

# 我国磷化工的发展方向和前景展望

贡长生

(武汉工程大学化工与制药学院, 湖北 武汉 430073)

**摘要:** 简要概述了我国磷化学工业的快速发展态势, 指出了磷化工产业存在的差距。重点论述了我国磷化工产业在“十二五”时期的总体发展思路 and 重点领域: 应坚持“精细化、专用化和高端化”的发展方向, 大力发展功能化的精细磷酸盐品种, 积极发展专用化的有机磷化学品, 加强技术创新和应用研究, 拓展国内和国际 2 个市场, 促进我国磷化工产业又好又快的发展。

**关键词:** 磷化学工业; 发展思路; 重点领域; 精细磷酸盐; 专用有机磷化学品

中图分类号: TQ126.3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2011)09-0004-06

## Development prospect of phosphochemical industry in China

GONG Chang-sheng

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

**Abstract:** The fast development and achievement of phosphochemical industry in China in recent years are briefly described. The existing problems of phosphochemical industry in China and influencing factors of its development are pointed out. In this paper, the development strategy and significant areas for the phosphochemical industry in China in the 12th Five-year Plan are focused on: ① persisting in development of the refinement, specialization and high-end of the phosphochemical industry, ② developing fine phosphates and speciality organophosphorus chemicals, ③ strengthening the technological innovation and related application research, ④ expanding markets at home and abroad to accelerate sustainable development of the phosphochemical industry in China.

**Key words:** phosphochemical industry; development strategy; significant areas; fine phosphates; speciality organophosphorus chemicals

在进入“十二五”发展规划的开局之年, 在经历全球金融危机之后国际经济进入全面复苏的过渡时期, 鉴于世界磷化工发展的新趋势新特点, 机遇和挑战并存。我国磷化工产业应该抢抓机遇, 迎接挑战, 加快发展。那么, 以什么样的发展思路和发展战略促进磷化工又好又快的发展, 如何进一步调整和优化产业结构, 转变发展方式, 做大做优做强磷化工产业? 这是人们普遍关注和值得研究的重要问题。

## 1 我国磷化学工业的发展概况

经过 60 来年的建设和发展, 尤其是经过“十五”和“十一五”时期的快速发展, 我国磷化工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磷化工产业; 基本形成了科研、设计、设备制造、生产、贸易和技术服务等完整配套的工业体系, 产业布局和产品结构的调整更趋合理, 市场竞争力不断增强; 目前以磷酸盐为主体, 无机磷化工和有机磷化工相配套, 品种比较齐全且各具规模, 能满足国民经济发展和外贸出口需要的中国特色磷化工正在不断做大做强<sup>[1]</sup>。

例如, 从 2005 年起, 我国磷酸盐肥料的产量已

连续超过美国(肥料磷酸盐维持在 1 100 万 t/a 左右, 按  $P_2O_5$  折纯计算, 下同), 成为世界上第一磷肥生产大国。尽管受到国际金融危机的影响, 2008 年我国磷肥产量出现了 10 年来的首次下降, 达到 1 285 万 t, 但仍居世界首位。2009 年我国磷肥行业开始走出低谷, 企稳回升, 超过 2007 年的历史最高水平, 如表 1 所示<sup>[2]</sup>。磷肥产品结构继续优化, 科学施肥更趋合理, 磷肥消费量下降, 出口比重不断增加。

表 1 2005—2009 年我国磷肥生产和消费概况(折纯  $P_2O_5$ )

年份	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
磷肥表观消费量/万 t	1167	1213	1142	1151	1254
国产磷肥产量/万 t	1125	1210	1351	1285	1385
高浓度磷肥产量/万 t	678	820	992	948	1061
高浓度磷肥所占 比重/%	60.3	67.8	73.4	73.8	76.6
国产磷肥市场占 有率/%	89.7	92.1	96.0	96.3	96.7
进口量/万 t	120.36	96.41	45.80	15.00	42.00
出口量/万 t	77.88	93.81	254.80	150.00	173.60

