



绿色与可持续化学*

韩布兴

(中国科学院化学研究所 北京 100190)

摘要 绿色与可持续化学是 21 世纪最重要的研究领域之一。本文简要讨论了该领域的研究现状、发展趋势和关键问题。

关键词 绿色化学, 可持续化学

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2011.07.017



韩布兴研究员

1 学科意义

目前, 世界人口不断增加, 资源短缺日趋严重, 大量排放的工业污染物和生活废弃物使人类的生存环境迅速恶化, 人与自然的矛盾日益激化, 人类正面临着前

所未有的资源、能源和环境危机。如何妥善解决经济、资源和环境之间的矛盾已经成为国际社会关注的焦点。

化学工业为人类文明和社会进步做出了巨大贡献, 并且还将继续发挥其不可替代的作用。然而, 许多传统的化学工业会造成严重的环境污染和浪费, 甚至直接导致人身伤亡事故。随着人类社会的不断进步, 如何使化学在创造物质财富的同时保护人类赖以生存的环境, 节省资源和能源, 采用可再生资源, 减少浪费, 实现可持续发展已成为无法回

避的重大问题, 是化学工作者面临的严峻挑战。

近 20 年来, 以从源头上消除污染和安全隐患、节省资源为核心的绿色化学引起国内外的普遍关注。绿色化学的主体思想是采用无毒无害的原料、助剂, 采用原子经济性和高选择性的反应, 生产环境友好的产品, 并且经济合理。绿色化学的基础是化学, 并涵盖了化工的内容。从科学的观点看, 绿色化学是对传统化学思维方式的更新和发展, 需要化学家重新考虑重要的化学问题; 从环境观点看, 与先污染后治理的传统做法截然不同, 它是从源头上消除污染、与生态环境协调发展的更高层次的化学; 从经济观点看, 它要求合理地利用资源和能源、降低生产成本, 符合经济可持续发展的要求。简单地讲, 绿色化学可概括地描述为在反应过程和化工生产中, 不使用有害物质, 并尽量减少或不生产有害物质和废弃物。绿色化学的目的是将现有化工生产的技术路线从“先污染、后治理”改变为“从源头上消除污染”。在解决经济、资源、环境三者矛盾的过程中, 绿色化学的作用和地位日益显著。近年来, 绿色化学也被称为“绿色与可持续化学”, 充分显示了绿色化学与可持续发展之间的密切关系。绿色化学与环境化学、清洁生产、循环经济等有密切关系,

* 收稿日期: 2011 年 1 月 6 日

但不是等同的概念。

绿色化学要求在综合考虑环境因素与社会可持续发展的前提下,重新审视传统的化学问题。随着全球性环境污染问题的日益加剧和能源、资源急剧减少,环境问题日益严峻,绿色化学已成为 21 世纪的主题,是化学学科发展的必然趋势。对于化学工业而言,绿色化学是化学工业可持续发展的科学和技术基础,是提高效益、节约资源和能源、保护环境的有效手段和方法。绿色化学的发展将带来化学及相关学科的重大进步和生产方式的变革。

2 国际发展现状及趋势

绿色化学的产生主要源于化学化工发展所带来的严重环境和社会问题。上世纪 90 年代初美国学者提出了绿色化学的概念,随后提出了绿色化学的 12 条原则,其中涉及化学过程的原料、合成路线、催化剂、溶剂、工艺、成本、产品等重要问题^[1,2],迄今已被绿色化学界普遍接受。当然,随着绿色化学的发展,相应的原则也在不断完善^[3]。

