

发展绿色化学,改善生态环境

周峰¹,王会²,栾新军²

1. 中国科学院兰州化学物理研究所,固体润滑国家重点实验室,兰州 730000

2. 西北大学化学与材料科学学院,合成与天然功能分子化学教育部重点实验室,西安 710127

摘要 21世纪是世界人口迅速增长、经济迅猛发展的时期,又是环境污染严重、能源消耗巨大的时期。面对严峻形势,许多国家提出人类可持续发展的战略方针,在全球掀起了发展绿色化学、利用可再生能源的热潮。为保护环境、构建可持续能源体系,并加快中国现代化进程,本文从绿色化学的发展历史及中国能源结构两方面出发,介绍了绿色化学的内涵、绿色化学在化学化工领域的应用及中国的能源战略,并指出绿色化、清洁化将携手助力中国的现代化建设。

关键词 绿色化学;生态环境;清洁能源;可持续发展

化学是研究物质的结构、性能及转化过程的科学,以发现新的化合物为核心目的,为现代高科技的发展及人类社会的快速进步提供了新材料、新药物和新能源,是人类用以认识和改造物质世界的主要方法和手段之一,在人类生活的日益改善方面有着不可替代的作用。每一次化学利用技术与产业的变革,都促进和标志着人类生存发展方式和社会文明的进化:第一个抗生素盘尼西林的发现减轻了病痛,预防了疾病,开启了化学在人类医药领域的大门;氮化肥的生产、杀虫剂的成功研发,有效减轻了人口增长,缓解了食品需求对社会的压力;染料的使用让生活变得五彩缤纷,色彩斑斓;烯烃的裂解制造奠定了石油化工行业的发展基础。历史表明,化学学科的研究及应用水平是人类文明进步的基础,是国家竞争力的体现,化学学科的创新支撑和引领着技术与产业的变革。然而,化学研发也产生了很多负面影响(图1),包括环境污染(臭氧层的破坏、雾霾的加剧、酸雨及水体的富营养化)、食品安全(瘦肉精、苏丹红的不正当使用)等。随着人类认识的不断深入,对化学研发提出了越来越高的要求,如何在不降低化学产

生的经济效益的同时,又能解决伴随其发展所产生的负面效应,是化学家们面临的难题和义不容辞的责任,也是目前经济和社会发展的主要任务。

把化学改革成为可持续发展的学科是消除化学负面效应的有力措施,为了满足此种迫切需求,产生了“绿色化学”这一崭新学科。绿色化学吸收了当代化学、物理、生物、材料、信息等学科的最新理论和技术,是具有明确的社会需求和科学目标的新兴交叉学科。从科学观点看,绿色化学是化学科学内容上的革新;从环境观点看,它从源头上消除了污染;从经济观点看,它合理利用资源和能源、降低生产成本,符合经济可持续发展的要求。21世纪是资源绿色利用的世纪,能源作为关乎经济发展和民众生活的关键,是绿色化学的重大研究课题。长期以来,化石能源在世界能源消费中占据主体地位,世界经济的现代化



图1 化学研发引起的负面效应

Fig. 1 Negative effect caused by chemistry

在很大程度上得益于化石能源。近年来,全球能源消耗基本趋于稳定增长态势,平均每年以3%的指数增长,常规化石能源由于其不可再生性,被愈来愈快地消耗掉。有数据表明,煤炭资源消耗殆尽只剩169年,天然气储备将在未来的57~65年内枯竭,石油储量约在2050年将宣告枯竭。化石能源与原料链条的中断,必将导致世界经济危机和冲突的加剧,最终断送现代市场经济。同时,伴随着化石燃料消耗的增加,大气中CO₂的含量相应的增加,地球在不断变暖,生态环境恶化,自然灾害及其造

收稿日期:2016-08-15;修回日期:2016-09-02

作者简介:周峰,研究员,研究方向为工程材料表面涂层技术、表面有序微纳结构、防污减阻降噪材料、智能聚合物刷与传感传动应用,电子信箱:

zhouf@licp.cas.cn

引用格式:周峰,王会,栾新军.发展绿色化学,改善生态环境[J].科技导报,2016,34(17):5-12;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.17.001

成的损失也在逐年增加,能源的潜在危机和生态环境的恶化迫使世界各国积极开发可再生新型清洁能源。

绿色化学作为一种全新的化学理念,必将成为21世纪科学技术主要的发展领域之一。中国应在坚持可持续发展重要战略的基础上,加大开发清洁能源,大力发展绿色化学。鉴于绿色化学在人类健康、生存环境及能源可持续发展中的积极作用,化学工作者应珍惜时代赋予的机遇和使命,时刻保持创新精神,做原创性科研,为实现中国梦凝聚强有力的科技支撑力量。

