

润滑油品开发与应用丛书

烃[®]

润滑油脂生产技术

王先会 编著



中国石化出版社

润滑油品开发与应用丛书

润滑油脂生产技术

王先会 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书介绍了 21 世纪初期国内润滑油脂生产技术及发展状况。其内容包括润滑油脂基础油和添加剂的最新水平,重点阐述润滑油脂的生产工艺、生产设备以及操作条件和注意事项,另外还对润滑油脂的评定分析方法以及生产管理方法进行了适当的论述。书后还附有润滑油脂生产原料及设备的生产供应商资料。

本书可供从事润滑油脂生产、科研、应用及营销的技术人员、管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油脂生产技术/王先会编著.
—北京:中国石化出版社,2005
(润滑油品开发与应用丛书)
ISBN 7-80164-701-7

I. 润… II. 王… III. ①润滑油-生产工艺②润滑脂-生产工艺 IV. TE626

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 003078 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
河北天普润印刷厂印刷
新华书店北京发行所经销



787×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 341 千字
2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷
定价:32.00 元

前 言

近年来,全世界润滑油总产量一直维持在4000万吨,润滑脂年产量约为100万吨,润滑脂占润滑油的2.5%。最新的统计数字表明,2003年中国润滑油消费量达400万吨,销售收入超过300亿人民币,首次超过俄罗斯成为仅次于美国的世界第二大润滑油消费国,而润滑脂产量也接近10万吨。根据企业性质的不同,目前中国润滑油脂生产可以划分为三个板块:一是国有骨干企业即中国石化润滑油公司和中国石油润滑油公司,大约占60%;二是国外品牌,约占20%;剩下的是地方民营企业,约占20%。在如此庞大的市场中,长城、昆仑等一大批国产油品在市场整体份额上具有绝对优势,而美孚、壳牌、加德士、BP等国际知名品牌占据了高端油市场的较高份额。

伴随着人类社会进入21世纪,润滑油脂的生产技术和管理技术也进入了一个新的发展时期。世界润滑油基础油正由API I类向API II/III类转变,基础油生产正向加氢技术发展。预计到2005年,全球加氢基础油量将占基础油总量的10%左右。润滑油脂的添加剂也由过去的以单剂为主,逐步过渡到以复合剂为主,同时要求对环境友好。在润滑油脂的生产过程中,电子计算机被广泛采用,如DCS系统。但是,总体上与国外先进水平相比,我国润滑油脂的生产技术水平还有较大差距。如生产规模偏小,生产厂家分散,产品质量档次偏低,自主研发能力不足。中国的润滑油脂生产面临的正是这样一个大环境。

石油是一种对国民经济有重要影响的战略资源,现在,我国已成为石油的纯进口国。这就更要求国内润滑油脂的生产厂商,努力开发生产出高质量、低消耗的润滑新材料,使宝贵的资源发挥最大的社会效益。

在当前市场经济条件下,为了提高国内润滑油脂产品的制造水平,有必要编写一部能够反映当今润滑油脂生产最新技术方面的书籍,将国内外最新的科技成果归纳起来,以适应润滑技术日新月异的发展需要。所以,特编写这部《润滑油脂生产技术》。希望本书能为国内润滑油脂生产企业产品质量的改进、生产技术的进步,起到一定的积极作用。

由于作者水平有限,对国内外润滑油脂生产技术的了解还不够深入,书中难免有各种各样的错误,敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 润滑油脂基础油	(1)
第一节 矿物型基础油	(1)
1.1 石油和石油炼制工业	(1)
1.2 基础油组成和性能	(4)
1.3 基础油加工工艺	(6)
1.4 国外基础油生产现状	(11)
1.5 国内基础油生产现状	(16)
第二节 合成型基础油	(28)
2.1 合成油种类和性能特点	(28)
2.2 聚 α -烯烃油	(31)
2.3 烷基苯合成油	(35)
2.4 酯类油	(35)
2.5 聚醚	(39)
2.6 磷酸酯	(42)
2.7 硅油	(43)
2.8 氟油	(45)
第二章 润滑油脂添加剂	(48)
第一节 润滑油脂添加剂分类和现状	(48)
1.1 添加剂分类	(48)
1.2 添加剂现状	(54)
第二节 润滑油脂单剂	(55)
2.1 清净剂和分散剂	(55)
2.2 抗氧抗腐剂	(61)
2.3 极压抗磨剂	(62)
2.4 油性剂和摩擦改进剂	(67)
2.5 抗氧剂和金属减活剂	(72)
2.6 粘度指数改进剂	(78)
2.7 防锈剂	(84)
2.8 降凝剂	(87)
2.9 抗泡剂	(89)
2.10 抗乳化剂	(93)
第三节 润滑油脂复合剂	(94)
3.1 复合剂功效	(95)
3.2 汽油机油复合剂	(95)



