

# 技术创新和循环经济

## ——我国磷化工可持续发展的必由之路

贡长生

(武汉工程大学化工与制药学院, 湖北 武汉 430073)

**摘要:**在概述我国磷化工取得巨大成就的同时,分析了磷化工发展的潜在挑战:资源形势不容乐观,环保问题比较突出,磷化工发展的关键技术受到制约,国内外市场竞争日趋激烈。为应对这些挑战,我国磷化工产业应加强技术创新,突破制约磷化工发展的技术“瓶颈”;大力发展循环经济,积极构建生态磷化工,促进磷化工健康快速可持续发展。

**关键词:**磷化工;技术创新;循环经济;可持续发展

中图分类号:TQ126.31

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2008)03-0006-07

### Technical innovation and circular economy: An inevitable course for sustainable development of phoschemical industry in China

GONG Chang-sheng

(School of Chemical Engineering & Pharmacy, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China)

**Abstract:** The great achievement in China's phoschemical industry is introduced briefly in this paper. At the same time the potential challenges such as insufficient resources, environmental pollution, key technologies and market competitions, etc., are pointed out. To cope with those challenges, China must strengthen technical innovation in order to solve key technologies to break the restriction in development of the phoschemical industry, and develop circular economic mode and construct ecologic phoschemical industry in order to accelerate sustainable development of it.

**Key words:** phoschemical industry; technical innovation; circular economy; sustainable development

我国磷化学工业经过多年的建设和发展,特别是经过“九五”、“十五”时期的快速发展,产业布局趋于合理,产品结构特色鲜明,已形成以磷酸盐为主体、品种比较齐全、能满足国民经济发展需要的磷化工体系,使我国成为世界上磷化工生产大国。例如,2005年我国磷肥产量1 125万t( $P_2O_5$ ),已超过美国,居世界第1位。我国黄磷的产能和产量占世界的75%以上;磷酸、三聚磷酸钠和饲料磷酸盐等产量均居世界第1。磷化工发展的内涵已从以磷肥和黄磷为主的初级磷矿加工发展成为以黄磷深加工和磷酸精细加工为主的精细化工产业,技术创新更如群星璀璨,产品的精细化和专用化更加丰富。

进入21世纪以来,由于经济全球一体化进程的加快,以及资源、能源和环境问题的影响,世界磷化工发展格局正发生深刻的变化,我国磷化工既迎来良好的发展机遇,又将面对严峻的挑战。如何抢抓机遇,迎接挑战,加快发展我国的磷化学工业,用什么样的模式来促进我国磷化学工业的可持续发展,

以建设经济发展、资源节约和环境友好型的磷化工产业,这是我国磷化工战线上的广大同仁共同关注的问题。

## 1 磷化工产业发展面临的挑战

### 1.1 资源形势不容乐观

磷矿资源是发展磷化工的基础。据美国地质局调查统计,目前全世界磷矿资源储量约为500亿t,主要分布在非洲、北美、亚洲、中东、南美等60多个国家和地区,其中80%以上集中分布在摩洛哥、美国、南非、中国和俄罗斯,见表1<sup>[1]</sup>。目前全世界有28个国家生产磷矿,2005年世界磷矿产量为1.521亿t,主要生产国家有美国、中国、摩洛哥和俄罗斯,4个国家产量之和约占世界磷矿总产量的70%。

磷矿资源是一种不可再生的宝贵资源。截至2002年底,全国磷矿的保有资源储量为167.86亿t,其中基础储量40.54亿t,资源量127.32亿t。也就是说,在技术经济上可以利用、真正具有经济价值的

表1 世界磷矿储量和资源量统计 百万 t

国家和地区	经济储量	资源量
美国	1300	5200
俄罗斯	1300	1300
摩洛哥/西撒哈拉	7000	22000
中国	6600	13000
约旦	600	700
突尼斯	267	533
多哥	40	70
南非	2500	2500
塞内加尔	160	160
其他国家	725	3725

磷矿“基础储量”只有 40.54 亿 t, 占总储量的 24%。而基础储量中的“可采储量”又只有 21.11 亿 t, 仅占基础储量的 52%。已探明的磷矿资源主要分布在云南、贵州、湖北、湖南、四川 5 省(见表 2), 而北方和东部地区可供利用的资源储量较少, 大部分地区所需磷矿均依赖云南、贵州、湖北 3 省供应。磷矿资源开发利用条件较好的云、贵地区, 又相对受到外部铁路运输条件的制约。近年来我国磷化工行业(尤其是磷肥)的快速发展也使得磷矿的供应形势日趋紧张, 磷矿价格持续上涨。

