

# 浅析船用柴油机使用重质油时应注意事项

袁辉

(宁波航达海事技术咨询有限公司, 浙江 宁波 315010)

**摘要:** 随着国际油价攀升, 重油是航运企业节省开支增加收益的一个必然选择。由于重油品质不佳, 给机器维护保养带来各种实际问题。结合笔者实际工作经历, 对使用重油较容易出现的问题用三个案例进行分析。最后总结出船舶主机使用重油时的实际指导意见, 希望对使用重油船舶主机的保养维护具有一定实际意义。

**关键词:** 油价攀升; 柴油机; 使用重油; 故障; 保养; 指导意见

中图分类号: U66

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 06—0092—04

## 1 引言

船用燃料油主要分为两类, 分别是馏分型燃料油和残渣型燃料油。馏分型燃料油(轻柴油), 主要在高速柴油机(1000r/min 以上)及中速柴油机(300r/min—1000r/min)中使用; 残渣型燃料油(重油), 主要用于

低速柴油机(300r/min 以下); 或者馏分型燃料油和残渣型燃料油混合后用于低速柴油机。

众所周知, 燃烧轻柴油对机器设备维护与保养固然有多方面的好处, 但对船东而言不断上涨的油价会不断挤压他们的利润空间。2014 年以来的国际市场原油价

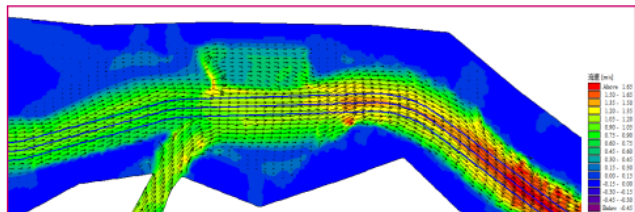


图 2 方案一后临涣里桥~青阜铁路桥段切滩后河道流场分布

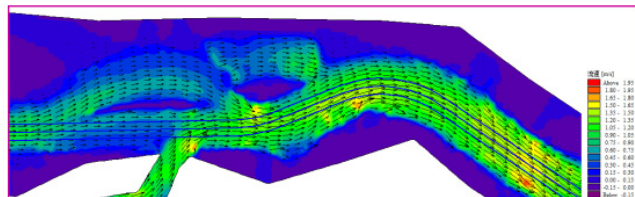


图 3 方案二后临涣里桥~青阜铁路桥段切滩后河道流场分布

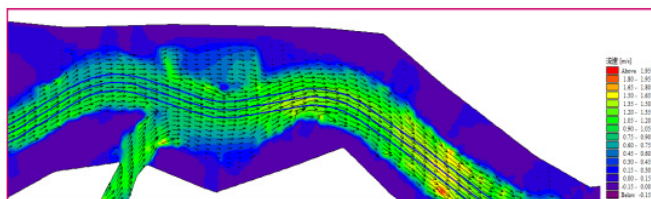


图 4 方案三后临涣里桥~青阜铁路桥段切滩后河道流场分布

## 4 方案比选

通过对临涣镇段航道方案一、方案二、方案三三种工况下河道的水流流场模拟可知:

从工程对河势影响角度而言, 三个方案实施后均能

提高了河道的行洪能力, 对河道水位、流场等变化相差不大; 但方案二切滩后, 河道中心形成长条形孤岛, 对河势影响较大。从通航角度而言, 方案一航道顺直靠近河道左岸, 航道弯曲半径较大, 直线段长度较长, 弯道的纵向流速及横向流速均较小, 通航水流条件较好, 有利于船舶的安全通行。该弯道为连续反弯段航道, 航道上下游约束条件较多, 需增加航行安全系数, 综上, 临涣镇段航道整治方案采用方案一较为合适。

## 5 结论

数学模型计算结果表明: 方案一实施后, 弯道的纵向流速及横向流速均较小, 通航水流条件较好, 有利于船舶的安全通行; 对河势影响较小, 满足水利部门的管理要求, 有利于后期桥梁改建工程的实施。

## 参考文献:

- [1] 内河通航标准 (GB 50139—2014) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 沱沔河航道(李口至临涣段)整治工程可行性研究报告 [R]. 南京: 华设设计集团股份有限公司, 2021.09
- [3] 黄建权. 航道整治工程水流泥沙数值模拟 [J]. 珠江水运, 2009: 05.
- [4] 陆永军, 陈国祥. 航道工程泥沙数学模型的研究 [J]. 河海大学学报, 1997: 06.
- [5] 陈跃宏. 水沙数学模型在航道整治中的应用 [J]. 中国水运, 2021: 06.

