

# 全球清洁能源发展现状与趋势分析

崔荣国, 郭娟\*, 程立海, 张迎新, 刘伟

自然资源部信息中心, 北京 100830

**摘要:** 一次能源尤其是化石能源的大规模开发利用, 导致环境破坏越来越严重, 对人类生活造成了极大的负面影响, 因此, 清洁能源的开发利用引起全球的广泛重视, 美国、日本、欧盟、中国、印度等国家或地区从 20 世纪开始开展清洁能源的开发利用工作。本文在前人的研究基础上, 首先明确了清洁能源的概念和能源种类。其次, 从投资、装机容量和消费变化等方面深入分析了全球清洁能源的发展现状, 采用趋势预测法预测了未来清洁能源开发利用成本, 与 2019 年相比, 2050 年聚光太阳能发电成本下降超过七成, 陆上风电、海上风电、地热下降超过六成, 光伏发电下降接近六成, 水电上升超过一成; 运用生长曲线预测模型 (SGompertz 曲线模型) 预测了未来清洁能源需求趋势, 2030 年全球清洁能源需求约为  $30.5 \times 10^8$  t 油当量, 约占全球一次能源需求的 18%; 2050 年全球清洁能源需求  $57 \times 10^8$  t 油当量, 约占全球一次能源需求的 30%。最后, 得出了清洁能源的利用程度和碳排放量呈负相关关系、中国处于全球清洁能源发展的领先地位和清洁能源将改变全球一次能源格局等结论。

**关键词:** 清洁能源; 开发利用; 发展现状; 需求; 趋势

中图分类号: F416.2; F416.61 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2020.090401

## Status and Trends Analysis of Global Clean Energies

CUI Rong-guo, GUO Juan\*, CHENG Li-hai, ZHANG Ying-xin, LIU Wei

Information Center of Ministry of Natural Resources, Beijing 100830

**Abstract:** The environmental damage caused by the large-scale development and utilization of primary energies, especially fossil energy, is more and more serious, which has exerted a great negative impact on human lives. Therefore, the development and utilization of clean energies have attracted widespread attention in the world. The United States, Japan, the European Union, China, India and other countries or regions have started the development and utilization of clean energies since the 20th century. On the basis of previous studies, this paper makes clear that clean energies refer to the energies that have little impact on the environment and little risk of environmental pollution in the production and consumption and there is no migration of elements such as C, N and S that may cause pollution in the utilization, such as wind energy, water energy, solar energy, geothermal energy, and marine energy. With the increasing awareness of global environmental protection, countries are increasing investment on clean energies. Clean energies have become an important source of optimizing global energy consumption structure, especially since the 21st century, and the rapid development of clean energies has effectively relieved the pressure of global primary energy demand growth on fossil energy to a certain extent; for example, more than one fifth of the global increment of primary energy consumption in 2018 came from clean energies. The development of clean energies has changed from "the dominance" of hydropower to "three key parts" of wind, solar energy and hydropower. In 2000, hydropower accounted for 69.1%, wind energy 15.2%, geothermal energy 15.4% and solar energy only 0.3%. In 2018, the incremental structure of clean energy

本文由中国地质调查局项目“地质矿产监管信息化规划设计运行维护与信息服务”(编号: 中地调研[2019]410)资助。

收稿日期: 2020-06-12; 改回日期: 2020-09-04; 网络首发日期: 2020-09-07。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 崔荣国, 男, 1978年生。副研究员。主要从事矿产资源战略和形势分析工作。通讯地址: 100830, 北京市海淀区莲花池西路 28 号测绘大厦自然资源部信息中心。E-mail: cuirg02@163.com。

\*通讯作者: 郭娟, 女, 1983年生。副研究员。主要从事矿产资源形势分析工作。通讯地址: 100830, 北京市海淀区莲花池西路 28 号测绘大厦自然资源部信息中心。E-mail: jguo@infomail.mnr.gov.cn。

consumption changed significantly, with wind energy possessed the highest proportion of 35.1%, solar energy possessed 32.4%, hydropower 31.6%, and geothermal energy 0.9%.

Trend prediction method predicts that, compared with things of 2019, in 2050, the installed cost of concentrating solar power will decrease by more than 70%, onshore wind, offshore wind and geothermal energy will decrease by more than 60%, and solar photovoltaics will decrease by nearly 60%, while hydropower will increase by more than 10%. The growth curve prediction method (SGompertz curve model) predicts that the total global clean energy demand is about 3050 mtoe in 2030, accounting for about 18% of the global primary energy demand, including 640 mtoe solar energy, 920 mtoe wind energy, 280 mtoe geothermal energy and 1210 mtoe hydropower. In 2050, the total global clean energy demand is about 5700 mtoe, accounting for about 30% of the global primary energy demand, including 1200 mtoe solar energy, 2200 mtoe wind energy, 700 mtoe geothermal energy and 16mtoe hydropower.

According to the analysis, the following conclusions have been drawn: First, the utilization of clean energies has a negative correlation with carbon emissions, that is to say, the higher the utilization of clean energy, the greater the contribution to carbon dioxide emission reduction; on the contrary, the lower the utilization of clean energy, the smaller the contribution to carbon dioxide emission reduction. Therefore, in order to achieve the goal of carbon dioxide emission reduction, countries should pay more attention to the development of clean energy. Second, China is at the leading level of global clean energy development. China's clean energy consumption has grown rapidly. Since 2004, China has become the largest clean energy consumer in the world. In 2018, China consumed 27.5% of the global clean energies, which was higher than the sum of the United States, India, Russia and Japan, thus becoming the main force of global emission reduction. Third, the use of clean energy will change the global pattern of primary energies. The global energy consumption pattern is basically the pattern of "three key parts" of fossil energy coal, oil and natural gas, and clean energy and nuclear energy are in the initial stage. With the rapid development of clean energies, clean energies will account for about 20% of the primary energy demand in 2030, about 30% in 2050, or even higher. The global primary energy demand pattern will become "four key parts" of coal, oil, natural gas, and clean energy.