表2 我国主要地区磷矿资源储量 亿 t

地区	储量	基础储量	资源量	查明资源储量
云南	4.23	11.41	27.60	39.01
贵州	5.06	7.02	19.75	26.95
湖北	6.45	9.16	16.67	25.82
四川	1.33	2.89	11.16	14.05
湖南	0.84	2.65	17.68	20.32
全国	21.11	40.54	127.32	167.86

我国磷矿资源储量虽丰而不富, 贫矿居多, 富矿较少, 全国磷矿石  $P_2O_5$  质量分数大于 30% 的富矿只有 11.08 亿 t, 其中云南占 35.86%, 贵州 45.52%, 湖北 9.87%, 四川 6.82%, 湖南 1.91%。加之采富弃贫、乱采滥挖, 造成人为贫矿化。2002 年国土资源部已将磷矿列为 2010 年后不能满足国民经济发展需求的 20 个矿种之一。

## 1.2 环境保护问题突出

在磷化工生产过程中废弃物排放量较大, 存在

着许多环境保护问题。例如, 黄磷生产中所产生的磷渣、尾气和废水, 若不综合利用, 就会造成环境的污染。目前国内黄磷生产企业有 100 多家, 总产能达到 180 万 t/a。每生产 1 t 黄磷排放的磷渣土 10 t 左右, 尾气 2 800 ~ 3 000  $m^3$ , 目前每年新增的磷渣量达 800 万 t 左右, 而新增的堆存量在百万吨以上。每年向大气排放的尾气高达 12 亿  $m^3$ , 排放的二氧化硫达 12 000 t, 氟化物 1 000 t, 元素磷 120 t, 给环境带来了较大危害。

磷石膏是湿法(硫酸法)生产磷酸时不可避免的副产物, 每生产 1 t  $H_3PO_4$  (以  $P_2O_5$  计) 就会产生 4.5 ~ 5.0 t 磷石膏。目前全世界每年产生的磷石膏达 2.8 亿 t 以上。我国湿法磷酸的生产能力近 1 000 万 t/a, 每年产生的磷石膏排放量多达 3 500 万 t。而大部分企业采用堆存的办法处理, 也对生态环境造成污染。

## 1.3 制约磷化工发展的技术瓶颈

高新技术是核心竞争力。要加快我国磷化工产业的发展, 必须突破制约磷化工发展的关键技术, 特别是中低品位磷矿的加工利用技术和湿法磷酸的净化技术。

中低品位磷矿是我国磷矿资源的主要特点。我国磷矿资源储量 167.86 亿 t, 虽居世界第 2 位, 但是丰而不富。全国磷矿  $P_2O_5$  质量分数大于 30% 的富矿只占 6.6%, 而 90% 以上的磷矿为中低品位磷矿, 搞好中低品位磷矿的合理开发和综合利用是关系到我国磷化学工业可持续发展的重大问题。

湿法磷酸净化技术是各国磷酸工业面临的重大课题, 湿法磷酸只有通过净化处理, 才能用于生产各种工业磷酸盐和精细磷酸盐。目前, 只有少数几个国家采用溶剂萃取精制技术进行湿法磷酸的工业净化。近年来, 世界磷酸盐行业的发展趋势正由热法工艺向湿法技术的转变。世界各国都在积极进行湿法磷酸净化技术的研究开发, 以降低磷酸盐的生产成本, 使净化的湿法磷酸逐步取代热法磷酸。随着我国磷肥工业的快速发展, 磷肥供过于求的问题日渐凸现, 解决湿法磷酸的出路是“肥化结合”。我国磷酸盐工业的发展需要向湿法磷酸工艺转移, 加强湿法磷酸净化技术的研究开发, 这是促进我国磷酸工业由热法路线向湿法工艺转变的必然选择。

## 1.4 国内外磷化工产品市场竞争日趋激烈

近年来, 国外一些大公司大企业进行兼并重组、产业结构和布局的调整, 陆续将一些初级和中间产品的生产转向包括我国在内的发展中国家和地区,

专心致力于发展高科技、高附加值的精细磷化工产品,以扩大产品的应用面,增强核心技术的竞争力和垄断性。最典型的例证就是罗地亚(Rhodia)公司和 Albright & Wilson 公司的兼并重组,使 Rhodia 公司成为全球生产精细磷化学品的领导者和“领头羊”。同时,罗地亚、巴斯夫(BASF)、孟山都(Monsanto)等国际知名大公司纷纷涌向我国市场,在国内合资经营或开办企业,这将会对我国磷化工产业产生较大的冲击。

