

主机汽缸油管理实践探讨

摘要

协会近期了解到已经有多起涉及主机活塞环和缸套异常磨损的案例，根据现场检验师提出的分析意见并结合公司机务提供的事故报告，协会技术人员判断，至少部分事故是因为气缸油使用不当而造成。笔者认为，在主机日常管理中，特别是 IMO2020 低硫油规定强制实施后，船舶对气缸油的使用和调节更应该引起轮机管理人员的重视。

一、主机气缸润滑

众所周知，机械设备的使用状态，除设计寿命和维修保养外，还有至关重要的三要素就是负荷、润滑和散热冷却。而对船用柴油机来说，润滑系统起着润滑、冷却和清洁的作用，其中，气缸润滑更是一个复杂而重要的环节，气缸油的特性除了使用环境处于高温高压外，还需具有良好的燃烧性能、中和性能和清洁性能。在大型二冲程低速十字头式柴油机中，气缸润滑是一个独立的润滑系统，其润滑油注入设备、滑油品质以及运转管理均需特殊考虑。在当代柴油机高强度、燃油劣质化的发展中，对气缸润滑提出了愈发苛刻的要求。特别是近年由于低硫燃油和 LSMGO 的广泛应用，对气缸油的使用和调节又提出了新的、更高的要求。

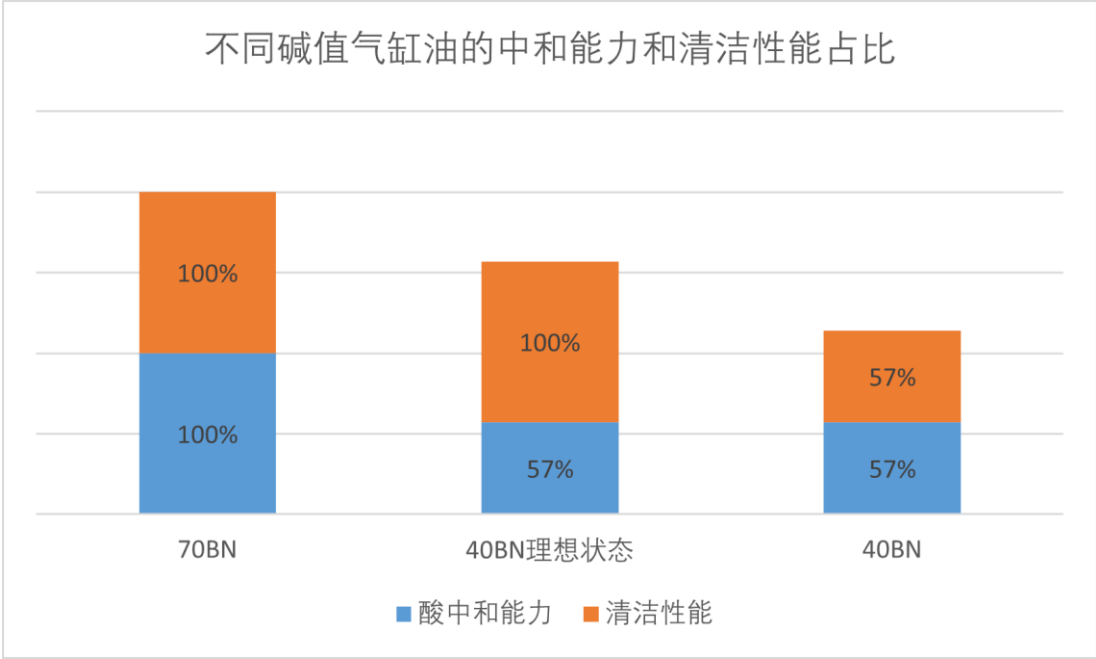
二、气缸油的选择

气缸油的选择在任何时候都应根据主机厂商说明书的推荐和要求选择合适型号的气缸油，同时根据实践经验，在选择汽缸油时重点关注以下两个方面因素。

1. 根据碱值选择

使用不同类型的燃料对气缸油的碱值要求不同，使用低硫燃油后，燃烧室的低温酸性腐蚀大幅度降低，此时气缸油的功能除了润滑外，更多的是要保证气缸零部件的清洁度。气缸油对沉积物的控制能力和清净性能成为首要考虑，气缸油三个主要功能的顺序也从“润滑-中和-清洁”变为“润滑-清洁-中和”。如下图所示，在高硫油对应使用的高碱值汽缸油时，其中和能力和清洁能力都能达到 100%；当主机使用低硫油

时，对应的汽缸油也换作 40BN 的低碱值汽缸油，则此时其清洁能力明显下降（57%），远远没有达到低碱值的理想状态。



2. 根据配方选择

由于传统配方气缸油的清洁性能和碱值基本上是成比例的，碱值越低，清洁性能越差。因此，业内一般认为当前市场上主流的 BN40（BASE NUMBER 碱值）气缸油很难胜任对低硫燃油清净性能的要求。主机厂商 MAN B&W 在 2020 年 5 月发布的 SL2020-694 通函中将气缸油分为两类，明确二类气缸油需要有优异的清洁能力，重要的是要通过管理和防止沉积物过度堆积来确保活塞环的自由活动和缸套的清洁。据悉，目前市场上尚没有 BN70 和 BN40 的气缸油通过上述认证，预计未来不久各大润滑油厂商会推出相应标准的气缸油系列。

