

船用低速二冲程柴油机应对低硫燃油的设计发展

尹义强, 徐善林

(上海海事大学, 上海 200135)

摘要: 重点介绍了 MAN 柴油机公司对船用低速柴油机所做的改进设计, 以解决船舶柴油机燃用低硫燃油所带来的问题, 具体包括: 燃烧室(活塞环、活塞头、气缸衬)和气缸润滑的改进设计。

关键词: 船用柴油机; 燃烧室; 气缸; 润滑

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)05-0034-03

Design of Marine Low-speed Two-stroke Diesel Engine for the Application of Low Sulfur Fuel

Yin Yiqiang, Xu Shanlin

(Shanghai Maritime University, Shanghai 200135)

Abstract: In order to deal with the problems brought out by the usage of low sulfur fuel, MAN Diesel Company made some improvements on the marine diesel engine, which are introduced here, including improvements of combustion room (piston ring, piston head and cylinder linear) and cylinder lubrication.

Keywords: marine diesel engine; combustion room; cylinder; lubrication

1 引言

随着柴油机排放法规越来越严格, 对硫排放的限制也越来越严格, 船舶燃用低硫燃油已成为必然的趋势。使用低硫燃油虽然会减少硫的氧化物的形成, 降低酸式腐蚀, 但也会产生负面影响, 为了解决这些问题, 必须对船用低速柴油机作出改进。本文以 MAN 柴油机为例, 重点介绍船用低速柴油机应对低硫燃油的设计和发展。

2 使用低硫燃料存在的问题

(1) 低硫燃料通常有缓慢燃烧特性。燃烧性能差表现在两个方面: 滞燃和后燃, 这会使柴油机热负荷增加, 破坏气缸套内壁的气缸油膜, 主机在低负荷运行时该问题会更加突出。

(2) 低硫燃油的硅和铝的含量较高, 有时超过 25×10^{-6} ; 而高硫燃油的硅和铝含量一般低于 15×10^{-6} 。通常硫也是一种良好的“干润滑剂”, 低

硫燃料的润滑性能差, 会造成燃油喷射系统精密偶件间磨损加剧甚至咬死。

为了解决这些负面影响以及提高柴油机的可靠性, 提高经济性, 需要对柴油机进行改进。

3 MAN 柴油机的改进和新设计

3.1 燃烧室

使用低硫燃油会使中等或大缸径柴油机燃烧室的热负荷增加, 对此, MAN 公司开发了一种新的设计(如图 1), 详细介绍如下。

3.1.1 活塞环

活塞环的设计从简单的斜切口型式改为气密性较强且带有控制性泄漏槽的设计, 这使活塞环所承受的最高温度大大降低, 从而消除了由于过高的热负荷引起的活塞环崩断或折断的危险。活塞环的机械应力由作用在环上的热负荷决定, 对于斜切口活塞环, 作用在活塞环上的热负荷不均匀, 燃气流在活塞环切口处周围产生相对较高的热负荷, 具体表现为:

收稿日期: 2010-01-14; 修回日期: 2010-03-11

作者简介: 尹义强(1982-), 男, 硕士, 主要研究方向为船舶动力装置及仿真技术, E-mail: yq_wod@163.com。

(1) 在活塞环的切口位置, 润滑油承受着高温热负荷, 导致在这一区域的气缸衬表面缺少润滑油;

(2) 由于环体不均匀的热膨胀导致了在气缸衬和活塞环切口处有很高的表面应力;

(3) 从第一道环切口处喷下的燃气使第二道环局部承受着高温应力。

为均衡活塞环上的负荷, 需要有特定的燃气流, CPR 型活塞环降低了以上所列的局部影响, 这种设计的活塞环切口是气密性的, 燃气流通过 4 至 6 道 CL 槽被分开, 如图 2。

