



浙江能源政策模拟模型(EPS) 的方法介绍及结果示例

ZHEJIANG ENERGY POLICY SIMULATOR: METHODS, DATA AND SCENARIO SETTINGS

奚文怡 周华富 吴红梅 何恒 陈丽君 吴君宏 徐清琳 吴加荣

摘要

为支持浙江省制定中长期深度碳减排战略，识别关键减排政策和试点示范项目，世界资源研究所与浙江省发展规划研究院联合开展了“浙江省2050深度减排路径研究”。研究团队应用能源政策模拟模型（Energy Policy Simulator，简称EPS模型）量化分析浙江省温室气体排放的趋势，并评估可能实施的政策措施的减排效果、成本和社会效益。本技术文件主要介绍EPS模型的方法、数据来源、情景设置和局限性等，并提供分析结果的示例。关于排放路径的详细分析和政策建议载于单独的政策报告中。

Abstract

To support Zhejiang Province to plan a long-term deep decarbonization strategy, identify key emission reduction policies and pilot and demonstration projects, World Resources Institute (WRI) and Zhejiang Development & Planning Institute are carrying out the "Research on 2050 Deep Decarbonization Pathway in Zhejiang Province". The team applies the Energy Policy Simulator (EPS) to quantify and evaluate the emission reduction effects, costs, and social benefits of possible emission reduction policies in Zhejiang Province. This technical note introduces the EPS model methodology, data sources, scenario settings, and limitations etc., and presents simple analysis results. The detailed analysis on emission pathway and policy recommendations are documented in a separate policy report.

目录

摘要	1
引言	2
浙江能源政策模拟模型（EPS）介绍	2
数据来源	6
政策情景设定和预测结果示例	6
创新、不足与展望	16
附录：浙江EPS模型基础数据来源	18
注释	30
参考文献	30

“技术论文”阐述出版物、交互式应用程序和工具的研究或分析方法。

引用建议：奚文怡、周华富、吴红梅、何恒、陈丽君、吴君宏、徐清琳、吴加荣. 浙江能源政策模拟模型(EPS)的方法介绍及结果示例. 2020. 技术论文, 北京: 世界资源研究所. <http://wri.org.cn/publication>

引言

应对气候变化是全人类共同的事业。2015年，联合国气候变化大会通过了《巴黎协定》，提出本世纪将全球平均气温升幅较工业化前水平控制在2℃之内，并为把升温控制在1.5℃之内而努力的长期目标。为实现这一目标，各国需在本世纪下半叶实现温室气体源的人为排放与碳汇的清除之间的平衡。2018年，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布《全球升温1.5℃特别报告》，要实现1.5℃温控目标，到2030年全球二氧化碳排放量需要比2010年的水平下降约45%，到2050年左右达到“净零”排放。中国政府高度重视应对气候变化工作，2020年9月，习近平总书记在联合国大会一般性辩论上宣布，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。

浙江省作为“绿水青山就是金山银山”理念的发源地和率先实践地，已经把生态文明建设融入经济、政治、文化、社会建设的方方面面。2020年，浙江省更是提出“努力建设展示人与自然和谐共生、生态文明高度发达的重要窗口”，这就要求浙江省在应对气候变化领域也要努力成为展现中国、贡献中国力量的“重要窗口”。在中国更新国家自主贡献目标和制定中长期温室气体低排放发展战略的背景下，探索如何推动先进省份提前达峰，同时实现低碳转型和深度脱碳，是非常必要的。

因此，世界资源研究所联合浙江省发展规划研究院开展“浙江省2050深度减排路径研究”，并支持浙江省制定2050年深度减排战略，识别关键减排政策，开展相关能力建设活动，以期为国家 and 地方“十四五”规划和中长期气候战略提出政策建议，推动中国经济高质量低碳发展。

“浙江省2050深度减排路径研究”基于EPS模型¹对浙江省可能采用的减排政策的减排效果、成本及社会效益进行量化分析与评估。本技术报告将主要介绍浙江EPS模型的方法、数据来源、情景设置等，并呈现主要的分析结果；有关浙江省排放路径的分析和政策建议等详见《零碳之路：“十四五”开启中国绿色发展新篇章》。

浙江能源政策模拟模型(EPS)介绍

2.1 EPS模型简介

浙江省EPS模型的核心作用是评估不同能源政策对本地的能源消耗、温室气体排放所产生的影响，为政策制定提供数据支撑。该模型主要利用情景分析方法，在基准情景的发展路径上加入不同政策，形成不同的情景路径，从而观察各变量的变化情况，评估政策实施的效果。例如，通过设置不同政策情景下新能源汽车推广使用情况，识别浙江省温室气体排放情况、能源系统中电力及清洁能源应用情况，以及相应的经济效益情况等所产生的变化。

EPS模型也可用来模拟非能源领域政策，如土地利用变化政策（造林和再造林、林业管理等）、工业生产过程排放控制政策（含氟气体替代、工业系统改进等）对本地所产生的影响。因此，该模型可以协助政策制定者评估与气候相关的各项政策对浙江省的工业、建筑、交通等各个领域所产生的潜在影响；同时允许决策者通过调整不同的政策组合、政策实施力度和执行时间等，制定出符合浙江省发展目标、效益最佳、成本最优的政策方案。

浙江EPS模型以2017年为基准年²，模拟测算2018年至2050年期间各个年度的、不同情景下的环境、经济与社会产出等数据。这些数据主要包括12类温室气体及污染物的排放（包括二氧化碳、甲烷、含氟气体、氮氧化物、二氧化硫、颗粒物等）、各行业的能源消耗、不同类型发电厂的装机容量和发电量、现金流（各项成本流，以及政府、企业和消费者节省的资金量等）、以及由于减少排放所避免的健康损害等。

2.2 EPS模型的优势

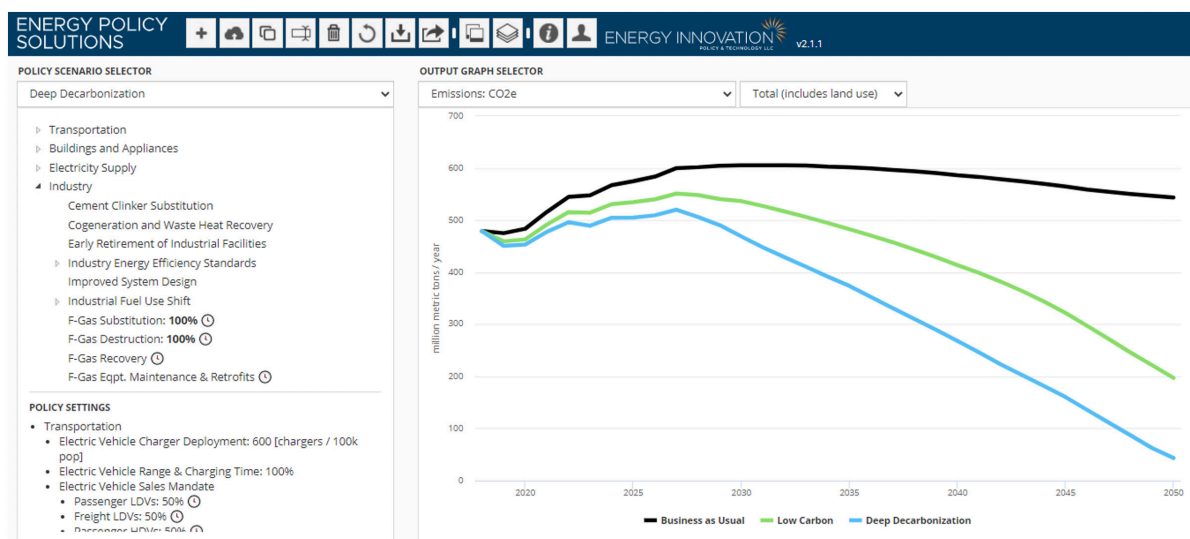
当前，能源环境领域已具备较多可用于研究能耗与温室气体排放路径的模型工具，一般可分为基于宏观经济指标开展的“自上而下”的模型（如可计算一般均衡模型，简称CGE）和基于技术选择、部门能源需求开展的“自下而上”的模型（如长期能源可替代规划系统模型，简称LEAP）。比较而言，“自下而上”的模型可以更加详细地模拟全社会各行业的发展路径，尤其是可以体现各类技术、政策的实施效果，从而有效地指导政策选择。EPS模型正是基于“自下而上”的视角，能够提供客观、定量的政策选择评价结果，为决策者制定政策提供判断依据。

相较于其他“自下而上”的模型，EPS模型的功能更为丰富，设计了近百项政策，可以全面地反映各领域政策对能耗、温室气体排放的影响，并且可以较好地建立起政策（尤其是非能源领域政策）与模型测算逻辑间的联系。例如，EPS模型创新性地纳入了“研发”模块，可评估加大技术研发对于行业的影响。

同时，EPS模型不仅能够评估单项政策的影响，也能够评估多种政策叠加后形成的不同政策组合的实施效果。政策具有多样性，且相互影响，部分政策之间可能会互相增强或者削弱，从而使得单独实施某一政策的效果和在政策组合下实施该政策的效果之间存在一定的差异。EPS模型则可以厘清政策间的相互作用，防止重复计算，更加准确地评估不同政策组合的效果，从而为决策者提供符合实际、经济效益及社会效益最佳的政策组合参考，并实现节能减排目标。

EPS模型虽然相对较新，但该模型的开发是一个动态的过程，从2015年开发至今，模型开发团队不断优化模型结构、精细化各行业的逻辑框架，已经历了多个版本的更新。事实上，在此次最新的2.1.1版本中，EPS模型也融合了“自上而下”的视角，纳入了宏观经济发展对能耗排放的影响。这主要是考虑到2020年

图 2.2.1 | 浙江EPS模型网页界面示意图



注：用户可在“Policy Scenario Selector”区域内查看及新建情景并设置不同的政策，可在“Output Graph Selector”区域内选择展示不同指标的结果，包括排放、能耗、社会经济数据等。

新冠肺炎疫情这一突发事件对全球经济、社会发展的快速冲击，模型开发团队设计加入了宏观经济影响的模块，更加准确地体现能耗、温室气体排放的变化路径。浙江EPS模型也根据2020年新冠肺炎疫情对该省的影响进行了修正，通过参考国际货币基金组织、国际能源署及国内权威机构的短期经济及能源展望，对各领域能源消耗的数据通过其与GDP之间的弹性做出了相应的调整，从而可以更真实地体现浙江省的实际情况。

此外，EPS模型还可以实现网页展示，具有较好的可视化界面和互动功能，可以满足不同用户的需求。除了展示研究团队设置的情景及结果，用户还可以自行在界面中设置不同的政策及情景，测算相应的排放路径及社会经济效益，为开展后续研究提供了基础及空间。浙江EPS模型现已同步呈现至网页界面（<https://zhejiang.energypolicy.solutions/scenarios/home>，见图2.2.1）。

EPS模型目前已在多个地区得以应用，世界资源研究所前期与模型开发团队就已应用EPS模型对多个国家和地区开展了研究，如墨西哥、印度尼西亚、中国香港等，积累了较多的数据和经验。

2.3 EPS模型运行机制与结构

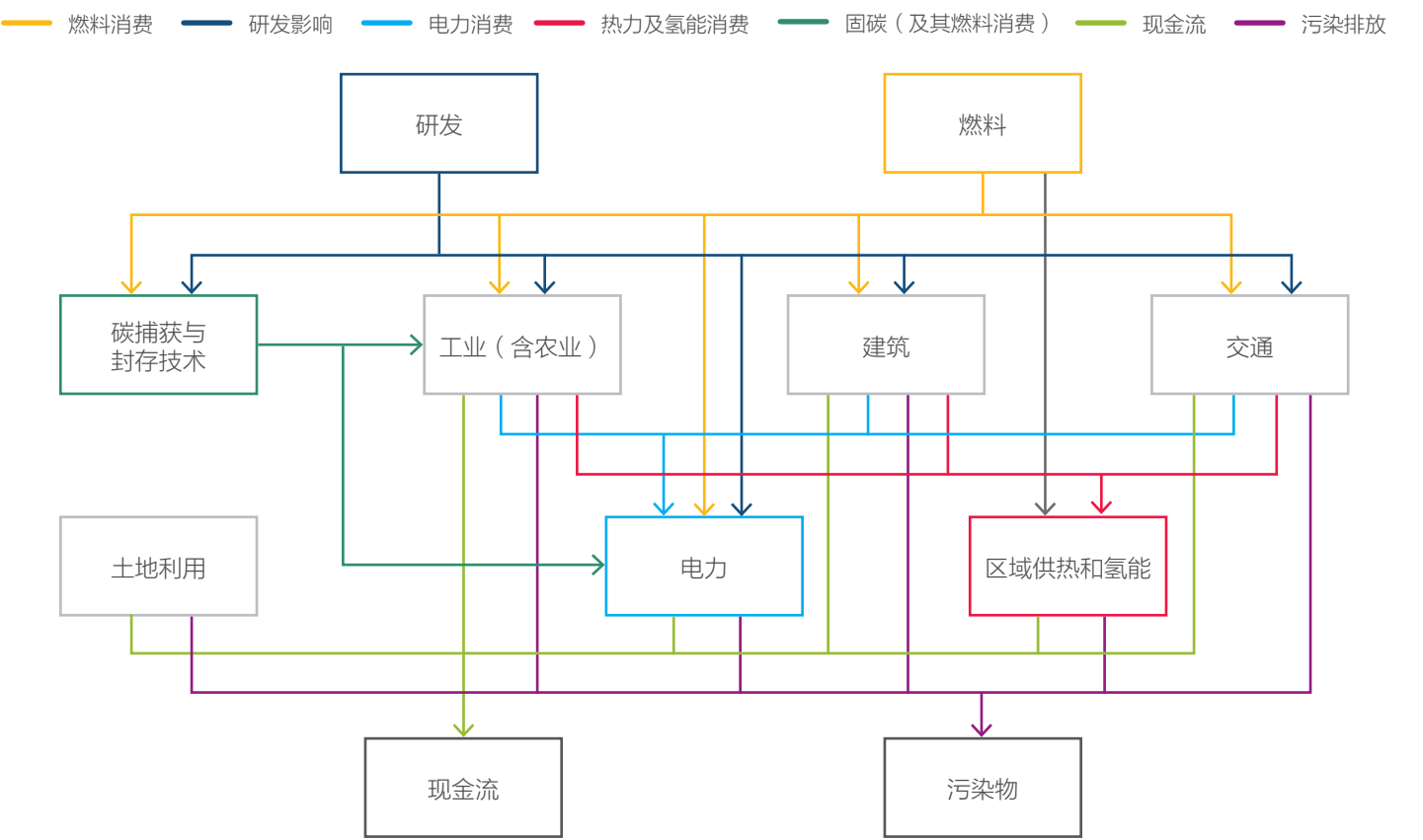
在众多计算机模拟经济和能源系统的方法中，EPS模型主要基于“系统动力学”理论框架开发运行。该方法将能源消耗和经济发展的过程视作一个开放的、不断波动的非平衡系统，可以较好得剖析系统内部结构、各要素之间的相互关系，如投入产出关系、互为因果关系等。系统动力学模型中包含许多长时间序列数

