

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2021.10.001

面向碳中和的中国碳排放现状调查与分析

Investigation and analysis on carbon emission status in China on the path to carbon neutrality

张俊锋, 许文娟, 王跃琦, 尹燕, 谢辉, 梁兴雨, 赵军*

ZHANG Junfeng, XU Wenjuan, WANG Yueqi, YIN Yan, XIE Hui, LIANG Xingyu,
ZHAO Jun*

(天津大学 机械工程学院, 天津 300350)

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

摘要: 统筹能源结构、规范能源市场是我国实现“3060双碳目标”的有力举措。为实现“3060双碳目标”,需要对各地区能源结构和碳排放模式进行综合调研,探究影响能源结构转型的关键因素。通过对地理环境、经济、能源等因素的系统分析,将我国分为四大区域——传统能源仓库“北方走廊”、工业耗能大户“工业重镇”、能源消费大户“东部集团”、清洁能源宝库“绿色地带”。通过总结以上区域能源发展存在的不足,发现我国能源亟待解决的3个“不平衡”问题,即传统能源与清洁能源比重不平衡、地区能源供需不平衡、绿色能源与高质量国内生产总值(GDP)发展不平衡。针对上述问题,为兼顾经济效益与环境效益,提出3方面建议:将GDP与碳排放总量相关联,设置GDP权重系数,即“GDP品位”;给绿色能源上户口,制定参考定价标准;建立能桥,统筹能源调配。平衡能源结构与发展经济相结合,实现我国经济环境的可持续发展。

关键词: 碳中和;能源经济;GDP品位;能源调配;能源户口;绿色能源

中图分类号:TK 01

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2021)10-0001-10

Abstract: Co-ordinating energy structure and regulating energy market are powerful tools for China to achieve carbon peaking and carbon neutrality by 2030 and 2060. To complete the target, it is necessary to conduct a comprehensive investigation on energy structures and carbon emission patterns of various regions, and explore the key factors affecting energy structure transformation. According to geographic environment, economy, energy and other factors, China can be divided into four regions: the North Corridor (the traditional energy storehouse), the Important Industry Area (energy-intensive industrial areas), the East Group (the major energy customer) and the Green Zone (the clean energy treasure-house). By analyzing the energy history in the regions above, three “unbalanced” issues are considered to be solved, which are unreasonable proportions of traditional fossil energy and clean energy, the unbalance between energy supply and demand in space, and the disparate development of green energy and high-quality GDP. Therefore, three suggestions are put forward in order to take economic and environmental benefits into account: connecting GDPs to total carbon emissions; setting GDP weight coefficient, namely “GDP grade”; registering ID for green energy users and formulating reference pricing standards for them; establishing energy bridges and making energy allocation aiming to balance the energy structure and economic development and realizing sustainable development of economic environment in China.

Keywords: carbon neutrality; energy economy; GDP grade; energy allocation; energy user; green energy

0 引言

为保护生态环境、担当大国责任,中国提出将采取更加有利的政策和措施,力争实现碳达峰、碳中和目标。然而,中国作为发展中国家,既要改善民生,又要实现经济高质量发展,可谓责任重大。解决能源问题,就是从源头上平衡经济与环境。

目前,我国能源存在传统能源比重过大、能源供求不平衡、绿色能源与国内生产总值(GDP)发展不协调等问题,限制我国经济与环境协同发展,有悖“3060双碳目标”,因此需要统筹能源结构、规范能源市场。

基于对全国31个省、市、自治区的能源调研(台湾省、香港特别行政区、澳门特别行政区资料暂缺),分析各能源数据后,将我国分为四大能源区域:“北方走廊”(陕、甘、宁、蒙等),“工业重镇”(京、

收稿日期:2021-07-27;修回日期:2021-09-18

基金项目:天津市自然科学基金项目(18JCQNJC07100)

津、冀、黑、吉、辽、豫等)，“东部集团”(苏、浙、沪、皖等)，“绿色地带”(云、贵、川等)。

基于四大区域能源现状分析总结,针对发现的关键问题,依据各区域内/间优势互补、均衡发展原则提出建议,旨在平衡能源结构与发展经济相结合,实现我国经济环境的可持续发展。

1 区域分析

1.1 北方走廊

“北方走廊”主要指新疆维吾尔自治区(以下简称新疆)、青海省(以下简称青海)、甘肃省(以下简称甘肃)、内蒙古自治区(以下简称内蒙古)、宁夏回族自治区(以下简称宁夏)、陕西省(以下简称陕西)、山西省(以下简称山西)。

由于深居内陆、交通不便、劳动力匮乏、工业基础差等原因,“北方走廊”的经济相对中原、东部沿海地区较落后;由于煤、石油、天然气、稀有金属等矿产资源蕴藏丰富,该区域能源消费以煤、石油、天然气等传统化石能源为主,清洁能源占比较低。由于气候干旱,该地区淡水资源匮乏且供需矛盾突出。该地区虽然生物多样性强,生物资源丰富,但生态环境脆弱。

1.1.1 地区生产总值分析

从 2001 年到 2017 年,该区域生产总值一直保持高速增长态势,其中以 2008 年至 2014 年最为突出,但人均地区生产总值均低于全国人均 GDP。以 2017 年为例,全国人均 GDP 为 59 592 元^[1]，“北方走廊”中内蒙古人均 GDP 最高(59 017 元)^[2]，其余依次为陕西(56 154 元)^[3]、宁夏(47 177 元)^[4]、新疆(46 089 元)^[5]、青海(41 366 元)^[6]、山西(39 232 元)^[7]，最低为甘肃(28 026 元)^[8]。

该区域的产业结构以第二、第三产业为主,第二产业占比较大。2001 年至 2017 年,该区域内各省级行政区第二产业增加值普遍略高于第三产业增加值,二者比值高于全国范围内该比值。其中,内蒙古的服务业相对发达,第三产业总产值占地区生产总值的比重大于第二产业,且该比重高于全国平均水平^[2];新疆第二产业增加值(4 096.2 亿元)低于第三产业增加值(5 511.9 亿元),第三产业所占比重略低于全国平均水平^[5]。

