

## 专论与评述

编者按:科技的飞速发展,创造了辉煌的物质文明,但同时也使人类社会陷入困惑:人口爆炸、自然资源的过度开采和消耗导致全球资源短缺;传统的生产模式和生活方式造成了环境的污染和生态的破坏。人们经过反思后提出了新的发展模式:走可持续发展的道路。化学工业是我国支柱产业,但也是对环境冲击较大的产业,在可持续发展的道路上责任重大。在本栏目刊出的2篇文章中,作者从原子经济理论出发探讨了化工高新技术的发展方向;以零排放为目标,提出若干发展建议。这对制定化工行业的发展战略、确定研发方向具有重要的参考价值,欢迎广大读者阅读并参与讨论。

——本刊编辑部

# 树立科学发展观 实施零排放战略

邝生鲁

(武汉工程大学 湖北省新型反应器与绿色化工重点实验室,武汉 430074)

**摘要:**我国经济高速增长,人口、资源和生态环境之间矛盾日益显现,环境污染和自然资源缺乏已成为经济可持续发展的瓶颈,为此必须实施零排放战略。要达到零排放目标,必须运用循环经济模式,采用清洁生产工艺——绿色化学以及按共生工程和生态学原理构建生态工业园区。根据中国国情提出新的零排放行动原则和若干建议。

**关键词:**零排放;循环经济模式;绿色化学;生态工业园

中图分类号:TQ-9

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2005)01-0002-07

## To implement zero emission strategy, with a scientific development viewpoint

KUANG Sheng-lu

(Hubei Key Laboratory of Novel Reactor and Green Chemical Technology, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** With a rapid economic development of China, the contradictions among the population, natural resources and ecological environment increases apparently. Because the pollution and the lack of natural resources becomes a bottleneck of sustained economic development, it becomes necessary to implement the zero mission strategy. And in order to achieve the target of zero emission, the cycling economy model must be applied to adopt cleaner production technology, viz. green chemistry, and to construct ecological industrial park areas consisting of cogenerating systems. The principles of zero emission are introduced, and some advices are put forwards.

**Key words:** zero emission; cycle economy model; green chemistry; ecological industrial park

我国经济正以前所未有的高速增长为世界所瞩目。而这一切成就都是通过巨额资源消费获得的<sup>[1]</sup>。

2003年我国能源总消费为世界第二大消费国。2004年在进口1.2亿t石油情况下,仍然出现能源严重短缺。我国1亿美元GDP能耗为11万~12万t标准煤,是日本的6.58倍,德国的4.48倍,美国的3.65倍,巴西的2.35倍,印度的1.24倍,能源利用效率低<sup>[2-4]</sup>。到2020年,我国能源消费将达到30亿t标准煤,但已探明剩余可采能源总量仅为1500亿t标准煤<sup>[5]</sup>。石油、铁矿石、铜、铝对外依存度将分别为57%、57%、70%和80%<sup>[6]</sup>。资源将成为经

济发展的瓶颈,矿产资源再也难以支撑粗放式经济的持续增长。2000年我国CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、烟尘、工业粉尘和废水中COD排放量分别为30、1995、1165、1092亿t和1445亿t<sup>[7]</sup>。SO<sub>2</sub>和破坏臭氧层物质排放量属世界第一,CO<sub>2</sub>排放量居世界第二<sup>[8]</sup>,新增CO<sub>2</sub>排放量占世界增长量的95%<sup>[9]</sup>。

化工是我国支柱产业,对经济影响与贡献举足轻重。基础化工、石油化工、煤化工、精细化工、生物化工和制药工业对国民经济做出了巨大贡献。但是由于我国化工企业有95%为中小型企业,生产工艺、生产设备、生产管理相对落后,矿产品品位低,产品能耗高,产品结构不合理以及它本身就属重污染

性质产业等原因<sup>[10]</sup>,对环境构成巨大的冲击。化工也面临如何持续发展,如何在高增长速度与生态环境之间保持平衡,如何从数量向质量的增长转变等诸多难题与困难选择。我们必须重新思考与定位。

