

出国参观考察报告
编号： 004

内部资料

赴美化肥考察报告

化学工业部科学技术情报研究所

一九七九年四月

目 录

一、美国化肥工业概况·····	1
二、田纳西流域管理局简介·····	21
三、田纳西流域管理局国家肥料发展中心·····	23
四、美国微量元素化肥·····	34
五、美国氮肥增效剂·····	49
六、大盐湖开发与钾盐生产·····	53
七、粉煤加压气化制合成氨·····	56
八、用管式或十字形管式反应器制造NP和NPK 肥料·····	63
九、固体混合肥料·····	74
十、液体悬浮肥料·····	78
十一、NFDC造粒示范工厂·····	80
十二、美国施肥机械简介·····	85
十三、正磷酸制13-38-0悬浮肥料·····	95
十四、尿素磷酸盐制清液肥料·····	96
十五、NFDC农业试验温室等装置·····	97
十六、NFDC包硫尿素中试装置·····	98

美国化肥工业概况

这次在美考察期间，通过对国家肥料发展中心 (NFDC)、国际肥料发展中心 (IFDC)、与肥料学会 (TFI) 的访问座谈以及对各种类型的化肥工厂的参观座谈，我们对美国化肥工业的现状有了一定的了解，下面从化肥的生产消费、产品的储运销售、生产技术和科研动态以及施肥机械等各个方面作概略的介绍。

一、前言

美国是粮食出口的主要国家之一，它每年向国外大约出售其小麦产量的65%，玉米产量的35%，大豆产量的25~30%，预计1978年将出口粮食1亿3千万吨。美国农业人口只占全国人口的4%，而全国耕地面积近22亿亩。美国增产粮食的主要措施除了大规模地提高农业机械化水平外，就是增加化肥的用量和合理使用化肥。据估计农业产值的30~40%是应用无机化学肥料的结果。从1940年到1974年，由于施肥效果总的农业增益累计达2930亿美元。历年来在粮食产值增长的同时，耕地面积约削减了1亿5千万亩。

从1950年以来美国消费的化肥量稳步增长而化肥的质量也不断提高。到1976年止化肥的实物消耗量增长2.7倍而主要有效养份 ($N + P_2O_5 + K_2O$) 的消耗则增长4倍。每吨化肥的平均主要有效养份的含量从22%上升至43%。1977年美国的化肥实物消耗量为5161.2万吨，按有效养份计为2209.66万吨。(自1960年以来化肥消耗量的情况见图1与图2)

美国化肥产量从四十年初以来一直居世界首位，直到近年才被苏联取代而退居第二位。美国化肥工业的生产技术自五十年代后不断有新的重大发展例如首先使用天然气加压蒸汽转化法生产合成氨原料气并采用大型离心式气体压缩机实现单系列日产合成氨1500吨；湿法磷酸生产装置实现大型化达到单系列日产1250吨 P_2O_5 ；高浓度复合肥料的新品种不断开发等等。近年来美国预见到制造化肥的原料供应如天然气、优质磷矿等将日趋紧张，将影响化肥生

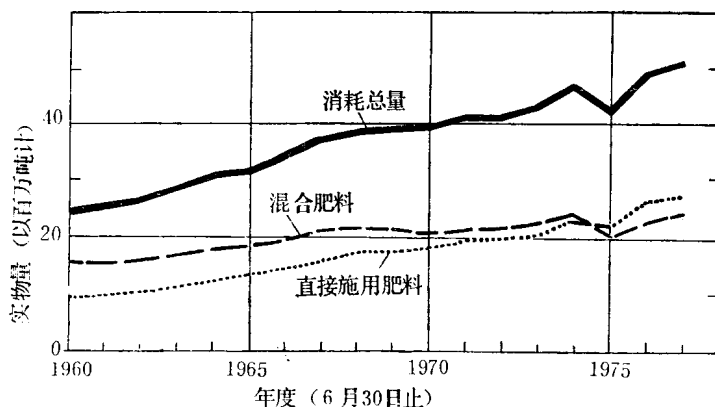


图1 美国混合肥料与直接施用肥料的逐年消耗量

(录自 "Commercial Fert," U. S. Department of Agri. Nov. 1977)

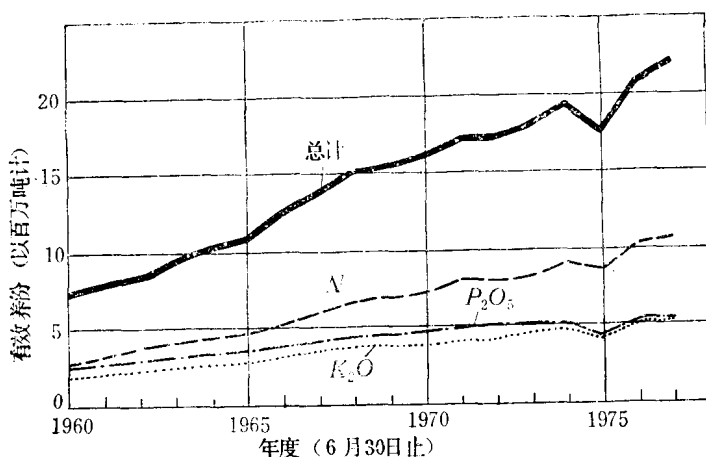


图 2 美国化肥的有效养份逐年消耗量

(来源同上)

产，以天然气为例，1975/1976肥料年度由于天然气短缺，少产合成氨35万吨而1976/1977年度更高达73万吨。因此美国化肥研究部门目前已着手研究二个方面的课题，即：(1)以煤为原料制合成氨的工业性试验(2)难选磷矿的富集研究。在化肥品种方面，美国目前大量使用散装掺和的颗粒混合与复合肥料，同时液体肥料的施用量也占相当大的比例，其中液氨是主要的品种之一。为了大规模地施用这些化肥，美国的各种类型施肥机械发展迅速，趋向是高效、大型。

在合理利用化肥方面，美国农户都是按照不同农作物并根据对土壤分析的综合评价，然后确定施用化肥的品种结构。另外美国大部分地区都是每年种植1次，季节性用肥量大。因此美国化肥的生产、储运和销售体制都是结合以上情况建立、发展和改进。

美国根据对全国各州土壤的分析调查，对中量和微量元素化肥的施用也给予应有的重视，例如美国有32个州普遍缺锌，因此以1977年为例，锌肥的用量占微肥总消耗量的47.5%，近几年来，美国微量元素肥料的消耗量（以元素计）基本稳定在3.8万吨左右，按实物产量计约16万吨左右。近年来美国已在一些地区的玉米等四种作物的种植上施用一定数量的硝化抑制剂（即氮肥增效剂），目前仅有一种商品名称叫N-Serve（氮吡啉 Nitrapyrine）的硝化抑制剂已经注册。

