

能源政策模型 (EPS)
应用于区域“双碳”战略规划研究：
入门工作手册

绿色创新发展中心

2023.3.23

作者

奚 溪 绿色创新发展中心 分析师 xixi@igdp.cn

杨 鹂 绿色创新发展中心 研究总监/高级分析师 yangli@igdp.cn

致谢

特别感谢能源创新公司，能源基金会（中国），绿色创新发展中心创始人、董事胡敏，以及绿色创新发展中心的顾问宋曼娇、同事李鑫迪、朱彤昕对本手册编写的支持。

引用格式建议：奚溪、杨鹂. 能源政策模型（EPS）应用于区域“双碳”战略规划研究：入门工作手册. 2023. 报告. 北京：绿色创新发展中心.

关于绿色创新发展中心及 EPS 中国应用指南

绿色创新发展中心（北京绿色伙伴咨询有限公司）是专注绿色低碳发展的战略咨询机构，通过跨学科、系统性、实证性的政策研究、梳理、比较和评估，推动低碳环境解决方案的精细化和可实施度。我们和所有利益相关方合作，共同推动中国实现零排放的未来；立足本土，讲述中国绿色低碳发展故事。

本手册版权归绿色创新发展中心（iGDP）所有。如引用报告内容，应清晰注明来源。如对手册内容、EPS 模型在中国应用或其他相关合作和咨询等问题，请通过如下电邮联系我们：info@igdp.cn

本手册是 iGDP 开发的关于 EPS 在中国地方应用的系列手册之一，手册根据 EPS 模型升级持续更新。请访问 iGDP 官网获取更多信息：www.igdp.cn

关于能源创新及 EPS 英文模型手册

能源创新：政策和技术有限责任公司（能源创新）成立于 2012 年，是一家清洁能源和环境政策公司，为政策制定者、思想领袖和媒体成员提供关于低碳能源政策选项的及时研究和分析。能源创新团队在清洁能源、工业、交通、建筑、技术创新和能源政策设计方面具有专业知识。除了进行政策研究，能源创新还与客户合作，为慈善机构投资于有助于减少温室气体排放的技术和宣传提供信息。

本手册参考了由能源创新编写的英文版能源政策模型（Energy Policy Simulator, EPS）官方模型手册，并基于 EPS 在中国地方层面应用经验补充修改。请访问 <https://docs.energypolicy.solutions/> 获取官方手册和更多相关信息。如果对 EPS 模型有任何问题，欢迎通过如下电邮联系模型开放者：policy@energyinnovation.org

目录

1.	概况	6
2.	模型下载及使用	9
2.1	下载和使用 EPS 模型	9
2.2	模型文件分类	10
2.2.1	输入数据	10
2.2.2	其他重点文件	11
2.3	模型界面介绍	11
2.3.1	模型页面	11
2.3.2	模型使用	13
3.	EPS 模型情景	15
3.1	情景定义	15
3.2	情景设置方式	16
4.	数据更新方式	17
4.1	数据类型	17
4.2	数据更新方式	17
5.	校对	18
6.	重点部门逻辑和重点数据	19
6.1	工业部门	19
6.2	建筑部门	22
6.3	交通部门	24
6.4	电力部门	25
6.5	现金流和成本模块	28
6.6	其他重要参数	29



图 1. EPS 模型计算流向图	8
图 2 Vensim Model Reader 下载界面	9
图 3 下载不同版本的美国 EPS 模型*	10
图 4. EPS 模型文件夹结构及主要文件	10
图 5. EPS 模型结构概览界面	12
图 6. EPS 页面目录	12
图 7. 运行 EPS 模型	13
图 8. 批量设置政策	14
图 9. 手动设置 EPS 政策	14
图 10. 从 EPS 模型中取数	15
图 11. EPS 工业部门边界	20
图 12. 工业模块系统构成示意图	21
图 13. EPS 建筑部门边界	22
图 14. 建筑模块系统构成示意图	23
图 15. EPS 交通模块构成示意图	24
图 16. EPS 电力模块构成示意图	26

1. 概况

我国力争 2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和，是以习近平总书记为核心的党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，是我国新时期推动高质量发展、促进社会经济全面绿色转型的重要抓手。碳中和是一个非常复杂的系统工程，涉及到社会经济生产生活的各个方面。碳中和战略的相关政策和措施的制定离不开各具特点的不同模型量化研究来提供决策支持。在国家提出的“1+N”政策体系框架下，地方层面也积极落实国家“双碳”战略要求，展开相关研究以支持尽早提出符合各自特点的“双碳”目标实现的时间表、路线图。但是，地方层面的碳达峰和碳中和研究能力相对而言比较薄弱，绝大多数研究采用数据需求较少，线性外推的计量经济学方法，较少运用反映社会-经济-能源-环境复杂系统的建模工具。因此，我国目前有必要支持和鼓励地方运用更多元化的模型工具进行碳中和和碳达峰分析，提高当地能源和温室气体排放数据收集、分析和制定碳中和规划等方面的能力。

能源政策模型（Energy Policy Simulator, EPS）由美国能源创新政策与技术公司（EI）开发，是一个免费和开源的基于系统动力学的量化分析工具，用于模拟和评估能源与气候政策对能源消费、温室气体排放、污染物排放、投资需求及相关宏观社会经济指标的影响。2017 年，EI 与国家应对气候变化战略研究和国际合作中心（NCSC）、国家发展改革委能源研究所（ERI）合作，联合开发了针对我国国情的中国 EPS-2017 工具。随后，EPS 模型工具也逐步应用于区域低碳发展研究中。EI 与绿色创新发展中心（iGDP）自 2021 年更新中国 EPS 模型并发布在线版本，用于支持在“双碳”战略背景下，围绕碳达峰碳中和政策方案、技术选择、投资方向等方面的决策分析。最新版模型有更细致的工业分类，可以设置更复杂、灵活、符合国情的政策情景。EPS 模型作为一个开源、免费的综合系统性模型吸引了越来越多的地方团队的关注。

EPS 基于系统动力学理论框架，将能源和经济系统视为开放的非均衡系统。系统动力学是系统科学与管理科学的分支之一，是研究系统反馈结构和行为的一门科学。系统动力学适用于非线性、反馈性、动态性特点的复杂系统。它将整个系统视为一个反馈系统，也就是系统内 X 影响 Y，Y 同时通过一系列因果链条反过来影响 X，这种系统内部各因素之间的反馈关系影响了系统的行为模式及特性。系统动力学于 1956 年由 Forrester 教授提出，用于模拟具有多反馈回路的交互网络和非线性关系的复杂系统。基于系统动力学的规划模型可以预报系统未来呈现的状态变化，并根据系统预期的目标分析系统应该呈现的结构状态以及如何控制变量取值。因此，基于系统动力学建模是模拟经济-能源-排放各子系统及之间的动态运行机制的有力工具。研究者通过调整系统内部的政策参数，分析政策影响下的一个国家或地区的能源消费和排放情况。

相比于以新古典微观经济理论为基础构建的可计算一般均衡（CGE）模型，以及自下而上基于行业生产和消费进行建模的评估分析工具（如 LEAP 等），EPS 模型更好反映

出一个复杂的开放和动态系统内不同要素的相互作用和影响。同 CGE、LEAP 等模型工具类似，EPS 是一个覆盖了多部门和领域的复杂模型，需要有丰富且公开可获得的数据支持。使用者需要具有一定的经济系统和能源系统分析能力，以及收集、处理公开数据以满足模型输入数据需求的能力。但是，同时我们也看到，尽管 EPS 对输入数据需求量较大，其中相当比例的数据是具有国家典型性或者区域适用性的。因此，EPS 在不断完善国家数据的基础上推广应用到地方层面，通过多个地方的建模活动不断丰富和完善地方层面的模型默认数据，将更有利于降低地方研究机构将 EPS 模型用于支持有关碳达峰和碳中和的规划分析和政策评估的成本。

EPS 模型的政策影响评估不仅可以考虑单独政策的影响，也可以考虑不同政策间的相互协同影响（即两项政策同时实施时可能出现“一加一大于二”或“一加一小于二”的情况）。模型结果产出包括政策调整对能源消费和结构、温室气体排放和结构、污染物排放、现金流变化、电源构成及不同燃料消费、以及对宏观经济（就业、GDP 等）和人体健康等量化影响。

EPS 模型主体由 5 大部门/行业模块构成，分别是交通、电力供应、建筑运行、工业（包括建筑业、农业）、土地利用和林业。每个模块由相互关联影响的变量和政策参数按照特定函数关系构成。此外，EPS 模型也设置了其他与碳排放源或汇相关的模块，如区域供热和制氢、二氧化碳捕集与封存（CCS）、研发（R&D）、燃料、地球工程、投入产出（I/O）模块等。例如，燃料模块控制所有燃料的基本动力关系和相关价格，反映并影响交通、建筑、工业、电力、区域供热和制氢、CCS 等部门和领域的燃料需求和生产变化。投入产出模块用来估算现金流对 GDP、就业和工资变化，以及这些宏观经济变量的变化对工业、建筑、交通的能源消费和排放变化的影响。R&D 模块控制由于技术进步对燃料经济性和各部门技术的固定投资变化的影响。这些子模块以及内部要素与其他子模块及子模块的要素之间相互作用，共同构成 EPS 模型。

