

# Research on the lubrication management of air cylinder under the background of Marine low-sulfur fuel oil Jiyun Zhang Zexin Yan Shiwen Zheng

Yuzhao Ke

Gongqing Vocational College of Science and Technology, Jiujiang, Jiangxi, 332020, China

## Abstract

With the implementation of the International Maritime Organization's 2020 low-sulfur fuel regulations, the sulfur content limit for ship fuels has been reduced to 0.50% m/m, and emission control areas have been tightened to 0.10% m/m. The use of low-sulfur fuel often leads to poor lubrication in two-stroke diesel engine cylinders. This article analyzes the causes of abnormal wear between the cylinder liner and piston rings during the use of low-sulfur fuel from three aspects: cylinder oil characteristics, combustion products, and piston deposits. It points out that the combustion characteristics of low-sulfur fuel and increased particulate matter content are the main influencing factors. Additionally, it discusses the importance of selecting the alkalinity of cylinder oil and optimizing the oil injection rate, and proposes management strategies such as residual oil testing, categorized use of cylinder oil, and dynamic adjustment of the oil injection rate to ensure effective cylinder lubrication. The study provides practical guidance for ship managers to address lubrication issues under the background of low-sulfur fuel.

## Keywords

low sulfur fuel oil; cylinder lubrication; alkalinity

## 船用低硫燃油背景下气缸润滑管理探究

张继耘 颜泽铤 郑诗文 柯昱照

共青科技职业学院, 中国 · 江西九江 332020

## 摘 要

随着国际海事组织2020年低硫燃油规定的实施,船舶燃料硫含量上限降至0.50% m/m,排放控制区更严格至0.10% m/m。低硫燃油的使用导致二冲程柴油机气缸润滑不良的情况时有发生。文章从气缸油特性、燃油燃烧产物及活塞沉积物三个方面分析了低硫燃油使用中缸套-活塞环异常磨损的原因,指出低硫燃油的燃烧特性和催化颗粒物含量增加是主要影响因素。同时,探讨了气缸油碱值的选择与注油率优化的重要性,并提出了通过残油化验、气缸油分类使用及动态调整注油率等管理策略,以确保气缸润滑效果。研究为船舶管理人员提供了应对低硫燃油背景下润滑问题的实用指导。

## 关键词

低硫燃油; 气缸润滑; 碱值

## 1 引言

从2020年1月1日起,国际海事组织关于船用燃油含硫量限制的有关规定正式生效,要求国际航行船舶燃料的硫含量上限由3.5% m/m(质量百分比)下调至0.50% m/m,因此,所有船舶需严格限制使用含硫量最高为0.50% m/m的燃料。

根据调查统计,在船舶柴油机使用新型低硫油的过程

中,主机缸套-活塞环异常磨损的情况时有发生。造成磨损的原因也很复杂,有些是单一因素,有些可能是不同因素叠加造成。因此,使用新型低硫油并不是简单地更换对应的低碱值气缸油那么简单。

本文通过对MAN柴油机服务信函中关于二冲程柴油机气缸润滑和使用低硫燃油的相关内容梳理,从气缸油特性及其作用、燃料油的特性、活塞沉积物产生这三个方面进行展开,分析造成缸套-活塞环磨损的原因。最后,就日常管理中如何使用气缸油进行解读,供船舶管理人员参考。

## 2 气缸润滑油

### 2.1 气缸油的作用和特性

船用气缸润滑油是在矿物基础油中加入一些高性能添

【基金项目】江西省教育厅科学技术研究重点项目《低速柴油机气缸润滑优化研究及教学仿真平台开发》(项目编号: GJJ2209001)。

【作者简介】张继耘(1983-),中国湖北汉川人,硕士,讲师,从事大型低速柴油机气缸润滑性能优化研究。

加剂调制而成,使其具有相应的特性供柴油机使用。气缸油主要作用包括:润滑活塞和缸套,形成保护油膜减少摩擦;保证燃烧室的密封性能,防止燃气下窜;中和燃烧产物中的酸和氧化产物符合发动机的要求;保持活塞以及缸套的清洁,防止过量沉积物的形成。

