

经全国中小学教材审定委员会
2005年初审通过

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



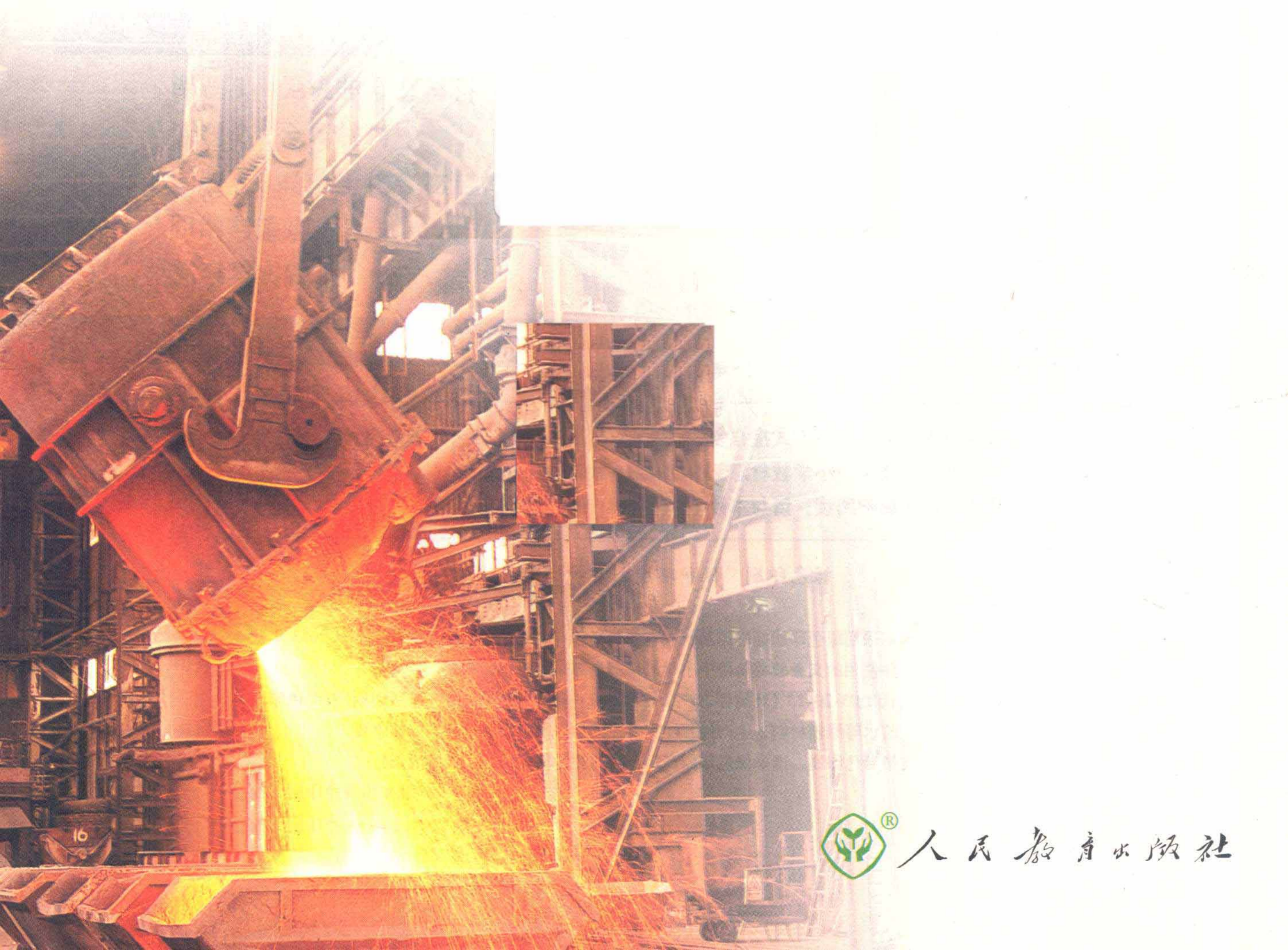
普通高中课程标准实验教科书

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

主 编：宋心琦

副 主 编：王 晶 李文鼎

本册主编：刘杰三

副 主 编：吴海建 王 晶

编写人员：刘杰三 王 晶 吴海建 宋心琦（按编写顺序）

责任编辑：王 晶 吴海建

美术编辑：李宏庆

摄 影：朱 京

绘 图：李宏庆 郭 威

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
化学课程教材研究开发中心 编著

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 大厂益利印刷有限公司

版 次 2007年2月第2版

印 次 2018年7月第41次印刷

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 7

插 页 1

字 数 120千字

书 号 ISBN 978-7-107-18631-8

定 价 8.75元

价格依据文件号：京发改规〔2016〕13号

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或**使用本产品任何部分**·违者必究

如发现内容质量问题，请登录中小学教材意见反馈平台：jcyjfk.pep.com.cn

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与本社联系。电话：[400-810-5788](tel:400-810-5788)