据变量，这些变量不仅受到外部环境的影响，也会受其自身的流进和流出影响。例如，风力发电厂装机容量将随着风电机组的新建或退役而提高或降低，在此基础上，每年的风力发电量也将基于该年的装机容量重新计算得到。因此，EPS模型的模拟测算是一个不断变化的过程。

系统动力学模型通常将上一年输出数据作为下一年的输入数据进行后续计算，追踪变量随着时间变化的情况。例如，实施某项政策会导致某一年能源效率提高，这将反映在随后几年各类用途能源消耗的减少上，直至某类用途的工具（如发电机组、交通工具、建筑构件）达到寿命期限而淘汰。但工业部门的数据处理形式有所不同，需要直接录入各项政策每单位变化所导致的能耗和排放的减少潜力，并通过逐步实施政策来实现减排，而非系统内生地递归追踪整个生产链条的能效。这也反映出某种数据的输入形式或方法并不适用于所有部门。因此，浙江省的EPS模型将根据不同部门、不同行业的具体情况设计系统的运行模式，以期得到最佳的模拟效果。

EPS模型主要涵盖五大领域，分别是工业（包括制造业、建筑业、农业、废弃物处理）³、建筑、交通、能源加工转换（电力、供热和制氢）和土地利用（见图2.3.1）。每个领域都会按照内部结构细分子项。例如，工业按照化工、水泥、钢铁、建筑业、农业等子行业进行划分，建筑按照建筑类型（城镇住宅、农村住宅、商业建筑）和建筑构件用途（采暖、制冷、照明、热水及炊事、家电等）划分，交通按照交通工具类别（包括轻型车辆、重型车辆、飞机、火车、轮船和摩托车等）、运载类型（客运或货运）和燃料类型（汽油、柴油、生物燃料、天然气、电力

图 2.3.1 | 浙江EPS模型结构图



等）划分。同时，模型涵盖具有评估政策成本和效益功能的模块，如污染物排放和现金流测算，以及两个能够影响各大领域排放的关键性技术和政策模块，即研发和碳捕集与封存（Carbon Capture and Sequestration，简称CCS）技术。

EPS模型运行的第一步是从燃料模块开始，该模块中设置了各种燃料的基本情况（包括产量、进出口量、价格、补贴税费等），并考虑了影响燃料价格、供应量的相关政策。第二步是分别计算各个行业使用燃料所产生的排放，其中，模型会测算交通、建筑和工业领域使用燃料和生产过程所产生的直接排放，同时测算各领域每年电力和热力消费的需求量；进而，能源加工转化领域则在考虑了能源跨边界调入调出影响的前提下生产相应的电力和热力，以满足上述各领域的需求，进而再计算加工转换领域生产过程中的燃料消耗所产生的排放量。

专栏 1 | 电力模块逻辑示意

各模块内部会有各自的测算逻辑，以下以EPS模型中最为复杂的模块之一——电力生产模块为例进行介绍（见图2.3.2）：

模型中电力生产模块包括八种发电类型，分别是煤电、天然气发电、核电、水力发电、风电、太阳能光伏发电、太阳能光热发电和生物质发电。

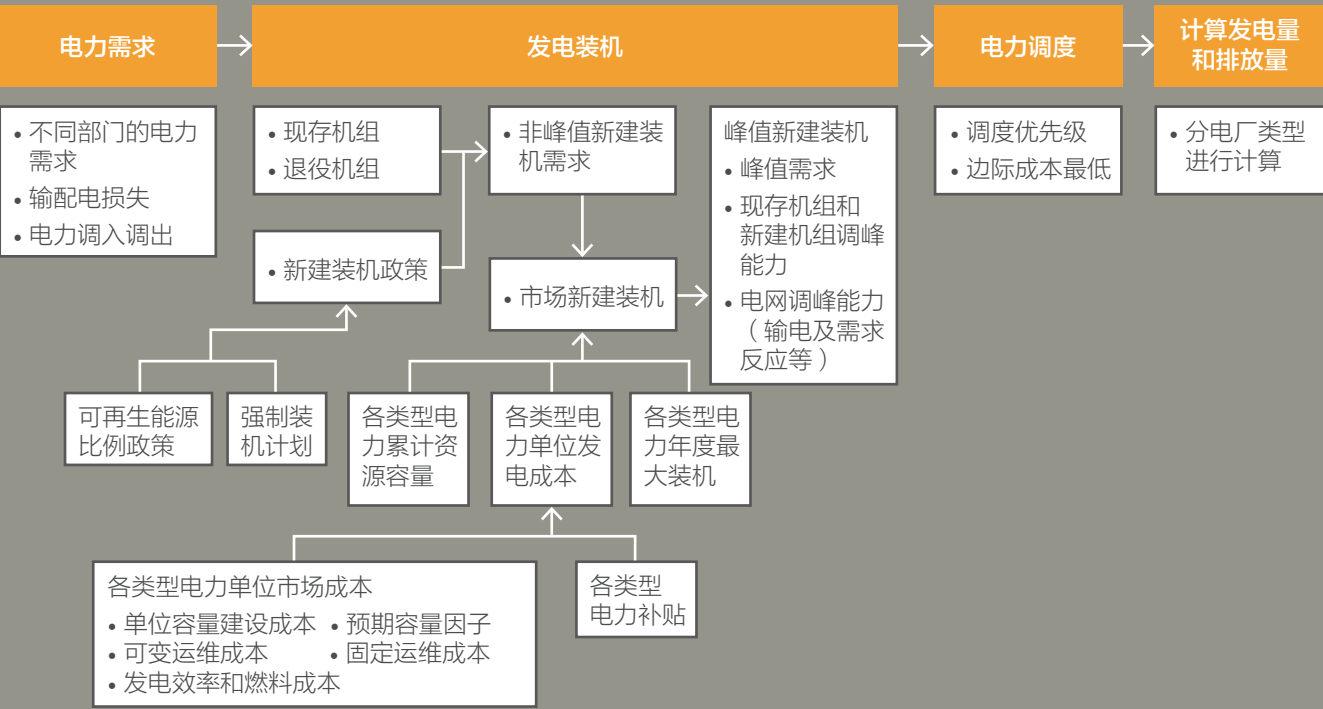
首先，根据行业需求和输配电损失计算总电力需求，扣除电力净调入，得到发电量需求。

其次，配置发电装机容量。这个过程伴随机组的新建和退役，同时还考虑政策导向，即强制装机容量计划和可再生能源占比目标。剩余不足的装机容量在考虑了年度最大装机容量可能和累计资源潜力后，根据市场原则（考虑补贴后的成本）安排建设。此外，模型另行计算了电力调峰需求，在考虑现存和新建机组的调峰能力和电网调峰能力后，计算新建峰值电厂的装机容量。

再次，安排电力调度顺序。考虑调度的优先级问题，在满足优先调度的基础上，按照边际成本最低原则进行调度。

最后，分电厂类型对燃料使用量进行汇总并计算碳排放及其他污染物。

图 2.3.2 | 电力模块逻辑图



基于以上逻辑，EPS模型可以生成基准情景下的电力行业发展路径。后续研究团队会根据不同的研究目的构建不同的情景、设置不同的政策，形成新的发展路径。影响电力模块的各项政策则会作用在图2.3.2中的各项关键指标上，有些政策仅会影响电力模块内部的指标，而有些政策还会联动影响其他模块。例如，设置提升电力跨省调入水平，则会作用于图中“电力需求”项下的“电力调入调出”，增加电力调入量从而影响发电需求量；设置提高本省可再生能源发电占比，则会作用在“发电装机”项下“政策新建装机”，模型会匹配新建可再生能源发电机组以达到目标比例；设置提高CCS技术在电力行业中的应用水平，则会直接作用于“计算发电量和排放量”，减少相应比例的碳排放，同时在CCS技术模块下模型会计算应用CCS技术所消耗的能源。

- 减少排放所产生的社会效益=避免气候损害的经济效益+对公众健康影响的货币化价值
- 避免气候损害的经济效益=温室气体减排量（模型测算政策效果）×碳的社会成本（输入变量）
- 对公众健康影响的货币化价值=污染物减排量（模型测算政策效果）×污染物对健康影响的社会成本（输入变量）
- 减少污染物排放所避免的早亡人数=对公众健康影响的货币化价值÷人的统计生命价值（输入变量）

五大领域产生的各类气体排放数据汇总在污染物排放模块。各领域计算排放的方法均遵循温室气体清单编制原则。例如，能源活动相关的排放最终均基于能耗法进行测算，即能源消耗量乘以各类能源相应的排放因子。

现金流模块中涵盖了设备投资、运行和维护费用等直接支出，政府补贴、税费等资金流，以及对公众健康影响的货币化价值、降低气候损害的社会效益数据。

在整体模型运行中，研发和CCS技术的应用也是影响碳排放的重要部分。通过研发模块，决策者可以清晰地了解各部门燃料经济性的改善效果及资本支出变化。CCS技术模块主要针对工业和电力部门，CCS技术可捕集二氧化碳，但开展此技术也会带来额外的能耗并影响现金流，从而改变工业和电力部门的减排量和成本等。

数据来源

浙江EPS模型的运行需要采集大量基础数据以构建不同的政策情景。该模型整体数据框架与其他地区EPS模型所需数据结构基本相同，但每一个变量应尽可能采用本地数据，从而体现本地实际情况。

EPS模型2.1.1版本共有197个基础变量，并按变量对新地区测算的重要性进行分类，主要分为很高、高、中、低四档。开发新地区模型时，应优先更新很高（8个变量）、高（34个变量）和中（53个变量）三类级别的变量；重要性为低的变量对模型结果的影响相对较小，受区域变化的影响也较小，可视情况进行更新。鉴于EPS模型最早开发适用于美国国家的测算，因此，浙江EPS模型应在已经公开的美国EPS模型的数据基础上更新或者替换需要本地数据的变量。

浙江EPS数据的收集思路主要如下：

- 首先根据浙江本地公开的统计数据、政策、规划等相关资料，以及通过调研本地相关政府部门、企事业单位，获得变量所需输入数据。
- 部分变量需体现行业特性，因此可参考中国或者全球的行业数据，如CCS行业技术和成本水平、民航和水运行业的能效水平、各类发电机组的退役年限等。
- 有些变量如果没有本地数据，则参考国家的平均水平，按照与变量相关的比例系数折算成浙江本地的数据；优先收集中国的数据，如果中国数据依然缺失，则参考美国的数据。例如，确定各建筑构件的总费用数据时，鉴于数据可获得性，则根据美国与浙江人均GDP的比例折算出人均建筑构件的费用，然后乘以浙江总人口数量，即可获得总费用数据。
- 如果各类渠道均无法获得理想的数据，且美国数据也相对贴合浙江或者行业的平均水平，则直接采用美国的数据，如有关弹性研究的数据中交通出行需求对燃料价格的弹性、分布式光伏发电量对补贴的弹性等。

浙江EPS模型数据的具体来源详见附录。

政策情景设定和预测结果示例

模型以2017年为基准年，运行预测2018—2050年的温室气体排放、一次能源消费等结果。通过不同政策的叠加使用，采用路径分析法对浙江省温室气体排放进行情景模拟分析，最终在模型中设置了3个情景，分别为参考情景、低碳情景和近零情景。

- 参考情景：按照现有政策规划、技术水平发展所实现的

排放路径，模型所收集的基础数据，即附录中大部分变量都是用于构建参考情景。

- 低碳情景：在参考情景的基础上，采用较强的节能减排措施，近期目标是实现2030年全国碳排放达峰并尽早达峰贡献浙江力量，远期目标是实现2050年全球2℃温控目标而努力。
- 近零情景：在低碳情景的基础上，采用更强的节能减排措施，响应“努力争取2060年前实现碳中和”的目标，对标欧盟长期温室气体低排放发展战略目标及举措，致力于实现2050年能源领域净零排放、温室气体排放总体

近零，体现浙江省“重要窗口”的应对气候变化工作担当，以期研究制定长期低排放战略服务。

4.1 政策情景设定

EPS模型提供了节能减排技术及政策库，设定政策情景时采用适合浙江本地的政策，并根据相关规划及部分参考值设置政策、技术的实施力度和政策实施时间⁴。同时，研究团队开展了有关减排效果和政策实施成本的敏感性分析，从而在众多政策组合中筛选出减排效果显著且成本可控的政策组合。最终选择的最优方案的具体政策设置见表4.1.1：