从上世纪 90 年代初开始,美国、欧洲、加拿大、日本、韩国等发达国家就不断资助绿色化学的基础研究和相关技术的开发。随着全球对环境和可持续发展的日益关注,国外对绿色化学越来越重视。国际上已成立了许多绿色化学实验室、研究中心和研究所。绿色化学已成为学术界、企业和政府共同关注的重大领域。许多国家纷纷制定了绿色化学或与绿色化学相关的科技发展规划。尤其在 2002 年 9 月于南非约翰内斯堡召开的全球可持续发展峰会后,世界各国纷纷投入大量人力物力开展相关基础研究和技术开发。随着绿色化学的发展,各类与绿色化学相关的学术组织日益增多。例如国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)成立了绿色化学分会,许多国家和地区都成立了相关的学术组织。这些组织在促进绿色化学的研究和绿色技术开发、国际间的合作、信息交流、绿色化学教育等许多方面发挥了重要作用。世界各国对绿色化学的重视还体现在有关奖项的设立方面。1995 年,美国设立了“总统绿色

化学挑战奖”,并从 1996 年开始颁奖,每年一次,用来奖励在绿色化学方面做出突出贡献的科研人员和企业。加拿大、日本、澳大利亚、欧洲一些国家等也设立了类似的奖项,专门奖励在绿色化学方面做出突出贡献的个人或单位。

目前,绿色化学方面的学术会议越来越多,其中包括综合性的“国际绿色与可持续化学大会”和“国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)绿色化学大会”系列会议。这两个系列性学术会议均每两年召开一次。“国际绿色与可持续化学大会”和“IUPAC 绿色化学大会”已经分别召开 4 次和 3 次;以绿色化学为主题的国际高水平戈登会议(Gordon Conference)也定期召开;另外,还有许多国家和地区性的系列绿色化学学术会议,许多化学方面的综合性学术会议均设立了绿色化学分会。除了这些综合性的学术会议外,以绿色化学部分内容为主题的学术会议也很多,包括超临界流体、离子液体、绿色溶剂、无溶剂合成、绿色催化、生物质转化利用、二氧化碳转化利用、清洁能源等许多方面。

与此同时,已有数百部绿色化学方面的专著出版。1999 年由英国皇家化学会主办的国际性杂志 *Green Chemistry* 创刊, Taylor & Francis 出版社的 *Green Chemistry Letters and Reviews* 2010 年创刊。2007 年和 2008 年 Wiley 出版社分别创办了 *Clean-Soil, Air, Water* 和 *ChemSusChem*, 其中绿色化学是重要的内容。许多期刊也陆续出版了绿色化学专集。如化学领域的权威期刊 *Chemical Reviews* 2007 年出版了绿色化学专集等。

近 20 年来,绿色化学领域发展很快,在基础研究和技术开发方面不断取得重要进展。每年有大量的研究论文发表,其中许多论文发表在 *Nature*、*Science* 等顶级期刊上;已有大量与绿色化学相关的专利授权,一些绿色化学技术已经投入使用,形成一批新兴产业,呈现出良好的发展势头。

3 我国研究现状与进展

近年来,我国国民经济增长速度很快,但由于



技术落后和长期粗放管理,这种快速增长在一定程度上是以资源过度消耗和严重环境污染为代价的。在此情况下,发展绿色化学对我国具有更加重要的意义,中国也是在绿色化学方面起步较早的国家。自1997年5月召开以“可持续发展问题对科学的挑战——绿色化学”为主题的第72次香山科学会议以来,我国对绿色化学的研究和技术开发越来越重视。10多年来,我国的科研机构 and 高校成立了多个绿色化学中心、研究所和实验室。许多高等学校设立了绿色化学课程。许多绿色化学方面的项目得到了国家基金委、国家科技部、中科院等部门的资助。如早在1997年,国家自然科学基金委与石油化工集团公司联合设立了“九五”重大基础研究项目。随后国家自然科学基金委又资助了许多重点项目和其他类型的项目;国家科技部已资助了多个相关的“973”项目以及一些其他类型的相关项目;中科院也资助了多个绿色化学方面的重要方向性项目。