3.3	柴油机油复合剂	(97)
3.4	二冲程摩托车油复合剂	(101)
3.5	铁路内燃机油复合剂	(102)
3.6	船用发动机油复合剂	(102)
3.7	车辆齿轮油复合剂	(103)
3.8	工业齿轮油复合剂	(104)
3.9	液压油复合剂	(105)
3.10	汽轮机油复合剂	(106)
3.11	润滑脂复合剂	(107)
第三章 润滑油调和生产		(109)
第一节 润滑油生产现状		(109)
1.1	润滑油产品构成	(109)
1.2	润滑油生产规模	(109)
第二节 润滑油调和工艺		(110)
2.1	润滑油调和原理	(110)
2.2	润滑油调和工艺类型	(111)
2.3	罐式间歇调和工艺	(111)
2.4	自动化连续调和工艺	(113)
2.5	气脉冲调和工艺	(117)
第三节 润滑油调和参数计算		(119)
3.1	可加性参数计算	(120)
3.2	非可加性参数计算	(120)
第四节 润滑油调和工艺控制		(125)
4.1	影响调和质量的因素	(125)
4.2	润滑油调和注意事项	(126)
第五节 清洁性润滑油生产		(127)
5.1	清洁性工业润滑油生产	(127)
5.2	清洁性电器绝缘油生产	(129)
第四章 润滑脂生产		(131)
第一节 润滑脂生产现状		(131)
1.1	润滑脂产品构成	(131)
1.2	润滑脂生产规模	(131)
1.3	润滑脂发展趋势	(132)
第二节 润滑脂分类、组成和结构		(132)
2.1	润滑脂分类	(132)



2.2 润滑脂组成	(134)
2.3 润滑脂结构	(135)
第三节 润滑脂生产工艺基本类型	(138)
3.1 间歇式生产工艺	(138)
3.2 半连续化生产工艺	(142)
3.3 连续化生产工艺	(143)
3.4 电子计算机控制的润滑脂生产过程	(144)
第四节 润滑脂生产单元过程	(145)
4.1 配料	(145)
4.2 稠化剂制备	(146)
4.3 脱水	(148)
4.4 膨化	(149)
4.5 冷却	(149)
4.6 水化	(151)
4.7 过滤	(151)
4.8 均化	(153)
4.9 脱气	(156)
第五节 润滑脂生产配方和操作条件	(158)
5.1 钙基润滑脂	(158)
5.2 锂基润滑脂	(159)
5.3 复合钙基润滑脂	(160)
5.4 复合锂基润滑脂	(161)
5.5 复合铝基润滑脂	(162)
5.6 聚脲润滑脂	(163)
5.7 膨润土润滑脂	(164)
第五章 润滑油脂灌装	(166)
第一节 润滑油灌装	(166)
1.1 润滑油包装现状	(166)
1.2 润滑油灌装机械	(166)
1.3 润滑油灌装工艺	(168)
第二节 润滑脂分装	(171)
2.1 润滑脂包装现状	(171)
2.2 润滑脂分装机械	(172)



第六章 润滑油脂评定分析	(173)
第一节 润滑油脂理化项目评定	(173)
1.1 润滑油理化性能评定	(173)
1.2 润滑脂理化性能评定	(182)
第二节 润滑油脂模拟试验	(188)
2.1 润滑油脂润滑性模拟试验	(188)
2.2 润滑油专用模拟试验	(189)
2.3 润滑脂专用模拟试验	(189)
第三节 润滑油台架试验	(190)
3.1 汽油机油台架试验	(190)
3.2 柴油机油台架试验	(192)
3.3 汽车齿轮油台架试验	(194)
3.4 液压油台架试验	(194)
3.5 自动传动液台架试验	(195)
3.6 压缩机油台架试验	(195)
第四节 润滑油脂仪器分析	(195)
4.1 红外光谱	(195)
4.2 核磁共振	(195)
4.3 原子吸收光谱	(196)
4.4 原子发射光谱	(196)
4.5 质谱分析	(197)
4.6 荧光 X 射线	(197)
4.7 铁谱分析	(197)
第七章 润滑油脂生产管理	(199)
第一节 润滑油脂储运管理	(199)
1.1 散装油品	(199)
1.2 桶装油品	(200)
第二节 润滑油脂质量管理	(201)
2.1 原材料质量管理	(201)
2.2 生产过程质量管理	(202)
附录 1 润滑油脂基础油、添加剂供应厂商通讯录	(203)
附录 2 润滑油脂生产设备厂商通讯录	(205)
附录 3 润滑油脂评定仪器生产厂商通讯录	(206)

第一章 润滑油脂基础油

润滑油脂的主要组成部分——基础油，既是润滑油脂添加剂的“载体”，同时也是润滑的主体。润滑油性能能否正常发挥，基础油的品质起着决定性的作用。基础油是润滑油脂的主要组成部分，所占比例随润滑油脂的品种和质量不同而异，一般都在 70% ~ 99% 的范围之内。其品质的高低直接影响成品润滑油脂的好坏。按来源不同，基础油一般又可分成矿油型基础油和合成型基础油两大类。近年来，随着环保意识的加强，具有生物降解性的绿色基础油有了一定发展。

