

第五屆世界動力會議報告

燃料的气化和煉制

水利电力出版社

第五屆世界動力會議報告
燃料的氣化和煉制

817Z71

水利電力出版社出版(北京西郊科學路二里書)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 28印張 * 14千字

1958年6月北京第1版

1958年6月北京第1次印刷(0001—1,650冊)

統一書號: 15143·697 定價(第10類)0.13元

目 录

液体燃料的炼制·····	1
燃料的气化和气体燃料的制造·····	10

液体燃料的炼制

朱葆琳

参加第五届世界动力会议D组讨论的约百余人。小组主席是美国洪特(A.T.Hunter)先生。送给大会有关D组的论文计有八篇：其中四篇分别介绍了美国、英国、西德和日本的炼油工业概况，另外四篇为：匈牙利高凝青原油的中压加氢；以二硫化钨为催化剂的加氢作用；匈牙利纳吉连吉尔(Nagylenygel)含硫石油用作燃料油及亚硫酸液用做燃料的研究。会前并由奥地利布尔(H.Pöll)博士写了书面的总结报告。我们在小组会上作了“我国人造石油研究概况”的发言，并在会前散发了大连石油研究所楼南泉同志写的“水煤气合成液体燃料”的研究报告。兹将讨论会的内容和论文归纳如下，其中数字仅供参考。

一、天然石油的产量和储量

液体燃料主要来自天然石油（估计在98%以上），1954年全世界原油产量约6.8亿吨，1955年约7.6亿吨，上升极其迅速。

1900年自石油获得的热能仅佔全世界总能量消耗的4%，1944年已增加到20%，1955年为31%。

1948年美国原油产量佔全世界59%，由于近年来其他各国原油产量的增加，1954年美国所佔的比重降为46%。

全世界石油储量估计为 80×10^9 吨，已查明可开采的储量约 20×10^9 吨，其分佈情况如下：

美国	4.09×10^9 吨
沙特阿拉伯	4.67×10^9 吨

科威特	3.73×10^9 吨
委内瑞拉	1.43×10^9 吨
苏联	1.33×10^9 吨
伊朗	1.73×10^9 吨
伊拉克	1.87×10^9 吨
墨西哥	0.22×10^9 吨
印度尼西亚	0.28×10^9 吨
加拿大	0.32×10^9 吨
罗马尼亚	0.08×10^9 吨
其他各国	0.74×10^9 吨
共計	20×10^9 吨

儲量和产量的比例在30左右，即以現在的开采速度，至少尚可維持30年。从产量最大的美国来看，儲量和产量的比例一直保持在12左右，最近几年还略有增加的趋势，故有人認為最近的将来原油尚不致有枯竭的危險。

二、美國、英國、西德和日本对原油的需要量和各种燃料油生产的比重

美国、英国、西德和日本四国就原油的需要量和各种燃料油的生产数量发表以下的数字（单位： $\times 10^6$ 吨）：

	1950	1954	1955	1960	1965
美国原油处理量	—	—	423	498	574
汽油产量	—	—	167(39.5%)	196(39.3%)	226(39.4%)
柴油产量	—	—	81(19.1%)	96(19.3%)	110(19.2%)
燃料油	—	—	71(16.8%)	81(16.3%)	93(16.2%)
西德原油需要量	—	—	9.5	14.2	17.7
汽油产量	—	—	2.87(30.2%)	4.21(29.7%)	5.22(29.4%)
柴油产量	—	—	2.95(31.1%)	3.9(27.4%)	4.4(24.8%)

燃料油	—	—	2.9 (21.1%)	3.05 (24.3%)	6.8 (38.4%)
英国原油需要量	(100%)	—	(100%)	(100%)	—
汽油产量	(37%)	—	(29%)	(26%)	—
柴油产量	(29%)	—	(32%)	(30%)	—
燃料油	(27%)	—	(32%)	(39%)	—
日本原油需要量	1.78	8.14	—	—	—
汽油产量	0.29 (16.3%)	1.63 (20%)	—	—	—
柴油产量	0.17 (9.5%)	0.54 (6.4%)	—	—	—
燃料油	1.0 (56.2%)	5.01 (61.6%)	—	—	—

