

机 修 手 册

(第 3 版)

第 8 卷
设备润滑

机械工业出版社

第3章 润滑油脂

张晨辉 唐德松[⊖]

第1节 润滑油

(一) 润滑油的制备过程

目前使用得最多的润滑油是以石油馏分为原料生产的，通称为矿油类润滑油。制取这类润滑油的原料充足，价格便宜，质量也较好，并且可以加入适当的添加剂提高其质量，因而得到广泛的应用。

较为常用的润滑油生产流程如图3-1-1所示。

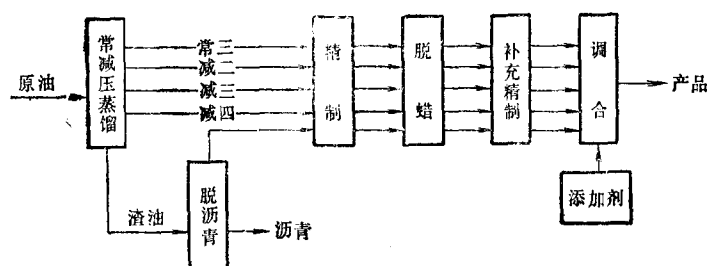


图3-1-1 润滑油生产流程图

然而，并不是所有的石油都适宜作为生产润滑油的原料，润滑油生产在很大程度上受到原油本身的烃类组成及其物理化学性质的限制。通常我们总是选择能从中提炼出质量高而收率大的石油馏分作为原料。

下面将润滑油制备的几个主要过程简单介绍如下：

1. 原油的分类和组成

(1) 原油的分类 原油的组成比较复杂，通常利用原油的几个与化学组成有直接关系的物理性质作为原油分类的基础。常用的分类方法有特性因数分类法和关键馏分特性分类法。

1) 特性因数分类法 特性因数 K 为

$$K = \frac{1.216T_B}{d}$$

式中 K ——特性因数；

T_B ——石油馏分的平均沸点 (K)；

d ——相对密度，15.6℃/15.6℃。

K 值为12.9~12.15，则为石蜡基原油； K 值为12.1~11.5，则为中间基原油； K 值为11.45~10.5，则为环烷基原油。

特性因数分类法应用较久，比较简单，但不确切。

2) 关键馏分特性分类法 用原油简易蒸馏装置，将原油在常压和减压下蒸馏出两个馏分：馏程为250~275℃的馏分为第一关键馏分；馏程为395~425℃(常压)的馏分为第二关键馏分。测定两个关键馏分的相对密度，查表3-1-1可决定两个关键馏分的属性为石蜡基、中间基或环烷基。再查表3-1-2，可将原油分为七类，即：石蜡基、石蜡—中间基、中间—石蜡基、中间基、中间—环烷基、环烷—中间基、环烷基。关键馏分特性分类法是一种较新的分类法，可以确切的说明原油的特点。

表3-1-1 关键馏分与相对密度的关系

关键馏分	石蜡基	中间基	环烷基
第一关键馏分	d_4^{20} 在0.8210以下 $K > 11.9$	d_4^{20} 在0.8210~0.8562之间 $K = 11.5 \sim 11.9$	d_4^{20} 在0.8562以上 $K < 11.5$
第二关键馏分	d_4^{20} 在0.8723以下 $K > 12.2$	d_4^{20} 在0.8723~0.9305之间 $K = 11.5 \sim 12.2$	d_4^{20} 在0.9305以上 $K < 11.5$

注：1. d_4^{20} 为馏分在20℃下的密度与4℃时标准物质的密度比，即相对密度。
2. K 为特性因数。

⊖ 本章第1节、第2节由张晨辉编写，第3节由唐德松编写。

表3-1-2 关键馏分的特性关系

编号	轻油部分的类别	重油部分的类别	原油类别
1	石蜡	石蜡	石蜡
2	石蜡	中间	石蜡-中间
3	中间	石蜡	中间-石蜡
4	中间	中间	中间
5	中间	环烷	中间-环烷
6	环烷	中间	环烷-中间
7	环烷	环烷	环烷基

此外，还可按原油中的硫含量进行分类：

低硫原油 含硫 $<0.5\%$

含硫原油 含硫 $0.5\% \sim 2.0\%$

高硫原油 含硫 $>2.0\%$

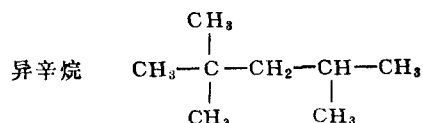
(2) 石油馏分的化学组成 世界各地所产的石油不尽相同，但无论何种原油，其主要成分都是碳(C)氢(H)两种元素。在石油中，碳氢两种元素的总含量达 $95\% \sim 99\%$ ；同时，还有少量的硫(S)、氧(O)、氮(N)元素，还有一些极微量的元素如氯、碘、磷、砷、钠、钾、钙、铁、镍、钒等。

石油是极为复杂的混合物，上述元素都是相互以不同形式结合成碳元素的化合物(习惯上称为有机物)存在于石油中。通常，把碳氢化合物简称为烃。

石油及其产品基本上是由烷烃、环烷烃和芳香烃等烃类组成。

1) 烷烃 是石油的主要成分，有直链的正构烷烃和带支链的异构烷烃两种结构，如：

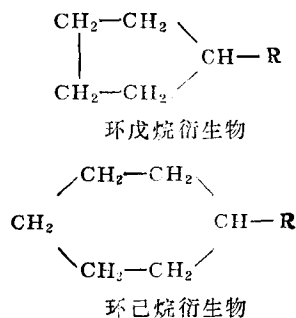
正辛烷 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$



在常温下， CH_4 到 C_4H_{10} 为气体， C_5H_{12} 到 $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ 为液体， $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ 以上为固体。正构烷烃的熔点比较高，是碳原子数目相同的各族烃中熔点最高者，分子量较大的烷烃低温时会结晶析出，称为蜡，蜡会影响润滑油的流动性。异构烷烃的熔点比正构烷烃低。一般说来分支越多、越长则熔点越低，所以它是润滑油中的良好组分。

2) 环烷烃 环状化合物，分五碳环和六碳环。润滑油中的环烷烃多带有烷基链，即是烷烃的衍生

物，如：



环烷烃分子中的环数可以是单环也可以是多环。长侧链的环烷烃是润滑油的良好组分，多环环烷烃的粘温性不好，环烷烃的粘度随环数的增加而迅速增加。

3) 芳香烃 是具有苯核结构的烃类。芳香烃一般都带有烷基侧链，有时还带有环烷环。芳香烃的数目在 $1 \sim 4$ 之间，如 C_6H_6 (苯)为单环芳烃(也叫轻芳烃)，双芳烃叫中芳烃，三环及三环以上的芳烃叫多环芳烃。

少环长侧链的芳烃具有良好的粘温性，是润滑油的理想组分。多环芳烃和环烷芳香烃易氧化生成胶质和沥青质，是润滑油的不理想组分。

4) 润滑油馏分中的非烃组成 除了烃类以外，馏分中还存在一些含氧、硫、氮等元素的化合物以及由这类化合物高度缩合而成的胶质、沥青质。胶质和沥青质是一些相对分子量很大、结构复杂的稠环化合物。两者的区分仅在于能溶解它们的溶剂不同。胶质溶于石油醚和苯，相对分子量约为 $600 \sim 800$ ，通常是深色的粘稠液体或半固体，溶在油中能使油的颜色变深。沥青质不溶于石油醚，但溶于苯和二氧化碳、四氯化碳，相对分子量约为 2000 ，颜色深黑，是脆的黑色粉末。

(3) 润滑油馏分的化学组成与其主要使用性能的关系

1) 化学组成与流变性的关系 润滑油的流变性可以用其粘度、粘温特性和低温流动性来衡量，与馏分的沸点范围(即分子量大小)和化学组成有直接关系。各类烃类的流变性如表3-1-3所示。

低温流动性差的组分，如多环短侧链的环状烃，当温度降低时其粘度急剧增大，低温流动性显然不好；而如正构烷烃和有正构长侧链的环烷烃，虽然其粘温特性好，但本身熔点高，在低温下从油中结晶析出，从而使油品在低温下丧失流动性。

表3-1-3 化学组成与流变性的关系

烃 类	粘度	粘度特性	低温流动性
正构烷烃	小	最好	差
异构烷烃	小小	好	好
少环长侧链的环烷烃和芳香烃	大	较好	好
多环短侧链的环烷烃和芳香烃	最大	最差	差

2) 化学组成与抗氧化性的关系 烃类是一种比较稳定的化合物。在常温下或不太高的温度下, 它们并不能直接与空气中的分子氧发生反应。但是, 如果受高温或光照射使某些(哪怕数量极少)烃分子发生氧化反应, 其他烃分子也就会跟着发生链锁的氧化, 这就是烃类氧化链锁反应的特点。

① 烷烃的氧化 在较高温度下, 烷烃的氧化产物是低分子量的醇、醛、酮、羧酸或羟基酸等含氧化合物。深度氧化时, 以上氧化物还可能进一步氧化成羧基酸和羟基酸的缩合物胶状沉淀。

