

# 第 1 章

## 绪 论

现代科学技术和人类社会的关系，已经远远超过人们生活和生产的范围，国家和地方的某些法律和法令以及某些政策和法规的制定，都具有明显的科技背景。21 世纪的今天，知识经济已初见端倪，自然科学迅猛发展，科学技术突飞猛进。化学与生物、材料、能源等多学科交叉、渗透、融合，促使化学研究领域大为扩展，化学研究手段迅速更新，大量化学新成就不断取得。化学已经成为高科技发展的强大支柱，处于当今世界决定科技发展的三大科学（材料学、生物化学与分子生物学、环境学）的中心。针对文史、政法、财经等专业学生的科学素养教育，编写切合他们需要的实用教材已是当务之急。

本书取名“化学与人类”，意在使学生透过作为科学之窗口的化学了解自然科学在人类社会进步和科技发展中的作用和地位；了解化学科学在发展过程中与其他学科相互交叉渗透的特点；了解化学具有实验和理论并重的传统等等。学生可以通过化学事例认识自然科学与社会科学的相互联系，扩大学生的视野，提高学生化学素养和综合素质。为此，本书以当今社会最为关注的环境、能源、材料和生命等问题为经线，以化学基本概念为纬线进行选材和编写，突出社会广泛关注的问题，有利于提高学生的社会责任感，有利于加深学生对科学技术是第一生产力的理解。

《化学与人类》的课程，以化学知识为主线，以人类社会广泛关注的有关问题为视点，阐述了化学与社会发展的关系。内容包括化学的既往和未来、能源及其开发和利用、环境污染及环境保护、化学与生命现象、营养与健康、材料科学，以及化学学科发展中的哲学思想等。通过本书的学习，非化学专业的学生可透过化学学科这个窗口，对自然科学的特点及其重要作用有一概括了解，从而达到开阔视野、提高科学素养的目的。

## 1.1 化学的研究内容

只要仔细观察一下周围的世界，就会发现万物都在变化之中。变化是世界上无所不在的现象。按物质变化的特点，大致可以分为两种类型。其中一类变化不产生新物质，只是改变了物质的状态。例如水的结冰，液态的水变成了固态的冰；再如碘的升华，固态的碘变为碘蒸气，这类变化称为物理变化。另一类变化表现为一些物质转化为性质不同的另一些物质。例如煤的燃烧，碳转变为二氧化碳气体；再如金属锈蚀和某些食物腐败等，这类变化称为化学变化。在化学变化过程中，物质的组成和结合方式都发生了改变，生成了新的物质，表现出与原物质完全不同的物理性质和化学性质。化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。简而言之，化学是以研究物质的化学变化为主的一门科学。

如果以 1803 年道尔顿提出原子假说作为近代化学的起点，到现在不过 200 多年的时间，化学已经发展成为一门重要的自然科学，有了自己的科学体系、特有的语言和研究方法。1896 年，门捷列夫提出第一个元素周期表雏形时，已知的元素只有 63 种，到 1974 年人工合成的 106 号元素止，元素周期表中的所有“座位”已经“满员”了。更为重要的是，化学家和物理学家们不仅逐一发现存在于自然界中的“未知元素”，而且在实验室中人工合成出那些在自然界中尚不存在的元素。化合物经过严格的校核，现在的编号已经超过 2000 万种。目前，化学家们不仅关心在地球的重力场作用下发生的化学过程，并已经开始系统地研究物质在磁场、电场和光能、力能与声能作用下的化学反应，甚至尝试研究在太空失重和强辐射、高真空条件下的化学反应过程。

## 1.2 社会的发展与化学发展的相互关系

人类生活的各个方面、社会发展的各种需要都与化学息息相关。

首先从我们的衣、食、住、行来看，色泽鲜艳的衣料需要经过化学处理和印染；丰富多彩的合成纤维更是化学的一大贡献；要装满粮袋子，丰富菜篮子，关键之一是发展化肥和农药的生产；加工制造色香味俱佳的食品，离不开各种食品添加剂，如甜味剂、防腐剂、香料、调味剂和色素等等，

它们大多是用化学合成方法或用化学分离方法从天然产物中提取出来的；现代建筑所用的水泥、石灰、油漆、玻璃和塑料等材料都是化工产品；用以代步的各种现代交通工具，不仅需要汽油、柴油作动力，还需要各种汽油添加剂、防冻剂，以及机械部分的润滑剂……这些无一不是石油化工产品。此外，人们需要的药品、洗涤剂、美容品和化妆品等日常生活必不可少的用品也都是化学制剂。

由此可见，我们的衣、食、住、行无不与化学有关，人人都需要用化学制品，可以说我们生活在化学的世界里。

综观化学发展史，化学与其他学科一样来源于生产，它的发生和发展一开始就是由生产决定的。从最初的制陶、金属冶炼，直至酿造、染色、油漆、造纸、火药、药物，可以看出，化学的产生和发展是与人类最基本的生产活动紧密联系在一起的。

