

船舶主机 ALPHA 气缸油注油器系统实船应用探析

孙 飞

浙江交通职业技术学院, 浙江 杭州 311116

[摘要]ALPHA 气缸油电子注油器不仅具有准确的供油定时, 而且能够根据主机的平均有效压力(油门及转速)的变化及时改变气缸油供油量, 与传统的机械注油器相比, 有着能使气缸保持良好的润滑状态、节省气缸油、降低废气颗粒排放等优点。了解 ALPHA 气缸油电子注油器的结构组成、工作原理, 研究其注油率的调节和使用管理等等, 对轮机管理人员来说显得尤为重要。

[关键词]ALPHA 注油器; 维护管理; 注油率调节; 船舶主机

DOI: 10.64635/ja.2026.1377

中图分类号: U664.121

文献标识码: A

Analysis of the Onboard Application of the ALPHA Cylinder Oil Lubricator System for Marine Main Engines

Sun Fei

Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou, Zhejiang 311116, China

Abstract: The ALPHA cylinder oil electronic lubricator not only provides accurate oil supply timing, but also adjusts the cylinder oil feed rate in real time according to changes in the mean effective pressure of the main engine, as reflected by throttle opening and rotational speed. Compared with traditional mechanical lubricators, it offers advantages such as maintaining good cylinder lubrication, saving cylinder oil, and reducing particulate emissions in exhaust gas. For marine engineering management personnel, it is particularly important to understand the structural composition and working principles of the ALPHA cylinder oil electronic lubricator, and to study its feed-rate adjustment, operation, and maintenance management.

Keywords: ALPHA lubricator; maintenance management; feed-rate adjustment; marine main engine

引言

随着国际原油价格上涨与低质燃油的普及, 船舶运营面临燃料成本激增与润滑效能下降的双重挑战, 尤其在长冲程、高爆压的现代低速二冲程柴油机中, 传统机械气缸油注油系统暴露出显著缺陷: 过量注油导致积碳加剧、扫气箱着火风险攀升, 而注油不足则引发缸壁异常磨损甚至咬缸事故, 同时气缸油耗率从 $0.26\text{g}/(\text{bhp h})$ 激增至 $1.2\text{g}/(\text{bhp h})$, 占主机维保成本超 70%。为此, MAN B&W 公司推出的 ALPHA 电子气缸油注油系统通过三大革新突破困局: 结构上采用模块化电子注油单元取代链条机械系统, 集成共轨控制实现空间优化; 技术上通过实时感知平均有效压力、转速及负荷动态调节注油量, 并配备应急模式应对突变工况; 性能上以精准定时供油确保油膜完整性,

使油耗降低 40%~60%, 同时缩短磨合周期 30%、延长吊缸维护间隔, 辅以智能磨合程序减少初期损耗。该系统的应用倒逼轮机管理升级, 要求轮机员掌握电子共轨控制逻辑与多模式切换技能, 并具备油量传感器等核心部件的维护能力。以下介绍 ALPHA 电子气缸油注油器的结构组成及工作原理、运转模式、操作使用, 以及维护保养等方面情况, 希望有助于轮机人员对该类装置的使用和管理。

1 结构及工作原理

该气缸油注油器主要由泵站 (Pump Stand)、各缸注油器 (Lubricator)、角度编码器 (Angle Encoder)、油门刻度发送器 (Load Transmitter)、测速采样传感器 (Tacho Pick-ups)、人机界面 (HMI)、主控单元 (MCU)、备控单元 (BCU) 等组成。ALPHA 油注油器系统如 (图 1) 所示:

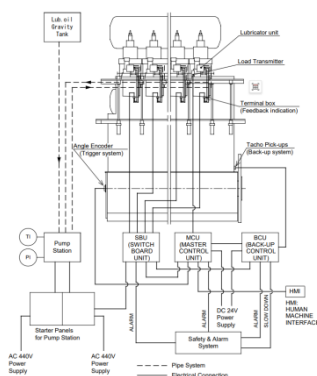


图 1 ALPHA 注油器系统

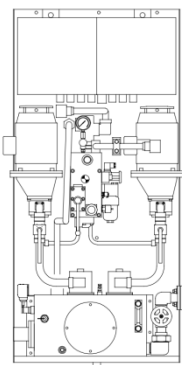


图 2 泵站

泵站 (Pump Stand): 由两台增压油泵、加热器、过滤器和吸入油柜组成。增压油泵用于把气缸油增压到 40~50bar。泵站启动盘电源由两路电源供电，确保油泵供电可靠。(图 2)

