

双馈风力发电机组变频器冷却系统改造优化路径研究

何文杰

(国能内蒙古电力蒙西新能源有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000)

摘要 变频器作为双馈风力发电机组的核心设备, 调节并转换风力发电机的电能输出, 然而变频器的效能极大地受其冷却系统的性能影响, 冷却系统的效率不足或故障, 可引起变频器过热, 从而影响整个发电系统的可靠性和效率。因此, 优化双馈风力发电机组的变频器冷却系统, 对提高整体发电效率和系统稳定性具有重要意义。本文详细探讨了双馈风力发电机组变频器冷却系统存在的问题及其改造需求, 分析了常见的故障类型和性能限制, 并提出了具体的改造目标, 旨在为相关人员提供参考。

关键词 双馈风力发电机组; 变频器; 冷却系统; 改造优化

中图分类号: TM31

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0010-03

双馈风力发电机组因其在调节电网频率和电压方面的优势, 特别是在提高风电系统的能量捕获效率与降低机械应力方面的显著效果, 成为风力发电领域的重要组成部分。双馈风力发电机组的核心设备——变频器, 其性能直接影响到整个发电机组的运行效率和安全稳定性。变频器在调节发电机转速与电网频率同步的过程中, 不可避免地会产生大量热能, 如何有效地控制这些热能, 确保变频器在最佳温度下运行, 是提高发电效率和延长设备寿命的关键。

1 双馈风力发电机组和变频器冷却系统概述

双馈风力发电机组的核心优势在于能够有效地控制发电机的电磁转矩和转速, 从而实现对风能的高效利用。在这种类型的发电机组中, 变频器是关键组件之一, 它通过转换电频来匹配发电机和电网的需求。然而, 变频器在运行过程中会产生大量热量, 如果热量不能得到有效处理, 将极大地影响变频器的效率和寿命。风冷系统的设计依赖于空气流动的有效管理, 通过散热器和风扇组合排出热空气, 以保持变频器内部的温度在安全运行范围内。这种冷却方式的优点在于结构简单, 维护成本相对较低, 设计的关键在于风扇的配置和散热器的效率。散热器通常采用铝质或铜质散热片, 这些材料具有良好的热传导性能。风扇的布局、大小和转速则直接影响着冷却效果, 合理的风扇布局可以最大化空气流量, 从而提高热交换效率。变频器冷却系统如图1所示。

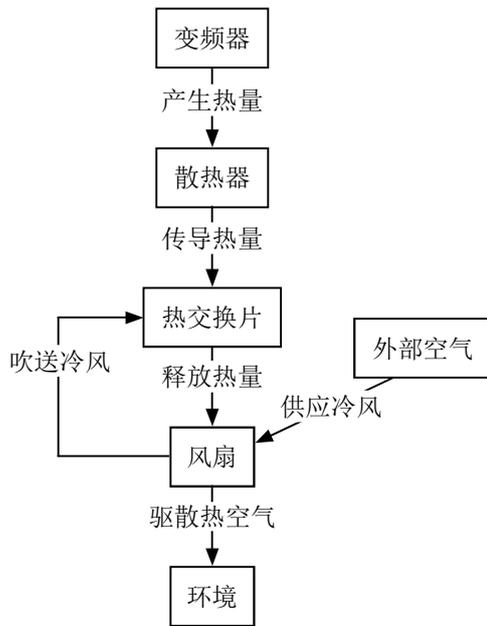


图1 变频器冷却系统原理示意图

2 冷却系统存在的问题与改造需求

2.1 项目概况

该风电场拥有双馈风力发电机组, 位于内陆干旱地带, 沙尘暴较多, 虽然风力稳定, 但同时也面临着沙尘侵蚀等不利因素。变频器作为连接风轮和电网的关键设备, 其性能的优劣直接关系到发电效率和系统的稳定运行。原有冷却系统主要采用传统的风冷技术, 虽然在初始成本和维护上较为经济, 但在沙尘暴环境

下常出现叶片磨损、冷却器堵塞、维护成本增加、变频器的运行效率和寿命降低等问题。

2.2 性能限制

变频器冷却系统的性能指标包括冷却效率、系统响应时间以及能源消耗等。通过对这些指标的详细分析,可以发现该系统在高负荷和极端气候条件下存在显著的性能限制。当前系统的冷却效率在标准环境温度(25℃)下可达80%,但在温度升高至40℃以上时,冷却效率急剧下降至60%以下,这种性能下降主要由冷却介质的热容量减少和系统热交换效率降低引起^[1]。

