

普通高中课程标准实验教科书

化学

选修 2

化学与技术

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
化学课程教材研究开发中心



人民教育出版社

目 录

引言

第一单元 走进化学工业 2

课题1 化工生产过程中的基本问题 4

课题2 人工固氮技术——合成氨 10

课题3 纯碱的生产 16

归纳与整理 20

练习与实践 20

第二单元 化学与资源开发利用 22

课题1 获取洁净的水 24

课题2 海水的综合利用 32

课题3 石油、煤和天然气的综合利用 38

归纳与整理 43

练习与实践 44

第三单元 化学与材料的发展 46

课题1 无机非金属材料 48

课题2 金属材料 57

课题3 高分子化合物与材料 67

归纳与整理 78

练习与实践 80

第四单元 化学与技术的发展 82

课题1 化肥和农药 84

课题2 表面活性剂 精细化学品 93

归纳与整理 102

练习与实践 103

结束语 105

迎接化学的黄金时代 105

元素周期表

引言

人们通过实验室研究某一物质并对其有了充分了解之后，在准备实现大规模生产之前，还需要进一步研究其生产工艺的问题。前者归属于科学，后者归属于技术。技术的形成可以有两种不同的模式。依靠偶然的发现和长期实践经验的积累而形成的技术，例如远古时期的制陶、制造玻璃和少数金属及合金材料的冶炼技术，皆属于此类。人们不自觉地应用着化学原理和化学过程。这个时期，技术发展的推动力主要来自生产和社会生活的需要。例如，18 世纪末，蒸汽机的发明引发了棉纺织业的技术革命，对纤维与织物染整和清洗用的廉价、高效化学药剂的需求，促进了硫酸、纯碱、含氯漂白剂、染料等生产技术的规模化工业化。化学和生产技术的结合，成为新的生产技术的推动力。这种模式在塑料、半导体、复合材料、建筑材料、冶金、食品加工以及能源等生产技术的发展过程中，仍然起着重要的作用。而且在目前的专利申请项目中，这类技术依然占有一定的比例。

20 世纪中期以后，高新技术的飞速发展，和技术科学化程度的极大提高有密切的关系。人们把这种技术称为以科学为基础的技术（science-based technology）。我们可以把它看成另一种模式。它的出现，一方面与科学研究的实用取向日益受到政府和企业的大力支持与鼓励有关；另一方面，也与技术所要求的学科综合程度越来越高有关。例如，计算机芯片的制造技术，不仅要用到物理学、微电子学、机械学、自动化技术等方面的原理和技术，其中仅光刻工艺而言，所涉及的化学反应过程就有 100 多个。如果没有长期艰苦的、有系统的科学研究成果作为基础，这类技术是难以形成的。正因为有了深厚的科学基础，芯片的更新换代才可能如此迅速。这种模式的技术，不仅可以增加社会财富、提高公民的生活质量、推动科学的发展，而且有效地提升了科学素养在公民素质中的地位与价值。



一个生产工艺的实现,涉及许多问题,如化学反应原理、原料选择、能源消耗、设备结构、工艺流程、环境保护,以及综合经济效益,等等。下面我们以硫酸工业为例,了解化工生产中的一些基本问题。

一、依据化学反应原理确定生产过程

首先,化工生产是以化学反应原理为依据,以实验室研究为基础的。任何生产的完成都要符合化学反应规律。

对于某一具体的化工产品,研究生产过程要从产品的化学组成和性质考虑,来确定原料和生产路线。例如,关于工业制硫酸的反应原理及过程,可以从以下几个方面来考虑:

- 从 H_2SO_4 的组成看,原料应该是自然界存在的含硫的物质,如硫黄、黄铁矿(主要成分 FeS_2)等;

- H_2SO_4 中 S 的化合价为 +6 价,因为不能从 S 或 FeS_2 直接得到 H_2SO_4 ,因此需要经过中间步骤,先得到 SO_3 ,再通过 SO_3 与 H_2O 反应得到 H_2SO_4 ;

- S 或 FeS_2 与 O_2 反应,生成物为 SO_2 , SO_2 可以与 O_2 进一步反应生成 SO_3 。

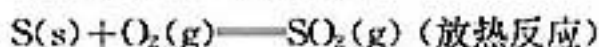
所以生产 H_2SO_4 的主要化学过程可以分成 SO_2 的生成和 SO_2 转化为 SO_3 两个阶段。

思考与交流

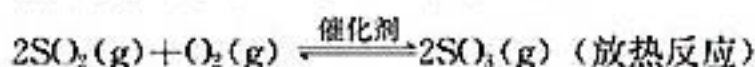
如果以硫黄为原料制硫酸,你能试着用化学方程式表示制硫酸的反应原理吗?

目前,工业上制硫酸的基本生产原理如下:

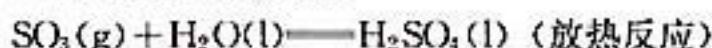
1. 以硫为原料^①制备 SO_2



2. 利用催化氧化反应将 SO_2 氧化成 SO_3 :



3. 三氧化硫转化为硫酸^②



硫酸 sulphuric acid



图 1-1 工业制硫酸的原料——硫黄

① 早期生产以黄铁矿为原料:
 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ 。由于生产过程中产生的废弃物太多,处理成本高,这一工艺正在逐步被淘汰。

② 实际生产中,并不直接用 H_2O 吸收 SO_3 ,而是用 98% 的硫酸吸收,这样可以避免形成酸雾并提高吸收率。

按照上述反应原理,工业上制硫酸主要分造气、催化氧化和吸收三个阶段。

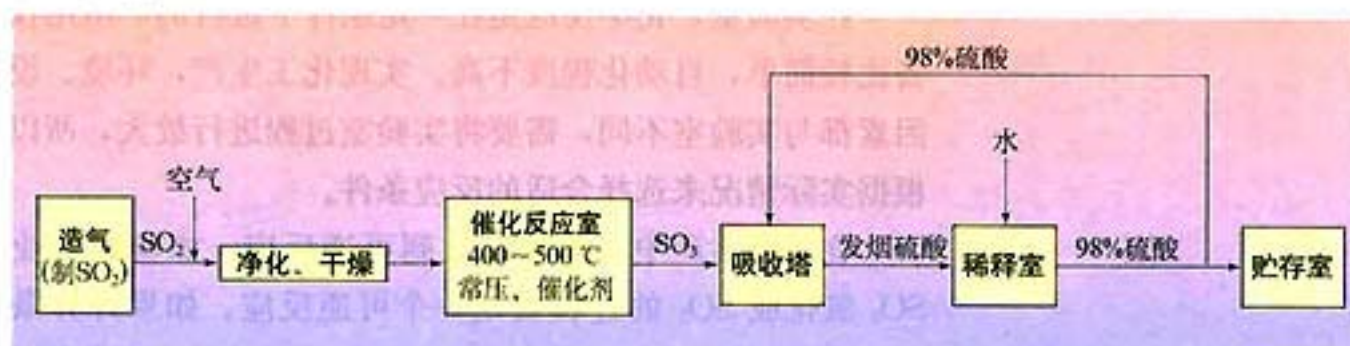


图 1-2 硫酸工业流程

在生产中还应考虑许多实际问题,如原料的净化、反应条件及设备的选择、废热的利用等。

二、生产中原料的选择

在工业生产中,选择原料除依据化学反应原理外,还有许多因素要考虑,如厂址选择、原料、能源、工业用水的供应能力、存贮、运输、预处理成本及环境保护等。



图 1-3 硫酸厂

思考与交流

在我国,工业制硫酸原料的选择,有以下问题需要考虑:

1. 从基建投资、加工费用及环境保护等方面考虑,用硫黄制硫酸的装置优于用黄铁矿制硫酸的装置;

2. 我国的天然硫资源缺乏,而且开采条件比较复杂;

3. 我国黄铁矿储量比天然硫黄要大,但也存在供不应求的趋势;

4. 硫黄制硫酸比黄铁矿制硫酸生产流程短,设备简单,三废治理量小,劳动生产率高,易于设备大型化;

5. 由于原料多需进口,硫黄制硫酸成本略高于黄铁矿制硫酸;设备大型化可降低成本;

.....

实际上,在早期相当一段时间内,我国主要是以黄铁矿为原料制硫酸的。你认为这是为什么?从世界目前的状况来看,很多国家都已经限制以黄铁矿为原料制硫酸。你认为这是为什么?今后的发展趋势会是怎样的呢?你有什么好的建议吗?

三、生产中反应条件的控制

在实验室，化学反应是在一定条件下进行的，所用仪器设备比较简单，自动化程度不高。实现化工生产，环境、设备等因素都与实验室不同，需要将实验室过程进行放大，所以，要根据实际情况来选择合适的反应条件。

在工业生产中，常常涉及到可逆反应，如硫酸工业中将 SO_2 氧化成 SO_3 的过程就是一个可逆反应。如果外界条件不发生变化，可逆反应进行到一定程度时，正反应速率和逆反应速率相等，反应物和生成物的浓度将不再发生变化，反应体系处于化学平衡状态，简称化学平衡。改变反应条件（浓度、温度、压强等）可以使化学平衡状态发生变化，原有的化学平衡被破坏，建立新的化学平衡，这一过程叫做平衡的移动。可逆反应中反应物转化为产物的百分率（转化率）可以通过改变反应条件加以调控。在化工生产中还要同时考虑控制某些反应条件的成本和实际可能性，因此转化率的高低不是唯一要考虑的因素。

化学平衡

chemical equilibrium

思考与交流

表 1-1 和表 1-2 是二氧化硫催化氧化反应的一些实验数据，请思考和交流以下问题：

表 1-1 不同温度下 SO_2 的平衡转化率

[原料气成分（体积分数）： SO_2 7%， O_2 11%， N_2 82%；压强：0.1 MPa]

温度/℃	400	450	475	500	525	550	575	600	650	1 000
转化率/%	99.2	97.5	95.8	93.5	90.5	85.6	79.9	73.7	58.5	5.0

表 1-2 压强对 SO_2 平衡转化率的影响

（原料气成分同表 1-1）

转化率/% 温度/℃	压强/MPa			
	0.1	0.5	1	10
400	99.2	99.6	99.7	99.9
500	93.5	96.9	97.8	99.3
600	73.7	85.8	89.5	96.4

1. 从以上实验数据看，你认为 SO_2 的催化氧化反应在什么温度和压强条件下有利于 SO_3 的生成？

2. 在实际生产中, 还有以下问题值得考虑:

(1) 温度较低时催化剂的活性不高, 反应速率低;

(2) 加压对设备的要求高, 会增加成本和能量消耗; 等等。

在考虑了以上问题以后, 你刚才的想法会改变吗? 现在请你为实际生产中 SO_2 的催化氧化反应选择一个合适的温度和压强。

在生产工艺中, 选择 $400 \sim 500\text{ }^\circ\text{C}$ 作为操作温度, 因为在这个温度范围内, 反应速率和 SO_2 的转化率都比较理想。同时, 根据表 1-2 的实验数据可以发现, 增大气体压强, SO_2 的平衡转化率提高得并不多, 所以硫酸厂通常采用常压操作。

从以上数据和分析可以看出, 改变条件可以使平衡发生移动。条件对化学平衡的影响可以概括称为平衡移动原理, 也叫勒夏特列原理^①; 如果改变影响平衡的一个条件(如浓度、温度、压强等), 平衡就向能减弱这种改变的方向移动。催化剂能同等程度地增加正反应速率和逆反应速率, 因此对化学平衡没有影响, 但能改变到达平衡所需的时间。

^① 此原理因法国科学家勒夏特列(H. Le Chatelier, 1850—1936) 总结出而得名。

思考与交流

对于上述二氧化硫的催化氧化反应:

1. 请用平衡移动原理来解释: 为什么降低温度和增大压强有利于提高转化率?

2. 如果其他条件不变, 分别改变下列条件, 将对化学平衡有什么影响?

(1) 增大 O_2 的浓度; (2) 减小 SO_3 的浓度。

四、生产中三废的处理

近年来, 环境保护条件提升到首先要考虑的因素, 所以, 预处理及生产过程中产生的废气、废液、废渣情况及处理成本, 往往成为是否采用该工艺的决定性因素。

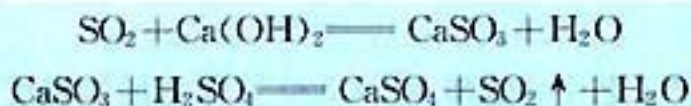
三废(废气、废液、废渣)处理或将三废消灭于生产过程中, 是近年来化工技术发展的方向之一。除在设计工艺与选择原料时应优先考虑环境保护因素外, 创造性地使废料变为生产原料、实现废弃物的零排放应当是绿色化学技术的目标之一, 化学将对这一目标的实现提供最有力的支持, 并且近年来已在

某些化工生产中得以实现。

生产中的三废，一般按以下方法处理：

1. 尾气吸收

二氧化硫是化学工业排放物中常见的有害物质，如硫酸生产的尾气中含有少量 SO_2 ，可用石灰水吸收，使其生成 CaSO_3 ，然后再用硫酸处理，生成 SO_2 和 CaSO_4 。



这样得到的 SO_2 含量较高，可返回用作原料。

2. 污水处理

不同的化工生产过程产生的污水，所含有的杂质不同，除要进行一般的处理外，还要根据杂质的性质利用不同的化学方法进行处理。关于工业废水的处理，我们还将在今后的单元中进行介绍。

学 与 问

硫酸生产过程中的污水，含有酸性杂质，可以利用什么反应来处理呢？列举出几种物质，用哪种物质比较好，为什么？调查了解在实际生产中使用的处理方法。

3. 废渣的利用

化工生产中经常有一些未反应的原料或是在生产过程中产生的固体废渣，可以对固体废渣进行综合利用。例如，用黄铁矿为原料生产硫酸的生产中，会排出一些炉渣和矿灰，可作为炼铁的原料；还可以用来提炼贵重的有色金属；另外，这些废渣还可作为制造水泥的原料或用于制砖。

在最终产生的三废中，往往还含有未反应的反应物，为了充分利用原料，在收集产品时可将剩余反应物重新并入原料中，使生产过程带有局部循环的特点，这是化工生产工艺设计中常用的方法。

五、能量的充分利用

化工生产过程中通常都要消耗大量的能量。例如，开动机器设备（矿石粉碎机、运输装置、鼓风机、泵等）需要电能，而维持反应适宜的温度需要热能，等等；例如，一般生产 1 t

硫酸约需消耗 $100\text{ kW}\cdot\text{h}$ 的电能。硫酸生产过程中的三个化学反应都是放热反应，据测算，生产 1 t 硫酸放出的反应热相当于 $200\text{ kW}\cdot\text{h}$ 的电能。如果能够充分利用这些热量（在工厂称为“废热”），不但可以由硫酸厂自行提供能量，还可以向外界输出大量的能量，可大大降低生产成本。为了充分利用“废热”，硫酸厂采取了很多措施，如在催化反应室中设热交换装置，利用 SO_2 氧化为 SO_3 时放出的热量来预热即将参加反应的 SO_2 和 O_2 等。

实践活动

通过查阅图书、上网、参观访问等方式进行调查，了解一些化工厂是如何充分利用“废热”的。

化工生产技术是以科学实验为基础的，但二者又有许多的不同。例如，科学实验对自然现象和规律进行探索，为了认识反应条件对反应过程的影响，可以把一个过程拆分成许多子过程来研究，也可以采取固定其他条件，只对某个条件的影响进行探究；化工生产工业则要对生产成本、场地、设备、劳动组织和生产效率等因素进行综合性和系统性的研究。

含氮化合物对人类生活有十分重大的意义。氮是植物生长不可缺少的元素之一。农作物每年从土壤中摄取大量含氮化合物，为了补偿土壤中减少的氮，必须施加氮肥。含氮化合物还用于制造染料、人造纤维、油漆、炸药和许多其他产品。

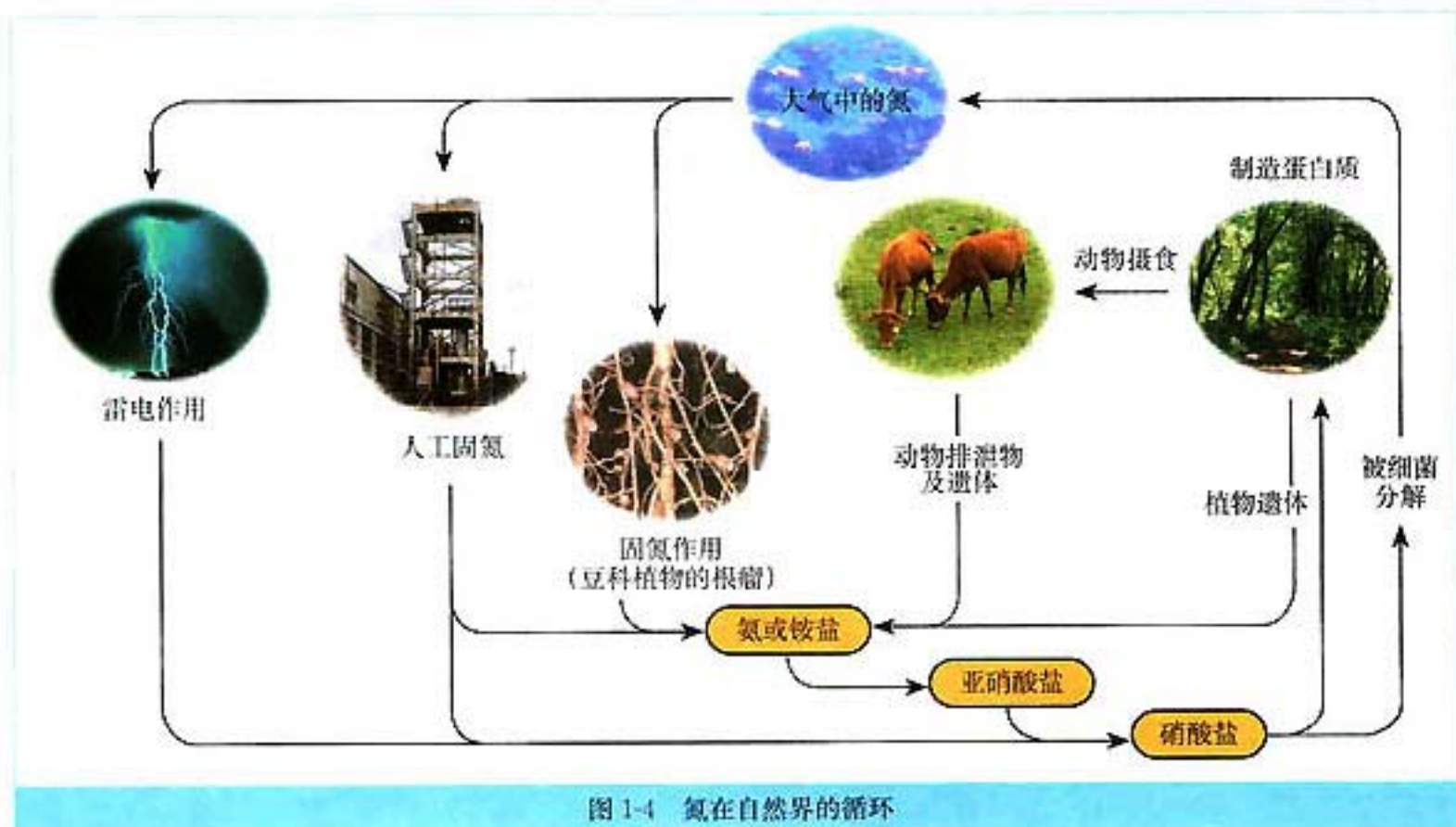


图 1-4 氮在自然界的循环

思考与交流

事实 1：在地壳中氮的含量只有 0.04%，而大气中氮气的体积分数为 78%。

问题 1：如何有效利用廉价的自然资源来生产含氮化合物？

事实 2：土壤中不多的含氮化合物主要来自：①雷雨放电时，在大气中生成的氮的氧化物，随雨水进入土壤；②某些菌类（与豆科植物共生的根瘤菌）可以吸收空气中的氮而生成某些含氮化合物；③随着动物的排泄物或腐败尸体中的含氮化合物进入土壤。

问题 2：哪一种自然过程可能会成为工业化生产过程？

合成氨 synthesis of ammonia
氮循环 nitrogen cycle

大气中丰富的氮气是氮元素最理想的来源，但只有将氮气转化为氮的化合物才能被多数生物吸收。将游离态氮转变为化合态氮的方法叫做氮的固定。由于氮气的化学性质很不活泼，在相当长的时间里，人工固定空气中氮的许多尝试都没有成功。直到20世纪初，才先后研究出了一些固定氮的方法，其中，合成氨是最有效而且便于工业化的方法。合成氨是人类科学技术上的一项重大突破，解决了地球上因粮食不足而导致的数亿人口的饥饿和死亡问题，这是化学和技术对社会发展与进步的巨大贡献之一，为此曾两次获得诺贝尔化学奖。

氮的固定
nitrogen fixation

一、合成氨的反应原理

实验 1-1

在一干燥的硬质试管中放入适量铁丝绒，按图 1-5 连接好实验装置。加热试管中的铁丝绒至红热后，用注射器抽取 20 mL 干燥氮气和 60 mL 干燥氢气，将混合气体通入试管，并用湿润的 pH 试纸置于导管出口处，观察试纸的变化。

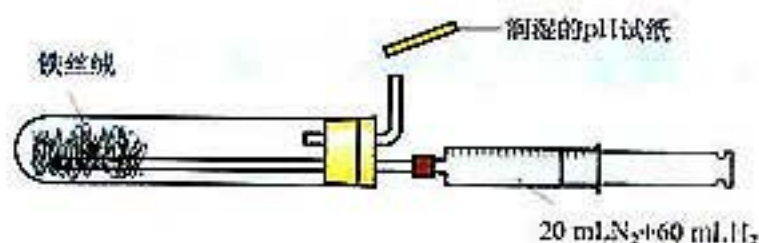
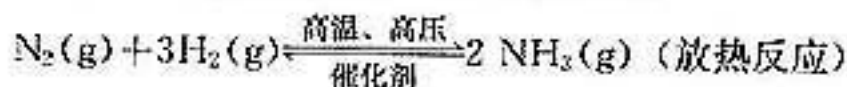


图 1-5 合成氨的实验装置

由氮气与氢气直接合成氨的化学原理为：



工业上，通常采用以铁为主的催化剂，在 400~500℃ 和 10 MPa~30 MPa 的条件下合成氨。

思考与交流

1. 你认为合成氨反应中催化剂的主要作用是什么？合成氨方案的主要优点是什么？
2. 合成氨反应是一个可逆、放热、气体分子总数减小的反应，请根据影响反应速率的因素和勒夏特列原理分析讨论合成氨工业适宜的反应条件。

3. 试从原料、能源、设备等方面,分析和推测合成氨反应在实际生产中可能会遇到哪些问题。

科学史话

合成氨——从实验室到工业化生产

德国化学家哈伯(F. Haber, 1868—1934)从1902年开始研究由氮气与氢气直接合成氨,于1908年申请了专利。这一循环法合成氨的专利主要包括下列过程:气体通过高温催化剂;低温除氨后再次循环,通过高温催化剂;全过程在一定压力下进行;进出催化剂床的冷、热气体进行热量交换;用蒸发成品氨来冷却离开催化剂的气体。

哈伯在此基础上,继续进行了大量实验研究,于1909年申报了高压专利,以及用铁为催化剂和用铀-碳化铀为催化剂的专利。用铁作催化剂,在17.5 MPa~20.0 MPa及500~600℃条件下,氨的含量可达到6%以上,具备了实现工业化生产的可能性。德国一家公司购买了哈伯的专利,对他的研究及工业化试验给予资助,并委任波施(C. Bosch, 1874—1940)全权负责该项目的开发。



图1-6 哈伯合成氨实验用的装置

波施认识到将此法进行工业化生产试验所面临的主要问题有:

- 设计获得大量廉价原料气体的方法 采用水煤气(主要成分 H_2 和CO)作为氢气的来源;氮气由液化空气分离法提供。

- 寻找高效、稳定的催化剂 哈伯推荐的催化剂,由于价格、来源和性能等原因不宜作工业用。为了寻找合适的催化剂,波施及其研究组进行了大量的试验。一直到1922年,共进行了配方超过2500种的20000多次的试验,终于筛选出了合成氨工业用催化剂。尽管后来不断地改进,这种类型的催化剂一直沿用至今。

- 开发适合高温、高压下的合成设备 1910年,用低碳钢制造的合成反应器不能承受高温、高压下氢气的腐蚀,组建合成氨设备成了关键问题。经过反复试验后找到了用软铁作衬里的办法。

至此,合成氨生产的最后技术难题终于被解决。哈伯完成了合成氨的基础开发工作,而波施实现了合成氨的工业化,所以,这种合成氨的工业方法被称为“哈伯—波施法”。

二、合成氨的基本生产过程

合成氨的生产主要包括三个步骤:

- 造气 制备合成氨的原料气;

- 净化 原料气净化处理；
- 合成 将原料气进行化学合成为氨。

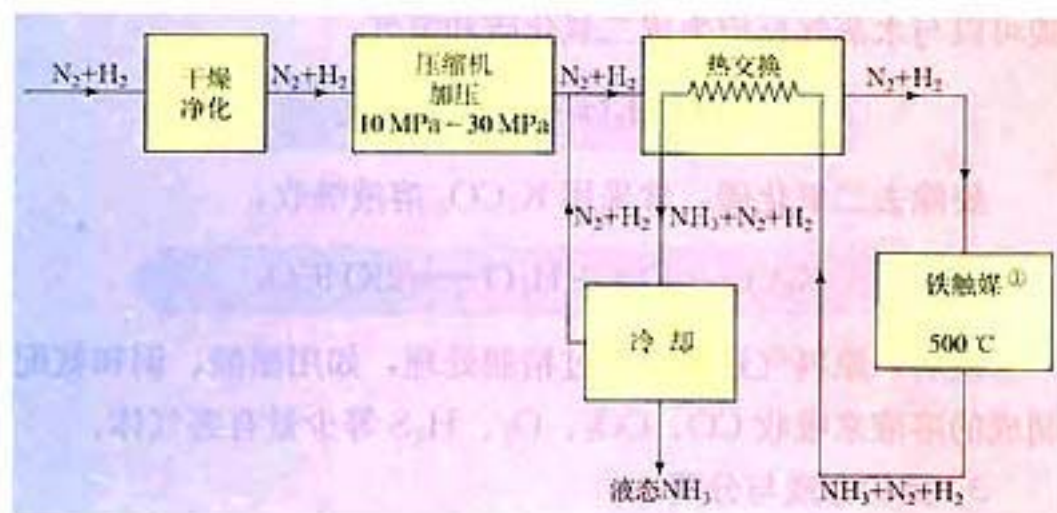


图 1-7 合成氨生产简易流程图

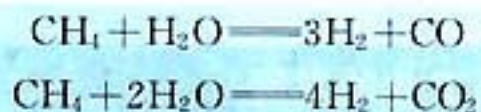
1. 制备合成氨的原料气

合成氨所需要的氮气都取自空气。从空气中制取氮气通常有两种方法：一是将空气液化后蒸发分离出氧气获得氮气；另一是将空气中的氧气与碳作用生成二氧化碳，再除去二氧化碳得到氮气。

氢气则来源于水和碳氢化合物。可以将水蒸气通过赤热的煤（或焦炭）层，使水蒸气与碳发生化学反应生成一氧化碳和氢气：



石油、天然气、焦炉气（炼焦厂副产的气体）、炼厂气（石油炼制厂副产的气体）等都含有大量的碳氢化合物，这些碳氢化合物在一定条件下，可以与氧气或水蒸气反应生成一氧化碳、二氧化碳和氢气。例如，在 $900 \sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ 时，甲烷与水蒸气在催化剂（ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ni}$ ）作用下发生化学反应：