② 环烷烃的氧化 环烷烃氧化时, 会导致环破裂生成羧基酸或醛(酮)酸。并进一步生成内酯, 再聚合成高分子量的聚酯。

这类高分子聚合物成为胶状沉淀, 悬浮在油品中, 当其沉淀在被润滑机件的表面时, 就逐渐形成粘着性很强, 并且很坚韧的漆膜把机件粘着在一起。

③ 芳香烃的氧化 芳香烃氧化的产物为酚。深度氧化时则生成高度缩合的稠环化合物如胶质、沥青质等。

由于苯环容易失去氢原子, 引发链反应的活泼自由基就会首先与芳香烃反应, 生成稳定的芳香烃自由基而使链反应中断。在此, 芳香烃起到了防止烷烃和环烷烃氧化的天然抗氧剂的作用。

但是, 芳香烃(由其是多环重芳香烃)的流变性极差, 且容易生成胶质和沥青质, 因而要在精制时除去多环芳香烃。

④ 胶质的氧化 胶质具有一定的抗氧化作用, 但是它自身氧化后, 容易产生沉渣。特别是它的存在有抑制抗氧剂的作用。所以, 胶质应在精制时除掉。

⑤ 油中的氧大部分存在于胶质中, 只有少量的氧以环烷酸的形式存在, 它们都不是润滑油的理想组分。

⑥ 油中的硫一部分在胶状物质中, 一部分存在于芳香烃中, 含硫芳香烃也是天然的抗氧剂。

⑦ 油中氮化合物对抗氧性的影响还不很明确, 但油品氧化后变黑与氮化化合物的存在有关。

3) 润滑油的合理组成 从上述分析可看出, 要制取高质量的润滑油, 必须:

① 按粘度要求选取合适的石油馏分。制取高粘度的润滑油选取沸点较高(即“较重”)的馏分, 制取低粘度的润滑油可选取沸点较低(即“较轻”)的馏分。这可以通过常减压蒸馏来取得。

② 馏分选定后, 应除去其中的多环短侧链的环状烃和胶质、沥青质等非理想组分, 以提高馏分的粘温特性和抗氧性, 可以利用溶剂精制达到目的。

③ 再根据对油品凝固点的要求, 除去馏分中高熔点的烃类, 包括全部正构烷烃和部分带有长正构侧链的单环环状烃, 可以通过脱蜡改善油品的低温流动性。

石油馏分按以上加工步骤制得的油品叫基础油。

2. 常减压蒸馏

生产润滑油的原油既经选定, 可利用原油中各种组分存在着沸点差这一特性, 通过常减压蒸馏装置从原油中分离出各种石油馏分。

常减压蒸馏装置可分为初蒸馏部分、常压部分及减压部分, 其流程示意图如图3-1-2所示。

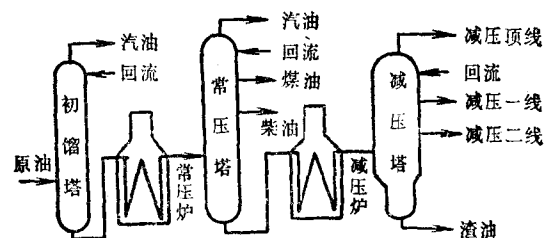


图3-1-2 常减压蒸馏流程示意图

经常压塔蒸馏, 蒸出沸点在 400°C 以下的馏分, 常压蒸馏只能取得低粘度的润滑油料。因为原油被加热到 400°C 后, 就会有部分烃裂解, 并在加热炉中结焦, 影响润滑油质量。

根据外压降低, 液体的沸点也相应降低的原理, 利用减压蒸馏来分离高沸点($350\sim 500^{\circ}\text{C}$)、高粘度的馏分, 但还有一些重质润滑油料在减压塔中也难以蒸出, 留在减压渣油中, 这部分油料需要去掉其中含有的胶质、沥青质才能进一步加工。

3. 溶剂精制

溶剂精制是用溶剂提取油中的某些非理想组分来改变油品的性质，经过溶剂精制后的润滑油料，其粘温特性、抗氧化性等性能都有很大改善。

工业上采用的溶剂有酸碱、酚、糠醛和甲醇等。

溶剂精制的基本原理是，利用溶剂对油中非理想组分的溶解度很大，对理想组分的溶解度很小的特性，把溶剂加入润滑油料中，其中非理想组分迅速溶解在溶剂中，将溶有非理想组分的溶液分出，其余的就是润滑油的理想组分，通常把前者叫做提取油或抽出油，后者叫做提余油或精制油，溶剂精制的作用相当于从润滑油原料中抽出其中非理想组分，所以这一过程也叫溶剂抽提或溶剂萃取。

精制润滑油的溶剂应具备以下性能：1) 选择性好，即溶剂对润滑油原料中非理想组分应有足够高的溶解度，而对理想的润滑油组分溶解度很小。2) 相对密度大，使抽出油和精制油有一个较大的相对密度差，便于分离。3) 沸点低，以便溶剂的回收。4) 稳定性好，加热后不易分解变质，不与原料油发生化学反应。5) 毒性和腐蚀作用小。

溶剂精制的主要工艺条件：1) 溶剂用量，常以溶剂比表示（即溶剂油比）。一般说，溶剂用得越多，溶剂比高，精制效果就好；但精制过深，也会把润滑油中的理想组分去掉，而且使装置加工能力降低，润滑油收率降低，经济上不合理。通常，润滑油馏分普通精制溶剂比为1.1~1.5:1，深度精制溶剂比为1.7~2.5:1。2) 抽提温度，即抽提塔内的操作温度。随着操作温度的升高，溶剂的溶解能力增大而选择性下降。当温度超过一定值（这一温度叫做临界溶解温度）后，溶剂与油完全互溶，这时抽出液与精制液就无法分开，达不到精制的效果。通常抽提温度应低于临界温度10℃左右，并使塔顶和塔底有一定的温度梯度，以使溶剂有足够的溶解能力和较好的选择性，以保证精制油的收率高，含理想组分多，质量好。

4. 溶剂脱蜡

为使润滑油在低温条件下保持良好的流动性，必须将其中易于凝固的蜡除去，这一工艺叫脱蜡。脱蜡工艺不仅可以降低润滑油的凝点，同时也可以得到蜡。所谓蜡就是在常温下（15℃）成固体的那些烃类化合物，其中主体是正构烷烃和带有长侧链的环状烃， C_{16} 以上的正构烷烃在常温下都是固体。

脱蜡的方法很多，目前常用的办法是冷榨脱蜡、溶剂脱蜡和尿素脱蜡。

最简单的脱蜡方法是冷榨脱蜡，即把精制油（或馏分原料）冷却到所要求的温度，使蜡从油中结晶析出，然后用压滤机把油与蜡分离开。这样得到的油的凝固点通常等于或略低于过滤时的温度。但是，这一方法只能适用于柴油和轻质润滑油，对大多数较重质的润滑油是不适用的。因为较重质的润滑油原料粘度大，低温时变得更为粘稠，蜡的呈粒细小，很不易过滤，使油蜡不能彻底分开，达不到脱蜡的目的。

溶剂脱蜡是利用一种在低温下对油溶解能力很大，而对蜡溶解能力很小并且本身低温粘度又很小的溶剂稀释原料，使蜡能结成较大晶粒，使油因稀释而粘度大为降低，这样就给油蜡分离创造了良好条件。

溶剂脱蜡的具体方法是往原料里加入少量溶剂或不加溶剂的情况下冷冻使蜡开始结晶，然后在逐渐降温的同时分批加入溶剂以稀释蜡-油糊状物，使蜡能形成较大的晶粒，在冷却到指定温度后再加入足够的溶剂稀释，使油溶液的粘度降低到利于过滤的程度，然后，用过滤机滤去溶液中的蜡，在溶剂回收塔中从滤液中蒸去溶剂，即可得到凝固点合乎要求的脱蜡油。由于溶剂多少总会溶解一些蜡，因此所得油品的凝固点是略高于溶剂过滤时的温度，这个温度的差别叫做脱蜡温差。

脱蜡溶剂应具备如下特性：

(1) 选择性好，即在脱蜡温度下，对蜡的溶解度小，对油的溶解度大。

(2) 析出的蜡结晶好，易于用机械方法过滤。

(3) 沸点比油、蜡均低，以便蒸发分离回收。

(4) 与油、蜡不起化学反应。

(5) 凝点低、低温粘度小。

(6) 腐蚀性和毒性小。目前广泛采用的溶剂是酮-苯混合溶剂。其中酮可用丙酮、甲基乙基酮、甲基异丁基酮；苯类为苯和甲苯。一般轻馏分润滑油脱蜡溶剂的组成是：丙酮:苯:甲苯 = 40:40:20；重馏分、残渣润滑油脱蜡溶剂的组成是：丙酮:苯:甲苯 = 30:50:20。通常，溶剂和油的比例为1~5:1。

