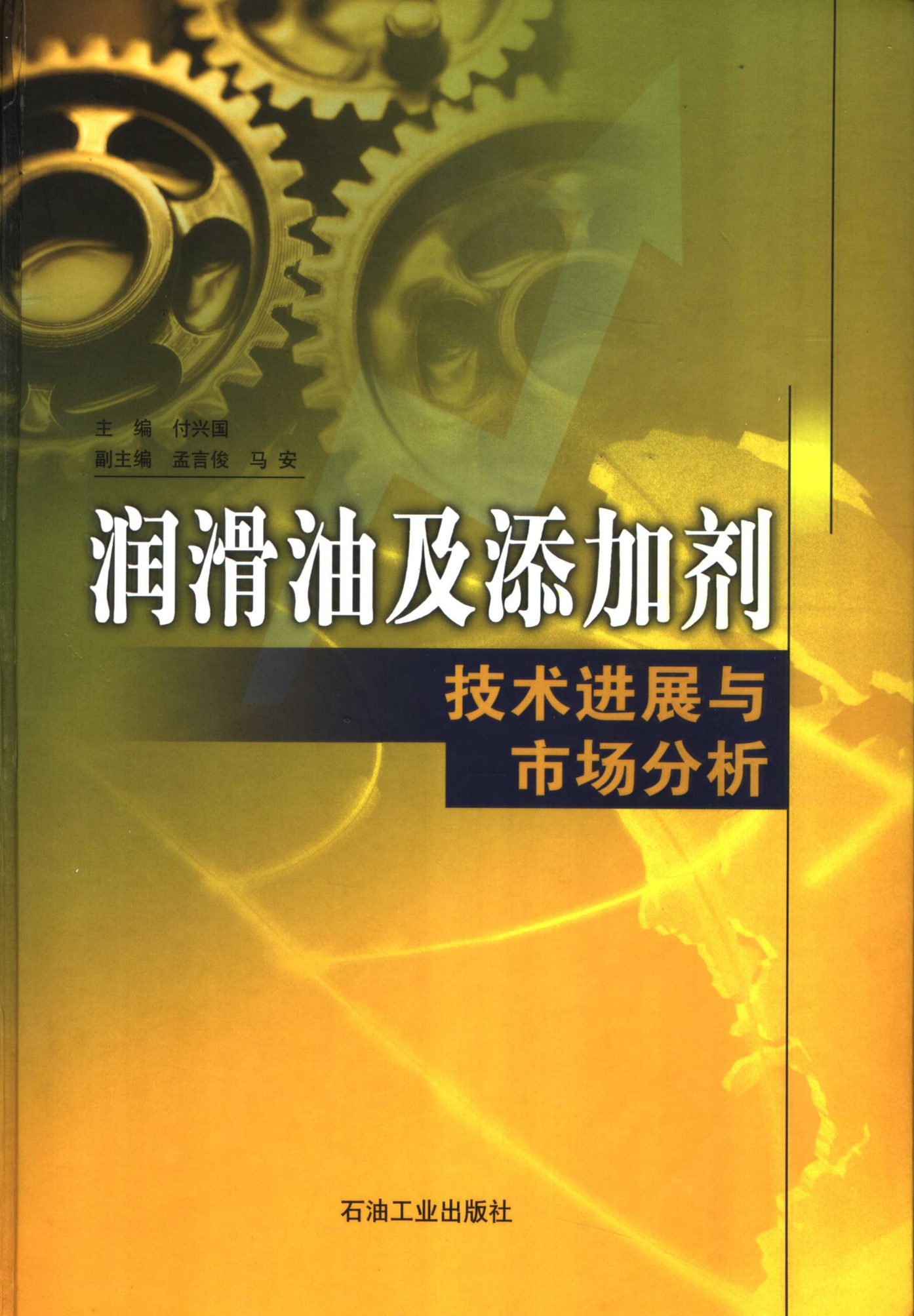




主 编 付兴国
副主编 孟言俊 马 安

润滑油及添加剂

技术进展与 市场分析

石油工业出版社

润滑油及添加剂 技术进展与市场分析

主 编 付兴国

副主编 孟言俊 马 安

石油工业出版社

内 容 提 要

本书全面翔实地论述了国内外润滑油和润滑油基础油的市场供需、质量水平、生产技术、产品品种规格与应用现状及其发展趋势；详细叙述了国外润滑油添加剂的品种、市场需求、生产技术、应用现状及其发展趋势；扼要介绍了国内外主要润滑油和润滑油添加剂生产商的生产、技术等基本情况。本书可供广大从事润滑油科研、生产、营销、应用的相关人员阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

润滑油及添加剂技术进展与市场分析/付兴国主编.
北京：石油工业出版社，2004.7
ISBN 7-5021-4679-2

- I. 润…
- II. 付…
- III. ①润滑油-基本知识
②润滑油-石油添加剂-基本知识
- IV. TE62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 049107 号

出版发行：石油工业出版社
（北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011）
网 址：www.petropub.com.cn
总 机：（010）64262233 发行部：（010）64210392
经 销：全国新华书店
印 刷：石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本：1/16 印张：20.75
字数：526 千字 印数：1—2000 册

定价：60.00 元
（如出现印装质量问题，我社发行部负责调换）
版权所有，翻印必究

前 言

润滑油是四大类石油产品之一，与汽车、机械、交通运输等行业的发展密切相关，与国计民生和国家安全的关系极大。因此，世界各国特别是发达国家都十分重视润滑油的生产与销售。同时，润滑油也是炼油企业展示自身形象、技术水平和整体实力的重要标志，在石油产品中最具有品牌效应，国际著名石油公司都把润滑油作为展示企业形象的重要载体。

随着世界经济日趋全球化，世界润滑油工业面临着更为复杂的市场竞争环境，如来自润滑油公司的兼并活动、润滑油需求区域性的巨大改变、激烈的市场竞争和利润下降的压力等。世界润滑油市场供大于求的矛盾，促使美国和欧洲将其部分生产能力转向市场潜力很大的亚太地区，而亚洲国家为支持低排放，正在积极鼓励燃料和润滑油升级，处于市场转变时期的亚洲反过来也同时影响着世界润滑油市场的发展。润滑油规格标准的建立和更新换代对润滑油的发展起到了决定性的作用。

润滑油基础油是成品润滑油的主体，在润滑油的质量提高及升级换代中发挥重要作用。特别是随着环保及节能法规的日益严格，发动机的动力性能逐渐改善，对现代润滑油的质量及性能要求越来越高，基础油的作用日益明显。加氢基础油在满足当今新一代的车用润滑油和其他高性能的润滑油使用要求过程中，得到了迅速发展，在发动机油、自动传动液中得到了广泛的应用。天然气合成润滑油基础油技术自 20 世纪 90 年代以来越来越受到人们的关注，世界大油气公司积极进行研究开发，已显示出良好的发展前景。

