



WRI CHINA



报告

中国海外园区可再生能源 开发技术潜力评估

Technological potential assessment of
renewable energy projects developed in
China's Overseas Industrial Parks

宋婧, 苗红, 郭禹琛, 温芷晴, 叶晓枫, 潘思涵

作者介绍

宋婧 | 世界资源研究所（美国）北京代表处，可持续转型中心能源项目研究员。

邮件：jing.song@wri.org

苗红 | 世界资源研究所（美国）北京代表处，可持续转型中心主任。

邮件：hong.miao@wri.org

郭禹琛 | 世界资源研究所（美国）北京代表处，数据中心研究员。

邮件：yuchen.guo@wri.org

温芷晴 | 世界资源研究所（美国）北京代表处，实习生（原）

叶晓枫 | 世界资源研究所（美国）北京代表处，实习生（原）

潘思涵 | 世界资源研究所（美国）北京代表处，实习生（原）

校对

谢亮

hippie@163.com

版面设计

张烨

harryzy5204@gmail.com

致谢

感谢在报告评审过程中提供了宝贵专业建议与意见的内外部评审专家，他们是（排名不分先后）：

都志杰	内蒙古工业大学多能互补微电网项目
祁欣	商务部研究院“一带一路”经贸合作研究所，园区发展研究中心
熊华文	国家发展和改革委员会能源研究所
盛国飞	中国机电产品进出口商会
顾理旻	远景能源
Shahana Chattaraj	世界资源研究所
Xixi Chen	世界资源研究所
徐生年	世界资源研究所
鹿璐	世界资源研究所
薛露露	世界资源研究所

我们同时感谢世界资源研究所方莉博士，刘哲博士对本报告提供的专业意见和指导。在研究过程中，我们也获得了许多合作伙伴的大力支持。包括：中国能源研究会，生态环境部对外合作与交流中心，中国国际贸易促进委员会研究院，全球能源互联网发展合作组织，在此一并表示诚挚谢意。感谢谢亮为报告的文字编辑，张烨为报告的设计做出的贡献。

引用建议

宋婧, 苗红, 郭禹琛, 温芷晴, 叶晓枫, 潘思涵. 2024. "中国海外园区可再生能源开发技术潜力评估" 报告. 北京: 世界资源研究所. <https://doi.org/10.46830/wriipt.22.00050>.

版本 1

November 2024 | 2024年11月



目录

3	执行摘要	43	第六章. 结论
9	Executive Summary	47	第七章. 讨论
15	第一章. 中国海外园区可再生能源投资助力全球气候目标实现	50	附件1: 本研究涉及的159个海外园区基本情况
19	第二章. 通过空间遥感技术模型识别用地类型并评估风光潜力	56	附件2: 中国海外园区数据库
20	识别中国海外园区的数量和类型	57	附件3: 园区的屋顶面积数据采集方法
21	采用土地利用类型分类评估光伏项目开发技术潜力	57	Tier1园区的屋顶面积数据采集方法
23	基于风机布排组合评估风电项目开发技术潜力	57	MBF屋顶选取工具开发方法与应用步骤
27	第三章. 数量众多、分布广泛的中国海外园区	59	附件4: 太阳辐射量评估简述
31	第四章. 中国海外园区光伏开发技术潜力评估	60	附件5: 风能资源潜力评估简述
33	工业/商业园区光伏开发技术潜力	62	名词解释
34	农业园区光伏开发技术潜力	62	缩略语表
37	第五章. 中国海外园区风电开发技术潜力评估	63	注释
		63	参考文献
		65	关于WRI



执行摘要

推动中国海外园区的低碳化发展，既承载着中国海外绿色投资的大国担当，也体现了中国为全球应对气候变化所做出的积极贡献。到2050年，如果潜在建成情景下海外园区的光伏与风电潜力得到全面开发，将为全球实现净零排放的可再生能源装机容量目标贡献约2%的份额。如果将这一全面开发进程提前到2030年之前完成，该贡献率将大幅提升至近5%。在中国海外园区开发与应用可再生能源潜力巨大，而要使这些潜力得以充分挖掘，各利益相关方需要加强以科学评估为基础的协调合作。

亮点

- 本文基于地理信息系统(GIS)技术开发了中国海外园区(以下或简称“园区”)数据库,并科学评估在园区内部署不同可再生能源用能方案的市场规模及技术潜力。这不仅有助于政策制定与商业决策,还能有效量化中国海外绿色投资的潜在规模,彰显其对所在国能源转型的重要意义。
- 中国海外园区数据库收录了中国159个海外园区,其中近一半分布在亚洲,另外一半分布在非洲和欧洲。在全部类型的海外园区中,多元综合型园区和农业开发型园区数量最多。
- 海外园区开发可再生能源项目具备技术潜力与投资潜力。在潜在建成情景下,光伏发电(以下简称“光伏”)装机容量最大可达419.66吉瓦,风力发电(以下简称“风电”)装机容量最大可达116.48吉瓦。在海外园区开发可再生能源项目,相应的投资规模可达约20.64亿元人民币(如无特殊说明,本文涉及币种均为人民币),相当于2022年中国在埃及直接投资额的1.24倍。
- 不同类型的海外园区开发可再生能源的技术潜力有所差异,从地域来看,亚洲与非洲的中国海外园区开发可再生能源的技术潜力最为突出。
- 海外园区可再生能源项目的减排效果可观,能够彰显中国在全球应对气候变化方面的积极努力与巨大贡献。到2050年,如果潜在建成情景下海外园区的光伏与风电潜力得到全面开发,将为全球实现净零排放的可再生能源装机容量目标贡献约2%的份额。如果将这一全面开发进程提前到2030年之前完成,该贡献率将大幅提升至近5%。
- 在海外园区充分开发可再生能源应用的全过程中,从潜力识别到项目落地,都需要政策制定者、商业投资者、园区运营者及金融机构多方协作。

关于本报告

中国海外园区不仅是促进国际产能合作的重要载体,还是中国创新对外投资方式的关键手段,更是中外经济交流合作的桥梁与窗口。推动中国海外园区的低碳化发展,既彰显了中国作为全球第二大经济体的大国担当,也体现了中国为全球应对气候变化所做出的积极贡献。近年来,中国出台了《“十四五”商务发展规划》与《对外投资合作绿色发展工作指引》等重要的里程碑式政策文件,进一步释放了推动海外园区低碳化发展的政策信号。

以《中国海外园区的低碳评估——低碳发展指标体系的开发与应用》等课题的研究成果为基础,世界资源研究所组织团队聚焦“海外园区的低碳发展潜力”,以期和政策制定者、商业投资者、园区运营者及金融机构等利益相关方,呈现一幅科学展示中国海外园区可再生能源项目开发全貌的未来图景,并细化到不同国家与园区类型,为未来的政策制定与投资决策提供初步参考。

中国是全球最大的可再生能源设备制造国,在开发可再生能源项目方面具备雄厚的产业实力、先进的技术水平、丰富的开发经验和充足的人才储备,这些优势为在海外园区开发可再生能源项目提供了强有力的支持。与此同时,中国海外园区大多位于太阳能和风能资源充沛的地区,资源优势明显。因此,在中国海外园区开发与应用可再生能源潜力巨大,而要使这些潜力得以充分挖掘,各利益相关方需要加强以科学评估为基础的协调合作。

本报告的研究围绕“从技术角度分析中国海外园区的低碳发展潜力与规模”这一问题展开。一方面,中国海外园区投资可再生能源项目尚处于起步阶段,缺乏成熟经验,整体上对该市场领域的认知不足,进而限制了可再生能源投资者等众多行业主体对海外园区这一规模化、集中式应用市场的关注和利用。另一方面,由于政策制定者对海外园区整体规模、发展现状的了解有限,制定具有针对性的海外绿色投资政策具有不小的挑战。因此,很有必要从数据角度,向政策制定者、商业投资者、园区运营者及金融机构展示这一市场的重要潜力,并为未来具体项目的投资决策提供基本参考。

本研究全面梳理了1992—2022年间建立,且截至2022年底仍处于运营状态的全部中国海外园区的现状,并以此为基础,建立了中国海外园区数据库。除通篇都涉及的文献综述法、案例研究法、对比分析法等定性研究方法外,本研究还采用了定量评估方法。定量评估方法涵盖三个具体方面。第一,中国海外园区数据库的开发方法。在整理校验了既有的中国海外园区数据集的基础上,本研究采用基于网络与媒体的数据爬取方法,全面收集整合了中国海外园区的名

称词条及词条项下的各类园区信息，并辅以交叉人工复核。

第二，本研究通过发电量和装机容量两个维度，基于Global Solar Atlas和Global Wind Atlas光伏与风能系统在线平台，分析了海外园区的可再生能源开发技术潜力，同时分别就海外园区的光伏开发技术潜力和风能开发技术潜力进行了评估分析。评估光伏开发技术潜力主要运用基于地理信息系统的方法，该方法可对海外园区（主要分为工业/商业园区和农业园区）进行分别评估，并采用情景分析法对评估结果进行分类、判断和分析。第三，风电开发技术潜力的评估方法主要包括基于风能参数的直接计算法和全球估值法，这两种方法分别对风电发电量与风电装机容量进行估算。同时，在评估风电发电量时，本研究还分类讨论了不同的风机布局情景下的发电量范围。

中国海外园区数据库的相关数据信息来自公开渠道，主要包括商务部、各园区、中国国际贸易促进委员会、中华全国工商业联合会官方网站以及相关媒体。海外园区的太阳辐射量数据来自Global Solar Atlas光伏系统在线平台，风能相关参数来自Global Wind Atlas风能系统在线平台。

结论与建议

这些海外园区分布在全球六大洲的54个国家，总面积约6772平方千米，总投资额达6523亿元。

- 按照性质不同，这些园区分为通过商务部、财政部确认考核的园区、通过各省份考核的园区以及其他园区。
- 按照类型不同，这些园区分为加工制造型园区、资源利用型园区、农业开发型园区（或称农业园区）、商贸物流型园区、技术研发型园区以及多元综合型园区。

为更好地区分不同可再生能源技术在不同类型园区的应用特征与开发潜力，本研究将海外园区按照用地类型分为两大类：一大类为工业/商业园区，包括拥有大量工商业厂房的加工制造型园区、资源利用型园区、商贸物流型园区、技术研发型园区以及多元综合型园区，另一大类为拥有大量种植土地的农业园区。

研究主要结论包括：

- **接近一半的中国海外园区分布在亚洲，另一半分布在非洲与欧洲。**本研究建立了中国海外园区数据库，涵盖159个中国海外园区。其中，位于亚洲的有71个，占比接近一半（45%），位于非洲的有44个（28%），位于欧洲的有39个（25%）。超过90%的中国海外园区位于发展中国家。

- **在全部类型的中国海外园区中，多元综合型园区和农业开发型园区数量最多。**在这159个中国海外园区中，共有多元综合型园区59个（占比37%），农业开发型园区44个（占比28%），加工制造型园区22个（占比14%），资源利用型园区15个（占比9%）。

- **在海外园区开发可再生能源项目具备技术潜力与投资潜力。**其光伏装机容量最大可达419.66吉瓦（潜在建成情景），相当于欧盟2023年新增光伏装机容量的7.51倍，风电装机容量最大可达116.48吉瓦，相当于欧盟2023年新增风电装机容量的7.19倍。具体而言，潜在建成情景下工业/商业园区的光伏年发电量潜力约为22.27万吉瓦时，光伏装机容量潜力约为147.7吉瓦；农业园区的光伏年发电量潜力约为37.18万吉瓦时，光伏装机容量潜力约为271.96吉瓦。中国海外园区的年风能发电量潜力约为4.63万~11.2万吉瓦时，风电装机容量潜力约为22.74~116.48吉瓦。在海外园区开发可再生能源项目，市场规模可达20.64亿元。潜在建成情景下，工业/商业园区光伏项目的市场规模约5.52亿元，农业园区地面光伏项目的市场规模约11.29亿元，中国海外园区风电项目的市场规模约3.83亿元。

- **在不同类型海外园区开发可再生能源的技术潜力/路径有所差异，从地域来看，亚洲与非洲的中国海外园区开发可再生能源的技术潜力最为突出。**多元综合型园区的光伏开发潜力最大，而农业开发型园区的风电开发潜力最大。位于东南亚地区的中国海外园区光伏开发潜力最大。位于北欧亚地区的中国海外园区风电开发潜力最大，其次为位于东南亚和非洲地区的中国海外园区。

- **中国海外园区与所在国家共建可再生能源项目，除了能解决园区本身的电力供应问题，还增加了所在国的清洁电力供应量，彰显了中国在全球应对气候变化方面的积极贡献。**在中国海外园区布局可再生能源项目，避免化石能源对当地经济发展的锁定效应，同时也提升了所在国的电力供应水平，这既有助于所在国早日实现应对气候变化目标与可再生能源发展的国别目标，也有助于全球实现净零排放目标。到2050年，如果潜在建成情景下海外园区的光伏发电与风电潜力如果得到全面开发，将为全球实现净零排放的可再生能源装机容量目标贡献约2%的份额，如果将这一全面开发进程提前到2030年之前完成，该贡献率将大幅提升至近5%。

研究主要建议包括：

对于政策制定者，建议出台更为明确的建设绿色海外园区的指引细则，以搭建海外园区低碳发展标准化委员会等平台为抓手，结合本研究结论，推动重点地域低碳园区建设。同时，建议建立与完善海外园区低碳发展的创新考核评价与激励机制，并通过建设试点园区，鼓励头部海外园区的低碳化实践先试先行。还可以积极尝试整合现有双多边国际合作机制，开展海外园区的可再生能源项目对接与实施。

