

生态文明建设与能源生产消费革命

“生态文明建设与能源生产消费革命”课题组

摘要: 能源是人类活动的物质基础, 推动了人类文明的演进与社会的发展。化石能源消费为全球带来工业文明巨大进步的同时, 也带来了环境问题加剧、气候变化显著、能源贫困突出、能源安全问题凸显等负面影响。我国以煤为主的高碳能源结构和能源消费总量持续快速增长, 已成为国内包括大气、水、土壤等关系民生的重大领域环境质量恶化、生态失衡的根本原因之一。开启新的能源革命, 实现能源生产、流通、消费等全过程的绿色低碳化, 是解决环境和气候变化问题的关键, 也是推动我国由工业文明向生态文明转变的基础。本文回顾了人类文明与能源革命的发展历史, 从推动文明发展的角度出发, 分析全球能源革命的总体趋势, 并基于我国国情, 提出了生态文明建设背景下, 推动能源革命的途径与建议。

关键词: 生态文明; 能源生产; 能源消费; 能源革命

中图分类号: X2 **文献标识码:** A

Construction on Ecological Civilization and Revolution on Energy Production and Consumption

Research Group of “Construction of Ecological Civilization and Revolution on Energy Production and Consumption”

Abstract: Energy is the foundation of human activities and has driven the evolution of human civilization and social development. Although fossil fuel causes great progress in industrial civilization worldwide, its consumption also brings negative effects, e.g., environmental pollution, global climate change, energy poverty, and energy safety. In the meantime, the fast growing on high-carbon energy and total energy consumption in China has become one of the primary causes of the ecological unbalance and continues domestic environmental deterioration such as air pollution, water pollution and soil pollution, etc. The key to solving the current environmental and climate problems is to promote energy revolution and realize a green life-cycle process of energy production, transmission, consumption. Pushing forward the construction of ecological civilization will also be the basic factor. This paper reviews the history of human culture and energy evolution. It analyzes the trend of global energy evolution and puts forward suggestions to promote energy revolution under the background of construction of ecological civilization.

Key words: ecological civilization; energy production; energy consumption; energy revolution

一、前言

能源是人类活动的物质基础, 为人类的生产、生活提供了动力。人类历史上, 能源革命伴随着技

术的飞跃, 改变了人类的生产生活方式, 推动了人类文明的过渡与社会发展。本文回顾了人类文明与能源革命的发展历史, 以及随之而来的危机, 从推动文明发展的角度出发, 分析了全球能源革命的总

收稿日期: 2015-11-12; 修回日期: 2015-11-26

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“推动能源生产和消费革命战略研究”(2013-ZD-14)

本刊网址: www.engsci.cn

体趋势，并基于我国国情提出了生态文明建设背景下，推动能源革命的途径与建议。

二、人类文明的发展与历次能源革命

火的发现是人类史上第一次能源技术的革新，帮助人类进入了能够称之为“能源利用”的世界，告别了茹毛饮血的原始文明，开始向农业文明转化，开启了利用自然、改造自然的进程。随着工具的使用和发明，人类进入农业文明阶段。农业社会的生产力水平比原始社会有了很大的提高，伴随生活活动范围扩大，人类开始改造自然，过度开垦和砍伐，特别是为了争夺水土资源而频繁发生战争，使人与自然、人与人的关系出现了局部性和阶段性的紧张，但自然基本保持了生态系统自我修复的能力。

十八世纪中叶开始的第一次工业革命和十九世纪中叶开始的第二次工业革命都与能源革命有着直接的联系。一方面，煤炭和石油等化石能源的发现，扩大了能源的来源，加速了能源的商品化程度，推动了工业化进程；另一方面，工业化也带来了新的能源技术和装备，推动了整个能源体系发生了新的革命。伴随着蒸汽机和内燃机的发明应用，人类社会的生产方式由手工劳动向动力机器转变，生产力大大提高，市场上的商品越来越丰富，地区间的贸易成倍增长。火车的出现改变了以往的畜力运输，为运输方式带来革命性的变化，并加速了木材、煤炭、石油等大宗能源品种的商品化进程，给全球带来了能源品种的丰富。随后汽车、飞机的出现和发展促进了石油的大规模使用。伴随着第一次工业革命和第二次工业革命，人类社会由农业文明向工业文明转变。与此同时，人类进一步征服自然，加剧了对自然资源的索取。例如，作为工业革命发源地的英国依靠木炭作为燃料，大量砍伐森林，成为世界上第一个原始森林完全消失的国家，并由于化石能源的大量使用，首先出现了生态破坏和环境污染问题。