2. 原料气的净化

合成氨需要纯净的氮气和氢气。在制取原料气的过程中，常混有一些杂质，其中的某些杂质会使合成氨所用的催化剂“中毒”，所以必须除去，这一过程称为原料气的净化。

例如，用稀氨水吸收 H_2S 杂质：



① 触媒即催化剂，工业上常用此名称。



图 1-8 合成氨厂

另外，制造原料气过程中产生的 CO 必须变成 CO_2 除去。工业生产中在催化剂（如 Fe_2O_3 和 CuO 等）作用下，一氧化碳可以与水蒸气反应生成二氧化碳和氢气：



要除去二氧化碳，常采用 K_2CO_3 溶液吸收：



最后，原料气还需要经过精制处理，如用醋酸、铜和氨配制成的溶液来吸收 CO 、 CO_2 、 O_2 、 H_2S 等少量有害气体。

3. 氨的合成与分离

净化后的原料气经过压缩机压缩至高压，进入氨合成塔（如图 1-9 所示），氮气与氢气在高温、高压和催化剂作用下合成氨。

从合成塔出来的混合气体，通常约含 15%（体积分数）的氨。为了使氨从没有起反应的氮气和氢气里分离出来，要把混合气体通过冷凝器使氨液化，然后在气体分离器里把液态氨分离出来导入液氨贮灌。由气体分离器出来的气体，经过循环压缩机，再送到合成塔中进行反应。

思考与交流

1. 使没有起反应的物质从反应后的混合物中分离出来，并重新回到反应器中，是一种循环操作过程，在化工生产中经常采用。为什么要进行这种操作？

2. 联合生产是指在整个生产过程中生产多种产品。根据合成氨的生产过程，请举例说明合成氨工业可以进行哪些联合生产或深加工？

三、合成氨工业的发展

自 1913 年世界上第一座合成氨厂投产以来，合成氨工业不断发展。目前，合成氨工业的主要研究领域有：

1. 原料及原料气的净化

作为原料气之一的氮气来自空气，可谓取之不尽用之不竭，因此，制氢气的工艺和技术成为研究的主要课题。早期的合成氨工业，主要以焦炭与水为原料生产水煤气以得到氢气。现在已经可以使用各种不同的固态（煤和焦炭等）、液态（石

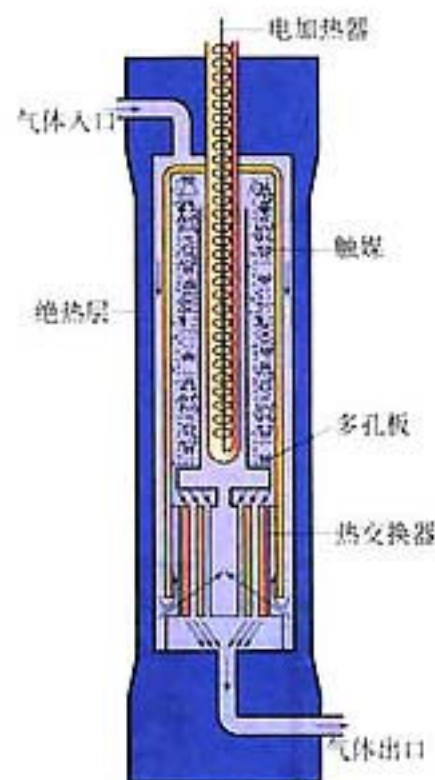


图 1-9 合成塔内部构造示意图

合成塔主要由接触室和热交换器两部分构成：热交换器使合成氨和氨冷凝放出的热量来加热原料气体

油中提炼的石脑油和重油等)和 气态(天然气、焦炉气等)可燃物作为制氢气的原料,由于原料不同,原料气的净化工艺和技术也不断改进。

表 1-3 世界合成氨原料的用量变化

原料	各种氨原料的份额/%					
	1971	1975	1980	1985	1990	2000
天然气	60	62	71.5	71.0	69.5	68.0
石脑油	20	19	15.0	13.0	8.5	6.5
燃料油	4.5	5	7.0	8.5	10.0	12.0
煤	9	9	5.5	6.5	7.5	10.5
其他	6.5	5.0	1.0	1.0	4.5	3.0

2. 催化剂的改进

催化反应过程的工艺条件常常决定于催化剂的性能,由于催化剂的突破而彻底改变工艺过程及条件的事例屡见不鲜。合成氨时,使用磁铁矿催化剂已经 80 多年,其间各国一直在进行研究和改进。例如,有采用钨为基础活性物质的新型催化剂,整个工艺流程也以此为核心设计。

3. 环境保护

随着环境保护意识的增强,以及相关的法律、法规的严格实施,合成氨生产中可能产生的固体、液体和气体废弃物的处理越来越成为技术改造的重要问题。

● 废渣 主要来自造气阶段,特别是以煤为原料而产生的煤渣,用重油为原料产生的炭黑等,现在大都将它们用作建材和肥料的原料。

● 废气 主要是 H_2S 和 CO_2 等有害气体。对 H_2S 的处理,先后采用了直接氧化法(选择性催化氧化)、循环法(使用溶剂将其吸收浓缩)等回收技术。 CO_2 虽然是无毒无害的物质,但随着人们对其可能产生温室效应的关注,减少 CO_2 的排放逐渐受到重视,所以在不断研究和改进将其作为尿素和碳铵生产原料的途径。

● 废液 主要是含氰化物和含氨的污水。目前,处理含氰化物污水主要有生化、加压水解、氧化分解、化学沉淀、反吹回炉等方法;处理含氨废水多以蒸馏的方法回收氨达到综合利用的目的,对浓度过低的含氨废水,可用离子交换法治理。

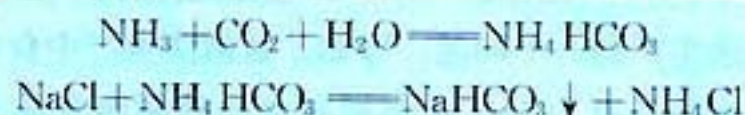
一、氨碱法生产纯碱

氨碱法是由比利时人索尔维（E. Solvay, 1838—1922）发明的，所以，氨碱法也称索尔维制碱法。氨碱法是以碳酸钙和氯化钠为原料生产碳酸钠（副产物为氯化钙）的过程。

我们知道，这并不是一个能够自发进行的反应：相反，逆反应却可以自发进行。显然，尽管食盐和碳酸钙是生产纯碱最廉价的原料，但食盐和碳酸钙并不能直接发生反应而生成碳酸钠，必须通过中间产物作为过渡。索尔维发明的氨碱法以食盐、氨（来自炼焦副产品）和二氧化碳（来自碳酸钙）为原料，通过一系列反应来生产碳酸钠。

1. 生成碳酸氢钠和氯化铵

将二氧化碳通入含氨的饱和食盐溶液中，可得到碳酸氢钠和氯化铵：



2. 制取碳酸钠

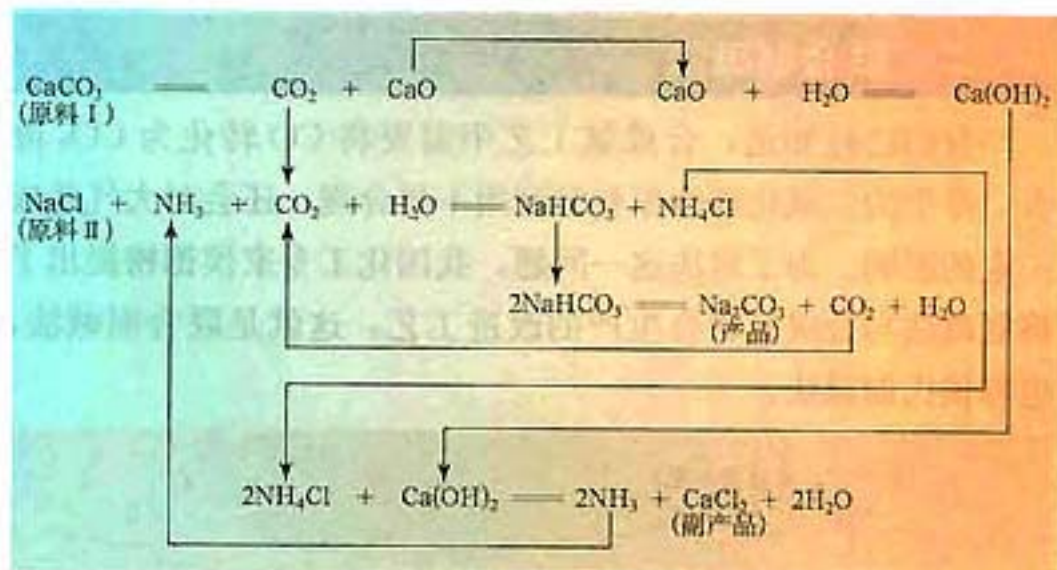
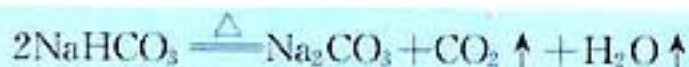


图 1-11 氨碱法生产原理示意图

科学探究

1. 两支试管分别盛有 2 mL NH_4HCO_3 溶液和 2 mL 饱和食盐水。将两支试管的溶液混合于一支试管中，振荡，观察现象。

2. 索尔维在用食盐水洗涤煤气时（废水中含有氨和二氧

氨碱法

ammonia-soda process

化碳)，偶然发现了一种白色沉淀，他推测这种白色沉淀可能是碳酸氢钠，为了验证猜想他进行类似于上述的实验，并因此而诞生了氨碱法。请你根据下列有关物质的溶解度数据，分析产生上述现象的原因。

表 1-4 20℃ 时一些物质在水中的溶解度/g

氯化钠	氯化铵	碳酸钠	碳酸氢钠	碳酸氢铵
35.9	37.2	21.5	9.6	21.7

3. 思考一下氨碱法中加入氨的主要作用是什么？

氨碱法生产纯碱具有原料（食盐和石灰石）便宜易得、产品纯度高、氨和部分二氧化碳可以循环使用、制造步骤简单等优点，所以很快成为大规模生产纯碱的工业方法。

但氨碱法也有缺点，如原料食盐中的另一成分氯（ Cl^- ）和石灰石中的另一成分钙（ Ca^{2+} ）生成氯化钙，如何处理它成为氨碱法生产的一个问题。再如，氨碱法生产中食盐的利用率不高，大约只有 70%，如何提高食盐的利用率成为氨碱法生产的另一个问题。这两个问题被我国化工专家侯德榜较好地解决了。

二、联合制碱法

我们已经知道，合成氨工艺中需要将 CO 转化为 CO_2 除去，排空的二氧化碳使原料的利用不尽合理，还会对大气造成一定的影响。为了解决这一问题，我国化工专家侯德榜提出了将氨碱法与合成氨联合生产的改进工艺，这就是联合制碱法，也称侯氏制碱法。

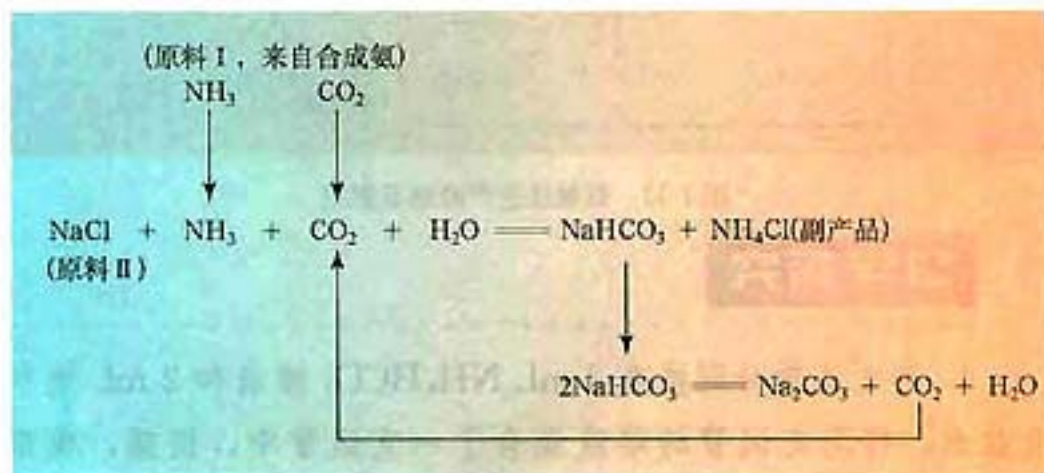


图 1-12 联合制碱法生产原理示意图

侯氏制碱法

Hou's process

(for soda manufacture)

思考与交流

根据联合制碱法生产原理示意图，分析比较它与氨碱法的主要区别在哪里？有哪些优点？

联合制碱法的特点在于，生产过程中所需的氨和二氧化碳都是由合成氨厂提供的，从滤出碳酸氢钠后所得的母液中可回收氯化铵，因此，它保留了氨碱法的优点，克服了它的缺点，使氯化钠的利用率提高到了96%以上，尽管增大了设备循环处理的量，也会加重设备的腐蚀，但经济上完全可以补偿此法的不足。联合制碱法既体现了大规模联合生产的优越性，也是综合利用原料、降低成本、减少环境污染的典型代表。



图 1-13 侯德榜(1890—1974)

科学史话

我国制碱工业的先驱——侯德榜

侯德榜 1890 年生于福建闽侯农村。少年时他学习十分刻苦，1911 年考入清华留美预备学校，后来以 10 门功课 1 000 分的优异成绩被保送到美国留学。1916 年获美国麻省理工学院学士学位，1919 年获美国哥伦比亚大学硕士学位，1921 年获博士学位。怀着为振兴祖国民族工业的决心和信心，侯德榜毅然回国到爱国实业家范旭东创办的永利碱业公司负责技术开发工作，开始了艰难的创业之路。在侯德榜的努力下，永利碱厂生产出了“红三角”牌纯碱，并在美国 1926 年的万国博览会上荣获金奖，永利碱厂也成为当时亚洲第一大碱厂。抗日战争爆发后，侯德榜率西迁的员工建设永利川西化工厂。川西地区盐卤浓度低，为了降低制碱成本，提高食盐的转化率，侯德榜经过认真分析和思考，开始对索尔维法进行改进，产生了联合制碱的设计思想。在战争年代研究和试验所遇到的困难是可想而知的，经过数百次的试验，终于确定了新的工艺流程。侯氏制碱法将制碱技术推向了一个新的水平，赢得了国际化工界的高度评价。侯德榜先生为我国化学工业事业作出了卓越贡献，是我国近代化学工业的奠基人之一。

思考与交流

人类历史上，科学技术的突破性重大发现和成果总是与一些伟大的名字联系在一起，路布兰、索尔维和侯德榜的名字都铭刻在人类制碱技术发展的历史上，你知道吗？路布兰是一名医生，索尔维是在工作中学习化学的，侯德榜是化学工程博士。根据三个人所处的年代及学习经历，你对技术与科学的关系有哪些新的认识？

一、归纳总结硫酸、氨和纯碱的生产原理及主要用途。

基本化工产品	化学反应原理	主要用途
硫酸		
氨		
纯碱		

二、参考图 1-14，分析和比较化学实验与实际工业生产的区别和联系。

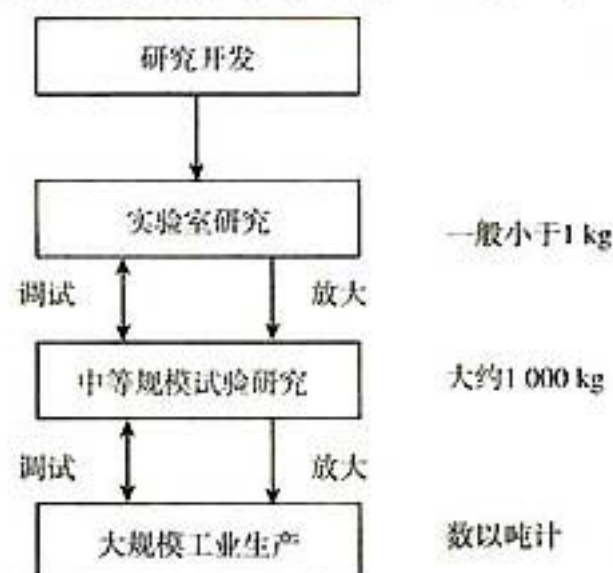


图 1-14 实验研究与实际生产的关系示意图

练习与实践

1. “很多日常用品与化学工业生产有关”，如果你同意这一说法，请列举出一些用品可能与哪类化工生产有关；如果你不同意上述说法，请举例说明。将你的看法与同学交流。

2. 厨房中可能备有食盐和纯碱，你可以采用多种方法来区分它们，其中一些方法可以在厨房中进行，另一些方法可以在实验室中进行，分别举例说明。

3. 根据硫酸生产的原理, 工艺流程分为三个主要阶段。第一阶段_____, 化学方程式为_____; 第二阶段_____, 化学方程式为_____; 第三阶段_____, 化学方程式为_____。

4. 工业生产中的三废主要是指_____, _____、_____. 归纳总结硫酸和合成氨生产中是如何进行三废处理的。

5. 用连线表示合成氨生产中的措施与其主要作用的关系。

- | | |
|-----------------------|---------------|
| (1) 及时将生成的氨从混合气体中分离出来 | a. 提高原料的利用率 |
| (2) 在设备允许的条件下采用高压 | b. 防止催化剂中毒 |
| (3) 使用铁为主的催化剂 | c. 提高混合气中氨的含量 |
| (4) 除去原料气中的有害物质 | d. 提高反应速率 |
| (5) 不采用很高的温度 | |

6. 为了检验纯碱的质量 (可能含有少量小苏打), 取少量样品进行实验, 可以采用的方法是 ()。

- A. 加热后通入澄清石灰水, 观察现象
- B. 滴加盐酸, 观察现象
- C. 溶于水中, 滴加少量 BaCl_2 溶液, 观察现象
- D. 溶于水中, 滴加少量澄清的石灰水, 观察现象

7. 设计以纯碱、生石灰和水为原料生产烧碱的实验方案, 写出有关反应的化学方程式。

8. 某工厂每天要烧掉含硫 1.6% 的烟煤 100 t, 排放出的 SO_2 会严重污染环境。如果变废为宝, 将这些 SO_2 回收利用, 那么, 在理论上每年 (按 365 d 计) 可生产 98% 的浓硫酸多少吨?

9. 按照绿色化学的原则, 理想的“原子经济”就是反应物的原子全部转化为期望的最终产物, 实现废弃物的零排放。根据氨碱法总反应的化学方程式:



计算该反应的原子利用率 (原子利用率 = 期望产物的总质量与生成物的总质量之比) 是多少? 并思考侯氏联合制碱法的原子利用率有何变化?

10. 在生活中有一些利用化学反应中吸热或放热现象的实例, 如氯化钙溶于水放出热量可以用来制作热袋; 硝酸铵溶于水吸收热量可以用来制作冰袋。你可以试着按下列方法做一个热袋: 将 175 g 醋酸钠放入 50 mL 水中, 用热水将醋酸钠溶解后倒入一个保鲜袋中, 放入一块可扭曲的金属片, 待溶液降温后, 扭曲金属片, 看看有什么变化?

如果你感兴趣的话, 还可以调查一下市场上类似产品中分别应用了哪些化学物质, 它们的设计原理分别是什么?

地球上大量存在的天然水中含有很多杂质，无论是在我们的生活中，还是在工业生产中，一般都不能直接使用。为了获得符合不同质量标准的水，以满足人们生活和生产的实际用水需要，必须对水进行处理，以除掉水中的一些杂质。

一、天然水的净化

1. 混凝法

天然水中常含有一些悬浮物和胶体，很难用自然沉降法除去。所以常用加入混凝剂的方法，使细小的悬浮物和胶体聚集成较大的颗粒而沉淀，然后过滤除去。

明矾是我们熟悉的一种混凝剂，在一些没有自来水的地方，用它来净化水。明矾在水中发生电离：



Al^{3+} 与水发生水解反应^①，生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ：



$\text{Al}(\text{OH})_3$ 在水中以絮状的胶体形式存在，由于水中的胶体杂质一般都带负电，而 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体粒子带正电，通过电性吸引作用，破坏了天然水中胶体杂质的稳定性，使胶体杂质聚沉；同时， $\text{Al}(\text{OH})_3$ 还能吸附一些悬浮物，这样就起到了净水的作用。

在工业生产中还常用硫酸铝、聚合铝、硫酸亚铁、硫酸铁等作混凝剂。值得注意的是，近年来用含铝混凝剂处理饮用水的安全性不断受到质疑，此方面的研究正引起人们的重视。

实验 2-1

在 3 个烧杯中都盛有河水（或井水），做以下实验：

水净化 water purification

① 在溶液中盐电离出的离子与水电离出的 H^+ 或 OH^- 结合生成弱电解质的反应，叫做盐类的水解。

资料卡片

水处理方法的选择，通常要考虑以下几个方面的问题：

- 水质和数量的要求
- 根据水质和数量的要求选择有效的方法和设备
- 考虑必要的成本核算，进行质量、数量及经济实用等方面的综合评价，形成最优化的水处理工艺方案

	实 验	现 象
烧杯 1	加入一些 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (绿矾), 搅拌后静置	
烧杯 2	先加入适量 NaOH 溶液, 使溶液的 pH 达到 9 左右, 然后加入一些 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 搅拌后静置	
烧杯 3	加入一些 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 搅拌后静置	

由于 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 来源充足, 作为混凝剂在工业上应用比较多。它在水中的作用与铝盐相似, 但水解后生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶解度较大, 混凝效果不好。所以, 实际应用时必须将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} , 在溶液中生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 起到较好的混凝作用。 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶于水后显酸性, 而 Fe^{2+} 在碱性条件下更容易被氧化成 Fe^{3+} , 所以要将 pH 调到 9 左右。

学 与 问

铁盐的水解反应与铝盐相似, 你能写出 Fe^{3+} 水解的离子方程式吗?

因为混凝剂难以清除溶解于水中的有机物质、无机盐和微生物, 作为生活用水, 经过混凝法净水后, 还必须进行杀菌消毒, 一般过程为: 混凝沉淀→过滤→杀菌。

思考与交流

1. 天然水中含有细菌, 其主要成分是蛋白质。请你举出几种在家中能杀灭水中细菌的简单方法。

2. 城市自来水以天然水为水源, 你能简要地说明获取自来水的过程吗?

3. 从饮用水消毒剂 and 混凝剂的使用来看, 请你思考: 在采取某种化学方法处理生活中的问题时, 一般需要考虑哪些问题?

2. 化学软化法

天然水与空气、岩石和土壤等长期接触, 其中溶解了许多杂质, 如无机盐类、某些可溶性有机物以及气体等, 通常含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子和 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 等阴离子。不同地区的天然水里含有这些离子的种类和

资料卡片

饮用水消毒

饮用水的杀菌, 曾广泛采用液氯作消毒剂。但液氯消毒会使水中所含的食物残渣和浮游生物等多种有机物发生变化, 生成对人体有害的物质。因此, 近年来人们逐步利用二氧化氯 (ClO_2)、 O_3 等进行饮用水消毒。

硬水 hard water

软水 soft water

① 水的硬度常用一种规定的标准来表示。通常 1 L 水里含有 10 mg CaO (或相当于 10 mg CaO) 称为 1° (度)。水的硬度在 8° 以下的为软水；在 8° 以上的称为硬水；硬度大于 30° 的是最硬水。

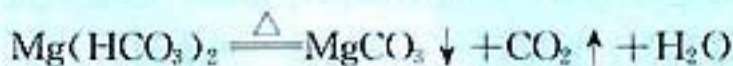
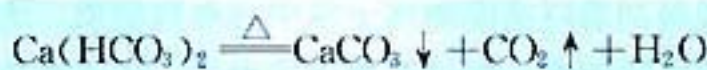
数量不同。一般地说，地下水、泉水中含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 较多，而雨水、河水、湖水中含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 少一些。

通常按水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的多少，把天然水分为硬水和软水。含有较多 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水叫做硬水；含有少量 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 或不含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水叫做软水。水的硬度①过高对生活 and 生产都有害处。例如，洗涤用水如果硬度太高，水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与肥皂反应生成不溶于水的物质，不仅浪费肥皂，也洗不净衣物。在工业上对水的硬度也有要求，如锅炉用水如果硬度太高，长期烧煮后，水里的钙盐和镁盐会在锅炉内结成锅垢，使锅炉内金属管道的导热能力大大降低，不但浪费燃料，而且会导致管道局部过热，使锅炉管道变形或损坏，严重时会引起爆炸事故。所以硬水的软化非常重要。

如果水的硬度是由 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 或 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 所引起的，这种硬度叫做暂时硬度；如果水的硬度是由钙和镁的硫酸盐或氯化物等引起的，这种硬度叫做永久硬度。天然水大多同时具有暂时硬度和永久硬度。

硬水软化的方法通常有加热法、药剂法和离子交换法等。

● 具有暂时硬度的水可以用加热的方法进行软化。



● 具有永久硬度的水可采用药剂法和离子交换法进行软化。

药剂法通过向硬水中加入适当的化学药剂，与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生化学反应，使 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 以沉淀的形式分离出来，达到软化水的目的。

常用的化学药剂有纯碱、生石灰等。对于工业锅炉用水，还有一种用磷酸盐作药剂的处理方法，使沉淀物悬浮在水中而不结垢。

科学探究

有一杯具有永久硬度的水，其中主要含有 MgCl_2 和 CaCl_2 。你能设计出软化水的实验方案吗？

现有药剂可供选用： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液、 NaOH 溶液、饱和

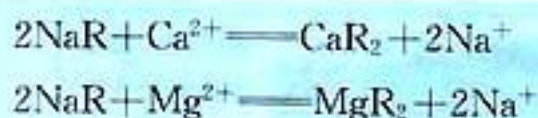
Na_2CO_3 溶液、肥皂水。

实验方案：

实验步骤	现象	化学方程式

如果有一杯同时具有暂时硬度和永久硬度的水，你如何来设计软化水的实验方案呢？

离子交换法是用离子交换剂软化水的方法。离子交换剂中的阳离子与水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生离子交换作用，使水得到软化。现在常用作离子交换剂的离子交换树脂，是一类不溶于水但能与溶液中同电性离子进行交换的有机高分子电解质，常用 NaR 、 HR 等表示。可以用以下反应来表示离子交换法软化水的过程：



离子交换树脂使用一段时间后，由 NaR 型变成了 CaR_2 型（或 MgR_2 型），而失去了交换能力。可把 CaR_2 型（或 MgR_2 型）树脂置于 5%~8% 的食盐水中，便可发生逆向的交换反应，重新生成 NaR ，恢复交换能力：



这个过程叫做再生。

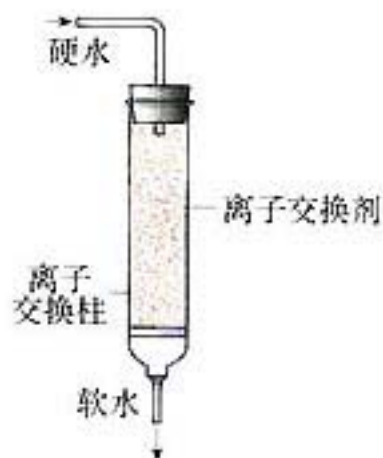


图 2-1 离子交换法软化水示意图

二、污水处理

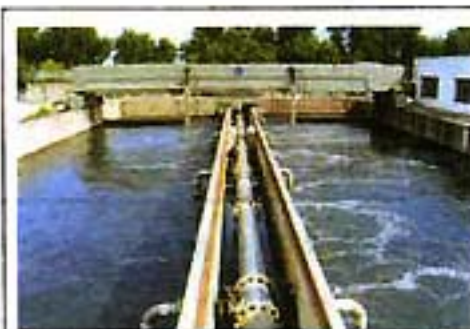
污水处理的技术很多，可分为物理法、生物法和化学法等。根据污水处理的程度又分为一级、二级和三级，其过程如图 2-2 所示。

污水处理时，污水中的悬浮物可用混凝法除去；对其他溶解在水中的污染物，则要根据其化学性质采用有针对性的化学

一级处理通常采用物理方法，即用格栅间、沉淀池等除去污水中不溶解的污染物。经一级处理后的水一般达不到排放标准，所以通常作为预处理。



格栅间：除去污水中的大块物体



曝气沉沙池：使沙、水初步分离



初次沉淀池：使泥、水分离



曝气池：通过微生物的代谢作用，将污水中各种复杂的有机污染物降解为简单的、无害的物质

二级处理采用生物方法（又称微生物法）及某些化学方法，除去水中的可降解有机物和部分胶体污染物。经二级处理后的水一般可达到农灌标准和废水排放标准。



二次沉淀池：经过曝气池出来的水在此进行二次沉淀

三级处理主要采用化学沉淀法、氧化还原法、离子交换法和反渗透法等，对污水进行深度处理和净化。经三级处理后的水可用于绿化和景观用水等。

图 2-2 污水处理流程示意图

方法,如酸碱中和法、重金属离子沉淀法等。

1. 中和法

对于酸性废水和碱性废水,可以用中和法进行处理。如用熟石灰来中和钢铁厂、电镀厂等产生的酸性废水;用 H_2SO_4 或 CO_2 中和造纸厂等产生的碱性废水等。

学与问

你能写出几个用中和法处理酸性废水和碱性废水的有关反应的化学方程式吗?

