

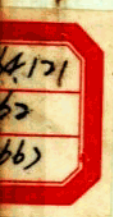
编号 166

论船用柴油机的润滑

Mobil公司技术咨询部油料研究室



上海远洋运输公司船技处



编 者 的 话

润滑油在柴油机中的作用是不言而喻的。但随着柴油机输出功率的增加以及燃料油质量的日趋低劣，滑油的工作条件愈来愈恶化，因此，对滑油的要求愈来愈高，对润滑系统的维护管理应愈来愈严格。

润滑油的维护管理，在提高柴油机的寿命和改进经济性等方面起着举足轻重的作用，好多重大的机损事故往往都是润滑油管理不当所引起。因此，进一步深入探讨“柴油机的润滑”更显得重要。

本文广泛论述了与船用柴油机润滑有关的各类问题。其中就滑油在气缸中的工作条件如温度、压力、速度以及燃油含硫量、污染等对滑油的影响作了较为深刻的定量分析研究；综述了滑油的各种特性以及正确选用基础油和添加剂的经济价值；阐述了滑油中加清洁剂等添加剂后，在管理上需注意的问题；介绍了船用柴油机在运行中所产生的各种故障，原因以及排除故障的措施；最后还讨论了与润滑、性能和维修保养有密切关系的燃油系统、冷却系统以及滑油系统的清洁等在管理中的注意事项。

本文是“柴油机润滑”方面比较系统的研究专著，可供轮机和机务管理人员参考使用。

由于水平所限，译文中一定存在不少错误和不妥之处，希读者批评指正。附图的油印质量欠佳，不够清晰，望读者谅解。

本文由上海远洋运输公司曾明强翻译，张彤校对，船技处技术档案室编辑、出版发行。

引 言

本书中所讨论的主要问题是 如何对船用柴油机进行正确的润滑，其中包括 (1) 柴油机的结构和运转工况对润滑油膜维持的影响；(2) 滑油的特性；以及 如何 安全、可靠、长期的使用滑油所需了解的一些问题。

目 录

一、船用柴油机的润滑系统简解.....	
二、气缸的润滑.....	
1. 气缸的内部工况.....	
2. 气缸润滑油的特性.....	
三、轴承的润滑.....	
1. 氧化作用的影响.....	
2. 曲柄箱的污染.....	
3. 扫气泵和涡轮增压器.....	
四、润滑油的推荐.....	
五、柴油机润滑油的净化.....	
1. 净化系统.....	
2. 净化原理.....	
3. 连续式净化系统与间隔式净化系统之比较.....	
六、柴油机的燃料.....	
七、柴油机运转时的注意事项.....	
1. 燃烧不完善.....	
2. 润滑油的状况.....	
3. 滑油系统的清洁.....	
4. 冷却水系统.....	

一、船用柴油机的润滑系统简解

船用柴油机的润滑主要包括如下四个方面：第一，气缸润滑油的使用；如何做到既能保证缸壁油膜的不断更新又不使气缸油注入过量。轴承和其他运动部件润滑油的使用；从某种意义上来讲也是一个如何保证油膜形成的问题。第二，如何使用滑油作冷却液，尤其是活塞冷却油的使用。第三，如何正确选用不同规格的滑油品种，以便满足气缸和轴承循环系统中的工作条件。第四，如何维持滑油和柴油机的清洁。此外还需考虑一些对滑油油膜的维持和柴油机的清洁有影响的的各种故障。这类故障通常是由于空气、燃油和冷却等系统工况失常而造成的。正确的润滑有助于克服这些故障。为此，我们对这些故障亦将予以讨论。

在十字头式柴油机中，气缸和曲柄箱是分隔开的（如图1，2所示），轴承和气缸的润滑均自成系统。但在气缸和曲柄箱相贯通的柴油机中，轴承和气缸的润滑系统则是互相关联的。

安装在远洋船舶上作为推进装置的每分钟转速不超过300转的柴油机中，通常设有二至三个相互独立的滑油系统——诸如气缸油系统；主轴承、凸轮、传动机构和活塞油冷系统；涡轮增压器轴承润滑系统。这三个系统将在下面各章中依次加以讨论。

