

人造液体燃料

第一卷

И. Б. 拉波波尔特著

本書系根据苏联国立石油及燃料科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы) 出版的拉波波尔特 (И. В. Рапопорт) 著 “人造液体燃料” (Искусственное жидкое топливо) 1955 年修訂第二版譯出 (原書 1950 年第一版中譯本第一卷及第二卷已分別于 1954 年 11 月及 1955 年 11 月出版)。原書經苏联高等教育部高等工艺学校主管司审定为石油和化工 高等学校或系的教学参考書。

本書叙述人造液体燃料的化学与工艺学的基本原理。書中共分二卷：第一卷中討論固体和液体燃料的破坏加氢过程，温度、压力、催化剂等因素对加氢过程的影响，以及使加氢产物成为優質液体燃料的加工方法；第二卷中叙述由一氧化碳与氢合成为发动机燃料的过程，温度、压力、催化剂、原料气組成及其淨制对合成过程的影响，合成产品的加工及其組成与質量等。

本書中譯本分第一与第二兩卷出版。

本書可作为石油工業和化学工業高等学校学生的教学参考書，亦可供燃料加工工程师参考。

人 造 液 体 燃 料

第 一 卷

И. В. 拉波波尔特 著

吳德琪 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 054 号)

京華印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·147 開本 850×1168 1/32 印張 10⁸/16 插頁 1 字數 247,000 印數 8801—4800

1954 年 11 月第 1 版 1959 年 9 月第 2 版 1959 年 9 月北京第 3 次印刷

定價 (7) ¥ 1.40

第二版序

近来,用破坏加氢和合成等过程以制取发动机燃料,也与其他许多方法一样,已得到广泛的应用。

破坏加氢可以把固体可燃性矿物、重油、裂化残油、焦油和重焦油产品等变成品质优良的发动机燃料,同时还得到许多有价值的产品,而后者乃是最重要的有机合成的原料。

在破坏加氢过程发展的初期,它是作为一种能把煤和各种不同的高分子液体产品完全加工而变成发动机燃料的卓越过程而被采用的。但根据近年来所完成的许多研究工作的结果,已可能把破坏加氢看作是燃料加工总流程中的一个重要阶段。在这种情况下,破坏加氢的任务乃是从高分子物料中制取宽馏分,这种宽馏分适于用各种热加工方法或催化法来进一步加工。

重质石油残油的综合加工流程就是属于这类新的生产方案之列,这个综合流程规定先把石油残油进行破坏加氢,然后把破坏加氢产物的馏分进行热裂化和催化裂化,并把裂化和破坏加氢所得的气体加工成高辛烷值的液体燃料和各种有价值的化学产品。

这种综合流程的产品的产率很高,和破坏加氢所得者相近,而消耗的氢气的量却较少。同时,产品的成本、用于破坏加氢设备的优质金属的消耗量和基建投资也能减低。

当上述的一些方案采取燃料-化学的方向时(топливно-химическое направление),利用这些方案来加工裂化残油、渣油、煤等就有特殊的意义,即在制得发动机燃料的同时还可得到各种化学产品——芳香烃,碳氢化合物(C_1-C_4),而在煤破坏加氢时还可得到酚类和吡啶碱类,这些产品都是制造重要有机物的原料。

如果說破坏加氢过程的目的是分裂复杂分子以制取發动机燃料，那末本書所討論的第二个过程——合成——的任务就是在两种簡單物質——一氧化碳气和氢气——的基础上制取各种化学产品和發动机燃料。

現在，可以把 CO 和 H_2 的混合物(合成气)加工得到汽油，柴油机燃料，石蜡和地蜡(固体石蜡)，高級醇等等；石蜡和柴油机燃料可用作制造洗滌剂和橡膠的增韌剂等等的原料。

近年来在發动机燃料、高級醇和其他有机化合物合成方面进行的許多研究工作表明，以一氧化碳和氢为原料的合成过程具有远大的前途。在这里應該指出，供合成过程用的合成气 (CO 和 H_2) 可以在極丰富的原料(各种固体燃料，高分子液态油品及烴气)的基础上制得，特別可以从不可能或不适合用其他方法制取發动机燃料的原料中制取之。

