

# 聚四氟乙烯型减摩剂减摩与抗磨效果的评定

郭亦明

(交通部汽车运输节能服务中心)

## 摘 要

含胶体聚四氟乙烯的减摩剂是国外近年研制的一类应用于汽车发动机润滑的新型润滑材料。本文主要介绍了用国产多缸汽油机评定三种美国减摩剂和一种国内研制的产品的减摩节油效果,以及这些减摩剂在国产汽油机上使用的抗磨效果。

试验按统一方法,分别在北京、上海、广东三个地方进行。各地各种评定方法取得的试验结果,相关性较好,证明此类减摩剂在国产汽油机上使用有减摩、抗磨效果,等速燃料消耗降低了4%左右;运行百公里节约燃油3%左右,发动机气缸磨损减少10%~40%。

## 一、减摩剂与发动机的润滑

减摩剂是一种在边界润滑或混合润滑状态下能降低摩擦系数的添加剂。一般可分为油溶性的添加剂和固体润滑剂两类。从润滑状态与摩擦系数的示意图(图1)可以看出,理想的润滑状态是流体润滑。在边界润滑或混合润滑区域里,把减摩剂引入润滑油中,会在摩擦表面形成边界润滑膜,使摩擦系数明显下降,获得节能效果。

发动机内各摩擦副所处的润滑状态并不都是流体润滑。曲轴轴承是滑动轴承,除起动后停车前的短暂时间外,主要工作于流体润滑状态。凸轮和气门挺杆属于线接触摩擦副,负荷及运动速度变化大,主要处于弹性流体润滑和边界润滑的混合状态。活塞环和气缸套工作面的几何形状和滑动轴承相似,但由于高温、窜气、速度的急剧变化和振动等原因,存在边界润滑。可见发动机的润滑状态很复杂,摩擦损失相当大。据统计,一台汽油发动机燃料产生的热能仅1/3左右转变为发动机指示功率,其中发动机内摩擦和附件又消耗约20%功率。

聚四氟乙烯(PTFE)具有良好的化学稳定性和优异的润滑性能。在边界润滑状态下,能降低摩擦和磨损,是一种使用范围较广的固体润滑剂,含PTFE胶体颗粒的减摩剂是一种浓缩悬浮液。使用时,按规定的容积比,加注到正在工作的发动机机油中,PTFE固体粉即可被带到各摩擦副工作表面,发挥其润滑作用,避免金属凸峰间的直接接触,降低混合润滑及边

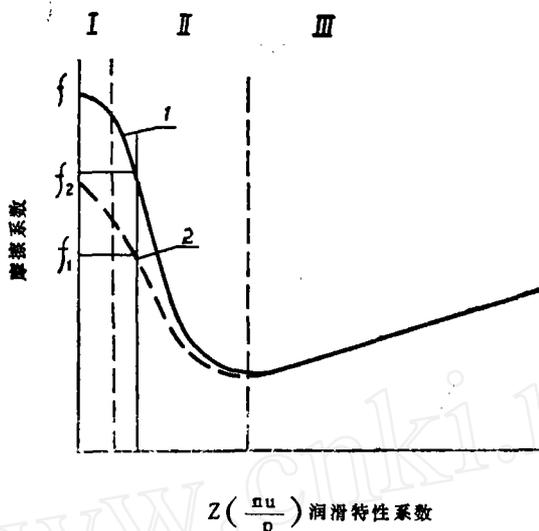


图1 润滑特性系数与摩擦系数关系示意图

I—边界润滑区；II—混合润滑区；III—流体润滑区； $\nu$ —速度； $u$ —粘度， $p$ —压力（负荷）， $f_2 > f_1$ ，1—无减摩剂，2—加减摩剂

