

汽车润滑入门

〔日〕星 满 编著

机 械 工 业 出 版 社

汽车润滑入门

〔日〕星 满 编著

于连臣 吴关昌 译
武善谋 校



机械工业出版社

本书是介绍摩擦学在汽车上应用的一本入门读物。主要内容有：内燃机摩擦技术的现状，摩擦、磨损的机理，内燃机的摩擦损失及其零件的摩擦学，最佳摩擦材料，润滑油，内燃机污染以及内燃机今后的发展动向等。

本书通俗易懂，切合实际。不但对工人，初级技术人员有很大的实用价值，对设计人员和大专院校师生也有一定参考价值。

自動車の潤滑入門

星 満 編著

昭和 54 年 6 月 15 日 初版発行

株式会社 山海堂

・ * * *

汽车润滑入门

〔日〕 星 满 编著

于连臣 吴关昌 译

武善谋 校

*

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街 27 号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $7 \frac{1}{4}$ · 字数 157 千字

1984 年 2 月北京第一版·1984 年 2 月北京第一次印刷

印数 00,001-10,000 · 定价 0.92 元

*

统一书号：15033·5592

前 言

目前，内燃机作为基本的动力，广泛用于汽车、飞机、船舶、发电、铁道运输以及通用动力等方面。对现代社会来说，内燃机是必不可少的。

特别是汽车用内燃机，由于大量普及而对社会产生很大的影响。这些影响有可能直接发展成为社会问题。

过去，内燃机的发展趋势一直是高速、大功率化，由此带来了内燃机各滑动面的摩擦、磨损和机油温度升高等问题，使润滑状态逐渐更加苛刻。所以润滑已成为内燃机发展中的一个很关键的问题。

滑动面的润滑状态、滑动速度和许用比压等用理论方法来决定是非常困难的，一般都根据经验和实际效果来进行判断。

本书主要讲述一些经验性的知识和判断方法，不打算对一些特别复杂的理论问题展开讨论。

目前，一般把处理润滑和摩擦的技术称为摩擦学。这种提法开始于英国，这一术语的含意将在第一章中加以说明。

目 录

第1章 内燃机摩擦学技术的现状	1
1.1 摩擦学技术	1
1.2 摩擦学的现状和存在的问题	7
第2章 润滑系统的组成和供油方式	12
2.1 润滑系统的组成	12
2.2 润滑系统的油路	20
2.3 二冲程和四冲程内燃机的比较（特别是关于二冲程 内燃机）	25
第3章 流体润滑的界限	31
3.1 内燃机的润滑状态	31
3.2 表面光洁度和润滑的界限	36
3.3 摩擦、磨损的机理	38
3.4 温度上升时润滑界限和粘着烧结的现象	44
第4章 内燃机的摩擦损失	49
4.1 摩擦损失	49
4.2 摩擦损失的细节和影响因素	54
4.3 摩擦的经济损失	65
第5章 内燃机机械零件的摩擦学	68
5.1 活塞的运动和润滑	68
5.2 轴承及其作用	77
5.3 配气机构的摩擦学	90
5.4 密封装置及其作用	103
第6章 摩擦学性能最佳的材料	109
6.1 用于内燃机摩擦部位的金属材料	109
6.2 提高耐磨性的表面处理	128

6.3 用于内燃机摩擦部位的有机材料	131
第7章 内燃机的润滑油	136
7.1 润滑油的作用和要求的性能	136
7.2 润滑油的分类和选择	140
7.3 润滑油的劣化和更换标准	147
第8章 内燃机的杂质	154
8.1 杂质的种类和产生的原因	154
8.2 杂质对内燃机的影响	159
8.3 防止杂质进入内燃机的方法 (介绍空气滤清器、 机油滤清器)	166
第9章 设计时对摩擦学的考虑	175
9.1 问题和应注意点	175
9.2 设计用的检查表	181
9.3 对于功能和寿命的考虑	182
9.4 润滑系统的设计程序	187
9.5 生产技术问题	201
第10章 今后的动向	206
10.1 向高速、高负荷发展	206
10.2 对新材料、新润滑油的期望	211
10.3 实现无保养的条件	217
参考文献	220
后记	223

