

磨光 (Polish) 现象: 20 世纪 70 年代初欧洲在其高速高载荷的柴油机上发现异常缸套磨损现象, 称为“磨光”, 又称“抛光”。其特征是缸套中由于珩磨而形成的交叉纹路被磨掉。这些交叉纹能贮存油滴, 保持垂直面能有良好的油膜。它们被磨掉以后, 一是由于无法保持好的油膜而使缸套磨损速度大大加快, 二是使机油消耗很快上升。经研究认为主要原因是由于燃料中含硫量大, 要求润滑油中有高的碱值。而这些碱性添加剂一般为磺酸钙, 它们在温度很高的一环岸生成很硬的沉积物 (如硫酸钙, 碳酸钙等)。这些沉积物一方面作为磨料研磨缸套, 另一方面也起刮油作用把缸套中的油刮向燃烧室。因而认为油中的硫酸灰分大小及沉积物的硬度是决定油能否造成大量磨光的主要原因。但从在欧洲一个评定油的磨光性能的试验方法中对几个油样的试验结果数据看出 (表 3-14), 磨光面积主要决定于油生成沉积物的性质, 而与硫酸灰分无一致性关系。

表 3-14 在 Ford Tornado 试验中磨光结果

试验油		磨光面积 / %	黏环 ¹⁾ 评分	黏环 ²⁾ 评分	硫酸灰分 / %	备注
市售 SE/CD		58.4	9.9	31.9	1.0	参考油 参考油
MIL - L - 2104C		52.3	9.6	36.2	1.2	
RL - 48		35.3	9.5	93.6	1.35	
RL - 47		16.5	9.9	63.7	2.0	
试验油	A	11.0	10.0	70.9	1.8	
	B	23.3	9.5	45.2	1.5	
	C	16.0	9.8	57.8	1.6	
	D	13.7	9.8	65.2	2.0	

注: 1) 10 分最好; 2) 100 分最好。

3.2.5 阀系的磨损

3.2.5.1 阀系磨损的特点

内燃机的阀系是作为控制其进排气定时的重要部分。其简单结构如图 3-25 所示。侧置气门的结构简单, 但效率不高, 仅用于压缩比低的汽油机如我国老解放牌汽车。顶置气门的结构较为合理, 既能满足良好的进排气需要, 又能保证燃烧室形状紧凑。按凸轮轴的位置, 可分为下置凸轮和顶置凸轮。下置凸轮广泛用于当前的一般内燃机, 但它的随动件多, 耗能大, 因而很多先进的高速内燃机都采用顶置凸轮。它的部件少, 结构紧凑。但由于凸轮在顶部, 润滑条件较为困难, 因而对润滑的性能要求较高。

阀门系磨损特点:

(1) 承受跳跃冲击载荷 接触点很小, 油膜厚度极小, 在循环的两点, 其动力学进入速度为 0, 因而理论油膜厚度为 0。按弹性流体动力学推论其油膜厚度 h 如下:

$$h = 1.63 \frac{\eta_0^{0.7} a_0^{0.54} v_E^{0.7} R^{0.43}}{L^{0.13} (E')^{0.03}}$$

式中 h ——最小油膜厚度;
 η_0 ——进入接触时油的动力黏度;
 a_0 ——油的压黏系数;
 v_E ——运动速度;
 R ——两个接触面的当量半径;
 L ——每个单位轴长度的总载荷;
 E' ——弹性模量。

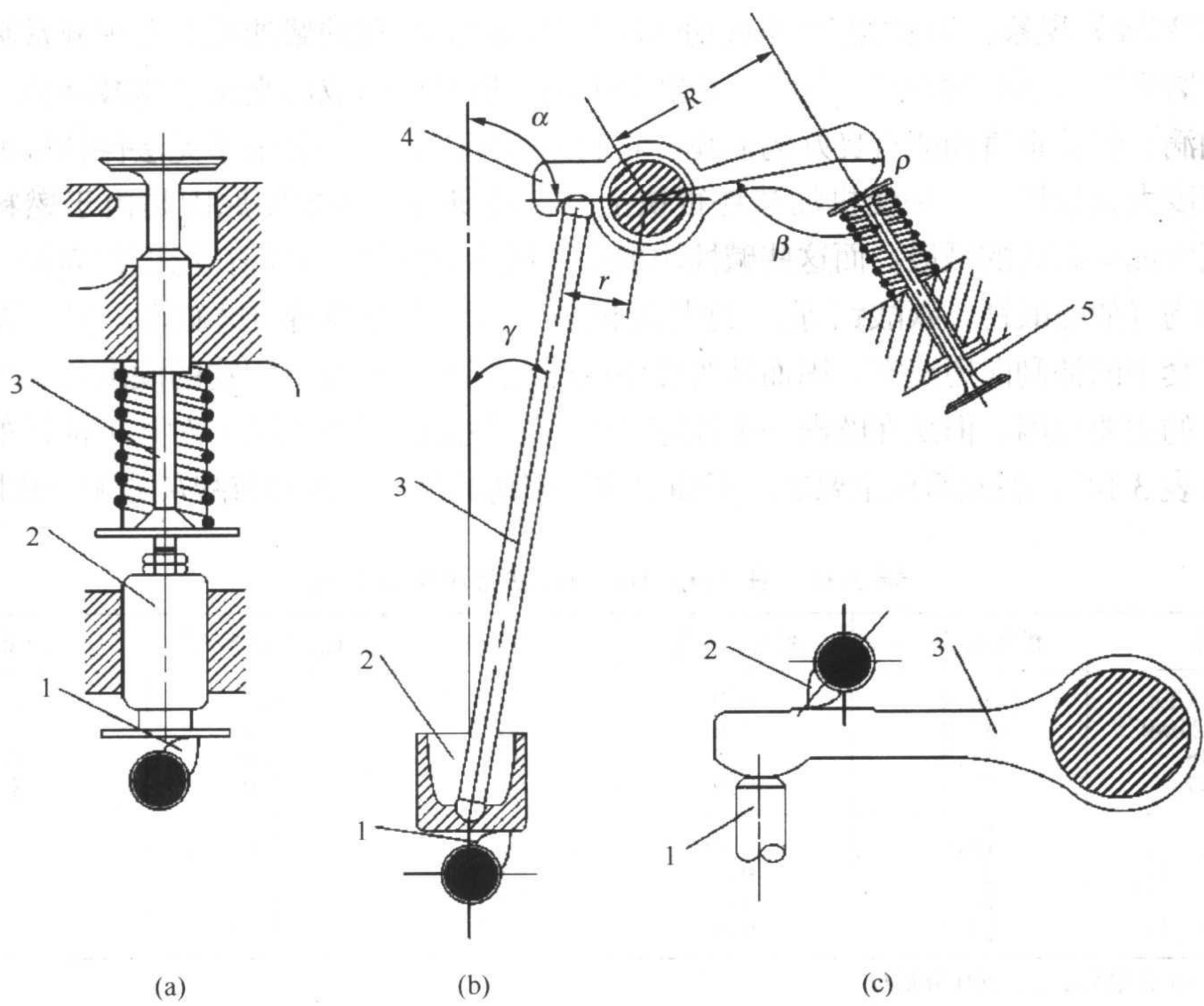


图 3-25 配气机构简图

- (a) 侧置气门机构 1-凸轮；2-挺柱；3-推杆
- (b) 顶置气门机构 1-凸轮；2-挺柱；3-推杆；4-摇臂；5-气门
- (c) 顶置凸轮气门机构 1-气门；2-凸轮；3-摇臂

例如当 $\eta_0 = 10^{-2} \text{Pa}\cdot\text{s}$, $a_0 = 15 \text{GPa}^{-1}$ 时，发动机油膜厚度如图 3-26 所示。同时其接触压力非常大，其公式如下：

