

普通高等教育“十二五”规划教材

# 煤 化 学

主编 张香兰 张 军



煤炭工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 煤 化 学

主 编 张香兰 张 军  
副主编 曹俊雅 袁 振

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书以煤的形成、组成、结构、性质和用途为线索,先后系统地介绍了形成煤的原始植物和煤的形成过程,用化学分析方法和煤岩分析方法得到的煤的化学组成、岩相组成、煤的结构以及煤的物理性质、物理化学性质、化学性质和工艺性质,最后对煤的分类、特点、工业用煤对煤质的要求,以及煤化工工艺学的基本原理进行了简单的介绍。

本书可作为高等院校“化学工程与工艺”、“应用化学”、“矿物加工工程”、“环境工程”和“环境科学”等专业的教学用书,也可供从事煤田地质、煤炭开采、煤质化验、煤的焦化、煤的气化、煤的液化、煤基碳素材料和其他煤炭综合利用研究与生产工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

煤化学/张香兰,张军主编.——北京:煤炭工业出版社,  
2012

普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5020-4011-6

I. ①煤… II. ①张… ②张… III. ①煤-应用化学-高等  
学校-教材 IV. ①TQ530

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第032037号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居35号 100029)

网址:www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*  
开本 787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 14<sup>1</sup>/<sub>2</sub>  
字数 344千字 印数 1—3 000  
2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷  
社内编号 6834 定价 28.00元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

# 前 言

煤在我国的能源消费结构中约占 70%、在化工原料结构中占一半以上，且无论是比例还是数量，在较长的时期内以煤为主的能源结构和化工原料结构难以改变。随着石油、天然气资源的减少，煤炭在我国国民经济中的地位将会进一步得到提升。

煤是由远古死亡植物残骸没入水中经过生物化学作用，然后经地层覆盖并经过地质化学作用所形成的可燃有机生物岩。煤炭加工技术复杂；煤中无机矿物杂质含量高，利用过程中容易造成污染，“三废”治理困难；为满足社会经济发展对能源、化学品越来越多的需求，迄今研究、开发了多种现代煤化工技术。对于多种多样的煤，有其适宜的加工转化利用途径，对每一种具体的技术，对煤的适用范围也是有限制的。作为研究煤的成因、组成、结构、性质、分类和反应及其相互关系，并阐明煤作为燃料和原料利用中有关化学问题的专门科学，煤化学无疑是所有煤加工转化技术的基础。

遵循物质结构决定性质、性质决定用途的科学规律，教材在内容安排上按照“煤的形成、组成、结构、性质、分类、用途”这一内在逻辑顺序组织材料；考虑到煤利用对生态环境的巨大影响，在煤化学组成部分增加了煤中微量元素及其测定方法的内容；煤结构部分增加了近代仪器分析方法在分析煤结构方面的内容，以反映在煤结构领域科学技术发展的水平。此外，考虑到煤在加热过程中发生的热分解反应是煤气化、炼焦，甚至燃烧等过程中涉及的共同化学性质，教材在“煤的化学性质”一章中增加了煤的热解的内容。

原始成煤植物的多样性和成煤过程的复杂性，导致了煤结构的复杂性。煤的组成、性质等多是基于规范性的测试方法得出的；而在煤的分类、应用等诸方面随着对煤认识的不断深入和研究方法多样、丰富，也越来越完善。这两方面都表现在相关内容国家标准的不断修订和完善上，因此本书在涉及的相关内容上都采用了最新国家标准。

