

石油产品应用知识丛书

内燃机油

(修订版)

吴绍祖 张玉兰 编



中国石化出版社

石油产品应用知识丛书

内 燃 机 油

(修 订 版)

吴绍祖 张玉兰 编

中国石化出版社

内 容 提 要

近些年来,随着汽车工业的巨大发展,我国对内燃机油的分类、规格标准和质量评定方法作了重大的修改。本书在原版的基础上删除了已淘汰的产品品种部分,补充了最新内容,能够反映国内外内燃机油的发展情况和水平。本书重点介绍内燃机油的分类、性能特点,各类内燃机油的生产过程、使用条件及选择使用,废油的再生回收;同时,对几种专用内燃机油和各种添加剂的作用也作了详细介绍。

本书可供油品的使用和销售、人员、润滑工作者阅读,也可供从事内燃机油及其添加剂生产、研究的工人、技术人员参考。

石油应用知识丛书

内 燃 机 油

〔修订版〕

吴维祖 张玉兰 编

*

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092毫米 32开本 7¹/₈印张 157千字 印1—4000

1996年1月北京第1版 1996年1月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-582-2/TE·069 定价:8.00元

再 版 前 言

《内燃机油》一书，自 1980 年出版以来，深受广大读者的欢迎。但十多年来，我国的国民经济发生了翻天覆地的变化，汽车行业有了突飞猛进的发展，进口车辆更是与日俱增，这就导致对内燃机油质量水平的新要求，促使新产品不断出现，修订本书也就迫在眉睫。

另外，为满足国产和进口各种车辆发动机的要求，我国对内燃机油的分类、规格标准和质量评定方法不断作出重大修改，使其尽可能与国际标准统一，本书在修订中充分注意到这一变化，把它作为主要修订内容。同时，修订版中增添了许多新内容，删除了已淘汰的产品品种部分，使本书以全新的面目与读者见面。

本书的修订工作由吴绍祖和张玉兰共同完成。修订过程中，兰州炼油化工总厂胡菽兰高级工程师作了技术和文字校订，提出了许多宝贵意见，对充实修订内容裨益殊深；王会东参加了修订工作，编者在此一并致谢。由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请读者不吝赐教。

编 者

1993 年 10

前 言（第一版）

近年来,由于我国内燃机制造业的发展,新型增压柴油机和高速、高压压缩比的汽油机的出现,以及进口车辆等不断增加,对内燃机油的质量要求越来越高,数量要求越来越大。

目前,内燃机所使用的润滑油是由基础润滑油(基础油)和润滑油添加剂所组成。基础油是从石油中炼制出来的,其工艺过程包括减压蒸馏、丙烷脱沥青、溶剂脱蜡、溶剂精制或加氢处理、白土补充精制或加氢补充精制等。生产工序多,加工过程复杂,设备繁多,建设投资费用大,而润滑油产品的产率却较低,一般只占原油加工量的百分之几,所以说润滑油来之不易,使用时应当点滴珍惜。而且单纯基础油不能满足现代各种类型内燃机的要求,必须添加各种添加剂。添加剂的作用,在于改善基础油用通常的石油加工工艺和润滑油精制方法所不能改进或具备的使用性能。今天添加剂的应用已经非常广泛,特别是内燃机油,其添加剂的加入量有的可达百分之十几。添加剂的使用不仅提高了油品的质量,延长了使用期,而且等于间接地增加了润滑油的产量。所以,了解内燃机油的组成、性质和各种添加剂的作用是正确使用内燃机油的基础。

内燃机油的应用范围很广泛,从大的方面来看,有陆地上行驶的汽车、拖拉机、坦克和铁路内燃机车,天空中飞行的有飞机,海洋里航行的有船舶等。由于应用范围不同,使

用条件也有很大差异，所以内燃机油的分类、品种和规格比较复杂。为了正确地使用内燃机油，必须先了解和熟悉油品的分类、各种品种和规格要求，再根据发动机的类型、使用的地区和气候条件选用合适的内燃机油。

内燃机油是润滑油中用量最大的一种，其用量几乎占润滑油总量的 50% 左右，所以正确使用，做到合理用油，节约用油具有非常重要的意义。为此，还得了解内燃机油在使用过程中的质量变化，做到合理换油，不致因换油过早而造成浪费，或因换油过迟造成发动机损坏。同时，也要注意废内燃机油的回收和再生。废内燃机油不经过回收和再生，就随便丢弃或烧掉，不仅是很大的浪费，而且也会污染环境。