界润滑状态下的摩擦系数，从而改善了发动机的润滑状况。

## 二、评定方法及设备

### （一）方法：

目前，国际上尚未确立评价汽车发动机润滑油与燃料经济性关系的标准方法。随着节能润滑油的研究开发，这方面的评定试验工作进行得相当活跃。由于发动机润滑的复杂性，比较普遍采用的是发动机台架试验和汽车道路试验。其中有发动机性能试验和摩擦功试验。用电力测功仪反拖法测定发动机摩擦功效果较好。因为它可以排除影响发动机燃油消耗的许多因素。例如化油器与分电盘等油电路系统的调整对发动机燃油消耗的影响远大于润滑油这一因素。在汽车道路试验方面，国外普遍采用底盘测功计模拟法。它以车辆实际行驶条件诸变量为参数，组成多工况循环试验，并有自动更换机油的装置。车辆道路试验也是一种评定方法。

关于减摩剂的抗磨效果评定，以长期使用试验获得的大量实测数据较为可靠。我们对几种PTFE型减摩剂作了以下几项评定试验：

1. 发动机性能试验，按国家标准进行。
2. 发动机摩擦功试验。

其试验方法有下列两种：

#### （1）熄缸法

在发动机台架上，分别用不加减摩剂与加减摩剂的润滑油进行摩擦功对比试验。试验时油门全开，测定2800r/min时的功率，随后拔出一个缸的火花塞的高压线，使其断火，接着调节负荷，提高转速至2800r/min，再测定功率。依次测定各缸熄火后的功率，按下式计算

## 摩擦功。

$$N_m = \sum N_i - N_e$$

式中： $\sum N_i$ —各缸指示功率之和。

$N_e$ —发动机额定转速时的平均有效功率。

$N_m$ —摩擦功。

### (2) 电力测功机反拖法

#### 1. 热机摩擦功试验

发动机节气门全开，在额定转速下运行。保持冷却液温度在 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ ，机油温度在 $85 \pm 2^\circ\text{C}$ ，然后切断油路，使管路中剩余燃油迅速烧尽。再切断点火电源，用直流电力测功机反拖发动机。保持节气门全开，从定额转速起逐步下降，直至最低转速，每隔 $400\text{r}/\text{min}$ 作为一个测试点。然后，再由低转速逐步升高至额定转速，同样每隔 $400\text{r}/\text{min}$ 作为一个测试点。结果取二次试验的平均值。

#### 2. 冷机摩擦功试验

发动机冷却液与机油温度均从环境温度开始。冷却液不循环，发动机节气门全开，以电力测功机反拖发动机，从低转速逐渐上升至额定转速，机油温度亦由 $20^\circ\text{C}$ 升至 $50^\circ\text{C}$ 。每隔 $400\text{r}/\text{min}$ 、机油温度升高 $5^\circ\text{C}$ ，作为一个测试点（例如 $400\text{r}/\text{min}$ 、 $20^\circ\text{C}$ ； $800\text{r}/\text{min}$ 、 $25^\circ\text{C}$ ，……）。

#### 3. 汽车道路试验

按国家标准GB1334-77《载重汽车和越野汽车道路试验方法》有关项目进行。

#### 4. 使用试验

PTFE减摩剂的抗磨效果，在以下三个使用试验点由长期对比行车试验取得的发动机实测数据评定。北京市公共汽车一场，在45部解放CA-10B改造型发动机的公共汽车上，完全按照运营车条件作了二年的试验。上海市汽车运输公司四场选用15部东风EQ 140载重汽车进行4万公里试验。测量的代表摩擦副是活塞环与气缸套。缸套测量部位是上止点。湛江运输公司选定15台安装解放CA-10B改造型发动机的长途客车，分成三组，组成专门的试验车队。试验前全部试验车统一拆检，统一发动机材质，然后投入正常营运。每万公里检测气缸套上止点磨损，8万公里发动机解体测量各摩擦副磨损。