化学发展史上有实用和手工艺化学时期、炼金术时期、医药化学时期、燃素说时期、分析化学和气体化学时期、化学革命时期、原子分子说形成时期、有机化学诞生和发展时期、物理化学时期等等。这些发展时期都是和一定的社会经济条件对应的，是在与各种社会现象及过程的相互作用中进行的，巨大的政治和经济事件如社会革命、战争、科学与工业革命等，都对化学的发展产生了极大的作用。

人类社会进入 20 世纪下半叶，尤其是 70 年代以后，大量的全球性、综合性问题的不断出现，如环境问题、能源问题等等。一方面，这些问题是摆在全人类面前，且必须解决的紧迫问题；另一方面，这些问题涉及多个学科，甚至涵盖整个自然科学与社会科学，如环境问题。因此，必须组建全新的、综合性的学科，针对人类面临的问题，综合利用多学科的理论、方法、知识和手段进行多方位的综合研究。近 30 年来，新兴的环境科学、能源科学、生命科学、材料科学等，就是以化学为基础形成的综合性学科。这些学科的核心是化学，是化学和其他学科相互交叉、融会贯通的产物。这些学科的产生是人类社会和科学发展的必然的客观要求。

再从当今的社会发展来看，化学对于实现农业、工业、国防和科学技术现代化具有重要的作用。农业要大幅度的增产，农、林、牧、副、渔各业要全面发展，在很大程度上依赖于化学科学的成就。化肥、农药、植物生长激素和除草剂等化学产品，不仅可以提高产量，而且也改进了耕作方法。高效、低污染的新农药的研制，长效、复合化肥的生产，农、副业产品的综合利用和合理贮运，也都需要应用化学知识。在工业现代化和国防

现代化方面，急需研制各种性能迥异的金属材料、非金属材料和高分子材料。在煤、石油和天然气的开发、炼制和综合利用中包含着极为丰富的化学知识，并已形成煤化学、石油化学等专门领域。导弹的生产、人造卫星的发射，需要很多种具有特殊性能的化学产品，如高能燃料、高能电池、高敏胶片及耐高温、耐辐射的材料等。

总之，化学起了推动人类社会进步的决定性作用，没有化学，就没有现代人类文明。社会的发展离不开化学，社会发展史中一定有化学对社会发展的描述。化学的发展同样离不开社会，社会为化学的发展提供了空间、动力和机会。

化学与国民经济各个部门、尖端科学技术各个领域以及人民生活的各个方面都有着密切联系。它是一门重要的基础科学，它在整个自然科学中的关系和地位，正如美国皮门特尔（G. C. Pimentel）在《化学中的机会——今天和明天》一书中指出的“化学是一门中心科学，它与社会发展各方面的需要都有密切关系”。它不仅是化学工作者的专业知识，也是广大人民科学知识的组成部分，化学教育的普及是社会发展的需要，是提高公民文化素质的需要。

### 1.3 新世纪的化学

进入 20 世纪以后，化学学科不论在认识物质的组成、结构、反应、合成和测试等方面都有了长足的进展，而且在理论方面取得了许多重要成果。在分析化学、无机化学、有机化学和物理化学四大分支学科的基础上产生了许多新的化学分支学科。

#### 1.3.1 分析化学

分析化学分支形成最早。1841 年贝采里乌斯（J. J. Berzelius）的《化学教程》，1846 年富里西尼乌斯（C. R. Fresenius）的《定量分析教程》和 1855 年摩尔（E. Mohr）的《化学分析滴定法教程》等专著相继出版，其中介绍的仪器设备、分离和测定方法，已初具今日化学分析的端倪。

分析方法和手段是化学研究的基本方法和手段。经典的成分和组成分析方法仍在不断改进，分析灵敏度从常量发展到微量、超微量、痕量；随着电子技术的发展，借助于光学性质和电学性质，发展出许多新的分析方法，如光度分析法、X 射线衍射法、红外光谱法、紫外光谱法、核磁共振法等等则是近代的仪器分析方法，这些方法不仅可以深入到进行结构分析、

各种活泼中间体的直接测定，同时也可以快速灵敏地进行检测。如对运动员的兴奋剂监测，尿样中某些药物浓度即使低到  $10^{-13}$  g/ml 也能通过灵敏的化学仪器检测出来。分离手段也不断革新，离子交换、膜技术，特别是各种色谱法得到迅速的发展。各种分析仪器，如质谱仪、极谱仪、色谱仪广泛应用并实现微机化、自动化。

### 1.3.2 无机化学

无机化学的形成以 1870 年前后门捷列夫 (D. I. Mendeleev) 和迈尔 (J. L. Meyer) 发现周期律和公布周期表为标志。他们把当时已知的 63 种元素及其化合物的零散知识归纳成一个统一整体。一个多世纪以来，化学研究的成果还在不断丰富和发展，周期律的发现是科学史上的一个勋业。

在无机合成方面，氨的合成开创了无机合成工业，而且带动了催化化学，发展了化学热力学和反应动力学；后来相继合成了红宝石、人造水晶、硼氢化合物、金刚石、半导体、超导材料和多种配位化合物，稀有气体化合物的成功合成又向化学家提出了新的挑战。无机化学在有机化学、生物化学、物理学等学科的相互渗透中产生了有机金属化学、生物无机化学、无机固体化学等新兴学科。