注油器 (Lubricator): 缸径在 700~980mm 的大型柴油机每缸有两个注油器，中小缸径的柴油机设置一个注油器，每个注油器有 3~6 个注油柱塞。注油器的进出口处各设置一个氮气储压器，进口储压器压力 25~30bar，用于主机起动之初注油泵未启动时供应气缸油；出口储压器压力 1.5bar，用于提供一定的背压。每个注油器上还安装有反馈传感器和电磁阀。(图 3)

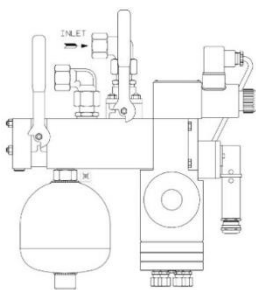


图 3 注油器

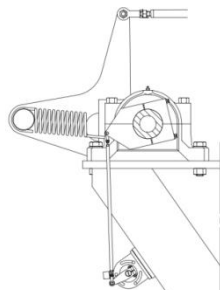


图 4 油门刻度发送器

油门刻度发送器 (Load Transmitter): 用于获取主机负荷信号，与主机油门杆相连，可以持续地检测油门刻度信号并发送给主控单元。(图 4)

测速采样传感器 (Tacho Pick-ups): 用于测取主机转速信号传送到备控单元，安装在飞轮端，有两个转速传感器组成。(图 5)

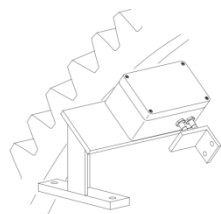


图 5 测速采样传感器

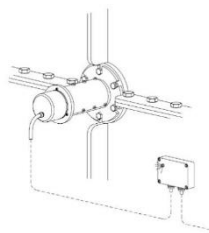


图 6 角度编码器

角度编码器 (Angle Encoder): 用于检测主机转速和定时信号发送到主控单元，安装在主机曲轴自由端。(图 6)

人机界面 (HMI): 可以调节单个气缸的注油量，显示各种参数和警报，可以对泵站进行控制，并且可以手动执行预润滑。(图 7)

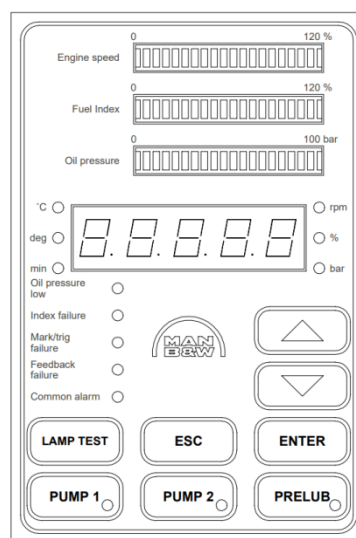


图 7 人机界面 (HMI)

ALPHA 注油器的控制信号来自主机油门刻度发送器的负荷信号和曲轴角度编码器的转角信号，实现了根据柴油机功率调整气缸油供应量的功能。ALPHA 气缸油注油器不是固定地跟随主机每转一周向气缸内供油一次，而是根据需要，每二转或三转供油一次，而且每次工作的供油量相同，喷射频率决定了注油器的供油量。喷油定时由主机的曲轴转角而定，在压缩冲程时，活塞上行至 (270~310° 角)，即在第一、第二道环之间到达气缸油注油嘴位置时，控制系统准确地向注油器电磁阀发出信号，电磁阀打开，注油器内活塞向前移动，通过前置的 6 个小柱塞将气缸油以 25bar 的压力泵送到气缸与活塞环之间。每个注油器上配备了监测装置，当注油器因故障停止工作时，系统会向主机安全系统发出信号，安全系统执行主机降速和报警功能。