导致我国人口、资源、环境问题突出的一个重要原因是发展观的偏误。化工与其他产业的发展必须把实施零排放作为我国发展的长期战略,作为我们科学发展观。为此,要进行经济增长模式的转变,实行循环经济;要进行生产方式的转变,实行清洁生产,并利用共生工程原理和生态学原理,将化工与其他产业构建成生态工业园区。

## 1 零排放战略

### 1.1 零排放的内涵<sup>[11]</sup>

零排放是指无限地减少污染物的排放直至为零的活动,即应用物质循环、清洁生产和生态产业等各种技术,实现对资源完全循环利用,而不给环境造成任何废物。换言之,就是以最小的投入谋求最大的产出,在一种产业中无法做到时则构筑产业间网络,将某种产业的废弃物或副产品作为另一产业的原材料。零排放,就其内容而言,一是要控制生产过程中废物排放直至减少到零;二是将那些不得已排放出的废物资源化,最终实现不可再生资源 and 能源的可持续利用。

零排放为创造 21 世纪文明为目标。它不单纯指减少废物直至排放为零,节约资源和能源,延长产品使用寿命,产品易回收可重复使用也是重要内容。因此,零排放又泛指无废物排放的社会、社区和企业活动。

零排放代表着从分散的粗放型经济发展模式向“四高四低”(高技术含量、高质量、高效率、高收益、低物耗、低能耗、低水耗、低污染)的循环经济发展模式的转变。

零排放是一个无限逼近的极限过程,3R(减量化、再利用、再循环)原则和清洁生产是实现零排放的前提和手段,生态工业园区是实现零排放的重要组织形态、发展形态、必要的手段和载体。零排放是生态工业园和循环经济量化指标的具体表现形式。

实施零排放战略已刻不容缓,零排放战略就是科学发展战略。

零排放的研究与计划的实施正在全球兴起,得到有识之士普遍的欢迎。日本、欧美、亚洲等国家正积极行动。在战术战略层面上,研究与推进零排放

已取得巨大成功。我国的零排放也正积极开展,并已取得了成效。

### 1.2 零排放行动原则

(1)节约使用不可再生资源,开发深度提取资源的技术。在尚未找到大量清洁替代能源和可再生资源有效利用技术之前,不能将属于后代的资源耗尽,也不能透支地球。要节约现存的资源,最大限度地充分利用。另外,很多资源开发已进入难采期,开发新的方法有效地将这些难采的“低品位”废资源重新加以利用,也是零排放研究中的一项艰巨任务。

(2)可再生资源的消耗量不能超过其再生量。水是可再生资源,我国人均水量是世界平均水量的1/4,为2 730 m<sup>3</sup>/(人·年),居世界第88位,有333座城市缺水,其中108座严重缺水。由于工业污染和生活用水过度浪费,使水资源极度紧张,年经济损失为数百亿元。这表明我国水可再生资源消耗量已超过再生量,水资源管理问题应引起高度重视。

(3)排放废弃物的种类和数量不能超过现有环保技术和再利用技术的处理容量和能力,废弃物排放速度不能超过清洁生产新技术的开发速度。但目前,土壤污染、酸雨、臭氧层空洞、温室气体效应都处于失控之中,都在等待着新的技术突破。

(4)由富碳能源(煤、油)、低碳能源(天然气、煤层气、二甲醚)逐步向无碳能源(氢能、聚变能、风能、太阳能)和再生能源转变。

(5)废弃物排放量不能超过自然净化能力。

(6)开发与利用“地上资源”。地下资源面临枯竭。然而,物质是不灭的,它转化为现存的地上文明人造物,如住房、汽车、家电等。如果将这些废弃的“地上资源”再利用,也是零排放的重要内容。

(7)利用市场经济规则,将废物排放与企业效益挂钩,谁排放,谁就要为此付费。

(8)改变传统生活消费方式,少一些物质享受,鼓励非物质的精神享受。大力发展以文化消费为主的第三产业和以信息服务为主的新兴产业,改进居民的消费结构,促进社会消费多样化。如加大公园绿地、开放式运动与健身场地、文化教育与娱乐设施以及信息服务设计配置的比例,引导居民逐渐将更多的消费投入到这些能源和原材料消耗低的项目中,如旅游、音乐欣赏、绘画、书法、电影、体育运动等。

