

润滑油检测及 选用指南

RUNHUAYOU JIANCE JI
XUANYONG ZHINAN

曹喜焕 李建军 等编著



化学工业出版社

润滑油检测及 选用指南

RUOYUOIL JIANCE II
RUNYONG ZHINAN

曹振武 王德成 曹永刚

中国石化出版社

ISBN 7-304-04711-9

润滑油检测及 选用指南

RUNHUAYOU JIANCE JI
XUANYONG ZHINAN

曹喜焕 李建军 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《润滑油检测及选用指南》全面介绍了润滑油的品质评定和各类润滑油的性能、规格和选用等方面的内容,为广大润滑油从业人员提供必要的技术资料。全书共 10 章,前 3 章介绍了润滑油的基础知识,第 4~6 章介绍了润滑油性能评价及相关法规,第 7~9 章介绍了润滑油的分类和选用情况,最后一章对新型润滑技术的研究和发展进行了展望。

本书融知识性、资料性和实用性于一体,可供从事润滑油生产、科研、检测、销售等有关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油检测及选用指南 / 曹喜焕, 李建军等编著. —北京:
化学工业出版社, 2013.6
ISBN 978-7-122-17351-5

I. ①润… II. ①曹… ②李… III. ①润滑油-检测-指南
②润滑油-选购-指南 IV. ①TE626.3-62②F764.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 097862 号

责任编辑: 王清颖 袁玉军
责任校对: 陈 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 289 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 50.00 元

版权所有 违者必究

编辑委员会

主 任：顾忠盈

副主任：宋乐林

编 委（按姓氏音序排序）：

曹喜焕	顾忠盈	李建军	茅伟刚	宋乐林
徐志刚	叶忠伟	张永夏	朱卫东	

编写人员

曹喜焕 李建军 张永夏 茅伟刚

| 前言 | | FOREWORD |

摩擦磨损是普遍存在的自然现象。摩擦损失了世界约三分之一的一次能源，磨损是造成材料与设备破坏和失效的最主要形式之一，润滑则是降低摩擦、减少或避免磨损的最有效技术。良好的润滑，不仅可以降低机器运动零件的摩擦，节省能源消耗，减轻腐蚀，节省维修和更换配件费用；还可以提高设备完好率和延长其使用寿命，从而提高生产力。

润滑油是一类重要的石油产品，种类繁多，应用领域广泛。润滑油行业是一个技术性很强、市场十分活跃的行业，全面掌握行业市场发展动态，了解行业技术的发展水平是广大润滑油生产、检测、销售等从业人员必须具备的基本素质，也是当今激烈的市场竞争中成功制胜的基本法宝。

汽车已普遍成为人们的代步工具。汽车润滑油品质的好坏直接影响着汽车发动机的正常工作，并且会对发动机造成磨损，从而降低发动机的使用寿命，严重的还会导致恶性事故的发生，危害着车主的驾车安全。而高品质的润滑油不仅能够保护汽车引擎，同时还能够起到省油的目的，因此如何正确选择高品质的汽车润滑油是非常重要的。

21 世纪是清洁的时代，废气排放必须达到超低排放或零排放，汽车及其他用油机具除使用清洁燃料外，还要求润滑油必须清洁、高质量。润滑油质量需随着日益严格的环保要求而不断提高。

鉴于以上几种情况，有必要编写一本全面介绍各类润滑油性能、规

格，润滑油品质评定和选用等方面的书籍，为广大润滑油从业人员提供必要的技术资料。本书融知识性、资料性和实用性于一体，可供从事润滑油生产、科研、检测、销售等有关技术人员参考使用。全书遵循润滑油发展的基本线索，从技术和市场双角度全面、系统地阐述了润滑油相关的技术指标体系的形成、发展和演变过程，尤其是对润滑油品质评价内容和选用规则做了重点阐述。文字易于理解，而且信息丰富，可帮助读者理解和运用。

考虑到使用方便，在本书编写过程中，侧重于实用性和针对性，对于涉及的设备构造、基本原理和常识部分，本书一带而过，未做详述。由于润滑油技术与市场变化很快，知识更新日新月异，本书力求将润滑油相关的资料整理出来，便于读者查阅。

