

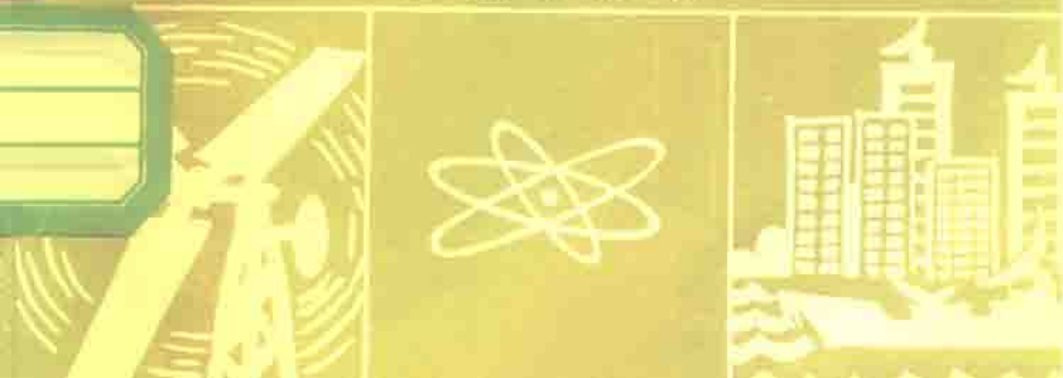


能源知识丛书

煤炭

吴永宽 编著

能源出版社



能源知识丛书

煤 炭

吴永宽 编著

能源出版社

1984

出 版 说 明

当前能源的紧张成了制约我国经济发展的一个重要因素。对能源的开发和节约是急待解决的迫切问题，从中央到地方都十分重视。为向广大管理干部、能源生产单位、能源使用部门的职工以及其他各界广大读者提供这方面的知识，本社拟出版能源知识丛书。欢迎各方批评指正。

能 源 出 版 社

一九八三年九月一日

煤 炭

吴永宽 编著

能源出版社出版 能源出版社发行部发行

妙 峰 山 印 刷 厂 印 制

787×1092 $1/32$ 开本 3.88印张 83千字

1984年8月第一版 1984年8月第一次印刷

书 号15277·36 定 价0.56元

煤 炭

内 容 简 介

本书是能源知识丛书之一。

我国有丰富的煤炭资源。煤炭是我国的第一能源。合理开发和利用煤炭，对加速我国国民经济的发展和改善人民生活，有着极为重要的意义。

为了普及煤炭的基础知识，对煤炭的生成、开采、运输至加工利用的主要环节有一个全面了解，本书对煤的成因、性质、世界煤炭资源分布和生产、世界主要产煤国、煤炭开采技术的发展、煤炭洗选加工、煤的焦化、气化（包括地下气化）、液化、综合利用，以及煤炭生产和加工利用中的环境污染与防治都作了阐述；对各项新技术及发展前景也作了简要介绍。

为了满足读者需要，本书文字叙述力求深入浅出，通俗易懂，避免术语罗列。对于必不可少的术语，事先都作了形象化的解释，并尽量用示意图说明。

目 录

第一章 煤	(5-1)
1. 煤的成因	(5-2)
2. 煤的分类	(5-3)
3. 煤的性质	(5-9)
第二章 世界煤炭资源分布和生产	(5-15)
1. 世界煤炭资源 分布	(5-15)
2. 煤炭生产	(5-21)
第三章 能源政策的巨大变化	(5-54)
1. 日本的阳光计划	(5-54)
2. 美国的能源独立计划	(5-56)
第四章 煤炭能的开发与生产	(5-57)
1. 煤的焦化	(5-57)
2. 煤的气化	(5-64)
3. 煤的液化	(5-79)
4. 煤的综合利用	(5-95)
5. 各种工业对用煤质量的要求	(5-102)
第五章 煤炭生产和加工利用中的环境污染与防治	(5-109)
1. 煤炭生产和加工过程中的污染与防治	(5-109)
2. 煤炭燃烧等利用过程中的环境污染及环保设备投资	(5-116)