(9)要在原材料准备过程、产品生产过程和产品使用过程都要达到零排放。目前市面流行的电动摩

托车和电瓶车(非燃料电池车)被誉为可解决城市空气污染的零排放代步工具。但是,其大量使用的铅酸蓄电池用完后将进入各种垃圾场,其中用常规物理(非核)方法、化学方法和生物方法都无法分解的重金属就会进入土壤和地下水,最终侵入生物链,进入人体。另外,充电的能量来自发电厂,电厂又排放大量废水、废气和 CO<sub>2</sub>。所以这种“零排放”是污染转移,不是真正的零排放产品。

(10)零排放与生活方式匹配。过去,农民生活方式、生产方式与环境十分和谐,他们不用太多的有污染的农药和化肥,以人畜排泄物为有机肥。这些排泄物进入土壤,产生的农副产品又供农民所需,在需求与生产间确立了一个良性互动生态循环。近年来,城市化大力推进,大批农民进城,生活方式改变,他们的排泄物不再回到农田,而是直线式进入下水道,排入江河湖海。在很多地区,生活污水排放的数量已超过工业废水,成了政府最头痛的问题之一。若将排泄物固化、粉碎,再返回农田,将是利国利民的大事,有利于实现零排放目标。

(11)控制人口数量,提高人口素质。人口增加意味着消费的增加,物质与能量需求的增加,废物排放量的增加,使零排放目标更难实现。估计到 2050 年,全球人口将达到 96 亿。为满足这种日益提高生活质量的庞大人口的需求,资源消费量和废物排放量将十分巨大。所以,控制人口数量,有利于实现零排放目标,使更多的人接受零排放观念,参与到零排放行动中来,提高人口素质是中国特色的零排放行动的重要原则。

(12)发展高新技术,进行产品结构调整,生产附加值高的产品。一些农用化工、基础化工,消耗大量的能源与资源,并导致严重污染,产品价值很低。而高附加值的精细化产品售价比它高 10~100 倍,能耗物耗却很低。

(13)研究“超级经济”规律,宏观上实施减量化。我国人口众多,有 8 亿农民,他们以家庭为生产单元组织生产,约有 1 亿个分散、技术水平低的生产单元。国外农场主耕种成千上万公顷土地,生产单位数量少,易于对未来市场进行预测。而我国农民大多没有计算机,面对众多复杂信息无法有效处理和做出决断,对未来市场预测是盲目的,导致种植分布不合理。一旦某产品超过市场需求 5%,则整个市场价格急落,仓库内产品堆积如山,有些产品无法库存而浪费。面对这种“超级经济”,要研究其规律,研

究在宏观上实施减量化的规律和方法以防资源巨额浪费。

(14)生态环境遭破坏后,经济增长速度造成的污染物排放量的增长不能超过生态不可逆底线。当环境恶化超越不可逆阈值时,环境污染可治理的这种关系就不存在了。要研究对生态发生重大影响的 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 和氯氟烃等是否在这个底线之内。

### 1.3 实施零排放的途径

如前所述,化工属高能耗高污染产业,必须实施零排放战略。为此,化工行业必须有一个科学的经济社会发展观,即从分散粗放型经济发展模式,转变为循环经济发展模式。其次,在技术层面上,必须解决 3R 技术难题,实现化工清洁生产,即大力开发绿色化学技术。一个化工企业是难以达到零排放目标,几个化工企业或不同行业的企业的组合,形成生态工业园,就可在更大范围内更有效实现零排放。

## 2 循环经济

### 2.1 循环经济的含义

通常定义循环经济是对物质闭环流动型经济的简称。从物质流动的方向看,传统工业社会的经济是一种单向流动的线性经济,即:“资源—产品—废弃物”。线性经济的增长,依靠的是高强度地开采和消耗资源,同时高强度地破坏生态环境。而循环经济的增长模式是“资源—产品—再生资源”。