在现代润滑油生产中，添加剂已成为提高润滑油性能、保证油品质量的重要手段。作为一种技术含量高的精细化工产品，添加剂品种开发难度大、工艺技术复杂、生产控制指标严、研制投入大、附加值高，市场竞争十分激烈。

我国在改革开放后，国民经济发展迅速，润滑油需求量持续增长，其增长率大大超过世界其他地区。近几年我国国民经济进入增长相对平稳、产业结构加速调整时期，润滑油需求量增长减缓，中国石油天然气、中国石油化工两大集团公司由于润滑油生产能力过剩率高，供大于求加剧，同时产品结构矛盾突出，投入市场的低、中档油比例较高，基础油外销量大，不仅影响企业经济效益，也影响润滑油质量的提高。随着入世和国内润滑油市场的进一步开放，国有大中型润滑油企业独占市场的局面随之而去，国外大石油公司纷纷进占国内高档润滑油市场，各地方及乡镇和民营企业则挤占低档油市场，并开始转向中档油市场，市场形势异常严峻。

本书主要对国外润滑油市场、质量规格、基础油的生产技术、添加剂的生产和使用状况与发展趋势进行研究，分析国内润滑油市场供需现状及面临的问题，提出相关的对策。

由于水平与能力有限，不足之处，敬请谅解并指正。在此谨对在本书编写过程中给予我们大力支持和帮助的各位领导和专家表示衷心的感谢！

编者

2003 年 11 月

目 录

第一章 润滑油技术发展变化及市场竞争格局	(1)
第一节 润滑油的现状和发展	(1)
第二节 基础油的现状和发展	(4)
第三节 添加剂的现状和发展	(11)
第四节 国内润滑油市场竞争格局	(14)
一、我国润滑油市场供需现状及预测	(14)
二、中国石油润滑油分公司	(17)
三、中国石化润滑油分公司	(17)
四、外国公司	(18)
五、地方企业	(21)
参考文献	(21)
第二章 国外润滑油市场现状及发展趋势	(23)
第一节 世界润滑油市场现状分析及预测	(23)
一、影响世界润滑油市场的因素分析	(23)
二、世界润滑油市场需求现状及预测	(28)
第二节 世界各地润滑油市场现状分析及预测	(31)
一、北美地区	(31)
二、西欧地区	(36)
三、亚太地区	(44)
参考文献	(51)
第三章 国外润滑油的质量水平及发展趋势	(53)
第一节 车用润滑油	(54)
一、发动机油	(54)
二、车辆齿轮油规格及评定方法	(100)
三、自动传动液	(104)
第二节 工业润滑油	(108)
一、液压油	(108)
二、工业齿轮油	(115)
三、油膜轴承油	(119)
四、变压器油	(121)
五、汽轮机油	(123)
六、压缩机油	(126)
七、金属加工油	(131)
八、热传导液(油)	(136)
九、热处理油	(140)
参考文献	(141)

第四章 国外润滑油基础油的市场供需、生产技术现状和发展趋势	(144)
第一节 国外润滑油基础油的市场供需及发展趋势	(145)
一、国外润滑油基础油的分类和构成	(145)
二、全球润滑油基础油的市场供需现状及预测	(147)
三、国外润滑油基础油的发展趋势	(150)
第二节 国外润滑油基础油生产技术的现状及发展趋势	(153)
一、减压蒸馏	(153)
二、溶剂脱沥青	(157)
三、溶剂精制	(163)
四、溶剂脱蜡	(166)
五、加氢基础油生产技术及发展趋势	(174)
六、天然气合成润滑油基础油的技术现状及发展前景	(197)
七、聚 α -烯烃合成油	(207)
八、环境友好润滑油基础油	(216)
参考文献	(225)
第五章 国外润滑油添加剂生产和使用现状与发展预测	(228)
第一节 国外润滑油添加剂市场需求	(228)
一、世界润滑油市场构成	(228)
二、世界润滑油添加剂消费结构	(229)
三、美国润滑油添加剂市场需求	(229)
四、欧洲润滑油添加剂市场需求	(231)
五、亚太地区润滑油添加剂市场需求	(232)
第二节 全球主要的润滑油添加剂生产公司	(233)
一、Lubrizol 公司	(233)
二、Infineum 公司	(239)
三、Oronite 公司	(241)
四、Ethyl 公司	(246)
第三节 油品规格及环保法规对润滑油添加剂发展的影响	(248)
一、内燃机油	(248)
二、工业用油	(250)
三、环保法规对添加剂发展的影响	(252)
四、排放问题与发动机油添加剂	(254)
五、节能与润滑油添加剂	(255)
第四节 国外润滑油添加剂品种与发展趋势	(256)
一、清净剂	(257)
二、无灰分散剂	(264)
三、粘度指数改进剂	(268)
四、极压抗磨剂	(273)
五、抗氧化剂	(278)
六、摩擦改进剂	(279)

七、降凝剂	(280)
八、抗泡剂	(281)
九、防锈剂	(282)
十、复合添加剂	(283)
参考文献	(294)
第六章 国内润滑油市场供需现状、发展预测及面临的问题	(295)
第一节 国内润滑油产品开发及生产现状	(296)
一、车用润滑油	(296)
二、工业润滑油	(299)
第二节 国内润滑油生产能力及经营策略	(300)
一、国内公司的生产及营销策略	(300)
二、外国石油公司的生产及营销策略	(302)
第三节 国内润滑油供需现状	(304)
一、产量及品种结构	(304)
二、车用润滑油需求状况	(308)
三、国内外润滑油需求结构比较	(311)
四、润滑油竞争格局	(311)
第四节 国内润滑油需求预测	(313)
一、车用润滑油需求预测	(313)
二、工业润滑油的需求预测	(316)
第五节 国内润滑油行业存在的问题及对策	(318)
一、产品结构方面存在的问题及对策	(319)
二、市场营销方面存在的问题及对策	(319)
三、产品研发方面存在的问题及对策	(321)
参考文献	(321)