EPS模型模块关系

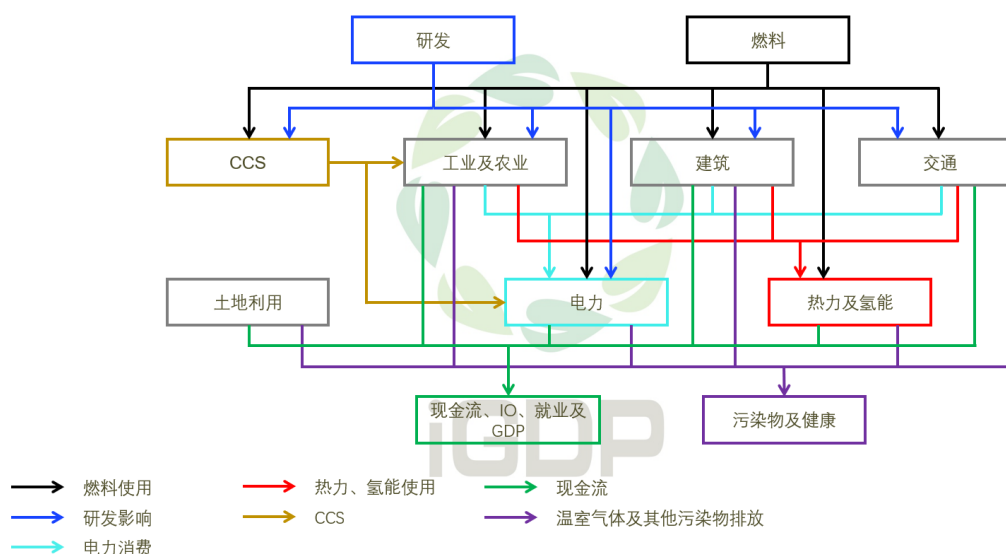


图 1. EPS 模型计算流向图

模型预测结果包括 CO₂ 和 CO₂e 排放及结构、一次能源消费总量和结构、部分宏观社会经济指标、PM_{2.5}、NO_x、SO_x 等污染物排放，以及各部门的能源服务需求、能源消费和排放的变化趋势和结构等。EPS 模型追踪及评估每种政策情景下单个政策及政策组合的减排贡献，以及相应带来的现金流变化，包括政策实施导致的设备等增量固定资本支出变化，以及增量运行维护成本的变化等。

EPS 的建模过程通常包括：设立和校核参考情景，设置和调整政策情景，最后通过分析和比较 EPS 模型不同情景下预测结果来进行政策评估，为建模地区低碳转型路线图提供减排潜力、实施路径评估的量化支持。

在提供相应年份的输入数据的前提下，EPS 模型本身支持建模结果到 2100 年。一般在中国地方建模使用有最新可得能源数据前一年作为模型基年，如此模型预测结果的第一年即为最新可得数据年份，可用实际数据作为模型预测结果的校对标准。例如，假设最新能源数据为 2021 年数据，则采取 2020 年为模型基年，在模型输入数据中使用 2020 年的数据。2021 年的最新数据可以用来校对模型预测结果。由于“双碳”目标要求 2060 年达到碳中和，则 2060 常设为模型预测最终年。对于某些有时间序列的数据点，输入数据需提供至模型预测最终年，即 2060 年。调整模型起始年见 6.6。

2. 模型下载及使用

2.1 下载和使用 EPS 模型

EPS 模型是一个系统动力学模型，主要在 Vensim 软件中运行和解读。¹Vensim 软件可以粗略分为两类，第一类为免费的模型读取和运行工具，即 Vensim Model Reader（或简称 Vensim Reader），而另一类为付费的 Vensim 工具，可以编辑模型，也可以通过运行.cmd 脚本批量取数和设置。由于 EPS 模型框架已经建成且不建议自行修改，用户可以访问 <https://vensim.com/free-download/>，选择 Model Reader，直接下载免费的 Vensim Reader。

Download

Choose a Product and Platform:

Anti-spam	<input checked="" type="checkbox"/> Please tick this box
Product	<input type="radio"/> Vensim PLE <input checked="" type="radio"/> Model Reader
Platform	<input checked="" type="radio"/> Windows x64 (10/11) <input type="radio"/> Macintosh OSX (10.10+) <input type="radio"/> Windows 7/8 x32 (Vensim 8.1, later versions will not run on Windows 7/8) <input type="radio"/> Windows 7/8 x64 (Vensim 8.1, later versions will not run on Windows 7/8)
Vensim newsletter	<input type="checkbox"/> Subscribe Name 我的名字 PLEASE NOTE: DOWNLOAD INSTRUCTIONS WILL BE EMAILED TO YOU, YOU MUST PROVIDE A VALID EMAIL ADDRESS. BY DOWNLOADING, YOU AGREE TO BE CONTACTED AFTER DOWNLOADING TO PROVIDE ADDITIONAL RESOURCES. Email address email_address@email.com Retype email address email_address@email.com <small>The Vensim newsletter is used for announcements of software updates, courses, and related information. Frequency is low – typically quarterly – and addresses are never shared.</small>

[Download software](#)

图 2 Vensim Model Reader 下载界面

EPS 模型的基本框架和默认数据可以通过下载美国模型获得。用户可以通过点击访问 EPS 官网的[下载](#)界面得到 Vensim 和模型的下载指南，以及模型包中所有文件的解释，

¹ 单纯从政策设置和读取情景结果来说，EPS 也有[网页应用](#)，提供更加用户友好的使用界面，能更快捷简便地得到重点输出数据，但取数范围相较于在 Vensim 中使用大大减小且模型逻辑及底层数据失去透明度。在地方应用 EPS 时，地方建模团队需要更新输入数据、在校对模型时也需要及时调整数据，因此本手册主要针对在 Vensim 中使用 EPS 模型，而非网页应用。

或者直接访问[此链接](https://github.com/Energy-Innovation/eps-us/archive/3.4.2.zip)获取 v3.4.3 版的美国模型。如果希望得到旧版的美国模型，可以在此页面找到版本编号，并相应编辑[此链接](https://github.com/Energy-Innovation/eps-us/archive/3.4.2.zip)中的版本编号后下载。下载并解压模型包后，可以用 Vensim Reader 打开 EPS.vpmx 使用 EPS 模型。

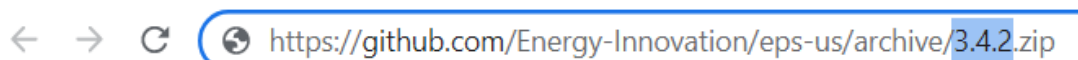


图 3 下载不同版本的美国 EPS 模型*

*修改高亮处的数字下载不同版本的模型

2.2 模型文件分类

下载模型压缩包并解压后可以得到一个模型文件夹，而文件夹内除了输入数据和模型文件以外还有一系列其他辅助文件。具体重点模型文件结构如下：

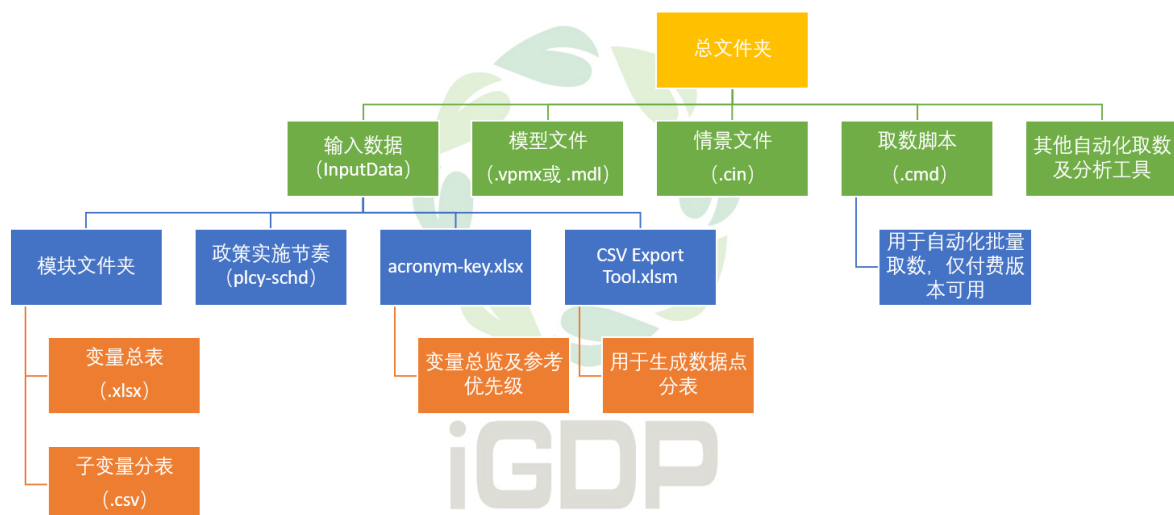


图 4. EPS 模型文件夹结构及主要文件

2.2.1 输入数据

InputData 文件夹内存有所有 EPS 模型的输入数据，其中大部分子文件夹即为模块文件夹，各模块的文件在其模块文件夹中。模块文件夹下为每个数据点的文件夹，其中一般有一个.xlsx 工作簿用以记录和计算该数据点所有相关数据，但并非模型直接读取的数据。数据点文件夹中相应的.csv 文件为该工作簿导出的数据表，也是 Vensim 软件直接读取的数据源，其文件名不能改变，否则模型无法读取。因此，数据计算一般在.xlsx 工作簿中进行，但更新完工作簿后还需将数据导出为.csv 格式才能在模型运行中体现。另外，在使用 v8 及以前版本的 Vensim Reader 时，数据更新后需要重新在 Vensim 中打开文件，模型不能自动读取更新后的数据。InputData 文件夹中的 plcy-schd 文件夹是用