同时,近年来磷肥产能增长过快,磷化工产品市场的无序竞争,往往造成两败俱伤。因此,必须大力调整和优化产业结构,加大精细磷化工的科技创新和开发力度,以提高企业的核心竞争力。

## 2 技术创新是磷化工可持续发展的不竭动力

加强技术创新,搞好科技攻关,突破制约磷化工发展的关键技术,将大力推进磷化工行业的科技进步。

### 2.1 由中低品位磷矿制取工业磷酸技术

利用中低品位磷矿制取工业磷酸的技术备受关注。目前世界磷矿资源正在逐步贫化,尤其是我国磷矿资源绝大部分为中低品位磷矿,研究中低品位磷矿制酸技术,搞好中低品位磷矿的加工利用,是关系磷化工产业可持续发展的重大问题,具有重要的理论意义和实用价值。

#### 2.1.1 窑法磷酸技术

窑法磷酸(KPA)技术是美国西方石油研究公司(ORC)在 20 世纪 80 年代开发的一种制备工业磷酸的新工艺<sup>[2]</sup>,其原理是基于氧化反应和还原反应的结合,将磷的还原和氧化在同一回转窑内完成。1978—1982 年西方石油研究公司在威斯康新进行了中试试验。由于技术和经济的原因,尤其是反应工程技术问题没有解决好,未能实现产业化。

由于 KPA 能充分利用中低品位磷矿和一般的生产设备来生产工业磷酸,引起了世界各国的广泛关注。我国科学工作者在跟踪研究的基础上,提出了复合球团的包裹模型,开发出新型的包裹剂和双层包裹技术,解决了制约窑法磷酸工业化的关键技术难题<sup>[3]</sup>,而且开发出 2 种窑法磷酸技术新工艺:以南京化学工业(集团)公司研究院江善襄为代表的隧道窑窑法磷酸技术,以长沙矿冶研究院侯拥和为代表的 CDK 回转窑窑法磷酸技术,两者各有特点,各有创新。长沙矿冶研究院与湖北保康县合作建设了一套 1 万 t/a CDK 窑法磷酸示范装置;湖北三新磷

酸有限公司利用隧道窑法磷酸技术在宜昌猇亭开发区也建有一套试验装置,目前正在建设一套 3 万 t/a 窑法制酸的生产线。两者均在完善生产工艺,解决工程化中的技术难题,以期尽快实现工业化。

#### 2.1.2 盐酸法技术

盐酸法分解磷矿制取磷酸的最大特点是对磷矿的适应性强。以色列矿业公司开发出盐酸分解磷矿、有机溶剂萃取磷酸工艺(简称 IMI 法),但该工艺流程长,存在氯化钙的利用等问题。

宜昌市仁和矿业有限责任公司利用原湖北省化学研究所相关技术,并经过大量的研究,开发出盐酸分解磷矿制取工业磷酸的新工艺:以盐酸分解磷矿石,制备出氯磷酸钙晶体,进而打浆并以有机溶剂萃取,制备工业级磷酸;氯化钙与硅渣经水热焙烧,回收 HCl 返回主流程,副产硅酸钙(硅肥);萃余水相也返回主流程,形成盐酸母液封闭循环。该工艺主要特点是:①在盐酸分解磷矿过程中,控制工艺条件,析出氯磷酸钙中间体,然后由氯磷酸钙分解制备磷酸;②可以充分利用中低品位磷矿,对磷矿石的适应性强;③采用有机溶剂萃取,可以达到工业级磷酸的质量要求;④利用废弃物硅渣生产硅肥,实现资源的综合利用。

目前正在进一步扩大试验,改进和完善生产工艺,解决重点工程技术问题。

#### 2.1.3 新型湿法技术

传统的硫酸二水法生产磷酸,需要  $w(\text{P}_2\text{O}_5) \geq 30\%$  的高品位富矿。利用现代科学和工程技术,由中低品位磷矿直接制取工业磷酸,属于新型湿法技术,目前国外已投入大量人力、物力进行研究。例如,美国磷酸盐工程和建设公司(PECO)、印度 DMCC 化学公司等积极研究利用低品位磷矿生产磷酸的新流程,但仍处于实验阶段,关键技术没有公开。

