

柴油机缸体冷却水腔密封面穴蚀修复工艺

阎 军¹, 刘 勇¹, 董文仲¹, 董文胜²

(1. 大连海事大学董氏镀膜有限公司, 辽宁 大连 116026; 2. 深圳海安船舶工程有限公司, 广东 深圳 518127)

摘 要: 针对柴油机缸体冷却水腔密封面穴蚀影响水腔密封性, 导致机油乳化、冲缸等问题, 制定了特定的修复工艺。采用镶嵌不锈钢套的方法消除穴蚀, 并将缸体加工至原形位尺寸, 恢复了缸体的使用性能。实际应用证明了该工艺的可靠性。

关键词: 柴油机; 缸体; 冷却水腔; 穴蚀; 镶套

中图分类号: TK426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2019)02-0054-03

Repair of Sealing Surface of Cooling Water Chamber of Diesel Engine Block After Cavitation Erosion

Yan Jun¹, Liu Yong¹, Dong Wenzhong¹, Dong Wensheng²

(1. Dalian Dong's Iron Plating Company of Dalian Maritime University, Liaoning Dalian 116026;
2. Shenzhen Hoion Marine Engineering Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518127)

Abstract: The cavitation erosion occurred on the sealing surface of cooling water chamber of diesel engine block may influence the sealing of water chamber, and causes problems such as oil emulsion and cylinder gasket destroy. To deal with it, specific repairing technique was developed. The cavitation erosion was solved by the method of inlaying stainless steel bush, and the cylinder block was processed to the original dimension, thus made the cylinder block useful again. The application results verified the reliability of this technique.

Key words: diesel; cylinder block; cooling water jacket; cavitation erosion; bushing

0 引 言

柴油机长期运行后其缸体冷却水腔密封表面常会出现穴蚀现象, 穴蚀严重时会影响缸套外壁与缸体间冷却水腔的密封性, 导致冷却水泄漏至油底壳, 乳化机油, 甚至造成冲缸、烧瓦等严重的机损事故。为避免以上问题应及时对穴蚀位置进行修复。笔者曾成功组织 VOLVO、CUMMINS、DETROIT、玉柴等柴油机缸体的穴蚀修复。本文以修复难度较大的玉柴 6L 型柴油机缸体冷却水腔下密封位穴蚀修复为例, 详细阐述修复工艺。

1 修前检测

玉柴 6L 型柴油机缸体为铸铁材质, 其冷却水腔结构见图 1a)。水腔有上密封面和下密封面, 其中, 下密封面有凸肩支撑缸套, 并保证缸套相对于缸体上平面的凸出量。

经目视检查发现: 6 个缸套冷却水腔下密封内圆表面和凸肩表面分别有不同程度的穴蚀, 尤其是密封面左右两侧区域穴蚀较为明显。图 2 为缸套冷却水腔下密封面局部穴蚀形貌。