来设置不同情景的政策实施力度时间表及模型起始和终止年份数据。

除了数据文件夹，InputData 中也有个别用于协助数据更新的文件。acronym-key.xlsx 文件记录了模型中所有数据点的元数据，包括所属模块、缩写、全称、子变量及更新优先级等。通过此文件可以较快寻找所需数据点的位置，或查阅数据点缩写的含义。CSV Export Tool.xlsm 可以帮助快速从.xlsx 工作簿中生成.csv 文件。使用 CSV Export Tool 需要保持主要.xlsx 工作簿名称不变，否则无法定位工作簿并生成.csv 文件。CSV Export Tool.xlsm 工具的具体使用方法在文件中有详细描述。

2.2.2 其他重点文件

模型中一般包括两个名为 EPS 的模型文件，后缀分别为.mdl 和.vpmx。**前者是模型文件本身**，在使用付费版 Vensim 时可以对模型中的公式逻辑和其他框架性的内容进行调整，但是免费 Vensim Reader 不能运行，因此对于大部分 EPS 模型使用者来说不可用。**后者是与 EPS.mdl 内容一样但不可编辑的模型文件**，可以用免费的 Vensim Reader 运行。模型团队在使用 EPS 时一般不需要修改模型框架本身，所以只需用免费的 Vensim Reader 打开 EPS.vpmx 使用。

另一类重要的文件以.cin 为后缀，是模型读取情景设置用的文件。该类文件可以直接在记事本软件中编写，也可以在 Vensim 软件中设置后保存得到。具体读取情景的方式将在报告中阐述。

如果使用付费版 Vensim 可以通过运行.cmd 脚本，批量设置情景并取数。免费的 Vensim Reader 可以在软件内手动取数。

2.3 模型界面介绍

2.3.1 模型页面

EPS 模型在 Vensim Reader 中打开后，首先显示的是结构概览，介绍不同模块的基本关系，和模型界面图例。

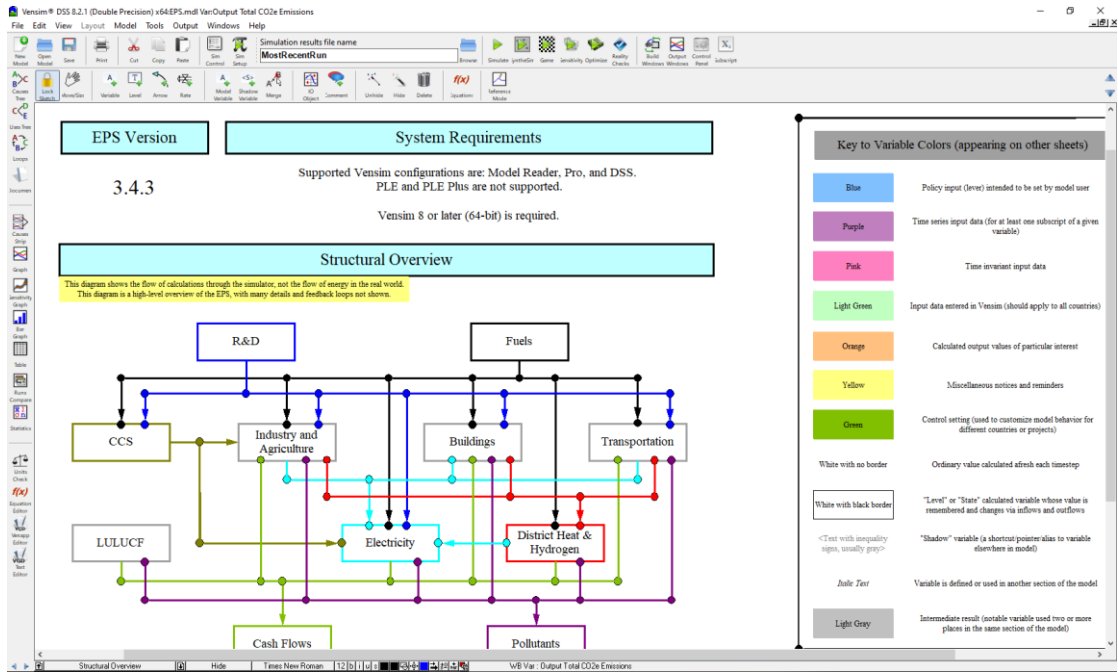


图 5. EPS 模型结构概览界面

每一个模型模块在 Vensim 中均有一个或多个页面，在左下角处可以跳转到不同页面。

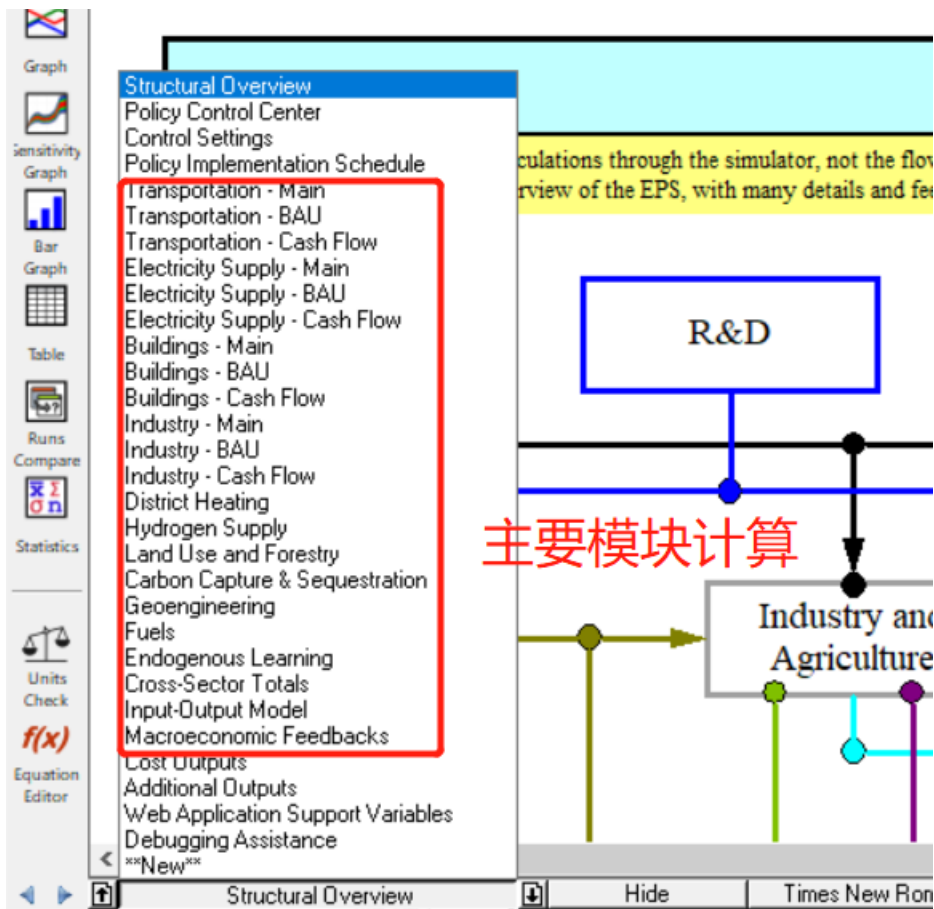


图 6. EPS 页面目录

页面列表中大部分是模型中所有模块的重点计算逻辑关系，在后文中会对重点模块逻辑和数据进行简单介绍。对于相对简单的模块（如：集中供热），所有计算在一个页面进行。对于相对复杂的重点模块（交通、电力、建筑和工业），计算放在三个不同页面，分别进行主要计算（即考虑到所有政策设置的计算逻辑）、BAU（Business As Usual）计算（即不考虑政策设置的 BAU 情景计算，为了方便比较 BAU 和政策情景）和现金流计算。

在页面列表中排第二的是政策设置中心（Policy Control Center），使用者可以在此页面中手动设置和调整政策设置。在页面列表最后则是输出数据的提取（Web Application Support Variables）页面。