$$P_{\max} = \frac{2L}{\pi b}$$

式中 b ——赫芝接触面的宽度。

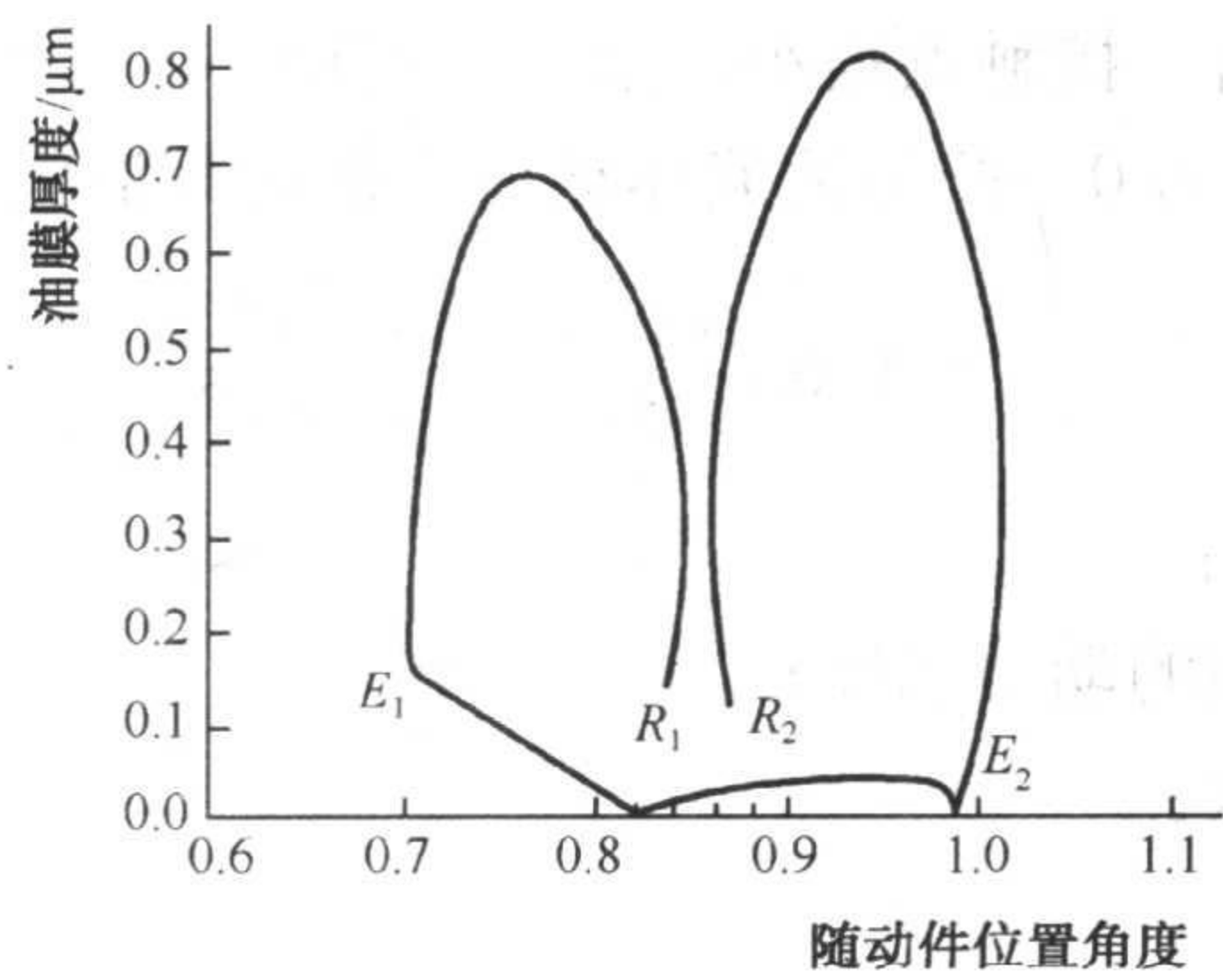


图 3-26 发动机转速在 1500r/min 时弹性流体动力学油膜厚度变化

(2) 凸轮磨损使内燃机性能迅速恶化 凸轮外形经精密计算,以保证良好的进排气定时,若有少量磨损,破坏了其理想的升程,内燃机性能迅速恶化。

3.2.5.2 磨损类型

发生在凸轮挺杆部位的磨损主要有三种。①擦伤:是由于润滑不良或润滑剂膜完全破坏的结果,也是内燃机磨损的最苛刻形式。较普遍地发生于顶置凸轮轴发动机采用铸铁凸轮轴与钢摇臂时,在较低温度下及凸轮轴速度低时也易擦伤。一般凸轮及其随动件镀上特殊材料(如磷-镁)或油中添加抗擦伤添加剂(如 ZDDP)均可减缓或消除擦伤。②磨料磨损:是硬表面与软表面接触时表面材料的缓慢除去,表面有抛光现象。它发生在任何类型的阀系,但似乎在高的凸轮轴速度和高油温时发生的机会更多。③点蚀:发生在循环载荷或重复的表面应力使表面疲劳而开裂,在铸铁凸轮轴及铸铁挺杆上,中等凸轮轴速度(如 1100r/min)、中等油温时易于发生。抗磨添加剂对消除这类磨损并没有多少效果,有一些添加剂反而会增加这种破坏。

3.2.6 轴承的润滑和磨损

3.2.6.1 轴承润滑

支撑旋转运动或往复运动轴类和安全地承受作用在轴上的负荷的机械零件称为轴承。在内燃机中最主要的轴承有:曲轴主轴承、连杆大端轴承和活塞销轴承等。

在内燃机中轴承的工作特点如下:

(1) 内燃机在运转中,有关零件受到冲击性的气缸爆发压力和活塞连杆组的惯性力的作用,所以轴承承受的负荷高达 20~35MPa,因而轴瓦表面产生很高的压缩应力。由于负荷是交变的,轴承容易产生疲劳破坏。

(2) 在高速内燃机中,曲轴轴颈和轴承之间相对滑动速度很高,可达 10m/s 以上。在这样的状态下,即使是流体润滑,也会产生大量的摩擦热,使轴瓦工作表面的温度高达 150℃,因此必须很好地考虑散热和冷却。

(3) 工作负荷最重的主轴承和连杆轴承在正常情况下应实现完全的流体润滑,也就是在轴承和轴颈之间完全被一层油膜隔开而不直接接触。但事实上这种理想状态在内燃机工作不能完全做到。尤其是用于汽车、拖拉机的内燃机,其转速、负荷等工况经常变动,而且启动和停车频繁发生,因而常常会有局部金属直接接触的混合摩擦发生,甚至会产生短时间的边界摩擦。一旦边界膜破裂,就会发生金属直接接触的干摩擦,造成强烈磨损,甚至互相熔焊在一起产生黏着磨损。

(4) 润滑油在发动机内常呈雾状和泡沫状,而且长时间的高温作用下,被氧化变质形成有机酸,会对轴承表面产生腐蚀作用。同时润滑油中的机械杂质也会逐渐增加,使轴承和轴颈表面遭到磨损和擦伤,润滑油在高温下长期工作,其黏度会增加,使流动阻力变大,达到一定程度后,会使润滑表面供油不足。

因此,内燃机轴承工作的可靠性和耐久性取决于轴承的材料性能、润滑条件和润滑油的性能。

3.2.6.2 轴承磨损

内燃机轴承结构:

内燃机中的轴承有主轴承、连杆大头轴承和小头轴承。主轴承大多采用滑动轴承,也有采用滚动轴承。而连杆大头轴承一般采用滑动轴承。通常从润滑苛刻性角度主要考察连杆大头轴承。内燃机轴承最大的特点是运动的不均衡性,一方面它是把往复运动变为旋转运动的运动件,在上下止点油膜厚度变化大;另一方面在作功冲程时经受高的冲击载荷,尤其上半轴

承负荷更大，曾测出油膜承受 6000N 的载荷。

轴承磨损特点如下：

(1) 轴承破坏的类型 烧结是最严重的破坏。由于不存在油膜，温度急升而使轴承与轴焊为一体。剥落是由于合金层被油的氧化产物腐蚀或由于往复载荷使表面疲劳，导致合金层剥落。刻伤是油中异物使合金软表面形成划伤的刻痕。

(2) 轴承磨损的影响因素 平均有效压力 (p) 及活塞线速度 (v) 的影响如图 3-27。 pv 越大磨损也大， pv 为 6500 (kPa·m/s) 时发生烧结。

表面粗糙度 (R_{amax}) 的影响如图 3-28。磨损值与 $\sqrt{R_{amax}}$ 有一致关系， $\sqrt{R_{amax}}$ 达 1.2 时轴承烧结。

