

MEITAN QIHUA GONGCHENG

煤炭气化工程

寇 公 主 编

机械工业出版社



WETLANDS AND ENVIRONMENT

煤炭气化工程

王 德 主 编



煤炭气化工程

寇 公 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

《煤炭气化工程》是我国出版的第一本有关煤炭气化的书籍，全书共十五章。主要内容有：煤炭气化机理、方法和应用，气化炉结构、煤气站工程设计概要，煤气净化和脱硫，煤气输送系统和附件，备煤系统和型煤，仪表和自动控制，安全技术和环境保护，设备安装和调试以及生产管理等，是一本富有科学性、指导性和实用性的专业技术书。

本书供从事工业煤气设计、生产、科研及教学的有关人员参考。对从事移动床煤炭气化工作者来说，本书是一本必备读物。

煤炭气化工程

寇 公 主编

*

责任编辑：王 琳 版式设计：冉晓华

封面设计：郭景云 责任校对：肖新民

责任印制：路 琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 51¹/₂·插页 5·字数 1295 千字

1992 年 7 月北京第 1 版·1992 年 7 月北京第 1 次印刷

印数 001— 960·定价：45.00 元

*

ISBN 7-111-02878-3/TK·112

序

煤气是一种清洁气体燃料。中国是以煤为主要能源的国家，因此积极发展煤的气化对保护我国环境，促进经济建设的发展具有十分重要的现实意义与长远意义。

中国动力工程学会工业煤气专业委员会和煤气科技情报网在机械电子工业部设计研究院的支持下，发动工厂、学校、设计院等12个单位、22名煤气专业的工程技术人员撰写了《煤炭气化工程》，这本书共有十五章，达百万字。

本书认真吸取和总结了国内煤炭气化工程的设计、生产和运行单位的经验和教训，并对煤炭气化工程的发展和应用提出一些看法，在移动床发生炉煤气站的管理方面也作了一定的论述。本书对发展我国煤炭气化技术，实施以煤代油政策和完善煤炭气化工程设计、生产运行、管理方面，都将会起到积极地指导作用。

本书是一本实用性的工程技术书籍，对从事煤炭气'化工作的工程技术人员、大专院校的教师和学生均有很好的参考价值，也希望广大读者提供宝贵意见和建议。

机械电子工业部副部长
中国动力工程学会理事长

陆燕荪

1991年2月

16473/01

前 言

为了适应我国工业煤气日益发展的需要，机械工业煤气科技情报网会同中国动力工程学会工业煤气专业委员会，在挂靠单位机械电子部设计研究院的指导和协助下，组织和发动全国工业煤气专业的学者和专家，编写了本书。

《煤炭气化工程》是我国编写的第一本工业煤炭气化的专业书籍。全书内容包括：煤炭气化原理、炉型结构、煤气站工程设计概要、煤气净化脱硫、管网系统、备煤系统、型煤、仪表和自控、安全和环保技术，以及生产管理等共十五章。在本书编写过程中力求做到富有科学性、指导性和实用性。

本书可供具有高中以上文化程度的从事煤炭气化教学、科研、设计和生产的科技工作者参考。对从事移动床煤炭气化的工作者本书是一本必备读物。

全书由《煤炭气化工程》编委会组织撰写、评审和编辑工作。本书编者分工如下：第一章葛维寰；第二章葛维寰、邬纫云；第三章邬纫云；第四章郭永强、刘增庆、夏荣生；第五章邬纫云；第六章肖家立、洪宗宽、孙光仁、彭先炎；第七章魏德宏、刘行瑞；第八章葛维寰；第九章温敬业；第十章杨德政、杨连纯、朱金瑞；第十一章崔秀玉；第十二章蒋毓滋、彭先炎；第十三章张宝恩；第十四章邱洪畴、张桂珍；第十五章余春明、张宝恩、黄荣任、袁君权。在编写过程中同行学者和专家们提出了不少宝贵意见和建议，机械工业煤气科技情报网成员单位给予了热忱指导和资助，在此深表感谢！

由于水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

《煤炭气化工程》编委会

1990年4月

《煤炭气化工程》编委会

主 编 寇 公

副主编 陈洪钟

编 委 王自强 余春明

张宝恩 肖家立

目 录

第一章 煤的性质	1	第三节 固定床加压气化炉	231
第一节 煤的生成与外表特征	1	第四节 流化床气化炉	249
第二节 煤的工业分析与元素分析	7	第五节 气流床气化炉	252
第三节 煤的性质	26	第六节 新型气化炉	256
第四节 煤的分类	39	参考文献	258
第五节 气化用煤的质量要求	42	第五章 煤气的应用	259
第六节 我国气化用煤的分布概况	44	第一节 气体燃料	260
附录 常压固定床煤气发生炉用煤质量		第二节 民用燃具	271
标准 (GB9143—88)	47	第三节 煤气工业炉	274
参考文献	47	第四节 联合循环发电	283
第二章 煤炭气化过程原理	48	第五节 煤气机	284
第一节 煤炭热分解过程	48	第六节 化学工业原料气	285
第二节 气化反应与气化过程	54	参考文献	289
第三节 气化反应的化学平衡	57	第六章 工程设计概要	290
第四节 气化反应动力学	68	第一节 工程设计的范围、内容和设计阶	
第五节 气化过程的计算	77	段的划分	290
附录 煤气生产过程计算机程序	101	第二节 设计规范及标准	292
参考文献	120	第三节 工艺流程	293
第三章 煤炭气化方法	121	第四节 总图布置及厂房布置	301
第一节 移动床气化 (一)——混合发生		第五节 技术经济指标	310
炉煤气的生产	122	第六节 煤气站的辅助设施	320
第二节 移动床气化 (二)——水煤气生		第七章 煤气的净化与冷却	325
产	135	第一节 煤气的净化	325
第三节 移动床气化 (三)——常压两段		第二节 旋风除尘器	332
炉气化	145	第三节 竖管	338
第四节 移动床气化 (四)——加压气化	148	第四节 洗涤塔	341
第五节 流化床气化	158	第五节 静电除尘	362
第六节 气流床气化	167	第六节 间接冷却	377
第七节 熔融床气化	173	参考文献	389
第八节 催化气化	177	第八章 煤气脱硫	391
第九节 利用核热能的气化	179	第一节 干法脱硫	391
第十节 地下气化	180	第二节 湿法脱硫	395
第十一节 气化技术的发展趋势	185	第三节 湿法脱硫的主要设备计算与	
参考文献	187	选用	406
第四章 气化炉的结构	188	第四节 工艺布置	412
第一节 混合煤气发生炉	188	参考文献	416
第二节 水煤气发生炉	223	第九章 煤气及气化剂输送系统	417

