

# 榕树叶表蜡质作为潜在环境友好型汽车发动机 润滑油添加剂的摩擦学性能研究

陈少英, 莫岱宗

(广西壮族自治区百色市凌云县公路管理所, 广西 百色 533199)

**摘要:** 为解决汽车发动机润滑油泄漏对环境的污染问题, 以生物降解能力强且综合性能优异的合成酯为基础油, 提取榕树叶表蜡质作为添加剂, 采用气质联用仪分析蜡质的主要成分, 分别考察汽油机油和含蜡质合成酯的生物降解性能, 采用 SRV 摩擦磨损试验机对试验油的摩擦系数、磨痕宽度进行研究, 分析不同质量分数蜡质添加量和试验载荷对其摩擦磨损性能的影响, 并与目前市售的 A5/B50W-30 汽油机油的摩擦磨损性能进行对比, 采用扫描电子显微镜、二次飞行质谱仪和能谱仪对磨损表面形貌及化学成分进行分析。结果表明, 榕树叶表蜡质能提高合成酯的减摩抗磨性能, 其优异的摩擦学性能归因于蜡质组分中的酸、醇和酯等有机物能吸附在摩擦副表面, 阻止金属表面直接接触。

**关键词:** 汽车; 发动机; 环境友好型润滑油; 摩擦磨损

**中图分类号:** U473.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2018)03-0004-04

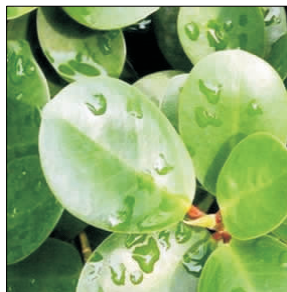
目前, 道路上行驶的汽车所使用的汽油机油多以矿物油为主, 矿物油生物可降解性能差, 泄漏在路面上的矿物油经久不散, 带来极大的交通安全隐患。同时, 汽油机油中多添加含硫、磷等元素的添加剂, 如二烷基二硫代氨基甲酸钼 (MODTC)、二烷基二硫代磷酸锌 (ZDDP) 等, 若泄漏将对公路两侧的环境造成严重污染。随着生态环境的每况愈下, 开发新型环境友好型发动机润滑油成为当务之急。近 10 年来, 学者们致力于开发以植物油如大豆油、葵花籽油、菜籽油等为润滑基础的研究, 由于植物油的抗高温性能差, 而汽车发动机在满额运行中的温度极高, 导致植物油在发动机方面的应用受到很大限制。虽然可采取化学改性、生物遗传育种改性等手段来解决植物油的热稳定性差问题, 但改性方法复杂且耗时, 不易于投入工业使用。因此, 研究人员开始将目光放到润滑油的添加剂上, 希望能开发出新一代生物可降解型润滑油脂添加剂。许晓春、马静雯、袁荔等提取球兰、大葱、茄子、云杉、沙棘等叶表蜡质并将其作为添加剂加入合成油中, 结果表明新型润滑油能起到良好的减摩抗磨功效, 其摩擦系数和磨痕宽度甚至优于工业上常用的添加剂二烷基二硫代氨基甲酸钼。李灵芝等在对植物表面蜡质层的研究中发现, 不同种植物表面蜡质成分含量不同, 就算是同一个品种植物, 不同经纬度、不同土壤成分也会导致叶表蜡质成分差异。因此, 研究叶表蜡质

作为润滑剂添加剂具有创新性与实际应用意义。榕树是西南地区常见的树种, 被誉为“常年青”植物, 其叶片表面蜡质层丰富, 能在寒冷的冬季减少水分散失, 保障叶绿素进行光合作用。该文以榕树叶表蜡质为添加剂、合成酯为基础油制备新型环境友好型润滑油, 采用 SRV 摩擦磨损试验机对其摩擦系数、磨痕宽度进行研究, 分析不同质量分数蜡质添加量和试验载荷对其摩擦磨损性能的影响, 为其日后应用于汽车发动机提供理论与数据支撑。