3R 原则是循环经济最重要的原则,其中减量化原则属于输入端方法,旨在获得进入生产和消费过程的物质量。要求用较少的原料投入来达到既定的生产消费目的。在经济源头就注意节约资源和减少污染。在生产过程中,减量化要求产品体积小,重量轻,有最大的性能/体积、性能/重量比,从而达到减废目的。再利用原则属于过程性方法,目的是提高产品和服务利用效率,要求产品和包装容器能够被多次使用,而不是一次性商品,再循环原则是输出端方法,通过将废物、副产物再转化为有用资源,以减少末端处理负荷,要求生产出的产品在完成使用功能后重新变成可利用资源而不是垃圾,通过再利用和循环原则,反过来又强化了减量化原则的实施。

### 2.2 关于循环经济的一些观念

(1)通常认为,循环经济是指物质循环<sup>[12-13]</sup>。但是,倘若不研究能量循环是不完整的,因为能量的消耗带来环境的负面影响。物质、能量两者都达到最优化的衡量标准为:技术可行性、经济的合理性和

市场的需求性。

(2)循环经济不是热力学的理想闭路循环,系统经历一个循环后不可能回到起点,系统与环境均发生变化。任何运行中的企业均为开放系统,物质流、能量流、信息流、技术流、人员流不断穿过系统边界。

(3)不能将循环划分为闭路循环和开路循环。在现今条件下,不可能存在无限的反应转化,化学反应中常存在化学平衡,即使催化加氢反应原子利用率(Atom Utilization, AU)为100%,但也存在催化剂的回收和利用问题,需要耗能加热系统,这些过程不再是AU为100%;不可能存在不耗能的过程;不存在无成本的转化过程;不存在任何转化物均可再利用的情况。循环中必须会排出部分无法再利用、再循环的终极废物(如放射性废料),这些物质只有填埋处理。

(4)循环经济中只有原料和产品,没有废物,物质、能量尽可能多次利用,每用一次,它的价值更低,按梯级降低逐步利用,不能再利用的则转到循环以外去。

(5)能量循环—梯级利用能量。能源是经济发展的原动力。安全、高效、可靠的能源供应和高效清洁利用是实现循环经济的保证。但能源使用又伴随污染,是零排放研究的重要内容。

①能量的品位。能量可分为:可以无限转换的能量(电能、机械能、风能、水力能),理论上可100%转化为功,全是有效能(Availability)或称为 $\blacktriangleleft$ (Exergy);可以有限转化的能量(化学能、热能),只有部分可转化为功,其余称为 $\blacktriangleleft$ (Anergy);不可转换的能量,如大气、水域、土壤中的能量,数量巨大,但无法用,全是 $\blacktriangleleft$ 。

能量由 $\blacktriangleleft$ 与 $\blacktriangleleft$ 两部分组成,含 $\blacktriangleleft$ 高的能品位高,能量品位高低也可用单位能量的熵表示。

一切实际过程,不可避免发生能的退化,部分转化为 $\blacktriangleleft$ ,称为 $\blacktriangleleft$ 损失。所以能源紧张不是能量的匮乏,而是有效能的短缺与丢失。

②能源利用原则。要合理利用 $\blacktriangleleft$ ,不轻易使之贬值,高级能高级用,低级能低级用,按品位不同使用在不同的场合。煤中富含 $\blacktriangleleft$ ,我国燃煤电厂发电效率为30%~32%,近70%的能以热的形式通过凉水塔耗散到大气中,产生热污染。家庭做饭取暖也用煤,其中所有 $\blacktriangleleft$ 均转化为低级热能。若实现热、电共生,将发电厂产生的热送到居民区充分利用,则可节省 $\blacktriangleleft$ ,减排了CO<sub>2</sub>,提高能的利用率,实现能量循

环。近年来,长江三角洲、珠江三角洲地区纷纷购买柴油发电机(发电效率低于20%),造成大量 $\blacktriangleleft$ 损失,又排放大量废气和产生噪音。这都是不科学用能,违反梯级用能原则的。

③生命体中的能流。据耗散结构理论,一个远离平衡态的开放系统,在与外界进行物质和能量交换下,从外界输入负熵流,从而过渡到一个更加有序的稳态。系统内的熵减少是以大环境熵增加为代价的,系统与环境的总熵是增加的。

