

文章编号: 1008-1542(2007)03-0169-05

循环经济与我国化工行业发展趋势

金涌¹, 王琰², 周薇², 胡永琪²

(1. 清华大学化学工程系, 北京 100084; 2. 河北科技大学化学与制药工程学院, 河北石家庄 050018)

摘要: 针对中国经济发展面临的问题, 论述了循环经济的内涵和实践的可行性, 以及循环经济与实现和谐社会的关系, 提出了循环经济建设中循环经济理论平台、工程实践平台和生态伦理、法规和道德平台等 3 个平台建设的必要性, 介绍了以循环经济理念对化工行业中能源化工、生物化工和生态化工 3 个领域发展的指导作用。

关键词: 循环经济; 化学工业; 和谐社会

中图分类号: F061.3 文献标识码: A

Circular economic and development trend of chemical industry in China

JIN Yong¹, WANG Yan², ZHOU Wei², HU Yong-qi²

(1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. College of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

Abstract: The connotation and practical feasibility of circular economic, and the relation between circular economic and harmonious society, were discussed in view of the problems encountered in the present economy development of our country. Three platforms: theory platform, engineering practice platform and the platform on ecological ethics, regulations and morality, were proposed and the necessity of these platforms' construction in circular economic was expounded. The guidance roles of circular economic to chemical industry, especially to energy chemical industry, bio-chemical industry and ecological chemical industry, were introduced.

Key words: circular economic; chemical industry; harmonious society

1 新世纪中国经济面临的课题

近 20 多年来, 中国经济持续高速发展, 多种产品总产量已居世界首位。城市化进程加快, 市场需求旺盛。由于中国资源、能源人均保有量低于世界平均水平, 再加上技术水平制约, 相同生产过程物耗、能耗较高, 造成了环境污染严重, 生态状况恶化。

中国资源与能源状况是: 矿业资源总量居世界第五位, 人均藏量居世界第 53 位, 2/3 矿种短缺; 化石资源中原油储量占世界的 2.43%, 2005 对进口油的依存度达到 42.9%, 天然气储量占世界的 1.20%, 煤储量为世界人均的 45%, 2005 年煤的开采量已占世界产量的 37%; 淡水资源相当世界人均的 1/4, 居世界第 110 位, 而淡水消耗量占世界第一。与此同时存在严重的环境污染: 2005 年中国废水排放量达 524 亿 t, 超过环境容量的 76%, 二氧化硫排放量为 2 549 万 t, 酸雨区面积已占国土面积的 1/3。所以当今社会持续发展的突出任务是“发展”与“资源环境”的矛盾。

收稿日期: 2007-09-06; 责任编辑: 李穆, 张士莹

作者简介: 金涌(1935-), 男, 满族, 北京人, 教授, 中国工程院院士, 主要从事化学工程研究与技术创新开发工作。

2 循环经济与和谐社会

中国经济要想持续保持高速发展,就必须改变粗放型经济增长模式,这是新世纪中国经济发展面临的重大课题。

世界上对于社会经济应如何实现持续发展的讨论已经经历了半个世纪。20世纪末生态经济学家介入讨论后,提出了效法自然生态中物质在植物(生产者)-动物(消费者)-生物(分解者)之间循环和利用低品质可再生资源(太阳能)驱动的法则来组织社会经济活动的“循环经济”理念,其使人类社会对可持续发展的认识进入了新阶段。

循环经济的内涵是:社会经济增长必需要建立“资源生产产品消费可再生资源重新利用”,“全生命周期”的高效、清洁生产机制,从源头防止污染,保护生态环境,能源优化利用和可再生能源开发,做到既提高人民生活品质,又避免由于无节制掠夺式开发导致自然生态破坏的新经济模式。

早期循环经济思想萌芽产生于20世纪60—70年代,美国经济学家鲍尔丁提出“宇宙飞船理论”给出了最直观的描述。即地球就像在太空中飞行的宇宙飞船,在地球上生存的人类都类似乘坐飞船的旅客。资源有限性制约着寿命,宇宙飞船的延续有赖于资源的循环利用,并指出以新的“循环式经济”代替旧的“单程式经济”是唯一出路。