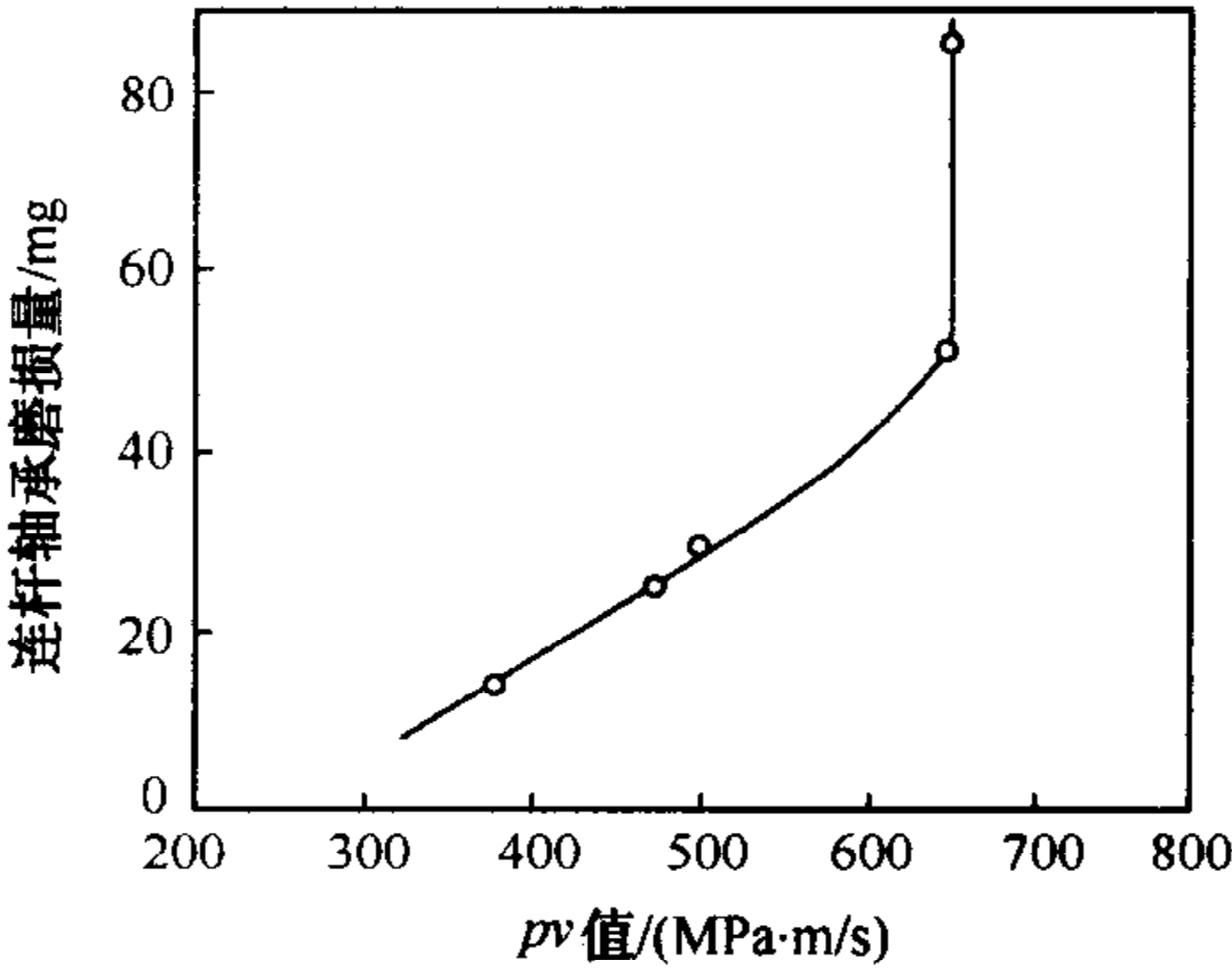


图 3-27 pv 值对轴承磨损的影响

注: $R_{amax} = 0.8\mu\text{m}$, $\text{HTHS} = 3.1\text{MPa}\cdot\text{s}$ 。

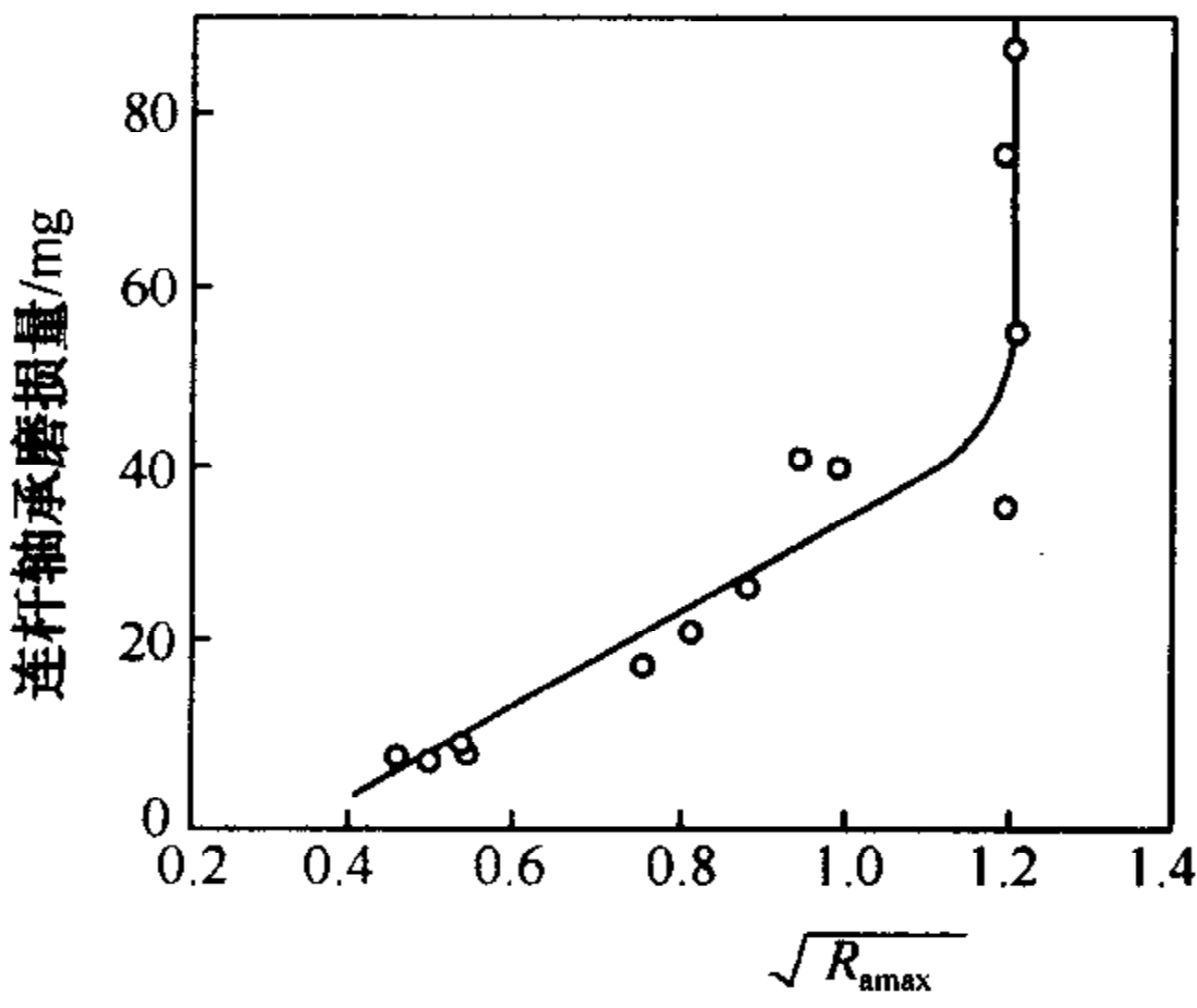


图 3-28 轴颈表面粗糙度对轴承磨损的影响

注: $pv = 490\text{MPa}\cdot\text{m/s}$, $\text{HTHS} = 3.1\text{MPa}\cdot\text{s}$ 。

油黏度与轴承磨损量关系如图 3-29。由于油在轴承承受约 $10^6/\text{s}$ 的剪速，油膜温度达 $140\sim 160^\circ\text{C}$ ，因此磨损与其高温高剪切黏度平方根 (HTHS) 有很好的—致关系，当此黏度小于 $2.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ 时产生烧结；而与 100°C 无剪切时的黏度无—致关系。图中 $\eta = 2.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ 为高温高剪切黏度，横坐标为 HTHS 黏度的平方根。

轴承磨损还与轴承间隙有一定关系，如图 3-30。间隙越小，则磨损增大，太小时产生烧结。但间隙太大则建立不起油压及产生振动。因此如何得到合适的最小油膜厚度是很重要的。基于上述研究，欧洲的内燃机油规格已用 150°C 和 $10^6/\text{s}$ 作为黏度指标 (HTHS)，以更好反映油的实际工作环境下的性能。

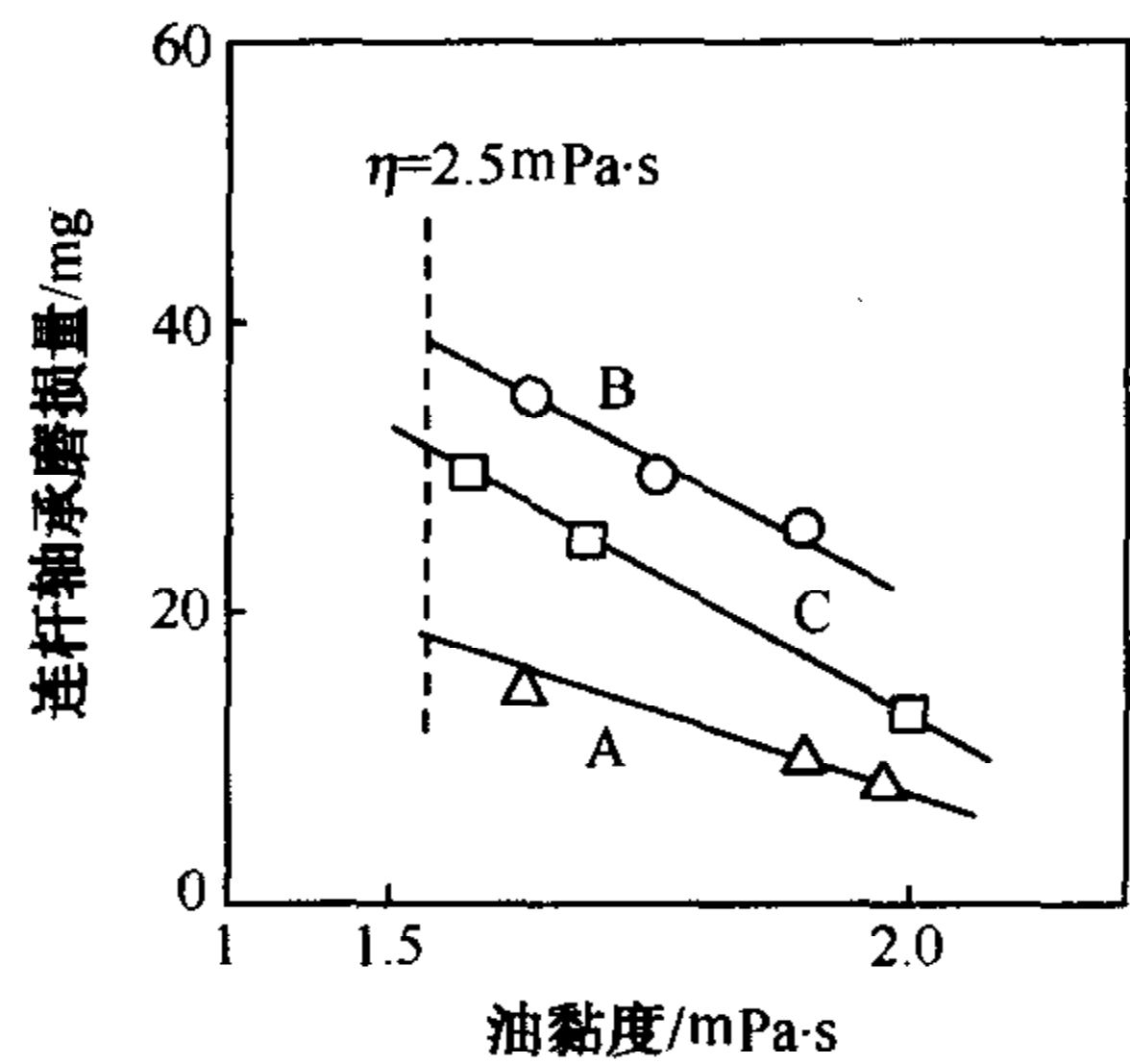


图 3-29 油黏度与轴承磨损量关系

注：发动机 A， $p_v = 380\text{MPa}\cdot\text{m/s}$ ；发动机 B， $p_v = 380\text{MPa}\cdot\text{m/s}$ ；发动机 C， $p_v = 380\text{MPa}\cdot\text{m/s}$ 。