第一节 矿物型基础油

矿物型基础油是指天然原油经过常减压蒸馏和一系列精制处理而得到的基础油，目前是润滑油脂基础油的主要部分。世界润滑油基础油正由 API I 类向 API II / III 类转变，基础油生产正向加氢技术发展。加氢技术生产的润滑油基础油，硫、氮及芳烃含量低，粘度指数高，热氧化安定性好，挥发性低，换油期长。世界润滑油加氢基础油的需求正逐步增长。

1.1 石油和石油炼制工业

1.1.1 石油的组成、分类和性质

1. 石油组成

石油又称原油，是从地下深处开采出来的棕黑色可燃性粘稠液体，它是古代海洋或湖泊中的生物经过漫长的演化形成的混合物。石油在常温下是液体烃类，其中含有蜡、沥青等固体成分。石油主要由碳、氢两种元素组成，包括烃类和非烃两类化合物。烃类化合物主要为烷烃、环烷烃、芳香烃等烃类；非烃类化合物有含硫、氧、氮的化合物，以及少量金属的硫化物、氧化物、氮化物、金属有机化合物，还有少量硫、氧、氮和金属等组成的复合有机化合物等。组成石油的化学元素主要是碳（83% ~ 87%）、氢（11% ~ 14%），其余为硫（0.06% ~ 0.8%）、氮（0.02% ~ 1.7%）、氧（0.08% ~ 1.82%）及微量金属元素（镍、钒、铁等）。碳和氢化合形成的烃类是构成石油的主要组成部分，约占 95% ~ 99%。一般来说，硫、氧、氮的化合物对石油产品均有害处，在石油加工中应尽量除去。不同产地的石油中，各种烃类的结构和所占比例相差很大，但主要属于烷烃、环烷烃、芳香烃三类。

2. 石油分类

按化学组成不同，原油可分为石蜡基（烷烃 > 70%），环烷基（环烷 > 60%），中间基（烷、环烷、芳烃含量接近）和沥青基（沥青质 > 60%）四类。另外，原油还按硫含量高低分为低硫原油（< 0.5%）、含硫原油（0.5% ~ 1.5%）和高硫原油（> 1.5%）。通常以烷烃为主的石油称为石蜡基石油，以环烷烃、芳香烃为主的称环烷基石油，介于二者之间的称中间基石油。

3. 石油的性质

石油的性质因产地而异，密度为 0.8 ~ 1.0 g/mL，粘度范围很宽，凝点差别很大（-60 ~ 30℃），沸点范围为常温到 500℃ 以上。可溶于多种有机溶剂，不溶于水，但可与水形成乳

状液。

(1) 石蜡基原油

汽油的辛烷值低，煤油有良好的燃烧性，柴油的十六烷值高。这样的原油，适合制造高粘度指数的高级润滑油和固态蜡。大庆原油的主要特点是含蜡量高，凝点高，硫含量低，属低硫石蜡基原油。

(2) 环烷基原油

这种原油经过炼制得到的汽油辛烷值高，煤油的燃烧性差，柴油的十六烷值低，轻质润滑油馏分的凝点低，是良好的电器绝缘油原料。环烷基原油是世界各类原油中最宝贵的资源之一，其储量仅占原油总储量的 2.2%。目前世界上只有美国、委内瑞拉和中国拥有环烷基原油资源。从环烷基原油的特点看，其润滑油馏分的化学组成以环烷烃、芳烃为主，直链石蜡烃少，凝点较低，是生产电器用油、冷冻机油的良好原料，同时也适宜于生产白油、化妆品用油以及特殊工艺用油。

(3) 中间基原油

这种原油生产的煤油品质良好，汽油辛烷值不高，可以制得润滑油、重油、沥青等。

我国中间基原油一般偏重，轻质油品含量少。特点是含蜡较多，凝点高，硫含量低，镍、氮含量中等，钒含量极少。除个别油田外，原油中汽油馏分较少，渣油占 1/3。组成不同的石油，加工方法有差别，产品的性能也不同，应当物尽其用。

1.1.2 石油的生产和消费

1. 全球石油产量

美国《油气杂志》2001 年 12 月 24 日发表了世界石油产量和油气储量年终统计。2001 年全球原油和凝析油产量为 31.8 亿吨，比上年的 33.6 亿吨下降 5%。据预测，今后 10 至 15 年，世界石油总产量仍将保持 1.4% 的增长速度。2015 年左右，世界石油年产量将达到 45 亿吨的高峰。2001 年美国石油消费量 8.956 亿吨，其中国内生产 3.527 亿吨；日本石油消费量 2.472 亿吨；中国石油消费量 2.319 亿吨，其中国内生产 1.649 亿吨。将 2000 年 12 月 18 日公布的各国或地区原油日产量列于表 1-1-1，供参考。