国内四川大学在利用中低品位磷矿生产高质量磷酸方面进行了大量的实验研究,采用磷酸分解磷矿逐级浸提流程,分级陶洗矿粒和杂质,然后磷酸钙盐清液与硫酸反应,制得比较洁净的磷酸和磷石膏<sup>[4]</sup>。为了有效利用中低品位磷矿制取工业磷酸,笔者课题组应用绿色化学的基本原理对新型湿法技术进行了必要的探索<sup>[5]</sup>。

## 2.2 湿法磷酸净化技术

湿法磷酸的净化是湿法磷酸工艺逐步取代热法磷酸的关键和前提。湿法磷酸净化技术虽有化学沉淀法、溶剂萃取法、溶剂沉淀法、结晶法、浓缩法、离

子交换法、电渗析法等多种方法,但从国内外研究开发和应用的情况看,溶剂萃取法是目前工业上用于制备净化湿法磷酸的主要方法,而且为几个大公司所掌握,情况见表3<sup>[6]</sup>。

表3 全球净化湿法磷酸的主要生产公司及其生产能力

公司	产能/万 t·a <sup>-1</sup>
Emaphos(摩洛哥)	24
Haifa Chemicals Ltd.(以色列)	9
Innophos(墨西哥/美国)	31.5
PCS Phosphates(美国)	25
Prayon SA(比利时)	20
Rotem Amfert Negev(以色列)	18
贵州宏福化工股份有限公司(中国)	10

目前湿法磷酸净化技术的发展呈现如下特点<sup>[7-8]</sup>:①2种和2种以上的净化方法联合应用;②利用现代科学技术开发高效净化装置和分离设备;③已工业化的湿法磷酸净化工艺集中在溶剂萃取法和溶剂沉淀法,以溶剂萃取法为主;④湿法磷酸净化流程有多种,原则是分级净化、分级利用。因为湿法磷酸的净化程度取决于磷酸的最终应用,大多采取“肥盐化一体化”流程,做到不同净化等级的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>分类使用,以降低湿法磷酸的净化成本。如图1<sup>[6]</sup>所示。

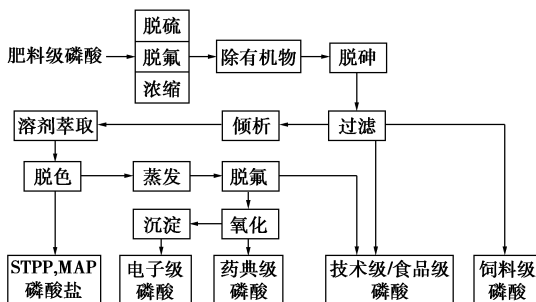


图1 湿法磷酸净化流程示意图

湿法磷酸净化技术的关键是提高磷的回收率、节能降耗和简化工艺过程操作。国内对于湿法磷酸净化技术的研究开发,主要有2种方式:一是引进国外湿法磷酸净化技术,生产净化的湿法磷酸,用于生产精细磷酸盐和其他用途,以缩短研究开发周期。例如,贵州宏福化工股份公司引进以色列 Bateman 公司 10 万 t/a(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)湿法磷酸净化技术,一次开车成功,取得了良好的经济效益。所以应鼓励企业引进技术,支持高等院校和科研机构帮助消化技术。二是自主开发,主要采用化学沉淀法,伴随生产目的

产品的发展模式进行,而不是先制备纯净的湿法磷酸。国内一些企业采用边净化边生产的方法用湿法磷酸生产三聚磷酸钠,积累不少成功的经验。应该说,这种以湿法磷酸生产工业磷酸盐的边净化边生产目的产物的精制方法,比起理论意义上的湿法磷酸精制技术而言稍逊一些,但是该方法投资省、见效快,也不失为一种有效的精制方法。

### 2.3 精细磷化工绿色合成技术

绿色技术是当今世界产业发展的方向,是对人体健康无害、对社会安全、对环境友好的技术。由于资源、能源和环境问题的影响,当今世界磷化工的发展格局和产业结构正发生深刻的变革,呈现出产业的集约化和高端化、产品的精细化和专用化、合成技术的现代化和绿色化,特别是含磷药物和中间体的绿色合成技术<sup>[9]</sup>,由黄磷直接合成亚磷酸和磷酸酯的绿色催化技术<sup>[10-11]</sup>,磷系电子化学品的制备技术;高效低毒有机磷农药的研制;新型磷系阻燃剂的合成技术<sup>[12]</sup>等。应加强研究开发,突破关键技术,大力发展绿色合成技术,促进我国高新精细磷化工产业发展的“绿色化”。