本书由曹俊雅编写第一、二、三章，张香兰编写第四、九章，张军编写第五章至第八章，袁振编写第十章。全书由张香兰负责最终统稿和审定。

本书的编写得到中国矿业大学（北京）化学与环境工程学院领导和老师的大力支持，解强老师对本书提出了宝贵的意见，在本书付梓之际，谨向他

们表示真诚的谢意。并向被引用资料的编著者表示感谢！

由于编者水平所限，书中难免有疏漏和欠妥之处，恳请读者批评指正。

**编 者**

2012 年 3 月

# 目 次

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 绪论                 | 1   |
| 第一节 煤炭在中国能源生产和消费结构中的地位 | 1   |
| 第二节 我国的煤炭资源状况          | 3   |
| 第三节 煤化学学科的发展及其研究内容     | 4   |
| 第二章 煤的形成及外表特征          | 7   |
| 第一节 煤的形成               | 7   |
| 第二节 煤的种类               | 20  |
| 第三节 煤的外表特征             | 21  |
| 第三章 煤的化学组成             | 25  |
| 第一节 煤的工业分析             | 25  |
| 第二节 煤的元素分析             | 33  |
| 第三节 煤分析指标的表示方法和基准换算    | 45  |
| 第四章 煤岩微观和宏观特征及其应用      | 50  |
| 第一节 煤岩显微特征             | 50  |
| 第二节 煤的宏观特征             | 65  |
| 第三节 煤岩学在煤炭加工利用中的应用     | 70  |
| 第五章 煤的结构及其研究方法         | 77  |
| 第一节 煤结构的研究方法           | 77  |
| 第二节 煤的大分子结构            | 87  |
| 第三节 煤的结构模型             | 91  |
| 第六章 煤的物理性质和物理化学性质      | 99  |
| 第一节 煤的密度               | 99  |
| 第二节 煤的机械性质             | 100 |
| 第三节 煤的热性质              | 104 |
| 第四节 煤的电性质和磁性质          | 106 |
| 第五节 煤的光学性质             | 108 |
| 第六节 煤的润湿性              | 112 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第七节 煤的比表面积和孔隙率·····       | 114 |
| 第七章 煤的化学性质·····           | 118 |
| 第一节 煤的氧化·····             | 118 |
| 第二节 煤的热解·····             | 124 |
| 第三节 煤的加氢·····             | 130 |
| 第四节 煤的氯化·····             | 134 |
| 第五节 煤的磺化·····             | 135 |
| 第八章 煤的工艺性质·····           | 138 |
| 第一节 气化和燃烧用煤的工艺性质·····     | 138 |
| 第二节 炼焦用煤的工艺性质·····        | 148 |
| 第三节 煤的其他工艺性质·····         | 163 |
| 第九章 煤的分类、特点和工业用煤煤质要求····· | 168 |
| 第一节 煤的分类指标·····           | 168 |
| 第二节 煤的国际分类·····           | 169 |
| 第三节 中国煤的分类·····           | 174 |
| 第四节 各类煤的特点和工业用煤的质量要求····· | 183 |
| 第十章 煤化工工艺学基础·····         | 193 |
| 第一节 煤的燃烧·····             | 193 |
| 第二节 煤的焦化·····             | 200 |
| 第三节 煤的气化·····             | 206 |
| 第四节 煤的液化·····             | 216 |
| 参考文献·····                 | 225 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 煤炭在中国能源生产和消费结构中的地位

### 一、我国的能源生产结构

能源产业是国民经济的基础产业,对经济持续稳定发展和人民生活质量的提高具有十分重要的保障作用。我国国土资源丰富,蕴藏的能源品种齐全,储量也比较丰富,是世界第二大能源生产国,也是世界第二大能源消费国。我国煤炭产量自 1989 年超过 1 Gt 后,一直稳居世界第一。根据《BP 世界能源统计 2011》报告数据显示:2010 年我国的煤炭产量为 3.24 Gt,中国煤炭工业协会发布的最新报告数据显示:2011 年我国的煤炭产量为 3.52 Gt。

表 1-1 是 1997—2010 年我国能源生产总量及构成,可见煤炭是我国的主要能源,占能源生产总量中的比重一直在 73% 以上,2003 年以来其比重超过了 76%;原油的比重逐年下滑,2010 年为 9.8%;天然气的比重稳中有增,2010 年为 4.3%;可再生能源(水电、风电)和核电比重也呈现稳中有增趋势,2010 年为 9.4%。

表 1-1 1997—2010 年我国能源生产总量及构成

| 年 份  | 能源生产总量/<br>万吨标准煤 | 占能源生产总量的比重/% |      |     |          |
|------|------------------|--------------|------|-----|----------|
|      |                  | 原煤           | 原油   | 天然气 | 水电、核电、风电 |
| 1997 | 133460           | 74.1         | 17.3 | 2.1 | 6.5      |
| 1998 | 129834           | 73.3         | 17.7 | 2.2 | 6.8      |
| 1999 | 131935           | 73.9         | 17.3 | 2.5 | 6.3      |
| 2000 | 135048           | 73.2         | 17.2 | 2.7 | 6.9      |
| 2001 | 143875           | 73           | 16.3 | 2.8 | 7.9      |
| 2002 | 150656           | 73.5         | 15.8 | 2.9 | 7.8      |
| 2003 | 171906           | 76.2         | 14.1 | 2.7 | 7        |
| 2004 | 196648           | 77.1         | 12.8 | 2.8 | 7.3      |
| 2005 | 216219           | 77.6         | 12   | 3   | 7.4      |
| 2006 | 232167           | 77.8         | 11.3 | 3.4 | 7.5      |
| 2007 | 247279           | 77.7         | 10.8 | 3.7 | 7.8      |
| 2008 | 260552           | 76.8         | 10.5 | 4.1 | 8.6      |
| 2009 | 274619           | 77.3         | 9.9  | 4.1 | 8.7      |
| 2010 | 296916           | 76.5         | 9.8  | 4.3 | 9.4      |



## 二、我国的能源消费结构

我国幅员辽阔，人口众多，能源消耗总量大。作为世界上最大的发展中国家，伴随着我国经济总量的迅速增长，能源消费也呈现了较大幅度的增长（表1-2）。煤炭在能源消费结构中所占的比例近年来一直在70%左右，意味着其统治地位未发生变化，而且这种格局短期内不会发生根本改变；据有关专家预测，到2050年，煤炭在我国能源中的比例仍占50%以上。为节约和保护资源，实现国民经济和社会可持续发展，煤炭的战略地位会变得至关重要。

