

# 清洁能源革命对我国社会经济的影响

应磊<sup>1\*</sup>, 杨国松<sup>2#</sup>

<sup>1</sup>江苏科能电力工程咨询有限公司, 江苏 南京

<sup>2</sup>南京天之杰新能源有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2023年6月6日; 录用日期: 2023年7月7日; 发布日期: 2023年7月14日

## 摘要

“双碳”目标在为我国碳减排工作制定更细致具体行动计划的同时, 也初步规划了未来我国甚至全球低碳生产生活的蓝图。对于化石燃料依然占据能源消费主导地位的现状来说, 实现碳排放总量的减少必然伴随能源消费结构的转变。就我国而言, 与清洁能源代替传统化石能源同步进行的将是技术进步带来的产业升级、成本下降带来的工业规模持续增长、居民生活成本降低以及能源供给格局的根本转变等一系列深刻的社会变革。

## 关键词

碳减排, 清洁能源, 产业升级, 社会变革

# The Social Economy Effects of Clean Energy Revolution in China

Lei Ying<sup>1\*</sup>, Guosong Yang<sup>2#</sup>

<sup>1</sup>Jiangsu Keneng Power Engineering Consulting Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Nanjing Tianzhijie New Energy Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Received: Jun. 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 7<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 14<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Carbon peaking and carbon neutrality goals not only formulate a more detailed and specific action plan for carbon emission reduction work of China, but also preliminarily plan the development blueprint of low-carbon production and life in China and even the world in the future. For the current situation that fossil fuels still occupy the leading position in energy consumption, the reduc-

\*第一作者。

#通讯作者。

tion of total carbon emissions must be accompanied by the transformation of energy consumption structure. As far as China concerned, a series of profound social changes will be carried out simultaneously with the replacement of traditional fossil energy by clean energy, such as industrial upgrading brought about by technological progress, continuous growth in scale brought about by the reduction of industrial costs, reduction of residents' living costs, and the fundamental transformation of the energy supply pattern.

## Keywords

Carbon Emission Reduction, Clean Energy, Industrial Upgrading, Social Transformation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国是目前世界上最大的工业品生产国、最大的能源进口国同时也是最大的碳排放国。学术界认为,人类活动引起的气候变化对生产生活的威胁不断加强,而碳排放就是导致全球气候变化的主要因素,通过碳减排应对气候变化已经逐渐成为全人类的共识[1] [2] [3]。工业活动不但会向大气排放二氧化碳,其污染物也会造成一定程度的生态环境破坏,在此背景下,我国面临越来越大的环境和舆论压力,碳减排已经成为我国不得不做的功课[4] [5] [6] [7] [8]。在提前且超额完成 2009 年哥本哈根气候大会提出的碳排放自我约束目标后,我国在 2020 年提出了在 2030 年前达到碳排放峰值、2060 年前实现碳中和的“双碳”目标。作者认为,在积累数十年的发展经验和技术成果后,我国已经基本具备了如期实现碳减排目标的基础,在未来数十年时间,通过清洁能源革命,在全社会完成一次深度的电气化以及电力生产低碳化改造,我国将在实现碳排放目标的基础上完成一次深刻的社会变革[9] [10] [11]。

清洁能源,是指在获取过程中不排放或者少排放污染物和温室气体的能源,它包括核能和可再生能源。核能属于清洁能源,也是不可再生能源,相对于其他可再生能源,核能一次性投资高、建设周期长,而且核电站面临核废料处理和全寿命运行过程中核泄漏风险,前苏联的切尔诺贝利核事故、美国的三里岛核事故和日本的福岛核事故的影响都非常深远。可再生能源,是指用于生产能源的原材料可以再生,不存在资源耗尽的风险,例如水能资源、风能资源、太阳光热资源、生物质能、地热能、潮汐能等能源。我国地域辽阔、气候类型丰富,各种可再生能源蕴藏总量巨大,可开发前景十分广阔,其中,风能、水能以及太阳能将成为我国清洁能源的主要来源。文章从多方面论述了我国清洁能源革命对我国社会经济产生的积极影响。

