

普通高中课程标准实验教科书

化学 选修 2

化学与技术

教师教学用书

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

普通高中课程标准实验教科书

化 学_{选修2}

化学与技术

教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所
化学课程教材研究开发中心 编著

人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通高中课程标准实验教科书化学选修2化学与技术教师教学用书/人民教育出版社,课程教材研究所化学课程教材研究开发中心编著.—2版.—北京:人民教育出版社,2017.7
ISBN 978-7-107-19073-5

I. ①普… II. ①人… ②课… III. ①中学化学课—高中—教学参考资料 IV. ①G633.83

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第034121号

普通高中课程标准实验教科书 化学 选修 2 化学与技术 教师教学用书

出版发行 人民教育出版社

(北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编:100081)

网 址 <http://www.pep.com.cn>

经 销 全国新华书店

印 刷 北京天宇星印刷厂

版 次 2007年2月第2版

印 次 2017年7月第21次印刷

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 5.25

字 数 123千字

定 价 11.90元

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或本产品任何部分·违者必究
如发现内容质量问题、印装质量问题,请与本社联系。电话:400-810-5788

说 明

本书是根据教育部制订的《普通高中化学课程标准（实验）》和人民教育出版社、课程教材研究所化学课程教材研究开发中心编著的《普通高中课程标准实验教科书化学（选修2）化学与技术》的内容和要求，结合高中化学教学实际编写的，供使用《普通高中课程标准实验教科书化学（选修2）化学与技术》的高中化学教师教学时参考。

从有利于教师理解和体会课程标准，以及更好地使用教科书出发，全书按教科书的单元、课题顺序编排，每单元包括“单元说明”“教材分析与教学建议”和“教学资源”三个部分。

“单元说明”是按单元编写的，包括教学目标、内容分析和课时建议。教学目标指出本单元在知识与技能、过程与方法 and 情感态度与价值观等方面所要达到的教学目的；内容分析从地位和功能、内容的选择与呈现、教学深广度以及内容结构等方面对单元内容做出分析；课时建议则是建议本单元的教学课时。

“教材分析与教学建议”是分课题编写的，包括教材分析和建议、活动建议、问题交流等。教材分析和建议对各课题的内容特点、知识结构、重点和难点等作了较详细的分析，并对教学设计思路、教学策略、教学方法等提出建议。活动建议是对“科学探究”“实验”等学生活动提出具体的指导和建议。问题交流是对“学与问”“思考与交流”等教科书中栏目所涉及的有关问题给予解答或提示。练习与实践参考则是对单元后的练习与实践给予解答或提示。

“教学资源”是按单元编写的，主要编入一些与本单元内容有关的教学资料、疑难问题解答，以及联系实际、新的科技信息和化学史等内容，以帮助教师更好地理解教科书，并在教学时参考。

参加本书编写工作的有：王晶、吴海建等。

本书的审定者：李文鼎、王晶。

责任编辑：吴海建。

图稿绘制：李宏庆。

本书的内容难免有不妥之处，希望广大教师和教学研究人员提出意见和建议，以便修订改进。

人民教育出版社 课程教材研究所
化学课程教材研究开发中心

2005年6月

目 录

第一单元 走进化学工业 1

单元说明 1

教材分析与教学建议 3

课题1 化工生产过程中的基本问题 3

课题2 人工固氮技术——合成氨 4

课题3 纯碱的生产 7

练习与实践参考 8

教学资源 9

第二单元 化学与资源开发利用 24

单元说明 24

教材分析与教学建议 25

课题1 获取洁净的水 25

课题2 海水的综合利用 26

课题3 石油、煤和天然气的综合利用 28

练习与实践参考 29

教学资源 29

第三单元 化学与材料的发展 36

单元说明 36

教材分析与教学建议 38

课题1 无机非金属材料 38

课题2 金属材料 40

课题3 高分子化合物与材料 42

练习与实践参考 44

教学资源 46

第四单元 化学与技术的发展 59

单元说明 59

教材分析与教学建议 60

课题1 化肥和农药 60

课题2 表面活性剂 精细化学品 63

练习与实践参考 65

教学资源 67



第一单元 走进化学工业

单元说明

一、教学目标

1. 以硫酸生产为例，了解化工生产过程中的一些基本问题。
2. 了解合成氨的反应原理、基本生产过程和合成氨工业发展中需要解决的问题。
3. 通过纯碱的两种典型生产过程及其演变的学习，了解化学工艺改进的原因、思路、条件以及由此带来的社会 and 经济效益。
4. 初步了解实验室研究与工业化生产的区别和联系。初步认识基本化工产品的种类、资源和发展概况等。

二、内容分析

1. 地位和功能

硫酸（产品为液体）、纯碱（产品为固体）和合成氨（产品为气体）等属于典型的基本化工产品，它们的生产是化学工业及其发展的基础，而了解化工生产过程中的基本问题也是学习《化学与技术》选修课程的基础。因此，通过对这些产品生产过程中一些基本问题的学习，可以帮助学生将所学化学基础知识与实际生产建立有效的教学联系，拉近实际生产过程与课堂教学之间的距离，有利于学生加深对化学、技术和社会相互关系的认识。

