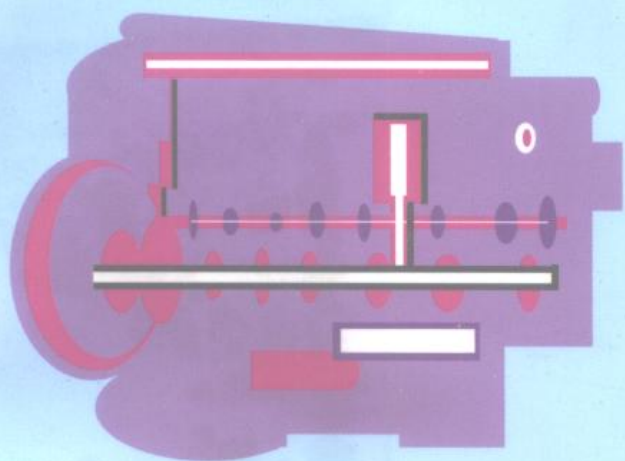


机械设备用油技术丛书



内燃机润滑与用油

许汉立 方之昌 编著

中国石化出版社

437284

机械设备用油技术丛书

内燃机润滑与用油

许汉立 方之昌 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是《机械设备用油技术丛书》的一个分册,对内燃机构造及其润滑、摩擦磨损的机理作了详细论述,并对内燃机润滑油的性能特点作了叙述。分别对汽油机、柴油机、二冲程汽油机、船舶内燃机和铁路内燃机车柴油机等润滑、油品评定及选用方法作了详细论述。还对燃料对润滑的影响进行了分析。

本书可供从事内燃机设计、制造及油品研制、内燃机使用及维护等方面的技术人员和大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机润滑与用油/许汉立,方之昌编著.-北京:中国石化出版社,1997

(机械设备用油技术丛书) ISBN 7-80043-644-6

I. 内… II. ①许…②方… III. ①内燃机-润滑②③内燃机-润滑油 IV. TK407.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 14010 号

*

中国石化出版社出版发行
地址:北京市东城区安外大街 58 号
邮编:100011 电话:(010) 64241850
石油物探局制图厂排版
北京海丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 18.25 印张 410 千字 印 1-3000
1997 年 8 月 北京第 1 版 1997 年 8 月 北京第 1 次印刷
定价:24.00 元

目 录

第一章 内燃机润滑与摩擦磨损	(1)
第一节 内燃机种类与工作特点	(1)
第二节 内燃机的摩擦磨损和润滑机理	(5)
一、摩擦	(6)
二、磨损	(8)
三、润滑	(12)
第三节 内燃机润滑系统和润滑方式	(19)
一、功能和设计要求	(19)
二、润滑方式	(20)
第四节 活塞组和气缸的润滑与磨损	(23)
一、概述	(23)
二、活塞环的流体动力润滑	(24)
三、活塞环和气缸的磨损	(26)
第五节 轴承的润滑和磨损	(30)
一、内燃机轴承的工作特点	(32)
二、内燃机主要轴承上的负荷	(33)
三、内燃机轴承的主要损坏形式	(36)
四、内燃机轴承的润滑	(37)
第六节 配气机构的润滑和磨损	(39)
一、凸轮和随动件	(41)
二、凸轮轴和轴承	(42)
三、摇臂和摇臂轴	(42)

四、气门杆和摇臂及气门导管	(42)
五、气门和气门座	(43)
第二章 内燃机润滑油	(44)
第一节 内燃机润滑油作用	(44)
一、润滑与减摩	(44)
二、冷却发动机部件	(47)
三、密封燃烧室	(49)
四、保持润滑部件清洁	(50)
五、防锈和抗腐蚀	(51)
第二节 内燃机油分类	(53)
一、内燃机油使用分类	(53)
二、内燃机油质量分类	(54)
三、内燃机油粘度分类	(64)
第三节 内燃机油组成	(65)
一、内燃机油基础油	(65)
二、内燃机油添加剂	(79)
第四节 内燃机油特性和应用	(89)
一、内燃机润滑油性能	(89)
二、内燃机润滑油应用	(103)
三、内燃机油使用过程中的变质	(105)
四、内燃机油换油期与换油指标	(106)
第三章 汽油机润滑与用油	(108)
第一节 汽油机的工作与润滑	(108)
第二节 汽油机的燃烧与燃料	(115)
一、汽油机的燃烧介质	(115)
二、汽油机对汽油性能要求	(119)
三、汽油对发动机润滑油的影响	(126)

