
煤及油母頁岩成堆干餾

化 学 及 工 学

北京石油学院人造石油教研室編

V421.641
B767

油 工 业 出 版 社

內 容 提 要

北京石油学院为了配合地方发展石油工业，曾开办了一个成堆干馏培训班，这本小册子就是这个培训班所采用的講授材料。

書中除詳細講述煤成堆干馏原理、設備和操作以及煤的生成、性質組成、工業分析等外，還以專章介紹了成堆干馏的技術改進，其中着重討論了煤成堆干馏的經濟核算，如何提高采油率，成堆干馏各種成品的回收方法，以及煤焦油加工方案等四個問題。通過這些問題的討論我們可以對成堆干馏廠流程、設備以及焦油加工方案、產品的回收和利用等有更清楚的概念。

統一書號：15037·547

煤及油母頁岩成堆干馏化學及工業
北京石油學院人造石油教研室編

石油工業出版社出版（社址：北京六條鐵道石油工業局內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第063號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張2 $\frac{1}{2}$ * 40千字 * 印1—4,000册

1958年11月北京第1版第2次印刷

定價（10）0.27元

16

263-2
724
5

目 录

序言

第一章 煤的組成及其性質	2
第一节 煤的成因及自然分类	2
第二节 煤的化学組成	5
第三节 煤的工业分析及其他試驗	8
第二章 煤的干餾	14
第一节 干餾的概念	14
第二节 低溫干餾原料及影响因素	17
第三节 低溫干餾作业所需热量及其供应方式	18
第四节 成堆干餾	20
第三章 干餾产品回收及焦油加工	25
第一节 干餾产品回收流程	25
第二节 焦油性質及加工	27
第三节 产品要求及規格	34
第四节 成堆干餾加工与設備	36
第四章 成堆干餾技术改进	45
第一节 經濟核算討論	45
第二节 提高采油率的途径	48
第三节 成堆干餾各种产品及回收方法的討論	51
第四节 焦油加工方案討論	56

147009

序 言

我国人造液体燃料工业所用原料的藏量是极其丰富的，並且在全国范围内分布也比较普遍，从最近的数字可以说明我国煤藏量可达万亿吨以上。据矿业记要所载，统计烟煤佔总量之82.14%，无烟煤佔17.35%，褐煤佔0.51%。主要产地是山西、陕西、新疆、黑龙江及河南，其它各省亦均有煤的蕴藏；数字较大者如辽宁、河北、四川、湖南、贵州、云南、广西，藏量均在四亿吨以上。我国煤的特点是烟煤特多，而其中年青烟煤较多，是很好的煤炼油原料。我国油母頁岩的埋藏量也极高，根据旧有的资料，单就撫順一地，油母頁岩的藏量即达54亿多吨，除撫順外，东北桦甸、依兰以及广东、热河、湖南、山西等地都发现了許多中等或上等的油母頁岩。根据最近的统计数字，我国油母頁岩的儲量达3610亿吨。这些丰富资源給我国发展人造石油工业打下了良好的基础。

自从党中央提出“天然石油和人造石油齐头并进”的方针和“全民搞石油”“大中小型企业相结合”的办法后，地方上办人造石油工业大有万馬奔騰之势，尤其是煤及油母頁岩成堆千餾一馬当先，据最近统计今年全国將建起大、中、小煤及油母頁岩成堆千餾厂2000多个。速度之所以这样快，分析原因有下列几点：1)生产設備简单，絕大部分都可以就地取材，因陋就簡；2)規模可大可小，建厂快，投資少，資金回收年限短；3)操作技术不复杂，容易掌握；4)生产的原

料有很大灵活性，同一工厂可以处理油母頁岩，也可以处理煤；5)成堆干餾炉的采油率已經达到国内外各种成熟干餾炉的水平。

石油学院为了促进地方石油工业发展，派遣了数百名一二年級同学前往全国各地协助地方上建成堆干餾厂，在培訓过程中編写了这份教材，内容包括煤及油母頁岩基本性質，成堆干餾及焦油加工基本原理，并摘录中小型人造石油工厂定型設計說明中一部份內容，又参考了我院紅旗炼油厂建厂及运轉初步經驗，和小成堆試驗炉提高采油率經驗，可供搞成堆干餾工作者参考，有不正确之处希望讀者指正。

