



高等学校教材

无机化工工艺学

第二版

(三)

化学肥料

陈五平 主编

化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书是高等学校教材《无机化工工艺学》第三分册化学肥料的修订本。该版本在内容上增加了工艺和设备方面的最新成就，充实了基础理论，补充了一些计算例题，调整了某些内容的章节次序。

书中对氮肥、磷肥、钾肥、复合肥料及液体肥料的主要品种分别介绍其生产原理、生产方法、工艺流程、工艺计算、操作条件及主要设备等。

本书采用法定计量单位。

本书作为高等学校无机化工专业教材，也可供从事设计、生产、科研的技术人员及有关专业师生参考。

高 等 学 校 教 材

无机化工工艺学

第二版

(三)

化 学 肥 料

陈五平 主编

责任编辑：骆文敏

封面设计：许立

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

豆各庄装订厂装订

新华书店北京发行所发行

开本850×1168<sup>1/32</sup> 印张12<sup>3/4</sup>，字数303千字

1989年6月第1版 1989年6月北京第1次印刷

印 数1—7,100

ISBN 7-5025-0430-3/G·86 (课)

定 价2.60元

## 第二版 前 言

本书第一版四个分册于1980、1981年先后出版，在使用过程中承蒙兄弟院校提出不少宝贵意见，并根据近十年来无机化工在工艺、设备方面的新进展，参照《无机化工工艺学》第二版的编写大纲，将本书修订再版。

第二版内容更动较大的是增加了工艺、设备方面的最新成就，充实了基础理论，补充了一些计算例题，调整了某些内容的章节次序，并采用中华人民共和国法定计量单位，书中加有\*号的章节，是供课外阅读参考的。

第二版仍分《合成氨》、《硫酸与硝酸》、《化学肥料》和《纯碱与烧碱》四个分册出版。初稿完成后，先由审稿人初审，修改后再经审查定稿。

全书仍由大连理工大学陈五平主编。本分册绪论、第三、第四章，第一、第二章，第五、第六、第七、第八章分别由华南理工大学谢树琪，大连理工大学吕秉玲，成都科技大学王励生修订，第二章第六节由刘光龙执笔，并由成都科技大学苏裕光、郑州工学院许秀成分别审稿。

由于我们的水平有限，书中还难免有不足之处，甚至有错误的地方，希望使用本书的师生和读者多加批评和指正。

编者

一九八八年七月

# 目 录

绪论 .....	1
一、作物的营养元素与吸收 .....	1
二、化学肥料的分类与品种 .....	3
三、化学肥料产品标准以及对性能的要求 .....	4
四、化学肥料工业的现状和发展 .....	5
参考文献 .....	7
<b>第一章 化学肥料的生产方法和原理 .....</b>	<b>8</b>
第一节 生产化学肥料的原料 .....	8
第二节 生产化学肥料的基本方法 .....	9
第三节 矿石的破碎和粉碎 .....	11
第四节 筛分和分级 .....	14
第五节 矿石的精选 .....	16
第六节 矿石的热化学加工 .....	19
第七节 矿石的湿法加工 .....	21
一、溶解 .....	21
二、浸取 .....	23
三、影响溶解和浸取的因素 .....	24
第八节 盐类的结晶 .....	25
第九节 肥料的吸湿性和结块性 .....	29
参考文献 .....	31
<b>第二章 钾肥 .....</b>	<b>32</b>
第一节 钾肥及含钾原料 .....	32
一、钾肥品种 .....	32
二、钾矿 .....	33
第二节 用钾石盐生产氯化钾 .....	35
一、钾石盐的开采 .....	35
二、溶解结晶法制取氯化钾 .....	36
三、浮选法制取氯化钾 .....	42

