



绿色经济之路：长江三角洲绿色经济模型

PATHWAYS TO A GREEN ECONOMY: THE CHINA YANGTZE RIVER DELTA GREEN ECONOMY MODEL

杨晓亮 寇玥

背景介绍

1.1 绿色经济与中国区域一体化发展战略

绿色发展已成为中国基本的发展理念之一。近年来中国经济一直保持高速增长，目前正面临着从高速增长到高质量发展的转型挑战。绿色发展是构建高质量、现代化经济体系的必然要求。习近平主席于2020年9月22日对全世界做出了中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和的承诺。这一重要宣示明确指明了中国要通过加快经济发展方式转变和经济结构调整，推进低碳转型，更好地参与、引领包括气候变化在内的全球治理。同时，中国提出了京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长江三角洲区域（以下简称“长三角”）一体化发展等新的区域发展战略，以形成高质量发展的区域经济格局。党的十九大报告提出坚定实施区域协调发展战略、可持续发展战略。绿色低碳发展是推进协调发展的主要基础。将生态文明和绿色发展理念融入区域经济发展之中，可以更好地协调社会发展与生态环境之间的关系、人与自然环境之间的矛盾，以及经济增长与环境保护之间的平衡，从而实现促进中国经济健康、持续发展的最终目标。

放眼全球，绿色经济已经成为国际社会发展的战略重点。根据经济合作与发展组织的定义，“绿色增长指在促进经济增长的同时，确保自然资产能不断提供人类福祉不可或缺的资源和服务”。联合国环境规划署（UNEP）提出“绿色经济旨在提高人类福祉和社会公平，同时显著降低环境风险和生态稀缺程度，具有低碳、资源节约和社会包容的特点”（UNEP, 2011）。在全球促进绿色增长的背景下，我们认为以下几个问题亟须思考，也

目录

背景介绍	1
GEM模型的方法论与搭建	2
定制化构建长三角GEM模型	5
长三角GEM模型的底层数据来源	8
长三角GEM模型的模拟结果	10
总结	14
局限性	15
附录	16
附件：长三角GEM模型的变量描述	17
参考文献	35

“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：杨晓亮、寇玥. 绿色经济之路：长江三角洲绿色经济模型. 2020. 技术论文，北京：世界资源研究所.
<https://wri.org.cn/publication>

亟待探索：中国在实现经济繁荣的同时，是否可以实现环境与社会福祉的共赢？可实现共赢、可持续的发展道路是怎样的？需要怎样的政策对其进行支持？如何衡量和评价政策措施的优劣影响以及可持续性？区域一体化是否可以加速中国先进地区完成低碳转型？长三角、粤港澳大湾区等经济先行区域是否可以成为中国绿色低碳发展的样板？经济发展先行地区是否有能力早于国家自主贡献（NDC）承诺目标实现碳排放达峰，并为欠发达地区腾出合理发展空间？2019年，中国政府发布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，更是将长三角一体化发展上升为国家战略，长三角是否可以成为绿色低碳发展的先行者？

在此背景下，世界资源研究所中国办公室（WRI China）基于绿色经济模型（Green Economy Model，以下简称“GEM模型”），以中国经济引擎的长三角作为研究对象，与Knowledge SRL团队共同定制开发搭建了长三角绿色经济模型（GEM-Yangtze River Delta）。此模型以长三角（即上海市、江苏省、浙江省、安徽省）的经济、社会发展历史和现状为基础，考虑《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》等政策措施，分析和探索绿色低碳经济发展路径在中国区域经济中实施的可行性及潜在影响。

1.2 为什么使用GEM模型？

在过去40年中，多种科学方法和模型已被用于设计和评估绿色经济，根据UNEP对现有模型的整理（UNEP, 2014），运用最广泛的模型包括一般均衡模型（Computable General Equilibrium models, CGE）、宏观经济计量模型（Macro-Econometric models, ME）、优化模型（Optimization models, 如MARKAL）、系统动力学模型（System Dynamic, SD）和其他模型。一般均衡模型涵盖了可持续发展的宏观经济、经济竞争力、社会公平、国民福祉等评估；宏观经济计量模型采用计量经济学方法进行宏观经济特征估算，广泛用于支持短中期的宏观经济政策（如财政政策、货币政策）分析。优化模型通常应用于能源部门以及土地使用的评估，比如MARKAL模型为决策者提供能源系统的供需预测，同时也提供了相关政策影响和能源技术的评估，但是无法应用于高度动态化和跨部门的系统分析。其他模型，如基于地理信息系统（Geographic Information System, GIS）的InVEST模型，侧重于研究自然资本、分析空间上的土地使用变化，以捕捉生态稀缺和环境风险。

由此纵观现有的大多数环境和经济模型，其在设计和研究时都聚焦于一个或两个行业或领域，并对所考虑部门的影响和受其影响的其他部门做出外生假设（Bassi, 2016）。这样虽然可以得到详细而全面的某一两个具体部门或行业的模拟结果，但无法有效地涵盖社会与自然界的众多发展动力，有时也会因为追求一到两个部门的快速增长而给其他部门带来严重的负面影响。

GEM模型基于系统动力学方法，可以呈现经济、社会和环境部门内部和之间的内生联系，并得到跨部门综合的模型结果。GEM模型不仅可以研究不同发展政策的实施对各部门产生的动态交叉影响，也可以帮助研究者和决策者对政策选择进行综合性的分析和评估。因此，GEM模型作为一个宏观而系统的模型，就我们看来，在分析和评估绿色经济方面更具优势。它既可以通过展现各细分系统的联动关系，更好地帮助我们理解经济、社会、环境效益的内在关系，以及实现效益总和和最大化的发展路径，也可以对不同的发展政策进行更广泛、更长期的研究，使我们能够预期和探索不同发展路径的潜在优劣势和可持续性。

GEM模型的方法论与搭建

2.1 GEM模型构建的基础——系统动力学

GEM模型的构建基于系统动力学，即通过在假设情景下（“What if” scenarios）进行微分运算（Differential equations），分析存量及流量等各变量间的信息反馈，并且将最优化方法（Optimization）与计量经济学（Econometrics）整合其中，以预测政策实施的效果，进一步引导决策者制定有弹性且平衡的策略（Roberts等,1983; Probs & Bassi, 2014）。图1展现了GEM模型的基础结构，此因果关系图展现了经济、社会和自然资源资本之间的相互联系。

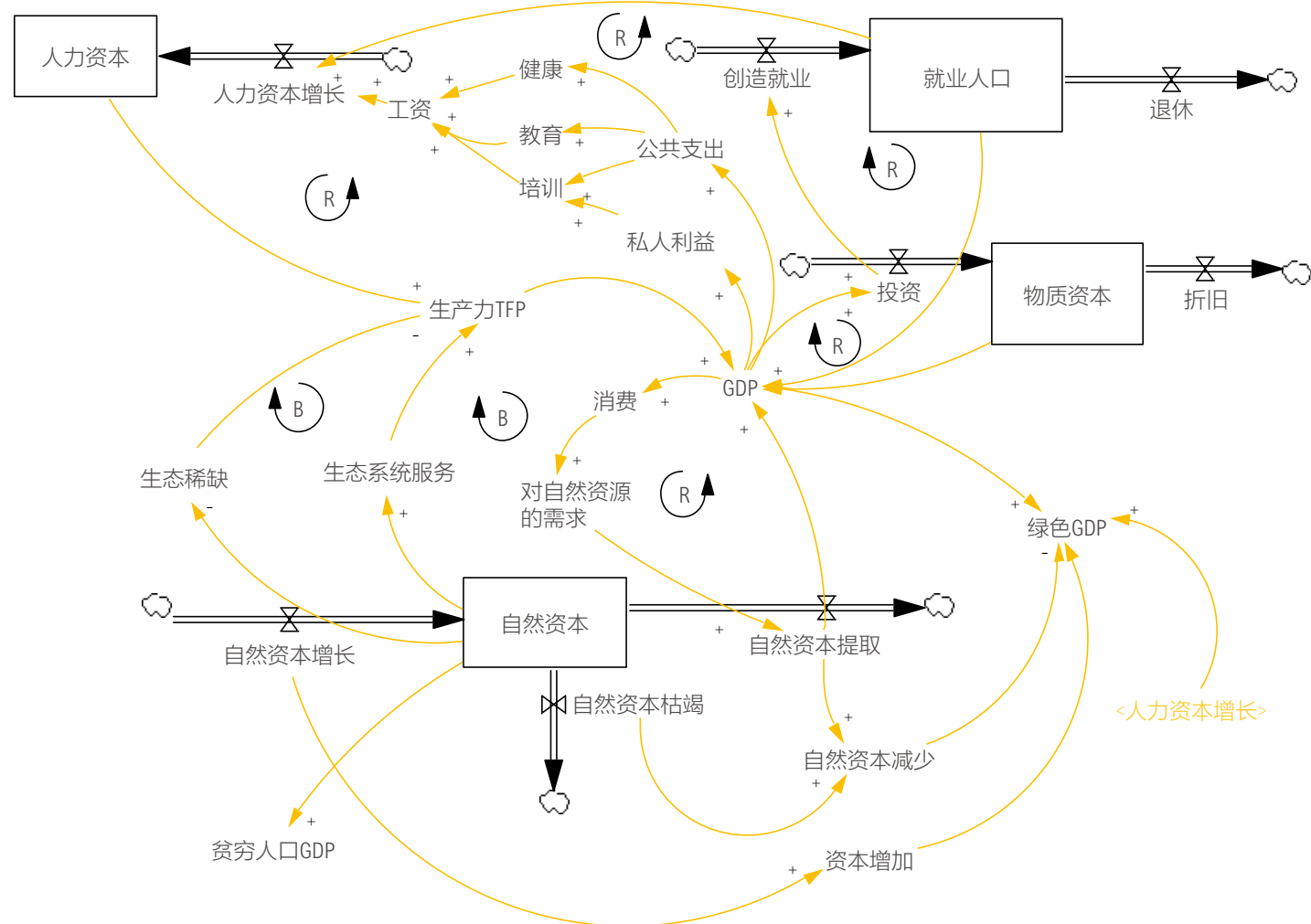
系统动力学模型通常包括“存量”（Stock）与“流量”（Flow）的关系。GEM模型描绘和记录了社会、经济、气候、自然资源等存量在建模年份起的初始值，以及在后期受到流量影响后发生的变化。例如，自然资本可以看作森林、海洋资源在自然生物界中积累的存量，随着经济开采以及资源退化等流量影响，自然资本随之逐渐减少。

反馈回路（Causal Loop）是系统动力学另一个关键概念。系统动力模型可以通过明确的加强（Reinforcing）或平衡（Balancing）反馈回路来展现各个资本变量间的相互联系。实施政策既可以促进增长，即加强循环（R），也可以遏制和平衡增长（B）。例如，自然资本短缺可能会限制经济增长。GEM模型可包括多个变量的因果循环。例如，高经济产出会增加居民等经济个体的消费支出需求，通过摄取自然资源开展经济活动以满足消费的同时，会进一步增加经济产出。而对自然资源使用的需求和消耗也将增加温室气体排放量，并造成环境商品和服务的可获得性下降，进一步将会对生产率产生负面影响，从而降低未来的经济产出。实施干预政策可以促进可持续的消费和生产，使经济增长与资源使用脱钩，减轻对自然资源的剥削，并产生更强大、更具弹性的绿色增长。

2.2 GEM模型结构

GEM模型涵盖了以下几个部门，以确保有效分析绿色经济机遇：

图 1 | GEM模型主要模块及关系的因果关系图（CLD）



■ **工业领域（Industrial sectors）**：工业部门是传统碳密集型结构框架下的主要经济部门，它为现代生活做出了巨大的物质贡献，如钢铁、机械、化工和纺织等。各种研究证明，不断上升的能源价格和环境外部性是工业部门当下面临的最大挑战之一。因此，发展节能技术、提高资源利用效率、降低成本并减少对环境的破坏是工业部门持续繁荣发展的重要条件。需要采取的行动包括改造和替代旧的“褐色（Brown）”经济结构，制定创新法规，并引入“绿色（Green）”的经济结构。

■ **以自然资源为基础的领域（Natural capital-based sectors）**：这类部门严重依赖自然资源的可获得性和可利用性，如农林牧渔业、旅游业等。只有以维持生态系统平衡的方式管理和开采资源，这类部门才能实现蓬勃的、可持续的发展。过度开采自然资源最终将损害生产

力和竞争力，应避免过度利用自然资源，遏制对生态系统服务不可逆的负面影响。

GEM模型将绿色经济发展相关的变量设置为内生变量。例如，国内生产总值（GDP）及其主要决定因素、人口及其主要决定因素，以及自然资源的需求和供应都由模型内生决定。GEM模型将受分析问题影响小的变量设置为外生变量，如政府收入为GDP乘以税率，税率被设置为外生变量。

实施干预所需的投资、增加的效益和避免的成本都是GEM模型绿色经济分析的主要产出。在效益中，指标包括部门增加值（由自然资源存量和流量驱动，如可持续农业产量和生产）、直接创造就业以及相对收入的变化。避免的成本包括不必要的消费，以及保护生态即可避免的潜在恢复成本。将这些成本与基线情景下政策造成的潜在损失进行比较，估算整个经济的年度现金流、盈亏平衡点和投资回报率。

2.3 GEM模型的动态关系结构

GEM模型构建了经济、社会和自然资本系统完整的关系结构。大量的跨部门联系增加了模型的动态复杂程度，不仅可以分析实体部门的社会经济情况，包括跨部门的生产增加值和就业、支出、价格、财政平衡和公共债务，以及人口和劳动力供应，同时还计算了土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF）、能源、废弃物、工业生产过程和产品使用环节的温室气体排放量。另外，GEM模型还为多个部门提供细分类别，使模型可以输出更具结构化、细节化的结果。例如，能源部门下主要分为可再生能源和不可再生能源的供应，以及森林和土地利用中按主要农作物分类的农业部门。因此，GEM模型的框架构建完全适合绿色经济分析，同时填补现存主流模型对绿色经济有关工作的空白，以交互且更详细的跨部门研究功能满足政策研究的需求。

2.4 细分行业架构剖析

GEM模型对以下部分板块及行业构建因果关系分析，并进行情景模拟分析：人口、气候条件、土地利用、碳汇、GDP和就业、农业、工业和服务业、就业及科技、家庭账户、政府账户、能源消费、能源费用、发电量、温室气体排放（包括二氧化碳排放等）、水体氮元素等营养负荷、交通、空气污染物、固体废物、与交通相关的外部因素、水的机会成本以及生物多样性。

下文以温室气体排放为案例，对GEM模型在行业中的搭建及计算过程进行详细展示。更多行业的搭建及计算过程参见附

件。温室气体排放版块计算研究区域所有部门的温室气体排放量，提供了有关温室气体排放量随时间变化的信息，并可以评估政策对人均温室气体排放量和碳的社会成本的影响。温室气体排放总量为能源、工业、废弃物和土地利用细分版块下排放量的加总。图2的树状图列举了计算全行业温室气体所包含的变量。

工业及废弃物的温室气体排放量是根据省份（公式中简称“省”，下同）工业部门实际国内生产总值和工业单位排放强度计算的（公式1）。

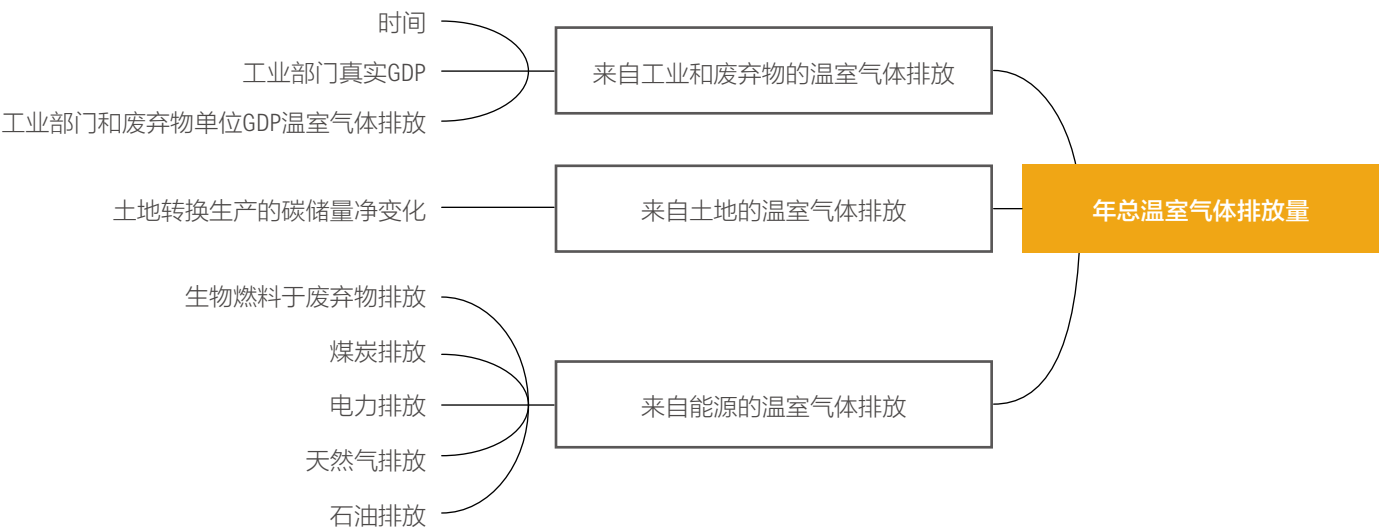
工业和废弃物的温室气体排放量[省]
=工业部门实际国内生产总值[省]×工业部门和废弃物单位GDP
温室气体排放[省]（时间）

公式 1工业和废弃物的温室气体排放量（省）

土地的温室气体排放量是根据土地转换产生的碳储量净变化和土地产生的温室气体排放量的变量计算的。计算基于土地利用的5种流量以及相对应的土地碳排放因子²。土地利用变化（如从农业耕地到林地的转变）会增加碳汇，从而影响温室气体排放总量，甚至达到负排放。因此，温室气体总排放在某些年份会低于能源与电力行业的排放量。

能源活动相关的温室气体排放为年份所有能源消耗所产生的排放量之和³。用于计算排放量的燃料包括煤炭、石油、天然气、电力和生物燃料及其废弃物（公式2）。能源的相对温室气体排放

图 2 | 温室气体排放计算因果图



量是用能源目前的温室气体排放量除以其基准年初始值得出的，用于估计温室气体排放量对全要素生产率的影响⁴。

$$\begin{aligned} & \text{能源行业总温室气体排放当量[省]} \\ &= \text{生物燃料及其废弃物排放[省]} + \text{煤炭排放[省]} + \text{电力排放[省]} \\ &+ \text{石油排放[省]} + \text{天然气排放[省]} \end{aligned}$$

公式 2 能源行业总温室气体排放当量（省）

总温室气体排放当量用于计算人均温室气体排放当量和碳的社会成本（公式 3）。人均温室气体排放当量是用总温室气体排放当量除以人口计算得出的。碳的社会成本则基于温室气体排放总当量和每吨碳排放的社会成本计算得出（Nordhaus 2017）。

$$\begin{aligned} & \text{年度碳排放的社会成本[省]} \\ &= \text{年度温室气体总排放当量[省]} \times \text{每吨碳排放的社会成本} \\ & \quad (\text{美元对人民币汇率转换}) \end{aligned}$$