2. 内容的选择与呈现

教科书体现以社会需求为导向、以化学研究基础上的技术发展为重点的总体设计思想，以“人类需要的物质产品——化学反应原理——生产过程及其发展”为线索构建单元体系。除了这一整体设计外，本单元也体现了课程标准中化学与技术选修课程的目标、定位和要求。总体而言，教学内容的选择和呈现考虑了以下一些原则：

- (1) 选取典型产品及其生产过程作为内容载体；
- (2) 以必修模块的化学知识为基础，必要时为本模块补充基础知识；
- (3) 以化学反应原理及其应用为重点，以生产基本问题（如原料及其综合利用、能量的利用、反应条件的控制、环境保护等）为线索展开内容；
- (4) 抓住有价值的问题，引导学生活动与探究，培养学生的问题意识和分析解决问题的能力；
- (5) 以引导学生体会化学在生产技术中的价值为重点，而不过多地追究生产实际过程的技术细节；
- (6) 学习顺序注意遵循学生的接受能力。

在某种程度上，教科书也体现了科学与技术两者之间的区别和联系。科学与技术紧密相

连、相互促进，而又有各自不同的特点。例如，与科学相比，技术更直接地面对人们的实际需要，一种产品首先用于满足人们的需要，需要也是生产发展的动力和技术创新的源泉。为什么要生产这种产品？它可以用来做什么？技术改进的主要目的是什么？当从这些问题展开时，有利于阐明生产和技术进步的意义，培养学生求知和创新的欲望以及注意技术应用风险的社会责任感。由于人们的需要是多种多样的，也是不断发展和变化的，因此，可以凭此创设许多生动的教学情景。

再如，除了关于“是什么、为什么”等问题解决过程外，在化学与技术课程中还强调关于“做什么、怎么做”等问题解决过程，后一过程可能会涉及化学以外的物理、生物、地理等学科知识，体现技术应用的综合性；还会涉及诸如环境保护、经济、风险评估、利弊权衡等态度、价值和决策有关的问题，体现技术实践的复杂性和产品设计标准的多元化。通过思考和解决这些问题，有利于学生对科学探究过程加深理解，也有利于比较全面地培养学生解决实际问题的能力。

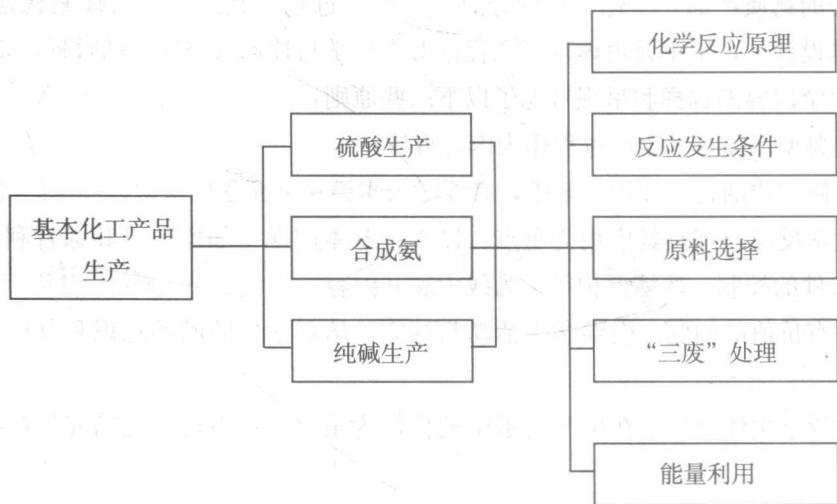
根据课程标准和上述总体考虑，本单元安排的主要内容有：

以硫酸生产为例，说明化学生产过程包括的一些基本问题，如反应原理、反应发生的条件、原料的选择、“三废”的处理以及能量的利用等。使学生对化学生产过程有一个概括的、初步的认识。

合成氨这种人工固氮技术，不仅为解决人类的吃饭问题作出了重要的贡献，而且，它也是近代化学工业发展的基础，在人类的科学技术史上具有重要的地位。学习这部分内容，还有利于帮助学生了解一个化学原理上可行的反应，当进入实际的工业化生产时，会遇到很多复杂的技术问题，实现大规模的工业化生产不是仅仅将实验室试管、烧瓶中发生的化学反应进行简单放大的过程。

纯碱的生产，可以帮助学生进一步理解一个化学工艺的发展和完善，可能需要几代人长期的努力，从中体会化学工艺改进和发展的思路、角度，培养他们勇于创新的精神和实践能力。

本单元内容结构如下：





三、课时建议

课题1 化工生产过程中的基本问题	2课时
课题2 人工固氮技术——合成氨	2课时
课题3 纯碱的生产	1课时
复习机动	1课时
小计	6课时

教材分析与教学建议

课题1 化工生产过程中的基本问题

一、教材分析和建议

在化学工业中，需要化学与技术的有机结合，若要认识和体会化学与技术的关系，就首先需要了解有关化工生产的基本问题。所以，作为本书最开始的课题，介绍化工生产过程中的一些基本问题，以利于学生在后面的学习中对化学与技术相关问题的理解。