对于诸如在沿海等较小船舶上作为动力装置的小型柴油机，可以只设一个滑油系统，同时满足气缸、轴承和传动机构的需要。

机械式压力润滑油注油器

柴油机的气缸由机械式压力润滑油注油器提供滑油（如图3、4所示）。每个注油器由若干个独立的油量可调的柱塞泵组成，每个柱塞泵都是从各自的储油罐中吸油，然后通过各柱塞泵的排油支管向缸

内注油。注油器由柴油机带动，注油量可根据实际需要加以调节。

通常，在每只气缸的圆周上布有两个以上的气缸油注油孔（如图 5 所示），这些孔一般安排在气缸的上半部和二冲程柴油机的气口上方。各注油孔之间的距离对缸壁上油膜的形成有重要的影响。

机械式注油器既准确又可靠；正确地提供所要求的气缸油量。

滑油的飞散分布

在筒状活塞式柴油机中，气缸和曲柄箱是相互贯通的（如图 2 7 所示）。当机器运转时，曲柄肖和主轴承将大量的滑油从曲柄箱飞甩在气缸的下部和活塞裙表面，然后，由活塞环将下部滑油带到气缸的上部和活塞表面。因此，如果活塞上不安装刮油环，则会造成过量的滑油积存在气缸上部，最后形成积碳。从缸壁上刮回曲柄箱的滑油对曲柄箱内的滑油状况有明显的影响。

润滑油的循环

主柴油机的滑油循环系统是船上的一个十分重要的辅助设施。该系统负责向主柴油机所有需要润滑的部件提供有一定压力的滑油。此外还要向活塞提供作为冷却液的滑油（除水冷活塞机型外）。滑油系统原理图如图 6 所示。

流回到曲柄箱内的滑油会同活塞冷却油最后一起汇入设在柴油机体底部的循环油柜内。如果是采用多台柴油机并用的，则最后的汇油也都集聚在这同一油柜中。

循环系统中的主滑油泵通常是旋转式，由电动机驱动的，其通过磁吸式粗滤器从循环油柜中吸油，然后，经过一组双联细滤器和滑油冷却器将滑油输送至柴油机润滑主管和各支管。一台柴油机通常配置两台主滑油泵，一台使用，另一台备用。

在循环系统中还应设有储存新的气缸油和新的或是经过处理的曲

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

温度对滑油的影响

柴油机气缸内的高温对滑油的影响主要有三个方面：(1)降低了滑油的粘度；(2)促进了滑油的变质；(3)使部分油膜蒸发。

用于气缸润滑的滑油粘度范围（具体粘度根据具体机型和缸径尺寸来定），在 210°F （ 99°C ）的标准温度下测得为SUS 60 $\sim$ 97秒，即10.3 $\sim$ 19.8厘。假如缸内的温度为 350°F （ 177°C ），这时气缸内同样的滑油其粘度就会降至SUS 34 $\sim$ 39秒，即2.3 $\sim$ 3.9厘。但是尽管在气缸不断工作的情况下滑油的粘度降得很低，这层很薄的油膜还是能对活塞环、活塞和缸衬起到减磨保护作用。

造成滑油变质的原因主要有氧化、热裂和酸性燃烧产物的作用。滑油的氧化速度会随着环境温度的升高而明显加快。温度每升高 18°F （ 10°C ），氧化速度增加一倍。滑油过热而产生裂解的温度约从 300°F （ 149°C ）起。这时的裂解过程进行得非常缓慢。但如果温度继续升高，热裂过程也会随之而明显增快。由于氧化和热裂这二方面的作用，滑油本身的粘度会增大，并在油中形成碳氢化合物固粒。此外，在气缸工作时，氧化的燃油同滑油之间有聚合的趋势。结果在活塞裙部和缸衬内壁上形成坚硬的漆状沾积物。