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。

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,而且黄磷、磷酸、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和饲料磷酸盐等品种的产能和产量位居世界前列。其中黄磷、磷酸、三聚磷酸钠和饲料磷酸盐等品种的生产能力均在100万t/a以上;而磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、磷酸三钠、六偏磷酸钠、磷酸二氢钾、磷酸二氢钙、工业级磷酸一铵和磷酸二铵、聚磷酸铵、三氯化磷、三氯氧磷、五氧化二磷等的产能均超过10万t/a;生产能力在1万~10万吨级的有磷酸钾、磷酸锌、磷酸二氢锌、磷酸铝、磷酸二氢铝、磷酸三钙、焦磷酸钠、酸式焦磷酸钠、焦磷酸钾、次磷酸钠、亚磷酸、亚磷酸氢钾、氯化磷酸三钠、五硫化二磷、三氯硫磷、五氯化磷和赤磷等。近年来,虽然受国际金融危机的影响,但我国磷酸盐工业仍然得到了较快的发展,主要产品的产能和产量呈现出强劲的增长势头,见表2。2008年我国磷化工行业的总产能超过1400万t(不包括磷肥产业),产品品种100多种,产量超过800万t,实现产值750亿元,利税135亿元,已成为全球磷化工生产大国。

表2 2007—2008年我国磷酸盐工业主要产品的产量

年份	2007年	2008年	同比增长率/%
黄磷	80.0	86.0	7.5
磷酸(商品)	99.6	135.0	35.5
三聚磷酸钠	91.0	92.0	1.1
六偏磷酸钠	22.0	28.0	27.3
聚磷酸铵	6.5	8.5	30.8
饲料级磷酸氢钙	247.6	188.0	-24.1

我国是世界上磷化工贸易大国,具有自己的技术优势和较强的竞争实力。尽管受全球金融危机的冲击,国际磷化工市场疲软,但我国磷酸盐等主要磷化工产品的出口贸易活跃,占据国际磷化工市场的重要地位(见表3)。2009年我国精细磷化工产业出口仍达217.4万t,创汇13.48亿美元。其中出口量最大的为三聚磷酸钠,达到59.15万t,同比增长5.29%;其次是食品级磷酸,出口量48.04万t,同比增长29.34%。此外,三氯化磷、五硫化二磷等产品出口大幅增长。因此,这在一定程度上有利于优化产业结构,促进产品的升级,加快磷化工产业发展方式的转变,对我国磷化工产业的可持续发展具有一定的促进作用。

在我国磷化工取得快速发展的同时,应清醒地看到,与国外发达国家相比,还有很大的差距。尤其

是产品结构不尽合理,基础产品和初级产品多,深加工下游产品少,尤其是高技术含量的精细磷化工产品满足不了国民经济发展的需要;整体技术水平相对较低,技术创新能力有待提高,制约磷化工发展的关键技术还未突破;产学研的有机结合急需增强,应用研究滞后。

表3 2008—2009年来我国主要磷化工产品的出口情况 kt

品名	2009年	2008年	同比增长/%
磷酸	480.52	500.96	-4.08
磷酸一、二钠	12.32	16.12	-23.60
磷酸三钠	22.38	21.57	3.76
三聚磷酸钠	591.45	561.71	5.29
磷酸二钙	350.90	412.34	-14.88
次、亚磷酸盐	27.21	35.69	-23.75
五硫化二磷	1.27	0.54	135.62
三氯化磷	15.35	9.82	56.32