第 1 章 内燃机摩擦学技术的现状

这里没有采用“润滑”这个词，而采用“摩擦学”这个术语，这并不是为了猎奇，而是因为这个词的含意比较确切。Lubrication（润滑）是从拉丁语 Lubricus 转意来的，这个词的原意是“滑动容易”。润滑一词含有较多供油技术方面的意思。与此相反，Tribology（摩擦学）是从希腊语 Tribos 一词转意来的，它的原意是摩擦。摩擦学一词含有摩擦技术的意思。

在日本润滑协会编的“润滑用语解说集”中，对摩擦学的解释是：“摩擦学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。具体的说，就是研究摩擦、润滑和轴承设计中的物理学、化学、材料学以及应用力学等问题。为了综合发展这些学科，于 1966 年，由英国教育科学部设立的一个委员会对这个术语下了定义。日语中广义润滑的含义大体上与这个术语的含义相近”。

1.1 摩擦学技术

摩擦学技术应有具体的对象和目的，特别是内燃机，因为活塞运动，曲轴轴承以及配气机构等都是摩擦学的主要研究对象。在表 1 中示出了摩擦学研究对象的机械零件一览表。可以认为，它包括了所有相对运动的零件。

可以认为研究摩擦学的目的包括以下三个方面：

表1 与内燃机摩擦学有关的机械零件及其内容

分类	机械零件	与摩擦学有关的主要内容
活 塞 组	活 塞	润滑、接触、机油的流动、温度分布、形状等
	活 塞 环 (气环、油环)	润滑、张力(面压分布)、密封状态、机油的流动、磨损等
	汽缸(包括缸套)	润滑、接触、温度分布、变形、光洁度以及磨损等
	空气滤清器	防尘作用、密封性、元件材料性质等
曲 轴 组	曲 轴	圆周速度、负荷(交变负荷和静力负荷)、刚度、硬度、光洁度等
	主 轴 承	圆周速度、负荷、润滑、温度、材质、间隙、杂质、磨损等
	连杆大端轴承	圆周速度、负荷、润滑、温度、材质、间隙、杂质、磨损等
	油封(曲轴两端)	密封性、润滑、温度、材质、杂质等
连 杆 组	连 杆	大端及小端的刚度、供油通路等
	连杆小端轴承	圆周速度、负荷、润滑、间隙、材质(表面处理)、温度、杂质
	活 塞 销	圆周速度、负荷、润滑、硬度、光洁度、表面处理、温度等
配 气 机 构 (进、排 气 门)	进、排气门 (锥面及气门杆)	与气门座的接触、与气门导管密封的滑动、润滑、偏磨等
	气 门 座	高温冲击载荷、自润滑性、材质、硬度等
	气门导管	与气门杆材料的匹配性、润滑状态、表面处理等
	气门杆的密封	密封性、耐热性、材质、润滑状态等

(续)

分类	机械零件	与摩擦学有关的主要内容
配气机构(摇臂和凸轮)	摇臂轴及轴承	润滑、负荷、杂质、材质的匹配性、间隙等
	摇臂	与气门杆端部及推杆的接触、冲击载荷、润滑等
	推杆和挺柱	与凸轮、摇臂的接触、润滑、刚度等
	凸轮(表面)	与挺柱(或摇臂、气门端部)的接触、润滑、材质等
	凸轮轴及轴承	圆周速度、负荷、间隙、润滑、材质等
	正时齿轮或链条、皮带	供油、接触、冷却、干接触、张力等
平衡系统	平衡齿轮	负荷、比压力、速度、润滑状态、消除间隙装置等
	平衡轴及轴承	不平衡载荷、圆周速度、润滑等
润滑系统	机油泵(包括卸载阀、油封)	供油量、油压、油温的影响、驱动功率等
	机油盘或机油箱(包括过滤器)	容量、冷却能力、排除杂质等
	机油滤清器(包括旁通阀)	排除杂质、净化机油等
	机油冷却器及加热器	油温控制等
其它	水泵(包括机械密封)	轴封、润滑、驱动等
	风扇、自动控制装置(ACG)外的驱动件	轴封、润滑、驱动等

- (1) 防止突然发生的故障;
- (2) 保持发动机的精度和延长使用寿命;
- (3) 降低运转成本。

特别是突然发生的故障,如能搞清故障的原因,并把它排除,机器就可恢复正常运转。然而,如果始终不能控制产生这些故障的原因,再加上措施不当,问题就会长期存在,而无法得到解决。