对于高浓度的酸、碱废水,应优先考虑回收利用的问题,如可用浓缩法回收其中的酸或碱。

2. 沉淀法

对于含有重金属离子的工业废水,可以利用某些化学物质作为沉淀剂,与金属离子反应生成沉淀而析出,从废水中分离。例如,对于含有 Hg^{2+} 的废水,可向其中加入 Na_2S ,使 Hg^{2+} 转化为 HgS 沉淀而除去:



由于 HgS 在水中的溶解度很小,当 S^{2-} 过量时, Hg^{2+} 的浓度可降至极低。用这种处理方法,也能同时将水中所含的 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 等重金属离子除去,所以,经过处理的水成为不含重金属类污染物的水。

学与问

为什么用 Na_2S 除去 Hg^{2+} 的同时,也能将水中所含的 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 等重金属离子除去?请写出有关反应的离子方程式。

处理工业废水还有其它方法,如氧化还原法等。在实际处理工业废水时,根据污染物组成和回收用水水质要求的不同,经常需要采用多种技术分步处理,才能达到排放标准或复用指标。

三、海水淡化

随着淡水资源的日益匮乏,人们将目光转向了海水。但

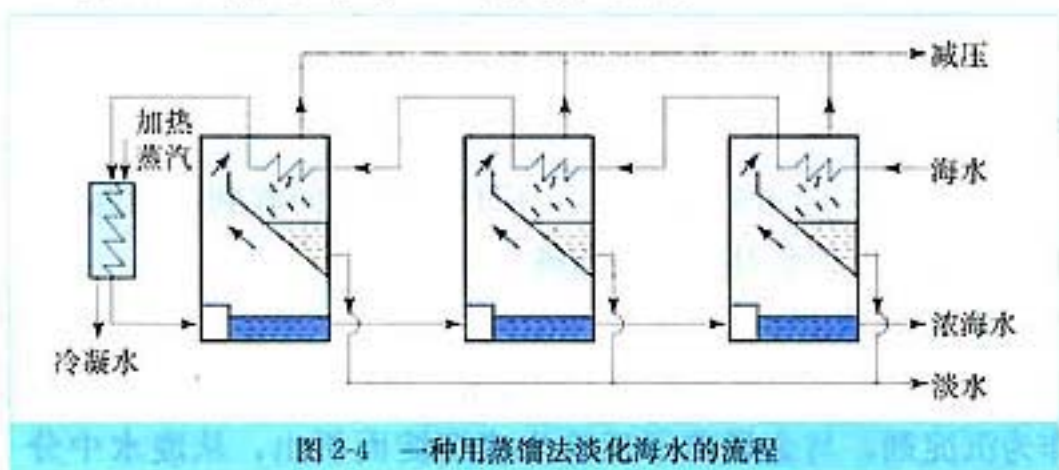


图 2-3 污水处理厂

是，因为海水中含有许多化学物质，不能直接饮用，作为工业用水也有许多限制。所以，将海水转化为淡水的技术便成为社会可持续发展的重大课题之一。

思考与交流

回忆我们在必修课中学过的知识，举出你能想到的海水淡化的方法及所依据的原理，与同学交流。



实践活动

查阅有关资料，了解目前国内外海水淡化的主要方法。写出调查报告，并与同学交流。

科学视野

电渗析法淡化海水

电渗析法是一种利用离子交换膜进行海水淡化的方法。离子交换膜是一种功能性膜，分阳离子交换膜和阴离子交换膜（简称阳膜和阴膜）。阳膜只允许阳离子通过，阴膜只允许阴离子通过，这就是离子交换膜的选择透过性（如图 2-5）。在外加电场的作用下，水溶液中的阴、阳离子会分别向两极移动，如果在中间加上一种交换膜，就可能达到分离浓缩的目的。电渗析法就是利用这样的原理。

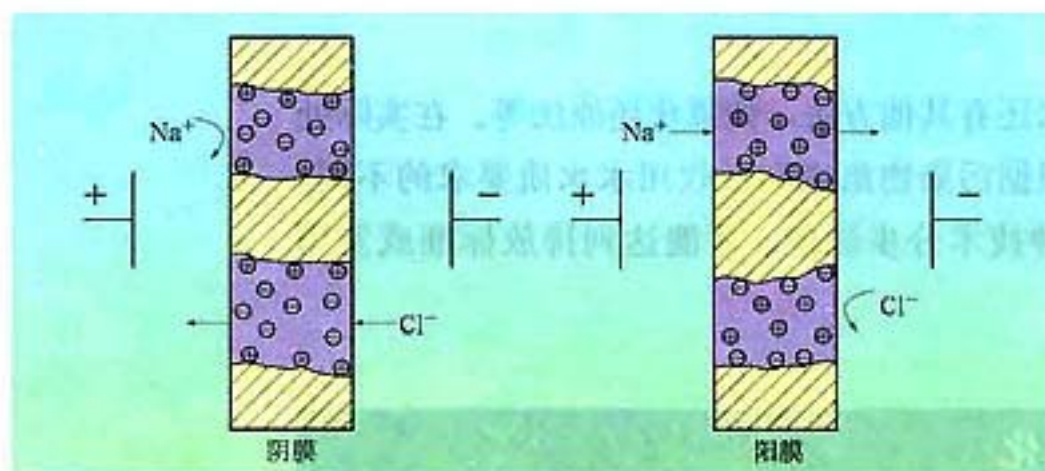
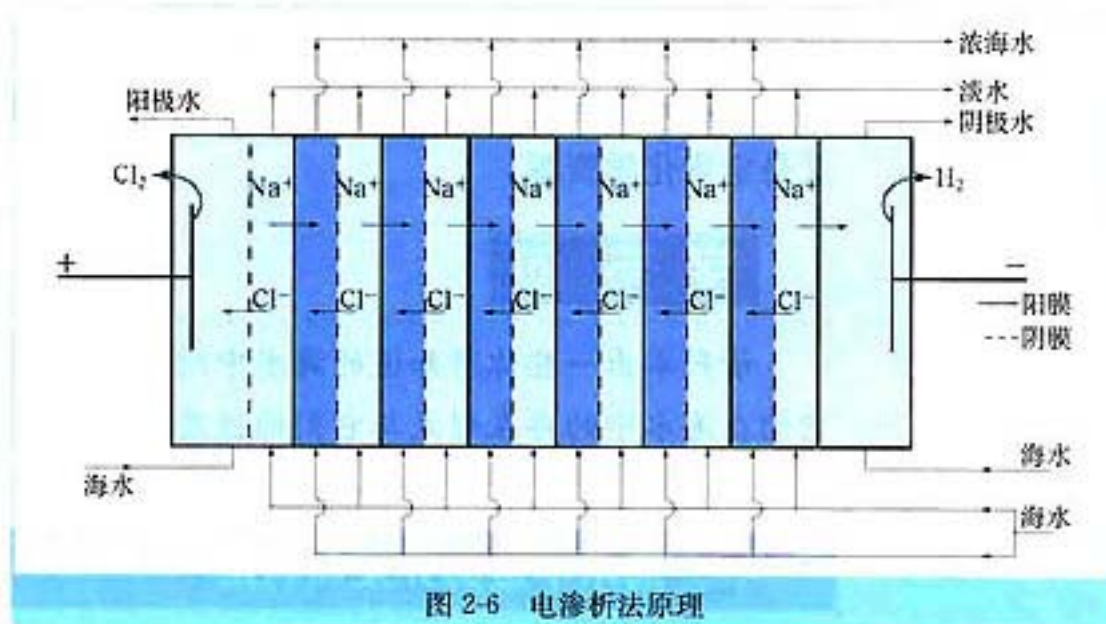


图 2-5 离子交换膜选择透过性示意图

如图 2-6 所示，将具有选择透过性的阴离子交换膜和阳离子交换膜相间排列，隔成多个独立的间隔室，海水充满在各个间隔室中，在外加直流电场的作用下，海水中的阴、阳离子分别透过阴膜和阳膜，从而使一个间隔室的海水被淡化，而其相邻间隔室的海水被浓缩，这样，淡水和浓缩海水被分离。



电渗析技术的特点是从海水中除去离子，技术的关键在于离子交换膜，良好的离子交换膜应具有优良的选择透过性和化学稳定性。

浩瀚的海洋是个巨大的资源宝库，它不仅孕育着无数的生命，还蕴藏着丰饶的矿产；而海水本身含有大量的化学物质，又是宝贵化学资源。

学与问

请列举出一些你所知道的海水中所含的化学物质。你认为它们在海水中的存在形式与它们的性质有什么关系？

一、海水中盐的开发和利用

海水中含有多种盐类，如氯化钠、氯化镁、硫酸钙等。在海水的无机盐中，以氯化钠为最多，约占海水中盐类总量的80%。早在四千多年前，人类就已经能从海水制盐。

1. 海水制盐

目前，由海水制盐的方法仍以蒸发法（盐田法）为主，它的原理很简单，即在太阳照射后，海水受热使水分蒸发，当各种盐分别达到其饱和浓度时，依次以固态形式析出。

并不是所有的海岸都可以晒盐，作为盐田必须符合以下条件：

- 有平坦空旷的海滩，且潮汐落差大；
- 气候干燥、多风、少雨；
- 远离江河入海口，避免海水被淡水冲稀。

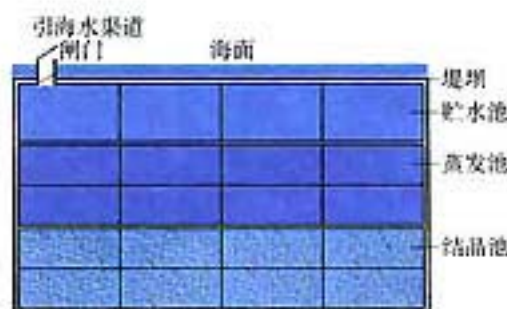


图 2-7 盐田示意图



蒸发池



结晶池

图 2-8 盐田

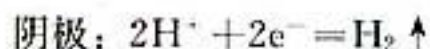
盐田一般分贮水池、蒸发池和结晶池三部分。盐田周围有堤坝，以防海浪冲击。靠海一面的堤坝上有引入海水的渠道和闸门。蒸发池和结晶池分许多区，用小堤隔开。晒盐时，利用涨潮把海水引入贮水池，待海水澄清后，使它顺序流经蒸发池各区，经过风吹、日晒，海水逐渐蒸发浓缩，达到一定浓度后，引入结晶池继续浓缩，直至达到饱和析出食盐晶体；分离食盐晶体后所得到的母液叫苦卤，可以综合利用，制得一系列副产品，如氯化钾、氯化镁等。

随着科学和技术的进步，人们还利用其他方法从海水制盐，如电渗析法、冷冻法等。用这两种方法不但可以制盐，同时也可以得到淡水。

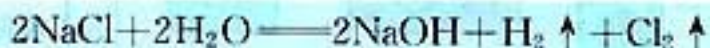
2. 食盐资源的利用

食盐是人类生活所不可缺少的物质，也是重要的化工原料，化学工业中氯和钠的相关产品，大多都以食盐为原料。例如，作为基本化学工业之一的氯碱工业，就是以食盐为原料制取 NaOH 、 Cl_2 和 H_2 ，再进一步生产一系列的化工产品。

在氯碱工业中，通过电解^①饱和食盐水的方法得到 NaOH 、 Cl_2 和 H_2 。其原理可以通过图 2-9 所示的实验装置来说明。我们知道，在氯化钠溶液中存在着 Na^+ 、 H^+ 、 Cl^- 、 OH^- 四种离子，当接通直流电源后，带负电的 OH^- 和 Cl^- 向阳极移动，带正电的 Na^+ 、 H^+ 向阴极移动。在所给的电解条件下， Cl^- 比 OH^- 容易失去电子， H^+ 比 Na^+ 容易得电子，在两极分别发生下列反应：



由于不断电离出 H^+ 和 Cl^- 形成 H_2 和 Cl_2 ，溶液中的 OH^- 浓度增大。所以电解饱和食盐水的总反应可表示为：



学与问

1. 上述电解食盐水的产物间能否发生化学反应？你能写出有关反应的化学方程式吗？

2. 如果要利用电解食盐水的反应制 NaOH ，你认为应该采取什么措施？如果不采取措施，可能会发生什么危险？

电解 electrolysis

① 使电流通过电解质溶液而在阴、阳两极引起氧化还原反应的过程叫做电解。

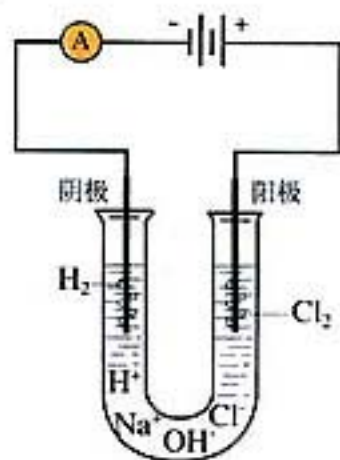


图 2-9 电解饱和食盐水实验装置



图 2-10 离子交换膜电解槽

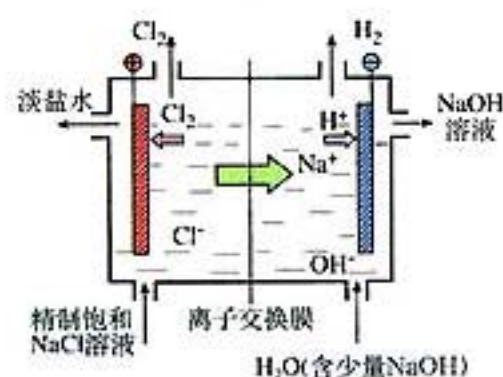


图 2-11 离子交换膜法电解原理示意图

工业生产中，为避免上述几种产物混合，需要使反应在特殊的电解槽中进行。目前，比较先进的电解制碱技术是离子交换膜法。

离子交换膜电解槽是由多个单元槽串联或并联组成的，每个单元槽主要由阳极、阴极、离子交换膜、电解槽框和导电铜棒等组成，图2-10是一台离子交换膜电解槽（包括16个单元槽），图2-11是一个单元槽的电解原理示意图。

精制的饱和食盐水进入阳极室；纯水（加入一定量的NaOH溶液）加入阴极室。通电时， H_2O 在阴极表面放电生成 H_2 ， Na^+ 穿过离子交换膜由阳极室进入阴极室，导出的阴极液中含有NaOH； Cl^- 则在阳极表面放电生成 Cl_2 。电解后的淡盐水从阳极导出，可重新用于配制食盐水。

离子交换膜法制碱技术具有设备占地面积小、能连续生产、生产能力大、产品质量高、能适应电流波动、能耗低、污染小等优点，是氯碱工业发展的方向。

$NaOH$ 、 Cl_2 和 H_2 都是重要的化工生产原料，可以进一步加工成多种化工产品，广泛用于生产和生活中。

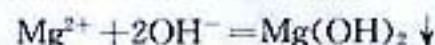
资料卡片

食盐水的精制

从海水得到的粗盐中含有泥沙、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 SO_4^{2-} 等杂质，用于电解法制碱必须经过精制。精制食盐水常加入一些试剂，使杂质沉淀过滤出，再加盐酸调节盐水的pH。例如，除去 SO_4^{2-} ，可先加 $BaCl_2$ 溶液，再加 Na_2CO_3 溶液（同时也可除去 Ca^{2+} ）：



除 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 可加 $NaOH$ ：



处理后的盐水中仍含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等金属离子，在碱性环境中会生成沉淀，损坏离子交换膜，所以该盐水需送入阳离子交换塔，进一步除去 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等。

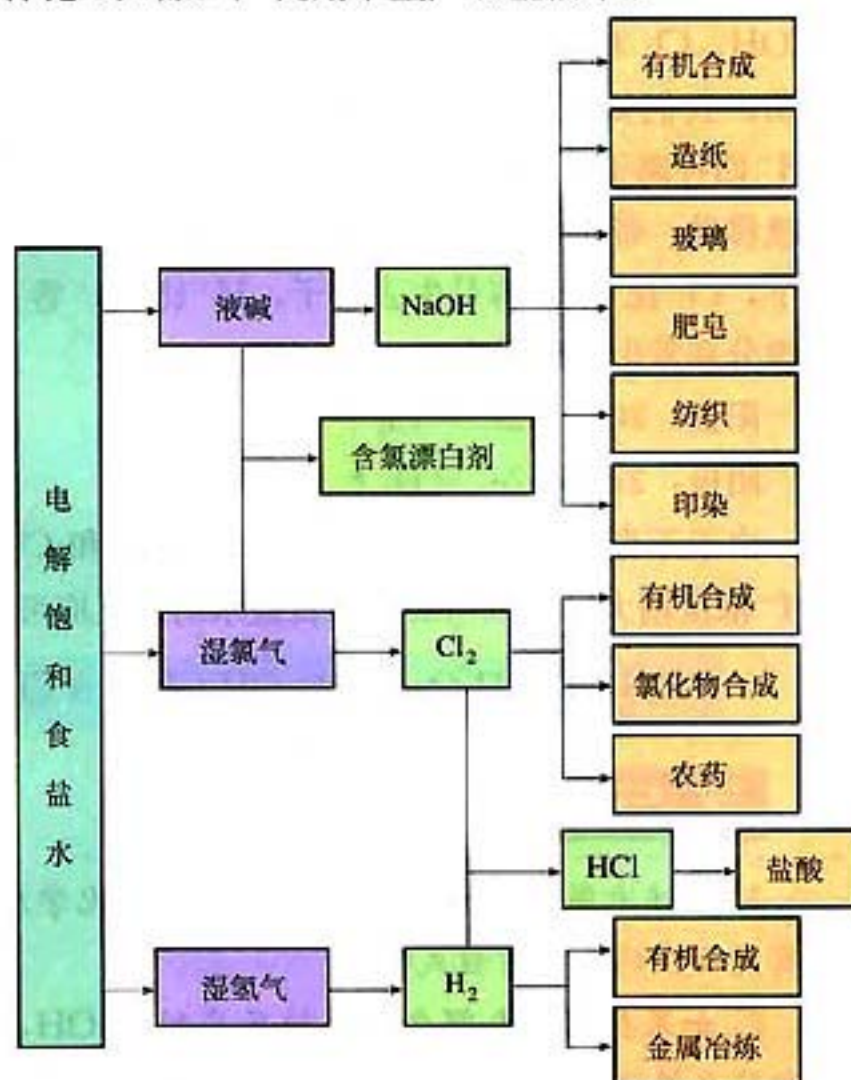


图 2-12 氯碱工业产品

目前，从海水中提取的溴约占世界溴年产量的1/3。常用的一种海水提溴技术叫做吹出法，即用氯气氧化海水中的 Br^- ，使其变成 Br_2 ，然后用空气或水蒸气吹出，其过程如下。

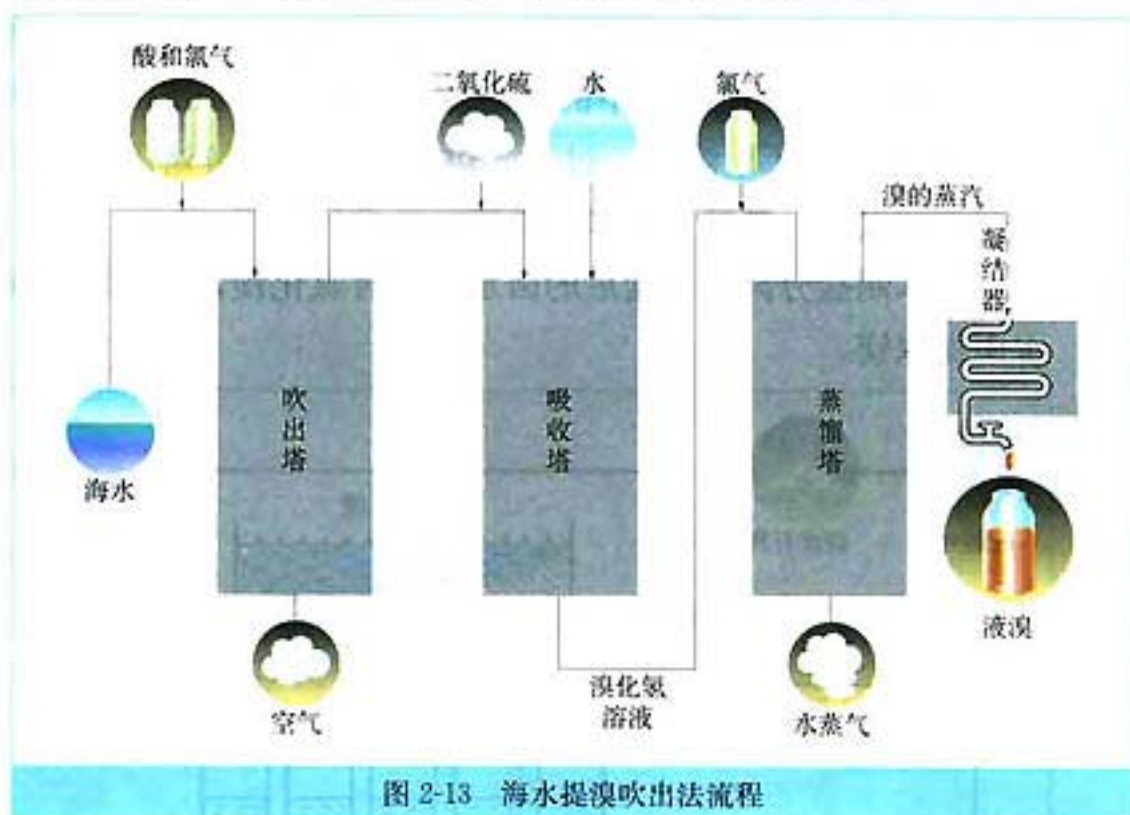


图 2-13 海水提溴吹出法流程

1. 氯化

学 与 问

所谓氯化就是用氯气置换溴离子，使其成为溴单质。你能写出上述氯化过程中氯气置换溴离子的化学方程式吗？

氯气氧化溴离子，在 pH3.5 的酸性条件下效果最好，所以在氯化之前要将海水酸化。

2. 吹出

当海水中的 Br^- 被氧化成 Br_2 以后，用空气将其吹出。另外，也可以用水蒸气，使溴和水蒸气一起蒸出。

3. 吸收

用空气吹出的溴和大量的空气混合在一起，不容易分离。为了从空气中回收溴，还要使用还原剂。目前比较多的是用 SO_2 做还原剂，使 Br_2 转化为氢溴酸，再用氯气将其氧化得到溴产品。

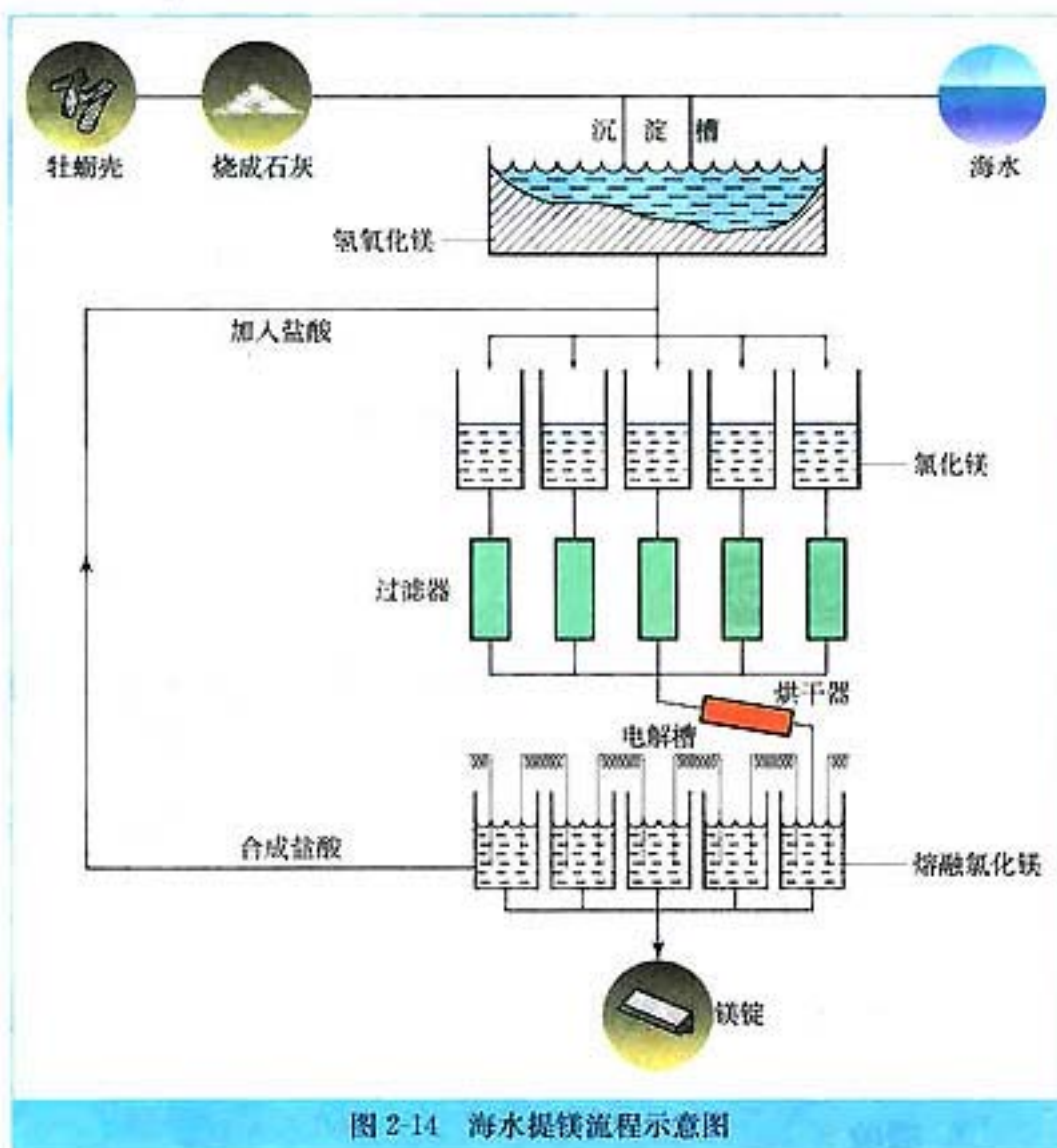


三、海水提镁

海水中镁的总储量约为 2.1×10^{13} t，具有开发利用的价值，目前世界生产的镁 60% 来自海水。

工业规模海水提镁的一种方法是，将海水抽入反应槽（沉淀槽，如图 2-14 所示）中，加入石灰乳（或用海洋中的牡蛎壳烧成石灰粉末），使海水中的镁转变成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀；加入盐酸转化成 MgCl_2 溶液，过滤、烘干，然后电解熔融 MgCl_2 得到镁和氯气；氯气可用来制盐酸，再循环使用。