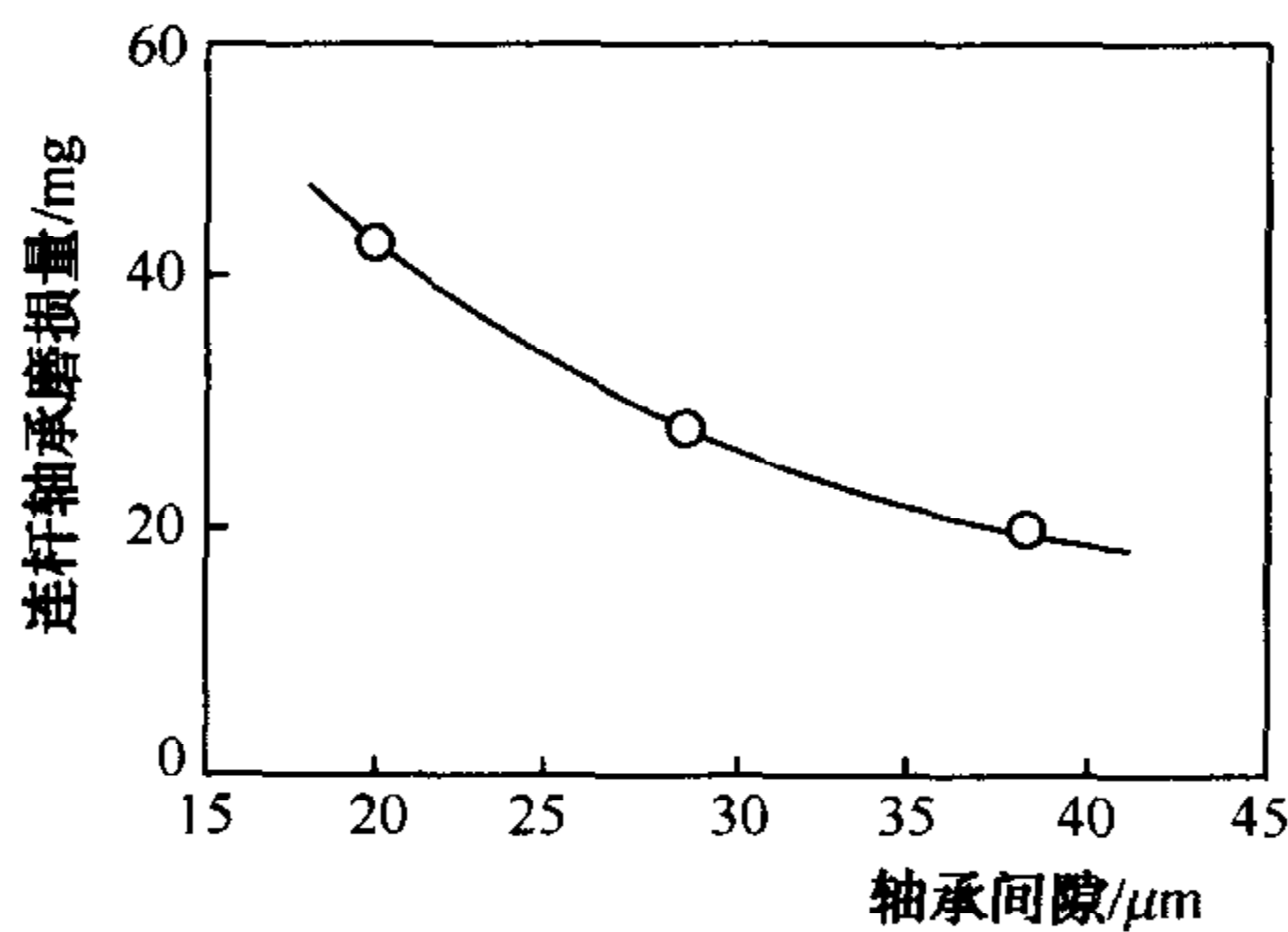


图 3-30 轴承间隙与轴承磨损量

注： $p_v = 380\text{MPa}\cdot\text{m/s}$ 。

从以上对轴承磨损的影响因素可以看出，轴承上的油膜厚度和高温剪切黏度都和最小油膜厚度有一定关系。当油膜维持不了时将发生轴承烧毁。因此要精确测定轴承的油膜厚度及其影响因素是近几年重要研究工作之一。轴承的油膜厚度在发动机的几个工作冲程中是变化的（图 3-31），而且在轴承的各个方向也不相同。我们最关心的是最小的油膜厚度（MOFT）。这个厚度与轴承表面油膜温度、发动机工作条件、油的流变性能等都有关系。

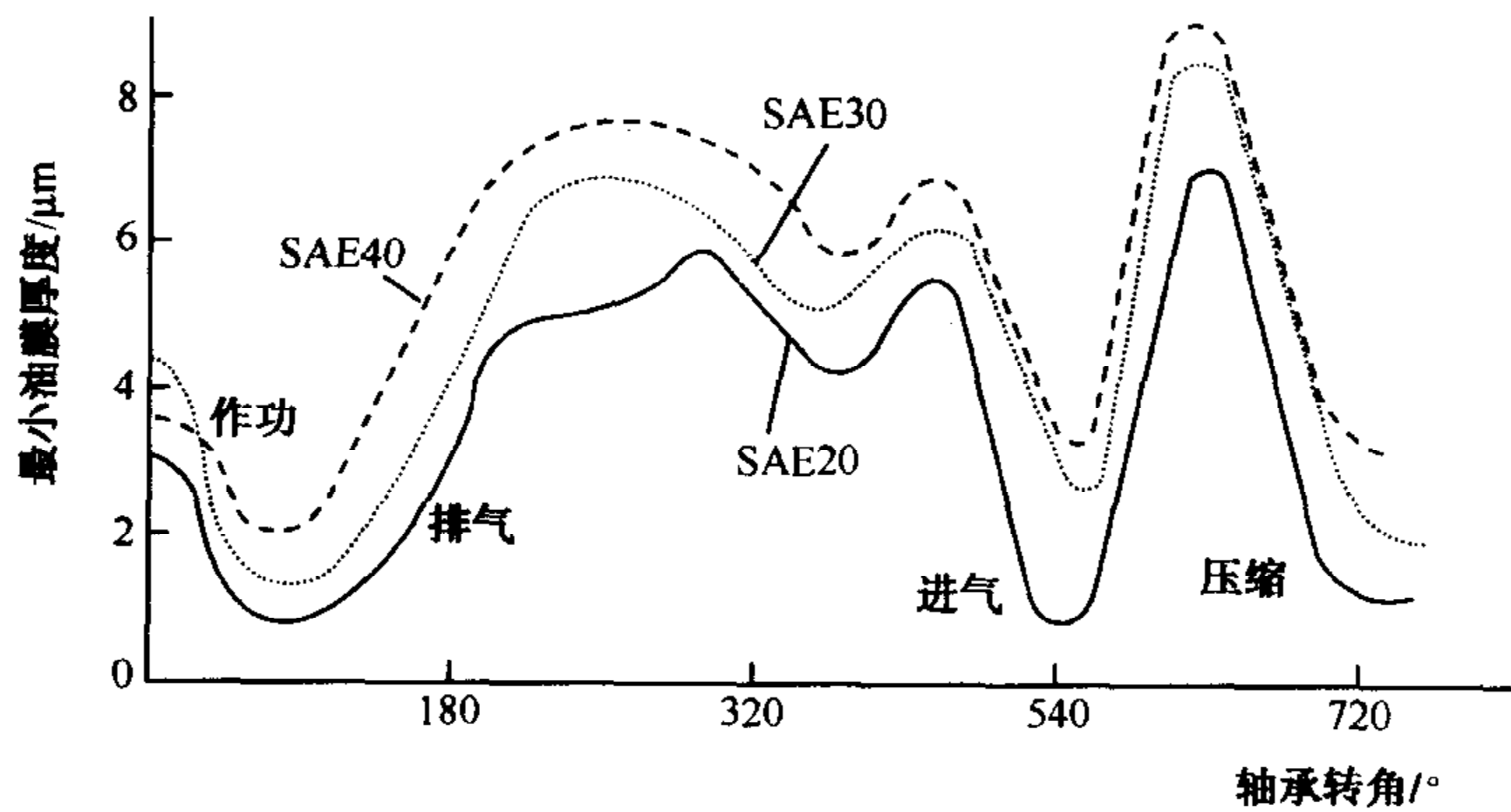


图 3-31 轴承转角与油膜厚度

从统计资料看，轴承表面油膜温度高于油箱中油温 20℃ 左右，而一般油温为 100～120℃。因此，油的黏度定为 150℃ 较为保险。从图 3-32 可看出，油的 HTHS 黏度比 100℃ 运动黏度与最小油膜厚度的一致性更好。从图 3-32 可看到 HTHS 黏度与轴承磨损及烧毁的一致性也更好。HTHS 黏度低于 2.5 则很可能造成油膜破裂从而烧轴。因此欧洲新规格及拟议中的指标一般规定为 2.8 以上（现行规格为 3.5）。从表 3-15 及图 3-33 可看到，多级油的油膜厚度比相同黏度级的（100℃ 运动黏度）单级油的油膜厚度要大，而不同黏度添加剂对油膜厚度的影响不同，同一类黏度添加剂其分子量高，则油膜厚度大。

