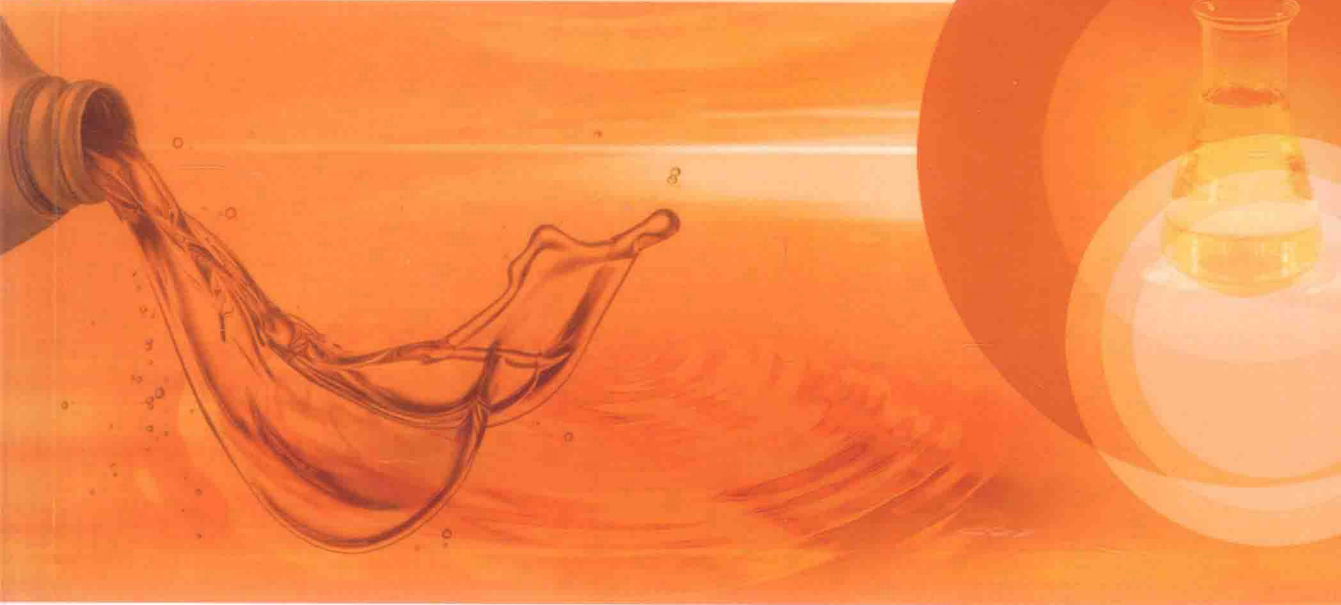




普通高等教育“十二五”规划教材



润滑油及其添加剂

丁丽芹 张君涛 梁生荣 编著
张景河 审阅

中国石化出版社

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

普通高等教育“十二五”规划教材

润滑油及其添加剂

丁丽芹 张君涛 梁生荣 编著
张景河 审阅



中国石化出版社

内 容 提 要

本书结合高等院校化学工程与工艺、应用化学等专业的教学特点,阐述了润滑油及其添加剂的应用地位、分类、化学组成结构和生产工艺技术等,重点介绍了各类润滑油的化学组成结构与使用性能的关系、各类润滑油基础油的生产工艺及其性能要求、润滑油添加剂及润滑油调合方面的知识,较系统地展示了润滑油的生产过程及应用知识。

本书可作为高等院校化学工程与工艺、应用化学等专业的本科学生以及高等职业技术教育学生的教材,也可供润滑油科技工作者和销售人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油及其添加剂 / 丁丽芹, 张君涛, 梁生荣编著. —北京:
中国石化出版社, 2015. 5
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5114-3252-0

I. ①润… II. ①丁… ②张… ③梁… III. ①润滑油-高等学校-教材
②润滑油-石油添加剂-高等学校-教材 IV. ①TE626. 3 ②TE624. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 080034 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者
以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

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

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 416 千字
2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷
定价:38.00 元

言 序

人类社会在经历了漫长的发展历史，尤其是近数千年来，在世界不同地区先后出现的各种不同文明社会日益快速发展历史后，已逐渐感悟到这样一种共识：地球上人们赖以生存的各种物质材料和能量资源并非取之不尽、用之不竭。尤其是伴随着世界人口不断增长且生活消费水平日益提高，导致各种能源以及物质材料供应日益紧张的局面，令人们对未来生活幸福产生担心和不安。

为此，人们不得不积极设法预谋对策。一方面，继续广泛探索开发各种新的自然能源(如水力、风能、原子核能、太阳能等)以及物质能源，另一方面，还需对当今仍在广泛利用的大量能源，深入研究其“节约使用”的方法技术。

正是在这种社会背景下，20世纪60年代诞生了简称“摩擦学”(Tribology)的新兴学科。它是对自然界和人类活动中广泛存在的摩擦和磨损现象以及如何影响控制这些现象可能造成的后果的工艺技术为研究对象的综合性科学技术。显然，这门新兴科技含有此前早已诞生的润滑科技在内。

本书作为有关这门专业的教材，还应兼顾到培养高质量专业人才的要求，务求做到使青年学子掌握正确的思想方法，以适应今后在社会上从事相关专业工作日益提高的要求。

张景河

前 言

润滑油是当代各类石油产品的一个重要分支，与交通运输、机械等行业的发展密切相关，而当代的润滑油为了保证其使用性能或质量，基本上是由各种润滑油基础油与各类润滑油添加剂经精心调配而成的复合产品，故当代的润滑油一词与其所用的添加剂已具有密不可分的关系。