格走势如图1所示。2016年年初，国际市场原油平均价格探底后开始上涨，从均价30美元，到2022年5月4日，每桶原油的价格甚至突破了105美元。油价的上涨使得燃料油成本跃升为航运业最大成本，达到总运行成本的50%—60%。国际上重油的价格比轻油要低很多，以新加坡燃油价格为例，2022年5月11日，IF0380号重油价格为689.00美元/吨，VLSFO号重油为862.00美元/吨，而船用柴油MGO价格为1232.50美元/吨，船用柴油每吨价格比IF0380号重油高了约79%，因此燃烧重油是航运企业节省开支、增加收益的一个必然选择。

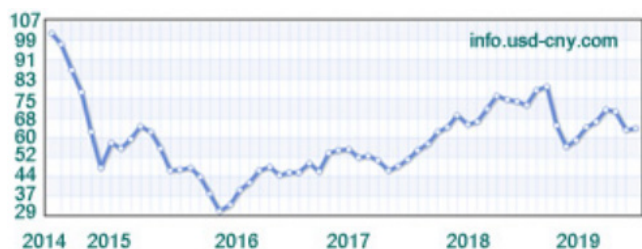


图1 历年国际原油价格趋势

随着炼油工业不断采用新工艺、新技术，使得炼油加工深度不断提高，为提升轻质油的提取率，更多的馏分油从石油中提炼出来，使渣油的质量越来越差；原油中的机械杂质和泥沙以及钠、钒、铁、铝、硅等金属元素，包括在提炼过程中使用的催化剂粒子等都留存在渣油中，同时在精炼过程中，由于渣油分子结构的改变，增加了固体大分子和沥青质的含量。

渣油中剩余的机械杂质、泥沙和催化剂粒子等会堵塞油路与过滤器，并且会造成高压油泵和油头中针阀偶件的异常磨损，导致主机故障的发生。渣油中残留着大量灰分，灰分中的一些成分（主要是钒、钠化合物）在高温燃烧时，成熔融状态且易粘附其他不溶物，在金属表面形成高温腐蚀；灰分中的某些金属微粒成分会增加气缸套与活塞环及排气阀的磨损。同时渣油中含有的沥青质越来越多，由于沥青质很难燃烧，会加重燃烧室、排气阀及增压器等部位的积炭，引起气缸套、排气阀的异常磨损；积炭经排烟管进入附着在增压器扫气端叶片，进而造成增压器喘振；而燃烧室内部积炭增多会使缸套冷却水冷却效果明显降低，致使燃烧室温度升高，这可引起燃烧室部件承载热应力而加速失效。

上述燃料油的特点，无疑都增加了设备可靠性与稳定性的要求，给系统维护带来新的挑战。因此有必要对

船舶柴油机重油使用常见问题进行梳理，更好指导船员维护船舶柴油机，确保其正常运转。

## 2 案例分析

笔者结合自己实际工作经历，分析三个具有代表性的案例其中包括：主机喷油器结碳脏堵、主机缸套损坏和主机空气冷却器堵塞事故，现将上述损坏事故的具体内容——陈述，并简单分析事故成因如下：

### 2.1 事故一（主机喷油器结碳脏堵）

某轮主机为NIIGATA 6L28HX型，一次在航行过程中发现第3缸排气温度逐渐降低，并伴随烟囱冒黑烟现象，船员初步判断是该缸喷油器因针阀偶件磨损而雾化不良造成。船舶抵港后进行检修，拆检过程中，发现该喷油器已经咬死在缸头上，只好一边在它四周加注柴油软化积碳，一边用铜棒敲打，并用起吊葫芦帮助，才将其拉出。在对其进行现场检验时，发现其喷油器周身已生锈，回油孔道有严重积碳，于是拆解清洗。

若高硬度的触媒粒大量的进入燃油阀时，精细的喷雾孔道会很快被磨损并增大，使喷雾粗粒化而逐渐延长燃烧时间，同时在喷孔周围会很快形成结碳，更加速雾化及燃烧的恶化倾向，使缸内高温带更往下移而破坏了气缸内的润滑油膜，造成缸套内壁的异常磨损或龟裂等事故。根据本人在从事船舶检验工作中所遇见的相关机损事例，我们发现气缸异常磨损现象，严重的在8000运转小时竟达3.5mm，倘若照此磨损的速度，缸套每2年须更换一次，究其根源，认为燃油阀在以重质油航行中的某一小段时间里，失去正常的雾化功能，导致上述之延伸高温带，破坏气缸润滑油膜的正常维持，为其主要原因。

根据上述检验发现，造成其喷油器损坏的原因主要是因为该轮在燃烧掺杂50—70%渣油的重质油时，渣油由于混合不均或过滤及拆洗清洁工作上的疏忽，导致喷油器过早磨损产生泄漏；又因喷油器处于燃烧室顶部，处于高温高压环境，雾化不良而造成结碳引起脏堵。