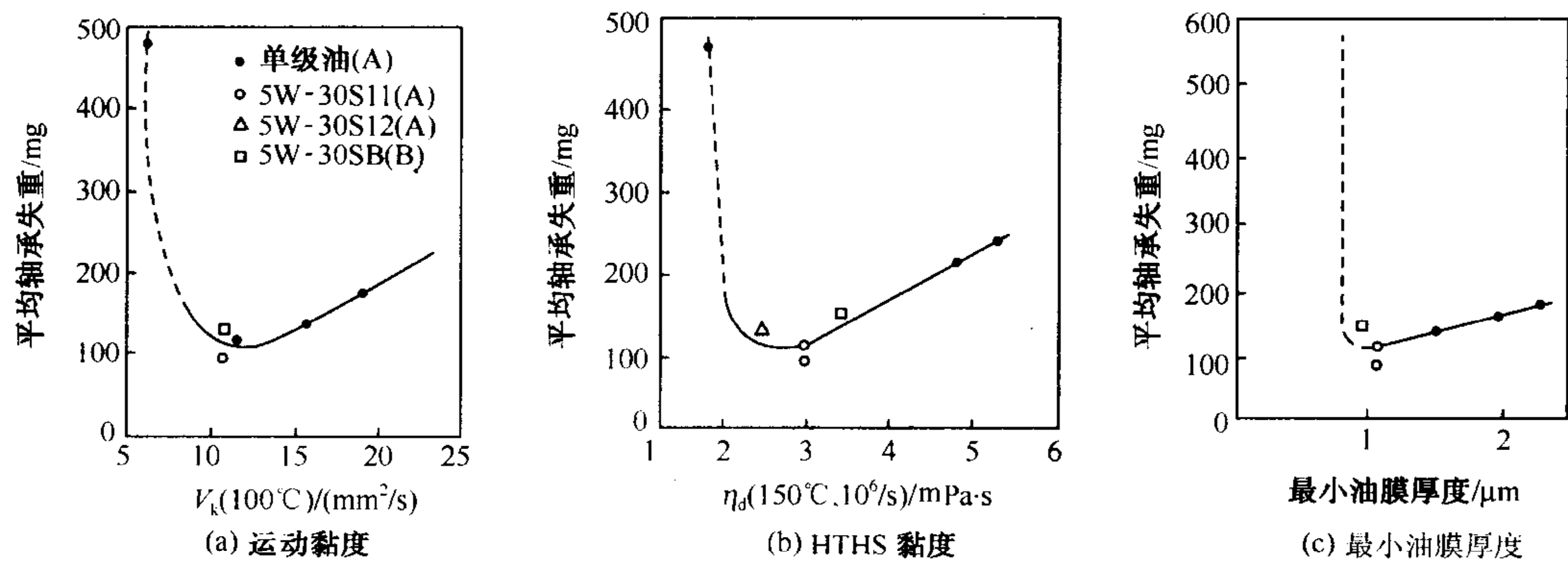


图 3-32 各种黏度与轴承磨损关系

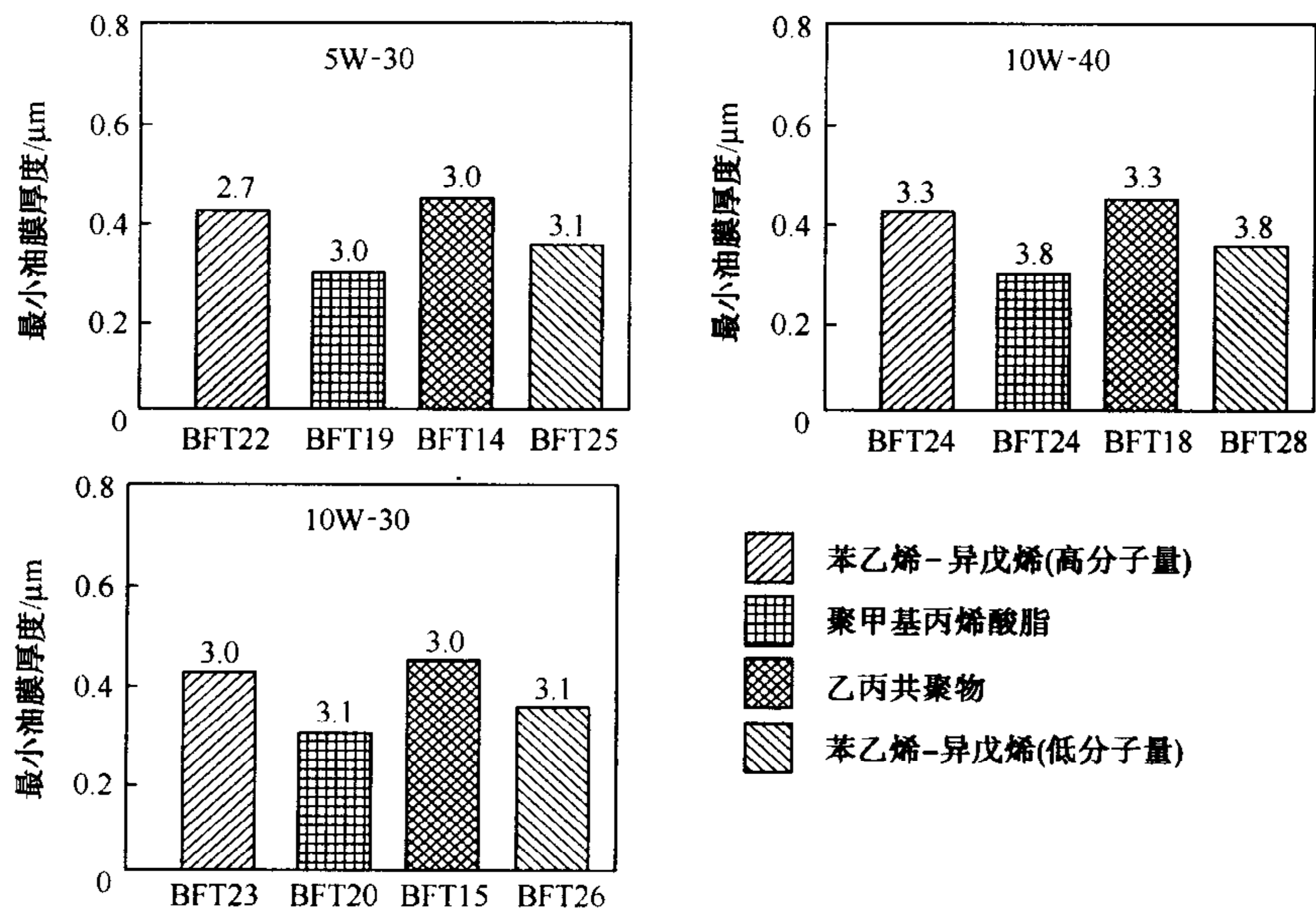


图 3-33 不同黏度及黏度添加剂对最小油膜厚度（MOFT）的影响

按雷诺公式，最小油膜厚度公式如下：

$$h = B \sqrt{\frac{\eta v L}{W}} C_w$$

式中 h ——油膜厚度（最小）；
 B ——轴承滑动方向的宽度；

η ——油黏度；
 v ——滑动速度；
 L ——轴承长度；
 W ——负荷；
 C_w ——轴承常数（与尺寸无关）。

按此公式，最小油膜厚度与油黏度平方根成正比。

表 3-15 发动机试验中的最小油膜厚度与油黏度的关系

序号	黏度级	API 级	u (100℃) / (mm ² /s)	η (150℃, 10 ⁶ /s) / (mPa·s)	MOFT/ μ m	黏度添加剂
1	5W-30	SF/CC	10.3	3.0	1.01	低分子量苯乙烯-异戊烯共聚物
2	5W-30	SF/CC	10.0	2.5	0.79	高分子量苯乙烯-异戊烯共聚物
3	5W-30	SG/CD	10.2	3.2	0.92	苯乙烯-乙烯
4	20	SF/CC	6.0	2.0	0.66	无
5	30	SF/CC	10.9	3.4	1.48	无
6	40	SF/CC	15.9	4.6	1.94	无
7	50	SF/CC	18.7	5.1	2.325	无

3.3 汽车发动机润滑油的性能和应用

3.3.1 概述

有了汽车就必定要用润滑油，而汽车发动机润滑油（下称内燃机油或发动机油）是润滑油中用量最大、性能要求较高、品种规格繁多、工作条件异常苛刻的一种油品。

汽车已成为国内外最普遍的交通运输工具，保有量增加很快，汽车数量大，用油非常多。美国汽车发动机油耗量占润滑油总耗量的 50%，我国 1990 年汽车发动机油耗量占润滑油总耗量的 44.6%，1995 年达到总消费量的 47%。2005 年各类民用车辆达到 2.3×10^7 辆，年消耗各种发动机油（内燃机油） 3×10^6 t。

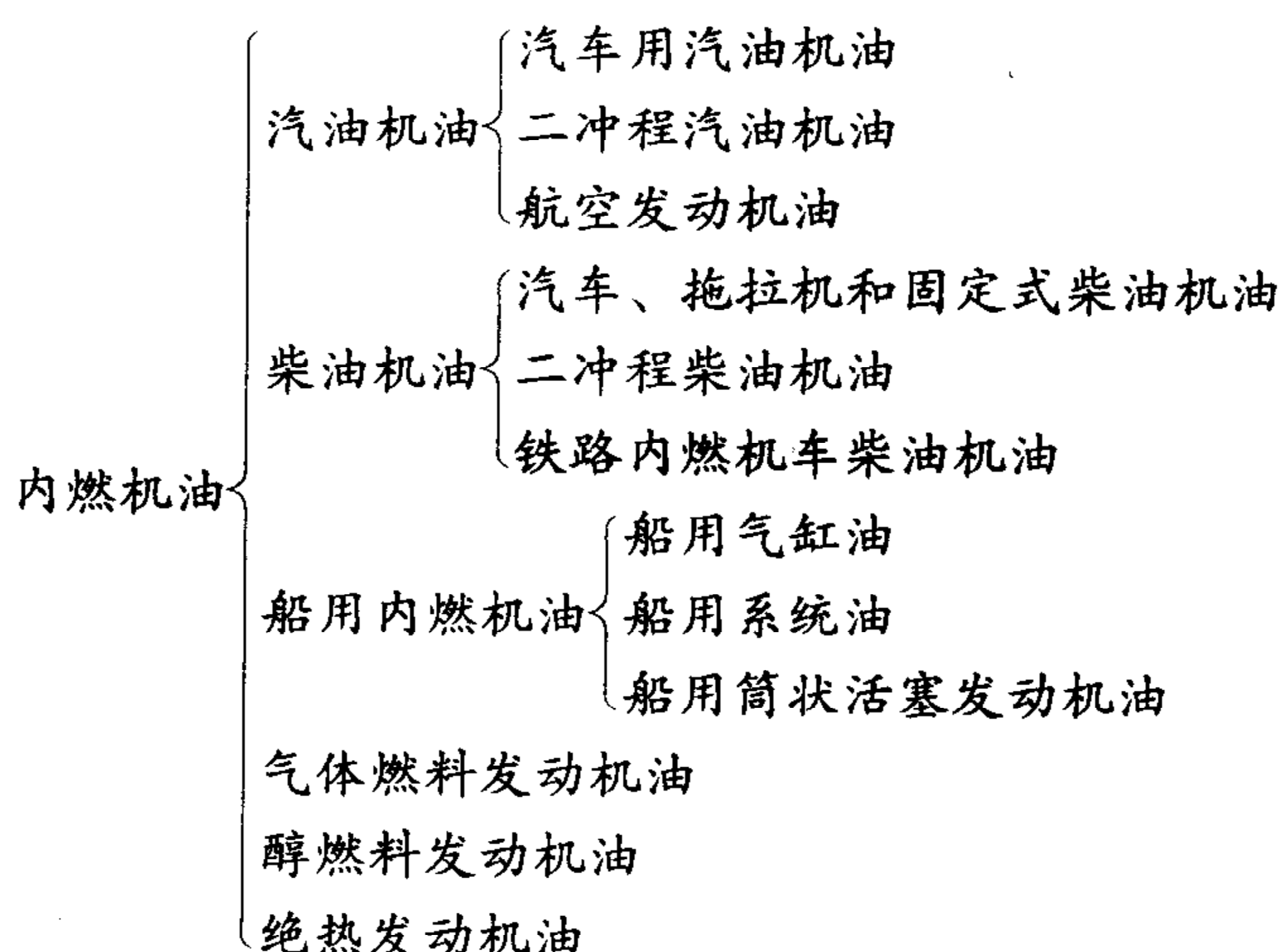
发动机油（内燃机油 Internal Combustion Engine oil）无论从数量上和质量上看都占有特别重要的地位，它被认为是带动整个润滑油工艺技术进步的主要油品之一。由于汽车使用条件变化范围大，因此要求油具有多种性能，所以发动机油质量往往可以反映一个国家生产与研究润滑油的技术水平。

在使用中，根据发动机的性能、结构，并结合使用条件来正确选用非常必要，合理选用润滑油不仅能减少磨损，延长机器寿命，而且能节约燃料。

发动机油包括汽油机油（Gasoline Engine oil）、柴油机油（Desel Engine oil）、通用车用发动机油（Multifunction Crankcase oil）、二冲程发动机油（Two stock Gasoline Engine oil）、天然气发动机油（Natural Gas Engine oil）、铁路机车用油（Railroad Engine oil）、船舶柴油机油（Marine Diesel Engine oil）及陆地固定发动机油（Stationary Engine oil）。

发动机油（内燃机油）广泛用于汽车、内燃机车、船舶、摩托车等，而汽车发动机是其中用量最大（约占内燃机油总量 80%）、质量要求最严格，规格、品种最多，更新换代最快

的油品，本章重点介绍汽车发动机油。下图是按用途的内燃机油分类。



从 20 世纪 50 年代开始，美国汽油机油发展从 APISA、SB、SC、SD、SE、SF、SG、SH、SJ、SL 到 SM 级油共 11 代，几乎每 5 年提高一个等级。SA 级汽油机油是不加添加剂的矿物油；SB 级油只加抗氧剂与抗磨剂；自 1962 年建立了 MS 程序，1964 年发展了 SC 级油。

国外汽油机油质量变化的原因有三点：一是日益严格的环保法规；二是节约能源法的限制；三是汽车行驶条件的改进对润滑油的影响。

1968 年美国颁布了排气法，对小汽车和轻型卡车的排气提出了严格的要求，为满足排气法的要求，在汽车上安装 PCV 阀，虽然改善了汽车排气，但恶化了曲轴箱内润滑油的环境，容易生成低温油泥，从而 1968 年发展了 SD 级油，提高了油品的低温分散性能。

