

以循环经济理念推进生态化学工程

金 涌, 王 垚

(清华大学生态工业工程中心, 北京 100084)

摘要:为了解决经济高速发展与资源短缺、环境污染严重的矛盾,需要仿效自然生态系统变革传统化学工业。循环经济的工程科学内涵是建立全生命周期的物质清洁闭环流动型产业模式,发展生态化学工程。在此过程中将遇到分散资源处理、可再生能源利用及可再生资源转化等新问题,这些问题的解决有赖于大量新技术的开发,如生物炼制技术、资源化技术、短缺资源替代技术、非环境友好工艺及产品替代技术、多产业互利共生技术等。

关键词:生态化工;循环经济;可再生资源;可再生能源;生物炼制

中图分类号:TQ021.8

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2006)09-0001-06

Eco-Chemical Engineering to be developed with an idea of cycling economy

JIN Yong, WANG Yao

(Ecological Industry Engineering Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The rapid economic growth in China has been facing serious problems of insufficient resources and environmental pollution, and the solution requires a revolutionary change in the structure of the chemical industry into one that is like a no-waste natural ecosystem. The essence of the engineering of a recycling economy is to make the life cycles of materials into closed loops, to develop ecologically compatible chemical engineering. Many new problems arise: such as the coping with the utilization of scattered resources, and how to get to use renewable energies and resources. New technologies are needed to solve these problems: the conversion of biomass into fuels, materials reuse, the use of substitutes for rare resources, the replacement of environmentally harmful ones, and the synergistic integration of diverse industries.

Key words: Eco-Chemical Engineering; recycling economy; renewable resources; renewable energy; bio-refinery

化学工业涉及资源加工与能源转化过程,在国民经济中占有重要地位。2005 年国家统计局数据显示^[1],我国化工行业从业人数已突破 500 万人;化学工业实现现价工业总产值约 12 000 亿元,占全国工业总产值的 7%;实现利润 700 多亿元。硫酸、烧碱、纯碱、合成氨、磷肥、农药、电石、燃料、涂料、合成橡胶等几十种化工产品产量都高居世界第一位。从 2000—2005 年,我国化学工业利润年均递增 23.3%,远高于 GDP 的增长速度;2005 年化学工业利润占全国工业总利润的 28%^[2]。化学工业的发展使得我国日益富强、稳固,国际力量日益增加,民生用品日益丰富、廉价。

然而,化学工业是高能耗行业之一。我国化学工业能源消费量约占全国能源消费总量的 26%^[1]。在化工产品成本中,一般产品的能源成本占产品总成本的 20%~30%,能耗高的产品可达 60%~

70%。我国生产的典型高能耗产品,其能源利用率比发达国家低 15%左右,尚具有相当大的节能潜力。

此外,化学工业也是污染严重的行业之一。据统计^[3],我国化工行业废水排放量始终在全国工业行业废水排放总量中居首位,在排放的化工废水中列入国家总量控制的污染物(如石油类、氰化物、挥发酚、硫化物和砷)的排放量也位居前列;废气排放量占全国工业废气排放量的 6.5%;固体废物排放量占全国工业固体废物排放量的 5%。近些年,发达国家不断地将其污染严重的化工产品的生产转入发展中国家,这进一步加重了我国的环保负担。

因此,我国化学工业的发展必须改变发展模式,从粗放型转向集约型,从市场需求拉动过渡到以科技进步推动,依据循环经济理念指导,发展与生态相容的化学工程与工艺,这样才能在 21 世纪实现持续

收稿日期:2006-07-27

基金项目:国家重点基础研究项目(“973”项目)(2004CB719706)

作者简介:金涌(1935-),男,大学,教授,博士生导师,主要从事化学工程及生态化工研究;王垚(1968-),女,博士,副教授,主要从事化学工程研究,通讯联系人,010-62788994, wangyao@flotu.org。

发展。

1 循环经济的工程科学内涵

循环经济也称为资源闭环利用型经济,它指通过建立“资源→生产→产品→消费→废弃物再资源化”的物质全生命周期清洁闭环流动,在保持生产扩大和经济增长的同时把清洁生产、资源综合利用、可再生能源开发、灵巧产品的生态设计和生态消费等融为一体,运用生态学规律指导人类社会经济活动的模式。发展循环经济,既可以提高人民生活质量,又可以避免由于无节制开发所导致的自然生态的破坏。