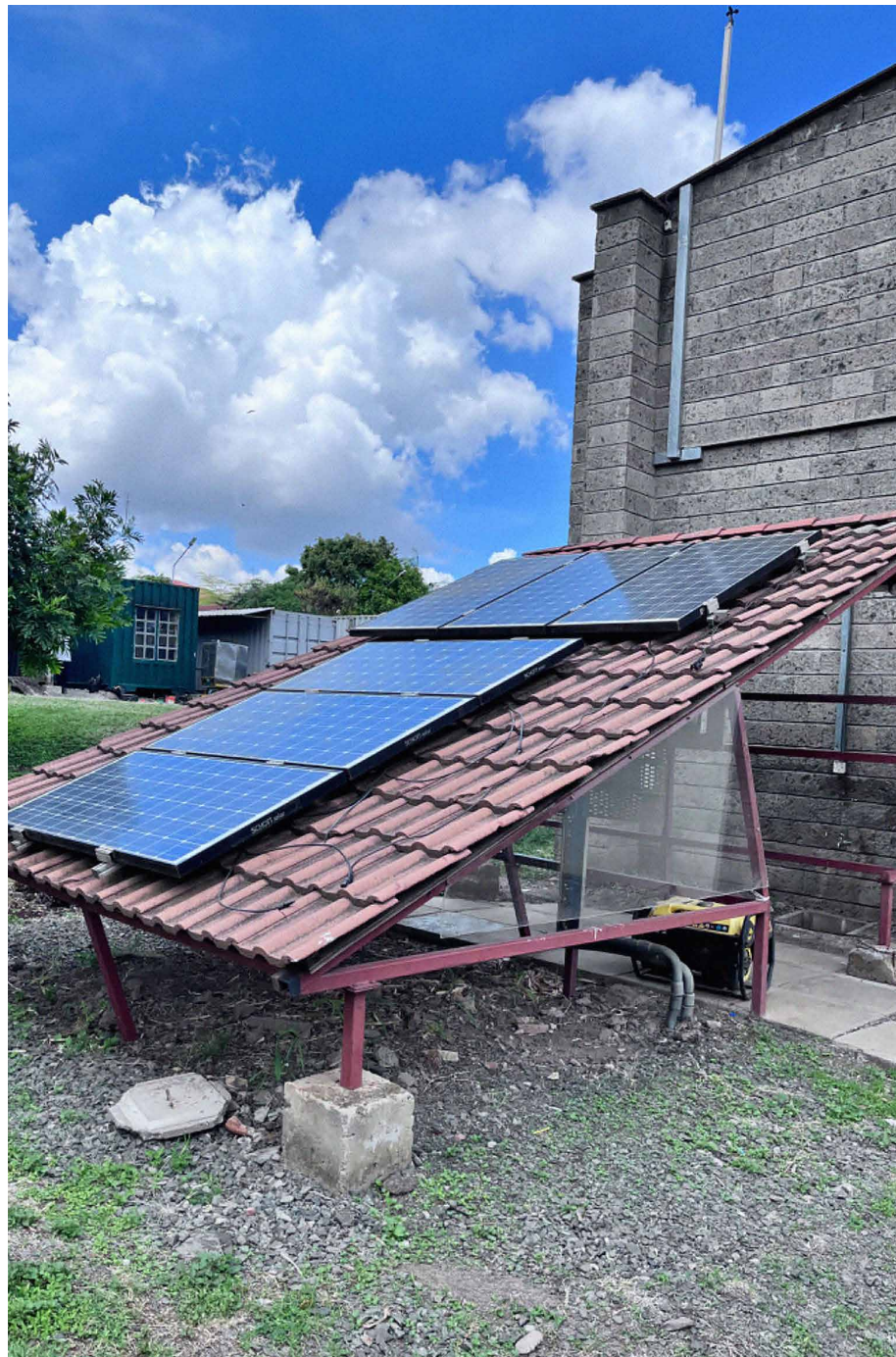
对于商业投资者和园区运营者：建议以光伏或风电项目为考量，制定包括可再生能源解决方案在内的园区供电计划与能源系统协同规划，并适时制定低碳专项规划，该规划应

充分利用园区可再生能源资源禀赋。不断结合市场因素与自身可再生能源潜力条件，探索融合海外园区建园企业、入园企业与可再生能源项目投资企业等各方的可持续性商业合作与盈利模式，并为后续海外园区的绿色投资与选址提供参考。对于低碳实践基础较好的园区，可尝试探索利用国际与区域性的碳市场机制实现减排收益的可能性，并有效回收可再生能源项目开发投资的初期成本。对于海外可再生能源项目的投资商，可依托重点区域的中国海外园区，布局可再生能源国际产能投资合作与绿色产业项目。

对于金融机构，可基于本文的研究结论遴选位于重点区域的园区，建设低碳示范试点（如小规模园区屋顶光伏项目）并为其提供投融资支持，同时，可尝试建立中国海外园区低碳投融资项目库，以便进行项目储备。



在中国海外园区布局可再生能源项目，不仅提升所在国的电力供应水平，还有助于全球净零排放目标的实现，避免化石能源对当地经济发展的锁定效应。





Executive summary

Promoting the decarbonization of China's overseas industrial parks not only demonstrates China's commitment to green overseas investments but also highlights its active contribution to global climate change efforts. By 2050, fully developing the potential for solar and wind power in these parks could contribute approximately 2% of the global renewable energy installed capacity necessary to achieve net-zero emissions. Accelerating this development by 2030 could increase the contribution to nearly 5%. To fully unlock this potential will require strengthened, science-based coordination and cooperation among all stakeholders.

HIGHLIGHTS

- This report establishes a database of China's overseas industrial parks (hereinafter referred to as "COIPs") based on Geographical Information System (GIS) technology and scientifically evaluates the market size and technical potential of applying different renewable energy solutions within these parks. This research supports the formulation of policy and business decisions and helps quantify the scale of China's overseas green investments and their significance for the host countries' energy transitions.
- The database of China's overseas industrial parks (COIPD) includes 159 overseas parks. Nearly half of China's overseas industrial parks (COIPs) are located in Asia, while the COIPs in Africa and Europe make up the other half. Diversified Integrated parks and agricultural development parks constitute the majority of all COIPs.
- There is substantial technological potential and investment prospect for renewable energy (RE) projects developed in COIPs. The maximum installed capacity for photovoltaic (PV) solar projects can reach 419.66 GW, while it can reach 116.48 GW for wind power projects, bringing around CNY 2.064 billion of investment (in future-completion scenario).
- There are variations in the technological potential for developing RE projects in different types of COIPs. The technological potential for developing RE projects of COIPs in Asia and Africa stands out prominently.
- By 2050, if the PV systems (in future-completion scenario) and wind power systems in COIPs are fully developed, they will contribute approximately 2% towards RE installed capacity target of global net-zero emission. If the development timeline is moved up to before 2030, this contribution rate will reach nearly 5%.
- Establishing a multiple-stakeholder partnership with policymakers, business investors, industrial park operators and financial institutions is crucial for fully unlocking the RE technological potential of COIPs.

ABOUT THIS REPORT

China's overseas industrial parks (COIP) serve as a vital platform for promoting international capacity cooperation and innovative forms of outward investment. The decarbonization of COIPs also plays a significant role in facilitating global low-carbon transformation and sustainable development. As milestone policy documents, the "14th Five-Year Plan for Business Development" and the "Guidelines for Green Development in Overseas Investment and Cooperation" release the signal of guiding and directing the decarbonization efforts within these parks. Based on the working paper—*Evaluating Chinese Overseas Industrial Parks by Applying Low-carbon Development Indicator System*, World Resources Institute is conducting the research focused on "the scale of low-carbon development technological potential in COIPs", which aims to provide policymakers, COIP developers, RE project investors, financial institutions, and other stakeholders with a comprehensive landscape of RE development in COIPs. This research will encompass different countries and types of COIPs, offering preliminary insights for future policy and investment decision-making.

China is the world's largest manufacturer of RE equipment, possessing a strong market space and technological foundation for developing RE projects. This provides a technological advantage for the development of RE in COIPs. In addition, most COIPs are located in regions abundant in solar and wind energy resources, adding a resource advantage to the development of RE in these parks. There is tremendous technological potential for the development and application of RE in COIPs. However, to fully unlock and harness these potentials requires multi-party collaboration among stakeholders.

This report focuses on the issue of "analyzing the low-carbon development potential and scale of China's overseas industrial parks from a technical perspective." As China's investment in renewable energy projects in these overseas parks is still in its early stages, there is a lack of mature experience, and relevant decision-makers and stakeholders generally have a limited understanding of this market sector. This has led to many industry players, including renewable energy investors, overlooking the concentrated and large-scale application market that these overseas parks represent. Meanwhile, the limited understanding of the overall scale and current development status of these parks poses significant challenges for formulating targeted overseas green investment policies. It is essential to provide policymakers, industrial park developers and tenants,

renewable energy project investors, and financial institutions with a scientific overview of this scale from an overall perspective, as it will serve as a fundamental reference for future micro-level investment decisions. This research comprehensively reviews the status quo of all COIPs established between 1992 and 2022, which were still operational as of the end of 2022. Based on this, a Chinese overseas industrial park database (COIPD) is established. These COIPs are distributed in 54 countries across six continents worldwide, covering a total area of approximately 6,772 square kilometers, and the total investment amounts to 652.3 billion CNY.

COIPs are classified into national-level COIPs, provincial-level COIPs, and other parks. They could also be categorized based on their 6 types, including processing and manufacturing parks, resource utilization parks, agricultural development parks, commercial and logistics parks, technology research and development parks, and diversified comprehensive parks.

In order to better differentiate the application characteristics and potential of various RE technologies in different types of parks, this research also categorizes COIPs into two major groups based on their land use types. The first category is the industrial and commercial parks, which include processing and manufacturing parks, resource utilization parks, commercial and logistics parks, technology research and development parks, and diversified comprehensive parks that have a large number of industrial and commercial facilities. The second category is agricultural parks, which have a significant amount of arable land for cultivation.

■ **Nearly half of COIPs are located in Asia, while the parks in Africa and Europe make up the other half.**

The COIPD established in this research covers a total of 159 COIPs that were established between 1992 and 2022 and were still operational as of the end of 2022. Among them, there are 71 parks located in Asia, accounting for nearly half (45%) of the total. There are 44 parks located in Africa and 39 parks located in Europe.

■ **Diversified Integrated parks and agricultural development parks constitute the majority of all COIPs.**

According to the types of COIPs, there are 59 diversified comprehensive parks, 44 agricultural development parks, 22 processing and manufacturing parks, and

15 resource utilization parks. Among these parks, the highest number is in the diversified comprehensive parks and agricultural development parks, accounting for 37% and 28% respectively.

- **There is substantial technological potential and investment prospect for RE projects developed in COIPs.** The maximum installed capacity for PV solar projects can reach 419.66 GW--the equivalent of 7.51 times the new photovoltaic installed capacity added by the EU in 2023, while the maximum installed capacity for wind power can reach 116.48 GW (in future-completion scenario)-- the equivalent of 7.19 times the new wind power installed capacity added by the EU in 2023. Specifically, the annual PV power generation in COIPs (industrial and commercial parks) is approximately 222,700 GWh, with a PV installed capacity of approximately 147.7 GW. In Chinese overseas agricultural parks, the annual PV power generation is estimated to be around 371,800 GWh, with a PV installed capacity of approximately 271.96GW. The estimated annual wind power generation in COIPs ranges from 46,300 GWh to 112,000 GWh, with a wind power installed capacity of approximately 22.74 GW to 116.48 GW. Developing RE projects in COIPs could attract an investment of approximately CNY 2.064 billion. Under future completion scenario, the development of PV projects is expected to drive around CNY 552 million in investment. Ground PV projects in agricultural parks are anticipated to generate about CNY 1.129 billion in investment. Wind power projects in COIPs are expected to attract approximately CNY 383 million in investment.

- **There are variations in the technological potential for developing RE projects in different types of COIPs. In terms of geographical regions, the technological potential for developing RE projects of COIPs in Asia and Africa stands out prominently.**

Among the various types of COIPs, diversified comprehensive parks have the greatest PV development potential, while agricultural development parks have the greatest wind power development potential. Both industrial and commercial parks and agricultural parks have the greatest PV development potential in South-east Asia. In terms of wind energy, COIPs located in the Nordic-Asian region have the greatest wind power development potential, followed by COIPs in South-east Asia and Africa.

■ **The emission reduction effects of RE projects in COIPs strongly highlight China's contribution to global efforts in combating climate change.**

The direct installation of rooftop PV systems, ground PV systems, and wind power systems in COIPs will result in significant emission reductions. This not only helps the host countries achieve their climate change mitigation and RE development goals but also reflects China's substantial contribution to global emission reductions, considering its prominent role in international trade and investment. Developing RE projects in COIPs supports the global net-zero emission target. By 2050, if the PV systems in industrial, commercial, and agricultural parks, as well as wind power systems in these parks, are fully developed (under future completion scenario), they will contribute approximately 2% towards RE installed capacity target of global net-zero emission. If the development timeline is moved up to before 2030, this contribution rate will reach nearly 5%.

RESEARCH METHOD

Besides qualitative research methods such as literature review, case studies, and comparative analysis applied across the whole report, this research employs quantitative evaluation methods that cover three specific aspects. First is the development method of COIPD. Based on organizing and verifying existing relevant datasets of Chinese overseas industrial parks, a comprehensive collection and integration of information on the names and various types of overseas industrial parks in China were conducted using web and media-based data scraping methods, supplemented by manual cross-validation. The development potential of RE technologies is analyzed through two dimensions: power generation and installed capacity. Furthermore, separate assessments and analyses were conducted for the PV development potential and wind energy development potential of overseas industrial parks. The assessment method for PV development potential primarily utilizes geographic information system (GIS)-based methods to separately evaluate the industrial and commercial parks and agricultural parks in COIPs. Scenario analysis is employed to classify, assess, and analyze the evaluation results. The assessment method for wind power development potential uses direct calculation based on wind energy parameters and global valuation methods to estimate wind power generation and installed capacity. In the assessment of wind power generation, different

scenarios of wind turbine placement are also discussed to analyze the range of power generation. The mid-level analysis of RE technology development potential in COIPs is conducted in this research, which is not suitable for application in economic performance and profitability studies of micro-level projects in individual parks.

DATA SOURCE

The data and information for the COIPD are sourced from public channels, primarily including the official website of the Ministry of Commerce of China, official websites of various industrial parks, the China Council for the Promotion of International Trade, the All-China Federation of Industry and Commerce, and relevant media sources. Solar radiation data for COIPs is obtained from the Global Solar Atlas photovoltaic system online platform. Wind-related parameters for COIPs are sourced from the Global Wind Atlas wind energy system online platform.



RECOMMENDATIONS

For policymakers, it is recommended to issue clear guidelines and regulations for the construction of green COIPs, set up an official platform for standardized development on COIPs to promote low-carbon COIPs, establish innovative assessment, evaluation and incentive mechanisms for low-carbon development in COIPs, pilot leading COIPs to practice low carbon projects, and integrate existing bilateral and multilateral international cooperation mechanisms to facilitate the alignment and implementation of RE projects in COIPs.

For business investors/COIP operators, it is recommended to develop coordinated plans for power supply and energy systems of COIPs, including RE solutions, and timely update low-carbon plans based on the utilization of RE resources in the regions parks located, explore sustainable business cooperation and profit models by integrating various stakeholders, such as park development enterprises,

tenant enterprises, and RE project investment enterprises, considering market factors and the RE potential of COIPs, explore the possibility of achieving emission reduction benefits through international and regional carbon market mechanisms, effectively recovering the initial costs of RE project development and investment, utilize key regions' COIPs layout to promote RE international capacity investment cooperation and green industries.

For financial institutions, it is recommended to supply financing support for low-carbon demonstration pilot projects in regions where key COIPs are located, establish a project database for low-carbon investment and financing in COIPs, and create financing products and portfolios specifically for low-carbon projects in COIPs.