2.3.2 模型使用

EPS 最基础的使用流程为运行模型、政策设置、提取数据。

(i) 运行模型

在 Vensim 页面上方工具栏单击 SyntheSim 运行模型。如果 Vensim 弹出对话框询问“是否覆盖已有的运行文件结果（即.vdxf 文件）”，选择“是”。之后模型进入运行状态，会对不同的设置作出即时计算并生成结果。

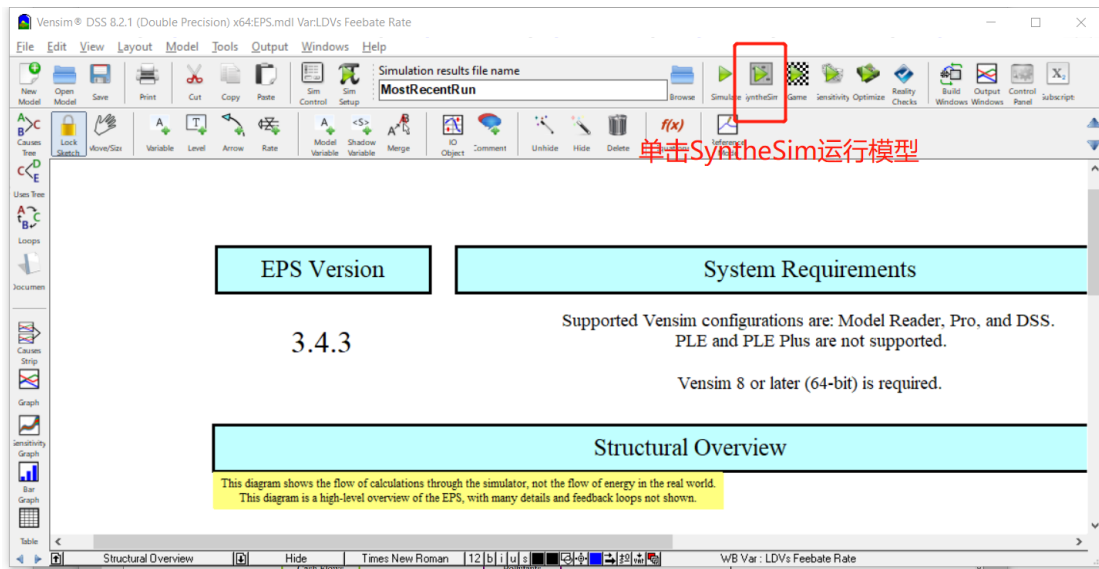


图 7. 运行 EPS 模型

(ii) 政策设置

政策设置有两种方式。一是通过加载政策设置文件（即.cin 文件）并批量进行设置；

另一种是通过政策设置中心页面手动设置，设置结果也可以保存为.cin 文件。

1) 批量设置

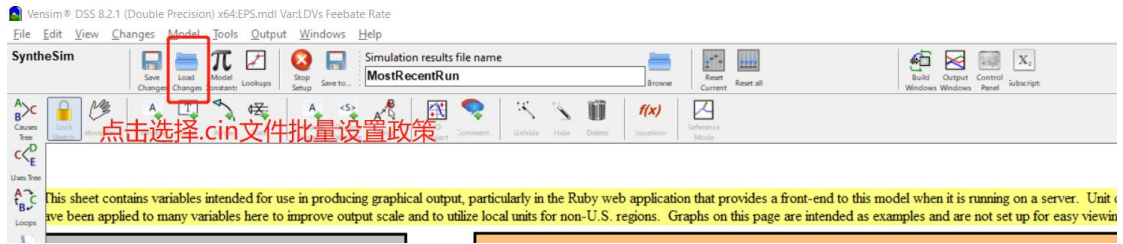


图 8. 批量设置政策

运行模型后，工具栏的选项有所变化。在左上角选择加载设置（即“Load Changes”），按照弹出的文件窗口选择相应的.cin 文件。选择确认后模型将根据设置重新计算。

2) 手动设置

跳转至政策设置中心页面，找到感兴趣的政策。拖动政策下的拉条或点击拉条的右箭头可以编辑政策设置。设置好后情景可以保存为.cin 文件，方便以后快捷使用。

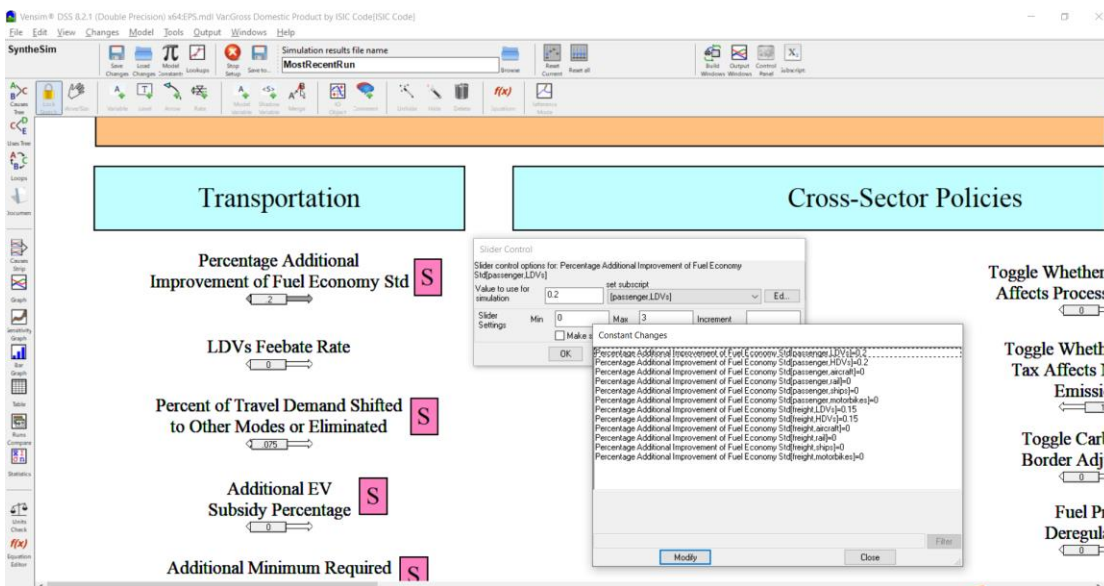


图 9. 手动设置 EPS 政策

(iii) 查看及提取数据

EPS 模型内置了常用的输出数据的计算，主要集中在数据提取页面（Web Application Support Variables），但 Vensim 可以读取模型计算过程中的任何变量，帮助用户提取感兴趣的数据并自行计算不同结果。双击感兴趣的变量后，在界面左侧选择“Table”即可生成表格，并将其中的数据复制粘贴至 Excel 表格中。

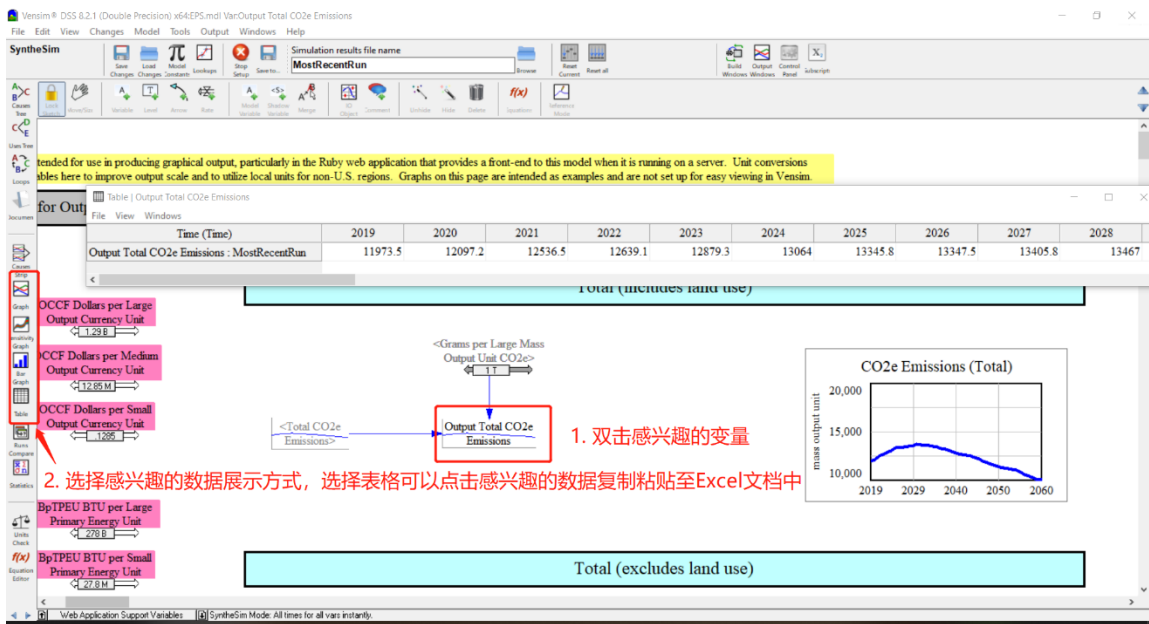


图 10. 从 EPS 模型中取数

3. EPS 模型情景

3.1 情景定义

EPS 模型为政策评估模型，所以模型运行时支持 BAU 情景（Business as Usual，或参考情景）和政策情景的各项数据对比。在更新输入数据时，大部分数据为 BAU 情景数据，而个别数据反映政策设置所带来的影响。因此，明确各情景的（尤其是 BAU 情景的）定义是在开始模型工作前的重要步骤。