四、汽油牌号及汽油添加剂·····	(130)
第三节 汽油机油组成与性能·····	(133)
一、汽油机油的组成·····	(134)
二、汽油机油的性能·····	(141)
第四节 汽油机油品种、规格与模拟评定·····	(168)
一、汽油机油品种与规格·····	(168)
二、汽油机油模拟评定方法·····	(183)
第五节 汽油机油发动机台架评定·····	(197)
一、内燃机润滑油清净性测定方法·····	(199)
二、SC 级汽油机油性能评定法 ·····	(200)
三、SD 级汽油机油性能评定法 ·····	(204)
四、SE、SF 级汽油机油性能评定 ·····	(208)
五、SG、SH 级汽油机油性能评定 ·····	(219)
六、内燃机油的燃油经济性评定·····	(223)
第六节 汽油机油使用性能、质量衰变和换油期 ·····	(228)
一、汽油机油使用过程的质量衰变·····	(228)
二、汽油机油使用过程质量检测与换油期·····	(237)
第四章 柴油机润滑与用油·····	(238)
第一节 柴油机的工作与润滑·····	(238)
第二节 柴油机工作与燃料·····	(245)
一、柴油机的燃烧介质·····	(245)
二、柴油机对柴油性能的要求·····	(248)
三、柴油对发动机润滑的影响·····	(255)
四、柴油的组成及添加剂·····	(257)
五、柴油的牌号、规格标准·····	(260)
第三节 柴油机油组成与性能·····	(262)

一、柴油机油组成	(262)
二、柴油机油性能	(279)
第四节 柴油机油品种、规格与模拟评定	(294)
一、柴油机油的品种与规格	(294)
二、柴油机油模拟评定试验	(310)
第五节 柴油机油的发动机台架评定	(333)
一、CA 级柴油机油 1105 单缸机评定法	(334)
二、CC、CD 级柴油机油的评定	(336)
三、CE、CF—4 级柴油机油台架评定	(342)
四、CD-Ⅱ、CF-Ⅱ 级柴油机油台架评定	(351)
五、CG ₄ 柴油机油台架评定	(355)
第六节 柴油机油使用性能、质量衰变和换油期	(357)
一、柴油机油润滑油衰变过程	(357)
二、柴油机油整机使用试验	(360)
三、柴油机油道路试验、质量检验与换油期	(368)
第五章 二冲程汽油机润滑与用油	(373)
第一节 二冲程汽油机的工作与润滑方式	(373)
第二节 二冲程汽油机油性能、品种、规格	(378)
一、二冲程汽油机油性能	(378)
二、二冲程汽油机油品种规格	(387)
第三节 二冲程汽油机油的发动机评定	(391)
一、L-ERA 二冲程汽油机油的评定	(394)
二、L-ERB 二冲程汽油机油的评定	(398)
三、L-ERC 二冲程汽油机油的评定	(404)
四、TSC-4 二冲程汽油机油评定简述	(408)
五、ASTM TC 风冷二冲程汽油机油的评定	(419)