第一章

中国海外园区可再生能源投资助力全球气候目标实现

中国面临海外可再生能源投资的广泛机遇，如何解读与转化这些机遇至关重要。海外园区既是中国海外可再生能源投资试点示范的重要载体，又是协调、整合可再生能源产能落地的应用场景。海外园区的建园企业及相关主体需要更具体地了解可再生能源的开发潜力。

中国面临海外可再生能源投资的机遇。一方面，全球可再生能源市场前景广阔。在世界范围内气候变化问题日益严峻的同时，全球可再生能源产业近几十年迎来了飞速发展，可再生能源技术更迭加快，成本显著降低，装机规模与年发电量屡创新高。2010—2021年，全球范围内大型太阳能光伏项目的平准化度电成本（Levelized Cost of Energy, LCOE）下降了88%（IRENA, 2022）。2021年，全球可再生能源新增装机容量增长了6%，创纪录地达到了295吉瓦（IEA, 2022a）；同年，全球可再生能源发电量增长了8%，达到8300太瓦时，是自20世纪70年代以来增长最快的一年（IEA, 2022b）。2030年全球可再生能源装机容量将增至三倍（IRENA, 2024）目标的提出，为在全球市场拥有80%光伏产品占有率的中国带来更广阔的机会。另一方面，中国政府出台举措鼓励企业出海投资可再生能源。在对外投资合作方面，中国政府发布了一系列金融服务、信息服务、风险规避、运营管理等方面的指导性政策文件。《“十四五”商务发展规划》（商务部，2021）和《对外投资合作绿色发展工作指引》（商务部、生态环境部，2021）作为指引海外园区低碳发展重要的里程碑式政策文件，释放出支持中国海外园区低碳化发展的积极信号（WRI, 2022）。

海外园区既是中国海外可再生能源投资试点示范的重要载体，又是协调、整合可再生能源产能落地的应用场景。据不完全统计，这些海外园区总投资额达6523亿元，分布在全球六大洲的54个国家，即接近30%的国家都有中国的海外园区。这些园区的总面积约6772平方千米，相当于卢森堡国土面积的2.6倍。（方法与数据来源详见第二章）

海外园区的建园企业和相关政府部门需要更具体地了解可再生能源的开发潜力。WRI通过《中国海外园区的低碳评估——低碳发展指标体系的开发与应用》等课题研究发现，海外园区的低碳发展面临着整体现状了解不足、缺乏统一数据库，以及亟待规划能力建设进行支撑等问题。与此同时，现有研究尚未从可再生能源开发技术潜力的角度对海外园区低碳发展开展系统评估。相关文献对中国海外园区数据统计的研究较少，缺乏经过检验校正、全面梳理的信息，零星信息可见于粗略清单范式的汇总式统计（表1）。另外，现有中国海外园区数据集并未涵盖投资规模、存续状态等重要信息。因此，搭建一个既能全面反映当下中国海外园区基本情况，又经过检验校正从而保障数据精确性，还能支撑对海外园区本体开展可再生能源投资潜力分析和进一步研究的中国海外园区数据库是很有必要的。

表1 | 现有中国海外园区数据集

数据集名称	统计主体	时间范围	统计数量	涵盖信息
中国主要境外经济贸易合作区	中国国际贸易促进委员会 (https://oip.ccpit.org/)	截至2018年	103个	- 合作区名称 - 所在国家 - 实施企业 - 企业所在省市
中国境外产业园区信息数据集	李祐梅等 (李祐梅 et al., 2019)	1992—2018年	182个	- 园区类型 - 园区所在国家是否加入亚洲基础设施投资银行 - 园区所在国家加入亚洲基础设施投资银行时间 - 园区所在大洲、地区、国家 - 园区所在国家发展水平 - 园区名称 - 实施企业 - 企业性质 - 企业识别编码 - 园区类别 - 园区建设起始年份
“一带一路”中国境外园区附录	“一带一路”中国建设的典型工业园区绿色化研究 (能源基金会, 2020)	截至2018年底	160余个	- 园区名称 - 园区所在国家 - 园区建设起始年份 - 园区主导产业



本报告着力解决以下三个问题：中国海外园区分布的数量、面积和用地类型等现状如何？中国海外园区光伏项目开发的技术潜力如何？中国海外园区风电项目开发的技术潜力如何？本报告所指海外园区是中国在海外设立的境外经贸合作区。本研究选取光伏、风电两大典型可再生能源技术在海外园区的应用场景下的潜在装机容量与发电量作为表征中国海外园区低碳发展潜力的重要对象，暂不考虑风电和光伏以外的可再生能源技术类型。本研究同时将海外园区按照用地类型分为两大类。一大类为工业/商业园区，包括拥有大量工商业厂房的加工制造型园区、资源利用型园区、商贸物流型园区、技术研发型园区以及多元综合型园区，另一大类为拥有大量种植土地的农业园区。

本报告的研究对多方利益主体具有不同层面的重要意义。首先，有助于海外园区建园企业与投资者了解可再生能源项目开发的整体潜力，进而增强投资信心。由于在中国海外园区投资可再生能源项目缺乏成熟经验，相关的投资决策者与利益相关方对该领域的市场规模缺乏认识与了解。因此，很有必要从整体角度出发，向政策制定者、商业投资者、园区运营者以及金融机构科学地展示这一市场的巨大潜力，并为未来具体项目的投资决策提供基本参考。其次，有助于所在国提升可再生能源发展的能力与信心，帮助各国实现

本报告的研究有助于增强多方对可再生能源投资的信心，并推动所在国实现可再生能源发展目标，促进社会、经济、环境的可持续发展。

《巴黎协定》规定的自主贡献目标。第三，有助于增强全球气候合作的信心和雄心，在海外园区的场景下开发与应用光伏等可再生能源技术，不仅可以帮助所在国减排，推动实现可再生能源发展政策目标，也可以通过园区示范的形式孵化与开发潜在的可再生能源技术合作与商业机会。第四，有助于推动所在国的社会、经济与环境发展更加包容，促进园区稳定与可持续的电力供给，提高当地电力可及水平，增加所在国的税收与经济收益，提升当地公平、高质量的就业水平与性别平等社会福祉。

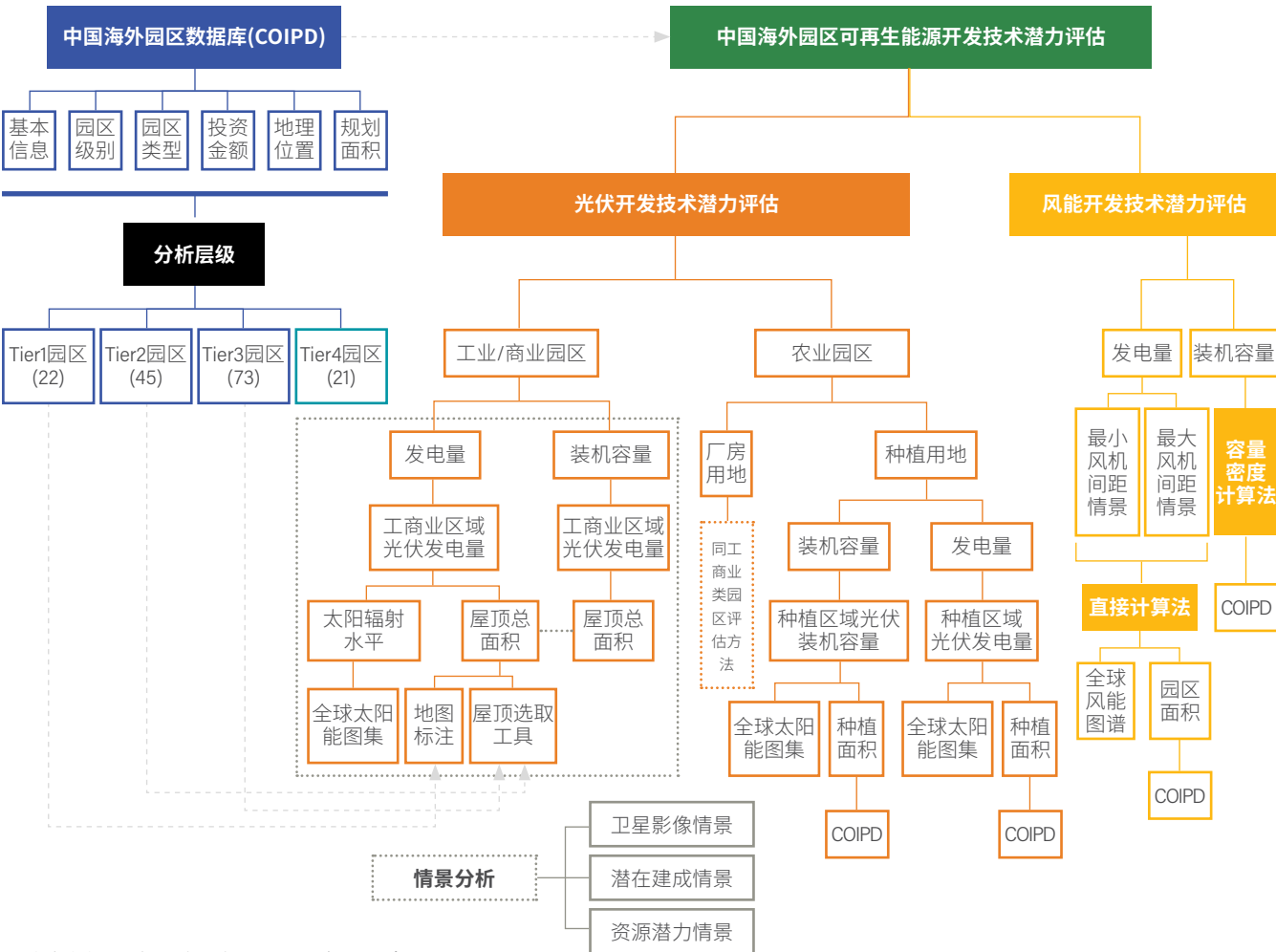


第二章

通过空间遥感技术模型识别用地类型并评估风光潜力

针对不同海外园区的特点，本研究基于土地利用类型分类评估光伏项目的开发技术潜力，同时基于风机布排组合评估风电项目的开发技术潜力。

图1 | 本报告的研究框架



注：框架中中国海外园区数据库的园区分析等级分类参见附件2。

2.1 识别中国海外园区的数量和类型

- 汇总现有海外园区信息，建立海外园区名单。数据信息来源于公开渠道，可信度从高至低按照以下顺序排列：首先是商务部官方网站（http://www.mofcom.gov.cn/article/zt_jwjmyhzhq/）、各园区官方网站，其次是“走出去”公共服务平台（<http://fec.mofcom.gov.cn/article/jwjmhzhq/>）、中国国际贸易促进委员会境外产业园区信息服务平台（<https://www.ccpit.org/maoyitouzicujin/zhongguoqiye/>）、中华全国工商业联合会官方网站（https://www.acfic.org.cn/qlyw/201509/t20150915_82498.html）、商务部发布的《对外投资合作国别（地区）指南》（<https://opendata.mofcom.gov.cn/front/data/detail?id=C5E1C2CA614F1C512980B497A98B>

E71C）、地方政府发布的对外合作发展报告（e.g. https://swt.fj.gov.cn/xxgk/jgzn/jgcs/dwtzyjjhzc/tpxw/202308/t20230830_6244900.htm），然后是中国官方媒体，最后是非官方媒体。

- 分类识别海外园区数量和分布。本研究建立的基于表格的数据库涵盖了1992—2022年间成立且截至2022年处于在营状态的中国海外园区，共计159个。截至2022年底的海外园区分布地图如图4所示。本研究通过其他数据来源或渠道对经由单一数据来源收集的信息进行了交叉复核，同时确认了截至2022年园区的在营情况。中国海外园区数据库的具体内容见附件1。
- 基于可用信息识别海外园区用地类型和面积。考虑到中国海外园区数据库中不同园区的数据完整性有所差异，我们分别采用不同方法获取或估算数据库中三类（Tier1、Tier2、Tier3）园区相应的屋顶面积数据（由于Tier4类园区数据缺失，

我们无法估算其屋顶面积数据)。关于各分析等级园区的分类方法详见附件2。

- Tier1园区的屋顶面积数据信息通过人工标注卫星地图的方式进行采集。其中，卫星地图数据主要来自Google Map，采用Google Earth Engine (GEE) 进行标注，具体方法详见附件3。
- Tier2园区和Tier3园区的屋顶数量较多，采用与Tier1园区相同的人工标注方法会导致巨大的工作量，比较耗时。因此，我们最终采用了基于人工智能技术批量提取的公开屋顶数据集，并通过微软建筑足迹 (MBF) 获取屋顶数据，具体方法与操作步骤见附件3。

2.2 采用土地利用类型分类评估光伏项目开发技术潜力

进行光伏项目的开发技术潜力评估时，我们运用基于地理信息系统的方法对海外园区 (主要分为工业/商业园区和农业园区) 进行分别评估，并通过情景分析的框架对评估结果进行判断和总结。本研究从发电量和装机容量双重维度对中国海外园区的技术潜力进行了诠释。

工业/商业园区光伏潜力的计算方法

本报告采用屋顶光伏开发潜力诠释工业/商业园区光伏开发潜力。综合既有研究发现，城市环境中，屋顶光伏系统的发电潜力在很大程度上取决于光伏安装的可用屋顶面积 (Kjellsson, 2022; Lzquierdo, 2011; Hong et al., 2017; Min et al., 2021)。海外园区多为加工制造型园区、商贸物流型园区以及多元综合型园区，有着大量适

合铺设屋顶光伏组件的建筑物。因此，建筑物屋顶光伏项目是针对海外园区进行太阳能资源开发的首要选择。一般而言，工业/商业园区的建筑主要是较开阔地带的平屋顶建筑，且园区内建筑物之间不产生阴影遮挡。这种情况下在屋顶上铺设光伏组件时，无须考虑建筑物朝向、屋顶坡度和阴影等因素。既有研究应用了测算屋顶可用面积的不同方法 (表2)。

本报告采用基于地理信息系统 (GIS) 的估算法。海外园区分散于不同的国家和地区，需要综合考虑数据的广度。这种方法是最快获得可用信息的方法，仅需要地理信息系统且支持全球尺度，是评估全球范围内用地信息的唯一方法。这种方法的缺点是会损失一定的准确度，如果要进行实际施工，还需要其他方法加以佐证。该方法和同类方法的比较详见表2。

一般来讲，除了可以从资源和地理的大范围尺度考察屋顶太阳能的光伏潜力之外，涵盖诸多技术特性因素 (如效率、容量、稳定性和性能) 进行评价的技术潜力，可以更准确地表征太阳能光伏系统技术变化对项目发电量及装机容量的影响 (Gassar and Cha, 2021)。基于此，本报告重点评估海外园区光伏开发的技术潜力，同时考虑到理论技术潜力的最上限 (即资源潜力)，在情景分析过程中也会涉及资源潜力的分析部分。太阳辐射量评估简述见附件3。

为了更有效地为不同利益群体提供针对性的数据支持，同时准确反映分布在不同地理区域的海外园区光伏项目发电量的差异，我们采用基于地理信息系统的估算法评估发电量，而不是简单地通过装机容量进行直接转换。装机容量评估方法则采用与设备技术参数关联性更强的直接计算法。前者倾向于对最大光伏发电量理论值的探讨，后者倾向于展示安装现有最优光伏系统设备的最大装机容量。