绿色印刷 保护环境 爱护健康

亲爱的同学们：

你们手中的这本教科书采用绿色印刷标准印制，在它的封底印有“绿色印刷产品”标志。从2013年秋季学期起，北京地区出版并使用的义务教育阶段中小学教科书全部采用绿色印刷。

按照国家环境标准（HJ2503-2011）《环境标志产品技术要求 印刷 第一部分：平版印刷》，绿色印刷选用环保型纸张、油墨、胶水等原辅材料，生产过程注重节能减排，印刷产品符合人体健康要求。

让我们携起手来，支持绿色印刷，选择绿色印刷产品，共同关爱环境，一起健康成长！

北京市绿色印刷工程

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

9

课题 3 纯碱的生产

15

归纳与整理

19

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

101

练习与实践

102

结束语 迎接化学的黄金时代

104

元素周期表

引言

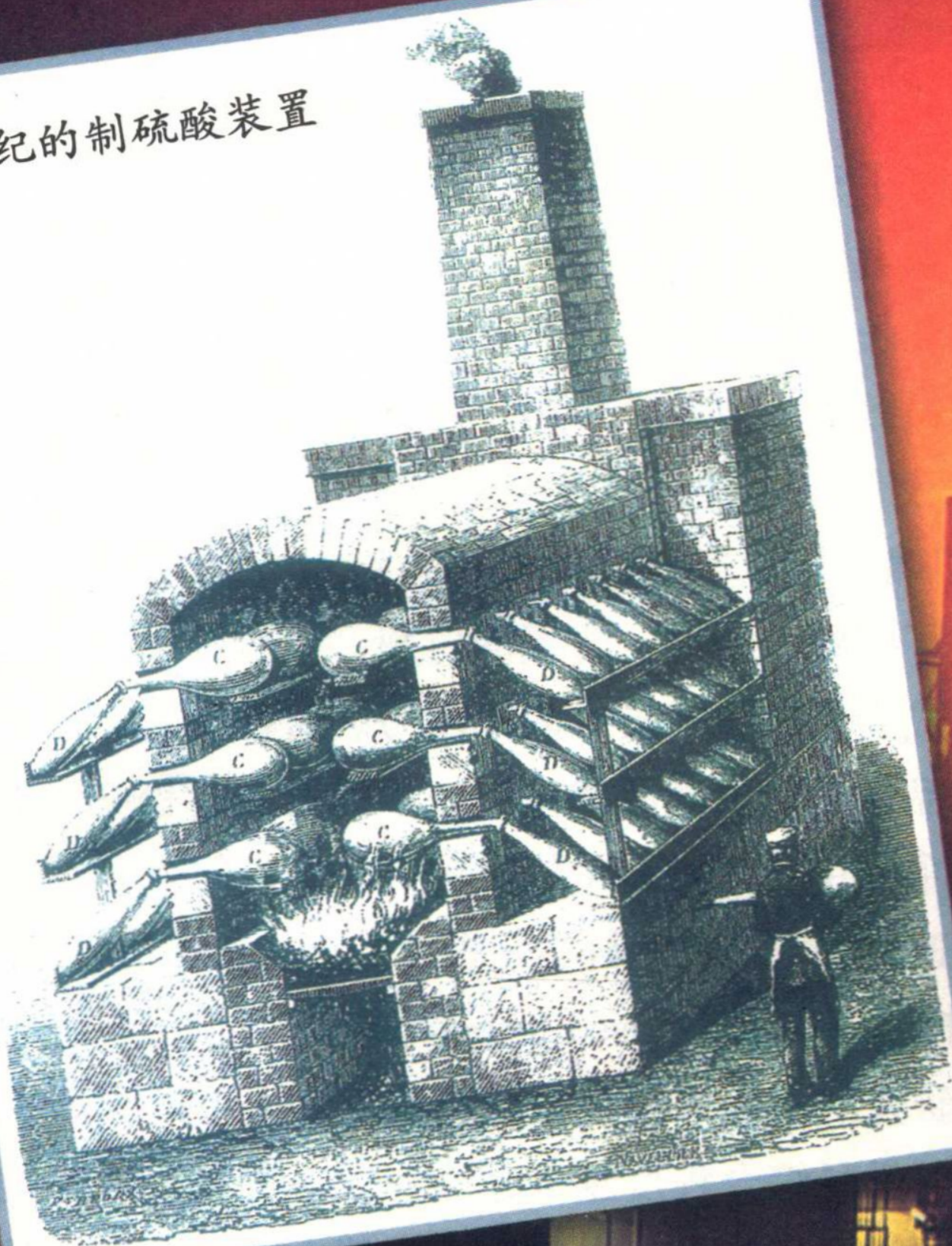
人们通过实验室研究对某一物质有了充分了解之后，在准备实现大规模生产之前，还需要进一步研究其生产工艺的问题。前者归属于科学，后者归属于技术。技术的形成可以有两种不同的模式。依靠偶然的发现和长期实践经验的积累而形成的技术，如远古时期的制陶、制造玻璃和少数金属及合金材料的冶炼技术，皆属于此类。人们不自觉地应用着化学原理和化学过程。这个时期，技术发展的推动力主要来自生产和社会生活的需要。例如，18世纪末，蒸汽机的发明引发了棉纺织业的技术革命，对纤维与织物染整和清洗用的廉价、高效化学药剂的需求，促进了硫酸、纯碱、含氯漂白剂、染料等生产技术的大规模工业化。化学和生产技术的结合，成为新的生产技术的推动力。这种模式在塑料、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，与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。公民受教育程度越高，其科学知识越多，开发新技术的能力越强，社会发展也越快。在科学基础上发展起来的高新技术，又加快了基础科学的发展，两者相互促进，密不可分。

