出高频电流分量, 通过电容耦合向轴承引入高频电流, 因此产生闭合回路。此外轴承结构设计也会引发电腐蚀^[1]。例如: 滚动轴承内外圈之间存在绝缘间隙, 通过电流之后将会形成闭合回路。此外, 轴承结构设计也关系到电腐蚀的产生, 将会缩短轴承使用寿命, 降低发电机性能, 甚至引发安全事故。因此,

在设计过程中要优化电流路径, 采取合适的绝缘措施, 对电腐蚀发挥减缓作用。

2. 温度过高因素。发电机绕组和轴承温度过高, 将会提高过热故障发生率。过热故障的成因非常复杂, 同时具有多样性特点。首先, 接线回路问题将会提高绕组温度, 如接线端子出现松动问题, 或者出现接触不良的情况, 将会增大电阻, 同时会产生较多的热量。同时接线错误, 不利于均匀地分布电流, 加剧升温情况。其次, 水冷系统出现故障, 将会影响发电机温度控制效果。如果冷却液流量不足, 或者出现管道堵塞问题, 将会降低散热能力, 无法及时排出发电机内部热量。此外, 也要重视传感器故障, 如温度传感器出现偏差, 不利于将发电机的实际温度状态反映出来, 延误故障处理时机。润滑系统失效直接关系到轴承温度过高, 如润滑油脂出现变质情况, 将会增加摩擦系数, 会快速提高轴承温度。总之, 发电机过热故障是因为电气和机械管理等方面因素, 需要采取针对性地解决措施。

1.2 齿轮箱过热故障

1. 润滑系统问题。为了维持齿轮箱运行的正常, 需要优化润滑系统, 对润滑系统定期检查和维修, 避免出现齿轮箱过热问题。如果该系统出现油量不足和油质劣化等问题, 会对齿轮箱运行造成影响。首先, 出现润滑油量不足问题将会减小齿轮啮合面的润滑膜厚度, 加剧磨损问题, 最终会提高齿轮箱温度^[2]。其次, 发生油质劣化问题会导致齿轮箱过热。在实际运行中, 因为氧化或者污染等问题, 对润滑油的润滑性能造成

作者简介: 刘强 (1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 风力发电、风机运行。

影响,不仅会加快磨损齿轮和轴承,还会破坏整体油膜,直接接触金属表面,将会产生较多的热量。此外,出现油路堵塞问题会加剧润滑系统问题,如油路中存在杂质对润滑油的流动性造成影响,不利于充分的润滑,将会引发局部过热问题。

2. 齿轮磨损和过载。齿轮箱过热的重要原因是齿轮磨损和啮合不良以及过载运行。首先,齿轮磨损导致齿廓变形,降低啮合精度,齿面的滑动摩擦和能量损耗因此增加,加快磨损齿轮,同时会产生较多的热量,进一步磨损齿轮,快速提高齿轮箱的温度。其次,啮合不良的诱因为安装和齿轮制造不精准,不利于均匀接触齿面,还会引发偏载问题。在这种状态中,会集中局部区域应力,同时会增加摩擦热,快速提高齿轮箱的温度。另外,过载运行也会影响齿轮箱的温度。在高风速工况中,齿轮箱承受的扭矩负荷较大,超过齿轮和轴承的承载力,将会引发过热问题。因此,需要对齿轮箱结构参数合理设计,同时对运行负载严格控制,并且提高维护力度,可以规避齿轮箱过热问题。

1.3 轴承过热故障分析

1. 润滑失效。出现润滑失效问题将会引发轴承过热问题,首先,润滑油脂不足将会减小轴承滚动体和滚道之间的油膜厚度,在提高摩擦系数的同时会产生较多的热量。出现油脂不足问题是因为供油不足,或者损坏了密封件,尤其在高温和高湿等环境中,将会快速消耗润滑油脂。其次,润滑油脂变质将会影响轴承运行状态。例如:在使用油脂的时候可能会出现氧化和污染等问题,对润滑性能造成影响,不仅会加快磨损轴承,还会破坏润滑膜,引发过热问题^[3]。此外,没有选择合适的润滑油脂,导致油脂黏度和抗氧化性不符合实际工况,将会影响润滑效果快速提高轴承温度。因此,在选择润滑油脂阶段,需要全面分析轴承工作环境等,充分发挥润滑作用。