1.1.2 碳排放总量与地区生产总值结合分析

该区域作为“西电东送”“西煤东运”“西气东输”工程的重要起端,向我国东部输送了大量一次能源和二次能源。由于化石能源大量燃烧,该区域碳排放总量较高。然而,高碳排放总量并未转化为

本地经济价值,而成为向东部发达地区输送能源的“后遗症”。因此,虽然该区域人均 GDP 低于全国平均水平,但人均碳排放总量和 GDP 碳排放总量均高于全国平均水平,2010—2017 年“北方走廊”碳排放总量及 GDP 趋势如图 1 所示。

以 2017 年为例,碳排放总量内蒙古最高(639 Mt),其余依次为山西(488 Mt)、新疆(404 Mt)、陕西(262 Mt)、宁夏(175 Mt)、甘肃(151 Mt),青海最低(53 Mt);碳强度宁夏最高(55.0 kt/亿元),其余的依次为内蒙古(43.0 kt/亿元)、新疆(36.0 kt/亿元)、山西(37.0 kt/亿元)、青海(21.5 kt/亿元)、甘肃(20.6 kt/亿元),最低为陕西(12.2 kt/亿元)。

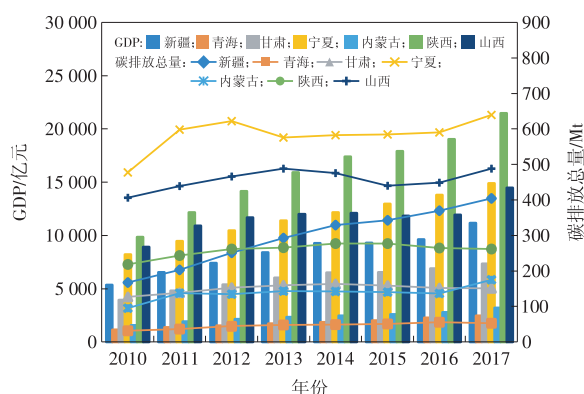


图 1 2010—2017 年“北方走廊”碳排放总量及 GDP 趋势

Fig. 1 Total carbon emissions and GDPs in the North Corridor from 2010 to 2017

(1)宁夏、内蒙古。因矿产资源丰富,均为“西电东送”工程的供电地区。宁夏煤矿、油气田资源丰富,煤探明储量位列全国第六,人口相对稀少,环境污染程度相对较低,适合作为以火电站为电源的电能输出省,成为“西电东送”工程 3 条战略大通道的重要起送端。内蒙古拥有丰富的煤炭矿藏,煤炭保有资源占全国总量的 26.24%,居全国第一,年产量大且稳定,消费量不足全国的 20%。与新疆、甘肃等地的煤矿相比,内蒙古煤矿距东部沿海发达地区更近,使内蒙古成为“西电东输”工程的理想供电地区。

为配合“西电东送”,两地新建大量火力发电厂,造成本地碳排放总量上升,对可持续发展不利。例如,宁夏发电总装机 55.87 GW,人均火电装机容量达全国第一,累计外送电量超过 460 TW·h,宁夏电网成为全国唯一外送电量大于内供电量的省级电网。内蒙古作为“西电东送”的供电地区近 30 年,开辟了“西电东送”的先河,新增许多装机容量大的火力发电厂。以上措施,虽为受电地区减少了大量二氧化碳排放,节省了煤等燃料的运输成本,减轻

了二氧化碳排放的密集程度,却使发电地区的碳排放总量大增,宁夏和内蒙古的GDP碳排放总量分别居“北方走廊”一、二位。其中,宁夏一半以上的碳排放总量并非受自身经济发展的影响,而是为东部江苏省(以下简称江苏)、浙江省(以下简称浙江)、上海市(以下简称上海)等发达地区分担的环境压力,对于本地可持续发展不利。

(2)新疆。新疆化石能源储量丰富。新疆煤炭预测资源量占全国的40%,石油资源量占全国陆上石油资源量的30%,天然气资源量占全国陆上天然气资源量的34%。

新疆是“西电东送”计划的重要供电地区,碳排放总量增加,但经济发展未见明显成效。截至2017年9月,新疆累计外送电量超过120 TW·h,相当于外送标准煤3 760万t。由于这种输送方式的电源以燃煤的“坑口电站”为主,增加了新疆的碳排放总量,但未明显促进新疆经济发展。

新疆也是“西气东输”的重要气源。截至2019年5月底,作为“西气东输”主力气源地的塔里木油田已累计向下游广东省(以下简称广东)等15个省份供应天然气231.5 km³。

新疆的风能、太阳能有较大开发潜力。由于新疆的风力、太阳能资源较丰富,有关部门正规划以风力发电站作为“西电东送”的电源,将可再生风资源、太阳能资源转化为电能,与火电一道从“空中通道”输送出疆。

(3)甘肃。甘肃的环境与经济发展之间存在一定矛盾。甘肃人均GDP较低,在“北方走廊”中经济水平较落后,但GDP碳排放总量高于全国平均水平^[8]。

甘肃的新能源发电助力“西电东送”。甘肃煤矿储量较为丰富,风电、光伏等新能源装机占比接近全省发电装机的一半,是我国重要的新能源生产、输送基地。甘肃“西电东送”线路中,除以煤电为电源的线路外,还有±800 kV祁韶特高压直流线路,是我国第1条大规模输送新能源电力的特高压直流输电线路。

(4)青海。青海也是“西电东送”工程的供电省份,但其中清洁能源占比较大。例如,青海—河南省(以下简称河南)±800 kV特高压直流输电工程,是全球第1条专为清洁能源外送而建设的远距离输电通道。

(5)陕西、山西。均为“西煤东运”“西电东送”“西气东输”基地,每年调出大量能源,产业发展正处在转型升级的关键时期。两省均为产煤大省,大部分煤炭自产,小部分从外省调入,两省调出大量