依照物质循环层次的差异,循环经济可以分为以下几类:

(1)初级资源循环利用型。这种类型是指物质在分子水平上没有变化,仅通过物理形态上的改变,就可以实现循环利用。常见于可再生资源的简单回用。这种模式早在 20 世纪初就已经产业化,如废钢铁、废玻璃的回收利用等已有相当规模。

(2)简单分解循环利用型。这是指把复杂产品分别拆分成原料后再利用。20 世纪末,随着家电产业、汽车产业的发展,出现了把废家电、废汽车分解,即把热塑性塑料部件重新造粒复用,热固性塑料粉碎作填料,铜、银、汞等金属分别浸出回收。这种物质循环利用较初级资源循环利用前进了一步。

(3)产业链循环利用型。该类型指通过物质在产业链间发生的分子水平变化,深层次地实现物质循环利用。以我国已成功开发的“硫酸厂—磷肥厂—水泥厂”大型生态产业链为例,把硫酸厂的硫酸用于磷肥厂生产磷肥,磷肥厂所副产的石膏经过加热分解成二氧化硫与生石灰,生石灰用于水泥厂生产水泥,而二氧化硫送硫酸厂生产硫酸,硫酸再循环用于磷肥生产。这样既解决了大量石膏堆弃污染问题,又使硫元素得到循环利用。

(4)“物理—化学—生物”耦合循环利用型。这是指通过物理、化学、生物等多种转化手段实现的更高层次、更大范围的物质循环利用。例如,当前工业生产过程中二氧化碳排放量巨大,通过生物转基因技术培育转基因油菜、速生树种和含油藻类,这些植物在生长过程中把空气中的二氧化碳固定合成生物质,生物质进一步加工可以生产生物柴油等。生物质产品在被利用时并不增加二氧化碳的净排放,可以彻底解决化石资源使用过程中产生的二氧化碳排放问题。2006 年 1 月 31 日美国政府国情咨文中提

出,到 2025 年,通过包括生物炼制等新技术将替代 75% 从中东进口的石油。目前欧盟已通过转基因油菜种植,年生产数百万吨车用生物柴油,已投入市场。

2 生态化学工程所面临的主要问题

循环经济为发展生态化学工程提供了重要的理论指导。在依据循环经济发展生态化学工程的过程中,人们会遇到许多传统化学工程中所没有的新问题。这些问题主要源于物质与能量需求,且大多涉及复杂系统。

2.1 分散资源的富集、分离和纯化

在产品消费过程中,资源不可避免地分散而且品质下降。资源循环利用首先遇到的是资源再富集、分离和纯化的问题,解决这一问题的难点在于:①世界上所需循环利用的物质不仅品种繁多,而且循环量巨大,多种品种的物质循环量每年已超过几十亿吨;②富集、分离、纯化技术本身必须清洁,没有二次污染;③富集、分离、纯化技术必须高效节能,在经济上合理才可以被接受。

解决分散资源的富集、分离、纯化问题,需要把生产、消费、回收模式统一考虑才更容易实现。目前已有专门从业人员 0.11 万人^[1],相比于 500 万人的化工大军,比例尚少。

2.2 低价位可再生资源的高附加值转化

纵观 300 年的工业发展史,工业经济始终是建立在“矿物、化石”基础上,如炼铁、炼铜、炼油等。然而这些自然资源是有限的,大部分在几十年到百余年内即将枯竭。由于化石资源具有不可再生性,石油的快速消耗已使国际石油价格逐年攀升。为了可持续发展,必须重视可再生资源的开发与利用。

全球规模最大的可再生资源是植物代谢产物,即纤维素、木质素。生物学家估算,地球上每年生长的生物质总量有 1 400 亿~1 800 亿 t(干重),相当于目前世界总能耗的 10 倍^[4]。合理利用生物质资源,将大大降低人类社会对化石资源的强烈依赖。目前大部分生物质资源尚未得到有效利用,成为亟待开发的绿色宝藏。