## 3 循环经济是磷化工可持续发展的重要模式

### 3.1 循环经济是磷化工可持续发展的优选模式

循环经济是国际社会推进可持续发展战略的一种有效模式<sup>[13]</sup>。循环经济以“资源—产品—再生资源”的持续循环模式替代传统经济的线性增长模式,做到生产和消费“污染排放最小化、废物再资源化和环境无害化”,最大限度地有效利用资源和保护环境,以最小的成本获得最大的经济效益、社会效益和生态效益。因此,循环经济能够从根本上解决我国在发展过程中遇到的经济增长与资源环境之间的矛盾,促进社会经济与资源环境的协调发展。

由循环经济概念衍生出的3条基本原则:减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再循环(Recycle)”,即“3R”原则是循环经济最重要的实际操作原则。“减量化”原则属于输入端方法,旨在减少进入生产和消费过程的物质量,从源头上减少废弃物和节约资源;“再利用”原则属于过程性方法,目的是提高产品和资源的利用率;“再循环”原则属于输出端方法,要求产品完成使用功能后能够重新变成再生资源,以减少对环境的污染。

磷化工是国民经济发展的基础工业,从肥料磷酸盐、工业磷酸盐到精细磷化学品和专用磷化学品,品种繁多,功能性强,应用面广;同时也是资源

密集型的高能耗产业,废水、废气、废渣排放量大,原料利用率不高,容易造成环境污染,这就决定了磷化工行业不仅最有条件、最具潜力,而且也最需要发展循环经济,构建生态磷化工。

### 3.2 以循环经济的理念构建生态磷化工

循环经济是生态工业经济内涵的集中表达,生态工业是仿照自然界生态过程物质循环的方式来规划工业生产系统的一种工业模式。生态磷化工的本质是运用工业生态学的基本原理,以生态经济系统的优化运行为目标,通过磷化工企业和相关产业的重组和耦合,使不同企业之间形成共享资源和互换副产物,达到产业共生组合,拓展产业链,主动适应市场需求和时代发展潮流;同时,使上游生产过程产生的废弃物成为下游生产过程的原材料,实现废物综合利用,达到产业之间资源的最优化配置,实现产品清洁生产和资源可持续利用,摒弃传统经济的“高开发、低利用、高排放”的发展模式,通过系统内部的物质流转换和能量流循环,合理有效利用资源和能源,实现低消耗、低(或无)污染、工业发展与生态环境协调的可持续发展目标。

在构建生态磷化工时,应依托当地资源、技术经济和物流的实际情况,突出特色,坚持高起点、高技术、高效益的发展战略,以工业生态学的原理为指导,按照生态经济系统科学规划,以“合理开发和有效利用磷矿资源,适度发展高浓度磷复肥,大力发展精细磷化工”为主线<sup>[14]</sup>,搞好相关产业的交叉耦合和纵向多元化的发展,实现纵向多品种的耦合共生和纵向产业链的拓展延伸。例如,磷化工与煤化工的耦合,煤资源经清洁气化,生产优质合成气,进而转化成合成氨和碳一化学品,氨和磷酸反应转化成肥料级磷铵和工业级磷酸盐。磷化工与氯碱工业的耦合,生产三氯化磷和三氯氧磷等,进而转化成各种高附加值的精细有机磷化工产品;同时,用烧碱替代纯碱生产磷酸盐,也可减少温室气体二氧化碳的排放。磷化工和石油化工的耦合,石油化工为磷化工提供原料或中间体,磷化工为合成材料工业提供各种高技术含量的工业助剂。磷化工和建材工业的耦合可以利用磷渣和磷石膏生产各种建筑材料,实现废弃物的综合利用。

在产业的交叉耦合中,将不断催生新的工艺技术创新,同时也伴随着资源的高效利用和产业价值链的提升,构筑综合的整体竞争优势,实现产业和行业的不断更新和进步。这是发展循环经济,构建生态磷化工的重要途径。

