

抗磨剂对军柴润滑性的提升作用

殷鹏翔 彭斌

军需能源质量监督总站，北京，100071；

摘要：军用柴油机（简称军柴）作为特种装备的核心动力装置，工作环境兼具高负荷、高转速、变工况等特点，其润滑系统需持续为运动部件提供润滑保护，避免金属直接接触引发磨损，保障动力输出稳定与装备作战效能。当前，军柴专用润滑油自身润滑性能，难以完全应对极端工况下的抗磨需求，抗磨剂作为关键添加剂，可通过特定作用机制填补润滑短板。本文先阐述军柴润滑性的核心内涵与评价指标，再分析抗磨剂提升军柴润滑性的作用机制，最后梳理抗磨剂选用需关注的核心要点，旨在为优化军柴润滑方案、强化抗磨保护提供思路。

关键词：抗磨剂；军用柴油机；军柴；润滑性；抗磨机制

DOI：10.64216/3080-1508.25.12.052

引言

军用柴油机和民用柴油机的运行工况差别很大，因为它们的使用场景和功能需求完全不同。军用柴油机是装备的动力核心，要适应复杂的机动情况：频繁启动、加速、急停，切换快、动力忽高忽低；还要长期承受高负荷（如满载行军、越野）带来的冲击力，载荷峰值高、持续久。润滑系统的核心作用是形成稳定油膜，隔离开金属表面，减少磨损和摩擦阻力，还能带走热量和金属碎粒，起到润滑、冷却、清洁的作用。但极端工况下，油膜容易破裂：高负荷时压力太大，油膜变薄或破；工况切换快，油膜来不及适应；温度高，油变稀、油膜粘力差，都可能导致油膜破。油膜一破，就会从正常润滑变成边界润滑（只剩少量油膜），甚至干摩擦（金属直接接触）。这时摩擦阻力大增，磨损速度是正常的10倍以上；还会产生大量热，加速油老化，让部件变软变形、精度下降；长期下来，部件尺寸超标、间隙异常，可能卡死或断裂，直接影响装备作战。抗磨剂能改善润滑效果：一方面在金属表面形成更耐磨、耐高温的保护膜，油膜破了也能隔离金属；另一方面优化油的黏度和流动性，让油膜更稳定。所以，弄清楚抗磨剂对军柴润滑性的提升作用，很重要，能保障军柴可靠运行、延长部件寿命、提升装备战力。

1 军柴润滑性的核心内涵与评价指标

1.1 核心内涵

一是油膜稳定性：油在高负荷、高转速、变温度下，能在部件表面形成连续、均匀、够厚的油膜，还能抵抗冲击不破裂，这是润滑的基础。二是摩擦阻力控制能力：

能降低摩擦系数，减少能量浪费，还能控制摩擦生热，避免油膜老化、部件变形，既提升动力效率，又保护油膜。三是磨损抑制能力：就算油膜局部破了，也能减少划痕、剥落等磨损，维持部件尺寸精度和间隙，延长寿命，应对润滑失效风险，是核心目标。

1.2 评价指标

1.2.1 摩擦相关指标

用专用试验机模拟军柴工况检测，包括摩擦系数和摩擦温升。摩擦系数越低越好，高负荷下需 ≤ 0.08 ，加抗磨剂 ≤ 0.05 更优；摩擦温升需 $\leq 40^{\circ}\text{C}$ ，超 50°C 易出问题。

1.2.2 磨损相关指标

包括磨损量、表面粗糙度、磨损类型占比。磨损量用质量或尺寸变化衡量，高负荷下小型部件磨损 $\leq 5\text{mg}$ 、精密部件尺寸变化 $\leq 0.005\text{mm}$ ；表面粗糙度 Ra 值 $\leq 0.8 \mu\text{m}$ ， $\leq 0.4 \mu\text{m}$ 更优；黏着和氧化磨损总占比 $\leq 20\%$ ， $\leq 10\%$ 更安全。

2 抗磨剂提升军柴润滑性的作用机制

2.1 优化油膜性能，增强油膜稳定性

极端工况下，军柴润滑油自己形成的油膜，容易因为压力、温度变化破裂。抗磨剂能改善油膜的结构和受力性能，让油膜更不容易失效，从基础上强化润滑效果。一方面，抗磨剂能通过分子间的相互作用，改善油膜的黏度和黏度随温度变化的特性。有些抗磨剂分子能和润滑油基础油分子结合，形成更稳定的分子团，让润滑油在常温下更稠，油膜承受压力的能力变强，避免高负荷下油膜被挤薄。另一方面，抗磨剂能在油膜里形成“支

撑结构”，让油膜受力更强。有些抗磨剂分子有特殊的极性基团，能在润滑油里整齐排列，形成像“分子骨架”一样的支撑结构，嵌在油膜里后，能增强油膜抵抗剪切的能力，避免高转速下油膜被剪得分层失效；而且这种支撑结构弹性好，当部件受冲击力让油膜暂时变形时，能快速恢复原来的厚度和形状，不让油膜破裂导致金属直接接触，进一步让油膜更稳定。