煤炭供外省使用。

陕西也是国家重要的能源化工基地。陕西能源生产中原煤占主要部分,水电、风电及其他能发电占比较小,但逐年上升。过高的煤炭消费占比导致能源发展不协调的同时,也产生了严重的环境污染。2019年,陕西原油产量以3 543.23万t的成绩居全国首位。陕西天然气基础储量高达7 587.10亿m³,天然气储量位居全国第3位,产能充足,但消费不足。陕西发展风电目前的障碍有:风能资源分布不均,地理成本限制风力电厂建设,电网建设薄弱,古迹等建筑物给风电机组布局带来挑战;陕西跨长江、黄河两大水系,水能资源丰富,水电建设呈上升趋势,但施工难度较大。陕西拥有丰富的太阳能资源,陕北北部、渭北东部是陕西太阳能资源最丰富的地区。陕西氢能应用目前主要在传统石化行业和汽车行业并与高校展开合作。

山西经济社会发展的支柱产业仍然是能源工业,在全省乃至全国经济发展中仍有不可替代的作用。山西能源工业目前仍然以原煤生产、销售及原煤加工转化生产的二次能源为主。山西一次能源生产量较高,获得的一次能源中40.6%从外省调入,经过加工转换后再将大部分二次能源调给外省市,一次能源生产以原煤为主。山西煤炭资源的储量相对丰富,天然气资源具有很大的潜力,新能源开发取得了一定的成绩。山西正推动煤炭清洁高效开发利用,建设煤炭绿色开发利用基地;推动输气管网互联互通,提高非常规天然气保障能力;制定新能源发展战略,优化能源结构,提高可再生能源比重。山西加快推进光伏风电基地建设,争取2021年全面实现光伏平价上网。

1.1.3 环境与地区经济综述

上文提到以煤电为电源的“西电东送”等工程在改善东部发达地区环境质量的同时,对“北方走廊”的环境有所损害,“北方走廊”在以“能源优势”弥补“经济劣势”时付出的代价是环境恶化。以下以“北方走廊”5个省级行政区中面积最大的新疆为例,将环境与地区经济发展结合分析。

藏晓芳等^[9]对2015年至2020年的新疆空气质量数据进行分析时,将优良天数比例的数值按照(80,100],(60,80],(40,60],(20,40] 4个等级进行划分,其中克拉玛依市、阿勒泰市等6个城市为第一梯队;乌鲁木齐市等3个城市为第二梯队;吐鲁番市等3个城市为第三梯队,喀什市、和田市为第四梯队。各个梯队优良天数的比例上具有明显的分化特征,第一梯队的空气质量非常好,值得全区城市借鉴;第四梯队的空气污染情况比较严重,需要

引起重视。

通过对比新疆火电厂名录发现,新疆大部分火电厂集中在南疆的阿克苏市和北疆的乌鲁木齐市等。“西电东送”的电源电厂主要分布于第二、第三梯队的城市。由于西部风力较大,利于污染物扩散,并且经过长期治理,北疆的空气质量已达到良好水平,但南疆的空气质量仍存在较大问题,这与作为“西电东送”电源的燃煤电厂有关。说明以化石能源为电源的“西电东送”线路给供电地区的环境带来了较大的污染。

1.2 工业重镇

“工业重镇”主要指黑龙江省(以下简称黑龙江)、吉林省(以下简称吉林)、辽宁省(以下简称辽宁)、北京市(以下简称北京)、天津市(以下简称天津)、河北省(以下简称河北)、山东省(以下简称山东)、河南、湖北省(以下简称湖北),人口基数大,工业较发达,能源需求较高。京、津、冀是我国北方工业重点发展地区,科技发达,人才丰富;黑、吉、辽重工业发展历史悠久。

“工业重镇”位于华北平原、东北平原与中原地区,化石能源丰富,以煤、石油、天然气为主,黑、吉、辽3省铁矿、锰矿等金属储量丰富。该区域能源结构以煤、石油、天然气等化石能源为主,开发量较多,但清洁能源开发量较少,导致碳排放总量较高,且污染较为严重。近年来该区域矿产资源日益减少,面临资源不足的挑战。同时,国家大力推广清洁能源,减少化石能源的使用,导致该地区发展受限,经济增速放缓,亟须从能源结构等方面调整改革。

1.2.1 GDP分析

该地区GDP呈平稳上升趋势,但近10年中,地区GDP总量于全国的占比下降。北京、河北、辽宁3省GDP总量较高。除京津外,其余省份人均GDP均低于全国人均GDP。近10年来,河南、北京、河北GDP增长幅度最大,辽宁、山东次之,天津、吉林、黑龙江呈缓慢上升趋势^[10-18]。

北京作为首都,文化、旅游等第三产业占比较大且逐年上升,而第一产业、第二产业逐渐向周边地区转移。2018年,北京人均GDP位居全国第一^[10]。

天津是我国四大直辖市之一,是中国北方最大的港口城市。滨海新区促进着天津的高新技术产业发展,且天津近年来着力发展旅游业,第二、三产业占比较大^[11]。

辽宁曾经是我国重工业大省。“辽中南”工业区是我国重要的重工业基地,第二产业占比较大且生

产总值高,但由于资源枯竭等问题,近年来发展受限,第二产业占比下降,第三产业生产总值逐年提升,占比上升^[13]。

山东经济体量较大,2019年山东GDP为71 067.53亿元,约占全国GDP的7.2%,人均GDP在全国平均水平,近几年第三产业生产总值超过第二产业^[16]。

河南是传统农业大省,第二、第三产业占比大,经济体量较大,但人均GDP低于全国平均水平。

湖北经济体量较大,2019年湖北GDP总量为45 828.31亿元,约占全国的4.6%,其中在产业贡献率中,工业达42.2%,人均GDP高于全国平均水平。近几年第三产业发展较快。

1.2.2 碳排放总量与地区生产总值结合分析

相较于其他地区,“工业重镇”碳排放总量较高。以2017年为例,除第三产业占比较大的北京和天津外,冀、黑、吉、辽地区其他4省碳强度均高于全国平均水平。主要原因有:(1)该地区生活能源需求大;(2)在能源消费结构上,该地区能源结构单一,煤炭仍是该地区主要能源,利用效率低、污染重,在开采和利用过程中对环境有不可逆转的破坏,使该地区碳排放总量增大,2010—2017年“工业重镇”碳排放总量及GDP趋势如图2所示。