歐洲各国柴油机使用較多，柴油所收的稅額也較低，故汽油与柴油的生产量几乎相等。美国和日本則汽油的产量为柴油的二倍。

1954年日本原油炼制能力約800万吨，本国原油产量每年約30余万吨，其余原油皆从国外进口，从中东进口約500~600万吨，从印度尼西亚进口約150万吨，从美国和委内瑞拉各进口数十万吨。

三、液体燃料发展的方向

高辛烷值汽油还是今后若干年内最主要的液体燃料。因为提高汽油引擎的压缩比是改进機車效率的主要途徑之一。1955年美国采用的压缩比为9:1，估計1960年可能为10:1，过去五年由于压缩比的提高，機車的效率平均增加了約10%，而使用高压压缩比需要用高辛烷值的汽油。1940年美国普通汽油的辛烷值規定为72~73，優質汽油为79~80，1955年普通汽油的辛烷值增加到78~82，優質汽油增加到85~90。1950至1954年間美国汽油的产量由原来佔原油的40.2%增加到43.9%。

近年来，噴气式发动机已在航空事业中取得了广泛的应用。燃气輪机和噴气式機車也有国家正在設計中，将来汽油引擎是否会被淘汰

尚难预料。喷气式发动机燃料和汽油引擎燃料的要求不同，辛烷值不是一个重要的指标，因此机车发动机的改革必然要引起燃料加工方向的改变。

航空用的喷气发动机燃料的要求是：适宜的沸点馏程，较高的闪点，较低的凝固点和凝点，良好的稳定性能以及较高的热值。一般直馏油基本上可以符合上述条件，将来喷气发动机燃料需要量增加时亦可考虑裂化油的加氢。

四、近代石油炼制工业

近代为了从石油中获得更多的高辛烷值汽油，以满足高压压缩比汽油引擎的需要，石油炼制工业广泛地采用了裂化和重整的加工方法。过去沿用的热裂化和热重整的方法，又逐渐被催化裂化和催化重整所替代，以美国为例，1940~1943年间，有45%的马达燃料是用热裂化方法生产的，有12%用热重整法。1955年热裂化汽油仅占18%，热重整占9%，而催化裂化占30%，催化重整占15%。据估计，不久的将来，热裂化和热重整汽油要降到10%以下，而催化裂化和催化重整要分别增加到35%和50%。

(a) 催化裂化：

催化裂化有流动床，移动床和固定床的分别。全世界催化裂化日处理量已达450万桶，即每年约1.8亿吨，其中有68.5%为流动床，27.9%移动床，3.6%固定床。最近发展起来的催化裂化厂有80%系采用流动床。催化裂化发展得很快，以美国为例：

	1949	1954
原油处理量 (千桶/日)	5327	6958
裂化总处理量 (千桶/日)	1860(35%)	3150(48%)
流体化催化裂化 (千桶/日)	1120(21%)	2300(38%)

1954年美国裂化总处理量已达原油处理量的48%，自1949年以来裂化处理量增加78%，其中催化裂化平均每年增加16%，而原油处理

量平均每年只增加6%。

茲將現今主要的催化裂化方法列表于下：

型 式	流 动 床			
	I II III	直流式 (Circflow)	U.O.P.	模型IV (Model)
所 屬 公 司	流动組 (Fluidgroup)	克勞格 (Kellogg)	寰球石油产 品公司 (U.O.P)	依索研究工 程公司 (Esso Res. and Eng.)
工 厂 数 目	84	16	42	23
总处理量, 桶/日	2,307,900	145,000	280,000	381,000
催化剂流动 的方式	流动床	流动床	流动床	流动床
催 化 剂	天然或人造	天然或人造	天然或人造	$\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