本书由吴绍祖同志编写，顾久敬同志技术校订，并经北京石油化工科学研究院闫邱提均、范毓菊等同志审校。

目 录

再版前言

前言 (第一版)

第一章 内燃机及其润滑	1
第一节 内燃机简介.....	1
第二节 内燃机燃料.....	4
第三节 内燃机润滑	12
第四节 内燃机油的主要性能	21
第二章 内燃机油的组成	26
第一节 内燃机油基础油	26
第二节 内燃机油添加剂	36
第三节 内燃机油添加剂的复合及使用添加剂 应当注意的事项	49
第三章 内燃机油的分类、规格及其质量 评定方法	54
第一节 内燃机油的分类和规格	54
第二节 内燃机油质量评定方法	78
第四章 几种专用内燃机油	89
第一节 二冲程发动机油	89
第二节 铁路机车柴油机油.....	106
第三节 船用润滑油.....	111
第四节 航空活塞式发动机润滑油.....	125
第五章 内燃机油使用过程中的变化	130

第一节	内燃机油在发动机中的工作条件·····	130
第二节	内燃机油在使用过程中的化学变化·····	133
第六章	内燃机油的使用及其更换·····	146
第一节	合理选用内燃机油·····	146
第二节	内燃机油的使用及更换·····	154
第七章	废内燃机油再生·····	172
第一节	废内燃机油的回收·····	172
第二节	废内燃机油再生方法和工艺流程·····	173
第三节	再生内燃机油的质量·····	183
附录一	国外内燃机油的分类及其台架评定试验·····	186
附录二	国内外内燃机油对照表·····	207
附录三	国内外船舶用柴油机油对照表·····	213
附录四	各国航空活塞式发动机润滑油对照表·····	217

第一章 内燃机及其润滑

使用液体燃料（如汽油、柴油）或气体燃料（如煤气、沼气），在气缸内燃烧放出热量，并直接利用燃气的膨胀产生压力，推动活塞对外作功的机械，统称为内燃发动机，简称内燃机或发动机。一般将使用汽油作燃料的称为汽油机，使用柴油作燃料的称为柴油机。由于内燃机比起别的原动机有着不可比拟的优点，所以不仅在国民经济的各个部门都得到广泛的应用，而且在日常生活中起着越来越重要的作用。

第一节 内 燃 机 简 介

一、内燃机的分类、命名

内燃机的种类很多，但按其工作原理和构造的不同，可分为往复式内燃机和旋转式内燃机。前者就是一般所说的内燃机。

内燃机的类型一般是根据所使用的燃料、冲程数、转速、点火方式等进行分类的。这里把常用的内燃机分类列于表 1-1。

内燃机的命名，即型号，是区别内燃机类型的标志。从型号中一般可以知道几种内燃机大体上有什么不同，或者判断是哪一类型的内燃机。同时型号也涉及到内燃机系列化问题。

表 1-1 内燃机的分类

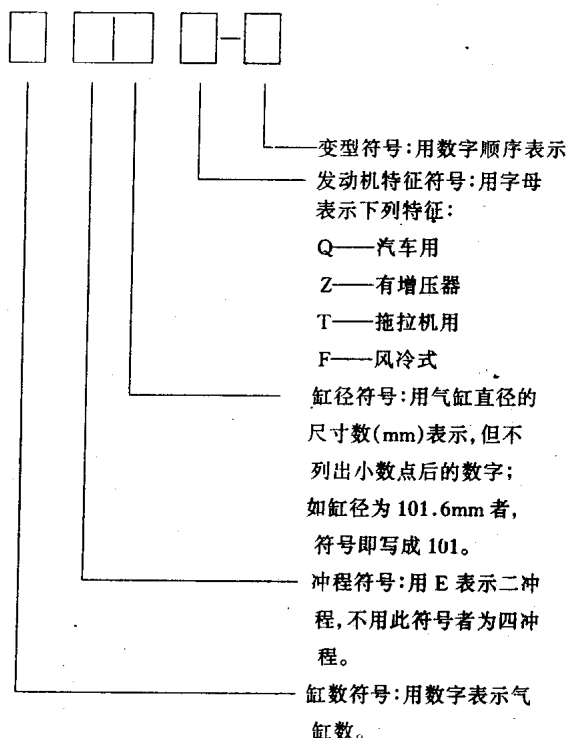
分类特征	类 型
1. 燃 料	1) 柴油机 2) 汽油机 3) 煤气机
2. 冲 程	1) 四冲程 2) 二冲程
3. 转 速	1) 高速 2) 中速 3) 低速
4. 点火方式	1) 压燃式 2) 点燃式
5. 进气方式	1) 吸入式 2) 增压式
6. 用 途	1) 固定式 2) 船用 3) 汽车、拖拉机用 4) 航空用
7. 气缸数目	1) 单缸 2) 多缸
8. 气缸排列	1) 直排 2) V 型 3) W 型 4) 星型
9. 冷却方式	1) 水冷 2) 风冷
10. 启动方法	1) 人力 2) 电力 3) 汽油机 4) 压缩空气

