

周学厚 張鉄生 著

炭 黑

石油工业出版社

內 容 提 要

这是一本介绍炭黑生产技术的书籍。书中根据世界各国炭黑生产的先进技术及我国生产经验，首先介绍了炭黑生成的原理与制造炭黑的原料，接着以主要篇幅论述了槽法瓦斯炭黑、混气法炭黑、炉法炭黑及其他各种炭黑的制造原理、设备、工艺流程及操作条件。书中也介绍了炭黑的加工处理、成品检验与使用。

作者在编写本书时，收集了丰富的国内外资料，内容适合我国生产需要，可供炭黑工业及橡胶工业技工及初级技术人员学习之用，也可供一般技术人员参考。

统一书号： 15037·348

炭 黑

周学厚 张铁生 著

石油工业出版社出版（社址：北京六铺炕石油工业部内）

北京市书刊出版业营业许可出字第088号

北京市印刷一厂排印 新华书店发行

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印张5 $\frac{1}{2}$ * 133千字 * 印1-830册

1958年2月北京第1版第1次印刷

定价(11)1.40元

序 言

炭黑工業在整个国民經济中所佔比重是不大的。但正像一个螺絲釘在一部机器中的作用一样，炭黑工業在国民經济中也有它自己的一定的独特地位。它是許多橡膠制品中不可缺少的补强剂，也是黑色油漆、油墨的最主要原料之一。

可惜的是，虽然炭黑进入工業規模生产已有几十年，但專講炭黑的書籍确是太少了。特別是在我国，炭黑工業还很年青，炭黑工作者們，特別是炭黑工人和初級技術人員們，在埋头于生产实践并取得一定成績之后，已开始感觉到有从一些基本原理上去解釋日常生产活动中各种現象的必要了。这就需要一种适宜于他們閱讀的書籍。目前国内仅有的中文炭黑書籍是李貽湫譯的那本苏联 B. B. 凱里采夫等所著的“炭黑的性質制造及其应用”一書，此書虽然有很大的参考价值，但对初級技術讀物的讀者來說，显然是深了一些。

其次，解放几年来我国炭黑工作者在生产实践中不仅积累了一定的經驗，而且也發現了一些現象是与国外資料所提到的不尽相同的。对于这些問題，作者認為有必要在这本書里加以介紹，并試圖加以闡明。虽然这样使得這本書看起来有些地方确是超出了工人讀物的范围，但我們認為这是值得的。当然，作者限于水平，所提仅是个人的粗淺的見解；同时由于手头所掌握的材料还并不是那么充分，有許多問題还有待进一步的科学研究工作来証实。因此，这个嘗試虽是需要，但却也是很大胆的，希望讀者多加指正。

此外，本書部分圖表系自各种書刊摘引而来（詳見各項脚註）；部分論点系根据石油工業部四川石油勘探局隆昌气矿的炭黑工作者們的实际生产經驗加以整理；最后，在稿件的整理及制圖方面，曾获得鍾仕海先生的大力协作，特此一併申謝。

作者 1957年6月

目 录

第一章 引言	1
第一节 什么是炭黑	1
第二节 炭黑工业发展的历史	7
第三节 炭黑在经济上和国防上的重要意义	10
第二章 炭黑制造的基本原理和方法	11
第一节 炭黑生成的基本原理	11
第二节 几种不同的炭黑制造方法	16
第三章 制造炭黑的原料	26
第一节 原料的选择	26
第二节 原料气的净化处理	32
第四章 槽法炭黑的制造工艺	37
第一节 槽法瓦斯炭黑的制造工艺过程及设备概况	37
第二节 混气法炭黑的制造工艺及其设备概况	59
第三节 影响生产的一些因素及对这些因素的控制	72
第五章 爐法炭黑制造工艺	87
第一节 瓦斯爐黑的制造工艺过程及设备概况	87
第二节 油基爐黑的制造工艺过程及设备概况	95
第三节 影响生产的一些因素及对这些因素的控制	101
第六章 其他类型炭黑的制造	107
第一节 热解法炭黑	107
第二节 乙炔炭黑	111
第七章 炭黑的加工处理	115
第一节 炭黑加工处理的一般过程	115
第二节 重力分离、磁性分离和預篩设备	121
第三节 炭黑的容积縮減过程和成粒过程	127
第四节 炭黑的厂内运送与包装	133
第八章 炭黑的性質、檢驗方法及用途	138
第一节 炭黑的性質	138
第二节 炭黑的分析和檢驗	150
第三节 炭黑的用途	160
第九章 炭黑工业的現狀及發展前途	168