表1-2 1997—2010年我国能源消费总量及构成

| 年 份  | 能源消费总量/<br>万吨标准煤 | 占能源生产总量的比重/% |      |     |          |
|------|------------------|--------------|------|-----|----------|
|      |                  | 原煤           | 原油   | 天然气 | 水电、核电、风电 |
| 1997 | 135909           | 71.4         | 20.4 | 1.8 | 6.4      |
| 1998 | 136184           | 70.9         | 20.8 | 1.8 | 6.5      |
| 1999 | 140569           | 70.6         | 21.5 | 2.0 | 5.9      |
| 2000 | 145531           | 69.2         | 22.2 | 2.2 | 6.4      |
| 2001 | 150406           | 68.3         | 21.8 | 2.4 | 7.5      |
| 2002 | 159431           | 68.0         | 22.3 | 2.4 | 7.3      |
| 2003 | 183792           | 69.8         | 21.2 | 2.5 | 6.5      |
| 2004 | 213456           | 69.5         | 21.3 | 2.5 | 6.7      |
| 2005 | 235997           | 70.8         | 19.8 | 2.6 | 6.8      |
| 2006 | 258676           | 71.1         | 19.3 | 2.9 | 6.7      |
| 2007 | 280508           | 71.1         | 18.8 | 3.3 | 6.8      |
| 2008 | 291448           | 70.3         | 18.3 | 3.7 | 7.7      |
| 2009 | 306647           | 70.4         | 17.9 | 3.9 | 7.8      |
| 2010 | 324939           | 68.0         | 19.0 | 4.4 | 8.6      |

## 三、我国煤炭消费的行业结构

煤除了可作固体燃料和冶金工业的重要原料外，通过不同的加工方法，还能把它转化为气体燃料和液体燃料，转化为生产化肥、塑料、合成橡胶、合成纤维、炸药、染料和医药等多种重要的化工原料。

电力、钢铁、水泥和化工四大行业消耗原煤占到我国每年原煤消耗的80%~90%。以2009年为例，电力行业占煤炭消费总量的58%，钢铁行业占14%，水泥行业占13%，化工行业占5%。其中水泥、化工等行业自身都有冬储需求，而电力行业用煤也需提前冬储，因此煤炭的需求有季节性，冬季（每年四季度和来年一季度）是煤炭需求的高峰。

## 第二节 我国的煤炭资源状况

### 一、我国煤炭资源的储量

我国煤炭资源丰富，储量约占全国矿产资源储量的 90%，化石能源储量的 95%，具有巨大的资源潜力。根据《BP 世界能源统计 2011》报告数据显示：截至 2010 年底，我国无烟煤和烟煤的探明储量（指通过地质勘探所获得的储量）为 62.2 Gt，亚烟煤（sub-bituminous coal，按美国煤的分类标准。水分为 15% ~ 30%，含碳量约 40%，热值为 18.6 ~ 23.26 kJ/g 之间，易自燃，挥发性高，具结块性，且硫分及灰分少）和褐煤的探明储量为 52.3 Gt，储产比为 35。按照国有煤矿矿井资源回采率为 50%、年产 2.5 Gt 原煤来推算，还可供应 80 年。因而，单纯从资源量的角度来看，中国煤炭资源是有中长期保证能力的。

### 二、我国煤炭资源的分布

#### 1. 我国煤炭资源的地域分布

我国煤炭资源虽然丰富，但在地区分布和煤种分布两个方面却存在明显的不平衡。根据第三次全国煤田预测资料，在南北方向，我国煤炭资源主要分布于昆仑山—秦岭—大别山—一线以北地区，这部分地区的煤炭资源量（指可开发利用或具有潜在价值的煤炭埋藏量）占全国煤炭资源总量的 93.08%；其余各省煤炭资源量仅占全国煤炭资源总量的 6.92%。显然，我国煤炭资源在地域分布上存在北富南贫的特点。在东西方向，我国煤炭资源主要分布于大兴安岭—太行山—雪峰山以西地区。这一线以西的内蒙古、山西、四川、贵州等 11 个省区，煤炭资源量占全国煤炭资源总量的 91.83%；而这一线以东地区，煤炭资源量仅占全国煤炭资源总量的 8.17%。显然，我国煤炭资源在地域分布上又存在西多东少的特点。