通常, 根据内燃机的外形、构造、工作原理、使用燃料的种类及气缸直径等特征定出编号规则以便于分辨。为了生产和使用维修的方便, 我国内燃机一般是以气缸直径分成系列, 即数字代表气缸的直径尺寸。一般地说, 同系列发动机其主要零件彼此都可通用。系列的编号同时也是型号的组成部分, 所以两者关系十分密切。例如 4146 型柴油机, 即是指四气缸、四冲程、气缸直径 146mm、标准型的柴油机。再如 292 型汽油机, 即是两缸、四冲程、气缸直径 92mm 的汽油机。

有时, 还可增加内燃机的特征符号, 例如 4100Q-4, 即四缸水冷车用内燃机, 第四种变型产品、气缸直径为 100mm。再如 12V240Zj, 即 12 缸、V 型排列、气缸直径 240mm、增压、机车牵引用内燃机。

表 1-2 中给出了内燃机型号的含义和编制内容的次序, 可供参考。

表 1-2 内燃机型号含义和编制次序



二、内燃机的基本结构

内燃机的型式虽然很多, 但其基本结构却大同小异。以

柴油机为例，主要由以下几个机构与系统组成。

①机体组件。包括机体（气缸体－曲轴箱）、气缸套、气缸盖和油底壳等。这些零件构成了柴油机骨架，所有运动件和辅助系统都支承在它上面。

②曲轴连杆机构。包括活塞、连杆、曲轴、飞轮－连接器和扭震减震器等。

③配气机构与进、排气系统。包括进排气门组件、挺杆和推杆、凸轮轴、传动系统、进气管、空气滤清器、排气管与消音灭火器等。

④燃料供给与调节系统。包括喷油泵、喷油器、输油泵、燃油滤清器以及调速器等。

⑤润滑系统。包括机油泵、机油滤清器、机油离心精滤器和压力调节与安全装置等。

⑥冷却系统。包括水泵、风扇、散热水箱、机油散热器、空气中间冷却器和节温装置等。

⑦启动系统。汽油机与柴油机二者的启动系统是不同的。汽油机的启动系统是由蓄电池、点火线圈、分电器、火花塞等组成。而柴油机所采用的方式包括电启动和高压空气启动两部分。电启动系由蓄电池、启动按钮、启动电动机等组成。高压空气启动是在电启动失效时使用。是由高压空气瓶、气压表、空气启动开关、高压空气管、空气分配器、空气启动活门等组成。

第二节 内燃机燃料

一、内燃机的燃烧方式

内燃机所用的液体燃料中，主要是汽油和柴油，也有些

是采用煤油作燃料。这些燃料都是从石油中炼制出来的。通常，汽化器式内燃机（汽油机），如汽车、小型拖拉机、农业机械和快速舰艇等，采用汽油作燃料；而载重汽车和拖拉机等各种高速、中速压燃式内燃机，多半采用轻柴油作燃料；大型固定式柴油机和船用柴油机多半采用重柴油作燃料。由于这些燃料性质的不同，使得内燃机的结构、燃烧方式等有很大差别。

对于气体燃料或蒸发性较好的汽油，它们同空气混合都非常均匀，所得混合燃料气一旦点火，就能很快地燃烧起来。使用这类燃料的内燃机，要求燃料和空气先在气缸外部混合，然后送入气缸。气缸头部装有点火用的火花塞，在通过电流时能够产生火花，使可燃混合气点着燃烧，因此这类内燃机有外部混合式或点燃式之称。