此外，较为常用的脱蜡方法还有尿素脱蜡。其

基本原理是利用尿素能够和石蜡—正构烷烃、支链较少的异构烷烃、长正构侧链的环状烃生成络合物，而与油不起任何反应的这一性质，将油与络合物分离，达到降低凝固点的目的。

5. 丙烷脱沥青

石油经减压分馏后，仍有一些分子量很大、沸点很高的烃类不能气化分馏出来而残留在减压渣油中，这些烃是制取高粘度润滑油的良好原料。

渣油中除了这些高分子量的烃以外，还含有大量胶状物质（沥青质和某些高分子多环的烃类）。因此，为了取得这部分高精度的原料，必须将其与沥青质、胶质分开，这个加工步骤叫做渣油脱沥青。

常用的脱沥青方法是丙烷脱沥青法。这种方法就是用丙烷把渣油中的烃类提取出来，即利用液态丙烷在其临界温度附近对沥青的溶解度很小，而对油（烷烃、环烷烃、少环芳香烃）溶解度大的特性来使油和沥青分开。丙烷的临界温度为96.81℃，临界压力为4.2MPa，其沸点与外界压力的关系如表3-1-4所示。

表3-1-4 丙烷沸点与外界压力的关系

外界压力 (MPa)	0.1	0.47	0.83	1.26	2.1	3.1	4.2
沸点 (°C)	-42.06	0	20	40	60	80	96.81

所谓临界温度，就是指把液体加热到这一温度以上时，外界压力无论增大到多大也不再能阻止液体沸腾转变成蒸气，与临界温度相对应的外界压力就叫做临界压力。

在丙烷的临界温度以下接近临界温度的区域内，液体丙烷对油和沥青的溶解能力均随温度的升高而降低。但是，对沥青的溶解能力降低得快，而对油的溶解能力降低得慢。因此，在这一温度范围内的某一温度下，油在丙烷中的溶解度远远大于沥青的溶解度。

丙烷脱沥青也是一个抽提过程，主要工艺条件是溶剂比和温度。一般，溶剂比约为3~7:1（丙烷/原料）；抽提塔顶部温度约为80℃，底部温度约为43℃；塔内压力为3.2~3.8MPa。

丙烷脱沥青的效果可以用脱沥青后的油的残炭值来衡量，渣油中沥青脱除得越彻底，所得脱沥青油的残炭值越低。一般，作为优质润滑油原料的轻脱沥青油，残炭值要求在0.7%以下，而重脱沥青油

的残炭值可在1.3%以下。

经过丙烷处理得到的脱沥青油和其他馏分油一样，要进行精制和脱蜡。

6. 白土精制

经过溶剂精制和脱蜡后的油品，其质量已基本上达到要求，但一般总会含少量未分离掉的溶剂、水分以及回收溶剂时加热所产生的某些大分子缩合物、胶质和不稳定化合物，还可能从加工设备中带出一些铁屑之类的机械杂质。为了将这些杂质去掉，进一步改善润滑油的颜色，提高安定性，降低残炭，还需要一次补充精制。常用的补充精制方法是白土处理。

白土精制是利用活性白土的吸附能力，使各类杂质吸附在活性白土上，然后滤去白土以除去所有杂质。方法是在油品中加入少量（一般为百分之几）预先烘干的活性白土，边搅拌边加热，使油品与白土充分混合，杂质即完全吸附在白土上，然后用细滤纸（布）过滤，除去白土和机械杂质，即可得到精制后得基础油。

白土处理的温度不应超过300℃，最低不要低于100℃。一般，处理高粘度油品时，操作温度应该高一些；而处理低粘度油品时，温度则可以低一些。油品加入白土后要经过约30分钟时间的接触以后再过滤，以便杂质能充分吸附在白土上。

为了保证精制效果，活性白土应能满足下述质量要求：1）活性高，吸附能力强。2）粒度适宜，一般采用筛分为200目的白土。3）含水量适当，试验证明，当含水量在10%~25%时，白土吸附能力最高。

7. 润滑油加氢

润滑油加氢是生产润滑油的一种新工艺，即通过催化剂的作用，润滑油原料与氢气发生各种加氢反应，其目的是1）除去硫、氧、氮等杂质，保留润滑油的理想组分；2）将非理想组分转化为理想组分，从而使润滑油质量得到提高；3）同时裂解产生少量的气体、燃料油组分。

由于润滑油加氢工艺的发展，使一些含硫、氮高，以及粘温性能差的润滑油劣质原料也可以生产优质润滑油。

润滑油生产中所用的加氢方法大致分为三类：即加氢补充精制；加氢处理（或叫加氢裂化）和加氢降凝。

（1）加氢补充精制 加氢补充精制后的油

品,其颜色、安定性和气味得到改善,对抗氧剂的感受性显著提高,而粘度、粘温性能等变化不大,并且油品中的非烃元素如硫、氮、氧的含量降低。

油品的色度和安定性主要取决于油品中所含的少量稠环化合物和分子不饱和化合物。加氢时,这类化合物中的部分芳环变成环烷或开环,不饱和化合物则变为饱和化合物。这样就能使油品的颜色变浅,安定性提高。含有硫、氮、氧等非烃元素的润滑油在使用中会生成腐蚀性酸,加氢时,这类元素会与氢反应生成 H_2S 、 NH_3 、 H_2O 等气体从油中分离出来,因而使产品质量提高。

加氢补充精制的产品收率比白土精制收率高,没有白土供应和废白土处理等问题,是取代白土精制的一种较有前途的方法。

(2) 加氢处理(或叫加氢裂化) 加氢处理工艺不仅能改变油品的颜色、安定性和气味,而且可以提高粘温性能,可以代替白土精制和溶剂精制,具有一举两得的作用。

它是在比加氢补充精制苛刻一些的条件下,除了加氢补充精制的各种反应以外,还有多种加氢裂化反应,使大部分或全部非理想组分经过加氢变为环烷烃或烷烃,并转化为理想组分。例如,多环烃类加氢开环,形成少环长侧链的烃,因此加氢处理生成油的粘温性能较好。

(3) 加氢降凝 加氢降凝工艺的操作条件比加氢处理更为严格。润滑油原料在催化剂的作用下发生加氢异构化和加氢裂化反应,使加氢过程不但有精制的作用,并且有使蜡异构化的作用。从而使凝点较高的正构烷烃转化为凝点较低的异构烷烃或低分子烷烃,达到降低凝点的目的。

8. 润滑油品种的开发

有了高质量的润滑油基础组分和添加剂,不等于是就能生产出高质量的润滑油。润滑油中各组分的配伍是很重要的,配伍得当可以得到增强的效果,即优于几个添加剂单独使用的效果的总和。配伍不得当将会互相抵消添加剂的效果,甚至产生相反的作用。

因此,润滑油的研制实际上是探索基础油和添加剂的最佳组合,并筛选出具有最佳复合效果的添加剂组合和剂量(即产品配方)。润滑油产品的开发通常需经过下述的研制过程。

(1) 可行性研究

1) 资料调查 了解国内外有关方面的研究、

发展情况,作为本项目的参考。

2) 可行性研究 包括进行机械设备制造厂或用户要求的分析研究,市场预测,试验评定手段是否具备,以及经济效益和社会效益的分析,由此决定项目的可行性。

(2) 实验室试验 根据资料调查情况和可行性研究的结论,设计试验方案,选择适当的润滑油基础油和添加剂,组成各种不同添加剂类型或剂量配伍。通过试验室理化性能分析,筛选出较好的配方,并通过模拟评定、台架评定和实际使用实验做进一步评定,改进和确定最佳配方。

(3) 模拟试验 模拟试验是利用简单的设备,在试验室内模拟机械的某个工作状态、条件,以反映润滑油在其中的工作性能。它具有比较简便快速、节省人力物力的优点。

如四球极压试验机可用于评定油品的承载能力。

(4) 台架试验 台架试验也可以看作是强化的条件试验,是检验润滑油质量的最主要、最能反映实际工作情况的试验手段,它所用的设备是实际的全尺寸发动机或变速箱。它把实际使用中最苛刻的工况条件综合起来作为试验条件,缩短了试验周期,能较快地取得试验结果。

(5) 实际使用试验 这是油品研制的最后手段。通过实际使用试验检验油品是否真正满足机械设备的使用要求,以及油品的经济效益和社会效益。

(6) 技术鉴定 通过了上述试验的油品,还必须由有关主管部门组织有关专家和工程技术人员、研制单位、评定单位和用户代表对该新油品进行技术鉴定。只有通过了技术鉴定的新油品才能进行工业性生产,投入市场使用。

9. 润滑油产品调合

调合是润滑油制备过程的最后一道重要工序。按照油品的配方,将润滑油基础组分油和添加剂按比例、顺序加入调合容器,用机械搅拌(或压缩空气搅拌)、泵抽送循环、管道静态混合等方法调合均匀,然后按照产品标准采样分析合格后即为正式产品。表3-1-5是某公司20W/40QD级汽油机油的配方。