第一章 煤

煤对于我们来说并不陌生。在我们日常生活中,几乎每天都离不开煤。煤是一种褐黑色至褐色的可燃烧的固体矿物。

人类用煤的历史可以追溯到人类开始用火以后的很古时代。

以煤做原料,将其琢磨、雕刻或各种工艺品和生活用品的煤雕,在我国有着悠久的历史。由考古证实,目前可上溯到六、七千年前的新石器时代。1973年,考古工作者在沈阳北陵附近的新乐遗址下层,就发现了用煤精磨制的制品多件。有文字记载的可见于两千五、六百年前的春秋战国时期的我国地理名著《山海·西山经》中写到,“女床之山,其阳多赤铜,其阴多石涅。”《山经·中山经》中有“女几之山,其上有石涅”和“风雨之山,其上有白金,其下多石涅”的记述。当时称煤为石涅。至迟在西周,我国已经能够采煤和用煤做燃料。河南巩县铁生沟汉代冶铁遗址不仅发现有煤块,而且还发现有煤饼。两汉时期已是我国用煤史上的第一个繁荣时期。到了唐、宋代,用煤更加普遍,已是“汴京数百万家,尽仰石炭,无一家燃薪者”。

在欧洲地区,在公元前三世纪前后的希腊文献中可以查到有关煤的文字记载。公元十世纪后,煤在北欧和欧洲中部成为人类的有用物质。英国从十三世纪开始了有组织的采煤。

十八世纪至十九世纪英国产业革命的兴起,瓦特蒸汽机

的发明与普及，促进了煤炭的生产和消费。煤成了工业的粮食。

日本大约在1469~1487年间发现煤。到了江户时代(1615年)以后，煤炭在日本各地才得到大量使用。

从以上的资料分析中，可以看出我国是世界上最早发现煤的国家之一。

1. 煤的成因

人类尽管很早以前就发现了煤，并大量使用煤，但并不知道煤是怎样变来的。十八世纪以后，人们才知道煤是由古代地球上繁茂生长的植物变来的。

远在几千万年至几亿年以前，地球上的陆生植物在地面死亡，遇到空气中的喜氧细菌进行分解，变成二氧化碳、水和甲烷等，尔后腐败，除了生物化学性质稳定的部分（如树脂）被保留下来以外，植物的其它部分都被分解掉了。植物被埋在积水的沼泽里，隔绝空气，虽然也受到厌氧细菌的作用，但作用很缓慢，这些植物没有腐烂，却在长时期内被泥炭化了。由于受地壳升降和地质构造等的影响，在长期的地温、地压作用下逐渐变成煤。

将植物变成煤的作用过程分成两个阶段：前一个阶段是泥炭化以前的腐植化过程，这一阶段主要是生物化学作用；后一个阶段是指泥炭被埋在地层深处，经过地热、地压干馏的煤化过程，在这一过程中，地球化学起主要作用。广义上的煤化作用包括这两个阶段，狭义上都是指后一阶段。

从时间过程看，干馏在工业上500~1,200°C的温度条件下需要30小时左右，而地质上的煤化作用是在200~400°C地热条件下经过几千万年至2亿年的漫长时间。可以想象到，在这漫长的地质年代里产生了多少种复杂的反应。这一时间

因素对“广义”煤的性质起主导作用。即时间越长，煤的变质程度越高，表现在煤中的碳多了，而氢、氧减少了。

成煤的原始植物，由于生长的地质年代和地区不同（陆生的还是海生的），使成煤植物的成分差异很大。即煤的性质不仅取决于煤化程度，同时也取决于成煤植物的性质。例如由藻类生成的煤为腐泥煤，由高等植物形成的为腐植煤。此外，即使同一种成煤植物，由于成煤的条件不同（例如受火成岩的影响），也会变成性质不同的另一种煤。

在研究成煤的地质年代时，我们常常可以听到“石炭纪”这个名词。石炭纪距现在约有3亿4、5千万年~2亿8千万年。实际上，石炭纪这个名字是由英国大煤田的很多煤层都是在这—时期形成而得名。这个时代是地球上的许多地区生长着大森林时代，地球上气候温暖湿润，植物茂密。当然，煤不仅仅生成于石炭纪，在地质上的其它时代都有煤，如二叠纪、三叠纪、侏罗纪、白垩纪、第三纪。而我国侏罗纪煤的储量比石炭纪煤还多，即在约5亿年至2千万年以前的地质时期内都有煤的生成。

