

绿色化学——我国化学工业可持续发展的必由之路

贡长生

(武汉化工学院, 武汉 430073)

摘要:绿色化学是当今国际化学研究的前沿, 是 21 世纪的科学。论述了绿色化学的研究内容、重要技术及其在磷酸盐工业、石油化工、化学制药、能源和新材料等领域中的应用, 指出绿色化学是我国化学工业可持续发展的必由之路, 并提出了相应的发展对策。

关键词:绿色化学; 应用技术; 可持续发展; 产业革命

中图分类号: TQ-9

文献标识码: C

Green chemistry: the only way for sustainable development of the chemical industry in China

GONG Chang-sheng

(Wuhan Institute of Chemical Technology, Wuhan 430073, China)

Abstract: Green chemistry is one of the important frontier fields in modern international chemical research today and also a branch of sciences in the 21st century. Research items and key technologies of green chemistry and their applications in phosphates, petrochemicals, chemical pharmaceuticals, energy sources and new materials were discussed. It is pointed out that green chemistry is the only way for sustainable development of the chemical industry in China. Countermeasures were also proposed.

Key words: green chemistry; application technology; sustainable development; industrial revolution

1 绿色化学的兴起和发展

1.1 当代全球性环境危机呼唤绿色化学

由于世界人口急剧增加, 各国工业化进程和发展的加快, 资源和能源日渐减少与濒临枯竭, 大量排放的工农业污染物和生活废弃物使人类生存的生态环境迅速恶化。主要表现在: 大气污染、酸雨成灾; 全球气候变暖; 臭氧层被破坏; 淡水资源的紧张和污染; 海洋污染; 土地资源退化, 森林锐减; 生物多样性减少; 环境公害; 有毒化学品和危险废物增多。从而使人类正面临有史以来最严重的环境危机。

环境危机呼唤绿色化学, 西方国家工业化发展的教训值得我们注意和吸取。那种“先污染、后治理”的粗放经营模式, 不但加速了自然资源的枯竭,

而且投资大、花钱多、治标不治本, 甚至可能造成二次污染的危险。因此, 如何从源头上防止污染, 从根本上减少或消除污染, 实现零排放, 提高“原子经济性”, 这是绿色化学研究的首要目标。

1.2 绿色化学的研究内容和特点

绿色化学是运用现代科学技术的原理和方法来减少或消除化学品的设计、生产和应用中有害物质的使用与产生, 使所研究开发的化学产品和过程更加环境友好^[1]。因此, 绿色化学的研究内容主要有:

①改革现有工艺过程, 实现清洁生产; ②清洁合成, 减少废物排放, 目标是“零排放”; ③安全化学品和绿色新材料的设计; ④提高原材料和能源的利用率, 大量使用可再生资源; ⑤生物技术和生物质的应用; ⑥新的分离技术; ⑦评价环境效果的方法学和工

具;⑧用绿色化学改革社会生活。

绿色化学的特点是:

绿色化学与传统化学的不同之处在于前者更多地考虑社会的可持续发展,促进人和自然关系的协调。

绿色化学与环境化学的不同之处在于前者是研究与环境友好的化学反应与技术,特别是新的催化技术、生物技术、膜技术、清洁合成技术等。而环境化学则是研究影响环境的化学问题。

绿色化学与环境治理的不同之处在于前者是从源头阻止污染的生成,即污染预防;环境治理则是对已被污染的环境进行治理,即末端治理。

在某种意义上说,绿色化学是对化学工业乃至整个现代工业的革命。

1.3 绿色化学与技术已成为各国政府和学术界关注的热点

近10年来,绿色化学和技术已成为世界各国政府关注的最重要问题之一,也是各国企业界和学术界极感兴趣的重要研究领域^[2]。政府的直接参与,产学研密切结合,促进了绿色化学的蓬勃发展。

早在1965年,美国政府就设立“总统绿色化学挑战奖”,奖励在利用化学原理从根本上减少环境污染方面的成就。

第一届“总统绿色化学挑战奖”于1996年7月在华盛顿国家科学院举行,共有67个项目被提名,其中4家化学公司和1位化学工程教授被授予总统绿色化学挑战奖。该奖项迄今已颁奖4次^[3]。