在国民经济中，生产化学产品的工业，统称为化学工业。在我国，化学工业专指以煤炭、石油、天然气、天然矿物、生物质等为原料生产有机和无机基本化工原料、合成材料、农用化学品、精细和专用化学品的工业。

20世纪化学工业得到巨大发展，特别是20世纪后半叶，石油工业的兴起，化工产品已无所不在，大到能源、国防（炸药、推进剂）、交通、冶金、肥料、农药、塑料、合成纤维、合成橡胶、信息产品（芯片、磁盘、光盘、光纤、复印材料、传感器）；小到染料、涂料及生活用品；等等。人类的社会生活离不开化工产品，化学工业也已成为国民经济发展的支柱产业。从我国2002年国民经济和社会发展统计看，化学工业产值分别占全国年总产值的7.4%和工业产值的16.5%。目前，世界化工产品每年的总销售额在数千亿美元以上。我国的水泥、化肥、硫酸、纯碱、橡胶、合成树脂及精细化工中的某些重要产品产量都居世界第一。

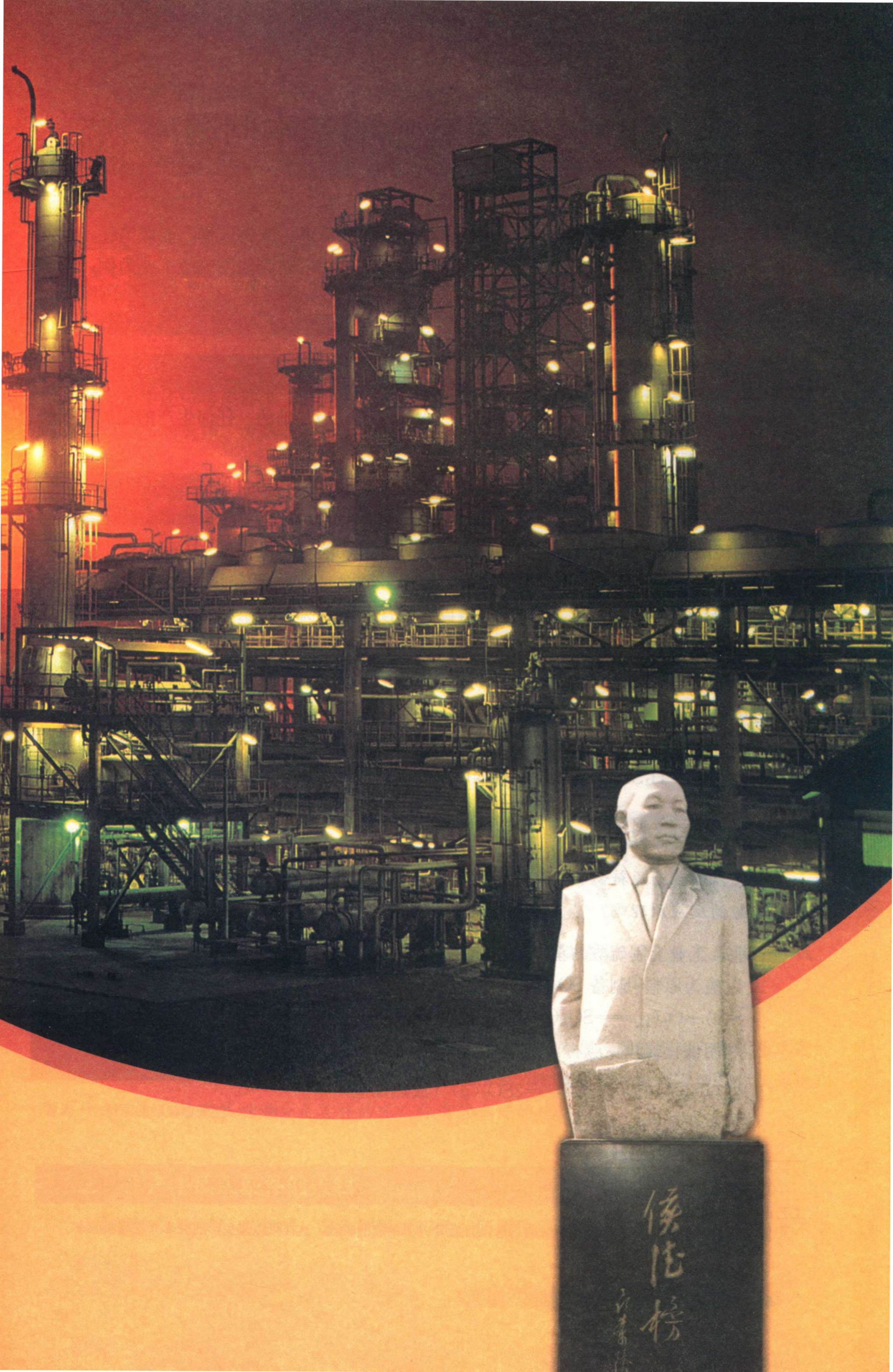
18世纪的制硫酸装置



第一单元

走进化学工业

社会的不断发展和进步,要求科学和技术的应用性更强。先进的技术通过工业生产转化为产品,以满足人们生活和生产的需要。化学工业随着科学技术水平的不断提高而发展,成为国民经济的重要基础工业。化学工业包含的种类很多,生产中的原料、产物及反应过程差异很大,但其中也存在着一些共同的规律。本单元将从几种典型的化工产品出发,来认识基本化工生产过程中的一些问题,了解化学、技术与化工生产的关系。



