

超速对 TCD2015 系列柴油机配气机构的影响分析

赵清旭, 谢 亮, 李全帅, 王大军, 师帅楠

(河北华北柴油机有限责任公司, 河北 石家庄 050081)

摘 要: 基于一款 TCD2015 柴油机在使用过程中出现的配气机构损坏, 从配气机构特点、故障表现等着手进行故障分析和定位, 进而阐述柴油机超速对配气机构的影响。指出: 超速对柴油机的影响极为严重; 当采用提高转速的手段提升发动机功率时, 必须对配气机构的运动学和动力学特性进行设计校核, 以确保配气机构的合理性。

关键词: 配气机构; 超速; 飞脱

中图分类号: TK423.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2019)04-0042-04

The Influence Analysis of Overspeed on the Valve Cam Mechanism of TCD2015 Series Diesel Engines

Zhao Qingxu, Xie Liang, Li Quanshuai, Wang Dajun, Shi Shuainan

(Hebei Huabei Diesel Engine Co., Ltd., Hebei Shijiazhuang 050081)

Abstract: Aiming at the broken valve cam mechanism of a type of TCD2015 diesel engine, fault analysis and location were carried out from the aspects of valve cam mechanism characteristics and fault appearance, and the influence of overspeed on valve cam mechanism was discussed. It is concluded that overspeed has a very bad influence on diesel engines. When increasing speed is chosen as the way to improve engine power, the kinematic and dynamic characteristics of valve cam mechanism should be checked to ensure it is well designed.

Key words: valve mechanism; overspeed; fly-off

0 引 言

超速对柴油机运行危害极大, 极易造成曲柄连杆机构包括连杆、曲轴、活塞等零件损坏甚至报废; 配气机构虽然负载较小, 但超速对其影响也是巨大的, 并将进一步引发柴油机严重故障。本文基于一款 TCD2015 柴油机在使用过程中出现的配气机构损坏, 阐述柴油机超速对配气机构的影响。

1 TCD2015 柴油机配气机构特点

柴油机配气机构的作用是实现柴油机的换气过程, 根据气缸工作顺序, 定时开启和关闭进、排气门, 以保证气缸排出废气和吸进新鲜空气。

TCD2015 柴油机为直喷式高速四冲程柴油机, 结构型式 V 型 90° 夹角, 为增压中冷机型。该柴油机采用下置凸轮轴“推-挺-摇”式配气系统, 每个气缸配置有两个进气门和两个排气门, 由一根凸轮轴驱动。凸轮轴置于曲轴箱 V 型夹角内, 正时齿轮装在凸轮轴后端由曲轴齿轮传动。挺柱在曲轴箱挺柱孔中运动, 左右排挺柱夹角为 90°。推杆在缸体和缸盖中, 摇臂前端压在气门上端, 后端球面压在推杆的球窝内。气门座圈镶嵌在气缸盖上, 气门只能沿缸套中心线轴向移动。进气门摇臂为桥式结构, 排气门摇臂为叉形结构, 进、排气摇臂相互交叉在一起, 通过一个共同轴和两个支座固定在缸盖上。这种结构可降低气门操纵机构高度, 另外,

与进排气门杆端接触的调整螺钉上均附装一个球帽,这样可减少相对滑动,提高使用寿命。TCD2015柴油机的配气系统组成见图1。

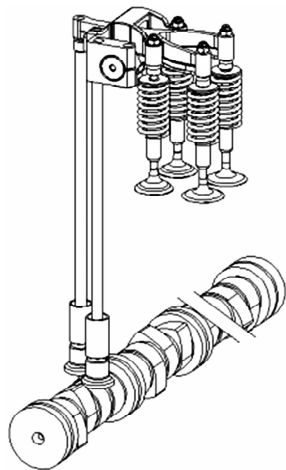


图1 TCD2015柴油机配气机构组成

为保证配气机构的可靠运转,在研制时通过仿真计算分析,制定了合理的气门间隙,以确保柴油机配气系统在设定的转速范围内不出现损伤。TCD2015柴油机的进气门间隙为0.25 mm,排气门间隙为0.30 mm。