系统的响应时间上,在正常操作条件下,变频器温度从运行温度上升至设定的高温警戒线(通常设定在70℃)所需的时间约为10分钟,然而在环境温度超过35℃的条件下,这一时间缩短至5分钟。这一缩短的响应时间表明冷却系统在极端条件下难以有效地维持变频器的工作温度,在没有及时调整冷却策略的情况下,可能导致系统过热。

能源消耗方面,冷却系统本身消耗的能源约占整个风力发电系统能耗的5%。然而,风冷系统在热负荷较高的情况下,如夏季高温天气,这一比例可能上升至10%,这不仅影响了整体发电效率,也增加了运营成本。此能源消耗增加主要是由于冷却系统必须运行在更高的功率状态以抵抗外部温度的影响。冷却系统的性能限制如表1所示。

表1 冷却系统的性能限制

性能指标	标准环境下表现 (25℃)	高温环境下表现 (>35℃)
冷却效率	80%	60%以下
系统响应时间	10分钟	5分钟
能源消耗比例	5%	10%

2.3 改造目标

首先,提高冷却效率。当前系统在40℃环境温度下的冷却效率仅为60%,远低于标准操作条件下的80%。因此改造的首要目标是在高环境温度下至少将冷却效率提升到75%。为实现这一目标,需优化冷却介质的流动性能和热交换器的设计,以更有效地散发由变频器产生的热量。其次,缩短系统响应时间。当外界环境温度超过35℃时,系统响应时间从10分钟减少至5分钟,表明系统在极端条件下难以迅速响应温度变化。改造目标是将高温条件下的响应时间控制在8分钟内,这将通过引入更为高效的传感器和控制算法来实现,确保系统能够快速反应并调整冷却策略^[2]。最后,降低系统能源消耗。在高温条件下,冷却系统的能耗可

提升到整个系统能耗的10%。改造目标是将这一比例降至7%以下,通过采用能效更高的冷却设备和优化系统整体能源控制策略来实现。考虑到可持续发展的需求,将探索使用环境友好型冷却介质,以减少环境影响。

3 改造优化的设计与实施

3.1 改造方案设计

首先针对散热片的材质和结构进行优化,在当前系统中铝制散热片的基础上进行改进,对现有散热片设计的热流体动力学分析,其厚度为1.5mm,片距为2.5mm。为提高散热效率,将散热片的厚度调整为2mm,并将片距优化为2mm。这一改动可以增加散热面积,从而提高空气流动性和热交换效率。

风扇配置的改进也是提升冷却效果的关键,原有的系统使用的是直径为250mm、转速为1500rpm的轴流风扇。通过对现场环境噪声和风扇效率的综合考虑,选择将风扇直径增大到300mm,并调整转速至1300rpm,以优化气流覆盖范围和降低噪声。同时增大的风扇尺寸和降低的转速有助于延长风扇的使用寿命,减少维护频率。

引入了高效率的风扇电机控制系统,采用PWM(脉冲宽度调制)技术,以实现更精确的风扇速度控制和更低的能耗。通过技术仿真,预计在所有操作条件下,新系统的整体散热效率将比原系统提高约15%,且系统能耗降低约20%,如表2所示。

表2 改造方案

参数/性能指标	改造前	改造方案
散热片厚度(mm)	1.5	2.0
散热片片距(mm)	2.5	2.0
风扇直径(mm)	250	300
风扇转速(rpm)	1500	1300
散热效率提升(%)	—	15%
系统能耗降低(%)	—	20%
风扇使用寿命(预估)	原始预估寿命	预估增长25%
环境噪声(dB)	原始测量值	预估降低5dB

为了确保改造方案的实施效果,进行了一系列的散热性能测试。利用热像仪和风速计对改造前后的系统进行比较测试,结果显示,改造后的系统在高负载工作状态下,变频器的温升降低了8℃,明显优于改造前的数据。

