



中国风电和太阳能 发电潜力评估 (2024)

决策者摘要

发展新能源是实现双碳目标的重要途径，是保障能源供应安全，推进绿色低碳发展的重要举措。《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP 28）是影响全球能源转型重要会议，COP 28 明确指出可再生能源分布的地理差异是实现能源转型的重要影响因素。中国新能源资源禀赋和用电需求区域差异大，开展中国中长期空间精细化的新能源装机和发电潜力评估研究，对各省新能源规划布局，精准化制定碳达峰碳中和路线图和施工图，具有重要的支撑作用。

本研究以资源潜力 - 技术可开发潜力 - 装机现状 - 情景分析为主要技术路径，开展中国 10km 分辨率风能和太阳能光伏发电潜力评估，建立政策情景和高速情景分析评估中国各省中长期精细化新能源装机和发电潜力（<https://newenergy.cityghg.com/>）。

2023-2035 年，中国风能发电，政策情景下，南部、西北、华中地区增幅最高，将达到 162% 以上；高速情景下，南部、华东、东北地区增幅最高，将达到 318% 以上。

2023-2035 年，中国光伏发电，政策情景下，南部、华东、华中地区增幅最高，将达到 162% 以上；高速情景下，东北、华北、华东地区增幅最高，将达到 270% 以上。

本研究通过精细化评估中国中长期新能源潜力，助力区域提前规划电力存储和调度，加速能源结构低碳转型，促进高潜力地区的新能源开发，并为各地区制定精准的新能源发展策略提供决策支持。

评审专家

杜祥琬	中国工程院	中国工程院院士
丁一汇	国家气候中心	中国工程院院士
贺克斌	清华大学	中国工程院院士
王金南	生态环境部环境规划院	中国工程院院士
舒印彪	国家电网有限公司	中国工程院院士
李立涅	中国南方电网公司	中国工程院院士
严 刚	生态环境部环境规划院	研究员
李俊峰	国家应对气候变化战略研究和国际合作中心	研究员
张 昕	国家应对气候变化战略研究和国际合作中心	研究员
武 钢	金风科技股份有限公司	董事长
何继江	清华大学	博士
姜克隽	国家发展和改革委员会能源研究所	研究员

作者

蔡博峰 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心

李亚飞 金风科技股份有限公司

鲁 玺 清华大学碳中和研究院

郭 静 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心

王若梅 金风科技股份有限公司

张 立 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心

刘辰阳 金风科技股份有限公司

吕 晨 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心

张 哲 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心

李朝君 清华大学碳中和研究院

阮梓纹 清华大学环境学院

张懂宇 清华大学环境学院

伍鹏程 清华大学万科公共卫生与健康学院

严 妍 华南理工大学

吴赞龙 首都经济贸易大学

目 录

01	研究背景	01
02	研究方法	06
	2.1 技术路线	
	2.2 情景设置	
03	中国风能发电现状	10
04	中国风电潜力评估	17
	4.1 风能资源潜力	
	4.2 风电技术可开发潜力	
	4.3 风电装机情景分析	
05	中国光伏发电现状	25
06	中国光伏发电潜力评估	32
	6.1 光伏发电资源潜力	
	6.2 光伏发电技术可开发潜力	
	6.3 光伏装机情景分析	
07	参考文献	40
08	附录	43
	附件1 风光发电潜力评估方法	
	附件2 中国各省份风电和太阳能发电发展政策和规划	

An aerial photograph of a wind farm in a lush green landscape. Several white wind turbines are scattered across the rolling hills. A solid blue rectangular bar is positioned in the center of the image, containing the text '1.研究背景' in white. Thin white vertical lines are placed on either side of the blue bar.

1.研究背景

1. 研究背景

发展新能源是实现双碳目标的重要途径，是保障能源供应安全，推进绿色低碳发展的重要举措。系统、全面的新能源潜力评估是风光健康、有序、高效发展的科学基础。

中国新能源进入高质量发展新阶段，呈现如下特征：一是大规模，风、光装机占比大幅提高；二是高比例，由能源电力消费增量补充转换为增量主体，在能源电力消费中的占比快速提升；三是市场化，由补贴支撑发展转为平价低价发展，由政策驱动发展转为市场驱动发展；四是集中分布并行，集中式风电建设和分布式风能资源开发并举推进，海上风能以及工业园区、经济开发区、公共建筑等屋顶光伏资

源均得到有效利用。

中国各地根据地区资源条件、地理环境和区域发展策略，形成了各具特色的新能源开发模式。东北、华北北部及西北地区重点推进风能和太阳能的集中式大规模开发，西南地区统筹推进风、光与其他可再生能源的综合开发，中东南部地区重点推动风电和光伏发电就地就近开发，东部沿海地区积极推进海上风电集群化开发。

开展中国中长期精细化的新能

源潜力评估研究，有利于促进新能源项目建设的优化布局、提高新能源潜力利用率，对推动中国能源绿色低碳转型，构建新型电力系统和实现碳中和目标具有重要意义。

风电和光伏发电潜力评估主要基于观测数据构建数理统计模型，考虑社会经济成本、区域规划和双碳目标，层次化、精细化、网格化是风光发电潜力评估的重要方向。

风光新能源潜力评估研究总结为三个阶段（图 1）：起步阶段、发展阶段、成熟阶段。

起步阶段主要采用基于局部观测数据统计方法和以间接代理指标为主的模糊评估方法。风能资源潜力较为传统且经典的评估方法是采用气象站点或测风塔的实际观测数据，通过统计分析与空间插值方法有效地将实际观测数据转化为风能、风功率等参数评估的数理统计

方法。太阳能资源潜力评估方法最初主要是依赖于观测数据和经验系数进行局部地区潜力评估，逐步演化发展到采用 GIS 技术手段和机器学习方法。

发展阶段主要采用基于气象、地形、地理等模拟数据的统计方法和基于空间地理信息系统的定量评估方法。遥感技术与地理信息系统的深度融合，共同被应用于精确评估区域风能以及屋顶光伏发电潜力

研究。

成熟阶段主要采用人工智能技术以及大数据技术与空间信息系统相结合的精准预测方法。

为了确保中国新能源未来规划布局更加精准、高效，更大程度挖掘地方新能源发电潜力，仍需借助遥感和 GIS 技术，充分利用大数据智能模拟，开展层次化、精细化、网格化的潜力评估工作，不仅有助于明确中国各地风能和太阳能资源的具体分布及可开发利用量，更能为在何时何地布局新能源项目提供有力指导，从而推动中国新能源行业健康发展。

Lei Y. (Nature Climate Change, 2023)
Zhang Z. (Nature Communications, 2023)
Gruber K. (Energy, 2022)
Chen S. (Joule, 2019)
Pryor S. (Nature Energy, 2021)
Jiang P. (Energy, 2021)
Wu C. (Renewable Energy, 2020)
Feng Y. (Energy Conversion and Management, 2021)
Yang Q. (Applied Energy, 2019)
Letu H. (Remote Sensing of Environment, 2020)
姚玉璧. (太阳能学报, 2022)

	起步阶段	发展阶段	成熟阶段
风能 潜力 评估	采用局部气象站点、 测风塔观测数据 统计分析方法 空间插值分析方法	采用气象、地形、地 理、高度等模拟数据 数值模拟方法 计算机模拟技术	人工智能技术应用于风 资源评估预测 人工智能 大数据技术 深度学习
光能 潜力 评估	基于间接代理指标法 模糊评估 统计计量方法 光伏经验模型	基于空间地理信息系 统定量评估 高精度数据应用 多因素变量纳入	基于大数据技术与空间 地理信息相结合的精准 预测 智能化、大尺度、高精度
	Archer C. (Journal of Geophysical Research, 2005) Cotton W. (Meteorology and Atmospheric Physics, 2003) Doll C.N.H. (AMBIO: a Journal of the Human Environment, 2000) Lu X. (Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009) Medroy M. (Science, 2009) Skamarock W. (A Description of the Advanced Research WRF Version, 2008)	Zheng C. (Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014) Ozelkan E. (International Journal of Digital Earth, 2016) Ozay C. (Energy Conversion and Management, 2016) Wang J. (Energy, 2017) He G. (Renewable Energy, 2016) Aly A. (Renewable Energy, 2017) Yushchenko A. (Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018)	

图 1 风光发电潜力评估研究

开展中国中长期精细化新能源潜力评估，对各省新能源规划布局，电网基础设施建设和政策设计，精准化制定碳达峰碳中和路线图和施工图，具有重要的支撑作用。

本研究全面梳理全国及各省风光新能源发展规划和地区碳达峰碳中和目标等政策，基于全国风光资源潜力，综合考虑地形坡度、地形高程、人口居民区、生态红线、河流域以及道路交通等限制性因素，系统评估技术可开发、可利用的风光发电潜力。结合各省风光装机现状以及规划发展目标，采用生态环境部环境规划院中国中长期排放综合评估模型（CAEP-CP）分别评估现状（2023 年）及不同情景下（2025-2035 年）全国范围 10 公里网格的风光装机容量，为中国未来新能源规划布局提供决策支持。

开展中国中长期精细化的新能源潜力评估，有利于支撑区域提前布局电力存储和调度，并基于评估现有电网的容量、扩容需求等，开展电力基础设施规划。在政策制定方面，可以优先考虑具有较高潜力和效益的新能源区域和项目。设计具有针对性的政策激励机制，鼓励具有新能源潜力高的区域更快速地推进新能源项目。根据新能源发展潜力和需求，不同区域可以制定优先开发计划，确保资金有效使用。在区域之间，可以基于潜力评估结果，开展跨区域合作，设定更为明确和切实可行的碳达峰与碳中和路线图、施工图。



2.研究方法

2. 研究方法

2.1 技术路线

**本研究从资源潜力 - 技术可开发潜力 - 装机现状 - 情景分析
开展中国 10km 分辨率风能和太阳能光伏发电潜力评估。**

风电资源潜力评估主要以风功率作为主要量化指标，风功率密度是用于描述特定地点或区域内的风能资源丰富程度，数值反映气流在单位时间内垂直通过单位截面积的风能，单位为 W/m^2 。本研究风功率数据选用 150 米高度的风功率密度图谱数据，光伏资源潜力评估以光能辐照度来量化光伏能源分布（附件 1）。

技术潜力用于评估和选择适用于风能和太阳能开发的可行技术，

包括对环境特征和风光开发制约条件的考虑，以确定最佳的技术解决方案。在风电技术开发方面，考虑到技术可达性，需要排除风资源较差区域，例如依据项目实施的经济性，风功率小于 $250\text{W}/\text{m}^2$ 的地区被认为是限制性开发地区，以及生态环境保护区域和特殊海拔地区。在光伏技术开发方面，需要排除生态保护区域以及地形坡度大于 30 度地区。参考《一带一路国家风光资源评估报告》中对分布式光伏开

发参数的估计，针对居民区域开发屋顶光伏，其装机容量按照相同环境条件下集中式开发装机密度的 25% 考虑。

装机现状评估旨在掌握现有新能源资源的分布特征，对 2023 年风能和太阳能装机空间分布以及装机容量开展评估研究。

情景分析是根据国家及地方风光装机发展规划、碳达峰碳中和方

案等政策（附件 2），区域历史装机时序发展变化，考虑新能源技术发展、能源结构调整、用电需求变化等因素，对未来风光装机进行海量情景分析，最终选择典型发展情景路径。

所有数据和分析结果，都在 GIS 平台上统一为 10km 网格分辨率（图 2）。

2.2 情景设置

政策情景：考虑国家及地方中长期新能源发展规划、各省份碳达峰碳中和发展目标，新能源技术发展成熟、能源结构持续优化、用电需求稳定增长。

高速情景：参考联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告情景数据库亚洲和中国情景数据，考虑到全球温升 1.5° 目标，结合已有研究对中国和区域新能源发展高预期结果综合研判。

情景分析中，将历史装机数据分为训练集数据、测试集数据，在测试集上进行模型预测，对模型参数进行反复调优，确定最佳的模拟参数及模拟方法，以此提高情景分析模型的适配性和准确度。同时结合各省未来规划，对情景分析结果进行约束。