第一章 煤的組成及其性質

第一节 煤的成因及自然分类

煤是固态可燃性有机岩中最主要的一种。

在十六世紀以前，关于煤的成因，每多臆說，到十六世紀中葉，已有某些学者預言煤是由植物变化而来的。在十八世紀，发现了煤中有許多植物残骸后，煤的植物說才开始确立。根据对煤的科学研究的結果，目前公認煤是由生物（主要由植物）变化而来的。

生物的有机体主要由碳、氫、氧、氮及硫等五种元素組成，所以煤的有机物部分也由这五种元素組成。

由高等植物变化而来的煤种称陆植煤，由低等植物及浮游生物变化而来的煤种称腐藻煤，亦称腐泥煤。自然界中存在着以陆植煤居多。

在低地沼泽中生长的高等植物死亡並大量堆积后，在适当的条件下，在細菌的作用下变化而为泥炭（亦称泥煤）。

泥煤中含有多量水份，采出的新鮮泥煤含水約85—90%，可用手指压出水来。泥煤田的上部往往可以看到葉、根、莖等植物殘骸及淡黃色的枯草；中部枯草之葉莖漸少，但根仍能看見；泥煤田之最下部則草根亦难发现漸成致密黃褐色之泥煤。我国东北北部寒冷地区有大量泥煤，其他若干地区亦有发现。

当泥煤田上形成了礦物質頂板以后，在压力及温度（60°—70°C）的影响下，泥煤乃漸漸变为褐煤。褐煤亦称褐炭，大多呈褐色，亦有呈黑色者，无光泽，其含水量通常在10—40%之間，貯藏时失水，易崩裂而成粉末。

随着礦物質岩层厚度的堆积，褐煤层乃受到較高压力和較高温度的作用，根据某些学者的意見，温度是褐煤进一步变化的主要因素。由褐煤变到烟煤的温度界限在325°C左右，而在500°C时已生成无烟煤了。温度更高时，可以变成失掉燃烧能力的石墨。烟煤燃时有烟，它常呈黑色或深灰色，某些烟煤是高温炼焦以得冶金焦的原料。无烟煤常呈灰色或深灰色，有光泽，致密，質硬，点火困难，烧时无烟，火焰短。

由高等植物变化而来的泥煤，褐煤、烟煤及无烟煤屬腐植煤类。变化的特点是碳含量不断增加，氧含量及氢含量依次减少，此种碳蓄集的作用称增碳作用，或称炭化。

在特殊的条件下，死亡的高等植物中不稳定的物質氧化而消失，其稳定部分（角質、树脂、树腊等）单独保留下来

而形成殘植煤。自然界中殘植煤的藏量很少，屬於殘植煤的有琥珀角質煤等，我国的乐平煤即是角質煤。

由于殘植煤和腐植煤的来源都是高等植物，故任姆秋日尼柯夫教授將其划为同一类屬——陆植煤类。

低等动植物死亡堆积后，在細菌的作用下变为腐藻，腐藻被矿物質頂板复盖后逐漸变为腐藻煤。含矿物質很少的腐藻煤称藻煤。藻煤的有机質均匀，无层状組織。藻煤常位于腐植煤层之下部，其厚度为0.05—1公尺。我国四川延长等地产之。

油母頁岩与藻煤相似，所不同者仅在于油母頁岩中矿物質的含量較多。矿物質含量超过33%的腐藻煤称作油母頁岩，有人以40%或50%的矿物質含量作为此种划分标准的。由此可見油母頁岩是腐藻煤的一种，但习惯上常不以煤称之。

油母頁岩受击时易裂成片状，頁岩之名即来源于此。其色相因产地而有显著的差異，自淡褐色至深褐色皆有。撫順产油母頁岩之色相所以較深，可能由于分散于其中的煤質着色之故。油母頁岩的色相和含油率之間一般无关，但就同一产地而言，往往有色相愈浓含油率愈高的傾向。

