

使用维修

TBD234V12 柴油机泵传动机构螺栓 断裂故障分析

张青锋, 白雪亮, 吴 艳, 胡毅毅, 孙延斐, 朱 军

(河南柴油机重工有限责任公司, 河南 洛阳 471039)

摘 要: 针对国产化 TBD234V12 柴油机泵传动机构螺栓断裂故障, 对相关零部件进行拆检分析。在排除螺栓和喷油泵传动机构本身问题的基础上, 开展喷油泵传动机构振动仿真分析、螺栓强度校核及喷油泵传动机构可靠性分析, 发现故障系由在柴油机国产化过程中设计人员未选择与喷油泵配套的专用喷油泵传动机构导致。

关键词: 柴油机; 喷油泵; 泵传动机构; 螺栓

中图分类号: TK423.8⁺3; TK428 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)06-0065-04

Cause Analysis of Bolt Fracture of Pump Driving Mechanism in TBD234V12 Diesel Engine

Zhang Qingfeng, Bai Xueliang, Wu Yan, Hu Yiyi, Sun Yanfei, Zhu Jun

(Henan Diesel Engine Industry Co., Ltd., Henan Luoyang 471039)

Abstract: Aiming at the bolt fracture fault of pump transmission mechanism of localized TBD234V12 diesel engine, the relevant parts were disassembled and inspected. On the basis of eliminating the problems of bolts and fuel injection pump transmission mechanism, the vibration simulation analysis, bolt strength check and reliability analysis of fuel injection pump transmission mechanism were carried out. It is showed that the fault was caused by the designer's mistake of not selecting the special fuel injection pump transmission mechanism matched with the fuel injection pump during the localization of diesel engine.

Key words: diesel engine; fuel injection pump; pump transmission mechanism; bolt

0 引言

2017 年以来, 公司售后部门陆续接到 TBD234V12 柴油机(功率 373 kW, 转速 1 500 r/min)喷油泵传动机构齿轮紧固螺栓(以下简称“螺栓”)发生断裂故障的报告^[1]。据统计, 此类故障共发生 12 次。

TBD234V12 柴油机为国产化机型, 与其喷油泵传动机构匹配的喷油泵为国产 PW2000 泵。

1 零部件拆检情况

对相关零部件进行拆检, 发现螺栓呈现不同程度的断裂, 如图 1 所示; 螺栓断裂部分均留在传动轴螺纹孔内, 如图 2 所示。对部分故障泵传动轴进行切割, 切割后的泵传动断裂螺钉如图 3 所示。