## 2 我国磷化工产业的发展方向

在进入“十二五”新的历史发展时期,我国磷化学工业发展的方向是什么,如何促进磷化工产业又好又快的发展?这是值得认真研究的。目前,我国已成为世界上磷化工生产大国和消费大国,已具备做优、做强的基本条件。在新的历史时期,应进一步拓宽发展思路,以科学发展为主题,优化产业结构,转变发展方式,遵循“稳定基础、加强中间、发展高端”的总体发展思路,坚持“精细化、专用化和高端化”的发展方向<sup>[3]</sup>,就是要大力发展功能化的精细磷酸盐和专用化的精细有机磷化学品,即高技术含量、高市场需求、高附加值的精细磷化工产品,加快我国磷化工产业高端化的发展;就是要着力创新,用创新技术和创新理念引领磷化工产业的发展,积极利用和拓展国内国际2种资源与2个市场,着力打造国内一流、国际知名的优质品牌产品,提高核心竞争力;就是要坚持走新型磷化工发展之路,大力推进循环经济与绿色经济,努力构建资源节约型、技术创新型和环境友好型的磷化工产业。

纵观世界各国磷化工的发展概况,仍然是磷酸盐化工唱主角。2007年全球磷酸的生产能力超过4300万t,2008年全球磷酸产能增加了300万t,达到4600万t。2010年全球磷酸的产能达到4780万t,2014年将达到5550万t。其中2009—2014年全球磷酸产量年增长率预计达到5%。2006—2010年

全球磷酸的产量和贸易量见表 4<sup>[4]</sup>。从目前世界磷酸盐工业市场消费情况看,磷酸盐洗涤助剂和清洁助剂仍然是工业磷酸盐的重要品种,占据工业市场消费的 50% 以上,而食品级磷酸盐等专用磷化学制品大有发展前途,如表 5 所示<sup>[5]</sup>。因此,应积极发展食品磷酸盐(如食品级磷酸、磷酸钠盐、磷酸钙盐、焦磷酸铁盐和复合磷酸盐等),饲料磷酸盐(如饲料级磷酸氢钙、磷酸二氢钙、脱氟磷酸钙和微量元素磷酸盐等),药用磷酸盐,特种磷酸盐(包括高技术用磷酸盐)以及功能材料磷酸盐等,做大、做优做强精细磷酸盐产业。

表 4 2005—2008 年全球磷酸产量和贸易量 Mt

年份	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2010 年
产量	33.8	34.2	36.0	38.7	39.6
贸易量	5.0	4.8	4.7	4.8	4.8

表 5 世界磷酸盐工业市场消费情况 %

项目	洗涤助剂和 清洁助剂	食品和 饮料	农用化 学品	水处 理剂	金属表 面处理	牙膏磨 擦剂	其他
比例	52	14	8	7	5	2	12

在大力发展功能化的精细磷酸盐的同时,应着力发展专用化的精细有机磷化学品,即高技术含量、高市场需求、高附加值的精细有机磷化学品,以满足国民经济建设和高技术发展的需要。专用化的精细有机磷化工的品种很多,涉及的行业和专业领域很广。例如,磷系阻燃剂、磷系抗氧化剂、磷系印染助剂、磷系水处理剂、含磷药物及其中间体、磷系油田化学品、磷系催化剂、磷系萃取剂、磷系表面活性剂、磷系新型功能材料等<sup>[3]</sup>。

### 3 我国磷化工应加强发展的重点领域

磷化学工业是国民经济的重要基础工业,是发展高新技术的重要支撑,关系国计民生。为此,磷化工产业应大力坚持“精细化、专用化和高端化”的发展方向,努力作好为高新技术产业和其他行业的发展配套服务,积极开拓国内国际 2 种资源和 2 个市场,正确处理好“稳定基础、加强中间、发展高端”的发展关系,积极发展功能化的精细磷酸盐和专用化的精细有机磷化学品,强化以下领域的发展和 innovation。

#### 3.1 食品级磷酸及其盐

磷酸及其盐(包括聚磷酸盐)作为食品添加剂在各类食品加工中得到了广泛的应用。目前全世界

食品级磷酸盐的消费量约为 30 万 t。美国使用的食品磷酸盐有 31 种,根据其在食品加工中的功能,美国食品化学药典(FCC)将它们分为 15 类。日本使用的食品磷酸盐有 26 种,在使用的 1 252 种食品添加剂制品中,添加一种或多种磷酸盐的制品为 321 种,占 25.64%。

