

RUC-MESSAGEix-China (RMC)

模型文档

中国人民大学应用经济学院

2024年12月

1. 模型概述

1.1 背景

RUC-MESSAGEix-China（简称 RMC 模型）是基于开源建模框架 MESSAGEix (IIASA ECE Programme, 2020) 的中国省级尺度能源-经济-环境（E3）综合评估模型，由中国人民大学应用经济学院周文戟教授团队和华东理工大学任宏涛副教授联合开发。

1.2 基本原理

RMC 模型基于全球著名综合评估建模框架 MESSAGEix，该框架由国际应用系统分析研究所（IIASA）开发和维护，并广泛应用于综合评估模型（Integrated Assessment Models, IAM）和能源系统模型（Energy System Models, ESM），可以反映能源系统长期动态演化，并包含了丰富的技术细节 (IIASA ECE Programme, 2020)。虽然该框架通常用于分析整体的宏观能源系统，但也可用于单个能源部门的研究，如电力或热力部门。

作为一种优化建模框架，其总体目标函数是最小化总贴现系统成本，包括所有能源技术的投资和运营成本、可耗竭资源的开采成本和可再生能源成本、排放税以及其他支出。此外，可根据需要向模型添加约束，例如限制能源系统的总碳排放（或单个技术的碳排放）。

MESSAGEix 的更多特性和功能可参阅其在线文档 (<https://docs.messageix.org/en/latest/index.html>) 以及相关文献，例如 (Huppmann et al., 2019)。源代码可从 GitHub 网站获得 (https://github.com/iiasa/message_ix)。

1.3 时空分辨率

RMC 模型目前地理分区覆盖我国内地 31 个省级行政区(暂不包含港澳台), 考虑省级尺度的能源系统、经济系统和资源环境特征。

为评估我国双碳目标的系统性影响, RMC 模型目前校准至 2022 年, 建模时间跨度为 2025 至 2060 年, 以 5 年步长运行。由于 MESSAGEix 框架的灵活性, 模型的时间范围和时间步长均可根据研究需求进行灵活修改。

2. 社会经济因素

人口和经济发展水平对减缓和适应气候变化的能力产生了深远的影响 (O'Neill *et al.*, 2014)。在 RMC 模型中, 人口变化和经济增长是决定未来能源需求的外生关键因素。

2.1 人口

在模型的基准版本中, 全国和各区域的人口发展趋势参考 Chen 等以及联合国世界人口展望的预测进行计算 (Chen *et al.*, 2020; UN DESA/Population Division, 2024)。Chen 等根据年龄 (0 至 100 岁以上)、性别 (男性和女性) 和教育水平 (文盲、小学、初中、高中、大专、本科、硕士及以上) 在 5 条共享社会经济路径 (SSP1-5) 对 2010 至 2100 年中国省级人口进行了估计。我们的研究使用 SSP2 路径下的预测, 该路径代表了一条未来发展遵循历史模式的中间路径 (O'Neill *et al.*, 2017)。由于 Chen 等人的预测从 2010 年开始, 未包括最新趋势, 因此我们使用来自国家统计局的数据以及联合国世界人口展望的全国人口预测对省级预测值进行校准和更新。结果显示, 中国的全国总人口在 2021 年达到 14 亿的峰值水

平，并在此后缓慢下降，到本世纪末降至 6.31 亿人。模型中各区域校准后的人口变化趋势见图2所示。与 (Chen et al., 2020) 的原始结果一致，模型还区分了农村和城市人口，并考虑了不同的家庭收入水平和能源消费结构。



图 1 2020-2100 年中国分省总人口变化趋势

2.2 经济增长

模型中省级层面的未来经济增长路径基于相关文献中的GDP预测(Bai and Zhang, 2017; Leimbach *et al.*, 2017; Christensen, Gillingham and Nordhaus, 2018; Pan *et al.*, 2020; Jing *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2024)。根据对人口和GDP规模的预测，可进一步计算出未来不同区域的人均GDP变化情况。到本世纪末，全国人均收入预计将超过10万美元，超过2020年的10倍。图 2 和 图 3 显示，