从各地区煤的生成时期看，北美和欧洲的煤多生成于石炭纪，亚洲的煤多生成于石炭、二叠纪至侏罗纪。

有关地质年代距我们现在的位置距离和先后顺序以及与煤种的关系可以用表1-1表示。

2. 煤的分类

为了区分煤的不同物理化学性质以及满足各种不同的需要，应该对煤进行分类。

煤的分类方法有许多种。以平时我们所看到的各种煤而言，有块状、粉状的。因而如根据煤的粒度，可以将煤分成块煤和粉煤。有的煤有光泽，有的煤没有光泽，所以如根据

表 1-1 地质年代与煤种的关系

地 质 年 代		代、纪开始的时间 (百万年前)	有代表性的煤种
新 生 代	第 四 纪	1	泥 炭
	晚第三世	25	
	早第三世	63	
中 生 代	白 垩 纪	135	褐 煤
	侏 罗 纪	210	
	三 叠 纪	240	
晚 古 生 代	二 叠 纪	270	烟 煤
	上石炭世		
	下石炭世		
早 古 生 代	泥 盆 纪	350	无烟煤
	志 留 纪	390	
	奥 陶 纪	420	
	寒 武 纪	490	
原 古 代		590	
		1,240	

光泽，前者称为亮煤，后者称为暗煤。如果按用途分，还可以分为原料煤和动力煤等等。

原料煤是指制造焦炭、城市煤气和化工用的原料（炼焦工业中亦称炼焦煤）；动力煤是指做产生蒸汽等二次能源和用于取暖、火力发电燃料用的煤（以稍有粘结性的好）。至于哪些煤适于做原料煤，哪些煤适于做动力煤，没有严格界限。以炼焦用原料煤而言，随着多种煤配煤炼焦技术的发展，以前某些做动力用的煤，添加了特殊粘结剂后，也可以成为炼

焦用的原料煤。

随着煤炭用于工业方面的比例越来越多，因此以工业利用为主要目的的煤分类也越来越受到人们的重视。目前世界各国的煤分类几乎都是从本国的煤炭资源出发而制订的。如我国自1958年开始，就制订了一个以炼焦用煤为主的全国统一的煤分类方案。该方案(见表1-2)以煤的可燃体挥发分 V^r 和胶质层最大厚度 y 值作为煤分类的指标。把我国的煤分成十大类和24个小类。十大类是褐煤、长焰煤、不粘煤、弱粘煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤和无烟煤。其中的气煤、肥煤、焦煤和瘦煤统称为炼焦用煤，其它各种煤又统称为非炼焦用煤。在十大类煤中除褐煤和无烟煤以外，其余八个煤种均属烟煤范围。

该分类方案经过二十多年来的试行表明，它存在不少缺陷亟需进行修订。如方案中对褐煤和长焰煤没有明确的划分界线。为此，煤炭科学研究院经过多年的研究，提出透光率作为褐煤和长焰煤的分类指标。即透光率(P_m) $>66\%$ 的为长焰煤， $\leq 66\%$ 的为褐煤。目前该指标已被普遍采用。

为便于国际贸易的需要，联合国欧洲经济委员会曾于1956年制订出一个“国际硬煤分类”方案。该方案以煤的可燃体挥发分 V^r ($V^r > 33\%$ 的煤又采用恒湿无灰基煤的发热量)、粘结性指标(罗加指数或自由膨胀序数)和结焦性指数(葛金焦型或奥亚膨胀度)作为分类指标。把硬煤(烟煤和无烟煤)分成以三位阿拉伯数字表示的煤类共62个。其中无烟煤共划分为000、100A和100B三类，烟煤共划分为200、300、……900、635、733和832等59个类别。