此外,传统化学工业在矿物加工利用过程中会产生许多副产物。我国尚有多种年产量在百万吨级以上的工业副产物没有得到有效利用,如磷石膏(磷肥工业)、HCl(多种有机合成)、NH₄Cl 或 CaCl₂(纯碱工业)、MgCl₂(盐湖提钾肥)、电渣等。这些废弃的副产物既污染环境,又浪费资源。如何通过能量注入,

变污染为资源,这是生态化学工程迫切需要解决的问题。

2.3 太阳能及其直接衍生的可再生能源的高效利用

人类社会可持续发展的终极制约因素是能量。地球生态系统的能量(包括风能、水能、生物质能、化石能源等)归根结底都来源于太阳能。根据测算^[5],太阳的总辐射功率为 3.75×10^{26} W,其中有二十亿分之一照射到地球大气层上界。由于大气层的吸收和反射作用,照射到地球的太阳能中约有 1/3 可到达地球表面。即便如此,每秒钟辐射到地球表面的太阳能总量也是十分巨大的,约为 17 万亿 kW,相当于全球能源年消耗量的 3.5 万倍。到达地表的太阳能中约有 20% 用于蒸发海水,形成水的生态循环;仅有 0.1% 被绿色植物吸收。植物在生命代谢过程中耗用了吸收太阳能的 50%,其余 50% 的能量遗存在植物产物中。可见,太阳能是个超大的能源库,生物质只固化了其中很小的一部分能量,且能量转化效率不高^[6]。当前最具吸引力的太阳能利用技术,如:直接进行阳光-电转化的光伏电池材料合成^[7-8]、光催化材料用于水的直接分解生产氢能等^[9],都显示出了良好的应用前景。

2.4 低品位、低密度工业能源的有效利用

能量的梯级利用早已在化工、冶金、建材工业中被广泛采用,其指导思想主要是能量交换逆流原则和传热过程强化原则。近年来,采用夹点技术组织企业内数 10 股温度不同、相态不同、数量大小不同的物流之间优化热交换,成为能量高效利用领域取得的新进展^[10]。另外,采用热泵技术利用低品位蒸汽、采用热管技术提高传热效率等,已经形成了具有概念创新的新技术。

3 生态化学工程需要科技创新支撑

生态化学工程所面临的问题向人们提出了新的技术挑战,同时也为生态化学工程发展提供了源动力。预计未来生态化学工程将在以下一些技术领域大有作为。

3.1 生物炼制技术

生物炼制(Bio-Refinery)技术,泛指以生物质为原料,生产大宗化学产品、精细化学品、车用燃料及能量的科学技术。生物炼制是 21 世纪最有挑战性的科学技术,将使农业与工业紧密地结合在一起,为人类社会做出巨大贡献。在生物炼制方面,有大规模应用前景的典型过程是:①通过淀粉发酵生产燃

料乙醇替代汽油;②通过淀粉发酵生产乳酸系列产品,1,3-丙二醇、1,4-丁二醇等大宗化学品用于可降解塑料、纤维;③通过植物油脂生产生物柴油替代柴油;④通过秸秆、粪便发酵生产沼气用于发电和民用燃料,同时生产大量有机农肥;⑤生物质(蔗渣、秸秆、稻壳、垃圾)发电;⑥生物质压缩直接制成板材;⑦玉米胚芽浆作营养源,用于抗生素等精细化学品生产。

这些新技术的开发,将为社会经济可持续发展开辟一片广阔的新天地,但同时也面临严峻的挑战。首先,这是一种对分散资源、分散能源进行分散加工、分散利用的新工、农业模式,人们对此尚缺乏足够认识;其次,生化反应速度一般是常规化学反应速度的万分之一,许多新的生物催化剂和生化反应工程技术尚有待开发研究;再者,生化反应将产生大量废水,需要先进的污水处理技术;最后,鉴于我国人口众多、耕地及淡水资源匮乏的情况,需要生物学家培育出适合在缺水、盐碱、贫瘠土地和海洋中大量繁衍的逆境植物,以扩大生物质来源并逐步改善其品质。