食品级磷酸及其盐(包括聚磷酸及其盐)的主要品种有:磷酸及其钠盐、钾盐、钙盐、铵盐、铁盐等,主要作为食品品质改良剂和营养强化剂<sup>[6]</sup>。国外从事食品级磷酸盐生产的企业有:荷兰 Thermphos, 美国 Innophos, 以色列 ICL, 比利时 Prayon 和德国 Budenheim 等。

我国目前允许使用的食品级磷酸盐有 10 多个品种:  $H_3PO_4$ ,  $CaHPO_4$ ,  $Ca(H_2PO_4)_2$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $NaH_2PO_4$ ,  $Na_2HPO_4$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Na_5P_3O_{10}$ ,  $(NaPO_3)_n$  和淀粉磷酸酯。2009 年我国食品级磷酸的出口量达到 48.03 万 t(实物量),与 2008 年出口量 37.14 万 t 相比,增长 29.34%。

食品磷酸盐的发展趋势是在确保质量的基础上,大力发展专用化、系列化和复合化。今后应重点发展食品级磷酸、磷酸钙盐和焦磷酸铁盐等。加强聚磷酸盐新品种、尤其是复合磷酸盐品种的研究开发,加强应用研究。

#### 3.2 饲料级磷酸盐

饲料磷酸盐的生产技术与消费水平是反映一个国家农业和畜牧业发展水平的重要标志之一。

目前,世界饲料磷酸盐的生产总能力为 1 100 万 t/a,实际产量约 700 万 t/a。饲料磷酸盐的生产主要集中在欧洲(包括俄罗斯)产量约 260 万 t/a,北美 240 万 t/a,中国 240 万 t/a<sup>[5]</sup>。

近 10 年来,我国饲料磷酸盐产业得到了快速的发展,已成为世界上最大的饲料磷酸盐生产、消费和出口大国。2008 年,我国饲料磷酸盐的生产能力达到 420 万 t,实际产量达到 210 万 t,分别占全世界饲料磷酸盐的产能、产量的 41.7% 和 35.0%。2008 年我国饲料磷酸钙盐出口量达到 41.23 万 t,占当年产量的 19.6%。2008 年我国饲料磷酸盐实现销售收入 62.5 亿元,实现利润 5.5 亿元。

饲料磷酸盐包括磷酸钙盐、钠盐、钾盐、铵盐、镁盐以及锌盐、铁盐、铜盐等,品种达 20 多个。目前生产和应用的主要是磷酸钙盐:磷酸氢钙(DCP)、磷酸二氢钙(MCP)和脱氟磷酸钙(DFP)等。用于平衡饲料的营养,促进家禽家畜的生长发育。今后应在精细化、功能化和专用化等方面加强研究开发,以

适应现代化的畜牧业和养殖业发展的需要。

### 3.3 能源材料磷酸盐

自1997年美国Texas州立大学Goodenough等报道了磷酸亚铁锂( $\text{LiFePO}_4$ ,以下简称磷酸铁锂,简称为LFP)能可逆嵌脱锂离子的特性,可以作为锂离子电池的正极材料,引起了人们极大的兴趣<sup>[7]</sup>。这是由于在复合阴离子( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup>的 $\text{LiFePO}_4$ 结构中,用磷酸根替代氧离子使材料的三维结构发生了变化,不仅给锂离子的迁移创造了更大的三维空间,而且还使锂离子的脱出与嵌入电位保持稳定,使其具有很好的电化学特性和热力学稳定性。理论容量大(170 mAh/g),工作电压适中(3.4 V),电循环性能优良,进行8 000次高倍率充放电循环而不存在安全性问题。原材料来源广泛,生产成本较低,以及优异的环境友好性,成为目前电池界竞相研究开发的热点材料之一,其产业化进程也在如火如荼的发展中<sup>[7-10]</sup>。