第一章 引言

第一节 什么是炭黑

炭黑是一种和现代人类物质文化生活有着密切联系的重要工业原料，以往又曾被叫做“乌烟”或“墨灰”。但不论它的哪一个名字，目前对一般人都还是相当陌生的，甚至在工业界除了从事橡胶制品、油漆、油墨等有关工业的人员外，也不为大家所熟知。这主要由于近百年来我国社会经济结构长时期处于半殖民地半封建的状态，对于炭黑这一工业原料的需要量既不大，也不自行生产，自然就很少有人关心了。解放后，随着国民经济建设的迅速发展，炭黑生产已经在社会主义工业化的各个环节中初步显示出它的重要性，并有了一定的发展。

炭黑的确切的含义，至今尚无定论，勉强要下个定义的话，可以说炭黑是由碳氢化合物（或者更广义地说是可燃性含碳化合物）经不完全燃烧或裂化分解所得的炭素微粒。如果只从这个定义来看，制造炭黑实在不是什么困难的事情，甚至家庭烧饭用的锅底所积的锅烟，或者用一塊玻璃板摆在蜡烛焰尾所积下来的黑烟屑也应该说就是“炭黑”。不错，根据定义确是这样。但如果从工业应用上对炭黑性能的特殊要求来看，这种可以叫做“炭黑”的东西却并无实用价值。在这里只不过拿它作为浅近的例子来说明炭黑制造的基本原理而已。

随着近代工业技术的进展，在各种工业应用上，对于炭黑性能的特殊要求也日益严格；炭黑的品种和制造方法也愈趋复杂和进步。仅按作者手边的资料，目前国际市场上炭黑的商品牌号就

有一兩百種，就是按不同的性質、製造原料和製造方法來分，種類也非常繁多。

在蘇聯炭黑的分類基本上是以所用原料和製造方法來區分的，約可分作以下主要類別：

1. 以氣體原料(主要為天然氣)制成的：

(1) 槽法瓦斯炭黑；

(2) 爐法瓦斯炭黑；

(3) 熱解法炭黑。

2. 以液體原料制成的：

(1) 噴霧炭黑(爐法)；

(2) 燈焰炭黑(爐法)。

3. 以焦爐煤氣等與固體或液體原料的氣化蒸汽混合制成的混氣法炭黑。

4. 以乙炔為原料制成的乙炔炭黑。

除了上述主要品種以外，也還生產一些用於高級油漆、油墨的特殊炭黑。

美國炭黑則基本上按照製造方法和性能來區分，其類別比較龐雜：

1. 槽法炭黑(Channel black)：

(1) 難混槽法炭黑(Hard processing channel)(H.p.c)；

(2) 可混槽法炭黑(Medium processing channel)(M.p.c)；

(3) 易混槽法炭黑(Easy processing channel)(E.p.c)；

(4) 導電槽法炭黑(Conductive channel)(C.c)；

(5) 經表面處理的槽法炭黑(Surface treated channel)(S.t.c)。

2. 爐法炭黑(Furnace black)：

(1) 細粒爐法炭黑(Fine furnace)(F.f)；

(2) 通用爐法炭黑(General purpose furnace)(G.p.f)；

(3) 高耐磨爐法炭黑(High abrasion furnace)(H.a.f)；

- (4)高定伸強力爐法炭黑 (High modulus furnace) (H.m.f);
- (5)超耐磨爐法炭黑(Super abrasion furnace)(S.a.f);
- (6)中超耐磨爐法炭黑 (Intermediate super abrasion furnace) (I.s.a.f);
- (7)半補強爐法炭黑(Semi reinforcing furnace)(S.r.f);
- (8)導電爐法炭黑(Conductive furnace) (C.f);
- (9)超導電爐法炭黑(Super conductive furnace)(S.e.f);
- (10)快抽爐法炭黑(Fast extruding furnace)(F.e.f)。

3. 熱解法炭黑:

- (1)細粒熱解法炭黑(Fine thermal)(E.t);
- (2)中粒熱解法炭黑(Medium thermal)(M.t)。

我國目前所產炭黑品種不多，也還沒有固定的分類方法。

不同類別的炭黑、在化學性質、物理性質、以及實用性能上都有所不同，第八章中將選擇其中有代表性的幾種加以比較、敘述。

根據前面所下的定義，大家也許要問，炭黑既然是一種炭素微粒，那麼能不能把石墨或木炭、焦炭之類的炭素物質磨成和炭黑一樣細的微粒來代替炭黑呢？不，這種嘗試蘇聯科學家們早就作過了。他們的經驗證明，那怕再三地用最細微的研磨方法，磨出來的細粉，也並不具備炭黑在工業應用上所具有的特性，因而也不能代替炭黑。那麼，炭黑和同樣也是炭素微粒的物質究竟有什麼區別呢？一般的說，決定物質所具有性質的因素，不僅要看構成這種物質的元素，同時还要看元素內部的原子是怎樣結合的。譬如金剛石、石墨、炭黑和木炭，雖然都同是由碳原子所構成的（不考慮其中所含的雜質），但由於碳原子結合方式的不同，就造成了這些物質在性質上的顯著差異。構成金剛石、石墨、炭黑的碳原子按不同的規律排成不同的結晶形；而構成木炭的碳原子，則無顯著的排列規律，即成為所謂無定形碳。原子是非常小

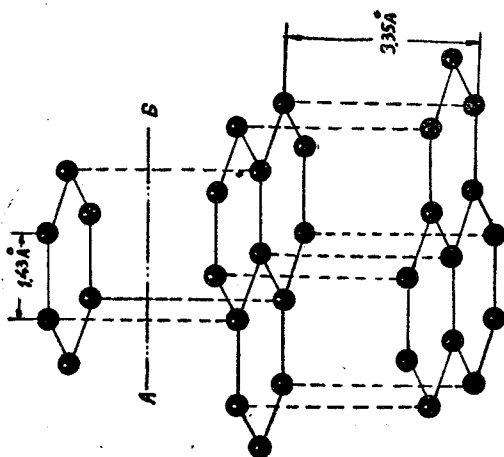


圖 1 乙 石墨的晶格

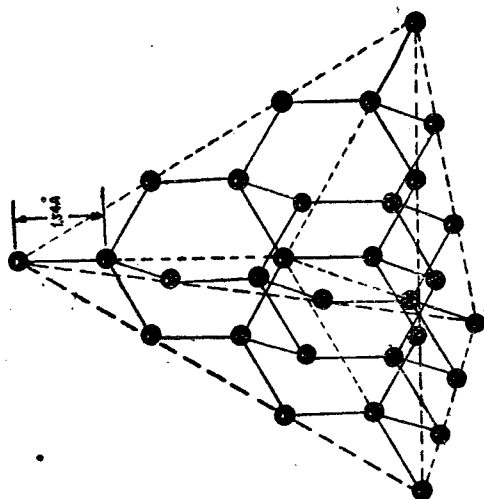


圖 1 甲 金刚石的晶格

的东西，即使用最高倍的电子显微镜也还無法分辨，但科学家们根据用X光綫檢查的結果分析，却能够推断出晶体内部原子(或分子)排列的情况。用X光分析的办法，已經知道金剛石的原子排列是一个原子和最接近的四个原子借四对合有的电子相連；这样，每个原子的情况都彼此相同，沒有可以辨别的分子，整个晶体就形成

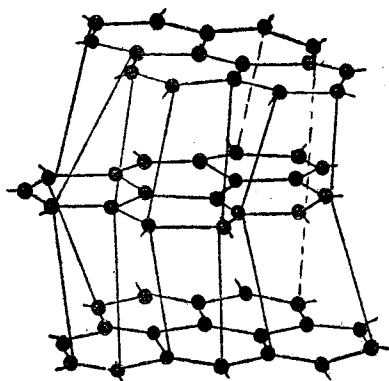


圖 1 丙 炭黑的晶格

了一个巨型的“分子”，由于它的構造非常規則紧密，又沒有多余的活动电子，所以成为最硬的物質，既不导电又透明，如圖 1 甲。石墨的碳原子排列則不同，它是由每一个碳原子和另外三个碳原子在一个平面上相联，形成規則的正六角形平面層狀晶体的形式，这一个平面又和另一个平面对称，两个平面之間为一層活动电子，这样排列的結果，使石墨具有質地軟，易裂为鱗片狀，为热和电的良好导体等性質(圖 1 乙)。炭黑微粒的内部結構又和以上两种不同，有些学者認為炭黑微粒具有近乎球体的外形，由若干組晶子無規律地結合組成，这些晶子又由若干类似石墨結晶的原子排列情况的平行結晶層所組成；不过原子的排列虽然在同一層上有一定的規律，但層与層間却并不对称，就是說只有面的規律性，因而炭黑所显示的結晶性并不如金剛石或石墨那样明显，有人称之为半晶态(圖 1 丙)。