我们深深感到，控制故障的原因，尤其是防止故障的措施，应是一门技术。在表2中列举了上述（1）～（3）项应该控制的内容。

表2 研究内燃机摩擦学的目的及其应控制的内容

为防止突然发生故障	为保持发动机的精度，延长其寿命	为减少运转成本
1.不允许杂质混入滑动面 2.消除由于加工的失误而造成的毛刺，偏磨和锐角等 3.要保证尺寸的精度 4.安装要正确，防止中心振摆，紧固处不应有松动 5.防止因刚度不足而变形 6.要有适当的滑动间隙，并要防止由于高阶振动等而引起的故障	1.进行适当的供油，保持油膜，减少磨损 2.设计时要注意不使机器超负荷、超速 3.设计时要注意不使机器过热 4.结构上要充分考虑杂质的侵入问题： 1) 采用合适的滤清器 2) 采用对杂质不大敏感的结构 3) 具有净化功能 5.应充分控制滑动部分的间隙，以免引起由于热膨胀而咬住或因振动而损伤 6.充分考虑滑动部位材料的匹配性、表面处理、自润滑性	1.设计时要注意减少摩擦损失 2.设计时要注意减少机油消耗： 1) 防止漏油 2) 防止机油液面过高、过低 3.充分注意热管理，以防机油变质（对高温、低温） 4.减少向曲轴箱的窜气量，以防机油变质 5.曲轴箱要进行通风（PCV、SCV等）以及对腐蚀性气体进行处理（注：这主要是从防止公害的观点来考虑的） 6.要控制润滑系统的机油压力和动压力，以防机油喷溅

(续)

为防止突然发生故障	为保持发动机的精度，延长其寿命	为减少运转成本
7. 防止杂质侵入，不允许堵塞机油孔和卡死 8. 防止异常过热导致过热的原因有： 1) 油膜中断→粘着烧结 2) 机油烧结或变质→粘着咬死 3) 热变形→偏磨→粘着咬死 9. 要防止异常接触状态，异常负荷和冲击载荷 10. 要进行适当的磨合运转以防初期咬死和偏磨	7. 同样要考虑到滑动部位硬度、光洁度、波纹度等 8. 应从粘度、耐热性、耐腐蚀性、寿命等方面考虑选择润滑油 9. 合理使用空气滤清器以减少磨损 10. 采用不容易产生气蚀、分解和侵蚀的结构	7. 应充分注意润滑的管理 8. 要正确的进行维护、使用、保养 9. 采用不需维护保养且可靠性高的结构

