

结构与可靠性

高强度柴油机缸套-活塞环异常磨损及磨合研究

张德元, 李 全, 胡睿杰, 许伟利, 高海涛

(中国北方发动机研究所(天津), 天津 300400)

摘 要: 针对高强度柴油机初始阶段异常磨损的问题, 以某单缸机为研究对象, 进行了活塞-活塞环装配、维护、磨合方法的研究; 剖析了高强度柴油机安装、起动、磨合过程中导致柴油机异常磨损的原因, 总结制定了适合高强度柴油机装配、起动、磨合规范。

关键词: 柴油机; 缸套; 活塞环; 磨损; 磨合

中图分类号: TK423.3 +3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2016)01-0040-04

Abnormal Wear and Running-in of Cylinder Liner-Piston Ring for Highly-strengthened Diesel Engine

Zhang Deyuan, Li Quan, Hu Ruijie, Xu Weili, Gao Haitao

(China North Engine Research Institute (Tianjin), Tianjin 300400)

Abstract: With respect to the abnormal wear of highly-strengthened diesel engine in earlier period, the assembling of piston-piston ring, maintenance and running-in of a certain single cylinder engine are researched. The causes of abnormal wear during assembling, starting and running-in of highly-strengthened diesel engine are analyzed. The assembling, starting and running-in criteria are summarized.

Key words: diesel engine; cylinder liner; piston ring; wear; running-in

0 引 言

某高速强化柴油机在试验过程中, 经常出现曲轴箱废气压力高, 呼吸器冒机油现象。光谱检测发现: Fe、Cu、Al 等元素含量陡升。检查柴油机活塞组、缸套、滑动轴承等, 均发现异常磨损, 其中活塞组与缸套磨损比较严重。故障一般发生在柴油机磨合后期。从使用方面探究, 发生磨损的主要原因是柴油机起动时间长、起动频次高、磨合规范科学性不强等。本文基于某型单缸机初期试验过程中活塞组与缸套的磨合试验, 通过 5 次活塞安装、磨合、拆检, 进行活塞环、活塞和缸套磨损状态分析, 研究高强度柴油机异常磨损及磨合问题。

1 某高强度柴油机安装、磨合及存在的问题

1.1 活塞组安装规范

高强度柴油机的活塞组安装过程和要求如下:

(1) 检查并清洗气缸、活塞、活塞环等配合偶件, 满足活塞环的正常使用条件。

(2) 安装活塞环必需使用专用工具, 扩张开口的最大极限尺寸是活塞环自由状态下间隙的 8 倍, 避免扩张开口太大造成环的断裂或永久变形。

(3) 安装有标记的活塞环时, 有标记的端面应朝向活塞顶部燃烧室方向。活塞环组安装时应采用专用活塞环涨钳, 将梯形环装入活塞第一道环槽内, 将斜面环装入活塞二道环槽内, 将组合油环装入活塞第三道环槽内。

注 1: 安装各活塞环时, 应使环上的 TOP 标记

收稿日期: 2015-06-23; 修回日期: 2015-08-04

作者简介: 张德元(1965-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为柴油机试验技术。

朝向活塞顶部。

注 2：安装组合油环时，应使弹簧对接端头错开而不重叠，对接处与油环口错开 180° ，定位钢丝与弹簧接头对称。

注 3：活塞环在环槽内应转动灵活无卡滞现象。将活塞轴线置于水平方向，转动活塞 360° ，活塞环应能靠自重环槽内自由下滑。

(4) 在气缸套内孔、活塞环槽、活塞环和连杆瓦内孔涂抹润滑油。

(5) 将活塞环开口错开，第一环开口在排气侧外偏 45° ，1、2 环错开 180° ，2、3 环错开 180° ，开口位置应避开侧压力面和活塞销座孔。

(6) 将组合好的活塞环、活塞、活塞销、连杆等组件利用过渡套压入气缸筒前，注意活塞冷却孔与活塞冷却喷嘴相匹配。将连杆和活塞平稳、顺利推入气缸套，切忌挂、卡零件。

(7) 将连杆等零件固定到曲轴上，转动曲轴，检查活塞冷却喷嘴与活塞冷却孔对中情况，确保冷却喷嘴中心孔与活塞冷却进油孔中心重合。

1.2 柴油机磨合规范

高强度柴油机的台架磨合规范见图 1。柴油机在各个运行工况停留后切换到下一工况，每次工况切换时，转速和扭矩都相应增长，其中转速增长幅度大于扭矩，磨合后阶段增长幅度小于初始阶段。