通常,经炼油厂精制后得到的只有常三线、减二线、减三线、减四线和光亮油(即减压残油经脱沥青、精制后所得的高粘度油料)等几种不同粘度

表3-1-5 20W/40QD级汽油机油调合工艺卡片

基础油	减三线组分油	(%)	余量
	增粘剂	(%)	3~5
	降凝剂	(%)	0.5~1
功能添加剂	胺型分散剂	(%)	1.8
	高碱磺酸镁	(%)	0.4
	高碱磺酸钙	(%)	0.35
	硫化烷基酚钙	(%)	0.66
	硫化烷基二硫代磷酸锌	(%)	0.22
	二甲硅油	(ppm)	10
操作条件	(1) 调合温度	60~70°C	
	(2) 搅拌循环时间	60~90min	
	(3) 先加入增粘、降凝、抗泡沫添加剂		

的基础油料。许多牌号的润滑油产品常常是利用两种或两种以上不同粘度的基础组分油按一定比例（该比例常称为调合比）混合调制成的，基础组分油的调合是润滑油产品调制的基础。

(1) 混合油粘度和调合比的计算 不同粘度的油料混合后，其粘度不是加成关系，而应由下式计算：

$$\lg \nu = n_A \lg \nu_A + n_B \lg \nu_B$$

式中 ν , ν_A 和 ν_B ——分别为混合油、A组分油和B组分油的运动粘度， (mm^2/s) ；

n_A , n_B ——分别为A、B组分油的混合比例 $[\%]$ （计算时为小数， $n_A = 1 - n_B$ ）。

除上式外，还可以通过两组分油粘度调合图（图3-1-3）查出混合油的粘度或两组分油的调合比。例如，要求用 $\nu_{100} = 5.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 的A组分油和 $\nu_{100} = 30.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 的B组分油，调成 $\nu_{100} = 14.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ 的油品时，由图3-1-3的纵坐标A组分油侧的 $5.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 点和B组分油侧的 $30.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 点两点间联成直线，再由该直线与 $14.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ 点横线的交叉点处引垂线，

即可得出A组分油的调合比为44%（体积），B组分油的调合比为56%（体积）。

(2) 混合油性质的变化 两种以上的组分油调合成所需粘度的油品时，不但粘度不成算术平均值，其他的一些性质指标也没有算术平均性，而一般是偏向于性质较低的组分油的性质的情况较多。

例如：

1) 不同闪点的组分油混合成的油品闪点，一般是偏向于低闪点组分油的闪点，即呈闪点下降现象，如图3-1-4。

2) 不同凝点的组分油混合成的油品凝点，一般偏于高凝点组分油的凝点，即凝点上升现象，如图3-1-5。混合油凝点的变化也是如此。

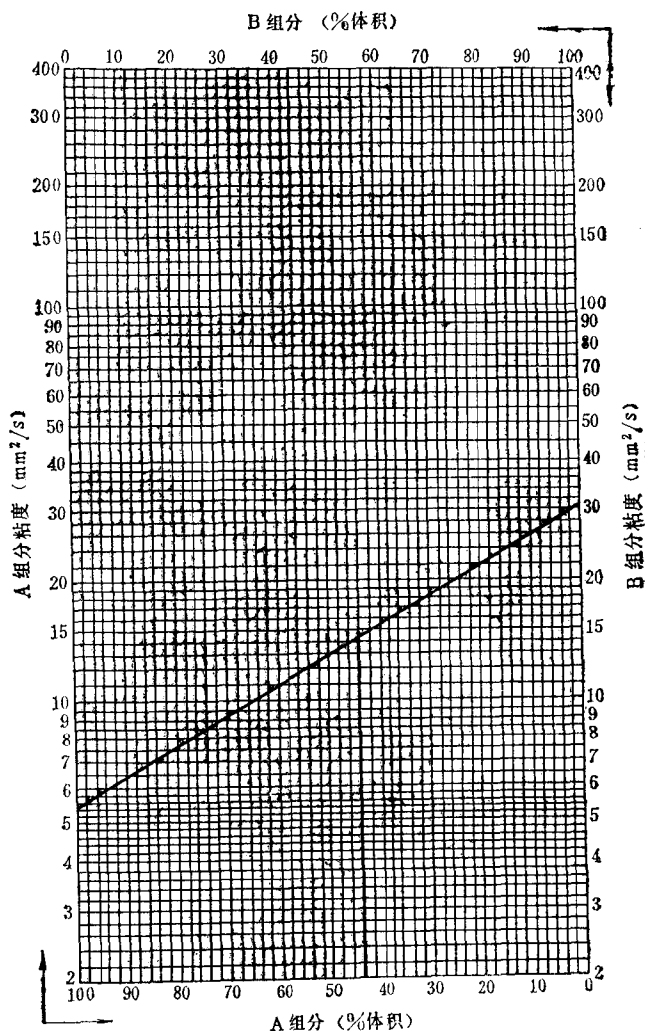


图3-1-3 两组分油粘度调合图

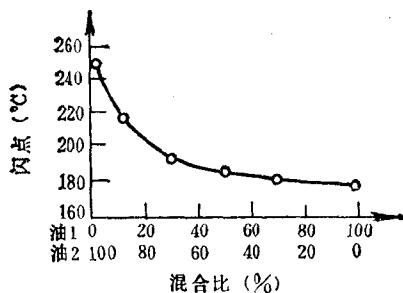


图3-1-4 润滑油混合对闪点的影响

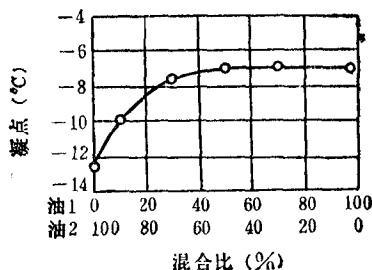


图3-1-5 润滑油混合对凝点的影响

3) 不同粘度指数的组分油混合成的油品的粘度指数一般都偏向高粘度指数组分油的粘度指数。在一定范围内还表现出一定的可加性，即为粘度指数上升现象，如图3-1-6。

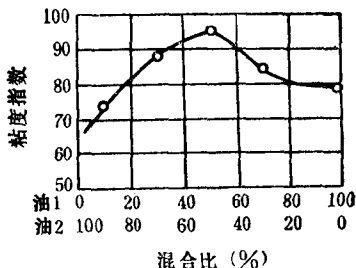


图3-1-6 润滑油混合对粘度指数的影响

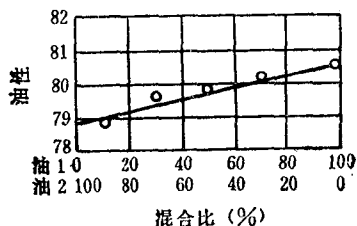


图3-1-7 润滑油混合对油性的影响

4) 不同油性的组分油混合成的油品，其油性大体上呈算术平均值的直线关系，图3-1-7是根据静摩擦系数测定的结果，表示油性变化情况。

5) 混合油的其他一些指标如酸值、灰分、杂质、残炭等为可加性指标。

(二) 润滑油添加剂

为了改善润滑油的物理化学性质，向润滑油中加入一定量的其他组分，给润滑油赋予新的特殊性能或加强其本来具有的某种性能，更好满足需要，这些组分称为润滑油添加剂。添加剂的种类很多，从作用来看主要分为两大类，一类是为改善润滑油物理性能的，有粘度指数改进剂、油性剂、降凝剂和抗泡剂，它们能使润滑油分子变形、吸附、增溶；另一类是改善润滑油的化学性质的，有极压抗磨剂、抗氧剂、抗氧抗腐剂、防锈剂和清净分散剂，它们本身与润滑油产生化学反应。从机理来看也可分为两类，一是靠界面的物理化学作用发挥其使用性能，有耐载荷添加剂（油性剂、抗磨剂、极压剂）、金属表面钝化剂、防锈防腐剂、清净分散剂、降凝剂、抗泡剂；二是靠润滑油整体性质作用达到润滑目的的，有抗氧剂、粘度指数改进剂。大部添加剂都是结构复杂的化合物及其混合物。

我国的润滑油添加剂，根据行业标准SH0389—92 石油添加剂的分类，按作用分为清净剂和分散剂、抗氧抗腐剂、极压抗磨剂、油性剂、抗氧剂和金属减活剂、粘度指数改进剂、防锈剂、降凝剂、抗泡剂等组，见附录3。

1. 清净分散剂

清净分散剂包括清净剂和分散剂两类。主要用于内燃机油（汽油机油、柴油机油、铁道内燃机车用油、二冲程汽油机油和船用发动机油）。其主要作用是使发动机内部保持清洁，使生成的不溶性物质呈胶体悬浮状态，不致进一步形成积炭、漆膜或油泥。具体说来，其作用可分为酸中和、增溶、分散和洗涤等四方面。

(1) 酸中和作用 清净分散剂一般都有一定的碱性，有的甚至是高碱性，它可以中和润滑油氧化生成的有机酸和无机酸，阻止其进一步缩合，因而是使漆膜减少，同时还可以防止这些酸性物质对发动机部件的腐蚀。