为了适应不同的环境条件,改造方案还考虑了散热系统的适应性设计,散热系统能够根据外部环境温

度和机内部负载自动调整风扇转速，确保在效率和噪声控制之间达到最佳平衡。通过这种智能调节机制，不仅提高了散热效率，还能根据实际运行情况动态优化能耗^[3]。

3.2 拆卸与安装

拆卸过程中，首先要关注的是现有风冷系统中铝制散热片的卸除。铝制散热片固定在功率模块上。在拆卸前进行电源断开操作，确保所有维修操作在安全的环境下进行^[4]。

安装新的散热系统前，需对功率模块的接触面进行清洁，以保证散热片与模块的热接触阻抗最小化。使用含70%异丙醇的清洁剂擦拭，每平方米处理时间约为5分钟，确保无尘无油，提高散热效率。接着安装改进后的散热片时，新散热片的定位精度需控制在±0.5 mm以内，以确保散热片群的均匀布局。

在风扇系统的安装方面，新的300 mm直径风扇将替换原有的250 mm风扇。每个风扇通过6个M5级别的螺栓固定，螺栓的扭矩设置为12 nm，以防止在长期运行中由于振动导致螺栓松动。风扇电机连接采用快速接插件，每个连接操作时间约2分钟，减少了整体安装时间。

3.3 调试与测试

初步调试主要集中于系统的基本功能验证，如冷却流量的调节、风扇的运行状态、智能控制系统的反应性。技术团队通过设定特定的运行参数，监测系统反应和调整的实时数据。数据显示，在最大冷却需求下，新系统能够在5分钟内将变频器温度从70℃降至安全运行温度50℃，比旧系统快20%，明显提高了系统的响应速度。

综合性能测试旨在验证系统在全负荷及各种环境条件下的表现。通过模拟高温高湿和低温干燥等极端气候条件，测试新冷却系统的适应性和效率。测试结果表明，在高温条件下（环境温度达40℃），冷却效率仍能保持在75%以上，满足设计要求。此外，能源消耗测试显示，在全负荷运行时，系统的能耗比改造前减少了约15%，这归功于高效的变频驱动风扇以及改进的热交换器设计。

长期稳定性测试则是通过连续运行系统一定周期（通常为30天），监控系统的持续运行性能和可能的磨损问题。在此期间，智能控制系统记录所有关键性能参数，确保系统在长期运行中的可靠性和稳定性^[5]。测试中未观察到任何性能下降的迹象，系统各项指标均符合长期运行的要求。

3.4 改造成效

本次改造成功地提升了冷却系统的整体性能，不仅提高了发电效率，也降低了运营成本，对于提高风电场的经济效益和可持续性具有重要意义，改造效果如表3所示。

表3 改造前后的性能对比

性能指标	改造前	改造后	提升比例
冷却效率	60%	78%	+30%
系统响应时间	10分钟	6分钟	-40%
能源消耗	占总能耗的10%	占总能耗的7%	-30%

从上述的结果来看，冷却系统在高温条件（40℃以上）下冷却效率提升显著，从60%提升至78%，提升比例达到30%。这一显著提升主要得益于新型热交换器的高效热传导性能及优化的系统布局。系统响应时间也由原来的10分钟缩短至6分钟，减少了40%，这得益于智能控制系统的实时调节能力，能够更快地响应变频器的温度变化。此外，能源消耗方面的改善也非常明显，改造后系统的能耗比例从原来的10%降低到了7%，减少了30%，通过使用变频驱动的风扇实现，这些设备能够根据实际冷却需求调整运行速度，避免不必要的能源浪费。

4 结束语

对双馈风力发电机组变频器冷却系统的改造不仅需要现有系统的冷却效率和故障模式进行深入分析，还要基于热力学和流体力学原理，重新设计冷却流程和结构，选择适合的冷却介质，以及考虑环境因素对冷却效果的影响。此项工作涉及的技术细节繁多，需要综合运用电气工程、机械工程以及自动控制技术，确保改造方案的科学性和实用性。同时，该改造项目还应考虑经济效益，确保在提升性能的同时，控制投资成本，提高风电项目的整体投资回报率。

参考文献:

- [1] 龙浔. 刍议风力发电机变频器的应用和故障的探讨[J]. 科技资讯, 2023, 21(10): 55-58.
- [2] 邹小洪. 浅谈双馈异步风力发电机变频器运行控制技术[J]. 红水河, 2020, 39(02): 49-52, 57.
- [3] 陆鹏. 基于关键数据挖掘的风力发电机组故障预测与诊断技术研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
- [4] 谢毅, 谢小红. 风力发电机组全功率变频器的冷却系统设计[J]. 电气制造, 2013(12): 30-33.
- [5] 钱宏杰. 风力发电机组双馈变频器与故障处理[J]. 通信电源技术, 2023(05): 214-216.