BN	MAN B&W APPLICATION
≤40	Distillate and LNG
40-60	LSRF (≤1.5% Sulphur)
70-100	HSRF (≥1.5% Sulphur)

三、气缸油的使用和注油率调节

即使是选择了适当的气缸油，在使用过程中，注油率也将起关键作用。在气缸油注油率的选择上，轮机员需严格按照主机说明书的推荐和要求，调节合适的气缸油注油率，目前比较成功的经验是根据检查扫气箱连续微调整，我们姑且称其为“中医法”，类似于中药的各味药的增减。

1. 最佳注油率

最佳的气缸油注油率，一般指在燃烧良好的前提下，气缸油注油量能够保证：

- 缸套磨损率在设计范围内；
- 缸套内表面，润泽无拉痕；
- 活塞环槽没有积炭；
- 活塞环，外圆光亮无拉痕，在环槽内活动灵活，第一道环干爽，第二道环下部和其他环油润；
- 扫气口处，无明显刮痕、磨损和积炭；
- 扫气箱内，残油和积炭少。

若气缸油注油率太小，则难于形成完整的油膜，而使活塞环与缸套磨损加剧，漏气增多，导致拉缸、咬缸事故；若气缸油注油率过大超过一定数值，会造成气缸油过多，在完成润滑后所形成的燃烧产物不能从气缸内完全排出，造成活塞顶部、环槽、气口和排气阀处积碳，引起活塞环粘连；同时过量的气缸油会附着在气缸壁上，被烧焦形成磨料，落入活塞环和缸套之间，加剧磨损。另一方面过量的气缸油被活塞环从缸壁上刮下来，形成扫气箱的积油，容易造成扫气箱放残不畅，当活塞环和缸套之间密封不好，燃气串气时，容易引发扫气箱着火，如下图左和图右所示分别为气缸油使用合适时扫气口检查理想状态和缸套润滑情况。



2. 动态调整优化

气缸油的实际注油量可根据通过扫气箱检查气缸套和活塞环实际工作情况、燃油品质、柴油机负荷、扫气箱内残留污油量等情况，进一步得到优化。现阶段使用低硫燃油的情况下，应适当增加扫气箱的检查次数，并认真做好相关检查记录，及时得到活塞环和气缸的工作状态连续记录。

如果发现活塞头或活塞环带有白色的沉积物，很可能是过量碱值气缸油在高温下烧结形成的灰白色碳酸钙，此种沉淀物会形成磨料将缸套内表面的磨纹很快磨损掉，造成活塞环和缸套的不正常磨损，导致活塞环搭口间隙增大，燃气下窜，缸套润滑油膜破裂，进一步加剧磨损，乃至造成拉缸和缸套裂纹。如果进一步加大注油量，会导致情况更加恶化，发现此现象时应考虑适当降低气缸油注油率或者换用碱值较低的气缸油使用。

不同的主机机型，对气缸油注油率的要求差别非常大；同一种机型在不同的工况下，对气缸油注油率的要求也有比较大的差别；即使同一机型同样的气缸油注油率，不同的管理水平，其润滑效果也不尽相同。作为一名轮机员，在实际的管理操作中，不仅要严格按照说明书的要求，更要结合主机实际的运行情况，不拘泥于形式，多判断、多分析、多总结以提高气缸油管理水平。