表 4.1.1 | 各部门不同情景下政策设定

政策分类	政策名称	低碳情景政策设定及说明	近零情景政策设定及说明
电力	可再生能源配额制（Renewable Portfolio Std Percentage）	2017 年，可再生能源发电量（含水电、生物质发电、垃圾发电、风电、光伏发电和核电）占全省发电量比例为 27.15%。根据预测，参考情景下到 2050 年该比例将达到 45%。低碳情景下适当提高可再生能源占比，到 2050 年该比例将达到 50%	根据浙江省可再生能源（范围同低碳情景）资源开发预测，2050 年可再生能源发电量占全省发电量比例可以达到 70%
	禁止新建燃煤电站（Boolean Ban New Power Plants）	2020—2034 年不禁止新建燃煤机组，从 2035 年开始禁止新建燃煤机组，一直持续到 2050 年	从 2020 年开始禁止新建煤电机组
	提前淘汰燃煤电厂（Annual Additional Capacity Retired due to Early Retirement Policy）	2035 年起提前退役机组，到 2050 年政策执行力度达到 100%。设置煤电机组每年提前退役 2500 兆瓦；天然气调峰机组每年提前退役 2500 兆瓦；热电联产机组 500 兆瓦	2035 年起提前退役机组，到 2050 年政策执行力度达到 100%。设置煤电机组每年提前退役 3500 兆瓦；天然气调峰机组每年提前退役 1300 兆瓦
	达成额外需求响应潜力比例（Fraction of Additional Demand Response Potential Achieved）	从 2020 年起，需求响应能力在参考情景基础再增加 20%	从 2020 年起，需求响应能力在参考情景的基础上再增加 50%
	额外储能电池年增长比例（Additional Battery Storage Annual Growth Percentage）	在当前储能电池能力增长比例的基础上再增加 12%，从 2020 年起执行	在当前储能电池能力增长比例的基础上再增加 20%，从 2020 年起执行（比例为 1）
	电力调入的变化（多选）（Percent Change in Electricity Imports）	外来煤电到 2050 年在参考情景基础上减少 50%，水电、光伏发电、核电、陆上风电增加 20%。该政策从 2024 年开始执行，2030 年为 0.2，2035 年为 0.8，2050 年为 1	外来煤电到 2050 年在参考情景基础上减少 100%，水电、光伏、核电、陆上风电增加 90%。该政策从 2030 年开始执行，2050 年为 1

表 4.1.1 | 各部门不同情景下政策设定(续)

政策分类	政策名称	低碳情景政策设定及说明	近零情景政策设定及说明
工业	含氟气体替代 (Fraction of F Gas Substitution Achieved)	近期含氟气体处理主要以销毁为主, 2030 年后开始逐步替代, 到 2050 年实现 80% 替代	近期含氟气体处理主要以销毁为主, 2030 年后开始逐步替代, 到 2050 年实现 100% 替代
	含氟气体销毁 (Fraction of F Gas Destruction Achieved)	2030 年含氟气体销毁比例达到 60%, 2050 年达到 90%。2018 年销毁比例为 45%, 有一定基础, 后续设定《蒙特利尔议定书》基加利修正案中的含氟气体减量要求	2030 年含氟气体销毁比例达到 70%, 2050 年达到 100%
	提高工业效能标准 (Percentage Improvement in Eqp Efficiency Standards above BAU)	到 2050 年, 通过技术手段、管理手段等, 使工业各行业能效较参考情景提高 30% (除煤炭开采)	到 2050 年, 通过技术手段、管理手段等, 使工业各行业能效较参考情景提高 50% (除煤炭开采)
	工业燃料替代 (Fraction of Industrial Fuel Use Shifted to Other Fuels)	水泥和其他碳酸盐的使用, 2050 年 (该项政策下各行业均为 2050 年) 煤炭、天然气、油品 50% 被替代	水泥和其他碳酸盐的使用, 2050 年 (该项政策下各行业均为 2050 年) 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
		油气加工行业, 煤炭、天然气、油品 50% 被替代	油气加工行业, 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
		钢铁行业, 煤炭、天然气被替代	钢铁行业, 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
		化工行业, 煤炭、天然气 58% 被替代	化工行业, 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
		水 + 废弃物处理行业, 煤炭 100% 被替代	水 + 废弃物处理行业, 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
		农业, 煤炭、天然气、油品 20% 被替代	农业, 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
		其他工业行业, 煤炭 100%, 天然气、油品 50% 被替代	其他工业行业, 煤炭、天然气、油品 100% 被替代
	降低工业产品需求 (Percent Reduction in Non-energy Non-agriculture Industry Product Demand)	水泥、钢铁、化工、水 + 废弃物行业通过回收利用, 延长材料寿命, 降低工业产品需求 10%	水泥、钢铁、化工、水 + 废弃物行业的工业产品需求降低 25%, 通过加强科技投入、延长材料寿命、强化环境税征收、限制工业产品消费等措施, 参考相关文献设定

表 4.1.1 | 各部门不同情景下政策设定(续)

政策分类	政策名称	低碳情景政策设定及说明	近零情景政策设定及说明
交通	燃油经济性标准的额外改进比例（Percentage Additional Improvement of Fuel Economy Std）	参考情景下能效水平每年均稳步提升，因此假定低碳情景额外提升的比例有限。到 2050 年，相比参考情景，各类交通的燃油经济性水平再提升 20%	近零情景下，考虑各类型燃油经济性有较大的额外提升，到 2050 年，轻型客运汽车提升至 50%，重型货运汽车及货运船舶提升至 30%，铁路维持低碳情景不变（20%），其余均相比参考情景提升 30%
	电动化交通工具销售最小占比（Additional Minimum Required EV Sales Percentage）	主要考虑国际上很多地区到 2030 年开始禁售燃油车等，到 2050 年客运电动汽车和轻型货运汽车销售占比达到全销售量的 60% ~ 65%，重型货运汽车仍较难大比例实现电动化，未做设置	考虑技术创新，近零情景下，交通领域电气化达到较高水平
	氢燃料交通工具销售最小占比（Minimum Required Hydrogen Vehicle Sales Percentage）	2040 年轻重型客运汽车、轻重型货运汽车达到 30%	未来道路交通主要依靠电动汽车、氢燃料汽车和生物燃料汽车实现减排，为了实现深度减排甚至净零排放，假定到 2050 年新增车辆除电动汽车外，其余由氢燃料汽车销售补足
	减少电动汽车续航里程和充电时长的担忧（Reduce EV Range Anxiety and Charging Time）	随着充电装置部署的增加和电动汽车续航里程的提升，假设担忧减少 50%	加大充电装置部署力度，担忧减少 100%
	增加充电桩数量（EV Charger Deployment）	每十万人拥有 400 个充电桩	每十万人拥有 600 个充电桩
	设备标签的改善（Boolean Improved Device Labeling）	设置提升	设置提升
建筑	节能标准能效提升率（Reduction in E Use Allowed by Component Eff Std）	暂不设定，因为浙江省目前已执行《居住建筑节能设计标准（2015 版）》（节能率 75%），处于全国前列	参考国际先进水平，针对新设备，供暖设备能效提升 20%，制冷设备、围护结构和炊事设备提升 35%，照明设备提升 40%，其他设备提升 20%
	新建筑使用能源的变化（即建筑电气化）（Fraction of New Bldg Components Shifted to Other Fuels）	到 2050 年，供暖实现 30% 电气化；热水炊事设备（Appliance）等实现 70% 电气化，其他（Other）设备实现 90% 电气化，制冷和照明设备已基本全部电气化	炊事、供暖及其他设备都 100% 电气化，热水和炊事设备还会有一部分利用天然气，无法做到完全替代
	既有建筑节能改造率（Share of Preexisting Buildings Subject to Retrofitting）	《浙江省建筑节能及绿色建筑发展“十三五”规划》提出到 2020 年累计完成既有公共建筑节能改造 1000 万平方米、既有居住建筑节能改造 2000 万平方米，分别占 2020 年公共和居民建筑面积的约 1%；假定到 2050 年，对居民建筑改造 40%，商业建筑改造潜力较高，达到 50%	城镇、农村居民建筑和商业建筑改造 70%，加大力度以提升节能水平

表 4.1.1 | 各部门不同情景下政策设定(续)

政策分类	政策名称	低碳情景政策设定及说明	近零情景政策设定及说明
交叉部门政策	碳定价（Additional Carbon Tax Rate）	到 2050 年，工业部门 30 美元 / 吨；电力部门 60 美元 / 吨	到 2050 年，工业、电力部门 60 美元 / 吨，提高碳价格，有利于降低化石能源需求，并导致技术选择的改变
	额外 CCS 技术应用（Fraction of Potential Additional CCS Achieved）	到 2050 年，工业和电力部门 CCS 技术应用在参考情景基础上进一步增加 20%	到 2050 年，CCS 应用在参考情景基础上进一步增加到 30%
供热	区域供热煤改气（Fraction of District Heat Fuel Use Shifted to Other Fuels）	到 2050 年，区域供热中煤改气实施比例为 50%。目前区域供热中煤炭占比 98.8%，天然气占比 1.2%	到 2050 年，区域供热中煤改气实施比例为 100%
	制氢方式转为电制氢比例（Fraction of Hydrogen Production Pathways Shifted）	暂不设定	到 2050 年，100% 转为电制氢
土地利用	再造林比例（Fraction of Afforestation and Reforestation Achieved）	暂不设定	到 2050 年，造林和再造林所占比例达到 10%，主要考虑浙江省已有较高森林覆盖率及未来土地、林业相关政策，并咨询林业领域专家确定
	森林管理比例（Fraction of Improved Forest Management Achieved）	到 2050 年，100% 优化前期未得到妥善管理的森林	同低碳情景

4.2 模型预测结果

经过模拟运算，浙江EPS模型将可呈现温室气体排放量、能耗量、用电量、政策成本效益等主要结果。以下将简单介绍“浙江省2050深度减排路径研究”的结果，展示浙江EPS模型的功能。

4.2.1 温室气体排放总量

为更好地保障舟山绿色石化基地等国家重大战略项目布局，大力发展数字经济，推动全球先进制造业基地建设，满足人民群众对美好生活的需要，浙江省温室气体排放从目前到“十五五”期间基本处于较快增长期。如图4.2.1所示，不同政策力度下，达峰时间和2050可实现的减排程度不同：参考情景下，温室气体排放从2018年的5.1亿吨二氧化碳当量（含电力调入调出排放，下同）较快增长至2030年的6.8亿吨二氧化碳当量，2018—2030年年均增长2.2%；随后进入缓慢增长期，2032年达峰，峰值约6.8亿吨二氧化碳当量，2050年总排放6.2亿吨二氧化碳当量、人均排放10.1吨二氧化碳当量。低碳情景下，2028年达峰，峰值约6.2亿吨二氧化碳当量，2018—2028年年均增长1.6%；随后开始下降，2050年总

排放2.4亿吨二氧化碳当量，占1.5~2℃温控目标下中国2050年排放的4.3%左右⁵，人均排放3.9吨二氧化碳当量。近零情景下，2027年达峰，峰值约5.8亿吨二氧化碳当量，2018—2027年年均增长1.1%；随后开始下降，2050年总排放0.4亿吨二氧化碳当量，能源领域实现净零排放，人均排放0.7吨二氧化碳当量。

为了进一步探究国家重大战略项目在浙江所形成的温室气体排放格局，本研究还单独对重大项目开展了敏感性分析。若不考虑重大石化项目影响，根据历史规律，浙江省温室气体排放增速明显放缓，参考情景下2018—2030年年均增速降至1.1%，而考虑重大石化项目影响后，2018—2030年年均增速则提高到2.2%。2018—2030年间浙江省预计新增重大炼化产能7900万吨/年，新增二氧化碳排放0.9亿吨/年。图4.2.2可以看出，重大石化项目建设将对浙江省“十四五”、“十五五”温室气体排放产生显著的影响。