根据船用二冲程柴油机的结构和使用燃料的特点,气缸油要满足使用要求具备的特性指标主要包括碱值、高温粘度、清洁分散性能、高温抗氧化性。

## 2.2 气缸油的使用

根据 MAN Energy Solution 公司的指导原则<sup>[1]</sup>,在主机使用新型低硫油时,建议使用 BN40 以下的气缸油。

气缸油选定后,柴油机润滑的日常的管理主要就是气缸油的注油率的调整,调整考虑的因素包括:柴油机的运行工况、燃油中的硫含量、船东对于气缸油成本与气缸套维修成本的考虑、日常检查、活塞下部扫气箱残油的化验等。

通过对 Alpha 气缸注油系统 ACC (Adaptable Cylinder oil Control) 注油率指导原则进行测算<sup>[2]</sup>,当选择 BN15 气缸油时,即便是以最低注油率 0.6g/kWh 运行,气缸油的中和作用也是完全足够的。因此,使用新型低硫油后,气缸润滑的重点在于在合适的注油率下保持活塞环带的清洁。

## 3 燃油特性

新型低硫油的燃烧特性和燃烧产物对气缸润滑有着很重要的影响,其主要表现为:

①燃烧特性的影响:如果燃烧状况异常,如燃烧延迟、火焰长度过长等,这些状况会破坏气缸壁上的油膜。特别是当活塞环密封不良或缸套接近磨损临界点时,容易发生窜气,在缸套表面形成积碳或是漆膜现象,漆膜一旦形成,就很难形成有效的润滑油膜。特别是燃烧产物与漆膜形成的粘滞性沉积物聚集在环槽里,在高温作用下烧结变硬,进而引发活塞环卡滞、断环、拉缸等一系列故障。

②燃烧产物的影响:如催化颗粒物、灰分中的各种金属化合物、不完全燃烧的燃烧产物等会导致缸套和活塞环的磨粒磨损、燃烧室部件的热腐蚀。

在 ISO 8217: 2017 标准中包括了馏分油和渣油两类船用燃料油,以及相应的燃油特性和限值。由于成本原因,目前船用市场上主要使用的是渣油。为了满足燃油含硫量的要求,新型低硫油一般由渣油和其他油品调和而成以满足标准对燃油特性的限值。因此在使用中需要了解新型低硫油的一些关键特性,包括:粘度、酸值、闪点、燃烧特性、催化颗粒物、稳定性、兼容性等。下面就对气缸润滑产生主要影响的几个特性进一步说明。<sup>[3]</sup>

### 3.1 粘度

由于新型低硫油的生产方式的改变,加装到船上的燃油的粘度和密度可能有更大的变化范围,因此加装的燃油需要满足标准要求的粘度等级。此外,燃料在喷入柴油机进行燃烧前还需要进行加热,以确保粘度在设备制造商规定的范

围,通常在 10 至 20Cst 范围内,以获得最佳的喷射模式。

### 3.2 燃烧特性

发火性能和燃烧特性是影响发动机运行的重要因素,且两者都取决于燃料特性,因此如何评价渣油的燃烧特性是十分有必要的。

碳芳香度指数计算值 (The Calculated Value of Carbon Aromaticity Index, CCAI) 是作为柴油发动机中渣油发火性能的一个指标,并根据测量的密度和粘度值进行计算。CCAI 值通常在 820 到 870 之间;CCAI 值越高,发火性能越差。

由于新型低硫油组分复杂,粘度和密度变化范围更大,这意味着 CCAI 值也有更大的变化。而且,由于不同组分的燃烧特性不一样,即便是 CCAI 值满足限值要求,在燃烧过程中表现出来的燃烧特性也会有很大的差异。

为了解决渣油的发火性能和燃烧特性问题,提出了一种标准的测试方法 IP541,即在高温高压下将燃料喷入加压的定容燃烧室。该技术对燃料特性鉴定非常有用,特别是在服役柴油机中遇到燃烧问题时。<sup>[4]</sup>

