

使用维修

6170 柴油机缸套断裂原因分析及优化改进

武汉金, 王厚权, 王勇强, 刘大鹏, 高焱

(潍柴重机股份有限公司, 山东 潍坊 261108)

摘 要: 针对长期困扰 6170 柴油机的缸套断裂问题, 通过对过往断裂现象及优化措施进行系统的梳理, 分析导致缸套断裂的原因, 并提出进一步优化方案。耐久试验验证和实际应用考核表明: 改进措施达到了预期效果, 解决了 6170 柴油机缸套断裂问题。

关键词: 缸套; 断裂; 结构; 改进

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2019)01-0057-03

0 引言

随着发动机技术的不断发展, 发动机的功率和最高燃烧压力不断提高, 对其可靠性要求也越来越高。缸套为发动机的重要零件之一, 与缸盖、活塞共同构成燃烧室, 其内表面受高温高压燃气直接作用, 且始终与活塞环及活塞裙部发生高速滑动摩擦; 外表面与冷却水接触^[1-2]。气体压力使气缸壁产生切向拉应力和径向压应力; 而缸壁内外温差则导致极大的热应力, 这就要求缸套有足够的强度、刚度以及好的耐热性和耐磨性。

目前在发动机, 特别是船用发动机上使用的多为顶置湿式缸套, 缸套支撑肩下端面过渡圆角处是一薄弱点, 时常会出现断裂现象。

1 问题描述

6170 柴油机是 20 世纪 90 年代研发的产品, 功率 258 ~ 550 kW, 转速 1 000 ~ 1 500 (r · min⁻¹), 主要应用领域为渔船、发电、工程及运输船。多年来其缸套可靠性问题一直困扰着该型产品的发展, 渔船、拖船、船用发电用的同款柴油机都曾不同程度地出现了缸套断裂问题。

2003 年公司邀请国外某著名发动机咨询公司对该款柴油机缸套断裂问题进行联合技术攻关。经过与多种相似机型的分析对比发现: 该机型缸套存在设计不合理处。据此先后提出了 6 种改进方案, 如表 1 所示, 经分析最终采取了方案 6。改进后缸套的安全系数得到明显提高, 缸套断裂现象得到一定程度的缓解, 但仍未达到理想的效果。

表 1 针对缸套圆角处的几种改进方案

方案	改进情况
1	增大缸套圆角、增加缸套周向槽
2	缸套圆角外移 1 mm, 同时增加缸套壁厚
3	增大圆角, 增大缸套壁厚及顶部法兰壁厚
4	缸套圆角处向里移动 1 mm, 减小缸套壁厚
5	缸套顶部法兰高度增加 2 mm
6	方案 1 + 方案 4

2007 年公司再次组织对缸套断裂问题进行攻关, 累计投入多种方案, 如圆角滚压强化、提高材料强度级别、局部结构优化等, 并分别进行试验。依据试验结果最终优选在缸套支撑肩底部增加一个小的正角度的方案, 以减小圆角处工作应力, 如图 1 所示。此结构自改进定型后, 缸套断裂现象进一步减少, 但局部市场区域, 特别是重载荷船机市场, 缸套断裂仍有批量发生。

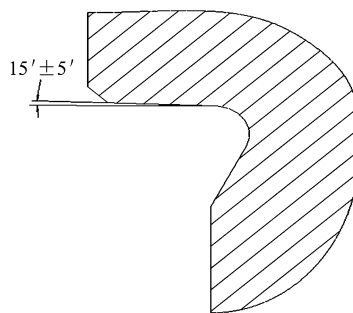


图 1 支撑肩底部增加正角度

2 原因分析

过去历次对 6170 缸套所实施的改进措施, 关

收稿日期: 2018-06-08; 修回日期: 2018-11-26

作者简介: 武汉金(1963-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机开发设计, wuhj@weichai.com。

