

使用维修

某型柴油机连杆轴瓦异常磨损分析及改进

钱立宏

(玉柴联合动力股份有限公司, 安徽 芜湖 241080)

摘要: 针对某型柴油机连杆轴瓦多次出现异常磨损, 且均为短里程异常磨损的问题, 对相关零部件的设计和应用进行分析。分析表明: 曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角过小及连杆轴瓦工作表面处理方式不当是导致该故障的主要原因。据此给出了改进方案, 经台架试验及市场验证, 该改进方案有效。

关键词: 连杆轴瓦; 磨损; 加工工艺

中图分类号: TK423.3⁺2; TK428 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)02-0054-03

Analysis and Improvement of Abnormal Wear of Connecting Rod Bearings of a Certain Type of Diesel Engines

Qian Lihong

(Y&C Engine Co., Ltd., Anhui Wuhu 241080)

Abstract: Abnormal wear of connecting rod bearings occurred several times on a certain type of diesel engines, and all within short running time. Research was carried out on the design and application of relative components. The results show that the corner at the oil hole fillet of crank pin is too small and bad surface treatment of the bearing are the main causes. The improvement measures were given and proved to be effective by bench test and market feedback.

Key words: connecting rod bearing; wear; machining

0 引言

连杆轴瓦是内燃机的核心零件, 装配在连杆大头底孔内, 并与曲轴连杆颈形成转动副, 承受活塞、连杆传递的周期性气体压力。近年来, 随着排放法规的不断严格及发动机的强化指标提升, 发动机的最高燃烧压力越来越高; 同时, 客户对整机的可靠性水平要求也越来越高, 尤其是在重型车用柴油机领域。

连杆轴瓦是活塞连杆组件的一部分, 其分为上、下轴瓦, 如图 1 所示。其中, 上连杆轴瓦主要承受发动机燃烧时的气体压力; 下连杆轴瓦主要承受活塞连杆组件的往复惯性力。相对而言, 上连杆轴瓦承受的面压更高, 也更容易出现问题。连杆轴

瓦一般由三部分组成, 如图 2 所示。底部(与连杆大头底孔贴合)为钢背, 一般为优质低碳钢; 中间部分为合金层, 对于重型车用柴油机而言, 一般采用铝基材料和铜基材料, 后者应用相对更多; 上部为表面涂层, 一般为电镀、PVD(物理气象沉积)以及聚合物涂层等。对于电镀轴瓦, 一般表面还有一层镀锡层。

某型柴油机连杆轴瓦多次出现上连杆轴瓦异常磨损, 甚至抱瓦故障, 且均为短里程故障, 该故障严重影响了整机可靠性水平。本文对这一问题进行排查, 并结合一定的验证手段和 CAE 分析对排查结果进行确认, 最终给出改进措施。若无特殊说明, 本文后续所述连杆轴瓦均指上连杆轴瓦。

收稿日期: 2019-10-08; 修回日期: 2019-10-24

作者简介: 钱立宏(1986—), 工程师, 主要研究方向为柴油机结构设计及机械开发, qianlihong@kengine.cn。

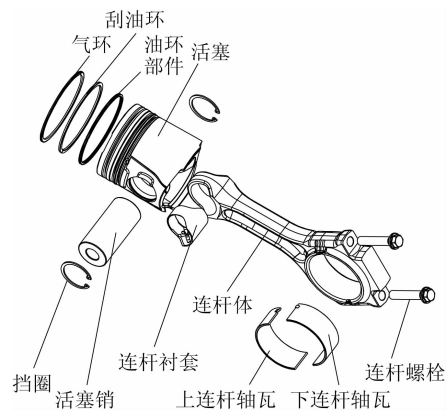


图 1 活塞连杆组件示意图

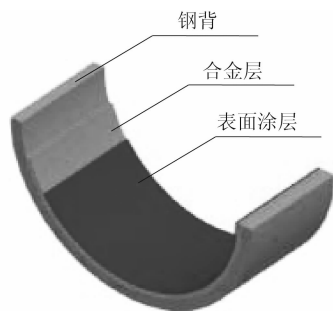


图 2 连杆轴瓦结构示意图

1 问题描述及分析

1.1 问题描述

某型柴油机连杆轴瓦多次出现上连杆轴瓦异常磨损，如图 3 所示。图 3a) 为轴瓦故障初期，轴瓦表面出现异常磨损痕迹；图 3b) 为轴瓦故障中期，此时轴瓦与曲轴连杆颈已经出现黏着磨损；图 3c) 为抱瓦状态，轴瓦与连杆颈抱死，该状态下发动机的活塞漏气量、曲轴箱压力及摩擦功均会异常升高。

