

竞相登顶

2023 中国





关于GLOBAL ENERGY MONITOR

Global Energy Monitor是一家研究全球能源项目信息的非营利研究机构。Global Energy Monitor通过其[Global Solar Power Tracker](#)及[Global Wind Power Tracker](#)项目,提供公用事业规模的光伏发电及风电设施的年度最新消息。Global Energy Monitor数据已获国际能源署(IEA)、经合组织环境理事会、联合国环境规划署、美国财政部及世界银行等机构采用。了解更多信息,请访问www.globalenergymonitor.org。

作者

Dorothy Mei, Global Energy Monitor项目经理
Martin Weil, Global Energy Monitor研究员
Shradhey Prasad, Global Wind Power Tracker项目经理
Kasandra O'Malia, Global Solar Power Tracker项目经理
Ingrid Behrsin, Global Energy Monitor的Renewables & Other Power项目总监。

关于封面

封面照片为中国江苏省盐城东台池塘的一座光伏发电厂和一台风力涡轮机。图像来自iStock的shenjun gong。

编辑及制作

TedNace, XingZhang, LauriMyllyvirta, FloraChampenois, David Hoffman及Carolina Chau为稿件提供修改建议。Amanda DeBord负责文字编辑。Shradhey Prasad, Kasandra O'Malia负责图表制作。David Van Ness负责设计及页面布局。

权限/版权

本出版物可全部或部分以任何形式复制,用于教育或非营利目的,无需版权所有人特别授权,但需注明来源。未经版权所有人书面授权,不得将本出版物用于转售或其他商业目的。版权所有© 2023年6月Global Energy Monitor。

其他资源

有关拟议及现有光伏发电项目的更多数据,请参阅Global Solar Power Tracker的[汇总数据](#)。有关基于Global Solar Power Tracker数据的报告链接,请参阅[报告及简报](#)。如需获得Global Solar Power Tracker的主要数据,请参阅[下载数据](#)。

有关拟议及现有风电项目的更多数据,请参阅Global Wind Power Tracker的[汇总数据](#)。有关基于Global Wind Power Tracker数据的报告链接,请参阅[报告及简报](#)。如需获得Global Wind Power Tracker的主要数据,请参阅[下载数据](#)。

有关本报告所用计算方法的补充资料,请参阅我们的[方法百科页面](#)。

致谢

本报告由Quadrature Climate Foundation大力支持。

媒体联络

Dorothy Mei
Global Energy Monitor项目经理
+1 408-609-6041
dorothy.mei@globalenergymonitor.org

竞相登顶：中国

能源安全战略引领风电光伏高速发展

Dorothy Mei、Martin Weil、Shradhey Prasad、Kasandra O'Malia、Ingrid Behrsin

摘要

在过去的15年里,中国一直致力于可再生能源发展,已成为全球可再生能源的领先者,拥有全球近一半的**风电**及**光伏**发电装机容量。这一具有雄心壮志的举措已遍布全国:各省及大多数市县都在开发大型公用事业规模的¹光伏发电和风电项目。重点位于华北及西北沙漠地区的大型风电光伏基地,为中国的可再生能源雄心计划提供坚定后盾,其潜在装机容量有望超过美国2022年的风电及光伏发电总**装机容量**。这些基地将成为中国可再生能源扩张的核心,也是中国总体能源安全战略的基石。在一系列的激励措施和监管政策的推动下,中国迅速跻身全球风电及光伏发电领域的领先地位。展望未来,中国将通过实施雄心勃勃的能源发展计划,采用创新方法解决风电和光伏发电存在的间歇性及波动性问题,从而确保更加安全的能源未来,并继续保持其领先地位。

关键信息：

- 中国的大型公用事业规模光伏发电运行装机容量已达到228吉瓦,超过全球其他地区的容量总和。这些设施主要集中于华北及西北省份地区,其中,山西、新疆及河北位居前三。
- 中国陆上和海上风电装机容量比2017年翻了一番,目前已超过310吉瓦。风能装机容量重点集中在华北和西北地区。其中,内蒙古、河北及新疆位居前三。
- 海上风电装机容量已达到31.4吉瓦,约占中国风电装机总容量的10%,超过整个欧洲的海上风电装机容量。
- 中国计划在2025年底,完成部署大约379吉瓦的大型公用事业规模光伏装机容量和371吉瓦的风电装机容量中的绝大部分项目。我们有信心认为,各省市风光规划

1. GEM当前数据收录标准:光伏项目(装机容量20兆瓦及以上),风电项目(装机容量10兆瓦及以上)。

总目标(约1,371吉瓦)极有可能实现,并且将超过中央政府设定的在2030年前达到1,200吉瓦的目标。这一预期装机容量足以使全球风电装机容量增加近50%,并使全球大型公用事业规模光伏发电装机容量在当前水平的基础上增加85%以上。

- 目前,中国正在积极推进储能与新建风、光发电场相结合,积极探索“源网荷储一体化”管理系统,并打造数十座采用可再生能源作为动力源的绿色制氢工厂。
- 尽管所有这类技术措施均有助于减少风电和光伏发电的间歇性问题,但目前的发展速度和发电规模尚不足以促使煤电实现角色转变,真正发挥“兜底保障”作用。按照目前的设想,西北地区新的可再生能源大型基地可能会将风电和光伏发电与新建的燃煤电厂的发电量对标。

1. 区域背景

尽管中国是全球最大的能源消费国和温室气体排放国,但近年来,中国已成为可再生能源领域的全球领先者。目前在风电和光伏发电方面均居世界首位,分别占世界累计总装机容量的三分之一以上。

自21世纪初以来,中国政府便大力投资可再生能源,以解决该国日益增长的能源需求和污染问题。据彭博新能源财经报道,2022年全球可再生能源投资首次接近5,000亿美元,而中国占全球投资总额的55%。具体来说,中国在新建光伏发电设施上投资了1,640亿美元,在新建风电设施上投资了1,090亿美元,超过美国及欧洲的投资总和。

为了实现2030年前碳排放达到峰值、2060年前实现碳中和的既定目标,中国正在加速推进可再生能源发展。Global Energy Monitor的Global Solar Power Tracker和Global Wind Power Tracker已确定了约379吉瓦的²大型公用事业光伏发电预期装机容量和371吉瓦的风电预期装机容量,大致相当于中国目前所安装的累计运行装机容量。这些项目中的绝大部分预计将在“十四五”规划(2021年-2025年)³期间完成,另外一些大型项目预计将在2030年前完成。凭借如此庞大的项目储备,毫无疑问,中国将持续其在全球可再生能源领域的领先势头,甚至可能会加速发展。

2. 预期新增项目是指处于项目公布、施工准备或正在施工阶段的项目。
3. “十四五”规划指2021年至2025年期间中国经济社会发展五年规划。

2.中国大型公用事业规模光伏发电和风电运行装机容量

全国运行装机容量概况

截至2023年第一季度,根据GEM的Global Solar Power Tracker记录,中国拥有近**228吉瓦**⁴的大型公用事业规模光伏发电运行装机容量,使其成为全球该领域装机容量最大的国家。约占整个亚洲地区大型公用事业规模光伏发电总装机容量的75%,以及全球的52%。

中国陆上及海上风电装机容量总和已超过**310吉瓦**,⁵大致相当于全球排名其他**前七个国家**风电装机容量的

总和。其中,海上风电运行装机容量已达到31.4吉瓦,约占中国风电总装机容量的10%,几乎相当于美国海上风电预期装机容量(36吉瓦)。

尽管光伏发电和风电装机容量逐年增长,但大型公用事业规模光伏发电的增长速度是风电的两倍多。2022年,已投产的大型公用事业规模光伏发电项目的增长率约为22%,而风电的增长率为9%(图1和图2)。

图1:按年份划分的大型公用事业规模光伏发电总运行装机容量

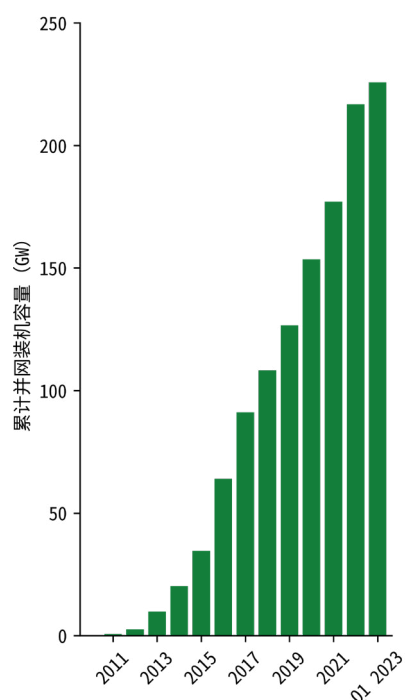
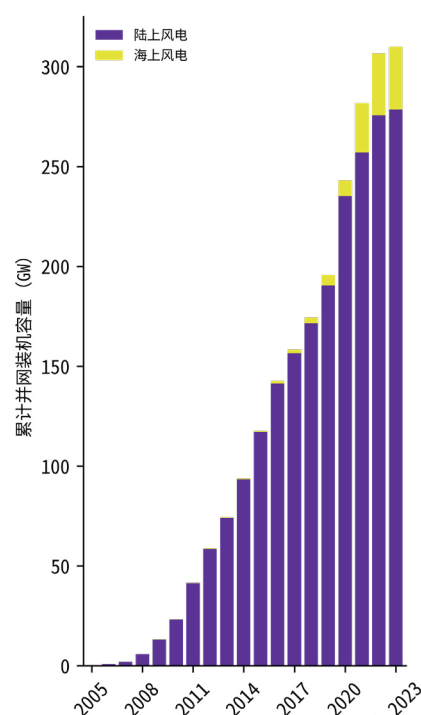


