

使用维修

某主机气缸注油器指示弹珠不规则动作的分析

鲍军晖

(浙江交通职业技术学院海运学院, 浙江 杭州 311112)

摘要: 对某轮主机气缸注油器指示弹珠不规则动作故障进行分析。分析结果表明: 主机气缸注油器指示弹珠不规则动作现象产生的原因是: 主机气缸油注油器电加热器功率配置不当, 油液加热温度偏高。据此提出了相应的改进措施: 严格控制加热温度, 加强日常维护保养, 配置功率合适的电加热器。

关键词: 气缸注油器; 指示弹珠; 不规则动作

中图分类号: TK424.1⁺2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2017)02-0051-02

0 引言

“主机气缸注油器指示弹珠不规则动作”虽然是一个不至于像气缸断流造成主机拉缸, 进而引起柴油机发生大故障的问题, 但也不容忽视, 而且该问题和气缸油的管理密切相关。以下针对MAN6S26MC型主机的气缸注油器指示弹珠不规则动作问题进行分析。

1 问题概况

某轮为1995年日本制造的液化气船, 主机为MAN6S26MC, 配机械式注油器(75lubricators-HJdrwg)。在2013年和2014年冬季相继出现注油器指示弹珠不规则动作问题, 具体如下:

该轮在2013年12月某航次, 南京至武汉航线, 主机在高速运行时, 气缸油注油器多次出现不定期、各缸各注油单元不定的指示弹珠高度不一的不规则动作(如图1)。当时船上轮机人员对注油器加热器进行拆检, 除发现注油器加热芯子的铜质表面结垢严重外, 未发现其他异常状况, 清洁电热管装复。在武汉开航后, 注油器注油量指示恢复正常, 之后一直显示正常。据此认为此故障为加热器故障引起。

2014年冬季某航次, 南京满载离泊去武汉, 约两三小时后主机注油器再次出现不规则动作现象(如图2), 类似2013年的情况。利用武汉港抛锚时机, 拆出电加热器给予换新(换下的和换上的都不是原装产品); 同时对气缸油日用柜至注油器之间的管路(一段 $\Phi 30$, 一段 $\Phi 20$)及阀和空心接头等全部拆检清通, 未发现异常; 最后发现进注油器的方

形接头孔径只有约 $\Phi 8$, 考虑到如此小的孔径有可能对气缸油进入注油器形成节流效应, 遂启用气缸油储存柜(其最高液位比日用柜高出1 m左右)供气气缸油注油器。第二天武汉起锚靠泊(航行近3 h), 注油器注油量指示偶尔出现忽高忽低异常现象, 但频率明显减少。以后几航次, 同样在主机高速运行时, 发现NO. 1/2/3缸注油单元极少出现不规则现象, 偶尔会有一两个单元出现短暂(约几秒)的, 相比明显小幅度的弹珠不规则指示动作, NO. 4/5/6缸仍然有不规则动作现象出现, 但频率明显减少, 主机适度减负荷运行后仍如此。

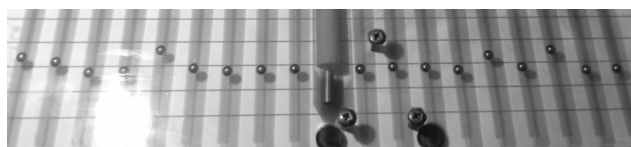


图1 2013年12月出现的情况

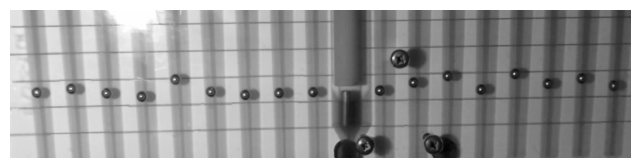


图2 2014年某航次出现的情况

至此, 逐渐认识到此现象并非加热器故障所致。考虑到油温方面的影响, 先在注油器外表加装(粘贴上)一温度计, 观察到温度计显示可达 48°C 。有意识降低气缸油加热器控制温度, 当注油器体表温度计显示约为 38°C 时, 弹珠不规则动作现象出现的频率大幅度下降, 而后再未发现不规则动作现象(如图3所示)。当然, 指示弹珠总体高度均一致地变高了些, 这是由于温度降低, 气缸油黏度变大引

