

高等学校教学用书

煤 化 学

冶金工业出版社

81.621
475
C.3

高等学校教学用书

煤 化 学

武汉钢铁学院 陶 著 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

冶金 ~~工业~~ 出版社

高等学校教学用书

煤 化 学

武汉钢铁学院 陶 著 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张15.3/4 字数 376 千字
1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷

印数00,001~6,000册

统一书号: 15062·4212 定价2.15元

前 言

《煤化学》是焦化、煤化工、煤炭综合利用等专业的专业基础理论课程。本书的主要内容有：煤的生成、组成、岩相、结构与其基本性质之间的变化规律；煤热加工、化学加工及其机理，主要为煤的焦化、气化、液化、氧化及碳素化；加工产物的组成和性质。

本书为冶金高等院校焦化专业用书，也可供其他煤综合利用、城市煤气等专业作为教学参考用书。

本书试用稿于1979年12月印出，曾在冶金系统有关院校及大连工学院、太原工学院等院校试用。本书是在试用稿广泛征求意见的基础上，并根据1983年元月召开的审稿会（有大连工学院、河北矿冶学院、鞍山钢铁学院、马鞍山钢铁学院和武汉钢铁学院的代表参加）提出的意见，由主编修改定稿。参加本书编写的有陶著、虞继舜、戴中蜀、孙韵琴，由陶著任主编。

在编写本书过程中，曾得到山西煤化所、北京煤化所、西安地质勘探研究所、鞍山焦耐院、鞍山热能所以及有关院校的帮助和支持，我们在此表示谢意。

编 者

1983.10

目 录

绪论	1
第一节 我国的能源概况	1
第二节 煤的综合利用在国民经济中的意义	4
第三节 煤化学的内容和特点	7
第一章 煤的外表特征、一般特性及生成	9
第一节 煤的种类及其外表特征和一般特性	9
第二节 煤的生成	12
第二章 煤的工业分析及元素分析	28
第一节 煤的工业分析	28
第二节 煤的发热量与硫、磷等	32
第三节 煤的元素分析	35
第四节 分析数据的表示方法和基准换算	37
第三章 煤的岩相组成及其性质	42
第一节 煤岩的宏观研究	42
第二节 煤的显微组分	44
第三节 煤岩显微成分的命名和分类	47
第四节 显微煤岩类型	50
第五节 煤岩显微组分的某些性质	51
第六节 煤化跃变和沥青化作用	55
第七节 煤岩学的应用	58
第四章 煤的工艺性质、分类及我国的煤炭资源	63
第一节 煤的粘结性和结焦性	63
第二节 煤的可选性和选煤原理	71
第三节 煤的反应性、机械强度、热稳定性及结渣性	73
第四节 煤的低温干馏焦油产率	75
第五节 煤分类的意义和分类指标	76
第六节 硬煤的国际分类	78
第七节 中国煤分类	79
第八节 煤的其他分类方法简介	80
第九节 我国煤炭资源的特点	81
第五章 煤的物理性质及物化性质	86
第一节 煤的密度与分子空间结构性质	86
第二节 煤的机械性质	89
第三节 煤的热性质	93
第四节 煤的固态胶体性质	95
第五节 煤的光学性质	98
第六节 煤的电性质	100
第七节 煤的磁性质	102

第六章 用化学方法研究煤	104
第一节 煤中的官能团分析	104
第二节 煤的高真空热分解	105
第三节 差热分析	106
第四节 煤的溶剂抽提	107
第五节 煤的加氢	114
第六节 煤的氧化	121
第七章 煤和碳的结构及其研究方法	129
第一节 碳的结构与性质	129
第二节 用X—射线衍射法研究煤和碳的结构	131
第三节 统计结构解析法研究煤的结构	136
第四节 煤及其衍生物仪器分析方法的基本概念	141
第五节 红外光谱在煤结构研究中的应用	144
第六节 核磁共振波谱在煤结构研究中的应用	147
第七节 煤化学结构的基本概念	152
第八节 煤的化学结构模型	154
第八章 煤的热解、粘结、成焦	158
第一节 煤的热解过程	158
第二节 煤在热解过程中的化学反应	160
第三节 煤热分解的化学动力学研究	166
第四节 胶质体的形成及性质	171
第五节 粘结成焦机理	174
第六节 影响焦炭强度的主要因素	188
第九章 煤的燃烧、气化、液化及碳素材料	194
第一节 煤的燃烧	194
第二节 煤的气化	203
第三节 煤的液化	222
第四节 碳素材料	228
第五节 腐植酸和腐植酸肥料	239
附录 烟煤显微组分划分及命名表	241
主要参考资料	243
照片	245

绪 论

中国是首先以煤作火源，采煤作燃料的国家。中国首先发明以煤炼铁，以焦炭炼铁。

中国古代称煤炭为石涅、石墨、石炭等。远在新石器时代，我国古代人就拾取煤矿露头中自燃的煤作火源。符秦王嘉《拾遗记》载：“宛渠之民，夜燃石以继日光，……。昔炎帝时变生食用此火也”。近年在沈阳新石器时代新乐遗址中出土煤精雕成的饰物16件，用 C^{14} 测定距今 6146 ± 120 年，经煤岩鉴定，认为原料应为抚顺西露天煤，系烛煤。这些煤制品现在点火，仍燃烧旺盛。《巩县铁生沟》载：“西汉铁官冶铁遗址所用燃料有木炭、煤及煤饼。炉壁用石英砂和焦炭粉制成的耐火砖砌成。”