四、重介质选矿法和其他选矿方法 .....	45
第三节 用光卤石生产氯化钾 .....	47
一、光卤石矿的赋存情况 .....	47
二、完全溶解法 .....	48
三、冷分解法 .....	50
第四节 由含钾盐湖卤水提取氯化钾 .....	53
一、盐湖概况及其利用 .....	53
二、从察尔汉盐湖卤水中提取氯化钾 .....	55
三、由光卤石加工制取氯化钾 .....	57
第五节 硫酸钾的生产 .....	58
一、用硫酸盐复分解生产硫酸钾 .....	58
二、从明矾石生产硫酸钾或钾氮混肥 .....	62
第六节 钾长石制碳酸钾和白色熔融水泥 .....	70
一、生产原理 .....	70
二、流程和设备 .....	71
参考文献 .....	73
<b>第三章 硝酸铵</b> .....	74
第一节 物理化学性质 .....	74
第二节 氨和硝酸的中和 .....	75
一、基本原理 .....	76
二、利用反应热的中和器结构 .....	79
三、利用反应热的中和流程 .....	82
第三节 稀硝酸溶液的蒸发、结晶和干燥 .....	84
一、稀硝酸溶液的蒸发 .....	84
二、硝酸的结晶和干燥 .....	86
第四节 无蒸发法制取硝酸 .....	91
第五节 转化法制取硝酸 .....	92
第六节 硝酸性能的改善 .....	95
参考文献 .....	98
<b>第四章 尿素</b> .....	99
第一节 概述 .....	99
一、尿素的物理化学性质 .....	99
二、尿素的用途和规格 .....	100

三、尿素生产方法及技术发展简介 .....	101
四、尿素生产的原料 .....	104
第二节 尿素生产的基本原理 .....	104
一、尿素的合成 .....	104
二、合成反应液的分解与分解气的冷凝回收 .....	136
三、尿素溶液的蒸浓 .....	143
四、尿素的结晶与造粒 .....	148
五、缩二脲的生成与防止 .....	150
第三节 水溶液全循环法尿素工艺流程、设备与生产综述 .....	156
一、碳酸铵盐水溶液全循环法 .....	156
二、溶液全循环改良C法 .....	163
第四节 气提原理与气提法尿素生产 .....	165
一、气提法尿素生产的出现及其特点 .....	165
二、气提法分解合成反应液 .....	166
三、高压冷凝 .....	170
四、二氧化碳气提法工艺流程与主要设备 .....	172
五、氨气提法尿素生产工艺流程与操作条件 .....	178
六、对二氧化碳气提法的评价 .....	179
七、变换气气提法 .....	182
第五节 尿素生产中的腐蚀与爆炸问题 .....	183
一、尿素生产中的腐蚀问题 .....	183
二、尿素生产中的爆炸问题 .....	185
第六节 尿素生产技术改进和科研方向 .....	187
一、关于尿素工艺的改进与研究 .....	188
二、充分利用尿素生产中的能量 .....	195
三、尿素质量的改进 .....	198
参考文献 .....	199
<b>第五章 磷肥及磷酸综述 .....</b>	<b>200</b>
一、磷素在农业中的重要性 .....	200
二、磷肥品种及加工方法分类 .....	200
三、我国磷肥工业的发展简史 .....	201
四、磷矿及我国磷矿资源 .....	202
<b>第六章 磷酸 .....</b>	<b>206</b>

第一节	磷酸的物理化学性质 .....	206
第二节	湿法磷酸 .....	209
	一、湿法磷酸生产的理论基础 .....	210
	二、湿法磷酸生产操作条件的选择 .....	231
	三、二水物法湿法磷酸生产工艺流程和主要设备 .....	233
	四、半水法湿法磷酸生产工艺 .....	242
	五、湿法磷酸的浓缩 .....	247
	六、湿法磷酸生产技术的最新进展 .....	249
第三节	黄磷与热法磷酸 .....	252
	一、电炉法制黄磷 .....	252
	二、热法磷酸 .....	256
	参考文献 .....	259
<b>第七章</b>	<b>酸法及热法磷肥 .....</b>	<b>260</b>
第一节	酸法磷肥 .....	260
	一、无机酸分解磷矿的主要化学反应 .....	260
	二、用硫酸、磷酸分解磷矿 .....	264
	三、普通过磷酸钙生产流程与主要设备 .....	280
	四、重过磷酸钙的生产流程 .....	285
第二节	热法磷肥 .....	288
	一、钙镁磷肥 .....	288
	二、脱氟磷肥 .....	292
	三、烧结钙钠磷肥 .....	293
	四、偏磷酸钙 .....	294
	五、钢渣磷肥 .....	295
第三节	磷酸盐 .....	295
	一、磷酸钠盐 .....	296
	二、磷酸二氢钾 .....	299
	三、饲料用磷酸氢钙 .....	302
	参考文献 .....	303
<b>第八章</b>	<b>复合肥料 .....</b>	<b>305</b>
第一节	磷酸铵 .....	305
	一、磷酸铵的性质 .....	305
	二、磷酸铵生产原理 .....	307

