

440
4 燃料工業

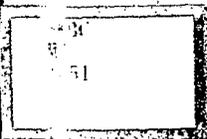
上册

彙字 218

B二
(上)

已
經
會
考

中華民國三十六年七月



序

燃料——煤、石油及天然煤氣——為近代工業之主要動力數十年來水電事業雖日益發展然直至最近燃料所生動力仍佔工業動力有分之九十左右文明愈進步工業愈發達則燃料之利用與燃燒之效率亦愈重要。

夫豈獨動力而已他如焦炭之用於冶金為鋼鐵工業必不可少之燃料煤膏蒸餾則得種 \times 有機化合物可以製造炸藥毒氣染料與醫藥石油及天然煤氣更為近年合成飛機汽油與超級滑油製造炸藥合成塑料及人造橡皮之重要原料用途之廣更僕難數不獨國防攸關即民生方面實賴之。

至燃料如何利用始能發揮最大效率亦為今日工程上之重要問題蓋凡有製造或變換其外形或改造其本性均唯燃料是賴且有許多工業燃料一項常佔其生產成本之大半苟不善加利用任意浪費則成本增加焉能自文？

本書著者即根據上述觀點就歷年在國立中央大學所施教材提要鈞文編著燃料工業一書取材行文力求博約除平日瀏覽各種雜誌之零星資料外主要參考書籍則有下列數種：

1. W. A. Bone and G. W. Himus — Coal: Its ~~constitutions~~ and Uses.
2. R. T. Haslam and R. P. Russell — Fuels and their combustion.



3. A. W. Nash and D. A. Howes — The principles of Motor fuel Preparation and application.

4. A. E. Dunstan, A. W. Nash, B. T. Brooks and H. Tizard — Science of Petroleum.

5. D. T. Day — HandBook of petroleum Industry.

6. G. W. Himus — Fuel Testing.

全書凡三十萬言，共分五編三十九章。所用名詞與術語，以採用國文編譯館所定者為原則。其尚無譯名者，概以私意的定。又此項著作國內尚未有，或成書問世者，著者以教餘暇編著是書，疏漏之處在所不免，尚望海內賢達有以教之。

民國三十三年六月於南京國文中央大學

業 精 正

中華民國三十六年X月

燃料工業 第一編 緒論

頁數

燃料工業

第一章	燃料				1
一	燃料之涵義				1
二	燃料之分類				5
三	燃料之經濟利用				5
第二章	燃燒				5
一	燃燒之涵義				6
二	燃點				7
三	火焰				8
四	燃燒之速度				8
五	燃燒之熱量				9
六	燃燒之溫度				9
七	燃燒之理論				9
	第三章	編	固體燃料		
第一章	固體燃料總論				15
一	略說				15
二	固體燃料之優劣				15
三	固體燃料分述				15
第二章	煤之儲量與度量				21
一	國際情形				21
二	國內狀況				24
第三章	煤之來源法成與分類				27
一	煤之來源				27

	二 煤之生成	28
	三 煤之分類	31
第	四章 煤之生成及其發熱量	33
	一 略說	33
	二 差近分析	33
	三 元素分析	36
	四 發熱量	37
第	五章 煤之化學構造	38
	一 略說	38
	二 熱解法	39
	三 浸取法	43
	四 氧化法	46
第	六章 煤之自燃與儲藏	52
	一 煤之自燃	52
	二 煤之儲藏	53
第	七章 煤烟之害及去烟之法	55
	一 煤烟之害	55
	二 煤烟之性質及成分	55
	三 去烟之法	56
第	八章 市場用煤之製備	58
	一 選分	58
	二 過篩	58
	三 去灰	58
	四 配合	62
第	九章 爐灶內煤之燃燒	65

燃料工業

	一	燃燒原理	63
	二	人工加煤	71
	三	機械加煤	73
	四	爐灶設計	76
	五	烟筒設計	80
	六	鍋爐管	82
第	十一	章 粉煤與膠狀燃料	85
	一	粉煤	85
第	十一	章 膠狀燃料	90
	一	略說	91
	二	煤氣之概況	91
	三	煤氣之設置	91
	四	煤氣之程序	92
	五	煤氣之設備	93
第	十一	章 煤氣製造	95
	一	略說	107
	二	煉焦之用途	107
	三	焦炭之質及利用	110
	四	副產品之利用	112
第	十一	章 煉焦之煤膏	115
	一	略說	116
	二	煤膏之成分	116

	三.煤膏之蒸餾	116
第十四章	低溫乾餾	122
	一.略說	122
	二.低溫乾餾之方法	122
	三.低溫乾餾之鑄	123
	四.低溫乾餾之產品	126
第十五章	煤製石油	129
	一.歷史	129
	二.煤製石油之化學	130
	三.煤製石油之方法	131
第十六章	鋼鐵工業中之燃料經濟問題	137
	一.略說	137
	二.冶鐵	137
	三.煉鋼	141
	第三編 液體燃料	
第一章	液體燃料總論	145
	一.略說	145
	二.液體燃料之優劣	145
	三.液體燃料分述	145
第二章	石油之儲量與產量	146
	一.國際情形	146
	二.國內狀況	146
	附各國提油事業及我國石油自給應取之途徑	
第三章	石油之歷史地質與生成	147
	一.歷史	157

地質生成	157
第三章 石油中之化學	157
第四章 石油中之物理化學	158
第五章 石油中之物理化學	159
第六章 石油中之物理化學	159
第七章 石油中之物理化學	162
第八章 石油中之物理化學	163
第九章 石油中之物理化學	163
第十章 石油中之物理化學	163
第十一章 石油中之物理化學	164
第十二章 石油中之物理化學	164
第十三章 石油中之物理化學	165
第十四章 石油中之物理化學	165
第十五章 石油中之物理化學	165
第十六章 石油中之物理化學	167
第十七章 石油中之物理化學	167
第十八章 石油中之物理化學	168
第十九章 石油中之物理化學	168
第二十章 石油中之物理化學	168
第二十一章 石油中之物理化學	171
第二十二章 石油中之物理化學	175
第二十三章 石油中之物理化學	175
第二十四章 石油中之物理化學	175
第二十五章 石油中之物理化學	176
第二十六章 石油中之物理化學	177
第二十七章 石油中之物理化學	183
第二十八章 石油中之物理化學	183
第二十九章 石油中之物理化學	183
第三十章 石油中之物理化學	184
第三十一章 石油中之物理化學	186

	一 略說	186
	二 氣體烴化物之來源及其熱解	186
第	三 石油之合成	193
	十一 章 石油製品之精製	200
	一 略說	200
	二 硫酸精製法	200
	三 氮氧化鈉精製法	205
	四 亞鉛鹽精製法	206
	五 精製所用之設備	207
	六 其他精製法	208
第	十二 章 石蜡	212
	一 略說	212
	二 石蜡之成分及性質	212
	三 石蜡之析出及精製	212
第	四 石蜡之用途	213
十	三 章 頁岩	213
	一 略說	213
	二 頁岩油之蒸餾	214
第	三 頁岩油之熱解與氮化	221
十	四 章 液體燃料之燃燒	222
	一 略說	222
	二 燃燒設備	222
	三 燃燒問題	227
	第四編 氣體燃料	228
第	一 章 氣體燃料總論	228

燃料工業

第一編 緒論

第一章 燃料

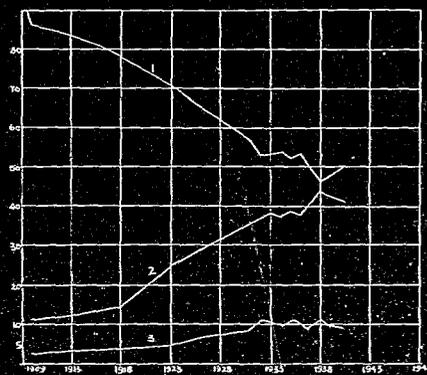
一. 燃料之涵義 — 凡物質燃燒發生之熱，可供加熱或發生動力之用者，通稱燃料 (fuel)。故所謂燃料，實即儲蓄熱力之一種方式。化學工業種類萬千，取原料，製成品，其間經歷之過程雖多，莫不外加減能力於原料，能力價值之高低，常可決定一種工業之興廢，其重要可知。

能力之來源甚多，~~但~~^{并不}皆富有工業價值，例如風力之大小，有無及方向，均不能用人力控制，動物體力充屬有限，太陽之光與地心之熱，實際運用，尚無可能，又如水力發電雖可得廉價之動力，但只限於地域，不能到處都有，故至今日工業上之主要動力，厥為發生熱能之燃料，燃料之條件有六：(1)着火容易，(2)自自燃燒，(3)發熱量高，(4)便於控制，(5)度量豐富，(6)價值低廉，其合乎此種條件者，厥為煤與石油，二者約佔近代工業動力百分之九十左右見第一圖。

二. 燃料之分類 — 工業上用以發生熱能之燃料，可大別為固體、液體及氣體三類，茲更就其生成分為天然燃料及人工燃料二種列為第一表。

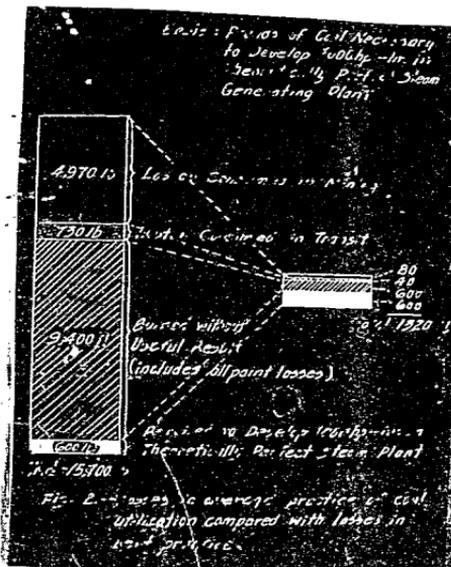
第一表 燃料之分類

類別	天然的	人工的
固體燃料	木材 泥煤 褐煤 烟煤 次烟煤 半烟煤 無烟煤	木炭 煤餅 煤粉 焦炭 半焦
液體燃料	石油	石油分餾油 苯油 膠狀燃料 醇類 油頁岩分餾油 煤製石油
氣體燃料	天然煤氣	煤氣 水煤氣 發生爐煤氣 油氣 鼓風爐煤氣 校焦爐煤氣 乙炔



第一圖：近代工業動力來源比較圖
 線1代表煤，線2代表石油及天然氣，線3代表水力。註：煤由石油及天然氣約佔近代工業動力百分之九十五左右。水力按目前估計每小時可得一瓩小時（註：美國Bureau of Mines, Coal and Economics Division and Minerals Yearbook）

三. 燃料之經濟利用



燃料如何利用始於煤礦最大效率，實為今日工程上重要之問題，蓋煤之來源或變換其外形，或改造其本性，均唯燃料是賴，且有多種工業之需要，燃料之費用，常佔其生產成本之大半，苟不善加利用，則其浪費，則成本加高，為能與人競爭，莫如先實調查所史密森博士 (Dr. George S. Smith) 曾就煤之經濟利用大查詳加研究，如欲籍蒸氣機發

法 1000 馬力小時之功，理論上只須煤 600 磅，再如，煤煤用 80 磅，運煤用 40 磅，燃燒及其他損失 600 磅，共不須用煤 1320 磅，如第二圖，但實際上許多小型蒸氣機，因工作低能，熱量損失，設備粗糙，管理疏忽，或因此事故，得上述同樣之功，竟用煤達 1500 磅之多，浪費之鉅，能不驚人！此治燃料工業苟不於燃料之經濟利用，其問題，不能不深刻注意也。

第二章 燃燒

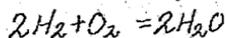
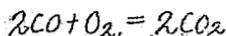
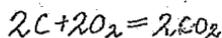
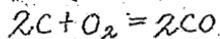
- 一. 燃燒 (Combustion) 之涵義——凡燃料在空氣或氧氣中迅速氧化，發生多量之熱及光之現象，謂之燃燒。燃料燃燒時，其中之可燃成分如炭及氫，均變為二氧化碳及水者，謂之完全燃燒 (Complete Combustion)，反之，燃料中之可燃成分只有部分氧化者，謂之不全燃燒 (In-Complete Combustion)，不全燃燒，易使分子熱解，炭質游離，招致損失，須加避之。

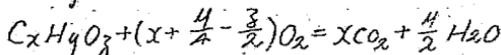
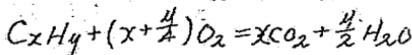
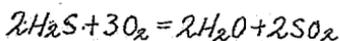
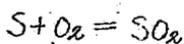
燃料完全燃燒所需之氧或空氣之理論的最小值，如成分為已知，可由下列第一表中之各式算出之，反之，如燃料之成分為不知，例如煤可由其元素分析之值推算之，今假定煤中所含炭氫氧之量 (%) 以次為 C, H, O，則其完全燃燒所需之氧量即漢爾數，可以下式求之：

$$\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \text{ 或 } \frac{1}{12} \left\{ C + 3 \left(H - \frac{O}{8} \right) \right\}$$

上式中 $(H - \frac{O}{8})$ 稱為有效氫 (Available hydrogen)，係假定與氧相當之氫量，早已以水之狀態而存於煤中。

第二表 燃燒之反應





又空氣中通常含有21% (體積) 之氧, 故上式之氧量, 以係數100/21乘之, 即得其之相當之空氣量, 然實際上欲以此理論量使煤完全燃燒, 殊不可能, 常須供給相當之**過量**空氣。

(Excess air), 但亦不能過多, 否則燃燒生成氣體之量增加, 溫度降低, 廢氣帶去之熱不少, 實屬不利。**過量**空氣需要之量因燃料之性質及使用方法而異, 一般氣體燃料需要最少, 液體燃料及固體燃料以次增加, 今假定理論所需空氣量為T, 實際所需空氣量為P, 則得

$$A = \frac{P}{T}$$

通常氣體燃料及液體燃料, $A = 1.2 - 1.4$; 固體燃料

$$A = 1.5 - 2.0.$$

燃燒時空氣有餘或不足, 可由廢氣之成分以判斷之, 若為適度空氣之完全燃燒, 則廢氣中大部分為二氧化碳及氮氣, 此外為少量之氧, 然若為不全燃燒, 則兼含有一氧化碳及烴化物, 就中一氧化碳含量較多, 又若空氣過多, 則廢氣中之二氧化碳亦少。

燃燒所需之空氣有**一次**供給其全量者, 有分為**二次**供給之者,

或初次空氣

例如煤，一次空氣 (Primary air) 之燃燒，常不完全，此時熱解或氣化之生成物須以二次空氣 (Secondary air) 或次級空氣燃燒之。

二. 燃點 (Ignition point). —— 燃料於空氣或氧中熱之，其開始燃燒之溫度，謂之燃點。燃料達此溫度則其中之分子充分活化，因之急劇與氧化合而燃燒，但如欲燃燒繼續不息，必須維持燃點以上之溫度，庶發熱之速度，等於或大於失熱之速度。

燃料之種類不同，則其燃點亦異，第三表表示各種燃料在空氣或氧中測定之燃點。一般氧中的燃點較空氣中之燃點為低，又壓力增大，多數物質之燃點降低，故在氣體引擎中之爆炸混合物，先壓縮，次點火。

第三表 燃料之燃點

燃料種類	燃點(空氣中)	燃點(氧氣中)
氫氣 (H_2)	580-590°C	580-590°C
一氧化碳 (CO)	644-653	637-658.
甲烷 (CH_4)	650-750	556-700
乙烷 (C_2H_6)	520-630	520-630
乙烯 (C_2H_4)	542-547	500-518
丙烷 (C_3H_8)	406-440.	416-440.
苯 (C_6H_6)	740	662.

甲苯	810	552
酚(C_6H_5OH)	715	574
甲醇	558	555
乙醇	558	425
乙醚	343	178
丙酮	700	568
汽缸油	417	320
氣油	336	270
灯油	295	270

燃
料
工
業

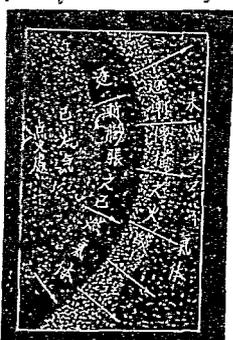
燃料發火方法有二：一為以火焰或電氣直接點火，除柴油機外，其他一切燃料均用之；一為利用燃料本身蓄積之熱自然發火(*Spontaneous ignition*)，柴油機內之燃燒，即起因於氣缸內高溫蒸氣之自燃，又謂之燃點，一般為使燃料溫度漸次上昇後之燃燒開始溫度，應為自然發火之一種，故為上述之燃點，有時亦稱之為自然燃點，煤於儲藏期內徐徐氧化，發生之熱，亦能自燃。

三. 火焰(*Flame*)——凡可燃氣體或蒸氣與空氣或氧氣混合而燃燒時發出之光，名曰火焰。火焰之強度，視燃燒之完全與否而異，完全燃燒時呈微藍色，不全燃燒時有微粒游離，因生光輝，氣體燃料如此，其他液體及固體燃料，亦因蒸發熱解或其他反應而生可燃氣體，發生火焰，木炭及

七

焦炭含揮發物質甚少，通常不生火焰，但燃燒時若有少量之「氣」^{（揮發物）}，亦生火焰，又可燃氣體以兩材料如^{此種}火燭之類為觸媒，使之燃燒，則不生火焰~~而~~燃燒，稱為表面燃燒（Surface Combustion）或無焰燃燒（Flameless Combustion）。

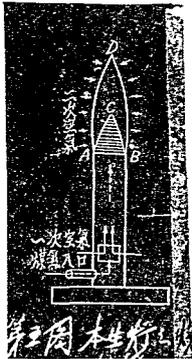
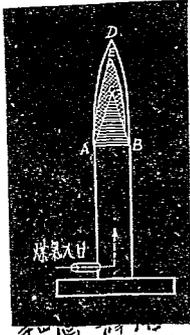
火焰大致分動（Running flame）及靜焰（Stationary flame）二種，前者為內燃機內之燃燒，如香燭、生油、吹管及蠟燭之燃燒等，其原理係以均態混合氣傳之點火處為中心，四方傳播，以次分為：一已燃之混合氣體，因逐漸膨脹之已燃氣體，而逐漸傳播之火焰，及尚未燃之混合氣體，詳細情形見第三圖。惟動焰之發生，必須可燃氣體與空氣二者之比例在燃限度（Limit of inflammability）以內，否則不能維持燃燒，又火焰在



第三圖 動焰

混合氣體中傳播，其溫度較混合氣體之自然發火點為高，此溫度之最低值，即火焰之傳播溫度。至於靜焰，乃燃燒時所需之氧全部或一部由火焰之外部供給，如此一面混合，一面燃燒，煤氣之外放與火焰之內向，成一動靜平衡，故火焰外圍之氧，實亦一部雙

蓄組織並不均一，且又因可燃氣體內含初級產物而生異



如第四層所示火焰內不含初級空氣時，其外之 ACD 雖可完全燃燒，中心 ACD 亦為完全燃燒，又兩者之間，AEBC 為不完全燃燒之部分，反之，如第五層，常用之本生燈，煤氣內含初級產物，此對火焰含有完全燃燒 ACD，及不完全燃燒 ABC 二部分。

部分。

上述定燭之溫度雖因火焰內之位置而不同，但其中之最高點為各國 C、D 之中間部分。又燃料若為碳化物而燃燒不完全則炭粒子游離，發生光輝，故靜燭又因光輝之有無，分為光燭

(Luminous flame) 與暗燭 (Dark flame) 二種，量之火焰，即暗燭之一種。

燃料燃燒時所能達到之溫度大致可以其火焰之顏色判定之，詳見第四表。

第四表 火焰之顏色與溫度

顏色	溫度
黑紅	500-550
暗紅	650-710

亮紅	850-950
橙紅	1050-1150
白色	1250-1350
亮白	1450-1550

四. 燃燒之速度 (Rate of Combustion). — 可燃氣體與氧氣混合, 其燃燒之速度, 因溫度、壓力、濃度及觸媒劑而不同, 然在燃點以上, 可燃氣體與氧氣之反應速度極為迅速, 故事實上可燃氣體之分子與氧分子二者在單位時間內衝突之比率, 實為決定燃燒速度之重要因子. 一般動燭之速度每秒鐘常達數米, 而靜燭既在一米以內, 又動燭燃燒之際, 雜有爆聲, 通稱爆發 (Explosion). 爆發時壓力驟增, 溫度急升, 燃燒情形轉趨劇烈, 而速度更達數千米之多, 如此燃燒另稱爆炸 (Detonation), 內燃機之燃燒大都類此.

至液體或固體燃燒之速度與空氣接觸之面積之大小所關亦鉅, 一般可燃物質愈細, 其單位重量之接觸面積愈大, 而燃燒亦愈快.

五. 燃燒之熱量 (Heat of Combustion). — 燃料中之可燃成分與氧化合, 即發生熱量, 其每一克分子 (或一克原子) 完全氧化時發生之熱, 稱為燃燒熱, 通常以卡 (Calorie) 或克卡 (gram calorie) 表示之, 稱為熱值 (Calorific value). 固體或液體燃料一克或一磅發生之熱量, 以克卡 (K.cal 或 Cal)

或英熱單位 Btu (British thermal unit) 表示之。氣體燃料一立方呎或一立方呎發出之熱量，以尅卡或 Btu 表示之。

一尅卡或一尅卡為一尅或一尅之水由 17°C 熱至 18°C 所需之熱量，一 Btu 為一磅之水 60°F 熱至 61°F 所需之熱量，二者之關係如下：

$$1 \text{ 尅卡} = 3.968 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ Btu} = 0.2520 \text{ 尅卡}$$

此外尚有一單位曰沙姆 (Therm) = 100,000 Btu，即 60 篇之水由 45°F 熱至 618°F 所需之熱。

熱量之多寡以量熱計 (Calorimeter) 測定之，或從燃料之已知成分推算而得。

六. 燃燒之溫度 (Temperature of combustion). 一燃料燃燒發出之熱，就多少而言，謂之熱量，就高低而言，謂之溫度。利用燃料之目的，即使其發出熱量增高溫度，工業上應用最普遍之溫度，大概在 1,000°C 左右，如發出蒸氣及煉焦等等，然在冶金工程及電爐工業，常用 2,000°C 以上之溫度，利用燃料發出高溫，須注意下列各點。

1. 選用發熱量大之燃料 關於此點，液體燃料每較固體燃料為優，然兩者之中，亦各有差別，又氣體燃料以含烴化物較多者為佳，爐煤氣之成分以一氧化碳為主，發熱量最優。

6. 加大燃燒速度，防止空氣過多。關於此點，自以氣體燃料最優，然固體燃料及液體燃料，亦可使其以微細之狀態而燃燒。

7. 預熱燃料及空氣。例如上述之爐煤氣預熱之，其燃燒溫度亦可增高。

8. 高壓燃燒。高壓可以抑制二氧化碳及水之解離，燃燒比較完全，內燃機中常應用之。

溫度之高低可用水銀溫度計，電偶高溫計 (Thermocouple) 氣體高溫計 (Gas pyrometer)，光力高溫計 (Optical pyrometer) 及測溫錐 (Seger cones) 等等測定之。

七. 燃燒之理論

1. 簡單燃料 (Elementary fuels) 及複雜燃料 (Complex fuels)。前一章曾言燃料分固體液體及氣體三種，燃料之種類不同，則其性質亦異，不僅此也，同屬一種之燃料，如煤或石油，究竟各含成分幾何，均不確知，但就燃燒之觀點而言，殊為簡單，蓋任何複雜燃料燃燒時，均有趨於簡單之傾向，例如煤之成分極為複雜，當其送入爐內受熱蒸餾時，即分解而為氣體烴化物，一氧化碳及氫氣，剩下者為焦炭。故一切複雜燃料，均可視為下列三類簡單燃料之一種或多種之混合物而研究之：

(1) 固形炭 (Solid carbon)。

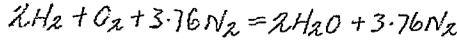
(2) 氣體烴化物 (Gaseous hydrocarbons).

(3) 一氧化炭及氫氣

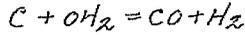
除上述之簡單燃料外，複雜燃料中尚含有不燃物質，例如煤內含有水及灰分，爐煤氣中含有大量之氫及少量之二氧化炭，此種成分均能影響燃料之應用與處理。

複雜燃料簡化後，其化學反應亦趨簡單，要言之，不外下列三種：

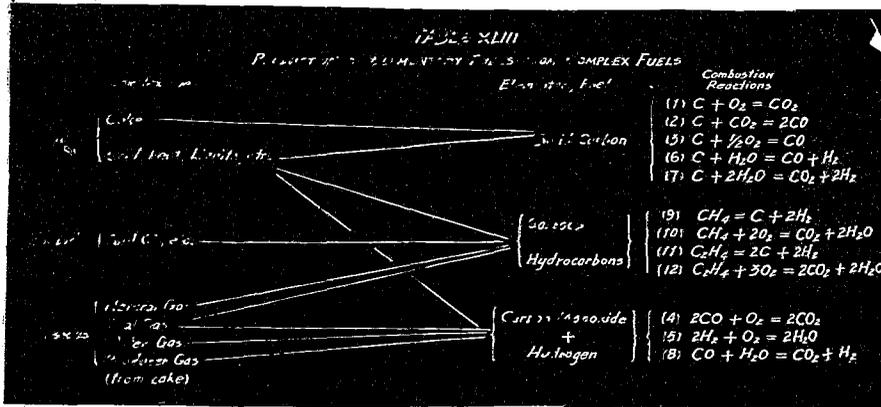
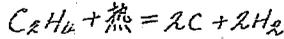
(1) 氫氣與空氣中之氧直接化合生成水汽，如：



(2) 蒸汽與紅熱之炭化合，如：



(3) 未曾完全燃燒之前先行熱解，如：

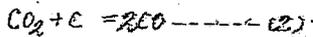
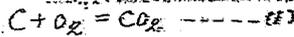


但無論如何，一切簡單燃料，總以完全燃燒為原則。下列第五表即由複雜燃料變為簡單燃料之情形及其所生之化學反應。

2. 固體炭之燃燒理論——最近有年來，關於固體炭之燃燒有下列三種理論。

(A) 二氧化碳說 (The carbon dioxide theory).

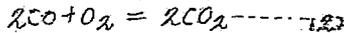
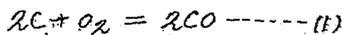
——此說謂固體炭燃燒先生成二氧化碳，再還元為一氧化炭，如：



蓋純炭如金剛石加以強熱，即燃燒而為二氧化碳，并無一氧化炭之火燭發生。再據史麥斯 (Smith) 氏之研究，潮濕之氧於溫度 $-12^\circ C$ 時被炭吸收後，若將炭加熱至 $100^\circ C$ ，即放出二氧化碳，亦為有力之證據。

(B) 一氧化炭說 (The carbon monoxide theory).

——此說謂固體炭燃燒先生成一氧化炭，再氧化而為二氧化碳，如：



蓋據柏耳 (Bell) 氏之研究，鼓風爐內通入空氣使之燃燒，若將爐口放出之氣體加以分析，大部為一氧

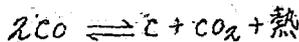
此炭，即有少量之二氧化碳，實乃一氧化碳氧化之結果見第六表。

第六表 鼓風爐上口放出氣體之成分

	樣品一	樣品二
CO ₂	0.76%	0.8%
CO	37.60	33.3
H ₂		1.0
N ₂	61.64	64.9
	100.00	100.00

(c) 複炭說 (The Carbon Complex theory). — 一九一二年雷德 (Rhead) 及惠勒 (Wheeler) 二氏復提出炭之燃燒并非先由一氧化碳或二氧化碳而係先生成一種極不穩定之複炭化物 C_xO_y 再分解為二氧化碳及一氧化碳，二者比例之多寡完全視溫度及壓力而定，此一學說已為今日多數學者所擁護。

据雷惠二氏之研究炭在炉底燃燒，生成 C_xO_y，然後分解為 CO 及 CO₂ 而逐層上升，即迅速達到下述可逆平衡：



由上式可知溫度不變而壓力增加時，則反應向右

進行，即 CO_2 之成分增多，反之，壓力不變而溫度升高，則反應向左進行，而 CO 之生成加速。又據二氏之試驗，在紅熱以上之溫度時，二氧化碳被炭還元之速度，常較一氧化炭之解離速度為快（ $850^{\circ}C$ 時約快166倍）今假定在上述平衡時 CO 及 CO_2 二者壓力之和=1氣壓，則二者成分之比隨溫度而異如

溫度($^{\circ}C$)	成分(%)	
	CO_2	CO
850	6.23	93.77
900	2.22	97.78
950	1.22	98.68
1000	0.59	99.41
1050	0.37	99.63
1100	0.15	99.85
1200	0.06	99.94

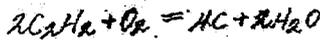
又溫度為 $1000^{\circ}C$ 時，則二者之成分隨壓力而異如：

壓力(氣壓)	成分(%)	
	CO_2	CO
3.78	3.17	96.83
2.69	2.18	97.82
1.14	1.17	98.83
0.66	0.65	99.65

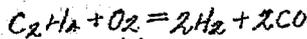
吾人由上述事實，可知爐內下層，紅熱之炭，由上層之煤蒸餾而來，當其遇初級空氣 (~~Primary air~~)，即迅速燃燒而生 CO 及 CO₂，二者成分之比，視當時溫度及二者之分壓而不同，大抵在 1200°C 或更高之溫度時，其中 99% 為一氧化炭，待上升而遇次級空氣 (~~Secondary air~~)，再行燃燒。

3 氣體烴之燃燒理論。——關於氣體烴化物之燃燒則有下列五種理論

(A) 氫先說 (Theory of preferential Combustion of Hydrogen)。——一八九二年以前，一般均信煙中之氫比較活潑，燃燒時氫先化合成水，剩下為炭，如



(B) 炭先說 (Theory of preferential Combustion of Carbon)。——一八九二年狄克遜 (Dixon) 氏以等體積之乙烷與氧化合而得二體積之氫及二體積之一氧化炭，如

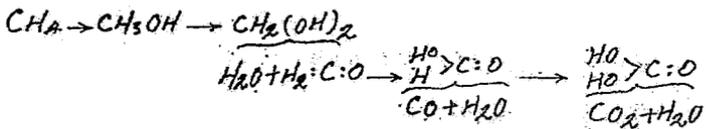


因此提出炭先說

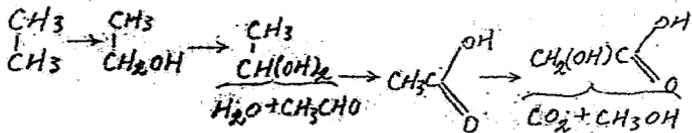
(C) 氫氧化說 (The hydroxylation theory)。——以上兩說均不能完全解釋氣體烴化物燃燒之一切既知事實，至一九〇二年彭蘭 (Bone) 氏及其同事復提出

氣氧化說以闡明之，其說以為氣態煙化物燃燒時先生成一不穩定之氣氧化物 (hydrogenated compound) 然後受熱分解，再成其他化合物，此說贊成之者甚多，舉例如下：

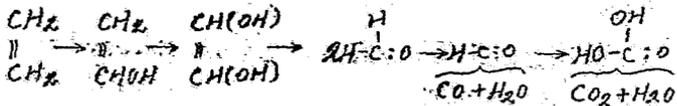
甲烷



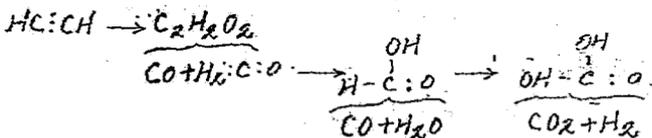
乙烷



乙烯

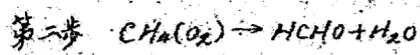
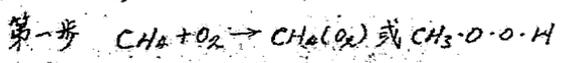


乙炔

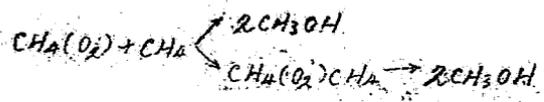


燃料之燃燒

(D) 過氧化說 (The peroxidation theory). —— 烴
化物燃燒後常有過氧化物發生，此非上述學說所能解
釋，因此艾節敦 (Egerton) 氏於一九二七年提過氧化說，
其說謂烴化物燃燒，先生成過氧化氫 (Alkyl pero-
xide) 或過氧化氫烴 (Alkyl hydrogen peroxide)。以
甲烷為例，其反應如下：

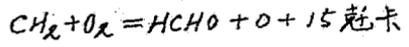
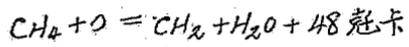


至於甲醇則由下列反應生成

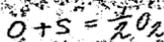
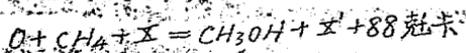


上述之過氧化物既不穩定，故極易爆炸，生成醇、醛
及酸等等。艾節敦 (Egerton) 氏曾以此說明機震現象
(Knocking) 獲得多數學者之贊同。

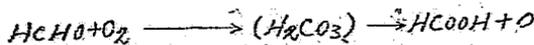
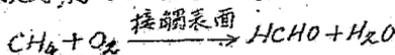
(E) 原子鏈說 (The atomic chain theory). —— 此
說乃一九三五年羅瑞士 (Norrish) 氏所提出，大意謂烴
化物之氧化，係烴根 (hydrocarbon radical) 及氧元
子二者之連鎖反應 (Chain mechanism)。例如甲烷，
其反應如下：



上述鏈式遇其他物質或反應器之接觸表面S，即生下列反應而鏈項中斷，如：



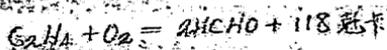
式中之氧原子，乃由下列變化得來：



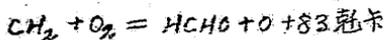
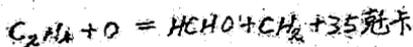
所生之氧原子，除一部在接觸器之表面化合為氧分子外，其餘則撥入氣體為反應之鏈項。

至於煤油為烴化物以乙炔為例，反應如下。

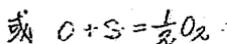
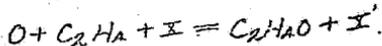
(1) 誘導期內之變化：



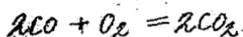
(2) 反應期內之變化：



上述變化繼續前進，一直至發出下述反應而終止：



水氫氣及一氧化炭之燃燒理論——工業燃料如水煤氣發
生爐煤氣及焦炭爐煤氣中，均含有 H_2 及 CO ，他種燃料如
煤及柴油等之燃燒時，亦因熱解而生上述之氣體，故二者
燃燒之理論，近數十年來各方學者均不斷研究，結果一
般認為氫氣及一氧化炭二者之混合物燃燒時，應為下列
反應：



但其條件必須：

(1) 常壓之下自由燃燒

(2) 溫度在 $700-1500^{\circ}C$ 之間

(3) 燃燒時不得有表面觸媒作用摻與其中

(4) 氫氣及一氧化炭二者同時燃燒於過量之氧氣中



第二編 固體燃料

第一章 固體燃料總論

一. 畧說——前第一編曾言固體燃料為天然燃料及人工燃料二類。天然燃料包括木材、泥煤、褐煤、~~次~~烟煤、烟煤、~~半~~烟煤及~~半~~無烟煤、~~及~~無烟煤等等八種，而人工燃料包括~~粉~~炭、煤粉、煤餅、焦炭，及半焦等等，大都由木材或煤直接或間接製煉而得。就中以烟煤在工業上最為重要。蓋一則烟煤在固體燃料中發熱量為最高，再則煤粉、煤餅、~~及~~焦炭、半焦及人造石油等工業又均以烟煤為原料也。

二. 固體燃料之優劣——固體燃料中以煤為最重要，今更就其優劣比較論之：

1. 優點——煤之優點有二：

(A) 儲量豐富 據一九二五年世界地質學會報告，全世界煤之儲量為五六二九〇一六百萬公噸，若以一九三八年煤之產量一二二五百萬公噸計之，共為三一、九〇〇百萬公噸，尚可用四、五十年之久。煤之儲量，按一九三九年計，若以同年石油之消耗量二、〇七九百萬桶計之，只一二十年即將告罄。

(B) 價值低廉，以美國為例，一九三九年烟煤每噸只售 1.853，而石油每桶達 \$1.05 之多。

2. 劣點——煤之劣點亦有四端：

(A) 熱量較低，如烟煤每磅之熱量不過 14,000 英熱單位左

右，而柴油每磅常在18,000英熱單位以上。

(B) 着火徐緩，但氣體及液體燃料着火均極容易且燃燒亦較迅速完全。

(C) 管理困難，但氣體及液體燃料，只須開關油閥即可運用自如。

(D) 煤灰無用，硫磺有害，但氣體及液體燃料不會及分即有硫磺亦可設法除去。

三、固體燃料分述——固體燃料之種類甚多，今分別述之於下：

1. 木材 (Wood). —— 木材之主要成分為纖維及木質 (Lignin)，新鮮木材約含水30-50%，風乾者亦含水20-25%。因含氧甚多，故燃燒時發熱甚少，大約每磅可出5400-6800英熱單位之熱，溫度亦不能上達1000°C，且價格較昂，故工業上使用者極少。茲將各種風乾木材之重量成分及熱值，列為第七表，俾見一斑。

第七表 各種風乾木材之重量成分及熱量

木材	重量		成分					熱值 英熱單位/磅
	磅/呎 ³	磅/磅	炭	氫	氧	氮	灰分	
槐 (Ash)	46	3.520	49.18	6.21	43.91	0.07	0.57	5,420
樹 (Beech)	43	3.250	49.36	6.01	42.89	0.91	1.06	5,400
赤楊 (Birch)	45	2.880	50.20	6.20	41.62	1.15	0.81	5,580
榆 (elm)	35	2.350	48.99	6.20	44.25	0.06	0.50	5,400

櫟(oak)	52	3.850	49.64	592	41.16	1.29	1.97	5.460
松(pine)	30	2.000	50.31	620	43.08	0.04	0.37	6.700
白栎(palar)	36	2.130	49.37	621	41.50	0.96	1.86	6.560
柳(Willow)	25	1.920	49.96	596	39.56	0.96	3.37	6.830

附註：1 根柱(Cord) = 8'(長) * 4'(寬) * 4'(高) = 128立方呎之木材

2. 泥煤(peat) — 泥煤為植物成煤之第一級。與木材極為相近。植物組織，大部保存。係由古代沼澤植物變化而來。新近採出者，含水分達80-90%之多，風乾之，可降至30-35%。工業上用者甚少。惟據一九二八年世界動力會議報告，蘇聯於是年曾採泥煤七百萬噸，其中五百五十萬噸作工業燃料，餘作家庭燃料之用。其成分及熱量(以乾燥及基)舉例如下：

第八表 泥煤之分析

揮發物	70.06%
固定炭	29.94%
硫	1.71%
氮	5.44%
炭(總)	56.37%
氮	2.95%
氧	33.53%

熱值

9610 英熱單位/磅

3 褐煤 (Lignite or brown coal):— 褐煤為成煤之第二級，其地位介於泥煤與次煙煤之間，地質年代較泥煤更晚，呈褐黃色，顯纖維構造，內含瀝青質 (Bituminous) 甚多，又含水份 20-60%，灰份 5-12%。風乾之後，則分解而為粉末，易燃燒，火焰甚長，火力較小，德國人造汽油大都以褐煤為原料而製成，亦有用之作成煤餅 (Briquette) 者。新掘出之褐煤，其熱值為 5500-8000 英熱單位，若不計水份及灰份，則其每磅之熱值為 10000-13000 英熱單位。詳細及熱量 (以每磅為單位) 見第九表：

第九表 褐煤之分析

揮發物	52.91%
固定炭	47.09%
硫	1.53%
氫	5.10%
炭(總)	70.54%
氮	1.53%
氧	21.50%
熱值	12,160 英熱單位/磅

4. 次煙煤 (Subbituminous) — 次煙煤為成煤之第三級，呈亮黑色，但不顯纖維構造，且無焦炭性，內含灰份 3-30%。
 22,150-20,200

風乾之，則分解其成份與熱值(新滿漢化學)舉例如下：

第十表 煙煤之分析

揮發物	40.51%	燃料工業
固定炭	59.49%	
硫	0.15%	
氫	4.85%	
炭(總)	76.61%	
氮	1.10%	
氧	17.03%	
熱值	13430 英熱單位/磅	

5. 烟煤 (Bituminous). — 烟煤為成煤之第四級，在工業上最為重要，舉凡製造煤氣，煉焦，發出蒸氣及炉竈加熱等等，莫不用之。英國之人造石油，均以烟煤為原料。世界上烟煤儲量除北美、英國及德國外，其次以我國為最多，約佔全國煤之儲量 80% 以上。

烟煤顏色，有亮黑色至灰黑色，條狀構造，常帶粘性，質脆，有光澤，內含揮發物 18-45%，極易燃燒，放出之黃色火焰中，含濃青味甚濃，火焰甚長，火力亦大。考其外觀，常分亮層 (Bright layer) 與暗層 (Dull layer)，二者之間又有一層為燕尾形之粉狀物質，名曰煤母 (Mother of

Coal), 又稱礦炭 (Mineral Charcoal).

通常煙煤又分結煤 (Caking 或 Coking coal) 與不結煤

煤 (Non-caking 或 Non-coking coal) 二種, 視加熱

之結果而定, 如加熱蒸餾而遺留堅硬之固體焦炭者, 稱之曰:

結煤, 反之, 如蒸餾後剩下之固體, 性質脆弱, 則另稱曰不

結煤。

煙煤常含水份 8-10%, 灰分 8-12%, 詳細成分及熱值 (附

註) 見第十一表。

第十一表 煙煤之分析

揮發物	30.20%
固定炭	69.80%
硫	1.06%
氮	5.54%
炭(總)	87.10%
氫	1.37%
氧	5.12%
熱值	5,550 英熱單位/磅

燭煤 (Candle coal) —— 燭煤為不結煤之一種, 因

含揮發物甚多, 點火容易, 發出亮焰, 故曰燭煤 (Candle

Coal)。其重要之原因, 為含有大量之植物芽胞 (Spore), 胞

囊 (Spore-case) 子實外殼 (Seed coat) 及松香質與蠟質。

6. 半煙煤 (Semi-bituminous) — 半煙煤為成煤之第五級，不結塊，矽短，內含水份 2-6%，灰份 11%。為發生蒸氣最佳之燃料，家庭中亦常用之。其詳細成份及熱值

（揮發物及灰份不計）見第十二表：

第十二表 半煙煤之分析

揮發物	16.80%
固定炭	83.20%
硫	0.79%
氮	1.75%
炭(總)	90.31%
氫	1.17%
氧	2.98%
熱值	15880 英熱單位/磅

7. 無煙煤 (Semi-anthracite) — 無煙煤為成煤之第六級，不結塊，內含揮發物 8-15%，水份 2-8%，灰份 4.3-14.5%，燃燒無烟，但有短矽，色淡黃，其詳細成份及熱值

（揮發物及灰份不計）見第十三表：

第十三表 無煙煤之分析

揮發物	9.92%
固定炭	90.08%
硫	0.77%

氫	3.72%
炭(總)	91.60%
氮	1.27%
氧	2.64%
熱值	15,410 英熱單位/磅

8. 無煙煤 (Anthracite). — 無煙煤為成煤之最高級^(*)不結塊，內含揮發物在 8% 以下，水分 2.2-4%，灰份 1.5-10%，含硫亦甚少，熱值雖不及烟煤，但燒時無烟，故為家用之最佳燃料，他如麥芽之乾，橡膠之硫化及其他工業需用清潔無烟之燃料者均用之，詳細成分及熱值(附表)見第十四表

第十四表 無煙煤之分析

揮發物	6.18%
固定炭	93.82%
硫	0.62%
氫	2.68%
炭	94.01%
氮	0.99%
氧	1.74%
熱值	14,070 英熱單位/磅

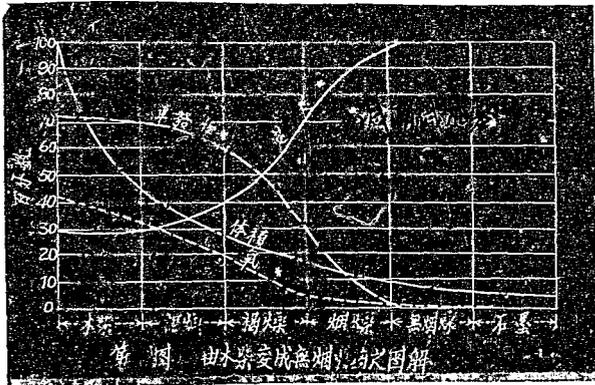
(*) 道爾 色黑而光澤，質脆而硬，呈介壳狀破面，火燭後不易燃燒而力甚強，但

③ 木材及各種煤之比較——木材及各種煤之成份與熱值，已註列第六表至第十三表，今更彙編為第十五表，及第六圖，以便比較：

第十五表

木材及各種煤之分析比較

煤種	差分析% 揮發物 灰分		元 素 分 析 %					熱值 (大卡/克)
	硫	氮	炭(總)	氫	氧	水分		
木 材				6.25	43.50	1.12	43.11	5300
泥 煤	72.06	29.94	1.71	5.44	56.37	2.95	23.53	9010
褐 煤	50.69	39.33	1.89	4.74	72.79	0.98	19.60	12072
次 煙 煤	38.12	51.88	0.50	4.74	76.28	1.47	17.01	12938
煙 煤	30.26	69.74	1.06	5.59	89.00	1.37	5.18	15527
半 煙 煤	16.19	83.88	2.52	4.57	89.97	1.40	2.64	15033
半 無 煙 煤	9.35	90.65	0.74	3.76	92.15	1.18	2.17	15457
無 煙 煤	1.29	98.71	1.00	1.77	94.39	0.71	2.13	14384



右圖由左列
 第一圖可以
 說明由木炭
 至無煙煤之
 過程中揮發
 物之量逐漸
 減少而固定

炭則比例增加

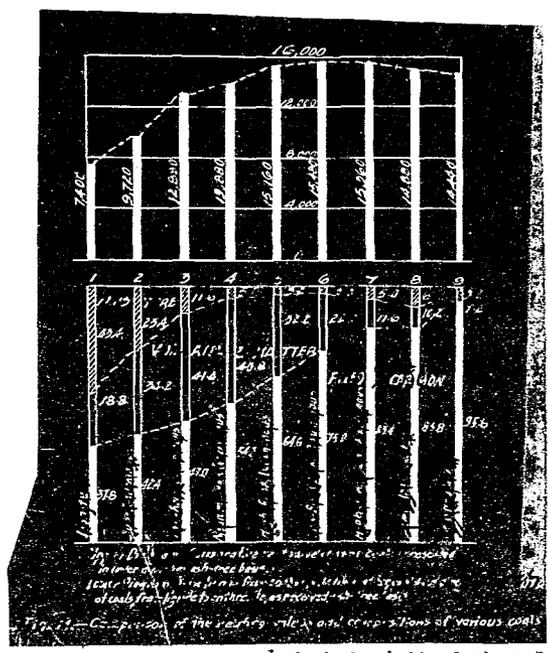
又若將上述分析連水份及灰份合併計算，則得第十六表

第十六表 木材及各種煤之分析(水份及灰份合併計算)

燃料種類	分析結果 %										
	揮發物	固定炭	水份	灰份	硫	氫	氮	炭總量	氧	熱值	
木材						6.25	1.10	49.50	43.15	5800	
泥煤	26.14	11.17	56.90	5.99	0.64	8.33	1.10	21.03	62.91	3580	
油煤	35.34	22.91	34.55	7.20	1.10	6.50	0.57	42.40	42.13	7990	
軟煙煤	27.63	15.84	24.28	3.25	0.36	6.14	1.07	55.28	33.90	9370	
塊煙煤	17.10	62.52	3.24	7.11	0.95	5.24	1.28	78.00	7.47	13915	
半煙煤	14.47	75.31	2.03	8.19	2.25	4.14	1.26	79.97	4.18	14080	
萃炭煙煤	8.47	76.65	3.38	11.53	2.63	3.58	1.00	78.43	4.86	13150	
高煙煤	1.16	88.21	2.80	7.83	0.89	1.89	0.63	84.36	4.40	13220	

此由奧爾(Orwell)復析各種煤之最近分析所得結果(部分)製成一圖簡單明瞭可供參攷，如第X圖，自褐煤至無煙煤其中固定炭之成分漸多，水份漸少，熱值亦漸高，惟無煙煤之熱值較之煙煤為低，通常以為無煙煤價值較昂，應含較多之熱量，若單就炭之觀點而論，無煙煤含炭份最多，此應當合理，惟煤之熱值係由炭及氫二種成份而定，故高煙煤之熱值為14544英熱單位，氫每磅之熱值為62,000英熱單位，煙煤含氫之量較無煙煤為多，故其熱值亦較高。

十六



10. 木炭 (Charcoal). — 木炭為木材蒸解後所餘之炭質，常含灰份 2-3%，氫 0.5-1.0%，水份 10-15%，容易着火，燃燒無烟，又甚清潔，每磅之熱值為 12,000-13,000 英熱單位，曾用於工業，惟現已為焦炭所替代。

11. 粉煤 (Powdered Coal). — 粉煤係由普通之煤先經碎機打成小塊，再用研磨機研成粉末，然後與適量之空氣混合，一同噴入爐中，使之燃燒，多用於水泥工業，此外亦供動力及煉鋼冶鐵亦常用之。

12. 煤餅 (Briquettes). — 煤質太細，不適於用，以之作成餅

狀則較易出售，其法即以煤屑及瀝青於加熱混合然後以每平方吋1800-3000磅之壓力壓成餅形，冷後即甚結實。

13. 焦炭 (Coke). — 焦炭為煤經熱解後所剩之炭質，熱解時之溫度達1100°C左右，所得之焦炭強固耐用，為冶金工業必不可少之物質，此外如木煤氣及電石等等之製造，亦常用之。

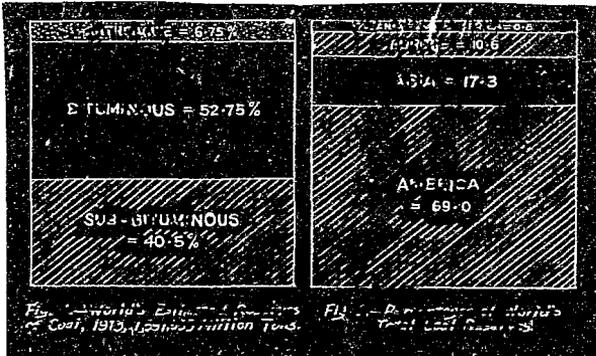
14. 半焦 (Semi-coke). — 半焦為低溫炭化所得之炭質，炭化時所用之溫度約500-700°C，半焦燒時甚稠，灰分亦少，堪稱為上等家用燃料。

第二章 煤之儲量與度量

一 總論情形

煤之儲量 (Coal Resources) —— 據一九二五年世界地質學會報告，世界各國煤之儲量共為 125,000 億噸。一九二六年世界地質學會報告，降為 56,000 億噸。若按目前產出之量計算之，則可供五十年之用。就煤之種類言之，則無煙煤佔 6.7%，褐煤佔 52.5%，次為煙煤及瀉煤共佔 40.8%，如第 8 圖。

至於煤之地理分佈，就洲別言之，則美洲佔 52.75% (含北美) 亞洲佔 17.3%，歐洲佔 10.69%，海峽洲佔 2.0%，蘇州佔 2.8%。如按產量，則美國佔 51.8%，次為大英 16.4%，中國佔 12.5%，波蘭佔 1.4%，波蘭及德國亦各佔 5.9%，西伯利亞佔 2.3%，蘇利安佔 2.2%，蘇聯佔 2.8%，其他國家佔 2.9%。