鉴于1956年制订的国际煤分类方案系以炼焦用煤为主，因此1983年3月14~16日在瑞士又召开了新的国际煤分类会

表 1-2 中国煤分类 (以炼焦用煤为主) 方案

大类别名称	小类别名称	分 类 指 标	
		V^r (%)	y (毫米)
无 烟 煤 贫 煤		0~10	—
		>10~20	0(粉)
瘦 煤	1号瘦煤	>14~20	0(成块)~8
	2号瘦煤	>14~20	> 8~12
焦 煤	瘦 焦 煤	>14~18	>12~25
	主 焦 煤	>18~26	>12~25
	1号肥焦煤	>26~30	> 9~14
	2号肥焦煤	>26~30	>14~25
	焦 瘦 煤	>20~26	> 8~12
肥 煤	1号肥煤	>26~37	>25~30
	2号肥煤	>26~37	>30
	1号焦肥煤	≤ 26	>25~30
	2号焦肥煤	≤ 26	>30
	气 肥 煤	>37	>25
气 煤	1号肥气煤	>30~37	> 9~14
	2号肥气煤	>30~37	>14~25
	1号气煤	>37	> 5~9
	2号气煤	>37	> 9~14
	3号气煤	>37	>14~25
弱 粘 煤	1号弱粘煤	>20~26	0(成块)~8
	2号弱粘煤	>26~37	0(成块)~9
不 粘 煤		>20~37	0(粉)
长 焰 煤		>37	0~5
褐 煤		>40	—

议。会上确定了以煤的恒湿无灰基高位发热量24百万焦耳/千克作为褐煤和烟煤的划分界线,即发热量>24百万焦耳/千

克的煤为烟煤， ≤ 24 百万焦耳/千克的为褐煤。在烟煤中又以镜质组的平均随机反射率、自由膨胀序数、干燥无灰基挥发分、反射率分布特征、惰性组含量和恒湿无灰基高位发热量等六个指标来确定单种煤和混合煤的类别。

对煤进行分类时，一般又常把成煤的地质年代、煤岩成分、原始植物、煤化过程等作为其分类指标。

如上所述，煤是由植物变来的，主要由碳(C)、氢(H)、氧(O)三种元素所组成。很早以前就有人以煤中这些元素的多少作为分类指标。但是，煤的元素组成不能完全反映出煤的工艺特性。因此这种方法没有得到推广。

如果按煤的成因分类，主要可分成陆植煤（大部分由树木变来的）、残植煤（由植物体的大部分腐败后残留的树脂、蜡等变来的）和腐泥煤（由水生菌藻植物变来的）三大类。

利用煤带图分类也是煤化学工作者采用的一种方法。对于煤带图，可以通过图1-1得到理解。图中纵坐标表示H/C原子比，横坐标表示O/C原子比。对煤进行元素分析，根据各种煤的原子比在煤带图中的位置就可以大概了解某种煤的性质。

为了使煤得到合理利用（例如炼焦、气化和液化等），目前普遍用显微镜观察煤的组织，即煤岩的相组分。早在1919年，英国人梅里·斯托普斯从宏观上发现煤里面的四种不同类型，并分别把这四种类型起名为丝炭、暗煤、亮煤和镜煤。同时，发现这四种类型中，丝炭容易分离，是一种易成粉状、黑色的不透明体，保留着木质细胞结构；暗煤呈暗黑色、无光泽，但致密、坚硬，含很多孢子残骸；亮煤有黑色光泽，由其磨制的薄片透明，带黄色或红褐色，含树脂状物质；镜煤也有光泽，透明、带褐色或金黄色，似贝壳状，可见植物

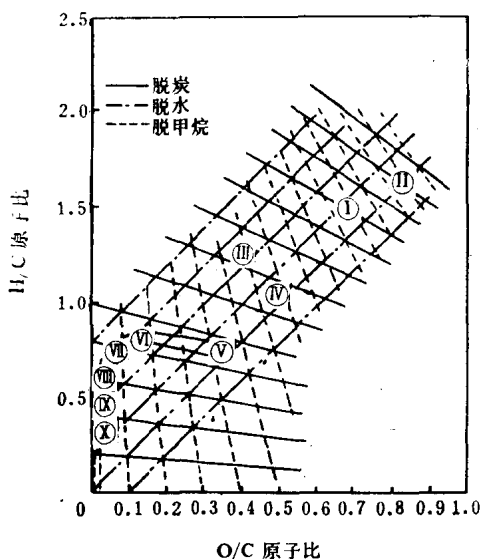


图 1-1 煤带图

I、木材, II、纤维素, III、木质素, IV、泥炭, V、褐煤, VI、低变质烟煤, VII、烟煤, VIII、高变质烟煤, IX、半无烟煤, X、无烟煤。