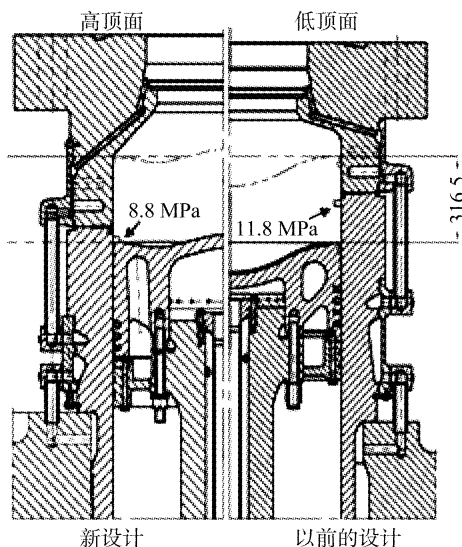


图 1

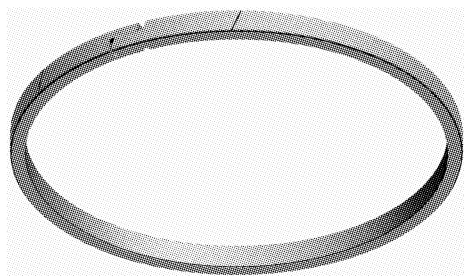


图 2 CPR 型活塞环

为了解决使用低硫燃油带来的负面影响, 设计的新型活塞环形式如图 3。

第一道环是 CPR 型活塞环, 主要材料为 Vermicular Cast (蠕墨铸铁), 带有 0.5 mm 的 cermet (金属陶瓷材料) 硬涂层, 0.1 mm 的 Alu-coat (氧化铝) 磨合涂层, 底面为镀铬层。

第二道活塞环为方向向左的斜切口形式, 主要材料为灰铸铁, 有 0.3 mm 的氧化铝磨合涂层, 底面为镀铬层。

第三道活塞环为方向向右的斜切口形式, 主要材料为灰铸铁, 有 0.3 mm 的氧化铝磨合涂层。

第四道活塞环为方向向左的斜切口形式, 主要

材料为灰铸铁, 有 0.3 mm 的金属陶瓷材料硬质涂层, 0.1 mm 的氧化铝 Alu-coat 磨合涂层。

这种活塞环通过使用带有铜材料的承磨层和氧化铝磨合涂层, 承磨特性大大提高。

最近的设计中还有一种活塞环其承磨面采用陶瓷金属混合材料涂层, 其性能得到进一步改善。这种混合材料由陶瓷和金属组成, 结合了陶瓷材料的特性 (如耐高温、高硬度) 与金属材料的特性 (如承受塑性变形的能力)。陶瓷—金属材料通常是: 铬碳化物组成陶瓷部分, 钼、镍、铬组成金属部分, 铬碳化物熔点和硬度高的特性, 大大加强了抗磨损性, 降低了涂层的磨损。

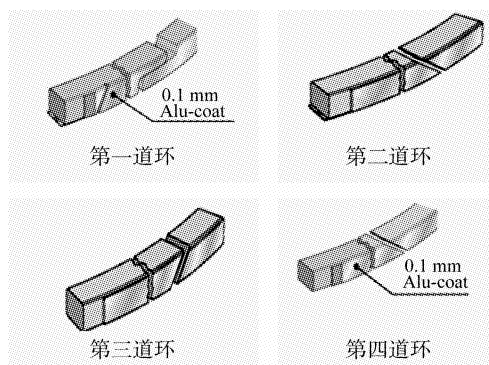


图 3 四道活塞环的形式

3.1.2 活塞头

影响硫的酸分沉积和酸性腐蚀主要有四方面因素。(1) 燃烧室压力, 压力越高, 硫酸酸分越容易沉积, 酸性腐蚀越严重; (2) 气缸衬暴露在酸分环境下的时间, 时间越长, 腐蚀越严重; (3) 气缸衬的温度, 温度越低, 酸分沉积得越多; (4) 气缸注油率, 注油率越低, 腐蚀性磨损越严重。

为了减轻腐蚀性磨损, 降低活塞环的热负荷, 活塞环的安装位置向下移动了一段距离 (见图 1), 这种新设计使活塞头顶部部分比以往高。验证性试验表明: 活塞环位置下移, 意味着其承受的热负荷降低, 活塞环始终都不会因为过高的热负荷而失去预紧力。引入高顶面设计后, 气缸衬所承受的温度也略微降低。

验证性试验还标明: 高顶面设计能减少酸分的凝结, 降低腐蚀性。排气时, 燃烧室低压废气在气缸衬底部引起酸分的凝结。以 K90MC 柴油机为例, 在低顶面设计情况下, 当气缸衬的表面刚与燃烧室废气接触时, 气缸的压力是 11.8 MPa, 而高顶面的设计时, 此时的压力降到了 8.8 MPa。而酸分的凝结, 部分是由水气、硫的氧化物这部分气体的压力产生的, 这部分压力随气缸内压力的降低而成比例地降低, 因而高顶面设计在降低酸分凝结方面有