第一节	煤气加压机及附属设备选择	417	第一节	洗涤循环水的处理	636
第二节	机械房的布置和采取措施要求	423	第二节	气化焦油综合利用	659
第三节	煤气和氧气的储存	428	第三节	焦油渣综合利用	664
第四节	煤气站的管道及其附属设备	437	第四节	煤气站其他污染源的防治	670
第十章	备煤系统	477	参考文献		673
第一节	系统设计	477	第十四章	设备安装和调试	674
第二节	煤的受卸	479	第一节	安装前的准备工作	674
第三节	煤的储存	486	第二节	发生炉及附属设备的安装	685
第四节	破碎和筛分	498	第三节	净化设备安装	696
第五节	煤的解冻和干燥	512	第四节	风机、泵的安装	702
第六节	煤的输送	518	第五节	管道安装	710
第七节	备煤系统辅助设备	536	第六节	热工仪表的安装	721
参考文献		545	第七节	检查验收	733
第十一章	型煤	546	第八节	投产前的试运转	741
第一节	型煤的特点	546	第十五章	发生炉煤气站的生产与 管理	749
第二节	型煤的种类及其生产方法	548	第一节	管理体制	749
第三节	型煤的强度及其检测方法	559	第二节	发生炉的运行和管理	751
第四节	影响型煤强度的因素	561	第三节	煤气净化系统的运行和管理	760
第五节	加工型煤的主要设备	567	第四节	煤气生产化验	762
第六节	生产型煤的技术经济分析	576	第五节	煤气加压机的运行和管理	771
第十二章	仪表和自动控制	579	第六节	供煤系统的运行和管理	776
第一节	自动检测	579	第七节	循环水和焦油系统的运行和 管理	780
第二节	自动调节	600	第八节	供电、供汽、供水的管理	782
第三节	循环制水煤气的自动控制器	618	第九节	煤场管理	785
第四节	3AⅡ-13A型炉的偏炉给料器	623	第十节	计划管理	786
第五节	气化炉的出灰自动控制	623	第十一节	质量管理	787
第六节	两段炉的自动加煤系统	624	第十二节	设备管理	789
第七节	电滤器的供电与控制	626	第十三节	技术资料管理	795
第八节	电气安全连锁	628	第十四节	经济核算	796
第九节	工业电视的应用	629	第十五节	安全管理	800
第十节	微型电子计算机的应用	631			
参考文献		635			
第十三章	环境保护及综合利用	636			

第一章 煤 的 性 质

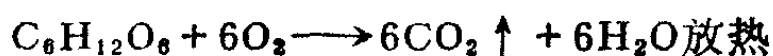
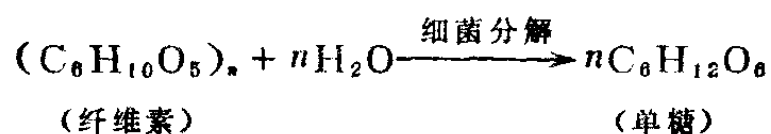
煤是一种结构非常复杂、组成极不均匀的有机化合物与无机化合物的混合物。更由于成煤的原始物料及成煤过程的不同，使煤的性质有很大的差异，可以分为腐植煤、残植煤和腐泥煤三大类。其中腐植煤在自然界中的蕴藏量最多、用途最广。本章主要介绍腐植煤的性质。

第一节 煤的生成与外表特征

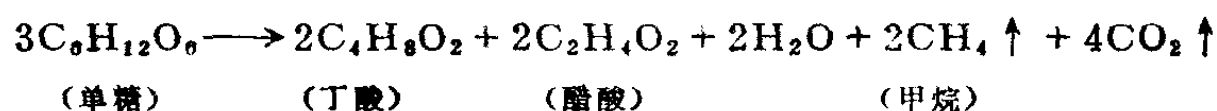
煤是由古代植物变来的，而植物可以分为高等植物与低等植物两大类。高等植物具有复杂的根、茎、叶，都生长在陆地或池沼地带；而低等植物主要是藻类，生长在陆地水泊或海洋里。

由高等植物形成的煤称为腐植煤；由高等植物中稳定组分（角质、树皮、孢子、树脂等）富集而形成的煤称为残植煤；由低等植物形成的煤一般称为腐泥煤。我国南方许多省、区的石煤资源属于腐泥煤。

高等植物主要是由纤维素、半纤维素和木质素组成。植物的有机组成不同，则其在沼泽中分解的难易程度有差别，从而影响到煤的性质。纤维素是一种高分子的碳水化合物，在生长着的植物体内很稳定，但植物死亡后，需氧细菌通过纤维素酶的催化作用，将纤维素水解成葡萄糖等单糖，单糖再进一步氧化分解成二氧化碳和水。