测量冷却水腔密封内孔直径, 结果见表 1。

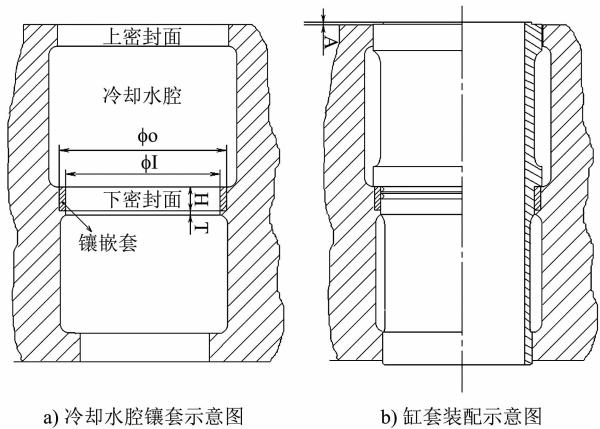


图 1 玉柴 6L 型柴油机缸体冷却水腔及缸套示意图

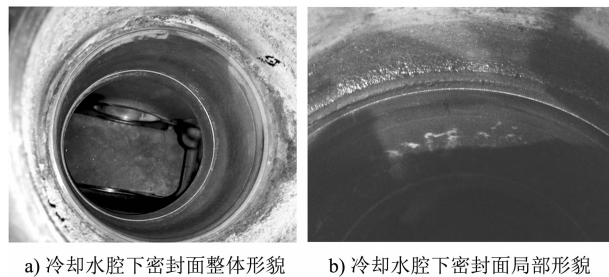


图 2 缸套冷却水腔下密封面穴蚀形貌

2 穴蚀产生原因分析

活塞在往复运动换向过程中会引起缸体产生较大的高频振动，导致冷却水压力发生高、低交替变化，当局部区域水压将至饱和蒸气压时，便有气泡分离出来；继而冷却水压力又升高，气泡突然破裂，产生瞬间高压和高温，使冷却水腔壁承受非常高的冲击力和挤压力。这种反复的冲击力和挤压力

加速了缸体材料疲劳损坏，形成孔洞状穴蚀。

3 修复方案选择

3.1 修复工艺选择

针对铸铁件穴蚀情况，可以采用高分子材料填补、热喷涂、电焊焊补和镶套等修复工艺。各修复工艺优缺点分析见表 2。

从以上分析可以发现：镶套修复工艺虽然加工难度加大，但修复过程没有热影响，不会造成缸体热变形，且镶嵌套不会受缸套冷热变化的影响而老化或脱落。因此，镶套修复工艺相对于其它修复工艺安全、可行，只要制定详细的工艺方案并在实际修复过程中严格控制加工精度是可以保证水腔密封性的。

3.2 材料选择

缸体为灰口铸铁材质，镶嵌套的材质可以选用铸铁、低碳钢、黄铜和不锈钢。各种材质的膨胀系数见表 3。

从膨胀系数考虑，选用与缸体同材质的灰口铸铁镶嵌套最好，45 号钢镶嵌套次之，但从抗腐蚀性考虑则宜选用不锈钢或黄铜镶嵌套。由于此次修复的主要目的是消除穴蚀并防止再次发生穴蚀，建议选用防锈材质；另外考虑不锈钢材质的韧性和强度均大于黄铜，因此，最终镶嵌套修复采用不锈钢材质。

3.3 镶嵌套过盈量

经实际测量可知：缸套水腔内径约为 132 mm，由说明书查询可知：下密封处（即本次修复位置）内径为 $123^{+0.050}_{+0.020}$ mm；镶套后缸套凸出缸体平面量为 0.100 ~ 0.165 mm。

表 1 各缸套冷却水腔下密封内孔直径修前测量结果

单位：mm

位置	1#缸	2#缸	3#缸	4#缸	5#缸	6#缸
测量点 1	123.055	123.040	123.045	123.035	123.045	123.050
测量点 2	123.055	123.040	123.045	123.035	123.050	123.050
测量点 3	123.040	123.050	123.050	123.050	123.045	123.045
测量点 4	123.040	123.050	123.050	123.050	123.050	123.045

表 2 不同修复工艺优缺点分析

工艺方案	优点	缺点
高分子材料填补	无热变形、无热影响	抗热性能差，易老化、剥落
热喷涂	热影响小、抗热性能好	受缸体空间影响，施工困难
电焊焊补	结合性好、抗热性能好	热变形大、容易产生裂纹
镶套	无热影响、抗热性能好	加工难度较大

表 3 不同材料的膨胀系数

材质	灰口铸铁	316 不锈钢	黄铜	45 号钢
膨胀系数/ ($\times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	11.2	17.3	17.7	11.59

为了满足镶套的强度,镶套外径设计为 130 mm,用液氮充分冷冻后装配。液氮沸点 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$,假设室温为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,则镶套冷冻后外径收缩量 $\Delta\phi$ 为:

$$\Delta\phi = 17.3 \times 10^{-6} \times 130 \times (20 + 196) = 0.48\text{ mm}$$