公式 3 年度碳排放的社会成本（省）

定制化构建长三角GEM模型

3.1 长三角GEM模型搭建目的与结构

长三角GEM模型是GEM模型应用于中国区域的第一个版本，可以评估长三角地区跨区域、跨部门、多维度以及随着时间推移而产生的政策效果。该模型旨在帮助国家及区域政府决策者确定经济、社会与环境各部门的协同发展路径，以期实现长三角地区中长期经济发展目标的同时，探索优化经济结构和减少自然资本消耗的可持续解决方案，从而引领中国发达地区率先完成向低碳路线的过渡。

长三角GEM模型在GEM模型常规框架基础上，对浙江省、江苏省、安徽省和上海市进行了定制，可捕捉省级情况。用于模拟四个省份经济、社会和环境的指标及方程式设置相同。长三角GEM模型对每个省份使用独立脚本，使用各省份的数据，以反映每个省份不同且独立的发展情况及特色。同时，该模型还考虑区域一体化政策带来的相互影响，将省级策略整合到长三角区域一体化发展战略中。

3.2 长三角GEM模型的情景设置

3.2.1 基线情景与绿色经济情景

长三角GEM模型的时间跨度为2020—2050年。以2000—2017年历史真实数据为基础，进行趋势的模拟及验证。由于真实数据发布的滞后性，2018—2019年延续历史趋势进行模拟估算。政策从2020年开始施加，模型在不同情景下评估2020—2050年期间不同政策干预对变量的影响。

长三角GEM模型模拟了2种情景，分别为基线情景和绿色经济情景：

- **基线情景**（Business-As-Usual, BAU）：假设经济、社会、气候和环境等历史趋势的延续，并且考虑了已经实施或将要确定实施的政策，包括新冠肺炎疫情相关的经济刺激计划。该情景反映了环境的持续变化趋势，包括污染、环境商品和服务的稀缺性，以及对社会和经济具体指标的影响。该情景作为政策分析的基准和参考，可以与其他政策情景方案的结果进行比较和评估。
- **绿色经济情景**（Green Economy, GE）在历史趋势的基础上假设实施科学技术、土地生产力、能源效率、可再生能源、废水处理、交通基础设施和造林相关的投资等干预措施。每一项措施都对应着模型中的不同领域。

表1简要描述了模型中考虑的政策干预及其各自的影响。情景参数和假设的主要设置依据来自以下四个方面：一是充分利用国家统计局年鉴、各类行业统计年鉴、世界银行数据库等对历史发展的趋势进行计算和分析；二是参考中国各级政府关于未来发展的宏观、区域、行业的规划文件，如《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》、《浙江省推进长江三角洲区域一体化发展行动方案》、《上海市城市总体规划（2017—2035年）》、《上海市城市总体规划（2016—2040）》、《江苏省“十三五”能源发展规划》等，三是对标发达国家，主要为美国、德国、日本、韩国等国家，以其不同历史阶段的发展数据作为参考；四是参考了国家层面和区域层面专家学者的预测及反馈。附件中表3提供了有关情景设置的更多详细的参数信息。

3.2.2 新冠肺炎疫情对模型搭建的影响

在长三角GEM模型的搭建过程中，为使模型模拟最大化反映中国发展的现实情况，我们考虑了新冠肺炎疫情及其防疫措施对社会、经济造成的多方面影响同时也考虑到2020年下半年中国经济恢复强劲，前三季度GDP增速已经由负转正，比上年同期增长0.7%。我们在模型中调整了多个动态因素，包括减少资本投入、减少资本利用率、减少可支配收入中的支出金额和增加公共预算等，以模拟新冠肺炎疫情对中国造成的短期至中期影响。

表 1 | 不同情景下干预政策的描述及设置⁷

干预政策	政策描述及考虑因素	参考文件 ⁵	BAU 情景设置	GE 情景设置
科技发展 (Technology development)	科技发展水平 (Technology growth rate) 考虑研发投入、科技技术设施建设、科技政策及平台、高素质劳动力等因素, 均对工业和服务业全要素生产率水平产生影响。科技发展提高经济生产力, 也将带动工业和服务业 GDP 的提升。科技发展水平在 2020 年起始值为 1	上海全社会研发经费支出占全市地区生产总值的比例到 2020 年达到 4%, 2035 年达到 5.5%, 2040 年达到 5% (《上海市城市总体规划 (2017—2035 年)》、《上海市城市总体规划 (2016—2040)》) 安徽全省研发投入强度 2025 年达到 2.5% 以上 (《安徽省实施长江三角洲区域一体化发展规划纲要行动计划》) 等 江苏 2020 年每万名劳动力中高能人才数量达到 700 人, 高等教育毛入学率达到 60% (《江苏省“十三五”人力资源和社会保障发展规划》) 浙江高等教育毛入学率 2020 年达到 62%, 2025 年达到 70% 以上 (《浙江省人口发展“十三五”规划》、《浙江省推进长江三角洲区域一体化发展行动方案》) 安徽高等教育毛入学率 2020 年达到 50% (《安徽省人口发展“十三五”规划》等) 《上海市推进科技创新中心建设条例》进一步明确, 市、区人民政府要逐年加大财政科技投入, 重点支持包括基础研究在内的多种科技创新活动等	科技发展水平 2020—2025 年年均提升 1.6%, 2026—2035 年年均提升 1.5%, 2036—到 2050 年年均提升 0.7%	科技发展水平 2020—2025 年年均提升 1.8%, 2026—2035 年年均提升 2.0%, 2036—2050 年年均提升 1.5%
土地生产力 (Land productivity)	土地生产力考虑农业基础设施的建设和普及, 以及高产作物及种植方法的应用和推广。农业用地生产率提高, 可增加农业收入、农民收入, 缩小城乡收入差距。在满足农业供给条件的前提下, 可以促进土地休耕、退耕还林, 以提高森林覆盖率	上海 2020 年单位地区生产总值 (GDP) 建设用地使用面积不超过 9.1 公顷 / 亿元、2035 年不超过 4.2 公顷 / 亿元, 耕地保有量 2020 年 282 万亩、2035 年 180 万亩, 受污染耕地安全利用率 2035 年达到 100%, 建设用地 2035 年和 2040 年均为 3200 平方千米 (《上海市城市总体规划 (2017—2035 年)》、《上海市土地资源利用和保护“十三五”规划》) 安徽耕地保有量 2020 年达到 569.33 万公顷, 2020 年建成高标准农田 4670 万亩 (占全省耕地面积 70% 以上), 农业科技进步贡献率 2020 年达到 65%, 主要农作物机械化水平 2020 年达到 80%, 新增农田有效灌溉面积 2020 年达到 400 万亩 (有效灌溉面积占耕地总面积的 80%), 受污染耕地安全利用率 2020 年达到 94%, 农业劳动生产率 2020 年达到 3.5 万元 / 人, 农业产品加工转换率达到 70% (《安徽省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《安徽省“十三五”环境保护规划》、《安徽省农业现代化推进规划 (2016—2020 年)》) 等	在 2020 年水平上, 土地生产力到 2040 年提升 3% (上海市) ~ 15.5% (浙江省), 到 2050 年提升 4.5% (上海市) ~ 22.5% (浙江省) ⁶	在 2020 年水平上, 土地生产力到 2040 年提升 6% (上海市) ~ 31% (浙江省), 到 2050 年提升 9% (上海市) ~ 45% (浙江省)
能源效率 (Energy efficiency)	能源效率考虑到能源结构、产业结构的升级、技术及管理的创新和升级, 以及能源资源价格因素的影响。能效提高可减少能源消耗, 从而提高经济生产率和降低温室气体排放。政府及私营部门普遍持续加大投资, 节能技术不断研发及普及	上海电网线损率 2020 年下降至 5.85% (《上海市能源发展“十三五”规划》) 安徽全省单位 GDP 能耗 2020 年降低 15%, 电网线损率 2020 年降至 7.2%, 新生产燃煤锅炉效率 2020 年不低于 80%, 新生产燃气锅炉效率不低于 92%, 新生产燃煤工业锅炉、电动机系统运行效率达到 75% 以上 (《安徽省“十三五”环境保护规划》、《安徽省能源发展“十三五”规划》《“十三五”节能减排实施方案》) 等	2020—2035 年年均提升 2%; 2036—2050 年预计年均提升 1%	2020—2035 年年均提升 4%; 由于能效提高空间越来越小, 2036—2050 年预计年均提升 2%

表 1 | 不同情景下干预政策的描述及设置⁷

干预政策	政策描述及考虑因素	参考文件 ⁵	BAU 情景设置	GE 情景设置
可再生能源比例 (Renewable energy)	考虑可再生能源使用及相关基础设施、技术设备等发展和利用。提高可再生资源消费占比可进一步减少对煤炭的依赖。预计未来可再生能源消费占比持续增加	实现 2020 年、2030 年非化石能源占一次能源消费比重分别达到 15%、20% 的能源发展战略目标（《可再生能源发展“十三五”规划》） 上海风电装机容量 2020 年达到 140 万千瓦，光伏装机容量 2020 年达到 80 万千瓦（《上海市节能和应对气候变化“十三五”规划》） 江苏省天然气发电 2020 年达到 2000 万千瓦，可再生能源生产量 2020 年突破 1200 万吨标准煤，可再生能源发电装机容量 2020 年达到 2200 万千瓦左右（占 17%）（《江苏省“十三五”能源发展规划》）等	到 2030 年，可再生能源消费占比 25% 左右；到 2040 年占比 375%；到 2050 年占比 40%	到 2030 年，可再生能源占比 35% 左右；到 2040 年占比 37% ~ 49%；到 2050 年占比 50% ~ 61%
污水处理 (Wastewater treatment)	污水处理系统覆盖网络和规模的提升将减少污染物进入水体，从而改善水质，进一步影响经济的全要素生产率水平	上海市至 2035 年全面实现城乡污水管网全覆盖、点源污染全收集全处理、面源污染综合治理、水泥气同治，构建符合超大型城市特点和规律的标准领先、功能完善、安全可靠、环境友好、智慧高效的水环境治理体系（《上海市污水处理系统及污泥处理处置规划（2017—2035 年）》） 浙江省城市污水处理率 2020 年达到 95%（《这件省住房和城乡建设事业发展“十三五”规划》） 安徽省城市和县城生活污水处理率 2020 年达到 95%，农村生活污水处理率达到 35%（《安徽省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》）等	到 2040 年，污水处理系统覆盖率达到 65% ~ 90%；到 2050 年均达到 98% 左右	到 2040 年，污水处理系统覆盖率达到 75% ~ 95%；到 2050 年均达到 100%
交通基础设施 (Transport infrastructure)	主要考虑高速公路的密度。交通基础设施密度增加，一方面会提高企业的经济生产率，另一方面也会影响交通行业对能源的需求，影响碳排放水平	2025 年长三角地区高速公路密度达到 5 千米 / 百平方千米（《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》） 安徽力争达到 4.85 千米 / 百平方千米（《安徽省实施长江三角洲区域一体化发展规划纲要行动计划》） 浙江新增高速公路里程数 1100 千米（《浙江省推进长江三角洲区域一体化发展行动方案》） 江苏省 2035 年高速公路网的合理规模为 6000 ~ 7000 千米（江苏省高速公路网规划（2017—2035 年））等	到 2050 年，高速公路密度达到 5.12 千米 / 百平方千米（江苏省）~ 14.0 千米 / 百平方千米（上海市）	到 2050 年，高速公路密度达到 5.08 千米 / 百平方千米（江苏省）至 ~ 14.2 千米 / 百平方千米（上海市）
森林覆盖 (Forest cover)	考虑植树造林、退耕还林、打击非法砍伐森林等措施，提升森林覆盖率，可改善环境质量，提升碳封存水平，提供更好的生态系统服务	2020 年森林覆盖率：江苏省达到 24%（《江苏省人口发展“十三五”规划》）；浙江省达到 61%（《浙江省低碳发展“十三五”规划》）；安徽省超过 30%（《安徽省“十三五”环境保护规划》） 2040 年上海森林覆盖率达到 25%（《上海市城市总体规划（2016—2040）》）等	到 2040 年，森林覆盖率达到 25%（江苏省）~ 65%（浙江省）；到 2050 年，达到 27%（江苏省）~ 68%（浙江省）	到 2040 年，森林覆盖率达到 25%（江苏省）~ 70%（浙江省）；到 2050 年，达到 28%（江苏省）~ 74%（浙江省）

长三角GEM模型的底层数据来源

GEM模型的运行需要采集大量的基础数据构建基线情景（BAU）与绿色经济情景（GE），实现对2018—2050年两种情景的预测。模型所需的数据分为人口、土地利用等19个维度，部分维度包含多个变量指标。考虑到样本代表性，我们此次研究围绕长三角地区，即江苏省、浙江省、安徽省和上海市。根据维度和变量说明，我们从四地统计部门和国家统计局公开的资料中获得了2000—2017年的对应数据。长三角GEM模型数据的收集思路主要如下：

- 根据长三角地区三省一市公开的国家、省级或市级统计数据、政策、规划等相关资料，或通过调研本地相关政府部门、企事业单位，填写变量所需数据。

- 部门数据来自部门/行业统计年鉴，如能源数据主要来源于能源统计年鉴。
- 没有本地数据的变量，则参考国家统计局对应数据的统计情况。例如，2000—2017年长三角地区森林覆盖情况存在部分地区、个别年份空缺，鉴于数据可获得性，采用了国家统计年鉴中森林资源调查（未精确到具体年份）所披露数据，并结合当地统计公报反映的变化情况予以确定。

数据来源选择的优先级如下：地方统计年鉴、地方统计公报、国家统计年鉴（含部门/行业统计年鉴，如国家能源统计年鉴）、地方统计部门相关新闻披露。表 2为长三角GEM模型所收集数据变量的描述及来源。

表 2 | 长三角GEM模型数据变量的描述以及具体来源

维度	变量	描述	数据来源
人口	- 人口总数 - 人口自然增长率等	人口维度概述了总人口、出生人口和死亡人口随时间的发展	省市统计年鉴 省市统计公报
气候	- 降水量 - 平均气温等	气候数据包括降水和温度随时间的变化。它提供了关于月降水量以及降水量和温度的季节性变化的信息	省市统计年鉴
土地利用	- 林地面积 - 农用地面积 - 建设用地面积等	土地利用提供土地利用总量和土地利用随时间变化的信息，有助于评估发展政策对土地利用的影响，以及执行这些政策可能导致的土地变更情况	省市统计年鉴 国家统计年鉴 省市统计公报
国内生产总值	- 分部门名义生产总值及占比：农业、工业、服务业 - GDP 平减指数（生产总值指数）等	国内生产总值提供了长三角四省市实际地区生产总值的发展信息。该维度包括三个部门增加值（农业、工业和服务业）及其各自在实际地区生产总值中的份额	省市统计年鉴
就业和技术	- 农业就业人员 - 工业就业人员 - 服务业就业人员等	该维度概述了部门和总体就业情况以及一段时间内的技术发展。它有助于评估政策干预的就业影响，并有助于分析所依据的不断变化的技术发展趋势	省市统计年鉴
家庭账户	- 家庭年人均可支配收入 - 家庭年人均支出 - 储蓄存款等	家庭账户计算提供了关于这些变量随时间发展的信息，并允许评估政策对特定家庭关键指标的影响	省市统计年鉴
政府账户	- 财政收入 - 财政支出 - 政府投资	政府账户包含政府收入和拨款，并提供政府总消费和投资信息。政府总收入按地方税收占政府国内收入的份额计算。政府国内收入按名义国内生产总值的份额计算	省市统计年鉴

表 2 | 长三角GEM模型数据变量的描述以及具体来源（续）

维度	变量	描述	数据来源
能源消费	终端能源消费量（煤炭、石油、电力、天然气等）	该模型预测了按部门和来源分列的能源消耗。以能源消耗乘以温室气体排放系数，得出使用能源的总排放量	国家能源统计年鉴
能源成本	- 煤炭价格 - 石油价格 - 电力价格 - 天然气价格	按所用能源类型计算的能源成本在能源账单维度中计算。本维度介绍省一级的能源成本，并说明设想的能源部门政策将如何改变能源总成本	参考国家能源统计年鉴，以及网络信息
发电能力	- 可再生能源发电 - 不可再生能源发电	发电能力维度概述了发电装机容量、发电量，以及与电力相关的就业和投资	国家能源统计年鉴
道路交通	- 高速公路总里程 - 高速公路在建里程	道路交通维度提供了关于整个道路网络大小的信息，以及额外的建设和正在进行的维护活动	省市统计年鉴
温室气体排放	- 温室气体分气体排放：二氧化碳、甲烷等 - 温室气体分部门排放：农业排放、工业和废物排放、能源排放	温室气体排放维度用于计算所有部门的二氧化碳排放量。该维度提供了二氧化碳排放量随时间发展的信息，并允许评估政策对人均二氧化碳排放量和碳的社会成本的影响	中国城市二氧化碳排放数据集 WRI 数据库
空气污染	- 细颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等污染物 - 工业废气排放等	空气污染维度估算发电产生的总空气排放量（细颗粒物、二氧化硫和氮氧化物）以及空气污染的成本和相关健康影响	省市统计年鉴

长三角GEM模型的模拟结果

5.1 温室气体排放及达峰时间

在2020—2050年期间，长三角地区温室气体排放总量预计呈现先上升、至达峰、后下降的排放趋势。值得关注的是，受2019年年底、2020年年初新冠肺炎疫情暴发的影响，经济停摆、工厂停产导致能源需求量随之降低，2020年温室气体排放预计较2019年的19.21亿吨二氧化碳当量减少11.11%（BAU）~11.95%（GE）。经济停滞带来的减排只是暂时的，温室气体排放将在疫情结束以及经济恢复后出现上升，但在两个情景下，预计均不会超过2019年排放数量。

在GE情景下，长三角地区温室气体排放预计在2024年出现2019年后的峰值，峰值约为17.93亿吨（图3）。而BAU情景下，

排放达峰时间晚于GE情景，预计将于2026年以18.83亿吨二氧化碳当量达到峰值，比GE情景多排放0.90亿吨温室气体。通过对不同情景的对比可见，长三角地区绿色经济发展模式下有能力、有空间领先于全国实现中国碳达峰目标，可为中国其他欠发达地区腾出合理的发展空间。

5.2 二氧化碳排放及达峰时间

能源与电力行业的二氧化碳排放⁸同温室气体排放趋势相似（图4），由于新冠肺炎疫情的影响，2020年的经济停滞导致碳排放出现下降趋势。但随着经济逐渐复苏，2021年后的二氧化碳排放量预计也将随之上升，预计在GE情景下在2024年以18.95亿吨、BAU情景下在2026年以19.84亿吨达到峰值，之后逐年降低。绿色发展路径将帮助长三角地区在2043年回到2005年二氧化碳排放水平。

