

# 基于三维结构分析的碳排放总量控制研究

## ——以浙江省为例

吴红梅,陈丽君\*,何恒,吴君宏,林成森,高铁

(浙江省发展规划研究院,杭州 310012)

**【摘要】**控制碳排放总量是能源环境治理的重要手段,是高质量发展的应有之义,更是我国完成2030年前碳达峰、争取2060年前实现碳中和的必然要求,但目前国家和地方并未明确实行碳排放总量控制。本研究以浙江为例,从能源生产侧、能源消费侧、区域三个维度,分析识别出浙江省碳排放总量控制的重点和难点:能源生产侧减排的重点在于提高非化石电力占比,难点在于推进存量火电机组的碳减排;能源消费侧减排的重点在于控制新上重大产业项目排放,难点在于控制第三产业和居民生活领域碳排放;区域减排的重点在于优化产业布局和用能结构,难点在于对地区碳排放总量缺乏有效约束。并提出电力结构低碳化、重点行业控碳、试点城市率先达峰和政策协同四方面突破点,争取到“十四五”末浙江省碳排放总量得到有效控制,为全国碳排放达峰做出浙江贡献。

**【关键词】**碳排放总量控制;生产侧;消费侧;突破点

中图分类号:X22

文献标识码:A

文章编号:1673-288X(2021)01-0071-06

DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202101071

当前,气候变化急剧加快,环境恶化程度远超预期,全球正面临气候关键临界点<sup>[1]</sup>。2015—2019年大气中二氧化碳(CO<sub>2</sub>)水平和其他关键温室气体含量均持续上升到了历史新高,全球气温比工业革命之前上升了1.1摄氏度。相较2011—2015年,气温升高了0.2摄氏度,这直接加剧了冰盖融化、海平面上升以及极端天气事件的频发<sup>[1]</sup>。国际社会已达成共识,目前面临的气候变化的严峻形势远超过了10年前的预测。《BP世界能源统计年鉴》指出,“世界正在走一条不可持续的发展道路”<sup>[2]</sup>。《IPCC 1.5摄氏度特别报告》指出,要实现1.5摄氏度目标,全球碳预算总量仅为4200亿吨~5700亿吨,而目前正以每年420亿吨的速度被消耗。IPCC规划指出要实现1.5摄氏度目标,到2030年,全球碳排放总量需要比2010年水平减少45%,并在2050年实现碳中和。我国作为负责任的大国,始终是气候协议的坚定践行者。近十年来我国制定并实施了一系列政策,积极推动产业结构绿色化、低碳化转

型,以应对气候变化、减少温室气体排放,从而实现习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上作出“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”的重大宣示。浙江省作为经济发达地区和能源消费大省,在助力中国实现达峰目标和碳中和愿景中起到重要作用。同时,浙江省作为习近平总书记“两山”理念的诞生地,在应对气候变化方面先行先试、多措并举,取得了很好的成效,近年来温室气体排放增长趋缓。但在人口快速增长和传统产业转型动力不足的压力下,浙江省低碳经济发展整体面临较大压力<sup>[3]</sup>。为了更好地推动碳排放达峰和碳中和,有必要对浙江省碳排放总体情况进行梳理,识别控制碳排放的重点和难点,并找到突破点,为浙江省碳排放总量控制的实施及相关政策的制定提供有效参考。