化工生产过程比较复杂，但一些最基本的问题是相似的，例如，任何化工生产都涉及到传质（物料的流动）、传热（能量的传导）、传动（动力的传输）和化学反应器等。根据课程标准的要求，结合高中学生的特点，将化学反应原理、反应发生的条件、原料的选择、三废的处理和能量的利用等作为化工生产过程中的基本问题，结合一些典型产品的生产过程，使学生对化工生产的基本过程有一个初步的认识。硫酸是学生在初中化学中就学过的物质，对其性质比较了解，硫酸工业又是典型的基本化学工业，所以本课题以硫酸工业为例，介绍化工生产基本问题：反应原理的确定、原料的选择、反应条件的控制、能量的利用等。每一问题都结合硫酸的生产，将化学知识与生产过程、生产工艺等结合，充分体现化学在生产中的作用。

关于反应原理及生产过程的确定，教科书从硫酸的化学组成、性质及具体的反应进行分析，突出化学在物质转化和利用方面的重要性。生产中原料的选择则从综合方面考虑，以“思考与交流”的形式，让学生思考讨论，培养学生综合思考认识问题的能力。

在介绍生产中反应条件的控制问题时，涉及到了化学平衡的知识，教科书先对概念作了简单介绍，然后结合“思考与交流”中给出的一些具体数据，让学生思考并讨论，最后找出硫酸生产的最佳条件，并归纳给出平衡移动原理。接下来再让学生通过一个“思考与交流”来认识平衡移动原理。这样将有关的化学原理与生产实际问题结合起来进行教学，也是化学与技术课程中的主要教学设计思想。

关于环境和能源问题，本课题结合硫酸生产的具体情况进行说明，体现了培养学生环境和能源意识的观点。

教学重点：化工生产过程中的基本问题。工业制硫酸的生产原理。平衡移动原理及其对化工生产中条件控制的意义和作用。



教学难点：平衡移动原理及其对化工生产中条件控制的意义和作用。

二、问题交流

【学与问】硫酸生产过程中的污水，可利用酸碱中和反应进行处理。

【思考与交流1】参见教科书。

【思考与交流2】早期黄铁矿的储量比较大，而天然硫黄资源缺乏，又难以从国外购进，并且，那时对环境保护也不够重视。目前世界上许多国家都限制以黄铁矿为原料制硫酸，主要也是考虑到环境污染问题，而且，随着技术的发展，设备的大型化使以硫黄为原料制硫酸的成本也逐渐降低。

【思考与交流3】

1. 从表 1-1 和表 1-2 可以看出，温度越低、压强越大，越有利于 SO_2 转化为 SO_3 ，但压强的影响不是很大。

2. 思路：低温时有利于 SO_2 的转化，但考虑催化剂活性，温度不能太低。高压有利于 SO_2 的转化，但试验表明增大压强， SO_2 的转化率提高并不大，而且考虑设备、成本和能源消耗问题，压强不应很高，可以考虑常压。（对此问题学生可能会有不同的回答，教师可引导学生讨论，最后给出实际结果。）

4

课题 2 人工固氮技术——合成氨

一、教材分析和建议

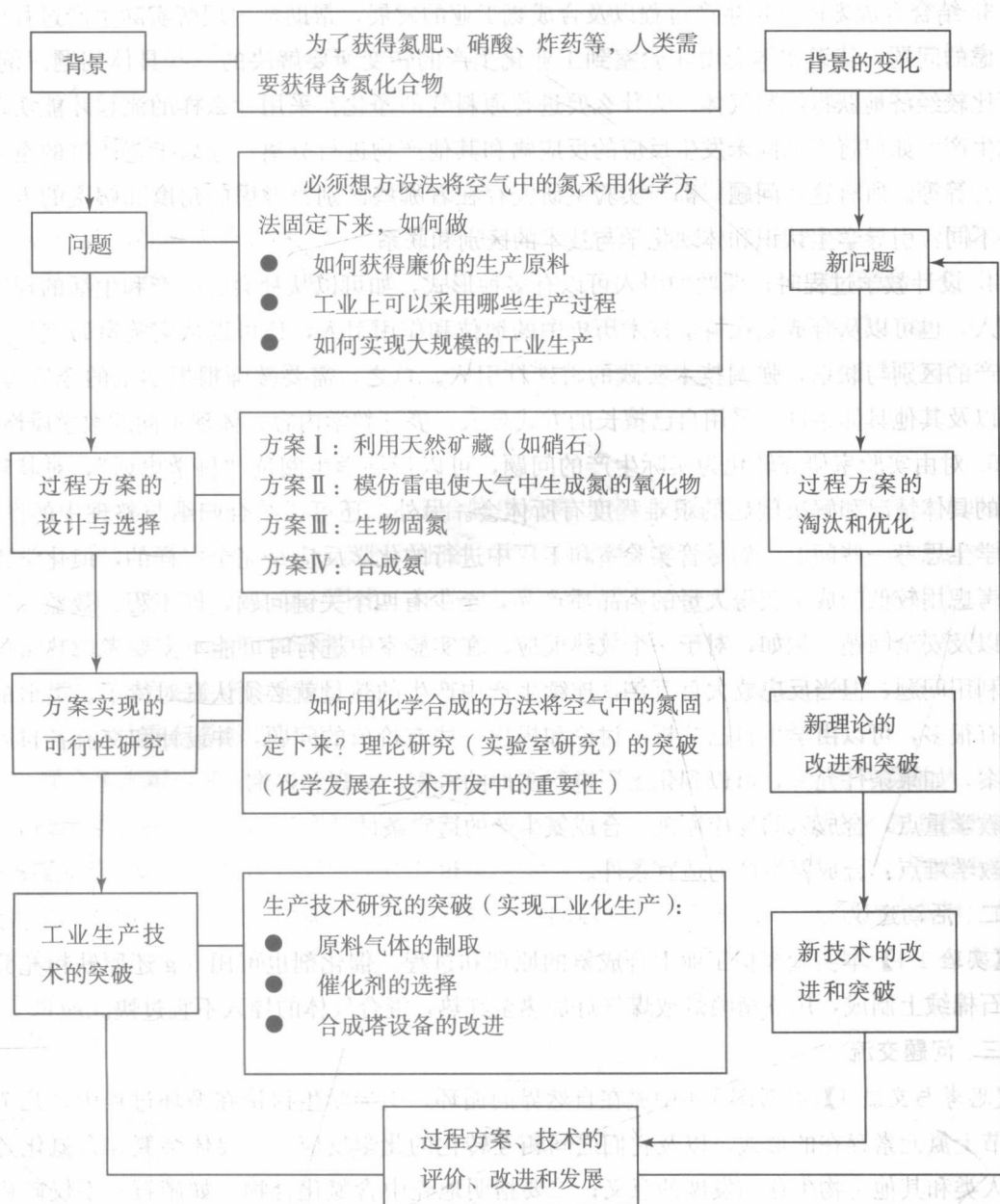
本课题围绕着合成氨的反应原理以及实现工业化生产的有关问题展开讨论，帮助学生了解合成氨工业生产的主要原理和过程，认识并体会由实验室研究到工业化生产所需要经历的过程。

