

一种新型的多功能油 ——清洁润滑防护武器三用油

冯薇荪, 汪孟言

(石油化工科学研究院, 北京 100083)

[摘要] 武器三用油是一种不同于传统润滑油的油品。它不仅功能多, 而且性能优异, 可供陆、海、空三军在各种不同气候条件下使用; 也可以广泛用于车辆、船舶、工厂、建筑物等民用设施。由于一种油品同时要具备多种功能, 因此必需精心设计配方, 考虑不同基础油及各种添加剂的配伍性, 扬长避短, 发挥增效作用, 避免不利因素。在三用油研制过程中, 考察了各种影响因素, 将矛盾的各个方面很好地统一在一个油品中, 获得了能满足各项要求的清洁、润滑、防护武器三用油。

[关键词] 武器三用油; 基础油; 添加剂; 清洁; 润滑; 防护

长期以来, 一油多用(即一种油品兼有多种功能)一直是润滑剂研究工作者和机械工程师探索研究的目标之一。但是, 直到最近20年, 随着润滑技术的进展、新添加剂的出现和对润滑剂中各种添加剂相互作用的深入了解, 才使这个目标得以实现。以武器系统的润滑、清洗和防护用油来说, 就经历了一个逐步发展的过程, 从功能单一的润滑油、擦枪水、防护油脂到润滑、防护两用油, 再到今天的集润滑、清洁、防护三种功能于一身的武器三用油。

70年代末期, 美国开始在军队中使用一种称为“Break Free”的武器三用油, 并制订了相应的军用规格^[1]。武器三用油是一种不同于传统润滑油的油品, 它不仅功能多, 而且性能优异, 使用方便, 可供陆、海、空三军在高寒、湿热及沙漠、海洋等各种气候条件下, 用于各种武器的润滑、维护和储存。武器三用油的出现改善了部队的后勤保障工作, 提高了战备能力, 是一种理想的武器用油。该油还可以广泛用于车辆、船舶、工厂和建筑物等民用设施。为了改进我军武器装备的性能、优化后勤工作, 使之更利于实战, 在国家科委和原总后军械部的支持下, 石油化工科学研究院承担了清洁、

润滑、防护武器三用油(以下简称CLP油)的研制任务, 获得成功, 并通过了部级鉴定。

研制的CLP油曾分别在东北地区进行低温(-40℃)射击试验, 取得了比较满意的结果。后来又在某基地试验所, 对两个CLP油样(CL P-1和CL P-2)与2号枪油进行了常温、高温、低温和淋雨特种条件下的靶场对比试验, 考察CLP油的润滑性能和清洗性能。结果表明, CLP油具有优良的润滑性能, 与2号枪油相比, CLP-2的理论射速最高, CLP-1次之; 它们的故障率也比2号枪油低一半。试验同时也表明, CLP油的低温性能优于美国同类产品“Break Free”油, 前者通过了3个阶段的低温射击试验, 而后者没通过第3阶段的低温射击试验。而且, CLP油有较之2号枪油更好的清洁性能。使用CLP油的枪支在射击后不需用汽油清洗, 直接用干棉纱擦拭即可; 若用CLP油代替汽油清洗射击后的枪支, 去污能力较强; 涂有CLP油的枪支射击后, 除雨淋条件外, 其余3种条件下其活塞杆部件的烟熏程度, 均有不同程度的减少, 特别是在高温和常温的条件下, 熏烟明显减少。

CLP油曾在高温高湿地区进行了1年的实地

使用。证明它有优异的清洁、润滑和防护性能，为火炮的维修和擦拭保养提供了良好的条件。具体表现在：(1) 清洁性能好，只要用该油稍加擦拭即能清除枪、炮膛内由于火药燃烧产生的高温高压条件下生成的盐、酸类等腐蚀性化合物。(2) 润滑效果持久，它能在金属表面形成较好的界面摩擦，使工作零件滑动轻便，减少运动部件的磨损，延长使用寿命。(3) 该油能在金属表面形成持久、有效的保护层，防止锈蚀和腐蚀。(4) 擦拭后的枪支不会弄脏战士行装，且能一油多用，特别适合野战条件下使用。