各省未来将实现显著的经济增长，但不同地区的经济并不完全趋同，省份之间的经济发展水平差异仍然存在。

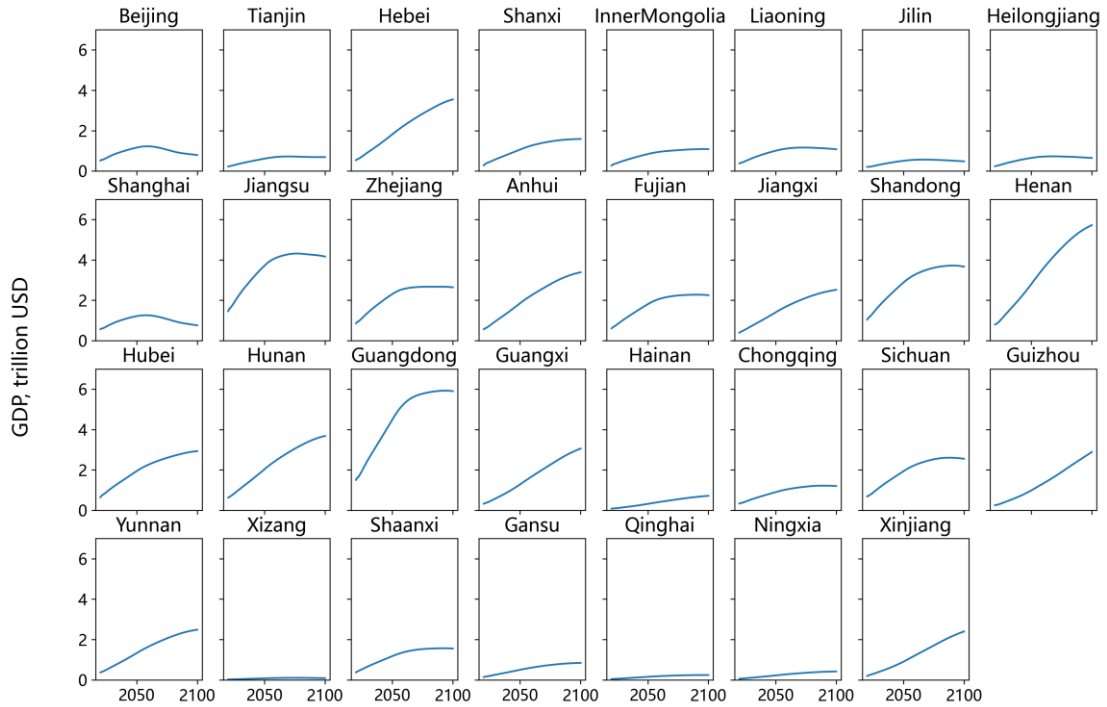


图 2 2020-2100 年中国分省 GDP 变化趋势

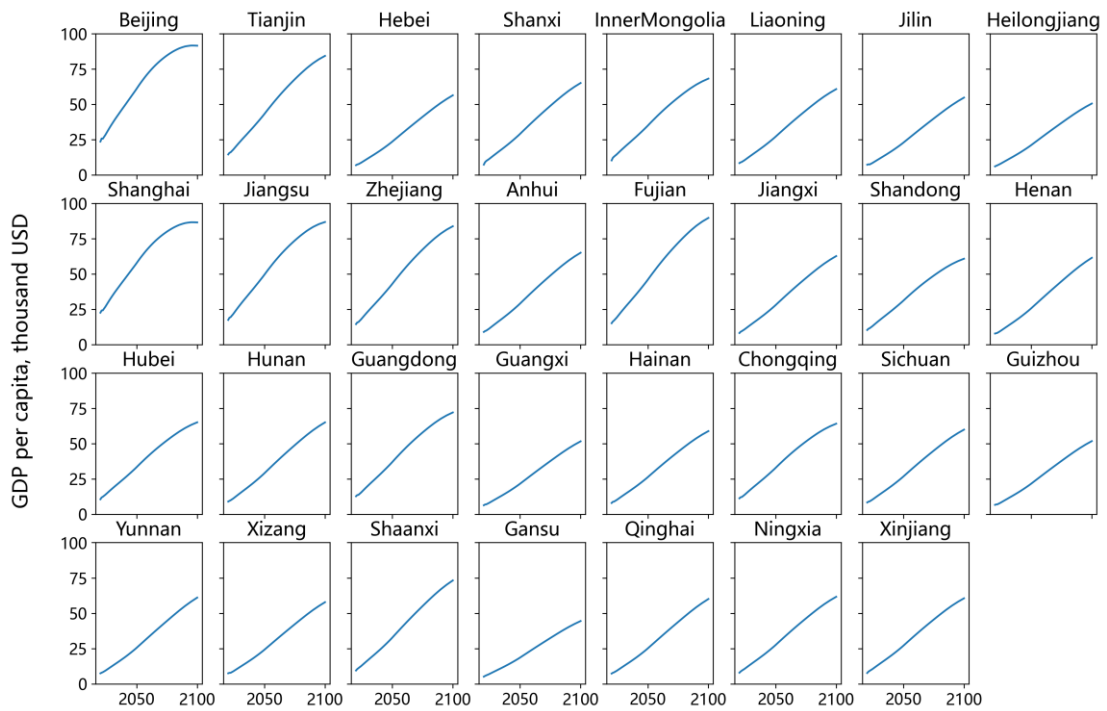


图 3 2020-2100 年中国分省人均 GDP 变化趋势

3. 参考能源系统

RMC模型的参考能源系统包括一个完整的宏观能源系统供应链，可分为一次能源开采、二次能源处理和转换、终端能源消费三个阶段。图4 展示了一个简化的能源系统，其涵盖了模型中能源系统的整体范围，但并未包含系统中的全部技术组合以及区域间的能量流动关系。