教科书的设计是，为了说明如何将大气中的氮固定下来这一中心问题，首先，呈现问题提出的背景，也就是人们为什么要想方设法地将大气中的氮固定下来，直接的原因是满足人类对氮肥、硝酸等含氮化合物的需要，间接的原因是地壳中氮元素的含量少、分布不均；紧接着的问题是如何将大气中的氮固定下来，指出合成氨在科学上和技术上的突破。最后，讨论和评价并引发思考合成氨工业发展所面临的新问题。

这种设计整体上体现了技术实践中问题解决不断循环发展的一般过程，如下页图所示。

教学建议如下：

1. 注意引导学生思考人工固氮技术——合成氨对于人类社会发展的意义，体现化学与技术发展的社会需求导向，并对技术生产评价标准的多元化有一个初步的认识。说明在化学研究中，有些课题是属于学术研究的热点和重点，但不一定是技术研究开发的热点和重点，技术研究往往要解决实际生产和生活中的具体问题，是受社会需求驱动的，这一点贯穿于整个教科书体系的设计中。另外，化学技术创新往往要落实在一种产品的生产上，合成氨就是这方面的典型代表。在课题 1 了解化工生产过程中的基本问题的基础上，引导学生思考将实验室研究转化成实际生产时面临的一些问题，展示由一种原理上可行的设想转变成实际生产过程中人们所要付出的艰苦努力。对于有志于理工科的学生来说，在培养科学技术素养的同



时不断提高人文素养；对于有志于人文学科的学生来说，要帮助他们形成对于科学技术在社会发展中重要作用的正确认识。例如，可以结合对哈伯其人其事（见教学资源）的分析评价，请同学们讨论和交流各自的看法。

2. 通过实验学习合成氨的反应原理，利用化学反应速率、化学平衡移动原理分析和讨论合成氨的适宜反应条件。由于氮气具有特殊的稳定性，合成氨是人工固定氮的一种方法，但反应条件比较苛刻。如何实现这一具有重要意义的反应，需要从实验室研究开始，根据已有的化学反应有关原理，探究提高氨转化率的适宜反应条件。因此，影响化学反应速率的因素、化学平衡以及化学平衡移动的原理，是学生理解这些内容的重要基础。需要注意的是，在本单元的课题 1 中结合硫酸生产，已经涉及到这些内容，在此需要根据合成氨这一具体反应，进一步对有关问题加深理解。从更深层次来说，注意揭示现代生产技术的发展中科学基础性作用变得越来越重要的趋势。

3. 结合合成氨的基本生产过程以及合成氨工业的发展, 帮助学生理解实际生产过程中应该考虑的问题, 认识和体会由实验室到工业化生产的转变所要解决的一些具体问题。例如, 如何比较经济地获得原料气体? 为什么要进行原料气的净化? 采用什么样的流程才能实现连续化生产? 如何将产品同未发生反应的反应物和其他产物进行分离? 今后工艺改进的重点是什么? 等等。所有这些问题, 都与实验室研究存在着哪些区别? 考虑的角度和解决的方法有哪些不同? 引导学生认识和体现化学与技术的区别和联系。

4. 设计教学过程时, 课题的引入可以有多种形式, 如可以从社会、生产和生活的现实问题引入, 也可以从合成氨在科学技术历史中的地位和作用引入, 还可以从实验室研究与大规模生产的区别与联系, 强调技术实践的特殊性引入。总之, 需要教师根据学生的今后志向、基础以及其他具体条件, 采用自己擅长的方式导入, 展开教学内容, 体现不同的教学风格。

