

## 专论与评述

# 绿色化学科学与工程及生态工业园区建设进展

王静康, 鲍颖

(天津大学化工学院, 天津 300072)

**摘要:** 21 世纪人类面临着资源、能源及环境的严峻挑战, 作为核心的过程工程产业, 化学工业仍是全球经济中强大的基础产业之一。详细介绍了国际绿色化学科学与工程的发展动态以及国际生态工业园区的建设概况, 对国内绿色化学科学和生态园区建设进展进行了综述。

**关键词:** 绿色化学科学与工程; 生态化工; 过程工程; 资源; 能源; 环境

**中图分类号:** TQ-9

**文献标识码:** C

**文章编号:** 0253-4320(2007)01-0002-05

## Advances in development of green chemistry and engineering and eco-industrial-park construction

WANG Jing-kang, BAO Ying

(School of Chemical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The human race is facing the severe challenge from resources, energy, and environment in the 21st century. The chemical industry, as a core process industry, is still one of the most powerful basic industries in the global economy. The advances of the global development status in green chemistry and engineering, and the general situation of the construction of eco-industrial-park in the world are introduced in detail, with the review of those in China in it.

**Key words:** green chemistry and engineering; eco-chemical industry; process industry; resource; energy; environment

### 1 国际绿色化学科学与工程发展动态

21 世纪人类社会的进步已进入了可持续发展的阶段, 其科学与技术基础是绿色化学科学与工程(以下简称绿色化学化工), 生态工业园区的建立是今后世界工业社区发展的理想模式。那种由牺牲环境、破坏生态和对资源进行掠夺性开发而取得高速度发展的做法将被彻底抛弃, 这对人类的科学活动和技术发展将提出更高的要求。化学化工作为为人类提供物质基础的科学必须更加关注自然、环境和生态效应, 必须快速发展更加绿色(环境和生态友好)和更加高效(原子经济性)的分子科学与过程工程学。

图 1 列出了绿色制造产业与社会可持续发展的关联示意图。

#### 1.1 化工过程工程产业

21 世纪人类面临着资源、能源及环境的严峻挑战, 为了全球经济的可持续发展, 必须发展资源、

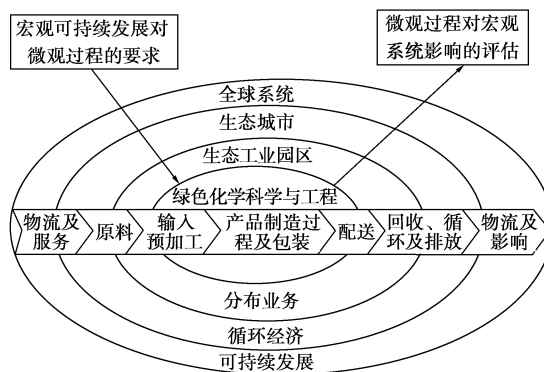


图 1 宏观可持续发展与微观过程关联示意图

能源节约型及环境友好型的现代制造业。

现代制造业包括离散型与过程工程型制造业。广义的化工过程工程概括了我国俗称的化工、轻工、食品加工、功能制品加工及制药等多种工业领域的过程, 图 2 给出了在 20 世纪末国际大化工涵盖的主要部分及各部分 GDP(国民生产总值)的百分率, 它充分显示了化工过程工程在国民经济产业发展中的

收稿日期: 2006-11-07

作者简介: 王静康(1938-), 女, 教授, 中国工程院院士, 天津大学医药结晶工程研究中心主任, 长期从事化学工程特别是工业结晶过程的基础理论及工程应用技术研究, srcict@tju.edu.cn。