型 式	移 动 床			固 定 床
	T.C.C空气升 (Airlift)	T.C.C斗升 (Bucketlift)	胡得利流动床 (Houdrifiow)	胡 得 利 (Houdry)
所屬公司	索康內-真空 (Socony-Vacuum)	索康內-真空 (Socony-Vacuum)	胡得利 (Houdry)	胡得利 (Houdry)
工厂数目	47	—	20	—
总 处 理 量, 桶/日	599,000	390,000	250,000	163,000
催化剂流动 的方式	空气升	斗 升		不 动
催 化 剂	天然或人造	天然或人造	$\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

催化裂化发展的方向之一，是使用高沸点馏份作为原料油，催化裂化原料油最高沸点約 450°C ，目前証明高沸点馏份有良好的裂化性能，提高裂化原料油的沸点是降低殘油增加汽油产量的有效途徑，但裂化原料油沸点的提高却使得真空蒸餾和丙烷脫凝青車間的負荷大大增加。应用高沸点馏份的缺点在于重油內含有少量金屬，特别是鎳和鈷，它們对催化剂有中毒的作用，能改變催化剂的选擇性，在裂化过程中，产生多量的气体和碳。

(6) 催化重整：

重整是用来提高汽油辛烷值的办法。全世界催化重整的日处理量已达130万桶，即每年約0.6亿吨，发展的速度比催化裂化还要迅速。

以美国为例：1950年催化重整日处理量仅32,000桶，到1955年底已达900,000桶（将近30倍），催化重整用的原料油可以是直馏汽油或者裂化汽油，发生的化学作用主要有环烷烃的脱氢和异构化作用，烷烃的芳构化，裂化和异构化作用，稀烃的加氢饱和作用。兹将现今主要的催化重整方法列表于下：

	塞克罗弗尔盛 (Cyclo- Version)	铂重整 (Plat- forming)	大西洋精煉 公司重整 (Atlantic forming)	胡得利重整 (Houdri- forming)
催化床	移动床	固定床	固定床	固定床
催化剂	铝 硅 土	含 铂	铂和人造 矽酸铝	含 铂 (Houdry Type 5)
再 生	多数再生	不 再 生	6~12月	再 生
工厂数目(包括 计划建立的)	39	>100	19	10
总处理量,桶/日、 (包括计划建立的)	130,000	>600,000	61,100	77,530

	流动临氢 重整 (Fluid hy- droforming)	催化重整 (Catalytic reforming)	热催化 重整 (Thermo for cat reforming)	超重整	依索铂重整 (Esso platinum)
催化床	流动床	固定床	移动床	固定床	固定床
催化剂	$M_oO_3-Al_2O_3$	铂 型 (Sinclair Backer R)	$Cr_2O_3-Al_2O_3$	铂	$pt-Al_2O_3$
再 生	連 續	不再生	連 續	循 环	循环多再生
工厂数目 (包括计划 建立的)	—	5	2	16	16
总处理量,桶/日 (包括计划建立的)	144,000	76,000	38,000	150,000	120,000

最常用的催化重整方法是流动床临氢重整和固定床铂金重整，而后者应用更广。

固定床铂金重整又有再生式与非再生式二种。再生式使用的氢分压较低，操作压力一般在15~30大气压之间，催化剂的活性靠空气的再生来维持。非再生式採用較高的氢分压，以减少碳的沉积，操作压

力一般在30~50大氣壓之間，催化劑的活性可保持在二個月以上。鉑重整的缺點是催化劑容易被硫中毒，含硫原料油必須經過脫硫過程。此外，水金屬例如鉑對鉑催化劑也有中毒作用，臨氫重整中用的 $M_2O_3-Al_2O_3$ 與鉑催化劑不同，處理含硫較高的原料油亦不致發生中毒現象。

新的鉑催化劑每磅約8~14美元，從廢催化劑中回收鉑再製成催化劑最多只能回收4美元。

催化重整改進的途徑主要是使重整油中未起作用的部份進一步起重整作用。未起作用的原因是由于在重整過程中，芳香烴含量逐漸增多，使重整作用大為減緩。目前採用的辦法可分二類：