在建立和發展人造液体燃料化学的事業中，光荣的地位應該屬於苏联的化学家們。Н. Д. 捷林斯基(Зелинский), Е. И. 奥尔洛夫(Орлов), С. С. 那苗特金(Наметкин), А. Д. 彼得洛夫(Петров), В. М. 卡桑斯基(Казанский), Н. М. 卡拉伐耶夫(Караваяев), А. Ф. 道勃良斯基(Добрянский), М. С. 涅姆佐夫(Немцов), Я. Т. 爱依杜斯(Эйдус), А. В. 福洛斯脫(Фрост), Д. И. 奥洛契柯(Орочко), В. И. 卡而热夫(Каржев), В. Н. 多尔郭夫(Долгов), А. Н. 巴什基洛夫(Башкиров), А. В. 洛澤維(Лозевый)以及其他許多研究家有着無數的發明，这些發明乃是人造液体燃料制造过程的基础。

在破坏加氢以及以一氧化碳和氢为原料的合成方面，伯鳩斯(Бергюс), 克拉烏赫(Краух), 皮耳(Пир), 高尔登(Гродон), 斯托尔契(Сторч), Ф. 費雪(Фишер), 特洛潑什(Тропш)和其他許多外国的研究者們也进行了許多巨大的工作。

自“人造液体燃料”第一版出版后的六年中，又完成了許多新

的研究工作，因此我們在破坏加氢和合成方面的知識又大大地增加了。

特別在研究过程的化学历程，研究新的、更完善的破坏加氢方案和催化剂方面以及应用鉄系催化剂的新的合成过程方面进行了許多工作。

作者收集和整理了近年来公布的有关这些問題的材料，并大大地修改了本書的第一版，补充了新的材料。

考虑到所提出的任务是为人造液体燃料專業的大学生们編写教材，并考虑到目前对教材所提出的要求，作者把內容叙述得更紧凑（以一册書代替第一版的兩册），略去了諸如制造氢气和制造合成气等类問題的探討，縮減了淨制气体以除去从矿物中帶來的硫化物和某些其他章节的篇幅，因为这些章节的內容在有关的教科書和数学参考書內有足够詳細的闡述。

破坏加氢方面的計算例題是由技术科学付博士 Н. Б. 比涅金 (Пинягин) 执笔，而合成方面的計算則由工艺工程师 В. Н. 古拉各夫 (Кулаков) 执笔。第二十四章“合成气及其淨制”系由技术科学付博士 Г. О. 努西諾夫 (Нусинов) 写成。

將从讀者处提出的宝貴意見和指正，作者預先表示感謝，并將加以考虑。

第一卷目录

第二版序	v
第一章 破坏加氢时反应的基本方向和反应的热力学可能性	1
第二章 各单体化合物的破坏加氢	11
烷烃	11
不饱和化合物(烯烃, 二烯烃, 炔烃, 环烯烃)	17
环烷烃	20
芳香烃	28
含氧化合物	38
含氮化合物	38
含硫化合物	41
第三章 可燃性矿物的破坏加氢过程的历程	47
第四章 各种煤对破坏加氢过程的适合性的评定	68
第五章 煤破坏加氢的基本工艺流程	76
第六章 破坏加氢原料的准备	80
第七章 破坏加氢催化剂	92
关于破坏加氢催化剂的一般资料	92
破坏加氢催化剂的制造	107
第八章 液相破坏加氢	117
总論	117
破坏加氢过程的工艺流程、设备和主要指标	141
气体的循环和循环气的精制	157
破坏加氢残余物(残渣)的加工	160
破坏加氢液体产物的分段减压	166
煤的液相破坏加氢的物料计算举例	167
第九章 宽馏分的气相破坏加氢	188
总論	188
预加氢	190

气相分解	195
气相破坏加氢及其开工、运转及停工	202
破坏加氢液体产物的蒸馏, 汽油的洗涤和安定化	216
气相破坏加氢物料计算举例	218
第十章 不同方案的煤的破坏加氢过程的物料平衡	225
第十一章 焦油、各种石油残油以及其他液体原料破坏 加氢的基本方案	236
总论	236
原焦油和含胶质油料的破坏加氢	236
石油残油的破坏加氢	248
第十二章 各破坏加氢产物的特性·破坏加氢厂的总流 程·消耗指标	257
第十三章 破坏加氢的反应热	269
第十四章 破坏加氢过程中得到的气体·破坏加氢过程 用的氢气	275
第十五章 氢化过程——汽油的精制及其脱硫的方法	284
加氢精制	284
氢化脱硫	285
第十六章 汽油的芳构化	289
过程的化学历程及概论	289
汽油芳构化过程高压反应装置的工艺流程(ДВА方案)	304
第十七章 高辛烷值添加剂(烷化物)的制造	314