体残骸。后来人们又通过显微镜从微观上进一步观察煤的显微组分,能进一步推断出煤的成因。例如,根据煤中的丝炭化组分(又称丝质组),就可以断定它是由植物体埋在地下之前遇到火灾等在干燥条件下生成的;镜煤化组分(又称镜质组)是由高等植物的树干变成的,而暗煤多来源于树皮和枝叶。

由于世界各国成煤的地质条件、成因类型和原始植物的不同,因此煤岩组分也多不相同。如我国煤的煤岩类型以镜质组为主,丝质组较少。但不同时代煤的岩相组分也有很大差异,如我国第三纪煤的镜质组含量普遍高达90%以上,如抚顺煤的镜质组含量高达95%左右,而早、中侏罗世煤的丝

质组含量较高而镜质组较低，如大同煤的丝质组含量有达50%以上的，平均可达40%左右。此外，美国、苏联和民主德国煤中含较多的角质化物质，因此它们的高挥发分煤的焦油收率高，褐煤则可用来提取褐煤蜡。

3. 煤的性质

前面，我们在煤的分类一节中提到煤的许多性质。在采煤、选煤、煤的加工利用和确定煤价时，都需要确定煤的牌号、等级，了解煤的一些基本性质，为用煤单位，例如发电厂等，提供必要的煤质资料。

评价煤质的好坏虽常因用途的不同而异，但一些基本性质如水分、灰分、灰熔点、挥发分、固定碳、胶质层厚度、发热量、硫和氮含量以及含矸率等则是普遍需要了解的。

我们知道，煤是含有多种矿物杂质的有机物，比其它已知结构的有机化合物要复杂得多。这就给全面了解煤的性质带来很多困难。关于煤的性质主要包括以下两个方面：一是了解煤中的固有成分——有机物和无机物的元素组成。如碳、氢、氧、氮、硫、硅、铝、铁等，以及煤的固有性质，如比重等；二是根据对煤的不同用途以测定煤在一定人为规定条件下经过转化生成的物质或其某些性质或状态，如灰分、挥发分和结焦性、活性、热稳定性等。

测定煤性质的许多分析方法都是在实验室进行的，所用样品，数量有时不足1克，最多也不过几百克。这样少的样品却是从十吨乃至百吨、千吨的大量煤中抽取来的。很明显，对抽取煤样的起码要求就是能代表这批煤的平均质量，否则，尔后的分析化验再准确也没有意义。

为了统一全国煤矿和用煤单位对煤质分析的标准，我国制订了一系列煤质分析化验的国家标准。国际上则有国际推

荐标准，简称ISO。

对煤性质的分析，有工业分析和元素分析。工业分析又称实用分析。

(1) 煤的工业分析

煤的工业分析包括测定煤中水分、灰分、挥发分和固定碳四项指标。在工业分析中，测得的挥发分能大致推断出煤在隔绝空气加热时的气体和焦油的生成量；根据求得的固定碳值，可以大致知道煤炼焦时的成焦率多少。

① 水分

煤中水分分内在水、外在水和化合水（包括结晶水和结合水）三种。一般情况下只测定内在水和外在水就可以了。内在水与外在水之总和为全水（不是简单的相加）。所谓外在水是指煤样放在空气中，与空气中的相对湿度达到平衡时跑掉的水分，而这时残留在煤样中的水分称内在水。

从不同煤化程度煤的水分变化看，以含碳量（ $C\%$ ）低的煤水分高。如我国云南昭通年轻褐煤的水分高达50~60%，其含碳量 $C\%$ 只有67%左右。

② 灰分

所谓灰分就是将煤样由室温开始加热到煤样重量不再变化（恒重），使有机物烧尽后的残留物。在煤灰里，一般含 SiO_2 40~60%， Al_2O_3 15~35%， Fe_2O_3 5~25%， CaO 1~10%。此外，煤灰里还含有 LiO_2 、 GeO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 V_2O_5 、 UO_2 等极宝贵的伴生元素。当这些元素含量达到一定品位后，煤就不再成为燃料而成为提取这些元素的原料了。