起的,属正常现象。因为相同注油量,黏度较大时,油液能带动指示弹珠跳到更高的高度。

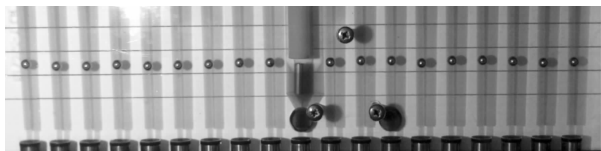


图 3 恢复正常后的状况

2 原因分析

结合该轮机械式气缸油注油器结构,以及 2013 年和 2014 年出现异常动作情况后的拆检情况分析:该轮主机气缸油注油器指示弹珠不规则动作的原因如下:

(1) 气缸油加热过程尽管总体温度控制较低(50℃以下),事实上加热时油液一边产生气泡,一边气泡又溶于油液,因此会在加热器芯子附近一定区域存在较多气泡,其他区域则较少至无,气泡的产生到完全消失需要一个过程。从注油器的结构看,加热芯子处于各注油单元吸口的后侧下方,但距离较近,只有约 2 cm,气泡区会向注油单元吸口方向扩展,使注油单元时不时地吸入气泡,从而干扰其动作,使指示弹珠出现不规则动作,尽管指示弹珠处油液并未观察到气泡,这是由于加压后气泡又重新溶于油液。因气泡存在的区域不规则,就会出现各注油器不定期、各注油单元不定的指示弹珠高度不一的不规则动作现象。所以,油液加热产生气泡是引起指示弹珠不规则动作的根源。

(2) 启用气缸油储存柜供气缸油注油器,提高了供油油位,实际上是对注油器加压,对气泡的产生起到抑制作用,尤其是对靠近进口口的 NO. 1/2/3 缸效果明显,对 NO. 4/5/6 也有作用,减少了不规则动作发生的频率,但这不能从根本上解决问题。

(3) 船舶处于停泊时,注油器均处于自动加热状态,因此,当船舶刚开始运行时,注油器内实际上是满满的已加热好的热油(约 6~8 L),气泡已重新溶解于油,因此主机刚开始运行的一段时间(1~3 h)内,均未观察到注油器不规则现象。

(4) 加热芯子的铜质表面结垢严重,说明其表面温度偏高,可能是后来配上的电加热器功率偏大所致。据了解该轮从国外购入后不久,注油器电加热器损坏后就换上了国内的替代产品,功率配置不对,故仅仅对加热管表面清洁或更换同样的替代产品,不能从根本上解决问题。因为电加热器功率

是严格按照注油器正常工作时流量多少进行计算后确定的,一般为 100 W 左右。确保注油器供给到气缸内的气缸油在合适的温度范围,也就保证了进入气缸内的气缸油处在合适的黏度,以使缸套表面形成良好的油膜,起到润滑作用。气缸油温度过高或过低都不利于良好油膜的形成,会引起缸套表面与活塞环的异常磨损。

(5) 降低加热器控制温度,实际上减少了加热时间(该加热器温度控制器为开关量控制模式),对流加热状态下,也降低了加热芯子表面温度,从而减少了气泡的产生量,也缩小了加热芯子附近的气泡区,也即气泡区远离了注油单元吸口,指示弹珠不规则动作现象自然消失。该柴油机说明书中有关气缸油方面的要求为:进入缸套内的气缸油黏度须控制在 100~150 cSt。目前该轮使用的气缸油为美孚 560,进机油温应控制在 45℃左右比较合适。从贴在注油器表面的温度计读数可知,原来设定的加热温度偏高。因设定温度偏高,导致加热器加热时间增加,气泡产生增多,被注油单元吸入的概率增加,产生指示弹珠不规则动作的机率增大。所以控制好油温可以从根本上解决指示弹珠不规则动作现象。

综上所述,该轮主机气缸注油器指示弹珠不规则动作现象产生的原因是:主机气缸油注油器电加热器功率配置不当,及油液加热温度偏高。

3 改进措施

从上述原因分析中可知,消除或减少油液在加热过程中气泡的产生是避免注油器指示弹珠不规则动作现象发生的关键,所以要解决好注油器电加热器功率配置和加热温度控制问题,重点是严格控制加热温度。