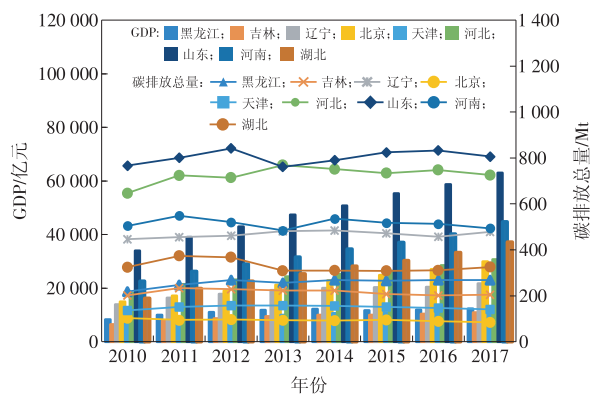


图2 2010—2017年“工业重镇”碳排放总量及GDP趋势

Fig. 2 Total carbon emissions and GDPs in the Important Industrial Area from 2010 to 2017

(1)北京。北京经济发展水平位居全国前列,由于高耗能产业转移和新能源投入,其单位GDP碳排放远小于全国平均值。北京着力发展第三产业,将大量高耗能产业承接给周边省份,使得第一、二产业占比低。北京煤炭消费量成功得到控制,占能源消费总量的比重较小。这得益于北京周边输油管道的建成,二次能源占北京能源消费总量较高。北京水能、风能、太阳能等新能源及可再生能源投入使用较多,节能减排走在了中国前列。

北京天然气供应较充足,但冬季存在化石能源供应不足问题。陕京三线、四线和唐山液化天然气(LNG)项目将满足北京市的天然气需求。然而在冬季严寒时期,北京供暖依然依赖煤等化石能源燃烧供暖,冬季仍会出现化石能源供应不足的问题。

(2)天津。天津经济发展水平较高,碳强度相对较低,适合开发油气资源。作为老工业基地,第一产业占比低,第二产业占比较高,最高达到67.08%。近年政策大力发展港口经济、金融产业,促进低碳经济发展,第二产业占比略有下降,第三产业有所上升。天津本地煤炭资源供给有限,需要依靠其他地区调入,但油气资源和储量相对丰富。天津坐拥原油和海港资源聚集优势,适于发展油气开采、石油化工等产业,满足天津对油气资源的需求^[11]。

(3)河北。“北方重镇”中,河北碳强度位居第一,高耗能产业和化石能源供能增加了碳排放总量,加剧了环境污染。河北主要依赖化石能源供能,且煤炭占比大,由于本地工业化仍处于发展时期,加之大量高耗能产业从京津转移到河北,虽带来了一定经济效益,但碳排放总量较高,污染较严重。近年来煤炭占比下降,水能、风能等新能源在延续发展势头^[12]。

(4)辽宁、吉林。两省以传统能源消费为主,碳强度较高,近年来面临资源枯竭、经济疲软的问题。辽宁是我国东北地区传统工业大省、资源大省与能源消耗大省,碳强度仅次于河北^[13]。吉林省经济发展较落后,目前依然无法摆脱对煤炭和石油等传统化石燃料的依赖^[14]。

两省需调整改革能源结构。辽宁太阳能与风能储量丰富,且拥有红沿河核电站,核能发展潜力较大。吉林省可开发风能、水能等可再生能源,欲解决目前能源困境,促进经济复兴,仍需继续探索。

(5)黑龙江。黑龙江矿产资源丰富,能源较充足,碳强度较高,但节能降耗有一定难度。黑龙江是矿产资源大省,矿产资源占全国已发现矿产的57%,拥有大庆油田等丰富的化石能源储备。黑龙江能源自给自足,且政府出台相关政策支持黑龙江的水电外送,促进黑龙江清洁能源的消纳。但由于工业结构重型化,企业技术落后,设备老化等问题,加大了节能降耗的难度^[15]。

(6)山东。山东能源消费结构单一,一次能源生产以煤炭为主,原油次之,水电、风电和光伏发电占比较小。山东需从外省调入大量能源,也调出部分能源供其他省市使用。例如2019年,山东从外省调入能源约合3 6082.7万t标准煤,本省调出能源

约合2 2325.9万t标准煤,约占调入量的61.9%^[16]。随着资源的消耗和工业的发展,山东能源供应受到限制,目前山东正处于能源生产消费结构优化升级状态,造林总面积稳步扩大,煤炭比重下调,清洁能源比重上升。山东风能、太阳能、核能、潮汐能等新能源具有优越的开发条件,电网建设较为完善,电网接入和市场消纳条件较好。

(7)河南。河南工业耗能多,火电占主导,但近年来占比逐渐下降,正在向环保的风电转型,碳强度近年来不断下降。河南每年从外省市调入大量能源,作为西气东输的受惠地区,弥补了天然气资源缺口。其风能资源开发利用较好,但存在地形气候和地理阻碍。其太阳能真实利用情况并不可观。河南正加大氢能研发投入,但目前储氢、用氢的技术还不够完善,需要技术、人才的支持。

(8)湖北。湖北煤炭资源较稀少但需求量大,每年从外省市调入大量煤炭;湖北资源和环境容量利于发展原油产业。湖北电力主要来源于水电和火电,2019年湖北水电、核电及其他发电约占湖北发电量的50.3%,所产电力部分调出,供其他省市使用^[18]。

1.2.3 环境

“工业重镇”中的东北平原和华北平原,季风气候显著,会出现水资源时空分配不均的问题。

华北平原存在雾霾等环境问题。由于工业结构重型化,化石能源的大量使用,煤炭不完全燃烧带来的PM_{2.5}等污染物的扩散,造成雾霾等环境问题,给公路、铁路、航空、供电系统、农作物生长以及人的身体健康带来不良影响,致使人们的生产生活受到限制。