1 绿色化学

1.1 绿色化学的发展历史及概念

1962年,美国科学家 Rachel Carson 撰写的《Silent Spring》(《寂静的春天》)出版,书中论述了双对氯苯基三氯乙烷(DDT)等杀虫剂如何使鸟类数量急剧减少,使原来花红叶绿,百鸟齐鸣的春天变成了“一片死寂”。DDT于1941年上市,其作用过程是将其喷洒于农作物上,昆虫接触后会因神经系统的麻痹而被杀死。在上市后的30年间,千百万吨 DDT 被广泛使用,特别是在非洲,它缓解了食品危机,增加了农民收入,甚至拯救了几百万人的性命。DDT的发明人、瑞士化学家 P. H. Muller 因此获得了1948年度诺贝尔生理学或医学奖,然而, Rachel Carson 在她的书中写到鸟类因食用了含 DDT 的农作物,致使其产下的蛋壳变薄,十分易碎,由此人们开始担心该类化合物的毒性会不会也沿着生物链扩展到人类。自此,环境保护意识逐渐深入人心。

早期的环境保护方案采取的是传统化学方法,即在末端治理污染,如烟气脱硫、除尘、废水集中处理等,这些方法没能从根本上解决问题,因为它一方面耗费了巨大的人力财力,另一方面仍无法从源头上杜绝污染物的排放,“三废”排放并未减少。相比于传统化学,绿色化学^[1]的标志性特点在于从源头上消除污染,发展无害无污染的新反应和新产品。绿色化学(图2)这一概念最早是由美国学者 Paul Anastas^[1]在

1991年提出,又被称为环境友好化学(environmentally friendly chemistry)、环境无害化学(environmentally benign chemistry)、清洁化学(clean chemistry),是利用化学原理和方法减少或消除对人类健康、社区安全、生态环境有害的反应原料、催化剂、溶剂和试剂、产物和副产物的新兴学科。

1990年,美国政府就通过了“防止污染行动”的法令,将污染防治确立为国策;1995年,美国总统克林顿设立了“总统绿色化学挑战奖”^[2],以鼓励社会各界在设计、制造及使用化学产品中最大程度减少污染物的产生,从政府层面上推进了绿色化学的发展;随后英国皇家化学会创办了国际化学期刊《Green Chemistry》,专门报道有关清洁技术的相关绿色化学研究成果。2001年,诺贝尔奖获得者野依良治(Ryoji Noyori)指出:“如果没有绿色化学,化学工业将熬不过22世纪。”可见,绿色化学的提出是化学从“粗放型”向“集约型”的转变,是世界环境战略由被动等待转向主动出击,由治标转向治本的重大转折。紧跟世界化学发展前沿,中国制定了科教兴国和可持续发展的策略,并于1993年编制了《中国21世纪议程》,坚定了走可持续发展道路的决心;1995年中国科学院化学部组织了“绿色化学与技术——推进化工生产可持续发展的途径”院士咨询活动;1997年国家自然科学基金委员会“九五”重大项目“环境友好石油化工催化化学与反应工程”立项;1998年《化学进展》杂志出版了“绿色化学与技术”专辑;2000年科技部的国家重点基础研究项目“石油炼制和基本有机化学品合成的绿色化学”立项;2014年在上海召开主题为“化学构筑美好生活”的中法绿色化学学术会议,以期开拓中国在可持续发展绿色化学领域的创新研究和相关产业,为全球的环境保护和人类健康做出贡献。

传统上利用经济性衡量化学工艺

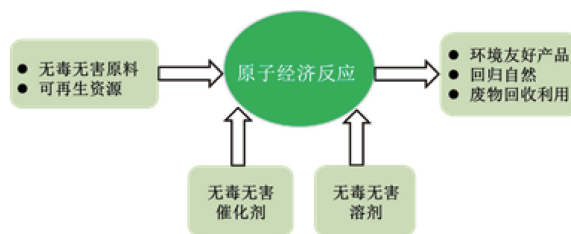


图2 绿色化学反应的要求

Fig. 2 Main content of green chemistry

是否可行,20世纪80年代美国斯坦福大学的Trost提出一种全新的标准评估化学反应过程——原子经济性(atom economy)^[1],即原料中的每一个原子都进入产品,且不会产生任何副产品和废物,实现废物的“零排放”;同时也不采用任何有毒有害的原料、催化剂和溶剂,生产出环境友好的产品。这一概念的提出为新反应的设计提出了资源经济、减少排放的要求,对工业生产有重大的指导作用。绿色化学是当今国际化学科学研究的前沿,它涵盖了当代物理、生物、材料、信息^[3]等学科的最新理论与技术,它的研究主要围绕化学反应中原料、催化剂、溶剂以及新的合成技术和产品的绿色化而开展,包括以下诸多内容。