侯德榜

侯德榜

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

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:

硫酸 sulphuric acid

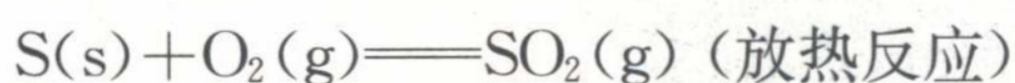
- 从 H_2SO_4 的组成看,原料应该是自然界存在的含硫的物质,如硫黄、黄铁矿(主要成分 FeS_2) 等;
 - H_2SO_4 中 S 的化合价为 +6 价,因为不能从 S 或 FeS_2 直接得到 H_2SO_4 , 所以,需要经过中间步骤,先得到 SO_3 , 再通过 SO_3 与 H_2O 反应得到 H_2SO_4 ;
 - S 或 FeS_2 与 O_2 反应,生成物为 SO_2 , SO_2 可以与 O_2 进一步反应生成 SO_3 。
- 所以,生产 H_2SO_4 的主要化学过程可以分成 SO_2 的生成和 SO_2 转化为 SO_3 两个阶段。

思考与交流

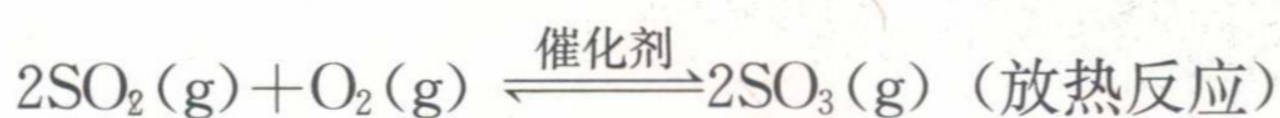
如果以硫黄为原料制硫酸,你能试着用化学方程式表示制硫酸的反应原理吗?