由以上述事實中可知世界煤藏幾全集中於赤道以北，太平洋沿岸約佔 80% 以上，其次 70%

第八圖 — 全世界煤之儲量，1913, 7,397,553 百萬噸

第九圖 — 世界各洲煤之分佈

操諸英美二國人之手，儲藏之富，美佔第一，加佔第二，而我國則佔第三位，均在有萬兆噸以下。

上述情形乃根據一九一三年第十二次世界地質學會之統計加以分析，惟近年來蘇聯在西北利亞發現廣大煤田，而其估計深度又由地下一千公尺延至一千八百公尺，故在一九三七年第十七次世界地質學會發表之儲量，較前增加七倍，躍而為世界第六位。

又我國煤礦儲量，據一九三七年之估計為 995587 萬萬公噸，佔世界第三位，至一九三六年中國地質調查所之報告，僅為 19626 百萬公噸，最近調查為 237000 百萬公噸，均較以前減去太多，現已降至第五位矣。

茲根據兩次世界地質學會之報告及中國地質調查所之統計列表如下：

表 IX 表 世界各國煤礦儲量表

國別	煤礦儲量(噸)	佔世界儲量百分數	按各國人口每人應分得之煤量
美國	3838,657,000,000	47.7%	29.79t
蘇聯	1,654,361,000,000	20.5	9.12t
加拿大	1,234,269,000,000	15.3	111.39t
德國	423,336,000,000	5.3	6.26t
中國	237,000,000,000	2.9	5.20
英國	189,533,000,000	2.3	3.78t

印度	79,001,000,000	0.9%	211
法國	17,583,000,000	0.2	102
日本	8,051,000,000	0.1	80
美國	243,000,000		6
其他	376,080,000,000	4.8	
總計	8,059,130,000,000	100%	2290

2. 煤之產量 (Coal production). — 據一九四〇年惠氏年鑑 (Whitaker's Almanac) 之估計，一九三八年世界各國共產煤 1,225,000,000 公噸，就中以美國產煤最多，其次之德、蘇又次之，均在一萬公噸以上，至於我國則值戰時無法統計，未曾列入。若就戰前之情形言之，中國本部及東北四省，每年產煤不過二三千萬噸而已，產量之小，尚不得與日本波蘭比（見第十八表），工業如此落後，能毋警惕！

燃料工業

三

意大利	960,000
日本	46,000,000
滿洲	1,400,000
墨西哥	893,000
荷蘭	1,348,800
印度	1,457,000
紐西蘭	986,000
尼利	389,000
威	780,000
波蘭	38,104,000

燃料工業

第三頁

第十八表

世界各國產煤表 (1938)

國名	噸數	國名	噸數
澳大利亞	1,226,680,000	南羅得西亞 (S. Rhodesia)	998,000
比利時	295,750,000	西班牙 (1934年)	701,700,000
巴西	753,000	瑞典	431,000
坎特大	977,800,000	土耳其	2,589,000
智利	206,100,000	南非聯邦	1,860,800,000
哥倫比亞	332,000,000	美國	2,211,875,000
捷克斯	138,000,000	蘇俄	3,522,326,000
馬來聯邦	486,000,000	蘇聯	1,329,000,000
法國	465,000,000	蘇聯 (約數)	450,000
安南	234,800,000		
德國	186,179,000		
奧地利	230,000		
印度	1,042,200,000		
印度	2,562,200,000		

五 國內狀況

1. 煤之儲量——我國煤礦儲量，據最近中央地質調查所之報告為237,000百萬公噸，列居世界第五位。現在除外蒙及西藏兩省所知甚鮮外，其他各省，無不備之，就中以山西為最多，陝西次之，河南新疆又次之，以浙江為最少，詳細情形，見第

燃料工業

十九表

第九表 中國各省煤礦儲藏量

省	別	儲量(公噸)	全國百分比
山	西	127,127,000,000	53.64%
陝	西	71,950,000,000	30.3%
河	南	7,566,000,000	3.19%
新	疆	6,000,000,000	2.53%
河	北	3,071,000,000	1.28%
四	川	2,828,000,000	1.19%
雲	南	1,935,000,000	0.81%
遼	寧	1,836,000,000	0.77%
山	東	1,639,000,000	0.69%
湖	南	1,385,000,000	0.58%
貴	州	1,370,000,000	0.58%
吉	林	1,143,000,000	0.48%
甘	肅	1,124,000,000	0.47%

廣	西	1,055,000,000	0.45
黑	龍	1,017,000,000	0.43
江	西	694,000,000	0.29
熱	河	614,000,000	0.26
寧	夏	614,000,000	0.26
西	康	531,000,000	0.22
察	哈	504,000,000	0.21
綏	遠	496,000,000	0.20
湖	北	443,000,000	0.18
廣	東	421,000,000	0.18
英	徽	360,000,000	0.15
青	海	274,000,000	0.10
江	蘇	217,000,000	0.09
福	建	110,511,000	0.05
浙	江	100,000,000	0.04
其	他	500,000,000	
合	計	2,370,000,000,000	100.0%

2. 煤之產量——戰前我國產煤數量合本部及東北四省計之，每年約在2,300-3,300萬噸之間(見第二十表)就中以河北省產量最多，山東次之，山西及河南又次之，及至抗戰，政府西遷，產量突減，每年不過五六百萬而已(見第二十八表)其中四川省產煤最

多，陝西次之，雲貴又次之。

第二十表 戰前中國歷年產煤表

年 別	中國本部	東北四省	合 計
民國十四年	17,196,217 噸	7,058,825 噸	24,255,042 噸
十五年	15,045,014	7,995,105	23,040,119
十六年	14,182,456	9,989,553	24,172,009
十七年	15,363,602	9,728,158	25,091,760
十八年	15,186,348	10,251,932	25,437,480
十九年	15,840,679	10,195,934	26,036,613
二十年	18,025,273	9,219,400	27,244,673
二十一年	18,858,436	7,517,879	26,376,315
二十二年	18,802,107	9,576,676	28,378,783
二十三年	20,897,273	11,827,569	32,724,842

煤
林
業

第二十一表 戰時中國歷年產煤表

二十七年	4,700,000 噸
二十八年	5,500,000
二十九年	5,700,000
三十年	6,000,000
三十八年	6,313,000
三十二年	6,617,000

年

戰前我國本部各大煤礦以開灤煤礦規模最大，產量亦最多，據二十二年之調查，產量達四百餘萬噸，係由中英雙方合資經營，此外粗具規模者僅安徽之淮南煤礦，山西之晉北礦務局，河北房山之興業公司，四川江北之天府煤礦，以及廣東韶關之高國公司，其餘規模狹小，設備甚簡，更不足道矣。至於各大煤礦資本之來源及生產狀況，據民國二十二年之統計，其生產能力在十萬噸以上者，本部各省共計三十三個公司，年約產煤一千一百五十餘萬噸，佔本部各大小礦場總產量62.9%。國人投資之礦，共產八百餘萬噸，佔43.4%，英資各礦共產二百八十餘萬噸，佔15.4%，日資各礦共產四十餘萬噸，佔2.3%，德資產量為十七萬餘噸，佔0.9%。

至戰前東北各省煤礦，每年產量達一千萬噸左右，其由日資經營或中日合資經營之場礦，佔全部產額96%，完全由日資經營者，其所產煤亦佔全部產額84%，就中規模最大者為撫順煤礦，全年產額達七百萬噸以上，全由日資經營，現抗戰勝利，為我收回國營。

煤之生產成本連採煤及其他一切費用在內，平均每噸約為五元上下。

3. 煤之進出。——戰前我國煤之輸入，每年達一有萬噸以上，其來源以日本、安南、爪哇及印度為主，出口煤以開灤為最多，青島次之，每年亦達數十萬噸乃至百萬噸不等，出入總數量二十一年為

914,430噸，二十二年為1,396,129噸，二十三年為226,440噸。

東北四省輸出之煤，每年達四五百萬噸，以輸出日本為最多，次為我國及朝鮮。

煤之消費——我國自二十一年至二十三年依照煤之產量及進出口數目計算，本部各省每人每年平均煤之消費數量僅為0.047噸（見第二十二表），而世界各國銷煤量如以1938年為一列，英美德法諸國每人每年用煤自一噸至五噸不等，即日本亦較我國高至十倍以上（見第二十三表），我國工業落後可以概見！

燃料工業

第二十二表 我國煤之消費表

年別	產額	入超額	消費量(噸)	人口(兆)	每人平均消費噸數
二十一年	1,864,786.3	914,431	1,956,229.4	4.32	0.045
二十二年	1,870,668.0	1,396,129	2,010,280.9	4.32	0.048
二十三年	2,073,273	226,440	2,093,671.3	4.32	0.049

第二十三表 中國煤礦佔產量產量銷量與各國比較表

國別	面積	人口	每哩人口密度	每人儲量	有百分比	每人銷量
中國(本部)	3,813千英里	432百萬	113	550噸	1.7%	0.05
(東北四省)	436	29	58	160	0.9	0.22
美國	2,973	122	41	2,979.1	29.0	2.8
英國	94	46	489	3,780	18.0	5.0

十一

法國	212	22	196	102	10	1.0
德國	181	65	363	6264	220	2.8
俄國	8211	165	19	2226	7.0	0.82
意大利	119	41	344	6	207	0.2
日本	127	64	127	80	3.0	0.55

茲更就煤之用途分配加以分析，如第二十四表，我國本部煤之消費共為20945,000噸(二十三年)其中50%用作家庭燃料，而用於鐵路輪船礦冶及新式工業者不過1000萬噸，又家用煤1050萬噸中滬漢天津及廣州各處共銷去700萬噸，可知我國不僅工業落後，大多數人民尚未能達到用煤之水準也！

第二十四表 中國煤之用途分配表

用 途	噸 數	百分比	
鐵路用煤	1,750,000	8.4	
鑛冶用煤	1,595,000	7.6	
輪船用煤	1,100,000	5.4	
家用煤	10,500,000	50.0	蘇蒙及鄉間小工業等均包括在內
新式工業	6,000,000	28.0	
共 計	20,945,000	100.0	

第三章 煤之根源生成與分類

吾人欲明瞭煤之本性，成分及其種類，必先了解煤究由何物生成及如何生成，以下就煤之根源生成及分類三者，分別討論之。

一、煤之根源 (Origin of coal)。

據吾人所知，距今約二十萬萬年前，地殼開始凝結，至古生代之石炭紀，始有煤生成，地質計年，距今只三萬萬年，左右，其歷時愈久者，品質愈佳，如無煙煤及煙煤，反之，歷時愈短者，品質愈劣，如褐煤泥煤生成最晚，品質亦最劣，詳細情形，見於下頁表。

次論煤之地理分佈，世界重要煤田，幾均在北大西洋及北極圈內，如西北歐及北美東部，大部屬於古生代之石炭紀，他如印度洋一帶之煤田，包括中國、印度、澳大利亞及南非，則生成較晚，屬於二疊紀、三疊紀或第三紀。此外北美及澳洲內地之煤，亦有屬於中生代者，而近生代之煤，則以太平洋

代	
新生代 (Psychozoic)	第一
近生代 (Cenozoic)	第二
中生代 (Mesozoic)	第三
古生代 (Palaeozoic)	第四
元生代 (Proterozoic)	第五
太古代 (Archaozoic)	第六

第四圖表

煤之地質年代

紀	世	煤之種類	時期
第四紀 (Quaternary)	沖積世 (Alluvial)	泥煤	100 萬年前
	洪積世 (Diluvial)	泥煤 褐煤	
第三紀 (Tertiary)	復新世 (Pliocene)	褐煤	4,000 萬年前
	次新世 (Miocene)	褐煤	
	中新世 (Oligocene)	褐煤	
	漸新世 (Eocene)	褐煤	
	始新世 (Paleocene)	褐煤	
白堊紀 (Cretaceous)		褐煤 烟煤	14,000 萬年前
侏羅紀 (Jurassic)		烟煤	
三疊紀 (Triassic)		烟煤	36,000 萬年前
石炭紀 (Permian)		煙煤 無煙煤	
炭紀 (Carboniferous)		煙煤 無煙煤	
盛紀 (Devonian)		無煤 炭	
泥盆紀 (Silurian)		全上	
奧紀 (Ordovician)		全上	60,000 萬年前
武紀 (Carbonian)		全上	
志紀 (Algonkian)		全上	
		全上	80,000 萬年前

燃料工業 P. 309

沿岸為北美東部，日本及紐西蘭為主要產地，次如墨西哥灣及地中海沿岸亦屬產之。

煤之分佈既廣，歷時又久，究竟煤由何物生成，固不能不問。通常植物由根部吸收水分及微量礦鹽，由空中獲得二氧氧化碳氣，乃在綠葉素部分受日光作用變化為糖及澱粉，更進而為木質(lignin)及纖維。石炭紀時間之氣候，溫度雨量及濕度，均極適合植物之生長，且當日空氣中所含之二氧化碳之量亦較今日為多，故植物之生長甚快，分佈之區域亦甚廣，所有樹木如鱗木(Lepidodendron)，印草木(Sigillarias)及蘆木等等，均較今日為大。今日之煤層中尚有此類樹木之孢子(Spore)之遺骸，足資辨別。

燃料工業

一七八〇年胡若耿(Franz von Beroldingen)提出泥煤→煤→無煙煤學說(The peat → coal → anthracite theory)，謂一切煤均由泥煤或與之同樣之腐敗植物堆積分解而成。

六. 煤之生成(Formation of coal)。— 煤由植物生成已如上述，惟贊成此說者又分二派，即本位生成說(In site theory)與移位生成說(transport theory)茲分別論之於下：

六六

1. 本位生成說。— 此說謂地沼之地，大地肥沃，灌木叢生，當下層者凋萎，在上者滋長，累次陷落，前仆後繼漸

積漸厚，終成巨量之煤，如此就原來地位生成煤層者，謂之本位生成，其証據如下：

- (a) 現有許多池沼或低下潮濕之處，其逐漸積聚之植物，足以構成巨大之煤田；
- (b) 煤內發見樹之枝幹，其根部位於泥層內；
- (c) 煤田之地位與海面之高度相近，故當煤田微陷時自不免有一部份之泥沙或其他物質沖洗而入；
- (d) 煤層下面有原素生長植物之土壤；
- (e) 煙煤中之燭煤層內，含有巨量之植物孢子。

2. 移位生成說——各地植物被洪流沖積於河口三角洲，然後生成煤層者，曰移位生成，其証據如下：

- (a) 大量之樹木常從蕙女林順流而下；
- (b) 泥煤及褐煤曾在河口三角洲處發見；
- (c) 煤層之上下常發見海產動物之化石；
- (d) 煤內發見魚類之遺骸，尤以英國之燭煤最為顯著；
- (e) 植物之遺跡本末顛倒。

3. 煤之生成經過——上述二說，均各言之成理，持之有故，但不論植物究在本位抑或移位，當其徐徐生煤之際，必係植物最初浸沒淺水之內，或在其他覆層之下，受着細菌作用放出沼氣及二氧化碳。

待地乎漸低，此沼澤中之原生林陷入更深，曠日持久，原

出林之上，必另覆有一層沃土，可供植物重長，如此死生循環，漸積漸多，同時因溫度及壓力關係，此各層腐化之植物，漸漸變化為煤，且其任積，必將大量減少，重量之損失亦必甚多，據估計煤之體積，僅佔原容10%，即其重量，亦僅占原重20-28%。

植物腐化為煤，其變化雖甚複雜，其過程，要不外下列

四步：

(1) 植物在池沼或^{淺水}泥^底之地 (peat-bog)，腐敗^{腐化}時，則比較不穩之成份，先行分解，放出沼氣，二氧化碳及水分剩下一之固體，一部分生成膠質溶液，最後因失水分而變為膠凝體，其比較複雜而穩定之成份，則懸浮水中，多種煙煤中之亮煤層及暗煤層，即由此種成份生成。

(2) 煤因受着上層地殼之壓力，繼續^{去水}，繼續固化 (Consolidation)，同時因地球運動，發生此狀構造 (laminated structure)。

(3) 壓力漸大，溫度漸高 (通常在 700°C 以下)，則烟煤化 (Bituminisation) 作用亦漸漸發生。此時不僅內部分子縮合而失去水份，二氧化碳及甲烷，且由木質之蛋白質得來之酸性的及鹼基性的腐植體 (Humic bodies)，更化而為煤質 (Coal substance)。此外並生成酚之化合物，為煤煙焦^類結核之主要成份。

(A) 烟煤入地愈深，則受地球運動之影響愈大，因之壓力漸高，溫度漸升而無烟煤化 (Anthracitisation) 之作用，亦愈增進。茲以表提要示之如下：

第六系 煤之生成綱要

原物質

木質纖維
植物蛋白
松香油脂及蠟

(i)

(a) 發酵
植物在 濕熱 地區
酵放出 $CH_4 + CO_2 + H_2O$

(b) 水浸
植物浸沒水中成：
(i) 膠質溶液 (膠凝體)

(c) 水運
植物隨水漂流，到處堆積

(ii) 不溶物質

↓

(x)

(a) 煤因受着上層地殼之壓力，繼續去水，繼續固結。

(b) 煤因地球運動，發生底狀構造。

↓

(ii)

煤煤化

煤因壓力加大，溫度升高，發生下列各種變化而生成烟煤：

(1) 繼續去水

(2) 內部分子縮合失去二氧化碳、水份及甲烷；

(3) 酸性的反置基性的腐植體，化合而為煤質。

(4) 生成酚化物，為烟煤纖維性之主要成分。

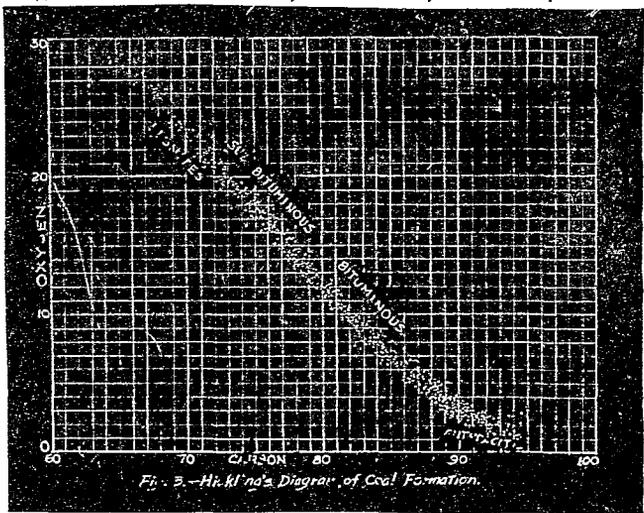
誌

(16)

飛烟煤化

煤炭地球運動之影响愈劇烈，則壓力漸大及溫度漸高而無烟煤之生成亦愈快。

一九二六年拜耳，林(G. Hickling)教授將多種之煤中所含之碳及氮二者之百分率(灰分不計)繪成一圖(如第十八圖)加以分析，所得結果，恰與玩煤→煤→礦

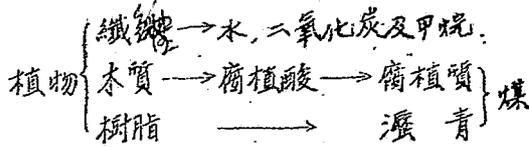


煤與
說相符，
且後類
微鏡分
析亦確
能說明
煤由植
物生成
之說蓋
不誣。

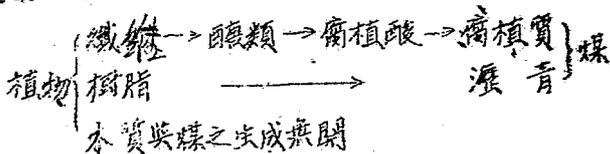
各種煤之生成成分實為纖維及樹脂，但煤在回
過半時，其成分實為木質，若更進一步，則可大別為二，即木質
生成說與纖維生成說。

木質生成說謂植物中之纖維與煤之生成無異，煤之主
要成分實為木質，詳言之，即木質由煤化作用(Coalification)

變為腐植酸，再變為煤之本体之腐植質，終變為煤，瀝青，茲以表示之如次：



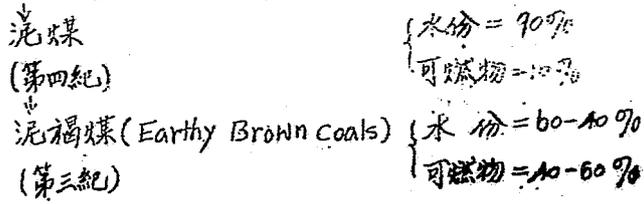
纖維生成說謂植物中之纖維由煤化作用最初變為醱類，次生成腐植酸，再次變為腐植質；同時植物中之樹脂因抵抗細菌之力較大，須經過少許變化，即成瀝青，乃與上述之腐植質結結而成煤，至於木質與煤之生成無關，茲以表示之如次：



總之，煤之生成為纖維抑或木質尚待研究，茲姑以植物為煤之根源，對由植物而泥煤而煤，而泥煤之生成中，其成分之變化如下：



三



片狀褐煤

↓

塊煙煤

↓

煙煤

↓

速煙煤

↓

煙煤

{ 水份 = 40-20%

{ 可燃物 = 60-80%

{ 水份 = 30-10%

{ 煤 = 80-90%

{ 水份 = 10%

{ 煤 = 90%

詳細情形見第十七表

第十七表

由木質變煤之元素分析

原料	根源		泥煤	褐煤			片狀褐煤			* 煙煤	煙煤	無煙煤
	樹	木質 (G.H.G.)		A.	B.	C.	D.	E.	F.			
原料中之水份%	—	—	90	60	40-50	55	39.8	16.0	20	10	2.5	1.0
乾料中之水份%	1.25	—	5.0	7.5	7-10	4.0	7.65	9.0	6-10	7.5	2.75	3.0
乾料之成分(成分%)												
C	50.0	65.65	60.2	64.3	60.3	65.1	67.75	72.6	73.0	75.0	84.7	92.0
H & S	6.0	6.65	5.5	5.85	5.4	5.0	4.30	4.2	5.5	6.0	5.1	3.0
N	1.5	—	2.0	0.9	1.95	0.5	1.55	2.6	1.5	2.4	2.2	1.0
O	42.5	26.70	32.3	28.95	32.25	29.4	26.40	20.6	22.0	16.6	8.0	4.0
C/H 比	8.33	10.0	11.0	11.0	11.15	13.0	15.5	17.3	13.3	12.5	16.6	32.7
揮發物(%) 900°C	75	—	65	55.9	57.8	57.6	45.0	40.3	45.5	45.0	33.0	34.18

第十七表

三十一

長人由上表可知煤愈成熟，則其中炭之含量及C/H比愈增，而
 氣之含量及加熱至 700°C 時發出之揮發物之量愈少。

希爾特定律(Hilf's Law)：一希爾特氏謂隨着尤其是壓力為煤
 之成熟之元素分析，任其煤礦，自上一頁向下取樣，則埋沒
 愈深者其成熟程度愈為增進。

燃料
 性質

三、煤之分類(Classification of coal)：一煤之成熟，固難決定，即
 其分類亦不容易。分類之法，常因人而異，因國而異，未能一致，茲
 擇其最常用者述之於下：

1. 雷格諾-格魯勒(Regnault-Gruner)分類法：一氏根據
 元素分析，差近分析，煤之特性及煤之主要用途等，將煤分
 為褐煤，烟煤，次煙煤及無煙煤四種，最後復經彭蘭(Bone)
 教授加以增訂而成下表，茲稱完善，不過元素分析，需時甚久耳。

第一大表 雷格諾-格魯勒氏分類法

分類	性質	主要用途	成分%			揮發物% 900°C	固定炭% 970	焦之性質
			C.	H.	O+N+S			
A 褐煤	不結塊 短 長	—	60-75	約5.0	20-35	約45	35-55	不黏結
B 烟煤	短 長	反熱爐	75-80	4.5-5.5	15-20	40-45	55-60	不黏結
	短 長	煤氣	80-85	約5.6	10-15	32-40	60-68	極疏鬆
	短 長	煉焦	84-89	5.0-5.6	5.5-11.5	16-22	68-74	焦質甚緻
B.C. 軟烟煤	短 長	煉焦及燒鋼爐	88-92	4.5-5.5	5.5-6.5	18-26	74-82	焦極緻
	短 長	燒鋼爐	80-85	約5.5	10-15	20-25	80-85	微結或不結塊

註
 或

C	无烟煤	燒鍋爐	22-24	30-40	30-45	8-15	85-92	碎末
	不	燒鍋爐及家用				在 80%以下	在 92%以上	

上列數字均指乾燥無灰之煤而言。

吾人由上表可以察知自褐煤至无烟煤其成分有下列变化：

- (a) 炭之含量逐渐增加；
- (b) 氢之含量无甚出入；
- (c) 氧之含量逐渐减少；
- (d) 固定炭渐增；
- (e) 揮發物渐少。

2. 美國分類法 (U.S.A. Classification). — 近年來美國根據煤之近差分析及其物理性質，將煤分為九類，詳細情形見第十九表。

第十九表 美國分類法
(根據美國地質調查所及礦務局之分類)

等級	名稱	差近分析 (灰分不計)				物理性質
		水分 (%)	揮發物 (%)	固定炭 (%)	熱值 英熱單位/磅	
A.	泥煤	90-80	—	—	—	泥煤
B.	褐煤	50-32	25-30	28-37	6,000-8,000	不致聚風成粉 而致小
C.	次烟煤	32-12	32-38	36-50	8,500-11,000	不致聚風成粉 而易因風化 而致小
D.	煤 (低溫)	12-5	39-42	49-53	12,000-13,000	或致聚風成粉 或致聚風成粉 影響甚小
E.	煤 (高溫)	5-35	40-22	55-75	14,000-15,000	不致聚風成粉 影響甚小

長人由上表可知煤愈成熟，則其中炭之含量及C/H比愈增，而
 氧之含量及加熱至700°C時發出之揮發物之量愈少。

希爾特定律(Hilsh Law)：一希爾特氏謂愈老尤其是壓力為煤
 文成熟之必要條件在於煤礦自上一層下層所得樣，則埋沒
 愈深者其愈老，煤質愈為增進。

三、煤之分類(Classification of coal)：一煤之生成，固難決定，即
 其分類亦不容易。分類之法，常因人而異，因國而異，未能一致，茲
 擇其最常用者述之於下：

1. 雷格諾—格魯勃(Regnault-Gruner)分類法：一氏根
 據元素分析，差近分析，煤之特性及煤之主要用途等，將煤分
 為褐煤，烟煤，次烟煤及無煙煤四種，最後復經彭蘭(Bone)
 教授加以增訂而成下表，茲稱完善，不過元素分析，需時甚久耳。

第十表 雷格諾—格魯勃—氏分類法

分類	性質	主要用途	成分%			揮發物% 900°C	固定炭% 900°C	焦之性質
			C.	H.	O+H ₂ S			
A 褐煤	較長 不結塊 不發煙	—	60-75	約5.0	20-35	約25	55-58	不黏結
B 烟煤	較長 不結塊 不發煙	反船爐	75-80	4.5-5.5	15-20	20-25	55-60	不黏結
	較長 結塊 發煙	煤氣	80-85	約5.5	10-15	32-40	60-68	極疏鬆
	較長 結塊 發煙	煉焦	85-89	5.0-5.6	8.5-11.5	26-32	68-74	焦質緻緻
B.C. 軟烟煤	較長 結塊 發煙	煉焦及鑄鋼	88-92	4.5-5.5	5.5-6.5	18-26	74-82	焦質緻緻
	較長 結塊 發煙	煉鋼爐	90-92	4.0-4.5	4.0-5.0	15-20	80-85	微結或不結塊

C 無煙煤	中 無煙煤	燒鍋爐	92-93	20-40	30-45	8-15	55-32	碎末
	小 無煙煤	燒鍋爐及家用				在 8以下	在 22以上	

上列數字均指乾燥灰之煤而言。

吾人由上表可以察知自褐煤至無煙煤其成分有下列變化：

- (a) 炭之含量逐漸增加；
- (b) 氫之含量無甚出入；
- (c) 氧之含量逐漸減少；
- (d) 固定炭漸增；
- (e) 揮發物漸少。

2. 美國分類法 (U.S.A. Classification). — 近年來美國根據煤之近差分析及其物理性質，將煤分為九類，詳細情形見第十九表。

第十九表 美國分類法

(根據美國地質調查所及礦務局之分類)

等級	名稱	近差分析 (灰分不計)				物理性質
		水分 (%)	揮發物 (%)	固定炭 (%)	熱值 英熱單位/磅	
A.	泥煤	90-80	—	—	—	泥煤
B.	褐煤	50-32	25-30	28-37	6,200-8,200	不易風化 易風化 易風化 易風化
C.	次煙煤	32-12	32-38	36-50	8,550-11,000	不易風化 易風化 易風化 易風化
D.	煙煤 (低)	12-5	39-42	49-53	12,000-13,600	不易風化 易風化 易風化 易風化
E.	煙煤 (高)	5-35	40-42	55-75	14,000-18,000	不易風化 易風化 易風化 易風化

F.	无烟煤	23-23	23-15	7A-8C	15200-15300	质脆弱低灰煤
G.	无烟煤	固定炭 / 挥发物 20-10.0				硬度反无序不 如无烟煤
H.	无烟煤	F.C. / J.M. 在10%以上				无烟煤
I.	无烟煤					灰石呈相似

煤
料
分
类

三
三

第四章 煤之成分及發熱量

一、略說 吾人由前述煤之生成與來源，可知一切之煤不論其地質年代如何，均含有下列二種成分：

A. 有機成分，即所謂煤質 (Coal substance)，為煤之本体，構造複雜分子甚大，係由腐敗植物逐漸變化而成，內含炭、氫、氧、氮、硫等元素，構成各種不同之有機化合物，容易燃燒。

B. 無機成分，即所謂礦質 (Mineral matter)，為煤之本体大部分為在植物煤化 (Coalification) 之過程中與之同時存在之黏土或頁岩所組成，或為採煤之際混入其中之雜質，此外則為構成原來植物之無機物質。

二、差近分析 (Proximate analysis)

1. 吸着氣體 (Occluded gas) 煤由植物生成之際，常有大量氣體放出，此氣體即被煤吸着，但一克之煤吸着氣體之量，從未超過 5 厘，可由常溫或加熱至 100°C 時抽出之。其中之主要成分為沼氣、二氧化碳及氮氣。當煤初由礦內掘出時，一方面放出上述吸着之氣體，時間由空中吸着氧氣，使煤質氧化，故煤之來源不同，則由其中抽出之吸着氣體之成分亦異。下列第廿九表即 1875 年湯麥司 (W. T. Thomas) 就英國所產各種煤研究之結果。

卅
第七表 英國所產各種煙煤吸着氣體之組成

煤	每克吸着氣體 之文揮數	氣體之有分組成			
		CO ₂	CH ₄	N ₂	O ₂
煙 煤	0.559	36.42	0.00	66.78	0.80
	0.551	5.44	63.76	29.75	1.05
次煙煤	0.736	12.34	72.51	14.51	0.64
	2.501	13.21	81.64	4.66	0.49
洗 煤	1.474	18.90	67.47	12.61	1.02
	5.555	2.65	93.13	4.25	—

名水分(Moisture)——煤初出礦時含水量最多，特稱礦水(juit water)，及曝露空中，則水分漸失去，其失去之程度，要視氣候、季節及儲藏情形而不同，風乾已久者，仍會有水分，表細研之置烘箱內於105°C烘1-2小時，即完全乾燥。

3. 礦質(即灰分)——煤含水量之礦質，燃燒後即變為灰。煤之種類不同，則礦質之含量、組成及熔點亦異。通常礦質分下列三種：

- A. 內在礦質(Intrinsic 或 Inherent mineral matter)，為植物生長之主要因素，故與煤密切結合，分布亦甚均勻，非普通洗滌方法所能除去。
- B. 外攪礦質(Extrinsic mineral matter)，係成煤時期或採煤時期僅從外攪入之雜質，內含矽酸鋁X(Al₂O₃·2SiO₂)

煤 水 分

長

H_2O , 硫化鎂 (FeS_2), 石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 及石灰石等。
此種雜質如含量太多或易熔化, 均能影響煤之價值, 故
須用手選或其他洗滌方法除去之。

內在礦質常佔煤重 20% 以上, 鮮有超過 20% 者, 頭等之煤其內
礦質不應多於 7-8%, 若超過 12% 則使用時諸感不便又帶
狀結構之煙煤, 其中三種成分含量及熔點亦各不同, 如礦質
含灰 A-30%, 熔點較高, 暗煤含灰 C-13%, 熔點較低, 亮煤含
灰 C-3% 兩熔點介於礦煤與暗煤之間。

煤灰之顏色純白至深棕不等, 顏色之深淺視鐵之含量而異, 但
其熔點則與成分有關, 通常煤灰之成分以氧化物表示之如第三
十表。

燃
料
工
業

第三十表 煤灰之成分範圍

	英	美
	%	%
SiO_2	25-50	40-60
Al_2O_3	20-40	20-35
Fe_2O_3	0-30	5-25
CaO	1-10	1-15
MgO	0.5-5	0.5-4
TiO_2	0-3	0.5-3
Alkalies	1-6	1-4
SO_3	—	1-12

三
四

K ₂ O	1.47	1.54	0.13	0.92	2.82	0.33	1.98	1.24	1.01	0.89
Na ₂ O	1.71	1.02	1.43	1.70	2.94	0.41	0.50	3.76	1.10	0.39
SO ₃	7.35	10.77	2.51	1.26	1.20	2.70	1.50	2.10	2.14	2.63
熔點	(溫度) 1160	1155	1285	1390	1300	1590†	1490†	1550†	1600†	1600†
	氧化燐	1355	1310	1340	>1450	1400	>1450	>1450	>1450	>1450

此表為英國燃料研究所測定之結果其由
 * Fuel Research Board Technical Paper 23
 十號及由美國燃料協會(1911)之燃料研究所
 Fuel Research Board of Great Britain & Ireland
 所定

~~Fusion temperatures determined by US Bureau of
 ash samples supplied by the Fuel Research Board~~

由上表可知煤灰之熔點與其成分尤其是 Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂ 及 CaO 均有密切之關係。

渣滓之生成 (clinker formation) 一渣滓之生成與否關係甚為複雜，非實驗所能預知，據費爾德 (Feldner) 及賽爾維 (Selvig) 二人之研究，煤灰熔點與渣滓之生成二者有密切之關係，其結論如下：

A. 煤灰之軟化點 (Softening point) 在 1427°C (2600°F) 以上者，不生渣滓，或渣滓甚少；

B. 煤灰之軟化點在 1401°C 及 1427°C (2550-2600°F) 之間者，其渣滓之生成，須視爐火之溫度，爐火之種類，生火之方法及煤灰之成分而異；

三五

C. 煤灰之軟點在 1201°C (2200°F) 以下者，常出燻渣物。

A. 鹽類 (Salts). — 上述礦質為不溶性，但亦有含溶性之鹽者，如鉀鈉、鎂之氯化物。煤之含有此種成分者曰鹽煤 (Salty coals)。

煤質時能腐蝕爐壁，為害甚大，又有煤本本不含此種鹽類而因後來水洗時滲入者，故對於所用之水亦宜注意。

5. 揮發物 (Volatiles). — 煤之價值工業上常視其用途而定。煤之最大用途為製造煤氣，煉製焦炭，發出蒸氣及燃燒煤爐等事。其合用與否又須視煤炭化時放出揮發物多少及殘留爐內之焦炭之性質以為斷。煤有結焦性極強者，亦有根本不結焦者。其含氣多有燃燒時發出長燭，含炭多有燃燒時發出短燭。至揮發物之多少，大都視溫度之高低而定，故測驗時必須注意：(1) 控制溫度務期準確，(2) 加熱或冷卻之時防止煤之氧化，(3) 溫度穩定後所有揮發成分必須完全排出。又測驗揮發物之方法亦甚多，故報告時必須將所用之溫度及方法並及之。

煤之種類不同，則其所含之揮發物亦異如第二十二表 (此表內

成分不計) 減水基

第二十二表 煤之分類 (根據近 10 分析)

	揮發物 (V) 90°C
1. 無烟煤	8 以下
2. 淡無烟煤	8-15

1. 軟煙煤(汽煤)
 2. 煙煤
 3. 叢煤——強焦
 4. ——弱焦
 5. 烟煤——不結焦長柄

15-20 微強焦
 20-30 強焦
 30-35
 35-40 弱焦
 40以上 不結焦

燃料
工業

~~Fixed carbon~~

~~Ultimate analysis~~

五. 元素分析(Ultimate Analysis)

元素分析乃測定乾燥煤樣中碳、氫、氧、硫四者之百分量。至於氮、
 固無完善之直接方法，常以差數計之，即扣除碳、氫、氧、硫、水分
 及灰分六者之百分量由100%中減去，即得氮之百分量。如此所得
 之結果，常不準確，其誤差隨灰分及硫之含量而不同，即其重量，
 亦較原來含量為少。固之氧之含量誤差甚大，例如硫鐵礦經
 燃燒後變為 Fe_2O_3 ，而硫則成 SO_2 而逸去，故 $2FeS_2$ 中之四
 硫原子為三氧原子所代替，其損失量為硫量之量。有人用分析
 所得之硫量之量以計氧量而不用硫之含量者，即以此故。
 然煤中之雜質以矽酸鋁 $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \cdot 4H_2O$ 最為主要，當其
 加熱至 $600^\circ C$ 時，約損失水分10-14%，故亦有人以 $1.06 \times$ 水分
 以補償雜質之損失而以 $0.55 \times$ 硫量以補償硫鐵礦之
 損失者，固之雜質 $= 1.08 \times$ 灰分 $+ 0.55 \times$ 硫量。此外灰質加熱
 失去水分，石灰灰加熱失去 CO_2 ，均能發生誤差，必要時須加

五六

酸處理以測定煤中之 CO_2 ，又測定硫酸根中之硫磺以計
蘇打膏之含量。

炭與氣。— 取一重量(0.25-0.5克)乾燥之煤置入硬質玻璃
管中，通入乾燥之氧使之燃燒，所得產品先以鉻酸鉀除去硫
之氧化物，次以氯化鈣吸收水份，蘇打石灰吸收二氧化碳，分
別秤之，即可稱得炭與氣之有分量，詳細情形見燃料試驗編，
蘇不贊。

氣。— 煤內之氣常以兩種形態而存在，其一可以硫酸浸出，
如胺基化合物及胺基酸之類；另一不能用硫酸浸出，性質比
較穩定，即加熱亦無氣發生，如氮化物之類。測氣之法乃依
克爾達(Kjeldahl)氏之設計將煤與硫酸共煎煮沸使所生
硝精變為硫酸銨，次蒸出硝精，通入鹼內，多餘之酸，以苛
性鈉補足之，即可稱出氣之含量(參見燃料試驗編)

硫。— 煤內含硫無論從任何方面言，均屬有害，其形態有
硫鐵礦(FeS_2)，硫酸鈣($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)及有機硫三種。
硫酸根中之硫磺在煤含量最少(0.1-10%)，為害不大，硫
化物中之硫磺則含量較多(0.2-3%)，然可除去之。有機硫
則為煤質之主要成分，無法去掉。

煤燃燒時，其大中部硫磺均變為二氧化硫而逸去，此雜
質方得生存，損壞財產。又煤乾餾時一部分硫磺變為
 H_2S 、 CS_2 及萘吩，其餘仍存焦炭內無論加熱或冶金均為

有害。

硫之測定乃依埃司卡(Eshka)之方法將煤粉與氧化鎂及碳酸鈉充分混合煅燒後所得之硫化物加溴水處理使氧化為硫酸鹽然後以氯化鋇沉澱之即可莫出硫之含量(手續詳燃料試驗編)。

燃料
工業

四、發熱量(Caloric value)——將一定量之煤或其他燃料完全燃燒之後其熱傳達於量熱計之木內復冷至常溫由水升高之溫度即可求得煤之總發熱量發熱之單位有二其一為英熱單位(British thermal unit)此乃水一磅由62°F升高至63°F所需之熱量另一為米制(Metric system)其發熱之單位為大卡(Caloric)或(Kilogram-centigrade unit)即水克1000升高至16°C所需之熱量二者之關係如下:

$$1 \text{ K.C.U.} = 3.268 (\text{約等於}) 1 \text{ B.T.U.}$$

$$1 \text{ B.T.U.} = 0.252 (\text{約等於}) 1 \text{ K.C.U.}$$

惟以B.T.U.表示之值通常均以一磅之物料為準而卡則以冠或一克為準故二者之關係又可換算如下:

$$1 \text{ K.C.U. / Kg.} = 1.8 \times \text{B.T.U. / Lb}$$

$$\text{或 } 1 \text{ B.T.U. / Lb.} = 0.252 \times \text{K.C.U. / Kg.}$$

又煤中會有氮的成分故所求得之發熱量則變為水蒸氣亦有毛值(gross value)與淨值(net value)之分毛熱值包括水蒸氣凝縮放出之熱(測定熱值時室溫為15°C或60°F)淨熱

三十七

值則否，故二者之差，即為水之蒸發熱。

發熱量之測定，以彈式量熱計(Bomb calorimeter)比較可靠。詳細手續，見燃料試驗編，茲不贅。所需注意者，此法乃在等容而非在等壓之情況下測定熱量，惟用之於煙煤或無煙煤則無甚關係，蓋如 $C_9H_{10} + 10O_2 = 9CO_2 + 2H_2O$ ，容積之變化不大，故所謂定容或定壓，固無甚何差別也。

煤之熱量，除用量熱計直接測定外，亦可依經驗得來之公式算出，如 $Q = \frac{1}{100} (8080C + 34460(H - \frac{O}{8}) + 2250S)$

式中之C, H, O及S乃代表乾燥煤樣中四者之有分量，而Q則為每千克煤之大卡數，所得結果與由彈式量熱計得來相近。

又煤愈成蒸則炭之含量愈多，氧之含量愈少，而發熱量愈高，如第二十四表。

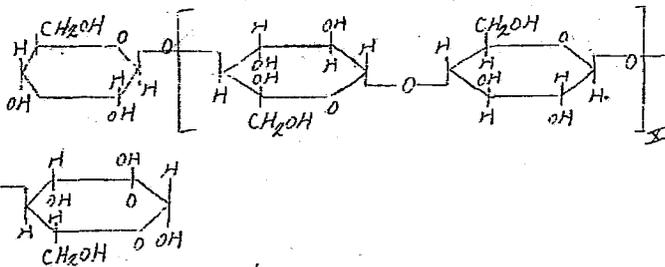
第三十四表 各種燃料之成分及發熱量比較表

	C(%)	H(%)	O(%)	H(%)	發熱量(大卡/磅)
木材	50.0	6.0	43.5	0.5	4300-4300
泥煤	50-60	4.5-6.8	38-48	0.75-3.0	5000-6000
褐煤	60-75	5.0	20-35	0.75-1.75	6000-7000
煙煤	75-90	4.5-5.5	5-15	0.75-1.75	8000-9000
無煙煤	90-95	2.5	3.0	0.5-1.0	8000-9000

第五章 煤之化學構造

一、略說。——煤之利用為時已久，但至十九世紀末葉，尚無人知其化學構造。今日科學昌明，工業發達，煤之利用亦與日俱增，然苟欲運用得宜，非將煤之化學構造詳加研究，澈底明了不可。前言煤由植物堆積廢化而成，則欲明了煤之化學構造，必先對於植物之組成加以研究。通常植物係由纖維、木質、植物蛋白、澱粉、脂肪及蠟等等組織而成，茲分述如下：

1. 纖維 (Cellulose)。——纖維 ($C_6H_{10}O_5$) $_n$ 為環狀炭水化合物，但非苯型構造 (Non-benzenoid structure)。據一九二三年霍華士 (Haworth) 氏之研究，纖維之構造式如下：



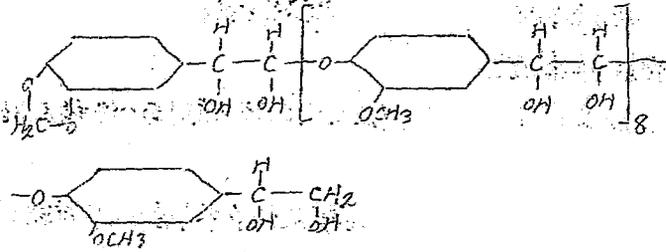
此外尚有少量之半纖維 (Hemi-cellulose) 及六碳醣 (Hexoses) 等等。通常木材 (纖維、木質、澱粉) 含有：

$$C = 42.0 - 50.0, \quad H = 6.0 - 6.5, \quad O = 43.0\%$$

2. 木質 (Lignins)。——木質亦為環狀炭水化合物與纖維相似，但為苯型構造 (Benzenoid structure)。通常含有 $C = 61 - 65, H = 6.0$ (約), N 及 $S = 1, O = 32 - 33\%$ 除羧基

燃
社
業

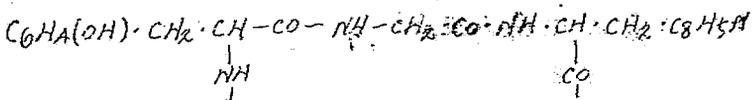
(-OH)外,尚含有甲氧基(-OCH₃),據一九三〇年傅魯敦(Freuden-bery)氏之研究,其構造式如下:



3. 植物蛋白 (Vegetable proteins). — 植物蛋白含有下列之成分:

- C 50.0 - 55.0 %
- H 6.9 - 7.3 %
- N 15.0 - 19.0 %
- O 19.0 - 22.0 %
- S 0.3 - 1.0 %

水解之,則有鏈體的及環體的胺基酸 (Amino-acids) 發生,故其構造中必含有如下之鏈:



植物乾燥後,常含有蛋白 5-15%,較之纖維或木質更易腐敗,

4. 松香、脂肪及蠟 (Resins, fats and waxes). — 松香中會消 (α) 松香醇類 (Terpenoids) 內含酚類及環醇類有

Resinols

-OH基及-OCH₃基。(b) 松香酸類 (Resin-acids), (c) 不蒸化之松香醇類 (a) 不蒸化之松香精 (Resene) 及 (e) 容易
醇酸之鞣酸。

植物為高，取時將酸所成之甘油酯，若則為一醇及脂
肪酸形成之酯。

上述成分較之纖維或蛋白質穩定得多，不易腐化。木材乾燥
後，所含上述成分鮮有超過1%者。

植物中之各種成分，經過長期堆積與腐化，結果變而為煤。
又因時間之不同，始變泥煤，繼變褐煤、煙煤，最後更為蒸
煙煤。以煤其母體植物較，究竟其中成分有何變化，性質有何
差異？換言之，即煤之化學構造如何？實為今日急待解決之問題。
研究之者常從下列三方面着手：

1. 熱解法 (Thermal decomposition)

2. 浸取法 (Extraction)

3. 氧化法 (Oxidation)

A. 鹵化法 (Halogenation)

二、熱解法。——將煤加熱至1000°C左右而逐步考察其所生
變化，則見有下列現象發生：—

(a) 在110°C以下，有吸着氣體放出。

(b) 200°C左右發生縮合反應 (Condensation) 放出蒸氣及
二氧化碳，但此種反應尚未涉及內部主要分子之破壞。且煤

燃料
工業

三九

非均態物體，常雖有少量之蜡及松香質，加熱時，在煤質尚未分解之前，即液化而出。煤質初解溫度 (Temperature of initial decomposition)，據狄里士 (Delesse) 氏之研究，泥煤為 250°C，褐煤為 300°C，煙煤為 400°C。一般言之，煤之初解溫度隨其成熟之程度而增高，但非定則。

(c). 300°-400°C 之間，有油點 (Oil point) 發出，此油點先由煤質分解或松香及蜡液化而來，尚無定論。

茲詳細論述之於下：—

2. 褐煤 褐煤熱解，即依次發出三種變化 (i) 放出二氧化碳及蒸汽，似為內部縮合作用而非分子破裂，(ii) 放出甲烷及其他烴化物，係由複雜煤 (Coal complex) 中之鏈體支鏈分解而來，(iii) 最後始放出大量之一氧化碳及氫氣。

上述三種變化，雖為連續的，獨立的，但多少為重疊的，或在某種溫度範圍內同時發出，不過其量有多少之差異而已。

茲試取摩威爾 (Murwell) 及達里希 (Rhenish) 二地所產之褐煤，於去蜡乾燥後，秤取 100 克，加熱之，細察其變化，詳細情形見第三十圖表及第三十五表。

第三十五表 摩威爾所產褐煤 100 克 加熱後所
出氣體之源數

溫度範圍	H ₂ S	CO ₂	CO	CH ₄	CHAR C ₂ H ₆ + C ₃ H ₈	H ₂
375°C 以下	56	3290	153	12	—	—

375°-500°	1A9	A585	1A22	72	1674	—
500°-700°	101	510	2215	376	2076	2110
700°-850°	56	2315	2580	—	1010	6050
總數	362	10,700	6370	488	5380	8160
	375°C以下		375°-500°	500°-700°	700°-850°	
氣變為灰渣化 (CO ₂ +CO)	A83		7.62	2.35	5.10	
化合物之克數	H ₂ O - A87		1.98	1.23	1.34	

第卅表 達黑希爾度油煤100克加熱後所共氣體之總數

溫度範圍	H ₂ S	CO ₂	CO	C _n H _{2n}	$\frac{C_nH_n}{C_nH_{2n}}$	H ₂	H ₂
300°C以下	無	2920	247	10	無	無	13
300°-420°	18	4272	860	235	7.1	Nil	38
420°-500°	10	1098	583	133	1890	A96	34
500°-600°	13	1104	850	A1	1395	1000	107
600°-700°	無	567	1730	AA	1605	3160	251
700°-800°	無	179	1108	5	291	3000	289
總數	31	11,020	5387	A65	61A7	7656	728

吾人由上表所述四種主要氣體 ~~為~~ CO₂, CO, C_nH_n, 及 H₂ 可以察出: (i) 在油器溫度 (一為 375°C, 一為 300°C) 或蒸餾油器溫度, 而在 500°C 以下之溫度範圍內, 二氧化碳常為主要之成分; 其一占總數四分之三, 另一占七分之二;

(ii) 100°-700°C 之間, 甲烷大部放出;

(iii) 氫氣及一氧化炭放出最晚，大都在 700°C 以上之溫度熱解完成後，煤中之氧均變為蒸汽及炭之氧化物而放出。以上僅就氣體之分成而言，至全部產品以摩威爾福煤為例，則得第三十表

第三十表 摩威爾福煤熱解後之產品

溫度 $^{\circ}\text{C}$	500°	700°	850°
殘渣	67.6%	53.3%	50.0%
水	7.7%	2.1%	10.6%
油及煤膏	3.5%	8.3%	3.3%
氣體	19.4%	26.6%	35.6%
總數	98.2%	97.3%	100.1%

不煙煤——煙煤如熱解時變化，~~一~~煙煤所不同者，煙煤煤化之程度愈高，含氣愈少，則其最初發失之氣體之量亦愈減小。

一九一〇至一九一四年柏哲士 (Burgess) 及惠勒 (Wheeler) 氏取南約克郡 (South Yorkshire) 之煙煤加以研究。此種煤 (噴沙礦) 中含 $C=80.50$, $H=5.45$, $N=1.12$, $S=2.93$ 及 $O=9.9\%$ 。據於其中，以熱解，至 350°C 時突有巨量之氣體發失，可知煤在此時始因熱而開始分解，在 350°C 以下，只有少量之吸着氣體放出，此外