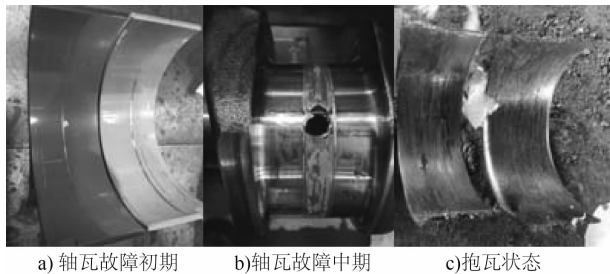


图 3 连杆轴瓦故障

针对故障里程，应用 Weibull 相关软件进行分析^[1-2]，结果如图 4 所示。形状参数 $\beta = 0.4$ ，说明失效处于初期，一般由零部件本身、装配或者应用不当等问题造成；从概率密度上可以看到：10 000 km 以内故障集中，呈现早期失效模式，10 000 km 之后失效率

近似恒定，呈现随机失效模式。

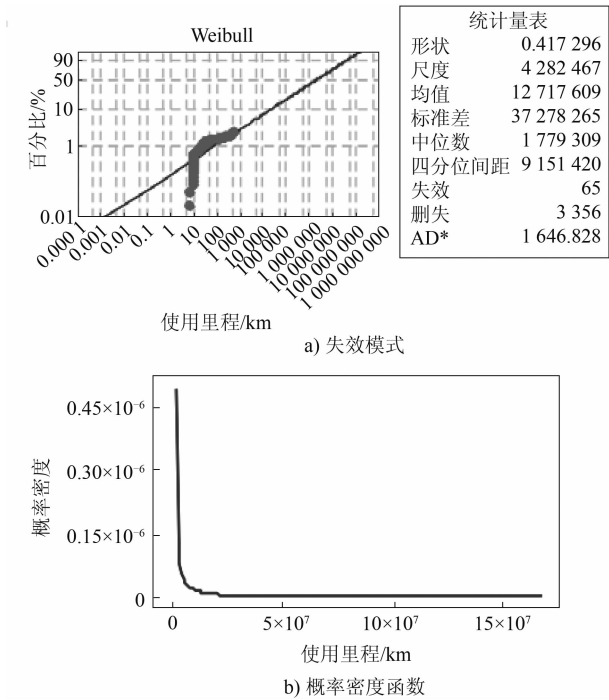


图 4 Weibull 分析

1.2 问题分析

结合故障表现及统计数据，从相关零部件质量及轴瓦设计和应用两个方面对失效问题进行分析。

1.2.1 相关零部件质量分析

从失效的位置来看，失效初始状态出现在轴瓦中间位置，可初步判断轴瓦失效与连杆轴颈油孔有关^[3]。对不同曲轴连杆颈油孔进行对比，可以发现：部分连杆颈油孔倒角位置圆角较大，而部分油孔倒角位置圆角则相对较小。由于该圆角不便测量（供应商处专业设备可测量），故采用显影纸对油孔圆角进行拓印，发现：圆角较大的油孔周边颜色较淡且分散，圆角较小的油孔周边颜色较深且集中，如图 5 所示。油孔倒角位置圆角过小，易刮伤轴瓦内壁，同时易导致油膜破裂，造成局部润滑不良、磨损加剧。因此，保证合理的圆角对于良好润滑至关重要。

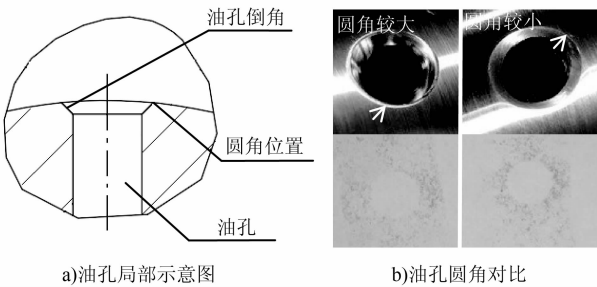


图 5 油孔局部示意图及不同曲轴轴颈油孔拓印对比

1.2.2 轴瓦设计和应用分析

建立 CAE 分析模型, 对轴瓦润滑状态进行确认^[4]。如图 6a) 所示, 发动机转速为 800 r/min 时, 轴瓦油膜厚度最小, 为 1.17 μm ; 如图 6b) 所示, 发动机转速为 1 000 r/min 时, 轴瓦油膜压力最大, 为 367.3 MPa; 如图 6c) 所示, 发动机转速为 1 100 r/min 时, 轴瓦单位载荷最大, 为 77.7 MPa。结合前期计算经验及相关标准, 连杆轴瓦各项指标均满足设计要求, 未见明显异常。