图3 | 长三角地区温室气体排放总量

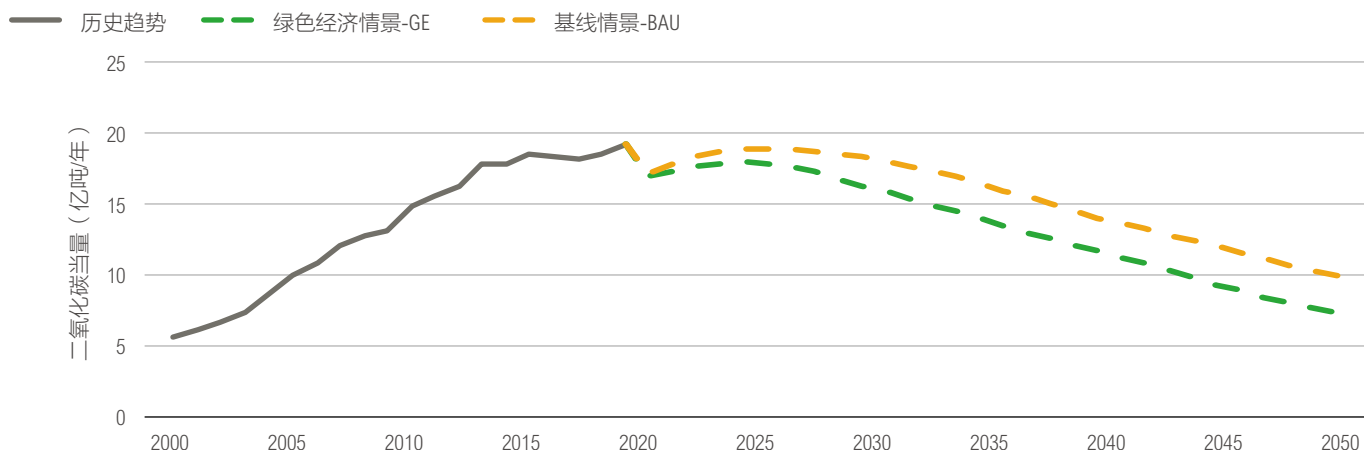


图4 | 长三角地区能源与电力行业二氧化碳排放量

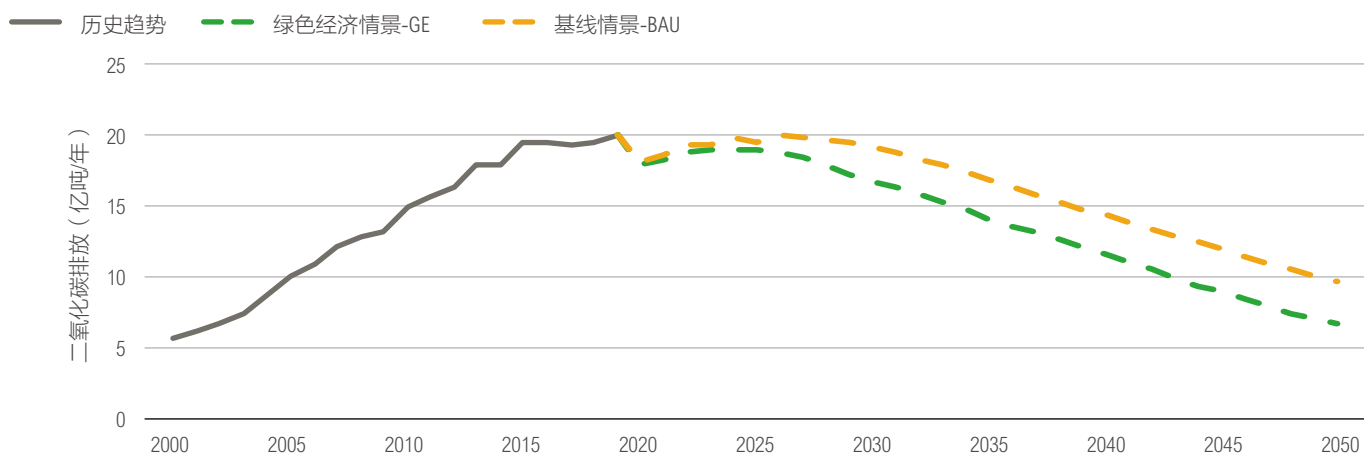
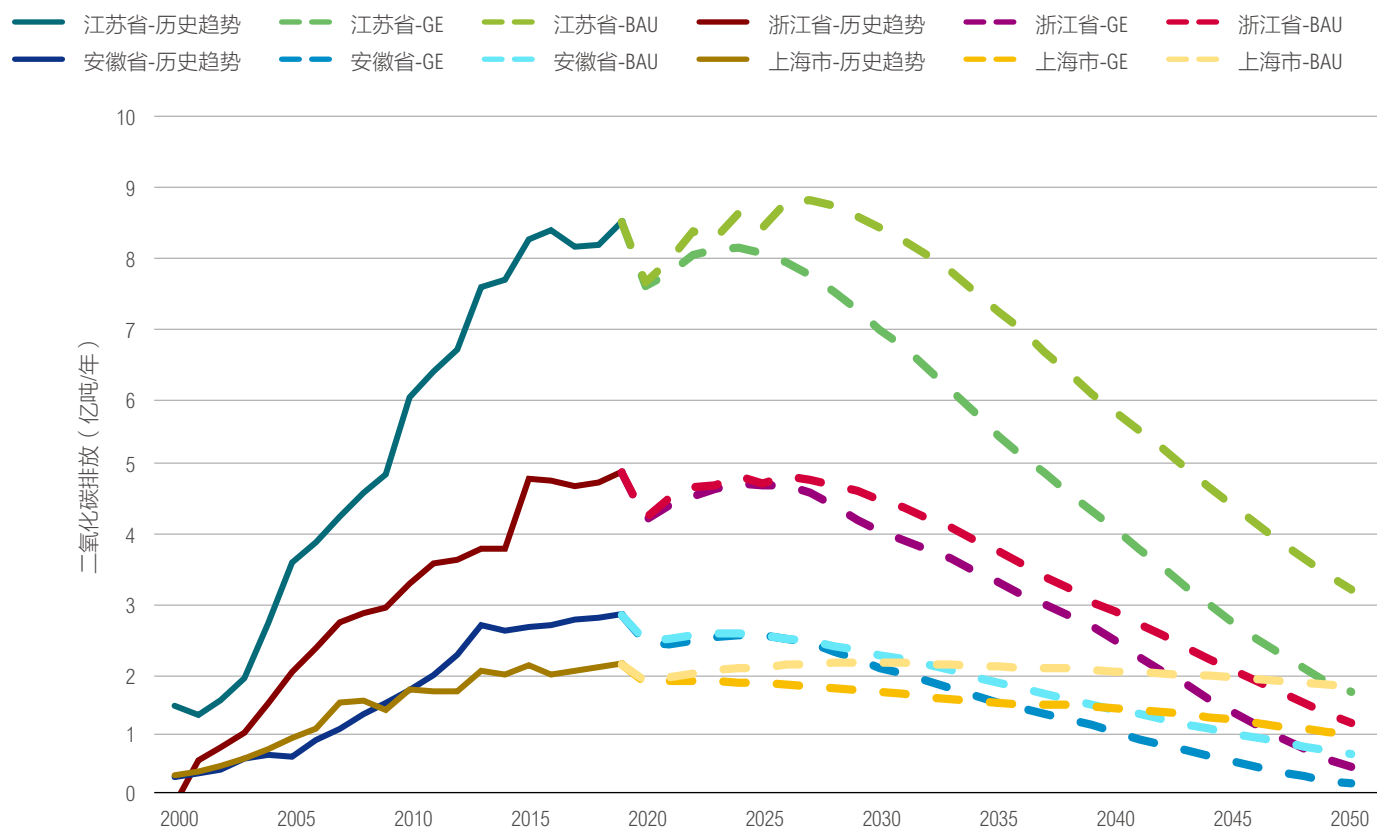


图 5 | 长三角地区能源与电力行业二氧化碳排放



细观长三角内部，绿色发展道路将有助于各省份提前并以较低峰值完成二氧化碳排放（能源与电力行业）达峰任务（图5）。GE情景下，安徽省、浙江省及江苏省的二氧化碳排放预计将于2024年达到继2019年后的又一峰值，峰值分别为3.10亿吨、5.12亿吨和8.26亿吨。上海市预计于2022年以2.49亿吨二氧化碳达到排放峰值，早于BAU情景8年达峰。GE情景下各省份碳达峰时间或早于或等同于BAU情景，但就峰值而言，GE情景则普遍较低。

作为中国的经济、金融、贸易、航运和科技创新中心，上海经济将保持领先全国水平的高速增长。经济增长必将带动能源需求的进一步扩大，例如汽油消耗量居于高位。因此，虽然自2000年起上海市的二氧化碳排放量在长三角三省一市中一直处于低位，但中长期排放水平将维持在2亿吨左右，并无明显下降。值得注意的是，在2050年左右，安徽省和浙江省二氧化碳排放量将与上海市处于同一水平，甚至低于上海。其部分原因可考虑为上海市的能源消耗已主要依靠电力，能源转换或脱碳空间限制凸显；同时历史经验也证明，降低居民对住宅能源的需求远比降低工业能源需求困难得多⁹。考虑到安徽省及浙江省早期的单位GDP需求较高，近些年正处于脱碳过程中，预计燃料转换和能效提高将帮助安徽省和浙江省在2050年达到与上海相近的二氧化碳排放水平。

5.3 经济产出

GEM模型结果显示，通过提高科技创新能力、增加新能源利用比例、提升能源效率等绿色政策的出台和落地，绿色低碳型道路可以在长三角地区引领强劲的经济增长，同时将带来包括财政增收、创造就业岗位等一系列经济、社会效益。

受人口红利消失、经济结构及体制机制待改善等问题的影响，中国经济在2020—2050年期间再难以7%或更高的速度增长。GEM模型结果表明，低碳、可持续的绿色经济路径发展，包括使用更多清洁能源、加强科学研究与试验发展（R&D）等手段持续提高全要素生产率等政策，在中长期可帮助长三角乃至中国经济实现较历史发展模式下增速更快、后劲更强的发展。GE情景下，长三角地区实际GDP¹⁰在2025年和2050年的年增速分别为4.0%和3.5%，比BAU情景下相应增长速度分别高出0.9%和1.0%（图6）。到2050年，绿色经济发展可使长三角地区经济总量达到173万亿元，比BAU情景下高出29%左右。服务业占GDP比例逐年提高，在2050年将达到69%。

值得注意的是，2020年受新冠肺炎疫情影响，实际GDP增长率在GE情景和BAU情景下分别为-3.16%和-3.06%。由于区域

GDP不仅受国家整体及世界疫情严重程度、持续时间、反复次数的动态影响，还受长三角明显的外向型经济特征影响，我们认为疫情对长三角地区经济造成的负面影响将大于国家整体水平。因此，模型的模拟结果低于国际货币基金组织（IMF）的2020年中国GDP增长1.2%的预测¹¹。

至2050年，GE情景还将帮助长三角地区政府总收入较2020年增长6倍，达到38.1万亿元。不仅如此，相较于BAU情景，2025年起GE情景每年将为长三角地区平均多创造近380万个工作岗位，至2050年累计多增加9807万个岗位。基于劳动力增长与GDP增长之间的正向关系，越来越多的劳动者会在绿色岗位中获得更多的收入并积累更多社会财富。预计到2050年，就业人员平均实际GDP增加值较2020年增长2.44倍，达到5.45万亿元。不断扩大的经济体量持续刺激工作岗位的扩张，随之劳动力水平将不断促进GDP增长，以此对中国经济形成可持续发展的正向循环。

图 6 | 长三角地区实际GDP总量及GDP增长率

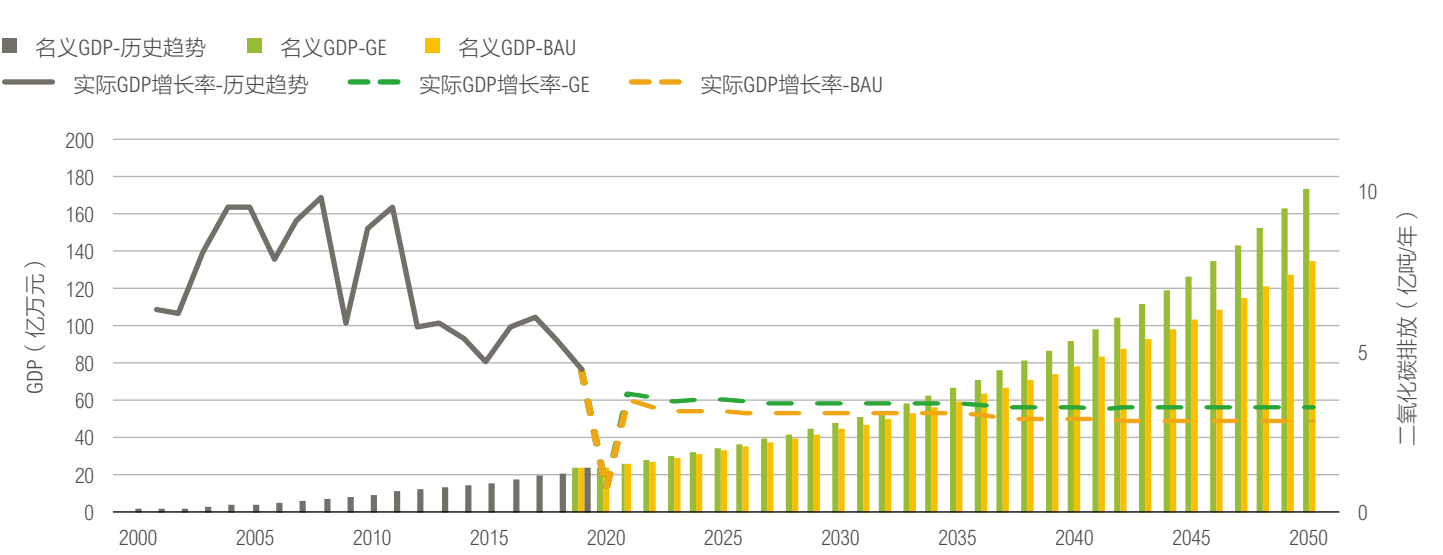
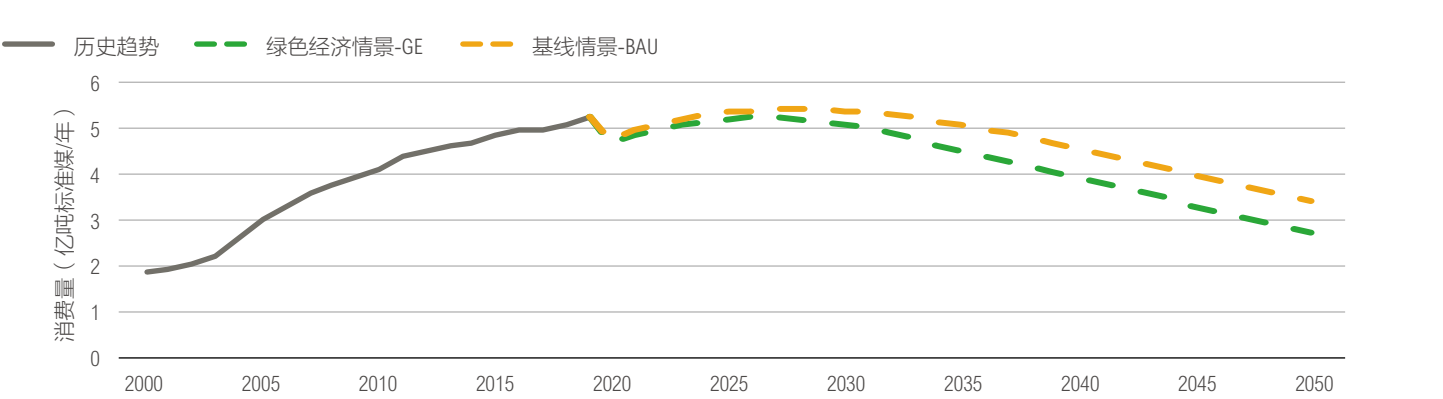


图 7 | 长三角地区终端能源消费总量



5.4 能源部门

能源是经济生产活动重要的动力来源，强劲的经济增长往往伴随着终端能源消费量的增加。新冠肺炎疫情在2020年造成的终端能源消费量降低将是暂时的，随着生产生活的有序恢复，能源消费量将逐渐恢复到2019年水平。同时，考虑到长三角地区高耗能项目不断出台和落地，以及新冠肺炎疫情复苏计划中促进基础设施建设工程的规划，终端能源消费在2020—2026年期间将出现上升趋势。GEM模型结果显示，在GE情景下长三角地区终端能源消费总量预计在2026年达到5.3亿吨标准煤的消费峰值，到2030年下降至5.1亿吨。随后将以年平均3.1%的速度下降，到2050年预计比前一年下降4.3%，降至2.7亿吨，回到2004年水平（图7）。GEM模型结果显示，由于国家和区域发展政策引导、地区发展规划目标约束、节能技术创新及节能水平提高，终端能源消费总量在GE情景下比BAU情景提前2年达到峰值，峰值较BAU情景峰值下降0.16亿吨。

图 8 | 长三角地区煤炭消费量（终端消费量）

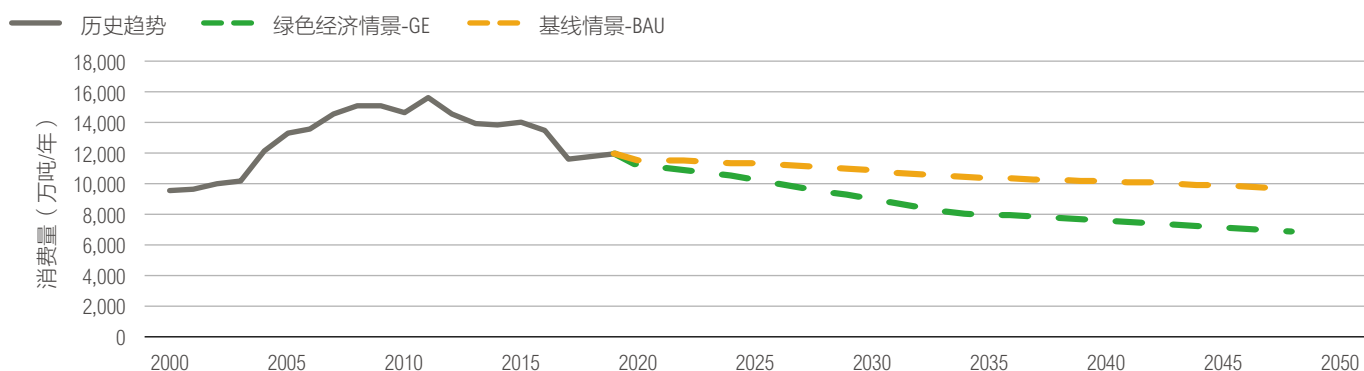
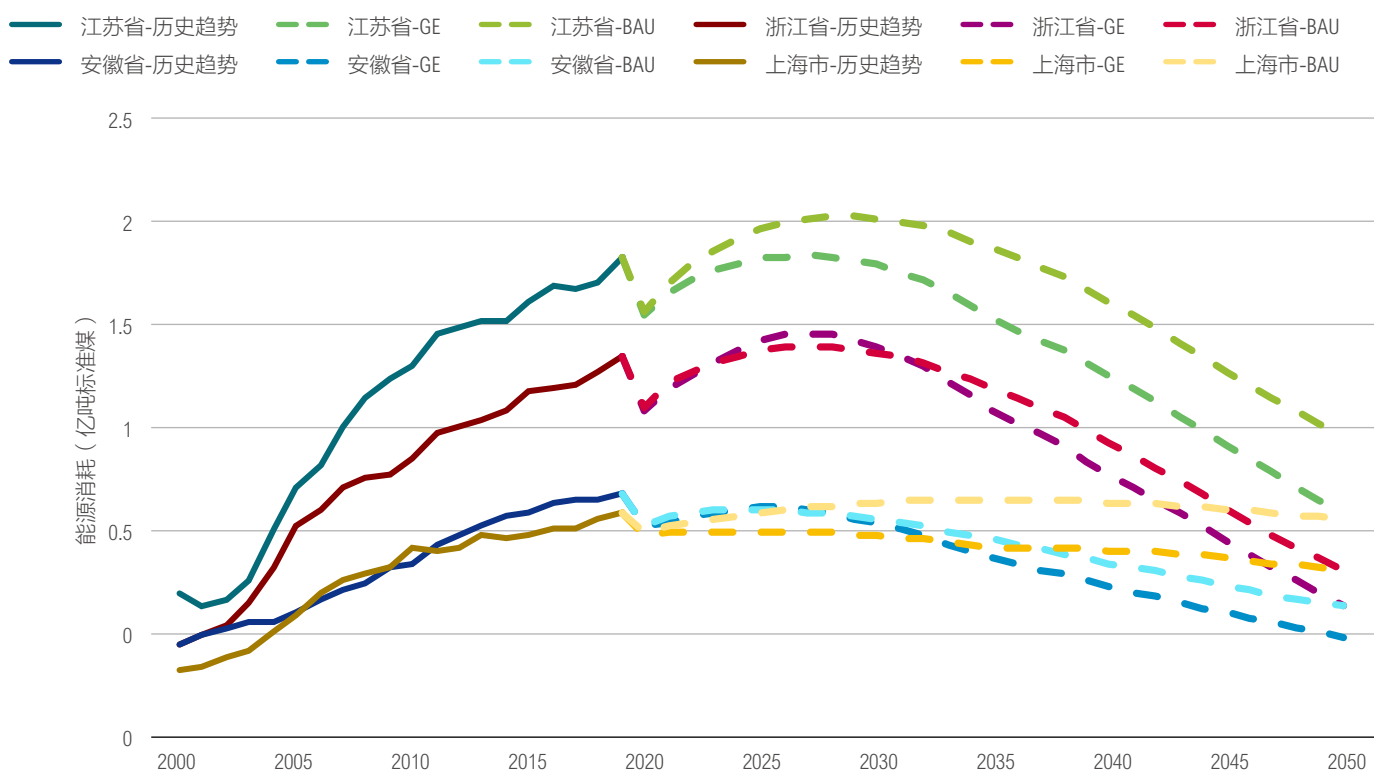