随着柴油机输出功率的增加，缸壁和活塞表面的温度也将越来越高。滑油因过热而产生的浓缩蒸发损失将迅速增大。这种损失主要由蒸发引起，氧化和热裂也起着一定的作用。当然还有一部分滑油是经排气口或阀而损失掉的。

压力

船用柴油机的压缩压力范围一般在350 $\sim$ 700磅/吋²（24.6 $\sim$ 49.3公斤/厘米²）之间，爆炸压力范围在600

~1200 磅/吋² (42.3~84.5 公斤/厘米²) 之间。活塞环在润滑油膜的密封作用的协助下应该能起到避免缸内高压燃气漏过活塞的作用。然而，要完全杜绝这种燃气的渗漏也是不可能的。因此，在缸壁和活塞环之间的缝隙中就存在着燃气的压力作用。另外，在活塞环的背后由于压缩气体通过第一道环的搭口间隙和环槽天地间隙的渗漏而出现压力作用（如图8所示）。

作用在第一道活塞环前后的气压是很高的——只是比作用在活塞顶部的气压稍低些而已。这个气压在通过一道又一道的活塞环渗漏过程中，逐步降压。当穿透过最后一道活塞环时，其压力已经是十分微弱的了。作用在第一道活塞环背后的气压是沿着环的内表面均匀分布的，其压力值仅次于气缸工作空间的压力。而作用在活塞环正面即缸壁上的气压变化是很大的，压力从上到下明显减弱，其压力减弱的速率取决于活塞环的密封效果。

这样，就在活塞环的前后产生了一个压差，其能迫使活塞环贴在缸壁上，从而起到帮助密封的作用。这个压差在大小上变化很大，至今尚无法对此进行测算。此外由于活塞环本身所具有的弹性作用，也能使自己贴在缸壁上，形成密封。正是因为这样，在缸壁和活塞环之间必须建立油膜，以免产生金属之间的干摩擦。这时所建立的油膜则要受到挤压和摩擦二方面的考验。（请参阅图8所示的气缸漏气原理示例）

速度

虽然活塞在正常工作时的平均速度可达800~1600 呎/分（244~488 米/分），但缸衬和活塞环的磨损与这个平均速度的大小似乎并不存在一定的比例关系。由于活塞所作的运动是往复运动，故在行程的中期，运动速度为最大，而在行程的始末则为零。因

此，在行程中，容易在缸壁上建立防止气缸壁磨损的液质油膜。而在上死点附近由于活塞运动速度既慢且环境温度又很高，故只能在缸壁上维持一层极薄的油膜，即所谓的边界润滑状态。这样，油膜所发挥的保护作用便大大削弱了。所以，缸壁磨损最严重的部位通常就是在这上死点附近。

燃油中含硫量的影响

各种燃油中都含有一些硫份。目前船用柴油机所使用的低质燃油其平均含硫量为 $2.5 \sim 3.5\%$ ，有的甚至高达 5% 。硫遇热燃烧后首先形成二氧化硫，但在燃烧室温度的影响下又会氧化成三氧化硫。这是因为气缸内的助燃空气通常是绰绰有余的，故有足够的氧原子供硫在氧化反应中吸收，而且燃油中所含的钒和氧化铁在硫的氧化过程中又起着催化作用，加快了二氧化硫的氧化速度。最后，三氧化硫与燃烧过程中所产生的水蒸汽相结合形成硫酸。当缸内温度较低而压力较高时，硫酸蒸汽凝结于机件表面，使机件表面产生酸腐。此外，硫酸还会侵蚀滑油，使滑油产生油泥状沉积物。

污染

滑油在循环过程中常要受到燃气中的烟尘、燃油中的各种杂质和一些燃烧产物的污染。这类物质在与燃、滑油中的变质产物结合时，可生成沉积物积聚在缸壁、气口、活塞和活塞环槽中，影响柴油机的正常工作。如果在燃油中还含有海水成份，或是燃气中带有水蒸汽，则会进一步加剧滑油的污染变质。