海水制盐分离出食盐后的卤水中含有氯化镁，也可以从卤水中提取镁。



学与问

你能用离子方程式或化学方程式表示海水提镁的过程吗？

学 与 问

请你说出氢的同位素，并写出它们的化学符号和名称。

氢的同位素氘(${}^2_1\text{H}$)的原子核里有一个质子和一个中子，相对原子质量为2，所以叫做重氢，化学符号为D。由重氢和氧化合而成的水叫重水(D_2O)。 D_2O 可作原子能反应堆的中子减速剂和传热介质(这种反应堆称为重水堆)。两个氘核在高温高压下可融合成氦核，同时释放出大量的能量，这个过程称作热核聚变。海水中含有 2.0×10^{14} 吨的重水，可供人类利用上百亿年。热核聚变技术一直是科学技术的前沿课题之一。

科学视野

提取重水的方法

提取重水的方法有蒸馏法、电解法、化学交换法和吸附法等。较为常用的是化学法，其中的一种是硫化氢—水双温交换法^①。交换按下列反应进行：



根据此反应，设计出了如图2-15所示的流程。在这一流程中，气体 H_2S 在两个串联的反应器(冷塔和热塔)中循环反应。在冷塔中，HDS中的氘转移到水中变成HDO；而热塔中，HDO中的氘转移到 H_2S 中成为HDS；这样就从水中提取了氘。硫化氢循环的结果，氘由热塔的海水转移到冷塔的水中。冷塔中的水富集了氘，其中一部分作为成品，其余的送到热塔，把氘转移给 H_2S ，热塔出来的贫氘海水经过热交换器后放掉。

实践活动

通过调查和收集资料，了解海水综合利用的最新进展情况，认识资源合理开发利用对人类的重要意义。同时，从生态环境和可持续发展的角度来考虑：资源过度开发会带来哪些问题？如何保护海洋资源？可以多种形式与同学交流。

① 一种习惯叫法，这里所说的硫化氢实际上是硫化氢氧(HDS)。

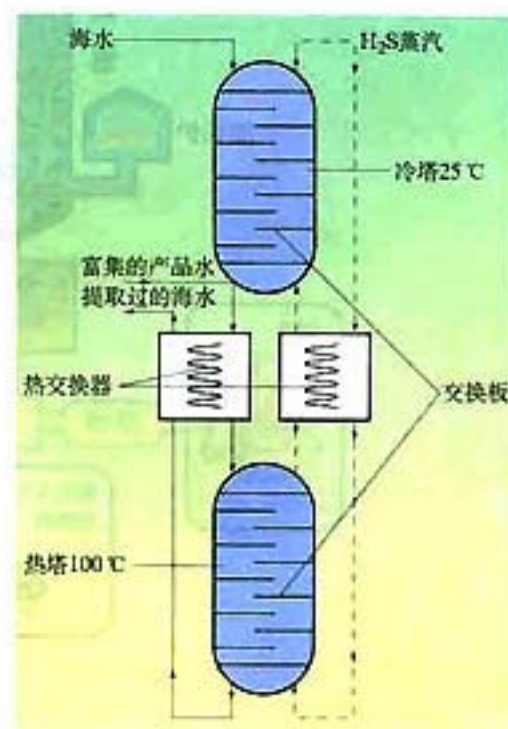


图 2-15 硫化氢—水双温交换流程

一、石油和天然气

1. 石油的炼制和石油化工

地下开采出来的石油是黑褐色的黏稠状物质，加工前称为原油，不能直接利用。石油炼制和加工的主要目的，一方面是将石油中的混合物进行一定程度的分离，使它们物尽其用；另一方面，将含碳原子多的烃转变为含碳原子较少的烃作为基本有机化工原料，以提高石油的利用价值。

石油 petroleum

天然气 natural gas

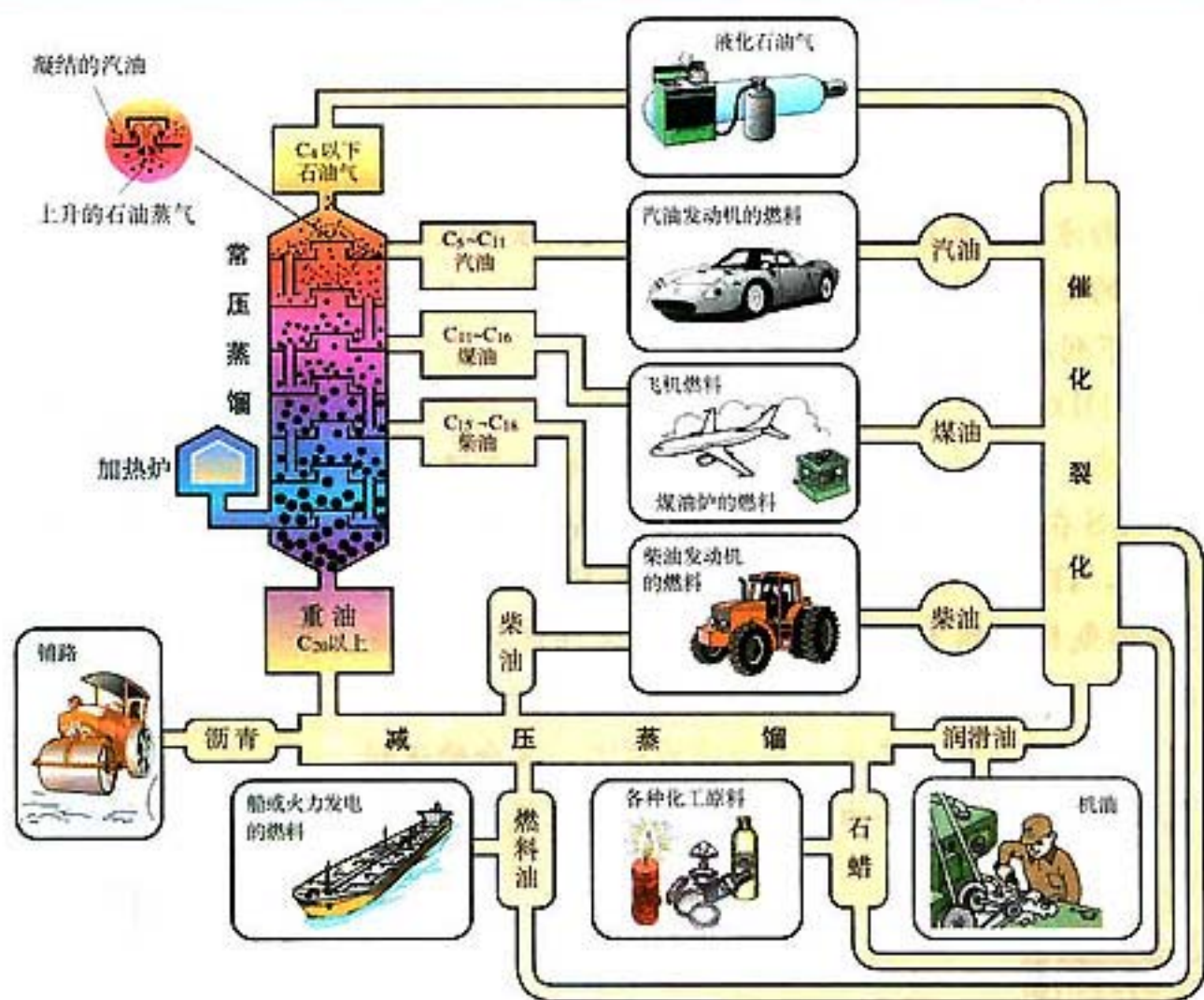


图 2-16 原油分馏及裂化的产品和用途示意图

思考与交流

我们在必修化学2中见过图2-16，观察此图，回忆学过的有关石油的知识，与同学交流石油炼制的方法及石油化工产品的主要用途。

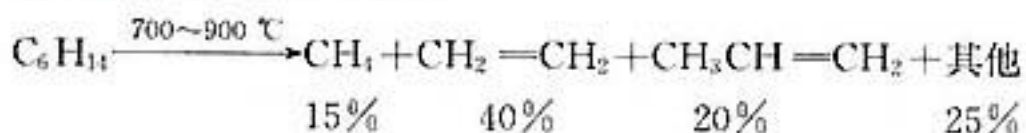
石油是烃的混合物，因此没有固定的沸点。工业上通过常压分馏和减压分馏的方法，把石油分成不同沸点范围的蒸馏产物而分离出来。分馏出来的各种成分叫做馏分，每一种馏分仍然是多种烃的混合物。

工业上分馏石油是在分馏塔内进行的。石油经过分馏及对某些馏分进行进一步加工精制，就可以得到一系列石油分馏的产品。

通过分馏得到的汽油、煤油、柴油等轻质油仅占石油总产量的 25% 左右，不能满足社会的需求。为了获得更多的轻质油，特别是提高汽油的产量，采用催化裂化的方法，在一定条件下，将相对分子质量较大、沸点较高的烃分解为相对分子质量较小、沸点较低的烃。例如：



石油不仅是作为燃料资源，也是有机化工原料的重要来源。为了获得有机化工的基本原料，石油化工生产中，以比裂化更高的温度（700~1000℃）将石油分馏产物进一步裂解（深度裂化），使长链烃断裂成乙烯、丙烯、丁烯等短链烃。石油裂解的化学过程比较复杂，生成的裂解气是成分复杂的混合气体，其中除主要产品乙烯、丙烯、丁烯外，还有甲烷及其他物质等。例如，己烷裂解：



裂解气经净化和分离，就可以得到所需纯度的乙烯、丙烯、丁烯等基本有机化工原料。目前，石油裂解已成为生产乙烯的主要方法，乙烯的产量是衡量一个国家石油化工发展水平的标志之一。

思考与交流

结合在必修化学中所学的知识，与同学交流：以乙烯作为原料可以生产哪些产品；体会乙烯作为石油化工基本原料的重要价值。

分馏 fractional distillation



图 2-17 炼油厂

裂化 cracking

学 与 问

你知道天然气的来源吗？请列举出一些天然气的用途。

天然气除了直接用作燃料外，还可以作为化工生产的原料。例如，合成氨所需的氢气，主要以天然气作为原料制得；由天然气制乙烯装置的生产能力在世界上占很大的比例；近年来，随着技术的进步，由天然气制甲醇的生产能力大大提高，进而将甲醇作为基础原料，可以转化为一系列基本有机化工产品。从天然气合成液体燃料，也为今后替代石油生产清洁汽油、柴油等燃料油提供了美好的前景。



图 2-18 天然气转化制合成气装置

煤 coal

二、煤的综合利用

当前，有机化学工业已经发展为主要以工艺较简单、生产成本较低的石油与天然气为化工原料。与石油和天然气相比，作为固体燃料的煤存在着运输不方便，燃烧效率低，污染环境等问题。将煤转变为煤气、合成气、煤焦油和焦炭等，可以提高其作为燃料的性能与价值。此外，煤本身是由多种组成复杂、分子结构庞大的有机物所组成的，因此它也可以成为有机化工的重要原料之一（在第二次世界大战前后，欧洲的缺油国家大力发展以煤为原料的有机化学工业）。煤的综合利用问题是现代煤化工的另一个主题。对于仍然大量使用煤为能源的我国来说，开展煤的综合利用非常重要。

在煤的综合利用过程中，人们最为关注并一直致力于研究的问题是：如何提高煤燃烧的热效率，如何解决燃煤引起的污染，以及如何分离提取煤中的化学原料。

思考与交流

你能说出煤中的主要元素吗？你知道目前煤综合利用的主要方法吗？

1. 煤的干馏

学 与 问

将煤隔绝空气加强热使其分解的过程叫做煤的干馏，也叫焦化。你能列举出几种煤的干馏产品以及它们的主要成分和用

途吗?

工业上炼焦是将煤粉放在隔绝空气的炼焦炉中加热,煤受热分解产生气体。这些气体经过冷却而凝结,并分为上、下两层,上层为澄清、透明的水溶液,下层为黑褐色黏稠的油状物——煤焦油。另一部分没有凝结的气体可以点燃,叫做焦炉气。反应完毕后的黑灰色的固体物质叫做焦炭。

2. 煤的气化和液化

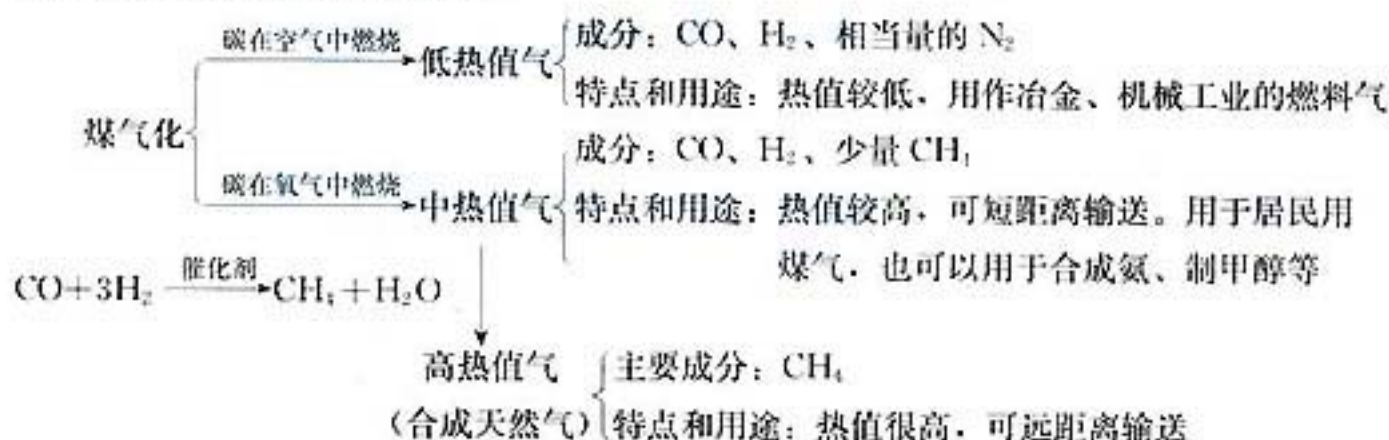
为了减少煤燃烧时对环境造成的污染,人们一方面采取措施,改进燃煤技术、改进燃煤质量和排烟设备;另一方面,设法把煤转化成清洁的燃料。煤的气化和液化就是使煤变成清洁能源的有效途径,同时煤的燃烧效率等也得到提高。

(1) 煤的气化。

学 与 问

煤的气化是把煤中的有机物转化为可燃性气体的过程,主要是碳与水蒸气的反应,这个反应是个吸热反应,所需能量一般由同时进行的碳的燃烧反应来提供。请写出以上两个反应的化学方程式。

煤的燃烧可以利用空气,也可以利用氧气,但得到的煤气的成分、热值及用途都不同。



(2) 煤的液化。

煤的液化是把煤转化成液体燃料的过程。煤的液化分直接液化和间接液化。

直接液化是把煤与适当的溶剂混合后,在高温、高压和有催化剂的条件下,使煤与氢气作用生成液体燃料。主要产品是优质汽油、柴油、芳香烃和其他化工原料,并同时副产燃料气、液化石油气、硫黄和氨气等。煤的直接液化技术还在不断发展中,我国已在内蒙古自治区开始建造把煤直接液化的“煤

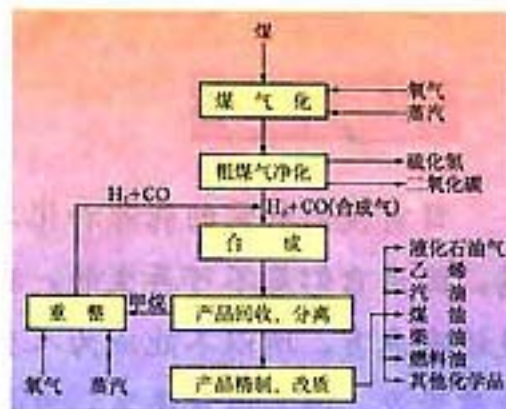


图 2-19 煤间接液化典型流程

制油”装置，它将成为世界上规模较大的煤制油工厂。

间接液化则是先把煤转化成一氧化碳和氢气(合成气)，然后再经过催化合成得到烃类燃料、醇类燃料及化学品等。间接液化的操作条件比较温和，几乎不依赖于煤的种类，关键是催化剂的选择。它的问题是投资及运行成本过高，使其工业化受到限制。目前，将甲醇再直接转化为高辛烷值汽油的技术已经在一些国家应用，促进了煤间接液化技术的研究和开发。与石油资源相比，我国的煤炭资源相对比较丰富，加快“煤制油”的发展，对我国社会经济可持续发展有着深远的意义。

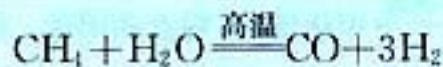
三、煤化工和天然气化工的发展——一碳化学

一碳化学是以分子中只含一个碳原子的化合物(如 CO 、 CH_4 、 CH_3OH 等)为原料来合成一系列化工原料和燃料的化学。 CO 是从煤的气化或合成气得到的，而 CH_4 是天然气的主要成分，所以，一碳化工也可以说是新一代的煤化工和天然气化工。

煤气化的主要的反应有：



天然气的重整：



使用不同的催化剂，可以从合成气制出不同的产物，这就形成了我们所说的合成气化学。也可以由 CH_4 、 CH_3OH 等含一个碳原子的分子，通过催化反应直接生成新的化合物，这就形成了我们所说的甲烷化学和甲醇化学。

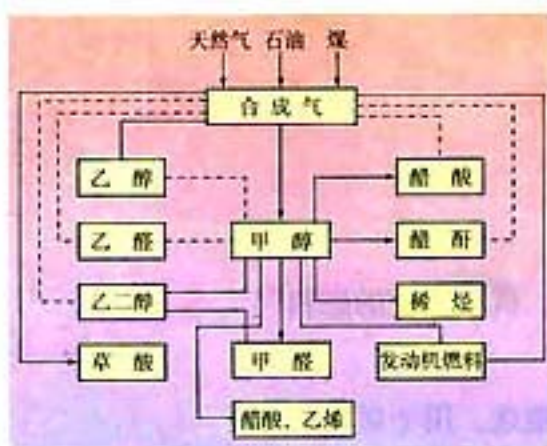
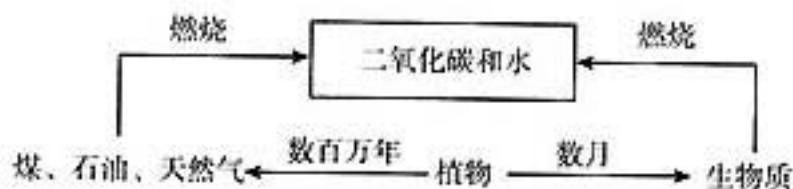


图 2-20 一碳化工产品合成途径

科学视野

生物质资源

目前我们所需的能源和化工原料大部分来源于石油、煤和天然气等矿物资源。但从长远考虑，因为它们是不可再生的，在地球上的储量有限，终究会枯竭，而且，作为燃料使用，对环境还有危害，所以不能成为人类长久依赖的资源。从绿色化学的角度来考虑，以植物为主的生物质资源，因其储量丰富，可再生性好，而且利用时不污染环境，被认为是人类未来的理想资源。生物质资源主要包括农、林等植物、海产物（如海草）等。



生物质资源的开发和利用，目前研究的方法有物理法、化学法和生物转化法。物理法和化学法是通过裂解、分馏、氧化还原、降解、水解等过程，但一般能耗高、产率低，过程中有污染，所以一般作为生物转化法的辅助手段。生物转化法是通过酶（酶是一类由细胞产生的、对生物体内的化学反应具有催化作用的蛋白质）的作用，如纤维素水解是在纤维素酶的作用下进行的，而葡萄糖的进一步转化也要依靠各种微生物中酶的作用。酶将植物等先降解为葡萄糖，再转化为各种化学物质。目前，已经可以利用生物质资源制取燃料（如燃料油、天然气、氢气）以及有机化学品（如己二酸、聚乳酸）等。

目前，从生物质资源的利用来看，主要是利用谷物淀粉。影响生物质资源利用的重要因素是酶催化剂的稳定性，以及将酶和产物从反应液中分离出来的技术。随着科学技术的进步，可再生的生物质资源代替矿物资源的研究将会有更大的突破。

实践活动

通过多种方式调查和收集资料，了解煤、石油和天然气等综合利用的最新进展，并与同学交流。

归纳与整理

一、水资源的开发和利用

1. 从水资源中获取洁净水的主要方法（从水中除去杂质）：

	主要方法	简单原理
天然水的净化		
污水处理（化学方法）		
海水淡化		

2. 从海水资源中获取化学物质的方法（从水中提取有用物质）：

海水制盐(如食盐)

从海水中提取

盐类等化合物

食盐应用于氯碱工业

海水提溴

从海水中提取单质

海水提镁

从海水中提取同位素

提取重水

二、石油、煤和天然气的综合利用

结合本单元第三节所学的知识,再查阅有关的资料或进行实际调查,对石油、煤和天然气的综合利用等内容进行归纳总结。

三、通过本单元的学习,以讨论、交流或小论文的形式,谈谈你对下列问题的认识。

1. 化学在资源开发利用中所起的作用;
2. 资源的开发利用与资源保护的关系。

练习与实践

1. 我国目前很多地方采用氯气作自来水的消毒剂。请回答下列有关问题:

- (1) 怎样通过实验证明自来水中是否含有氯气?
- (2) 怎样通过实验证明自来水中是否含有氯离子?
- (3) 直接用氯气作消毒剂可能会造成哪些问题?

2. 右表为某地下水样中化学成分的分析结果,请据此回答有关问题。

(1) 怎样用简便方法证明该水是硬水还是软水?

(2) 使水样蒸发直到获得一种白色固体,当加入盐酸时,有二氧化碳放出,判断白色固体可能的成分。

含有的离子	离子含量/(g · L ⁻¹)
Ca ²⁺	0.12
Mg ²⁺	0.02
K ⁺	0.01
Na ⁺	0.01
Cl ⁻	0.01
HCO ₃ ⁻	0.27
SO ₄ ²⁻	0.04

(3) 结合生活中的实例, 分别说明硬水和软水可能具有的优缺点?

3. 我国海水制盐具有悠久的历史, 目前, 从海水中制得的氯化钠提供 6 亿人的食用盐和 80% 的工业用盐。请你举出三种氯化钠的重要用途。

4. 海水提溴的主要反应是氯气将溴离子氧化为溴单质, 写出该反应的离子方程式。若海水中溴含量为 0.07 mg/cm^3 , 则年产 20 000 吨溴需要处理海水的体积为多少? 为了防止氯和溴可能对操作工人产生的毒害, 你认为在海水提溴生产中应该采取哪些安全措施?

5. 海水中含有大量有用的化学物质, 但获取这些物质会遇到很多实际问题, 如单位体积中 useful 物质含量很小会导致提取成本和技术要求很高。请你设计一个利用海洋资源进行海水化学物质开发利用的综合方案。(提示: 利用海洋波浪能等作为能源、利用海水作为冷却水循环利用、从贝壳中获得碱性物质、模仿海带富集碘元素的过程直接制造含碘食盐等。)

6. 水与我们的生活质量直接相关。调查你居住的地区自来水的来源、硬度、净化措施等情况, 结合参观自来水厂, 写一份报告说明居民用水应该注意的问题, 并与同学交流。

7. 从当地媒体、图书馆等处搜集、整理有关水体污染、污水处理等方面的报道和资料, 办一期墙报与同学们交流。

8. 有的同学认为, 根据质量守恒和能量守恒定律, 物质是不灭的, 能量转化是守恒的, 那怎么会出现资源危机呢? 对于这样的问题你是怎样考虑的? 物质资源和能源两者相比较, 哪一个将会更多地制约着人类社会的生存和发展?

9. 关于未来人类与自然资源的关系问题, 有两种典型的观点, 一种是悲观的, 认为根据目前人类的开发速度, 自然资源将在最近的 30~50 年内会突然地用完, 已经建立的工业技术社会可能在不久的将来突然崩溃; 一种是乐观的, 认为应当充分相信技术发展的潜力, 技术的发展非但不会用完资源, 而且可以不断地扩大资源的利用范围。请针对这两种观点谈谈你的看法。

一、传统硅酸盐材料

陶瓷、玻璃、水泥等材料及它们的制品在我们日常生活中随处可见。由于这些材料的化学组成大多属硅酸盐类，所以一般称为硅酸盐材料。

自然界中的沙石、黏土以及石英、石棉、云母、高岭石等许多矿物的主要成分都是硅酸盐或硅的氧化物。人们正是从这些容易得到的原料开始，从偶然的发现到有意的创造，从根据经验的加工生产到依据科学的设计制造，使它们变成用途广泛的各种材料。

传统硅酸盐材料一般是以黏土(主要成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、石英(主要成分为 SiO_2)、钾长石(主要成分为 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)和钠长石(主要成分为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)等为原料生产的。这些原料中一般都含有 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (如图 3-2 所示)。硅氧结构的特殊性，决定了硅酸盐材料大多具有稳定性强、硬度高、熔点高、难溶于水、绝缘、耐腐蚀等特点。

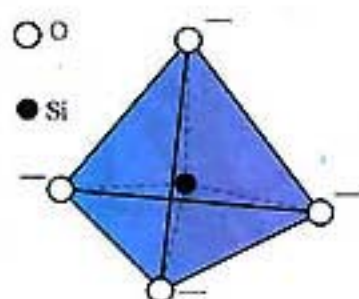


(a) 石英中 $[\text{SiO}_4]$ 联结为立体网状结构

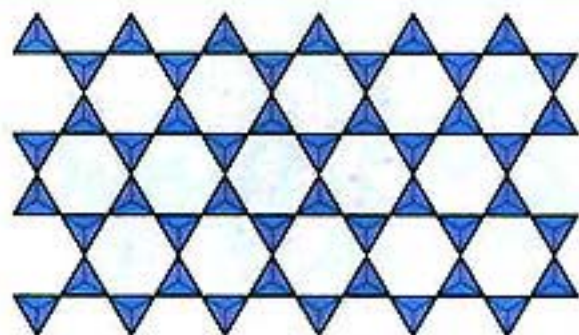


(b) 云母中 $[\text{SiO}_4]$ 联结为平面层状结构

图 3-1 石英和云母



(a) 硅氧四面体



(b) 由硅氧四面体联结成的平面结构

图 3-2 硅氧四面体结构

1. 陶瓷

陶瓷在我国具有悠久的历史。在新石器时代，我们的祖先就己能制造陶器，到唐宋时期，制造水平已经很高，如唐朝的“唐三彩”、宋朝的钧瓷等，都闻名于世，流传至今。如今，陶瓷制品仍然广泛地应用于生活和生产中，作为陶瓷的故乡，我国宜兴的紫砂陶和景德镇的瓷器在世界上享有盛誉。

陶瓷 ceramics

传统陶瓷大多是将黏土与水的混合物通过高温烧结制成的。烧结前，水像润滑剂一样使得黏土可以塑成各种形状；烧结过程中失去水分并发生复杂的化学变化，塑制的形状被保持下来。



图 3-3 陶瓷器制造过程示意图

陶瓷的种类很多，主要分为土器、炆器、瓷器等。原料及烧制温度是影响陶瓷品种和性能的关键技术。一般烧制的陶瓷制品，表面比较粗糙，而且有不同程度的渗透性。日常生活中我们见到的许多陶瓷制品，表面光滑、不渗水，而且色彩丰富，非常漂亮。这是由于烧制前在坯体上涂了彩釉的缘故。