表 1-1-1 2000 年世界原油产量

国家或地区	2000 年原油产量/ (1000 桶/日)	较上年 增长率/%	国家或地区	2000 年原油产量/ (1000 桶/日)	较上年 增长率/%
西半球总计	17196.7	1.8	西欧总计	6429.6	1.0
阿根廷	749.4	-6.5	奥地利	20.2	0.1
玻利维亚	33.8	4.1	丹 麦	357.2	19.4
巴 西	1139.2	4.9	法 国	28.5	-7.7
加拿大	1998.5	5.1	德 国	60.8	12.0
智 利	9.0	0	意大利	91.8	-8.1
哥伦比亚	688.7	-15.6	荷 兰	51.3	-6.2
厄瓜多尔	390.3	3.9	挪 威	3216.2	6.6
墨西哥	3050.4	5.0	西班牙	4.5	-26.1
秘 鲁	97.1	-5.2	土耳其	57.0	1.3
特立尼达	119.6	-4.3	英 国	2536.9	-6.9
美 国	5823.0	-1.0	其他西欧国家	0	-94.8
委内瑞拉*	3035.0	8.9			
其他拉美国家	64.0	0.3			

续表

国家或地区	2000 年原油产量/ (1000 桶/日)	较上年 增长率/%	国家或地区	2000 年原油产量/ (1000 桶/日)	较上年 增长率/%
东欧和独联体总计	7834.5	6.8	中东总计	21568.7	5.9
阿尔巴尼亚	5.9	6.9	巴 林	102.4	0.2
克罗地亚	23.0	-6.5	伊 朗*	3567.5	1.8
独联体	7194.0	1.4	伊拉克*	2681.7	6.2
匈牙利	27.1	12.0	科威特* ^③	1774.0	7.3
罗马尼亚	122.6	-0.2	阿 曼	891.2	7.1
塞尔维亚	18.0	0	卡塔尔*	680.8	5.1
其他东欧国家	9	26.5	沙特阿拉伯* ^③	8064.0	7.2
			叙利亚	510.2	-5.9
			阿拉伯联合酋长国*	7738.0	-6.7
			也 门	440.8	8.2
			其他中东国家	0	-22.4
非洲总计	6705.3	1.8	亚太总计	7361.6	2.7
阿尔及利亚*	800.0	7.4	澳大利亚	720.0	36.7
安哥拉	743.5	-2.4	文 莱	168.7	1.8
喀麦隆	100.7	0.7	中 国	3255.0	0.9
刚果(前扎伊尔)	25.0	5.5	印 度	639.1	-1.9
刚果共和国	265.0	0.3	印度尼西亚*	1298.8	1.5
埃 及	810.8	-0.5	日 本	12.3	6.1
加 蓬	330.9	-2.7	马来西亚	670.8	-7.3
利比亚*	1407.5	4.5	新西兰	40.0	-11.0
尼日利亚*	1990.8	1.4	巴基斯坦	54.6	2.2
突尼斯	74.5	-8.7	巴布亚新几内亚	68.5	-22.7
其他非洲国家	76.0	0.1	泰 国	110.2	34.6
			越 南	303.5	2.8
			其他亚太国家	20.0	5.0
			世界总计	67096.3	3.7
			欧佩克总计	28156	5.8
			北海总计	5983.0	2.7

注：① 资料来源：美国《油气杂志》(2000 年 12 月 18 日)。

② * 为欧佩克成员国。

③ ③ 科威特和沙特的产量各包括中立区一半的产量。

2. 国内石油生产和消费现状

(1) 石油储量

最新油气资源评价显示，全国石油总资源量 1000 亿吨，其中陆上为 775 亿吨，占 77.5%，海域为 225 亿吨，占 22.5%。截至到 1998 年底，已探明石油可采储量 57 亿吨，其中已采出 33 亿吨，尚有剩余 24 亿吨，储采比仅为 14:1(世界石油储采比为 43:1)。我国是人均占有油气资源相对比较贫乏的国家，人均石油资源量和人均产油量仅为世界平均水平的 18.3% 和 21.4%。

(2) 石油产量

经过 50 年的发展，2001 年我国原油产量 1.65 亿吨，已连续 13 年继美国、沙特阿拉伯、俄罗斯和伊朗之后位居世界第五位。预计今后 10~15 年内，如果在勘探方面没有大的发现和重大技术突破，国内原油产量不会有明显增长，只能维持在 1.8~2.0 亿吨水平。