当成煤环境逐渐转变为缺氧时，厌氧细菌使纤维素产生发酵作用而形成甲烷、二氧化碳、氢气、丁酸、醋酸等中间产物，参与煤化作用。



半纤维素的性质与纤维素相似，但比纤维素更易水解为糖类和酸。

木质素是成煤植物中最重要的有机组分。其组成因植物种类不同而异，但它的单体基本上是带有酚基和羟基或/和甲氧基的苯丙烷结构。木质素的单体以不同的键连结成三维空间的大分子，所以比纤维素稳定，不易水解；在植物死亡后也比纤维素难分解，但较易氧化成芳香酸和脂肪酸。在泥炭沼泽的水中，在水和微生物的作用下，木质素发生分解，并和其他化合物生成与腐植酸相似的物质。所以木质素是植物转变成煤的原始物质中很重要的有机组分。

除纤维素、木质素外，植物中的其他有机族组成（如脂类化合物）也可以通过不同途径

参与成煤。

植物变成煤的过程是由许多因素决定的，例如原始成煤物质的种类、残体的堆积条件、积水情况、水介质的性质、所承受的温度与压力等。

从植物死亡到堆积转变为煤，大致经历了泥炭化阶段和煤化阶段两个阶段。

泥炭化阶段是植物残体在化学和生物化学的作用下转变为泥炭的阶段。由植物转变为泥炭，在化学组成上发生了质的变化，植物中含有的蛋白质在泥炭中消失了，木质素、纤维素等在泥炭中很少，而产生了植物中没有的大量腐植酸。从元素组成来看，泥炭的碳含量比植物高，氮含量有所增加，而氧含量减少。这就说明了在泥炭化过程中，植物的各种有机组分发生了复杂的变化，而生成新的产物，这些产物的组成和性质与原来植物不同。

当泥炭被其他沉积物覆盖时，

泥炭化作用阶段结束，生物化学作用逐渐减弱以至停止。然后，泥炭经过褐煤、烟煤转变为无烟煤，称之为煤化作用阶段。在该阶段，主要是温度与压力的物理化学作用。通常又把从泥炭转变为褐煤的阶段称为成岩阶段，而从褐煤转变为更高级的阶段称为变质作用阶段。总的成煤过程如图1-1所示。

不同煤化程度的煤具有不同的特征。

泥炭：泥炭是棕褐色或黑褐色的不均匀物质。含有大量水分，一般可高达85%~95%。开采出来的泥炭经自然风干，可将水分含量降

至25%~35%，干燥后的泥炭为棕色或黑棕色的土状碎块，真密度为1.29~1.61 t/m³。泥炭中含有大量未分解的根、茎、叶的残体，有时用肉眼就可看出。因此，泥炭中木质素的含量较高。

褐煤：大多数褐煤的外表呈褐色或暗褐色，无光泽。密度为1.1~1.4 t/m³。从年轻的褐煤转变为年老的褐煤时，通常颜色变深变暗、比重增加、水分减少、腐植酸开始增加而后再减少。

烟煤：烟煤是自然界中最重要的和分布最广的煤种。从外表来看，烟煤都是黑色的，硬度较大，真密度为1.2~1.45 t/m³。通常烟煤具有不同程度的光泽，绝大多数都呈条带状，其中有亮的条带，也有暗的条带，相互交替。烟煤燃烧时多烟。

无烟煤：无烟煤是腐植煤中最年老的一类煤。无烟煤呈灰黑色，带有金属光泽。真密度为1.4~1.8 t/m³。燃烧时无烟，火焰较短。

各种腐植煤的主要特征如表1-1所示。

一、煤的岩相组成

煤并不是一种单一的物质，而是由多种性质不同的显微组分所组成的。由于这些显微组

转变顺序		植物——泥炭——褐煤——烟煤——无烟煤		
转变条件	作用地点	水中	地下	地下
	作用时间	数千年至数万年	数百万年	数千万年
	主要因素	生化作用	物化作用 (加压失水) [温度(需从外部供应能量)]	
转变阶段	第一阶段	第二阶段		
	泥炭化阶段	成岩阶段	变质阶段	
		煤化阶段		
化学示性式	$\begin{array}{ccccccc} \text{植物} & \xrightarrow[-\text{CO}_2]{-3\text{H}_2\text{O}} & \text{泥炭} & \xrightarrow{-2\text{H}_2\text{O}} & \text{褐煤} & \xrightarrow[-\text{CO}_2]{-2\text{CH}_4, -\text{H}_2\text{O}} & \text{烟煤} & \xrightarrow{-\text{H}_2\text{O}} & \text{无烟煤} \\ \text{C}_{17}\text{H}_{24}\text{O}_2 & & \text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_5 & & \text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3 & & \text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O} & & \text{C}_{13}\text{H}_{14} \end{array}$			

图1-1 成煤过程

表1-1 各种腐植煤的主要特征

主要特征	泥炭	褐煤	烟煤	无烟煤
颜色	棕褐色为主	褐色，黑褐色	黑色	灰黑色
光泽	无	大多数暗	有一定光	金属光泽
外部条带	有原始植物残体	不明显	呈条带状	无明显条带
燃烧现象	有烟	有烟	多烟	无烟
水分	多	较多	少	较少
密度(t/m^3)		1.1~1.4	1.2~1.5	1.4~1.8
硬度	很低	低	较高	高

