

基于船用轻柴油 MGO 管理实践的分析

邵德强

(中海油服天津分公司物探事业部, 天津 300459)

摘要:近年来, 国际社会为防止船舶废气污染出台了多项法规, IMO2020 限硫令的实施对于燃油系统的设计、相关设备的选用和低硫油的使用管理带来了巨大的挑战。本文以某远洋物探船低硫油系统设计为基础, 通过 MGO 管理实践案例展开分析, 指出在实际应用过程中需要面对的管控风险, 探讨应对措施、解决方法和新技术的可行性, 在预防事故、消除隐患方面具有一定的参考价值。

关键词:船舶限硫; MGO; 案例; 故障; 分析

中图分类号: U677.2

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0044—04

1 引言

近年来, 随着航运业迅猛的发展, 大功率柴油机船舶不断增长, 排出的有害废气严重污染了全球大气环境。国际社会对大气环境日益关注, 2016年10月, 海上环境保护委员会第70次会议 (MEPC70) 确定自2020年1月1日起, 在全球海域实行船舶燃油0.5% m/m 含硫量上限的规定, 推动船舶应用环保的低硫油、天然气 (LNG)、生物燃油等替代燃料。我国也印发了《船舶大气污染物排放控制区实施方案》, 除实施IMO2020限硫规定外, 还确定在长江干线和西江干线内河控制区域使用硫含量不大于0.1% m/m 的燃油, 以减少对气候环境影响, 改善空气质量和保障居民健康。国内海事主管部门使用嗅感式监测装置和快速检测仪器等高科技手段, 不断加大对船舶尾气排放和燃油使用情况的监控力度, 促使我们进一步提高燃油的管理和使用水平。

根据表1列出的部分水域对燃油硫含量限制的规定, 现阶段大部分船舶进入MARPOL公约附则VI和EU法令等规定的特别排放控制区 (SECA), 通过换油操作满足排放要求, 而长期在此水域航行的船舶则需要使用含硫值不超过0.1% m/m 超低硫燃油 (ULSFO), 通常为船用轻柴油 (MGO)。

表1 全球燃油硫含量限制规定

公约/法规	燃油含硫量 (% m/m)	实施日期	实施区域
MARPOL 公约符合 VI	0.5	2020年1月1日	SO _x 排放控制区外
	0.1	2015年1月1日	SO _x 排放控制区内
EU 法令	0.1	2010年1月1日	欧盟港口
CARB 法规	0.1	2014年1月1日	加利福尼亚水域

另外, 所有400总吨及以上的国际航行船舶必须持有满足要求的“船舶能效管理计划” (SEEMP), 以降低船舶能耗, 提高能源利用率, 其中最根本和关键因素即船舶燃油的管理和使用。船舶事故案例中由于燃油管理和使用不当引起的不在少数, 如某轮在4月份航行至黄海中部时, 由于燃油管理不善引发的燃油系统堵塞, 造成主机故障无法启动、发电机停车全船失电。

综上所述, 船舶燃油必须符合国际、国家法规要求,

有效的管理能够防止海洋环境污染, 节约能源损耗, 降低船舶运营成本, 减少能耗设备的故障率, 保障船舶安全运营和设备的稳定运行。

2 MGO 管理实践案例

MGO 是低硫馏分油的一种, 是原油通过蒸馏等工艺加工生产出来。低硫馏分油在ISO8217 (2017) 船用燃油标准中为DM级, 有七种规格, 即DMX、DMA、DFA、DMZ、DFZ、DMB、DFB, 其中DMA规格就是我们所使用的MGO (Marine Gas Oil)。大部分轮机管理人员认为使用MGO更安全、可靠、易于管理, 往往忽视了其低粘度、低闪点、低润滑等特征对船舶设备带来的不利影响。

本文基于某电推船舶四冲程柴油机使用MGO出现的故障进行分析, 表2为柴油机基本参数信息。

表2 柴油机参数

型号	气缸	缸径	额定功率	额定转速	燃油消耗参数	低温水温度
C 25:33 L6A2	6sets	250mm	2000kw	1000rpm	185g/kwh	30 ~ 37℃