表2 | 屋顶太阳能光伏安装面积估算方法

方法	研究主题	参数选择
比例计算法 (Kjellsson, 2002)	区域建筑一体化光伏潜力	建筑地面面积
社会因素估算法 (Lzquierdo et al., 2011)	西班牙大规模分布式光伏的安装潜力研究	人口、建筑物数量和土地利用信息
面积排除法 (Hong et al. 2017)	韩国太阳能光伏安装的可用屋顶区域	山体阴影面积、光伏系统每千瓦的最小安装面积
基于地理信息系统 (GIS) 的估算法 (Min et al., 2021)	长三角地区分布式可再生能源发展潜力及愿景	地理位置信息

基于所在国实际的光伏发电资源情况，本报告评估了屋顶光伏系统年最大光伏发电量的理论值：

$$E = (A_R \times RCR) \times r \times GHI \times PR \quad (1)$$

其中， E 为发电量（吉瓦时/年）； A_R 为屋顶总面积； RCR 为光伏组件的屋顶覆盖率，可取0.85（ADB，2014）； $A_R \times RCR$ 得到光伏组件总面积（平方米）； r 为理论测试的光伏模块转换效率（%），根据选用的光伏模块确定，一般多晶硅光伏组件的转换效率为20%（中国光伏产业协会，2023）； GHI 为光伏面板年平均水平面辐射总量（吉瓦时/平方米）； PR 为系统的运行效率。在实践中，由于温度、角度和光谱变化等引起的损耗，以及逆变器和电缆中的系统损耗，光伏系统的输出功率低于峰值功率，实际输出与理论输出之间的比率即系统的运行效率 PR （IEC，1998；Šúri et al., 2007）。随着技术的进步，2000年后光伏发电的 PR 值大致在0.75~0.9之间，技术先进地区的 PR 值约为0.85，本报告在之后的计算中取 $PR=0.85$ （Khalid et al., 2016）。本报告参数的选择基于现有最佳可得文献，存在时间不匹配或无法反映最新技术进展的不确定性。

基于光伏模块设备的参数情况，本报告估算了屋顶光伏系统的装机容量：

$$C_R = \left(\frac{C_m}{1000} \right) \times \left(\frac{A_R \times RCR}{A_m} \right) \quad (2)$$

其中， C_R 为屋顶光伏系统的装机容量（千峰瓦）； C_m 为单个光伏模块的额定容量（峰瓦）； A_R 为屋顶总面积； RCR 为光伏组件的屋顶覆盖率，可取0.85（ADB，2014）； $A_R \times RCR$ 得到光伏组件总面积（平方米）； A_m 为单个光伏模块的面积。一般取单个光伏模块的额定容量为500峰瓦，面积为2.5平方米（隆基绿能，2023）。

中国海外园区处于规划、半建成、完全建成等不同的发展阶段，不同阶段对潜力计算的屋顶面积部分影响较为关键。在估算工业/商业园区可再生能源开发的技术潜力时，本研究结合中国海外园区当前建设状况，采用情景分析的方法进行估算。

■ 资源潜力情景：

考虑到中国海外园区的最后建筑面积将以现阶段园区的总规划面积为最上限，因此，根据总规划面积和当地的年平均水平面总辐射量（ GHI ）值，并考虑园区面积碎片化的情况，假定光伏组件的最大屋顶覆盖率为0.85，计算得到园区规划区域范围内光伏开发的资源侧潜力。理论上，资源潜力情景下计算出的潜力值是技术条件达到极限值能开发的最高值，可为其他情景的评估结果提供参考。

■ 潜在建成情景：

遥感影像和媒体报道等资料显示，当前大部分中国海外园区仍处于建设中，尚未达到规划建成阶段。因此，本研究考虑潜在建成情景，探索中国海外园区建成后的光伏开发技术潜力。参考自然资源部发布的《工业项目建设用地控制指标》，各类工业项目建设用地的建筑系数（建筑物、构筑物、堆场占地总面积÷项目总用地面积×100%）均大于40%。通常情况下，中国国内大部分工业园区的建筑系数均取40%~60%。类比海外园区未来建设完成情况设置该情景，假设可供建设光伏屋顶发电站面积占海外园区总规划面积的比例为45%。

■ 卫星影像情景：

卫星影像情景基于地理信息系统相关数据，计算当前可供建设的既有屋顶面积下的光伏系统开发潜力。该情景展现的是与当前情况最接近的海外园区光伏开发技术潜力。

农业园区光伏潜力的计算方法

农业开发型园区（农业园区）用地通常包括农业种植用地和工业厂房两部分，本研究中，农业园区内工业厂房部分的光伏潜力计算方式与工业园区相同，因此并入工业/商业园区光伏开发技术潜力统一评估，而农业园区内种植用地的光伏潜力则单独计算。

专栏1 | 光伏农业实践

近十几年间，已经有若干农业光伏的实践案例和研究。在中国，已有2300个贫困村建立了贫困村光伏农场，装机容量1.3吉瓦，用地2.4万亩，在发电的同时已连续7年实现了水稻、小麦、玉米等粮食作物的丰收。法国、德国等欧洲国家也相继开展了光伏农业示范项目的实施与研究。

来源：作者根据http://www.news.cn/politics/2021-12/28/c_1128206821.htm和<https://agri-pv.org/en/>相关信息整理。



本报告评估农业园区在种植用地铺设光伏发电设备，搭建农业光伏系统（Agri-voltaic system）的技术潜力。全球范围内不同的土地类型中，农田的太阳能光伏发电潜力最大，平均发电量可以达到28兆瓦/平方千米（Adeh et al., 2019）。不同区域的太阳辐射量有所差异，单位面积农田全年发电量也不尽相同，从瑞典的30千瓦时/平方米（Campana et al., 2021）到美国Phoenix地区的600兆瓦时/英亩（相当于148千瓦时/平方米）（Majumdar & Pasqualetti, 2018）。光伏农业系统的不同安装密度与安装方式（地面安装和高处支撑安装）也会对发电量产生影响，美国Kansas City的生菜种植园光伏农业系统案例研究结果显示，考虑不同安装条件，该园区光伏发电量范围为40~108千瓦时/平方米（Dinesh & Pearce, 2016）。

既有研究大多基于对测试地块的“农光互补”具体项目数据的观测，跟踪不同农产品及光伏系统搭建方式的双重效益——从农作物产出和电力产出两方面分析综合效益（Trommsdorff et al., 2021; Fraunhofer ISE, 2022; DOE, 2022）。这些研究数据大部分基于微观项目观测数据，尚未有大范围的综合性归总研究。

基于所在国光伏发电资源的实际情况，本报告评估了农业园区种植用地光伏系统年最大光伏发电量理论值：

$$E = (A_{ag} \times CCR) \times r \times GHI \times PR \quad (3)$$

其中，E为发电量（吉瓦时/年）， A_{ag} 为种植用地的面积（平方米），CCR为光伏组件在种植用地上的覆盖率（%）， $A_{ag} \times CCR$ 为光伏组件总面积（平方米）。其余参数含义与公式（1）相同。

基于光伏模块设备的参数情况，本报告估算了农业园区种植用地光伏系统的装机容量：

$$C_R = \left(\frac{C_m}{1000} \right) \times \left(\frac{A_{ag} \times RCR}{A_m} \right) \quad (4)$$

其中，CR为光伏系统的装机容量（千峰瓦）。 A_{ag} 和CCR的含义与公式（3）相同，其余参数含义与公式（2）相同。

农业园区处在应用“农光互补”的不同发展阶段，其开发潜力也需要差异化分析。与估算工业/商业园区的可再生能源开发技术潜力时根据建设状况设置情景进行分析的方法不同，农业园区种植用地部分选取潜在建成情景与资源潜力情景两种情景。这是考虑到目前中国海外的农业园区尚未有种植用地数据的信息支撑，亦无法像工业/商业园区那样采用基于地理信息系统的估算法进行估算。

■ 资源潜力情景：

根据中国海外农业园区的种植面积计算规划区域范围内的太阳辐射量，并考虑园区面积碎片化的情况，假定光伏组件的最大地面覆盖率为0.85，进而估算该农业园区种植用地部分光伏开发的资源潜力。理论上，资源潜力情景计算得到的潜力值是技术条件达到极限时能开发的最高值，可为其他情景的评估结果提供参考。

■ 潜在建成情景：

遥感影像和媒体报道等资料显示，当前尚未有中国海外农业园区采用“农光互补”的方式开展种植生产。本研究考虑潜在建成情景，探索中国海外农业园区种植用地未来应用光伏系统的技术潜力。参考国内“农光互补”项目占园区种植用地的通常比例，假设可供建设光伏系统开展“农光互补”的种植面积占中国海外农业园区总种植用地面积的比例为30%（SETO, 2022）。

2.3 基于风机布排组合评估风电项目开发技术潜力

进行风能开发技术评估时，本研究主要基于风机布排设置分情景开展分析，同时通过发电量和装机容量双重维度对中国海外园区的风电开发技术潜力进行诠释。

风能发电量

风能发电量是指在考虑到风机的转换效率、间距和风机之间的尾流效应等技术要求和限制后，在一定的区域和时间内的可利用风能能量。现有研究采用的评估风能发电量的方法主要有四种，即全球估值法、综合参数集成法、度电成本最小化法和直接计算法（见附件5的附表2）。

本研究采用直接计算法评估海外园区风电项目的发电量。全球估值法在确定风能潜力评估值后，需要根据不同园区面积比例对该潜力值进行统一化处理，其适用于中观层面颗粒度要求不高的批量研究对象，弱化了对各个园区的特征性考察，稍显粗糙。度电成本最小化法适用的地理尺度比较大，研究范围大于3万平方千米（Jäger et al., 2016），超过大多数海外园区的面积，故本研究不使用该方法。对于综合参数集成法，目前Global Wind Atlas等风能潜力评估平台大多仅使用该方法获取资源侧风能相关参数数据（如风速），同时该方法的结果并非以数据的形式输出，无法进行量化分析。因此，综合参数集成法亦不适用于本研究。直接计算法考虑了不同类型风机对园区风能发电量的影响，可以较好地

评估现有风机技术条件下中国海外园区的整体风能开发潜力状况,也有助于分析和展望未来技术进步带来的风能开发潜力。此外,针对本研究的研究对象(即中国海外园区),相较于全球估值法的风能潜力与园区面积成比例的统一化处理,直接算法由于考虑了风速和园区总面积,能够相对个性化地展现每个园区的风能资源特性,也可以为某个/些特定园区的微观风能项目投资决策提供参考。

本研究基于直接算法评估海外园区风电项目年发电量:

$$E = WPD \times S \times t$$

其中, E 为发电量(瓦时); WPD 为风能功率密度(瓦/平方米,具体计算方法参见附件5); S 为风机扫除总面积(平方米); t 为一年的利用小时数(定值),取2246小时(NEA, 2022)。

风机扫除总面积可表示为: $S = N \times S_{turbine}$

其中, S 为风机扫除总面积(平方米); N 为风机数量(台); $S_{turbine}$ 指每台风机的扫除面积(平方米/台),为定值,可从风机制造商处获取。

风机数量(N)由园区总面积和风机摆放间距决定。风机的摆放对该区域能够产生的风能有一定的影响。摆放间距过小,会导致风速降低,该区域风能的产能量减少,同时会导致风湍流度增加,可能会增加顺风力涡轮的动态机械载荷;摆放间距过大,会导致使用的风机数量过少,造成该区域用地空间浪费,进而降低该区域风能的产能量。合理的风机摆放间距能够高效利用风场空间,避免出现风机超负荷的情况,从而最大程度开发利用风能资源。目前已有许多关于陆上风电场风机布局优化的研究,通过抽样、建模和机器学习相结合的方法设定风机布局,使得风场的发电量最大化(Wu et al, 2019; Yang et al., 2019; Kwong et al, 2012)。

通常情况下,在风能主导方向上,风机之间的间距为转子直径的8~12倍;在风能主导方向的垂直方向上,风机之间的间距为转子直径的3~5倍(Patel, 2006)。同时,国家标准《风力发电场设计规范》(DL/T 5383—2007)规定:风力发电机组按照矩阵布置,行必须垂直风能主导方向,同行风力发电机组之间距离不小于3倍的转子直径(3D),行与行之间距离不小于5倍的转子直径(5D)。

本研究设置两种模拟情景,以获取风机数量:

在设置情景时,选取风能主导方向和垂直于风能主导方向的最小风机间距(8D和3D)情景和最大风机间距(12D和5D)情景(Patel, 2006)。

最小风机间距情景:假设每台风机在风能主导方向的间距为8D,垂直于风能主导方向的间距为3D。

最大风机间距情景:假设每台风机在风能主导方向的间距为12D,垂直于风能主导方向的间距为5D。

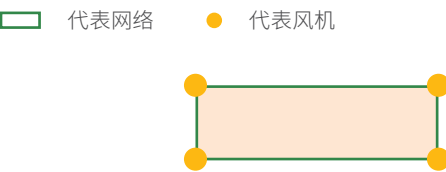
每种情景下,风能主导方向和垂直于风能主导风向形成网格的四个角上各摆放1台风机,如图2所示。该区域所包含的网格数量(N_{grid})可表示为:

$$\text{最小风机间距情景: } N_{grid} = S_0 / (8D \times 3D)$$

$$\text{最大风机间距情景: } N_{grid} = S_0 / (12D \times 5D)$$

其中, S_0 为园区内可摆放风机的总面积(平方米),对于工业/商业园区类园区,此数值取去除园区内建筑面积之后的数值(潜在建成情景下);对于农业园区,此数值取种植面积数值。

图2 | 风摆放位置1

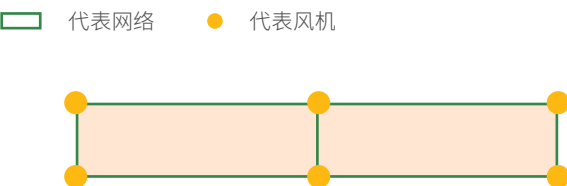


第一个网格上4台风机。由于相邻的两个网格共用一条边,之后每增加一个网格将增加2台风机,如图3所示。因此,在网格单排排列的情况下(网格多排排列时参考网格单排排列情况),风机数量(N)与网格数量(N_{grid})的关系为:

$$\text{最小风机间距情景: } N = 4 + 2(N_{grid} - 1) = (2 + \frac{S_0}{12D^2})$$

$$\text{最大风机间距情景: } N = 4 + 2(N_{grid} - 1) = (2 + \frac{S_0}{30D^2})$$

图3 | 风机摆放位置2



综上所述, 本报告中使用的直接计算法的计算公式如下:

最小风机间距情景:

$$E=(2+\frac{S_0}{12D^2})\times s_{turbine} \times \frac{1}{2}\rho\int_0^\infty U^3 f(U)dU \times t$$
$$=(2+\frac{S_0}{12D^2})\times s_{turbine} \times s_{turbine} \times \frac{1}{2}\times 0.955\rho \bar{U}^3 \times t$$

最大风机间距情景:

$$E=(2+\frac{S_0}{30D^2})\times s_{turbine} \times \frac{1}{2}\rho\int_0^\infty U^3 f(U)dU \times t$$
$$=(2+\frac{S_0}{30D^2})\times s_{turbine} \times s_{turbine} \times \frac{1}{2}\times 0.955\rho \bar{U}^3 \times t$$