本书编写过程中，我们参考了大量的国内外文献，因篇幅所限没有一一列出，谨在此表示感谢；并在此谨向所有对本书编写做出贡献的人士表示衷心的感谢！

但由于编者水平有限，仍然难免有所遗漏，恳请广大读者和专家提出宝贵的意见和建议。

编 者

| 目 录 | | CONTENTS |

第1章 润滑油概述	1
1.1 基础知识	1
1.1.1 原油的属性	1
1.1.2 摩擦、磨损与润滑	1
1.1.3 润滑的类型	3
1.1.4 润滑的作用	4
1.2 润滑油的分类、代号和规格	4
1.2.1 润滑油的分类	4
1.2.2 润滑油的代号和黏度等级	6
1.2.3 润滑油的规格识别	8
1.3 润滑油行业认证标准体系	9
1.3.1 认证润滑油品质的主要国际组织	9
1.3.2 认证汽车润滑油的主要组织	10
1.4 国内润滑油的市场现状和发展趋势	11
1.4.1 国内润滑油市场现状	11
1.4.2 国内润滑油的发展趋势	13
第2章 润滑油基础油	16
2.1 基础油概述	16
2.1.1 传统基础油的生产工艺	16
2.1.2 国内基础油的现状和发展趋势	17
2.2 基础油的分类和特点	18
2.2.1 API 基础油的分类	18
2.2.2 国内基础油的标准	20
2.3 矿物基础油	23
2.3.1 矿物基础油的化学组成及特性	23
2.3.2 矿物基础油组成与油品性能的关系	24
2.3.3 加氢技术的作用和主要过程	27
2.4 合成基础油	30
2.4.1 合成基础油的主要发展历程	30

2.4.2	合成基础油的品种及性能特点	30
2.4.3	APIⅢ类非常规高黏度指数基础油性能特点	36
2.5	可生物降解基础油	38
2.5.1	可生物降解基础油的种类	38
2.5.2	可生物降解基础油的研究进展	40
第3章	润滑油添加剂	44
3.1	概述	44
3.1.1	油品添加剂的分类	45
3.1.2	中国石化行业标准 SH/T 0389 润滑油添加剂	45
3.1.3	国内外添加剂的现状和发展趋势	46
3.2	润滑油添加剂品种及作用	48
3.2.1	清净剂	48
3.2.2	分散剂	51
3.2.3	抗氧抗腐剂	53
3.2.4	极压抗磨剂	55
3.2.5	黏度指数改进剂	57
3.2.6	油性剂(或摩擦改进剂)	59
3.2.7	抗氧剂和金属减活剂	60
3.2.8	防锈剂	62
3.2.9	降凝剂(或倾点下降剂)	62
3.2.10	抗泡剂	63
3.2.11	抗乳化剂	64
3.2.12	金属加工油专用添加剂	65
3.3	可生物降解添加剂	66
3.3.1	添加剂的生物降解性研究	66
3.3.2	国外对可生物降解添加剂的研究重点	67
第4章	润滑油检测及性能评价	69
4.1	润滑油评价概述	69
4.1.1	理化指标	70
4.1.2	模拟试验	70
4.1.3	台架试验	71
4.1.4	现场试验	71
4.2	理化试验项目及方法	72
4.2.1	通用理化项目及方法	72