2 故障现象

该8缸TCD2015柴油机在使用过程中出现启动后自动熄火故障。经检查发现:第2、3、5缸排气摇臂的球头座锁紧螺母脱落,见图2。第3缸气缸盖两排气门头部断裂缺失,缸盖表面有明显撞击痕迹,活塞损毁严重,头部出现部分缺失,并有气门镶嵌于头部表面,见图3。排气挺柱出现表面碎裂及裂纹现象,见图4。配气凸轮轴的凸轮表面有异常磨损痕迹,见图5。

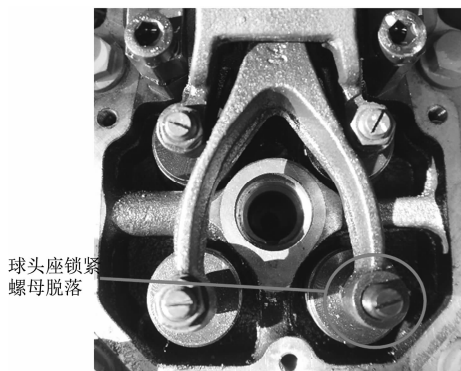


图2 摇臂球头座锁紧螺母脱落

从检查情况看出:柴油机配气系统的零件均出现了不同程度的损坏,且出现了缸盖、活塞和气门等零部件的严重损坏。



图3 损坏的缸盖和活塞

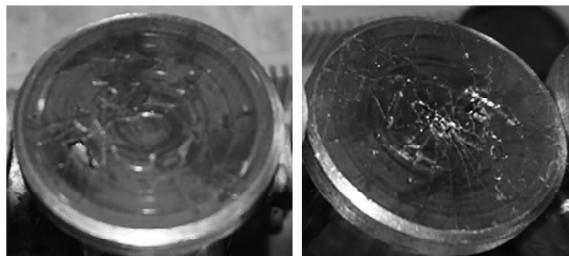


图4 挺柱表面碎裂

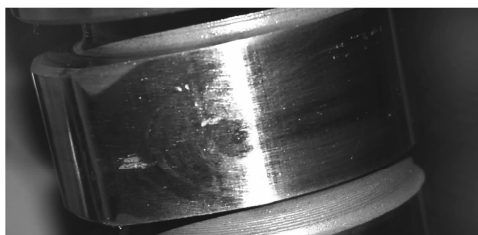


图5 凸轮表面磨损

3 故障分析和定位

根据整机的分解情况,故障主要表现为:第三缸气门断裂,活塞损坏;各气缸活塞与气门撞击;2、3、4缸排气门挺柱碎裂等。

对第三缸气门断口做分析,结果为:气门断口未发现应力集中、热处理异常等现象。结合其他缸出现的活塞与气门撞击现象判断:气门的断裂是由于与活塞撞击造成的。另外,根据第2、3、4缸排气门挺柱损坏表现为击打性裂纹形貌,且在凸轮轴的对应凸轮上找到磨损痕迹,可以判断:挺柱在工作过程中受凸轮轴反复撞击。综合分析认为:配气机构工作异常。为分析故障原因,以配气机构工作异常为顶事件,建立故障树,见图6。

(1) 质量问题

检查故障摇臂的球头座螺纹,未见异常。对同批次摇臂的使用情况进行排查,没有类似情况发生,故可排除摇臂质量不合格的可能。根据气门断口分析结果,可排除气门质量不合格的可能。检查摇臂拧紧记录,摇臂座螺栓和球头座锁紧螺母拧紧力矩均符合要求,可排除摇臂拧紧力矩不足的可能。

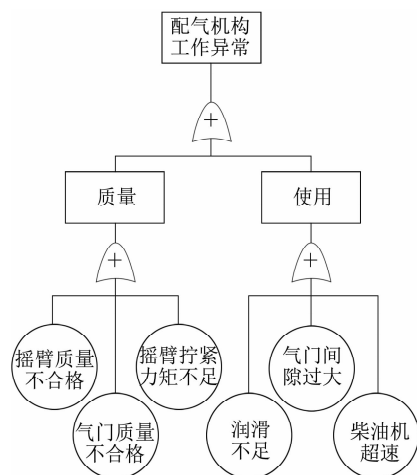


图6 故障树

(2) 使用问题

检查 ECU 数据，未发现机油压力低报警记录，且从其他零部件的磨损情况未见缺油迹象，可排除润滑不足的可能。整机分解检查摇臂无问题的气缸，气门间隙仍在允许范围内，可排除气门间隙过大的可能。从读取的 ECU 数据发现：柴油机故障前有超速现象。