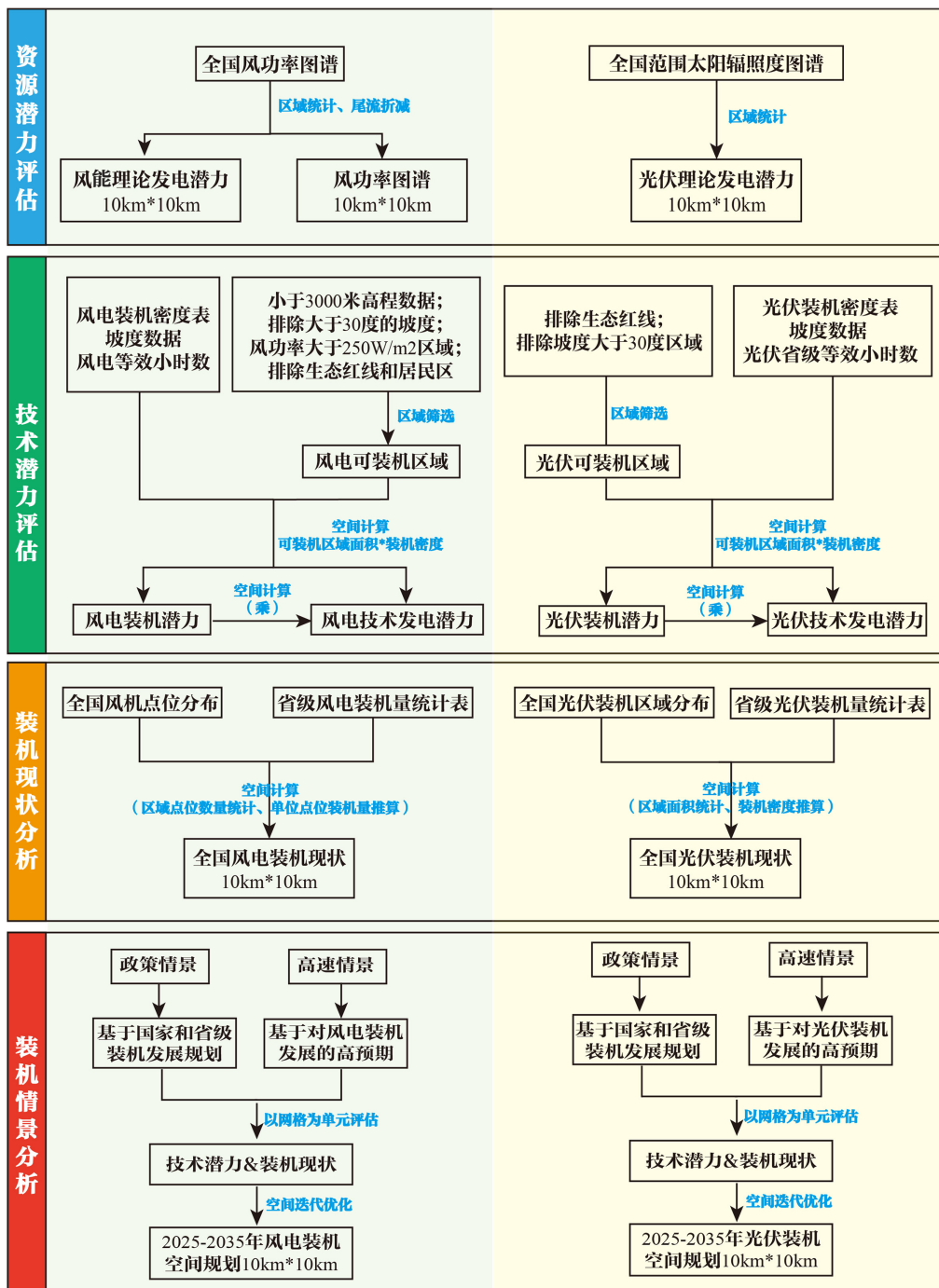


图2 风光发电潜力评估技术路线



3.中国风能发电现状

3. 中国风能发电现状

“

中国风电装机容量逐年上升，各省份在装机容量、发电量和总用电量方面存在显著差异，反映了各地经济活力、资源禀赋和能源需求的多样性。

”

中国风电装机从2015年的145 GW 增长到2023年的441 GW（图3），年复合增长率为15%。海上风电累计装机规模增长速度

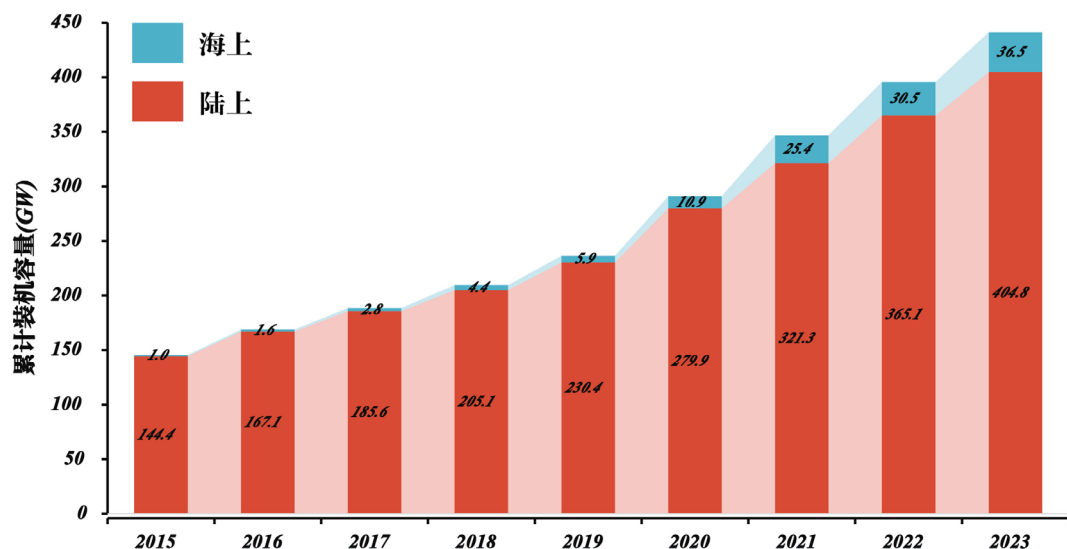


图3 2015-2023年中国风电累计装机容量（GW）

远高于陆上风电。海上风电累计装机规模从 2015 年的 1 GW 增长到 2023 年的 37 GW，年复合增长率为 57%。陆上风电累计装机规模从 2015 年的 144 GW 增长到 2023 年 405 GW，年复合增长率为 14%。

2023 年中国风电装机容量达到 44134 万千瓦，占全国累计发电装机容量的 15%（表 1）。其中内蒙古、新疆、河北、甘肃、山东、山西、江苏、河南等地风电装机容量最高，均超过 2000 万千瓦以上，八省累计装机容量达到 25529 万千瓦（图 4）。

2023 年中国风电发电量达到 8090 亿 kWh，占全国总发电量（包括化石能源与非化石能源）的 9%。其中吉林、甘肃、内蒙古、黑龙江、河北等地风力发电量最高，分别占各省总发电量的 24%、21%、17%、17%、16%。这些地区拥有较为丰富的风资源，风功率密度大于 $200\text{W}/\text{m}^2$ ，平均风速达到 5-6 m/s，可利用小时数在 2000 h 以上，因此发电效率相对较高。吉林、内蒙古、甘肃、宁夏、山西等地风力发电作为地区用电需求的主要来源之一，分别占该区域全社会用电量 28%、26%、25%、20%、17%。

表 1 2023 年中国风电装机容量及发电量

省份	装机容量 (万千瓦)	发电量 (亿 kWh)	总发电量 (亿 kWh)	全社会用电量 (亿 kWh)
北京	24	1	455	1358
天津	171	23	808	1051
河北	3141	605	3736	4757
山西	2500	477	4376	2885
内蒙古	6961	1271	7451	4823
辽宁	1429	275	2203	2663
吉林	1268	259	1098	928
黑龙江	1127	205	1234	1184
上海	107	23	955	1849
江苏	2286	518	6106	7833
浙江	584	106	4353	6192
安徽	722	123	3336	3214
福建	762	213	3074	3090
江西	573	118	1669	2026
山东	2591	462	5916	7966
河南	2178	334	3172	4090
湖北	836	154	3013	2706
湖南	972	199	1700	2277
广东	1657	305	6719	8502
广西	1267	221	2287	2449
海南	31	5	448	482
重庆	206	38	1054	1453
四川	770	167	4713	3711
贵州	616	120	2271	1783
云南	1531	277	3905	2513
西藏	18	1	137	135
陕西	1285	171	2946	2450
甘肃	2614	412	1925	1645
青海	1185	123	874	1018
宁夏	1464	279	2246	1387
新疆	3258	605	4912	3821
全国	44134	8090	94564	92241

注：数据来源于国家能源局、国家统计局、中国电力企业联合会、国家电网有限公司、Wind 数据库。总发电量为该省（市）化石能源与非化石能源发电量总和。

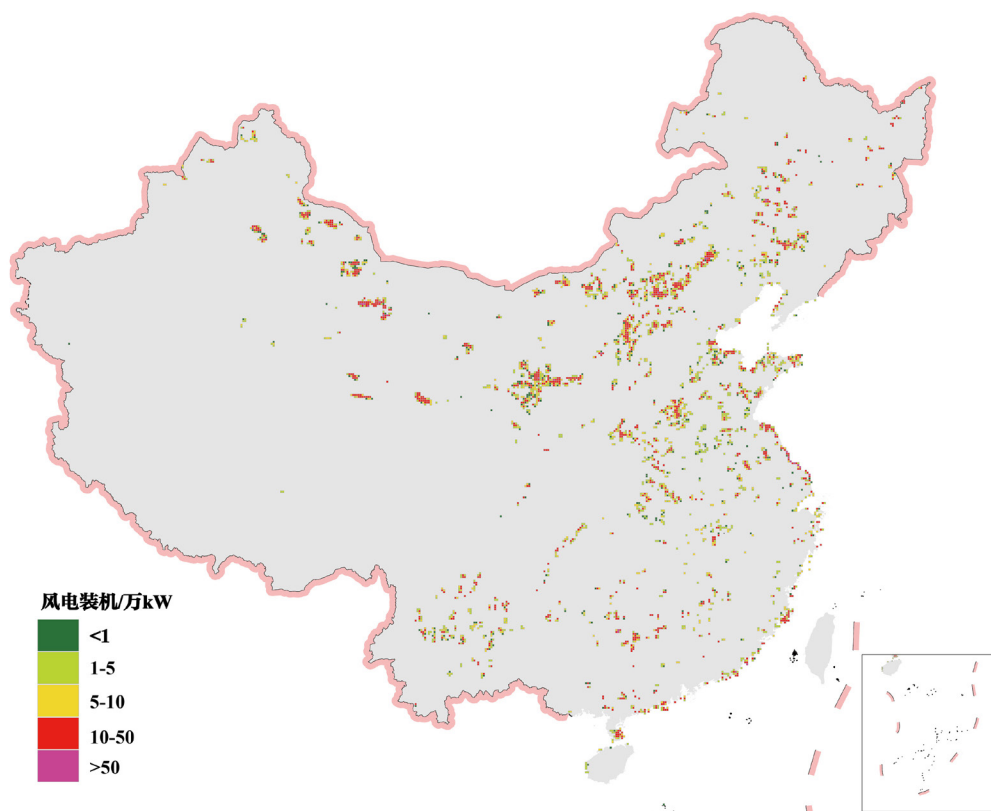
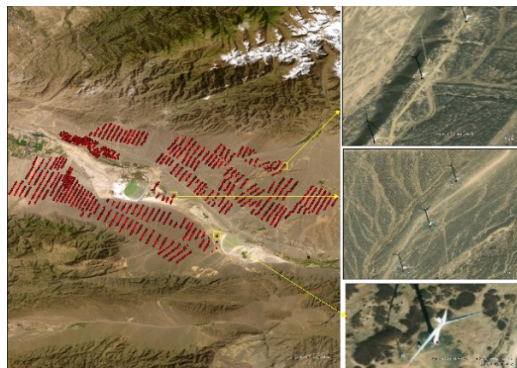