### 1.3.3 有机化学

有机化学的结构理论和有机化合物的分类，也形成于 19 世纪下半叶。如 1861 年凯库勒 (F. A. Kekulé) 提出碳的四价概念及 1874 年范霍夫 (H. van't Hoff) 和勒·贝尔 (Le Bel) 的四面体学说，至今仍是有机化学最基本的概念之一。世界有机化学权威杂志就是用“Tetrahedron” (四面体) 命名的。有机化学是最大的化学分支学科，它以碳氢化合物及其衍生物为研究对象，也可以说有机化学就是“碳的化学”。医药、农药、染料、化妆品等无不与有机化学有关。

酚醛树脂的合成，开辟了高分子科学领域，高分子化学得以迅速发展。各种高分子材料，如塑料、人造纤维、人造橡胶等，已走进千家万户、各行各业。目前，高分子材料的年产量已超过 1 亿吨，预计其总产量会很快超过各种金属总产量之和。若按使用材料的主要种类来划分时代，人类经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代，目前正在迈向高分子时代。现在已把高分子列为另一个化学分支学科，有的高等学校设立了高分子系，有的学校设立了高分子研究所，有力地加强了人才培养，并促进了该分支学科的发展。

20 世纪是有机化合物合成的黄金时代。一方面，合成了各种具有特种结构和特种性能的有机化合物；另一方面，合成了从不稳定的自由基到有生物活性的蛋白质、核酸等生命基础物质，例如胰岛素、核糖核酸等。有机化学家还合成了复杂结构的天然有机化合物，如吗啡、血红素、叶绿素等等。

#### 1.3.4 物理化学

物理化学是从化学变化与物理变化的联系入手，研究化学反应的方向和限度（化学热力学）、化学反应的速率和机理（化学动力学）以及物质的微观结构与宏观性质间的关系（结构化学）等问题，它是化学学科的理论核心。1887 年奥斯特瓦尔德（W. Ostwald）和范霍夫合作创办了《物理化学杂志》，标志着这个分支学科的形成。之后，随着电子技术、计算机、微波技术等的发展，化学研究如虎添翼。空间分辨率已达  $10^{-10}\text{m}$ ，这是原子半径的数量级。时间分辨率已达飞秒级（ $1\text{fs} = 10^{-15}\text{s}$ ），这和原子世界里电子运动速度差不多。肉眼看不见的原子，借助于仪器已经变成可以摸得着、看得见的实物，微观世界的原子和分子不再那么神秘莫测了。

在研究各类物质的性质和变化规律的过程中，化学逐渐发展成为若干分支学科，但在探索和处理具体课题时，这些分支学科又相互联系、相互渗透。无机物或有机物的合成总是研究（或生产）的起点，在进行过程中必定要靠分析化学的测定结果来指示合成工作中原料、中间体、产物的组成和结构，而这一切都离不开物理化学的理论指导。

根据化学学科与天文学、物理学、数学、生物学、医学、地学等学科相互交叉和渗透的情况，出现了大量边缘学科。例如生物化学、环境化学、农业化学、医用化学、材料化学、地球化学、放射化学、激光化学、计算化学、星际化学、海洋化学、大气化学等等。在 21 世纪，社会需要化学科学做什么？化学工作者能为社会做哪些贡献？这些都是世人关心的话题。

### 1.4 化学变化的特征

化学变化以化学反应为基础。参与化学反应的反应物性质和状态可以千差万别，控制化学反应的外界条件（如温度、压力等）也可以是各种各样，但所有的化学反应都具有以下两个特点：

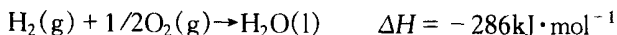
#### 1.4.1 化学反应遵守质量守恒定律

化学变化是反应物的原子通过旧化学键破坏和新化学键形成而重新

组合的过程。以氢气在氯气中燃烧生成氯化氢气体的反应为例，在燃烧过程中氢分子的 H-H 键和氯分子的 Cl-Cl 键断裂，氢原子和氯原子通过形成新的 H-Cl 键而重新组合生成氯化氢分子。在化学反应过程中，原子核不发生变化，电子总数也不改变，因此，在化学反应前后，反应体系中物质的总质量不会改变，即遵守质量守恒定律。这条定律是组成化学反应方程式和进行化学计算时的依据。

#### 1.4.2 化学变化都伴随着能量变化

在化学反应中，拆散化学键需要吸收能量，形成化学键则放出能量。由于各种化学键的键能不同，所以当化学键改组时，必然伴随着能量变化。在化学反应中，如果放出的能量大于吸收的能量，则此反应为放热反应，反之则为吸热反应。我们以下列方式表示化学反应的能量变化，也叫热化学方程式。例如：



式中 (g) 和 (l) 分别代表物质处于气态和液态，若是固态，则用 (s) 代表。

#### 复习题

- 下列几种变化，哪些属化学变化？哪些属物理变化？  
(1) 铁的生锈 (2) 从海水晒盐 (3) 蜡烛燃烧 (4) 蔗糖溶于水
- 下列说法是否合理？请举例说明。  
(1) 发展农业最需要的化学产品有化肥、农药和塑料薄膜等；  
(2) 化学是污染环境的祸首；  
(3) 化学在科技发展中处于中心位置；  
(4) 我们生活在“化学世界”里。
- 门捷列夫发现周期律时知道几种元素？现在知道几种元素？以后是否还能发现新元素？
- 现代科技的空间分辨本领和时间分辨本领各是什么数量级？
- 化学在自然科学的分类中属一级学科，它的二级分支学科有哪些？