图 9 | 长三角地区各省份终端能源消费量



中国作为世界煤炭生产和消费第一大国，随着政府不断促进能源转型，尤其提出对煤炭进行减量替代，煤炭终端消费量预计将逐年降低。综合考虑新冠肺炎疫情及复苏计划给中国带来的影响，2020年后煤炭终端消费量不会超过2019年水平。GE情景下，长三角地区预计在2030年消费9508万吨煤炭，2040年这个数字降至7731万吨。到2050年，煤炭消费量下降到7039万吨，较2020年的12785.51万吨降低约45%（图8）。

细观长三角各省份，能效的提高将使长三角大部分地区GE情景下终端能源消费量低于BAU情景。但值得关注的是，绿色经济发展模式在实现更高速经济增长的同时，可能会带来能源的回弹效应。具体表现为在绿色经济发展路径下，中国预计将持续发展新技术等干预措施，以提高能源在交通、运输及工业领域的应用效率，而产业运营和消费成本的降低意味着生产者和消费者会参与更多经济活动和使用更多能源。例如，2022—2026年期间，GE情景下安徽省的终端能源消费量高于BAU情景，而浙江省在2022—2029年同样出现了回弹效应（图9）。

总结

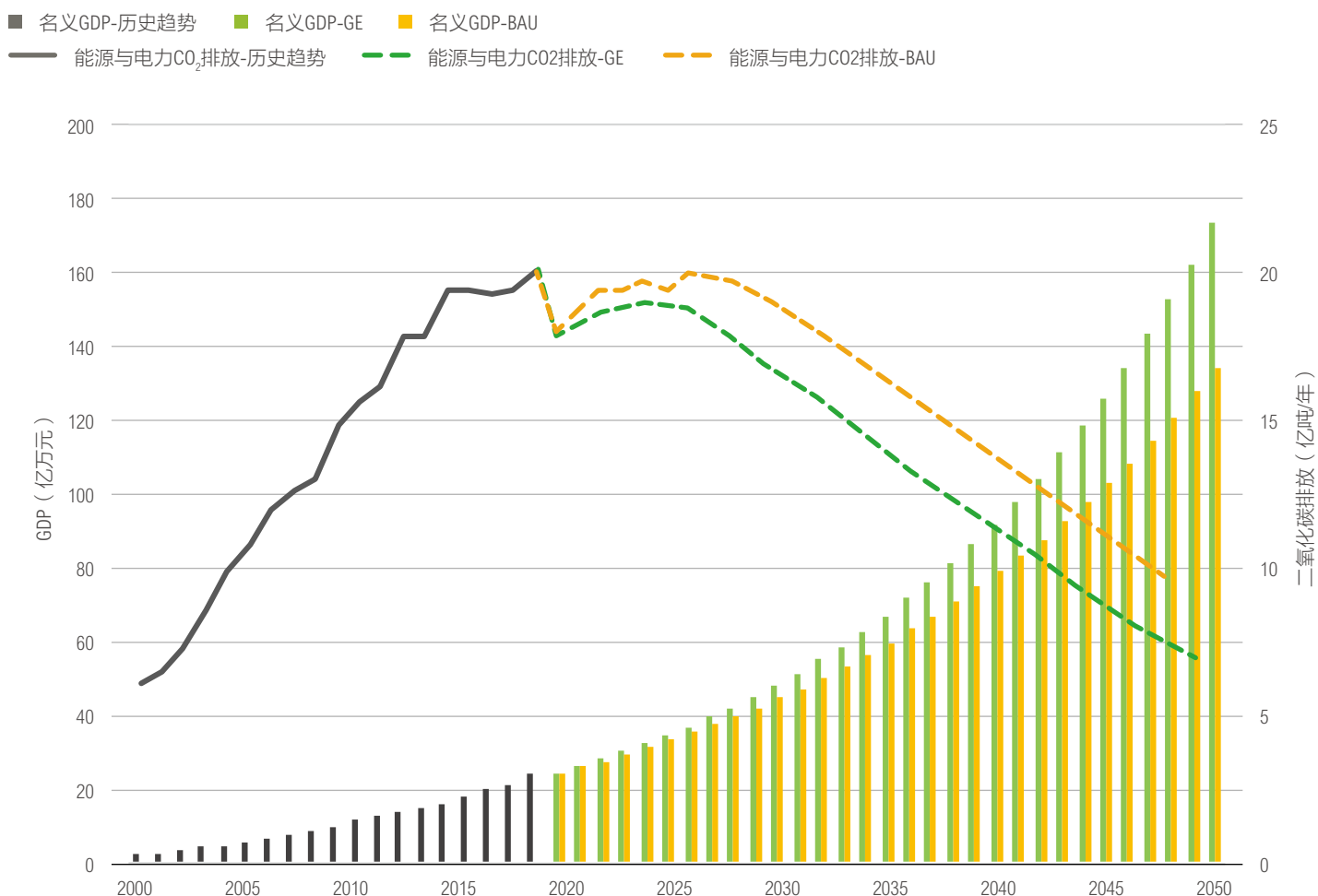
GEM模型显示，绿色经济发展模式可以使长三角地区在2026年达到温室气体排放峰值，能源与电力行业的二氧化碳排放将在2024年以19.80亿吨达峰（图10），主要受益于能源效率及可再生能源政策引导的能源相关排放减少。与此同时，长三角地区的实际国内生产总值（GDP）将在2020—2050年期间保持3.4%~4.5%的高质量发展速度，名义国内生产总值将在2050年达到173万亿元，比2019年（23.73万亿元）增长630%。

上述证明，长三角一体化的国家战略是有可能使该地区在“十四五”期间实现二氧化碳达峰并保持经济中速增长的。考虑到国家已经提出“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”，绿色经济的发展道路可以推动长三

角实现更高质、更强劲的发展，并支持优化开发区域率先实现碳排放达峰，同时可以引领整个中国实现经济、社会可持续发展。我们建议，长三角、京津冀和粤港澳地区力争在“十四五”期间率先达峰，并打造一个经济繁荣和绿色低碳双赢的样板。

不仅如此，在由新冠肺炎疫情所引发的经济衰退的背景下，采取低碳的、更具韧性的绿色经济刺激方案将帮助中国获得经济和社会长期可持续发展，也将避免由更多化石能源等褐色活动而带来的空气污染和环境进一步恶化。因此，低碳的经济发展路径不是一种可有可无的选择，而是推动长三角这样的经济发达地区，乃至整个中国实现经济、社会可持续发展的必然选择。它势必引领更强劲的GDP、居民可支配收入和政府财政收入的增长，提供高质量的环境商品和公共服务，推动社会实现更具包容性、更加可持续和更有获得感的发展，不断提高国民生活品质。

图 10 | 长三角地区名义GDP及能源与电力行业二氧化碳排放量



局限性

第一，系统动力学自开发和应用以来，受到学界批评和审查，包括关于历史数据在模型置信度中的作用，以及系统动力学在解决多元性和层次性问题上的局限性等（Featherston等，2012）。首先，在GEM模型中，运用系统动力学研究复杂问题时由于变量和因果结构固有的不确定性，可能导致关键变量被遗漏。其次，GEM模型没有采用一般的经济理论建立模型结构的因果关系，而是针对分析的问题和系统的特殊性采用了高度定制化的理论关系。长三角GEM模型的局限性包括定义系统边界的准确性，以及对因果关系的真实识别略有欠缺。再次，由于系统动力学的复杂性和多元性非常依赖于建模者对模型和研究对象的理解和掌握能力，因此个体主观性与科学客观性之间的差异会导致模型准确性存在偏差。

第二，长三角GEM模型搭建基于2000—2017年各部门的省级数据。由于数据可获得性问题，部分数据存在缺失。例如，森林覆盖情况存在部分地区、个别年份空缺。在现有条件下，部分模型变量采用了国家平均水平及国际平均水平。历史数据的缺失和不准确给模型构建和有效性验证带来了较大困难，可能会存在高估或低估的情况。后期仍应加强省级数据的可获得性及精准性。

第三，模型各类参数设置的科学化有待完善。例如，长三角GEM模型已考虑2019—2020年新冠肺炎疫情对社会、经济等各个方面带来的影响，主要依靠投资利用率等少数变量对各部门进行综合调整。由于考虑到的因素有限，未对新冠肺炎疫情所有影响的变量进行模拟，因此会导致结果输出准确性降低。后续应进一步全面研究新冠肺炎疫情对模型各方面的影响，提高模型预测的准确性。

附录

表 3 | 基线情景与绿色经济情景干预措施的参数设定

影响因素	情景	单位	时间序列	浙江省	安徽省	江苏省	上海市
科技进步 Technology improvements	科技发展进步 ——基线情景（BAU）	% / 年	2020—2025	1.60	1.60	1.60	1.60
			2026—2035	1.50	1.50	1.50	1.50
			2036—2050	0.70	0.70	0.70	0.70
	科技发展进步 ——绿色经济情景（GE）	% / 年	2020—2025	1.80	1.80	1.80	1.80
			2026—2035	2.00	2.00	2.00	2.00
			2036—2050	1.50	1.50	1.50	1.50
土地生产力 Land productivity	土地生产力提升 ——基线情景（BAU）	%	到 2040	15.50	14	11.50	3
			到 2050	22.50	11	17.50	4.50
	土地生产力提升 ——绿色经济情景（GE）	%	到 2040	31	28	23	6
			到 2050	45	22	35	9
能源效率 Energy efficiency	能源效率提升 ——基线情景（BAU）	% / 年	2020—2035	2	2	2	2
			2035—2050	1	1	1	1
	能源效率提升 ——绿色经济情景（GE）	% / 年	2020—2035	4	4	4	4
			2035—2050	2	2	2	2
可再生能源比例 Renewable energy	可再生能源电力比例 ——基线情景（BAU）	% / 年	2019 ⁹	12.40	10.00	9.80	2700
			2030	25.00	25.00	25.00	30.00
			2040	37.50	37.50	37.50	37.50
			2050	40.00	40.00	40.00	40.00
	可再生能源电力比例 ——绿色经济情景（GE）	% / 年	2019	12.40	10.00	9.80	2700
		% / 年	2030	36.50	35.60	35.10	34.30
		% / 年	2040	40.10	45.20	49.10	37.50
		% / 年	2050	58.00	60.50	60.60	50.00
废水处理 Wastewater treatment	废水处理接入比例 ——基线情景（BAU）	%	到 2040	85	65	85	90
			到 2050	98	95	98	100
	废水处理接入比例 ——绿色经济情景（GE）	%	到 2040	90	75	90	95
			到 2050	100	100	100	100
交通设施建设 Transport infrastructure	高速公路密度 ——基线情景（BAU）	千米 / 百 平方千米	在 2027	4.36	4.04	5.12	14
	高速公路密度 ——绿色经济情景（GE）	千米 / 百 平方千米	在 2027	5.23	5.14	5.12	14
	高速公路密度 ——绿色经济情景（GE）	千米 / 百 平方千米	在 2050	5.17	5.07	5.08	14.2
森林覆盖 Forest cover	森林覆盖率 ——基线情景（BAU）	%	到 2040	65.00	30.00	25.00	22.90
			到 2050	68.00	32.00	27.00	26.00
	森林覆盖率 ——绿色经济情景（GE）	%	到 2040	70.00	38.40	25.40	35.30
			到 2050	74.00	40.00	28.20	36.10

附件：长三角GEM模型的变量描述

1.1 人口

人口模块概述了总人口、出生人口和死亡人口随时间的发展。几个反馈回路记录了经济发展和教育对生育率的影响，见表4。

人口模块包含人口存量和两类人口流量，即人口自然增长量和净迁移量。人口存量的变化基于两类流量的整合：

$$人口_{t+1} = 人口_t + 人口自然增长量_t + 净迁移量_t$$

出生人口数取决于生育率和人口总量，死亡人口数取决于死亡率 and 人口总量，人口自然增长量为出生人口和死亡人口的差值。以出生人口数为例，其计算公式为：

$$出生人口数 = 人口 \times 生育率$$

表 4 | 人口模块数据源概述

变量名称	类型	变量出处
总人口	时间序列	基于 (UN Population Division, 2019)
人口预测	时间序列	基于 (UN Population Division, 2019)
出生人口	时间序列	基于 (World Bank, 2019)
死亡人口	时间序列	基于 (World Bank, 2019)
生育率	时间序列	基于 (UN Population Division, 2019; World Bank, 2019)

表 5 | 气候假设模块使用的关键假设

变量名称	类型	变量出处
季节降水量	时间序列	基于 (World Bank CCKP, 2019)
季节气温量	时间序列	基于 (World Bank CCKP, 2019)

表 6 | 气候假设模块中的存量和流量

存量	流入量	流出量
基准降水量	基准降水量的变化	基准降水量的变化
增长率变动量	增长率变动量的变化	增长率变动量的变化
基准气温	年气温的变化	年气温的变化

净迁移量通过人口的历史发展数据进行矫正，并假设在未来为零。在中国的省级模型中，迁移是双向的，即正负号分别代表增加或减少总人口。

$$净迁移量[省] = 人口[省] \times 净迁移率[省](时间)$$

1.2 气候

气候模块估计了降水和气温随时间的变化。它提供了关于月降水量以及降水量和气温的季节性变化的信息，见表5。

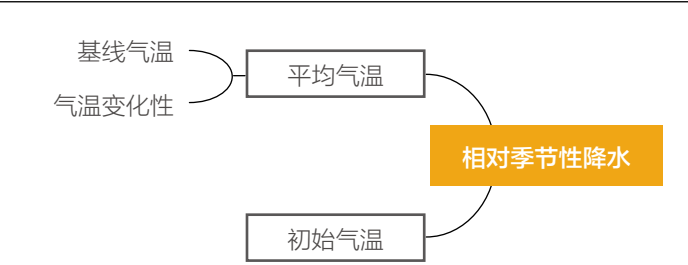
气候假设模块有三类存量，用于模拟气候变化对降水和气温的影响。表 6总结了这三类存量及其各自的流量。

模型中的气候影响取决于降水和气温的相对变化（指数，设2000年时为1）。相对季节降水量即季节（或每月）降水量除以正常季节降水量，用于评估潜在的洪水风险或缺水影响。

相对季节降水量 = 最大值（季节降水量/正常季节降水量，0.01）

在整个季节无降水的情况下，使用最大值函数避免出现零值，使相对季节降水量最小为0.01。计算相对季节性降水的所有变量如图11所示。

图 11 | 相对季节降水量原因树



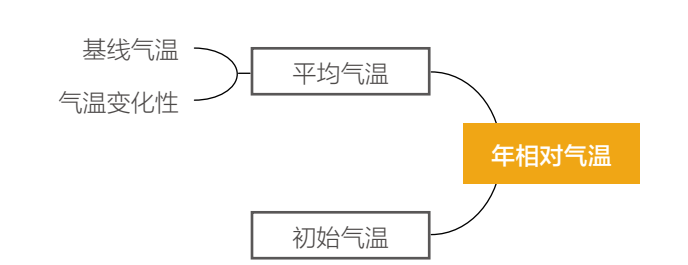
降水量是基线降水量（模拟为存量）和降水变动量的总和。降水变动量是基于过去观测到的高于或低于正常值的变动量乘以降水变动量的增长率。

降水变动量 = (高于正常值变动量+低于正常值变动量) × 增长率变动量

如果打开气候开关（开关值为“1”），模型可计算降水变动量增长率的变化对于年降水量的影响，从而评估降水变动量的减少对模型中一系列变量的影响（如灌溉用水需求、潜在的洪水对发电能力的损害）。对于基准降水量，有一个类似的假设。如果打开气候开关，基线降水量的变化可增加或减少，这将影响季节降水和相对季节降水量。

用于计算年相对气温的变量总结在图 12中。年相对气温是通过在模拟开始时用年平均气温除以初始气温来计算的。

图 12 | 年相对气温的原因树



年气温为基线气温和气温变动量的和。基线气温根据假设的年气温份额增加而变化，可以自定义。

1.3 土地利用

土地利用模块提供土地利用总量和土地利用随时间变化的信息。这一模块有助于评估发展政策对土地利用的影响，以及执行这些政策可能导致的土地转换。

土地利用模块包含四种类型:林地、农业用地、建设用地和休耕地。五种流量用于记录土地使用随时间的变化。存量和相应的流量如表 7所示。

农业用地及其变化是由农业用地转换（从森林到农业）和农业用地退化（从农业到休耕地）引起的。从森林到农业的流量由下面的公式计算。

从林地转为农业用地[省]
=最小值（农业用地预期变化量[省]，林地[省]/转换时间）

表 7 | 土地利用模块中的存量和流量概述

存量	流入量	流出量
林地	· 从休耕地转为林地	· 从林地转为建设用地 · 从林地转为农业用地
农业用地	· 从林地转为农业用地	· 从农业用地转为休耕地
建设用地	· 从林地转为建设用地 · 从休耕地转为建设用地	· 无
休耕地	· 从农业用地转为休耕地	· 从休耕地转为林地 · 从休耕地转为建设用地