(1) 用溶劑抽提、抽提蒸餾或超吸附 (Arosorption) 分離方法自重整油中分離出非芳香烴部份，將它再行重整 (Reforming)。

(2) 以熱重整法處理催化重整生成油，芳香烴部份熱穩定性高不起作用，而非芳香烴部份繼續進行重整作用。

(c) 催化加氫：

催化加氫是精制石油餾份的一個很好的辦法，過去受到高壓設備和氫來源的限制，一直未能獲得廣泛的應用。近年來，由於催化重整的發展，廉價氫的來源有了保證，目前以催化加氫方法精制石油產品比一般用的酸處理效率高，並且價格便宜。

用於石油煉制的催化加氫方法是一種加氫精制方法，它與過去的高壓加氫不同，操作條件比較緩和，例如：壓力至35~50大氣壓之間，溫度一般為200~400°C，此外，氫的消耗量也少，一般在0~700英尺³/桶之間。緩和的操作條件有利於使影響燃料品質的物質起化學反應，主要的反應是去掉氮、硫、氧和不飽和化合物，儘量避免原料油的裂化。

加氫精制後的成品比重減小，色、臭和穩定性能都大有改進，收率可達100%。

加氫精制不但可以用來精制燃料油，同時亦可以用來精煉潤滑油，或者用來改進催化裂化原料油的品質。例如用催化加氫方法處理含硫直餾汽油，脫硫效率可達90%以上，脫硫後汽油的感鉛性顯著的

改善。若採用深度的加氫，硫幾乎可以脫盡，脫硫後的汽油完全可以
用做鉑金重整的原料油，用催化加氫方法處理裂化汽油也比較一般用
的硫酸洗滌法為佳。

沸點範圍, °F	250/442		
	原料油	催化加氫	硫酸洗滌 ^①
含硫量重量, %	0.24	0.07	0.21
溴 價	23	17	19
一般馬達膠質 ^②	3	0.5	3
美國材料檢驗標準局一般損率 (ASTM Breakdown), 分	465	1440	790
辛烷值: F-1	92.5	90.5	91.5
+ 2毫升四乙鉛後的辛烷值	96	95.5	95
收 率	—	100%	98% ^③

①每桶用76%的硫酸4磅；②加入2磅/5000加侖苯二胺(Phenylene-diamine)防膠劑；
③經過再蒸餾。

由上表可見，加氫精制不但脫硫效率好，穩定性的改善亦較酸洗
為優，如加氫條件控制得合適，可以避免稀煙的飽和，生成油的辛烷
值也不致於過份降低。

1955年全世界催化加氫脫硫的處理量，包括正在建立的和預備建
立的在內，每日約382,000桶。其中汽油442,000桶，中油422,000桶，
潤滑油12,000桶，石蜡3,000桶，特殊汽油3,000桶，茲將各種催化加氫
脫硫的方法列表於下：

所屬公司	英國 石油公司 (British petroleum)	“貝殼牌” 公司 (Shell)	依索研究 公司 (Esso Research)	聯合寰球石 油產品公司 (Union U.O.P.)	其 他 (Other processes)
方 法	自供氫精制法 (Autofining)	滴流法 (Trickle)	加氫精制法 (Hydrofining)	聯合精制法 (Unifining)	
處 理 量 桶/日	7,500	15,500	340,000	257,000	260,000
原 料 油	汽油和中油	重油	汽油，中油 及重油	汽油、中油 及重油	汽油、中油、 及重油
額 外 氫	不需要	需要	需要	需要	需要
再 生	要再生	不要	週期	週期	—
脫硫效率	所有方法都在90%以上。				

(d) 殘油加工:

減少殘油產量，使極大部份的殘油轉變成更有價值的燃料油，也是石油加工中一個主要的奮鬥目標。處理殘油的方法有：

- (1) 應用深度真空蒸餾、丙烷脫瀝青和催化裂化相結合的辦法。
- (2) 延遲焦炭化。
- (3) 流體化焦炭化。
- (4) 流體化焦炭化和催化裂化相結合。
- (5) 殘油直接催化裂化。

