

基本馆藏

122136

航空燃料、 潤滑油、潤滑脂及 特种液体

E.B. 罗捷諾維奇 著

B.B. 格拉切夫 主編



教研室



陈列图书不得携出室外

国防工业出版社

航空燃料 潤滑油、潤滑脂及 特种液体

上校工程师E.B. 罗捷諾維奇 著
上校工程师B.B. 格拉切夫 主編
常汝楫 李斌才 譯



國防工業出版社

本書闡述了制取航空燃料、潤滑油、潤滑脂、冷卻液及特种液体的方法，以及它們的使用規則和理化性能。

本書可作为空軍工程技術人員參考用書，亦可作为航空技術學校“燃料、潤滑油及特种液体”課的教材。

Инженер-полковник
Е. В. Розенович
АВИАЦИОННЫЕ ТОПЛИВА,
МАСЛА, СМАЗКИ И
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЖИДКОСТИ
Военное издательство
Министерства Обороны Союза ССР
Москва—1956
本書系根据苏联軍事出版社
一九五六年俄文版譯出

航空燃料
潤滑油、潤滑脂及
特种液体

(苏)上校工程師 羅捷諾維奇 著
曹汝楫、李斌才 合譯

*
國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号
北京新中印刷厂印刷 新华書店發行

*
850×1168 1/32 • 6 1/4 印張 • 插頁1 • 168,000字

一九五七年六月第一版

一九五七年六月北京第一次印刷

印數：1—1,500冊 定價：(10)1.10元

序 言

在苏联的国民經济中，每年消耗大量的燃料、潤滑油、潤滑脂及特种液体。

燃料和潤滑剂对苏联的国防力量有着特殊重大的意义。現代化的軍隊装备着上千上万的飞机、坦克、自动武器、汽車、牽引車及运输机器。

苏联共产党及苏联政府認為发展重工业具有重大的意义，其中包括液体燃料的生产，所以确定高速度开发石油資源及提高石油加工厂的生产能力。

苏联的学者及工程师們在化学的发展中，以及在化学的实际应用中，特别是在燃料和潤滑剂的生产工业中起着主导作用。

关于俄罗斯及苏維埃学者們在燃料、潤滑剂生产理論方面及实践方面的功績，作者認為最好是在本書的正文內說明，不在序言中贅述。

本教材供空軍工程技術人員参考用，亦可做为航空技术学校“燃油、潤滑油及特种液体”課的教材。

了解燃料、潤滑剂、冷却液及若干其它特种液体的主要性能以及使用它們的主要規則，对直接使用航空发动机的工程技術人員无疑地是必要的。沒有这些便不能理解航空发动机工作的实質和条件，因此也就不能理解它們对发动机工作的作用，以保証发动机工作的有效性、可靠性及經濟性。

对不同类型的航空发动机所使用的航空燃料具有不同的要求。所以，点燃式活塞发动机用的燃料必須有良好的蒸发性和高的抗爆性。对噴气发动机來說，則燃料的这种性能，如抗爆性，实际上是沒有任何意义的。