注点都聚焦在缸套强度及自身安全系数的提高上,始终认为是缸套强度及安全系数不足导致缸套发生断裂。但通过与国内外同类机型的比较发现:6170缸套的强度及安全系数已高出20%以上,缸套本身的设计符合安全性设计规范要求。这表明还存在导致缸套断裂的其它因素。

经深入细致的调研分析发现:6170机体原型机设计材料为QT500,但限于当时国内的铸造水平无法满足要求,遂将机体材料改为HT250,从而忽视了因材料变化带来的刚度和强度的变化,导致6170机体结构刚度与强度降低^[3-4]。

机体的一个重要功能就是为安装其上的零部件提供可靠的工作环境。倘若机体刚度不足,机体工作时变形将加大,会导致缸套承受附加的形变应力,从而加速缸套的疲劳断裂。柴油机在大负荷工况下持续运转,气体最高燃烧压力通过缸套传递给机体后,由于机体刚度不足再加上运行过程中本身的扭转和振动,机体支撑面发生变形,造成缸孔失圆,随即对缸套产生附加形变应力,导致缸套支撑肩下端过渡圆角处因承受附加的形变应力而发生疲劳断裂。缸套受力变形及断裂过程如图2所示。

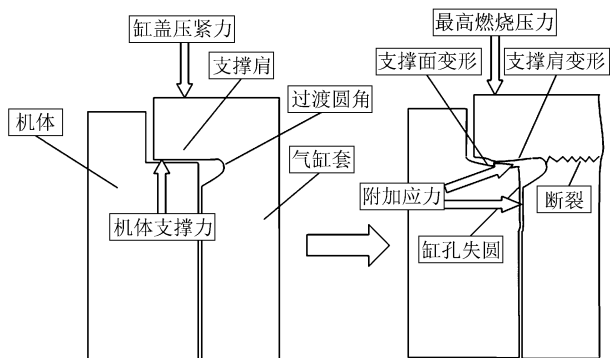


图2 缸套受力变形及断裂过程简图

3 解决措施

(1) 增强机体自身刚度,降低机体自身产生的变形程度。

(2) 增强缸套自身刚度,提高缸套抵抗变形的能力。

3.1 机体改进

借助CAE分析手段,对机体结构进行优化设计。主要优化措施有:机体顶部平面厚度增厚,在其摇臂腔的对侧壁面增加顶面支撑筋,以提高机体局部刚度,减小缸套支持处的变形,结构主要变动

见图3。



图3 机体结构主要改进点

3.2 缸套改进

3.2.1 缸套材料性能改进

调整现有的铬钼铜镍等温淬火合金铸铁材料的生成工艺,提高材料中Mo和Ni的含量,并通过特殊的铸造工艺,提高材料的机械性能,使得贝氏体组织在铸造过程中生成而无须等温淬火。如此得到的组织即满足了摩擦副润滑要求,又大幅提高了材料的刚度及疲劳强度,从而提高了缸套抵御变形的能力。有资料表明:高钼镍铸态贝氏体合金铸铁的弹性模量、硬度等比铬钼铜镍等温淬火合金铸铁提高30%左右。两种材料特性对比见表2。

表2 两种材料性能对比

材料	特点	机械性能
铬钼铜镍等温淬火合金铸铁	硬度和强度都比较高,成本中等,金相组织以贝氏体为主	硬度: 250 ~ 310 HBS 抗拉强度 ≥ 300 MPa 弹性模量: 110 ~ 130 GPa
高钼镍铸态贝氏体合金铸铁	硬度强度都很高,用于高爆发发动机,防穴蚀效果好,成本略高,金相组织以贝氏体为主	硬度: 270 ~ 330 HBS 抗拉强度 ≥ 380 MPa 弹性模量: 140 ~ 180 GPa

3.2.2 缸套结构改进

为优化缸套支撑肩处的受力,对支撑肩处的斜度进行结构尺寸优化。

以高钼镍铸态贝氏体合金铸铁缸套为研究对象,先后生产了4种支撑肩斜度分别为0'、7'、15'、30'的缸套;随后对缸套支撑肩进行面压试验和应力把紧试验,分析其应力状况,结果如图4和图5所示。