(1) 严格按照柴油机说明书要求,控制加热温度。注油器说明书要求气缸油 45℃时的黏度为 100~150 cSt,考虑到油液在缸套注油腔处还有一定的温度增加幅度(缸壁温度较高),在注油器处的油液加热油温最好控制在 40℃左右,这样既能保证气缸油合适的运动黏度,又能减少油液在电加热时过多气泡的产生,保证注油器的正常工作。

(2) 加强注油器的日常检查保养工作,发现问题及时处理。尽管温度控制是自动的,在运行时也要做到勤测量,发现变化及时调整。要依据主机的负荷变化及时调整注油量,以保证主机正常运行。

(下转第 55 页)

使用维修

42CrMo 电渣重熔铸造曲轴断裂分析

胡艳春, 傅建斌

(宁波中策动力机电集团有限公司, 浙江 宁波 315032)

摘 要: 通过采用宏观检验、化学成分分析、拉伸试验、金相分析、扫描电镜及能谱分析等方法, 对某 42CrMo 电渣重熔铸造曲轴的断裂原因进行了分析。分析结果表明: 该曲轴的断裂为疲劳断裂, 而材料内部存在的铸造疏松、夹杂等缺陷是造成疲劳断裂的主要原因。

关键词: 曲轴; 疲劳断裂; 电渣重熔; 铸造

中图分类号: TK423.3⁺1; TK426 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2017)02-0053-03

0 引言

某公司生产的船用中速柴油机在使用 3 000 h 后发生曲轴断裂事故。该机为 8 缸机, 额定功率为 2 970 kW, 额定转速为 650 ($r \cdot \min^{-1}$)。事故前工作转速为 550 ($r \cdot \min^{-1}$), 属正常工作转速状态。曲轴轴径 $\Phi 245$ mm, 材料为 42CrMo, 采用电渣重熔铸造。制造工艺为: 分别电渣重熔各主轴颈、连杆颈→电渣重熔各曲臂→去应力退火→正火→粗加工→调质处理→精车→粗磨→去应力退火→精磨→各轴颈 MT+UT 探伤→渗氮处理→各轴颈抛光→产品检验合格后装机。其中调质处理过程为: 860 ℃ 淬火, 560 ℃ 高温回火; 渗氮处理为 520 ℃ 气体硬氮化。为查明该曲轴断裂失效的原因, 对其进行了理化检验和分析。

1 理化检验

1.1 宏观检验

失效的曲轴从第七主轴颈与第五连杆颈相连的曲臂处断裂成两截, 见图 1。断口的宏观形貌见图 2。断裂面积 $S = 380 \times 94 \text{ mm}^2$ 。断口与主轴线平行, 大部分较平坦, 在扇板一端与断裂面成 90° 撕裂。从断口处观察到多处圆弧贝纹线, 中心有约 30 mm × 80 mm 的粗糙面。该粗糙面具有枝晶状、蜂窝状特征, 肉眼可见为疏松类铸造缺陷。从宏观断口看, 呈典型的疲劳断裂特征。疲劳源起始于曲臂的铸造缺陷处, 垂直于疲劳弧线方向为裂纹扩展方向, 裂纹扩展到一定深度后, 有效承载面积不足, 最终断裂。



图 1 曲轴断裂位置



图 2 断口宏观形貌

1.2 材料化学成分分析

曲轴技术要求材质为 42CrMo, 自耗电极的材质应符合 GB3077 的规定。从曲轴本体取样进行化学成分分析, 结果见表 1。化学成分符合要求。

1.3 力学性能测试

在同一曲臂邻近断裂处取力学性能试棒, 冲击试样分别取纵、横向各一组 3 件, 进行常温试验, 结果见表 2。与曲轴技术要求的比较显示, 力学性能符合要求。

表 1 标准及本体材料化学成分结果 (质量分数)%

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni
标准值	0.38 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	≤0.025	≤0.025	0.9 ~ 1.2	0.15 ~ 0.25	≤ 0.25	≤0.30
实测值	0.44	0.22	0.62	0.008	0.003	1.07	0.23	0.065	0.031

表 2 材料力学性能测试结果

力学性能	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 A	断面收缩率 Z	冲击功 (纵) A_{kv} /J	冲击功 (横) A_{kv} /J	硬度/HB
标准值	≥800	≥590	≥14%	≥50%	≥32	≥32	250 ~ 290
实测值	845	650	19%	64%	58	59	275