东北平原化石能源的开采造成的污染较为严重,化石能源的使用加重了温室气体的排放,导致该地区气候发生变化,气温上升使得湿地退化,消耗了东北地区的耕地资源,抑制了第一产业的发展。

1.2.4 碳中和目标评估

“工业重镇”能源结构中化石能源占比较重,碳排放总量较高,清洁能源开发较少。其中京、津两地能源主要依赖其他省市供给,且人才丰富、资金充足,有望较早达成碳中和目标。而河北、辽宁、吉林、黑龙江4省工业重型化,对化石能源依赖严重,耗能较大,但具有较高的风能、水能等可再生能源发展潜力,加大政策支持力度,加速能源结构改变,也有望达成碳达峰和碳中和目标。

1.3 东部集团

“东部集团”主要指上海、江苏、浙江、安徽省

(以下简称安徽)、江西省(以下简称江西)、福建省(以下简称福建)、湖南省(以下简称湖南)、广东省(以下简称广东)。

上海、江苏、浙江、安徽组成我国经济科技重地长江三角洲。长江三角洲位于我国东部沿海、长江入海口周边地区,入海口处河流流量较大,相对西部地区落差较小,可开发水能资源相对较少。因其位于沿海地区,可充分利用海水资源发展核电,同时可利用水上空间进行大型风电建设。

1.3.1 GDP 分析

该区域历年 GDP 总量占全国 GDP 总量的近一半。其中,广东、江苏 GDP 总量最高,上海由于资金和科技优势,GDP 总量也占有优势。

1.3.2 碳排放总量与地区发展结合分析

江苏、浙江、上海、江西、福建、湖南、广东自身能源生产不足以支持本省(市)的能源消费,需从外省市调入或进口能源。由于整体经济较为发达,“东部集团”碳排放总量较高,约占全国碳排放总量的 30%。其中,上海碳排放总量最低,江苏碳排放总量最高,从碳强度来看,安徽、江西最高,而上海、广东最低,2010—2017 年“东部集团”碳排放总量及 GDP 趋势如图 3 所示^[1,19-25]。

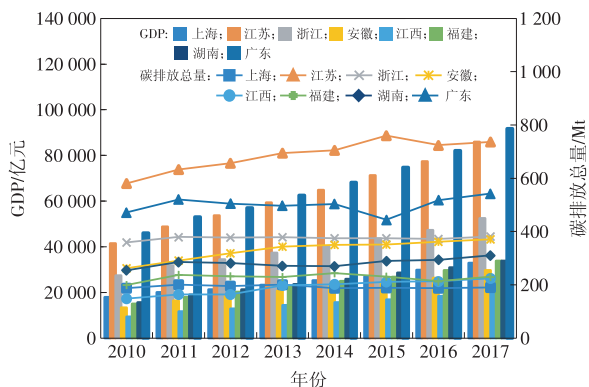


图3 2010—2017年“东部集团”碳排放总量及GDP趋势

Fig. 3 Total carbon emissions and GDPs in the East Group from 2010 to 2017

(1)上海。上海能源特征为“能源消费型城市+能源转运点”。上海经济发达,一次能源生产量保持在极低的水平,不具备大规模发展太阳能和风能的条件,能源获取主要依靠跨区域调配以及进口,短时间内难以摆脱对外地的能源依赖,是典型的能源消费型城市。同时,上海还承担着能源转运点的作用,获得的能源约 50% 供本市消费,其余调出本市,调出的能源量有望持续走高。

上海的 GDP 较高,而碳排放总量极低,但其是否算绿色高质量发展有待商榷。一般 GDP 高的地

区工业发达,碳排放总量也高,但上海近 20 年的碳排放总量均低于全国平均水平。然而,上海周围省份如江苏、浙江、安徽碳排放总量均高于全国平均水平,这些碳排放总量包括了从上海转移出去的重工业的部分。因此,上海的高 GDP 和低碳排放总量是以损害周围“邻居”的利益为代价,不能算绝对的高质量发展。

(2)江苏、浙江。江苏一次能源生产量远小于能源消费量。以近 15 年的数据为例,江苏一次能源生产量仅占能源消费量的 9%~14%,且这一比例仍在减小^[20]。江苏以“调入能源供本省发电+调入电力”为供能模式,浙江、上海也具有类似特点。江苏和浙江短期内仍需要调入大量能源以支持工业消费,但这种依赖性有望逐渐降低。江苏自身新能源发电以光伏和风电为主,光伏占比最多^[20]。浙江的水资源较丰富,水能开发以小水电为主,光伏产品生产较多^[21]。由于技术优势,江浙一带有望形成相对完整和优质的太阳能产业链,辐射至周边地区。

(3)安徽。安徽通过调入能源以供本省发电,并向其他地区供给部分电力。该地区近 10 年的能源消费量略大于一次能源生产量,其差值近 8 年有增大趋势。电力生产量略多于消费量,供给其他地区的电力有望上升。水能较丰富但有限,发电增长较快,但水电占比持续下降,对外地能源的依赖性将有所上升^[22]。

(4)江西。江西一次能源较缺乏,且高度依赖煤炭,从外省调入煤炭供本省发电,本省发电中火电占主导。2019 年江西能源从外省调入和进口量分别占能源消费总量的 79.3% 和 10.4%。2018 年,江西煤炭消费量占能源消费总量的比重高达 64.4%,高于全国 59.0% 的平均水平。2019 年,煤炭从外省调入量占煤炭可供量的 93%^[23]。

近年来,在多管齐下全面推进节能降耗工作中,江西煤炭消费量得到明显控制,“高碳型”能源结构向“低碳化”改良。2015—2019 年,原煤占能源生产总量比重大幅下降,煤炭占能源消费总量比重略有下降。

江西地下矿藏丰富,是我国矿产资源配套程度较高的省份之一,江西环保工作成果显著。2014—2019 年,江西森林覆盖率达 63.1%,位居全国第一;2019 年江西城市污水处理率达 95.39%,生活垃圾无害化处理率达 100%。