如果农业的预期变化超过可转换的森林面积，则使用最小化函数确保土地转换受到限制。农业的预期变化取决于农业用地的预期数量，以人口和人均农业用地为基础。

期望农业用地[省] = 人口[省] × 人均预期农业用地[省](时间)

建设用地存量将有两个流入量，即林地和休耕地。建设用地基于预期土地量进行预测，其计算方法是人口乘以人均预期的建设用地。只要有可供转换的休耕地，即通过休耕地进行土地转换，以下公式计算休耕地向建设用地的转换量。

休耕地用于建设[省]
= 最大值 (0, 最小值 ($\frac{\text{建设用地预期变化量[省]、休耕地[省]}{\text{转换时间}}$))

最小和最大函数用于计算从休耕地到建设用地的土地转换。最小函数确保建设用地土地转换不能超过目前可用的休耕地数量（与林地转换为农业用地的方法相同）。如果建设用地存量高于预期的建设用地（表明预期向建设用地的土地转换为负值），将会有从建设用地流回休耕地的情况。最大值函数可确保在发生此类事件时保持当前存量。

在将土地转换为建设用地的情况下，林地起到缓冲作用。这意味着，只有当休耕土地的数量低于土地转换所需数量时，才假设将林地转换为建设用地。

林地用于建设[省]
= 最大值(0, 最小值 ($\frac{\text{建设用地预期变化量[省]} - \text{休耕至建设用地[省]}}{\text{转换时间}}$)

与休耕地用于建设用地情况一样，最小和最大函数用于确保基于可用土地进行土地转换，并且不会减少建设用地。此外，由于修建额外的道路会导致额外的森林砍伐，公路建设（见基础设施模块）导致的年度转换面积也计入这一流量。

休耕地和林地是两种主要的土地资源，它们可以转化为农业用地或建设用地。休耕地向林地的流动则基于休耕地土地存量变动和平均森林再生时间。

1.4 碳储存

碳储存模块提供了关于中国现有土地碳存量和土地转换引起的碳存量变化的信息。该模块用于评估政策引发的土地使用变化如何影响中国的碳存量和土地排放，见表8。

碳存量的计算方法是将四种不同的土地利用存量乘以各自的碳系数。四种碳存量的总和即为总碳存量。图 13显示了用于计算总碳存量的变量。

图 13 | 总碳存量原因树

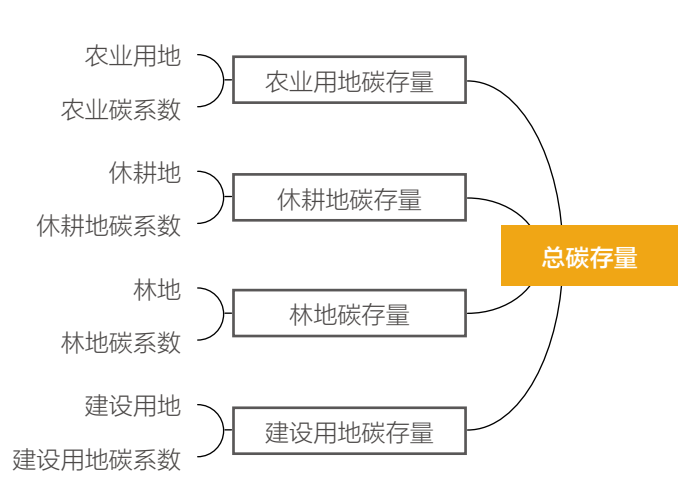
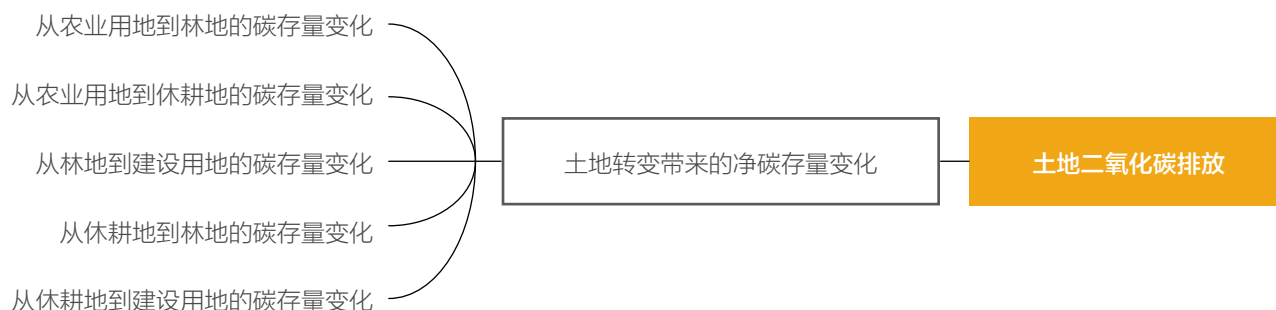


表 8 | 碳存量模块数据源概述

变量名称	类型	变量出处
林地碳系数	常量	基于 (IPCC, 2013)
建设用地碳系数	常量	基于 (IPCC, 2013)
农业用地碳系数	常量	基于 (IPCC, 2013)
休耕地碳系数	常量	基于 (IPCC, 2013)

图 14 | 来自土地的二氧化碳排放原因树



土地年排放量是根据土地转换计算的，基于土地利用模块文件中描述的五种流量和适用于四种土地利用存量的碳系数。图 14 显示了用于计算土地转化产生的碳存量净变化和土地二氧化碳排放量的变量。

为了估计土地利用变化引起的碳存量变化，该模型计算了土地转换引起的二氧化碳总量的净变化。这是通过计算转换后的土地利用类别和目标土地利用类别的碳存量差异来实现的。下面的等式是林地转化为农业用地的碳存量变化。

$$\begin{aligned} & \text{林地转换为农业用地碳存量变化[省]} \\ &= \text{林地转换为农业用地[省]} \times \text{农业用地利用计算的调整后碳系数} \\ & - \text{农业用地转换为林地[省]} \times \text{林地利用计算的调整后碳系数} \end{aligned}$$

同样的方法也适用于计算其他四种流量的碳存量变化。碳存量的净变化被计算为由土地转换引起的碳存量的个体变化的总和。

$$\begin{aligned} & \text{碳存量从土地转换的净变化[省]} \\ &= \text{碳存量从农业用地到林地的变化[省]} \\ & + \text{碳存量从农业用地到休耕的变化[省]} \\ & + \text{碳存量从林地到建设用地的变化[省]} \\ & + \text{碳存量从休耕地到林地的变化[省]} \\ & + \text{碳存量从休耕地到建设用地的变化[省]} \end{aligned}$$

1.5 国内生产总值（GDP）和就业

国内生产总值模块提供了三省一市实际国内生产总值（具体来说实际区域生产总值）的发展信息。该模块包括三个部门增加值（农业、工业和服务业）及其分别占实际国内生产总值的份额。这一模块可以通过观察某一部门对实际国内生产总值贡献率的变化，分析评估政策对实际国内生产总值和实际国内生产总值增长的影响，以及对三省一市区域经济的影响。

本节将介绍农业、工业和服务业模块。虽然在模型中使用了相同的结构表示工业和服务业，但我们对农业模块做了更细致的描绘，因此用单独章节进行介绍。

1.5.1 农业GDP

该模块提供了一段时间内农业生产率和就业的信息。关键指标是农业实际国内生产总值及其增长率、农业就业和农业指示性投资。该模块允许评估发展政策对农业国内生产总值和就业的影响，例如减少货物运输到市场过程中的损失。

农业实际国内生产总值是根据农业总产量和每吨产品的增加值乘数计算的，考虑到运输过程中损失的产品份额。

$$\begin{aligned} & \text{实际国内生产总值农业[省]} \\ &= \text{农业总产量[省]} \\ & \times (1 - \text{IF THEN ELSE}(\text{政策开关}=1, \text{运输到NCE市场期间损失的产量份额(时间)}, \text{运输到市场期间损失的产量份额(时间)})) \\ & \times \text{每吨产量的增加值[省]} \end{aligned}$$

“IF THEN ELSE”函数用于模拟通过建设额外的基础设施（参见农业基础设施模块）来减少运输到市场过程中农产品损失份额的政策。如果政策开关打开（开关值为“1”），则在运输到市场的过程中损失的农产品份额减少，增加到到达市场的农产品数量。除了减少损失之外，我们假定改善连通性会增加每吨农产品的附加值，这与增加进入市场的农产品都将提高农业的实际国内生产总值。

农业实际国内生产总值的增长率是使用TREND函数计算的，通过每年的农业实际国内生产总值预估变化趋势。

$$\begin{aligned} & \text{农业实际GDP增长率[省]} \\ &= \text{TREND}(\text{农业实际国内生产总值[省]}, 1, 0.025) \end{aligned}$$

农业就业是基于农业用地总量，通过以下等式进行计算。

$$\begin{aligned} & \text{农业就业[省]} \\ &= \text{农业用地[省]} \times \text{每公顷农业用地就业面板数据[省]}(\text{时间}) \\ & \quad \times (1 - \text{可持续耕地比例}) + \text{农业用地[省]} \\ & \quad \times \text{每公顷农业用地就业面板数据[省]}(\text{时间}) \times \text{可持续耕地比例} \\ & \quad \times (1 + \text{可持续耕地的额外就业}) \end{aligned}$$

这一公式表明，农业就业分为传统农业就业和可持续农业就业两部分。这个等式的基本假设是，可持续农业每公顷的劳动强度更高，通过使用可持续农业份额乘以乘子计算。

1.5.1.1 农作物生产

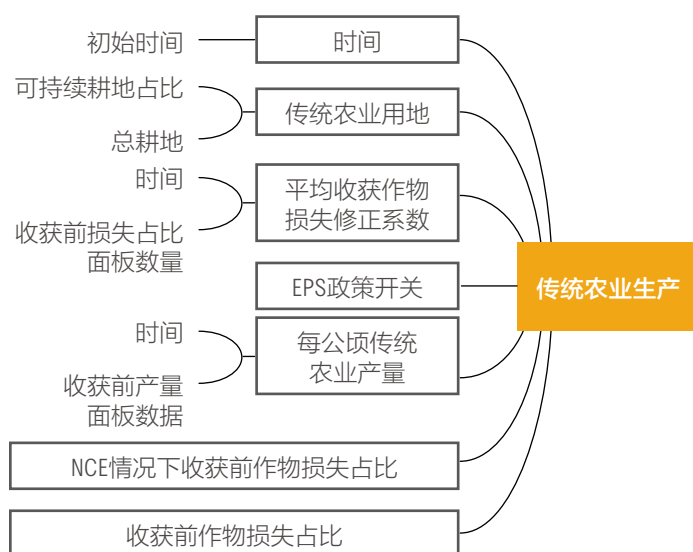
传统和可持续耕地的作物产量在农作物生产模块中计算。此外，该模块还计算了收获前的农作物损失量，并允许评估提高农业部门生产率和减少收获前损失的政策影响。

作物总产量是传统作物产量和可持续农业用地作物产量的总和。

$$\text{作物总产量[省]} = \text{传统农业生产[省]} + \text{可持续农业生产[省]}$$

传统农业生产和可持续农业生产的计算方法是，将传统和可持续管理措施下的土地数量乘以各自的产量，再用收获前的损失比例进行修正。我们假定可持续耕地比传统管理的耕地生产力高10%，通过生产力乘数计算可持续耕地的产量。除了“可持续农业的额外生产量”这一参数，图15对传统农业生产和可持续农业生产都是适用的。

图15 | 传统农业生产原因树



可持续管理的耕地数量基于土地总量和可持续耕地比例，通过以下等式进行计算。

$$\text{可持续农业用地[省]} = \text{农作物土地总量[省]} \times \text{可持续耕地的份额}$$

计算传统农业产量的等式中包含“IF THEN ELSE”函数，用以表明政策干预的效果。在GE情景下（开关值为“1”），收获前的损失比例会相较BAU情景相应减少，从而可模拟改进农业实践、减少作物收获前的损失的政策影响。

$$\begin{aligned} & \text{传统农业产量[省]} \\ &= \text{传统农业用地[省]} \times \text{传统农业每公顷产量[省]} \\ & \quad \times (1 - (\text{IF THEN ELSE}(\text{政策开关} \\ & \quad = 1, \text{“收获前损失比例面板数据NCE”}(\text{时间}), \text{“收获前损失比例表”}(\text{时间})) - \text{收获前作物损失修正系数})) \end{aligned}$$

传统农业的每公顷产量基于农业部门生产率数据，通过时间序列函数计算。

$$\text{传统农业每公顷产量[省]} = \text{单位公顷产量表[省]}(\text{时间})$$

1.5.1.2 施肥

农业化肥施用量是根据作物生产所用的总土地数和每公顷肥料相乘计算的。该模型假设，与传统管理方式下的农田相比，可持续管理农田的化肥投入减少了50%。

$$\begin{aligned} & \text{化肥施用} \\ &= \text{传统农业用地[省]} \times \text{每公顷农业用地化肥施用量[省]} \\ & \quad + \text{可持续农业用地[省]} \times \text{每公顷农业用地化肥施用量[省]} \\ & \quad \times (1 - \text{可持续农业用地化肥削减量}) \end{aligned}$$

化肥施用用于估算地表水体中的肥料径流。进入水体的化肥年总氮负荷量是基于总肥料施用量和流失系数计算的。

$$\begin{aligned} & \text{农业肥料的年总氮负荷量[省]} \\ &= \text{最大值}(\text{化肥施用量[省]} \times \text{氮肥流失系数}, 0) \end{aligned}$$

养分的流失被认为取决于季节降水量，换句话说，降水量越大，越多的肥料相关养分到达淡水水体。农业肥料输送系数是根据初始输送系数、相对季节降水量和养分流失系数对降水量的弹性计算的。

1.5.2 工业和服务业GDP

对于工业和服务业模块，使用供应侧方法。在本节中，将以“工业模块”作为示例说明各等式和变量的含义。

该部门的绩效通过资本、劳动和生产率进行衡量，工业资本存量变化通过以下公式进行计算：

$$\text{工业资本[省]}_{t+1} = \text{工业资本[省]}_{t0} + \text{工业投资[省]}_{t0} - \text{工业资本折旧[省]}_{t0}$$

工业投资为名义投资，其计算方法是私人 and 政府投资之和乘以工业投资比例。该公式基于的假设是该行业将通过投资资本来维持或扩大生产。工业资本的折旧计算方法是将当前工业资本除以工业资本的平均使用年限。折旧包括使用年限即将到期的机器，或者过时的设施。相对工业资本是一个指标，表明与模拟开始时相比工业资本的变化量，其计算方法是将工业资本的存量除以其初始值。

工业就业的计算方法是用工业资本乘以工业部门的资本就业强度，后者表示的是每单位资本产生的就业量。工业部门的相对就业率等于工业部门的就业除以其初始值。

工业国内生产总值代表了该部门的经济效益。它的计算方法是将最初的国内生产总值乘以生产乘数，生产乘数考虑了就业、资本(分别使用柯布-道格拉斯公式下的弹性进行计算)和全要素生产率。以下公式用于计算实际工业国内生产总值：

$$\begin{aligned} \text{实际国内生产总值行业[省]} &= \text{工业初始GDP[省]} \times \text{相对资本[省]}^{\text{工业资本弹性[省]}} \\ &\times \text{工业相对就业水平[省]}^{\text{劳动弹性[省]}} \times \text{工业全要素生产率[省]} \end{aligned}$$

图 16描述了用于计算实际工业国内生产总值和确定工业部门全要素生产率的变量。全要素生产率取决于能源法案、技术、营养负荷和二氧化碳排放的发展情况。

图 16 | 真实工业GDP原因树

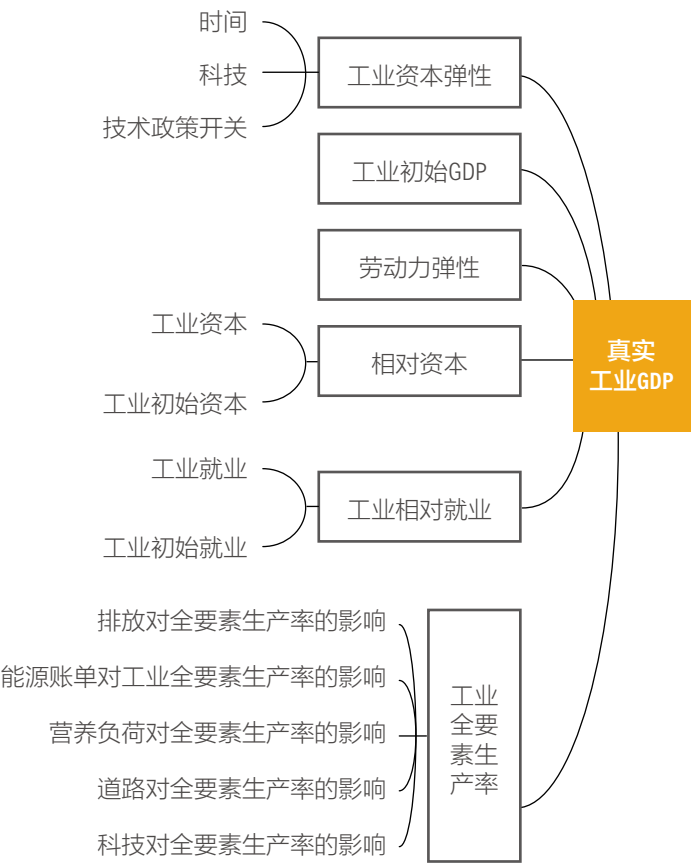


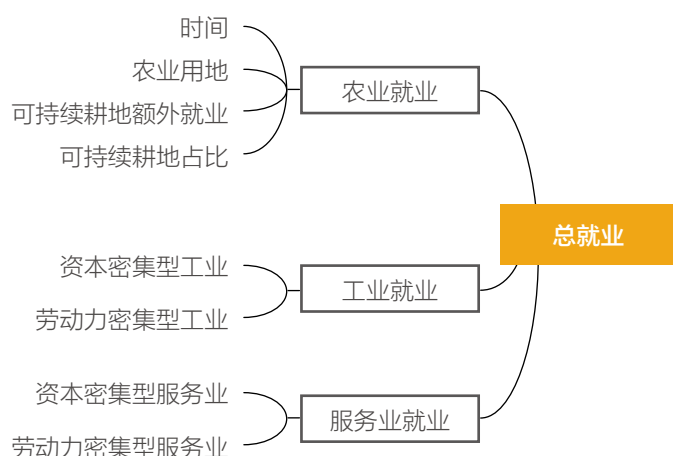
表 9 | 构成工业全要素生产率的影响类型

影响类型	影响等式
技术影响 [省]	技术 [省] ^ 工业全要素生产率对技术的弹性 [省]
排放影响 [省]	DELAY3I (relative annual energy co2e emissions[province] ^ ELASTICITY OF TFP TO CO2E EMISSIONS[province], 1, 1)
能源法案影响 [省]	DELAY3I (relative energy bill as share of GDP [province] ^ ELASTICITY OF ENERGY BILL ON INDUSTRY TFP [province], 1, 1)
营养负荷影响 [省]	向环境中释放氮的相对成本 [省] ^ 全要素生产率对向环境中释放氮的弹性
道路影响 [省]	DELAY3(relative km of roads[province] ^ ELASTICITY OF INDUSTRY TFP TO ROAD NETWORK[province], 2)
交通拥堵影响 [省]	ADD ONCE OPERATIONALIZED

