

矿用宽体车用轴向密封结构油封开发

王伟^{1,2}, 王宁宁^{1,2}, 曹文龙^{1,2}

1. 内燃机可靠性国家重点实验室, 山东 潍坊 261061;

2. 潍柴动力股份有限公司发动机技术研究院, 山东 潍坊 261061

摘要:为满足矿用宽体车负荷大、整车振动大、使用工况差、曲轴后端跳动大的需求,设计开发轴向密封结构油封;开展油封抗偏心跳动能力试验、油封泵吸能力试验、摩擦转矩试验等零部件功能试验,结合整机耐久试验,对比轴向和径向密封结构油封的抗偏心跳动能力、泵吸能力、摩擦转矩、摩擦功损耗、可靠性和使用寿命。结果表明:相对传统径向密封结构油封,轴向密封结构油封的抗偏心跳动能力更优,泵吸能力更强,摩擦转矩和摩擦功损耗更低,可靠性更高,使用寿命更长。使用轴向密封结构油封可以解决矿用宽体车油封漏油问题,降低市场故障率。

关键词:油封;轴向密封;径向密封;偏心跳动;泵吸;摩擦转矩

中图分类号:U464.232;TD422.3/4

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2023)03-0085-05

引用格式:王伟,王宁宁,曹文龙.矿用宽体车用轴向密封结构油封开发[J].内燃机与动力装置,2023,40(3):85-89.

WANG Wei, WANG Ningning, CAO Wenlong. Development of axial oil seal for mining wide body vehicle [J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2023, 40(3): 85-89.

0 引言

曲轴油封是发动机的重要密封件^[1],曲轴油封漏油不仅浪费机油、污染环境,还将导致发动机部件润滑不足,加速零件的磨损,影响发动机的使用寿命^[2-3],同时还会引起离合器打滑,造成严重事故^[4-5]。传统型油封主要为径向密封结构油封,抗偏心跳动能力有限,在工况恶劣情况下,发动机后端跳动大,油封偏心跳动补偿不足,造成后油封处渗漏机油。

为解决某矿用宽体车使用过程中曲轴油封机油渗漏问题,针对矿用宽体车复杂、恶劣的使用工况,设计开发轴向密封结构油封,并开展油封性能及可靠性试验,验证轴向密封结构油封的性能、可靠性和使用寿命,为解决曲轴油封机油渗漏故障提供参考。

1 矿用宽体车油封开发

1.1 矿用宽体车运行工况

在矿区上进行运输作业的通常为重型矿用宽体自卸车或特大型矿用宽体自卸车,这种自卸车载货量大,经常满载上下坡,行驶在凹凸不平的矿山路面上,存在一轮或多轮抬高、下陷等现象。矿用宽体车使用工况有如下特点:1)工作路况差,多为盘山路,坡度大、路面凹凸不平;2)整车振动大、负载重;3)环境恶劣,外部尘土多。

收稿日期:2021-11-02

基金项目:山东省重大科技创新工程项目(2021CXGC010703)

第一作者简介:王伟(1980—),男,山东潍坊人,高级工程师,主要研究方向为发动机密封可靠性,E-mail:wangwei01@weichai.com。

1.2 油封结构选型

某装配传统径向结构后油封的矿用宽体车,市场反馈后油封漏油故障率高,用户用车感受差,严重影响产品质量。该宽体自卸车上使用的曲轴油封材料为聚四氟乙烯(PTFE),主唇口密封结构为径向密封,该油封的抗轴孔偏心能力、抗动态跳动能力较差,摩擦转矩及摩擦功损耗较大。

相比其他用途车辆,宽体自卸车发动机曲轴油封,尤其是后油封,需承受更大的偏心跳动。矿用宽体车使用工况要求发动机曲轴油封具有更高的抗偏心跳动能力和防尘能力,为解决径向油封抗偏心跳动差异导致的漏油问题,本文中设计了一种轴向结构油封,其特点为:1)油封主唇口为轴向密封结构;2)主唇口密封材质采用氟橡胶材料,且在主唇口增加螺旋回油槽;3)主唇口处增加勾型副唇设计。传统径向密封结构和新开发的轴向油封密封结构如图1所示。

