

Discussion on the Cause of Lubricating Paint Film of Large Generator Set Steam Turbine

Yunlin Mo¹ Jianhua Tang¹ Jianliang He² Tao Chen³ Jianfa Xie¹

1. Zhejiang Zheneng Electric Power Engineering Technology Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 305000, China
2. Zhejiang Zheneng Lanxi Power Generation Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China
3. Fluitec China, Fuzhou, Fujian, 350003, China

Abstract

The paint film on large power generation unit steam turbines causes equipment failures such as overheating and vibration in bearings and bearings. The paint film is primarily formed by factors including high-temperature oxidation, “micro-dieselization”, electrostatic arcs, and external contamination. Techniques such as filtration, dehydration, degassing, and foam reduction can extend the service life of lubricating oils. The online oil filter for main resin paint films effectively removes precursor compounds. Advanced RULER (Single Antioxidant) and MPC (Paint Film Tendency Index) testing methods are employed to evaluate paint film in lubricating oils.

Keywords

generator set; steam turbine lubricating oil; paint film

大型发电机组汽轮机润滑油漆膜成因探讨

莫云林¹ 唐建华¹ 贺建良² 陈涛³ 谢建发¹

1. 浙江浙能电力工程技术有限公司, 中国·浙江 宁波 305000
2. 浙江浙能兰溪发电有限责任公司, 中国·浙江 金华 321000
3. Fluitec China 福润泰克, 中国·福建 福州 350003

摘要

大型发电机组汽轮机润滑油漆膜引发轴承、轴瓦等设备发热和振动的故障。漆膜主要有高温氧化、“微柴化”、静电弧、外来污染等因素生成,可通过过滤、脱水、除气、脱气,减少泡沫等技术手段延长润滑油品的使用寿命,主树脂漆膜在线滤油机过滤能较好清除漆膜前体。检测和评定润滑油的漆膜选用先进的 RULER(单类抗氧化剂)和 MPC(漆膜倾向指数)试验方法。

关键词

发电机组; 汽轮机润滑油; 漆膜

1 概述

浙能某电厂 2 号机组 1 号瓦运行中发现轴温升高、振动偏大的现象。停机检修,对 1 号轴瓦进行解体,发现了汽轮机轴瓦及轴颈上金属面颜色较重,不易清除,出现比较明显的油泥胶质物(漆膜),如图 1 所示。

2 汽轮机油漆膜形成的因素分析

汽轮机油主要由基础油和添加剂两部分构成,其中基础油组分占 99%,基础油对汽轮机油的性能有很大的影响。汽轮机在运行过程中,氧化、高温降解、静电弧、“微柴化”和外来污染加速汽轮机油劣化。一旦可溶污染物超过汽轮机

油可溶解的量,即会形成了胶质物、油泥等污染物,这些有害的污染物反过来,又加速了油品的氧化变质,油品润滑性能下降,影响了润滑性能。

随着时间的推移,这些污染物开始从基础流体迁移到设备表面。最初,这些胶质物(也可以叫“漆膜前体”)表面呈现金色/棕褐色,逐渐形成较暗的胶状层,最终发展成为坚硬的漆状物质(漆膜),漆膜的饱和度、平衡度和漆膜生命周期如图 2。

2.1 油品的氧化

汽轮机润滑油使用过程中接触空气,就会以不可逆的方式发生化学降解,产生可溶性漆膜,并积聚在油液中。汽轮机油中添加抗氧化剂,当氧化发生时,氧化剂会先消耗,达到保护基础油的目的。抗氧化剂一旦耗尽,氧化过程就会大大加速。如果没有有效的油品氧化产物去除系统,油品中的漆膜污染水平都将不可避免地持续增长,直至超过抗氧化