## 4 加快我国磷化工的可持续发展

### 4.1 适度发展高浓度磷复肥

近10年来,世界化肥尤其是磷复肥的发展趋势有2个显著的特点:其一是发展的重点由发达地区向发展中国家转移,欧美、日本等发达国家的磷复肥消费趋于稳定并有产量逐渐降低的趋势。例如,美国磷酸盐肥料消费量近期维持在1100万t/a左右。而对于发展中国家,由于人口的增加,经济的迅速发展,磷复肥的生产和消费将不断增加。例如,中国、印度和巴西就属于这种情况。其二是磷肥消费和生产品种由低浓度向高浓度发展,由单一肥料向复合肥料发展。近10年来,世界磷铵的消费量增加了60%。磷铵作为主要的高浓度磷肥产品,既可直接施用,又可作为生产高浓度复合肥的主要原料,具有广阔的消费市场。

世界对磷肥的需求量总体来说呈增长趋势,国际肥料工业协会(IFA)预测,到2010年全球磷肥需求量将达到4150万t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。IFA统计表明,2004年全球磷酸盐肥料消费量约3560万t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,比2003年增长3.7%,其中南美洲增长1.6%,而亚洲地区增长6.5%,主要是中国和印度等国需求快速增长。

2006年我国磷肥产量1210万t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,居世界第1位<sup>[15]</sup>。同比增长7.6%,其中高浓度磷肥产量占67.8%。我国磷肥的自给率达到99.8%,国产磷肥国内市场占有率达到92.1%(见表4)。2010年国内磷肥的需求量将达到1500万t左右,这说明我国磷肥产业还有一定的发展空间。因此,适度发展高浓度磷复肥,重点发展磷酸一铵(MAP)和磷酸二铵(DAP)。同时还应指出,近年来一些地方投资过热,

表4 2000—2006年我国磷肥生产和消费概况

年份	磷肥表观消费量/万t	国产磷肥/万t	净进口量/万t	出口量/万t	磷肥自给率/%	国产磷肥国内市场占有率/%	高浓度磷肥所占比例/%
2000	831.23	663.44	195.69	27.90	79.8	76.5	35.4
2001	888.67	739.44	186.02	36.79	83.2	79.1	40.1
2002	1025.70	805.38	271.46	51.14	78.5	73.5	45.7
2003	997.51	908.48	156.43	67.40	91.1	84.4	49.4
2004	1079.12	1017.45	140.52	78.85	94.3	87.0	54.0
2005	1167.41	1125.00	42.48	77.88	96.4	89.7	60.3
2006	1213.06	1210.48	2.60	93.81	99.8	92.1	67.8

注:①磷肥表观消费量=磷肥资源量(国产产量+进口量)-出口量-库存量;②磷肥自给率=国产磷肥量/表观消费量;③国产磷肥国内市场占有率=(国产磷肥量-出口量)/表观消费量。表中数据为折纯P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。

磷肥工业低水平重复建设现象严重,磷肥产能增长过快,磷肥市场供大于求的形势已初步显现。

在发展高浓度磷复肥时应处理好3个关系:一是高浓度磷肥的长效化,适量添加缓释剂,控制磷素有效释放,以提高磷肥的利用率,减少磷的流失和土壤对磷的固定;二是专用磷复肥的智能化,可适量加入杀虫抗病毒药物,使之具有农药肥效双重作用,或者加入腐植酸类保水物质,使之发挥固沙保土肥效等多重功能,以适应不同土质、不同作物及其不同生长阶段对磷肥的需求,发挥磷肥施用的最大效益;三是多元磷肥的生态化,模拟生态系统,通过化学和微生物解磷作用,实现磷的有效循环和生态平衡。

#### 4.2 大力发展精细磷化工

精细磷化工是一大类高技术含量、高市场需求、高附加值的磷化工产业,主要包括精细磷酸盐和精细有机磷化工两大门类<sup>[16]</sup>。在精细磷化工的发展中应坚持3种导向:

(1)精细磷酸盐的功能化。我国是世界上磷酸盐生产大国,已能生产磷酸盐的绝大部分品种,而且我国磷酸、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和饲料磷酸盐等产量位居世界首位,具有自己的技术优势和较强的竞争实力。今后磷酸盐的发展应在功能化上做工作,功能决定应用,应用拓展市场。立足国际、国内2个市场,大力发展食品磷酸盐(如食品级磷酸、磷酸钠盐、磷酸钙盐和焦磷酸铁盐等)、饲料磷酸盐(如饲料级磷酸氢钙、磷酸二氢钙和脱氟磷酸钙等)、特种磷酸盐(包括合成材料和高技术用的磷酸盐),特别是次亚磷酸盐具有广阔的发展前景。