**Key words:** clean energy; development and exploitation; development status; demand; trends

能源是人类最早利用的自然资源之一,其开发和利用有力地推动了人类文明的进步。随着社会和经济的发展、全球人口的增长及生活水平的不断提高,人均能源消费和全球能源消费总量快速增长,由此引发了两方面的问题。一是能源区域短缺现象严重。由于经济发展与能源关系密切(杨丽花和李捷理, 2012),因此能源资源相对匮乏且经济较发达或发展较快的欧洲、东亚、南亚、东南亚地区成为全球能源进口的主要区域。二是环境恶化问题日益突出(于锋等, 2014)。长期以来,尤其是第一次产业革命以后,大量化石能源的开发利用造成了严重的环境污染(李旭东等, 2004; 李昕蕾, 2017a; 卜祥宇等, 2018),其代价巨大且难以为继(王永培等, 2017)。如二氧化碳排放总量持续增加带来了全球气候变暖、海平面上升和极端恶劣天气频繁爆发等一系列环境问题(张玉卓, 2014; 徐斌等, 2019)。

随着全球经济的发展,能源需求持续增长,解决由化石能源开发利用引起的环境问题已成为各国面临的重要命题。以化石能源为主的能源消费结构不可持续(刘晓燕, 2012; 邹才能等, 2015),因此,能源的多元化发展和清洁能源的开发利用受到各国的普遍重视(徐礼德和全允桓, 2011; 李扬, 2011; 张

玉卓, 2014; 李荣杰等, 2016; 李昕蕾, 2017b; 宋科余等, 2021; 吴林强等, 2021; 张涛等, 2021)。

## 1 清洁能源的概念

目前,不同专家和学者对清洁能源的概念存在不同的认识。贡光禹(2003)认为清洁能源就是可再生能源。李亮(2012)认为清洁能源是一种最大限度实现对能源洁净开发和利用的技术体系。郑艳婷和徐利刚(2012)认为清洁能源就是指可再生能源或绿色能源。付丽苹(2012)认为清洁能源是指在生产和使用过程中不产生污染的能源。李昕蕾(2017b)认为清洁能源主要指风能、太阳能、水能、生物质能、核能等能源。《现代汉语词典(第七版)》(中国社会科学院语言研究所, 2019)将清洁能源解释为开发利用过程中不产生或很少产生污染物的能源。总之,对清洁能源概念的认识主要分为两种观点:一是在开发利用过程中不产生污染的能源,也就是能源本身是清洁的;二是能源开发利用的技术体系,通过技术的发展达到能源清洁化开发利用的目的,属于能源生产和消费的清洁化。

能源的清洁化以利用过程中的排放标准进行衡量,达到标准即是清洁能源,达不到标准即是不

清洁能源。随着技术的进步其范围也不同,因全球能源利用技术差异性大而无法准确定义其类别,尤其是针对化石能源。在研究清洁能源时,不能将其与可再生能源混淆,二者是完全不同的两个概念。首先,二者分类方式不同:清洁能源是根据生产和消费过程中产生的污染物多少来划分的,可再生能源是根据能源是否能够再生来划分的。其次,二者所包含的能源类别有差异。清洁能源包括风能、水能、太阳能、地热能、海洋能等;可再生能源不但包含所有清洁能源,还包括生物质能。此外,核能由于在利用过程中产生的环境污染风险无法完全可控,所以也不应被列入清洁能源。因此,在总结以往研究资料的基础上,本文认为:清洁能源是指在生产和消费过程中对环境影响较小且环境污染风险极小的能源,同时在其利用过程中没有可能产生污染的C、N、S等元素迁移,如风能、水能、太阳能、地热能、海洋能等。

由于海洋能等数据统计难度比较大,本文的清洁能源数据统计中仅包括水能、风能、太阳能和地热,特殊说明的情况除外。

## 2 全球清洁能源的发展概况

清洁能源的开发利用成为改善当前能源消费结构、实现多元化能源供给、应对全球气候变化的最重要方式之一(刘邦凡等,2015)。清洁能源产业发展被认为是第四次技术革命的突破口,也是应对气候变化和能源危机的重要手段(郑艳婷和徐利刚,2012),引起了世界各国的广泛重视。

20世纪末,联合国开始重视清洁能源问题。1997年签署的《京都协议书》为清洁能源的发展创造了平台,2004年在德国波恩通过的《波恩政治宣言》有力地推动了清洁能源的国际合作(李昕蕾,2017a)。2009年,在德国推动下建立的国际清洁能源机构(International Renewable Energy Agency)持续推动全球清洁能源的发展。

自20世纪70年代起,欧美发达国家开始推动清洁能源发展(郑艳婷和徐利刚,2012)。自1978年起,美国开始利用税收、利息等手段鼓励清洁能源的生产与消费,多部能源法案均通过经济手段扶持清洁能源的开发利用(张宪昌,2011)。尤其是21世纪以来,美国出台的《2003年能源税收激励法案》《2005年美国能源政策法案》《2006年先进能源倡议》《2007年十年二十年倡议》《2007年能源独立和安全法》《2009年复苏与再投资法案》《2009年美国清洁能源与安全法》等政策都给予清洁能源产业的发展强有力的支持,极大的推动了美国清洁能源产业发展(郑艳婷和徐利刚,2012;杨丽花和李捷理,