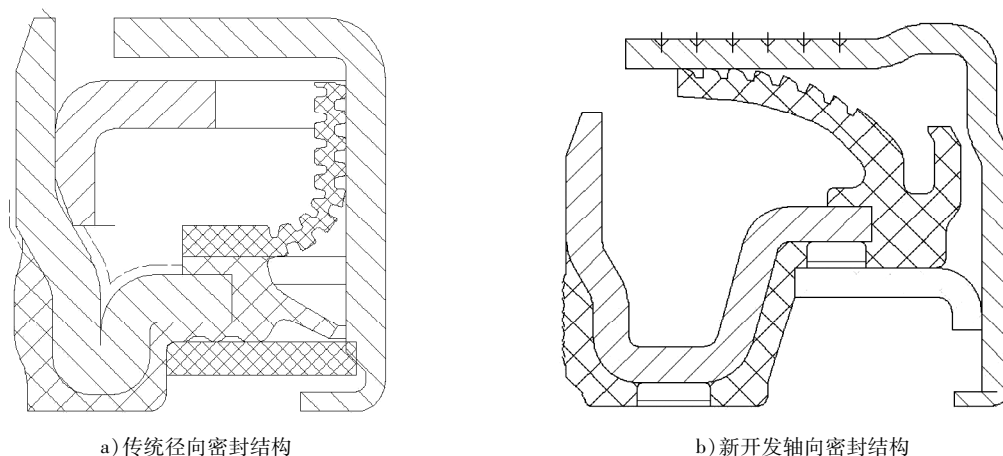


图1 传统径向密封结构油封与新开发的轴向密封结构油封

1.3 轴向密封结构油封特点

(1) 抗轴孔偏心及曲轴动态跳动能力强。轴向密封结构油封的主唇口与曲轴为轴向密封,主要由主唇口橡胶受压缩变形产生的密封力实现密封,油封安装孔与曲轴的轴孔偏心、发动机运转过程中曲轴的动态跳动等径向方向偏差、跳动对主唇口橡胶压缩基本没有影响,因此轴向密封结构油封的抗偏心和跳动能力较强。

(2) 摩擦转矩和摩擦功损耗小。传统的径向密封结构油封主唇口采用的PTFE为硬质塑料,油封与轴的接触为面接触且为过盈箍紧配合,运转过程中与轴的摩擦转矩及摩擦功损耗较大。轴向密封结构油封由主唇口氟橡胶压缩变形产生的反弹密封力密封,橡胶材质较软,反弹力较小,因此摩擦转矩和摩擦功损耗小。

(3) 主唇口设计勾型副唇。在主唇口处设计勾型副唇,发动机静态及运转过程中,若主唇口处有轻微的机油渗漏,通过勾型副唇的旋转作用,可将渗漏的机油重新泵回到密封唇口处,防止机油渗漏到空气侧。

2 性能试验

2.1 抗偏心跳动能力试验

在油封零部件试验台对新开发的轴向密封结构油封和传统径向密封结构油封的抗偏心跳动能力进行试验对比。油封零部件试验台抗偏心能力试验条件如表1所示。使用千分表调整旋转轴与安装孔的偏心量 a ,将 a 按0.1 mm递

表1 抗偏心能力试验条件

轴直径/mm	轴转速/($r \cdot \min^{-1}$)	油位高度	机油类型
115	2 600	1/4 轴径	发动机润滑油

增, a 每增加 0.1 mm, 油封在零部件试验台运转 20 h、停止 4 h。运转及停机静止过程中未出现漏油, 则记录为 Y, 若出现漏油则试验停止, 并记录为 N, 同时停止后续试验。试验结果如表 2 所示。由表 2 可知: 轴向密封结构油封的抗偏心跳动能力优于径向密封结构油封, 轴向密封结构油封在 $a = (0.10 \sim 0.80)$ mm 均未发生泄漏, 径向密封结构油封在 $a = 0.40$ mm 时发生渗漏。这是因为径向密封结构油封的主密封唇口与曲轴为径向密封, 密封性受轴孔偏心和曲轴跳动影响较大; 轴向密封结构油封的唇口仅受轴向压缩的影响, 基本不受轴孔偏心和曲轴跳动的影响。

表 2 抗偏心能力试验结果

油封结构	是否通过试验							
	$a = 0.10$ mm	$a = 0.20$ mm	$a = 0.30$ mm	$a = 0.40$ mm	$a = 0.50$ mm	$a = 0.60$ mm	$a = 0.70$ mm	$a = 0.80$ mm
轴向	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
径向	Y	Y	Y	N				

2.2 泵吸能力试验

曲轴油封运转时, 主唇口处油侧相对空气侧形成一定的内吸力, 产生泵吸效应, 从油侧流向空气侧的即将外漏的微量润滑油又被吸回到油侧, 防止润滑油外泄, 提高密封性能^[6-8]。泵吸能力越强, 油封密封性能越好。

对开发的轴向密封结构油封和传统的径向密封结构油封泵吸能力在不同转速下进行试验对比, 试验条件如表 3 所示, 试验结果如图 2 所示。

表 3 泵吸能力试验条件

轴直径/mm	油位高度	轴孔偏心/mm	轴径向跳动/mm	机油类型
115	1/4 轴径	0.35	0.20	发动机润滑油

由图 2 可知: 轴向密封结构油封对润滑油的泵吸能力优于径向密封结构油封; 随着轴转速升高, 2 种结构油封对润滑油的泵吸能力都增强, 轴向密封结构油封润滑油的质量流量增幅更大。因此, 轴向密封结构油封泵吸能力更强, 密封效果更好。