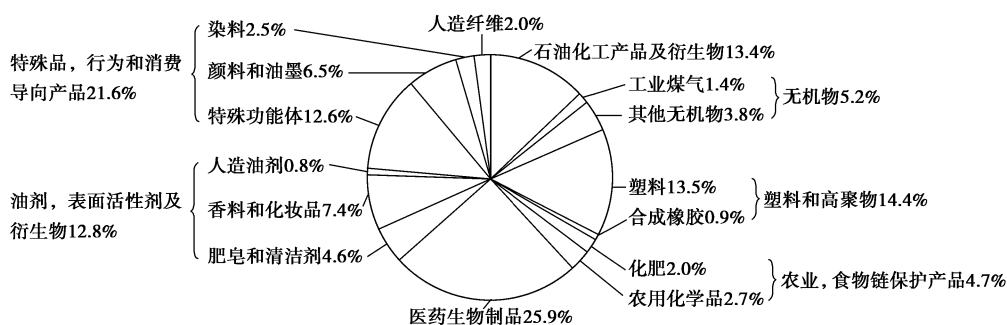


图 2 国际大化工涵盖内容

重要地位。化工过程是上述工业群复杂系统的核心部分。由图 2 可知,在现代化学工业中的“产品工程”发展迅速。所谓“产品工程”就是研究、设计并制造各种精细化、个性化及功能化的产品,这类产品的 GDP 值已占据重要地位。

作为核心的过程工程产业,化学工业在 21 世纪仍是全球经济中强大的基础产业之一:发达国家 1990—1999 年化学工业 GDP 平均增长率是其全部工业 GDP 平均增长率的 2.69 倍;2002 年化学工业年收益增长率仍高于全球 GDP 增长率;根据英国化工协会对全球化学品的统计和预测,2010 年 GDP 将达到 2.04 万亿美元(是 2000 年的 1.42 倍),仍将一直保持较高的平均增长率。美国化学过程工业 GDP 持续保持占世界化工总值的 30% 左右,它是美国少数的贸易顺差制造工业之一,所获得的附加值占美国全部制造业的 1/3。根据联邦政府统计,近 6 年中美国对于化工研发的投入,每 1 美元可获得 2 美元的收益,即税后年收益率 > 17%。中国大化学工业一直以较高速度发展,但目前化学工业人均年 GDP 仍低于世界人均水平,不能满足我国经济发展的需求。

## 1.2 绿色化学与生态化工

绿色化学化工是具有重大社会需求和明确科学内涵的新兴交叉学科,是当今国际化学与化工产业发展及科技研发的前沿。它的定义是:为减少与消除有害物质对人类健康和环境的威胁所做的化学过程与产品的设计、开发和生产。

绿色化学与生态化工技术代表着现代化学工业的发展方向,因此受到各国政府、企业和学术界的关注,被列为 21 世纪化学与化工中的核心问题。自 1995 年起美国总统克林顿宣布设立“总统绿色化学挑战奖”;日本政府规划了在 21 世纪重建绿色地球的“新阳光计划”;由英国皇家化学会主办的国际性杂志《绿色化学》于 1999 年 1 月创刊;在国际性学术

活动中,如近几年美国化学学会(ACS)年会上,“绿色化学与生态化工”均作为重要的主题。在 2003 年发布的美国科学委员会的咨询报告“Beyond the Molecular Frontier: Challenges for Chemistry and Chemical Engineering”中,也把绿色合成与转化列为 21 世纪化学与化工中的核心问题。

美国、英国等国家在 20 世纪绿色产业发展过程中已经历了 3 个阶段:第 1 个阶段(1970—)的主要驱动力是环保法规。解决方案是末端处理,企业“三废”处理成本愈来愈高。例如,日本在此时期,环境的清洁化措施成本占生产总成本的比例由 5% 提高到 18%。第 2 个阶段(1980—)的主要驱动力是预防污染及清洁生产,解决方案已转向从生产源头减少污染的产生。第 3 个阶段(1990—)依据可持续发展原则,将环境性能进一步集成到公司的业务策略方针中去。据美国环保部门 KPMG 公司对 1 100 家公司调查,每年有环境报告的公司由 1993 年的 13% 提高到 1999 年的 59%,实现了全系统优化。进入 21 世纪以来,美国、英国等国家化工规划已向生态化产业园区的目标迈进。中国也必须加速绿色化工产业建设,只有与国际接轨,由末端治理向绿色过程设计源头防治生产工艺转变,才能保证我国实现循环经济,保证社会可持续发展。