目前碳排放领域研究众多<sup>[4]</sup>,从驱动因素、减排路径、政策机制等角度已经做了诸多讨论。

**作者简介:**吴红梅,教授级高工,博士,研究方向为能源、应对气候变化和生态等

**通讯作者:**陈丽君,高级工程师,硕士,研究方向为能源和应对气候变化

例如马峥、崔豫泓利用结构分解模型对我国碳排放量变化进行因素分解研究,旨在识别碳排放量变化的驱动因素<sup>[5]</sup>。刘俊伶等(2019)利用自下而上建模的方法探讨了我国工业部门中长期低碳转型可能的路径<sup>[6]</sup>。段宏波、杨建龙(2018)利用我国能源—经济—环境系统集成模型,分析了不同政策组合优化对我国实现碳达峰与非化石能源发展目标的交互关系<sup>[7]</sup>。但是,已有文献从省域视角的研究尚不足。现有的浙江省低碳研究主要分为两类,一类是基于模型和复杂指标的情景分析和定量研究<sup>[8-10]</sup>,另一类是基于概念和政策探讨的定性研究<sup>[11]</sup>。这两类研究都缺乏对浙江省当前碳排放关键因素的分析,对相关政策制定的指导作用有限。本研究从能源生产侧、能源消费侧、区域三个维度识别出浙江省碳排放的重点和难点,并针对性地提出电力结构低碳化、重点行业控碳、试点城市率先达峰和政策协同等对策建议。

## 1 浙江省实行温室气体总量控制的背景及必要性

从国际看,“净零”碳排放已成为国际社会应对气候变化的新方向。2015年通过的《巴黎协定》确立了以国家自主贡献为主体的全球气候治理机制,标志着全球气候治理进入了新阶段。2018年的《IPCC 1.5摄氏度特别报告》指出,实现1.5摄氏度目标要求全世界在2050年左右实现“碳中和”,也标志着国际社会在碳排放总量控制上形成共识。2019年举行的联合国“气候行动峰会”上,66个国家承诺在2050年前达成“碳中和”目标,碳排放量达到“净零”水平。“净零”碳排放已成为国际社会应对气候变化的发展主线,将指导各国未来应对气候变化工作的开展。在美国宣布退出《巴黎协定》的背景下,国际社会也期待我国在全球气候治理中发挥更大作用,承担更多的减排和出资义务,给我国应对气候变化工作带来更大的挑战。

从国内看,温室气体排放总量达峰是我国近期应对气候变化工作的中心任务。党的十九大提

出“引导应对气候变化国际合作,成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者”的重要论断。应对气候变化是我国参与国际治理的一面大旗,更是我国大国责任的集中体现。我国政府向联合国提交的《国家自主贡献》中提出,中国二氧化碳排在2030年左右达到峰值并争取尽早达峰,这是我国向国际社会的重要承诺。在现今国际背景下,要求我国必须不折不扣完成承诺目标,并争取超预期完成目标。从现实情况看,单纯的强度控制很难实现达峰,推动碳排放总量控制已成为完成达峰目标的必要手段。为实现温室气体排放总量达峰,《“十三五”控制温室气体排放工作方案》明确提出“推动部分区域率先达峰”,北京、上海、武汉、江苏、新疆等多个省区市已提出碳排放达峰时间,部分地区已经明确温室气体排放总量峰值。

从浙江省内看,温室气体排放总量控制是推动经济高质量发展和建设美丽浙江的内在要求。浙江省作为东部发达省份,在推动应对气候变化和节能减排方面成效显著,但目前能源“双控”任务艰巨,尚未正式提出碳排放达峰目标。与能源消费总量控制相比,碳排放总量控制制度在有效降低煤炭等高碳能源使用增量及其占比的同时,不限制清洁能源尤其是零碳能源的增长<sup>[12]</sup>。因此可以给地方政府一定发展空间,在控煤和发展可再生能源之间寻求平衡。因此,无论是考虑地方发展空间,还是保障碳排放达峰,以及推进能源“双控”,都可考虑在重点区域、重点行业甚至全省范围内,实施碳排放总量控制。

## 2 浙江省实行碳排放总量控制的重点及难点

浙江省能源领域碳排放占其碳排放总量的90%以上<sup>[13]</sup>,实行碳排放总量控制应聚焦能源领域。因此,本研究重点关注能源生产、能源消费和区域减排。本文基于2018年浙江省能源平衡表数据测算得到,2018年浙江省能源领域碳排放量为4.5亿吨。

### 2.1 能源生产侧的减排重点和难点

目前,电力生产供应是浙江省最大的碳排放

源,煤电等高碳电力占主导。未来碳排放总量控制的重点在于提高非化石电力占比,难点在于推进存量火电机组的碳减排。

根据2018年能源平衡表测算,浙江省电力供应排放占能源活动排放的65%,是最大的排放源。其中,省内发电(含集中供热)碳排放约2.4亿吨,占能源消费排放总量的52%;外来电碳排放0.5亿吨,占能源消费排放总量的13%<sup>[14]</sup>。而2010年该比重仅为5%<sup>[15]</sup>,主要是因为来自安徽和宁夏等高碳排放区域的火电电量增加较快,其电力排放因子均高于浙江省省网平均排放因子(表1)。