2.3 摩擦转矩试验

近年来, 随着国家第五阶段、第六阶段排放标准的严格要求以及竞争日益激烈的市场环境, 对商用车用发动机燃油经济性提出更高的要求^[9-10]。曲轴前后油封和曲轴作为主要摩擦副, 其产生的摩擦转矩及摩擦功损耗对发动机的性能、排放和燃油消耗均有影响。因此减小油封摩擦转矩也是降低发动机油耗的有效措施之一^[11]。

按照表 3 中的试验条件, 对开发的轴向密封结构油封和传统的径向密封结构油封进行不同转速下的摩擦转矩对比试验, 结果如图 3 所示。

由图 3 可知: 相比传统径向密封结构油封, 轴向密封结构油封的摩擦转矩降低 50% 以上。摩擦转矩降低, 相应的摩擦功损耗也同步降低, 减少了

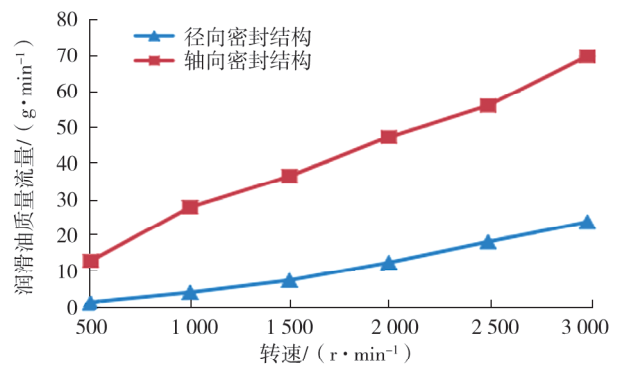


图 2 泵吸能力试验结果

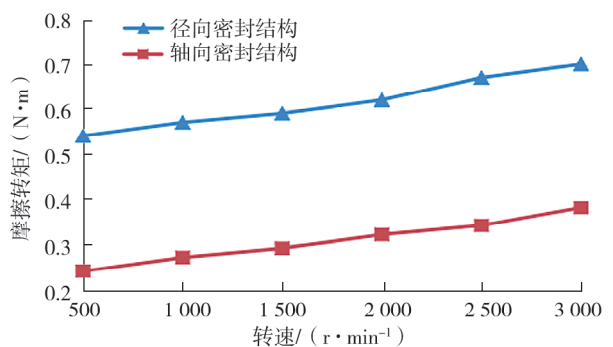


图 3 摩擦转矩测试结果

发动机油耗,提高了发动机燃油经济性。

3 可靠性试验及改进效果验证

3.1 可靠性试验

将轴向密封结构油封安装在油封试验台上,用清洗剂清洗干净油封唇口及外径处,避免残存的机油导致的漏油误判,用白色显影剂将油封唇口密封处和外径密封处喷白,便于观察判断油封是否泄漏。油封试验台如图4所示。油封零部件耐久试验条件如表4所示。



图4 油封试验台

表4 油封零部件耐久试验条件

轴直径/mm	油位高度	轴孔偏心/mm	轴径向跳动/mm	机油类型	轴转速/($r \cdot \min^{-1}$)	试验循环工况	循环次数
115	1/4 轴径	0.35	0.20	发动机润滑油	2 500	运转 20 h, 静置 4 h	210

5 000 h 零部件试验台耐久试验后油封外观如图5所示。由图5可知:轴向密封结构油封唇口密封处和外径密封处端面均匀附着干燥粉尘,无湿润油迹,通过5 000 h 零部件耐久试验验证。

将轴向密封结构油封装配发动机并进行1 000 h 负载循环耐久试验,轴向密封结构油封未出现机油渗漏,通过整机可靠性验证试验。

3.2 改进效果验证

矿用宽体车后油封由径向密封结构油封更换为轴向密封结构油封后,对比运行满3、6、12月的故障率,如表5所示。由表5可知:更换为轴向密封结构后油封后,矿用宽体车后油封漏油故障率明显下降,运行满3月和运行满6月故障率均下降60%以上,运行满12月故障率下降40%以上,有效降低油封漏油故障率,减少维修费用,提高产品可靠性和用户满意度。