4.2.2	涉及环保的项目及方法	78
4.2.3	部分润滑油的特殊理化项目及方法	79
4.3	模拟试验	81
4.3.1	模拟试验概述	82
4.3.2	模拟试验方法及模拟性能	83
4.4	常规台架试验	87
4.4.1	台架试验概述	87
4.4.2	汽油机油规格及台架试验	89
4.4.3	柴油机油规格及台架试验	90
4.4.4	其他台架试验	92
4.5	现代分析技术在润滑油检测中的应用	93
4.5.1	热分析技术	94
4.5.2	傅里叶变换红外光谱技术	95
4.5.3	高压液相色谱技术 (HPLC)	98
第5章	可生物降解润滑油性能评价	100
5.1	可生物降解润滑油的发展概况	100
5.2	可生物降解润滑油的生态评价	101
5.2.1	可生物降解润滑油的技术指标	101
5.2.2	可生物降解润滑油生态效应的评价方法	102
5.3	可生物降解液压油标准介绍	105
5.3.1	可生物降解液压油的制定和发展	106
5.3.2	ISO 15380 可生物降解液压油的技术要求	106
5.3.3	不同可生物降解液压油标准技术要求比较	108
5.4	可生物降解润滑油展望	109
第6章	润滑油相关法规	110
6.1	汽车排放法规	110
6.1.1	美国排放法规与车用润滑油的发展	111
6.1.2	欧洲排放法规与车用润滑油的发展	112
6.1.3	日本排放法规与车用润滑油的发展	113
6.1.4	我国汽车污染物排放标准发展情况	114
6.1.5	排放法规对发动机油的影响	115
6.2	海洋环保法规	117
6.2.1	防止船舶大气污染细则	117
6.2.2	其他海洋环保法规	120

6.2.3	海洋环保法规对船用润滑油的影响	120
6.3	食品机械专用润滑剂的法律法规	121
6.3.1	国际相关标准和法律法规	122
6.3.2	国内相关标准和法律法规	123
6.4	其他法规	123
6.4.1	欧盟多氯联苯指令	123
6.4.2	欧盟 2005/69/EC 多环芳烃环保指令	123
6.4.3	欧盟 REACH 法规	124
6.4.4	欧盟生态标签制度	125
第 7 章	内燃机油 (E 组) 的分类和选用	126
7.1	内燃机及内燃机润滑	126
7.1.1	内燃机的种类和工作特点	126
7.1.2	内燃机的机构组成和润滑方式	127
7.2	内燃机润滑油	129
7.2.1	内燃机润滑油的性能要求	129
7.2.2	内燃机摩擦与内燃机油燃料经济性	131
7.2.3	内燃机油的分类	133
7.3	汽车内燃机油	134
7.4	摩托车汽油机油	135
7.4.1	二冲程汽油机油	135
7.4.2	四冲程汽油机油	137
7.5	铁路内燃机柴油机油	139
7.5.1	铁路机车柴油机油的工作条件和性能要求	139
7.5.2	铁路机车用柴油机油分类	140
7.5.3	铁路内燃机柴油机油的选择	141
7.6	船用内燃机柴油机油	141
7.6.1	船用润滑油的性能要求	142
7.6.2	船用柴油机油的种类、牌号和选用	142
第 8 章	工业润滑油的分类和选用	145
8.1	液压油 (H 组)	145
8.1.1	液压油的使用性能要求	146
8.1.2	液压油的分类和品种	147
8.1.3	液压油的选择和使用	151
8.1.4	液压油的发展趋势	152

8.2 工业齿轮油 (C 组)	153
8.2.1 齿轮润滑特点及齿轮油性能要求	153
8.2.2 工业齿轮油的分类	154
8.2.3 工业齿轮油的选用	155
8.3 压缩机油 (D 组)	156
8.3.1 压缩机的分类和工作特点	156
8.3.2 压缩机油的性能要求	157
8.3.3 压缩机油的分类	158
8.3.4 压缩机油的选用	160
8.4 金属加工用润滑剂 (M 组)	161
8.4.1 金属加工用润滑剂的性能要求	161
8.4.2 金属加工用润滑剂分类	161
8.4.3 金属加工用润滑剂的选用	163
8.4.4 金属加工用润滑剂的发展趋势	164
8.5 其他工业润滑油	164
8.5.1 电器绝缘油 (N 组)	164
8.5.2 汽轮机油 (T 组)	166
8.5.3 热处理油 (U 组)	169
第 9 章 汽车用润滑油的分类和选用	172
9.1 汽车发动机油	172
9.1.1 汽油机油	173
9.1.2 柴油机油	177
9.1.3 合成发动机油	180
9.1.4 燃气发动机油	182
9.1.5 汽车发动机油的选择	184
9.2 车辆齿轮油	186
9.2.1 车辆齿轮油的工作条件和性能要求	187
9.2.2 车辆齿轮油的分类	188
9.2.3 车辆齿轮油的品种	189
9.2.4 车辆齿轮油的选用	190
9.3 汽车用其他润滑油	191
9.3.1 汽车自动传动油	191
9.3.2 汽车制动液 (刹车油)	194
9.3.3 汽车防冻液	197
9.4 汽车保养与发动机油知识	200