1944年诺贝尔奖获得者Schrödinger提出,一个有机体赖以生存的是负熵,它将不断地从环境中摄取秩序<sup>[4]</sup>。食物链中每一个环节都要把有效能转化为 $\blacktriangleleft$ ,使系统失去秩序。要使一个生物种类不致陷入最大熵,那就要从比它低一等生物个体中摄取负熵。假设食物链由草、蚱蜢、青蛙、鲑鱼以及人类组成,若一个人每年要吃300条鲑鱼,后者就要吃掉90000只青蛙,这些青蛙要吃掉2700万只蚱蜢,而后者又要吃掉1000t青草。每一个生物依靠整个大环境大混乱(能量耗散)来维护自身秩序。能量不断流过生命体,进入时级别较高,而离开时处于更加混乱状态中,越是高级生物,就越将更多能量转化为无效能。

由此可见,我国采取人口控制政策是十分有远见的,以后也要坚持下去。

(6)循环经济有3个运作尺度,即企业层面的小循环、区域层面的中循环和社会层面的大循环。

### 3 清洁生产

#### 3.1 清洁生产定义

清洁生产是将综合预防的环境保护策略持续应用到生产过程和产品中,以期减少对人类和环境的风险。

对产品而言,清洁生产旨在减少产品整个生命周期中从原料的提取到产品的最终处置对人类和环境的影响。

少废、无废技术就是“清洁工艺”。工程和物理学研究会(EPSRC)指出:清洁工艺意味着一种少用原料和少引起环境破坏,对比其他方法更经济、更具有竞争力的为人类提供利益的方法。欧共体则定义为“清洁工艺就是以最合理地使用原料和能源来进行生产的一种技术,同时在生产和使用过程中,减少排入环境的可产生污染的废水和废物量。”

### 3.2 化工清洁工艺——绿色化学

#### 3.2.1 绿色化学定义

绿色化学(Green Chemistry)又称环境无害化学(Environmentally Benign Chemistry)、环境友好化学(Environmentally Friendly Chemistry)、清洁化学(Clean Chemistry)。绿色化学即用化学的技术和方法去减少或消灭那些对人类健康、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。

#### 3.2.2 绿色化学实现的途径

• 用膜催化技术将化学反应与分离单元进行组合<sup>[15-16]</sup>,打破热力学平衡,使反应物转化率接近 100%,可提高产品纯度,节省资源,减少因单独分离而消耗的能量;

- 开发原子经济性反应,开发不对称反应;
- 研究提高反应选择性的条件;
- 采用无毒无害的原料、试剂、催化剂和溶剂;
- 生产对环境友好的产品(环境友好塑料、氯氟烃替代物、环保农药、缓效化肥、绿色印染助剂、易降解洗涤剂、无磷洗衣粉、清洁燃料等);
- 用计算机进行绿色化学辅助设计;
- 利用清洁能源、可再生能源、开发新能源;
- 利用生物化学技术进行资源开发与利用;
- 利用再生资源开发化工产品;
- 采用清洁的生产过程;
- 尽量少用、不用有毒有害的原料,采用无毒无害的中间产品;
- 选用少废、无废工艺和高效设备,尽量减少生产过程中各种危险因素,如高温、高压、低温、低压、易燃、易爆、强噪音、强振动,采用可靠和简单的生产操作和控制方法,对物料进行内部循环利用;
- 利用高新技术改造传统化工企业;
- 利用组合反应,降低能源消耗<sup>[17-18]</sup>;
- 利用 CO<sub>2</sub>,开发化工产品<sup>[19-22]</sup>。

#### 3.2.3 绿色工艺与绿色产品展望

Cusumano<sup>[23]</sup>预测了 2000 年、2010 年与 2040 年绿色化学可能开发的产品与工艺。

2000 年:

- 在固定与移动能源中采用催化燃烧法作为无污染动力;
- 用生物催化法除去石油馏分中的硫、氮与金属;
- 在精细化工生产中,采用催化技术得到纯手

性产品,减少有害原料与有害副产物;