其中流體化焦炭化是最近五年發展起來的方法，它和延遲焦炭化比較，方法由不連續改進為連續，處理量增大，同時氣體和焦炭的量減少，雖然汽油的量也減少了，但是氣體油的產量幾乎增加了一倍左右。

殘油直接催化裂化在工業上的應用，雖然也有了成功的報導，但是詳細情況尚不知道。

除此以外，近年來對於添加劑的研究很多，例如用於柴油的添加劑效率還不高，汽油用四乙鉛做添加劑只用到0.06%，而柴油用硝酸煙或過氧化煙做添加劑要用1%至2%。

應用各種核輻射作為石油加工工具的研究工作亦正在大力展開，發展前途尚難預測。

燃料的气化和气体燃料的制造

吳 名

自一九五〇年第四屆世界动力會議以來，煤氣在城市和工業方面的利用均有增加。這種發展主要是由於天然氣的利用，特別是在美國。近年來墨西哥和許多歐洲國家也發現有重要的天然氣資源，並且預計可能有更多可資利用的天然氣來源。

現在除利用傳統的煉焦方法（這在許多國家仍然是城市煤氣的主要來源）製造煤氣外，又增加了許多新的方法，例如煤的完全氣化（特別是低質煤）和油的氣化。

一、煉焦和乾餾

這兩項工業相互之間關係極為密切，近年來均曾不斷有所發展。無論是煤氣的需求（供應城市煤氣和遠距離煤氣輸送網）或焦炭的需求方面均同樣在增長。焦炭的主要使用者是煉鐵工業，儘管現在的趨向是要減少熱量的消耗，也就是減少生產每噸生鐵的焦炭用量，但是因為生產的不斷發展，所需要的焦炭量也就隨着增加。同時還有大量的焦炭供作民用。

因為將來煉焦煤的供應可能越來越少，所以煉焦工作者正努力對煉焦過程從事技術改革，特別是想着手研究用新的方法獲得高質量的冶金焦，增加生產率以降低單位生產成本，延長焦爐壽命和減少工作人員。

煉焦煤的缺乏使得必需尋求新的方法利用弱粘結性煤來製造高質量冶金焦。在這方面曾進行過廣泛的研究工作，特別是尋找適當的測定冶金焦質量的方法以及進一步研究煉焦過程，因此不但需要進行工藝的而且也需進行廣泛的基本性質的研究。可以指出，煤（一些被認為不適於製造焦炭或用量有限的煤）通過適當的製備和適當的配合也可以製得質量良好的冶金焦。

还必需进行焦炭在高炉中性质方面的研究。在这方面研究固体炭和气体介质的化学反应动力学特别重要。

炼焦用煤的缺乏遂使利用他种质量的煤通过乾餾以制取类似焦炭的产物 (*coke-like products*) 并同时生产气体的方法引起注意。用这种方法除制得气体外, 並可得到适合于多种用途的半焦, 这种半焦特别适合于煤气发生炉和民用, 以及冶金和化学工业上某种目的之用。

这方面的发展在许多情况下仍然是处于半技术的阶段, 但看上去在未来大部分的冶金焦将頗有可能利用新方法或从新的原料制得。几十年前英国在这方面的技术发展是值得注意的, 其方法为“煤在垂直甑中連續乾餾”。据所知, 垂直甑在欧洲大陆上除一些小煤气厂外甚少使用。但在英国則有大型的这种煤气厂而且近年还会建立。垂直甑的优点是设备佔地小, 且沒有烟尘产生的危害。这主要是由于焦炭是在封閉的甑体中用蒸汽熄焦, 利用以生产水煤气, 因此焦炭的显热沒有損失。

新式的垂直甑可以适应各种不同的操作条件, 可以使用极多种类型和等級的煤, 也可用来进行低温乾餾, 不粘煤也可炼焦, 这种方法对英国尤为重要, 它易于制造适合民用的高活性焦炭。