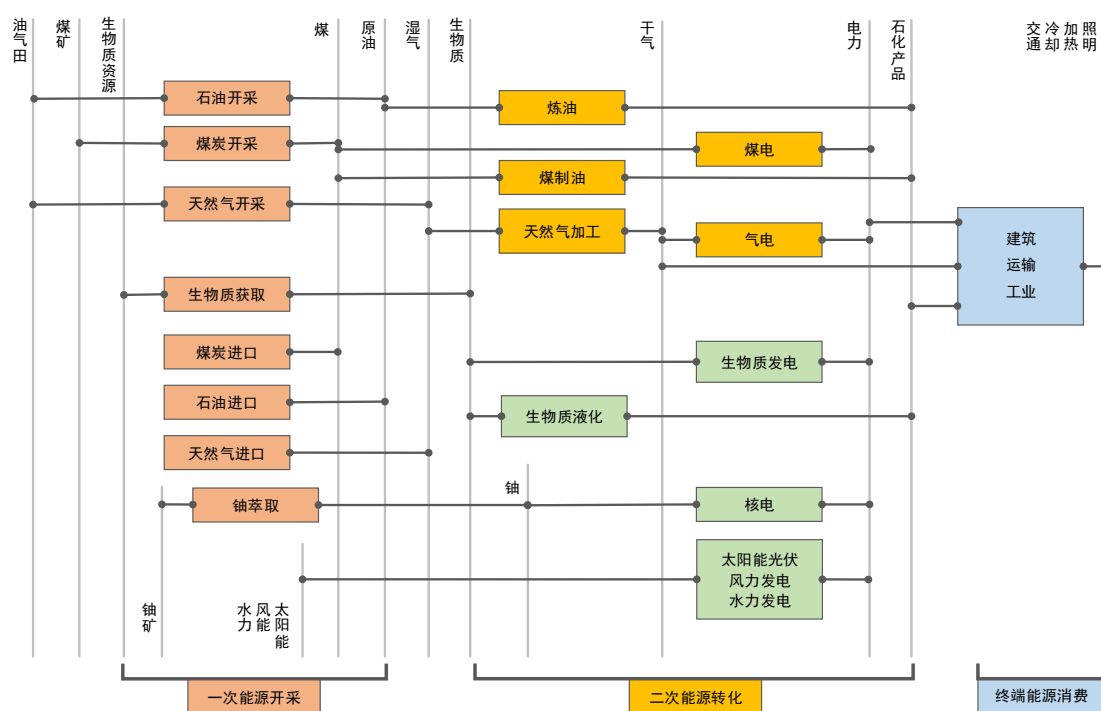


图 4 简化的参考能源系统

模型的当前版本包括从能源供应到消费的 400 多项能源技术，涵盖了能源供应的全范围：上游资源开采（资源供应）、中游加工转换（电厂、炼油厂、焦化

厂等)、能源运输以及进出口。能源需求部门由三个主要的最终能源消费部门组成:工业、建筑和交通运输。能源需求在模型中提现为最终能源,是通过社会经济发展预测外生决定的。

3.1 能源资源禀赋

3.1.1 化石燃料储量与资源

化石燃料的可用性和成本对于确定能源系统的未来轨迹至关重要,从而影响未来气候缓解的挑战。因此,有必要了解化石燃料的可用性及其开采成本的变化。RMC 模型对化石能源资源的假设来自各种来源,包括国家层面和全球层面的数据库,如国家统计局和美国地质调查局(USGS),以及来自不同能源研究机构和组织的报告和预测结果。

表 1 展示了 2022 年 RMC 模型中的中国化石燃料资源总量。图 5 给出了这些资源估算值的累积供给曲线。对化石燃料储量的估计是建立在当前技术假设的基础上的,随着未来技术的进步,被认为是“储量”和“资源”的数量可能会有较大变化。

该模型中的“储量”是指在现有的操作条件下,未来可以从已知的油藏中开采的数量。“资源”比“储量”的定义更广泛,还包括用现有技术无法开采但未来可能开采的已发现的数量,以及地质上可能存在但目前尚未经勘探发现的数量。

表 1 RUC-MESSAGEix-China 模型对中国化石燃料资源的假设

类别	资源量 (ZJ)
煤	40

常规石油	0.8
非常规石油	0.6
常规天然气	1.6
非常规天然气	1.3

煤是化石燃料中规模最大的资源，约占中国化石资源总估计量的 90%。石油资源量最小，常规石油为 0.8 ZJ，非常规石油为 0.6 ZJ。天然气在常规资源和非常规资源上相比石油都更为丰富。

根据多种信息来源，包括一些主要的文献和报告(McGlade and Ekins, 2015; China National Administration of Coal Geology, 2016; Li, 2019; Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China, 2021; Welsby *et al.*, 2021)，我们对全国范围内化石燃料的供给成本进行了估算。图 5 为 RMC 模型中全国煤、石油、天然气的累积资源供给曲线，不同颜色的阴影表示不同的资源类别。