- 化学合成中采用大孔分子筛作择形催化剂;
- 新的环境相容性的氟碳烃(CFC)替代品;
- 石油化工中,原料由烯烃改为烷烃(在工业中广泛应用选择性的烷烃功能化反应);
- 考查催化剂作用中的现场直观技术,并且采用方便的分子图谱与量子力学程序 2 种有效的新方法,推动应用催化剂的分子设计;
- 以安全的固体催化剂替代有害的液体催化剂,如 HF、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 与 HNO<sub>3</sub>;
- 以安全的固体燃料电池作为固定能源;
- 通过采用单作用点茂金属来合成具有设计者要求的物理特性的、高性能聚烯烃。

2010 年:

- 一种经济的、能直接液化甲烷的装置,达到工业化水平;
- 经济可行的光解水制 H<sub>2</sub> 与 O<sub>2</sub>;
- 增效的、多功能化催化反应——在同一体系中的酶、无机与金属有机催化剂;
- 小分子催化剂用于药物的制备,工程化酶与催化抗体应用于化工生产中;
- 耐高温无机、有机高聚物;
- CO<sub>2</sub> 用于化工生产;
- 在环境—经济更密切结合的反应与产品的分离中,广泛应用膜分离技术与多功能催化反应器;
- 药物学中的超分子催化反应,分子铭记(Molecular Imprinting)模式识别;
- 含极性单体聚烯烃材料的进展;
- 微生物中酶的蛋白质工程(系列反应的串联工程化途径)用于工业生产;
- 环境相容性的电催化过程;
- 在移动体系中燃料电池的商品化;
- 合成酶应用于燃料与化工过程。

2040 年:

- 氢——经济的燃料与化工产品,将得到广泛的应用;
- 复合高分子将替代大多数金属与合金;
- 化工原料由石油烃转移到再生生物资源;
- 由活体植物生产化工产品。

### 3.3 化工清洁生产指标

危害性指标:原材料、产品、副产品、回收品名称、性质、危险物编号、LC<sub>50</sub>、LC<sub>100</sub>、LD<sub>50</sub>、LD<sub>100</sub> 数据,以及在车间和环境中的最大允许浓度;

资源利用指标:吨产品物耗、吨产物能耗、有害成分利用率和流失率;

能源利用指标:吨产品能耗,高、中、低品位热能利用率,万元产值能耗,燃料热能利用率和损失率;

水资源利用以及污水处理指标:吨产品水耗、水重复利用率、污水处理率;

污染产生、回收、削减指标:吨产品废物产生量、吨产品污染物产生量、污染物回收率、污染物削减量;

管理指标:劳动生产率,环境监测指标。

## 4 生态工业园区

### 4.1 生态工业园定义

生态工业园(Eco-Industrial Parks, EIPs)是依据工业生态学原理,循环经济理念和共生工程<sup>[24]</sup>(物种共生、能量共生、能质共生、功能共生)原理设计建立的一种全新的工业组织形态。园区是一个自然、工业和社会的地域综合体。其目标就是尽量减少废物和能耗,将园区内一个工厂或企业产生的副产物或废物作为另一企业的“营养物”。通过废物交换、能量和废水梯级利用、清洁生产和基础设施的共享等手段,形成一个类似自然生态食物链过程的“工业生态系统”。最终,在园区内达到零排放,实现经济效益、社会效益、生态环境效益的协调发展。因此,园区内需要很多技术,如信息技术、水重复利用技术、能源综合利用技术、回收与再循环技术、重复利用和替代技术、环境监测技术以及网络运输技术等。

### 4.2 生态工业园介绍

#### 4.2.1 磷铵、水泥、硫酸共生园<sup>[25]</sup>

鲁北企业集团经多年研究和开发,建成生态工业园。磷矿粉与硫酸反应,生成化肥的同时又排出大量磷石膏,若不处理会产生污染。将极难处理的磷石膏热分解为CaO和SO<sub>2</sub>,SO<sub>2</sub>催化氧化制成硫酸,实现硫的内部循环,消除了硫铁矿烧渣。而CaO则用于水泥生产,从而实现一个理想共生系统,成本下降30%~50%。