其中, E 为海外园区的风电发电量(瓦时); S_0 为园区内可摆放风机的总面积(平方米); D 为风机转子直径(米); $S_{turbine}$ 为每台风机的扫除面积(平方米); ρ 为空气密度(定值), 一般取1.225千克/立方米; $\bar{U}$ 为风机轮毂高度处年平均风速(米/秒); t 为一年的利用小时数(定值), 取2246小时(IEA)。风机的选取对风能相关参数数据处理和风能技术潜力的计算过程有一定的影响。本研究中, 我们选取金风Goldwind 5S风机(D 为165米, $S_{turbine}$ 为21382平方米, 见表3), $\bar{U}$ 取值来自Global Wind Atlas平台上各海外园区中心位置上方100米高度处对应的平均风速。

表 3 | Goldwind 5S风机相关参数

GOLDWIND 5S风机相关参数	数值
轮毂高度	100米
每台风机的扫除面积 ($S_{turbine}$)	21382 平方米
风机转子直径 (D)	165米

风电装机容量

与风能年发电量不同, 风能发电的装机容量指该系统实际安装的发电机组额定有效功率的总和。

本研究采用容量密度算法估算风能发电装机容量:

$$C_Z = S_Z \times \delta$$

其中, C_Z 为风电装机容量(兆瓦); S_Z 为园区内可摆放风机的总面积(平方千米), 同风机间距情景公式中的 S_0 ; δ 为装机容量密度(兆瓦/平方千米)。

装机容量密度可以量化每单位面积可达到的发电能力水平, 与风能资源、系统性能和选址限制共同组成技术潜力建模领域的核心部分。本研究采用容量密度算法进行估算。由于表示装机容量密度的方法和研究方法有所差异, 不同研究获得的装机容量密度也各不相同(Harrison-Atlas et al., 2021)。本研究中, 考虑到中国海外园区分布国家较多, 我们参考全球尺度研究中的装机容量密度最大值(欧洲地区为19.8兆瓦/平方千米, 欧洲以外地区为20.5兆瓦/平方千米)(Enevoldsen & Jacobson, 2021)和最小值(4兆瓦/平方千米)(Hoogwijk et al., 2004)进行估算。

专栏 2 | 越南-新加坡工业园区 (Vietnam Singapore Industrial Park, VSIP) 屋顶光伏项目

越南-新加坡工业园区 (VSIP) 于1996年在越南平阳省成立, 集产业园区、商业园区和住宅于一体, 致力于打造绿色园区, 以永续发展为主轴。园区的合资企业之一是越南-新加坡智能能源解决方案股份公司 (Vietnam Singapore Smart Energy Solutions, VSSSES), 该公司旨在提供可持续能源解决方案, 并为VSIP多家企业提供屋顶太阳能系统。2021年12月, 由VSSSES支持的II-VI Vietnam公司屋顶太阳能系统成功调试。该系统的规模为636千峰瓦, 每年可产生890兆瓦时的电力, 并减少超过812吨的二氧化碳排放量, 相当于新种植9811棵树。II-VI Vietnam公司通过积极行动支持长期可持续发展, 减少全球运营碳足迹, 并且希望成为可持续发展领域的榜样。2021年5月, 位于VSIP Binh Duong园区的Green Cross Vietnam公司的屋顶太阳能系统由VSSSES通过零资本支出模型成功实施。系统规模为578千峰瓦, 年发电量超过800兆瓦时, 每年可减少超过738吨的二氧化碳排放量。Green Cross Vietnam公司使用屋顶太阳能系统产生绿色能源, 用于生产和行政用途。值得一提的是, 该系统是在越南暴发新冠肺炎疫情前安装, 帮助企业在困难时期节省了电费。

来源: 作者根据<https://www.vsip.com.vn/>相关信息整理。





第三章

数量众多、分布广泛的中国海外园区

本研究建立的中国海外园区数据库收录了中国159个海外园区，其中近一半分布在亚洲，另外一半分布在非洲和欧洲。在全部类型的海外园区中，多元综合型园区和农业开发型园区数量最多。

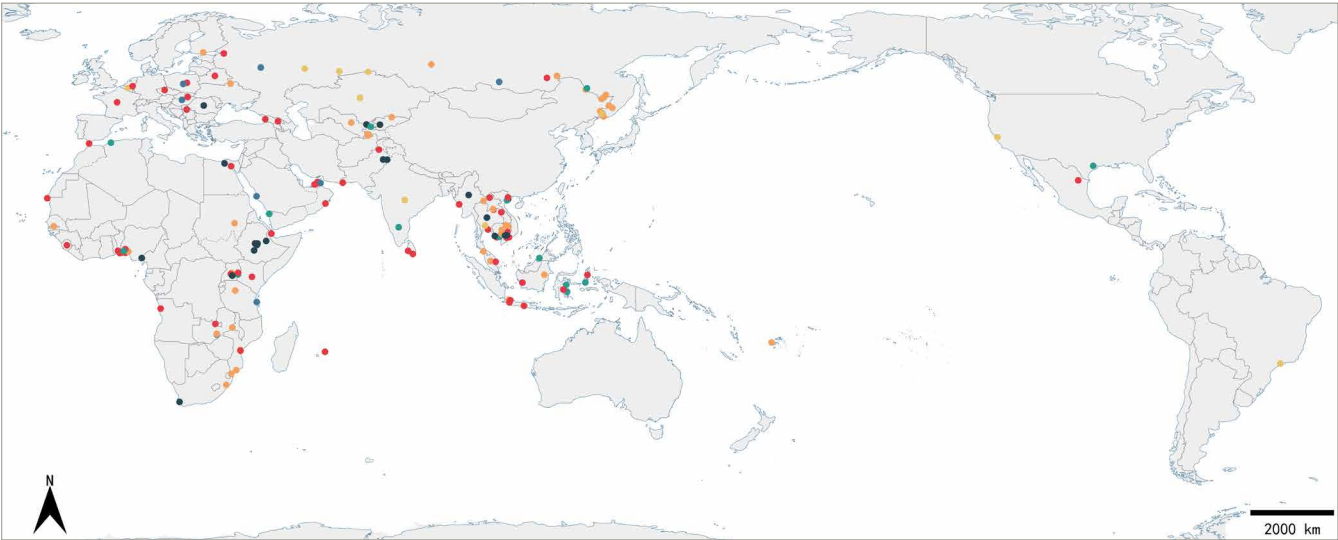
本研究建立的数据库涵盖1992—2022年间成立且截至2022年处于在营状态的中国海外园区，共计159个，具体参见附件1。其中，位于亚洲的有71个（占比45%），位于欧洲的有39个（占比24%），位于非洲的有44个（占比27%），位于北美洲的有3个，位于南美洲和大洋洲的分别有1个。按照园区类型划分，多元综合型园区有59个，加工制造型园区有22个，资

源利用型园区有15个，农业开发型园区有44个，技术研发型园区有10个，商贸物流型园区有9个。这些园区中，多元综合型园区和农业开发型园区数量最多，分别占比37%和28%，技术研发型园区和商贸物流型园区数量最少，分别占比6%和5%。从时间上看，绝大多数海外园区建设于2000年之后，63%的海外园区建设于2013年之后。

图 4 | 海外园区分布地图 (截至2022年底)

园区分类

■ 多元综合型园区 ■ 商贸物流型园区 ■ 资源利用型园区 ■ 加工制造型园区 ■ 农业开发型园区 ■ 技术研发型园区



审图号:GS 京 (2024)1827号

专栏 3 | 省级境外经贸合作区考核管理政策一览

截至目前，已有山东省、浙江省、广东省和湖北省四省份的商务厅单独或者会同省财政厅制订了省级境外经贸合作区考核管理办法。2018年，山东省商务厅会同山东省财政厅联合印发了《山东省境外经贸合作区考核管理办法》（鲁商字〔2018〕205号）。2018年，浙江省商务厅、浙江省财政厅联合制定了《浙江省省级境外经贸合作园区考核管理办法》（浙商务联发〔2018〕52号），明确

来源：作者根据山东省、浙江省、广东省和湖北省商务厅网站相关信息整理。

了基本原则和考核要求。2021年，广东省商务厅首次出台境外经济贸易合作区考核方案，即《广东省商务厅关于广东省境外经济贸易合作区考核的办法》（粤商务规字〔2021〕1号）。2021年，湖北省商务厅也印发了《湖北省境外经济贸易合作区认定和考核办法（试行）》（鄂商务发〔2021〕2号）。

专栏 4 | 通过农业农村部认定的境外农业合作示范区

对于农业对外合作园区，2017年原农业部根据《农业对外合作“两区”建设方案》（农外发〔2016〕3号）和《农业部关于组织开展境外农业合作示范区和农业对外开放合作试验区建设试点的通知》（农外发〔2016〕4

号）要求，进行了境外农业合作示范区和农业对外开放合作试验区的认定工作，共有10个境外园区被认定为首批境外农业合作示范区。

来源：作者根据农业农村部网站相关信息整理。





第四章

中国海外园区光伏 开发技术潜力评估

工业/商业园区屋顶光伏的年发电量约与欧盟2023年光伏发电量相当，预计工业/商业园区的屋顶光伏项目开发可以带动约5.52亿元的投资（潜在建成情境）。农业园区种植用地光伏项目的年发电量相当于欧盟2023年光伏发电量的1.78倍，预计农业园区的地面光伏项目开发可以带动约11.29亿元的投资（潜在建成情境）。

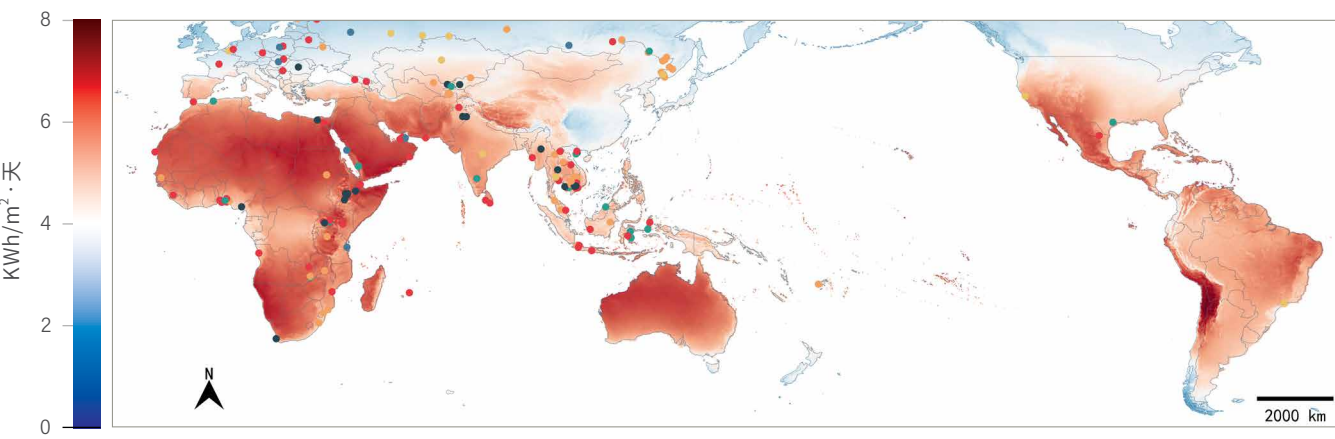
中国可再生能源行业发展成熟、技术完备、价格优势明显，同时，大部分中国海外园区分布于中低纬度地区，太阳辐射较强，非常适合进行太阳能资源开发利用（图5）。海外园区是光伏发电项目的重要应用场景，园区内存在大量的建筑物屋顶空间。在建筑物屋顶铺设光伏组件，不受地理位置的

限制，也无须占用额外的土地资源，更能缓解电力供应不稳定对生产活动带来的负面影响，降低电力成本，整体化提升园区的用能效益。农业园区也可采用“农光互补”模式，在种植用地上安装光伏发电系统，增加现有土地的利用率与单位用地产出。

图 5 | 中国海外园区的全球分布与全球水平辐照度情况

园区分类

- 多元综合型园区
- 商贸物流型园区
- 资源利用型园区
- 加工制造型园区
- 农业开发型园区
- 技术研发型园区



审图号:GS 京 (2024)1827号

专栏 5 | 越南Deep C工业园可再生能源项目

位于越南北部港口城市海防的DeepC工业园区安装了 2.15 兆瓦的屋顶光伏。该项目于2016年开始由国际顾问进行可行性研究，2017年开始进行小型测试，2018年基于前12个月采集到的数据进行运行效果分析，2019—2021年进行正式建设。该项目在正式建设过程中，又选取一个仓库屋顶进行试点，然后推广。

该项目共有12家供应商进行投标，报价在490~700美元/千峰瓦之间，建设时间为6个月，第一年发电量预计为2360兆瓦时，年度运维成本约为系统价值的1.5%。

屋顶光伏系统接入DeepC工业园区的内部电网，在不干扰其运营的情况下向园区的所有租户分配绿色电力。DeepC工业园区计划扩大可再生能源发电规模，目标包括120兆瓦的太阳能与风能，以及配置储能系统并应用智能电网技术，到2030年，力争实现可再生能源覆盖园区50%的电力需求。

来源：作者根据Clean Energy Investment Accelerator (CEIA) 提供的案例整理。

4.1 工业/商业园区光伏开发技术潜力

本部分计算包括了工业/商业园区与农业园区中的厂房部分。

资源潜力情景下，工业/商业园区的年发电量约为 2.91×10^6 吉瓦时，装机容量约为328.22吉瓦。

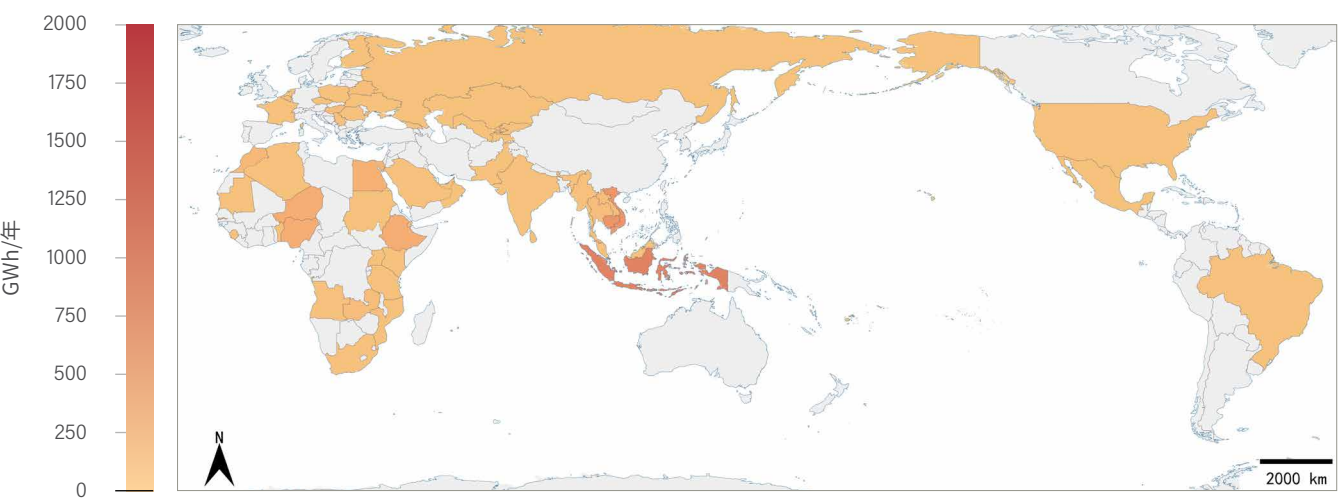
潜在建成情景下，工业/商业园区的年发电量约为 2.23×10^5 吉瓦时，装机容量约为147.7吉瓦，相当于欧盟2023年新增光伏装机容量的2.64倍 (Statista, 2024)。此情景下，