5. 对由实验室研究转化为实际生产的问题, 可以指导学生阅读“科学史话”, 对其转化过程的具体情况和解决问题的艰难程度有所体会。另外, 还可以结合归纳与整理中的图示, 引导学生思考一些问题, 如尽管实验室和工厂中进行的化学反应是完全一样的, 但化学工业必须考虑用较低的成本获得大量的高品质产品, 至少有四个关键问题, 即工程、效益、三废处理以及安全问题。例如, 对于一个放热反应, 在实验室中进行时可能不需要考虑热量的回收和利用问题, 但当反应放大百万倍, 连续生产中产生的热量就必须认真对待了。类似的问题还有很多, 可以由学生自己分析、讨论和提出一些有价值的问题, 并设计和交流各自解决的方案, 如果条件允许, 可以到化工厂进行实地的考察、参观和咨询。

教学重点: 合成氨的反应原理, 合成氨生产的适宜条件。

教学难点: 合成氨生产的适宜条件。

二、活动建议

【实验 1-1】本实验模拟工业上合成氨的原理和过程。催化剂也可用 5 g 还原铁粉充分混合在石棉绒上制成, 用酒精喷灯或煤气灯加热至红热, 混合气体的导入不宜过快。

三、问题交流

【思考与交流 1】参考图 1-4 中氮在自然界的循环, 引导学生讨论在循环过程中, 几个主要环节上氮元素存在的形式, 以及它们之间相互转化的化学反应。一要体会氮和含氮化合物对于人类和其他生物生存和发展的意义; 二要指明地壳中含氮化合物(如硝石)不仅矿藏数量有限, 而且分布不均, 而大气中的氮则是充足、廉价的资源; 三要分析含氮物质相互转化的几种可能过程, 如与高温电弧固氮、生物固氮相比, 目前合成氨这种人工固氮的成熟技术的特点和重要性。

【思考与交流 2】

1. 通过实验 1-1 可以看到, 在实验室条件下, 由氮气、氢气直接合成氨是可以实现的, 其中, 铁丝绒催化剂可以显著地提高反应速率。由此, 可以讨论这种合成氨方案的主要优点: 反应物(生产原料)氮气和氢气都是比较容易得到的, 虽然获得氢气相对来说较难, 但自然界中大量碳氢化合物和水不仅可以提供大量的氢气, 还可以提供合成氨所需的能量。虽然实验室中氨合成的量较少, 但在大规模生产中通过改变反应条件(适当的高温、增大压强、使用便宜易得的催化剂、通过液化及时分离氨等)可以提高氨的转化率。

2. 合成氨反应是一个可逆、放热、气体分子总数减小的反应。因此, 根据勒夏特列原



理，温度越低、压强越大，该反应的平衡体系中氨含量越高；但降低温度则反应速率降低，因此，要实现工业化生产必须选择适宜的反应条件，其中，合适的催化剂将起到关键作用。一般说来，正确地选择温度、压强等反应条件和采用适当的催化剂，是提高生产效率、降低生产成本的重要手段。

3. 原理上可行的化学反应，当用于工业化生产时，应该考虑的问题主要有：从经济上必须考虑该产品的市场前景如何，物料的使用和转运、能耗、设备的投入和产出是否合算，等等；从环境影响考虑，厂址的选定、原料的处理、生产过程以及“三废”处理如何达到国家有关的法规、标准；还要考虑现有的设备和技术条件能否合理实现反应的条件，操作是否安全可靠，能否实现自动控制等。可以结合后面的科学史话，与同学们共同分析和讨论其中的具体问题。

【思考与交流 3】

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。从原因来说，很多化学反应并不能一次反应进行到底，常常不能得到唯一需要的产品，特别是一些转化率低、副反应多的有机反应，因此，有必要进行循环操作；从结果来说，循环操作的主要目的在于充分地利用原料、降低成本；从工艺设计以及环境保护角度来说，循环操作有利于实现全封闭、连续化生产，有利于减少工序、控制废弃物的排放，因此，循环操作常常成为化学工艺设计时重点考虑的问题。

2. 联合生产可以使原料、产品等物料得到充分的利用，减少物流交通所耗费的人力、物力，降低产品的成本。可以实现能量和设备等资源、技术的共享，也是绿色化学工艺改进的一条重要思路。从经济角度，联合生产有可能实现大规模生产，以求得规模效益和综合效益的最大化。例如，合成氨与硝铵、碳铵等氮肥生产的联合，石油精炼厂与合成洗涤剂厂的联合生产等。讨论中，可以让学生介绍自己所了解的联合生产实例，也可以鼓励学生大胆地想象其中可能的联合生产方案。

课题 3 纯碱的生产

一、教材分析和建议

本课题是按照纯碱生产工艺发展的三个阶段（三种工艺流程）展开的。从化学技术发展的角度，体现了人类制碱工艺的演变历史，从而使学生从纵向发展来认识和体会化学技术发展的特点和趋势；从化学知识角度，主要学习如何根据纯碱的化学组成，推测其生产原料，进而选择和确定从原料转化为产品的化学反应原理，需要对一系列化学变化及其相互关系进行分析；从化工生产的角度，通过对几种工艺流程的逐一分析和比较，对其优点和不足进行评价和判断，其中也涉及到原料的合理利用、工艺路线的选择和优化、环境保护等不同的评价标准，有利于学生从多种方案中进行评价和决策，学会一些分析和解决问题的思路和方法。另外，从化学与技术的关系来看，只要原料中含有纯碱中的三种元素，化学反应原理可行，那么，可以有很多途径得到纯碱，可以形成多种工艺和技术过程，但作为实用的技术必须考虑原料的供应、成本、能耗和环境保护等因素，从这个角度，可以使学生对化学与技术的区