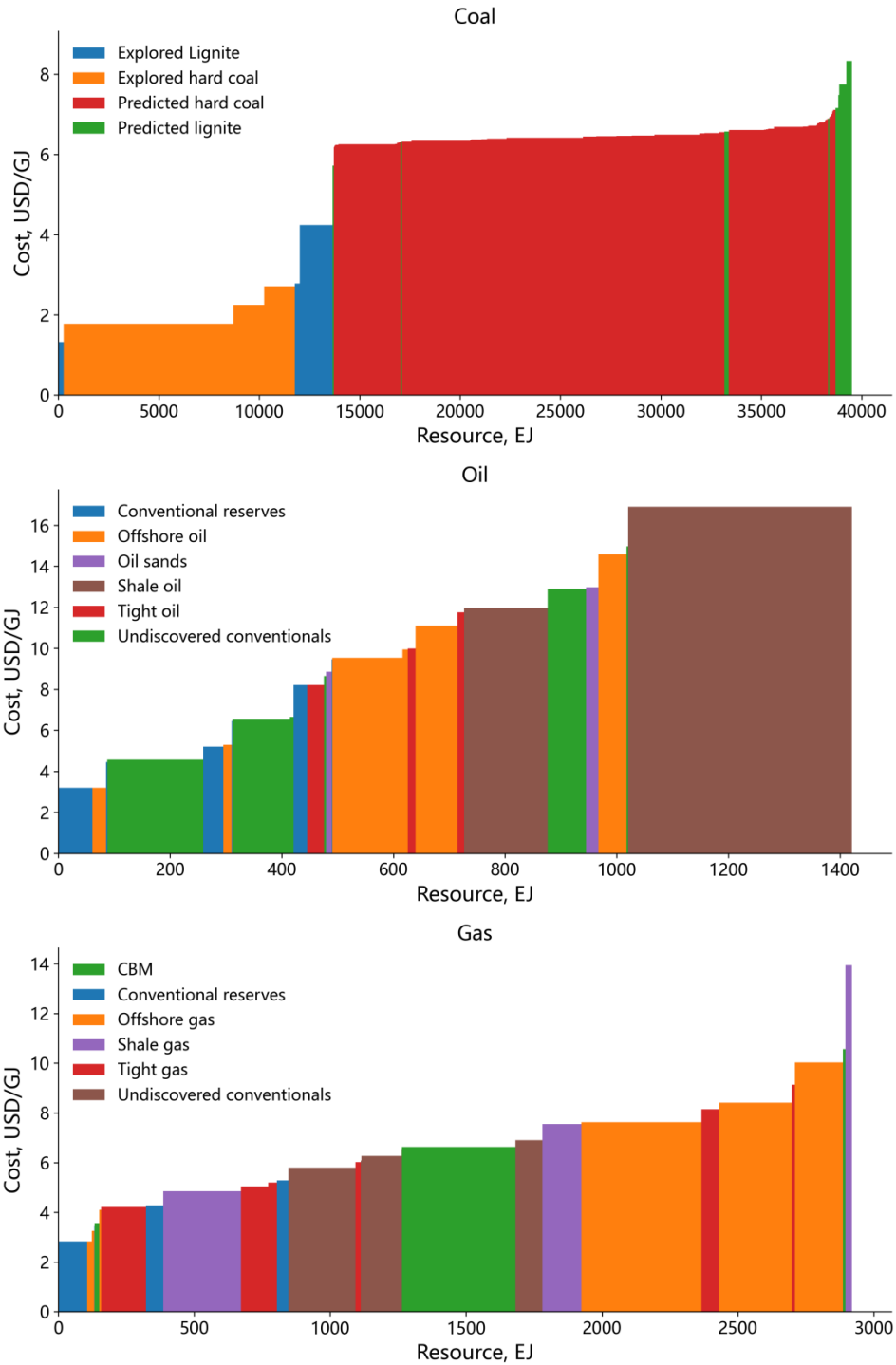


图 5 煤（上）、石油（中）、天然气（下）的全国累积资源供给曲线

煤炭是中国规模最大、分布最广泛的化石燃料资源。除上海外，中国的每个省份都有煤炭资源。在空间上，北方的煤炭资源数量多于南方。新疆和内蒙古是煤炭资源最多的两个地区，其次是山西和陕西。这四个北方省份约占全国煤炭资源总量的 79%。常规石油资源分布也主要集中在北方地区，新疆、甘肃、陕西、

黑龙江、山东等地的常规陆上石油资源量均在 10 亿吨以上。海洋石油资源主要来自海南、天津、广东等沿海省份。非常规石油主要以页岩油的形式存在，在全国的分布高度集中，主要分布在辽宁、新疆和吉林。常规天然气与非常规天然气的分布格局相似，四川、陕西、内蒙古在两种资源上均较为丰富。由于发达的煤炭产业，山西和内蒙古也拥有大量的煤层气（CBM）资源。海南和广东还拥有大量尚未开发的海洋天然气资源。不同类别化石资源的区域分布情况如图 6 至图 13 所示。