近年来，有关润滑油及其添加剂方面的专著、丛书已出版不少，但往往侧重于某一方面的研究及应用，能够系统反映润滑油及其添加剂学科内容、与高等院校教学大纲相适应且适合学生使用的教学参考书却很少。编者在总结多年教学和科研工作的基础上，已于2011年编写西安石油大学校内教材《润滑油及其添加剂》，并已连续多年作为化学工程与工艺专业、应用化学专业的教材，受到广大学生的欢迎。随着国内外润滑油品科技的快速发展以及相关专业教学内容的不断充实更新，学生亟需一本在规定的学时内更加系统全面了解润滑油品的教科书。本教材正是为了适应这一要求，结合化学工程与工艺、应用化学等专业的实际需要，在上述校内教材的基础上修改完善而编写的。

本书以当代主要的石油化工产品——润滑油及其添加剂为典型对象，内容包括润滑油及其添加剂概论、润滑油基本知识、润滑油基础油生产工艺、润滑油添加剂及润滑油调合五个部分，通过介绍当代润滑油基础油及其添加剂的特点、生产和应用的基本原理、主要生产装置的工艺技术以及各类产品的性能要求和质量评定，使学生综合运用所学化学、化工等各门学科知识，理解各类润滑油的化学组成结构和使用性能之间的关系，掌握当代润滑油及其添加剂的品种、性能和生产技术的基本知识，并了解润滑油及其添加剂的应用现状和发展趋势。

本书共5章，其中，第1章由张君涛编写，第4章由梁生荣编写，其他各章节由丁丽芹编写，张景河教授审阅了全书书稿，并提出了许多宝贵意见，在此基础上，最后由丁丽芹进行了统稿。在本书编写过程中，参考了多种相关书籍，参阅及引用了相关科技文献内容，除直接引用的已在各章末注明外，其他未一一列出，在此谨向被本书吸收、采纳或参考的文献的作者表示诚挚的谢意！本书在编写过程中还得到了中国石油石油化工研究院付兴国、中国石油润滑油公司刘峰友、中国石油润滑油公司丁泳波等老师和前辈的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者能力和水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者和专家给予批评指正！

目 录

1 概论	(1)
1.1 润滑油及其添加剂在石油化工中的地位	(1)
1.1.1 润滑油产品的发展及其特点	(1)
1.1.2 润滑油添加剂产品的发展及其特点	(2)
1.2 润滑油及其添加剂的现状与发展趋势	(3)
1.2.1 润滑油的现状与发展趋势	(3)
1.2.2 润滑油添加剂的现状与发展趋势	(6)
2 润滑油基本知识	(10)
2.1 摩擦、磨损与润滑的基本原理	(10)
2.1.1 摩擦的基本概念和类型	(10)
2.1.2 磨损的基本概念和类型	(11)
2.1.3 润滑的基本概念和类型	(13)
2.2 润滑材料与润滑油的分类	(16)
2.2.1 润滑材料的分类	(16)
2.2.2 我国对润滑油的分类	(17)
2.3 润滑油的应用	(18)
2.3.1 内燃机润滑油	(18)
2.3.2 工业润滑油	(30)
2.3.3 特种润滑油	(49)
2.4 润滑油的性能及其与化学组成的关系	(58)
2.4.1 润滑油的主要性能	(58)
2.4.2 润滑油的化学组成	(58)
2.4.3 润滑油的性能及其与化学组成的关系	(60)
2.5 基础油与添加剂的特性和分类	(69)
2.5.1 润滑油基础油及其分类	(69)
2.5.2 润滑油添加剂及其分类	(75)
3 润滑油基础油生产工艺	(78)
3.1 概述	(78)
3.2 I类基础油生产工艺	(80)
3.2.1 减压蒸馏	(80)
3.2.2 溶剂脱沥青	(84)
3.2.3 溶剂精制	(94)
3.2.4 溶剂脱蜡	(101)

3.2.5	白土补充精制	(109)
3.3	Ⅱ类、Ⅲ类基础油生产工艺	(111)
3.3.1	润滑油加氢补充精制	(112)
3.3.2	润滑油加氢处理	(114)
3.3.3	润滑油加氢脱蜡	(120)
3.3.4	润滑油加氢技术的工业应用	(124)
3.3.5	润滑油加氢技术的影响因素	(128)
3.4	Ⅳ类基础油生产工艺	(130)
3.4.1	聚 α -烯烃合成油的化学反应	(131)
3.4.2	聚 α -烯烃合成油的生产技术	(132)
3.4.3	聚 α -烯烃合成油的特性	(137)
3.4.4	聚 α -烯烃合成油的应用	(139)
3.5	Ⅴ类基础油生产工艺	(140)
3.5.1	合成酯类油	(141)
3.5.2	聚醚	(145)
3.5.3	硅油	(149)
3.5.4	全氟烷基聚醚	(151)
3.5.5	发展前景	(155)
3.6	天然气合成润滑油基础油生产工艺	(156)
3.6.1	反应原理	(156)
3.6.2	费托合成催化剂	(158)
3.6.3	工艺技术	(158)
3.6.4	发展前景	(161)
4	润滑油添加剂	(163)
4.1	清净剂	(163)
4.1.1	组成结构	(163)
4.1.2	作用机理	(164)
4.1.3	制备工艺	(166)
4.1.4	品种及发展趋势	(166)
4.2	分散剂	(170)
4.2.1	组成结构	(171)
4.2.2	作用机理	(171)
4.2.3	品种及应用	(173)
4.2.4	发展趋势	(176)
4.3	抗氧化剂	(177)
4.3.1	组成结构	(177)
4.3.2	作用机理	(179)
4.3.3	品种及应用	(182)