(3) 石油消费量

我国原油进口量现占国内消费量近 1/3，在全球范围内我国是仅次于美国和日本的第三

大原油进口国。在“十五”期间，预计我国经济将以 7% 左右的速度增长，“十五”之后十年，预计我国经济仍将以较快速度增长。在经济增长的拉动下，未来我国石油需求仍会增长较快。假定今后 10~15 年我国石油消费增长速度按 4% 测算，预计 2005、2010 和 2015 年的原油消费量将分别达到 2.43 亿吨、2.96 亿吨和 3.6 亿吨，且需求增长弹性不大。据预测，2005 年、2010 年、2015 年我国原油产量将只能分别达到 1.7 亿吨、1.8 亿吨、2.00 亿吨。据国际能源机构(IEA)分析，2010 年中国石油需求将有一半依赖进口，2020 年中国石油需求将有 80% 依赖进口。将我国原油供需状况汇总列于表 1-1-2，供参考。

表 1-1-2 我国原油供需状况表(单位: 亿吨)

项 目	2005(预测)	2010(预测)	2015(预测)
产 量	1.70	1.80	2.00
消费量	2.43	2.96	3.60
缺 口	30%	39%	44%

1.1.3 国内石油炼制工业现状

(1) 炼油能力

2000 年我国炼油能力达 2.7 亿吨/年，在亚洲规模最大，在世界仅次于美、俄国位居世界第三。汽、煤、柴三大石油产品的消费量 1.1 亿吨，继美国和日本之后居第三位。中国石油集团、中国石化集团、海洋石油总公司构成了我国石油石化企业的主体。美国《油气杂志》公布的世界大型炼油公司 2001 年的排名，中国石化和中国石油两大集团公司分别名列第 5 位和第 10 位。预计到 2005 年，我国炼油能力将增加到 3.1 亿吨/年、2010 年 3.6 亿吨/年、2015 年 3.9 亿吨/年。

(2) 炼油技术

我国目前共有 60 多家炼油厂，为增加汽油和柴油等轻质油品产量，我国炼油技术走的是深度加工的道路，形成了以催化裂化为主体，加上加氢裂化、延迟焦化和减粘裂化等配套的炼油深度加工体系。

1.2 基础油组成和性能

长期以来，润滑油总是通过改变添加剂的类型和加剂量来满足不断升级的产品规格要求，而基础油通常变化不大。然而，近年来，随着润滑油产品更新换代速度的加快，尤其是发动机油新规格 ILSAC GF-3 和 PC-9 的推出，为润滑油提出了更加苛刻的要求。如要求润滑油能满足燃料经济性指标，为发动机提供更好的保护，换油期延长，排放更低等。这时采用常规溶剂精制基础油，通过改进添加剂的方法来满足新一代润滑油的性能要求，将十分困难，甚至变得不可能。只有采用非常规的加氢基础油，再通过与其匹配的添加剂实现性能最佳化，才能满足规格不断提高的润滑油性能要求。

1.2.1 基础油应具有理化性能

矿物基础油的化学成分包括高沸点、高分子量(分子量，应为“相对分子质量”，本书简称为分子量)烃类和非烃类混合物。其组成一般为烷烃(直链、支链、多支链)、环烷烃(单环、双环、多环)、芳烃(单环芳烃、多环芳烃)、环烷基芳烃以及含氧、含氮、含硫有机化合物和胶质、沥青质等非烃类化合物。基础油是由不同类型烃类的混合物，一般包括饱和

烃、芳烃以及含硫、氧、氮的极性有机化合物和胶质、沥青质等非烃化合物。烃类是构成润滑油的主体。对馏分润滑油而言，其烃类碳数分布约为 C20 ~ C40，沸点范围为 350 ~ 535℃，平均分子量为 300 ~ 500。残渣润滑油的烃类碳数大于 C40，沸点大于 500 ~ 535℃，分子量大于 500。尽管非烃类成分的含量一般情况下只占很小的比例，但是对润滑油加工过程和使用性能，却起着不可忽视的影响。理想的润滑油基础油，应具有以下性能：

- ① 适当的粘度和好的粘温性能；
- ② 低的蒸发损失；
- ③ 优良的低温流动性；
- ④ 良好的氧化安定性；
- ⑤ 适宜的对氧化产物及添加剂的溶解能力；
- ⑥ 好的抗乳化性及空气释放值。

1.2.2 基础油组分与理化性能的关系

1. 基础油不同组分对主要理化特性的影响

加工润滑油基础油的过程，不论是物理的还是化学的，实质就是调整烃类和非烃类、极性成分和非极性成分在基础油中存在的比例，最大程度保留理想组分，去除非理想组分。基础油中的各组分对于润滑油的特性起着不同的作用，产生正面或负面的影响。如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 不同组分对基础油主要理化特性的影响

项 目	正构烷烃	异构烷烃	环 烷 烃	芳 烃	极 性 物
粘度指数	很高	高	中	低	低
氧化安定性	好	好	一般	一般/差	S 为抗氧剂 N、O 为促氧化剂
添加剂感受性	好	好	好	比较差	差
倾 点	高	较低	低	轻芳烃低,重芳烃高	低
挥发性	低	低	较低	很高	—
苯胺点	高	高	低	很低	—
闪 点	高	高	较低	低	—
溶解能力	对燃烧残留物造成油污染的有机体没有溶解能力,对氧化产物的溶解能力也较差		对于汽油机油因化学变化生成的不溶物有溶解能力,而对柴油机油因燃烧不完全的残留物溶解能力较差	能溶解因高温(180℃)下化学变化而生成的产物	—
与橡胶相容性	不能真正溶解,油容易从橡胶表面析出		稍差	很好	—