編著本書时，作者是从下列目的出发的：

1. 使讀者了解制取航空燃料、潤滑剂、冷却液及若干其它

特种液体的主要方法。

2. 提出航空燃料、润滑油、润滑脂及特种液体的主要性能的概念。

3. 叙述关于航空燃料、润滑剂及特种液体使用的基本规则。

本书的读者对象为通晓无机化学和有机化学原理，以及航空发动机热力学原理者。本书由五章组成。

在第一章“燃料及其应用”中研究燃料炼制的方法，燃料的主要性能及其在航空发动机内的应用。

在第二章“润滑油及其应用”中研究航空发动机润滑用润滑油的炼制方法。这些润滑油的主要性能及其在航空发动机内的应用。

在第三章“润滑脂及其应用”中包括有关航空发动机和飞机零件润滑用的航空润滑脂（抹油）知识。

在第四章“冷却液及其应用”中研究发动机冷却用的液体。

第五章“飞机起飞着陆装置和液压系统用液体及其应用”阐述前、后轮的起落架减震支柱中及起落架收、放液压系统中用的液体。

在本书的准备付印过程中，蒙技术科学副博士 М.Е. 烈兹尼柯夫 (Резников) 做了许多宝贵的补充和修正，作者向他谨致谢意。

目 次

序 言

第一章 燃料及其应用

§ 1. 航空发动机燃料	1
§ 2. 炼制航空燃料的原料及其简要性能	1
§ 3. 炼制航空燃料和航空燃料混合成分的主要方法	3
1. 直馏	4
2. 裂化法	6
3. 加氢	8
4. 烃类重合	8
5. 烃类硫化	9
6. 烃类合成	10
7. 石油馏分油热分解	11
8. 天然气汽油的安定化	11
§ 4. 烃类燃料的精制和安定化	12
1. 液体烃类燃料的精制	12
2. 液体烃类燃料的安定化	13
§ 5. 航空燃料的理化性能	13
1. 对航空燃料的主要要求	13
2. 燃料的密度	14
3. 燃料的粘度	20
4. 燃料的挥发性	24
5. 燃料的发热量	39
6. 燃料的抗爆性	45
7. 柴油的迟滞自燃性	79
8. 燃料的吸水性	86
9. 燃料的冰点	88
10. 燃料对航空发动机及飞机零件和部件的影响	90
11. 燃料的安定性	95
§ 6. 航空燃料的应用	96
1. 选择航空发动机燃料的基本规则及代用品的选用	96
2. 选用航空燃料的品种	101

3. 燃料的运输	103
4. 燃料的保管	104
5. 燃料在航空发动机上使用的规则	105

第二章 润滑油及其应用

§ 1. 航空润滑油	110
§ 2. 制造润滑油的主要方法	110
1. 馏分润滑油的制造与精制	110
2. 硫酸-白土精制残渣矿物润滑油的制造	112
3. 溶剂选提精制残渣矿物润滑油的制造	112
§ 3. 商品润滑油品种的制配	113
§ 4. 润滑油的理化性能	114
1. 对航空润滑油的要求	114
2. 润滑油的密度	114
3. 润滑油的粘度	116
4. 润滑油的凝固点	121
5. 润滑油的调滑性	128
6. 润滑油对发动机零件的影响	133
7. 润滑油的性能在发动机工作过程中的变化	139
§ 5. 航空润滑油的应用	144
1. 选用航空润滑油及其代用品的基本规则	141
2. 现用航空润滑油的品种	147
3. 润滑油的运输和保管	148
4. 润滑油在空军使用的规则	149

第三章 润滑脂及其应用

§ 1. 飞机润滑脂的种类	152
§ 2. 润滑脂的理化性能	154
1. 对润滑脂的要求	154
2. 润滑脂的可塑性	155
3. 润滑脂在高低温下和周围介质的高低湿变下的性状	157
4. 润滑脂对润滑机械零件的影响	160
§ 3. 润滑脂的应用	162
1. 主用润滑脂品种的选择及其代用品的选用	162
2. 飞机润滑脂的品种	163
3. 润滑脂的运输和保管	165
4. 润滑脂的使用规则	165

第四章 冷却液及其应用

§ 1. 活塞式发动机冷却液的种类	167
§ 2. 冷却液的理化性能	167
1. 对冷却液的主要要求	167
2. 冷却液的热容量	168
3. 冷却液的体积膨胀系数	169
4. 冷却液的沸点	169
5. 冷却液的冰点	172
6. 冷却液对冷却系统零件的影响	174
7. 冷却液的安定性	177
§ 3. 冷却液的应用	177
1. 选用冷却液及其代用品的基本规则	177
2. 现用冷却液的品种	179
3. 冷却液的运输和保管规则	179
4. 冷却液的使用规则	180

第五章 飞机起飞着陆装置和液压系统液体及其应用

§ 1. 飞机起飞着陆装置及液压系统液体的种类	184
§ 2. 飞机起飞着陆装置及液压系统液体的理化性能	184
对液体的要求	184
§ 3. 起飞着陆装置及液压系统液体的应用	186
1. 选择液体的一般规则	186
2. 现用起飞着陆装置及液压系统液体的品种	187

附 录:

1. 燃料油化验单	189
2. 润滑油化验单	191

第一章 燃料及其应用

§ 1. 航空发动机燃料

航空渦輪噴气发动机是用从少硫石油和含硫石油直餾煉得的品种优良的煤油以及含有汽油、重汽油及煤油餾分的寬餾分組成的燃料做为主要燃料。

装有气化器及直接噴油泵的航空活塞发动机可用純直餾汽油和催化裂化汽油工作，亦可用添有特种混合成分和提高汽油油气混合气貧油和富油抗爆性的添加剂的汽油。

現今，純航空汽油只是用于装在教練机上的低功率发动机上。

添有乙基液和抗氧化剂的航空汽油或是燃料与一种混合成分（而經常是与几种混合成分，例如，異辛烷、烷化油、烷基苯、甲苯、热解苯等）混成的混合液，均用于現代高功率的航空活塞发动机。