## 2. 实现双碳目标

### 2.1. 我国化石能源消耗构成

2021 年,电力生产、工业燃烧、地面交通化石能源消耗分别占我国全社会化石能源消费总量的 45%、40%和 7.5%。与本世纪初相比,虽然我国单位 GDP 碳排放强度明显下降,但由于能源消费总量持续增加,且增量以化石能源为主,我国碳排放总量依然保持上涨。生态环境部数据显示,2021 年,我国单位国内生产总值(GDP)二氧化碳排放量比 2005 年下降 50.8%,但在排放总量方面则由 2005 年的 39 亿吨增加到 2021 年的 103 亿吨,占当年全球碳排放总量的三分之一。

## 2.2. 降低化石能源消耗

作为世界上最大的发展中国家,我国依然是能源消费增量市场,而煤炭在我国能源消费结构中依然占据主导地位,2022年我国能源消费总量为54.1亿吨标准煤,煤炭占比56.2%,虽然已显著低于2012年的68.5%,即使我国燃煤发电效率在过去十年有了显著提升,由于煤炭消费总量绝对值的提升,因燃煤产生的碳排放总量依然高于2012年。由此可见,仅通过提高化石能源利用效率难以降低我国燃料消费总量,只有通过提高存量利用效率、消费增量提高可再生能源消费比例才能实现化石能源消费总量的下降。

我国水能资源蕴藏量约为6.8亿千瓦,截止2022年底,我国水电装机容量已达到4.14亿千瓦,超过全国可开发水能资源总量的60%。我国可开发风能蕴藏量约为10亿千瓦,截止2022年底,我国风电装机规模达到3.65亿千瓦,占可开发风能的35%。虽然水能资源和风力资源尚有较大的开发潜力,但两者可开发总量之和只占2022年我国发电装机容量的66%。光伏发电在2021年实现平价上网后,极大地提高了我国可再生能源开发规模上限。

我国国土幅员辽阔,地形地貌种类全面而丰富,光热资源总量十分充裕,开发潜力巨大。我国陆地太阳能光热资源总量大约为 $1.34 \times 10^7$  TWh [12],远高于其他可再生能源总量之和,在我国960万平方公里的国土面积中,西北光照充足的荒漠戈壁总面积约为60万平方公里,在避免占用有效国土面积的前提下,我国可开发的荒漠戈壁光热资源蕴藏量就达到了 $1.05 \times 10^6$  TWh/年,按当前光伏电池转化效率,扣除电力生产与运输过程中的能量损失,西北戈壁荒漠光伏发电总储量约为 $1.6 \times 10^5$  TWh/年,是我国2022年全社会用电总量的18.5倍,是2030年预测用电总量的12倍,光伏将是我国实现碳中和的最主要推动力量。

2022年,我国火电机组平均供电煤耗约为302.5 g标准煤/千瓦时,当年,全国全口径火力发电量为58887.9亿千瓦时,占全国发电总量的66.5%,按燃烧一吨标准煤排放2.6吨二氧化碳计算,当年燃煤发电碳排放总量为46.3亿吨。在新增发电装机中,可再生能源占据主导地位,2022年,发电行业新增发电装机容量中,清洁能源占比达到80%,新增总装机容量超过1.2亿千瓦,装机总量达到12.2亿千瓦,发电总量达2.96万亿千瓦时,以此推算,到2030年,可再生能源装机总量将达到21.8亿千瓦,包含核电在内的清洁电力装机容量将达到23亿千瓦,发电总量将达到7.9万亿千瓦时。以我国年均用电量增长5%计算,到2030年,我国全社会用电量将达到12.9万亿千瓦时,清洁电力占全社会发电总量的比例约为61%,火力发电将主要作为调峰用的备用电源[13]。到2030年,可再生能源发电总量的增加将促进发电行业年度碳减排接近6亿吨。

## 3. 技术进步与产业调整

以碳减排为目标的清洁能源革命实际上是对我国能源生产方式、能源消费结构的一次深刻调整,即实现清洁能源革命需要从能源生产到终端消费的配合,是一次社会性需求转变以及生产端为了满足这种新需求而做出的调整。

### 3.1. 深度电气化与智能化

清洁能源发电总量增长为未来我国社会进行一次深度电气改造提供了有力支撑,我国清洁电源分布时空不均衡、发电稳定性远低于燃煤发电的特点又对能源智能化调配带来了新挑战。而在解决这一矛盾的过程中必然实现技术突破和产业升级。