以绿色化学为主题的Gordon会议自1996年以来在美国和欧洲轮流举行。1996年在美国召开的第一次绿色化学Gordon会议,重点研讨了环境无害的有机合成技术,原子经济性反应等;1999年7月,第四届绿色化学Gordon会议在英国牛津举行。

我国十分重视绿色化学方面的研究工作,积极跟踪国际绿色化学的研究成果和发展趋势,倡导清洁工艺,实行可持续发展战略。例如,1995年,中国科学院化学部确定了《绿色化学与技术——推进化工生产可持续发展的途径》的院士咨询课题;第16次“21世纪核心科学问题论坛——《绿色化学的基本科学问题论坛》”于1999年12月21~23日在北京举行,来自化学、生命、材料等领域的近40名专家出席了会议,从科学发展和国家长远需求的战略高度,对绿色化学的基本科学问题进行了充分的研讨,提出了近期研究工作的重点。

2 绿色化学化工技术

2.1 催化技术^[4,5]

催化剂是化学工艺的基础,是使许多化学反应实现工业应用的关键,目前大多数化工产品的生产均采用了催化反应技术。可以说,现代化学工业中,最重要的成就都与催化剂的应用密切相关。1999年度美国“总统绿色化学挑战奖”中学术奖,授予Carnegie Mellon大学的T.J. Conlins教授,表彰他在过氧化氢氧化催化剂上所作的工作。

正确地选用催化剂,不仅可以加速反应的过程,极大地改善化学反应的选择性和提高转化率,提高产品质量、降低成本,而且能从根本上减少或消除副产物的产生,减少污染,最大限度地利用各种资源,保护生态环境,这正是绿色化学研究所追求的目标。其主要研究方向如下:

- 采用安全的固体(如分子筛、杂多酸等)催化剂替代有害的液体催化剂,如HF、HNO₃和H₂SO₄,简化工艺流程,减少“三废”的排放量。

- 合成化学中采用择型的大孔分子筛作催化剂。例如,Wagner等^[6]最近合成出具有10元环(10MR)和18元环(18MR)孔道交替排列的新沸石分子筛SSZ-35和SSZ-44。这种超大微孔沸石分子筛对大分子的催化应用具有很好的工业前景。

- 在精细化工生产中,采用不对称催化合成技术,得到光学纯手性产品,减少有害原料和有毒副产物。即利用手性催化剂(过渡金属配合物)作为模板控制反应物的对映面,实现产物大量快速的手性增殖。

- 采用茂金属催化剂合成具有设计者所要求的物理特性的高分子烯烃聚合物。

- 药物合成中采用超分子催化剂,并进行分子记忆和模式识别。

- 用生物催化法除去石油馏分中的硫、氮和金属盐类。

- 有机合成中采用生物催化法^[7],减少“三废”的生产。

- 在合成化学中,更多采用环境相容性的电催化过程^[8]。

- 在固定和移动能源中采用催化燃烧法,作为无污染动力^[9]。

- 合成酶应用于燃料和化工过程。

- 在同一体系中,采用酶、无机和金属有机催化剂,进行增效的多功能催化反应。

· 在环境-经济更密切结合的反应和产品的分离中,广泛应用膜技术与多功能催化反应器。

2.2 生物技术^[7,10]

生物技术是当代科学的高新技术,生物化工被认为是 21 世纪最具有发展潜力的产业之一。生物技术在医药、食品、能源、冶金、化工、精细化学品的制造等方面具有广泛的应用。它的最大特点在于能充分利用生物质资源,节约能源,易于实现清洁生产,而且可以实现一般化工技术难以实现的化工过程,特别是具有光学活性的不对称化合物,如人工胰岛素、多肽化合物、抗菌素、干扰素、甾体激素类等药物的制备。生物技术主要包括:基因工程、细胞工程、酶工程和微生物工程。它们彼此相互渗透,相互交融。基因工程是生物技术的主导技术;细胞工程是生物技术的基础;酶工程是生物技术的条件;微生物细胞工程和生物化学工程是生物技术实现工业化,获得最终产品,转化为生产力的关键。