2.1 燃油系统故障案例

加蓬让蒂尔港加装470吨MGO, 燃油的主要参数为密度0.8687kg/m³@15℃, 粘度3.87mm²/s@40℃, 闪点73℃, 硫含量2% m/m, 倾点-15℃。随后开往某工区进行二维地震勘探作业, 期间燃油滤器压差频繁报警。根据统计滤器使用时间15~24小时, 造成备件消耗过快, 影响设备稳定运行和船舶安全生产。次日对燃油日用柜、沉淀柜清洁后, 滤器使用状况逐渐好转。

2.2 柴油机故障案例

某日23时, 4号柴油机排温温差报警, 1缸排温较低, 6缸排温持续上升, 紧急启动备用机组并电后停车检查。燃油供给系统正常, 1缸、6缸高压油泵齿条无卡阻, 拆检喷油器发现, 图1所示1缸喷油器油嘴针阀断裂咬死, 图2中6缸喷油器弹簧、顶杆磨损, 喷嘴处大量结碳, 油嘴偶件密封性不良, 已远远达不到雾化试验要求。



图1 油嘴针阀断裂



图2 喷嘴泄漏、结碳

3 故障分析及对策研究

3.1 燃油系统故障分析

发生故障后通常会根据颜色和气味判断油质出现问题，如果油质出现问题或者不可获得时，船舶应提交燃油不可获得报告（Fuel Oil Non-Availability Report）。其他指标没有问题时，一般不以柴油颜色作为判断使用与否，但是颜色过深的柴油无疑质量不好，应保证颜色指标在3.5以下。根据与上次加油参数对比，此次燃油密度、闪点稍高，颜色较深，分析可能掺入了残渣油，燃油品质存在一定的瑕疵。但是通过清洁油舱/柜等一系列的操作后，基本上解决了燃油系统脏堵的故障，所以说油质不是首要或者根本问题。

3.1.1 MGO 的使用管理

加油前应该将油品参数详细了解，要根据供应商提供的化验报告，筛选出我们需要有用的数据。其中密度既是质量指标，又是计量参数，使用中有着非常重要的意义。在油品质量控制中，密度反映了油品的轻重，可以粗略判定油品质地、混油情况等。对船用燃油来说，密度越大，高沸点成分越多，胶质沥青质越多，质量越差。

另外，加油前已将待受油舱驳空，1号~4号燃油舱混油比例都控制在1.2%左右，导致燃油不兼容性产生沉淀物几率很小。但是沉淀/日用柜中燃油未用尽情况下就转换其他批次燃油，而且柜中至分油机、柴油机吸口高度都在40cm左右，即使到最低液位进行驳油操作，混油率仍在13%~14%以上。混油比例过高，受机舱温度影响，两种品质较大的燃油就在柜中快速发生反应，沥青质等成分析出，形成的如图3所示沉淀物造成

日用系统堵塞，在日常管理中往往忽视日用/沉淀柜的混用情况是造成设备故障的一大隐患。燃油中沥青质普遍含量较低，但是在受到温度影响时也会产生大量难溶解的含碳物质（油胶质、碳青质），接着发生聚沉。如沥青质过多，易产生严重的后燃现象，同时产生大量的积碳。



图3 燃油日用/沉淀柜中沉积物

3.1.2 燃油舱清洁度问题

燃油舱泵吸口距分流板高度约1cm，虽然在设计上避免不同品质燃油的混存问题，进一步降低了舱中混油比例。但是在实践管理中，油中各相随温度、环境变化析出，产生的油泥、机械杂质、石蜡等沉淀物不断聚积在舱底，经过较低的吸口通过驳运泵首先容易造成燃油输送系统管路、滤器的堵塞，油泵部件的磨损；其次，一旦进入燃油日用系统，将引发柴油机故障、滤器堵塞，造成其性能下降，图4所示为燃油舱杂质和沉积物。

