

结构与可靠性

某型柴油机锻钢活塞开裂故障分析及改进

钱立宏, 戴湘利, 束铭宇

(玉柴联合动力股份有限公司, 安徽 芜湖 241080)

摘要: 针对某型柴油机试验过程中活塞燃烧室底部位置出现开裂、穿孔, 造成发动机漏气量急剧上升, 活塞内腔顶部发黑严重故障, 对活塞进行理化分析和 FEA 分析。分析结果表明: 故障的主要原因是活塞内冷油腔结构设计不合理, 造成燃烧室底部位置结构强度不够及内冷油腔冷却效果不足。据此提出改进措施, 改进后的活塞经 FEA 分析及台架试验验证: 其结构强度得到明显改善, 满足使用要求。

关键词: 柴油机; 活塞; 开裂; 结构

中图分类号: TK423.3⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)03-0034-04

Analysis and Improvement of the Forged Steel Piston Crack for a Certain Type of Diesel Engine

Qian Lihong, Dai Xiangli, Shu Mingyu

(Y&C Engine Co., Ltd., Anhui Wuhu 241080)

Abstract: As cracks and perforation appeared in the bottom of the combustion chamber during the test of a certain type of diesel engine, which lead to rapidly increase of air leakage and the inner cavity of the forged piston was severely black, physical and chemical analysis and FEA analysis were carried out on the piston. The analysis results showed that the main cause was that the structure of the inner cooling oil chamber of the piston was not well designed, and therefore the structural strength of the combustion chamber bottom, as well as the cooling effect of inner cooling oil chamber were not sufficient. Based on the research, improvement solutions were given. The optimized piston was verified by FEA analysis and bench test. It shows that its structural strength is obviously improved and could meet with the application requirements.

Key words: diesel engine; piston; crack; structure

0 引言

活塞作为内燃机的核心零部件, 承受交变的机械负荷和热负荷, 是内燃机中工作条件最恶劣的零部件之一, 其性能对内燃机的可靠性及性能与排放有重要影响^[1]。近年来, 柴油机强化程度和可靠性要求不断提高, 其缸内最高燃烧压力越来越高, 传统铸铝活塞已不能满足重型柴油机要求, 锻钢活塞将逐渐成为一种趋势。

锻钢活塞结构如图 1 (a) 所示, 其主要由顶部、环槽区 (或称为头部) 和裙部三部分组成^[2]。锻钢活塞一般设计有内冷油腔, 发动机冷却喷钩将机油喷入活塞内冷油腔, 机油在其内部振荡、流动, 从而带走活塞热量, 降低其热负荷^[3]; 流出的机油通过飞溅进一步润滑连杆小头衬套和活塞销座孔。活塞燃烧室、内冷油腔、内腔顶部、销座以及销座孔如图 1 (b)、(c) 所示。本文后续所述活塞均指锻钢活塞。

收稿日期: 2017-10-23

作者简介: 钱立宏 (1986-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机结构设计及机械开发, qianlihong@kengine.cn。

某型柴油机活塞在高爆压可靠性试验过程中,连续两次发生燃烧室底部位置开裂、穿孔故障,造成柴油机漏气量急剧上升,呼吸器出气口窜机油。活塞失效属于致命故障,严重影响整机可靠性水平。本文就此故障进行排查分析,并给出改进措施;结合 FEA 分析和台架试验对改进措施进行验证。

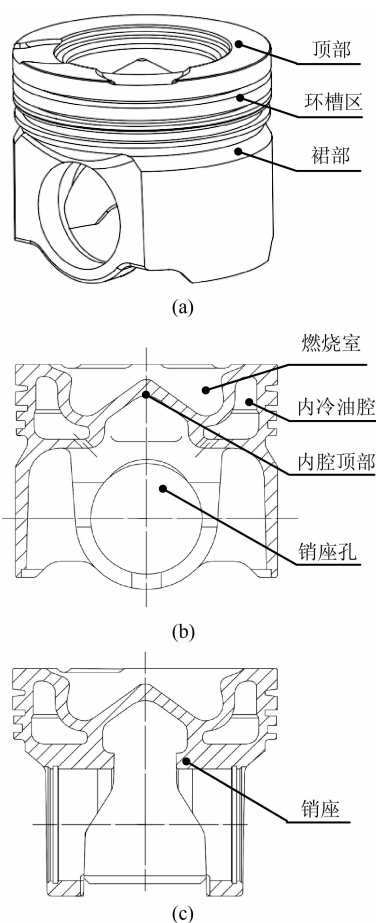


图1 锻钢活塞结构示意图

1 故障分析

1.1 故障描述

本次试验工况为标定点(全速、全负荷),最高燃烧压力较性能开发指标高20%,主要目的是验证高爆压条件下的整机可靠性水平。试验中,连续两次发生活塞燃烧室底部位置开裂、穿孔故障,过程描述如下:

阶段1:试验至122 h时,5#缸活塞燃烧室底部位置开裂、穿孔,如图2(a)所示。

阶段2:在阶段1的基础上,更换活塞、连杆部件,再次运行175 h,1、2、3、6#缸活塞燃烧室底部位置不同程度开裂,6#缸开裂情况如图2(b)所示。

试验后观察到各缸活塞内腔顶部均不同程度发

黑,说明其热负荷较高、冷却不良。阶段2试验后5#缸活塞内腔顶部如图2(c)所示。

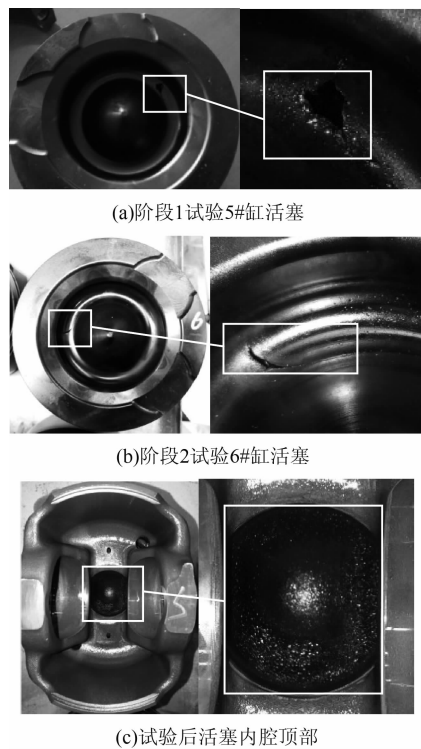


图2 故障活塞图片

1.2 故障原因

造成活塞燃烧室开裂的一般原因主要有以下几点^[4]:

(1) 材料本身耐温、抗拉强度不足,或材料本身及锻造过程存在缺陷。

(2) 活塞结构设计不当,局部结构强度不够或冷却不良。

(3) 发动机标定不当,缸内最高燃烧压力、温度过高,超出活塞许用极限。

(4) 相关件如,喷油器、机油冷却器、冷却喷嘴等异常,造成缸内最高燃烧压力、温度异常或活塞冷却不良。

针对上述可能原因,依次对故障件进行分析;对活塞设计进行重新评估,并对相关件是否存在异常进行排查。

对阶段1试验后的5#缸活塞做理化分析。活塞打开后发现:其燃烧室底部位置已经穿孔,如图3所示。采用扫描电镜对开裂处进行观察分析,结果如图4所示,未发现明显裂纹源。采用金相显微镜对其材料金相组织进行观察分析,结果如图5所示,未见明显异常。可初步排除活塞材料自身和锻造过程中存在缺陷的可能。

采用 FEA 软件对试验用活塞的设计进行分析

(图6), 结果显示: 燃烧室底部位置的最大耦合主应力相对周边的更高, 最大热主应力相对正常。说明该位置受机械负荷的影响较大, 而造成这一结果的可能原因一般为结构或材料不当。此外, 试验后活塞内腔顶部发黑, 说明活塞内冷油腔冷却效果可能不足。如图7所示, 该活塞内冷油腔底部相对偏平, 尽管可以增强活塞销座位置强度, 但扁平结构不利于机油在其内部振荡, 带走热量; 而且扁平结构易造成燃烧室底部两侧的支撑距离过大, 底部悬空、结构强度不足。