## 第 2 章

# 能 源

### 2.1 能源的发展史

能源、材料和信息被称为人类社会发展的三大支柱。所谓能源是指提供能量的自然资源。人类的文明始于火的使用，燃烧现象是人类最早的化学实践之一，燃烧把化学与能源紧密地联系在一起。人类巧妙地利用化学变化过程中所伴随的能量变化，创造了五光十色的物质文明。从人类社会发展的历史进程中可以看到能源品种不断开发、不断更替的作用。根据各个历史阶段所使用的主要能源，可以分为柴草时期、煤炭时期和石油时期。

#### 2.1.1 柴草时期

火的使用推动了人类的文明的发展。从火的发现到 18 世纪产业革命期间，树枝杂草一直是人类使用的主要能源。柴草不仅能烧烤食物、驱寒取暖，还被用来烧制陶器和冶炼金属。

陶器是人类利用火制造出来的第一种自然界不存在的材料，世界古文明发源地都在新石器时代中后期出现过陶器。把自然界的粘土，加水调和，揉捏成一定形状的泥坯，晾干后用柴火烧烤，使粘土中部分成分发生化学变化，冷却后即成为质地坚硬的陶器。中国的制陶技术经过几千年的发展演变后出现的瓷器，至今还受到人们青睐。随着制陶技术的进步，瓷器烧制技术逐渐发展起来，中国的瓷器世界闻名。制陶技术的成熟也为金属冶炼和铸造技术的发展提供了条件。

金属冶炼技术的发展史中以铜为先。翠绿色的孔雀石和深蓝色的蓝铜矿是铜的两种常见矿石，它们的主要成分是碱式碳酸铜。金属铜的熔点比较低，是  $1083^{\circ}\text{C}$ （铁的熔点是  $1537^{\circ}\text{C}$ ）。在陶制容器中用木炭可将碱

式碳酸铜还原成金属铜，然后铸成各种形状的器皿和用具。考古学已证实在公元前 3000 年，亚、非、欧广大国家和地区已普遍掌握了用木炭炼铜的技术。随着金属冶炼技术的发展，炼铁业也发展起来，铁器的出现使人类文明上升到一个新的阶段，金属材料的出现加速了人类文明的进程。

现代能源中煤炭和石油、天然气的重要性虽已居首位，但柴草作为生活能源却从未间断过，不少发展中国家的农牧民的生活用具至今仍以柴灶为主。在世界处于能源危机的状况下，这种最古老的能源品种，又以它的容易再生而再度受到关注。可以说人类是在利用柴火的过程中，产生了支配自然的能力而成为万物之灵的。

### 2.1.2 煤炭时期

煤炭的开采始于 13 世纪，而大规模开采并使其成为世界的主要能源则是 18 世纪中叶的事。1769 年 瓦特发明蒸汽机 煤炭作为蒸汽机的动力之源而受到关注。第一次产业革命期间，冶金工业、机械工业、交通运输业、化学工业等的发展，使煤炭的需求量与日俱增，直至 20 世纪 40 年代末，在世界能源消费中煤炭仍占首位（见表 2-1）。

煤是发热量很高的一种固体燃料。它的主要成分是碳 (C) 还有一定的氢 (H) 和少量的氧 (O)、氮 (N)、硫 (S) 和磷 (P) 等。煤是既含有机物也含无机物的复杂混合物。煤可以直接当燃料使用，但从物尽其用的角度来看，应多提倡煤的综合利用。例如煤经过干馏（隔绝空气情况下强热），可以分别得到焦炭、煤焦油和焦炉气。焦炭可以供炼铁用；煤焦油可提取苯、萘、酚等多种化工原料；从焦炉气中可提取一定量的化工原料，也可直接作为气体燃料，其污染性远低于直接烧煤。

对煤炭的利用获得了更高的温度，推动了金属冶炼技术的发展。工业革命后 100 多年生产力的发展促进了人类近代社会的进步。

### 2.1.3 石油时期

第二次世界大战之后，在美国、中东、北非等国家和地区相继发现了大油田及伴生的天然气，每吨原油产生的热量比每吨煤高一倍。石油炼制得到的汽油、柴油等是汽车、飞机用的内燃机燃料。世界各国纷纷投资石油的勘探和炼制，新技术和新工艺不断涌现，石油产品的成本大幅度降低，发达国家的石油消费量猛增。到 20 世纪 60 年代初期，在世界能源消费统计表里，石油和天然气的消耗比例开始超过煤炭而居首位。表 2-1 列举世界能源消费情况 摘自联合国《能源统计》(1991)。

表 2-1 1950—1990 年世界能源消费量 和构成

年份	消费量 (万吨标准煤)	在消费量中所占比例(%)			
		煤炭	石油	天然气	水电和核电
1950	239194	60.9	27.2	10.1	1.8
1960	292420	49.5	33.3	15.1	2.1
1970	643956	33.5	44.0	20.1	2.4
1980	852391	30.8	44.2	21.5	3.5
1990	1147610	27.3	38.6	21.7	12.4