六、NMMA TC-W II 水冷二冲程汽油机油的评定	(411)
七、NMMA TC-W3 水冷二冲程汽油机油的评定	(413)
第四节 二冲程汽油机油的应用	(417)
一、摩托车发动机台架试验	(418)
二、摩托车及舷外发动机应用试验	(422)
第六章 船舶内燃机的润滑与用油	(425)
第一节 船舶内燃机的构造特点与润滑	(425)
一、十字头型低速发动机	(428)
二、燃烧重质燃料的中速机	(435)
第二节 船用发动机燃料油	(437)
一、船用发动机燃料油分类及产品规格	(437)
二、残渣燃料的特性及组成	(440)
第三节 船用润滑油	(445)
一、船用润滑油的性能	(445)
二、船用润滑油的组成与规格	(468)
第四节 船用润滑油的分析评定	(477)
一、气缸油的分析评定	(477)
二、中速机油和系统油的分析评定	(487)
第五节 船用润滑油的应用	(494)
一、气缸油的应用	(495)
二、中速机油与系统油的应用	(501)
第七章 铁路内燃机车柴油机润滑与用油	(504)
第一节 铁路内燃机车柴油机的构造特性	(504)
第二节 内燃机车柴油机油与燃料	(507)
第三节 铁路内燃机车柴油机油的发展与性能	(508)

一、铁路柴油机油的发展与分代·····	(508)
二、铁路柴油机油性能·····	(511)
第四节 铁路柴油机油评定方法·····	(515)
一、铁路柴油机油的模拟试验·····	(515)
二、铁路柴油机油的发动机试验·····	(519)
三、铁路内燃机车行车试验·····	(521)
第八章 其他内燃机的润滑与用油·····	(529)
第一节 陶瓷发动机与润滑油·····	(529)
第二节 转子发动机与润滑油·····	(532)
第三节 气体燃料发动机与润滑油·····	(534)
第四节 醇燃料发动机与润滑油·····	(539)
第五节 燃气轮机与润滑油·····	(545)
第九章 内燃机及其润滑油的发展趋势·····	(548)
第一节 国内外内燃机的发展趋势·····	(548)
一、汽油机的发展趋势·····	(549)
二、柴油机的发展趋势·····	(552)
第二节 国内外内燃机润滑油的发展趋势·····	(553)
一、汽油机油的发展动向·····	(553)
二、柴油机油的发展动向·····	(557)
三、铁路内燃机车机油的发展趋势·····	(560)
四、二冲程汽油机油的发展趋势·····	(561)
五、国内内燃机油发展趋势·····	(562)

第一章 内燃机润滑与摩擦磨损

第一节 内燃机种类与工作特点

内燃机是指燃料在发动机内部燃烧的热力发动机，所供给的燃料是在其内部进行准备、燃烧并直接转换成机械能。因此它与那些从外部锅炉中吸收燃料能量的所谓外燃机，以及从电网中得到能量的电动机是不同的。

内燃机在广阔的技术领域内占有突出的地位是与它的一系列特点分不开的。这些特点决定了它在一定的范围内长期处于不败之地。例如陆、海、空交通运输业，除了少数铁路机车和大型船舶外，始终采用内燃机。农业和工程机械离不开内燃机。中小型发电站将内燃机作为应急发电机组、高峰发电机组。国防上的坦克、装甲车、摩托车、各种轻型舰艇、重武器的牵引车中内燃机几乎是唯一的动力。那么，内燃机到底有些什么特征能使它长期的有如此稳固的地位呢？

首先，内燃机通常使用的液体燃料使用和运输都十分方便。液态碳氢化合物的热值很高，所以内燃机只需带有体积相对较小的贮油箱就能运行较长时间，这个特点在交通运输业中尤为显著。

其次，内燃机对维护保养的要求不高。例如在汽车上，目前除了定期更换机油和一些电气系统的触点与火花塞外，对于内燃机来说几乎没有什么特别的地方需要维护保养，所以使用十分方便。同时内燃机的起动也十分容易。

此外，很重要的一点是内燃机的结构和外形有很大的灵活性。因为气缸可以根据需要任意布置，这也促使内燃机有广泛的使用场合，如航空用的星形排列内燃机就是一个典型的例子。

特别重要的是内燃机具有很高的热效率，它是任何其他热机都无与伦比的，特别是增压柴油机的有效热效率已达到46%。这在燃料短缺的形势下更具有深远的意义。内燃机的发展是同炼油工业密切相关的。