1.4 金相组织检验

分别从曲轴断口附近的主轴颈表面和距表面 40 mm、断口粗糙面附近及断口粗糙面处, 取 1#、2#、3#、4#金相试样, 经磨制和抛光后在蔡司光学显微镜下观察。

1#试样的金相组织见图 3, 为均匀回火索氏体; 表面氮化处理白亮层厚度 0.01 mm; 氮化层深度 0.45 mm; 表面显微硬度 620 HV1, 符合氮化层 ≥0.4 mm, 表面硬度 ≥550 HV1 的图纸技术要求。2#试样金相组织见图 4, 为回火索氏体 + 条状、块状铁素体 + 贝氏体。3#试样金相组织见图 5, 为回火索氏体 + 少量条、块状铁素体。4#试样观察到较多显微疏松和非金属夹杂物, 见图 6。

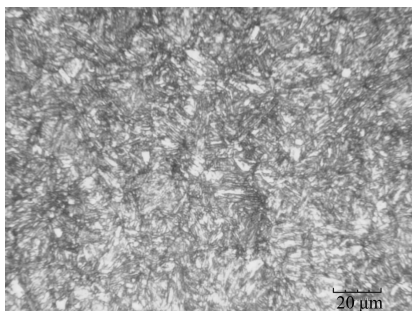


图 3 均匀回火索氏体

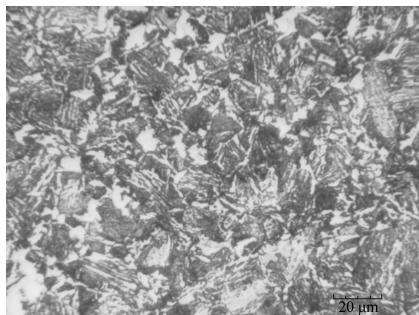


图 4 回火索氏体 + 条状、块状铁素体 + 贝氏体

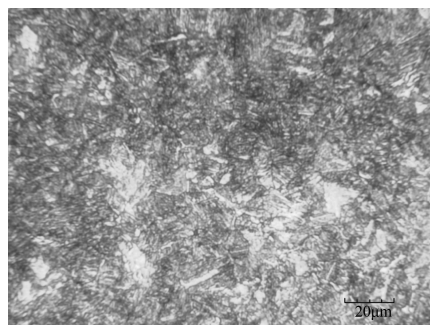


图 5 回火索氏体 + 少量条、块状铁素体

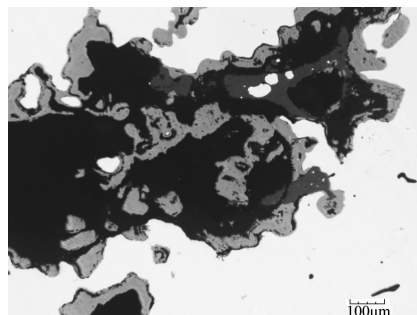


图 6 较多显微疏松和非金属夹杂物

对最终破坏区进行观察, 见图 8, 断口形貌为韧窝状断口, 说明最终破坏区是延性断裂。对夹杂物的成分进行能谱分析, 结果见图 9, 夹杂物中主要含氧、铝、钙等元素。说明夹杂物是以铝、钙的氧化物为主的复合夹杂物, 和重熔时的电渣成分符合。

2 分析与讨论

曲轴是柴油机的重要零部件之一, 其形状复杂, 工作时承受周期性变化的气体压力、惯性力、弯曲和扭转应力合成的交变应力; 同时受冲击力以及振动的作用, 受力情况十分复杂, 因而其对抗疲劳强度有较高要求。一般而言, 大型曲轴各主轴颈及连杆颈主要以扭转应力为主, 曲臂由于受各主轴孔同轴度、机座变形、柴油机的安装、轴瓦磨损后曲轴的挠曲、以及曲柄连杆机构周期性压缩做功的影响, 主要以弯曲应力为主, 特别是主轴与连杆颈