CLP油也在石家庄电视机厂的彩电生产线上使用，将它喷涂于机器人的活动关节上，起到很好的润滑和防护效果。

CLP油是一种新式的多功能军用油品。为了保证它的多种功能及卓越的使用性能，需要筛选性能优良的基础油，并加入多种添加剂。由于基础油

及各种不同功能的添加剂之间会产生配伍增效作用或者是相反的作用，大大增加了研制的复杂性。因此，在研制过程中，必须解决下列难点和矛盾。

1 选择适当的基础油保证严格的低温性能

我国幅员辽阔、气候复杂，在冬季三北地区的最低温度在 -40°C 以下，在如此低的温度下影响枪炮射击性能的主要因素是润滑油的低温性能。CLP油必须具有小的低温粘度和低的凝固点，尤其是低温粘度对武器在低温下的使用影响很大。有人曾对枪油的低温粘度和枪械在低温下的射击性能的关系作过考察，发现当枪油的 -40°C 运动粘度大于 $4000\text{ mm}^2/\text{s}$ 时，枪械就击发无力。因此，测定了几种具有较好低温性能的合成油，如聚烯烃油、烷基苯、各种酯类油、硅油等的一些理化性能，结果见表1。

表1 几种合成油的主要理化性能

Table 1. Main physic-chemical properties of some synthetic lube base oils

基础油	运动粘度/ $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$			凝固点/ $^{\circ}\text{C}$	闪点/ $^{\circ}\text{C}$	粘度指数
	-40°C	40°C	100°C			
A (聚烯烃油)	1572			-48	183	
B (烷基苯)	525.5	5.82	1.84	< -60	174	
C (酯类油)	366.2	27.1	7.41	< -60		302.7
D (硅油)	1389	8.74	3.21	< -60	235	
B+D (1:1)	878.6		2.39	< -60		

从表1可以看出，合成油A虽有较低的 -40°C 粘度，但凝固点较高，而且对某些添加剂的溶解能力低；合成油C、D有极好的低温流动性和粘温性能，但价格太高。合成油B有优良的低温流动性和低的凝固点，而且来源可靠，价格较低，唯粘温性能稍差，与C、D按一定比例混对后，既显示了优良的低温流动性、粘温性能，价格又较合理。因此，以混对油和合成油B为基础油调合了两个CLP油样，测定了它们的低温性能。结果见表2。

从表2可以看出，CLP-1和CLP-2都具有较好的低温流动性，符合 -40°C 时的运动粘度不超过 $4000\text{ mm}^2/\text{s}$ 的要求，适合在我国三北地区及其它高寒地区使用。

表2 两种CLP油的主要低温性能

Table 2 Main properties of CLP samples at low temperature

油样	-40°C 运动粘度/ $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	凝固点/ $^{\circ}\text{C}$
CLP-1 ¹⁾	463.8	-60 未
CLP-1-1 (无溶剂)	3642	-60 未
CLP-2 (合成油B)	693.2	-60 未
CLP-2-1 (无溶剂)	2975	-60 未

1) C:D:B=1:2.5:3.5

2 加入聚四氟乙烯悬浮润滑剂提高CLP油的润滑性

聚四氟乙烯(PTFE)是一种优良的固体润滑剂。在众多的固体润滑材料中，它的摩擦系数最低^[2]。另外，PTFE还有静摩擦系数接近于动摩擦

系数的特点；在高温下仍有较低的摩擦系数和抗热、抗化学介质等优点。可以设想如果把具有这些特点的 PTFE 悬浮分散在油中，既可收到降低油品摩擦系数的好处，又可改善润滑剂在边界状态下的摩擦和磨损，降低由于磨擦所产生的温升，使机械运动更平稳、可靠。这些正是枪械机械运动所追求的理想润滑方式。