表1 浙江省电力供应结构及对应排放因子

电力供应来源	电量/ (10 <sup>8</sup> kW·h)	排放因子/ (kg CO <sub>2</sub> /kW·h)
浙江省全社会用电量	4533	0.5246
其中:外来电力调入		
安徽电网(煤电)	371	0.7759
宁夏电网(煤电)	231	0.6195
四川电网(水电)	335	0.1031
湖北电网(水电)	74	0.3574
其他	83	—

注:各省(区)网平均排放因子来自生态环境部考核数据。

浙江省电力生产供应结构呈现高碳化。如图1所示,浙江省现有电力供应结构中煤电占比67.4%(省内53.5%、省外13.9%),非化石电力占比28.4%(省内18.7%、省外9.7%),气电占比4.2%,电力供应结构总体以火电为主。

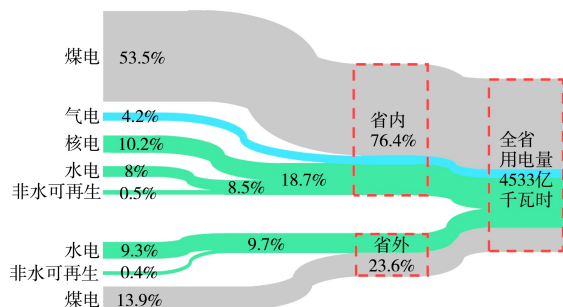


图1 浙江省2018年电力生产供应结构图

能源生产侧碳减排的重点在于提高非化石电力占比,难点在于推进存量火电机组的碳减排。电力生产供应环节的低碳化对整个能源结构的低碳化极为重要,也是确保高度电气化实现低碳能源系统转型的关键。随着现代化建设的推进,电气化水平将越来越高。本研究对浙江省“十四五”时期的电力需求和供给进行了初步预测,“十四五”时期浙江省电力需求将维持中速增长,在规划的核电项目准时投产,海上风电、光伏等可再生能源项目进展顺利,白鹤滩水电等入浙顺利,的情况下,新增电力需求可主要由非化石电力满足。但若上述项目进展滞后,则可能需要增加煤电利用时间甚至需要新上清洁煤电项目,形成高碳锁定效应,碳减排压力将进一步加大。同时,为满足电力需求,预计未来5—10年浙江省存量煤电机组担任主力电源的地位不会改变,煤电机组出力仍将保持在较高水平。考虑到浙江省的煤电机组供电标准煤耗已处于相对先进水平,效率提升空间有限,技术减排难度加大。

## 2.2 能源消费侧的碳减排重点和难点

浙江省第二产业碳排放占比有所回落,部分高排放行业基本达峰,第三产业和居民生活碳排放增速较快(图2)。未来能源消费侧碳减排的重点在于控制新上重大产业项目排放,难点在于控制第三产业和居民生活领域碳排放。

纺织、建材、钢铁等关键排放行业已基本达峰。根据浙江省能源平衡表、统计局月度材料、能源白皮书及能源发展报告相关数据测算,2005—2018年浙江省第二产业碳排放占总排放的比重最高达74%。随着技术进步和产业结构优化调整,2018年第二产业碳排放占比已回落至65%。建材、钢铁、石化、纺织、造纸<sup>①</sup>为重点监测的高耗能行业,也是工业排放前五大行业,占排放总量的37%左右。其中,建材行业“十一五”期间能源消费和碳排放已率先达峰、“十三五”期间趋于稳定;钢铁、纺织、造纸等行业“十二五”期末能源消费和碳排放也基本达峰。但同时,随着舟山绿色