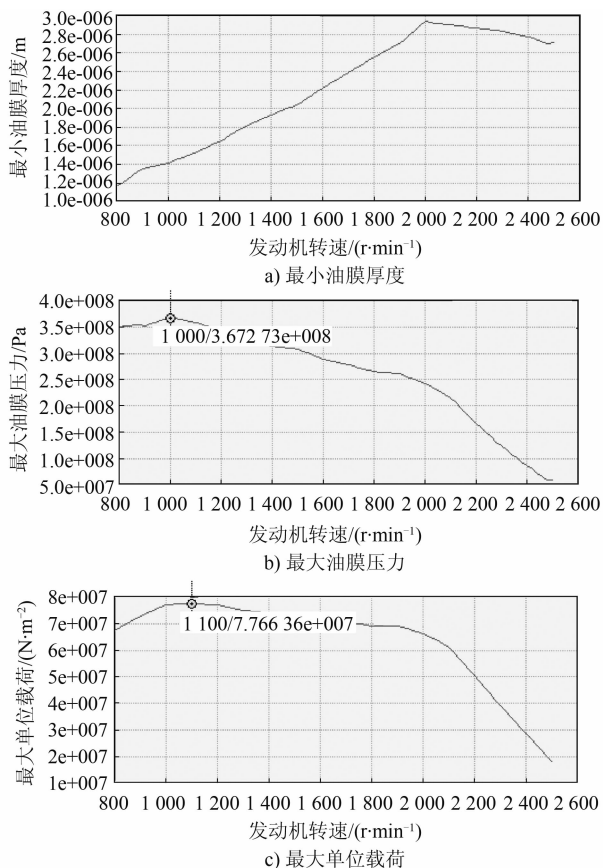


图 6 连杆轴瓦 CAE 分析结果

对于连杆轴瓦这类滑动轴承来说, 须同时具备耐疲劳性能和耐磨损性能所须的强度和硬度, 以及适应性、异物嵌入性能和耐烧瓦性能所须的柔软度, 而这两种特性是完全相反的, 如图 7 所示。本次故障连杆轴瓦工作表面为 PVD 处理, 开发初期主要基于整机 B10 寿命提升需要, 其强度和硬度相对传统的电镀轴瓦更高, 耐疲劳和耐磨性能更优; 但其表面硬度更高、材料更致密, 对整机相关零部件质量以及装配过程的要求更高。若曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角加工质量较差或清洁度水平不满足要求, 则会造成连杆轴瓦使用初期出现异常磨损。

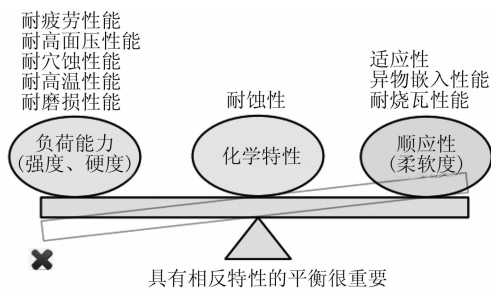


图 7 滑动轴承基本特性

2 改进方案及验证

结合上述分析, 后续主要从曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角和轴瓦工作表面处理两个方面进行优化。

针对曲轴连杆颈油孔, 要求供应商调整加工工艺, 提高过程控制质量, 如细化抛光、抛圆; 同时, 在图纸上详细标注油孔圆角相关尺寸, 如粗糙度、圆度以及孔口位置公差和尺寸公差等。油孔倒角位置圆角半径 R 改善前、后对比如表 1 所示 (随机抽取两个位置进行测量)。此外, 对轴颈的表面粗糙度也提出了更高的加工质量要求。

表 1 油孔倒角位置圆角半径 R 改善前、后对比

状态	油孔圆角半径 R/mm	
	位置 1	位置 2
改善前	0.392	0.371
改善后	0.769	0.789

为提高连杆轴瓦的适应性水平, 轴瓦工作表面依旧采用传统电镀处理。同时, 考虑到轴瓦寿命问题, 对其合金层和电镀层材料做相应升级, 以改善耐疲劳性、耐高面压性和耐磨损性等。相对升级前, 轴瓦对相关件的加工质量、清洁度以及装配等要求略有降低, 过程相对稳定、可控。