三、磷酸一铵 .....	317
四、磷酸二铵 .....	325
第二节 硝酸磷肥 .....	329
一、硝酸分解磷矿的基本原理 .....	330
二、硝酸萃取液的化学加工 .....	332
三、冷冻法制取硝酸磷肥 .....	336
第三节 硫磷酸铵 .....	355
一、直接氨化法 .....	355
二、石膏转化法 .....	356
第四节 复混肥料和掺混肥料 .....	359
一、混配过程中的化学反应 .....	359
二、复混肥料的组分计算 .....	364
三、复混肥料的造粒 .....	366
四、复混肥料的生产工艺 .....	369
五、掺混肥料 .....	369
第五节 液体肥料 .....	373
一、液体氮肥 .....	373
二、液体复合肥料 .....	375
第六节 偏磷酸铵 .....	385
参考文献 .....	386



## 绪 论

化学肥料（简称化肥）施用得当，对于提高作物产量和质量的作用是显著的，国内外公认化肥对农业增产的贡献约占40%，故使用化肥已经成为发展农业的一项重要措施。粮食是国民经济的基础，增产粮食可以解决剧增的人口和发展工业原料之需。据称，若人口增长2%，粮食和饲料需增2.5%，化肥就要相应增加4.9%。我国人口约占世界1/4，而耕地只占世界可耕面积的7%。尽管我国化肥产量占世界第三位，但人均化肥消费水平很低，如1984年仅为17.4kg，为世界人口平均消费量的65%。为此，今后必须大力增产化肥，提高作物的单位面积产量来解决农业的迫切需要。所以，加快发展化肥工业，对促进我国建设目标的实现是十分重要的。

用化学方法合成或加工而成的化肥与农家肥相比，具有养分高、肥效快、贮运和施用方便等优点，还可以有目的地利用化肥调节土壤中养分含量的比例，促进稳产和高产。例如1kg尿素可增产：稻谷10~15kg、小麦5~8kg、玉米8~15kg、棉花3~5kg、蔬菜190~200kg。化肥与农家肥配合施用，则有利于改良土壤结构和促进团粒化，更好地发挥它们对作物的增产效果。

### 一、作物的营养元素与吸收

作物在其生长过程中要不断地从外界摄取营养，它们所需要的营养元素约有60多种，其中有10多种被认为是不可缺少的，即碳、氢、氧、氮、磷、钾、硫、钙、镁、铁、硼、锰、铜、锌、钼、钴、氟等17种。碳、氢、氧三种元素（约占植物干重的90~95%），作物可从空气中的二氧化碳或土壤里的水中获得这三者。其它营养元素，由于土壤中含量不足，或因作物对其需要量较大，必须依靠人工施肥加以补充。最重要的氮、磷、钾，作物需要补充量多，习惯上称为肥料的三要素或称大量元素。而需要补充量较少的硫、铁、

镁等称为中量营养元素肥料，需要补充量极少的硼、锌、铁、锰、铜、钼等称为微量元素肥料。

各种营养元素在作物的生命代谢过程中各有其独特的作用，彼此不能互相代替。例如，氮、硫、磷三个元素都是组成蛋白质的成分，但是在作物体内的氧化还原作用上，磷不能代替硫，而在碳水化合物的形成转化过程中，硫不能代替磷。德国人J. 李比希的“最小养分律”认为“即使其它必需元素满足需要，作物的产量仍然受到数量最少的一种必需元素的限制”。