第一章 破坏加氢时反应的基本 方向和反应的热力学可能性

破坏加氢过程是在高温 ($380-550^{\circ}\text{C}$)，高压 ($200-700$ 大气压) 以及有特种抗硫催化剂存在下进行的，并且根据原料转化深度的不同，本过程可以向只制得发动机燃料(汽油、柴油机燃料等)的方向进行，或向制得发动机燃料和各种有价值的供进一步合成用的化学产品的方向进行。

从各种焦油和石油残油中可以制得 $70-80\%$ 的发动机燃料， $23-18\%$ 的气态烃和 $7.0-2.0\%$ 的反应水。用煤进行破坏加氢时，汽油的产率可达 55% ，气态烃的产率约为 30% ，水达 10% ，而未起反应的残渣约为 5% 。

当液态高分子油品——焦油、重油等——进行破坏加氢(分三段进行的)时，在第一阶段(液相破坏加氢)中发生氢化、异构化、分解等反应，这时含氧、氮或硫的化合物中一部分氧、氮、硫等元素变成水、氨和硫化氢而被除去，同时还生成相应的碳氢化合物。上述许多反应在第一阶段不完全进行完毕，但进行得很深，以致可以得到大量的含氢较多的产物，即所谓宽馏分，这种馏分宜于加工制取汽油。这种加工在破坏加氢作业的以后各阶段中进行。

固体可燃性矿物——煤——是由高分子化合物组成的。由于形成煤的原始物质的性质不同以及其在长期的地质时期(геологический период)中所起的变化不一样，便形成许多种不同的固体可燃性矿物，它们各具有不同的化学性质和物理性质。在煤破坏加氢过程的第一阶段中(这破坏加氢过程进行的方向和最终结果都和液态高沸点物质的破坏加氢过程相同)，首先发生煤的热“溶

解”过程。其实进行破坏加氢的不是煤本身,而是溶解和分散在溶剂中的煤质。煤溶液的破坏加氢的结果也就得到含氢较多的宽馏分。

可以把高分子化合物的破坏加氢过程看作是一系列平行和顺序反应的綜合过程,这些反应是: 1) 氢加入烯烴、芳香屬物質和含氧、氮和硫的物質中; 2) 异构化; 3) 高分子化合物的分解, 4) 破坏加氢, 亦即同时發生加氢的分解反应; 5) 解聚反应。

因为破坏加氢过程总是在經常过剩的氢气中进行, 所以分子分解后形成的自由鍵都被氢饱和。因此, 在破坏加氢的最終产物中不饱和化合物是很少的。

表 1 所示系“自由氢”(свободный водород)^①在原料及最終产物——汽油中的含量的对比, 从表中可以明显地看出氢气加成反应在破坏加氢作業中的意义。表中数据显示, 氢含量的差額按汽油与石油、汽油与藻煤、汽油与褐煤、汽油与烟煤的次序而逐漸增加, 換句話說, 原料中氧愈多, 則自由氢愈少, 而在破坏加氢过程中需要加入的氢也就愈多。例如, 在將烟煤变为汽油时, 以 100 克碳作基准需要加入 6.5 克分子或 146 升氢气, 而用褐煤焦油則仅需約 61.5 升氢气(100 克碳作基准); 石油、褐煤焦油和含自由氢很多的可燃性矿物进行破坏加氢时需要加入的氢气最少。

在未經預饱和的破坏加氢过程的开始阶段, 可能分解的只是高分子化合物——烷烴、烯烴和环烷烴。所有其他含氢較少的化合物或者分解而同时生成大量的气体和聚合、縮合产物, 或者它們在 425°C 下实际上几乎不分解; 这可从表 2 中看出。考虑到烷烴和芳香烴的 C—C 鍵和 C—H 鍵的鍵能間有显著的差別, 可以設想: 芳香化合物的热稳定性較大。

① “自由氢”即指物質中以 100 克碳为基准的氢的数量; 用于生成水、氮、硫化氢的氢不計在內。

表 1. 各种原料和汽油中自由氢的含量

名 称	自由氢含量 克/100 克碳	名 称	自由氢含量 克/100 克碳
汽油.....	16.8 - 17.5	孢子.....	9.8
石油①.....	12.2 - 16.0	低温干馏褐煤的焦油...	11.7
巴尔喀什腐泥岩②.....	12.5	低温干馏烟煤的焦油...	7.6
沥青石.....	11.6	烟煤③.....	4.0 - 4.4
天然树脂质		褐煤.....	4.1 - 4.3
树脂油.....	11.8	泥煤.....	3.2
松脂.....	10.4	木材.....	1.9
藻煤.....	10.5		