#### 3.1.1. 新能源汽车换道超车

自1975年我国完成宝成铁路全线电气化改造开始到2022年底,我国铁路电气化率已超过75%,成

为我国交通运输领域电气化率最高的一环。随着储能技术的进步, 新能源汽车已经可以大规模商用并且使用成本相对于内燃机车显示出越来越强的商业竞争。根据我国当前超过 4 亿的机动车保有量计算, 仅将乘用车从燃油驱动转变为电力驱动就将大幅度减少我国因燃油产生的碳排放, 2022 年, 我国汽油消费量 1.15 亿吨, 折合碳排放量 3.45 亿吨, 占全年成品油消费和燃油碳排放总量的 35%。

新能源车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置), 综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术, 形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车[14]。我国新能源汽车产业的发展得到了长期的政策支持, 经过数十年技术积累, 打破了燃油车时代产业话语权长期被国外企业垄断的局面。2022 年, 我国车规级动力电池和新能源汽车整车销量占全球的比重均超过 60%, 国内新能源乘用车销售渗透率接近 30%。在新能源汽车时代, 凭借产业链和工业成本优势, 我国汽车工业产值和产量占全球的比重有望超过 50%。

### 3.1.2. 汽车工业稳定增长

汽车产业具有体量大、产业链长、关联度高、影响面广的特点。电动化则进一步丰富了汽车的应用场景, 车身配备的大容量电池将推动汽车从燃油车到电动车再到智能电动车转变, 同时在传统汽车产业链基础上进一步融合储能、互联网、人工智能以及半导体产业。2022 年我国汽车产量 2702.1 万辆, 占全球汽车总产量的 33%, 汽车制造业营业收入为 9.3 万亿元, 汽车消费零售总额为 4.58 万亿元, 占全社会消费品零售总额的 10.4%。随着我国自主品牌整车厂商整体技术水平不断提升, 汽车出口规模也迎来了爆发增长阶段, 继 2021 年汽车出口总量翻倍之后, 2022 年出口增速依然超过了 50%, 我国已经取代德国成为世界第二大汽车出口国, 仅略低于日本。2023 年一季度, 我国汽车出口总量达到 99.4 万辆, 超越日本成为全球第一大汽车出口国。以占全球 50% 的产量份额目标计算, 我国汽车制造业总营收将超过 13 万亿元, 继续巩固国民经济支柱产业地位。

## 3.2. 降低社会运行成本

### 3.2.1. 物流成本降低

能源和粮食价格构成了社会运行成本的基础, 我国总体能源自给率超过 80%, 但在以燃油为主的公路交通领域的自给率低于 30%。国家发改委数据显示, 2021 年我国全社会物流总费用占 GDP 的比重为 14.6%, 绝对数值为 16.8 万亿元。运输成本约占物流成本的 40%, 而燃料成本又占运输成本的 40% 左右, 由此推算, 燃料成本占物流成本的比例约为 16%。以现阶段电价计算, 纯电乘用车的使用成本约为汽油车的五分之一至十分之一, 由此可见, 公路运输的电气化转变能够有效降低社会物流成本, 这对维持低通胀社会具有重要意义。

### 3.2.2. 用电成本下降

2021 年起, 中央财政不再对新备案集中式光伏电站、工商业分布式光伏项目和新核准陆上风电项目进行补贴, 光伏与陆上风电进入与火电平价上网时代。以全国煤电上网电价均价 0.38 元/kWh 为基准, 通过与煤电上网电价对比, 能够直观衡量清洁能源的发电成本。以光伏行业为例, 目前业内主流光电转换效率平均水平为 19%~21%。在现有技术路线不变的条件下, 光伏设备理论转化效率最高的双节电池达到了 31.3% [15]。实验室实现的最高转化效率达到 26.81%。行业统计数据表明, 光伏电池转换效率每提升 1%, 系统成本降低 4%~6%。国内单晶硅电池转化率从 2010 年的 17%, 提升到 2021 年的 23.5%, 年均提升 0.59%, 光伏发电的商业竞争力将逐步加强。

国际可再生能源署(IRENA)发布的报告显示, 2010 年至 2019 年的十年间, 全球光伏发电、海上风电、陆上风电成本降低幅度分别为 82%、29%、39%, 这主要得益于我国技术突破和工业成本优势。国内大