随着能源技术的不断进步，电力得到了广泛的应用，使得能源传输技术发生了革命性的变化，推动能源生产和消费进入网络化时代，奠定了工业现代化的基础，并催生了自动化、信息化和互联网等技术产品的出现与发展，带来生产、消费、运输、通讯方式等一系列重大的发展与变革，使得人类进

入工业文明新阶段。人类发展注入了前所未有的强劲动力，社会生产力飞速提升，生产效率不断提高，财富不断积累；生产方式日益机械化、规模化、信息化、智能化，劳动分工日益精细，组织管理日益集中；人类的生活资料日益丰富，基础设施日益完善，生活质量大幅提高；社会面貌极大改观，科技、教育、医疗、社会保障、文化等社会各个方面都有长足的进步。

三、全球范围内发展理念与能源的变革

在工业文明的大背景下，人类社会的发展理念发生了根本性变化，科技发展乃至整个社会体系都沿着有利于资本增值的方向发展。这种变化激励人们追求生产创造更多的产品，人类失去了对自然的敬畏感，仅仅把自然看做是资源的供给地。已经发生的三次能源革命，在加速人类技术进步的同时，也推动了能源消费技术、装备和产品的革命与发展，推动了人类生产与消费技术的变革和观念改变，使得浪费型能源需求和奢侈型消费成为可能，推动能源消费产生了几何级数增长。据英国石油公司统计，1965—2014年全球一次能源消费量从 3.755×10^9 吨油当量增加到 1.2928×10^{10} 吨油当量，增长了三倍以上^[1]。

（一）工业文明与能源消费增长带来的进步与危机

能源消费加速的同时，带来了一系列负面影响，引发了严重的环境危机。例如20世纪40年代由汽车尾气排放引起的美国洛杉矶光化学烟雾事件、1952年由燃煤引发的英国伦敦雾事件以及2010年因石油钻井平台爆炸而导致的美国墨西哥湾原油泄漏事件^[2]等。同时，出现了全球气候变化显著、能源贫困突出、能源安全问题凸显等问题，导致社会公平正义和诚信缺失、贫富分化严重、经济危机、失业、政治动荡甚至局部战争等一系列社会问题。

改革开放30多年来，我国走过了西方大多数国家200多年的工业化历程，随之带来的是能源消费总量持续快速增长，1981—2014年我国能源消费总量从 5.9×10^8 吨标准煤增长到 4.26×10^8 吨标准煤^[3]。除能源总量快速增长外，我国能源消费长期以煤为主的特征明显，1981—2012年，我国煤炭消费一直维持在一次能源消费总量的70%左右^[4]，

使得我国成为全球最大的温室气体排放国。我国能源快速发展和以煤为主的发展方式带来了“不平衡、不协调、不可持续”的发展问题，导致出现了大气污染、水污染、土壤污染和生态退化等一系列问题。

（二）可持续发展概念的提出

20 世纪六七十年代严重的环境危机使国际社会逐渐认识到保护生态环境的重要性，各国也都对新的的发展方式开展了诸多的探索。国际上可持续发展理念的提出和深化如图 1 所示。逐步提出了可持续发展、绿色发展和低碳发展三个不同层次的概念。其中，可持续发展强调经济、社会、环境三者协调发展，涵盖范围最广；绿色发展强调经济发展和环境保护相协调，强调不能以牺牲环境为代价换取经济增长；低碳发展更多从应对气候变化角度出发，强调经济发展与碳排放“脱钩”，以较低的碳排放支持经济的增长。国际上普遍将发展循环经济、提升能效、环保低碳产业等视为促进低碳发展的主要方式。

（三）全球能源革命的方向

世界主要发达国家自 20 世纪 40 年代起，已经开始意识到能源消费发展所带来的环境问题，尤其是伦敦雾霾天气造成上万人死亡之后，欧美国家和地区更加认识到控制煤炭消费和环境保护的重要意

义，开始了能源清洁化进程使得煤炭和生物质等传统固体能源在一次能源中的占比显著下降。到 20 世纪 60 年代初，基本完成了煤炭时代向油气时代的过渡，基本上解决了煤烟型污染的问题。尽管煤、油、气三类化石能源仍是主要一次能源，但其清洁化水平大幅提升，如图 2 所示^[1]。