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



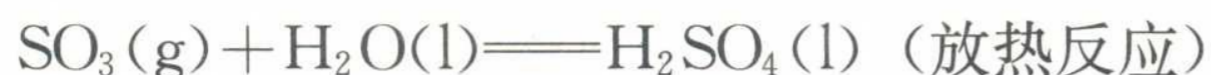
3. 三氧化硫转化为硫酸^②



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。

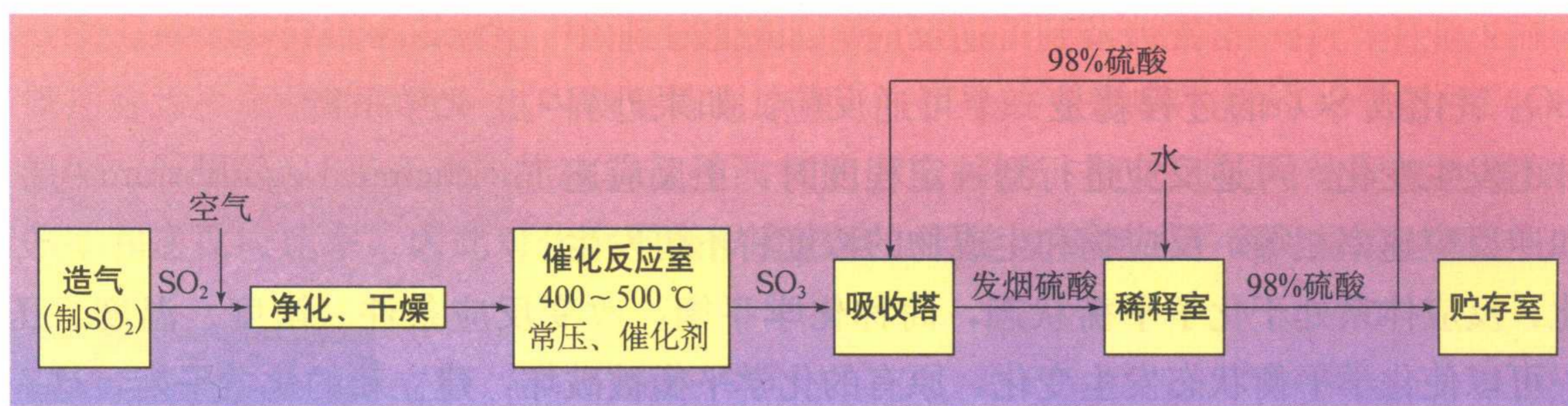


图 1-2 硫酸工业流程

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。



图 1-3 硫酸厂

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、贮存、运输、预处理成本及环境保护等。

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”（废气、废液和废渣）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/°C	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/°C	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 400~500 °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。

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

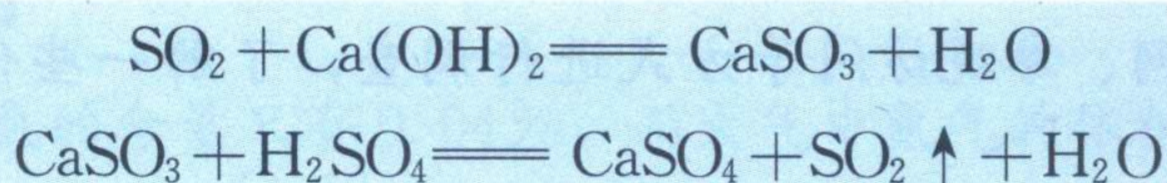
近年来，环境保护条件提升到首先要考虑的因素，所以，预处理及生产过程中产生的废气、废液、废渣情况及处理成本，往往成为是否采用该工艺的决定性因素。

“三废”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，我们还将在后面的单元中进行介绍。

^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。

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。你认为用哪种物质比较好，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过程中，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 硫酸大约需要消耗 100 kW·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 硫酸放出的热量相当于 200 kW·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；而化工生产工业则要对生产原理、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。