§ 2. 煉制航空燃料的原料及其簡要性能

煉制航空汽油的原料主要是石油及其加工产品。此外，航空燃料和航空燃料的个别混合成分可由各种矿物煉制，例如煤、褐煤、油母頁岩以及某些气体。

石油是由大量不同的烴类和少量的氧化物、硫化物、氮化物、溶解气体和矿物質所組成的混合物；石油中同样尚含有若干水分。

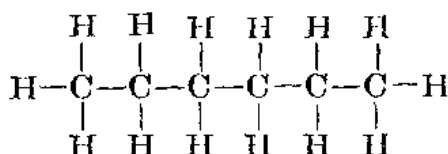
石油的分类是根据石油中硫、石蜡、胶質含量以及按照石油的汽油、煤油和滑油餾分的主要質量指标来进行的。

按石油烴类分子中碳原子C和氢原子H的数目及位置，全部烴类分为以下数种：

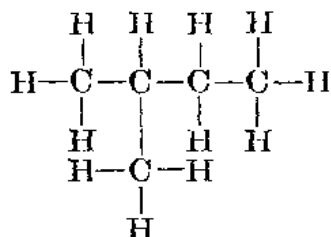
1. 鏈狀結構的烴类：

飽和烴——烷烴：

无枝鏈的飽和烴——正构烷烴，例如正己烷 C_6H_{14} ：



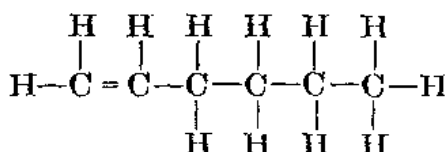
有枝鏈的飽和烴——異構烷烴，例如異戊烷 C_5H_{12} ：



正己烷和異戊烷是飽和烴的代表者，其中碳原子間都是單鍵。

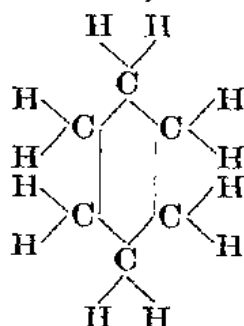
不飽和烴類的碳原子間有雙鍵，因此它比飽和烴的氫少。鏈狀結構的不飽和烴稱為烯烴。

可舉出烯烴中的己烯 C_6H_{12} 作為例子：

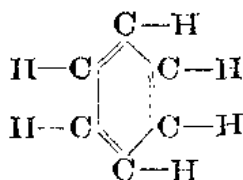


2. 環狀結構的烴類——環烴：

環中有單鍵者為環烷烴，例如環己烷 C_6H_{12} ：



环中有双键者为芳香烃，例如苯 C_6H_6 ：



在不同产地的石油中异构烷烃、环烷烃和芳香烃的百分含量极不相同。石油中的烯烃含量极少。石油烃类的成分决定着加工的方向和石油产品的理化性能。

矿物煤乃可燃岩，主要由碳及少量的氢、氧、氮和硫组成。此外，在煤的成分中尚有矿物质和水分。在可燃煤炭中碳的含量在57~96%范围间；氢的含量为2~6%；氧、氮和硫总共为2~37%（在泥煤中）；矿物质为2~30%（在油母页岩中）；水分0.5~45%（在泥煤中）。

炼制燃料混合成分的主要气体是：气态的饱和烃类——正构和异构烷烃（丙烷、丁烷、异丁烷等）；气态的不饱和烃类——烯烃（乙烯、丙烯、丁烯等）。石油的馏分油及煤炭残余物在高温加工过程中分离出来的气体，一氧化碳和氢的混合物——水煤气都是取得该种原料的来源。