4.3.4	发展趋势	(188)
4.4	黏度指数改进剂	(189)
4.4.1	组成结构	(190)
4.4.2	作用机理	(193)
4.4.3	品种及应用	(193)
4.4.4	发展趋势	(195)
4.5	降凝剂	(196)
4.5.1	组成结构	(196)
4.5.2	作用机理	(197)
4.5.3	品种及应用	(198)
4.6	油性剂(摩擦改进剂)	(201)
4.6.1	组成结构	(202)
4.6.2	作用机理	(202)
4.6.3	品种及应用	(204)
4.7	极压抗磨剂	(207)
4.7.1	组成结构	(207)
4.7.2	作用机理	(208)
4.7.3	品种及应用	(210)
4.7.4	发展趋势	(214)
4.8	防锈剂	(215)
4.8.1	组成结构	(215)
4.8.2	作用机理	(216)
4.8.3	品种及应用	(216)
4.9	抗泡剂	(219)
4.9.1	组成结构	(220)
4.9.2	作用机理	(221)
4.9.3	品种及应用	(221)
4.10	复合添加剂	(225)
4.10.1	内燃机油复合添加剂	(225)
4.10.2	齿轮油复合添加剂	(227)
4.10.3	液压油复合添加剂	(228)
4.10.4	自动传动液复合添加剂	(229)
4.10.5	其他复合添加剂	(229)
5	润滑油调合	(230)
5.1	调合机理	(230)
5.2	调合工艺	(231)
5.2.1	油罐调合	(231)
5.2.2	管道调合	(233)

5.2.3 两种调合工艺的比较	(234)
5.2.4 调合优化软件	(235)
5.3 影响调合质量的因素	(236)
5.4 调合指标计算	(237)
5.5 润滑油包装与储存	(238)
附 录	(239)
附录 I 润滑油及其添加剂相关的常用缩略语	(239)
附录 II 润滑油常见理化性质及其检测标准	(246)
参 考 文 献	(255)

(255)	.....	润滑油调合	1.0.1
(255)	.....	润滑油调合	1.0.2
(255)	.....	润滑油调合	1.0.3
(255)	.....	润滑油调合	1.0.4
(255)	.....	润滑油调合	1.0.5
(255)	.....	润滑油调合	1.0.6
(255)	.....	润滑油调合	1.0.7
(255)	.....	润滑油调合	1.0.8
(255)	.....	润滑油调合	1.0.9
(255)	.....	润滑油调合	1.0.10
(255)	.....	润滑油调合	1.0.11
(255)	.....	润滑油调合	1.0.12
(255)	.....	润滑油调合	1.0.13
(255)	.....	润滑油调合	1.0.14
(255)	.....	润滑油调合	1.0.15
(255)	.....	润滑油调合	1.0.16
(255)	.....	润滑油调合	1.0.17
(255)	.....	润滑油调合	1.0.18
(255)	.....	润滑油调合	1.0.19
(255)	.....	润滑油调合	1.0.20
(255)	.....	润滑油调合	1.0.21
(255)	.....	润滑油调合	1.0.22
(255)	.....	润滑油调合	1.0.23
(255)	.....	润滑油调合	1.0.24
(255)	.....	润滑油调合	1.0.25
(255)	.....	润滑油调合	1.0.26
(255)	.....	润滑油调合	1.0.27
(255)	.....	润滑油调合	1.0.28
(255)	.....	润滑油调合	1.0.29
(255)	.....	润滑油调合	1.0.30
(255)	.....	润滑油调合	1.0.31
(255)	.....	润滑油调合	1.0.32
(255)	.....	润滑油调合	1.0.33
(255)	.....	润滑油调合	1.0.34
(255)	.....	润滑油调合	1.0.35
(255)	.....	润滑油调合	1.0.36
(255)	.....	润滑油调合	1.0.37
(255)	.....	润滑油调合	1.0.38
(255)	.....	润滑油调合	1.0.39
(255)	.....	润滑油调合	1.0.40
(255)	.....	润滑油调合	1.0.41
(255)	.....	润滑油调合	1.0.42
(255)	.....	润滑油调合	1.0.43
(255)	.....	润滑油调合	1.0.44
(255)	.....	润滑油调合	1.0.45
(255)	.....	润滑油调合	1.0.46
(255)	.....	润滑油调合	1.0.47
(255)	.....	润滑油调合	1.0.48
(255)	.....	润滑油调合	1.0.49
(255)	.....	润滑油调合	1.0.50
(255)	.....	润滑油调合	1.0.51
(255)	.....	润滑油调合	1.0.52
(255)	.....	润滑油调合	1.0.53
(255)	.....	润滑油调合	1.0.54
(255)	.....	润滑油调合	1.0.55
(255)	.....	润滑油调合	1.0.56
(255)	.....	润滑油调合	1.0.57
(255)	.....	润滑油调合	1.0.58
(255)	.....	润滑油调合	1.0.59
(255)	.....	润滑油调合	1.0.60
(255)	.....	润滑油调合	1.0.61
(255)	.....	润滑油调合	1.0.62
(255)	.....	润滑油调合	1.0.63
(255)	.....	润滑油调合	1.0.64
(255)	.....	润滑油调合	1.0.65
(255)	.....	润滑油调合	1.0.66
(255)	.....	润滑油调合	1.0.67
(255)	.....	润滑油调合	1.0.68
(255)	.....	润滑油调合	1.0.69
(255)	.....	润滑油调合	1.0.70
(255)	.....	润滑油调合	1.0.71
(255)	.....	润滑油调合	1.0.72
(255)	.....	润滑油调合	1.0.73
(255)	.....	润滑油调合	1.0.74
(255)	.....	润滑油调合	1.0.75
(255)	.....	润滑油调合	1.0.76
(255)	.....	润滑油调合	1.0.77
(255)	.....	润滑油调合	1.0.78
(255)	.....	润滑油调合	1.0.79
(255)	.....	润滑油调合	1.0.80
(255)	.....	润滑油调合	1.0.81
(255)	.....	润滑油调合	1.0.82
(255)	.....	润滑油调合	1.0.83
(255)	.....	润滑油调合	1.0.84
(255)	.....	润滑油调合	1.0.85
(255)	.....	润滑油调合	1.0.86
(255)	.....	润滑油调合	1.0.87
(255)	.....	润滑油调合	1.0.88
(255)	.....	润滑油调合	1.0.89
(255)	.....	润滑油调合	1.0.90
(255)	.....	润滑油调合	1.0.91
(255)	.....	润滑油调合	1.0.92
(255)	.....	润滑油调合	1.0.93
(255)	.....	润滑油调合	1.0.94
(255)	.....	润滑油调合	1.0.95
(255)	.....	润滑油调合	1.0.96
(255)	.....	润滑油调合	1.0.97
(255)	.....	润滑油调合	1.0.98
(255)	.....	润滑油调合	1.0.99
(255)	.....	润滑油调合	1.0.100