3.2 短缺资源替代技术

我国石油资源短缺形势严峻,据统计^[1],2004 年我国原油消耗量约为 2.9 亿 t,其中进口量 1.2 亿 t,对外依存度达 41% 左右;据悉,2005 年我国原油的对外依存度已经上升到 57%。因此,如何合理加工使用有限的原油是我们首先应该关注的战略问题。2004 年,我国机动运输工具燃料的汽、煤、柴油产量约为 1.5 亿 t/a,另外有 0.6 亿~0.7 亿 t/a 的重油、渣油多采用延迟焦化技术进行加工,其中大部分转化为石油焦而无法再进行高效利用。鉴于原油资源短缺,有研究者提出用煤作原料大量合成汽、柴油的“煤制油”方案。“煤制油”路线投资大、煤耗高(南非已有的间接液化的工业数据表明,合成每吨油的煤耗超过 5 t),从投资规模、资源消耗、技术难度等各方面看,我国难以承受大规模实施“煤制油”工艺。如果采用“煤制氢”工艺,通过渣油加氢过程将 0.6 亿~0.7 亿 t/a 的重油、渣油加工成轻油,则可使原油的汽油、煤油和柴油的收率大幅度增加。所以,限制和淘汰渣油焦化工程建设,慎重对待“煤制油”工程建设,发展重油加氢过程应是充分利用现有原油资源的合理的战略决策。

2004 年我国用于发电的柴油达 650 万 t/a,工业燃料油消耗更高,每年达数千万吨。这些石油制品完全可以用煤和煤气进行代替。由此可见,如果改

变现有思路,摒弃高价大量购进原油而又不珍惜利用原油的做法,打破现有体制和工程思路,则在现有原油消耗量不增加的条件下,每年可以替换数千万吨的汽、柴油用于机动运输工具。

宝贵的原油资源不仅可提供各种车用燃料和能源,还是许多有机化工原料的重要来源。合理利用有限原油资源并不能彻底解决原油资源短缺的问题,开发替代原料路线才是解决此问题的根本出路。以低碳烯烃为例,现有技术每生产 1 t 乙烯约消耗 4 t 轻柴油或石脑油。2005 年,我国乙烯产量约为 755 万 t,预计到 2010 年将突破 1 600 万 t。我国原油的产量及品质远远不能满足管式炉裂解制乙烯的原料要求,必须大量进口轻烃原料。以煤或天然气为原料,经由合成气-甲醇/二甲醚生产低碳烯烃是极具应用前景的原料替代路线。加快发展“煤-甲醇/二甲醚-乙烯、丙烯”的工艺过程,不但可以将数千万吨的乙烯原料油替换下来,还可以避免先把煤转化并链接成长碳链的柴油,再裂解成 2 个碳的乙烯的不合理工艺方案,节省短碳链接长和长碳链裂解加工中的大量能源消耗。发展不需石油的“石油化学工业”,将是生态化学工程的一个重要的新技术源泉。

关于煤炭利用问题,采用超临界、超-超临界锅

炉发电是实现高效转化的优化方案。以煤为原料合成车用燃料时,要科学地认识“替代”能源的含义。我们寻求的是能开机动车的燃料功能,而不是现在车用汽油、柴油物质本身,应该是“功能替代”而不是“物质替代”。根据这一思路,由煤合成车用油的替代品,应首选合成醇-醚燃料,而不是“煤制油”。合成 1 t 甲醇煤耗约为 1.7 t,合成 1 t 二甲醚的煤耗略大于 2 t,与“煤制油”相比原煤消耗大大降低。另外,甲醇、二甲醚价格也远低于汽油、柴油。特别是用二甲醚作燃料,不但尾气排放可以直接达到欧 III 标准,而且可以单独使用或混用(甲醇由于热值较低只能以 5%~15%的比例混用)。由煤或天然气合成替代车用燃料必将有很大发展,所以应该突破现有种种体制、部门利益和传统观念的障碍,尽快为醇-醚车辆(甲醇、乙醇、二甲醚)的使用进行立法。

3.3 非环境友好工艺与产品的替代技术

近年来提出的“全生命周期”清洁生产技术的理念,要求从产品化学组成的筛选→原料、助剂、催化剂筛选→工艺过程→产品使用→产品废弃→回归自然的全过程都是清洁的环境友好的,由此发展了许多新产品、新技术。表 1~5 列举了美国近 10 年来颁发的“总统绿色化学挑战奖”的获奖项目。