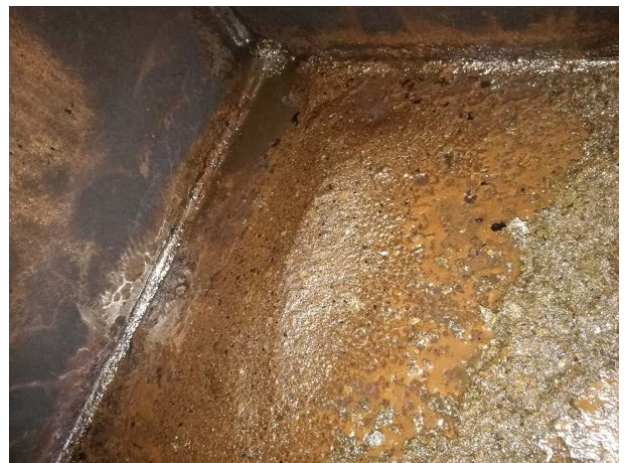


图4 燃油舱杂质及沉积物

做好油舱定期清洁，对保证低硫油净度有重要作用，另外还需优化燃油舱/柜至分油机和日用系统吸口管路，如图5所示的高、低位双吸口结构。日常使用高位吸口，配置直角弯头和相应液位报警传感器，在清舱或加油前转用低位吸口，将燃油驳至接收设施或燃油储存柜，低位为喇叭口设计并设有标定的分流板以保证其距地面高度。管路的优化设计将更利于减少混油风险和清舱的工作量，保证舱柜中燃油的清洁和单一性。

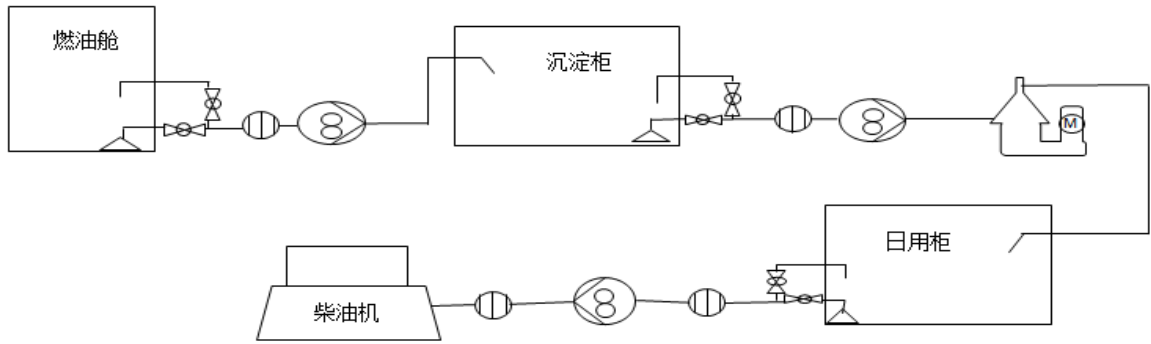


图5 油舱/柜双吸口布置

3.1.3 燃油净化系统的管理

分油机是燃油净化系统的关键性设备，可以有效去除燃油机械杂质、油泥等，当杂质质量过大、过多时给分油机、滤器造成较大负担，净化效果下降，还增加其损坏几率。前期使用燃油比重在 $0.84 \text{ kg/m}^3 @ 15^\circ\text{C}$ 时，分油机使用 $\phi 73$ 的比重环，但是随着油泥增多、燃油比重增大，油中杂质无法得到有效的分离净化，进一步造成燃油滤器的脏堵或更换频繁。这时需及时调整分油机比重环和工作状态，应基于发动机的特定燃油消耗量式 1 计算并减小流量、串联运行，

$$Q = \frac{N \times b \times 24}{\rho \times T} \text{ L/h} \quad \text{式 1}$$

式中：N—最大连续额定功率 KW；b—单位油耗 kg/kWh； ρ —燃油密度 kg/m^3 ；T—连续工作时间 h

其中上式为燃油通过分油机时的密度，需要根据表 3 修正系数由式 2 计算得出，

$$\rho = \rho_{15} - A(t - 15) \quad \text{式 2}$$

式中： ρ_{15} —燃油在 15°C 时的密度；A—密度修正系数；t—实测燃油温度

表 3 燃油密度 / 温度修正系数

	A		A
0.880 ~ 0.890	0.00065	0.850 ~ 0.879	0.00066
0.840 ~ 0.849	0.00067	0.830 ~ 0.839	0.00068
0.820 ~ 0.829	0.00069	0.810 ~ 0.819	0.00070