9.4.1	汽车发动机保养与润滑	200
9.4.2	汽车发动机机油养护常识	201
9.4.3	汽车发动机油的使用误区	204
第 10 章 新型润滑技术研究发展		206
10.1	纳米润滑技术	206
10.1.1	纳米润滑添加剂种类	206
10.1.2	纳米润滑油添加剂作用机理	208
10.1.3	纳米润滑油添加剂存在的问题和发展方向	209
10.2	离子液体润滑	209
10.2.1	离子液体的润滑机理	210
10.2.2	离子液体润滑存在的问题	211
10.2.3	离子液体润滑发展方向	211
10.3	液晶润滑	211
10.3.1	液晶润滑的特点	213
10.3.2	液晶润滑添加剂的研究及减摩机理	213
10.4	化学热处理改性表面	214
10.5	气相润滑技术	216
10.6	新型润滑技术展望	217
附录一 常用缩略词中英对照表		218
附录二 全球著名润滑油品牌		220
参考文献		223

第 1 章

润滑油概述

润滑油是石油和化学工业的重要组成部分，成品润滑油已发展到 19 大类 600 多种牌号。润滑油工业是技术密集、环节较多、生产和销售比较复杂的行业，其涉及原油的品种、质量、生产工艺技术、添加剂的数量、品种配套、油品的配方和评定等方面。润滑油的发展与国民经济的发展密切相关，也直接影响相关行业的进程如汽车、交通、冶金、机械行业等。

1.1 基础知识

1.1.1 原油的属性

天然石油是一种流体或半流体的黏稠物，外观为褐色或深褐色，主要成分是碳氢化合物。因为构成石油的各种组分具有不同的沸点，故在炼油厂可以用物理分离的方法将其分馏成汽油、煤油、柴油及润滑油的基础油等品种。

按化学组成的不同，原油可分为石蜡基（烷烃 $>70\%$ ），环烷基（环烷烃 $>60\%$ ），中间基（烷烃、环烷烃、芳烃含量接近）和沥青基（沥青质 $>60\%$ ）。另外，原油还按硫含量高低分为低硫原油（ $<0.5\%$ ）、中硫原油（ $0.5\% \sim 1.5\%$ ）和高硫原油（ $>1.5\%$ ）。通常以烷烃为主的石油称石蜡基石油，以环烷烃、芳香烃为主的称环烷基石油，介于两者之间的称中间基石油。

组成石油的碳氢化合物（又叫烃类）根据其结构的不同可分为烷烃、环烷烃、芳烃、烯烃、含硫、氮、氧化合物及大分子的胶质、沥青质等。国产原油的主要特点是：烷烃比例多，芳烃比例少，所以炼油厂生产的直馏汽油的辛烷值低，需调合其他组分才能做汽车燃料；除新疆原油外，一般凝固点高，含蜡较多；除胜利、江汉原油外，其他原油硫含量均属于低硫原油，这是国产原油同中东原油最大的差别。

1.1.2 摩擦、磨损与润滑

1.1.2.1 摩擦、摩擦副与摩擦系数

两个相互接触的物体，当接触表面在外力作用下发生相对运动时，就会产生摩擦，摩擦产生的阻力就是摩擦力。两个相对运动的接触面，叫摩擦副。

摩擦力的大小依物体性质而不同。表现摩擦力的因数称为摩擦系数。摩擦系数

是针对摩擦副来讲的,例如冰与冰平滑表面间的摩擦系数为 $0.02\sim 0.03$,即此时冰滑动所需力量大约等于上面冰重的 $2\%\sim 3\%$;铜与铜平滑表面间的干摩擦系数约为 $0.8\sim 1.0$,钢与钢平滑表面间的干摩擦系数约为 0.8 。单纯地说某种材料的摩擦系数没有意义,同时必须指明组成摩擦副的材料种类,并说明测试条件(环境温湿度、载荷、速度等)和滑动材料。