表 2. 各种碳氢化合物的裂化, 温度 425°C, 时间 60 分钟

[根据基里契夫 (Тиличев) 的数据]

碳氢化合物的名称	自由氢的含量 克/100 克碳	裂化产品的产率, %		
		分解的液体产品	气体 + 损失	聚合产品
饱和烃类:				
十烷.....	18.2	18.2		9.3
十二烷.....	18.1	15.5	2.8	11.7
十六烷.....	17.9	16.7	3.5	11.2
不饱和烃类:				
辛烯.....	16.8	10.9	11.3	—
十六烯.....	16.7	19.6	5.2	27.2
芳香烃:				
萘.....	6.7	—	1.5④	—

① 包括含氢多的及含氢少的。

② 译者注: 巴尔喀什腐泥岩 (Балхашит) 是中亚细亚巴尔喀什湖附近的腐泥岩。

③ 按挥发分的含量此种煤属 Л、Г 和 II 类。

④ 萘与烷烃相比较, 是热稳定性较大的碳氢化合物。在 500°C 和实验时间 861 分钟的情况下, 起变化的萘的量为 2.1%; 这时没有生成液态产物, 而气体的产率 + 损失共 1.5%。

如果取正十二烷在 500°C 时裂化 10% 所需的时间为 1, 则萘在同样条件下所需的时间为 20555。

但是假如不引入额外量的氢气,就不能把高分子烷烃、烯烃和环烷烃完全分解为低沸点烃类而不产生聚合和缩合产物(炭青質 карбоиды)。

因此,假如把诸如石油、焦油等物质,亦即被看作包括各族化合物(烷烃,烯烃,环烷烃,芳香化合物和含氧、含氮、含硫化合物)的混合物未经氢的加成反应而进行分解亦即进行裂化时,将得到大量的裂化残油(крекинг-остаток)、缩合产物(炭青質)和气体。表3中列出的是格罗兹宁含蜡重油(грозненский парафинистый мазут)和苏拉汗重油(сураханский мазут)以及頁岩焦油裂化的数据,这些数据表明:如不从外面加入氢气而将它们裂化时,它们的完全变成汽油是不可能的。在裂化时发现有大量气体和焦生成,可是把它们破坏加氢时,重油却完全变成汽油和气体,二者的产率是汽油为原料的70—75%和气体为原料的30—25%。

表 3. 石油产品裂化时产物的产率

(根据基里契也夫的数据)

原料名称	自由氢含量 克/100克碳	对原料的产率, %		
		汽 油	焦	气体+损失
格罗兹宁含蜡重油...	—	52	24	24
苏拉汗重油.....	—	54	20	26
頁岩油(爱沙尼亚)...	10.6	42①	85	23

① 其中包括 18% 沸点高于 200°C 的馏分。

在破坏加氢过程的第一阶段中生成的相当于瓦斯油的宽馏分,按氢的含量而言,与汽油略有不同,而且瓦斯油和汽油分子的大小也不一样,其比例为 2:1。因此需要使瓦斯油再度分解而变成汽油;这一过程要在以后各阶段中于足够的过剩氢下进行,以使生成的不饱和化合物能足够充分地加氢。

因此,破坏加氢可看作是在氢压下进行的裂化过程。

高分子物质的裂化是一个包括各种各样的平行反应和顺序反应同时进行的复杂的综合过程。裂化过程中的主要反应乃是分解,异构化,缩合和脱氢^①。缩合和异构化的结果会生成缩合产物。因此在裂化过程中会生成炭青质(焦),其量则取决于过程的条件、裂化深度等等。

裂化过程的化学历程在许多有关的专门性的参考书和著作^②中阐释得很详细。这儿仅将简要地研究裂化过程的一些原理。

碳氢化合物热分解时发生的反应一般可分为初次反应和二次反应两种。

属于初次反应的是指原料所起的变化,而不管反应产品是否与原料处于平衡状态,也不管生成小分子物质的分解反应是否可逆。

二次反应是被理解为初次反应产物所发生的反应,包括初次反应产物间的反应及初次产物和原料间反应。

C—C 和 C—H 键断裂的反应属于初次的反应。

根据表 4 中键的生成热,可以得出結論:脂肪族烃中的 C—C 键比芳香族烃中的 C—C 键容易断裂,因为 $C_{ar}-C_{ar}$ 键的生成热比 $C_{ap}-C_{ap}$ 键的为小。