情景代表一系列政策组成的政策包。EPS 模型中有一百余种政策类型，其中根据不同子行业、子分类的有较细的颗粒度，因此具体可以设置的政策推手（policy lever）有千余种。每项政策设置均有相对应的政策实施时间线（policy schedule），用以设置不同年份的不同实施力度。一个情景对应一套独特的政策设置和时间线，因为即使设置的政策目标值相同，不同的实施力度和时间线也会影响最终的政策效果。

BAU 情景为所有政策设置均为 0 的情景。BAU 情景的具体定义主要取决于研究目的。一般来说，地方使用 EPS 评估“双碳”政策路径时主要目的为评估现有政策和其他更具雄心政策所带来的额外减排和其他相关影响。最常用的 BAU 情景定义则为模拟了按照 2020 年及以前出台政策和经济技术的自然发展趋势下地方的能源消费和温室气体排放情况（“第一种定义”）。目前有部分研究目的主要为评估现有政策距离“双碳”目标的缺口，而不考虑现有政策带来的额外性影响，则将参考情景定义为考虑了现有出台政策的情景（“第二种定义”）。按照本段中的第一种定义设置 BAU 也可以达到采用第

二种定义的研究所需达到的目的。因此，本手册建议用户将 BAU 情景定义为本段落的第一种定义。

EPS 模型可以设置多种政策情景，但每次在模型中只能加载一个政策情景并与 BAU 情景比较。一般来说，情景按照研究目的可以分为两种：

- **评估现有政策型**：此类情景主要研究现有出台的政策充分实施带来的影响。由于政策文件中通常既有措施性的目标（比如具体节能措施和相应节能率），也有结果性的目标（比如排放达峰中和时间或一次能源消费结构），加上政策文件中的语言有时不能与 EPS 可设置的政策直接对应（比如中国常有新能源汽车保有量的目标，但 EPS 中仅能设置新车销售渗透率的政策），设置此类情景需要在收集现有政策的基础上将政策语言转换成 EPS 可以设置的数值。
- **目标倒逼型**：此类情景主要目的为寻找达到某种排放或用能目标的可行政策路径，最常见的目标即 2060 年达到碳中和。由于达到 2060 年碳中和的路径理论上有无穷尽种，此类情景通常也要考虑现有政策方向、力度和可行性，通常也可以用敏感性分析和成本分析等优化调整不同政策。

我们在应用 EPS 评估地方“双碳”政策和减排路径研究，通常定义三个情景，分别是：

- **参考情景**模拟了按照基年及以前出台政策和经济技术的自然发展趋势下地方的能源消费和温室气体排放情况。
- **现有政策情景**反映了基年后出台的相关政策，例如“十四五”或其他中长期行业规划及政策目标等，这是一个评估现有政策型的情景
- **碳中和情景**是参照全球及国家最佳政策实践基础上的假设情景，相较于现有政策情景通常采用了力度更大、范围更广的政策措施，在一定程度上考虑政策实施实际可行性，提出地方在 2060 年实现碳中和的可能转型路径及相应政策措施组合。

3.2 情景设置方式

利用 EPS 模型评估政策情景前必须先点击 SyntheSim 进入模拟状态运行模型。在模拟状态中即可设置或加载不同情景。

在 EPS 模型中设置情景下的政策值有两种方式。最简单直接的方式是跳转至政策控制面板（Policy Control Center）页面。对于没有具体子分类的政策，通过拖动每个政策推手下的横条或者单击横条右端箭头输入政策值均可设置政策。有子分类的政策在推手

右边标有粉色的“S”方框，拖动横条仅能调整第一个子分类的设置。如果需要调整不同子分类的政策设置则需单击横条右端箭头，一一调整相应设置。

第二种设置情景政策值的方式是直接加载.cin文件。.cin文件是Vensim用来存储政策设置的文件。可以直接在记事本中编辑内容保存文件后将后缀改为.cin，也可以在政策控制面板设置好情景后选择保存改动(Save Changes)，日后可以直接加载之前的设置。需要注意的是必须要先点击SyntheSim进入模拟状态才能设置、加载或保存情景。

情景的实施时间线的设置需要通过修改InputData实现。在InputData/plcyschd/FoPITY文件夹中存有不同编号的时间线文件。修改某一编号的时间线后，在政策设置面板的Policy Implementation Schedule Selector推手中选择相应的编号即可选择该次模拟的情景所需的时间线，也可以在.cin文件中输入相应的命令行，以设置时间线编号。

4. 数据更新方式

4.1 数据类型

EPS输入数据的每个数据点按模块储存在InputData文件夹中，每个数据点由缩写表示。比如BAU情景下工业用能预测英文全名BAU Industrial Fuel Use before CCS，缩写为BIFUbC。部分数据点中包含多个子数据点，均保存于同一数据点文件夹，用“-”在数据点缩写后添加子数据点名后缀，比如BAU情景下工业用能预测中对于用煤的预测记录为BIFUbC-coal。

EPS模型的输入数据可以粗略分为三类：

- 时间序列：这是最常见的数据类型，即该数据点可以在每个年份有不同的数值。一般来说体现对未来趋势的预测，为其他模型或研究结果。典型数据包括工业部门的用能预测或交通周转量的趋势预测。
- 常数：这类数据不随时间改变，比较典型的是基年数据，比如基年装机量或基年车辆数，由于该数据点只包含一年的信息，所以对时间不敏感。
- 模型参数：通常也是常数，不随时间改变。这类数据一般不需要收集，而只是模型运行所用的参数。简单的包括单位转换因子，复杂的包括模型内部使用的选择函数的幂参数等。这类数也包含一些布尔值，用来设定模型的一些计算边界，比如是否计算调入调出电力的排放等。

4.2 数据更新方式

Vensim从InputData文件夹中读取输入数据，且仅读取.csv文件，因此文件夹和所

有.csv文件的名称和位置都不能修改。数据更新方式简单总结为：

- 更新.xlsx工作簿
- 生成.csv文件
- 重新打开Vensim运行模型

更新.xlsx工作簿

大部分数据文件夹中的.xlsx文件包含了数据计算方式和数据来源，因此更新数据时最好更新.xlsx文件并在其中记录任何方法学上的修改。每个.xlsx文件中最后的工作表一般为每个数据点（或子数据点）的缩写，与同文件夹中的.csv文件一致，也是CSV Export Tool生成.csv文件的数据来源，因此也不要修改这些工作表的名称。与.csv文件对应的工作表一般标为深蓝色。

生成.csv文件

由于Vensim只读取文件夹中的.csv文件，更新.xlsx工作簿后仍需更新相应的.csv文件。如果文件数量不多，可以直接在各工作表选择另存为并覆盖现有的.csv文件。如果文件数量较多，可以使用InputData中的CSV Export Tool。打开工具后选择允许宏运行，将需更新的表在D列中的值改为1，后点击Export CSVs（生成CSV）按钮后即能更新所有CSV文件。注意文件运行以数据点文件夹为单位，即不能单独生成子数据点。

重新打开Vensim运行模型

Vensim Reader不能直接在软件内读取更新后的数据，需要重新打开模型再运行后方可获取更新数据后的结果。

5. 校对

由于EPS模型逻辑和数据结构十分复杂，在更新EPS输入数据和情景设置后均需对模型结果进行校对，以免模型结果距离预期结果过远，其中对BAU情景的校对（及更新完输入数据后的第一轮校对）最为重要。

由于EPS模型主要用于评估排放和用能影响，一般校对时主要考虑总体和分部门的排放和用能总量、结构和趋势变化。一般来说，校对使用倒推逻辑，即遵循先排放后用能、先总体后分部门/分子分类的基本顺序。

如果观察到排放或用能有不符合预期的情况，可以首先检查排放或用能占比较高的子分类。此处唯一的例外是电力部门。由于电力部门的主要驱动因子是终端用能部门的用电需求，如果电力部门有不符合预期的结果需要首先判断是否电力需求预测处已经出现问题。如果是用电需求出现异常，则需根据终端部门的用电需求判断出现异常的具体原因。

对于政策情景的校对通常与参考的政策文件中目标性指标相关。例如，通过校对调整合适的新能源汽车新车渗透率以得到政策文件中保有量的目标，或者调整更多更复杂的政策以得到政策文件中的一次能源消费中可再生能源占比目标。

6. 重点部门逻辑和重点数据

尽管 EPS 有两百余数据点，其数据更新优先级是不同的。总体来说，对模型结果影响越大的、且区域间区别越大的数据点的更新优先级越高。EPS 默认模型中的 acronym_list.xlsx 有相对于美国模型而言每个数据点的更新优先级。中国地方模型可首先参考 iGDP 开发的中国国家 EPS 模型（2022）后进行更新，以减少所需更新的数据点。