### (二) 评定试验用发动机型和车型

1. 解放牌CA-10B或其改造型发动机，以及由它们组装的车辆。
2. 东风牌EQ-140载重汽车。
3. 北京BJ-130载重汽车。

### (三) 试验润滑油及减摩剂

表1 减摩剂样品表

名称	生产厂商	代号
FJM	石油化工总公司621厂	FJM
Tufoil	美国Fluoramic公司	TFL
路百能	美国Lubri-Lon公司	L-L
TMT	美国Spery OWN LTD公司	TMT

1. 14号柴油机油（东风牌EQ-140汽车用）

2. 10号汽油机油（其它发动机和汽车用）

3. 含聚四氟乙烯的减摩剂四种，其中三种为美国商品，一种为国内研制品。样品名称，生产厂和代号见表1。

以上减摩剂严格按商品说明书规定的比例，加到发动机油中。中间更换机油及补充机油均不加减摩剂。北京市公共汽车一场试验车结合保养周期每行驶约16000公里加减摩剂一次，上海及湛江试验车，每行驶2万公里加减摩剂一次。

PTFE型的减摩剂作用有滞后现象，即加进油中并不能立即奏效。据商品说明书介绍，需待汽车运行1000公里左右后才有效果。因此发动机台架试验以加减摩剂运转35小时（1200 r/min）后所得的结果作为对比数据。加减摩剂机油的道路对比试验，也是先运行1000公里左右后开始。

### 三、评定指标

#### （一）热机摩擦功变化百分率（ $\eta_{热}$ ）

这项指标按下式计算：

$$\eta_{热} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \times 100\%$$

式中  $A_i$  与  $B_i$  分别为发动机在机油加减摩剂以前和以后累计运转35小时以上测得的任一规定测试转速下的热机摩擦功（马力）； $n$  为试验规定测试点数。

#### （二）冷机摩擦功变化百分率（ $\eta_{冷}$ ）

这项指标按下式计算：

$$\eta_{冷} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \times 100\%$$

式中  $A_i$  与  $B_i$  分别为发动机在机油加减摩剂以前和以后累计运转35小时以上测得的任一规定测试转速下的冷机摩擦功（马力）； $n$  为试验时测试点数。

#### （三）直接档等速油耗平均节油率（ $\eta_{等}$ ）

这项指标按下式计算：

$$\eta_{等} = \frac{\eta_{20} + \eta_{30} + \eta_{40} + \eta_{50} + \eta_{60}}{5}$$

式中  $\eta_{20}$ 、 $\eta_{30}$ 、 $\eta_{40}$ 、 $\eta_{50}$ 、 $\eta_{60}$  代表车速分别为 20 Km/h、30 Km/h、40 Km/h、50 Km/h、60 Km/h，加减摩剂机油对未加减摩剂机油的相对节油率。