美国L.曼德尔(Mantel)著《碳和石墨手册》载：“早在两千多年以前，焦炭就在中国人之间作为一种商品互相交易”。

唐代用煤已较普遍，并用煤矿中的黄铁矿制成硫磺、发明火药。宋代已是“汴京数百万家尽仰石炭，无一家燃薪者”。元代意大利旅行家马可波罗在其游记中记载：“契丹全境之中，有一种黑石……其质优良，致使全境不燃他物”。明末清初孙廷铨著《颜山杂记》(1665年)载：“或谓之煤……散无力也炼而坚之，谓之礁(焦炭)”。同书明确谈到煤的勘探和用焦炭炼铁。此外，明李时珍的《本草纲目》、宋应星的《天工开物》和方以智的《物理小识》等书对煤的外形、性质、分类、产地、用途和用法等都有精辟的分析和论述。综上所述，我国古代煤炭的勘探、开采和利用曾处于领先地位，只是十七到十九世纪西欧和美、日等国先后完成资产阶级革命和产业革命后，我国在“三座大山”的压迫和剥削下才落后了。

第一节 我国的能源概况

一、能源的重要性

能源是能量和动力的源泉。能源是实现国民经济现代化和提高人民生活的物质基础。现代化在很大程度上取决于能源的科学开发、充分供应和合理利用。

在能源利用的发展史上，经历过三次重大的转折。自从十八世纪瓦特发明蒸汽机以来，人类逐步从依靠人力、畜力为动力，以柴草为能源，转向以蒸汽为动力，以煤炭为能源，以致完成了产业革命，并发展了煤化学工业。第二次转折是从十九世纪七十年代开始，人们用燃煤或水力发电逐步取代了蒸汽，电力成为主要的动力。第三次转折发生在二十世纪五、六十年代。廉价的石油、天然气的大量开发和利用，使世界能源结构转向以石油、天然气为主要能源，并发展了庞大的石油化学工业。这次转折促成了六十年代发达国家以及亚洲某些国家和地区经济的高速增长。1973年中东战争以后，由于石油价格飞涨，主要工业国家的经济普遍进入“低增长”时期。由此可见，能源供应和结构的变化对世界各国的经济、政治、军事等有着重大影响。

二、能源的种类及其转化

图1中第一排所列出的能源都是以现成的形式存在于自然界中的，称之为“一次能源”。其中左边的四项沿用已久，称为常规能源。沼气及沼气右边的各项则称为新能源。

在一次能源中，矿物燃料和核燃料（铀、钍、硼、氘）为非再生能源；其他为再生能源，因它们并不因人类的利用和本身的转化而日趋减少。我们把需要依靠某种能源转换而得到的能源叫做“二次能源”。例如电能、氢能、石油制品（汽油、煤油、柴油等）和煤制品（煤气、焦炭等）。此外，工业生产中的余热、余压也是一种二次能源。在二次能源中，电能、液体燃料、煤气和氢具有突出的优点：清洁、便于输送和使用，热效率高。