二、化肥的生产和消费

美国化肥生产基本上以满足国内农业需要为主。美国生产化肥的原料蕴藏丰富，天然气、磷矿和硫的产量均居世界首位，因此氮、磷肥生产的原料均可立足于国内供应。钾盐的产量虽居世界第三位，因加拿大的钾盐品位远较美国的高，因此美国每年从加进口大量钾盐供制造化肥之用。目前美国95%的合成氨生产用天然气为原料，它的总消耗量约占天然气总产量的2.5~3%；磷肥工业消耗的磷矿约占全国开采量的80%；大约有55%的硫酸产量是用于化肥工业，而且基本上用于制造磷肥；钾盐产量只能满足国内钾肥需用量的41.5%。根据美国农业部的统计，1975/1976以及1976/1977二个肥料年度的氮、磷肥、湿法磷酸以及钾盐（氯化钾）的产量如表1所示。

表 1 美国氮、磷肥、湿法磷酸、氯化钾的产量

(1976年与1977年6月30日止)

单位: 千吨

项 目	1976年	1977年	项 目	1976年	1977年
一、氮肥方面 ^①			重过磷酸钙	1,482	1,746
液氨 ^②	16,178	16,678	磷酸二铵	2,623	3,244
固体硝铵	3,338	3,307	其它磷酸铵盐	621	824
尿素	3,824	3,804	其它磷肥物料	231	231
氮溶液	1,999	2,399	总计	5,367	6,406
硫铵 ^③	2,250	2,301	三、湿法磷酸 ^⑤	6,521	7,769
二、磷肥方面 ^④			四、氯化钾盐 ^⑥	2,447	2,413
过磷酸钙	371	361			

附注: ①氮溶液以千吨N计算, 其它则以千吨物料计; ②包括工业用; (3)包括合成、炼焦付产以及其它付产品;
④以千吨 P_2O_5 计算; ⑤包括工业用酸; ⑥以千吨 K_2O 计算。

美国合成氨的生产能力已达 2300 万吨, 每年大约有 25% 的产量用于工业。六十年代以来, 合成氨生产的重大变化是地理上的集中。合成氨工业的布局转向南方三角州 (即密西西比、阿尔堪萨斯和路易斯安那三个州) 以及南方平原带 (得克萨斯、奥克拉哈玛二个州)。从1960年到1975年, 该地区生产合成氨的产量在全国所占比重已从32%上升至52% (但该地区的消耗量在全国所占比重却从18%下降至14%)。造成这种变迁的主要因素有三点即(1) 该地区天然气资料丰富 (得克萨斯、路易斯安那和奥克拉哈玛三个州的天然气产量的80%), 价格低廉, 这是选择厂址的先决条件 (2) 化肥储藏能力的提高和储运技术的改进, 例如庞大的液氨管网、大型常压冷冻氨库以及大型驳船、铁路、公路专用货车等。(3) 该地区处

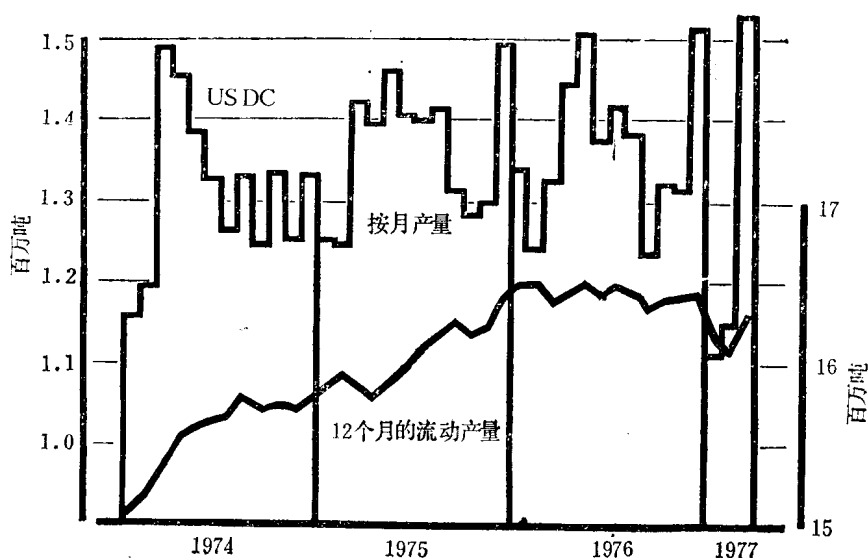


图 3 美国合成氨产量

于墨西哥海湾，内河航运与海外运输都方便，可以适应市场变化。当然还有另外的因素，例如与磷矿主要产区佛罗里达州相近，生产磷酸铵等复肥在原料和产品运输方面都方便。美国近几年的合成氨生产变化情况如图 3 所示，制造各种氮肥用合成氨数量的比例如图 4 所示。同样美国的磷肥生产主要也集中于拥有丰富磷矿资源的佛罗里达和北卡罗里那二个州，该地区的磷矿产量占全国的83%，美国目前制造磷肥的基本原料是湿法磷酸，它的生产能力已达 930万吨（以 P_2O_5 计）。1970年来美国的磷酸生产能力和产量变化情况见图 5 所示。目前美国磷酸产量的28.6%供出口。美国的钾肥消耗大部分依靠从加拿大进口，而且逐年有增加，以 1977 年为例，年消耗量（以 K_2O 计）约583.3万吨而进口量达342万吨占 58.5%。

美国化肥消耗量一直占世界第一位。从 1976/1977 肥料年度的统计看，以有效养份计的

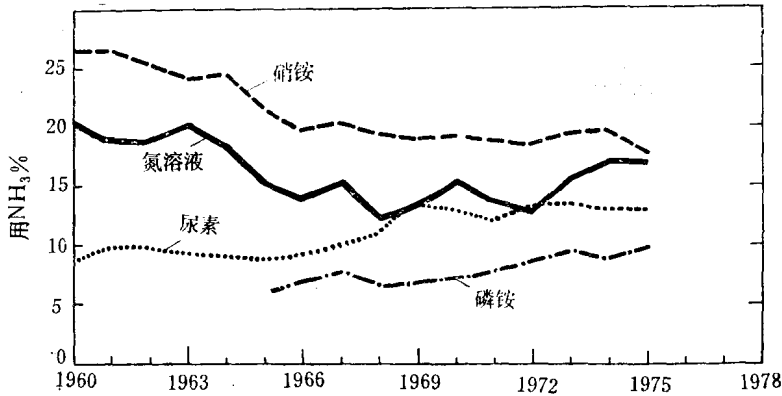


图 4 美国制取各种含铵肥料的用氨量比例

(注：图 3 .见 “Situation 77”TVA Fertilizer Conference
图 4 .见 “The Changing U. S. Fertilizer Industry”)