#### （四）百公里燃油消耗量的节油率（ $\eta_{百}$ ）

这项指标按下式计算：

$$\eta_{百} = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\%$$

式中  $G_1$  与  $G_2$  分别为机油加减摩剂前后试验车百公里燃油消耗的绝对量。

减摩剂改善燃料经济性的全面评定以作图法用节油带形式表示。

## 四、试验结果与讨论

### (一) 发动机性能试验

发动机性能试验结果表明,试验的FJM、L-L和TMT三种减摩剂在外特性试验中都无明显节油效果;加减摩剂FJM和L-L的负荷特性试验有节油带,见图2、3。

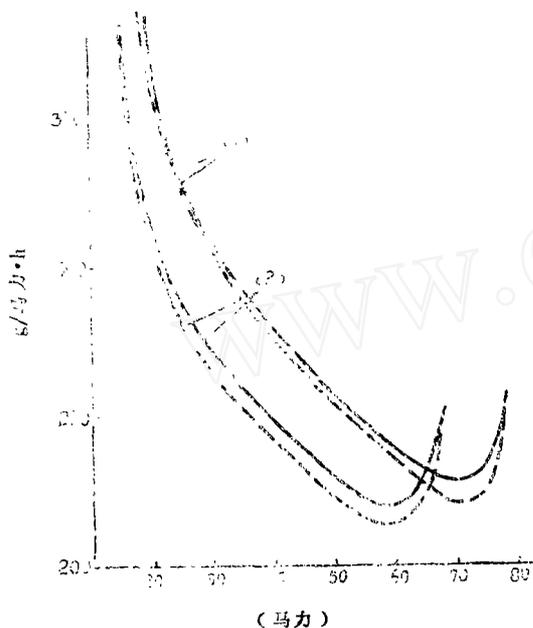


图2 CA-10B发动机负荷特性

—10号汽油机油      ···10号汽油机油加FJM剂  
(1)  $n=2000r/min$ ; (2)  $n=1600r/min$

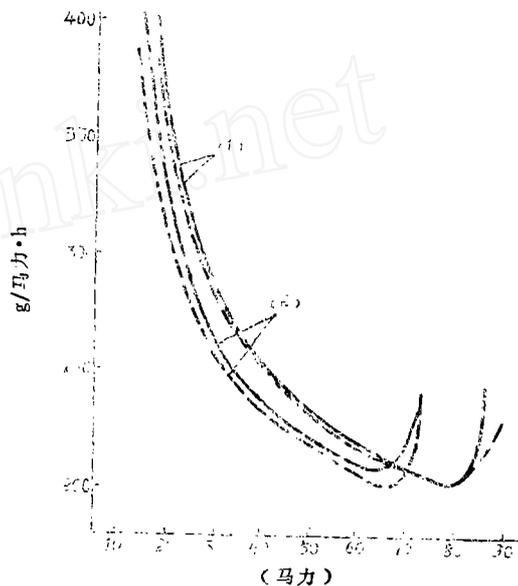


图3 CA-10B发动机负荷特性

—10号汽油机油;      ···10号汽油机油加L-L剂  
(1)  $n=2000r/min$ ; (2)  $n=1600r/min$

### (二) 发动机摩擦功试验

熄缸法试验测定结果, L-L和FJM减摩剂分别使解放CA-10B发动机摩擦功降低1.7%和6.8%。电力测功机反拖法测得的10号汽油机油加减摩剂前后热机与冷机摩擦功变化的百分率示于表2及图4、图5。

表2 10号汽油机油加减摩剂后发动机摩擦功变化百分率

项目	减摩剂名	转速( $r/min$ )							$\eta_{热}$ 或 $\eta_{冷}$
		400	800	1200	1600	2000	2400	2800	
热机	FJM	0	2.4	13.3	12.3	9.1	6.9	3.4	6.4
	L-L	11.3	3.0	0.2	-1.4	2.8	4.1	4.2	3.8
冷机	FJM								8
	L-L	8.8	8.6	6.5	3.9	3.7	3.4	1.9	4.9