氮是组成蛋白质、叶绿素、酶（生物催化剂）、核酸和维生素的主要成分，施氮肥能使作物长得枝壮叶茂。缺氮则生长受到抑制、叶绿素形成受阻，谷物等蛋白质含量低。

磷是组成原生质、核细胞的重要元素，它能促进作物开花结果，籽实早熟，并提高籽实的质量。

钾能促进碳水化合物和蛋白质的合成以及60种以上酶的反应，也能促进糖的运输，施钾肥后使作物茎秆坚硬，增强抗病和抗倒伏能力，提高作物质量。

碳、氢、氧等大量元素组成作物的单体。锰、锌、硼、铜等微量元素是构成酶或一些维生素的组成部分；硼和铜也能提高作物抗寒、抗旱和抗病虫害的能力。

作物吸收的养分，必须是溶解状态的，即能够溶解于土壤的水或根系分泌的弱酸中，呈离子或分子状态存在。化肥进入土壤后，主要是呈离子状态被作物吸收的。作物可吸收的氮主要是指 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 态的氮。 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 最易被作物吸收， $\text{HPO}_4^{2-}$ 次之，偏磷酸离子 $\text{PO}_3^-$ 和焦磷酸离子 $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ 也能被吸收。钾元素主要以 $\text{K}^+$ 状态进入作物体内。作物也吸收一些呈分子态的水溶性有机物（如尿素、腐植酸、糖类、维生素、生长激素等），有机物因分子大，进入作物体速度较慢。某些有机物在土壤中会逐渐转化，例如尿素施入土壤后，就在适宜的水量、温度条件下，受到微生物或脲酶的作用，变成 $\text{NH}_4^+$ 或进一步转化成 $\text{NO}_3^-$ 而被作物吸收利用。

作物根细胞呼吸得到的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ，经化学反应在根表面形成

$\text{H}_2\text{CO}_3$ 后又离解为 $\text{H}^+$ 与 $\text{HCO}_3^-$ ，它们通过溶液分别同土壤胶体上的同性离子进行交换（如 $\text{H}^+$ 与 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 交换）。然后，吸附在根表面的营养元素离子（如 $\text{K}^+$ ）与细胞原生质作用形成化合物而进入根细胞，随后化合物即分解，于是吸附的物质进入原生质内部，并随同蒸腾的水流转移到作物的各个部位去。这就叫做“离子代换吸收”，它与“接触代换吸收”等都是说明作物如何通过根部来吸收营养元素。

生产化肥就是要制造能够被作物吸收的养分。

## 二、化学肥料的分类与品种

通常，化肥可分为只含氮、磷、钾三要素中一种元素的单元肥料和含有两种或两种以上养分的多效肥料。多效肥料又可分为将几种养分物理性混合在一起的混合肥料和几种养分以化合物形态结合在一起的复合肥料。复合肥料的颗粒产品就化学成分而言是均匀的，元素间彼此不会分离的，它常是高养分的一种化肥。