图2:按年份划分的陆上和海上风电总运行装机容量



4. 据报道,截至2022年底,中国光伏发电总运行装机容量为**392吉瓦**。该数字涵盖各种规模的光伏发电设施,包括屋顶、商业/工业、小型公用事业和大型公用事业规模项目。GEM的光伏追踪数据仅收录装机容量为20兆瓦及以上的大型公用事业规模光伏发电项目。

5. 据报道,截至2022年底,中国风电累计并网装机容量为**365吉瓦**。这个数字涵盖所有规模的项目。GEM的风电追踪数据仅收录装机容量为10兆瓦或以上的风电项目。

大型公用事业规模光伏发电和风电装机容量的省级分布

大多数运行的大型公用事业规模光伏发电设施集中在华北和西北部省份(下页图1)。山西、新疆及河北位居前三。山西省曾被称为中国的**煤炭**之都,而现在在大型公用事业规模光伏发电运行装机容量方面处于全国领先地位。拥有近19吉瓦的大型公用事业规模光伏发电装机容量。新疆及河北省紧随其后,两者均拥有**丰富的**可再生能源,装机容量分别约为17吉瓦和16吉瓦。这三个省份地区的总装机容量达到52吉瓦,超过2022年美国大型公用事业规模光伏发电总运行装机容量。

华北和西北地区拥有最多的风电运行装机容量(下页图2)。截至2023年第一季度,内蒙古的陆上风电运行装机

容量约为41吉瓦,居中国各省份地区之首。河北和新疆紧随其后,各拥有22.9吉瓦的风电运行装机容量。仅前三个省份地区的装机容量之和(约87吉瓦)就超过了巴西、西班牙和加拿大风电运行**装机容量**的总和(62吉瓦)。

大部分海上风电装机容量(75%)主要位于江苏、广东和福建等省份。其中,拥有中国最大海上风电场(**江苏启东海****上风电场**)的江苏贡献最大,约为12吉瓦,占总量的37%。广东和福建分别位居第二和第三,为中国的海上风电总装机容量分别贡献了8.5吉瓦和3.5吉瓦。

图3:按省份划分的大型公用事业规模光伏发电和风电运行装机容量

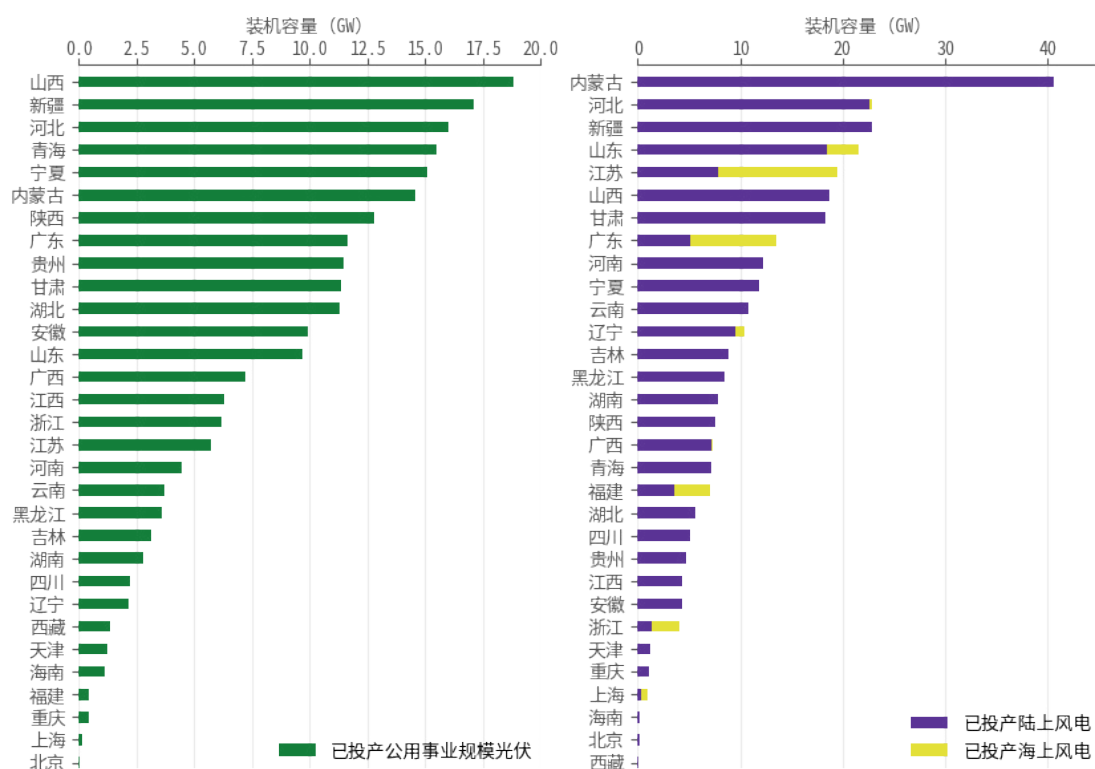


图1:中国大型公用事业规模光伏发电运行装机容量分布

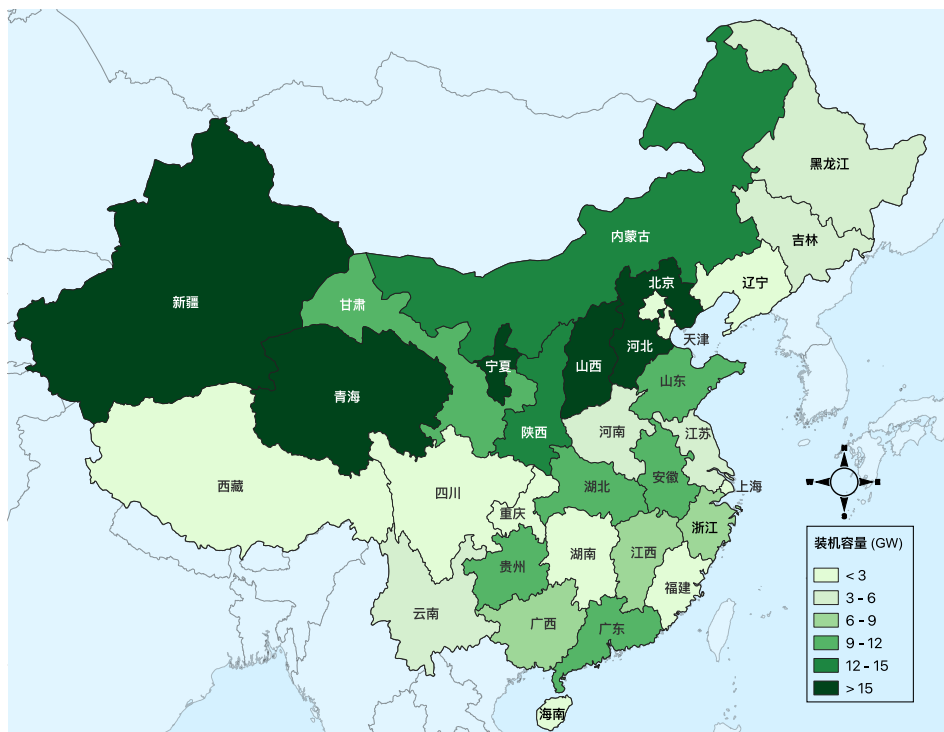
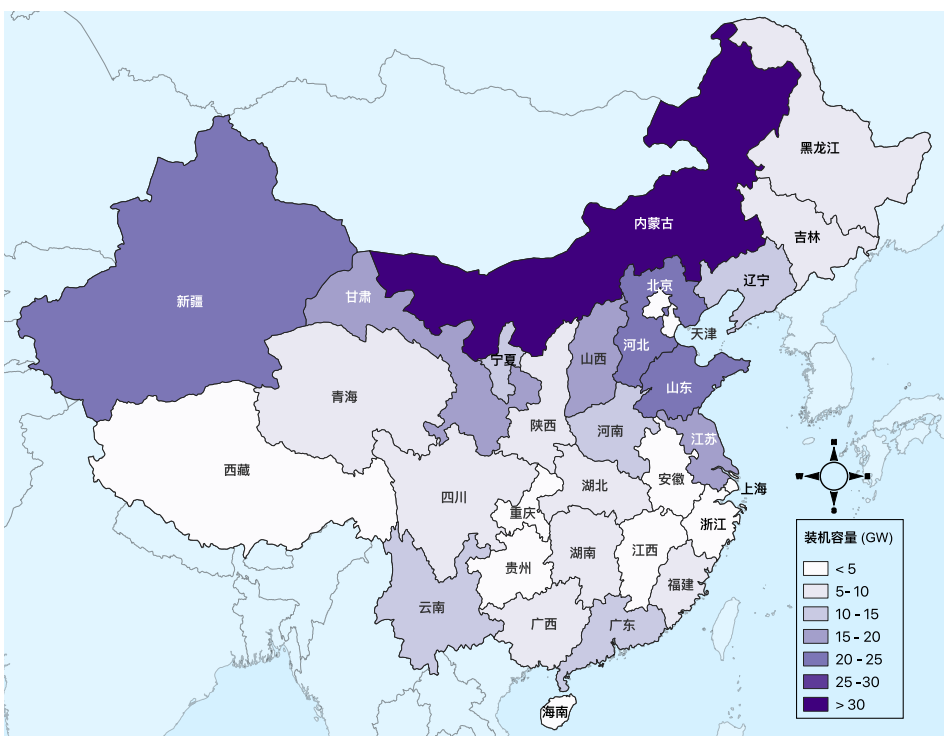