①根据浙江省统计局公布的数据,建材、钢铁、石化、纺织、造纸等行业能耗及碳排放为规模以上工业口径。

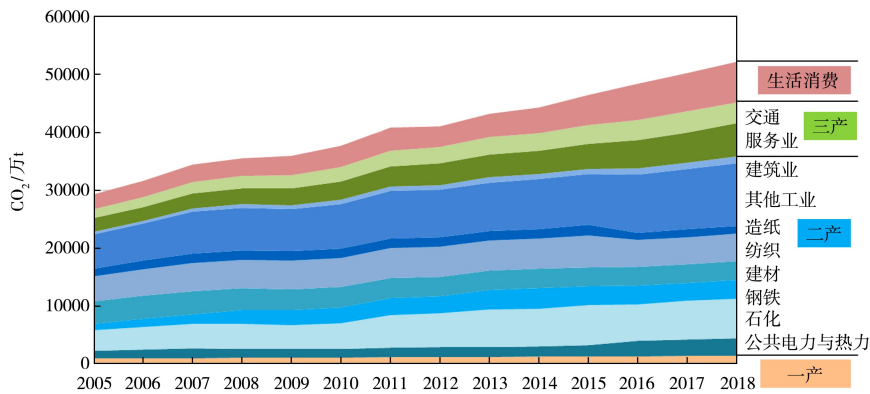


图2 终端用能行业排放趋势图

石化基地炼化一体化项目、镇海炼化扩建项目等重大石化项目的落地,石化行业碳排放将迎来较快增长期。

能源消费侧碳减排的重点在于控制新上重大产业项目的碳排放,难点在于控制第三产业和居民生活领域碳排放。根据国家重大战略项目布局,浙江省陆续新上一批高耗能项目。尤其是舟山绿色石化一二期 4000 万吨/年炼化项目,对浙江省碳排放总量控制带来巨大压力。同时,第三产业和居民生活碳排放增速较快,碳排放以交通和建筑耗能产生为主。参照发达国家经验,工业、交通和建筑等行业基本形成碳排放“三分天下”的局面<sup>[16]</sup>。2005—2018年第三产业、居民生活能源消费分别增长了2.55倍和2.59倍,碳排放量分别增长了1.4倍和1.5倍,2018年碳排放占比分别达到18%和13%,成为增速较快且碳排放占比越来越大的排放源。

### 2.3 区域碳减排重点和难点

从区域碳排放看,宁波、杭州、绍兴、嘉兴等为高排放区域<sup>[17]</sup>,未来增量也大。高排放区域碳减排的重点在于优化产业布局和区域用能结构,难点在于对地区碳排放总量缺乏有效约束。

宁波、杭州、绍兴、嘉兴等为高排放区域。根据对浙江省11地市能源消费总量和能源消费结构等进行的测算,宁波、杭州、绍兴是浙江省碳排放总量最大的三个城市,排放量占全省排放总量的一半(图3)。杭州、宁波、温州、嘉兴、金华、衢州六个国家低碳试点城市排放量占全省的70%以上。如图4所示,宁波、嘉兴、台州作为全省能