分的不同组合，以致使煤在物理、化学和工艺性质等方面都有不同。因此，研究煤的岩相组成有助于加深对煤质特性的认识，从而能更合理地利用煤炭资源。

腐植煤的宏观煤岩成分包括丝炭、镜煤、亮煤和暗煤。

丝炭：外观象木炭，颜色灰黑，呈纤维状，性脆易碎，很硬，无粘结性。一般在块煤中含量少，而在煤粉中含量高。丝炭的灰分高，挥发分低，气孔率大，不易着火。

镜煤：镜煤呈黑色，光泽强，质均匀而脆，易破碎。镜煤的挥发分和氢含量高，粘结性强。

亮煤：亮煤是最常见的煤岩成分。呈黑色，有光泽，质脆易破碎。粘结性好。

暗煤：暗煤呈暗灰色。是硬度最高的组分，而且韧性最好，不易破碎。暗煤的碳含量高、氢含量低，挥发分高，灰分高，粘结性差。

镜煤和亮煤中的灰大部分能溶于水，主要是碱金属盐类；丝炭中的灰大部分能溶于酸，主要是碳酸盐；暗煤中的灰大部分既不溶于水又不溶于酸，主要是硅酸盐。

四种宏观煤岩成分的主要性能比较如表1-2所示。

表1-2 宏观煤岩成分性能比较

	丝炭	镜煤	亮煤	暗煤
在煤层中分布情况	呈透镜状或膜状	呈透镜状或薄夹层状	呈夹层状	呈夹层状
颜色光泽	黑色丝绢光泽	黑色，光泽强	黑色，有光泽	暗灰色，无光泽
硬度	高	最低	较低	最高
脆度	最高	高	较高	最低
挥发分	最低	高	较高	最高
低温焦油产率	低	较高	高	最高
粘结性	无	最强	强	弱
反射光	黄黑色	灰白色	亮灰色	灰白色
透射光	黑黄色	深褐色	淡红色	深黄色

从表中可知，镜煤的工艺性质最好，亮煤稍差与镜煤相近，丝炭最差，暗煤介于丝炭和亮煤之间。

当前，国内外已开始普遍选用比较单一的煤岩成分（如镜煤）来研究和对比煤的变质程度。

上述这种研究宏观煤岩成分的方法比较简单，它是根据煤的光泽、颜色、断口、硬度、结构等外表特征来判断煤的性质和组成。为了研究煤的内部结构和更深入研究煤的性质，可以

采用显微法,即将煤制成薄片或光片,用显微镜加以观察。根据显微组成的研究,可将煤的显微组分分为镜煤类、角质类和丝炭类三类物质。

镜煤类物质在透射光下是红色的,又称为红色物质。一般随着变质程度的加深,红色程度也加深。红色物质是煤中的粘结部分。

角质类物质在透射光下是黄色的,又称为黄色物质。黄色物质也具有粘结性,而且挥发分和氢含量很高。所以角质类物质多的煤种特别适宜于化学加工。

丝炭类物质不透明,呈黑色,又称为黑色物质。这类物质无粘结性。

由于不同的煤具有不同的显微组分,因而具有不同的特性。实际上上述三类煤的显微组分之间并没有明显的界限。

四种宏观煤岩成分(镜煤、亮煤、暗煤和丝炭)和以显微法分类的三种组分(镜煤类物质、角质类物质和丝炭类物质)之间有一定的相互关系,如图1-2所示。

由图可知,镜煤完全是镜煤类物质,丝炭完全是丝炭类物质,而亮煤与暗煤则是三种显微组分的混合物,但亮煤中所含镜煤类物质多,而暗煤中所含角质类物质多。

研究煤的岩相组成,有助于合理利用煤炭资源。一般来说,暗煤的挥发分高,当含较多的定型体(是指具有一定的化学稳定性,保持植物残骸原来结构和形态的显微组分)时,是良好的气化原料。

二、煤的分子结构模型

由于煤的复杂性与不均匀性,对煤的分子结构虽然已进行了大量的研究,但认识仍有待进一步深化。

根据对煤的分子结构的研究,可以认为煤是大分子化合物的混合物,分子量在数千范围。但煤与一般聚合物不同,从煤得到的是不同分子量、不同化学结构的一系列相似化合物的混合物,因此把构成煤聚合物的结构单位称为基本结构单元。基本结构单元的主要结构是缩合芳香环,缩合芳香环的环数随煤化程度的增加而增加,含C 70%~83%,平均环数为2; C 83%~90%,环数为3~5; C 90%以上,则环数急增, C 95%时环数>40。缩合芳环的主要形式有萘、菲、蒽和芘等。煤的芳香度也随煤化程度增加而增加。芳香度的定义为芳香碳原子数 C_a 与碳原子总数 C 之比($f_a = C_a/C$)。研究表明,当煤中碳含量从80%增加到90%, f_a 从0.71增加到0.85,碳含量95%时, f_a 已接近1或等于1。煤中的非芳香碳主要是氢化芳环、环烷环、烷基侧键等。在煤的基本结构单元上连接着烷基侧键,烷基侧键的平均长度随煤化程度增加而很快减小。烷基碳占总碳的比例也随煤化程度增加而下降。此外,煤的基本结构单元的边缘含有含氧官能团。主要的含氧官能团有羧基($-COOH$)、酚羟基