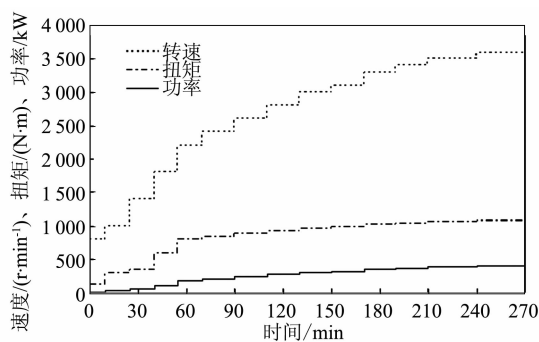


图 1 高强度柴油机的磨合规范

1.3 活塞环与缸套磨合问题

按照现行安装规范和磨合规范装试的柴油机，试验过程中出现：曲轴箱废气压力高，呼吸器冒机油现象。拆检后发现：大部分活塞环和缸套有拉毛和划痕现象（图 2），系粘着磨损和磨料磨损共同作用的结果。

2 异常磨损机理和原因分析

活塞环-缸套的摩擦磨损主要取决于材料强度、材料表面粗糙度、润滑方式以及磨合规范，其中润滑和磨合规范对柴油机初期磨合磨损影响最大^[1]。

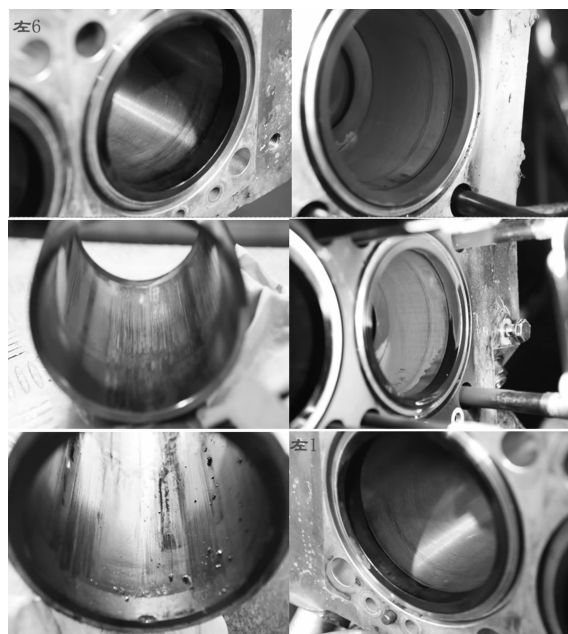


图 2 高强度柴油机磨合后缸套磨损状态

当润滑充分时，活塞环-缸套处于一种弹性流体动力润滑状态，可以避开微凸起尖峰的接触，摩擦表面靠油膜传递赫兹接触压力，磨损处于一个非常低的水平；而当润滑不充分时，活塞环和缸套界于边界润滑和混合润滑，此时磨损剧烈^[2]。

磨合规范是发动机正常使用以前，按照一定的规范试运转，以使各运动件摩擦表面贴合良好，摩擦表面磨损率较小^[3]。由于发动机的种类繁多，所选用的磨合工况可能有较大的差别，但是否已磨合完成，即磨合完成的标志是相同的，有相同的技术标准^[4]：润滑油温度趋于稳定；燃烧室漏气量减少；磨粒中铁含量及磨粒形态趋于稳定。