水於^時200°C放出硫此要於^時270°C放出油^時310°C放出詳細情形見第三十表。

第三十表 煙煤真空蒸餾之結果

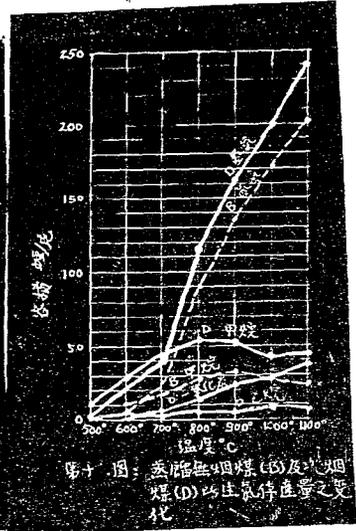
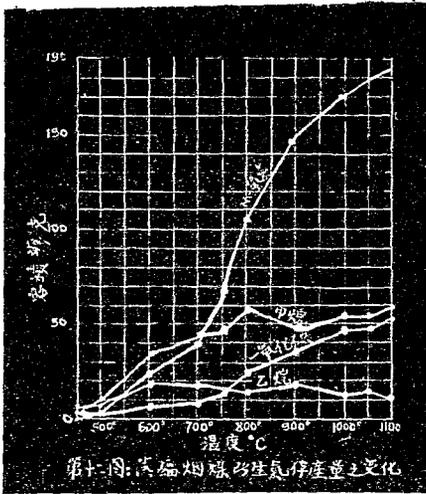
溫度	100°以下	100-200°	200-300°	300-350°	350-400°	
100克煙煤放出氣體之總數	34.0	65.5	58.5	98.5	100.0	
常壓下計數 H ₂ S	—	—	—	1.70	0.70	
氣體之百分組成	CO ₂	6.7	8.85	35.35	20.95	2.85
	CO	1.4	2.66	10.50	3.10	3.10
	C ₂ H ₄	0.85	0.85	1.05	1.90	2.35
	C _n H _m	1.30	2.90	18.85	7.90	6.15
	C _n H _{2n+2}	84.55	81.00	18.85	39.32	46.55
	H ₂	1.90	2.75	12.35	15.35	36.90
	O ₂	1.65	0.90	—	—	—
附註	丙烷以上之煙化物	一烷以上之煙化物	H ₂ 於270°開始放出	300°時H ₂ S停止放出	350°時所有煙化物分解	
	200°以下放出之氣體	200°時開始出水, 310°時出油				

稍惠二氏繼續升高溫度於450-1100°C. 研究:

- (i) 氣體之發熱率,
- (ii) 氣體之體積及成分,
- (iii) 煤膏之度量結果發見②甲烷及其他石蜡屬烴化物於350°C

以後急劇發出，至700°C，幾全停止，(2)至700°C時，突有大量之氮氣發出(3)一氧化氮與氮氣相伴而出，詳情見圖。

燃料
工業



吾人由前述可知，煤類性質與其所採取之溫度反應所得之結果，其關係之密切，或至受其影響。

2. 液體煤：無煙煤—— 賴惠六氏將亞細亞煤及無煙煤(如前中之A及B)加以不同溫度之裂解，其結果與第一圖極為相似，不過就其裂解之溫度而言，因煤化之程度不同，其裂解之溫度亦不相同。

字

3. 氮化煤—— 煤內所含氮之成分，因煤質不同，其含氮物蛋白質分解得來，含有氮胺基(NH₂)而與氨基酸化

會為一複雜化合物(Neutral complex)遇高蒸則分解而為氮氯化氣或氮氣。此外煤中亦有少量存在如吡啶之類其大部分係以氮化物(Nitride)存在於焦炭中。格士(Christie)氏之研究氣煤於350°C時放出氮氣。無煙煤於450°C放氮，但以500-700°C放氮最多，至700°C以上幾完全停止。

一九一四年利默也(Sunbrook)氏研究煤熱解時氮在各種產品中之分配情形。所得之煤含氮1.3%。灰63%。其他分配情形見第二十八表。

第二十八表 煤熱解時氮之分配情形

溫度	煤中下列各物中之分配 (%)				
	焦炭	煤氣	氮	液體	灰
600	91.69	18.13	9.81	2.12	65
700	65.43	12.13	18.13	—	66
800	62.65	12.93	21.58	5.01	67
900	58.40	12.14	21.2	11.1	68
1000	49.98	20.73	22.5	4.1	69
1100	41.39	30.51	23.09	5.90	70
1200	26.23	45.16	22.37	—	71

吾人由表可知氮之逸出以在700°C時之數為最。其後此時仍有50%之氮存留於焦炭中，即再升溫度至1200°C亦尚

有25%之氮未能放出。

5. 硫化物。——煤中之硫，常以三種形式而存在，即

(i) 黃鐵礦 (FeS_2);

(ii) 石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$);

(iii) 有機硫化物。熱解時，約有四分之一或三分之一之硫分解而為 H_2S , CS_2 , 噻吩, 硫醇及硫醚等等，^硫氣而出，其餘仍留於焦炭中。

振柏坡大及惠勒二氏之研究，煙煤熱解至 $270^\circ C$ 時有 H_2S 放出，至 $500^\circ C$ 時幾完全停止。其他如噻吩及二硫化炭，均為高溫度時之產物。

6. 結論。——煤熱解後所得結果，茲概括之如下：—

(a) 煤加熱至 $200^\circ C$ 為止，則吸着之氣體全被驅出，就中以甲烷及其同族之化合物為主，亦有二氧化碳相伴而出。

(b) 溫度升至 $200^\circ C$ 以上，則有水及二氧化碳同時放出，其放出之量，與煤之熟度或氧之含量成反比，此種作用係由內部分子縮合而起，並非分子破裂。

(c) $200^\circ - 300^\circ C$ 時，有機硫化物分解，放出硫化氫（如煤中含硫甚多，並放出硫醇及硫醚），至 $500^\circ C$ 時始停止作用。

(d) $300^\circ - 500^\circ C$ 時，煤中之氮分解，放出氨氣，至 500° 至 $700^\circ C$ 時，作用劇烈， $700^\circ C$ 以上反應徐緩，即升至 $1900^\circ C$ ，亦不能將氮

先會顯出。

(b) 300°-400°C 時有油滴出，此或由松香及蠟溶化之結果。

(f) 300°-375°C 時煤之主要組成開始破裂，此時有大量之甲烷及其同族之化合物逸出，另外為烯屬烴化物及油。

(g) 氫之逸出較晚，在400°C 以下放出不多，褐煤在600°C，煙煤及無煙煤在700°C 時，均有大量之氫及一氧化碳放出。

(h) 煤中之氧在500°C，至多在300°C 以下，分解為水及炭之氧化物而放出。

三. 浸取法。——利用浸取法以研究煤之構造，為時已久，大都仿照索克司勃(Soxhlet)氏之方法，於常壓時則分別以石油醚、苯及其同族化合物、酒精、醚、丙酮、二氯甲烷、四氯化碳或吡啶等。浸取其中之松香及蠟後，再就所得之煤質加以研究。至一九二四年英國倫敦帝國學院彭蘭(Bow)教授及其同事始於高壓以苯為溶劑而研究之，結果甚佳。茲就其所採用之設備，研究之手續及所得之結果分述於下。

其設備——如第十三圖乃為直徑鋼筒徑4英寸，深12英寸容量7磅，半盛以苯，以鎳鉻絲通電熱之。其上有一杯如C，內盛

煤約50克，裝於尖索克同勒虹吸管相連，然後以100磅之壓力

之中央，裝有安全閥，
壓力計F及冷凝管。

管G，卷之蒸氣上升
至冷凝管後下流，

而入C杯。此裝置
之設計，在使500克

之煤於每平方吋250
—350磅之壓力下，

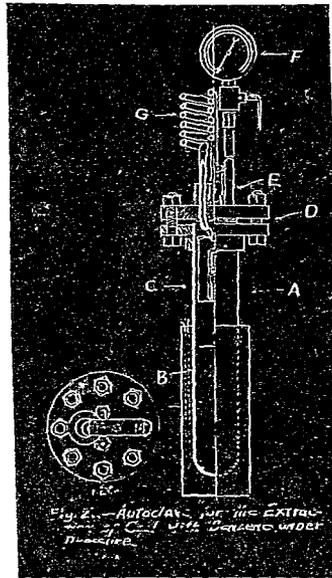
浸出之萃液之虹吸，
每小時約兩次。

名手續——煤粉
碎後過篩(每吋20

篩孔)充分乾燥，
然後稱取500克，

置鐵絲網(每吋100
篩孔)製之器內，

最後放入C杯中，



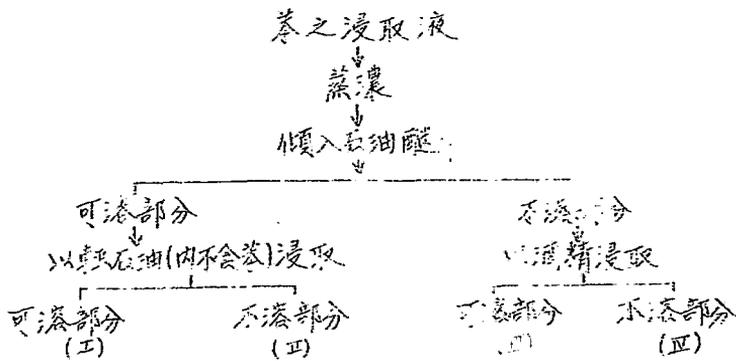
第一圖：於高壓下將煤一萃
浸取煤之裝置

所浸萃液，於 100°C 或 120°C 下於 2 吋之虹吸管
185°C，或壓力 250 磅以下，每 5 分鐘一次，均用新萃
通常第一次浸取最多，第三次最少。

褐煤最好先用索氏抽提器浸取於常壓時以苯及酒精浸取其中之亞且蜡 (Montan-wax) 後再用苯於高壓浸取或煙煤則不必。

3. 結果——上法所得之溶液為紅棕色，有綠色螢光，以煙煤為原料者呈中性反應，褐煤為原料者呈酚性 (Phenolic) 反應，原料不同則所得浸取液之處理亦異茲分述之於下：

1. 煙煤浸取液之處理——蒸液蒸濃又有固體發見時放冷，傾入於五倍其蒸積之石油醚 (沸點 40-60°C) 中則有固體與溶液分離，再分以與石油 (內不含苯) 及酒精處理之共得下列四個部分。



上列四部分之性質如下：

I. 黃棕色溶液，不含氮，中性，黏度與水大致相似， η_{sp}/c 比小於 10，含氧少，能溶於石油醚，為鏈體構造，汽蒸之，復分

為一，其一揮發，其一^{R_v}不揮發者可視為原煤中之中性油 (Neutral oils)。

Ⅱ. 紅棕色固體軟点在60°C以下，C/H比約為13。能溶於四分石油醚及一分苯之混合物中，但不溶於濃度為10%²碳酸鈉或氫氧化鈉內。

Ⅲ. 紅棕色松青質固體，性脆，不含氮，軟点在150°C以下，C/H比約為12.5，較之Ⅱ含氧稍多，能溶於乙醇及氫氧化鈉(10%)，不溶於十分石油醚及一分苯之混合物內。

Ⅳ. 棕色粉末，中性含氮，為無定形，軟点在150°-250°C之間，構造與萘相似，C/H比約為15，不溶於石醚及乙醇。

下列第四表共分三組：

A組為倫敦帝國學院研究之結果，

B組為燃料研究所研究之結果，二者均以英國煙煤為原料。

C組為赫爾(P. E. Hall)博士在帝國學院研究之結果，以南非煙煤為原料。

為六，其一揮發，其一^不揮發者可視為原煤中之中性油 (Neutral oils)。

Ⅱ 紅棕色固體軟點在 60°C 以下， C/H 比約為 13。能溶於四分石油醚及一分苯之混合物中，但不溶於濃度為 10% 碳酸鈉或氫氧化鈉內。

Ⅲ 紅棕色松香質固體，性脆，不含氮，軟點在 150°C 以下， C/H 比約為 12.5，較之含氧稍多，能溶於乙醇及氫氧化鈉 (10%)，不溶於十分石油醚及一分苯之混合物內。

Ⅳ 棕色粉末，中性含氮，為無定形，軟點在 $150^{\circ}\text{--}250^{\circ}\text{C}$ 之間，構造與葶葶相似， C/H 比約為 14，不溶於石油醚及乙醇。

下列第貳表共分三組：

A 組為倫敦帝國學院研究之結果，

B 組為燃料研究所研究之結果，二者均以英國煙煤為原料。

C 組為赫爾 (P. E. Hall) 博士在帝國學院研究之結果，以南非煙煤為原料。

第四表

煙煤浸取之結果(水分)

煤	元素分析				揮發物(%) 900°C 時	結焦性或結焦指數	浸取之有分數					
	C.	H.	N&S.	O.			工.	II.	III.	IV.		
A組												
Yorks' Shafon	77.35	4.95	1.0	13.7	35.5	弱	3.5	2.15	2.3	2.7		
Barnsley Hard	84.7	5.1	2.1	7.8	33.1	頗強	2.2	0.6	0.4	5.1		
South Wales	85.9	4.7	1.5	7.9	22.6	強	1.3	1.1	0.3	5.1		
Durham Hard Coking	85.1	4.9	2.1	7.6	27.0	甚強	1.9	1.7	0.8	7.0		
Durham Busty	87.95	5.0	2.3	4.95	25.5	甚強	3.3	3.0	0.05	2.25		
B組												
Warwick slate	亮煤	80.15	5.5	3.0	11.85	11.8	3	2.3	1.0	2.2	1.3	5.0
	暗煤	82.75	5.3	1.6	12.35	13.3	4	2.4	3.1	0.8	1.0	7.2
Dalton Main	亮煤	83.0	5.3	2.9	8.8	36.6	15	2.9	2.2	2.7	1.7	9.0
	暗煤	84.0	5.1	2.2	8.1	37.8	14	2.6	1.6	3.0	1.1	7.2
Mitchell Main	亮煤	85.7	5.3	2.7	6.3	33.6	21	2.3	2.1	1.8	1.1	2.2
	暗煤	87.3	5.0	1.8	5.9	33.3	16	2.3	1.5	1.7	0.9	10.9
C組												
Ermele Bellevue	75.6	4.9	2.1	15.1	12.0	無	2.7	0.8	1.0	2.5	1.0	
Witbank	(1)	83.5	4.5	3.0	2.0	27.1	無	2.5	0.9	1.2	1.3	3.55
	(2)	82.5	5.1	2.6	9.8	37.95	頗強	1.0	2.35	2.5	1.4	5.95
	(3)	82.3	5.3	3.3	9.1	38.6		1.1	2.1	3.5	0.7	8.2.0

及成分不計)

浸取 總量	焦炭之成分			
	C.	H.	N&S	O.
10.65				
8.3				
7.8				
11.2				
15.6				
9.2	80.9	5.3	2.1	1.6
12.5	80.6	4.6	2.5	1.3
16.3	82.2	5.0	3.0	2.2
14.2	81.5	4.8	2.0	2.9
16.5	82.2	4.9	3.0	7.9
15.3	86.3	4.6	1.4	7.7
5.0	74.0	4.2	2.8	
6.45	81.3	3.9	1.5	1.0
13.25	80.4	4.75	1.85	
15.55	79.1	4.9	1.6	0

一九二四年倫敦帝國學院研究人復將乾
燥之焦煤粉末稱取四分各重9克，分別加
入上表A組中I至IV之成分各重1克，混合
均勻後置電爐中，於900°C之溫度共熱8分鐘，
結果發見I及II無結焦能力，III及IV尤其是
IV結焦能力最強，因斷定成分IV為煙煤
結焦之主要因素，結焦性最強之煙煤中，
含成分IV約5-10%，若依上法於高壓情
況下以苯浸取之，則剩下之焦炭，即失去其結
焦性。

此外一般煙煤及無煙煤中均無結焦性，
故於高壓苯浸之後所得浸出物甚少或竟
沒有。

黃煙煤及褐煤中所含I及II之成分均較
煙煤為多，但III及IV則甚為缺乏，故均不能
結焦。

B. 褐煤浸出液之處理——褐煤去蜡
後，依上述方法同樣處理之，結果雖得
I及II之成分，但III及IV完全沒有，其地位
全被中銜化合物(III)及酸酐衍生物
(IV)所替代，就中含量最多者為酚對位
P.45

甲酚,及其他複雜之酚化物固斷定煙煤中之^粘膠結性,係由褐煤中^四種成分之酚化物變化而來。

四. 氧化法。——上述浸取法雖甚重要,但煤之主要成分,實為溶劑浸取後遺留之固體,本章即研究此種固體之化學構造。如下表所示,煤經浸取後,其所遺留之固體之C/H比,常較原煤為高,且由其遺留固體之C/H比之平均數,可斷定其為^四苯之構造。

第^四表 各種煤及其浸取後遺留固體之C/H比

煤之來源及種類	C/H比	
	原煤	浸取後遺留之固體
Irish 泥煤	10.8	17.2
Morwell 褐煤	13-15	19.2
Rhenish 褐煤	14.0	16.7
	13.7	18.2
Saxon 褐煤	13.0	17.0
	12.8	15.7
Esteva 褐煤	15.7	19.6
Alberta 褐煤	17.3	20.3
S. African (Witbank) 煙煤	18.2	22.2
Dalton Main 亮煙煤	15.5	16.7
	暗煙煤	16.6
Durham 'Busty' 煙煤	17.5	19.5
平均	16.6	18.3

不過含氮較少耳。蓋如^四苯之C/H比為12,由表所列十二種煤所遺留固體之C/H比為18.2,明為一不能和之煤狀構造,其式如

C_6H_4 迄今最近經種種化學研究，已能確証其構造為苯。研究上最通用之方法為煤之鹼性過錳酸鉀氧化法 (The Alkaline per manganate oxidation of coals)。茲先述其有關理論然後再就其研究方法及所得結果檢討之。

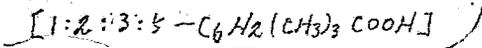
一九二六年彭蘭氏發見煤經高压苯浸取後其所遺留之固體，可以鹼性過錳酸鉀氧化之，使之完全變為液體，蒸濃之即有酸性氧化物結晶而出，以苯四酸及苯六酸 (Benzene tetra- and hexa-carboxylic acids) 為主，自是以後，研究益力，証明煤之主体實為苯之構造，只係由木質 → 泥煤 → 煤 → 無煙煤等逐步變化而來。

通常環狀化合物經鹼性過錳酸鉀氧化後，則最近苯核之支鏈中之碳元子首先氧化，生成羧酸或其衍生物，其餘支鏈則變為草酸或二氧化碳，又苯環中會有氫氧基者易變氧化，并在此會有氫氧基處發生分解。

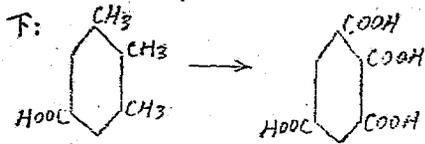
據倫敦帝國學院研究報告，炭水化合物為葡萄糖、麥芽糖、澱粉及纖維素等氧化後，則得二氧化碳、醋酸及草酸如：

	葡萄糖	麥芽糖	澱粉	纖維素	
炭在右列各物中之分配 (%)	二氧化碳	60	60	65	48
	醋酸	10	10	10	3
	草酸	30	30	25	49

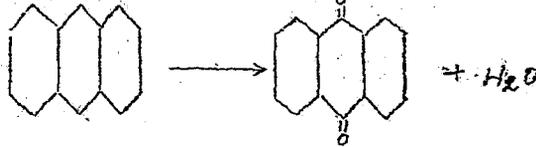
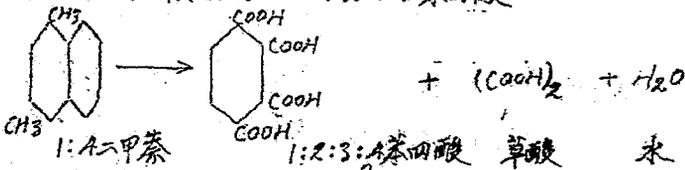
Tri-methyl benzoic acid



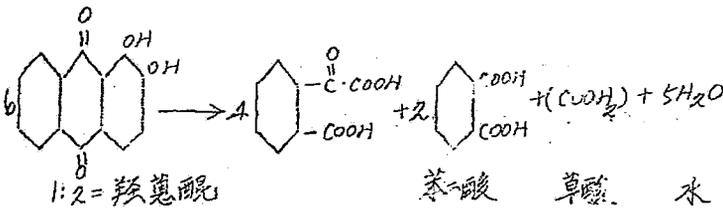
又三甲苯酸氧化後，變為1:2:3:5-苯四酸；1:4-二甲苯(1:4-Dimethyl naphthalene)氧化後變為1:2:3:6-苯四酸及草酸，萸氧化後變為萸醌不再氧化，只含有氧基者，則氧化較易如1:2-二羥萸醌氧化後變為(Phthalonic acid)，苯二酸(phthalic acid)，草酸及二氧化碳，其反應如下：



1:2:3:5-三甲苯酸 1:2:3:5-苯四酸



萸 萸醌 水



上述所得之草酸或苯酸，須再經長時間處理亦難氧化。
 若將煤用上述同樣處理，則先出膠質質酸，(Colloidai
 fume acids)及二氯化炭，最後出苯酸草酸及一氧化炭，但
 亦有少量之醋酸生成。如以泥煤或褐煤為原料更可發見少量
 之丁二酸 (Succinic acid)

一般言之，從泥煤 → 煤 → 無煙煤之過程中，煤質愈成熟愈
 難氧化。

實驗——乾標之煤在未經浸取以前，以鹼性過錳酸鉀
 處理之，雖亦容易氧化，且其結果與以業經浸取之同種煤質
 者相同，但所用之煤，常須經過研細過篩(10孔篩)及去錯等工
 作後再氧化之，其最常用之方法，為炭配法 (Carbon Balance
 Method)，即研究煤氧化後，其中之炭究如何分配於各個氧
 化物內之方法也。

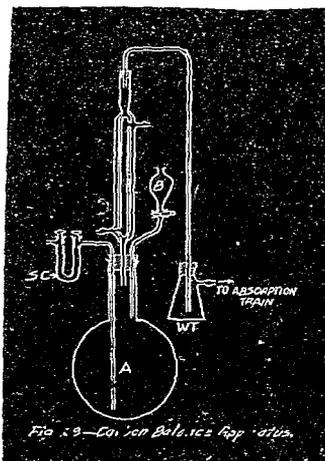
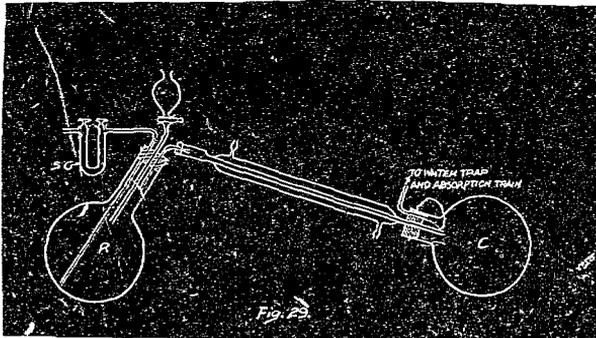


Fig. 29—Carbon Balance Apparatus

如第1次實驗，取水60克，加入10克，以蒸餾水，預先將水置於
 銅8克，然後將乾燥之煤5克，填入其中，裝置既完，即予加熱，
 至沸，乃由B滴入過錳酸鉀15克，則至不再逸出為止，此時
 需之量，記下（通常為5升），至所逸之二氧化碳，通入不銹鋼之
 炭之空氣，顯出之，經通氣化錳，然後用鼓法，吸之，之後重量
 之差，即為二氧化碳之量。

狀
 科
 大
 業



四
 八

實驗既終，A瓶內含有 H_2CO_3 、錳酸鉀、草酸鉀之殘渣，可
 成之鉀鹽與二氧化碳，滿區，腐敗，草酸鉀分解，以水沖洗。

之，至不含鹼液，乃將殘液及洗液置第十七圖之R瓶中蒸濃之，至不及1升而止，蒸濃時通入不含 CO_2 之空氣，既蒸濃後，冷却之，傾入量瓶中，以不含 CO_2 之水配為1升，依下法分別試驗。

(i) 取上述溶液100 厘，置十六圖之A瓶中，乃由B徐徐滴入硝酸（濃硫酸3 厘稀釋之為100 厘），加熱至沸，保持10 分鐘，然後冷却，冷却前後均須通入不含 CO_2 之空氣，使反應時發出之二氧化碳盡被吸收，秤量所得，減去氫氧化鉀內原含之二氧化碳（即 H_2CO_3 ）之重，即可算出煤質氧化後放出之 CO_2 之總重。

(ii) 次取出A中之液體，再置第十七圖之R中，用蒸汽蒸餾之，然後將C中冷凝之溶液，以 $\frac{1}{10}$ N NaOH 滴定之，即可算出醋酸之重。

(iii) 將量瓶中所剩之溶液900 厘，用以測定草酸及各種羧酸之重。

不結果：

(a) 纖維——纖維以鹼性過錳酸鉀氧化後，即得二氧化碳及草酸如：
 $2C_6H_{10}O_5 + 21O \longrightarrow 6CO_2 + 2(COOH)_2 + 7H_2O$
但無苯化物及醋酸發出，已如前述。

(b) 木質——木質氧化後，可得碳酸、醋酸、草酸及各種羧酸，其量如下：

木質之炭分配如左(%)	}	CO ₂	57-60
		醋酸	3-6
		草酸	約 20
		各種苯酸	12-16

燃

所得之各種苯酸以苯四酸、苯五酸及苯六酸為主，但無丁二酸發見

料
工

(c) 泥煤 — 泥煤氧化後，可得炭酸、醋酸、草酸及各種苯酸其量如下：

業

泥煤之炭分配如左	}	CO ₂	46-49
		醋酸	3-5
		草酸	15-28
		各種苯酸	10-25

各種苯酸以苯四酸、苯五酸及苯六酸為主，尤以苯五酸較多，此外尚有少量之丁二酸存在。

(d) 褐煤 — 褐煤氧化後其中炭之分配如下：

褐煤中炭之分配(%)	}	CO ₂	45-59
		醋酸	2-8
		草酸	9-23
		各種苯酸	22-33

單
九

各種苯酸自苯二酸至苯六酸均有，惟以苯五酸及苯六酸較多，此外有少量之丁二酸。

(2) 煙煤——煙煤氧化後其中炭之分配如下:

煙煤中炭之分配(%)	CO ₂	36-41
	醋酸	15-45
	草酸	約13
	各種苯酸	39-46

各種苯酸以苯二酸、苯五酸及苯六酸為主，其平均組成與苯三酸相近，但無丁二酸存在。

(3) 無煙煤——無煙煤氧化作用極慢，氧化後其中炭之分配如下:

無煙煤中炭之分配	CO ₂	43.2
	醋酸	1.9
	草酸	6.8
	各種苯酸	49-50

苯酸種類頗多，以苯五酸及苯六酸為主。

3. 討論

(1) 前述各節，說明煤中之主要成分，不僅為苯之構造，且確由木質逐步變化而為泥煤、褐煤及無煙煤等等，如第四十二表。

第四十二表 炭之分配：木質——無煙煤

炭之分配(%)	木質	泥煤	褐煤	煙煤	無煙煤
1) CO ₂	59-60	49-61	45-59	36-42	43
2) 醋酸	25-60	30-53	39-75	15-45	2
3) 草酸	20-21	15-28	9-23	13-14	7

(A)各種苯酸	12-16	10-25	22-31	39-46	50
(A)/(B)比	0.5-0.75	0.65-0.9	1.5-2.0	3.0	7.0

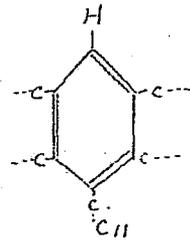
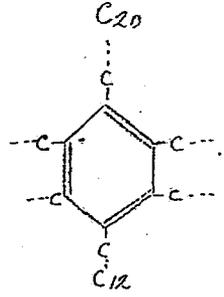
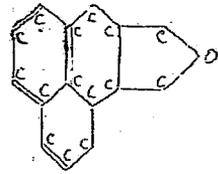
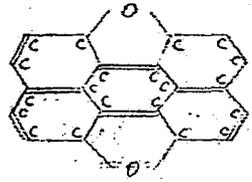
(b)一般言之各種苯酸與萘酸之比隨着煤之成熟程度而增大。

(c)泥煤或褐煤氧化後有少量之丁二酸發出，但木質烟煤及無烟煤則否，此或由於松青質之氧化而來。

(d)煤氧化後除苯酸外其餘苯二酸及苯六酸均可取出，一証明其中尤以苯五酸及苯六酸含量較多，但在無烟煤中苯五酸又較苯六酸為多。

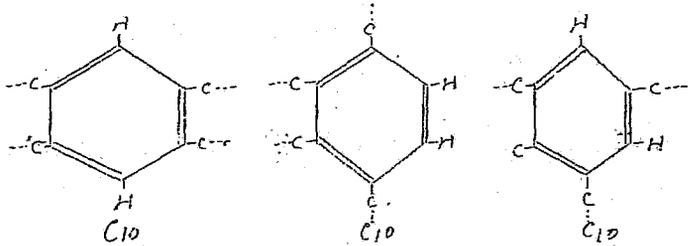
(e)木質中雖無苯二酸，即泥煤及褐煤中亦較少，但在烟煤及無烟煤中則甚多。

(f)煤質氧化後含有苯五酸及苯六酸，以因其中含有下述構造之化合物：

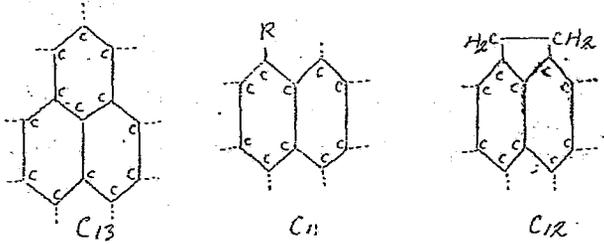


燃料
工業

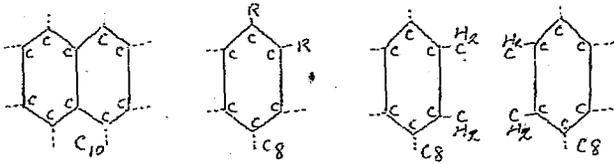
(g) 苯四酸係由下列構造变化而來:



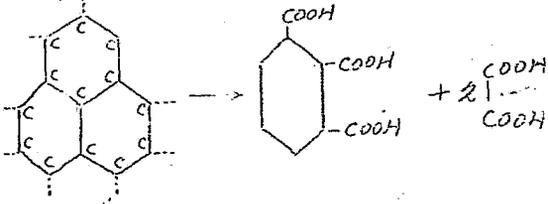
(h) 苯三酸係由下列構造变化而來:



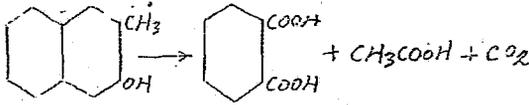
(i) 苯二酸係由下列構造变化而來:



(j) 草酸與苯酸或係同時產生如:



(以) 醋酸及炭酸係由下列變化而來:



(以) 上述各節證明煤由木質生成，非由纖維生成，且木質生成煤係依木質 → 泥煤 → 褐煤 → 煙煤 → 無煙煤之順序而變化。

五. 鹵化法。—— 振倫敦帝國學院之研究，於常溫或 100°C 時將煤加溴處理，即有加化 (Addition) 及取代 (Substitution) 乃至吸着作用發生，可見煤中，必含有不能和之鏈。

又一九二九至一九三五年麥加洛 (Mc Culloch) 氏研究煤於常溫時加氯處理，亦次第發生加化及取代作用，但其結焦性同時損失。

燃料工業

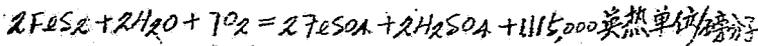
第六章 煤之自燃與儲藏

一、煤之自燃 (Spontaneous combustion of coal)

煤置於空氣中，除無煙煤外，雖在常溫，均能徐徐與氧化合，發出熱量愈多，氧化愈速，結果自然燃燒，引起火患，不僅此也，煤氧化後，其熱值降低，結焦性亦差，故知煤徐徐氧化，即不自燃，其損失已不在少，是則煤究應如何運輸，如何儲藏，亦燃料經濟上一大問題也。

燃料工業

一八八〇年以前，一般均以為煤之自燃，係因其中所含之黃鐵礦 (FeS_2) 氧化發熱，而非由於煤質之氧化所致，蓋如下列反應：



發出巨量之熱，可使煤與氧急劇化合，引起自燃，但此種觀念，不久即被証明為謬，蓋煤中之黃鐵礦不過 2% 即令迅速氧化，熱量不致充其量，亦不過升高溫度至 $125^\circ C$ ，距煤之燃點甚遠，時至今日，煤之自燃，已公認為煤質氧化之結果，但黃鐵礦仍居次要地位，蓋如上所述，黃鐵礦氧化後，發出熱量，即能促進煤與氧之反應，再則黃鐵礦氧化，必須吸收水份，因之體積增大，可使煤碎為細粉，表面愈大，反應愈快。

五

茲將煤之氧化情形，彙述於下：

1. 煤之氧化，為連續性的。

2. 溫度愈高，煤塊愈小，則氧化愈快。

3. 凡煤均有一臨界溫度 (Critical temperature)，在此溫度以下，不能自燃，其溫度是否繼續升高，全賴環境，如環境不許，則燃燒困難，反之，如在臨界溫度以上，則煤之氧化與環境無關，^{終致}自燃。

4. 業經風化之煤，臨界溫度增高，較之新掘之煤 (Green Coal)，更難自燃。

5. 煤之空隙內含有大量水份，以手觸之，雖不感覺潤溼，然若曝之空中，則水分消失，氧化面積增大，如此一類之煤，其臨界溫度較小，極易自燃。

6. 下列因子均能促進煤之自燃，苟不設法散熱，殊為危險：

(a) 外表之熱，如蒸汽管及日光等；

(b) 煤愈細愈易氧化；

(c) 煤內不能和成分氧化後，容易失熱；

(d) 黃鐵礦氧化發熱；

(e) 水能促進煤之氧化。

7. 煤之氧化與自燃，分三步：

(a) 在 50°C 以下，煤之吸氧徐緩；

(b) 在 $80^{\circ}\text{C} - 140^{\circ}\text{C}$ 之間，煤之吸氧加快，此時煤之品質、細度及其他因子均能影響煤之溫度；

(c) 在 $140^{\circ} - 230^{\circ}\text{C}$ 之間，煤急劇氧化，並迅速放出 CO_2 及水；

(d) 在 230°C 以上，煤無外界熱源，亦能自然氧化，且急劇放出 CO_2 及水；

(e) 至 250°C 時，煤即自燃，若空氣繼續供給，煤亦繼續燃燒。

下列第四十三表及第四十四表所載煤之燃點，為費約 (Fayol) 及路易斯 (Lewis) 二氏所測定，溫度相差或即為煤之細度不同之故。

第四十三表 粉煤在熱空氣中之燃點

煤	燃點
泥煤	150°C
氣煤	200°C
硬焦煤	250°C
無煙煤	300°C 或更高

第四十四表 固體煤之燃點

煤	燃點
燭煤	370°C
泥煤	450°C
汽煤	470°C

至於煤風化後發生之其他影響，茲一併論之如下：

1. 外觀：有些煤曝露於空氣中，其表面常生一層白如霜之硫酸鐵，可溶於水。

2. 大小 煤經長時間儲藏後，滯由大變小，此中原因，蓋有

二端：

(1) 因風化而起之物理的及化學的作用，

(2) 因運輸時之機械關係，通常煤內含氧愈多者，愈易發生變化。

3. 熱量 熱量之損失，因煤之種類而異，大抵無烟煤不生變化，即含氧較少之烟煤，亦少影響，其最容易損失熱量者，為藥煤及福煤，故上等烟煤，無需儲藏水中，致減少熱量之損失，其所以為此者，主要原因為防止煤之自燃耳。

4. 着火及結焦 通常以為風化之煤，容易破碎，着火後，然若煤層略薄，進風充足，其着火效力，亦不異於新掘之煤，不過燃燒時，須特別注意耳，惟對於結焦影響殊大，蓋煤內所含之結焦成分，為量不多，若曝露空中，即被氧化，所生焦炭，比較脆弱，烟煤儲五六個月後，其結焦性損失甚大，若逾二年，即不可復得良好之冶金焦炭矣。

二. 煤之儲藏 (Storage of coal)

儲煤得法，對於度銷運三方面均屬有利，一則用戶取用方便，避免艱工及其他鐵道運輸偶有中斷之危險，又可受最低煤價，或運費最廉之季節購入，再則運輸機關，有充分利用其車輛或設備之機會，三則礦廠亦可藉此

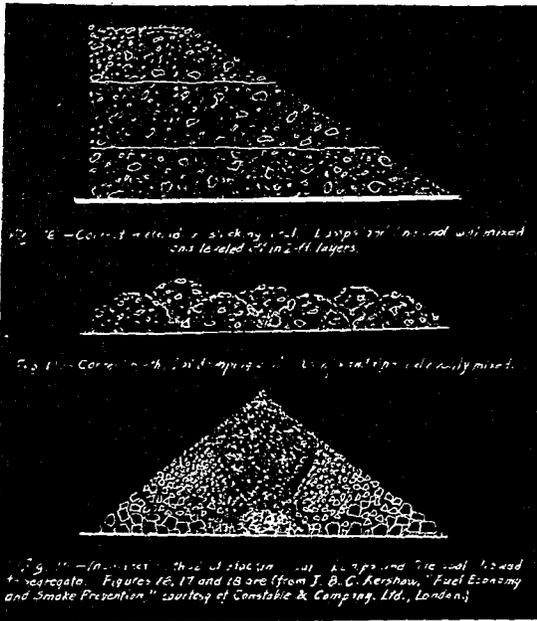
保持均勻出度之速率。茲將儲煤應當注意之點列舉如下：

1. 保持低溫隨時排除發火之熱；
2. 避免空氣與煤接觸如不可能，則利用多量空氣散失所失之熱；
3. 露出之面積愈小愈好；
4. 防止水分之霉煤作用；

根據上述各點實施之方法如下：

1. 堆煤時大塊與細末混和均勻勿令大煤堆於底下形成風道最好每隔二三尺為一層以公於平避免粗細分布不勻之弊；
2. 假如可能，以儲藏篩過小塊為宜，並盡量避免粉煤及減少運輸；
3. 無論排除空氣，或利用空氣減少熱量煤堆之高度最好達 12-15 呎而止，一則取用方便，二則有發火時搬運亦較容易也；
4. 任何熱源均能招致危險，故：
 - (a) 熱天不要堆煤；
 - (b) 堆煤之處不要接近熱源如蒸汽管等；
 - (c) 密切注意煤之溫度如達 60°C 即易發火危險；
5. 新極之煤氧化最快，至少經過六星期始能儲藏；
6. 避免局部通風；

7. 防止煤層乾燥相問蓋如此常能促進黃鐵礦之氧化，至儲煤方法適當與否，參閱下列各圖，一目了然。近年來無論將煤儲藏地上或堆積水中，均設法排除空氣，如紐約柯思可發電廠 (Cos Cob power station) 備有煤庫若干，均以水泥製成，直徑40呎，高50呎，均以起重機將煤輸入煤庫，有頂，排除空氣後，可免自燃之危險，另裝有噴水管以防萬一。又如畢茲堡之杜奎遜電燈公司 (Duquesne light Company, Pittsburgh) 建有煤窖，可儲煤十萬噸，均埋沒水內，取用時，所含水份對於煤之着火無大影響。



第七章 煤烟之害及去烟之法

一. 煤烟之害 (Evil of Smoke)

煤為家用及工業用之重要燃料，燃燒時常有濃烟發生，使空氣變污，吾人棲息其中，衣物污損，房屋變色，據統計倫敦此類損失每年達四百萬磅之多，又日光貧乏，害及身體，例如英國曼徹斯特 (Manchester) 工業稠密之區，約有日光 50% 被濃烟遮斷，影響居民，尤其幼童之健康極大，下列第 ~~四~~ 表為一九三二年三月底止英國各地每月每平方哩積留之煤烟噸數 (a 表示平均噸數，b 表示最高噸數)

~~第四~~ 表 英國各地每月每平方哩積留煤烟噸數

燃料工業

地 域	固 體		不 溶 物		SO ₂		C1	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)		
London (Horseley Rd.)	31	40	20	27	3.1	5.6	1.2	50
	5	7	10	12	1.6	2.2	0.5	52
Waltham	14	24	5	18	2.0	2.8	0.7	62
Birmingham Central	28	52	18	38	2.2	4.7	1.3	52
Bournville	17	15	5	9	1.0	1.6	0.6	70
Leeds. Central	30	37	18	22	3.3	4.5	2.0	70
Leeds. Headingley	10	16	4	7	1.4	2.5	0.9	53
Liverpool	43	60	24	32	3.8	10.2	2.5	73
Salford	20	30	11	18	3.8	6.5	3.2	72

表五

Rochdale	23	31	15	24	21	43	17	91
Southport	8	13	4	8	28	15	10	84
Sheffield	28	40	19	32	27	47	17	70
Rotherham	31	39	22	38	28	32	18	65
Stoke-on-Thant	12	27	13	18	19	34	14	75
Edinburgh, Princessst	20	28	14	22	17	25	23	62

至於植物不僅陽光稀少，妨礙發育，即有陽光而樹葉上遺留之煤烟，將光隔斷，使不得英綠葉素直接接觸植物之生長亦因之阻滯。且煤烟中會有礦酸，能破壞植物之構造，使之萎萎。此外硝化細菌反阻礙植物成長之酵素，亦因酸而摧毀。下列第三表為英國里治大學柯頓 (Cohen) 教授研究煤烟對於植物之損害結果。

第三表 煤烟對於植物之損害

地 域	離市遠近	接樹葉之百分比	養分吸收之重量
Weetwood Lane	2 哩 N	100	140
Headingley	1 哩 N	53	120
Liversitry	1 哩 N	42	102
City Square and Park Square	中部	2	56
Hunslet	南區	11	44

二 煤烟之性質及成分 (The nature and composition of smooke)

煤煙之主要成分為炭膏狀烴化物、鈉鹽及矽質(灰分)等，常帶酸性。其性質及成分視煤之燃燒情形及煙自之高低而異。如為鍋爐，又須視其距離煤爐之遠近如何。

煙之發生乃因煤內含有低溫分解之成分，而黑煙放出，純由煤不為燃燒之結果。煤煙及其中所含未燃氣體所有熱量之損失約為全部熱量5-20%。

一九〇九年柯頓以烟煤為原料，研究其發生煤煙之情形，結果發見，由家庭放出之煤煙與由鍋爐放出之煤煙二者之性質及成分，大不相同。又同一鍋爐若在煙自頂之地，依不同則所含之成分及性質亦異。詳細情形見第三表。

第三表 煤煙之分析

	煤	家庭煤煙	鍋爐煙道中之煤煙		
			煙自底	離煙自30呎	煙自頂110呎
水	69.30	46.55	16.65	21.80	29.00
氫	4.89	4.37	0.86	1.44	1.69
氧	1.39	4.09	nil	1.18	1.21
氮	1.74	2.39	2.07	2.58	2.84
氣	0.72	5.19	2.11	1.46	1.60
灰	1.54	25.31	0.00	2.80	1.65
灰	8.48	18.16	75.04	56.04	61.80
灰	0.99	0.37	1.33	2.58	2.76

燃料工業

表六

上
由表可知家庭煤烟中所含之炭較之鍋爐煤烟中所含者約多二倍，煤膏多二十倍，氣(鈉)多四倍，但灰分僅四分之一。又在同一鍋爐之烟窗中，離烟窗之底部愈遠者，則炭及氣之量愈增，灰分之量愈減。此與家庭之煤，較之鍋爐之煤為不全燃燒，而鍋爐之烟窗內溫度較高，其中揮發之成分及不易冷凝至於灰分，重者留，輕者被通風，發出。

通常家庭用煤約有炭5%損失，工廠用煤視加煤之方法而異，大約人工加煤損失20%，機械加煤損失1%。

家庭用煤損失既多，而其煤烟中放出之煤膏沾着衣物後，又不易除去，故其為害亦較工廠之煤烟為大。若灰田野又當別論，蓋家庭煤烟中含炭較多，容易吸熱，且含鈉鹽亦多，又可用作肥料也。

三、去烟之法

近年來大規模發電日益發達，每日用煤常逾千噸，因之去烟問題，即從煤烟中除去 CO_2 、 SO_2 、 H_2O 及 HCl 等等問題，極為迫切。蓋：

- (1) 煤中常含有硫1.5%，若用煤千噸，則有硫酸45噸，硝酸3-7噸，鹽酸45噸生成；
- (2) 人類觀察：區，每立方呎每日用煤不過千噸，今電廠面積僅數百方碼，一旦集中如許酸烟，其嚴重可知；
- (3) 其中含有上述酸烟，不僅腐蝕衣物，石工及金工，即對於

居民健康影响亦大。

去烟之法有二：

(1) 為富爾亨發電廠 (Fulham power station) 所用之方法。

即將煤氣通入鹼液 (石灰或碳酸鈣) 洗去其中所含之酸。

(2) 為柏特西發電廠 (Battersea power station) 所用之方

法先於填充氧化鐵之塔內將煤烟用水洗之次依對流

原理以水洗之又其次以鹼液 (0.25% 石灰水漿) 洗之最後

通入乾燥塔內去水。此法用費僅佔 (1) 法三分之一。

1871

1872

第八章 市面用煤之製備

市面用煤之製備可分四步，即(1)選分，(2)過篩，(3)去灰，及(4)混合是也。茲分述之於下：

一、選分 (Separation) —— 選分即將煤從煤礦內掘出時，依煤層之不同，分別堆積。

二、過篩 (Screening) —— 將煤運至地面後使之過篩，即依篩孔之大小分為四種，為6吋以上，4-6吋，2-4吋及2吋以下之煤塊。通常4吋以上之煤塊為含灰太多，可用手揀出。其在2-4吋之間者送至運輸帶上，以手揀之。至在2吋以下者，非用機械除灰不可。

三、去灰 (Cleaning) —— 煤經去灰後，不但可燃成分集中，運費減少，效力增高，且熔塊之害及硫磺之量均可減少。去灰之法有四：即水洗，乾洗，重析及浮游等。茲分別論之。

1. 水洗法 (Water Washing) —— 此法即於水中利用比重之差使煤與雜質分離。蓋煤之比重為1.1-1.3，而其他雜質如泥板岩(比重2.5)黃鐵礦(比重5.0)石膏(比重2.3)及石灰石(比重2.7)均較煤為大。水洗時，則煤浮於上，雜質下沉。惟此中常遇有一困難，即煤與雜質並非截然對分而成交織狀態，其比重介於煤與雜質之間。水洗時，每不易顯然分開。

然
料
天
業

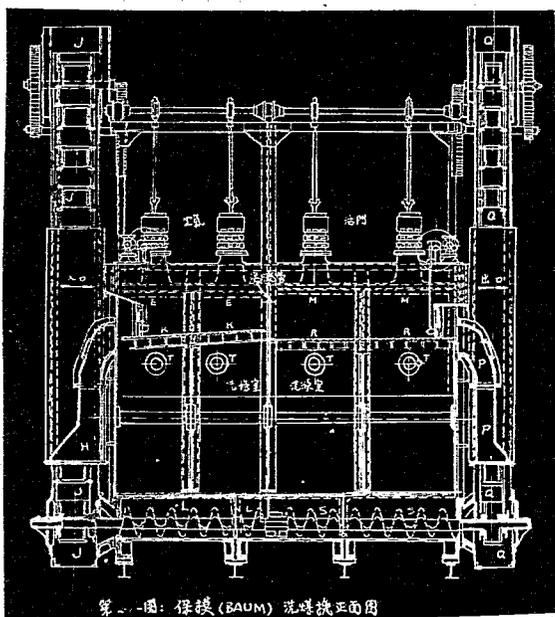
最好在水洗之先，作一浮沉試驗 (float and sink test)，即將煤分次置於比重有 1.3-1.6 之溶液中，比重亦增加 0.1，即將其上層分出之煤權其重量，并分析其灰分，如在此重：A 以下之溶液中析出大量之等煤，而在 1.4-1.6 之溶液中析出少量次等之煤，則所試驗之煤，必易於水洗。下列表即英國歷年洗煤之廠數與重量。

第六十七表 英國洗煤之廠數與重量

年次	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934
廠數								
(i) 水洗廠數	500	525	560	570	583	594	604	611
(ii) 乾洗廠數	29	55	75	91	109	128	141	150
(iii) 油析廠數	6	5	6	6	6	6	5	5
洗煤重量 (百萬噸)								
(i) 水洗法	420	524	659	663	594	619	662	738
(ii) 乾洗法	1.4	2.8	5.3	6.3	7.2	8.8	11.1	13.5
(iii) 油析法	← less than →			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
總量 (百萬噸)	504	602	712	727	667	716	774	874
全年產煤中洗煤所佔之百分比	20.5	25.2	27.6	29.8	30.4	34.3	37.4	39.6

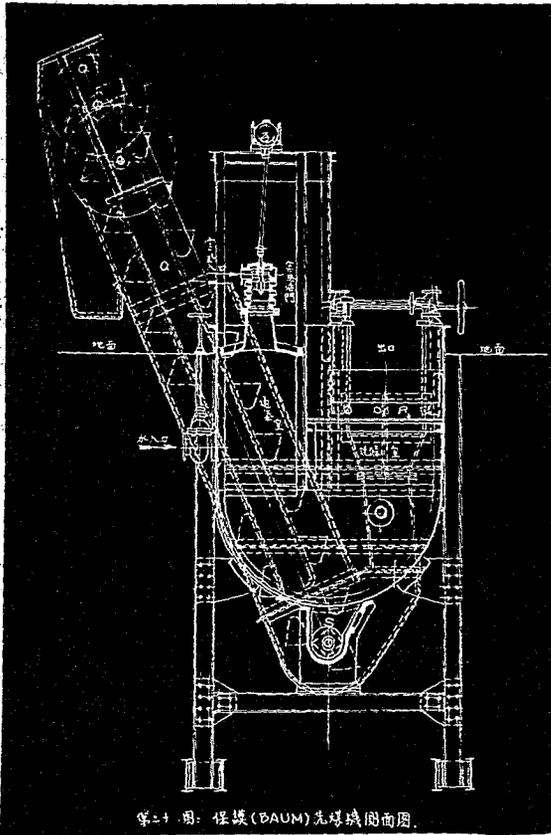
洗煤機之最常用者為保模洗煤機 (Bain washer) 如第廿十九圖所示。形之槽，隔為二室，底通空氣，底加水，水洗室內又分為二，各裝有一圓足之篩，如 E 中之 K 及 M 中之 R。K 為斜置，R 平置，

洗煤室內之水，間歇的由活塞C通入每方吋二磅壓力之空氣使之震盪，活塞C與偏心輪相連上下動作，結果洗煤室內之水亦發生向上力大向下力小之運動。



第一圖：保模 (BAUM) 洗煤機正面圖

煤及其中所含之雜質由下送入，因水之選擇作用較者浮重者沉，大塊雜質落於K上，由G卸去，其比較清潔之煤則飄浮於上而溢流於M，此時有水繼續沖洗，於是洗淨之煤由N卸出，而雜質則集中R，由D下降，其通過K及R二篩而流出之雜質則以運泥機LL及SS運走。



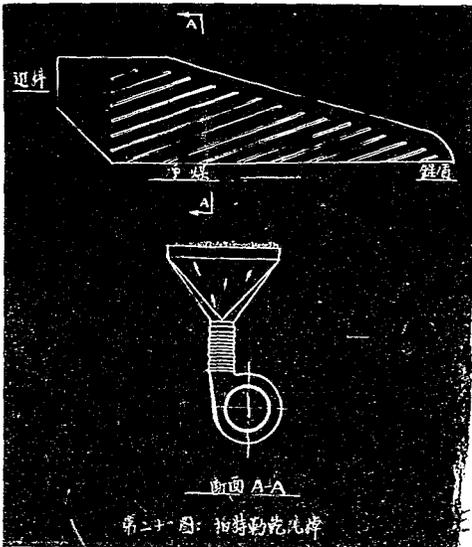
第21 圖：堡提 (BAUM) 洗煤機側面圖。

上述洗煤機適
用於3吋以下之
煤塊。洗後蛋
裹強。中灰。後
果所得之煤中其
灰分鮮有超過3%
者。而洗去之雜質
內所含之煤亦常
在2%以下。

名乾洗法 (Dry
cleaning) ——
乾洗常用之
設備為柏特勒
棹 (The Birtley
table) 如第
十圖。煤由棹

之左端送入，棹斜置，左高右低，高度可隨意調整，棹底有孔，棹
上有條，條以金屬製成，互相平行，棹依縱的方向作來復運動。

煤及其所含之雜質送至棹上後，因棹上之灰在運動反底，下通
以0.5吋之孔，在灰力不強，自于棹條之凹面，其到孔後，由上
面，其後，迅速鋪平，分層之棹條，愈低，其數愈多，其內含
少量之煤，亦繼續向灰移動，結果清潔之煤集中於最左之一端，