2. 基础油中各组分的氧化性能

氧化性能是润滑油基础油最重要的性能之一。油品氧化有抑制阶段、急剧氧化阶段和最终阶段等三个阶段。抑制阶段有链反应抑制剂的作用。急剧氧化阶段是氧化速度急剧增加，表现为粘度增长，酸度增加。在最后阶段氧化速度放慢。基础油各组分的氧化性能，见表1-1-4。

表 1-1-4 基础油中各组分的氧化性能

组 分	氧化性能	对抗剂的感受性
烷 烃	可延缓氧化，有一诱导期。容易氧化生成酸，以后生成可溶解的粘稠物，而氧化产物一形成后就会沉淀下来	对抗剂油最好的感受性
环烷烃	氧化过程中无明显诱导期，氧化产物高温下腐蚀作用较小，初期沉淀物处于分散状态，而后生成油泥	对抗剂油最好的感受性
烷基苯、烷基萘	相当稳定，氧化生成酸	中等抗剂的感受性
环烷基	容易氧化	对抗剂的感受性不好
多环芳烃	较烷烃、环烷烃更容易氧化，氧化生成油泥，产生胶质沥青状腐蚀性产物。少量芳烃与硫化物配合有抗氧作用	对抗剂的感受性不好
含硫化合物	是天然抗氧剂，但本身易氧化，基础油中最佳含量为 0.1% ~ 0.5%	与抗氧剂有协同作用
极性化合物	氧化促进剂	加速抗氧剂消耗

3. 基础油各种烃类的粘度指数

基础油中烷烃、异构烷烃、少环长侧链的环烷烃和芳烃具有高的粘度指数，而多环短侧链的环烷烃和芳烃，其粘度指数则很低。将某含硫原油润滑油基础油各族烃的粘度指数列于表 1-1-5，供参考。

表 1-1-5 某含硫原油润滑油基础油各族烃的粘度指数

组 成	运动粘度(40℃)/(mm ² /s)	粘 度 指 数
烷 - 环烷烃	39.1	103
单环芳烃	45.1	81
双环芳烃	70.4	66
多环芳烃	102.9	37
极性芳烃	199.0	- 15

1.3 基础油加工工艺

随着环保意识的提高与机械工业的进步，对润滑油产品质量提出了更加苛刻的要求。润滑油要有高的抗氧化安定性、更好的粘温性、好的低温流动性以及优良的剪切稳定性与抗磨性，且环境污染小。这时单纯依靠调整添加剂配方来提高润滑油使用性能的办法，已无法达到要求，需要从润滑油基础油质量上去解决问题。传统工艺生产的矿物润滑油质量很难有进一步的提高，而世界范围内适合生产润滑油的原油资源日益减少，润滑油生产必须面对劣质的重质原油，这对于传统加工工艺也是一道难题。因此，开发新工艺势在必行。

1.3.1 传统工艺

润滑油基础油加工的目的是为了得到所期望的产品性能，然后得到最大的基础油产率。传统工艺是用减压馏分油按顺序经过溶剂精制、溶剂脱蜡、加氢或白土补充精制，用减压渣油则先经过丙烷脱沥青、脱沥青油再按上述流程加工生产。润滑油加工从减压渣油和脱沥青油生产基础油典型的三个主要步骤：①精制以提高粘度指数；②脱蜡以降低倾点；③补充精制以改善稳定性和色度。另外，为调整粘度、闪点和挥发度，在精制、脱蜡以及补充精制步

骤的前、后或中间过程中，常采用蒸馏装置。这些过程的优劣决定产品质量。

1. 溶剂精制

是物理分离过程，利用馏分油中所含非理想组分在某些极性有机溶剂中的溶解度，比在理想组分溶解度大这一性质，来把非理想组分从馏分油中除去的一种加工方法。溶剂精制主要采用糠醛或 *N*-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)，除去不期望的组分，如低粘度芳烃、环烷烃和一些杂原子，从而得到具有较好的粘度指数的精制油和较高芳烃的抽出油。这样的工艺一般要求原料性质比较好，但是近年来适应直接生产润滑油的好原料正在逐渐减少。

2. 溶剂脱蜡

溶剂脱蜡是利用一种在低温下对油溶解能力很大，而对蜡溶解能力很小，并且本身低温粘度很小的溶剂稀释原料，使蜡结成较大晶粒，用结晶和过滤的方法脱除蜡达到期望的倾点。传统工艺采用溶剂如甲基乙基酮，产品是脱蜡基础油和含油蜡。