2.1 高强度柴油机摩擦磨损分析

2.1.1 起动频繁性分析

高强度柴油机起动时间长，着火困难，往往需要频繁起动柴油机才能着火，而频繁起动柴油机是导致缸套、活塞环异常磨损的重要原因。起动时较低的润滑油温度导致摩擦功耗增加，以致起动马达拖动柴油机时转速降低，漏气量较大；柴油机起动时缸内可燃混合气温度和压力达不到着火条件，进而导致频繁起动柴油机。起动时过低水温导致缸套壁面温度较低，在压缩过程中缸内的可燃气体向壁面传热，壁面和压缩气体的温差越大，传热量越大，导致缸内可燃气体的温度下降很快，加剧了柴油机的起动困难。柴油机如此的频繁起动，喷入燃烧室内没有及时燃烧的燃油稀释了缸套与活塞环间的油膜，活塞环与缸套间的润滑长时间处于边界润滑状态，甚至是干摩擦，加剧了活塞环、活塞、缸

套表面的磨损。

2.1.2 瞬态过载载荷分析

高强度柴油机起动时间长,一旦柴油机着火,缸内多循环聚集的燃油同时燃烧,缸内瞬间的最高燃烧压力急剧增大,作用于活塞上垂直于气缸轴线的侧推力突然加大,同时作用于气环背面的气体压力也突然增大,此时活塞、缸套、活塞环还没有达到理想的磨合状态,加剧了活塞、活塞环、缸套表面的磨损^[7]。

2.2 高强度柴油机磨合规范分析

图3、图4分别为某型6缸机和某型12缸机采用现用磨合工况磨合过程中油样分析的结果。可以看出:整体的磨合趋势都呈上升趋势。同时,磨合过程中出现柴油机曲轴箱废气压力偏高,呼吸器冒机油现象。说明磨合试验结束时柴油机真正的磨合过程未结束。因此需要设计合理的磨合工况使柴油机在初期运行中达到最佳的磨合磨损,提高柴油机的工作可靠性和使用耐久性。

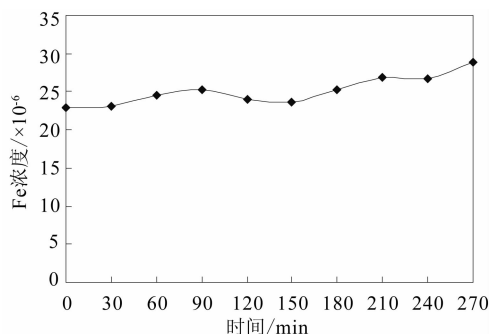


图3 某型6缸柴油机磨合过程中油样分析

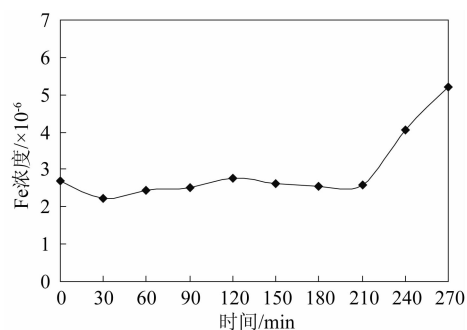


图4 某型12缸柴油机磨合过程中油样分析

3 安装规范、起动过程和磨合规范的改进

3.1 活塞组安装规范改进

严格按照本文1.1节的安装规范进行活塞组的安装。活塞安装完毕后,再在活塞顶与缸套内壁间隙中加满新润滑油,同时在活塞顶凹坑内加约7~

8 ml 的润滑油,防止柴油机第一次起动着火困难时燃油对油膜的稀释。

对于使用过的活塞,需对活塞环槽内的积炭采用超声波方法去除,检查活塞环径向表面是否有划痕,活塞环性能参数是否完全符合设计要求。

3.2 起动过程磨损控制

针对起动过程暴露的问题,规定起动过程润滑油的温度应高于45℃,冷却液的温度高于55℃,缩短起动时间和减少起动次数,确保高强度柴油机在3~5 s内起动成功。

3.3 磨合规范改进

磨合试验开始前要理化检验润滑油的各项主要指标,使其完全符合GJB3937-2000要求。从磨合开始到结束每隔20 min采集油样,用光谱和铁谱检查油样中的金属含量并分析结果。磨合过程中,每个工况结束时测量记录活塞漏气量并分析结果。