4.2.2 一次能源消费量

与温室气体排放趋势一致，浙江省能源需求从目前到“十四五”乃至“十五五”基本处于快速增长期。如图4.2.3所

图 4.2.1 | 基于EPS模型的浙江省2018—2050年温室气体排放趋势

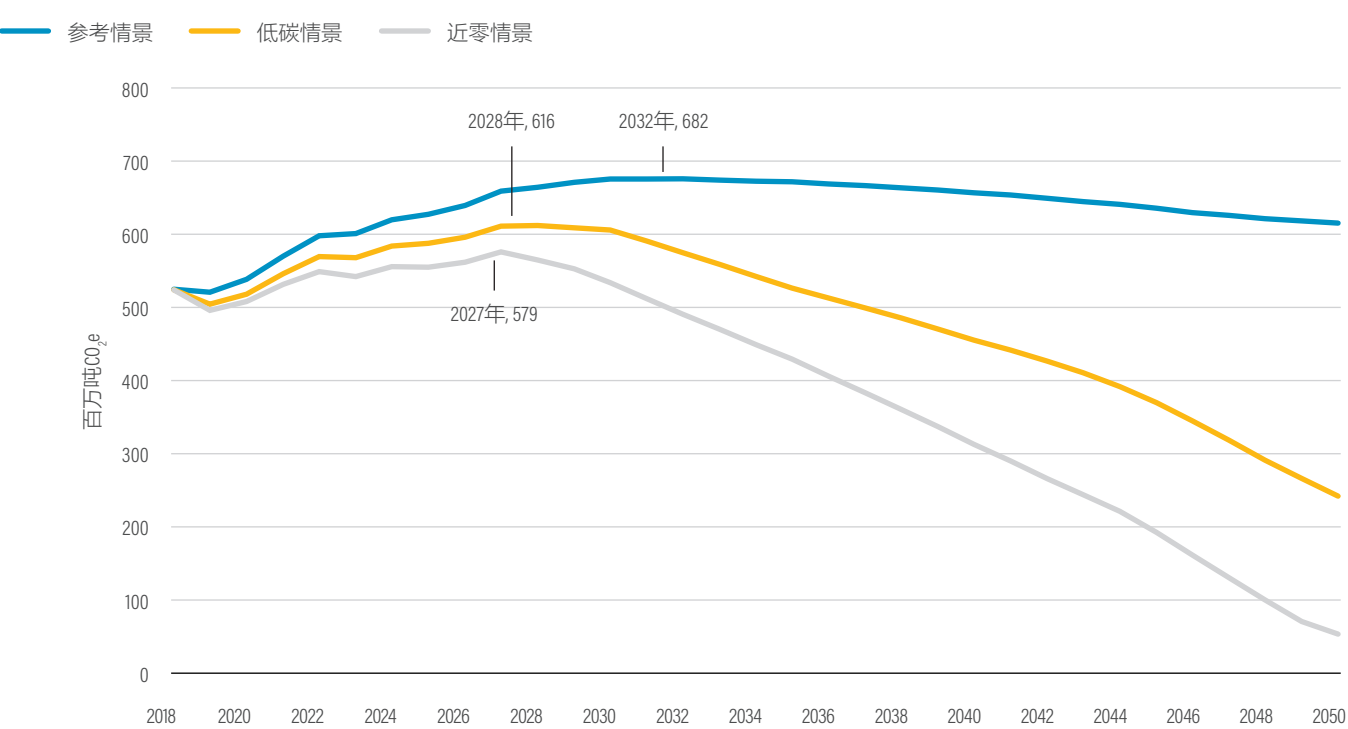


图 4.2.2 | 参考情景下浙江省重大石化项目对温室气体排放的影响

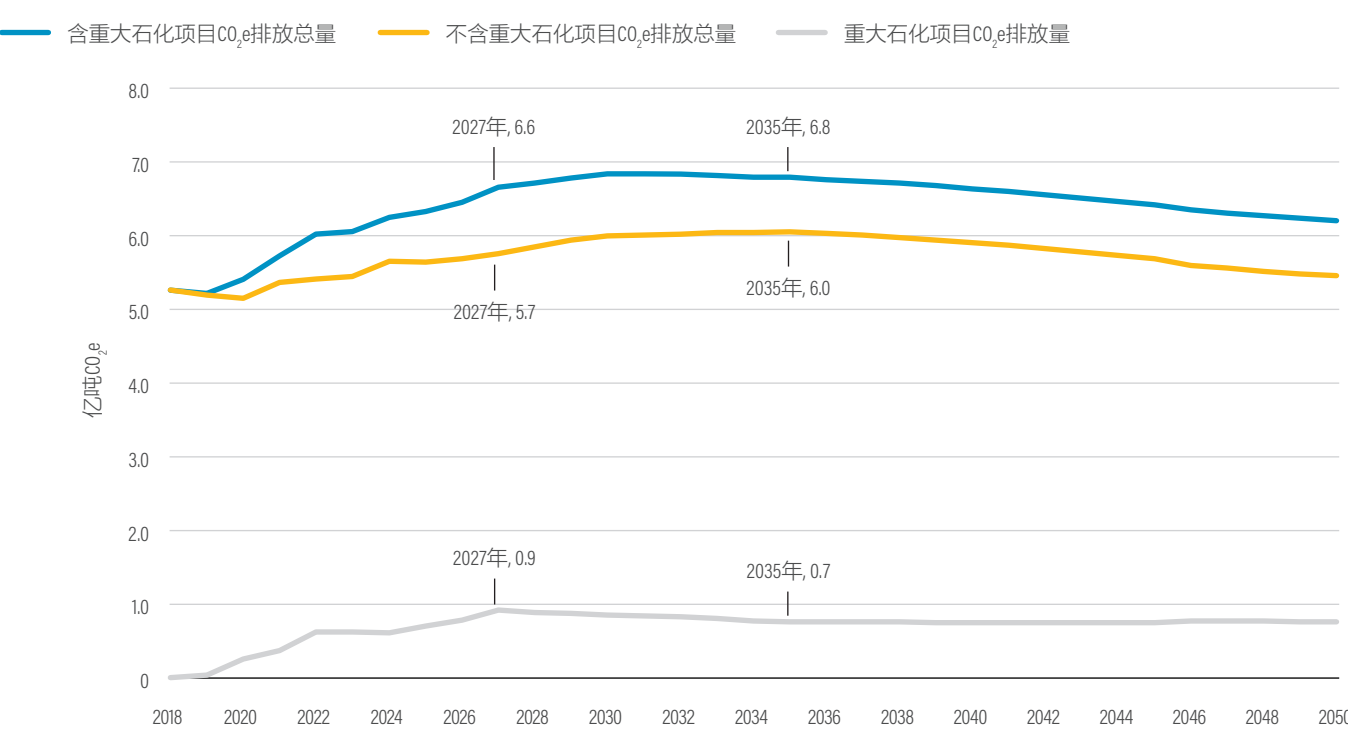


图 4.2.3 | 各情景下一次能源消费预测结果

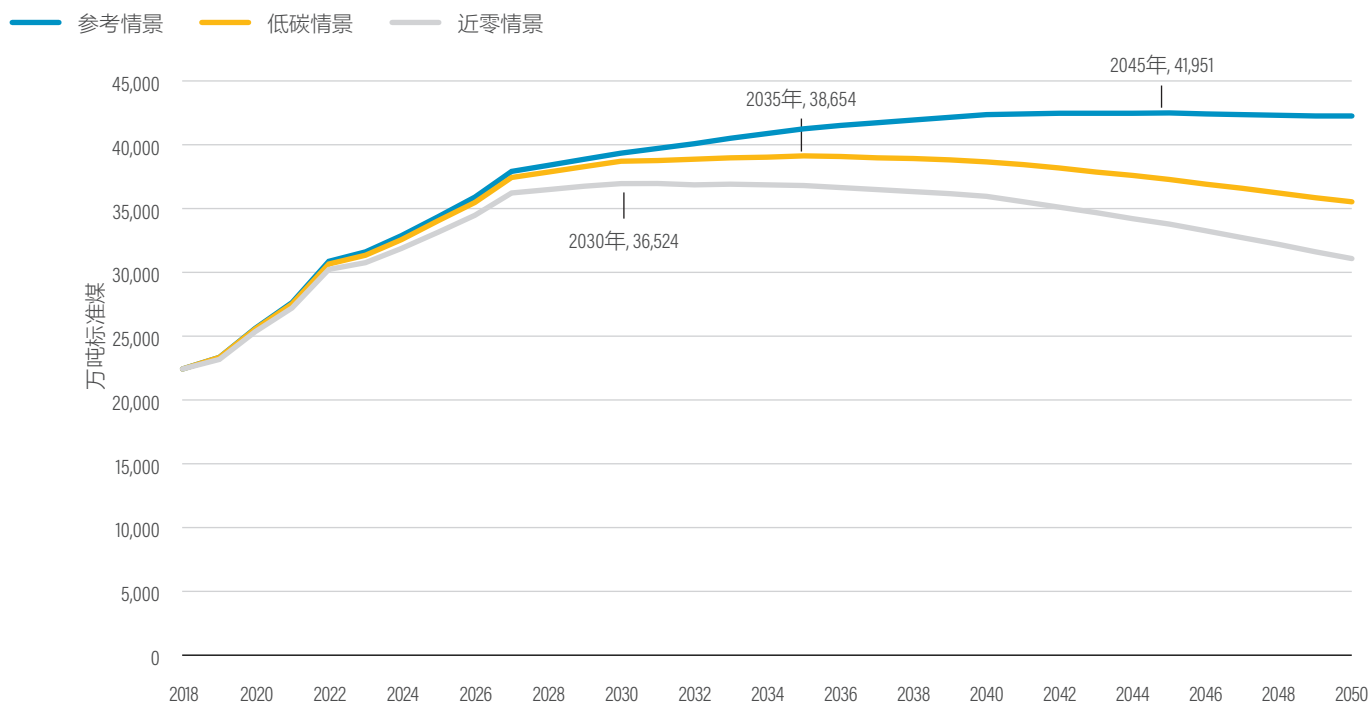
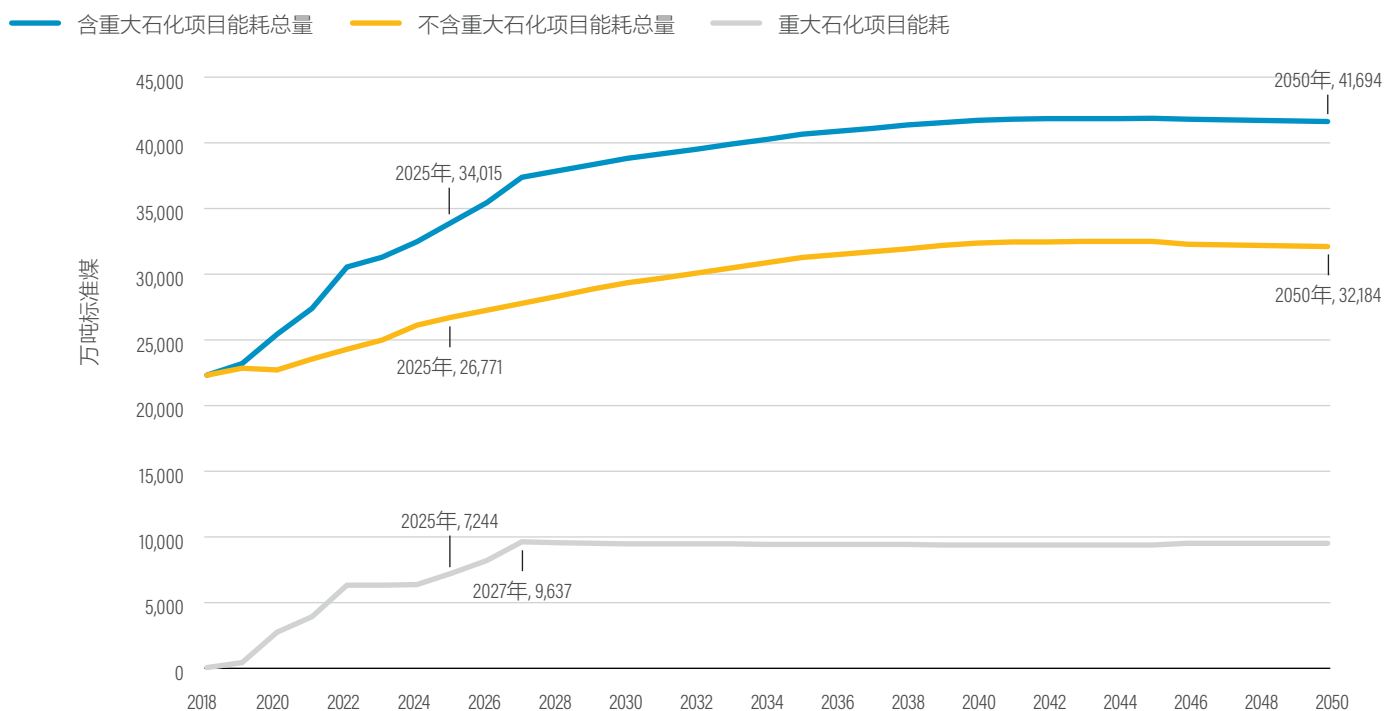


图 4.2.4 | 参考情景下浙江省重大石化项目对能源需求的影响



示，不同政策力度下，一次能源消费预测如下：参考情景下，一次能源消费从2018年的2.2亿吨标准煤，较快增长至2030年的3.9亿吨标准煤，2018—2030年年均增长4.7%；随后增速放缓，并逐步进入平台期，2045年左右达峰，峰值约4.2亿吨标准煤；到2050年维持在4.2亿吨标准煤，人均能耗6.8吨标准煤。低碳情景下，一次能源消费2018—2030年年均增长4.6%，2035年达峰，峰值约3.9亿吨标准煤。2050年降至3.51亿吨标准煤，人均能耗6.8吨标准煤。近零情景下，一次能源消费2018—2030年年均增长4.1%，2030年达峰，峰值约3.6亿吨标准煤。2050年降至3.1亿吨标准煤，人均能耗5.0吨标准煤。

如果不考虑重大石化项目影响，浙江省一次能源消费增速明显放缓，2018—2030年年均增长2.3%，而考虑重大石化项目影

响后，2018—2030年年均增速则提高到4.7%。2018—2030年间浙江省预计新增重大炼化产能7900万吨/年，新增能源消费近1亿吨标准煤/年。图4.2.4可以看出，重大石化项目建设对浙江省“十四五”、“十五五”能源消费影响也非常显著。

非化石能源消费占比持续提高，参考情景下，非化石能源消费占比由2018年的19.2%上升到2025年的21.0%，2050年达到31.8%。近零情景下，2025年非化石能源消费占比达到23.8%，2050年占比达到33.0%，如图4.2.5所示。