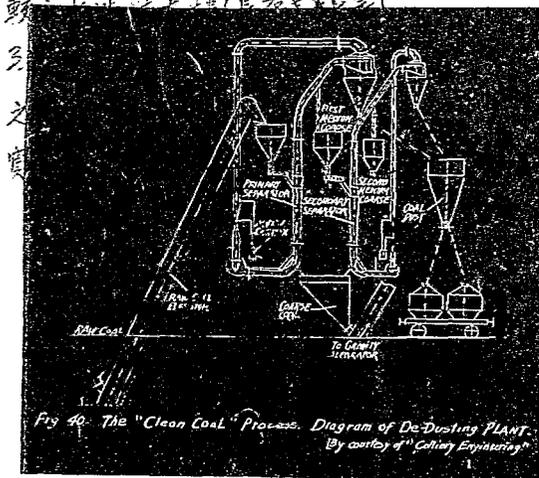


而較重之雜質則
 集於右側之
 灰器中
 意行
 之成分愈多

燃料工業

乾洗法之優點
 不損煤之乾
 燥狀態運費及處
 理費均較水洗法
 為省且煤塊或炭

化時不致因之而致大熱量故煤中之灰分
 較之水洗法(見前)之灰分

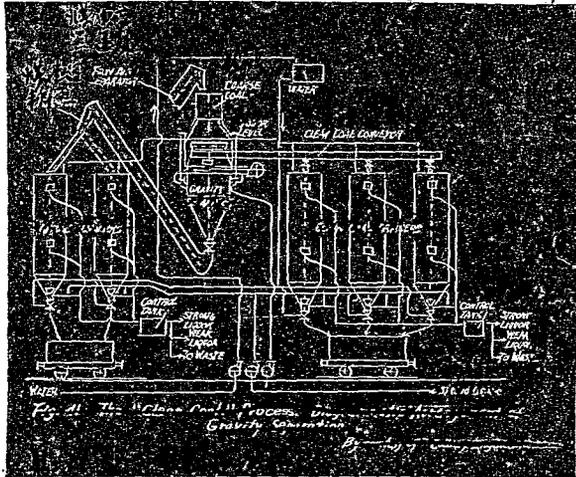


其即一大規模
 於淨煤與雜
 質中之暗
 煤彼此分開
 如第二十四圖
 淨煤室中之煤
 只昇降機送入
 煤斗中以環
 流之

本

離管中，此時有空氣通入，則細粉被風帶至旋風分離器內，可作粉煤燃料，其較大者，則全碎落於斗內，煤斗最後送入另一真空之離管中，不作如此更進一步之粉碎，研能帶走，依然下墜入於貯煤室中保存之。

上述粗煤除去煤粉後送入此室，此室係用鋼製成，其內盛氯化鈣溶液，分離器為圓形，經受方之淨煤分出後浮游於上，以皮板運輸機 (Screw conveyor) 送



入及分離器左端濾筒之內，此筒係8呎高3呎，錐底有進水管，其由分離器放出之雜質，是以運輸機送入左端之濾筒內，其構造與前相同，濾筒之左裝有濾網，濾筒裝滿後，將木蓋扭開，則有清水噴出，此種濾筒之底係分為二層，底層為最濃之氯化鈣，中間層較稀，上層為清水。

者依次流下分別注於桶內結果桶內之煤或雜質所含之氯化鈣溶液均被洗去煤洗淨後由底部卸出僅含水5%

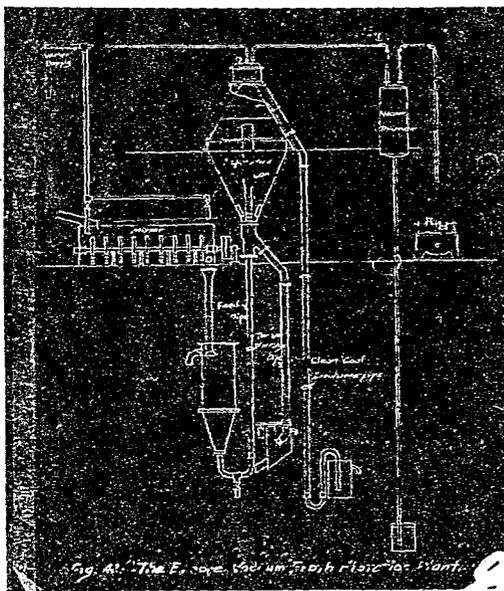
表三之九 約克歌氣煤重析之結果

煤塊大小	1/4吋	3/8吋	1吋
產品(按風乾情形計算)	%	%	%
煤屑	6.0	14.6	6.3
淨煤	71.9	72.6	79.4
雜質	22.1	21.4	14.3
水分			
煤屑	3.8	2.1	3.1
淨煤	5.6	6.1	5.6
雜質	13.2	6.5	8.9
原煤	2.6	1.5	2.2
產品中之灰分			
煤屑	16.6	8.9	12.9
淨煤	3.15	2.8	1.65
雜質	53.4	38.6	42.95
原煤	15.05	10.4	8.0
氯化物(按氯計算)			
煤屑	0.013	0.010	0.562
淨煤	0.010	0.007	0.090
雜質	0.046	0.026	0.077
原煤	0.019	0.007	0.173

上法洗煤一噸約損失氯化鈣共加倫用之100加倫。

上列第六十九表即以約克歌(Yorkshire)之氣煤(gas coal)為原料依比重法去灰之結果。

浮游法 (Froth flotation) —— 煤礦之灰(一) 離孔以下者用前述之方法較便之去灰, 以與其浮游法此較適宜。此法即將煤與水混合, 於此混合之液充分攪拌之則煤被油潤滑, 而雜質則重如砂, 此等重入空氣則煤隨氣泡



上升而雜質沉於底。下如第六十九表為愛爾莫莫真空浮游設備 (Elmore vacuum froth flotation plant) 之構造。於水中攪拌之加入適量之油(每煤一噸約用石礦油或燃料油 1 磅)充分混合後送入加料池, 以真空唧筒吸之其分離在此

時壓力降低, 氣泡上升被油浸潤之煤, 亦隨之浮起, 而雜質則由加料池之側流出。浮起之煤由頂蓋溢入受器。此時煤如泥漿狀含水分約 1 磅, 又攪拌定, 浸去約 1 小時後, 只含水分 1 磅, 同時油亦分離, 不浸液層, 處理甚易。下列第六十九表即愛爾莫莫真空浮游設備浮煤去灰

之結果

第六表 美國莫真安浮游機去灰之結果

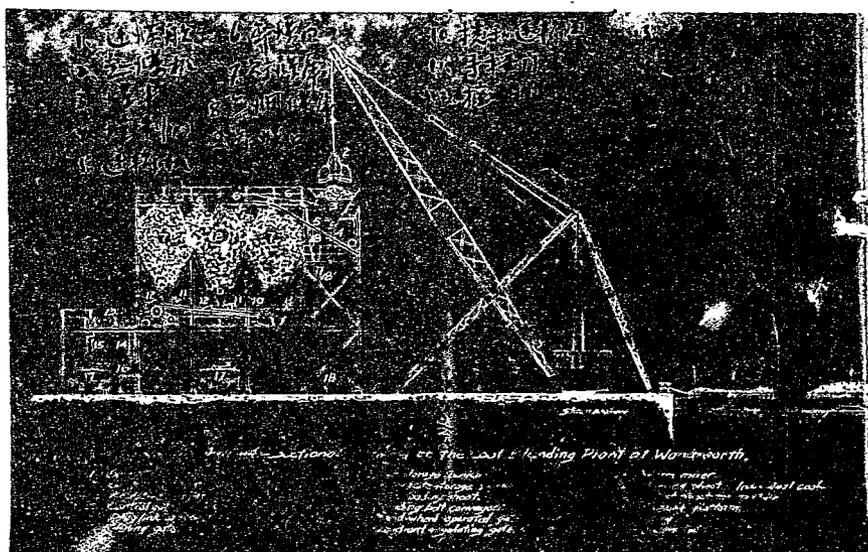
煤之產地及大小	Silkstone 度 為噸以下	Darkgate 度 為噸以下	Snowdon 度 為噸以下
試劑	石 蠟油	石 蠟油 及煤油 混合	石 蠟油
每噸煤所需試劑之磅數	1.0	0.38	1.25
乘煤中之灰分	8.6	7.7	10.4
淨煤之度重	90.1	24.0	86.0
淨煤中之灰分	1.1	5.1	1.7
廢渣之度重	2.2	6.0	1.2
廢渣中之灰分	45.2	44.6	44.5

吾人欲得淨潔之煤上述四法中以比重法最為有效，只須投藥洗淨之煤即可淨外殘雜質完全除去而內灰量不過 1% 而已，此法至為經濟問題至為煤經去灰後雖可得種種利益如減少燃料，減少運費，除去磷硫，容易管理等，但如用戶不願付出去灰一切費用反合理利潤，則製備去灰之煤自出廠廠家言亦不經濟。

尤有進者，不潔之煤其去灰程度亦有不同如鍾格浮選 (Chain grate stoker) 大發去灰浮游機之煤常須去灰 4% 否則有傷防護，得不償失，不過在內燃機如柴油機中又非再完全去灰之煤不可。

四 混合 (Blending). — 煤之性質各不相同其在工業上之用途亦有限制然若該法將各種之煤就其性質加以配合則應用甚廣例如發火蒸汽含烟太多之煤自不適用若另外燒入一種發烟甚少之煤則即合用矣不僅此也凡不同煤層或不同礦廠之煤若能適當混合可配成種種之煤供各人使用且成分一致使用便利廣銷二方均受其益

如二種煤即為一混合煤之裝置煤共三種無烟煤居其一當煤由水運抵碼頭後即以起重機送入煤斗再以運輸機分送入庫以一定比例分卸於帶式運輸機上再送入混合器內混合均勻後或裝袋或以車運走



第九章 爐內煤之燃燒

一、燃燒原理——工業爐灶之種類不同，則設計時所需條件亦異，而設計適當與否，又非先對於爐灶內煤之燃燒等事澈底明了不可，故言燃燒原理。

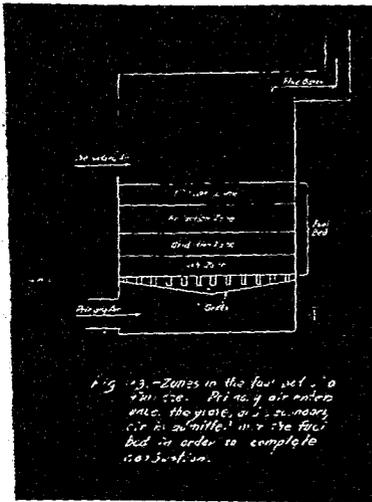
煤送入爐後，則揮發物首先揮發，遺下焦炭，揮發物為氣體烴化物，一氧化碳及氫氣最後均燃燒為水及二氧化碳。至於焦炭，一部分變為CO及CO₂之混合物，CO復燃燒而為CO₂，故在爐篦上之變化，為揮發物之蒸餾及焦炭之不完全氧化，稱為初級燃燒 (Primary Combustion) 又因初級燃燒所失之氣體在爐內空間所失變化稱為次級燃燒 (Secondary Combustion) 其不燃之揮發物 (如 CH₄, CO, H₂, 煤焦油等) 及由焦炭氧化所失之 CO 之燃燒。

揮發物之蒸餾於 350°C 時開始，至 700°C 時急劇作用，首先放出烴化物，溫度再高，復有 H₂ 及 CO 發生，將煤蒸餾後所得之物質及其熱量之分配，列表如下。

第二十一表 煤蒸餾後所得物質及熱量之分配

物 質	量 (g)	值 (%)
汽	6.6	0
水	14.6	13
煤焦油	8.5	17
焦炭	70.3	70

由表可知揮發物為煤氣及煤膏，約含熱30%，同時焦炭部份燃燒發出之CO亦可加入燃燒，故知煤中熱量約有40-60%，發生於燃煤之上層，空間內，非另加入空氣不能完全燃燒，其由煤之下層通入所需要之全部空氣曰初級空氣(Primary air)而由煤層之上通入者曰次級空氣(Secondary air)



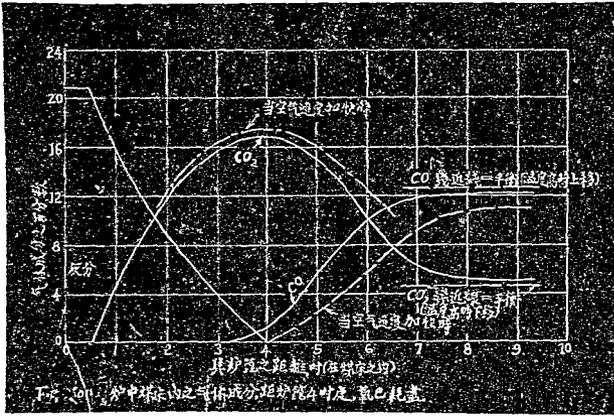
通常煤炭燃燒，可分四層，如第十六圖，蒸餾層(Distillation zone)最上，煤經破裂蒸餾後，即分解為揮發物及焦炭，焦炭至氧化層(Oxidation zone)過，因炉底送入之初級空氣即燃燒而為CO，此CO上升至還元層(Reduction zone)又被紅熱之炭還元

而為CO，氧化層之下為灰層(Ash zone)，所以保護炉壁使之避免過熱也。

茲就初級燃燒及炉篋上煤之燃燒與次級燃燒即煤層上空間之燃燒二者討論之。

1. 初級燃燒——當焦炭在炉篋上燃燒時，試取各炭

層之氣體而分析之，以各層氣體之成分為直坐標，而以各層與爐篦之距離為橫坐標，可得各層氣體成分之變化曲線如第二十圖。此種曲線與我國煤之性質、煤塊大小及通



風速度等
 等稍有出
 入然其控
 對位質變
 動甚微例
 如初級空
 氣(含氧物)
 一般之空
 氣甚快反

受於篦以上3-4分之處，則其量亦隨之而急變，此兩
 線及CO₂曲線之初段。對於該點，即空氣之大小，其量甚變
 動，最後兩線相交於10.5%之處，此即CO₂之最高點。蓋在
 初期內CO之生成甚少也，及CO₂之生成即復不充而有CO
 發生，因此CO₂之量，彼者能速之(即其高0.5%)，CO₂之
 量愈多，其被還元之速度亦愈快，故在CO₂之量漸降低
 受煤層再燃，即發生C + CO₂之反應，其反應與爐篦3-
 4分之處，空氣之變化層，其空氣之化，為淨潔炭變為CO₂，
 加初級空氣之速度，CO₂曲線依然不變，CO₂線之初段，

亦如前狀，惟其最高點略升，同時CO曲線略低耳（如圖中虛線）

氣氣將盡時，即有少量之CO開始發見，待CO₂達至最高峯，CO之生成加速，及爐篦漸遠，CO₂漸少，溫度漸低，而CO之生成亦漸慢，但其(CO)量仍繼續增加，受平衡反應 $C + CO_2 = 2CO$ 之支配，然若溫度繼續升高，所有CO₂均可變為CO，不過在此情況之下，時間太短，CO₂與紅炭之接觸不夠，不能全部變為CO耳。此一煤層之主要作用為還元，故名曰還元層，且煤層愈厚，還元愈易，因之CO亦愈多，惟燃燒之目的，在使炭完全氧化，今由CO₂變為CO，殊非所願，故煤層之厚，須適可而止（普通約為6吋），不可過厚，然亦不可過薄，否則初級空氣有不經燃燒，而通過煤中隙間之虞。

茲更就燃燒速度對於氣體成分，煤層溫度之影響，及空氣速度對於燃燒之影響，略論之。

(A) 燃燒速度對於氣體成分之影響——初級空氣通入愈多，則燃燒愈快，其最有趣味而重要之事實，即不論燃燒如何迅速，所有之氧至距爐篦3-4.5吋時即已耗盡，換言之，即前述第二柱圖中O₂及CO₂二者之曲線地位或形式不變，蓋氧氣與炭化之反應 $C + O_2 = CO_2$ ，其反應速度，須視氧能擴散經過炭之靜止薄膜 (Stationary film) 之速度而定，氧之此種速度遠較其與炭化之速度為慢，

若增加初級空氣之速度則薄煤之厚度減少故言之即
 氧氣透過靜止薄煤之速度增加成之CO之生成亦多故
 二者之曲線地位或形式不變。

若CO之生成達至最高峰後再加快速度通入空氣則由反
 應 $C + CO_2 = 2CO$ 所失之CO之量較少蓋時間既短而CO其
 C之反應又較C與O₂之反應為慢也此種現象在CO₂
 曲線中亦可見之。由此可知CO之生成即由於此。
 (B) 燃燒速度對於煤層溫度之影響——焦炭置於炉

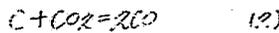
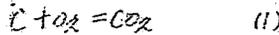
中厚6吋，以不同之速度燃燒之結果如下：

第 表 燃燒速度對於溫度之影響

每小時每方呎燃燒焦炭磅數	溫度°C (距炉6吋處)
21	2250°F (1232°C)
51	2523°F (1383°C)
71	2625°F (1442°C)
106	2748°F (1502°C)

由上表可知燃燒速度增高五倍而溫度升高不過
 500°F (275°C) 而已。

(C) 空氣速度對於燃燒之影響——炭之燃燒有下列
 三種反應已如上述：



如僅有(1)種反應則通入空氣之速度與燃燒之速度相
 等但(2)種反應須視CO與炭接觸之時間而定如通入空
 氣之速度太快則CO之生成減少。

元以爲煤塵——前頁煤塵對化學出之揮發物以
含(O₂, H₂, CO, H₂等)劑反在初級燃燒所併之CO(初級煤
中總蒸氣)之一部如第三圖煤管上之實際情況。其
燃料分甚多。不經二次級空氣使之燃燒。其CO反(或則

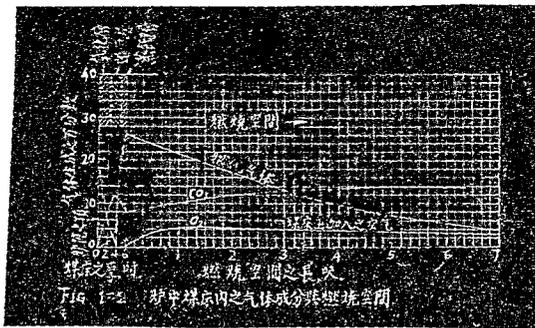


Fig. 1-2 煤中煤管內之氣體成分與燃燒空間

二次級
空氣之
數量
能完全
放出且
通入初
級空氣
之量亦
多。故
煤管上

之煤塵。其燃燒之速度。即每小時煤之燃燒量。
其主視通入初級空氣之多少而定。其二次級空氣對其燃
燒之效率。亦甚切之關係。

二次級空氣引入後。務使揮發氣體及CO充分混合。俟其
完全燃燒。其後。其氣流流入之空氣。非但不能增加燃
燒之效力。結果每為煤之蒸氣之去。因二次級空氣之數量
不足太多。亦不可太少。其多則由煙道氣帶走之揮發物
多。其少則CO及H₂完全燃燒。其深上最經濟之方法。當其
煙道氣。略含其蒸氣及微量之CO。茲將上述之特點
總如下：

空氣種類	通入地點	結果
1. 初級空氣	煤層之下	促進燃燒
2. 次級空氣	煤層之上	增加效率

美國礦務局曾就灶灶內煤層上氣體煤料之燃燒問題詳加研究，所築之爐，以攪捕打瓦加煤於煤層上下，分別壓入初級空氣及次級空氣燃燒，其關係以煤物成長40天，寬高各30天，爐密之一端設有風扇，藉以減輕壓力，所有試驗均於同一情況下行之，如煤層之厚度、燃燒之速度及空氣之供給等，均同。然後於燃燒完固每5呎之處即取出氣體樣品，加以分析，並測定其溫度，所用煤重亦經光稱，定煤之來源及分析如下：

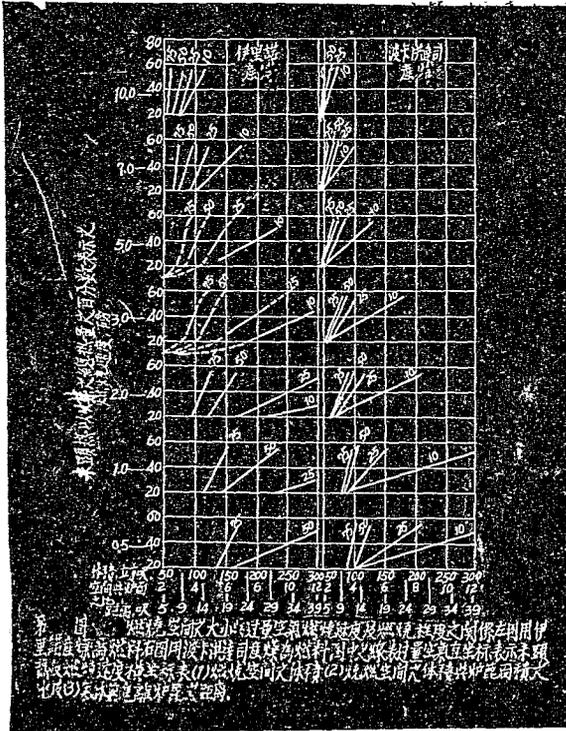
表2-3 煤之來源及分析

分 析	源		
	反于深處所 (Deechno-75)	傑士及 (Pittsburg)	伊美羅 (Imrois)
10. 最近分析			
水分	2.21%	2.51%	16.15%
揮發物	15.78	20.28	34.09
固定炭	71.65	56.52	32.12
灰分	10.36	10.57	16.56
	100.00	100.00	100.00
(b) 元素分析			
氮	2.92%	4.82%	4.56%
炭	60.20	76.57	62.65

然空氣進入，但氧之量并不迅速增加，然CO急劇下降，CO₂急劇上升，即表明燃燒急劇進行，不過至距炉篦13公尺之處，燃燒幾近停頓耳。

前言初級空氣控制燃燒之速度，次級空氣控制燃燒之效率，今說明曝煤層上氣體燃燒之情形，最好就下列四種因素對於燃燒，空氣之體積或長度之影響研究之：
 (1) 總量空氣；

空氣之量



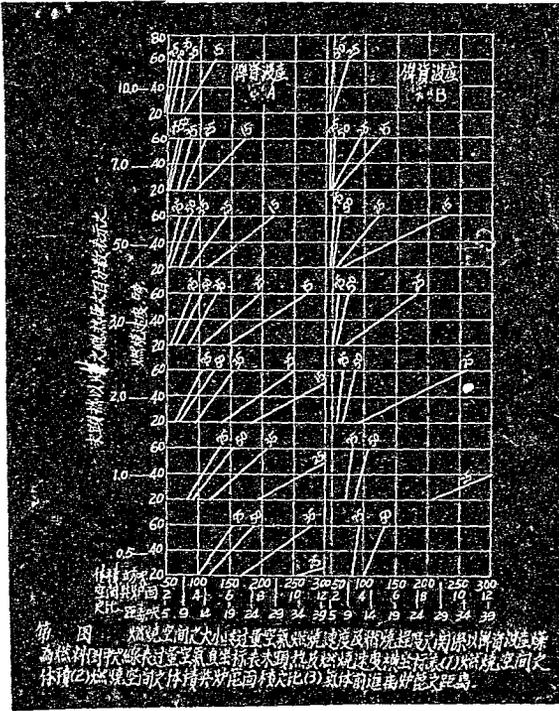
空氣之量

及道及第
 波卡洪蓮
 10-60磅不

十一

荷橫坐標分別為燃燒空間之體積(1)燃燒空間與爐篦面積之比(即A)及(2)氣體前距離離爐篦之距離至損失之熱量即未發熱(underdeveloped heat)以煤之總熱量之百分數表示之。

茲詳加分析獲得下列四種結果：



1A) 過量空氣對於燃燒空間之體積所出之影響——如第三十二圖及第三十三圖。顯可知過量空氣愈多則所需燃燒空間之體積愈小。今更舉一例以明之。如第三十二圖取

伊里諾之煤以每小時每方呎爐篦燃煤40磅之速度依

次增加過量之空氣此時熱量之損失為3%則其對於燃燒空間之體積所生之影響如下:

過量空氣(%)	每方呎爐篋所需燃燒空間之體積(英)
10	11.0
25	9.8
50	5.0
75	3.8

(B) 燃燒速度對於燃燒空間之體積所生之影響——
 例如以伊里諾之煤為燃料通入50%之過量空氣此時熱
 量之損失為0.5%則得結果如下:

燃燒速度(每小時每方呎燃煤磅數)	每方呎爐篋所需燃燒空間之體積(英)
20	6.5
30	8.0
40	10.0
50	12.0

由上表可知燃燒速度雖增加二倍半而燃燒空間之
 體積與面積之比其增加不及三倍。

(C) 燃燒程度對於燃燒空間之體積所生之影響——
 如第三十三節以伊里諾之煤為燃料於每小時每方呎
 之面積燃煤40磅過量空氣亦維持至50%則得結果如下:

損失之熱量	每方呎爐篋所需燃燒空間之體積(英)
10	2.8
5	4.0

3.	5.0
2	5.2
1	7.8
0.5	12.0

由上可知在一定之燃燒速度及過量空氣之情況下，燃燒空間愈小則損失熱量愈大。

(10) 煤之品質對於燃燒空間之體積所生之影響。——煤之成分不同則其在一定形狀及大小之燃燒空間之內所生之效率亦異。就中關係最鉅者，為揮發物之質及量。

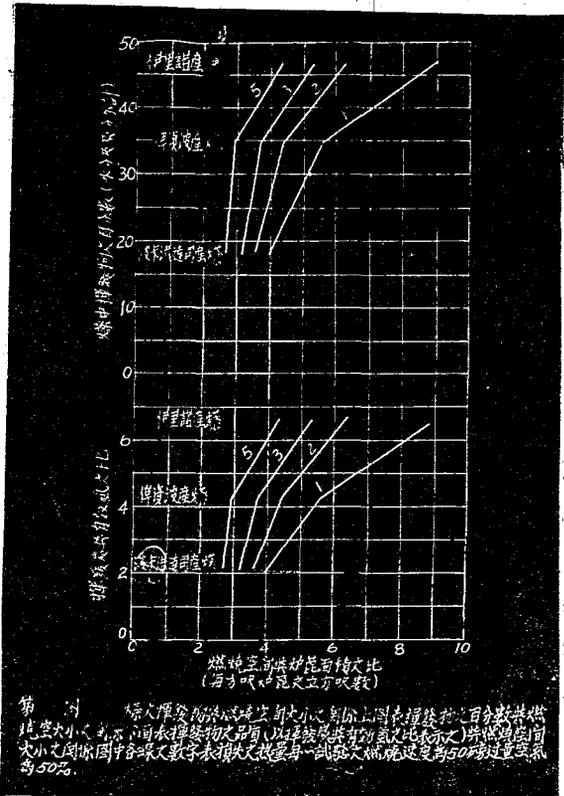
通常煤內含揮發物愈多，則其所需要之燃燒空間愈大，但并非正比。如第三十四番俾資波之煤含揮發物 33%，而波卡洪達斯之煤含揮發物 18%，二者相去甚大，但其之比變化較小。圖中各線上之數字 1-5，表損失之熱量（即蒸發熱之 CO 之百分數）。

至於揮發物之性質，可以揮發炭 (Volatile carbon) 及有效氫 (Available hydrogen) 之比表示之：

$$\frac{\text{總炭量}(\%) - \text{固定炭}(\%)}{\text{煤(揮發物)之氫}(\%) - \text{氧}(\%)}$$

如二者之比值低，則揮發物中必含有大量之不能和之烴化物及之。如比值高，則其中不能和之烴化物較多。後者較之前者易於裂解或生黑烟。吾人由第三十四圖可知俾資波所產之煤所含之有效炭較之波卡洪達斯所產者

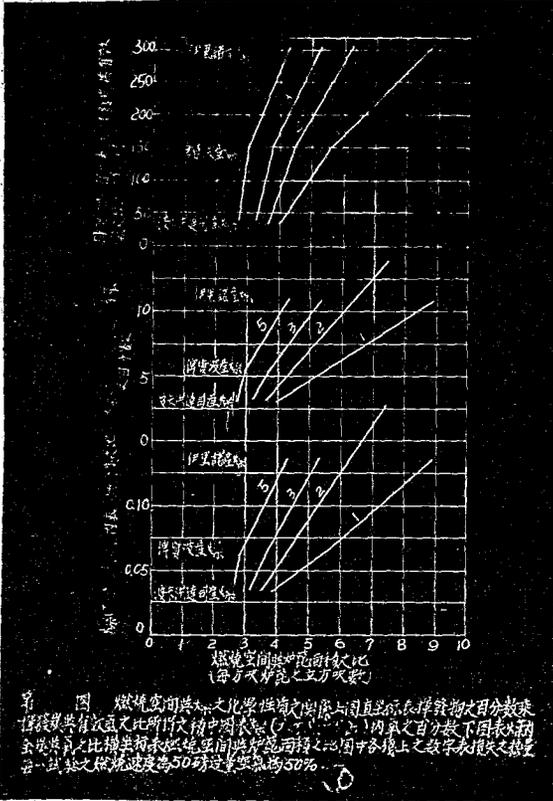
摺。



第一圖 煤之揮發物與煤之體積之比例及煤之體積與煤之體積之比例之關係。此圖中各線之數字均表示熱之損失(即口末顯出之熱)又若將煤內含氧之量與(首)之比依前法繪成一線則

約多二倍
伊里諾所
度者約多
三倍改其
燃燒所需
之空間亦
相當增加
揮發物
之量與
質既均能
影響煤之
燃燒則二
者之積
揮發物 ×
揮發炭
有效氮
亦
必能影響
燃燒空間

之體積如第三十五圖每方呎爐所需燃燒空間之體積(首)與揮發物 × 揮發炭 / 有效氮 幾成正比。燃燒愈完全則此種關係愈為顯著。如圖中之線幾均為直線可見一斑。其中各線上 1-5 之數字均表示熱之損失(即口末顯出之熱)又若將煤內含氧之量與(首)之比依前法繪成一線則



第一圖 燃燒空氣與煤之化學性質之關係與直線在煤質物大百分數表
 煤質物大百分數之比所出之煤中之氧氣(%)之百分數下圖表以兩
 至能得之比例與煤中之氧氣(%)之百分數下圖表以兩至能得之比例與
 煤中之氧氣(%)之百分數下圖表以兩至能得之比例與煤中之氧氣(%)
 之百分數下圖表以兩至能得之比例與煤中之氧氣(%)之百分數下圖表

更為明顯
 如第三十
 五圖可知
 含氧量低
 之煤其所
 需之燃燒
 空間較之
 含氧量高
 者為小此
 外以氧與
 總炭量之
 比與前者
 上法繪圖
 亦得同樣
 結果

總之吾
 人欲計設
 一爐專以

某種煤為燃料必須注意下列三點：

- (1) 揮發物之有效氧；
- (2) 煤(或油或木質)內氧之含量；
- (3) 氧與總炭量之比例如欲計設一爐，以下表任何一煤為燃料燃燒速度為每小時每方呎 50 磅 過量空氣為 50%

未顯熱為2%。

第五十張

三種煤之分析及其能影响燃燒之各個因子

煤之分析	煤 之 灰 地		
	New Mexico	Virginia	New River
1. 水分(新運之煤)	11.90 ⁰ / ₁₀	3.37 ⁰ / ₁₀	1.85 ¹ / ₁₆
2. 揮發物(全上)	37.85	33.75	20.31
3. 固定炭(全上)	41.57	56.41	73.87
4. 灰分(全上)	8.68	6.47	3.35
5. 總炭量(新運之煤)	78.48	84.70	88.50
6. 氫(全上)	5.52	5.32	5.02
7. 氧(全上)	14.02	7.53	4.23
8. 氮(全上)	1.28	1.55	1.55
9. 硫(全上)	0.70	0.90	0.65
10. 揮發物(全上)	47.60	37.50	21.55
11. 固定炭(全上)	52.10	62.50	78.45
12. 揮發炭÷有效氮	6.90	5.10	2.24
13. 10項×12項	327	191	48.3
14. 7項÷5項	0.178	0.089	0.049
15. 熱值(新運之煤)熱單位	13,762	13,305	10,433

燃料工業

七

吾人利用上述 7.13 及 14 三個因子及第三十五圖可以算出燃燒空間所需要之大小。如新墨西哥之煤含氧 14.02%。若未顯熱為 2% 則在第三十五圖中可以查出其每方呎爐篦所需之燃燒空間為 2.4 方呎。同樣因子 13

$= 32.9$ 。如未顯熱為 2% ，亦可在圖上查出其每方呎爐篦所需之燃燒空間為 6.7 方呎，此外因子 $1.1 = 0.198$ ，其每方呎所需之燃燒空間為 7.4 方呎，如此可以算出每方呎爐篦所需之燃燒空間(%)為 $\frac{6.7 + 7.4 + 7.4}{3} = 7.1$ ，其他二種之煤亦可同樣算出。

上述第三十五圖係以每小時每方呎爐篦燃煤 50 磅之速度及 50% 之過量空氣而繪出，如設計新爐而情形變更，則需依第卅五圖之方法再繪新圖加以研究。

1. 空氣供給問題 各人設計爐灶，必須注意：

(1) 爐灶及爐篦之大小與種類；

(2) 煤之品質。

若爐灶已定，煤已定，其次即為空氣供給問題。空氣之供給常須過量，始能達到最大效率，惟克應過量多少，又須視：

(1) 煙道氣中顯熱 (Sensible heat) 損失之量；及

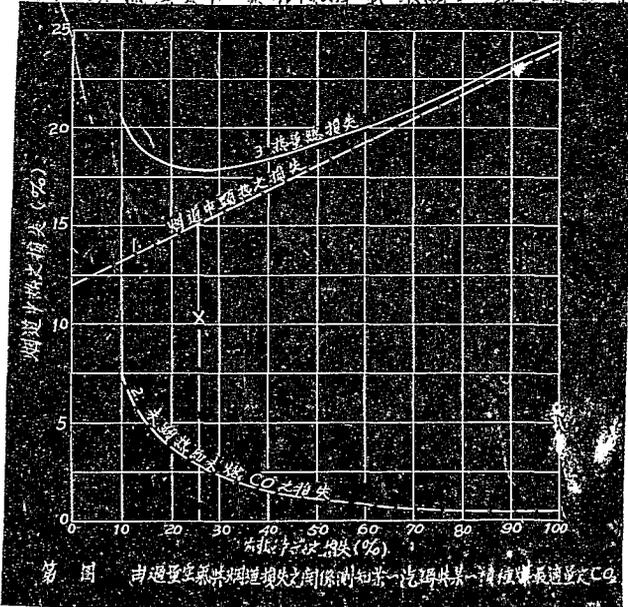
(2) 未顯熱損失之量 (即未燃燒 CO 之量) 二者如何而定。如過量空氣控制得宜，則二者之損失，可以降至最低限度。然若煤之種類不同，則所需適量 (Optimum yield) 之過量空氣亦異，大抵次等之煤，常須過量空氣較多。

據美國礦務局之研究，以伊里諾之煤為燃料，每小時每方呎爐篦燃煤 25 磅，其所需之適量之過量空氣，如第卅五圖表所載，燃燒空間之體積愈大，則所需適量之過量空氣愈少。

第十五章 燃煤所需最有效之過量空氣

燃燒溫度與空氣量之百分比(%)	過量之過量空氣	過量之(%)
3	100	2.0
4	68	5.0
5	51	11.8
6	46	18.5
7	46	15.0

至在鍋爐內煤之燃燒情形，則如第三十四圖其中虛線 1 表示在過量空氣中顯然之損失，虛線 2 表示顯然即未燃燒之 CO 之損失，而二者損失之和則以實線 3 表示之。此種損失之決定因素例如空氣溫度，理論上之量，其熱效率之損失。



第 四 圖 尚過量空氣與燃燒損失之關係測知第一汽鍋與第二汽鍋其最過量之 CO

七

上圖係假定通入過量空氣，並不影響烟筒溫度然事實上烟筒中之溫度常隨通入之過量空氣而升高故欲得最大效率，通入之過量空氣應有限制，及之通入過量空氣太多，亦可從烟筒中之溫度降低中減氣體。

吾人由上述事實可知欲得最大效率之燃燒，必須有適量之過量空氣，再則烟道氣中應含有微量之CO，如烟道氣中無CO或煤烟，即表示過量空氣業已逾量，必已非最大效率之燃燒，人工加煤常以不能維持均一之燃燒，因之CO之量時有時無，或多或少，若改用攪拌加煤，或改用粉煤，則此種差異可以免去，燃燒情形亦甚均勻，烟道氣中少量之CO，常代表鉅量熱之損失，至於煤烟不僅代表未顯熱之損失，且能隔斷吸熱表面，阻碍熱之傳導，使顯熱亦受損失。

人工加煤 前言煤層之厚最好為4-5吋，若為人工加煤，常須較厚為6-8吋，蓋如此始可減少風孔(Blowhole)，且煤灰之分佈亦較為均勻也，但不得超過8吋，否則CO增多，能促進塔渣之生成，而烟筒中顯熱之損失亦較大，及不經濟。

又煤內發出之揮發物如不充分燃燒，熱量之損失甚大，此外煤渣積留於鍋爐表面，亦能阻碍熱之傳導，使烟筒氣之溫度升高，然則人工加煤，究應如何燃燒，不能不詳加討論，茲就美國礦務局研究結果，彙述於下：

1. 加煤方法 —— 加煤之方法有六：

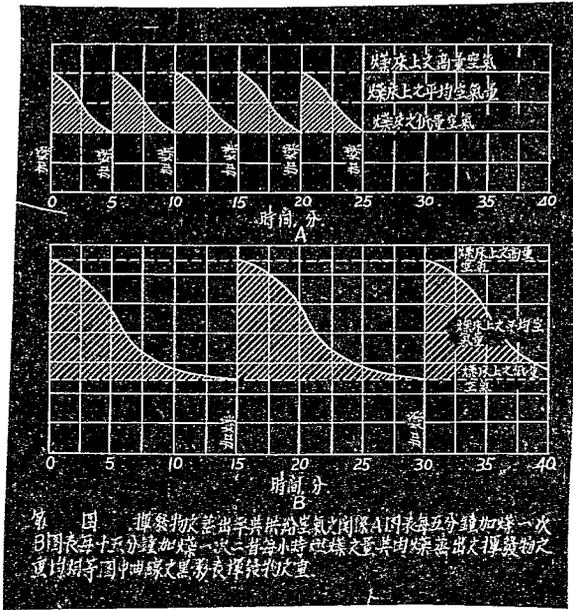
(1) 將煤平均分佈於整個煤床之上。

(2) 黃煤於煤床前端先使焦化然後將焦炭鋪平前法處理最易應用，最嚴不過需要特殊之級於英技術耳。

任何加煤方法煤床厚薄務期一致但燃燒時常難達到目的，即燃燒或快或慢因之煤床或厚或薄煤床之厚薄是否均勻全憑觀察火光之閃爍與否而定光亮處燃燒正盛，炭氣必多，煤層必薄，若不加煤填充必生風孔故所謂正當加煤，并非將煤鋪平了事，而係加煤於煤床薄處也。又加煤時如煤灰過薄，必有煤落於炉篦之下，因之損失更大，故於每次加煤之時間，不可相隔過久。

2. 清除煤渣——煤燃燒後遺下之灰分及熔渣，必須隨時除去，以免堵塞空氣通道。通常炉篦內空氣之通道愈大，則去灰愈易，因之每次去灰相隔之時間愈長。烟煤之空氣通道至少寬半吋，亦有半吋者。

3. 加煤次數——加煤之次數雖因炉篦之大小與通風之多少而不同，但總以次數多(最好每五分^鐘一次)份量少為宜。如第六十圖上為每五分^鐘加煤一次，而下為每五分^鐘加煤二次，其總數相同，故揮發物發出之量亦相等。曲線下之黑影處代表揮發物之多寡，當煤初加入時，揮發物發出最多，加煤之前，其量最少，如所用之次級空氣適可燃盡最多之揮發物，則在加煤之前即揮發物最少之時。



第一圖 揮發物之蒸出率與煤質之關係A圖表示每五分鐘加煤一次B圖表示每十分鐘加煤一次C圖表示每小時加煤一次其間煤蒸出之揮發物之重量與時間之關係表揮發物之量

此圖顯示
 煤質之
 揮發物
 之蒸出
 率與煤
 質之關
 係。A圖
 表示每
 五分鐘
 加煤一
 次，B圖
 表示每
 十分鐘
 加煤一
 次，C圖
 表示每
 小時加
 煤一次。
 其間煤
 蒸出之
 揮發物
 之重量
 與時間
 之關係
 表揮發
 物之量。

煤之消費量多，份量減少，惟加煤之數小，勤火明之效
 顯亦多，亦得計其煤中之灰份 (Ash) (Tang) 亦
 亦之揮發物係在出。

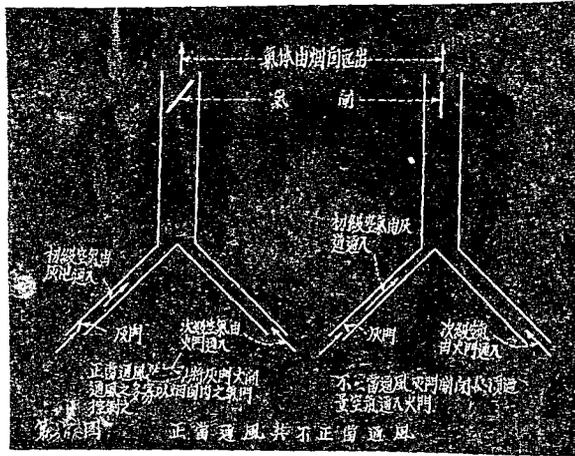
1. 煤質之蒸塔——煤中之灰份與揮發物之關係
 煤中之灰份與揮發物之關係，而煤中之揮發物之
 揮發物之灰份，尤其灰份之 CaO , SiO_2 及 Al_2O_3 之
 揮發物之灰份，其灰份之量，則必在煤中之揮發物
 止，灰份之量，必及於灰份之量，特於灰份之量，必

下。

- (a) 平讓煤層勿使過厚加煤於煤層下者不致不致集中。
- (b) 少量加煤避免過份積聚否則下層之煤氣於煤層之文即易生成煤塊。
- (c) 常開灰門適量通風庶溫度不致升高發生煤塊。
- (d) 勿令燃煤落於灰池否則煤灰燻化。

5. 通風管制——通風之多寡與煤之燃燒速度有密切之關係通風多者燃燒速通風少者燃燒慢控制之法最良於爐內貫入竅孔而可以入之者開閉灰門以資控制則絕不可行蓋灰門閉後則由爐篦下才通入空氣之量減少即算本多其上積留之灰溫度升高易生煤塊且積留持久貯留亦多且初級空氣減少次級空氣必增因之煙量中固灰之積量加多下列第廿六圖即示不當通風及不當通風所謂不當通風即將灰門洞開通風之多寡以爐篦內之~~空氣~~管理之如此可由灰門通入適量之初級空氣使爐篦上煤灰之溫度降低而次級空氣亦可由灰門通入使極冷物質充分燃燒至於不當通風後將灰門閉緊氣閉洞塞結其煤灰變熱燻化且因次級空氣吸之過多顯熱之損失不少。

6. 煤層厚薄——煤層厚薄務須一致煤層厚薄約不



人工加煤層太厚, 常易發生火, 且以急層致行, 其主
要困難, 為免去風孔耳。

三、機械加煤 機械加煤常用之設備為機械爐篦 (Mechanical stoker) 前節曾言人工加煤最好為次數多份量少而揮發物能在氧化焰中蒸出, 機械爐篦即能達此目的, 并可繼續送煤入爐燃燒, 節省人工, 而得較高效率。

人工加煤常使剛加之時揮發物太多不能完全燃燒, 嗣後即有空氣過多之損失, 反之, 機械爐篦可使燃料繼續加入揮發物之損失極為均勻, 通風之量一定, 同時煤層較薄, CO 損失較少, 如第十圖 A 為人工加煤之爐初級空氣由灰池通入與半燃之煤接觸, 並與生煤 (green coal) 接觸之, 其氣中之氧已完全耗盡, 故由生煤蒸出

之揮發物不覺完全燃燒，而有成烟積怠之現象發生。B
 為上給式爐篦 (Overfeed type of mechanical
 stokers)，煤由漏斗下降至爐篦，煤之燃燒

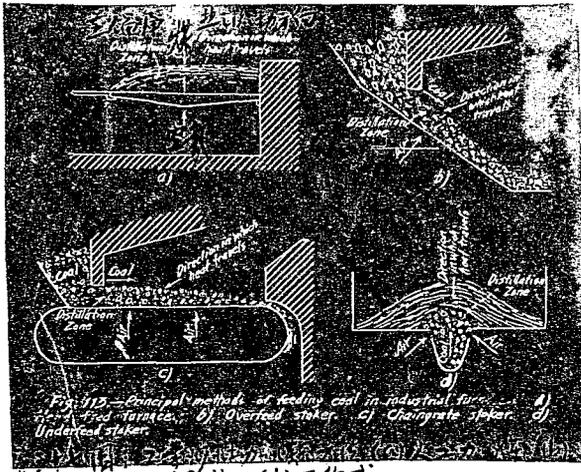


Fig. 113—Principal methods of feeding coal in industrial furnaces: a) Top-feed stoker; b) Overfeed stoker; c) Chain-grate stoker; d) Underfeed stoker.