化肥的品种很多，主要可分为：

（一）氮肥——尿素、硝酸铵、氯化铵、硫酸铵、碳酸氢铵、石灰氮（氰氨化钙）、硝酸钠、液氨、氨水和各种含氮溶液等。

（二）磷肥——普通过磷酸钙、富过磷酸钙、重过磷酸钙、磷酸二钙（沉淀磷酸钙）、偏磷酸钙、钙镁磷肥、脱氟磷肥、熔融磷肥、钢渣磷肥。

（三）钾肥——氯化钾、硫酸钾、窑灰钾肥等。

（四）中量元素肥料（钙、镁、硫肥）——碳酸钙、白云石、硫酸钙、硫磺、硅酸镁等。

（五）微量元素肥料——铁、锰、铜、锌的硫酸盐、氧化物或与某些螯合剂生成螯合物，硼砂，钼酸铵等。

（六）复合肥料——磷酸铵类肥料、硝酸磷肥、磷酸二氢钾、偏磷酸钾、偏磷酸铵、硝酸钾、尿素磷铵、各种规格的氮磷、磷钾和氮磷钾复合肥料。

若按化肥的形态，则可分为固体肥料和液体肥料。前者品种很多，后者如氨水、液氨等。

近年来我国发展起来的腐植酸类肥料（如腐植酸铵、腐植酸类磷肥、腐植酸类钾肥等）都属于有机肥料。

化肥肥效施放有快慢，多数化肥是速效的。缓效肥料（长效肥料）可能是今后化肥品种和剂型上改进的方向，它要求用某些聚合物或特制材料作为水溶性肥料的保护层，从而使化肥缓慢地施放，以减少养分的流失。尿醛肥料、涂硫尿素、用钙镁磷肥或腐植酸包被的碳酸氢铵都属缓效肥料。氮肥增效剂〔如2-氯-6-(三氯甲基)吡啶（简称CP）、硫脲、双氰胺等〕可提高氮的利用率。硝化抑制剂（如氰基胍）对包括硝化作用在内的土壤微生物有暂时降低其活性的作用，它与缓效肥料的作用相类同，施用前加在氮肥里。

### 三、化学肥料产品标准以及对性能的要求

化肥的质量主要决定于其中可被吸收（有效）营养物质的百分含量（%），即化肥的品位以养分元素或其氧化物的百分含量表示。例如氮肥、磷肥和钾肥分别以N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 表示；中量营养元素肥料分别以CaO、MgO、S表示；微量元素肥料分别以它们的元素含量表示；复合肥料则按N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 次序用数字表明百分含量（如尿素-磷酸一铵-氯化钾体系品种中的27-13.5-13.5表示含有27%N、13.5% $P_2O_5$ 、13.5% $K_2O$ ）。

化肥的有效养分含量越高，其质量越高。例如，我国标准（GB2440-81）规定农业用尿素一级品含N $\geq$ 46.0%，（ZBG21003-87）规定普钙含有效 $P_2O_5$  $\geq$ 18%。养分含量高的化肥显然有它的优越性，因为不仅肥效高，而且包装、运输、施肥和保管的费用也相对减少。

在统计化肥的产量时，常用的算法为折纯法，即把化肥的实物量按有效成分N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 100%折算；过去还有用折标法，即把氮肥、磷肥、钾肥分别按含N21%、 $P_2O_5$ 18%、 $K_2O$ 25%的所谓标准化肥计算；若按作物的营养元素计，计算基准分别为N、P、K100%，换算公式是 $P = P_2O_5 \times 0.4364$ ， $K = K_2O \times 0.8302$ 。

化肥的化学和物理性质对其质量的影响是很重要的。化学性质方面，主要是要求它的化学稳定性好，在贮运、施用过程中不发生

分解或其它化学变化以致使有效养分损失；不含对人畜或对农作物和土壤有害的成分，以及不易引起燃爆等。物理性质方面，主要是要求它不吸水或吸湿性小，不结硬块；尽可能制成粒度均匀的产品，因为细粉状的化肥在运输和施用易损失，而且飞扬的粉尘有害人体健康。

#### 四、化学肥料工业的现状和发展

化肥工业是从1842年英国人J. B. 劳斯 (Lawes) 在英国建立第一个过磷酸钙厂开始的，钾肥工业始于19世纪中叶。氮肥工业从1913年氨合成法研究成功后，发展很快。

1986/87肥料年度世界化肥总产量为141Mt(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O)，据联合国工业发展组织预测，到2000年，世界化肥产量将达到250~260Mt(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O)。

国外化学肥料生产的发展趋势是营养元素含量高的比含量低的发展快；复合（混合）肥料比单一肥料发展快；液体肥料比固体肥料发展快。

在含营养元素高的氮肥中，尿素发展尤其迅速，1970年它在固体氮肥中只占20%，1975年已增至45%，1980年亚洲国家尿素的生产能力约占氮肥生产能力的85%。硝酸铵在北美、欧洲被广泛应用，1975年它占固体氮肥总产量的40%，略低于尿素。