我国煤炭资源地域分布上的“西多东少、北富南贫”的特点，决定了我国的西煤东运、北煤南运的基本生产格局。

#### 2. 我国煤炭资源的省区分布

我国煤炭资源丰富，分布广泛，含煤面积约 60 多万平方公里，约占国土面积的 6%。除上海以外其他各省区均有分布，但分布极不均衡。我国煤炭资源量大于 100 Gt 的省区有新疆、内蒙古、山西、陕西、河南、宁夏、甘肃、贵州 8 个省区，煤炭资源量占全国煤炭资源总量的 91.12%。我国煤炭资源量在 50 Gt 以上的有 12 个省区，分别是上述提到的 8 个省区加安徽、云南、河北、山东 4 个省，其煤炭资源量之和占全国煤炭资源总量的 96.55%。除台湾省外，煤炭资源量小于 50 Gt 的 17 个省区煤炭资源量之和仅占全国煤炭资源总量的 3.45%。

#### 3. 我国煤炭资源的煤种分布

我国褐煤资源量为 319.438 Gt，占我国煤炭资源总量的 5.74%，主要分布于内蒙古、黑龙江和云南东部。

低变质烟煤（长焰煤、不黏煤、弱黏煤）资源量为 2853.585 Gt，占全国煤炭资源总

量的 51.23%，主要分布于我国新疆、陕西、内蒙古、宁夏、甘肃、辽宁、河北、黑龙江、河南等省区。

中变质烟煤（气煤、肥煤、焦煤和瘦煤）资源量为 1599.322 Gt，占全国煤炭资源总量的 28.71%，主要分布于华北地区。

高变质煤资源量为 796.773 Gt，占我国煤炭资源总量的 14.31%，占全国探明保有资源量的 17.26%，主要分布于山西、贵州和四川南部。

### 三、我国煤炭资源的特点

我国煤炭资源的种类齐全，包括了从褐煤到无烟煤各种不同煤化阶段的煤，但是其数量和分布极不均衡。褐煤和低变质烟煤（长焰煤、不黏煤、弱黏煤）资源量占全国煤炭资源总量的 50% 以上，动力燃料煤资源丰富。中变质烟煤（气煤、肥煤、焦煤和瘦煤），即传统意义的炼焦用煤数量较少，特别是焦煤资源更显不足。就煤质而言，我国低变质烟煤煤质优良，是优良的燃料、动力用煤，有的煤还是生产水煤浆和水煤气的优质原料；中变质烟煤主要用于炼焦，在我国，因灰分、硫分、可选性的原因，炼焦用煤资源不多，优质炼焦用煤更显缺乏；高变质煤的主要不足是硫分高。

### 四、煤炭的综合利用及其存在的问题

煤炭综合利用是指对煤炭深加工得到多种产品以提高煤炭利用价值，或对低热值煤、矸石、煤层或围岩中伴生或共生的矿物或元素，煤层气以及粉煤灰等进行的回收、提取和加工利用。我国燃烧用煤占煤炭消费总量的比例在 68% 以上，这部分煤的附加值较小。煤的气化、液化和干馏是煤综合利用的主要方法，利用这些加工手段可以从煤中获得多种有机化合物。近十年来，随着国际石油价格的攀升，我国的能源特点使煤化工得到快速发展，煤制甲醇、煤制烯烃和煤直接和间接液化技术、IGCC 等各类煤基多联产技术的研究和工业项目得到前所未有的重视和发展。

虽然我国大力发展洁净煤技术，煤综合利用得到快速发展，但我国目前的煤炭利用方式比较落后，造成了酸雨、粉尘、CO<sub>2</sub> 排放和灰渣堆积，其造成的污染贯穿于开采、运输、储存、利用和转化等全过程。

煤化学是提高煤炭的综合利用程度，解决煤炭加工利用过程中存在的理论问题的理论基础。

## 第三节 煤化学学科的发展及其研究内容

### 一、煤化学学科的发展

煤化学是一门涉及面广并与多个学科领域密切联系的综合性学科。煤化学学科大体经历了开创、鼎盛、衰落和复兴 3 个阶段。

#### 1. 开创阶段（1831~1913 年）

煤化学起源于 18 世纪末的工业革命时期。工业革命对于煤炭的需求，客观上需要了解煤炭的来源、性质等基本问题。19 世纪 30 年代，煤化学初步发展，首先解决了煤的起源问题，人们逐渐接受煤是由植物转变而来的概念。进入 19 世纪 40 年代，人们把煤列为

科学研究的热门对象之一。英国和德国差不多同时开展了用显微镜对煤进行系统研究,并开始研究煤的热解、溶剂分离和氧化。由于焦炭生产的需要,人们已注意到煤的可塑性。1873年,法国对煤开展了较系统的化学研究,Regnault根据大量元素分析结果提出了第一个煤炭分类系统等。至此,人们开创了新的煤化学学科。