20 世纪 70 年代接连发生的第一次和第二次石油危机，引发了世界能源市场长远的结构性变化。欧盟等组织和发达国家在大力开发节能技术的基础上积极寻找替代能源，主导了以低碳化为特征的新的能源革命。例如欧盟，特别是丹麦、德国积累了丰富的低碳发展经验，欧盟内大多数国家出现碳排放零增长，甚至负增长。

各国在推动能源革命的过程中，大力推动技术创新，催生了一批适应清洁、低碳要求的新的低碳能源技术和能源高效利用技术，如新兴发电技术、新型核电技术、页岩气技术和碳捕获与封存（CCS）技术等。这些新能源技术的发展和运用，给新能源革命奠定了良好的基础。

从全球发展趋势来看，未来的能源革命将涵盖以下几个方面：

（1）在能源消费方面，大幅度提高工业、交通、建筑三个社会基础部门的终端能源效率，促进煤炭、石油的洁净化利用。

（2）在能源生产方面，对于一次能源生产，大



图 1 可持续发展理念的提出和深化

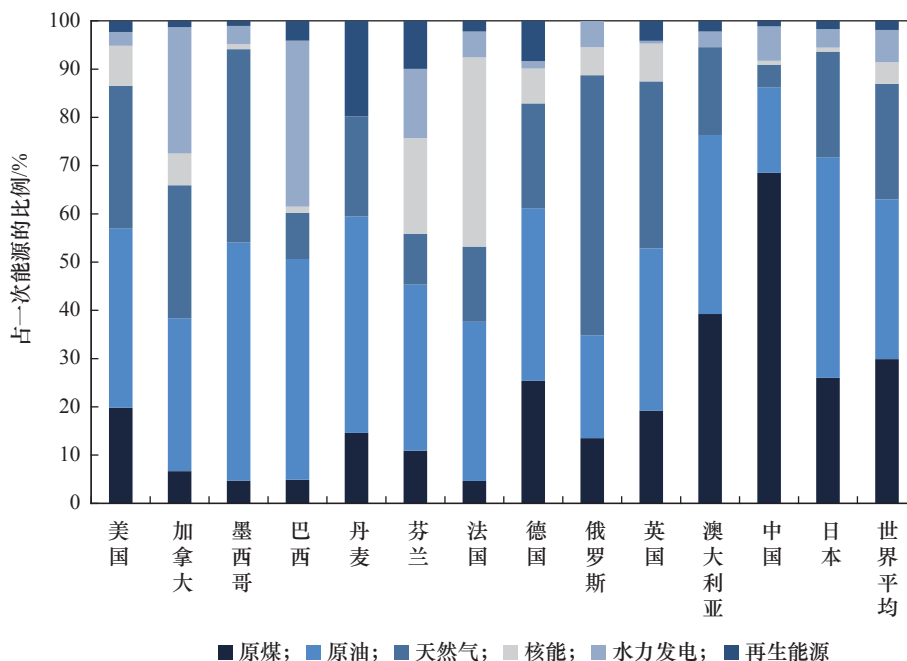


图2 2013年主要国家的能源结构

力发展可再生能源（包括水电、风电、太阳能、生物质能等），推动核电高效安全发展。提高化石能源地球物理勘探开采的水平，尤其是扩大天然气的供应，提高勘探和开采水平。对于二次能源生产，为提高燃料使用效率并减少能源传输过程的损失，应大力发展分布式能源系统，增加热电联产系统的使用。在供热方面，大力发展可再生能源供热，广泛采用地源热泵、空气源热泵、太阳能供热及生物质能供热。为保障以上改变的发生，未来还将开展电力需求侧管理、优化供应端的发电调度管理、发展储能技术、虚拟发电厂技术等。

(3) 在先进能源技术方面^[5]，一是能源清洁化和低碳化技术，提供人人可付得起的可再生能源；二是高效电力传输技术，实现本地化和国际化、分散化与网络化结合；三是包括电动车等使用的小型电池和楼宇、电网备用的大规模储能系统等廉价安全的能源存储技术；四是高效能源利用技术，实现建筑、交通、工业和日用消费品用能模式革命。