釉料中主要含有一些金属及其化合物。当窑内空气含量发生变化时，金属及其化合物发生不同的氧化还原反应，产生不同的颜色，装扮了多姿多彩的陶瓷制品。

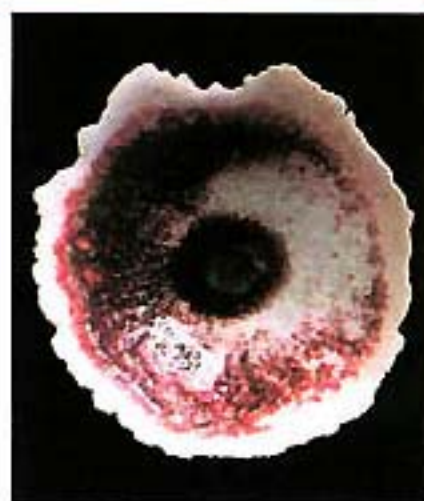


图 3-4 烧结时由于发生氧化还原反应，使艺术陶瓷带有铜的血红色图样

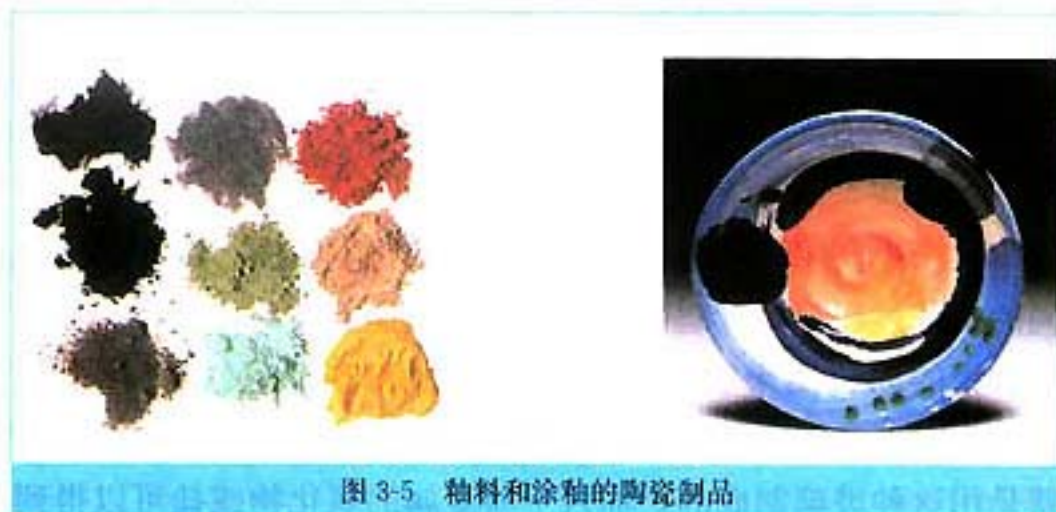


图 3-5 釉料和涂釉的陶瓷制品

氧化还原
oxidation-reduction

空气用量与彩釉颜色变化

彩釉中的 金属元素	烧制时的空气用量与彩釉颜色	
	空气过量	空气不足
Fe	黄、红、褐、黑	蓝、绿
Cu	黄绿	红
Mn	紫、褐	褐、黑褐
Cr	黄、绿、褐	蓝绿
Co	蓝、淡蓝	蓝

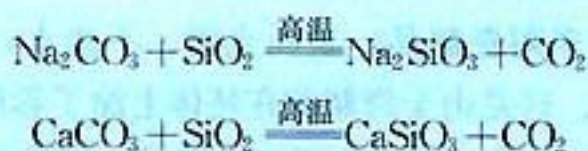


图 3-6 陕西临潼出土的
秦代陶制兵马俑

陶瓷具有抗氧化、抗酸碱腐蚀、耐高温、绝缘、易成型等许多优点，因此，陶瓷制品一直为人们所喜爱。从地下挖掘出的古代陶瓷器，历经千百年仍保持其本色，不但成为人们欣赏的艺术珍品，也对研究历史有很大帮助。

2. 玻璃

普通玻璃的主要成分为 Na_2SiO_3 和 CaSiO_3 ，它是以石英砂(主要成分 SiO_2)、石灰石(主要成分 CaCO_3)和纯碱为主要原料，经过加热熔融、澄清、成型和缓冷等工序制成的。玻璃制造过程所发生的化学反应主要是：



实验 3-1

将少量玻璃粉末放入试管中，向其中加入少量蒸馏水，振荡，加入 1~2 滴酚酞溶液，观察现象。思考为什么会出现这种现象？

生产中利用不同原料或添加不同的化学物质，以及采用不同的工艺过程等，可制得多种性能、用途的玻璃。例如，含有钾和铅的原料用来制造光学玻璃；加入 B_2O_3 制成耐化学腐蚀、耐温度急剧变化的玻璃，化学实验室使用的一些玻璃仪器就是用这种玻璃制成的；加入一些金属的氧化物或盐可以得到颜色不同的玻璃，成为玻璃装饰艺术的常用材料。

玻璃 glass

表 3-1 几种玻璃的特性和用途

种 类	特 性	用 途
普通玻璃	在较高温度下易软化	窗玻璃、玻璃器皿等
石英玻璃	膨胀系数小、耐酸碱、强度大、滤光	化学仪器、高压水银灯、紫外灯罩等
光学玻璃	透光性好、有折光性和色散性	眼镜、照相机、显微镜和望远镜用透镜等
玻璃纤维	耐腐蚀、耐高温、不导电、隔热、防虫蛀	玻璃钢、宇航服、光导、通信材料等
钢化玻璃	耐高温、耐腐蚀、高强度、抗震裂	运动器材、汽车、火车用窗玻璃等

3. 水泥

水泥是另一种常见的硅酸盐材料。普通硅酸盐水泥的一般生产步骤为，先将几种原料(主要是石灰石、黏土和辅助原料)按适当比例配合，在磨机中粉磨成生料，然后把生料在窑内进行煅烧得到熟料(主要成分 CaSiO_3)，再将熟料配以适量的石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)及其他混合材料(如高炉矿渣、粉煤灰等)，在磨机中粉磨成细粉，即可得到水泥产品。

水泥 cement

普通硅酸盐水泥的主要成分是硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)、硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)、铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)、铁铝酸钙($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)等。

水泥可以在空气和水中硬化，被广泛地用作建筑材料。例如，水泥、沙子和水的混合物水泥砂浆是建筑用黏合剂，可以把砖、石等黏结起来。水泥、沙子和碎石等的混合物叫混凝土，大量地用于建筑、水利、道路和国防等工程中，并大都采用钢筋骨架的混凝土结构。

学 与 问

1. 你也许听说过“豆腐渣工程”，产生这种现象的因素很多，从材料使用上分析，主要与使用劣质水泥有关，请你查阅相关资料了解水泥生产的国家标准是什么？

2. 钢筋混凝土结构是楼房、桥梁、大坝等现代建筑的主体，但它也会受到外界因素的影响而降低强度。调查了解影响钢筋混凝土强度的因素及其防护措施。

二、新型无机非金属材料

传统的无机非金属材料是生产、生活和基本建设所必需的材料，而新型无机非金属材料则为现代高新技术、新兴产业和传统工业技术改造等开辟了更为广阔的前景。

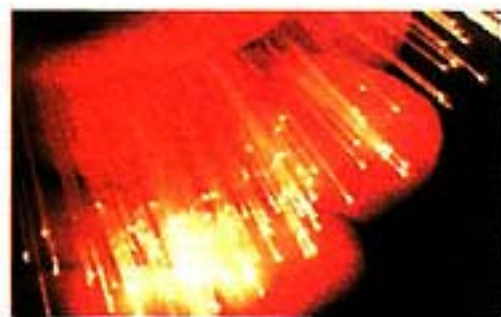


图 3-7 新型无机非金属材料——光导纤维

1. 新型陶瓷

现代科技赋予陶瓷在光、电、磁、化学和生物学等方面新的特性和功能，半导体材料、耐高温陶瓷、磁性陶瓷、透明陶瓷、生物陶瓷等在信息、能源、生物等高新技术领域得到广泛的应用。功能陶瓷材料的基础和发展可以用功能陶瓷树(如图 3-8 所示)来形象地表示。

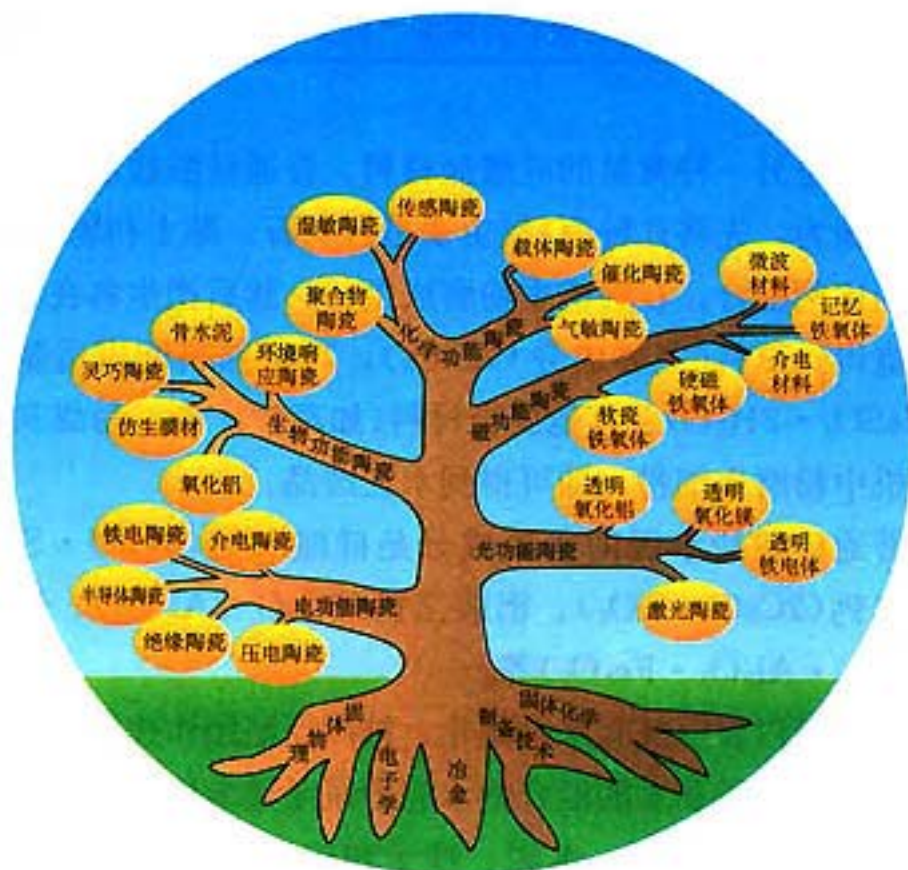


图 3-8 硕果累累的陶瓷树

新型陶瓷已经突破了以 Si 和 O 两种元素为主的传统组成体系，进一步提高了陶瓷的性能。例如，碳化硅(SiC)又称金刚砂，其结构与金刚石相似，硬度也可与其相媲美，可作优质的磨料，且其化学性质稳定，能耐 2 000 ℃ 的高温，可作航天器的涂层材料。

工业上，将二氧化硅与碳在电炉中加热至 1 900 ℃ 以上可制得碳化硅，其反应的化学方程式为：



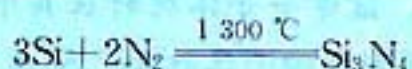
学 与 问

1. 根据元素周期律和原子结构特点，分析比较碳元素和硅元素在成键和化学性质上的特点。

2. 单质硅和碳化硅都具有与金刚石相似的结构, 查阅它们有关的性质, 分析说明产生这些特殊性质的原因。

再如, 氮化硅(Si_3N_4)的熔点高、硬度大、化学性质稳定, 在 $1\,200\text{ }^\circ\text{C}$ 下仍可保持室温时的强度和硬度, 可用于制造轴承、汽轮机叶片、发动机受热面等。

Si_3N_4 可以有多种制造方法, 工业上多通过高纯硅与纯氮气在 $1\,300\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下反应获得:



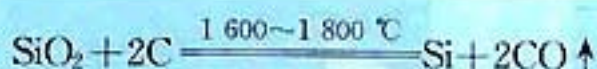
也可用化学气相沉积法(CVD), 在 H_2 保护下, 使 SiCl_4 与 N_2 反应生成的 Si_3N_4 沉积在石墨表面, 形成一层致密的 Si_3N_4 层:



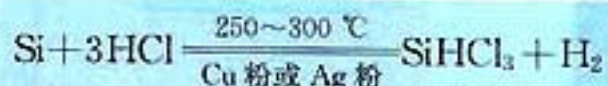
2. 现代信息基础材料——单晶硅

按照材料的化学组成, 传统无机非金属材料大都是硅酸盐混合物, 而新型无机非金属材料则往往首先要获得纯净物。

例如, 硅是目前半导体工业最重要的基础材料, 其导电特性对杂质等十分敏感, 因此, 必须首先制备高纯度的硅, 然后, 精确控制掺杂元素的量和种类, 并使它们均匀地分布于材料之中。虽然在地壳中硅元素含量丰富, 但大多以硅酸盐和氧化物的形式存在, 需要通过化学方法来制备高纯度的单质硅。一般步骤为先由高纯度焦炭与石英砂(SiO_2)反应制得纯度为 $95\%\sim 99\%$ 的硅:



由此再生产高纯硅, 如用三氯硅烷(SiHCl_3)法可以综合利用电解氯化钠的产物氯气和氢气, 生产成本低、效率高, 是目前生产高纯硅的最主要方法。主要反应为:



提纯后的 SiHCl_3 被高纯度的氢气还原, 得到高纯硅, 主要反应为:

化学气相沉积

chemical vapor deposition

硅 silicon

半导体 semiconductor



图 3-9 单晶硅

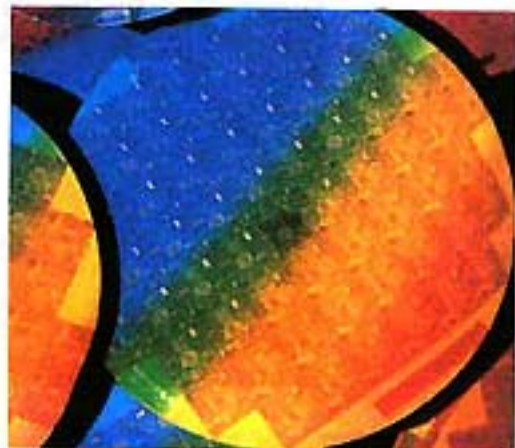
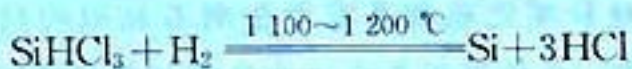


图 3-10 硅芯片及集成电路



最后，采用高技术将硅拉制成纯度达到9个9的单晶硅材料。

科学视野

太阳能电池

太阳能电池可以直接将太阳能转变成电能，硅、锗等半导体材料在其中发挥着核心作用。我们知道，Si原子的最外层电子为4，可以像碳那样形成四面体结构，Si原子之间以共价键结合。当Si晶体中掺入比Si最外层电子多的P元素，可以得到富电子的n型半导体；掺入比Si最外层电子少的B元素，可以得到缺电子的p型半导体。将n型半导体与p型半导体相互叠加就构成了一个p-n结(如图3-11)，它是现代电子和信息产业的主要基础元件。

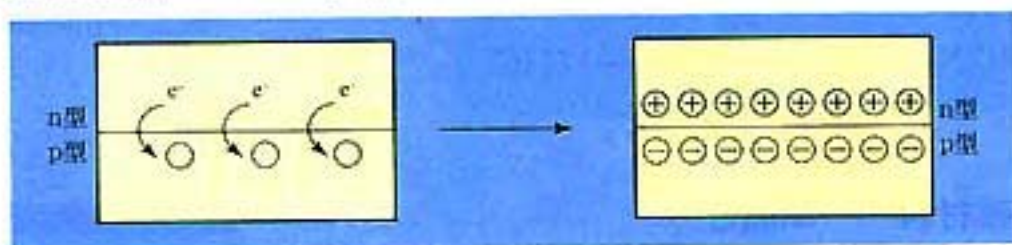


图3-11 p-n结中电子的转移示意图

当太阳光照射在p-n结上，用导线连接起来形成闭合电路，被太阳光激发的电子在p-n结中的电场作用下，就会发生定向运动而形成电流(如图3-12所示)。可见，太阳能电池中的转变过程只消耗太阳能，没有其他物质损耗，没有噪音、没有污染。太阳能电池的发电效率与火力发电相近，但开发前期，它的成本却要高出数十倍，这是由于单晶硅的生产工艺和纯度要求高，掺杂技术复杂。因此最初太阳能电池主要用于卫星、宇航等领域。近年来，改用非晶态硅替代单晶硅，不仅提高了对太阳光的吸收率，而且硅材料厚度也可大大变薄，使太阳能电池的价格大为降低，开始进入大规模推广应用阶段。

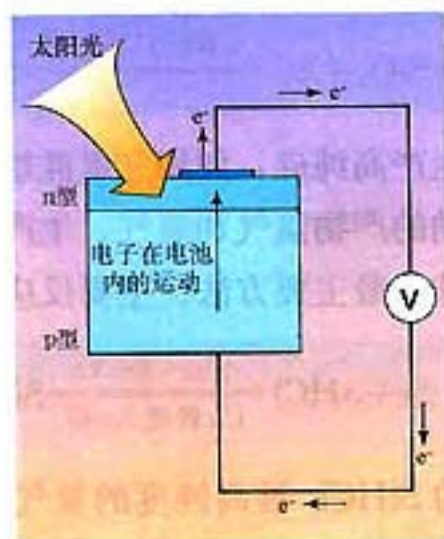


图3-12 太阳能电池及其工作原理示意图

3. 石墨、金刚石和 C_{60} ——新材料诞生新科技

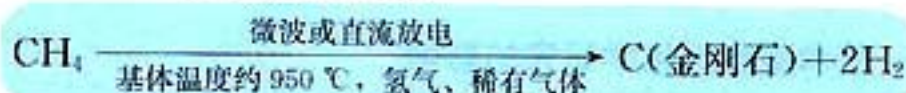
金刚石和石墨都是碳的单质，它们已经在生产和生活中得到了广泛的应用。由于金刚石与石墨在结构上的差异，导致它们在性质上有很大的差别，因而，在实际中有不同的用途。

思考与交流

1. 讨论金刚石和石墨在生产和生活中的应用，并说明这些应用主要利用了它们的哪些性质？

2. 分析金刚石和石墨晶体结构中碳原子的成键特点，并说明结构与性质之间的关系。

天然金刚石资源远远不能满足人们的需要，20 世纪 50 年代，人们终于实现了人造金刚石的梦想。工业上，在 $1\,300\sim 1\,400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压强为 $6\times 10^5\text{ kPa}\sim 7\times 10^6\text{ kPa}$ 条件下，用 Fe、Co、Ni 等金属作催化剂，可以使石墨转变成金刚石。目前，工业上作为研磨材料使用的主要是人造金刚石。高压合成金刚石成本较高、不易加工，在应用上受到了限制。人们设想：能否按照需要使碳原子直接堆砌成金刚石呢？气相合成金刚石薄膜实现了这一设想，被誉为 20 世纪的炼金术。化学气相沉积法制造金刚石薄膜的原理为：



目前，气相沉积技术还在不断改进，金刚石薄膜的沉积速率和直径也不断提高和扩大。将特定的杂质引入金刚石薄膜可以制成半导体材料。由于金刚石半导体在导热性、稳定性和抗辐射等方面优于目前的硅半导体，使得金刚石有可能成为替代硅的新一代信息材料。

20 世纪 80 年代后，人们发现和证实了碳的另一类单质，它们是由一系列偶数个碳原子组成的分子，如 C_{40} 、 C_{70} 、 C_{240} 、 C_{540} 、 C_{960} 等，其中以 C_{60} 最具代表性。对 C_{60} 的一系列研究为科学技术发展打开了新的领域。例如，在锂、液氨和正丁醇溶液中 C_{60} 可以与氢发生加成反应得到 $C_{60}H_{18}$ 和 $C_{60}H_{36}$ ， C_{60} 可能会成为新型贮氢材料； K_3C_{60} 具有超导性，由此可能开发出高温超导材料；在电弧放电后沉积的炭黑中发现了直径在 1 到几十纳米之间的碳纳米管，它比目前已知的材料具有更大的韧性， C_{60} 将在复合材料和纳米元器件的制造中有潜在的应用价

石墨 graphite
金刚石 diamond

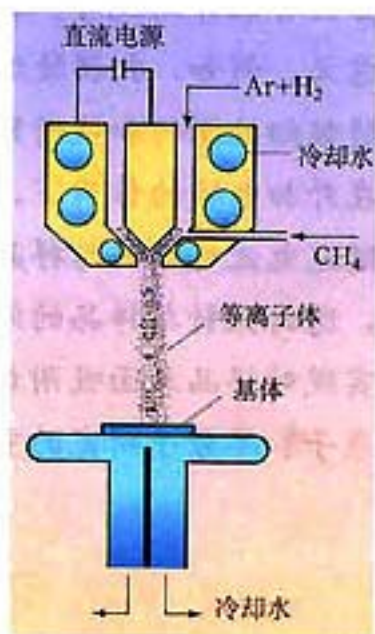
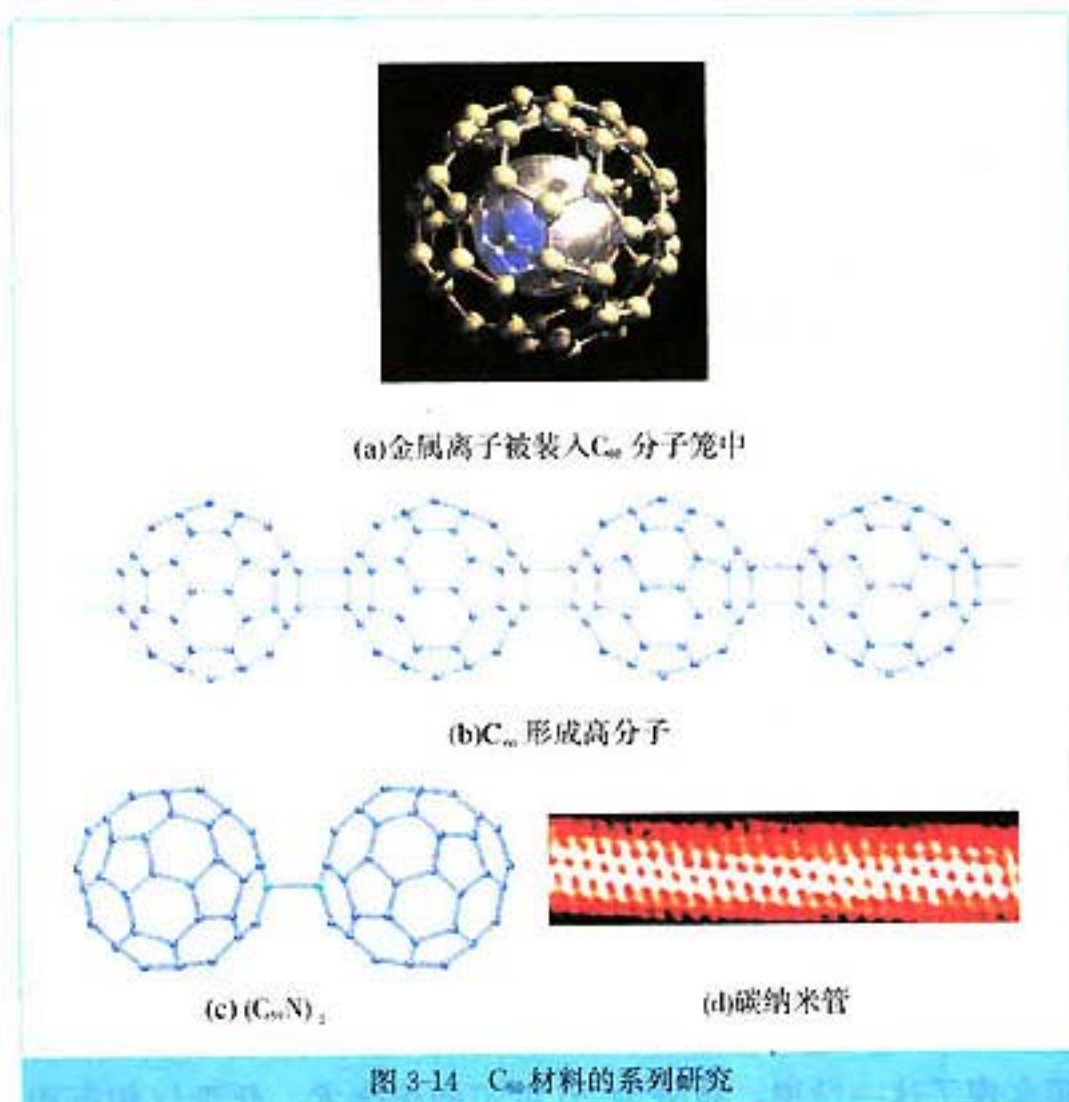


图 3-13 气相沉积金刚石薄膜装置及其工作原理示意图

值。人们对 C_{60} 及其同类物质的研究和开发远不止于此。



科学视野

技术进步对化学研究的影响

人们通常用眼、手观察和研究世界，但眼、手直接作用的范围是有限的，常常还要借助各种仪器设备来开阔视野、延伸双手，因此，科学仪器及其相应的技术对于科学本身的发展具有重要意义。例如，扫描隧道显微镜(Scanning Tunneling Microscope, STM)是基于量子隧道效应，将极细的探针和被研究物质的表面作为两个电极，当探针针尖与样品间的距离非常接近时，在外加电场的作用下，电子会穿过两个电极间的绝缘层从一极流向另一极形成隧道电流。这种隧道电流对探针与样品间的距离非常敏感，因此，利用电子反馈和压电器件保持隧道电流恒定，这时探针与样品的间距变化所反映的表面信息就可以在显示器呈现出来。利用 STM 还可以实现对样品表面吸附的原子、原子团和分子进行操纵，成为原子和单分子研究的重要工具。

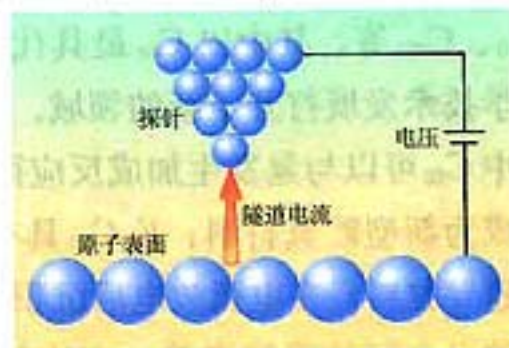


图 3-15 扫描隧道显微镜工作原理示意图

自古以来，坚硬刚强的金属材料与人类建立起了悠久而深厚的感情，即使在新材料层出不穷的今天，金属材料在产量和使用方面依然占有极为重要的地位。金属的物理性质和化学性质是金属冶炼、金属材料加工和使用的基础。

一、从矿石中获得金属



铝线材



铝导线用于高压输电



钛合金



钛合金用于飞机制造

图 3-16 金属材料支撑现代生活

我们知道，只有少数化学性质不活泼的金属，如金、铂以及少量的银和铜在自然界中能以游离态存在，大多数金属是与氧、硫等非金属元素形成化合物而存在，这些天然存在的金属单质和化合物构成金属矿物。

获得金属材料首先要通过化学方法把金属从矿石中提取出来，一般要经过开采和初步加工阶段，主要包括探矿、采矿、选矿等工序，之后进入冶炼阶段。金属冶炼所依据的原理是利



图 3-17 孔雀石的主要成分
 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$

利用高温从矿石中提取金属或其化合物的冶金方法，在工业上称为火法冶金，很多金属都是利用这种方法得到的。另外，还有一种湿法冶金，是指在水溶液或非水溶液中进行包括氧化还原反应、中和反应、水解反应等，对原料（矿石、精矿等）、中间产物或再生资源中的金属进行提取和分离的冶金过程。

用氧化还原反应将金属从其化合物中还原出来，因此，活泼性不同的金属必须采用不同的冶炼方法。除了原理可行外，实际生产中还要考虑经济、技术和环境保护等方面的问题，从多种还原方法中进行选择。

思考与交流

1. 回忆和思考金属冶炼有哪些常用方法？
2. 常见金属一般都是以氧化物或硫化物形式存在，试分析从氧化物、硫化物中冶炼金属有哪些不同，为什么？
3. 火法冶金和湿法冶金是冶金工业两种主要方法（参见资料卡片）。通过分析比较，讨论这两种方法分别有哪些优点和缺点？