判断每个数据点对结果影响大小需要了解模型底层逻辑。本节简述 EPS 模型电力、工业、建筑、交通四大重点模块的输入数据、内部子系统构成、和输出数据情况，帮助了解 EPS 模型在能源需求和温室气体排放预测领域的逻辑思路。

6.1 工业部门

工业模块覆盖了农业、开采业、制造业和建筑业范围下的 25 个细分行业（图 3），通过构建变量间的因果回路图和存量流量图的 7 个子模块，来量化估算工业产量变化、工业能源消费需求、工业电力需求、工业各类温室气体排放等。其中，既包括来自燃料燃烧直接产生的能源相关排放，也包括工业过程中产生的过程排放。EPS 模型内部不计算生产工业部门所用的、并非厂内自产自用的电、热和氢能所带来的间接排放。



图 11. EPS 工业部门边界



图 12. 工业模块系统构成示意图

工业模块需要的输入数据较为复杂，包括参考情景下工业分行业分能源品种的燃料消费预测、过程排放以及部分政策变量的最大节能潜力设置等。政策变量包括节能政策、燃料替代政策、工业品需求控制政策、温室气体控排政策等。

工业模块的输入数据主要来源为《中国能源统计年鉴》中的地方能源平衡表，地方统计年鉴，地方投入产出表，以及统计局每月公布的各行业规模以上增加值增速等。

工业模块从输入数据获取 BAU 情景下用能预测和过程排放，所以更新工业模块时应重点更新 BAU 情景工业用能预测（BIFUbc，BAU Industrial Fuel Use before CCS）、BAU 情景下提供能源的燃料占比（BPoIFUfE，BAU Proportion of Industrial Fuel Used for Energy）和 BAU 情景过程排放（BPE，BAU Process Emissions）。

在情景设置时如果用到燃料替代（例如电气化率或氢能应用）相关的政策则可能需要调整替代燃料类型（IFStFS，Industrial Fuels Subject to Fuel Shifting），而设置过程排放相关的政策则需要参考 BPE 更新过程排放减排潜力及成本（PERAC，Process Emissions Reductions and Costs）。另外，设置其他工业系统优化等相关政策需要参考 Potential Perc Reduction in Fuel Use from Early Retirement of Inefficient Facilities、Potential Perc Reduction in Fuel Use from Increased Cogen and Waste Heat Recovery 和 Potential Perc Reduction in Fuel Use from Improved Installation and Integration of Eqpt。

6.2 建筑部门

建筑模块计算建筑设施运行阶段的能源消耗和直接碳排放。EPS 中，建筑类型分为城镇住宅、农村住宅和公共建筑三类；6 种用能设施（建筑组件）包括，供暖系统²、制冷和通风系统³、建筑围护结构⁴、照明、用能设备⁶及其他建筑用能设施等；燃料类型包括电力、煤炭、天然气、各类油品、生物质和氢能（图 13）。

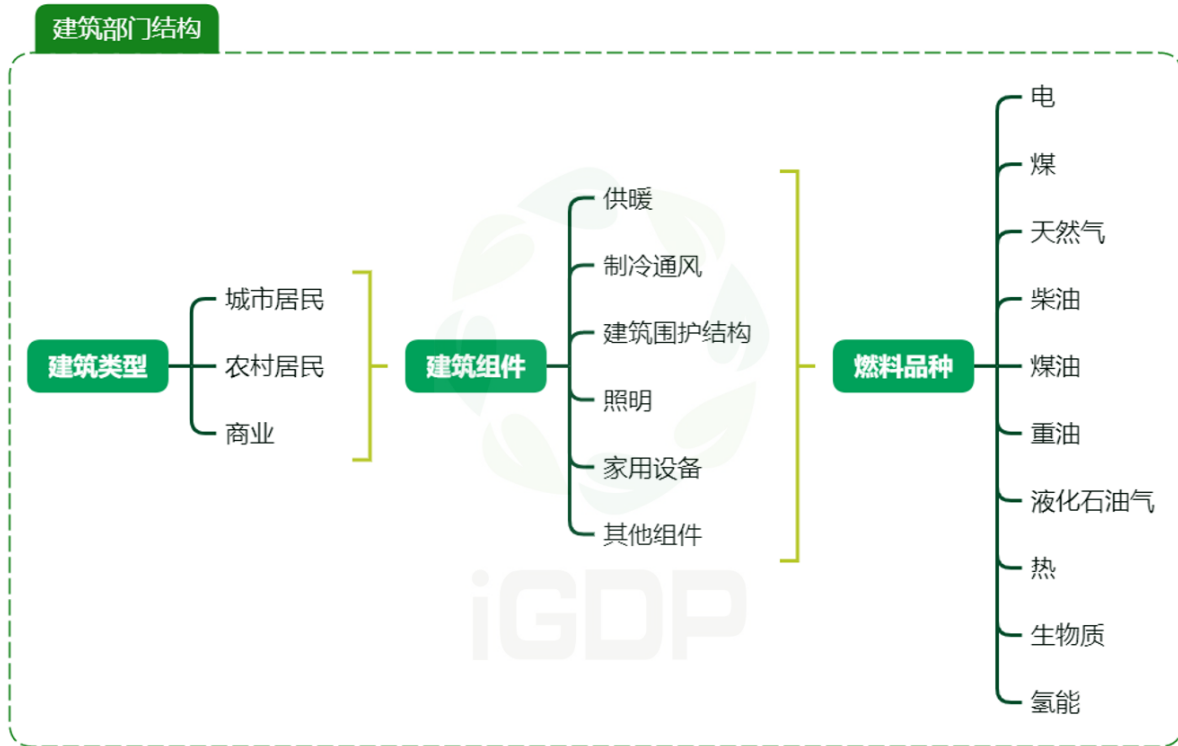


图 13. EPS 建筑部门边界

² 不包括热水器

³ 也统称为暖通空调系统（供暖、通风与空调）

⁴ 建筑围护结构会影响暖通空调系统的能源消耗

⁵ 建筑围护结构部位：屋面、外墙、楼板、隔墙、门窗。外墙、屋面的节能

⁶ 含热水器

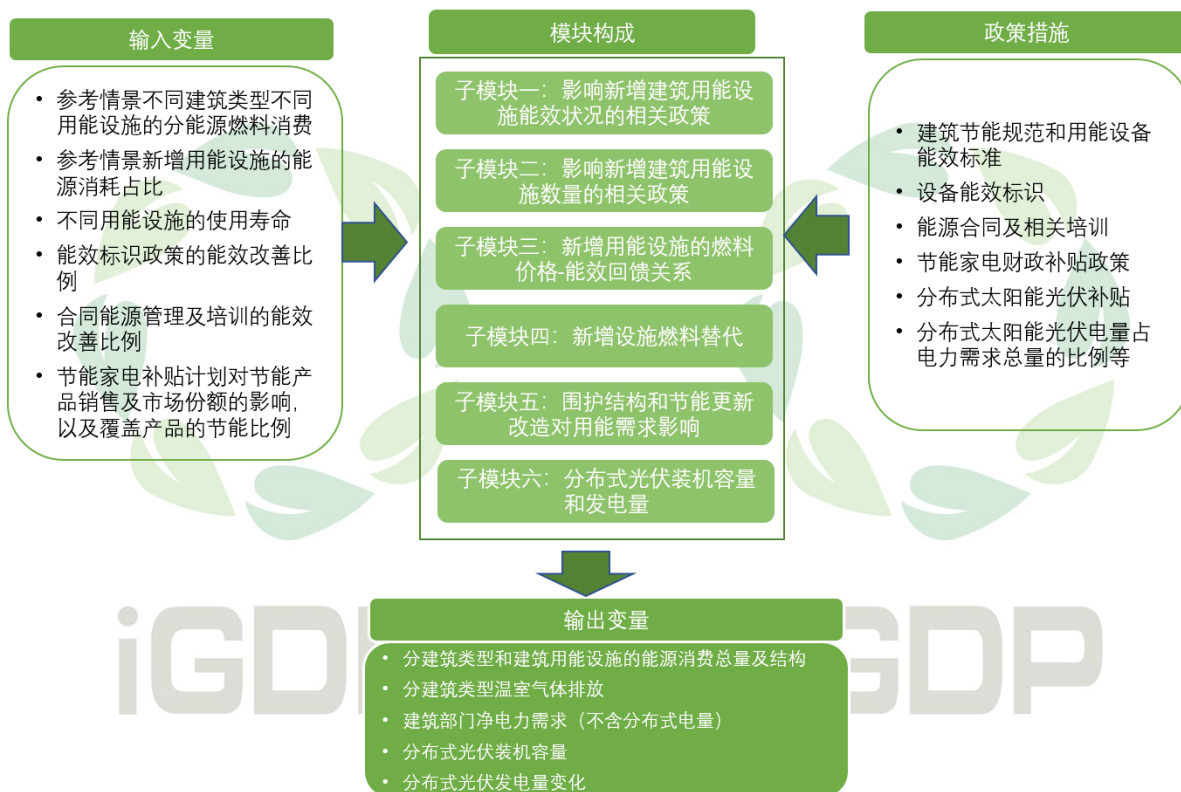


图 14. 建筑模块系统构成示意图

建筑模块的输入数据需求较为具体且复杂,其关键输入变量包括模型起始年份和参考情景下,不同建筑类型中各建筑用能设备的分能源品种、分年份的能耗预测,通常需要大量模型外的计算和预测转换来满足 EPS 的输入数据需求。

