

曲轴箱废气压力异常波动的研究分析

商海昆¹, 何剑丰¹, 苗树元²

(1. 河北华北柴油机有限责任公司, 河北石家庄 050081;

2. 海军驻 5460 厂军代室, 河北石家庄 050081)

摘要: 针对 BFM1015 柴油机在可靠性考核试验中出现曲轴箱废气压力异常波动的情况, 通过对相关零部件的检查, 并应用计算机仿真和专项试验等手段, 从零部件设计和装配工艺等方面对故障原因进行深入研究分析, 确认了柴油机曲轴箱废气压力异常波动的原因, 并提出了相应的解决方案。

关键词: 柴油机; 曲轴箱废气压力; 缸套变形

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)06-0023-04

Research on Abnormal Fluctuation of Crankcase Exhaust Gas Pressure

Shang Haikun¹, He Jianfeng¹, Miao Shuyuan²

(1. Hebei Huabei Diesel Engine Co., Ltd., HebeiShijiazhuang 050081;

2. PLA Deputy Office of 5460 Factory, HebeiShijiazhuang 050081)

Abstract: During the reliability test of BFM1015 diesel engine, the crankcase exhaust gas pressure was found to have the problem of abnormal fluctuation. Through inspection of relative components, and using computer simulation and special tests, deep research was carried out from the aspects of component design and assembly technology, in order to find out the reasons of the problem. Moreover, the solutions are given.

Keywords: diesel engine; crankcase exhaust gas pressure; deformation of cylinder liner

1 引言

柴油机处于工作状态时, 燃烧室内的燃气总有一小部分经活塞环的密封面进入曲轴箱内, 会污染并稀释机油, 与曲轴箱内机油蒸汽混合, 引起曲轴箱内气体压力升高, 如不采取措施, 严重的会导致曲轴箱爆炸, 所以曲轴箱上一般都装有通气装置。对于高强度柴油机而言, 由于曲轴箱内部结构极其紧凑, 下曲轴箱仅仅是密封作用, 一旦废气压力高, 就会产生从通气管冒机油现象。为此, 通气装置由油气分离、回油管等结构组成, 目的是降低废气压力, 防止废气压力过高, 造成机油消耗偏高, 油封等密封件处漏油。通气装置分为闭式和开式,

闭式是将排出的废气接入进气系统再燃烧, 开式是将废气直接排入大气。

曲轴箱废气压力是反馈活塞漏气量的一个重要参数, 因此在柴油机试验时, 有必要检测废气压力, 以实时掌握柴油机运转过程中, 活塞环的密封作用。曲轴箱废气压力的检测部位没有特殊要求, 一般在气门室罩上或加油口上。废气压力的检测使用 U 型管, 在柴油机最高空转下进行。

2 曲轴箱废气压力异常波动现象

BFM1015 系列柴油机是 2002 年引进的重型车辆用柴油机, 在国产化整机 1 000 h 额定工况可靠性考核试验过程中, 前 200 h 发动机的性能稳定,

曲轴箱废气压力 $0.3 \sim 0.4$ kPa, 但运转到 218 h 时, 曲轴箱废气压力突然冲高到 0.6 kPa, 但 2 min 后恢复到 0.35 kPa, 在此过程中其他参数没有变化。226 h 后, 曲轴箱废气压力在 $0.4 \sim 0.94$ kPa 之间不规则变化, 第 228 h 恢复正常, 废气压力为 0.35 kPa。经初步分析认为, 可能是呼吸器有问题, 因此在 230 h 进行阶段保养时更换了呼吸器。之后废气压力稳定在 $0.35 \sim 0.4$ kPa, 但在第 25、26、27 循环又几次出现废气压力冲高现象, 最高时冲过限定值 1 kPa, 并且功率下降 3 kW 左右。出现此现象后, 进行了最高空转的废气压力测量, 废气压力为 $0.25 \sim 0.3$ kPa。287 h 开始废气压力不稳, 多次出现瞬间冲过限定值 1 kPa, 最高达 2.4 kPa, 但很快降到 1 kPa 以下, 并伴随功率下降, 测量最高空转的废气压力仍为 0.3 kPa。

出现此现象后, 对试验机进行了拆检, 发现第 5 缸 (B2) 缸套内表面有严重的纵向拉痕, 活塞裙部严重拉伤, 第二道活塞环粘结在活塞环槽中, 第二、三道活塞环对口, 活塞顶部正常; 第 2 缸 (A2) 缸套内表面有局部磨亮的痕迹, 其它缸的缸套正常。