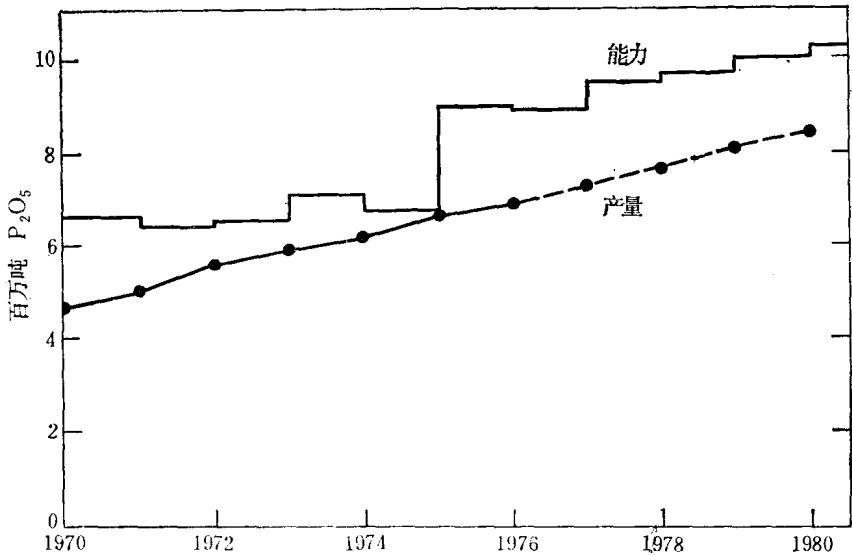


图 5 美国湿法磷酸生产能力与产量

(来源：“Situation 77” TVA肥料会议)

世界化肥消耗量约9600万吨而美国的消耗量为2,200万（化肥实物量为5161.2万），其中N为1064.19万吨， P_2O_5 为562.18万吨， K_2O 为583.3万吨。三种主要养份的消耗比例是 $N:P_2O_5:K_2O=1:0.53:0.55$ 各种化肥消耗量的分类如表2所示。

表2 美国肥料分类消耗量^①（以吨计）

项 目	1975/1976 年度	1976/1977 年度	项 目	1975/1976 年度	1976/1977 年度
一、混合及复合肥料			钢渣磷肥	82,186	117,619
N-P-K	16,609,770	17,021,804	过磷酸钙及重过磷酸钙	1,211,066	1,364,121
N-P	4,485,951	5,086,117	磷 矿 粉	29,133	22,401
N-K	593,831	488,468	其 它	45,171	60,454
P-K	1,268,793	1,491,060	总 计	2,158,303	2,260,383
总 计	22,958,345	24,087,449	五、钾 肥		
二、氮 肥			氯化钾	3,752,449	4,399,009
液 氨	4,935,635	4,927,229	硫酸镁钾	98,828	128,030
氨 水	698,248	655,133	硫 酸 钾	44,077	51,100
硝 铵	2,950,095	2,796,605	其 它	151,970	212,967
氮 溶 液	5,591,178	5,796,180	总 计	4,042,324	4,791,106
硫 铵	1,069,958	1,052,656	六、中量及微量元素物质		
尿 素	1,653,643	1,879,876	总 计	2,296,143	2,524,672
其 它	422,155	445,234	（其中石膏）	1,804,571	1,973,617
总 计	17,320,912	17,552,913	全部肥料消耗量	49,189,169	51,611,568
三、天然有机物质	413,142	395,045			
四、磷 肥					
磷酸铵盐 ^②	600,998	651,608			

附注：①表中消耗量不包括石灰加入量和制取混合（复合）肥料的其它物料；②指以下几种直接用的磷酸铵盐总量即：(11-48-0)，(13-39-0)，(16-20-0)，(21-53-0)，(27-14-0)。

从上表可以将消耗的肥料量分成三大类即：（1）混合（复合）肥料（2）单一养份肥料（Primary Nutrient Material）（3）中量及微量元素肥料。1977年上述三种肥料的消耗量分别为：2408.7万吨，2499.9万吨和252.4万吨。1977年度美国主要农作物的施肥水平如表3所示。玉米是美国施肥用量最大的作物，1977年度美国玉米的种植面积为6950万亩（41,700万亩），消耗的肥料量占全国各种肥料的总量分别为：N 39%， P_2O_5 36%， K_2O 40%。

由于储运方式和施肥机械的改进和发展，美国化肥形式和品种结构也发生了很大的变化。如上面所述，目前美国化肥的平均有效养份不断提高，这样大大节省储运的费用同时可以提高化肥的效用。为配合高效的固体肥料施用机，固体肥料必须具有适宜粒度的颗粒状物料并具有足够的机械强度。目前美国化肥按形式类别分（以1976年为例），散装和袋装的混合肥料约占40%，液体肥料（包括混合肥料、液氨、氮溶液和其它直接施用物料）约占31.5%，

颗粒状肥料（指单一肥料）为18.9%，其它（包括直接施用物料）为9.5%。以氮肥的品种结构来看，液氮的直接施用占了很大的比例。图6表示美国各种含氮肥料的逐年消耗量。（液氮的消耗量未列入）

表 3 美国主要农作物的施肥水平（市斤/亩）（1977年度）

作物品种	化肥类别	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
玉 米		19.11 (91)	10.21 (56.70)	11.69 (47.76)
棉 花		11.69 (55.67)	7.90 (43.89)	7.74 (30.96)
小 麦		7.91 (37.67)	5.83 (32.39)	6.0 (24.00)
大 豆		2.42 (11.52)	6.67 (37.06)	8.92 (35.68)

附注：括号内数字表示按我国标准化肥计算的实物消耗量（N肥21%N，P肥18%P₂O₅，K肥25% K₂O）
 （表中数字摘录自“1978 Fertilizer Situation” U. S. Department of Agriculture）

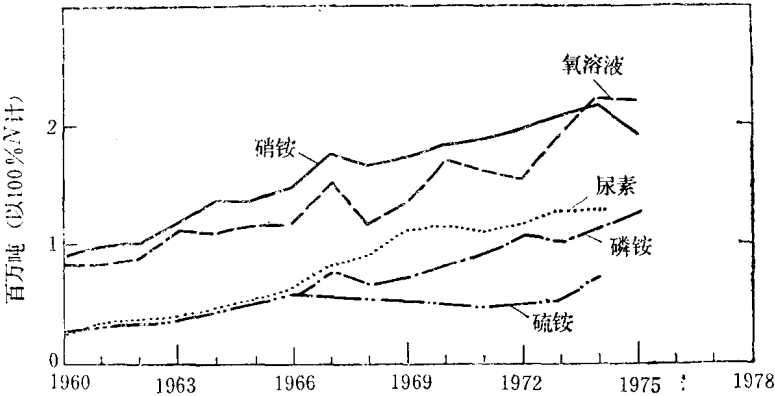


图 6 美国各种含氮肥料的逐年消耗量
 （来源：The Changing U. S. Fertilizer Ind.）

表 4 是1976年各种氮肥消耗量以及它们的百分数。

再以磷肥的品种结构来看，目前磷酸铵类肥料所占的比例达62.5%而其中磷酸二铵的比例又占80%、磷酸二铵已被广泛地用于制取散装掺和混肥以及液体混肥。氯化钾是用来制造各种含钾混肥（或复肥）的基本原料。目前不断出现作为配制化肥用的一些高养份含量的复合化肥例如尿素-磷铵（28-28-0）与聚磷酸铵盐（11-57-0）等。