(2) 增溶作用 清净分散剂都是一些表面活性剂，它能将本来在油中不能溶解的固体或液体溶

质增溶于由5~20个表面活性剂分子集合而成的胶束中心,在使用过程中,它将含有羟基、羰基、羧基的含氧化合物、含硝基化合物、水份等,增溶到胶束中,形成胶体,防止进一步氧化与缩合,减少在发动机部件上有害沉积物的形成与聚集。

(3) 分散作用 能吸附已经生成的积炭和漆膜等固体小颗粒,使之成为一种胶体溶液状态分散在油中,阻止这些物质进一步凝聚成大颗粒而粘附在机件上,或沉积为油泥。

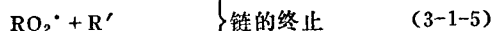
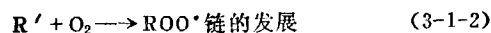
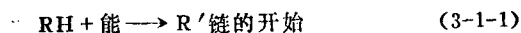
(4) 洗涤作用 能将已经吸附在部件表面上的漆膜和积炭洗涤下来,分散在油中,使发动机和金属表面保持清洁。

清净分散剂的结构,基本上是由亲油、极性和亲水三个基团组成。由于结构的不同,导致清净分散剂的性能有所不同,一般说来,有灰剂清净性较好,无灰剂分散性突出。

清净分散剂的典型代表有石油磺酸盐、烷基酚盐、水杨酸盐、丁二酰亚胺。前三种也称有灰剂,后一种称无灰剂。

2. 抗氧抗腐剂

抗氧抗腐剂可以抑制油品氧化,主要用于工业润滑油、内燃机油和工艺用油等。润滑油氧化,首先生成过氧化物。其反应过程如下:



式中 $R \cdot$ 、 $R' \cdot$ ——自由基。

由此可知,终止或减弱氧化过程的最好办法,一是当过氧化物一旦形成,就设法破坏终止链的继续发展,即干扰方程式(3-1-3),二是链的终止,即干扰方程式(3-1-4, 5, 6)。

为此,抗氧化添加剂按其作用原理可分为二种类型:①链反应终止剂;②过氧化物分解剂。常用的屏蔽酚型和胺型化合物抗氧剂,属于链反应终止剂,可以和过氧化基($ROO \cdot$)生成稳定的产物($ROOH$ 或 $ROOA$),从而防止润滑油中烃类化合物的氧化反应,如2,6-二叔丁基对甲酚、4,4-亚甲基双酚、 α -萘胺、N,N'-二仲丁基对苯二胺。过氧化物分解剂能分解油品氧化反应中生成的过氧化物,使链反应不能继续发展而起到抗氧作

用;能在热分解过程中产生无机络合物,在金属表面形成保护膜而起到抗腐作用;能在极压条件下在金属表面发生化学反应形成具有承载能力的硫化膜而起到抗磨作用,所以它是多效添加剂。抗氧抗腐剂的主要品种有二烷基二硫代磷酸锌盐(ZDDP)、硫磷烷基酚锌盐、硫磷丁辛基锌盐及其系列产品。

酚型和胺型抗氧剂多用于变压器油、工业润滑油、汽轮机油和液压油等。而二烷基二硫代磷酸锌盐等以及其他含硫、磷类或含有机硒类化合物常用于工业润滑油、内燃机油及工艺用油。但含二硫代磷酸盐的润滑油不适用于有镀银肘节销的内燃机车及润滑发动机的连杆顶部钢套上,为此而发展了二烷基二硫代氨基甲酸酯盐以满足有镀银部件的机器使用要求。

3. 金属钝化剂

金属钝化剂也是一种抗氧剂,它本身并无抗氧化作用,而是间接地“钝化”金属活性,抑制金属及其化合物对油品氧化起催化作用,减少油品的败坏,延长油品的使用寿命,如N,N'-二水杨叉-1,2-丙二胺、N-水杨叉己胺等。

4. 极压抗磨剂

极压抗磨添加剂是指在高温、高压的边界润滑状态下,能和金属表面形成高熔点化学反应膜,以防止发生熔结、咬粘、刮伤的添加剂。它的作用是其分解产物在摩擦高温下与金属起反应,生成剪切应力和熔点都比纯金属低的化合物,从而防止接触表面咬合和焊熔,有效地保护金属表面。极压抗磨剂主要用于工业齿轮油、液压油、导轨油、切削油等有极压要求的润滑油中,以提高油品的极压抗磨性能。

极压抗磨剂一般分为有机硫化物、有机磷化物、氯化物和有机金属盐等,近年来硼型极压抗磨剂也得到了迅速的发展。极压抗磨剂的主要品种有:氯化石蜡、酸性亚磷酸二丁酯、硫磷含氮衍生物、磷酸三甲酚酯、硫化异丁烯、二苄基二硫、环烷酸铅、硼酸盐等。磷氮型极压抗磨剂是近年重点开发的产品。

含硫极压抗磨剂的作用机理是首先在金属表面上形成吸附膜,减少金属表面之间的摩擦。随着负荷的增加,金属表面之间接触点的瞬时温度升高,金属与有机硫化物首先反应,形成硫醇铁覆盖膜,从而起抗磨作用。随着负荷的进一步提高,生成硫

化铁固体膜起极压作用。所以含硫添加剂的极压性能在高温下才能显示出来。

含氯极压抗磨剂的作用机理是有机氯化物在极压条件下首先分解,在金属表面生成氯化铁膜,由于氯化铁膜具有类似于二硫化钼的层状结构,所以膜的剪切强度小,因此氯化铁膜的摩擦系数低。含氯极压剂一般是指脂肪族氯化物,其活性强,极压性好,但稳定性差,容易引起腐蚀。芳香族的氯化物活性低,极压性差一些,但稳定性较好。

含磷极压抗磨剂的作用机理一般认为是含磷化合物在摩擦表面微凸体处瞬时高温的作用下分解,与铁生成磷化铁,再与铁生成低熔点的共融合金,流向凹部,使摩擦面光滑,防止磨损。

硼酸盐是一种平均直径为 $0.1\mu\text{m}$ 的无定型微球在油中的分散体,在极压条件下,这些微球与金属表面作用,生成一种优异的弹性膜,这层牢固的弹性膜可以提供优异的负荷承受能力和抗磨性。

5. 油性剂和摩擦改进剂

凡是能使润滑油增加油膜强度,减小摩擦系数,提高抗磨损能力,降低运动部件之间的摩擦和磨损的添加剂都叫油性剂。

油性剂是一种表面活性剂,分子的一端带有极性基团,另一端为油溶性的烃基基团。含有这种极性基团的物质对金属表面具有很强的亲和力,它能牢固地定向吸附在金属表面上,使金属之间形成一种类似于缓冲垫的保护膜,防止了金属表面的直接接触,减小了摩擦和磨损。

油性剂具有很高的界面活性,它们在金属表面产生物理和化学吸附。物理吸附是可逆的,在温度较低、负荷较小的情况下,物理吸附起作用;在高温高负荷下吸附剂会脱附而失去作用。脂肪酸型的油性剂除了物理吸附外,还有化学吸附,在较低的温度下与金属表面生成金属皂,提高其抗磨性。

一般地说具有硫、氧、氮、磷等极性原子,或具有 $-\text{OH}$ 、 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{N}(\text{ROH})_2\cdot\text{NH}_2$ 、 $-\text{CONH}_2$ 、 $-\text{NHROH}\cdot(\text{RO})_2\text{POOH}$ 、 $(\text{RO})_2\text{POONHROH}$ 等基团的化合物,都有较强的表面活性和对金属表面的吸附能力,都可作为油性抗磨剂。

常用的油性剂为高级脂肪酸(如硬脂酸、软脂酸、油酸、月桂酸、棕榈酸、蓖麻油酸等)、脂肪酸酯、盐(如硬脂酸乙酯、油酸丁酯等)、胺、酰胺化合物(如硬脂酸胺、 N 、 N -二(聚乙二醇)十八胺、硬脂酰胺 $[\text{RCOON}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}]$ 、硫化鲸

鱼油、硫化棉籽油、二聚酸、苯三唑脂肪胺盐及酸性磷酸酯类等。

油性剂主要用于工业润滑油、液压油、导轨油、齿轮油等。

6. 粘度指数改进剂

粘度指数改进剂都是油溶性的链状的高分子聚合物,其相对分子量由几万到几百万。当其溶解在润滑油中时,在低温时它们以丝卷状存在,对润滑油的粘度影响不大,随着润滑油温度升高,丝卷伸张,有效容积增大,对润滑油流动阻力增大,导致润滑油的粘度相对显著增大。基于不同温度下粘度指数改进剂具有不同形态并对粘度产生不同影响,可以增加粘度和改进粘温性能,故粘度指数改进剂主要用于提高润滑油的粘度指数,改善粘温性能,增大粘度。可用来配制稠化机油,使配制的油品具有优良的粘温性能,使其低温起动性好,油耗低和具有一定的抗磨作用。