生物技术在化学工业上应用很广。例如英国 ICI 公司以甲醇为原料,采用经过基因工程改造的嗜甲醇菌生产单细胞蛋白,每年产量可达 5 000 ~ 6 000 t 干菌体,产品中含粗蛋白达 72%,核酸为 14% ~ 17%;Monsanto 公司科研人员利用经过基因改造的细菌吸收玉米糖分,然后分泌出制造聚酯纤维所需的原料,由此生产的聚酯纤维质量比传统法高,污染少,生产成本低;以葡萄糖为主要原料,通过 DNA 重组改进的生物催化反应可合成所需要的化学品,如维生素 C、己二酸、邻苯二酚等。

2.3 微波技术

2.3.1 微波在无机合成中的应用

在无机合成中,微波主要用于烧结合成和水热合成。微波烧结合成主要用于合成陶瓷,包括陶瓷氧化物、金属硼化物、氮化物、金属碳化物、压电陶瓷等,具有加热均匀、升温速率快、可调控等优点。微波水热合成可用于制备金属氧化粉体、氮化物粉体、沸石分子筛等功能材料^[11]。

微波等离子体化学气相沉积(MWPCVD)在合成金刚石以及制备 β -SiC 和 BN 薄膜材料等方面取得了不少有意义的成果,展示了广阔的发展前景。

2.3.2 微波在有机合成中的应用

微波应用于有机合成,由于能大大加快化学反应速率,缩短反应时间,特别是以无机固体物为载体的无溶剂的微波有机合成反应,操作简便,溶剂用量少,产物易于分离纯化,产率高,因此微波有机合成成了合成化学工作者研究的热点^[12,13]。

光合作用的模拟一直是各国科学工作者梦寐以求的奋斗目标,特别是现代工业的发展,CO₂ 等温室效应气体的大量排放,造成全球气候变暖。如果能模拟大自然的这一“绿色工艺”,使 CO₂ 和 H₂O 发生反应生成有用的燃料,不仅具有深远的学术意义,而且具有重大的经济效益和环境效益。

近来,J.K.S.Wan 等^[14]利用微波诱导催化法模拟光合作用,取得了可喜的成果。产物经过色谱分析其组成:CH₄ 55.1%,C₂H₆ 0.3%,CH₃OH 5.5%,CH₃COCH₃ 4.7%,C₃ 醇 5.8%,C₄ 醇 28.5%。

2.4 超声技术

超声在工业上的应用很早就被人们所认识,它在化学上的广泛应用和深入研究是在 20 世纪 70 年代以后才得以实现。特别是近 10 多年来的一系列研究成果,促进了声学 and 化学的交叉渗透,导致一门新兴交叉学科——声化学的诞生^[15]。

由于声化学反应能改变反应的进程,提高反应的选择性,增加化学反应的速率和产率,降低能耗和较少废物的排放,因此声化学技术作为一种安全无害的“绿色技术”,在合成化学中具有广泛的应用^[16]。

此外,声化学方法还用于催化剂、纳米材料和磁性材料的制备。

2.5 膜技术

2.5.1 膜技术与绿色化学

膜技术作为一种迅速崛起的高新技术,对 21 世纪许多相关行业的科技进步和发展产生很大的推动作用。目前世界上膜材料及装置的市场年销售额约 50 亿美元,年增长率为 8% ~ 15%,到 2004 年将达到 100 亿美元。

膜技术通常包括膜分离技术和膜催化技术。膜分离技术具有成本低、能耗少、效率高、无污染并可回收有用物质等优点;膜催化反应可以“超平衡”地进行,提高反应的选择性和原料的转化率,节省资源,减少污染。因此,膜技术是绿色化学的重要实用技术^[17]。膜技术正广泛地应用于石油、化工、环保、能源、电子、轻工、食品、医药和生物工程等行业中,必将成为当代最有发展前景的高新技术产业之一。

2.5.2 膜分离技术^[18]

无机分离膜是由无机材料如金属、金属氧化物、陶瓷、微孔玻璃、沸石、无机高分子材料等制成的膜,它是近 10 年来发展起来的新型分离膜。无机分离膜结构稳定,孔径均一,耐酸,耐碱,耐有机溶剂,抗微生物侵蚀力强,化学稳定性好,可在高温高压下操