2012)。

日本国土面积小,化石能源极度匮乏,因此政府非常重视清洁能源的开发利用。自20世纪70年代起,大力支持清洁能源发展,80年代设立了专门机构促进清洁能源技术研发、推广和应用,90年代开始全面推行清洁能源宣传和教育,21世纪以来,通过立法支持清洁能源发展(郑艳婷和徐利刚,2012)。

欧盟非常重视清洁能源发展。20世纪90年代末,鼓励各成员国大力发展清洁能源,通过《1997年清洁能源决议》《1998年清洁能源决议》《绿皮书:能源安全供应的欧洲战略》(2000年)、《能源战略绿皮书:能源安全供应的欧洲战略》(2002年)、《欧洲智能能源消费计划》(2003年)、《2006年能源政策绿皮书》《能源2020:具有竞争力的、可持续和安全的能源战略》(2010年)、《2011年“2050能源路线图”》等措施支持清洁能源产业的发展。欧盟各成员国也纷纷出台政策鼓励本国清洁能源产业,如德国于2000年出台了《清洁能源优先法》,英国通过税收、财政投入等方式鼓励清洁能源的消费(郑艳婷等,2012)。

为解决温室气体排放过多的问题,2011年11月8日,澳大利亚于通过了《清洁能源法案》,旨在通过实施碳税减少污染排放,鼓励发展清洁能源(陆燕等,2011)。

相对于西方发达国家而言,中国是清洁能源发展的后起之秀。虽然进入21世纪后开始大力发展清洁能源,但经过十几年的学习与创新实现了超越式发展,目前已成为全球清洁能源利用最多的国家(李昕蕾,2017c)。

能源供需矛盾突出的印度在进入21世纪后也开始积极发展清洁能源产业,出台了一系列政策并成立了相关机构。如印度政府出台了《农村电气化政策》《2005年国家电力政策》《2006年电价政策》《清洁能源政策(草案)》等,成立了新能源与清洁能源部等相关机构推动清洁能源发展(刘晓燕,2012)。

此外,法国、荷兰、加拿大等国家也积极发展清洁能源产业。

## 3 全球清洁能源产业发展现状

### 3.1 清洁能源投资呈现增长态势

据彭博能源财经(BNEF,2020)和国际可再生能源署(IRENA,2020a)统计,2019年全球清洁能源投资为3830亿美元,是2010年投资的1.3倍,占全球能源投资的23.6%,比2010年提高了6.1个百分点(图1)。其中,风能投资最高,为1430亿美元;其后依次为太阳能(1410亿美元)、地热(770亿美元);水电投入最少,为220亿美元,不足2013年投资最高

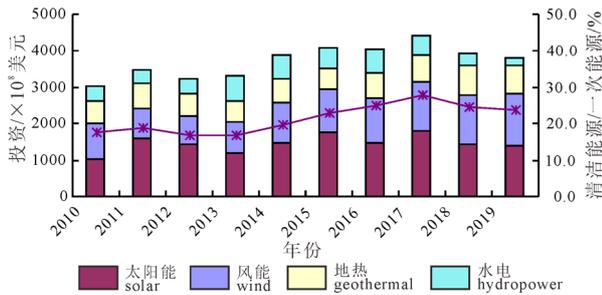


图1 全球清洁能源投资变化

Fig. 1 Global clean energy investment

峰701亿美元的1/3。

### 3.2 清洁能源装机容量增长明显

据国际可再生能源署(IRENA, 2020b)统计, 2019年全球清洁能源总装机容量为2533 GW, 是2010年总装机容量的2倍(图2)。其中, 太阳能总装机容量增长最快, 2019年为586 GW, 是2010年的14.1倍; 其后依次是风能623 GW, 是2010年的3.4倍; 地热13.9 GW, 是2010年的1.4倍; 水电1310 GW, 是2010年的1.3倍。此外, 海洋能总装机容量相对较低, 自2011年超过500 MW后保持缓慢增长态势, 2019年为531 MW。

### 3.3 清洁能源多元发展

随着环境保护意识逐渐增强, 全球各国不断加大清洁能源的开发利用, 清洁能源消费持续增长, 不断优化全球能源消费结构。据BP(2019)数据统计, 2018年, 全球清洁能源消费 $14.15 \times 10^8$  t油当量, 同比增长6.9%, 是1990年的2.8倍, 占全球一次能源消费的10.2%, 比1990年提高了3.8个百分点。其中, 水电消费 $9.49 \times 10^8$  t油当量, 是1990年的1.9倍, 占全球清洁能源消费的67.1%; 风能 $2.87 \times 10^8$  t油当量, 是1990年的350倍, 占20.2%; 太阳能 $1.32 \times 10^8$  t油当量, 是1990年的1506倍, 占9.4%; 地热 $4620 \times 10^4$  t油当量, 是1990年的2.5倍, 占3.3%。

进入21世纪以来, 清洁能源产业迅速发展, 有效地缓解了全球一次能源需求增长对化石能源的压力。2000—2018年, 全球一次能源消费累计增长了 $47.36 \times 10^8$  t油当量, 其中18.5%的增量来自于清洁能源。清洁能源在能源消费中发挥了越来越重要的作用。2000年, 全球清洁能源消费增加了

