

Analysis And Research On Over-temperature Mechanism Of Wind Power Gearbox In Low-temperature Environment And Measures

Xie Yong

Nanjing Fourall Intelligent Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211122, China

Abstract

The installed capacity of domestic wind turbines continues to grow every year, and the application scenarios are rapidly extending from inland normal temperature environments to extreme climate areas such as oceans and plateaus. Practice has found that the reliability of wind power cooling systems in normal temperature environments is very poor in low temperature environments. This paper aims to solve the problem of frequent high temperature alarm failures in large megawatt wind turbine gearboxes in low temperature environments. By studying and analyzing the working principle, operating conditions, structural parameters and control scheme of the gearbox lubrication cooling system, the structural reorganization flow resistance modeling analysis method and the orthogonal experimental method are used to eliminate the quality problems of the basic components of the fluid circuit one by one. Two key research contents are proposed: the structural reorganization of the air-cooled radiator and the reorganization of the control logic of the air-cooled unit. The structural reorganization optimizes and reduces the pressure resistance of the fluid in low temperature environments. The control reorganization integrates the neural network control mechanism, optimizes and solves the nonlinear problem of control in low temperature environments. The actual application of wind farms shows that the high temperature alarm problem of wind turbine gearboxes in low temperature environments has been reliably solved. This research plan can provide design experience and technical basis for the subsequent development and promotion of large megawatt wind turbines in the wind power industry.

Keywords

Low temperature environment; Lubrication and cooling system; Frequent high temperature alarms; Structural reorganization; Logical reorganization

低温环境风电齿轮箱超温机理分析及措施研究

谢勇

南京孚奥智能技术有限公司, 中国·江苏 南京 211122

摘要

国内风力发电机组装机容量每年持续增长, 应用场合从内陆常温环境正快速向海洋、高原低温等极端气候领域延伸; 实践发现常温环境的风电冷却系统在低温场合的可靠性很差。针对大兆瓦风电齿轮箱在低温环境频发高温报警故障问题, 通过对齿轮箱润滑冷却系统的工作原理、运行工况、结构参数及控制方案进行研究分析, 采用结构重组流阻建模分析法、正交实验法在逐个排除流体回路基本元件的质量问题基础上, 提出了风冷散热器结构重组和风冷机组控制逻辑重组两项攻关内容, 结构重组优化并降低了低温环境下流体的压阻, 控制重组融合了神经网络控制机理, 优化并解决了低温环境下控制的非线性问题。风场实际应用表明, 风电齿轮箱在低温环境条件下的高温报警问题已得到可靠解决。该研究方案为风电行业后续大兆瓦风力发电机组开发及推广应用, 可提供设计经验和依据。

关键词

低温环境; 润滑冷却系统; 频发高温报警; 结构重组; 逻辑重组

1 引言

国内风力发电机组装机量每年持续增加, 机型也由原来的 2.X 快速发展至 6.X MW 以上机型, 目前批量新增机

型基本为 6.XMW 以上大兆瓦机型。机型的增大对风机传动链齿轮箱的传动功率也随之增大, 齿轮箱的发热量也会随之增大。为了满足齿轮箱能在夏季高温环境下正常散热稳定运行, 其配套的润滑冷却系统中配置的风冷却器换热功率及外形尺寸逐渐增大。

【作者简介】谢勇 (1987-), 男, 中国江西吉安人, 硕士, 中级工程师, 从事工业流体控制及润滑冷却方面应用研究。

齿轮箱润滑冷却系统中配置的风冷却器作用是将齿轮箱运行产生的热量散发到空气中, 在夏季高温环境时齿轮箱内部润滑油油温保持在一个稳定的温度范围内, 使得齿轮箱

内部各个摩擦点得到有效的润滑和冷却。所以齿轮箱风冷却器设计边界条件则是以风机最高运行环境温度为技术依据。该设计边界条件可以满足齿轮箱在夏季高温环境下正常运行，但是近年在北方地区风电场夏季高温环境时风机齿轮箱运行正常，进入冬季低温时出现大量风机齿轮箱频发高温报警故障，严重影响风机发电量。

2 齿轮箱润滑冷却系统工作原理

齿轮箱润滑冷却系统主要由泵装置、过滤装置、风冷却器及管路组件等组成。其中泵装置和过滤装置由齿轮泵、电机、阀组和双精度过滤器等组成；风冷却器是由风叶、电机、铝合金散热芯体、壳体等组成；主要用于向齿轮箱各个摩擦点提供满足压力、流量、温度和清洁度要求的润滑油。

过滤器出口设有温控阀，温控阀可根据温度变化控制两路润滑油流向的比例。随着温度升高逐渐增大润滑油进入风冷却器的比例，直至油温达到 60℃时，润滑油完全经过风冷却器冷却后进入齿轮箱^[1]。