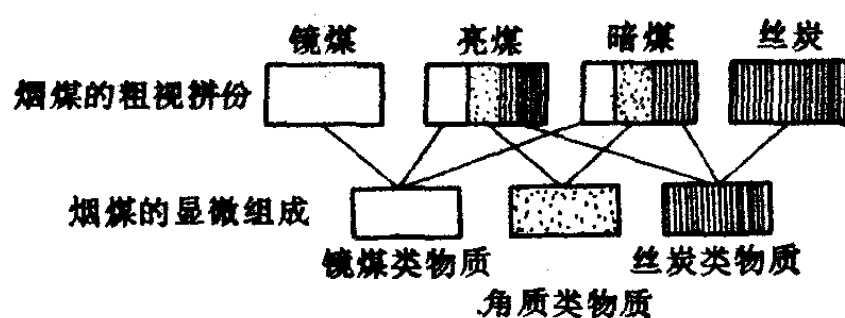
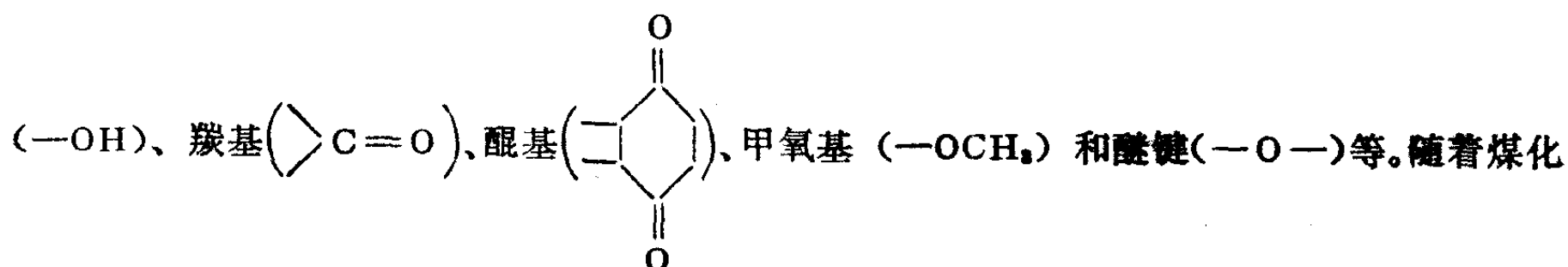


图1-2 烟煤的宏观煤岩成分与显微组分之间的关系



程度的增加, 甲氧基最早消失, 在年老褐煤中基本已不存在。其次是羧基, 它的存在是褐煤的主要特征, 在年青烟煤中其数量已大为减少。羟基和羰基存在于整个烟煤阶段, 甚至在无烟煤阶段还有发现。醚键和杂环(呋喃环)存在于整个成煤过程。在褐煤中含氧官能团最高; 至烟煤阶段, 其含量大大降低, 而无烟煤中氧含量更低。据研究, 目前不少人认为烟煤的结构单元的分子量大约为200~400。

联系煤的结构单元的桥键有次甲基键($-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 等)、醚键和硫醚键($-\text{O}-$, $-\text{S}-$, $-\text{S}-\text{S}-$ 等)、次甲基醚键($-\text{CH}_2-\text{O}-$, $-\text{CH}_2-\text{S}-$ 等)、芳香碳-碳键。

它们在不同的煤中并不是均匀分布的, 在年青烟煤和褐煤中, 长的次甲基键和次甲基醚键较多, 而在中等变质程度以上的烟煤中则以短的次甲基键和醚键为主。

煤的结构单元通过这些桥键形成分子量大小不均的高分子化合物, 它们的数量与煤的分子大小有直接关系, 并与煤的工艺性质有密切联系。

在煤的聚合物立体结构中还分散含有一定量的低分子化合物(主要是指分子量小于500的有机化合物)。这些低分子化合物主要是含氧化合物和烃类, 它们的含量随煤化程度的增高而降低。

根据上述有关煤的分子结构的概念, 不少学者提出了煤的化学结构的模型。本书介绍几种比较公认的看法。

(一) 克瑞威伦修改后的福克斯模型

这是60年代以前的煤结构模型, 如图1-3所示。

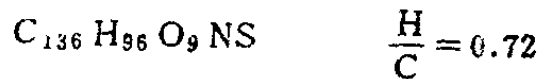
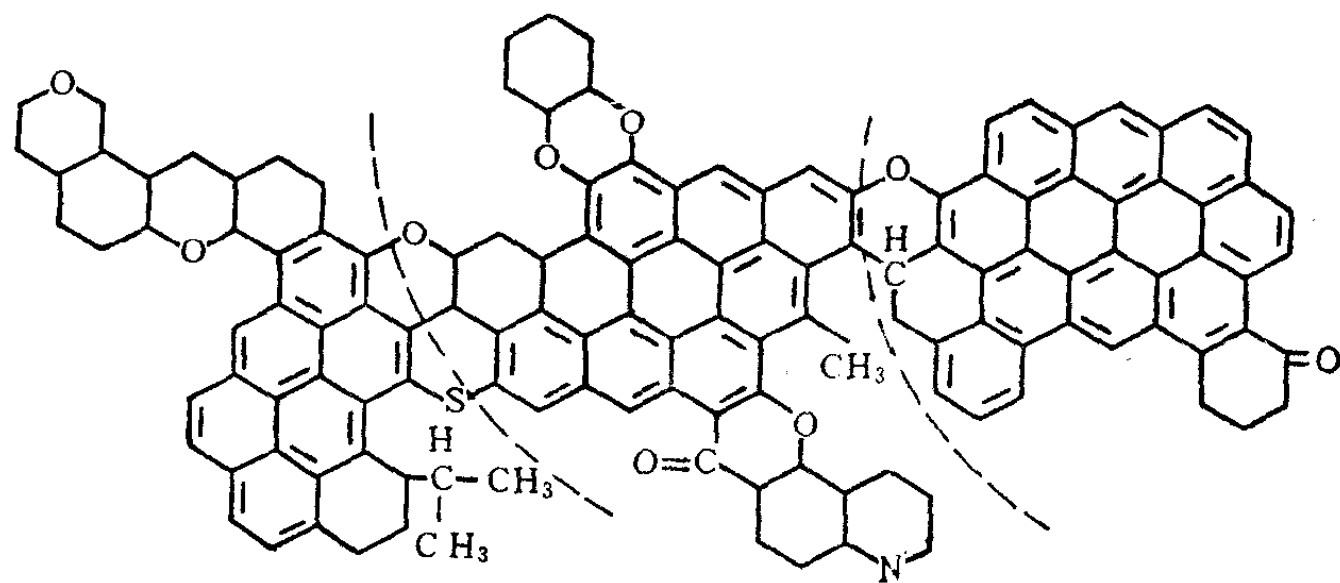