2 注油器控制模式

ALPHA 注油器有三种控制模式，MCU 主控模式、BCU 备控模式及应急控制模式：

1.1 主控单元【MCU】模式

MCU 模式是系统默认工作模式，通过将人机界面 (HMI) 上的控制开关置于【AUTO】位置，系统自动启动该模式。

主机启动运转后，泵站油泵自动启动；MCU 根据角

度编码器实时采集的发动机转速和定时信号、油门刻度发送器传输油门信号以及 HMI 预设值进行数据运算,生成注油指令并发送至各缸注油器;注油器执行指令后向 MCU 反馈完成信号,实现闭环控制。主机停车达到预设时间后,泵站油泵自动关闭。

该模式通过自动化信号采集、运算及反馈机制,实现气缸油量的动态精准调节,确保系统高效稳定运行。

1.2 备控单元【BCU】模式

BCU 模式是在主控单元 (MCU) 故障时的备用控制模式,触发后系统自动切换并发出警报。该模式下,角度编码器功能失效,注油控制基于主机飞轮转速采样传感器采集的转速信号、油门刻度发送器的油门信号以及人机界面 (HMI) 预设值进行运算,由备控单元生成注油指令并发送至各缸气缸油注油器,此时的供油率是取决于速度信号且供油量增加为基准供油量的 150%。注油器执行指令后向 BCU 反馈完成信号,形成基础闭环控制。由于编码器失效,系统无法通过定时信号实现时序同步,ALPHA 气缸油注油器仅能在无时序工况下运行。

1.3 应急模式

应急模式是当角度编码器、转速传感器等所有外界触发信号完全失效且无法修复时启用的终极备用机制,系统通过主控单元 (MCU) 或备控单元 (BCU) 内置的冲程发生器生成固定频率的“减速信号”(每秒 1 个脉冲,等效于主机 60r/min 的转速信号),强制维持气缸油注油器的基本注油功能。在此模式下:注油器脱离时序控制,仅依赖模拟的 60r/min 信号进行无时序注油,供油率提升至基本值的 125%;无论主机是否运转,各缸注油器持续独立注油,反馈单元仍监控注油状态,异常时触发“反馈故障”警报;若注油器故障威胁主机安全,系统自动减速并联动主机安全保护系统发出警报。

3 注油率调节

Alpha 电子气缸油注油器稳定性高,操作简单,在实际应用中,使用者可根据燃油中含硫量和主机活塞环、缸套的磨损情况,在人机面板 (HMI) 上通过调整 FrAtE(注油率调整)参数来调节气缸油的注油量,FrAtE 内可以设定某一缸的注油量,也可以同时设定所有缸的注油量,在使用中确定出最佳注油率。最佳注油率是指气缸油供给量在确保燃烧充分的前提下,精准匹配润滑需求,气缸磨损率符合设计预期,内壁润泽光滑无拉痕;环槽清洁无积碳,活塞环外圆光洁无损伤,环体在槽内活动自如;第一道环表面干爽(避免油膜干扰燃烧),第二道环以下及其他环

油膜分布均匀(兼顾润滑与密封);扫气口无明显刮擦或积碳沉积,扫气箱内积碳与残油残留量极低;尾气无蓝色烟迹(杜绝过量气缸油参与燃烧)。如果主机某缸更换活塞环或缸套后,则只调节这一个缸的注油量。

为了防止缸套过度磨损,应定期通过扫气口检查活塞环和缸套的磨损情况。如果发现有刮伤或活塞环的粘着,则要增大气缸油的注油量 25~50%。

在新船的磨合期间或某缸更换新缸套,建议从气缸油注油量的 200% 逐渐向下调,在刚开始时,应在主机运行 10 天左右,通过扫气口检查活塞环和缸套的磨损情况,适当调节气缸油的注油量,保证主机良好的工况,在调小过程中注意每次减少量不要超过 0.05g/kw.h,在 HMI 调节 FrAtE 一次不超过 5%。下图(图 8)是某船气缸油注油率调节计划表。

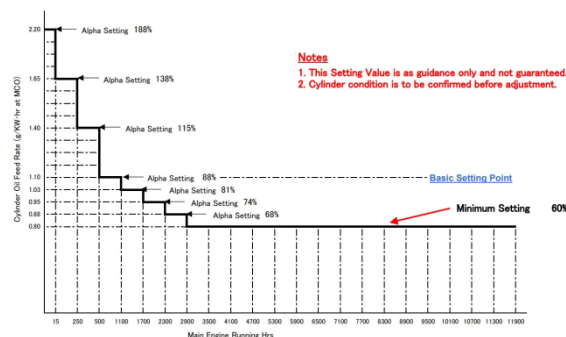


图 8 注油率调节计划表

4 Alpha 的维护与管理

Alpha 气缸油注油器的维护管理应从以下几个方面加强:

4.1 注油状态实时监控与手动验证

(1) 指示灯观察:通过中间盒指示灯(每 10 冲程闪亮)初步判断注油器工作状态,但需注意指示灯正常不代表所有注油点有效(可能存在针阀局部堵塞)。

(2) 压力脉动检查:值班人员需定期手动触探各缸注油管压力脉动,若异常则可断开注油管观察实际出油情况,确认注油有效性,避免因虚假信号导致拉缸风险。

4.2 定期检查与数据监测

(1) 扫气口检查:船舶到港后尽可能通过扫气箱检查气缸套内壁润滑状态,观察油膜分布及表面损伤情况。

(2) 耗油量跟踪:每日精准记录气缸油消耗量,若耗量骤减需警惕注油枪堵塞风险,及时排查避免拉缸。

4.3 智能诊断技术应用

(1) 温度异常检测:使用非接触式红外测温仪扫描注油管路,若某注油管路温度显著高于正常值(无油流冷却且润滑缺失导致温升),可快速定位堵塞注油柱塞,实

现精准故障诊断。

4.4 注油定时及时校准

(1) 关键润滑时机：确保第一道活塞环上行至注油点时气缸油精准喷射，避免润滑滞后，提高润滑效果。

(2) 校准方法：

①在主机停车状态校准，盘车至 1#缸上止点，核对飞轮刻度指针指示“0”刻度；

②松开角度编码器的调节螺丝，缓慢转动角度编码器至中间盒绿色指示灯亮起，锁紧调节螺丝。保证注油定时与活塞运动同步，以最低油耗实现最优润滑。(图 9)

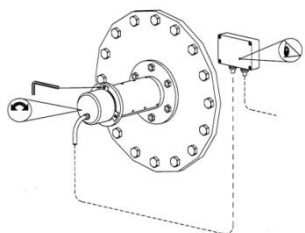


图 9 定时校准

4.5 日常维护保养

(1) 运行参数监控

①油压：维持 4~5MPa(异常可能引发注油量波动)；

②油温：控制在 30~60℃(过高需排查冷却或泄漏问题)。

(2) 泄漏与状态检查

①定期检查管路密封性，杜绝渗漏；

②运行中观察各注油器中间盒反馈指示灯(正常为规律闪亮)。

(3) 预润滑功能测试

主机停车时启动辅助鼓风机，通过 HMI 界面按“PRELUB”按钮，执行自动预润滑，验证各注油器动作状态及指示灯反馈是否正常。

(4) 周期性维护

①每月切换备用泵运行，清洁注油器滤器，检查滤器指示灯(绿色正常，红色需更换)；

②定期校验系统参数与机械联动精度。

5 结束语

ALPHA 电子气缸油注油器的实船应用通过智能控制与精准供油技术，显著降低了气缸油耗量，优化了润滑效果，解决了传统机械系统过量或不足注油导致的积碳、磨损及排放问题。其动态调节能力与多模式控制为船舶节能降耗和延长维护周期提供了有效方案。

然而，系统智能化对轮机管理提出了更高要求，需加强电子控制逻辑、传感器维护及数据诊断等技能的培训。未来，结合物联网与大数据技术，该系统可进一步升级为自适应润滑平台，推动船舶动力系统向智能化、绿色化方向持续发展。

[参考文献]

- [1] MAN B&W. Alpha Lubricator System Technical Manual. 2022.
- [2] IMO. 2023 Guidelines for Ship Energy Efficiency Management.
- [3]王海等.船用低速柴油机智能润滑技术研究[J].船舶工程,2021, 43(5): 89-94.
- [4]贺玉海.船用主机电控气缸润滑系统控制策略研究[期刊论文]-武汉理工大学学报 2010(15)
- [5]陈建云.Alpha 注油器系统及管理建议[J].航海技术,20cr7(1):61-63.

作者简介：孙飞(1977.12—)，男，汉族，浙江诸暨，讲师/甲类轮机长，学士学位，远洋船舶工作十年，浙江交通职业技术学院任教 16 年，主要研究船舶电气、船舶柴油机。