2 初步排查

2.1 螺栓

对断裂的螺栓进行多次机械性能及化学成分检测, 检测结果均满足图纸要求。为了确保检测结论

的准确性,将断裂的螺栓送至第三方机构做机械性能及化学成分检测,检测结果满足技术要求^[2]。



图 1 断裂的螺栓



图 2 留在轴孔中的断裂螺栓



图 3 切割后的泵传动断裂螺钉

对所有故障螺栓的生产批次进行逐一排查。排查结果显示,螺栓各项机械性能及化学成分均满足要求^[3-4]。

2.2 传动机构

TBD234V12 柴油机的喷油泵传动机构如图 4 所示。喷油泵传动齿轮通过内六角螺栓固定在驱动轴上,将齿轮系的扭矩传递给片式联轴节,带动喷油泵转动供油。

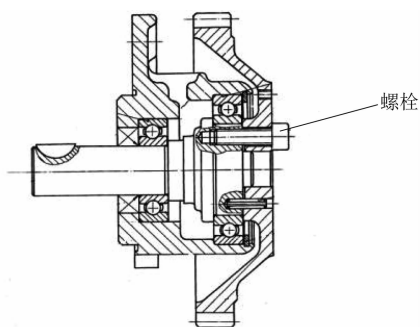


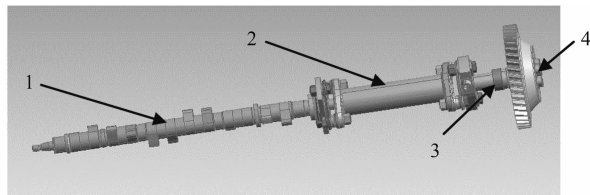
图 4 TBD234 V12 柴油机喷油泵传动机构结构图

排查喷油泵传动机构主要零部件的加工质量、技术状态与过程控制,结果均满足要求。

3 喷油泵传动机构仿真分析

3.1 有限元模型建立

通过仿真软件建立传动机构、联轴节及喷油泵轴的几何模型,如图 5 所示。



1—喷油泵凸轮轴;2—联轴节;3—喷油泵传动结构;4—喷油泵传动机构齿轮紧固螺栓。

图 5 传动机构、联轴节及喷油泵轴几何模型

有限元模型采用自由网格划分,最终得到的轴系有限元网格模型如图 6 所示。

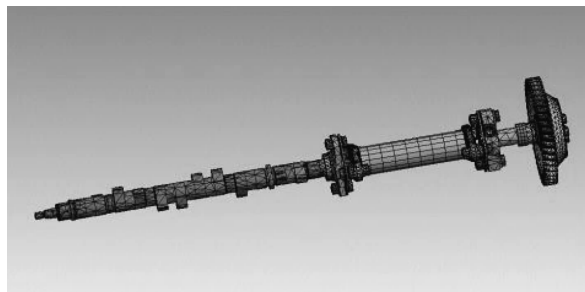


图 6 轴系有限元网格模型

3.2 模态计算与分析

自由模态是指在不受任何内外力作用,没有任何约束限制,处于自由状态下计算得到的模态,对其进行分析可得出轴系结构振动强弱分布以及抗振薄弱区。轴系各阶自由模态固有频率见表 1。

表 1 各阶自由模态固有频率

阶次	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	0	0	0.005	36.352	38.849	101.630
阶次	7	8	9	10	11	12
频率/Hz	144.910	229.020	285.160	395.160	463.760	598.400

轴系各阶模态对应的振型如图 7。从图 7 可以看出:前 6 阶模态主要表现为轴系整体的刚性运动,整个轴系作为一个整体振动;从第 7 阶模态开始表现为轴系各零件之间的相对关系,各阶固有频率为 144.910 ~ 598.400 Hz,远大于 TBD234V12 柴油机(额定转速为 1 500 r/min)的固有频率(25 Hz)。因此,系统不会发生共振。