圖 1 表示金剛石、石墨和炭黑原子之間排列的情况，圖 2 则表示炭黑微粒内部晶子結合的情况。参看这些圖可以使我們对于碳元素如何構成这些物質有比較明确的概念。一般晶体的微細粉末被X射綫光柱照射后，所得的感光膠片显示一系列不同数目

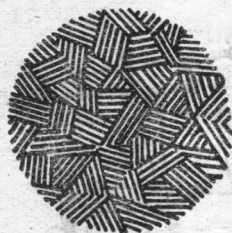
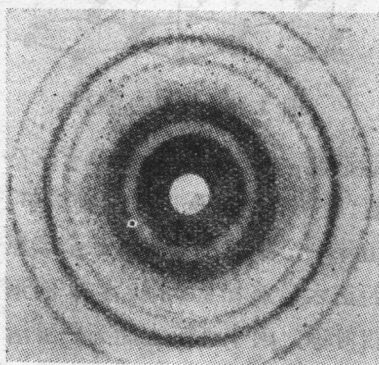
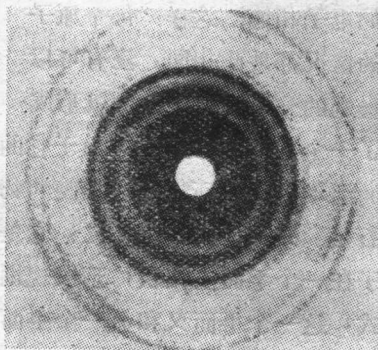


圖 2 炭黑微粒內部晶
子結合情況

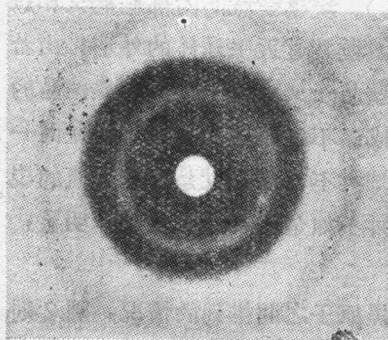
和形象的圓環，而科學家們就根據圓環的數目和形象來鑑別被照射的結晶物質。圖 3 甲是金剛石粉的 X 光折射照像，它顯示出數目較多，界限分明，而由無數黑點所組成的圓環（其所以由黑點組成，可能由於樣品粉末較粗的關係）。圖 3 乙為石墨粉的 X 光折射照像，它顯示的形式雖然與前者不同，但同樣是數目較多而又清楚



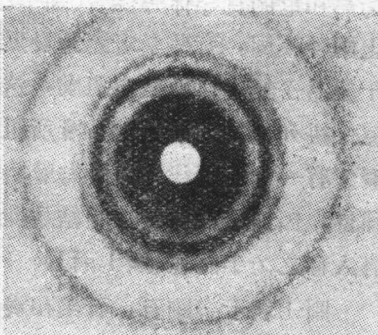
甲、金剛石



乙、石墨



丙、炭黑



丁、石墨化后的炭黑

圖 3 金剛石、石墨、炭黑和石墨化后的炭黑粉末
在 X 光照射下的照像

的圓環。圖3丙為炭黑的X光折射照像，其光環數目不多，界限又不分明。圖3丁為在高溫下石墨化以後炭黑的X光折射照像，可以看出其顯示的光環很接近於石墨結晶，在這種情況下的炭黑，已經差不多消失了其為炭黑的可貴性質。

從以上所說看來，要弄清炭黑是什麼，確已不是一件簡單的事情，而且在這裡我們還只不過談了一點科學家們的看法中比較一致的基本認識。事實上，炭黑還並不是由純碳一種元素所組成的，它還含有氫、氧等其他元素，這些元素之間究竟是怎樣結合起來的，又怎樣結合成炭黑所表現的特殊理化性質和實用性能，有些問題到目前還沒有成熟的定論。