型电站发电度电成本由 2010 年的 1.47 元/千瓦时下降到 2021 年的 0.35 元/千瓦时, 基本实现与火电平价上网, 11 年间, 光伏发电成本下降 76%。由于国内光伏行业间竞争依然激烈, 高效组件不断更新换代, 且随着扩建产能的逐步释放, 从 2021 年初开始的因供需失衡导致的上游原材料价格上涨周期将基本结束, 光伏发电将迎来成本快速下降周期。与光伏类似, 我国风力发电的度电成本由 2010 年的 0.98 元/千瓦时下降到 2020 年的 0.35 元/千瓦时。

2022 年新增可再生能源发电装机容量占我国年新增发电装机容量的比重超过 80%, 发电成本更低的清洁能源成为我国主要的电力供应来源后, 市场竞争和发电企业利润率的提升再配合电价市场化改革, 将共同推动我国用电成本的下降。

### 3.3. 工业规模继续扩大

#### 3.3.1. 工业产能充分释放

近年来, 由于碳减排任务以及部分用电高峰时段电力紧张, 限电情况屡见不鲜, 而受限电措施影响最大的就是工业部门。2021 年, 为了执行能耗双控政策, 我国东部沿海几个工业大省广东、浙江、江苏等分别推出了工业企业限电措施, 大量企业出现非正常停产, 工业产能难以充分利用。

充足、稳定的绿色电力将有效解决以上矛盾。电能的充足性体现在可开发的可再生能源发电潜力远超实际电力需求, 光伏、风能发电实现与火电平价上网后, 我国绿色电力生产可根据需求建设; 电能稳定性在于储能与智能电网技术以及光伏制氢等技术的发展, 降白天过剩的电能以多种形式储存起来, 弥补夜间发电设备不足的情况, 这将有效解决我国太阳能时空分布不均的矛盾。

#### 3.3.2. 工业品需求增加

工业成本降低促进产品价格下降从而刺激需求的上涨。深度电气化将在社会的各个层面降低成本, 即终端能源消费以电力为核心后, 社会运行的成本会迎来系统性下降。无论在国内还是国际, 我国的商品都将更具竞争力, 为我国商品开拓更多的市场打下基础。

## 4. 我国与世界能源供应格局转变

### 4.1. 能源安全得到根本保障

化石能源时代, 我国人均贫油少气多煤的基本国情决定了我国部分能源严重依赖进口。2021 年, 我国石油和天然气对外依存度分别为 71.2% 和 44.1%。进口能源每年耗费大量外汇, 2021 年, 我国进口石油和天然气总金额为 3099 亿美元。此外, 能源价格对地缘政治的变化十分敏感, 几乎贯穿整个 2022 年的俄乌战争极大地抬升了我国能源进口成本, 2022 年我国油气进口总量变化不大, 但由于国际能源价格的上涨, 进口额攀升到 4355 亿美元, 比 2021 年增长 41%。过去数十年, 我国为了保障能源安全, 付出了巨大的努力和代价。

清洁能源革命将从根本上扭转我国当前面临的能源结构问题。2022 年, 我国成品油消费 3.45 亿吨, 以当前我国成品油率为 62% 计算, 2021 年为满足国内成品油消费所需原油 5.56 亿吨, 而 2022 年我国原油与成品进口量分别为 5.08 亿吨和 0.26 亿吨。尽管在新能源时代, 我国能源主产区与能源主要消费区域分布不平衡的矛盾依然存在, 但由于远距离特高压输电技术已经十分成熟[16], 我国基本实现了在全国范围内自主可控的电力输送, 与当前能源主要通过境外海运回国相比, 风险大大降低了。

### 4.2. 成为能源净出口国

从全球范围来看, 我国是目前主要经济和人口大国中对清洁能源支持力度最大的, 从技术储备、市场规模以及工业成本等不同角度综合分析, 实现清洁能源替代传统化石能源, 我国具有较大优势, 我

国将会是世界上最先完成清洁能源革命的主要国家。届时,我国也将由能源净进口国转变为能源净出口国。

我国成为能源出口的形式主要表现为生产清洁能源的设备出口以及传统化石能源出口。其中,清洁能源发电设备已经实现大规模出口。以光伏设备为例,2022年我国光伏产品出口额为512亿美元。显然,我国能源进出口逆差依然十分巨大,只有我国大规模对外出口成品油才能实现能源净出口的目标。2022年,我国乘用车新车销量中,新能源汽车渗透率达到了26%,且还在加速提升中,新能源汽车保有量超过1300万辆。随着新能源汽车和燃油车保有量的此消彼长,我国对燃油需求逐年下降的趋势已经不可逆转。未来十年至二十年内,传统的化石能源特别是石油和煤炭在我国将回归为主要的工业原料。而由技术相对落后、政策、资金难以落实,国际对化石燃料的需求依然很大,成品油特别是汽油作为工业生产过程中的“副产品”用于出口后将扭转过去数十年我国能源贸易格局。