该改进方案经台架试机验证, 改善效果明显, 如图 8 所示。此外, 经约 6 个月的市场验证, 该故障再无发生。

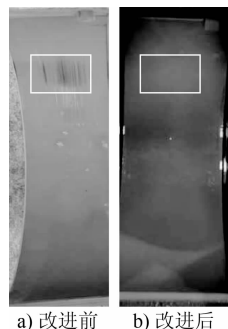


图 8 改进前、后连杆轴瓦应用效果对比

明显降低,但压力还是正负跳动。

(3) 再次检查呼吸器,拆卸呼吸器软管,原软管使用时间太长,已经变硬变脆,直接更换;软管先排空,末端用手测试,有明显脉动气流,判断问题根源还在呼吸器,问题未得到彻底解决。再拆卸呼吸器出口硬管检查发现:接口压扁,卡箍处漏气,硬管内抠出油泥。对管道做圆整、清洗后复装。起车,观察曲轴箱压力表,压力基本为负值,但仍有波动,偶尔成正值。考虑到机械表安装在机体上受振动影响较大,将该表拆下,引入一 U 型水管(图 4),水柱贴着钢尺,通过水柱的落差及跳动来确定曲轴箱压力的大小和变化。水柱反映的是平均压力。转速升至额定转速,再缓慢加载至最大负荷 1 800 kW,见 U 型管内水柱升高 10 mm(即曲轴箱压力为 -0.1 kPa),且水柱稳定,没有明显波动。至此,故障完全定位且得到排除。图 5 为故障前后曲轴箱压力波动比较。



图 4 U 型管曲轴箱压力测试

(上接第 56 页)

3 结论

曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角过小,工作表面处理不当是引起柴油机连杆轴瓦异常磨损故障的主要原因。

通过改进曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角,提高轴颈表面粗糙度,并对连杆轴瓦工作表面合金层和电镀层材料做相应升级,在改善轴瓦适应性的同时提高了轴瓦的可靠性寿命。该改进措施通过台架试机及市场应用得到有效验证。

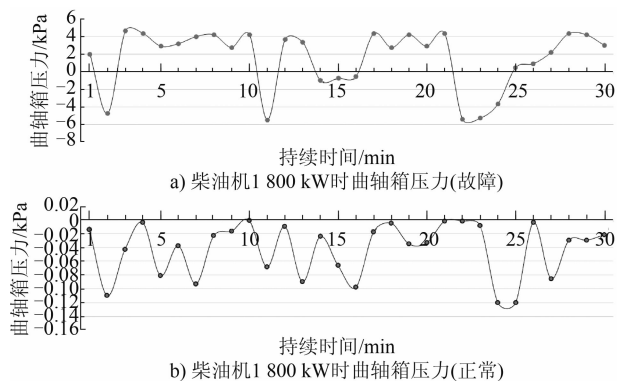


图 5 故障解决前后曲轴箱压力对比

3 结论

经上述整改后,经长时间运行,未再出现因曲轴箱压力大和压力波动造成的停车故障,彻底解决了曲轴箱压力高且波动大导致报警停车故障,有效降低了拉缸风险。此次故障排查遵循先易后难,先外围再内部的原则,在较短时间内使柴油机恢复正常运行,同时降低了维修成本。

参考文献

- [1] 陆威嵩. MTU2000/4000 系列柴油机的轮机设计特点[J]. 船舶, 2019 (2): 35-39.
- [2] 蒋建荣, 张华伟. 某船 TBD620V16 型柴油机曲轴箱压力高报警故障原因分析[J]. 广东造船, 2017 (3): 75-77.
- [3] 高明. 柴油机常见故障现象分析与排除探析[J]. 科学技术创新, 2020 (10): 168-169.
- [4] 张超. 关于船用柴油机拉缸原因的探讨[J]. 中国机械, 2020 (1): 139-141.

参考文献

- [1] 金银平. 三参数威布尔分布的可靠性研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2014.
- [2] 徐微, 胡伟明, 孙鹏. 基于两参数威布尔分布的设备可靠性预测研究[J]. 中国工程机械学报, 2013, 11 (2): 112-116.
- [3] 赵洪国, 李楠, 张财红, 等. 柴油机连杆轴瓦烧蚀的机理分析及问题改进[J]. 柴油机设计与制造, 2017, 23 (1): 18-21.
- [4] 戴旭东, 马雪芬, 赵三星, 等. 曲轴主轴承油膜动力润滑与系统动力学的耦合分析[J]. 内燃机学报, 2003, 21 (1): 86-90.