长春第一汽车制造厂1982年5月在红旗发动机上用电机反拖法，测定了不同机油温度下FJM减摩剂对摩擦功的影响，试验结果见图6。

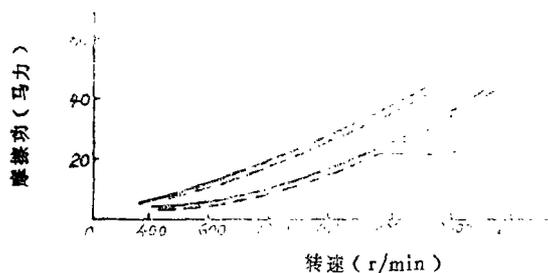


图4 解放CA-10B改造型发动机  
摩擦功曲线

—10号汽油机油，---10号汽油机油加L-L剂  
(1)冷机；(2)热机



图5 解放CA-10B发动机摩擦功曲线

—10号汽油机油，---10号汽油机油加FJM剂  
(1)冷机；(2)热机

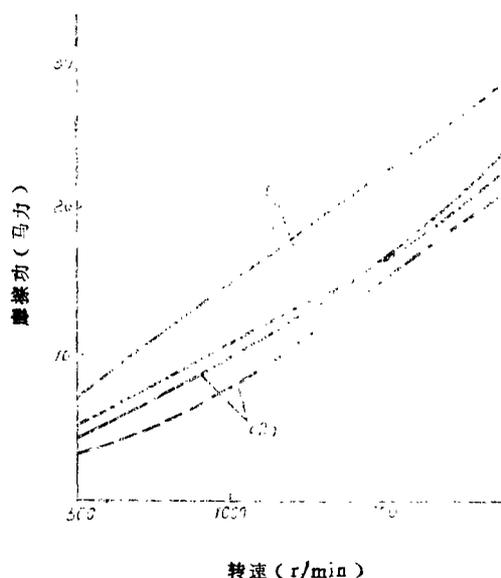


图6 红旗(92×85)发动机摩擦功曲线

—10号汽油机油，---10号汽油机油加FJM剂  
(1)油温17~20℃，(2)油温38~40℃

从以上几个发动机摩擦功的对比试验结果看，PTFE型减摩剂对发动机的减摩作用是明显的。它的效果因机型和试验条件不同而有差异。在解放牌发动机试验的各规定转速与机油温度下，FJM减摩剂热机与冷机摩擦功降低的平均幅度为3%~6%。

### (三) 汽车道路试验

在三种国产汽油机汽车上进行的道路试验结果如下：

(1) 直接档等速燃料消耗试验结果归纳于表3和图7~图10。

表3 直接档等速燃料消耗试验结果

车速 Km/h	车型及 减摩剂 节油率(%)	解放L-L	解放FJM	东风140FJM	北京130 FJM	解放TFL	解放TMT
20		0	2.78 3.7	3.49	5.3	1.90	6.2
30		2.73	4.87 3.9	3.60	4.6	3.50	2.0
40		5.79	3.40 5.8	4.0	5.1	5.0	3.5
50		6.25	3.60 2.9	3.98	4.4	5.4	1.4
60		4.18	2.94 /	3.62	4.0	/	2.6
70		/	/	/	4.8	/	/
η等		3.79	3.65	3.70	4.70	3.90	3.14