从表中数据一方面可以看到从 1950 至 1990 年的 40 年间 世界能源消耗增长速度是相当快的；另一方面也可看到各种能源在消费中所占百分比有明显变化：煤的比例下降，石油和天然气、水电和核电都呈增长趋势（因天然气与石油共生，经常把两者合起来统计）。由表中数据看，1960 年时，在能源总消费中，煤占 49.5% 石油和天然气占 48.4% 相差无几，此后石油和天然气的比例增高而居领先地位，目前，世界实际上是处于多种能源互补的局面。煤和石油资源在地球上的分布是不均匀的，我国的煤炭资源比较丰富，石油资源则比较贫乏。60 年代初发现大庆油田后，能源结构大为改观，但现在我们是石油净进口国，随着工农业的发展，供需矛盾还将日益严峻。表 2-2 列举我国的能源消费量和构成，数据摘自《中国统计年鉴》(1995)。

表 2-2 中国的能源消费和构成

年份	消费量 (万吨标准煤)	在消费量中所占比例(%)			
		煤炭	石油	天然气	水电
1955	6968	93.0	4.9	-	2.1
1960	30189	93.9	4.1	0.5	1.5
1970	29291	80.9	14.7	0.9	3.5
1980	60275	72.2	20.7	3.1	4.0
1990	98703	76.2	16.6	2.1	5.1
1992	108900	74.9	18.0	2.0	5.1
1994	122737	75.0	17.4	1.9	5.7

表 2-2 的数据表明，我国能源结构以煤炭为主的状况可能还要延续相当长的时间，因为石油的开发受资源、技术、资金等多方面的制约，恐难在短期内有所突破。

## 2.2 能源的分类和能量的转化

能源品种繁多，按其来源可以分为三大类：第一类是来自地球以外的太阳能，除太阳的辐射能之外，煤炭、石油、天然气、水能、风能等都间接来自太阳能；第二类来自地球本身，如地热能，原子核能（核燃料铀、钍等存在于地球自然界）；第三类则是由月球、太阳等天体对地球的引力而产生的能量，如潮汐能。

能源工作者常用的分类方法如图 2-1 所示。

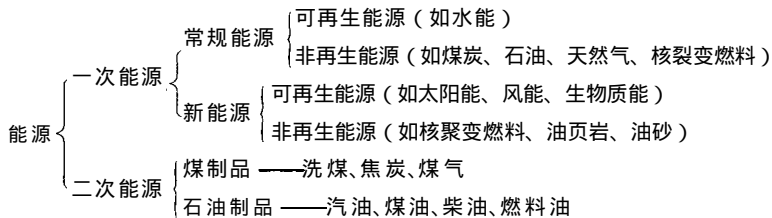


图 2-1 能源分类方法

### 2.2.1 一次能源

一次能源是指在自然界客观存在，可以直接取得且不必改变其基本形态的能源，如煤炭、天然气、地热和水能等。

### 2.2.2 二次能源

二次能源是由一次能源经过加工或转换成另一种形态的能源产品。如电力、焦炭、汽油、柴油、煤气等属于二次能源。

### 2.2.3 常规能源

常规能源也叫传统能源，是指已经大规模生产和广泛利用的能源。表 2-1 所统计的几种能源，如煤炭、石油、天然气、核能等都属于一次性再生的常规能源。而水电则属于再生能源，如葛洲坝水电站和三峡水电站，只要长江水不干涸，发电也就不会停止。煤、石油和天然气则不然，它们是在地壳中经千百万年才形成的（按现在的采用速率，石油可用几十年，煤炭可用几百年），这些能源短期内不可能再生，因而人们对此有危机感是很自然的。

### 2.2.4 新能源

新能源是指以新技术为基础，系统开发利用的能源。其中最引人注目的是太阳能的利用。据估计，太阳辐射到地球表面的能量是目前全世

界能量消费的 1.3 万倍。如何把这些能量收集起来为我们所用，是科学家们十分关心的问题。植物的光合作用是自然界“利用”太阳能极为成功的范例。它不仅为大地带来了郁郁葱葱的森林和养育万物的粮菜瓜果，地球蕴藏的煤、石油、天然气的起源也与此有关。寻找有效的光合作用的模拟体系、利用太阳能使水分解为氢气和氧气及直接将太阳能转变为电能等都是当今科学技术的重要课题，一直受到各国政府和工业界的支持与鼓励。

#### 2.2.5 能量转化和能量守恒定律

以上是从能源的使用进行分类的方法。若从物质运动的形式看，不同的运动形式，各有对应的能量，如机械能（包括动能和势能）、热能、电能、光能等等。各种形式的能量可以互相转化，如动能可与势能互相转化（建筑工地打夯的落锤的上、下运动所包括的能量转化过程）；化学能可与电能互相转化（化学电池和电解就是实现这种转化的两种过程）。在能量相互转化过程中，尽管做功的效率因所用工具或技术不同而有差别，但是折算成同种能量时，其总值却是不变的，这就是能量转化和能量守恒定律。这是自然界中一条极为基本的定律（另一条为质量守恒定律），也是识破各式各样永动机的有力判据。在能量转化过程中，未能做有用功的部分称为“无用功”通常以热的形式表现。