循环经济追求的目标是:充分、重复、循环利用资源,优化利用资源,可再生能源开发,环境与生态保护,效率和利润最大化——同时用这四条标准,审视所有现行生产过程。

循环经济具有可行性。实践证明,人均GDP的增长是可以持续进行的,而随着人均GDP的增长,恩格尔系数会不断下降。随着产品灵巧化、智能化的提高,在个人生活品质上升的同时,单位物耗、能耗将会逐步降低。

国际政坛一直进行着有关“循环经济”的实践。例如:1972年6月,联合国斯德哥尔摩《人类环境宣言》中说“人类只有一个地球赖以生存,它不是从上代人继承下来的,而是从下一代人手里借来的”;1987年挪威首相布伦特兰夫人主持《我们共同的未来》报告中提出必须改变发展模式;1992年,联合国《里约热内卢环境与发展宣言》中首次提出人类应遵循可持续发展方针,可持续发展被定义为既符合当代人需求又不致损害后代人需求的发展;2002年8月,联合国《约翰内斯堡宣言》制订了可持续发展战略时间表和国际合作计划。

胡锦涛在中央资源环境工作会上指出:“我国要加快转变经济增长方式,将循环经济的发展理念贯穿到区域经济发展、城乡建设和产品中,使资源得到最有效的利用,最大限度地减少废弃物排放,逐步使生态步入良性循环。”

因此,循环经济与和谐社会之间的关系是:和谐社会建设需要保持社会发展的活力,“发展是硬道理”,一切有利于社会进步的创造愿望应得到尊重、支持,并为社会成员充分施展才能提供机会和舞台;社会发展需要凝聚力,促进社会公平和正义,妥善协调社会成员间的关系,扶贫济困,诚信祥和;社会发展还需要持续力,建立社会与自然的和谐关系,保护社会的资源和环境,也为子孙后代提供优良发展空间。

总之,保证社会高速发展的同时,实现同代人之间公平正义,并维护下代人享有同等发展机遇。

3 循环经济中三个平台的建设任务

运用自然生态规律来指导人类社会经济活动、实现可持续发展,需要解决三个平台建设问题。

第一是循环经济理论平台建设。传统经济学在涉及自然资源和环境容量时,总将它们作为“公用物品”而无偿使用,现在需要对“环境价值”、“资源价值”进行定量计量,并纳入市场经济机制,建立如绿色GDP等新的经济学体系。

第二是循环经济的工程实践平台建设。循环经济要求产业技术追求的目标有4条:充分、重复、循环利用资源;优化利用能源;可再生能源开发;环境与生态保护;效率和利润最大化。同时用这4条标准审视所有的现行生产模式和生活方式,通过科学技术创新和生态产业园区规划逐步实现。既做到每个生产单元技术是共赢的,且使某一界区内的物质流、能流、价值流、资金流……配置得到优化集成(如一个厂的“废物”成为

相邻另一个厂的原料,第二厂的“废物”又作为下一厂的原料……)。必须确认工程科学技术创新是循环经济的基石。

第三是循环经济的生态伦理、法规和道德平台建设。由于生态破坏容易,恢复难,需要通过政府立法、教育和道德养成,循环经济社会才能建成。如对“谁制造,谁分解;谁销售,谁回收;谁污染,谁治理”等理念的推进是十分必要的。充分发挥政府与民间组织的宣传、立法、指导、监督、执法等作用。总之,发展生态产业工程要求我们通过以资源消耗小、污染少的新的工艺淘汰落后工艺;通过资源能源消耗减量,通过资源能源在生产中重复利用、循环利用,通过废弃物再资源化,通过发展互利共生产业,通过区域内生产要素间的最优配置建立生态产业园区来实现。这将是一个需要多学科介入、长期奋斗的艰难的过程,是一个惠及子孙的伟大任务。

4 应对循环经济,化工行业面临的挑战

化工行业在国民经济中的地位十分重要,不仅在保障和提高人民生活的衣、食、住、行质量时离不开化工产业的发展,而且在高新科学技术进步中,化工领域的科技进步往往也起着开路先锋的作用。如信息产业的发展有赖于高质量硅产品的生产,航天航空的进步有赖于高能燃料和高强材料的进步。生物科学的发展中,只有与化工结合才能打开大规模工业化通道。纵观世界各国化学工程行业的发展速度,多年来一直普遍高于该国GDP发展速度,但循环经济理念在工业生产中的贯彻,为当今化工行业发展提出了新的课题。