(c) 鏈式 (d) 下給式

時，漸送燒剩之灰燼入於灰池，煤煤之入口處受爐壁
 反射之熱而蒸出揮發物，兩道焦炭，漸漸燒剩灰燼。(為
 鏈式爐篦 (Chain type stoker)。煤加入轉動之爐篦
 上，炭燼先經蒸餾而成焦炭，再行燒成灰燼，由爐篦送入
 灰池。D 為下給式爐篦 (Underfeed type of mechan-
 ical stoker) 煤由下方推上，蒸出之揮發物與進
 入之空氣相混合而穿過熾熱之炭。

在上給式及鏈式爐篦中有一部份之初級空氣通過
 灰煤至於下給式爐篦，則全部通過，故揮發物之燃燒完

余而煤急不易積聚抗穢炉篋之中鏈式炉篋常用木棍
結之烟煤或无烟煤上給式炉篋適用於各種煤質，而下
給式炉篋以用揮發物較高之煤為佳其易生熔塊之煤
則不甚合用。

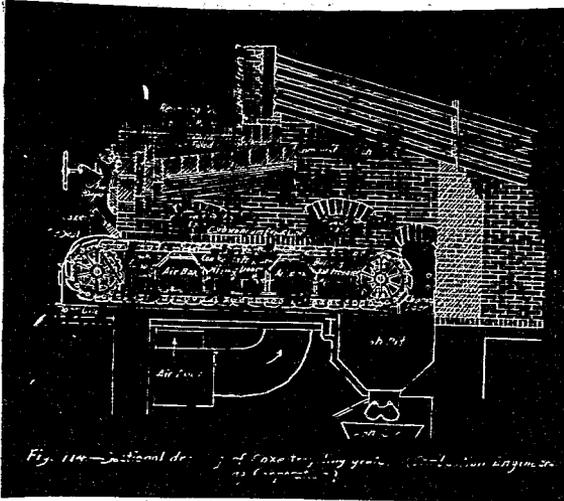
茲將鏈式上給式及下給式三種炉篋分別檢討之如
下：

1. 鏈式炉篋——鏈式炉篋係用若干狹窄之鐵板裝置
於一條移行鐵鏈掛件上，成一連續平面，該鐵鏈之有
尾相接在A、B二點間循環運行今將所欲運送之煤
由煤斗卸於板上當鐵鏈前進時該板及煤即隨之移
動由A端至B端加煤或焦或二者同時加入時設有
閘口以管制煤或焦或二者輸入之量俾可得一適當
厚度進煤入炉即變熱蒸餾再前進復因着火拱
(ignition arch)及射之熱引起燃燒至B端燒完卸
下煤灰但炉篋仍向下方繼續前進此時因風冷卻
至A端時又可裝煤。

炉篋之下設有風箱可隨意通入空氣至風箱及炉
篋兩旁尚有漏氣之處則以氣塞塞之通常炉篋前部
通入少量空氣中間通入較多以期燃料完全燒燼
他若次級空氣則由着火拱通入。

通入空氣分自然通風(Natural draft)與壓力
通風(Forced draft)二種前者發展較早應用亦
較廣後者用於大規模發生蒸汽對於煤之選擇較寬

341
拘束不大下列第四十圖即為壓力通風之一種。



第三十八圖：鏈式爐之截面圖。

鏈式爐
可用烟煤揮
發物多少不
拘但須為非
黏結性的小
塊无烟煤及
焦炭為燃料
但結焦性
之煤則不可
用又烟煤及
焦炭二者之
着火及燃燒
速度相差甚

精
一
業

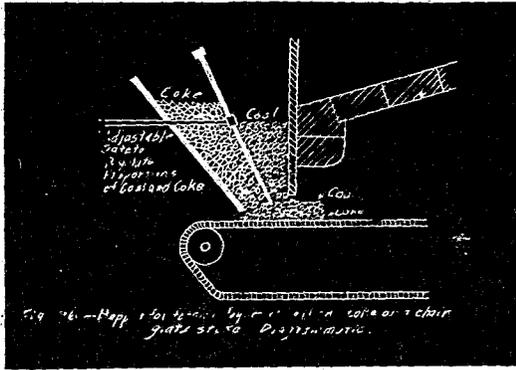
大若混合並

用，即有顧此失彼之虞，結果損失甚鉅，補救之法，乃將揮發物較少者為焦炭，卸於底管，如此可供大量空氣接觸，燃燒亦較快，如第五十圖，即將焦炭及烟煤分層卸落於爐篦之裝置。

至於通風有自然通風與壓力通風二種，自然通風為 0.25-0.60 吋，~~水~~按計以下，方此壓力通風為 1-2 吋，通風之大小，因煤塊之顆粒與每小時之 10 尺燃煤之速度而不同，鏈式爐燃煤速度每小時每方呎為 30-35 磅，

精

煤



亦有高至
45-60磅
者控制之
方法有三：
(a) 改变煤
層厚度
(b) 校正炉
篦速度(通
常每小時
為20-120

吹片

(c) 管制通風快慢

名 上給式炉篦 —— 上給式炉篦分為二種：

(a) 單斜前給式 (Single-inclined, front-feed stoker). 即將煤由炉之前面送入炉內;

(b) 雙斜旁給式炉篦 (Double-inclined side-feed stoker). 即將煤分由兩旁斜面送入炉內。

上給式炉篦常為斜面，一部分固定，一部分來復運動，使煤前進。煤由漏斗輸入下降至炉篦後即因着火拱及射之熱蒸出揮發物，變為焦炭。其次級空氣則由焦化拱式炉篦之最下部通入。

上給式炉篦所用燃料有泥煤及無烟煤均可。自然通風為0.25-0.6吋，壓力通風為1-3吋，其燃燒速度最多為

結

每小時每方呎50磅若用無~~論~~質之烟煤則為35磅至控制之法亦不外從~~此~~

(a) 加煤速度

(b) 去灰快慢

(c) 通風多少,三方面着手

3. 下給式爐籠——下給式爐籠應用甚廣如第四十圖煤由漏斗卸入A槽,即由其中之螺旋運輸器將煤擠出至B,此時煤受熱焦化,同時由DD通入空氣,即有揮發物放出在氧化焰中充分燃燒,透過熾熱之炭,故無煤



第四十圖 下給式爐籠截面圖

息發生,至於熾熱之炭則移向斜籠CC方面排出,由EE供給適量之熱空氣使之燃燒。

下給式
爐籠煤層

較厚自12-24吋不等,凡低級~~結~~煤而含揮發物甚高之煤均可用之,但灰分易落者則不適宜,常用壓力通風平均為2-4吋最高為5-7吋,燃燒速度平均為30-40磅最

高為60-80磅，控制之法須從：

(a) 加煤速度

(b) 通風快慢看手。

燃料工業

四. 炉灶設計 機械炉篦所需炉灶之設計與建築必

須注意三點：

(a) 生煤必須適當加熱至着火溫度，並維持此高溫使氣體均能燃燒；

(b) 由煤床放出之揮發烴化物及可燃氣體必須與次級空氣適當混合；

(c) 燃燒空間必須予氣體以充分接觸之時間使之燃燒。以前機械炉篦對於上述三點計劃未周，效力甚低，現為達到上述目的，對於燃燒空間及炉喉 (furnace throat) 等之設計均極為注意，若為鏈式炉篦及上給式炉篦則對於着火拱及掃粉等三致意，為着火拱乃利用反射之熱使煤燃燒，至炉喉即前拱及後拱二者相隔之距離，其目的乃在使煤層不直接曝露於水管而致溫度低降，其能促進可燃氣體與次級空氣二者充分混合。

茲就燃燒空間之大小，拱之建築之運用及炉壁之冷却等等分別論之於下：

一. 燃燒空間之大小——近代火電廠所用之鏈式炉篦，以壓力通風，其每立方呎燃燒空間每小時可出38,000英國熱單位之熱，而汽鍋加熱面積每10平方呎，平均約需炉灶容積2-4立方呎。

五

不同 主

至於下給式爐籠因所用煤之種類每小時每方呎
 燃燒空間可出熱 50000-160000 英國熱單位如美國火
 電廠之所平均每小時每方呎燃燒空間出熱 38000
 英國熱單位其汽鍋加熱面積每 10 平方呎需燃燒空
 間 3-4 方呎

2. 拱之建築——鐘式或下給式爐籠之前部大端常
 建有拱其作用有三：

(a) 使煤加熱蒸餾及着火，

(b) 使可燃氣體及空氣充分混合，

(c) 使混合氣體向汽鍋方面移動其由燃燒空間向爐
 籠前進之熱流之速度，必須恰與爐籠或煤之前進速
 度相等如熱流之速度較慢則爐籠之煤前進時終致
 熄滅反之如熱流較快則在爐籠未入灰池之前煤早
 已燃完，必致通入之空氣過多。

拱之長度因煤之熱值及其燃燒速度而不同所謂
 燃燒速度 (Ignition Rate)，即每小時每方呎爐籠燃
 煤磅數例如每小時每方呎爐籠燃煤 30 磅而爐籠移
 動之速度為 10 呎則燃燒速度即等於 $30 \times 10 = 300$ 磅/呎/
 小時今有煤含有揮發物 25%，若欲使之燃燒(自然燃

成) 則所需拱之長度，可以下式計算之：

$$L = \left[1.0 + 0.16 \left(\frac{15000 - B. t. U.}{1000} \right) \right] \frac{H}{100}$$

式中之 L = 拱之長度(呎數)， $B. t. U.$ = 煤之熱值，

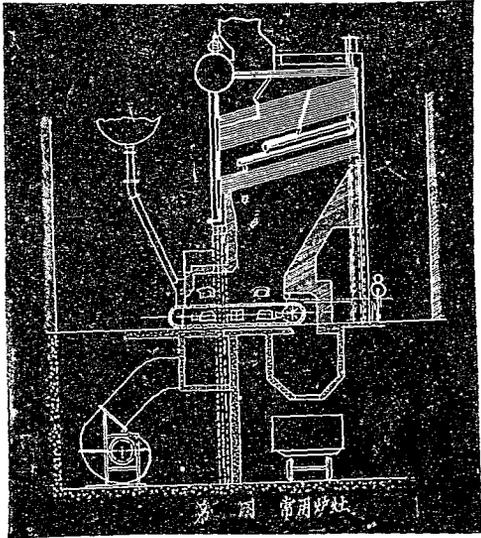
$\alpha =$ 燃燒速度。

例如炉篦之長為15呎每小時其方吹燃煤5磅煤之
 熱、向12000 B. t. 之熱機之高度。

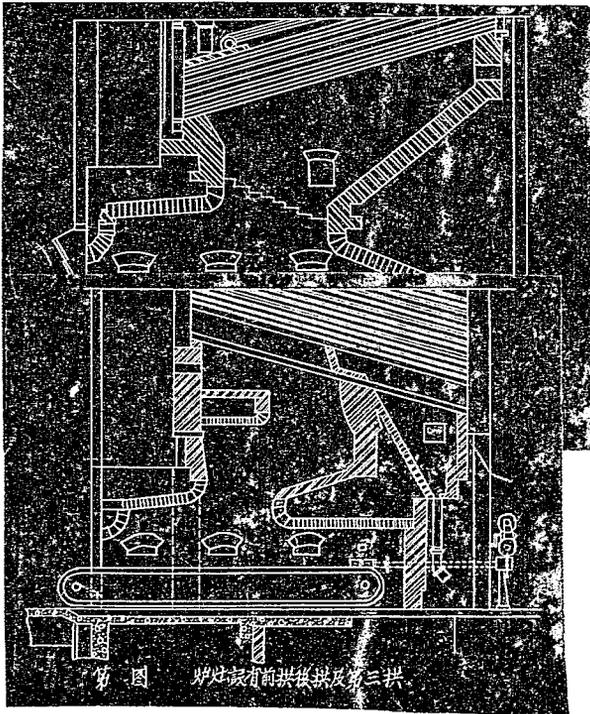
$$L = [1.0 + 0.16 \left(\frac{15000 - 18000}{1000} \right)] \frac{25 \times 15}{100}$$

$$= [1.1 - 2.25] 3.75 = 5.5 \text{ 呎 即 煤 之 長 度}$$

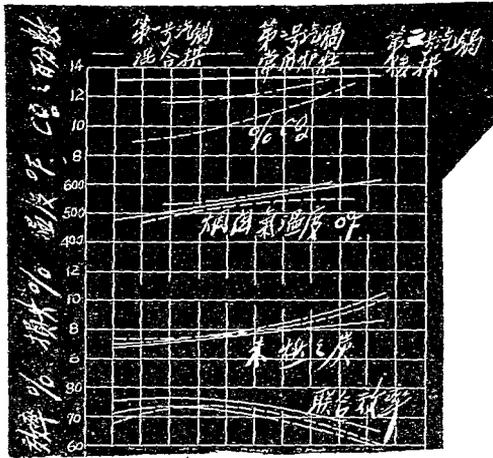
此為含揮發物之煤在普通風之狀況下所需煤
 之高度。若揮發物較少，或煤之熱度較低，則煤之長度
 更應增加。至於煤之高度依何種通風之狀況下，約離
 炉篦2-3呎，作傾斜式愈向愈遠，最後傾度約2-3吋，
 但若為壓力通風，則煤高小，傾度1吋，其燃燒較快
 也。



拱之另一作用在使可燃氣體與次級空氣充分混合，
 庶燃燒空間可以完全利用如第十四圖即為普通之
 爐灶第十四圖則裝有後拱 (rear arch) 或
 inverted arch 其目的在使由灰池逸出之空氣亦
 得與可燃氣體混合至於第十四圖，則除前拱後拱外
 二者之上更有第三拱 此種設計較之普通者效率
 最高蓋爐內設有二拱，一則週自內散出之熱氣亦
 較為均勻，再則灰渣中炭之損失較少故其詳細情形見
 第十四圖。



第十四圖 爐內設有前拱後拱及第三拱

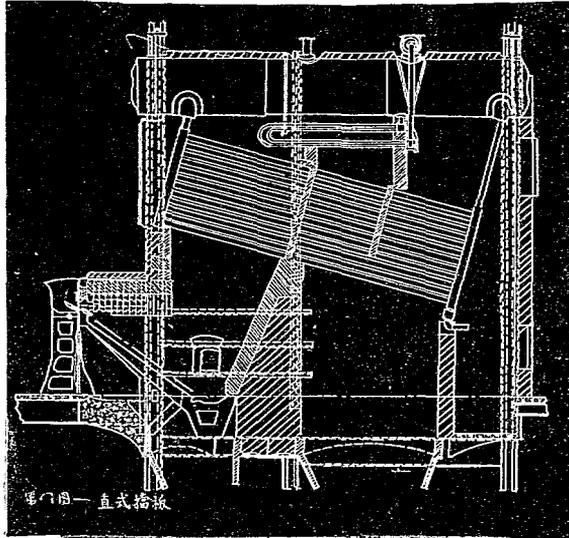


第四十四圖

三號爐 -
一號爐後即
前後供之
者相隔之
距離過大
小過管始
可使丁欲
氣體之充
分混合爐
內氣中分
含或不含
一號爐之
廢氣及通

到最高之溫度及之地方經過大以於於之在曝冷
水質而使液降低又過小則其量不致充分利用通常
爐安之面積約為爐底面積三分之一

一號爐 - 氣壓常設於水質之間其目的使熱
量之損失分利因分度或尖後式之種式 **特報** 第
一十號圖 灰質管係一不流錫爐中常設較大之
二號爐 灰質管對於水質之傳熱係在管中之
溫度較低 **特報** 第四十 **大** 圖 氣管之行程
於水質平行故與管中所需之熱力係由式 **特報** 第



第11圖—直式鍋爐

直式鍋爐

供煤量則較低，以後省較省，省煤而又省之，省煤亦較容易。

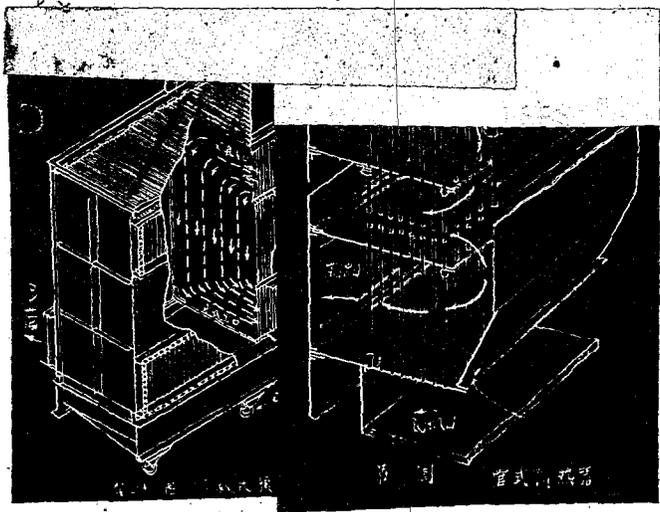
5. 爐壁之冷卻——機械爐壁之冷卻，難以在爐壁之建築而成，但常易腐化，發生剝離，或因冷卻不均，塊狀腐蝕，致不能久用，故於冷卻壁之裝置，宜先或裝管，使冷卻水，以前者為好。

水管為直式之圓筒，其冷卻壁之冷卻，與冷卻管相通，能吸收多量之熱，故及人，其冷卻壁之冷卻，大為增加，故其結果，不但冷卻壁之腐蝕，且冷卻管之損壞等弊，均可免云，且爐效效率亦因之增加。

6. 空氣之預熱——燃燒爐灶所需之空氣，如利用烟筒廢氣使之預熱，效果大增。蓋不僅烟筒中之廢熱賴以收復，重入於爐，且爐中之強度亦賴以升高，因之效率大增也。通常升高溫度可以促進燃燒，故預熱空氣，只須少許之過量空氣，即可使爐篋上及燃燒間之燃燒近於完全。結果不但燃燒速度增加，灰池損失減少，且低級及含水較多之煤，均可利用。

預熱空氣所用之設備約分三類：

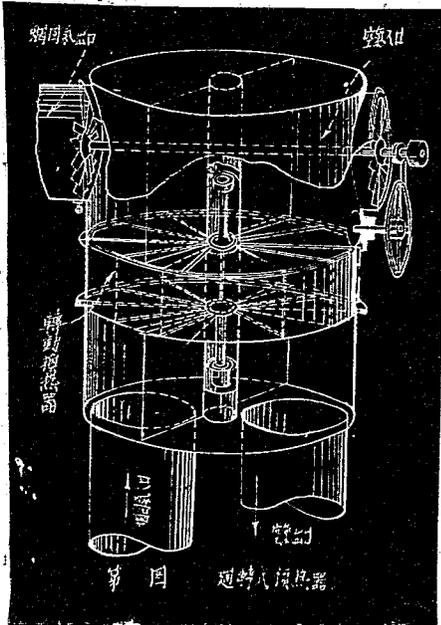
一、為平板式預熱器 (The plate type preheater)，如第四小圖，即將預熱器以平板隔為若干層，依對流原理使烟筒氣與空氣彼此換熱。空氣乃利用壓力通風，又抽氣機使之先經預熱器，然後入於爐內，免烟筒氣中之塵垢可以刷刷之，使之降落在灰斗內，而除



圖四 預熱器

二為管式預熱器(The tubular type preheater)
如第廿圖烟筒氣在一吋之管內流通,而空氣則在
管外經過,上下對流,因之換熱。

三為轉動式預熱器(The rotating type preheater)
如第廿一圖預熱器為圓筒形,平分為六個筒段,
由下而上,空氣層左,由上而下,筒之中有轉動換熱器。



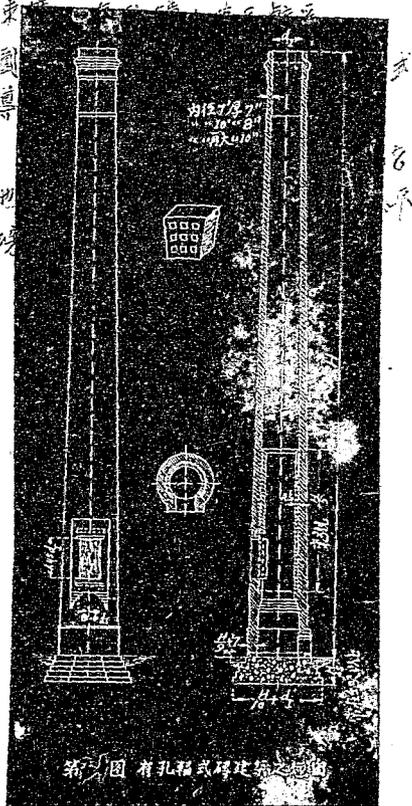
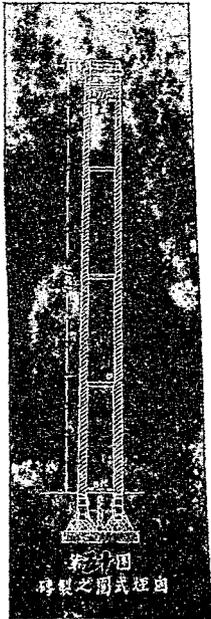
其大載
有鋼鋼
板及平
鋼板相
間排列,
設置改
氣體能
自由通
過,每十
秒鐘轉
動一次,
故能換
熱烟筒
氣及空

氣二者均設有抽氣機,但前者抽氣較快,因空氣需要
之量較烟筒氣撥出之量為少也,此法可使空氣升
高溫度至1500之譜。

五、煙囪 焚燒燃料所失之煙煙石化學反應中可出
 又有氮氣等，均須利用煙囪以排除。

煙囪中氣體流通之速度，以在 300° 時為最快，其溫度
 最高，其流通速度較強 (Convection) 使其中之熱氣級
 冷水以流而利其用，一直至煙囪中之溫度中降至 50°C
 以下，事實上溫度降至 100°C 以下，對於煙氣之溫度相
 差之故，通常分爲三段。

煙囪之式樣常分圓
 者較能抵抗暴風，且導
 圓煙囪之設計
 其頂端爲 9 呎高出地
 方，其能抵抗風力 130 磅



Royal Meteorological Society 之研究 從風之速度
 計其風之壓力之莫大焉 $P = \frac{1}{2} \rho v^2$ ($\rho = 1.3 \times 10^{-3}$ $V =$ 每
 小時風行之哩數) 第 21 頁 亦不在此限 (即除工作受
 然實際大者在此 數之一共 觀之 則當相向中無妨 球
 有空氣 此係 通過 時之 工作費 最 少 然 氣 之 激 擾 時 宜 氣 去
 20 磅 即 每 週 燃 煤 之 量 而 較 出 之 氣 亦 須 費 功 作 而
 言 如 烟 道 廣 大 較 計 充 氣 氣 此 亦 自 應 之 於 除 每 週 燃 煤
 1000 噸 所 出 之 氣 體。

(A) 根基 (foundation) —— 煙基之厚 應 則 為 煙 個 高
 度 之 六 十 分 之 一 惟 之 薄 不 得 少 於 六 呎 或 樣 以 九
 呎 者 較 佳 視 因 建 築 固 難 普 通 多 用 八 方 形 為 基 底 之 直
 徑 應 約 為 煙 個 高 度 之 十 分 之 一 於 頂 端 之 內 徑 基 底
 應 為 切 斷 之 圓 錐 形 其 頂 部 之 直 徑 應 較 煙 個 底 部 之
 直 徑 多 一 呎 煙 個 與 基 底 之 最 高 壓 力 約 為 每 平
 方 呎 3 噸 砂 或 灰 石 所 築 之 地 均 適 此 用

(B) 煙個之厚薄 —— 煙個底部磚牆之厚薄 以 呎 為 單 位
 試 之 少 應 為 $\frac{\text{煙個之高度(以呎為單位)}}{10}$

磚牆向上漸次減薄 其頂端之厚度 應 如 下：

直徑 9 呎 以 內 之 煙 個

直徑 9—10 呎 之 煙 個

直徑 10 呎 以 外 之 煙 個

(C) 煙度 (height) —— 煙度 之 大 小 亦 有 規 定 之 法

100吋縮小4呎

(D) 分段 (Section). —— 煙囪每段高度不得過 20 呎

(E) 襯裏 (Lining). —— 汽鍋廠所用之煙囪其襯裏之高度約為煙囪高度之半。煙囪氣體之溫度在 800° — 1200° C 之間者襯裏應為克。若溫度為 1500° C 以上，應全用耐火磚。

襯裏之下端應達烟道與烟囪接口以下 2 呎之處。如工作時恐有可燃之物質飛入烟囪而其中燃燒，則襯裏應從根基之頂部作起。

(F) 烟囪之底座 (Base). —— 通常磚建之煙囪其底座多係入方形或四方形，高度約為煙囪高度之半，底座之牆壁不得過薄。

$$\frac{H}{2} + 10 \text{ 吋} \quad (H = \text{煙囪之高度})$$

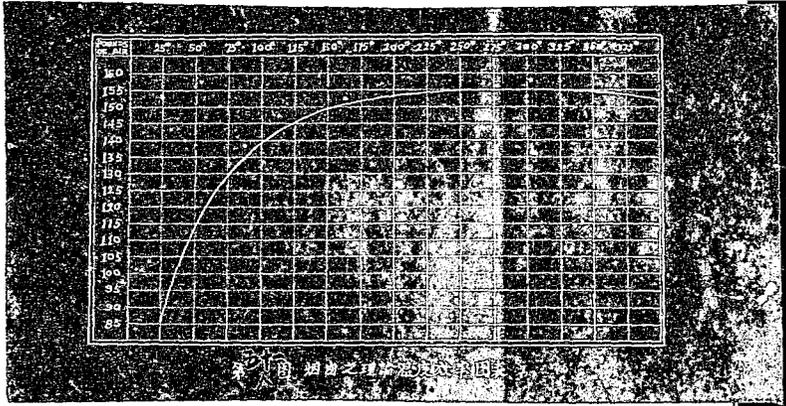
(G) 煙道 (Flue). —— 煙道之斷面之面積應較煙囪頂部之內徑約大 10%。如欲避免煙風與煙道之摩擦力，並使煙道鞏固，則煙道之寬與高應依下式算之：

$$\text{煙道之寬度} = 0.60D, \quad \text{煙道之高度} = 1.45D \quad (D = \text{煙囪頂端內徑})$$

煙道之頂端之 I 形鋼條應有築成之拱門保護之，惟鋼條與拱門交接之處應留有空隙，以供過熱膨脹之餘地。

(H) 避雷針 (Lightning rod). —— 煙囪頂端之圓周每 3 呎應有鋼製之避雷針一根，其頂不得超出 4 或 5 吋，過高則隨風搖擺，易被吹落，又易為酸性氣體所腐蝕。

導絲之線，其細不得過 $7/16$ 吋，其埋入大中之一端應與銅線之圓筒相連接，圓筒與大接觸之面積至小不得



接口之下，鋼條至薄不得過 $3/8$ 吋，其緊不得過 2 吋。
 (D) 梯級 (Step iron). ---
 烟筒之梯級應用 $3/4$ 吋圓

鐵條製之，其兩端應作鈎形以備連接於烟筒梯級相距不可寬過 $1/2$ 吋，內面之梯級之外面之梯級為佳。

(E) 尖鐵帽。--- 烟筒不用時，應以數塊湊合之尖鐵蓋蓋之，俾作防護內部之用。

六、^{4P}鍋爐管理 (Boiler management). — 管理^{4P}汽鍋^{4P}
主要目的在以最少的費用，製得最多之蒸汽通常費用
包括燃料、人工、水及其處理、工廠維持費、修理費及租金
等等但本節所討論者，僅為燃料問題。則燃料費用常
佔全部費用 70% 或更多。再則工廠中一切條件相同時，
燃料之選擇及其利用，又所關甚大也。茲就一九三四年
英國工業聯合會燃料經濟部 (Fuel Economy
Department of The Federation of British
Industries) 研究結果，擇要述之於下。

1. 燃料之選擇 ~~The selection of fuel~~ ^{汽鍋用煤}

須合下列條件：

(a) 熱值高 — 熱集中則運輸及儲藏之費用均省，但
效率却增。

(b) 灰分低 — 灰分為無用之物，徒增處理上之不便
與儲藏上之不經濟。若灰分熔化，更成熔塊，包裹燃料，
致致損失，且爐壁及爐篦亦因熔塊凝結之故，均不
耐用。

(c) 着火易 ^且 — 煤易着火，則能迅速發生蒸汽，以應急
需。因此蒸結性強之煤，均不適用 (900°C 蒸餾時放出
揮發物 20-30% 者不宜)。人工加煤之爐，最好採用半
烟煤及²⁰無烟煤，內含揮發物 8-20%。若機械加煤，
爐具有適當之燃燒空間，則含揮發物 20% 以上之煤
亦可用。

(d) 含水量少——煤中含水量不僅運輸及儲藏浪費金錢，且燃燒時水分蒸發損失熱量。

(e) 大小適宜——煤塊大於3吋方或煤粉小於每吋四孔者，均不合用。蓋大小則堵塞通風，太大則須打細始易燃燒，亦必發生粉末也。

(f) 硫黃不多——煤中會有硫黃，則發出亞硫酸及硫酸之混合氣體，能腐蝕機器。又發電廠之烟囪中如含有 SO_2 及 SO_3 等氣體，必須依照政府定章增加設備，以除去之。故煤中硫黃愈少愈佳。

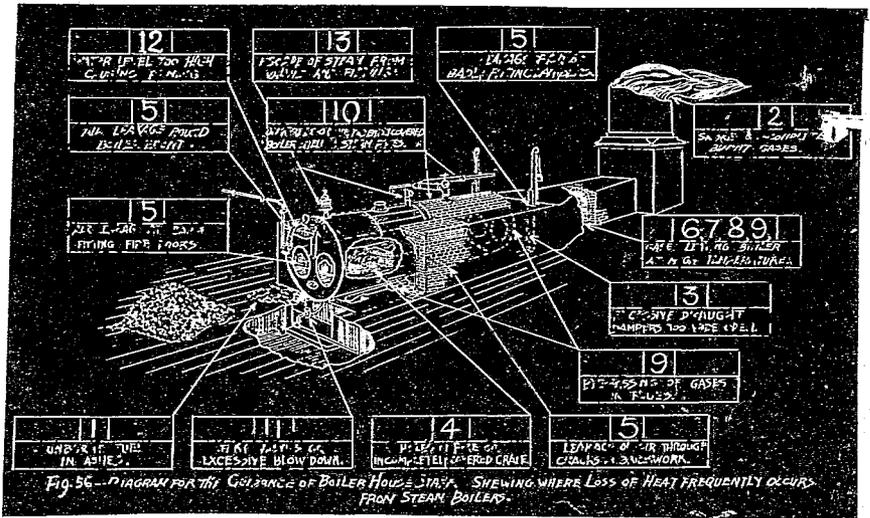
(g) 品質一律——煤之品質不同，則燃燒之狀況亦異，工人管理燃燒亦較困難而多浪費，故以品質一律最為重要。

(h) 價錢便宜——煤之價值固以廉為佳，但燃燒速度及是否發生煤塊等等均宜注意。

2. 熱效之維持 (The Maintenance of thermal Efficiency) 下列第五十六圖係蘭開夏式水管式汽鍋 (Lancashire or water-tube boiler)，以烟煤為原料，人工加煤，自然通風，茲就其維持熱效應當注意之點，彙述之。但對於其他樣式汽鍋或其他加煤方法，亦大都可以應用。即對於機械貯煤、灰力通風及過熱器等均經顧及。

(a) 炉格應有適當距離，清灰時尤宜特別注意，否則煤灰及煤塊中燃料損失，常達燃料之熱值5%以上。

每次加煤以少量加入，薄層為佳。加煤時風門
 須開待煤塊物漸漸燒去風門亦漸漸閉，否則即發
 失不免全煤塊放出黑烟，烟中會有CO₂，即等於
 燃料之熱量之損失不可不填。



第十四回：管理锅炉指南

- (5) 利用氣閘管理通風務使過量空氣達到最小限度。烟筒氣中CO₂之量應為10%最好於接近汽鍋之受頭量之黑烟筒內空氣亦不致發生影響。
- (6) 炉格上之煤應填滿鋪平，不致有洞，以免時時可與鐵靴靴界又。
- (7) 詳細檢查鍋炉各處是否漏氣，如有裂孔均須設法

失工

堵塞以免熱量損失。

(4) 汽鍋之加熱表面應常保持清潔勿令積留煤渣或塵垢否則有礙熱之傳導。

(5) 汽鍋內部積久生垢 (Scale) 亦應加以清理通常積垢不得厚於 3 吋，若為硬垢 (即由硫酸沉澱而成)

更不得厚於 6 吋。而
(6) 細心檢查煙窗及氣閘首有罅隙其以修補以免熱
量損失。

(7) 汽鍋之用則其中之水所含之鹽類及懸浮物亦漸
漸蒸濃因而發生飛沫并發泡 (priming and foaming) 補救之法乃將鍋水放去另以新水補充
但所謂放水不可過多且非其時不若否則即有損
失熱量之虞。

(8) 汽鍋中之水平應恰如工作水平 (working level) 所
示之高度如過高亦生飛沫。

(9) 汽鍋及汽管等宜以橡皮棉或玻璃棉使之保護。

(10) 勿令汽鍋及其附件漏氣。

(11) 蒸氣推動帶筒或其他工具後所剩之廢水尚可利用
之以加熱生水然後注入汽鍋。

卷之二

七

第十章 粉煤與膠凝材料

一 粉煤 (Pulverised coal). —— 自1895年阿特拔水泥公司 (Atlas Portland Cement Company) 以粉煤用於轉爐獲得成效後，五十年来應用日廣，現在使用最多者為水泥工業發出動及製造鋼鐵等等粉煤係以普通之煤先經灰碎及研粉等手續，然後與適量之空氣混合一同噴入爐中，使之燃燒。

採用粉煤之優點甚多：

(1) 粉煤與空氣充分混合，只須最少之過量空氣（約15%）即可完全燃燒，達到高溫，而烟道氣中CO之含量極少，故效率甚高，常達80%以上；

(2) 粉煤可以卸車運輸，處理方便，死液體，

(3) 爐狀需用粉煤多少，可以法基節制之，運用便利，伸縮自如；

(4) 粉煤不需煤床，可免去燧渣之煩，即灰分多少，亦無關係；

(5) 爐中火焰可隨意控制，使為氧化焰或還元焰，此曾對於冶金工業殊為重要；

(6) 不論何種煤質均可採用；

(7) 需人工甚少。

吾人由上述事實可知採用粉煤最為經濟，惟設備較費，不適於小規模工廠之用，又燃燒後灰分易熔，不但除去困難，且能侵蝕四周爐壁，是其缺點耳。

茲將粉煤之裝法、費用及安全諸問題，一一檢討之於下。

粉煤之裝法——粉煤之製備有二：

(1) 聯合系統 (joint system)，即將煤之粉碎粉輸送及燃燒等點不連結一起，倒成一為設備。

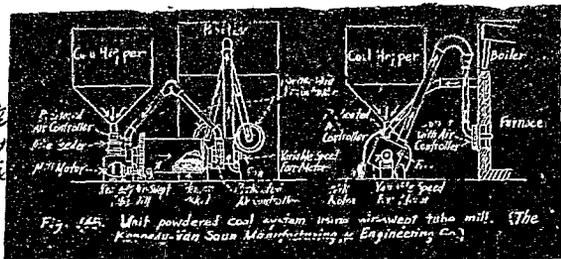
(2) 儲送法 (the bin and feeder system)：將煤送至煤斗，貯藏後再送入，再分送入，以便之。

此種製備法，用煤斗及外級螺旋輸送粉煤，送入爐中，此時有預熱之空氣，由煤斗之出口而送入，煤斗中混合送入，即送入爐中，送入爐口之四度，有次級炭氣送入，煤斗之燃燒管廢之右有一風扇，其作用有二：一、吸粉細之煤吹入爐口，而粗煤留後；二、吸冷空氣，與粉煤混合，便利燃燒，此空氣進入，可以與煤粉機中之供給 15% 之空氣，近加改良，又須通入 25% 之空氣亦可使之着火。

裝法

裝法

* 粉煤裝法



第五十三圖 單元裝法

此法之優點有三：

(1) 粉煤直接應用，無儲藏設備，故用費較省，火患亦可減少；

(2) 粉煤與空氣混會後，經由灯口送入炉內，無須吹風機等設備，故灯口之設計比較簡單；

(3) 設備集中，故需用地面甚小。

但至最近，單元法仍僅用於小規模之工廠，每日需用粉煤50噸之工廠，此法因：

(1) 管廢之數量有限；

(2) 馬力之消耗較多（對儲運法而言）；

(3) 管廢與炉內之需要不足完全配合，設一且管廢失效，必致全廠停頓，以待修理。

B. 儲運法——此法所需設備如：(1) 壓碎機 (2) 烘乾機。

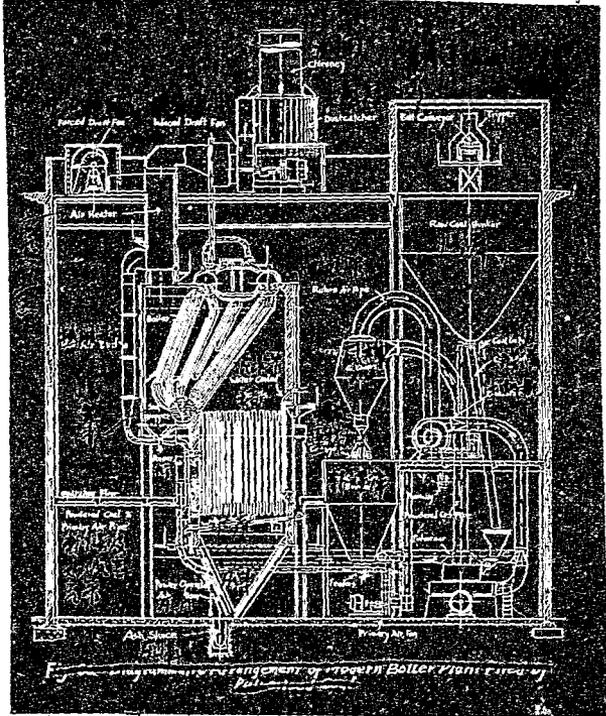
(3) 粉研機 (4) 儲煤庫 (5) 運煤機 (6) 燃煤灯 其全部佈置如第五十四圖。煤經壓碎後送入析鉄機，吸去或去之鉄，否則有損廢機。去鉄後依次送入烘乾機、粉研機、儲煤庫，次以運煤機分送入炉內而燃燒之。

通常購入之煤均為小塊，無須巨碎送入粉研機中研之，至只將英煤乾粉研，儲藏、運輸及燃燒等設備分述之。

(a) 烘乾——煤經烘乾去水後則：

(1) 粉研時比之磨力，數量增加；

(2) 儲藏或運輸時不致結塊，



第五回圖：正火汽爐一於煤加蒸以佈正
 (一) 燃煤之溫度較高，烟道氣之損失較少。
 (二) 自然燃燒之機會不多，快乾之設備雖有種種，但
 近來多在磨中通入熱空氣，使煤氣儘快乾燥。
 (三) 研粉——煤經快乾後，即送入研粉機，研粉越細，分
 愈細愈佳，但亦有限度，蓋煤粉愈細，費力愈多，且

量反少也。

通常煤粉以恰能以風力吹出為度，下列第通十四表即常用粉煤篩分之結果，研煤所需馬力視煤內水分通風溫度及粉研難易等因不同而異，至煤之細度又須視：

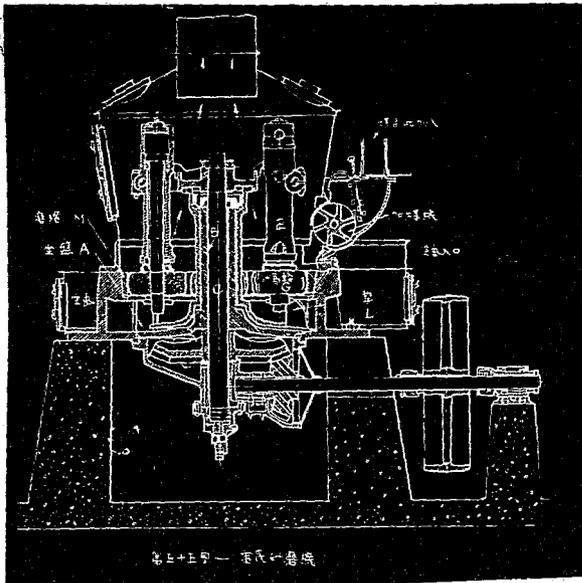
- (a) 煤之灰度
- (b) 揮發物之百分率及
- (c) 燃燒空間而不同大抵燃燒空間愈小，揮發物愈少，則煤粉應以愈細而愈均勻者為佳。

第十四表 常用粉煤篩分之結果

煤之種類	等 級		煤粉通過下列各號篩之百分數		研煤所需之馬力 每1.5磅/時
	20	60	100	200	
煙煤					
正常細度 (Normal)	99	—	85-98	55-65	12-16
更細	22.5	—	88-92	60-70	15-20
超細細度 (Superfine)	—	92.5	95-98	50-30	25-28
高灰煤					
正常細度			99-22.5	85-50	30-40

研煤常用之設備為雷氏研磨機 (Raymond mill) 如第五十五圖，研煤之作用發生於研磨帶 (A) 磨石片之間，二者以相反之方向而轉動，磨石片 (A) 與磨石盤 (B) 為一軸，B 為一軸，C 軸之頂，有二個或四個伸長之臂，各與軸 E 相連，E 軸之下端，即為研磨輪 G，該研磨輪 G 除以 E

圖 1-1-1



輪為中
心作自
身之旋
轉外並
連同 E
軸繞 C
軸而旋
轉其地
球之同
時自轉
及公轉
相似使
轉時因
離心力

之故使研磨輪 G 時向研磨槽 H 推灰成爲粉研物料之
夫力圖中之 M 係一齒輪煤自 M 之上端加入由 E 齒轉之旋
轉煤乃滾滾送入機內壓縮空氣以風扇自坐盤 A 之底
部之管中通入上吹則機中已經粉碎之煤被吹上升而
依箭頭所示之方向逸出機外其較重之煤仍復下降而
被研磨輪 G 上之 E 擊拾起再磨煤粉之粗細可以風力
之大小節制之風力大則煤粉粗風力小則粉細。

此外神奈六氏研磨機 (Fuller-Lehigh mill) 及球
磨均可用惟稍遜耳。

(c) 儲藏——粉煤容易^着冒烟，故儲藏時必須注意根據
 泰勒(H.S. Taylor)氏之研究，煤粉中如含有水分
 0.75%及硫1%則在六日之內能自然燃燒，但若是儲
 藏煤斗中，其上有蓋與空氣隔離，則自燃之危險減
 少，煤斗中應能儲藏以八小時工廠需要之容量，若
 為乾煤則能有96小時之儲量，尚無危險，粉煤初儲
 時較質疏鬆，碰動甚易，若質時消久則結為硬塊，切
 宜注意。

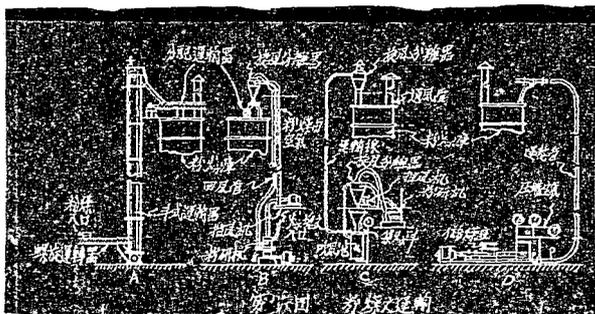
(d) 運輸——粉煤之運輸如第五十六圖共有四法：

(A) 法乃將粉煤先用螺旋運輸機橫運，次用斗式運
 輸機豎運而入煤庫，此法最良，其缺點在不易變
 換方向或轉彎；

(B) 法乃將粉煤用抽氣機直接送入煤庫，工作簡便，
 但須大量之管，運送旋風分離器與粉研機費昂
 不貲；

(C) 法乃將煤研粉後以抽氣機送入旋風分離器分
 出之煤經煤斗而入吹池(Blowing tank)吹池
 置磅秤上，庶吹送入爐之煤究竟幾何，可以測知，
 吹管之中有輸煤管，深入池底，待池中裝入適量
 之煤粉後，即以壓縮空氣(每方吋50磅)從池頂通
 入，於是粉煤乃由輸煤管排出，經旋風分離器而
 入於爐內，此法所費馬力甚少而費亦省，故採
 用之者較A、B二法為多。

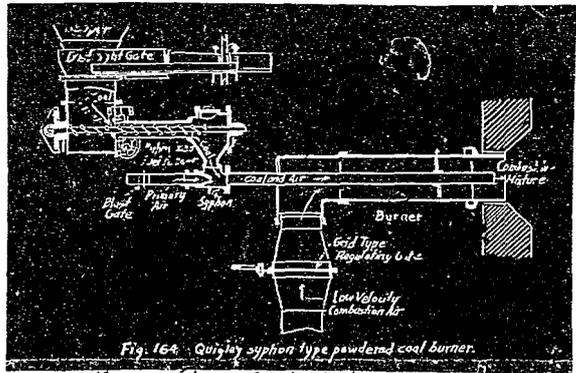
五、



口去乃
將粉煤
連續以
唧筒排
出及將
出口過
濾之
空氣海

續檢定所需量300立方呎)庶粉煤不致集結而由輸
煤管順利送出,此法所用之輸煤管徑3-5吋,通於長
距離之輸送。

(2) 粉煤煤氣火——粉煤入庫後,即以加煤器輸送
入點火器中,俟在點火器中煤器不致集結,在後,煤均
勻及與空氣混合,以相等之速度送入爐中,點火器
之設計在使粉煤與空氣混合均勻,然後以低壓之空

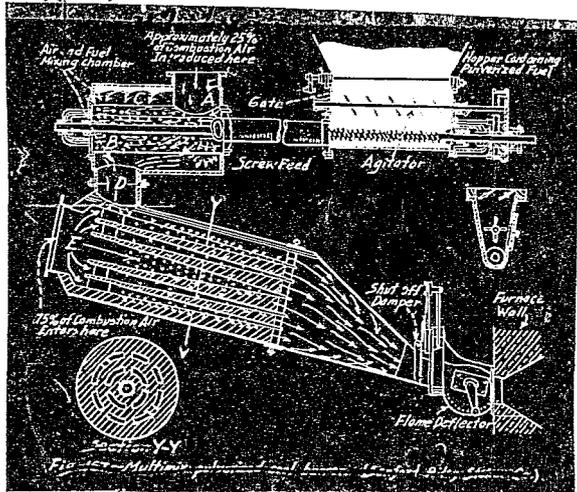


氣送入
點火器
使之燃
燒如第
五十七
圖粉煤
之構造
如左

第五十四圖：噴嘴式射煤火

器而下降與初級空氣(5英寸壓力)混合均勻後(混合
物中約含空氣需要量80%)送入點火器,在其周圍之
次級空氣(1英寸壓力)相混合,一起燃燒(第十八圖
所示)者在冶金工程方面採用者最多,但亦可用於鍋
爐方面。

空氣與粉煤混合法



第十八圖 多次混合粉煤爐

(4) 炉灶——過去燃燒粉煤之主要困難在於需要廣大之
空間始能使煤完全燃燒,且耐火材料製成之炉壁
又因高溫及火焰之侵襲而損壞,近該研究每次方呎
燃燒空間每小時燃燒1-1.5磅(即約發出12,000-18,000
英國熱單位之熱),可得優良結果,若煤與空氣混合均

自利用預熱空氣及建築水管爐壁，則需要之燃燒空間較上述更小。

又煤灰之結塊與英熔點之高低及爐內之溫度有關。熔塊在 1000°C 時為固體，若升至 1100°C 以上，則變軟能侵蝕爐壁。避免之法最好於爐底置一水簾 (Water Screen)，爐之後壁及灰衣兩壁均裝以水管，直接與汽鍋相連。如此不但吸熱面積增加，且煤灰亦因溫度降低不致熔化而侵蝕爐壁。詳細情形見前第五十四圖。

2. 粉煤之費用——一九三三年英國礦冶工程師協會曾就粉煤廠十家之兩年之結果加以研究，大約每噸粉煤所需費用 (除息金外) 每 16 便士起至 32 便士不等，平均為 21 便士，舉列如下：

	便士
動力費	5.1
工資	3.7
維持費及滑油	5.0
折舊 (包括房屋及設備)	7.2
	<u>21.0</u>

3. 粉煤之安全問題——以前製備粉煤，頗易發生嚴重爆炸，但若小心處理，亦無大碍。製粉煤之爆炸不出二途：

(1) 易燃氣體與空氣之混合物着火。此易燃氣體既為烘乾時煤內放出之揮發物，若特別小心，不使烘乾

器內之煤過於受熱則此患可免。

(2) 粉煤與空氣之混合物着火，若依下法留心處理，亦可避免火患。

(a) 粉研廠及燒煤房不設有粉煤堆積，並須良好通風。

(b) 所有運煤機及粉煤庫均須密蓋，工作進行時切勿打開。

(c) 一切開關均須安置於粉研機之外。

(d) 留心電動機濺出火花。

(e) 禁止吸烟及點火。

二、膠狀燃料 (Colloidal fuel) —— 膠狀燃料係以粉煤與燃油 (Fuel oil) 混合製成，因呈膠狀故曰膠狀燃料。例如：粉煤之比重為 1.35，其每磅之熱量為 12,500 英熱單位，燃油之比重為 0.90，其每磅之熱量為 19,000 英熱單位，若今以粉煤 40% 燃油 60% 混合，則每立方呎之熱量為 11.2 刺姆 (Therm)，較之同體積之煤或油均多。粉煤為 7.2 刺姆，燃油為 10.7 刺姆。如此配合製成膠狀燃料，不僅熱量集中，且煤之自然氧化，及自然發熱等現象均可避免。又膠狀燃料之比重為 1.04，故可藏於水下，減少火患，即不幸發生火警，亦可以水撲滅之。

膠狀燃料既係以粉狀之煤懸垂於液體燃料之中，其最緊要之點，在使二者長久保持膠質狀態，最少六個月，或力熱至 100°C 數小時內，不致分離，欲達此目的，其法有

三

1. 將煤粉磨細——置煤於油內磨之，使成膠*事實上可能，但成本太貴，通常煤粉80-90%能通過200篩孔者即已適用。
2. 加入穩定劑——上述煤粉與油之混合物中加入硬脂酸鈉0.2-1.0%充分混合亦不分層，此外高沸點之煤膏油有同樣作用。
3. 直接混合——熱解反應得來之煤油與粉煤混合，即不必加穩定劑，亦不分層。

第十一章 煤氣

一 概說——煤經炭化或分離之氣破裂蒸餾後即得煤氣，
 確精煤膏及焦炭等等，煤氣可以點燈，可供加熱，歐美社
 會均廣用之。確精煤膏，較化合得硫酸銨為重要肥料。煤
 膏蒸餾則得苯、甲苯、萘及其他產品，可以製造炸藥、染
 料、藥劑，至於焦炭更為鋼鐵及一切冶金工業必不可少之燃料。

燃料工業

此外尚有所謂低溫蒸餾，其去之目的在製造半焦、燃
 燒燕烟，可供家庭燃料之用；另一目的則在增加液體燃
 料之產量。

普通所謂煤氣，係由高溫蒸餾而得，應以最低價供給
 大眾採用為原則。

此處附貼第十九周

二 煤氣工業之歷史——一八七九年英人麥多克 (D. Murdoch)

於其住宅之後，將煤置於鐵罈中蒸餾之，所得
 煤氣，以鐵管導之入室，可以點燈。迨後試用於工廠，其年
 需燭費 2,000 英磅者，蒸餾煤氣 600 英磅即可，自是以
 後採用者日多，而麥氏亦於一八〇八年獲得英國皇家
 學會之獎章。至一八三〇年英國煤氣製造廠達三有餘
 以上，今更為世界各國家庭用及工業用必不可少之燃
 料，皆麥氏之賜也。不過當日所用之炭化罈為由鐵製，溫
 度約為 650-750°C，至一八二五年蘇格蘭人改用水泥甑，
 炭化溫度升高至 850°C，最後至一八九〇年普遍採用氣
 體加熱換氣甑 (Gas-fuel regenerative retort)。

九十五

溫度更升至1100c.