2

人工固氮技术——合成氨

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。

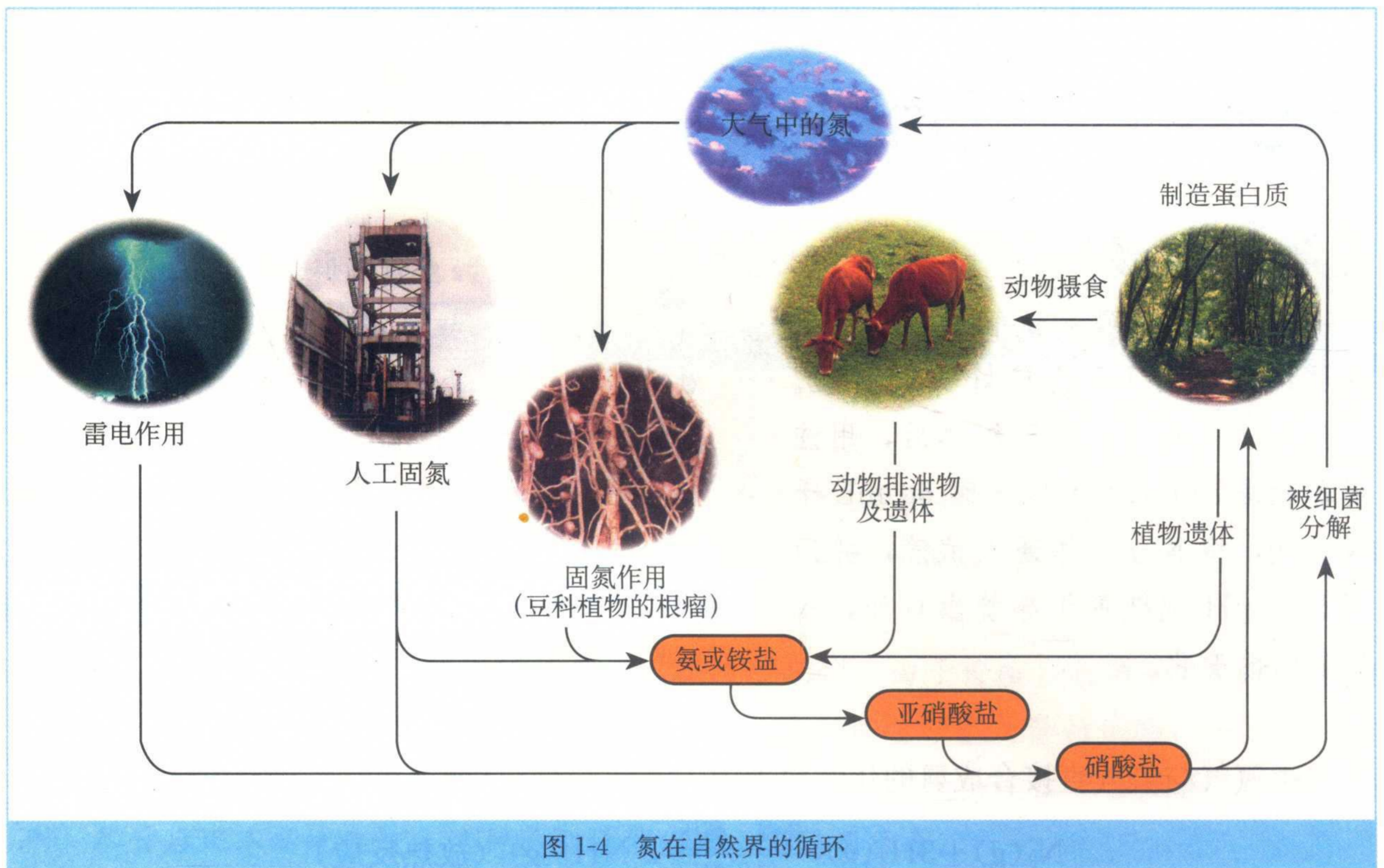


图 1-4 氮在自然界的循环

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。

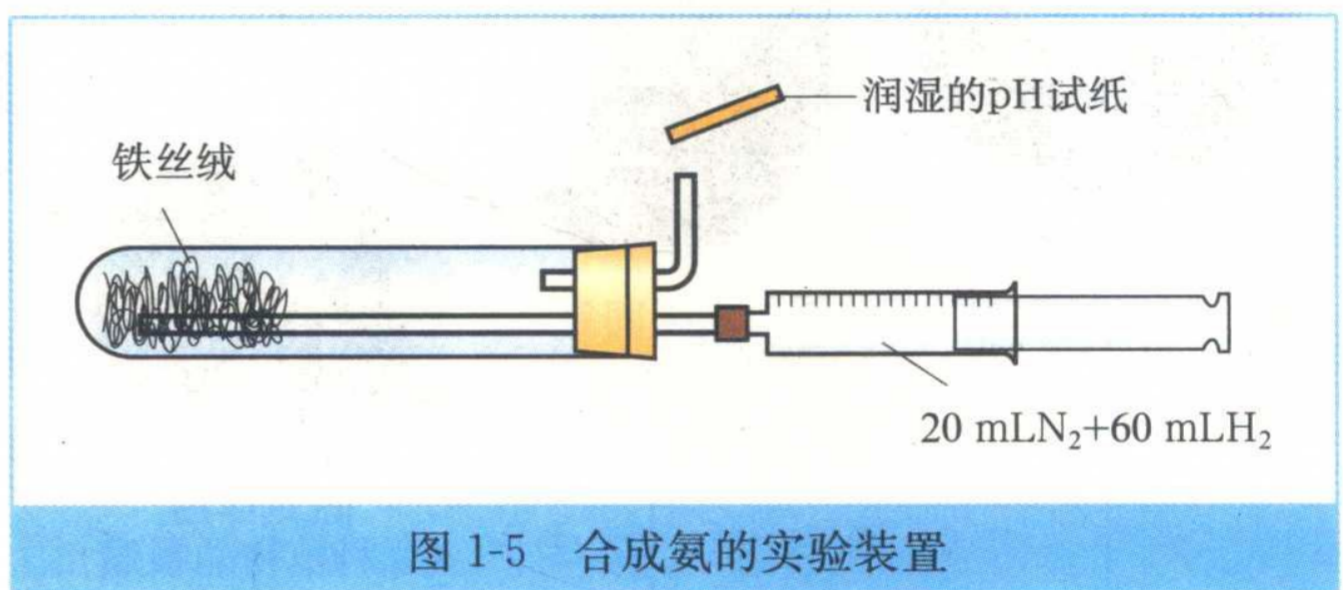
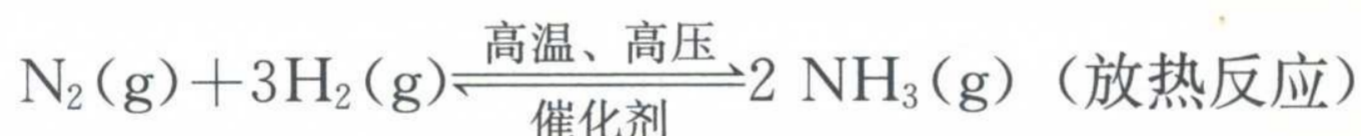