4.1 能源化工

随着世界石油价格的飙升、石油市场的不稳定,以及近年来中国石油需求迅速增加,导致进口量猛增,预计到2020年,每年将约有2.5亿t石油缺口,面对这一系列问题,引发了国内对中国交通替代能源研究和开发的讨论。如何根据中国煤炭资源相对丰富的国情,如何正确解决这一重大问题,显得十分迫切和重要。为了对交通替代能源有一个全面的战略思考,可参考世界各国对解决相同问题所提倡的发展理念。

1)“氢能经济”是美国对“后石油时代”交通替代能源的战略思考,其核心思想是把矿物燃料(天然气、煤等)、生物质燃料(秸秆、林业废弃物等)和可燃废物(废塑料、废包装等)首先在工厂转化为氢气,这时产生的CO₂可以深海埋藏,也有利于其副产(低值蒸气)有效利用。生成的氢气通过燃料电池高效率(70%~80%)转化为电能,这样,将没有CO₂排放,可以做到生产过程与使用过程完全清洁。

由煤生产氢气的技术是成熟的。Lurgi炉、Koppers-Totzek炉和Texaco炉的冷煤气效率分别为63%,70%~75%,70%~75%。虽然Shell炉投资明显高于其他炉型,但可以达到更高的能量利用率(80%以上)。煤气中的CO成分大致与H₂成分相当,CO经变换反应制氢可以回收一部分能量,而H₂的净化和压缩需要耗用一部分能量,如果都不考虑在内,则煤炭经制氢到燃料电池发电,其总效率是最高的,可以达到60%以上。但是,该过程有一系列的技术难题需要克服:如氢的运输、配送、存贮和燃料电池技术尚不够成熟等。所以,尽管从资源、能源、环境等多角度考查,该过程是最有利的,但以目前的技术水平看,中国难于在短期内实现大规模使用。

2)“阳光经济”是欧洲提出的解决替代能源的路径,它是采用大量种植转基因菜籽,通过菜籽油与甲醇的酯交换反应,生产生物柴油,用生物柴油燃料驱动汽车,尾气排放是清洁的,其CO₂排放量要少于菜籽油生产中植物吸收的CO₂量,生物柴油目前已经形成了每年数百万t的生产规模,成为非常成功的可再生能源之一。

“阳光经济”同样在南美洲,特别是巴西得到了重要的工业应用。巴西甘蔗加工有大量的糖蜜副产物,糖蜜作为最好的发酵原料,可以大量生产酒精。酒精单独或与汽油掺混,都是很好的替代燃料,既是可再生能源,也不产生CO₂(净排放)。

但是,中国是一个土地资源十分贫乏的国家,虽然通过逆境植物的培育(如木薯、甜高粱、麻风树等)也有一定前景,但这对于中国也难以成为替代能源的主体。

3)“煤变油”的南非路线。南非在上世纪中叶被联合国制裁期间,通过煤间接液化法开发了大约(750~

800) 万 t/a 合成技术, 每年消耗原煤 45.90 Mt, 生产合成燃料 4.58 Mt, 化工产品 3.10 Mt, 唯一拥有世界领先技术, 但煤炭资源消耗量难于承受。

“煤变油”高消耗路线是否可能通过技术进步, 从根本上加以改进呢? 从化学原理出发, 从 CO 和 H₂ 合成长链烷烃(煤变油的产品一般为 20 碳以上的长链烃)。每把一个碳链接上需要一个分子的氢, 同时生成一个分子的水。每合成 1 t 20 碳链长的粗品油料, 同时副产 1.28 t 水。当然在这一转化过程中, 水的生成热是很难高效利用的, 合成反应的原子利用率= 目的产物的分子质量/所有产物的分子质量= $282/(360+282)=0.439$ 。由此得到的粗品油料需进行加氢裂解, 成品油收率一般为 80%, 再计入煤气化成为合成气时 80% 的转化效率, 煤气净化、压缩等工程消耗, 南非 Sasol 公司的 5.9 t 煤/t 清洁柴油的消耗指标已经很难再有大幅度改进。