4.2.3 全社会用电量

受电气化水平提高等因素影响，各情景下浙江全社会用电量基本保持增长趋势。如图4.2.6所示，不同政策力度下，全社会用

图 4.2.5 | 不同情景下一次能源消费结构

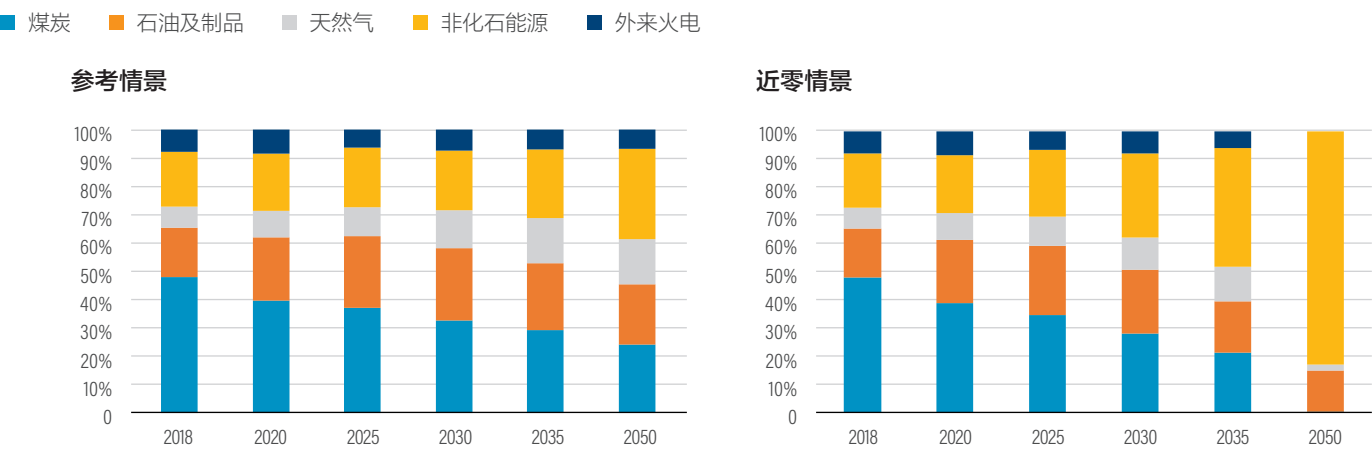
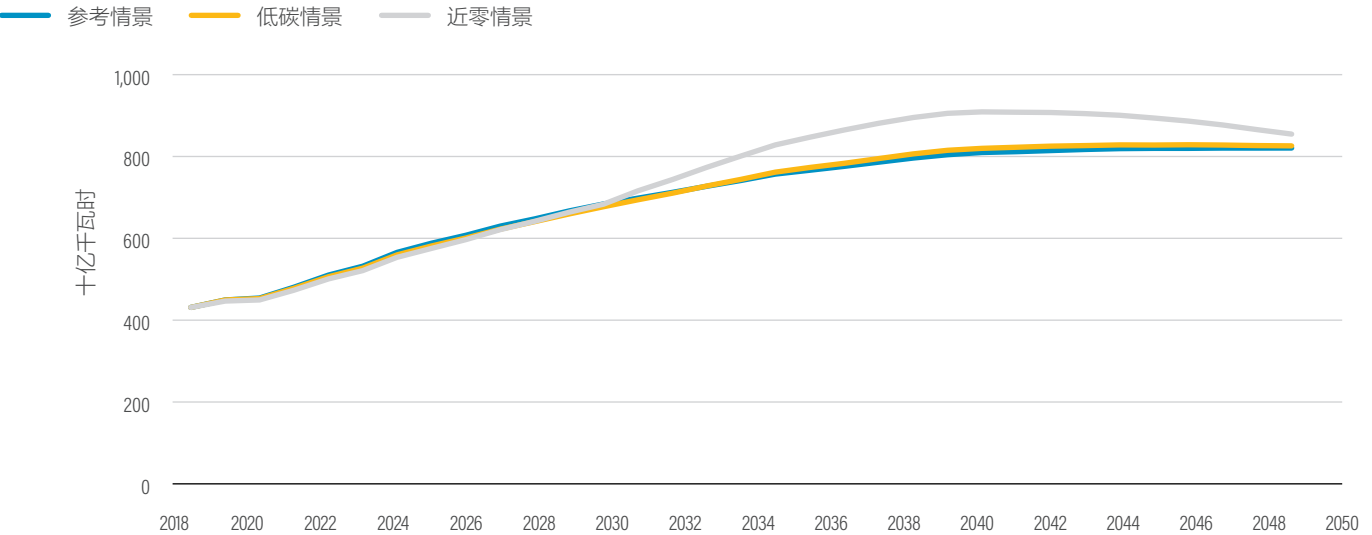


图 4.2.6 | 各情景下全社会用电量预测结果

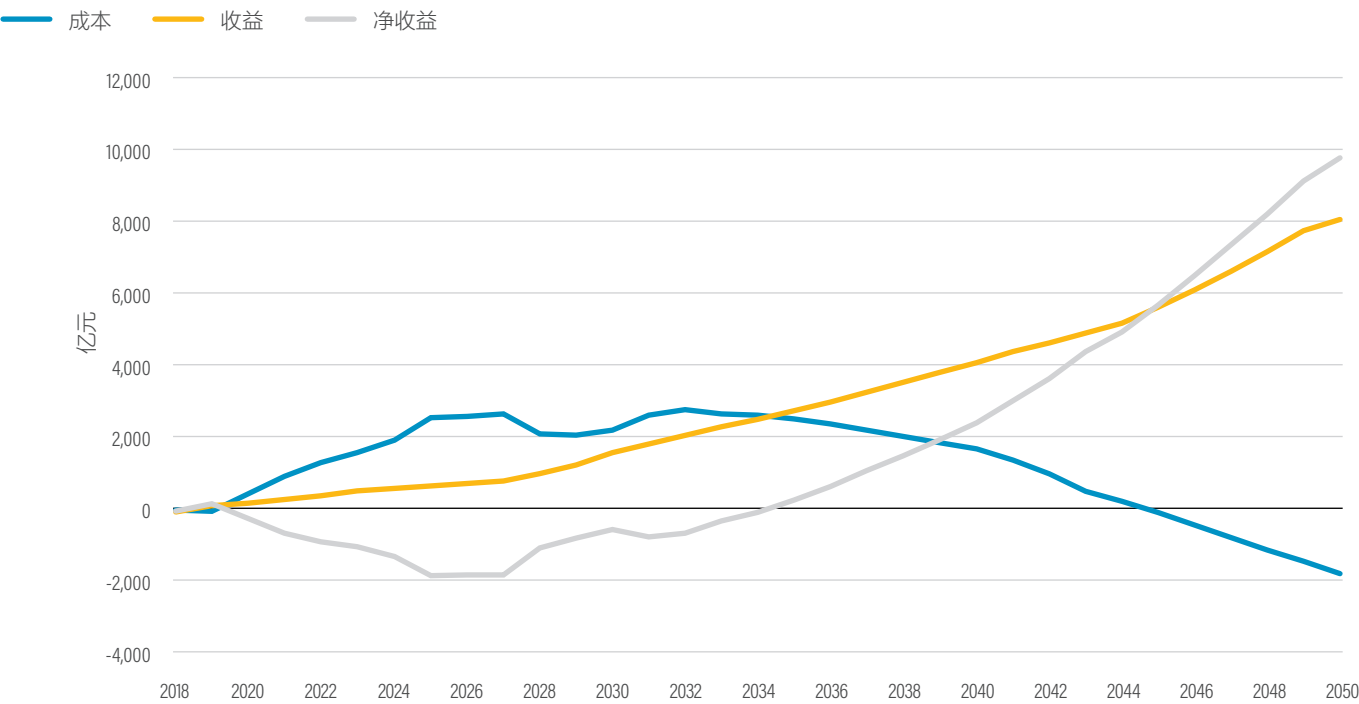


电量消费预测如下：参考情景下，全社会用电量从2018年的4307亿千瓦时，较快增长至2035年的7593亿千瓦时，2018—2035年年均增长3.39%；随后继续增长至2050年的8233亿千瓦时，2036—2050年年均增长0.5%，人均用电量达到1.34万千瓦时。低碳情景下，全社会用电量2035年增长至7635亿千瓦时，2018—2035年年均增长3.42%；随后继续增长至2045年达峰，峰值为8310亿千瓦时，2036—2045年年均增长0.85%；后缓慢降至2050年的8287亿千瓦时，人均用电量达到1.35万千瓦时。近零情景下，全社会用电量2040年增长至9086亿千瓦时，2018—2040年年均增长3.08%；2041年达峰，峰值为9118亿千瓦时；后缓慢降至2050年的8569亿千瓦时，人均用电量达到1.40万千瓦时。

4.2.4 成本效益分析

EPS模型通过直接成本的节约额与货币化的社会效益进行加总得到总成本效益，但需要说明的是，EPS模型测算的为相比参考情景，实现政策情景的总支出（或者收益）的变化量，而非实施该情景政策组合的总支出。因此，相比参考情景，近零情景下2034年之前采取深度减排行动的成本将大于效益，但2035年之后，净收益将变得越来越显著，2050年将达到9736亿元（见图4.2.7）。

图 4.2.7 | 近零情景下的成本、收益和净收益



4.2.5 公共健康分析

EPS模型通过二氧化硫、氮氧化物、细颗粒物和挥发性有机物等污染物排放的变化计算施加政策所避免的由于空气污染导致的早亡人数，具体计算公式见专栏2。同理，该结果也为政策情景相比参考情景的变化值，而非实施政策情景总共避免的早亡人数。因此，该数值的大小取决于政策情景下政策组合的实施力度和减排效果。对于浙江省，现在开始深度减排行动，即近零情景相比于参考情景，2018—2050年预计累计超过336万人将从减少的空气中污染物中获益（见图4.2.8）。

4.2.6 减排政策分析

EPS模型可以分析不同情景下所实施的各项政策的减排效果，从而帮助决策者识别关键的政策措施。例如，浙江EPS模型中低碳情景下考虑了22项政策措施，从图4.2.9中可以发现，减排潜力较大的政策有提高零碳电力供应比例的措施（包括可再生能源配额制、加快核电建设、增加外来非化石电力供应、火电提前退役等）、强化工业减排的措施（包括提高工业能效水平、含氟气体处理、工业用能结构低碳化等）、实施跨行业管理减排的措施（包括开展碳交易、实施碳捕集与封存技术等）。后续政策制定则基于以上信息设计适用于本地的、更加有效的减排行动方案。

图 4.2.8 | 不同情景相比参考情景所避免的年过早死亡人数

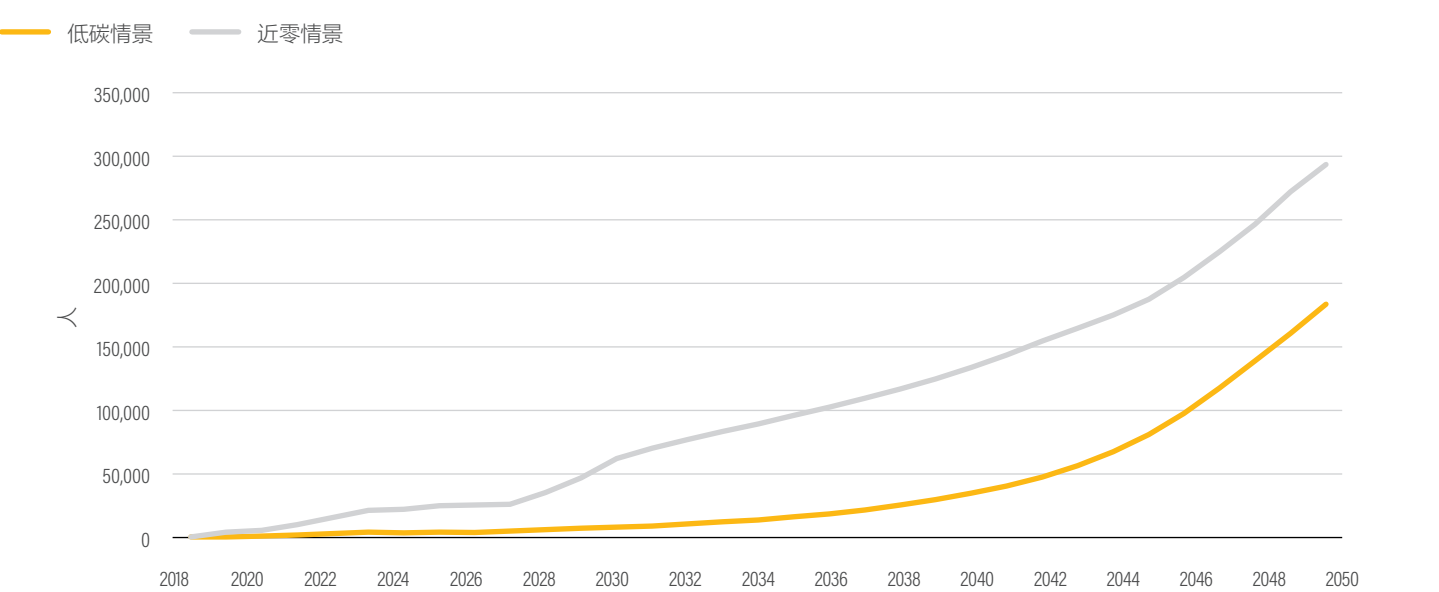
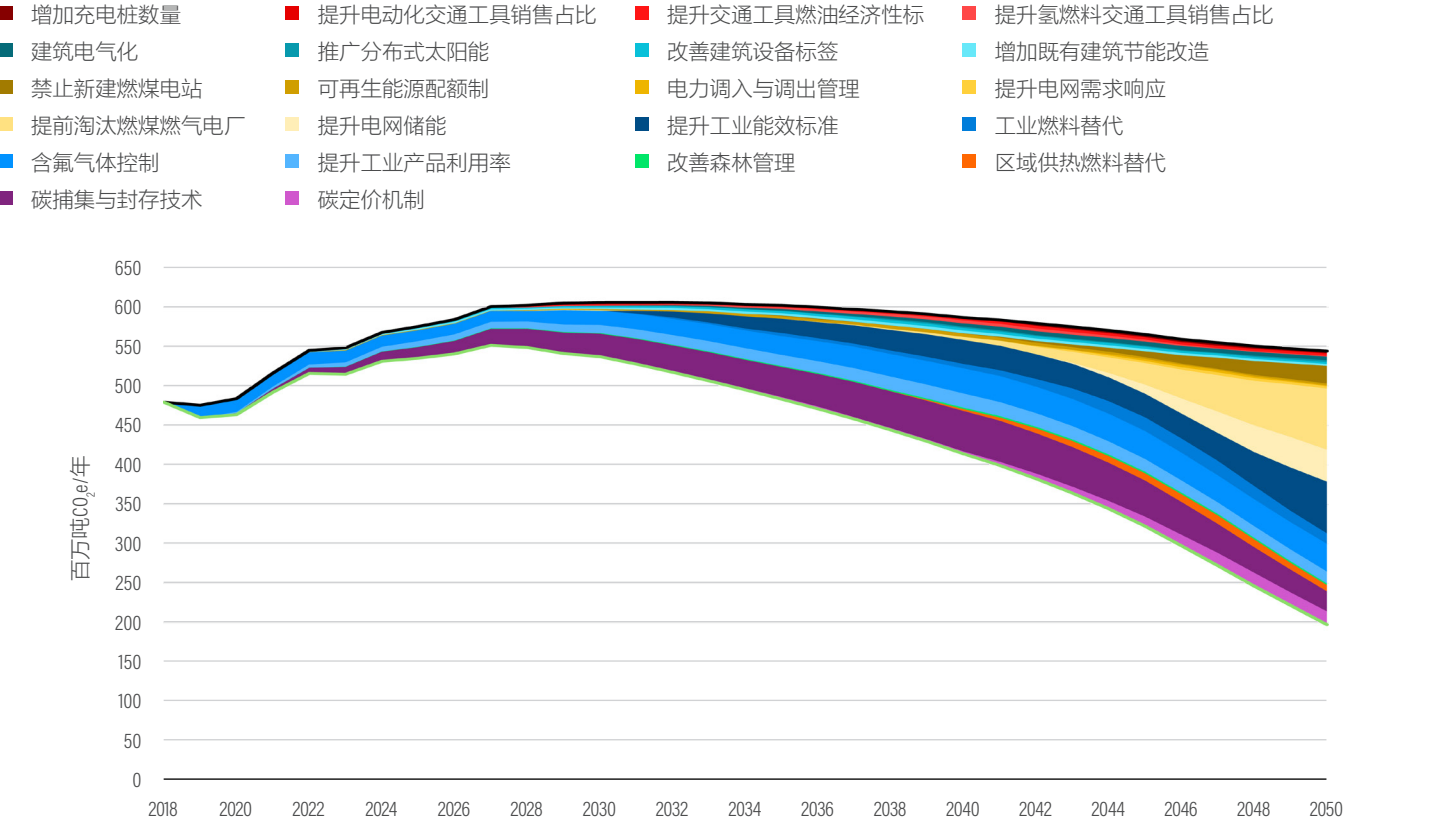


