



润滑油品研究 ——与应用指南

第二版

谢 泉 顾军慧 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

润滑油品研究与应用指南

(第二版)

谢 泉 顾军慧 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书共分 17 章,详细介绍内燃机油、齿轮油、液压油、汽轮机油、压缩机油、金属加工用油、防锈油、热处理油、热传导油及润滑脂等产品的标准、性能、组成、使用特点,列出了国内外油品品种牌号对照,对油品使用知识进行了问答,并且还介绍了我国润滑油产品的分类,是一本集研究、生产和使用为一体的润滑油理论与实践结合的专著,也是一本实用性较强的工具书。对从事研究、生产、销售和使用润滑油品的各类专业人员均有较大的参考价值,也是高等院校师生关于润滑油知识的实用参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油品研究与应用指南/谢泉,顾军慧主编.
—北京:中国石化出版社,2000.7(2007 重印)
ISBN 978-7-80043-676-5

I. 润… II. ①谢…②顾… III. ①润滑油-基本知识②润滑脂-基本知识 IV. TE626

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 133770 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 39.5 印张 995 千字

2007 年 2 月第 2 版 2007 年 2 月第 3 次印刷

定价:88.00 元

再版前言

润滑剂包括润滑油和润滑脂，其消费量不到石油消费总量的 1.5%，从原油加工能力和石油产品消费量来看，润滑剂所占比例并不大，但其重要性却远远超过了其所占比例。润滑剂应用领域比汽、煤、柴油等石油产品广泛得多，工业、农业、交通运输业，国民经济各个部门、各个行业，从生产到生活，几乎所有人类活动的地方都与润滑剂有关。国民经济越是发展，人民生活水平越是提高，这种关系就越密切。

润滑剂是石油加工过程中工艺流程最长、生产技术最复杂、品种牌号最多、质量要求最严格、更新换代最快的产品，因此，有人称其为“技术性”产品。所谓工艺流程长，是指润滑油生产必须具备基础油、添加剂和评定测试手段等基本条件，而基础油又分为五类，就Ⅰ类基础油来说，有原油蒸馏、溶剂精制、溶剂脱蜡和补充精制等几道工序，添加剂也有十余类，复合剂种类就更多了；所谓生产技术复杂，是指每一种润滑剂开发生产都要经过配方筛选、模拟评定、台架试验、行车试验或工业试用，各类基础油和各种添加剂的生产技术都非常复杂，至于内燃机油的马达评定试验其复杂程度就更不用说了；所谓品种牌号多，是指国际标准化协会(ISO)将润滑油按应用场合分为 19 大类，仅内燃机油(包括车用、船用、铁路及航空)按不同质量等级、粘度级别、单级油、多级油和通用油排列组合起来，品种多达近百个；所谓质量要求严，是指润滑油和汽、煤、柴油产品不一样，一般情况下，汽、煤、柴油符合产品标准就可以使用，而润滑油仅仅达到产品标准还不一定符合使用要求，还必须通过相应的台架试验和行车试验，通过台架试验和行车试验的润滑油配方，包括基础油和添加剂种类与比例是不能随意改变的；所谓更新换代快，这是业内人士有目共睹的，例如，汽油机油从适用于 1930 年前生产的汽车的 SA 级(不含添加剂)已发展到今天的 SL(GF—3)、SM(GF—4)级，无论是汽油机油或柴油机油，在 20 世纪 80 年代后期，特别是进入 90 年代以来，都加快了更新换代步伐，现在 4 年左右就出现一个新的质量等级。

润滑剂约 45% 用在汽车上，因此，润滑剂和汽车工业的发展密不可分。有人讲，汽车工业已经进入“三 E”时代，即 Economy(节能)、Emission(环保排放)和 Evolution(技术进步)，随着“三 E”时代到来，进一步促进了汽车用油的更新换代步伐。目前，发动机油在保证具有良好燃料经济性的同时，向更低粘度、更低挥发度、更高粘度指数、更长换油期的方向发展。传统的润滑部件对润滑剂的要求，主要是充分润滑、减少摩擦、降低磨损；现代机械设备要求润滑剂不但要充分润滑、减少摩擦、降低磨损，还要求减少消耗、节能、较长的换油期并

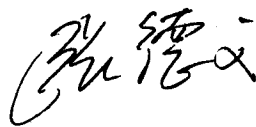
满足高负荷要求。进入 21 世纪,使用者对润滑剂提出了更高的要求,除了上述性能外,还要求环境友好、可控制排放及生物降解等。

我国汽车工业已经进入了快速发展时期,例如,2000 年我国汽车产量为 206.97 万辆,保有量为 1715 万辆;2005 年产量达到 576 万辆,保有量达到 3208 万辆。据有关部门预测,2010 年、2020 年我国汽车销售量将分别达到 870 万辆和 1300 万辆,保有量将分别达到 5500 万~5700 万辆和 10000 万~13000 万辆。目前,拉动我国汽车市场的因素主要是私人购买比例的增长,汽车进入我国家庭的时代已经或即将到来。我国润滑剂市场在数量上仍将保持一定的增长速度,在质量等级上将有明显提高。