物质体系中，分子的动能、势能、电子能量和核能等的总和称为内能。内能的绝对值至今尚无法直接测定，但体系状态发生变化时，内能的变化以功或热的形式表现，它们是可以被精确测量的。

能源的利用，其实就是能量的转化过程。如煤燃烧放热使蒸汽温度升高的过程就是化学能转化为蒸汽内能的过程；高温蒸汽推动发电机发电的过程是内能转化为电能的过程；电能通过电动机可转化为机械能；电能通过白炽灯泡或荧光灯管可转化为光能；电能通过电解槽可转化为化学能等等。柴草、煤炭、石油和天然气等常用能源所提供的能量都是随化学变化而产生的，多种新能源的利用也与化学变化有关。化学变化的实质是化学键的改组，所以了解化学键及键能等基本概念，将有助于加深对能源问题的认识。

## 2.3 常规能源简介

### 2.3.1 煤炭及其综合利用

随着蒸汽机的发明和推广应用,煤逐渐成为能源的“主角”。最先大量使用煤作为能源的国家是英国。英伦三岛森林资源有限且又是产业革命的发源地,对煤炭有着迫切的需要。世界各地虽然都有煤炭资源,但分布并不均匀,绝大部分都埋藏在北纬 30°以上地区。苏联预测煤储量最多,美国次之,我国第三,三者之和占全球煤资源的 90%。煤炭作为化石燃料是非再生能源,按现在的开采速度估计,煤只能用几百年。煤炭可以直接燃烧,但这样只利用了煤炭应用价值的一半,对环境污染也比较严重。所以如何合理利用煤炭资源是很重要的问题,要了解煤炭的综合利用,有必要先了解煤炭的形成及其组成。

煤是由远古时代的植物经过复杂的生物化学、物理化学和地球化学作用转变而成的固体可燃物。人们在煤层及其附近发现大量保存完好的古代植物化石;在煤层中可以发现炭化了的树干;在煤层顶部岩石中可以发现植物根、茎、叶的遗迹;把煤磨成薄片,置于显微镜下可以观察到植物细胞的残留痕迹。这些现象都说明成煤的原始物质是植物。

这些古代植物是怎样变成煤的呢?按生物演化过程,地球的历史可以分为古生代、中生代和新生代三大时期。气候温湿植物茂盛始于古生代中期,距今已有 3 亿年之久。植物从生长到死亡,其残骸堆积埋藏、演变成煤的过程当然是非常复杂的。经地质学家、煤田学家、化学家们的共同努力,现代成煤理论认为煤化过程是:植物→泥炭(腐植泥)→褐煤→烟煤→无烟煤,这个过程称煤化作用。

植物生长茂盛并能大量繁殖的地方一般是沼泽、湖泊、浅海地区,气候湿润。枯死的植物残骸不断堆积,在细菌作用下腐败分解,表面部分能充分接触空气,完全分解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。但埋藏在下层的则在缺氧甚至无氧的条件下腐败,慢慢地形成黑色的腐殖质。

长期以来,煤炭的利用以直接燃烧为主。在我国,落后的燃烧技术突出地表现出两大问题:效率低,污染重。例如,1995 年我国主要用煤产品的单位能耗比发达国家平均高 40%左右,每年要多消耗 3 亿吨标准煤。我国是世界上环境污染最严重的国家之一,大气中 90% 以上的  $\text{SO}_2$ 、67% 的  $\text{NO}_x$ 、82% 的酸雨以及 70% 的粉尘是由燃烧煤引起的,1995 年全国的

酸雨面积已占国土面积的 30%。煤中其他有害成分的污染也已严重地威胁着生态环境。煤炭的低效利用还造成了 CO<sub>2</sub> 的排放量大大增加。我国以煤炭为主的能源结构以及经济的快速发展对能源需求的急剧上升,迫切要求尽快解决煤炭燃烧的效率 and 污染问题。同时,如何做好煤的综合利用,也是一个迫切要解决的问题。

煤的综合利用有如下几方面的主要方式:

(1)煤的气化。是让煤在氧气不足的情况下进行部分氧化,使煤中的有机物转化为可燃气体,以气体燃料的方式经管道输送到车间、实验室、厨房等,也可以作为原料气体送进反应塔。煤的气化过程生成的 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>都是可燃气体,也是重要的化工原料。例如化肥厂在合成氨时,需要原料 H<sub>2</sub>,供居民用燃料时最好的是 CH<sub>4</sub>。H<sub>2</sub>、CO 虽然热值很高,但 CO 毒性大,H<sub>2</sub> 又易爆,所以不如 CH<sub>4</sub> 安全。

(2)煤的焦化。煤的焦化也叫煤的干馏。这是把煤置于隔绝空气的密闭炼焦炉内加热,煤分解生成固态的焦炭、液态的煤焦油和气态的焦炉气。随加热温度不同,产品的数量和质量都不同,有低温(500~600℃)、中温 750~800℃ 和高温(1000~1100℃)干馏之分。