### 2.2 事故二（主机缸套内壁出现纵向沟槽）

某轮主机为M.A.N.K9Z60/105E型，在其营运过程中，由于船存的气缸油已所剩无几，途经新加坡港时经代理推荐购买了CASTROL牌桶装气缸油2000L（10桶）。船舶到国内锚地锚泊后，主机吊缸检修，发现缸壁位于8个注油孔以下位置处有8条浅槽，吊出活塞时，发现在其余注油孔相对应的位置上，均有一块像豆瓣大小呈

白色的硬块附着，较难清除，后来用扁铲才将其凿除。

主机使用重质油后产生的各种事故中，对船舶的经营会带来最严重损失的就是气缸衬套的异常磨损事故，而气缸润滑油的调整适当与否即为关键所在，一般主机制造厂家都规定有其适当的气缸油供给量的标准数值，如 SULZER 的 0.85g/psh, B&W 的 0.65g/psh，以便作为操作准备，而此数值是假设主机运转的一切条件都正常，即燃用直馏法重油，喷油泵及燃油阀皆正常，燃油在气缸内能完全燃烧时所制定的数值。

但是在使用渣油时，倘若仍照上述数值去调整气缸注油量，则必使主机遭致严重的损伤，这是因为主机使用重质油时，气缸内的高温带随着向下延伸，极易烤干缸壁上的滑油膜，再加上燃油阀很快地失效（正常情况为 1000 小时，如改用重质燃油时，可能 200–300 小时就会开始滴油或结碳），使高温带更往下延伸，加速烘烤缸壁油膜的形成，最后使缸套发生异常磨损或破裂，故使用重质油时，除了勤快地检查 / 更换燃油阀外，最重要的是额外的增加气缸油的注油量，以弥补可能被烘烤掉的部分润滑油量，然而每次加入的重油品质不同，且主机各缸的喷油泵及燃油阀的动作性能各异，缸套与活塞之磨损程度及间隙，活塞环的状况都不同，故必须针对各缸当时运转之状况，做最恰当的调整。至于何为最恰当，这一点至今未有一个具体的数字可供参考，故只有靠轮机员自己在平时的工作中摸索而定。一般机损事故的发生都是渐进的，在事故发生以前都会有征兆可以察觉，如有关的温度、压力、声音、颜色、振动等逐渐变化，轮机员平时就要以自己的经验和脑筋，牢牢地记住正常运转时的数值和感觉，经常巡视机器的各部位，在异常的征兆出现的初期，即能敏捷地发现而迅速予以纠正并阻止状态的恶化，防止事故的发生。

在现场检验时，根据上述检验发现，我们认为，由于国内供应的燃油，含硫份达 2–3% 以上，因此在新加坡购买了高碱性的气缸油予以匹配，因该主机气缸油孔位置是在缸套上部近凸缘处，接近燃烧空间，并且该轮缸套冷却水从未处理过，在缸套高温区域凝结大量水垢，使冷却效果严重下降，且由于该轮主机使用重质油，气缸内的高温带随着向下延伸，汽缸油供用量不足，烤干缸壁上的滑油膜；再加上由于上述状况导致缸壁温升高，高碱性的气缸油中含有大量金属盐添加剂的化合物凝析后附着在注油孔周围进而使孔道逐渐变小，使注油

压力增加，将析出物喷射到活塞头部，长久便形成硬块，伴随活塞上下往复运动时在缸壁上拉出沟痕。

### 2.3 事故三（主机空气冷却器堵塞）

某轮主机为 6RND76/155，在使用 5–6 年时间后，开始出现主机转速下降的现象，在与之前同一油门量时主机转速要慢约 5 转 / 每分钟。在现场检验过程中，开始以为是船舶污底或者尾轴缠绕渔网，待进厂对水线以下外板清洁后航行时主机转速下降的情况仍未改善；后来，通过查阅该轮轮机日志上记载的相关数据发现其空气冷却器的进出压差值变小，且在船员调大冷却水进水量后，仍不见改善；在上述情况下，船员对空气冷却器进行了拆检，发现冷却水管弯管处和上排近壁处的冷却水管内存在大量水垢，管板上也存在穴蚀痕迹，近 1/2 的冷却水管存在堵塞情况；在进一步的调查过程中，了解到该轮船员在冬季时，习惯通过调小空气冷却器的海水进口阀，以冷却海水流量的方式来调节冷却温度，从而提高扫气温度。

为了减轻由于排气中硫酸凝结破坏气缸壁上滑油膜而引起缸套内壁的低温腐蚀磨损以及为帮助改善重质燃油的不完全燃烧倾向，目前主机生产厂家皆采取调高温度的策略，如 SULZER 公司即对其相关类型的船用柴油机建议，扫气温度最高 65℃（正常 55℃），冷却水出气缸温度最高 90℃（正常 85℃）。

