

# 随负荷调节的主机气缸套冷却水系统及其运行分析

崔向东<sup>1</sup> 王立成<sup>2</sup>

(1.青岛远洋船员职业学院; 2.大连远洋运输公司)

## 0 引言

航运市场不景气、船舶营运效益下降,船舶所有人纷纷采用降低航速来节约运营成本,主机降负荷运行甚至长时间低负荷运行已成为常态。

商船主机大多为二冲程柴油机,长时间低负荷运行会带来气缸套低温腐蚀、因气缸套冷却水温度低造成造水机无法运行、电动辅助鼓风机不具备长时间运转性能而烧毁等新问题。前2个问题与主机低负荷运行时气缸套热负荷低直接相关,可通过改进气缸套冷却系统和保持主机低负荷运行时气缸套冷却水温度解决。

保持较高的气缸套冷却水温度,对主机低负荷的安全、经济、可靠运行至关重要,主要表现在:(1)防止气缸套低温腐蚀;(2)降低气缸套和气缸盖热应力,防止热疲劳裂纹;(3)减小冷却热损失,提高主机经济性;(4)延长主机使用寿命。<sup>[1]</sup>

## 1 随负荷调节的气缸套冷却水系统

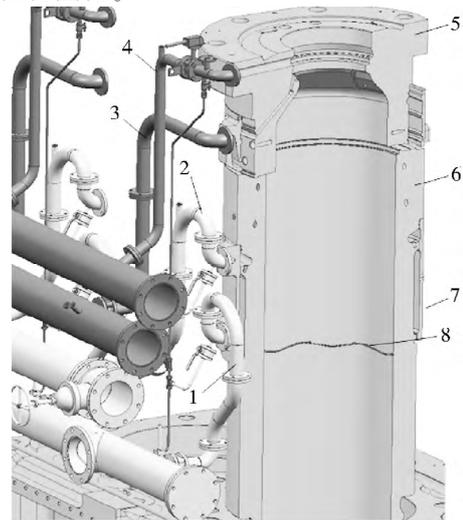
### 1.1 工作原理

2014年建造的30万吨级油船“COSFLYING LAKE”轮选用MAN B&W ME-C 9.2型(7S80ME-C)柴油机作为主推进装置,基于VLCC长期降速航行常态化的现状,采用随负荷调节的气缸套冷却水系统的新技术。交船后,主机经过6个月左右的实际运转,验证该技术可保证主机从低负荷至高负荷全工况运行范围气缸套和气缸盖较高的工作温度,提高主机低负荷性能和造水机的利用率。

随负荷调节的气缸套冷却水系统局部示意图见图1,系统示意图见图2。相对于传统的主机高温淡水冷却系统,新系统主要增加的设备和附件包括:气缸套冷却水出口管、气缸盖冷却水进口管、气缸套冷却水循环泵、冷却水进口控制器(控制冷却水进系统温度)、气缸套冷却水控制器(控制气缸套冷却水出口温度)以及冷却水控制单元等。该系统可根据主机负荷,通过气缸套冷却水控制器和冷却水进口控制器,改变气缸套冷却水温度。即当主机低负荷运行时,提高气缸套循环水温度;当主机高负荷运行时,气缸套循环水温度按照程序预设值逐渐降至正常值。冷却水进口控制器和气缸套冷却水控制器温度设定值见表1。