3 齿轮箱高温报警原因分析

从润滑冷却系统角度分析齿轮箱出现报高温主要因素为电机泵故障、风冷却器故障、温度传感器故障、温控阀故障

障^{[2][3]}，通过现场排查硬件没有异常。

从齿轮箱高温报警时运行数据分析整个过程中齿箱轴承温度、齿轮箱进油温度、齿轮箱电机泵出口压力比正常值高，齿轮箱进油压力均比正常值低。当外界环境温度低、风机满功率发电时齿轮箱会出现内部油池温度高于 75℃、齿轮箱轴承温度高于 85℃触发风机齿轮箱高温报警。

风机运行过程中当齿轮箱内部油温超过 60℃时，温控阀动作切换油路，关闭冷油回路使得所有润滑油经过风冷却器冷却后再进入齿轮箱；根据风冷却器控制逻辑此时触发了风冷却器风扇启动散热。若此时外界环境温度低于冰点，风冷却器电机风扇吸入的风温度也低于冰点，会将流经风冷却器散热芯体内部的润滑油瞬间冷却到冰点以下。根据齿轮箱润滑冷却系统工作原理以及齿轮箱润滑油温粘特性可知，在流量不变情况下风冷却器散热芯体内部压阻随油温变化而变化，温度越低润滑油粘度越大，流过散热芯体产生的压阻也越大。风冷却器散热芯体压阻增大后使得润滑冷却系统整体运行压力升高，当压力升至超过系统安全阀开启力或者超过风冷却器旁通阀开启压力值；润滑油未经过冷却直接进入齿轮箱，造成齿轮箱各个摩擦点得不到散热，使得齿轮箱温度持续升高，最终产生风机齿轮箱低温环境下高温报警故障^[4]。

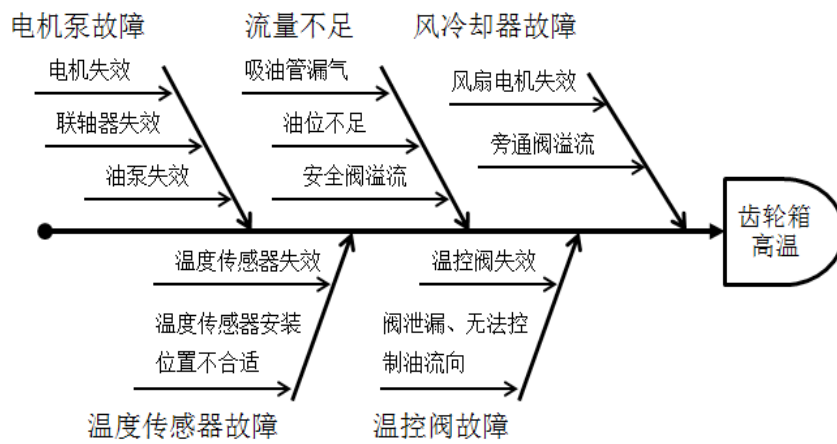


图 1 润滑冷却系统影响因素

Fig. 1 Factors affecting the lubrication and cooling system

4 齿轮箱风冷却器换热计算

齿轮箱风冷却器换热计算包含被动散热和主动散热两部分，其中被动散热可根据冷却功率计算公式 (1) 进行理论计算：

$$P = S * K * \Delta t / 1000 \quad (1)$$

式中： K 为铝合金散热芯体自然散热系数； S 为散热芯体散热面积， m^2 ； Δt 为冷却介质温度与环境空气温度温差值， $^{\circ}C$ 。

主动散热可根据热平衡^[5]公式 (2) 进行理论计算：

$$P = Q * C * \rho * \Delta t / 60 \quad (2)$$

式中： Q 为冷却介质流量， L/min ； C 为冷却介质比热，

$KJ/kg \cdot K$ ； ρ 为冷却介质密度， kg/m^3 ； Δt 为风冷却器进出口冷却介质温差值， $^{\circ}C$ 。

根据热平衡公式 (2) 可知，其它参数一定条件下风冷却器进出口冷却介质温差值越大其换热量越大；当环境温度低至冰点，风冷却器出口介质温度也被冷却值冰点，此时风冷却器进出口冷却介质温差值大，风冷却器换热量也大，容易造成换热量过大，影响润滑冷却系统正常运行。

5 齿轮箱风冷却器结构重组研究

5.1 风冷却器散热芯体结构重组

风冷却器散热芯体采用的铝合金翅片式结构^[6]，芯体

由汇集流道、冷侧流道、热侧流道及扰流翅片组成。从齿轮箱出来的热油进入散热芯体热侧进口主流道中，再分成很多细小流道，细小流道中设计有扰流翅片，增加换热面积及换热效率。热侧细小流道中的扰流片会增大润滑油阻力，细小流道长度也会增加沿程阻力，当润滑油温度低时阻力会增大。