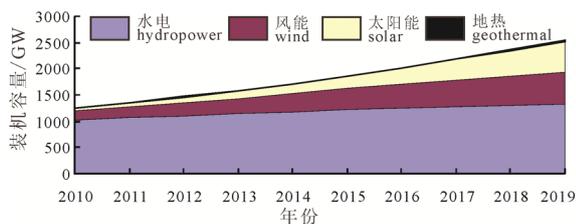


图2 全球清洁能源装机容量变化

Fig. 2 Global clean energy installed capacity

1472.4 $\times 10^4$  t油当量, 占全球一次能源消费增量的6.7%; 2018年, 全球清洁能源消费增加了9992 $\times 10^4$  t油当量, 占23.4%, 全球超过五分之一的一次能源消费需求增量来自于清洁能源; 其中, 2015年清洁能源贡献最大, 其消费增量占全球一次能源消费增量的46.3%(图3)。清洁能源消费增量结构变化明显, 由水电的“一家独大”向多元化发展(崔荣国等, 2018)。在清洁能源消费增量中, 2000年水电占主导地位, 为69.1%; 风能15.2%, 地热15.4%, 太阳能仅占0.3%。2018年, 清洁能源消费增量结构发生明显变化, 风能占比最高, 为35.1%, 提高了19.9个百分点; 太阳能占32.4%, 提高了32.1个百分点; 水电降至31.6%, 地热降至0.9%。

## 4 清洁能源发展趋势

### 4.1 清洁能源装机成本预测

随着科技的进步, 清洁能源开发利用成本不断降低。据国际可再生能源署(IRENA, 2020a)统计, 2010—2019年, 光伏发电装机成本由4702 USD/kW降至995 USD/kW, 下降了78.8%; 陆上风电由1949 USD/kW降至1473 USD/kW, 下降了24.4%; 海上风电由4650 USD/kW降至3800 USD/kW, 下降了18.3%; 聚光太阳能发电由8987 USD/kW降至5774 USD/kW, 下降了35.8%; 地热发电由5254 USD/kW降至3916 USD/kW, 下降了25.5%。由于相对比较容易开发的水电资源大部分已被利用, 因此水电成本处于不断增长的趋势, 由1254 USD/kW增至1704 USD/kW, 增长了35.9%。虽然水电成本出现了明显的增长, 但相对于海上风电、聚光太阳能发电和地热发电依然具有较大的成本优势, 因而水电项目仍将持续上马。近年来, 光伏发电和陆上风电装机容量快速增长的主要原因是其成本大幅下降, 相对于水电具有比较明显的优势。该机构预测至2030年, 聚光太阳能发电成本将进一步下降35%, 光伏发电成本下降58%, 海上风电成本下降55%, 陆上风电成本下降25%。

随着全球各国对清洁能源重视程度的提高, 清洁能源利用成本将进一步下降。以国际可再生能源署(IRENA, 2020a)统计的过去10年的清洁能源发电

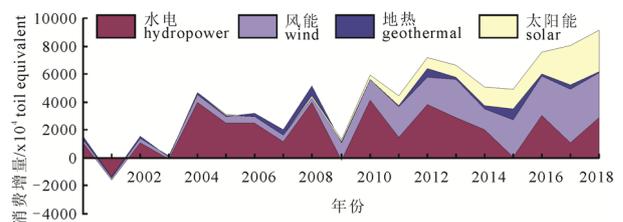


图3 全球清洁能源消费增量变化

Fig. 3 Consumption increment of global clean energy

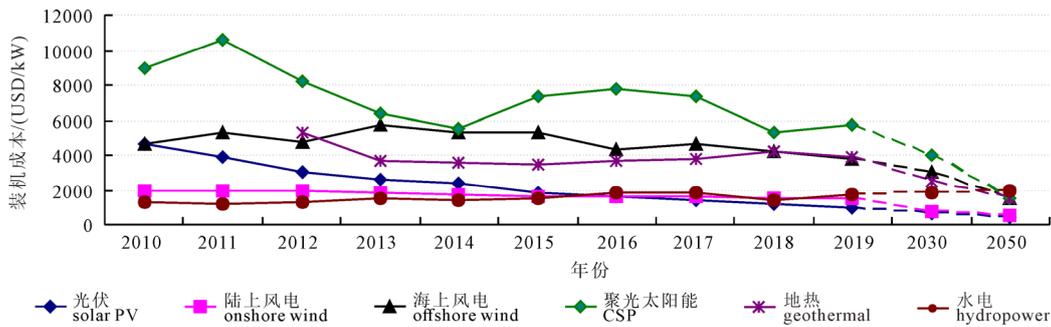


图 4 清洁能源发电装机成本预测  
Fig. 4 Installed capacity cost of clean energy

成本为原始数据,运用趋势预测法对清洁能源发电装机成本进行了预测,结果表明:与2019年相比,2050年光伏发电装机成本下降接近六成至约400 USD/kW,陆上风电下降超过六成至约500 USD/kW,海上风电下约六成至约1500 USD/kW,聚光太阳能下降超过七成至约1500 USD/kW,地热下降超过六成至约1500 USD/kW,水电上升约一成至约1900 USD/kW(图4)。

#### 4.2 清洁能源需求量预测

美国能源署(EIA, 2020)预计,若2018—2050年全球GDP年均增长2.4%、人口年均增长0.7%,2030年全球清洁能源需求约为 $21.8 \times 10^8$  t油当量,占一次能源需求总量的13.6%;2050年全球清洁能源需求约为 $40.1 \times 10^8$  t油当量,占一次能源需求总量的19.7%。