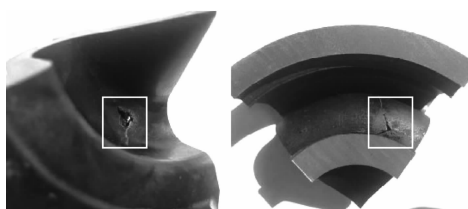


图3 故障活塞解剖

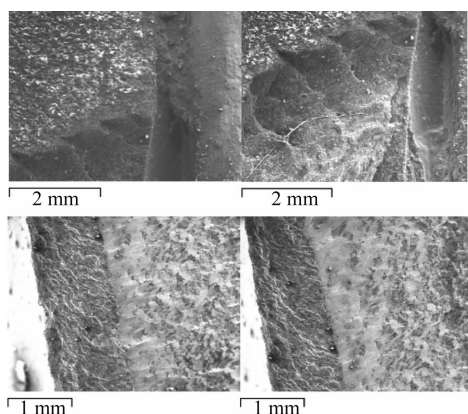


图4 扫描电镜分析结果

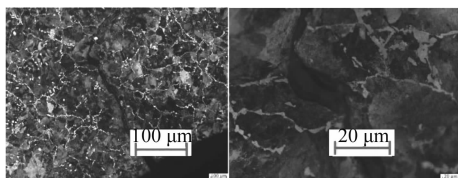


图5 金相显微镜分析结果

针对试验机的其他相关件进行排查, 未发现明显异常点。

综上所述, 造成此次故障的可能原因是活塞内冷油腔结构不合理或材料本身强度不足。

2 改进方案及验证

2.1 改进方案

基于上述分析对活塞进行相应优化, 以改善其冷却效果和结构强度, 但销座位置强度会有所降低。改进前、后结构对比如图7所示, 其中, 实线

为改进前结构, 虚线为改进后结构。改进主要包括以下两点。

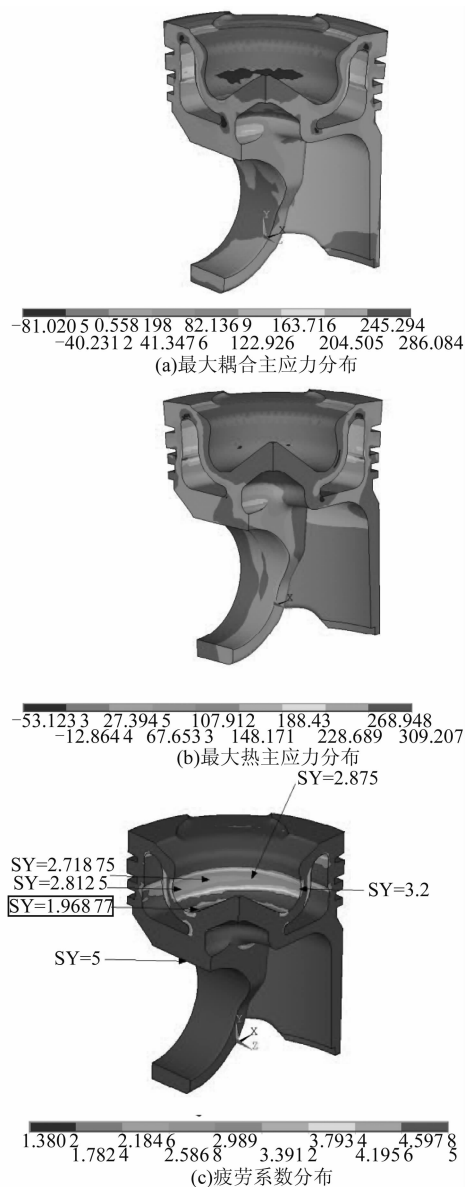


图6 试验活塞 FEA 分析结果

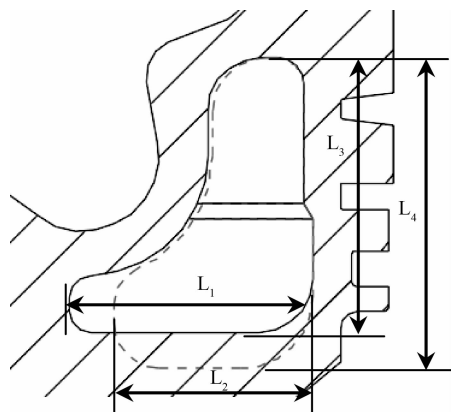


图7 改进前、后活塞结构对比

(1) 内冷油道在径向收缩, 底部宽度由 L_1 减

为 L_2 , 以减小燃烧室底部位置两侧支撑距离, 提高其结构强度。

(2) 增加内冷油腔深度, 由 L_3 增加为 L_4 , 改善机油振荡效果, 以提高其冷却效率。

2.2 验证结果

针对改进后的活塞进行 FEA 分析, 结果如图 8 所示。燃烧室底部位置最大耦合主应力和疲劳系数均明显改善, 满足设计要求。其中, 疲劳系数提高一倍左右。

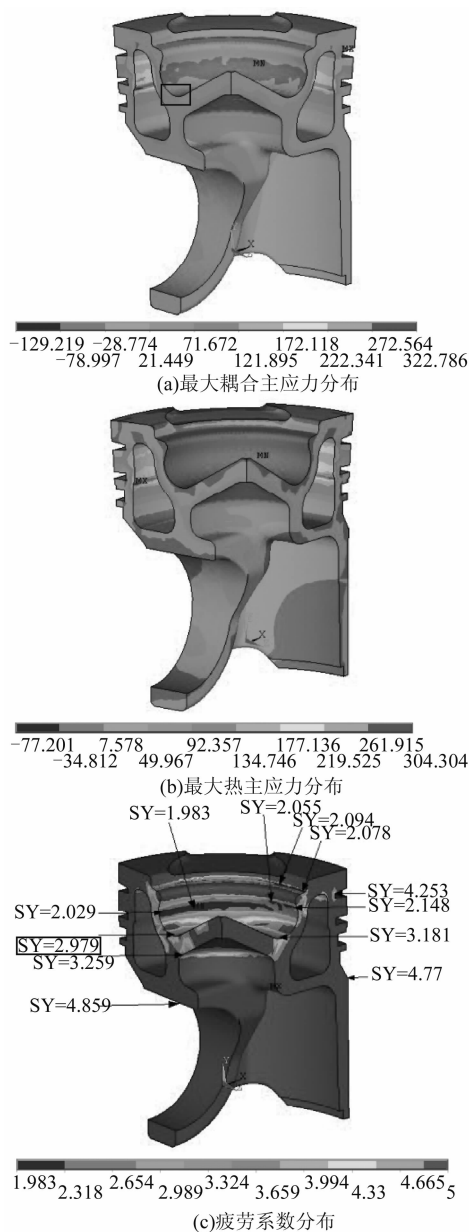


图 8 改进后活塞 FEA 分析结果