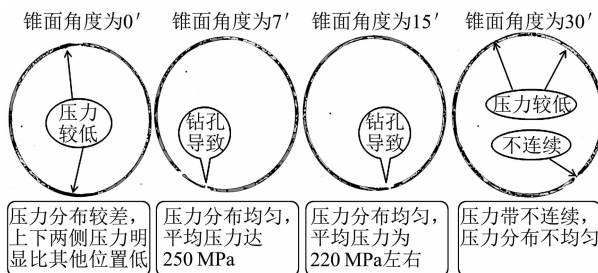


图4 面压试验结果

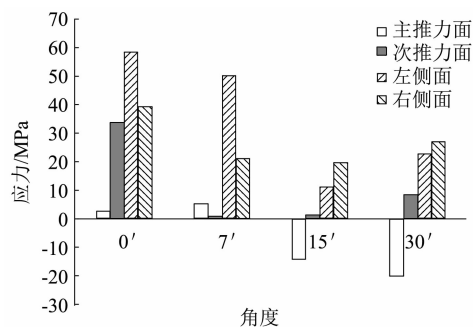


图5 应力把紧试验结果

(1) 由面压试验结果可知: 锥面角度不同的四种缸套中, 0'与30'缸套与机体支撑肩结合面压力分布不均匀且不连续, 贴合度不理想; 7'与15'缸套与机体支撑肩结合面压力分布均匀, 贴合度较理想。

(2) 由静态把紧试验结果可知: 综合主、次推力面和左、右侧面四个受力面总体应力趋势, 0'缸套受力大且不均匀, 15'缸套受力最小且较均匀。

由此可见, 170 缸套支撑肩斜度的最佳角度为 7'~15'之间。目前, 国内外大多数缸套制造厂家的缸套支撑肩角度为 7'~12'; 而公司其它产品推荐缸套支撑肩角度均为 8'~18'。取折中方案, 将新缸套支撑肩角度定为 $13' \pm 3'$ 。

4 改进结果验证

4.1 发动机耐久试验

6170 柴油机按照上述改进方案进行改造后进行了耐久试验考核。按额定负荷累计运行 500 h, 拆检情况为: 缸套内部无明显擦伤划痕, 网纹清晰; 支撑肩下端过渡圆角处无裂纹。

4.2 疲劳试验

为了验证改进后机体缸套组的疲劳强度, 在图 6 所示的疲劳试验台上进行了 3 000 万次疲劳试验考核: 试验脉动载荷的压力-时间呈正弦关系, 3、4 缸交替加载, 相位差 180°; 前 2×10^7 循环载荷变化范围为 1.0~18 MPa; 累计 2×10^7 循环后, 预紧力不变, 载荷调整为 1.0~22 MPa, 频率 22 Hz,

累计运行 3×10^7 循环。



图6 机体缸套组疲劳试验台

试验完成后, 对两只缸套进行了渗透探伤, 探伤部位主要为支撑肩过渡圆角处, 结果均无裂纹。

4.3 用户试验

从 2013 年 7 月至今, 改进后的 6170 机型投放市场累计 300 多台, 主要投放到前期缸套断裂比较集中的市场区域。经多年用户应用考核, 目前市场反应情况良好, 无一例缸套质量问题。

5 结语

6170 柴油机缸套断裂问题历经十余年的持续改进, 目前可靠性得到显著提升, 断裂问题得到根本解决。

本文所采取的缸套改进方法, 直接有效且成本小, 可为后继类似问题的解决及新产品平台的开发提供参考。

参考文献

- [1] 杨连生. 内燃机设计 [M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1981.
- [2] 常邦椿. 机械设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 潍柴动力股份有限公司. Q/WCG050-2009. 灰铸铁件通用技术条件 [R]. 2009.
- [4] 韦星野. 铸态贝氏体制造工艺 [P]. 中华人民共和国知识产权局.