(5)福建。福建能源生产中水电、核电占大部分,原煤比重不断下降,2019 年福建水电、核电比重分别为 30.2%、42.4%。在发电量中,火电占发电量一半以上,与水电、核电、风电及其他发电的发电量

差距逐渐缩小。福建能源消费以煤炭、石油为主,水电、核电约占五分之一,大部分能源从省外调入,部分能源调出省外^[24]。

福建清洁能源发展较好。由于临海,福建风能资源充足,风电平均利用小时数居全国第一,目前福建省政府正继续推进陆上、海上风电的规模化开发和管理。根据中长期核电规划,福建在 2020 年建成投产 40 GW 核电机组,开工建设 18 GW 核电机组。福建是中国太阳能资源的中等类型区,东南部太阳辐射量大。

(6)湖南。湖南煤炭、石油、太阳能、风能资源相对较差,高度依赖调入能源。湖南水能资源丰富,截至 2017 年年底,全省已建成各类水电站 4 565 座,总装机 16.14 GW,其中装机 50 MW 以下的小型水电站 4 524 座,总装机 6.28 GW。湖南现有桃花江核电站,地热能资源丰富,但开发利用力度较小。

(7)广东。广东大部分能源依赖外省调入和进口,在其获得的能源中,大部分被调至外省或出口。广东海上风电、核电发展前景较好。截至 2019 年 12 月,国内正在运行的核电机组有 47 台,其中 14 台位于广东,此外还有 8 台在建。

1.3.3 环境分析

从近几年空气质量指数来看,“东部集团”部分地区的空气质量并不乐观,空气质量指数(AQI)为“良”的时段居多,这与江苏、浙江、安徽等地的重工业发展有关,应因地制宜开发新能源,加强气候治理,倡导绿色低碳、节能减排。

1.4 绿色地带

“绿色地带”包括贵州省(以下简称贵州)、云南省(以下简称云南)、四川省(以下简称四川)、重庆市(以下简称重庆)、广西壮族自治区(以下简称广西)、海南省(以下简称海南)和西藏自治区(以下简称西藏)。

该区域位于我国西南部,处于我国第一、二阶梯交界处和地壳板块交界处,地势落差较大,水能和地热能丰富,目前水能开发占主体地位;纬度较低,太阳能等清洁能源丰富,属于我国清洁能源集中区域。其中,四川以其丰富的太阳能、水能、地热能和风能占据主导示范区地位。之所以将该区域称为绿色地带,是因为未来我国清洁能源发展和能源结构调整有望集中于该区域^[26-32]。

1.4.1 GDP 分析

由于该区域位于我国西南地区,区域较为闭塞,区域生产总值较低,经济发展较为落后,除四川省外其他四省 GDP 均低于全国平均值。该地区清洁能源开发潜力大,虽然近年来国家逐渐重视清洁

能源的开发和利用,但现有条件下该地区在清洁能源开发和向外输送电力的同时,却未获得等价经济回报。

四川引领该区域发展,GDP 较高,近年来第三产业发展加快,第二产业保持稳定增长。

重庆地域面积较小,但 GDP 产值只略低于全国平均水平,作为我国西部地区唯一的直辖市,临长江,地理位置优越,发展潜力大^[27]。

云南和贵州整体经济发展水平较弱,GDP 明显低于该区域内其他省份。但近年来大数据等产业的入驻正在带动当地快速发展^[28-29]。西藏因其特殊的地理位置等因素,经济发展水平低^[30]。

广西 GDP 较落后,人均 GDP 低于全国平均水平。第三产业占比上升,2019 年达到地区 GDP 的 50.7%^[31]。

1.4.2 碳排放总量分析

由于该区域经济发展水平较低,工业等发达程度较低,而清洁能源丰富,因此该区域碳排放总量明显低于东部省份。在该区域内,除西藏发展较为落后外,碳强度四川最低,贵州最高,2010—2017 年“绿色地带”碳排放总量及 GDP 趋势(西藏碳排放总量数据暂缺)如图 4 所示。

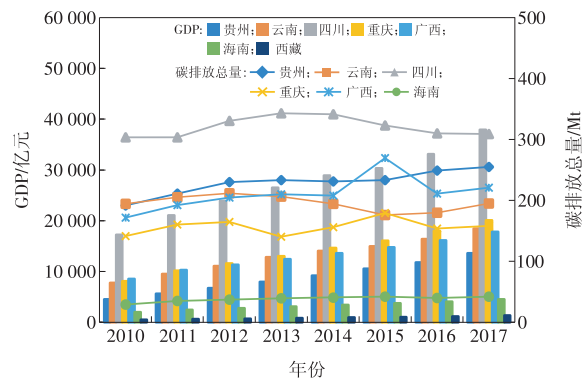


图 4 2010—2017 年“绿色地带”碳排放总量及 GDP 趋势

Fig. 4 Total carbon emissions and GDPs in the Green Zone from 2010 to 2017

(1)四川。四川是该区域的示范中心和发展中心,在该区域中经济最发达,碳强度最低,清洁能源的开发和输出较好。四川大规模发展水电、太阳能发电、风电等清洁能源,逐步加大对地热能的开发。水电占发电量的比重较大,开发技术较为成熟。并鼓励居民使用生物质能,进行屋顶等区域小规模太阳能发电等。四川在调整自身结构的同时,也可为周边地区输出水电,减少周边地区对传统能源的消耗,从而降低碳排放总量^[26]。

(2)重庆。重庆的 GDP 碳排放总量较低,能源

主要靠外部输入。重庆大量依赖四川的电力和天然气供应,川渝能源一体化建设,在该地区应内部调整能源结构,减少对传统能源的利用,鼓励使用清洁能源是发展方向^[27]。

(3)云南、贵州。云南与贵州是“西气东输”起始点,经济较落后,但碳强度较高,丰富的清洁能源并未充分开发。云贵水能资源可开发量大且对环境影响较小,可进一步加大开发力度,作为未来清洁能源的主要供给部分。可因地制宜利用地热资源供热,发展温泉旅游产业;鼓励居民利用生物质能替代化石能源燃烧;太阳能、风能资源品位不高,无法大规模开发利用,但可充分利用屋顶等区域发电。在西气东输项目中,云南与贵州作为起始点,利用水电与坑口电站为电源,为南部的广东等地区提供电能。