为了方便装配镶套并避免过大的过盈量造成缸体变形,过盈量设计为 $0.200 \sim 0.260\text{ mm}$ 。

4 修复过程

按照以上工艺方案逐项实施修复。

4.1 扩孔加工

将缸体安放在数控镗床上找正位置后逐个镗削 6 处缸套冷却水腔下密封面,镗削位置见图 1 所示镶套位置。为保证密封性,要求加工面光洁度达到 $Ra0.63$ 。镗削后镶嵌孔尺寸控制在 $\phi 130.000_{-0.03}^0\text{ mm}$ 范围内;镗削深度控制在 $21 \sim 22\text{ mm}$ 范围内;原密封孔下端保留 $2 \sim 3\text{ mm}$ 不加工,用以定位镶套。

4.2 加工不锈钢镶套

用不锈钢无缝管加工镶套,根据镶嵌孔尺寸 $\phi 130.000_{-0.030}^0\text{ mm}$ 和过盈量 $0.200 \sim 0.260\text{ mm}$ 要求,将镶套外圆尺寸加工至 $\phi 130.20_{+0.030}^0\text{ mm}$ 范围内;光洁度达到 $Ra0.63$;内圆暂不加工以便留有足够的加工余量。

4.3 安装镶套

将不锈钢套在液氮里充分冷冻后利用夹具即刻装配就位,为增加密封性,在装配前用耐高温的密封胶涂抹在缸体扩孔位置表面。不锈钢套装配到位后应立即利用工装压紧固定,并保持 24 h 不动,待密封胶完全固化后方可进行加工工序。

4.4 成品加工

重新按照缸体平面和未损坏的缸套上密封内圆

在镗床上找正缸体,保证每道缸套密封内孔上孔、修复孔及下端未修复部位孔的中心线同轴度不低于 0.020 mm 。然后逐一镗削不锈钢套内孔至 $\phi 123.000_{+0.020}^{+0.050}\text{ mm}$,不锈钢套内孔上端面倒角 $2\text{ mm} \times 45^{\circ}$,并铣削镶套上端面使其至缸体上平面距离为 87 mm 。加工面光洁度应达到 $Ra0.63$ 。成品后形貌见图 3。



图 3 缸套冷却水腔下密封面镶套成品后形貌

5 成品检验

成品后逐项检验以下项目:

(1) 密封内圆内径 ϕI 测量结果见表 4。

(2) 缸套凸出量 A 测量结果见表 5。

(3) 水压试验。用工艺堵封住缸体表面全部水孔后进行打压试验,试验压力为 1.5 倍冷却水工作压力,即试验水压为 0.3 MPa ,保持 5 min ,无泄压现象,满足使用要求。

6 结论

用上述方法修复的缸体装机后无故障运行了一个大修期,解体柴油机,检查镶套,完好、无脱落,表面无穴蚀现象。再次证明了此修复工艺的可靠性。

表 4 密封内圆内径

单位: mm

位置	1#	2#	3#	4#	5#	6#
测量点 1	123.020	123.040	123.040	123.035	123.040	123.020
测量点 2	123.020	123.040	123.040	123.035	123.040	123.020
测量点 3	123.020	123.040	123.040	123.035	123.040	123.020
测量点 4	123.020	123.040	123.040	123.035	123.040	123.020

表 5 缸套凸出量

单位: mm

位置	1#	2#	3#	4#	5#	6#
测量点 1	0.120	0.120	0.130	0.140	0.115	0.120
测量点 2	0.135	0.130	0.120	0.130	0.130	0.135

(下转第 59 页)

同样能将电磁阀断电打开,保证润滑系统正常工作。

和原润滑系统相比,改进后系统实现冗余控制,提高了系统的可靠性。改进后的电路控制如图4所示。

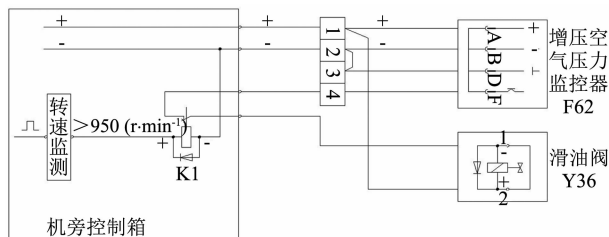


图4 改进后润滑系统原理图

3.2 增大板式冷却器的换热面积

以某型机进口板冷为例:冷却栅片61片;换热面积 8.73 m^2 ;海水进口温度 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$,出口温度 $46.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;淡水进口温度 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$,出口温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。可以得出:每平方米换热面积可以降低冷却水温度 $1.72\text{ }^{\circ}\text{C}$,每片格栅所对应的散热面积为 0.14 m^2 ^[3]。