4) 中国在交通替代能源的技术路线选择上, 必须根据国情进行独立思考, 通过综合途径解决难题。

发展重油加氢技术取代“延迟焦化”炼油装置。每年约有 40 Mt 重质原油, 通过焦化过程进行轻质化是十分不合理的。不可思议的是一方面通过大量能量消耗, 把煤炭转化成油, 另一方面, 又把大量重油转化成焦炭。如果采用煤制氢, 再把氢气用来进行重质油加氢重整, 每年就可多产 1 000 万 t 以上的轻质燃料油。

需要适度发展“醇二醚燃料”路线。每合成 1 t 甲醇仅耗用 2.2 t 煤, 在汽油中掺混 5%~15% 的甲醇, 在技术上、经济上是完全可行的。当然, 全甲醇燃料汽车尚有待进一步研究。二甲醚作为柴油代用燃料, 其十六烷值高于柴油, 其尾气直排符合欧洲 II 号标准。而由于二甲醚没有 C—C 链的合成过程, 其合成反应原子利用率为 72%, 大约是合成油的 1.64 倍, 更为重要的是由于它是含氧燃料, 汽车气缸内完全燃烧所需吸入的 O₂ 和 N₂ 少, 可使 1 kg 二甲醚和 1 kg 柴油开车里程是相同的。二甲醚作为替代石油的燃料符合循环经济发展理念, 既节约资源、能源, 又保护了环境, 但它也需要有一个培育过程。如二甲醚的输配系统不能直接利用现有汽油、柴油系统, 但对于城市公共汽车、出租车, 在推行燃气汽车的同时推行二甲醚燃料, 在技术上、经济上都是可行的。所以要加速开发先进的一步法二甲醚合成技术, 替代化工原料用油。中国合成乙烯等化工过程生产用油量, 到 2010 年可能增加到 47~56 Mt。这部分油料可以用煤、甲醇、二甲醚、乙烯、丙烯合成路线代替, 这样又可顶替下大量石油消耗, 不致产生以下尴尬局面, 即一方面以高能耗为代价, 通过“煤”合成“油”把 C—C 链接长, 另一方面, 又通过裂解制乙烯、丙烯工艺把柴油(长链烃)裁短的不合理产业决策。

由于天然气在世界上的储量和产量的持续上升, 其来源稳定性和价格都远优于石油, 所以进口天然气进行加工或在原产地加工后进口, 也是一条国际上“后石油时代”的重要思考理念。中国必须加快开发天然气加工技术, 即天然气转化为低 H₂/CO 比的“部分氧化”合成气技术, 合成甲醇、二甲醚、柴油、低碳烯烃技术, 以应对发展需求。

4.2 生物化工

迄今为止三百年来工业经济发展的基础是矿物的开发利用, 起源于炼铜、炼铁、炼焦、炼油等。这些原生矿物和化石矿物在地球上的储量是有限的, 绝大部分品种在几十年到 200 年之内即将消耗殆尽。而地球上的生物资源却是年年循环往复, 不断再生的。如果未来的工业主要转向以生物质为加工原料, 用生物产业为人类提供开汽车的油料、衣食住行的高分子材料和医疗、营养等精细化学品, 就是转向“生物炼制”产业, 则为人类长远的可持续发展提供了可能性。

生物质在地球上的循环是依靠太阳能的驱动。中国单位面积阳光辐射年总能量据推算在 $3.3 \times 10^3 \sim 8.4 \times 10^6$ kJ/m² 之间, 陆地接收太阳能约为 2.4×10^4 亿 t 标煤/a。如果生物炼制的阳光有效利用率可达到 1%, 其巨大潜力是支撑社会经济发展的最终能源。

生物质提供的大宗资源有淀粉、油脂、蛋白质、纤维素、作物秸秆/林业废弃物、畜禽粪便、食品发酵工业废物等, 加工后可转化成多种化学品(如已经说明过的生物柴油、燃料酒精等, 还有大量人工合成的多种高分子材料、复杂药用和专用精细化学品等)。

生物炼制已经完全进入工业发展阶段, 2006-01-31 美国布什政府国情咨文中已提出: “我们存在的严重

问题是沉溺于对来自世界不稳定地区石油的依赖。”“新技术的突破可以帮助我们实现一个宏大的目标,即到2025年,新能源可替代我们75%从中东进口的石油。”“改变以石油为基础的经济,将会显著地改善我们的环境。”