图2:中国风电运行装机容量分布



3.中国大型公用事业规模光伏发电和风电预期装机容量

全国预期装机容量概况

2020年12月,中国国家主席习近平宣布,到2030年,中国风电、光伏发电总装机容量将达到**1200吉瓦以上**,非化石能源占一次能源消费比重将达到**25%左右**。实际上,达到25%的目标**则需要**远超1,200吉瓦的风电和光伏发电装机容量。尽管如此,这仍是中国实现“**双碳**”承诺的关键举措,即二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,并争取在2060年前实现碳中和。

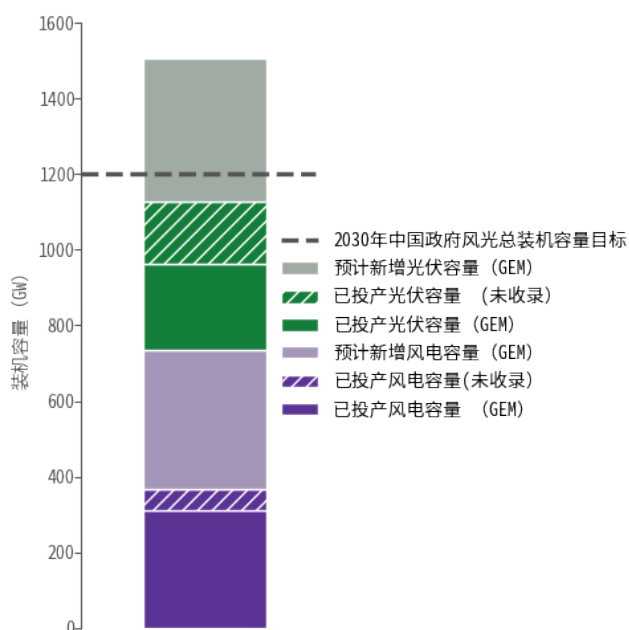
为了实现这些目标,中央政府和各省级政府均为“十四五”规划制定了雄心勃勃的光伏发电和风电发展目标。国家“十四五”规划重申了中国致力于通过加大光伏发电和风电项目部署实现可再生能源目标的决心,而全国各地的省级政府也陆续制定了更加具体和更具雄心的风电和太阳能⁶装机目标,旨在到2025年完成。通过梳理多数省份已出台的明确目标,结合对未披露或目标不够具体的省份的目标估计⁷,截止2025年,各省风电和光伏发电装机容量累计目标约为1,371吉瓦,如表1所示(见下页)。

截至2023年第一季度,GEM已确定约371吉瓦的风电预期新增装机容量和379吉瓦的大型公用事业规模光伏发电预期新增装机容量。随着更多新项目陆续公布,这些数字还将不断增长。根据往期**记录**,中国在前三个五年规划(“十一五”规划、“十二五”规划和“十三五”规划)中均超额完成了可再生能源发展目标。鉴于此惯例,加之当前实

现“双碳”目标的决心,这些预期项目极有可能得到成功部署。

如果所有预期项目均按计划建成并投产,除了GEM已确认的运行装机容量(大型公用事业规模光伏发电228吉瓦,风电310吉瓦),中国很可能会提前五年实现并超额完成其2030年风电和光伏发电总装机容量1,200吉瓦的目标。⁸

图4:已运行、预期新增风光发电装机容量和2030年中央政府目标关系图⁹



6. 省级光伏发电装机目标涵盖了从大型设施到屋顶设施在内的各种规模设施的总装机容量。

7. 了解更多详情, 请参阅我们的**方法**页面。

8. 由于GEM仅收录装机容量达到20兆瓦规模的光伏发电项目, 如果所有大型公用事业规模项目和其他规模的项目均能顺利落实, 那么到2025年, 光伏发电总装机容量将大大超过GEM目前所确定的数值。

9. 关于该图更多详情, 请参阅我们的**方法**页面。

表1:中国风电及光伏发电装机容量:已投产装机容量、预期装机容量及“十四五”规划目标(按省份字母顺序排列)^{10,11}

省	光伏 运行装机容量 (兆瓦) ¹²	光伏 预期装机容量 (兆瓦) ¹²	中国“十四五”规 划累计 光伏发电目标 ¹³	风电 运行装机容量 (兆瓦)	风电 预期装机容量 (兆瓦)	中国“十四五”规 划累计 风电目标 (兆瓦)
中国	227,761	378,622	771,551	310,274	371,075	599,080
安徽	9,956	7,692	28,000	4,306	5,273	8000
北京	51	20	2,510	236	0	300
重庆	425	400	1,850	1,093	750	1850
福建	451	45	5,000	7,085	6,068	9000
甘肃	11,364	20,393	41,690	18,377	20,746	38530
广东	11,677	16,532	28,000	13,580	37,413	32000
广西	7,241	19,603	15,000	7,286	28,817	24500
贵州	11,492	14,885	31,000	4,777	12,173	10800
海南	1,105	100	7,458	248	6,900	12300
河北	16,018	28,314	54,000	22,910	12,631	43000
黑龙江	3,614	2,765	10,500	8,540	9,640	19000
河南	4,477	2,590	33,330	12,282	13,274	27000
湖北	11,287	5,738	22,000	5,707	3,898	10000
湖南	2,791	26,110	13,000	7,862	23,460	12000
内蒙古	14,569	34,214	45,000	40,584	69,653	89000
江苏	5,731	7,556	35,000	19,519	3,209	28000
江西	6,326	9,081	24,000	4,314	1,774	7000
吉林	3,131	1,031	8,000	8,830	8,667	22000
辽宁	2,145	3,869	10,000	10,469	17,744	17800
宁夏	15,087	20,925	32,500	11,824	6,351	17500
青海	15,488	19,915	45,800	7,228	4,672	16500
陕西	12,810	18,963	31,962	7,564	8,414	25000
山东	9,685	33,088	57,000	21,528	6,736	25000
上海	132	44	4,648	1,048	1,106	2600
山西	18,829	13,900	50,000	18,776	7,915	30000
四川	2,225	1,540	10,000	5,085	3,734	10000
天津	1,241	8,315	5,600	1,313	5,278	2000
西藏	1,385	70	10,000	72	150	未找到
新疆	17,098	56,422	33,540	22,908	31,640	52000
云南	3,730	3,121	47,163	10,883	7,969	未找到
浙江	6,203	1,381	28,000	4,042	5,022	6400

10. 有关本表格的更多详情及参考资料, 请参阅我们的[方法页面](#)。11. 省级光伏发电及风电发展目标均来自官方数据。以橙色标注显示的省级目标是在无法获得或未有明确目标说明的情况下估计所得。了解更多详情, 请参阅我们的[方法页面](#)。

12. GEM的光伏发电装机容量数据包含大型公用事业规模项目, 不包括装机容量低于20兆瓦的任何项目。

13. 省级光伏发电装机目标涵盖了从大型设施到屋顶设施在内的各种规模设施的总装机容量。

光伏激增:引领实现1200吉瓦目标

通过对各省“十四五”规划所制定的光伏发电装机容量目标进行梳理和估计,总规划装机容量累计约772吉瓦,预计将在实现2030年1,200吉瓦风光发电总装机容量目标过程中发挥主导作用(见表1)。¹⁴截至2022年,中国光伏发电累计并网容量约**392吉瓦**,涵盖从大型集中式光伏到分布式光伏的所有规模电站。这意味着还需新增约380吉

