

使用维修

某柴油机连杆底孔失圆问题分析与解决措施

焦亚飞, 徐聪聪, 巫立民, 赵家辉, 刘 凯

(上海船用柴油机研究所, 上海 201108)

摘 要: 针对某柴油机连杆大端底孔失圆问题, 从连杆刚度、连杆与连杆螺栓材料、装配润滑剂选择及运行状态等几方面进行分析。结果表明: 润滑剂选择不当导致拧紧过程中连杆螺栓与大端盖贴合面拉毛, 摩擦系数增大, 装配预紧力与加工预紧力不一致, 最终导致底孔失圆。更换润滑剂后, 该问题得到解决。

关键词: 连杆; 大端底孔; 失圆; 摩擦系数; 润滑剂

中图分类号: TK423.3; TK428 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)04-0043-03

Analysis and Solutions of Out-of-Circle of Big End Bore for Diesel Engine Connecting Rod

Jiao Yafei, Xu Congcong, Wu Limin, Zhao Jiahui, Liu Kai

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: A diesel engine connecting rod was studied as its big end bore was out-of-circle. The analysis was carried out from the aspects of stiffness of the connecting rod, the material of the connecting rod and bolts, selection of lubricant and operation state of the diesel engine. The analysis result shows that wrong selection of the lubricant caused damage of the contacting surface of bolts and big end cap, the friction coefficient increased, thus the assembly preload is inconsistent with the machining preload, which resulted in out-of-circle of big end bore. After changing proper lubricant, the problem was solved.

Key words: connecting rod; big end bore; out-of-circle; friction coefficient; lubricant

0 引言

连杆是柴油机最重要的零件之一, 运行中受力较为复杂, 承受着很大的拉伸、压缩和弯曲等载荷, 并且受力是周期交变的, 工作环境相当恶劣^[1]。其中大端底孔为连杆瓦提供支撑, 连杆瓦与曲柄销共同组成摩擦副。如果底孔出现失圆问题, 可能会导致连杆瓦的早期磨损和失效, 甚至可能出现抱轴等重大故障。

本文针对某柴油机连杆在拆检时发现的大端底孔失圆问题开展相关分析与研究。

1 问题描述

该柴油机连杆为两段式、斜切口, 杆身与大端

盖通过两颗规格为 M24 的螺栓连接。装机运行约 100 h 后拆检发现: 大端底孔在垂直于连杆哈夫面(a 方向)超差, 测量结果如表 1 所示, 测量位置如图 1 所示。

表 1 连杆大端底孔偏差

单位: mm

测量位置	a	b ₁	b ₂
I 截面	+0.035	+0.015	+0.030
II 截面	+0.035	+0.025	+0.015

注: 公差要求为 $^{+0.025}_0$

2 原因分析

初步分析导致失圆的原因可能有: (1) 连杆刚度不足; (2) 连杆与连杆螺栓材料不匹配; (3)

装配润滑剂选择不当；(4) 柴油机运行状态异常等因素。

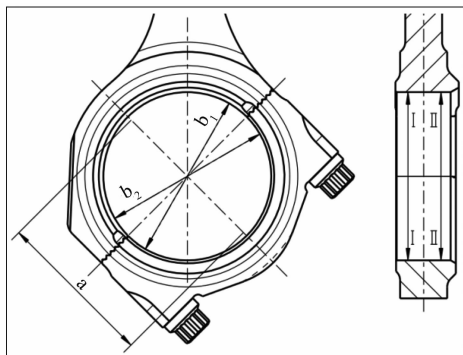


图1 大端底孔测量位置示意

2.1 连杆刚度不足

在运行过程中, 连杆刚度不足可能会导致连杆大端孔变形。经三维仿真评估, 在最大拉伸(超速20%)工况及最大压缩工况(110%工况), 底孔最大径向及横向变形均满足设计要求, 计算结果如图2所示。连杆刚度不足因素可以排除。

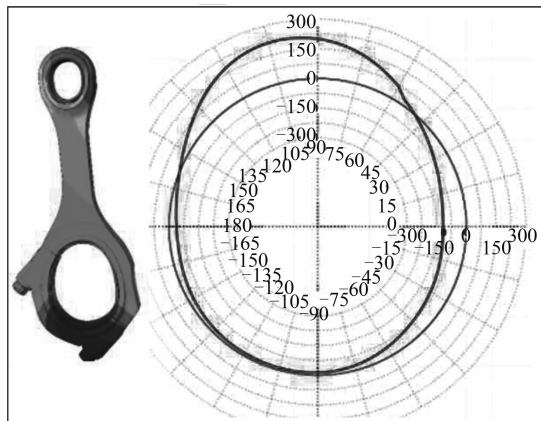


图2 连杆大端孔刚度评估

2.2 连杆与连杆螺栓材料不匹配

根据“相似相溶”原理, 若材料化学成分、加工制造工艺(包括热处理工艺)相似, 则在使用过程中, 预紧力的夹紧作用较易在结合面造成粘连现象, 导致摩擦系数发生变化, 引起长短臂侧装配预紧力不同, 进而引起底孔失圆。连杆材料为42CrMoA, 连杆螺栓材料为高强度中合金渗碳钢, 且含有Ni、W等元素; 并且在调制处理后两者的基体组织不同。因此, 可以排除材料问题是导致底孔失圆的原因。