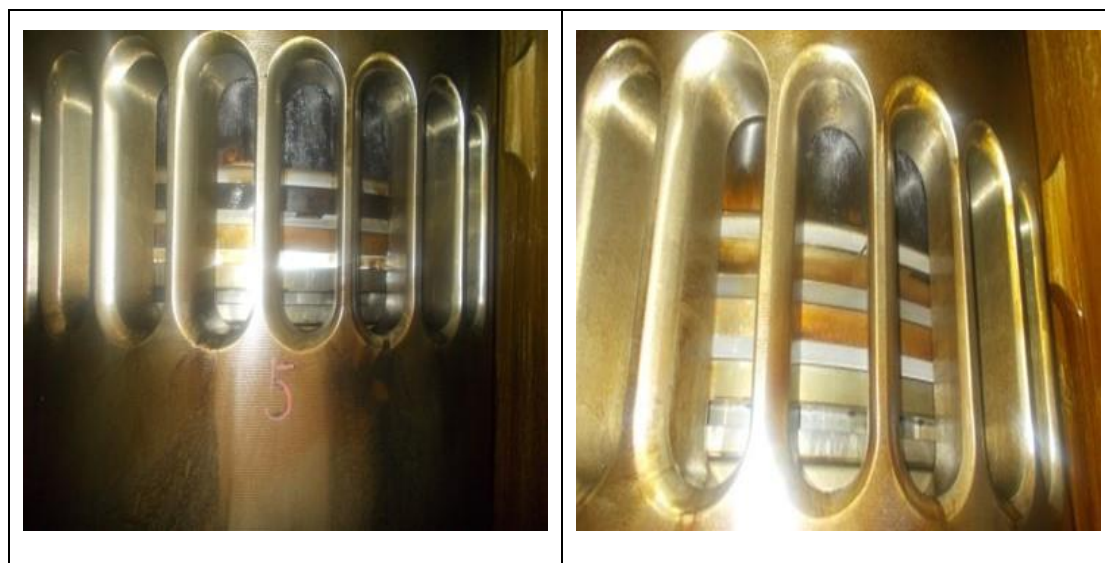
四、低硫燃油下气缸油使用注意事项

轮机管理是一个理论结合经验又需要高度责任心的实践过程，笔者根据在船实际工作积累和经验总结，列举主机气缸油使用中需要注意的几个问题，供会员公司参考：

1. 交替使用不同碱值气缸油

国际上目前尚未形成严格的超低硫燃料油的调和标准，但业界的共识是长期使用低硫油会导致主机燃烧不良，且使用碱性偏低、清洁性能差的 BN40 气缸油，更容易造成活塞环带和环槽结碳过多，如下图左所示，可以看到活塞环带有明显的黑色积碳。因此为了弥补目前 BN40 气缸油清净分散性差的不足，有些船东的成功经验是在使用低硫燃油时，在合适的气缸油注油率的情况下，交替使用高、低碱值气缸油。比如，BN40 气缸油用 3-5 天，BN100 或 BN70 用 2-3 天。或者把 BN100 的气缸油和 BN40 的气

缸油混合成 BN50 再用，都取得了很好的实船管理效果，如下图右所示的非常干净、理想的活塞环带。



2. 根据燃油化验报告调节

由于低硫油的不稳定性和不兼容性，每次换用不同批次的燃油时，需要根据燃油化验报告的结果设定注油方法，在更换使用 1-2 天后及时进行扫气箱检查，并根据扫气箱检查的结果对气缸油注油率作相应微调，或者交替使用低、高碱值气缸油，增强气缸油的清洁能力，控制活塞环带沉积物，保持环带清洁。

3. 注油率调节

由于目前 BN40 的气缸油的清洁性能差，有些船上的气缸油注油率保持在 1.0g/Kwh-1.2g/Kwh，出现了缸套异常磨损之后，有些船甚至把气缸油注油率设定到 1.4g/Kwh 甚至更高，这样的后果就是非但不能解决缸套磨损的问题，过量的气缸油更容易加剧缸套磨损。根据 MAN B&W Energy Solutions Service letter SL2019-671/JAP 介绍，这种情况下，应该结合扫气箱检查的情况，换用碱值稍高的气缸油使用，并适当降低气缸油注油率，必要时吊缸清洁、更换相关部件，重新调整气缸油注油量。

4. 主机燃烧状况

由于低硫油的复杂特性，如果发生单缸的环带结碳过多，除了要考虑气缸油的使用外，还需关注主机的燃烧状况，比如喷油器的工况，必要时进行喷油器部件换新，并对更换下来的喷油器进行检查测试，做好维修保养记录。有燃油化验实验室提醒，

在使用 LSMGO 时，由于其润滑性能不强，建议使用燃油添加剂以增强其润滑性能，防止柴油机燃油喷射系统，比如燃油高压油泵、喷油器等部件的异常损坏。这些都是可以根据实际情况借鉴的经验。

5. 气缸油残油分析

低硫油使用期间更彰显气缸油残油成分分析的重要性，气缸油残油的成分分析既可反映缸套所处的化学环境，也可反映活塞环与缸套磨合的物理工况，进而对气缸油注油率进行适当的调节。气缸油残油成分分析不仅对活塞环和气缸套工作状态有直观的反映，同时也是评判主机活塞环和缸套磨损情况的最有效的工具，是优化主机气缸油润滑的有效手段。合理的气缸油润滑，其残油的碱值应该保持在 10-25mgKOH/g，铁含量应在 200mg/kg 以下。



结束语

主机气缸油润滑是一个非常复杂的问题，实际影响气缸油使用的因素也比较多，特别是低硫燃油复杂多变的特性，不同批次的燃油可能存在较大的差异，更增加了气缸油使用的许多变数。单一地增减气缸油注油率并不能达到理想效果，在实践中任何一点疏忽都会影响气缸油的使用，这就对轮机员提出了更高的要求。因此，笔者建议

轮机员应严格执行说明书推荐要求，并结合实际主机扫气箱检查情况，采取望、闻、问、切的方法合理增减用油量，摒弃多多益善的做法。考虑到主机在设计时已经留有一定的余量，汽缸油注油量可以保持在正常范围内接近下限值。只有理论结合实际，密切监控主机活塞环和缸套工作状态，才能在实际操作中切实管理好气缸油润滑。