## 1 试验方案

### 1.1 添加剂材料的选择与提取

选择适应环境、生长条件要求较低的榕树作为研究对象[见图 1(a)], 在常温下利用氯仿和丙酮等溶剂提取榕树叶表蜡质[见图 1(b)]。



(a) 榕树叶片



(b) 榕树叶表蜡质颗粒

图 1 润滑油添加剂

1.2 蜡质成分分析

利用气质联用仪(GCMS)对所提取蜡质的主要成分进行分析,通过与质谱图中的最强峰即基峰对比,推断各成分含量。

1.3 润滑油的配制

为了确定最佳润滑油添加剂含量,在合成酯基础油中分别添加 0.5%、1%、1.5%和 2%质量分数的榕树叶表蜡质,同时与目前市售的 A5/B50W-30 汽油机油进行对比。选取含有最佳浓度蜡质的润滑油进行变载荷试验,试验载荷分别为 400、500、600 和 700 N。

1.4 摩擦磨损性能测试

采用万能摩擦磨损试验机对自制的润滑油及商用汽油机油 A5/B50W-30 进行试验,试验中使用轴承钢钢球,直径为 6 mm,硬度为 780 HV。底盘为钢块,尺寸为  $\phi 22\text{ mm} \times 6.8\text{ mm}$ ,硬度为 650 HV。试验前抛光钢块,钢块表面粗糙度为  $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 。试验前后用丙酮超声清洗试件,在摩擦副间涂抹适量润滑油。每次试验时间为 1 800 s,试验载荷为 300 N,频率为 4 Hz,温度为室温。试验结束后记录实时摩擦系数,并采用 SEM、二次飞行质谱仪(ToF-SIMSIV)和能谱仪(EDS)观察并分析磨斑表面形貌和表面主要化学成分。

2 试验结果与分析

2.1 榕树叶表蜡质成分分析

表 1 为通过 GCMS 分析得出的榕树叶表蜡质成分。从中可见,榕树叶表蜡质成分含量排序为醇、烷烃、烯烃、酯和酸,各种成分含量均不同,需通过摩擦磨损试验确定其在合成酯中的减摩抗磨性能。

表 1 榕树叶表蜡质成分

成分名称	质量分数/%
醇类( $\text{C}_{10-31}\text{H}_{18-52}\text{O}_{1-2}$ )	53
烷类( $\text{C}_{10-35}\text{H}_{16-70}$ )	19
烯烃( $\text{C}_{10-20}\text{H}_{16-32}$ )	10
酯类( $\text{C}_{12-33}\text{H}_{20-54}\text{O}_{1-4}$ )	8
酸类( $\text{C}_{10-23}\text{H}_{14-44}\text{O}_{1-2}$ )	2

2.2 含蜡质润滑油的生物降解性能

图 2 为汽油机油、含 2%蜡质的合成酯在实际公路环境培养基中的降解度。由图 2 可知:汽油机油的最大降解度约 21%;含蜡质的合成酯在前 18 d 剧烈分解,之后进入平稳期,最终降解度约 99%。说明榕树叶表蜡质润滑油具有完全生物降解能力,