图 1-5 合成氨的实验装置

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 °C 和 10~30 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17.5~20.0 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。

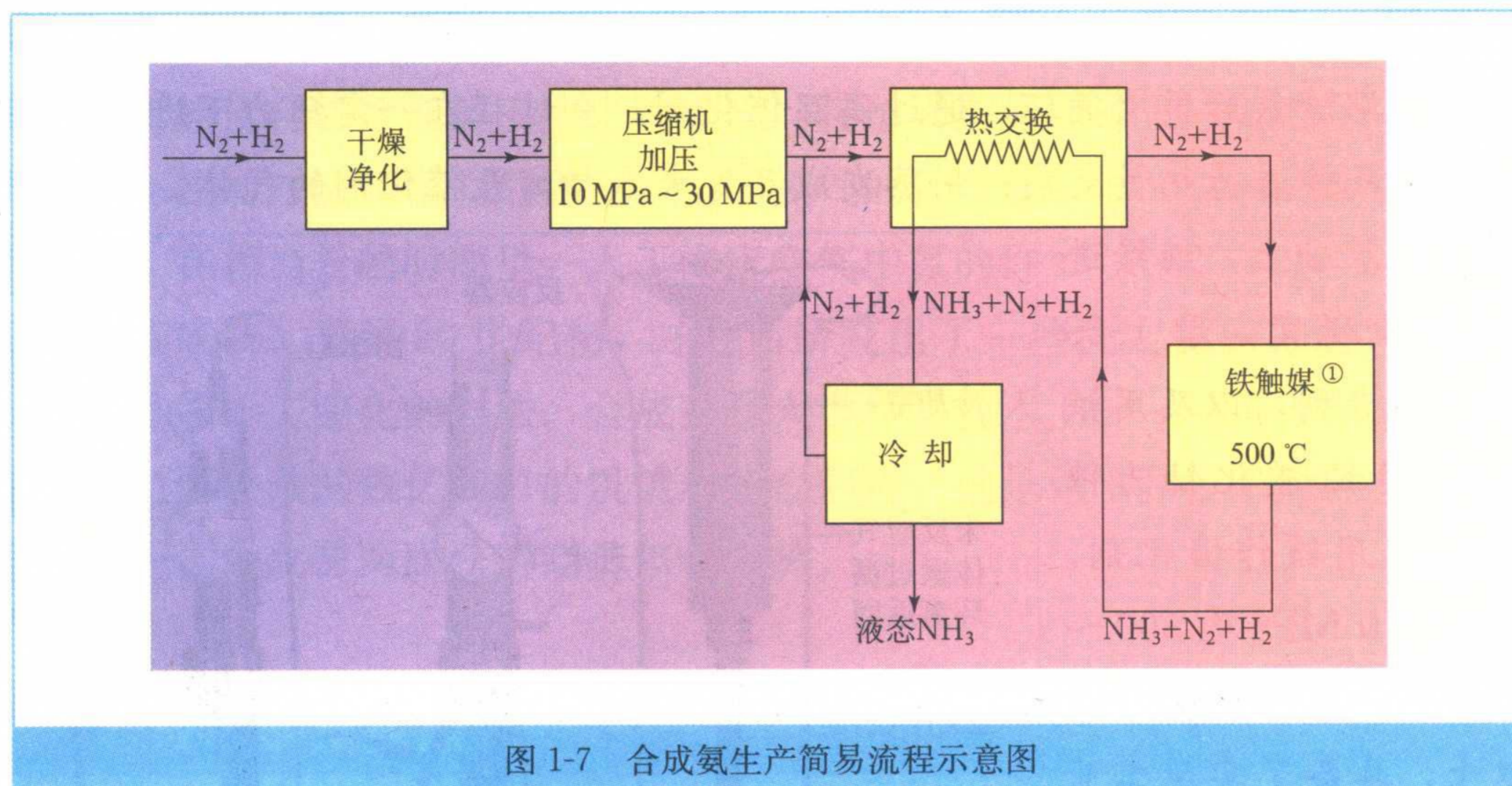
- 开发适合高温、高压下的合成设备 1910年，用低碳钢制造的合成反应器不能承受高温、高压下氢气的腐蚀，组建合成氨设备成了关键问题。经过反复试验后找到了用软铁作衬里的办法。

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：

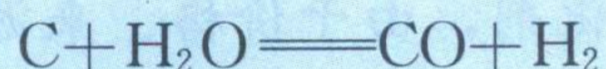
- 造气 制备合成氨的原料气；
- 净化 原料气净化处理；
- 合成 使原料气进行化学反应合成氨。