内燃机的工作原理是：在化油器式的内燃机中，燃料随空气一道吸入，而在汽油喷射内燃机和柴油机中，燃料则喷入进气管或气缸。进入气缸的燃料在奥托（Otto）循环内燃机中，依靠外源（火花塞）点火；而在狄塞尔（Diesel）循环内燃机中，则依靠压缩着火，燃烧过程一般在压缩终了的上止点前即已开始。它所释放出来的化学能将充量加热到2000~2500K的温度，导致气缸内气体压力急剧升高；最高燃烧压力（或称最大爆发压力）可达5~10MPa。气缸中的压力在推动活塞下移作功的过程中逐渐降低，气体的推力经活塞和连杆推动曲轴旋转输出有效功率。在燃烧结束废气排出，新鲜充量重新进入气缸以后，开始下一次的压缩过程。

上述包括充量更换和着火燃烧在内的整个过程称为工作循环。在往复活塞式内燃机中，一个工作循环可以在曲轴旋转一周或两周内实现。曲轴旋转一周完成一个工作循环的叫做二冲程内燃机，在这种内燃机中，充量更换在活塞行至下止点附近时进行，通过气孔或气门来实现，见图1-1。因此，当活塞再次上行时，气缸内已存在一定量的新鲜充量，因而可以保证曲轴每旋转一周实现一个工作循环。

曲轴旋转两周完成一个工作循环的叫做四冲程内燃机，

见图 1-2。在这种内燃机中，用于充量更换的时间要比二冲程内燃机长得多，燃烧后的废气不仅在排气门开启初期，在气缸压力作用下迅速排至排气管，并在排气后期受到新鲜充量的清扫（这两点与二冲程内燃机相似），而且还有一个专门的排气冲程，利用上行的活塞将气缸内的废气尽可能排除干净。排气冲程结束后，只是在压缩容积中还存在残余废气；而在增压四冲程内燃机中，增压空气还能对这部分残余废气进一步起清扫作用。在四冲程内燃机中，当活塞下行时，完成进

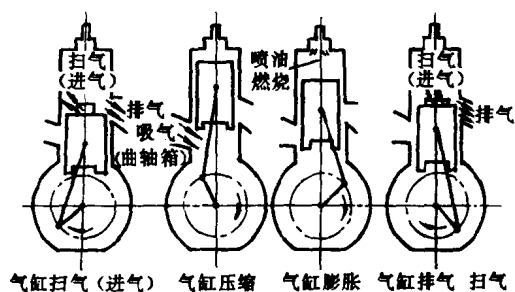


图 1-1 二冲程内燃机工作循环示意图

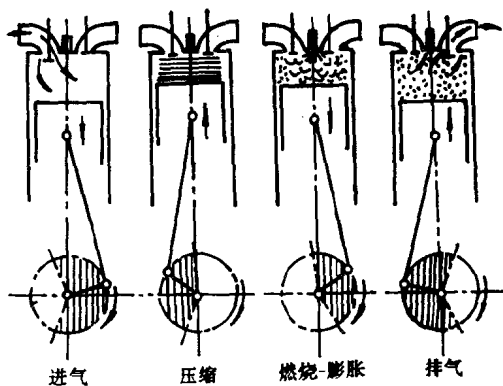


图 1-2 四冲程内燃机工作循环示意图

气冲程，新鲜充量进入气缸，因而当下次压缩冲程开始前，气缸中已充满了比二冲程内燃机“纯净”得多的新鲜充量，这是四冲程内燃机的一个重要优点。但是另一方面，由于有专门的进排气冲程，四冲程内燃机每个工作循环所持续的时间也较长，即曲轴要旋转两周才有一次作功冲程，这意味着在转速相同、气缸压力变化过程相同的情况下，四冲程在单位时间内输出的功只有二冲程内燃机的一半，这正是四冲程内燃机的缺点。这是目前二冲程和四冲程内燃机能同时存在的原因。