第一章 润滑油技术发展变化及市场竞争格局

第一节 润滑油的现状和发展

据德国福斯 (Fuchs) 公司报告, 1990~2002 年世界润滑油的供需如表 1-1 所列。福斯公司估计, 2002 年世界润滑油的需求为 $3569 \times 10^4 \text{t}$, 同比增长 1.62%。美国是世界上润滑油需求量最大、升级换代最快、档次最高的国家, 2000 年的需求量为 $899.6 \times 10^4 \text{t}$, 占世界润滑油总需求量的 23.8%; 西欧、中/东欧国家 2000 年的需求量为 $997.9 \times 10^4 \text{t}$, 占世界润滑油总需求量的 26.4%; 亚洲的需求虽然仅次于美国和欧洲, 但是多数国家升级换代不快, 油品档次不高。

表 1-1 世界润滑油的供需状况

表 1-1 世界润滑油的供需状况												10 ⁴ t/a	
年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
需求量 ^①	3990	3770	3780	3760	3800	3870	3840	3820	3770	3730	3780	3512	3569
生产能力 ^②			4532	4469	4425	4636	4804	4750	4589	4361	4230	4282	4193

① 1990~2001 年为实际需求, 2002 年为估计数, 均包括船用油。

② 按 1bbl/d (1 桶/日) = 53t/a 换算。

近 10 多年来, 世界每单位国民生产总值 (GNP) 和每辆车的润滑油消费量都在减少。在 1990~1997 年间, 世界 GNP 增长 48.5%, 车辆增加 23.7%, 但润滑油消费量却减少 5.0%, 车用润滑油需求减少 6.0%; 亚洲 GNP 增长 70.7%, 润滑油需求量只增加 25.6%; 西欧 GNP 增长 43.1%, 润滑油需求量却减少 9.0%; 北美 GNP 增长 39.9%, 润滑油需求量只增加 2.1%。单位润滑油消费量减少的原因主要是: 润滑油质量提高, 换油期延长, 发动机技术进步向小型化发展, 润滑油用量减少, 使用了非常规基础油等等, 这种趋势还将持续下去。

预计 2010 年世界车辆总数将从 1998 年的 7.05 亿辆增加到 9.13 亿辆, 2020 年将增加到 10.86 亿辆。但同期润滑油的需求不会同步增长。预计到 2010 年只增长 2.8%, 到 2020 年增长 15%。其中, 到 2010 年车用润滑油将减少 5%, 工业润滑油将增加 17.1%; 到 2020 年车用润滑油将增加 6.0%, 工业润滑油将增加 35%。

由于润滑油市场竞争激烈, 通过联合、兼并、重组, 润滑油生产企业已从 20 世纪 90 年代的 1700 多家减少到目前的约 1400 家, 但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 (ExxonMobil)、壳牌 (Shell)、雪佛龙德士古 (加德士) [ChevronTexaco (Caltex)]、BP 嘉实多 (BPCastrol)、道达尔菲纳埃尔夫 (TotalFinaElf) 和福斯 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。

自 20 世纪 70 年代中期石油危机以来, 为了节省燃料和减少汽车尾气污染物的排放, 美国环保局 (EPA) 就要求汽车制造商制造效率更高、尾气污染物排放减少的发动机, 汽车制造商则要求油品生产商提供与发动机技术进步相适应的燃油和润滑油。经过近几十年特别是近 10 多年的发展, 车用润滑油的质量有了很大改进和提高。美国汽油机油和柴油机油升级换代的情况如表 1-2 和表 1-3 所列。

表 1-2 美国汽油机油规格的升级换代情况

API/ILSAC	执行年份	发动机试验要求	特点和用途
SX/GF-4	2004 以后	尚未最终确定	含磷 0.08%, 满足 LEV-II 排放标准要求, 用于 2004 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SL、SJ 和更早级机油的汽油发动机润滑
SL/GF-3	2001~2004	程序 III F、IV A、V G、VIB、VIII	含磷 0.10%, 用于 2001 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SJ、SH 和更早级机油的汽油发动机润滑
SJ/GF-2	1996~2001	L-38, 程序 II D、III E、VE、VIA、1G2	含磷 0.10%, 用于 1996 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SH、SG 和更早级机油的汽油发动机润滑
SH/GF-1	1994~1996	L-38, 程序 II D、III E、VE、VI	含磷 0.12%, 用于 1994 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SG 和更早级机油的汽油发动机润滑
SG	1989~1994	L-38, 程序 II D、III E、VE、1-H2	用于 1989 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SF、SE 和更早级机油的汽油发动机润滑
SF	1980~1989	L-38, 程序 II D、III D、VD	用于 1980 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SE、SD 和 SC 级油的汽油发动机润滑
SE	1972~1980	L-38, 程序 II C 或 III D, III C 或 III D, V C 或 V D	用于 1972 年车型和较早的轿车、货车及轻型卡车的汽油发动机, 即也可用于原使用 SD、SC 级油的汽油发动机润滑
SD	1968~1972	L-38, 程序 II B、III B、IV、VB、L-1 或 1-H	用于 1968 年车型汽油发动机润滑, 不能用于现代汽油发动机
SC	1964~1968	L-38, 程序 II A、III A、IV、V、L-1	用于 1964 年车型汽油发动机润滑, 不能用于现代汽油发动机
SB	1931~1964	L-4 或 L-38, 程序 IV	用于轻型汽油发动机润滑, 不能用于现代汽油发动机
SA	1900~1930	无	最老的汽油和柴油发动机通用, 不能用于现代汽油发动机