主机在50%及以下负荷运行时,气缸套冷却水出

口温度高达120℃,因此MAN公司重新设计气缸套和冷却水套结构、气缸注油接头位置,气缸套密封圈也采用过氧化物固化。



1—气缸套冷却水进口管;2—气缸套冷却水出口管;3—气缸盖冷却水进口管;4—气缸盖冷却水出口管;5—气缸盖;6—气缸套;7—气缸套冷却水套;8—气缸注油孔

图1 随负荷调节的气缸套冷却水系统局部示意

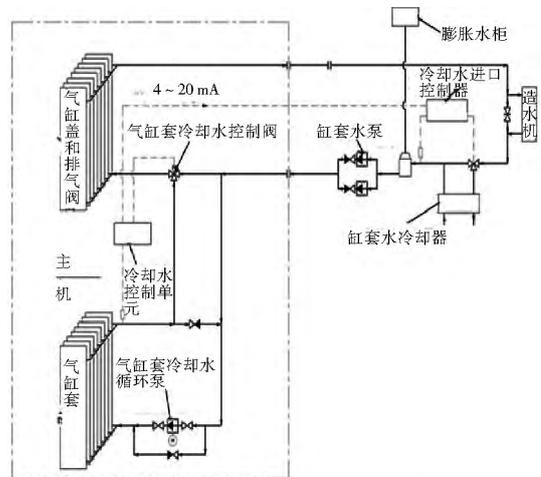


图2 随负荷调节的气缸套冷却水系统示意

表1 冷却水进口控制器和气缸套冷却水控制器温度设定值

主机负荷/%	0	10	25	50	70	90	100	110
气缸套冷却水控制器温度设定值/℃	120	120	120	120	115	81	80	80
冷却水进口控制器温度设定值/℃	85	85	83	78	76	74	74	74

主机运行时,气缸套出口温度传感器监测的模拟量信号被输送到冷却水控制单元;冷却水控制单元根据当前主机负荷对应的气缸套冷却水出口温度进行系统分析,输出信号(4~20 mA)分别控制调温阀。当主机在 10%及以下负荷运行时,冷却水进口控制控制旁通水量增多,去缸套水冷却器的水量减少,按冷却水进口温度 85℃进行调节;同时,冷却水控制单元使气缸套冷却水控制阀开度减小,高温水去往气缸盖进口管的水量减少,循环回气缸套进口管的水量增加,按气缸套冷却水出口温度 120℃进行调节。当主机 100%负荷运行时,冷却水控制单元按冷却水进口温度 74℃进行调节,气缸套冷却水出口温度按照 80℃进行调节。因此,在主机全工况范围内,气缸套冷却水出口温度随主机负荷在 80~120℃自动调整。

## 1.2 系统信息界面和主要报警监测

该船主机在 50%负荷运行时的气缸套冷却水系统信息界面见图 3。通过查看该界面,值班轮机员可以快速明确当前系统运行过程信息,包括:(1)随负荷调节的气缸套冷却水系统状态为“自动”;(2)冷却水进口温度设定值为 78℃,检测值为 78℃;(3)气缸套冷却水出口温度设定值为 117℃,检测值为 117℃;(4)气缸盖冷却水出口温度设定值为 85℃,检测值为 85℃;(5)气缸套冷却水控制阀开度设定值为 22%,检测值为 22%;(6)气缸套冷却水循环泵状态监测为“运行”,进口压力检测值为 4.82 bar,出口压力检测值为 5.48 bar。

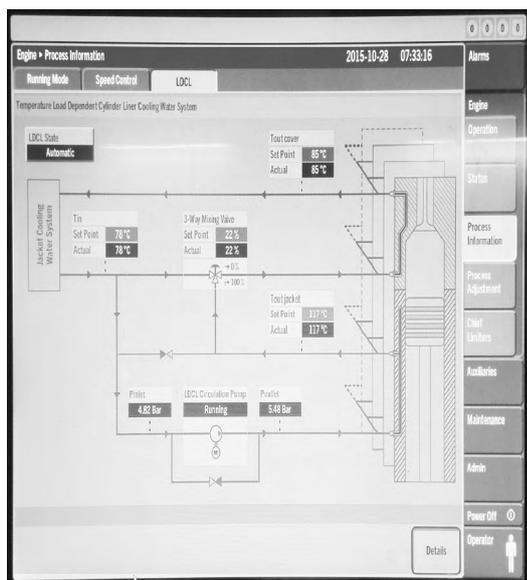


图 3 系统信息界面

系统在运行期间会检测一些信号作为当前数值,以判断系统和附属设备的状态。这些信号包括:(1)主机负荷;(2)冷却水出口温度;(3)气缸套冷却水出口温度;(4)冷却水进口温度;(5)气缸套冷却水控制阀开度;(6)冷却水进口调温阀开度;(7)气缸套冷却水循环泵进口压力和出口压力。