2.3 装配润滑剂选择不当

通常情况下, 在螺栓拧紧过程中, 若不添加润滑剂, 施加的扭矩的约90%被摩擦力消耗, 仅有约10%转化为轴向力矩用于紧固螺栓。而在被摩

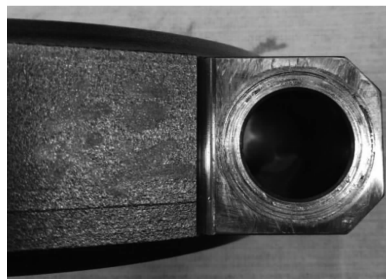
擦力消耗掉的90%扭矩中, 约50%用于克服头部摩擦力, 40%用于克服螺纹摩擦副的摩擦力^[2]。若头部接触面有杂质、损伤或螺纹有缺陷, 须要克服的摩擦力更大。

因此在装配过程中, 往往须要在螺纹摩擦副及被连接部位添加润滑剂, 用于降低摩擦系数, 减少预紧力的离散度并控制预紧力的精度, 最终提高连接部位的可靠性和安全性。

润滑剂的选择会直接影响接触表面的摩擦系数, 进而造成最终预紧力的不同。在设计初期选择的润滑剂为机油。在装配过程中发现: 机油摩擦系数较大, 且较为稀薄, 不易黏附在贴合面上形成薄膜。并且为了保证连杆运行的可靠性, 采用了高强度螺栓, 预紧力较大。螺栓经反复拆装后, 易在大端盖与螺栓贴合面出现材料粘连、拉毛现象, 如图3、图4所示。

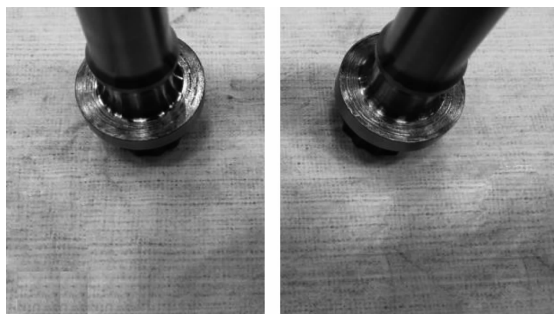


a) 长臂侧



b) 短臂侧

图3 大端盖与螺栓贴合面情况



a) 长臂侧

b) 短臂侧

图4 连杆螺栓头部支撑面情况

综合分析, 判断底孔失圆是由润滑剂选择不当导致。螺栓贴合面在拧紧过程中出现损伤, 摩擦系

数增大，导致用于克服摩擦力的力矩增加。规定的预紧力一部分被摩擦力消耗，实际装配预紧力小于加工时预紧力，且由于长短臂侧损伤情况不一致，导致最终的预紧力不同，底孔变形，失圆。

2.4 柴油机运行状态异常

若柴油机在运行过程中出现载荷过大、转速过高等异常因素，也可能导致连杆变形。排查各运行工况下柴油机的最高燃烧压力、转速等信号，显示运行平稳，无异常波动等情况，可以排除柴油机运行状态异常是导致连杆底孔失圆的原因。

综上所述，装配润滑剂选择不当是导致连杆大端底孔失圆的原因。

3 改进方案及验证

经调研，目前广泛应用于螺栓装配的润滑剂包括机油、二硫化钼以及具有特殊功能（如抗咬合、耐高温、耐腐蚀）的润滑剂、润滑脂等。其中机油和二硫化钼是最为常用的两种。机油较易获得，价格低廉，常用于精度要求不高的场合。二硫化钼则因特殊的晶体结构具有优异的润滑性能。晶体结构使二硫化钼在被连接件的贴合面方向具有极低的剪切强度，而在垂直方向具有极高的强度和硬度，因此二硫化钼的滑动摩擦系数较低，可以稳固地黏附于基体并形成薄膜。黏附作用可承载高负荷下的摩擦，并具有一定的抗咬合性^[3]。

基于不同润滑剂的特点，更换 2#连杆。在装配连杆螺栓时采用二硫化钼润滑剂，测量并记录连杆大端底孔数据。运行超过 600 h 后拆检并测量底孔值，分别如表 2、表 3 所示。对比结果显示，在排除测量误差因素的情况下，可以认定运行前后底孔尺寸基本一致，且满足设计公差要求。目视检查

螺栓与大端盖贴合面，仅发现压痕，且触感轻微，未出现拉毛现象。因此，可以认为上述问题得到了解决。

表 2 2#连杆大端底孔偏差（装机值）

单位：mm

测量位置	a	b ₁	b ₂
I 截面	+0.020	+0.020	+0.015
II 截面	+0.020	+0.025	+0.020

表 3 2#连杆大端底孔偏差（拆检值）

单位：mm

测量位置	a	b ₁	b ₂
I 截面	+0.020	+0.020	+0.010
II 截面	+0.025	+0.020	+0.020

4 结论

针对某柴油机连杆大端底孔失圆问题，从连杆刚度、连杆与连杆螺栓材料匹配、装配润滑剂选择及运行状态等几方面进行原因分析，结果表明：造成该问题的主要原因是拧紧过程螺栓润滑剂选择不当，导致连杆螺栓与大端盖贴合面拉毛，摩擦系数增大，装配预紧力与加工预紧力不一致，最终导致底孔失圆。更换润滑剂后，该问题得到解决。

参考文献

[1] 吴兆汉，汪长民，林桐藩，等. 内燃机设计 [M]. 北京：北京理工大学出版社，1990.

[2] 李建军，陈艳. 风电行业用高强紧固件的润滑与紧固 [J]. 机械工程师，2011（3）：128-129.

[3] 王国栋，蒋丽娟，李来平，等. 二硫化钼润滑剂应用研究进展 [J]. 中国钼业，2013，37（5）：10-14.