三、世界各國煤氣工業概況：

1. 美國 —— 美國煤氣投資約為500,000,000英磅。據一九三四年統計，美國全年製出煤氣347,453萬立方呎，共值374,845,000美元，平均每1000立方呎值美金1.08元，其中95.2%供給家庭用，其餘2.8%則作工業之用。

又同年出產天然煤氣967,370萬立方呎，平均每1000立方呎值0.341美元，其中29.6%供給家用，70.4%作工業之用。

2. 英國 —— 近五十年來英國煤氣工業之發展亦甚迅速，詳細情形見下表：

年 度	煤 氣 (百萬)	投 資 (百萬英鎊)	煤 氣 (百萬噸)				
	製 造	製 造	製 造	製 造	製 造	製 造	製 造
1885	35.9	3551.4	8728	84,637	79,393	18,967	2,095
1933	46.5	166,270	16,714	292,230	286,114	54,916	10,012

此僅就英國本土而言，其在屬地如坎拿大近六十年來煤氣工業之發展達350%，澳洲各大城市均有煤氣裝置，他若西貢、加爾各答、哥倫坡、香港等處亦然。

3. 法國 —— 法國煤氣工業比較落後，據一九三八年之統計，法國用於煤氣製造之煤僅460萬噸，其每人每年消費之煤氣僅及英人消費者四分之一，但近年來發展甚快，壓縮煤氣尚可用之作為汽車燃料。

4. 德國 —— 德國煉焦爐煤氣比較我國發達，但收費較

貴後一九三八年之統計德國全年共產煤氣126,339
 有萬文方呎每人每年消耗較之法國略優一等
 日本——據一九二八年英界動力會議報告一九二
 六年日本全年共產煤氣16,000有萬文方呎焦炭55萬
 738噸煤膏128有萬畚約共用有萬噸以上
 6. 中國——我國各大城市設有煤氣製造廠甚少天津
 煤氣廠係英人經營東北方面煤氣設備比較本部為
 多原為日人設文近已收回自辦

表 各國煤氣產量及消費表 1931

國 別	煤氣產量 (有萬文方呎)	每人每年煤氣消費量 (1,000文方呎)
美國	人工煤氣	10.99
	天然煤氣	
英國(愛爾蘭除外)	313,517	4.00
德國	126,339	1.96
法國	66,745	1.67
加拿大	人工煤氣	4.12
	天然煤氣	
日本	26,100	0.20
荷蘭	22,281	2.98
意大利	18,222	0.13
比利時(1930)	11,587	2.18
澳大利亞	13,100	1.95

煤氣工業

九

表 1

瑞典	8.17%	2.12
挪威	7.76%	2.11
捷克 (1930)	7.06%	0.27
匈牙利	3.79%	0.25
挪威	1.37%	0.19
貝爾斯敦	5.0%	0.03

四 煤氣工廠之設置

1. 地位之選擇——煤氣工廠之地位第一要交通方便，如此始可輸送廉價而通用之煤炭輸出焦炭及其他副產品，再則煤氣之密度較空氣為小，只 0.45-0.5%，故工廠之地位宜低，但無水淹之慮，又設備之地基宜強固，水質之供給要充足。

2. 工廠之大小——吾人估計工廠之大小應假設其所區域內 50% 之供戶需要煤氣，又該區每年需要煤氣之量假設為 1,000,000 剎姆，則該個區域每日需用之煤氣最多為全年需要量之 $\frac{1}{365}$ 分，入後每日最多之需要量為一百萬，一英尺 (= 5000 剎姆) 則工廠之面積應為 2-3 畝，過此過加至於煤氣儲藏設備最好每日能供給 18-24 小時之用。

3. 資本——據英國官方公佈，每年乾餾煤一項或製造熱值 75 剎姆之煤氣，平均需要資本 9.65 英鎊 (每剎姆約值 2 先令) 據米特 (Mitt) 氏之分析，此 9.65 英鎊約有 2.1% 為土地費，30-40% 為設備費，其餘均為儲氣槽及

用戶安裝煤氣之費用

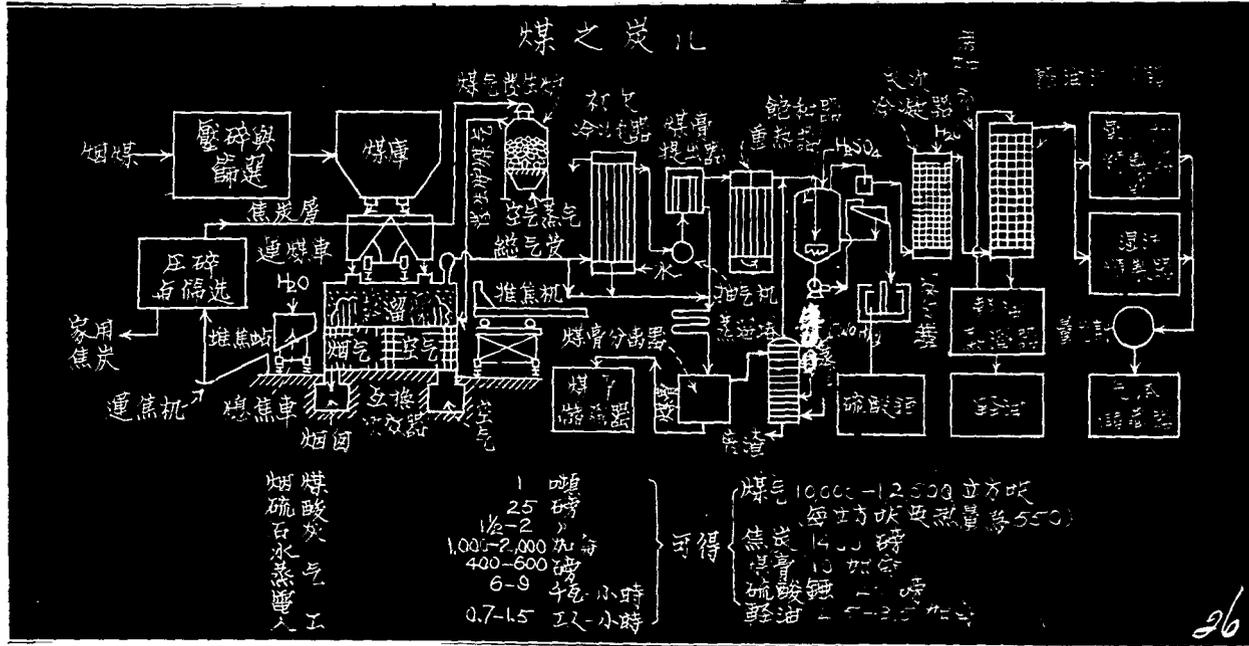
4. 設備——最近煤氣工廠之設備應包括儲煤庫、煤炭
庫、運輸器、乾餾甌、冷凝器、水煤氣發生爐、氣量計、抽氣
機、煤氣精製設備及儲氣槽。其規模較大者，更應有苯
之收復器、精製器及煤膏蒸餾器等。

5. 煤之品質——製造煤氣所用之煤，~~減滲減灰是計~~
最好於 200°C 乾餾時能放出揮發物 $30-40\%$ 。通常 0.1
之值愈近於 1 者，愈宜於煤氣製造。

5. 煤氣製造程序——如第**六**圖將細煤灰碎過篩送入
煤庫，次以運煤車裝入炭化甌或乾餾甌內，甌為**橫流節**
熱裝置，以發生爐煤氣熱之，至 1000°C 以外，則煤漸漸被熱分
解，發生水蒸汽及種種化合物。此等化合物之為氣狀者，
以導管導之甌外，甌外有聚氣槽 (Collecting main)。氣
體物質先在此冷却，其成分之一部凝為液體，即是所謂
煤膏 (Coal-tar)。其他之成分尚為氣狀，溫度較大，氣為
高，以水冷氣器冷却之，則煤氣中殘餘之煤膏，復行液化，至
於氣及其化物則溶於水中，而為煤氣之 gas liquor。如
此凝縮之煤膏及煤氣液同流入煤膏分離器，分出煤膏，
另儲藏之。煤氣以水冷氣器時，溫度已與大氣相同，通常再用
抽氣機增加氣流之速度，抽出之煤氣尚含有煤膏、
苯及硫化物等等。

次再經煤膏排除器，以機械的作用，充分採取煤膏，亦
流入煤膏分離器內。此時煤氣已冷，復經重熱器 (Reheater)

氯化物精製器或洗法精製液使其所含之硫化物被
法除去即得精製之煤氣乃級或量計而用之



焦炭以推焦機由反應爐取出，
送後經運往水車中碎成
焦炭末，煤氣
由洗油洗淨及十九度三度

煤氣之成分為：
 氫氣 4-10%
 甲烷 40-50%
 乙炔 0.1-0.2%
 一氧化碳 10-15%
 二氧化碳 1-2%
 氫氣及氮氣 1-2%

此物及氮化物之精製後
 $2H_2 + O_2 = 2H_2O$
 $2C + O_2 = 2CO$
 $CO_2 + 2C = 2CO$
 $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

而入臭氣 (Ammonia saturator) 使其中之硫酸
化而為硫酸銨，而後在分離器中分出之氯化物，
在蒸餾塔中與水反應，放出之氨，亦同時進入能氣
器發出同一作用，所得之硫酸銨，經結晶後送入離心
機中，分出母液，即得成品。

至此，所得之苯，復經末次冷凝器而入輕油洗
滌器，由上方送入洗油，以吸收煤氣中所含之苯類分
餾之，即得輕油及洗油，洗油仍可再用，最後煤氣經過

N_2 1-6%
 2. 煤氣液之成分——煤中會及反應時生成之苯類
成蒸氣混於煤氣之中，冷卻後成水溶液，內含 15-20%
之苯，與灰灰共同蒸餾，即得苯氣，再與硫酸化而得
硫酸，可作肥料之用，硫酸銨之生成率，約為煤之 1-
1.2%
 3. 煤膏之成分——煤膏之主要成分為苯、甲苯、二甲苯、

氧化物精製器或濕法精製器使其中所含之硫化物設法除去即得精製之煤氣乃經氣量計而入儲藏器儲藏之

乾餾既終甑中遺留之焦炭以推焦機推入熄焦車中以水濕之使之熄火次以送焦機運往壓碎機中壓碎之過篩大者可供家用小者可製發生爐煤氣

乾餾烟煤所需工料及所得產品均見第五十圖就其就產品之成分略述之

1. 煤氣之成分——煤氣之成分為烷氣(烷化物(甲烷乙烷等)烯屬烴化物(乙烯等)炔屬烴化物(乙炔等)環屬烴化物(苯等)硫化物(硫化氫 二硫化炭 硫 稀煙圖 等)氮化物(氮氣化物等)二氧化炭 一氧化炭 氫氣及氫氣等等

工業上煤氣中之硫化物及氮化物須除去精製後之煤氣其成分為： C_2H_4 20-30% C_2H_2 2-3% H_2 50-55% CO 6-10% CO_2 2-5% O_2 2-4% N_2 1-6%

2. 煤氣液之成分——煤中食水及乾餾時生成之水均成蒸氣混於煤氣之中冷卻後成為水溶液內含1.5-3%之氮與灰炭同蒸餾即得氮氣再與硫酸化合即成硫酸亞可作肥料之用硫酸之生成率約為煤之1-1.2%

3. 煤膏之成分——煤膏之主要成分為苯 甲苯 二甲苯

酚、甲酚、吡啶、萘及萵等等。製造情形詳煤膏分餾章。
4. 輕油之收復——煤氣中所含之輕油以苯為主其量約佔煤重1.0—1.3%。通常柴煤膏中蒸出之輕油相混重行蒸餾可得苯、甲苯及二甲苯等。

5. 焦炭——焦炭之成分大部為炭，然亦會有少量之揮發物。又煤中之灰大部殘留於焦炭中，硫、磷亦微含有之。

下列第六十圖為倫敦煤氣焦炭公司製造工程概要。
第六十一表為倫敦首都煤氣廠計身書附譯於此以供參考。

六. 煤氣製造設備:

1. 乾餾甑 (Carboising retort setting) — 乾餾甑
 又最常用者有水平式及
 直立式二種茲分述之於
 下:

A. 水平式乾餾甑

(Horizontal retort setting)

此種甑使用最良煤
 有良好氣煤 (gas-coals)
 及廣大空間可以利用
 而其重要目的又在製
 造直接煤氣 (Straight
 coal gas) 及參用焦炭
 者則採用水平式乾餾
 甑亦屬有利。

大規模製造煤氣常以
 兩方開口之直通式大
 甑 (through fireclay
 retort) 6-12個橫貫一
 甑中, 每甑長18-20呎寬
 18-25吋高13-16吋, 甑壁
 厚3吋, 為△形每甑之



第 31 表

倫敦首都煤氣廠計算書

	1931			1932A		
	總金額	煤氣 ¹⁰⁰⁰⁰ 噸之價值		總金額	煤氣 ¹⁰⁰⁰⁰ 噸之價值	
資本及負債	£	s	d	£	s	d
	40,525,420	18	5.46	56,762,626	16	7.69
收入						
煤氣售款	5,131,568	2	1.04	11,752,736	3	5.37
氣量計租金	254,661		1.28	644,687		2.12
煤氣爐及其他設備租金	515,093		2.98	1,503,154		5.29
產品:						
焦炭	1,212,622		7.17	2,188,669		7.70
煤膏及其製品	317,525		1.74	643,582		2.26
硫磺鉍	112,321		2.25	2,333		0.27
其他	36,498		0.20	6,240		0.21
全部收入	7,993,568	3	7.66	16,591,818	1	10.37
支出						
煤、焦炭、油(包括運費)	2,868,998	1	3.67	4,622,550	1	14.13
職員薪金(製造方面)	73,059		0.45	17,866		0.88
製造工資	354,859		1.83	502,259		1.96
煤氣精製	83,170		0.46	120,697		0.42
折舊(製造設備)	769,258		4.37	1,502,339		5.23
薪金及工資(分配給用戶工人)	175,504		0.96	884,409		3.11
折舊(配給用戶設備)	301,287		1.65	1,677,110		4.99
氣量計及煤氣爐之修理與換新	637,418		3.51	2,222,225		7.65

燈費	63,300	0.35		
稅金及課稅	482,606	2.64	932,996	3.78
薪金(管理方面)	23,592	0.16	743,201	2.50
收款人薪金及酬勞	62,618	0.53	292,188	1.02
紙張及印刷	59,532	0.32	224,759	0.79
經理及會計	16,597	0.09	33,140	0.12
股東紅利	105,298	0.58	169,405	0.60
退休金	86,731	0.47	303,573	1.09
捐款及保險費	15,011	0.08	93,279	0.33
公積金	6,153	0.03	7,573	0.03
倒賬及特殊用費	22,807	0.12	133,846	0.47
全部支出	6,220,298.2	10.53	13,905,151	4.92
總利益	1,670,262	3.13	2,686,667	2.15

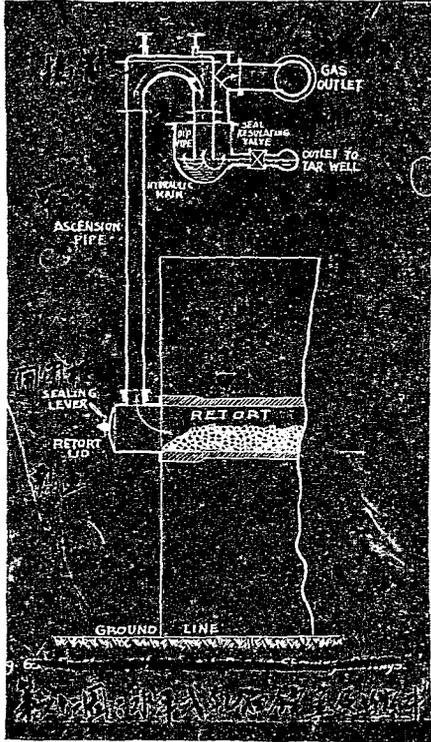
附註：1931年煤氣1,000立方呎平均含有熱量5.5-6.0刺姆及1933年為

4.6刺姆。

爐或甑分六直行，六排，共分3-6層甑之四週均可加
熱，所用火磚，須能耐1400°C之高溫，即因卸焦裝煤，溫度驟
變，亦無影響。

甑之兩端，壁厚四吋，各裝有門，可以啟閉甑口不遂有升
氣管(Ascension pipe)，直徑4-8吋，其目的在使煤氣
煤膏及其他揮發物經橋管(Bridge pipe)浸管(Dip
pipe)而入集氣管(Collecting or hydraulic main)。
集氣管亦有煤膏及水料浸管封住，只使氣體通過，而入冷

凝氣但開鼓如煤時氣體不能倒流詳細情形見第六十二圖



晚近大規模之
 廠之乾餾加
 煤均用機械其
 長20呎寬10呎
 高10呎之數可
 裝煤以粗
 只裝6-8粗
 其如此不僅
 出氣體之卸
 大能比較容
 多氣煤乾餾時
 常起澎湃現象
 且其發熱
 乾餾所需之
 時間較之裝
 煤多者而度
 流者需6小時
 (6 cwt) 全滿者
 (1 cwt) 需以
 小時始能充
 炭化之數內溫度

通常炭在 950°C 以上炭化將終時為1100 C 中途卸焦炭煤氣溫度降低至 500°C 時間稍久則其化學物漸行分解氣中下列第~~七~~來為煤乾餾時所失煤氣之成分又變化

燃料工業

表五十九 煤乾餾時所失煤氣之成分變化

	乾餾時間(小時)				
	0.5	1.5	2.5	3.5	5.0
H ₂ S	3.8	3.1	2.8	2.1	1.2
CO ₂	2.0	2.8	2.6	2.3	1.7
CO	4.4	5.0	4.9	4.5	3.8
C ₂ H ₄	8.6	5.2	3.6	2.4	1.5
C ₂ H ₂	12.7	12.0	3.1	3.5	2.3
H ₂	22.8	37.5	45.2	46.2	60.8
N ₂	0.1	1.1	1.5	5.0	6.2

煤之炭化既由四週漸及於中心則甑內之煤如未裝滿時煤氣之逸出必先經過一層紅熱之炭其炭之溫度較低且在此層相遇如此較重之烴化物如乙烷丙烷丁烯等烴分解即甲烷亦不能免可見煤氣之逸出愈速愈佳

又甑中之煤以裝滿為佳蓋如此煤氣通過煤之中心溫度較低且在甑內停留之時間亦較短至甑內之壓力最好較甑外為高否則必致空氣吸入甑內生成巨量之炭之氣化物及氮氣有損煤氣之品質

氣炭(Gas carbon)之發生蓋由甲烷熱解而來此寶

為水不式乾餾器持有之現象，少量之氣炭雜可使獸木路氣，但過多，則有礙熱之傳導，須按時除去之，^此氣作電極之用。

乾餾器以發生爐煤氣 (Producer gas) 加熱，其成分為：
 $CO_2 = 5.0$, $CO = 27.0$, $H_2 = 7.5$, $CH_4 = 0.5$, $N_2 = 60.0\%$
溫度為 $1200^\circ C$ 。若燃燒完全，則廢氣中應含：

$CO_2 = 18-19$, $CO = 無$, $O_2 = 0.5-1.0$, $N_2 = 80\%$
溫度初入 **換熱器** 時約為 $1000^\circ C$ 離去時為 $550^\circ C$ 。若再經過廢熱汽鍋則送入烟筒之氣為 $250^\circ C$ 。

現時小規模煤氣廠，其以煤與卸焦均用人工規模大者改用機械，且獸之煤均為瀟裝。

結果 茲為了解近代水不式乾餾器工作成績特舉一例以說明之。1910年英人貝爾 (G. F. Bell) 受煤氣工程師協會炭化委員會 (The Carbonisation Committee of the Institution of Gas Engineers) 之託，經七年之研究所得結果，見第 **六十八** 表。所用之煤為英國德伯希 (Derbyshire) 所產，內含：

$C = 72.2$, $H = 4.75$, $N = 1.35$, $S = 2.35$, $O = 7.26$, $灰分 = 7.51$,
水分 = 2.49%, 揮發物 = 33.98%。

至於乾餾器每黨 8 個，每個長 18 呎 x 寬 22 呎 x 高 16 呎，△形，以發生爐煤氣加熱，^此由 **換熱器** 蓄熱，試驗共分六級，一級裝煤 12 噸，炭化 15 小時，另級裝 8.2 噸，炭化 8 小時，前者加熱之最後溫度 $995^\circ C$ ，後者為 $986^\circ C$ ，黨內之溫度為 $1330^\circ C$ 。

第 **六十八** 表 貝爾氏之實驗結果。
三十一

煤化工業

乾餾藥 甌內平均溫度 $^{\circ}\text{C}$. 煤	第一號 995 瀝瀝	第二號 986 1/3瀝
煤之炭化噸數 (互向) 每噸煤之重量 炭化之時間(小時)	295.5 12.0 1%	751.2 8.21 8
互向 焦之度量(每噸煤) } 大粒 } 中粒 } 小粒	9.40 2.47 0.98	8.90 2.96 0.92
煤膏之度量(每噸煤) 份	12.07	10.43
煤膏之比重	1.156	1.189
氣之度量(每噸煤) 磅	29.89	28.50
煤氣之度量(每噸煤) 立方呎(常溫常壓)	12,021	11,820
每噸煤炭化所需之焦炭(噸)	1.60	1.65
煤氣之成分		
CO ₂	2.20	2.60
CO	5.60	5.20
CnHm	3.80	3.30
CH ₄	32.90	31.00
H ₂	18.60	13.50
O ₂	0.30	0.30
N ₂	6.60	11.10

註

附註：(1) 焦炭含水量 6.56%

(2) 煤氣僅用氧化鐵精製

這水平式乾餾甌所得之直接煤氣其成分為：

$$\text{CO}_2 = 0.0 - 3.0; \text{CO} = 5.0 - 10.0; \text{C}_n\text{H}_m = 2.0 - 4.0;$$

$C_nH_{2n-6} = 0.50-1.0$; $CH_4 = 30-35$, $H_2 = 100-50.0$;
 $N_2 = 50-100\%$

茲將倫敦煤氣焦炭公司總工程師賀麟士(H. Hollings)六個月研究報告譯述於下,以供參考

第 ~~五~~ 表 倫敦煤氣焦炭公司報告

		(1)	(2)	(3)
乾餾甑之寬(吋)		22X16	22X16	24X18
乾餾甑之壽命(日)		360	840	1130
乾餾甑之容量(磅/立方呎)		28.6	38.1	28.5
乾餾甑之溫度(°C)		1265°	1370°	1320°
乾餾之時間(小時)		12.0	10.1	12.6
煤氣之成分	CO	6.0	7.5	7.75
	CnHm	3.85	3.5	3.60
	CH ₄	39.45	32.6	34.60
	H ₂	51.90	56.4	51.00
	發熱量(英國熱單位/立方呎)	653	614	628

B. 垂直式乾餾甑 (Vertical Retort setting) — 此類甑在工業上又分斷續式 (Intermittent type) 與連續式 (Continuous type) 二種前者與水平式相同裝入一定量之煤, 乾餾完畢而取出之, 後者每乾餾一次, 取出若干煤炭, 又裝入相當之煤, 以後者較優, 故擇要述之。為伍德爾 (Woodall-Duckham) 式, 為格提米爾 (Guthrie) 式。

燃料工業

葛魯新學

(Glover-West)式兩式工作法並無大異，所不同者，
 依其式所用煤氣及次級空氣由乾餾~~爐~~^鼓之上方通入燃燒
 下行~~管~~^管，則燃料及空氣二者由下方通入燃燒上行，故
 乾餾~~爐~~^鼓之溫度前者之頂部高於底部，後者恰此之相反。

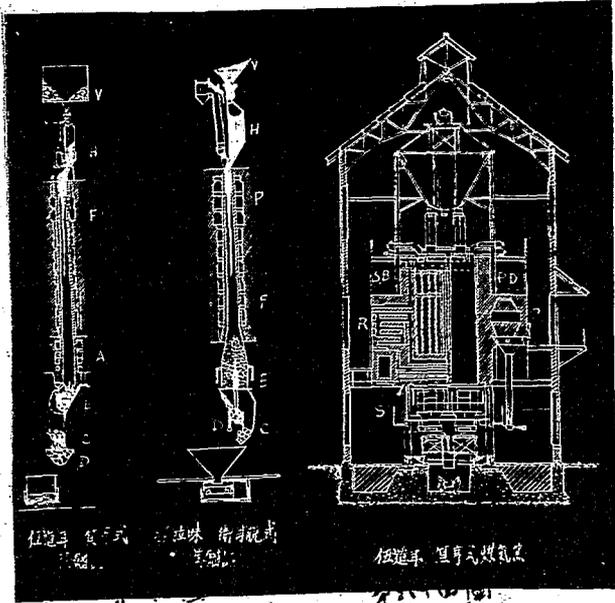
此類乾餾既係連續工作，則熱之傳導及煤氣快流必甚
 均勻，又熱之傳導既由鼓外而來，則鼓頂之煤溫度必低，所
 出煤氣及揮發物由此逸出時，氣炭之生成必較少，後再從
 鼓底通入蒸汽，所得煤氣及炭之量必較多，煤膏亦較稀。

(a) 依其式之乾餾~~爐~~^鼓 此鼓為下寬上窄之矩形柱形
 磚製成，卸焦甚易，其大概情形如下：

鼓長	44'-10"
鼓頂寬	10' 10"
鼓底寬	18' 18"
鼓高	25' 25'
每鼓裝煤之噸數(頂)	3-5噸 6-12
每鼓生成之煤氣(立方呎)	5,000-70,000, 115,000-180,000
燃燒炭之溫度	鼓頂 1400°C 鼓中 1400°C 鼓底 1100°C

如第六十圖煤由煤庫經水塔氣之渣門V而入漏斗H，
 徐徐下降入乾餾~~爐~~^鼓中，焦炭由排焦机(Cake extractor)E
 而入焦秤C，經水門D(6000)而卸出乾餾~~爐~~^鼓，之加熱，由
 第六十四圖發生爐P發生之煤氣根據次級空氣，則由窯下
 S經第六十圖所示之通路A以冷却焦炭，同時為其所熱，
 次復在換熱器R內接受高熱而達鼓頂，其發生爐發生之

煤氣會自燃燒，向下入燃燒室下，最後經換熱器而出室外，



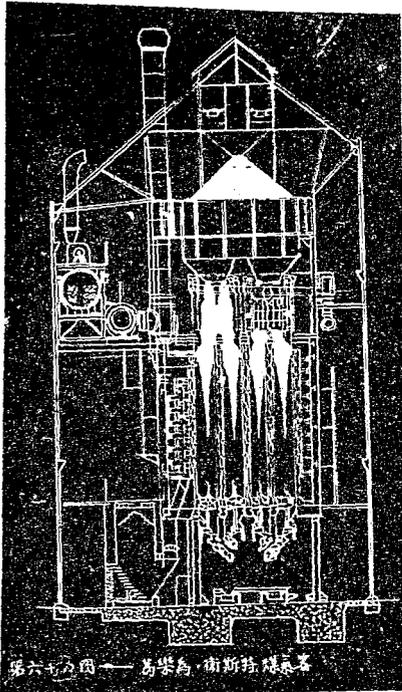
左邊圖 雙式 右邊圖 帶板式

煤道年 煤氣

PD及SD
各為發生
好煤氣及
次級空氣
之氣隔。
燃燒室
中放出之
氣體使之
經過廢熱
汽鍋尚可
利用之發
生蒸汽收
復較好
中煤數之
熱之10%
(b) 熱衡

三氏乾餾器——此器為橢圓形，所出煤炭，由齒輪轉動螺旋（80%）使之排出，同時乾餾之時間，亦可藉以調節，高25呎，兩端大小，各不相同，細分別之有下列三種

	1	2	3
上端之大	30" x 12"	40" x 12"	50" x 10"
下端之大 高頂 21呎	39" x 18"	46" x 18"	56" x 18"
每日煤氣產量(立方呎)	60000	75000	90000



第六十七圖——葛樂為·衛斯特煤氣器

如第六十八圖及第六十九圖。
 煤由煤層經二小時八轉
 之活門，進入漏斗，然後
 焦炭排出，隨即自動裝入
 乾餾器中，焦炭經排焦機
 E而入煤層C，再經水門
 二部，或發生爐之煤氣上
 升，而入乾餾瓶之兩側，燃
 燒炭F，煤氣之量及強度
 均可自由調節，所需之次
 級空氣經排焦機而上升，
 如此一方面使焦炭冷卻，
 其則空氣本身受熱，不但
 及，空氣亦經廢熱汽鍋而
 排出，如此不設換熱器
 所得結果見第五表：

第五十表 格衛六氏乾餾之結果

每噸煤發出煤氣之量 = 15530 文方呎
 煤氣之發熱量 瓦 = 507.4 英國熱單位/文方呎
 = 80.3 剎姆
 蒸汽(對煤重而言): (1) 送入甑內 = 10.5%
 (2) 分解 = 3.7%

燃料工業

煤氣之成分	%	每噸煤產出之量(文方呎)
CO ₂	3.1	491
CO	11.9	1884
CnHm	2.8	443
CH ₄	20.4	3229
C ₂ H ₆	1.2	190
H ₂	54.1	8564
O ₂	0.2	79
N ₂	6.1	949
燃燒室之溫度:—	底部	1350°C
	頂部	1157°C

(C) 汽蒸 (Steaming) —— 所謂汽蒸者水蒸汽入乾餾甑內使其高溫之焦炭反應以製水煤氣之法。此法以在直立式乾餾甑中行之最為有利。其用有二: (1) 焦炭高熱排出先降低其溫度, 可以收復一部之熱。(2) 煤氣之生成量增多并可增加煤膏及氫之產量。收獲。下列第五十三表即倫敦燃料研究所 (Fuel Research Board) 利用格衛六氏乾餾甑試驗之結果。

第五十三表 汽蒸之結果

燃燒室之平均溫度 1250-1265°C

31

每日氣氫炭化火煤

25噸

通入汽蒸之百分數(對煤重而言)	無	5.06	12.44	22.55	30.03
標準情況下每噸煤放出之煤氣量	13,100	16,130	22,060	23,580	25,610
每噸煤放出煤氣之發熱量(利姆)	7126	849	9568	1038	1128
標準情況下煤氣之發熱量(英然單位)	544	517	477	460	432
焦炭之灰量%	72.32	62.1	66.5	66.22	62.83
灰分%	19.13	10.09	12.79	10.20	15.48
每噸煤產出煤膏乾之量磅	23	11.2	11.6	12.1	12.6
每噸煤產出硫酸銨之量磅	16.27	18.75	21.8	21.2	21.95
煤氣之成分					
CO ₂	0.80	1.10	3.50	4.50	5.50
CO	7.40	11.30	15.50	17.80	12.75
CnHm	2.20	2.15	1.70	1.80	1.50
CH ₄	22.05	25.20	21.00	18.00	16.40
H ₂	52.00	42.65	50.75	51.60	49.55
O ₂	0.60	0.70	0.60	0.30	0.55
N ₂	7.25	8.30	6.95	6.00	6.75
蒸汽分解之%	—	100	78.8	62.7	52.5

*此三試驗所用之煤灰分均低

(d) 乾餾工業之進展

第五十二表

有年來乾餾工業之進展

時間	乾餾器	乾餾溫度	每噸煤放出煤氣量(公噸)	煤氣之熱值(英然單位)	乾餾煤一噸所得之焦炭(公噸)
1820-1830	水平式 釜	600°	6000-7000	700-750	5.0

1850	水平式 生鐵 火磚	500°	6000	720	3.0
		800°	8000	660	1.0
1910	水平式 火磚	1000°	12000	550	3.0
1930	水平式 瓦式 火磚	1100°	13800	530	2.5
		1100°	16000	500	2.0

燃料工業

1. 總氣管 (Collecting main). — 乾餾爐內生成之煤氣，於爐之一端設管以導之，此管曰升氣管，由升氣管放出之煤氣（溫度約 700°C）^{升氣管} 總管之中，此總管曰總氣管，因溫度降低（約 100°-150°）煤氣冷凝，流入煤膏分離器中，煤氣仍繼續上升。

3. 冷凝器 (Condenser). — 煤氣出總氣管後，溫度仍在 100°C 以上，故不僅氫、苯，即較輕之煤膏亦含有之，此等物質通常利用空氣或水使之冷卻，前者稱空氣冷凝器 (Air condenser)，後者稱水冷凝器 (Water condenser)。煤氣冷卻後其中之氨水及煤膏冷凝下流，而煤膏分離器，煤氣之溫度亦降至 60°C 左右。

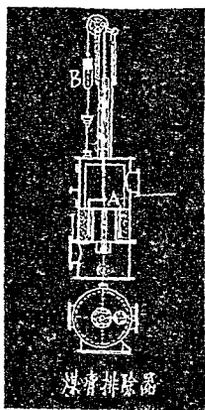
4. 抽氣機 (Exhauster). — 煤氣出總氣管後，除經過總氣管冷
凝器外，尚須通過煤膏排除器、氨飽和器、輕油光滌器及煤
氣精製器等等而入煤氣儲藏器，距離既長，阻力必大，上述
抽氣機即所以克服此種阻力，由另一端吸引煤氣而送之
他端也。

抽氣機常置於冷凝器或煤膏排除器之後。

5. 煤膏排除器 (Tar Extractor). — 如第六十圖，A 為二

重質之鐘形筒浸於水中，由重錘以保平衡，一種膜內
部之氣上升熱氣，以此部之錘上有重質，其煤氣由下方
進入，經過小孔之，其煤氣與水氣之不同，遂彼此分
離。

6. 蒸氨器 (Ammonia distiller) 此器不惟蒸氨之蒸
氣分為二層，其上部共分六層，其層層有蒸氣，其大
者種，其液流而下，其煤氣由出管流出，其液流下
部，其蒸氣 (Free ammonia) 由出管流出，其液流下
部，其蒸氣 (Fixed ammonia) 由出管流出，其液流下
部，其蒸氣 (Fixed ammonia) 由出管流出，其液流下



蒸汽排除器

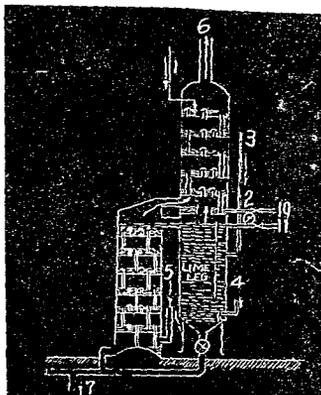


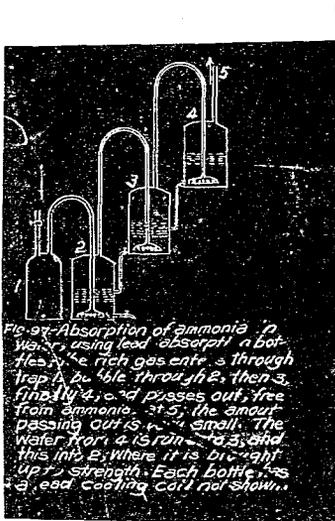
Fig. 96-Operation of ammonia still. Continuous operation; 1. Inlet pipe; 2. 10 ft. leg of mixing vessel; 3. Still; 4. 10 ft. leg of receiving vessel; 5. Lime; 6. Outlet pipe.

必須以石灰
蒸氣開始
出氣，此法
煤氣流由
管不流入
下，其石灰
還，不者流
排氣，出在
蒸氣停止
加熱，此因
石灰與 (Lime
leg) 兩道流
入，其蒸

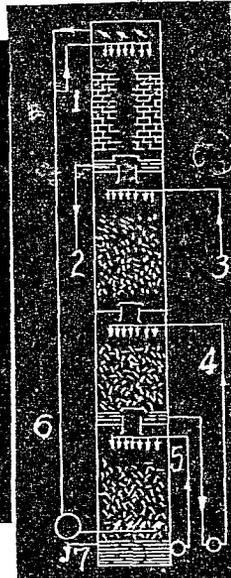
第九十圖：牙白氏連續蒸氨器

入，其蒸

(Fixed bed) 中此器亦不導氣管與帽及溢流管當煤氣液
 透過下流過氣管送入又大量蒸汽則用足缺安分分解放出
 氣氣後由右邊放出最後終分器(Leijallegmatron)而此



第十九圖 及至五



蒸氣即得純
 酸銨。
 大造設備
 亦可用以
 造氣化銨
 欲達到此
 目的必須
 將其中所
 含之硫
 化氫及二
 氧化硫通
 入汽蒸柱
 中，以酸
 洗去之，
 然後以
 所得之純

精通入水中即得如第十九圖 第十九圖

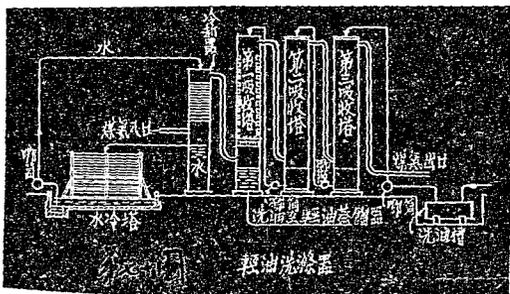
蒸氣：自由氮又反應為：(1) $\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$; (2)

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$; (3) $(\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$.

又同產氣與石灰又反應為：(1) $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; (2) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

7. 去酚器 (Desphenolizing apparatus). — 蒸氣中

去氣後所遺之廢水，尚含有酚，如不除去，則以後所蒸，氣消
 去時，氣與氯化水，變為氯化之，法即將蒸液，由第六塔，回
 中，又以流出，送入第六十九圖中，所以氣，由下流，借換氣塔



上升，即將其中所
 含之酚帶走，然後
 以酸液洗之，即得
 酚，其硫磺化，合
 復可提酚，其已去
 之，含氯液，則由
 送回第六十七圖
 之，再加以反應，
 理，除去其臭。

此外有根據時
 流原理，使煤氣液
 下降，蒸氣上升
 以除去酚者。

輕油洗滌器 (Light oil scrubber) —— 煤氣去氣後，溫
 度降為約 60°C 左右，其中仍含萘、干萘、二甲苯等，經
 成分採取之法，多用油洗，如第七十圖，煤氣先以水冷，至
 之，30°C 左右，次送入吸收塔中，煤氣由下而上，洗油自上
 而下，以是則輕油，其分均被洗油吸收。

常用之洗油，為由煤膏中得來之焦油 (Creosote) 或由
 油中得來之草油 (Straw oil)

② 輕油蒸餾器 (light oil still). — 洗油吸收輕油後置蒸餾器中蒸餾之，則二者因沸點不同而彼此分開。吸油可以不用，至於輕油其大概成分如下：

苯	11.0%	輕油中會有硫化物及其	燃料
甲苯	15.1%	他雜質須加酸鹼以洗滌	料
輕揮發油	4.6%	之銀因經濟上之關係先	工業
重揮發油	1.1%	將輕油蒸餾分為數種油	業
硫酸精製損失	8.6%	與物，然後一一洗之其法	
苛性鈉	2.4%	以唧筒將輕油送入	和
餾出溫度在 200°C 以上者	26.4%	次蒸餾器最初通入	蒸
其他	0.8%	汽最後通入直接蒸汽蒸	
共計	100%	餾之，使分餾物之蒸氣經	

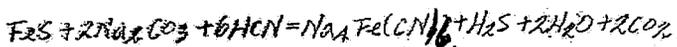
圓柱蒸餾器 (Column still), 冷凝器 (Refluxing column) 及冷 凝器等可成液體，置入池中。再分餾之即得：(1) 150°C 以下 (2) 150-200°C, (3) 200°C 以上之三種分餾物分別貯入池中。

上述分餾物，各以唧筒送入洗滌器中，尚上加入硫酸而攪拌之，則其中之硫化物及不能化合物等即與硫酸化合，成為黏稠之液體而除去之。次以鹼液精製後送入第二次蒸餾器。

第二次蒸餾器亦通入蒸汽蒸餾之，其作與前相同因溫度不同，可得 (1) 純苯 (2) 純甲苯 (3) 二甲苯 (4) 電動機苯及 (5) 揮發油等等。

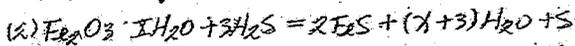
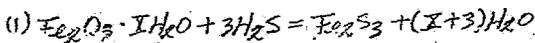
10. 煤氣精製器 (Gas purifier) —— 煤氣中除去木分煤膏氣及較油後仍含有氯化物如氯化氣、硫化物如硫化氣、二硫化炭及噁吩 (C₄H₄S) 等等。若用煤氣中如含有此等成分，為害不小，故須除去之。

煤氣所含之氯化氣，通常以鹼液（內含硫化鐵或碳酸鐵或二氯化鐵）處理之，即得黃血鹽或硫氰酸化物，其反應如下：



煤氣自能氣器逸出時，尚含有硫化氣 0.8-2.0% 必須完全除去，此外尚有二氯化炭 1-3.5% 及 20-80 克令之二硫化炭及噁吩。

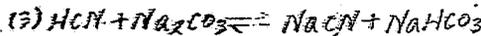
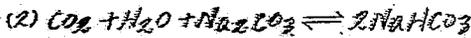
煤氣精製器為直立之圓筒，內分若干層，每層均置有水化之氧化鐵 (Hydrated ferric oxide) 煤氣經過時，即與氧化鐵化合，可以完全除去，反應如下：



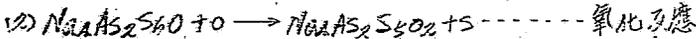
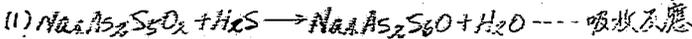
所得之硫化鐵置之空氣中復可氧化而為氧化鐵，分出硫磺如是者數次，待硫磺之量達到 50% 以上即可出爐作為製造硫酸之原料。

至於二氯化炭近多依鎳觸媒熱處理 (Nickel-catalytic heat treatment) 之法使之變為硫化氣 (CS₂ + 2H₂ = 2H₂S + C) 再如前處理，結果煤氣 100 立方呎中，只含硫化物（主要是噁吩）8 克令，美滿人意。

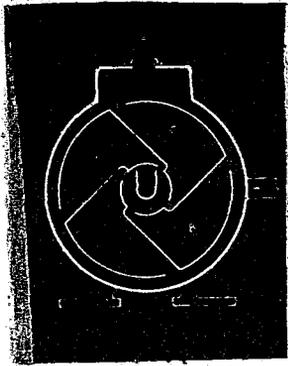
最近煤氣有改用液体精製 (Liquid purification) 精製
 效亦佳其法即於真文塔中，填以木格 (Wooden grids)
 煤氣由下而上，碳酸鈉之溶液 (2-5%) 自上而下，於是煤氣
 中之硫化氫，二氧化碳及氯化氫等均與碳酸鈉化合，而純
 潔之煤氣即由塔頂逸出，至於塔底沉出之液体，則乘機送
 入另一塔中，向上而下，此時由塔底通風，則硫化氫，二氧
 化碳及氯化氫等均被驅出，下列諸式通入空氣則反應如左
 通入氯氣則反應如左



放出之硫化氫送入燒爐中，使之燃燒，或水養渣土 (Thylox)
 氏之法，使之與砷磷酸鈉 (Sodium thioarsenite) 化合，再
 通入空氣，即有硫分出，沉於液面以上，可擦去之，其反應如
 下：



此外尚有哥氏酚鈉法 (Goppers sodium phenolate
 process) 凡天然煤氣或其他氣體中會有多量之硫化氫
 者，均可用之，如第七个圖天然煤氣或其他氣體從汽蓋
 吸收塔之底部逐層上升，遇用塔頂沉下之酚鈉濃液，則氣
 體中 96-99.5% 之硫化氫均被吸收，而下降，經換熱器加熱後
 後入酚鈉吸收塔，此塔亦為汽蓋柱式，惟較吸收塔為大，當



第七十圖
氣量計

其之構造特殊，氣體通以水面之緩
 異，恰使圓鼓轉動如度，圓鼓轉動之
 數目，藉螺旋之傳遞，有針記於面上，
 宛若鐘錶。

以煤氣儲藏器 (gas holder) ——
 廣義儲藏煤氣，均為浸式儲藏器，係
 由水櫃及氣櫃二者而成，水櫃內充
 滿以水，至氣櫃則浮游於水，因煤氣
 之多少或上或下也。

燃料
工業

第十六章 焦炭

一 畧說——本章專論冶金焦炭 (Metallurgical coke) 亦稱副產物焦炭 (By-product coke)，係於煉焦中高溫炭化得來而用之煤須富於黏結性而灰分甚少者製得之焦炭，大都於鼓風爐中作冶鐵之用。

燃料工業

前第六編第三章曾言煉焦最好之煤須於 900°C 炭化時放出揮發物 18-32% (煤之揮發物) 事實大揮發物太多於 32% 及少於 18% 者亦可煉焦，惟品質大都較遜耳。

此外焦炭須有特殊之強度 (Strength) 及多孔性 (Porosity) 如此焦炭一則可以耐於鼓風爐之高度 (高達六七十呎) 且則氣體上升較容易，焦炭本身之消耗亦較快。

世界各國煉焦工業以美國最為發達，次為德國英國及蘇聯，至於我國則曠乎其後矣，見第五十三表。

第五十三表 世界各國焦炭產額表 (單位：十噸)

國別	民國二十一年 (1931)	民國二十八年 (1932)	民國三十六年 (1933)	民國二十一年 (1921)
美國	30,376	19,766	25,028	25,876
德國	23,190	19,516	21,751	22,210
蘇聯	6,750	8,121	10,225	12,200
英國	8,607	8,616	8,716	12,000
法國	8,111	5,885	6,292	7,290
捷克	2,046	1,277	1,259	1,345
日本	1,189	1,312	1,790	7,900

四

加拿大	1,372	1,208	1,361	1,200
比國	4,877	4,210	4,333	4,216
日本	100	115	87	139
中國 東北	117	116	176	170

六、煉焦爐(Coke-oven). — 八八八〇年以前，世界上所有冷食焦炭概由蜂窩式煉焦爐(Beehive oven)中製得，冷食鼓風爐內冷鐵不用，然其中所有之副產物價值甚高，均未設法收復，實太近於浪費，故至今除史度落後之國家，小規模煉焦外，比較進步之國家均不採用。

近代煉焦工業之進展約分七點：

- (1) 採用換流節熱式煉焦爐(Regenerative coke-oven),
- (2) 煉焦爐之大小及容量均大為增加，^當爐之四壁概用矽磚($SiO_2 = 92-96\%$)製成，比較不易導熱及耐熱(Thermal stability),
- (3) 改良焦炭之熄火方法(Quenching)以增進其品質，
- (4) 氣液之收復減少，
- (5) 笨之產量增加，
- (6) 利用低級發熱爐煤氣及鼓風爐煤氣以加熱煉焦爐，
- (7) 剩餘氣體利用如供給外界加熱及發熱動力之用。

詳細情形見第五十六表。

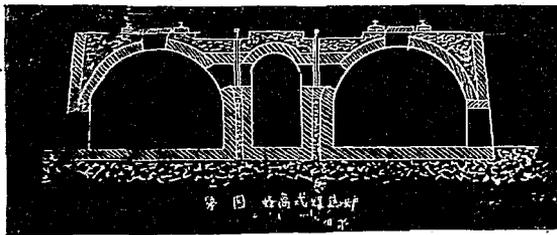
第五十六表 煉焦爐進步之比較

	1911年以前	最近
長度(呎)	30-30	10-15

炉之大小	高度 呎	50呎吋-70呎吋	12-20
	寬度 呎	17-22	11-20
炉之容量	噸	8-12	15-25
炭化時間	小時	28-36	12-22
每日炭化之煤	(噸)	6-8	25-35
每噸煤所失剩餘煤氣之熱量	刺姆	25	30-35

煉焦

1. 蜂窩式煉焦爐 —— 此爐發達最早，專製冶金焦炭，並不收後副廢物，如第七十三圖，爐為圓形，多數並列，內用耐火磚砌，外用紅磚砌成，煤由 A 裝入後，蓋以耐火磚封入，僅留小孔通風，使煤部分通風，以行熱能，所失之廢氣由 C 進入烟道，裝滿後，打開 B 口，撒水於爐內，亦蒸成焦炭，使火熄滅，後由 D 取出即得。



炉高 6-8 呎，徑 11-13 呎，裝煤 6-7 噸，乾餾時間 18-22 小時，所得焦炭約為原煤 50-60%。

2. 換流節熱式煉焦爐 —— 換流節熱式煉焦爐為副廢物煉焦爐 (By-product coke-oven) 之一種，長 40-45 呎，

2

室之一

高以二十呎，寬以二十吋，為矩形之室，其兩端各有鐵門或鋼門，襯以大磚，卸焦時可用起重機開門，其頂有孔三四，可以裝煤，頂上有鐵道，供電車來往運煤之用，炭化時煤氣及揮發物由頂端之升氣管逸出而入聚氣管，詳細情形與製造煤氣相同。

煉焦爐及加熱爐道 (Heating flues) 均以磚製成，砂磚含二氧化矽 92-96% 氧化鋁 2-3%，其厚 1.3-2 呎，此種砂磚較以前所用之鋁磚更耐高溫，傳熱亦快，結果炭化速度增高，氣體用量較少。

上述煉焦爐每室之容量為 15-25 噸，炭化時間為 12-24 小時，每日每室煤之處理量為 25-30 噸。

煉焦爐每 25-30 室為一組，室之兩旁均有加熱爐道，所用氣體或為提取副產物後之煉焦爐煤氣，或為發火爐煤氣，或為鼓風爐煤氣，而帶之空氣均於換流節熱器中加熱，即發火爐煤氣及鼓風爐煤氣亦然。

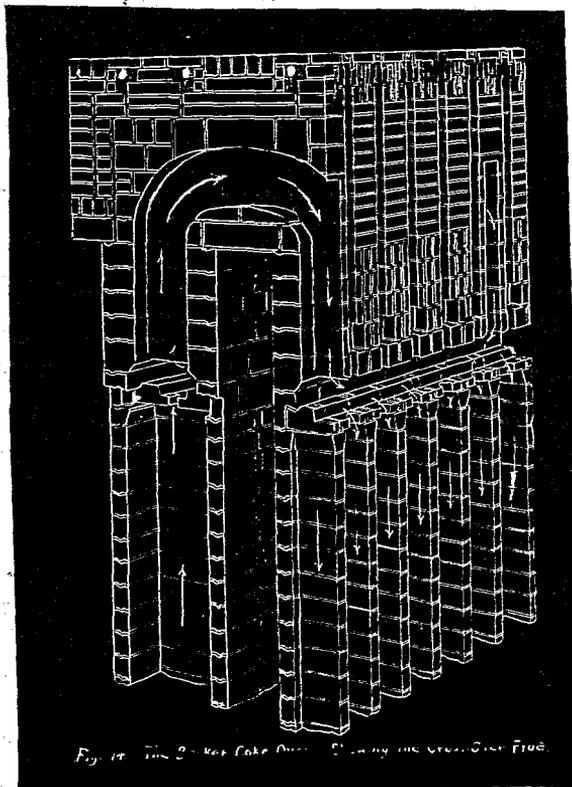
柏克氏煉焦爐 (Becker coke-oven) —— 通來換流節熱式煉焦爐以美國科珀斯 (Koppers) 公司之柏克氏之設計採用較多，其特徵為直之式爐道如第七十四圖，室之兩旁加熱，室頂相通，室底兩旁各有換流節熱器，其一通入發火爐煤氣，或鼓風爐煤氣，另一通空氣，二者同時通入，由節熱器之頂端逸出時，二者會合，即進入直之式爐道而燃燒，通過室頂折而向下，最後由室底之節熱器逸出。

氣體及空氣二者流動之方向，每隔二三十分鐘自動變

煉焦

更一次如是則前熱器先以廢熱氣體加熱其之一端，下次即可分別通入氣體及空氣使之預熱而前熱器較冷之一端，又可以放出廢熱氣體使之加熱。

3. 焦炭之熄火 (Quenching of coke). — 煉焦爐乾餾既終，所得之焦炭，常以紅熱之狀態由爐內卸出，於外處即時使之熄火，熄火之法有三：

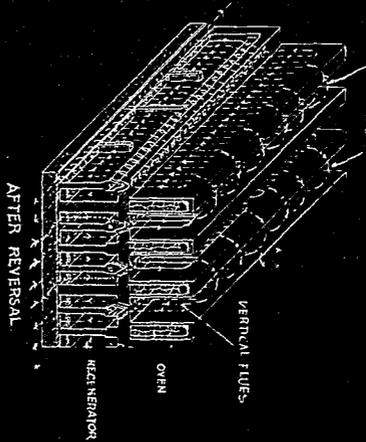
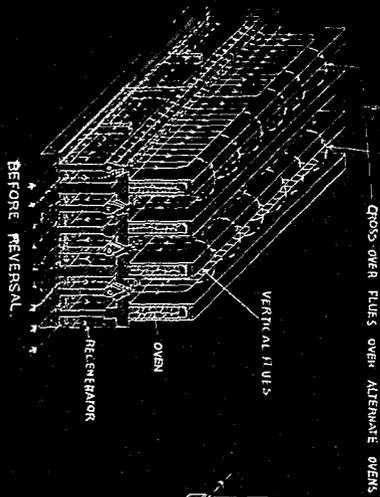


燃料元素

八九

BLACK PURNACE GAS
PRODUCER GAS
WIND GAS

Fig. 75. The Best. Case. Showing the Method of Heating.



25

- (a) 於炉旁設一平台，將焦炭卸於其上，淋之以水，使之熄火。
 (b) 由炉内卸出之紅熱焦炭，盛之於鉄製之熄焦車 (Quenching car) 中，運至熄焦站，內撒水，使之滅火。
 (c) 完全不用水，改用氣或二氧化碳等^{惰性}氣體使之熄火。

上述之(a)及(b)為濕法 (Wet quenching)，紅熱焦炭所有之顯熱全歸棄用。(c)為乾法 (Dry quenching)，紅熱焦炭之顯熱傳入^{惰性}氣體，尚可通入洋錫，使之發出蒸汽。不煉焦工作情形及其^{結果}——茲以英國柏克頓

(Beckett) 公司採用法之工作情形及其^{結果}列於下：

煉焦炉	每座各 30 座
炉室之大小	長 41' 10"
	高 14' 1 1/2"
	寬 (中央) 7' 5/8"
每室之裝煤量	16 公噸
乾燥時間	19 小時
每室每日煤之處理量	20 公噸
燃料	發火炉煤氣
加熱爐道之溫度	1210° - 1230°C
收穫量	
煤氣	12270 立方呎 / 公噸
煤氣熱值	585.6 英國熱單位
焦炭 (出爐)	60.22 90

焦炭(燃料用)

2.69%

煤膏

9 觔/公噸

煉焦爐煤氣之成分

CH₄ 30.92%, H₂ 52.36%,
CO 5.83%, C₂H₄ 3.26%,
CO₂ 1.63%, N₂ 5.53%,
O₂ 0.47%.