表 1 更新合成路线奖

年份	单位名称	获奖项目名称
1996	Monsanto 公司	不以 HCN 为原料,生产除草剂——氨基二乙酸钠
1997	BASF 与 Hoechst 合资公司	消炎药(ibuprofen)新工艺,原子利用率从 40% 达到 80%
1998	Flexsys America 公司	4-氨基二苯胺(4-ADPA)新工艺,用苯胺与硝基苯直接合成,不需加入氯或溴氧化剂
1999	Lilly 实验室	抗痉挛药(anticonvulsion)新工艺,避免了大量溶剂使用和污染物产生,采用生物酶(gosaccharomyces rouxii)固定化催化剂
2000	Roche Colorado 公司	抗病毒药(galleicloui)新工艺,将反应物和中间产物数量从 22 种降低至 11 种,气体排放减少 66%,固体废物减少 89%,4/5 中间产物可循环利用
2001	Bayer 和 Bayer AG 公司	可生物降解的螯合剂——氨基二琥珀酸盐,100% 无废物释放,用作助洗剂、漂白稳定剂、肥料添加剂
2002	Pfizer 公司	合成 Sertraline(重要新药 Zoloft 有效成分)新工艺,三步反应简化为一步,安全性提高,污染减少
2003	Süd-Chemic Inc 公司	固体氧化物催化剂合成的无废水工艺,用于清洁燃料、化学品合成
2004	BMS 公司	植物细胞发酵(PCF)和萃取技术,用于 Taxol(紫杉醇类抗癌药)的绿色合成
2005	Archer Daniels Midland 和 Novozymes 公司	酶催化酯交换法减少食品中反式脂肪酸含量(诱发心脏病)
	Merck 公司	防癌化疗中产生呕吐的 Emend 新药的绿色合成
2006	Merck 公司	由 β 氨基酸制备 Januvia TM 的活性成分

表2 改进溶剂和反应条件奖

年份	单位名称	获奖项目名称
1996	Dow 化学公司	用 CO ₂ 代替 FeCl ₃ 作苯乙烯泡沫塑料发泡剂
1997	Imation 公司(明尼苏达州)	光热法曝光胶片,显影只需加热,称 Dry view 技术,不需化学显影、定影
1998	阿贡国家实验室	高效、高选择性乳酸酯工艺,可代替各种溶剂用量的 80%,目前美国此类用量为 380 万 t
1999	Naclo 化学公司	开发带电聚丙烯酰胺的水基生产过程用于废水处理除去悬浮固体及污染物
2000	Bayer Corp. Pittsburgh	开发了两组分水性多羟基化合物涂膜技术
2001	Novozymes 公司	利用果胶裂解酶进行棉纤维润湿脱脂棉的 Biopreparation 工艺,纺织厂可节水 30% ~ 50%
2002	Cargill Dow 公司	聚乳酸(PLA)绿色生产工艺,产率高,不用有机溶剂可生物降解
2003	DuPont 公司	微生物法生产 1,3-丙二醇
2004	Buckman 国际实验室公司	再生低污染物消除的 Optimyze 酯化酶水解技术
2005	BASF 公司	紫外线固化,低挥发有机物(VOCs)用于汽车底漆修补
2006	Codexis 公司	采用先进的基因方法开发了一种酶基过程,这一过程极大地改善了用于合成 Lipitor® 的关键构件分子的生产过程