2.1 PTFE 的悬浮分散

2.1.1 PTFE 悬浮分散的难点

从物理化学的观点看，固体颗粒要稳定分散在液体中，必须满足如下条件：(1) 液固界面的界面能应尽可能地小；(2) 颗粒的粒径应尽可能地小，且分布要窄。但是，PTFE 粉末难于满足这两个条件。PTFE 是一种电荷分布不均匀的非导体，由于这些带电偶极颗粒的相互作用，PTFE 易发生颗粒之间的凝聚、粘结，这种凝聚连续进行，直到表面电荷变得比较均匀，最后形成簇状和块状的结构。因此，不容易制得 PTFE 的悬浮液。

2.1.2 两种 PTFE 的悬浮分散法

根据上述问题，经过试验，找到 2 种较合适的分散方法。

方法 1：将 PTFE 粉末进行特殊处理，消除 PTFE 颗粒的静电，使之不易凝聚，又易粉碎，然后将其粉碎、研磨、分散在油中。

方法 2：用细粒径 ($0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$) 的 PTFE 水分散液为原料，加入抗凝聚剂、分散剂、助分散剂，严格控制分散和脱水条件，使 PTFE 颗粒从水相转入油相。

方法 2 是用抗凝聚剂中和 PTFE 粉末的静电，随着剂的消耗和失效，PTFE 粉末又会发生凝聚，难于保持悬浮的长期稳定，且由于水分不易除尽，会影响油品的低温性能。方法 1 则由于永久性地破坏了 PTFE 粉末的静电，制得的悬浮液即使在长期放置而沉降后，只要充分振荡，仍能很好分散。且绝对不含水分，相对方法 2 来说，更适合于制备 CLP 油。

在使用方法 1 制备 CLP 油的过程中考察了各种影响因素，发现粉碎方法对 PTFE 颗粒的分散有较明显的影响。PTFE 颗粒越细、粒径分布越窄，分散稳定性越好。另外，由于 PTFE 颗粒对油的浸润力极低，仅靠减小 PTFE 颗粒的粒径，悬浮分散仍不稳定。加入高聚物分散剂使其吸附在 PTFE 颗粒表面，同时依靠几种助分散剂使 PTFE 颗粒与油

之间逐步亲合，增加了 PTFE 颗粒在油中的悬浮稳定性。这样得到的 CLP 油在悬浮稳定性方面优于美国 Tufoil 武器用悬浮润滑剂，与 Break Free 油相当。试验结果见图 1。

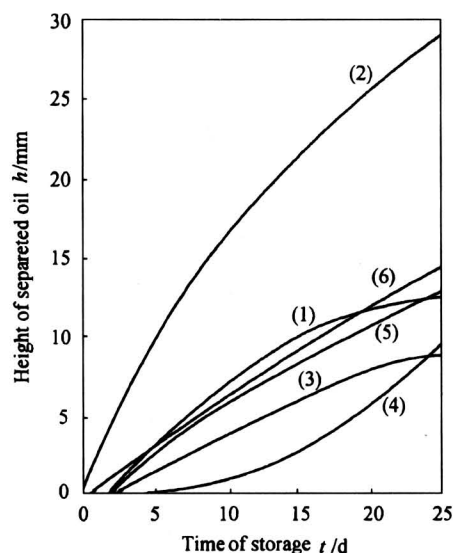


图 1 几种悬浮润滑剂和武器三用油的悬浮稳定性

Fig.1 Suspension stability of some lube oils
(1) Break Free; (2) Tufoil; (3) Lube oil with 5% PTFE;
(4) Lube oil with 10% PTFE; (5) CLP-1; (6) CLP-2

2.2 润滑性能的提高

(1) 加入 PTFE 悬浮液可改进 CLP 油的润滑性，提高其耐负荷能力。用 Falex 试验^[3]评定了 PTFE 对 CLP 油极压性能的影响 (见表 3)。

Falex 试验是模拟武器油在枪炮膛内润滑的重要试验。从表 3 可以看出，加入 PTFE 可较大幅度地提高 CLP 油的耐负荷能力，而且其耐负荷能力随 PTFE 含量的增加而提高。