低温干馏所得焦炭的数量和质量都较差,但焦油产率较高,其中所含轻油部分,经过加氢可以制成汽油,所以在汽油不足的地方,可采用低温干馏。中温法的主要产品是城市煤气,而高温法的主要产品则是焦炭。

焦炭的主要用途是炼铁,少量用作化工原料制造电石、电极等。煤焦油是黑色黏稠性的油状液体,其中含有苯、酚、萘、蒽、菲等重要化工原料,它们是医药、农药、炸药和染料等行业的原料,经适当处理可以一一加以分离。总之,煤经过焦化加工,其中各成分都能得到有效利用,而且用煤气作燃料要比直接烧煤干净得多。

(3)煤的液化。煤炭液化油也叫人造石油。煤和石油都是由 C、H、O 等元素组成的有机物,但煤的平均表现相对分子质量大约是石油的 10 倍,煤的含氢量比石油低得多。所以煤加热裂解,使大分子变小,然后在催化剂的作用下加氢(450~480℃,12~30MPa)可以得到多种燃料油。原理似乎简单,实际工艺还是相当复杂的,涉及裂解、缩合、加氢、脱氧、脱氮、脱硫、异构化等多种化学反应。不同的煤又有不同的要求。最近 20 年来美国、日本、德国等科学家都致力于这方面的研究,已有多种较好的设计方案。

在合成发动机燃烧技术方面,目前煤制烃类(汽油等燃料)成本还不

能与石油竞争，以煤制含氧化合物甲醇技术较为成熟，由于甲醇的价格仅为石油的一半，并且环境效益好，其推广可大大降低汽车的燃烧成本，所以市场竞争能力最强。甲醇作为中国能源向多元化方向发展的一个重要的领域，引起最为广泛的关注。另外甲醇作为化工原料可以合成醚、醛类等一系列重要含氧化合物，因此煤制甲醇是现代煤化工较具影响的技术领域。

上述这种先裂解再氢化的方法称直接液化法。另外还有一类方法称间接液化法，它是先使煤气化得到  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  等气体小分子，然后在一定的温度、压力和催化剂的作用下合成各种烷烃、烯烃和乙醇、乙醛等。第一个采用间接液化法的工厂建成于 1935 年 至今已有 70 年历史。目前还有少数缺油富煤的国家采用这种方法。煤的液化，目前面临的主要问题是成本较高，不能与廉价的石油竞争。开发高活性高选择性的催化剂、开发高效反应过程是降低煤利用成本的发展方向。

综上所述，煤既是能源，也是重要的化工原料。我国是世界上最大的耗煤国家，但 70% 的煤都是直接烧掉，既浪费资源，也污染环境。积极开展煤的综合利用是十分重要的方针。

### 2.3.2 石油和天然气及其利用

石油有“工业的血液”、“黑色的黄金”等美誉。自 20 世纪 50 年代开始，在世界能源消费结构中，石油跃居首位。石油产品的种类已超过几千种。石油是国家现代化建设的战略物资，许多国际争端往往与石油资源有关。现代生活中的衣、食、住、行直接地或间接地与石油产品有关。

1973—1979 年这段时期，曾有“石油危机”之称。自二次世界大战之后到 1973 年间，国际石油市场一直被美国的埃克森、德士古、加州标准、海湾、飞马、美孚和英国石油、英国壳牌等七家石油公司（号称“石油七姐妹”）所垄断。西方国家利用廉价的石油原料，改造了产业结构，实现了经济的结构调整和繁荣。但石油的主要产地却在发展中国家，如中东地区已探明的石油储量占世界的 60% 以上。沙特阿拉伯、伊朗、伊拉克、科威特和南美的委内瑞拉等 5 国的石油出口量曾占世界总出口量的 80%。他们在 60 年代初就成立了“石油输出国组织欧佩克（OPEC）”与上述七家石油公司对抗。后来阿尔及利亚、厄瓜多尔、加蓬、印度尼西亚、利比亚、尼日利亚、卡塔尔和阿联酋等 8 国先后加入 OPEC，OPEC 成员国扩大为 13 个。1973 年 10 月中东战争爆发，阿拉伯产油国以石油为武器，对西方国家实行石油禁运，并收回了原油标价大权，在两个月内提价近 4 倍，至

70年代末油价还不断上涨，到1979年油价已是1973年前的近10倍。发达的资本主义国家在政治、经济和日常生活的方方面面都受到严重影响，给人们留下深刻印象，使人们切实体会到能源对现代社会发展有着举足轻重的影响，并称之为70年代的石油危机。

(1)石油和天然气的成因。对此有过多种论点。现在认为石油是由远古海洋或湖泊中的动植物遗体在地下经过漫长的复杂变化而形成棕黑色黏稠液态混合物，其沸点范围从室温到500℃以上。未经处理的石油叫原油，它分布很广，世界各大洲都有石油的开采和炼制。就目前已查明的储量看，重要的含油带集中在北纬20°~48°之间。世界上两个最大的产油带，一个叫长科迪勒地带，北起阿拉斯加和加拿大经美国西海岸到南美委内瑞拉、阿根廷；另一个叫特提斯地带，从地中海经中东到印度尼西亚。这两个地带在地质变化过程中曾都是海槽，因此曾有“海相成油”学说。