瓦的装机容量才能实现省级总目标。除了Global Solar Power Tracker确定的379吉瓦的大型公用事业规模预期新增装机容量以外,如果分布式和小型公用事业规模设施跟上大型项目的步伐,则各省极有可能大幅超额完成其目标。379吉瓦相当于美国预期新增装机容量的三倍,是整个欧洲的1.7倍。

图3:中国大型公用事业规模光伏发电预期装机容量

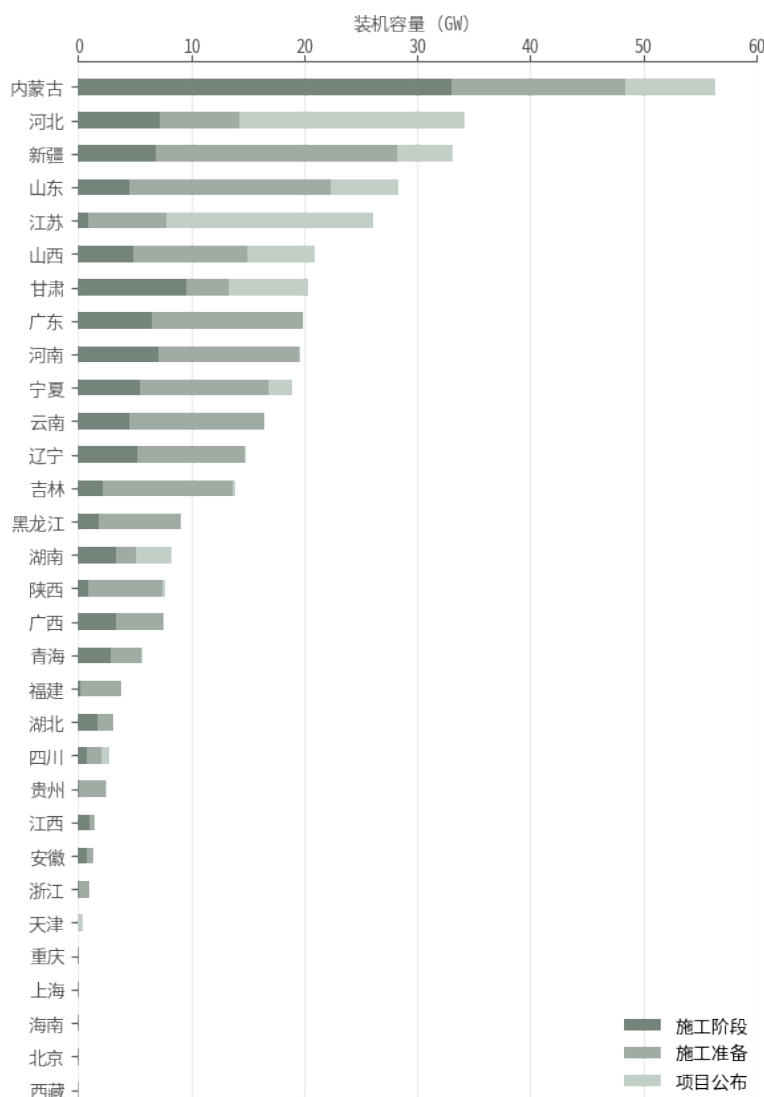


14. 省级光伏发电装机目标涵盖了从大型设施到屋顶设施在内的各种规模设施的总装机容量。

大型公用事业规模光伏发电预期装机容量最大的前三个省份为新疆、内蒙古及山东, 分别超过56吉瓦、34吉瓦及33吉瓦。河北省在运行装机容量方面位居首位, 而预期新增装机容量为28吉瓦, 位居第四。尽管湖南省的多数光伏

项目规模相较于北方地区的项目要小, 但值得注意的是, 根据Global Solar Power Tracker的数据, 该省于“十四五”规划期间计划发展的大型公用事业规模光伏发电场数量最多, 使其排名跻身前五(见图5)。

图5:按省份/项目状态(在建、建设前、已公布)划分的大型公用事业规模光伏发电预期装机容量



超越目标:新增风电容量将超过“十四五”规划目标

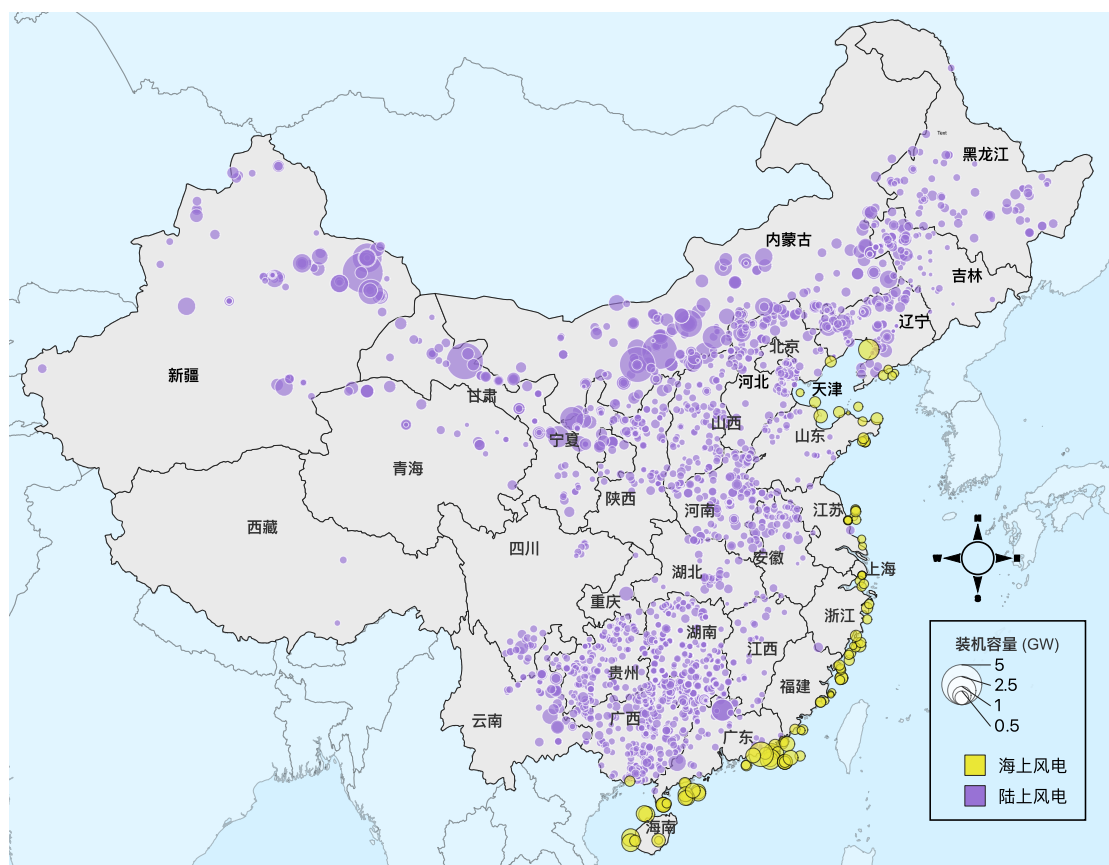
省级“十四五”规划风电装机容量目标约为599吉瓦(见表1)。截至2022年,根据中国政府数据统计,中国风电累计运行装机容量约为365吉瓦,包括所有规模的装机容量。这意味着还需安装234吉瓦的风电装机容量才能实现省级总目标。截至目前,根据GEM的数据统计,中国风电运行装机容量已达到约310吉瓦,距离实现省级总目标还有约289吉瓦的差距。然而,截至2023年第一季度,Global Wind Power Tracker所确定的预期新增装机容量(372吉瓦)已经超过该值的29%。

根据Global Energy Monitor的风电数据显示,计划在2025年和2030年之前完成实施的陆上风电新增装机容量约为311吉瓦,海上风电新增装机容量约为60.5吉瓦。

这些项目遍布全国各地,其中,陆上风电主要位于华北及西北地区,包括内蒙古、新疆及甘肃等地,而海上风电场则位于东部和东南沿海地区,如广东、浙江和海南等省份(见图4)。

在陆上风电方面,内蒙古将保持领先地位,正在筹划的预期新增装机容量近乎70吉瓦。这可归因于该地区在建和正在开发的大型风光大基地。新疆设定的2025可再生能源发展目标在各省份地区中最高,其中陆上风电预期装机容量方面位居第二,计划新增约32吉瓦的陆上风电。广西位居第三,计划新增超过29吉瓦的陆上风电装机容量。

图4:中国风电场预期装机容量



中国的海上风电发展将延续强劲势头。在中国沿海省份中(见图4), 广东的海上风电场预期装机容量位居首位, 约为30吉瓦。海南位居第二, 海上风电预期装机容量约为7吉瓦。