由于润滑剂是技术含量很高的产品,世界上各大润滑剂生产商都非常重视售前、售中和售后服务。基于上述考虑,1992 年原中国石油化工总公司组织编写了“中高档润滑油系列小丛书”,全书共分 17 分册。在此基础上,经进一步补充、完善、加工,于 1997 年将其编撰为《润滑油品研究与应用指南》一书。该书主要介绍了润滑剂的组成、性能和使用特点;介绍了润滑剂的发展、产品分类、国内外产品对照;还包括了部分润滑剂知识问答。该书面世以后受到了广大从事产品开发、生产、销售以及技术服务人员的欢迎。但是,从“中高档润滑油系列小丛书”到《润滑油品研究与应用指南》距今已经十多年了,这十几年润滑剂生产和润滑机具都有了很大变化和发展,原书的内容已不能完全满足读者需求。为了把这种变化和发展传递给读者,由谢泉和顾军慧同志对本书做了比较详细的修订。应当说,再版的《润滑油品研究与应用指南》,无论是在内容的充实上,还是在知识水准上都有了明显提高。

参加原“中高档润滑油系列小丛书”的编写人员有:许汉立、姚文涛、曹敬、仇延生、冯明星、杨大芬、葛文蔚、汪孟言、周金柱、罗东林、黄成岗、周耀华、张二水、王东海、梁红、杨正宇等同志,后经吕兆岐和谢泉同志对“中高档润滑油系列小丛书”进行补充修订形成《润滑油品研究与应用指南》。上述同志作了大量先导工作,为本书出版和再版奠定了基础,在我们阅读本书的时候应当感谢他们为本书做出的贡献。

中国石油化工集团公司原副总工程师



目 录

第一章 内燃机油	(1)
第一节 内燃机润滑系统.....	(1)
第二节 内燃机油的作用.....	(2)
第三节 内燃机油的性能.....	(4)
第四节 内燃机油的组成.....	(7)
第五节 内燃机油的分类.....	(15)
第六节 内燃机油的选用.....	(46)
第七节 国内外内燃机油产品对照表.....	(54)
第八节 问题与解答.....	(55)
第二章 船舶用油	(64)
第一节 船用润滑油概况.....	(64)
第二节 船用油的特性.....	(68)
第三节 船用油的组成.....	(70)
第四节 船用油的质量规格.....	(74)
第五节 船用油的应用.....	(78)
第六节 国内外船用柴油机油牌号.....	(83)
第七节 问题与解答.....	(86)
第三章 车辆齿轮油	(92)
第一节 概述.....	(92)
第二节 齿轮的润滑.....	(93)
第三节 车辆齿轮油的组成.....	(94)
第四节 车辆齿轮油的性质.....	(100)
第五节 车辆齿轮油的规格.....	(102)
第六节 车辆齿轮油的应用.....	(109)
第七节 问题与解答.....	(113)
第四章 工业齿轮油	(122)
第一节 工业齿轮的润滑特点.....	(122)
第二节 工业齿轮油的性能特点.....	(123)
第三节 工业齿轮油的分类及产品标准.....	(124)
第四节 各类工业齿轮油的适用范围.....	(134)
第五节 工业齿轮油生产厂家.....	(139)
第六节 国内外工业齿轮油产品对照表.....	(139)

第七节 问题与解答	(141)
第五章 液压油(液)	(150)
第一节 液压油(液)概述	(150)
第二节 液压油(液)的分类及其品种规格	(153)
第三节 液压系统对液压油(液)的要求及正确选用	(182)
第四节 液力传动油(液)概述	(188)
第五节 液力传动油(液)的分类和规格	(190)
第六节 液力传动油(液)的功能及系统对其性能的要求	(203)
第七节 液压油(液)国内外产品对照表	(206)
第八节 问题与解答	(213)
第六章 汽轮机油	(220)
第一节 汽轮机油的分类	(220)
第二节 对汽轮机油的要求	(222)
第三节 汽轮机油标准	(224)
第四节 汽轮机油的保管、维护及选用	(244)
第五节 问题与解答	(247)
第七章 压缩机油	(251)
第一节 压缩机的结构特点及对油品的要求	(251)
第二节 空气压缩机油的特性及其使用性能	(253)
第三节 气体压缩机及无污染压缩机用油要求	(257)
第四节 压缩机油标准	(259)
第五节 国内压缩机油的生产单位	(267)
第六节 压缩机油包装、储运、使用注意事项	(268)
第七节 国内外压缩机油对照表	(269)
第八节 问题与解答	(269)
第八章 冷冻机油	(279)
第一节 压缩式制冷和制冷压缩机	(279)
第二节 冷冻机油的工作原理	(280)
第三节 冷冻机油的性能要求	(280)
第四节 冷冻机油的生产	(284)
第五节 冷冻机油品种和标准	(285)
第六节 冷冻机油的选择	(299)
第七节 环保型制冷剂和冷冻机油的发展	(300)
第八节 冷冻机油的使用和管理	(303)
第九节 问题与解答	(304)