(2)有机磷化学品的专用化。从组成和结构上看,精细有机磷化学品主要有磷酸酯(包括氯代磷酸酯和硫代磷酸酯)、亚磷酸酯、膦酸酯、■盐等,被广泛地用于医药、农药、阻燃剂、抗氧化剂、表面活性剂、纺织印染助剂、油品添加剂、水处理剂和催化剂等,这是精细磷化工中最具活力和最有发展前途的研究开发领域。有机磷化学品的精细化发展很快,专用化针对性很强,能够适应国内外市场的变化和磷化工发展的潮流。例如,膦酸酯被广泛用作合成材料的阻燃剂;膦酸酯核苷作为抗病毒药物用于抗艾滋病的临床治疗<sup>[17-18]</sup>;而乙烯基膦酸酯被用于高分子材料的工业合成,以改善聚合物的表面性质和特殊性质<sup>[19]</sup>。

(3)磷化工发展的高端化。高新技术是国际国内区域竞争的前沿和焦点,为应对国际磷化工发展的新格局和新挑战,我国磷化工的发展应坚持高端

化。在做大做强基础磷化工的同时,加强科技攻关和技术创新,大力发展高端磷化工产业。例如,超高纯黄磷、电子级磷酸和磷酸盐、磷系新型功能材料、手性磷配体络合物催化剂和药物等,使我国逐步实现由磷化工大国向磷化工强国的转变。

#### 4.3 积极发展再资源化环保型产业

磷石膏、黄磷炉渣和硫酸烧渣等均是磷化工产业不可避免的废弃物,特别是磷石膏一直是我国乃至世界湿法磷酸工业亟待解决的重大问题。“十五”期间,我国高浓度磷复肥产量从2000年的235万t增加到2005年的678万t,年增长率23.6%。与此同时,副产磷石膏也从2000年的1100万t增加到2005年的3300万t。目前国内磷石膏以每年15%的速度增长,累计堆积量近亿吨,而利用率不到10%。搞好这些废弃物的综合利用与再资源化,是发展循环经济,构建资源综合利用型生态磷化工,实现人和自然环境的和谐与协调所必需。国内一些企业和单位利用磷石膏生产建筑材料、造纸填充料、石膏粉体材料和硫酸钾类肥料等,做了大量的工作。特别是山东鲁北化工集团利用磷石膏制取硫酸同时联产水泥,将磷铵、硫酸和水泥3套生产装置有机地组合为一体,形成绿色生态产业链。通过多年的实践,技术已趋成熟,积累了丰富的经验。但是由于该工艺流程长、能耗高、投资大而未能推广<sup>[20]</sup>。应加强技术创新,采取过程强化技术集成,进一步节能降耗,以利推广。

#### 4.4 加强生态工业园区建设

生态工业园是生态工业的重要实践,在构建生态磷化工时,应积极建设生态工业园。生态工业园是近年来国际化工发展的主流,也是我国化学工业发展的新型模式,是继工业园区和高新技术园区的第3代工业园区。它是依据循环经济发展理念、工业生态学基本原理和清洁生产的要求而设计构建的一种区域新型工业发展模式<sup>[21]</sup>,使生产发展、资源利用和环境保护形成良性循环的工业园区建设模式,是一个能最大限度地发挥人的积极性和创造力的高效、稳定、协调和可持续发展的人工复合生态系统。其主要特征是仿照生态系统物质循环的方式以产业空间聚集合理配置生产要素,实现磷化工产业的集约化和可持续发展。其重要意义在于:有利于统筹规划和资源的优化配置,有利于发展循环经济和资源共享,有利于实施清洁生产和“三废”的统一治理,也有利于引进国内外资金和先进技术。生态工业园内模拟生态系统,通过物流或能流传递等方

式把不同企业或工厂连接起来,形成共享资源和互换副产品的产业相互组合,构建以磷化工为龙头的生态工业群,搞好横向多品种的耦合共生和纵向产业链的拓展延伸,大力发展高新精细磷化工,搞好产业的集约化和产品的集群化,达到“低投入、高产、低排放”,实现社会经济和生态环境的协调与和谐发展。