煤中灰分的多少因煤而异，而且与煤的煤化程度无关。煤中的矿物质是煤中原有的（其来源后述），而煤中的灰分则

是矿物质燃烧——氧化以后变成氧化物并残留下来的部分。因为煤中以矿物质形式存在的硫(FeS_2)在燃烧过程中变成二氧化硫(SO_2)跑掉了,但铁变成 Fe_2O_3 残留下来了。另外还有一部分结晶水、结合水也变成气体跑掉了,所以,煤中矿物质的量与灰分量也不相等,约为灰分的1.03~1.20倍,平均为1.08倍。但某些低灰分褐煤的灰分则比其矿物质含量还高,这是因为有机的腐植酸钙燃烧后变成无机的 CaO 的缘故。

煤中矿物质的来源可以分为三种情况:一是原生矿物质。它来源于成煤植物本身含的矿物质;二是次生矿物质。顾名思义,它来源于植物成煤过程中外界混到煤层中的矿物质。由这两种矿物质形成的灰分称为内灰分。这种内灰分很难通过洗选的方法脱掉。第三种为外来矿物质。这种矿物质原来不是含在煤层中,而是由采煤过程中,例如煤层中的夹石层及其顶板和底板岩石混入采出的煤中形成的。这种矿物质容易洗掉。

煤中的灰分含量及其性质对煤的加工利用都有直接影响。在动力用煤和气化用煤中,灰分的熔融性及其熔融时的粘度是重要指标。例如在灰渣以固态形式排出的锅炉和气化炉(后述)中,煤灰熔化后结渣是影响正常运行的严重问题。是气化用煤而言,要求原料煤的煤灰熔化的温度越高越好。但是,在煤的直接液化工工艺中,煤中含有的黄铁矿(FeS_2)有时还会起到催化剂作用,有利于煤的液化反应。

③挥发分

将一定量的分析煤样在坩埚中于 $900 \pm 10^\circ\text{C}$ 条件下加热7分钟时的减少量减去煤样中含的分析水分,就是挥发分产率,即煤加热时分解出的气体和焦油(蒸汽状态)量的总和。

煤的挥发分产率是在规范条件下测出来的。因此，其产率的多少随加热时使用坩埚的大小、形状、材质的不同以及加热温度、时间等条件的差异而不同。上述加热温度和时间的规定是我国的分析化验标准。日本工业标准（缩写成JIS）里规定的加热温度为 925°C 。因此，不同实验条件下的分析结果不能进行严格的对比。

一般来讲，煤的变质程度越低，其挥发分越高。泥炭、年轻褐煤和褐煤的（无水无灰基的）挥发分高于40%，烟煤的一般低于50%，而无烟煤的低于10%。

另外，挥发分高的煤，粘结性相对较差；中等挥发分煤，粘结性较强；低挥发分煤的粘结性也较差。由于煤中的挥发分在燃烧时很容易析出，形成火焰而燃烧，因此，煤的挥发分越高，燃烧时火焰越长，越明亮。但褐煤例外。

④固定碳

煤中的固定碳不象挥发分那样受热后从煤中挥发出来，在干馏过程中大部分成为焦炭残留下来。

煤中的固定碳含量是根据测定的水分、灰分和挥发分的产率，用计算的方法求出的。一般来说，煤中的固定碳含量随煤变质程度的增高而增高。固定碳与挥发分之比为燃料比。煤的变质程度增高，其燃料比明显增高。日本把燃料比作为煤的一个分类指标。例如，燃料比1是褐煤和烟煤的分界线。即褐煤的燃料比小于1，烟煤的燃料比 ≥ 1 。

⑤发热量

简单地说，煤的发热量就是单位重量的煤完全燃烧后产生的热量。

目前，测定煤的发热都是在一个量密闭容器（我们把它称为氧弹）内，有高压过剩氧气的条件下点燃一定量的煤样