1.2 绿色化学的研究内容

1.2.1 绿色原料

原料在化学品的制备过程中十分重要,一个化学原料对于环境及社会的负面作用很可能导致最终化学品的毒性。鉴于此,首先需要对原料进行绿色评估:1)原料的来源,即该原料是开采的、炼制的或是合成的;2)原料的可更新性,即在相对可接受的时间范围内,该原料是可更新的,亦或是耗竭的;3)原料的危害性,即其对人类健康和环境是否具有长期毒性及致癌性。总之,在选择原料时应尽量使用对人体和环境无害的材料,避免使用枯竭或稀有的材料,采用可回收再生的,易于提取的且可循环利用的原材料,使用环境可降解的原材料。

异氰酸酯是制备聚氨酯(Polyurethane, PU)的原料,聚氨酯是新型的合成材料,自拜耳公司开发出以后已成为世界六大最有发展前途的合成材料之

一,其制备的涂层表面柔软,富有弹性,具有耐湿、耐磨、耐干洗等性能;聚碳酸酯(PC)是一种热塑性树脂,其具有无色透明和优异的抗冲击性能,是六大通用工程塑料中唯一具有良好透明性的产品,常用于制备眼镜片、防弹玻璃、车头灯及苹果公司音乐播放器 iPod 的外壳等;以上两种高分子材料的传统化工合成中需应用剧毒的光气(COCl_2)做原料,开发研究新型的无毒无害原料替代光气以制备以上材料一时成为研究热点。例如, Komiya 等^[4]研究开发了在固融状态下,应用双酚与无毒性的碳酸二甲酯生产 PC 的新技术; Tundo^[5]等报道了用二氧化碳代替光气生产碳酸二甲酯的新方法,取代了常规的光气合成路线。目前沙特基础工业公司、旭精工株式会社、三菱公司等已实现了 PC 和 PU 的无光气商业化生产技术;杜邦公司发展了甲基异氰酸酯的即刻合成法从而避免了甲基异氰酸酯的存储和运输。

双氧水被称为清洁氧化剂,它的理想之处在于提供一个氧而自身变成水,目前已广泛应用于化工、医疗、食品、电子和环保等领域。目前,双氧水参与的选择性氧化过程主要包括环氧化、羟基化、酮化等,在替代原有工艺上表现出越来越大的优越性。以己二酸的合成工艺改善为例:传统反应以苯为原料,经三步氢化还原、催化氧化及环断裂合成己二酸,该反应方法的原料苯为剧毒,且反应过程使用了重金属钴和镍的配合物,排放废气中的氮氧化物严重

威胁人类健康。Kamzuhiko Sato 等^[6]以环己烯为原料,在双氧水和相转移催化剂的作用下,一步得到了产物己二酸,大大简化了合成工艺,避免了有毒原料苯的使用,且无污染物生成。

工业废气中含有大量 CO_2 ,如何高效利用 CO_2 并将其转化为有价值的燃料一直是化学家研究的重要课题。美国奥奇能生物能源公司开发出了基因增强的蓝藻(cyanobacteria)菌株(图 3),可以在阳光和盐水的条件下高效地将空气和工业废气中的 CO_2 转化为乙醇和生物油等燃料。该工艺中盐水可以从海水获取,不依赖粮食作物为原料,降低了燃料生产成本,并显著地减少碳排放。美国 LanzaTech 科技公司研发的微生物发酵方法将 CO 、 CO_2 转化为乙醇、2,3-丁二醇等重要燃料。与以天然气、煤、石油等为原料的传统工艺相比较,新方法的实施可以将温室气体的排放减少 30% 左右。

氧气是最便宜和最环保的化学氧化剂,但由于存储和使用的安全问题以及反应的选择性问题,它很少被使用,2011 年 Stahl^[7]及其团队研发出几种实用型的有氧醇的氧化方法。在室温条件下,以空气为氧化剂,可使伯醇分子内未受保护的仲醇进行氧化;且通过进一步的合作研究,实现了醇有氧 5 min 内氧化成醛的连续流动反应。