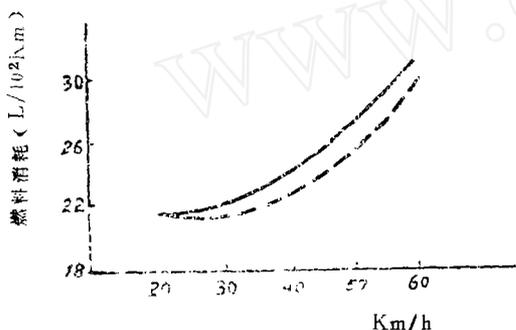


图7 解放CA-10B型载重汽车等速燃料消耗  
—10号汽油机油; ···10号汽油机油加L-L剂

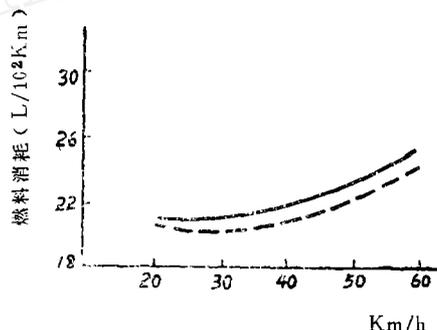


图8 东风EQ-140型载重汽车等速燃料消耗  
—14号柴油机油 ···14柴油机油加FJM剂

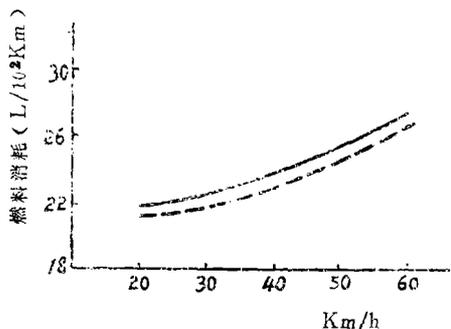


图9 HB661型长途客车等速燃料消耗  
—10号汽油机油; ···10号汽油机油加FJM剂

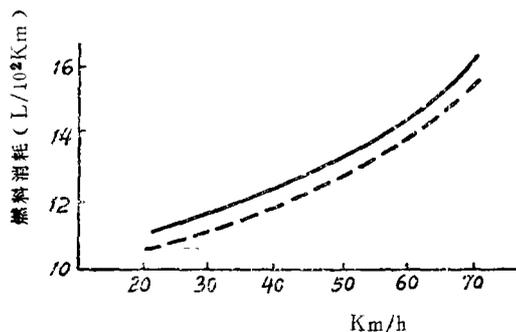


图10 北京BJ-130型汽车等速燃料消耗  
—10号汽油机油; ···10号汽油机油加FJM剂

(2) 由汽车百公里燃料消耗量试验结果求得几种减摩剂的节油效果归纳于表4。

汽车道路试验结果表明, PTFE型减摩剂能降低汽车燃油消耗, 它们使汽车等速燃料经济性提高3%~4%, 其中FJM减摩剂对于三种国产汽油机汽车的平均百公里节油率为3.7%。

(四) 使用试验

北京、上海、湛江三个使用试验点，实际测得的试验车发动机磨损与油样分析数据达二万五千余个。各试验点的试验车发动机磨损数据归纳于表5~表8及图11。

表4 PTFE型减摩剂百公里燃料消耗试验的节油率

车 型	解放	解放	东风140	北京130	解放	解放	三种车型平均节油率
减摩剂名	L-L	FJM	FJM	FJM	TFL	TMT	FJM
节油率 $\eta$ 百(%)	1.66	4.40	3.14	3.60	4.80	0.02	3.7

表5 北京CA-10B改造型发动机的公共汽车试验车气缸磨损

试验油类型	发动机台数	铸 铁		试验油类型	发动机台数	铸 铁		发动机台数	硼 钢	
		万公里磨损量 ( $\mu\text{m}$ )				万公里磨损量 ( $\mu\text{m}$ )			万公里磨损量 ( $\mu\text{m}$ )	
		横	纵			横	纵		横	纵
10号汽油机油	16	10.2	7.2	10号汽油机油	16	10.2	7.2	6	5.3	3.5
10号汽油机油 + FJM 减摩剂	13	5.8	4.3	10号汽油机油 + TFL减摩剂	6	4.6	5.9	4	2.5	2.1
减磨量( $\mu\text{m}$ )		4.4	2.9	减磨量( $\mu\text{m}$ )		5.6	1.3		2.8	1.4
减磨率(%)		43.1	40.3	减磨率(%)		54.9	18.1		52.8	40

试验点为北京公共汽车公司一场

表6 减摩剂FJM和TMT四万公里试验车气缸磨损

减 摩 剂	汽车数	气缸最大磨损		气缸最大锥度	
		平均值( $\mu\text{m}$ )	降低百分率(%)	平均值( $\mu\text{m}$ )	降低百分率(%)
14号柴油机油	5	17.9	/	13.2	/
14号柴油机油 + FJM减摩剂	4	15.3	14.5	9.4	28.8
14号柴油机油 + TMT减摩剂	5	14.3	20.1	9.6	27.1

试验点为上海市运输公司四场

表7 湛江试验车发动机气缸磨损量比较

行程(万公里)	减摩剂名称		测量部位	
	FJM减摩剂		L-L减摩剂	
	上部	中部	上部	中部
0~1	21.0	63	+5.7	31
0~2	1.1	19	+3.3	+7.7
0~8	3.6	40	0	/
0~5	4.7	37	+27	/