第九章 真空用油脂	(313)
第一节 概述.....	(313)
第二节 机械真空泵油.....	(314)
第三节 蒸汽喷射真空泵油.....	(325)
第四节 真空润滑与密封油脂.....	(334)
第五节 问题与解答.....	(338)
第十章 切削液	(341)
第一节 概述.....	(341)
第二节 切削液产品分类及组成.....	(346)
第三节 切削液的排放标准及安全性问题.....	(356)
第四节 问题与解答.....	(359)
第十一章 金属成形润滑剂	(372)
第一节 概述.....	(372)
第二节 金属加工润滑剂的分类.....	(372)
第三节 金属成形的加工工序类别及润滑剂的介质状态.....	(374)
第四节 金属成形润滑剂的作用及性能.....	(376)
第五节 金属加工润滑剂产品规格标准.....	(385)
第六节 金属加工过程中清洗工序和清洗剂.....	(388)
第七节 金属成形润滑剂的管理.....	(394)
第八节 问题与解答.....	(396)
第十二章 轴承用润滑油	(403)
第一节 概述.....	(403)
第二节 轴承油(L-FC型).....	(404)
第三节 主轴油(L-FD型).....	(410)
第四节 油膜轴承油.....	(412)
第五节 包装、储存和使用注意事项.....	(419)
第六节 国内外轴承油和主轴油产品对照表.....	(422)
第七节 问题与解答.....	(423)
第十三章 电器绝缘油	(428)
第一节 概述.....	(428)
第二节 绝缘油的作用.....	(429)
第三节 绝缘油的主要性能.....	(431)
第四节 绝缘油的分类和产品标准.....	(433)
第五节 国内外变压器油对照表.....	(442)
第六节 问题与解答.....	(443)

第十四章 热处理油	(454)
第一节 概述.....	(454)
第二节 热处理油及其评定方法.....	(454)
第三节 热处理油特性及应用.....	(456)
第四节 国内外热处理油对照表.....	(474)
第五节 问题与解答.....	(475)
第十五章 防锈油脂	(483)
第一节 防锈油脂的作用及调配.....	(483)
第二节 防锈油脂的使用方法.....	(487)
第三节 国内外防锈油脂的分类与标准.....	(488)
第四节 防锈油脂的评定.....	(504)
第五节 问题与解答.....	(507)
第十六章 热传导液(油)	(513)
第一节 热传导液(油)发展概况.....	(513)
第二节 热传导液(油)的性能及评定.....	(515)
第三节 热传导液(油)的分类及标准化.....	(517)
第四节 热传导液(油)的选择.....	(519)
第五节 热传导液(油)的报废及其包装储运.....	(521)
第六节 国内外热传导液(油)产品对照及性能.....	(522)
第七节 问题与解答.....	(529)
第十七章 润滑脂	(536)
第一节 概述.....	(536)
第二节 润滑脂的分类及制备.....	(540)
第三节 润滑脂性能.....	(542)
第四节 润滑脂品种及特性.....	(546)
第五节 润滑脂的使用和保管.....	(573)
第六节 国内外润滑脂对照表.....	(578)
第七节 问题与解答.....	(585)
附录	(601)
一、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第1部分: 总分组(GB/T 7631.1—1987)	(601)
二、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第2部分: H组(液压系统)(GB/T 7631.2—2003)	(601)
三、内燃机油分类(GB/T 7631.3—1995)	(602)
四、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第4部分: F组(主轴、轴承和有关离合器)(GB/T 7631.4—1989).....	(604)

五、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第5部分: M组(金属加工)(GB/T 7631.5—1989)	(604)
六、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第6部分: R组(暂时保护防腐蚀)(GB/T 7631.6—1989)	(607)
七、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第7部分: C组(齿轮)(GB/T 7631.7—1995)	(608)
八、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第8部分: X组(润滑脂)(GB/T 7631.8—1990)	(609)
九、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第9部分: D组(压缩机)(GB/T 7631.9—1997)	(611)
十、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第10部分: T组(汽轮机)(GB/T 7631.10—1992)	(614)
十一、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第11部分: G组(导轨)(GB/T 7631.11—1994)	(615)
十二、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第12部分: Q组(热传导液)(GB/T 7631.12—1994)	(615)
十三、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第13部分: A组(全损耗系统)(GB/T 7631.13—1995)	(616)
十四、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第14部分: U组(热处理)(GB/T 7631.14—1998)	(616)
十五、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第15部分: N组(绝缘液体)(GB/T 7631.15—1998)	(617)
十六、润滑剂和有关产品(L类)的分类	
第16部分: P组(气动工具)(GB/T 7631.16—1999)	(617)
十七、润滑剂、工业用油和相关产品(L类)的分类	
第17部分: E组(内燃机油)(GB/T 7631.17—2003)	(618)
参考文献	(619)

