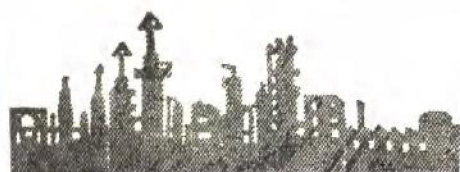


石油产品应用知识丛书

稠化机油

张 锡 鹏 编

5.3



烃 加 工 出 版 社

内 容 提 要

本书为《石油产品应用知识丛书》的一个分册。稠化机油是一种优质的内燃机油,在国外已得到较为普遍的应用,在国内也是一种正在发展着的新品种。本分册的主要内容是:稠化机油的分类、规格、使用特点和发展概况;常用增粘剂的生产原理及其性质;基础油的选择和生产方法;稠化机油的配制及质量评定等。本书既介绍了国外稠化机油的发展水平,又密切联系了国内稠化机油的生产与使用的实际。本书适合于使用油品的工人、管理干部和技术人员阅读,对从事稠化机油及其增粘剂等添加剂生产和研究的工人、技术人员也有一定的参考价值。

石油产品应用知识丛书

稠 化 机 油

张 锡 鹏 编

•
烃加工出版社出版

交通出版社印刷厂排版

通县振兴印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 7¹/₈。印张 156千字 印 1—3,000

1985年12月北京第1版 1985年12月北京第1次印刷

书号: 15391·25 定价: 1.50 元

前 言

现代内燃机所用润滑油的工作温度是很宽的，其下限是 $-35\sim-45^{\circ}\text{C}$ ，相当于严寒区冬季发动机启动时的温度，而上限是 $200\sim300^{\circ}\text{C}$ ，相当于正在工作的发动机的活塞滑面上部的温度。用生产一般润滑油的方法，往往难以生产出既能满足在低温下使用、又能满足在高温下使用的内燃机油。因为，在低温时润滑油很快变稠，而在高温时又很快变稀。润滑油无论变稠或变稀，都不能保证机件良好的润滑，都会增加机件磨损，使发动机的功率降低，燃料油消耗增大。特别是在严寒区和寒区的冬季，气温很低，润滑油的粘度变得过大，发动机冷启动很困难。所以，要求炼油厂能生产出在很宽的温度范围内都能保持工作能力的润滑剂，稠化机油就是这种润滑剂。

稠化机油是用一种称为增粘剂的物质以及其他润滑油添加剂和轻质石油润滑油（一般指的是变压器油、机械油、汽轮机油等）配制成的内燃机油。增粘剂是一些高分子有机聚合物，如聚异丁烯、聚甲基丙烯酸酯、聚正丁基乙烯基醚、乙烯-丙烯共聚物等。

在国外稠化机油从1952年正式使用以来，其品种和数量迅速增长，质量不断改善，这主要是稠化机油比一般矿物内燃机油具有许多优点：冷启动性能好，在严寒区或寒区冬季使用时，启动车辆不需暖车，出车迅速；漆膜和积炭生成少，机件磨损小，换油期长，可延长内燃机的使用寿命；润

滑性能好，节省燃料；可四季通用，南北通用、多机种通用，能简化油品品种，给生产、贮运、销售、使用、管理都带来很大的方便。因此，世界上不少国家都在大力发展稠化机油。目前，在美国的内燃机油中，稠化机油占的比例已超过75%，西欧也超过了50%，在不久的将来，可能大部分内燃机采用稠化机油。

从1963年起我国就已开始配制和使用稠化机油，已能生产聚异丁烯、聚甲基丙烯酸酯、聚正丁基乙烯基醚和乙烯-丙烯共聚物等增粘剂，供严寒区和寒区使用的稠化机油的品种不断增加，产量也不断提高。但是，我国目前稠化机油在内燃机油中所占的比例还很低。

我国幅员辽阔，南北气候悬殊，很需要大力发展冬夏两用、南北通用、多机种通用的稠化机油，进一步调整我国内燃机油的产品结构，把我国内燃机油的生产、使用提高到一个新的水平，以便于降低发动机燃料和内燃机油的消耗，节约石油资源，延长发动机的使用寿命。