表3 设计更安全化学品奖

年份	单位名称	获奖项目名称
1996	Rohm & Haas 公司	环境友好海洋生物防腐剂,用于船舶表面防海洋动植物附着,选出 4,5-二氯 2-正辛基 4-异噻唑啉 3-酮代替三丁基氧化锡(TBTO)
1997	Albright & Wilson 公司(弗吉尼亚州)	开发四羟甲磺酸磷(THPS)杀生物药剂,有良性毒理,选择毒性(对人毒性)小
1998	Rohm 和 Haas 公司	开发二酰基肼杀虫剂(Confirm™),除对毛虫外对所有生物无害
1999	Dow Agro Sciences LLC(Dow Chem. Co. 子公司)	高选择性、环境友好杀虫剂,对毛虫,苍蝇等有害,而不影响益虫,环境中不累积,不挥发
2000	Dow Agro Sciences	白蚁诱饵,抑制昆虫角质素合成,使其在脱皮时死亡,为低害杀虫剂
2001	PPG 工业集团	把阳离子电沉积油漆用于汽车工业,用钇(在地壳中比铅丰富)代替铅、铬、镍,抗腐蚀性强
2002	Chem. Special-ties 公司	用碱式四元铜盐(ASQ)替代铬砷合剂(CCA)作木材防腐剂
2003	Shaw Industries Inc.	地毯片,用聚烯烃树脂代替传统沥青-PVC-聚氨酯(PU)材料,可回用,从“摇篮到摇篮”清洁
2004	Engelhard 公司	环境友好的偶氮颜料,用钙、锶、钡代替铅、铬、镉重金属
2005	A. D. Midland 公司	非挥发性聚结成膜剂,降低乳胶涂料挥发性
2006	SCJ 公司	研发出了 Greenlist™ 系统,该系统用来评估其产品中各成分对环境 and 人类健康的影响,并指导消费品配方的改进

表4 小企业奖

年份	单位名称	获奖项目名称
1996	Donlar 公司	开发 2 种生产热聚天门冬氨酸代替聚丙烯酸,可被生物降解
1997	Legacy System 公司	开发冷却臭氧过程,除硅晶片上有机物,清洁蚀刻电路板,代替溶剂清洗
1998	Pyrocool 技术公司	推出 Pyrocool FEF 灭火剂和制冷剂,环境友好产品
1999	Biofine 公司	废纤维素转化成乙酰丙酸新技术,用于处理造纸废物、垃圾、废纸、废木材,产率可达 70% ~ 90%,可代替双酚 A 用于高分子材料(双酚 A 破坏内分泌系统)
2000	Revlon 公司	发明玻璃印花技术,原料不含重金属,成分有可生物降解性,美观耐久
2001	EDEN 生物子公司	无毒性蛋白质技术,用于激发植物自然分泌防御系统,抗病虫害,已由 40 多种农作物证明有效
2002	SC Fluids 公司	超临界 CO ₂ 用于半导体工业中,洗除光致抗蚀剂
2003	Agra Quest Inc.	高效环境友好生物杀真菌剂,用于果园、花园
2004	Jeneil 生物表面活性剂公司	用鼠李糖脂代替传统表面活性剂,天然、低毒,用于餐具清洗、肥皂等
2005	Metabolix 公司	酶催化引入细菌做微型反应器,合成聚羟基脂肪酸酯(PHAS),生物降解塑料
2006	Arkon 和 NuPro 公司	开发了苯胺印刷工业中对环境安全的溶剂和循环利用方法

表 5 学术奖

年份	单位名称	获奖项目名称
1996	Texas A & M 大学, M. Holtzapfle 教授	把废生物质转化为饲料、化学品与燃料, 石灰水或高压低温液氨处理使纤维素膨化, 再酶降解
1997	北卡罗来纳大学, J. M. Desimone 教授	开发能溶于 CO ₂ 的表面活性剂, 用于微电子和光谱清洗
1998	斯坦福大学, 特罗斯特教授	创立“原子经济”概念
1999	Carnegie Mellon 大学, Collins 教授	发展了一系列 Fe(III) 配位化合物(TAML 活性剂), 增强过氧化氢的氧化能力, 低温下(55℃)活化 H ₂ O ₂ 漂白木浆
2000	Scripps 研究所的 Chihuey Wong 教授	开发了不可逆的酶消化的酯转化反应, 用于药品生产
2001	Tulane 大学, Chao-Jun Li 教授	发展了“准自然”催化作用, 使在空气和水中应用的过渡金属催化剂用于以水为溶剂的多种合成反应
2002	Pittsburgh 大学, Eric. J. Beckman 教授	筛选低压 CO ₂ 能替代的有机溶剂的方法
2003	纽约布鲁克林技术大学, R. A. Cross 教授	脂肪酶催化聚合, 温和、高选择性
2004	佐治亚理工学院, Eckert 和 Liotta 教授	用超临界 CO ₂ 、亚临界水实现反应-分离一体化, 环境友好, 溶剂可调
2005	Alabama 大学, Rogers 教授	离子液体溶解和处理天然纤维素制备新材料的“平台策略”, 减少对化石原料的依赖
2006	Missouri-Columbia 大学, Suppes 教授	从天然丙三醇合成出生物基的丙烯乙二醇和合成聚羟基化合物的单体