表 1-3 美国柴油机油规格的升级换代情况

API/PC	执行年份	发动机试验要求	特点和用途
CX-4/PC-10	2007	尚未最终确定	用于 2007 年车型烧含硫 $15 \mu\text{g/g}$ 的车用柴油发动机润滑, 满足 2007 年汽车尾气排放法规要求
CI-4/PC-9	2002	1N 或 1K, 1R, T-10, T-8E, M-11 EGR, EOAT, 程序 III F	用于 2002 年车型烧含硫 $<500 \mu\text{g/g}$ 柴油的重负荷、高速四冲程柴油发动机润滑, 满足 2002 年汽车尾气排放法规要求, 也可用于原使用 CH-4、CG-4 柴油发动机的润滑
CH-4/PC-7	1998	HTCBT, 1P, 1K, T-9, T-8E, GM6.5L, 程序 III E, M-11	用于 1998 年车型烧含硫 $500 \mu\text{g/g}$ 柴油的重负荷、高速四冲程柴油发动机润滑, 满足 1998 年汽车尾气排放法规要求, 也可用于原使用 CG-4、CF-4 柴油发动机的润滑
CG-4/PC-6	1994	L-38, 1N, T8, III E, GM6.2L 等	用于 1994 年车型烧含硫 $500 \mu\text{g/g}$ 柴油的重负荷、高速四冲程柴油发动机和烧含硫 $<5000 \mu\text{g/g}$ 柴油的非车用重负荷、高速四冲程柴油发动机润滑, 满足 1994 年汽车尾气排放法规要求; 也可用于原使用 CF-4、CE 和 CD 级油的柴油发动机的润滑
CF-4	1991	L-38, 1K, T-6, T-7, NTC-400	用于 1990 年车型重负荷、高速、涡轮增压和高增压、四冲程柴油发动机润滑, 也可用于原使用 CE、CD 级油的柴油发动机润滑
CF-2	1994	L-38, 1M-PC, 6V-92TA	用于 1994 年车型二冲程柴油发动机油润滑, 也可用于原使用 CD-III 级机油润滑的二冲程柴油发动机
CF	1994	L-38, 1M-PC	用于间接喷射式柴油发动机和烧含硫 $>0.5\%$ 柴油的其他柴油发动机的润滑, 也可用于原使用 CD 级油的柴油发动机润滑
CE	1987	L-38, 1-G2, T-6, T-7, NTC-400	用于 1983 年车型涡轮增压和高增压重负荷、四冲程、低速和高速柴油机油润滑, 也可用于原使用 CD 级油柴油机的润滑
CD-II	1987	L-38, 1-G2, 6V-53T	用于 1985 年车型二冲程柴油发动机润滑
CD	1955	L-38, 1-G2	用于 1955 年车型重负荷、涡轮增压和高增压、四冲程柴油发动机润滑
CC	1961	L-38, LTD 或修订的 LTD, IIC 或 IID, 1-H2	用于 1961 年车型中至重负荷柴油发动机润滑
CB	1949	L-4 或 L-38, L-1	用于 1949 年车型中负荷柴油发动机润滑
CA	1940~1950	L-4 或 L-38, L-1	用于 1940 年车型轻负荷柴油发动机润滑

美国一代发动机油新规格的执行（使用）时间通常为 5 年左右。所以目前美国在用的汽油机油规格就只有 SJ/GF-2 和 SL/GF-3 两种，SA 至 SH 的 8 种规格都已先后废弃不用。此外，根据美国执行新规格的时间安排，从颁布规格之日起，12 个月内开始执行，18 个月后强制执行。SL/GF-3 规格 2000 年 6 月颁布，2001 年 7 月 1 日开始执行，2001 年底强制执行。所以目前美国主要品牌的汽油机油都已执行 SL/GF-3 规格。由表 1-2 可见，SL/GF-3 级汽油机油是目前美国档次最高的汽油机油，与 SJ/GF-2 级汽油机油相比的主要变化在于：程序 III F、V G 分别取代了 III E 和 V E，程序 VI B 取代了 VI A，抗氧化性能更好，挥发性更低，低温分散性更好，能为发动机提供更加清洁有效的润滑，有效地延长发动机寿命，在高低温条件下都能顺利启动，改善对高温沉积物的控制能力，高温沉积物由<60mg 减少到<45mg，也提高了燃油经济性，满足更加苛刻的尾气排放法规要求。目前正在开发的 GF-4 规格要满足美国 2004 年生效的 Tier-2 排放法规大幅度减少尾气污染物排放的要求，还要提高高温抗磨性、沉积物控制能力、氧化安定性、低温防锈/防腐性和用后油泵送性的要求。原提出含磷量为 0.05%，为了既满足减少尾气污染物排放要求又兼顾使用寿命 5 年（即 2001 年车型的汽车发动机也能使用），最终决定 GF-4 的磷含量为 0.08%。这个规格在 2003 年颁布，以满足 2004 年车型发动机的要求。

由表 1-3 可见，CI-4/PC-9 是目前美国市场档次最高的重负荷柴油机油，CH-4/PC-7 是目前美国市场重负荷柴油机油的主流产品。由于柴油发动机使用范围广、柴油质量差别较大等原因，相对而言柴油机油规格要比汽油机油规格复杂一些，因此目前美国在执行中的柴油机油规格有 CI-4/PC-9、CH-4/PC-7、CG-4/PC-6、CF-4、CF-2 和 CF 共 6 个级别，而 CE、CD-II、CD、CC、CB 和 CA 共 6 个规格已停止执行。CI-4/PC-9 柴油机油规格与 CH-4/PC-7 相比的主要变化在于：除了保留 M-11、GM6.5L 和 T-8E 三个评定项目外，用 1N 取代了 1P、1Q 取代了 1K、T-10 取代了 T-9，取消了 HTCBT，因而满足了加废气循环的柴油机更苛刻的排放要求，增强了烟炱分散能力，提高了氧化安定性和高温抗磨性，抑制了粘度增长，延长了换油期和发动机寿命。目前开始开发的 PC-10 柴油机油规格主要是为了满足将采用尾气催化转化器和颗粒物捕集器的柴油发动机和 2007 年柴油车尾气排放法规的要求。

从美国汽油机油和柴油机油规格的发展历程不难看出，车用发动机油的作用正在从保护发动机、延长发动机寿命向既保护发动机，又节省燃油和减少尾气污染物排放的方向发展。发动机油的质量则是向高氧化安定性、低挥发度、低粘度的方向发展。而且，在近 10 多年来，为了减少尾气污染物排放以保护环境，加快了升级换代提高质量的步伐。美国汽车尾气污染物排放法规如表 1-4 所列。

表 1-4 美国汽车尾气排放法规

年 份	汽油机/g·km ⁻¹			柴油机/g·km ⁻¹	
	CO	NO _x	HC	NO _x	PM（颗粒物）
1989	—	—	—	8.1	0.81
1991	2.6	0.75	0.25	6.75	0.34
1994	—	—	—	6.75	0.13
1996	2.6	0.38	0.193	—	—
1998	—	—	—	5.40	0.13
2000	2.1	0.19	0.16	—	—
2002	—	—	—	2.70	0.13
2004	1.06	0.125	0.078	—	—
2007	—	—	—	0.27	0.013

为了节省燃油、提高燃油经济性以减少摩阻,轿车发动机油正在从高粘度油 10W/30、10W/40 转向低粘度油 5W/30、5W/40,许多汽车制造厂越来越多地使用 0W/30 油作轿车出厂的发动机装车油。经过几十年的努力,特别是近 10 多年的努力,燃油经济性已经提高了 4%~5%。为了减少尾气污染物排放,发动机油的 Noack 蒸发损失正在从 GF-1 的 25%转向 GF-2 的 22%和 GF-3 的 15%,同时还限制发动机油中磷和硫的含量,最终是向无磷、无硫和无灰分(无金属)的方向发展。采用低粘度、低挥发性的发动机油也减少了发动机油消耗,延长了发动机油寿命和换油期,现在汽油机油的平均换油期已达到 $(1.6\sim 2.1)\times 10^4\text{km}$,最长达 $3\times 10^4\text{km}$ 。同样,为了延长换油期、提高燃油经济性和减少尾气污染物排放,重负荷柴油机油也在从高粘度油 15W/40 转向用低粘度油 10W/40, 5W/30、5W/40 重负荷柴油机油也用得越来越多,柴油车的换油期在今后 5 年间将平均达到 $3\times 10^4\text{km}$,最长达 $5\times 10^4\text{km}$ 。