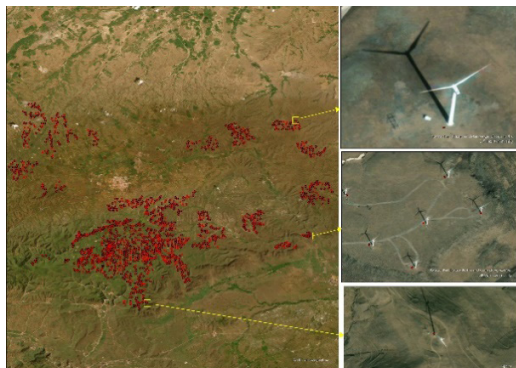
图4 2023年中国风能装机容量（10km 网格）

注：基于遥感和GIS技术获得中国风电单机点源数据（约12万台），在GIS平台上统一汇总为10km网格数据，并利用中国各省统计数据验证和校对。

中国风电设施在不同复杂地形条件下的发展取得了显著的进步，尤其是在适应高山、沿海、沙漠、荒漠、戈壁、农田等特殊地形的风电机组设计技术上实现了快速突破。这一显著进步不仅推动了中国风电技术的创新发展，还大幅提高了地区风电装机规模，从而在推动能源清洁低碳转型的同时，为地区经济发展注入了强劲动力。图5展示不同区域典型风电场。



(1) 新疆乌鲁木齐市达坂城区风电场



(2) 内蒙古乌兰察布市风电场



(3) 辽宁锦州市凌海市风电场



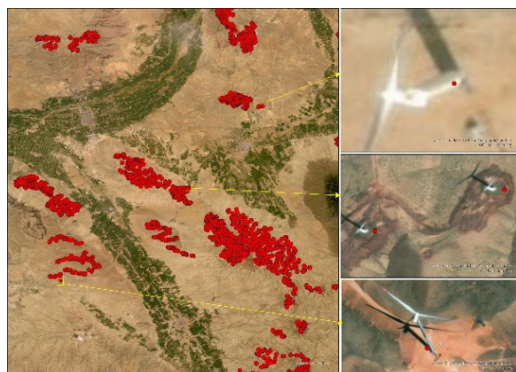
(4) 山东威海市荣成市风电场



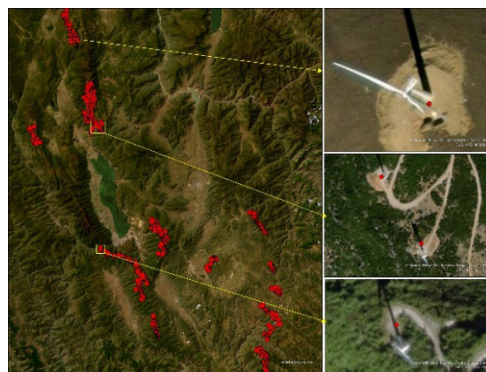
(5) 江苏盐城市风电场



(6) 福建莆田及福州风电场



(7) 宁夏吴忠市风电场



(8) 云南大理白族自治州风电场

图5 中国2023年典型风电场

注：新疆达坂城地区和内蒙古乌兰察布地区集中风电场，依托丰富风能资源，将乡村风电与农业融合发展，合理利用土地，扩大农业的经济附加值；辽宁锦州地区和山东威海等地将风机修建于农田间隙中，实现土地资源的高效利用；江苏盐城、福建莆田及福州等地在近海部署风电，一定程度上解决了地区用电需求；宁夏吴忠以重点光伏项目作为拉动经济增长的重要抓手，积极推进国家“戈壁、沙漠、荒漠”新能源大基地建设；云南省大理白族自治州地形复杂，植被覆盖多，成功实施了在高海拔复杂地形条件下发展高功率、高容量新一代风电技术的创新举措。

The background image shows a landscape with several wind turbines on a grassy hill. The sky is filled with clouds, and the sun is setting or rising, creating a warm, golden light. A white network of lines and dots is overlaid on the bottom half of the image, suggesting a technological or data-driven theme.

4.中国风电潜力评估

4. 中国风电潜力评估

4.1 风能资源潜力

中国的陆地风能分布呈现出明显的地域特征，表现为北部地区的风能较为丰富，而南部地区的风能相对较低（图 6）。新疆、内蒙古以及甘肃北部地区的大部分地区都具有较高的风能资源，风功率密度大多超过 400 W/m^2 。新疆东部靠近甘肃地区以及内蒙古北部的一些地区，风能资源非常丰富，部分地区的风功率密度甚至达到 900 W/m^2 以上，这些地区人口密度低、地

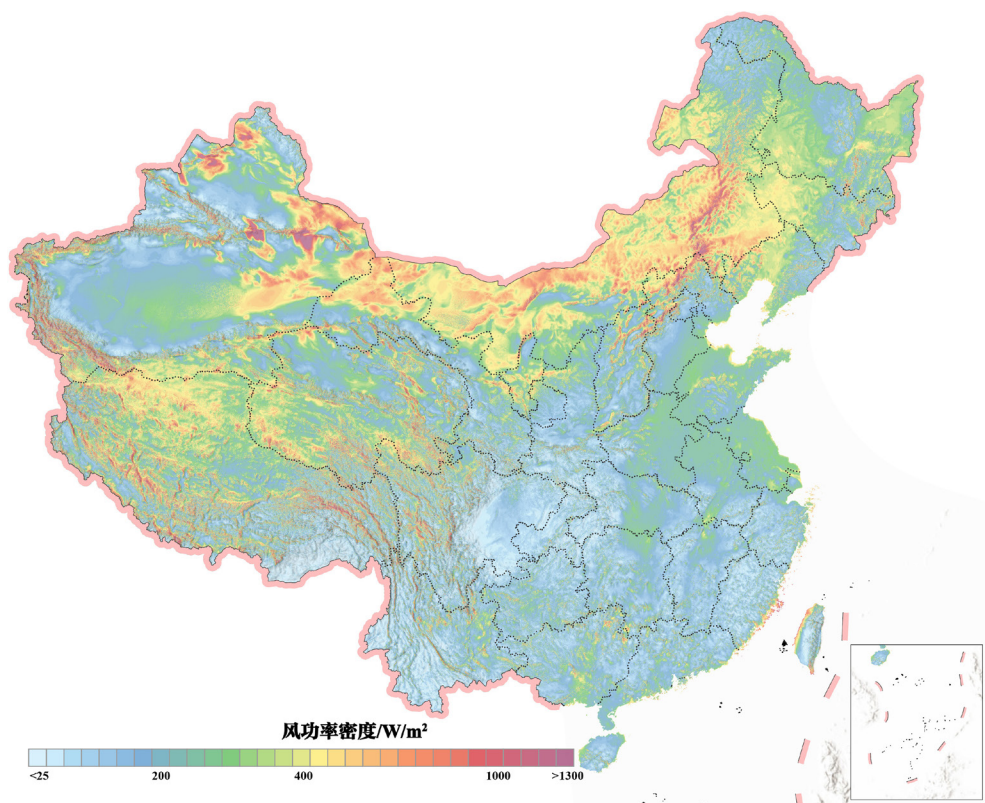


图 6 中国风能资源潜力 - 风功率密度分布

注：风功率密度是指气流在单位时间内垂直通过单位截面积的风能。

形平坦，非常适合进行集中式风能开发。虽然中国南部陆地地区的风能资源相对较低，但南部海域却拥有出色的海上风能资源。特别是在福建省与台湾省之间的海域，风功率密度可以达到 1000 W/m^2 以上。

4.2 风电技术可开发潜力

技术潜力反映了在技术可达性下地区风资源发电的潜力。在实际风电资源开发过程中，技术装机容量与技术可达性、技术成本、装机类型、风功率密度、设备运行周期等因素直接相关。新疆、西藏、内蒙古、东北以及中国东部沿海地区风电技术潜力最高（图 7）。我国陆上 140 米高度风能资源技

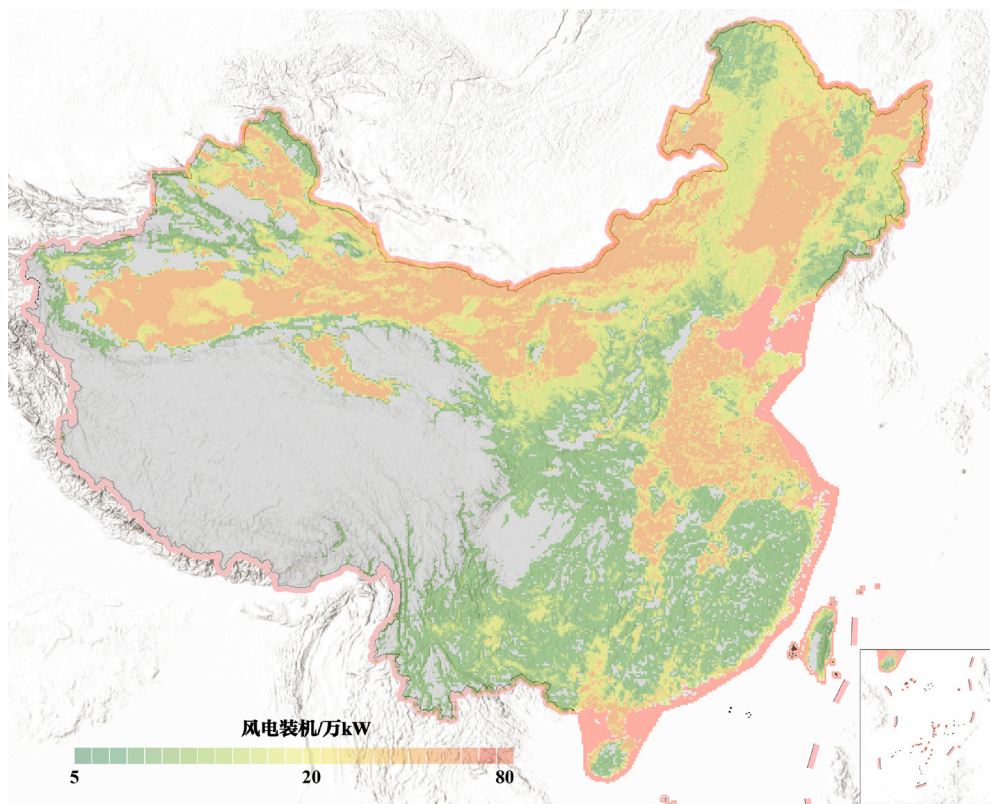


图 7 中国风电技术可开发潜力

术可开发量超过 100 亿千瓦，近海和深远海 150 米高度、离岸 200 公里以内且水深小于 100 米的海上风能资源技术可开发量为 27.8 亿千瓦，实际装机容量利用率不足 4% 和 0.9%，未来开发潜力巨大。

4.3 风电装机情景分析

2023-2035 年，政策情景下，南部、西北、华中地区增幅最高，将达到 162% 以上；高速情景下，南部、华东、东北地区增幅最高，将达到 318% 以上。

政策情景下（表 2），华北地区风电累计装机全国最高，约占全国 30%~34%。从区域装机增幅来看，2023-2035 年南部地区增幅最高，将达到 195%，其次是西北 164%、华中 162%、东北 122%、华东 107%、华北 103%。从区域装机年均增速来看，2023-2035 年南部地区年均增速最大，将达到 9.4%，其次是西北 8.4%、华中 8.4%、

东北 6.9%、华东 6.2%、华北 6.1%。

高速情景下（表 2），2023-2035 年南部地区增幅最高，将达到 355%，其次是华东 326%、东北 318%、华中 310%、西北 299%、华北 264%。从区域装机年均增速来看，2023-2035 年南部地区年均增速最大，将达到 13.5%，其次是华东 12.8%、东北 12.7%、华中 12.5%、西北 12.2%、华北 11.4%。

图 8 为按照两种情景下的各省装机容量中位数，所统计的 2023-2035 年中国各省风电累计装机容量与增长幅度。

图 9 为 2035 年中国 10km 网格风电装机情景分析结果，未来中国风电装机主要分布在内蒙古、宁夏、甘肃、新疆以及东部沿海等省份，该类地区可优先大规模发展风力发电，提高地区风资源开发利用效率。