对于低硫油中部分催化剂颗粒物分油机也无能为力，需要根据燃油中杂质成分含量合理选用滤器，此机型燃油过滤精度要求为 $7 \sim 10 \mu\text{m}$ ，精度高过滤效果较好但容易造成滤器堵塞，供油量减少或供油中断，过滤的精度程度与滤器消耗、设备运行情况是矛盾的。在低压回路燃油供给泵后布置图 5 所示的自动反冲洗滤器，可以更好地解决燃油适应状态。其过滤精度可达到 $6 \sim 10 \mu\text{m}$ ，能实时对燃油进行再过滤和反冲洗处理，可把过滤拦截下来的颗粒物定时单独排出滤器外，解决了颗粒物在沉淀柜和日用柜大量累积的问题，正常情况下 4 ~ 6 个月拆洗一次即可，对柴油机提供保护的同时，

大幅度减轻了轮机员维护保养的劳动强度。

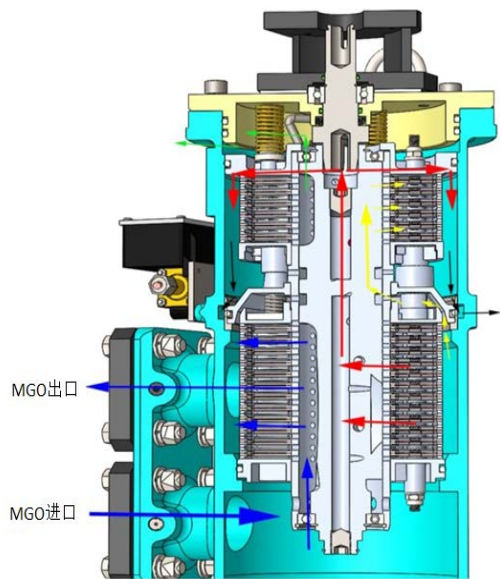


图 6 自动反冲洗滤器

3.2 柴油机故障分析

3.2.1 低粘度引发故障

MGO 硫含量极低，随之而来的是粘度低，一般在 $2 \sim 4 \text{ cSt} @ 40^\circ\text{C}$ ，由于柴油机喷射系统主要通过燃油本身进行润滑，部件表面油膜附着力差，润滑性不佳。柴油机低负荷运转，油泵供油量低，1 缸喷油器针阀偶件得不到足够润滑，发生粘着磨损，最终导致咬死。6 缸喷油器故障首先是喷油器弹簧、顶杆部件磨损产生的颗粒物，进入针阀偶件后发生磨粒磨损导致径向间隙变大，雾化效果变差，喷油提前角增大，长时间的燃烧不良，在油嘴处形成的积碳堵塞喷嘴。

ISO8217-2010E 列入了发火质量的测算公式图，结果表明，在密度一定的情况下，粘度越小，发火质量下降。事实上，燃油温度升高的同时造成密度不断变小，内摩擦力的摩擦系数即粘度也不断减小，满足不了泵送、喷射等设备使用要求。一方面为了增加净化效果，需要提高分油机进口温度，一般不超过 40°C ；另一方面为