2. 安装和负载问题。轴承安装和配合间隙不合理,将会引发轴承过热问题,这些问题的原因为机械设计和安装工艺不合理。首先,在安装轴承的时候产生误差不利于均匀地分布内部应力,加剧磨损问题。例如:在安装中对轴承轴向和径向间隙没有进行调整,在后续运行中将会引发轴承偏斜等问题,从而演变为过热故障。其次,没有合理选择配合间隙会影响轴承温度特性。如果配合间隙比较小,轴承出现过热膨胀温度,对其自由的伸缩造成影响,产生摩擦热。如果配合间隙比较大,将会引发轴承松动问题,提高冲击荷载,轴承温度上升。此外,轴承负载过大,也会引发过热问题。在风电机组运行中如果轴承超负荷运行,将会

增加滚动体和滚道的接触应力,快速磨损材料,最后引发过热问题。因此,在安装轴承的过程中,要保证安装精度,配合间隙合理控制,不能出现轴承过载运行情况,保障轴承稳定运行。

2 风电机组设备过热故障检修技术关键点

2.1 预测性检修技术

在进行预测性检修时,必须对整个装置的状况进行全方位的监控,并对出现的问题进行准确的预报,以便及早采取有针对性的维修对策,以防止出现过热问题。在维修过程中,采用多个传感器对线圈的温升、电流等多个参量进行全面的测量,并采用机器学习的方法对其进行建模。当有异常的资料发生时,会及时发出警报^[4]。例如:持续升高定子绕组的温升,一旦超出设定的5%,就会向运行维护人员发送报警信息。当检测到温度差大于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 时,维修人员应及时对现场状况进行分析。另外还要经常对制冷装置进行检修,以确认制冷风机及散热器的工作状况。通过对进口和出口制冷剂的温度进行比较,若两者相差超过80%,则应及时进行清洁或更换。采用预测性检修技术,对装置进行精确的监测,并将其与大数据分析相结合,判断其有没有发生过热问题,并采取有针对性的预防维修行动,最大限度地缩短停工期,有效使用风力发电机的资源,确保其稳定运转。

2.2 预防性检修技术

预防性检修就是为了防止风机设备发生过热而对电气设备进行合理的设计和配置。

1. 根据电子元器件的特性及工作条件,对其内部的温度、电流等进行了分析。例如:将定子绕组的温升上限设定为 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$,而设定的跳闸值设定为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,将过流保护作用发挥到最大,使运行电流达到额定值的1.2倍。

2. 采用现场试验与理论分析相结合的方法,对激励回路及功率因数进行了适当的调节^[5]。

3. 定期对风电机组各项指标合理分析,保证各种参数符合要求。如果发现了问题,可以对变流器合理调整,或者设置滤波设备。在使用滤波设备的过程中,要结合风电机组实际运行情况和电气参数,合理选择滤波设备的型号。在安装过程中,要结合设备安装说明书,正确地连接滤波设备和风电机组电气系统,提高线路连接的稳固性,同时要优化绝缘效果。完成安装工作之后,要立即调试滤波设备,工作人员要利用专业检测仪器对其运行参数进行监测,优化整体工作状态。在日常工作中要检查维护滤波设备,确定表面

是否存在损坏和异常发热问题,同时对滤波效果进行检测,如果降低了滤波性能,要及时调整设备,并且将相应的部件进行更换,充分发挥滤波设备的作用,保证风电机组电气系统运行的稳定性。

4. 预防性维护电气连接,工作人员要对端子和避雷器等部件定期检查,做好相应的紧固措施,同时对接地电阻合理测试。表 1 为风电机组电气连接检修项目和周期。

表 1 风电机组电气连接检修系统项目和周期

检修项目	检修内容	周期(月)	要求
端子紧固	检查电缆连接头和螺栓等	6	接地电阻 $\leq 0.1 \text{ M}\Omega$
接地电阻测试	测量塔筒、机舱等部位的接地电阻	12	接地电阻 $\leq 4 \text{ }\Omega$
避雷器检查	检查绝缘外观,测量泄漏电流	12	泄漏电流 $\leq 100 \text{ }\mu\text{A}$
变压器绝缘	测量变压器绕组对地绝缘电阻	24	绝缘电阻 $\geq 1 \text{ G}\Omega$