国际可再生能源署(IRENA, 2020c)对全球清洁能源发展分三种情形进行了预测。假定2050年全球人口增至97亿,一是基准情形。根据2015年《巴黎协定》通过以后的各国实施政策进行预测,2050年全球CO<sub>2</sub>排放量为43 Gt/yr。二是计划情形。根据各国已发布的能源计划进行预测,2050年全球CO<sub>2</sub>排放量为33 Gt/yr,清洁能源占全球一次能源需求的25%,将贡献相对基准情形减少CO<sub>2</sub>排放量的45%。三是理想情形。根据清洁能源及其利用效率大幅提高进行预测,2050年CO<sub>2</sub>排放为9.5 Gt/yr,清洁能源占全球一次能源需求的66%,将贡献相对计划情形减少CO<sub>2</sub>排放量的52%。

根据目前清洁能源产业的发展现状和各国的重视程度,本文认为美国能源署低估了清洁能源的发展,其发展情形将略好于国际可再生能源署的计划情形,但其理想情形明显过高预估了清洁能源的发展。本文根据生长曲线预测模型(SGompertz曲线模型)对清洁能源利用进行了预测,结果如下:2030年全球清洁能源需求约为 $30.5 \times 10^8$  t油当量,约占全球一次能源需求的18%。其中,太阳能需求约为 $6.4 \times 10^8$  t油当量,风能 $9.2 \times 10^8$  t油当量,地热

$2.8 \times 10^8$  t油当量,水电 $12.1 \times 10^8$  t油当量。2050年全球清洁能源需求约为 $57 \times 10^8$  t油当量,约占全球一次能源需求的30%。其中,太阳能需求约为 $12 \times 10^8$  t油当量,风能 $22 \times 10^8$  t油当量,地热 $7 \times 10^8$  t油当量,水电 $16 \times 10^8$  t油当量(图5)。

## 5 中国清洁能源发展现状

### 5.1 中国是全球最大的清洁能源消费国

据BP(2019)统计数据测算,中国清洁能源消费增长迅速,自2004年起成为全球最大的清洁能源消费国,2018年,中国消费了全球27.5%的清洁能源,比美国、印度、俄罗斯、日本四国之和高出6.6个百分点,成为全球二氧化碳减排的主要力量。美国和印度的清洁能源消费占全球的比重变化较小,美国在10%~12%之间波动,印度在2.5%~4.0%之间波动。俄罗斯和日本的清洁能源消费占全球消费的比重呈下降态势,俄罗斯由2000年的5.7%波动降至2018年的2.9%,日本则由3.6%降至2.9%(图6)。

### 5.2 清洁能源优化了中国能源消费结构

据BP(2019)统计数据测算,中国一次能源消费中,2018年清洁能源占比为12.7%,较2010年提高了5.5个百分点,明显超过传统化石能源天然气5.3个百分点,成为继煤炭、石油之后的中国第三大能源来源(图7)。中国一次能源消费中清洁能源的占比

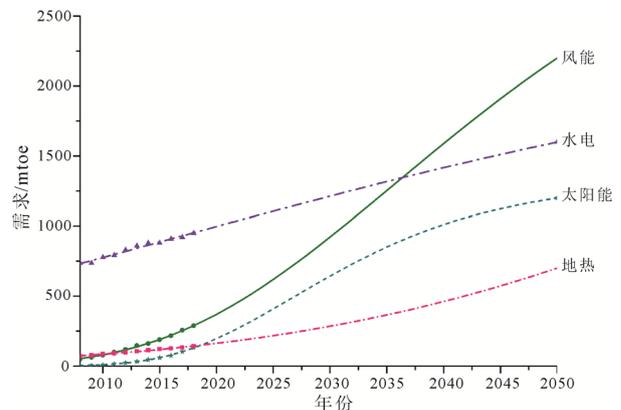


图 5 全球清洁能源需求预测  
Fig. 5 Demand forecast of global clean energy

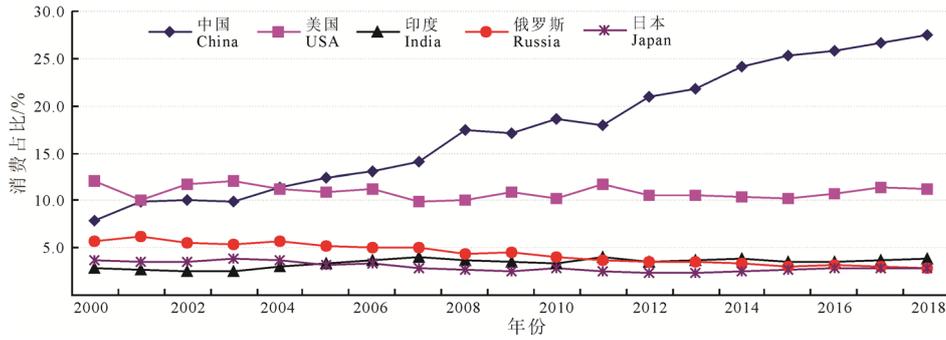


图 6 清洁能源消费国别占比

Fig. 6 Global clean energy consumption structure (by country)