根据这种燃烧方式，要求燃料——汽油具有良好的蒸发性，保证在各种条件下发动机容易启动、加速和运转正常。汽油的蒸发性越好，就越易汽化，在冷车或低温下也能使发动机顺利启动和正常工作。反之，若蒸发性不好，不仅启动困难，而且在混合气中有一些悬浮的油滴进入燃烧室，使发动机工作不稳定，燃烧不完全，增大燃料消耗。此外，这些没有完全燃烧的油滴，还会因活塞环密封不严而附着在气缸壁上，破坏润滑油膜，甚至流入曲轴箱稀释机油，增加磨损。

但汽油的蒸发性也不宜太好，否则会使汽油在保管时损耗加大。而且在夏季使用时，汽油没进入汽化器以前就蒸发成为气体，使汽油泵、输油管等弯曲处或油管较热的部位形成气泡，从而堵住油管，妨碍汽油流通，使供油不畅甚至中断，造成发动机熄火停车，这种现象称为“气阻”。因此，汽油的蒸发性要适宜，不能太好也不能太差。在汽油规格中

有标志汽油蒸发性的指标，即馏程范围和蒸汽压。

至于柴油燃料，它的蒸发性很差，粘度较汽油大得多，不能和空气均匀混合，必须用强制的办法使其混合。一般，是使柴油成雾状地喷到气缸里去，并且要求在重新凝聚起来以前，就很快燃烧。因此，在喷油之前要先把气缸里的空气压缩到很高压力，一般为 $3.0 \sim 4.0 \text{MPa}$ 。这时空气温度已升高到 500°C 以上，大大超过了柴油的自燃温度（在 3.0MPa 的压力下，柴油的自燃温度约为 205°C ）。柴油喷入气缸和高温空气相遇，就立刻自燃起来。采用这种工作方式就不需要在气缸外面制备混合气体，也不需要点火装置，但要在气缸头部安装喷油嘴，用高压油泵强迫柴油通过喷油嘴中非常微小的孔，呈雾状并以相当大的喷射速度（大约 $150 \sim 400 \text{m/s}$ ）喷入气缸。因此，喷油时虽然气缸内的空气压力只有 3.01MPa 左右，高压油泵却常常需要将柴油压到 $8.0 \sim 15.0 \text{MPa}$ 。根据这些特点，这类内燃机称为压燃式（或混合式）内燃机。

上述两种不同的燃烧方式，究竟采取哪一种，不仅取决于燃料的蒸发性，并且与燃料自燃温度高低也有关。

此外，不同燃烧方式的选用也取决于燃料的粘度。汽油粘度小，流动性好，但容易漏泄。若将汽油置于高压油泵中加压，就会从油泵活塞周围的缝隙里漏出去，给喷油工作带来很大困难，影响喷油数量和时间。而且汽油没有润滑作用，高压油泵活塞的润滑也是个大问题。而柴油的粘度较大，油泵的漏泄很少，而且有点微量的漏泄还能起很好的润滑作用。

由此可见，点燃式和压燃式两种工作方式有着很大的不同，这是所用燃料的性质不同而引起的；相反，工作方式的

不同又对燃料的性质提出不同的要求。很显然，柴油机和汽油机二者使用的燃料是不能随意互换的。

二、汽油机工作过程和对燃料性能的要求

汽油机的工作过程，一般包括吸气、压缩、工作和排气四个阶段（即冲程）。也可以是二冲程的工作过程，即把四冲程循环中吸气和排气两个单独的冲程去掉，而把它们合并到压缩和膨胀两个冲程里去。

汽油机的热效率高，取决于压缩程度的高低，用压缩比来表示。它是当活塞在下死点时，气缸的总容积和活塞在上死点时，燃烧室容积的比值，用下式表示：

$$\text{压缩比} = \frac{\text{气缸总容积}}{\text{燃烧室容积}}$$

例如，解放 CA10B 汽车的气缸总容积是 1.11 升，燃烧室容积是 0.185 升，它的压缩比是： $1.11/0.185=6.0$ 。

汽油在燃烧室内燃烧后，所产生的最高膨胀压力，一般比最大的压缩压力大 3~4 倍。所以在压缩行程终了时压力增高，点火燃烧后膨胀压力也随之增高，发动机发出的动力也就增大。这就是说，压缩比越高，发动机的有效功率也越高，汽油消耗量也随之降低，因而发动机单位重量相对下降。但是，压缩比过大时，压缩终了未燃部分的混合气体温度太高，压力也太高，促使其化学反应加快，形成很多不稳定的过氧化物，在火焰前锋尚未到达之前就自行着火形成爆炸性的燃烧，使气缸内某一局部的压力、温度急剧升高，产生冲击波，对气缸和活塞产生极大的冲击力，发生很大的响声和震动。这种现象叫做爆震。发生爆震时，不仅对气缸、活塞、活塞环、连杆、轴承等零件容易造成损坏，并要求这些零件的机械强度提高，而且会使发动机的功率显著下降，