表 3 PTFE 对 CLP 油极压性能的影响
(Falex 试验)

Table 1 Effect of PTFE on extreme pressure characteristic of CLP (Falex)

PTFE 含量/%	Falex 负载/N	失效时间/s
5.0	5560	61
3.5	5560	30
3.0	5560	24
0.5	3780	0
0	2001	0

(试验条件: Falex 0 型试验机; 室温; 油量 2 滴; AISI-3135 钢棒; AISI-C-1137 钢 V 型块)

PTFE 悬浮液不仅可以提高 CLP 油的极压性能,而且可以改进其摩擦系数,使机械运动更平稳。测得的不含 PTFE 悬浮液的 CLP 油的摩擦系数为 0.130,长磨时记录仪走线波动较大,说明运动不平稳;而含有 PTFE 悬浮液的 CLP 油的摩擦系数为 0.107,四球长磨试验时记录仪走线平滑,说明机械运动平稳。

(2) 为改进 CLP 油的低温性能和粘度指数而加入的合成油 C 对油品的润滑性能有帮助。Falex 试验和四球试验的数据表明,合成油 C 有较好的极压性能,其耐负荷能力优于烃类油(合成油 A),但钢-钢磨损性能较差,可能与它在金属表面形成了低熔点、化学惰性的硬膜有关。即使在油中加入 PTFE 悬浮剂也难以满足 CLP 油润滑性能的要求,还必须加入适量的抗磨剂 T(磷酸酯)。表 4 为抗磨添加剂的添加量对 CLP 油润滑性的影响。结果表明,CLP 油的抗磨性能随抗磨剂 T 量的增加而提高,CLP 油中加入 2%~3% 的抗磨剂 T,可明显地改进其负载能力和磨损寿命。

表 4 抗磨剂 T 用量对 CLP 油抗磨性能的影响

Table 4 Effect of the content of anti-wear agent T on anti-wear performance of CLP*

抗磨剂 T 的质量分数 $w/\%$	磨迹直径 d/mm
0	1.29
0.5	1.08
1.0	0.96
2.0	0.65
3.0	0.5

* 四球试验条件: 75℃; 1200r/min; 392N; 1h 长磨

3 加入复合防锈剂保证 CLP 油极佳的防锈能力

3.1 防锈性能和 PTFE 悬浮稳定性

防锈添加剂是保证 CLP 油有极佳防锈性能的关键组分。但防锈添加剂大多为极性大、吸附力强的羧酸、胺类、羧酸盐、胺盐、酯类、磺酸盐类化合物^[4],它们中大部分的分子带有较强的静电荷,会破坏 CLP 油中 PTFE 颗粒的悬浮稳定性。因此,选用防锈添加剂既要考察其是否有好的防锈性能,又要保证其中 PTFE 颗粒的悬浮稳定性。在 PTFE 悬浮液中分别加入相同量的各种防锈添加剂,考察悬浮液稳定性的变化情况。结果表明,只有防锈剂 A 和 B(磺酸盐类)由于能形成稳定的胶束,对

PTFE 颗粒有一定的分散作用,有助于保持 PTFE 的悬浮稳定性。

3.2 复合防锈剂的选择

CLP 油要有极佳的防锈性能,才能防止武器在各种环境下,特别是在高温高湿条件发生锈蚀。单一防锈剂很难获得如此优异的防护性能,选择几种防锈剂配合使用,才能保证在各种苛刻的气候、环境条件下起到防护作用。

潮湿箱、盐雾箱和盐水浸渍试验^[5,6]是考察润滑油防锈性能的几种方法。潮湿箱试验评定防锈油脂在高温、高湿条件下的防锈能力;盐雾箱试验是仅次于加速风化试验的一种苛刻试验,用来评价海岸地带及海上运输环境下的防锈性能;盐水浸渍试验是考察军械、飞机、车辆等浸入海水中的防锈能力,可评定防锈剂的抗盐水侵蚀能力。在美军军用标准中,武器三用油要满足潮湿箱试验 37.5 d、盐雾箱试验 100 h 的要求。在进行了大量的筛选后,选出防锈剂 A, C(脂肪酸酯)和 D(油脂混合物)3 种,按一定的配比复合,进行上述 3 种试验,结果见表 5。