政策输入参数有建筑节能规范、能效标准、加速更新改造和电气化等,可以直接影响建筑部门的能源消费和排放的参数。此外,建筑模块专门设置了分布式光伏模块,来估算光伏政策(如补贴、发电量占比)对建筑部门电力需求的影响。建筑部门最终反馈到电力模块的电力需求量扣除了分布式光伏电量,反映了建筑部门对电网供应电量的消费需求。分布式光伏政策变化会影响建筑部门对电网电量需求情况。

建筑模块的输入数据主要来源包括《中国能源统计年鉴》中的地方能源平衡表中居民生活等终端部门的各种能源消费情况、《中国建筑业统计年鉴》、研究文献对于中国建筑不同能源用途的划分和趋势预测等。

建筑模块从输入数据获取 BAU 情景下用能预测和分布式光伏发展预测,所以更新建筑模块需要重点更新 BCEU (BAU Components Energy Use, BAU 情景建筑用能预测)、SYCEU (Start Year Components Energy Use, 基年建筑用能情况)、BDEQ (BAU Distributed Energy Quantity, BAU 情景分布式发电情况)和 SYDEC (Start Year Distributed Energy Capacity, 基年分布式电力装机)。

在校对 BAU 情景时可能需要调整每年新建建筑组件用能占比 (SoCEUtiNTY, Share

of Components Energy Use that is New This Year)。设置建筑燃料替代（如电气化）政策可能需要调整建筑替代燃料类型（RBFF, Recipient Buildings Fuel Fractions）。

6.3 交通部门

EPS 的交通模块是以周转量为基础的交通模型，同时通过燃料经济性及成本改变判断未来车辆及其他交通工具的数量及能源结构⁷。交通方式类型分为道路交通、航空、水运、铁路和摩托，而每种交通方式又分为客运和货运，其中道路交通进一步分为轻型和重型；按技术类型分为锂电池、天然气、汽油、柴油、混合动力、液化石油气和氢动力，按燃料类型则分为电力、天然气、汽油、柴油、生物汽油、生物柴油、喷气燃料、重油或燃料油、液化石油气（或丙烷及丁烷）以及氢气。

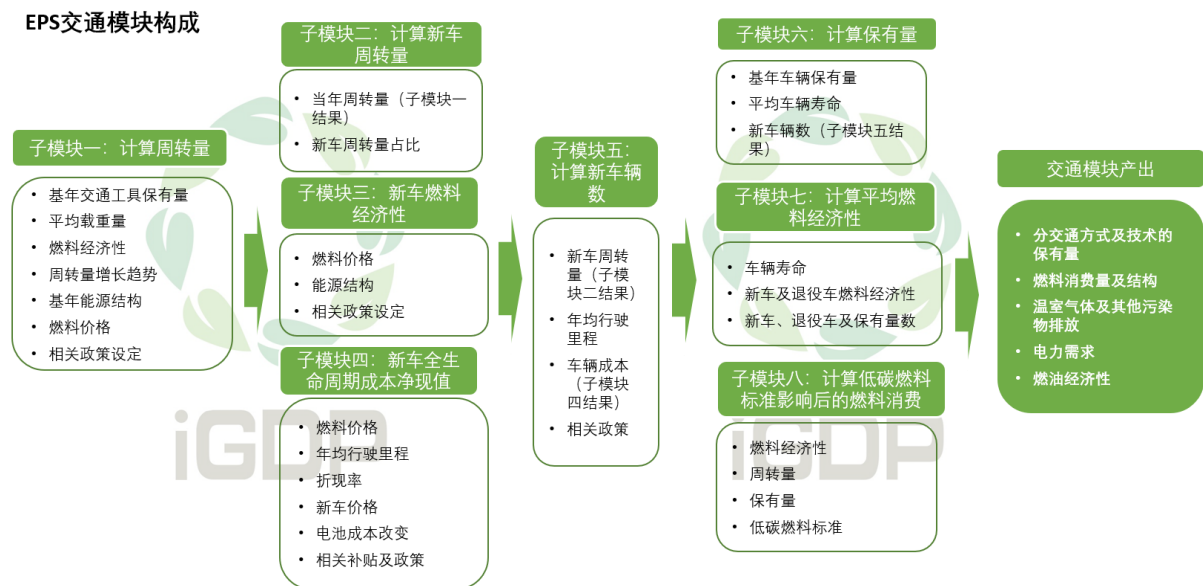


图 15. EPS 交通模块构成示意图

交通部门主要由八个模块组成，这些模块主要依据周转量、燃油经济性、平均载重量及成本等因素，在实现地区交通部门发展规划、提升能效、优化能源结构等政策要求的前提下，对未来交通部门车辆及能源结构作出预测。如图 15 所示，这八大模块主要包括：

- 子模块一：计算各年周转量，主要依据基年车辆数、平均载重量、各技术类型中各能源品种类型的占比、燃油经济性、燃料成本和与周转量相关的政策。
- 子模块二：计算需要新增车量满足的周转量。

⁷ 以下为简明表达，对各交通工具数量统称车辆数或辆数。

- 子模块三：计算新车燃料经济性，主要依据燃料成本对燃料需求的影响、往年能源结构及与燃料经济性相关的政策。
- 子模块四：计算新车全生命周期及成本净现值，主要依据燃料经济性、行驶里程、平均车辆寿命、燃料成本、年均维修成本、电池成本改动、新车价格及其他影响成本和价格的政策。
- 子模块五：计算新车数量，主要根据周转量、平均载重量等得出新车数量需求，再根据新车全生命周期成本计算各技术类型的车辆数，同时受新车销售量相关政策影响。
- 子模块六：计算车辆保有量，主要依据基年车辆数、新车数量及平均车辆寿命。
- 子模块七：计算保有车辆平均燃料经济性，主要根据燃料经济性和车辆数。
- 子模块八：计算低碳燃料标准（LCFS）政策导致的燃料替代和最终燃料消费结构，主要根据交通燃料排放强度和低碳燃料标准政策。

交通模块有 39 个输入变量，涉及到模型起始年份车辆数、平均载货量、年均行驶里程、燃料消费占比、周转量增长趋势、燃料成本、维修成本、补贴、低碳燃料标准、平均车辆寿命、电池成本、新车价格等。

交通模块设置 10 项政策控制变量，包括提升燃料经济性、轻型乘用车推广应用补贴财政政策、交通运输结构优化、电动车新车渗透率、氢燃料新车渗透率、鼓励更长续航里程及快充设施相关政策、完善充电基础设施建设、低碳燃料标准、其他污染物排放控制政策等。

交通模块的数据来源为从地方统计年鉴，《中国能源统计年鉴》，《中国港口年鉴》等获得的分交通类型能源消费和排放，不同交通类型数量、燃油经济性等。

交通模块中各地区一定不同的数为 SYVbT（Start Year Vehicle by Technology，基年车辆数），必须更新，其次各地区的 BCDTRtSY（BAU Cargo Dist Travelled Relative to Starty Year，转量需求趋势预测）一般来说也有所区别，应做更新。此外，如果数据可得，也可更新 AVLo（Average Vehicle Loading，平均承载量）、BAADTbVT（BAU Average Annual Distance Travelled by Vehicle Technology，BAU 情景下年均行驶里程）、BNVFE（BAU New Vehicle Fuel Economy，BAU 情景下新车燃油经济性）等。这些数据也可在校对用能时进行调整，以达到所需的用能结构。