需要指出的是,发动机油加快升级换代,开发发动机油新规格,需要花费大量资金。据介绍,1990 年开发并完成一种重负荷柴油机油新规格,投入资金不到 1000 万美元,而目前已骤增到 1 亿美元以上。为开发 CI-4/PC-9 重负荷柴油机油新规格,初期产品开发费用为 3100 万美元,7 项发动机试验费用和工业认证费用为 1.35 亿美元,合计 1.66 亿美元。而美国重负荷柴油机油添加剂的市场年销售额仅为 4.06 亿美元,CI-4/PC-9 的开发和认证费用就花掉 1.66 亿美元,占市场年销售额的 40%以上。由于发动机油升级换代速度太快,一种新规格机油的使用年限太短,加上生产添加剂原材料价格上涨,结果造成添加剂公司连年亏损。为开发 CI-4/PC-9 规格,添加剂公司亏损了 9000 多万美元;为开发 SL/GF-3 规格,添加剂公司亏损了 9700 万美元。

第二节 基础油的现状和发展

车用润滑油的升级换代,要求基础油具有更高的粘度指数、更低的挥发性、更好的氧化安定性和低温流动性等。例如,要生产符合 SL/GF-3 规格要求的 5W/30 级低粘度、低挥发性发动机油和新一代(全寿命)自动传动液就必须全部使用 II*或 III 类高粘度指数的基础油,用常规的溶剂精制 I 类基础油是不能调制出合格产品的。美国各类润滑油基础油的主要质量指标如表 1-5 所列。

表 1-5 美国润滑油基础油的分类

类别	粘度指数	饱和烃/% (体积分数)	硫/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	典型生产工艺和油品种类
I	80~119	<90	>300	溶剂精制矿物油
II	80~119	>90	<300	溶剂精制-加氢矿物油
II*	105~119	>90	<300	溶剂精制-加氢矿物油
III	≥ 120	>90	<300	加氢裂化/异构脱蜡矿物油
IV				聚 α -烯烃合成油
V				所有其他合成油等

用粘度指数为 95 和 105 的基础油调制 5W/30 发动机油,既不能满足 CCS(冷启动模拟器)试验的低温粘度(-25°C 时粘度为 $3500\text{cP}^\bullet$)要求,也不能满足 Noack 蒸发损失小于 15%的要求;但用粘度指数为 115 的基础油在一定的粘度范围($100^\circ\text{F}^\bullet$ 赛氏通用粘度为 115~135s

● $1\text{cP}=10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

● $^\circ\text{C}=\frac{5}{9} (^\circ\text{F}-32)$ 。

时)能满足蒸发损失<15%的要求。粘度指数更高的基础油,当粘度升高时挥发性可进一步降低,借助于高粘度指数良好的低温粘度仍能符合 CCS 试验的低温粘度要求。由此可见,车用润滑油基础油的发展趋势是 I 类基础油的需求在逐年减少,II、II⁺和 III 类基础油的需求在逐年增加。

从 20 世纪 90 年代初开始,为车用润滑油生产高粘度指数、低挥发性和低粘度的基础油已成为世界炼油工业的发展趋势。2000 年世界上有 168 家炼油厂生产润滑油基础油,总生产能力约为 $4740 \times 10^4 \text{t/a}$,北美地区(美国和加拿大)基础油的生产能力为 $1001 \times 10^4 \text{t/a}$,约占世界基础油生产能力的 21%。其中 I 类基础油约占 50.8%,II 类基础油约占 30.7%,II⁺类基础油约占 14.8%,III 类基础油约占 3.7%(详见表 1-6)。到 2002 年,全世界基础油厂数量为 166 个,生产能力为 $4736.5 \times 10^4 \text{t}$,其中北美基础油生产能力上升至 $1149.5 \times 10^4 \text{t}$ 。由于美国 2001 年开始执行 SL/GF-3 规格,2002 年开始执行 CI-4/PC-9 规格,所以预计目前美国 II、II⁺和 III 类基础油的产量已经超过了 I 类基础油的产量。在 2004 年执行 GF-4 规格以后,I 类基础油将不再是美国车用润滑油的主要组分,但生产工艺用油、自动传动液和调制添加剂等仍然要用 I 类基础油。趋势是 I 类基础油的产量逐年减少。

表 1-6 2002 年美国 and 加拿大各类基础油的生产能力

公司名称	厂 址	各类基础油生产能力/ $10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ^①				总生产能力/ $10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
		I 类	II 类	II ⁺	III 类	
埃克森美孚	美国贝敦	53	—	59	—	112
	美国巴吞鲁日	87	—	—	—	87
	美国博蒙特	63	—	—	—	63
Motira ^②	美国阿瑟港	—	64	37	16	117
太阳油 (Sunoco)	美国图尔萨	45	—	—	—	45
	美国雅布科阿	—	32	17	—	49
Excel Para	美国莱克查尔斯	—	93	—	—	93
雪佛龙	美国里士满	—	42	21	11	74
加拿大石油	加拿大米西索加	—	42	13	11	66
Valero	美国保尔斯波罗	56	2	—	—	58
Citgo-Conoco	美国莱克查尔斯	50	—	—	—	50
马拉松	美国卡特列茨堡	45	—	—	—	45
帝国石油	加拿大萨尼亚	21	11	—	—	32
Pennzoil-Quaker	美国什里夫波特	31	—	—	—	31
Ergon	美国纽厄尔	10	17	—	—	27
Equilon	美国迪尔帕克	21	3	—	—	24
壳牌	加拿大蒙特利尔	14	—	—	—	14
美国炼油集团	美国布拉德福德	13	—	—	—	13
合 计		509	307	148	37	1001