采用改进后的活塞重新装机, 并按照之前试验工况、试验条件运行 250 h。试验后活塞燃烧室底部位置未再出现开裂, 内腔顶部发黑问题得到明显改善, 试验后 4#缸活塞如图 9 所示。

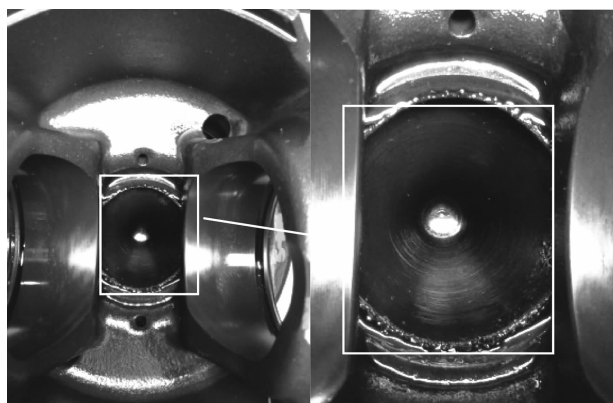


图 9 改进后活塞试验结果

3 总 结

综合分析, 造成该型柴油机活塞燃烧底部开裂, 穿孔故障的原因是: 活塞内冷油腔结构设计不合理, 造成燃烧室底部位置结构强度不够及内冷油腔冷却效率不佳。

通过收缩内冷油道底部宽度, 增强燃烧室底部位置结构强度; 同时增加内冷油腔深度, 改善机油在其内部振荡效果。改进后活塞 FEA 分析结果表明: 燃烧底部位置结构强度得到明显改善, 满足使用要求。此外, 后续已针对改进后活塞的材料进行升级, 使其耐温以及抗拉强度进一步提高, 可靠性水平进一步提升。

参考文献

- [1] 林学东, 顾静静, 李德刚, 等. 柴油机燃烧室结构对混合气形成及燃烧特性的影响 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2014, 44 (6): 1647-1654.
- [2] 宋树峰. 锻钢活塞的设计开发及试验验证 [D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [3] 郑清平, 张盼盼, 马春燕, 等. 增压柴油机活塞内冷油道对热负荷影响的研究 [J]. 内燃机工程, 2017, 38 (1): 44-49.
- [4] 潘斌, 李国权, 张兴军. 活塞的故障及原因分析 [J]. 内燃机配件, 2005 (2): 22-26.