表 8

湛江试验车营运 8 万公里发动机零件磨损结果

与10号汽油机油 相比磨损降低 (%) 减摩剂	零件名称		凸轮升程	凸轮轴主 轴直径	汽门挺杆 重量	连杆轴瓦 重量	主轴瓦重 量	汽门杆直 径
	曲轴连杆 轴颈直径	曲轴主轴 直径						
FJM减摩剂	33	0	23	4.8	40	24	17.8	27
L-L减摩剂	8.3	+30	+8.7	+43	+60	+12	2.2	+26

湛江试验FJM和路百能两种减摩剂，FJM减摩剂的试验车营运5万公里前，气缸上部、中部均有明显的抗摩效果，6~8万公里时气缸上部平均磨损超过使用10号汽油机油的车，中部磨损仍然较低。其它的摩擦副在八万公里试验结束后，对发动机进行解体拆检测量表明，均有明显的减摩效果。而L-L减摩剂未显示抗摩效果。

湛江试验车四万公里时未进行换活塞环等保养作业，以致试验车营运五万公里后活塞环处于不正常工作状态。从废机油抽样分析看，粘度普遍下降，八万公里拆检时，活塞环与槽间的端隙普遍增大，有的达1~2毫米，有的已断裂。

从三个试验点长期使用试验测得的零件磨损数据看，试验的四种PTFE型减摩剂，除进口的路百能剂外，都有较明显的抗摩效果。北京公共汽车一场试验的FJM与Tufoil减摩剂气缸磨耗降低了40%和18%。上海运输四场试验的FJM与TMT减摩剂，对气缸的抗磨效果为14%~41%。湛江运输公司试验结果，FJM减摩剂使缸径磨耗降低10%左右，发动机其它各摩擦副的磨损降低了20%左右。湛江试验点试验情况见图11。

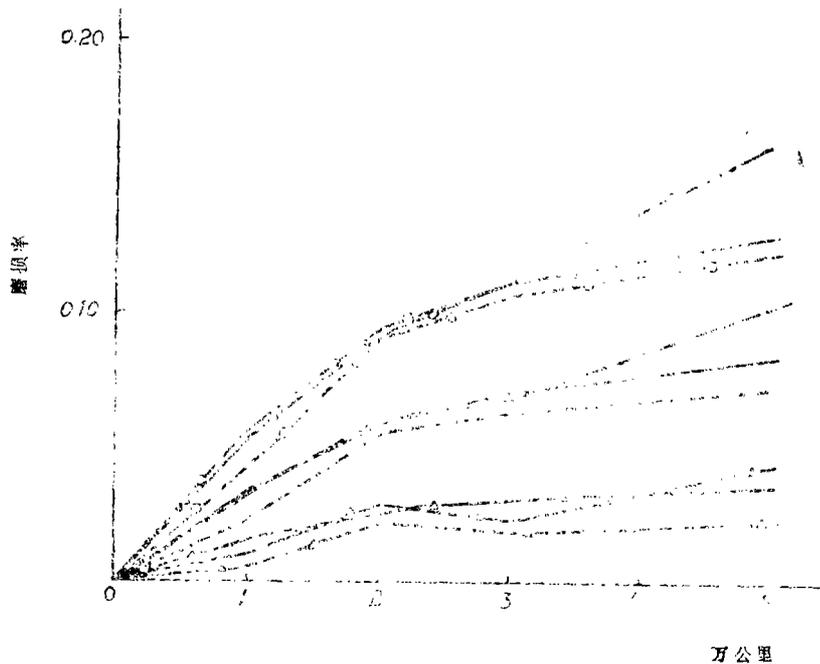


图11 湛江试验车五万公里气缸磨损曲线

- 10号汽油机油综合平均磨损；
- 10号汽油机油加FJM剂综合平均磨损；
- · - 10号汽油机油加L-L剂综合平均磨损；
- - 上止点 △ - 中部

### (五) 汽车排放试验及气缸压力测试的结果

国外减摩剂商品说明书介绍,使用PTFE型减摩剂,可以降低汽车排放中CO和HC的含量,噪声也能降低。根据我们的试验结果,10号汽油机油加FJM减摩剂后,车辆排放物中CO和HC的含量稍有变化,汽车的噪声无变化。CO和HC排放浓度和噪声测定结果均符合国家标准。测试结果见表9和表10。