1 概论

1.1 润滑油及其添加剂在石油化工中的地位

1.1.1 润滑油产品的发展及其特点

人类使用润滑剂的历史可追溯到人类文明诞生的初期,但直到 1876 年,在俄国的巴拉罕建立了世界上第一个润滑油工厂,在 1878 年巴黎举行的世界博览会上,俄国人推出了世界上第一批矿物润滑油样品,引起巨大轰动。矿物润滑油生产工艺的现代化则是近几十年才完成的。20 世纪 20 年代,管式减压蒸馏工艺可由重油中获取重质润滑油,同时,开发出润滑油溶剂精制的工艺,在 1923 年建立了第一套用液态 SO_2 精制润滑油的工厂,之后,1927 年美国印第安纳炼油公司建立了第一套酮苯脱蜡装置,1928 年加拿大帝国石油公司建立了第一套润滑油酚精制装置,1930 年在德国建立了氯代烷溶剂脱蜡装置,1933 年德士古公司成功开发了润滑油糠醛精制工艺,1936 年在美国建立了丙烷脱沥青装置,使残渣润滑油的生产成为可能。

我国的润滑油工业始于 20 世纪 40 年代,当时玉门油矿从美国引进了减压蒸馏装置和离心脱蜡设备,可以生产少量的润滑油。1949 年新中国成立后,我国的润滑油工业才得到了快速发展。1955 年,大连高级润滑油车间投入生产,1958 年,兰州从前苏联引进了一套矿物润滑油现代化工艺生产线,奠定了我国润滑油生产工艺现代化的基础,此后,我国润滑油的产量日益增加,品种逐渐增加。

当代的润滑油基本是由各种润滑油基础油与各类润滑油添加剂经精心调配而成的复合产品。从 20 世纪下半叶以来,伴随着各种相关机械设备效能的不断提高,尤其是当代社会对节能、环保的要求日益严苛,其制备工艺技术的高新科技含量增长十分迅速,从而使润滑油在各类石油产品中具有下列明显特色:

(1) 品种繁多,工艺流程长。由于润滑油产品的专业性较强,因而其品种异常繁多。据统计,当代世界上润滑油品种已不下上千种,我国正式生产的润滑油产品也已达 600 种以上,尤其是当代各种交通用具使用的发动机油,按照质量级别、黏度级别、单级油、多级油等排列组合起来,品种多达近百种。此外,润滑油的生产必须具备基础油、添加剂和相应的评定测试手段等,生产流程长,生产技术复杂。

(2) 质量要求高且更新换代较快。随着各种机械设备的技术进步,以及节能、环保要求的日益提高,当代所使用润滑油的性能、质量要求日益严格,并使产品规格更新换代速度加快,从而促使产品的研制费用、生产投入和技术含量也不断提高。尤其是当代各种交通用具使用的发动机油,每隔 4~5 年就有一次大的质量升级换代。

(3) 消耗量相对提高不快,但伴随着产品质量提高,投入的技术创新较多导致产品附加值很高,因而利润较大,市场竞争激烈。据统计,在发达国家,润滑油的用量或产量占石油加工量的份额由 20 世纪后半叶的 4%~5% 锐减到 20 世纪 70 年代后的 1% 左右,我国和其他

发展中国家也先后在 20 世纪末期趋于仅占原油产量的 1% ~2%。但润滑油的生产成本或价格却提高很快,利润较大。当代的润滑油已被视为接近具有高科技含量、高附加值、高利润的精细化工产品和各大石油公司营造品牌的关键产品,因此其市场竞争异常激烈。

1.1.2 润滑油添加剂产品的发展及其特点

润滑油基础油由于受到化学组成和族组成的限制,不可能直接具有商品润滑油所需的各种性能,同时,随着近代机械技术的发展,润滑油应用范围向高温、高压、高负荷、耐辐射、耐真空等方向发展,因而单靠基础油已不能满足要求,必须加入各种高效的添加剂。所谓添加剂,是指这样的一些化学品,当将其以相对少量加入产品或原材料中,即可显著改善后者的某些性能,或赋予后者某些新的、原先并不显示的性能。润滑油添加剂是确保润滑油质量的重要组分。虽然在润滑油中添加剂的用量比基础油少得多(一般不超过 25%),但其重要性并不亚于基础油,甚至比基础油还更重要一些。例如,要生产符合规格要求的 SL/GF-3 5W/30 汽油机油,除了低黏度、低挥发性、高安定性的Ⅲ类高黏度指数基础油外,还必须有优化的添加剂配方相配合。

添加剂的发展与石油产品质量的关系十分密切,随着机械工业、交通运输工业和国防工业的发展,对油品质量要求越来越高,研究发现,仅仅依靠石油的天然性能或调整加工工艺很难达到人们的要求。20 世纪 30 年代,人们开始研发各种润滑油添加剂,埃克森(Exxon)公司成功研制了烷基萘降凝剂(PPD);20 世纪 40 年代初期,出现了二烷基二硫代磷酸锌盐(ZDDP)抗氧抗腐剂,较好地解决了氧化腐蚀问题;20 世纪 40 年代中期,出现了磺酸盐和水杨酸盐清净剂;20 世纪 50 ~60 年代润滑油添加剂技术得以迅速发展,是润滑油品种和数量发展最快速的时期。50 年代出现酚盐清净剂;50 年代中期,聚合的黏度改进剂问世;60 年代,国外开发应用了丁二酰亚胺无灰分散剂,较好地解决了低温油泥问题。值得一提的是,经过对丁二酰亚胺与金属清净剂复合效应的研究,发现二者复合使用后,明显地提高了油品性能并降低了添加剂总用量,是润滑油添加剂技术领域的一大突破。20 世纪 60 年代后期,国外内燃机油使用的主要添加剂类型已基本定型,即金属清净剂、无灰分散剂和 ZDDP 成为汽车发动机油的三大功能添加剂。20 世纪 70 年代出现了无灰抗氧剂及摩擦改进剂,润滑油添加剂的发展基本上处于平稳发展时期,添加剂的发展主要是改进各种类型的添加剂结构、品种系列化、提高单剂性能,同时进一步研究这些添加剂的复合效应。20 世纪 80 年代国际市场上润滑油添加剂主要以复合剂的形式出售。20 世纪 90 年代后继续发展润滑油复合剂,改进配方并提高使用的经济性,提高单剂性能,发展多功能添加剂。