### 参考文献

- [1] New sources: Now or when? [J]. *Fertilizer International*, 2003(393): 40-47.
- [2] Leder F, Park W C, et al. New process for technical-grade phosphoric acid[J]. *Ind Eng Chem Process Des Dev*, 1985, 24(3): 688-697.
- [3] 宁培栋, 殷宪国. 我国窑法磷酸两条技术路线的评估与探讨[J]. *磷肥与复肥*, 2006, 21(1): 30-32.
- [4] 刘代俊, 钟本和, 张允湘. 利用低品位磷矿生产优质磷酸的新工艺开发[J]. *磷肥与复肥*, 2001, 16(3): 9-10.
- [5] 贡长生, 张克立. 绿色化学化工实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] Shifting perspectives[J]. *Fertilizer International*, 2007(417): 31-35.
- [7] Smith P. Fosbrasil: Brazils purified phosacid producer[J]. *Fertilizer International*, 2003(395): 28-33.
- [8] VICHEM offers turnkey solutions[J]. *Fertilizer International*, 2005(405): 37-38.
- [9] 贡长生, 单自兴. 绿色精细化工导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] Peruzzini M. White phosphorus and green chemistry: Towards an co-efficiently catalysed oxidative phosphorylation [J]. *Speciality Chemicals Magazine*, 2003, 23(1): 32-35.
- [11] Ritter S K. Fixing phosphorus[J]. *C&EN*, 2006, 84(22): 26-27.
- [12] Blundell C, Wuestenenk J. New developments in phosphorus flam retardants[J]. *Speciality Chemicals Magazine*, 2005, 25(7): 40-41.
- [13] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2004 中国可持续发展战略报告[R]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [14] 贡长生. 我国精细磷化工的发展思路和技术创新[J]. *现代化工*, 2006, 26(12): 1-7.
- [15] 武雪梅. 2006 年我国磷肥、硫酸行业生产和消费概述[J]. *磷肥与复肥*, 2007, 22(4): 1-5.
- [16] 贡长生. 我国精细磷化工的发展和对策[J]. *现代化工*, 2005, 25(6): 6-13.
- [17] Hwang J T, Choi J R. Novel phosphonate nucleoside as antiviral agents [J]. *Drugs of the Future*, 2004, 29(2): 163-177.
- [18] Shirokova E A, et al. Uncharged AZT and D4T derivatives of phosphonoformic and phosphonoacetic acid as anti-HIV pronucleosides [J]. *J Med Chem*, 2004, 47(14): 3606-3614.
- [19] Woodward G. Design & industrial application of phosphonate polymers based on vinyl phosphonate monomers[J]. *Speciality Chemicals Magazine*, 2007, 27(1): 34-36.
- [20] 张社教. 加快磷石膏资源化步伐 促进磷肥行业可持续发展[J]. *磷肥与复肥*, 2006, 21(6): 12-15.
- [21] 王静康, 鲍颖. 绿色化学科学与工程及生态工业园区建设进展[J]. *现代化工*, 2007, 27(1): 2-6. ■

### 艾默生旗下高准公司在工控网评选中囊括两项大奖

日前艾默生旗下的高准公司(Micro Motion®),在由工控网主办的“中国工控及自动化 2007 年度评选”中,凭借其 F 系列高温型产品以及亚洲流量中心成立分别囊括了“2007 年度创新产品用户奖”(过程仪器类)以及“2007 年度十大新闻奖”两项大奖。

新型 F 系列高温仪表,旨在完善高准高温型科里奥利流量计产品一族。F 系列现提供 F025、F050 以及 F100 型不锈钢或哈氏合金产品,其额定温度均可达 350℃,是一种可达到最佳测量效果的紧凑和自排空型产品。F 系列产品在此次参评的 20 余款产品中脱颖而出,再次佐证了高准公司在技术上的领先性和产品的可靠性。

艾默生亚洲流量中心是艾默生过程管理于 2007 年 8 月宣布的一项位于南京的重要投资,该亚洲流量中心将

会成为一个拥有世界水平的区域制造和配送中心,提供业界领先的流量测量技术,满足市场对流量测量产品不断扩大的需求,并更好地服务于不断扩大的亚太区市场。该亚洲流量中心的建立,不仅提高了艾默生在中国的生产能力,而且进一步强化了艾默生过程管理的客户服务及支持。对于艾默生过程管理而言,中国已成为全球战略的重要根据地。

此次活动是由中国业内知名网站工控网(www.Gongkong.com)举办的第六届年度评选,评选过程包括网上投票,专家审核等过程。艾默生高准此次获得工控网的 2 个奖项,充分体现了艾默生旗下高准公司在科里奥利流量计领域的权威性及用户支持度,以及艾默生品牌在业界的影响力。(罗淑慧)