我国自20世纪60年代以来相继发现了大庆、胜利、大港等油田。到80年代末，在我国被开发的大小油田已有160多处。此外，我国拥有油气资源较丰富的大陆架，自80年代初开始进行海洋石油的普查和勘探。从现有的资料估计，远景以东海最佳，南海和渤海次之，黄海较差。海洋石油的开发，不论技术、资金、装备还是人才方面，都存在不少困难，短期内很难快速发展。

石油的组成元素主要是C和H此外也有O、N和S等。和煤相比，石油的含氢量较高而含氧量较低。在石油中的碳氢化合物以直链烃为主，而在煤中则以芳烃为主。至于石油中N和S的含量则因产地不同而异，如阿拉伯原油中含S约1.74%，N约0.14%；而我国胜利油田的原油中含S约0.81%，N约0.41%。相比之下，胜利油田的原油含硫量比较低，而含氮量较高。所以不同的原油在炼制、精制的条件和催化剂的选择等方面都是不同的，各有自己的特色。

天然气的主要成分是甲烷( $\text{CH}_4$ )，也有少量乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )和丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )，它和石油伴生，但一般埋藏部位较深。据国际经验，每吨石油大概伴有 $1000\text{m}^3$ 的天然气，所以能源工作机构及能源结构统计往往把石油和天然气归并在一起。天然气是最“清洁”的燃料，燃烧产物 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ，都是无毒物质，并且热值也很高( $56\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ )，管道输送也很方便。我国最早开发使用天然气的是四川盆地，近年北京、天津的居民正在逐渐使用管道天然气，这种方式颇受欢迎。

(2)石油的炼制。石油中所含化合物种类繁多，必须经过多步炼制，才能使用。主要过程有分馏、裂化、重整、精制等。

分馏：烃（碳氢化合物）的沸点随碳原子数增加而升高，在加热时，沸点低的烃类先气化，经过冷凝先分离出来；温度升高时，沸点较高的烃气化后再冷凝，借此可以将沸点不同的化合物进行分离，这种方法叫分馏，所得产品叫馏分。分馏过程在一个高塔里进行，分馏塔里有精心设计的层层塔板，塔板间有一定的温差，以此得到不同的馏分。分馏先在常压下进行，获得低沸点的馏分，然后在减压状况下获得高沸点的馏分。每个馏分中还含有多种化合物，可以进一步再分馏。

在石油炼制过程中，沸点最低的  $C_1$  至  $C_4$  部分是气态烃，来自分馏塔的废气和裂化炉气，统称石油气。其中有不饱和烃，也有饱和烃。不饱和烃如乙炔 ( $C_2H_4$ )、丙烯 ( $C_3H_6$ )、丁炔 ( $C_4H_8$ ) 都有双键，容易发生加成反应和聚合反应，所以这些烯烃都是宝贵的化工原料。如乙烯以  $O_2$  为催化剂在  $150^\circ C$ 、 $20MPa$  条件下可制得高压聚乙烯，日常生活中用的食品袋、食品匣、奶瓶等就是用这种材料成型制得的。若用  $TiCl_4$  做催化剂，在  $100^\circ C$  常压下，则可制得强度较高的低压聚乙烯，它可制造脸盆、水桶等器皿。乙烯也可以用银做催化剂在  $250^\circ C$  和常压条件下生成环氧乙烷，这是制造环氧树脂的原料之一。乙烯在  $KMnO_4$  催化下可加水生成的乙二醇，它是制造涤纶的原料之一。在  $H_2SO_4$  催化下加水，乙烯也可加成为乙醇 乙烯和  $HCl$  加成为氯乙烷，乙烯和  $Cl_2$  生成二氯乙烷等等。

众多的乙烯产品广泛用于工农业、交通、军事等领域，是现代石油化学工业的一个龙头产品，是一个国家综合国力的标志之一。我国目前乙烯年产量 200 多万吨，居世界第 8 位。

丙烯 ( $CH_3CH=CH_2$ ) 可以制造聚丙烯塑料、聚丙烯腈（人造羊毛）化学纤维、甘油等等。丁炔 ( $CH_3CH_2CH=CH_2$ ) 经过氧化脱氢变成丁二烯，然后可以聚合生成顺丁橡胶，它的弹性很好，适合做轮胎。丁二烯和苯乙烯共聚可以制造丁苯橡胶，这是人造橡胶中用量最大的品种，它的链节一端带有苯环，具有热稳定性好、耐磨、耐光、抗老化等优点。

将石油气中这些不饱和烃分离后，剩下的饱和烃中以丁烷 ( $C_4H_{10}$ ) 为主 它的沸点为  $-0.5^\circ C$ ，稍加压力即可液化储于高压钢瓶中。当打开阀门减压时即可气化点燃使用，城市居民用石油液化气的主要成分就是丁烷。另外还含有在液化时带进的一定量的戊烷 ( $C_5H_{12}$ ) 和己炔 ( $C_6H_{14}$ )，它们的沸点分别是  $36^\circ C$  和  $69^\circ C$ ，在炼油厂炉气温度高时和丁烷等混在一