## 2. 鼎盛阶段(1913~1963年)

在这个时期,煤在热源和能源中处于垄断地位,煤炭广泛用于机车、航行、炼焦、气化和发电等领域。煤的研究工作蓬勃开展,美、德、英、法、前苏联、波兰等国相继建立了高水平的煤炭研究机构,并在大学中设置了相应的学科。在19世纪30年代到20世纪初,以元素化学为研究手段,对煤的性质进行了系统的研究。此后,科学家将研究岩石的技术又应用于煤的研究,诞生了“煤岩学”。此期间在煤岩学方面,发展了透射光下观察的薄片技术、反射光下观察的光片技术以及薄片技术;完善了煤岩定量方法和镜质组反射率测定的显微镜光度计法,使煤岩学的研究与实际应用都达到了较高的水平。煤岩学的发展,促进了对煤的生成、组成、性质以及煤炭应用的深入研究。现在,煤岩学已经成为煤化学不可或缺的重要组成部分。

1913年德国Kaiser Wilhelm煤炭研究所成立,随后在这里发明了煤间接液化的Fischer-Tropsch合成法,它是两种主要的煤炭液化方法之一。同时,贝吉乌斯开始了第二种煤炭液化技术的研究,通过煤在高温高压下直接加氢液化,得到了类似石油的油品。1914年建成每天处理1 t煤的中试厂,到1945年已建成18座煤液化工厂,年生产能力达到4.1 Mt。由于这一贡献,1931年贝吉乌斯获得了煤化学科技史上第一个诺贝尔奖。这两种煤转化技术至今仍具有重大的意义,他们开创了从固体煤转化为液体燃料和宝贵化学产品的有效途径。

在这一时期,英国、美国、日本等国的煤炭研究机构和大学广泛开展了对煤的研究。创立了很多测定煤塑性的方法,加深了对煤成焦机理的研究,并应用物理—化学方法研究煤的性质及其物理与化学结构,在煤的基础研究方面取得了重要进展;人们对煤的基本性质及其随煤化度的变化规律取得了大量的经验和研究数据,对煤的物理和化学结构有了比较全面的了解,并出版了大量重要著作,对这一时期的研究成果进行了科学的总结。

## 3. 衰落和复兴阶段(1963年以后)

20世纪60年代中期,由于廉价石油和天然气的大量开发应用,煤炭工业逐渐衰落,煤的研究几乎停滞不前。但随着近年来石油价格的不断走高,煤炭行业重新得到重视和发展。随着科技的发展,应用先进的仪器设备和计算机技术对煤炭的研究提供了煤结构和性质方面更详细与准确的信息,使人们对煤炭的认识更为深化,基本化学手段和显微镜技术的联合应用,在煤炭研究和指导煤炭应用方面发挥着重要的作用。

由于煤组成的不确定性和结构的复杂性,目前煤化学的研究水平还不够高,对煤的组成、结构、分类和某些转化过程机理等理论问题尚无定论,煤化学还处在发展中的积累资料阶段。煤化学学科中存在的许多尚待研究与解决的问题,对煤化学研究者既是一种压力,同时也是挑战与机遇。

## 二、煤化学的研究内容

煤化学是研究煤的生成、组成(包括化学组成和岩相组成)、结构(包括分子结构和

孔隙结构)、性质、分类以及它们之间相互关系的科学,它既阐明煤作为燃料和原料利用中的一些化学问题,是煤炭综合、洁净利用的理论基础,同时也是一门实践性很强的学科。广义煤化学的研究内容还包括煤炭转化工艺及其过程机理等问题。

煤化学以化学为基础,利用地球化学、古植物学、地理学、沼泽学、微生物学、地质学等方面的基本知识研究煤的生成过程;利用煤岩学、岩石学、晶体结构、晶体光学等学科的知识手段来研究煤的岩相、化学特征和组成。煤从组成上来说是由上千种有机物和几十种无机物组成的复杂混合物。有机物是煤炭利用和研究的主体,无机物对于煤的利用基本上是不利的甚至是有害的。

迄今为止,煤中的有机物种类及其分子结构还不十分清楚,特别是煤的分子结构问题是目前困扰科学家的最大难题。人们为了深入揭示煤的组成和结构,采用了大量先进的科学研究仪器,如用色谱仪、红外光谱仪、紫外光谱仪、X射线衍射仪、核磁共振仪等进行煤及其衍生物的研究,大大深化了煤分子结构的研究,为实用技术的推广奠定了基础,开展了用分子模拟、计算机模拟、量子化学计算等新方法研究煤大分子结构演化、结构与反应性、非共价键相互作用、煤的缔合结构、煤嵌布结构模型、煤中小分子的微孔嵌入特征与溶出特性、煤结构演化煤化度指标等问题。

煤的物理、化学、工艺性质是确定煤炭加工利用途径的重要依据,了解煤的性质,对煤的开采、破碎、洗选、动力配煤、水煤浆、煤炭气化、液化、焦化以及型煤制造和新产品的开发等工艺和技术进步具有实际意义。

煤炭分类是合理、洁净利用煤炭、优化资源配置的一项系统工程,是煤炭勘探、开采规划、分配和合理利用的共同依据。

煤的组成和性质是煤炭利用的决定因素,煤的性质又是由其结构决定的。因此,只有熟练掌握煤化学研究的主要内容,才能进一步了解煤的特性,认识煤加工过程中的变化规律,从而指导生产,合理、洁净利用煤炭资源。



## 复习思考题

1. 我国的能源构成有何特点?发展趋势是什么?
2. 煤化学的研究内容是什么?
3. 煤炭综合利用过程中存在的问题是什么?
4. 我国煤炭资源的分布特点是什么?