图 4.2.9 | 低碳情景下的减排政策效果



4.2.7 模型检验

根据2018年、2019年初始能源消费数据对模型进行检验，2018年、2019年浙江全省实际能源消费总量分别为2.17亿吨、2.24亿吨标准煤，EPS模型运算得到2018年、2019年能源消费总量分别为2.23亿吨、2.32亿吨标准煤，两者差异率分别为2.7%和3.5%左右。模型模拟能耗总量略高，但总体差异较小，模型结果差异率均低于5%，证明模型模拟结果比较可靠。

综上，将模型模拟数据与实际统计数据进行检验，数据基本吻合，模型相对可靠。

创新、不足与展望

5.1 创新

1. 构建了省级深度减排路径模型——浙江省EPS模型

本课题在EPS模型的基础上，根据浙江省实际情况，做了系列本地化工作，实现了EPS模型在中国省级层面的应用和初步本地化。主要体现在以下方面：

一是增加了电力调入调出量及电源结构影响。EPS模型最早针对国家层面开发，对电力调入调出考虑较少，而从省级层面来看，电力调入调出影响较大，浙江省作为电力受端的东部省份之一，净调入电量占全省用电量的三分之一以上，已成为电力电量的重要保障之一。浙江EPS模型将电力调入调出纳入温室气体排放和能源消费总盘子中，并充分考虑了不同品种电源对排放的影响，更加符合实际情况。

二是结合浙江实际对EPS模型中热电联产对应的碳排放进行调整。EPS模型假设热电联产机组主要供应电力，热力作为副产品进行供应，模型将这部分的用能排放计入电力部门。因此，在区域供热部门，模型仅考虑了分散锅炉（非热电联产机组）供热部分的碳排放。但是浙江的热电联产机组兼顾供热和发电，且以热定电，并按照发电和供热能耗分别计算各自的碳排放。浙江EPS模型结合浙江实际对热电联产处理进行调整，将热电联产按照热电比拆分到发电和供热两个部门中。

三是凸显浙江特色排放行业。EPS模型中重点突出水泥、钢铁、化工、油气加工等行业，而纺织、造纸等浙江省在全国比较有特色的重点高能耗高排放行业未能体现，浙江EPS模型中单独分析了纺织和造纸等行业的能耗总量、结构等现状和预测，体现了本地特色。

四是对重大影响因素进行敏感性分析。为了进一步探究国家重大战略项目在浙江所形成的温室气体排放格局，本研究单独对重大项目开展了有无分析，既体现了浙江省温室气体排放的一般规律，又体现了国家重大战略项目对全省排放格局的重塑。

需要说明的是，除了电力调入调出影响，其他本地化处理主要在线下进行，尚未完全同步更新模型代码及线上模型等。

2. 科学设定了参考情景、低碳情景和近零情景三种情景

本课题设定了参考情景、低碳情景和近零情景，参考情景按照现有政策和技术水平外推，主要用于其他情景对比。三种情景设定层层递进，体现了不同的控温减排目的和发展路径，既有与欧盟等先进组织对标的国际视野，又成为充分展现中国的先进省份在应对气候变化领域的先行示范和责任担当，努力成为展现中国、贡献中国力量的“重要窗口”，具有创新性、超前性和科学性。

低碳情景在参考情景的基础上，主要为全国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值贡献浙江力量，并争取为实现全球2℃温控目标而努力。该情景既考虑了全国二氧化碳达峰目标，又考虑了《巴黎协定》的2℃温控目标，体现了浙江省在应对气候变化工作方面的努力和自身发展需要。

近零情景则在低碳情景的基础上，进一步响应“力争争取2060年前实现碳中和”的目标，对标欧盟长期温室气体低排放发展战略目标及举措，致力于实现2050年能源领域净零排放、温室气体排放总体近零，率先建设“碳中和示范省”，充分体现了浙江省在生态文明建设和应对气候变化工作等方面的努力和决心。

3. 提供了系统性、可操作性强的解决方案及减排路径

本课题通过搭建浙江EPS模型，实现了对不同政策减排效果、成本、收益等方面的量化分析，能够提供客观、定量的政策选择评价结果，同时能展现并评估多种不同政策组合叠加后的组合效果。通过模型定量分析，模拟出不同行业、不同政策、不同时间点的排放情况，以及成本效益情况，并结合对浙江省经济社会发展全领域的深入分析，提出一整套系统性和可操作性强的解决方案。

5.2 不足与展望

浙江EPS模型已尽可能采用科学、合理的方法进行推演，但仍存在一定的不足，具体涵括研究过程中遇到的问题以及模型自身存在的问题：

一是数据基础仍可加强。受数据可得性的限制，部分数据未能完全采用本地数据。例如，浙江电力行业的成本类数据、交通工具的燃油经济性数据等变量大多采用了全国平均水平数据，可能会存在高估或低估排放的情况⁶。因此，后期如果有条件，仍应加强数据的精准性。

二是假设的一致性略有欠缺。模型输入变量参考了不同行业及部门的研究结果，而这些研究结果可能是根据不同的假设而得出，因此模型各变量的数据可能未基于统一的假设或前提，会造成

成模型结果的精准性下降。后期如果有条件，应尽量确保参考数据背后所依据的假设的一致性。

三是政策设定要更加明确和具体化。在设置不同情景时，模型固定的政策库中可供选择的政策表述不够清晰，其中部分政策实质是结果或效果，没有对应具体的政策抓手。例如，工业分行业能效提升政策直接表现为各行业能效水平提升的百分比，但无法体现不同行业通过何种手段或者措施完成能效提升。相对笼统的政策对后续完成碳减排任务影响较大，会降低政策预期效果。因此，政策库中需进一步细化和明确政策举措。

四是模型开发的模块和逻辑应更加本地化。浙江EPS模型开发基于国家层面且以美国的EPS模型为主，基本逻辑仍采用国家（美国）的思路，本研究团队通过线下操作进行了修正和调整，使模型更加符合本地情况。但考虑到后续模型工具的开发与更新，建议EPS模型应用到省级区域层面时，模型开发团队可以进行一定的调整：

- 建议重点行业进一步体现本地化特征。由于EPS模型基于美国模型开发，因此变量的设置（如能源品种和行业划分）未能与中国、浙江的主流划分对应。例如，浙江的传统高能耗产业纺织业、造纸业，以及一些新兴的排放较高的制造业，均未能在模型中单独体现，而是划分到了工业部门下的“其他行业”中。因此，建议后期继续优化EPS模型的结构，争取实现行业的自由选择 and 设定。
- 模型中分布式光伏发电、分布式天然气发电和分布式供热等加工转换是优先自发自用并且不参与电网统一调度的，但是浙江省实际情况为分布式发电基本统一上网，参与电网统一调度。因此建议后期模型的结构能更好地体现有中国特色的电力调度机制。
- 关于热电联产排放的处理，建议EPS模型后期按照目前的线下处理方式和中国的统计制度，将热电联产机组拆分为发电和供热碳排放，并按照供热比分别核算到发电部门和供热部门。
- 应进一步考虑区域能源调入调出、交通活动等边界问题。目前模型中已考虑电力调入调出情况；交通行业也纳入了国际燃料仓排放，然而未进行边界内外的区分，而统一计入本地交通行业总排放。随着浙江自贸区保税油加注量的快速增加等因素影响，国际水运、国际航空排放将越来越高。因此，建议EPS模型能更好地区分并呈现范围三活动（即跨边界活动）所导致的排放。

附录：浙江EPS模型基础数据来源

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
建筑	BASoBC	参考情景下建筑物构件花费的金额	高	部分是	美国 EPS 模型，浙江与美国人均 GDP 比例
建筑	BCEU	参考情景下建筑物构件的能源使用量	很高	是	《基于能耗总量控制的建筑节能标准及实施机制研究》、《重塑能源：中国面向 2050 年能源消费和生产革命路线图建筑卷》、历年中国统计年鉴
建筑	BDEQ	参考情景下分布式发电数据（用于建筑中的）	高	是	中国分布式发电的现状研究、浙江统计局等
建筑	BFoCSbQL	建筑构件按质量等级的销售占比	可选	否	美国 EPS 模型
建筑	BRESaC	建筑物改造节能量和改造成本	中	部分是	美国劳伦斯伯克利国家实验室、美国能源信息署、席永刚等《既有公共建筑供暖系统节能改造的研究》
建筑	CL	建筑物构件的寿命	低	部分是	美国住房和城市发展部、美国能源之星、国家能源局
建筑	CpUDSC	单位分布式太阳能发电装机的成本	低	否	美国 EPS 模型
建筑	DSCF	分布式光伏发电容量因子	中	部分是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》、美国 EPS 模型数据
建筑	ECiCpCU	建筑构件单位支出的碳含量	低	否	美国 EPS 模型
建筑	EoBSDwEC	建筑服务需求对能源成本的弹性	中	否	美国能源信息署《2020 年度能源展望》假设说明文件
建筑	EoCEDwEC	建筑构件的能源需求对能源成本的弹性	中	否（美国 EPS 模型和中国）	Paul J.Burke 等《中国煤炭需求的价格弹性在增长吗？》、Hillard Huntington 等《主要工业化经济体的国际需求弹性回顾》
建筑	EoCPwEU	建筑构件的价格对于能源消耗的弹性	低	否	美国 EPS 模型
建筑	EoDSDwSP	分布式光伏发电利用率对补贴率的弹性	中	否	贾亚雷等《基于省级截面数据的分布式光伏发电补贴政策实证分析》、彭博新能源财经、美国 EPS 模型
建筑	FoBoBE	不同实体所拥有的建筑面积的比例	中	部分是	从历年浙江省统计年鉴获得浙江省分行业产值比例、美国 EPS 模型

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
建筑	MSCdtRPbQL	基于质量等级的退款计划所导致的市场占有率变化	中	否（中国数据）	《国务院关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知》
建筑	PCFURfE	建筑构件电气化的用能减少比例	低	否	美国 EPS 模型
建筑	PEUDfSbQL	建筑构件不同质量等级下的能耗差异率	中	否（美国数据）	能源之星认证产品信息
建筑	PPEIdtICEaT	提升承包商教育和培训水平所导致的建筑能效提升率	低	否	美国 EPS 模型
建筑	PPEIdtIL	改进建筑构件标签所导致的能效提升率	低	否	美国 EPS 模型
建筑	RBFF	政策情景下建筑燃料变动情况	可选	是	政策情景设置
建筑	SoCEUtINTY	每年建筑构件中新建构件的能耗占比	根据校准决定	否	美国 EPS 模型
碳捕集与封存	BFoCPAbS	参考情景下分行业碳捕集封存量占排放比例	中	部分是	国际能源署、2017 年浙江省能源平衡表
碳捕集与封存	CC	碳捕集与封存成本	低	否	美国 EPS 模型
碳捕集与封存	CCP	碳捕集与封存固碳潜力	中	是	国际能源署中国煤电碳捕集和碳封存潜力报告等、根据实际情况判断
成本输出	CFQS	现金流量化规模	不适用	/	/
成本输出	DR	折现率	低	是	《建设项目经济评价方法与参数（第三版）》
控制变量	BAEPAbCiGC	布尔变量：发电成本的变化是否会影响电价	可选	是	政策情景设置
控制变量	BENCEfCT	布尔变量：碳税中是否免除非二氧化碳排放	可选	是	政策情景设置
控制变量	BEPEfCT	布尔变量：碳税中是否免除过程中排放	可选	是	政策情景设置

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
控制变量	BIEfIE	布尔变量：碳税中是否包含进口电力的排放	可选	是	政策情景设置
控制变量	BUTYGV	布尔变量：是否应用 20 年时间尺度的全球增温潜势	可选	是	政策情景设置
控制变量	EoSEUwGDPiR	分行业能耗与 GDP 间的弹性	中	否（中国数据）	历年中国统计年鉴、历年中国能源统计年鉴
控制变量	GDPGR	未来 GDP 增速	很高	否（中国数据）	国际货币基金组织《世界经济展望》
累积计算	PQS	污染物量化规模	不适用	/	/
区域供热	BFoHfC	供热中热电联产比例	高	是	专家判断和 2017 年浙江省能源平衡表
区域供热	BFoHPbF	参考情景下不同燃料品种供热比例	高	是	专家判断和 2017 年浙江省能源平衡表
区域供热	EoCtUH	可用热转化效率	可选	否	美国 EPS 模型
区域供热	RHFF	供热燃料转换比例	可选	是	政策情景设置、浙江省“十四五”能源发展思路研究，并征求国家和浙江省相关专家意见
电力	ARpUiiRC	相对成本每单位增加所导致的退役装机容量	根据校准决定	部分是	美国 EPS 模型数据、浙江现状
电力	BCpUC	单位容量的电池成本	低	否	美国 EPS 模型
电力	BCRbQ	参考情景下退役机组容量	高	是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》
电力	BDPbES	参考情景下不同发电类型调度优先级	可选	否	根据实际情况进行判断
电力	BDSBaPCF	布尔变量：供应商是否按峰值容量因子投标	低	否	美国 EPS 模型
电力	BECF	参考情景下负荷因数	中	是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》、《浙江省能源发展报告 2018》、浙江省发展规划研究院研究成果，并征求国家和浙江省相关专家意见
电力	BGrBSC	参考情景下电网电池存储容量	高	是	根据专家咨询会意见对浙江省未来电网储能发电量进行预测