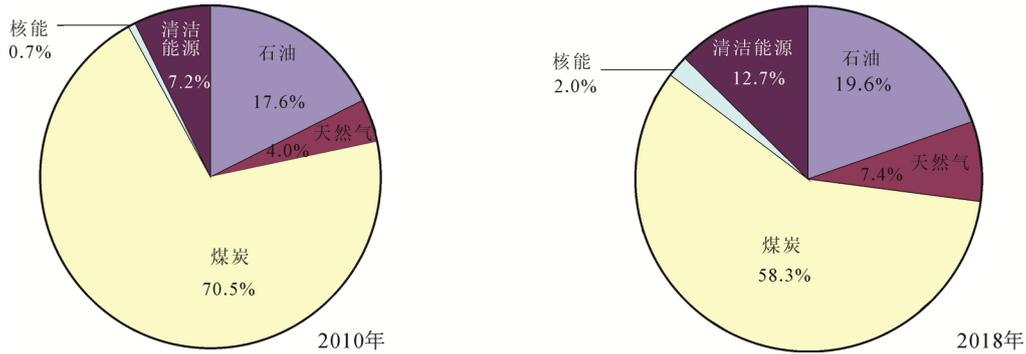


图 7 中国一次能源消费结构变化

Fig. 7 Consumption structure of primary energy in China

远高于美国和印度的 7.3%、俄罗斯的 6.0%、日本的 9.6%，因此，中国清洁能源的大规模利用为实现碳减排目标奠定了良好的基础，极大地促进了生态文明建设。

## 6 结论

### 6.1 清洁能源的利用程度与碳排放量呈负相关关系

本文按年度计算了 2000—2018 年的二氧化碳排放变化率、清洁能源在一次能源消费增量中的占比(图 8)，并对以上 2 组数据进行了相关性分析，运用 correl 函数计算得出两者之间的相关系数为 -0.518，表明两者之间为负相关关系。也就是说，清洁能源的利用程度越高，对二氧化碳减排的贡献越大；反之，清洁能源的利用程度越低，对二氧化碳

减排的贡献越小。因此，为了达到二氧化碳减排目标，各国应当进一步重视清洁能源的发展。

### 6.2 清洁能源利用将改变全球一次能源格局

目前，全球能源消费格局基本处于以化石能源煤炭、石油、天然气“三分天下”的状态，清洁能源和核能消费处于起步阶段。随着清洁能源的快速发展，清洁能源在 2030 年将占一次能源需求的 20% 左右，2050 年约占 30% 左右，甚至更高，全球一次能源消费的格局将变为煤炭、石油、天然气、清洁能源“四分天下”。这种格局改变对全球环境保护和二氧化碳减排具有重大意义，同时也将对一次能源的供应格局产生深远的影响。全球清洁能源潜力巨大，分布在全球各个角落，大规模开发利用将大幅度提高各国的能源自给率，改变目前部分国家因化

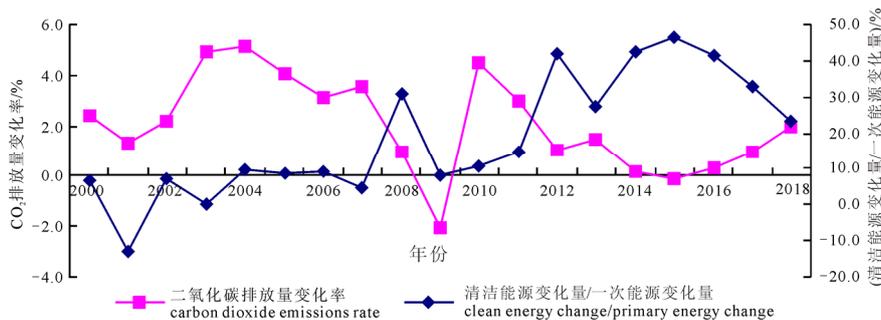


图 8 一次能源增量中清洁能源占比与二氧化碳排放量变化率之间的相关性

Fig. 8 Correlation between proportion of clean energy in the primary energy increment and the rate of carbon dioxide emission change

石能源分布集中而受制于他国的状态。一旦全球各国的能源安全有了保障,世界的政治和经济格局也将发生相应的改变。

### 6.3 中国清洁能源发展在全球处于领先地位

进入 21 世纪以来,中国加速开发利用清洁能源,2018 年中国消费了全球超过五分之一的清洁能源,遥遥领先于其它国家,高于排名第二的美国 16.3 个百分点。一方面是因地制宜地充分发挥了中国丰富的风能、太阳能等清洁能源,另一方面是政府出台了一系列鼓励清洁能源发展的政策措施。虽然中国清洁能源发展取得了巨大的成就,但在能源消费结构中占比相对较低,与煤炭、石油等一次能源差距较大。因而,中国应当继续支持和鼓励清洁能源的大规模开发,在一定程度上替代煤炭、石油等一次能源,最大限度的降低对环境的干扰,为全球环保贡献力量。

总之,大力发展清洁能源是大势所趋,全球各国都应当抓住这一发展机遇,将清洁能源利用打造成新的经济增长极,加快推动经济和社会的发展,为全人类谋求幸福。

### Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. Zhongdidaoyan[2019]410).