①按 1bbl/d=53t/a 换算。

②现为 Star 公司。

生产 II、II⁺、III 类基础油的核心技术,一是减压蜡油原料的加氢裂化或溶剂精制油的加氢处理,二是异构脱蜡。

(1) 减压蜡油原料的加氢裂化或溶剂精制油的加氢处理技术

生产润滑油基础油的加氢裂化工艺,通常原料油的转化率小于 30%,只有在原料油的质

量很差时原料油的转化率才大于 30%。在加氢裂化过程中,一方面深度脱硫脱氮,使硫含量降低到 $10\mu\text{g/g}$ 以下,氮含量降低到 $2\mu\text{g/g}$ 以下,以满足异构脱蜡催化剂的要求;另一方面芳烃饱和并开环,以大幅度提高粘度指数,通常加氢裂化产品中的芳烃含量在 10%~20%之间,一般 $\leq 5\%$ 。目前国外最好的润滑油型加氢裂化催化剂是雪佛龙(Chevron)公司的几种专用催化剂,主要优点是基础油料的收率高、粘度指数高。溶剂精制油加氢处理与加氢裂化的主要差别在于加氢处理的转化率($<343^\circ\text{C}$)低(通常 $<10\%$),不能大幅度提高粘度指数,但脱硫脱氮的水平与加氢裂化一样,能满足异构脱蜡催化剂的要求。雪佛龙公司用于溶剂精制油的加氢处理催化剂(ICR-132、ICR-134、ICR-154)实际上就是加氢裂化原料油加氢预处理催化剂。

(2) 异构脱蜡技术

异构脱蜡技术是在催化脱蜡技术的基础上发展起来的。美孚(Mobil)公司开发的催化脱蜡技术自 1979 年首次工业应用以来,世界上先后有 10 套工业装置运转。但自 1998 年以后不仅再也没有新建工业装置,而且有一些已经投产的催化脱蜡装置也改造为异构脱蜡装置。其主要原因是,催化脱蜡把长链烷烃分子选择性裂化为小分子轻质产品,虽然在中等温度、压力和空速下操作,催化剂能抗硫抗氮、从低粘度油料到光亮油料都能够加工,能得到比溶剂脱蜡倾点更低的基础油,但与溶剂脱蜡相比,用同样的原料油,在得到倾点相同的基础油时,通常粘度指数低一些,基础油收率也低一些。异构脱蜡是在一部分长链烷烃分子选择性裂化为较小分子的同时,另一部分异构化为在基础油馏程范围内低倾点的异构烷烃分子。其优点是在基础油倾点相同时,基础油的收率不仅高于催化脱蜡,而且高于溶剂脱蜡,产品油的粘度指数比催化脱蜡和溶剂脱蜡都高一些;缺点是用贵金属催化剂,对进料的硫、氮含量有严格要求,只能用经过加氢裂化的重生成油或经过苛刻加氢处理的溶剂精制油作进料,而且操作压力比催化脱蜡也高一些。目前可供工业应用的异构脱蜡技术只有雪佛龙公司开发的 Isodewaxing 工艺和美孚公司开发的 MSDW 工艺两种。

雪佛龙公司开发的异构脱蜡技术,异构脱蜡主要采用 Pt/SAPO-11 催化剂,异构脱蜡油加氢后精制采用弱酸性的 Pt-Pd-SiO₂-Al₂O₃ 催化剂。已经工业应用的异构脱蜡催化剂有三代:第一代是 ICR-404,第二代是 ICR-408,第三代是 ICR-410;加氢后精制催化剂有三代:第一代是 ICR-402,第二代是 ICR-403,第三代是 ICR-407。这项技术 1993 年首次用于美国里奇蒙炼油厂代替 1984 年工业应用的催化脱蜡技术生产 II/III 类基础油。目前采用这项技术的工业装置共 15 套,已投产的装置 10 套,另 5 套装置在建设中。

美孚公司的异构脱蜡技术,异构脱蜡主要采用 Pt/ZSM-23 催化剂(其特点是抗硫性能比雪佛龙催化剂好一些),异构脱蜡油加氢后精制也是采用弱酸性贵金属 SiO₂-Al₂O₃ 催化剂。已经工业应用的异构脱蜡催化剂有两代:第一代是 MSDW-1,第二代是 MSDW-2。这项技术 1997 年首次用于新加坡裕廊炼油厂生产 II/III 类基础油。目前采用这项技术的工业装置共 6 套(包括已投产和在施工中的装置),总生产能力是 $244\times 10^4\text{t/a}$ 。美孚公司异构脱蜡技术的新进展有两项:一项是开发了一种能抗较多极性化合物、成本效率高的加氢后精制催化剂(称为 MAXSAT),即使有中等含量的极性化合物存在也能使芳烃得到高度饱和,目前已在几套工业装置上应用;另一项是含油蜡(含油 5%~25%)生产高粘度指数 III 类基础油的 MWI 技术开发成功,能使高达 70%的蜡分子转化为高粘度指数的异构化油。埃克森公司在英国 Fawley 炼油厂的基础油生产装置由于某些原因早已投产,改用这项技术后 2003 年初重新投产,生产 Esso SYN III 类基础油。预计这项技术在欧洲会得到越来越多

的工业应用。

目前生产 II、II⁺、III 类基础油已经工业应用的装置流程因情况而异，主要有以下四种：

一是加氢裂化-异构脱蜡/加氢后精制全加氢流程：这种流程主要用于新建的工业装置，生产的基础油中以 II 类油和 II⁺类油为主，也生产一部分 III 类油，是目前工业应用最多的流程。采用雪佛龙公司技术的这种流程（图 1-1）主要用于雪佛龙公司的里士满炼厂、加拿大石油公司的米西索加炼厂等。采用美孚公司技术的这种流程（图 1-2）主要用于新加坡裕廊炼厂等。