工业/商业园区的光伏年发电量约与欧盟2023年光伏发电量相当 (Ember Climate, 2024)，如果按中国工商业分布式光伏的投资成本 (中国光伏行业协会, 2022) 估算，光伏项目开发可以带动约5.52亿元的投资。

卫星影像情景下，工业/商业园区的年发电量约为3789.39吉瓦时，装机容量约为2.54吉瓦。按照现有卫星影像情景，工业/商业园区的年光伏发电量约为欧盟2023年光伏发电量的2% (Ember Climate, 2024)。

现有卫星影像情景下，按照国家划分，工业/商业园区光伏发电量最大的国家依次为印度尼西亚、柬埔寨、越南 (图7)。

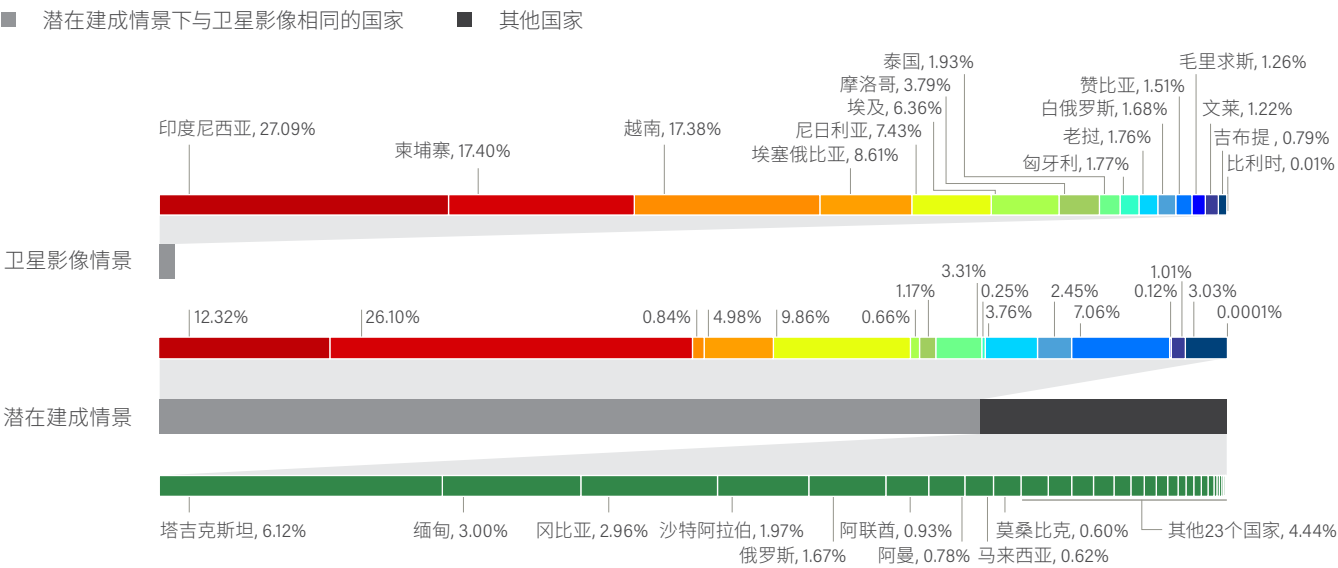
图6 | 工业/商业园区发电量评估(卫星影像情景)



注：灰色为无数据或不适用(下同)

审图号:GS 京 (2024)1827号

图7 | 工业/商业园区光伏项目发电量评估(分国别)



按照园区类型来看，多元综合型园区的光伏发电潜力占比最大，为87.1%，该类型的园区数量多而且占地面积也较大；其次为加工制造型园区，占比7.6%；技术研发型园区占比最小，不足1%。

若考虑潜在建成情景，按照国家划分，工业/商业园区光伏发电量最大的国家依次为柬埔寨、印度尼西亚、尼日利亚（图7）。按照园区分类来看，多元综合型园区的光伏潜力依旧占比最大，为41.4%，其次为加工制造型园区，占比26.4%（图8）。

4.2 农业园区光伏开发技术潜力

所有纳入考虑的38个农业园区种植用地的总面积为4533平方千米。资源潜力情景下，光伏年发电量可达 6.20×10^6 吉瓦时，装机容量为770.54吉瓦。潜在建成情景下，光伏年发电量为 3.72×10^5 吉瓦时，装机容量为271.96吉瓦，相当于欧盟2023年新增光伏装机容量的4.86倍（Statista, 2024）。潜在建成情景下，农业园区种植用地的光伏年发电量相当于欧盟2023年光伏发电总量的1.78倍（Ember Climate, 2024）。按中国地面光伏系统的投资成本（中国光

图 8 | 工业/商业园区光伏项目发电量评估(分类别)

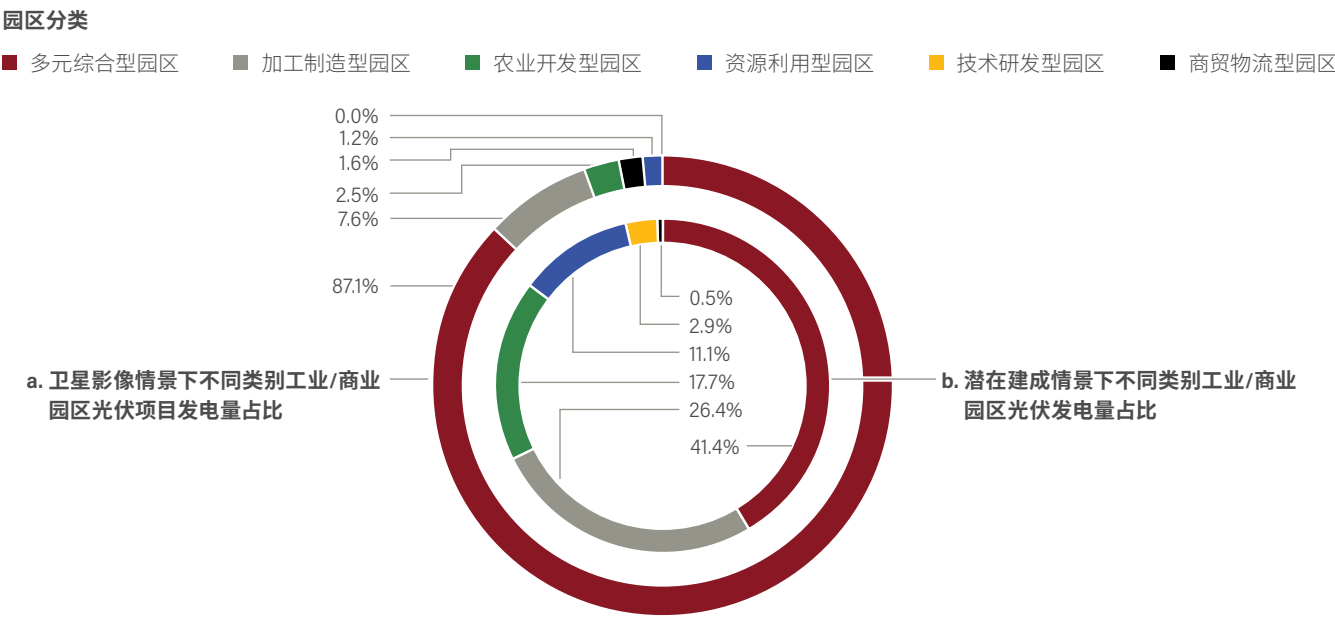
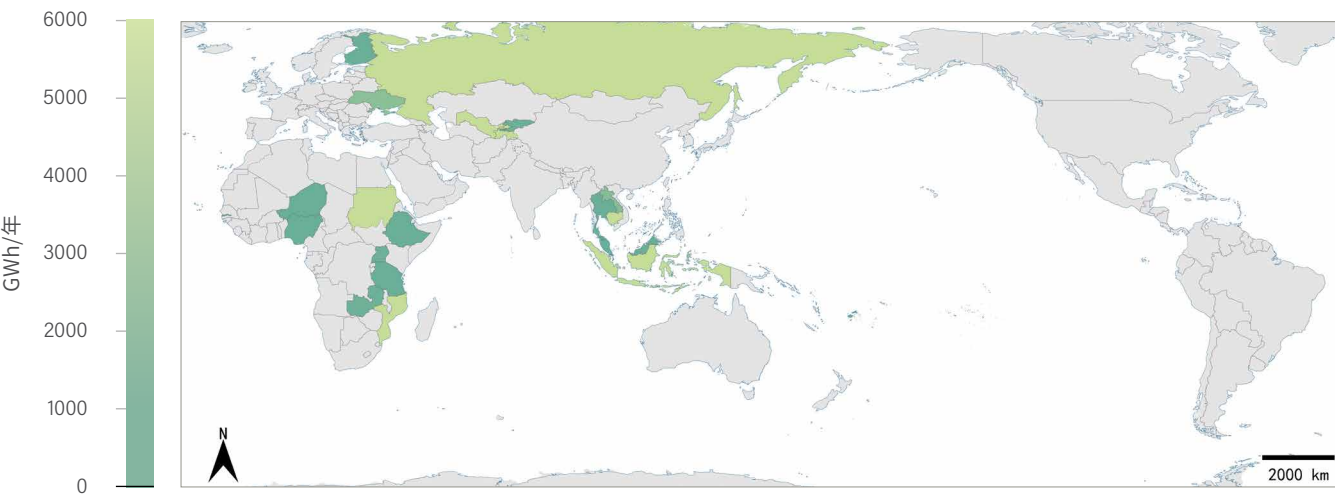


图 9 | 农业园区光伏开发技术潜力(潜在建成情景)



审图号:GS 京(2024)1827号

伏行业协会，2022）估算，农业园区的地面光伏项目开发可以带动约11.29亿元的投资。

按照国家划分，农业园区的农业种植用地部分光伏可发电量占比最大的国家依次为俄罗斯、印度尼西亚和柬埔寨。其中俄罗斯最高，占比为39.1 %（图10）。位于俄罗斯的农业园区的农业用地面积非常大，在所有园区中占约50%，因此在光伏潜力方面也占据了主要地位。按照区域划分，东南亚地区农业园区光伏可发电量占比最大，其次为东欧地区、北欧亚地区（图11）。需要说明的是，实际情况中，铺设光伏板的面积比例取决于每个园区的产业布局、铺设光伏板的经济潜力和技术可达性等因素。

图 10 | 农业园区光伏项目发电量评估(分国别)

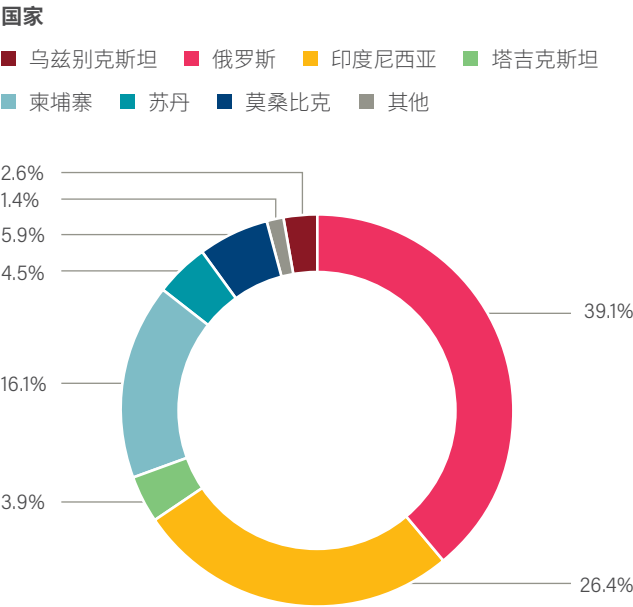
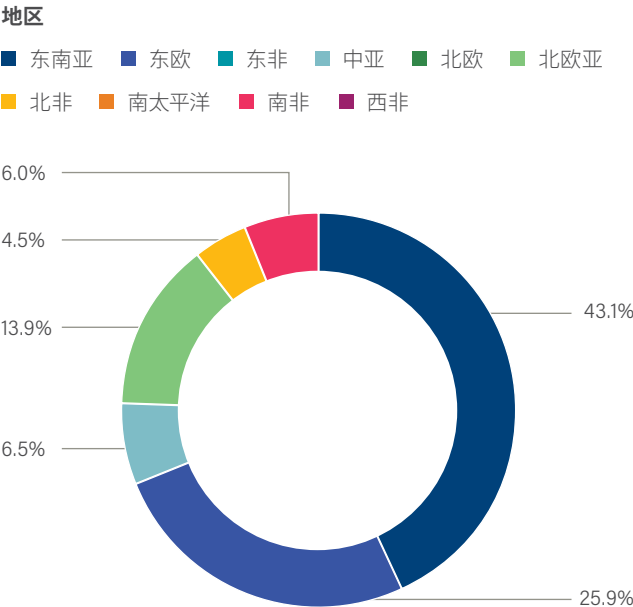


图 11 | 农业园区光伏项目发电量评估(分区域)





第五章

中国海外园区风电开发技术潜力评估

中国海外园区风电装机容量为22.74~116.48吉瓦, 相当于欧盟2023年新增风电装机容量的1.4-7.19倍, 预计中国海外园区风电项目可带动3.83亿元的投资。

随着风能技术日趋发展进步，风能发电成本逐渐降低，展示出巨大的投资潜力。目前，中国海外园区的分布区域中，一些地区的风能资源丰富，为园区开发利用风能提供了良好的基本条件。

在最小风机间距情景下，中国海外园区的风能年发电量为 4.63×10^4 吉瓦时；在最大风机间距情景下，中国海外园区的风能年发电量为 1.12×10^5 吉瓦时。中国海外园区风电装机容量为22.74~116.48吉瓦（图14），相当于欧盟2023年新增风电装机容量的1.4-7.19倍（Windeurope,2024）。

按照国家划分，风能年发电量较大的园区所在国家依次为俄罗斯、莫桑比克、柬埔寨（图12）。按照地区划分，地处北欧亚的中国海外园区的风能年发电量占比最大，两种情景下占比分别为50.7%和49.6%，其次为东南亚（13.4%）和非洲南部（11.2%）（图13）。

按园区类型划分，农业开发型园区的风能年发电量最大，其次是技术研发型园区和多元综合型园区（表4）。基于评估结果，按中国陆上风电的投资成本（中国光伏行业协会，2022），预计中国海外园区风电项目可带来3.83亿元的投资。