我国润滑油添加剂工业起步较晚,20 世纪 50 年代中期才建成了一套烷基萘降凝剂小型工业装置。比较系统的润滑剂添加剂开发研究始于 20 世纪 50 年代末期。从 1963 年起,我国开始相继实现了石油磺酸盐及烷基水杨酸盐清净剂、ZDDP 抗氧抗腐剂、含硫和含磷的极压抗磨剂、聚 α -烯烃降凝剂、PIB(聚异丁烯)和 PMA(聚甲基丙烯酸酯)黏度指数改进剂、酚型抗氧剂和防锈剂等的工业化生产。20 世纪 80 年代末,中国润滑剂添加剂生产能力已有相当规模,添加剂品种构成也发生了很大变化。20 世纪 90 年代末期,中国添加剂产量约 $8.0 \times 10^4 \text{ t}$ 。进入 21 世纪,中国添加剂产量和质量继续提高。2007 年,中国生产添加剂约 $1.5 \times 10^5 \text{ t}$,与 20 世纪 90 年代中期相比产量几乎增加一倍。添加剂产品结构也出现了变化,例如,分散剂在添加剂总量中的比例从 16.9% 增加到 31.2%,而清净剂比例则从 30.2% 下降到 20.9%,分散剂的比例首次超过了清净剂;复合剂配方组成也发生了变化,通过提高

分散剂的加剂量、严格控制清净剂和降低 ZDDP 的加剂量、严格限制发动机油中硫酸盐灰分、磷和硫的含量，降低有毒污染物的排放。

随着汽车工业的发展及其对润滑油需求的增长，世界润滑油添加剂消耗量也呈现稳定增长的趋势。车用润滑油占润滑油总量的 50% 左右，而其添加剂用量则在 80% 以上，2012 年世界润滑油添加剂的消耗量达到 $396 \times 10^4 \text{t}$ 左右。

1.2 润滑油及其添加剂的现状与发展趋势

1.2.1 润滑油的现状与发展趋势

1.2.1.1 世界及我国润滑油的消费情况

全球润滑油市场日趋成熟稳定，总量相对提高不快。受全球性金融风暴冲击，润滑油消费在 2008 年和 2009 年明显下降，全球润滑油消费量由 2007 年的 $3930 \times 10^4 \text{t}$ 下降到 2009 年的 $3850 \times 10^4 \text{t}$ 。但中国润滑油消费稳中有升，到 2009 年，占全球润滑油消费比例进一步提升，达到 15.32%，成为仅次于美国的世界第二大润滑油消费市场（见表 1.1）。2014 年 2 月，福斯公司的数据表明，2013 年，中国已成为世界最大的润滑油消费国，美国名列第二。从消费结构来看，世界持续增长的汽车保有量将使车用润滑油需求增长，2013 年，全球需求的 56% 为汽车润滑油，工业润滑油占 44%。然而，随着润滑油质量的提高，发动机技术向小型化发展以及环保和节约成本的原因必将促使润滑油消费减少。

表 1.1 世界以及中国历年润滑油消费

项目	2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
世界消费总量/ 10^4t	3780	3570	3610	3860	3930	3850	3200	—	—
中国消费量/ 10^4t	334	362	464	546	592	590	635	680	710
中国所占比例/%	8.85	10.15	12.86	14.15	15.07	15.32	19.06	—	—

1.2.1.2 我国润滑油市场的竞争格局

由于润滑油市场竞争激烈，通过联合、兼并、重组，占润滑油生产企业总数 1% 的全球最大的 15 家润滑油生产商却占有全球 60% 的市场份额，其余 99% 的润滑油生产商只占有全球 40% 的市场份额。在全球最大的 15 家润滑油生产商中，只有埃克森美孚（Exxon Mobil）、壳牌（Shell）、雪佛龙德士古（加德士）[Chevron Texaco（Caltex）]、BP 嘉实多（BP Castrol）、道达尔菲纳埃尔夫（Total FinaElf）和福斯（Fuchs）6 家是真正的跨国公司，而这 6 家跨国公司都已先后进入我国市场。

为了应对激烈市场竞争，实施名牌战略，中国石油和中国石化两大公司进行战略重组，提升公司价值。2000 年 12 月 19 日，中国石油天然气股份有限公司润滑油分公司（简称“中国石油润滑油分公司”）在北京正式成立，由大连、大庆、兰州、克拉玛依、玉门等 9 个调合厂、1 个研究开发中心和 6 个销售中心组成，对旗下已有的“七星”、“飞天”、“大庆”、“庆路”、“双菱”等品牌进行了整合，集中推出了全新的“昆仑”润滑油。2002 年 5 月 29 日，中国石化润滑油分公司在北京正式成立。组建的范围包括：长城润滑油分公司、重庆一坪润滑油分公司和高桥分公司、茂名分公司、济南分公司、荆门分公司的润滑油等相关业务。成立初期，公司保留“长城”、“海牌”、“南海”三个品牌，并统一冠有“中国石化”的字样，其