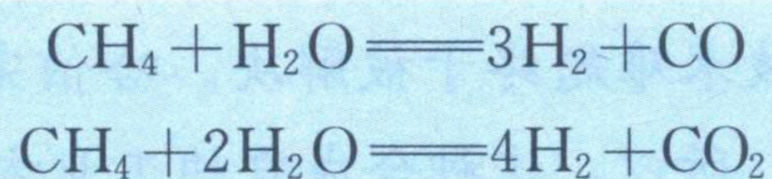
1. 制备合成氨的原料气

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而获得氮气；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：



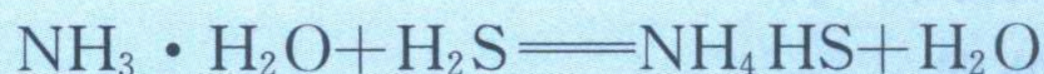
石油、天然气、焦炉气（炼焦厂副产的气体）、炼厂气（石油炼制厂副产的气体）等都含有大量的碳氢化合物，这些碳氢化合物在一定条件下，可以与氧气或水蒸气反应生成一氧化碳、二氧化碳和氢气。例如，在 $900 \sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ 时，甲烷与水蒸气在催化剂（ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ni}$ ）作用下发生化学反应：



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：



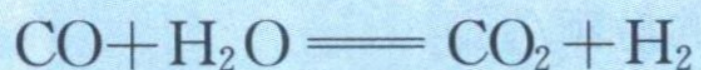
另外，制造原料气过程中产生的 CO 必须变成 CO_2 除去。工业生产中在催化剂（如



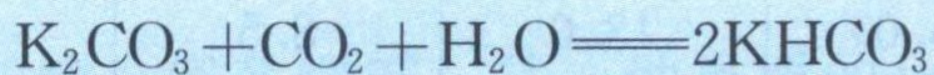
图 1-8 合成氨厂

① 触媒即催化剂，工业上常用此名称。

Fe₂O₃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K₂CO₃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、CO₂、O₂、H₂S等少量气体。

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罐。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。

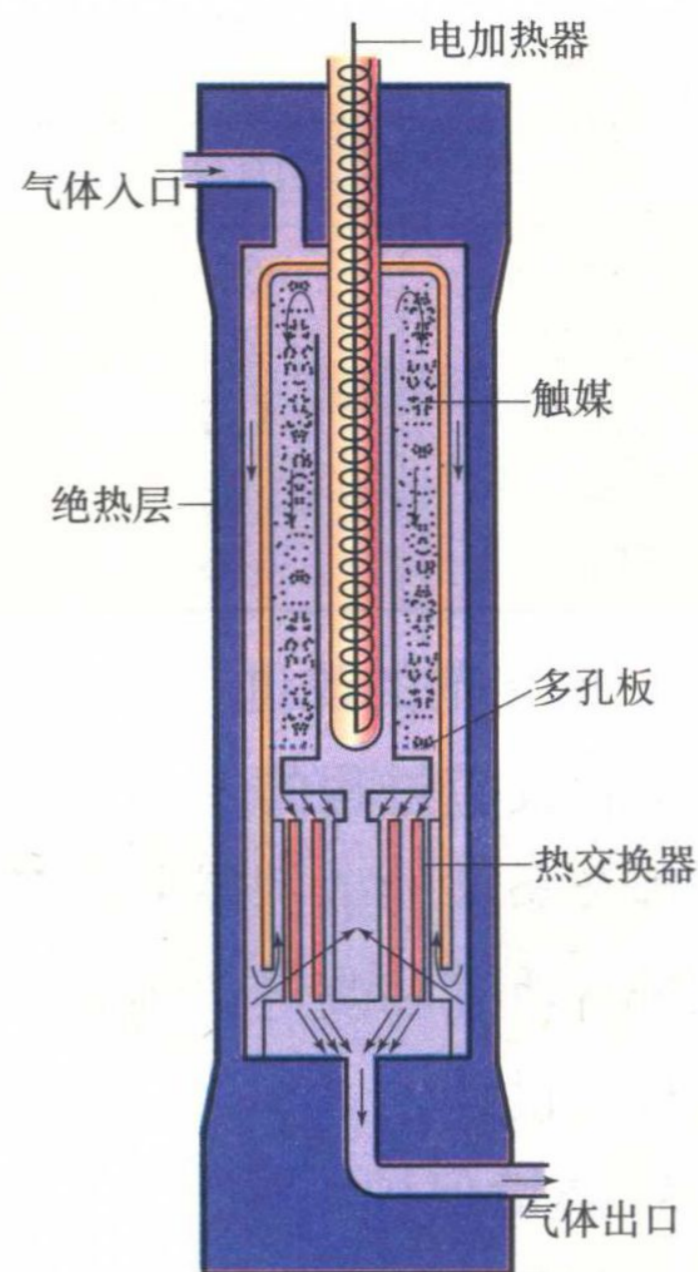


图1-9 合成塔内部构造示意图

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

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可燃物(煤和焦炭等)、液态可燃物(石油中提炼的石脑油和重油等)和气态可燃物(天然气、焦炉气等)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。