在高等教育方面,美国于 2001 年开始出版了有关“绿色”工程方面专著,并开始用于化学工艺设计,以及供高年级化学工程的教学使用。

国际上,绿色工程的计划也被融入了环境法规,如美国重视环境法律、法规的建设,近 20 年来,对于流程工业已由末端治理向源头上根除污染的绿色管理目标发展。绿色工程在废物治理方面已由传统的先污染、后治理的末端处理方案,转为源头根除与防治,即由设计开始就必须强调进行符合生态需求的产业化设计。这项策略的基本前提是必须考虑在整个产品生命周期内,防止废物或污染物的产生,这种

策略比在污染物产生后再对它进行控制或处理的方法更加有效,这样才能真正符合保证人类社会的可持续发展的基本原则。

美国要求化学工程师的职业行为必须遵从相关的法规,其中一组重要的法规是由议会颁布的环境法,它指定由权威管理机构制定条例。环境法规条例产生于立法机关、行政机构和法院,该法规具有法律效力。如法令要求新型化学品制造商必须呈交预生产报告(PMN)才可将产品投入市场。全美国关于环境问题约有 20 个主要的联邦法令,该领域在过去的 30 年里发展迅速,如联邦环境法规及其修正案数量的增长,由 1980 年的 60 余项增至 2000 年的 120 多项。约有数百个州和地区法规,数千个联邦和州管理条例,以及更多的联邦和州法庭案例和行政规则等,它们汇总在一起构成环境法规体系,以污染防治法为例说明,“污染防治法”有如下定义:

污染防治是指“污染防治法”中定义的有关“废物源头削减”以及通过原料、能量、水及其他资源使用效率的提高、自然资源的有效保护方法减少或消除污染物质产生的措施。

污染防治法提出了“废物管理层次”,并以此作为美国的国家政策。废物管理层次的定义如下:

即污染应尽可能在源头消除或减少;如果不能预防则应尽可能以环境安全的方式循环使用;不能预防和循环的应尽可能采用环境安全的方式处理,废物弃置或向环境排放只能作为最后的选择方法,且必须以环境安全的方式进行。

根据以上定义及循环方式的界定,按递降的顺序列出废物管理层次,从最优至最差的选择方式排列:①源头削减;②过程内部循环;③在线循环;④远距离循环;⑤废物处理;⑥安全弃置;⑦直接排放至环境中。

随着向单一环境介质中排放量的减少,还特别强调了要防止污染物由一种环境介质向另一环境介质的转移。例如,某些污染物是由液体转到气体,如含有挥发性有机物的废水与空气接触,使污染物通过挥发进入气体中。更不易察觉的介质转化形式是污染物在处理过程中经反应转化为毒性较小的化学品。以上这些转化过程都是能量密集型的,能量的耗费也会导致污染。由此可见,减少排放到所有环境介质中的工业废物的总量和毒性需要综合治理的策略。该策略还必须考虑降低废物处理的总量。美国的实践证明这个策略的实现主要依靠绿色化工理念、研发并实现最有效的过程集成。

污染防治的广义定义是以污染防治为目的的工艺路线的设计改进,包括废物管理层次的前 4 项内容:废物源头削减、过程内部循环、在线循环和远距离循环利用。根据这个广义定义,许多实例都是通过循环系统的改进来实现污染防治,诸如:提高原材料的转化效率,减少能量消耗以及水和其他资源的使用等。

这些法规的实施不但有效地恢复并维护了相应的环境介质,也常常同时达到了节能及节省资源的目的。20 世纪 80 年代中后期排放到环境中的多种有毒物绝对量开始降低。如果以 TRI(有毒物质排放清单)为参考,“有毒物”的排放量由 1986 年的 34 亿 lb 减少到 1998 年的 20 亿 lb(1 lb = 0.454 kg)。另外,环境中多种污染物的浓度也在持续下降,如 O<sub>3</sub>, Pn, VOCs(挥发性有机物)和 CO。其他的指标也表明了环境治理的有效性,例如,每单位国民生产总值(美元)所消耗的能量值在过去 10 年中由 15 000 Btu 降至 11 000 Btu(1 Btu = 1 055.06 J)。