(4)西藏。西藏因其地理位置和环境等特殊因素,发展较落后。由于经济欠发达,工业等发展程度低,西藏对传统能源的使用少,碳排放总量低。同时,西藏处于高原地区,环境气候较为恶劣,环境脆弱,未来的发展方向主要是对水能、太阳能、地热能及风能等清洁能源的开发。

(5)广西。广西能源消费总量远高于能源生产总量,后者大部分来源于电力及其他能源。广西水能资源丰富,具备建设梯级电站的优越地理条件,水能理论蕴藏量 17.52 GW,可开发利用 14.00 GW。广西煤炭资源匮乏,煤质较差,产能有限,对外依赖程度很大。广西正积极发展水电、核电、太阳能发电,逐渐形成“水电为主,火电为辅,大中小并举”的态势。

经过以上分析可以看到,该区域清洁能源丰富但 GDP 较低,同时部分地区还存在碳强度高的问题,其中云南与贵州最为突出。例如西电东送项目中,云南作为清洁能源输出省份,在自身能源流失的同时没有得到明显的经济收益,这样的模式不利于云南的进一步发展和减排。再如云南和贵州外调的能源部分来自“坑口电站”,为减少运输途中的损失和造成的污染,“坑口电站”就地将煤炭转化为电力资源,使得本应在广东、华东地区排放的温室气体在云贵排放,广东等经济发达地区只接收电能,减少了其碳排放总量。这种经济发达地区在牺牲其他地区的前提下,将自身的碳排放降低的现象是目前我国能源调配不平衡之处,也是目前绿色发展的重要矛盾。

1.4.3 环境分析

除四川煤矿和石油的开采和大量燃烧造成了一定的环境污染外,云南、贵州等地因工业较为落

后,污染程度较低,但“坑口电站”的建设给当地增加了污染源,对环境有一定的不利影响。近年来,云南与贵州以其独特的气候吸引许多高科技公司入驻,当地部分地区的凉爽气候利于建设厂房,减少制冷供热等能源利用。云南与贵州也应充分利用这一趋势,发展当地的高新技术产业和服务业等,增加当地 GDP,提高当地居民生活水平。

西藏位于我国青藏高原上,气候环境独特,是我国重要的环境保护地区之一。西藏未来的发展要以确保环境不受破坏为前提,尽量少进行工业生产,利用清洁能源,积极发展旅游业等第三产业。

1.4.4 “绿色地带”展望

“绿色地带”拥有丰富的清洁能源,其中西藏可能是所有省份中最早达到碳中和的省份。在技术支持下,清洁能源的开发利用可使该地区较早实现碳达峰和碳中和,并在此基础上成为我国清洁能源的主要生产地区,供给东部等能源需求量较大的省份。清洁能源跨区域调配,既可以满足东部能源需求大省的能源供给,同时能源的流通也可作为绿色地带带来经济效益,提高当地人民的生活水平。

2 问题建议及预测

2.1 问题分析

目前,我国能源发展存在着 3 方面的不平衡:地区内——清洁能源与传统能源的生产和消费不平衡,地区间——地区能源的需求和供给不平衡,以及绿色能源与高 GDP 发展不平衡,这些问题具体体现在以下方面。

(1)高能耗重污染,GDP 低质量发展。传统高污染能源占主导地位,以高碳排放总量和环境污染为代价带动地区生产,导致地区 GDP 并不“清洁”。以东三省为例,高碳排放总量换来的 GDP 增长并不能持续发展(直接因为人口逃离导致东三省人口锐减),形成了经济疲软的现状,因此需要合理改革能源结构,实现绿色高质量发展。

(2)为追求经济环境协调发展,将污染转移至其他地区。高质量发展并不能单纯用高 GDP 和低碳排放总量衡量,如果为追求本省市高质量发展而把碳排放转嫁给周围省市,则对整体的绿色发展并无实质上的促进作用。例如东部省市中,上海作为大都市,人口密集,第二、三产业发达,对能源的需求量大,因大量依赖输入的电力,上海本地碳排放总量较低。而上海碳排放降低的前提是重污染高排放产业的外迁,将自身碳排放总量增加到了周边地区。因此,周边地区是目前能源结构调整的重点地区。

(3)清洁能源未充分转化为经济效益。“绿色地带”的清洁能源丰富,但经济发展较慢,销售清洁能源可为该地带带来相当的经济利益,但事实并非如此。一方面,绿色地带的清洁能源并未被充分开发利用;另一方面,由于未形成成熟的市场规范,“能源贩子”通过低买高卖的形式,将清洁能源销售至其他地区,造成“绿色地带”省市的利益损失。

2.2 建议

(1)GDP 品位,给 GDP“加紧箍咒”。由于 GDP 是一个较为笼统的数字,其值并不能反映地区是否高质量发展,一些省份甚至为追求高 GDP 而牺牲绿色发展,因此,我们在追求绿色高质量发展的角度提出“GDP 品位”的措施。

GDP 品位,根据产生 GDP 的碳排放总量将地区 GDP 划分不同等级(黑、灰、绿),施加权重系数(0.4~1.0)。传统高污染能源占比较大的地区为黑,权重系数最低,清洁能源规模较大的地区为绿,权重系数最高,处于二者中间的地区为灰,权重系数位于二者之间。将 GDP 初始值乘以权重系数,得到 GDP 的加权值($\text{GDP 加权值} = \text{GDP 初始值} \times \text{权重系数}$),该值可反映该地区 GDP 的清洁程度即品位。

一方面,不同地区的权重系数不同,高污染地区的 GDP 最终值将会打折扣,从而倒逼该地区进行能源结构改革,追求高质量发展;另一方面,由于能源输出地区和能源购入地区之间存在 GDP 品位差异,确定 GDP 品位有助于了解能源调动情况。