原有风冷却器散热芯体润滑油润滑油流向从散热芯体一端进入在从对角方向流出，会产生较大内阻。根据大兆瓦齿轮箱在低温环境条件下高温报警原因分析结果对散热芯体进行结构重组优化，其重组优化设计的目标是将散热芯体内部压阻降低。在不改变风冷却器满足高温环境时换热需求的条件下，通过优化热侧内部细小流道中的翅片结构尺寸和减小细小流道长度的方式，以达到降低散热芯体压阻的目的。

将结构重组前后的散热芯体进行压阻性能测试，通

过测试在同样工况下结构重组后的散热芯体压阻可降低约50%，达到结构重组目标值。

5.2 风冷却器控制逻辑重组

风冷却器电机风扇启停控制逻辑^[7]目前是由齿轮箱内部润滑油温度和轴承温度作为控制条件，当齿轮箱内部油温或轴承温度达到第一设定值时启动电机风扇低速运行；当齿轮箱内部油温或轴承温度达到第二设定值时启动电机风扇高速运行。

根据齿轮箱高温报警分析原因及实际运行工况对风冷却器电机风扇启、停控制逻辑进行重组优化，即在控制逻辑中增加环境温度条件。根据不同机型及装机环境进行重组优化控制逻辑图2所示，避免低温环境对风冷却器运行影响，以达到更优的控制润滑油温度，提升风电齿轮箱运行稳定性。

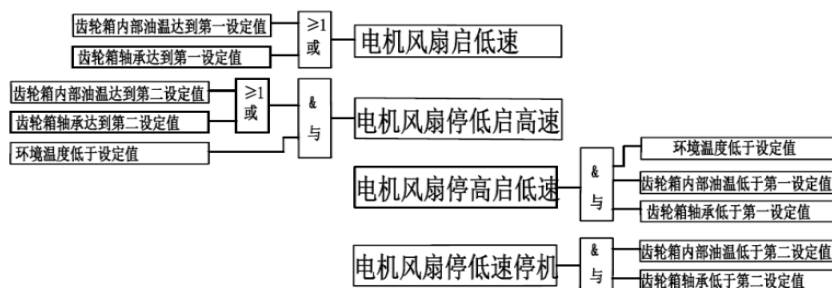


图2 重组后控制逻辑

Fig. 2 Reorganized control logic

5.3 重组优化后应用情况

重组优化后的润滑冷却系统在西北某风电场经过一个月以上的低温环境实际运行验证，低温环境时风机齿轮箱满功率运行状态下未出现高温报警故障。同时现场实际运行环境温度低于零下30℃，运行过程中触发了风冷却器电机风扇低速运行，未触发风冷却器电机风扇高速运行，齿轮箱内部油温和轴承温度稳定控制在设计要求范围内，满足风机齿轮箱低温环境运行工况要求。

6 结论

针对低温环境大兆瓦级风电齿轮箱高温报警故障问题，通过分析其故障机理，提出了对风冷却器散热芯体进行结构重组降低内部压阻以及重组风冷却器电机风扇控制逻辑的解决方案，经过风电场实际应用运行验证可以有效解决风机齿轮箱低温环境条件下高温报警故障。该优化方案同时可以应用于风冷却器外置安装的风力发电机组，减小风机机舱尺寸，降低风机生产成本。有效的提升风机齿轮箱全天候环境温度运行的适应性和稳定性，扩大风力发电经济性效应。为

后续大兆瓦风力发电机型齿轮箱风冷却器设计开发、安装布局提供有利的技术参考依据。

参考文献

- [1] 魏永红.风电齿轮箱润滑冷却系统及风力发电系统: CN117366 215A [P].2024.
- [2] 张上.风力发电机组齿轮箱油温高原因及散热改造方案分析[J].科技与创新, 2015(18): 36-37.
- [3] 张军苗.兆瓦级风电齿轮箱温度超限原因探讨分析[C]//中国农机工业协会风能设备分会《风能产业》, 2018(11): 82-86.
- [4] 谢勇, 艾文峰, 尹立松, 陈春.一种适用于低温环境风电齿轮箱润滑冷却系统:CN112145660B[P].2021
- [5] 杨世铭, 陶文铨.传热学[M].北京: 高等教育出版社, 2003: 313—341.
- [6] 许增金, 薛园园, 杨永江, 邢作霞.风电齿轮箱油温高原原因分析及解决方法[J].太阳能学报, 2020,41(3): 74-19.
- [7] 马金国.风电齿轮箱油温高原功率故障分析处理[C]//中国农机工业协会风能设备分会《风能产业》, 2015(3): 54-58.