废物源头削减的一些实例应用了“编目控制”方法。“编目控制”目的是减少已淘汰或过时的原材料或产品所产生的废物。“编目控制”的有效方法包括根据生产线规模按需订购原材料,或审查原材料的购买程序以减少有害化学品,选择环境友好的替代品。编目控制的其他技术更具挑战性,例如采纳最新的生产工艺,改进生产路线可减少废物产生并提高利润, DuPont/EPA 联合进行的污染防治研究发现,某精细化学品间歇生产中所使用的清洗剂废液可完全清除一项废物,源头削减工程在生产下游处安装排放管道从中回收前一工序中的化学物质,获得净利润值 221.2 万美元。更多关于废物源头削减的实例可参考相关文献。

此外,在绿色化学化工技术基础上,国外进而建设了一批卓有成效的生态工业园区及生态化城市,为全球经济的可持续发展做出了贡献。

## 2 国际生态工业园区建设概况

生态工业园是依据循环经济理念和工业生态学原理而设计建立的一种区域型新型工业组织形式,通过模拟自然系统建立产业系统中“生产者—消费者—分解者”的循环途经,尽可能实现物质闭路循环和能量多级利用。即生态园内企业模拟自然界生态系统,相互之间存在协同和共生关系,将最大限度地利用资源和减少负面环境影响,最后达到工业可持续发展的目标。

然而,化工生产中的物料和能量流广泛用于各个工业部门。因此,用工业生态学的观念去研究与设计,在工业园区内包括各种工业部门的工业网络,可以达到更高层次循环经济的目标,是更为合理的。

### 2.1 丹麦的卡伦堡生态工业园区

迄今为止,世界上发展较为成熟的生态工业园区是丹麦的卡伦堡(Kalunborg)生态工业园区,该园区以一个炼油厂、一个硫酸厂、一个制药厂、一个火力发电厂、一个渔场和一个石膏板厂组成的以工业网为核心,其他成员包括农场、大棚养殖、养鱼场,通过贸易方式把其他企业的废弃物或副产品作为本企业的生产原料,建立工业园区和代谢生态链关系,它们彼此交换能量和物质流。如图3所示。

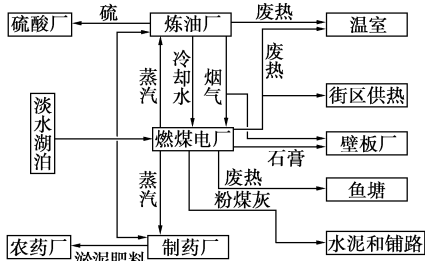


图3 丹麦 Kalundborg 工业园的工业网络图

在该园区燃煤电厂位于这个工业生态系统的中心,对热能进行了多级使用,对副产品和废物进行了综合利用。电厂向炼油厂和制药厂供应发电过程中产生的蒸汽,使炼油厂和制药厂获得了生产所需的热能;通过地下管道向卡伦堡全镇居民供热,加热温室并给养鱼厂供暖,由此关闭了镇上3500个燃烧油渣的炉子,减少了烟尘的大量排放;将除尘脱硫的副产品工业石膏,全部供应给附近的一家石膏板厂作原料。同时,还将料煤灰出售,供铺路和生水泥之用。炼油厂和制药厂也进行了综合利用。药厂处理的淤泥被送到附近的农场作为肥料。炼油厂产生的火焰气通过管道供石膏厂用于石膏板生产的干燥,这样又减少了火焰气的排空。一座车间进行酸气脱硫,生产的稀硫酸供给附近的一家硫酸厂;炼油厂的脱硫气则供给电厂燃烧。卡伦堡生态工业园还进行了水资源的循环利用。炼油厂的废水通过生物净化处理,通过管道向发电厂输送,每年输送给电厂70万 $m^3$ 的冷却水。整个工业园区由于进行水的循环使用,每年减少25%的需水量。最终实现了园区的“污染零排放”。通过各个成员间的物质和能量交换,实现了物质的部分循环和能源的逐级利用,获得了良好的经济和环境效益。