气缸和活塞环上的沉积物

有许多种润滑油是不宜用作柴油机的润滑剂的，因为它们在缸内的高温条件下，产生大量的胶粘物或是坚硬的沉积物，紧紧地粘附在缸壁等机件表面。

从缸壁上刮下的滑油，其中多含有胶质物、烟灰和其他杂质。一旦被滑油带入活塞环槽内，其中的胶质物可将烟灰和其他杂质粘结成一种粘性很大的物质，使活塞环无法在环槽中自由运动，甚至有时可将活塞环完全粘死在活塞环槽内。这样，当活塞在有锥度或是失圆的气缸内向上运动时，粘死的环就不能弹开与气缸壁吻合，那末，气密就不能实现，燃气漏泄故障就会应运而生（图9所示）。另外对于由此而产生的活塞环和缸壁温度过高及其他有害付作用将在下面的章节中继续加以探讨。

有时候，由于气缸衬磨损后产生了锥度，活塞环随着活塞上下往复运动会作径向的胀缩运动。这样，就会把流入环槽内的滑油沉积物及其他杂质压实在活塞环背后（如图10所示）。随着沉积物的不断增多，最终会使活塞环在活塞下行时无法收缩。因此，就有可能导致活塞环在冲程的下死点处于缸壁顶死，酿成活塞环断裂或缸壁划伤等严重事故。

排气中的烟灰等杂质有时会积聚在二冲程柴油机的气口处形成积碳。这样会增加扫气背压，妨碍正常的扫气，降低机器的效率和功率。

气缸内的沉积物还会造成活塞和刮油环上的回油孔堵塞，使它们不能发挥正常的作用。

在接近活塞顶部附近，即在第一道活塞环的上方和与之所对应的缸壁上部，通常工作温度很高，局部地区的油膜往往会因此而蒸发掉。诚然，那里的油膜会随着活塞环不断地将下部缸壁上的滑油带上来而得到更新和维持。但由于油膜的蒸发而在缸壁上留下的残余物的性质对气缸的工况却颇有影响。有些种类的滑油会因此在缸壁上留下大量的容易引起故障的胶质柏油状残余物，而也有的滑油在蒸发汽化后仅留下微量的残余物。随着柴油机的建造尺度不断加大，人们已开始认

识到要控制滑油在气缸内的蒸发是越来越不容易办到了，因为缸衬表面和活塞表面的工作温度在不断提高，所以对气缸润滑油的要求也将越来越高。

气缸磨损

气缸在工作中的磨损速度取决于柴油机的运转工况、燃油的特性和滑油的特性。通常这种磨损速度低的可做到每一千小时 0.03 毫米左右，而高的可达每一千小时 1 毫米，（每千小时 0.002~0.04 吋）。气缸磨损最快的部位是在燃烧室附近，因为那儿的温度最高，油膜最薄，磨料最多。正是因为这种不均匀磨损的存在，整个缸衬的内径会逐渐成倒锥形，即缸衬内径会从下到上逐渐增大（见图 1-1 所示）。此外，气缸上部的高温膨胀亦增加了气缸的倒锥度。

造成气缸、活塞环和活塞磨损的原因主要有如下三个方面：(1) 腐蚀；(2) 金属与金属间的摩擦；(3) 磨料磨损。

由于缸衬表面温度有时会降得偏低，尤其是在缸套冷却水温过低的情况下，这时混合于燃气产物中的水蒸汽在缸内压力的作用下，膨胀冷凝成水珠。虽然水本身对钢铁部件的腐蚀是很轻微的，但水与含硫的和其它酸性燃烧产物相混合，其危害性就很大了。通过放射性探索 and 实际工作试验，人们已经确证气缸、活塞和活塞环的腐蚀主要是由这类酸性燃烧产物造成。腐蚀所造成的金属分解速度以柴油机在起动和机温升高的时候为最大。但即使在机温已稳定在工作温度时，这样的腐蚀现象依然存在，只是速度有所下降而已。

燃油中的含硫量越高，腐蚀现象就越严重。目前，由于普遍使用高硫量的低质燃油作为柴油机的燃料，腐蚀磨损已成为人们关心的首要问题之一。然而，选用含有高碱性添加剂的气缸润滑油可克服这种由酸性燃烧产物所造成的腐蚀作用。