1.2.2 绿色溶剂

在无毒无害溶剂的研究中,最热门的领域是超临界流体的应用,特别是超

临界 CO_2 的开发和应用。超临界流体是指物质的温度和压力分别处于其临界温度和临界压力之上时的特殊流体。超临界流体是一种介于气体和液体之间的物质状态,它具有很高的传递速度及很高的可压缩性,其溶解度、黏度和密度等性能均可由压力和温度变化来调节(图 4)。超临界 CO_2 来源广泛、不可燃、操作安全、化学性质不活泼,是环保上可接受的优良有机溶剂。

目前,超临界 CO_2 在药物、有机中间体及高分子聚合物的制备方面有广泛的应用。

例如,采用超临界 CO_2 代替氟氯烃等化合物做苯乙烯泡沫塑料发泡剂曾获美国总统绿色化学挑战杯奖的“改变溶剂/反应条件奖”;苯酚的加氢反应能得到化工重要的中间体环己酮, Jiang 和 Han 等^[8]报道了超临界 CO_2 中路易斯酸和负载型钨催化的苯酚的加氢反应以高选择性合成环己酮,并在分子间作用力和动力学研究的基础上,提出了路易斯酸一方面能提高反应速度另一方面可以抑制副反应的协同作用;此外,超临界流体在过渡金属催化的碳碳键偶联反应及聚碳酸酯的制备反应中亦表现出优于传统有机溶剂的性能,浙江大学、中国科学院广州化学研究所、华南理工大学等数个科研单位均在以超临界 CO_2 为碳源制备碳酸酯的研究。

1.2.3 绿色催化剂

催化剂能够加快化学反应速度,但



图3 基因增强的蓝藻菌株

Fig. 3 Genetic hardening cyanobacteria

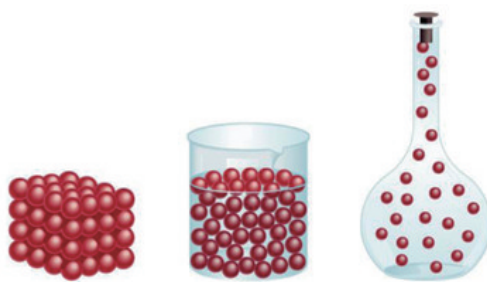


图4 超临界流体

Fig. 4 Introduction to supercritical fluid

络、云计算、大数据、智能制造、能源技术快速进步,在“互联网+”的热潮中,能源与互联网深度融合将成为大势所趋,人类进入了以清洁安全、多样化、可再生为特征的绿色低碳、可持续能源体系的新时代。构建全球能源互联网,可以帮助清洁能源的消纳利用,助力全球能源结构的绿色清洁化升级,同样也是全球破解减排困局的最佳战略选择(图7)。



图7 清洁、可再生能源

Fig. 7 Clean and renewable energy

清洁能源的发展在很大程度上受扶持政策的影响,在全球范围,拥有可再生能源发展目标及政策的国家越来越多。截至2015年初,已有至少164个国家设定了可再生能源发展的目标^[10]。中国在调整能源结构的大方针背景下,根据“十三五”规划建设战略导向^[11],提出提高非化石能源比重,推动煤炭等化石能源清洁高效利用。加快发展风能、太阳能、生物质能、水能、地热能,安全高效发展节能。随着政策支持力度的加大,清洁能源的投资将不断加大(图9)。预计风能将在低风速地区有较大幅度增长,同时,分布式光伏电站将有更好的发展机遇。此外,清洁能源的发电成本将进一步降低,实现平价上网。

2.2 中国的能源部署

2.2.1 稳定发展太阳能产业

太阳能是太阳内部连续不断的核

聚变反应过程产生的能量。太阳是一个巨大、久远、无尽的能源。尽管太阳辐射到地球大气层的能量仅为其总辐射能量的22亿分之一,但已高达173000 TW,也就是说太阳每秒照射到地球的能量相当于500万t煤。太阳能是地球能源的主要源头,除核能、深部地热能外,地球上人类利用的包括风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能及部分潮汐能均来源于太阳;即使是地球上的化石燃料(如煤、石油、天然气等),归根结蒂都源自太阳能。

中国是世界上最大的能源生产国和消费国,能源需求、供给、技术等挑战日益突出(图8),一次能源中煤炭占比达66.1%,而石油、天然气等储备量相比煤炭明显不足。此外,中国的能源消费结构与世界能源消费结构相比差距甚大。在一次能源消费中,石油在中国的消费比重为17.8%,世界平均水平为34.8%;天然气中国消费比重为3.9%,远低于世界平均水平(23.8%);中国的