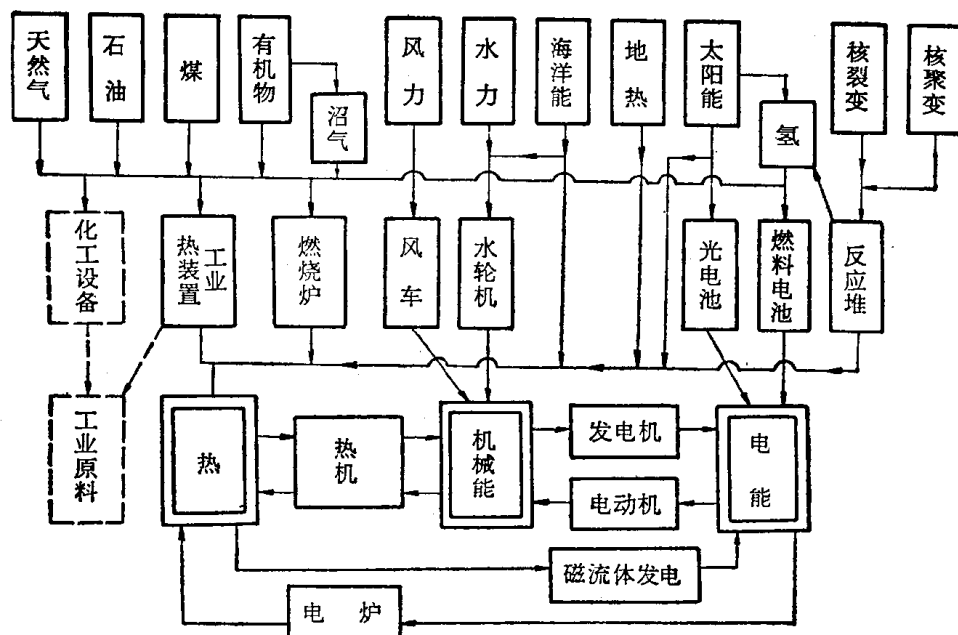


图 1 能源及其转化和利用

太阳能、风力、海洋能取之不竭，但目前其发电设备投资太大（每千瓦达几千元以上），回收慢。烧重油、天然气发电的投资仅为前者的几十分之一，而且回收快，是较理想的能源，但是它们还是重要的化工原料。因此，在我国天然气除了作城市煤气外，应尽可能少用作锅炉燃料。煤和水力发电每千瓦投资仅几百元到一千元，目前国内外广泛采用。煤中含有大量灰分，并含有硫、氮等杂质，为肮脏燃料。它污染严重，运输和使用不便，除采用高温高压的大发电厂热效率可达80%外，我国的一般老式锅炉热效率仅30~60%，而民用煤热效率更低，仅10~15%，因此能源的合理开发、转化、使用和节约是重大的技术经济问题和科学研究的课题，关系到国力强弱。

三、我国能源的储量、产量及消费情况

1973年英国伦敦燃料学会发表了世界可燃矿物及铀矿储量和估计使用寿命的资料（表1）。

从上表估计数字看，地下可燃矿物和铀矿能供人类作为能源消费的时间是有限的。因此，如何合理利用矿物能源，发展可再生能源是很重要的。

我国水力的理论蕴藏量为6.8亿千瓦，占世界第一位。可开发装机容量为3.8亿千瓦，已装机容量仅2032万千瓦。我国已探明的煤炭储量有六千多亿吨，占世界第三位；石油探明储量约数十亿吨，占世界第八位，有些地区尚待探明，如新疆及渤海湾、南海、东海大陆架，前景较乐观。天然气探明储量居世界第16位，但与煤矿伴生的矿井气储量很丰富，可以随着煤矿的开采而抽出利用。我国铀、钍等核能及其他新能源如太阳能、生物质能、

表 1 可燃矿物和铀矿储量及估计使用寿命

燃料种类	已探明储量	可供消费的使用寿命(年)
石油	$80 \sim 90 \times 10^9$ (吨)	16~18
煤炭	$130 \sim 2200 \times 10^9$ (吨)	30~190
天然气	$34000 \sim 48000 \times 10^{12}$ (米 ³)	15~19
页岩油及油砂油	$97 \sim 120 \times 10^9$ (吨)	39~48
铀	0.9×10^6 (吨)	50~100 (快中子增殖反应堆条件下)
燃料种类	潜在储量	可供消费的使用寿命(年)
石油	$250 \sim 360 \times 10^9$ (吨)	30~40
煤炭	$1100 \sim 4800 \times 10^9$ (吨)	150~250
天然气	$90000 \sim 340000 \times 10^{12}$ (米 ³)	25~40
页岩油及油砂油	$280 \sim 500 \times 10^9$ (吨)	110~200
铀	$1.3 \sim 3.2 \times 10^6$ (吨)	50~100

潮汐能和地热能等资源也较丰富，正在因地制宜地进行开发利用，以缓和能源的紧张状况。

我国能源工业经过三十年的建设，取得了很大的成绩。煤炭和石油生产从1979年至1983年连续几年分别稳定在六亿吨和一亿吨以上；水力发电量连年增长。1980年一次能源生产总量相当于标准煤（7000千卡/千克）6.37亿吨（不包括农村非商品能源）。

1979年我国的能源总耗为5.86亿吨标准煤，居世界第三位，但每人年平均能耗仅0.6吨（加上农村非商品能源也不到0.9吨）标准煤。而1978年每人年平均能耗：美国12.8吨，苏联6.6吨，西德6.3吨，日本4.7吨，世界人年均能耗为2.3吨标准煤。即使同发展中国家相比，我国人年均能耗也属中等偏低。我国能源结构以煤为主，占70%以上，而目前工业发达国家能源消费则以油、气为主。世界平均(%)：石油44，天然气18，煤30，水电6，核能2。

我国各部门的能耗（包括电力在内）占全国能源总消耗的百分率为：

(1) 工业65.1

其中：发电19.4（发电5.3，余能14.1）

冶炼15.8（包括电能，下同）

化工13.9

轻纺6.0

其他15.3

(2) 交通7.9

(3) 农业4.8

(4) 民用11.5

(5) 损耗10.7

由此可知，我国民用、农业和轻纺所占能源比例过小，影响生活和生产，影响资金周转和积累，而发电、冶炼、化工、损耗所占能源比例过大。

我国能源的平均利用率仅30%左右，是很低的。与工业发达国家比较如下（表2）：

由此可见，我国的节能潜力是很大的，尤其在工业、交通和民用方面更是如此。而实现城市煤气化约可使城市节约一半能源。

表 2

	美 国 (70年)	英 国 (73年)	日 本 (75年)	中 国 (78年)
全年能源消费量 (亿吨标煤)	23.3	—	5.2	5.78
总的利用率 (%)	51	40	44	30
工业 (%)	78	67	77	39
电力 (%)	31	27	36	27
交通 (%)	25	20	25	20
民用 (%)	80	70	80	20

我国农村非商品能源年产秸秆4.58亿吨，人畜粪1.53亿吨，薪柴2800万吨，折合标准煤为2.9亿吨。由于我国平均能耗量过低，尤其是农村约8000万农户缺煤少柴，以致森林、草原被破坏，水土流失严重，秸秆等有机物不能还田，影响了土壤肥力和国民经济的发展。