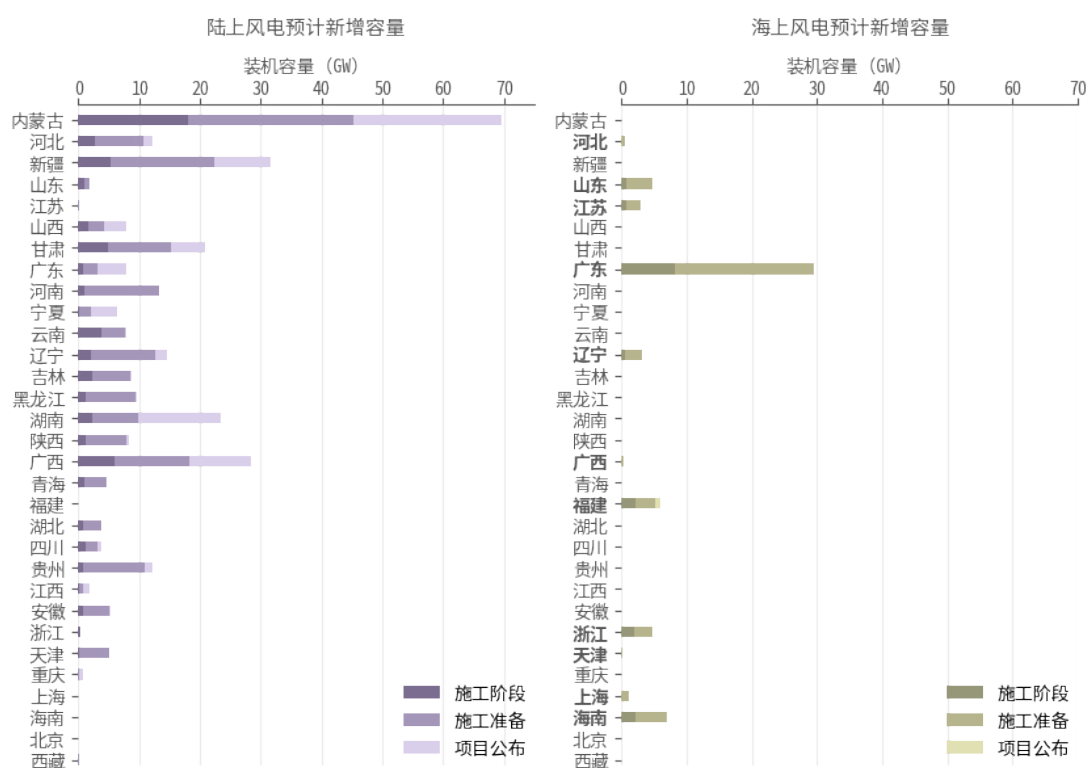
中国大型风电光伏基地

在风力和太阳能资源较为稀少的地区持续推动可再生能源发展的同时, 中国中央政府也正在内蒙古和西北干旱地区大刀阔斧地开发“大型风电光伏基地”(“风光大基地”)¹⁵, 这些地区拥有最为丰富的风力和太阳能资源, 是中国中期可再生能源战略的重点发展区域。风光大基地的兴建将对实现风电和光伏发电目标发挥关键作用。

“十四五”规划期间, 福建、山东、浙江和江苏被列为四大新兴海上风电基地, 预期装机容量分别为6吉瓦、4.9吉瓦、4.8吉瓦和3吉瓦(见图6)。

国家发展和改革委员会(“国家发改委”)于2021年12月发布了第一批以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电、光伏基地建设项目清单的通知, 总计97吉瓦(西北和内蒙古60.7吉瓦), 目标竣工日期为2022年至2023年。Global Wind Power Tracker和Global Solar Power Tracker资料显示, 第一批基地的大部分项目正在按计划进行, 且很可能在2023年年底或之后不久完成。

图6: 按省份/项目状态(在建、建设前期、已公布)划分的陆上及海上风电预期装机容量



15. “风光大基地”主要布局于沙漠、戈壁、荒漠地区, 拥有地域广阔, 风力资源丰富, 太阳辐射强等得天独厚的优势。这些基地的特点是同时建设多个大型风电和光伏园区, 每个园区都能产生千兆瓦级的电力。利用该地区广阔的可用土地和有利的环境条件广泛部署风力涡轮机和太阳能电池板。除此以外, 为了高效地将基地所产生的电力输送到需求中心, 基地也在大力发展长距离输电线路等配套基础设施。

这类基地的典型示例包括内蒙古库布其200万千瓦光伏治沙项目;旨在通过长距离输电线路向豫南输送电力的青海省1.5吉瓦风电项目(4个子项目)、3.5吉瓦光伏项目(8个子项目)、300兆瓦光热项目(3个子项目);以及为通过660公里线路往河北省南部输电的陕北2.2吉瓦光伏项目(7个子项目)和800兆瓦风电项目(3个子项目)。

国家发改委于2022年2月发布了规模更大的《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》。要求到2030年总计将完成455吉瓦的装机容量,其中“十四五”规划(2021年-2025年)期间完成200吉瓦,“十五五”规划(2026年-2030年)期间完成255吉瓦。位于内蒙古、宁夏和甘肃的库布其、乌兰布和、腾格里、巴丹吉林四大沙漠地区将规划约258吉瓦的新能源装机容量,其中三分之

二以上发电量计划通过长距离输电线路输送到东部电力需求旺盛地区,其余部分就地消纳。

与以往大多数基地项目(小型子项目被分配给不同的开发商)不同,中央政府计划让规模最大、财力最雄厚的国有发电集团承担开发10吉瓦或更大规模的项目。到目前为止,四大沙漠风光大基地的开发商选择结果已公布,如下表2所示。

“十四五”期间,四大沙漠基地规划完成约128吉瓦装机容量。然而,截至2023年初,唯一宣布正在建设中的项目是位于库布其北部的沙漠光伏项目和宁夏腾格里沙漠光伏项目,规模均为1吉瓦。其他项目似乎都处于可行性研究以及办理审批手续阶段。

表2:中国西北部沙漠地区大型风电光伏基地

新能源基地名称	开发商	风电装机容量	光伏发电装机容量	总装机容量
内蒙古库布齐沙漠中北部新能源基地	中国三峡集团	4吉瓦	8吉瓦	12吉瓦
内蒙古库布齐沙漠南部新能源基地	中国华能集团	4吉瓦	8吉瓦	12吉瓦
宁夏东南部腾格里沙漠新能源基地	中国能源投资集团	1.8吉瓦	9吉瓦	11吉瓦
<u>内蒙古腾格里沙漠新能源基地</u>	中国华电集团	4吉瓦	8.8吉瓦	12.8吉瓦
甘肃腾格里沙漠新能源基地	甘肃省电力投资集团	未公布	未公布	6吉瓦
甘肃巴丹吉林沙漠新能源基地	中国能源投资集团	4.3吉瓦	6.7吉瓦	11吉瓦
甘肃巴丹吉林沙漠新能源基地	甘肃省电力投资集团	未公布	未公布	6吉瓦

4.多重有利因素助力风光发展

中国风、光发电在全国范围内的大力发展，首先要归功于中国政府在过去15年里对可再生能源发展的高度重视。政府采取了一系列政策和激励措施，既鼓励各方生产可再生能源，又力促各方积极消纳。政府还确保为发电厂本身以及建设所需的供应链和基础设施提供融资支

关键性激励措施

中国政府推动可再生能源建设迅速发展的政策可大致分为两大类：激励性政策和力促性政策。对风电和光伏发电项目进行慷慨的上网电价补贴是第一种关键措施之一，该项措施于2021年退出。

2009年，政府根据风力资源的状况，将陆上风电厂的电价定为0.51元至0.61元/千瓦时，比当时的燃煤电厂平均上网电价高出约67-100%。光伏发电补贴始于2011年，上网电价定为1元/千瓦时，是现行煤电价格的三倍多。

随着可再生能源投资成本的下降，补贴在过去十年中分阶段减少，并于2021年开始取消大多数新建风电和光伏发电项目的补贴。然而，由于海上风电项目的投资成本持续偏高，部分省级政府已宣布对未来海上风电项目继续实行投资或上网电价补贴直至2023年，而部分则承诺至2026年。

未来，由于下游电力用户面临完成可再生能源消纳责任权重的压力，风电和光伏发电企业有可能通过出售“绿色电力证书”来获得额外收益。中国政府还在为确保可再生

持。凭借着资金支持优势和巨大的国内市场商机，中国的供应商不断降低成本，使可再生能源发展在经济上具有竞争力和可持续性，同时也跻身全球最大的太阳能电池板供应商和风力涡轮机部件的领先制造商之一。

能源项目获得有利调度并保障其收益方面做了重大努力，当新建的可在再生能源发电设施与煤电成本竞争力相当时，通过将部分产出的上网电价与政府基准煤电价格挂钩来保障其收入。

有利的税收优惠政策也是吸引投资者的另一个激励措施。2008年，中央政府允许从当时17%（现为13%）的电力销售增值税中给予风电企业50%的退税，这一优惠政策后来扩展到光伏电站。2009年出台的一项法规免除了可再生能源项目业主在运营前三年的全部所得税，并在第4至6年将25%的税率减半。