2006 年 6 月 26 日在美国华盛顿举行了美国总统绿色化学挑战奖第 11 次颁奖仪式。为了更好地突出奖项绿色化学的宗旨, 2006 年对所设奖项的提法做了一些变动: 更新合成路线奖变为绿色合成路线奖、变更溶剂和反应条件奖变为绿色反应条件奖、设计更安全化学品奖变为设计绿色化学品奖, 小企业奖、学术奖提法未变^[11]。

3.4 互利共生与再资源化技术

互利共生是指通过建立产业链在生产中做到物质综合利用。如现代化的钢铁企业, 除了生产优质钢材以外, 还可以生产化工原料、处理垃圾、提供氮源等。还原钢铁最为有效的过程是焦炭转化为一氧化碳的化学还原反应, 而一氧化碳的最佳利用是生产化工原料, 如甲醇、二甲醚等; 炼铁高炉又是很好的废塑料等垃圾的消纳场所; 空气炼钢副产大量氮气, 液氮是重要的低温冷源, 有处理废橡胶等多种用途。所以, 现代钢铁厂应是多元互利共生的企业。

再资源化是针对废弃物的回收利用而言的, 如纸张再生, 轮胎翻新, 铁、铜、铝回炼等。以轮胎的再资源化为例, 每翻新一轮胎可以节约 70% 的橡胶资源。我国的轮胎翻新率仅为 4%, 而发达国家则为 15% 以上。可见我国在再资源化方面还有很大潜力。再资源化要求从产品设计的时候就为再次利用做考虑, 并贯彻于回收、分拣和再利用的各个环节。

3.5 集成优化与生态工业园区

集成优化是指在一定界区内通过物流、能流分

析, 延长能提升产品价值的产业链, 在链接过程中实现污染物的消纳、资金的最合理投放等。通过集成优化可以构建出生态工业园区。

生态工业园区可以分成以下几个类型: ①全新规划型。即从无到有进行全程的规划和建设, 全程监控; ②综合改造型。即地区已有多种类型产业, 如化工、冶金、炼油、生化、电子等, 需要综合组织产业, 优化产业链; ③专题主导型。即以某一大型企业为主导, 配置地区综合产业链; ④虚拟型。即通过数据库的信息流交换建立多方位、长短期结合的综合利用, 实施跨地区的合作。

生态工业园区的设计需要因地制宜, 灵活选用恰当的组织型式。联合国提倡的卡伦堡(Kalundborg)工业园区被视为利用信息系统工程提升产业集群效益的成功典范。近年来, 我国正逐步开展相关示范性研究, 鲁北生态园区是一个成功的综合改造型例子。在鲁北生态园区内, 把料浆法生产磷肥时的大量磷石膏废物进行加热分解成氧化钙, 用于水泥生产, 而裂解气中二氧化硫用于硫酸生产, 产品硫酸循环用于磷肥生产, 这样使磷肥厂、硫酸厂、水泥厂得到最佳匹配。

4 结语

化学工业是以“物质的传递与转化”、“能量的传递与转化”及“信息的传递与优化”为工程科学基础的产业, 密切关系到国家的经济命脉和百姓的衣食

(下转第 8 页)

能源大多也是石油加工产物。因此,我国经济持续快速发展对石油需求的急剧增加是通过炼油化工产业体现的。到 2004 年我国进口原油已达到 1.27 亿 t,对外依存度比各方预计提前几年达到了 40%。这引起了国内政治、经贸、外交、军事各方面的关注。在目前的形势下,有必要重新审视我国炼油化工产业的资源和能源完全依赖石油的格局,并考虑新的出路了。

2 传统观念和机制及其导致的资源配置问题

中国的炼油和石化工业经过几十年的发展,已经形成了相当大的规模和比较全面的产业集群。炼油加工能力达到 3 亿 t/a,乙烯产能近 700 万 t/a。但由于经济体制和管理机制方面的原因,在资源和能源的构成和配置方面一直沿袭着相对固定的观念和模式。除了上述依赖石油以外,还有:①自给自足,小而全,大而全,企业之间缺乏联合互补和物流与能流的循环;②资源,特别是中间产品资源的价值不是由市场定位,而是人为规定财务结算的方法;③建设和规划受行政区划影响很大,全局市场优化配置不够;④更重视外延的发展,重产量、产值,对质量、品种、节省资源和能源消耗等内涵的集约发展强调不够;⑤在三大国有石化集团公司垄断的格局下,在公司的内部各个企业之间存在着物流和能流的非市场机制的关联交易。