显著作用。图 4 为 K90MC 柴油机, 使用含硫量为 3% 的燃油时, 酸分凝结与温度和压力的关系图。

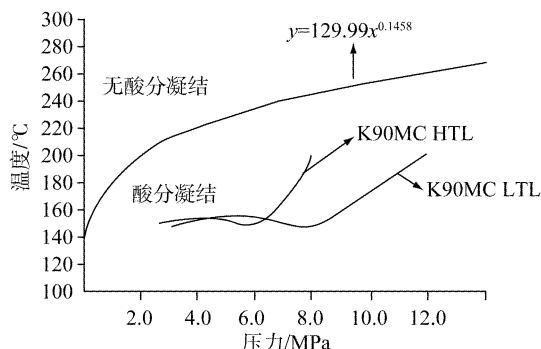


图 4 酸分凝结与温度和压力关系图

3.1.3 气缸衬

气缸衬的材料是灰铸铁, 灰铸铁带有层状珍珠体的薄铅片, 除了硬相, 主要有碳化铁和磷化物共晶体组成, 这种材料有良好的摩擦特性和良好的导热性和承磨特性。

近年来根据气缸衬特性, 其设计普遍采用了磨刀石状表面。如图 5 所示。磨刀石状表面确保能够保持良好的油膜, 润滑油聚集在两个波峰之间, 波峰充分保证形成润滑油膜。波峰到波谷的幅度也从以前的 0.01~0.02 mm 增加到现在的 0.04~0.05 mm。进一步改善了油膜在气缸衬表面的保持状况。

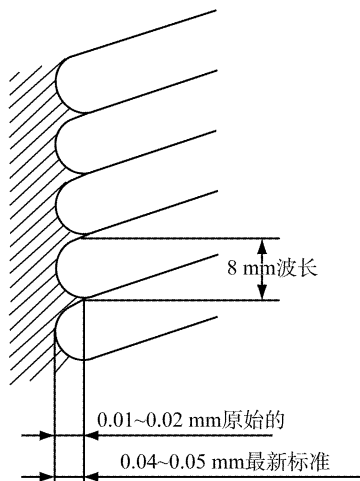


图 5

活塞头清洁环(图 1 所示)是气缸衬的组成部分, 此环能够清理活塞头顶面过多的沉积物。过多的沉积物对活塞环和气缸衬的磨合非常有害, 活塞顶面的沉积物与气缸衬的接触也会导致气缸衬的腐蚀, 并会破坏油膜。活塞头每次运行到上止点时, 活塞头清洁环刮一次顶面, 这样就避免了顶面的沉积物接触到气缸衬。

3.2 气缸润滑

有这样一种观念: 过多的润滑油不会对气缸的

状况产生危害, 事实不是这样。TBN (Total Base Number) 值是中和燃油中的酸分和控制缸套表面腐蚀磨损的重要参数。如果中和酸的能力过强, 即剩余 BN 值太多, 会使缸套表面形成镜面, 油的附着力大大降低, 导致形不成连续的油膜, 增加缸套的磨损。同时, 剩余 BN 值太多, 也会使得活塞头及活塞环间严重结炭。轻者, 结炭会与缸套表面直接接触, 缸套被拉伤(主要在缸套的中下部分); 重者, 被压缩过的沉积物会限制活塞环的运动, 使活塞环粘死在环槽内。由于形成的沉积物不可能是同样厚度的, 也不可能是同时形成的, 所以活塞环在运行中也不会保持原路径不变, 在环槽内移动路径随着受力的不同而改变。压缩过的沉积物使活塞环受到的应力分布不均匀, 并会限制活塞环的正常移动, 最终导致活塞环的断裂。

为降低上述 TBN 过剩所带来的危害, 就必须根据燃油的硫分严格控制 TBN 的供给量。即低硫燃油用低碱值的气缸油(TBN40); 若用高碱值(TBN70)的气缸油, 则需降低注油率。MAN 公司采用阿尔法注油系统 Alpha ACC (Alpha Adaptive Cylinder oil Control)——一种新型的电子注油器。Alpha ACC 是根据气缸油消耗量与燃油的含硫量、柴油机的负荷成正比的原理设计的。使用该注油系统后, 在高含硫状态下能够确保足够的碱分中和硫酸酸分, 并能在低含硫状态下减小注油率, 因而, 节省了大量的润滑油。老式的低顶面设计的柴油机润滑油注油率为 $0.34 \text{ g/kWh} \times S\%$ ($S\%$ 为燃油含硫量), 而新式的高顶面设计的柴油机其值为 $0.2 \text{ g/kWh} \times S\%$ 。阿尔法气缸润滑系统同早期的机械式注油器相比, 气缸衬、活塞环的磨损率, 气缸油消耗率都显著降低。

4 结 语

随着欧盟对船用柴油机的排放要求越来越高, 在废气排放方面提出了更为严格的限制。为了保护环境, 同时提高柴油机的可靠性, 降低润滑油成本, 必须对船用柴油机作出改进。润滑油、气缸衬、活塞环、燃烧室等的设计还需要进一步的发展, 以符合更为严格的 SECA 和 CARB 规则的要求。

参考文献

- [1] Development of Piston Ring Packs and Cylinder Liners [R]. Viewpoint of Tribology
- [2] 朱建元. 船舶柴油机[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [3] 关子杰. 内燃机润滑油应用原理[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.