内燃机的种类，按所用燃料分，有柴油机、汽油机、燃气内燃机等。按一个工作循环的冲程数分，有四冲程和二冲程内燃机。按气缸冷却方式分，有水冷和风冷内燃机。按燃料在气缸内着火性质分，有压燃式和点燃式内燃机。按气缸排列分，有直列式和卧式、V型、星型和X型等内燃机。按转速和活塞平均速度分，有高速、中速和低速内燃机。按气缸数目分，有单缸和多缸内燃机。按用途分，有农用、汽车用、工程机械用、拖拉机用、内燃机车用、船用、固定用、发电用等内燃机。按是否增压分，有增压和非增压（自然吸气）内燃机。种类繁多，但都是将燃料的化学能，通过燃烧转化为热能，再转变为机械能的热力机械。

内燃机同一般机械一样，有各种轴和轴承、活塞和气缸、凸轮和推杆、齿轮、阀等摩擦副。为保证这些摩擦副能良好而持久地工作，就必须考虑到它们的耐磨性能和润滑措施。但是，同其他机械相比，内燃机的润滑有其特殊性，也就是说有以下一些特点。

(1) 现代内燃机总的要求是在体积小、重量轻的前提下发出更大的功率，因此摩擦副的单位面积上承受的负荷量

很大。

(2) 除了摩擦热之外，还要受到燃烧热量的影响，因此摩擦副的温度很高。

(3) 在燃烧室里生成的燃烧产物会腐蚀金属，也会促进润滑油的变质。同时，燃油和润滑油及其中的某些添加剂在燃烧时产生沉积物，积集在活塞上，会起促进磨损的作用。

(4) 一些作往复运动的零件，如活塞、气门等，它们的运动速度在上、下止点处瞬间变为零，使此处油膜形成困难。

(5) 燃烧室内及其周围难以充分提供润滑油。

(6) 对于一些温度很高的内燃机零件，由于热膨胀和热变形，会使间隙变化而卡死。

(7) 吸入的空气中，虽经过空气滤清器，仍不免有灰尘、盐分等有害物质而加速磨损。

(8) 由于振动、冲击负荷和压力的急剧变化，有时会产生气蚀现象。

(9) 内燃机的各部位对润滑油的性能要求是不同的，例如活塞上部温度很高，要求润滑油能耐高温；曲轴和轴承间受冲击负荷，要求润滑油有合适的粘度；而对齿轮和凸轮机构则要考虑边界润滑性能。但是，对大多数内燃机来讲，发动机内只能用一种润滑油，因此它必须满足多种性能要求。

由于内燃机的这些特点，在考虑内燃机的润滑和磨损性能时，必须与一般机械区别对待。但是内燃机还是遵循摩擦、磨损和润滑机理的共同规律。

第二节 内燃机的摩擦磨损和润滑机理

摩擦学 (Tribology) 是一门新兴学科，它是研究相对运

动的接触表面以及与其相关的科学和技术的总称。具体地说，是研究摩擦、磨损和润滑中的物理学、化学、材料学以及应用力学等的综合学科。本节概述摩擦学中与内燃机有关的一些基本内容。

一、摩 擦

两个相互接触的物体，在接触表面间产生阻止物体相对运动的现象，称为摩擦。由于摩擦而产生的阻力称为摩擦力。

在机械运动中，发生相对运动的零件或部件统称为摩擦副。例如内燃机中轴和轴承、活塞组和气缸套、凸轮和随动件、气门杆和气门导管等都构成摩擦副。

有摩擦存在，必然同时存在摩擦阻力、摩擦热和磨损三个现象，因此产生下列不良效果。

(1) 消耗大量能量。由于要克服摩擦阻力，必然要消耗大量的能去做功，这个摩擦阻力包括外摩擦（摩擦副间）和内摩擦（润滑油膜内部）。对于内燃机来讲，降低了燃油经济性。

(2) 产生热量。根据能量守恒定律，克服摩擦阻力而消耗的那部分能量必然会转变为热能，如果不及时的散发出去，零件的温度会愈来愈高，结果会降低机械强度，甚至产生热变形、热疲劳、间隙减小而磨损、卡死，造成内燃机损坏。