粘度指数改进剂广泛用于内燃机油中,主要用于生产多级油。

7. 防锈剂

防锈剂的作用是在金属表面形成牢固的吸附膜,以抑制氧及水,特别是水对金属表面的接触,使金属不致锈蚀。作为石油添加剂的防锈剂,必须对金属有充分的吸附性和对油的溶解性,因此防锈剂均由很强的极性基和适当的亲油基组成。目前使用较广、效果较好的有以下几类:羧酸及其盐类、氧化石油脂及其皂类、磺酸盐、磷酸酯及其胺盐、咪唑啉盐、羊毛脂及羊毛脂皂、胺类及含氮有机化合物等。

防锈剂主要用于工业润滑油和金属加工冷却润滑液、金属防护油等。

8. 降凝剂

油品温度下降到一定程度后,就要失去流动性而凝固,降凝剂的作用主要是降低油品的凝固点,并保证油品在低温下能够流动。油中含有蜡,在低温下,高熔点的石蜡烃,常以针状或片状结晶析出,并相互联结成立体网络结构,形成结晶骨架,将低熔点油吸附并包围于其中,犹如吸水的海绵,致使整个油品丧失流动性。降凝剂有吸附和共晶两个作用,降凝剂虽不能阻止蜡晶的析出,但可以改变蜡的结构。降凝剂通过在蜡结晶表面的吸附或与其形成共晶,改变蜡结晶的形状和尺寸,防止蜡晶粒间联结形成三维网状结构,从而保持油品在低温下的

流动性。

降凝剂广泛应用于各类润滑油中,典型代表是烷基苯、聚 α -烯烃。

9. 抗泡沫剂

液压油、压缩机油等油品可能遇到开机、停机频繁的工作条件,内燃机油、齿轮箱油等循环系统的搅拌又比较激烈,常常会产生大量泡沫,造成能量传递和供油故障。抗泡方法很多,可分为物理-机械抗泡和化学抗泡。实际上,大多数是添加抗泡剂。作为抗泡剂的物质应具备:1)抗泡剂不能溶于润滑油中;2)抗泡剂能均匀地分散在润滑油中;3)抗泡剂表面张力比润滑油要小。

抗泡剂广泛应用在各类润滑油中,典型代表是二甲基硅油及聚丙烯酸酯等。

(三) 润滑油的分类

1987年以前,我国润滑油产品分类执行GB500—65国家标准。润滑油按所润滑的机器种类和结构部件的特点分为15类。其产品的组别符号用汉语拼音字母表示。润滑油分级按机械使用条件的苛刻程度分为轻级、中级和重级,高速和低速,高温和低温等。部分润滑油产品按使用机器的种类和结构部件特点划分级别如极压,双曲线齿轮,越野车等。

1987年,我国颁布《润滑剂和有关产品(L类)的分类第1部分:总分组》(GB7631.1—87)国家标准,见附录3,以代替GB500—65。本标准是等效采用国际标准ISO6743/0—1981和根据GB498—87的规定而制订的。根据尽可能的包括所使用的润滑剂和有关产品的应用场合这一原则,将润滑剂分为19个组别。其组别符号是按顺序排列的英文字母表示的。而其中的E(内燃机)、H(液压系统)、M(金属加工)、P(风动工具)、T(透平)等与该类油的英文字母头一样,这是巧合。全损耗系统包括一次性润滑和某些要求较低、换油期较短的油浴式润滑。我国原来的机械油现已包括在全损耗系统用油中。虽然全损耗系统包括一次性润滑,但并不是所有的一次性润滑全部包括在全损耗系统中。例如二冲程汽油机油、汽缸油等。脱膜油包括两类产品,对于非金属例如水泥预制件、玻璃制品、塑料制品的脱膜润滑剂称脱膜油,而金属铸件的成型润滑剂则称成型油。

(四) 润滑油的主要品种及应用范围

1. 内燃机油

凡是用于润滑内燃发动机的润滑油统称为内燃机油或发动机油。内燃机油的品种较多,通常可分为汽油机油、柴油机油、船用发动机油、二冲程汽油机油和铁道内燃机车油等。

由于内燃机是当代的主要动力机械,所以内燃机油的消耗量很大,我国每年消耗的内燃机油约占润滑油年消耗总量的40%以上。因此,掌握内燃机油的基本知识,正确合理地使用内燃机油,对于节约油料、节约能源、减少磨损,提高内燃机的技术水平都有十分重要的意义。

(1) 内燃机油的基本性能 内燃机的种类、机型和使用条件不同,对内燃机油的性能要求也不同。因此,不同品种的内燃机油,其性能是不同的,就是同一品种的内燃机油,质量等级不一样,性能也有差别。尽管如此,内燃机油还是具有如下共同的基本性能:

1) 良好的粘温特性,适当的粘度 内燃机各润滑部位的工作温度非常宽广,从大气温度到300℃左右,这就要求内燃机油不仅应有适当的粘度,而且粘度随温度的变化不能大,也就是粘温特性要好。油的粘度主要决定于低温起动的最大粘度。粘度大的油流动性差,使起动后摩擦表面长时间得不到充分润滑,磨损增加。一般要求内燃机低温起动温度在-5~-30℃,内燃机油动力粘度应在6000~3250(mPa·s)。油品的粘度也取决于在高温高剪切下,能保持油膜的最低粘度,一般不低于3.5(mPa·s)。粘度太小,油膜容易破坏,密封作用不好,机油耗量增大,同时还会产生磨损。

内燃机油的粘度要兼顾较好的高温和低温粘度,即油品应具有较好的粘温性能。机油的粘温性能用粘度指数表示。粘度指数高,粘度随温度变化小;反之,粘度随温度变化大。由于内燃机油在使用过程中温度变化范围较大,因此,要求油的粘温特性要好,即粘度指数要高。单级油粘度指数一般在90~105,多级油在120~180。

多级内燃机油,由于基础油的粘度低,并加入粘度指数改进剂提高其粘温性能,保证油品能够在更宽的温度范围内正常工作,并使发动机在低温下容易起动,是最理想的节能型内燃机油。

2) 较强的抗氧化能力,较好的热稳定性 油

品的氧化速度与温度、氧浓度以及金属的催化作用都有密切关系。内燃机油的工作温度比其它品种的润滑油都高，油在润滑系统中高速循环和在油箱中被剧烈地搅拌，显著增加了与空气接触的面积和氧的浓度，加之受机械零件的金属（如铁、铜和铝等）的催化作用，使油的氧化速度加快。同时，磨损的磨粒以及从气缸泄漏出来的气体中的固态物和尘埃等，也会起促进油加速氧化的作用。氧化的结果生成腐蚀金属的酸性物质以及使粘度增大的胶质和沥青物质，由于粘度增大，油泥和漆膜大量生成而使油失去应有的润滑作用。

要提高内燃机油抗氧化能力和热稳定性，可采取选用抗氧化性好的基础油并加入一定数量的抗氧抗腐蚀添加剂的办法来实现。高质量的内燃机油均具有较好的抗氧化性能，因而可减少氧化产物和漆膜的生成。

3) 良好的清净分散性 燃料在内燃机中燃烧生成的炭粒和烟尘，内燃机油氧化生成的积炭和油泥，很容易集结变大，或沉积在活塞、活塞环槽、气缸壁和二冲程发动机的排气口，使发动机磨损增大，散热不良，活塞环粘结，换气不良，排气不畅，油耗上升，功率下降。油泥的沉积，还会堵塞润滑系统，使供油不足，造成润滑不良。因此，要求内燃机油不仅应该具有良好的高温清净作用，能将摩擦零件上的沉积物清洗下来，保持摩擦面的清洁，而且要具备良好的低温分散性，能阻止颗粒物的积聚和沉积，以便在通过机油滤清器时将它们除掉。

4) 良好的润滑性、抗磨性 内燃机轴承的负

荷重，气缸壁上油膜的保持性很差，这就要求内燃机油具有良好的油性，以减少摩擦磨损和防止烧结。凸轮-挺杆系统间歇地处于边界润滑状态，润滑条件苛刻，很容易造成擦伤磨损，连杆轴承也长期承受冲击负荷。因此，要求内燃机油应具有一定的抗磨性能。

5) 较好的抗腐蚀性和中和酸性物质的能力 现代内燃机的热负荷强化程度较高，负荷重，主轴承和曲轴轴承必须使用机械强度较高的耐磨合金为原料，如铜铅、锡银、锡青铜或铅青铜等合金材料，但这些合金的抗腐蚀性能都很差。为了保证轴承不因腐蚀作用而损坏，这就要求内燃机油要有较强的抗腐蚀能力。

另外，内燃机油在使用过程中，由于自身氧化生成酸性物质，特别是小汽车和公共汽车，经常处于时开时停状态，使内燃机油更容易氧化，产生酸性物质和低温油泥；其次是燃料燃烧后产生的腐蚀性物质混入油中，特别是使用含硫量高的柴油时，会生成二氧化硫、三氧化硫，并遇水生成腐蚀性很强的硫酸。因此，要求内燃机油要有中和酸性物质的能力。