## 第二章 煤的形成及外表特征

煤是由远古植物残骸没入水中经过生物化学作用，被地层覆盖并经过物理化学与化学作用形成的沉积有机矿产，是多种高分子化合物和矿物质组成的混合物。由植物转化为煤要经历复杂而漫长的过程，逐步由低级向高级转化，依次是：植物、泥炭（腐泥）、褐煤、烟煤（长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤）、无烟煤。

煤的形成过程大致可以分为两个阶段：第一阶段是植物在泥炭沼泽、湖泊或浅海中不断繁殖，其遗体在微生物的参与下不断分解、化合、聚积的阶段。这一阶段起主导作用的是生物地球化学作用。低等植物经过生物地球化学作用形成腐泥，高等植物形成泥炭，因此第一阶段可称为腐泥化阶段或泥炭化阶段。当已形成的泥炭或腐泥由于地壳的下沉等原因而被上覆沉积物所掩埋时，就转为第二阶段——煤化作用阶段，即泥炭、腐泥在以温度和压力为主的作用下转变为煤的过程。这一阶段又包括成岩阶段和变质阶段，在这一阶段中起主导作用的是物理化学作用。在温度和压力的影响下，泥炭进一步转变为褐煤（成岩作用），再由褐煤变为烟煤和无烟煤（变质作用）。煤生成过程中的成煤植物来源与成煤条件的差异造成了煤种类的多样性与煤基本性质的复杂性，并直接影响煤的开采、洗选和综合利用。

### 第一节 煤 的 形 成

煤的形成是一个极其漫长和复杂的历史过程。从植物死亡、堆积到转变为煤经过了一系列复杂的演变过程，这个过程称为成煤作用。成煤植物的种类，植物遗体的堆积环境和堆积方式，泥炭化阶段经受的生物化学作用等影响泥炭形成、保存的诸因素，称为煤的成因因素，它决定了煤在显微结构上具有形态各异的显微成分。煤的变质因素，即泥炭成岩后煤变质作用的类型、温度、压力、时间及其相互作用决定了煤的化学成熟程度，即煤化程度，又称煤化度。煤的显微成分组成和煤化度是表征煤的性质，尤其是炼焦用煤工艺性质的二维坐标。因此，了解煤的形成过程的基本知识，可以帮助我们从本质上更深刻地认识煤，对煤的勘探、开发、煤质评价和加工利用都有直接关系。

#### 一、成煤的原始物质

##### 1. 煤是由植物生成的

虽然煤的开采、利用可以追溯到远古时期，但在 19 世纪以前，人们对于成煤的原始物质并没有正确的认识。起初人们对煤是如何形成的认识并不一致，曾提出过多种假说，归纳起来主要有 3 种：一是认为煤是和地球一起形成的，有地球就有煤；二是认为煤是由岩石变化而来的；三是认为煤是由植物残骸形成的。

随着煤炭的大规模开采，人们在生产实际中常常发现保存完好的古植物化石和由树干变成的煤，在煤层底板岩层中发现了大量的根化石、痕木化石等植物化石，证明它曾经是

植物生长的土壤。随着煤岩学的发展，人们利用显微镜在煤制成的薄片中观察到许多原始植物的细胞结构和其他残骸，如孢子、花粉、树脂、角质层、木栓体等，有时甚至还能观察到植物生长的年轮，最终证实了煤是由植物变成的。

由于植物是成煤的主要原始物质，植物演化的时间进程可用地质年代（指地层形成的年代，又可指煤层形成的年代）来描述，因此植物界的发展、演化以及各类植物的兴盛、衰亡必然影响着地史时期成煤特征的演化。在生物史上，植物经历了由低级向高级逐步发展，并且多次飞跃演化的漫长过程。从低等的菌藻到高级的被子植物，其发展过程显示出 5 个阶段，由老到新分别是：菌藻植物时代、裸蕨植物时代、蕨类及种子植物时代、裸子植物时代和被子植物时代，这几个阶段对煤的形成和聚积有直接关系。

## 2. 各地质年代的成煤植物

地球从形成至今已经历了漫长的 45 亿年，而且地球始终进行着运动、发展和变化，地壳上留下了许多反映地球运动、发展、变化的依据。地质学家综合了地层层序、生物演化、地壳运动等因素，把地质历史划分为许多阶段，每个大阶段又可分为若干次级阶段，这样就产生了地质年代单位。

常用的地质年代单位主要有代、纪、世。其中代是根据生物演化的主要阶段划分的。如古生代的植物主要为孢子植物，中生代的植物主要为裸子植物。纪的划分主要依据地壳节奏运动造成的沉积旋回、古地理特征及生物群的变化，见表 2-1。