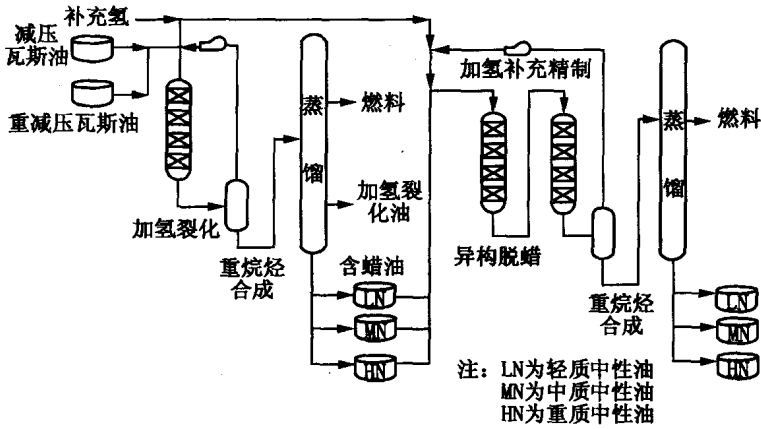


图 1-1 雪佛龙公司生产 II/III 类基础油的全加氢装置流程

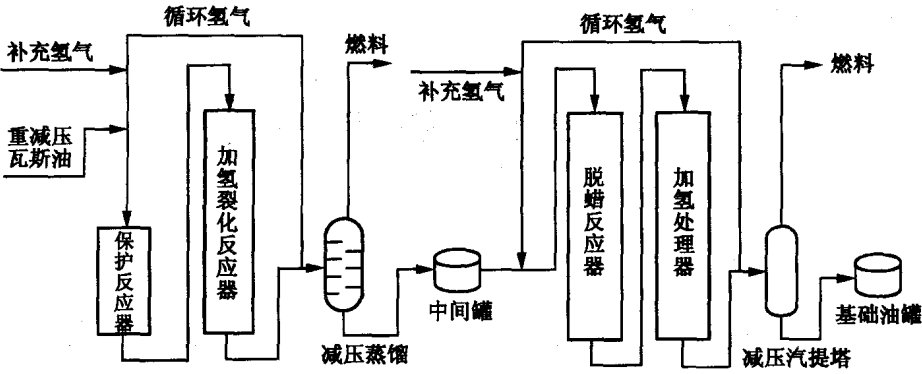


图 1-2 美孚公司生产 II/III 类基础油的全加氢装置流程

雪佛龙公司和美孚公司用中国石化高桥石化公司提供的卡宾达原油减四线油，用加氢裂化-异构脱蜡/加氢后精制全加氢工艺进行过中试。中试的操作和结果如表 1-7 所列。由表 1-7 的数据可见，两家公司的技术水平相当，各有特点，基础油都能达到 II/III 类油的规格要求。经过对收率、副产品质量、操作条件、工业应用和商务报价等的综合考虑，结合高桥公司的实际情况，最终决定选用雪佛龙公司的加氢裂化-异构脱蜡/加氢后精制成套技术建设一套 $30 \times 10^4 \text{t/a}$ 工业装置，2004 年 6 月投产。

表 1-7 加氢裂化-异构脱蜡/加氢后精制中试结果比较

项 目	雪佛龙公司中试	美孚公司中试
加氢裂化		
反应器入口氢分压/MPa	14.4	15.77
反应器入/出口温度/℃	377~387	383~401
空速/h ⁻¹	0.86	1.0
氢油比	843	869.9
异构脱蜡		
反应器入口氢分压/MPa	14.4	15.3
反应器入/出口温度/℃	317~327	316~327
空速/h ⁻¹	0.9	1.0
氢油比	506	544.5
加氢后精制		
反应器入口氢分压/MPa	14.4	14.3
反应器入/出口温度/℃	199~210	220~225
空速/h ⁻¹	1.28	1.50
氢油比	506	544.5
总收率/%	>60	>60
运动粘度/mm ² ·s ⁻¹		
20℃	52.64	52.38
100℃	7.732	7.857

需要指出的是,采用加氢裂化-异构脱蜡/加氢后精制全加氢流程,即使采用同一种催化剂,所得到的基础油收率和粘度指数与原料油的关系很大。雪佛龙公司用不同原料进行试验的结果如表 1-8 所列。由表 1-8 的数据可见,异构脱蜡既可以提高基础油收率,也可以提高粘度指数,但用高含蜡的南美原油 VGO 加氢裂化油异构脱蜡,收率提高最多(16%),用低粘度指数的美国阿拉斯加北坡原油 VGO 加氢裂化油异构脱蜡,粘度指数提高最多(9 个单位)。

表 1-8 不同原料油不同脱蜡工艺得到的基础油性质比较

项 目	美国阿拉斯加北坡原油 VGO 加氢裂化油		南美原油 VGO 加氢裂化油		美国得州原油 VGO 溶剂精制的脱油软蜡
脱蜡工艺	异构脱蜡	溶剂脱蜡	异构脱蜡	溶剂脱蜡	异构脱蜡
倾点/℃	-12	-12	-15	-15	-15
收率/(体积分数)	92	90	84	68	66
粘度(40℃)/mm ² ·s ⁻¹	19.95	21.74	26.88	27.75	15.65
粘度(100℃)/mm ² ·s ⁻¹	4.016	4.163	5.304	5.380	3.938
粘度指数	96	87	134	131	155
挥发度/(体积分数) (<371℃, ASTM D2887)	20	17	5.0	4.1	5.0

二是溶剂精制-加氢处理-异构脱蜡/加氢后精制组合流程:这种流程主要用于提高常规溶剂精制油的质量或常规溶剂精制油的升级换代,可以生产 II/III 类基础油。目前工业应用的装置不多。美国 Star 公司(原 Motiva 公司)采用雪佛龙公司技术的这种流程(图 1-3),以减压蜡油的溶剂精制油为原料,用 ICR-408(第二代)/ICR-407(第三代)催化剂,生产 II/III 类轻、中中性油。我国大庆炼化公司采用这种流程,以减压蜡油和脱沥青油的溶剂精制

油为原料，用 ICR-404（第一代）/ICR-403（第二代）催化剂，只能生产 II 类轻、中中性油和光亮油。由此可见，不同原料油和不同催化剂对异构脱蜡产品质量的影响很大。印度 Haldia 炼油厂采用美孚公司技术的这种流程，以 *N*-甲基咯吡烷酮溶剂精制油和一部分含油蜡为原料生产 II 类中性油；英国 Fawley 炼油厂以含油蜡（含油 5%~25%）为原料，采用这种流程生产 III 类基础油。

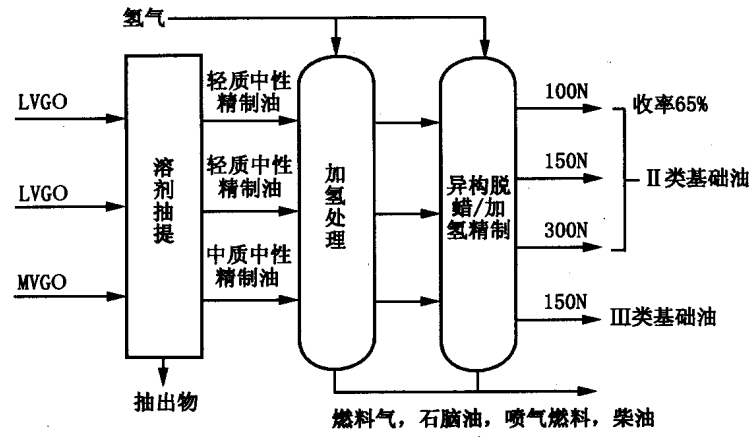


图 1-3 溶剂精制-加氢处理-异构脱蜡/加氢处理的组合流程

三是溶剂精制-加氢转化/加氢处理-溶剂脱蜡组合流程：这种流程主要用于老装置改造，减少投资，生产一部分 II 类或 II⁺类基础油。目前可供工业应用的流程有两种，一种是埃克森公司开发的流程（图 1-4），另一种是 Bechtel 公司（原德士古公司）开发的流程（图 1-5）。