四、我国的能源政策

能源、交通是我国当前经济发展中的薄弱环节。我国国民经济今后能不能保持较快的增长速度，在很大程度上取决于能源、交通问题能否得到恰当的解决。解决能源问题的方针，是开发和节约并重，近期把节约放在优先地位。

根据这个方针，我们在能源开发上，要优先开发煤炭和水电；积极勘探和开发石油；积极进行煤炭和石油的合理利用；在缺能地区筹建核电站；积极研究发展其他新能源；大力发展农村沼气和薪柴林等能源；争取经过一个时间的努力，基本上解决我国的能源问题。

我国煤炭资源丰富，因此要充分发挥煤炭资源的优势。根据我国煤炭资源分布的特点和供需现状，煤炭开发必须充分考虑择优开发、综合开发和兼顾布局的原则。山西省煤炭储量丰富，煤种齐全，埋藏浅，煤层稳定，开采投资省，见效快，成本低，因此把山西作为开采重点；并大力开采内蒙东部煤田，建设大型露天煤矿、坑口电站，支援东北；同时继续开发河南中部和西部煤田（平顶山、义马），支援湖北；加快两淮（淮南、淮北）、鲁西南（兖州、济东）、渭北（韩城，蒲台）和贵州六盘水煤田。我国煤炭主要靠铁路运输，运煤量约占铁路货运量的四分之一以上。故应大力发展铁路电气化、水运、管道输煤等，增加运煤量。

在今后一个时期内，煤炭加工利用工作，就是要落实煤炭部全面起步、总体推进的指导思想，以煤为主，全面加工，综合利用，多种经营，逐步实现“三个转变”（由低质量变高质量，由单一经营变多种经营，由单一产品变多种产品）；达到“五个要求”（节能、节运、增产、增收、保护环境）；保证“两个效益”（社会效益，煤炭企业自身效益）。根据煤炭部提出的“在提高经济效益，促进社会节能的前提下，煤炭翻一番保全国翻两番”的总要求，近期以发展洗选、型煤和沸腾炉煤为主，同时搞矿区发电和建材生产。远期要进行气化、焦化、液化等化学加工，瓦斯利用，要综合开发和提取各种矿物和元素。

第二节 煤的综合利用在国民经济中的意义

煤除了作能源外，还是重要的化工原料。煤综合利用的主要工艺方法有干馏、气化、

液化、氧化等。煤的干馏就是将煤料在隔绝空气的条件下加热碳化。按干馏最终温度可分为低温、中温和高温干馏三种。干馏为煤综合利用中工艺最成熟，应用最广泛的方法，其产品的产率、组成和性质见表3。

表3 几种干馏方法的比较

指 标	煤的干馏方法 (炼焦)		
	低温干馏	中温干馏	高温干馏
干馏温度 (℃)	500~550	600~800	950~1050
半焦或焦炭产率 (%)	84 (半焦)	78 (半焦)	75 (焦炭)
焦油产率 (%)	8~9	6~7	3~4
汽油、汽油—苯、苯产率 (%)*	0.9	1.0	1.1
氨产率 (%)	痕 量	痕 量	0.3
煤气产率 (米 ³ /吨干煤)	120	200	320~340
固体残渣的挥发分 (%)	12	7	1
焦炭的着火温度 (℃)	420	500	600
煤气低发热量 (千卡/米 ³)	6300	5200	4300
煤气组成 (体积%)	C _m H _n	4	3.5
	CH ₄	55	38
	CO ₂	5	4
	CO	4	5
	H ₂	31	45
	O ₂	0.5	0.5
	N ₂	2.5	4.0

* 在低温干馏时得到汽油；在中温干馏时得到汽油—苯的混合物，在高温干馏（高温炼焦）时得到苯族烃。

气化就是将煤、半焦、焦炭等在气化炉内通入气化剂（空气、氧、水蒸汽或氢等），使燃料中可燃物转化为煤气的过程。通过净化，可以得到合成气、清洁的燃料气、还原气等。气化在国内外也应用广泛，并在迅速发展。

液化就是将褐煤、烟煤以及褐煤焦油、烟煤焦油、页岩油、石油的重油、重的裂化残渣油加氢使其H/C原子比提高，O、S、N含量降低，成为液体燃料和化工原料。上述原料的H/C原子比愈高，其液化或加工成汽油类轻馏分的能力也愈高。煤和油页岩低温干馏所得的轻焦油最适合于加氢。此外，含CO和H₂的合成气也可在一定的压力、温度和催化剂作用下生成人造液体燃料，称为间接液化。在缺乏石油而煤产量大，煤价低廉的国家例如南非采用这种方法进行大量生产。煤液化的成本一般比天然石油高，近期内在经济上尚不能与天然石油抗衡。寻求经济合理的液化方法是目前重要的科研方向。

碳素材料可由沥青焦、石油焦、铸造焦、冶金焦、无烟煤及沥青等制备，它是性能优异，用途广泛，价格高昂的宝贵材料。从煤及煤系物料生产碳素材料，也是煤综合利用的重要途径之一。