表 4. 碳氢化合物中键的生成热(卡/克分子)

键之类别	键之生成热	键之类别	键之生成热
$C_{ar}-C_{ar}$	71.1	$C\equiv C$	128.0
$C_{ar}-C_{ap}$	79.4	$H-H$	103.0
$C_{ap}-C_{ap}$	97.2	$C_{ar}-H$	93.6
$O=C$	101.0	$C_{ap}-H$	101.7

附注:脂肪族烃中的 C—C 键以 $C_{ar}-C_{ar}$ 表示,芳香族中的 C—C 键以 $C_{ap}-C_{ap}$ 表示。

① 只有环烷烃和低级烷烃才可能脱氢。

② 例如, M. A. 基里契也夫著的“裂化化学”,苏联国立石油及燃料科技书籍出版社 1941 年出版。

三键最难断裂,大家知道,乙炔在高温下是稳定的。

C—H 键的生成热表明,分子分解时最可能断裂的地方总是 C—C 而不是 C—H。C_{ax}—H 键的断裂,亦即裂化时的脱氢或烷烃按一般式 $C_nH_{2n+2} \rightarrow C_nH_{2n} + H_2$ 脱氢而变成烯烃的反应,其平衡随温度而改变。

根据化学平衡的学说,反应总是向减少自由能的方向进行。反应结果自由能所发生的变化与平衡常数(K_p)有关,其关系式如下:

$$K_p = -\frac{\Delta F}{RT} \text{ 或 } \log K_p = -\frac{\Delta F}{4.573T}$$

式中 ΔF ——自由能的改变;

T ——绝对温度。

常数 K_p 表明作用物质在平衡状态下的浓度间的量的比值;这本身就表示反应按一定方向进行的可能性。 K_p 的值愈大,则反应进行得愈完全。当 K_p 极大时,反应实际上将进行到底。 K_p 的值和自由能的改变的负数成正比。

根据上述适合于不发生向其他方向进行付反应的可逆反应的关系式,可以从质量作用定律算出可能得到的最大产率。产率的计算可以近似地进行,而对实验研究的反应来说则须有足够的精确度。

平衡常数 K 可根据实验数据求出,或近似地用公式计算:

$$K = -\frac{U_p}{4.57T} + \sum v 1.75 \log T + \sum v \gamma,$$

式中 U_p ——反应的热效应,卡/克分子;

$\sum v$ ——反应原始组分的克分子数,不包括最终组分的克分子数;

T ——绝对温度;

$\sum v \gamma$ ——反应原始组分的条件性化学常数总和减去最终组分

的条件性化学常数总和。

物質的条件性化学常数是一常数；氢的条件性化学常数为 1.6, 甲烷的是 2.5, 其他烃的为 3。

热力学计算表明, 裂化时反应可能进行的主要方向如下:

1. 烷烃的分裂。随着分子量的增大, 分裂的部位逐渐向键的中间移动。有二、三和四个碳原子的烷烃在分裂的同时还发生脱氢。

2. 因为烯烃较烷烃稳定, 所以烯烃转变成烷烃是可能的, 但是, 反应的速度或许很小。高分子烯烃可能直接分裂成两个分子量较小的分子。

3. 带长侧链的芳香烃易于脱掉侧链, 后者成为烯烃或烷烃。不带侧链的芳香烃能生成缩合产物和气态烃。

4. 环烷烃脱去氢, 且反应实际上是不可逆的。环烷烃也可能分裂。

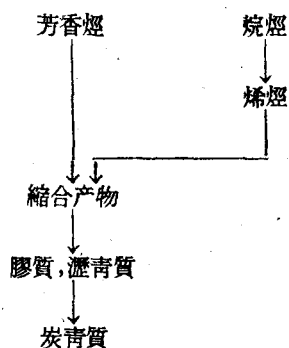
5. 对于芳香烃而言, 缩合反应可能在芳香烃相互之间直接发生, 也可能在芳香烃和烯烃之间发生。