复合肥料是向农业提供养分平衡的肥料，高效复合肥料是目前发展的方向。从化肥的使用效果和工业生产合理性来看，复合（混合）肥料均较单一肥料为佳。氮与磷适当配比，不仅可以发挥磷肥的肥效，同时也能提高氮肥的肥效，故各国都很重视。现在，美国、西德和日本等化肥总消费量中的40~50%的N，80~85%的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和85~95%的K<sub>2</sub>O是以复合（混合）肥料的形式提供的。近年来在化肥的有效成分方面已取得较大的进展，如美国化肥产品中平均有效成分已提高到42.9%，还发展了一些含有有效成分高达50~80%的高效肥料（如尿素磷酸铵、多磷酸铵、磷酸钾等）。美国正在研究的一些超高效有机氮磷复合肥料，其有效成分超过100%，如磷氮六酰胺其有效成分达147%。各国生产和使用复合肥料的比重也

在迅速增加，西欧13个国家复肥施用量已占总施用量的60%以上。

液体肥料向多元素混合物发展。生产液体肥料比固体肥料简单，成本低，又便于机械化施肥（如地下管道输送，机械喷施），因此近年国外产量上升很快。液体混合肥料由正磷酸、过磷酸、液氨、尿素、硝酸铵、氯化钾等按需要成分配制而成。此外，也可掺进微量元素、农药和除草剂等物质，使其具有多种用途。

现在，我国的化肥工业已发展成为具有多种类型、比较完整的工业体系。全国化肥产量1949年为6kt(N)，到1987年产量已达到17.03Mt(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O)，品种多达几十种。大中小型化肥装置都能自行设计、制造和安装。建国以来，我国化肥工业虽然发展很快，但面向迅速发展的农业还不能满足需要，一是数量不足，二是产品比例失调、多氮少磷缺钾，三是品种单一、低浓度化肥多，四是国产化大型装备差。

今后，我国化肥工业的任务是：除必须增加新的化肥生产装置外，要对现有装置进行技术改造和扩建。重点发展高浓度化肥，改进现有小化肥厂的生产品种，将一部分生产碳酸氢铵（其产量现在约占氮肥总产量的一半左右）、普钙等低浓度的单一肥料，改建为生产尿素、磷铵和氮磷钾等高浓度复合肥料；研制加磷或加钾改性碳铵系复肥，使碳铵的稳定性大大提高，为碳铵的使用找到了新出路；根据我国农田土壤“普遍缺氮，大部分缺磷，局部缺钾”和氮磷钾比例严重失调的现状，在搞好大中型氮肥生产的同时，加强磷钾资源的开发，促进磷、钾肥的发展，以调整氮磷钾的比例；按照“节肥增效”的途径，开展微量元素肥料、长效肥料和化肥增效剂的研究和生产，以提高化肥增产的效益；适当地发展农药肥料，在固体或液体化肥中加入适量农药，使施肥与除虫一次进行，扩大用途；充分利用泥炭土和劣质煤生产腐植酸类肥料以扩大肥源，改良土壤和增进作物养料，夺取农业的高产和稳产，努力推广“测土施肥”技术，逐步试验“二次加工生产结构”的改革，对各种不同生产条件的农作物提供品种繁多规格多样的化肥。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 (日) 安藤淳平著,《化学肥料の研究》,东京日新出版社,1965年。
- 〔2〕 M. E. 波任等著,天津化工研究院等译,《无机盐工艺学》(下册),化学工业出版社,1981年。
- 〔3〕 (澳大利亚) 伊文思等著,林荣新等译,《化肥手册》,农业出版社,1984年。
- 〔4〕 世界化学工业年鉴编辑部,《世界化学工业年鉴》,化学工业部科学技术情报研究所,1988年。