1. 钢铁的冶炼

铁在自然界的分布很广，地壳中含铁 5% 左右，在金属元素中仅次于铝，主要以氧化物、硫化物等形式存在，如磁铁矿（主要成分 Fe_3O_4 ）、赤铁矿（主要成分 Fe_2O_3 ）、褐铁矿（主要成分 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）和黄铁矿（主要成分 FeS_2 ）等。生铁的冶炼原理是在高温下用还原剂将铁从其氧化物中还原出来，工业上一般以铁矿石、焦炭、石灰石和空气等为原料在高炉（如图 3-18 所示）中炼制生铁。

冶金
metallurgy

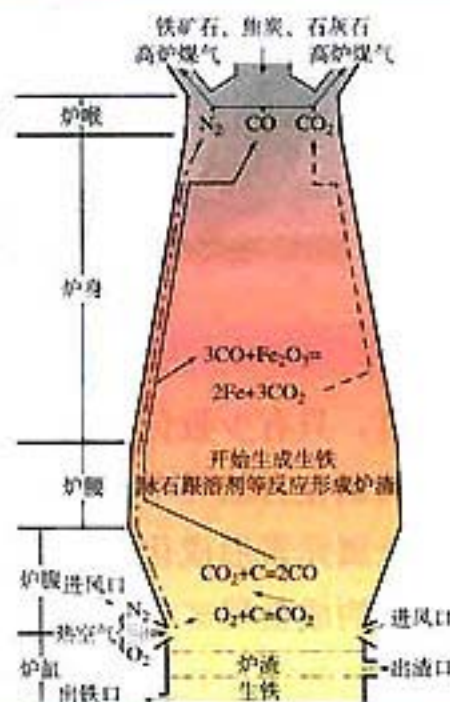


图 3-18 炼铁的高炉及炉内发生的化学变化示意图

在钢中添加合金元素，会对钢的性能产生影响。例如，当合金钢中添加的铬元素含量大于13%时，可表现出不易生锈、耐氧化性酸腐蚀的能力增强等特性，主要是由于铬与氧作用，生成一层致密的氧化膜与铁基体结合牢固，提高了钢的耐蚀性。在钢中加入合金元素也会改变钢和铁的组织结构，产生了合金元素同铁、碳及合金元素之间的相互作用，改变了钢铁中各相的稳定性。如含硅、锰的合金钢常用作弹簧钢，含钨、钼的合金钢常用作高速切削工具等。

合金元素	主要作用
硅	提高低合金钢的强度和硬度；增强高温时的抗氧化性；提高钢在弱磁场中磁感强度
钨	提高高温时的强度和硬度；增强工具钢的耐磨性
钴	提高红热时的硬度和耐磨性；用于制造磁性合金
钼	加深硬化层，提高在还原性酸、盐中的抗腐蚀性；缓和回火脆性；提高高温强度、红热时的硬度和耐磨性
稀土元素	对钢中氧和硫具有净化作用；细化钢的凝固组织；提高钢的耐蚀性、韧性和耐磨性，提高钢的抗疲劳性能

2. 铝的冶炼

铝在地壳中的含量仅次于氧和硅，居金属元素的首位，约为8.8%。但人类大量使用铝制品却很晚，这是由于铝是一种非常活泼的金属，在发明电解法治铝之前，只能用比铝更为活泼的金属来还原，因此，产量很低而成本很高。

科学史话

铝的价值几何？

1852年丹麦物理学家奥尔斯泰(H. C. Oersted)用钾汞齐还原无水氯化铝，然后在真空下将所得的铝汞齐中的汞蒸馏掉，得到几毫克铝粉：

1854年法国冶金学家戴维尔(H. S. C. Deville)用金属钠还原 NaAlCl_4 ，制得纯度为97.0%~97.3%的铝：

1855年，一块银光闪闪的铝标本作为稀世之宝在巴黎博览会上展出引起巨大反响。当时的铝比黄金还贵，作为达官贵人炫耀财富的饰品。

1886年美国的霍尔(C. M. Hall)将氧化铝投入熔融的冰晶石(主要成分 Na_3AlF_6)，通过直流电电解出金属铝。同年法国的埃鲁(P. T. Heroult)也独立地发明了这种方法。与1889~1892年奥地利化学家拜耳(K. J. Bayer)发明的用碱从铝土矿中提取氧化铝的方法相结合，奠定了现代电解冶炼铝工业方法的基础。

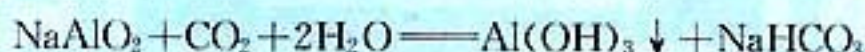
20世纪50年代后，世界上铝的年产量已经超过铜，其产量约占有色金属总产量的一半，成为仅次于钢铁的第二大金属材料。

电解铝的原料主要来自铝土矿(主要成分 Al_2O_3)，其中氧化铝的含量约为 50%~70%，而电解时，要求氧化铝的纯度不能低于 98.2%，因此，工业上需要先从铝土矿中获得符合要求的氧化铝。这一过程包括三个环节，主要利用了氢氧化铝的两性：

- 将铝土矿中的氧化铝水合物溶解在氢氧化钠溶液中：



- 向铝酸钠溶液通入二氧化碳，析出氢氧化铝：



- 使氢氧化铝脱水生成氧化铝：

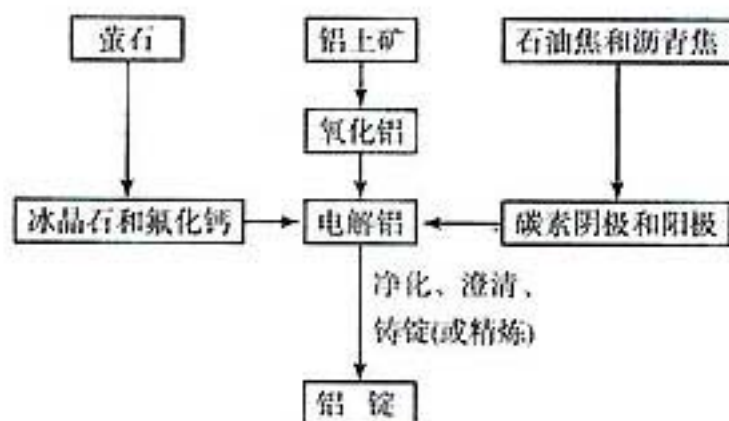
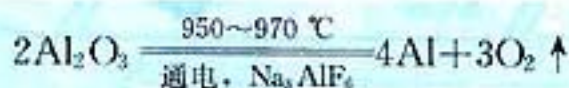


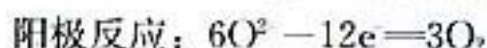
图 3-20 铝的生产流程示意图

电解铝时，以冰晶石(Na_3AlF_6)——氧化铝熔融液为电解质，其中也常加入少量的氟化钙等帮助降低熔点；阳极和阴极以碳素材料做成，在电解槽(如图 3-21)的钢板和阴极碳素材料之间还要放置耐火绝缘材料。

电解铝发生的化学反应为：

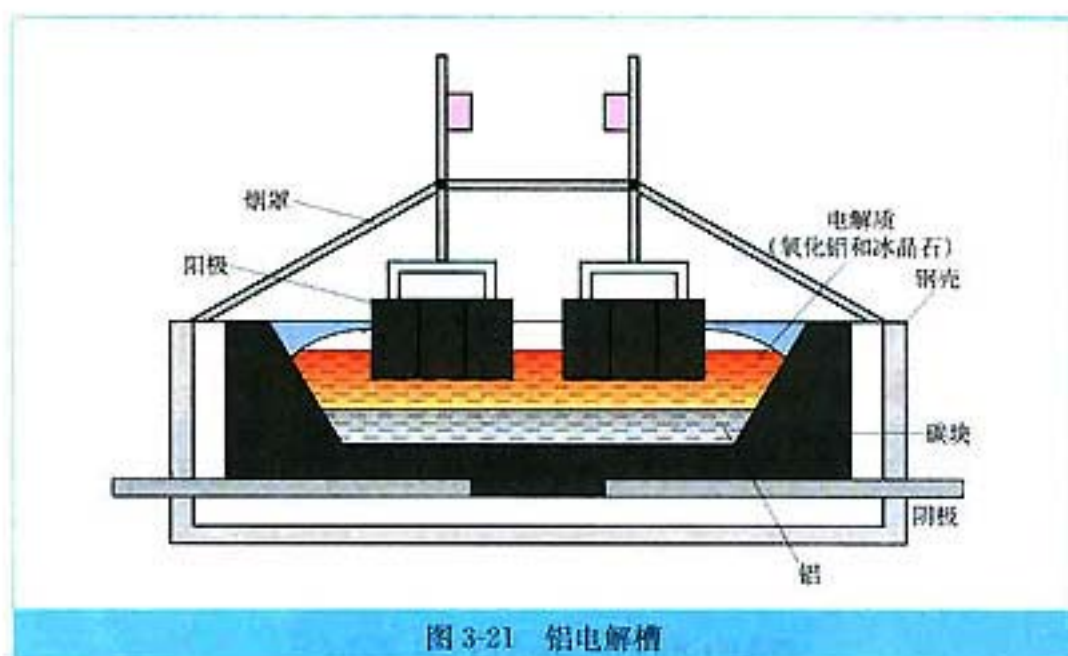


可简略地用下式表示两极的反应：



由于阳极产生的氧气与阳极材料中的碳发生反应，因此，阳极碳块因不断地被消耗而需要定期更换，而阴极一般采用无烟煤制成，在电解过程中，阴极基本不消耗。一次电解所得铝

的纯度可达 99% 左右，如要再提高纯度，则需要进行电解精炼。



思考与交流

计算表明，生产 1 mol 铝消耗的电能至少为 $1.8 \times 10^6 \text{ J}$ ；27 g 铝制饮料罐盛装饮料所含的热能大约为 600 J；回收铝制饮料罐得到铝与从铝土矿制铝相比，前者的能耗仅为后者的 3%~5%。通过对上述数据分析和比较，你想到了什么？请把你的想法与同学交流。

生产 1 kg 铝需要消耗些什么东西？

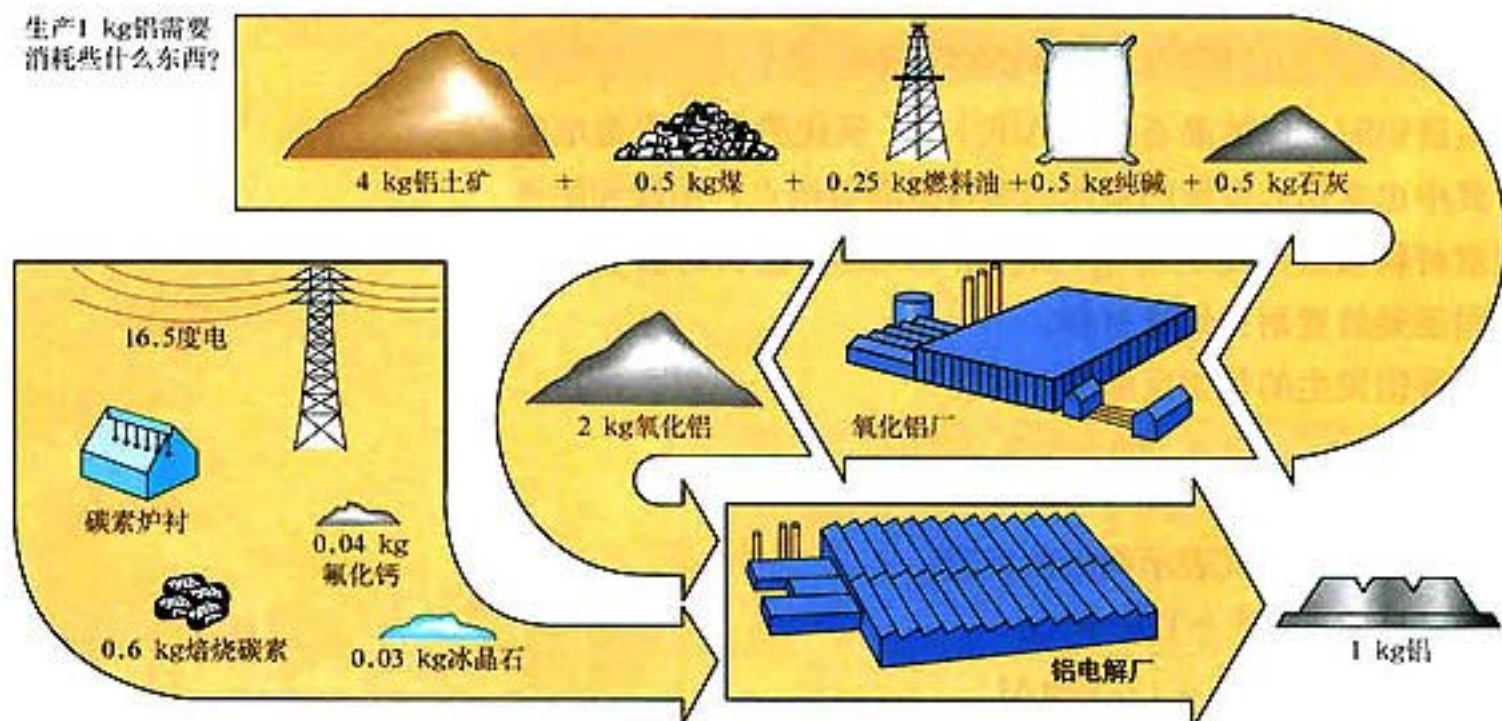


图 3-22 与生产 1 kg 铝相关连的消耗

钢铁和铝的生产过程表明,制备纯金属工艺复杂、成本较高,有时它们的性能还不能满足工农业生产、科研和国防建设等方面的需要,所以,除了在某些特殊条件下使用纯金属外,在生产和生活中大量使用各种合金材料。钢铁是使用量和产量最大的合金,它的产量占世界金属总产量的 95%。其他非铁合金的应用也非常广泛。

目前工业化生产的金属材料主要有钢铁材料(各种合金钢、铸钢和铸铁等)、非铁金属材料(铝合金、镁合金、铜合金、钛合金等)和金属功能材料(磁性合金、电性合金、弹性合金、减震合金、形状记忆合金、贮氢合金等),还有近年发展起来的金属间化合物材料和金属基复合材料。其中,金属功能材料在多种新兴工业中得到广泛应用,成为今后新材料发展的热点。

科学视野

用途广泛的金属功能材料

形状记忆合金 某些特殊合金在随温度变化的变形过程中,似乎对初始形状有记忆性,这就是形状记忆合金。至今,人们已经发现了 20 多种合金系列、共 100 多种合金具有形状记忆效应。其中,综合应用性能比较优异的记忆合金主要是 Ti-Ni 合金、铜基合金和铁基合金等。例如,1970 年美国用 Ti-Ni 形状记忆合金制成宇宙飞船的天线,先在较高温度下将其加工成实用时的形状(一般为占很大空间的抛物面形状),然后在较低温度下使其变成便于发射的很小球形,发射升空后,在空间加热再恢复到伸展的实用形状。再如,用于牙齿矫正线(Ti-Ni 合金)依靠固定在牙齿托架上的金属线的弹力,来矫正排列不整齐的牙齿,这种方法已经大量应用于临床。

贮氢合金 氢能是人类未来的理想能源之一,利用氢气首先要解决廉价、安全、方便的氢气贮运等问题。贮氢合金能够大量吸收氢气,在一定温度下又能将氢气释放出来,实现氢气的安全贮运。贮氢合金的研究开发为氢气作为能源的实际应用起到重要的推动作用。

低维功能材料 相对于三维材料而言的,低维功能材料可分为二维薄膜材料、一维纤维材料和零维纳米材料。随着熔融金属快淬技术、化学气相沉积(CVD)和物理气相沉积(PVD)技术等的开发和应用,薄膜材料得到迅速发展。在信息化时代,用于信息记录、存储方面的金属薄膜材料,近年来成为一个非常活跃的研究领域。大量的金属纤维材料用做复合材料(如玻璃纤维、碳纤维、聚合物纤维和光导纤维等)的增强剂和结构材料。金属纳米材料属于零维材料,其晶粒尺寸一般小于 100 nm,可低至数个 nm,这样表层的原子具有许多极其特殊的性能。例如,人们开发了对电磁波吸收率高、反射率极低的隐形材料,使飞机等能够躲避雷达的探测跟踪。纳米材料是极具应用潜力的新型材料。

二、金属的腐蚀及防止

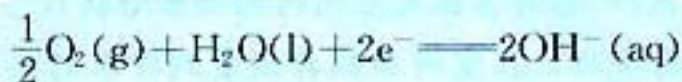
1. 金属的腐蚀

全世界每年因生锈而损失钢铁(包括因生锈而报废的钢铁制品)约占钢铁产量的1/4,实际上,由于金属腐蚀所造成的损失远远不止如此,它所带来的间接损失和可能的危害是无法估量的。

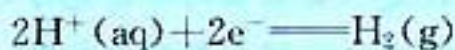
金属的腐蚀现象普遍存在,常常是自发进行的,主要包括化学腐蚀和电化学腐蚀。金属材料与其表面接触的一些物质(如 O_2 、 Cl_2 等)直接发生化学反应而引起的腐蚀叫做化学腐蚀。温度对化学腐蚀的影响很大。例如,钢材在高温下容易被氧化,生成一层由 FeO 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 组成的氧化皮。

不同金属或不纯金属与电解质溶液接触,因发生原电池反应,比较活泼的金属失电子而被氧化,这种腐蚀叫做电化学腐蚀。日常生活中,我们常看到一些生锈的钢铁制品,但其发生锈蚀的过程却常常不易觉察。钢铁制品在潮湿空气中的锈蚀就是金属材料发生电化学腐蚀的典型例子,这时钢铁制品与其接触的电解质溶液(如表面形成的水膜溶液等)会构成许多微型腐蚀电池,铁通常作为阳极失去电子发生氧化反应而被腐蚀,而阴极(如钢铁制品中的杂质等)上主要发生氢离子或氧气的还原反应。

钢铁在大气中的腐蚀通常为吸氧腐蚀,阴极反应为:



在酸性介质中,氧气含量较低,这时便可能发生析氢腐蚀,阴极反应为:



金属腐蚀过程中电化学腐蚀和化学腐蚀往往同时发生,但绝大多数金属腐蚀属于电化学腐蚀过程。



图 3-23 生锈的钢索

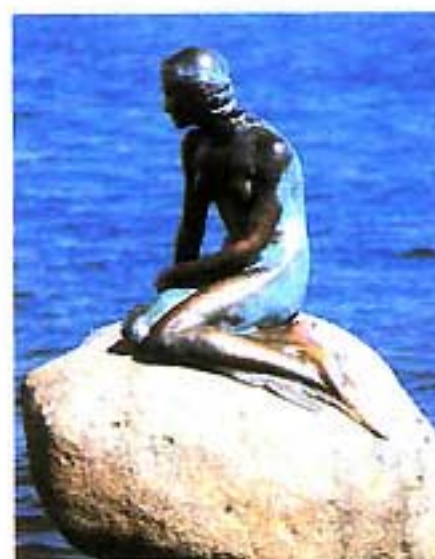


图 3-24 生锈的铜像

化学腐蚀

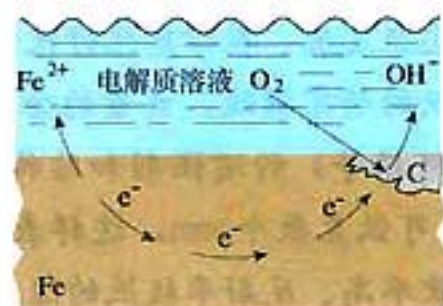
chemical corrosion

电化学腐蚀

electrochemical corrosion

原电池 primary battery

电解质 electrolyte



吸氧腐蚀



析氢腐蚀

图 3-25 钢铁腐蚀过程示意图

2. 金属腐蚀的防止和利用

金属腐蚀的本质是金属与其接触的其他物质在一定条件下发生氧化还原反应而受到损害,因此,金属的防护主要是从金属、与金属接触的物质及两者相互反应的条件等方面来考虑的。

将金属制品与周围物质隔离开是一种普遍采用的防护方法。例如,用化学方法在钢铁部件表面发蓝(生成一层致密的四氧化三铁薄膜)、利用阳极氧化处理铝制品的表面使之形成致密的氧化膜而钝化。另外,采用离子注入、表面渗镀等方式在表面也可以形成稳定的钝化膜等。

电镀是应用电解原理在金属表面镀上一层其他金属或合金的过程。其目的主要是使金属增强抗腐蚀的能力,也增加美观和表面强度。镀层金属通常是一些在空气或溶液里不易发生化学变化的金属(如铬、锌、镍等)或合金。电镀时,把待镀的金属制品作阴极,把镀层金属作阳极,用含有镀层金属离子的溶液作为电镀液,在直流电的作用下,镀件表面就覆盖上了一层均匀光洁而致密的镀层。对于大型或贵重机械的局部修复,还可以采用电刷镀。

防腐 corrosion protection

电镀 electroplating

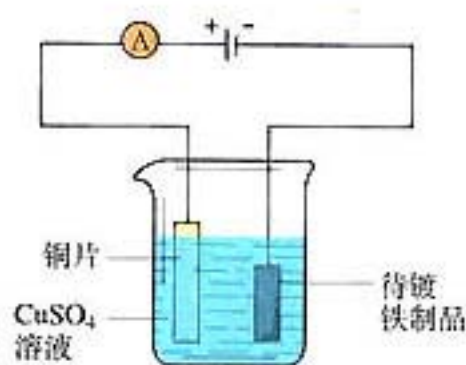


图 3-26 电镀铜实验装置

实验 3-2

1. 在大烧杯中加入 CuSO_4 溶液①,用铜片作为阳极,把待镀的铁制品(镀件)作为阴极(如图 3-26 所示),接通直流电源几分钟后,观察镀件表面发生的变化。

2. 分别写出该过程中阳极和阴极发生的反应。

① 在溶液中加入一些氨水,制成铜氨溶液,可使镀层光亮。

思考与交流

1. 根据图 3-27 分析金属防腐方法的原理,并总结和归纳保护金属材料的主要方法。

2. 金属腐蚀大都发生在金属与其他介质接触的部位,由此推断控制金属腐蚀主要从哪些方面来考虑?哪些设计和措施更为经济合理?

3. 为了防止早年建造的铁桥表面生锈,一般要涂刷油漆来保护。在自然条件下,隔一段时间需要进行维护,除掉失去保护作用的油漆,刷上新油漆。由于大桥较长,如果从桥的一端开始刷起,当进行到另一端时,可能又要开始新一轮维护工作。你怎样评价其经济上的合理性?



图 3-27 常见的金属材料保护方法

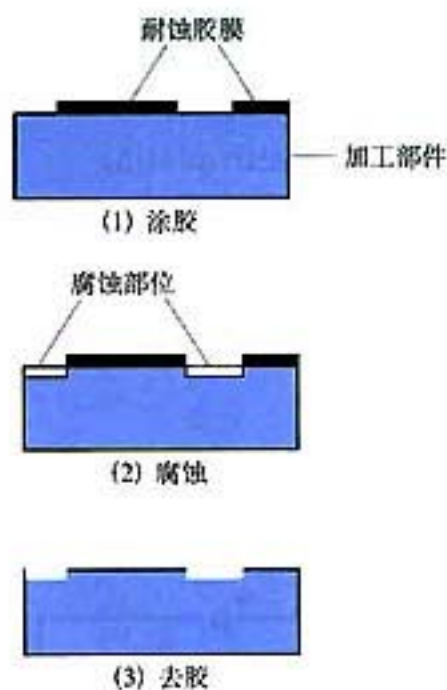


图 3-28 化学蚀刻原理示意图

金属防腐的方法还有很多，例如，可以根据不同的设计条件选用不同的金属或非金属材料；也可以控制和改善环境气体、液体介质（如选用缓蚀剂）；还可以采用牺牲阳极法和外加电流法等电化学保护法。实际上，金属防腐包括生产设计、选材、防腐措施、施工、监测、管理、维护等环节，常常需要进行综合评价和决策。判断金属材料保护措施是否合理，不单纯地以金属腐蚀速率最小来决策，而常以是否满足需要、所花代价是否最小来衡量。

金属腐蚀会带来严重危害和损失，但也可被利用来进行材料加工。例如，化学蚀刻就是利用腐蚀原理进行金属定域“切削”的加工方法（如图 3-28 所示）。

化学蚀刻不仅适用于难切削的不锈钢、钛合金、铜合金等，更广泛地用于印刷电路的铜布线腐蚀、半导体器件与集成电路制造中的精细加工等。

科学视野

化 学 镀

化学镀是指使用合适的还原剂，使镀液中的金属离子还原成金属而沉积在镀件表面上的一种镀覆工艺。类似银镜反应用葡萄糖或甲醛还原 Ag^+ 而获得银镜镀，选用不同的还原剂可以获得 Ni、Cu、Au、Ag、Pd 等多种金属镀层。

例如，在 ABS 工程塑料表面进行化学镀镍。首先利用有机溶剂、碱液清除镀件表面的污垢，用酸、强氧化剂等使表面粗化，以增大接触面积与亲水性，再投入敏化剂（ SnCl_2 或 TiCl_3 ）中以吸附一层易氧化的还原性物质，然后浸入含有氧化剂（ AgNO_3 、 PdCl_2 、 AuCl_3 ）的溶液中使敏化剂被氧化，在镀件表面形成一层有催化活性的金属膜： $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Ag}^+ = \text{Sn}^{4+} + 2\text{Ag}$ 。然后，将经上述处理过的镀件置于化学镀液（硫酸镍、次磷酸钠、柠檬酸钠、氯化铵和少量稳定剂）中，使 Ni^{2+} 发生还原反应而连续沉积下来。（实施化学镀时要注意安全，并按要求处理化学镀液。）

化学镀的优点是不需通电，仅利用化学反应就可在不规则的表面上沉积厚度、质量均一的镀层，还可进行局部施镀，操作简便。因此，这种方法广泛用作金属、塑料、玻璃、陶瓷等许多材料的装饰和防护。

以化学为核心的科学技术改变了人类直接和简单地利用自然资源的状况，制造了无数比天然产物性能更优异的产品，甚至设计和创造了自然界原本没有的新物质，合成高分子化合物就是其中的典型代表，它已经成为现代社会人们生活中衣、食、住、行、用所不可缺少的材料。著名化学家伍德沃德(R. B. Woodward)形象地说：在上帝创造的自然界旁边，化学家又创造了另一个世界。

一、高分子化合物的合成

高分子化合物按照来源可分为天然高分子化合物和合成高分子化合物。例如，淀粉、纤维素和蛋白质等属于天然高分子化合物，聚乙烯、聚氯乙烯和合成橡胶等属于有机合成高分子化合物。

高分子化合物的相对分子质量一般都在一万以上，有的可达上千万。合成高分子化合物是由小分子通过聚合反应制得的，所以也称为聚合物或高聚物，因其与自然界树脂(如松香等)形态相近，在工业上常被称作合成树脂。

实验 3-3

将少量聚氯乙烯薄膜碎片放在一支试管中，塞上带有尖嘴导管的橡皮塞。将试管在酒精灯上加热，观察现象；当继续加热到超过 150°C ，聚氯乙烯会焦化、分解，在导管口放置一湿润的蓝色石蕊试纸，观察试纸颜色的变化；用蘸有浓氨水的玻璃棒接近试管口观察现象；根据实验现象，推测聚氯乙烯分解产物中含有什么物质？

1. 加成聚合反应

我们已经知道，乙烯分子中的碳碳双键可以打开跟其他物质发生加成反应。在一定条件下，乙烯还可以发生自身加成反



图 3-29 蚕丝和尼龙

加聚反应 polyaddition

加聚反应获得的常见高分子化合物

聚 合 物	结 构 式
聚乙烯(低密度 LDPE) (高密度 HDPE)	$\text{[-CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n$
聚丙烯 (PP)	$\text{[-CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{)}]_n$
聚苯乙烯 (PS)	$\text{[-CH}_2\text{-CH(C}_6\text{H}_5\text{)}]_n$
聚氯乙烯 (PVC)	$\text{[-CH}_2\text{-CH(Cl)}]_n$
聚四氟乙烯 (PTFE)	$\text{[-CF}_2\text{-CF}_2\text{]}_n$
聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	$\text{[-CH}_2\text{-C(CH}_3\text{)(COOCH}_3\text{)}]_n$