为了发展稠化机油，有必要了解稠化机油的基本知识。因此，编者写了这本《稠化机油》，其主要内容有：稠化机油的分类、规格、使用特点和发展概况；常用增粘剂的生产原理和它们的性质；基础油的选择和生产方法；稠化机油的配制以及质量评定方法等，供对稠化机油感兴趣的同志们参考。

在写此书时，华东石油学院张怀祖教授给予了重要的指导。北京石油化工科学研究院高级工程师闻邱提钧同志在审校本书时，提出了许多宝贵的意见。在此谨表示衷心的感谢！

编者

一九八五年四月

目 录

前 言	1
第一章 稠化机油概述	1
第一节 稠化机油——一种优质的内燃机油	1
第二节 稠化机油的分类和规格	2
一、国外内燃机油的分类和稠化机油的分类与规格	3
二、我国内燃机油的分类和稠化机油的规格	18
第三节 稠化机油的使用特点和意义	21
一、稠化机油的使用特点	21
二、使用稠化机油的意义	29
第四节 国内外稠化机油的使用情况	37
一、国外稠化机油使用情况	37
二、我国稠化机油使用情况	40
三、我国发展稠化机油的前景	43
第二章 稠化机油的粘度和粘温特性	45
第一节 一般内燃机油的粘度和粘温特性	45
一、一般内燃机油的粘度	45
二、符合牛顿液体的润滑油粘度与温度的关系	48
三、润滑油的粘温特性	49
第二节 稠化机油的粘度和粘温特性	54
一、稠化机油的粘度	54
二、稠化机油的粘温特性	59
第三节 稠化机油的低温粘度	59
一、稠化机油低温粘度的特点	59

二、稠化机油低温粘度的测定	60
第三章 增粘剂	66
第一节 增粘剂及其作用机理	66
一、增粘剂	66
二、增粘剂的作用机理	71
第二节 增粘剂的制备	74
一、聚异丁烯	74
二、聚甲基丙烯酸酯	77
三、聚正丁基乙烯基醚	85
四、乙烯-丙烯共聚物	86
第三节 增粘剂的分子量	89
一、增粘剂平均分子量及其表示方法	89
二、增粘剂分子量的测定	95
第四节 增粘剂的稠化能力	104
一、增粘剂稠化能力的表示方法	104
二、影响增粘剂稠化能力的因素	106
三、增粘剂对稠化机油低温粘度和粘温特性的影响	115
第五节 增粘剂的解聚性能	119
一、增粘剂解聚的两种方式及其后果	119
二、增粘剂抗解聚性能	121
三、增粘剂抗解聚性能的测定	127
第四章 稠化机油的生产	135
第一节 稠化机油对基础油的要求	135
一、基础油馏分	135
二、基础油的粘度和粘温特性	140
三、基础油的含蜡量	141
四、基础油的抗氧化安定性	142
第二节 稠化机油基础油的生产	145
一、天然石油经过蒸馏、精制、脱蜡制取基础油	145
二、重质油加氢裂化制取基础油	150

三、石蜡裂解制取聚 α -烯烃合成油	153
第三节 配制稠化机油时使用的添加剂	156
一、清净分散剂	157
二、抗氧抗腐剂	165
三、摩擦改进剂	167
四、降凝剂	168
五、抗泡沫剂	169
第四节 稠化机油的配制	170
一、稠化汽油机油的配制	171
二、稠化柴油机油的配制	172
三、通用油的配制	177
四、稠化机油的调合	179
第五章 稠化机油的质量评定及使用	181
第一节 稠化机油的实验室模拟试验	183
一、冷启动性能试验	183
二、低温泵送性能试验	184
三、清净性测定	188
四、承载能力试验	191
五、成焦板试验	194
六、球-圆柱模拟试验	195
第二节 内燃机油的发动机试验	196
一、我国内燃机油的发动机试验	196
二、美国内燃机油的发动机试验	197
三、西欧内燃机油的发动机试验	207
四、苏联内燃机油的发动机试验	210
第三节 稠化机油的行车试验	213
一、车辆选择	214
二、行车条件确定	214
三、行车中和行车后的测试	215