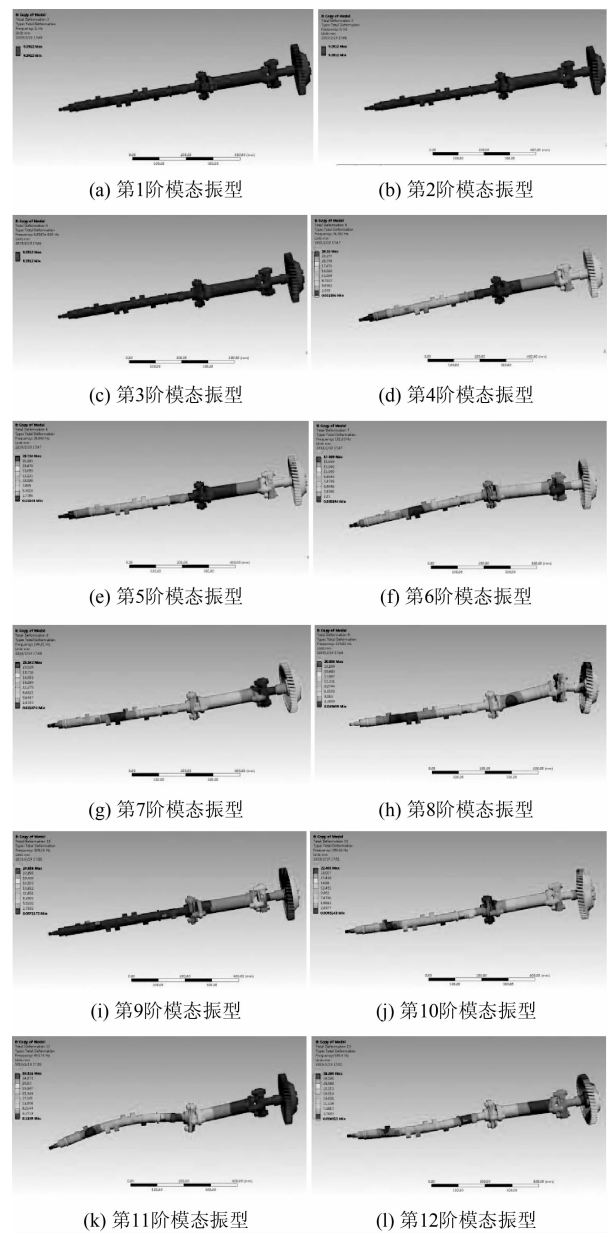


图 7 轴系各阶模态振型

4 螺栓强度校核

排查发现：自 TBD234V12 柴油机引进以来，此喷油泵传动机构螺栓的扭紧力矩（85 + 5 N·m）未做过更改。按照 90 N·m 的拧紧力矩计算，螺栓应力为 1 088.05 MPa。螺栓基本参数如表 2 所示。

表 2 螺栓基本参数

参数	值
螺栓规格	M10 × 35 - 12.9
螺栓数量	5
螺栓拧紧力矩/（N·m）	90
屈服强度 $\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\geq 1\ 100$ （GB/T 3098.1）
抗拉强度 σ_b /MPa	$\geq 1\ 220$ （GB/T 3098.1）

据调查，螺栓布氏硬度 HB 要求为 365 ~ 413，即洛氏硬度 HRC 为 39 ~ 44。螺栓在调质时其硬度值控制在合格范围的上限，因此螺栓的实际屈服强度大于 1 100 MPa。

以上分析可知，螺栓强度不是导致故障的因素。

5 喷油泵传动机构可靠系数计算

喷油泵传动机构可靠系数指齿轮和传动轴结合面的总摩擦力矩与实际驱动喷油泵所需力矩的比值。齿轮和传动轴结合面的总摩擦力矩由螺栓预紧力 F 、螺栓数量和螺栓安装孔距旋转中心的距离 d 决定。

TBD234 进口机型的喷油泵传动机构用于转速小于 2 200 r/min 的机型时，匹配进口 P1000 喷油泵；用于转速大于 2 200 r/min 的机型时，匹配进口 P7100 喷油泵。出现故障的国产化 TBD234V12 柴油机转速为 1 500 r/min，因此，将其配套的国产 PW2000 喷油泵与进口 P1000 喷油泵进行对比分析。

为对比分析进口 P1000 喷油泵和国产 PW2000 喷油泵的驱动扭矩，在试验台上进行相关测试，扭矩曲线如图 8、图 9 所示。

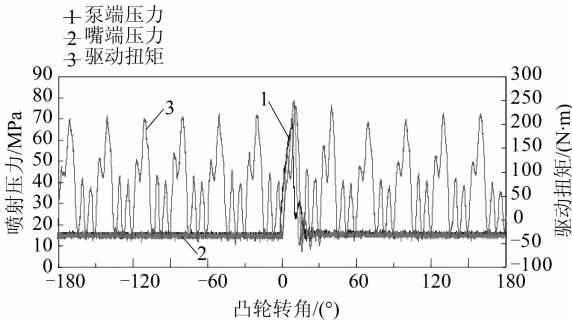


图 8 进口 P1000 喷油泵驱动扭矩曲线（750 r/min）

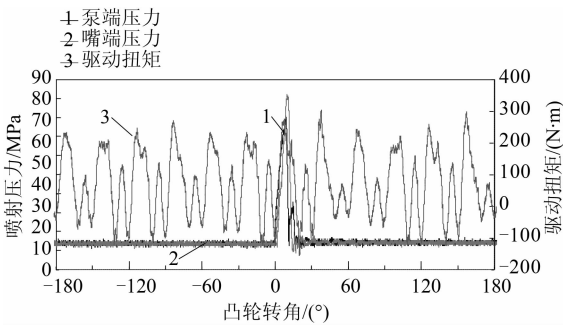


图 9 国产 PW2000 喷油泵驱动扭矩曲线（750 r/min）

影响喷油泵传动机构整体可靠性的关键因素是驱动扭矩峰值。从测试数据可以看出：进口 P1000 喷油泵的驱动扭矩峰值为 241 N·m，小于国产 PW2000 喷油泵的驱动扭矩峰值 304 N·m。两种喷油泵传动机构对比如表 3 所示。