第二節 炭黑工業發展的历史

現代工業化的炭黑生產，在我國還是1949年全國大陸解放以後才開始發展的。但如果追溯炭黑生產的历史淵源，則遠在數千年以前，我們聰明勤勞的祖先早就發明了炭黑的製造方法。據元代陸友所著“墨史”一書的記載，如魏代的韋誕（公元251年以前），晉代的張金（公元300年以前），唐代的李庭珪父子祖孫等，都是為了取得作墨的上品原料而從事炭黑製造的能手。這些历史事實不僅見於我國的文獻，就連資本主義國家的學者也是不能不承認的。在宋代晁貫之所著的“墨經”一書中，對於當時製造松煙（廣義的說，也是含碳化合物不完全燃燒而制得的炭黑）的方法，還有頗為詳盡的記載：

“……古用立竈，高丈余，其竈寬腹小，口不出突於竈面，復以五斗甕，又益以五甕大小為差，穴底相乘，亦視大小為差，每層泥塗惟密，約甕中煤厚，住火以雞羽扫取之，或為五品或為三品^①，二品不取最先一器。今用臥竈，疊石累礦，取崗嶺高下

① 本文引自“晁氏叢書”本“墨經”，“津逮秘書”及“續百川學海”所載“墨經”中，此處俱作“二品”。

形势向背而或長百尺、深五尺，脊高三尺、口大一尺，小項八尺、大項四十尺，胡口二尺、身五十尺。胡口亦曰咽口，口身之末曰头，每以松三枝或五枝徐爇之，五枝以上烟暴煤麓，以下則烟緩煤細，枝数愈少益良，有白灰去之，凡七晝夜而成，名曰一会。候窰冷，采煤以頂煤为二器，以头煤为一器，头煤如珠如纓絡，身煤成塊成片，头煤深者曰远火，外者曰近火……”。



圖 4 古代臥窰采烟圖

在這一段記述中，不但對製造方法上的改進有詳細的敘述，也可以從這里面看出，我國古代製造炭黑的方法基本上就是現代所用的接觸法。“墨經”中還對當時的技術經驗作了概略的總結，而總結中的經驗也是同現代對於炭黑生成原理解釋符合的。

到了宋朝初年，用石油製造的炭黑已經出現了。公元 1080 年左右，北宋著名的學者沈括到了陝北延安，曾經用那里的石油製成炭黑。沈括在“夢溪筆談”一書中這樣寫着：

“鄜、延境內有石油，旧說高奴县出脂水，即此也。生于水际，沙石与泉水相杂，惘惘而出。土人以雉尾裹之，乃采入罐中，頗似淳漆。燃之如麻，但烟甚濃，所覆帷幕皆黑。予疑其烟可用，試扫其煤以为墨，黑光如漆，松墨不及也，遂大为之，其識文为延州石液者是也。此物后必大行于世，自予始为之。盖石油至多，

生于地中無穷，不若松木有时而竭。今齐鲁松林尽矣，漸至太行、京西、江南松山大半皆童矣，造煤人盖未知石煙之利也……”。

这一段文字，实际上是世界上最早用石油制造炭黑的記述。古代的学者不仅科学地利用石油制造炭黑，并且还科学地認識到用石油制成的炭黑在質量上超过用松木制成的炭黑，而且由于“石油生于地中無穷”，用石油制造炭黑这种工業有很大的發展前途。

而在外国，大約是在1872年左右，为了取得制造油墨的原料才开始以工業方式来制造炭黑。最早的制造方法是用石板作炭黑的收集面，使燃料(石油或天然气)不完全燃燒，生成的炭黑附在石板上，然后再用刮板把它刮下来。这和我国古代所用的方法基本上是相同的。

到了十九世紀末期，在資本主义国家中，炭黑工業逐漸發展。为了取得更多的利潤，炭黑生产的技术不断改进，制造方法也一天天地花样翻新。在这一阶段中，出現了轉盤法、滾筒法以及目前在炭黑生产中仍佔有相当重要地位的槽法。炭黑的品种也随着其它工業部門的需要而逐漸增加。但当时炭黑在工業上的应用，还仅限于当作顏料，用在油墨和油漆方面，市場的需要数量不大，炭黑的生产基本上还帶着廢物利用的性質，主要是处理油田每天放棄的大量天然气。