应当指出，在池沼等地繁茂地生长着高等植物的地方，往往杂生有低等植物，它們死亡后一起轉变而为煤，或者高等植物和低等植物的殘骸堆积在一起，以后一起轉变而为煤，故自然界中有介乎陆植煤和腐藻煤之間的許多过渡型煤种。例如所謂燭煤是屬於腐藻煤类的，而燭煤又是向陆植煤过渡的。燭煤易燃，火引点之即可燃烧如燭。

由于成煤原始質料及其堆积的自然地理条件的不同以及成矿时原始質料的变化过程的不同，生成的不同煤种的性質間自然有显著的差異，关于这些差異我們將在以后予以討論。

1. 煤的自然分类 (成因分类)

第 I-1 表

陆 植 煤 类 (高等植物变化而来)		腐 藻 煤 类 (低等植物及浮游生物变来)	
腐 植 煤	残 植 煤		
矿 物 質 頂 板 复 盖 前			
泥 炭	角 質 及 树 脂 等 堆 积	腐 藻	
矿 物 質 頂 板 复 盖 后			
褐 煤 烟 煤 无 烟 煤 等	琥 珀 角 質 煤 等	藻 煤 油 母 頁 岩	

第二节 煤的化学組成

煤是由无机物及有机物所組成的。

无机物包括水及矿物质二部分。

水分 煤中水分不能燃烧，亦不能轉变为其他有經濟价值的产物，它不但不能燃烧，而且在燃烧时它还要汽化吸热，更有进者，水分对煤之加工亦有害，例如在高温炼焦时，若煤中多含 1 % 之水分，將使炼焦時間增加 5 — 10 分鐘，从而減小了装置的处理能力；它白白浪費了煤之运输能力。因之，对煤中水分之性質及其含量的研究，具有重要的意义。

根据水分性質之不同，煤中水分可分为三类：

(1) 游离水分 (亦称外部水) —— 这是指在开采、儲运及选煤时所带入的水分，它們在空气中放置相当時間后，即可失去。失去游离水后之煤称为风干煤。实用的原煤常或

多或少地含有此种游离水。煤中游离水分的含量波动甚大。

(2) 风干水分(亦称内部水)——风干煤中含有此种水分,它不易失去,必須在 $100-105^{\circ}\text{C}$ 的温度下始得除去。泥炭中含风干水 $30-40\%$,褐煤含 $10-30\%$,烟煤含 $2-8\%$ 无烟煤含 $2-4\%$ 。

(3) 化合水——在 105°C 下干燥尚不能除去之水分称化合水。它必須在更高的温度下,当煤受热分解时才釋出,故通常不測定化合水之含量。

矿物質 煤中矿物質依其来源可分为三类:

(1) 原生矿物質,它原先就存在于动植物的有机体中,以后轉入煤中。

(2) 渗滤矿物質,它們是在成煤阶段,矿化液渗滤而過煤层时,自矿化液中沉淀到煤中的矿物盐类。

(3) 外部矿物質,它們是在开采的过程中,从周圍的岩层中落入煤中去的。故可比較容易地用选矿法將其除去。

第(1)、第(2)类矿物質合称內在矿物質,它們和煤的有机質紧密結合,甚难分离之。

煤中的矿物質有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaCO_3 、 FeCO_3 、 FeS_2 、 CaSO_4 等等。其中 CaSO_4 呈 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 存在,此 H_2O 即化合为水之一种,在 105°C 下尚不能失去。

除了上述矿物質外,在某些煤种中尚发现有貴重的鈾、鐳及鉍的存在。

矿物質与水分一样,亦为废物,浪费儲运及加工装置的能力。矿物質多的煤种燃烧或造气时,容易引起結渣現象等等,因此各項工业对煤中矿物質含量都有一定規格。

矿物質为油母頁岩的主要成分,其有无利用价值在实行

企业化时是极为重要的問題。如油母頁岩的矿物質为粘土質，若其中石灰石的含量高，則可直接用以制造頁岩水泥。撫順产的油母頁岩矿物質中石灰石太少，故只能作为水泥的主要成分之一。或用以制造当地用的建筑材料。