$\text{LiFePO}_4$ 正极材料也存在2个明显的缺点:一是电导率低,导致高倍率充放电性能差;二是锂离子迁移速率低。这2个缺点限制了该材料的实际应用。目前主要通过改进材料的制备方法和对材料进行表面包覆改性等手段制备新型的磷酸铁锂,以改善其电化学性能。如优化合成工艺,采用溶胶凝胶法、液相共沉淀法、控制结晶法和微波固相合成等新工艺,合成球形、纳米和多孔磷酸铁锂;以及往磷酸铁锂颗粒内部掺入导电碳材料或导电金属微粒,或者往磷酸铁锂颗粒表面包覆导电碳材料,提高材料的导电能力。每种方法制备的 $\text{LiFePO}_4$ 从形貌到电化学性能上虽各有不同,均比纯相的 $\text{LiFePO}_4$ 有较大的进步<sup>[11]</sup>。

除了磷酸铁锂正极材料外,六氟磷酸锂作为锂离子电池电解质材料的研究和开发,也是人们极为关注的,其产业化进程发展非常快。六氟磷酸锂具有良好的导电性和电化学稳定性,目前广泛地用作锂离子电池的电解质。随着世界各国节能减排和保护环境的进一步发展,必将促进绿色能源锂离子电池行业的迅猛发展,对锂离子电池电解质的需求将更加旺盛。日本是六氟磷酸锂生产大国,2010年六氟磷酸锂产量超过3 000 t。我国金牛电源材料公司2010年六氟磷酸锂生产能力达到500 t/a,计划扩产到2 000 t/a;张家港森田化工六氟磷酸锂的生产能力达到720 t/a,准备扩产到2 500 t/a;张家港亚源高新技术材料公司已投资建成300 t/a的生产装置;河南多氟多化工股份公司已于2009年投资

建设200 t/a六氟磷酸锂项目,也在试生产中。国内其他省区有的也对六氟磷酸锂项目深感兴趣,准备立项上马。预计到“十二五”发展规划的后期,我国有可能成为六氟磷酸锂生产大国。

### 3.4 磷系阻燃剂及其阻燃材料

目前全球阻燃剂市场消费量达到145万~155万t,而美国阻燃剂的消费量占去其中的1/3以上。积极发展阻燃剂及其阻燃材料,对于确保经济建设的顺利进行和人们生命财产安全具有重要意义。近年来我国发生的一系列重大火灾,教训是深刻的。在三大阻燃剂系列中,磷系阻燃剂及其复合材料由于具有优良的阻燃性能,低烟、低毒、无腐蚀性气体产生,适应阻燃剂及其阻燃材料技术绿色化的发展需要,成为当今世界阻燃剂发展的主流,其市场销售额占整个阻燃剂销售总额的23%以上<sup>[12]</sup>。

在磷系阻燃剂中,无机磷阻燃剂的主要品种有红磷、磷酸铵盐和聚磷酸铵(APP);有机磷阻燃剂包括磷酸酯、亚磷酸酯、麟酸酯和麟盐等系列,其中磷-氮系阻燃剂、高分子质量的磷酸酯类阻燃剂和复合型磷系阻燃剂将是阻燃剂发展的重要方向之一<sup>[13-14]</sup>。

例如,聚磷酸铵(APP)是性能优良的高效无机阻燃剂,化学式为 $(\text{NH}_4)_{n+2}\text{PnO}_{3n+1}$ , $n=20\sim 1\,000$ 。按其聚合度的大小,可分为低聚、中聚和高聚3种;按其结构可分为结晶型和无定型。目前已知结晶态的聚磷酸铵有6种晶型<sup>[15]</sup>:即I型、II型、III型、IV型、V型和VI型,几种晶体结构之间在不同条件下可以相互转换。其中I型晶粒外观为多孔性颗粒状,表面呈现不规则结构,是线形结构的缩聚物;II型具有规则的外表面,颗粒表面圆滑,属正交晶系,结构紧密,为带支链交联结构的缩聚物。由于I型晶粒结构的氧键露置于表面,极易吸收水分而发生水解反应,容易发生吸湿现象,给阻燃应用带来困难;而II型聚磷酸铵中支链的存在包围了氧键,使其难于吸收水分子,不易发生水解反应,具有较低的水溶性,而且聚合度高,性质稳定,适于作为阻燃用途。因此,通常所说的作为阻燃剂应用的高聚合度聚磷酸铵主要是指II型聚磷酸铵。