别和联系有一个更深的理解。

教学中,建议以氨碱法为重点,学习物质之间相互转化的合理设计,通过科学探究活动,认识分离、提纯物质的方法。对于联合制碱法,则侧重于与氨碱法的比较,认识它们的区别和联系,不宜过多地涉及复杂盐溶液体系的分离和提纯问题。

教学重点:氨碱法的生产原理。

教学难点:复杂盐溶液体系中固体物质的结晶、分离和提纯。

二、问题交流

【思考与交流 1】

1. 天然碱的生产主要是利用碳酸钠从水溶液中结晶析出,因此,根据固体物质在水中溶解度的影响因素,改变温度、结晶水合物的组成以及溶剂水的质量等因素,可以改变碳酸钠在水中的溶解情况,提高结晶析出的速率和质量(纯度)。

2. 天然碱的主要成分为碳酸钠,含有钠离子和碳酸根离子。碳酸盐是由自然界中的二氧化碳通过化学反应转化而来,因此,二氧化碳或者能够产生二氧化碳的碳酸盐是生产原料之一;含有钠离子的化合物很多,自然界中大量存在的、最常见的是氯化钠,因此,氯化钠是比较理想的生产原料之一。而氯化钠溶液为中性,碳酸钠溶液为碱性,由氯化钠转化为碳酸钠需要在碱性条件下进行,因此,原料中需要引入碱性物质,自然界中大量存在的碱性物质可以来自碳酸钙,它既含有碳酸根离子,又是一种碱性物质。

【思考与交流 2】两种生产设计方案的主要区别在于,联合制碱法利用合成氨生产中的氨和二氧化碳,生产过程中回收氯化铵,没有像氨碱法那样引入碳酸钙后产生氯化钙而无法合理地回收利用,侯氏制碱法的优点在于综合利用了合成氨生产中的物料,提高了氯化钠的利用率,减少了环境污染,从绿色化学角度看,更加符合现代化工生产的设计要求。

【思考与交流 3】人类制碱工艺的改进和发展,经历了几代人的努力,其中路布兰、索尔维和侯德榜是他们中的杰出代表。仅从三人的学习和工作经历可以看到,即使纯碱生产这样传统的基本化工生产,化学、化工的理论学习和生产实践经验都是同样重要的,相比较而言,在科学技术不够发达的古代,经验和尝试的成分多些,而现代工艺越来越需要较高的理论支持,越来越依赖高新科技的支撑作用,换言之,化工产品的科学技术含量越来越高,不管是过去还是将来,科学技术的进步永远需要创新精神和实践能力,从这个意义上,路布兰、索尔维和侯德榜都是值得我们永远学习的榜样。(如果同学有兴趣,教师可以结合教科书中提到的其他一些人物,如哈伯、齐格勒和纳塔等,提供一些参考资料引导学生进一步学习和了解,对一些有争议的人物,可以让学生们充分发表自己的意见。)

练习与实践参考

1. 只要举出三种并分析合理即可(略)。

2. 在厨房中区分食盐和纯碱可以有多种方法,如品尝味道、观察颗粒状态、用手触摸是否有滑腻的感觉、试验在水中的溶解性等方法;在实验室则可以利用它们与其他物质发生化学反应时的现象进行判断,如测定水溶液的酸碱性、分别与氯化钙溶液反应、分别与硝酸银



溶液和稀硝酸反应等。

3. 以硫为原料制备二氧化硫 $S + O_2 \xrightarrow{\quad} SO_2$ ；利用催化氧化反应将二氧化硫转化为三氧化硫 $2SO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 2SO_3$ ；三氧化硫转化为硫酸 $SO_3 + H_2O \xrightarrow{\quad} H_2SO_4$ 。

4. 废气 废渣 废水（硫酸和合成氨中“三废”的治理参见教科书有关内容）

5. (1) —a；(2) —c；(3) —d；(4) —b；(5) —c。

6. A

7. $CaO + H_2O \xrightarrow{\quad} Ca(OH)_2$ ； $Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \xrightarrow{\quad} CaCO_3 + 2NaOH$

8. 73 吨

9. 0.49 提高

教学资源

1. 硫酸生产的方法

15 世纪，人们已发现用绿矾（ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ）和沙在一起干馏，或用硫黄与硝石一起在潮湿空气中焚烧，可得到稀硫酸，尽管当时还不知道它的组成。16 世纪初开始用绿矾为原料，放在蒸馏釜中煅烧而制得硫酸。在煅烧过程中，绿矾发生分解，放出二氧化硫和三氧化硫，其中三氧化硫与水蒸气同时冷凝，便可得到硫酸。



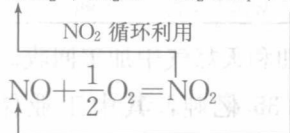
在 18 世纪 40 年代以前，这种方法为不少地方所采用。古代称硫酸为“绿矾油”，就是由于采用了这种制造方法的缘故。