2.2 保护金属表面，抑制磨损发生

当油膜局部破裂，进入边界润滑状态时，金属表面直接接触的风险会大幅升高。抗磨剂能和金属表面发生物理或化学作用，形成保护膜，隔离开金属，从源头阻止磨损。一类是物理吸附膜保护。抗磨剂分子靠极性基团，和金属表面的极性位点结合，形成一层紧密的物理吸附膜。这层膜延展性好，能跟着金属部件运动一起变形，始终盖在金属表面，就算油膜破了，也能隔离开金属，避免直接摩擦；而且它的摩擦系数低，能减少摩擦阻力和热量，减缓自身磨损，要是局部膜坏了，周围的抗磨剂分子能快速补上来，修好膜层，保持保护效果。另一类是化学反应膜保护。在高负荷、摩擦生热的作用下，抗磨剂分子会和金属表面发生化学反应，生成一层和金属结合紧密的化学反应膜。这层膜比金属表面硬，还能抵抗黏着和磨损，能扛住高负荷下的压力和剪切力，避免金属表面黏着磨损；而且它化学性质稳定，不会因为温度升高或油老化分解，能在金属表面长期稳定保护，就算长时间高负荷运转，也能一直隔离开金属，大幅减少磨损。

2.3 调控磨损产物，减少二次磨损

军柴润滑时，就算有油膜和抗磨剂保护，还是会产生产少量磨粒（比如金属碎屑、氧化产物）。这些磨粒如果飘在润滑油里，会跟着油循环粘在部件表面，引发“二次磨损”，让润滑系统变差。抗磨剂能调控这些磨损产物，打断二次磨损的链条。一方面，抗磨剂能“包裹分散”磨粒，不让磨粒聚在一起。有些抗磨剂分子有分散基团，能吸在磨粒表面，形成一层包裹膜，阻止磨粒因为静电或分子引力聚成大颗粒。另一方面，抗磨剂能“钝化处理”磨粒，降低磨粒的磨损能力。有些抗磨剂能和磨粒表面的活性位点反应，生成一层柔软的钝化层，盖在磨粒尖锐的棱角上，把“尖颗粒”变成“圆颗粒”；这种圆颗粒就算碰到金属表面，也很难划伤，大幅降低磨损能力，而且钝化层还能减少磨粒和油里其他成分反

应，避免生成更易腐蚀的物质，进一步保护金属表面和油膜，打断二次磨损的过程。

3 抗磨剂选用需关注的核心要点

3.1 兼顾军柴工况，确保作用机制适配

不同军柴的工况不一样，比如负荷大小、转速范围、工况切换的频率，这些差异会让它们对润滑性的需求、对抗磨机制的依赖也不同。所以选抗磨剂，要先匹配军柴的工况特点，确保抗磨剂的作用机制，能刚好解决实际润滑中的短板问题。如果军柴长期处于高负荷工况，比如重型装甲装备的军柴，要一直承受满载行军、越野的大载荷，摩擦面的压力常常超过 80MPa，它的润滑系统最核心的短板就是油膜容易被挤破，金属表面承受的压力大，还容易出现黏着磨损。如果军柴要频繁经历启动、急停这些变工况，比如轻型战术车辆的军柴，作战时要经常短途机动、躲障碍，工况切换间隔往往不到 5 分钟，它的润滑系统短板就是油膜不稳定，经常出现边界润滑的情况。比如工况切换时，部件速度和载荷突然变，油膜来不及适应就破了；启动时油膜没形成好，也会进入边界润滑，这些短暂的润滑失效，容易引发磨粒磨损和轻微的黏着磨损。这种情况下，要选“物理吸附膜保护+油膜优化”两种机制一起发挥作用的抗磨剂，比如酯类-硫磷复合抗磨剂。一方面，物理吸附膜能快速响应，抗磨剂分子靠极性基团，一下子就吸在金属表面，形成一层膜，就算油膜暂时破了，这层膜也能立刻隔离开金属，应对启动、工况切换时的临时润滑需求，而且膜坏了，周围的抗磨剂分子还能快速补好；另一方面，油膜优化能让油膜更稳定，改善油膜的黏度和抗剪切能力，减少工况切换时油膜破裂的概率，少出现边界润滑的情况，两种机制一起，既解决临时润滑失效，又改善油膜基础稳定性，刚好适配变工况的润滑需求。这类抗磨剂的好处很明显：一是能和基础油分子结合，形成稳定的分子团，让油膜更能扛剪切力，避免高转速下油膜被剪分层或破掉；二是能改善油膜的黏度，让油膜在高温下不会太快变稀，不会因为黏力不够失效；三是有些这类抗磨剂还能降低摩擦系数，减少摩擦产生的热量，进一步减少油膜被高温晒老的风险，既稳住油膜，又减少热量，刚好适配高转速工况的需求。