图1-3 克瑞威伦修改后的福克斯模型

(二) 吉文化学结构模型

这一模型反映了年轻烟煤中没有大的缩合芳香核, 分子呈线性排列, 并有空间结构, 有氢键和含氮杂环等存在。如图1-4所示。

(三) 威斯化学结构模型

这一模型是目前比较全面、合理的一个, 如图1-5所示。箭头指处为结合薄弱的桥键。

(四) 本田化学结构模型

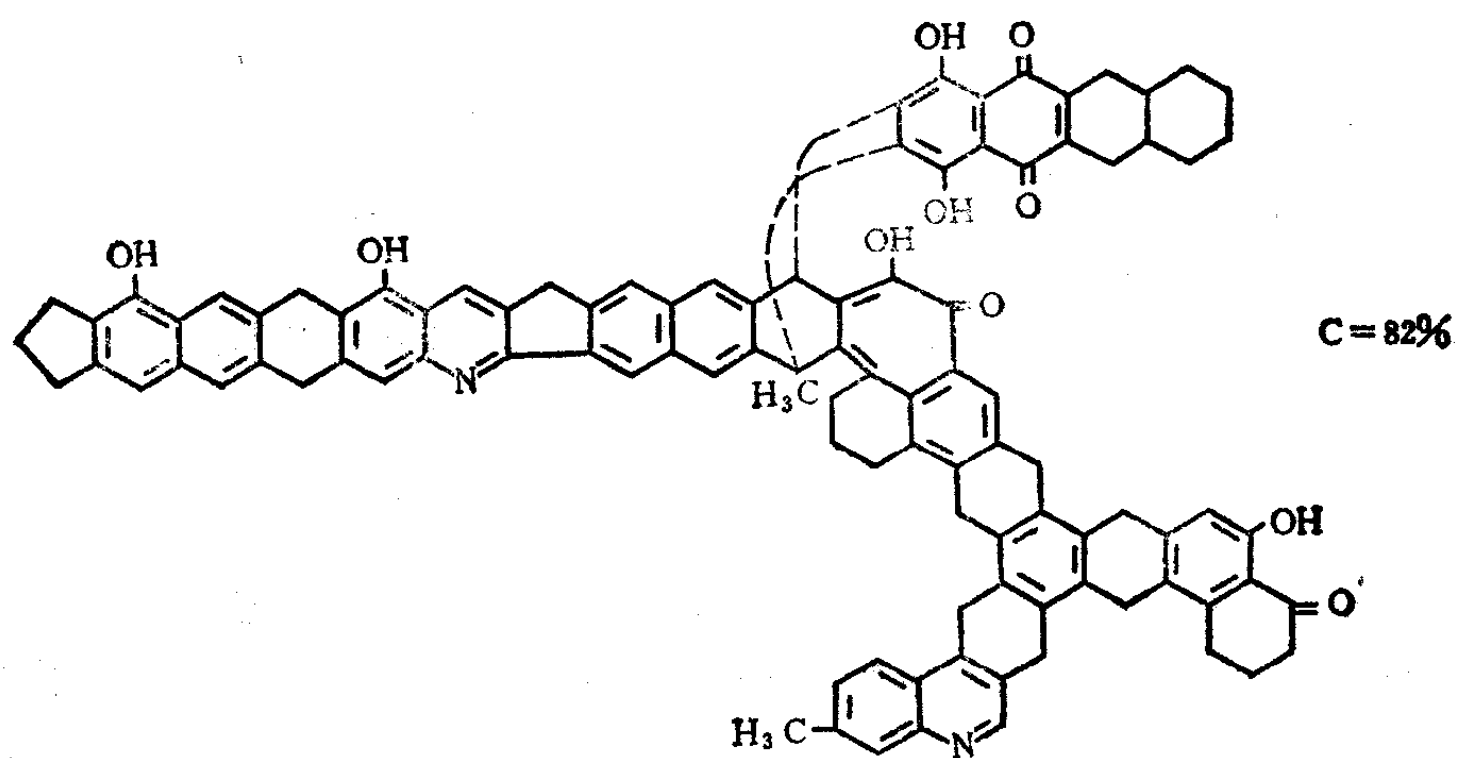


图1-4 吉文化学结构模型

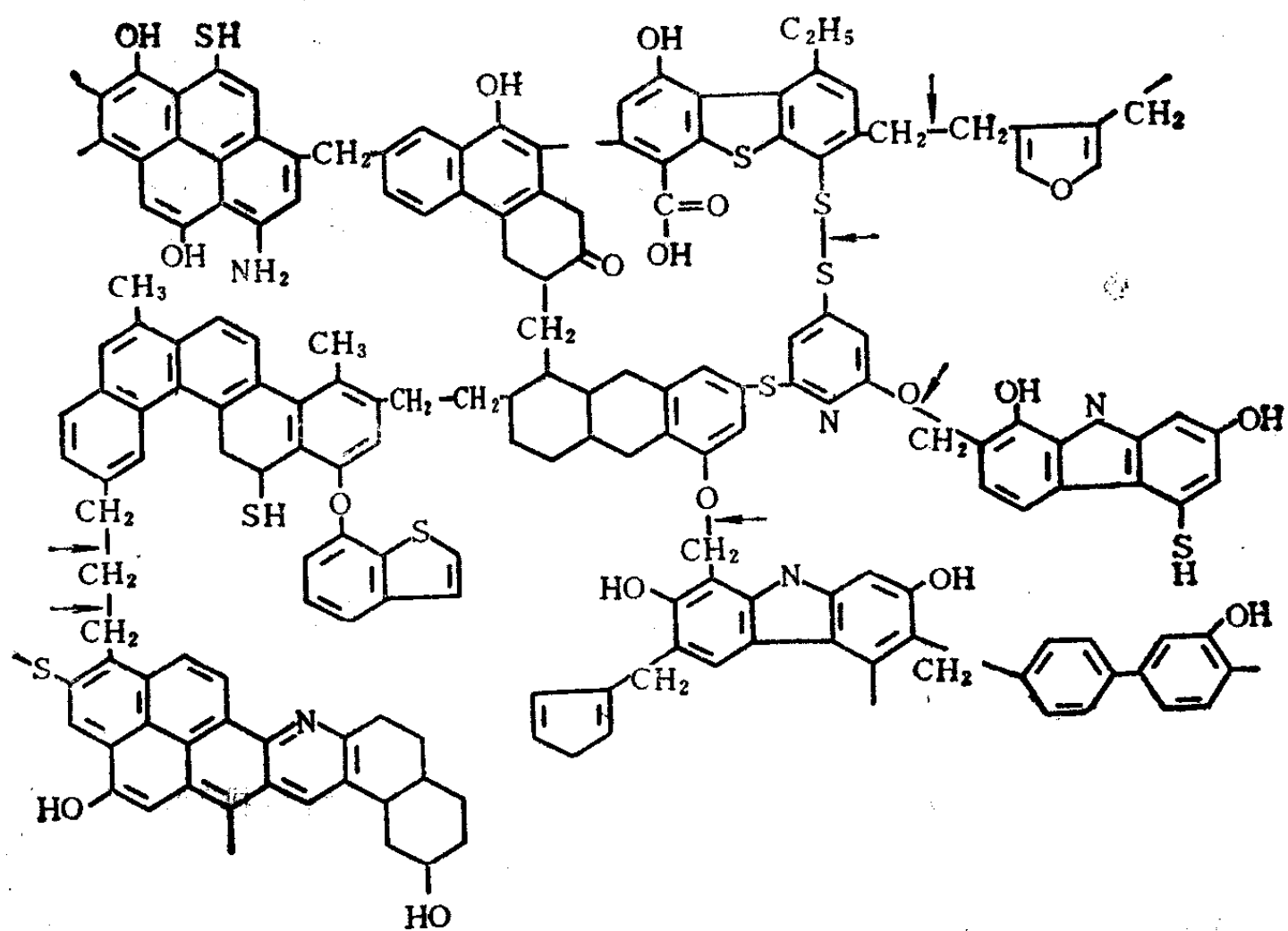


图1-5 威斯化学结构模型

这一模型的特点是考虑了低分子化合物的存在。如图1-6所示。

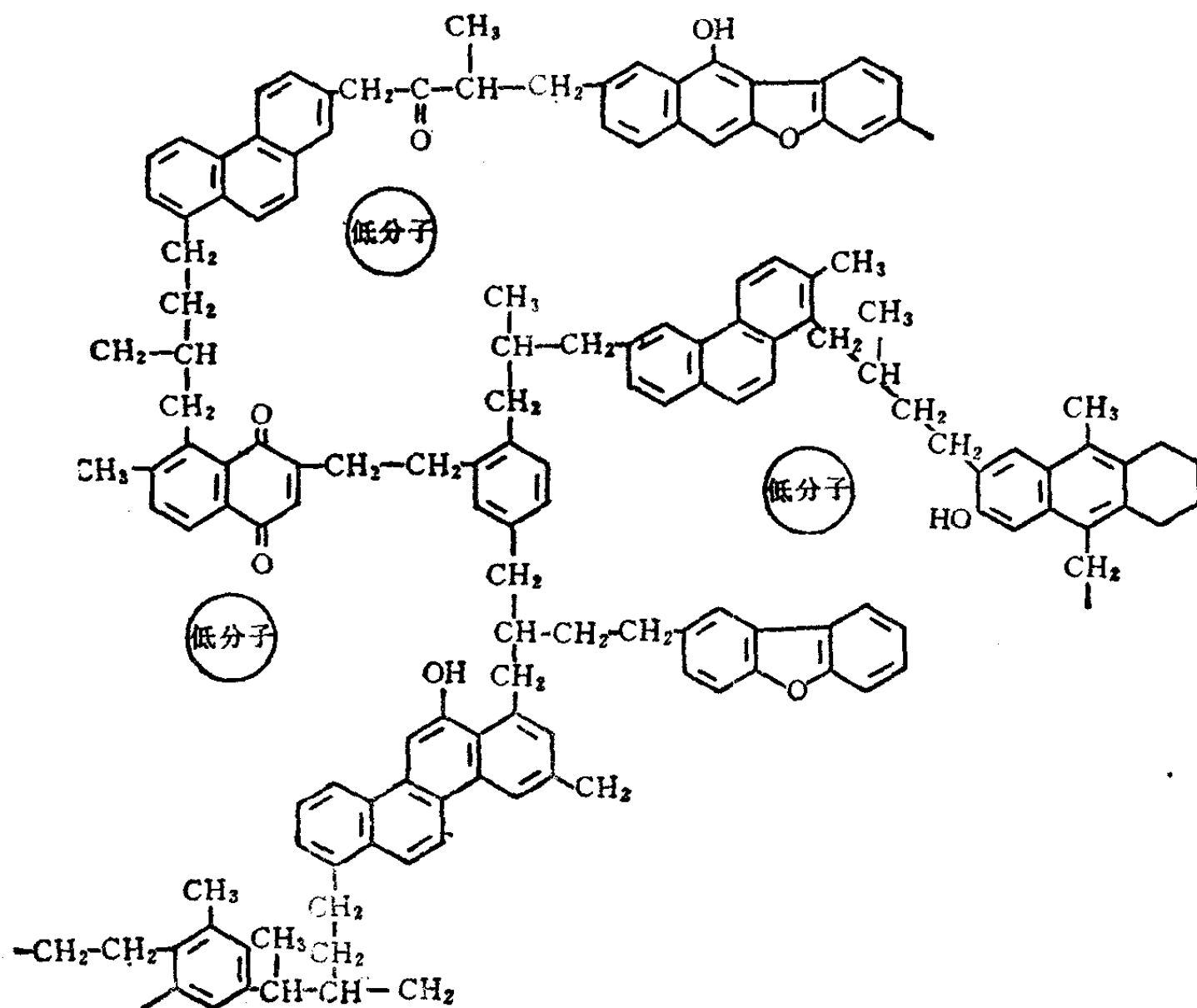


图1-6 本田化学结构模型

但现在看来，不论哪一个化学结构模型都还不能全面概括煤的结构概念，各有所长，但也各有不足之处。

第二节 煤的工业分析与元素分析

煤的工业分析与元素分析是最基本的煤质分析项目。

为了合理利用煤炭资源，了解气化用煤的特性，进行煤的工业分析与元素分析是最基本和必要的。

煤的工业分析也称煤的技术分析或实用分析，包括水分、灰分、挥发分产率和固定碳含量的测定。从广义上说，工业分析还应包括煤中硫分测定与煤的发热量测定，但一般是将这两项单独列出。

煤中的水分与灰分是煤的无机组分，挥发分与固定碳取决于有机质的组成和性质。根据工业分析的结果，可以大致了解煤中有机质和无机质的含量。

煤中水分、灰分和挥发分产率都用定量法测定，而固定碳则用差额法算出，即固定碳 = 100 - 水分 - 灰分 - 挥发分产率。