(3) 摩擦副的磨损。过早的磨损，使得内燃机寿命缩短，或者间隙变大，燃烧压力降低，振动和噪音加大，燃烧不完善。

根据内燃机中各种摩擦副运动形式不同，摩擦可分为滑动摩擦和滚动摩擦。当接触表面相对滑动（或具有相对滑动趋势）时的摩擦，叫做滑动摩擦，如曲轴主轴颈和主轴承，连

杆轴颈和连杆轴承，活塞组和气缸套等。物体在力矩作用下沿接触表面滚动时的摩擦，叫做滚动摩擦，如滚珠或滚柱轴承中滚珠或滚柱在座圈中的滚动时即为滚动摩擦。内燃机中的齿轮传动和凸轮工作时，兼有上述两种摩擦。

从摩擦表面的润滑情况来看，摩擦又可分为：

(1) 干摩擦 物体表面无任何润滑剂存在时的摩擦，称为干摩擦，也称固体摩擦。纯粹的干摩擦在内燃机中很少存在，因为各个摩擦副中或多或少会有润滑剂的。

(2) 流体摩擦 两物体表面被润滑油膜完全隔开时的摩擦，称流体摩擦，也即流体润滑。在内燃机中，为润滑油供应充足时的理想状态。此时摩擦发生在界面间的润滑油膜内，它可以有效地降低零件磨损，延长使用寿命，又因为润滑油分子间的摩擦系数远小于摩擦副间的直接摩擦系数，故显著降低了功率消耗。

(3) 边界摩擦 两物体表面被一种具有分层结构和润滑性能的边界膜分开时的摩擦，称边界摩擦，也即边界润滑。这种边界膜是润滑剂的极性分子吸附在摩擦表面上。一般当内燃机在高温或低速运转时产生这种情况。边界摩擦普遍存在于滑动轴承、气缸和活塞环、凸轮和随动件等处。相对于干摩擦来说，边界摩擦具有较低的摩擦系数，能有效减少零件磨损，提高承载能力。

(4) 混合摩擦 半干摩擦和半流体摩擦都叫做混合摩擦。半干摩擦是指在摩擦表面上同时有干摩擦和边界摩擦。半流体摩擦是指在摩擦表面上同时有流体摩擦和边界摩擦。混合摩擦在内燃机的各摩擦副中普遍存在，特别是象活塞、活塞环、气缸套、气门和气门导管等处，由于受高温燃气的影 响，这些零件的温度都很高，其间的润滑油温度也随之上升，使

润滑油的粘度下降，油膜因而变薄，从而出现混合摩擦。

二、磨 损

两个相互接触的物体作相对运动时，物体表面的物质不断转移和损失，这种现象称为磨损。大部分的磨损现象是摩擦的结果。可以说有摩擦存在必然会产生磨损，只是要尽量减少磨损。

内燃机零件的正常运行的磨损过程一般分为三个阶段，见图 1-3。

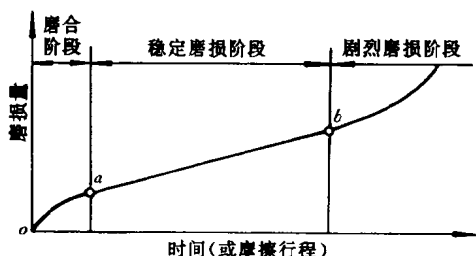


图 1-3 磨损量与时间的关系

（1）磨合阶段：新的磨擦副表面具有一定的表面粗糙度，这时真实接触面积较小。磨合阶段可以使表面逐渐磨平，真实接触面积逐渐增大，磨损速度变慢，见图 1-3 中的 $o \sim a$ 段。通过人为的磨合阶段的轻微磨损，为正常运转的稳定磨损创造条件。内燃机一般都要选择合理的磨合规程，采用适当的摩擦副材料和加工工艺，使用良好的磨合油可以缩短磨合周期。

（2）稳定磨损阶段：这一阶段磨损缓慢而且稳定，如图中的 $a \sim b$ 段。在这磨损量与时间的关系曲线图上，这一线段的斜率通常是不变的，说明磨损速度不变，磨损稳定。通常机械的寿命长短就是指这一阶段时间的长短。

（3）剧烈磨损阶段：经过较长时间的稳定磨损后，摩擦副表面之间的间隙和表面形状有了改变，并产生了疲劳磨损，