有机物 煤中有机物之构造极为复杂。研究煤之有机物时常采用元素分析的方法。根据元素分析，得知煤中有机物主要由碳、氢、氧、氮及硫所組成。

煤中有机物之元素分析示例

第 I—2 表

产地及煤种	C, 重量%	H, %	O, %	N, %	S, %
某地无烟煤	94.5	2.51	2.1	0.9	—
江西乐平烟煤	81.0	5.36%	7.0	1.53	4.28
东北西安风干褐煤	65.25	4.72	12.41	2.2	0.58
撫順油母頁岩貧矿	54.98	10.03	31.72	1.95	1.32

由表中可以看出：腐植煤类之有机物中，碳含量随煤之“年老”而增加，氧含量及氢含量則随煤之年老而遞減。对于藻煤及油母頁岩等腐泥煤而言，其氢含量較腐植煤者为高。应该指出，这是一般的結論，亦有例外。

元素組成的知識並不能告訴我們，它們以何种状态构成煤中的有机物。而生成煤之有机物之原始物質差異极大。自成煤的环境及其条件也不尽相同，故各种煤中有机物的性質也差異极大。因此，我們不能单拿煤中有机物之元素組成来判定煤的各种性質，例如有某二种煤，其有机物之元素組成相同，但性質截然不同。虽然如此，但元素組成仍有极大的价

值，人們可利用有机物元素組成的知識，参照煤的其他特徵，推測並討論煤之某些化学性質。根据元素分析，可以約略估計干餾产品的产率，例如通常从氧含量低、氫含量高的煤种中可以得到較多的焦油；根据碳氫含量的多寡可估計煤燃燒时放出热量的多少；又如在評价煤种是否宜于制造冶金用焦，或宜否制造合成气以合成液体燃料时，硫含量具有重大的意义等等。

油母頁岩中的有机物称为油母，它不溶或难溶于常用的有机溶剂（酒精、苯等）中。关于它的性質，人們知道得很少，但对于油母頁岩低温干餾來說，知道它的性質是十分需要的事，如果我們能深切了解油母的組成及其性質，我們就有可能找到提高油母頁岩低温干餾作业中收油率的正确途径。

根据現有的研究資料，油母为分子量很大的物質，它具有对热不稳定的性質。其有机物中除碳及氫外，尚含多量的氧、氮、硫等元素。撫順产的油母中含有相当量的氮。

第三节 煤的工业分析及其他試驗

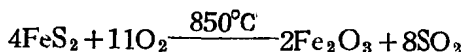
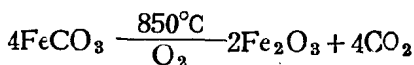
工业分析包括对水分、揮发分、固定碳、灰分和发热量的測定，亦有將硫的測定列入工业分析中者。工业分析是工业上应用最广的一种分析，也有人称它为“实用分析”。从工业分析的数据里能够得知煤的部分性質的大概。它和元素分析数据及煤之其他特徵联系起来后，可供我們推知煤之某些性質，从而便利我們研究其合理的使用方向。

水分的測定——煤粉在 $102-105^{\circ}\text{C}$ 下干燥所失去的重量称其水分，以重量百分数表示之，應該指出，此法測得之水

分常較煤中实含水分小，因煤中之化合水在此温度下尚未放出之故。

揮发分之測定——煤粉放在帶盖之坩堝中在隔絕空气下加热（850°C），此时煤受热而分解，放出气体及液体产物。液体产物在此高温下呈气态逸出，这些产物（水分除外）称为揮发分，亦以重量百分数表示之。显然，热分解程度的深浅与加热温度及加热時間有关，温度愈高時間愈长，分解愈多，从而放出的气体及液体产物也愈多。由此觀之，揮发分之多寡实与加热温度及加热時間有关，工业上为有一共同标准以資互相比較起見，現用标准为：加热温度：850°C，加热時間 7 分鐘。

灰分之測定——煤在850°C的高温下充分燃烧，有机物全部烧去后遺留之不可燃部分称其灰分，亦以重量百分数表示之。灰分在很大程度上表示了煤中矿物質的含量，因为煤中之不可燃部分来自煤中之矿物質，但是某些矿物質在此高温下也可历受若干变化，例如：