3.2 考量与润滑油兼容性，避免性能冲突

抗磨剂不是单独在润滑系统里发挥作用，而是作为

添加剂，混在军柴专用润滑油里，和润滑油的基础油、其他添加剂（比如抗氧剂、防锈剂、清净剂）一起工作。所以选抗磨剂时，一定要做好和润滑油的兼容性验证，通过实验室模拟测试，确保抗磨剂和基础油、其他添加剂都能配合好，起到“1+1 大于 2”的效果，而不是互相拖后腿，具体要从两个方面做验证。验证抗磨剂和基础油的兼容性。军柴润滑油的基础油主要分两种：矿物基础油和合成基础油，这两种基础油的分子结构、化学特性不一样，比如极性强弱、溶解能力，对抗磨剂分子的吸附、溶解和散开能力也不同，直接影响抗磨剂能不能发挥作用。如果是矿物基础油，它的分子极性弱，溶解能力中等，要选分子里含有非极性烃基链的抗磨剂，比如烷基硫磷酯类抗磨剂。这类抗磨剂的非极性基团，能和矿物基础油的分子很好地融合，在基础油里散得均匀，不会出现分层、沉淀或析出来的情况，避免有的地方浓度太高，生成太多沉积物堵油路，或浓度太低，形成不了有效的保护膜。如果是合成基础油，比如合成烃基础油，它的分子极性更弱，耐热性更好，要选和它分子结构适配的抗磨剂，比如聚 α -烯烃基硫磷抗磨剂。确保这类抗磨剂在高温、高转速的工况下，还是能在基础油里散得均匀，不会分解或析出来，一直保持稳定的抗磨效果。验证兼容性的核心指标是“分散稳定性”，具体做法是：按推荐的添加量，把抗磨剂混进基础油里，在模拟军柴的油温（80℃~120℃）下搅拌均匀，然后放24小时，观察有没有分层、沉淀或东西析出来，要是没明显异常，就说明和基础油兼容性合格。验证这种兼容性，核心方法是“协同性能测试”，具体做法是：按润滑油实际的配方比例，把抗磨剂和其他添加剂一起混进润滑油里，用四球摩擦磨损试验机模拟军柴的工况，检测混合后润滑油的摩擦系数和磨损量，要是摩擦系数、磨损量都比只用一种添加剂时好，或者没出现性能下降，就说明兼容性合格，能确保各种添加剂一起增强润滑效果。

3.3 符合装备要求，保障使用安全性

军柴是军用特种装备的核心动力，它能不能可靠运行，直接关系到装备的作战能力和作战安全，所以对润滑系统的安全性要求，比民用柴油机高很多，主要体现在三个方面：部件材质安全、符合环保要求、适配使用周期。抗磨剂作为润滑系统的重要组成部分，选的时候要严格符合军柴的装备设计标准（比如军用装备润滑系

统的技术规范）和使用要求，别因为抗磨剂的特性，引发安全隐患，或影响装备作战、维护，确保用起来安全可靠。要符合环保和部件材质安全要求。有些抗磨剂里含有特定元素（比如氯元素）或杂质，长期用会出两个安全问题：一是腐蚀军柴里的有色金属部件，比如铜合金轴瓦、铝合金油箱，这些部件的化学性质比较活泼，抗磨剂里的腐蚀性成分（比如氯化物、酸性物质）容易和它们发生反应，破坏部件表面的保护层，导致生锈或被腐蚀磨损，缩短部件的寿命；二是在高温下生成有害的东西，比如有挥发性的有毒气体、固体污染物，这些东西不仅会污染润滑系统，堵滤清器、堵油路，还会在装备维护时伤害操作人员的健康，废弃润滑油处理时，还会污染环境。所以选抗磨剂时，要优先选经过“材质兼容性检测”的产品，具体检测方法是：把抗磨剂混进润滑油里，再把军柴常用的有色金属试片（比如铜片、铝片）放进去，在模拟军柴的工况下（温度 100℃、时间 24 小时）接触，之后观察试片表面有没有生锈、变色，或质量有没有减少，要是试片没明显的腐蚀痕迹，就说明材质兼容性合格。同时，还要符合军用装备的环保要求，选没有有毒有害元素、高温下不会生成有害东西的抗磨剂，避免环保和健康隐患。

4 结语

抗磨剂通过优化油膜性能、保护金属表面、调控磨损产物三类核心机制，为军柴润滑性提供关键支撑，有效应对极端工况下的润滑短板，减少磨损、保障动力输出稳定，是军柴润滑系统不可或缺的组成部分。抗磨剂的价值发挥，并非依赖单一机制或高性能指标，而是源于与军柴工况、润滑油特性及装备要求的精准适配。因此，选用抗磨剂需兼顾工况适配性、与润滑油兼容性及使用安全性，通过科学选用与协同调控，最大化发挥其对军柴润滑性的提升作用，为军柴可靠运行、装备作战效能保障提供坚实的润滑支撑。

参考文献

- [1] 周连运, 赵丽娟. 柴油抗磨剂的研究 [J]. 辽宁化工 2020. 10 (041).
- [2] 李彦, 杨栩, 范峰, 黄风林. 柴油抗磨剂对柴油质量影响研究 [J]. 当代化工 2019. 11.
- [3] 罗辉, 范维玉, 李阳. 柴油抗磨剂对柴油质量影响研究动力学模拟 [J]. 石油学报 (石油加工), 2019. 03.