第一章 内燃机油

第一节 内燃机润滑系统

内燃机润滑油简称内燃机油，亦称马达油、发动机油和曲轴箱油。内燃机油以石油或合成油为原料，经加工精制并使用各种添加剂调制而成。

内燃机油是内燃发动机重要的匹配润滑材料，广泛用于汽车、内燃机车、摩托车、施工机具、船舶等移动式与其它固定式发动机中。内燃机油是润滑油中用量最多的一类，约占润滑油总量的 50% 左右。

现代内燃机有一套完整的润滑系统。它是由油底壳、润滑油泵、粗滤器和细滤器所组成。润滑油通过管道、油泵的强制循环或通过飞溅等方法，被送到各个摩擦部位，以保证发动机的正常润滑和运转。四冲程发动机主要采用飞溅式和压力式；而二冲程发动机则采用混合润滑式。

1. 飞溅式

在飞溅润滑系统中，连杆带动曲轴旋转将润滑油从油底壳飞溅到曲轴箱的上部。当每次活塞到达下止点时，连杆下部的油匙浸入曲轴箱润滑油中，将润滑油溅起。飞溅式润滑系统大多用在小型四冲程发动机上。

2. 压力式

现在汽车发动机都是采用压力式润滑系统进行润滑的。一种典型的汽车发动机压力润滑系统见图 1-1。在压力润滑系统中，发动机的许多零部件是在压力下（由机油泵供给润滑油）进行润滑的。由机油泵来的润滑油要通过一个滤清器，然后进入油管（或一个钻孔的集油头、油槽或油道）。润滑油从主油道流到主轴承、凸轮轴承和液压气门挺杆。主轴承有供油孔或油槽，将润滑油再输送到曲轴内钻孔的通道中，润滑油就是经过这些孔道流到连杆轴承的。气缸壁是由连杆轴承甩出而溅起的润滑油进行润滑的。

在顶置气门式发动机中，润滑油在压力下输送到气缸盖上的气门机构中。

为使二冲程发动机零件得到润滑，将润滑油预先混入到燃油中或使用直接混合，可根据启动、行驶条件自动调节混合比例。当空气和润滑油与燃油的混合油雾进入到曲轴箱时，由于燃油的挥发性强而蒸发，空气和燃油的混合气将润滑油送入气缸。虽有部分润滑油随同空气燃油混合气一起被烧掉，但还有足够的润滑油留下来，从而使发动机运动部件表面保留有润滑油膜，可以得到充分润滑。

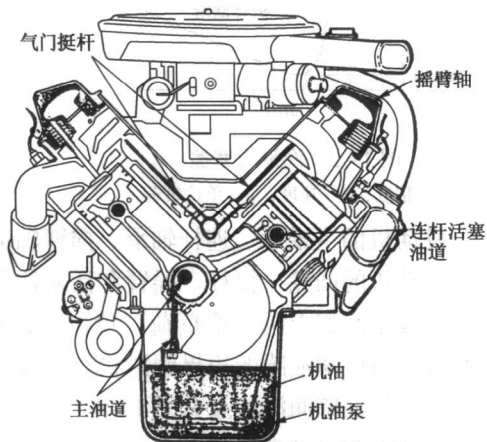


图 1-1 压力式润滑系统

摩托车采用的二冲程发动机，是将润滑油输送到化油器。在这些发动机中，润滑油不预先与汽油混合，而是与进入到化油器中的空气燃油混合气混合。该系统可根据工况计量供给润滑油，以保证发动机在全部工况下都能得到充分润滑。

第二节 内燃机油的作用

为了保证内燃发动机的正常运转，有良好的燃料经济性、较低的摩擦磨损及较长的使用寿命，内燃机油应具如下的作用。

1. 润滑与减摩作用

发动机运转时的重要摩擦部件有曲轴与主轴瓦、连杆与连杆轴瓦、活塞环与缸套、凸轮与挺杆等。上述摩擦部件接触面以高速相对运动，为了减少这些部件磨损和摩擦引起的功率损失和摩擦热，需在接触面间使用润滑油，以保持摩擦副的正常运动。

汽油机一般有 7% 的燃料能量消耗在摩擦损失上，其中活塞环与缸套间的损失占 3% 左右。柴油机有 10% 左右的燃料能量消耗在摩擦损失上。在直喷式柴油机中，活塞环与缸套的损失约占 6% ~ 7%。发动机的全部摩擦损失是机械有效功率的 30% 左右。因此，改善摩擦副的润滑状态，减少摩擦损失，对提高发动机的燃料经济性至关重要。

发动机摩擦副的润滑状态与负荷、运动速度和油品粘度有关。随着负荷增大，运动速度降低，润滑油粘度减小，润滑状态由流体润滑进入混合润滑，继而达到边界润滑，见图 1-2。润滑状态示意图 1-3。