20 世纪 70 年代，美国的高速公路发展很快，车速提高。同时汽车开空调，使润滑油的油温升高，使润滑油的高温氧化，高温沉积和锈蚀问题更加严重外，还加剧了润滑油高温变稠，这就要求其润滑油具有很好的低温分散、高温抗氧和清净性能，要求改善油品的耐高温性能，从而在 1972 年发展了 SE 级油，解决了油品高温变稠问题。

20 世纪 70 年代后期，美国汽车开始小型化，油箱小，于 1975 年汽车上安装催化转化器，1977 年开始使用三效催化转化剂（把烃转化为 CO_2 和水，把 CO 转化为 CO_2 ，把 NO_x 转化为 N_2 ），为了适应催化转化器的需要，保护贵金属催化剂不致中毒，于 1980 年开始使用无铅汽油，同时要求润滑中含磷量小于 0.14%，灰分小于 1.0%，进一步提高润滑油的高温性能，从而在 1980 年发展了 SF 级油。

20 世纪 80 年代中期，欧洲首先发现汽车反复在高温高速和低温低速下交叉行驶的情况下，容易产生“黑油泥”，美国也发现类似情况。但美国高速公路上允许的车速（100km/h）没有欧洲高（德国不限速），因而在美国生成的“黑油泥”没有欧洲那么硬脆，为了解决“黑油泥”问题，于 1988 年发展了 SG 级油，进一步提高润滑油的热稳定性和分散性。

SG 级油的出现，大大改善了“黑油泥”问题，但市场上销售的 SG 级油的质量很不稳定，质量差别很大，汽车制造商很不满意。为此，美日共同组织了国际润滑油标准和标准委员会（International lubricant Standardization and Approval committee，简称 ILSAC），并提出了新的配方审批办法，并提出了与 SG 级汽油机油规格相当的 GF-1，但质量控制要严格得多，而且还要求节能指标，随后又发展了 GF-2、GF-3、GF-4。GF-4 新规格用程序 III

F 苛刻度提高了一倍, 清净性指标也更加严格。由 GF-3 的不大于 45mg, 提高到了不大于 35mg, 磨损也提出新的要求, IV A 的磨损指标由 GF-3 的 $120\mu\text{m}$ 变为不大于 $90\mu\text{m}$ 。同时在美国为了改进现有油品质量的保证体系, 于 1994 年出现了 SH 级油。

SH 级油与 SG 级油的主要差别是: SH 级油的规格要求施行新公布的多次评定通过标准 (MTAC) 办法。过去美国审查油品时, 多次评定 (一般不超过 5 次), 只要有一次通过就予以批准, 这样就可以把加入添加剂量降下来。但油品质量得不到保证, 差别很大。新办法 (MTAC) 规定评定一次必须达到规定值。评定两次其平均数要达规定值, 评定三次以上时, 可以去掉一个最低值, 但其余的平均数要达到规定值。按照新规定, 特别是 MTAC 办法, SH 级油添加剂的量要比 SG 级油多加 20% 左右, 油品的质量也提高了约 20%, 从而保证了油品的质量。由此可见:

SD 级油主要比 SC 级油提高了低温分散性能;

SE 级油主要比 SD 级油提高了高温性能;

SF 级油主要比 SE 级油进一步提高了高温性能;

SG 级油重点解决油品的“黑油泥”问题, 比 SF 级油进一步提高了高温性能;

SH 级油确保了油品质量的稳定, 使油品质量得到进一步提高;

SJ 级油的质量与 SH 级油相当, 但油中的磷含量比 SH 级低, 从不高于 0.12% 降到不高于 0.1%, 以减少磷对催化剂的毒性, 延长催化剂使用寿命;

SL 级油的质量与 SJ 油相比较, 其抗氧化和低温分散性能都提高了;

SM 级 (2004 年) 油质量与 SL 油相比较, 更加注重环保、节能、控制油的含磷量与含硫量以及提高油的高温性能。

欧洲汽油机油实行统一规格比美国晚, 从 1983 年欧洲汽车制造商协会 (CCMC) 陆续公布了 G1、G2、G3 规格, 基本上等于美国 SF 级油性能要求加上少量欧洲台架试验要求, 1989 年的 G4、G5 与美国 SG 油差不多, 再加上一些欧洲台架试验要求, 于 1991 年修订 G4、G5 时增加了 M102E 黑油泥规格指标。1992 年新成立的欧洲汽车制造商协会 (Association des constructeurs Europeens Automobile, 简称 ACEA) 取代了 CCMC, 于 1996 年开始执行 ACEA 新规格标准 A1-96、A2-96、A3-96, A-96 汽油机油规格大体上和 SH/GF-1 相似, 其氧化稳定性和分散性都比 SH 级油苛刻。1998 年开始执行 A/B-98 规格。2002 年开始执行 ACEA A-02 汽油机规格。为了满足 2005 年开始实施的欧 IV 排放, 2004 年 10 月底出台了 ACEA A-2004 内燃机油新规格, 在 ACEA A-02 规格中升级为 ACEA A-2004 的有 A1/B1-04、A3/B3-04、A5/B5-04。在 ACEA A-04 轿车 C 类油也对 S、P 含量提出限制, S 含量在 C1 中不大于 0.1%, C2、C3 中不大于 0.3%; P 含量在 C1 中小于 0.1%, C2、C3 为 0.07%~0.09%。欧洲中负荷柴油机油 ACEA A-04 首次提出对 S、P 的限制, 规定 S 含量不大于 0.03%, P 含量小于 0.08%, 这使得柴油机油配方中要限制 ZDDP 的用量, 而采用非硫磷的抗氧抗腐剂。

中国汽油机油规格标准基本上仿照美国 API 规格标准。

美国柴油机油发展不像汽油机油那样快, 美国汽油机油几乎五年提高一个等级, 而美国 1955 年就公布了相当 CD 级的系列 3 柴油机油, 于 1970 年才正式命名, 30 多年来一直没有变化。于 1987 年才公布了 CE 级柴油机油 (经过了 32 年), 1988 年公布 CD-II, 1990 年公布 CF-4, 1998 年公布了 CH-4, 2002 年 API 出台 PC-9 (CI-4) 规格。从 20 世纪 80 年代开始, 柴油机油系列从单一体系变成三个系列体系。

一是越野卡车和非车用柴油机油系列，即 CD 和 CF (CG) 系列，这类系列柴油机对排放要求不严格，一般使用单级油。

二是使用二冲程大功率柴油机油系列，即 CD-Ⅱ 和 CF-Ⅱ (CG-Ⅱ) 系列，这类柴油机主要使用在城市的公共汽车，学校校车，矿山运输车和坦克车上 (目前国内没有生产和使用这类二冲程柴油机)。

三是使用在高速公路上行驶的大功率重负荷柴油汽车的柴油机油系列，即 CE 及 CF-4 系列。这类柴油机运转条件比较苛刻，排放要求比较严格，还要控制油耗，例如牵引集装箱运输远距离运输的系列 8 柴油车，其载重量大于 25t。

CE 级油比 CD 级油有更好的抗氧化稳定性，更少的沉积物，更小的磨损，更长的发动机寿命，更低的油耗。美国的柴油机油发展从 APICA、CB、CC、CD、CE、CF-4、CG-4 发展到 CH-4 和 CI-4。并于 2004 年 6 月底出台了 CI-4⁺ 规格，已经建立了一系列的评定方法。

西方国家的汽车运输队一般是汽油机和柴油机两种汽车组成的混合车队，如果分别使用汽油机油和柴油机油两种润滑油来满足要求，往往会因用错油而出现事故，通用油就是为了适应这种情况而产生的，它的出现既简化了发动机油的品种、方便了用户，又解决了错用油问题，美国的混合车队通用油占 80% 以上。西欧的柴油机油全部采用通用油，其中 MIL-L-2104B/MIL-46152A 和 MIL-L-2105C (美国军用规格) 规格的油各占 60% 和 40%。

1964 年美军公布了第一个通用油规格 MIL-L-2104B (CC/SC)，随后出现了 MIEL-2104C (CD/SD)、MIL-L-2104D (CD、CD-Ⅱ/SE)、MIL-L-2104E (CD/SF)、MIL-L-2104F 等。当然通用油的性能要同时满足汽油机和柴油机的需要，而汽油机油着重要求有好的低温油泥分散性和低灰分，而柴油机油则要求有好的高温清净性和酸中和能力，要满足这两方面的要求，通用油的复合配方组分之间要进行精心的选择和平衡。通用油中的添加剂比其他内燃机油要多一些，但换油期长、油耗低，二者抵消，用通用油在经济上是合理的。

中国根据车辆情况已经开发出 SF/CD、SH/CD、SJ/CF-4 等汽/柴油机通用润滑油。

3.3.2 汽车发动机润滑油的作用和要求

3.3.2.1 发动机润滑油的作用

(1) 润滑作用

众所周知，发动机在运转时，它的许多机件在高速摩擦着，如其摩擦部位得不到合适的润滑，就会使金属和金属间产生干摩擦。实验证明，这种干摩擦的力是很大的，它不但要消耗较大的动力，而且所产生的热量在很短时间内可使摩擦面的金属熔化，甚至能使机件卡死。因此，对工件中内燃机的摩擦机件必须给予良好的润滑。

为了得到正常润滑，现代发动机都设计了一套润滑系统，通过油泵的强制循环或通过飞溅的方法，将润滑油送到各个摩擦点上去，保证机件的正常运转。

润滑油进入摩擦机件间后，就黏附在摩擦表面上，形成一层油膜，从而使这两个摩擦面尽可能不直接接触。当机件相互摩擦时，每一个机件与黏附在它表面上的油层一同运动。这样金属间的干摩擦就变成为液体油层间的液体摩擦了，由于液体摩擦系数比干摩擦系数小得多，所以摩擦力显著减少。这样一来，发动机就能更好的发挥有效功率，并能使机件的磨损也大为减少。如果再加入摩擦改进剂，使摩擦系数变得更小，就能进一步减少燃料消耗以利节能。

(2) 冷却作用

燃料在发动机中燃烧后产生的热能，并不能全部转变为机械功。一般发动机热效率只有

30%左右，其余热能，一部分转变为摩擦功，消耗在活塞与气缸壁、曲轴与连杆等机械的摩擦和辅助机构的驱动上；一部分随废气排出机体，剩余的部分是通过对发动机的冷却而排出。发动机中的热，不论是来自燃料的燃烧，还是来自处于连续高速运转和高压下金属机件的摩擦，都必须排出机体。否则，发动机会由于温度过高而烧坏。