【作者简介】莫云林(1976-),男,中国浙江宁波人,本科,高级工程师,从事汽轮机的检修、维护及管理研究。

剂的能力。汽轮机油（抗氧化剂）氧化产生的极性物质如醛、酮、酸以及缩聚产物均为微溶于油的物质，当极性物质

的量超过了汽轮机油的溶解度或降停机后温度下，就会被沉积出来，形成油泥和漆膜。

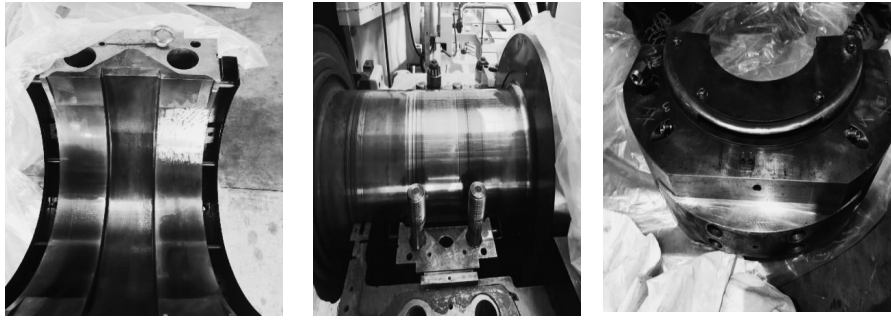


图1 汽轮机轴瓦及轴颈漆膜形态

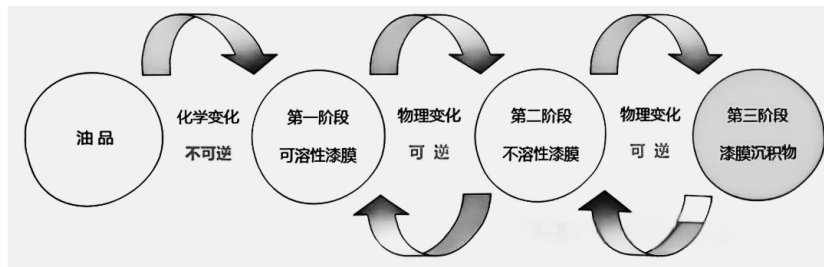


图2 饱和度、平衡度和漆膜生命周期

2.2 “微柴化”效应

在无氧条件下，润滑油经受 200℃ 以上高温时会产生降解。在高温情况外，润滑油中还会有绝热压缩（或称微柴化 micro—dieseling），这种情况的发生是由于润滑油中含有气泡，气泡没有及时从油中排出，当润滑油从常压部位流经高压部位时，这些气泡受到快速挤压（绝热压缩，急剧的温升）而爆裂，由此释放的能量可以使热点的温度达到 538℃ 以上。在此温度下，润滑油会发生热裂解，基础油和添加剂同时被降解，产生自由基，导致漆膜前体软性污染物的生成。

2.3 静电弧

当润滑油流经狭小空间如轴承轴瓦的金属表面或较精细的过滤网时，高速剪切会使润滑油分子与分子之间因摩擦而产生静电，当静电积累到一定程度的时候，会产生静电释放，这种静电释放就象闪电一样，产生很高的温度，致使局部基础油和添加剂同时被降解，产生自同基，形成软性污染物。

2.4 外来污染

水及金属离子对润滑油来说是一种重大的外来污染，它会加速润滑油的降解，同时降解酚类和胺类抗氧化剂（破坏其协同作用），从而产生软性污染物。残留在系统中的漆膜对于新加进来的油来说，是一种很严重的外来污染，新油将润滑油的漆膜溶解，溶解后的漆膜会加速新油的降解，因此会在短时间内产生更多的软性污染物，软性污染物很快达到饱和而产生沉淀，形成漆膜。

3 漆膜的危害及处理方法

汽轮机因为润滑油的失效导致汽轮机设备零件的失效、

磨损和劣化，通过科学有效维护设备的润滑系统，避免机组非计划停机，是浙能集团汽机系统运行的必然要求。每减少一次非计划停机，可减少 500-800 万的发电和供热和经济损失。