深入分析 Kalundborg 工业园的物质和能量的交换,还可以发现更多有趣的特征:

(1) 物质和能量的交换有更显著的能效。

例如:电厂发电过程产生的废热和蒸汽,可送往炼油厂、温室、渔场及居民区供热系统进行利用。如果能找到废蒸汽的利用市场,那么90%以上的从工厂燃煤产生的热量能够被利用,唯一的损失便是烟囱排气所损失的能量。与此相比,典型的美国煤-火力发电厂利用燃煤产生的热量效率仅约为40%。

(2) 物料和能量交换能为参与者提供经济效益。

在某些情况下,例如电厂把硫酸钙卖给石膏板生产厂,直接的经济效益并不能完全收回成本;此时的交换是由相应的法规来驱动的(比如需要净化电厂烟囱尾气以除去 $SO_2$ )。这些交换可避免废物掩埋或处理洗涤剂废物的其他方式,故而使成本降低。而在其他情况下,例如炼油厂使用电厂的废热,这些交换是自给自足的。

这个案例研究显示了生态园的基本规则——集成不同工业单元操作中的能量和物料流,可以提高质量和能量的利用效率。通过对美国能量流股进行简单的调查可以得出一个工业物料和能量交换的潜力评价。美国年耗能 $(80 \sim 100) \times 10^{15}$  Btu,其中约1/3的能量是用于发电消耗,而这些用于发电的能量中约有2/3是以废热形式损失的。这就意味着美国需求的总能量中,约1/4可以由废热利用来满足。在全国范围内联合供热和发电系统具有明显优势,但尚需做进一步的研发工作。

水应用于所有工业生产过程,有很多方式对其回收利用,通常只有少量水被消耗。大部分的工业用水是用作冷却、加热或加工原料,而不是作为反应物。不同的工业过程或工业部门的需水量相差悬殊。例如需要高纯水的半导体生产设备所产生的废水可以被用于许多其他的工业过程。

到目前为止,鉴于生态工业园具有突出的环境保护及显著的社会经济效益,已受到世界先进国家的广泛重视。

### 2.2 美国等其他国家的生态工业园区

美国自20世纪70年代开始建设生态工业园区,至少有40个社区建立了生态工业园区项目,涉及生物能源的开发、废物处理、清洁工业、固体和液体废物的再循环等多种行业,形成了各自的特色。美国布朗斯维尔生态工业园区采用“虚拟”生态工业园区的模式,依托现有企业进行能量与物质的共享,

并招募新的工业企业与现有企业互补和增强废物交换。自 1995 年以来,加拿大开始建设生态工业园区,现 40 多个工业园区中有 9 个被认为具备生态工业发展的可能性。表 1 和表 2 是美国、加拿大部分生态工业园区的情况。

表 1 美国部分生态工业园区

序号	E-P 项目	地址	涉及行业及特点
1	查尔斯角	弗吉尼亚	农业、海产品及海水养殖、旅游、艺术品、高新技术产品
2	费尔菲尔德	马里兰	石化、有机化学品、废物再利用、环境技术
3	布朗斯维尔	得克萨斯	炼油、沥青、化工、纺织、车罩部件、热电、污水处理、溶剂回收
4	河岸	佛蒙特	生态农业,生物能源,废物处理
5	绿色协会	明尼苏达	绿色产业孵化器、废物再利用
6	普拉兹堡	纽约	军事设施再开发、资源和废物管理
7	东海岸	加利福尼亚	资源再生、自然美化、提高能源效率
8	特灵顿	新泽西	现有工业区的再开发,清洁工业
9	富兰克林	卡罗莱纳	可更新能源与环境技术的商贸联合体

表 2 加拿大部分生态工业园区

序号	园址	主要生产企业
1	佛贾斯凯特宛,贾克 (FortSaskatchewan, Sask)	化学品,聚氯乙烯、苯乙烯,电力、生物燃料等
2	康沃尔,安大略 (Cornwall, Ontario)	热电联产、造纸、化工、电力设备和水泥等
3	比堪克,魁北克 (BecancouE Quebec)	氯碱、盐酸、双氧水、烷基苯磺酸盐等
4	东曼坎来,魁北克 (MontrealEast, Quebec)	炼油、石化、工业气体、石膏板、冶金等
5	绥姜,新布若斯维克 (SaintJohn, NewBrunswick)	电力、造纸,炼油、酿酒、制糖等