巴西燃料乙醇的计划成绩最为显著,2004其产量已达到1300万t/a以上,占油料总量的43%。中国也在大力发展燃料乙醇替代石油,2005年乙醇总产量已达到287万t/a。欧洲采用菜籽油生产生物柴油的技术得到较广泛的应用,2004年产量已经达到224万t/a。中国在生物质利用中,沼气生产得到有效的推广,2003年全国沼气产量已达到12亿 m^3 ;生物质发电也有较好成绩,2003年蔗渣热容量为170万kW,稻壳发电5万kW,垃圾发电15万kW。

采用生物质为原料生产大宗化学品也有广阔前景,如发酵法生产1,3-丙二醇、1,4-丁二醇等合成纤维原料,聚乳酸等可降解塑料,都在迅速发展。生物炼制技术可以为我们提供许多贵重的精细化学品、医药制品。例如:2004年美国绿色化学挑战奖授予植物细胞培养与萃取技术相结合制取紫杉醇类抗癌药物,就是突出的例子。

总之,世界经济将从依赖“碳氢化合物”(即石油、煤、天然气等)转向依赖“碳水化合物”(淀粉、纤维素、油脂等)的趋势是不可避免的。由于分散能源(阳光)、分散资源(生物质)的使用,及其产品的多样性、个性化和分散使用将给未来工业经济、技术、产业规模带来的变化可能也是十分巨大的。

4.3 生态化工

生态化工的基本观念是以自然生态的运行规律为借鉴,发展现代化学工业技术。在这一理念的指导下,使社会经济发展与自然生态相融合,将引起化工产业发展多方面的改变。以“清洁生产”概念的演化过程为例,可以得到许多清晰的启示。

清洁生产最低层次的要求是“治理污染,达标排放”,也就是治理的目标仅是达到国家排放标准。这是多采用污染流稀释的手段,如把烟囱加高,以加大其在气流中的扩散等,对于污染物排放总量没有限定要求;第二层次的要求:污染物排放总量的限制,如污水中有害物质的吸收、吸附分离,有机污物的生物分解,使水质得到改善,并加以循环利用,这样可以达到正常生产条件下污物微排放,甚至零排放。而第三层次的清洁生产理念是生产过程的“源头治理”。有污染物排出的生产过程即便是达到零排放,它的有毒、有害物质仍存在于企业内部。在开、停车与生产事故中仍可排出,污染环境。如果通过新科技的支撑,发展用相应的无污染生产工艺来替代,使有害物质不再作为原料利用和产品产生,则可实现真正的清洁生产。第四层次的清洁生产理念是“全生命周期”的生态化生产理念,就是生产的化合物本身是经过分子优化设计的,它使用的原料、辅料、催化剂、溶剂是清洁的,化学生产过程中是不污染的,产品在使用过程中是无害的,产品使用后废弃物是无害的。在自然界中代谢分解过程与自然生态循环相和谐,而且希望能够重新被清洁再利用,也就是说要求达到从“摇篮”到“坟墓”,或者说从一个“摇篮”到另一个“摇篮”都是清洁的,这当然有赖科技创新提供的硬技术支撑。

最终层次清洁生产的理念是从非单一化学品清洁生产着眼,在经济上合理运输距离的界区内,实现地区内多种化学品生产过程之间的耦合和协调,使这个厂的废物可作为第二个厂的原料,第二个厂的废物又可用于下一个厂的生产过程,使这一区域内的物流、能流、可再生资源流、资金流、附加值流得到优化配置,即实现优化的生态园区的规划。这当然有赖于系统工程软科学的支撑,在这一领域国内外都已做出很大成绩。

生态化工研究的另一个切入点是通过若干重要化学元素,如硫、磷、氯、钾、碳等元素工业代谢过程的研究,考察各种元素是如何进入工业工程应用的,以及在应用过程中经历了哪些并行或串连的化学反应,加工、使用、废弃和再利用过程,研究这些过程中伴随着能量、资源的消耗,污染废物的产生,以及附加值的变更。通过这一工业代谢的定量分析,去寻求过程的优化和新技术的开发,这将对生态化工中倡导的资源、能源、环境和效益总体优化起到推动作用。

总之,循环经济对于化学工业提出了许多新的命题,而在自然生态理念的指导下,化学工业对于人类社会经济持续发展和繁荣将做出巨大的贡献。