### 3.3 催化颗粒物

催化颗粒物是来自炼油厂催化裂化装置的燃料混合组分,其主要成分是铝和硅。过量的催化颗粒物会导致燃油泵、喷油器、活塞环和缸套的加速磨损。渣油必须在燃烧前通过沉降和离心的结合进行预处理,将催化剂微粒水平降低到主机厂家要求的水平,从而避免可能的过度损害。

## 4 活塞环沉积物

活塞环的沉积物主要分为环槽积碳和活塞头部沉积物,这两种沉积物的形成机理和对气缸润滑的危害也各不相同

### 4.1 环槽积碳

环槽积碳主要是由燃油的燃烧产物和气缸油混合,在高温作用下逐渐沉积在活塞环槽和环带上。由于气缸油有很好的清净分散性能,正常运行的柴油机一般整个活塞环区域很干净,日常检查可通过主机扫气口进行检查。

环槽积碳对主机润滑的危害主要在于积碳过多会使活塞环在环槽内逐步卡滞,使活塞环失去布油和刮油作用,活塞环受力不均疲劳断裂,影响燃烧室密封效果导致燃气下窜,使缸套润滑恶化导致缸套超磨,严重时导致拉缸。

### 4.2 活塞头部沉积物

活塞头部的沉积物是在高碱性的环境中,气缸油中的碱性添加剂在高温条件下以钙盐的形式沉积在活塞火力岸和顶部,其主要成分为碳酸钙。

造成这种情况的主要原因是气缸油注油率过高或是使用碱值较高的气缸油,使得碱性添加剂过量。过多的沉积物累积其厚度可能影响缸套运行表面,破坏缸套表面油膜的完整性,造成磨料磨损。这种现象在缸套的中间和下端部分最为突出,其负面效应所产生的结果被称为机械缸套表面抛光,严重时会导致拉缸。

## 5 气缸油管理

使用新型低硫油时保持活塞的清洁与使用高硫燃油时控制酸性腐蚀磨损同等重要，气缸油清净能力是保持气缸良好状态的关键因素。由于传统的气缸油的清净分散剂是具有中碱性或者高碱性，因此碱值与清净分散性能是成一定比例的，即高碱值气缸油清净分散性相对更优一些。但是这也给使用者造成理解误区，即碱值越高，清洁性能越好。

由于新型低硫油组分复杂，其中的一些异常组分产生的燃烧产物需要及时清理，否则累积在燃烧室金属表面就会造成一些不良的后果。而目前使用低碱值气缸油时清净效果不理想，会导致活塞环带沉积物累积。使用高碱值气缸油虽然能达到较理想的清洁效果，但同时也会导致大量未参与中和反应的碱性添加剂在活塞火力岸以钙盐的形式产生沉积物，造成磨料磨损。

对此，气缸油的管理工作应从残油化验、气缸油选择、优化气缸润滑这三个方面开展。

### 5.1 残油化验

扫气箱的残油化验的主要指标包括残余碱值和含铁量。

当使用低硫油或超低硫油时，碱值的水平也必须根据汽缸油的清洁发动机的能力来评估。作为指导，剩余的碱值应该在原始碱值的 25% 左右。如果积碳开始在活塞环槽内积累，碱值水平可能需要增加。残油中含铁量则要求低于 200mg/kg。

### 5.2 气缸油选择

针对当前气缸油的选择和使用出现的问题，MAN Energy Solution 公司的指导信函中将市场上通过测试的气缸油分成了两个大类，类别 I 为传统的气缸油包括 BN140、BN100、BN70 和 BN40 共四类气缸油，类别 II 包括 BN140 和 BN100 的两类气缸油。其中特别提到类别 II 的气缸油整体性能好，特别是清洁能力，其他碱值的气缸油随后也会推出，如 BN40 的气缸油，具体可以咨询相关的供应商<sup>[5]</sup>。