第四节 稠化机油的使用	216
一、不同级别的稠化机油的使用温度范围	216
二、稠化机油使用时注意的问题	217
参考文献	218

第一章 稠化机油概述

第一节 稠化机油——一

种优质的内燃机油

内燃机润滑系统的主要任务是向摩擦表面输送一定数量的内燃机油，在摩擦表面上形成油膜，防止金属直接接触，从而减少部件之间的摩擦和磨损。摩擦表面上的内燃机油可以冲洗掉摩擦表面上的杂质和带走摩擦热，使摩擦表面洁净，减少磨料磨损，并保证活塞、轴承等在合适的温度状况下工作。气缸壁上的油膜，还可以保护摩擦表面，减少腐蚀性磨损。此外，油膜还增加活塞与活塞环的密封性。因此，内燃机的润滑系统在减少机械损失、提高机械效率、延长内燃机使用寿命等方面起着重要的作用。

现代内燃机一般采用复合式润滑，即压力润滑（用内燃机油泵强制润滑）和飞溅润滑并用。高速重负荷的摩擦表面，如曲轴轴承、连杆轴承、凸轮轴承等用压力润滑，以保证润滑可靠；负荷轻（如气缸）、滑动速度低（如活塞销）或润滑条件方便（如凸轮和挺杆）的部位则用飞溅润滑。

为使内燃机具有良好的动力性、经济性和工作可靠性，尽管内燃机类型及其操作条件不同，对内燃机油的质量要求也不尽相同，但是，使用的内燃机油均应具备有：一定的粘度和粘温特性、适当的凝固点、良好的润滑性能、抗氧化安定性能、抗腐蚀性能以及清净分散性能等。

对于冬用和全天候用的内燃机油来说，工作温度是很宽的，粘度和粘温特性的要求也是很严格的。为了保证发动机在工作温度范围内正常启动和润滑，选用内燃机油的粘度在低温时不应过大，而在高温时也不应过小。但是，一般矿物内燃机油的粘度随温度的变化太大，难以满足上述要求。

内燃机油的粘度及其随温度变化的特性，主要与它的馏分组成、化学组成、烃类结构有关。但是，只靠选用优良的原料油和改进内燃机油的精制工艺，还不足以制取既符合低温下对粘度的要求、又符合高温下对粘度的要求的内燃机油。

目前，在高、低温度下均能满足对粘度要求的内燃机油中，广泛使用的是稠化机油。因为，稠化机油的粘度随温度的改变而变化的程度比一般矿物内燃机油要小，它在低温时的粘度不太大，使内燃机易于启动，而高温时粘度降低较小，能保证机件摩擦表面的正常润滑。

稠化机油是一种优质内燃机油，它是由聚异丁烯、聚甲基丙烯酸酯、聚正丁基乙烯基醚、聚烷基苯乙烯和乙烯-丙烯共聚物等增粘剂以及清净分散剂、抗氧抗腐剂、降凝剂、抗泡沫剂等多种润滑油添加剂与轻质石油润滑油配制而成。

用于润滑汽油发动机的称为稠化汽油机润滑油，简称稠化汽油机油；用于润滑柴油发动机的称为稠化柴油机润滑油，简称稠化柴油机油。用于配制稠化机油的轻质石油润滑油称为基础油。

第二节 稠化机油的分类和规格

稠化机油是内燃机油中的一类。因此，有必要先了解内燃机油的分类，然后，在此基础上再了解稠化机油的分类和

规格。

一、国外内燃机油的分类和稠化机油的分类与规格

1.美国内燃机油的分类和稠化机油的分类与规格

美国内燃机油的分类方法有粘度分类和使用分类两种。

粘度分类法是按照粘度的大小，把内燃机油划分为若干级别。使用分类法是按照使用条件。把内燃机油划分为若干质量档级。

美国、西欧和日本等国都采用美国汽车工程师学会(SAE)的粘度分类法。

为了满足发动机制造商和润滑油消费者日益提高的要求，内燃机油的使用性能一直不断地改进，SAE粘度分类法也进行了若干次重大的修改。1967年修订的粘度分类法，代号为SAE-J300a；1974年修订代号为SAE-J300b；1976年修订代号为SAE-J300c；1977年修订代号为SAE-J300d，于1979年生效。内燃机油SAE-J300d粘度分类如表1-1所示。

表 1-1 SAE-J300d 内燃机油粘度分类

SAE粘度级别	-18℃时的最大粘度，厘泊	100℃时的粘度范围，厘斯	
		最 小	最 大
5W	1250	3.8	—
10W	2500	4.1	—
15W	5000	5.6	—
20W	10000	5.6	—
20	—	5.6	9.3
30	—	9.3	12.5
40	—	12.5	16.3
50	—	16.3	21.9