图 12 | 海外园区风电项目发电量评估(分国别)

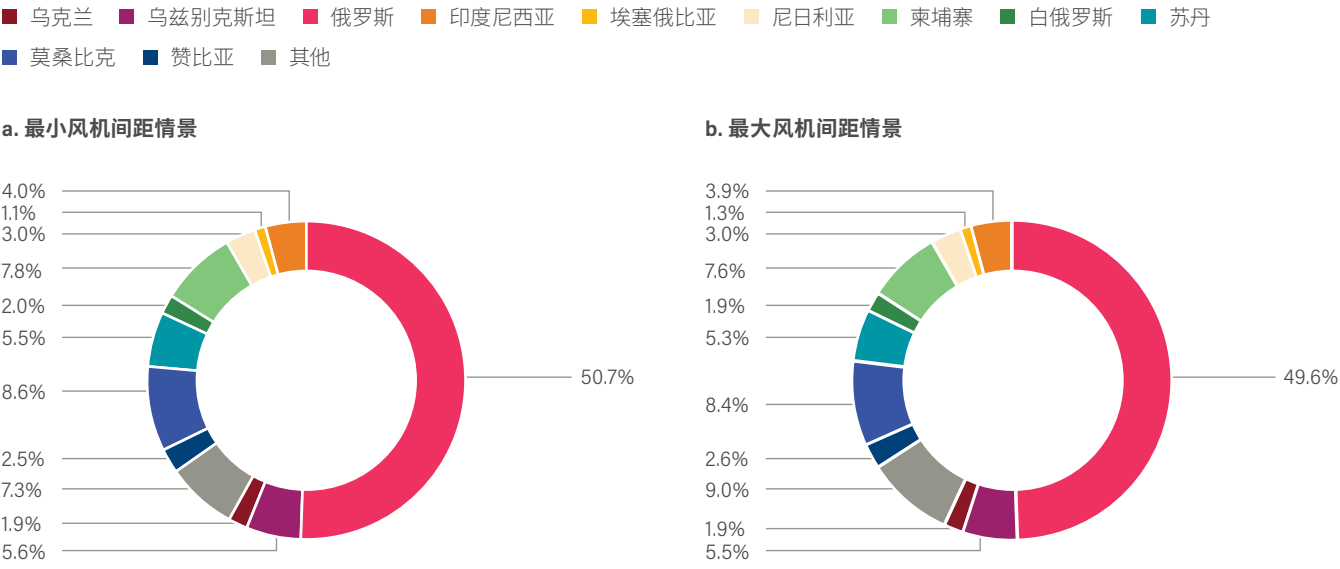


图 13 | 海外园区风电项目发电量评估(分区域)

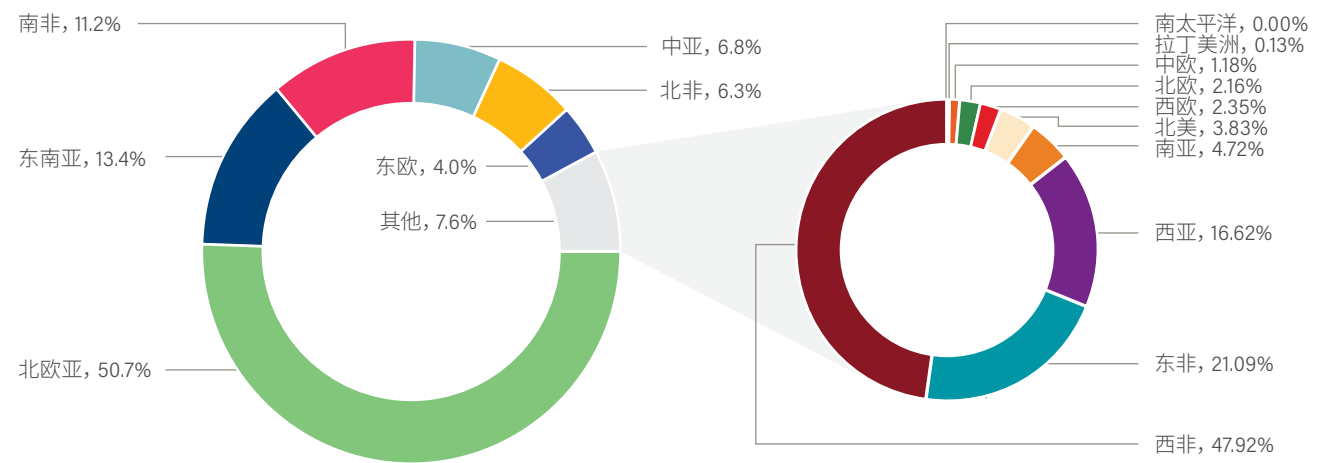




图 14 | 海外园区风电项目装机容量评估(分区域)

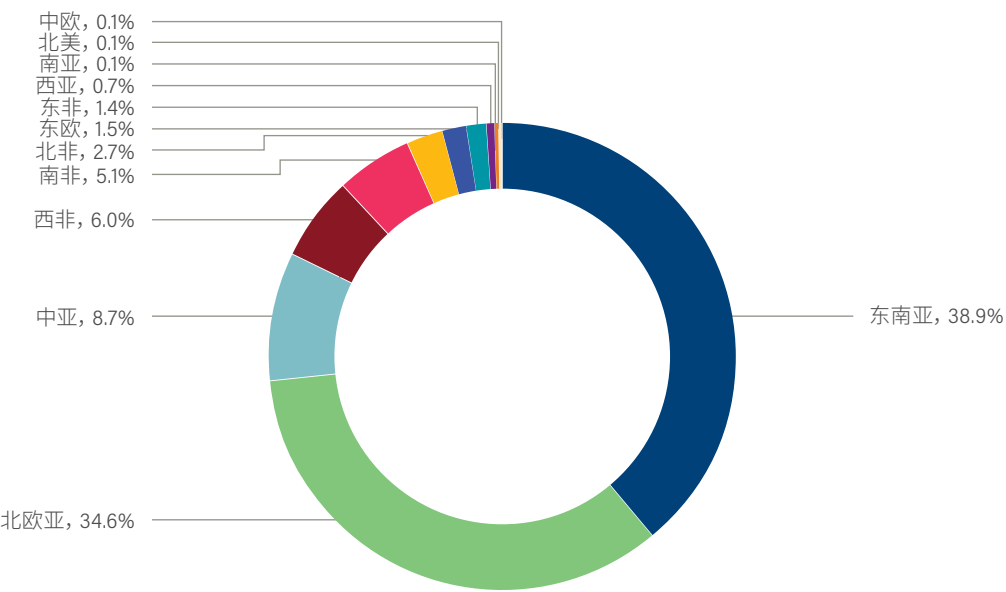
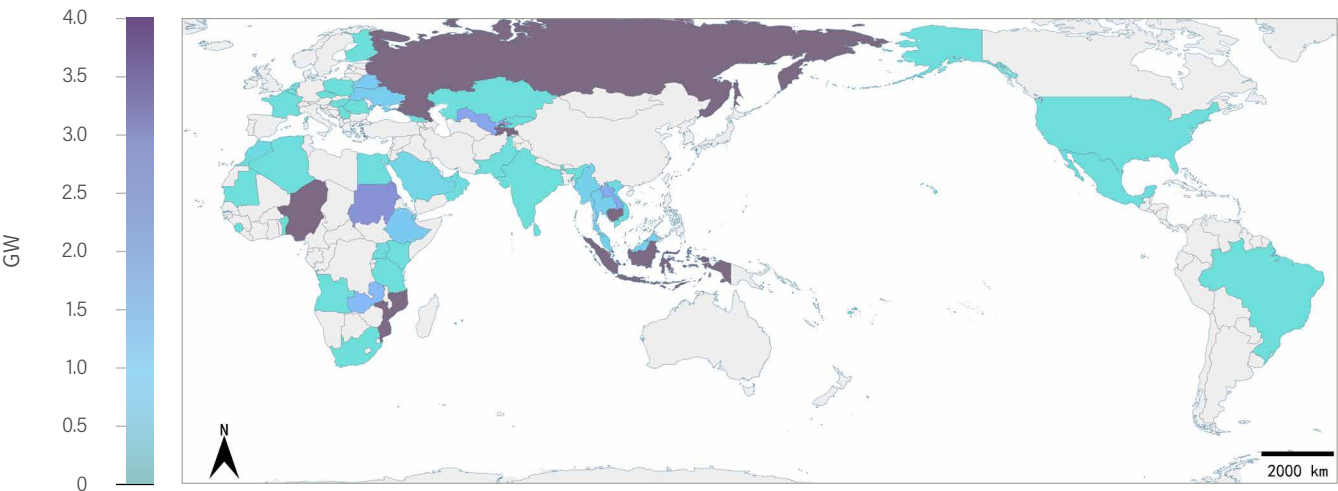


表 4 | 不同类型园区的年风能发电量评估

园区类型	最小风机间距情景 (GWh)	最大风机间距情景 (GWh)
多元综合型园区	1.01×10^4	0.47×10^4
商贸物流型园区	0.024×10^4	0.017×10^4
农业开发型园区	9.43×10^4	3.81×10^4
加工制造型园区	0.36×10^4	0.16×10^4
技术研发型园区	0.052×10^4	0.033×10^4
资源利用型园区	0.32×10^4	0.14×10^4

图 15 | 海外园区风电开发技术潜力

a. 风电装机容量 (最小风机间距情景)



b. 风电装机容量 (最大风机间距情景)

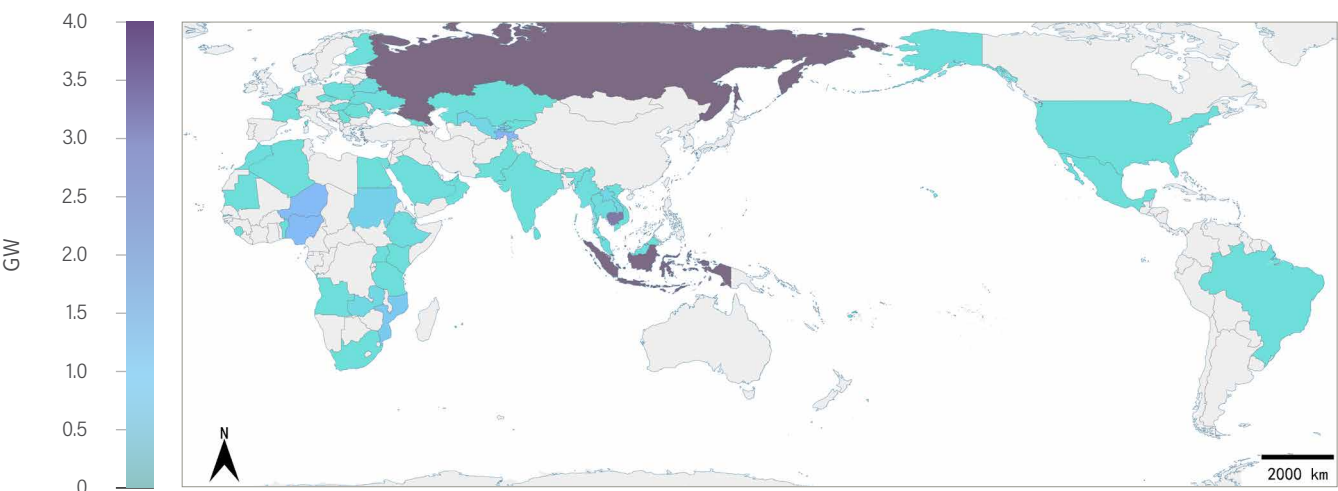
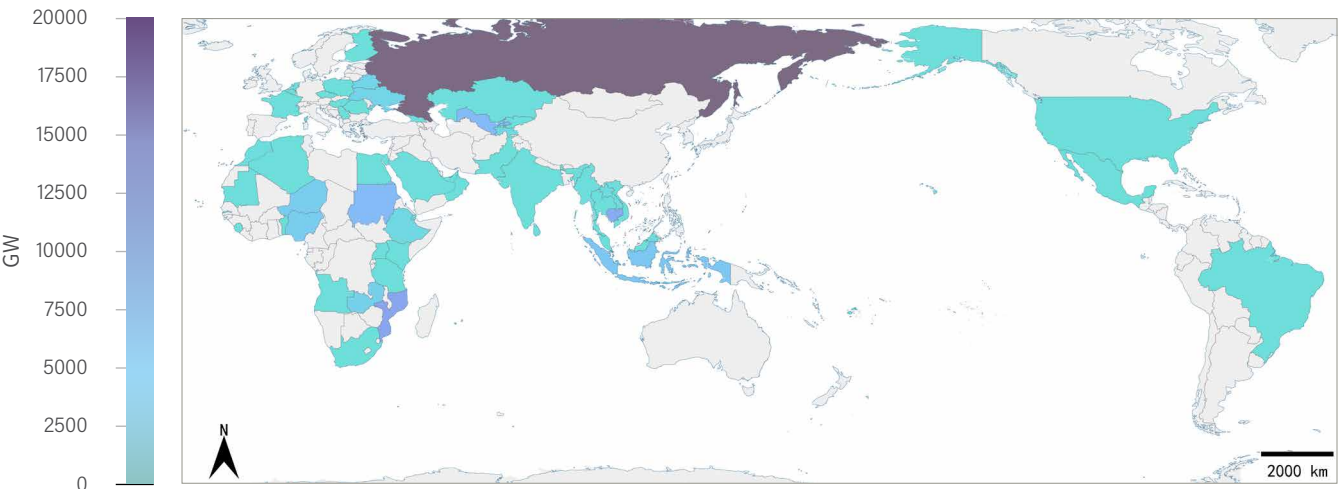
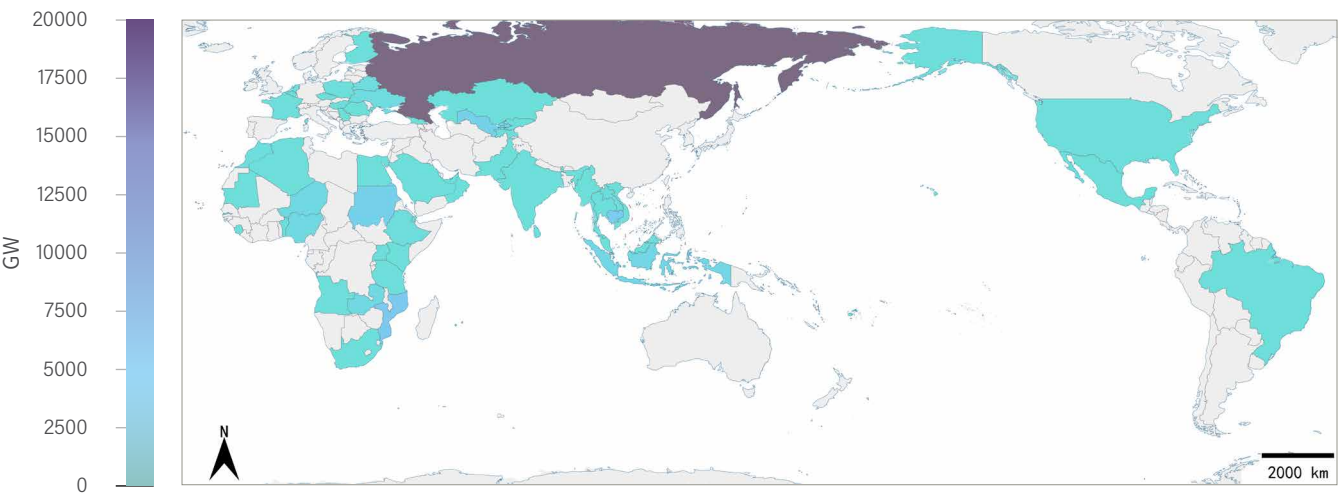