3.1 漆膜对汽轮机设备的危害分析

漆膜和油泥的形成是由高分子量的不溶性氧化物从油中沉淀出来，通常为亚微米大小（ $< 0.8\mu\text{m}$ ），主要由粘附的氧化物或碳质材料组成，这些氧化物作为主要极性物质，在非极性的汽轮机基础油中的溶解度有限，在机器零件的内表面形成一层薄薄的、不溶解的薄膜，并导致伺服阀、轴承等紧密间隙运动部件的粘连和故障，机器内部零件上的漆膜外观可以从棕褐色变为深色漆状材料。

汽轮机系统中的漆膜引起的潜在危害包括：加速油品降解过程、吸引污染物并增加轴承磨损、限制和卡住移动机械部件（例如伺服阀或方向阀）、热交换器中的热传递损失、隔热效果降低、热量和能量增加、润滑剂的自催化劣化、小油流孔和油滤器的堵塞、过滤效率降低和潜在过滤器堵塞、轴承故障及振动大、清理和处理油污而增加维护成本。

3.2 汽轮机润滑油日常维护方法

汽轮机润滑油系统的异常将威胁汽轮机设备的安全运行，因此要延缓油品老化，减少漆膜的形成，汽轮机润滑油日常维护中的措施包括：

- 1) 脱水：最大限度地减少因浸出而导致的添加剂的减少。
- 2) 脱气：减少与空气的接触，从而减少与氧气的接触。
- 3) 避免油中产生静电放电，避免因局部温度尖峰和热点而导致老化。

4) 监测油温平衡, 以便尽早发现轴承摩擦力增大或冷却器过度增大。

5) 定期进行油液分析和跟踪油液老化, 有助于避免出现严重的系统状态, 例如汽轮机蒸汽控制的控制阀堵塞和机器不安全的运行。

6) 增加旁路过滤, 减少微小污染杂质对油品氧化的催化作用。

7) 尽可能减少油中的气泡, 降低气泡压缩引起的“微爆燃”现象。

尽管大多数汽轮机油配方中包含的抗氧化添加剂, 但它们只能限制氧化降解, 而不能预防。当油品不可避免地氧化并形成漆膜前体时, 需要使用过滤去除润滑油系统漆膜前体成分, 来防止降解产物积聚发展形成漆膜。

3.3 润滑油净化方法比较

目前润滑油净化技术由深层过滤、平衡电荷聚集、静电吸附、离子交换树脂等, 或这些技术的组合。通过调研和比较, 国内发电企业润滑油净化性能对比如下:

通过对三大类净化技术的分析比较, 平衡电荷净化技术和静电颗粒净化技术对漆膜前体去除效果比较差, 同时清除了润滑油中的添加剂如抗泡剂和粘度指数调节剂等。应用主树脂漆膜在线净化技术能快速降低漆膜倾向指数, 吸附、清除出油液中溶解或悬浮物状态的漆膜油液降解物, 更持久地维持大型发电机组润滑油较低的漆膜倾向指数, 此净化技术在浙能电厂已经应用和推广。对于漆膜的检测, 国际上采用 RULER (单类抗氧化剂) 和 MPC (漆膜倾向指数) 来检测润滑油的漆膜倾向。