图 6 煤炭剩余可采探获资源量的区域分布（Gt）

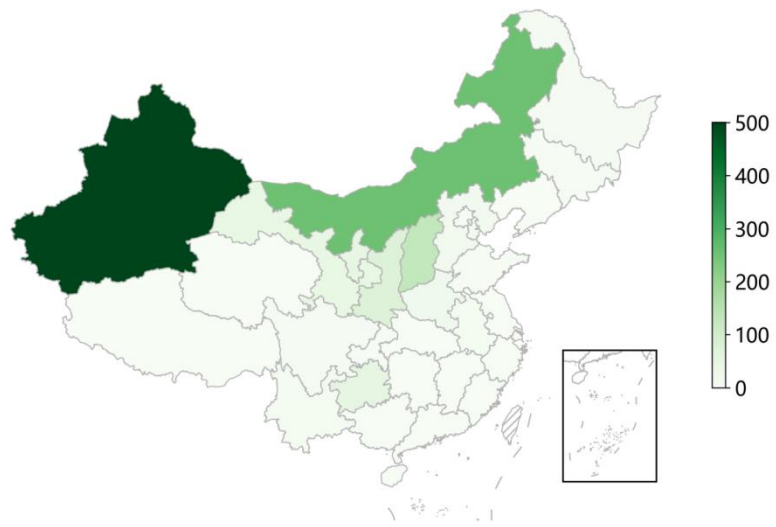


图 7 煤炭剩余可采预测资源量的区域分布 (Gt)

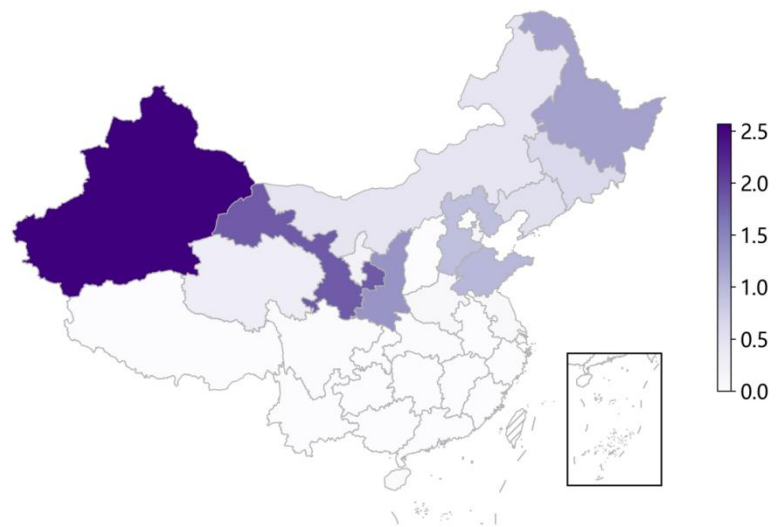


图 8 陆上常规石油剩余可采资源量的区域分布 (Gt)



图 9 海洋石油剩余可采资源量的区域分布 (Gt)



图 10 非常规石油剩余可采资源量的区域分布 (Gt)



图 11 陆上常规天然气剩余可采资源量的区域分布 (Tcm)



图 12 海洋天然气剩余可采资源量的区域分布 (Tcm)



图 13 非常规天然气剩余可采资源量的区域分布 (Tcm)

3.1.2 生物质资源

生物质能是 RMC 模型中一种潜在的重要可再生能源，涵盖商业用途和非商业用途。商业用途指在发电厂或生物燃料炼厂中使用生物能源，而非商业用途则指将生物能源用于住宅的取暖与烹饪等，主要用于农村家庭。模型对全国生物质资源潜力的估计参考了各类机构报告和学术研究(Zhang, 2018; Hanssen *et al.*, 2020; Kang *et al.*, 2020; Nie *et al.*, 2020; Biomass Energy Industry Promotion Association *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021; Biomass Energy Industry Promotion Association and Energy Foundation, 2023; Wang Rui *et al.*, 2023)。模型中考虑的生物质资源包括农业剩余物、林业剩余物、能源作物、市政污水、城镇固体废物以及禽畜粪肥。

表 2 展示了中国生物质资源的总量、可收集量和能源化利用潜力。能源化利用潜力是指从可收集量中扣除非能源使用后所剩余的部分。凭借发达的农业和畜牧业，全国 60% 以上的生物质资源来自农业剩余物和禽畜粪肥。在广西和云南等

南部省份，丰富的森林资源也为生物质的发展提供了相当大的潜力。值得注意的是，尽管全国各地种植能源作物的潜力巨大，但相关的市场和工业体系仍不健全。因此，估计能源作物离成为中国生物质利用的主要来源可能还需要较长时间。

表 2 中国生物质资源规模与利用潜力 (EJ)

类别	总资源	可收集资源	能源化利用潜力
农业剩余物	15.3	13.3	4.2
禽畜粪肥	22.7	22.7	7.6
能源作物	16.0	16.0	16.0
林业剩余物	5.9	5.9	2.6
市政污水	0.2	0.2	0.2
城镇固废	1.7	1.7	1.7