因此灰分含量与矿物質含量在数值上尚有若干出入，通常灰分含量数值略小于矿物質之含量数值。

因为灰分与矿物質有关，故在評價煤种之品質及选择其加工方向时，灰分的含量为不可缺少的重要標誌之一。例如多灰煤不宜做高压加氢的原料，它能磨損貴重的高压器材。

油母頁岩的灰分很大，它的成分中如果石灰石含量高的

即可用以制造水泥，撫順頁岩灰內石灰石太少，不能直接制造水泥，但可以作为水泥的主要成分之一。

100—(水分+揮发分+灰分)所得之差值用重量百分数表示之即称为煤之固定碳。應該指出，固定碳虽主要由碳所組成，但其中尚含相当量的氢、氧、氮及硫等元素，固定碳与揮发分合称为煤之可燃体。

由于煤中水分及灰分的含量波动很大，为比較起見揮发分常以可燃体作基准，以 V^r 表示，泥煤之 V^r 約70%，褐煤为45—55%，烟煤8—50%，无烟煤 $< 8\%$ ，腐藻煤及殘植煤之 V^r 甚高达60—90%以上。

煤的化学組成与其工業分析的关系

无 机 物	水 分	外 部 水		水 分		
		內 部 水		灰 分	焦 渣	
	矿 物 質 (包括化合水)		可 燃 体			
有 机 物 100%	碳					
	氢					
	氧					
	氮					
	硫					

发热量系指单位重量煤样，在特定仪器中燃烧所释出之热量而言，以千卡/公尺煤表示之。

显然，当煤用作燃料时，发热量具有十分重要之意义。

由表可以看出,对于腐植煤而言,褐煤的水分多,烟煤,无烟煤之水分少,挥发分随煤之“年老”而减少,固定碳及发热量则相反,随“年老”而增大,对腐泥煤而言,其挥发分与固定碳之比值远大于腐植煤者,发热量皆随灰分之增加而减少。

挥发分多的煤种,在低温干馏时,一般焦油的产率高,故腐泥煤及褐煤为低温干馏的理想原料,我国撫順即有以油母頁岩为原料的,大规模的低温干馏工业。

乳 的 工 業 分 析 示 例

第 I—3 表

产 地 及 煤 种	水分重量 %	挥发分① %(VP)	灰分 %	固定碳 %	发 热 量 仟卡/公斤煤
广东欽县褐煤	15.55	42.77	6.43	35.25	5103
大同烟煤	4.27	22.92	10.63	63.18	7504
河北房山无烟煤	1.49	9.33	4.51	84.67	8166
撫順油母頁岩富矿	2.05	32.95	61.04	3.96	3104
撫順老虎台燭矿	2.56	49.35	3.95	44.14	7681

从評定可燃性矿物是否适于用做动力或工艺过程这样一个观点出发,可燃性矿物的分析特性須要测定其下几个指标:

1.在工作燃料中水分(W^P)或空气干燥(实验室干燥)的试样中的水分(W^n);

2.在绝对干燥的燃料中的总灰量($A_{обм}^c$);

3.在绝对干燥的燃料中的总硫量($S_{обм}^c$);

4.在条件有机質中,碳、氢、氧、和氮的含量($C^o + H^o + N^o + O^o = 100\%$);

5. 以可燃物質做基準的揮發份 (V^1) 和剩餘物的粘結特性;

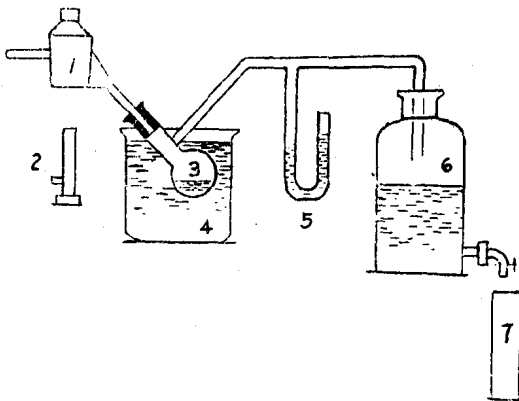
6. 在氧彈中測定熱值 (換算到有機質 Q_B^1 仟卡/公斤) 可以看到, 在實用上評定一個燃料時, 分析指標的表示方法是不一样的, 有時從工作燃料做基準, 有時又拿干的做基準, 有時拿可燃質, 有時又拿有機質, 這樣來表示各個分析指標乃是由于在煤中水分和灰份這些廢物的含量是各式各樣的, 因此象熱值, 揮發分這些重要的指標須要以可燃質做基準來表示, 而不能以工作燃料做基準, 否則得到的數據就不能相比了。在表中列有各個符號和該符號所代表的燃料組成的分析指標。