最后，政府以优惠条件为风电和光伏发电项目开发商确保充足的融资流动。至少从2009年起，大型国有银行就开始向可再生能源开发商提供15年期贷款。根据2021年宣布的碳减排贷款计划，该计划允许大型国有商业银行以非常优惠的条件从中国央行获得资金，并以3.85%的利率向风电和光伏发电项目开发商提供贷款。多年来，中国累计为风电及光伏发电项目提供贷款超过2,500亿美元。

强制性法令法规

除了提供激励措施,中国政府还对发电企业和省级政府设定要求并施加压力,从而实现可再生能源发展目标。

大型可再生能源基地的开发是由国家和希望获得投资的地方政府协同发起,国有发电企业面临着不得不参与其中的压力。政府还为大型发电企业制定了具体的可再生能源发展目标,例如,到2020年可再生能源发电量至少占总发电量的9%。此外,还探讨将可再生能源发电量与燃煤电厂化石能源发电量挂钩,以获得有利调度。

迄今为止,促使大型公用事业规模光伏发电和风电项目部署的最重要的强制性措施包括制定年度省级非水电可再生能源电力消纳量百分比的最低目标。中央政府对省

级绩效进行详细审核,而购买可再生能源发电企业颁发的“绿色电力证书”成为核算省级终端电力用户可再生能源消费量的重要凭证。

在全国范围内,2021年风电和光伏发电占全国电力生产和消费的11.5%,2022年上升至13.4%。除新疆以外的所有省份均已完成其2021年非水电可再生能源电力使用目标,很多省份还超额完成目标,幅度范围在0.5至4.4个百分点不等。2022年,中央政府将目标上调了1至2个百分点,表明了对各省超额完成任务的内在期望。如果继续保持过去两年风电和光伏发电的增长势头,中国有望实现到2030年非水电可再生能源电力消费占比达到25.9%的目标。

清洁能源原材料供应链优势是中国成功的关键

中国在全球可再生能源供应链,尤其是在风电和光伏方面的主导地位,对本国风、光发电行业的起飞起到至关重要的作用。

由于多年来政府在致力于发展强大的国内产业方面所进行的政策支持和投资,中国在光伏发电制造的各个环节,包括多晶硅、多晶硅锭、晶圆、电池和组件等方面所占全球份额超过了80%。“十五”规划(2001年-2005年)为扩大太阳能光伏电池和组件生产规模奠定了基础,而“十一五”规划(2006年-2010年)则强调了促进国内多晶硅及设备的生产。根据国际能源署(IEA)的资料,自2011年以来,中国已在新增光伏供应能力方面投资超过500亿美元,是同期欧洲投资额的十倍,并在整个太阳能光伏价值链中创造超过30万个制造业就业岗位。

中国的风力涡轮机制造业也同样占据全球市场的主导地位,在十大风力涡轮机制造商中有七家是中国公司。而在2005年之前,中国的风力涡轮叶片完全依赖进口。2005年,国家发展和改革委员会发布通知,要求所有风电场的

至少70%的设备需自国内采购。到2009年,国产零部件已能满足中国85%以上的市场需求。

此外,中国在部分关键风力涡轮机矿物的加工和精炼业务方面占据主导地位,尤其是稀土元素(REE),从而进一步加强了中国作为风力涡轮机部件制造主要基地的地位。稀土元素对涡轮发电机的永磁体至关重要,而中国稀土产量占全球的60%,因此中国确保了这些关键材料的可靠供应,减少了在原材料方面对其他国家的依赖。自2013年以来,国产风电机组的市场占有率保持在95%以上。

通过上述的激励措施、法规和中央管理的投资等举措,中国在风能和光伏领域取得了全球领先地位。此外,还有一些特定的举措进一步促进了大型公用事业规模光伏发电和风电的推广。这些举措包括持续聚焦开发海上风电基地、投资长距离输电基础设施、光伏扶贫计划(SEPAP)和光伏领跑者计划(FPP)。

引领全球海上风电热潮

中国政府始终将海上风电作为优先发展的重点,从而推动了中国在海上风电装机容量方面处于世界领先地位。根据Global Wind Power Tracker的数据显示,中国海上风电约占总运行装机容量的10%,接近风电总预期装机容量的20%。尽管全球海上风电场的装机容量系数均高于陆上风电场,中国海上风电基地还具有额外的优势,即靠近沿海省份的最大负荷中心。

与其他国家一样,由于成本更高、技术更复杂,中国海上风电开发起步晚于陆上风电。然而,2010年至2011年,中央政府动员各沿海省份起草有关其管辖的近海水域(更远的水域由国家控制)的近海开发计划,并建立了项目开发、环境评估和审批的[监管框架](#)。

位于长江三角洲北部黄海广阔浅水区附近的江苏省,率先出台了一项为期15年的海上开发计划。2010年,中央政府通过竞标动员该地区的四个特许权项目(总计1吉瓦)支持江苏省的工作。到[2020年](#),江苏省的海上风电装机容量超过5吉瓦,接近全国总量的三分之二。到2021年底,总装机容量已跃升至11.3吉瓦,远远超过最初的15年计划目标。

位于南部的广东省在省级管辖水域拥有约[68吉瓦](#)的开发潜力,是第二个采取重大行动的省份。随着各种海洋利益的理清,在2010年代初的抢跑之后,中国稳步实施了一项

[修订后的2017年-2030年海上计划](#),要求在南海安装30吉瓦装机容量,截至2023年上半年,已有8.4吉瓦投入运行。

除了与越南接壤的广西省和位于南海的海南省外,其余所有沿海省份现在都有由国家或省级政府所有的发电企业运营的海上风电场。这些海上风电场远至离岸85公里处,大部分位于深度不到35米的所谓“浅水”水域。在广东,35至50米深度水域的系统性开发已经开始。为浅水项目设定的装机容量系数从广东省西部的低至[26%](#)至广东省及福建省东部靠近台湾海峡的高至[40-45%](#)。

所有东南沿海省份现均已启动大规模海上风电项目建设计划(图4)。除广东计划到2030年投产30吉瓦之外,福建、浙江、山东和江苏计划在“十四五”规划期间分别增加6吉瓦、4.9吉瓦、4.8吉瓦和3吉瓦海上风电。中央政府也在为其负责的“更远”的近海水域制定一项[计划](#)。中国的“热带天堂”海南岛拥有特殊条件,GEM风电数据库已确定了总计7吉瓦的预期项目。2018年到2021年期间,该省政治领导层对环境的担忧使其计划暂时搁置,其吸收如此大量新增电力的能力可能取决于该岛和广东省之间[第二条海底输电线路](#)的建设,或者取决于下游工业基础设施的发展,例如专门针对可再生能源的[绿色制氢](#)。

— 案例研究 —

对长距离输电基础设施的投资：
哈密(新疆)–郑州(河南)输电线路案例研究

中国的煤炭和可再生能源资源均不成比例地集中在人口相对稀少、负荷较轻的西北地区。为了将这些能源推向市场，中国政府已建成12条超高压长距离输电线路，将煤电和可再生能源发电从西北地区输送到人口更多、GDP更高但能源相对匮乏的东部地区。

长达2,190公里的新疆哈密-河南郑州) ±800千伏特高压直流输电线路便是其中一条，该输电线路与其相关的上游发电设施一起，作为支持未来几年计划的大规模西北可再生能源基地的典范。哈密-郑州特高压直流输电工程于2014年竣工，虽然主要用于输送可再生能源发电，但与其他类似的线路工程一样，始终是与煤电打捆送出。

2013年，中央政府核准建设8吉瓦的风电和1.25吉瓦的光伏发电项目，以为该线路供电。与此同时，2015年至2016年期间，国

有发电企业陆续投产了三座新的燃煤电厂，总装机容量为5.3吉瓦，2019年至2020年期间，又为该输电线路额外增加了1.3吉瓦燃煤装机容量，以缓解风电和光伏发电的间歇性问题。可再生能源发电与煤电装机容量比例为1.4:1，相较于电网公司之前的非正式标准略有松动，该标准要求最大装机容量比率为1.1:1，以确保电网稳定。

2020年，哈密-郑州直流线路累计外送40.9太瓦时电量，其中40.7%来自可再生能源电厂(意味着装机容量系数为23.4%)，其余59.3%来自燃煤电厂(意味着装机容量系数为52.4%)。2021年，该线路的输电量增至44.6太瓦时，但由于新的增量主要源自煤电(可能是往年新建燃煤电厂投产的结果)，可再生能源电量比例下降至35.8%。据报道，该线路输电装机容量为8吉瓦，因此仍有进一步增长空间。

— 案例研究 —

光伏扶贫计划：
宁夏中民投盐池光伏扶贫试点村级电站项目

认识到可再生能源在解决部分贫困地区贫困问题方面的潜力，国家能源局和国务院于2014年联合发布了一项光伏扶贫计划。该计划为期六年，目标是到2020年安装超过10吉瓦的光伏发电装机容量，惠及全国约35,000个村庄和200多万户家庭。该计划主要通过小型光伏项目支持极贫困县和农村，规模一般在100千瓦到300千瓦之间。