可作为汽车发动机的潜在环境友好型润滑油。这主要归因于榕树叶表蜡质成分以酸、醇、酯为主。

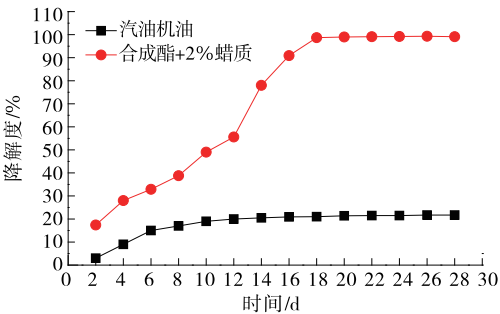


图 2 两种润滑油在公路环境培养基中的降解度

2.3 摩擦磨损性能

图 3 为含不同质量分数蜡质的润滑油的摩擦系数。由图 3 可知:汽油机油润滑下的摩擦系数变化极不平稳。合成酯在前 700 s 的摩擦系数平稳,随后进入剧烈磨损阶段,其原因为在载荷持续作用下润滑油膜发生破裂,使金属摩擦副直接接触,上试球因硬度较高而撕裂下试盘的材料,使磨损表面极不平稳,使摩擦系数起伏波动较大。随着蜡质质量分数的增加,润滑油平稳工作时间变长,剧烈磨损时间减少,说明蜡质组分能增强润滑油膜的承载能力,在一定程度上防止摩擦副直接接触。榕树叶表蜡质质量分数为 2% 时,润滑油的摩擦系数最小、最平稳。同时从表 2 可看出含 2% 蜡质的润滑油的磨痕宽度仅为 0.186 mm,比汽油机油减少约 42%。综上,榕树叶表蜡质具有良好的减摩抗磨性能。

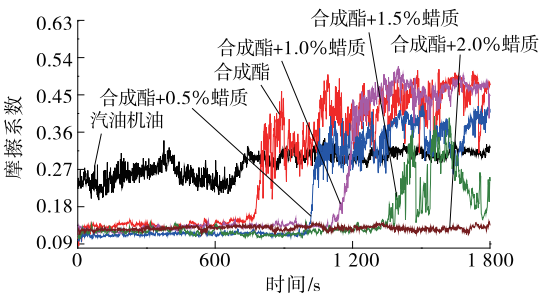


图 3 不同质量分数蜡质对润滑油摩擦系数的影响

表 2 不同质量分数蜡质对润滑油磨痕宽度的影响

润滑油种类	磨痕宽度/mm
汽油机油	0.319
合成酯	0.377
合成酯+0.5%蜡质	0.328
合成酯+1.0%蜡质	0.283
合成酯+1.5%蜡质	0.201
合成酯+2.0%蜡质	0.186

图4为含2%蜡质的合成酯和汽油机油在不同载荷下的摩擦系数。由图4可知:在合成酯+2%蜡质润滑下摩擦系数随着载荷的增大而增大。在低载荷(400~600 N)时,润滑油的摩擦系数变化平稳,在摩擦副的表面存在1层或多层具有优良承载能力的润滑油膜,润滑状态处于同时含边界润滑和弹流润滑的混合润滑状态,能抑制表面黏着磨损的发生。当载荷增加至700 N时,润滑油的摩擦系数开始出现较大波动,其原因为载荷过大时润滑油膜发生破裂,两金属表面进入剧烈磨损阶段,上试球将下试盘的材料拔起,脱落的材料充当硬质颗粒在摩擦表面划出犁沟,导致摩擦表面变得极不平整,因而摩擦系数变化较大。对比发现,汽油机油在700 N下发生严重磨损,已处于润滑失效状态。综上,含榕树叶表蜡质润滑油的承载能力优于汽油机油。

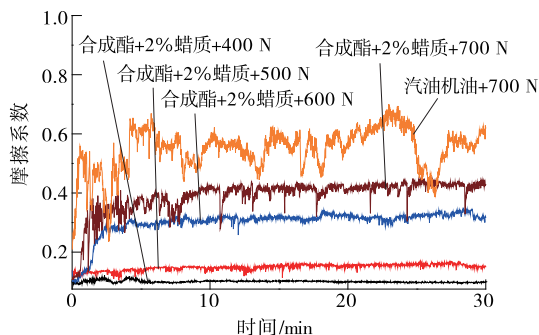


图4 不同载荷对含2%蜡质合成酯和汽油机油摩擦系数的影响

图5为汽油机油和合成酯+2%蜡质润滑下的磨损表面。从图5可看出:汽油机油润滑下的磨损表面分布大量宽而深的犁沟,并伴随着材料黏着迹象,原因是在高载荷作用下,汽油机油的油膜发生破裂,上试件钢球直接与底盘接触,在高剪切应力作用下底盘材料被上试球撕裂并转移,导致摩擦表面极不平整。这也是图3中汽油机油润滑下摩擦系数不平稳的原因。合成酯+2%蜡质润滑下的磨损表面犁沟分布较少,且没有大面积材料剥落现象。结合图6所示阴阳离子飞行质谱分析结果,榕树叶表蜡质组分中的酸、醇和酯等大分子有机物在摩擦副间形成承载能力高的润滑油膜,阻止了金属表面直接接触,起到了良好的减摩抗磨功效。摩擦学的一般观点认为,添加剂能增加润滑油的粘度,润滑油粘度越高,其油膜的承载能力越高,因为添加剂大分子能积聚在摩擦副表面,防止类似于干摩擦的剧烈磨损现象发生。