除了表4所列举的煤的各项综合利用途径之外，从煤的伴生矿物硫铁矿可以生产硫、硫酸和Fe₂O₃；煤矸石可作为沸腾炉的燃料，轮窑烧砖的燃料和原料，制取氯化铝、锆、钛以及轻质骨材等的原料。

随着合成化学的发展、煤化学基础研究及新加工技术的进步，煤的利用在工业发达国家中已发展成为一种具有更大经济效益，更大规模，更集中化、现代化的煤化学综合利用

表 4 煤的综合利用一览表

产品的形态	利用的方法	产 品 及 其 用 途
固 体	燃 烧 干 馏 碳素化 氧 化 活 化 磺 化 喷 吹	生产热能、电能，副产品煤渣、煤灰可生产煤渣砖、水泥等 焦炭（冶金焦、气化焦、铸造焦、化工焦、电石焦等）；半焦，用于造气或作无烟燃料 用冶金焦、无烟煤、沥青焦等生产碳素材料 腐植酸、腐植酸肥料 活性炭、活化煤，用于污水处理，催化剂载体 磺化煤，做离子交换剂 焦粉、无烟煤粉、烟煤粉可作喷吹燃料
气 体	干馏气化	合成气，用于生产合成氨、甲醇，人造液体燃料，城市煤气，一般燃料气，低热值煤气，用于燃气轮机发电供热；还原性气，用于铁矿石等直接还原
液 体	干 馏 加 氢 卤 化 溶剂处理	煤焦油，粗苯，粗吡啶，精制后做化工原料，用于生产染料、药物、炸药、合成纤维、粘结剂、木材防腐剂，塑料、涂料、香料和防水材料等 液体燃料、溶剂精制煤、芳香族化工产品 润滑油，有机氟化物 膨润煤，用作粘结剂，防水涂料

工业。其组织形式是各种各样的。例如欧洲大搞以煤矿为基础的“煤—电—化”联合企业；以煤炭为中心的“煤—焦—化—气”综合利用；以劣质煤（灰分大于40%或应用基低热值小于3000千卡/千克煤）为主的生产“电力、热能—建材—化工产品”的地方综合工业。西德就有85%的焦炭是煤矿生产的，60%的煤是就地加工利用的。这样可以降低生产成本，扩大生产规模，提高生产效率，减少运输量，集中处理“三废”。法国在1955年建成欧洲最大的洛林“煤矿—电力—化工”联合企业。它每年生产1500万吨煤，其中350万吨用于马里诺焦化厂，所产的焦炉气长距离输送到巴黎；365万吨用于煤气厂，生产合成气和燃料气；其高灰煤、洗中煤等则用于发电供热。它集中处理、深度加工焦油、粗苯、煤气、废渣、废水和废气等，大量生产染料、塑料、合成氨、合成纤维、药物、建材等产品。这就使得有些国家（例如英国煤矿工业受到廉价石油、天然气的冲击）一度亏损的单一采煤工业，变成大量盈利的煤化学工业。为煤化学的科学研究及煤化工向广度和深度进军创造了有利的条件。

美国、日本、苏联重视在钢铁厂中发展煤的综合利用。美国和日本分别约有90%和70%的焦炭由钢铁企业中的焦化厂提供，焦炉煤气全部脱硫、脱氰、脱萘成为精制焦炉气；煤焦油、粗苯则集中到化学厂深度加工，制取各种化工产品。苏联年产焦炭100万吨以下的焦化厂已逐渐淘汰。日本年产钢600万吨的大分钢铁厂所产焦油，用船运到别的化学厂深度加工，以提高产品的品种和质量，增加经济效益，应付石油化工的剧烈竞争，并利于“三废”处理。

我国煤的综合利用，要因煤制宜，因地制宜，统一规划，促进联合，打破部门、地区、行业间的界限，互利合作。例如，现有大、中、小型焦炉在有条件的情况下应尽可能为城市煤气化服务，以节约能源，减少燃煤污染。中小型焦炉每吨焦炭的基建投资比大型焦炉高30%以上，占地面积大一倍多，炼焦能耗高50%，劳动生产率低一半左右，单位生产成本高25%以上，经济效益很差。因此今后不宜再建年产焦炭30万吨以下的中小焦炉。到1980年底我国焦油年加工能力达18.75万吨，粗苯年加工能力达42.8万吨，已超过可用来加

工的资源量，其中与中小焦炉配套的分别占16%和7%。这些中小焦化厂的焦油、精苯装置能力小，能耗大，成本高，品种少，且污染严重，亟待治理。其中有的厂因加工亏损，不少装置已经停产，部分企业把焦油、粗苯作为燃料油烧掉或外销，造成了很大的浪费。对条件较好的鞍山、北京（或石家庄）、上海、武汉等地的有关工厂进行设备改造和扩建，把零散的焦油、粗苯就近集中到这些地方进行深度加工，增加品种，改进质量，提高企业的经济效益和产品的使用价值，是解决上述问题的一个有效途径。综上所述，要发展煤化学工业，就必须大力开展科学技术、技术经济的研究，改革经营管理体制。在这些方面，大量的新课题等待着我们去解决。