目前在美国很重视科学施肥以提高肥料的效用。不少学校、私人化验分析机构甚至小型二次化肥加工厂（它的性质见下节叙述）都可以接受农户委托的土壤分析。一般土壤分析的内容包括土壤的pH值土壤中 N、P、K、Mg、Ca 及微量元素的含量以及按作物提出每英亩所需各种养份量的推荐数值。农户在种植前都要委托上述部门对耕地作土壤分析，确定合理的化肥结构配方，然后向肥料加工厂或另售商购买与之相接近的肥料产品。因此目前在美国

表 4 不同氮肥的消耗量及所占% (1976年)

名 称	数 量	百 分 比
液 氨	400万吨	39
氮 溶 液	150万吨	15
粒状硝铵	98万吨	9.5
粒状尿素	74万吨	7.2
氮混合物 (包括复肥)	240万吨	23.3
硫 铵	22万吨	2.1
其 它	40万吨	3.9

(摘自: "Situation 77-TVA Fertilizer Conference")

含有各种养份的肥料产品多达 500 多种, 据资料介绍美国生产的所有混合肥料中有一半以上含有一种或多种微肥。为了提高氮肥利用率, 美国现在生产的“N-Serve”硝化抑制剂 (即氮肥增效剂) 已在约一百万公顷种植玉米的耕地上施用。

三、储运和销售分配

将化肥及时和就近分配到农户手中是发挥化肥有效作用的一个重要方面。如前所述美国每年要生产5000多万吨的化肥而大型生产基本化肥物质 (如合成氨、尿素、硝铵、湿法磷酸、磷酸铵盐、过磷酸钙、氯化钾等) 的工厂都集中在美国少数资源丰富地区, 另外美国施肥季节一般都比较集中 (大部分地区每年 4、5、6 三个月是集中用肥的时期), 全国有270万农户分布在全国各州, 所以如何运送、储存和销售分配化肥成为一个很突出的问题。由于合理使用化肥和施肥机械化的要求, 美国化肥产品一般具有以下特点: (1) 混合 (复合) 化肥比重较大 (2) 液肥占相当比重 (3) 固体化肥要颗粒化便于施肥。环绕着这几个特点, 目前美国化肥的生产体系基本上形成这样的一种方式即: 构成化肥成品的相当一部分基本化肥物料 (包括化学矿加工产品) 先要被分散到全国各地进行二次加工成农户需要的化肥品种后, 再销售分配出去。其余基本化肥物料 (包括直接施用物料) 则直接销售分配。因此化肥的储运和销售分配必须结合这样的生产体系来进行。

美国现有生产基本化肥物料的厂矿企业近 100 个 (总共近 200 个厂矿), 而化肥的二次加工厂以及另售商则有 1.2 万个。因此既要满足农业季节性高峰用肥的需要又要保证大型化肥基本物料生产厂的常年连续作业, 就必需解决基本化肥物料与化肥成品的储存问题。液氨施肥在美国已得到较大的发展, 因此在制造厂、二次加工厂和销售站 (或另售商) 都有大量大、小不等的液氨储库。另外沿液氨管道系统以及内河水运系统都有大量的储库。据统计约有 41% 的液氨储量在工厂旁。大型液氨储库都设计成用冷冻的低压或常压的设备, 低压的一般采用球形储罐。冷冻常压液氨储库是近年发展起来的专门储存大量液氨的设备, 一般保持在温度 -28°F 。上述冷冻液氨储库的容量一般在 750~40,000 吨的范围内, 许多终点仓库的液氨库容量一般为 30,000 吨。中、小型液氨储罐一般是球形碳钢的受压容器, 它的容量在 100~3,000 吨范围内。固体物料与液体肥料等产品的储存问题较少, 同样在制造厂、二次加工厂

和另售商都设有储藏库。固体物料储库一般都是分隔式的仓式构筑物，对储存容易结块物料的仓库一般都有湿度调节装置。对散装掺和混肥的储仓要求采取防止各种颗粒肥料组份分离的结构例如分格储仓等。液体肥料除液氨外一般都可以在常压下储存于碳钢容器内，个别蒸汽压高的溶液要储存于不锈钢耐压容器内。

运输费用往往是构成最终销售价格的重要组成部分。化肥物料的输送有四种方式即驳船水运、铁道运输、汽车运输与管道运输。水运费用较低。从南部墨西哥海湾区生产点到主要玉米带 (Corn Belt) (指密西西比、伊利诺亥与俄阿亥三州以及密致里河流域)，化肥基本原料的运输主要靠驳船水运。运液氨的驳船容量在1,000至3,000吨，有耐压或冷冻常压等二种储仓。运固体物料的驳船大小在1,000~1,500吨之间。运送液氨的铁路槽车容量为25~70吨，容量大的70吨槽车不保温，可耐压27.2公斤/公分² (400psi)；输送液氨的运货汽车容量为12—19吨，耐压17.8公斤/公分² (262psi)。铁路运输散装固体肥料一般用有顶盖的贮斗货车。对运送氮溶液、过磷酸等液体都要用专门储罐货车。在美国有大量的管道网用于输送液氨以及一些氮溶液的常压输送。在七十年代初美国已建成液氨及液肥输送网共15,000公里。以中部海湾 (Gulf-Central) 的液氨输送管道系统为例，该管道的年输送能力为110万吨液氨，还将扩大至225万吨。从这次参观的位于路易斯安那州顿那斯维那区 (Donaldsonville) 的中央农民公司 (Central Farm Industries Inc.) 氮肥厂为例，据介绍该公司的液氨运送管道长达2,880公里，沿途每隔300公里左右设有加压泵站和液氨储库，该公司每天可输送1500吨液氨。据资料介绍在美国铁路运输的比重逐渐下降。同样以液氨的输送为例，除管道长途运送外，从1967年至1972年，铁路运输量所占百分比从71%下降至40%；各种运货汽车的运输量比例从6%升至29%而水运比重则从23%升至32%。

在美国袋装化肥数量逐步下降，据介绍在1954年农户用的袋装肥料占89%，散装的仅11%，而1974年77%的化肥成品是散装 (包括固体与液体二种肥料)，袋装仅23%，预计到1980年包装肥料将只有10%。因此高效的肥料装、卸设备不断涌现。今后储运发展趋势是