三、焦炭之性質及用途——通常所謂焦炭，為煤經高溫乾餾

後遺下之固體。焦炭有兩種，為焦炭者，其特稱為煤氣焦炭 (Gas coke) 者，二種前者由煉焦爐製得，此時焦炭為主產，煤氣為副產，後者由煤氣爐製得，此時煤氣為主產，焦炭為副產。

焦炭又由蜂窩式煉焦爐製得者，稱為蜂窩焦炭 (Beehive Coke)，因其色白，故又稱白焦炭。由副產物煉焦爐製得者，稱為副產物焦炭 (By-product coke or coke oven coke)，因其色黑，故又稱黑焦炭。

焦炭又因用途之不同，分為鼓風爐焦炭 (Blast furnace coke) 與鑄造用焦炭 (Foundry coke)。

茲將其性質及用途分述之：

1. 焦炭之性質。

(A) 物理性質——焦炭之物理性質，關係其用途至為重大。

(a) 比重 焦炭之^視比重 (Apparent ^{Specific} gravity)

通常為 1.05-1.30，^真比重為 1.80-2.00 二者測定之方

True specific gravity

求如下:

$$\text{視比重} = \frac{\text{乾焦之重}}{\text{水被乾焦排出之重} + (\text{濕焦之重} - \text{乾焦之重})}$$

$$\text{真比重} = \frac{\text{乾焦之重} \times 100}{\text{乾焦之重} - (\text{乾焦及水之重} - \text{乾焦之重})}$$

燃料工業

乾焦之重 (即焦炭內氣所佔體積之百分率) 比之愈小, 則愈好
 焦炭之孔率 = $\frac{\text{焦炭之重} - \text{焦炭及水之重}}{\text{焦炭之重}} \times 100$
 真比重 = $\frac{\text{視比重}}{1 - \text{孔率}}$

焦炭之用途不同則其所有之比重及孔率亦異如:

	視比重	真比重	孔率
鑄品用焦炭	1.15-1.45	1.85-2.00	25-40
冶鐵用焦炭	1.10-1.30	1.85-1.95	35-45
煤氣焦炭	0.95-1.25	1.85-1.90	40-50

(c) 強度 可以衝擊試驗 (Shatter test) 測定之其法即取焦炭 50 磅 (均不能通過 2 平方吋之篩孔) 使之從 6 呎高之處墜落於鐵板之上, 如是者四次然後過篩即可由篩上及篩下之焦炭量以考察其強度。

茲舉一例示之如下:

第六表 美國冶鐵用焦炭之物理性質

視比重 (水=1.0)	乾圍
真比重 (水=1.0)	0.80-1.1
孔率	1.50-2.0
	41-55

衝擊試驗篩下(2吋孔)焦炭之百分數 15-30

衝擊試驗篩上(2吋孔)焦炭之百分數 87-70

除大表所列條件外冶金焦炭在鼓風爐中須能負重荷，其大小亦有限制，其在美國焦炭之小於半吋甚至1吋者均擯棄不用。

焦炭之品質常可於副產煉焦爐中藉煤之配合、溫度之高低、炭化之時間等因子以控制之。

(B) 化學性質

(a) 成分 焦炭以愈乾而愈佳，水分最多不得超過5%，灰分大數為10-20%，10%以下者為優良之焦炭，揮發物通常為20%左右，固定炭約佔85%，硫、磷均於鐵之性質有害，一般焦炭中所含之硫須在1%以下，磷在0.02%以下。

(b) 燃燒性 (Combustibility) 所謂焦炭之燃燒性即焦炭與空氣中之氧相遇而燃燒之性質，或焦炭與二氧化碳相遇使其逸出之性質，二者均與反應之速度有關，故又稱反應性 (Reactivity) 此性質與焦炭之氣孔組織及其主要成分之炭之狀態有密切之關係。

2. 焦炭之用途 —— 焦炭之主要用途為冶鐵，此外鑄造、冶金、製造水煤氣及發火爐煤氣均用之。

(a) 冶鐵 焦炭在冶鐵工業中，不僅為熱之來源，且可使鐵礦中之氧化鐵還元為鐵，每煉鐵一噸約需焦炭一噸，故經營冶鐵工業者，必須同時經營煉焦工業。

(b) 鑄造 鑄造廠所用焦炭，純為冶鐵之用，此鐵爐 (Cupola)

煉鐵及煉鋼之需焦炭方頓

(c) 冶金 鋼及其他金屬之冶煉均需焦炭。

(1) 水煤氣製造 水蒸汽與焦炭作用即發生氫氣及一氧化
物，即為水煤氣，可作燃料，可以合成氫氣化合物，其他需
用氫氣之工業均賴之。

(2) 發生爐煤氣之製造 空氣及水蒸汽與焦炭作用即得
發生爐煤氣，亦可用作燃料，其他需要氫氣之工業如
氫之綜合亦廣用之。

(3) 煤氣焦炭 煤氣焦炭性質易碎，除製造水煤氣及發生
爐煤氣外，家庭中亦用作燃料。

四 副產品之收復 (Recovery of By-products). — 收復
副產品共有三法，即直接法、間接法及半直接法。

直接法 (Direct process) 由乾餾爐逸出之煤氣，於高溫
度除去煤膏後，氫暫留於其中，此含氫之煤氣通過飽和器，
則氫與硫酸化而生成硫酸銨。

間接法 (Indirect process) 先冷卻煤氣，分離煤膏及煤氣
液，後設煤膏排除器排除殘餘之煤膏，再設洗氣器，通過
煤氣於其中，使煤氣中殘餘之氫成為氫液而收聚之，此氫
液與煤氣液一同裝入另設之蒸氣器內，使氫揮發，通入飽
和器，即得硫酸銨。

半直接法 (Semi-direct process) 折中於上述二法之間，
即先將煤氣冷卻，分出煤膏及煤氣液，後此煤氣液如間接
法裝入煤氣液蒸餾器處理之，使其中之氫揮發而出，至煤

燃料工業

三

氣中殘餘之氣，則如直接法使通過能氣器，此時煤氣液蒸餾器逸出之氣，亦同時處理以製硫酸銨。

通常採用最多者為直接法及半直接法，半直接法已詳煤氣評語就其法述之於下：

如第七十五圖及七十六圖，為阿特氏直接收復法 (Direct recovery process) 此法乃於煤氣之露點 (Dew point) 以上以溫度，使其中所含之煤膏完全排出，然後將所得不含煤膏之煤氣，不經更熱器，直接送入能氣器中，使與硫酸化合，因此為發熱反應，又因通入之煤氣原為熱的氣體，故能維持能氣器中之液體，為一定容積，而硫酸銨之分出，繼續不斷。此法可以省去水冷器、洗氣器、石灰混合器、蒸氣器及廢液處理器等設備，不但氣之損失可以減至最低限度，即工廠面積及人工亦大為節省，是即此法之優點也。

粗煤氣由乾餾爐之升氣管而入集氣槽 (溫度約為 22°C) 槽中有煤膏沉不愈，則任何重的煤膏及瀝青物質均凝縮下沉，煤氣繼續前進而入空氣冷卻器 A，其主要作用在使煤氣之溫降低，恰在其露點以上，此露點之高低，又須視煤氣中所含水分之多少而異，故冷卻之程度，雖與煤之性質有關，尤要者在加煤入爐時，煤內含水分之量。

煤膏及氣之收復 煤氣離開空氣冷卻器 A 後，即進入煤膏排出器 B，此時有大量之熱的煤膏及煤氣液以唧筒打入 B 頂於高灰之下，從細口噴出，煤氣即因此唧筒噴射之作用而進入 B 內，與噴出之煤膏及煤氣液相攪。

擊，於是煤膏因噴射及溶解之更關係，不被排出而由此放出之煤氣即不再含煤膏如所用之煤為燕煤 (Salty Coal)，則所有固定氮均成氯化銨而溶入水內，以排去之。不過溫度須相當低下始可使之凝縮耳。故煤膏排去器中溫度之控制，必須注意，凡由 A 及 B 二處冷凝得來之煤膏，均流於 C 中儲藏之。

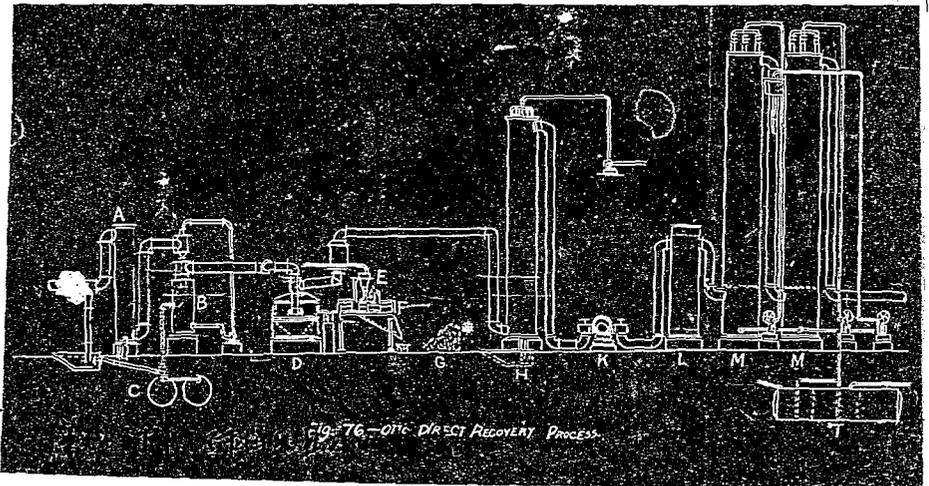
燃料工業

氮之收復 煤氣除去煤膏後仍含有氮、苯、萘及水蒸汽等。按制溫度於 $60-70^{\circ}\text{C}$ 之間(須在煤氣之露點以上)使之繼續前進通入飽氣器 D，內含硫酸銨之飽和液及過量之硫酸銨。蓋液有鉛襯，煤氣因抽氣機 K 作用之故，由 D 之底部分成許多細流而通入，此時煤氣中所含之自由氮，全與硫酸化合而成硫酸銨，沉入底下。氮與硫酸化合為發熱反應，故能維持溫度在露點以上。水蒸汽亦不致冷凝。所得之銨液連續通入壓縮空氣，被排入受器 E，此時硫酸銨結晶沉入 E 底，而上層之母液仍回流入 D。待 E 底集滿硫酸銨結晶後即送入離心機 F 中，三分鐘內，可使之完全乾燥。分出之母液與 E 中之母液會合而流流入 D。又乾燥之硫酸銨結晶則由離心機底部放出於 G 處打色然後儲藏之。

苯之收復 由飽氣器逸出之煤氣中，雖不含煤膏及氮，但仍含有水蒸汽及苯。次通過捕酸器(圖中未繪出，其作用在阻止飽氣器內酸之噴出)而入於排萘塔 (Naphthalene extractor) H。塔內亦無填料，但塔頂有幾個木管，於高壓

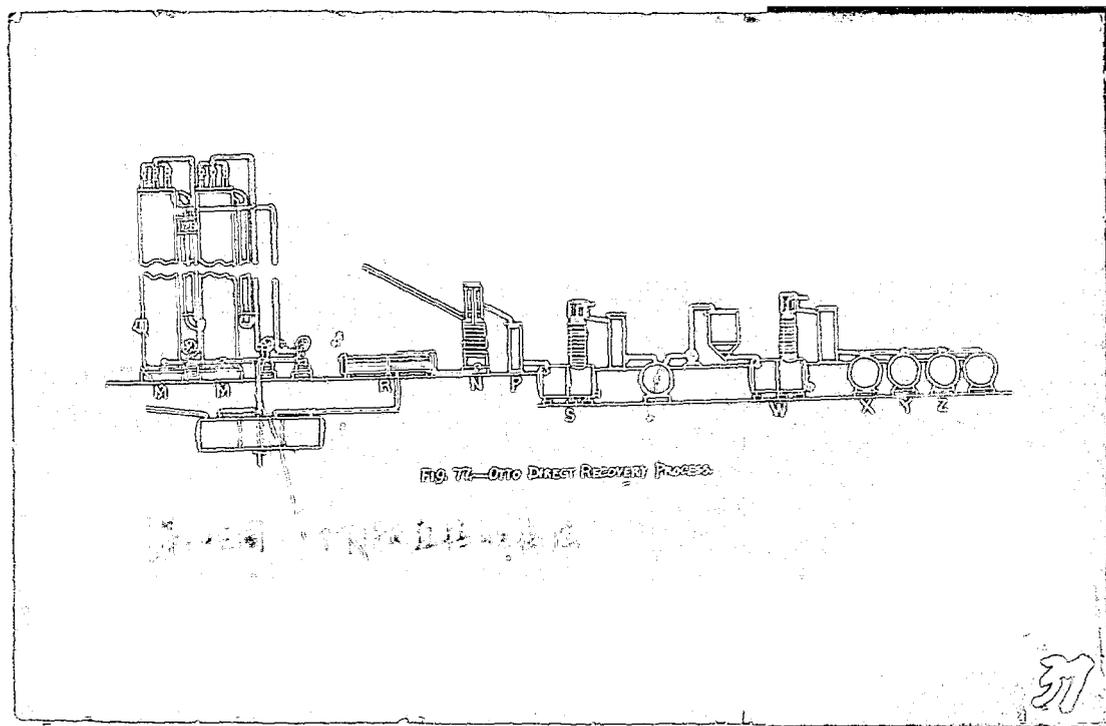
三

之下放出冷水其作用在使熱的氣體受着冷水之襲，於是氣體中所含之萘，即被洗去而下沉，其水同流於受器，濾過得萘及之如萘不於此處除去，則將其煤氣同入於洗苯器，屆時洗油中必含多量之萘，達到飽和因之洗苯一層，殊於無效所得之萘顏色淡黃，其得之數較所費者為多。



苯之收復 煤氣由排萘器逸出後，溫度降低，但其中仍含有苯，乃經抽氣機 K 而入水冷器，除去殘餘之水分後送入洗苯器 M M，洗苯器之多少，視煤氣之大小而異，洗苯器高約 70 呎，下部為洗油之受器，其上充以木條，洗油自上而下，煤氣由下而上，結果苯溶於洗油而被除去，至於煤氣，

或送入乾餾爐，或為煤斷蓄熱器，以一斗送入爐內，其他一斗作為燃燒洗滌點燈，或其他之用。



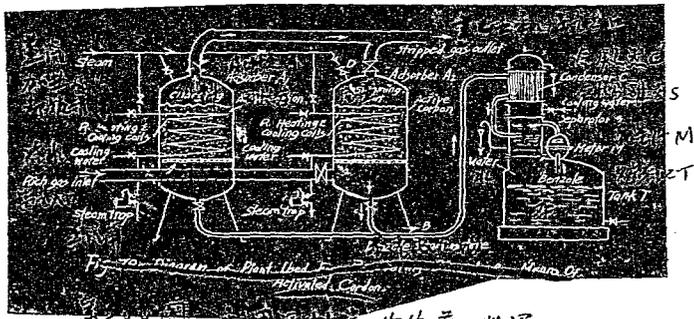
張翰鏡氏 (E. Eury) 之研究煉焦工程各部份之溫度如下

下

聚氣槽	225°C	乾氣器	67°C
排去煤膏前	86°C	乾氣器後	58°C
排去煤膏後	58°C	抽氣機後	66°C

然并下管

至以活性炭吸着苯之方法，如第廿八圖所示先以富氣 (Rich gas 即含苯之煤氣) 送入吸着器 A，則苯及其有機氣體均被活性炭吸着，至達飽和時，將通入 A 之液塞關閉，改送入吸着器 B，此時通直接蒸汽於 A，使苯揮發，所有苯之蒸汽及水蒸汽導入冷凝器 C，冷凝後沉入分離器 S，而苯則由液量計 M 流入貯池 T 中，至用中之活性炭，先後由 R 通入蒸汽及冷水使之由乾燥而冷却，俾下次收復苯之用，同時少量之苯及二硫化炭均被活性炭吸着，此法收得之苯較之水洗法為多，據報告每磅活性炭，可蒸出苯 150 磅。



第廿八圖. 利用活性炭收復苯之裝置

同

蒸之蒸汽及水蒸汽 上述洗油中會有苯類之化合物，送入蒸餾器 N 中，因之熱氣由下而上，苯類由上而下，二者接觸乾燥之蒸汽由器底送入，由各層洗油中逐步逸出，因之苯類化合物亦隨之上升，而入冷凝器，冷凝後蒸汽與苯，分為兩層，所得之苯或送入儲藏池，或送入初次分餾器 (Primary rectifying still)，S 分餾之，其蒸餾器底遺下之洗油，則送

入冰冷器(Refrigerator)R中,及冷至常溫後,送入貯油池下內,可以再用。

初次分餾器S之容量為3000-5000加侖,其上有分凝柱(Deplegating column)底,有蒸氣蒸汽旋管,蒸餾後,則得(1)粗苯(2)粗甲苯(3)粗二甲苯及(4)揮發油,冷凝後,分別送入攪拌器中,次以10%純濃硫酸的純苛性鈉溶液處理之,以去其中之含氧質,酸性及鹼性,洗淨後,復送入二次分餾器(Secodary rectifying column)中,重餾後,冷凝後,分別貯入工,丁,乙等池中儲藏之。

五煉焦爐煤氣之利用——煉焦爐煤氣之成分與前章水牛所製之煤氣之成分,實質上並無甚差異,如第五表,即英國煉焦廠所得煤氣之成分。

第五表 英國煉焦爐煤氣之成分(苯未收復)

煤氣之產地	A 德系(Durham)	B 荷蘭系(Kimichink)	哥列氏(S. vales) 50% 說林氏(L. saydus) 50%	
淨焦爐	阿特蓄熱式	塞利德-次次式 (Semit-Solway) 蓄熱式	科倫氏(Koppers) 蓄熱式	
煤氣之成分	CO ₂	2.5	2.5	2.1
	CO	6.5	6.1	7.8
	C ₂ H ₄	3.2	3.7	2.9
	CH ₄	28.0	33.9	50.0
	H ₂	48.0	42.0	50.1
N ₂ 等	11.8	11.4	7.2	
煤氣之度量(每噸煤)	—	—	12,610	
常溫常压下煤氣之發熱量 (英制單位)	毛熱	556.5	611.3	560.7
	淨熱	475.7	522.9	497.2

大表中 C_nH_m 中所含之苯約為 1%, 去苯後, 則煤氣之熱量減低 5-10%。

又煉焦爐中每噸煤發失之煤氣, 達 10,000 立方呎以上, 係可作種種用途。據一九三四年英國煉焦每噸煤平均發失煤氣 10,790 立方呎, 含苯及化學^物 16 百萬噸, 共得煤氣 179,070 百萬立方呎。若全用之於內燃機, 可以發失 150,000 淨馬力 (B.H.P.) 之動力。實際上約有 60% 用作煉焦之燃料, 22.7% 作焦廠其他用途, 如發失蒸汽及煉鋼等等, 其餘 17.3% 則售與煤氣廠或其他廠家。

且煉焦爐煤氣不僅可以加熱, 點燈及發失蒸汽與動力, 其中之氮達 50% 左右亦可應用於化學工業方面。據一九三七年美國稅務方面報告, 全世界合成氨所需之氮約有 25% 係由煉焦爐煤氣中得來, 其重要可知。

第十三章 煤 膏

義說——煤膏 (Coal-tar or tar) 為黑色而有惡臭之油狀液體，比重 1.1—1.2，乾餾煤時，常產出之，其在最初發見時，常視為廢物棄而不用，迨後始漸新用作木，石，及鐵器等材料，又套到迄今，乾餾，凡人造之材料，有機藥品，染料，藥劑，藥毒氣，所用之原料，大都自煤膏中採出，其重要可知。

煤膏之成分——煤膏之成分，因煤之種類及乾餾方法而不同，關係頗為複雜，其中之主要成分，不外為油及瀝青二者，此外為游離炭及水分，煤膏中之游離炭，分佈甚為均勻，其大者可以肉眼辨認，小者非用顯微鏡不能察出，此等游離炭，并非單體，而為各種高分子炭化合物，故其成分，以不規則乾餾中產量最多，其次為直支式乾餾，及後式乾餾，較後二者之產量，幾為相等，至於水分，煤膏中通常含 2—5%，有時達 10% 以上。

茲將煤氣煤膏 (gas-tar) 及焦炭煤膏 (coke-tar) 二者之成分比較之如下：

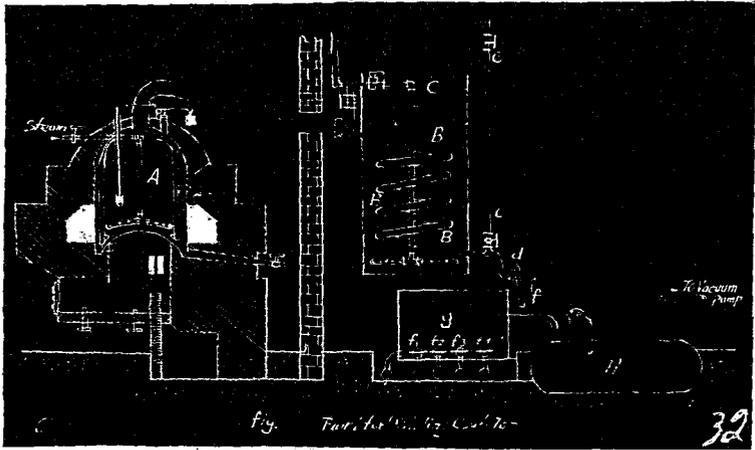
成 分	煤氣煤膏 90	焦炭煤膏 90
凝 苯	1.5—2.0	0.1—0.5
重 苯	0.5—1.0	0.5—1.0
酚	0.5—1.0	0.5—1.0
萘	1.0—6.0	6.0—20
蒽	0.5	0.5—1.0
吡 啶	0.25	0.25

重油	20.0	10.0
瀝青	500-600	50.0
遊離炭	30.0	10.0

煤膏之蒸餾

三 煤膏之蒸餾

1. 蒸餾設備 煤膏經蒸餾後始可得種種化學工業原料。常用之設備如第78圖，A為蒸餾罐，其口徑與蒸餾罐之高度相等，其底部設計一如其頂，向大灣曲，作半圓形，則可以增大加熱面積，再則可以適應漲縮變化，三則容易排出瀝青，其管壁中下部有火格，若以焦炭為燃料，須予足量供熱，以保證蒸餾。蒸餾前煤膏中之水分必須除去，否則發生汽泡，此外罐之上部裝有原料管，溢出口，過熱蒸汽受溫度計及安全法門等。餾出物經冷凝液管B而流入，此液管置C池內完



用冷水冷却，次用热水热之，以免固体物质堵塞管道。凝缩之液体经鹅颈管流入玻璃瓶中，此时余下气体则由ee逸出。由玻璃瓶中液体之流动可以看出煤膏蒸馏之速度。又可用比重计测出瓶中液体之密度，亦可由瓶中取出分析之。试样g为铁制容器，密不漏气，以储各种馏出物。由法門f₁和f₂分别放出，貯入铁桶藏之。温度升至270°C时，葱油开始蒸出，乃用蒸汽唧筒抽出管内之气体及油气，使之经B至C。如此则葱油流下，气体由唧筒放出。

通常煤膏蒸馏引起更多注意，因之蒸馏设备亦多所改进。缘蒸馏煤膏之法要目的，欲多得油料及高沸点之沥青。同时使自由炭之生成降至极少量。故温度愈高，时间愈长，则气体之生成愈多，油料之量愈少。因之蒸馏煤膏，所以减低温度，缩短时间，充分搅拌，比较有利。本厂则采用下列种种设计。

(1) 真空蒸馏 真空蒸馏可使煤膏于较低之温度蒸馏而出，且所得油质较多。如第 表

第68表 常压蒸馏与真空蒸馏之比较

蒸馏方法	温度	油料	沥青	自由炭
真空蒸馏	330°C 626°F	56.6%	42.5%	25.8%
常压蒸馏	413°C 775°F	40.1%	57.8%	40.7%

上列惰气循环 (Inert gas circulation) 如第 表。惰气循环亦可使油质增加，沥青沸点升高，所得结果如第十八页。每分钟蒸馏煤膏1 磅，所用之惰气之循环率，二氧化碳为0.33 立方米，氮气为0.40 立方米。今更举一例以示之，如第 表。

青仍繼續下流及至塔底有一圓滾迅速轉動如是瀝青四方濺射與焦爐氣密切接觸則煤膏中之揮發成分盡被驅出遺下瀝青自3放出與焦爐氣及揮發之油則繼續前進待過煤膏旋管則重油先行冷凝其次輕油亦在最後一塔過氨水而凝縮一同下流至冷的焦爐氣則由5逸出仍可用作燃料

燃料工業

2. 蒸餾手續——每次加入煤膏須俟上次蒸餾完畢取出瀝青後歷2-3小時蒸餾鍋尚在高熱之際即用唧筒送入煤膏關閉各處管口然後加熱迨蒸餾開始時應即檢查各部尤其是冷卻管中有無萘蔥等固體物質堵住通道須特別注意及鍋內開始沸騰即開放溢水管使液集於六層之水盆流出乃徐徐加熱但不可過急否則泡沫太多發出異响必致煤膏原樣蒸餾而出

蒸餾初期常有煤氣水汽煤氣液及揮發油等等蒸餾出來須用冷水冷卻之使之凝縮最初收集者含水較多蒸餾漸進則油分亦增終至水分餾盡第一層即告終結此後約經過1-2小時無物餾出而鍋中忽生異响蓋煤膏中所含之水分凝集於鍋頂復向下滴落驟遇高溫隨即氣化而爆發也此現象停止後蒸餾再開始進行

初期蒸餾既畢煤膏已無起泡危險可以充分加熱蒸餾此第二期餾出之物是為輕油(Light oil)比重等於1時之沸點約為210°C其重要成分為苯類此外有酚(沸點183°C)及萘(沸點217°C)蒸在冷卻管中結晶常能堵塞管道故冷

却槽中之溫度，宜保持底 $40-60^{\circ}\text{C}$ 左右。

溫度升高至 $210-240^{\circ}\text{C}$ 左右，其主要成分為酚及萘，是為第三分餾物，又有工廠將整油些酚混合蒸出而收集之，稱為中油 (Middle oil)

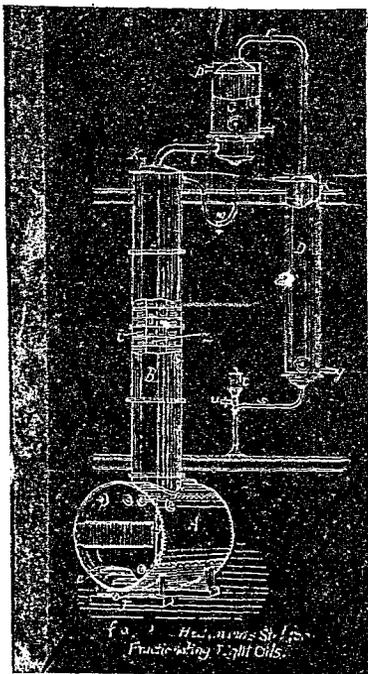
中油餾出之後，即進入第四期，此期之產物為重油 (heavy oil) 當蒸餾開始時，萘之產量最多，冷則即刻凝固，反蒸餾將終息之度，萘轉盛其色綠，故又稱綠油 (green oil) 可製滑機油。

蒸餾溫度達 270°C 時，即進入第五期，其主要成分為萘油 (Anthracene oil) 萘油餾出期中，冷却槽中之水幾近沸騰，此時蒸餾槽中，宜通入過熱蒸汽，助其揮發，通常以萘之餾出量，為餾出物之顏色，比重等定，其終點若用比重法，則餾出物之比重等於 $1.080-1.090$ 灰灰為火時，蒸餾槽中可得半硬瀝青，至 1.120 灰灰為火時，則瀝青成為硬質狀態，若繼續蒸餾，則瀝青完全焦化，不僅損及瀝青之價值，取出時又極感困難。

蒸餾至終之際，即當餾出溫度達 270°C 時，應即通入 $3-5$ 氣壓之過熱蒸汽，助其蒸餾，或改用減壓蒸餾亦可，如此則蒸餾容易進行，又可防止瀝青炭化，餾物分解，節省燃料，增加產量，縮短蒸餾時間，預防氣管堵塞等等。蒸餾既終，槽中餘渣尚有高熱，若放入空中，容易着火，故須使其尚在槽中適當冷却，然後取出之，或流入密閉器內放冷後，再送入瀝青坑 (Pitch Well) 內儲藏之。

同族油5-5%通常20%以上，其密度0.82-0.85，其馏出物粗
 甲苯以170-180°C 為其第一級沸點，至180°C 以上為一級
 濃劑苯至170-180°C 為止。

輕油分離所用設備如第11圖所示，此為赫森曼分餾塔
 (Heckman's still for fractionating light oil)。圖中
 之A為原料罐，蒸餾錫錐內裝有流體，通入塔頂後則錐中
 之液體，氣化上升，而八分餾錐B，此分若干層，有升至塔
 頂及後，而管C，最後輕油蒸氣上升，其冷凝器C，一部回流
 入冷凝器D，充分冷卻後後



其由塔頂分餾而得之第一
 及第二分餾物，更用化學分
 法提煉之，其法乃先以濃硫
 酸與之混合，以除去二噁環
 及噻吩等不能和化合物，以及
 噻吩等，至第一級及第二
 級溶劑苯，因其中含有酚類
 及吡啶，須先以比重1.1之管
 狀錐，反比重1.33之稀硫酸
 處理後，再以濃硫酸提煉之。
 新製成之油，其色形與
 普通煤油無異，其色形與
 煤油無異，其色形與煤油無異。

第十一圖

性之黃銅製或以銀皮包裹之。

精製叔苯及甲苯時，先送入液槽靜置久，去水後以稀硫酸(2%)洗之，洗後除去廢酸，再用濃硫酸(2-3%)洗之，如是及重複洗滌數次，每次均須靜置10-15分鐘，然後除去廢酸，三次移入襯銀之洗滌器內，先以少量之水(克-磅)以多量之水洗之，除去其酸，最後以稀苛性鈉液完全中和而洗之。

更溶劑苯之精製，亦如前述，并以稀苛性鈉液除去其中之鹵類，次以稀硫酸除去吡啶，最後始以濃硫酸處理之。

濃硫酸之使用量，在第一及第二馏出物約為3-6%，而洗滌之損失，亦大略相同，溶劑苯中尤其是第二種溶劑苯中含有多量之樹脂，故損失更大。

蒸餾此法精製後，更須精餾之，精製之99%苯，熱至100°C為止，最少餾出2%最高可達20%之甲苯，所得之精製第一種溶劑苯，在120-150°C餾出90%第二種精製之溶劑苯，在15-15°C餾出90%汽車用者常為苯、甲苯及此等溶劑苯之混合物，雖冷至-1°C，亦保持液態，現在製出熔點更低之苯，雖冷至-2°C，亦無片狀析出，可作飛機之燃料，更純之苯，則在-5°C即可結晶。

(3) 中油——沸點178-200°C比重1.01-1.02為第八次分餾物中之第二部分餾物，煤膏中約含有此等成分8-10%，其中含有輕油成分如苯類，亦含有重油如酚及萘，通常以在150-200°C或165-265°C之間收集之，因其中含有40%之結晶性萘，故自行凝固，煤膏中所含之酚類大部分存於中油之內，又含

燃料工業

三

有少量(約5%)之吡啶及喹啉

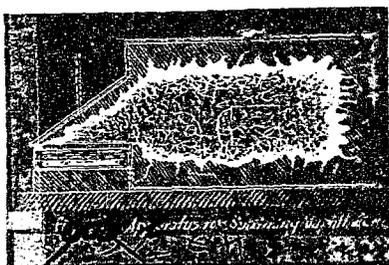
中油更餾其法與煤質蒸餾相同,仍用直接火蒸餾器,另附一空氣冷凝器分餾中油時常於減壓下行之。

分餾中油,共得四部分:

- (a) 第一號餾蒸,在 165°C 以下蒸出,可加入餾出之餾出物中;
- (b) 餾類在 $165^{\circ}\text{C}-200^{\circ}\text{C}$ 之間蒸出,為製取餾類及吡啶之原料;
- (c) 蒸在 $200^{\circ}\text{C}-220^{\circ}\text{C}$ 之間蒸出,可供製取茶及甲聯之用;

(d) 分餾餘物加入重油中一同處理之。

製中油或常經蒸餾,中油冷去後即有大量之茶析出,置離心機中除去餾渣廢渣,即得粗茶,凝固點為 79°C 。或在 $217^{\circ}-219^{\circ}\text{C}$ 可得96%之餾出物。精製之法,先用5%之硫酸洗滌,入水洗後用同量之 CaO 或 NaOH 洗之,次用4%之鹽水洗,條又其次用20%之 CaO 洗之,最後用2%之鹽水洗之,共歷三次。法灰灰如是可得一茶油固體,在 79°C 或在 $217^{\circ}-219^{\circ}\text{C}$ 蒸餾,可得茶9.5%,減壓蒸餾又冷卻時常保持 80°C 左右所得之茶品等精製,即得純茶。如不用上述方法,僅提昇亦可製得純茶。法將茶置於盤中,如左第。



以蒸汽使管口使之
加熱,則茶昇華而入
C 莫以,次將所得之
茶渣於石油溶劑後
加熱使之再結晶後,
置離心機中除去渣

第十八圖

劑風葉之干燥狀況 結晶性質甚純，熔點為 95°C 。

自中油分離茶葉原料之油時含有 $30-40\%$ 之脂肪酸油，供提製石炭酸之用。石炭酸之原料其提取法先將油中所含之鹼量加入必需量之苛性鈉液(10%)，在煨鐵製器內充分攪拌約20分鐘，溫度 $45-50^{\circ}\text{C}$ ，攪拌後靜置之，油即分離所餘之鹼液溫度在分離之前，先用直接火蒸餾之，以除去其中之水分，然後用氯酸或硫酸將之分解，則鹼液復行分離，再經分餾冷卻及結晶等手續，即得中鹼。

中鹼之主要部分對於 115°C 蒸出，然其鹼液弱結合以成，常隨中油之蒸餾而出，又因其與水蒸氣可共同蒸發，故輕油中亦含有之。

中鹼加入硫酸精製時，則其中之吡啶即與硫酸化，而成為吡啶硫酸，為褐色液體，比重 $1.2-1.3$ ，內含吡啶鹼(Pyridine bases)15-20%，沸點 $100-200^{\circ}\text{C}$ ，吡啶鹼中約有 50% ，為此之採取之法，即將酒精通入此中硫酸，定發生吡啶之臭氣，而此則液體分為二層，其在上面者為酒精，下層為吡啶硫酸溶液，放出下層溶液，通入酒精使之完全飽和，則吡啶呈油狀分出。

(C)重油——沸點 $260-270^{\circ}\text{C}$ ，比重 1.00 ，為第一次分餾煤質而得之第三分餾物，其量約佔煤質1%左右，內含中油之成分，同時又含有蔥油之成分，其最重要之化合物為萘，甲基萘(Methyl-naphthalene)，二甲萘(Dimethyl-naphthalene)及芘(Acraphthene)，芴(Fluorene)等等如重行蒸餾，先收

集 195°C 以下之餾出物次將集 230°C 以下之第一號茶油各加入前次所得中油之相當餾出部分中以處理之其在 230° — 280°C 餾出者其重要成分為第一號茶油可作木林防腐之用
 (D) 萘油——沸點 275° — 400°C ，比重 1.1 為蒸餾煤膏所得之最後餾出物，黃綠色，其量約佔煤膏 13 — 17% ，其中以萘為主要成分將萘油冷卻之，即有粗萘析出，為綠色結晶，黃氏標機或離心機中除去油液後，可得比較純粹之萘，內含萘 10 — 12% ，此外則為菲(Phenanthrene)，甲基萘，羧酸，苯，呋啉(Carbazole)等雜質，再置水壓機中加蒸氣之至 200 — 300 氣壓，則菲及萘成為液體流出，而萘之含量可增至 28 — 40% ，最後以揮發油或揮發油與吡啶之混合物洗之，則呋啉完全除去，萘之純度可增至 90% ，若欲製化學純粹之萘，則將萘與苛性鉀及石灰混合磨細，然後蒸餾，光滌，并昇華之即得。

(E) 瀝青——瀝青為蒸餾煤膏之最後產物，約佔煤膏 60% 左右，其主要成分為煤粉或焦炭，又含固體不能揮發物約 20 — 30% ，因蒸餾時間長短不同，又分軟質瀝青與硬質瀝青二種，常乘熱便於蒸餾槽中放熱，其軟化點自 40°C 至 150°C 不等，現今多作煉焦後料，屋頂油氈及鋪設道路之用。

原料煤膏蒸餾程序及所得產品繪圖示之如下：

第十四章 低溫乾餾

一 畧說 十八世紀末葉，英人麥多克於煉鐵爐中乾餾

烟煤製造煤氣及焦炭，當時所用之溫度約 700°C ，底底是即為低溫乾餾之過程。

煤經部分乾餾除去煤烟後，所得焦炭適作家庭燃料之用，但事實上所得燃料，外面雖為半焦，內部却為未經變化之煤。

至一九〇六年派克內(T. Parker)於該爐中以 425°C 之溫度乾餾烟煤，獲得專利，乃於一九〇九年設廠製造。

以乘鋼作爐，圓筒形，長9呎，頂徑4呎，底徑5呎，藉可使半焦之卸出比較容易，但事實上因設備及其他困難，低溫炭化工業歷久不能發展。

近四十年來，英國為製造半焦，詳決家用燃料之煤烟問題，對於低溫乾餾爐之設計，不下200種，然尚不能達充善地步。

中間雖因第一次歐戰需用液體燃料之故，一度發達，但是在今日低溫乾餾既不能解決液體燃料問題，而所得半焦價值又昂，故在英皇在內，此種工業尚不見有若何進展。

由上可知，低溫乾餾之目的既在解決液體燃料及製造半焦，但溫度之高低不同，則生成物之性狀及收獲亦大有差異。

例如乾餾溫度超過某點，則煤膏之收獲減少，而煤氣之產量加多。蓋煤膏生成後，溫度升高，復分解而為煤氣也。

此外如煤氣製造，其目的在製得多量之煤氣，焦炭製造，其目的在製得堅密之焦炭，故均非高溫不可。然欲得多量之煤膏及半焦，自以低溫為宜。

煤
排
出
業

三

低溫乾餾所採之溫度亦因人而殊如派爾(Parr)及雷
荷(Lagging)之溫度為 $50^{\circ}-800^{\circ}\text{C}$ ，柏哲士(Burgess)及
惠勒(Wheeler)之溫度最高為 700°C ，真頓(Gentry)之溫
度為 500°C ，勃蘭(Brown)之溫度為 $50^{\circ}-600^{\circ}\text{C}$ ，格萊特(Gland)
之溫度為 $500^{\circ}-600^{\circ}\text{C}$ ，由上可見低溫乾餾并無一般承認之
溫度範圍，此概各人之目的不同，效果亦異，因之解釋亦不
有出入耳，然由工業上觀之，乾餾之溫度應依目的為
轉移，即目的在得多量之較油及煤膏者，其乾餾溫度應在
 600°C 以下，反之若其目的在得多量之木焦，則溫度較大稍
高比較適宜。

二、低溫乾餾之方法——煤為熱之不良導體，且於低溫($50^{\circ}-600^{\circ}\text{C}$)發生膨脹及收縮現象，故在乾餾時如何加熱，
及乾餾後如何卸去均為從事煤之低溫乾餾工業者必須
注意之點。

煤乾餾時其熱源之溫度較高者，傳熱較易，故低溫乾餾其
高溫乾餾者相較前者乾餾較難，所需時間較長，即煤之
中心溫度與接近轉變之煤之溫度亦較難一致，補救之法
有三：

- (1) 薄層乾餾——即將煤鋪成薄層，使熱源與煤之距離縮
短，如此則傳熱容易而均勻。
- (2) 機械攪拌——即用適當機械使煤運動，如此則煤面與
熱源之接觸機會增多，受熱均勻。
- (3) 直接加熱——即送入過熱蒸汽、水煤氣或發生爐煤氣

直接與煤接觸使之加熱(但不燃燒)亦可收均勻之效。

次言煤之膨脹與粘結。煤之種類不同，則其膨脹與粘結之程度亦異。通常非粘結性之煤乾餾時其揮發物之通路不同加熱而變化，故熱之傳導亦不受影響。然若處理粘結性之煤，則煤因受熱而熔融，結為一層，乾餾時發出之揮發物之通路為之堵塞，溫度之相差亦甚大，如塔層之厚達八吋以內時，其兩面溫度之差達 $150^{\circ}-200^{\circ}\text{C}$ 之鉅，不僅此也，膨脹太大之煤乾餾後排出焦炭，極感困難。控制膨脹及粘結之方法有二：

(1) 於粘結性大之烟煤中，加入粘結性小或無粘結性之煤或焦炭。

(2) 加熱至 150°C 通入空氣使之部分氧化，或加熱至 400°C 以下，二者均可以破壞其粘結性。

三、低溫乾餾槽——煤之低溫乾餾槽因其形狀之不同大致可分為水平式(Horizontal type)、斜式(Inclined type)及直立式(Vertical type)三種。直立式乾餾槽中之煤，可藉其本身之重漸漸下降，漸行乾餾，故裝煤與卸焦均無需用機械之力。但水平式乾餾槽則非用推煤機不可。若改用轉動式乾餾槽，則可更便利，加熱均勻，時間縮短。然煤轉動振盪易成粉末，吾人設計乾餾槽，固應注意加熱狀況之是否均勻，及處理能力之或大或小，但在使用上是否簡便，亦應考慮及之。一般言之，直立式乾餾槽構造簡單，使用方便，建設費及維持費較少，因之採用者亦較多。

乾餾錳所用之材料，金屬最多，取其傳熱及散熱，均甚容易，工作情形亦較複雜也。然過熱則變形，是其缺點。所用之金屬以鑄鐵 (Cast iron) 為最多，鍛鐵 (Wrought) 及特種鋼次之。至於火磚因其傳熱太慢，採用之者較少。

又依濕乾餾錳固加熱方式之不同，大致分為內熱式 (Internal heating) 外熱式 (External heating) 及內外兼熱式三種。

內熱式乾餾錳係將加熱用氣體直接通入乾餾錳內使煤炭化，此錳之則因煤炭與加熱用氣體直接接觸，故傳熱甚佳，熱效亦大，再則煤層之厚無限制，處理能力增大，故錳之建設費維持費及工作費均可減輕。三則加熱用氣體如木蒸汽、水煤氣或發火爐煤氣，可使低溫煤氣及煤層之蒸氣等，迅速排出，避免分解。其缺點，亦有數端如：

- (一) 乾餾錳內加熱用氣體之分佈，不易使之均勻；
- (二) 木蒸汽或水煤氣或發火爐煤氣，冷却或冷凝之設備增加；

(三) 加熱用氣體混入後，所得低溫煤氣之熱量為之減低。

外熱式乾餾錳係將煤置於乾餾錳內，另於錳外以加熱用氣體使之加熱，此加熱用氣體，經乾餾錳壁以加熱於煤，使煤乾餾，可知此錳設備比較簡單，調節溫度亦較容易。且乾餾時無其他氣體混入，可得熱量極高之煤氣。其缺點，則如加熱不易均勻，及傳熱太慢，若煤層減薄，而處理能力又隨之減少等等。但在低溫乾餾錳中，此式採用者最多。

其內外氣流式乾餾爐為兼用上述兩端式及外熱式二者，以加熱於此方法。

1. 派克氏乾餾爐 (Parker's retort) — 此爐為四十年前派克氏所設計其法為美國派克氏乾餾公司 (Low Temperature Carbonization Ltd) 所採用，為外熱式繼續乾餾爐之一種，乃英國使用最廣之方法之一也。乾餾爐之構造如第 11 圖，其爐有垂直管，以個個全部為特種鑄鐵製成，每管長 9 呎，頂徑 4 吋，底徑 5 吋，管系排列共分為二排，

點
此
一
案

六
四

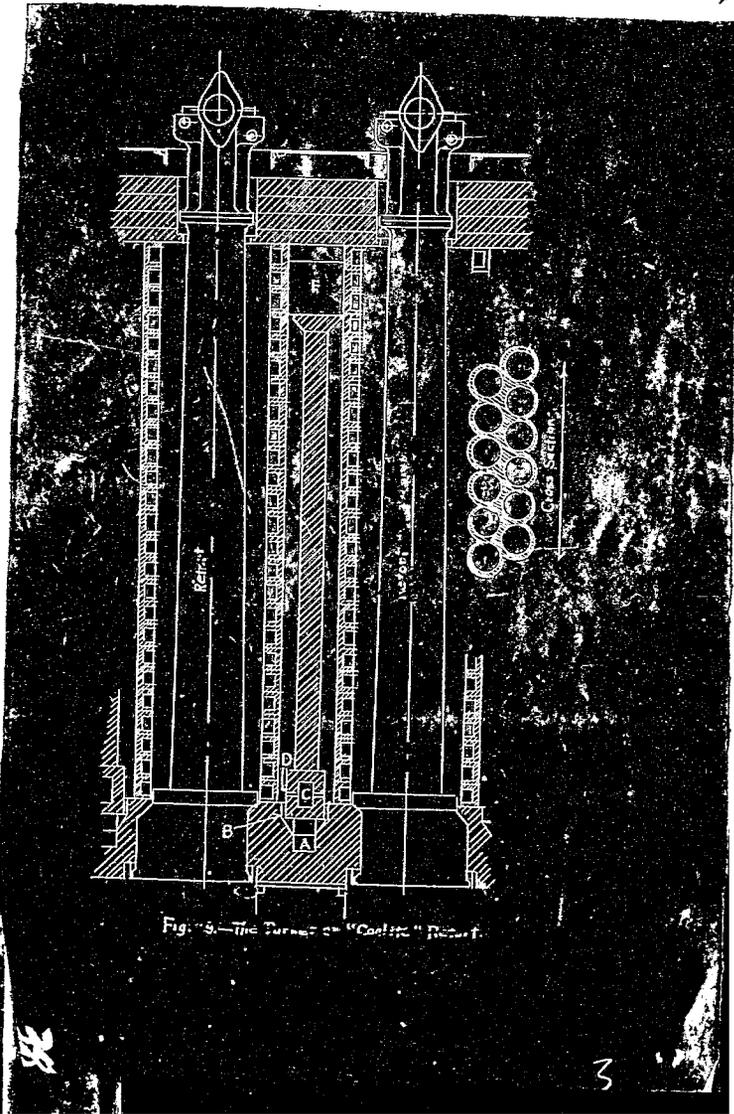


Fig. 9. - The Furnace of "Coalite" Process.

乾餾槽上方有出氣管及聚氣槽其下有冷却室，磚製，專供
半焦冷却及熄火之用。

乾餾槽每20個為一組，兩旁有燃燒室以氣體加熱，熄火
爐與餾槽不直接接觸如A為給空氣進口，B上升，C為
火磚製煤氣出口，由D運出，二者相遇在E中完全燃燒，所
出之氣體，接繼續蓄熱器(Recuperator)運出，可使空氣預
熱，其蓄熱器為6框(1框=112磅(英))炭化溫度為 500°
 -700°C 炭化時間視所用之煤及濃度而異，大約有 $2\frac{1}{2}$
小時不等，其由餾槽中運出之煤氣，先經帶泥器去油，然後經
酸洗器去氫，再經水冷器抽氣機而入較油洗滌器最後運
入煤氣儲藏器儲藏之。

上述每噸煤所得之度量如下：

半焦 = 14 框

煤油(Coal oil) = 18 簍

粗較油(從煤氣中直接收復) = 2 支簍

氫 = 3 - 4 磅

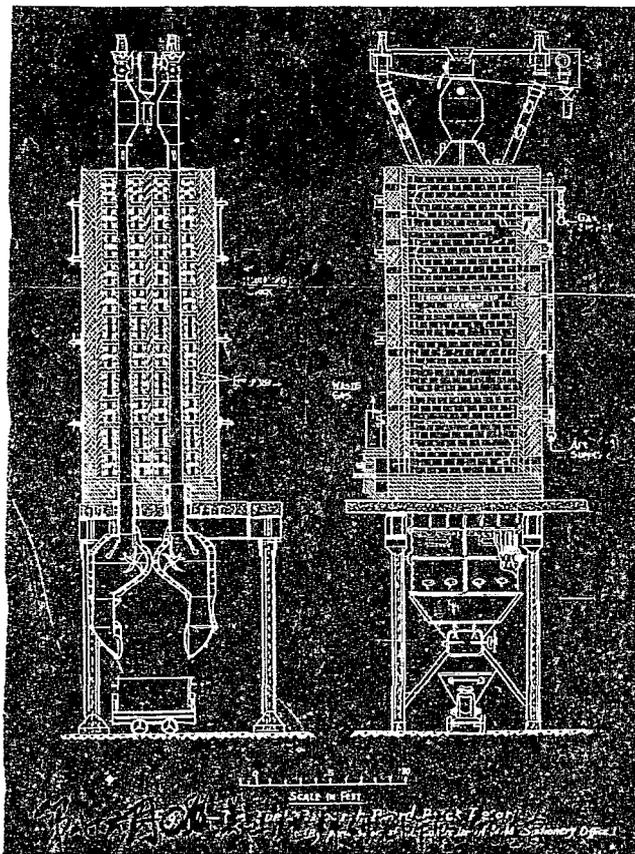
煤氣 = 4,000 - 5,000 立方呎 (熱量 750 英國熱單位/立方呎)

$\approx 30 - 37.5$ 剎姆 (其中 25 剎姆 作炭化之用)

煤氣成分: $\text{CO}_2 = 4.0$; $\text{CO} = 6.1$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 12.5$; $\text{C}_2\text{H}_4 = 12 =$

59.6 ; $\text{H}_2 = 57.2$; $\text{O}_2 + \text{N}_2 = 88\%$

名 英國燃料研究所乾餾餾(Fuel Research Board
Retort)由英國燃料研究所派過多方設計及實驗，創製一
種外熱式連續乾餾餾而為該國煤氣焦炭公所採用如第



八折而鑽
 高又吸頂
 或圓為
 為11'x6'6" 燃料工業
 成長方形
 原為失鉄
 製成但不
 耐用最多
 六年即壞
 六八九六
 〇年始改
 用大磚大
 小尺寸同
 上鑽之所
 側概以氣
 體加熱從
 頂層通入

突氣則由上至下分由及處逐入，藉以推進火燭，火燭自上
 而下鑽外之溫度由高而低，但鑽之溫度，因傳熱之速度因
 係，故由低而高，如上部鑽外為1150°C，鑽內為600°C中部鑽
 外為1080°C，鑽內為720°C，下部鑽外為920°C，鑽內為750
 °C。

三粘

火運乾餾廠所用之煤，按煤質之強弱，每日約處理
5-10噸，下表第一次大印及中等結焦性之煤於磚製乾餾
及軟製乾餾所得之結果之比較，可知溫度由600°C升高
至690°C，則所需之煤氣之度費增多，而產量之焦油亦
減。

第一次大印及中等結焦性之煤於磚製乾餾之結果

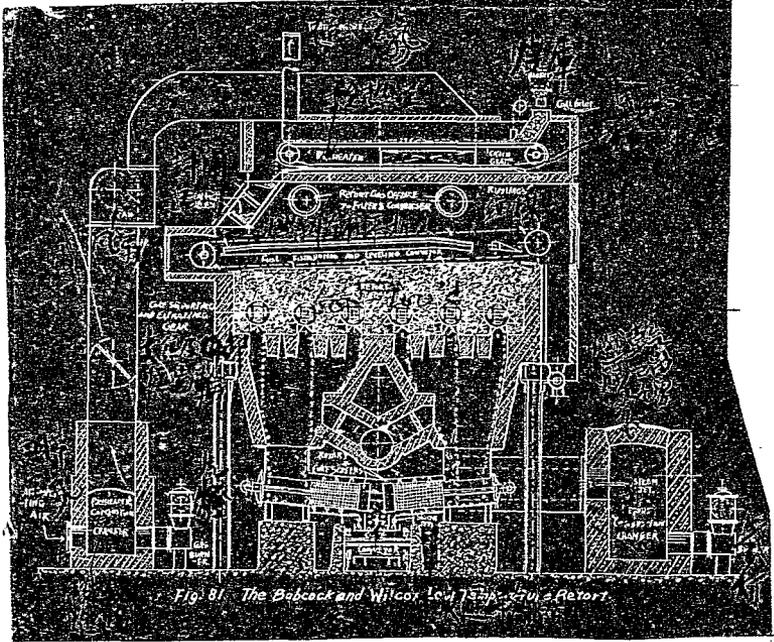
	大磚廠	軟製廠
乾餾溫度°C	665 to 690	600
每日每噸煤之處理噸數	6.3	3.65
煤內之水分%	2.8	2.2
每噸乾煤之度費		
米焦	14.50	14.91
煤膏	23.5	19.9
煤膏之比重(15°C)磅	1.035	1.026
煤氣 立方呎	6.870	5.125
煤氣之熱值 英國熱單位/立方呎	671	738
煤氣之熱值 刺姆	16.1	37.8

3. 粘布可備而可乾餾廠 (The Babcock and Wilcox
Plant). — 此為內熱式乾餾廠，另有預熱設備，其作用在
使煤未乾餾之前，先改進其膨脹性，使煤質鏈式機械
炒籠大，預熱烘燒，並通入熱氣，熱氣之溫度為150°C，烘後
後使煤於 (Sealing valves) 卸入刮板運輸器，使之均勻平
鋪於鋪件，鋪件之厚度為3英寸，以持硬式炭製成之，每集煤6個

支持之半焦卸出後，係轉動篩至運焦機，以水滅火，至煤之炭化，乃以過熱蒸汽及燃燒所得之氣體使之加熱至 600° - 700° 所得之結果。

其由鑽頂逸出之煤氣，則以抽氣機抽去，使之經過濾器，以去煤灰；次經過水管冷凝器，分出煤膏，最後油洗，除去輕油，所得煤氣，可供加熱乾餾鑽之用，下列第七十一表即

煤
料
工
業



此低溫乾餾之產品

1. 半焦 (Semi-coke 又名 Coalite 或 fuelite) 為低溫乾餾時乾餾管內所遺之固體，與高溫乾餾得來者相異，煤性狀

二
子

支持之米焦卸出後係轉動碎煤運焦機以水滅火至煤之
 炭化乃以過熱蒸汽及燃燒所得之氣體使之加熱至 600°
 - 700°C 所得之結果。

其由鑄鐵爐逸出之煤氣則以抽氣機抽去使之經過濾器
 以去煤灰次經過水管冷凝器分出煤膏最後油洗之除去
 輕油所得煤氣可供加熱乾餾之用下列第七十一表即
 此法所得之結果。

燃料工業

第七十一表 柏威六氏乾餾鑄鐵爐炭化之結果

煤	40
水分	6.4
揮發物	34.2
固定炭	51.6
灰分	7.9
每日乾餾噸數	228
每噸乾煤之產量	
米焦	15.04
煤膏	16.8
輕油(煤氣中得來) 磅	2.6
煤氣 每立方呎	38.700
煤氣熱量 利姆	29