由图 2 可知,气缸套冷却水循环泵管路下的并行管路上有 1 个止回阀,在系统运行期间,泵进出口的压差使该止回阀关闭。如果气缸套冷却水循环泵发生故障而应急停止,那么泵的进口压力大于出口压力,使得并行管路中的止回阀开启;同时一部分冷却水仍可通过循环泵管路流通,因压差导致的系统报警使得气缸套冷却水控制阀全部开启,此时主机气缸套冷却的流动方式与 MC 主机相同。因此,在气缸套冷却水循环泵失效后,该缸套水系统仍可以保证主机气缸套的正常冷却。

随负荷调节的气缸套冷却水系统在运行期间一旦监测到信号异常,冷却水控制单元会发送报警信号并进行状态指示。状态指示包括 3 个指示灯(红色、黄色和绿色)和 2 个按钮(蓝色为报警确认按钮,黑色为试灯按钮):当气缸套冷却水循环泵不正常停止和高温冷却水循环不畅时,红色指示灯亮,应立即查找和排除故障;当报警已经发生但报警状态不再出现时,黄色指示灯亮,应按下蓝色按钮激活系统以确认报警;系统运行期间没有报警,则绿色指示灯亮。

## 2 随负荷调节的气缸套冷却水系统运行问题分析

“COSFLYING LAKE”轮主机经过前 4 个月 2 300 h (50%负荷以下的运转时间约为 1 800 h,15%负荷以下的运转时间约为 500 h)的运行后,轮机员详细检查主机缸套内表面,未发现任何低温硫酸腐蚀的迹象;在主机负荷降至 15%时,造水机能保持较高的造水能力,日造水量达 25 t。

系统在运行中也出现过一些问题,表现在以下 2 个方面。

### 2.1 50%负荷下 120℃高温的缸套循环水对结构及设备运行问题

(1)气缸套冷却水循环泵出口管路中的抱箍连接软管多次泄漏。为避免主机振动对系统管路造成整体损坏,在气缸套冷却水循环泵出口设计软管连接。在船舶投入营运后,该船主机缸套水保持 120℃的高温常态,短时间内接连发生多起抱箍密封材料泄漏问题。

经观察确认,泄漏全部发生在主机长时间低负荷运行后的抵港降速停车过程中。主机降速停车期间,缸套水由 120℃大幅降至 80℃,导致橡胶热胀冷缩;长期高温也会导致密封橡胶材料老化;主机运转期间泵出口管路的振动,导致抱箍内部橡胶材料的跟踪性变差。这些原因综合导致冷却水泄漏,现场拆检结果也验证泄漏成因。

抱箍连接软管已成为该型主机运行的重大隐患,严重时甚至影响船舶航行安全。虽然厂家对抱箍设计进行改善,但因抱箍所处位置为主机振动部位,橡胶高温老化和热胀冷缩工况继续存在,改善后的抱箍最终

仍会漏水。厂家应重新设计气缸套冷却水循环泵的安装位置和安装支架,减轻振动,取消抱箍软管连接,彻底消除高温冷却水泄漏的隐患,保证船舶航行安全。

(2)主机气缸油高温报警。主机气缸润滑采用独立的电子气缸润滑系统,厂家要求气缸油温度保持在40~45℃,故气缸油管线安装有电加热伴温装置。

由图1可知,各气缸注油接头位于气缸套冷却水套下方,虽然没有经过冷却水空间,但相距很近。当主机在80%负荷全速航行时,气缸油的消耗约为550L/天,气缸套结构空间的高温对于气缸油的温升影响不明显;当船舶处于长期低速航行时,气缸油的消耗量降低,实际观察到气缸油的温升比较明显,在极端情况下达到过75℃(高温报警值为70℃)。

由表1可知,当主机在50%及以下负荷运行时,气缸套冷却水出口温度为120℃。此时,主机气缸油注油量随负荷降低而减小,但气缸套空间温度高,气缸油温度也会明显升高。气缸油高温报警不会触发主机安保降速,但会降低气缸油的润滑性能,加剧气缸套内壁积碳、磨损,船公司和轮机管理人员应引起高度重视。<sup>[2]</sup>厂家应重新优化设计气缸注油接头和注油孔的位置,保证主机缸套在极端降速工况下的良好润滑。目前,轮机管理人员可在主机长期低负荷运行期间,少量增加气缸油的注油量。