二、固体燃料的气化

传统的水煤气和发生炉煤气方法近年来有很大的发展, 因为发生炉的气化强度有不少的增进。在这方面发生炉操作的机械化和自动化具有特别重要作用。加压气化时所得煤气富于甲烷且煤气热值也較高。有时煤气的热值繼之以甲烷的合成再形提高。用氧作为气化介质也可藉連續气化方法制得較高热值的气体。通常当焦炭缺少时則用煤代替。特别主要的是发展气化煤粉的方法, 因为煤矿机械化开采的结果使粉煤产率增高。

如过份預热空气和蒸汽将使发生炉中的操作温度增高, 当使用低灰融点的煤时, 常引起困难。用液态排渣法可以免除这种困难。

压力下的气化不但发生炉的气化强度大和制得的气体热值高, 而且当需用的气体也是处在压力下时它意味着能量的节约, 因为压缩氧

較壓縮氣體所需的功少。大會曾有報告敘述澳大利亞建立魯奇式高壓氣化爐以供應城市和菲雪法 (*Fischer Tropsch*) 合成之用。

已經提過，發展粉煤和高灰份煤的新氣化方法是重要的。這些方法，一九五四年在比利時列日舉行的“煤的完全氣化國際會議”中已經詳細討論。本屆大會也有報告敘述。這些方法的目的不但在於製造相當於合成氣或城市煤氣質量的氣體，並且希望制得急切需要的貧煤氣，因為可用以加熱焦爐而使焦爐氣改用於他處。

粉煤的各種氣化方法相似之處為操作溫度較高和煤粒與氣體間相對速度較大，因此可以有高的氣化強度。這類技術的發展如果不過許多基本研究以考察一次反應（炭和氧的作用）和二次反應（水煤氣反應，一氧化碳燃燒）的機構是不可能的。此外也必需了解物理因素的影響（溫度，相對速度，氣體壓力，粒度和燃料的孔隙度等）。

煤在煉焦或低溫乾餾中所能得到的許多有價值的產品當其在鍋爐內燃燒時均將損失。根據這一情況，很久以來就曾試圖將發電和低溫乾餾兩個工藝過程結合起來。在這種低溫乾餾發電站上，煤氣和液體產品均可收得，也可得到半焦以用於鍋爐的燃燒。蘇聯用這種方式處理廢木材是值得注意的。特別值得提起的是因為木材中含有揮發物的百分比較大。

三、油的气化

近年來利用油作為氣化原料還有增加。這是由於燃料市場的變化，但特別是由於煉焦煤的缺乏。由於許多歐洲國家缺乏煉焦煤，因而想設法用其他的方法制取煤氣以代替煉焦法，這也是用焦炭在傳統式的發生爐中製造水煤氣和發生爐煤氣變得越來越少的又一原因。不但固體燃料的市場發生一大轉變，而且天然油的生產也由於馬達燃料的大量需要而大為增加。此外，由於可能利用新的方法找出大的油藏，所以今天不必顧慮在不久的將來油會缺少，也正如幾年以前因為這種顧慮而進行了大量的菲雪法合成方面的工作。在這種情況下礦油便成為值得注意的氣化原料。就油本身論也是適合於這一目的，因為它的含氫量較煤為高。用油氣化的工廠的另一優點為：投資和操作

費用低並且不存在原料質量上的問題，因為油氣化工廠可以應用多種類型的石油產品。油的气化也使在產品的質量方面可以改變。這是因為油氣化時包括多種化學反應，其中最重要的是：裂化反應（炭氫化合物裂解為小分子和氫），對氧和水蒸汽的反應。可以根據所需產品的質量採取適當的措施以使某種反應佔優。最重要的油氣化類型為：