余品牌一步过渡到“长城”旗下。

据统计，截至 2010 年，我国润滑油生产企业共有 400 余家，主要集中于东北、华北、华东等地区，三地区润滑油产量约为 $54\times 10^4\text{t}$ ，占全国生产总量的 70% 以上。这三个区域除中国石油、中国石化集团等大品牌润滑油汇聚于此，一些小型加工厂也占据当时很大市场份额。面对国内的诱人润滑油市场，近年来外资企业和民营企业不断成长壮大，到目前已形成三元甚至多元化的发展：以壳牌、埃克森美孚为代表的外国石油公司占据着大多数的高档润滑油市场，中国石油和中国石化两大公司占据着中档油市场(主要调合厂分布如表 1.2 所示)，以统一、莱克等为代表的数量众多的地方民营润滑油企业基本上以生产低质润滑油为主，而且主要销往广大的农村地区。值得注意的是，近年来，一些跨国公司在完成了对高端市场的控制后，利用所获丰厚的垄断利润又开始了对中低端产品市场的进攻。比如，美国壳牌“黄喜力”、英国的 BP、韩国的 SK 和 LG 等润滑油都已将目光投向中国中低档市场。总之，市场竞争趋势仍在加剧，中国石油、中国石化两大国有集团公司应加强合作与交流，共同促进我国润滑油行业的发展。

表 1.2 截至 2010 年中国石油和中国石化润滑油调合工厂分布以及产能情况 $\times 10^4\text{t/a}$

中国石油			中国石化		
调合工厂	地点	产能	调合工厂	地点	产能
兰州	甘肃	40	上海	上海	40
克拉玛依	新疆	40	茂名	广东	35
辽河	辽宁	30	燕山	北京	30
大庆炼化	黑龙江	30	长城	北京	20
大连	辽宁	30	荆门	湖北	20
独山子	新疆	30	济南	山东	15
大庆石化	黑龙江	20	天津	天津	15
抚顺	辽宁	20	郑州	河南	7
玉门	甘肃	20	武汉	湖北	5
太仓	江苏	12	一坪	重庆	5
成都	四川	10	天津储运	天津	3
总计	282		总计	195	

1.2.1.3 国内润滑油生产和市场现状

(1)基础油长期不足，且结构性矛盾突出

近几年各个行业“井喷式”的爆炸增长使润滑油市场需求始终呈现高速增长态势，润滑油实际增长速度也超出了很多机构的预期。两大集团和国际公司市场供给总量依然不能满足市场需求。尽管中国石油、中国石化两大集团产能结构进一步优化，但是其 I 类基础油严重过剩，II、III 类基础油供应不足的局面依然没有得到有效扭转。

(2)国际品牌加速渠道整合、产品升级

壳牌于 2007 年 6 月在珠海投资建立新厂，满足华南地区日益膨胀的润滑油需求；埃克森美孚与中国石化、沙特阿美合资在福建建成福建联合石油化工有限公司、中国石化森美(福建)石油有限公司，这是中国首家涉及炼油、化工、油品销售的上下游一体化中外合资

企业。BP 嘉实多作为中国市场上排名第三的国际润滑油制造商，继续加大了对润滑油市场的投入力度。

(3) 中国石油、中国石化两大品牌拓展国际市场

在品牌国际化的道路上，中国石油、中国石化两大润滑油公司加大了对海外市场的拓展力度，并且都取得了不凡成绩。例如，2007 年，中国石油润滑油分公司迈出了实质性的一步，不仅与全球最大的船运公司“马士基”签署了长期供货合同，更是利用中国石油在海外施工、建筑等渠道将产品销售到中亚、俄罗斯等地区，还成为 NBA 火箭队赞助商，为“昆仑”品牌润滑油进一步拓展海外市场奠定了基础。对于中国石化润滑油公司来说意义也非比寻常，奥运赞助商和“嫦娥一号”专用航天润滑油的光环让长城有了充足的素材去与用户进行沟通。中国石化润滑油公司新加坡工厂落成并投产，同时，“Sinopec”产品也已登陆香港、巴基斯坦等地区和国家。

1.2.1.4 润滑油的发展趋势

随着润滑油复配技术的发展，基础油已占到成品润滑油的 95% 甚至 98%，因此基础油的性能会大大地影响润滑油的性能。今后润滑油对基础油的技术要求主要有以下 6 个方向：

① 热氧化安定性好。延长润滑油寿命、延长换油期、降低消耗量等都突出要求基础油的热氧化安定性要好。尤其对能产生高温的高效率内燃机使用的润滑油以及齿轮油、液压油和通用润滑油来说更是如此。根据经验，温度每升高 10°C ，润滑油氧化速度会加快一倍。

② 挥发性低。延长润滑油的使用寿命和保证润滑油在使用期间质量不出现重大变化，都要求基础油具有低挥发性。环境保护也限制基础油的挥发度。因此要求基础油挥发性呈进一步降低之势。

③ 黏度指数高。在保持黏度大致稳定的同时，对润滑油在较宽的温度范围内充分发挥润滑功能的要求已经提高，并将继续下去。实现这个要求最好的办法就是使用高黏度指数基础油替代对黏度指数改进剂的依赖，因为黏度指数改进剂会使润滑油氧化安定性变差并形成沉积物。

④ 低硫或无硫。矿物基础油中的硫是一种天然的极压添加剂和抗氧化剂，但是硫会与添加剂化合物相互作用，并使添加剂配方难以优化。另外，硫对催化转化器脱除氮氧化合物也有负面影响，因此不希望基础油中含硫。

⑤ 黏度低。降低黏度有助于提高内燃机效率。此外，要求润滑油有较好的低温流动性，也必然要降低黏度。

⑥ 环境友好。21 世纪继续使用石油类基础油的前提条件就是进一步降低芳烃，特别是稠环芳烃含量，还要求基础油在加工处理或再生循环时不会造成有碍人体健康的特殊问题。对全损耗润滑油和在环境敏感地区使用的润滑油，除了要求在水中和在地面上无毒性外，可生物降解也将提到议事日程上来，并越来越受到重视。

传统的物理分离方法——溶剂精制、溶剂脱蜡和白土补充精制的“老三套”工艺已不能满足当代社会对润滑油质量的需求；加氢和异构脱蜡工艺等化学工艺方法，能获得黏度指数高、抗氧化安定性好等优点的基础油。国内外多年研究表明，加氢和异构脱蜡工艺是提升润滑油质量的有效方法，它同时也提高了进料来源的灵活性。