摩擦现象按摩擦副表面的润滑状况可大致分为干摩擦、流体摩擦、边界摩擦和混合摩擦等四种。干摩擦不属于润滑的范围,只是解析润滑的基点。干摩擦的摩擦系数一般在 $0.3\sim 0.7$ 之间,即摩擦损失相当于总功率的 $30\%\sim 70\%$ 。摩擦带来的表现现象有高温、高压、噪声、磨损,其中危害最大的是磨损,它直接影响机械设备的正常运转甚至失效。据测算,世界产生的能源约有 $30\%\sim 50\%$ 消费在摩擦损失上,例如纺织机械干摩擦所消耗的功率是其总功率的 85% ;内燃发动机在有润滑油的情况下,摩擦损失功率有时也达到总功率的 30% ;近代的汽车发动机的摩擦损失占其功率的 20% 。因此,改善润滑以减少摩擦功率损失对节约能源具有重大意义。

1.1.2.2 磨损

磨损是在相互接触的两物质的相对运动中,由于机械作用而造成的表面材料不断损失变形的过程,亦即相对摩擦面的损伤和减量现象。磨损表现为松脱的细小颗粒(碎屑)的出现,以及表现为材料性质(形貌和尺寸、粗糙度、表面层厚度)的变化。磨损是伴随着摩擦而产生的必然结果,是诸多因素相互影响的复杂过程。它使机械零件丧失精度,影响使用寿命和可靠性。

由磨损引起的材料损失的量称为磨损量,其倒数成为耐磨性。材料的耐磨性取决于材料的硬度和韧性。

磨损分为正常磨损(或自然磨损)和异常磨损。正常磨损一般称不可避免的磨损。如在机械刚启动时在零件的摩擦表面还没有形成油膜,这时就会发生金属表面的直接接触而发生不可避免地磨损。异常磨损一般称不应有的但可避免的磨损,如机件在工作期间因发生过早的磨损会提前损害,或因机件产生缺陷造成强烈的破坏事故。磨损是一种关系机械和润滑剂性能的复杂的现象。在机械运动摩擦的过程中,干摩擦力转变为摩擦热,致使摩擦面温度升高,从而使摩擦系数增大,浪费动力,增加磨损,甚至熔结而烧毁,为避免这种情况,在机械运动中就需要使用润滑剂来进行润滑。良好的润滑将使机械设备的磨损大幅度下降,使异常磨损得以避免。

1.1.2.3 润滑

润滑是人类向摩擦、磨损作斗争的一种手段。它是在摩擦副间加入润滑剂,用来控制摩擦、降低磨损,以达到延长使用寿命的措施。而润滑剂是能减少摩擦力和减少磨损的物质,润滑剂包括液体状态的润滑油和半固态的润滑脂。

由于摩擦副表面间润滑剂的存在,可减少或消除其直接接触,从而减少摩擦表面的磨损。此外,润滑剂还具有防止表面腐蚀、降低摩擦表面温度、冲洗磨屑或污染、密封和减震等辅助功能。当然,在某些特定情况下,这些辅助功能也可能转变

为主要功能。

对润滑剂的要求是：较低的摩擦系数；良好的吸附渗入能力；有一定的黏度、抗氧化性；没有腐蚀性；有良好的导热性和较大的热容量。

1.1.3 润滑的类型

根据研究对象和内容的不同可将润滑进行不同的分类，现介绍几种常见的分类方法。

1.1.3.1 根据润滑剂分类

(1) 气体润滑 采用空气、蒸汽或氦气等某些惰性气体作为润滑剂，可使摩擦表面被高压气体分隔开。如航海用的惯性陀螺仪；重型机械中垂直透平机的推力轴承；大型天文望远镜的转动支承；高速磨头的轴承等都可用气体润滑。气体润滑的最大优点是摩擦系数极小，几乎接近于零。气体的黏度不受温度的影响，所以气体润滑的轴承阻力小、精度高。

(2) 液体润滑 轧钢机的减速机、齿轮座、精密油膜轴承等，均采用不同黏度和性能的液体润滑油润滑。液体润滑剂包括矿物润滑油、合成润滑油、乳化油。水也可以作为初轧机胶木轴瓦的润滑剂和冷却剂。