按 ECU 数据，柴油机的循环供油量、转速关系见图 7，换挡信号及执行情况见图 8，各档位速比关系见图 9。可发现：柴油机在故障发生前存在超速现象。经统计，转速超过 $3\,000\ (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ （设计最高转速为 $2\,700\ (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ ）的时间约 30 s，且多次出现，最高转速达到 $3\,500\ (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ 。由图 7 可知：当柴油机循环喷油量为最低时，曲轴转速经短时间降低后迅速提高。从图 8 可知，在车速很高时，操纵者未降低车速，而是快速地进行连续换挡操作，说明超速不是柴油机自身控制问题造成的，属于被动超速。在后续使用过程中，造成了柴油机损坏。

4 超速引发配气机构损坏机理

配气凸轮型线的设计须保证气门升程曲线的面值最大，同时要保证配气机构不出现飞脱、反跳，各零件的接触应力在许用范围内。

委托北京理工大学进行 TCD2015 柴油机配气机构仿真分析。在 GT-VTRAIN 软件中建立了配气机构的系统计算模型，如图 10。对排气门运动机构进行运动学、动力学性能仿真计算，得到各零件的受力情况。

图 11 为不同转速下，排气凸轮与挺柱之间的接触力。从 $2\,700$ 、 $3\,000$ 到 $3\,500\ (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ ，凸轮与挺柱之间的接触力越来越小， $3\,500\ (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ 时，接