从表 5 可以看出,防锈剂 A 有较好的抗湿热能力,但抗盐雾效果不明显,单独使用不能满足武器三用油的规格要求。加入一定量的防锈剂 D 抗盐雾性能有较明显的提高,再复合使用少量的防锈剂 C,即可大幅度提高油的防锈能力。从表 5 还可以看出,该复合防锈剂的防锈能力随防锈剂 A 含量的增加而提高。防锈剂 A 的含量为 9.5% 时,即可获得较佳的防锈效果和经济性。基础油也影响三用油的防锈能力,与防锈剂 A 有近似结构的合成油 B 比合成油 A 有更好的抗湿热性能。这可能是由于它们的烃基结构相似,两者之间建立了链匹配效应,有利于防锈剂在金属表面形成稳定的多分子保护膜。

为了提高 CLP 油对有色金属腐蚀的防护能力,又添加 0.01% 的防锈剂 L(含氮化合物),使铜片腐蚀从 2B 级提高到 1A 级^[7]。最后确定的防锈剂复合配方中各种防锈剂的质量分数分别为:

$$w_A = 9.5\%; w_C = 0.8\%;$$

$$w_D = 2.0\%; w_L = 0.01\%.$$

4 加入适当的溶剂和润湿剂保证高效的清洁性能

清洗剂靠其良好的渗透、润湿和溶解能力使被

清洗的物质（一般为积炭、灰尘、盐垢、油泥、积锈、金属屑等）脱落而被清除。要使 CLP 油具备清洗功能，必须要：（1）加入有机溶剂提高其渗透力；（2）加入润湿剂改进其润湿能力；（3）采用混合溶剂以保证对不同物质的溶解能力。但是加入有

机溶剂必然导致油品粘度、悬浮稳定性和安全性的降低，因此选择适宜的混合溶剂就显得十分重要。表 6 为几种有机溶剂的溶解性、毒性和可燃性数据。

表 5 复合防锈剂的防锈效果

Table 5 Results of rust inhibition tests of mixed rust inhibitors in CLP

基础油	w (防锈剂) /%			潮湿箱试验 ¹⁾ /d	盐雾箱试验 ²⁾ /h	盐水浸渍试验 ³⁾ /d
	A	C	D			
B	7.0	0	0	18	<24	-
B	7.0		2.0	-	48	-
B	5.0	0.8	2.0	29	72	10
B	7.0	0.8	2.0	30	96	12
B	8.0	0.8	2.0	34	96	-
B	9.5	0.8	2.0	42	96	15
B	11	0.8	2.0	42	-	-
A	9.5	0.8	2.0	36.5	-	-

1) 50℃, 45#钢; 2) 35℃, 5% NaCl, 45#钢; 3) 5% NaCl

表 6 几种有机溶剂的溶解性、毒性和可燃性

Table 6 solubility, toxicity and combustibility of some organic solvents

溶剂	空气中最高允许质量浓度 ¹⁾ $\rho/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	可燃性	KB 值 ²⁾
四氯化碳	25	不燃	114
卤代烷	810	不燃	124 能清除油脂、蜡、涂料、焦油、烟灰等
氟氯代烷	>1000	不燃	31
苯	30	易燃	100
甲醇	260	易燃	120~130
汽油	900	易燃	30
煤油	900	可燃	30
丙酮	>1000	易燃	130
酯类	950	可燃	~100 能清除油脂、焦油、积炭、锈蚀、盐垢等