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
电力	BGCL	参考情景下装机寿命	低	否	美国 EPS 模型
电力	BGDPbES	参考情景下不同品种发电保证调度比例	可选	是	根据实际情况设定
电力	BHRbEF	参考情景下发电燃料消耗（度电能耗）	中	部分是	2017 年浙江省能源平衡表、中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》
电力	BPaFF	布尔变量：供应商是否按峰值容量因子投标	高	是	浙江省调峰现状
电力	BPHC	参考情景下抽水蓄能装机	高	是	国家相关规划
电力	BPMCCS	参考情景下政策强制装机容量时间表	可选	是	浙江省相关规划、浙江省发展规划研究院研究成果
电力	BRPSPTY	参考情景下可再生能源发电占比	高	是	浙江省相关规划、浙江省发展规划研究院研究成果，并征求国家和浙江省相关专家意见
电力	BTaDLP	参考情景下输配电损失率	高	是	2015—2018 年浙江省能源平衡表
电力	BTC	参考情景下电网传输容量	高	是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》
电力	CCaMC	不同装机建造和运维费用（运营成本包括固定成本和可变成本）	中	否（中国数据）	各类型造价统计：北极星电力网《各类型电厂造价统计》；煤电发电机组成本：华北电力大学煤电经济性研究课题组《中国燃煤发电项目的经济性研究》；天然气发电成本：公众号“造价与财评”《天然气发电项目简要财务模型》；垃圾发电成本：公众号“造价与财评”《垃圾焚烧发电项目简要财务模型》；风电：《海上风电场度电运维成本下降策略》、《风电光伏等可再生能源发电成本持续下降》；光伏发电：《2019Q4 光伏组件、电站 EPC 组件开标价格统计：近期开标价格略低于平均水平》
电力	DCpUC	每单位电力装机退役成本	低	否	美国 EPS 模型
电力	DPbES	分品种电力调度优先级	不适用	是	政策情景设置：根据浙江省实际情况填写
电力	DRC	需求响应容量	高	部分是	根据上海市的 EPS 模型和浙江省 2019 年需求响应政策通知
电力	DRCo	需求响应成本	低	否（中国数据）	中关村储能产业技术联盟《北京需求响应回顾》
电力	ElaE	浙江省调入调出电量	高	部分是	调入数据：中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》、浙江省发展规划研究院研究成果；调出数据：中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》
电力	EoPPFTSwFP	发电厂燃料类型转换对于燃料价格的弹性	可选	否	美国 EPS 模型

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
电力	EoTCCwTC	电网传输连通系数对输电容量的弹性	中	否	美国西部电力协调委员会《WECC 路径报告》、美国国家可再生能源实验室《未来风电愿景：通过扩大输电减少风力的局限》
电力	FoOMCtiL	运营维护费中劳动力比例	中	否	美国国家环境保护局《新燃煤电厂的性能和成本估算》
电力	FoTCAMRBtPF	跨边界输电容量中可提供灵活性的占比	低	否	美国 EPS 模型
电力	FPC	灵活度计算	低	否	美国 EPS 模型
电力	FPCbS	分品种弹性系数	低	是	根据实际情况设定
电力	FSCaFoCC	燃料转换成本占建造成本的比例	低	否	美国 EPS 模型
电力	GDPbES	分电力品种确保调度百分比	不适用	是	根据实际情况设定
电力	MCGLT	装机容量未来最大增长空间	非常高	是	浙江省发展规划研究院研究成果，并征求国家和浙江省相关专家意见
电力	MPCbS	最大潜在装机容量	高	部分是	浙江省发展规划研究院研究成果，并征求国家和浙江省相关专家意见
电力	MPPC	最小电站装机容量	低	是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》
电力	NGEpUO	单位发电量的非燃料温室气体排放量	中	否	美国 EPS 模型输入数据
电力	NSDoDC	调度成本的标准差	低	否	美国 EPS 模型
电力	NSDoNCC	新建投资成本的标准差	低	否	美国 EPS 模型
电力	PMCCS	政策强制装机容量	不适用	/	目前不设置政策情景下强制建设量
电力	PTCF	峰值时的负荷率	高	是	结合实际情况判断
电力	RM	容量备用率	低	是	根据专家意见，夏季用电高峰时段，既要满足供电安全可靠的要求，又减少调峰机组建设投资，全网实际可行的系统备用率至少要达到 5%
电力	RQSD	定义可再生能源品种	中	是	参考国家数据
电力	SLF	系统负荷率	中	是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》，浙江省发展规划研究院研究成果，并征求省相关专家意见
电力	SYC	起始年装机容量	高	是	《中国能源发展报告 2017》、中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》
电力	TCAMRB	电力调入调出通道传输容量	高	是	中国电力企业联合会《2017 年电力工业统计资料汇编》

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
电力	TCCpUCD	单位容量距离的输电设施建设成本	中	否（中国数据）	Gang He 等《SWITCH 中国：中国电力系统深度脱碳的系统方法》
电力	WUbPPT	不同类型的电厂用水量	可选	否	美国 EPS 模型
内生变量	BCbVT	不同交通工具的电池容量	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	BCSG	参考情景下全球封存的二氧化碳量	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	BGBSC	参考情景下全球电池储存容量	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	BGSaWC	参考情景下全球太阳能和风能装机容量	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	GBEtPR	电网电池能量功率比	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	PDiBCpDoC	每增加一倍电池容量时电池成本下降的百分比	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	PDiCCpDoC	每增加一倍装机容量时装机成本下降的百分比	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	PDiCECpDoC	CCS 设备每增加一倍容量时成本下降的百分比	低	否	美国 EPS 模型
内生变量	SYSoCCtaSC	起始年装机成本中软成本的占比	低	否	美国 EPS 模型
燃料	BFCpUEbS	参考情景下不同行业下不同燃料的成本	高	部分是	能源信息网、浙江省物价局、中国褐煤信息网等
燃料	BFPlaE	参考情景下燃料的生产、进口和出口	高	是	历年浙江统计年鉴、《中国能源统计年鉴 2018》
燃料	BS	参考情景下补贴	高	是	浙江省物价局、浙江在线网等
燃料	BSoFPtiT	参考情景下燃料价格中包含的税率	高	否（中国数据）	国家税务总局、国家发展和改革委员会、财政部、相关新闻等
燃料	EQS	能耗量化规模	不适用	/	/
燃料	ETRbF	燃料的出口税率	中	否（中国数据）	国家发展和改革委员会、商务部
燃料	IMFPbFT	各种燃料在国际市场上的价格	中	部分是	参考指标 BFCpUEbS
燃料	GbPbT	各类气体的全球增温潜势	低	否	美国 EPS 模型
燃料	MPIiFE	燃料出口的最大增长百分比	可选	是	政策情景设置

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
燃料	MPIiFI	燃料进口的最大增长百分比	可选	是	政策情景设置
燃料	MPIiFP	燃料生产的最大增长百分比	可选	是	政策情景设置
燃料	PEI	污染物排放强度	高	部分是	《省级温室气体清单编制指南（试行）》、《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》、《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》等
燃料	PEIR	污染物排放强度改善比	低	否	美国 EPS 模型
燃料	PoFDCTAE	燃料需求变化引起的出口量变化率	高	是	根据实际情况作出解释说明
地球工程	DACD	直接空气捕获数据	高	部分是	Realmonte 等《跨模型评估直接空气捕获技术在深度减排中的作用》、浙江与全球的 GDP 比例
氢能	BHPSbP	制氢工艺路径占比	中	否（中国数据）	《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》、中泰证券研究所
氢能	EHPpUC	电解槽单位容量产氢量	低	否	美国 EPS 模型
氢能	HPEbP	各类制氢工艺的制氢效率	低	否	美国 EPS 模型
氢能	HPEC	制氢设备费	低	否	美国 EPS 模型
氢能	HPPECbP	氢气生产过剩产能百分比	低	否	美国 EPS 模型
氢能	HPtFM	各类制氢工艺的用能情况	不适用	/	/
氢能	RHPF	制氢用能转换结构	不适用	/	/
工业	BIFUbC	参考情景碳捕集前的工业燃料使用	很高	是	《中国能源统计年鉴 2018》
工业	BPEIC	参考情景过程碳排放	很高	是	历年浙江省统计年鉴、相关文献等
工业	BPolIFUF	参考情景用于能源的工业燃料比重	可选	部分是	《中国能源统计年鉴 2018》、《浙江省统计年鉴 2018》
工业	BSoAGtAP	农产品中畜牧业产品和饲料的比重	中	是	《浙江统计年鉴 2018》、2018 年全国各省市饲料工业收入排行榜
工业	CESTR	固定设备销售税	中	否（中国数据）	国家税务总局
工业	CtIEPpUESoS	实施能源效率政策节约或转换每单位能源的成本	低	否	美国 EPS 模型
工业	EoP	生产弹性	中	否	国外相关研究，如《碳价政策对美国行业的影响》

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
工业	FLRbl	分行业国外排放泄漏率	中	否	未来资源研究所《多时间段基于产出的退税对美国行业碳价的影响》
工业	FoISaGPbE	不同实体购买工业产品和供给原料的比重	高	部分是	《浙江省统计年鉴 2018》
工业	FoNEtVwP	各工业行业非能源支出中随产量变化的比例	中	否	美国 EPS 模型
工业	MHV	甲烷热值	低	否	美国 EPS 模型
工业	PERAC	工业生产过程减排量及其成本	高	否（中国数据）	美国国家环境保护局《全球非二氧化碳温室气体减排：2010 - 2030》
工业	PIFURfE	工业设备用电的能耗减少比例	低	否	美国 EPS 模型
工业	PPRiFuERoIF	淘汰落后产能带来的燃料使用比例的减少	中	否（中国数据）	石敏俊等《碳减排政策：碳税、碳交易还是两者兼之？》
工业	PPRiFuRiCaWHR	余热回收和热电联产的潜在节能水平	中	否（中国数据）	田智宇等《中国能效提升：行业潜力估算》
工业	PPRiFuRiIaLoE	提升设备改造和整合的节能水平	低	否	美国 EPS 模型
工业	RIFF	用于替代的工业燃料比重	低	部分是	政策情景设定：《浙江统计年鉴 2018》、美国 EPS 模型
工业	RoPSoPBvOD	基于农作物生产水平可支撑的素食人口与杂食者的比例	低	否	美国 EPS 模型
工业	TNRbl	按行业划分的非燃料总收入	高	是	《浙江统计年鉴 2018》
工业	WMITR	工人边际收入税率	中	部分是	浙江省政府、国家税务总局
土地利用	AOCOLUPpUA	单位面积土地使用政策年度持续成本	中	否	美国林务局《私人林地转换与管理的区域成本》
土地利用	BLAPE	参考情景土地利用变化和森林人为污染物排放	很高	是	浙江省土地资源统计数据、浙江省森林资源清查数据、《浙江省林业发展“十三五”规划》、《全面开启新时代林业现代化建设新征程》
土地利用	CAPULAbIFM	改进森林管理减少的单位土地面积的二氧化碳	中	否	美国国家环境保护局《美国林业和农业的温室气体减排潜力》
土地利用	CiLvPUAAbP	受政策影响的单位面积土地价值变化	可选	否	美国林务局《美国造林固碳的成本测算》
土地利用	CSPULApYbP	按政策划分的单位土地面积每年固碳	中	否	县级封存估计：美国林务局《美国造林固碳的成本测算》；美国森林中的活碳总量：林业产业与分析国家计划《地上总活性碳》；美国森林总面积：美国林务局《2010 年国家森林可持续报告》；采伐周期长度：北卡罗来纳州林业协会《森林管理基础》

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
土地利用	FoFEtIL	林业费用中的劳务费占比	低	否	美国 EPS 模型
土地利用	FoFObE	政府、企业或个人拥有的森林面积比例	高	是	浙江省林业局相关工作简报和统计报告
土地利用	ICoLUPpUA	单位面积土地利用政策执行成本	高	部分是	基于美国林务局《美国通过植树造林和森林管理固碳的成本》和《美国造林固碳的成本测算》折算浙江数据
土地利用	PLANAbPiaSY	一年内政策新影响的潜在土地面积	很高	是	近年浙江省国土资源公报、近年浙江省森林资源及其生态功能价值公告等
土地利用	RPEpUACE	单位二氧化碳吸收量的温室气体反弹排放	低	是	浙江省土地资源统计数据、浙江省森林资源清查数据
政策时间安排	FoPITY	当年政策实行率	可选	是	根据实际情况设定
政策时间安排	FT	最终时间	可选	是	根据实际情况设定
政策时间安排	IT	开始时间	可选	是	根据实际情况设定
交通	AVL	交通工具的平均寿命	低	是	道路交通工具：Hao 等《中国车辆生存模式》；飞机：Helen Jiang, 波音商业飞机《关于机经济寿命的主要发现》；船舶：《机动车强制报废标准规定》
交通	AVLo	车辆的平均载重量	中	部分是	《浙江统计年鉴 2018》
交通	AVMC	交通工具的平均维修成本	低	否	美国 EPS 模型
交通	BAADTbVT	参考情景下不同类型交通工具的年平均行驶里程	高	部分是	生态环境部《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》、《中国铁道年鉴 2012》、《浙江统计年鉴 2018》、《2015 年中国民航行业发展统计公报》
交通	BCDTRtSY	参考情景下未来每年周转量相较于起始年的比值	高	是	《浙江统计年鉴 2018》、浙江省发展规划研究院、浙江省交通运输科学研究院
交通	BESP	参考情景下电动汽车的补贴比例	高	部分是	《关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》、《关于支持新能源公交车推广应用的通知》、《关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》、第一电动网、卡车之家网
交通	BHNVFEAL	参考情景下历史年份新车燃料经济性	中	是	指标 BNVFE 和 SYFAFE
交通	BLP	燃油低碳标准	高	是	根据实际情况作出解释说明
交通	BMRESP	参考情景下电动汽车销售占比的最低要求	高	是	工业和信息化部等《汽车产业中长期发展规划》、美国环境与能源研究所、《节能与新能源汽车技术路线图》