(2) 内燃机油的分类

1) 质量分级 我国的汽油机油、柴油机油，基本上采用由美国汽车工程师学会 (SAE)、美国材料试验学会 (ASTM) 和美国石油学会 (API) 共同提出的 SAE J 183 80 的分类方法。二冲程汽油机油分类主要参照 ISO 的一个提案，结合我国情况来制定的，见表 3-1-6。

① 汽油机油 SAE、ASTM 和 API 共同提出

表 3-1-6 我国二冲程汽油机油的分类

代号	特 性 和 使 用 场 合
ERA	用于缓和条件下工作的小型风冷二冲程汽油机。具有防止发动机高温堵塞和活塞磨损的性能，另外还能满足发动机其它一般性能要求
ERB	用于缓和至中等条件下工作的小型风冷二冲程汽油机。具有防止发动机活塞磨损和由燃烧室沉积物引起提前点火的性能，另外还能满足发动机其它一般性能要求
ERC	用于苛刻条件下工作的小型至中型的风冷二冲程汽油机。具有防止高温活塞环粘结和由燃烧室沉积物引起提前点火的性能，另外还能满足发动机其它一般性能要求
ERD	用于苛刻条件下工作的中型至大型水冷二冲程汽油机。具有防止由燃烧室沉积物引起提前点火、活塞环粘结、活塞磨损和腐蚀性能，另外还能满足发动机其它一般性能要求

SAE J 183的S系列,把汽油机油分为SA、SB、SC、SD、SE和SF等级别,见表3-1-7。表中每一级油还规定了相应的发动机试验,因此每一级油都有它特有的性能水平。

由于我国汽油机油都已经加了润滑添加剂,与SAE J 183中的S系列相比,SA级油国内已不存在,所以我国根据GB7631—89润滑剂和有关产品(L类)的分类原则,把汽油机油分为L-EQB、L-EQC、L-EQD、L-EQE、L-EQF等级。

L-EQB级汽油机油(原市售的10*、15*汽油机油等),是由精制矿油加入抗氧抗腐、清净分散和抗泡沫等添加剂调制而成,该油可满足压缩比较低的老型汽油机的要求,其质量水平与SAE J 183中SB级相当。

L-EQC级汽油机油是由精制矿油加入多种添加剂而成。性能近似于SAE J 183中SC级油。要求用第二汽车制造厂生产的东风汽油机MS试验程序评定通过,可满足类似第二汽车制造厂生产的东风汽油机的使用要求。

L-EQD级汽油机油是由精制矿油加入多种添加剂而成,性能近似于SAE J 183的SD级油,主要用于新型解放牌等压缩比较高的汽车发动机,也用于类似于国外要求使用SD级油的汽油机。

L-EQE级汽油机油油品质、评定方法与SAE J 183的SE级油相等。

L-EQF级汽油机油油品质、评定方法与SAE J 183的SF级油相等。

② 柴油机油 参照SAE J 183中C系列(见表3-1-8)我国柴油机油根据GB7631—89润滑剂和有关产品(L类)的分类原则分为L-ECA、L-ECB、L-ECC、L-ECD四个等级。

L-ECA级柴油机油适用于非增压柴油机。在制订该产品的国家标准时,增加了清净性、抗氧抗腐蚀性和抗泡沫性等指标,产品性能与SAE J 183的CA级相当。

L-ECB级柴油机油适用于燃用劣质燃料(含硫量为0.95%以上的柴油)的外增压柴油机。

L-ECC级柴油机油比L-CA、L-CB级油有更

表3-1-7 发动机润滑油性能及使用范围分级 (SAE J 183)

A 汽油机油润滑油—S系列

代号	美 国 石 油 学 会 (API) 油品使用范围概述	美国材料试验学会 (ASTM) 油品性能概述
SA	供汽油机和柴油机使用,用于运行条件非常缓和的老式发动机,无需以添加剂来提高油品的防护性能。对油品使用性能无特殊要求。除汽车制造厂特别推荐外已不再使用	油品内除降凝剂及抗泡剂外不含其它类型的添加剂
SB	供负荷很低的汽油机使用,用于运行条件缓和的老式汽油机,只要求油品具有一定的防护性能。此种油品30年代已经使用,仅具有抗擦伤、抗氧化和抗轴承腐蚀性能。除汽车制造厂特别推荐外已不再使用	油品具有一定程度的抗氧化和抗磨损性能
SC	用于1964~1967年型小轿车和卡车的汽油机。此种油品能控制汽油机高、低温沉积物、磨损、锈蚀和腐蚀	油品符合汽车制造厂1964~1967年的要求,主要用于小轿车,具有防止低温沉积物和锈蚀的性能
SD	用于1968~1970年型小轿车和一些卡车的汽油机,也可用于规定使用此种油品的某些1971年以后的车型。此种油品防止汽油机高温及低温沉积物、磨损、锈蚀和腐蚀的性能优于SC级油,并可以用来代替SC级油	油品符合汽车制造厂1968~1971年的要求,主要用于小轿车,具有防止低温油泥和锈蚀的性能
SE	用于1972年以后和某些1971年型小轿车以及一些卡车的汽油机。此种油品的抗氧化性和对汽油机高温沉积、锈蚀和腐蚀的防护性能优于SC或SD级油,并可以用来代替SC或SD级油	油品符合汽车制造厂1972~1979年的要求,主要用于小轿车,具有高温抗氧化性能和防止低温油泥及锈蚀的性能
SF	用于按汽车制造厂推荐的维护方法运行的1980年以后的小轿车及一些卡车的汽油机。此种油品的抗氧化性能和抗磨损性能优于SE级油,还具有防止汽油机沉积物、锈蚀和腐蚀的性能,可以用来代替SE、SD或SC级油	油品符合汽车制造厂1980年的要求,主要用于小轿车,具有防止油泥、漆膜、锈蚀及抗磨损和抗高温增稠的性能

表3-1-8 发动机润滑油性能及使用范围分级 (SAE J 183)
B 柴油机润滑油—C 系列

代号	美 国 石 油 学 会 (API) 油品使用范围概述	美国材料试验学会 (ASTM) 油品性能概述
CA	供轻负荷柴油机使用, 用于使用优质燃料、在轻到中负荷下运行的柴油机, 有时也用于运行条件缓和的汽油机。对于一些非增压柴油机, 当其燃料质量对磨损和沉积物的防护性能无特殊要求时, 此种油品具有防止轴承腐蚀和活寒环区形成沉积物的能力。此种油品在40年代后期和50年代曾广泛应用, 但是除汽车制造厂特别推荐外, 已不再供中负荷柴油机使用	油品符合MIL-L-2104 A规格, 用于汽油机和以低硫燃料运行的非增压柴油机。MIL-L-2104 A规格于1954年发表
CB	用于在轻到中负荷下运行的柴油机, 但所用的燃料质量低, 需要油品对发动机磨损和沉积物有较高的防护性能。有时也可用于运行条件缓和的汽油机。此种油品1949年开始应用, 对于使用高硫燃料的非增压柴油机, 具有防止轴承腐蚀和高温沉积物的性能	油品用于汽油机和非增压柴油机, 包括用高硫燃料进行柴油机试验的 MIL-L-2104 A 级油品
CC	供中负荷柴油机和汽油机使用, 用于在中及重负荷下运行的低增压柴油机, 并包括一些重负荷汽油机。此种油品1961年开始生产, 已用于许多货车、工业及建筑车辆和农用拖拉机。对于低增压柴油机, 此种油品能防止高温沉积物; 对于汽油机, 能防止锈蚀、腐蚀和低温沉积物	油品符合MIL-L-2104 B规格, 具有低温防止油泥和锈蚀的性能, 并且有适应低增压柴油机需要的性能。MIL-L-2104 B规格于1964年发表
CD	供重负荷柴油机使用, 用于需要非常有效地控制磨损及沉积物的高速、大功率增压柴油机。此种油品于1955年生产使用, 增压柴油机使用优、劣质燃料油品都能够防止轴承腐蚀和高温沉积物	油品符合开特皮勒拖拉机公司系列3润滑油的标准具有适应中增压柴油机需要的使用性能。系列3油品标准于1955年建立。相应的MIL-L-45199规格于1958年发表

表3-1-9 我国汽油机油、柴油机油分类与SAE J 183分类的对应关系

汽 油 机 油		柴 油 机 油	
我国分组	SAE J 183分组S	我国分组	SAE J 183分组C
L-EQB	≈SB	L-ECA	≈CA
L-EQC	≈SC	L-ECB	≈CB
L-EQD	≈SD	L-ECC	= CC
L-EQE	= SE	L-ECD	= CD
L-EQF	= SF		