## 5. 结论

“双碳”目标的提出决定了未来四十年我国的发展建立在降低碳排放总量的前提之下。改变能源消费结构是必然之路,清洁能源革命是实现“双碳”目标的重要技术手段和途径。目前,我国已经初步完成了用清洁能源有序替代传统化石能源的技术、资源储备以及消费市场布局,我国碳减排行动将在未来数十年不断加速。在降低碳排放同时,我国社会也在经历一次深刻变革,新需求推动新技术产生和迭代,进而推动我国产业升级。能源消费结构的改变既增强了我国能源自给能力,也从根本上保障了我国能源安全。能源的自给自足、能源生产低成本化又在一定程度上系统性地降低我国社会运行成本,我国工业产品的竞争力还将进一步提高。能源消费由化石能源转变为以可在再生能源为主后,利用技术以及工业成本低的优势,我国具有成为能源净出口国的巨大潜力。

## 参考文献

- [1] Yue, S.P., Yan, Y.C., Zhang, S.W. and Yang, J.C. (2022) Changes in Climate Factors and Their Impacts on Wind Erosion Climatic Erosivity in Farming-Pastoral Zone of Northern China. *Chinese Geographical Science*, **32**, 665-675. <https://doi.org/10.1007/s11769-022-1292-2>
- [2] Gao, J.B., Liu, L.L., Guo, L.H., et al. (2023) The Effects of Climate Change and Phenological Variation on Agricultural Production and Its Risk Pattern in the Black Soil Area of Northeast China. *Journal of Geographical Sciences*, **33**, 37-58. <https://doi.org/10.1007/s11442-023-2073-2>
- [3] 杨新兴. 地球气候变化及其主要原因[J]. 前沿科学, 2017, 11(3): 10-17.
- [4] 邓祥征, 丹利, 叶谦, 等. 碳排放和减碳的社会经济代价研究进展与方法探究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(4): 405-413.
- [5] 王兆平. 气候正义下的国际碳排放权及其分配[J]. 江苏大学学报(社会科学版), 2015, 17(1): 34-40.
- [6] 肖巍, 钱箭星. “气候变化”: 从科学到政治[J]. 复旦学报(社会科学版), 2012(6): 84-93.
- [7] 李科. 欧盟重征碳关税的利益动因与中国因应[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2022, 41(5): 85-93.
- [8] 高志宏. 欧盟航空碳排放交易指令的法理评析与中国应对研究[J]. 南京航空航天大学学报(社会科学版), 2022, 24(2): 83-90.
- [9] 霍忠堂. 我国可再生能源发展领先世界[J]. 生态经济, 2022(12): 9-12.
- [10] 罗桂成, 盛春龙. 浅析新能源汽车的未来发展趋势[J]. 时代汽车, 2022(21): 105-107.
- [11] 黄维和, 韩景宽, 王玉生, 沈珏新, 程蕾. 我国能源安全战略与对策探讨[J]. 中国工程科学, 2021, 23(1): 112-117.
- [12] 左大康, 王懿贤, 陈建绥. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征[J]. 气象学报, 1963(1): 78-96.
- [13] 李政, 陈思源, 董文娟, 刘培, 杜尔顺, 麻林巍, 何建坤. 碳约束条件下电力行业低碳转型路径研究[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(12): 3987-4000.
- [14] 李刚. 新能源汽车节能技术的应用分析[J]. 时代汽车, 2022(20): 122-124.

- [15] 张美荣, 祝曾伟, 郁骁琦, 等. 高效率双结钙钛矿叠层太阳能电池研究进展[J]. 复合材料学报, 2023, 40(2): 726-740.
- [16] 梁言桥, 吴庆华, 盛晶晶. 我国特高压输电技术实现从“跟跑”到“领跑”的跨越[J]. 中国勘察设计, 2021(z1): 19-21.