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
交通	BNVFE	参考情景下新车的燃料经济性	中	是	指标 SYFAFE
交通	BNVP	参考情景下新车价格	中	否	参考美国售车数据调整
交通	BPoEFuBVT	参考情景下车辆使用各类燃料的占比	中	否（中国数据）	《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》、《关于推进水运行业应用液化天然气的指导意见》、近年中国铁道年鉴等
交通	BRAaCTSC	参考情景下针对电动汽车的行驶里程焦虑和充电时间的影子成本	中	否	Lin, Zhenhong 等《重新思考 FCV/BEV 车型系列：消费者价值权衡视角》
交通	BVTStL	布尔变量：交通工具使用是否受低碳燃油标准约束	低	否	根据实际情况设定
交通	CIRbTF	交通燃料的碳强度比	不适用	/	/
交通	ECpV	交通工具的碳含量	低	否	美国 EPS 模型
交通	EoCSoEVMS	充电站对电动汽车市场份额的影响	低	否	Sierzchula, William 等《经济激励和其他社会经济因素对电动汽车采用的影响》
交通	EoDfVUwFC	用车需求对燃料成本的弹性	中	否	轻型车：美国国家环境保护局和美国国家公路交通安全管理局《2017 年及以后轻型车温室气体排放量和企业平均燃油经济性标准（最终规则）》；重型车：美国国家环境保护局和美国国家公路交通安全管理局《中重型车温室气体排放标准和燃油效率标准（最终规则）》；飞机（燃油占机票成本的部分）：国际航空运输协会《国际航空运输协会经济简报：航空燃油和劳动力成本份额》；飞机（航空旅行的弹性需求）：国际航空运输协会《航空旅行需求：国际航空运输协会经济简报第 9 期》；铁路：Sinha, Kumares 等《交通决策：项目评价与规划原则》；船舶：Sinha, Kumares 等《交通决策：项目评价与规划原则》；摩托车：同重型车
交通	EoFoNVFE	收费和退税制度对新车燃料经济性的影响	中	否	Greene, Patterson 等《退税和油税：提高燃油经济性的激励措施研究》、John German 等《退税程序设计和实施的最佳实践》
交通	EoNVFEwFC	新车燃料经济性对燃料成本的弹性	中	否	轻型车：Kenneth 等《汽车运输能源政策：基于国家能源模型系统的比较》；重型车：Harrington 等《提高重型汽车燃油经济性》；插电式混合动力车用电量的占比：美国能源部替代燃料数据中心《混合动力和插电式电动车排放数据来源和假设》
交通	EoVPwFE	车辆价格对燃油经济性的弹性	低	否	美国 EPS 模型

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
交通	EVCCC	电动汽车充电设施的资本投入	低	否	美国 EPS 模型
交通	EVCLC	电动汽车充电设施的劳务成本	低	否	美国 EPS 模型
交通	FoVObE	不同实体所拥有的车辆的比例	高	部分是	《浙江统计年鉴 2017》、《中国公共交通资源图鉴》
交通	GCApLC	每一单位低碳燃油标准能够减少的二氧化碳量	不适用	/	/
交通	ICtPSfL	生产低碳燃油替代燃料的边际成本	中	否	中国无低碳燃油政策
交通	LCPC	低碳燃油标准的价格上限	不适用	/	/
交通	MPNVbT	不同燃料类型交通工具的最大占比	中	部分是	指标 SYVbT 数据、美国 EPS 模型、浙江省发展规划研究院相关研究
交通	MPoEFubVT	交通工具每种燃料可利用的最大占比	低	否	美国 EPS 模型
交通	P	人口	高	是	《浙江省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、浙江省发展规划研究院研究相关研究
交通	PCiCDTdtDM	交通需求管理引起的客运 / 货运运输量的变化	中	否（中国数据）	《重塑能源：中国面向 2050 年能源消费和生产革命路线图交通卷》
交通	PTFURfE	交通用电的能耗减少百分比	低	是	《燃油车 VS 电动汽车，耗能都用煤换算，哪个耗的多？》、《城市交通碳排放监测评估研究与实践》
交通	SDoVPbT	按技术划分的车辆价格的标准差	低	否	美国 EPS 模型
交通	SoCDTiNTY	当前年份新增加的周转量的份额	根据校准决定	是	根据校准决定
交通	SRPbVT	不同交通工具的不同污染物的控制情况	中	否（中国数据）	《轻型汽车污染物排放限值及测量方法》、《摩托车污染物排放限值及测量方法（中国第四阶段）》、《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》、交通运输部相关政策等
交通	SYBSoEVP	起始年电动汽车电池价格的占比	低	否	美国 EPS 模型
交通	SYFAFE	起始年份交通工具的平均燃料经济性	中	否	《中国铁道年鉴 2017》、交通运输行业发展统计公报、《民航节能减排“十三五”规划》、《武汉市交通碳排放达峰路径研究》、美国 EPS 模型
交通	SYVbT	起始年份（2017 年）的交通工具保有量	很高	部分是	国家统计局、《浙江统计年鉴 2018》、历年民航业发展统计公报等

附表 1 | 浙江EPS模型数据来源（续）

类别	缩写	指标含义	指标更新的重要性	数据是否为浙江特定值	数据来源
交通	VBDR	购车贴现率	中	否	美国国家环境保护局《消费者如何评价燃油经济性：文献综述》
交通	VQS	汽车量化大小	不适用	/	/
交通	VTStFES	符合燃油经济性标准的车辆技术	低	否	美国 EPS 模型
其他参数	BGDP	参考情景下国内生产总值	可选	是	近年浙江省统计年鉴、《浙江省国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》
其他参数	SCoC	碳的社会成本	低	否（全球数据）	美国碳的社会成本跨部门工作组《碳的社会成本监管影响分析技术更新报告》中提供的全球通用数据
其他参数	SCoHibP	污染物对健康影响的社会成本	中	否（中国数据）	基于美国国家环境保护局《基于响应曲面模型的吨效益估算》折算中国的社会成本
其他参数	VoaSL	生命的统计价值	中	否（中国数据）	世界银行发展研究组《生命统计价值：中国研究》
网页设计	BCF	BTU 换算系数	中	是	单位换算
网页设计	BpTPEU	一次能源单位换算为 BTU 的系数	中	是	单位换算
网页设计	CDCF	周转量换算系数	中	是	单位换算
网页设计	LpWOU	用水量单位换算为升的系数	低	是	单位换算
网页设计	OCCF	货币换算系数	中	是	单位换算

注：按照模型设置，指标对于新区域更新的重要性为低、可选或者不适用的，可不做更新处理。因此，浙江 EPS 中，以上三类指标的大部分数据直接参考美国 EPS 模型。有关美国 EPS 模型数据的说明可以在网站（<https://us.energypolicy.solutions/scenarios/home>）公开获取。

注释

1. EPS模型由美国能源创新有限责任公司（Energy Innovation LLC）开发，受到麻省理工学院和斯坦福大学的技术支持，并获得来自美国阿贡国家实验室、美国国家可再生能源实验室、美国劳伦斯伯克利国家实验室、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心、国家发展和改革委员会能源研究所及气候互动组织（Climate Interactive）的相关专家们的评审与认可。浙江EPS模型的开发与应用由浙江省发展规划研究院、世界资源研究所和能源创新共同完成。
2. 根据数据、部分行业发展信息的可获得情况，选择2017年作为EPS模型运行的基准年。
3. 一般对于一个地区，农业和废弃物处理行业的能耗和排放占比很小，故EPS模型不单独将其作为一个部门进行展示，而统一纳入工业领域进行考虑。
4. 政策实施时间和实施力度：模型中可以设定任何政策的实施时间表。例如，某一项政策可以在起始年份实施，也可以在整个模型运行过程中分阶段实施。同时，模型可以设定任何政策在不同时间点上的实施力度。例如，某一项政策可以在第一个预测年就以100%的力度实施，也可循序渐进地不断加大实施力度。。
5. 根据气候研究机构Climate Action Tracker预测，2°C温控目标下中国2050年排放区间为54.6亿~82.1亿吨二氧化碳当量。1.5°C温控目标下中国2050年排放区间为4.5亿~54.6亿吨二氧化碳当量。取1.5~2°C温控目标的临界值（54.6亿吨二氧化碳当量）对浙江省温室气体占比进行测算。。
6. 如专栏1中所示，电力行业匹配装机、电力调度也会基于成本最优的原则，因此成本数据也会直接影响发电水平，从而影响能耗与排放。

参考文献

1. Rissman, J., and H. Chrysolite. 2017. "A Tool for Designing a Policy Package to Achieve Indonesia's Climate Targets." Technical Note. Jakarta, Indonesia: World Resources Institute. Available online at: <http://www.wri.org/publication/indonesia-eps-tech-note>
2. Xiaoqian Jiang, Mengpin Ge, Robbie Orvis, Jeffrey Rissman, Lawrence Lu, and Roman Henning. 2019. "Hong Kong Energy Policy Simulator: Methods, Data, and Scenario Results for 2050." Technical Note. World Resources Institute, Beijing. Available online at https://wri.org.cn/en/HONG_KONG_ENERGY_POLICY_SIMULATOR_FOR_2050_EN
3. Kai Fang, Yiqi Tang, Qifeng Zhang, et al. Will China peak its energy-related carbon emissions by 2030? Lessons from 30 Chinese provinces. Applied Energy 255 (2019) 113852

致谢

作者由衷感谢以下人士，在本研究开展及技术论文编写过程中给予了大力支持，提供了诸多宝贵的意见与建议。

包括世界资源研究所的同事：方莉、房伟权、蒋小谦、杨晓亮、李相宜、葛梦玘、宋然平。

外部专家：

Jeffrey Rissman，美国能源创新

Robbie Orvis，美国能源创新

Megan Mahajan，美国能源创新

蔡刚，原浙江省能源局

陶家铜，原浙江省电力行业协会

刘佳，上海市信息中心

胡逸铭，浙江省电力研究院

田川，国家应对气候变化战略研究和国际合作中心

方凯，浙江大学

余亚东，华东理工大学

朱佳雷，天津大学

此外，作者还想感谢实习生杨曦、邵浅予、马文静、易文对研究工作的支持，感谢谢亮对文章的文字编辑校对及张烨对文章的排版设计。

最后，作者要感谢MacArthur Foundation对项目提供的资金支持。

关于作者

奚文怡是世界资源研究所中国气候与能源部副研究员。

邮件：wenyi.xi@wri.org

周华富是浙江省发展规划研究院党组书记、院长。

吴红梅是浙江省发展规划研究院党组成员、副院长、正高级工程师。

何恒是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所副所长（主持工作），高级工程师。邮件：heh@zdpi.org.cn

陈丽君是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所高级工程师。邮件：chenlj@zdpi.org.cn

吴君宏是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所高级工程师。邮件：wujh@zdpi.org.cn

徐清琳是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所助理工程师。邮件：1031981930@qq.com

吴加荣是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所助理工程师。邮件：1204163307@qq.com

项目组成员名单

浙江省发展规划研究院

周华富 吴红梅 何 恒 陈丽君 吴君宏
郑卓联 廖 彦 徐清琳 吴加荣 高 轶
林成淼 蒋婷婷

世界资源研究所

房伟权 杨晓亮 蒋小谦 奚文怡

关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

我们的工作方法

量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的方法是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

Vision 2050

世界资源研究所于2019年启动了“愿景2050”项目，致力于推动中国深度脱碳，实现经济高质量发展。项目聚焦国家中长期气候战略和京津冀、长三角、粤港澳等关键经济区域，以低碳、高质量发展为主线，以协同发展视角，深入探索中国实现碳中和路径。

关于浙江省发展规划研究院

浙江省发展规划研究院（以下简称“规划院”）成立于1985年11月，时称“浙江省经济建设规划院”。规划院是浙江省五家高端智库建设试点单位之一，近年来紧紧围绕省委、省政府中心工作，致力于全省重大战略谋划、发展规划和重点项目推进工作，在课题研究、规划编制、工程咨询等方面提供高质量的咨询服务。

我们的业务范围

规划院承担全省全局性战略性以及热点难点问题研究咨询、产业经济和产业政策研究咨询、绿色发展战略研究咨询、社会和文化发展研究咨询、规划研究与编制、全过程工程咨询和铁路PPP项目实施机构等职责，形成课题研究、规划编制、工程咨询“三位一体”链式业务体系。

我们的研究平台

规划院是中国工程咨询协会（CNAEC）副会长单位和国际咨询工程师联合会（FIDIC）成员协会会员。拥有工程咨询甲级综合资信和13项甲级专业资信，数量列全国第二。规划院设有“浙江区域高质量发展战略研究中心”（省新型重点智库），“浙江未来社区研究中心”、“浙江人工智能研究中心”、“长三角区域一体化发展研究中心”和“浙江省大湾区研究中心”。牵头发起由35家研究机构参加、大专院校共同组成的浙江省“一带一路”智库合作联盟，与中科院大学等机构合作共建中国（丽水）两山学院，参加了中国宏观经济研究院和国家开发银行发起的长江经济带高质量绿色发展智库联盟。

我们的研究成果

规划院长期跟踪国内外能源发展形势，深度参与浙江省能源发展历程，编制了“十二五”、“十三五”能源发展规划，为国家清洁能源示范省创建、油气全产业链打造等重大能源事项提供了决策支撑；并从2007年开始系统研究应对气候变化工作，是最早关注应对气候变化的省级研究机构，已有十几年研究积累，在应对气候变化规划、区域碳达峰研究、温室气体清单编制、企业碳核查等方面积累了大量成果和经验。