

船用精馏燃油冷却系统的应用

高 岑, 郑 毅

(约克船舶冷冻(中国)有限公司, 上海 200122)

摘 要: 随着环保立法对船用燃油含硫量的限制, 柴油机将不得不使用含硫量很低的精馏燃油; 精馏燃油的低黏度成为燃油系统的最大隐患, 降温成为提高燃油黏度的最主要措施; 详细介绍了约克船用精馏燃油冷却系统。

关键词: 船用柴油机; 精馏燃油; 燃油冷却; 船用冷水机组

中图分类号: TE626.25; U664.81*2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)03-0032-04

The Application of Marine Distillate Fuels Cooling System

Gao Cen, Zheng Yi

(York Refrigeration Marine (China) Ltd., Shanghai 200122)

Abstract: With the enforcement of strict regulations on marine fuel's sulphur limits, the diesel engines have to use distillate fuels with low sulphur content. However, the low viscosity of distillate fuel will increase the operation risks on the fuel system. To get a safe viscosity, cooling the distillate fuel inlet temperature is a recommended solution. York marine diesel oil (MDO) cooling system is introduced in detail.

Keywords: marine diesel engine; distillate fuel; fuel cooling; marine chiller unit

1 船用燃油硫化物排放的控制法规

随着环境立法对船舶靠近海贸易区以及硫排放控制区(SECA)和特别敏感海域硫化物(SO_x)排放要求的提高, 特别是 MEPC57 对 MARPOL 附则 VI 修正案及其他一系列国际环保法规的执行, 含硫量很高的重油(HFO)在更多的区域被限制使用, 取而代之的是含硫量很低的精馏燃油, 即船用重柴油 MDO(MARINE DIESEL OIL)和船用轻柴油 MGO(MARINE GAS OIL)。表 1、表 2 分别是现行的船用燃油硫化物排放标准和即将实施的船用燃油硫化物排放标准。

2 精馏燃油带来的问题

船用柴油机及其供油系统是按照重油(HFO)的含硫量、黏度和润滑性能设计并优化的, 使用精馏低硫低黏燃油会带来诸多问题。

重油燃烧产生的硫酸对缸套有腐蚀作用, 但适度的腐蚀对缸套润滑非常有益。适度腐蚀可以使缸套表面的石墨层保持蓬松, 有助于润滑油的保存和扩散。因此, 使用带有中和基的润滑油的目的不是彻底消除腐蚀, 而是将腐蚀控制在一定程度。这就需要根据燃油硫含量来选用相应润滑油(如 MAN 公司的 BN40 气缸油), 或者优化润滑油喷油速度, 从而控制酸性中和效果。中和过度会彻底避免腐蚀, 缸套表面石墨层会紧闭。像镜子一样闪亮的缸套表面表明石墨层紧闭和活塞表面有沉积物, 这大大增加了拉缸的风险。

和重油相比, 低硫燃油的黏度很低, 低黏度会大大降低润滑性能, 并引起燃油泵抱轴等一系列问题。尽管 ISO8217:2005 规定柴油 MDO 在 40℃时的黏度不能低于 1.5cSt。但 MAN 公司根据多年的经验建议, 发动机入口处燃油黏度高于 3cSt, 可以保证油泵及其他供油元件正常工作。

收稿日期: 2010-01-14

作者简介: 高岑(1971-), 男, 硕士, 主要从事空调节能环保技术的研究, E-mail: charles.gao@jci.com。

如图 1 所示，横向轴表示油的黏度，纵向轴表示温度。根据 ISO8217DMA/X 标准，40 ℃ 时黏度为 4cSt 的船用轻柴油如果在发动机入口处温度达

到 55 ℃ 时黏度就降为 3cSt；同样 40 ℃ 时黏度为 2cSt 的船用轻柴油 MGO 必须降温到 18 ℃ 才能达到 3cSt 的黏度要求。

表 1 现行的船用燃油硫化物排放标准

实施日期	含硫限制 /(% m/m)	燃油级别	实行区域	相关法规
已实施	4.5	所有等级	全球限定	MARPOL 附件 VI
	0.1	船用轻柴油	欧盟区域和海域	欧盟 1999/32 指令 1882/2003 修正和欧盟 2005/33 指令
	1.5	所有级别	波罗的海/北海硫排放控制区	欧盟 1999/32 指令 1882/2003 修正和欧盟 2005/33 指令加 MARPOL 附件 VI
2009 年初	1.5	船用轻柴油(DMA)	加州水域和加州海岸 24 哩	美国加州空气资源委员会 (在船舶辅机上强制使用船用轻柴油或船用重柴油最大限度控制硫排放)
	0.5	船用重柴油(DMB)		
2009 年 7 月 1 日	0.5	船用重柴油(DMB)		美国加州空气资源委员会 (在船舶主机和锅炉上强制使用船用轻柴油或船用重柴油最大限度控制硫排放)