1) 摘自《石油化工毒物手册》，其值越大毒性越低；2) KB 值越大溶解性越好

从表 6 可以看出，卤代烷，氟氯代烷，酯类有较好的溶解能力和较低的毒性，将它们混合使用，可降低可燃性、提高对各种物质的溶解能力，又因为前两者密度大，可提高整个油品的密度，增加对 PTFE 的悬浮能力。另外，润湿剂 EGBE（醇醚类化合物）能改善油品的界面性能，使油品更易扩散并浸润武器表面的污渣，也能提高 CLP 油的清洁性能。用火药残渣清除试验^[1]对加入溶剂及润湿

剂前后的油样进行了考察。结果表明，未加溶剂和润湿剂的油样的火药残渣清除能力为 89.5%；加入后的油样的清除能力则为 100%。在实际使用中，CLP 油表现出较好的除锈蚀产物、烟灰、泥沙等能力。

考察了上述几个问题后，了解了 CLP 油中基础油、悬浮润滑剂、添加剂、溶剂等对其性能的影响，找到了能将各种相互矛盾的性质较好地统一在

一起的配方，研制成功了 CLP 武器用油，获得了石化总公司科技进步二等奖、国家科技进步三等奖。CLP 油的清洁、润滑、防锈性能与美国 Break Free 武器油相当，而且所用原料完全立足国内，价格比国外产品大幅度降低，适合我国地域辽阔、气候特点差别显著的国情。射击试验和实地使用结果也证明了 CLP 油是一种理想的武器用油，它优异的多功能性，必将在改善我军装备和优化后勤、提高战备方面发挥较大的作用。

参考文献

[1] MIL-L-63460B 用于武器及武器系统的润滑、除垢、防锈油 [S]
 [2] Franklin G R. Energy-Saving Lubricants Containing Colloidal PTFE [J]. Lubrication Engineering, 1982, 38 (10): 635~644
 [3] ZBE 34004 润滑油极压性能测定法 (Falex 法) [S]
 [4] 楼井 俊男编. 石油产品添加剂 [M]. 石油产品添加剂翻译组译. 北京: 石油工业出版社, 1980
 [5] GB/T 2361-92 防锈油脂湿热试验法 [S]
 [6] SH/T 0081-91 防锈油脂盐雾试验法 [S]
 [7] GB/T 5096-91 石油产品铜片腐蚀试验法 [S]

A New Multifunction Lube Oil for Weapons with Excellent Performances in Cleaning, Lubricating and Protecting

Feng Weisun, Wang Mengyan

(Research Institute of Petroleum Processing, Beijing 100083, China)

[Abstract] The multifunction oil for weapons is a unique product with excellent performances used in military forces of ground, navy and air under various climate conditions. As for its multiple performances the product needs excellent base oil with more kinds of additives. Among them there may be some synergistic or negative interactions that need to be well balanced. During the study various effects were investigated. Finally all the main problems were settled down and the lube oil for weapons with excellent performances in cleaning, lubricating and protecting was obtained.

[Key words] multifunction weapon oil; base oil; additive; cleaning; lubricating; protecting

《中国工程科学》2000 年第 5 期要目

高速铁路是运输市场竞争和科学技术进步的产物 臧其吉等
 中国需要高速磁悬浮列车 严陆光
 修建京沪高速铁路是正确的战略抉择
 何邦模等
 21 世纪电子学的若干前沿课题 黄志洵
 我国 MBE GaAs 基材料如何从实验室走向产业化 孔梅影等
 人造金刚石工业在我国迅猛崛起 ... 刘广志
 三峡工程通航建筑物技术设计审查
 梁应辰
 基于模糊状态描述的不确定因果归纳自动推理机制 杨炳儒等

平缓岸坡上波浪谱的变形及破碎
 李玉成等
 小型农业生态工程——庭院经济发展的数学模型 卞有生
 森林火灾预报的新视角 赵宪文
 大气科学的工程化建设 温克刚等
 洁净煤技术的新发展——一种火电厂 SO₂ 的资源化技术 肖文德等
 植物氯素营养与含氯化肥科学施用
 毛知耘等
 石化企业信息技术的应用与对策
 王立行等