表 2 中国 2025-2035 年风电累计装机容量情景分析

年份	装机容量（亿千瓦）		
	2025 年	2030 年	2035 年
安徽	0.09 (0.083-0.097)	0.151 (0.122-0.179)	0.207 (0.161-0.272)
北京	0.003 (0.003-0.004)	0.006 (0.006-0.007)	0.009 (0.008-0.011)
福建	0.099 (0.091-0.106)	0.172 (0.118-0.225)	0.232 (0.146-0.342)
甘肃	0.351 (0.312-0.389)	0.678 (0.643-0.712)	0.897 (0.826-1.045)
广东	0.18 (0.167-0.193)	0.315 (0.22-0.41)	0.427 (0.273-0.626)
广西	0.148 (0.141-0.155)	0.253 (0.219-0.286)	0.351 (0.297-0.436)
贵州	0.083 (0.081-0.084)	0.144 (0.108-0.179)	0.194 (0.134-0.273)
海南	0.005 (0.004-0.005)	0.01 (0.009-0.011)	0.014 (0.013-0.016)
河北	0.368 (0.337-0.398)	0.64 (0.433-0.846)	0.863 (0.529-1.291)
河南	0.259 (0.246-0.271)	0.529 (0.481-0.576)	0.798 (0.783-0.878)
黑龙江	0.124 (0.114-0.134)	0.215 (0.145-0.285)	0.29 (0.176-0.435)
湖北	0.104 (0.097-0.111)	0.182 (0.129-0.235)	0.247 (0.161-0.36)
湖南	0.12 (0.112-0.128)	0.211 (0.149-0.272)	0.286 (0.186-0.416)
吉林	0.149 (0.135-0.163)	0.259 (0.171-0.346)	0.347 (0.206-0.527)

年份	装机容量（亿千瓦）		
	2025 年	2030 年	2035 年
江苏	0.3 (0.278-0.321)	0.524 (0.366-0.682)	0.709 (0.454-1.041)
江西	0.074 (0.069-0.079)	0.13 (0.092-0.168)	0.176 (0.115-0.256)
辽宁	0.197 (0.181-0.214)	0.337 (0.319-0.355)	0.528 (0.466-0.637)
内蒙古	0.824 (0.783-0.866)	1.151 (0.925-1.376)	1.791 (1.638-2.099)
宁夏	0.193 (0.179-0.207)	0.338 (0.235-0.441)	0.457 (0.291-0.673)
青海	0.13 (0.121-0.138)	0.228 (0.162-0.294)	0.309 (0.202-0.448)
山东	0.305 (0.281-0.328)	0.532 (0.366-0.697)	0.718 (0.451-1.062)
山西	0.309 (0.287-0.33)	0.541 (0.38-0.701)	0.732 (0.473-1.07)
陕西	0.185 (0.176-0.194)	0.316 (0.279-0.352)	0.44 (0.382-0.538)
上海	0.014 (0.013-0.015)	0.024 (0.016-0.032)	0.033 (0.019-0.05)
四川	0.087 (0.081-0.092)	0.149 (0.117-0.181)	0.204 (0.152-0.276)
天津	0.02 (0.019-0.021)	0.033 (0.022-0.044)	0.045 (0.028-0.067)
西藏	0.005 (0.004-0.005)	0.009 (0.008-0.01)	0.018 (0.015-0.022)
新疆	0.392 (0.357-0.426)	0.717 (0.643-0.791)	1.005 (0.893-1.206)
云南	0.178 (0.169-0.22)	0.268 (0.234-0.537)	0.843 (0.789-0.969)
浙江	0.072 (0.064-0.081)	0.109 (0.089-0.128)	0.162 (0.143-0.195)
重庆	0.028 (0.027-0.029)	0.048 (0.041-0.055)	0.067 (0.055-0.084)

注：表中（）内上限和下限分别代表风电装机政策情景和高速情景结果，最终取值为两类情景上万次模拟优化后选取的中位数。

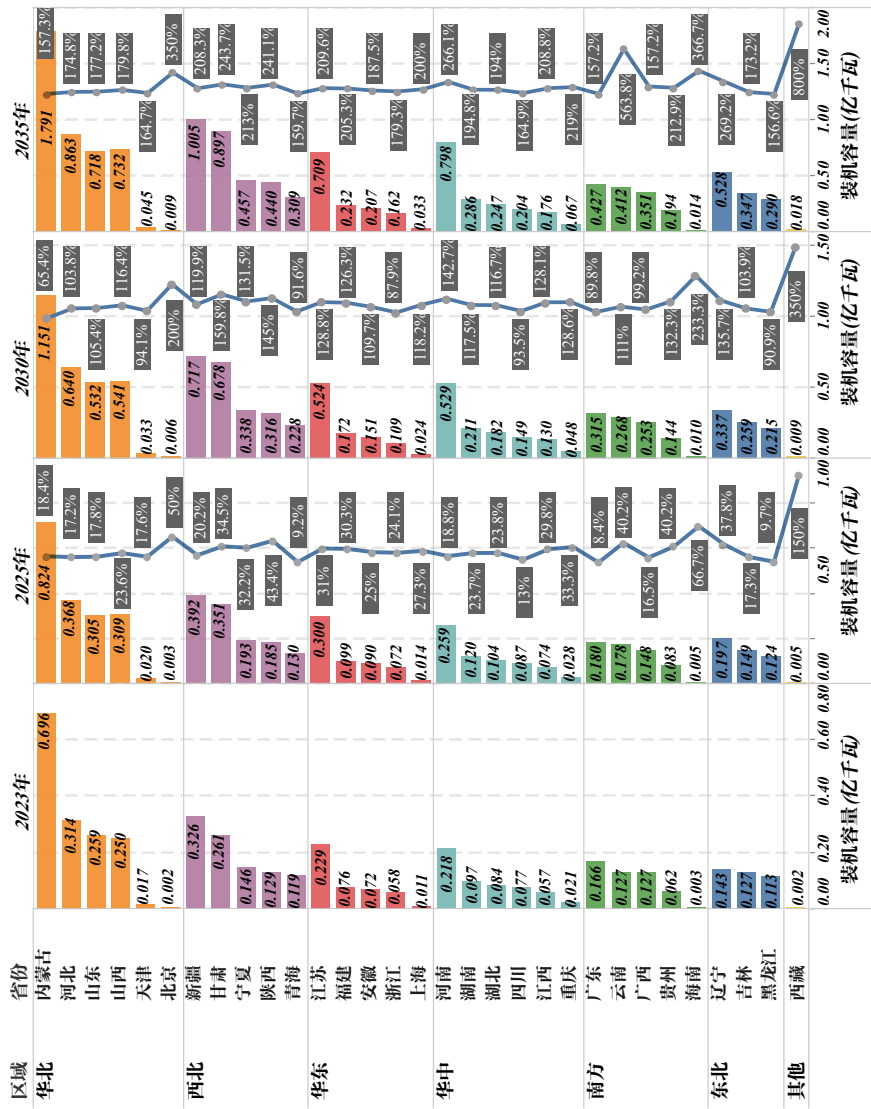


图 8 2023-2035 年中国各省风电累计装机容量与增长幅度

注：图中的装机容量为两种情景下的各省装机容量中位数，增长幅度为 2025 年、2030 年、2035 年各省装机容量对比基准年（2023 年）的增长幅度。

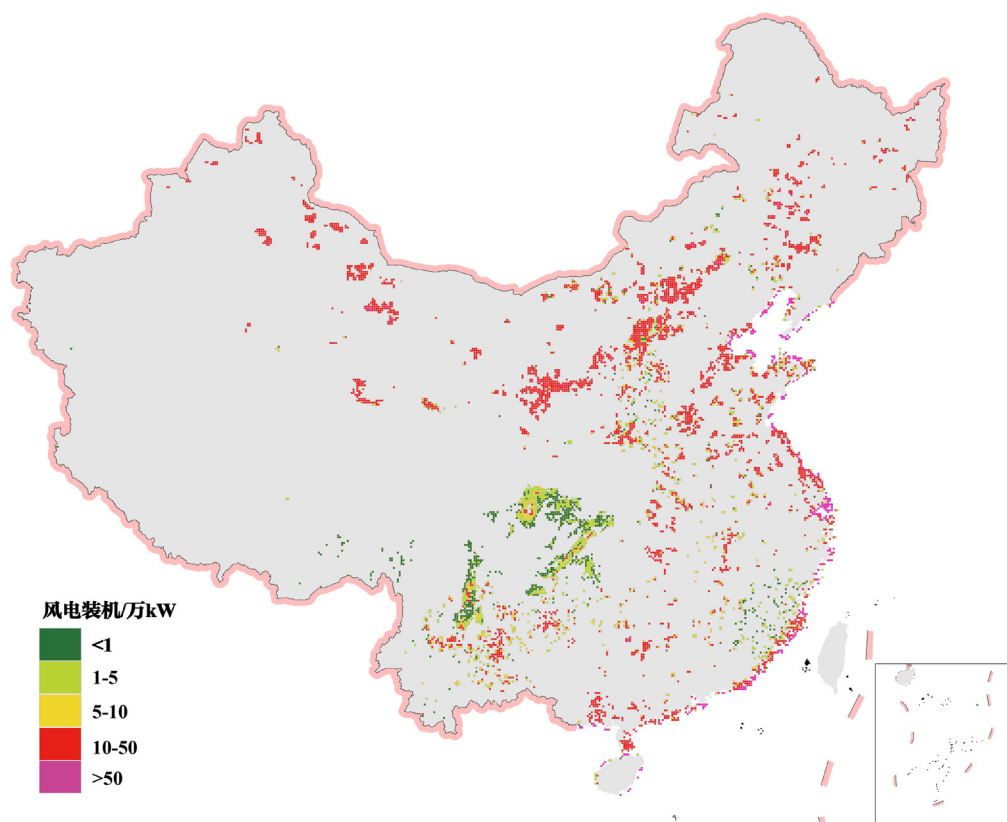


图9 2035年中国风电累计装机容量分布

注：每个网格的累计装机容量为两种情景下多次模拟累计装机容量中位数。



5.中国光伏发电现状

5. 中国光伏发电现状

中国光伏装机从 2015 年的 43 GW 增长到 2023 年的 610 GW（图 10），年复合增长率为 39%。分布式光伏累计装机规模增长速度高于集中式光伏。集中式、分布式光伏累计装机规模从 2015 年的 37 GW、6 GW 增长到 2023 年 355 GW、254GW，年复合增长率分别为 36%、59%。

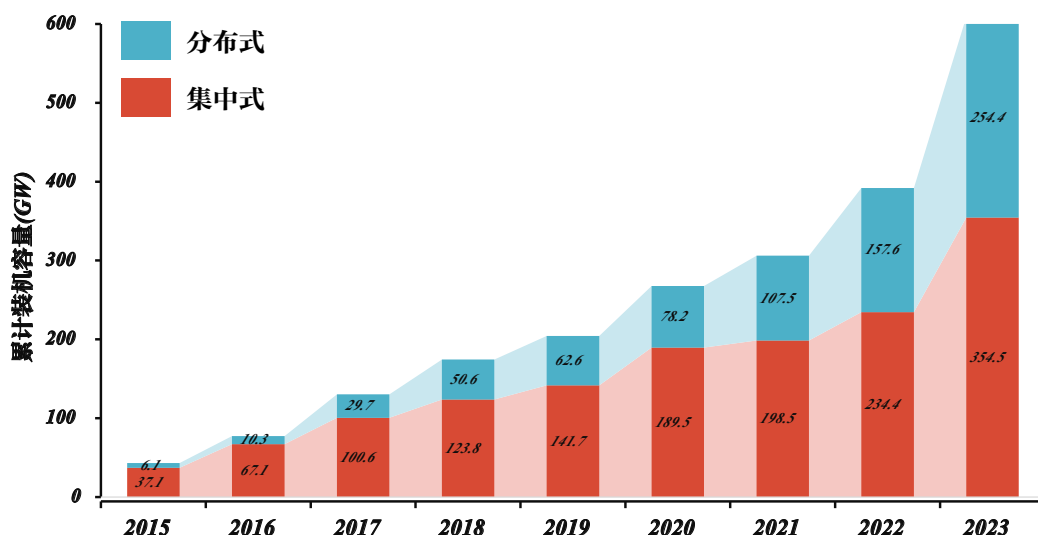


图 10 2015-2023 年中国光伏累计装机容量 (GW)

2023 年全国新增光伏并网装机容量 216 GW，累计光伏并网装机容量达到 609 GW，新增和累计装机容量均为全球第一。2023 年中国光伏装机容量占全国累计发电装机容量的 21%。全国超过 20 个省

份光伏装机容量在 1000 万千瓦以上，累计总量占到全国的 91%（表 3）。

山东光伏装机容量全国第一，达到 5693 万千瓦，占比达到 9%，其次是河北（9%）、江苏（6%）、

浙江（6%）、河南（6%）。五省累计装机容量达到 22125 万千瓦，累计发电量达到 701 亿 kWh（图 11）。

集中式光伏是现阶段光伏发电的主要能源供给类型，装机规模占到全国总装机容量的 58%。集中式光伏装机容量最高省份是河北、新疆和青海，分别为 3023 万千瓦、2878 万千瓦、2521 万千瓦，三省累积装机容量占全国集中式光伏装机总量的 24%。