由于在气缸上部只能维持边界润滑状况，所以，就很难彻底隔开活塞、活塞环与缸壁的接触。这种金属间相互接触次数的多少和随之而引起的磨损速度的快慢主要取决于滑油形成油膜后其粘附力的大小。油膜的粘附能力越大，其所发挥的保护作用也越高，金属之间的干摩擦损失也就越小。

有时，扫气和燃油也会将一些灰尘之类的杂质带入气缸，其中有些杂质可能是比较坚硬的。另外某些种类的气缸润滑油和燃油的分解产物一样，也会在缸内的工作状态中生成比较坚硬的积碳物。这些磨料似的颗粒能粘附于缸壁的油膜中，形成一种软性研磨混合物。不管缸壁上的油膜是多么坚固，这种混合物照样能使活塞环和缸壁逐渐磨损。然而，值得庆幸的是只要我们选用有效的空气和燃油滤器并采用不会产生坚硬碳粒的滑油作气缸润滑剂，就能把这种磨料磨损限制在几乎可以忽略的程度上。

•如果我们将房间里的空气在压力、温度和湿度都不变的情况下压缩，空气的温度会随着压力的增大而升高。然后将压缩后的空气排入一管系中，并使这管系暴露于同样室温的空气中进行冷却。那么，这时会在压缩空气中产生一部分湿蒸汽，并逐渐凝结成水珠。所以，在压缩空气使用中，要对其管路进行放残水就是这个道理。一般说来，提高含有蒸汽的混合气体压力，随着压缩时温度的升高，所含的蒸汽成份比在压缩之前更容易产生凝结现象。这一原理适用于柴油机气缸内的各种气体和汽体，当然，也包括水蒸汽。这些混合气体在缸内的膨胀过程中依然是处在高温高压的状态中，一旦同温度较低（虽然不是很冷）的缸壁相接触，其中的一部分蒸汽便会凝结成液体。

活塞漏气

活塞漏气即是高压燃气经过粘死的活塞环而窜漏到活塞的下部空

间，活塞漏气能严重影响柴油机的工作效率和安全。在压缩冲程，严重的漏气能导致供燃烧所需的空气量不足，并由此而降低缸内的压缩压力和压缩温度。助燃空气的减少会使燃烧过程恶化，排气冒浓烟并使柴油机的效率降低。压缩终点温度的降低则将引起燃烧过程滞后，严重时能导致柴油机不能发火工作。而且喷入缸内未烧掉的燃油会稀释缸壁上的润滑油膜，削弱油膜的减磨保护作用，此外还能在缸壁上形成坚硬的漆状沉积物。

燃气的窜漏可降低工作冲程中活塞顶上的燃气压力，这样就减少了柴油机的输出功率和本身效率。近几年来，船用柴油机的设计正朝着平均有效压力越来越高的方面发展，由于活塞漏气在平均有效压力上所造成的功率损失，已经比由于功率储备的增加而造成的功率损失更为引人注目。

炽热的燃气在窜漏过活塞环的同时，不仅冲刷了缸壁上的油膜，而且还能产生一种喷气切割效应。这种效应对活塞、活塞环和缸壁金属都是极其有害的。最终可加剧金属与金属间的摩擦损失，导致缸壁划伤、拉毛和更严重的漏气。

过量润滑

如果在活塞上选用已磨损的刮油环，或是不能正常发挥作用的刮油环（如因安装错误等原因造成），或是气缸油注油器供油量调整不当，那末就有可能导致气缸润滑过量。当注入气缸内的滑油量过多时，其中的一部分气缸油会粘附在活塞上面。由于活塞上部的工作温度较高，这样就会使粘附在那儿的过量气缸油烧焦结碳。如果不能立即采取措施加以纠正，则在活塞上部焦碳状的沿积物就会逐渐增多，最后足以将上部的活塞环粘死。此外在上部活塞环槽外边缘处所形成的结碳还可能造成缸壁划伤等故障。一般在柴油机的设计过程中人们就已