## 2.2 气缸套冷却水系统软件设计缺陷导致气缸盖冷却水产生过大的热冲击问题

该船在首航时发生过2次主机气缸盖冷却水高温报警。经确认,报警发生前主机负荷在70%临界点,缸套水温度为115℃,气缸盖冷却水为85℃;报警发生时驾驶室正在进行转舵操纵,且主机负荷增加至78%。

由表1可知,在70%~90%主机负荷运行时,缸套水温度控制为115~81℃,呈下降曲线变化;78%主机负荷下,缸套水的温度在100℃左右。由图2可知,气缸套冷却水系统中的缸套冷却水控制阀大幅开启,高温的缸套冷却水大量进入气缸盖冷却系统,造成强烈的热冲击。系统采用PI控制器,控制动作迟滞,主机负荷在70%~80%不稳定增加过程中,气缸盖冷却水高温瞬间报警,主机面临降速危险。

与上述情形相似的工况还有:船舶突然遇到大风逆行或逆流航行瞬间、船舶由深水区到浅水区航行瞬间、船舶由开敞水域到狭窄水域航行瞬间等。值班期间遇到上述航行工况时,轮机管理人员应及时降低主机负荷,待外部负荷扰动消失后再恢复先前工况。航行工况改变瞬间,气缸盖高温报警虽不具有经常性,但仍然是影响船舶航行安全的一大隐患。主机厂家应更改主机70%~80%负荷对应的冷却水控制单元设定参数和控制器参数,更好地消除隐患,确保船舶航行安全。

## 3 结束语

随负荷调节的气缸套冷却水系统对主机厂家是新技术,对轮机管理人员更是新技术,经过系统运行验证,该项新技术为船舶长时间低速航行安全提供技术保障。运行中出现的一些问题,表明该系统目前尚不完善,还需要主机厂家进一步改进,也需要轮机管理人员尽快掌握管理技能,提高主机管理水平,杜绝事故隐患。

### 参考文献

- [1] 周明顺. 船舶柴油机[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2014.
- [2] 孙培廷. 船舶柴油机[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2002.

### 作者简介:

崔向东, 轮机长, 副教授, (E-mail)cuixd@coscoqmc.com.cn;  
王立成, 轮机长, (E-mail)wlcheng666@163.com

(编辑 陈锋杰)

## 船舶环保新标准实行

2016年1月1日起,国际船舶氮氧化物排放的新标准生效,以应对越来越严峻的气候环境。

IMO 海洋环境保护委员会(MEPC)在2013年5月17日举行的第65次大会上讨论并通过《防止船舶污染国际公约》有关氮氧化物的修订草案,将排放控制区域有关实施氮氧化物排放控制技术章程第三层标准(Tier III)的时间推迟到2021年1月1日。但到2014年,迫于各方压力,这一标准被提前至2016年1月1日生效,而且标准更为苛刻。

据悉,氮氧化物排放控制要求是针对输出功率超过130 kW的船用柴油机,根据船舶建造日期不同会有不同的层次标准。

氮氧化物排放控制技术章程第三层标准仅适用于在排放控制区域内运行的特定船舶氮氧化物的排放。此区域之外的地方施行氮氧化物排放控制技术章程第二层标准(Tier II)。

## 中国海事仲裁年度报告首次发布

2015年12月24日,中国海事仲裁委员会正式发布《中国海事仲裁年度报告(2014)》(简称《年度报告》),这是首次针对中国海事仲裁发展所作的年度总结,具有开创性意义。

《年度报告》主要有三大亮点:一是对我国海事仲裁发展宏观环境进行深入分析,解读海事仲裁在“一带一路”、自贸试验区改革、航运中心建设等国家战略中的重要作用。二是对中国海事仲裁实践作细致入微的样本分析,包括案件管理数据、仲裁规则及制度创新、典型案例等。三是对中国海事仲裁司法协助与监督进行梳理。报告的海事仲裁司法协助与监督部分,相关数据具有权威性,所选取的案例具有典型意义,评论视角亦可反映我国司法的主流意见,使得《年度报告》具有重要的研究价值和参考意义。