分布式光伏装机容量主要分布在山东、河南、江苏等地区，2023

年三省分布式光伏装机容量分别为 4099 万千瓦、3094 万千瓦、2772 万千瓦，三省总装机容量占全国分布式光伏装机总量的 39%。

2023 年中国光伏发电量达到 2940 亿 kWh，分别占全国总发电量（包括化石能源与非化石能源）、全社会用电量的 3%、3%。河北、宁夏、青海、内蒙古、新疆等地光伏发电量最高，分别占各省总发电量的 6%、10%、24%、3%、4%。青海、宁夏、甘肃、贵州、山西等地区光伏发电是地区用电需求的主要来源之一，分别占到全社会用电量 21%、17%、11%、7%、6%。

表 3 2023 年中国各省光伏装机容量及发电量

省份	装机容量 (万千瓦)	发电量 (亿 kWh)	总发电量 (亿 kWh)	全社会用电量 (亿 kWh)
北京	108	2	455	1358
天津	490	23	808	1051
河北	5416	232	3736	4757
山西	2491	161	4376	2885
内蒙古	2296	205	7451	4823
辽宁	958	48	2203	2663
吉林	460	41	1098	928
黑龙江	565	57	1234	1184
上海	289	5	955	1849
江苏	3928	105	6106	7833
浙江	3357	142	4353	6192
安徽	3223	111	3336	3214
福建	875	5	3074	3090
江西	1993	66	1669	2026
山东	5693	154	5916	7966
河南	3731	68	3172	4090
湖北	2487	118	3013	2706
湖南	1252	30	1700	2277
广东	2522	89	6719	8502
广西	1090	55	2287	2449
海南	472	20	448	482
重庆	161	4	1054	1453
四川	574	44	4713	3711
贵州	1644	117	2271	1783
云南	2072	90	3905	2513
西藏	257	7	137	135
陕西	2292	111	2946	2450
甘肃	2540	185	1925	1645
青海	2561	212	874	1018
宁夏	2137	232	2246	1387
新疆	3002	201	4912	3821
全国	60949	2940	94564	92241

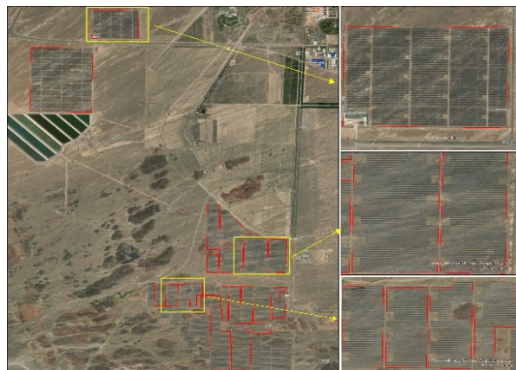
注：数据来源国家能源局、国家统计局、中国电力企业联合会、国家电网有限公司、Wind 数据库。总发电量为该省（市）化石能源与非化石能源发电量总和。



图 11 2023 年光伏累计装机容量分布（10km 网格）

注：基于遥感和 GIS 技术获得中国光伏面板（15923 个小斑），在 GIS 平台上统一汇总为 10km 网格数据，并利用中国各省数据进行验证和校对。

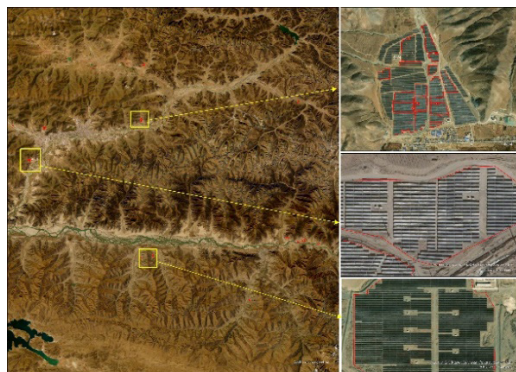
各地区在积极响应国家可再生能源政策战略的同时，充分考虑地区地理资源优势、地形条件等因素，因地制宜推动光伏发电项目发展，创新性打造了一系列发展新模式，如“渔光互补”、“牧光互补+水光互补”、“农光互补”、“屋顶光伏”，以助力地区碳达峰碳中和目标的实现。图 12 展示了不同区域典型光伏电站。



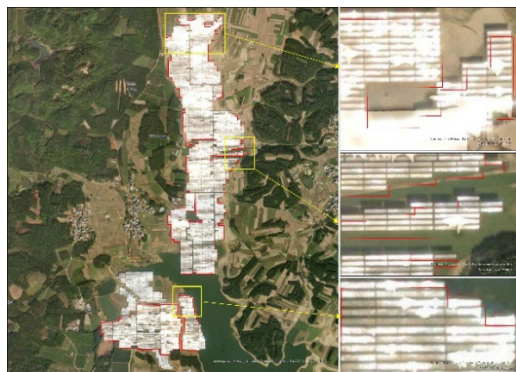
(1) 新疆博乐市光伏电站



(2) 四川理塘县光伏电站



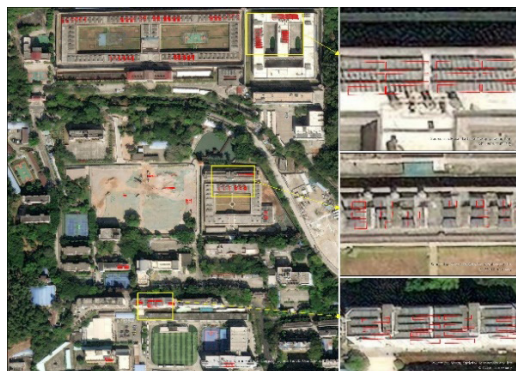
(3) 西藏拉萨市光伏电站



(4) 广西象州县光伏电站



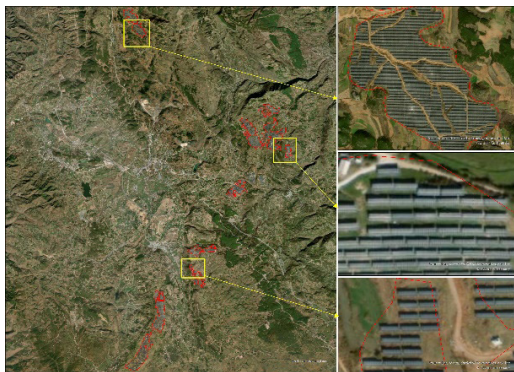
(5) 青海海南藏族自治州共和县光伏电站



(6) 广东深圳浦江光伏电站



(7) 安徽颍上县光伏电站



(8) 贵州彝族回族苗族自治县光伏电站

图 12 中国 2023 年典型光伏电站

注：广东深圳浦江屋顶光伏技术，可有效利用当地优质的光伏资源，缓解土地资源紧张的难题；四川理塘、西藏拉萨、广西象州、贵州彝族回族苗族自治县，地形条件复杂但太阳能资源较好，光伏发电与荒山改良综合利用结合起来，发展农光互补模式；中国漂浮式光伏技术发展迅速，安徽颍上县“渔光互补”建设模式为典型代表；青海海南藏族自治州共和县的两个大型集中式光伏电站，建立“牧光互补+水光互补”新发展模式，大力发展“板”下经济，探索出一条光伏生态园和藏羊养殖产业发展相结合的绿色、低碳、循环发展新路子。



6.中国光伏发电潜力评估

6. 中国光伏发电潜力评估

6.1 光伏发电资源潜力

中国光伏资源潜力使用的图谱数据来源于 Global Solar Atlas，即典型 PV 系统可实现的电力输出（PVOUT）。该系统模拟了可用太阳能资源转化为电力的过程，考虑了空气温度、地形地平线、反照率以及模块倾斜、配置、遮挡、污染等影响系统性能的因素。PVOUT 是长期内每单位已安装 PV 容量所生成的电力量（kWh/kWp）。

西藏、青海、新疆、宁夏南部、甘肃、内蒙古南部、山西北部、陕西北部、

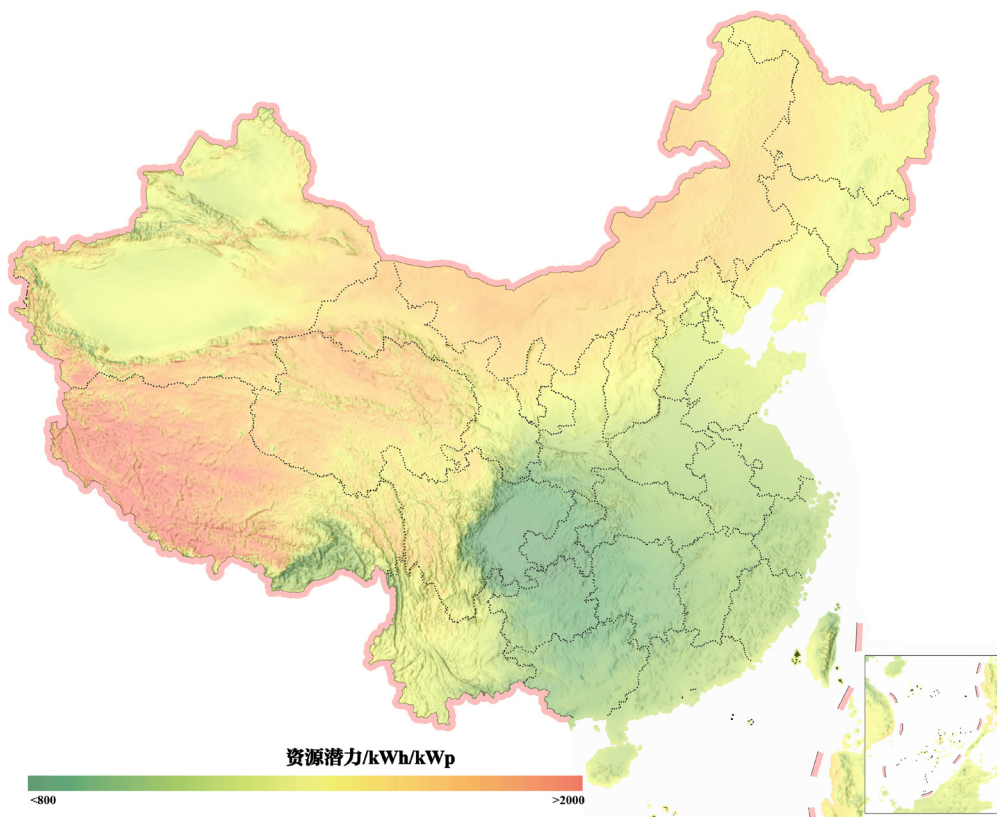


图 13 中国光伏发电资源潜力

辽宁、河北东南部、山东东南部、吉林西部、云南中部和西南部、海南岛东部和西部以及台湾省西南部等地区的光伏发电资源潜力较大（图 13）。

6.2 光伏发电技术可开发潜力

光伏技术潜力评估是指在评估年份水平下剔除资源禀赋、保护区、高海拔、高坡度以及地面覆盖物等限制因素后可以安装的光伏装机容量总和。在实际太阳能资源开发过程中，光伏技术装机容量与可用面积、装机面积、装机密度、光照辐射量等因素直接相关。在区域分布上，我国西北地区光照