根据以上信息，船舶管理者可以在类别 I 中选择碱值较低的气缸油与船舶实际使用燃油的含硫量进行匹配，另外可以在类别 II 中选择一种清洁能力强的气缸油以便根据柴油机的实际运行情况，切换使用对活塞进行有效的清洁。

### 5.3 优化气缸润滑

使用新型低硫油时，气缸油的管理优化过程如图 1 所示。其中，低碱值气缸油指碱值小于 BN40 的气缸油，高碱值气缸油指碱值大于 BN70 的气缸油。所有的调整标准均以日常的检查为重要依据。

## 6 结语

相比传统重油，新型低硫油具有高热值、低粘度、低比重、低闪点、低润滑性和低硫含量等特性。新型低硫油的使用对于二冲程柴油机气缸润滑的影响，是一个重大挑战。在日常的管理中应特别注意气缸润滑系统的管理，加强日常

检查。对于出现气缸润滑问题，应综合分析判断造成润滑问题的主要原因，提出解决对策。同时，也要多关注主机厂家和润滑油厂家发布的最新信息，以便根据最新的信息调整气缸润滑策略。

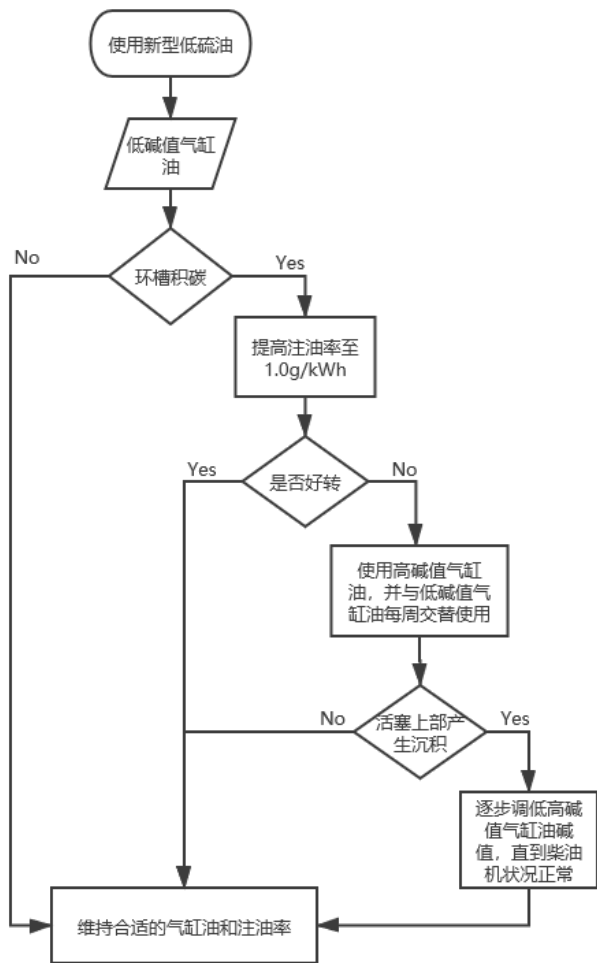


图 1 气缸油管理优化流程图

## 参考文献

- [1] MAN Energy Solutions. Cylinder lubrication update for 0 to 0.5% Sulphur fuels SL2019-671/JAP [EB/OL]. <https://marine.man-es.com/two-stroke/service-letters>, 2019.
- [2] MAN Energy Solutions. Cylinder lubrication update adjusting the ACC factor in service SL2014-587/JAP [EB/OL]. <https://marine.man-es.com/two-stroke/service-letters>, 2014.
- [3] ISO8217:2017, Petroleum products - Fuels (class F)-Specifications of marine fuels[R].
- [4] CIMAC International Council on Combustion Engine. The supply and use of 0.50% Sulphur marine fuel [EB/OL]. <https://www.cimac.com/>, 2019.
- [5] MAN Energy Solutions. Cylinder and system oils SL2020-694/JUSV [EB/OL]. <https://marine.man-es.com/two-stroke/service-letters>, 2020.