聚磷酸铵(APP)生产方法较多,主要有5种<sup>[13]</sup>:①磷酸-尿素缩合法;②磷酸铵盐脱水缩合法;③聚磷酸氨化法;④磷酸铵盐-五氧化二磷-氨聚合法;⑤五氧化二磷-氨-水蒸汽高温气相聚合法。在这5种APP合成方法中,虽然④和⑤对原料和生产设备要求较高,但它是合成II型APP的重要

方法,也是生产高聚合度 APP 阻燃剂更为清洁的生产工艺。

聚磷酸铵属于添加型的无机无卤阻燃剂,其发展方向是微细化、专用化和系列化。为了充分发挥 APP 的阻燃灭火性能,增强其耐热稳定性和与树脂的相容性,降低其吸湿性,拓展其使用范围,在很多情况下,需要对 APP 颗粒进行表面改性。目前较为常用的改性方法有微胶囊化、三聚氰胺改性、偶联剂改性和表面活性剂改性等。例如,美国 Monsanto 公司 APP 的商品名称为 PhoschekP/30,德国 Hoechst 公司牌号为 Exolit IFR-23,以及 Albright Wilson 公司开发的牌号为 Amgard MC 产品均为微胶囊化的 APP 产品。

又如,烷基次膦酸盐是 Ticona 和 Clariant<sup>[16]</sup> 开发出的新一代的绿色磷系阻燃剂。由于烷基次膦酸盐是具有类盐结构的化合物,热稳定性强,在 350℃ 高温下仍保持稳定。分子中 P—C 键结合牢固,有助于水解稳定性;金属阳离子的存在可以防止阻燃剂遇热挥发损失,这些金属阳离子(如镁、铝、锌等)的盐同样具有较好的抑烟作用。因此,烷基次膦酸盐阻燃性能优良,达到 UL 94 V-0 试验要求。大量用于热塑性塑料(如 PBT、PET 等)、聚酰胺(PA)以及弹性体材料的阻燃,特别适用于薄壁电子元器件、透明制片和薄膜<sup>[17]</sup>。

### 3.5 有机磷农药

目前世界上应用的有机磷农药商品达 100 余种。有机磷杀虫剂的销售额占整个杀虫剂市场的 1/3 以上,如果加上有机磷除草剂(如草甘膦、草铵膦等),更为引人注目。目前全世界农药销售额超过 300 亿元,而草甘膦以约 150 亿美元销售额而高居榜首。由于转基因作物种植面积及生物能源迅猛增长的推动,草甘膦市场需求呈现可持续发展的趋势,在未来几年草甘膦的年需求将保持 15% 的增速,2010 年全球草甘膦市场需求量将达到 70 万 t<sup>[18]</sup>。美国 Monsanto 公司是全球最大的草甘膦除草剂生产企业,其草甘膦的销售量占据全世界 70% 的销售市场。草甘膦的合成方法较多,但概括起来,目前国内外工业生产多采用亚氨基二乙酸(IDA)合成路线和甘氨酸-亚磷酸二烷基酯(Gly)合成路线。IDA 法是当今世界最先进的草甘膦生产工艺,约占草甘膦总产量的 70%,Monsanto 公司是应用 IDA 法生产草甘膦的主要公司。

我国黄磷消费结构中约 10% 用于有机磷农药的生产。应根据国内外农药市场发展的需要,做强、

做优草甘膦、乙酰甲胺磷等有机磷农药产品,扩大生产规模,降低生产成本,提高经济效益。同时,积极开发高效低毒新品种,如甲基嘧啶磷、甘氨酸磷、吡啶硫磷、乙嘧硫磷等,搞好有机磷农药的升级换代,大力发展绿色化学农药。