目前，全球范围内，润滑油基础油生产能力仍有 70% 左右采用“老三套”技术，世界润滑油基础油市场供大于求，结构性矛盾突出，常规基础油居主导地位，但需求量下降；非常规基础油需求量上升，但供不应求，这为合成油技术发展提供了广阔的市场空间，Ⅲ类、Ⅳ

类基础油将呈现高速增长态势。由于今后石油资源供应日趋紧张,用天然气合成油(GTL)生产润滑油基础油是市场前景看好的一项新技术,也是性价比非常好的一种基础油。尤其是费托天然气合成润滑油基础油(FTBO)的出现,成为润滑油基础油质量的大飞跃。资料表明,润滑油基础油新增产能以Ⅱ/Ⅲ类基础油为主,Ⅰ类油产能增加很少,新增产能中壳牌在卡塔尔的 GTL 装置引人注目。

1.2.2 润滑油添加剂的现状与发展趋势

1.2.2.1 国外润滑油添加剂的生产及市场现状

自 1990 年以来,世界润滑油产量一直在 $3800 \times 10^4 \text{ t}$ 左右波动,年均增长率约为 1%。按照 10% 的平均加剂量来估算,全球添加剂的消费总量约在 $(380 \sim 410) \times 10^4 \text{ t}$ 左右。其中内燃机油添加剂的消耗量约占总销售量的 70%。据美国克莱恩(Kline & Company, Inc)有限公司的调研,2010 年,全球添加剂总消耗量约为 $370 \times 10^4 \text{ t}$,其价值约为 103 亿美元,其中分散剂、黏度指数改进剂和清净剂是使用量最大的 3 种润滑油添加剂,占添加剂总消耗量的 68%。2011 年,全球润滑油添加剂消费量最多的国家是美国,其次是欧洲(中欧、东欧和西欧)以及中国,不同区域添加剂消费所占比例不同。

为提高竞争力,20 世纪 90 年代,国外的添加剂公司通过合并和重组,基本形成了以 4 大添加剂公司为主的分布格局,即路博润公司(Lubrizol)、润英联公司(Infineum)、雪佛龙奥伦耐公司(Chevron Oronite)、雅富顿公司(Afton)。四大添加剂专业公司控制了全球润滑油添加剂 90% 左右的市场份额。

(1) 路博润公司(Lubrizol)

路博润公司成立于 1928 年,总部位于美国俄亥俄州,开发、生产和销售几乎所有润滑油和燃料用的组分添加剂和复合剂,是目前世界上最大的添加剂生产商,产品市场占有率约为全球的 33%,其中,40% 左右的添加剂销往北美,30% 销往欧洲,30% 销往亚太、中东和拉美。该公司在美国本土以外的许多国家都设有生产厂,主要分布在加拿大、巴西、英国、法国、南非、印度、新加坡、沙特阿拉伯、日本、澳大利亚和中国。近几年来,通过对新兴市场的开拓、并购扩展产品、调整产品结构等方法,路博润公司销售量稳步增长。在中国主要以销售润滑油复合剂为主,如内燃机油复合剂、齿轮油复合剂、液压油复合剂等。

路博润公司的复合剂品种比较齐全,基本上能为所有主要门类的润滑油生产提供相应的复合剂,主要产品有:发动机油复合剂,传动系统(自动传动液和车辆齿轮油)用复合剂,液压油、工业齿轮油、汽轮机油等工业润滑油复合剂以及金属加工油复合剂。特别在工业用油领域,路博润公司的添加剂居于全球领先的地位。该公司的产品线分布为:车用油添加剂约占整个产品线的 72%,工业用油添加剂和工业发动机用油添加剂约占 10%,其余部分为驱动系用油添加剂和金属加工油添加剂。

(2) 润英联公司(Infineum)

润英联公司于 1999 年 1 月由埃克森美孚石油公司(Exxon Mobil)和壳牌石油公司(Shell)各出资 50%,将各自的添加剂分部(Paramins 和 Shell)合并而成,产品占世界市场份额 20% 左右,目前市场占有率在全球居第二位。相对路博润公司而言,润英联公司增加了车用油添加剂的产品线生产,减少了金属加工油添加剂的产品线生产,其中,车用油添加剂约占整个产品线分布的 80%。润英联公司产品主要集中在车用润滑油、船用润滑油等领域,在工业润滑油方面产品不多,主要是由原美孚开发的齿轮油复合剂以及由原 Shell 公司开发的氢化

苯乙烯-异戊二烯共聚物黏度指数改进剂。

(3) 雪佛龙奥伦耐公司(Chevron Oronite)

雪佛龙奥伦耐公司成立于1917年,现为雪佛龙子公司,期间经过多次并购和重组。2001年,雪佛龙和德士古合并后,整合了德士古的添加剂业务。目前,雪佛龙奥伦耐公司市场占有率在全球居第三位。雪佛龙奥伦耐公司在复合剂方面有很强的实力,主要产品有汽油机油复合剂、柴油机油复合剂、天然气发动机油复合剂、铁路机车及船用油复合剂、自动传动液复合剂以及抗磨液压油复合剂。该公司在硫化烷基酚盐清净剂方面拥有极强的传统优势,确立了其在工业发动机用油如铁路机车、船用发动机及天然气发动机用油等领域的全球争先地位。其技术开发有独特的优势,车用油添加剂的生产线约占78%,工业发动机用油添加剂生产线约占14%,驱动系列和工业用油系列添加剂生产线约占8%。

(4) 雅富顿公司(Afton)