最早出现的植物是低等植物，低等植物是由单细胞或多细胞构成的丝状和叶片状植物体，没有根、茎、叶等器官的分化，如藻类。低等植物大多生活在水中，细菌的生存环境十分广泛，它们是地球上最早出现的生物，藻类从太古代、元古代开始一直发展到现在，其种类达两万种以上。高等植物有根、茎、叶等器官的分化，包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物，地史上这些类别的植物除苔藓外，常能形成高大的乔木，具有粗壮的根和茎，成为重要的成煤物质。

由图 2-1 可见，植物的演化对煤的形成有十分重要的影响，只有当植物分布广泛、繁茂生长时才可能有成煤作用发生，而新门类植物群的出现又是形成新成煤期的前提。

## 二、成煤植物的有机组成及其在成煤过程中的变化

植物主要由有机物质构成，但也含有一定量的无机物质。高等植物和低等植物的基本组成单元是细胞，植物细胞是由细胞壁和细胞质构成的。细胞壁的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素，细胞质的主要成分是蛋白质和脂肪。低等植物主要由蛋白质和碳水化合物组成，脂肪含量比较高；高等植物的组成则以纤维素、半纤维素和木质素为主，植物的角质层、木栓层、孢子和花粉则含有大量的脂类化合物。无论高等植物还是低等植物，也不论高等植物中的哪一种有机成分都可参与泥炭化作用进而形成煤。而植物的有机组成的差别，直接影响到它的分解和转化过程，最终影响到煤的组成、性质和利用途径。从化学的观点看，植物的有机族组成可以分为 4 类：糖类及其衍生物（碳水化合物）、木质素、蛋白质和脂类化合物。

### 1. 糖类及其衍生物

糖类及其衍生物包括纤维素、半纤维素和果胶质等成分。

纤维素是一种高分子的碳水化合物，它是构成植物细胞壁的主要成分。属于多糖，其

表 2-1 地层系统、地质年代、成煤植物与主要煤种

| 代   | 纪        |      | 世                    | 距今年龄/<br>亿年 | 生物开始繁殖时期                             |       | 煤 种               |
|-----|----------|------|----------------------|-------------|--------------------------------------|-------|-------------------|
|     |          |      |                      |             | 植 物                                  | 动 物   |                   |
| 新生代 | 第四纪      |      | 全新世<br>更新世           | 0.03        | 被子植物大量繁殖<br>为成煤提供原始物质                | 古人类出现 | 泥炭                |
|     | 第三纪      | 新第三纪 | 上新世<br>中新世           | 0.25        | 被子植物                                 | 哺乳动物  | 泥炭<br>褐煤<br>低变质烟煤 |
|     |          | 老第三纪 | 渐新世<br>始新世<br>古新世    | 0.80        |                                      |       |                   |
| 中生代 | 白垩纪      |      | 晚白垩世<br>早白垩世         | 1.40        | 被子植物<br>裸子植物极盛, 为<br>成煤提供原始物质        | 爬行动物  | 褐煤<br>烟煤          |
|     | 侏罗纪      |      | 晚侏罗世<br>中侏罗世<br>早侏罗世 | 1.95        |                                      |       |                   |
|     | 三叠纪      |      | 晚三叠世<br>中三叠世<br>早三叠世 | 2.30        |                                      |       |                   |
| 古生代 | 晚古<br>生代 | 二叠纪  | 晚二叠世<br>早二叠世         | 2.70        | 裸子植物<br>孢子植物极盛, 为<br>成煤提供原始物质        | 两栖动物  | 烟煤                |
|     |          | 石炭纪  | 晚石炭世<br>中石炭世<br>早石炭世 | 3.20        |                                      | 鱼类    | 无烟煤               |
|     |          | 泥盆纪  | 晚泥盆世<br>中泥盆世<br>早泥盆世 | 3.75        |                                      |       |                   |
|     | 早古<br>生代 | 志留纪  | 晚志留世<br>中志留世<br>早志留世 | 4.40        | 裸蕨植物<br>海藻大量繁殖, 为<br>石煤的形成提供原始<br>物质 | 无脊椎动物 | 石煤                |
|     |          | 奥陶纪  | 晚奥陶世<br>中奥陶世<br>早奥陶世 | 5.00        |                                      |       |                   |
|     |          | 寒武纪  | 晚寒武世<br>中寒武世<br>早寒武世 | 6.20        |                                      |       |                   |
| 元古代 | 震旦纪      |      | 晚震旦世<br>中震旦世<br>早震旦世 | 约 16        | 菌藻类                                  |       | —                 |
|     | 早元古代     |      |                      | 20          |                                      |       |                   |
| 太古代 |          |      |                      | 45          |                                      |       |                   |