(1) 液氨、尿素-硝铵溶液等输送管道增加；(2) 驳船运输量加大 (据介绍将达1.8万的规模)；(3) 化肥消费区的储藏量增加；(4) 工厂及终点储库的能力提高。

如上面所述美国目前的化肥生产体系与化肥的销售分配系统是相联系的。除了有近3千家化肥另售商外，美国生产5千万吨化肥中的大部分是通过造粒加工厂以及散装掺和、液体混合二种小型加工厂分配到农户手中 (这些小型工厂同时销售单一肥料)。据估计美国现有约6000家散装掺和肥料工厂，它们的年生产能力平均为3000吨混肥，液体混肥厂近3,000家，它们的年生产能力平均也为3000吨左右。造粒工厂的规模都较大，平均为6万吨左右，个别的超过10万吨。上述固、液混合肥料加工厂遍布美国各地区，它们不但生产农户要求的各种混合肥料而且利用各种运输货车按时迅速地将化肥 (包括直接施用化肥) 销售分配于农户手中，同时这些小型加工厂还承包代客施肥、出租施肥机械、新品种的施用技术指导，有的工厂还代客进行土壤分析。近十年中这些小型厂的数目增长了3~4倍，有些工厂兼有固、液二种混肥的加工装置，所以很难有精确的统计数字。从上面介绍的情况可以看出在美国这些肥料二次加工厂以及中间另售商构成化肥生产与消费的有效联络点。从运输和销售的角度考虑，根据介绍这些化肥销售点与农户之间的经济运输 (或销售) 半径距离为40公里左右，有的工厂运输距离有达100公里的。现将美国化肥生产与销售分配系统的简单情况绘制成图7。美国化肥的市场价格因原料供应情况及其价格变化以及国内经济状况而波动，从生产基本化

肥物料的制造厂到化肥二次加工厂或中间另售商，再从此销售分配到农户手中，肥料产品的价格约各递增20~25%，总的增加价格为50%左右。美国1977年度的一些肥料的平均销售价格见表5所示。

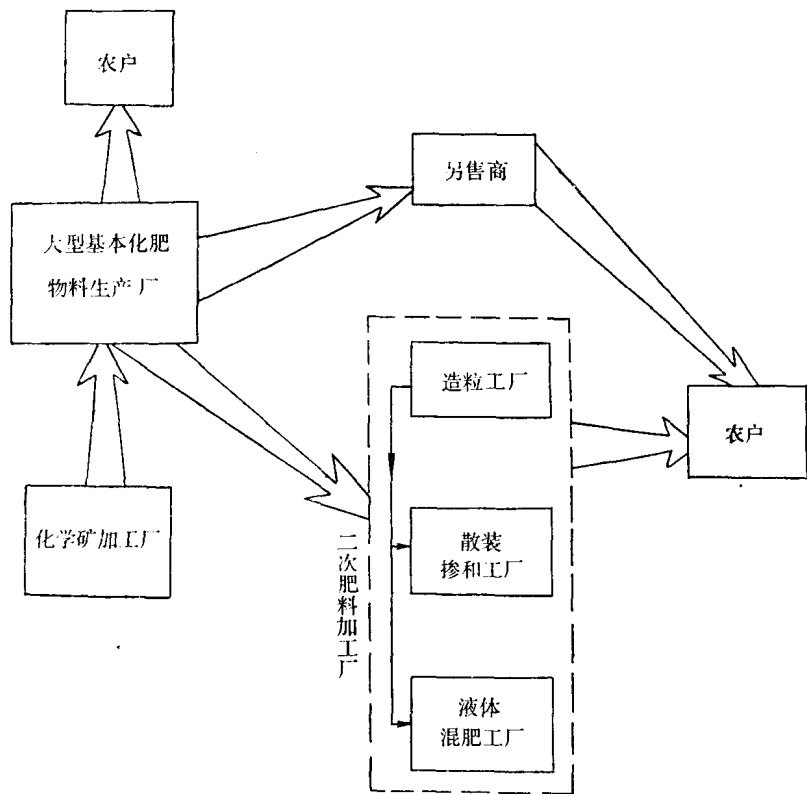


图 7 美国化肥生产与销售分配示意图

表 5 美国售于农户的一些肥料价格（1977年度）
（每吨实物的平均价格以美元计）

年 月 日	价 格	品 名	液 氨	过磷酸钙及重过磷酸钙		磷 酸 铵 18-46-0	钾 肥 60% K ₂ O	混 肥 6-24-24
				46% P ₂ O ₅	20% P ₂ O ₅			
77年 5 月 15 日			188.00	148.00	103.00	185.00	96.90	145.00
77年 10 月 15 日			177.00	150.00	100.00	187.00	94.50	146.00

四、化肥生产技术及科研动向

这次在美参观访问了若干化肥工厂（工厂名单请参阅附表）。在这些工厂中 虽然没有见到资料上介绍的一些最先进的生产工艺技术，例如以天然气为原料制合成氨的生产采用勃朗深冷流程等，而且工厂的规模也并非最大的，但是这些工厂却代表了当前美国化肥生产体系

的各种不同类型的工厂。这些工厂有生产化肥基本物料的工厂（包括合成氨、尿素、硝铵、湿法磷酸、磷酸铵、氯化钾等产品），化肥的二次加工厂（包括造粒法、散装掺和法和液体混合法等生产工艺）和生产微肥的工厂。因此通过参观这些工厂，对了解美国化肥工业的概貌和发展趋势是有益的。另外在美国国家肥料发展中心的考察访问中，对于该中心结合美国今后化肥工业的发展进行的一些研究有所了解，同时也参观了该中心的一些示范工厂和基本化肥物料生产厂。下面仅就氮、磷（包括磷酸铵类肥料）肥，固体和液体混肥（包括清液和悬浮液）的生产技术与科研动向等方面，将参观座谈所了解到的情况作较概略的介绍。（美国微量元素肥料的生产和科研动态另有专文总结）。

（一）氮 肥

1. 生产技术方面

（1）合成氨的生产——合成氨工业在美国已有五十余年的历史而且经过几次大的变革。目前用天然气为原料制合成氨的比例已高达95%，自从六十年代中期高压离心式气体压缩机问世以后，合成氨生产向大型化、自动化和能量综合利用等方面发展。七十年代后建设的日产1000~1500吨合成氨工厂都以凯洛格流程为主。这次参观的三个大型合成氨厂即联合化学公司的盖茨玛化肥联合企业（Allied Chemical Co. Geismar Complex）、中央农民工业公司氮肥联合企业（Central Farm Industries Co. Nitrogen Complex 简称 C. F.）和阿果尔柯公司（Agrico Co.）都是凯洛格流程，每套装置的规模为1000吨氨/天。C. F. Co. 是美国合成氨生产最大工厂之一，它拥有四套日产千吨氨的装置。