工业上大量生产硫酸，以含硫物质为原料，先制取二氧化硫，后将二氧化硫氧化成三氧化硫，三氧化硫被水吸收制成硫酸。而二氧化硫氧化成三氧化硫是制硫酸的关键。根据氧化方法的不同，硫酸的工业制法可分为硝化法和接触法。

硝化法（包括铅室法和塔式法）是借助于氮的氧化物使二氧化硫氧化制成硫酸。其中铅室法在 1746 年开始采用，反应是在气相中进行的。由于铅室法所需设备庞大，用铅很多，检修麻烦，腐蚀设备，反应缓慢，且成品为稀硫酸，所以，这个方法后来逐渐地被淘汰。

在铅室法的基础上发展起来的塔式法，开始于 20 世纪初期。1907 年在奥地利建成了世界上第一个塔式法制硫酸的工厂，其制造过程同样是使氮的氧化物起氧的传递作用，从而氧化二氧化硫，再用水吸收三氧化硫而制成硫酸，不同的是该过程在液相中进行，生产成本及产品质量都大大优于铅室法。塔式法制出的硫酸浓度可达 76% 左右，目前，我国仍有少数工厂用塔式法生产硫酸。

硝化法的反应历程较复杂，用化学方程式简单地表示如下：



反应中所需的 NO 由硝酸供给, O_2 来自空气。

接触法是目前广泛采用的方法, 它创始于 1831 年, 在 20 世纪初才广泛用于工业生产。到 20 世纪 20 年代后, 由于钒触媒的制造技术和催化效能不断提高, 已逐步取代价格昂贵且易中毒的铂触媒。接触法中二氧化硫在固体触媒表面跟氧反应, 结合成三氧化硫, 然后用 98.3% 的硫酸吸收为成品酸。这种方法优于塔式法的是成品酸浓度高, 质量纯 (不含氮化物), 但炉气的净化和精制比较复杂。世界上多数的硫酸厂都采用接触法生产。

2. 制造硫酸的原料

制造硫酸可以用硫黄、黄铁矿、有色金属冶炼厂烟气、石膏等作原料。从基建投资、加工费用及环境保护等方面考虑, 硫黄制酸装置均优于黄铁矿制酸装置。只要能以合理的价格得到硫黄, 通常硫黄是制硫酸的首选材料。另一方面, 由于有色冶金工业的发展和日趋严格的环保法规, 有色金属冶炼厂烟气制酸的产量逐年增加。相反, 黄铁矿制酸的比重却呈下降趋势。20 世纪 90 年代初, 世界硫酸生产的原料构成为:

硫黄	黄铁矿	其他
65%	16%	19% (有色金属冶炼厂烟气占 3/4)

我国硫酸生产的原料构成如表 1-1 所示。

表 1-1 1988~1992 年中国硫酸生产的原料构成/%

年份	黄铁矿	有色冶金烟气	硫黄	石膏	其他
1988	82.0	15.0	3.0		
1989	83.2	14.9	1.8		0.1
1990	82.3	15.9	1.5	0.3	
1991	83.01	15.20	1.20	0.59	
1992	83.22	15.04	1.17	0.58	

3. 我国的硫黄与黄铁矿资源

我国的天然硫资源缺乏, 而且开采条件比较复杂, 故产量不大。回收硫黄主要来自石油和天然气, 每年约从炼油回收硫黄 8 万吨, 从天然气加工回收硫黄 9 万吨。以黄铁矿为原料炼硫年产量 10 余万吨。

表 1-2 中国硫产量/ 1×10^4 t

	1995 年	1996 年
黄铁矿折合硫	618	600
有色金属冶炼厂烟气折合硫	103	118
硫黄	40	24

国外硫黄的主要来源是从炼油和天然气中加工回收。1995 年世界硫黄产量为 3 600 万吨。

我国的黄铁矿总储量为 46.35 亿吨, 其中工业储量为 14.27 亿吨, 平均含硫量为 17.57%, 且大多数是小矿、贫矿。

表 1-3 中国硫酸和黄铁矿产量及其预测/ 1×10^4 t

年份	硫酸产量	黄铁矿产量	供需是否平衡
1995	1 776	1 765	基本平衡
2010	3 000	2 100	黄铁矿缺口 270

今后趋势是黄铁矿将供不应求，缺口逐渐增大。

4. 硫黄制酸与黄铁矿制酸技术经济指标的比较

硫黄制酸比黄铁矿制酸生产流程短，设备少，占地少，因此前者投资省，建设周期短。硫黄制酸的生产简单稳定，容易操作，易于实现全自动控制，原料运输量小，三废治理量小，操作人员少，劳动生产率高，易于装置大型化。这些可从表 1-4 看出。

表 1-4 某厂两种年产 8 万吨硫酸装置技术经济指标的比较

项 目	单 位	硫黄制酸	黄铁矿制酸
原料消耗	kg/t	330	折合 S (下同) 339.5
电能消耗	kW · h/t	79	105
余热发电	kW · h/t	118	118
生产成本	元/t	428	392
车间人员	人	70	120
排废水量	t/h	20	100
排废渣量	t/a	30	52 000
工程总投资	万元	4 500	7 000
建设时间	a	1	1.5