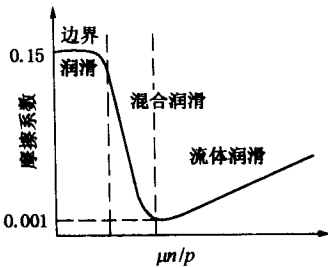


图 1-2 润滑与摩擦
 μ —粘度； n —速度； p —单位负荷

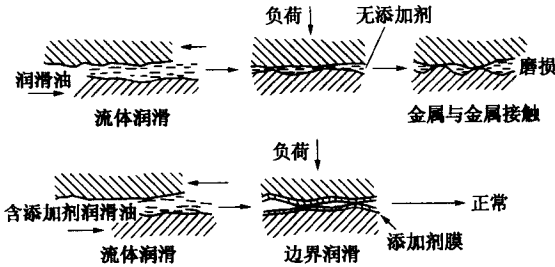


图 1-3 润滑示意图

发动机的主轴承、连杆轴承、摇臂轴承和活塞销处的润滑，一般都处于流体润滑状态。而在发动机的凸轮、挺杆、摇臂和活塞往复运动上下止点处都是处在边界润滑状态。边界润滑是在很小面积上承受重负荷，单位负荷有时可高达 1.379GPa。通常在内燃机油中加入添加剂以保持极薄油膜的边界润滑状态，减少发动机部件出现金属与金属接触的干磨损。发动机活塞—气缸壁润滑状态见图 1-4。

2. 冷却发动机部件作用

燃料燃烧后产生的热能，不能全部转变为机械能。一般内燃机的热效率只有 30% ~ 40%，其余部分除消耗于摩擦外，还使内燃机发热和通过排气而进入大气。燃料燃烧热量消耗分布如图 1-5 所示。

很多人认为冷却发动机只是通过冷却系统带走热量。事实上，冷却系统只冷却了发动机的上部——气缸盖、气缸套和配气系统，冷却系统大约带走 60% 的热量；而主轴承、连杆

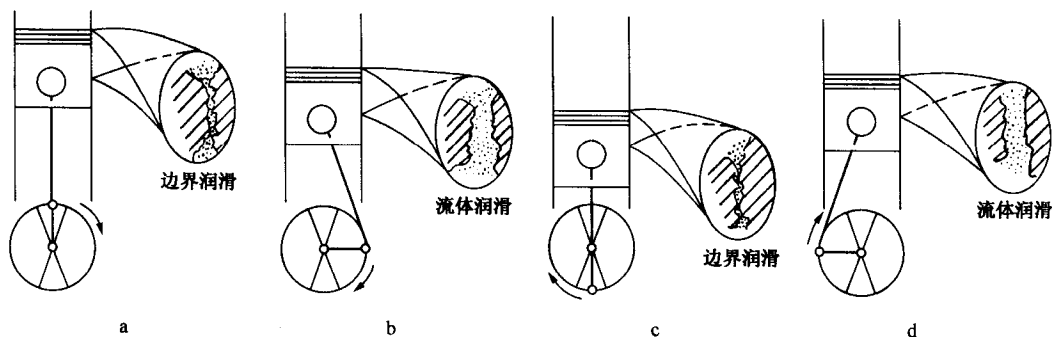


图 1-4 四冲程发动机活塞 - 气缸壁润滑状态示意图

a—上止点区；b—向下冲程中；c—下止点区；d—向上冲程中

轴承、摇臂及其轴承、活塞和其它在发动机下部的部件主要由内燃机油来冷却。所有这些部件都有规定的使用温度上限，使用中不能超过。这些部件都要足够润滑油来冷却。为了达到充分冷却作用，曲轴箱内油面不低于油尺的下限。

3. 密封燃烧室作用

活塞环与缸套、活塞环与环槽之间都有一定的间隙，而且金属表面有微小的凹凸不平。如果活塞运动时，间隙得不到密封，燃气就会通过间隙窜入曲轴箱内，燃烧室就会漏气，使燃烧室压力降低，从而降低了发动机的功率。活塞环本身不能完全防止燃气的泄漏。而内燃机油在活塞往复运动时能充满间隙凹凸不平处，起密封作用。当有些地方油膜较薄，通常小于 0.025mm 厚度时，就不能很好地防止环与环槽或缸套的磨损。在这种情况下，机油消耗因窜气而增加。对于新检修的发动机，机油消耗较高，直至这些凹凸不平处被磨光，使机油能密封住燃气为止。

4. 保持润滑部件清洁作用

内燃机油能防止油泥和漆膜的沉积，保护零部件的清洁。发动机在低温工作时，通常容易生成油泥。油泥这种沉积物是由冷凝水、聚集在曲轴箱内的灰尘、油的变质产物和不完全燃烧产物结合而形成的。油泥状物质开始颗粒很小，虽然机油滤清器不能滤去，但在发动机的摩擦副中，油泥颗粒小于油膜厚度。因此，只要保持很小颗粒和在油中分散得好，不会招致磨损和其它危害。然而，油在使用过程中由于油泥量增加，使其互相结合成为大颗粒，因此堵塞油路，破坏正常供油。