炭黑生产真正形成一种專門的工業企業，还是在1920年發現了炭黑对于橡膠制品特别是汽車輪胎的补强作用以后。据說这个發現也是非常偶然的：当时炭黑用在汽車輪胎上，不过是作为顏料，使輪胎具有不易被污染的黑色，每只輪胎中的用量仅約为橡膠用量的3%。在英国一家工厂中，某次由于配料員的疏忽，竟錯配成了30%，不料却發現这一只輪胎的性能远比其他輪胎良好，从此为炭黑在工業上的应用开辟了新的途徑。1928年以后更有爐法炭黑工厂相繼建立起来，所产的爐法炭黑虽然还是补强性能比較差的半补强爐法炭黑，但由于其單位产量所消耗的原料較

少，設備投資比較便宜，所以也得到一定程度的發展。到1930年時期，炭黑年產量達170,000噸以上，其中槽法瓦斯炭黑佔總產量的92%。第二次世界大戰以後，隨着人造橡膠工業的迅速發展，槽黑和爐黑的生產比重開始發生顯著的變化，到1945年左右，爐黑（包括熱解法炭黑）的生產量差不多已經達到和槽黑相等的水平。由於爐法炭黑製造技術的進步，特別是高耐磨和超耐磨型油基爐黑的出現，更使槽法炭黑在作為橡膠補強劑方面的發展前途發生了根本動搖。這些情況將在第九章作進一步的分析。

第三節 炭黑在經濟上和國防上的重要意義

在現代工業生產總值中，炭黑所佔的比重雖然很小，但在經濟上、國防上和人民文化生活上都有它獨特的作用。

炭黑在工業上的主要應用是作橡膠制品的補強劑，其中又以在輪胎中的用量為最大。雖然汽車、拖拉機、機車及飛機等輪胎的要求各有不同，但炭黑總起着主要作用。一個摻了約佔橡膠用量30—50%炭黑的輪胎，至少可以行駛30,000公里以上；而一個只摻惰性填充劑的輪胎，則只能跑3000公里左右，使用壽命相差十倍以上。假如汽車輪胎行駛里程由20,000公里延長至30,000公里，則每100,000套輪胎就可節約1000萬元。從物資消耗上看，在我國天然橡膠與人造橡膠的生產都還不發達的情況下，炭黑不僅可直接代替一部分橡膠，而且由於橡膠制品壽命延長的緣故，生膠的消耗量降低了，這個意義是重大的。此外，從橡膠廠的生產效果來看，一個用了炭黑作補強劑的橡膠廠產品的實際使用效果，要遠大於相同生產能力的工廠未加炭黑制品的使用效果，這對節約建設投資上也有重大意義。至於從各種軍用輪胎的特殊要求和安全保障的角度上看，其意義就更非經濟上的數字所能比擬了。除了輪胎以外，炭黑在各種工業、國防及民用的橡膠制品中用量也很大，並按品種起着各種不同的作用。

炭黑的第二个大用途，是作为油漆、油墨工业所需的黑色颜料。每印刷 100 万张普通报纸约需炭黑 460 公斤。同样数量的油墨，用优质炭黑制成的，能印出的张数多，字体较清楚，印刷机和铅字的寿命也延长了。精美的铜版印刷所用油墨，更需要用最好的炭黑作原料。在美国，过去用于油漆油墨的炭黑量最高曾达炭黑总产量的 20% 以上，这个比例虽因炭黑总产量的急剧增加而有所下降，至 1955 年仅占总产量的 4%，但炭黑的绝对用量仍是增加的：在 1935 年印刷油墨方面的用量约为 7700 吨，而 1955 年则达两万吨以上。我国人口众多，随着人民文化生活的提高，如何满足印刷油墨对高级炭黑的需要，仍是槽法炭黑生产的一个巨大的潜在任务。

第二章 炭黑制造的基本原理和方法

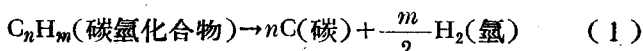
第一节 炭黑生成的基本原理

在上一章里，我们说炭黑是由碳氢化合物(或含碳化合物)经不完全燃烧或热解所得的炭素微粒。要说明炭黑的生成原理，有必要首先把碳氢化合物、不完全燃烧和热解这几个化学名词解释清楚。

我们知道，两种以上不同的元素相结合的产物，就叫做化合物。化合物又可以分开成为单独的元素。譬如水就是氢和氧两种元素按 2:1 的体积比(或 1:8 的重量比)相结合的化合物；通过电解的方法，又可以把水分解成氢和氧。所谓碳氢化合物，则是碳和氢两种元素相结合的产物。在化学上通常分别以“O”、“C”、“H”来代表氧、碳、氢三种元素。碳氢化合物的种类非常繁多，