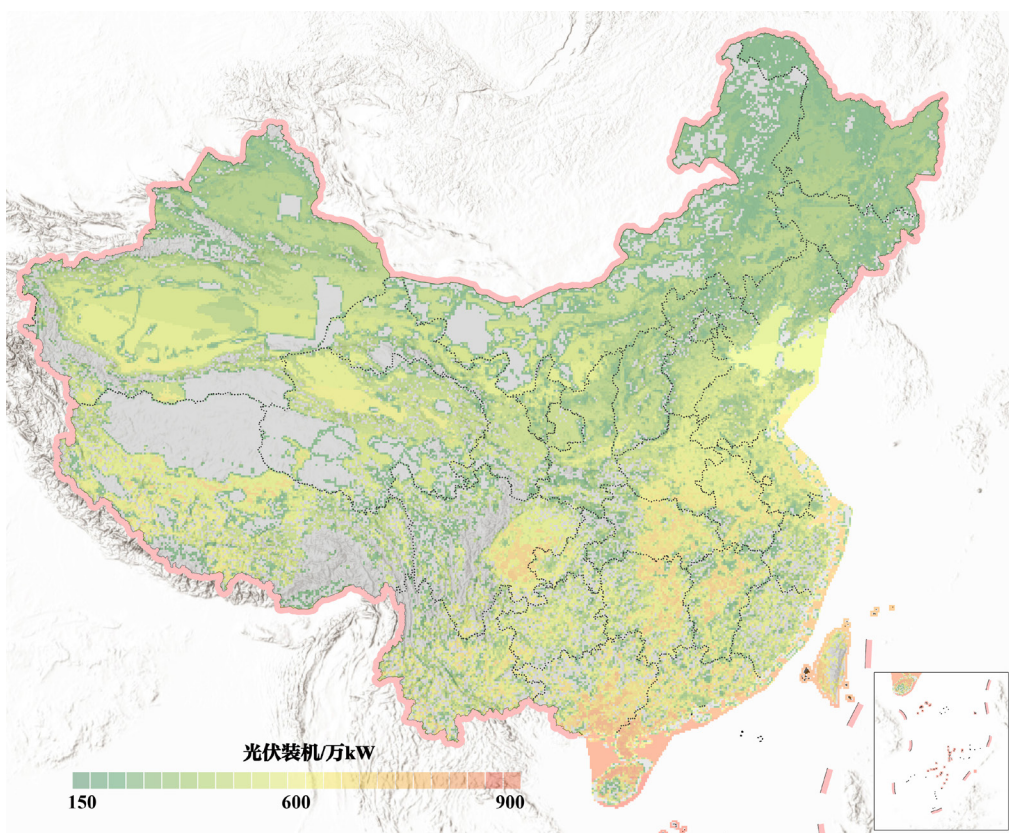


图 14 中国光伏发电技术可开发潜力

资源丰富，太阳能技术可开发量约占全国 60%，未来将成为光伏发电装机增长的主要区域（图 14）。在分省维度上，新疆、西藏、内蒙古、青海、甘肃等地区光照资源丰富、光照时间较长、技术可达性较高，技术装机潜力位于全国前五，五省累计技术装机潜力约到全国 50%。

6.3 光伏装机情景分析

“ 2023-2035 年，政策情景下，南部、华东、华中地区增幅最高，将达到 162% 以上；高速情景下，东北、华北、华东地区增幅最高，将达到 270% 以上。 ”

政策情景下（表 4），华北地区光伏累计装机全国最高，约占全国 28%。从区域装机增幅来看，2023-2035 年南部地区增幅最高，将达到 182%，其次是华东 178%、华中 162%、华北 155%、东北 114%、西北 100%。从区域装机年均增速来看，2023-2035 年南部地

区年均增速最大，将达到 9%，其次是华东 8.9%、华中 8.4%、华北 8.1%、东北 6.6%、西北 5.9%。

高速情景下（表 4），2023-2035 年东北地区增幅最高，将达到 306%，其次是华北 292%、华东 270%、西北 248%、南部 244%、华中 216%。从区域装机年均增

速来看，2023-2035 年东北地区年均增速最大，将达到 12.4%，其次是华北 12%、华东 11.5%、西北 11%、南部 10.8%、华中 10.1%。图 15 为按照两种情景下的各省装机容量中位数，所统计的 2023-2035 年中国各省光伏累计装机容量与增长幅度。

图 16 为 2035 年中国 10km 网格分辨率光伏装机分布，未来中国光伏装机主要分布在内蒙古、甘肃及东部沿海等省份，这些地区拥有丰富的太阳能资源，可率先发展大型光伏发电项目，同时全国因地制宜发展分布式太阳能，提高地区太阳能资源开发效率，加快地区能源结构转型的进程。

表 4 中国 2025-2035 年光伏累计装机情景分析

年份	装机容量（亿千瓦）		
	2025 年	2030 年	2035 年
安徽	0.382 (0.349-0.414)	0.649 (0.573-0.725)	0.949 (0.797-1.183)
北京	0.017 (0.015-0.018)	0.028 (0.023-0.032)	0.04 (0.031-0.053)
福建	0.108 (0.095-0.12)	0.15 (0.142-0.157)	0.224 (0.209-0.256)
甘肃	0.282 (0.272-0.292)	0.387 (0.297-0.477)	0.516 (0.308-0.779)
广东	0.294 (0.281-0.306)	0.529 (0.523-0.535)	0.789 (0.765-0.873)
广西	0.122 (0.12-0.123)	0.158 (0.14-0.175)	0.232 (0.197-0.286)
贵州	0.26 (0.246-0.273)	0.447 (0.415-0.478)	0.655 (0.585-0.78)
海南	0.06 (0.052-0.067)	0.076 (0.068-0.083)	0.109 (0.092-0.136)
河北	0.704 (0.666-0.741)	1.216 (1.133-1.298)	1.784 (1.599-2.118)
河南	0.43 (0.413-0.448)	0.765 (0.744-0.786)	1.149 (1.105-1.282)
黑龙江	0.078 (0.064-0.091)	0.126 (0.092-0.16)	0.182 (0.12-0.261)
湖北	0.27 (0.256-0.283)	0.433 (0.422-0.443)	0.638 (0.604-0.723)

年份	装机容量（亿千瓦）		
	2025 年	2030 年	2035 年
湖南	0.157 (0.142-0.172)	0.213 (0.211-0.214)	0.315 (0.304-0.35)
吉林	0.062 (0.049-0.074)	0.099 (0.067-0.13)	0.141 (0.084-0.213)
江苏	0.456 (0.429-0.482)	0.785 (0.725-0.844)	1.151 (1.021-1.378)
江西	0.22 (0.208-0.231)	0.379 (0.353-0.405)	0.557 (0.499-0.66)
辽宁	0.112 (0.108-0.115)	0.181 (0.159-0.202)	0.264 (0.221-0.33)
内蒙古	0.275 (0.252-0.299)	0.419 (0.312-0.526)	0.567 (0.337-0.857)
宁夏	0.26 (0.216-0.304)	0.424 (0.314-0.533)	0.61 (0.411-0.87)
青海	0.311 (0.268-0.354)	0.466 (0.311-0.62)	0.666 (0.391-1.012)
山东	0.763 (0.705-0.82)	1.303 (1.168-1.438)	1.906 (1.631-2.346)
山西	0.295 (0.265-0.326)	0.466 (0.361-0.571)	0.673 (0.479-0.932)
陕西	0.278 (0.265-0.291)	0.483 (0.454-0.511)	0.709 (0.643-0.833)
上海	0.034 (0.031-0.037)	0.054 (0.041-0.067)	0.077 (0.054-0.106)
四川	0.061 (0.059-0.063)	0.095 (0.091-0.098)	0.147 (0.135-0.17)
天津	0.056 (0.054-0.058)	0.087 (0.081-0.092)	0.133 (0.124-0.153)
西藏	0.031 (0.028-0.034)	0.046 (0.031-0.06)	0.065 (0.039-0.098)
新疆	0.379 (0.346-0.412)	0.496 (0.46-0.531)	0.78 (0.754-0.867)
云南	0.222 (0.212-0.232)	0.293 (0.279-0.302)	0.525 (0.486-0.606)
浙江	0.476 (0.463-0.488)	0.834 (0.812-0.855)	1.229 (1.16-1.395)
重庆	0.018 (0.017-0.018)	0.022 (0.021-0.023)	0.032 (0.028-0.038)