作。

有机高分子分离膜是以纤维素类、聚酰亚胺类、聚砜类、聚烯烃类、硅橡胶类、含氟高分子、聚电解质等合成或半合成有机高分子材料制成的分离膜,是目前工业上应用最多、技术较为成熟的一类分离膜。

膜分离技术是利用膜对混合物中各组分的选择性渗透的差异来实现分离、提纯和浓缩的新分离技术。目前已经成熟和不断研究开发出来的微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)、反渗透(RO)、渗析、电渗析(ED)、气体分离(GS)、渗透汽化(PV)、液膜分离(LM)、膜蒸馏(MD)等技术广泛应用于高纯水的制备、血液制品的精制、动植物蛋白的提取、生物活性组分的分离和浓缩、海水淡化、工业废水处理等,已产生显著的经济效益和社会效益。

2.5.3 膜催化技术^[19]

膜催化技术是近年来在多相催化领域中出现的一种新技术。该技术是将催化材料制成膜反应器或将催化剂置于膜反应器中操作,反应物可选择性地穿透膜并发生反应,产物可选择性穿过膜而离开反应区域,有效地调节某一反应物或产物在反应器中的区域浓度,打破化学反应在热力学上的平衡状态,实现反应高选择性和提高原料的利用率。

表1 膜催化技术在化学工业中的应用

反应类型	应用
催化加氢	不饱和烯烃加氢
	环多烯烃加氢
	芳烃加氢
	C ₂ 、C ₃ 选择性加氢
催化脱氢	精细化工合成中的加氢
	C ₂ - ₅ 低级烷烃脱氢制烯烃
	长链烷烃(如庚烷)脱氢环化制芳烃
烃类催化氧化	丙烷脱氢环化二聚制芳烃
	C ₁ 中的甲烷氧化偶联制烯烃
	甲烷直接氧化制甲醇
	甲醇氧化制甲醛
	乙醇氧化制乙醛
	丙烯氧化制丙烯醛
C ₂ 、C ₃ 环丙烯氧化制环状氧化物	

根据膜的作用和功能,膜反应器分为两类:一种是分离膜和催化剂分占不同位置,催化剂位于反应区内临近膜,膜起选择性分离作用;另一种是分离膜同时作为催化剂,反应区在膜内,反应和分离同步进行。膜催化技术在化学工业中具有重要的应用,表1列出一些实例^[20],其中甲烷氧化偶联制烯烃,甲烷

直接氧化制甲醇、甲醛及其下游精细化学品,其经济意义更大。对于我国来说,天然气资源的储量更为丰富,合理利用天然气资源,作为未来的能源和化工原料更有深远的意义。

此外,NO_x的还原反应在膜反应器中进行,其转化率可达100%,这对于汽车尾气NO_x的处理,保护大气环境意义重大。

3 绿色化学所引发的产业革命

绿色化学及其带来的产业革命正在全世界迅速崛起,给化学、化工科技工作者提出了严峻的挑战,同时也带来了巨大的发展机遇^[21]。确立“原料—工业生产—产品使用—废品回收—二次资源”的新观念,替代“先污染、后治理”的粗放经营模式,采用“源头预防及生产全过程控制”的清洁工艺取代以“末端治理为主”的被动环保策略,实现化学工业的“绿色化”,走资源—环保—经济—社会协调发展的道路,这是人类21世纪中的必然选择。

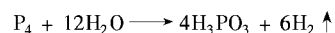
3.1 绿色磷酸盐工业

3.1.1 湿法磷酸清洁工艺

湿法磷酸工艺因其原料易得,能耗较低和工艺操作比较简单而成为磷酸的最重要的工业生产方法。但在湿法工艺中,“三废”的排放量大,尤其是磷石膏的处理和利用是摆在湿法磷酸生产厂家面前必须解决的问题。如何实现湿法磷酸的清洁生产,各国科学工作者进行了大量的研究和开发,取得了一系列可喜的成果^[22]。应用绿色化学的基本原理,通过相关化学反应的集成,构成资源综合利用的反应体系,实现零排放。该法的特点是和小碳铵厂的改造结合起来生产多元复混肥料;通过“封闭循环”,工艺消化,实现资源的综合利用。