(2)给绿色能源上户口,制定参考定价标准。首先,通过 GDP 权重系数,给清洁程度较高的地区能源颁发绿色证书,从而降低该地区能源销售的壁垒。

采取一系列鼓励政策,推动企业等加大清洁能源的使用;同时,通过规范能源市场,制定能源参考定价标准,从而满足能源输出地区的经济收益与能源购入地区的能源需求。

(3)建立能桥,统筹能源调配。能桥,是指在“3060 双碳目标”指导下,为解决中国能源问题,面对能源行业提出的、旨在规范行业行为的一套结构和政策系统的总称。

能桥的本质是一种结构网络,沟通各个能源区划,由桥节点、桥干构成。节点为能源的调配提供了有序的通道和监督,通过对各节点地区中能源转运、市场买卖数据的分析,可知我国四大能源区域之间的能源调动情况,即能源从哪里来、到哪里去,

为监管清洁能源“低买高卖”行为提供数据参考;桥干为能源的调配指明路径,即优化能源运输通道,提高能源运输效率。例如可将上海设立为能桥节点,由分析可知,上海能源接收量中约 50% 并转外省,承担了能源中转点的作用。

能桥节点将作为试点,率先进行能源结构改革,随着试点能源结构的优化辐射带动周边地区的能源发展。能桥节点具有一个能源地区的典型能源特征,经过能源结构改革和环境治理,提升传统能源利用效率,推动清洁能源发展,推动减碳消碳、污染治理,为周边地区提供良好范本。

同时,将设有专门机构负责监督、调控能桥的运作,并监督、规范能源市场,处罚、规避能源市场的不规范行为,使我国能源调配流通井然有序、各区域互惠互利。

3 结束语

本文在大量数据系统性分析的基础上对我国目前能源全景进行分析总结,将我国分为“北方走廊”“工业重镇”“东部集团”和“绿色地带”4 个区域,区域内部各有优劣,区域之间也存在联系。针对发现的关键问题,依据各区域优势互补、均衡发展原则提出建议,将优化能源结构与发展经济相结合,实现我国经济绿色高质量发展。

(1)能源全景。1)“北方走廊”经济较落后,矿产资源丰富,向东部地区输送电力、天然气等能源的同时,自身碳排放总量增加。可建立光伏风电能桥,利用当地资源优势,加快光能和风能的利用。2)“工业重镇”工业较发达,能源需求较高,化石能源开发量较多,总碳排放总量较高,污染较为严重,部分地区经济疲软。可充分发挥资金、人才、技术优势,加速能源结构改变。3)“东部集团”普遍为能源消费型地区,其中上海还承担着能源转运点的作用,该区域空气质量待提升。可利用市场、资金、技术优势,建立光伏风电区块,实现区域内部能源互补。4)“绿色地带”经济、工业发展水平较低,清洁能源丰富,可建立水热能桥,以四川为能桥节点,统筹区域水能、地热能等绿色能源的综合利用,为其他地区提供能源。南海地区包含有广阔的海洋空间,可建立海陆风电能桥。

(2)问题建议与预测。1)以 GDP 品位为标准的评价系统,为 GDP 的计算增加权重系数,使地区在经济发展的同时兼顾环境与碳排放等问题,督促地

区进行高质量发展。2)为绿色能源“上户口”,为绿色能源提供“身份证”,规范能源市场,鼓励和支持绿色能源产业的发展。3)建立能桥,沟通各个能源区划,随着能桥节点即试点能源结构的优化辐射带动周边地区的能源发展。

致谢:感谢天津大学李浩溥、王鑫森、姚熙原、赵蓓含、富星语为本文撰写提供的帮助。

参考文献:

- [1]中华人民共和国统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [2]内蒙古自治区统计局.内蒙古统计年鉴[M].呼和浩特:中国统计出版社,2019.
- [3]陕西省统计局.陕西统计年鉴[M].西安:中国统计出版社,2019.
- [4]宁夏回族自治区统计局.宁夏统计年鉴[M].银川:中国统计出版社,2019.
- [5]新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].乌鲁木齐:中国统计出版社,2019.
- [6]青海省统计局.青海统计年鉴[M].西宁:中国统计出版社,2019.
- [7]山西省统计局.山西统计年鉴[M].太原:中国统计出版社,2019.
- [8]甘肃省统计局.甘肃统计年鉴[M].兰州:中国统计出版社,2019.
- [9]藏晓芳,邓文叶,王志煌,等.新疆“十三五”城市空气质量评价分析[J].新疆环境保护,2021,43(1):1-9.
ZANG Xiaofang, DENG Wenye, WANG Zhihuang, et al. Evaluation of urban air quality in Xinjiang during the 13th five-year plan period [J]. Environmental Protection of Xinjiang, 2021, 43(1): 1-9.
- [10]北京市统计局.北京统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [11]天津市统计局.天津统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [12]河北省统计局.河北统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [13]辽宁省统计局.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [14]吉林省统计局.吉林统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [15]黑龙江省统计局.黑龙江统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [16]山东省统计局.山东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [17]河南省统计局.河南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [18]湖北省统计局.湖北统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [19]上海市统计局.上海统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [20]江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [21]浙江省统计局.浙江统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [22]安徽省统计局.安徽统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [23]江西省统计局.江西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [24]福建省统计局.福建统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [25]广东省统计局.广东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [26]四川省统计局.四川统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [27]重庆市统计局.重庆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [28]云南省统计局.云南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [29]贵州省统计局.贵州统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [30]西藏自治区统计局.西藏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [31]广西壮族自治区统计局.广西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [32]海南省统计局.海南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

张俊锋(1985—),男,天津人,讲师,工学博士,从事燃料电池、电化学、催化剂、电极等研究(E-mail:geosign@tju.edu.cn)。

赵军*(1964—),男,天津人,教授,工学博士,从事中低温热能高效利用与分布式能源系统理论及技术、能源系统中减排技术与新方法等研究(E-mail:zhaojun@tju.edu.cn)。