6. 在裂化过程中生成的烯烃可能借裂化过程中放出的氢气而发生氢化。

根据 M. A. 基里契也夫的研究, 在裂化时生成炭青质的主要来源是环状不饱和化合物和芳香烃。

但是在缩合了的芳香烃裂化方面的进一步研究表明, 这些芳香烃的热稳定性很强, 因此在它们裂化时生成焦的反应进行得非常慢。

在多数情况下, 进行裂化的原料中含有各系烃类, 亦即: 烷烃、烯烃、环烷烃和芳香烃。显然, 这些不同系烃类的存在, 一定会影响缩合反应的性质。M. C. 涅姆佐夫(Немцов)曾估计到这种情况, 他提出的生成炭青质的方案就是以芳香烃与烯烃间的缩合反应作



为基础的。这方案如左圖所示：

这方案与理論及实验都符合，因而是最可能的方案。

进行破坏加氢过程的許多特殊条件使这过程和一般的裂化过程有所区别，不同点在于破坏加氢过程具有热裂化所沒有的許多反应。

破坏加氢过程中除分解和异构化外，正如热力学計算所表示的，还同时进行氢的加成反应(氢化)，这反应向下列的主要方向进行：1) 烯烴的氢化；2) 芳香烴的氢化；3) 破坏添氢(分子氢化并同时發生分解的共轭反应)。

现在来一一討論这些反应。研究得最为充分的是乙烯的氢化条件。

乙烯氢化反应按方程式 $C_2H_4(气) + H_2(气) \rightleftharpoons C_2H_6(气)$ 进行，其反应物平衡濃度表明，在 $400-450^{\circ}C$ 时，于 0.1 大气压下乙烯几乎已經全部氢化，而在 200 大气压下，要在 $800^{\circ}C$ 时才能發現同样的效果。

对破坏加氢过程而言，具有最大实际意义的是把乙烯的沸点較高的同系物和环状不飽和烴氢化。到目前为止，这一方面的实验工作几乎还没有。

M. C. 涅姆佐夫近似地計算了以过程进行条件为轉移的有八个碳原子的烯烴的平衡濃度，这些計算表明，氢化反应随碳氢化合物的分子量增加而进行得較不完全。依据这些材料可以認為，要使高分子量的烯烴的氢化反应进行得比較完全，必須采用低氢压和不高的温度。

对于在破坏加氢温度下稳定的分子量不大的烯烴而言，它們的氢化甚至在不高的压力下实际上也会进行到底。

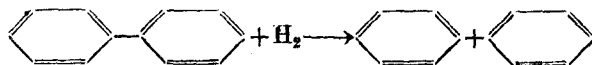
如果說采用不高的压力能使烯烴充分氫化，那末要使芳香环充分氫化就必须采用高压。

压力提高到 200—500 大气压时，可能使氫化反应甚至在相当高的温度下(400—450°C)进行完畢。

多环芳香烴在解决破坏加氢过程时具有最大的意义，但对于这些烴类而言，不論是具有任何可靠性的可作为理論計算的数据或是实验数据在目前都还没有。

可以預料，在相同条件下，多环芳香烴的氫化深度將比苯的氫化深度为大。

例如，联二苯在氫气中轉变为苯的反应就是破坏添氢(分子氫化同时分解的共轭反应)的例子：



这些物質的平衡濃度的数据表明，在常压和高于 400°C 时联二苯的量能达 10% 以上，但在不高的氢压下，平衡就已几乎完全向轉化成苯的方向移动。

因此，烯烴的氫化和破坏添氢能在不高的压力下进行，而芳香烴的氫化却需用較高的氢压。这个結論在解决化学組成不同的破坏加氢問題时具有巨大的实用意义。

在氢压下裂化时，增加压力会使平衡向生成飽和烴的方向移动，也就是說向减少能够生成炭青質的物質的方向移动。所以在过剩的氫气内进行破坏加氢时，在烴鏈的 C—C 鍵發生断裂的同时不会生成縮合产物——炭青質或焦。氫气的存在能保証使氫化反应压倒縮合反应。为理解高分子化合物的破坏加氢，必須对各族化合物的行为作更詳細的闡釋，这將在第二章內說明之。

参考書刊

1. Обрядчиков С. Н. Технология нефти, ч. II, под редакцией Д.И. Орочка, Гостоптехиздат, 1952.
2. Наметкин С. С. Химия нефти, ГНТИ, 1939.
3. Немцов М. С. Сборник. Деструктивная гидрогенизация топлив, Госхимтехиздат, 1934.
4. Тиличев М. Д. Химия крекинга, Гостоптехиздат, 1941.
5. Каржев В. И. Труды ВНИГИ, выпуск V, 23, 1953.
6. Введенский А. А. Термодинамические расчеты процессов топливной промышленности, Гостоптехиздат, 1949.