3.1.2 亚磷酸生产的新工艺

亚磷酸大量用于有机合成、医药、化妆品、农药、水处理剂以及亚磷酸盐的制备,也是出口创汇的重要产品。工业上通常采用三氯化磷水解法制备亚磷酸,该法工艺技术成熟,生产过程比较简单,但是PCl₃的预处理和盐酸的脱除比较麻烦,加之设备腐蚀严重,工作环境恶劣。如何有效的制备亚磷酸是人们极感兴趣的研究课题。经过深入的研究和探索,提出了由黄磷直接氧化法制备亚磷酸的新工艺。化学反应式为:



该法采用贵金属作催化剂,反应选择性可达95%,条件比较温和($t < 200^\circ\text{C}$, $p < 2\text{ MPa}$),基本上

没有“三废”排放。

3.2 绿色石油化学工业

现代工业的快速发展,对于石油化工产品的需求大幅度增长,石油化工原料的结构变化,保护生态环境的严峻挑战,使得 21 世纪的石油化工技术将突破第一代石化技术的原料、工艺和设备等限制,应用绿色化学的原理,逐步实现石油化学工业的绿色化,这是可持续发展之必然。例如,用沸石催化剂替代三氯化铝生产乙苯、异丙苯;用离子交换树脂催化剂替代硫酸生产仲丁醇;不用光气生产聚碳酸酯(PC)、甲苯二异氰酸酯(TDI)和二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI);乙烯催化氧化制备乙酸;乙烷直接氧化生产乙醇;在硅铝磷酸盐分子筛催化作用下,甲烷两步转化生产乙烯等,这些被称为“第二代石化技术”,将在 21 世纪的绿色石油化工中发挥中坚作用。

随着化石燃料的日渐枯竭,以生物质为原料通过生物工程技术转化为石油化工产品,越来越受到人们的关注和青睐。例如,己二酸是制造尼龙-66 纤维、聚氨酯甲酸酯弹性纤维、增塑剂等的重要中间体。全世界己二酸的年生产能力约 230 万 t。

目前工业上生产己二酸的方法是以石油提取的苯为原料,经 Ni 催化加氢生成环己烷,后者经催化氧化成环己酮和环己醇,然后利用 HNO_3 进一步氧化为己二酸。该法的主要问题是原料苯属致癌物,以 HNO_3 作为氧化剂,腐蚀严重;加之高温高压操作,能耗高。

美国密执安州立大学 J. W. Frost 和 K. M. Draths 开发出以纤维素和淀粉水解制得的葡萄糖为原料,经 DNA 重组技术改进的微生物催化作用,将葡萄糖转化为己二烯二酸,再在温和条件催化加氢合成己二酸^[23]。该法原料易得,安全可靠,反应条件温和,是绿色化学的典型范例。Frost 和 Draths 因此获得 1998 年度美国“总统绿色化学挑战奖”的学术奖。

3.3 绿色化学制药工业

化学制药工业的特点是品种多,更新快,反应步骤多,原辅材料用量大,总产率比较低,“三废”排放量大,成分复杂,容易造成环境污染。因此,化学制药工业的绿色化,不仅具有重要的经济效益,而且具有深远的社会和环境效益。

例如,布洛芬是一种消炎镇痛药物,常规合成方法采用 Boots 公司 Brown 合成法。以异丁苯为原料,经过 F-C 反应、Darzens 反应、水解、腈化、水解等六步反应才能制得产品,所有原料中的原子利用率只有 40.03%。近来,德国 BASF 公司和 Hoechst 公司

合资的 BHC 公司发明了生产布洛芬的新工艺,采用乙酰化、加氢和羰基化三步合成制得。BHC 公司新合成方法使反应的原子经济性达到 77.44%。使废物排放量减少 37%,整个合成过程中没有难处理的副产物。因而获得 1997 年度美国“总统绿色化学挑战奖”的变更合成路线奖。