表 1 三大类汽轮机润滑油净化技术优劣比较

项目	主树脂在线净化技术	平衡电荷净化技术	静电颗粒净化技术
工作原理	溶解态的漆膜被混合特种主树脂树脂吸附吸收, 悬浮态漆膜 (过饱和的) 会被机械滤芯清除或者再被油溶解后被某主树脂清除。	让携带小颗粒物的流体分成两支路, 支路上装有高压电极, 分别给小颗粒物加载正电荷和负电荷; 两路流体重新混合聚集, 正负电荷相互吸引聚集在一起形成大尺寸的颗粒物。	利用静电力分离油液中杂质的技术, 其核心基于电荷施加、库仑作用及吸附沉积
颗粒物	能去除	能去除, 效果一般	能去除, 效果较差
机械表面已经形成的结胶、油泥	能去除, 将已产生的沉淀再逐步溶解回润滑油中而被清除掉。	不能去除, 需要停机大修时手动清除。	不能去除, 需要停机大修时手动清除。
优缺点	优点: 是既可处理悬浮态的漆膜, 也可以处理溶解态的漆膜, 对高温油 (65℃) 的处理更有效。油的使用寿命可延长 75% 以上。缺点: 单套净化装置初始投资中等。	优点: 有效去除有机和无机的颗粒物。缺点: 根据其原理无法清除溶解态漆膜, 无法解决因其而导致的清洁度不合格的问题, 且有清除润滑油中的一些添加剂如抗泡剂和粘度指数调节剂等风险。	优点: 初始投资费用较低。缺点: 无法清除溶解态漆膜, 有清除润滑油中的一些添加剂如抗泡剂和粘度指数调节剂等风险。

4 总结与展望

1) 大型发电机组汽轮机设备, 润滑油在高温氧化、静电弧、“微柴化”、外来污染等因素作用下产生漆膜污染物, 使轴承和齿轮表面出现漆膜沉积不可避免。

2) 通过油品有效管理可以减少漆膜的形成。过滤、脱水、除气、脱气, 减少泡沫等可延长油品的使用寿命。

3) 形成的漆膜通过机械清洁、换油、补充新油等都不能彻底解决问题, 实践证明通过主树脂净化过滤去除去除“游离”和“溶解”的漆膜, 改善油品的溶解行为过程可以减少润滑油系统中的沉积物。

3) 浙能某电厂应用某主树脂漆膜在线净化技术 3-6 个月左右, 使存在严重漆膜的汽轮机润滑油恢复正常, 同时综合应用先进的状态监测技术, 最终解决了漆膜问题, 确保汽轮机主机平稳运转, 该技术已在浙能电厂有类似漆膜问题的大型发电机组推广应用。

4) 需建立漆膜报警和清理制度, 以确保润滑油系统油的清洁度, 建立报警标准, 以保护油品的性能, 对漆膜采取零容忍。

5) 采用国际上较为先进的 RULER (单类抗氧化剂) 和 MPC (漆膜倾向指数) 试验方法, 科学地检测和评定大型发电机组汽轮机润滑油的漆膜问题, 具有一定的先进性。

参考文献

- [1] 钱艺华, 孟维鑫, 汪红梅. 大型调峰机组透平油漆膜问题研究现状[J]. 润滑与密封, 2016 (10): 103-106.
- [2] 王建新. 润滑油漆膜形成机理及去除对策[J]. 石油和化工设备, 2015 (5): 76-78.
- [3] 王斌, 于泳. 650MW 机组汽轮机轴瓦烧蚀原因分析及处理[J]. 中国电力, 2014 (9): 103-106.
- [4] 韩旭, 陆海迪, 闫洪振, 等. 润滑油漆膜的成因及消除方法[J]. 山东工业技术, 2020, 35(1): 21-24.
- [5] 刘志光. 提高汽轮机润滑油处理系统滤油机的性能研究[J]. 科技视界, 2017(2): 245.
- [6] 刘仁立. 汽轮机油系统清洁化施工控制探讨[J]. 南方农机, 2017 (4): 53-54.
- [7] 王树师. 汽轮机润滑油系统漆膜的一种净化方法[J]. 内燃机与配件, 2024 (19): 102-104.
- [8] 朱映林, 贺石中, 於迪, 等. 透平机组用油的漆膜问题研究[J]. 润滑油, 2019, 34 (4): 30-35.
- [9] 郑发正, 徐新, 白雪亮. 润滑油的氧化与对策[J]. 合成润滑材料, 2008, 35 (4): 30-32.
- [10] 竺赛威, 张勤, 马兰馨. 电厂汽轮机润滑油理化性能指标与漆膜相关性研究[J]. 广东化工, 2021, 48 (15): 88-89.