新制定的台架磨合规范分三个阶段进行(见表1),负荷在每个阶段小幅度增加,磨合过程主要集中在前两阶段,第三阶段作为前两阶段的巩固,磨合时间稍有缩短。

3.4 试验结果

按照改进装配工艺装配的单缸机,再按照改进的磨合规范进行磨合试验,性能试验时曲轴箱废气压力一直为-0.2 kPa。试验后拆检单缸机,活塞、活塞环、缸套的摩擦副表面光洁度非常好(图5),缸套内孔几何尺寸完全符合设计要求(表2)。



图5 某型单缸机磨合试验后的缸套与活塞环

表 1 制定的台架磨合规范

序号	转速/ (r·min ⁻¹)			扭矩/ (N·m)			功率/kW			时间/min		
	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段
1	1 000	1 000	1 000	21	48	67	2.2	5	7	20	20	20
2	1 200	1 200	1 200	35	56	72	4.5	7	9	20	20	20
3	1 400	1 400	1 400	41	61	75	6	9	11	20	20	20
4	1 600	1 600	1600	47	65	78	8	11	13	20	20	20
5	1 800	1 800	1 800	49	69	80	9.2	13	15	20	20	15
6	2 000	2 000	2 000	53	74	84	11	15.5	17.5	20	20	15
7	2 200	2 200	2 200	56	78	87	13	18	20	15	15	15
8	2 400	2 400	2 400	59	84	91	15	21	23	15	15	15
9	2 600	2 600	2 600	64	86	93	17.5	23.5	25.5	10	10	10
10	2 800	2 800	2 800	68	88	96	20	26	28	10	10	10
11	3 000	3 000	3 000	72	89	101	22.5	28	32	5	5	5
12	3 200	3 200	3 200	74	90	102	25	30	34	5	5	5
13	3 400	3 400	3 400	77	91	103	27.5	32.5	36.5	5	5	5
14	3 600	3 600	3 600	80	93	104	30	35	39	5	5	5

表 2 缸套内孔尺寸

高度	第一次		第二次		第三次		第四次		第五次	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
I	110.024	110.025	110.025	110.025	110.025	110.026 0	110.025	110.025	110.027	110.026
II	110.020	110.020	100.020	100.020	110.021	110.020	110.021	110.021	110.021	110.022
III	110.024	110.023	110.024	110.024	110.025	110.024	110.024	110.024	110.026	110.025



4 结论

通过上述分析和研究，总结出减少柴油机初期运行阶段缸套、活塞环异常磨损的方法及磨合规范如下：

- (1) 安装活塞环前，彻底清洗活塞环槽，防止异物进入活塞环槽内对缸套和活塞环产生磨粒磨损。
- (2) 安装活塞环时，在活塞与缸套间隙内加注润滑油，以改善启动时活塞环的润滑条件；在活塞顶加注少量润滑油，避免启动不着火时燃油对缸套油膜的稀释。
- (3) 通过油和水加温，提高高速强化柴油机缸内进气温度；优化供油规律，改善启动过程的油气混合，便于柴油机一次启动成功，避免因启动次数频繁造成活塞环和缸套的异常磨损。
- (4) 改进磨合规范，使柴油机初期运转时达

到最佳的磨合磨损，提高柴油机的工作可靠性和使用耐久性。

参考文献

[1] 温诗铸，黄平. 摩擦学原理 [M]. 北京：清华大学出版社，2002.

[2] 孔凌嘉. 内燃机缸套-活塞环摩擦系统 [D]. 西安：西安交通大学，1911.

[3] 朱仙鼎. 中国内燃机工程师手册 [M]. 上海：上海科学技术出版社，2000.

[4] 冀树德，孙学东. 基于缸套-活塞环摩擦副的柴油机磨合规范研究 [J]. 车用发动机，2014（2）31-35.

[5] 邓志明，张红涛. 柴油机气缸套的启动磨损分析 [J]. 润滑与密封，2012（12）86-88.

[6] 苏岩，刘忠长. 冷却液对柴油机启动首循环燃烧的影响 [J]. 内燃机学报，2007，25（3）202-207.

[7] 王平. 内燃机活塞环-缸套摩擦系统的磨损研究 [D]. 上海：上海交通大学，2009.