从气体状态的甲烷、乙烷，液态的汽油、煤油、柴油和潤滑油等的各种组分，直到固态的石蜡、瀝青，都是碳氢化合物，只不过构成这些物质的碳和氢两元素的数量比例和结合方式不同而已。通常用 C_nH_m 来表示碳氢化合物，其中 n 和 m 各代表构成这种碳氢化合物的原子^①数目。在炭黑工业中常见的几种碳氢化合物里面，甲烷是由一个碳原子和四个氢原子组成的，它的化学符号是 CH_4 ；乙炔(C_2H_2)是两个碳原子两个氢原子所组成；萘($C_{10}H_8$)则是10个碳原子和8个氢原子组成；在常温和常压下，前二者是气体，后者是固体。

在较高的温度条件下，碳氢化合物又可以分解开来，变成碳元素和氢元素，这就是利用碳氢化合物制造炭黑的最基本的原理。



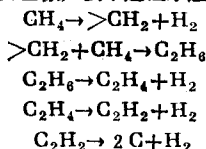
上述碳氢化合物的分解反应，除了个别的情况，如乙炔(C_2H_2)的分解是放热的外，大多数都是吸热的，这就是说，要从外面吸收热能，分解反应才能进行，所以叫做“热解”^②。例如：甲烷热解时每16克(克分子)就要吸收18.6仟卡的热量(相当于一公斤水升高摄氏18.6度的热量)。



碳氢化合物在高温下如果和氧气(O_2)相遇，就要和氧迅速发生作用，产生新的化合物，并且放出热和光。在氧气足够的情况

① 化学上所谓原子，是指表示某种元素特殊的基本粒子。

② 碳氢化合物的热解并非都是简单的碳和氢元素的直接分离，譬如甲烷的热解，就是以生成中间基 $>CH_2$ 为基础，按下述程序进行的：

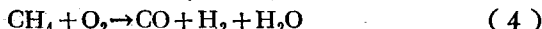


$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$ 只不过表示反应的最后结果。

下，一般生成二氧化碳(CO_2)和水蒸汽(H_2O)。例如以甲烷和二倍于其体积的氧发生作用，则生成二氧化碳和水蒸汽：



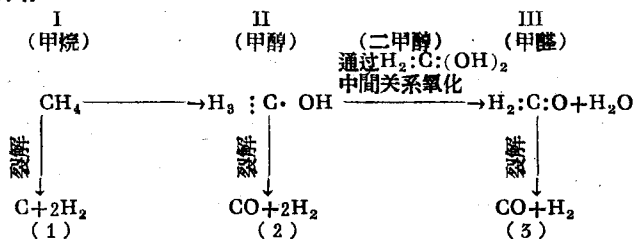
反应中并放出大量热能(每 16 克甲烷，通过上式反应放出约 191 仟卡热能)。这类与氧迅速发生作用，并且放出大量热和光的反应就叫做燃烧^①。如果燃烧反应中氧的供给不够充足，反应的结果也相应的发生变化。譬如在氧比上式少一半的情况下，生成物就不再是二氧化碳和水蒸汽。而是一氧化碳(CO)、氢气(H_2)和水蒸汽(H_2O)：



放出的热量也少些(16 克甲烷通过上式反应放出约 65.5 仟卡的热量)；而一氧化碳和氢气，在再有足够的氧时，都还可以继续燃烧并放出热量。类似这样的反应叫做不完全燃烧。甲烷的不完全燃烧，并不限于上述反应一种，随着氧量不足的程度和温度等条件的改变，就能变出很多形式，而且反应的过程也还经过了产生醛、酮、醇等类中间生成物，才变成 CO 、 H_2O 、 CO_2 、 H_2 等最后产物^②。

① 在化学上燃烧的定义还不限于与氧作用，例如某些物质与硫或氯化合，也发出光和热：

② 有的科学家把甲烷在不完全燃烧中，通过中间反应生成炭黑的机理简单的归纳成下述方式：



反应的主要趋势是由 I→II→III。当甲烷和氧气的体积比为 1:1 时，反应由 (1)→II→III→(3)；当气量再不足时，则产生一部分由 I→(1) 由 II→(2) 的裂解反应；所需的热量都由 I→II→III 的主要反应过程产生的热量供给。通过 I→(1) 的反应就是生成炭黑的反应。