核电只有不到1%,而世界平均水平达到了5.5%。中国科学技术部高技术研究中心能源处指出,中国已进入了推进能源革命的战略机遇期。优化能源结构,控制煤炭消费,提高新能源的利用率是推进能源革命的主要政策方针。在调整优化能源结构的大方针背景下及“十三五”规划等重要政策的支持下,清洁能源行业的发展前景将会越加明朗。

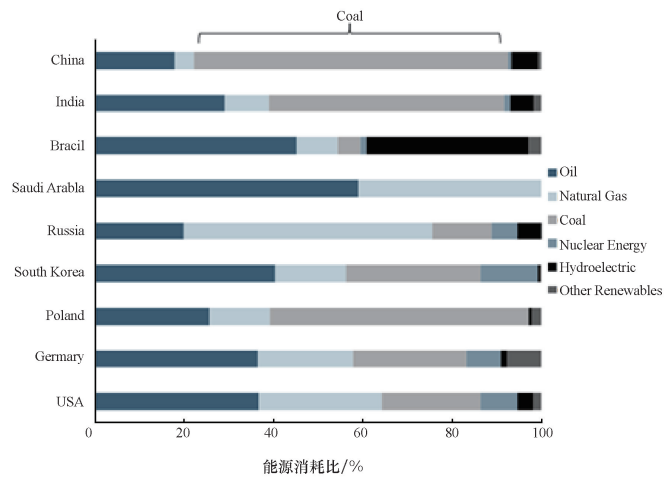


图8 各国能源消耗比例

Fig. 8 Energy consumption by fuel type in selected countries

聚变反应过程产生的能量。太阳是一个巨大、久远、无尽的能源。尽管太阳辐射到地球大气层的能量仅为其总辐射能量的22亿分之一,但已高达173000 TW,也就是说太阳每秒照射到地球的能量相当于500万t煤。太阳能是地球能源的主要源头,除核能、深部地热能外,地球上人类利用的包括风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能及部分潮汐能均来源于太阳;即使是地球上的化石燃料(如煤、石油、天然气等),归根结蒂都源自太阳能。

中国太阳能资源丰富,各地年辐射量3340~8400 MJ/m²。但由于太阳自身活动、地球公转和自转、纬度、地形、海拔等差异,

太阳光到达地球表面的辐射强度分布并不均衡(图10)。比如中国的甘肃、宁夏、新疆南部、青海和西藏等地年日照量最大,可达3200~3300 h,而重庆、四川、贵州等地的太阳能资源则较差,全年日照量仅1000~1400 h。太阳能资源因地而异,因时而变的性质,使分布式太阳能光电、光热利用在中国取得良好进展。

太阳能光伏发电是太阳能利用的主要形式,是利用半导体电子器件直接

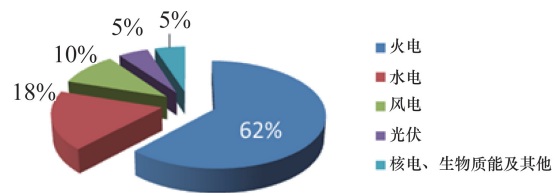


图9 2020年的中国能源结构

Fig. 9 Energy structure of china in 2020



图 10 中国太阳能资源分布

Fig. 10 Solar energy resources distribution of all regions in China

将光能转化成电能的发电形式。当太阳光照射到半导体表面,其内物质吸收光能产生“光生电子-空穴对”。在电池内电场作用下,光生电子和空穴被分离,从而在电池两端积累电荷,产生电压。

“十二五”期间,中国光伏产业高速增长,在西部地区光伏电站已形成了较大规模,青海、甘肃、新疆等地的光伏电站装机达到 300 万 kW 以上;中东部人口密度较高地区重点发展屋顶分布式光伏系统,并利用荒山、农业大棚、渔业养殖等建设分布式光伏电站。截止 2015 年底,中国光伏发电累计并网装机 3712 万 kW。随着中国光伏产业技术水平的提高,光伏器件的核心技术也取得了根本性的突破。目前,中国 P 型单晶与 N 型单晶电池转换率已达到 19%~19.5%、21%~24% 的水平,多晶电池则可以做到 18.5%,尽管目前多晶占据光伏行业的主流地位,不过最近几年,单晶产业已显示出明显的崛起地位。污染问题是晶硅技术最大的软肋,硅在提纯阶段耗能较高,且产生较大污染。薄膜发电的主要技术路径有铜铟镓硒、非晶硅和碲化镉,电池弱光性好、热敏感度低。国内主流薄膜电池的转化率为 15%~18%,低于晶硅电池,这是其受诟病及市场份额小的主要原因。