如上所述，如把摩擦学看成一门技术，就要有非常具体的内容。如把摩擦学看作一门科学，就容许有抽象的内容，两者有根本的不同。但是作为技术支柱的要素(参阅图1)，即

(1) 创造性；

(2) 知识；

(3) 经验等。

在这些过程中，也往往会有某种程度上的抽象处理。

内燃机的摩擦学技术包括下述的内容：

1) 供油和油的流动

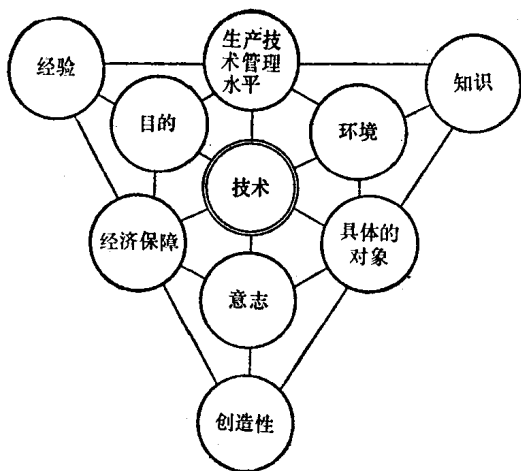


图1 技术九要素

这是原来意义上的润滑技术，包括润滑系统的组成、机油的分配方法、油量、定时以及机油的流动情况等。

2) 摩擦面上的接触运动

包括摩擦面上的负荷大小、滑动速度、发热状态（热负荷状态）、振动以及其它的接触运动。

3) 摩擦、磨损及其机理

近年来，摩擦、磨损及其机理已成为非常重要的研究项目，包括油膜的形成状态、滑动面的表面状态、表面负荷、相对速度与疲劳的关系以及材料的匹配性等。

4) 防止粘着烧结的方法

包括表面技术状态的管理、散热、防止杂质的混入和保持良好的润滑状态等。

5) 选用最合适的材料

匹配性能要好，要选择耐磨性、耐疲劳性、耐热性、耐刮伤性和嵌藏性好以及成本低的材料。

6) 润滑油的选择及其管理

除润滑外，还要考虑冷却、密封、净化、防锈和防尘等。选择的标准是：合适的粘度（油膜的强度）、耐热、耐腐蚀、添加剂的种类和寿命等。

7) 以活塞、轴承为主的机械零件

从摩擦学的观点来评价各种机械零件的组成以及零件的设计过程。

8) 其它

对于摩擦学的支柱来说，除了机器和机油的热管理（冷却等）、污染控制（杂质管理）、密封装置控制等外，还要包括加工技术等许多别的技术。

1.2 摩擦学的现状和存在的问题

目前，摩擦学的问题是一个令人头痛的问题，这不仅对发动机，而且几乎对所有的机器都是如此。特别是内燃机，因为有以下的特点，问题似乎就得更突出些。

(1) 由于要求内燃机体积小、结构紧凑而且功率大，所以相对于滑动表面的大小来说，所要求的负荷和滑动速度都较大。

(2) 除摩擦热外，由于还受燃烧热的影响，滑动表面温度高，使润滑油粘度下降，所以油膜的形成比较困难。

(3) 燃烧室周围的机油是通过活塞的间隙、气门的缝隙进入燃烧室的，使机油的消耗量增加，所以燃烧室附近难以充分供油。还有，机油受高温影响并与曲轴箱内的腐蚀性气体长时间相混，致使机油迅速变质老化。

(4) 燃烧产物侵入滑动表面时，磨损加剧或发生粘着烧结（咬死）。

(5) 由于运转时和停车时的温差较大, 所以滑动间隙很难控制。因此, 往往因热膨胀和热变形而引起粘着烧结, 或因间隙过大而引起振动和冲击导致损坏。

(6) 内燃机有活塞、轴承、凸轮和齿轮等多种机械零件, 尽管它们要求各种不同的润滑特性, 但只能用同一种润滑油来进行润滑。

(7) 活塞和进、排气门在运动中的滑动速度, 在从零到最大速度之间变化, 所以油膜的形成比较困难。连杆小端[⊖]和摇臂衬套呈摆动运动。同样, 油膜的形成也比较困难 (而这不一定只是内燃机的特性)。

(8) 因为内燃机搬运方便, 所以使用环境变化很大 (指气温、温度、进气中的灰尘和周围气体等)。

(9) 因加工精度的影响很大, 所以生产技术、生产管理水平也是一个重要问题。

综上所述, 内燃机必须解决的技术问题很多。但是, 其故障如图 2 所示却是出乎意外的少。这个图表是根据 1969 年日本机械振兴协会调查结果整理的。根据这个调查结果, 内燃机的故障总数在整个工业中占 10% 强。特别是汽车用内燃机, 其保有量为 2700 万台 (1974 年统计), 尽管占绝对多数, 但故障只不过占 2~3%。这种情况表明, 由于汽车制造厂及工程师的努力, 所以没有出现严重的差错以及包括零件制造厂在内的整个汽车工业具有高水平的生产管理体制。但是, 尽管如此, 全部内燃机的故障总数还是相当大的, 所以有必要采取相应的措施。