煤的元素分析主要是测定煤的有机质中碳、氢、氧、氮、硫五种元素。

在煤的元素组成中以碳、氢、氧为主，其总和占有机质的95%以上。煤中碳含量随着煤的变质程度的加深而增加，如泥炭 $C' = 50\% \sim 60\%$ 、褐煤 $C' = 60\% \sim 77\%$ 、无烟煤 $C' = 90\% \sim 98\%$ 。相反，煤中氧含量则随煤的变质程度的加深而显著地降低。因此，煤的元素分析数据可以作为煤的辅助指标。此外，在气化和燃烧过程中可以应用煤的元素分析数据进行热工计算（如理论燃烧温度、燃烧产物），气化煤气组成、煤气产率的计算等。

各种煤的元素组成范围如表1-3所示。

表1-3 各种煤的元素组成

煤种 \ 元素 含量(%)	C'	H'	O'	N'
泥炭	55~62	5.3~6.5	27~34	1~3.5
年轻褐煤	60~70	5.5~6.6	20~28	1.5~2.5
年老褐煤	70~76.5	4.5~6.0	15~30	1~2.5
长焰煤	77~81	4.5~6.0	10~15	0.7~2.2
气煤	79~85	5.4~6.8	8~12	1~1.2
肥煤	82~89	4.8~6.0	4~9	1~2
焦煤	86.5~91	4.5~5.5	3.5~6.5	1~2
瘦煤	88~92.5	4.3~5.0	3~5	0.9~2
贫煤	88~92.7	4.0~4.7	2~5	0.7~1.8
年轻无烟煤	89~93	3.2~4.0	2~4	0.8~1.5
典型无烟煤	93~95	2.0~3.2	2~3	0.6~1.0
年老无烟煤	95~98	0.8~2.0	1~2	0.3~1.0