SAE-J300d 粘度分类法把内燃机油划分为八级（如不计 SAE15W 级油，则为七级）。SAE5W 至 SAE20W 是冬用内燃机油，多数为稠化机油，字母 W 为 Winter（冬季）之略。SAE20 至 SAE50 是夏用内燃机油。早期的 SAE 粘度分类法规定低温时的粘度是在 0°F （即 -17.8°C ）条件下测定，高温时的粘度是在 210°F （即 98.9°C ）条件下测定。而在 SAE-J300d 粘度分类法中，低温时的粘度是在 -18°C 条件下测定，并规定用冷启动模拟机（CCS）测定（ASTMD 2602），而高温时的粘度是在 100°C 条件下测定，并规定用毛细管粘度计测定（ASTM D445）。由于测定粘度时的温度用的单位是公制，因此，SAE-J300d 粘度分类法中高、低温度下的粘度数值与早期的粘度分类法有差别。早期的粘度分类法中无 SAE15W 级油，而在 SAE-J300d 粘度分类法中非正式地列入 SAE15W 级油，把它归入 SAE20W 级油中，SAE15W 级油实际上是 -18°C 时的动力粘度不大于 5000 厘泊的 SAE20W 级油。之所以在粘度分类法中非正式地加入 SAE15W 级油的原因是为了满足西欧国家消费者的要求。因为，西欧国家发动机的使用条件不同于美国，要求润滑油的性能是以保证汽油发动机在低温启动时有较高的曲轴转速，而且在此以前，西欧的一些石油公司已将 SAE15W 级油投放市场了。此外，在 SAE-J300d 粘度分类法中，对冬用油只规定了低温下最大动力粘度，取消了最小动力粘度的要求，同时规定了 100°C 时最小运动粘度数值。

SAE-J300d 粘度分类法仍有缺点。内燃机油的粘温特性仅用 -18°C 和 100°C 两个温度下的粘度来表示是不全面的。例如，冬用各级油品是在不同的低温下使用的，若只测定它们在 -18°C 时的粘度，则显现不出它们各自在实际使用

温度下的特性。又例如，在低温下，内燃机油工作时的剪切速度梯度与测定粘度时的剪切速度梯度不同，用所测的低温动力粘度还不能很好地说明油泵的吸入特性，有时会出现下述情况：内燃机油在一定使用条件下能满足启动的要求，但是，不能满足泵送的要求。这就是说，SAE-J300d 粘度分类法还不能充分反映内燃机油在低温下的特性，有必要制订出能反映低温泵送性能的标准。基于此，美国汽车工程师学会（SAE）、美国材料试验学会（ASTM）和欧洲技术研究协调委员会（CEC）一起，于1980年共同对SAE-J300d 进行修订，将新修订的粘度分类法命名为SAE-J300SEP80，其分类标准列于表1-2中。

表 1-2 SAE-J300SEP80内燃机油粘度分类⁽¹⁾

SAE 粘度级别	在低温下最大动力粘度值		最大边界泵 送温度，℃	100℃时的粘度，厘斯	
	温度，℃	粘度，厘泊		最 小	最大
0W	-30	3250	-35	3.8	—
5W	-25	3500	-30	3.8	—
10W	-20	3500	-25	4.1	—
15W	-15	3500	-20	5.6	—
20W	-10	4500	-15	5.6	—
25W	-5	6000	-10	9.3	—
20	—	—	—	5.6	9.3
30	—	—	—	9.3	12.5
40	—	—	—	12.5	16.3
50	—	—	—	16.3	21.9

表1-2中规定用冷启动模拟机测定动力粘度，标准号为ASTM D2606；最大边界泵送温度按ASTM D3829测定；运动粘度按ASTM D445测定。

SAE-J300SEP80粘度分类法与SAE-J300d 粘度分类法

相比，有以下几点不同：

(1) SAE-J300SEP80粘度分类法把内燃机油划分为十级，正式列入 SAE15W 级油，冬用油增加两级，即 SAE0W 和 SAE25W。SAE0W 级油用于极地（冰冻地区），SAE25W 级油是应澳大利亚的要求而列入的。