这些传统的观念和模式造成了资源配置不合理以及由其所导致的资源和能源的低效率和非优化使用,甚至浪费。现举例如下:

(1)中国的一次能源构成中,高含氢的石油和天

然气人均资源不到世界平均的 1/10。尽管油气资源非常稀缺,但在中国的化工厂和炼油厂里,大量含氢的副产气体被当作燃料烧掉,而另一方面又用大量的石脑油、饱和 C₃、C₄ 轻烃等宝贵的化工原料烃类去制氢。

(2)中国石化工业龙头企业乙烯工业 90%是以石脑油、煤油、柴油、加氢尾油、减压馏分作为裂解原料,乙烯的平均收率只有 32%^[1]。与此同时,炼油厂每年副产的上千万吨乙烷、丙烷和丁烷等轻烃,包括 1 000 多万 t 液化石油气(LPG),作为工业或民用燃料被烧掉。而用轻烃作为乙烯裂解原料时乙烯收率要比用重组分为裂解原料高一倍以上。

(3)在西部较为分散的油井,在获取石油的同时,每年有上百亿 m³ 以甲烷为主、含有部分乙烷、丙烷和丁烷等轻烃的伴生气在井口放空烧掉。每年有上百亿 m³ 焦炉煤气,在获取焦炭的同时,在小炼焦厂放空烧掉。

(4)通过炼油厂生产芳烃,只需要经过原油蒸馏和重整 2 道工序。而通过乙烯装置生产芳烃要经过 3~4 个生产工序,增加了投资、能耗和生产成本。由于中国乙烯原料重质化导致乙烯裂解产物中有大量重整原料的 C₆~₉ 烃,使得乙烯厂成为芳烃的重要来源。

(5)中国化石能源以煤为主,等热值的燃料油/煤比价一般高于国外 2~3 倍;在西部靠近煤矿的地区目前可达 4 倍以上。这些地区的炼油厂以煤为产生蒸汽的锅炉燃料,顶替出渣油,通过催化、延迟焦化或丙烷脱沥青等二次加工手段生产高附加值产品,是资源优化利用的重要途径。但由于体制的

(上接第 6 页)

境科学出版社,2005.

行。我国化学工业的发展必须改变传统模式,学习自然生态系统的无废物运行规律,才能在 21 世纪实现持续发展。在循环经济理念的指导下发展生态化学工程,尤其需要依赖工程科学进步与技术创新。如果缺少先进的工程科学技术作为支撑,循环经济的理念再美好,也只能是海市蜃楼,难以实现。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2005[M].北京:中国统计出版社,2006.
- [2] 赵晏彪,李勇武.行业发展硕果累累 协会工作任重道远:访中国石油和化学工业协会会长李勇武[J].中国石油和化工经济分析,2006(2):6-11.
- [3] 国家环境保护总局.中国环境统计年报 2004[M].北京:中国环

- [4] 吴剑之,马隆龙.生物质能现代化利用技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [5] 朱瑞兆,祝昌汉,薛桁.中国太阳能·风能资源及其应用[M].北京:气象出版社,1988.
- [6] 张录强.生物质能开发是误区 太阳能开发是方向[J].太阳能,2005(5):13-15.
- [7] 王志伟.2005 年太阳能光伏行业回顾与展望[J].中国建设动态:阳光能源,2006(1):86-87.
- [8] 赵玉文.中国光伏产业的问题和对策[J].可再生能源,2004(2):5-8.
- [9] 李鑫,李安定,李斌,等.太阳能制氢研究现状及展望[J].太阳能学报,2005,26(1):127-133.
- [10] 张济民.夹点技术及其应用[J].化学工程师,2004(6):45-46.
- [11] 沈玉龙,刘长虹,吴树新.2006 年美国总统绿色化学挑战奖项目评述[J].现代化工,2006,26(7):61-64. ■