§ 3. 炼制航空燃料和航空燃料混合成分的主要方法

炼制航空燃料的最普遍的方法有以下几种：

1. 直馏。
2. 裂化：
热裂化；
催化裂化。
3. 加氢。
4. 烃类重合。
5. 烃类烷化。
6. 烃类合成。

7. 石油馏分油热分解。

8. 气体汽油安定化。

1. 直 餾

从原料中（石油、焦油）分离出組成各种燃料（航空燃料和汽車、拖拉机等燃料）的烴类餾分的过程称为直餾或餾分蒸餾。

直餾由数个作业組成：加温、蒸发、凝縮和冷却。图1乃石油在一次蒸发管状爐中蒸餾的原理图。原料——石油或由褐煤、瀝

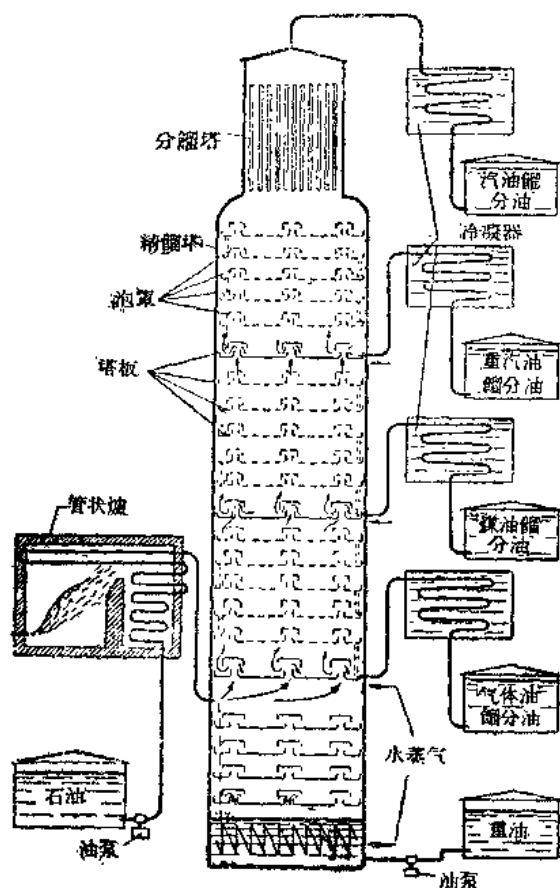


图 1 石油餾分蒸餾的管状装置图

青煤、油母頁岩或泥煤半焦化制得的焦油在特种管狀爐中加熱到必需的温度，然後進入精餾塔中。

精餾塔的各段中的温度不同。在精餾塔下部的塔板上冷凝着燃料的最重的烴類，称为气体餾分油。在精餾塔中部的塔板上冷凝着煤油餾分油，最後，在靠近精餾塔上部的塔板上凝縮着重汽油——里格罗因，称为里格罗因餾分油。石油的沸点最低的烴類呈气态从精餾塔上端出来，在冷凝器中凝縮，成为汽油餾分油。

餾分油經過補助洗滌後取得汽油、重汽油、煤油和气体油。

在精餾塔的下部集聚有石油的重質部分——重油或焦油的重質剩餘物，从精餾塔下部导入过热水蒸汽再从这些物質中蒸取淺色餾分油的輕質餾分。蒸汽同样凝結在餾出重汽油、煤油和柴油的精餾塔的塔板上。

石油的直餾乃炼制液体燃料的最簡便的工艺过程。但是，該法的缺点是有用的餾出物的餾出率过低。每吨石油平均能炼制100~120公斤汽油，而每吨半焦化焦油炼油不超过60~80公斤。重汽油、煤油和气体油的餾出率同样不高。直餾不能对原料烴類的化学結構有所作用，不能从低質量的原料中制出高質量的产品。用該法制得的产品多为由具有高度安定性的烴類所組成。

世界上第一座石油清洗工厂是由商人納巴托夫在1745年建于烏喇金油矿。1823年由潘尼娜伯爵夫人的农奴杜比宁兄弟瓦西里、盖拉西姆和馬卡尔在莫茲多克城建立起灯油(或发光体)，过去曾叫做煤油的炼油厂。杜比宁兄弟的煤油曾行銷于下諾夫哥罗德城的集市上。杜比宁兄弟曾請求对扩大炼油企业給以支持，但他們并沒取得任何帮助，事情很快地就自消自灭了。十九世紀中叶在巴庫附近和契列金島上又建立起了炼油厂。至1839年在俄国已建立了40个工厂。开始时並沒有象管狀爐这种完善的蒸餾設備，但是炼油工艺学却迅速地改进着。第一批蒸餾設備是非連續操作的蒸餾鍋。然後，按照 Д.И.門捷列夫的建議修建了連續操作式的蒸餾鍋。这些俄国工程师后来被聘請到英国、日本、墨西哥去当修建蒸餾鍋設備的顧問。