3.4 绿色新材料

3.4.1 可降解材料

近 10 年来,由难降解塑料制品造成的“白色污染”对水体、土壤和城市环境的危害越来越严重,于是可降解高分子材料的开发应用成为社会关注的热点。可降解材料主要包括生物降解型高分子材料、光降解型高分子材料,以及光-生物双降解型高分子材料。

目前人们已研究开发出许多可生物降解高分子材料。例如,聚羟基丁酸酯(PHB)、透明质酸聚合物(PHA)、壳聚糖及其衍生物、聚乳酸(PLA)、聚酸酐、聚对二氧六环酮、聚乙烯醇(PVA)、淀粉接枝共聚物、磷腈聚合物等,其中相当一部分可作为生物医学材料。

光降解型高分子材料是在高分子材料的合成制备中添加适量的光敏剂即可赋予其光降解性。

3.4.2 智能材料

智能材料(intelligent materials,简称为 IM)是能够感知环境变化和通过自我判断得出结论并执行相应指令的材料。当它受到外界条件诸如温度、压力、声音、电流等变化时,其性能和状态也随之改变。智能材料系统和结构集传感、控制和驱动(执行)等功能于一体,能在高水平上实现自检测、自诊断、自监控、自修复及自适应。它是新型功能材料发展的重要方向之一,支撑着高新技术的发展。

3.5 绿色能源工业

能源是人类社会生存和发展的重要物质基础。目前,人类所用的能源主要是石油、天然气和煤。20 世纪以来,人类对矿物能源的消耗一直呈指数增长,导致矿物能源的储量日趋枯竭。第 13 届世界石油大会预测全球石油总储量约 3 000 亿 t,若按 1992 年世界石油生产量 30 亿桶计算,只能开采 46 年,天然气也只能维持 66 年。全世界煤炭的保有储量虽达 10 391 亿 t,按目前的开采水平,也只能开采 232 年。而且这些矿物能源的生产和消费也带来了大气污染、酸雨、温室效应和臭氧层破坏等严重的环境问题。因此,开发新能源,发展绿色能源工业一直是世界各国政府和科技界极为关注的重要问题。

太阳能、水力能、海洋能、风能、生物质能均属于清洁能源。我国的水力资源丰富,三峡水电站的建成将极大地促进华东、华中和中西部地区的经济建设;我国风能的理论储量为16亿kW,实际可利用2.5亿kW;海洋能在技术上可利用的约为4亿~5亿kW;我国各地的太阳能年幅射量为930~2330 kWh/m²,全国陆地表面每年接收的太阳能相当于1.7亿t标准煤的能量。而且这些能源基本上是可以再生的,如果合理地开发和利用,既可以替代相当部分的矿物能源,又可减少环境的污染。

4 绿色化学是我国化学工业可持续发展的必由之路

我国在可持续发展战略的指引下,清洁生产、环境保护受到各级政府部门的高度重视。1994年,国务院常委会通过了《中国21世纪议程》,并把它作为中国21世纪人口、环境与发展的白皮书,在其第三部分“经济可持续发展”中明确提出:改善工业结构与布局,推广清洁生产工艺和技术。同年,原化工部召开了第八次全国化工环保工作会议,发出了“全面推行清洁生产,实现化学工业可持续发展”的号召,明确提出实施化工清洁生产是化工系统的重要任务,强调依靠科技进步,加强“三废”治理与废物综合利用,节约资源,并取得了明显的成效。化学工业万元能耗由1990年的7.41t标准煤下降到1996年的4.80t标准煤,下降35%;化工废物综合利用产值由1990年的12.57亿元增至1996年的49.77亿元,同时每年可少排废水13亿t,废气3000亿m³以上,废渣近1000万t。然而,由于人口基数大,工业化进程的加快,大量排放的工业污染物和生活废弃物使我国人民正面临日益严重的资源短缺和生态环境的危机。

据统计,我国矿产资源总储量虽名列世界第2位,但人均占有量仅为世界人均占有量的1/2,居世界第80位。目前我国已有45种矿产资源严重不足,据已探明的储量和现有的开采水平推算,铁的维持期限为47年,铜68年,铝80年,锌和铅73年,锡55年。石油只能维持约50年,能源短缺,从1993年起我国已成为石油进口国。而且,我国是一个水资源严重缺乏的国家,水资源总储量虽为2.8万亿m³,但人均占有量为2300m³,为世界人均占有量的1/4,居世界第88位。全国有300多个城市缺水,其中100多个城市严重缺水,尤其是我国北方地区缺水严重,已成为社会经济发展的重要制约因素之一。