发动机使用减摩剂后气缸压力普遍上升。各试验点测定气缸压力数值见表11。

表9 汽车排放气体分析表

减摩剂	项目	发动机转速 (r/min)	CO (%)	HC (ppm)
10号汽油机油 + FJM减摩剂		400	1.3	2600

表10 整车噪声试验

项目	减摩剂		10号汽油机油 + FJM减摩剂	
	左侧	右侧	左侧	右侧
加速噪声平均值 (dB)	82.3	83	82.6	83.1
匀速噪声平均值 (dB)	78.8	78.6	78.2	78

表11 汽缸压力测试结果汇总表

试验点	项目	缸数						均值%
		1	2	3	4	5	6	
北京公共汽车公司一场	加剂前	7.03	7.1	7.31	6.19	6.40	7.17	5.38
	加FJM减摩剂后	7.42	7.1	7.35	6.96	7.03	7.45	
	增加率%	5.5	0	0.48	12.5	9.89	3.92	
上海市汽车运输研究所	加剂前	7.8	8	8.1	8.3	8	8.2	26.9
	加FJM减摩剂后	10.1	10.1	10.3	10.4	10.1	10.4	
	增加率%	29.5	26.3	27.2	25.3	26.3	26.8	
交通部公路科学研究所	加剂前	6.679	6.398	6.328	6.75	5.626	6.679	4.76
	加FJM减摩剂后	7.03	6.679	6.539	6.679	6.328	6.961	
	增加率%	5.26	4.4	3.33	-1.1	12.48	4.22	

北京公共汽车公司一场与交通部公路科学研究所进行的试验,机油加减摩剂后发动机运转半小时即测气缸压力。上海市汽车运输研究所则于机油加减摩剂运行1000公里后测气缸压力。从表内数据可以看出,汽缸运行1000公里后,减摩剂对加强机油密封性的效果显著提高。

## 五、结 论

1. 进口的聚四氟乙烯型减摩剂用在国产解放牌汽车上,可以改善润滑,减少摩擦损失,节约燃油,节油率在3%左右。Tufoil和TMT抗摩效果明显。缸套磨损减少18%与20%,而路百能添加剂却使磨损增加。

2. 国内研制的FJM减摩剂应用于东风EQ-140型车、解放CA-10B改造型和北京130型等国产的汽油机汽车上,发动机摩擦功降低;三种车型的平均等速燃料消耗降低4%左

右, 运行百公里节油率 3 %左右; 发动机气缸磨损减少10%~40%。

参 考 文 献 ( 略 )

## An Evaluation of Effectiveness of Reducing Friction and Wear of PTFE Type Friction Reducers

Guo Yiming

(*Energy-Saving Service Center for Automobile Transport,  
The Ministry of Communications*)

### Abstract

Colloided PTFE-Containing friction reducer is one of new lubricating materials developed in abroad recently for automobile engines. The effects of anti-friction and oil-saving for three kinds of American products and one kind of Chinese product were evaluated by chinese gasoline engines with multiple cylinders are reported.

The evaluations were conducted in Beijing, Shanghai, and Guangdong with same procedure. The relativity of results from different places were obtained. This friction reducer is proved to be effective for reducing friction and wear, when applied to Chinese gasoline engines. It was found that the fuel consumption at a constant speed decreased about 4%, the fuel consumption during 100 km operation decreased about 3% and the wear of engine cylinder decreased from 10% to 40%.