符 號	燃 料 組 成						
	C	H	N	O	S	A	W
O	有 機 質						
r	可 燃 物 質						
C	干 燃 料						
P	工 作 燃 料						

煤的粘結性——測定揮發分後的坩堝中, 遺留有固態的焦渣, 視煤種的不同, 焦渣的性質也異, 有的焦渣成粉狀, 有的則粘結成結實的焦鈕。煤種之能否成焦鈕的此種性質稱其粘結性, 粘結性強的煤才有可能煉得強度大而不易碎之高溫焦, 以供冶金爐使用。低溫干餾一般採用不粘結或微粘結性的煤作為原料, 因為粘結性煤增加操作上困難, 容易掛焦, 處理粘結性煤技術上比較複雜, 另一方面強粘結性煙煤是高

溫干餾良好原料。我国測定煤粘結性最常用的是混沙法，取一定粒度煤样和一定規格沙子，混在一起，放在坩堝里，在 950°C 下加热 7 分鐘，取出坩堝中焦块，用500克砝碼，压在上面，視焦块是否被压碎。焦块机械強度与煤样本身粘結能力和混入沙子数量有关，試驗时煤样加沙子总重量一定，而沙子与煤样比例可以不一样，同时做几个不同比例的試驗，当其中有一焦块剛好被砝碼压碎，其沙子与煤样比值即为該煤样号数，沙子混入愈多，即混沙法号数愈大，也就是煤的粘結性愈大。目前国内低温干餾炉处理混沙法10号煤不成問題，号数再高就要設法破坏煤的粘結性，不然操作很困难。

餾鋁干餾——是一种測定煤及油母頁岩含油率方法，把原料磨成一定粒度后，称重二十克左右放在鋁制的餾內，用煤气灯或电炉加热，20分鐘使鋁餾升高到 260°C ，然后 每分



鋁餾干餾裝置

1—鋁餾；2—煤气灯；3—燒瓶（接受冷凝物）；4—燒杯（冷却器）；5—U形管（測压力）；6—儲气瓶；7—量筒（盛水）。

鐘升高 5°C 到 510°C 停留 10 分鐘，在这样条件下干餾出来的焦油量与煤样重量比值称为煤的含油率。在工业炉中低温干餾所得焦油量与鋁甑干餾所得焦油量比較，称为該工业炉采油率。目前国内低温干餾炉采油率在 60—80% 以上。鋁甑干餾所得焦油並不是所能干餾出来焦油最大值，只是相对地作为标准而已，也有工业低温干餾炉采油率超过 100 % 的。鋁甑干餾装置見前图。

第二章 煤的干餾

第一节 干餾的概念

所謂干餾就是把固态燃料放在特殊的密閉炉中，在隔絕空气的条件下加热，使其在高温下受热而分解的作业，热分解的結果，产生可燃性的气体、焦油、焦碳及水。

燃料热分解的程度随温度的增加而加深，同时亦与固体燃料的性質、組成以及干餾的其它条件有关。相同的原料，在不同的条件下干餾，所得产品無論在数量方面及性質方面，均有显著的差異，此种差異，尤其与作业的温度最有关系。

固体燃料受热干餾时的变化可如下述：

100—115 $^{\circ}\text{C}$ 时，自固体燃料中释出水来；

150—200 $^{\circ}\text{C}$ 时，释出吸附在煤中的气体；

200 $^{\circ}$ 以上时，固体燃料开始热分解，二氧化碳激烈放出，並有含氧化合物生成，其中包括热解水及一氧化碳；

300 $^{\circ}\text{C}$ 左右有焦油蒸汽出現；