第三节 煤化学的内容和特点

煤化学是在十九世纪才开始逐渐形成的一门独立的科学。它的基本任务是研究煤的生成、组成、岩相、结构与其基本性质之间的变化规律。它是煤的合理利用的理论基础。其主要内容为：1）关于煤的生成、组成、岩相、性质、分类、结构等方面的问题；2）关于煤的热加工和化学加工及其机理方面的问题；3）关于加工产物的组成和性质方面的问题。研究这些问题的目的在于进一步了解煤的特性，以便指导生产，并且探索新的加工方案，使煤炭资源得到更合理、更有效、更广泛的利用。

煤的生成、组成、岩相及结构是决定煤的各种性质的基本因素，研究它们之间的相互关系和变化规律，是认识煤、改造煤、合理利用煤的基本出发点。

煤是一种组成、结构非常复杂且极不均一的包括许多有机、无机化合物的混合物，这些物质还处在连续的地质化学变化过程中。迄今为止，尚未能制定出基于统一原则（即基于成因、化学组成、岩相、结构与性质之间的关系）的煤的科学分类。由于成煤的原始物料、生物化学作用不同，地质化学因素有很大的差异，如将煤制成薄片或光片在显微镜下观察，可以得知煤在不同的程度上是几十种有机显微成分的复杂混合物。此外，在煤中总是或多或少地存在着多种无机化合物。所有这些给煤的组成、岩相、结构和性质的研究带来了极大的困难。因此，煤的现代研究工作所使用的煤样都尽可能分离出纯的显微组分（由成因和性质接近的一些显微成分组成），以考察它们的组成、结构和基本性质。这样一来，就只有各式各样具体的煤，只有具体的某一组分的化学结构式，而不可能找出代表整个煤或某一煤种的化学结构式。总之，煤的生成、组成、岩相及结构的复杂性和多样性给煤化学的研究带来了许多困难，但是决非不可测知。目前有许多理论问题尚无定论，在许多方面仅有定性的描述，尚不能进行定量的测定，数学工具应用甚少。因此，在煤化学学科内有着广阔的有待开发的原野。随着现代科学技术的发展，人们对煤的认识已逐步进入分子的微细结构的水平，对煤的改造和利用也将更为深入，与其有关的技术革新和发明、发现将不断涌现！

人们对煤的认识是随着煤的开采和利用技术的发展而加深变广的。例如在十九世纪，煤通常仅作为燃料直接燃烧，只需要掌握一些煤的工业分析、元素分析及发热量（热值）等简单数据及外部特征，就足以解决生产问题了。本世纪三十年代以来，随着煤化工，特别是焦化、气化、低温干馏、煤液化等工业的进一步发展，使煤化学不再是停留在外部特征、个别性质的研究上，而是逐步深入到组成、岩相、结构及工艺过程机理等一些本质问题的研究，并且以煤的生成过程来探索引起煤性质和组成多样性的原因，力求把外部性质

和现象与内在的组成、岩相及结构紧密地联系起来。此外，还积极进行了炼焦化学、煤气化和合成液体燃料的研究。在五十年代，在有关煤最根本的理论问题上，例如煤岩学和煤的生成，煤的粘结成焦机理及结构模型等方面有了一些学说，这些学说不仅能解释许多现象，并给加工工艺指出了新的方向。例如开展了扩大炼焦用煤资源、型焦方面的研究和开发。

六十年代，在工业发达的国家里石油取代煤炭而成为燃料和化工原料的主体。这是由于中东等地区廉价石油大量外流、石油化工的发展、清洁能源的需求以及焦化工业受钢铁工业发展的限制等因素，大大影响了煤炭的开采和利用。七十年代以来，由于石油、天然气价格飞涨及国外某些国家和地区的石油资源日趋枯竭，据估计国外已探明资源三十年内可能用完。因此，世界上对资源丰富的固体可燃矿物（煤、油页岩、油砂等，储量共占可燃矿物储量的96%）的研究，特别是对煤化学和煤化工的研究重新重视起来。许多国家组织起大量人力、财力来进行有计划的系统研究，并采用了最现代化的科学研究仪器，例如色谱仪、红外光谱仪、紫外光谱仪、X—射线衍射仪、核磁共振波谱仪、显微光度仪、电子显微镜、电子计算机等先进工具来研究煤，同时建立了完善的煤化工实验装置和中间试验厂。因此，无论是在煤化学基础理论的研究方面，还是在煤的焦化、气化、液化等新技术、新工艺、新产品等的研制方面都获得了重大的突破。例如煤岩学、焦炭的显微研究、粘结成焦机理及煤加氢等方面的研究成果，已应用于焦炭质量的实验室预测，大高炉用焦质量的研究，现代化配煤工艺，型焦生产以及溶剂精制煤等方面。

但是必须指出，在煤化学中导出的定律还很少，甚至煤的科学分类还没有解决，采用数学工具和电子计算机来研究有关的理论问题和实际问题也才刚刚开始。我国煤化学和煤化工的水平比发达国家落后约二、三十年。我们研究和学习煤化学的任务，一方面是密切联系实现“四化”所需要的生产实际问题，例如扩大炼焦用煤资源、提高焦炭质量以及实现煤的气化、液化，以生产城市急需的清洁燃料和化工原料，进行煤的工艺性质和新的加工原理的研究；另一方面则要加强煤的基础理论，例如煤的岩相、煤的结构化学、粘结成焦机理、煤化学反应动力学、反应工程学以及催化等方面的探讨。