但近几年薄膜发电技术研发进展迅速,转化率逐步提升,与晶硅的差距越来越小,其柔软易折、轻便易携,在建筑一体化领域的显著优势助力了其产业化发展。多结化合物太阳能电池(GaInP/GaAs/Ge)光电转换效率可达 41%,理论极限可达至 70%,聚光光热转换效率可达至 80%。以上 3 种太阳能电池各有利弊,随着研究的广泛开展,这些电池都会有新的技术突破以获得更高的转换效率(图 11)。

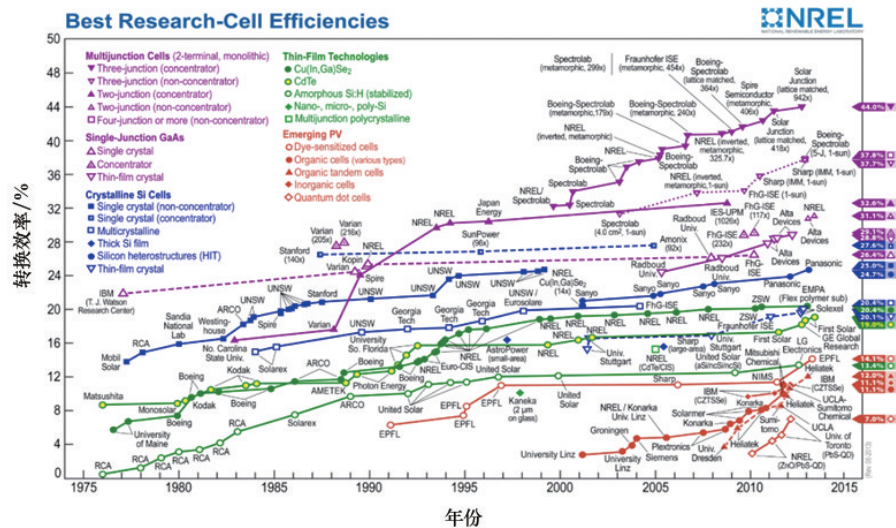


图 11 世界各地不同类型光伏电池的转换效率

Fig. 11 Power conversion efficiency of all kinds of worldwide photovoltaic cells

2.2.2 大力发展风能

风能是目前最有发展前景的可再生资源,它洁净、绿色、无污染,在各类可替代能源中,风能的利用前景最为成熟。中国气象科学研究院估算,中国平均风功率密度为 100 W/m²,风能资源总量约 32.26 亿 kW,其中陆地上技术可开发风能储量约 2.53 亿 kW,近海可开发利用风能约 7.5 亿 kW,共计约 10 亿 kW,仅次于俄罗斯和美国,居世界第三位。中国的风电建设经过近几十年的发展已初具规模,风电建设技术稳步提升,风电行业持续增长,为经济可持续发展提供了必备的新能源,主要表现在:风电机组向大机组 2.0 MW 或者 2.5 MW 方向发展;由传统双馈型风机逐步转向直流驱动型;加大叶轮直径,提高叶轮捕风能力;为适应海上风电需要,单机功率增至 6~8 MW;风电装机总容量持续上升。根据全球风能理事会统计,2009—2014 年,中国每年新增风电装机容量连续 5 年居全球首位。2014 年,中国新增装机容量 23196 MW,同比增长 44.17%,占全球当年新增装机容量的 45.36%,全球排名第一。2014 年中国累计风电装机总容量 114609 MW,占全球累计风电装机容量的 31.01%,也居全球第一。在快速发展陆上风电的同时,中国海上风电也取

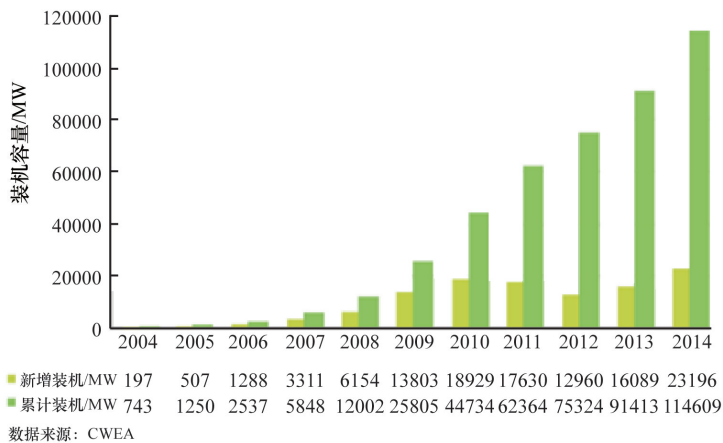


图 12 2004—2014 年中国新增和累计风电装机容量

Fig. 12 Increased and total capacity of wind-driven power in China from 2004 to 2014