表 2 即将实施的船用燃油硫化物排放标准

实施日期	含硫限制 /(% m/m)	燃油级别	实行区域	相关法规
2010 年 1 月 1 日	0.1	所有等级	欧盟内陆水道及船舶停泊时间超过 2 小时的区域	欧盟 1999/32 指令 1882/2003 修正和欧盟 2005/33 指令
2010 年 7 月 1 日	1.0	所有等级	波罗的海/北海硫排放控制区	MEPC. 176(58)采用的 MARPOL 附件 VI 修正案
2012 年 1 月 1 日	3.5	所有级别	全球限定	MEPC. 176(58)采用的 MARPOL 附件 VI 修正案
2012 年 1 月 1 日	0.1	船用轻柴油(DMA) 船用重柴油(DMB)	加州水域和加州海岸 24 哩	美国加州空气资源委员会 (在船舶辅机上强制使用船用轻柴油或船用重柴油最大限度控制硫排放)
2020 年 1 月 1 日	0.5	所有级别	全球限定	MEPC. 176(58)采用的 MARPOL 附件 VI 修正案

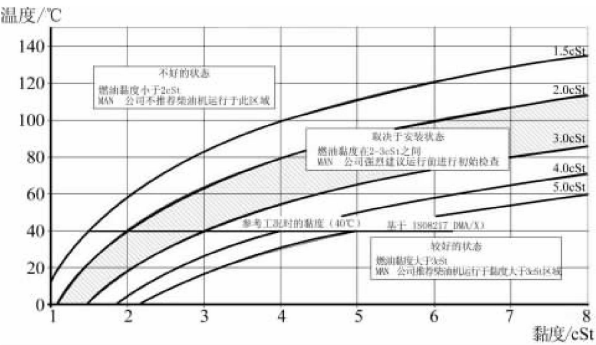


图 1 燃油温度和黏度的关系

通常发动机入口的温度可能高达 60 ℃，要保持燃油低温和黏度，唯一的措施就是在燃油系统中（图 2 所示的位置）增加燃油冷却装置，一般推荐将燃油冷却系统安装于燃油循环泵后主机入口之前，也可以根据需求安装于循环泵前（图中黑点）的位置。