煤化学是一门实践性很强，并处于发展中的学科，它涉及了广泛的理论问题和实际问题，是一门综合性很强，多学科交错的应用科学。我们在认真学习前人科学总结的基础上，应该加强理论研究和应用研究，并且力求在可能的条件下将新的手段应用于研究中。

复 习 题

1. 我国古代煤、焦生产技术对人类文明有哪些重大贡献？
2. 我国能源的基本情况怎样？有什么有利条件、存在什么问题，如何解决这些问题？
3. 煤炭综合利用有什么重要意义？有哪一些主要的工艺方法？其发展方向如何？
4. 煤化学的基本任务是什么？学习煤化学的目的何在？它有什么特点？人们对煤的认识是如何加深的？

第一章 煤的外表特征、一般特性及生成

煤是由远古死亡植物残骸没入水中经过生物化学作用，然后被地层覆盖并经过地质化学作用形成的有机生物岩。人们在煤的勘探、开采、加工、使用过程中，通过观察、分析、研究，逐步了解煤的种类、基本特征及其不均一性和多样性。煤的成因对其开采、岩相、性质和使用有密切关系。

第一节 煤的种类及其外表特征和一般特性

各种各样的煤在外观特征、理化性质和工艺性质上都有很大的差别。根据成煤物质以及成煤条件不同，可以把煤划分为三大类：腐植煤，残植煤及腐泥煤。其中每一类根据煤化程度（即成煤植物在生物、地质化学作用下达到的化学成熟程度）和其他特征的不同，又可以进一步划分为若干种。

根据肉眼和显微镜观察，可以证明成煤的原始物料是植物。植物可分为低等植物和高等植物两大类。低等植物包括菌类和藻类，它们是由单细胞或多细胞构成的丝状体或叶状体植物，没有根、茎、叶等器官的分化，全部是柔软的组织，构造较简单，多数为水生植物。高等植物包括苔藓、蕨类及种子植物。高等植物由低等植物长期进化而来，其构造较复杂，有根、茎、叶的区别。苔藓、蕨类以孢子繁殖，种子植物有花和花粉，以种子繁殖。它们为陆生植物。

一、腐植煤类

由高等植物经过成煤过程中复杂的生化和地质变化作用生成腐植煤。腐植煤是因为植物的木质纤维组织在成煤过程中曾变成叫做腐植酸的中间产物而得名。它是自然界分布最广，蕴藏量最大的煤。近代的煤炭利用及化学加工主要是建立在腐植煤基础上的。因此，它是本门学科研究的主要对象。

腐植煤根据煤化程度的不同，可区分为泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤四大类。泥炭和褐煤的煤化程度低，一般简称为年轻煤（或低阶煤），无烟煤则可称为年老煤（或高阶煤）。各类煤的特征和性质不同，利用的途径也不同，其外表特征如表1-1所示。

1. 泥炭 在自然状态下存在的泥炭是棕褐色或黑褐色的不均匀物质，其中含有极大量水分，一般可达85~95%。开采出来的泥炭经自然风干可将水分降低到25~35%。干燥后的泥炭为棕色或黑褐色的土状碎块，其真比重为1.29~1.61，体积比风干前缩小约40%。

泥炭具有胶体特性，这表现在：（1）能将水吸入其微孔结构，而本身并不膨化；（2）含有腐植酸，呈酸性，并有很强的吸附能力。

在泥炭中有大量的植物残骸，有时用肉眼就可看出。因此泥炭中糖类含量很高，这是泥炭的主要特征。此外，泥炭中还含有生化作用下新生成的物质，即腐植酸。

泥炭埋藏浅，易开采，分布广。厌氧发酵后可作有机肥料；可水解制取酒精，淬取地蜡等；风干后并可用作锅炉和煤气发生炉的燃料；也可以进行低温干馏以制取人造液体燃料、多种化工原料和腐植酸肥料等。

表 1-1 四大类腐植煤的主要特征

特 征	煤 种			
	泥 炭	褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
颜 色	棕褐色为主	从褐色到黑褐色	黑 色	灰 黑 色
光 泽	无	大多数较暗	有一定光泽	有金属光泽
外部条带	有原始植物残骸	条带不明显	呈条带状	无明显条带
燃烧现象	有 烟	有 烟	多 烟	无 烟
水 分	很 大 量	大 量	不 多	不 多
比 重	最 低	较 高	更 高	最 高
硬 度	很 低	有一定硬度	较 高	最 高
化学组成	含有糖类、植物残骸、 腐植酸（从无到有）	不含糖类、植物残骸、 有腐植酸（从多到少）	无腐植酸，为腐植质	
NaOH 溶液染色		极 黑	不 染 色	
稀硝酸溶液染色		鲜黄色到红褐色	不 染 色	

2. 褐煤 褐煤因其外表为褐色（也有少数是黑色的）而得名。它与泥炭的区别是不含有未分解的植物组织（糖类）和不具有新开采出的泥炭所特有的无定形状态。它与烟煤不同之处是含有腐植酸，而在烟煤中腐植酸已完全转变成更复杂的中性腐植质了。但也有烟煤在自然蕴藏中或开采后，受到氧化后产生再生腐植酸，则应加以区别。