高的使用性要求, 适用于中等负荷的柴油机和汽油机。产品性能必须通过L-38和开特皮勒1H₂的发动机试验, 质量水平与SAE J 183的CC级油相同。

L-ECD级柴油机油适用于重负荷条件下工作的增压柴油机, 产品性能和评定方法与SAE J 183的CD级油相同。

SAE J 183分类是一个首尾开放系统, 根据发展需要可增加新的质量等级。如目前S系列已增设了SG级油, C系列已增设了CE级油。

我国汽油机油、柴油机油分类也是一个首尾开放系统, 也可根据发展需要增加新的质量等级, 或

对某一等级进行修订, 我国的分类与SAE J 183分类的对应关系见表3-1-9所示。

2) 粘度分级 粘度分级是内燃机油的牌号划分。过去我国原划分办法是引用苏联标准, 以100℃时的运动粘度来划分牌号的, 牌号的数值大致表明该油在100℃时运动粘度。如汽油机油分为6、10和15三个牌号, 柴油机油分8、11、14、16和20五个牌号。

为了向国际标准靠拢, 目前我国已废除了原来的划分法, 采用国际上通用的SAE粘度分级法。表3-1-10是1980年9月修订的粘度级规格。表中有两

表3-1-10 SAEJ300内燃机油粘度分级

SAE 粘度级号	最高低温粘度①		最高边界 泵送温度 (°C) ②	100°C粘度 (mm ² /s)	
	mPa·s	温度 (°C)		最 小	最 大
0W	3250	-30	-35	3.8	—
5W	3500	-25	-30	3.8	—
10W	3500	-20	-25	4.1	—
15W	3500	-15	-20	5.6	—
20W	4500	-10	-15	5.6	—
25W	6000	-5	-10	9.3	—
20	—	—	—	5.6	小于 9.3
30	—	—	—	9.3	小于12.5
40	—	—	—	12.5	小于16.3
50	—	—	—	16.3	小于21.9

① 按照ASTMD2602方法使用低温粘度计(ccs)把测温范围展宽求得的相似粘度。

② ASTMD2829。

组粘度级，一组后附字母W，一组未附。前者规定的流变性质有最高、最低温粘度、最高边界泵送温度和100°C时最低粘度；后者只规定100°C时的粘度范围。

表3-1-10中10个粘度级号的油，就是通常所称的单级油。在数字后面加有字母W的一组表示冬用(W是英文Winter的缩写)，不带W的一组表示夏用或非寒区使用。可以看出，单级油的使用有明显的地区范围和季节限制。

为了克服单级油的这一缺点和最大限度地节约能源，SAE设计了一种适用于较宽地区范围和不受季节限制的多级油。根据SAE J 300标准，还规定了多级内燃机油的级号，用带尾缀和不带尾缀的两个级号组成，共分12个级号，例如5W/10、5W/50、10W/20、10W/40、20W/30、20W/50等。它们的低温粘度和边界泵送温度符合W级的要求，而100°C粘度则在夏用油的范围内。多级油能同时满足多个粘度等级的要求，如10W/30不仅能满足10W级的要求，在寒区或冬季使用，也能满足30级的要求，在非寒区或夏季使用，见图3-1-8。另外还能满足从10W至30间其他等级的要求。

多级油是一种节能型润滑油。目前，内燃机的总热效率大约为40%，其它为热损失。其中大约有10%左右损失于克服内燃机油、齿轮油、刹车油等的摩擦阻力。在保证流体润滑的条件下、合理地降低润滑油的粘度，是减少油品内摩擦的一个有效手段。多级油比单级油具有较好的粘温特性，见图3-1-8，可使油品既能在高温下有足够的粘度以保证润

滑，又能在低温下使油品粘度不致于太高以保证油品有好的低温起动和泵送性，从而达到节能的目的，见图3-1-9。试验表明，使用10W/30油比使用30油节约燃油5%~10%。目前美国有80%以上的汽油

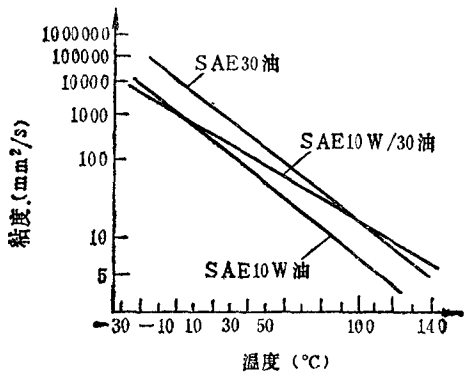


图3-1-8 单级油与多级油粘温图

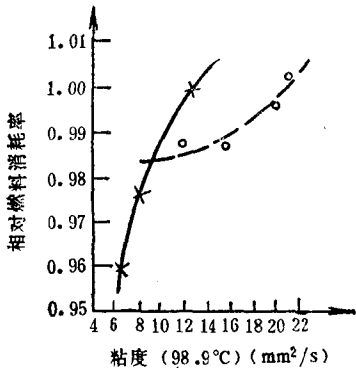


图3-1-9 单级油与多级油相对燃料消耗比
○—多级油 ×—单级油

机油、40%左右的柴油机油是多级油。

关于新旧牌号对照,由于划分的标准不一样,因此,各自规定的粘度范围是不同的,所以只能相当于或大致相当于。其对照如表3-1-11所示。

表3-1-11 新旧牌号对照

新 牌 号	相 当 于 旧 牌 号
10W/30	6D
20	6, 8
30	10, 11
40	14, 15
50	16, 18, 20
10W/20	8号低凝
5W/20	8号严寒

(3) 内燃机油的主要品种及应用

1) 汽油机油

① L-EQB级汽油机油 L-EQB级汽油机油是原汽油机油的大宗产品,按GB485—84(88)分为6、10、15 3个等级(牌号),分别与新牌号20、30、40号油相当。此外,还有相当于10W/20的8号低凝油和相当于5W/20的8号严寒区稠化汽油机油。

L-EQB级汽油机油,由于加入的添加剂量少,性能要求低,只适用于热负荷和机械负荷比较低的固定式四冲程汽油机以及压缩比在6.4以下的汽油车。由于L-EQE级汽油机油是档次最低的产品,其性能不能满足新型汽车的润滑要求,目前国家已安排升级换代,今后将被取消。

② L-EQC级汽油机油 L-EQC级汽油机油按国家标准GB11121—89分为5W/20、5W/30、10W/30、15W/40、20W/40、20/20W、30、40等8个等级(牌号),其性能见表3-1-12。

L-EQC级汽油机油具有良好的清净分散性和抗氧抗腐蚀性,良好的抗磨性和润滑性等。能满足热负荷和机械负荷较高的东风EQ140、解放CA15、上海SH130、北京BJ130、BJ212和天津TJ210等型号汽车发动机的润滑。L-EQC级汽油机油已升级为大宗产品,并逐步取代L-EQB级汽油机油。

③ L-EQD级汽油机油 L-EQD级汽油机油牌号现只有中国石化总公司制订的中石化暂行标准,见表3-1-13,分为30、40、10W/30、15W/40、20W/40等5个等级(牌号),企业标准还有其它等级(牌号)。

L-EQD级汽油机油具有较高的清净分散性,抗氧抗腐蚀性、抗磨性和润滑性,较好的低温启动性、抗泡性等,适用于要求用SD级汽油机油的进口汽车和要求用L-EQD级汽油机油的国产汽车发动机的润滑。

④ L-EQE级汽油机油 L-EQE级汽油机油的牌号现只有中国石化总公司制订的中石化暂行标准,见表3-1-14,分为5W/30、10W/30、15W/40、30等4个等级(牌号),企业标准还有其它等级(牌号)。

L-EQE级汽油机油具有优良的清净分散性、抗氧抗腐蚀性,优良的抗磨性、润滑性,在高温操作条件下其性能比L-EQD级汽油机油更为优越。适用于要求用SE级汽油机油的进口汽车和要求用L-EQE级汽油机油的国产汽车发动机的润滑。

⑤ L-EQF级汽油机油 L-EQF级汽油机油牌号目前尚未制订统一的标准,各生产厂家参照国外标准制订各自的企业标准,牌号划分与L-EQE级汽油机油相当。

L-EQF级汽油机油的各项性能比L-EQE级油更加优越,特别是抗氧化性和抗磨性更为突出。适用于要求使用SF级汽油机油的进口汽车和要求使用L-EQF级汽油机油的国产汽车发动机的润滑。

2) 柴油机油

① L-ECA级柴油机油 L-ECA级柴油机油是我国原大宗的柴油机油,仅适用热负荷和机械负荷较低的非增压柴油发动机。L-ECA级柴油机油按现行国家标准GB5323—85(88),见表3-1-15,分为20、30、40、50等4个等级(牌号),与旧牌号8、11、14、20号相当。

随着我国机械制造业的发展,L-ECA级柴油机油已不能满足新型设备的润滑要求,我国已对L-ECA级柴油机油进行升级换代。

② L-ECC级柴油机油 L-ECC级柴油机油按GB11122—89分为5W/30、10W/30、15W/40、20W/40、20/20W、30、40等7个等级(牌号),见表3-1-16,企业标准还有其它等级(牌号)。

L-ECC级柴油机油具有良好的清净分散性,良好的抗氧抗腐蚀性,良好的抗磨性和润滑性。适用于要求使用L-ECC级柴油机油的各种进口及国产的柴油车辆的润滑要求。如:发动强化系数在30~50时,应选用L-ECC级柴油机油。应当指出,目前国内有的厂家生产的低增压柴油机油,不能等