注：表中（）内上限和下限分别代表光伏发电装机政策情景和高速情景结果，最终取值为对两类情景上万次模拟优化后选取的中位数。

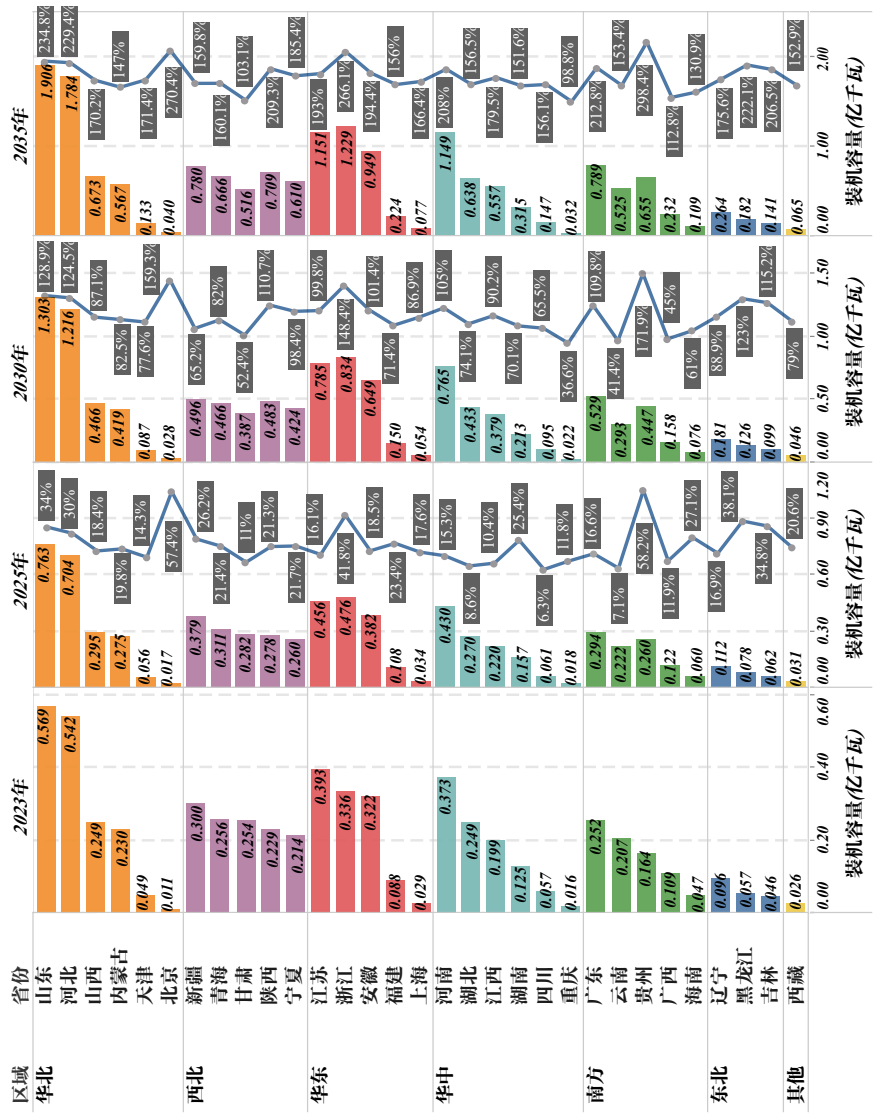


图 15 2023-2035 年中国各省光伏累计装机容量与增长幅度

注：图中的装机容量为两种情景下的各省装机容量中位数，增长幅度为 2025 年、2030 年、2035 年各省装机容量对比基准年（2023 年）的增长幅度。

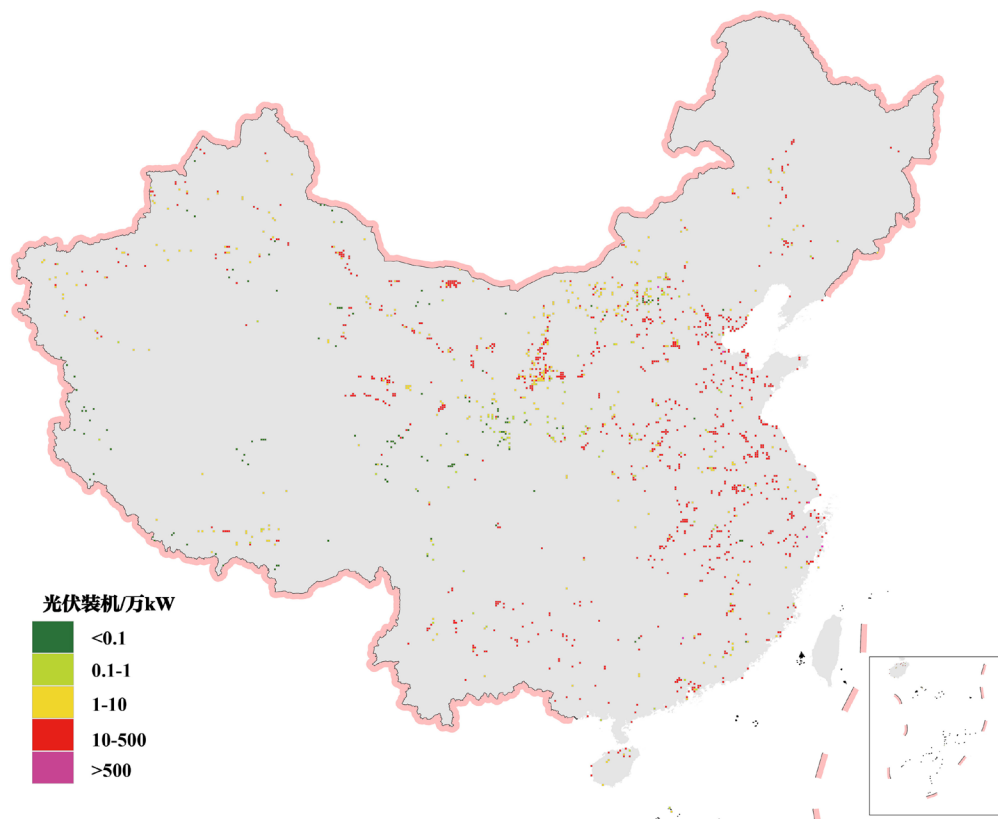


图 16 2035 年光伏累计装机容量分布

注：每个网格的装机容量为两种情景下多次模拟的装机容量中位数。

参考文献

- Lei, Y., Wang, Z., Wang, D., et al. Co-benefits of carbon neutrality in enhancing and stabilizing solar and wind energy. *Nature Climate Change*, 2023, 13(7): 693-700.
- Zhang, Z., Chen, M., Zhong, T., et al. Carbon mitigation potential afforded by rooftop photovoltaic in China. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 2347.
- Gruber, K., Regner, P., Wehrle, S., et al. Towards global validation of wind power simulations: A multi-country assessment of wind power simulation from MERRA-2 and ERA-5 reanalyses bias-corrected with the global wind atlas. *Energy*, 2022, 238: 121520.
- Lu, X., Mcelroy, M. B., Kiviluoma, J. Global potential for wind-generated electricity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(27): 10933-8.
- Mcelroy, M. B., Lu, X., Nielsen, C. P., et al. Potential for wind-generated electricity in China. *Science*, 2009, 325(5946): 1378-80.
- Chen, S., Lu, X., Miao, Y., et al. The Potential of photovoltaics to power the belt and road initiative. *Joule*, 2019, 3(8): 1895-912.
- Archer, C., Jacobson, M. Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110.
- Zheng, C. w., Pan, J. Assessment of the global ocean wind energy resource. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 33: 382-91.
- Pryor, S. C., Barthelmie, R. J. A global assessment of extreme wind speeds for wind energy applications. *Nature Energy*, 2021, 6(3): 268-76.
- Ozelkan, E., Chen, G., Üstündağ, B. B. Spatial estimation of wind speed: a new integrative model using inverse distance weighting and power law. *International Journal of Digital Earth*, 2016, 9: 733 - 47.
- Ozay, C., Celiktaş, M. S. Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region. *Energy Conversion and Management*, 2016, 121: 49-54.
- Jiang, P., Li, R., Li, H. Multi-objective algorithm for the design of prediction intervals for wind power forecasting model. *Applied Mathematical Modelling*, 2019, 67: 101-22.
- Wang, J., Heng, J., Xiao, L., et al. Research and application of a combined model based on multi-objective optimization for multi-step ahead wind speed forecasting. *Energy*, 2017, 125: 591-613.
- Jiang, P., Liu, Z., Niu, X., et al. A combined forecasting system based on statistical method, artificial neural networks, and deep learning methods for short-term wind speed forecasting. *Energy*, 2021, 217: 119361.
- Wu, C., Wang, J., Chen, X., et al. A novel hybrid system based on multi-objective optimization for wind speed forecasting. *Renewable Energy*, 2020, 146: 149-65.
- Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 1948, 193: 120 - 45.

- Black, J. N., Bonython, C. W., Prescott, J. A. Solar radiation and the duration of sunshine. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1954, 80(344): 231-5.
- Kan, A., Zeng, Y., Meng, X., et al. The linkage between renewable energy potential and sustainable development: Understanding solar energy variability and photovoltaic power potential in Tibet, China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2021.
- Feng, Y., Zhang, X., Jia, Y., et al. High-resolution assessment of solar radiation and energy potential in China. *Energy Conversion and Management*, 2021, 240: 114265.
- He, G., Kammen, D. M. Where, when and how much solar is available? A provincial-scale solar resource assessment for China. *Renewable Energy*, 2016, 85: 74-82.
- Aly, A., Jensen, S. S., Pedersen, A. B. Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. *Renewable Energy*, 2017, 113: 159-75.
- Yushchenko, A., De Bono, A., Chatenoux, B., et al. GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81: 2088-103.
- Yang, Q., Huang, T., Wang, S., et al. A GIS-based high spatial resolution assessment of large-scale PV generation potential in China. *Applied Energy*, 2019, 247: 254-69.
- Chen, Y., Yue, X., Tian, C., et al. Assessment of solar energy potential in China using an ensemble of photovoltaic power models. *Science of the Total Environment*, 2023, 877: 162979.
- Niu, J., Qin, W., Wang, L., et al. Climate change impact on photovoltaic power potential in China based on CMIP6 models. *The Science of the total environment*, 2023, 858(Pt 1): 159776.
- Qiu, T., Wang, L., Lu, Y., et al. Potential assessment of photovoltaic power generation in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 154: 111900.
- Feng, Y., Hao, W., Li, H., et al. Machine learning models to quantify and map daily global solar radiation and photovoltaic power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 118: 109393.
- Liu, F., Wang, X., Sun, F., et al. Correct and remap solar radiation and photovoltaic power in China based on machine learning models. *Applied Energy*, 2022, 312: 118775.
- Izquierdo, S., Rodrigues, M., Fueyo, N. A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. *Solar Energy*, 2008, 82(10): 929-39.
- Müller, J., Trutnevyte, E. Spatial projections of solar PV installations at subnational level: Accuracy testing of regression models. *Applied Energy*, 2020, 265: 114747.
- Barbón, A., Ghodbane, M., Bayón, L., et al. A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes. *Journal of Cleaner Production*, 2022: 132774.
- Huang, B., Huang, J., Xing, K., et al. Development of a solar-tracking system for horizontal single-axis PV arrays using spatial projection analysis. *Energies*, 2013, 16(10), 4008.
- Song, X., Huang, Y., Zhao, C., et al. An approach for estimating solar photovoltaic potential based on rooftop retrieval from remote sensing images. *Energies*, 2018, 11: 3172.

- Hong, L., Möller, B. Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints. *Energy*, 2011, 36(7), 4482-4491.
- Janke, J. R., 2010. Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2228-2234.
- Wu, J., Xiao, J., Hou, J., et al. A multi-criteria methodology for wind energy resource assessment and development at an intercontinental level: Facing low-carbon energy transition. *IET Renewable Power Generation*, 2023, 17(2), 480-494.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., et al. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2013, 24, 544-556.
- Angelis-Dimakis, A., Biberacher, M., Dominguez, J., et al. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(2), 1182-1200.
- 黄瀚, 肖晋宇, 赵杨等. 一带一路国家风光资源评估报告[R]. 北京: 全球能源互联网发展合作组织, 2022.
- 清华大学碳中和研究院等. 中国碳中和目标下的风光技术展望[R]. 北京: 清华大学, 2024.
- 秦海岩. 加快开发海上风电, 打造沿海地区高质量发展引擎[J]. *风能*, 2023, (09): 1.
- 国家发展改革委. 国家发展改革委关于引发《全国风能资源评价技术规定》的通知[Z], 2012. http://www.nea.gov.cn/2012-01/04/c_131260326.htm
- 国家能源局. 十四五期间可再生能源发展规划[Z], 2022. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html?code=&state=123
- 中华人民共和国自然资源部. 光伏电站工程项目用地控制指标 (TD/T 1075-2023) [S], 2023.
- 国家能源局. 2023年全国电力工业统计数据[Z], 2024. http://www.nea.gov.cn/2024-01/26/c_1310762246.htm



附录

附件 1 风光发电潜力评估方法

A1.1 数据来源

风光发电潜力评估数据集包括风功率及平均风速图谱、全球水平辐照度、生态红线、居民用地、路网数据以及省级清洁能源装机数据（表 A1）。其中 150 米高度的风功率图谱是用于评估风电资源潜力。平均风速图谱主要用于评估风电技术发电潜力时可开发区域的选择，以及风电潜力评估指标的构建。

全国水平辐照度用于评估光伏发电理论潜力。高程数据用于评估风光技术潜力时所考虑的技术性因素。生态红线、居民用地以及路网数据是指在评估风光发电潜力时，所需要排除的限制性因素。省级清洁能源装机数据是用于风光设备分布现状的关键数据。

表 A1 数据来源

名称	空间分辨率	来源
150 米高度风功率图谱数据	250m	https://globalwindatlas.info/zh
150 米高度平均风速图谱	250m	https://globalwindatlas.info/zh
全球水平辐照度	250m	https://globalsolaratlas.info/
高程数据	250m	https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/
生态红线	30 m	环境规划院
居民区	30 m	Open street map
路网数据	矢量	Open street map
各省清洁能源装机数据	-	国家能源局、国家电网公司

A1.2 风能发电

A1.2.1 风能资源潜力评估

风电资源潜力是指风机在特定的风资源情况下，区域内一定高度上可利用的风总动能（ E_{TRWind} ）。为了确保风机高效运行并减少风机尾流的影响，需要适当安排风机的排列分布。在本研究风电资源潜力计算时，在本研究风电资源潜力计算时，参考《一带一路国家风光资源评估报告》中对风能资源潜力得评估，定义评估区域中 100 倍扫风面积内一般只安装 1 台风能转换装置，计算公式如下。

$$E_{TRWind} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{8760} P_{ij} * A_i$$

式中， A_i 为第 i 块所选区域面积； n 为选择区域内栅格数量； P_{ij} 为第 i 块栅格第 j 小时的风功率。

A1.2.2 风电技术开发潜力评估

在风电资源潜力的基础上，排除了生态红线、居民区域、河流水域、交通道路、风速低于 4m/s 区域、坡度大于 30°、高差大于 4000m 等限制性区域，在技术可达性前提下，以 10km 网格为单位计算网格内的风电技术潜力（ P_{econ} ），计算公式如下。

$$P_{econ} = 5 * n_{slope} * S_{available}$$

式中， P_{econ} 是指排除限制因素后的技术装机潜力，单位为 kW； n_{slope} 是指坡度因子，坡度数据是按照 3×3 网格分辨率所统计的全国坡度数据，并按照表 A2 坡度分类得到坡度影响因子；5MW/km² 代表经验装机密度，参考《一带

一路国家风光资源评估报告》中对单位面积装机密度的估计，预估单位平方千米的平坦地形区域内所允许安装最大风机容量为 5MW； $S_{available}$ 是指风电装机的有效面积，即在 10km 网格内排除限制性因素后的可利用开发面积。

表 A2 不同坡度对应的坡度影响因子

GIS 坡度 (°)	坡度影响因子
0-1.7	1
1.8-3.4	0.5
3.5-16.7	0.3
16.8-30	0.15
≥30	0

A1.2.3 风电装机情景分析

对于风电装机现状分析，基于遥感和 GIS 技术获得中国风电单机点源数据，结合 2023 年各省实际风电装机容量，采用统计学与 GIS 技术相结合的方法计算 10km 网格实际风电装机容量。

对于风电装机情景分析，基于政策情景、高速情景下各省风电装机规划量，以 10km 网格单元为评价对象，从环境因素、风资源潜力、基础设施三个方面构建风能潜力评价指标体系，依据网格指标权重大小确定优先开发区域，以网格的风电技术潜力作为该网格的未来装机容量，并以两种情景下各省市 2025-2035 年风电装机规划量进行约束校对。潜力情景预估以当前风电机组技术水平进行分析，但随着未来风电技术进步，情景预测结果可能会被低估。其中风能装机潜力评价指标体系构建分为陆地、海上，具体指标构建方法如下。