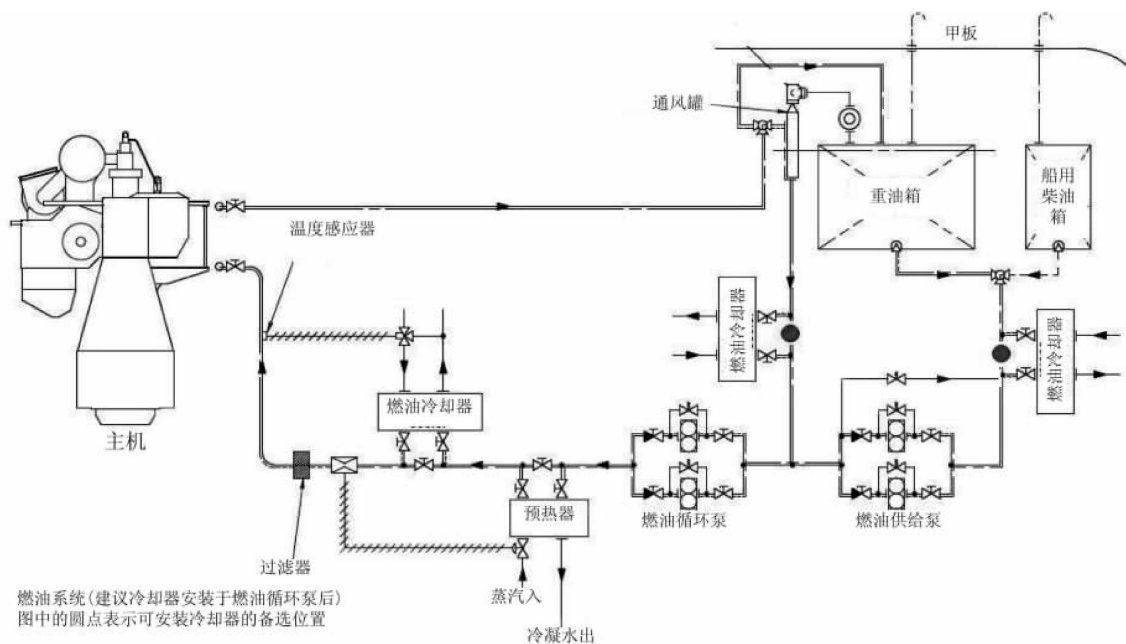


图2 MDO/MGO 燃油冷却系统建议安装位置

3 船用精馏燃油冷却系统的设计

3.1 技术要求

船用燃油冷却系统有自己独特的技术要求。冷却系统必须满足负荷从 0 到 100% 变化的要求，尤其是要保证在燃油流量非常小的情况下的小负荷运行；为了避免燃油系统部件在剧烈的热胀冷缩时变形造成损坏，根据 MAN 公司的建议，冷却系统必须保证每分钟不得超过 2℃ 的最大温度降；冷却器表面温度必须保持在燃油倾点（Pour Point）以上，以防冷却器堵塞。此外，系统设计时要综合考虑设计温度、燃油箱位置以及燃油系统的类型，以正确计算冷却系统负荷。

计算 MDO/MGO 燃油冷却系统负荷时，必须考虑燃油系统满负荷和部分负荷运行时的冷量，即主机、辅机、锅炉等设备同时运行的情况和部分运行时的状态，以保证随着燃油的消耗，冷却系统能维持稳定的燃油温度。建议的设计参数为：

MDO/MGO 最高油箱温度：45℃；

MDO/MGO 冷却器出口温度：10~15℃；

参考燃油供油或循环泵的参数来计算冷却燃油的流量。

3.2 系统设计

燃油冷却有四种设计思路：① 利用船舶低温冷却水系统简单地加装一个换热器；② 在燃油供

油系统上加装海水换热器，利用海水冷却；③ 安装直接膨胀式制冷系统，利用制冷剂冷却；④ 设计冷水机组，利用冷冻水冷却。

以上第一、二方案由于冷却水温的局限性达不到理想稳定的设计工况，从而无法根本满足燃油系统冷却的要求。直接膨胀式制冷机组具有简单和相对经济的特性，不过由于直膨机组很难维持一个稳定的换热器表面温度，并且几乎不可能连续运行于 25% 以下的低负荷状态；此外，如果直膨式机组发生制冷剂泄漏混入燃油，对整个船机燃油系统将造成极大的危害。因此，选用船用冷水机组（Marine Chiller Unit）来冷却燃油成为最可靠的方案^[1]。与其他系统相比，冷水机组可以长期运行于低负荷工况，并可精确控制冷却器的表面温度；冷水机组的可靠性好，即便发生泄漏，对燃油系统的影响也较小；此外，冷水机组安装和调试简单易行，特别适合现场施工和加装改造。

图 3 为江森自控集团的约克公司推出的船舶燃油冷却系统（MDO/MGO Cooling System），它选用应用广泛的约克船用冷水机组（图 4），配备船用精馏燃油冷却器，可以简单对接燃油系统。该系统可同时使用多种制冷剂，单机组的设计冷量从 50 kW 到 285 kW，以满足各类燃油系统要求。表 3 为约克冷水机组的部分参数。