#### 4.2.2 Carnol 共生系统<sup>[26-27]</sup>

燃煤电厂发电产生CO<sub>2</sub>,天然气热解为H<sub>2</sub>和炭黑。将H<sub>2</sub>与CO<sub>2</sub>催化反应生成CH<sub>3</sub>OH,作为燃料电池或车用燃料。由于其中碳用了2次,使CO<sub>2</sub>减排50%,实现由CH<sub>3</sub>OH、燃料、炭黑和减排CO<sub>2</sub>共生系统。

#### 4.2.3 热、电、甲醇共生系统<sup>[28]</sup>

常规甲醇由合成气反应而得。CO在反应中只有10%参与反应,未反应气体经分离后反复进行循环利用,工艺复杂,设备投资大,运行成本增加。在电厂与甲醇厂共生组合中,CO只进行单程反应,未反应的进入燃气/蒸汽联合循环电厂,避免投资大、能耗高的缺点。若仅仅热、电共生,甲醇单独设厂,甲醇价降为7美元/L。若热、电、甲醇共生,合成气单独设厂,甲醇价为4.8美元/L。若实现热、电、甲醇、合成气共生系统,合成气降至2.6美元/GJ,下降幅度46%。投资、煤耗量和CO<sub>2</sub>排放均大幅度减少。

#### 4.2.4 Vision 21 系统

美国能源部(DOE)提出:以煤气化为龙头,利用合成气制氢,再通过固态氧化燃料电池(SOFC)和燃气轮机组合系统发电,能源利用效率高达60%以上。预计可达68%,加上余热利用,可达80%。制氢中产生CO<sub>2</sub>综合利用,这是接近零排放的能源系统。

#### 4.2.5 Shell 合成气园(Syngas Park)

Shell公司以煤气化为核心,制取合成气和甲醇、醋酸、甲醛、合成氨和化肥等,与联合循环发电相结合,向城市居民供电、供煤气和生活热水,是能质共生、物种共生和功能共生的组合系统。

#### 4.2.6 卡伦堡(Kalunborg)生态工业园<sup>[29]</sup>

丹麦卡伦堡共生系统是世界上最早实现的生态工业园,迄今仍作为范例引用。此共生系统中有燃煤电厂、炼油厂、制药和工业酶加工厂、石膏板厂、土地修复公司5家企业,还包括市政府、居民供热、硫酸厂、水泥厂、地方农场等。这些单位由管道相连,组成复杂共生系统。电厂向制药厂、炼油厂供蒸汽,部分低级热用于居民供热和养鱼;鱼池淤泥作为肥料出售,电厂脱硫除尘的石膏作为石膏板厂原料;煤粉灰用于道路建设和水泥生产;炼油厂废气供发电厂发电;而废水经生化处理向电厂输送。由此,关闭了3500座燃油渣炉子,实现减排SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>和烟尘目的,是一个经济、社会和生态效益很好的共生系统。

生态工业园在全世界引起高度重视,并广为实施。我国在构建生态工业园方面已取得重要进展<sup>[25]</sup>,相信将对推动我国零排放战略将起到关键作用。

如果生态工业园模式在实现不同企业、不同产业、不同服务领域和跨地区跨国的更大空间规模和

地域的超共生系统,将形成生态经济共同体。通过子系统间的物质、能源、信息、废物、人才、技术的相互交流,资源与废物的配置更合理,相互促进,相互依存。通过循环利用和清洁生产,在更大范围内实现零排放。在保持各地传统文化和信仰的前提下,达到经济、社会发展和生态环境保持平衡的双赢目的,这将是一个零排放、零冲突、零污染、零缺陷、零废物的理想世界目标。生态工业园正在成为未来发展的模式和目标,成为 21 世纪的主导的生产方式、生活方式、经营方式、合作方式和组织方式。

## 5 关于实施零排放的若干建议

### 5.1 提高认识,转变观念

零排放是一个全新观念,要广为宣传,人人都要参加到这个行动中来,提高对零排放的紧迫感和责任感。倡导绿色消费观,提倡节约良好风尚。鼓励使用少包装或可循环再用的商品,不用“一次性”产品。自觉将废物分类,优先购买有环境标志认证的产品。

### 5.2 建立促进零排放的经济法规制度

贯彻《节约能源法》、《清洁生产促进法》等法规。国家尽早出台节水、节电、节能的鼓励政策和可再生资源回收利用激励机制,完善资源循环利用优惠政策,用价格调节机制,使资源性产品与最终产品之间形成合理的比价关系,发挥市场对资源配置的基础性作用。