在一段蒸汽转化方面，国家肥料发展中心的合成氨工厂（规模为225短吨氨/天）已采用2号柴油作为燃料，据介绍可节省25%的天然气消耗；Geismar企业介绍该企业已有一个厂改用气、油二用烧嘴。在净化脱除二氧化碳方面普遍采用一乙醇胺法，溶液浓度为28~30%。为了解决设备的腐蚀问题，这些工厂都采用美国联合碳化物公司（Union Carbide Co.）的缓蚀剂。Occidental厂介绍（该厂生产规模为420短吨氨/天）每月要添加50磅（22.72公斤）左右。合成气的最终净化都采用甲烷化法。据了解这些工厂的催化剂使用寿命都较长例如合成氨催化剂最长使用达8—10年。

根据资料介绍C. F. 厂自1966年开始就采用电子计算机，在现场未了解到具体情况，但在Geismar厂中控室见到弗许公司（Fisher Control Co.）制造的电子计算机。该机价格25万美元，在1976年建立，该厂利用计算机控制天然气/汽比， H_2/N_2 比、吹出气以及合成塔的冷激气量，据称1年内即可回收投资费。

关于循环水质处理方面，据了解C. F. 厂与Agrico厂均采用商品名为“Nalco”的水质稳定剂（是路易斯安那州新奥尔良附近一家化工厂的产品），但Geismar厂（该厂有二套1000吨氨/天的装置）认为用这个稳定剂不够满意，因此采用添加4~6ppm铬盐的方法，据说美国环保部门同意该厂每日可排放20磅的铬。这些工厂均采取添加氯的办法杀菌。

由于在美国设备的备件易得，操作控制较严格，而且对大型氨厂的操作已积累不少经验，因此工厂的年工作日数均可达330~340天之谱。

（2）氨的加工——氮肥的生产

在参观中见到和了解到的氮肥产品中有颗粒尿素和尿素-硝铵的氮溶液。在尿素的工业生产方面，主要是采用大型成球造粒设备（Spheroidizer），目的在于既获得强度高的颗粒成

品满足固体肥料机械施肥的要求，同时又可较好地解决尾气带粉尘的环境污染问题。据介绍颗粒尿素成品的绝大部分颗粒度可达 $-8+10\mu$ (Tyler Mech)，强度为一般造粒塔产品的1.8~2.8倍。C. F. 厂共装有7套成球造粒设备，每套能力为330吨/天，Agrico厂也装有二套同样生产能力的设备，据介绍设备规格为 $\phi 20$ 英尺(6.09米)，长30英尺(9.14米)，尾气中粉尘的除去都采用湿法洗涤。国家肥料发展中心在中试的基础上，在1973年建成一套盘式尿素造粒的示范性工厂，它的运转规模为5~11吨/时，采用97~99%的尿素融熔液。盘式造粒机的直径为12英尺(3.66米)，转速为12~15rpm，盘的倾角为 60° ，据介绍开发盘式造粒法的目的和上述成球造粒法相同，不过前者的投资与造粒塔法的相等而产品成本约高出1~2美元/短吨。中试的结果表明这种成品的强度也可比塔式造粒产品高2 $\frac{1}{2}$ 倍，产品粒度为 $-6+12\mu$ 。参观的几个厂主要采用Stamcarbon的 CO_2 汽提法和日本的三井东洋法。NFDC的尿素厂主要生成75%尿素溶液供后加工之用。

在C. F. 厂与Geismar厂都有尿素硝铵(UAN)氮溶液的生产。据介绍采用浓度为80%的尿素溶液，温度为 $250^\circ\sim 260^\circ\text{F}$ ($121^\circ\sim 126.6^\circ\text{C}$)与浓度为67%的硝铵溶液，温度为 268°F (136.7°C)，二者混合并经冷却后制得，这种氮溶液含N量约30%，硝酸生产有双压法与高压法二种，成品酸浓度为57~60%，吸收塔系筛板塔结构，采用冷冻冷却(用 KNO_3 溶液)，所以吸收效率较高，C. F. 厂氨氧化压力为50~60psig(3.74~4.08公斤/公分²)吸收压力则为150psig(10.2公斤/公分²)，据称氨的氧化率为95%，吸收率则接近100%，吸收塔直径约20英尺(~6米)，高约55米，有40块筛板。Geismar厂新建550短吨/天的硝酸装置系高压法、氨氧化压力140psig(9.5公斤/公分²)，吸收压力120~130psig(8.2~8.8公斤/公分²)，酸浓度为60%，在吸收系统前放有素瓷纤维过滤回收Pt的装置据称Pt耗为3.4克/吨100% HNO_3)。

2. 科研动向方面

(1) 缓效氮肥——包硫尿素(Sulfur Coated Urea简称SCU)的研究

美国国家肥料发展中心自1961年后即开始包硫尿素的研究工作，将它作为缓效氮肥的一个新品种。在国家肥料发展中心参观了中试装置(据说该中心已建成示范性工厂规模为200吨/天)该装置的试验规模为0.9~1.8吨/小时。包硫尿素的制备包括对尿素的基质颗粒(Substrate)进行三次包层即硫，这是基本的；另外二层是封闭剂(Sealant)层(最后选用的是30%的聚乙烯与70%的亮库存油—bright stock oil组成的混合物)和调理剂层(Conditioner)(用硅藻土之类)。一般产品包硫15~19%，包封闭剂2%，包调理剂2.5~3%。NFDC开发的包硫尿素曾在美国39个州，2个地区以及26个国家中进行农艺试验，试验表明包硫尿素对水稻、甘蔗，水果、蔬菜、饲料草等都有良好的效果，能提高氮的利用率，它的储存性能也有所改善，另外它也提供了硫——这一中量营养成分。SCU的生产成本估计要比普通尿素高约30%。包硫转鼓直径为1.2米，长1.8米，据介绍它的转速为12~15rpm。融熔硫的喷涂采用水力式喷嘴，喷洒压力为1000~1500psig(68~102公斤/公分²)、国际肥料发展中心(IFDC)目前正在做单纯包硫尿素的实验室试验以及SCU产品的肥效试验，主要模拟热带地区的气候与作物生长条件。IFDC还研究超大颗粒SCU的效果，这种颗粒比普通的重2倍。

尿素物料的予热以及SCU成品的冷却都采用沸腾床。包硫尿素中试的部分典型操作数据如表6所示。

表 6 SCU的中试典型操作数据

1. SCU的产量	0.9吨/时
2. 原料尿素规格	NFDC盘式造粒法颗粒产品 (- 8 + 10目)
3. 包硫转鼓	(1) 融熔温度 154℃ 供料量 145公斤/时 (2) 转速 13rpm (3) 喷嘴 4个, 68公斤/公分 ² 压力
4. 总的包裹量	20.5% (其中 S16%, 封闭剂2.0%)