冷却水的温度取决于板式冷却器的热交换量,换热效果与传热系数和换热面积等有直接的联系。其中传热系数与换热片结构形式、板片材料和冷却介质流速有关。而材料的改进和升级是一个较为复杂的过程。目前情况下通过改变散热面积来达到降低冷却水温度是较为有效的方法。而增大板冷的换热面积最直接的途径有两项:增加板冷板片数量,或增大板冷板片面积。

从船舶空间角度出发,增大换热板片的长度或宽度会增大占用空间,而且在船上维修拆装都不方便。因此最可行的方案是根据需要增加换热板片的数量。板冷在船舶上是整体对称布置于舱底并处于水线以下。新增板片重量很轻,不会对船舶的总体稳性造成破坏。本型机高速运行时要求的冷却水最

低温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,所以可以根据需要通过调整换热板片的数量来控制冷却水的温度,以满足柴油机全工况和各种恶劣环境下的正常运行。图5为板冷系统原理图。

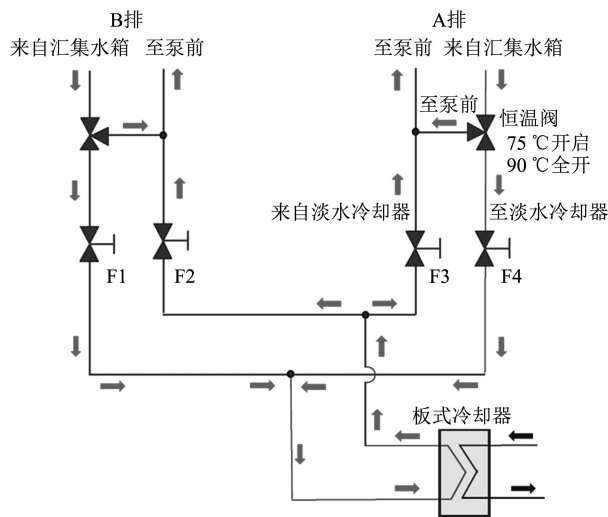


图5 板冷系统原理图

4 结论

综上分析,本次推进机进气阀吹裂故障的主要原因是气阀座润滑系统故障以及板冷换热面积不足引起冷却水温度过高。针对故障原因,本文基于该型柴油机,从提高各系统的可靠性角度出发,提出了气阀座润滑系统冗余双控运行,及增大板式冷却器的换热面积的改进措施。

参考文献

- [1] 陕西柴油机重工有限公司. 柴油机维修手册 [R]. 2015.
- [2] 陕西柴油机重工有限公司. 柴油机及配件使用说明书 [R]. 2015.
- [3] 周龙保. 内燃机学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 侯宏庆. 6E390 系列柴油机汽缸体裂纹的焊接 [J]. 中国修船, 2005 (5): 14-16.
- [5] 陆钧. 船机铸铁零部件焊接中的技术问题研究 [D]. 上海: 上海海事大学, 2006.
- [6] 张亚雄. 关于离心式压缩机缸体修复 [J]. 通用机械, 2010 (8): 86-89.

(上接第56页)

参考文献

- [1] 顾淋喻, 梁工英. 新型高膨胀系数铸铁的研究 [J]. 热加工工艺, 1991 (1): 21-23.
- [2] 郅俊懋. 304 不锈钢高温力学性能及热物理性能研究 [D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2014.
- [3] 丁彰雄, 曾志龙, 赵辉. 热喷涂技术在船舶柴油机关键零件再制造中的应用 [J]. 热喷涂技术, 2009