1.5 断口扫描电镜检验及能谱分析

用扫描电子显微镜对疲劳源附近进行观察, 见图 7, 微观形貌主要为沿晶特征, 局部可见疏松孔洞。

交界处, 是最大弯曲应力区。

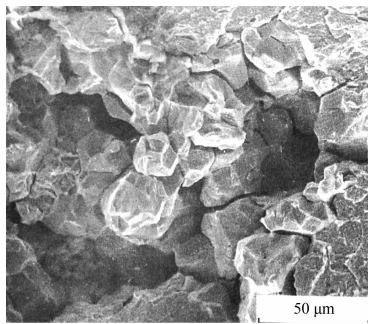


图 7 断口局部缩松形貌

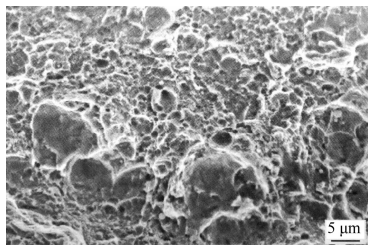


图 8 最终破坏区的韧窝形貌

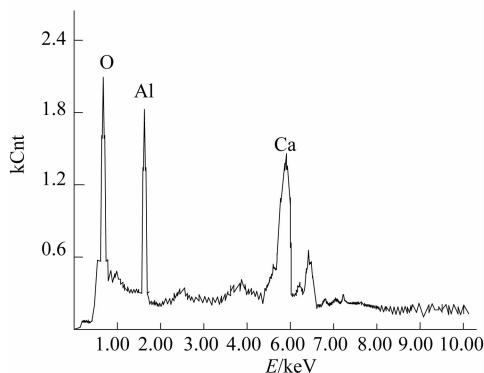


图 9 夹杂物 EDS 谱

因电渣重熔铸造的工艺特性, 为保证主轴颈与连杆颈的牢固结合, 在扇板熔铸到主轴颈和连杆颈

(上接第 52 页)

(3) 若无法采购到原生产厂家的注油器电加热器, 采用国内替代产品时应保证电加热器各参数相同。

4 结束语

主机气缸油注油器是保证柴油机正常运行非常关键的设备, 在维护保养和日常检查时要严格按照说明书的要求进行, 做到勤看、勤摸、勤闻、勤听, 确保其处在良好的工作状态。

中心时, 电流较大; 而在熔铸到主轴颈与连杆颈交界处时, 为防止熔穿结晶器, 电流须减小, 温度较低, 此时极易形成疏松和夹杂。

由以上的检验结果可知: 曲轴的化学成分及物理性能符合图纸技术要求。因曲轴为电渣重熔铸造而成, 材料没有明显方向性, 纵、横向冲击功相近; 金相检验中氮化及热处理组织正常; 主轴颈与连杆颈的圆角过渡以及表面氮化处理, 有效提高了曲轴的抗疲劳性。但大尺寸的疏松和夹杂等铸造缺陷严重割裂了金属基体的连续性, 大大降低了曲轴的局部抗疲劳性, 在正常的交变工作应力作用下, 在缺陷周围形成疲劳源, 并围绕疲劳源一层层的扩展, 最终断裂。疲劳扩展区光滑细致, 呈瓷状断口, 最终破坏区面积较小的现象说明: 曲轴疲劳属高周低应力疲劳。

3 结论及建议

综合分析, 该曲轴系弯曲疲劳断裂, 疲劳源起始于铸造疏松和夹杂类缺陷处, 大面积的铸造缺陷大大降低了曲轴材料局部疲劳性能, 是曲臂疲劳断裂的主要原因。

为避免该型曲轴再发生类似事故, 建议合理调整重熔时的电流变化曲线, 适当提高交界处重熔温度; 其次在曲轴探伤时, 增加对曲臂的超声波探伤检验。

参考文献

- [1] 严立, 余宪海. 内燃机磨损及可靠性技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1992.
- [2] 上海市机械制造工艺研究所. 金相技术分析 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1987.
- [3] 吴连生. 失效分析技术 [M]. 重庆: 四川科学技术出版社, 1985.

参考文献

- [1] 杜荣铭. 船舶柴油机 [M]. 2 版. 大连: 大连海运学院出版社, 1992.
- [2] 吴恒. 轮机管理 [M]. 2 版. 大连: 大连海运学院出版社, 1993.
- [3] 葛鸿翔. 船舶柴油机 [M]. 1 版. 北京: 科学出版社, 1996.
- [4] 简学职. 船舶轮机管理学 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1985.
- [5] 鲍军晖. 6LU38 型主机气缸油调节及系统管理 [J]. 柴油机, 2011, 33 (3): 46-47.