雅富顿公司总部设在美国弗吉尼亚州的首府里士满市,其前身为乙基公司(Ethyl)。2004年,乙基公司变更为NewMarket公司,成为雅富顿和乙基的控股母公司,雅富顿负责原石油添加剂业务,乙基公司仍以原有名称经营四乙基铅业务。雅富顿公司是全球第四大添加剂生产商,是齿轮油的全球第二大供应商,但由于齿轮油总量增长并不大,该公司的产品结构主要集中在内燃机油和工业用油方面。雅富顿产品线分布特色为:车用油添加剂的生产量约占总产量的55%,驱动系用油添加剂约占26%,其余产量为工业用油或是工业发动机用油添加剂。

除四大添加剂专业公司之外,还有几家规模较小、生产单剂的添加剂公司,如科聚亚公司(Chemtura)、汽巴公司(Ciba)、范德比尔公司(Vanderbilt)及罗曼克斯公司(Rohmax)等,以生产单剂为主。这些公司一般在各自的产品领域都具有全球领先的研发实力,在业界具有很高的知名度,并占有相当的市场份额。其中,科聚亚公司在磺酸盐清净剂、汽巴公司在抗氧化剂、罗曼克斯公司在PMA型黏度指数改进剂和降凝剂、范德比尔公司在极压抗磨剂和摩擦改进剂等领域分别处于领先地位。

随着润滑油品的升级换代,研发费用随着需要通过的台架个数的急剧增多而迅速增加,如没有丰富的技术积累和超强的研发实力,将很难跟上最新的技术进展。因此,国外添加剂产业相对比较封闭,一般不会有贸然进入者,因而也不会对四大添加剂专业公司形成竞争压力。

1.2.2.2 国内润滑油添加剂的生产及市场现状

中国近年来润滑油的消费量保持着较高的增长速度,巨大的润滑油消费潜力拉动了添加剂的需求。

我国润滑油添加剂产业起步较晚。自20世纪50年代添加剂产业建立起,我国通过自主研发和引进国外生产技术并举,历经几十年的积累和发展,已经形成一定的生产规模,目前可生产13大类约300多个牌号的添加剂单剂,总产量达到约 10×10^4 t。我国在主要添加剂品种上与国外相当,但产品质量还有一定差距。国内的复合剂配方也在持续开发中,但目前主要集中在中低端产品。

国内润滑油单剂生产厂众多。国内目前公认的、在行业内具有一定影响力的四大单剂生产公司有兰州路博润兰炼添加剂有限公司(简称路博润兰炼)、锦州石化添加剂厂、无锡南方添加剂有限公司(简称无锡南方)和辽宁天合精细化工股份有限公司(简称辽宁天合)。其共同特点是产品品种较齐全,产量和市场占有率较高。其中,路博润兰炼、锦州

石化添加剂厂属于中国石油，而无锡南方和辽宁天合为民营企业。因此，目前国内单剂生产的基本格局是中国石油和民营企业各据半壁江山。此外，还有一些小的单剂生产厂，如新疆蓝德精细石油化工股份有限公司、新乡市瑞丰化工有限公司、北京兴普精细化工技术开发公司等。

由于复合剂在储存、运输和调合等方面具有突出的优势，国内润滑油公司大多采用复合剂进行生产。目前国内市场上使用的复合剂产品主要有三大来源：国外添加剂公司进口的复合剂、国内合资企业生产的复合剂以及润滑油或添加剂公司自行生产的复合剂。特别是近几年来，国外添加剂公司纷纷通过与中国石化、中国石油合资等手段扩大生产规模，抢占市场份额。目前，国内主要有两大合资企业：上海海润添加剂有限公司（简称上海海润）和兰州路博润兰炼添加剂有限公司。除合资企业外，国内复合剂生产厂主要是一些民营添加剂厂，如辽宁天合、无锡南方等。

总之，国内添加剂产业的格局是高端产品依赖进口，中低端产品基本依靠国内自产，产能小且分散。

从市场发展趋势来看，未来我国添加剂市场需求的增长趋势与国内润滑油市场需求的增长趋势保持一致，但增长速度会稍快。这主要是由于国内高档润滑油的使用比例会大大提高，特别是内燃机油质量等级的提高通常都意味着添加剂量的增加。

1.2.2.3 润滑油添加剂的发展趋势

从润滑油添加剂质量发展看，影响润滑油添加剂发展的因素很多，如燃油经济性及延长换油期、汽车工业发展及节能环保、生物柴油及其他替代燃料的发展等。今后润滑油添加剂的发展主要有以下 5 个方向：

(1) 硫酸盐灰分、磷和硫(sulphated ash, phosphorous and sulphur, SAPS)控制更为严格许多传统的非常有效的发动机油添加剂不得不停止使用，因为它们会使尾气转化器中的催化剂中毒(例如磷)，或者是因为它们含有燃油中受到限制的某些元素(例如硫)。除了发动机外，最重要的是汽车采用无级自动变速箱(CVT)，因而使传统的汽车传动液必须采用不同的配方。汽车工业发展及节能环保要求发动机油具有更高的燃油经济性，更为苛刻的硫、磷含量和更低的硫酸盐灰分，这就要求添加剂满足低硫酸盐灰分、低磷、低硫型的需求，减少有害物质的排放。

(2) 开发环境友好添加剂

随着日益严格的环保法规的实施，新开发的添加剂应该更符合环境保护的要求，例如，路博润公司已经开发了环境友好的 ZDDP。此外，近几年来发动机油规格要求选用 API II 类和 III 类基础油，有时还要求选用合成或半合成基础油，这些基础油对于添加剂在节能环保、抗氧抗腐以及相容性等方面都提出了更高的要求。

(3) 迎合新燃料的需求

在新能源应用方面，随着生物柴油、煤制油、天然气及其他替代燃料的应用，这些新燃料对润滑油也有不同的润滑要求，需要企业进行相关的投入与研究，也是添加剂生产商在今后面临且必须解决的问题。

(4) 发展纳米技术

纳米技术、信息技术、生物技术被称为未来最重要、最核心的三大技术。纳米润滑材料由纳米添加剂、基础油和其他功能添加剂组成，被认为是值得重视的纳米材料之一。在润滑剂添加剂研发生产中也可应用纳米技术，如超高碱值的纳米清净剂的合成。