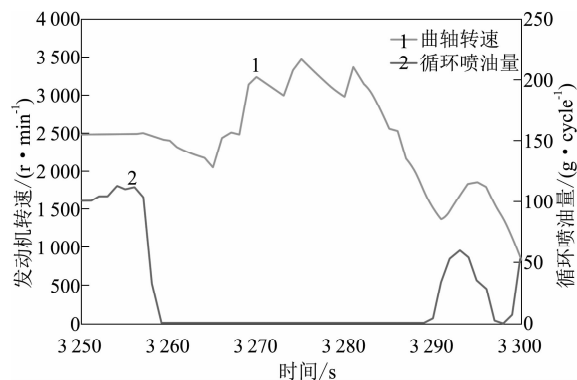


图7 发动机转速与循环喷油量关系

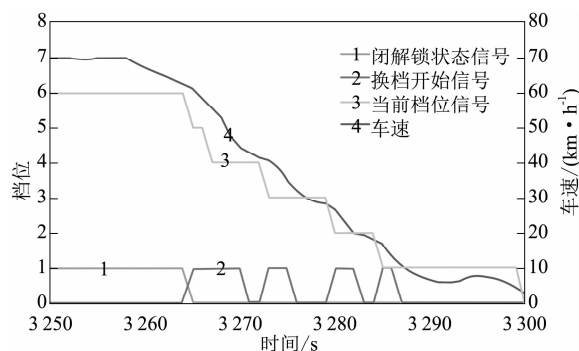


图8 换挡信号及执行情况

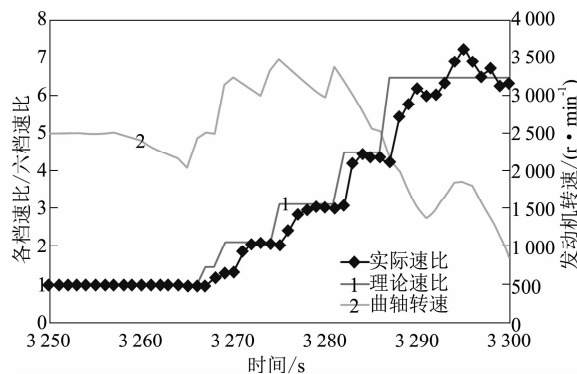


图9 各档位速比关系

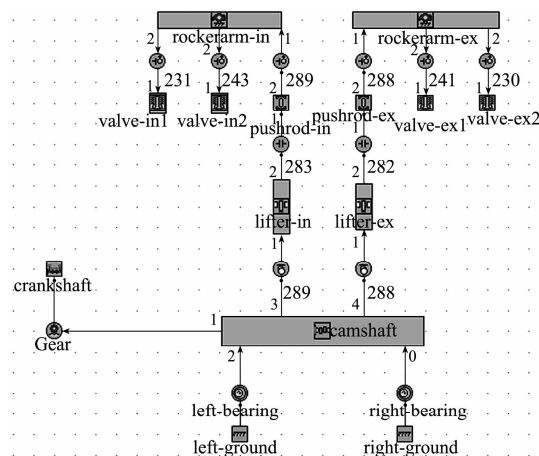


图10 配气机构计算模型

触力接近0,即可能出现飞脱现象。一旦排气凸轮与挺柱之间发生飞脱,则排气门、摇臂、挺杆等相关机构将不受控制,可能出现非正常碰撞。

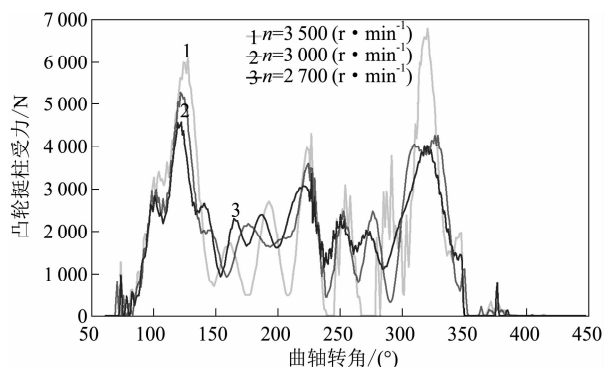


图11 排气凸轮与挺柱的接触力

柴油机在设计时,按照设定的工作转速对配气机构进行系统设计。可通过仿真计算确定气门工作时的运行速度,进而计算气门弹簧力,确定合理的气门间隙。如果柴油机转速过快,则气门凸轮轴对挺柱、推杆和气门的驱动速度增大,而气门弹簧的回弹特性无法满足气门快速上下运转,将导致气门运行不规律,可能出现气门未正常回位即被再次推动,进而发生活塞撞缸故障,造成柴油机损坏。

本次柴油机工作转速超过 $3\,000\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1}\text{)}$,即大于 $50\text{ (r}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$,已大大超过了柴油机设计转速。结合仿真分析结果可以判定,柴油机在超速工作时出现了挺柱飞脱现象,此时进、排气门的开启和关闭不够迅速,进、排气门的最大跃度值超过了正常范围,使整个配气机构振动加剧,发生强烈的冲击和磨损。气门、摇臂、推杆和挺柱等相关零件均处于异常状态,造成挺柱盘面碎裂,摇臂球头座锁紧螺母松脱;同时,由于气门不能按时关闭,气

门与活塞发生撞击,气门弯曲,导致柴油机后续运转中发生严重故障。

针对此次故障,从动力传动系统的匹配和操作控制上进行优化。在变速箱控制系统中增加换挡判断条件:车速较高时,不允许挂低档操作,以避免使用时误操作导致超速情况发生。

5 结论

综上所述可得到如下结论:

(1) 当TCD2015柴油机转速超过 $2\,700\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1}\text{)}$ 后,配气机构的凸轮与挺柱间的峰值接触力逐渐降低,逐步趋于0,即发生飞脱,伴随反跳。

(2) 超速对柴油机的影响极为严重,当采用提高转速提升发动机功率时,必须对配气机构的运动学和动力学特性进行设计校核,重点分析凸轮与挺柱之间的接触力及应力、摇臂与气门之间的接触力、气门与气门座之间的落座力,以确保配气机构的合理性。

参考文献

- [1] 周龙保. 发动机学 [M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 李树生, 万德玉. 中高速大功率柴油机故障诊断与排除 [M]. 呼和浩特: 远方出版社, 2003.
- [3] 吴兆汉. 发动机设计 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1990.
- [4] 冯春晃. 工程机械发动机 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2000.
- [5] 成晓北, 倪宏俊, 王宇业, 等. 柴油机配气机构动力学特性的仿真与试验 [J]. 车用发动机, 2011 (1): 70-74.