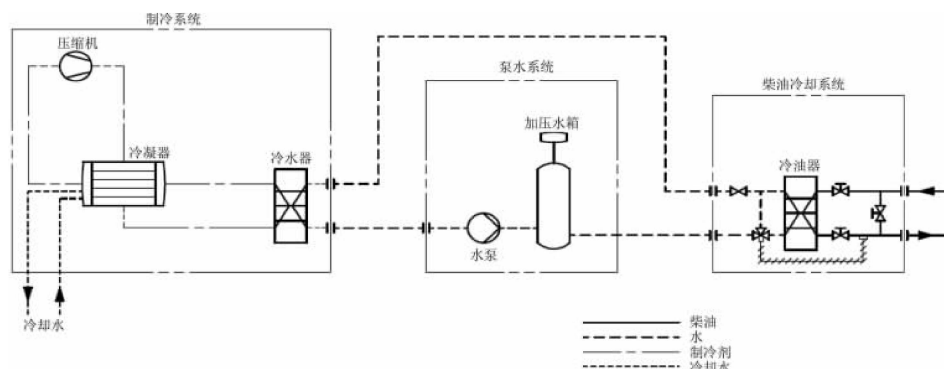


图3 约克船用冷水机组的燃油冷却系统设计

表3 约克冷水机组参数

R404A 系统	外形/mm × mm × mm	维修面积/mm ²	重量/kg	制冷量/kW	图号
MCSH - P/4H - CRxC271954	2538 × 1610 × 1850	800/1900	980/1019	57/67	661036 - 0104
MCSH - P/6J - CRxC271954	2538 × 1610 × 1850	800/1900	1010/1080	74/88	661036 - 0105
MCSH - P/6H - CRxC271954	2538 × 1610 × 1850	800/1900	1020/1112	85/100	661036 - 0106
MCSH - P/6G - CRxC272366	2918 × 1610 × 1850	800/2300	1065/1222	98/115	661036 - 0112
MCSH - P/6F - CRxC411913	2627 × 1610 × 1850	800/1900	1292/1338	116/136	661036 - 0113
MCSH - P/8GC - CRxC411913	2627 × 1610 × 1850	800/1900	1335/1422	136/164	661036 - 0114
MCSH - P/8FC - CRxC411913	2627 × 1610 × 1850	800/1900	1360/1437	161/194	661036 - 0115
MCSH - P/66G - CRxC501918	2804 × 1610 × 1850	800/1900	1690/1823	196/231	661036 - 0110
MCSH - P/66F - CRxC501918	2804 × 1610 × 1850	800/1900	1690/1823	231/273	661036 - 0111

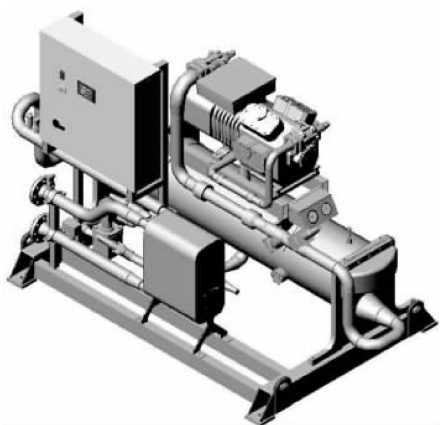


图4 约克的船用冷水机组 MCU

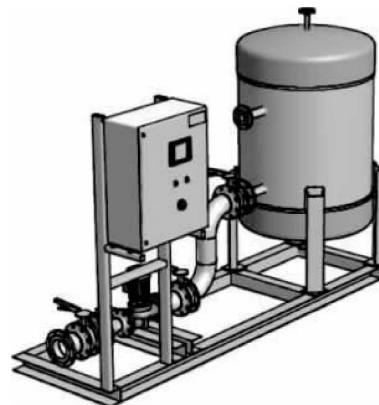


图5 冷冻水系统：泵和缓冲水箱

冷冻水系统(图5)包含缓冲水箱、水泵和启动控制箱，分别和冷水机组和燃油冷却器相连。水系统的启动控制面板和冷水机组的 PLC 控制器连接，控制水温和流量。燃油冷却器(图6)装有三通阀和温度传感器以连接燃油管路。作为模块化组件，燃油冷却器也可以安装在水泵和缓冲水箱的框架上。

船用燃油冷却系统采用约克独有的 PLC 控制系统控制冷水机组、水泵和油冷却器，以达到稳定的工况，从而确保将最佳温度和黏度的燃油供给主机。作为备选方案，PLC 可以连接到整个船舶的网络以实现远程监控。

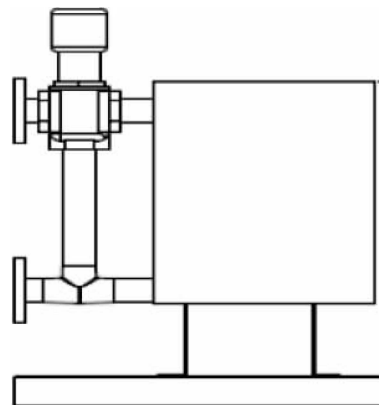


图6 MDO 燃油冷却器

(下转第 44 页)