近年亚洲生态工业园区发展迅速,日本先后建成了藤泽生态工业园区和卡克博(Kokubo)生态工业园区及札幌市(循环再利用工业园区)、北海道(循环再利用和促进副产品交换园区)、千叶县(能源中心、零排放园)、岐阜市(循环再利用工业联合体)、大牟田市(循环再利用工业园区)、秋田辖区(电子产品循环利用园区)、莺池市(循环再利用矿业工业园)、北九州城(生态工业园区)和川崎市(循环再利用工业园区)等 10 个生态工业城项目。泰国正在对其 28

个工业园区进行绿色工业园区试验,并将其中 5 个建成生态工业园区。印度已在不同工业系统进行了 4 个工业代谢研究,包括位于它日坡(Tirupur)的棉织品生产中心、位于傲尔(Haora)的铸造厂、位于泰米尔的内迪(Nadu)皮革工业和位于沙谁州利(Seshasayee)的造纸/制糖联合体。

### 3 我国绿色化学科学与工程和生态园区建设进展

我国化学化工界已开始这方面的研发工作。绿色化学与生态化工技术以生态学原理为指导,遵循生态平衡的物质循环再生原理,通过绿色合成与转化,在生产人类需要的环境友好的物质产品的同时,促进生态系统的良性循环,确保全球经济的可持续发展。生态化工是以生态系统和化工系统相交叉、耦合而形成的复合系统作为研究对象,以物质循环、能量流动、信息传递和价值增值为纽带的一种现代化工模式。这种化工模式的建立从根本上避免了传统化工过程对物质能量的需求与生态系统物质、能量供给之间的矛盾,减少或杜绝了那些对人类健康、社区安全、生态环境有害的原料、催化剂、溶剂和试剂、产物、副产物等的使用和产生,从源头上阻止环境污染。目前,绿色化学化工已编入高校教材,开始进入化学与化工专业大学及研究生的教学内容。

我国已陆续制定了系列环保法规,从 1999 年已开始了循环经济和生态工业园区的试点工作,2001 年 8 月广西贵港正式被国家环境保护总局确认为第一个国家生态工业(制糖)建设区;目前国家环保总局按照循环经济理念,正在全国率先创建 10 个生态工业示范园区,并在不断探索以循环经济为特色的生态城市建设模式。

我国作为制造业大国,目前尚处在以低端制造为主阶段,造成了产品工程附加值的大量流失,现在当务之急是开拓创新,向高端产品、精品大国转变。“十一五”科技发展规划中不但提出了建设创新型国家的宏伟目标,而且已将现代绿色流程工业列入了重点研发领域,并提出了“十一五”期间单位国内生产总值能源消耗降低 20% 左右、主要污染物排放总量减少 10% 等目标。这都对我国化工界要加速发展绿色化学与化工提出了严峻的挑战。加大绿色化学科学与工程的研究力度,加快成果产业转化速度是历史赋予我国化工界的光荣使命。

(下转第 8 页)

工量 3 亿多吨,居世界第 3 位,原油进口量逐年增加,对外依存度不断提高。2003 年对外依存度是 36%,2004 年和 2005 年均达到 40% 以上。原油进口量的不断增加和对外依存度的不断提高,石油资源已严重制约着我国石化工业的发展,石油的储备战略和替代战略均已提到国家战略的高度,资源矛盾已成为我国发展化学工业的主要矛盾。