根据试验机每 20 h 机油油样光谱分析结果, 试验机在 120 ~ 200 h 运行过程中 Al、Fe、Mo 元素明显增长, 表明气缸套和活塞开始发生异常磨损; 在 260 ~ 280 h 过程中, Al、Fe、Mo 元素同时急剧增长。

3 分 析

通过试验机的拆检和机油油样的分析可以肯定, 曲轴箱废气压力的波动是由于柴油机气缸套与活塞之间的异常磨损, 造成燃烧气体窜入曲轴箱所致。

出现气缸套与活塞之间异常磨损的主要原因是, 气缸套与活塞环之间产生了局部干摩擦, 金属表面的凸出部位相互接触, 在高负荷作用下, 产生大量摩擦热, 使微凸体熔化并熔合, 而后又拉开, 形成了刮移纹迹并产生磨屑。

通过对影响气缸套与活塞之间磨损的各种因素的逐一检查, 排除了系统匹配、柴油机使用、曲轴箱、活塞、活塞环等零部件质量问题等因素, 最后检查发现气缸套支承肩下端锥角不稳定, 个别零部件甚至为负值, 并且气缸套压装后变形量较大。(气缸套示意图见图 1)

分析认为: 变形异常使活塞与气缸套密封性大大降低, 气缸内的高温气体下窜, 破坏了活塞与气

缸壁之间的油膜, 进而引起拉缸。

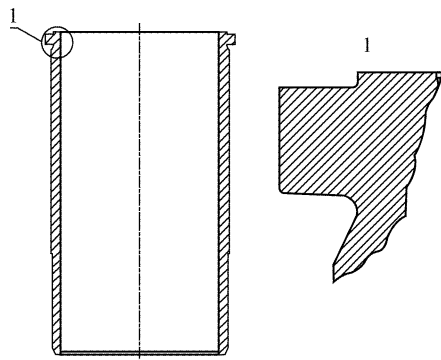


图 1 气缸套示意图

为确定支承肩下端锥角不稳定对气缸套变形量的影响, 从气缸套的变形及应力出发, 采用有限元法分析了该锥角的设计意义, 对比了不同锥角设计方案。简化后的气缸套分析模型见图 2。

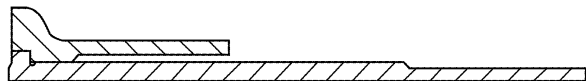


图 2 简化的气缸套分析模型(轴对称)

分析中, 共建立了锥角为 $-10'$ 、 $0'$ 、 $10'$ 、 $20'$ 及 $40'$ 五种方案的几何模型, 并对其分别进行轴对称有限元网格划分, 然后通过数据接口将模型导入通用有限元分析软件中, 施加边界条件后进行分析计算。

图 3 ~ 图 8 分别给出了五种模型方案在 130、260、390 和 520 kN 压力作用下气缸套的径向变形。为了便于不同方案间对比, 图 8 固定预紧力 520 kN, 汇总了五种模型方案气缸套的径向变形。