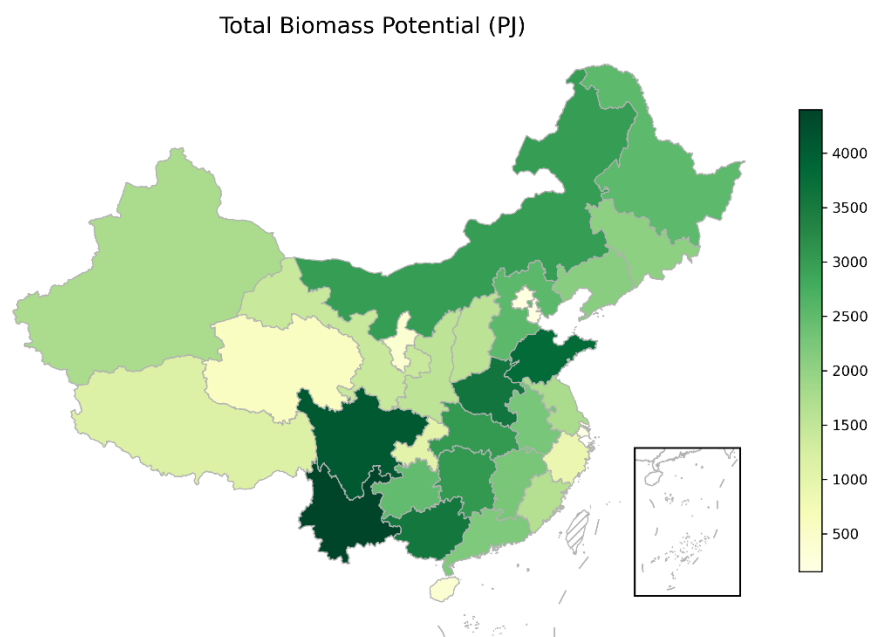


图 14 生物质资源总量的区域分布 (PJ)

3.2 电力系统

RMC 模型涵盖了在中国31个省级行政区电力系统内部与电力系统间的全部发电、输电和储能。该系统可以以与其他模块一致的年度时间分辨率运行，也可以与具有小时分辨率（一个建模年为 8760 小时）的专用电力系统模型 CPOST 进行软链接，以捕获电力系统中更详细的特征。RMC 和 CPOST 模型在电力系统的空间分辨率和技术考虑上保持一致。关于 CPOST 的描述可参阅对应的模型文档。

3.2.1 发电技术

电力系统涵盖多种发电技术，包括化石燃料发电、核能和可再生能源发电，如水力发电、风能、太阳能和生物质发电，以及储能与输电设施。在燃煤发电中，有大型超超临界、超临界机组等技术，以及相对落后的亚临界技术。燃气发电包括大型联合循环燃气轮机（CCGT）机组和传统的开式循环燃气轮机（OCGT）发电技术。该系统还考虑了发电机组对碳捕获和存储（CCS）技术的集成。模型中涵盖的化石能源与可再生能源发电技术如下所示：

- 燃煤发电（无 CCS）：超超临界（USC）、超临界（SC）、亚临界（Sub-C）；
- 燃煤发电（有 CCS）：超超临界+CCS、超临界+CCS；
- 燃气发电（无 CCS）：联合循环燃气轮机（CCGT）、开式循环燃气轮机（OCGT）；
- 燃气发电（有 CCS）：CCGT+CCS、OCGT+CCS；
- 生物质发电（无 CCS）；
- 生物质发电（有 CCS）；

- 太阳能发电：集中式/分布式光伏电站（PV）、太阳能热电厂（聚光太阳能发电，CSP）；
- 风力发电：陆上风电、海上风电；
- 核电。

注意，CCS 被视为在母技术（如超超临界等）之上的“附加技术”。关于如何对 CCS 进行建模的更多细节可参阅 MESSAGEix 文档。

3.2.2 发电成本

基于对大量文献的参考，表 4 展示了基准情景下各类发电技术的成本路径。(McElroy *et al.*, 2009; Lu *et al.*, 2021; IEA, 2022, 2023b, 2023a, 2024; National Bureau of Statistics of China, 2022, 2023, 2024; Wang *et al.*, 2022; China Meteorological Administration, 2023; Ember, 2023; CEIC, 2024; Dianchacha, 2024; EMBER, 2024)。模型允许在不同的情景设计中对各种特定发电技术的成本进行调整。

表 3 RMC 模型中发电技术的资本成本假设（US\$/kW）

资本成本	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
生物质发电（有 CCS）	1460.0	1412.0	1304.0	1206.7	1138.7	1099.0	1087.1	1086.0
生物质发电（无 CCS）	1200.0	1161.0	1073.2	994.1	938.8	906.6	896.9	896.0
燃煤发电（有 CCS）	1085.0	1058.7	999.5	946.2	908.9	887.1	880.6	880.0
燃煤发电（有 CCS）	698.3	690.8	673.8	658.5	647.8	641.5	639.7	639.5
燃气发电（有 CCS）	1035.0	1013.8	966.2	923.3	893.2	875.7	870.5	870.0
燃气发电（有 CCS）	637.5	635.3	630.2	625.6	622.5	620.6	620.1	620.0
水力发电	1600.0	1573.8	1514.8	1461.7	1424.5	1402.8	1396.3	1395.7
核电	2700.0	2628.8	2468.4	2324.2	2223.2	2164.3	2146.6	2145.0
太阳能发电：光热	1350.0	1311.5	1224.8	1146.8	1092.3	1060.4	1050.9	1050.0
太阳能发电：光伏	835.5	810.1	753.1	701.8	665.8	644.9	638.6	638.0
储能：抽水蓄能	1350.9	1332.6	1291.6	1254.6	1228.7	1213.6	1209.1	1208.7
储能：电池	902.5	841.2	703.3	579.2	492.3	441.6	426.4	425.0
风力发电：海上	2290.0	2201.0	2000.9	1820.7	1694.6	1621.1	1599.0	1597.0
风力发电：陆上	1190.0	1130.8	997.7	877.8	793.9	745.0	730.3	729.0