对于冷却水出气缸后再去冷却主机透平的串联冷却管因受到透平冷却水出口温度的限制，无法提高冷却水出气缸温度至上述温度数值，但尽量调高至上述温度数值，对保护主机及提高其效率，节省耗油量等是有帮助的。因此只要排气温度及透平冷却水出口温度在允许值的话（说明书规定的高限值），就必须尽量提高上述两项温度，尤其在降低负荷运转主机时（减速航行时），更需要调高以改善气缸内的燃烧效果；根据本人在从事船舶检验工作的发现，目前，一般以 50℃ 和 70℃ 为扫气进缸及冷却水出缸温度为调整目标，但此数值不是固定的，视主机实际负荷的高低而定，只要各缸排气温度和透平冷却水出口温度在极限内，就调得愈高愈好。但该轮以关小空气冷却器前的管阀而减少冷却海水流量来调高扫气温度，这样一来，因为通水量的减少，空气冷却器内的上排冷却水管腔会很快因高温生成物的沉积而堵塞。

根据上述检验发现，结合相关的轮机知识，我们认

为上述损坏情况的产生是由于该轮轮机员在冬季航行时将空冷器上的海水进口阀调小（不当操作）所致。在对冷却水管进行了换新/清洁，并将冷却器上的海水进口阀调整到正常位置且适当调节舷侧海水出口三通阀的旁通循环后，情况恢复正常。

究其上述三个损坏事故的原因，无外乎与船用柴油机燃烧重质油相关；但是，由于世界燃油危机的影响，燃油提炼技术的演变及航运成本必须缩减之趋势，船用柴油机势必使用重质油；但由于重质燃油本身所固有的特性，如高粘度、低燃烧效率等性质，如在日常维护和保养过程中对船用柴油机的相关部件监控不够或疏忽的话，将对机器本身产生较大的影响。这就要求船员掌握对使用重质油柴油机保养维修的正确方式方法。

### 3 船用柴油机使用重质油注意事项

综合上述分析，对船用柴油机使用重质油时除了选择恰当的船用重油和做好重油预处理工作（如过滤、加热和分离等步骤）外，还应注意的相关事项浅析如下：

（1）勤于检查和保养燃油喷射系统（喷油泵和喷油器），保持其处于正常使用状态。在燃用重质油时，最重要的是必须十分细心，经常保持燃油阀的正常功能，避免缸内不完全燃烧的发生或进行。勤于检测排气温度计的数值，认真读取各缸的排气温度并注意其变化，观察主机透平的转数变化等，对于预先及提早发现燃油阀的失常是有帮助的。尽量适时抽出燃油阀，通过拆检和泵压检查其结碳状况及雾化性能是必需的。同时，经常拉取主机各缸的施工图，比较各缸最高爆压的变化状况也是有帮助的。

（2）根据缸套和活塞的实际使用情况，适当调节气缸润滑油单位时间供给量。由于主机各缸的喷油泵及燃油阀的动作性能各异，缸套与活塞之磨损程度及间隙，活塞环的状况都不同，故必须针对各缸当时运转之状况，做最恰当的调整。因此对于气缸润滑油调整适当与否，最可靠的方法则是轮机员在停车时检查缸套内壁的表面状况，尽早发现不正常处所，并针对异常适当调高气缸注油量，就可阻止情况的恶化。除以上所述之停车时的检查外，在航行中亦需从气缸注油器的运转去校对其实际进油量，和自柴油机旁侧的小窗口观察缸套内壁下面和活塞裙外面的滑油湿润度，以判定气缸油调整是否适当。

（3）使用正确方法使柴油机扫气温度和气缸冷却水温度处于合适范围之内。不能用关小空气冷却器前的管阀而减少冷却海水量来调高扫气温度，可以利用舷侧海水出口三通阀的旁通循环调整，把欲打出舷外的高温海水的一部分再循环回空冷却器，使冷却海水能快速而完全地流过冷却腔内，以减少污垢和沉积物。

（4）增强对供船燃油品质的监管。通过设立第三方检验机构，确保供船燃油质量。可以通过第三方实验室对供船燃油油样进行检验，并将检验报告提供给船方，船方根据燃油的特性来调节柴油机到最佳工况，从而延长设备保养周期和使用寿命。

以上论述是本人结合自己在实际工作中的相关经历，对船用柴油机在使用重质油时所需注意问题的一些体会及浅薄见识，由于本人学识有限，如有不当之处，请予指正。

#### 参考文献：

- [1] 王忠俊，陈军. 中高速船用柴油机燃用重油的应用 [J]. 船海工程，2010.39(2):74-77.
- [2] 张俊峰吴艳茹. 使用低质燃油的危害及其控制措施 [J]. 天津航海，2005(3):24-27.
- [3] 李伟新. 燃用重油对柴油机的消极影响与应对措施 [J]. 内燃机 2007(4):61-62.