科学视野

催化剂在分子合成工业中的作用

最早的加聚反应条件是在实验室中偶然发现的。英国研究人员在研究 140 MPa 和 170 ℃ 下乙烯与苯甲醛的反应时,偶然发现了一种白色蜡状物质,经过分析证明它是乙烯的聚合物。后来,通过反复实验,终于找到了聚乙烯的反应条件是高压和有少量氧气存在。这种方法使聚乙烯于 1939 年实现了工业化生产。被称为塑料之王的聚四氟乙烯的反应条件也是类似地被偶然发现的。

高密度聚乙烯产生于德国科学家齐格勒(K. Ziegler)的重要发现。在研究金属有机物对化学反应的催化活性时,他偶然发现掺入少量过渡金属的化合物可以大大提高这一类催化剂的催化活性。经过无数次的实验,1953 年终于发现在金属有机物中掺入少量钛的化合物可以获得奇异的催化效果,在常压下只要将乙烯通过掺入少量 TiCl_4 的 $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ 溶液,就可以得到高密度聚乙烯,这一神奇的催化剂从此改变了人类利用加聚反应的历史。

1954 年,意大利科学家纳塔(G. Natta)尝试应用齐格勒催化剂研究聚丙烯的合成,经过反复的研究,终于研制出具有高度立体规整性和结晶度的性能优异的聚丙烯。

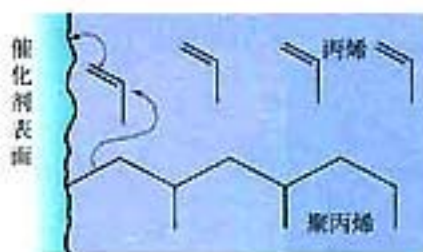


图 3-31 丙烯在催化剂表面聚合



图 3-32 聚丙烯用于制造汽车保险杠

由于齐格勒和纳塔在分子化合物合成催化剂研制方面的巨大贡献，他们共同获得了1963年的诺贝尔化学奖。

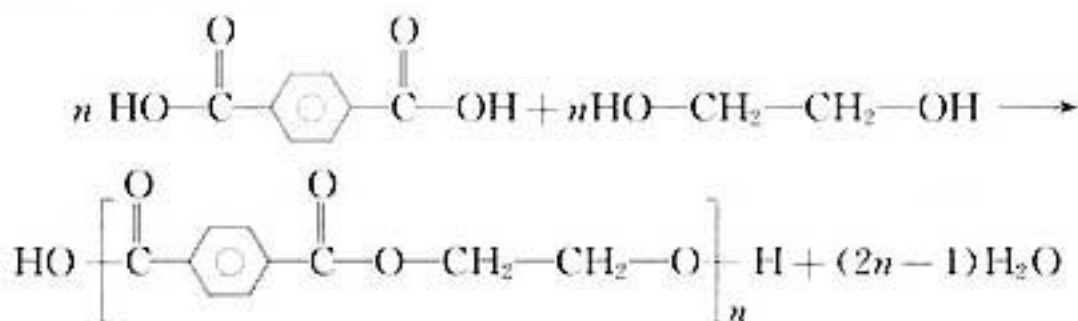
近年来，由茂金属和助催化剂组成的新型催化剂比传统的催化剂具有了更为独特的立体结构选择性。

缩聚反应

polycondensation

2. 缩合聚合反应

我们已经知道，酸与醇之间可以发生酯化反应。例如，乙酸与乙醇反应可生成乙酸乙酯和水。对苯二甲酸与乙二醇反应会发生什么情况呢？对苯二甲酸和乙二醇分别含有两个羧基和两个羟基，它们之间也可以发生一系列类似的反应形成高分子化合物——涤纶，这是一种合成纤维材料。由单体分子之间发生一系列类似于酸和醇缩合成酯类的反应叫做缩合聚合反应，简称缩聚反应。



一般说来，两种单体分子都含有两个以上能够相互反应的官能团是发生缩聚反应的必要条件。随着反应时间的延长，缩聚反应产物的相对分子质量会随着增大，在反应中总伴随着小分子副产物（如 H_2O 、 HCl 、 NH_3 等）生成，为了使反应连续进行，通常这些副产物要从反应体系中除去，有时也要加入催化剂。像涤纶、尼龙（锦纶）、酚醛树脂（也称电木）等都是由缩聚反应制得的。



酚醛树脂用作隔热把柄



尼龙用作衣料



芳纶用作防弹衣内芯

图 3-33 由缩聚反应制得的高分子化合物制品

二、塑料制品的加工

由于高分子化合物的相对分子质量很大，与低分子化合物相比，表现出某些特殊性能。当许多条高分子链聚集在一起时，相互间的缠绕使分子间接近的地方以分子间作用力结合，这就使高分子材料的强度大大增加，相对分子质量越大，分子间力越强，高分子材料的强度越大。

高分子是由一个个链节连接起来的，成千上万的链节常常连成一条长链，因此，高分子最常见的结构是长链状，即线型结构。线型结构的高分子(可以不带支链，也可以带支链)，常可以溶解于一些有机溶剂，而且当受热到一定温度范围时，它们会软化、熔融，稍稍施加压力，就能加工成各种不同形状，是一种热塑性聚合物。高分子链上如果还有能起反应的官能团，当它与别的单体或物质发生反应时，高分子链之间将形成化学键而产生交联，形成立体网状结构，这就是高分子的体型(网状)结构(如图 3-34)。体型结构的高分子不易溶于有机溶剂，加热也不会熔融，是一种热固性聚合物。

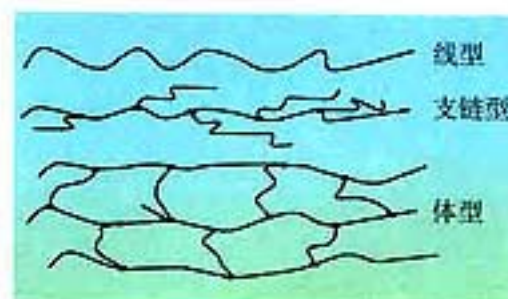


图 3-34 高分子链结构示意图

实验 3-4

1. 取一长约 5 cm，宽约 1 cm 的塑料薄膜，两手拿住长条的两端，用适当的力，将薄膜均匀地进行拉伸，观察发生的现象。试一试经过拉伸的薄膜是否容易拉断？

2. 将约 3 g 聚乙烯塑料碎片放入试管中，用酒精灯缓缓加热，观察塑料碎片所发生的现象。塑料熔化后应立即停止加热以防分解。待冷却固化后再加热，观察现象。

工业上，塑料大都是以石油裂解产物和天然气为原料生产的，大多制成颗粒状和粉末状的塑料原料，利用热塑性塑料和热固性塑料的性质加工制作成为用途广泛的塑料制品。

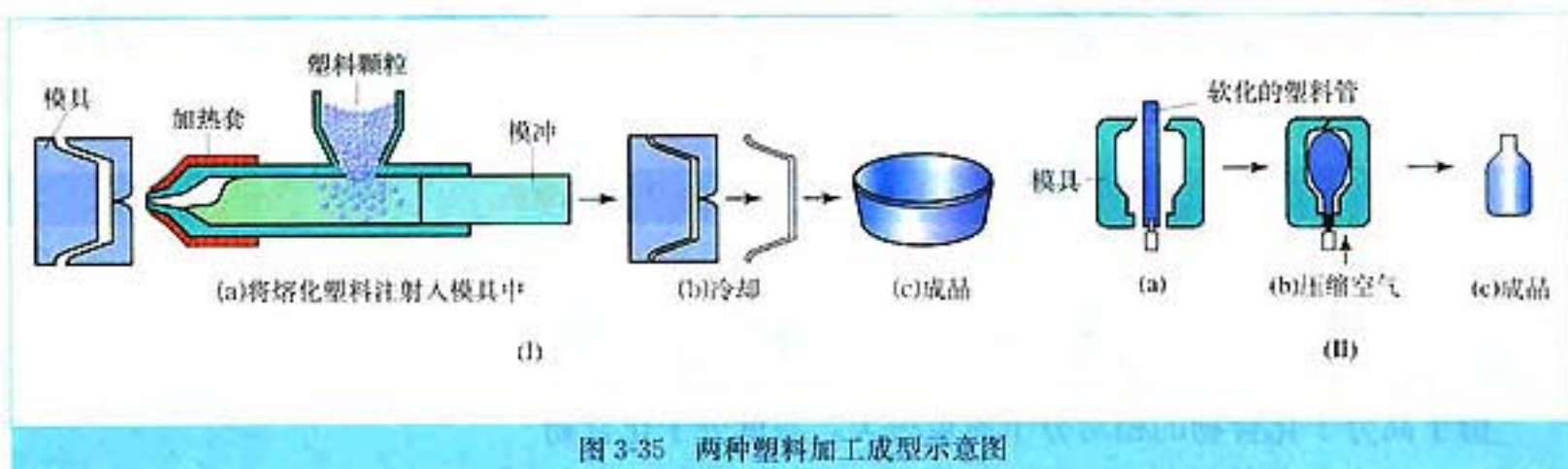


图 3-35 两种塑料加工成型示意图

三、性能优异的合成材料

研究表明，影响高分子性能的因素，主要是形成高分子的单体的组成和结构、高分子的相对分子质量、高分子链的形状以及高分子的聚集状态等。

1. 塑料的改性

为了降低成本、提高性能、满足不同的需要，塑料常要通过改性才能适应各种实际要求。常用的方法主要有：

- 填充改性 在塑料中加入一定量的填料是降低塑料价格、改善性能的重要方法，如酚醛树脂中填充木屑和纸浆制成实用的电木材料，克服了性脆的弱点。
- 共混改性 性质相近的两种或两种以上高分子化合物按一定比例混合制成高分子共混物。
- 共聚改性 两种或两种以上的单体发生聚合反应得到一种共聚物，如乙烯和丙烯共聚得到弹性很好的乙丙橡胶；丙烯腈、丁二烯和苯乙烯一起共聚得到 ABS 树脂。

2. 功能高分子材料

20 世纪 70 年代以来，高分子材料发展的主要趋势是高性能化、功能化、复合化、精细化和智能化。功能高分子材料的特定功能主要通过以下三种途径获得：

功能高分子
functional polymer

(1) 由含有某种特定功能官能团的单体直接聚合(如能导电的高分子化合物等);

(2) 通过化学反应在分子主链或侧链上引入某些具有特定功能的基团(如高吸水性树脂等);

(3) 通过合理的加工成型实现材料的功能化(如微胶囊等)。

离子交换树脂是人类使用的第一种功能高分子材料,从应用于水的软化处理,发展到通过改性用作高分子催化剂;离子交换膜作为物质的分离和提纯材料,广泛地应用于海水淡化、电解槽的隔膜等;高分子药物、人造人体器官、医疗器材、医用修复材料等生物功能高分子满足了人们医疗保健的需要;光纤、液晶、光盘、磁盘等材料加快了社会的信息化步伐;各种防热、隐形材料在国防、航空、航天事业发挥着卓越的作用;高分子材料还用于古代文物保护及修复,使我们古老的中华文明得以发扬光大。

科学视野

几种功能高分子材料

能导电的高分子化合物 大多数有机高分子是电的绝缘体,这已经成为一种生活常识。近年来,科学家发现了一些本身能够导电的高分子,最早合成的导电高分子是聚乙炔薄膜。在一般条件下,它的导电性并不是很强,因此,常要将一些容易供给电子的物质(如碱金属等)或容易接受电子的物质(如 I_2 、 Br_2 、 AsF_5 等)掺入其中。像聚乙炔这样的导电高分子的发现,为导电高分子材料研究开发、制造应用开创了一个全新的途径和领域,这一研究成果荣获 2000 年诺贝尔化学奖。一些性能优异的导电高分子材料已经率先走进了我们的生活。例如,人们开发了一种光致导电高分子材料并应用于静电复印设备中,这种材料的最大特点是光照条件的导电性优于黑暗状态的导电性。导电高分子材料展现出诱人的应用前景。例如,塑料蓄电池不仅可以大大地减轻自身的重量,还可以提高充电、放电效率,试想如果用它代替目前汽车、电动自行车上使用的笨重铅蓄电池情况会怎样呢?如果用塑料电线替代金属导线情况又将会怎样呢?

高吸水性树脂 吸水性物质与生活、生产和工作的关系十分密切。高吸水性树脂的研究是从淀粉改性开始的,在 20 世纪 80 年代实现了工业化生产。高吸水性树脂具有奇特的吸水 and 保水能力,对纯水的吸附量可达自身质量的几十倍乃至几千倍。高吸水性树脂在生活中用于婴儿尿布、卫生巾等,在工农业生产中用作保墒剂、干燥剂、保鲜剂等。

微胶囊 微胶囊是一种具有聚合物壁壳的微型容器,它的直径一般为 $1\sim 100\ \mu\text{m}$,随着工艺技术的发展,可以发展到纳米水平。根据微胶囊所盛固体、液体或气体物质的性质,可以采用化学方法、物理化学法和机械加工法等将高分子材料加工成微胶囊。微胶囊技术是从研制无

碳复写纸开始的，但很快在其他领域得到广泛的应用。例如，医药上可以利用微胶囊技术制造缓释胶囊药物。



图 3-36 尿不湿中的高吸水性树脂

复合材料 composite

3. 复合材料

金属、非金属和高分子材料各有优点，但也有各自的缺点，如金属材料易腐蚀，陶瓷材料性脆易碎，高分子材料易老化、不耐高温等。如果将这三大类不同的材料进行复合，既能保持原材料的长处，又能弥补其短处，从而提高材料的性能，扩大应用范围。

思考与交流

自然界有许多天然的复合材料，如动物的骨骼是由硬而脆的磷酸盐与韧而软的骨胶原复合而成；又如，贝壳中 CaCO_3 结晶层与有机质黏结而成，层间柔韧的有机质挡住并缓解了外力的冲击，使裂纹不易扩散到其他 CaCO_3 层，因而较为坚硬且不易破碎。这些材料能给我们哪些启示？

复合材料一般由起黏结作用的基体和起增强作用的增强体两种材料构成。例如，玻璃钢就是将玻璃纤维和高分子化合物（如聚酯类树脂、环氧树脂等）复合而成的。它具有强度高、质量轻、耐腐蚀、抗冲击、绝缘性好等优良性能，广泛地用于飞机、汽车、船舶、建筑和家具等的生产。

虽然人类制造和使用复合材料由来已久，但现代复合材料的制造不仅要求保留原组成材料的特点，还要求通过补充和增强而获得更优异的性能，另外还要求复合材料有可设计性，包括选材设计、结构设计等。生产复合材料也是一条节约资源、能源和资金的有效途径。



图 3-37 玻璃钢制成的船体

四、环境中的高分子材料

高分子材料在使用过程中不可避免地会受到外界条件的影响而发生化学组成、结构和性能的改变，在生产和使用中要考虑材料的使用寿命和保护；废弃的高分子材料会带来环境污染，生产在环境中可降解的高分子材料是减少这种环境污染的重要途径。因此，根据不同的社会需要，提高材料的稳定性和生产可降解的材料，是当前高分子材料研制中相互关联的两个重要方面。

1. 高分子材料的老化及其保护

高分子材料在使用过程中，由于环境的影响，其强度、弹性、硬度等性能逐渐变差，这种现象称为高分子材料的老化。高分子材料的老化主要包括高分子链之间发生交联而变硬、变脆、丧失弹性，高分子链发生断裂、相对分子质量降低而变软、发黏等。老化是受到外力、热、光的作用，以及接触空气、水、微生物和化学试剂等许多环境因素而造成的。因此，在合成高分子材料的生产中一般要加入光稳定剂和抗氧剂、阻燃剂等精细化学品以提高其使用寿命。一些高分子化合物，如聚酯类、聚酰胺类会在酸碱等作用下发生水解。因此，高分子材料在使用过程中应避免接触能与其发生反应或催化这种反应的化学试剂，同样也要避免接触能使它们溶解的有机溶剂。

有时高分子材料的不稳定性也可以被人们利用。例如，聚乳酸纤维用于外科手术的缝合线，它与人体具有很好的相容性，当伤口愈合后不必拆线，因为它们可以在生物体内被水解生成乳酸再经代谢排出二氧化碳和水。

2. 环境降解高分子材料的开发

高分子材料的老化会使材料性能变差，但要使它们在自然界完全被分解或吸收却是一个非常缓慢的过程，少则几十年，多则上百年。研制环境可降解替代材料是从源头上治理废弃高分子材料污染的重要途径。可降解材料是指一类各项性能在保存和使用期内满足要求，使用后在自然环境中可降解为无害物质的材料。

降解就是指化学和物理因素引起聚合物分子链断裂的过程，主要涉及生物降解、光降解和化学降解三种过程。

目前，环境可降解材料的开发以生物降解材料为主。例

降解 degradation



图 3-38 可降解塑料制品

生物降解塑料是指在自然条件下由微生物作用而引起降解的塑料，它是最重要的一类环境可降解塑料。生物降解实质上是在微生物(包括细菌、霉菌、酵母菌、放线菌、螺旋体、藻类等)分泌的酶作用下的化学降解过程。首先，微生物将分泌的酶黏附于高分子表面，然后，顺序切断组成聚合物长链中的某些化学键(如酯键、苷键和肽键)，再通过酶的作用使低分子化合物进一步分解，并经微生物体内的代谢过程，最终分解成二氧化碳和水。

资料卡片

每千克塑料燃烧放热约在 18 MJ~109 MJ 之间。如 1 kg 高密度聚乙烯或聚苯乙烯的燃烧热约为 46 MJ，比燃料油高 2 MJ，比木粉高 11 MJ。对无法用熔融再生的方法回收的塑料，可以通过焚烧，将释放的热能有效地加以利用。废旧聚合物的能量回收也有很多技术问题需要解决，主要是塑料燃烧的热值较高，对焚烧炉设计有特殊的要求，燃烧后产生的废气需要处理等。

如，用可再生资源(如植物淀粉、纤维素和动物甲壳素等)代替石油为原料生产生物降解塑料。这种塑料采用树皮、甘蔗渣等天然废弃物，不仅成本低，而且具有生物可降解性。另外，还可以将天然高分子与某些通用塑料共混或共聚来制备添加型生物降解塑料，但这种塑料中天然成分降解后，合成高分子并不能降解。因此，在其中可以添加一些光敏剂和自氧化剂，或者合成时引入一些容易光降解的基团，使残存的合成高分子碎片能通过光化学反应进一步降解。

3. 废旧高分子材料的回收利用

随着合成材料的大量生产和使用，而很多合成材料的化学性质稳定，特别是塑料制品，很难在自然环境中被降解，急剧增加的废弃物如果不加处理随意丢弃就会导致环境污染。

废旧合成材料的再生利用主要有三种途径：

- (1) 通过再生和改性利用，重新做成多种有用的材料和制品；
- (2) 采用热裂解或化学处理的方法使其分解，用于制备多种化工原料；
- (3) 将废旧的聚合物作为燃料回收利用热能。

思考与交流

1. 结合图 3-39 讨论废旧塑料制品的回收方法及其适用的条件。



图 3-39 废旧塑料的资源化处理

2. 现在提倡对塑料制品进行分类回收，结合图 3-40 讨论这样做有哪些好处？



图 3-40 塑料包装制品回收标志

思考与交流

合成材料的生产和使用与环境协调发展是一个社会问题，很多具体问题现实地摆在我们面前。例如，是限制使用聚苯乙烯快餐盒，还是回收利用？请根据所学的内容，并搜集必要的资料，就支持和反对大量生产和使用合成材料展开讨论或辩论。可以参考下列正方和反方的一些观点。

正方观点举例：

1. 生产和使用合成材料可以更加合理的开发和利用自然资源。
2. 生产和使用合成材料可以使利用太阳能变得方便、经济和实用。
3. 用合成材料替代木材、棉花、天然橡胶等，有利于生态环境的保护。

反方观点举例：

1. 生产和使用合成材料等自然界原本没有的物质，超出环境的自然消化能力，这不是科技的进步，而是异化和倒退。
2. 废旧合成材料的回收和利用并不容易，甚至有些材料的回收再生成本大大高于制造成本，经济上考虑根本不合算。
3. 天然的东西是最好的，我们应该提倡“回归自然”的绿色生活方式，拒绝生产和使用合成材料。

资料卡片

1 亩棉田每年仅能收获 50~100 kg 皮棉；一棵亚麻只能得到 100 g 麻纤维；一只羊每年只能剪出 5~10 kg 的羊毛，100 条蚕结的蚕茧才能得到 50 g 蚕丝。

年产 500 t 的小化纤厂，占地面积不到 100 亩，它生产的纤维相当于 10 000 亩棉田 1 年的产量，相当于 100 000 只羊的羊毛产量。

资料卡片

由废弃合成材料造成的环境污染需要综合治理，我国 1995 年颁布了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》。一些地方出台了有关的政策和法规限制使用塑料袋、一次性饭盒等。学校、社区和社会团体进行“消除白色污染、倡导绿色消费”等宣传教育活动。走可持续发展道路、崇尚文明的生活习惯已经逐渐成为越来越多人的共识。

当前人类使用的材料主要有无机非金属材料、金属材料 and 有机高分子合成材料。请归纳和总结本单元所学的三大类材料的生产原理、性质和主要用途。

一、无机非金属材料

类型	材料举例	主要成分或生产原理	主要性能和用途
传统硅酸盐材料	陶瓷		
	玻璃		
	水泥		
无机非金属新材料	碳化硅 (SiC)		
	氮化硅 (Si_3N_4)		
	单质硅		
	金刚石		

二、金属材料

1. 常见金属的冶炼原理(举例说明)

常见金属	冶炼原理
Fe	
Al	
Mg	
Cu	
Na	

2. 归纳和比较炼铁、炼钢的主要过程

	炼铁	炼钢
原理	高炉炼铁	转炉炼钢
原料	铁矿石、焦炭、石灰石	废钢、生铁
设备	高炉	转炉
主要化学反应	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$	$\text{Fe} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{FeO}$

3. 金属的腐蚀及防止

	分类	举例说明
金属的腐蚀原理	化学腐蚀	铁在干燥空气中被氧化
	电化学腐蚀	铁在潮湿空气中被氧化
金属防腐的方法	涂漆	铁制品表面涂漆
	电镀	铁制品表面镀锌

三、高分子合成材料

1. 比较加聚反应和缩聚反应的原理和特点。
2. 以一种熟悉的高分子化合物(如聚氯乙烯)为例说明它在相对分子质量、结构和性质等方面的特点,并分析在实际应用(包括废旧用品的处理)时应该注意的问题。
3. 举例说明功能高分子材料、复合材料的特点和应用。

练习与实践

1. 工业上制造水泥、玻璃时都用的原料是 ()。

A. 纯碱 B. 石灰 C. 石灰石 D. 黏土

2. 硅胶是化学实验室中常用的一种干燥剂,它是将硅酸钠溶液(俗称水玻璃)与硫酸在一定条件下反应生成硅溶胶,再经过胶凝、老化等处理后得到的。在制备硅胶时可以加入一些氯化钴得到变色硅胶(利用氯化钴含有不同数目的结晶水呈现不同颜色的性质,如 CoCl_2 呈蓝色, $\text{CoCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 呈蓝紫色, $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 呈紫红色, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 呈粉红色)。

(1) 写出生成硅胶的化学方程式;

(2) 举例说明变色硅胶的一些实际用途。

3. 炼铁原理和炼钢原理的主要区别是什么?

4. 利用铝热反应可以制备一些比铝不活泼的难熔金属,以 V_2O_5 为例,写出有关铝热反应的化学方程式。

5. 钛(Ti)是一种用途广泛的金属,工业上一般以金红石(主要成分 TiO_2)为原料,在碳存在下高温氯化产生四氯化钛和一氧化碳,再用镁高温还原氯化钛得到。试写出上述有关反应的化学方程式。

6. 为了延长锅炉的使用寿命,常在其内壁焊有几片锌防止锅炉腐蚀,说明其中的原理。

7. 高分子化合物与低分子化合物的最大区别是什么?指出几种你所了解的天然高分子和合成高分子的具体实例,指出它们之间的区别和联系以及合成高分子的一些特殊优点?

8. 举例说明合成高分子的两个基本反应,推测这两类反应哪一类反应比较容易发生?

9. 试写出聚丙烯、聚氯乙烯和聚苯乙烯发生聚合反应的化学方程式,并指出它们的单体和链节分别是什么?

10. 什么是热固型和热塑性聚合物,分别举出你所熟悉的实际例子?

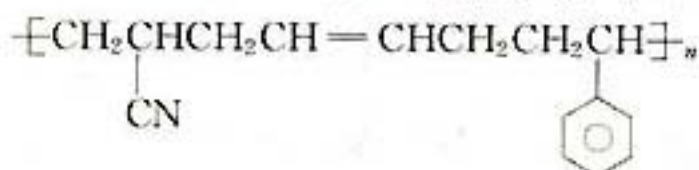
11. 若要在铁制件表面镀镍,则镍应与电源的_____极相连;铁制件应与电源的_____极相连。电镀液可以用硫酸镍溶液,电极反应为_____。

电镀过程中硫酸镍溶液的浓度会_____ (增大、减小或不变)。

12. 调查一下你所喜爱的运动(如羽毛球、台球、钓鱼等)中使用的器材分别用了哪些金属材料,如果不是由金属材料制造的,可以比较说明它们的优缺点吗(包括质量、性能和价格等)?

13. 普通玻璃的成分为 $\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2$,若生产这种玻璃 5.66 t,至少需要纯碱、石灰石和石英各多少吨?