(2) 低温动力粘度不按 -18°C 时的温度测定，而是对不同级别的油，分别在不同的低温条件下（每一级油相差 5°C ）测定。

(3) 在规定了一定低温条件下最大动力粘度的同时，还规定了用小型旋转粘度计（MRV）测定最大边界泵送温度。对同一级冬用油，既要满足低温条件下动力粘度的要求，同时也要满足最大边界泵送温度的要求（最大边界泵送温度测定详见本书第五章）。

SAE-J300SEP80粘度分类法和 SAE-J300d 粘度分类法的粘度范围比较如图1-1所示。

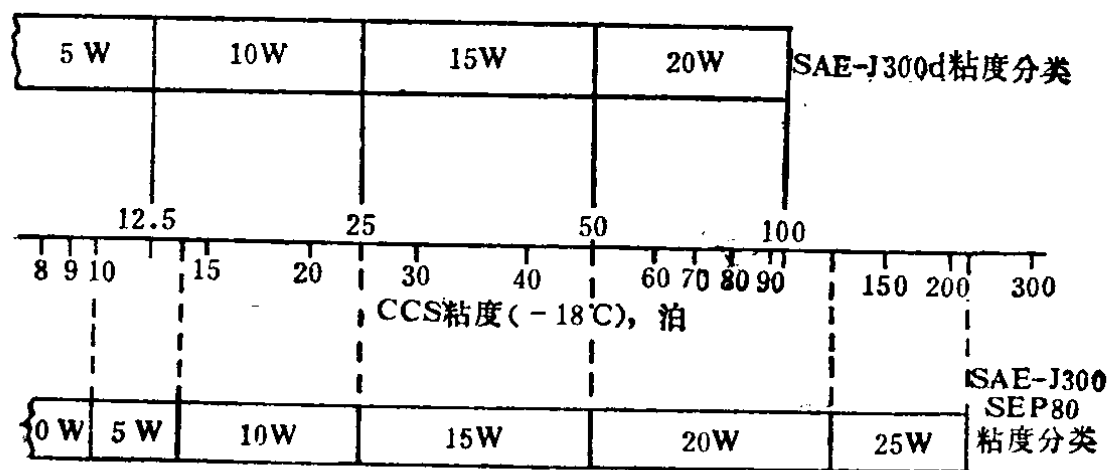


图 1-1 SAE-J300SEP80粘度分类法和SAE-J300d粘度分类法的粘度范围比较

新的内燃机油粘度分类法规定于1982年3月生效。

按照 SAE-J300SEP80 粘度分类法，可以导出稠化机油

的新分类。如表1-3所示。

表 1-3 稠化机油的粘度分类

SAE 粘度级别	在低温下最大动力粘度值		最大边界泵	100℃时的最
	温度, °C	粘度, 厘泊	送温度, °C	小粘度, 厘斯
5W-10	-25	3500	-30	4.1
5W-20	-25	3500	-30	5.6
5W-30	-25	3500	-30	9.3
5W-40	-25	3500	-30	12.5
5W-50	-25	3500	-30	16.3
10W-20	-20	3500	-25	5.6
10W-30	-20	3500	-25	9.3
10W-40	-20	3500	-25	12.5
10W-50	-20	3500	-25	16.3
15W-20	-15	3500	-20	5.6
15W-30	-15	3500	-20	9.3
15W-40	-15	3500	-20	12.5
15W-50	-15	3500	-20	16.3
20W-30	-10	4500	-15	9.3
20W-40	-10	4500	-15	12.5
20W-50	-10	4500	-15	16.3
25W-30	-5	6000	-10	9.3
25W-40	-5	6000	-10	12.5
25W-50	-5	6000	-10	16.3

从表1-3可知，稠化机油的粘度分类具有双重号码。例如，稠化机油 SAE10W-30，其低温时的最大动力粘度和最大边界泵送温度相当于冬用的 SAE10W，但其100℃时的最小运动粘度却相当于夏用的 SAE30。又例如，SAE10W-50，其低温时的最大动力粘度和最大边界泵送温度相当于冬用的 SAE10W，但其100℃时的最小运动粘度却相当于夏用的 SAE50，SAE10W-50可在 -30~40℃气温条件下使用。因此，可以把稠化机油称为多级油或全天候的润滑油。