曲轴箱内生成油泥的速度与发动机运转状况有关，如发动机启动、粘环、富气、滤清器有灰尘、熄火时都能使油中的油泥量积聚加速。

现代的内燃机油中都加有清净分散添加剂，这些物质能使油泥和其它污染物分散成很细小的颗粒，悬浮在油中，从而保持发动机部件的清洁。

在发动机关键部件上不允许有过量的油泥和漆膜沉积物。油泥沉积在油泵的滤网上，破

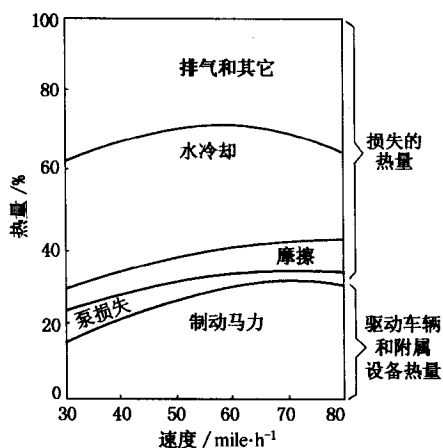


图 1-5 燃料燃烧热量消耗分布

1 mile = 1609.344 m

坏正常供油量，其结果会加快零部件的磨损。活塞环积聚漆膜会发生粘环，影响发动机功率的发挥。生成的油泥堵塞油环，使气缸塞上的润滑油过多地被刮掉，其结果使油耗增加。

内燃机油对生成的油泥、漆膜以及磨损的金属、空气带进的尘埃等具有清洗作用，并将其带走，经过粗、细滤清器，将有害物质除去，从而保证发动机的正常运行。

5. 防锈和抗腐蚀作用

发动机的腐蚀来源于水、酸、空气和润滑油的氧化产物。这些有害物质能促使活塞环、缸套和轴瓦金属的腐蚀。水来源于燃料的燃烧产物，硫酸是燃料中硫的氧化产物，盐酸和氢溴酸是含铅汽油铅携出剂的燃烧产物。

内燃机油在发动机的润滑过程中，由于温度、空气、金属等影响，自身也会氧化生成具有腐蚀作用的酸性物质。

对于锈蚀来说，水是个主要因素。每升燃料在发动机里燃烧生成 1 升以上的水。在寒冬发动机冷启动，虽然大多数水以蒸汽形式排出，但仍有一些水凝结在气缸壁或经过活塞环进入曲轴箱，由于水的作用而使发动机部件生锈。

内燃机油具有防锈和防腐蚀作用。在内燃机油中加入具有防腐和防锈作用的添加剂，使油品具有中和酸和增溶酸的能力，以及油品抗氧化和防锈能力，从而使内燃机油具有良好的防锈和防腐蚀作用。

第三节 内燃机油的性能

1. 粘度和粘温性能

由于发动机在使用过程中，操作温度将从环境温度 -40°C ，到油槽温度 100°C ，再到活塞顶下面的峰值 300°C ，内燃机油需要同时经受高、低温的考验。而内燃机油粘度是温度的函数，因此粘度是内燃机油的一项重要指标，是发动机在任何润滑点上所形成承载膜的一个量度。内燃机油的粘度分为运动粘度 (Viscosity)、低温动力粘度 (CCS)、低温泵送粘度 (MRV)、高温高剪切粘度 (HTHS)。分别模拟了油品在高温、低温、高剪切、低剪切速率下的流动性能。

运动粘度是油品在重力作用下流动时内部阻力的量度，内燃机油中一般测试 40°C 和 100°C 的运动粘度。运动粘度是发动机选油的一个重要指标，合适的粘度可以使油品保持合适的油膜强度，在高低温下都能起到润滑作用；而过高的粘度，又使发动机运动过程中摩擦损失增大，造成燃料的能量损失，影响燃料经济性指标；在启动过程中，摩擦表面还得不到及时润滑，就会使磨损大大增加。而粘度太小，润滑表面油膜容易破坏，密封作用不好，不但使机油耗量增大，也容易使摩擦表面产生磨损。

油品的粘度指数则是运动粘度随着温度变化的一种性能，在内燃机油的测试过程中，一般通过 40°C 和 100°C 运动粘度的数值，可知油品的粘度指数。粘度指数越高，油品运动粘度随着温度变化越小，见图 1-6。这对于内燃机油在高低温下保持一定的油膜较为有利。单级油粘度指数一般在 $90 \sim 105$ ，多级油中加入了粘度指数改进剂，粘度指数一般在 $120 \sim 180$ 之间，具有较高的粘度指数，这对于保证油品在高低温下都保持良好的润滑状态是非常有利的。图 1-6 表示了内燃机油粘度随温度的变化。

润滑油周围阻止它流动的机械作用，代表了它的剪切速率。如果润滑油流动的速度增加，或者润滑油流过的截面积变小，其剪切速率就会升高。运动粘度中没有考虑到剪切速率

的因素。但是，一旦机械零件发生运动，就会存在剪切速率，发动机高速运转过程中必然存在剪切速率，为此在内燃机油中引入动力粘度概念，动力粘度中考虑了温度和剪切速率的影响。