### 5.3 建立绿色保障制度体系

建立绿色资源制度,绿色产权制度、绿色市场制度、绿色产业制度、绿色技术制度、绿色生产制度、绿色回收制度、绿色财政制度、绿色金融和税收制度、绿色投资制度、绿色行政制度,推行 ISO1401 标准等<sup>[37]</sup>。

### 5.4 探索建立绿色 GDP 核算体系

GDP 没有反映环境污染对人类和生活带来负面影响,没有反映资源消耗和折旧。联合国出版的 SEEA 提出绿色 GDP(GGDP)取代 GDP,从 GDP 中剔除污染、资源消耗等部分。目前,GGDP 仍在探索阶段,争取早日在我国实现。

### 5.5 运用科技手段,为落实零排放提供强有力的技术支持

国家应将零排放中资源利用技术、综合利用和再生资源回收技术、清洁能源技术、可再生资源利用

技术、环境工程技术、清洁生产技术等,作为科技攻关项目。加快用高科技技术改造传统产业,鼓励发展资源消耗低、附加价值高的产品,限制和淘汰落后工艺,并开发替代的绿色工艺技术。

## 5.6 作出规划,分步实施

零排放是一项长期战略,是一个过程,不可一蹴而就。应该把零排放作为编制“十一五”规划的重要指导原则。

## 参考文献

- [1] 文同,鹏飞.[J].中国科技财富,2004,(9):24-31.
- [2] 宣能啸.[J].节能,2004,(9):3-7.
- [3] 黎勇,彭立颖,程芳芳.[J].环境保护,2002,(10):5-7.
- [4] 戴彦德.[J].节能,2003,(2):3-5.
- [5] 史立山.[J].可再生能源,2004,(5):1-4.
- [6] 李树国.[J].节能与环保,2004,(7):7-9.
- [7] 解振华.[J].环境保护,2001,(9):3-7.
- [8] 张峥,张涛.[J].环境保护科学,2000,(6):36-38.
- [9] 中华人民共和国人事部,中国科学院.新世纪科学技术发展与展望[M].北京:中国人事部出版社,2002.
- [10] 邝生鲁.化学工程师技术全书[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [11] 宋瑞祥.零排放——后工业社会的梦想与现实[M].北京:中国环境保护科学出版社,2003.
- [12] 刘振.[J].节能与环保,2004,(8):23-25.
- [13] 周长益,冯良.[J].节能与环保,2004,(4):2-4.
- [14] 杰里米·里夫金,特德·霍华德.熵——一种新世界观[M].上海:上海译文出版社,1987.
- [15] Paturzo L, Basile A.[J].Catal Today,2001,(67):55-64.
- [16] Paturzo L, Basile A.[J].Ind Eng Chem Res,2002,(41):2371-2378.
- [17] Zhu D C, et al.[J].Catal Today,2003,(82):151-156.
- [18] Mariana M V M, Souza, Martin Schmal.[J].Appl Catal A: General, 2003,(255):83-92.
- [19] Ruckenstein E, Wang H Y.[J].Appl Catal A: General,2000,(204):257-263.
- [20] Montoya J A, et al.[J].Catal Today,2003,(63):61-85.
- [21] Kenji Asami, et al.[J].Catal Today,2003,(84):27-31.
- [22] 邝生鲁,肖稳发.[J].化学研究与应用,2000,(3):237-241.
- [23] Cusumano J A.[J].J Chem Educ,1995,72(11):959-964.
- [24] 邝生鲁,贡长生.[J].现代化工,1986,(3):60-64.
- [25] 罗宏,孟伟,冉圣宏.生态工业园区——理论与实证[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [26] Steinberg M.[J].Chemtech,1999,29(1):31-36.
- [27] Steinberg M.[J].Int J Hydrogen Energy,1998,23(6):419-425.
- [28] 倪维斗,李政.[J].煤化工,2003,(1):3-10.
- [29] 劳爱乐[美国],耿勇编.工业生态学和工业生态园[M].北京:中国环境科学出版社,2004.■