经济性大大恶化，因此，压缩比不能任意提高。

不同燃料的抗爆震能力不一样。即使都是汽油，由于原油和加工方法及调合组分的不同，调合出不同牌号的汽油，其抗爆震能力是不同的。抗爆震能力还与其烃族组成、烃类分子结构和分子量有密切的关系。实验证明，异辛烷(2,2,4-三甲基戊烷)的抗爆能力大，而正庚烷则最容易发生爆震。如果相对地把异辛烷的抗爆能力定为100，而把正庚烷的抗爆能力定为0，那么一般燃料的抗爆能力就必然处在这两者之间，可以用相当于百分之几十的异辛烷和另一部分的正庚烷混合物的抗爆能力来表示。通常，就是把辛烷值作为表示汽油抗爆性能的指标，它是车用汽油重要的质量指标之一。车用汽油的牌号就是根据其辛烷值来区分，例如，70号汽油，表示其辛烷值不低于70；85号汽油，则表示其辛烷值不低于85。

因为内燃机的压缩比都是固定不变的，所以要使燃料工作时不发生爆震，就必须根据压缩比来选用合适的燃料。压缩比高的，应选用牌号（即辛烷值）较高的汽油；压缩比低的，应选用牌号较低的汽油。如果选用不当，压缩比高的发动机使用低辛烷值的汽油，则易引起爆震，使功率下降、耗油量增加，而且导致部件损坏；反之，压缩比低的发动机如使用辛烷值高的汽油，会造成浪费。目前汽油的牌号有70号、85号(GB489-86)和90号、93号、97号(GB484-88)五种。一般汽油牌号的选用可参照表1-3。

为了提高热效率，汽油辛烷值的提高就显得非常重要。目前，提高汽油辛烷值的主要途径有两种，一是采用新的炼制工艺，使之能生产出含有高辛烷值烃类成分的汽油；另一种途径是往辛烷值较低的汽油中加入抗爆剂和高辛烷值组

表 1-3 汽油牌号的选用

发动机压缩比	7.0 以下	7.0~8.0	8.0 以上
可选用汽油的牌号	70	90	85、93 或 97

分，以提高其辛烷值。目前，最有效的抗爆剂是四乙基铅，简称四乙铅，分子式是 $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ 。即使往汽油中加入少量的四乙铅也能大大提高汽油的辛烷值。一般直馏汽油加入 1.2g/kg（汽油）四乙铅后，辛烷值能提高 15~17 个单位。四乙铅提高汽油辛烷值的幅度随原油、炼制工艺的不同而异。四乙铅对不同的汽油有其不同的最佳添加量，超过这个量，辛烷值的提高幅度随四乙铅的增多而下降，甚至没有效果。一般车用汽油中四乙铅的含量不超过 0.1%。四乙铅具有极强的毒性，可以穿透皮肤在不知不觉中使人中毒。因此，含有四乙铅的汽油必须染以特殊的颜色，如红色、黄色和蓝色等。遇到这种带色的汽油，要避免用手接触，不要用这种汽油擦洗手或衣服上的油污，绝对禁止用嘴吸油管。

近年来，人们对环境保护日益重视，油中四乙基铅的用量逐渐减少，乃至禁止使用，因而使用高辛烷值组分如工业异辛烷、异丙苯、异戊烷以及甲基叔丁基醚（MTBE）等来提高辛烷值。

在工作过程中，汽油的安定性也是十分重要的。安定性不好的汽油，在贮存期间经常出现颜色变黄、产生粘稠沉淀。使用这种汽油时，在油箱、输油管和过滤器中产生胶状物，堵塞油路，甚至中断供油。胶状物还能使气门粘滞，关闭不严，降低发动机的功率。胶状物在高温时会分解生成积炭，沉积在气缸盖、气缸壁及活塞顶上，以致使气缸的散热不良，发生过热现象，引起爆震和加大磨损等。因此，汽油