资源矛盾的另一个表现是水资源的紧缺。我国淡水资源严重缺乏,水资源的储量远低于世界平均水平,人均水资源占有量与世界平均水平差距更大。化学工业是耗水大户,以当前投资较热的煤化工项目为例,大型企业的用水量通常每小时高达上千吨,年用水量在几千万吨以上。个别企业环境意识不强,只追求产品产量和经济效益,不注重环境保护和治理,甚至对一些江河湖泊造成水质污染;也有个别企业在循环水、冷却水等方面不注重循环利用,水资源利用效率低,造成水资源的严重浪费,这些都更加剧了我国淡水资源的紧张局面。因此淡水资源也成为我国发展化学工业的突出矛盾之一。

### 1.2 供需矛盾

化学工业是国民经济的基础产业,为汽车、电子、纺织、建筑、国防军工以及人们生产生活的各个方面提供配套服务,化工产品有着广阔的市场需求。虽然我国化学工业已获得巨大发展,如合成氨、合成树脂、合成纤维、染料、涂料、农药等 20 多种产品已经位居世界前列,但我国化工产品的市场满足率还有较大的上升空间,有些产品主要还是依靠进口以满足国内需求。如我国一直大力发展的乙烯产品,当前的市场满足率不足 50%;聚乙烯、聚丙烯、聚氯

乙烯等五大通用树脂总的市场满足率也只有 57%;聚甲醛、聚碳酸酯等五大通用工程塑料的市场满足率还不到 20%;特种工程塑料、特种纤维(如芳纶、碳纤维)的市场满足率就更低,几乎是 100% 依靠进口。

当然也有一些产品,主要是一些传统的、能耗高、污染较重的产品,如电石、涂料、农药、硫酸等则处于市场饱和或过剩状态。还有一些领域的普通品种,技术含量低,品种产量大,处于过剩状态,而一些技术含量高、附加值高的高档品种却依赖进口。如涂料领域,普通家具漆、普通建筑涂料充斥市场,大量过剩,甚至造成市场上恶性竞争;而高档涂料,如高档汽车漆却难以满足市场需求,只能依赖进口。农药领域也有类似情况,一些发达国家已经停产或禁用的品种,国内普遍还在大量使用着,而一些经济作物为了满足出口要求或大都市生活质量的提高,只能依靠进口一些高效低残留的新品种农药。这说明我国化工产品的供需矛盾还是比较突出的。

### 1.3 结构矛盾

自 20 世纪 90 年代起,也就是在“八五”时期,当时的化学工业部就已经把调整结构作为战略重点和战略措施提了出来。到目前已经走过了 3 个五年计划,整个化学工业的产业结构、产品结构以及技术结构和人员结构都得到了明显的优化。但是与发达国家相比,与今天建设和谐社会的新要求相比,我国化学工业的结构性矛盾还十分突出。

如在产品结构方面,精细化工率既是代表化工行业产品结构,也是代表化学工业技术水平的一个标志,发达国家高达 60% 以上,而我国不足 50%;

(上接第 6 页)

建设生态工业园区是世界应对全球资源、能源与环境危机的挑战,保持世界可持续发展的重要战略举措。我国化工界也必须与时俱进,开拓创新,参与设计并建设好具有中国特色的一大批生态工业园区,走新型工业化道路,为把我国建设成世界制造强国贡献力量。

目前国内化学科学与工程领域的研究人员将围绕绿色化学与生态化工技术发展的前沿及已有的工作基础,在以下几个方面开展研究:原子经济型反应科学与技术;新型洁净分离过程与装备技术;温室气体的化学转化与绿色能源;化工过程强化与绿色集成;生态环境治理和修复中的化工技术以及生态工业园区建立的系统工程研究。

## 4 结语

绿色化学科学与工程是具有重大社会需求和明确科学内涵的新兴交叉学科,是当今国际化学与化工科学研发的前沿。它吸收了当代化学、物理、生物、材料、信息等科学的最新理论和技术,是面向国家在能源、资源有效利用、环境保护等方面的紧迫需求而发展的环境友好新工艺,是通过高科技手段实现绿色合成与高效转化的过程工程。生态工业园区是绿色化工产业区域建设的体现,是实现世界可持续发展的园区模式,是生态社会建设的理想境界。我们的研发工作应紧密围绕国际研究热点,开拓创新,为我国国民经济建设和社会可持续发展做出重大贡献。■