通常碳、氢、氮、硫的含量是直接测定的，而氧的含量则用差减法求出。显然这样得到的氧含量集中了各元素测定时所有的误差，准确度不高。若为了科学研究的需要也可以采用直接测定法。

一、水分

煤中的水分按其存在形态可分为三种：

1. 外在水分。附着在煤颗粒表面上的水，称为外在水分。通常当煤在开采、运输、储存过程中，水分由于机械作用附着于煤颗粒表面或大的毛细孔中。将煤放置在空气中这类水分就会不断蒸发。外在水分与外界条件有关，而与煤质本身无关。

2. 内在水分。吸附或凝聚在煤颗粒内部的毛细孔中的水，称为内在水分。由于毛细孔吸附力的作用，内在水分比外在水分难蒸发。因而在室温条件下，内在水分不易除去。

外在水分与内在水分都是以机械方式（如附着、吸附）与煤结合的，从水的结合状态来看，称为游离水。在稍高于 100°C 的温度下，经过足够的时间，即可全部去除煤中游离水。在煤的工业分析中所测定的即为游离水。

3. 结晶水。这是以化合方式同煤中的矿物质结合的水，如硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、高岭土（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）中所含的水分。结晶水通常要在 200°C 以上才能分解析出。

在煤的工业分析中所测定的水分分为应用煤样的全水分和分析煤样的全水分。前者是指已准备好并即将使用的煤，如进入气化炉气化之前的煤。后者一般是指在周围环境条件下（相对湿度约为50%）达到水分大致平衡的风干煤样。全水分是指煤样在采取时所含水分的总量。