硫黄制酸成本略高于黄铁矿制酸，那是由于原料硫黄需要进口。如果生产装置大型化，充分发挥规模经济效益的优势，则可做到生产成本与黄铁矿制酸相当或略低。

5. 关于制硫酸时不用水吸收而用 98.3% 的浓硫酸吸收三氧化硫的问题

三氧化硫被水吸收生成硫酸，同时放出大量的热。从化学方程式上看，吸收三氧化硫似乎可以用水。但实际上用水吸收的效率很低，并得不到较高浓度的硫酸，这是因为水的表面上有很大的水蒸气分压，也就是说，在气相中水蒸气分子数很多。三氧化硫跟水蒸气分子迅速结合，生成硫酸分子，由于来不及溶解在水里，在气相中即发生硫酸蒸气的过饱和现象而凝成酸雾。酸雾比硫酸分子大得多，且又悬浮于气相中，运动速度慢，使进一步吸收三氧化硫发生困难。

据实践证明，用质量分数为 98.3% 的浓硫酸吸收三氧化硫时，能达到很高的吸收率。

当使用硫酸的质量分数低于 98.3% 时，发生的情况与用水吸收三氧化硫相似。这时进行着两个过程：一是气相中的三氧化硫被酸液吸收后，即跟酸液里的水分子结合生成硫酸；二是三氧化硫在气相中跟酸液表面蒸发出来的水蒸气结合生成硫酸蒸气。当硫酸蒸气生成后，气相中硫酸蒸气的分压，就会超过酸液面上硫酸的平衡蒸气压，因而气相里的硫酸分子便陆续进入酸液里，由于气相里硫酸分子进入酸液内的速度比硫酸里水分蒸发的速度小，使气相

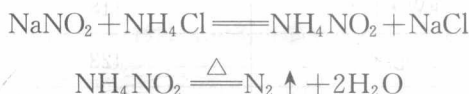
里硫酸分子的数目越来越多,造成硫酸蒸气在气相中的过饱和现象,这时硫酸蒸气就会凝结成酸雾而不易被酸液所吸收。如果吸收的酸越稀,则酸的液面上水蒸气分压越大,生成酸雾的可能性就越大,三氧化硫的吸收也就越不完全。

当质量分数高于 98.3% 时,硫酸和三氧化硫的蒸气压都随着酸液质量分数的增加而加大。也就是说,这时在气相中就有大量的硫酸分子和三氧化硫分子存在,如果从外面通入的气体中三氧化硫的质量分数很小,质量分数高于 98.3% 的硫酸本身可放出三氧化硫,用这样的硫酸来吸收三氧化硫时,当然是不可能吸收得很完全的。

因此,用来吸收三氧化硫的硫酸的质量分数,既不可太高,也不可太低,以质量分数为 98.3% 为最适宜。

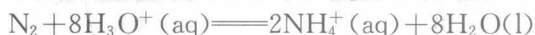
6. 氮气的实验室制法

加热氯化铵饱和溶液和亚硝酸钠晶体(或饱和溶液)的混合物可制备氮气。在圆底烧瓶上配一双孔橡皮塞,带上一分液漏斗和一短弯导管。烧瓶中放亚硝酸钠晶体(或饱和溶液),饱和氯化铵溶液由分液漏斗滴入,加热烧瓶到 85℃ 左右,就有氮气产生。当空气排出后可用排水集气法收集氮气或用橡皮球胆直接收集。因为此反应是放热反应,当反应开始时就应停止加热。化学方程式为:



7. 化学模拟生物固氮的研究

豆科植物固氮菌能固定空气中的 N_2 。常温、常压下, N_2 和 H_3O^+ 反应变为 $\text{NH}_4^+(\text{aq})$, 这在热力学上是可逆的,问题是要有催化剂——固氮酶。



固氮酶中铁钼蛋白、铁蛋白的相对分子质量分别为 226 000 和 60 000。

随着对固氮酶的深入研究,使常温、常压下固定氮成为可能。

目前,化学模拟生物固氮的重要研究课题之一,是固氮酶活性中心结构的研究。固氮酶由铁蛋白和钼铁蛋白这两种含过渡金属的蛋白质组合而成。铁蛋白主要起着电子传递输送的作用,而含二个钼原子和二三十个铁和硫原子的钼铁蛋白是络合 N_2 或其他反应物(底物)分子,并进行反应的活性中心所在之处。关于活性中心的结构有多种看法,目前尚无定论。从各种底物结合物活化和还原加氢试验来看,含双钼核的活性中心较为合理。我国有两个研究组于 1973~1974 年间,不约而同地提出了含钼铁的三核、四核活性中心模型,能较好地解释固氮酶的一系列性能,但其结构细节还有待根据新的实验结果精确化。

国际上有关的研究成果认为,温和条件下的固氮作用一般包含以下三个环节:

- ① 络合过程。它是用某些过渡金属的有机络合物去络合 N_2 , 使它的化学键削弱;
- ② 还原过程。它是用化学还原剂或其他还原方法输送电子给被络合的 N_2 , 来拆开 N_2 中的 $\text{N}-\text{N}$ 键;
- ③ 加氢过程。它是提供 H^+ 来和负价的 N 结合,生成 NH_3 。

目前,化学模拟生物固氮工作的一个主要困难是, N_2 络合了但基本上没有活化,或络合活化了,但活化得很不够。所以,稳定的双氮基络合物一般在温和条件下通过化学还原剂的作用只能析出 N_2 , 从不稳定的双氮络合物还原制出的 NH_3 的量相当微少。因此迫切需要从