1.6 就业与技术

这个模块概述了各部门就业、总部门就业以及技术的发展情况。它可以评估政策干预对就业的影响，并分析技术的发展趋势变化。总就业包括了农业、工业、服务业三个部门就业。图 17 表示了影响总就业人数的因素。估计各部门就业的公式见上一节。

图 17 | 总就业原因树



总就业人数和劳动力用于计算失业率。劳动力是通过将总人口乘以劳动参与率得出的。失业率可以使用最大值函数计算，以避免取到负值。

$$\text{失业率}[\text{省}] = \text{最大值}(1 - \text{总就业人数}[\text{省}] / \text{劳动力}[\text{省}], 0)$$

模型中的“技术”用于影响全要素生产率，建模初始值为“1”且是年增长率的存量。它是随时间稳定增长的指数，代表着在机械和流程自动化方面的改进。

1.7 家庭账户

家庭账户模块计算名义GDP、可支配收入和私人消费、储蓄和投资。它提供了有关变量随时间变化的信息，并允许评估政策对家庭特定关键指标的影响。家庭账户模块包含家庭投资和消费，以及可支配家庭收入和人均实际收入。可支配收入通过名义GDP减去政府国内总收入得到。

$$\text{可支配收入}[\text{省}] = \text{名义国内生产总值}[\text{省}] - \text{政府国内总收入}[\text{省}]$$

可支配收入用于计算私人储蓄和消费以及实际人均可支配收入，实际人均收入等于可支配收入除以总人口。人均实际可支配

收入的相对值，即当前的实际可支配收入除以其初始值，会影响消费倾向，进而影响私人消费和私人储蓄。

$$\begin{aligned} & \text{消费倾向}[\text{省份}] \\ &= \text{初始消费倾向}[\text{省}](\text{时间}) \\ & \times \text{相对私人消费实际可支配收入}[\text{省}]^{\text{消费倾向收入弹性}[\text{省}]} \end{aligned}$$

可支配收入乘以消费倾向得到私人总消费。私人储蓄是可支配收入与私人消费之间的差额。

$$\text{私人储蓄}[\text{省}] = \text{可支配收入}[\text{省}] - \text{私人消费}[\text{省}]$$

私人投资根据私人储蓄、私人储蓄占私人投资的份额确定，并根据与政府融资有关的货币流量进行了修正，后者则基于历史数据。

$$\begin{aligned} & \text{私人投资}[\text{省}] \\ &= \text{私人储蓄}[\text{省}] \times (1 - \text{私人储蓄占私人投资的份额}[\text{省}](\text{时间})) \end{aligned}$$

名义消费和名义投资分别计算为政府和私人消费之和与政府和私人投资之和。图 18 概述了用于计算名义消费量的变量。图 19 显示了用于计算名义投资的变量。

图 18 | 名义消费原因树

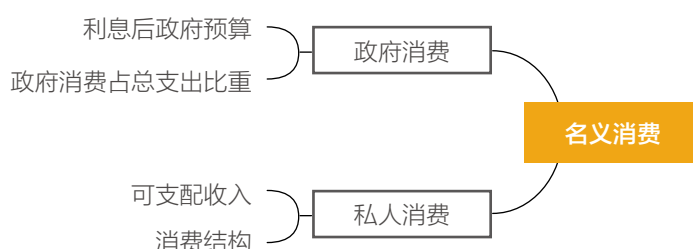
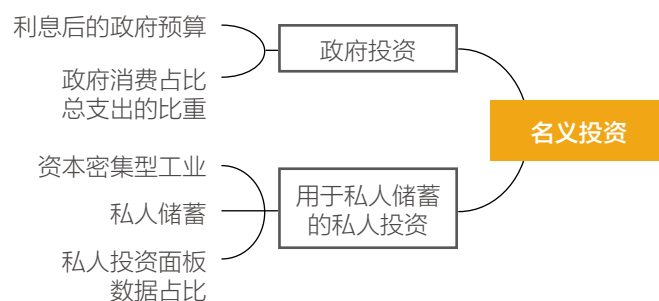


图 19 | 名义投资原因树

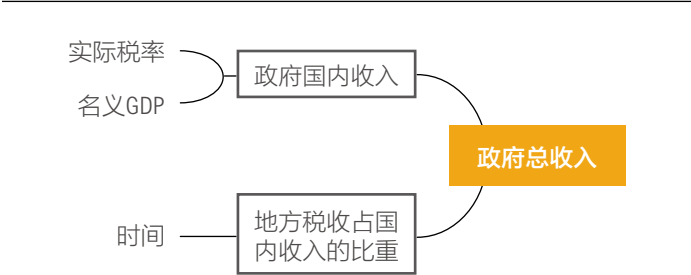


1.8 政府账户

政府账户模块核算政府收入和拨款，并提供有关政府总消费和投资的信息。政府总收入以地方税收中政府国内收入的一部分计算。

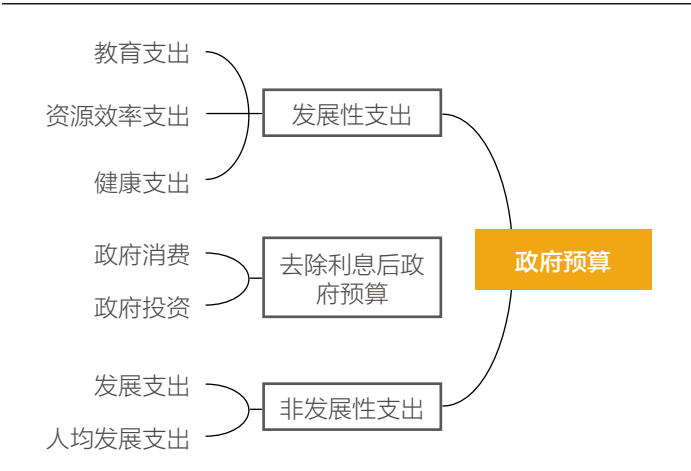
政府国内收入按名义GDP的比例计算。图 20中总结了用于计算政府总收入的变量。

图 20 | 政府总收入原因树



假定政府融资决策超出省级决策范围，则政府预算定义为政府总收入。如图 21所示，政府预算用于计算去除利息后政府预算、非发展支出和发展支出之后的政府预算，但模型中仅使用总投资。

图 21 | 政府预算使用树



对于省级模型，假定包含利息的政府预算与政府预算相同。通过使用预算量和政府消费占总支出的份额，可以计算政府消费和政府投资。政府消费是将政府消费占总支出的比例乘以预算（不包括利息）得出的；政府投资是将除利息之外的预算乘以1减去政府消费在总支出中所占的比例得出的，如下式所示。

政府投资[省]
=除利息之外的政府预算[省]× (1-政府消费占总支出的份额[省])

非发展支出是政府预算乘以用于行政目的政府预算份额。

非发展支出[省]= 政府预算[省]×用于行政目的的政府预算份额[省]

发展支出用于计算医疗健康、教育和资源效率投资等发展支出，等于扣除非发展支出的政府预算。

发展支出[省]=最大值(政府预算[省]-非发展支出[省], 0)

最大值函数用于避免开发支出变得小于零（这等于负投资）。医疗健康、教育和资源效率方面的投资是通过将政府发展支出乘以分别投资于保健、教育和资源效率方面的发展支出的期望份额来计算的。医疗和教育所需的投资份额需进行校准，以确保产生的投资与历史数据一致。

1.9 能源消费与碳排放

该模型预测了按部门和来源划分的国家能源消费量，然后将能源消费乘以温室气体排放系数，得出能源使用所产生的全国总排放量。

最终能源消费估算考虑了预测需求（包括GDP、人口和能源效率的影响）、价格作用和替代作用。预测需求项和价格作用项用于估算能源服务需求。能源价格与国家加权平均能源价格之比代表了燃料替代的潜力。这意味着，如果取消补贴，一种能源的价格涨幅低于其他能源，它将变得更有吸引力。该模型假设价格效应需要延迟1年才能影响能源消耗。模型的主要结构假设如图 22所示。

图 22 | GEM模型框架



该模型的主要驱动力之一是能源价格，可以通过两种方式对其进行变动，即设定中长期基准趋势（通过对电力的内生计算）和取消化石燃料补贴。取消补贴会提高能源价格，从而通过两种可能的方式降低能源需求：能源价格的提升将减少能源消费以抵消成本的增长；如果还是需要能源服务，就会减少使用（以前）补贴的化石燃料，增加相对便宜的燃料消费。

温室气体排放受能源消费量降低和能源结构变化的影响，该模型分别对这些影响进行了分析，并构造了几个变量和方程用于估算能量流（以兆焦/年计量）和排放量（以吨/年计量）。

首先，预测的能源需求用基年值计算所示的各部门能源需求（以煤炭为例），将其乘以相对国内生产总值和相对人口（均以基年为指数，并提高到特定弹性系数的幂次方），然后除以相对能源效率即可得到。下标“省”用于区分同一变量内各省份的能源需求。

$$\begin{aligned} & \text{预测煤炭需求[省]} \\ &= (\text{初始煤炭需求[省]} \times \text{相对国内生产总值[省]}^{\text{煤炭需求对国内生产总值的弹性[省]}} \\ & \quad \times \text{相对人口[省]}^{\text{煤炭需求对人口[省]的弹性}} / \text{相对能源效率[省]}) \end{aligned}$$

其次，考虑价格效应，只需将预测的需求（如上所示）乘以相对能源价格的价格弹性的幂次方。

$$\begin{aligned} & \text{“指示煤炭需求（价格效应影响下）”[省]} \\ &= \text{预测煤炭需求[省]} \times \text{相对煤炭价格}^{\text{煤炭需求价格弹性[省]}} \end{aligned}$$

再次，考虑替代效应。该公式与考虑价格效应的公式相同，但延迟1年表示价格变化与需求（或消费）变化间的滞后。

$$\begin{aligned} & \text{“煤炭需求（具有替代效应）”[省]} \\ &= \text{延迟 } N \left(\left(\text{“预测煤炭需求（具有价格效应）”[省]} \right. \right. \\ & \quad \times \text{“煤炭价格-替代”[省]}^{\text{煤炭需求对煤炭价格的弹性[省]}} \left. \right), \text{需求适应价格变化的时间,} \\ & \quad \left(\text{“预测煤炭需求（具有价格效应）”[省]} \right. \\ & \quad \times \text{“煤炭价格-替代”[省]}^{\text{煤炭需求对煤炭价格的弹性[省]}} \left. \right), 3) \end{aligned}$$

通过使用能源价格（如煤炭）与该省平均能源价格（按所有能源价格的加权平均估计）的比率，将由于价格变化（例如化石燃料补贴取消）而从一种能源替代另一种能源的可能性纳入其中。这个比率也是指数化的，以确保与弹性使用的一致性。

$$\begin{aligned} & \text{“煤炭价格-替代”[省]} \\ &= \text{延迟 } N \left(\left(\text{相对煤炭价格} / \text{相对加权平均能源价格[省]} \right), 1, 1 \right) \end{aligned}$$

预测能源需求（包括价格效应）用于估算指示能源总需求（也是能源服务需求），即各省份必须保证的能源总量。替代潜

力被用来估算不同能源消费的实际份额，最后将预测的能源需求总量乘以替代效应得到的份额进行归一化（此处的EPS即EPS情景，可参见WRI团队浙江EPS研究成果）。

$$\begin{aligned} & \text{标准化煤炭需求[省]} \\ &= \text{IF THEN ELSE (EPS政策开关} \\ & \quad = 1, \text{预测省份能源需求总量[省]} \times \text{能源需求标准化煤炭份额[省]} \\ & \quad \times \text{煤炭需求表EPS效应(时间), 预测各省份能源需求总量[省]} \\ & \quad \times \text{能源需求中标准化的煤炭份额[省]}) \end{aligned}$$

“IF THEN ELSE”函数允许模拟能源替代政策（如从煤炭向天然气取暖转换）。如果EPS政策开关处于激活状态（即开关值为“1”的时候），则EPS对煤炭需求的影响适用于标准化煤炭需求。EPS效应是一个用户定义的、基于时间的乘数，允许根据政策雄心随时间增加或减少煤炭需求。

一旦对标准化需求（假设与消费量相同）进行了估算，也可以对排放量进行预测。这可以通过将标准化需求乘以其排放因子来实现。

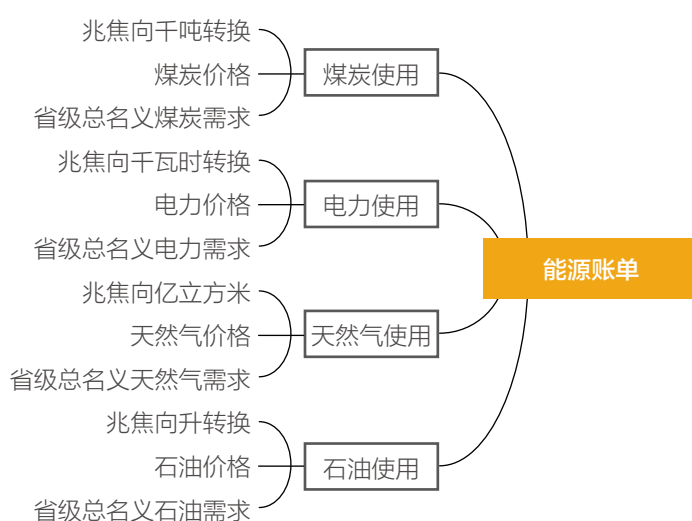
$$\text{煤炭排放量[省]} = \text{标准化煤炭需求[省]} \times \text{每兆焦煤的温室气体排放量}$$

1.10 能源账单

在能源账单模块中按使用的能源类型计算能源成本。该模块介绍了省一级的能源成本，并指出了设想的能源部门政策将如何改变总能源成本。

能源账单是各省份煤炭、石油、电力和天然气成本的总和。图23中显示了用于计算构成能源账单的不同燃料的成本的变量。

图 23 | 能源账单原因树



煤炭、石油、电力和天然气的成本是通过将省级燃料需求乘以燃料价格来计算的。转换因子被应用于将能源需求从兆焦转换为相应的价格单位。煤炭成本方程式用于说明按燃料计算能源成本的方法。

煤炭成本[省]
= 省内标准化煤炭需求总量[省]×煤炭价格×转换兆焦至千吨

省级能源成本的变化会影响经济生产率。例如，如果能源成本增加，则消费者需要在收入中支付更多的能源成本，这一影响同样适用于工业（即相同水平的生产的成本较高）。能源成本对全要素生产率的影响（请参阅工业和服务业GDP模块）等于相对能源费用（即能源费用占GDP的比重）的弹性次幂。能源费用占GDP的比重是通过将能源总成本除以名义GDP来计算的。

能源费用占国内生产总值的比例[省]
= 能源费用[省]×美元对当地货币的汇率/名义国内生产总值[省]

由于长三角GEM模型中的所有能源价格均为美元，因此美元对人民币的汇率适用于能源费用。相对能源费用占GDP的比例是通过将当前能源费用占GDP的比例除以基年初始值得出。

相对能源费用占国内生产总值的比例[省]
= 能源费用占国内生产总值的比例[省]/初始能源费用占国内生产总值的比例[省]

1.11 电力生产

电力生产模块概述了发电装机容量需要、发电量、电力相关的就业和投资。该模块区分可再生和不可再生技术与发电，并允许评估针对发电组合的政策干预措施。

电力生产模块有两种发电存量，用于区分传统发电装机量和可再生发电装机量。表 10中列出了库存及其各自的流量。在模型

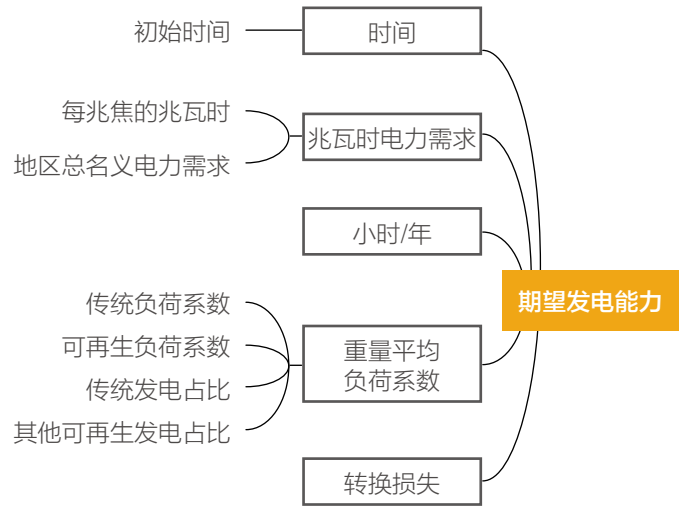
表 10 | 发电模型存量与流量表

存量	流入量	流出量
传统发电装机量	传统施工率	· 传统折旧率 · 传统的容量损害
可再生发电装机量	可再生资源建筑率	· 可再生能源折旧率 · 可再生能源产能受损

方程式中，所有库存和流量均使用下标[省]，以确保针对三省一市定制发电需求和装机容量。

两种存量都根据所需的发电量和可再生能源发电量的比例进行调整。图 24的原因树中汇总了用于计算所需发电量的变量。

图 24 | 期望发电能力原因树



所需的发电能力由能源消费模块的电力需求和消费驱动，并受平均负荷系数和传输损耗的影响。

预测发电装机量[省]
= 以兆瓦时衡量的能源需求[省]×(1+传输损耗率[省](时间))/加权平均负载系数[省]/每年小时数

平均负荷系数取决于技术组合，并基于传统发电装机量和可再生发电装机量的总和以及相应的负载系数作为加权平均值进行计算。相同的方法被用来计算传统和可再生发电容量结构，此处以传统容量为例。

两种容量库存都有一个流入和两个流出（见表 10）。传统发电量的库存方程可描述为：

$$\begin{aligned} & \text{传统发电装机容量[省]}_{t+1} \\ &= \text{传统发电装机容量[省]}_0 + \text{传统发电建造率[省]}_0 \\ & \quad - \text{传统发电折旧率[省]}_0 - \text{传统容量耗损[省]}_0 \end{aligned}$$

装机容量建设速率基于所需容量和当前容量之间的差异。

$$\begin{aligned} & \text{传统发电建造率[省]} \\ &= \text{最大化}((\text{预测发电装机容量[省]} \times (1 - \text{可再生发电装机份额[省]})) \\ & \quad - \text{传统发电装机容量[省]}) / \text{建设时间} + \text{传统替代率[省]}, 0) \end{aligned}$$

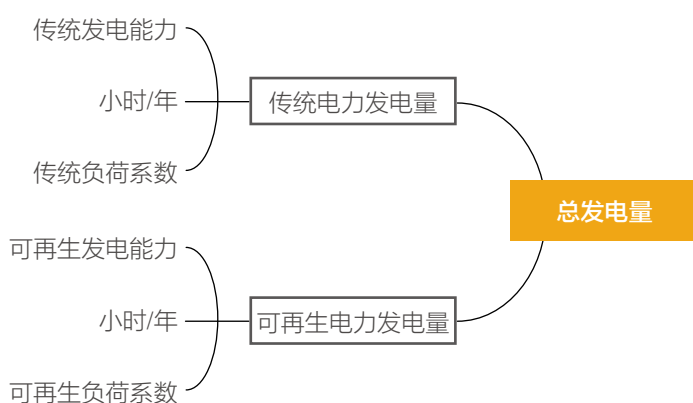
将所需发电装机容量乘以1减去可再生发电装机量的比例即可计算所需的传统发电装机容量，再减去传统发电能力的当前库存水平，将得到要建造的净额外装机容量，将其除以建设时间，以考虑建立电厂所需的时间。替代率（定义为传统容量的折旧率）被添加到建设速率中。该公式假设发电厂将在其使用寿命结束时更换，以维持当前的输出水平。折旧率被刻画了固定的延迟，假设容量在其使用寿命结束时就已停用。