CCS 又称冷启动模拟器，模拟发动机油在低温高剪切速率下的动力粘度，CCS 数值与发动机曲轴在低温下启动的性能有很好的相关性。如果在发动机启动温度较低的冬季或寒区，内燃机油在启动温度下太粘稠，将使运动部件滞动，使发动机曲轴转动达不到启动的转速而启动不了。因此选择内燃机油时就必须考虑低温动力粘度，CCS 是多级油的一个重要指标，不同粘度等级的油品确保油品在不同低温下具有良好的启动性能。

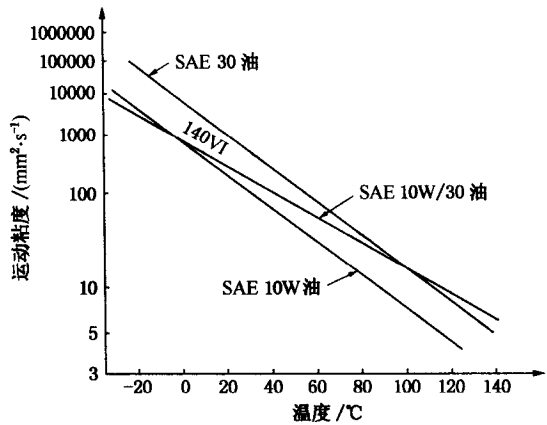


图 1-6 内燃机油粘-温图

MRV 又称微转筒粘度计，同时测量边界泵送温度和低温表观粘度，利用这种粘度计可衡量发动机油的可泵送性，其测试温度比进行 CCS 测量时低，此时剪切速率低，模拟了内燃机油在低温低剪切速率下的粘度性能。为确保发动机中正常的油循环，在冬季或寒区使用的发动机油必须考虑油品的 MRV 数值，不同粘度等级的多级油可以满足不同温度下的使用要求。另外，为确保内燃机油在使用过程中保持一定的低温泵送性，目前在高档内燃机油中已经规定在程序 III G、MACK T-10 台架试验后，MRV 的数值也要满足指标要求。

HTHS、TBS(锥形轴承模拟器) - RAVENFIELD 粘度计，测试油品高温高剪切动力粘度，测量时剪切速率非常高，温度也高达 150℃，因此模拟了内燃机油在高温高剪切作用下的流动性能，确保发动机部件在高温下不被磨损。

2. 清净分散性能

清净分散性好的内燃机油能抑制氧化胶状物和积炭的生成，并能将其悬浮在油中，使其不易沉积在润滑机件上。而且对沉积在机件上的沉积物能洗涤下来，悬浮在油中。最后通过滤清器把它除掉，这样就减少活塞上漆膜和积炭生成倾向。

清净分散剂是通过胶溶(Peptizing)作用、增溶作用(Solubilization)和酸中和作用来抑制或减少各种内燃机油沉积物的。

① 胶溶作用主要是指清净分散剂吸附于烟灰、积炭和油泥表面使其不致聚集，而保持分散、胶溶或悬浮状态，从而抑制或减少它们形成沉积物的倾向。

金属清净剂吸附于较小颗粒(0~20nm)上形成长链烃基的吸附膜防止凝聚。

无灰分散剂的作用在于分散剂分子与颗粒(0~50nm)键结合成厚膜防止凝聚。

② 增溶作用主要是指它们可使润滑油氧化及燃料不完全燃烧所生成的非油溶性胶质增溶解于油内。一般认为是由无灰分散剂与上述非油溶性胶质形成胶团，即分散剂分子将胶质包围在胶团内。

③ 酸中和作用有两方面。其一为中和润滑油氧化和燃料不完全燃烧所生成的酸性氧化物或酸性胶质，使其失去活性，变为油溶性，而难以再缩聚成为漆膜沉积物。其二为中和含硫燃料燃烧后生成的 SO_2 、 SO_3 及其后生成的硫酸，以抑制其促进氧化生成沉积的作用。

内燃机油的清净分散性是一个综合的复杂性能。以上三方面的作用机理基本上概括了清净分散剂的主要作用。

3. 抗氧化性能

内燃机油在使用条件下，由于温度、空气及金属的催化作用，油品往往容易氧化变质。油品氧化后生成酸性化合物，易腐蚀发动机机件。氧化产物又将进一步氧化缩合生成大分子胶质和沥青物质，使油品粘度增大影响正常使用。

在传统的内燃机油配方中使用二烷基二硫代磷酸锌(ZDDP)及其它抗氧剂来改善内燃机油的抗氧化性能。但是随着排放法规的日益严格，对硫含量、磷含量不断限制，采用酚型、胺型等抗氧剂来提高油品的抗氧化性能。

在高温操作中，机油中烃类化合物与空气中的氧结合生成各种复杂的物质。这些物质由于发动机的烘烤最终变成一种硬树脂状、类似漆膜的物质从油中析出。

现代发动机油从三方面提高油品的抗氧化性能，生成最少的漆膜。

- ① 改进炼制工艺，从油中除去原料油中能生成漆膜的物质。
- ② 小心选择抗氧剂(化学添加剂)，阻止或延缓氧化过程。
- ③ 选用清净分散剂，能在很大程度上减少胶质和漆状物在发动机主要部件上积聚。