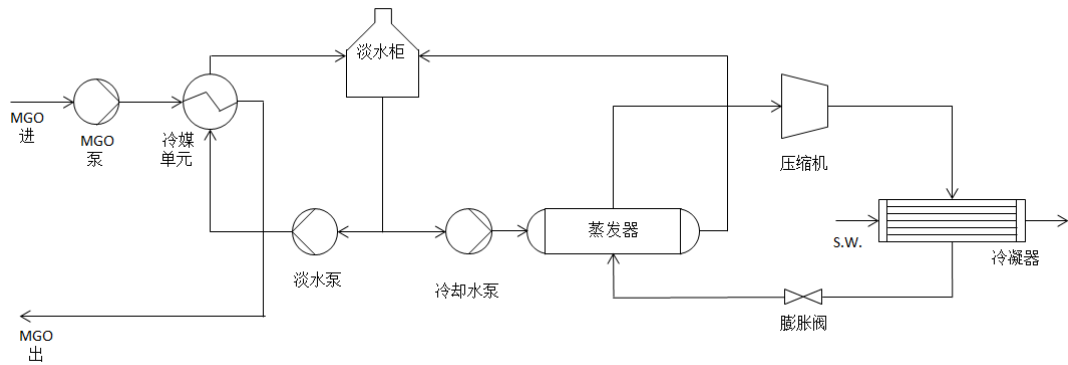


图7 Chiller Unit流程图

了减少油泵泄露、偶件磨损，就需要尽量降低燃油温度，提高其粘度和润滑性，这两点在管理上是矛盾的。此机型配置的板式燃油冷却器，相比壳管式冷却器其特点就是传热效率高、易于安装和清洗，设计上由于高温回油通往冷却器进油口，使得进机油温升高，携带的杂质会造成油泵等部件的二次磨损，尤其是在海水温度较高、柴油机低负荷运转时，冷却器的使用效果变得更差。

3.2.2 MGO 冷却系统管理

根据本船柴油机使用说明及粘温曲线图分析，燃油喷射温度控制在 20℃最佳，粘度可达 6cst。本船安装的低硫油冷媒系统（Chiller Unit）该开而未开，仅仅依靠板式冷却器远远达不到柴油机使用温度要求。如图 6 所示的 Chiller Unit 实际上就是使用 PLC 或 MPC 控制技术的制冷单元，可以实现压缩机进出口压力、冷媒温度以及 MGO 温度等参数监控及报警，通过设定冷媒出口温度来实现 MGO 温度的基本恒定，也就使得其年度相对稳定，可大大降低 MGO 粘度低、润滑性差所造成的危害。故应做好低硫油冷媒系统的维护管理，保持设备的正常运转。

4 结束语

实施 MGO 精细化管理是当前船上工作的重中之重，是保证柴油机等关键设备稳定运行的基础。使用 MGO 还必须注重储存、驳运、净化、供给等操作，各环节之间是息息相关的，需要在管理实践中做好参数分析、经验总结，针对性的执行预防管控措施。不能按照以往使用高硫油的惯性思维操作，否则会造成燃油浪费和设备故障频发，增加运营成本和船舶安全隐患。

参考文献：

[1] 中国海事服务中心. 船舶管理 [M]. 大连海事大学出版社

社，2012（6）

[2]ISO, 2017. Petroleum Products—Fuels(class F)—Specifications of Marine Fuels. ISO 8217:2017.

[3] 张伟刚,程晓夏,佟佳洋,孙炉钢. 柴油硫含量对柴油机使用的影响 [J]. 船舶与海洋工程,2015,31(02):48-51.

[4] 李锐,王海燕,丁勇根. 船舶燃油系统使用低硫油的应对新措施 [J]. 交通节能与环保,2013,9(01):46-50.

[5] 郭昂,陈嘉伟,陈旭清,张京坤,李冬兰. 低硫油系统在某科考船的设计及应用 [J]. 青岛远洋船员职业学院学报,2018,39(03):15-18.

[6] 吴芳. 船舶燃用低硫燃油的问题分析与系统设计 [J]. 江苏船舶,2010,27(05):23-25+39.

[7] 周兰喜. 船舶低硫燃油的使用对船舶设计的影响及对策 [J]. 江苏船舶,2011,28(04):31-35.

[8] 沈蕾. 船舶低硫燃油系统改进与研究 [J]. 内燃机与配件,2019(14):110-111.

[9]A. Ait Allal,K. Mansouri,M. Youssfi,M. Qbadou. Toward an evaluation of marine fuels for a clean and efficient autonomous ship propulsion energy[J]. Materials Today: Proceedings,2019,13.