### 参考文献:

- 卜祥宇,刘万康,朱鹏艳,惠志磊. 2018. 清洁能源开发利用对于实现可持续发展的研究[J]. 能源与环保, 40(02): 38-42.
- 崔荣国,陈其慎,郭娟,郭振华,肖宇评. 2018. 全球可再生能源消费现状分析[J]. 地质与勘探, 54(6): 1135-1140.
- 付丽苹. 2012. 我国发展清洁能源的驱动机制研究[J]. 生态经济, (2): 76-79.
- 贡光禹. 2003. 可再生能源与我国社会经济的可持续发展[J]. 科学对社会的影响, (4): 28-35.
- 李亮. 2012. 对清洁能源的发展现状分析[J]. 中国新技术新产品, (20): 222.
- 李荣杰,张磊,赵领娣. 2016. 中国清洁能源使用、要素配置结构与碳生产率增长——基于引入能源和人力资本的生产函数[J]. 资源科学, 38(04): 645-657.
- 李昕蕾. 2017a. 全球气候能源格局变迁下中国清洁能源外交的新态势[J]. 太平洋学报, 25(12): 33-46.
- 李昕蕾. 2017b. 全球清洁能源治理的跨国主义范式——多元网络化发展的特点、动因及挑战[J]. 国际观察, (6): 137-154.
- 李昕蕾. 2017c. “一带一路”框架下中国的清洁能源外交——契机、挑战与战略性能力建设[J]. 国际展望, 9(3): 36-57.
- 李旭东,郑曼英,吕春元. 2004. 遵循“循环经济”理论治理“白色污染”[J]. 再生资源与循环经济, (2): 1-4.
- 李扬. 2011. 中美清洁能源合作: 基础、机制与问题[J]. 现代国际关系, (1): 14-21.
- 刘邦凡,张贝,连凯宇. 2015. 论我国清洁能源的发展及其对策分析[J]. 生态经济, 31(8): 80-83, 92.
- 刘晓燕. 2012. 印度清洁能源发展政策与商务投资环境[J]. 南亚

- 研究季刊, (2): 57-64.
- 陆燕,付丽,张久琴. 2011. 澳大利亚《2011 清洁能源法案》及其影响[J]. 国际经济合作, (12): 27-30.
- 宋科余,龙涛,段红梅,陈其慎,张艳飞,郑国栋. 2020. 未来我国气能源发展动向研究[J]. 地球学报, 42(2): 187-195.
- 王永培,马丁,单葆国,晏维龙. 2017. 电网发展、清洁电源接入与地区能源效率[J]. 中国人口·资源与环境, 27(3): 39-48.
- 吴林强,张涛,蒋成竹,赵一璇,梁前勇,王晓辉,邢佳韵. 2021. 黑海天然气水合物地质调查现状分析[J]. 地球学报, 42(2): 203-208.
- 徐斌,陈宇芳,沈小波. 2019. 清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长[J]. 经济研究, 54(7): 188-202.
- 徐礼德,全允桓. 2011. 中国农村清洁能源发展分析及建议[J]. 中国人口·资源与环境, 21(7): 20-27.
- 杨丽花,李捷理. 2012. 清洁能源经济: 美国经验与中国发展[J]. 新视野, (1): 43-46.
- 于锋,朱明远,王绪根,王刚,祁佩荣,陈冬,代斌. 2014. 清洁能源与储能研究发展前瞻——第二届国际清洁能源会议综述[J]. 储能科学与技术, 3(5): 457-470.
- 张涛,冉皦,徐晶晶,沙志彬,姜雅,王琨. 2021. 日本天然气水合物研发进展与技术方向[J]. 地球学报, 42(2): 196-202.
- 张宪昌. 2011. 美国新能源政策的演化之路[J]. 农业工程技术(新能源产业), (1): 8-10.
- 张玉卓. 2014. 中国清洁能源的战略研究及发展对策[J]. 中国科学院院刊, 29(4): 429-436.
- 郑艳婷,徐利刚. 2012. 发达国家推动绿色能源发展的历程及启示[J]. 资源科学, 34(10): 1855-1863.
- 中国社会科学院语言研究所. 2019. 现代汉语词典[M]. 北京: 商务印书馆: 1065.
- 邹才能,翟光明,张光亚,王红军,张国生,李建忠,王兆明,温志新,马锋,梁英波,杨智,李欣,梁坤. 2015. 全球常规—非常规油气形成分布、资源潜力及趋势预测[J]. 石油勘探与开发, 42(1): 13-25.

### References:

- BNEF. 2020. Clean Energy Investment Trends 2019[R/OL]. [S.l.]: BNEF: 37[2020-06-03]. <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BloombergNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-2019.pdf>.
- BP. 2019. BP Statistical Review of World Energy 2019[R/OL]. London: BP: 8, 49, 51-53. [2020-06-03]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- BU Xiang-yu, LIU Wan-kang, ZHU Peng-yan, HUI Zhi-lei. 2018. Study on development and utilization of clean energy for the realization of sustainable development[J]. China Energy and Environmental Protection, 40(2): 38-42(in Chinese with English abstract).
- CUI Rong-guo, CHEN Qi-shen, GUO Juan, GUO Zhen-hua, XIAO Yu-ping. 2018. Current Situation of Consumption of Renewable Energy Across the World[J]. Geology and Exploration, 54(6): 1135-1140(in Chinese with English abstract).
- EIA. 2020. International Energy Outlook 2019-with projections to 2050[R/OL]. Washington: EIA: 19-24, 31-32. [2020-06-07]. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>.
- FU Li-ping. 2012. On the drive mechanism of Chinese clean energy development[J]. Ecological Economy, (2): 76-79(in Chinese with English abstract).