尽管该计划侧重规模较小的项目，但也建设了一些装机容量超过10兆瓦的大型项目，如宁夏中民投盐池光伏扶贫试点村级电站项目，即为通过该计划建成。中民投盐池光伏扶贫试点村级

电站项目由中国民生投资集团于2018年开发，是Global Solar Power Tracker记录的规模最大的“光伏扶贫计划”项目之一。该项目覆盖宁夏盐池县74个贫困村，总装机容量为234兆瓦，惠及9,146户家庭。

2020年，全国光伏扶贫计划项目全面完成，累计建成光伏扶贫电站规模为26.36吉瓦。项目规模方面，大多数项目均为小型分散式项目，仅有约5.6吉瓦与“光伏扶贫计划”相关的光伏项目符合Global Solar Power Tracker的纳入标准。

— 案例研究 —

光伏领跑者计划：
山西大同采煤沉陷区领跑者光伏示范基地

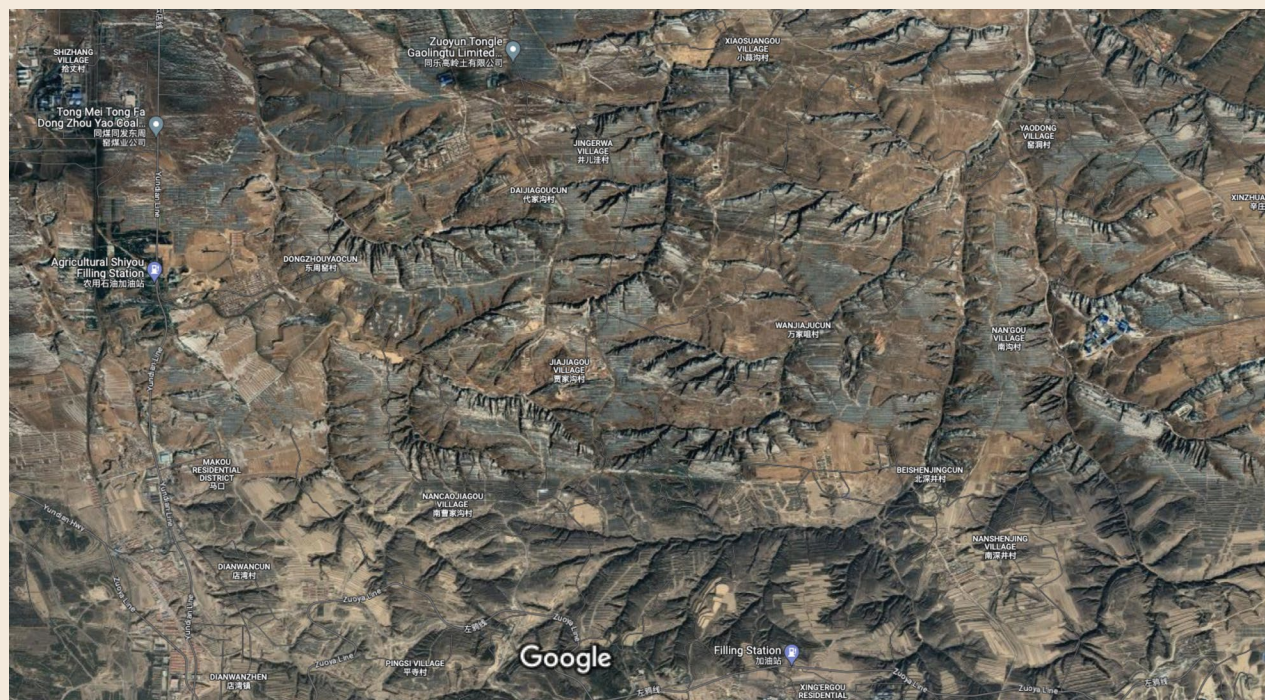
“光伏领跑者计划”由国家能源局于2015年牵头启动，旨在推动光伏技术的发展，降低建设成本和上网电价，并促进光伏产业全面升级。光伏发电领跑基地主要包括应用领跑基地和技术领跑基地两大类。从2015年到2017年，中国政府发布了三批光伏领跑者计划项目，总装机容量约为14吉瓦，分布在10个省份，主要集中在太阳能资源丰富的华北地区。

其中一个光伏领跑者计划示范基地是2015年由国家能源局批准的山西大同采煤沉陷区领跑者光伏示范基地。大同市是一个严重依赖煤炭资源的城市，由于长期大范围的煤炭开采，导致

沉陷面积达到1,687平方公里。该示范基地利用采煤沉陷区废弃土地建设了一座1吉瓦的光伏电站，其中包括七个100兆瓦项目和六个50兆瓦项目。

要想参与到光伏领跑者计划，国内光伏供应商必须符合一系列高标准要求，其中要求，多晶硅电池组件光电转换效率不低于16.5%，而单晶硅电池组件的转换效率不低于17%。该举措促使中国制造商开始将侧重点从多晶技术转向更为高效的单晶技术。随着部分龙头企业成为行业标杆，业内其他企业被迫提高产品质量和转化效率，从而带动整个行业的竞争和发展。

图7:山西大同采煤沉陷区领跑者光伏示范基地卫星图像



图像 ©2023 CNES / Airbus, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies, 图片数据 ©2023

5.放眼未来：趋势与发展

中国风光发电行业的新兴趋势包括源网荷储一体化、煤电与可再生能源结合、新型储能，以及绿色氢能的发展。

源网荷储一体化项目及多能互补

“十四五”规划期间，中国政府将推进源网荷储一体化以及多能互补发展，以优化能源体系，促进能源高效利用。随着风光发电在能源结构中的占比持续上升，间歇性和波动性问题也成为一大难关，推进这一举措有助于攻克该难题。目前，Global Solar Power Tracker和Global Wind Power Tracker已纳入超过27吉瓦的源网荷储一体化项目和超过17吉瓦的多能互补项目。该类项目规模较大，且主要集中在华北地区，预计竣工日期一般不迟于2025年。

“源网荷储一体化”是一种通过整合电源侧，电网侧，负荷侧和储能的发展模式。主要分为两种类型：

- 小型项目，解决工业和商业园区、住宅区、综合设施、医院等小型电力用户的用电问题；

将煤电与风电和光伏发电相结合

尽管中国在大型公用事业规模光伏发电和风电项目部署方面无可争议地处于领先地位，但在2022年，化石燃料发电仍为中国提供了三分之二的电力。因此，中国能源转型的关键问题仍然是：可再生能源如何以及何时能够取代煤炭这一中国的长期主要依赖的化石燃料。Global Wind Power Tracker和Global Solar Power Tracker提出了如何整合煤电和可再生能源发电的几个范例。

其中一个范例是，向远距离市场输电的现有大型燃煤电厂开始建立公用事业规模风电和光伏发电设施。这类多能互补发电电站将作为一个综合体运行，并通过共享的煤电/光伏发电/风电长距离输电线路输送电力，从而逐步

中国旨在通过这些举措优化可再生能源发展，同时解决风电和光伏发电存在的间歇性和波动性问题。

- 大型项目，即能源基地项目，主要利用储能技术来应对风电和光伏发电的季节性和波动性问题。

源网荷储一体化方案仍是一种相对较新的模式，关于此类项目的数据大多来源于地方政府发布的项目清单，其中有多个项目被列为试点项目。

多能互补是采用多种能源互相补充，以优化能源发展、分配和使用的一种方案。通过实施传统能源与太阳能、风能和水电等可再生能源协同开发利用以，从而建立一个更高效、更稳定的能源系统。

在中国，多能互补采取不同的发展模式，如可再生能源和传统能源协调模式，或结合多种能源与存储技术结合的模式。例如，在这一模式下，煤电被视作“兜底保供”能源使用，以确保能源系统的稳定性。

减少燃煤发电量。内蒙古和西北地区的现有燃煤电厂都在追求这种模式，部分原因可能是为了获得与可再生能源发电相关的“绿色证书”。

其中一个具有代表性的案例是内蒙古“岱海风光火储氢一体化”项目。自2005年以来，规模为2.4吉瓦的岱海燃煤电厂长期通过一条长约350公里的专用输电线路向北京输送电力。该电厂在向“一体化”转型的第一阶段的措施包括在工厂附近新建1,500兆瓦的风电装置，设计为每年发电36.28亿千瓦时，约为岱海作为基础负荷电厂最大发电量的25%，近年由于受疫情影响，风能发电量占到了三分之一。

第二个范例是在西北新能源基地将煤电与新能源发电协同发展,以煤电作为“兜底保供”功能,以确保持续的电力供应。在这些新基地,新建的可再生能源装机容量与煤电装机容量的比例为2:1或3:1,明显高于上文讨论的哈密-郑州输电线路等早期项目。