2.3 修复性检修技术

当发生了过热扩张之后,需要立即对故障发生原因进行分析,落实针对性地处理措施。具体实施流程如下:

当发生过热故障之后,首先要分析故障录波数据,确定故障类型。如果在一分钟以内快速提高内绕组温度,当温度超过了 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,可以确定出现了绕组匝间短路问题。如果电流不平衡度(ε)超过了 5%,确定出现了转子断条问题,如公式(1)所示:

$$\varepsilon = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{avg}}} \quad (1)$$

式(1)中, $I_{\max}$ 、 $I_{\min}$ 、 I_{avg} 分别代表三相电流最大值和最小值以及平均值。

明确具体故障问题之后,有必要进行有针对性的检修工作。例如:在测量绕组的匝间短路时,应采用电阻抗电桥装置来测量各绕组间的电阻,从而准确地判断出短路点。修理时对加热的温度进行严格的控制,修理完毕后进行绝缘电阻的测试,确保绝缘电阻大于 $5 \text{ M}\Omega$ ^[6]。对于转子断条,可以通过工频耐压测试或采用电磁辐射测试的方式来检查断条的部位,并在此基础上,对转子铜条进行及时的替换,或者采用注胶法进行修补。

在工频耐压性试验中,可以在专门的试验台上放置转子,保证转子的稳固性和水平性。可以结合规定参数调试试验设备,缓慢提升试验电压到规定值,并且维持这一电压值 1 min,在这一阶段要对转子一行放电和击穿等现象进行观察。注意保证试验环境的干燥性和洁净度,降低外界因素的干扰。结束试验之后,

要详细记录和分析各种试验数据,精准判断转子故障。

利用电磁感应探伤方法的过程中,首先沿着转子铜条表面缓慢移动电磁感应探伤仪的探头,合理控制探头和铜条表面的间距,从而获取准确的检测信号。在探头移动中,需要检测探伤仪显示的信号,如果出现异常波动,说明这一部位出现了断条问题^[7]。然后标记该部位,对后续确认和处理工作提供便利。同时要多次开展检测工作,避免漏检问题,获取可靠的检测结果。

在检修过程中,要做好防尘工作,利用吸尘器和锚栓等设备开展清洁工作,及时清除表面的灰尘。在防潮工作之后,工作人员可以利用除湿器控制环境湿度在 60% 范围内。在防腐工作中,需要将防锈漆涂抹在易腐蚀部位,避免出现锈蚀问题^[8]。在防锈工作中,需要在裸露的金属表面均匀地涂抹润滑油,避免出现锈迹问题。最后要做好防损工作,利用专用工具,同时要做到轻拿轻放,避免在表面产生划痕和凹陷问题。

3 结束语

风电机组过热故障原因复杂,需要综合利用预测性和预防性以及修复性检修技术,避免出现过热故障,通过分析可知,合理设定温度和振动等参数的监测阈值,开展多参数协同监测工作,可以及时发现异常问题,在源头防控风电机组设备过热故障。在风电发展过程中,需要加强研究风电机组过热故障预警技术,提高故障预测的准确性。同时要推动检修技术智能化发展,综合利用大数据和人工智能技术等,完善高效检修系统。

参考文献:

- [1] 赵建民,王亮,张震,等.海上风电机组高压设备智慧安防系统关键技术研究[J].华东科技,2025(06):134-136.
- [2] 牛婧.提升海上风电机组电气设备性能的策略研究[J].煤炭加工与综合利用,2025(03):116-120.
- [3] 冯超.风电大规模并网时机组级电压控制技术分析[J].电力设备管理,2025(02):141-143.
- [4] 韩雪,张文慧,高杨,等.风电机组齿轮箱润滑油使用寿命影响因素及延寿策略[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(24):16-18.
- [5] 周益正.基于深度学习的风电机组电气设备状态检修系统设计[J].电气技术与经济,2024(12):237-239.
- [6] 童怡恺.风电机组电力设备过热故障的预防与检修[J].造纸装备及材料,2024,53(12):54-56.
- [7] 李晓璐,王苛,赵冰,等.面向风电机组运维数据的知识图谱构建方法[J].动力工程学报,2024,44(06):886-894.
- [8] 张秀琦,胡学超,李勇.风电机组设备可靠性分析及提升方法研究[J].内蒙古电力技术,2024,42(03):8-12.