由发动机原理知，热量由机体导出有很大一部分是由润滑油和冷却系统来完成的。冷却系统的作用已为大家所熟悉，但润滑油的冷却作用往往被忽视，在发动机工作时，润滑油不断的从气缸、活塞、曲轴等摩擦表面上吸取热量并把它传导到其他温度较低的零件上。其中一部分热量消散在油底壳中，而大部分热量是传导至与冷却水接触的气缸壁上，经过冷却水被带出机体散掉。

(3) 洗涤作用

发动机工作时，由于吸入空气（虽然是通过空气滤清器）所带来的砂土、灰尘及燃烧后形成的炭质物、润滑油氧化后生成的胶状物、机件间摩擦而产生的金属屑和混入润滑油水分等脏杂物结合在一起，便生成油泥。而这些油泥和脏杂物会逐渐沉积在机件的摩擦面上，如不把它清洗下来，就会使机件的磨损增大。胶状物的严重生成，会使活塞环黏接卡死，致使发动机不能正常运转，甚至损坏机件，因此，必须从各个方面把这些脏杂物洗掉。而这个清洗作用，是由润滑油来完成的。

发动机润滑机把摩擦面上的脏杂物带走，送到油底壳中，再通过机油滤清器时，这些脏杂物被截留在滤清器中，而干净的润滑油又继续进行洗涤作用。这样往复循环，即可使机件保持清洁及正常运转。

黏度小的油，循环得快，因而它的洗涤作用要比黏度大的油好。

(4) 密封作用

发动机各机件间，如气缸和活塞间、活塞环与环槽间都有一定的间隙，有了间隙就带来密封问题，如果得不到密封，燃烧室就会漏气，其结果是降低了气缸压力，从而降低了发动机输出功率。同时，废气还会从燃烧室经过活塞环与气缸壁的间隙，向下窜进油底壳，造成油底壳内润滑油受到稀释和污染。

润滑油能起这个密封作用，它填满了活塞与气缸间的间隙，形成油封而达不到漏气，保证了发动机的输出功率，也阻止了废气向下窜入曲轴箱。

从密封来看，高黏度润滑油比低黏度润滑油所起的作用大。

(5) 防锈作用

发动机在运转或存放时，大气中的水或是机油中的水及燃烧时产生的酸性气体窜入曲轴箱，都会对机件产生锈蚀、腐蚀作用，进而在摩擦面上造成腐蚀磨损或磨粒磨损，使发动机损坏。为了使发动机能长期可靠地运转，要求润滑油有防锈性。

润滑油能吸附在金属表面，防止酸性气体和水对金属的腐蚀，但是纯矿物油的这种作用太弱了，加有防锈添加剂的油对金属的保护作用被大大加强了，防锈剂分子的极性端可紧紧地吸附在金属表面，形成密集排列，防止了水对金属的接近，起到了防锈作用。

(6) 消除冲击负荷

润滑油有消除轴承和发动机其他零件间冲击负荷的作用。在压缩行程終了，气缸中混合气燃烧时，气缸压力急剧上升，这样巨大的力突然加到活塞、活塞销、连杆、曲轴和它们的轴承上。这个负荷传递时，轴承间隙里的润滑油承受冲击负荷起到缓冲作用。当然间隙里的润滑油必须承受住冲载而保持住油膜，因此润滑油有助于发动机平静工作并防止金属与金属

间的接触，减少磨损。

汽车发动机油除完成上述润滑、冷却、洗涤、密封、防锈、消除冲击负荷作用外，它还在十分恶劣环境中工作。

通常发动机是采用自流、飞溅和压力润滑三种润滑方法。自流法是利用油在重力作用下能从高处流到低处的特性，进行润滑，如气门杆、凸轮油等部位都是采用这种方法。飞溅润滑是油被激溅呈雾滴状落在摩擦点上进行润滑的，如气缸壁、活塞销多用此法。压力润滑是由机油泵通过主油道将油送到曲轴、连杆等处轴承，润滑后流回油底壳，如此不断循环，保证各部件润滑。一般发动机油循环在 100 次/h 以上。润滑油在飞溅和循环润滑中，不断和各种金属部件及空气接触，在金属的催化下与氧反应，促使油料不断老化变质。

众所周知，润滑油在发动机中经常与各处高温机件接触，如气缸中上部温度为 180~270℃，曲轴箱平均油温为 85~95℃，油料在这样高的温度下会剧烈氧化变质。

在发动机工作中，燃烧的废气和没有燃烧完全的气体，在气缸密封不良时会不断地窜入曲轴箱，这些废气将冷凝为水、燃油。特别是含硫燃料和含铅汽油，在使用中会使润滑油产生油泥、酸性产物，最后导致润滑油严重变质。

此外，由于灰尘、磨损下来的金属屑、燃烧后生成的积炭，都会严重地污染润滑油，所以，要求发动机用润滑油须经过深度精制，并加有各种改善使用性能的添加剂，使油品有适宜的黏度和良好的黏温性能、良好的热氧化安定性、洗涤性、抗腐蚀性、抗泡沫性，并有适宜的低温流动性等，以保证发动机在复杂的条件下正常工作。

3.3.2.2 对发动机润滑油的性能要求

随着汽车发动机的不断改进，润滑油的工作条件日趋苛刻，对发动机润滑油的性能提出了更高的要求，以满足各种复杂条件下的使用要求。

(1) 适宜的黏度和良好的黏温性能

发动机润滑油黏度关系到发动机的起动性和机件的磨损程度、燃油和润滑油的消耗量及功率损失的大小。机油黏度过大，流动性差，进入摩擦面所需时间长，燃料消耗增大，机件磨损加大，清洗和冷却性差，但密封性能好。黏度过小不能形成可靠油膜，既不能保证润滑，密封性又差，磨损大、功率下降。所以黏度过大过小都不好，应当适宜。通常负荷小、温度低、转速高的发动机应选用黏度小的油。反之，负荷大、温度高、转速低的发动机，则应选用黏度大的润滑油。发动机润滑油面临宽广的工作温度。在 300℃ 左右要求它有足够的黏度以保证润滑；在零下，甚至 -40℃ 时要求它有足够的流动性，以保证顺利起动，所以要求机油黏温性能好。对那些四季通用，南北通用的多级润滑油的黏温性要求更高。一般都是在低黏度矿物油中加入黏度指数改进剂来改善油的黏温性能并达到预期的黏度。改善润滑油的低温流动性是通过加入降凝剂来实现的。要求油的倾点低于最低气温 5℃，以保证正常起动与运转。

(2) 清净分散性能好

由燃烧室漏出的气体（窜气）中的未燃燃料、有机酸、烟、水分、硫的氧化物、氮的氧化物都进入曲轴箱，混入润滑油中。发动机在高温使用时，油本身也会产生各种氧化产物，这些产物与零件磨损产生的金属粉末等混在一起，在油中便生成油泥沉积物。这种沉积物，量少时在油中悬浮，量大时会从油中析出，对发动机会有下列影响：滤清器和油孔被堵塞、油的流动性差、给油困难、活塞环槽结焦、活塞环黏着、油耗增大、功率降低。

为防止上述故障，必须将发动机润滑油中的油泥除去，或使其在油中形成无害的悬浮液，这样就要往油中加油溶性的清净分散添加剂。这种添加剂分为金属型清净剂和无灰型分

散剂两类。

金属型清净分散剂能防止环槽中的油泥沉积，对活塞环区的清净能力最好，单独使用时亦称为清净剂。

无灰型清净分散剂，对防止环槽中油泥沉积的能力差，但使油泥在油中形成悬浮分散液的能力最好，有时单独使用亦称为分散剂。这些清净剂、分散剂为了有效地发挥彼此的特点，最好复合使用。

柴油发动机由于其环槽中的高温油泥沉积（结焦）严重，所以柴油发动机中应多用金属型清净分散剂。

另外，对汽油发动机由于油中水分而产生低温油泥是主要的，这样会引起机油循环系统的严重阻塞，所以应多用无灰型清净分散剂。

（3）良好的润滑性

发动机负荷大，又大都是滑动轴承，承受很大的负荷，如主轴承 $5 \sim 10\text{MPa}$ （汽）， $10 \sim 20\text{MPa}$ （柴）；连杆轴承 $7 \sim 14\text{MPa}$ （汽）， $12 \sim 25\text{MPa}$ （柴）；活塞销轴承可达 35MPa ，个别部件可达 90MPa 。发动机润滑油在高负荷和极压条件下，必须有良好的油性和极压性，也就是说发动机润滑油必须有良好润滑性，才能保证使用。国内外已逐渐将润滑性列入发动机润滑规格，并研究出专门的评定方法。

（4）酸中和性好

发动机润滑油中的劣化产物和窜气中的有机酸等，对金属有腐蚀性，而且柴油发动机所使用的燃料一般含有硫（通常在 0.5% 以上），这些硫燃烧后一部分和水所生成的腐蚀性的硫酸易使发动机产生腐蚀性磨损和其他故障。为了防止上述缺点，要在油中添加碱性化合物（金属型清净剂）以抑制腐蚀。

酸中和能力，可用发动机润滑油的总碱值来表示。总碱值（TBN）大的，酸中和能力强，其防止腐蚀的能力亦强。

（5）氧化安定性与热氧化安定性好

发动机润滑油在高温下与氧化合而变质，氧化生成物（沉积物、油泥）的析出是造成发动机许多故障的主要原因之一。

为防止氧化，油中要加各种抗氧化添加剂，能更有效地防止氧化变质，使油的使用寿命大大延长。发动机油在活塞与气缸间呈薄层状态，如热氧化安定性不好就易生成漆膜，造成黏环和拉缸，所以要求热氧化安定性好。

（6）良好抗泡沫性

油在油底壳中，由于曲轴的强烈搅动和进行飞溅润滑的结果，很容易形成气泡，含泡沫的润滑油润滑性能下降，同时会使泵抽空，导致故障。近代的汽车发动机润滑油都加有添加剂，以提高使用性能，大多数是极性强的物质，它们能使油变成泡沫，为了提高油的抗泡沫能力，就必须加入抗泡剂。

为防止窜气中的腐蚀气体和水分进入曲轴箱而产生的锈蚀及腐蚀作用，因此还要求发动机润滑油具有抗腐蚀、防锈性能。

发动机润滑油和其他润滑油在使用条件方面的区别是受燃烧室窜气的影响大，因此，发动机油的性能除防止自身氧化变质外，重点是使来自外部的各种混入物无害化。例如，中和由窜气带来的酸性气体，或者防止未燃燃料和油泥、积炭等在各部的沉积，并使其在油中呈悬浮分散状态。酸中和性和清净分散性是发动机润滑油所特有的性能，对其他油没有必要。

当发动机润滑油失去使混入物无害化能力时，说明油已达到换油的标准，这可由对油进行一般理化分析来确定。但要对发动机润滑油的质量进行科学鉴定和确定合理换油里程，则一定要经试验后以发动机各部件的清浄性评分和测量有关部件的磨损情况来决定。