- GONG Guang-yu. 2003. Renewable energy and sustainable development of social economy in China[J]. *Impact of Science on Society*, (4): 28-35(in Chinese).
- Institute of Linguistics CASS. 2019. *The Contemporary Chinese Dictionary*[M]. Beijing: The Commercial Press: 1065(in Chinese).
- IRENA. 2020a. *Renewable Power Generation Costs in 2019*[R/OL]. Abu Dhabi: IRENA: 27, 29, 31-32, 34, 36, 41. [2020-06-03]. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>.
- IRENA. 2020b. *Renewable Capacity Statistics 2020*[R/OL]. Abu Dhabi: IRENA: 6, 13-14, 21, 42. [2020-06-03]. <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>.
- IRENA. 2020c. *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050*[R/OL]. Abu Dhabi: IRENA: 23, 33, 60, 118. [2020-06-07]. <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>.
- LI Liang. 2012. Analysis on the development of clean energy[J]. *China New Technologies and Products*, (20): 222(in Chinese).
- LI Rong-jie, ZHANG Lei, ZHAO Ling-di. 2016. China's clean energy use, factor allocation structure and carbon productivity growth based on production function with energy and human capital[J]. *Resources Science*, 38(4): 645-657(in Chinese with English abstract).
- LI Xin-lei. 2017a. New Tendency of China's Clean Energy Diplomacy in the Transition of Global Climate and Energy Pattern[J]. *Pacific Journal*, 25(12): 33-46(in Chinese with English abstract).
- LI Xin-lei. 2017b. The Transnational Paradigm of Global Clean Energy Governance-Characteristics, Dynamics and Challenges of Pluralistic-Networking Development[J]. *International Review*, (6): 137-154(in Chinese with English abstract).
- LI Xin-lei. 2017c. China's Clean Energy Diplomacy and the Belt and Road Initiative: Opportunities, Challenges, and Capacity Building[J]. *Global Review*, 9(3): 36-57(in Chinese with English abstract).
- LI Xu-dong, ZHENG Man-ying, LÜ Chun-yuan. 2004. Obey the rules of recycle economy and prevent from white pollution[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, (2): 1-4(in Chinese with English abstract).
- LI Yang. 2011. Sino US clean energy cooperation: foundation, mechanism and problems[J]. *Contemporary International Relations*, (1): 14-21(in Chinese).
- LIU Bang-fan, ZHANG Bei, LIAN Kai-yu. 2015. Analysis and countermeasures on the development of clean energy in China[J]. *Ecological Economy*, 31(8): 80-83, 92(in Chinese with English abstract).
- LIU Xiao-yan. 2012. Development agenda and investment environment for clean energy in India[J]. *South Asian Studies Quarterly*, (2): 57-64(in Chinese with English abstract).
- LU Yan, FU Li, ZHANG Jiu-qin. 2011. The clean energy act 2011 of Australia and its impact[J]. *Journal of International Economic Cooperation*, (12): 27-30(in Chinese).
- SONG Ke-yu, LONG Tao, DUAN Hong-mei, CHEN Qi-shen, ZHANG Yan-fei, ZHENG Guo-dong. 2021. Research on the Development Trend of China's Gas Energy in the Future[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 187-195(in Chinese with English abstract).
- WANG Yong-pei, MA Ding, SHAN Bao-guo, YAN Wei-long. 2017. Grid development, clean power accession and regional energy efficiency[J]. *China Population, Resources and Environment*, 27(3): 39-48(in Chinese with English abstract).
- WU Lin-qiang, ZHANG Tao, JIANG Cheng-zhu, ZHAO Yi-xuan, LIANG Qian-yong, WANG Xiao-hui, XING Jia-yun. 2021. An Analysis of Gas Hydrate Geological Survey Status in the Black Sea[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 203-208(in Chinese with English abstract).
- XU Bing, CHEN Yu-fang, SHEN Xiao-bo. 2019. Clean Energy Development, Carbon Dioxide Emission Reduction and Regional Economic Growth[J]. *Economic Research Journal*, 54(7): 188-202(in Chinese with English abstract).
- XU Li-de, TONG Yun-huan. 2011. Analysis of and Recommendations for Clean Energy Development in Rural China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 21(7): 20-27(in Chinese with English abstract).
- YANG Li-hua, LI Jie-li. 2012. Clean energy economy: American experience and China's development[J]. *Expanding Horizons*, (01): 43-46(in Chinese).
- YU Feng, ZHU Ming-yuan, WANG Xu-gen, WANG Gang, QI Pei-rong, CHEN Dong, DAI Bing. 2014. Clean energy and energy storage research-The 2nd international conference on clean energy sciences[J]. *Energy Storage Science and Technology*, 3(5): 457-470(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Tao, RAN Hao, XU Jing-jing, SHA Zhi-bin, JIANG Ya, WANG Kun. 2021. Research and Development Progress as well as Technical Orientation of the Natural Gas Hydrate in Japan[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 196-202(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xian-chang. 2011. The evolution of American new energy policy[J]. *Agricultural Engineering Technology (New Energy Industry)*, (1): 8-10(in Chinese).
- ZHANG Yu-zhuo. 2014. Study on the Strategy and Development Countermeasure of China Clean Energy[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 29(4): 429-436(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Yan-ting, XU Li-gang. 2012. The Process of Developing Green Energy in Developed Countries and Its Lessons[J]. *Resources Science*, 34(10): 1855-1863(in Chinese with English abstract).
- ZOU Cai-neng, ZHAI Guang-ming, ZHANG Guang-ya, WANG Hong-jun, ZHANG Guo-sheng, LI Jian-zhong, WANG Zhao-ming, WEN Zhi-xin, MA Feng, LIANG Ying-bo, YANG Zhi, LI Xin, LIANG Kun. 2015. Formation, distribution, potential and prediction of global conventional and unconventional hydrocarbon resources[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 42(1): 13-25(in Chinese with English abstract).