得了突破性进展,至 2013 年底,全国海上风电项目累计核准建设规模约 2.22 GW,建成 390 MW,主要分布于江苏、上海和浙江。

2.2.3 继续开发水能

中国河流众多,径流丰沛,落差巨大,蕴藏着丰富的水能资源。水力发电经过一个多世纪的发展,其工程建设技术、水轮发电机组制造技术和输电技术已十分完善,单机容量也在不断壮大,再加之水电成本低廉,运行可靠,获得了长期、可持续的发展。前瞻产业研究院发布的《2015—2020 年中国水电设备行业市场前瞻与投资战略规划分析报告》显示,近年来,中国水力发电装机容量呈现逐年上升趋势,从 2000 年的 7935 万 kW 增加至 2011 年的 23051 万 kW,截至 2012 年底,中国水力发电装机容量为 24890 万 kW,占电力装机总容量的比重为 21.77%。截至 2013 年底,中国水力发电装机容量为 28002 万 kW,占比为 22.49%,较上年有所提升。中国水力发电的盈利水平相较于核电、风电及水电等发电方式毛利率是最高的,水电开发市场空间广阔,“十二五”和“十三五”正是中国大水电投产的高峰期^[12],水电将优先上网,投资虽然没有暴利,但是收益平稳且值得长期可持续发展。水力发电的确是迎合了当今社会的发展需要,但还应把生态成本计算在内,遵循全面规划、统筹兼顾、合

理开发、综合利用的原则,且同时考虑环境保护、水土保持等各方面的规定。

2.2.4 积极发展氢能

氢是自然界存在最普遍的元素,以化合物的形态大量储存于水中,而水资源是地球储量最丰富的资源之一,地球 70% 的面积被水所覆盖,总储量达 14 亿 km^3 。氢的单位燃烧热值是汽油的 3 倍、焦炭的 4.5 倍,而标准状态下密度却仅为 0.0899 g/L,具有燃烧热值高、重量轻、可连续供能、存储运输便捷等特点,更为重要的是,氢燃烧时除生成水和少量氮化氢外,不会产生对环境有害的污染物质,环境负担小。此外,将由水电解装置、储氢装置及燃料电池组成的氢设施与太阳能光伏、风力发电设备集成应用,在电力富余时将其转化为氢储存起来留待电力紧张时使用,既能有效缓解新能源输出不稳定对电网造成的负担,又能解决能源应用的周期性短缺,在提高能源利用率、增强电网稳定性中发挥重要作用。氢能被视为 21 世纪最具发展潜力的清洁能源,人类对氢能的应用兴趣可以追溯到 200 年前,早在 1970 年,美国通用汽车公司技术研究中心就提出“氢经济”的概念,20 世纪 90 年代中期以来受持久的城市空气污染、零废气排放交通工具的需求、全球气候变化、储存可再生电能供应的需求等因素的影响,氢能经济在美国、日本、欧盟等国家和地区引起了强烈的吸引

力。中国对氢能的研究与发展可以追溯到 20 世纪 60 年代初,中国科学家为发展本国的航天事业,对火箭燃料中液氢的生产、 H_2/O_2 燃料电池的研制与开发进行了大量而有效的工作。从 20 世纪 70 年代开始,氢作为能源载体和新的能源系统正式进行开发。现在,根据《科技发展“十五”计划和 2015 年远景规划(能源领域)》中大力发展氢能技术的策略,中国已初步形成一支由高等院校、中国科学院及石油化工等部门为主的从事氢能研究、开发和利用的专业队伍,在国家自然科学基金委员会、中国科学技术部的支持下,这支队伍承担着氢能方面的国家自然科学基金基础研究项目,科研人员在制氢技术、储氢材料和氢能利用等方面进行了开创性工作,拥有一批氢能领域的知识产权,其中有些研究工作已达到国际先进水平。

3 绿色化、清洁化推动现代化

就中国目前的具体情况来看,绿色化学和清洁能源不是单独互斥的两个方面,它们在工作方向上是高度一致的,推进人类社会的绿色化、清洁化是并行不悖的。绿色化学的根本目的是从节约资源、防止污染的角度来重新审视并改革传统的化学方法已达到治理环境,生产环境友好型产品的目的;发展清洁能源的核心是抓住世界新科技革命和能源结构调整的大好机遇,转变观念,自主创新,大力发展清洁、可再生能源,走出一条绿色低碳的可持续发展能源之路。