(a) 製造合成氣——其目的在於藉其和氧及水蒸汽的反應以完全轉化炭氫化合物氣化產品為一氧化碳和氫的混合物。

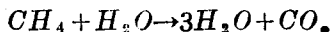
(b) 製造烯烴——在此種方法中裂化是最重要的，副產品中含氫、燃料氣，有時也得到石油焦和輕質液態烴。

(c) 製造城市煤氣——在此方法中，油對氧、水蒸汽的反應和裂化反應同時進行。

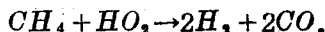
四、氣體燃料的化學轉化

在利用他種煤氣來源供應城市煤氣以代替焦爐煤氣方面的重要方法為轉化天然氣，煉油廠的尾氣等為相當於城市煤氣質量的氣體。當然，不僅要具有相同的热值，並且要求制得的氣體和城市煤氣具有相似的燃燒特性，例如比重、含氫量和廢成分的含量。

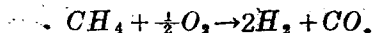
此外，由甲烷製造可以供作甲醇、異丁醇或氨的合成的原料氣也是重要的問題。在所有這些方法中，由甲烷分解所得到的反應產物為氫及一氧化碳。大多是将甲烷按下式和水蒸汽進行裂化：



但也有建議用一氧化碳全部或部分地代替水蒸汽，即按下式反應：



當然分解也可藉部分燃燒而不用 H_2O （或 CO_2 ）以進行，



後一反應是較不利的，因為所得氣體不如前述二法之多。用 H_2O 或 CO_2 進行分解是吸熱反應，因此必需供給熱量，這可以：

(a) 直接加氧或空氣於反應混合物中，在這種情形下，炭氫化

合物燃燒的放热反应和裂化反应（吸热反应）同时发生。藉调节加入的氧量可以平衡此二反应以使整个过程所生之热恰能补偿热的损失。

(b) 以外部热源間接加热煤气，这可以将其与已经进行过反应的气体从事热交换。当然並不可能所有的热量都传给原料气，所以必需供应一部分額外热量以补偿传热时的损失。

如使用催化剂，所需的反应温度可以降低，于是热损失、产生有害杂物（如煤烟）以及反应所需空间的大小均可减低。

所得气体成分可以根据原来的气体用热力学的定律预先计算出。近年所发表的許多完整的热力学数据对于这种计算大有裨益。反应气体中除 H_2 及 CO 外也含 H_2O 及 CO_2 。水蒸汽可以冷凝以去除，而 CO_2 如有必要亦需去除。处于压力下的炭氢化合物气体与水蒸汽混和后首先藉热交换器加热至 $600^\circ C$ ，然后加入燃燒废气（炭氢化合物和空气燃燒所产生）以热至 $950^\circ C$ 。在此温度下使这种气体通过催化剂，于是开始反应，所生气体使冷却至約 $650^\circ C$ 。为使反应尽可能进行完全（最后气体仅含約2%甲烷），气体混合物复再加热至 $950^\circ C$ ，並再通过催化剂以分解之。所得的裂化气体其热值約为2000大卡/公尺³，与适当的炭氢化合物气体相混可以得到热值相当于城市煤气的气体。由于炭氢化合物气体，特别是天然气和石油炼制工业中的尾气已有充分的供应，故由其制造合成气日益重要。

有一种新的方法是藉空气中的氧进行部分燃燒。这种方法经过特殊的安排可以回收燃燒时所产生的一部分能量使其变为机械能。新方法的特点为天然气的部分燃燒是在奥特馬达(Otto motor)中进行。近年来在大型煤气引擎方面所达到的高度成就无疑是一有利条件，因为可无需再为这种方法发展另一新型引擎。这种方法之能经济运转的重要因素是：合成过程中需要消耗大量的能量，而由此方法中所产生的机械能可以应用于过程本身。一个非常好的办法是将煤气引擎直接和压缩机相联，就能量的观点言这也是好的。这样不但可以节约电器设备方面相当大的一部分費用而且也减少了能量双重轉換时的损失。用这种新方法合成氨和甲醇时約可供应所需能量的30~47%。原则上，这