(3) 半固体润滑 润滑脂是一种介于流体和固体之间的一种塑性状态或膏脂状态的半固体物质。它包括各种矿物润滑脂、合成润滑脂、动植物脂等。广泛用于各种类型的滚动轴承和垂直安装的平面导轨上。

(4) 固体润滑 利用具有特殊润滑性能的固体润滑剂，如石墨、二硫化钼、二硫化钨等，代替润滑油（脂）隔离摩擦接触表面，形成良好的固体润滑膜，以达到减少摩擦、降低磨损的良好润滑作用。

(5) 油膜润滑 利用压缩空气或蒸汽，将油液雾化后作为润滑剂的润滑。

1.1.3.2 根据润滑膜在摩擦表面间的分布状态分类

(1) 全膜润滑 摩擦面之间有润滑剂，并能生成一层完整的润滑膜，把摩擦表面完全隔开。摩擦副运动时，摩擦是在润滑膜的内部分子之间的内摩擦，而不是摩擦面的直接接触的外摩擦，这种状态称为全膜润滑。这是一种理想的润滑状态。

(2) 非全膜润滑 摩擦表面由于粗糙不平或因载荷过大、速度变化等因素的影响，使润滑膜遭到破坏，一部分为干摩擦，这种状态称为非全膜润滑。一般由于运动速度变化（启动、制动、反转），受载性质变化（突加、冲击、局部集中、变载荷等）以及润滑不良时，设备经常出现这种状态，其磨损也比较快。我们应当力求减少和避免这种状态。

1.1.3.3 根据润滑状态分类

(1) 流体润滑 两接触表面被一层连续不断的流体润滑膜完全隔开时的润滑。

(2) 边界润滑 两接触表面有一层极薄边界膜（吸附膜或反应膜）时的润滑。

(3) 半流体润滑 两接触表面间同时存在边界膜和流体润滑膜的混合润滑。

(4) 半干润滑 两接触表面上，大部分边界膜遭到破坏时的边界润滑。

1.1.4 润滑的作用

传统润滑剂的作用主要是在摩擦副之间形成一层油膜作保护，膜的厚度、强度与油的黏度相关，现代润滑剂的润滑理论是指润滑作用依靠添加剂在摩擦副之间形成吸附膜起保护作用，润滑剂的基础油本身仅起到添加剂载体和摩擦副之间的密封作用，油膜的润滑作用已退到次要位置。现代润滑的作用主要有：降低摩擦、减少磨损、冷却降温、防止腐蚀、清洁冲洗、密封和环保等作用。此外，润滑油还有减少振动和噪声的效能。

1.2 润滑油的分类、代号和规格

1.2.1 润滑油的分类

润滑油有多种分类方法，常见的有以下三种。

1.2.1.1 根据应用场合分类

1987 年，我国颁布了 GB/T 498《石油产品及润滑剂的总分类》，根据石油产品的主要特征对石油产品进行分类（见表 1-1）。其类别名称代号取自反映各类产品主要特征的英文名称第一个字母。润滑剂和有关产品分为“L”。

表 1-1 GB/T 498 石油产品的总分类

类别代号	类别名称	类别代号	类别名称
F	燃料	W	蜡
S	溶剂和化工原料	B	沥青
L	润滑剂和有关产品	C	焦

按照 GB/T 7631.1《润滑剂和有关产品（L）类的分类》，该标准根据尽可能地包括润滑剂和有关产品的应用场合这一原则，将润滑剂分为 19 个类（组），其组别名称和代号见表 1-2。每类润滑剂又根据其产品的主要特性、应用场合和使用对象再详细分类。

表 1-2 GB/T 7631.1 关于润滑剂和有关产品（L 类）的分类

组别	应用场合	组内产品分类标准
A	全损耗系统 total loss systems	GB/T 7631.13
B	脱模 mould release	
C	齿轮 gears	GB/T 7631.7
D	压缩机（包括冷冻机和真空泵） compressor (including refrigeration and vacuum pumps)	GB/T 7631.9
E	内燃机 Internal combustion engine	GB/T 7631.3