褐煤根据其外表特征，可划分为：土状褐煤、暗褐煤和亮褐煤三种。此外还有一种特殊形态的褐煤（木褐煤）。

（1）土状褐煤 土状褐煤的断面与一般粘土相似，它是泥炭变成褐煤的最初产物，因此也可称为年轻褐煤。因为它尚未变得致密，故易碎成粉末，易沾污手指。有时在其中尚能发现植物的某些族组分，如木质素，纤维素等等。

（2）暗褐煤 暗褐煤表面呈暗褐色，有一定的硬度，不易破碎，如将其打碎则碎成块状而不形成粉末。它是典型的褐煤，已不含有糖类，而所含的腐植酸在褐煤中是最多的。

上述两种褐煤属于年青褐煤（按地质化学成熟性分），用过热蒸汽使水分降低到10%后，可以高压成型。

（3）亮褐煤 从外表来看它与年轻的烟煤之间无明显的区别，因而有些国家称它为次烟煤。但亮褐煤中含有腐植酸，外观呈深褐色或黑色，有的较暗，有的带有丝绢状光泽，有的则如烟煤一样含有暗和亮的条带。这类煤是年老的褐煤，不用粘结剂则不能压制成型煤。

从年轻褐煤转变为年老褐煤时，发生下列变化：1）颜色变深变暗；2）比重不断增加；3）硬度不断增加；4）腐植酸含量由少到多，又从多到少地变化；5）水分显著地减少。发生上述变化的原因在于其组成和结构的改变。

（4）木褐煤（柴煤） 木褐煤有很明显的木质结构，用显微镜观察可清楚地看到完整的细胞组织。它除含有腐植酸，腐植质和沥青质之外，还含有木质素和纤维素等。由此

可知，木褐煤是由尚未充分受到腐败作用的泥炭所形成的一种特殊状态的褐煤。

褐煤含水较多，天然状态水分30~60%，空气干燥后仍有水分10~30%，因此易于风化破裂，不适于长途运输，宜于作为地方燃料和气化原料。

3. 烟煤 烟煤是自然界中最重要、分布最广、品种最多的煤种。烟煤全部是黑色的，真比重较高（1.2~1.45）。绝大多数烟煤都是呈条带状的，其中有亮、暗相互交替的条带。

烟煤的品种很多，根据煤化程度不同，我国将其分为：长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤等。一般可称长焰煤、气煤为年轻烟煤；瘦煤、贫煤为年老烟煤。

气煤、肥煤、焦煤和瘦煤具有粘结性，即粉状煤在隔绝空气干馏时能“软化”、“熔融”，成为塑性状态然后固化成焦炭。这些粘结性煤合称为炼焦煤，是现代焦化工业的主要原料。长焰煤，贫煤以及褐煤，无烟煤等煤没有粘结性，称为不粘性煤或非炼焦煤。但如未用炼焦新工艺或掺入粘结剂（如沥青等），也可得到不同种类的焦炭。烟煤直接燃烧会造成很大的污染和热能损失，因此炼焦煤应通过干馏实现综合利用。不粘结烟煤的块煤适于造气，粉煤则可用于K-T炉造气，沸腾炉燃烧和喷粉燃烧，以提高热量利用效率，减少污染。长焰煤、弱粘结性气煤适于低温干馏和加氢液化。目前，我国炼焦煤开采过量而动力煤开采和洗煤能力不足，以致绝大部分炼焦煤用作燃料付之一炬，应该尽快扭转并立法禁止。

4. 无烟煤 它是腐植煤中煤化程度最高的一种煤，其真比重为1.4~1.7，燃烧时火焰短，无烟。一般用作民用燃料，气化原料和高炉喷吹燃料等。

二、残植煤类

残植煤是由高等植物残骸中对生物化学作用最稳定的组分富集而成。在典型的残植煤中，稳定组含量一般在50~60%以上。残植煤在自然界的储量很少，常呈薄层或透镜体状夹在腐植煤中，有时也能构成具有工业价值的单独煤层。残植煤外观光泽较暗，韧性较大。按其稳定组中的主要成分可分为孢子残植煤、角质层残植煤、树皮残植煤及树脂残植煤等。例如我国江西乐平煤即为树皮残植煤。

残植煤一般氢含量高，挥发分多，低温焦油产率高。它适于作低温干馏及加氢液化的原料。

三、腐泥煤类

腐泥煤主要由湖沼或浅水海湾中藻类等低等植物形成。大多呈透镜状或薄层夹在腐植煤中，有时也能形成单独的可采煤层。其储量大大低于腐植煤类，故工业意义不大。

腐泥煤的特点是外观暗淡、无光泽，块状结构。风干后硬度、韧性极大，断口呈贝壳状，真比重一般小于1。颜色则因矿物质的含量和特性不同而异，有褐、绿、白、灰、黑几种，而以褐色居多。腐泥煤的燃点很低，可用火柴点燃，燃烧时产生一种燃烧橡皮时的特殊气味。

由于藻类等还原环境下分解的程度不同，腐泥煤可分为藻煤和胶泥煤。藻煤组成以密集的藻类为主，这一点在显微镜下可以清楚地看出；胶泥煤的特点是完全均一，其中已不含任何可以分辨的植物残骸。

腐泥煤有机物的低温焦油产率一般大于25%，氢含量为6~11.5%，因此，适于低温干馏。