源及沿海工业基地,衢州作为全省化工、钢铁基地,能源消费均以化石能源尤其煤炭为主,单位能耗碳排放远高于其他设区市。

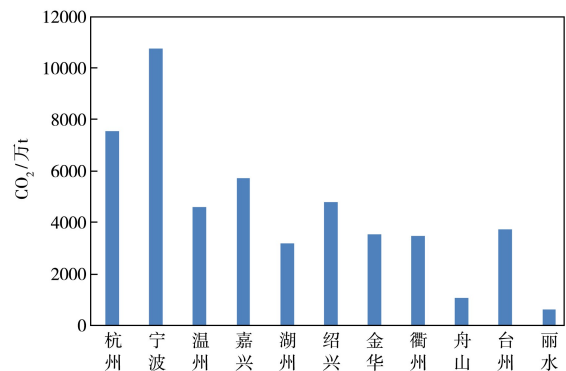


图3 各设区市2018年能源活动二氧化碳排放量

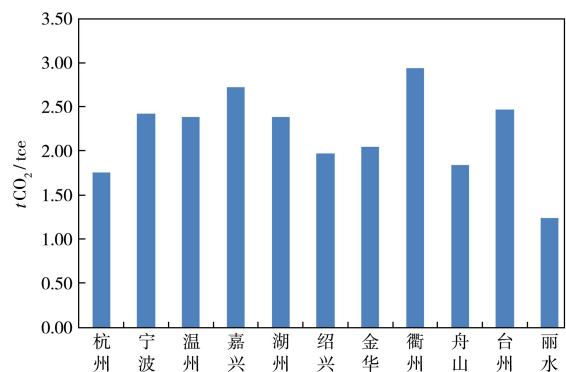


图4 各设区市2018年单位能耗碳排放

未来高排放区域碳减排的重点在于优化产业布局,难点在于对地区碳排放总量缺乏有效约束。随着长三角一体化发展国家战略的实施和浙江省“四大”建设深入推进,未来碳排放增量主要集中在杭州、宁波、嘉兴、绍兴等大湾区域,也是现有

碳排放较高的区域。高能耗项目集中在宁波、舟山等地,这些地区面临着巨大的碳总量控制压力。杭州等非工业型城市则因新增建筑、交通、数据中心等耗能,碳排放量维持在较高水平,近期较难达峰。近年来,浙江省通过碳排放强度指标考核,区域碳减排取得了一定的成效。但由于大多数重点排放区域尚未提出明确的达峰目标和路径,或虽提出达峰目标但力度不足,对碳排放总量控制缺乏有效约束。

### 3 浙江省实行碳排放总量控制的突破点

#### 3.1 聚焦电力结构低碳化,控制能源生产排放

进一步提高省内非化石电力占比。重点确保核电、海上风电、分布式光伏、抽水蓄能电站等非化石能源项目及时投产。因地制宜,研究适时适度放开陆上风电开发政策。在满足全省电力需求的基础上,进一步优化外来电结构。新增外来电坚持以非化石电力为主,确保白鹤滩水电至浙江特高压直流输电工程投产,在保障电力安全供应的前提下降低高碳区域电力入浙比例。探索存量火电机组低碳化改造,逐步摆脱高碳锁定效应。进一步提高火电机组能效,降低电厂自用电率。统筹减碳、控煤、减排、经济性等多重目标,研究适当增加气电装机发电小时数,降低火电机组碳排放整体水平。借鉴广东省华润海丰电厂碳捕集测试平台示范经验,通过财税激励、增加发电小时数、提高上网电价等方式,鼓励和支持技术先进的火电机组率先开展碳捕集、利用与封存(CCCS)示范试点。

#### 3.2 聚焦“控增量、降存量”,控制重点消费领域碳排放

(1)严控重大产业项目碳排放增量。对舟山绿色石化等新增重大战略项目,既要保障其合理排放空间,又要加强监督管理,建立多部门全流程管理体系,鼓励企业多措并举提高能效、降低碳排放,确保项目主要产品能耗和碳排放指标达到国际先进水平。(2)推进重点行业存量减碳。对钢铁、纺织、造纸等重点行业存量产能实行碳总量控制强约束,加快淘汰落后产能等,探索建立碳排放

指标对标机制,发布重点碳排放行业 and 主要产品年度平均排放强度,引导平均线以下的企业对标排放。(3)探索控制非工业领域碳排放增速。倡导低碳生活,加强建筑、交通等领域节能低碳管理,探索非工业领域控碳抓手,逐步将公共建筑、交通运输等重点企(事)业单位纳入碳核查范围,制定相关条例指南,逐步控制服务业、居民生活等非工业领域碳排放增速。

#### 3.3 聚焦低碳试点城市碳排放率先达峰,控制区域排放

鼓励杭州、宁波、温州、嘉兴、金华、衢州等国家级低碳试点城市碳排放率先达峰,研究制定低碳试点城市率先达峰实施方案。鼓励各地优化用能结构,大力发展可再生能源,提高电气化水平。支持各地根据发展实际、工作基础和减排潜力,在重点排放区域探索开展碳排放总量控制,鼓励提出碳排放达峰目标,以峰值目标倒逼低碳发展转型,并进一步探索开展“近零县(市、区)”“近零园区”“近零城镇”“近零企业”等多层级的近零碳排放试验区。