四、生态文明的提出与能源革命的发展方向

与国际社会相同，我国在资源环境约束愈发紧迫、生态容量十分有限的现实条件下，正寻求一条既能保证经济增长和社会发展，又能维护生态良性

循环的全新发展道路。

(一) 我国生态文明理念的提出

改革开放以来，随着我国对人与自然关系认识的不断深化，政府先后提出一系列解决资源、环境问题的战略思想，作出了一系列相关部署，逐步提出并深化了可持续的发展理念。2010年，中国共产党第十七届中央委员会第五次全体会议明确提出要提高生态文明水平，“绿色发展”被明确写入“十二五”规划并独立成篇。2012年，中国共产党第十八次全国代表大会报告中系统化、完整化、理论化地提出了生态文明的战略任务，将生态文明建设纳入社会主义现代化建设“五位一体”总体布局。2013年中国共产党第十八届中央委员会第三次全体会议提出，建设生态文明，必须建立系统完整的生态文明制度体系，用制度保护生态环境。2014年，中国共产党第十八届中央委员会第四次全体会议决定指出，全面推进依法治国，用严格的法律制度保护生态环境，加快建立有效约束开发行为和促进绿色发展、循环发展、低碳发展的生态文明法律制度。2015年5月，中共中央、国务院发布了《关于加快推进生态文明建设的意见》，明确了生态文明建设的总体要求、目标愿景、重点任务和制度体系。2015年9月，中共中央、国务院印发了《生态文明

体制改革总体方案》，成为生态文明领域改革的顶层设计和部署，有助于全面提高我国生态文明建设水平。

（二）生态文明与能源革命的关系

能源革命在生态文明建设中居于核心地位。能源是经济社会发展最重要的基础，其生产、消费全过程直接和间接为生态环境带来重大影响。长期依赖粗放型能源发展方式，不仅是造成我国大气、水、土壤等生态环境严重破坏的直接原因，也是造成我国经济发展方式粗放、质量效益低下的重要因素。面对国内外新形势，我国传统能源发展方式已经到了加快变革的关键阶段。提出建设生态文明，既是着眼于从根本上解决我国面临的资源、环境、生态等问题，更是把推动能源生产和消费革命作为生态文明建设的重要杠杆和抓手。在推动生态文明建设的过程中，促进国土功能布局合理优化、大幅提高资源利用效率、改善生态环境质量等方面，都涉及了能源生产消费总量、结构、技术、布局的根本性变化。推动能源生产和消费革命，对我国加快建设生态文明将发挥重要的基础性作用。

其次，生态文明建设对能源革命提出了更高的要求。与发达国家相比，我国人口众多、人均资源相对不足、能源资源禀赋较差、生态环境比较脆弱，经济社会发展水平普遍较低。虽然从整体上看，我国已经步入工业化中后期发展阶段，但还有很多地区处于工业化初期和前期发展阶段，工业化水平与发达国家存在明显差距。在建设生态文明背景下，为实现建设美丽中国和中华民族永续发展目标，我国能源发展面临前所未有的压力与挑战。2015 年中共中央、国务院发布的《加快推进生态文明建设的意见》中，进一步明确了对于能源革命的要求：

（1）能源生产方面，以绿色、低碳为方向，调整能源结构，推动传统能源安全绿色开发和清洁低碳利用，发展清洁能源、可再生能源，不断提高非化石能源在能源消费结构中的比重。推进生物质发电、生物质能源、沼气、地热、浅层地温能、海洋能等可再生能源的应用，发展分布式能源，建设智能电网，完善运行管理体系。

（2）能源消费方面，以节约、高效为方向，发挥节能与减排的协同促进作用，全面推动重点领域节能减排。提出通过强化结构、工程、管理减排，

提高用能效率，继续削减主要污染物排放总量。

（3）制度保障方面，加强重大科学技术问题研究，开展能源节约、资源循环利用、新能源开发、污染治理、生态修复等领域关键技术攻关；合理设定“天花板”，加强能源的战略性资源管控，强化能源消耗强度控制，做好能源消费总量管理。

（三）我国推动能源革命的战略思想

与以往依靠技术突破实现能源革命不同，新的能源革命整体还处在技术发展和市场孕育过程中，可能包含在能源勘探开发、加工转换、终端利用等多个领域和环节，并且与现代互联网技术、新材料、储能技术等技术创新密切相关。