图 3 示出了摩擦故障多的零件。其中, 示出了作为内燃机代表的船用柴油机和整个工业中发生故障的频繁程度, 两

⊖ 原文误为活塞小端——译者注。

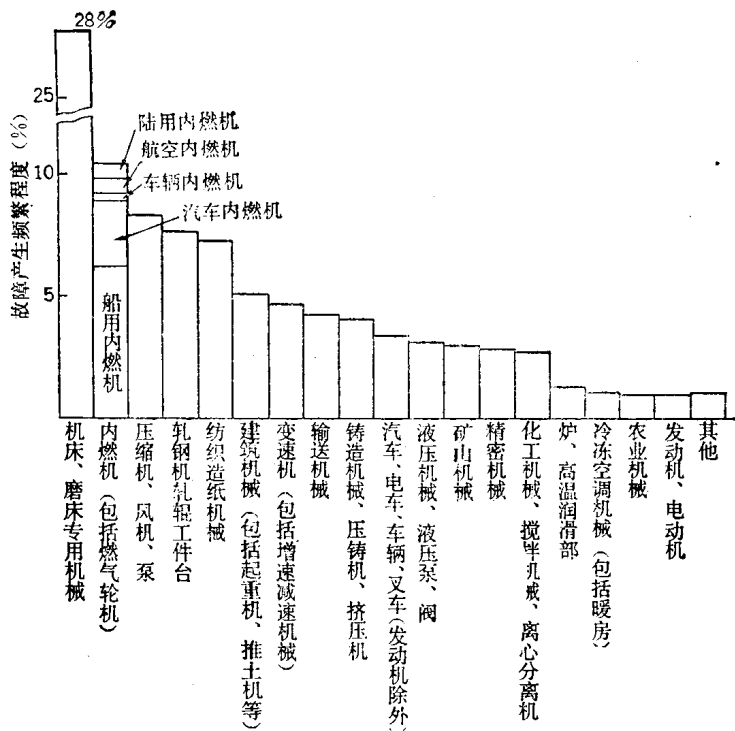


图2 在整个工业中内燃机故障发生的频繁程度

者故障都较多的零件是轴承、滑动轴承和滚动轴承，加在一起占40%以上。这并不说明轴承的故障率高，因为轴承的总数非常之多（参阅表1）。

其次，在内燃机中，从使用条件严酷性来讲，故障发生较多的当然是汽缸、活塞。在整个工业中，故障最多是导向面和齿轮等，这一点也与轴承一样，只表示其使用数量多。

上面谈到了产生故障的种种原因，在表3中列举的美国汽车发动机轴承损坏的原因是一例。其中最明显的是由于混入杂质而引起的故障为最多，约占故障总数的1/2。其次是由

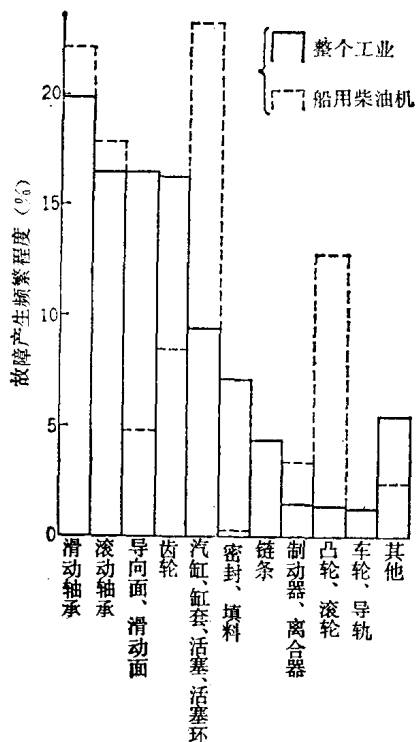


图3 故障多的机械零件

表3 美国汽车发动机轴承损坏原因

项 目	比 率	详 细 内 容
混入杂质	44.9%	轴承合金与瓦背之间、润滑油中等
装配不良	13.4%	轴承盖与瓦背的不同心度等
尺寸不准	12.7%	轴颈变形(椭圆)、偏心等
润滑不足	10.8%	供油方法不当、油量不足、过热等
负荷过大	9.5%	滑动面尺寸过小、滑动速度过大、过热等
腐 蚀	4.2%	润滑油不适当、变质、材料不合适等
其 它	4.5%	—

于生产管理不当引起的故障，约占1/4。

最后，由于设计不良而发生的故障仅达25%，要想防止故障，注意以下情况是非常重要的：

（1）控制污染(杂质控制)：防止杂质侵入，妥善处理生产时的切屑等。

（2）加强生产管理：防止质量的突然下降，提高工具管理、工艺管理水平和机床的精度等。

但是，如果在设计和原材料、润滑油的选择等方面产生错误，也肯定会出现故障，所以在设计时，慎重考虑摩擦学问题仍然是很重要的。