美国石油学会 (API) 早在1947年就按照汽油发动机和柴油发动机的设计和操作条件对内燃机油的质量进行了分类, 当时将内燃机油的质量档级划分为普通、优质和重负荷三类。然而, 这种分类法没有反映汽油发动机和柴油发动机对润滑油不同性能的要求。于是, 在1952年, 美国石油学会又提出一种根据内燃机油在发动机中使用条件而加以区分的新分类法, 即将汽油机油分为 ML、MM、MS 三类, 将柴油机油分为 DG、DM、DS 三类。但是, 这样的分类缺乏技术定义的准确性。1971年, 美国汽车工程师学会、美国材料试验学会和美国石油学会总结了过去在内燃机试验方面的经验, 在原有 API 分类的基础上, 共同提出了内燃机油质量档级的新分类, 并规定了各种试验方法。按照这一新分类, 内燃机油分为汽油机油系列 (即 S 系列) 和柴油机油系列 (即 C 系列) 两大类。这一新分类成为现在较常用的内燃机油质量档级分类的依据。1980年颁布的内燃机油的 S 系列分类和 C 系列分类如表1-4和1-5所示。

表1-4和表1-5中的各级汽油发动机油 (S 系列) 和柴油发动机油 (C 系列) 都规定了必须通过的发动机试验 (发动机试验详见本书第五章)。

美国内燃机油的 S 系列分类中, SD、SE 和SF 级油必须通过的发动机试验标准如表1-6所示。

美国内燃机油的 C 系列分类中, CC 和 CD 级油必须通过的发动机试验标准如表1-7所示。

SAE 粘度分类法和 API 质量档级分类法是目前世界上具有权威性的标准方法, 不少国家的内燃机油的分类一般都向它靠拢, 国际标准化组织 (ISO) 也予以确认。国际标准化组织只建立其它油品 (如冷冻机油、工业润滑油等) 的标

表 1-4 内燃机油的 S 系列分类

名 称	API 内燃机油使用范围	ASTM 内燃机油性能
SA	早期各种用途的汽油发动机和柴油发动机使用 用于较老型的、在缓和条件下操作的发动机，不要求油品提供保护性能，对这种油没有性能要求，除非设备制造者专门指定使用外，不在其它任何类型发动机上使用	除含有降凝剂和抗泡沫剂外，不含有其他添加剂
SB	低负荷汽油发动机使用 用于操作条件较缓和的老型汽油发动机，仅仅能提供很小的保护性，使用于30年代的发动机，并且具有抗擦伤、抗氧化和抗轴承腐蚀性能，除非设备制造者专门指定使用外，不在其它任何类型发动机上使用	具有一定的抗氧化和抗擦伤的性能
SC	1964年汽油发动机使用 用于1964~1967年的轿车和卡车的汽油发动机，要求油品在发动机中具有能防止高温沉积、抗磨损、防锈蚀和抗腐蚀的能力	满足1964~1968年汽车制造商要求的油品，使用于轿车，具有抗低温油泥和抗锈蚀的性能
SD	1968年汽油发动机使用 用于1968~1970年的轿车和卡车的汽油发动机，也可用于1971年某些型号或在所有者手册中指定推荐更晚的一些车型，这种油在使用中比SC级油具有更好的高低温沉积性、抗磨损、防锈蚀和抗腐蚀性能，也可用于使用SC级油的汽油发动机	满足1968~1971年汽车制造商的要求，主要用于轿车，具有抗低温油泥和抗锈蚀的性能
SE	1972年汽油发动机使用 用于1972年或某些1971年开始使用轿车或卡车的汽油发动机，比SC、SD级油具有更好的抗高温氧化、高温沉积、抗锈蚀和抗腐蚀性能，也可用于使用SC、SD级油的汽油发动机	满足1972~1979年汽车制造商的要求，主要用于轿车汽油发动机，具有高温抗氧化、抗低温油泥和抗锈蚀性能
SF	1980年汽油发动机使用 用于1980年开始使用轿车或某些卡车的汽油发动机，抗氧化、抗腐蚀性超过SE级油的要求，具有更好的抗油泥沉积、抗锈蚀性能，也可用于使用SC、SD、SE级油的汽油发动机	满足1980年汽车制造商的要求，主要用于轿车汽油发动机，具有抗油泥、抗漆膜、防锈蚀、抗磨损和防止高温粘结性能