14. 查阅资料了解如何区别合成纤维、天然羊毛等衣料纤维？
 15. 工程塑料 ABS 树脂(结构简式如下)，合成时用了三种单体。



请写出 ABS 中三种单体的结构简式：

_____、_____、_____。

16. 1985 年克罗托等人用激光使石墨中的碳原子气化并在氦气中冷却，用质谱仪检测到由 60 个碳原子构成的原子簇。可是这 60 个碳原子是怎样结合在一起的呢？他们冥思苦想不得其解，灵感来自加拿大蒙特利尔万国博览会美国馆，它是由巴·富勒设计的。然后，他们动手用许多六边形和五边形的剪纸拼接出了 C_{60} 分子模型。你是否也想动手试一试？（提示： C_{60} 由 60 个碳原子组成的球形 32 面体，即由 12 个五边形和 20 个六边形组成，每个五边形均被六边形包围，而每个六边形则邻接 3 个五边形和 3 个六边形。）

化肥

chemical fertilizer

资料卡片

土壤是农业最根本的生产资源，自古人类就知道给土壤施肥以提高产量，但直到19世纪才开始对土壤进行科学研究，以科学的方法调整和改善土壤的结构。1840年德国化学家李比希出版《化学在农业和植物生理学上的应用》一书，首创植物的矿物质营养学说。现代科学认为，高等植物必需的大量元素有6种：碳、氧、氢、氮、磷、钾；中量元素有钙、镁和硫；微量元素有8种：铁、锰、锌、铜、硼、氯、钼、镍。另外，钠和硅也是某些高等植物所必需的。

施用化学肥料是保障农作物增产的重要措施，它为了解决快速增长的人口的吃饭问题建立了不可磨灭的功勋。农药（杀虫剂、除草剂和杀菌剂）可以杀灭与我们争夺粮食的害虫，消灭与作物争夺营养的杂草以及莠蚀种子和作物的霉菌，挽回农作物的损失，在农业生产和粮食贮藏中得到广泛地应用。此外，在林业、畜牧业和控制危害人类健康的传染病等方面，农药也同样作出了重要的贡献。

一、化肥为农作物补充必要的营养元素

思考与交流

化肥主要为农作物补充哪几种元素？请分别举出几种化肥，并写出它们的化学式。

农业生产中，大量施用的化肥主要是氮肥、磷肥和钾肥。磷肥和钾肥主要以它们的天然矿物为原料生产。磷肥以磷矿石[主要成分为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$]为原料，经过硫酸处理，使之变成植物可以吸收的可溶性磷酸盐——过磷酸钙[主要成分是 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 CaSO_4]，简称普钙，它是目前使用最广泛的磷肥。

另一种常用的磷肥是钙镁磷肥[主要成分是 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 和 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$]，它是一种缓效的多元复合肥。另外，从炼钢废渣中可以生产钢渣磷肥。

除了我们熟知的用草木灰作钾肥外，农业上常用的钾肥主要有氯化钾、硫酸钾和硝酸钾等，产自固态钾盐矿、液态钾盐卤以及工农业含钾的副产品和废料等。

思考与交流

1. 钾石盐矿是生产钾盐的主要资源，其主要成分为氯化钠和氯化钾，工业上通常采用溶解结晶法分离得到氯化钾，想一想，这是利用了什么原理？

2. 察尔汗盐湖的百万吨钾肥工程成为我国西部开发的标志性工程。请你查阅有关资料，分析当地的自然条件给钾盐生产带来了哪些有利和不利因素？

农业生产中用量最大的氮肥，却不能像磷肥、钾肥那样可以从地壳中储量丰富的无机盐中获得。

思考与交流

下列是几种补充土壤氮肥的方案，请你试着分析和评价。

方案1 利用硝酸钠矿藏

1809年在南美洲的智利发现了一个很大的硝酸钠矿(称为智利硝石)。1880年以后，硝石工业发展迅速，每年由于硝石出口所获得的税收成为智利政府的主要财政来源。直到20世纪初，由硝石提供世界上50%的氮肥。

方案2 电弧法高温固定氮

人们效仿自然界雷电作用，使氮氧化后被雨水带到地表的过程，采用人工电弧所产生的高温，将空气加热到 $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，这时空气中的氮就有少量与氧化合生成氮的氧化物，然后迅速用水或石灰乳吸收制造硝酸或硝酸钙。用这种方法可以得到质量分数约为30%的硝酸或硝酸钙。每度($\text{kW}\cdot\text{h}$)电可生产70 g 硝酸。

方案3 炼焦副产氮肥

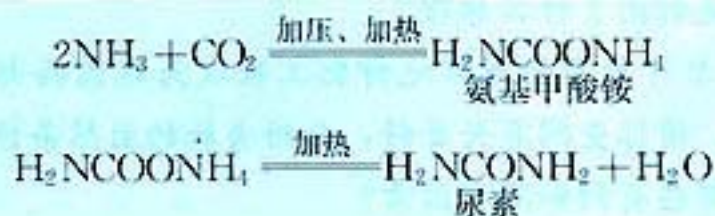
19世纪初，炼焦工业已经兴起，煤中含有1%~3%的含氮化合物，在炼焦或其他煤的气化过程中约有20%的含氮化合物转变成氨，并与水分一起冷凝成稀氨水。人们就用硫酸中和稀氨水制造硫酸铵，这种工艺逐渐取代硝石在氮肥中的地位，至今硫酸铵仍然是炼焦厂的一项重要副产品。



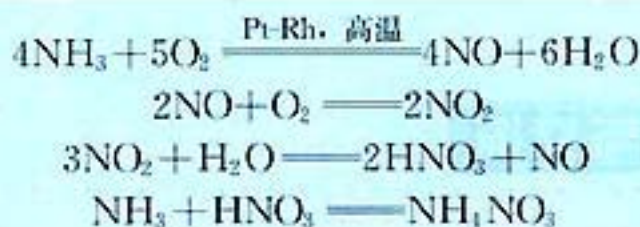
图4-1 位于青海省的柴达木盆地有许多富含钾、锂、镁等的盐湖，其中察尔汗盐湖是我国最大的钾盐生产基地

目前，农业上使用最多的氮肥，如尿素、硝酸铵和碳酸氢铵等，大多以合成氨生产的氨为原料生产。例如，

尿素的生产原理是将氨与二氧化碳反应生成氨基甲酸铵，再使氨基甲酸铵脱水得到尿素：



硝酸铵的生产原理是利用氨催化氧化得到的硝酸(工业生产硝酸的方法)，再跟氨反应生产硝酸铵：



试验表明，氮、磷、钾等元素在植物体内能够产生相互促进作用，可使植物生长发育均衡，复合肥料对植物的肥效优于单一肥料，所以农业生产中也使用各种复合肥料，如铵磷复合肥、硝磷复合肥等。根据土壤营养情况，也可以将单一肥料自行配合使用。

实践活动

查阅有关资料，了解我国化肥生产是否能够满足目前农业生产的需要？氮、磷、钾肥生产结构是否合理？针对目前的状况提出你的建议。

科学视野

玻璃微肥

农作物生长除了需要氮、磷、钾等大量元素外，还需要铁、锰、锌、铜、硼、稀土元素等微量元素，含有这些微量元素的酶和维生素是作物体内营养物质形成和新陈代谢不可缺少的物质。玻璃微肥的生产原理是将作物所需的微量元素固定在玻璃细粉颗粒中，由于玻璃微溶于水，微量元素就可以从玻璃中缓慢释放出来。实际生产中选用废玻璃、粉煤灰、炼钢炉渣和矿石等为原料生产玻璃微肥。玻璃微肥具有不易被雨水冲洗、肥效时间长、不污染环境等特点，在充分利用固体废弃物方面更具有优势。



图 4-2 危害作物的病虫害

世界上每年因病害、虫害和草害所造成的粮食损失约占总产量的 30%~40%。化学防治在综合防治中占有重要地位。为寻找高效、低毒、低残留的农药，克服害虫产生的抗药性，需要不断地研究和发现新物质来解决这些问题。

农药 pesticide

杀虫剂 insecticide

1. 杀虫剂与虫害的防治

防治虫害的方法很多。人类很早就凭经验发现和使用一些天然物质防治虫害，如燃烧艾蒿、烟草等驱除害虫，只是在化学作为科学出现以后，才开始真正使用化学方法防治害虫。使用杀虫剂的化学防治法是目前最常用的方法。

按照化学组成和结构，常用的杀虫剂主要包括有机氯类、有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类化合物等。

天然产物和无机物等属于人类最早使用的第一代农药，有机氯、有机磷、氨基甲酸酯等有机合成农药为第二代农药，拟除虫菊酯和特异性农药等则是人类开发和利用的第三代农药。

思考与交流

农药经历了含砷、硫的无机物，到含氟、氯的有机物，再发展到含磷有机物，人们在不断寻找高效、低毒、低残留的杀虫剂。查找这些元素在周期表的位置，比较它们非金属性的强弱，这对你有哪些启发？

第三代农药具有了高效、低毒和低残留的特点，其中凝结着化学工作者大量的艰辛劳动。例如，拟除虫菊酯类农药是在对天然除虫菊(如图 4-4)进行分离、提纯和结构分析等大量的



图 4-3 燃放烟剂农药
防治林业害虫

烃基时，通常难以被生物降解。因此，一般采用不含支链的烃类为原料生产合成洗涤剂。

● 合理的配方 合成洗涤剂的配方会影响产品的外观、质量、生产成本、市场价格和用途。为了提高合成洗涤剂的综合性能，满足不同的用途和需要，除了烷基苯磺酸钠等表面活性剂外，生产中还要配入一定数量、一定规格要求的多种助洗剂和辅助剂，例如纯碱、硅酸钠、硫酸钠和含磷化合物等。含磷化合物是一种较好的助洗剂，但大量含磷污水的任意排放会造成赤潮和水华等环境污染问题，所以，目前大多生产无磷洗涤剂。另外，加入荧光增白剂可使衣物看起来更加亮白；加入少量香料可使衣物洗后留香；添加酶制剂可以去除衣物上的血渍、奶渍等。

思考与交流

从原料、分子组成和结构、洗涤特性和生物降解性等方面比较肥皂与合成洗涤剂的优点和缺点。

三、精细化学品及其生产特点

除了农药、表面活性剂(肥皂、合成洗涤剂)外，精细化学品还有许多。按照精细化学品用途，一般分为医药、农药、染料和颜料、涂料、黏合剂、表面活性剂、催化剂、食品和饲料添加剂、塑料、合成纤维和橡胶用添加剂等。

1. 精细化学品具有品种多、批量小、产值高等特点

从精细化学品的分类可以看出，精细化学品的品种极其繁多，在工农业生产和日常生活中的应用非常广泛。以表面活性剂为例，我们可以从市场上品种繁多的洗涤用品感受到表面活性剂所具有的一些生产和应用特点。在工农业生产中也是如此，表面活性剂在日用化妆品、食品、皮革、石油燃料、造纸、制药等很多工业和农业中均有广泛地应用。由于表面活性剂用量很少，却能显著降低水与空气或其他物质的界面张力，可以大大提高工业生产的效率，提高产品的质量和性能，因此，表面活性剂素有“工业味精”之称。

精细化学品
fine chemicals

思考与交流

在泡沫灭火器中添加表面活性剂可以提高灭火效果，这是为什么？你还能举出其他应用表面活性剂的实例吗？

资料卡片

一般患者使用的药物以毫克计量；食品添加剂以 10^{-6} 克计量；染料在纺织品上的用量不会超过织物质量的3%~5%；一双鞋用黏合剂不过几克。

任何一种化学产品都有各自的性能，但与普通化肥和塑料等大宗产品不同，精细化学品往往具有特定的功能、狭窄的适用对象以及其他特殊要求。例如，洗衣粉有的适合洗衣机用，加酶洗衣粉则一般不能用于洗涤丝毛制品；医药和农药都有非常严格的使用剂量、适用范围等，误用会造成严重的后果。

面对实际生产生活中多种复杂的应用要求和不断变化的市场，研制合成一种全新化合物往往跟不上这种变化和要求，将几种化合物复配起来，不仅可以发挥各组分的特殊性能，还可以有协同增效作用，所以，复配技术大量地应用于精细化学品生产和使用中。配方研究常常是经验与科学技术相结合的产物，为了满足各种用途的需要，有时就像医生开处方一样，经常调整配方以服务于实际的应用。

2. 精细化工具有技术密集、附加值高等特点

技术密集、附加值高的特点，主要体现在精细化学品研发阶段投资高、生产流程长、原料多、反应复杂和条件要求严格等方面，还具有技术保密性强、专利垄断性强等特点。例如，药物是人类同疾病作斗争的重要武器，医药工业已经成为具有巨大的社会效益和经济效益的产业。从天然药物分离和提取有效成分，到设计和制造新的药物，化学合成药物大约占人类用药的50%，在医药工业上化学制药一直处于主导地位。

思考与交流

“出售精细化学品，与其说是出售产品，不如说是出售技术”。你同意这种说法吗？结合图4-16和图4-17，与同学交流你的看法。

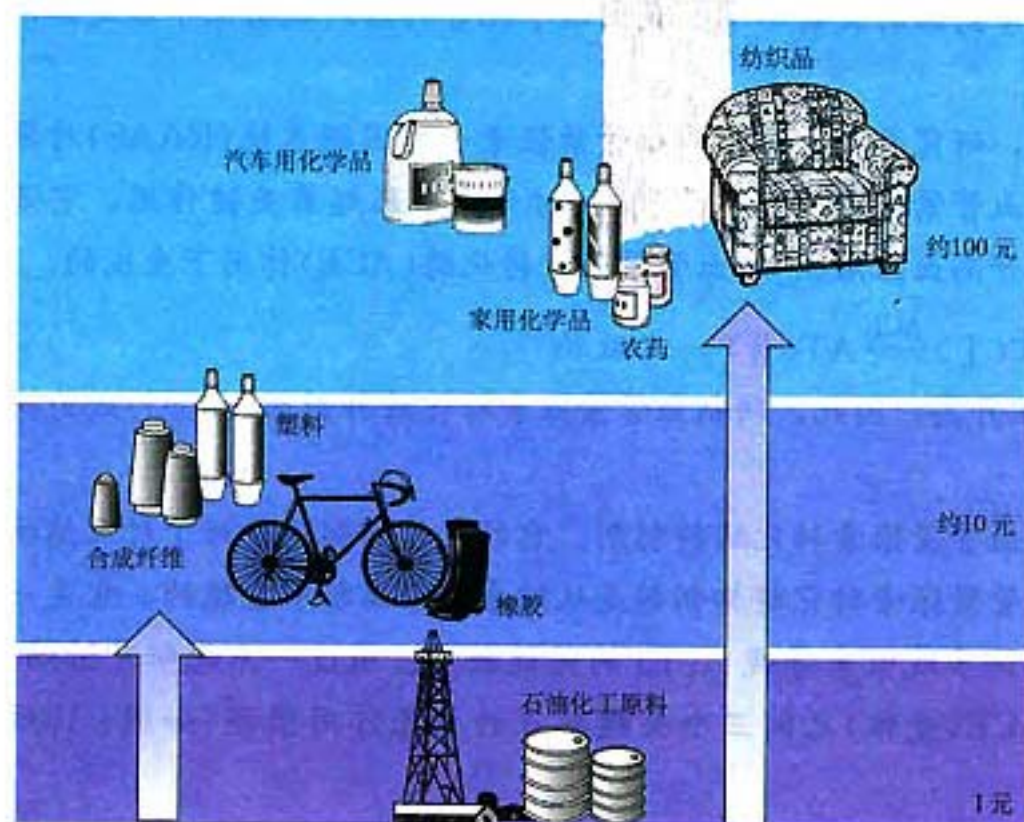


图 4-16 有机化学品投入产出示意图



图 4-17 蒙脱石是一种黏土的主要成分，可以吸附本身质量五倍的水，体积同时增大至其干体积的十五倍，当将它制成药物则身价百倍

资料卡片

新药的研究开发过程

基础研究	临床前的开发	临床开发			管理评估	营销后开发
先导化合物的发现和筛选	候选药物的合成；生物学试验和药理学筛选；专利申请和临床研究计划等	阶段Ⅰ	阶段Ⅱ	阶段Ⅲ	研究开发管理、决策、营销申请	参加评估的 5 000 种中，可能只有一种最终进入药房
		50~100 名志愿者临床试验	200~400 名病人临床试验	3 000 名以上病人临床试验		

据统计，近年来研制成功一种新药，平均需要花费 10~12 年的时间，耗资 3.5 亿~5 亿美元，并且这一费用正以每年 20% 的速度递增，迫切需要应用新的理论方法和技术加以改进。

科学视野

化学与药物设计、制造

1. 卡托普利(Captopril)的合理药物设计

大量研究表明，药物的分子结构同其药效关系密切。一种假说认为，药物(称为配体)可以与存在于生物体细胞膜上或细胞内一类物质的分子(称为受体或靶)相互作用，形成可逆性的复合物，就像钥匙作用于锁那样，导致生物体内的生理变化。药物与受体之间的相互作用主要包括氢键、范德华力、离子键、疏水作用等，也有少量的形成共价键。由于受体分子具有特殊的结构，药物还必须作用于受体至少三个关键部位(称为受点或靶点)才能有效，因此，药物分子

的结构及其修饰成为设计和制造化学药品的关键环节。我们以卡托普利为例说明化学家是如何进行药物设计的。

高血压是最常见的心血管疾病，研究表明，肾素—血管紧张素—醛固酮系统(RAAS)对调节人体血压具有重要作用，其中，血管紧张素(II)[AT(II)]对升高血压起着关键作用，它是由血管紧张素(I)[AT(I)]，没有升高血压活性]在血管紧张素转化酶(ACE)作用下生成的。



AT(II)过多就会引起人体血压升高，因此，研制血管紧张素转化酶抑制剂(ACEI)成为探索新抗高血压药的一条途径。

卡托普利就是一种人工制造的血管紧张素转化酶抑制剂。它的设计和制造开始于对天然物质的发现、分离和研究。天然的血管紧张素转化酶抑制剂是从蛇毒的分离物中发现的，它是一种混合物。这些天然物质给研究者许多线索来寻找 ACEI 的关键靶点。通过一系列研究活动，归纳总结出了 AT(I)(配体)同 ACE(受体)之间三个关键靶点的相互作用模型(如图4-18所示)：

- (1) 受体上的 Zn^{2+} 同配体上带负电的一个原子之间形成配位键；
- (2) 受体上的 N—H 基团同配体上带负电的一个原子之间形成氢键；
- (3) 受体上的 NH_3^+ 基团同配体上的负电基团 $-\text{COO}^-$ 之间形成离子键。

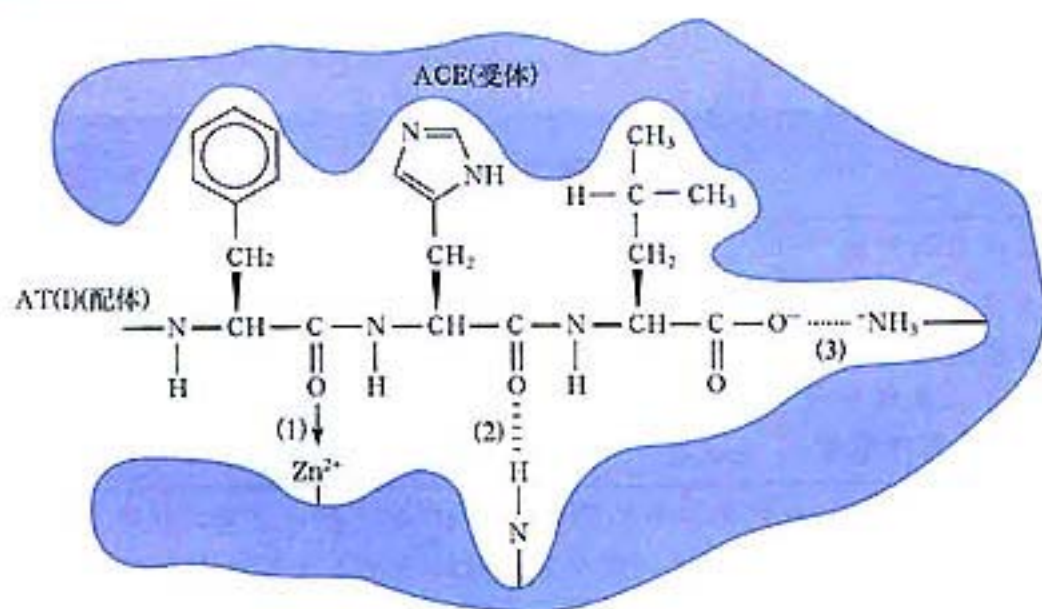


图 4-18 AT(I)同血管紧张素转化酶形成的复合物示意图

上述作用模型为研究开发 ACEI 奠定了基础。分析表明，所有从蛇毒中分离出的蛋白质中都含有脯氨酸，因此，它就成为化学合成 ACEI 的起点物质。化学工作者合成了成百上千的脯氨酸衍生物，它们能很好地满足靶点(2)和(3)的作用要求，但却不能满足靶点(1)的作用要求，直到发现了可以同 Zn^{2+} 发生配位作用的带有 $-\text{SH}$ (巯基)的衍生物(如图 4-19)，才在找寻合适化合物的道路上取得突破性进展。

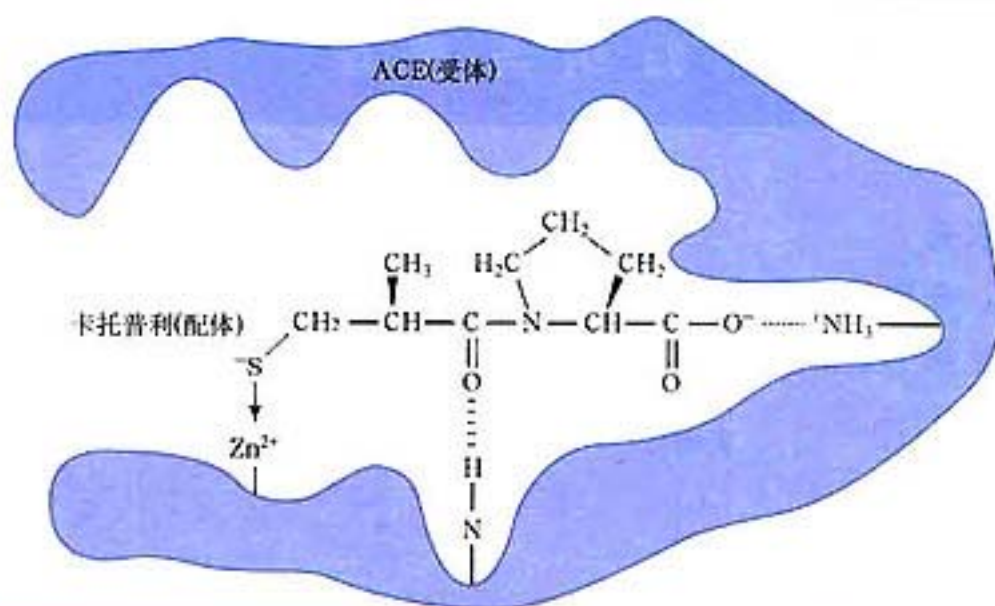


图 4-19 卡托普利同血管紧张素转化酶形成的复合物示意图

由于卡托普利(如图 4-20 所示)不是一种蛋白质,因此,不用担心它会被消化酶分解,也不会发生水解反应。卡托普利是一个通过精心设计而生产的典型药物,自从 20 世纪 80 年代通过临床检验以来,已经得到广泛地应用。



图 4-20 卡托普利

2. 长效缓释药物

缓释药物可以减少每天吃药的次数,大大地方便了人们的药物使用。制造缓释药物的方法很多,常用的有改变药物的剂型,例如用天然和合成的高分子化合物同药物混合制成黏结性很强的片剂或微胶囊,使药物中的有效成分缓慢释放;或者将生物活性基团嫁接到高分子化合物基体上制成高分子药物。例如,碘酒是常用的外用杀菌剂,将碘与聚乙烯吡咯烷酮组成水溶性的配位化合物,仍保留碘酒的杀菌作用,但释放碘缓慢,大大降低了刺激性,提高了用药的安全性。再如,将阿司匹林与聚甲基丙烯酸借助二醇嫁接起来,缓释阿司匹林可作抗血栓长效药使用(如图 4-21 所示)。

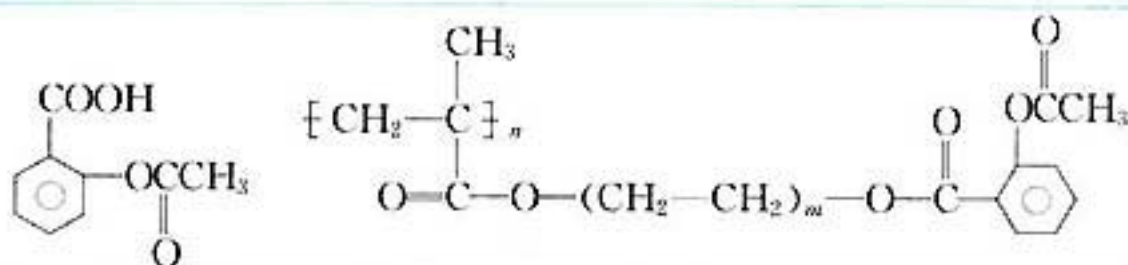


图 4-21 阿司匹林和一种缓释阿司匹林的结构式

结束语 迎接化学的黄金时代

化学在保证人类衣、食、住、行的需求，提高人们生活水平和健康状况等方面起了主导作用。据《化学文摘》记录，1900年从天然物分离和人工合成得到的化合物只有55万种，1945年达到110万种，1970年达到236.7万种，2000年达到2340万种。现在全世界化学家每年创造100万种以上新化合物。但是，展望新世纪，人类在人口、自然资源、能源、环境保护等领域中的诸多问题更趋严峻。人类的生存是否产生问题，生存质量是提高还是下降，人类是否能与自然界和谐发展，这些问题的解决要依靠自然科学和社会科学的共同努力。为此，必须优化自然资源的利用、更有效地控制自然和人为的过程、提高能源的有效利用率，必须用以化学为基础的技术提供更有效、更安全、更多样化的化学物质，满足人类社会健康发展的需求。20世纪后半叶科学技术的飞速发展，开辟了化学的黄金时代。不仅化学学科本身获得前所未有的进展，随着化学融入并推动其他科学技术领域程度的增长，化学在高新技术中无可替代的作用日益明显。今后，化学仍然是提供解决人类赖以进步的物质基础这一难题的核心科学。

探索生命起源和生命过程的化学本质，探索疾病的预防和治疗，提高人的生存质量和安全度，是化学研究的根本任务和目的之一。所有生物体的物质基础都是化学物质，应用于生物学的化学已经成为当今科学前沿之一。人类基因和各种病原体基因序列的破译，将为疾病的预防和治疗提供更加有效的药物，而且将改变人们看待药物实用性的方式。在医学方面，为了监测预报健康情况，植入人体的微型化学与电化学传感器技术，将进一步完善和实用化。在分子水平上研究神经细胞的信息传递物质及其传递过程，探索人类最复杂的生理现象——学习、记忆、思维过程的化学和生物学本质及改善方法，以便减轻或解除人在神经系统疾病的痛苦。

在解决人类所面临的粮食和能源问题方面，以模拟植物光合作用和模拟生物酶为基础的人造碳水化合物、人造蛋白质和人造脂肪技术，将使粮食生产转为工业生产的模式，不再受到土地、气候、种子和植物生长周期的局限，以寻求解决人类发展与土地资源的矛盾。自然资源特别是生物资源的综合利用，燃料电池、太阳能、核能的利用，将为最终解决化石能源短缺问题，提供最为理想的途径。

人工智能将用于改造现有的化学合成技术。直接利用细胞来实现合成的基因工程技术也将列入化学合成技术之中，聚羟基链烷酸酯(PHA)塑料和植物同步生长的技术就是一例。这是通过对农作物基因的修饰来实现的，不再需要发酵过程。在收获农作物如玉米时，人们不仅得到金黄色的玉米，从玉米叶和玉米秆中还可以得到PHA塑料。

在新世纪里，由于高温超导体、高效光电转换材料、高密度信息存储材料、碳纤维、氮化硼纤维、碳纳米管、新型陶瓷、生物医学材料及具有各种不同功能的功能材料等新型材料的出现，将形成基于这些高新技术的、高附加产值的工业体系。此外，以纳米技术为基础的许多高新技术目前还在孕育之中，迫切需要化学家的积极参与。人类在穿衣、居住、交通、通信等方

面更加舒适和快捷。世界的面貌将有巨大变化。科技界普遍认为，从选用材料到分子设计合成材料的时代即将到来。

技术的实施，往往会对社会生产和人们生活产生巨大的作用。由于这种作用的来势可能非常猛烈，有时可以引起自然界或社会各个领域之间的失衡。目前引起广泛重视的资源、能源和环境问题，无不与此有关。这就意味着技术不仅给生产带来进步、使生活需求得到进一步的满足，它同时会带来风险（全世界目前每年产生3亿~4亿吨危险废物）。因此，具备科学的风险意识，是现代公民所必须具备的基本素质。

绿色化学是一个应环境保护的要求而提出的奋斗目标，是现代人风险意识的一种体现。其核心是要利用化学原理从源头消除污染。在化学生产工艺和过程中，充分利用原料中的所有原子（原子经济原则），即在获取新物质的化学反应中充分利用参与反应的各种原料的每个原子，不仅充分利用资源，而且不产生污染，实现整个生产过程的零排放；产品废旧后的回收、再生或妥善处理（如焚烧、埋藏）等原则，已经成为新化学品生产技术与工艺的主要评价标准。绿色化学的提出，推动了生物技术与催化技术（包括化学催化与生物催化）及光、电、磁等其他能量形式在化学工程中的应用。绿色化学是人类与自然界和谐发展的重要途径。

化学仍然是一门核心、实用和创造性的科学。它是自然科学基础的学科之一，是研究物质世界物质运动和变化规律的科学，它所展示的种种挑战和机遇，对于有志于为人类社会发展和进步在科学与技术领域工作的年轻一代，具有极大的吸引力^[11]。

注：根据美国化学会1991年的统计数据，美国国内从事基础与应用研究的所有科技人员中，化学家约占到1/3。