3. 补充精制

润滑油经溶剂精制、酮苯脱蜡后，还会含有大量胶质、沥青质、环烷酸以及氧、硫、氮的化合物和微量溶剂等杂质。国内润滑油补充精制现有三种工艺。第一种为白土补充精制，第二种为加氢补充精制，第三种为液相脱氮-白土补充精制。

(1) 白土精制

白土精制是物理吸附过程，杂质大部分属于极性物质，易被活性白土吸附除去。选择吸附能力的顺序是：胶质-沥青质-芳香烃-环烷烃-烷烃。我国基础油普遍氮含量高，采用低压加氢精制不解决问题，使得已逐渐淘汰的白土精制近年又开始复苏起来。但是，白土精制对于 500N 以上的重组分油精制，白土使用量太大，不经济。

(2) 加氢补充精制

加氢补充精制普遍采用缓和条件下加氢，能脱除油品中残余溶剂、部分硫化物、氧化物、少量氮化物，改善油品的中和值、残炭、气味，对添加剂的感受性方面效果较好，对脱碱性氮化物效果较差，其精制油氧化安定性难以达到基础油标准要求。在国外，已取代了大部分白土精制装置。我国润滑油基础油，加氢精制油光安定性和储存稳定性不如白土精制油，有待改进。

(3) 液相脱氮-白土补充精制

我国原油含氮量在 0.1%~0.5% 之间，含氮量偏高。石油中氮化物分为碱性氮化物和非碱性氮化物两类。碱性氮化物是指用高氯酸(HClO_4)在醋酸溶液中滴定的氮化物，非碱性氮化物则不能用此方法滴定。碱性氮化物在油品的氧化过程起促进剂作用，因而必须除去。碱性氮化物多存在于芳烃、多环芳烃中，分子量较大的碱性氮化物多存在于胶质、沥青质中。碱性氮化物极性较大，尤其是取代的吡啶和喹啉化合物，选择一种脱碱氮剂(如 D 脱碱氮剂)，在适当的条件下使之反应生成新的化合物，生成物在电场作用下富集与精制油分离，或利用其密度较大与精制油的密度差自然沉降富集与精制油分离，达到脱去碱性氮化物的目的。

液相脱氮-白土补充精制工艺，液相脱氮过程中针对碱性氮化物的脱氮剂能脱去大量碱性氮化物，白土补充精制则进一步吸附部分胶质、沥青质中的氮化物、水分等，显著提高精制油的高温苛刻条件下的氧化安定性，其他性能较好。液相脱氮与白土精制结合，既有效脱除了碱性氮化物，又大大降低了白土用量，收率损失小。脱氮精制油再经白土补充精制，脱除油品中残余的溶剂、微量脱氮残渣，改善颜色，降低中和值等，达到了进一步精制油品的

目的。精制油除调制汽轮机油、液压油外，尤其适于调制内燃机油、齿轮油等。

4. 丙烷脱沥青

渣油中除了高分子的烃以外，还含有大量的胶质和沥青质，必须除去。利用丙烷、丁烷等轻烃溶剂对渣油中的烷烃、环烷烃、单环芳烃等溶解能力强，对稠环芳烃溶解能力弱，对胶质溶解能力更弱，对沥青基本不溶解的特性，将杂质除去。

1.3.2 加氢法生产工艺

20 世纪 90 年代以来，由于环保和汽车制造商对润滑油规格要求日趋苛刻，以轿车用发动机油和自动传动液为先导，包括重负荷柴油机油、液压油、压缩机油等规格不断更新换代，推动着润滑油基础油的生产发展提高到了一个新阶段。节能和环保作为 21 世纪可持续发展的主题，促使润滑油向着低粘度化、低排放方向发展。油品的粘度等级从最初的 SAE30、40 单级油发展到兼顾冬、夏季通用的 15W-40 等多级油，再发展到目前的以节能为主的 10W-30、5W-30 甚至 0W-XX 多级油，如国际润滑油标准化和批准委员会(ILSAC)只推荐 SAE 10W-30 以下粘度等级的发动机油。由于润滑油的低粘度化将导致油品的挥发性增加，为保证油品的质量和使用性能，从安全和环保的角度考虑，要求油品具有更低的挥发性，只有 API(美国石油协会)Ⅱ、Ⅲ类油和聚 α -烯烃合成油(PAO)才能满足要求。润滑油的发展必将推动基础油向高品质方向发展。为满足高档润滑油的高质量、节能、延长换油期和低排放的需求，要求基础油具有低粘度、低挥发度、高粘度指数、良好的氧化安定性等特点。在新一代汽车发动机油中，常规法生产的溶剂精制油已难以满足苛刻的质量要求，对于不断发展的润滑油规格标准，加氢基础油以其特殊的组成决定了它固有的优良性质，能替代昂贵的合成油，调合出性能符合 GF-1、GF-2 和 GF-3 等大跨度要求的多级油，发挥其他基础油难以取代的作用。