我国非常重视相关学术组织的建立和学术交流。例如,2007年中国化学会成立了绿色化学专业委员会;1998年我国召开了首届中国绿色化学国际研讨会,至今已成功举办了9次;近年的中国化学会学术年会均设立了绿色化学分会;2009年,我国举办了“第四届国际绿色与可持续化学大会”。国内也出版了不少相关著作,如国家自然科学基金委资助出版了“绿色化学化工丛书”等。

目前,许多国内一流大学和科研单位都在开展绿色化学的研究,企业界对绿色化学技术的研发与应用也越来越重视。总之,在学术界、企业、政府部门的推动下,我国在绿色化学研究和技术开发方面已开展了大量的工作,取得了许多国际先进水平的成果,形成了一支高水平的科技队伍,在国际上具有重要的影响。

4 关键问题及建议

绿色化学是21世纪科学发展最重要的领域之一,是具有明确社会需求和科学目标的新兴交叉学科。发展绿色化学是一项长期的工作,面临一系列

重要的挑战和机遇。绿色化学的发展对人类社会将产生巨大的影响。

我国是人口大国,资源和能源相对贫乏,环境问题十分严重。因此,发展绿色化学与技术对于我国经济社会可持续发展和人民生活水平及质量的提高具有特殊的意义。绿色化学不仅涉及对现有化学过程的改进,更涉及新概念、新理论、新反应途径的研究以及新过程和技术开发。此外,绿色化学除涉及化学学科外,还涉及环境、生物、物理、材料和信息等诸多学科领域。我国应进一步加强对绿色化学的支持力度,对环境友好产品的设计、原料的绿色化、新的合成路线及方法学、绿色催化、绿色溶剂、化学反应强化,绿色化学工艺、绿色过程及系统集成、绿色化学评估准则等重要问题进行深入系统的研究,改进现有技术,开发和推广新的高效绿色技术。具体应注重如下问题:

绿色产品设计。绿色化学要求生产的产品对环境友好。设计过程中还应考虑产品的生命周期、循环回收利用、环境和社会成本等。无毒化学品和材料、环境友好农药、可降解塑料、清洁燃料、绿色涂料等的设计和生产均属绿色化学的重要内容。另外,在设计用生物质等可再生原料生产的产品时,不但要考虑制备与化石原料产品性能类似的产品,更应该根据可再生原料的特点,设计具有自身特色的、性能更好的产品。

无毒无害及可再生原料。原料直接影响产品的设计、加工、生产等过程。目前广泛使用的有机化工原料中,不可再生的化石原料所占比例很大,其中许多有毒有害,并且这些原料终将枯竭。绿色化学要求化学品合成中所使用的原料无毒无害。为了满足可持续发展的要求,应充分重视利用可再生原料利用。二氧化碳、生物质、氧气、双氧水、废旧塑料、粘土等无害及可再生原料的利用具有广泛的发展前景。

原子经济反应与合成方法学。迄今为止,化学家已开发了大量的化学反应,但从根除环境污染和节省资源的角度考虑,化学过程中最好将原料全部

转化为产品,这样不仅可以充分利用资源,而且生产过程中不排放任何废物和副产品,实现废物的零排放。发展绿色化学合成方法学和有关理论、探索原子经济性、高选择性合成路线和途径是绿色化学的重要内容。

绿色催化剂。催化剂在化学工业中占有重要的地位。目前采用的许多催化剂基于金属,储量有限,甚至有毒有害。采用储量丰富、便宜易得的原料设计和制备高效无害的催化剂具有重要的意义。绿色催化剂应具有高活性、高选择性、性能稳定、无毒无害、成本低、原料易得、制备过程对环境无害、容易回收利用等特点。绿色催化剂的开发和利用、催化和动力学理论研究是绿色化学的重要内容。

绿色溶剂。传统化学过程采用大量有毒有害的挥发性溶剂,是造成环境污染和浪费的重要原因之一。水、超临界流体、离子液体、聚乙二醇等是具有许多特点的绿色溶剂,它们在化学反应工程、材料科学、分离科学等领域具有广阔的应用前景。有效利用绿色溶剂的特性提高生产效率、开发新的反应和技术、制备高性能的材料是重要的研究课题。