(1) 陆地风电潜力评价指标体系构建

陆地风能装机潜力评价指标体系一级评价指标包括环境条件、风资源潜

力和基础设施，二级评价指标包括地形坡度、风能资源开发装机密度、平均风速以及距离路网边界，各层级指标的权重采用 AHP 方法计算确定（表 A3）。各评价指标考虑因素如下。

a. 环境因素：主要是指地形坡度，根据 NASA 数据中心提供的分类方式，由于平坦的地形和较低的海拔更便于风电场的建设和日常维护，因此将平坦、海拔低的区域作为可开发利用区域。此类地区相应权重相对较高。

b. 风资源丰富度：包括风能资源开发装机密度和年平均风速。风能资源开发装机密度是指不同地形坡度对单位土地面积上的装机能力的折减影响，一般可通过设定坡度影响因子计算得到实际装机密度。装机密度越大，区域装机容量越大。年平均风速主要用于描述区域风资源的丰富度。年平均风速越高，风机的转动速度和发电效率越高。本报告年平均风速是指在 10km 网格内整块区域的平均值，对于实际的复杂山地风电场会有一定程度低估。

c. 基础设施：主要是指风机距离路网边界的距离，考虑到风电装机技术的可达性，距离主干道的距离是影响风电装机的主要因素之一。距离主干道越远，建设风电场的难度越大，因此在选择风电设备安装区域时应考虑风机距离基础设施的距离。

表 A3 陆地风电潜力评价指标

一级	权重	二级	权重	指标划分					5
				0	1	2	3	4	
环境因素	0.4	地形坡度	0.4	海面、高山和高山群山山脉、海拔高度大于 3000 m	-	-	低山群山山脉	低山山脉	平坦地形，但是其高程低于等于 3000 m
风资源丰富度	0.2	装机密度	0.1	-					
		平均风速	0.1	-	$\leq 4\text{ m/s}$	4 m/s – 5 m/s	5 m/s – 6 m/s	6 m/s – 7 m/s	$>7\text{ m/s}$
基础设施	0.4	距离路网	0.4	-	100km 以外	50 km-100 km	40 km-50 km	30 km-40 km	30 km 以内的区域

(2) 海上风电潜力评价指标体系构建

海上风电潜力评价指标构建，主要基于以下三个原则：第一，根据国家能源局和国家海洋局对海上风电建设做出的明确规定，海上风电场原则上应在离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米。第二，在确定海上风电场的建设优先级

时，优先考虑装机容量高，且可以规模化应用区域。第三，海上风速大小决定了海上风电潜力大小，直接影响区域海上风电装机规模。因此，从规定条件、装机容量、海上风速三个方面构建海上风电潜力评价指标体系（表 A4）。

表 A4 海上风电潜力评价指标

条件	权重	指标划分					5
		0	1	2	3	4	
规定条件	0.4	离岸距离 <10km	-	-	离岸距离： >30km	离岸距离： 20km -30m	离岸距离： 10km -20m
装机容量	0.3	-	归一化，输出整型。				
海上风速	0.3	小于 6m/s	将大于等于 6m/s 的风速，归一化到 0-1 并乘以 5，返回整型数据。				

A1.3 光伏发电

A1.3.1 光伏发电资源潜力评估

光伏发电资源潜力主要是由全球水平辐照度（GHI，Global Horizontal Irradiation）指标来反映，该指标是指在一个水平表面内所能接受的直接辐射度、漫射辐照度的总和。光伏发电资源潜力计算公式如下：

$$E_{TRPV} = \sum_{i=1}^n GHI_i * A_i * 365$$

式中， GHI 是栅格对应的太阳能年水平面总辐照度； A_i 为第 i 块栅格面积； n 为选择区域内栅格数量。

A1.3.2 光伏发电技术开发潜力评估

对于集中式光伏装机技术潜力计算，光伏技术装机受地形条件，包括高程、坡度和坡向地形起伏度等因素制约。本研究参考自然资源部发布的《光伏电站工程项目用地控制指标》对不同纬度装机密度的研究结果，选择 10MW 固定式

光伏板、110KV 并网条件和 20% 发电效率的三类地形所对应的理论装机密度（表 A5），计算 10km 网格集中式光伏技术装机容量。对于不在此纬度范围内的光伏装机密度计算方法，采用线性插值进行处理。

表 A5 不同区域类型、纬度下的光伏理论装机密度

区域类型	纬度	转化效率 (%)	10MW 110KV (ha)	装机密度 (MW/km ²)
1	18	20	10.324	97
1	20	20	10.701	93
1	25	20	11.864	84
1	30	20	13.472	74

区域类型	纬度	转化效率 (%)	10MW 110KV (ha)	装机密度 (MW/km ²)
1	35	20	15.807	63
1	40	20	19.456	51
1	45	20	25.881	39
1	50	20	39.994	25
2	18	20	12.936	77
2	20	20	13.426	74
2	25	20	14.938	67
2	30	20	17.029	59
2	35	20	20.064	50
2	40	20	24.808	40
2	45	20	33.16	30
2	50	20	51.507	19
3	18	20	15.548	64
3	20	20	16.151	62
3	25	20	18.012	56
3	30	20	20.585	49
3	35	20	24.321	41
3	40	20	30.16	33
3	45	20	40.44	25
3	50	20	63.02	16

数据来源：自然资源部发布的《光伏电站工程项目用地控制指标》。

对于分布式光伏装机技术潜力计算，采用 10km 单位网格内的装机面积乘以 25% 的折减率得到有效开发利用面积，并结合单位网格装机密度计算分布式光伏技术装机容量。

A1.3.3 光伏装机情景分析

对于光伏装机现状分析，基于遥感和 GIS 技术获得中国光伏单机点源数据，结合 2023 年各省实际光伏装机容量，采用统计学与 GIS 技术相结合的方法计算 10km 网格实际光伏装机容量。

对于光伏装机情景分析，基于政策情景、高速情景下各省光伏装机规划量，以 10km 网格单元为评价对象，从地理因素、排放因素、资源潜力、基础设施等四个方面构建光伏潜力评价指标体系，依据网格指标权重大小确定优先开发区域，以网格的光伏技术潜力作为该

网格的未来装机容量，并以两种情景下各省市 2025-2035 年光伏装机规划量进行约束校对。光伏装机潜力评价指标因素及评价指标分类，如表 A6 所示。

光伏潜力评价指标体系一级指标包括地理因素、排放因素、资源潜力、基础设施，二级指标包括地形坡度、区域碳排放、技术装机容量以及距离路网边界。限制性因素主要用于排除资源禀赋、保护区、高海拔、高坡度以及地面覆盖物等限制性区域。各层级指标的权重采用 AHP 方法计算确定。

表 A6 光伏装机潜力评价指标

一级	权重	二级	权重	指标划分					5
				0	1	2	3	4	
地理因素	0.2	地形坡度	0.2	坡度 >30°	-	10°-30° 其他区域	10°-30°	3°-10°	0°-3°
排放因素	0.3	区域碳排放	0.3	0-10	10-10000	10000-50000	50000-100000	100000-200000	> 200000
资源潜力	0.4	技术装机容量	0.4	-	<=3.6	3.6-3.95	3.95-4.26	4.26 – 4.64	4.64 – 6.31
基础设施	0.1	距离路网	0.1	-	100 km 以外	50 km-100 km	40 km-50 km	30 km-40 km	30 km 以内的区域
限制性因素	-	-	-	生态红线、水体、高速公路	其他区域	-	-	-	-

附件 2 中国各省份风电和太阳能发电发展政策和规划

区域	目标	政策文件
北京	2025 年太阳能、风电总装机容量达到 280 万千瓦；到 2030 年，太阳能、风电总装机容量达到 500 万千瓦左右。	《北京市碳达峰实施方案》
天津	到 2025 年，风电装机规模达到 200 万千瓦，光伏装机规模达到 560 万千瓦。	《天津市可再生能源发展“十四五”规划》
河北	到 2025 年，风电、光伏发电装机容量分别达到 4300 万千瓦、5400 万千瓦。	《河北省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》
辽宁	到 2025 年风电、光伏装机规模达到 3700 万千瓦以上。	《辽宁省“十四五”能源发展规划》
黑龙江	到 2025 年风电新增装机 1000 万千瓦；到 2025 年光电新增装机 550 万千瓦。	《黑龙江省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》
上海	2025 年、2030 年，风电装机容量分别力争达到 260 万千瓦、500 万千瓦。2025 年、2030 年，光伏装机容量分别力争达到 400 万千瓦、700 万千瓦。	《上海市碳达峰实施方案》、《上海市减污降碳协同增效实施方案》
江苏	到 2025 年，风电装机达到 2800 万千瓦以上，光伏发电装机达到 3500 万千瓦以上。	《江苏省“十四五”可再生能源发展专项规划》
浙江	“十四五”期间，全省新增海上风电、光伏装机翻一番，增量确保达到 1700 万千瓦力争达到 2000 万千瓦。新增光伏装机 1245 万千瓦以上，力争达到 1500 万千瓦。海上风电，新增装机 455 万千瓦以上，力争达到 500 万千瓦。	《浙江省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》、《浙江省能源发展“十四五”规划》
安徽	“十四五”期间，新增并网风电、光伏发电装机 1800 万千瓦左右，风光装机力争实现倍增。其中光伏新增 1430 万千瓦，风电新增 388 万千瓦，	《安徽省能源发展“十四五”规划》
福建	2025 年电力规划装机风电 900 万千瓦、占 10.6%，新增 410 万千瓦；光伏装机 500 万千瓦、占 5.9%，新增 300 万千瓦。	《福建省“十四五”能源发展专项规划》

区域	目标	政策文件
河南	到 2025 年，风电累计并网容量达到 2700 万千瓦以上；光伏发电并网容量达到 2000 万千瓦以上。	《河南省碳达峰实施方案》
湖北	新增风电装机 500 万千瓦；新增光伏发电装机 1500 万千瓦。	《湖北省能源发展“十四五”规划》
湖南	到 2025 年全省风电、光伏发电装机规模达到 2500 万千瓦以上。	《湖南省发展和改革委员会关于全省“十四五”风电、光伏发电项目开发建设有关事项的通知》
广东	规模化开发海上风电，打造粤东粤西两个千万千瓦级海上风电基地；到 2030 年，风电和光伏发电装机容量达到 7400 万千瓦以上。	《广东省碳达峰实施方案》
广西	新增集中式光伏并网装机规模不低于 1000 万千瓦；新增陆上风电并网装机规模不低于 1500 万千瓦。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 7000 万千瓦左右。	《广西壮族自治区碳达峰实施方案》、《广西可再生能源发展“十四五”规划》
海南	到 2025 年，新增光伏发电装机 400 万千瓦，投产风电装机约 200 万千瓦。	《海南省碳达峰实施方案》
重庆	力争到 2025 年全市清洁能源装机规模约 2000 万千瓦，在全市装机占比提高至 55%。	《重庆市能源发展“十四五”规划（2021—2025 年）》
贵州	到 2025 年光伏、风电和生物质发电装机容量分别达 3100 万千瓦、1080 万千瓦、60 万千瓦；到 2030 年光伏、风电和生物质发电装机容量分别提高到 6000 万千瓦、1500 万千瓦、80 万千瓦以上。	《贵州省碳达峰实施方案》
陕西	到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 8000 万千瓦以上。	《陕西省碳达峰实施方案》
甘肃	到 2025 年，建成分布式光伏发电 350 万千瓦，全省储能装机规模达到 600 万千瓦。风电新增装机总投资约 1500 亿元，各类太阳能发电新增装机总投资约 1400 亿元。	《甘肃省“十四五”能源发展规划》
青海	2025 年光伏发电 4580 万千瓦，风电 1650 万千瓦。	《青海省碳达峰实施方案》
宁夏	重点依托沙漠、戈壁、荒漠、采煤沉陷区等建设一批百万千瓦风电光伏基地；“十四五”期间，建设 1400 万千瓦光伏和 450 万千瓦风电项目。	《宁夏回族自治区应对气候变化“十四五”规划》
新疆	到 2025 年，新疆新能源并网装机有望达 11600 万千瓦以上，超过新疆能源总装机的一半，风光项目装机将成为新疆新增装机的主要来源。	国网新疆电力有限公司能源大数据中心
西藏	加快发展光伏太阳能、装机容量突破 1000 万千瓦。	《中共西藏自治区委员会关于制定国民经济和社会发展“十四五”规划和二〇三五年远景目标的建议》