# 第一章 化学肥料的生产方法和原理

## 第一节 生产化学肥料的原料

生产化学肥料的原料大致可以分为四类：

1. 天然矿物原料 天然矿物原料有磷灰石、磷块岩、钾石盐、光卤石、钾盐镁矾、霞石、明矾石、硝石等。其中硝石 ( $\text{NaNO}_3$ ) 曾是生产氮肥的主要原料，产于个别地区，自合成氨工业化以来，其重要性日趋下降，迄今已在氮肥生产中不占什么地位。目前氮肥均以渣油、天然气、煤等为原料，将空气中的氮固定为氨，再进一步加工成为各种铵态、硝基态、碳酰胺态肥料。但是磷肥、钾肥不然，必须仰给天然矿物原料才能生产。正因为如此，化学肥料也常被称之为矿物肥料。硫磺和硫铁矿是制造硫酸的原料，而硫酸则又大量用于分解磷矿以制取过磷酸钙、磷酸铵及其它磷肥，故硫虽然不是植物的主要营养元素，而且往往不进入肥料之中，但含硫矿物却被认为是制造化学肥料的重要原料之一。

天然矿物可分为水溶性和水不溶性两大类。钾长石、光卤石、硝石是水溶性的矿物，磷灰石、明矾石是水不溶性矿物的例子。用水溶性矿物生产肥料仅是富集、分离和提纯的过程，加工简单。而水不溶性矿物用来生产肥料时，首先必须进行化学加工，使其成为作物所能吸收的水溶性或微溶性物质，然后经过除去杂质、蒸发、结晶等工序制成成品。

2. 盐湖湖水 盐湖的组成因地而异，其可能含有的离子为  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Rb}^+$ 、 $\text{Cs}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  //  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ 、 $\text{BO}_3^-$  等。它们除了生产  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 $\text{MgCl}_2$  等大宗无机盐外，还生产  $\text{KCl}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$  等化学肥料。我国现在已经探明的可溶性含钾矿物是不多的，但青海



察尔汉盐湖的钾贮量估计在0.1Gt以上，是我国近期将要大规模开发建设的钾矿。

3. 化工原料 很多化学肥料是用酸、碱、盐和其它化工产品制造的。例如，硝酸铵是由硝酸和氨中和而成的，硝酸钾是由硝酸钠和氯化钾复分解而成的，尿素是由氨和二氧化碳直接合成的。

4. 工业废料 很多微量元素肥料是利用工业废料来生产的<sup>〔4〕</sup>，例如电解铜厂的铜泥可以用来生产铜肥；废汽车回炉炼钢的锌尘、炼锌厂、镀锌厂的废渣可以用来生产锌肥；洗涤钢板所得的酸洗液可以用于生产铁肥。美国微量元素肥料中的70%原料来自综合回收，只有30%来自天然资源或原矿。利用工业废料生产肥料，既可综合利用资源，又可消除“三废”，减少污染，保护环境，实为一举两得。

## 第二节 生产化学肥料的基本方法

在生产化学肥料时，由于所用的原料和产品种类不同，加工方法也就各异。用同一种原料生产同一种产品，也可以有多种多样的方法。以磷灰石 $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$ 生产磷酸为例，既可用硫酸、硝酸、盐酸等无机酸使之分解，然后利用生成沉淀和溶剂萃取等方法除去 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{CaCl}_2$ 而得到磷酸；也可以在电炉中用焦炭还原先制得黄磷，而后经氧化和水吸收而得磷酸。得到磷酸以后进一步加工成为肥料时，方法就更多了。

化学肥料的生产方法和生产原理存在共同性，因而可以设想一个“标本”流程，将各种原料制造各种肥料生产过程中的重要工序都概括其中。通过标本流程我们就可对那些生产过程强化的共同因素进行分析研究，从而找出实现这些过程的合理途径。

制订这样一个包罗各种化学肥料生产工艺特点的标本流程当然是不可能的。但是这种标本流程可以足够有代表性，而具体的工艺流程可以只是这种标本流程的一部分。由于水不溶性矿物加工成为化学肥料需要的工序最多，因此将它的加工流程作为标本流程来介绍。