6.4 电力部门

EPS 电力模块基于其他终端模块计算的电力需求和最大负荷需求来计算电力生产系统。模块的电源分类有火电（煤电、调峰气电、普通气电、褐煤、原油、重油及燃料

油、石油)、水电、风电(陆上风电、海上风电)、太阳能发电(太阳能光伏、太阳能光热)、生物质能、生活垃圾、地热能、核电,总计16种。

EPS电力模块构成

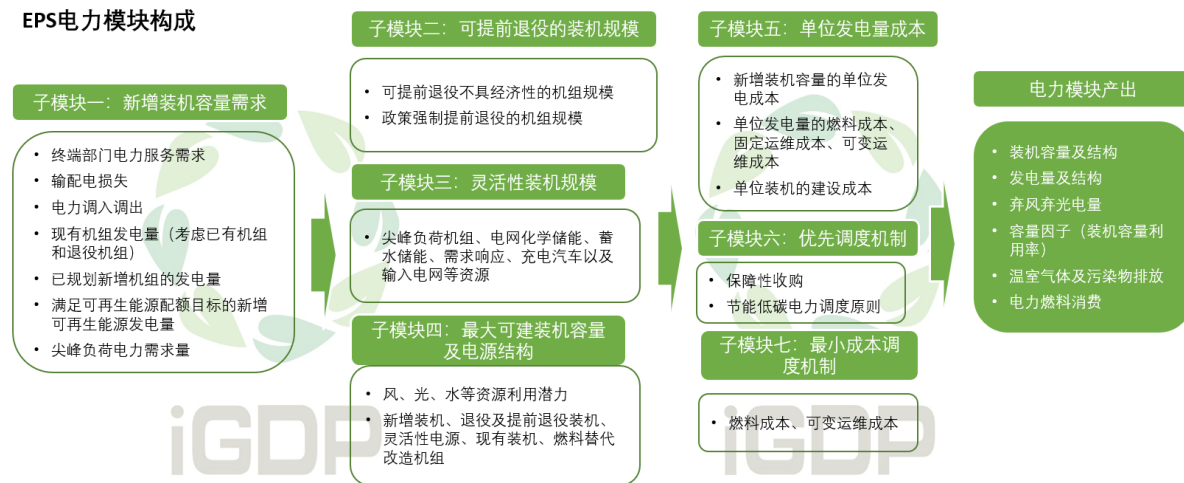


图 16. EPS 电力模块构成示意图

电力模块主要由七个子模块构成,这些模块相互作用决定了在满足地区终端电力需求、符合地区电力行业发展规划、调度机制、电网稳定性、灵活性和经济性等趋势目标下未来的电力需求,电源结构和排放预测。七个子模块分别为:

- 子模块一: 根据各终端部门净电力需求、尖峰负荷电力需求量(考虑输配电损失、电力调入调出)、可再生能源配额目标的新增可再生能源发电量等要求,计算在现有机组发电量(考虑已有机组和退役机组)、已规划新增机组的发电量之外,在满足后,需要的每年新增装机容量。
- 子模块二: 计算经济型和强制性提前退役机组规模。
- 子模块三: 计算保障风光消纳的可利用灵活性装机容量资源,包括尖峰负荷机组(如燃气电源)、电网化学储能、蓄水储能、需求响应、充电汽车以及外部输入电力等。
- 子模块四: 考虑水电、风电、光伏等最大可利用资源潜力以及新增装机容量、退役机组、灵活性资源以及政策禁止新建的电厂后的最大可建的装机容量。从现有装机容量、替代燃料改造的装机容量、新增装机容量情况计算不同电源的装机容量。
- 子模块五: 计算新增装机容量的单位发电成本。
- 子模块六, 在确保保障性收购,并满足节能低碳电力调度原则下优先调度电源。
- 子模块七: 调度模块,机选在满足优先调度机制后以最小成本调度的不同电源的发电量。电力模块产出结果包括装机容量及结构、发电量及结构、弃风弃光电量、容量因子(装机容量利用率)、温室气体及污染物排放、电力燃料

消费等。

电力模块的关键输入变量包括：

- 模型起始年份的不同电源机组的装机规模
- 进行规划预测的每年的不同电源的容量因子、年固定成本、运维成本、燃料成本、补贴
- 每年强制新增装机和各电源的退役机组规模
- 各电源最大潜力装机量
- 可再生能源消纳配额
- 每年电力调入调出量和调入电源结构
- 电网输配规模（Transmission Capacity, MW x mile）等 46 个输入变量。

电力模块设置 19 项政策控制变量，包括可再生能源消纳配额、禁止新建电厂类型、电力燃料补贴、每年额外提前退役机组容量、延长核电机组寿命、需求响应规模、化学储能规模、输配电损失率、输入和输出电量比例、新建电厂补贴、电厂停机检修时长、保障性电力调度、CCS 等。

电力模块的输入变量数据来源主要为历年《中国电力统计年鉴》、《电力工业统计资料汇编》、国家能源局统计数据中提供的各电源起始年份装机量、新增装机量和发电量、各电压等级输电线路长度等数据，《可再生能源数据手册》中的可再生能源装机量和潜力装机量，国家和地方政策规划文件，地区电力交易中心年报等。

电力模块逻辑相对复杂，所以重点数据较多。应首要更新基年装机量（SYC, Start Year Capacity）、BAU 情景下每年退役装机量（BCRbQ, BAU Capacity Retirements before Quantization）、电力调入调出量（ElaE, Electricity Import and Export）、最大装机潜力（MPCbS, Max Potential Capacity by Source）。另如在 BAU 情景下已有相关政策，则需更新 BAU 情景下每年本地可再生能源发电目标（BRPSPTY, BAU RPS Percentage This Year）和 BAU 情景下政策要求新建容量（BPMCCS, BAU Policy Mandated Capacity Construction Schedule）。此外，如果数据可得则可更新 BAU 情景下抽水蓄能装机量（BPHC, BAU Pumped Hydro Capacity）、BAU 情景下输配电容量（BTC, BAU Transmission Capacity）、需求响应容量（DRC, Demand Response Capacity）、电化学储能容量（GBSC, Grid Battery Storage Capacity）、跨省输配电量（TCAMRB, Transmission Capacity Across Modeled Region Border）。

如果政策情景设置了不同的强制装机目标则需要更新政策情景下政策要求新建容量（PMCCS, BAU Policy Mandated Capacity Construction Schedule）。

6.5 现金流和成本模块

电力、工业、建筑和交通部门系统模块不仅有上述用于度量能源需求和排放预测的子系统，也包含现金流模块。电力部门现金流模块计算政策对电力生产行业相关成本和补贴变化的量化影响，包括不同发电行业的固定成本和运行维护成本、电网化学储能成本、需求响应成本、电力输入输出成本、电力输配成本、发电补贴、机组退役成本，以及对不同经济主体的收入和支出变化。交通部门现金流模块计算电动汽车充电桩成本变化、交通工具维护成本变化，以及交通领域不同经济实体的收支变化。工业部门现金流模块计算工业过程减排、能效、燃料替代政策实施成本以及对收支分配情况。建筑部门现金流模块计算燃料成本和税费变化、建筑用能设施成本和税费变化、分布式光伏成本和补贴变化、节能设施补贴项目支出，以及对不同经济主体的收支变化影响（

表 1）。

表 1. EPS 模块的成本和税费边界

	交通	电力供应	建筑	工业
燃料成本	√	√	√	√
固定资本	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 车辆购置成本变化(不含补贴支出) ◆ EV 充电桩支出变化 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 建造工程和设备购置成本; ◆ 储能电池成本; ◆ 输配网建设成本 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 建筑用能设备购置成本 ◆ 分布式太阳能成本 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 过程排放控制政策引发的固定支出; ◆ 当年能效政策引发的固定支出; ◆ CCS 新固定设备成本
运行维护成本	车辆维护支出变化	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 电力运行维护成本变化 ◆ 电力输入费用变化 ◆ 消费测需求响应成本变化 ◆ 电厂退役成本变化 		<ul style="list-style-type: none"> ◆ 过程排放控制政策引发的运行维护支出 ◆ 当年能效政策引发的运行维护支出 ◆ CCS 运行维护支出
税收	交通燃料税收支出	电力燃料税收支出	建筑燃料税收支出	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 工业过程排放碳税变化 ◆ 工业燃料税变化
补贴	EV 补贴支出变化	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 电量生产补贴支出变化; ◆ 装机容量补贴变化; ◆ CCS 产生的碳税返还 	建筑部门补贴和税收返还的收入变化	工业 CCS 的碳税返还

6.6 其他重要参数

前文提到，EPS 输入数据中有一系列布尔值，用以调整模型计算边界。以下为个别关键参数，在建模中需要确认或调整。

- 是否考虑宏观经济反馈 (BDMFL, Boolean Disable Macroeconomic Feedback Loops): 如果不使用 IO 模块则设为 1
- 是否将调入电力排放包括在模型边界内 (BIEfIE, Boolean Include Emissions from Imported Electricity): 一般来说，中国省级温室气体计算范围及用电为准，所以包括调入电力排放，此值则设为 1
- 是否将调出电力排放包括在模型边界内 (BIEfEE, Boolean Include Emissions from Exported Electricity): 一般来说，中国省级温室气体计算范围及用电为准，所以不包括调出电力排放，此值则设为 0
- 非二气体是否免征碳税 (BENCEfCT, Boolean Exempt Non CO2 Emissions from Carbon Tax): 中国碳市场目前不包括非二温室气体，此值则设为 1
- 过程排放是否免征碳税 (BEPEfCT, Boolean Exempt Process Emissions from Carbon Tax): 中国碳市场目前包括过程排放二氧化碳，此值则设为 0

此外，通过调整 InputData/plcy-schd/FT 和 IT 两个文件夹可以调整模型预测结果的初始和终止年份。

参考文献

Energy Innovation. Energy Policy Simulator Documentation.

<https://docs.energypolicy.solutions/>

钟永光, 贾晓菁, 钱颖. 系统动力学[M]. 第二版. 科学出版社.