传统容量耗损是一个政策变量，将洪水和干旱对发电容量的损害包括在内。在该模型的当前版本中，未假设洪水和干旱会对容量造成损害，因此在整个仿真过程中，该流量为零。传统发电装机容量和可再生发电装机容量的发电率取决于装机容量、相应的负荷系数和每年的小时数。

$$\begin{aligned} & \text{传统发电率[省]} \\ &= \text{传统发电装机容量[省]} \times \text{每年小时数} \times \text{传统负荷系数} \end{aligned}$$

图 25显示了总发电量的原因树，是传统发电量和可再生能源发电量的总和。

图 25 | 发电量原因树

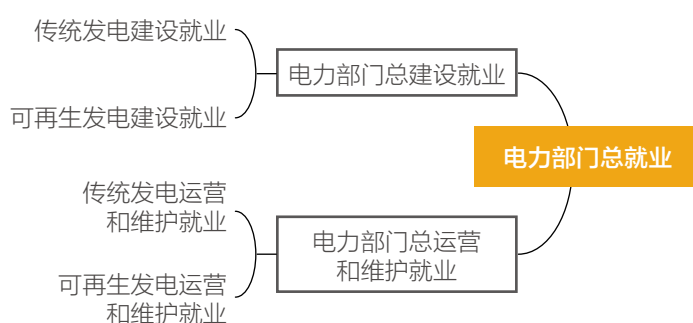


发电模块通过与容量相关的建设和维护活动估计就业。通过将传统发电装机容量和可再生发电装机容量的兆瓦数乘以相应的每兆瓦就业系数，可以计算出建就业人数。通过将当前装机容量的兆瓦数乘以每个兆瓦就业系数的相应运营和维护就业量，就可以计算运营和维护就业量。

$$\begin{aligned} & \text{传统发电运营和维护就业量[省]} \\ &= \text{传统发电装机容量[省]} \\ & \quad \times \text{运营和维护每兆瓦传统发电装机容量就业人数} \end{aligned}$$

能源部门的总就业人数是根据发电能力计算的建筑业和运营和维护就业量总和。图 26中的原因树显示了计算电力部门总就业的变量。

图 26 | 电力部门总就业原因树



1.12 温室气体排放

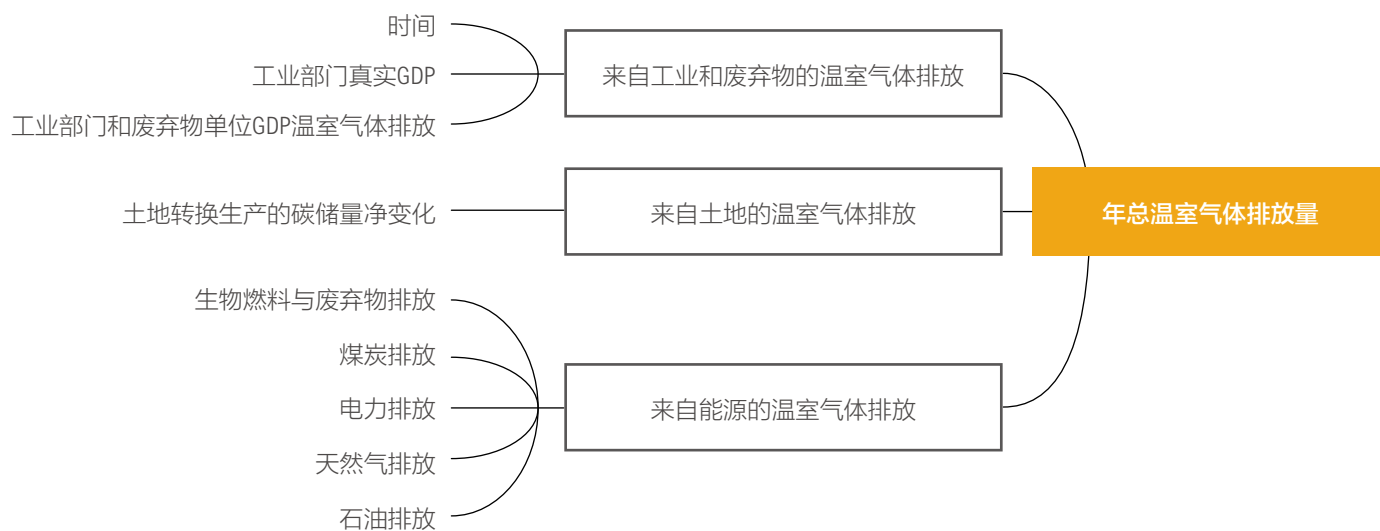
温室气体排放模块计算研究区域所有部门的温室气体排放量，提供了有关温室气体排放量随时间变化的信息，并允许评估政策对人均温室气体排放量和碳的社会成本的影响。温室气体排放总量为能源、工业、废弃物和土地利用细分版块下排放量的加总。图27列举了计算全行业温室气体所包含的变量。

工业和废弃物温室气体排放量根据工业部门实际国内生产总值和工业单位排放强度计算。

$$\begin{aligned} & \text{工业和废弃物的温室气体排放当量[省]} \\ &= \text{工业部门实际国内生产总值[省]} \\ & \quad \times \text{工业部门和废弃物单位GDP温室气体排放[省]}(\text{时间}) \end{aligned}$$

土地的温室气体排放量是根据土地转换产生的碳储量净变化和土地产生的温室气体排放量计算的。计算基于土地使用的5种流量以及相对应的土地碳排放因子。土地的变化（如从农业用地到林地的转变）会增加碳汇，从而影响温室气体排放总量，甚至

图 27 | 温室气体排放计算因果图



达到负排放。因此，温室气体总排放在某些年份会低于能源活动相关的二氧化碳排放。

能源产生的温室气体排放当量计算为各省份所有燃料来源产生的排放量之和。用于计算排放量的燃料包括煤、石油、天然气、电力和生物燃料排放，能源的相对温室气体排放当量是用能源目前的温室气体排放当量除以其初始值得出的，用于估计温室气体排放当量对全要素生产率的影响。

$$\begin{aligned} & \text{能源行业总温室气体排放当量[省]} \\ &= \text{生物燃料[省]} + \text{煤炭排放[省]} + \text{电力排放[省]} \\ &+ \text{石油排放[省]} + \text{天然气排放[省]} \end{aligned}$$

二氧化碳排放总当量用于计算人均温室气体排放当量和碳的社会成本。人均温室气体排放当量是用总温室气体排放当量除以人口得出的。碳的社会成本计算基于二氧化碳排放总当量和每吨碳排放的社会成本 (Nordhaus 2017)。

$$\begin{aligned} & \text{年度碳排放的社会成本[省]} \\ &= \text{年度二氧化碳总排放当量[省]} \\ &\times \text{每吨碳排放的社会成本(美元对人民币汇率转换)} \end{aligned}$$

1.13 营养负荷

在营养负荷模块中记录了氮 (N) 等营养物的释放以及对生产力的影响。该模块用于估算每年从肥料和废水源释放到淡水体

中的氮量。事实证明，释放出来的氮负荷会对水质、农业生产率以及全要素生产率产生负面影响 (UNEP, 2015)。

营养负荷模块考虑废水和肥料施用中的氮负荷。关于废水中的氮负荷，假设有一部分省级人口使用废水处理。下列方程式中的“IF THEN ELSE”函数可用于模拟改善的废水处理范围。

如果政策开关处于活动状态 (转换值为“1”), 则在已处理人口中所占的份额将在未来增加废水处理的覆盖范围。这将有助于评估废水处理对全要素生产率的影响。

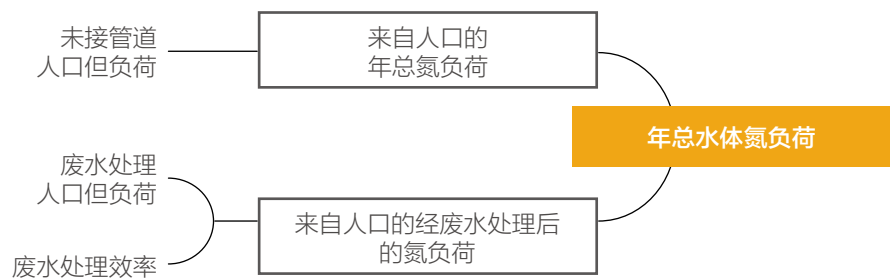
$$\begin{aligned} & \text{与废水处理相关的人口[省]} \\ &= \text{IF THEN ELSE (政策开关=1, 人口[省]} \\ &\times \text{NCE人口所占比例[省](时间), 人口[省]} \\ &\times \text{处理废水涉及人口的比例[省](时间)} \end{aligned}$$

该模型的当前版本假定未使用废水处理相关的人口产生的所有氮负荷都释放到未经处理的环境中。根据以下方程式计算出参与废水处理的人群的氮负荷总量。

$$\begin{aligned} & \text{废水处理人口的氮负荷量[省]} \\ &= \text{与废水处理相关的人口[省]} \times \text{平均年人均氮负荷} \end{aligned}$$

根据总人口和与废水处理有关的人口比例计算与废水处理相关的人口。没有废水处理设施的人数等于总人口减去废水处理相

图 28 | 水体中年总氮负荷原因树



关人口。将相应人数乘以平均每年人均氮负荷，即可计算两类人群的氮负荷。图28显示了用于计算废水中每年总氮负荷的变量。

假定未利用废水处理的人群的氮负荷未经处理就释放，废水处理人口的总氮负荷根据要处理的氮负荷和废水处理设施的效率进行计算。

废水处理人口的年总氮负荷[省]
= 废水处理人口的氮负荷量[省] × (1 - 废水处理效率[省])

到达淡水体的氮负荷总量是废水中氮负荷与化肥利用氮负荷的总和（参见施肥模块）。

到达淡水的总氮负荷[省]
= 废水年总氮负荷[省] + 农业肥料年总氮负荷[省]

每年总氮负荷量用于估算将氮释放到环境中的总成本。将每年的氮负荷量乘以每千克释放到环境中的氮成本，即可计算向环境中释放氮的总成本（基于UNEP，2015年）。将氮释放到环境中的总成本除以实际GDP，得出氮释放成本在实际GDP中的份额。

释放成本在实际国内生产总值中所占份额[省]
= 向环境排放氮的总成本[省] / 实际国内生产总值[省]

正如估算部门和总GDP的模块文本所述，使用将氮释放到环境中的相对成本估算废水处理对所有三个生产部门的全要素生产率的影响。

向环境中释放氮的相对成本[省]
= 向环境中释放氮的总成本[省] / 向环境中释放氮的初始成本[省]

1.14 道路交通

道路交通模块提供有关整个道路网络规模的信息，以及其他建设和正在进行的维护活动。道路交通模块包含两个库存，分别跟踪在建道路总里程数和道路总里程数。

道路建设速度会增加在建道路的里程数，并取决于当前和所需的路网规模。

道路建设量[省]
= 最大值(0, 所需道路网络[省] - 道路总里程数[省] + 道路中断[省])

所需路网规模与已经建立的道路总里程数之间的差值用于评估是否存在基础设施缺口。如果当前的道路网络大于所需的道路网络，则使用最大值函数可确保不会人为减少基础设施。在这种情况下，假定基础设施将在其生命周期结束时被淘汰。

表 11 | 道路存量模型

存量	流入量	流出量
在建道路总里程	新道路开工	· 道路完工
道路总里程	道路完工	· 道路损毁

道路总里程数随着道路完工率上升而增加，随着道路中断而减少。道路完工率等于在建道路存量除以道路建设时间。道路损毁量等于道路总里程数除以道路平均寿命。

道路密度以千米每公顷表示，通过道路总里程数除以总土地面积计算，道路密度除以每公顷道路初始里程数，即可得到每公顷道路的相对里程数。

每公顷道路的相对里程数[省]
= 每公顷道路里程数[省] / 每公顷道路初始里程数[省]

每公顷道路的初始里程数代表模拟开始时的道路密度。因此，道路的相对里程数是指示道路网络增加或减少并影响每千米道路平均成本的指标。

每千米平均道路费用
= 每千米道路初始成本
× 道路密度对道路成本的影响(每公顷的相对道路里程数[省])

每千米道路的平均成本等于每千米道路的初始成本乘以道路密度对道路成本的影响，后者是基于道路相对里程数的函数，根据道路密度与初始值相比的增加或减少，逐步调整成本。

该模块还提供有关道路建设和维护成本的信息。道路建设的总成本通过将道路建设率乘以每千米道路的平均成本得到。道路维护成本根据总里程数乘以每千米道路维护成本得到。

道路维护成本= 道路总里程数[省]×每千米道路维护成本

1.15 空气污染

空气污染模块估算发电产生的总空气污染物排放量（细颗粒物、二氧化硫和氮氧化物），以及空气污染的成本和相关的健康影响，其提供随着时间的推移，空气污染物排放量和相关成本变动的信息，并允许评估与改变发电组合中的化石燃料发电份额有关的政策影响。

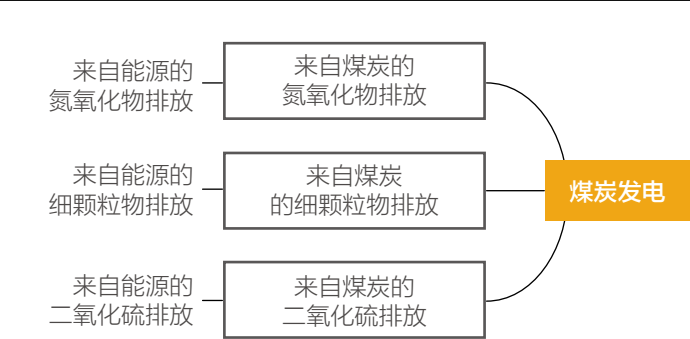
空气污染模块根据煤和天然气发电产生的空气排放，以及发病率和死亡率估算与空气污染相关的健康成本。使用相同的方法来估算这两种能源的成本，因此，燃煤发电将用于说明目的。

燃煤发电产生的空气排放是根据燃煤发电量和每兆瓦时空气污染乘数计算而得。细颗粒物、二氧化硫和氮氧化物排放使用与之相同的方法。下面的等式描述了燃煤发电中细颗粒物排放量的计算。

“煤的细颗粒物排放” [省]
= 燃煤发电量[省]× “煤的平均细颗粒物排放量”

图29显示了用于计算燃煤发电排放的变量，分别计算煤炭和天然气的空气排放量，然后将其汇总即可获得与能源相关的总空气污染物排放量。

图 29 | 煤炭发电在总空气污染中使用树模型



空气污染成本是通过将空气污染物排放总量乘以与每种空气污染物相关的相应健康成本乘数得出的。图30显示了用于计算空气污染总成本的变量，该总成本是与燃煤和天然气发电产生的细颗粒物、二氧化硫和氮氧化物排放相关的成本之和。

图 30 | 空气污染总成本原因树

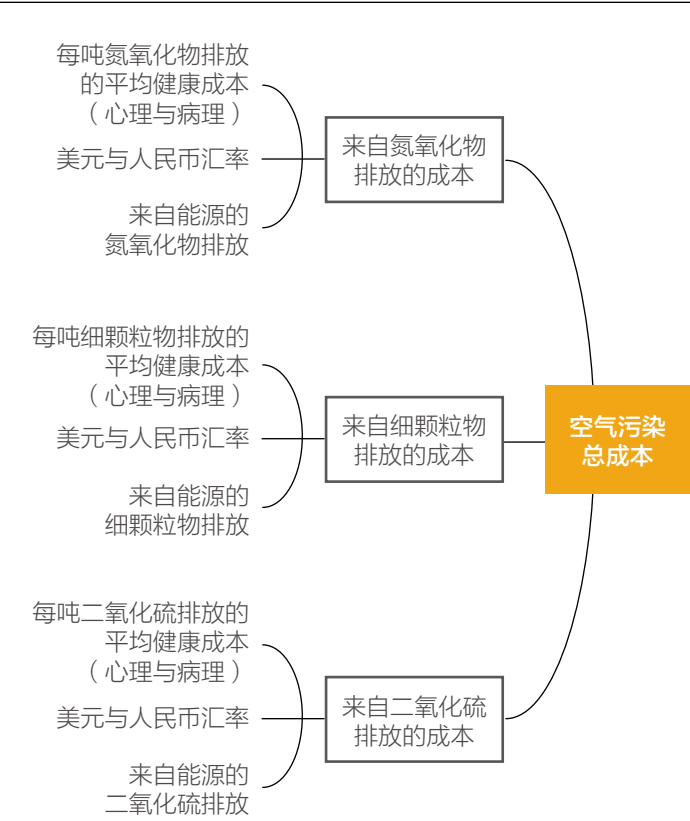


图 31 | 城市固体废物使用树

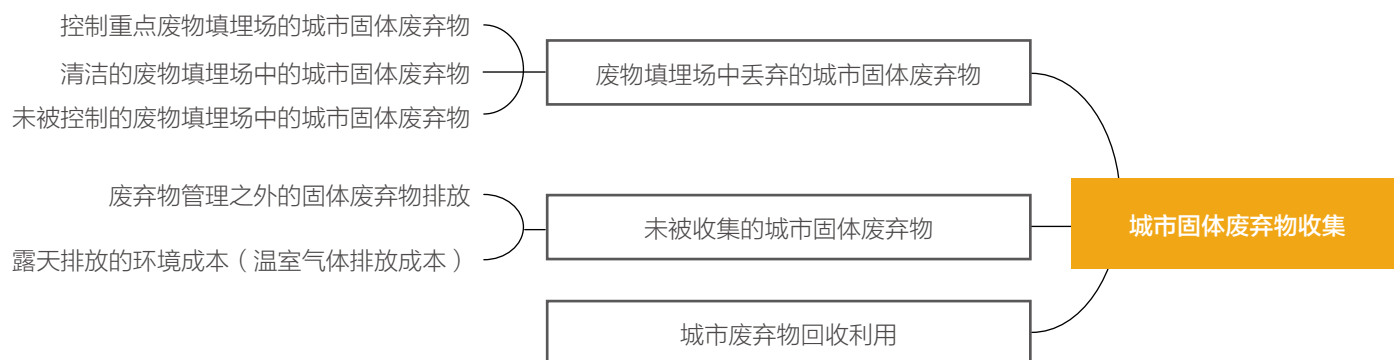
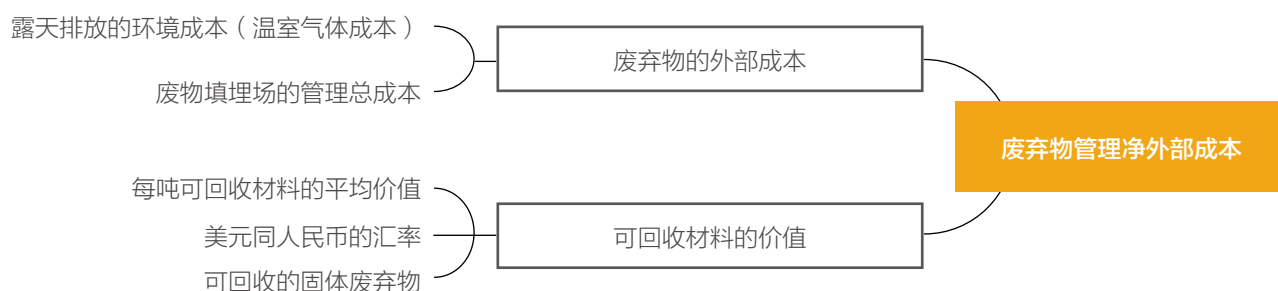