输电：特高压	329.18	324.73	314.72	305.71	299.41	295.73	294.62	294.53
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

3.3 其他能源转换

与电力类似，RMC 模型也考虑了基于化石和可再生能源的一系列区域供暖技术。这些供热厂将热量送入区域供暖系统，然后用于终端使用部门。

除了电力和集中供热外，模型还包含了能源转换部门的另外三个子部门：液体燃料生产、气体燃料生产和制氢。

除了炼油作为目前液体燃料的主要供应技术外，模型还包括从多种原料生产液体燃料的各种替代途径，如煤的液化、天然气液化和生物质液化技术，同样也考虑了 CCS 的集成。气体燃料生产技术包括生物质气化和煤气化。制氢包括煤和生物质的气化、天然气的蒸汽甲烷重整和电解氢。

3.4 技术进步

在 RMC 模型中，技术进步被视为外生因素。但目前已经对技术进步进行了额外的研究，通过能源工程模型中的学习曲线纳入了技术变化的内生因素，并分析市场结构对技术成本的影响。

目前的成本和效率参数，如转换效率和排放系数，通常来自现有的工程研究；同时也补充了关于这些参数的替代性预测，以反映对未来模型结果产生重大影响的不确定性。

3.5 能源需求

来自工业、交通和住宅/商业等终端使用部门的能源服务需求根据社会经济发展预测所计算，外生于 RMC 模型。这些需求通过使用基于 Python 的情景生成

器得到。情景生成器将历史人均 GDP 与区域层面的终端能源需求相关联，并利用对 GDP 和人口增长的预测，外推出各部门能源服务的未来需求。情景生成器对历史数据集进行回归分析，以建立 31 个 RMC 区域的自变量（人均 GDP）与最终能源强度、不同能源终端使用部门（工业、住宅/商业、交通）的终端能源份额以及工业和住宅/商业部门之间的用电份额等因变量之间的关系。基于以上输入的参数，可以预测出终端能源强度以及在部门间的分布情况。

需求侧特定部门的模型正在开发中，未来将实现与 RMC 的软链接。

参考文献

Bai C. and Zhang Q. (2017) ‘China’s Growth Potential to 2050: A Supply-side Forecast Based on Cross-country Productivity Convergence and Its Featured Labor Force’, *China Journal of Economics*, 4(4), pp. 1–27. Available at: <https://doi.org/10.16513/j.cnki.cje.2017.04.001>.

Biomass Energy Industry Promotion Association *et al.* (2021) *3060 Blue Book of Zero-carbon Biomass Potential*.

Biomass Energy Industry Promotion Association and Energy Foundation (2023) *Strategic Positioning and Application Scenarios for Promoting Pollution Reduction and Carbon Emission Reduction through Clean Utilization of Biomass Energy*.

CEIC (2024) *CEIC Open Data*.

Chen, Y. *et al.* (2020) ‘Provincial and gridded population projection for China under shared socioeconomic pathways from 2010 to 2100’, *Scientific Data*, 7(1), p. 83. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0421-y>.

China Meteorological Administration (2023) *China Wind and Solar Energy Resources Bulletin (2022)*. Available at: https://www.cma.gov.cn/zfxxgk/gknr/qxbg/202304/t20230421_5454513.html (Accessed: 15 October 2024).

China National Administration of Coal Geology (2016) *China Occurrence Regularity of Coal Resources and Resource Evaluation*. Di 1 ban. Beijing: Science Press.

Christensen, P., Gillingham, K. and Nordhaus, W. (2018) ‘Uncertainty in forecasts of long-run economic growth’, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(21), pp. 5409–5414. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1713628115>.

Dianchacha (2024) *Power data platform*. Available at: <https://www.dianchacha.cn> (Accessed: 21 October 2024).

Ember (2023) *Global Electricity Review 2023*. EMBER. Available at: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2023> (Accessed: 29 November 2024).

EMBER (2024) *Global Electricity Review 2024*. Ember.

Hanssen, S.V. *et al.* (2020) ‘The climate change mitigation potential of bioenergy with carbon capture and storage’, *Nature Climate Change*, 10(11), pp. 1023–1029. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0885-y>.