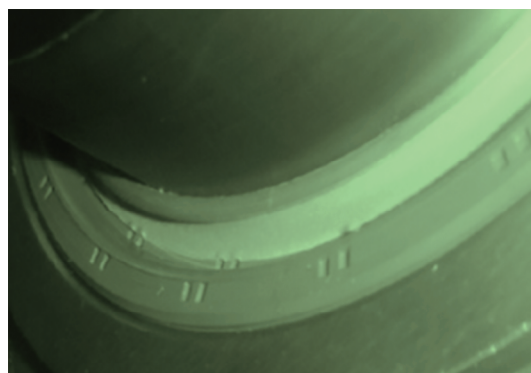


图5 5 000 h 零部件耐久试验后油封密封情况

表5 宽体车后油封运行故障率统计表

时间/月	径向油封故障率/%	轴向油封故障率/%
3	0.11	0.04
6	0.31	0.12
12	0.61	0.36

4 结束语

针对矿用宽体车复杂、恶劣的使用工况,开发了轴向密封结构油封。进行零部件性能试验、可靠性试验,并对更换油封后的车辆开展市场故障率调查。新开发的轴向密封结构油封可以满足矿用宽体车使用工况需求,与传统径向结构油封相比,轴向油封的抗轴孔安装偏心、跳动能力和泵吸能力强,摩擦转矩和摩擦功损耗低,使用寿命长和可靠性高,有效解决了矿用宽体车后油封漏油故障。

参考文献:

- [1] 兰剑,胡必谦,郑久林,等. 曲轴油封漏油原因分析及改进措施[J]. 内燃机,2017(5):48-49.
- [2] 乔建伟. 浅析发动机曲轴油封技术[J]. 轻型汽车技术,2017(7):63-67.
- [3] 刘清明,段宗江,刘开敏. 曲轴油封漏机油的改进设计[J]. 柴油机,2013(2):51-53.
- [4] INOUE M, KASAI Y, XU F, et al. 低摩擦轴向唇形油封的开发[J]. 高英英,曹杰,译. 汽车与新动力,2020(5):42-44.
- [5] 朱重飞. 柴油机曲轴后油封漏油故障率改进研究[J]. 汽车制造业,2021(6):44-46.

- [6] 周洋,刘小君,王伟,等.唇式密封圈摩擦特性及泵吸效应的实验研究[J].润滑与密封,2011,36(8):74-78.
- [7] 贾晓红, SALANT R F, JUNG S,等.旋转轴唇密封轴表面微螺旋槽的反向泵送特性[J].清华大学学报(自然科学版),2013,53(10):1448-1451.
- [8] 候激波.若干因素对油封泵汲率影响的实验及数值模拟研究[D].重庆:重庆大学,2017.
- [9] 李建东,李云刚,刘刚,等.牵引车载荷对NO_x排放和排温影响的试验研究[J].内燃机与动力装置,2020,37(2):61-65.
- [10] 邢为为,苏宇婷,黄颖韬,等.机车柴油机排放优化方法的研究[J].铁道机车与动车,2019(5):29-31.
- [11] 张付英,郭威,初宏怡.润滑条件下油封的磨损预测[J].机械设计与研究,2021,37(1):97-101.

Development of axial oil seal for mining wide body vehicle

WANG Wei^{1,2}, WANG Ningning^{1,2}, CAO Wenlong^{1,2}

1. State Key Laboratory of Engine Reliability, Weifang 261061, China; 2. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: To meet the needs of the mining wide body vehicles with heavy load, high vibration, poor working condition and large jump at the back end of crankshaft, the oil seal of axial seal structure has been developed. The oil seal eccentric run-out resistance test, pump suction capacity test, friction torque test, parts durability test and whole machine durability test are carried out. The results showed that the axial seal structure has better eccentric run-out resistance, lower friction torque and friction work loss, higher reliability and longer service life than the traditional radial seal structure. The oil seal of axial seal structure can solve the oil seal leakage problem of mining vehicle, and reduce the failure rate of the market.

Keywords: oil seal; axial seal; radial seal; eccentricity run-out; pump suction; friction torque

(责任编辑:刘丽君)

(上接第84页)

1900 r/min, the roaring phenomenon is studied through acoustic vibration testing and finite element simulation, and the noise transmission path is optimized. The results show that under the influence of 2.34 order intake gas excitation from the air compressor, the vibration of the intake pipe is transmitted to the driver's cab through the intake pipe cushion. The vibration frequency of the intake pipe is 66.41 Hz coupled with the modal frequency of the driver's cab cavity, which causes resonance and roaring. By using a lower stiffness intake pipe cushion, the natural frequency of the intake pipe is reduced from 66.4 Hz to 53.0 Hz, avoiding the coupling frequency of the cab sound cavity mode, reducing the vibration transmitted from the intake pipe to the cab, and improving the problem of cabin noise.

Keywords: cabin; voice cavity mode; roaring noise; order analysis; air compressor

(责任编辑:臧发业)