在全面建设生态文明背景下，要从根本上实现能源革命，必须从能源发展理念、生产方式、消费模式、体制机制等方面实现根本性变革，开创出一条适合我国国情的高效、绿色、低碳能源发展道路。考虑到我国国情和发展阶段，推动能源革命将是一个漫长、渐进的过程，涉及工业化、城镇化发展的各个方面，需要在明确长远目标方向的基础上，结合不同阶段任务重点，综合发挥市场机制和政府引导的作用，引导全社会生产方式和消费模式加快转变，以不断量变推动质变的方式，实现能源发展高效、绿色、低碳的革命目标。

1. 推动能源生产革命

我国能源生产革命的核心是加快优化能源结构，改变以煤为主的能源供应结构，不断降低煤炭消费总量和煤炭占一次能源消费的比重，构筑以高效、清洁、低碳、多元为特征的现代能源供应体系。

从长远来看，应尽快明确中长期发展战略和目标，顺应世界能源革命的发展潮流，逐步减少对煤炭的依赖，到 2050 年将煤炭占一次能源的比例降低到世界平均水平，逐步摆脱对传统化石能源的依赖，缓解由于化石能源过度消费带来的生态环境问题。在非化石能源（可再生能源与核能）技术发展方面，应不断加强投入，促进技术创新和商业模式创新，推动非化石能源成为能源供应新的支柱。积极担负能源大国的责任，不断融入世界能源市场，充分利用国内国际两种资源，促进能源技术创新全球化，建立有利于保障全球能源安全的供应体系。

近中期方面，将治理可吸入颗粒物（ PM_{10} ）、

细颗粒物(PM_{2.5})为特征污染物的区域性大气环境作为抓手,严格限制煤炭消费的增长,城市密集地区应尽快实现煤炭消费负增长。在现有的煤炭供应水平基础上,应加强煤炭的集中和综合、高效利用,从而提高利用效率,便于实行清洁化处理,应逐步控制和减少小煤炉等低效利用方式,严格控制煤制气的发展规模。加快天然气价格改革,改革现有的天然气市场管理机制,扩大其供应渠道,推进天然气的快速发展。

2. 推动能源消费革命

我国能源消费革命的核心是大幅提升能源利用效率和抑制不合理能源需求,在控制能源消费总量的同时,支撑经济增长效益不断提高。推动能源消费革命,一方面,要加快转变经济发展方式,降低经济增长对高能耗、高排放行业的依赖,实现经济增长由主要依靠数量投入向更多依靠技术进步、自主创新、效益增长等方向转变;另一方面,要大幅提升建筑、交通等领域能源的利用效率,引导消费方式向节约、适度方向转变。

作为世界第一能源消费大国,推动我国能源消费革命是一个长期过程,需要尽早做好道路选择和顶层设计。应按照到2050年我国全面实现现代化要求,综合设计与之适应的工业化、城乡布局、建筑、交通发展体系,构筑与生态文明建设要求相一致的能源消费体系,建设高效、绿色、低碳、循环的社会体系。对与能源环境相关的重大项目、技术和工艺路线,充分考虑国际标准和未来发展趋势,实施严格的节能环保、战略环评准入管理,从源头上确保我国能源效率尽快达到世界先进水平。

五、我国实现能源革命的建议

在建设生态文明背景下,推动我国能源生产和消费革命,没有现成的经验或模式可以照搬,需要在打造经济升级版过程中,积极发挥后发优势和不断创新,探索中国特色的新型工业化、城镇化发展道路,创新能源发展新道路。

(一) 明确能源生产和消费革命战略目标

从全局高度,把推动能源生产和消费革命作为生态文明建设的重要内容,融入国民经济和社会发展、城镇化、工业化的各项具体任务中,贯穿能源

生产、流通、消费、处置等全过程。要制订分阶段、分领域的能源生产和消费革命发展目标、实施步骤,把推动能源生产利用根本转型与全球化、信息化、自主创新等结合起来,发挥后发优势,促进我国综合国力和竞争力显著提升。

(二) 大幅提升能源利用效率

坚持把节约优先作为经济社会发展的重要约束和前提,作为能源生产和消费革命的首要任务,推动我国能源利用效率水平尽快达到发达国家水平。强化工业、建筑、交通、公共机构等重点领域节能工作,加快淘汰落后生产能力、设备和产品,大幅提高标准要求,从源头上避免高碳锁定效应。要把绿色、低碳的建筑、交通体系作为政府基本公共服务重要内容,促进政府部门发挥节能的模范带头作用,大力抑制不合理需求。