同时,大力开发非农用农药,以用于环境卫生、动物保健、工业防霉、防蛀和草坪的护理。据预测,未来几年非农用农药销售将继续以年均 4.5% 的速率增长,2005 年非家用农药销售额达 150 亿美元,2010 年有望突破 210 亿美元,相当于农用农药市场的 60% 以上。

### 3.6 含磷药物和高能物质

含磷药物和高能物质的研究开发是人们关注的热点。许多含磷化合物在抗菌抗病毒、消炎镇痛、抗肿瘤以及预防心血管类疾病等方面具有重要的应用。表 6 列举了一些含磷药物的重要品种,可见一斑。这里特别指出的是高能磷酰化合物(HEPC),这是一类极为重要的生理活性物质,在生命活动中参与基因、蛋白质、多种酶的组装与表达,从而对生物信息的传递、生物催化反应过程进行调控,并为

表 6 含磷药物的重要品种和应用

分类	品种	应用	
心血管药	福辛普利钠	抗高血压药	
	果糖二磷酸钙	治疗心血管药	
	环磷腺苷	抗心绞痛	
	三磷酸腺苷	治疗心衰	
	肉醇磷酸酯	强心剂	
	磷酸丙吡胺	治疗心室早搏、房颤	
	膦地尔	扩张血管	
	肌苷磷酸钠	强心剂,治疗心绞痛	
	抗肿瘤药	环磷酰胺/环磷氮芥	广谱抗肿瘤
		异环磷酰胺	广谱抗肿瘤
氯膦酰胺		抗肿瘤	
曲洛磷酸		广谱抗肿瘤	
噻替哌		广谱抗肿瘤	
磷酸雌莫司汀		抗前列腺癌	
氟达拉滨		抗胰腺癌,淋巴瘤	
双二甲磷酸酯乙酯		抗肺癌	
膦乙天冬氨酸		治疗骨瘤	
抗菌、病毒药		膦霉素	广谱抗菌素
	磷酸氯洁霉素	抗革兰氏阳性菌感染	
	膦甲酸钠	抗病毒	
	西多福韦	新型抗病毒药	
	替诺福韦	抗艾滋病药	
营养康复药	复合磷酸酯酰酶	肝营养康复药	
	磷脂颗粒	改善机体新陈代谢	

上述过程提供必需的能量。高能磷酸化合物(HEPC)应用很广,在医学领域,主要用于心脑血管疾病、肝炎、癌症和神经性疾病等的治疗和辅助治疗;在药物合成化学中,作为医药中间体用于多种药物的合成。在食品和保健领域,可帮助增强肌肉的性能,补充体力,缓解疲劳<sup>[19]</sup>。

目前,国际上已生产100多种磷酸化合物,而且新的磷酸化合物还在不断地被发现和开发出来。随着高新技术的应用和推广,高能磷酸化合物及其相关产品的市场正以每年15%~20%的速率增长。而我国能生产的磷酸化合物只有10多种,远远满足不了需要。目前国内一些公司和企业正在积极进行研究开发,有的在高能磷酸化合物的合成制备技术方面取得了可喜的重大进展。可以相信,随着高能磷酸化合物(HEPC)绿色合成技术的突破,必将极大促进我国磷化工高端化的发展。

#### 4 前景展望

如果说,过去的10年(即“十五”和“十一五”时期)是我国磷化工由小发展壮大的重要历史时期;那么,未来的5年(即“十二五”规划时期)将是我国磷化工由大做强的关键发展时期。

以科学发展为主题,进一步优化产业结构和转变发展方式,坚持“精细化、专用化和高端化”的发展方向,着力搞好技术创新、应用创新和机制创新,切实做好深加工和精细化,大力推进循环经济与绿色经济,积极利用和拓展国内国际2种资源、2个市场,走新型磷化工发展之路,努力构建资源节约型、技术创新型和环境友好型的磷化工产业,做大、做优、做强磷化工产业。