#### 3.4 聚焦政策协同,提升低碳治理能力

加强顶层设计,在“十四五”经济社会发展规划、国土空间规划等重大规划中统筹考虑碳排放指标与其他指标的协同关系,探索建立碳排放总量控制制度,做好碳排放“双控”与能源“双控”制度协同,加强用能权与碳排放权交易制度的衔接和政策协同研究,探索建立联合履约机制。在项目环境影响评价中试点开展碳排放评价,探索将碳排放要素纳入资源环境承载力评价体系和“标准地”评价体系,更好地体现区域经济协同发展和政策弹性。

#### 参考文献:

- [1] WMO. The Global Climate in 2015—2019[M]. World Meteorological Organization, 2019.
- [2] British Petroleum. BP Statistical Review of World Energy Report [J]. BP: London, UK, 2019.
- [3] 刘娅萍. 基于 DPSIR—TOPSIS 的浙江省低碳经济发展水平评价[J]. 时代金融, 2017(29): 67-68.
- [4] 王安静, 冯宗宪, 孟渤. 中国 30 省份的碳排放测算以及碳转移研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(08): 89-104.

- [5] 马崢,崔豫泓.基于 SDA 模型的中国碳排放驱动因素分解研究[J].煤炭经济研究,2020,40(07):32-36.
- [6] 刘俊伶,夏侯沁蕊,王克,等.中国工业部门中长期低碳发展路径研究[J].中国软科学,2019(11):31-41.
- [7] 段宏波,杨建龙.政策协同对中国国家自主贡献目标的影响评估[J].环境经济研究,2018,3(02):11-26.
- [8] 陈楠,庄贵阳.低碳城市成效评估及碳排放收敛性分析:以浙江省各设区市为例[J].生态经济,2018,34(12):14-21.
- [9] CHU Yujia, LI Yan, YE Yanmei, et al. Decomposed driving factors of carbon emissions and scenario analyses of low-carbon transformation in 2020 and 2030 for Zhejiang Province[J]. Energies, 2017, 10(11): 1747.
- [10] CI Fangwu, LI Guan, YUE Wenzhe, et al. Effects of endogenous factors on regional land-use carbon emissions based on the grossman decomposition model: a case study of Zhejiang province, China [J]. Environmental management, 2015, 55(02): 467-478.
- [11] 魏丹青.从“低碳”到“零碳”[J].浙江经济,2017(10):44.
- [12] 程纪华.碳视角下省域应对气候变化策略研究[D].合肥:中国科学技术大学,2015.
- [13] 陈丽君,吴红梅,范玲,等.浙江省碳排放峰值判断及其对策研究[J].中国能源,2017,39(04):43-47.
- [14] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [15] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2010.
- [16] 李虹,亚琨.我国产业碳排放与经济发展的关系研究:基于工业、建筑业、交通运输业面板数据的实证研究[J].宏观经济研究,2012(11):46-52.
- [17] 方一晨,赵月旭.杭州城市化与其碳排放关系的研究[J].现代经济信息,2019(23):488-490.

### Total carbon emission control based on three-dimensional structure analysis: case study of Zhejiang Province

WU Hongmei, CHEN Lijun\*, HE Heng, WU Junhong, LIN Chengmiao, GAO Yi

(Zhejiang Development and Planning Institute, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** Controlling the total amount of carbon emissions is an important method of energy and environmental improvement. It is also critical for the high-quality development and China's commitment to achieve the carbon emissions peak by 2030. However, the state and local governments have not explicitly implemented total carbon emissions control. Taking Zhejiang Province as an example, this research identified the difficulties and key points of total carbon emission control in Zhejiang, regarding region, energy production side and consumption side. In the end, four breakthrough points are suggested to reach the goal of Zhejiang's total carbon emissions control at the end of the 14th Five-Year Plan period, including low carbonization of power production, carbon emission control of key industries, the emission peak reached of pilot cities and policy coordination.

**Keywords:** total carbon emission control; production side; consumption side; breakthrough point