然而,从预期发电量来看,情况则有所不同。2021年10月,国务院**规定**,严控跨区外送可再生能源电力配套煤电规模,新建通道可再生能源电量比例原则上不低于50%。以下表3示例中的初步证据表明,在大多数情况下,计划从基地外送的可再生能源电力占比约为55%,新建燃煤电厂占剩余的45%。此外,作为可再生能源电厂的备用设

施,燃煤机组有时需低负荷运行并要求较快的启停速率,从传统意义上来说,这一方法是正常的,所采用的技术也已在**中国及其他国家**证明行之有效,但这也可能导致单位电量的煤炭消耗和二氧化碳排放增加,并增加对电厂本身的损耗。

表3中的数据来自中国媒体相关报道,预测了有关输电线路的总体输电量以及其中可再生能源的输电量。据报道,燃煤电厂年等效满负荷运行小时数约为5000时(装机容量系数为57%);对于尚未公布运行小时数的项目,我们可以用该标准作为参照。

表3:新能源基地和煤电¹⁶

新能源基地名称	输电线路	线路详情	煤电装机容量	新能源装机容量	燃煤发电量估计 (占线路输送总量的百分比)	新能源发电量估计 (占线路输送总量的百分比)
庆阳风光综合新能源示范项目	甘肃至山东	800千伏高压直流, 943公里	4吉瓦	8吉瓦	20太瓦时/年(53%)	18太瓦时/年(47%)
哈密新能源基地	哈密至重庆	800千伏高压直流, 2283公里	4吉瓦	10.8吉瓦	20太瓦时/年(45%)	24太瓦时/年(55%)
库布其北部沙漠新能源基地	库布其北部沙漠至北京地区	未公布	4吉瓦	12吉瓦	20太瓦时/年(43%)	26太瓦时/年(57%)
库布其南部沙漠新能源基地	未公布	未公布	4吉瓦	12吉瓦	20太瓦时/年(45%)	24太瓦时/年(55%)
腾格里沙漠东南部新能源基地	宁夏至湖南	800千伏高压直流, 1487公里	4吉瓦	13吉瓦	20太瓦时/年(45%)	24太瓦时/年(55%)
腾格里沙漠内蒙古新能源基地	未公布	未公布	4吉瓦	12.2吉瓦	20太瓦时/年(45%)	24太瓦时/年(55%)

16. 有关本表格的更多详情及参考资料, 请参阅我们的[方法页面](#)。

当然, 这些预测与实际情况可能有所出入。事实上, 燃煤电厂每年运行时间可能少于5,000小时。但是, 在作为中国可再生能源发展计划的核心举措, 大型新能源基地的, 实际情况可能是每外送一千瓦时的新能源电量, 需配置接近同等电量的煤电。从二氧化碳排放角度来看, 迫切需要提升新能源替代效率, 并解决发电间歇性问题。

有专家认为, 所规划的高压直流输电线路**相对缺乏灵活性**, 这可能是基地需要如此多的煤电来平衡可再生发电的一个原因。远距离的专项直流输电线路只服务于一个区域, 电力只流往一个方向, 输送端与接收端之间的沿途地区并不受益, 因此专家认为, 与其如此, 不如发展更多且

储能：风光发电新标配

新型储能是源网荷储一体化模式的重要组成部分, 也是可再生能源在能源结构中实现主导地位的加速器。可为电力系统提供调峰填谷功能, 将风电和光伏发电高峰期产生的电能进行储存, 在用电高峰期间进行释放, 从而降低弃风弃光率, 减少对化石燃料调峰电厂的依赖。

新型储能方式**包括**锂离子电池和液流电池等新型电池、压缩空气、飞轮、氢(氨)储存、热(冷)储存等, 不包括利用水坝蓄水发电的**抽水蓄能**。随着“十四五”规划期间多个纲领性文件和详细政府实施方案的**出台**, 新型储能行业有望迎来井喷式发展。值得注意的是, 2021年7月, 国家发展和改革委员会与国家能源局联合发布了**《关于加快推进新型储能发展的指导意见》**, 提出到2025年实现新型储能装机规模达30吉瓦以上的具体目标, 并承诺到2030年实现新型储能的全面市场化发展。

更灵活的跨区域的互联路线, 达到区域间互相调度电力(例如在水电, 风能和光伏之间调度), 从而降低对煤电的需求。针对可再生能源发电的波动性问题, 可通过大规模发展源网荷储一体化项目, 并对电力**需求侧进行大范围调整**可有助于解决该问题。最后, 如下文将提及的, 能源储存技术将发挥关键作用。

总而言之, 需注意的是, 尽管煤电正从主要电力来源逐步转变为支持可再生能源发电的兜底保供电源, 这一措施仍可能会阻碍逐步淘汰煤电的进程, 并因产能过剩问题导致资产搁浅。

截止2023年1月份, 已有**25个省市**规划了在“十四五”期间计划达成的新型储能装机目标, 总规模约为**68吉瓦**。这些地区的规划总装机容量是国家计划30吉瓦的两倍之多。在大部分地区, 新建的可再生能源发电项目要求储能配置比例不低于10%, 储能配置时间不少于2个小时。而在某些地区, 例如内蒙古、山东、河南、陕西等地, 对新能源项目的配储要求甚至超过15%到20%。

Global Solar Power Tracker和Global Wind Power Tracker已确定约115吉瓦的大型公用事业规模**发电和风电**预期新增项目, 其中69吉瓦来自光伏发电项目, 46吉瓦来自风电项目。假设所有这类项目将其装机容量的10%用于储能, 且储能时间在两小时以上, 预计可实现11.5吉瓦/23吉瓦时的储能容量。然而, 由于部分省市尚未公布其储能目标或光伏和风电新增项目清单, 实际情况可能会更高。

推进绿色制氢发展

绿色氢气则是指利用风电或光伏发电在电解水装置产生氢气,绿色氢气或氨等下游产品,也可被储存起来,具有解决可再生能源供应的中短期波动和长期季节性波动问题的潜力。尽管绿色制氢的普及面临一系列经济和技术挑战,包括存在易燃易爆和易泄漏等问题,但中国在新兴的绿色制氢技术方面已处于世界领先地位。迄今为止,中国已投产至少七个由约0.5至1吉瓦的风电场和光伏发电场供电的绿色制氢项目,其中最具代表性的项目是位于宁夏的一个年产14,000吨氢气的太阳能供电设施。

国家能源局发布的《氢能产业发展中长期规划(2021-2035年)》要求大力提升氢能产业各个环节的发展,包括储存、运输和利用等。规划强调,未来,氢气将作为工业副产品回收,开展利用可再生能源制氢,严格控制化石能源制氢。

Global Wind Power Tracker和Global Solar Power Tracker的资料显示,与下游氢利用有关的风电和光伏

项目激增,至少有19吉瓦与下游氢利用有关的风电和光伏发电项目正在建设或开发中。在很多诸如此类的项目中,制氢的电力消耗只占总发电量的很少部分。例如,内蒙古干淖尔电厂风光火储氢示范项目拥有500兆瓦的装机容量,将为一个10兆瓦的电解氢气生产设施供电。除此以外,更多专注于制氢的新能源项目被陆续公布。2023年1月,内蒙古自治区政府宣布了15个风电和光伏发电项目,总装机容量为11吉瓦,其中就要求至少80%的装机容量专门用于制氢。

尽管《氢能产业发展中长期规划》呼吁开展实验项目,将氢用于电网发电,以实现调峰和负荷平衡,但GEM确定的项目均非用于该用途。相反,在Global Wind Power Tracker和Global Solar Power Tracker所谓的“风光氢储能”综合体中,氢气主要用于下游终端用途,如燃料电池汽车、氨或包括煤基化学品在内的工业应用。还有一种情况,就是将氢气通过管道长途运输到炼油厂进行使用。

6.数据缺口及未来研究

Global Wind Power Tracker和Global Solar Power Tracker实行年度更新制。由于在项目层面的数据源存在潜在的信息滞后或不完整性,数据收集和发布存在时间差,这意味着数据追踪器可能会遗漏掉一些符合纳入标准的项目。低于Global Solar Power Tracker的20兆瓦纳入门槛的分布式光伏、离网安装以及较小的并网公用事业规模光伏发电项目,估计约占中国光伏发电总运行装机容量的42%¹⁷。从全球来看,超过1兆瓦的

光伏发电设施仅占有所有光伏发电运行装机容量的56%。Global Energy Monitor目前正在就收集低于20兆瓦的光伏发电项目数据进行策略考量。此外,尽管Global Energy Monitor所设定的10兆瓦风能门槛以下的项目很少,但我们估计这类项目可能占全球装机容量的5%¹⁸。

17. GEM发布的中国光伏运行装机容量为228吉瓦,而中国政府公布的截止2022年累计运行装机容量为392吉瓦。

18. GEM发布的全球风电运行装机容量为786吉瓦。国际可再生能源署(IRENA)估计,截止2022年,全球风电装机总量为898吉瓦。