与此同时,我国每年废水排放量达366亿t,其中工业废水233亿t,86%的城市河段水质超标,江河湖泊重金属污染和富营养化问题突出,七大水系污染殆尽。

我国是世界上煤产量最大的国家,每年煤产量超过10亿t,成为世界上以煤为主要能源的国家。但是我国能源的利用率却很低,目前总能源利用率为30%左右,矿产资源利用率为40%~50%。如此巨大的资源、能源消耗,不仅造成了极大的浪费,而且也成为环境污染的主要来源,因此,以SO₂和烟尘为主要污染物的大气污染将长期存在,酸雨形势不容乐观。据调查,我国的酸雨现象遍及全国22个省市,受害耕地面积达2.67万平方公里,有由西南、华南蔓延至华中、华东和东北之势。全国500多个城市空气质量不符合国家标准。据估算,仅大气和水污染造成的经济损失每年达540亿美元,相当于国民生产总值的8%。

总之,由于传统的以大量消耗资源、粗放经营为特征的发展模式,加之产业结构不尽合理,科学技术和管理水平较为落后,使得我国的生态环境和资源受到严重污染和破坏,且近20年来呈现恶化之势。因此,大力发展绿色化学化工,走资源—环境—经济—社会协调发展的道路是我国化学工业乃至整个工业现代化发展的必由之路。

5 发展对策

5.1 各级政府部门予以重视,并制定相关政策

我国各级政府部门应充分认识绿色化学及其产业革命对未来人类社会和经济发展所带来的影响,及时调整产业结构,大力发展绿色技术和绿色产业。因为绿色化学及其产业是既能适应我国当前的经济发展模式,又能适应我国民族特点的科学和产业。绿色化学产业以保护和挽救资源为目的,促进人和自然的和谐与协调,追求可持续发展,几乎涉及所有的行业。

为了全面推动绿色化学及其产业的发展,应加强对绿色化学与技术的宣传,制订对绿色化学与技术的奖励和扶持政策,以促进我国绿色化学及其产业的发展。

5.2 结合国情,选择重点领域开发绿色化学技术

5.2.1 防治污染的洁净煤技术

洁净煤技术包括煤炭燃烧前的净化技术、燃烧过程中的净化技术、燃烧后的净化技术,以及煤炭的转化技术。我国是世界上最大的煤炭生产国和消费

国,大力研究开发洁净煤技术,有利于节省能源,改善我国大气的质量,减少环境污染,是实现绿色产业革命战略的重中之重。

5.2.2 绿色生物化工技术

将廉价的生物质资源转化为有用的化学工业品和燃料是发展我国绿色化学的战略目标。发展绿色生物化工技术包括微生物发酵技术、酶工程技术、基因工程技术和细胞工程技术。植物资源是地球上最丰富的可再生的有机资源,每年以 1 600 亿 t 的速度再生,相当于 800 亿 t 石油所含的能量。我国每年农作物秸秆就有 10 多亿 t,但是利用率不到 5%(主要用于造纸)。若利用绿色生物化工技术将其转化为有机化工原料,则至少可制取 20 万 t 乙醇,8 000 万 t 糠醛和 30 万 t 木质素,创造数百亿元的价值。因此,生物质资源的转化和利用,绿色化学和技术将是大有作为的。在这个领域,绿色化学的发展是具有巨大的现实意义和深远的历史影响。

5.2.3 矿产资源高效利用的绿色技术

我国是一个人口众多,资源相对紧缺的国家,开发矿产资源高效利用的绿色技术和低品位矿产资源回收利用的绿色技术,是绿色化学研究的重要目标。目前,生物催化技术、微波化学技术、超声化学技术、膜分离技术等矿产资源利用领域的应用引起人们的极大关注,并且有的已投入工业应用,展示了广阔的发展前景。