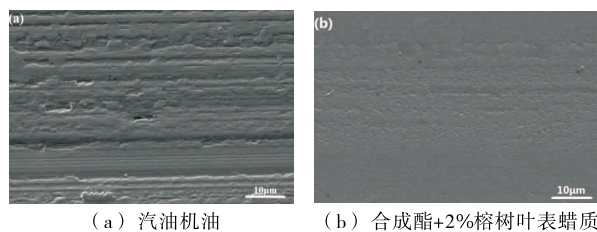


图5 不同润滑油润滑下的磨损表面

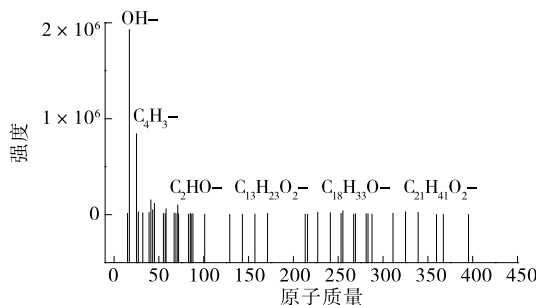


图6 磨痕表面阴阳离子的飞行质谱分析

图7为含2%蜡质润滑油和汽油机油润滑下磨损表面的元素组成。从图7可看出:含2%蜡质润滑油的磨损表面只能检测出钢的元素成分,因为蜡质中含有的酸、醇和酯等均为有机物,能谱检测不出别的成分元素。汽油机油润滑下的磨损表面检测出了硫元素,原因为汽油机油为商业用油,在基础油中

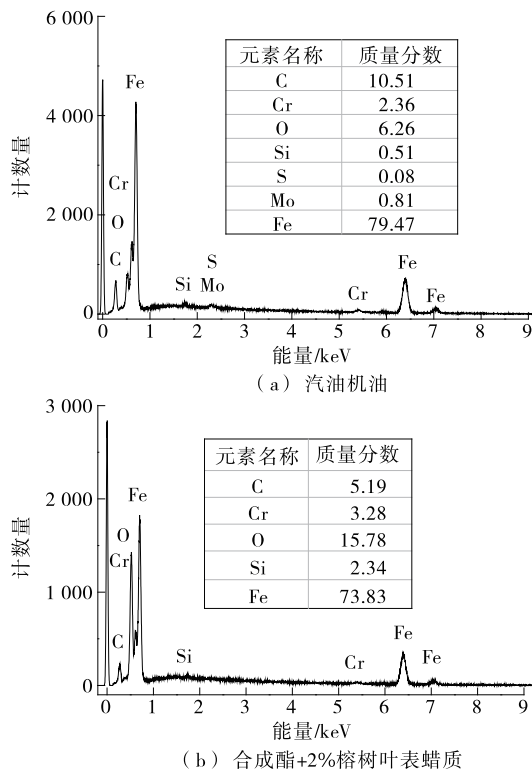


图7 含蜡质润滑油和汽油机油润滑下的磨损表面元素组成



添加了含硫型添加剂,在摩擦过程中,添加剂中的硫元素与铁发生摩擦化学反应生成一层含有铁的化合物材料层,能谱结果也证实汽油机油中确实含有对环境有害的元素。

### 3 结论

(1) 榕树叶表蜡质主要由酸、醇、酯等有机物组成,含蜡质润滑油具备完全生物降解性能,蜡质作为发动机润滑油添加剂可满足环保要求。

(2) 在合成酯中添加榕树叶表蜡质具有比汽油机油更优异的摩擦学性能,榕树蜡质组分质量分数为 2% 时润滑油的摩擦磨损性能最优。

(3) 蜡质优异的摩擦学性能归因于蜡质添加剂成分中的酸、醇、酯等在摩擦表面生成以 C—H—O 为主的润滑油膜。

#### 参考文献:

- [1] 陈尚珊. 燃用甲醇汽油(M15)发动机润滑的研究[J]. 公路交通科技, 1987, 4(1).
- [2] 刘玉梅, 李雪海, 苏建, 等. 车用润滑油劣变状态在线监

测系统开发[J]. 公路交通科技, 2009, 26(11).