表 3 进口 P1000 和国产 PW2000 喷油泵传动机构对比

对比项	进口 P1000 喷油泵	国产 PW2000 喷油泵
螺栓规格	M10 × 35 - 12.9	M10 × 35 - 12.9
螺栓数量/个	5	5
螺栓拧紧力矩/(N · m)	90	90
传动机构可靠系数	2.12	1.68

从表 3 可知,采用国产 PW2000 喷油泵时,喷油泵传动机构的可靠系数偏低。

调查显示,国产 PW2000 喷油泵因故未基于进口 P1000 喷油泵开发,而是基于进口 P7100 喷油泵开发,两者驱动扭矩值接近,如表 4 所示。

表 4 进口 P7100 和国产 PW2000 喷油泵驱动扭矩对比

喷油泵型号	峰值扭矩/(N · m)			平均扭矩/(N · m)		
	750 r/min	900 r/min	1 050 r/min	750 r/min	900 r/min	1 050 r/min
进口 P7100	316	384	512	89	98	105
国产 PW2000	304	412	472	73.8	85.65	92.12

进口 P7100 喷油泵用于转速 2 200 r/min 以上的 TBD234 柴油机,其喷油泵传动机构与进口 P1000 喷油泵传动机构不同,具体如表 5 所示。

表 5 进口 P1000 喷油泵与进口 P7100 喷油泵的传动机构对比

对比项	进口 P1000 喷油泵 传动机构	进口 P7100 喷油泵 传动机构
螺栓规格	M10 × 35 - 12.9	M10 × 30 - 10.9
螺栓数量	5	6
螺栓拧紧力矩/(N · m)	85 + 5	65 + 5
螺栓孔距旋转中心/mm	19.5	37.4
轴承	滚子轴承	圆锥轴承
润滑方式	飞溅润滑	强制润滑

对比计算 PW2000 喷油泵分别使用 P1000 喷油泵传动机构和 P7100 喷油泵传动机构时的可靠系数,结果显示前者的可靠系数为 1.68,后者的可靠系数为 3.0。因此,进口 P7100 喷油泵传动机构可靠系数较高,不应是造成故障的原因。

进一步调查发现:2016 年开展喷油泵国产化工作时,国产 PW2000 喷油泵虽是基于进口 P7100 喷油泵开发的,但进口 P7100 喷油泵有专用的喷油泵传动机构,开发人员未选择专用的喷油泵传动机构,而是选择了 P1000 喷油泵传动机构,从而导致喷油泵传动机构整体可靠系数偏低。

6 整改措施

针对故障原因制定了相应的整改方案。因国产 PW2000 喷油泵驱动扭矩大,接近进口 P7100 喷油泵,故采用 P7100 泵传动机构代替现有的喷油泵传动机构。

一年多的运行结果表明,采用 P7100 泵传动机构匹配 PW2000 泵后,柴油机运行状态良好,未再出现螺栓断裂问题。

参考文献

- [1] 淡婷,李晓光,何莎,等. 紧固件折叠缺陷的开裂失效典型案例 [J]. 物理测试, 2019, 37 (4): 39-44.
- [2] 孙大亮,李玲琴,贺庆华,等. 3 t 装载机发动机地脚螺栓断裂故障排除 [J]. 工程机械, 2008, 39 (11): 71-73.
- [3] 余成杰,谢利来. 金属结构螺栓连接件载荷作用下的变形分析 [J]. 世界有色金属, 2019 (11): 181-183.
- [4] 李家鼎,吴素君,史青君,等. 双动滑阀螺栓断裂失效分析 [J]. 失效分析与预防, 2006, 1 (4): 42-45.