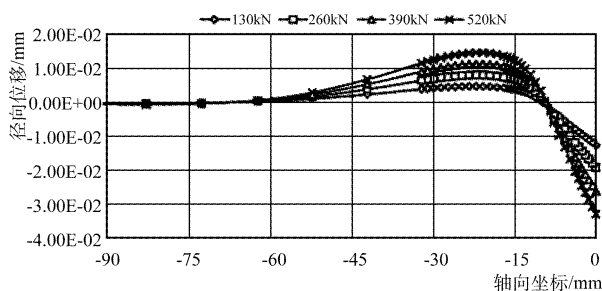


图 3 $-10'$ 方案在不同预紧力作用下的径向变形

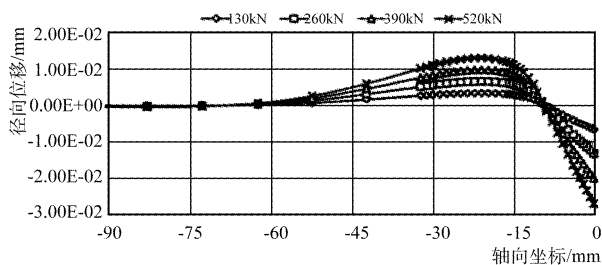


图 4 $0'$ 方案在不同预紧力作用下的径向变形

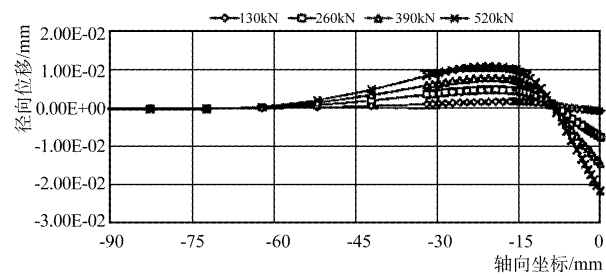


图 5 10'方案在不同预紧力作用下的径向变形

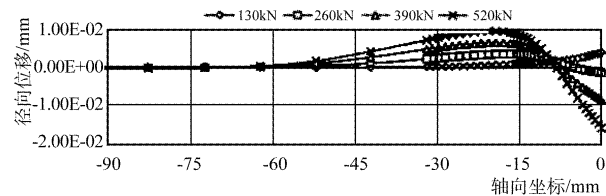


图 6 20'方案在不同预紧力作用下的径向变形

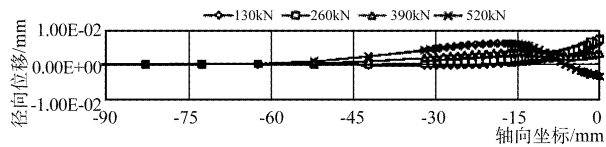


图 7 40'方案在不同预紧力作用下的径向变形

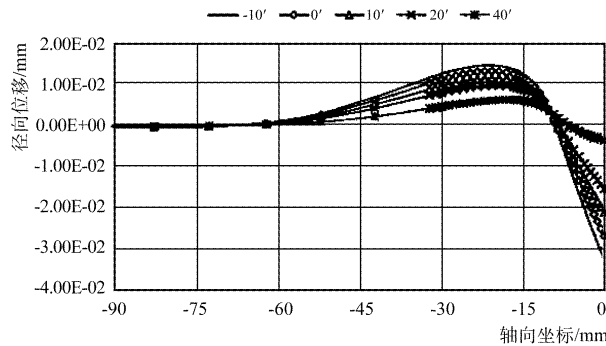


图 8 预紧力为 520 kN 时五种方案下缸套母线上各点位移比较

图 9 给出了五种模型方案随载荷逐步加大，最大拉应力的变化情况。

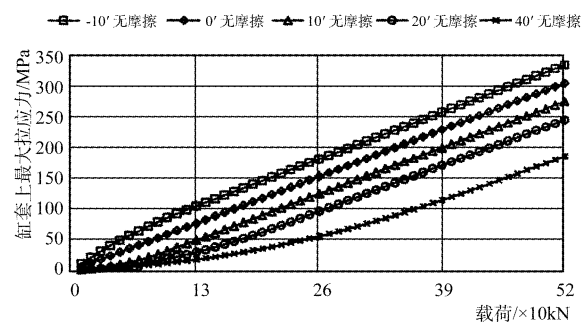


图 9 不同锥角缸套最大拉应力点的应力随载荷的变化规律

通过对计算结果的分析可以得出结论：气缸套支承肩下端锥角对缸套的径向变形和拉应力产生影响，锥角过小会加剧气缸套的径向变形量和拉应力，是气缸套变形异常的原因之一。

另外，薄壁气缸套装配过程中，螺栓拧紧时会使气缸套发生一定变形。为确定装配拧紧顺序对气缸套变形量的影响，进行了专项试验研究，结果发现，V 形结构的曲轴箱(图 10)每排气缸按顺序拧紧时，中间的气缸套径向变形量最大(具体数据见表 1)，与拉缸严重的现象发生在 A2、B2 缸相吻合。经过对装配拧紧顺序的多次试验，发现先两边后中间的拧紧顺序，气缸套压装后的变形量最小(具体数据见表 2)。分析认为装配顺序也是气缸套变形异常的原因之一。