Huppmann, D. *et al.* (2019) ‘The MESSAGEix Integrated Assessment Model and the ix modeling platform (ixmp): An open framework for integrated and cross-cutting analysis of energy, climate, the environment, and sustainable development’, *Environmental Modelling & Software*, 112, pp. 143–156. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.012>.

IEA (2022) *World Energy Outlook 2022*.

IEA (2023a) *Energy Technology Perspectives 2023*. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023> (Accessed: 3 December 2024).

IEA (2023b) *World Energy Investment 2024*. IEA.

IEA (2024) *ETP Clean Energy Technology Guide – Data Tools*, IEA. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide> (Accessed: 30 November 2024).

IIASA ECE Programme (2020) *Documentation of the MESSAGEix framework*.

Jing, C. *et al.* (2022) ‘Gridded value-added of primary, secondary and tertiary industries in China under Shared Socioeconomic Pathways’, *Scientific Data*, 9(1), p. 309. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01440-0>.

Kang, Y. *et al.* (2020) ‘Bioenergy in China: Evaluation of domestic biomass resources and the associated greenhouse gas mitigation potentials’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, p. 109842. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109842>.

Leimbach, M. *et al.* (2017) ‘Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach’, *Global Environmental Change*, 42, pp. 215–225. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.005>.

Li, J. (2019) *Fourth Assessment for Oil and Gas Resource*. Beijing: Petroleum Industry Press.

Lu, X. *et al.* (2021) ‘Combined solar power and storage as cost-competitive and grid-compatible supply for China’s future carbon-neutral electricity system’, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(42), p. e2103471118. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.2103471118>.

McElroy, M.B. *et al.* (2009) ‘Potential for Wind-Generated Electricity in China’, *Science*, 325(5946), pp. 1378–1380. Available at:
<https://doi.org/10.1126/science.1175706>.

McGlade, C. and Ekins, P. (2015) ‘The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C’, *Nature*, 517(7533), pp. 187–190. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature14016>.

Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China (2021) *National Petroleum and Natural Gas Resources Exploration and Mining Reports 2020*. Available at: http://gi.m.mnr.gov.cn/202109/t20210918_2681270.html (Accessed: 5 August 2024).

National Bureau of Statistics of China (2022) *China Statistical Yearbook 2022*. Available at: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm> (Accessed: 3 December 2024).

National Bureau of Statistics of China (2023) *China Statistical Yearbook 2023*. Available at: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexch.htm> (Accessed: 3 December 2024).

National Bureau of Statistics of China (2024) *China Statistical Yearbook 2024*. Available at: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexch.htm> (Accessed: 3 December 2024).

Nie, Y. *et al.* (2020) ‘Spatial distribution of usable biomass feedstock and technical bioenergy potential in China’, *GCB Bioenergy*, 12(1), pp. 54–70. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12651>.

O'Neill, B.C. *et al.* (2014) 'A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways', *Climatic Change*, 122(3), pp. 387–400. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>.

O'Neill, B.C. *et al.* (2017) 'The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century', *Global Environmental Change*, 42, pp. 169–180. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.

Pan J. *et al.* (2020) 'Spatio-temporal changes of output value from the primary, secondary and tertiary industries for 2020-2050 under the Shared Socioeconomic Pathways', *Climate Change Research*, 16(6), pp. 725–737.

Tian, Y. *et al.* (2021) 'Development Strategy of Biomass Economy in China', *Strategic Study of CAE*, 23(1), pp. 133–140.

UN DESA/Population Division (2024) *World Population Prospects 2024: Summary of Results*.

Wang Rui *et al.* (2023) 'A high spatial resolution dataset of China's biomass resource potential', *Scientific Data*, 10(1). Available at: https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=S8jPpdFxNHITQVeImBYK8mA-BDX98bt1ba36wSf_58WTl8McZReeDpIPpFV2AKyPI9C7qpTScUVZj0x5Cv3s99ThPeWIDVq0aV_2fYsUpXH8eR-sCGLGE1UQy1yjKc1H9hF8PyXLulOJ47DPYW2gPw==&uniplatform=NZKPT&language=gb.

Wang, Y. *et al.* (2022) ‘Assessment of wind and photovoltaic power potential in China’, *Carbon Neutrality*, 1(1), p. 15. Available at: <https://doi.org/10.1007/s43979-022-00020-w>.

Welsby, D. *et al.* (2021) ‘Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world’, *Nature*, 597(7875), pp. 230–234. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8>.

Yang Y. *et al.* (2024) ‘National and provincial economy projection databases under Shared Socioeconomic Pathways (SSP1–5)_v2’, *Climate Change Research*, 20(4), pp. 498–503.

Zhang, B. (2018) *Assessment of Raw Material Supply Capability and Energy Potential of Biomass Resources in China*. PhD thesis. China Agricultural University.

Available at:

<https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=FC2wxXHna7pdQvqTGMfmETRMzybZx6gtubt6mbrheQJIq-ZBFX2DvoVEsT-o4n9Z2bom8YJuzaK2PHHojDPL7zt80vmC0ZnQXQVIwevLYzZi21w37f6bxOurUyLp0hfV&uniplatform=NZKPT&language=gb>.