2. 裂 化 法

裂化法——这种原料加工的方法是建立在原料烃类分子在高温和高压下分解的基础上。

最常采用的两种裂化方法是热裂化和催化裂化。

热裂化工艺过程是原料（煤油、重油、气体油或半焦化焦油）在温度约为 $450\sim 520^{\circ}\text{C}$ 和压力为 $20\sim 50$ 个气压（液相裂化）下进行反应。

由于高温高压的作用，高沸点烃类的复杂而大的分子即破裂成简单而小的分子，即变成低沸点的烃类。原料中低沸点烃类的分子在多数情况下同样也改变自己的结构。裂化法的优点是原料的出油量高。从每吨重油能炼出近300公斤汽油，从每吨半焦化焦油能制得近500公斤汽油。裂化汽油的抗爆性高于同样原料用直馏方法制得的汽油。但是热裂化燃料的最大缺点是其中含有大量能变成胶质的不饱和烃类，这就大大地降低了燃料的安定性。

Д. И. 門捷列夫在上一世紀的70年代中便特別的注意到石油的高温加工。他曾說：“必須獲得有關熱對重質滑油和石油作用的知識”。俄國學者和工程師В. В. 屈爾柯夫尼柯夫(Марковников)、А. А. 庫爾巴托夫(Курбатов)、Н. А. 阿列克塞也夫(Алексеев)、А. Н. 尼基福羅夫(Никифоров)、В. И. 拉果金(Рагозин)、В. Г. 舒霍夫(Шухов)、С. 加夫利洛夫(Гаврилов)均對熱裂化過程進行了研究。Н. А. 阿列克塞也夫尚在1885年即在巴庫修建了用裂化油質焦油的方法煉制煤油的設備。1891年工程師В. Г. 舒霍夫和С. 加夫利洛夫取得了“破裂蒸餾和高壓石油分解”方法，即熱裂化方法的特許權（專利權）。

1895年，工程師 А. Н. 尼基福羅夫取得了特種高壓熱裂化的專利權並在基涅什莫建立了煉油廠。在國外，第一個熱裂化工廠僅建於1913年。

熱裂化方法的另一形式是重整法。

在高温高压的影响下，改变原料中烃类分子的化学结构的加

工方法称为**重整法**。該法的工艺过程的特点即：这时的原料并非裂化过程中用的重油或半焦化焦油，而是低品种的汽油或重汽油，在約 $500\sim 525^{\circ}\text{C}$ 的高温和 $50\sim 70$ 大气压下反应。在这种作用下組成汽油或重汽油的低沸点的烴类分子部分地分裂，但主要是改变了它們的化学結構。

在重整过程中便将低品种的燃料加工成高品質的燃料。从每吨重汽油中能炼出近 840 公斤汽油。裂化汽油是有缺点的，而重整汽油亦是如此。由于这种汽油內含有不饱和烴类，因而較直餾汽油的安定性差。

第一次高温重整过程是由 В. Г. 舒霍夫和 М. А. 克別留申柯夫 (Капельюшников) 在 1929~1931 年設計和修建的“苏維埃裂化”型裝置上实现的。

催化裂化工艺过程乃石油的重質或中等餾分在催化剂（例如氧化鋁）的参与下受高温（約 450°C ）和常压作用。俄罗斯科学院院士 К. С. 基尔赫果夫 (Кирхгоф)、Н. Н. 齐宁 (Зинин) 和 Н. Д. 澤林斯基 (Зелинский) 成功地研究了在許多燃料生产过程中起着重要作用的催化剂的制造問題。

用催化裂化方法可从每吨石油制得近 500 公斤的汽油。催化裂化汽油的优点較热裂化汽油多。該种汽油安定，在发动机中貧、富油的抗爆性高。催化裂化汽油的異构烴和芳香烴多，是制造高功率航空活塞发动机用的現代高級燃料的基油。

А. М. 布特列魯夫 (Бутлеров) 院士的学生和助手化学家 Г. Г. 古斯塔夫松 (Густавсон) 于 1881 年在世界上第一个解决了石油重質烴在催化剂（氯化鋁）作用下的分解問題。我們的学者 Н. Д. 澤林斯基、А. Г. 古尔維奇 (Гурвич) 等作了許多关于催化剂对加速裂化过程影响的研究工作。