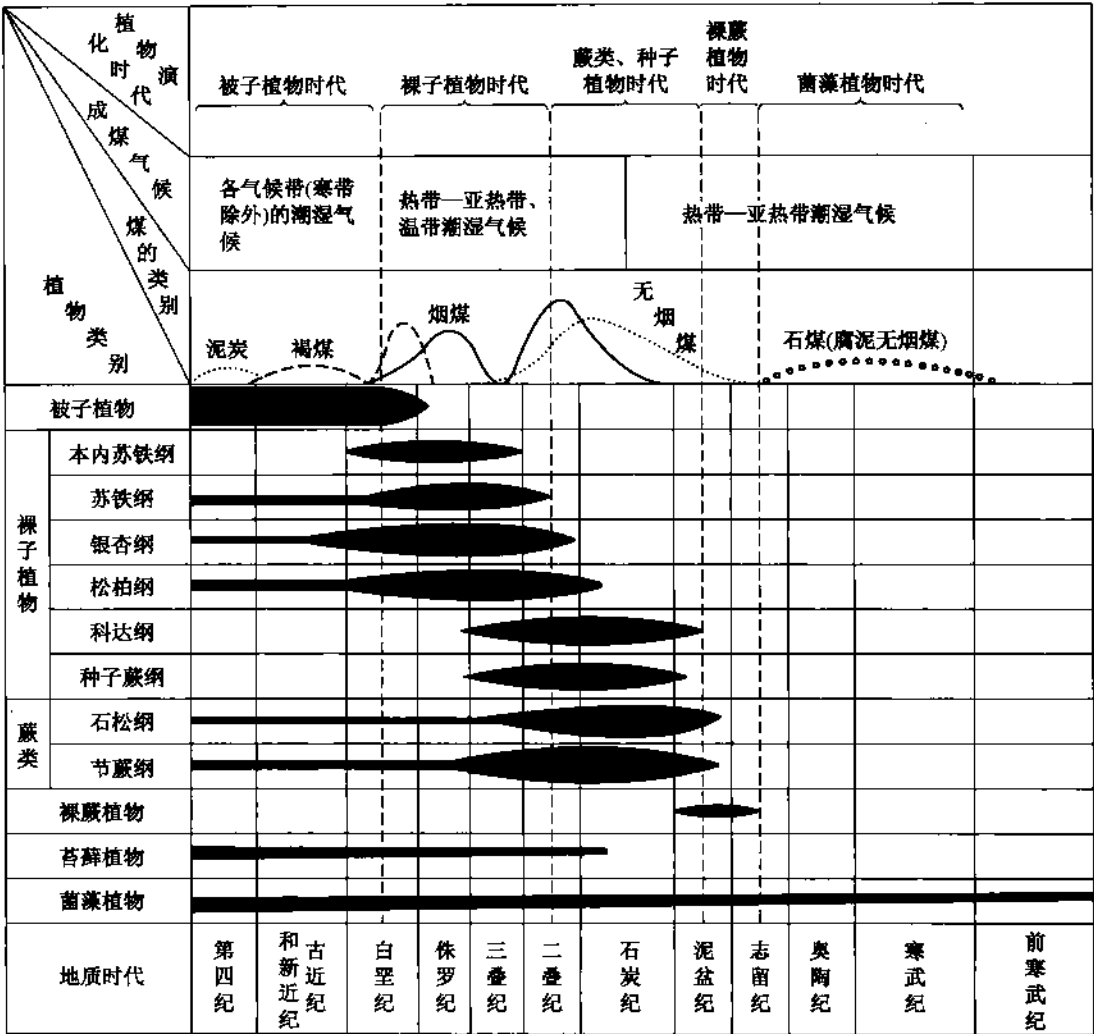


图 2-1 地史上主要植物群分布图

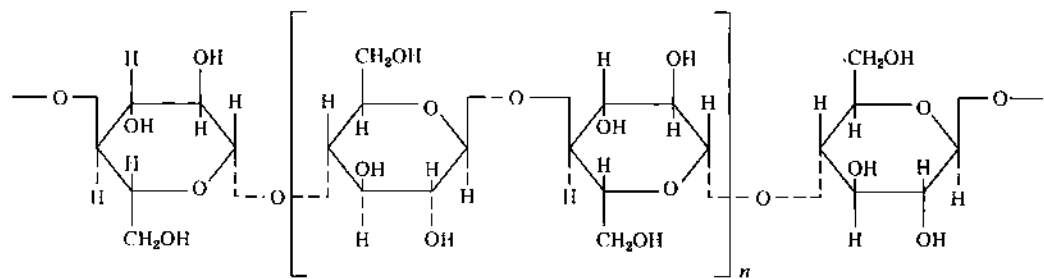


图 2-2 纤维素的分子结构式

链式结构可用通式  $(C_6H_{10}O_5)_n$  表示，分子结构如图 2-2 所示。

纤维素在生长着的植物体内对微生物的作用很稳定，但植物死亡后，需氧细菌通过纤