(2) 以煤为原料制合成氨的生产性试验——为了适应今后天然气短缺, 制造合成氨原料有转向资源丰富的煤的趋势。国家肥料发展中心在1976年提出建日产 135 吨氨的生产性试验装置的规划, 目前已签订合同, 投资2560万美元, 预计1980年2月投产, 试验工作预计三年, 以便对各种美国煤种进行试验评价。该试验采用美国德士古公司的加压粉煤气化技术, 配以相应的净化装置然后将净化合成气并入原有的天然气制合成氨流程中去。试验的工艺流程示意图如图 8 所示:

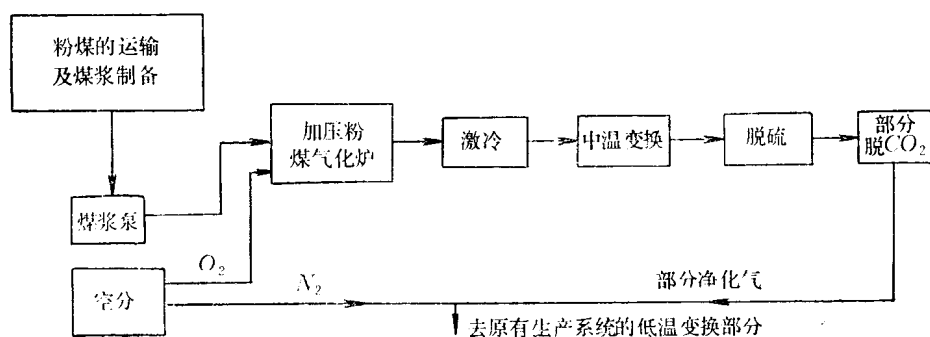


图 8 加压粉煤气化制合成氨原料气流程示意

试验用依利诺斯(Illinois) 6号烟煤(热值14000Btu/磅)(7762千卡/公斤)含S1.5~3%、粉煤粒度要求全部通过40目。煤浆含水45%, 煤55%, 予热至330°F(165℃), 气化压力为490psig(34.5公斤/公分²), 气化温度定2400°F(1315℃), 设计的气化炉外径8英尺(2.44米), 内径为7英尺(2.14米)。气化炉与德士古油气化炉相同, 只是改了喷嘴, 同时加设排灰装置(双料斗Lock hopper)。据介绍德士古公司在加利福尼亚州有规模为1吨煤/时的中试装置, 在西德已建成与NFDC现在基建相同规模的气化炉。设计的每吨合成氨能量消耗为44×10⁶Btu(11×10⁶千卡)。中变采用钴-钼耐硫中温变换催化剂, 有机硫COS的水解采用托普索催化剂, 同时采用低温甲醇法脱硫脱碳。再生尾气中H₂S采用A. D. A. (蒽醌二磺酸钠)法直接回收。

对经济方面的分析结果表明: 如果天然气价格调整为3美元/1000英尺³, 而煤价仍为25美元/吨则合成氨的生产成本几乎相等(约150美元/吨氨)。NFDC开发加压煤气化制取合成氨试验的主要目的是肯定这种生产方法在美国的经济意义, 以便为今后合成氨用煤为原料转向时提供实际的操作数据。因为在美国预计10年后天然气的产量短缺将威胁合成氨的生产而

煤的储量却十分丰富,所以 NFDC 将这项生产性试验列为该研究中心第一号研究规划来对待(关于试验规划的详细情况见后面专题报告)。

(3) 提高氮肥利用率的研究——目前美国的化肥研究机构与一些大学很重视提高氮肥利用率的研究。研制缓效氮肥(如上述包硫尿素,还有NFDC长期试验探索的草酰胺等)是一个方面。美国道化学公司长期来试验的硝化抑制剂(即氮肥增效剂)2-氯-6-(三氯甲基)吡啶—在1975年经注册正式生产一种叫“N-Serve”的商品,现主要用在玉米、小麦、高粱、棉花等四种作物上。另外 NFDC、IFDC 与加州大学土壤肥料系都在开展有关氮肥在土壤中损失机理的研究工作。IFDC 针对热带地区作物的施用氮肥情况初步提出氮损失是氮肥利用率低的主要原因。NFDC结合环保问题用 ^{15}N 示踪原子研究氮在土壤中的损失机理。加州大学土壤肥料系认为严格农田排灌管理也可以达到减少氮肥损失的目的,当土壤中含水量为饱和量的80%时,氮肥的硝化强度很小。

(二) 磷 肥

1. 生产技术方面

这次参观的工厂非常少,有的未能仔细参观,有的仅是座谈,因此了解情况不多也不一定具代表性。

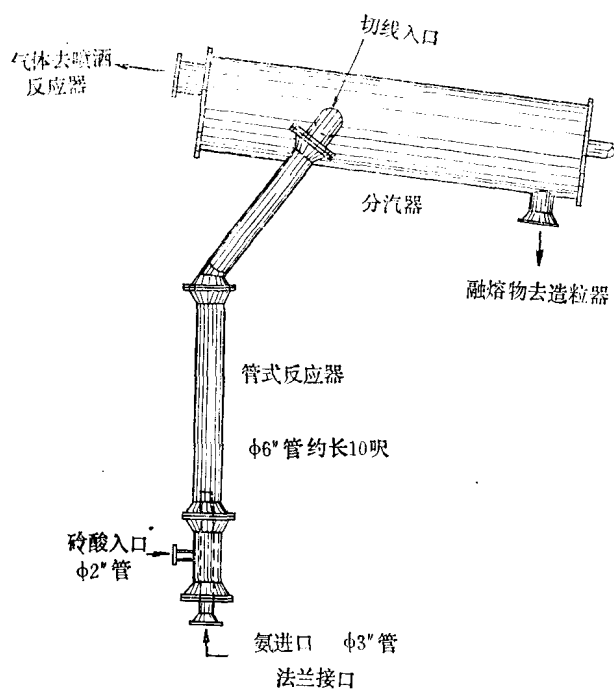
(1) 湿法磷酸的生产——美国目前单一肥料如普通过磷酸钙产量在磷肥中的比率日益减少而高浓度复肥的生产不断发展。生产氮磷复肥的基本物料除合成氨外就是湿法磷酸。在美国湿法磷酸的生产能力已近930万吨(以 P_2O_5 计)。现在美国磷肥工厂使用的磷矿大部分来自佛罗里达州的品位较高的精选磷矿其中 P_2O_5 含量在32%以上,杂质<倍半氧化物> R_2O_3 2%左右, MgO ~0.3%左右。但Geismar厂将精选矿在788℃下燃烧除去矿中含有的0.27%有机质,每吨矿要消耗天然气184米³,生产成本提高,据介绍这是为了制造清液肥料的需要。矿粉一般磨得很细如Freeport厂为100%通过200目,Allied厂为95%通过325目,只有Occidental厂直接用细颗粒矿。在矿粉加工方面Freeport厂已有一套湿磨装置(还有一套下半年建成),省掉干燥、除尘设备,而增添一只大的矿浆槽。矿浆含水30%,含水量由密度计测得,精度为1%,加矿量用电磁流量计测定。据说改湿磨后每年可节约天然气2,550万米³。几家工厂都无关于加酸加矿的自动调节装置。