良好的黏温性能对发动机润滑油是一个极为重要的指标，可以适用温度急剧变化的需要。多级油（稠化油）具有很好的黏温性能，同时也是理想的润滑油，还有良好的润滑性能和起动性。

关于抗磨性，由于在发动机内存在着液体润滑到边界润滑的多种润滑类型，在选定适当黏度的同时，也要注意在处于边界条件时必须添加抗磨剂才能达到减磨效果。氧化安定性是反映换油期延长的倾向，它的质量标准越来越高。

3.3.3 汽车发动机润滑油的分类和规格

3.3.3.1 我国汽车发动机润滑油的分类和规格

(1) 黏度分类

我国发动机润滑油（又称内燃机油）的黏度分类，20 世纪 80 年代以前沿袭原苏联的办法，以 100℃ 运动黏度的大小来划分。普通汽油机润滑油（下称汽油机油）和柴油机润滑油（下称柴油机油）都分成三个牌号（见表 3-16、表 3-17）。从牌号可知油品 100℃ 的大致黏度。后来对寒冷地区使用的稠化油，还规定了低温下的最大黏度值（见表 3-18），以保证在寒冷气候下发动机易于起动。

表 3-16 汽油机油的黏度分类

牌号	6 号	10 号	15 号
代号	HQ-6	HQ-10	HQ-15
100℃ 运动黏度 /(mm ² /s)(cSt)	6~9.3	10~12.5	12.5~16.3

表 3-17 柴油机油的黏度分类

牌号	8 号	11 号	14 号
代号	HC-8	HC-11	HC-14
100℃ 运动黏度 /(mm ² /s)(cSt)	8~9	10.5~11.5	13.5~14.5

表 3-18 稠化机油的黏度分类

牌号	8 号寒区稠化汽油机油	合成 8 号稠化汽油机油（严寒地区）	合成 14 号稠化汽油机油（严寒区）	11 号稠化柴油机油	14 号稠化柴油机油
运动黏度 /(mm ² /s) 100℃ -20℃ -30℃	7.5~8.5 不大于 2300 —	不小于 7.0 — 不大于 4000	不小于 13.0 — 不大于 18000	10.5~11.5 不大于 3000 —	不小于 13.5 不大于 35000 —

目前我国内燃机油的黏度分类基本参照 SAE J300 标准进行，而性能和使用试验的分类基本参照了 SAE J183 标准，再结合实际情况制定了国内的分类标准（表 3-19）。

表 3-19 内燃机油的黏度分类 (GB/T 14906—94)

黏度等级号	低温黏度 ^① /mPa·s 不大于	边界泵送温度 ^② /℃ 不高于	运动黏度 (100℃) ^③ /(mm ² /s)
0W	3250 在 -30℃	-35	3.8
5W	3500 在 -25℃	-30	3.8
10W	3500 在 -20℃	-25	4.1
15W	3500 在 -15℃	-20	5.6
20W	4500 在 -10℃	-15	5.6
25W	6000 在 -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
60	—	—	21.9 小于 26.1

注：①采用 GB/T6538 方法测定；

②对于 0W、20W 和 25W 油采用 GB/T9171 方法测定，对于 5W、10W 和 15W 油采用 SH/T 0562 方法测定；

③采用 GB/T265 方法测定。

表 3-19 中低温黏度是用冷起动模拟试验机在规定的低温高剪切速率下测得的低温动力黏度。它所测得的黏度与发动机有良好的相关性，它模拟了发动机气缸—活塞区域冷起动的工况，所以能预测机油能否保证发动机的顺利起动。

表中边界泵送温度是指能把机油连续供给发动机时机油泵入口的最低温度。如果机油温度低于边界泵送温度，则机油黏度过大，油泵抽空，使机油泵送失败，导致起动困难甚至出现运转和磨损事故。

美国、西欧、日本等广泛采用美国汽车工程师学会的 SAE 黏度分类法。这个方法是 1911 年制定，历经多次修改，现行方法是 1992 年修订的。表中凡带 W 级号是冬季用油，其他为夏季用油。这个分级的特点是每一黏度级范围很宽，且级与级间是连续的。

(2) 按用途分类

目前我国生产量最大的润滑油是汽油机油，约占发动机油总量的一半以上。是馏分润滑油或脱沥青的减压渣油，经过精制并加入各种添加剂调合成的。

我国采用美国石油协会 API (American Petroleum Institute)、美国汽车工程师协会 SAE (Society Automotive Engineers)、美国材料试验学会 ASTM (American Society for Testing Materials) 三家共同协商的发动机油使用 (质量) 分类 SAE J183 标准，制定出我国的内燃机油 (发动机油) 性能和使用分类 GB/T 7631.3—1995 (见表 3-20)。

我国的内燃机油 (发动机油) 使用分类将汽油机油定为 S 系列，分为 SA、SB、SC、SD……SH。分类中以 A、B……字母顺序依次提高了油品的质量等级。柴油机油则定为 C 系列，顺序分为 CA、CB……CE、CF-4。

我国于 1994 年起，把汽油机油从 Q 系列改为 S 系列，柴油机油仍为 C 系列，但是，“C”字母从汉语拼音改读英文字母的读音“C”。

表 3-20 内燃机油性能和使用试验分类 (GB/T7631.3—1995)

应用范围	品种代号	特性和使用场合
汽油机油	SA (废除)	
	SB (废除)	
	SC	用于货车、客车或其他汽油机以及要求使用 API SC 级油的汽油机，可控制汽油机高、低温沉积及磨损、锈蚀和腐蚀
	SD	用于货车、客车和某些轿车的汽油机以及要求使用 API SD、SC 级油的汽油机。此种油品控制汽油机高、低温沉积物、磨损、锈蚀和腐蚀的性能优于 SC，并可代替 SC
	SE	用于轿车或某些货车的汽油机以及要求使用 API SE、SD 级油的汽油机。此种油品的抗氧化及控制汽油机高温沉积物、锈蚀和腐蚀的性能优于 SD 或 SC，并可代替 SD 或 SC
	SF	用于轿车或某些货车的汽油机以及要求使用 API SF、SE、SD 及 SC 级油的汽油机。此种油品的抗氧化及抗磨损性能优于 SE，还具有控制汽油机沉积、锈蚀和腐蚀的性能，并可代替 SE、SD 或 SC
	SG	用于轿车、货车和轻型卡车的汽油机以及要求使用 API SG 级油的汽油机，SG 质量还包括 CC (或 CD) 的使用性能。此种油品改进了 SF 级油控制发动机沉积物、磨损和油的氧化性能，具有抗锈蚀和腐蚀的性能，并可代替 SF、SF/CD、SE 或 SE/CC
	SH	用于轿车和轻型卡车的汽油机以及要求使用 API SH 级油的汽油机。SH 质量在汽油机磨损、锈蚀、腐蚀及沉积物的控制和氧化方面优于 SG，并可代替 SG
柴油机油	CA (废除)	
	CB (废除)	
	CC	用于在中及重负荷下运行的非增压、低增压或增压式柴油机，并包括一些重负荷汽油机。对于汽油机具有控制高温沉积物和轴瓦腐蚀的性能，对于汽油机具有控制锈蚀、腐蚀和高温沉积物的性能，并可代替 CA、CB 级油
	CD	用于需要高效控制磨损及沉积物或使用包括高硫燃料非增压、低增压或增压柴油机以及国外要求使用 API CD 级油柴油机。具有控制轴承腐蚀和高温沉积物的性能，并可代替 CC 级油
	CD - II	用于要求高效控制磨损和沉积物的重负荷二冲程柴油机以及要求使用 API CD - II 级油发动机，同时也可满足 CD 级油性能要求
	CE	用于在低速高负荷和高速高负荷条件下运行的低增压和增压式重负荷柴油机，以及要求使用 API CE 级油发动机，同时也满足 CD 级油性能要求
	CF - 4	用于高速四冲程柴油机以及要求使用 API CF - 4 级油柴油机。在油耗和活塞沉积物控制方面性能优于 CE，并可代替 CE，此种油品特别适用于高速公路行驶的重负荷卡车

应着重指出，我国在相当长时间内，曾把汽油机分成“EQ”系列，柴油机油分成“EC”系列，并以 CB7631.3—89 标准提出了质量等级的详细分类。因此这种分类标准已得到广泛应用。它和我国采用的 SAEJ183 使用分类的对应关系可以参照表 3-21。

表 3-21 EQ 和 EC 分类与 SAEJ183 分类的对照表

汽油机油		柴油机油	
EQ 系列	SAE 分类	EQ 系列	SAE 分类
EQB	≈SB	ECA	≈CA
EQC	≈SC	ECB	≈CB
EQD	≈SD	ECC	≈CC
EQE	≈SE	ECD	≈CD
EQF	≈SF		

按我国内燃机油（发动机油）使用分类 GB/T 7631.3—1995 发布的汽油机油国家标准 GB11121—1995 列在表 3-22、表 3-23。柴油机油国家标准 GB11122—1997 列在表 3-24、表 3-25。

内燃机油 100℃ 运动黏度在 20、30、40、50、60 的黏度范围内，同时它的低温黏度和边界泵送温度还能满足 W 级油的黏度等级指标，则称这种油为多级汽油机或多级柴油机油，有时也称做稠化机油。例如 10W-30 就属于多级内燃机油。发展多级内燃机油，可以使一个油同时满足冬夏通用，即既能满足冬季低温启动和低温泵送要求，又能满足 100℃ 时高温下的黏度要求。使用多级油，不但减少季节性换油的麻烦，而能降低发动机的摩擦功达到节省能源的目的。

另外，一种内燃机油既能用于汽油机又同时适用于柴油机，此种油称做通用内燃机油，如 SF/CD 就是说明能在汽油机和柴油机中通用，相当汽油机油中的 SF 级，同时又相当于柴油机油的 CD 级，可以满足混合车队长途运输时对内燃机油的需要。

汽油机油国家标准 GB11121—1995 中包括 SC、SD、SE 和 SF 等四个品种的汽油机油，SD/CC、SE/CC 和 SF/CD 三个品种的汽油机/柴油机通用油，每个品种按 GB/T14906 划分黏度等级。

柴油机油国家标准 GB11122—1997 中的 CC 和 CD 级柴油机油使用性能指标等效采用美国汽车工程师协会标准 SAE J183—91 《发动机油性能及发动机油使用分类》中的 API CC 和 API CD 使用性能，理化指标等效采用美国军用标准 MIL-L-2104F 《内燃机润滑油》。

根据我国使用要求对 CC 和 CD 两个品种的黏度等级进行了调整，对部分指标进行了修改，并参照 MIL-L-2104F 对 CD 级柴油机油增设高温高剪切黏度和蒸发损失项目。