四、低溫乾餾之產品

1. 米焦 (Semi-coke 又名 Coalite 或 fuelite) 為低溫乾餾
 時乾餾爐內所遺之固體其高溫乾餾得來者相較其性狀

二二

各成分不相同如：

	米焦	煤氣焦炭	冶金焦炭
工業分析			
水分	2.8	0.7	0.7
揮發物	10.6	1.6	1.7
固定炭	75.4	86.1	86.7
灰分	11.2	11.6	10.9
熱值：英國熱單位/磅	12,000	12,530	12,620

元素分析

氫	2.7	0.6	0.7
炭	77.4	84.4	85.0
氮	1.7	1.1	1.0
氧	6.4	1.7	1.4
硫	0.6	0.6	1.0
灰	11.2	11.6	10.9

米焦中所含之揮發物一般為7-15%，較之高溫焦炭僅含1-3%者，其性質各不相同如米焦之發火點極低，其對於空氣、二氧化碳及水蒸氣之反應均較高溫焦炭為速，惟米焦性質比之脆弱，無論運輸，即儲藏時亦易粉碎，是其缺點。

米焦之收獲量約為原料煤之75-80%，但由高溫乾餾得者只65-75%。大抵原料煤含固定炭愈多者，米焦之收獲量愈大。

米焦燃燒無烟，又易着火，故家庭及工廠均採用之。

及低溫煤膏(Low temperature tar)高溫乾餾得來之煤膏其成分幾全為環屬烴烴物，但由低溫乾餾得來者所含環屬烴烴物甚少其重要成分大都為鏈屬烴烴物及環屬烴烴物，此外又含有多量之酚類，均其特徵，惟此等成分又因煤之種類及乾餾溫度而大異，自不待言。

至其性狀據費雪(Fisher)氏研究之結果約如下述

(1) 常溫時為液體，

(2) 稀薄液體呈紅黃色，乃至藍紫色；

(3) 比重在 26°C 時為 $0.95-1.06$ ；

(4) 無蒸氣臭味。

又費氏將 200°C 以下餾出之低溫煤膏行定量分析則得：

二硫化炭	0.01	低溫煤膏之收獲量雖因溫度而殊，但煤之種類不同，所得煤膏之度量亦異，據費雪氏試驗之結果，低溫乾餾生成煤膏最多者為燭煤(Cannel coal)達29%其次為長焰煤約12%，又其次為烟煤約10-22%，以煉焦煤及次無烟煤為最少，各為35%
丙酮	0.77	
苯	4.0-5.9	
甲苯及二甲苯	2.0-2.5	
酚	1-1.3	
苯胺	0.043	
吡啶	0.9	
鏈屬烴烴物	2.0-2.5	
不能烴烴物	5.0-6.0	

%及15%。

低溫煤膏可作燃料、滑油、塗料、及溶劑等等之用，又蒸餾或熱解之更可製成煤油、製油，不過低溫煤膏其反應

油相較，前者含有少量又不能此含物及酸性油，故其石油行用之，因酸鹼處理損失太大，運費亦差，但如將低溫煤膏加以氣化，則可得種種之貴重製品如汽油及滑油等。

三、煤氣液 (Gas liquor) —— 煤氣液之比，常依 1 以上，內含或多或少之氣，蓋煤中，原含有氣，乾餾之則變為氣或鈣鹽而逸出，其逸出之多少，視溫度而異，溫度愈高則逸出愈多，例如高溫乾餾時，每噸煤約可收復硫酸鈣 24-36 磅，而低溫乾餾，每噸煤只收復 12-16 磅也。

四、低溫煤氣 (Low temperature gas) —— 低溫煤氣之性狀，常用乾餾之方法而異，例如外熱式乾餾，所得之煤氣，其中含氮之量，常較高溫煤氣所含者為少，而甲烷及其同族列之烴化物及較多，故熱量亦較大，通常為 700-900 英熱單位，而高溫煤氣，不過為 530-600 英熱單位而已。至用熱式乾餾，則煤氣之性狀，視所用之熱氣係及蒸汽而異，例如使用水蒸汽加熱時，最後均冷凝為水，而煤氣完全分離，故低溫煤氣之性狀及熱值，均不生變化，但若使用加熱廢氣或水煤氣或發生爐煤氣，則結果大不相同，熱值降低。

低溫煤氣之生成量，常因溫度而異，一般溫度愈高，則煤氣之生成量愈多，例如低溫乾餾，每噸煤只發生煤氣 1000-6000 立方呎，而高溫乾餾，則可得 10000-13000 立方呎，相差甚大。

低溫煤氣可作都市煤氣或工業煤氣之用，惟其中含烴

此物太多不易完全燃燒，最好與木煤氣摻用。
 在低溫乾燥與高溫乾燥二者所得產品之比較

產 品 種 類	低溫乾燥	高溫乾燥
木焦:		
煤油所得木焦之總數	75-80	65-75
揮發物之百分數	7-15	1-3
煤氣:		
每噸煤所出煤氣之立方呎數	4,000-6,000	10,000-12,500
熱量: 英國熱單位/立方呎	700-900	530-630
輕油及煤膏每噸煤之磅數	20-40	10-17
硫酸銨每噸煤之磅數	12-15	24-26

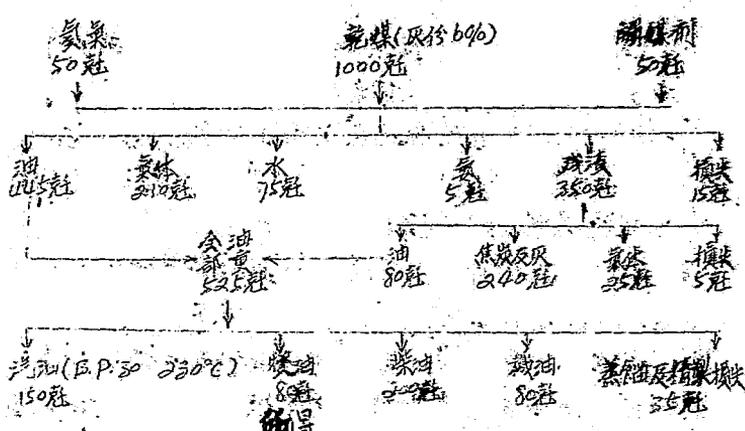
煤
 焦
 油
 氣

第十五章 煤製石油

一 歷史——遠在十八六八年以前，相德樓 (M. Beihelot) 的取煤粉與碘氫酸之飽和溶液置於密封之球管中，加熱至約略結果得煤重有百分之十之液体，其後克飛及米克蘭 (Dafert and Miklan) 二人復取煤加熱至 160°C 使碘氫酸及黃磷與之作用，亦能將煤液化，但當時因內燃機之應用不廣，煤製石油問題未能引起世人注意，及至一九一〇年德人相奇士 (Burgius) 於溫度 31°C 壓力 150 氣壓之情況下，使煤與水作用約八小時，結果得黑色固體，取及日人造煤 (Artificial coals) 旋取此人造煤於高壓高壓下使之氮化，得煤重有百分之七十之液体，可溶於苯，於是更進一步，研究直接採用天然煤為原料，試行氮化，終於溫度 $350-400^{\circ}\text{C}$ 壓力 100 氣壓之下，變煤為油，迨於一九一三年吳准專利。次年歐戰發生，不作進行甚慢，然因戰爭之故，德人深知石油對於國防之重要，歐戰結束後，相奇士得德國工業界之資助，成立一實驗工廠，經四年不斷之努力，煤製石油問題全部解決，其法即以褐煤 (Brown coal 或 lignite) 為原料，先將煤擊成粉末，然後取煤粉 100 份和以前次氮化得來之重油四份及適量之觸媒劑 (廠取之 *Luxmaide* 內含氧化鐵、氧化鋁及氧化鈦等) 磨成煤糊後，送入轉化器，於溫度 $450-520^{\circ}\text{C}$ 壓力 $150-200$ 氣壓之情況下，使之氮化作用即得。下表係一九一五年相奇士以烟煤為原料，氮化所得之結果：

燃料工業

三九



各人由上述實驗結果可知煙煤氣化後，所得油質約合煤重之八分，此外德國福壽染料公司（*IG Farbenindustrie*）亦着手煤製成油問題之研究，該公司利用空中氣製成，效率最平，對於高壓技術及觸媒劑之應用，最有經驗，故不數年而成效大彰，乃於一九二五年在德國中部的洛那（*Loosna*）城着手建立年度產量萬噸之人工造汽油大廠，其所用原料，以福煤為最大，約汽油八噸，需用錳煤四噸，就中心之噸係用作氣化之原料，其餘六噸則用以製造氮氣及發電原動力之飛輪，一九二八年德國煤製汽油及代用品之產量已達六,000,000噸之多云。

一九二六年美孚油公司亦開始研究及油之氣化問題，隨于一九二九年紐約費文貝（*Bayway, New Jersey*）成立一石油氣化廠，每日可處理石油二,200—2,500桶，是為英界上第一石油氣化廠，其後復於一九二八年於路易西

Rouge

來那(Louisiana)巴頓路哉(Baton Rouge)煉油第二
石油氣化廠技術方面較前更為進步。

一九二七年英國皇家化學工業公司(Imperial Chemical Industries Ltd)亦在裴林漢(Billingham)實驗廠開始研究煤製石油問題旋于一九二九年建立一每日用煤十噸之小工廠作工業式之試驗極精密估計大規模製造汽油每桶需費七便士之譜而當時世界石油出產過剩因之英國由國外輸入之汽油每桶不過二便士半是人造汽油之價值未免過高殊難發展但英國政府為提倡國內石油自給以充實國防起見特於一九三三年七月十七日宣佈自一九三五年起對於國內自製之人造汽油每桶給予四便士之特惠至是該公司始敢大量製造後該公司為健全發展計復聯合德美荷三國組織一國際氫化專利公司(International Hydrogenation Patent Co.)其辦法為德國專門研究褐煤及其他固體燃料之氫化問題美國專門研究石油之氫化問題英國專門研究燐煤之氫化問題及通情報交換秘密因此英國皇家化學工業公司復得借他人之經驗補自己之不足研究計劃於一九三二年前完成隨於一九三三年得該廠資本原為一〇〇〇〇〇磅每年用烟煤四十萬噸可得汽油十萬噸(合三不萬英加倫)後復擴充資本至五、五〇〇〇〇磅年度汽油十萬噸就中十萬噸以烟煤為原料其餘以柏油精(Creosote Oil)及低溫煤膏為原料英國平時每年需用各種

反油產品約一千萬噸，此小又萬噸為量甚少，但在世界反
法儲量漸次減少之際，煤製反油工業，要亦為解決液体燃
料問題最有效之辦法也。

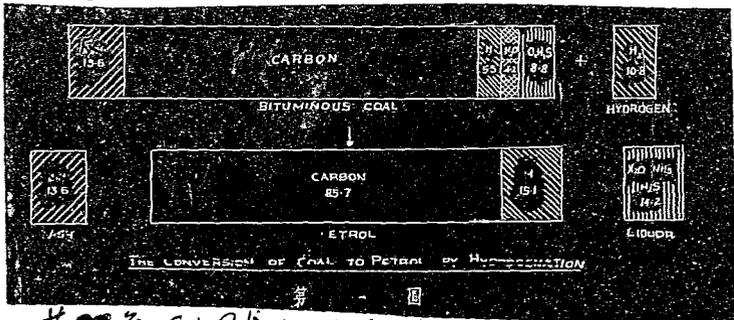
燃料工業

煤製反油之化學——煤製反油相較前者又灰多氣少，
欲變煤為油非加氫不可，但加氫後，其變化如何欲解，
此一問題，必須對於煤之組成細加研究。

煤之主要成分，可視為多數環狀反不能和化合物之復
雜膠體，就中除環烷外，尚含有 $>C=C<$ ， $>C=O$ ， $-OH$ ，
 $-OCH_3$ ， $>NH$ ， $-SH$ ， $>S$ 等基，故苟如柏奇氏之法，於極
高壓之下加入氫氣，則可能發生下列四種變化：

- (一) 變炭化物為烴化物即炭氫化物，其中之氧變為水，氮變
為氨，硫變為二硫化氫而除去之；
- (二) 裂解複雜之炭化物，使變為較簡單者；
- (三) 使不能之炭化物加氫而飽和；
- (四) 部份之煤變為氣體焦炭。

上述四種反應中，前三者均可得液体燃料，而第四種須
降低其最少限度，始合經濟，如第一圖即表示煤製汽油之
大概。



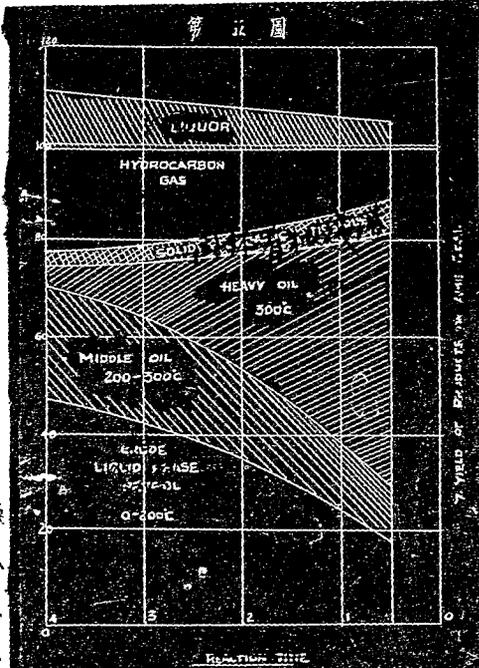
第一圖 利用氫化法變煤為油

欲達到上述經濟目的，必須對於壓力、溫度及觸媒劑三者詳加研究。然壓力在 100 氣、溫度在 300—500°C 之間最高適宜。溫度增高，反應雖較快，但氣體及焦炭之生成率均較多。汽油中環狀化合物之減少，亦增加不少。反之，溫度較低，則所得之液體中環狀物質較為能心，氣體之生成率亦較少。而壓力以高壓增加油之產量，然機械之費用較昂。觸媒劑則德國固早已發見，不受此化合影響之觸媒劑矣。

液化方法常分液相氮化 (Liquid phase hydrogenation) 及氣相氮化 (Vapour phase hydrogenation) 二。步行之，其效此可得。液相氮化常用於固體，或高沸點之液體。煤餅不溶於油，但粉碎後，以重油使成油時，以適當之觸媒劑，混和均勻於高溫、高壓之下，放入氮氣，假以時間，即可液化。至於氣相氮化，則係以液相氮化得來之中油，或沸點較低之液體，於氣相之狀況下，重行氮化，以增加汽油之產量也。

煤製汽油之方法——一九二七年英國皇家化學工業公司在碧林，實驗室開始研究煤製汽油問題，即依柏奇氏之法，以一小時、低壓研究壓力、溫度、觸媒劑及時間，兩者對於氮化之大概影響。繼續研究反應塔之設計問題，至一九二九年，又發見錫為氮化最佳之觸媒劑。當時以銹網鍍錫試用，成績甚佳，旋復找出某種錫之有機化合物，效用更大，且可以少量連續法入，甚為便利，因此遂決定在碧林，建成一每日氮化烟煤十噸之工廠，詳細情形見第 119 圖。至其所用之反應

第 11 圖



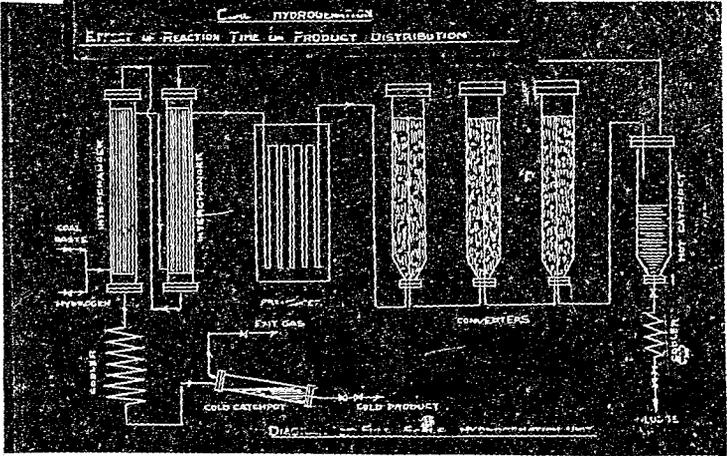
九十
第 11 圖
時間對於
產品所出
之影響

煤
少
煤
油
水
汽
化
器
之
設
計

該
模
式
含
藏
聚
法

其
底
使
容
大
規
更
平
更
式
落
成
用
之
原
料
設
備

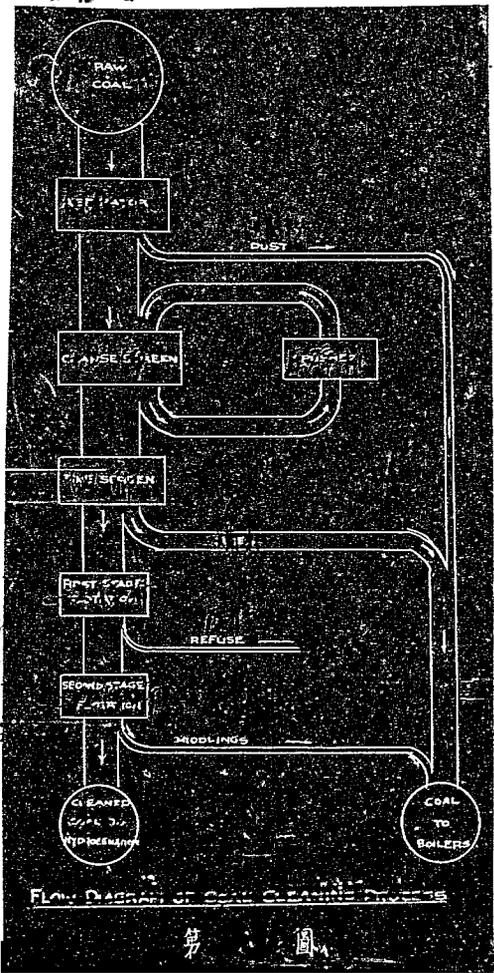
第 12 圖
EFFECT OF REACTION TIME ON PRODUCT DISTRIBUTION



三
六

原料:

A. 煤——在碎管及粗煤洗淨後其中之灰份可以降低，且灰中之鹼性物質於解煤劑有害者，亦：藉此除去之洗煤之法即於已碎之煤混入於水及沙之混合液中，洗煤之深淺視灰份之煤質而定，煤塊之灰份以此法後洗淨，洗煤中之灰份，可降至 5% 以下，即輸入煤庫，供氣化之用。



以氣
煤炭
之間
50% 以上

此圖
洗煤之
50% 以上
為 CO₂ 及 H₂

FLOW DIAGRAM OF COAL CLEANING PROCESS

第一圖

原料:

A. 煤——六節曾言及烟煤洗淨後其中灰份可以降低，且灰中之鹼性物質於解煤劑有益者，而以此除去之洗煤之法即已於發過篩之煤塊入於水及沙之混合液中，洗淨煤塊後將煤塊之灰份洗去，使灰份之含量減至5%以下，則輸入煤屬非氧化之用。



白蒸氣——蒸氣來源為水煤氣，其製法如左：
 煤炭於高爐中與水及空氣共蒸，其產物為CO, H₂及CO₂之混合氣體，其中約含CO 45-55%, H₂ 45-55%。
 此等氣體經洗淨後，經蒸氣之淨化，轉而變為CO₂及H₂。

六三

英國皇家化學工業公司因在柏林漢設有氮之總廠工
 廠對於高壓工作之法經驗其除特殊機械如壓縮機
 (Compressor) 循環器 (Circulator) 射液機 (Injector) 及
 反應塔外所有耐壓鋼管閘門閥門及其他零件均係自造
 反應塔高三十餘英尺直徑四英尺不等所製壓力在
 200-500 氣壓之間製造方法係先造一完整之鋼柱長三
 十餘尺徑五六尺然後從中取空即得所需之鋼筒蓋如是
 始能成竹一改變壓力均勻不易炸裂也其他耐壓鋼管製法
 亦同。

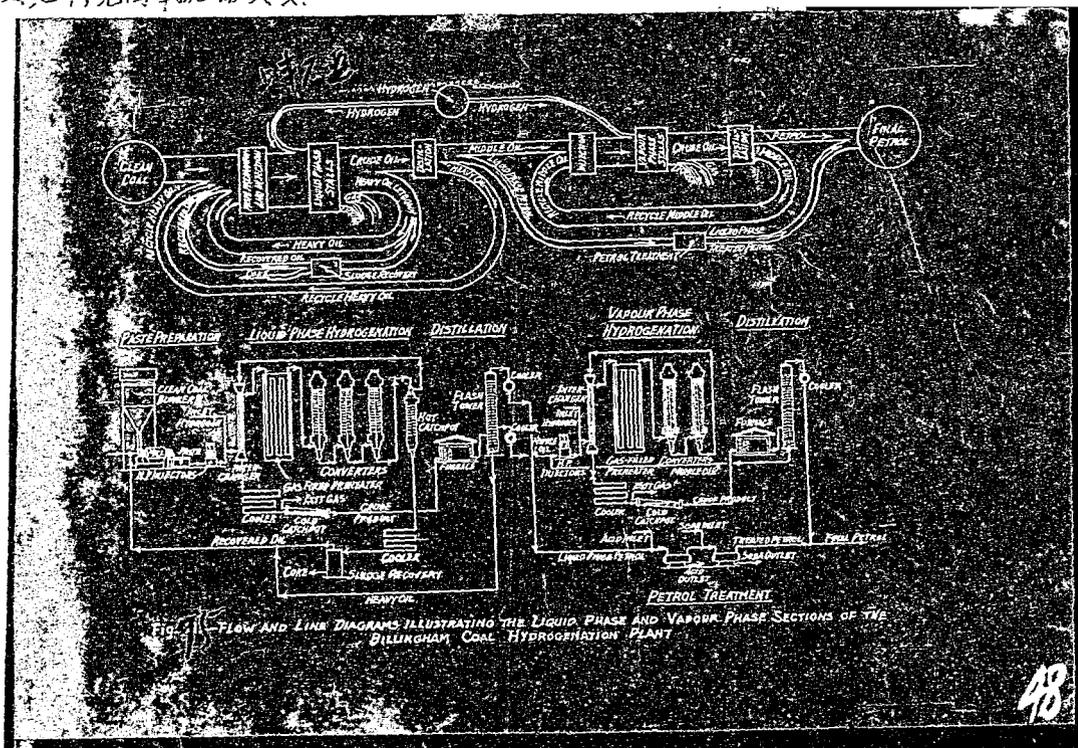
3. 製法

九三

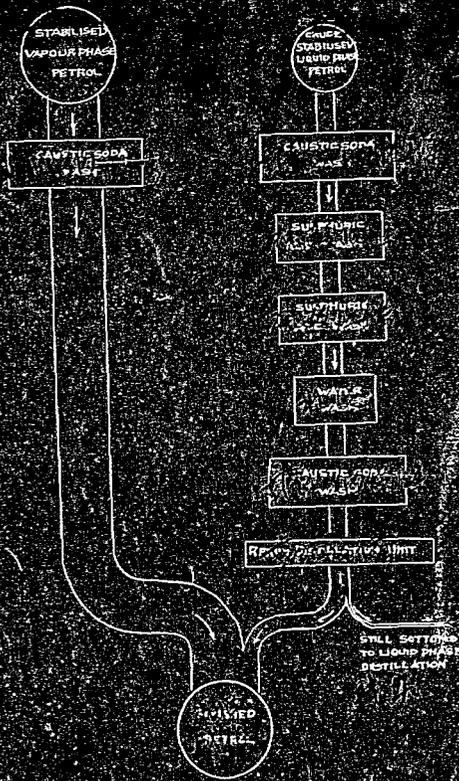
煤製石油之程序係將煤與水之混合物先淨後即
 存入煤庫用時將水與煤之量按一定比例混合
 可成適宜之煤漿而於煤中磨成煤粉乃將氮氣與以二
 三〇氣壓之高壓射液機 (Injector) 依次送入換熱器
 (Interchanger) 及加熱器 (Gas-fired pre-
 heater) 中徐徐升高溫度其順序經過三個轉化塔氮化
 作用於以氣成油之液以維持反應故無須另外加熱
 其由最後反應塔中逸出之氣體蒸汽重油及其中所含之
 炭份與未化之煤或熱液變器 (Hot catch pot) 中彼此
 分離成液及液之液經冷卻後一部份將煤油重油并
 收回焦炭另一部份與煤粉相混送入轉化塔氣體則
 先入預熱器中其熱之與新出之煤漿然後依次
 入冷卻器及變器俟降至普通溫度此時分出之氣體會

多量之氨，送入洗氣塔中除去硫化物後，導入循環機中再用，
 至於液体則於減壓後，分去氨水再送蒸餾器中蒸餾之所得
 蒸氣升入分餾塔 (flash tower) 汽油由塔頂分出，中油再
 依前法經過一次氣相氯化，可得更多之汽油，所得汽油依第
 97 圖所示之程序處理，可得安定之汽油，因品質甚純，故不
 須酸液及鹼液各先一次，即可送入工廠外之裝運之池中儲
 藏，備用池旁有河，隨時可以運出，不致外溢，則儲於充滿氮
 氣之池中，免因氧化而變質。

然洋五業



48



REFINING TREATMENT OF HYDROGENATION PLANT PETROL

鐵塔五六

三五

48

鐵塔

再高且氣化危險甚多，設計製造安全第一，故該廠將氣化
大機全為雙組，每組各有換熱器及熱器，其氣化全業等，均建
於露天且特別堅固之基座上，一面向東北，一面向工廠其他
各部，向工廠之一面，建有高而厚之圍牆，以為萬一發警或炸
裂時之屏障，此外并有控制室，位於牆後之安全地帶，一切換
製機械，如閘閥，溫度計，壓力表及速率表等等，均置於其中，故
一切不測，均無需親到現場，又控制室有預備意外之設備，業
一部於發生問題時控制室即可即測使該組與其他各部隔離，
同使某噴氣，使液體所受壓力降低，如有火警，控制室即會
使該發生火警部之所有滅火設備，射出之氣化炭氣，以滅
除火患。

廠中各組化台單位均有互相更換之設備，如本組因停工
修理則暫假其他之組，又同樣部於備用之，如此全廠工作
均得繼續進行，此外并有修理工場八所，所有大小機件，均可
修理，雖高達數十英尺之轉化塔，亦可以一天起重機運入其
內，規模之大，可想見一斑矣。

兩煤50萬噸煤言三
汽油10噸需煤5噸

出品

該廠所用之氣，全由水煤氣得來，故年製汽油十萬噸，其熱
效率為90%，但若依甲烷蒸汽法 (Methane-steam process)
製造氣氣，則每噸油，只須煤六、七、八噸，其熱效增至40%。

下表中所載各種汽油，為該廠應市面之需要分別製造者，
第一種為深相氣化所得之汽油，全業一般標準，即所謂第一
等汽油 (No. 1 Spirit) 第二種為氣相氣化所得之汽油，而全

本公司(Shell)牌汽油之成份者，其三種係英國航空司
令部之規定而配製，其燒值(Octane Number)極高，價銀
最廉。

七十二
第八表

煤製汽油之品質

	1	2	3
比重	0.740-0.750	0.734-0.738	0.730
始沸點	35°C	35°C	35°C
蒸出90%時之溫度	158°C	160°C	150°C
終沸點	170°C	170°C	165°C
殘液	0.1%	1%	1.9%
損失	1%	1%	1%
蒸出體積(%)			
70°C時	20%	19%	21%
100°C時	40%	40%	50%
160°C時	75%	75%	89%
蒸汽壓(100°C)	9.2磅/平方吋	9.2磅/平方吋	7.5磅/平方吋
辛烷值(C.F.R.汽車法)	71-73	80	
(C.F.R.飛機法)			87
顏色	±25 邊色	±5	±5
氣味	普通	普通	普通
硫(%)重量	0.05	0.01-0.02	0.01-0.02
含硫試驗(Doctor test)	無作用	無作用	無作用
腐蝕性試驗	無作用	無作用	無作用

精製之油

精製之油

膠 (mg^m/100ml)

2.0

3.0

5.0

上述汽油品質甚佳，精製亦較容易，可法竟者，其揮發度
與任何其他方法由煤中提出之汽油如低溫炭化法為高，此
點實為近代汽車燃料之重要條件，且此法不僅可得汽油而
已，將系上等柴油及滑油亦可提出。

第十六章 鋼鐵工業中之燃料經濟問題

一 概說——有年以前英國之鐵產量，每年不及二百萬噸，而鋼之利用，亦僅限於製造用典及作戰武器；及一九〇〇年之英國鐵產量達 102,464,000 噸，約增倍五十餘倍，而鋼之用途，不可勝數，因之燃料經濟實為鋼鐵工業中之重要課題。

燃料工業

二 冶鐵 (blast furnace)

1. 燃料經濟簡史 鼓風爐之發明創自德國，至十五世紀始傳於英國，論其大小，僅只五呎，高三倍之，所用燃料概為木炭，及至一七〇三年至一七三五年，英人第拜士 (A. Darby) 父子研究焦炭冶鐵成功，從此煤鑄手，廣於英國工業革命，而世界文明，亦因之發揚，以有今日之盛。

顧當時冶鐵鼓入冷風 (Cold blast)，每產熟鐵一噸，約需焦炭 3.5 噸，若產熟鐵一噸，至少非用焦炭 5 噸不可，至一八二八至一八三二年，納爾遜 (G. B. Neilson) 氏改用熱風冶鐵，始為燃料經濟史上開一新紀元，厥功極偉，然氏一礦工之子耳，服務於格拉斯哥煤氣廠，達半年，始為工頭，後升為工程師，經種種研究結果，乃斷定冷鐵爐內若通入熱風，必可節省燃料不少，但當時冷鐵不嚴，無一信服之者，蓋據一般經驗，冬日冶得之鐵，論質或量，均較夏日冶得者為佳，此必係冬日溫度較低之故，但納氏力辯，及議，謂夏日冶鐵較遜之原因，蓋由於夏日空氣密度較小，湍流較大，而非由於溫度較高之故，乃於一八二九年，假充求得

三七

鐵工廠 (Clyde Iron-works) 試驗，結果證明冷風冶鐵，每產出鐵一噸，需用焦炭8噸，另1噸 (CO₂)，若通熱風 (1490) 只需焦炭5噸，另1噸，又於一八三三并升高熱風溫度至324°C，焦炭之量更降低至2噸，另1噸，抑尤有進者，冷風冶鐵，每週每爐平均只得出鐵36噸，另1噸，若改通熱風 (324°C) 每週每爐平均可得61噸，另1噸，可見熱風冶鐵，其利甚大，故今日冶鐵工廠，莫不用之。

一八四五年，本史及蒲勒非 (Bunsen and Playfair) 二人就鼓風爐口逸出之氣體加以種種分析及研究，復獲驚人結論，謂：鼓風爐內之燃料，只有18.46% 為炭及氫，其餘81.54% 均成可燃氣體而逸出，大可利用。云云。不久此鼓風爐煤氣，即被大規模採用，或燃燒鋸木，或作其他加熱之用，而燃料經濟，又邁一大步。

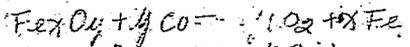
自是各方努力，集中於擴大鼓風爐之容量，如一八一三及一八一六，英人貝爾兄弟 (Bell Bros) 設之冶鐵廠，高48呎，容量6,194立方呎，因增高鼓風溫度之故，每噸出鐵所需焦炭由34噸降為28.7噸，後又一八六六年，後建之一新廠，高度增至50呎，容量增至15,000立方呎，其後一八七四年，建之者，更擴大容量至30,200立方呎，詳細情形見第 四 十 三 表。

第 93 表 貝爾兄弟冶鐵爐 (1853 至 1872)

年別	高度(呎)	直徑(呎)	產量(噸)	每噸產鐵 炭量(噸)	每噸出鐵 消耗之焦炭 量(噸)
1853-61	48.0	16.50	6,174	130-220	34.0-28.7
1865	80.0	20.50	15,000	310	23.1
1872	80.0	22.15	20,200	440-470	29.4

此外一八六八年英國德亨(Durham)地方復建立一大型鼓風爐高達 103 呎，產量 33,000 噸，同年高濕鼓風專家柯克蘭(C. Cochrane)氏更預言將乘鼓風溫度增高，冶鐵一項或只須焦炭 13 噸，但上述各爐終未達到目的。

貝爾經種種研究，認為鼓風爐內之反應，無論溫度高低均依下列可逆反應而變化：



可見柯克蘭之說，與質量作用定律相符，因於一八六九年，在英國鋼鐵學會公開提出，加次之溫度為 1000°F (538°C) 應為鼓風爐溫度之最高限度，其後更以克勒非蘭(Cleve-land)之鐵礦及德亨之焦炭為例，提出下列二點：

- (a) 鼓風爐無論增加高度或產量，若出爐之鐵氣溫度低於 300°C，則無利可獲。
- (b) 爐口逸出氣體之溫度雖為 200°C，然若其中之成分之氧化炭與一氧化炭之比，小於 0.45，則爐內氣體之還原力必甚差。

由上可知，冶鐵爐中之經濟問題，不僅與鼓風溫度之高低有關，即一氧化炭之多少，亦極重要。貝氏之意，以為爐高

80呎容量16,000立方呎即可達到高度經濟。

燃料系統

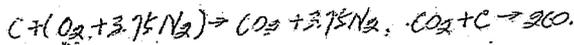
前高冶鐵一噸約需鐵礦、焦炭及石灰石92.5噸，而所需空氣之量更為97.4噸，但一年之季節不同，空氣中之濕度亦有差異，對於冶鐵工業頗為不利，此自一八九三年以來即先後經蒲瑞多(Prud'homme)、貝耳(Bell)，及佛萊葉(Fryer)諸氏提出種種研究報告，至一九〇四年美人格萊(G. Gayley)氏始應用之於冶鐵，結果發現乾燥空氣冶鐵每日可增產鐵量三分之一，而焦炭及省去30%。詳細情形如下：

	通常空氣	乾燥空氣
空氣中之水分 磅/噸	5.56	1.75
每噸產鐵噸數	358	447
每噸產鐵消耗焦炭磅數	2147	1720
通風溫度°F	750	810
出氣溫度°F	538	576
氣流中CO ₂ 之%	1.70	1.25

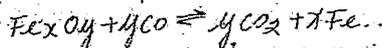
一九〇九年路易士(E. H. Lewis)利用矽膠(Silica gel)吸收空氣中之水分使每噸空氣中之含水量由3.26噸降至1.37噸，預熱空氣至758°C，結果鐵之產量增加13.21%，而焦炭消耗減半至5.45%。此外若利用冷劑或乾冰劑如CaCl₂之類以去空氣中之水分者，結果亦得不償失，現今採用者甚少。

鼓風機

又冶鐵之主要反應，茲以英國克勒利蘭鼓風爐為例而示之，如第79圖所標，其鼓風機之高度80呎，容量18000000立方呎，鼓風壓力為5.0磅，預熱至725°C，產鐵可得共鐵

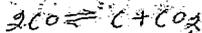


(a) 當爐中之鐵礦(Fe₂O₃)下降時遇上升之CO，即依次還元而為Fe₃O₄, FeO; 最後變為絮鐵(Spongy iron)及廢如下:



還元反應自300°C開始最高達800°C以上;

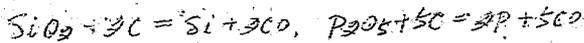
(b) CO在低溫(45-650°C)時遇矽鐵礦(~~FeO~~)易於分解, 放出炭及CO₂, 如:



如此發之炭浸渣(impregnation)於絮鐵之中, 為還元劑, 又能使鐵礦粉碎

(c) 原料中之CO₂, SiO₂, P₂O₅等在爐中下部於高溫時被炭還元; 至於鐵礦則還元工作亦因此全部完成。

(d) 石灰石在爐內之中上層於800-900°C之溫度大部分解, 為石灰及CO₂, 石灰與鐵礦內之雜質及燃料內渣下之灰化合而失塔渣, 其主要成分為鈣鉍之矽酸化合物, 至於CO₂則繼續上升, 參與上層之反應。



(e) 原料中不燃燒之固體成分, 經上述之還元或分解後, 下降至爐腹之最寬處時, 即塔融而為液體, 由爐之底部流出, 上層為塔渣, 下層為生鐵, 此時爐腹縮小之故, 生固生鐵等塔融之渣亦減少也。

(f) 廢品

- (i) 生鐵 (Fe = 92.9%, C = 3.9%) 90 噸;
 (ii) 熔渣 (CaO = 31.3, MgO = 7.2, FeO 及 MnO = 2.1, Al₂O₃ = 25.7, SiO₂ = 30.7%) 35 噸;
 (iii) 氣體 (15°C, 760 托) 185500 立方呎, 於 250°C 由爐口放出其成分為 CO₂ = 10.0, CO = 56.0, H₂ = 1.0 及 N₂ = 59.0% 又發熱量 (15°C, 760 托) = 100 英國熱單位/立方呎。

(D) 熱量之計算 上述 CO/CO₂ 之比为 3, 較之六十年前貝爾氏所定之限度 (= 2) 超過甚多, 但此為今日英國克勒非蘭鼓風爐之實際情形, 其目的蓋在增加每爐每週之產量也。茲就就前述各節將每噸生鐵所需之焦炭及熱風二者之熱能與冶鐵後放出之熱氣所含之熱能比較如下:

(1) 焦炭 (C = 89%) 1.125 噸之燃燒熱	英熱單位 55,100,000
通入熱風 (725°C) 之發熱	3,290,000
送入熱能之總和	58,390,000
(2) 氣體 185500 立方呎之燃燒熱	18,500,000
放出熱氣 (50°C) 之顯熱	1,500,000
放出熱能之總和	20,000,000

由上可知放出氣體之燃燒熱 (顯熱尚未計入) 約等於送入熱能之總和之八分, 焦炭所有熱能之 57%。

3. 鼓風爐煤氣之利用 鼓風爐實際之亦可視為煤氣發生爐近代鼓風爐於 250-300°C 時放出之煤氣其成分為

CO₂ = 10-13, CO = 56-30, H₂ = 1-2, N₂ = 58-60%
 其比重與空氣之比重略相若, 發熱量在 15°C 及 760 托時每

文方砂為95英熱單位燃燒時發生藍色火焰，微帶綠色，惟煤氣中會有灰塵甚多，使用前必須設法除去耳。

萊克勒非蘭鼓風炉實際所得結果，冷得出鐵(內含C 3.1%)一噸需用焦炭(內含C 89.0%) 1.125噸，石灰石(內含CaCO₃ 90%) 1.1噸，約可發熱煤氣 18,500文方呎(按15°C, 760托計算)，其成分為CO₂=10, CO=50, H₂=1, N₂=59.90，若每週冷得出鐵1,000噸，則每小時冷得出鐵6噸，可共發熱煤氣18,500×6=1,113,000文方呎，發熱量約為11,300,000英熱單位(顯熱尚未計入)，故可用之於加熱昇鐵出動力。

4. 熔渣含熱之利用：熔渣含熱多少，視所用鐵礦而異，鐵礦含鐵愈少，則生成熔渣愈多，即含熱愈多。前萊克勒非蘭鼓風炉每度出鐵一噸，即有熔渣法租(含1.15噸)流出，溫度達1,100°C以上，極負潛能。茲研究每克熔渣約含熱550卡，熱量之大，可以概見。據文述，將熔渣之渣瓶入水中(Oronching)使之發熱蒸氣，作為蒸氣或發熱動力之用。據實驗結果，收復之熱約合所用焦炭應出之5%。

5. 近代各國鼓風炉之一般情形 伊文思(E. C. Evans)氏統計近代各國鼓風炉之一般情形，於一九二八年至一九三一年，先後在鋼鐵協會會議上發表，茲擇其重要者列為第一表。

第一表 鼓風炉之一般情形 (續) 噸所需焦炭之磅數 (1929-31)

鼓風炉種類	高爐	生鐵	鐵	渣	其發熱之西高文數	焦炭				
磅數	(噸)	(噸)	(噸)	(噸)	(磅)	(磅)				
80. 英國	48.5	22.0	5509	1.59	1595	1632.0	28.6	723	17.0	88.1

83	美國	90° 22'	2815	1.21	540°	-	155°	1645	311	172	1728	883	
92		95° 22'	4225	1.3	593°	-	26°	-	292	1060	1700	858	
97		85° 20'	3605	1.2	528°	-	110°	175	326	916	1770	823	
99		90° 21'	5120	1.0	465°	-	-	-	323	1015	1726	853	
103		76° 20'	2576	-	750°	10	150	200	278	313	510	1691	820
152		90° 21'	5512	0.82	528°	178	151°	127	377	518	1770	8882	
153		88° 25'	6691	1.12	716°	18.7	150°	121	339	637	1784	8852	
157		95° 25'	5586	1.12	529°	16.0	188°	2.00	364	682	1743	8852	
167		85° 21'	4250	0.58	668°	11.0	256°	215	587	229	1760	864	
175		95° 24'	5022	0.91	615°	17.2	178°	1.80	418	608	1759	8785	
206		94° -	7520	0.23	7.2	11.0	-	-	420	206	1688	8788	
212		55° 19'	2280	0.9	850°	7.9	207°	258	362	544	385	810	
215		75° 21'	4170	0.6	850°	15.8	257°	292	425	260	1720	810	

伊氏統計22個鼓風爐，其中有75個冷得生鐵一噸，所需焦炭均較一噸為多。

冷鐵一噸，消耗焦炭之根數

15-16	16-17	17-18	18-20
14	5	18	38

上述七十五個鼓風爐中，有十四個鼓風爐冷得生鐵一噸，僅需焦炭15-16根，如206號鼓風爐，高94呎，於700°C鼓入空氣，每冷鐵1.075噸，僅需焦炭1.688磅（合15根8磅）。

回憶一八二九年冷鐵一噸約需焦炭3.5噸，現只需15-16根，省去燃料達三分之二，而近代鼓風爐一小時之鐵產量約為一八二九年鼓風爐一週之鐵產量，又因機械設備進步，現

時每分鐘自動輸送原料2.135噸入於高90呎之鼓風爐中，又通入預熱空氣7000立方呎，即可得生鐵及熔渣一噸之鼓風爐煤氣9000立方呎，進步之速，殊屬可驚。現世界生鐵每年產煤達250百萬噸以上，飲水思源，不能不歸功於一八二九年納來遜氏以及諸燃料專家之努力。

三、煉鋼

前節曾言生鐵之燃料經濟問題，今更就煉鋼之燃料經濟問題論之。

有年以前，一般生鐵均用坩堝法 (Cucible process) 製造，少量之鋼供鑄武器及其他大具之用，其次乃將生鐵置煉鐵爐 (Puddling furnace) 中，更行加熱，熔成熟鐵，用作鐵軌及造船等材料。

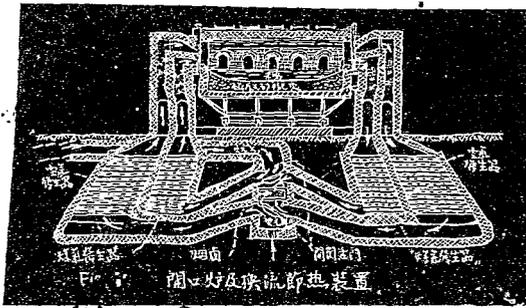
及至一八五六年，俾斯麥 (H. Bessemer) 氏發見熔融之生鐵中所含之雜質為炭、矽、磷等元素，僅需鼓入空氣數分鐘，即可將雜質燒去，而雜質燃燒發熱之熱，亦足夠維持生鐵之熔融狀態，不致凝固，因提出不用燃料可製生鐵及鋼 (The manufacture of malleable iron and steel without fuel) 一文，實佈於世，又為燃料經濟史上劃一新紀元，自是鋼之產量大增，以構成今日之文明。

1. 俾斯麥轉化爐 (The Bessemer converter)：— 轉化爐係以鋼板製成，內以矽石 (Siliceous rock) 呈酸性，故又為酸性轉化爐，其形如蛋，如第 ~~四~~ 圖，爐有假底，可以通氣，左右移動，工作時，先將熔融之生鐵傾入，然後通入空氣，即

燃料工業

usk) 二氏改用鹼性處理, 此去磷問題, 始告完滿解決
 通風時, 最初六分鐘去矽, 其次十分鐘去炭, 最後五分鐘磷
 亦被逐, 研究之磷鉀與視視中之石灰及氧化鎂化合物得
 除去之。

又西門士開口爐 (The Siemens Open-hearth Furnace)
 一前曾轉化爐因為冶金燃料經濟史上劃一新紀元, 俾氏
 大功奉去同仰, 但不久西門士兄弟 (The Brother William



第九十九圖

and Frederick Siemens) 復設計一個開口爐, 利用換
 流節熱裝置 (Regenerating system), 省去燃料亦甚, 如第 99
 圖, 一個節熱器為平面圖而開口爐則為直立節熱器係
 以磚砌成格子, 工作時, 先以柴火或煤氣燒熱一端 (富氧端)
 節熱器然後將此煤氣, 分別通入煤氣及空氣, 至開口爐
 會合燃燒即可達到高溫度, 煤氣由一端節熱器排出至
 隔 15 或 20 分鐘, 變更煤氣及空氣之方面一次, 結果送入爐

圖

中之煤氣及空氣，均須預熱，不僅燃燒效率增大，溫度亦高，即燒後逸出氣體之溫度亦低，且之前省燃料甚多。

開口爐成功於一八六八年，今已為製造柔鋼之最主要方法，規模大者，每週可煉鋼達1,000噸以上。

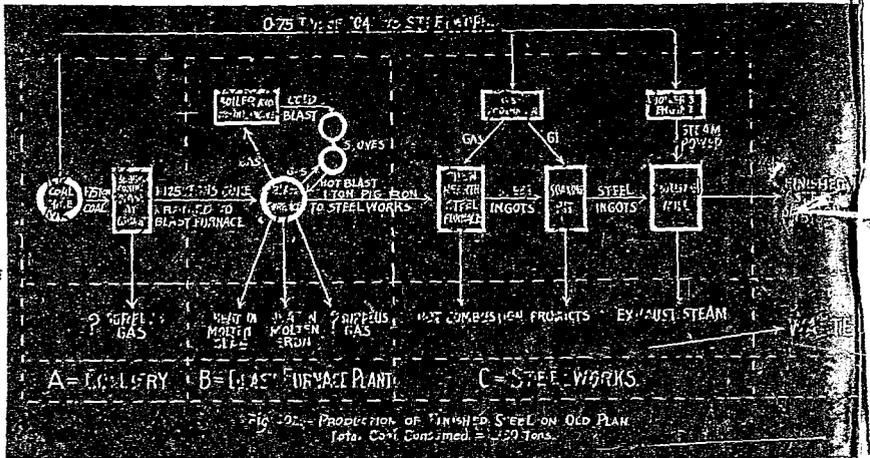
3. 就燃料經濟着眼，論設置鋼鐵廠應有之條件。於此應畧述英德二國之鋼鐵工業，以資借鏡。英國鋼鐵工業發展較早，所有鼓風爐及軋鋼廠，早已於銀器時代奠定基礎。其時尚未進入鋼鐵時代，所有佛斯麥與西門士諸氏之煉鋼爐及副產煉焦法均未出矣，自不能將冶鐵煉鋼及軋鋼及煉煉焦等廠集中一起。但德國鋼鐵工業概自上述各種發明公佈以後，始行建之者，故能合理配置，凡煉焦冶鐵煉鋼及軋鋼等廠，一律集中工作，運用方便，功效甚宏，殊非英國鋼鐵所能匹敵，誠所謂後未辰上也。

英國過去煉焦冶鐵煉鋼及軋鋼諸廠均係分別設置彼此相距甚遠，如焦炭係在煤礦附近煉製，再以火車運往鼓風爐，煉得生鐵後，再將冷之生鐵依次送入煉鋼廠及軋鋼廠製成種種成品，所需燃料及動力，~~亦~~取之於煤，計當日冶鐵一噸需煤1.75噸，再以鐵煉鋼及軋鋼，~~需~~需煤2.5噸，即製鋼一噸共需煤2.5噸，詳細情形見下列第~~10~~圖。

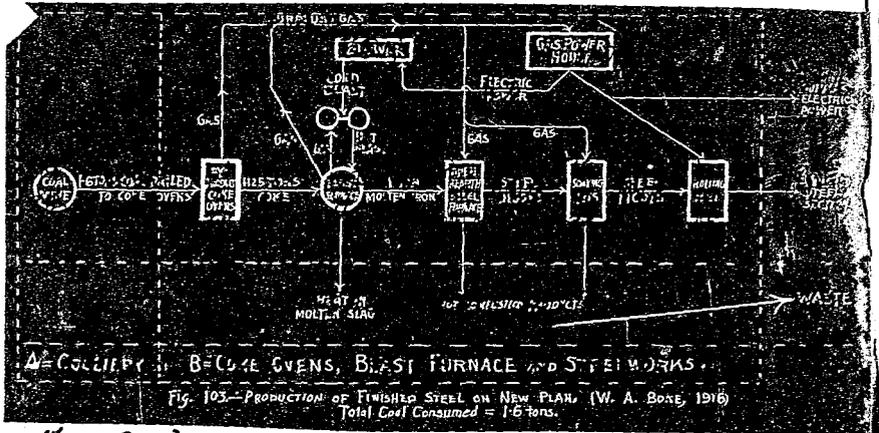
但有副產物煉焦，大型煤氣爐，電力軋鋼等方法相繼問世以後，英國亦陸續改良，將煉焦冶鐵煉鋼及軋鋼等廠集中工作，如此可以充分利用煉焦爐煤氣及鼓風爐煤氣，以供加熱及發火動力之用，獲得高度燃料經濟之利益，如以

英國京勃非蘭文鐵廠及德亨文煤炭為原料，每製鋼一噸，
只需煤 1.6 噸即可。詳細情形見第 101 圖。

燃料工業



圖



第 101 圖：新式設計每噸鋼一噸需煤 1.6 噸

設置鋼鐵廠應有之條件

- (a) 副產物，煉焦爐鼓風爐， H_2 及製鋼廠應集中一處，彼此適當聯繫。
- (b) 煉焦爐應為最新式之換流熱裝置，並利用清淨之鼓風， H_2 爐煤氣加熱。
- (c) 煉焦爐中所用之煤其所含之灰分及水分均不得超過 10%。
- (d) 鼓風爐中所用之焦炭其可變水分不得超過 10%，又灰分中以下之細塊焦炭應當除去。
- (e) 鼓風爐頂應既有適當之水分之反應器，一則可以減少氣體之損失，再則即入原料（鐵礦、石灰石、焦炭）亦較均勻。
- (f) 鼓入空氣最好採用汽輪鼓風機 (Turbo blowing engine)。
- (g) 空氣預熱至 700°C 以上時以低灰（每噸含灰 10 磅）之通風管管口之送入。
- (h) 由鼓風爐逸出之氣體，除塵後（每噸含塵 1 磅）即可再行加熱，其溫度至 200°C 以下繼續去廢氣每噸含塵 0.015 克，尚可用之於煤氣機，發其動力。
- (i) 熱鼓風爐應以乾燥而清淨之煤氣加熱。
- (j) 上述 (f), (h), (i) 諸條假如均可做到，則煤氣之分配應為：
 - (1) 鼓風機用 20% 以下。
 - (2) 爐中用 25% 以下。
 - (3) 煉鋼廠用 50% 以上。
- (k) 廠內應有數個單獨設備，以備於煤氣及鼓風爐煤氣均勻混合，以供各廠之用。

燃料工業

(1) 動力房之煤氣機應祇用清淨之鼓風爐煤氣。

(2) 煉鋼爐及緩熱池 (Soaking pit) 二者加熱所用之氣體應為煉焦爐煤氣及鼓風爐煤氣配合而成，配合結果其每立方呎之發熱量應為 160-220 英國熱單位。

(3) 煤氣機、煉鋼爐及緩熱池三者用過氣體所含之廢熱，應利用之使發失蒸汽。

(4) 軋鋼廠應用電氣設備。

(5) 全廠熱設備自始至尾應用科學管理與控制俾發揮最大效率。

四

10

107
115