5.2.4 精细化学品的绿色合成技术

精细化学品是高新技术发展的基础,关系到国计民生,在国民经济中占有极其重要地位。然而,许多精细化学品的制备合成步骤多,原辅材料用量大,总产率比较低。因此,探索和研究既具有高选择性,又具有高原子经济性的绿色合成技术,对于精细化学品的制备至关重要。例如,不对称催化合成技术大量用于精细化学品的制备,已成为绿色化学研究的热点。组合合成已成为绿色化学中实现分子多样性的有效捷径。

5.2.5 生态农业的绿色技术

我国是一个农业大国,发展生态农业,利在当代,功在千秋。研究开发高利用率无污染的生态肥料和高效低毒的生态农药以及农副产物高附加值的绿色转化技术,对于促进农业绿色产业化,发展我国的生态农业,绿色化学更是任重而道远。

5.3 加强技术改造,实施清洁生产工艺

对现有企业的生产工艺用绿色化学的原理和技

术进行评估,借鉴当今先进的科学技术,加强技术改造的力度,实施清洁生产工艺,是绿色化学研究的又一重要课题。

5.4 注重人才培养,加强国际间的学术交流

绿色化学是可持续发展的新科学和新技术,是对传统化学思维的创新和发展,是 21 世纪的中心科学。创新的主体是人,人才培养是关键。要推进产、学、研相结合,培养和造就一支高水平的从事绿色化学理论研究和科技人才队伍,从而在绿色化学及其产业中发挥骨干作用。

21 世纪是全球化知识经济占主导地位的世纪。绿色化学和技术已是当今国际化学学科研究的前沿,欧美国家最为重视,发展很快。我们应该积极跟踪国外绿色化学研究的发展动向,加强国际间的学术交流,为我所用。同时结合我国国情特点,大力加强自主开发研究,尤其是绿色化学技术的应用研究,以促进我国绿色化学及其产业的发展。

参考文献

- [1] 梁文平,唐晋.[J].化学进展,2000,12(2):228
- [2] Anastas P T, Warner J C. Green Chemistry: Theory and Practice[M]. Oxford: Oxford Univ Press, 1998
- [3] 闵恩泽,吴巍等编著.绿色化学与化工[M].北京:化学工业出版社,2000
- [4] Cusumano J A. [J]. J Chem Edu, 1995, 72(11): 959
- [5] Cusumano J A. [J]. CHEMTECH, 1992, 8(2): 482
- [6] Wagger P, et al. [J]. Angew Chem Int Ed, 1999, 38(9): 1269
- [7] Petersen M, Kiener A. [J]. Green Chemistry, 1999, 1(2): 99
- [8] Regine D B, et al. [J]. J Chem Technol Biontechmol, 1997, 68: 389
- [9] Farauto R J, Heck R M. [J]. Catalysis Today, 2000, 55: 179
- [10] 孙履厚主编.精细化工新材料与技术[M].北京:中国石油出版社,1998
- [11] Miguel A C, et al. [J]. Langmuir, 1998, 14(22): 6430
- [12] Varma R S. [J]. Green Chemistry, 1999, 1(1): 43
- [13] Avalos M, et al. [J]. J Org Chem, 1999, 64(17): 6297
- [14] Wan J K S, et al. [J]. Res Chem Intern, 1991, 16: 241
- [15] Cintas P, Luche J L. [J]. Green Chemistry, 1999, 1(3): 115
- [16] Thompson L H, Doraiswamy L K. [J]. Ind Eng Chem Res, 1999, 38(4): 1215
- [17] Volkov V V, Teplyakov V V, et al. [J]. Green Chem, 1999, 1(5): G131
- [18] 贡长生,张克立主编.新型功能材料[M].北京:化学工业出版社,2001
- [19] Papavassilion V, et al. [J]. Ind Eng Chem Res, 1997, 36(11): 4955
- [20] 王芳,王燕.[J].精细石油化工进展,2001,2(2):29
- [21] Clark J H. [J]. Green Chemistry, 1999, 1(1): 1
- [22] Dorozhkin S V. [J]. J Chem Technol Biontechmol, 1998, 71: 227
- [23] Draths K M, Frost J W. [J]. J Am Chem Soc, 1994, 116: 399