4. 抗磨性能

内燃机油的抗磨性能与油品的粘度与粘温性能、清净分散性及抗腐蚀等性能有关。影响抗磨性能的主要因素是在发动机工作条件下，润滑油在金属表面保持油膜能力，良好的润滑性能保证机件的可靠润滑，避免机件的磨损。否则发动机负荷增大时，油膜被破坏，从而造成干摩擦，引起机件摩擦表面的磨损和擦伤，甚至出现烧结。

5. 油耗和对排放系统的保护

近年来，随着排放法规的日益严格，发动机技术不断改进，为降低排放而运用的先进技术有氮氧化物 NO_x 吸收转化器、氧化催化转化器、微粒收集器、废气再循环系统(EGR)、延迟点火或喷油时间、多气门技术、高喷射率并延迟喷射、进气自动调温装置等等，这些技术的发展对润滑油提出了新的要求，限制了硫、磷含量；内燃机油组成可对 NO_x 、微粒物质排放产生一定影响；低挥发性的润滑油还可以减少润滑油的排放和油耗。因此，在近几年的润滑油规格中，对润滑油的挥发性能，硫、磷含量进行了新的规定，在高档汽油机油中甚至提出了 SAPS 的要求，即降低硫含量(S - Sulfur)，降低硫酸盐灰分(A - Sulfate Ash)，降低磷含量(P - Phosphorus)。

6. 燃料经济性

随着世界范围内对排放、节能的日益重视，发动机润滑油对燃料经济性的影响也引起了业界的重视。据统计，世界范围内由于摩擦磨损而引起的能量损失占整个能耗的 1/2 到 1/3，因此提高润滑油的品质，减少发动机的摩擦磨损对节约能源有重要的意义。内燃机油对发动机节能的影响，主要体现在粘度和油品的摩擦性能。在发动机节能试验程序 VI - A 中，内燃机油的燃料经济性用下式表示：

$$FEI = 6.238 - 1.697 \eta_{150} - 4.05 \mu_{100}$$

式中 FEI ——内燃机油的燃料经济性；

η_{150} ——机油在 150°C ， 10^6s^{-1} 下的动力粘度；

μ_{100} ——机油在 100°C 下的摩擦系数。

从上式可以看出，内燃机油的粘度越低，内燃机油的摩擦系数越小，发动机的燃料经济

性越好。

7. 其它性能

在内燃机油的发展过程中，一些性能也不断得到重视，并在规格中加以体现。如内燃机油的烟灰分散性能、高温抗泡性能、抗剪切性能、凝胶性能、过滤性能、橡胶相容性、高温沉积物的控制性能等，以适应不断发展的汽车新技术、新材料的需求。

第四节 内燃机油的组成

内燃机油由基础油和各类添加剂组成。

1. 基础油

内燃机油基础油可以使用烃类原油经过石油炼制、精制、加氢异构化而成的天然矿物基础油，也可以使用烯烃合成油、酯类油等。国内石蜡基大庆基础油是一种比较适宜于调制内燃机油的基础油，但是近几年大庆原油开采量日益减少，国内内燃机油的需求量已经高达3000kt/y，内燃机油基础油的油源也在不断扩大。另外，随着内燃机油规格的发展，对基础油的要求越来越高，基础油的加工工艺也在不断进步。

(1) 基础油分类

国际上一般采用美国石油学会(API)对基础油的分类标准。

表 1-1 API 基础油分类

项 目 \ 规 格	基础油 API 规格				
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
粘度指数(VI)	80~120	80~120	>120	聚 α- 烯烃	酯类或除 I ~ IV 类外
饱和烃/%	<90	≥90	≥90		
硫/%	>0.03	≤0.03	≤0.03		

从表 1-1 可以看到，API 对基础油分为 5 类，其主要依据为粘度指数、饱和烃和硫含量。其中 I 类基础油中饱和烃和硫含量是一个选择关系，只要满足其中一种指标，就属于 I 类基础油。而 II 类和 III 类基础油必须满足其规定的 3 个指标。该基础油标准没有规定基础油的种类、原油品种、加工工艺和加工深度，仅从基础油的 3 个指标进行了分类。事实上，I 类基础油一般是由溶剂精制加工工艺生产，II 类基础油一般采用加氢精制工艺生产，III 类基础油则要采用加氢异构工艺生产，IV 类油则是合成基础油。不能满足上述四类标准的基础油，包括酯类油都归为 V 类基础油。

我国于 20 世纪 50 年代在兰州建成完整的润滑油基础油溶剂精制加工工艺，从此，溶剂精制工艺成为了中国润滑油基础油加工工艺的主导，并形成了满足我国当时润滑油品质需求的系列基础油，并于 1995 年颁布中国基础油规格企业标准(Q/SHR 001—95)，可参考表 1-2。

表 1-2 国内基础油标准(Q/SHR 001—95)

项 目 \ 规 格	基础油 Q/SHR 001—95 行业标准				
	LVI	MVI	HVI	VHVI	UHVI
粘度指数(VI)	<40	≥40	≥90	≥120	≥140
饱和烃/%	无要求				
硫/%	报告				