绿色化学与清洁能源的科学目标都是可持续发展,它们不仅仅是化学技术、能源科学进化史上的重大变革,更需要依赖于生物学、物理学、环境科学及材料科学的同步发展,特别是大数据、云计算等互联网技术的创新与变革,同步助力人类社会迈向绿色化及清洁化。

中国推行绿色化学、清洁能源的战略选择,既涉及国家经济安全、综合竞争力的方方面面,又事关每个家庭、每个公民的环境健康、身体健康、生活方式及生活习惯等,有必要在国家层面从

自主创新、能源战略、产业政策、工业应用等方面更积极主动地改革创新,与此同时,也需要每个公民的积极参与和推动。经近几十年的努力,中国科学界和工业界无论在基础研究方面还是技术

创新方面都做了大量工作,取得许多重大成果,离实现现代化的目标已日趋接近。为了在 2050 年实现现代化,完成中国民族伟大复兴的伟大梦想,必须把掌握世界产业革命、技术革命的新趋势,

针对中国社会运行中遇到的问题,坚持创新驱动,多元协同,完成中国从资源依赖型向自主创新型的转变,从经济大国、制造大国向坚持绿色低碳发展的经济强国、创造强国的转变。

参考文献 (References)

- [1] Matlack A. Introduction to green chemistry[M]. 2nd ed. Boca Raton FL: CRC Press, 2010.
- [2] US Environmental Protection Agency. Green chemistry[EB/OL]. [2016-08-01]. <https://www.epa.gov/greenchemistry>.
- [3] 崔晓莉, 吴海江, 杨晓雍. 绿色化学——化学在 21 世纪中的通行证[J]. 科技导报, 2000, 18(12): 45-47.
- [4] Fukuoka S, Kawamura M, Komiya K, et al. A novel non-phosgene polycarbonate production process using by-product CO₂ as starting material[J]. Green Chemistry, 2003, 5(5): 497-507.
- [5] Tundo P, Selva M. The chemistry of dimethyl carbonate[J]. Accounts of Chemical Research, 2002, 35(9): 706-716.
- [6] Usui Y, Sato K. A green method of adipic acid synthesis: organic solvent- and halide-free oxidation of cycloalkanones with 30% hydrogen peroxide[J]. Green Chemistry, 2003, 5(4): 373-375.
- [7] Steinhoff B A, Stahl S S. Ligand-modulated palladium oxidation catalysis: Mechanistic insights into aerobic alcohol oxidation with the Pd (OAc)₂/pyridine catalyst system[J]. Organic Letters, 2002, 4(23): 4179-4181.
- [8] Chang Y, Jiang T, Han B, et al. Aerobic oxidation of cyclohexanol to cyclohexanone in compressed CO₂ and liquid solvents[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2003, 42(25): 6384-6388.
- [9] 中国科学院化学研究所. 化学所在铁催化惰性键活化机理研究方面取得系列进展[EB/OL]. [2016-07-31]. http://www.iccas.ac.cn/xwzx/kyjz/201604/t20160426_4591063.html.
- [10] Statistical review of world energy[EB/OL]. [2016-07-31]. <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [11] 国务院. 能源发展战略行动计划 (2014—2020 年)[A/OL]. 2014-06-07[2016-07-31]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm.
- [12] 中华新能源. 全球新能源发展报告 2015[R/OL]. [2016-07-31]. <http://www.cnecc.org.cn/dispArticle.asp?id=17093>.

Green chemistry for eco-environment improvement

ZHOU Feng¹, WANG Hui², LUAN Xinjun²

1. State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China
2. Key Laboratory of Synthetic and Natural Functional Molecule Chemistry of the Ministry of Education, College of Chemistry & Materials Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

Abstract The 21st century is a century in which the world's population is growing fast with the rapid economic development. Meanwhile, energy consumption is increasing and environment pollution is becoming more serious. Facing so stern situation, many countries have put forward the sustainable development strategy for long-term human survival, leading the boom of green technology and renewable energy all around world. To promote environment protection and construction of a sustainable energy system, as well as further accelerate China's modernization process, this article reviews the development history of green chemistry and the energy structure in China. It also introduces the connotations of green chemistry, their applications in chemical technology and the energy strategy in our country. Finally, it points out that the green chemistry and clean energy will be integrated to boost China's modernization.

Keywords green chemistry; eco-environment; clean energy; sustainable development

(责任编辑 刘志远)