Н. Д. 澤林斯基曾研究并实现了数种利用催化剂进行原料高温炼制的方法。在 1911~1912 年他发明了利用催化剂使环烴烴变成芳香烴的方法，后来称为催化脱氢（将烴类分子的氢除掉）。在 1918 年澤林斯基实现了用催化剂由太阳油和煤油炼制汽油的方法。

3. 加 氢

加氢或氢化乃将氢加入原料的分子中。这时,不饱和烃类(烯烃)的氢化比将氢加入芳香烃的安定的环中容易的多。催化氢化即是利用細碎的金屬或其化合物使氢活性化。氢化的催化剂用硫化錳、鎳、銅、鈷、鉄及它們的氧化物以及其它許多元素。氢化的必要温度依不同情况分別規定。一般地,压力增高能促进氢化。該法的工艺过程乃原料(石油、重油、半焦化焦油或搗碎的煤炭)在温度約为 $100\sim 500^{\circ}\text{C}$, 压力 $250\sim 700$ 大气压下, 在金屬催化剂的参与下受氢的作用。这一过程即重質的高沸点烃类分子分裂的碳和氢生成新的烃类, 氢再与烃类分子結合。

石油剩余物或半焦化焦油加氢时, 从每吨燃料可得 $250\sim 300$ 公斤汽油和 $700\sim 750$ 公斤气体油, 即液体燃料的产量达100%。

煤炭加氢时, 从每吨无水、无灰的炭質能制取 $610\sim 660$ 公斤汽油。但是如果考虑到部分的煤炭要消耗在制取反应过程所必需的氢时, 那么每吨炭質的汽油产量可为 $250\sim 280$ 公斤。

加氢汽油的抗爆性高, 不含不饱和烃类, 因而非常安定。在这些汽油(甚至是由含硫多的原料制成的汽油)中, 含硫量不很高。

在加氢过程中主要是制造航空、汽車汽油, 但同样也可制取渦輪噴气发动机和压燃式发动机用燃料。

由于許多学者的工作使加氢法的工艺应用在二十世紀中成为现实, 其中俄罗斯学者 Н.П. 澤林斯基占有着光荣的地位。

4. 烃 类 重 合

烃类重合就是低分子气态的不饱和烃类(烯烃)在温度和压力的作用下变成液体烃。

現今, 有两种重合法: 热重合和催化重合。

热重合的工艺过程就是使含有大量不饱和烃类的气体受温度約 500°C 和压力約70大气压的作用。这样加工的结果, 組成烃类輕

分子的气体——单构物便重合，并生成复构物。热重合时每—立方公尺的气体制成的液体燃料約等于 450 克，从这个数量的燃料中可制得近 360 克的汽油。

当有催化剂——磷酸 H_3PO_4 催化重合时，烯烴受温度約为 200~250°C 和 10~14 大气压力的作用。用这种方法，汽油的产量比上法多些，每一立方公尺气体能产 900~1000 克汽油。重合汽油有高的抗爆性，其中一些汽油（催化重合汽油）的唯一缺点是油內不饱和烴的含量大，安定性低。

同时使用重合法和加氢法可制造高級工业烴——異辛烷。制取異辛烷方法的实質如下：

由于重合的結果，不饱和烴——異丁烯变为二異丁烯（ $C_4H_8 + C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ ）。由于加氢的結果，二異丁烯变为異辛烷（ $C_8H_{16} + 2H \rightarrow C_8H_{18}$ ）。

杰出的俄罗斯化学家 A. M. 布特列洛夫——結構理論的創造者在 1876 年首次实现了用異丁烯重合反应制取異辛烷。

制造重合汽油的首批工业設備是在 1936 年正式开始生产重合汽油的。

5. 烴类 烷化

烴类加工时，使某些烷基（甲基 CH_3 、乙基 C_2H_5 、丙基 C_3H_7 、丁基 C_4H_9 等）与饱和烴和芳香烴相結合的方法称为烷化。烷化过程的实質乃在一定的温度和压力下，在催化剂的参与下，饱和烴类（正、異构烷烴和芳香烴）与烯烴（乙烯、丙烯等）相化合。

現今制取高辛烷汽油的一切高級工业烴几乎全是用烷化法制得的。例如異戊烷 C_5H_{12} 、新己烷 C_6H_{14} 、異辛烷 C_8H_{18} 和異丙苯 C_9H_{12} 都是高級工业烴。

根据所制取产品的不同，所使用的原料和过程状态也随之改变。

例如：制造新己烷 C_6H_{14} 的原料用異丁烷 C_4H_{10} 和乙烯