- [3] 彭高宏. 汽车发动机启动预润滑技术研究综述[J]. 公路与汽运, 2015(1).
- [4] 阿里, 于唯, 李诺, 等. 甲醇汽油发动机润滑油抗磨性的改进[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2013, 33(1).
- [5] 张金玲. 汽车发动机润滑养护与常见故障诊断方法分析[J]. 内燃机与配件, 2017(18).
- [6] 许晓春. 植物叶片提取物作为添加剂在铝—钢摩擦副下的摩擦学性能[J]. 科学通报, 2014, 59(36).
- [7] 马婧雯. 不同地域云杉表面蜡质的润滑性能研究[J]. 机械工程学, 2017, 53(3).
- [8] 王涛, 李宏玲, 孙晋松, 等. 润滑油对变速器传动效率的影响研究[J]. 客车技术与研究, 2015(6).
- [9] 赵民章. 车辆集中润滑高粘度油脂应用技术[J]. 客车技术与研究, 2009(2).
- [10] 袁荔. 沙棘油的提取及摩擦学性能研究[J]. 润滑与密封, 2017, 42(2).
- [11] 李灵之, 马杰, 向建华, 等. 植物角质层内外蜡质的差异及其与抗逆性的关系[J]. 植物生理学报, 2011, 47(7).

收稿日期: 2017—12—04

\*\*\*\*\*

(上接第 3 页)

建立边界人体可普及到正常驾驶姿态、直接视野(组合仪表视野)、间接视野(内外后视镜视野)、换挡器操作、手刹操作、开关操作、驾驶员扶手高度、行李箱开启等多项工效学评估中。将寻找到的边界人体建立尺寸库、姿态库、任务库(见图 8), 可进一步提高 Ramsis 在人机工程中的应用效率。

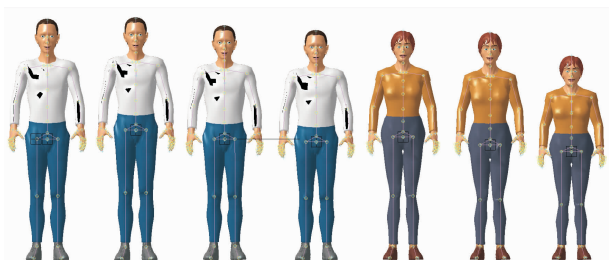


图 8 边界人体库

### 3 结语

边界人体库、姿态库、任务库的建立不局限于完成上述工作, 旨在提出一种研究方法, 通过 Ramsis 软件分析某项任务存在的规律, 寻找处于分布边缘的具有代表意义的个体, 通过对该个体进行工效学

分析, 能有效反映群体内其他人体的情况, 进而达到减少分析样本量、提高工作效率的目的。数据库可根据驾驶室布局中的工作需要不断扩展和完善, 亦可根据国家、客户群体、产品类型及周期的不同建立不同边界人体库。

#### 参考文献:

- [1] 伍毅. 基于 RAMSIS 的 A 类乘用车内部人机工程布置设计方法研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [2] 任金东. 汽车人机工程学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- [3] 周一鸣, 毛恩荣. 车辆人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [4] 王欣. 有限元人体模型的分析 and 应用[J]. 客车技术与研究, 2006(2).
- [5] 陈培哲, 孙宝忠. 基于人机工程学的客车变速操纵系统设计[J]. 客车技术与研究, 2010(5).
- [6] 任金东, 范子杰, 黄金陵. 数字人体模型技术及其在汽车人机工程设计中的应用综述[J]. 汽车工程, 2006, 28(7).

收稿日期: 2017—11—01