图 32 | 废物管理的外部净成本原因树



1.16 固体废物

固体废物模块提供城市固体废物产生量和不同废物流的信息。固体废物模块计算中国产生的废物总量以及回收、填埋和公开倾倒的废物量。城市固体废物产生量是根据总人口和人均城市固体废物产生量计算的。

$$\text{城市固体废物产生量[省]} \\ = \text{人口[省]} \times \text{人均固体废物产生量表[省](时间)}$$

城市固体废物产生量用于计算固体废物收集量，使用MWS收集的份额。未收集的固体废物量按城市废物产生量与收集的废物量之差计算，假定其排除在废物管理设施外。收集的城市固体废物的数量用于计算填埋和再循环率。图31显示了不同的变量，这些变量是使用收集的城市固体废物量计算的。

回收的城市垃圾量是通过将收集的城市垃圾乘以目前回收的城市垃圾份额计算出来的。根据des Souza Marotta Alfaia等人(2017)的数据，目前的城市废物回收份额基于目前回收的材料份额和可回收物在城市废物总量中的份额。

$$\begin{aligned} & \text{回收的城市废物的当前份额[省]} \\ & = \text{最小值(当前可回收物在收集的废物中所占的份额,} \\ & \quad \text{如果没有的话(NCE政策转换} \\ & = 1, \text{NCE城市废物回收份额表[省](时间),} \\ & \quad \text{参考城市废物回收份额[省])} \end{aligned}$$

上述公式中的“IF THEN ELSE”函数允许模拟回收可回收材料的政策情景。如果政策开关打开（转换值为“1”），则EPS回收材料份额将用于确定材料的回收。最小化函数用于确保废物回收的实施目标（以百分比表示）不超过收集的生活垃圾中可回收材料的当前份额。回收材料的价值通过将回收的城市垃圾量乘以每吨回收材料的平均值进行计算。

废物管理的外部成本计算为废弃物的外部成本与回收的城市废物价值之间的差额。这两个参数都依赖于图 32中以原因树形式显示的变量。

废物的外部成本是管理垃圾填埋场（卫生和其他）的成本和倾倒在环境中的废物的环境成本的总和。利用露天倾倒废物的温室气体排放量和每吨排放量的碳社会成本可以计算露天倾倒的成本。

$$\begin{aligned}
& \text{露天倾倒的环境成本(温室气体排放的成本)[省]} \\
& = \text{未收集的城市垃圾[省]} \\
& \quad \times \text{在垃圾管理之外倾倒的每吨垃圾的二氧化碳排放量} \\
& \quad \times \text{每吨二氧化碳的社会成本} \times \text{美元对当地货币的汇率}
\end{aligned}$$

1.17 交通相关的外部性

该模块计算车辆总存量、车辆行驶总里程数以及与道路运输相关的各种外部影响。

与交通相关的外部性取决于每年行驶的车辆总里程数，即总车辆数乘以每辆车行驶的平均里程数。车辆总存量的变化基于双向流动，车辆库存等式如下所述。

$$\text{车辆总库存[省]}_{t+1} = \text{车辆总存量[省]}_{t0} \times \text{车辆总存量的变化率[省]}_{t0}$$

车辆总存量的变化计算期望的车辆数量和当前车辆数量之间的差异。期望的车辆存量是通过人口乘以人均机动车辆的平均数量进行计算的。基于某时间的期望车辆库存以及当前车辆库存之间的差异用于计算车辆总库存的变化。

$$\begin{aligned}
& \text{车辆总库存的变化[省]} \\
& = (\text{人口[省]} \times \text{人均机动车辆平均数表[省]}(\text{时间}) \\
& \quad - \text{车辆总存量[省]}) / \text{更新车辆存量的时间}
\end{aligned}$$

与运输相关的外部性的年度成本是根据车辆行驶总里程数和相应的成本乘数计算的，该成本乘数是根据欧洲电力公司进行的一项研究得出的(CE Delft, Infrac & Fraunhofer ISI, 2011)。交通外部性年成本的各变量如图33所示。

该模型考虑了交通事故、空气污染、噪声污染和交通对城市的影响。同样的方法被用来计算这些外部性，下面为计算交通事故成本的公式。

$$\begin{aligned}
& \text{交通事故成本[省]} \\
& = \text{“车辆行驶总里程数”[省]} \\
& \quad \times \text{“每辆车事故成本-里程数”/欧元对LCU的汇率}
\end{aligned}$$

所有四个类别的总和得出运输外部性的年度总成本。

1.18 水的机会成本

水的机会成本计算用于冷却火力发电厂的水的先前生产价值。水的机会成本是根据热能发电的用水量和每英亩英尺用水量的估价乘数来计算的。估价乘数用于热能生产、农业加工和工业加工。用于热能生产的水（以英亩-英尺为单位）的计算方法是将常规发电能力的发电量乘以每兆瓦时热发电的用水量以及从立方米到英亩-英尺的换算系数。

$$\text{火力发电用水[省]} = \text{发电量[省]} \times \text{每兆瓦热能发电/单位换算系数}$$

图 33 | 交通外部性年成本

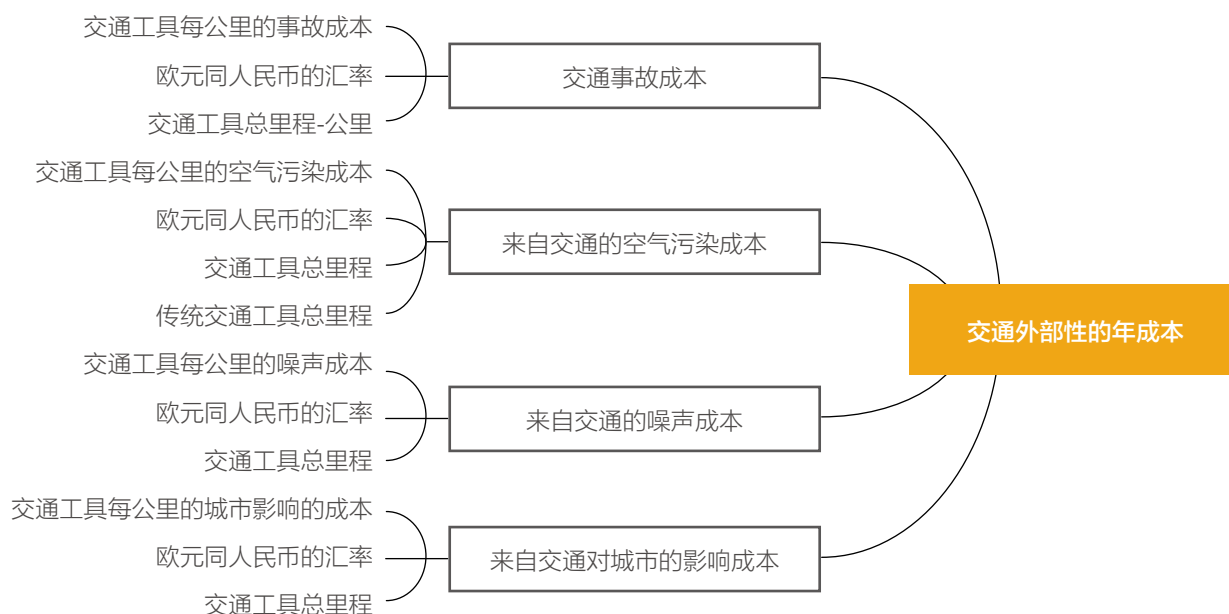
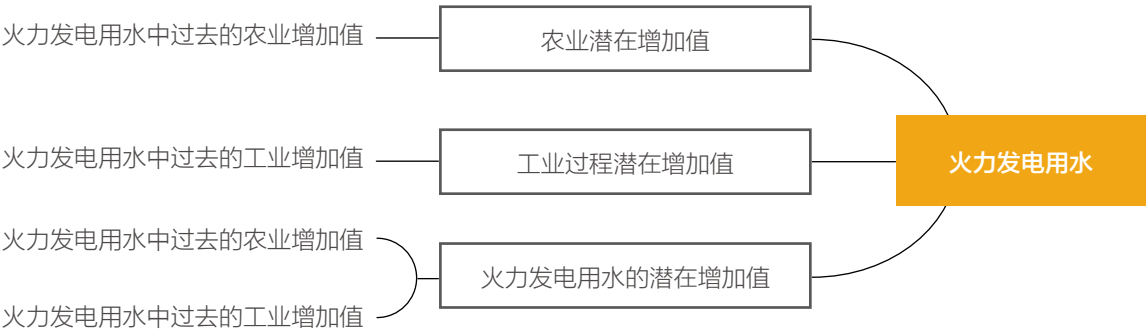


图 34 | 火力发电用水的使用树



如图 34所示，每项活动（农业、工业和火力发电）的潜在增加值是利用火力发电用水计算的。

农业和工业过程的先前增加值计算为各个过程的潜在增加值与热能发电的潜在增加值之差。同样的方法用于计算农业和工业过程的机会成本。下面的公式描述了如何计算工业过程的机会成本，用于说明目的。

火力发电用水带来的行业附加值[省]

= 工业过程的潜在附加值[省]-热能发电用水的附加值[省]

1.19 生物多样性

生物多样性的货币价值体现在生态系统服务模块中。生物多样性及其提供的价值取决于土地覆盖以及土地利用和土地覆盖的变化，这些变化与具有高生物多样性潜力的土地覆盖类型有关。该模块提供了关于陆地生物多样性总价值及其变化的信息。它可以评估发展政策及其引发的土地使用变化如何影响土地覆盖，进而影响生物多样性的总价值。

陆地生物多样性的总价值计算为林地、休耕地、农业用地和城市用地提供的价值之和。基于Jacotot (2015)，使用土地覆盖模块的土地覆盖存量和土地覆盖特定乘数计算各自的值。图 35显示了在全球生物多样性指数中国模型中用于估计生物多样性总价值的变量。

每种土地覆盖存量乘以一个估价乘数，可以获得各土地覆盖类型提供的总货币价值。以下计算林地生物多样性价值的公式代表了所有土地覆盖类别所使用的方法。

林地价值[省]

=林地[省]×生物多样性林地价值×美元对当前货币的汇率

汇率用于将美元值转换为当地货币。

用于计算生物多样性价值年度变化的方法类似于用于估计碳储量变化的方法。土地利用模块的土地覆盖变化流量和各自的估价乘数用于计算转换土地覆盖对每一个土地利用变化流量的影响。例如，从休耕地到林地的转换（如下式所示）将导致生物多样性的净增加，因为林地的生物多样性价值比休耕地高。

表 12 | 生态系统服务模块的数据源概述

存量	流入量	流出量
林地的生物多样性价值	常量	基于 (Jacotot, 2015)
休耕地的生物多样性价值	常量	基于 (Jacotot, 2015)
农业用地的生物多样性价值	常量	基于 (Jacotot, 2015)
城市用地的生物多样性价值	常量	基于 (Jacotot, 2015)

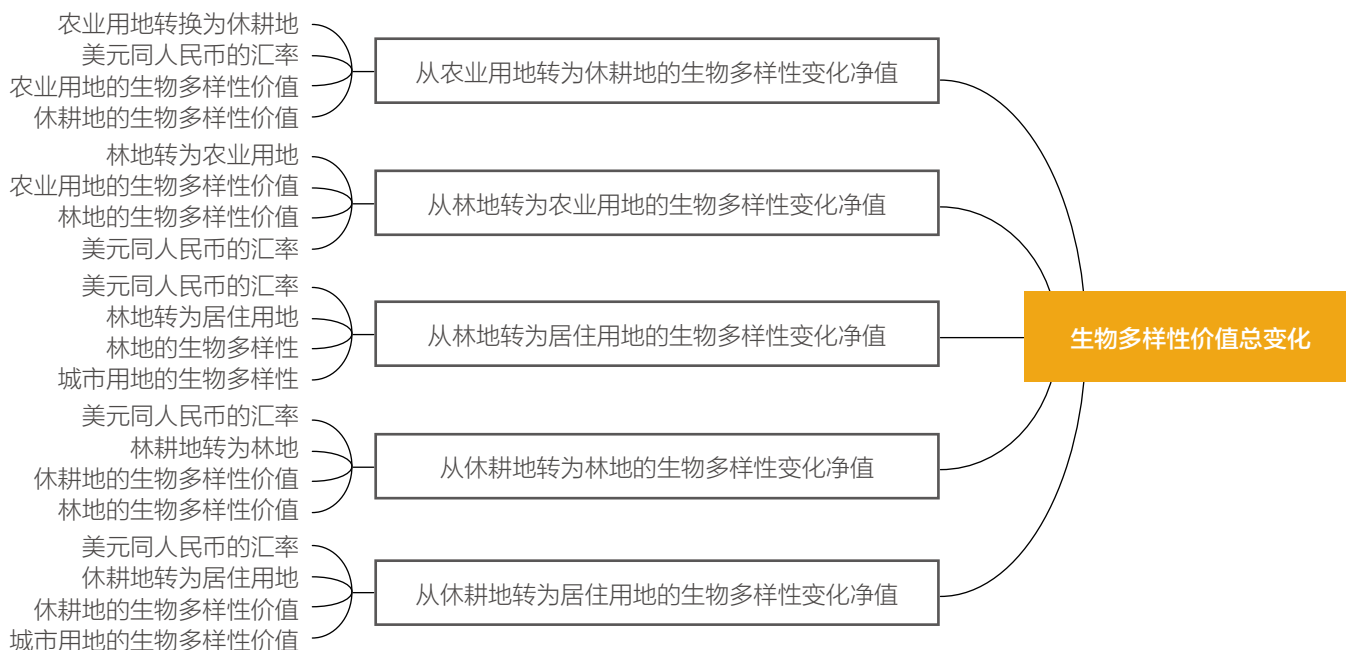
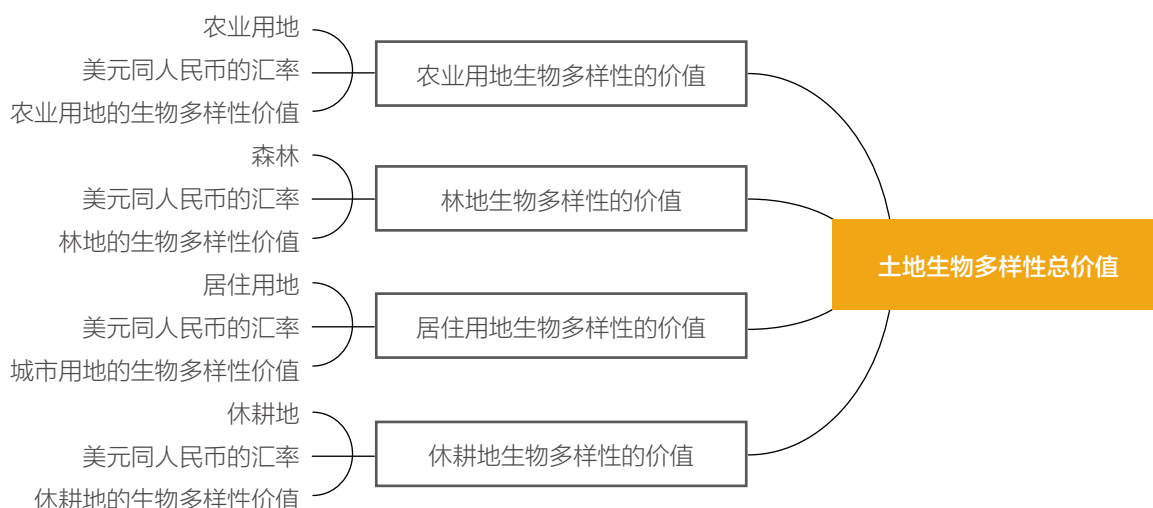
从休耕到森林的生物多样性价值净变化[省]

$$= \text{休耕至森林[省]} \times (\text{生物多样性林地价值} - \text{生物多样性休耕地价值})$$

$$\times \text{美元对当前货币的汇率}$$

如果土地从生物多样性价值高的类别(如林地)转换为生物多样性价值低的类别（如城市土地），计算结果将是当年生物多样性总价值的净减少。生物多样性价值的净变化是所有五个土地转换流净变化的总和。用于计算陆地生物多样性价值年度变化的变量和参数如图 36 中的原因树所示。

图 35 | 土地生物多样性总价值原因树



注释

1. 褐色经济指建立在对资源环境过度消耗基础上，以破坏生态环境为代价的不可持续的经济发展模式。
2. 详见附件完整技术报告中碳储存模块。
3. 详见附件完整技术报告中能源消费与碳排放模块。
4. 详见附件完整技术报告中工业和服务业GDP版块。
5. 由于篇幅限制，在此只做举例。
6. 土地生产力到2040年和2050年提升水平在不同省份有所不同，其中上海最低，浙江最高。
7. 情景假设详细的参数信息请参考附件中表3。
8. 能源活动相关的二氧化碳排在某些年份高于温室气体排放，其原因主要为土地利用变化所导致的碳汇增加，具体请参考2.4.1温室气体排放。
9. 人口对能源的需求弹性，尤其是电力需求弹性，通常高于工业对能源的需求弹性，主要原因是基础设施和设备可以更频繁、更快速地进行现代化。
10. 以2000年价格为基准。
11. 参考IMF2020年4月发布的《世界经济展望》（<https://www.imf.org/zh/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020>）。
12. 2019年实际数据，作为情景设置的基础参考。

参考文献

1. Bassi, Andrea M. Moving Towards Integrated Policy Formulation and Evaluation: The Green Economy Model, Environmental and Climate Technologies 16, 1: 5-19, doi: <https://doi.org/10.1515/rtuect-2015-0009>.
2. Featherston, Charles, and Matthew Doolan. A critical review of the criticisms of system dynamics. 2012.
3. Probst G., Bassi A. M. Tackling Complexity, A Systemic Approach for Decision Makers. Greenleaf Publishing, Sheffield, UK, 2014.
4. Roberts N., Andersen D., Deal R., Garet M., Shaffer W. Introduction to Computer Simulation. The System Dynamics Approach. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1983.
5. UNEP. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers. 2011. www.unep.org/greeneconomy.
6. UNEP. Using Models for Green Economy Policymaking. , 2014. https://www.un-page.org/files/public/content-page/unep_models_ge_for_web.pdf.

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：奚文怡，温新元，李相宜，鹿璐。

外部专家：

余碧莹 北京理工大学

张璐 北京师范大学

朱源 生态环境部环境评估中心

刘佳 上海市经济信息中心

姜克隽 国家发展和改革委员会能源研究所

此外，作者还想感谢实习生陈李逸帆对研究工作的支持，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

杨晓亮是世界资源研究所中国气候与能源部执行主任，邮箱：xiaoliang.yang@wri.org

寇玥是前世界资源研究所中国气候与能源部研究分析员。

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。我们衡量成功标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。