结合配气机构的结构可以确定：推杆弯曲必然受到除气门弹簧压缩力以外，来自气缸内的更大作用力。

2.4 综合分析

该型号柴油机配气相位见图 7。气门间隙对配气相位的影响见表 6。

正常情况下，进气重叠角为 $52^{\circ}30'$ ，当气门间隙为 1 mm 时，重叠角变为 $5'$ ，当气门间隙为 1.5 mm 时，已经没有重叠角。

根据检测，故障柴油机进排气门间隙都存在放大现象，因此结合该型号柴油机的配气机构工作原理，对推杆弯曲的故障机理分析如下：

由于摇臂本身力学性能不足，使其在运行过程中，逐渐发生变形，气门间隙逐渐增大，气门重叠角随之减小，燃烧废气无法正常排出，缸内工作压力增大。在活塞运行到上止点附近位置时，气缸内压力正处在高压状态，此时气门打开，无疑给整个配气机构增加了额外的力量，并且高次方凸轮在气门间隙大时对配气机构的冲击更大，从而导致配气机构中的零件变形加剧，变形又相应地增大了气门

间隙。这样整个配气机构处在了一个恶性循环之中，最终使机构的最薄弱环节——推杆因弯曲变形过大而失效。

3 故障复现

为了验证故障定位的准确性，进行了故障复现的试验。在试验机上，人为地将各缸的气门间隙进行了加大，最大气门间隙设定为 2.5 mm。当发动机运行到 93 h 时，推杆弯曲故障复现。

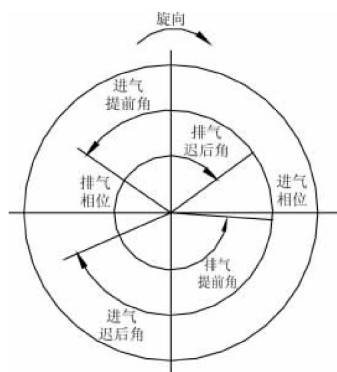


图 7

表 6 气门间隙对配气相位的影响

	挺柱及气门无间隙		进、排气门间隙为 0.2、0.3 mm		气门间隙都为 1 mm		气门间隙都为 1.5 mm	
	气门开	气门关	气门开	气门关	气门开	气门关	气门开	气门关
进气	上止点前 $55^{\circ}30'$	下止点后 $66^{\circ}30'$	上止点前 $27^{\circ}30'$	下止点后 $38^{\circ}30'$	上止点后 $0^{\circ}17'$	下止点后 $10^{\circ}43'$	上止点后 6°	下止点后 5°
排气	下止点前 86°	上止点后 54°	下止点前 57°	上止点后 25°	下止点前 $32^{\circ}22'$	上止点后 $0^{\circ}22'$	下止点前 26°	上止点前 6°

4 结 论

通过故障分析和故障复现可以得出结论：摇臂本身力学性能不足，使柴油机在运行过程中，气门间隙不断增大；气门间隙异常给整个配气机构施加了额外的作用力，最终导致了推杆的弯曲失效。

(上接第 35 页)

2009 年夏天，约克公司丹麦的技术人员多次与哥本哈根 MAN 柴油机总部就上述系统进行了技术交流，最终达成一致：上述船用燃油冷却系统成为 MAN 公司《船用精馏燃油运行指南》^[2]中推荐的方案。

4 结 论

船用冷水机组是船用精馏燃油冷却系统的最佳选择，完全可以满足低硫燃油 MDO/MGO 的降温

升黏要求。与其他降温方案相比，冷水机组燃油冷却系统具有负荷范围大、温度精确、稳定可靠、易于安装的特点，也是 MAN 公司认可并向客户推荐的方案。

参考文献

- [1] Johnson Controls. York MDO Cooling System[R]. 2009,9.
- [2] MAN Diesel. Guidelines on Operation on Distillate Fuels: Service Letter SL09-515/CXR[R]. 2009.9.

参考文献

- [1] 王文斌. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [2] 魏春源,张卫正,葛蕴珊. 高等内燃机学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001.