(三) 显著优化能源结构

把加快发展低碳能源、明显降低煤炭消费比重作为能源结构优化的重要目标。严格控制煤炭的消费总量,力争2015—2020年煤炭消费达到峰值并开始逐步下降,2025年左右,石油消费总量达到峰值。通过完善公平、有序市场竞争体系和政策环境,促进核能、水能和可再生能源等开发利用技术的不断进步,推动绿色低碳能源尽快成为重要支柱能源。鼓励发达地区和城市率先推动化石能源减量、清洁化利用,推动新增能源需求主要依靠可再生能源(包括水能)及核能。结合不同地区资源禀赋,积极探索因地制宜地利用可再生能源的多种途径。

(四) 控制能源消费总量、抑制不合理的能源需求

在我国可能获得的能源供应天花板下,以较小的能源弹性系数来支撑经济发展,合理配置工业、建筑和交通等部门的能源需求,构筑以“绿色、低碳、循环”为理念的能源消费体系。

应科学合理地控制城镇建设规模和建筑面积,将建筑总面积控制在 $8 \times 10^{10} \text{ m}^2$ 以内,将人均面积控制在日本、韩国等亚洲发达国家的水平,避免人均面积达到美国水平带来的高能源环境代价和高额维护成本。严格限制大拆大建,控制建设速度和规模,当城镇建设基本完成后实现建材业和建筑业“软着陆”。应适度控制机动车的增长速度,逐步转

变小汽车使用者对出行方式选择的传统观念,抑制私人小汽车出行的过度膨胀,提高公共交通的出行分担率,实现交通运输资源的有效配置。

把合理控制能源消费总量作为长期目标,探索有效发挥市场基础性作用与政府引导作用的具体方式,建立基于市场的总量控制长效机制,探索合理控制能源生产能力的有效途径。抑制不合理的能源需求,发挥价格信号、财税手段、标准体系等在引导用能单位和个人行为转变中的作用。

(五) 加快能源生产和利用技术创新

加快发展化石能源清洁开发利用技术,大力推动新能源开发利用技术进步,尽快达到世界先进水平并发挥示范引领作用。积极推广节能汽车、低碳建筑、高效家电等先进成熟技术、产品,增强自主创新水平。加快发展智能电网、电动汽车、储能技术等,提供系统性、综合性能源技术解决方案,推动下一代革命性能源开发利用技术的尽快突破,进一步降低各类非化石能源的成本,使之成为可以用得起的可持续能源。

(六) 创新能源管理体制和机制

改善政绩考核制度,把推动能源生产和消费革命纳入经济社会发展评价体系,促进发展理念的根本转变。改革能源管理方式,发挥法规、标准、价格、金融手段的导向作用,推动能源和环境领域的监管和治理纳入法治化轨道。坚持市场化改革方向,加快能源、土地、水、矿产资源的价格形成机制改革,完善财政、税费和金融制度,推动环境成本内部化,

发展碳排放权、排污权、水权交易、合同能源管理等创新机制。

(七) 引导合理能源消费模式和文化

把我国传统的天人合一、勤俭节约智慧美德与现代社会绿色、低碳发展要求结合起来,引导节约、适度消费理念文化。通过完善法治建设、减少市场扭曲、出台经济激励、加强宣传教育、发挥政府带头作用等,坚决摒弃贪大求洋、奢侈浪费的消费理念,积极引导全社会形成绿色、低碳的消费理念和文化。鼓励绿色消费,倡导绿色出行,以垃圾分类为抓手,推进垃圾的减量、回收和再利用分类,形成绿色、低碳的生活方式和消费模式。

(八) 加强能源国际合作

发挥“两种资源,两个市场”的作用,加强能源保障的国际合作;加强能源科技和管理的国际交流,共同提高水平;把“一带一路”打造成合作、共赢、绿色、低碳的发展走廊。

参考文献

- [1] B P Statistical Review of World Energy. [EB/OL]. [2014-01]. <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [2] 白韞雯,杨富强.美国治理PM_{2.5}污染的经验和教训[J].中国能源,2013(4):15-20.
- [3] 国家统计局.2014年国民经济和社会发展公报[EB/OL].http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201502/t20150226_685799.html.
- [4] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴(2014)[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [5] 杰里米·里夫金.第三次工业革命:新经济模式如何改变世界[M].张体伟,孙豫宁,译.北京:中信出版社,2012.