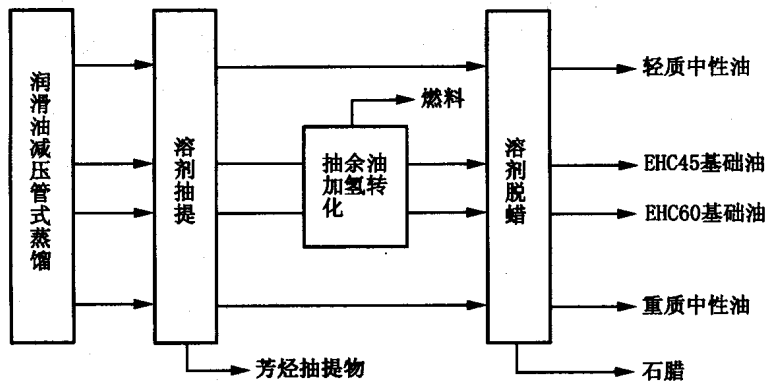


图 1-4 埃克森公司生产 II⁺类基础油的组合流程

埃克森公司开发的加氢转化（RHC）技术，以溶剂精制油为原料，通过三个串联的加氢反应器：第一反应器采用比较苛刻的反应条件，以提高粘度指数；第二反应器的反应温度稍低，以克服热力平衡对芳烃加氢的限制，使芳烃尽可能多的加氢，提高饱和烃含量和粘度指数；第三反应器进行稳定以提高光安定性，通过蒸馏以达到挥发度的要求，最后通过溶剂脱蜡得到饱和烃含量>90%、硫含量<300 μg/g、粘度指数 115 的 II⁺类基础油。采用这项技术的第 1 套工业装置 1999 年 11 月在美国贝敦（Baytown）炼油厂投产。

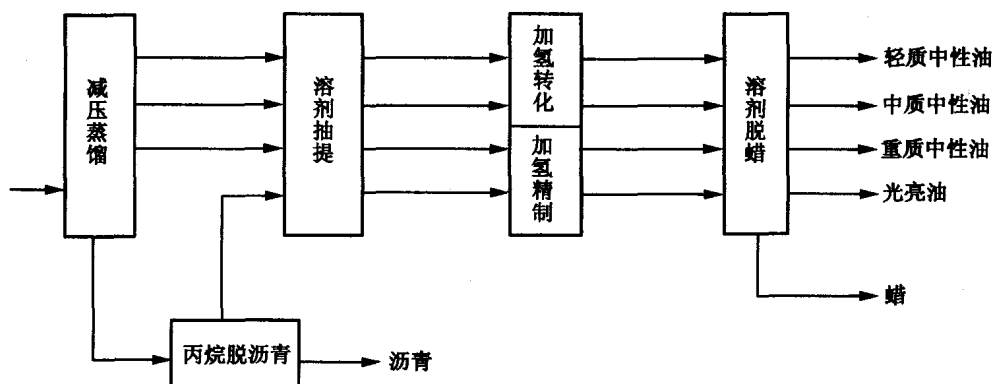


图 1-5 Bechtel 公司生产 II 类基础油的组合流程

四是燃料型加氢裂化装置尾油异构脱蜡/加氢后精制流程：韩国 SK 公司利用燃料型加氢裂化装置尾油通过异构脱蜡/加氢后精制生产 III 类基础油是一项原创性技术，具有很好的发展前景，也是提高经济效益的一项重要手段。这项技术利用 UOP 生产石脑油、煤油、柴油的加氢裂化装置（用 HC-K/HC-22 催化剂，单段串联部分循环流程，单程转化率 60%，总转化率 85%）的尾油，通过不同的循环和切割方案得到粘度指数为 154 的 100N 中性油料和粘度指数为 172 的 150N 中性油料，再通过异构脱蜡/加氢后精制得到 III 类基础油。1995 年首次用于韩国蔚山炼油厂生产能力为 $16.8 \times 10^4 \text{t/a}$ 的工业装置，用雪佛龙公司的异构脱蜡技术取代原采用的催化脱蜡（MLDW）技术，以提高基础油收率和质量。所生产的 III 类基础油主要供应美国市场。最近 SK 公司又投资 1 亿美元，在蔚山炼油厂新建第 2 套生产能力为 $31.8 \times 10^4 \text{t/a}$ 的新装置，采用同样技术生产 III 类基础油，计划 2004 年第二季度投产。SK 公司还计划采用合资方式在亚洲某国家建设第 3 套同类装置，目的是占领国际市场，特别是美国市场。芬兰 Fortum 公司也有 1 套燃料型加氢裂化装置尾油通过异构脱蜡/加氢后精制生产 III 类基础油的装置，生产能力 $26.5 \times 10^4 \text{t/a}$ ，1997 年投产，产品主要满足日益扩大的欧洲市场需要。欧洲和日本也有燃料型加氢裂化装置尾油通过溶剂脱蜡生产 III 类基础油的装置，但由于产品收率和质量都不如异构脱蜡/加氢后精制方案，所以这种流程的工业应用没有得到推广。

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，也是性能价格比非常好的一种基础油。由表 1-9 的数据可见，GTL 基础油既不含硫也不含芳烃，氧化安定性极好，粘度指数特高，除倾点外，都可以与聚 α -烯烃 IV 类油相比，甚至比聚 α -烯烃油还好。因为粘度指数特高，与 I 类基础油调合可以提升粘度指数并降低含硫量。Lubrizol（路博润）公司正在与 Syntroleum 公司合作开发用于生产 GTL 润滑油的添加剂。

GTL 基础油是由合成油（固体蜡、烷烃 >99%）通过加氢裂化-加氢异构化生产出来的。壳牌公司已经用马来西亚民都鲁天然气合成油厂的合成油生产出这种产品。但是，目前市场上还没有这种商品供应，预计萨索尔（Sasol）/雪佛龙公司在尼日利亚建设的 $175 \times 10^4 \text{t/a}$ 天然气合成油厂投产以后，在 2006~2007 年市场上才会有供应。由于用 GTL 基础油调制的发动机油要得到汽车制造商的认可，仅有一家 GTL 基础油供应商时汽车制造商不会重新制定润滑油规格，所以预计在几座大型天然气合成油厂投产以后，大约在 2010~2011 年 GTL 基础油的需求才会进入增长期。预计几座大型合成油厂投产以后，在大多数情况下都生产 III