交界处, 是最大弯曲应力区。

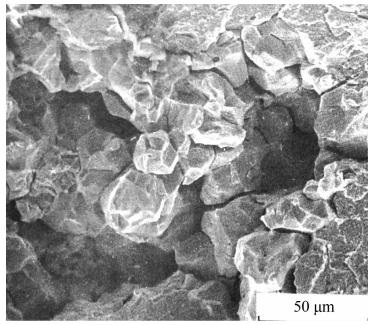


图 7 断口局部缩松形貌

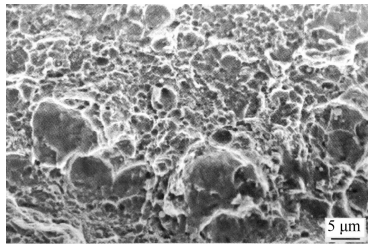


图 8 最终破坏区的韧窝形貌

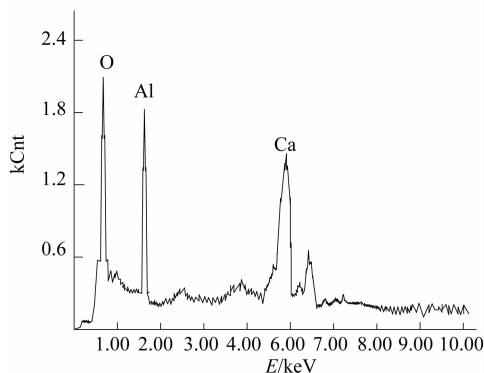


图 9 夹杂物 EDS 谱

因电渣重熔铸造的工艺特性, 为保证主轴颈与连杆颈的牢固结合, 在扇板熔铸到主轴颈和连杆颈

(上接第 52 页)

(3) 若无法采购到原生产厂家的注油器电加热器, 采用国内替代产品时应保证电加热器各参数相同。

4 结束语

主机气缸油注油器是保证柴油机正常运行非常关键的设备, 在维护保养和日常检查时要严格按照说明书的要求进行, 做到勤看、勤摸、勤闻、勤听, 确保其处在良好的工作状态。

中心时, 电流较大; 而在熔铸到主轴颈与连杆颈交界处时, 为防止熔穿结晶器, 电流须减小, 温度较低, 此时极易形成疏松和夹杂。

由以上的检验结果可知: 曲轴的化学成分及物理性能符合图纸技术要求。因曲轴为电渣重熔铸造而成, 材料没有明显方向性, 纵、横向冲击功相近; 金相检验中氮化及热处理组织正常; 主轴颈与连杆颈的圆角过渡以及表面氮化处理, 有效提高了曲轴的抗疲劳性。但大尺寸的疏松和夹杂等铸造缺陷严重割裂了金属基体的连续性, 大大降低了曲轴的局部抗疲劳性, 在正常的交变工作应力作用下, 在缺陷周围形成疲劳源, 并围绕疲劳源一层层的扩展, 最终断裂。疲劳扩展区光滑细致, 呈瓷状断口, 最终破坏区面积较小的现象说明: 曲轴疲劳属高周低应力疲劳。

3 结论及建议

综合分析, 该曲轴系弯曲疲劳断裂, 疲劳源起始于铸造疏松和夹杂类缺陷处, 大面积的铸造缺陷大大降低了曲轴材料局部疲劳性能, 是曲臂疲劳断裂的主要原因。

为避免该型曲轴再发生类似事故, 建议合理调整重熔时的电流变化曲线, 适当提高交界处重熔温度; 其次在曲轴探伤时, 增加对曲臂的超声波探伤检验。

参考文献

- [1] 严立, 余宪海. 内燃机磨损及可靠性技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1992.
- [2] 上海市机械制造工艺研究所. 金相技术分析 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1987.
- [3] 吴连生. 失效分析技术 [M]. 重庆: 四川科学技术出版社, 1985.

参考文献

- [1] 杜荣铭. 船舶柴油机 [M]. 2 版. 大连: 大连海运学院出版社, 1992.
- [2] 吴恒. 轮机管理 [M]. 2 版. 大连: 大连海运学院出版社, 1993.
- [3] 葛鸿翔. 船舶柴油机 [M]. 1 版. 北京: 科学出版社, 1996.
- [4] 简学职. 船舶轮机管理学 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1985.
- [5] 鲍军晖. 6LU38 型主机气缸油调节及系统管理 [J]. 柴油机, 2011, 33 (3): 46-47.