化石资源的绿色转化与利用。虽然石油、煤等化石资源是不可再生的,并且在加工、使用等过程中均对环境造成重大影响,但目前它们仍然是人类赖以生存的重要的资源,是主要的能源和有机化工原料,并且在近年内难以改变这种状况。因此,在努力开发其替代原料的同时,对传统工艺技术高投入、高消耗、高污染、低效益的方式进行改变极为重要。研究这些化石资源清洁高效转化与利用的新思路、新途径、开发新技术是绿色化学不可缺少的内容。

化学反应强化。采用传统的思路和方法开发新的重要反应难度越来越大。化学学科和科学技术的发展为新反应途径的开发提供了有力的条件,这方面有很大的发展空间。应充分重视现代科学技术在

化学反应及过程强化中的应用。如利用太阳能实现热力学上不能进行的新反应,以及利用超声技术、微波技术提高反应效率等方面的研究,开发相关的技术。

化工过程强化及集成。通过化工过程强化可实现在生产和加工过程中有效地减小设备体积或极大地增加设备的生产能力,显著地提高能量效率和生产效率,减少废物排放。新型反应器和操作单元设计、高效工艺和技术设计、高效设备和过程集成、过程优化方法与相关理论研究等对于生产过程绿色化十分重要,是绿色化学核心内容之一。

绿色化学评估标准建立。绿色化学不但要考虑每一个步骤的绿色高效,还要统筹考虑整个生产过程。判断化学过程绿色程度需要建立评估准则和方法。目前已有一些相关的评估方法,但尚未形成共识。化学过程多种多样,评估方法中涉及的参数较多。将绿色化学与应用数学、计算机技术等相结合,建立科学合理、普适有效的定量评估标准势在必行。

应该指出的是,上述问题往往是相互关联的,涉及一系列基础、应用基础和工程技术难题。应根据绿色化学自身的特点和我国的具体情况制订科学有效的发展规划,充分发挥科技队伍的整体实力。绿色化学目前属于起步和迅速发展的阶段。我们完全有理由相信,绿色化学在社会经济可持续发展中将发挥越来越重要的作用。

主要参考文献

- 1 Anastas P T, Warner J C. Green chemistry: theory and practice. Oxford University Press, 1998.
- 2 Anastas P T, Eghbali N. Green Chemistry: principles and practice, Chem. Soc. Rev., 2010,39: 301-312.
- 3 Tang S, Bourne R, Smith R et al. The 24 principles of green engineering and green chemistry: "IMPROVEMENTS PRODUCTIVELY". Green Chem., 2008,10: 268-269.



Green and Sustainable Chemistry

Han Buxing

(Institute of Chemistry, CAS 100190 Beijing)

Abstract Green and sustainable chemistry is one of the most important fields in 21st century. This paper discusses briefly the development, challenges, and perspectives of this field.

Keywords green chemistry, sustainable chemistry

韩布兴 中国科学院化学所研究员,博士生导师,英国皇家化学学会会士(Fellow)。1957年出生,1982年毕业于河北科技大学,1985年在中科院长春应化所获硕士学位,1988年在中科院化学所获博士学位,同年留该所工作至今,其中1989年至1991年在加拿大Saskatchewan大学做博士后研究。主要开展绿色介质体系化学热力学及其在绿色化学中的应用研究。现任国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)绿色化学分会主席、中国化学会化学热力学与热分析专业委员会主任委员等职;担任 *Chemical Science*、*Green Chemistry*、*ChemSusChem*、*J. Supercritical Fluids*、*J. Colloid and Interface Sciences*、《中国科学:化学》、《中国化学》、《物理化学学报》等期刊的编委或顾问编委。E-mail:hanbx@iccas.ac.cn