几家工厂都是二水物流程。Freeport厂和Geismar厂都用普莱昂(Prayon)多格方槽。Freeport厂有两系列,每系列能力为1250吨 P_2O_5 /天(37.5万吨 P_2O_5 /年)每格有一双层透平浆叶的搅拌浆,材质是Nastelloy合金外包丁基橡胶。Occidental厂(规模为3.7万吨 P_2O_5 /年)用自己设计的方槽,尺寸为6.1米×18.3米高2.4米。原来分8格,后因结垢严重,将隔板去掉。槽用混凝土筑成,据介绍无衬里,靠结垢来防腐,已经用了15年。槽内有8只搅拌浆,材料为316不锈钢,不衬胶,可用2~3年。料浆冷却前面二个厂用真空冷却而Occidental厂用空气鼓泡冷却。过滤机前面二个厂都用波特-普莱昂过滤机。Freeport厂用的过滤机,其过滤面积为139M²(1500ft²),每一系列配备一台过滤机。Occidental厂用2只单盘过滤机,每只面积为4.9M×4.9M,由电子计算机作程序控制,据介绍效果不好, P_2O_5 损失大,回收率仅93%而其余二厂回收率约95%,磷肥生产中排出的石膏在加利福尼亚州作改良土壤用,在其它地区未加利用。Freeport厂有2个石膏堆,每堆面积为770亩(128英亩),堆高16.8米(55英尺),旁建水池,水可以循环使用。酸贮槽有的装2个搅拌浆,据说至今8年

不用清洗。有的装一耙子 (Rake) 来刮垢, 但据说最后还需用加压水 ($13\sim 20\text{kg}/\text{cm}^2$) 来冲洗。

经过滤取得的酸浓度一般为 $30\%\text{P}_2\text{O}_5$, 个别低的仅 26% , 一般都要浓缩到 $52\sim 54\%\text{P}_2\text{O}_5$ 。二家厂用 Swenson 蒸发器, Freeport 厂用 8 台石墨热交换器。Geismar 厂还需从 54% 浓缩到 73% 做成多磷酸, 用的是浸没燃烧法, 但有污染, 故新建一套 Swenson 蒸发器来取代。

(2) 磷酸铵类肥料的生产——在美国磷酸铵类肥料的产品有二大类即磷酸一铵 $\langle 11-48-0; 11-55-0; 13-52-0 \rangle$ 及磷酸二铵 $\langle 16-48-0; 18-46-0 \rangle$ 而产品的 80% 是磷酸二铵且以 $\langle 18-46-0 \rangle$ 产品为主。在磷酸与氨的中和方面, 中小型工厂已采用了 NFDC 开发的管式反应器。管式反应器的主要优点在于可利用中和反应热蒸发水份, 因此可省去造粒成品的干燥达到简化流程, 减少设备和节约能量。NFDC 的造粒示范工厂采用的管式反应器尺寸为: 管径 6 英寸 (15 公分) 高 20 英尺 (6.1 米), 操作温度为 $400\sim 450^\circ\text{F}$ ($204^\circ\sim 232^\circ\text{C}$), 反应后的



泡沫状融熔物经分汽器脱除蒸汽及未反应氨气后进入造粒系统。图 9 是管式反应器的安装示意图。

这种规格的管式反应器的生产能力为 16 吨/时。NFDC 还利用管式反应器串联双轴造粒机的流程生产尿素-磷酸。NFDC 另外开发的十字形管式反应器可以增加一股反应物料例如硫酸, 一般这种反应器主要用于制造 N、P、K 的复合肥料。(关于管式反应器的详细情况见后专题材料)。

我们参观的几个大厂都采用传统的氨化造粒流程。 $41\sim 42\%$ 的 H_3PO_4 和 NH_3 在予中和槽中进行中和, 做磷酸二铵时中和度为 $1.45\sim 1.50$ 。废气中 NH_3 的含量应该很低, 但还是没有洗涤系统。Occidenta

厂用 H_3PO_4 在文丘里器和填料塔分两段洗涤。中和料浆送入造粒机继续通氨中和并造粒。造粒机主要是转鼓和双轴造粒机二种。Agrico 厂大的转鼓造粒机的生产能力为 100 吨/时, 尺寸未问清。小的转鼓能力为 $40\sim 50$ 吨/时, 直径为 3.35 米 (11 英尺), 长 7.3 米 (24 英尺), 转速为 8.3rpm, 转鼓内衬 1 公分多厚的橡胶, 此橡胶可耐 120°C (250°F) 温度, 有 10 根固定条将其固定在转鼓上, 条与条之间间隔为 1 米。用 3 个喷嘴来分布料浆, 通氨管长 3.6 米 (12 英尺), 每隔 5 公分 (2 英寸) 开一孔, 孔的直径为 6.4 毫米 ($\frac{1}{4}$ 英寸)。氨在转鼓中的吸收效率没有数据。尾气经旋风除尘器后再用稀磷酸来洗涤, 物料全部回收予中和槽。Agrico 厂还有 2 台双轴造粒机, 尺寸为 $1.8\text{米}\times 3.0\sim 3.7\text{米}$ ($6\text{英尺}\times 10\sim 12\text{英尺}$) 每台能力为 $20\sim 25$ 吨/时, 返料倍数和转鼓一样, 在生产磷酸二铵时为 5 倍。据说双轴造粒机产生的粉尘少, 尾气可以不经除尘直接用稀磷酸洗涤。在 Occidental 厂的双轴造粒机中用装在底部的块状分布器 (Block

2. 科研动向方面

NFDC在1977年已建成一实验室, 开始进行磷矿富集方法的研究以寻求用最小能量富集低品位磷矿。

```

graph LR
    A[矿粉] --> B[予混器]
    B --> C[反应器]
    D[93% H2SO4] --> C
    C --> E[连续带式过滤机]
    E --> F[滤液槽] -- 33% P2O5
    E --> G[滤液槽] -- 28% P2O5
    E --> H[滤液槽] -- 15% P2O5
    E --> I[滤液槽] -- 5% P2O5
    E --> J[滤饼]
    K[洗涤水] --> E
    J --> B
  
```

据介绍如需 52~54% P_2O_5 的磷酸,蒸发设备投资可降低 25~30%,反应器系碳钢外壳内衬天然橡胶并砌石墨砧,器内无档板。该反应器直径(内) 3 英尺(0.9 米)高 8 英尺(2.78 米),搅拌浆转速为 12~15rpm 搅拌浆系锚式。