#### 参考文献

- [1] 贡长生. 加速中国磷化工可持续发展几个问题的探讨[J]. 无机盐工业, 2009, 41(4): 11-14.
- [2] 修学峰. 磷复肥工业“十二五”发展规划思路[J]. 磷肥与复肥, 2010, 25(6): 1-6.
- [3] 贡长生. 技术创新和循环经济——我国磷化工可持续发展的必由之路[J]. 现代化工, 2008, 28(3): 6-12.
- [4] Fertilizer International. Tight balances set to continue[J]. Fertilizer International, 2008, (427): 55-59.
- [5] Fertilizer International. A recovery is heralded[J]. Fertilizer International, 2010, (436): 46-61.
- [6] 贡长生, 齐国香. 关于磷酸盐食品添加剂的几个问题[J]. 磷酸盐工业, 1987, (1): 32-42.
- [7] Padhi A K, Nanjundaswamy K S, Goodenough J B. Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries[J]. J Electrochem Soc, 1997, 144: 1188-1194.
- [8] Padhi A K, Nanjundaswamy K S, Masquelier C, et al. Effect of structure on the  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  redox couple in iron phosphates[J]. J Electrochem Soc, 1997, 144: 1609-1613.
- [9] Beninati S, Damen L, Mastragostino M. MW-assisted synthesis of  $LiFePO_4$  for high power applications[J]. Journal of Power Sources, 2008, 180: 875-879.
- [10] 王兆翔, 陈立泉, 黄学杰. 锂离子电池正极材料的结构与改性[J]. 化学进展, 2011, 23(2/3): 284-301.
- [11] 于锋, 张敬杰, 王昌胤等. 锂离子电池正极材料的晶体结构及电化学性能[J]. 化学进展, 2010, 22(1): 9-18.
- [12] Mauerer O. Organophosphorus compounds for increased fire safety needs[J]. Speciality Chemicals Magazine, 2007, 27(4): 34-35.
- [13] 贡长生, 单自兴等编著. 绿色精细化工导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [14] Blundell C, Wuestenenk J. New developments in phosphorus flame retardants. Speciality Chemicals Magazine[J]. 2005, 25(7): 40-41.
- [15] Futterer T. Ammonium polyphosphates: a multi-use flame retardant[J]. Speciality Chemicals Magazine, 2006, 26(6): 34-36.
- [16] Kull H. Celanex XFR: Flame retardancy without bromine[J]. Speciality Chemicals Magazine, 2007, 27(4): 36.
- [17] Horold S. Safety for thermoplastics[J]. Speciality Chemicals Magazine, 2008, 28(9): 28-30.
- [18] 林志坚, 郑仁朝, 楼亿园等. 草甘膦化学合成工艺及其中间体的生物合成技术展望[J]. 农药, 2009, 48(8): 547-551.
- [19] 杨蕴毅, 应汉杰. 全细胞催化高能磷酸化合物关键技术研究及其应用[J]. 中国化工信息, 2010, (15): 15. ■

#### 拜耳材料科技智能新生产技术降低能耗和二氧化碳排放

随着引入全新工业生产流程,拜耳材料科技将显著降低能耗并减少二氧化碳排放。在克雷菲尔德-勒丁根的化工园区,年产量为2万t氯气的一家示范工厂已投产。已将用于氯气生产的氧气去阴极化技术结合到来自伍德/迪诺拉的新电解技术之中。过去8年来,拜耳在勒沃库森开发了这2项技术的结合体。为期2年的大规模试验取得了显著成功,拜耳将在此基础上逐步转用新流程生产氯气。

此外,公司还将为全球市场提供这项技术。一些位于德国和亚太地区的大型氯气生产商也已经表明了对于这一新技术的兴趣。

根据模型计算,专家们得出结论:仅拜耳在整个德国使用伍德/迪诺拉技术,其节约的电力就将足以供给科隆这样一个居住人口超过100万的大型城市,也就是一座700 MW发电厂的发电量。