1. 加氢工艺技术优势

目前，世界润滑油基础油正由 API I 类向 API Ⅱ/Ⅲ类转变，基础油生产正向加氢技术发展。加氢技术生产的润滑油基础油，硫、氮及芳烃含量低，粘度指数高，热氧化安定性好，挥发性低，换油期长。传统的老三套工艺对于原料和产品结构的变化适应性较差。加氢方案包含有：利用加氢裂化和加氢处理来改进粘度指数和脱除杂质，利用催化脱蜡来降低倾点和利用加氢精制来改进稳定性。全加氢工艺在符合现在和未来基础油需求发展趋势方面的优势，主要有几个方面：

(1) 保证产品质量的同时，原料具有灵活性

加氢工艺可以利用加氢裂化也可以利用加氢处理，来改进基础油的粘度指数和除去杂质，加氢工艺具有适应不同的原油的灵活性。因此，当原油改变时，可保证基础油质量稳定。

(2) 产品方案具有好的灵活性

加氢复合工艺能够生产各种级别的基础油(包括光亮油)。当产品规格要求变化时，可以通过调整分馏系统和加氢复合工艺之间的操作条件，以保证最大的产品灵活性。

(3) 产品质量优异

相对溶剂工艺来说，利用加氢工艺生产的基础油要具有较好的抗氧稳定性、热稳定性和低温流动性。加氢/加氢处理、异构脱蜡和加氢精制的工艺条件可以大大降低原料中的芳烃含量，从而使抗氧化稳定性和热稳定性得以大大改善。

(4) 燃料油和润滑油平衡性好

所有的加氢工艺都可以生产高质量的副产物——燃料油，以保证炼油厂对燃料油和润滑油的共同需求。如有些企业中，溶剂脱沥青和加氢裂化装置最初可能都是按燃料油设计的，可以由燃料油模式转换成适应润滑油基础油的生产。

我国润滑油的发展需要尽快提高质量，而且对产品质量的要求也不断提高，会使一些使用老技术的厂家竞争力逐渐降低，要想提高企业产品的竞争能力，就要采用新技术、发展新工艺。根据所处的地理位置、润滑油特点和润滑油生产技术水平的不同，分区域和领域建设我国内燃机油基础油和工业用油生产基地是必然趋势。润滑油基础油走全加氢工艺路线，是润滑油升级换代的关键。

2. 加氢基础油特点

由于加氢油化学组成的变化，既给成品油带来很多优点，也对添加剂带来新的要求。与常规溶剂精制油相比，加氢基础油主要特点是：低硫、低氮、低芳烃含量、低毒性，较高的粘度指数，优良的热安定性和氧化安定性，挥发度较低，良好的粘温性能和添加剂感受性等。与合成油相比，加氢油在性能上已与其接近，但价格上却比合成油低得多，仅为其 1/3 ~ 1/2，具有明显的价格优势。加氢油不足之处是：对极性物质的溶解性不理想，与添加剂的配伍性也有待改善，最明显的一个缺点就是光安定性差。对这些问题，各国研究人员都采取了许多措施，也取得了一定的效果，但仍需不断完善。加氢基础油与溶剂精制基础油、PAO 性能相比较，如表 1-1-6 所示。总体来说，加氢基础油是一种性能优异、且具有成本优势的基础油。

表 1-1-6 加氢基础油与溶剂精制基础油、PAO 性能对比

项 目	烷烃/%	环烷烃/%	芳烃/%	硫/%	苯胺点/℃	成焦板/分
溶剂精制油	15	65	19	0.6	180	5.0
加氢油	50	48	0.2	0.02	118	7.0
PAO	85	15	0	0	125	8.0

另外，加氢基础油优于普通基础油的特性包括：更好的油水分离性及更低的残炭和蒸发性能，按 CEC-L33-A-93 试验，它与溶剂精制油品的可降解比为 60%：30%，更有利于环境保护。

3. 加氢油应用

由于中低档润滑油中添加剂加入量较少，用加氢油替代溶剂精制基础油，较难表现出加氢油对抗氧剂、清净剂等良好的感受性，其优势作用并不明显，有时还可能出现劣势现象。只有当用加氢油调制高档油时，它可以发挥出溶剂精制基础油所无法比拟的作用，取代价格昂贵的合成油，调制出性能符合要求的 GF-1、GF-2、GF-3 油。从产品的性能角度分析认为，高档润滑油比较适合用加氢油调制。因为高档润滑油配方中所用的添加剂在加氢油中能发挥很大作用，特别在抗氧化、分散性方面优势更突出。

(1) 汽油机油

对于质量等级为 SC、SD 等低档汽油机油产品，用加氢油配方添加剂的加剂量与溶剂精制油相当，不能再降低剂量，采用加氢油后产品总体性能会更好些。由于加氢油的硫含量极低，天然抗氧剂去掉了，这样在产品中可能会出现抗氧性方面的不足。对于质量等级为 SE、SF、SG 等中档汽油机油产品，用加氢油配方添加剂可降低 10% 左右剂量。对于质量等级为