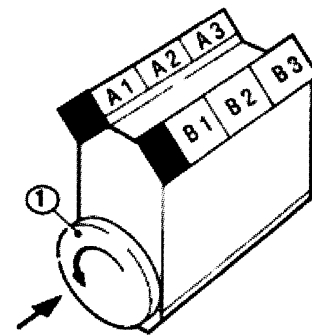


图 10 V 形结构曲轴箱示意图

表 1 按顺序拧紧时，中间气缸套径向变形量

位置	检测状态	距下止口 30 mm		距下止口 140 mm		距下止口 190 mm		距下止口 245 mm	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A1 缸	未压紧	0.02	0.02	0.015	0.02	0.02	0.02	0.01	0.015
	压紧后	0.025	0.025	0.015	0.025	0.01	0.03	-0.005	0.03
	变形量	0.005	0.005	0	0.005	-0.01	0.01	-0.015	0.015
A2 缸	未压紧	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.015	0.015
	压紧后	0.01	0.035	0.005	0.035	0	0.04	-0.01	0.035
	变形量	-0.01	0.015	-0.015	0.015	-0.02	0.02	-0.025	0.02
A3 缸	未压紧	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.025	0.015	0.015
	压紧后	0.025	0.02	0.01	0.03	0	0.035	-0.01	0.035
	变形量	0.005	-0.01	-0.01	0	-0.02	0.01	-0.025	0.02

续表									
位置	检测状态	距下止口 30 mm		距下止口 140 mm		距下止口 190 mm		距下止口 245 mm	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
B1 缸	未压紧	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.015	0.015
	压紧后	0.02	0.025	0.01	0.03	0.01	0.03	-0.01	0.02
	变形量	0	0.005	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.025	0.005
B2 缸	未压紧	0.02	0.02	0.02	0.02	0.025	0.02	0.02	0.01
	压紧后	0.015	0.035	0.015	0.045	0.005	0.045	-0.005	0.04
	变形量	-0.005	0.015	-0.005	0.025	-0.02	0.025	-0.025	0.03
B3 缸	未压紧	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.015
	压紧后	0.02	0.03	0.01	0.03	0	0.04	-0.015	0.03
	变形量	0	0.01	-0.01	0.01	-0.02	0.02	-0.025	0.015

表 2 按先两边后中间的顺序拧紧时, 中间气缸套径向变形量

位置	检测状态	距下止口 30 mm		距下止口 140 mm		距下止口 190 mm		距下止口 245 mm	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A1 缸	未压紧	0.005	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	压紧后	0.01	0.025	0.015	0.03	0.03	0.03	0.025	0.03
	变形量	0.005	0.015	0	0.01	0	0.01	0.005	0.01
A2 缸	未压紧	0.015	0.015	0.015	0.02	0.02	0.025	0.015	0.025
	压紧后	0.015	0.04	0.02	0.04	0.025	0.035	0.015	0.035
	变形量	0	0.025	0.005	0.02	0.005	0.01	0	0.01
A3 缸	未压紧	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.02	0.01	0.015
	压紧后	0.015	0.02	0.02	0.03	0.015	0.045	0.01	0.035
	变形量	0	0.005	0.005	0.015	0	0.025	0	0.02
B1 缸	未压紧	0.02	0.02	0.025	0.025	0.025	0.035	0.01	0.03
	压紧后	0.025	0.03	0.03	0.035	0.03	0.035	0.01	0.035
	变形量	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0	0	0.005
B2 缸	未压紧	0.03	0.03	0.03	0.03	0.025	0.03	0.02	0.025
	压紧后	0.03	0.035	0.03	0.035	0.025	0.035	0.02	0.04
	变形量	0	0.005	0	0.005	0	0.005	0	0.015
B3 缸	未压紧	0.02	0.02	0.025	0.025	0.02	0.025	0.02	0.025
	压紧后	0.03	0.02	0.025	0.03	0.02	0.03	0.025	0.035
	变形量	0.01	0	0	0.005	0	0.005	0.005	0.01

4 结 论

综上所述, 曲轴箱废气压力的波动是由于柴油机气缸套与活塞之间的异常磨损, 造成燃烧气体窜入曲轴箱所致。

气缸套支承肩下端面锥角过小, 装配拧紧顺序不合理使气缸套变形异常, 活塞组和气缸套在工作中无法建立正常的润滑油膜, 导致了柴油机气缸套与活塞之间的异常磨损。

曲轴箱废气压力可以作为柴油机试验中监测气缸套与活塞之间磨损的参数。

参考文献

[1] 王文斌. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
[2] 魏志明. 发动机曲轴箱废气压力影响因素的试验研究[J]. 内燃机工程, 2002(1).