图 15 | 海外园区风电开发技术潜力(续)

c. 风电年发电量（最小风机间距情景）



d. 风电年发电量（最大风机间距情景）



审图号:GS 京 (2024)1827号



第六章

结论

要释放并转化蕴藏在海外园区之中的巨大可再生能源开发潜力，就必须克服“缺标准指引”、“缺动力”、“缺资金”等典型障碍。可再生能源项目从规划、建设、招商到运营管理的每一个环节，都需要政策制定者、商业投资者、园区运营者、金融机构等多方主体的共同协作。

中国海外园区主要分布在亚非欧，多元综合型园区和农业开发型园区数量最多

根据本研究建立的中国海外园区数据库，截至2022年，处于运营状态的中国海外园区共计159个。其中，位于亚洲的有71个（占比45%），位于欧洲的有39个（占比24%），位于非洲的有44个（占比27%），位于北美洲的有3个，位于南美洲和大洋洲的分别有1个。按照园区类型划分，多元综合型园区有59个，加工制造型园区有22个，资源利用型园区有15个，农业开发型园区有44个，技术研发型园区有10个，商贸物流型园区有9个。这些园区中，多元综合型园区和农业开发型园区数量最多，分别占比37%和28%，技术研发型园区和商贸物流型园区数量最少，分别占比6%和5%。从时间上看，绝大多数海外园区建设于2000年之后，63%的海外园区建设于2013年之后。

在海外园区开发可再生能源项目具备技术潜力与投资潜力

用地困境一直是制约可再生能源大规模应用的一大难题，在非竞争性用途土地利用方面，园区可以作为有效的优化利用场景用于可再生能源的系统开发。对于地处风光资源潜力丰富地区的海外园区来说，开发屋顶光伏等可再生能源项目不仅蕴含巨大的技术开发潜力，而且也可以实现大规模的减排效益，从而体现出具有竞争性的投资潜力。

在海外园区开发可再生能源项目，投资规模可达约20.64亿元，相当于2022年中国在埃及直接投资额的1.24倍（商务部，2024）。潜在建成情景下，工业/商业园区的光伏年发电量约与欧盟2023年光伏发电量相当，开发该类项目可以带动约5.52亿元的投资。农业园区种植用地的光伏年发电量相当于欧盟2023年光伏发电量的1.78倍，开发该类项目可以带动约11.29亿元的投资。开发中国海外园区的风电项目可带动约3.83亿元的投资。

中国海外园区分散在不同区域，可再生能源开发的技术潜力也呈现出不同的区域特征。光伏方面，现有卫星影像情景下，工业/商业园区光伏开发潜力最大的国家是位于东南亚的柬埔寨和印度尼西亚，以及位于中东地区的阿联酋。若考虑资源潜力情景或者潜在建成情景，工业/商业园区光伏开发潜力最大的国家为东南亚的柬埔寨、印度尼西亚，以及非洲的尼日利亚。农业园区光伏开发潜力最大的区域为东南亚地区，其次为北欧亚和中亚地区。风能方面，地处北欧亚地区的中国海外园区的风电开发潜力最大，其次为东南亚和非洲地区。

不同类型海外园区可再生能源开发的技术潜力也体现出差异性。多元综合型园区的光伏开发潜力最大，其次为加工制造型园区，而技术研发型园区的光伏开发潜力最小。农业

开发型园区的风电开发潜力最大，其次是技术研发型园区和多元综合型园区。

海外园区可再生能源项目的减排效应，有力彰显中国在全球应对气候变化方面所做出的积极贡献

除了在海外园区开发屋顶光伏系统、地面光伏系统以及风力发电系统将带来的直接投资外，海外园区可再生能源项目规模化将带来巨大的减排效应。这既有助于东道国实现应对气候变化目标与可再生能源发展的国别目标，同时，考虑到中国在全球经贸合作与国际投资中的重要地位，此举也充分体现了中国在积极推进国内实现“双碳”目标的同时，为境外区域减排所做出的重要贡献。

在中国海外园区布局可再生能源项目有助于全球实现净零排放目标。到2050年，如果潜在建成情景下海外园区的光伏与风电潜力得到全面开发，将为全球实现净零排放的可再生能源装机容量目标贡献约2%的份额，如果将这一全面开发进程提前到2030年之前完成，该贡献率将大幅提升至近5%（IEA，2023）。

多方合作推进海外园区可再生能源开发潜力的释放与转化

中国海外园区建设秉承“政府引导、企业主导、国际规则、市场化运作”的原则。然而，除了少数基于双多边国际发展合作机制而试点开发的园区可再生能源项目之外，至今依然鲜见由园区开发者主导进行的光伏、风电等项目实践。要释放并转化蕴藏在海外园区之中的巨大可再生能源开发潜力，就必须克服“缺标准指引”、“缺动力”、“缺资金”等典型障碍。可再生能源项目从规划、建设、招商到运营管理的每一个环节，都需要政策制定者、商业投资者、园区运营者、金融机构等多方主体的共同协作。

对于政策制定者——

- 着力引导，细化海外园区低碳发展政策信号发挥作用的导向与路径。有必要明确认识到，海外园区不仅是中国可再生能源海外发展的关键平台，更是中国为应对全球气候变化而做出贡献的重要载体。这不仅体现在海外园区作为清洁能源技术的海外应用市场，能够快速将中国成熟的技术与产业推向全球，同时也有助于反哺国内可再生能源行业的发展。更重要的是，海外园区的减排效应可以助力所在国达成应对气候变化和实现低碳发展的目标，进一步彰显中国在境外减排方面的积极贡献。

- 在《“十四五”商务发展规划》、《对外投资合作绿色发展工作指引》以及国家和省级境外经贸合作区/园考核管理办法等国家与地方层面的政策框架基础上,细化绿色海外园区的指南、指引等政策,引导各海外园区通过科学制定低碳规划、提高园区可再生能源消费比例、进行减排效应的量化核算等方式,更好地提升与践行低碳发展的理念。
- 通过搭建海外园区低碳发展标准化委员会等平台,统筹协调关于海外园区投资、开发、建设、运维等方面的低碳指标与标准,如发布海外园区低碳发展指标体系等官方标准。同时,分享国内产业园区与低碳园区的实践经验,结合低碳领域的国际先进标准,为海外园区的标准化低碳实践提供统一、清晰、科学、具体的指导。
- 创新海外园区低碳发展的考核评价机制,制定长期且可预期的激励政策。海外园区从立项到建设再到运营的时间跨度是以年为单位的,需要制定针对低碳发展的长期且可预期的激励政策。现有国家层面与地方层面的海外园区考核评价方法基本是围绕建设与经济指标展开的,缺乏对具体低碳指标的考察。这一方面的创新范例是浙江省出台的《浙江省境外经贸合作区评价办法》(征求意见稿),该办法将绿色发展作为海外园区考评体系中的重要指标。
- 撬动现有双/多边国际合作机制,支持低碳园区试点建设,以公共资金支持可再生能源项目投资的前期成本,鼓励头部海外园区低碳化实践先试先行,打造标杆并形成可复制的模式。例如,气候变化南南合作项目框架下的低碳示范区建设就是有益尝试。

对于商业投资者和园区运营者——

- 充分了解海外园区所在国的低碳政策与可再生能源发展目标(例如,埃及的《2035年综合可持续能源战略》提出,计划到2035年,埃及42%的电力将来自可再生能源),同时结合当地的工商业电价政策与能源供应情况,参考国际优良实践与标准,制定包括可再生能源解决方案在内的园区供电计划、能源系统协同规划、低碳专项规划,或定期更新园区已有综合性发展规划中的绿色低碳章节。
- 大部分海外园区位于可再生能源资源丰富且靠近光伏组件等可再生能源产品终端市场的区域,应充分结合市场条件与自身可再生能源潜力条件,探索融合海外园区建园企业、入园企业与可再生能源项目投资企业等各方的可持续性商业合作与盈利模式(如全部自用、部分自用部分上网、全部上网等方

式)。例如,中埃泰达苏伊士经贸合作区中,入园企业巨石公司就与当地合作伙伴合作启动了7兆瓦屋顶太阳能发电项目,为企业生产供电。

- 利用可再生能源替代柴油或自备燃煤电厂等海外园区较常用的化石能源用能方案,实现能源转型,同时积极通过国际与区域性的碳市场机制(如欧盟碳市场、自愿性碳市场机制)实现减排收益,有效回收可再生能源项目开发与投资的初期成本。
- 依托重点区域的中国海外园区,布局可再生能源国际产能投资合作项目。海外园区既是光伏、风电等可再生能源的重要应用场景,同时也可作为可再生能源国际产能投资合作的关键布局结点。例如,针对欧洲的可再生能源市场,国内可再生能源行业在进行海外投资时,可优先考虑将项目设在非洲、中东或中东欧的海外园区。

对于金融机构——

- 有必要了解海外园区这一具有聚集与规模效应的中国对外投资合作形式的重要意义。考虑到海外园区低碳化发展的现阶段特征,可借鉴国内气候投融资试点的有益经验,选取位于重点区域的园区建设低碳项目示范区(如小规模园区屋顶光伏项目),并为其提供投融资支持。
- 基于本研究的评估结果建立一套海外园区低碳投融资目标项目库,设置优先选择的园区类型、所在区域与可再生能源项目适配度等指标,为筛选、支持海外园区低碳项目奠定基础。
- 考虑到金融机构对项目营利性、投资回报周期、减排收益、环境与社会效益等指标与投资目标有差异性诉求(如中非发展基金对尼日利亚莱基自由贸易区的投资体现其“提升非洲可持续发展能力”的投资目标),可尝试探索发展混合融资模式,引入私人部门资金以扩充项目融资规模,并通过合作和政策支持为园区的低碳项目提供必要的投前援助和能力建设。



第七章

讨论

本报告重点关注中国海外园区作为整体，在其中开发可再生能源电力项目的技术潜力视角，因此主要聚焦中观层面的研究维度，同时一定程度的放宽了评估精度，尚未纳入对具体用电需求的考察角度。



中观层面的研究维度

不同于既往研究和针对全球、区域或国别尺度从宏观角度开展的可再生能源开发技术潜力评估，亦不同于针对具体光伏或风电项目的微观案例研究，本研究关注的主体是中国在境外的产业园区，通观在这一类主体中开发可再生能源项目的预期技术开发潜力，其评估方法与颗粒度会有所区别。研究过程中，根据特定条件，有的指标采用了自上而下的评估方法，有的指标采用了自下而上的计算方法。由于发电量与装机容量的估算方法不同，不能简单将光伏/风电开发技术潜力评估结果中的二者直接进行横向比较。在园区相关数据完备的基础上，可在后续的研究中开展针对具体园区的光伏/风电发电量与装机容量对比研究。另外，本报告评估范围聚焦于技术潜力的部分，由于园区可再生能源项目开发的营利性与所在国的电价政策及电力监管制度密切相关，因此，本报告未对项目的经济潜力进行考察，建议后续研究中可以选取具有代表性的典型园区，开展基于案例分析的经济潜力评估。

一定程度放宽评估精度

本研究建立的中国海外园区数据库应用了基于网络的信息搜索方法，存在某些园区的数据和信息不够精准的问题。在研究中，我们通过人工交叉检验和将园区进行分类等方法提升数据的准确性；在基于地理信息系统的园区数据信息收集过程中，针对园区边界数据缺失的情况，我们采用人工图像识别过程进行区别。其次，本研究对风光的潜力部分是分别评估的，尚未考虑风光互补项目可行性的情况，有待后续进一步研究。在光伏开发技术潜力评估部分，我们未考虑不同海外园区的厂房屋顶存在倾角的可能，而是假定全部园区都采用平顶厂房；在农业园区的光伏开发技术潜力评估方面，由于不在本文的研究范畴之内，我们尚未探究不同的农作物在该种情景下的产出情况。在风电开发技术潜力评估部分，我们未考虑影响风电项目安装的园区面积分散化的问题，并简化了风机布排列数，未纳入尾流效应的影响估算。关于这些问题，可以在未来的具体园区可再生能源项目案例分析中基于完备的实地数据信息进行细化研究。

具体用电需求尚待考察

可再生能源开发技术潜力是从供给端的视角分析现有技术条件下该类项目的开发空间，在实践中，园区是否有相应的用电负荷也是关键的投资考量因素。用电负荷低于发电量的情况下，需要匹配该可再生能源项目的商业模式，即园区运营企业、入园企业，以及可再生能源项目业主方等多主体采用何种合作方式，同时要考虑采用自发自用后的余电上网还是用于其他用途。这些具体问题较适合具体园区的案例分析，有待未来在后续研究中重点考察。





附件

附件 1 本研究涉及的159个海外园区基本情况

附表 1 | 159个海外园区基本情况

序号	境外经贸合作区名称	园区分析等级	园区所属类别
1	中匈宝思德经贸合作区	Tier1	多元综合型园区
2	中欧商贸物流合作园区/匈牙利中欧商贸物流园	Tier1	商贸物流型园区
3	中国-印尼经贸合作区/广西印尼沃诺吉利经贸合作区	Tier1	多元综合型园区
4	吉布提国际自贸区	Tier1	多元综合型园区
5	中埃泰达苏伊士经贸合作区	Tier1	多元综合型园区
6	华坚埃塞俄比亚轻工业城	Tier1	多元综合型园区
7	埃塞俄比亚东方工业园	Tier1	多元综合型园区
8	尼日利亚广东经贸合作区	Tier1	多元综合型园区
9	尼日利亚莱基自由贸易区 (中尼经贸合作区)	Tier1	多元综合型园区
10	摩洛哥穆罕默德六世丹吉尔科技城	Tier1	多元综合型园区
11	文莱大摩拉岛境外经贸合作区	Tier1	资源利用型园区
12	柬埔寨西哈努克港经济特区	Tier1	多元综合型园区
13	柬埔寨贡布工业经济特区/福隆盛中柬工业园/贡布中-柬 (泰文隆) 工业经济特区	Tier1	多元综合型园区
14	毛里求斯晋非经贸合作区	Tier1	多元综合型园区
15	泰中罗勇工业园	Tier1	多元综合型园区
16	中国-白俄罗斯工业园	Tier1	多元综合型园区



附表 1 | 159个海外园区基本情况 (续)

序号	境外经贸合作区名称	园区分析等级	园区所属类别
17	老挝万象赛色塔综合开发区	Tier1	多元综合型园区
18	赞比亚中国经济贸易合作区 (卢萨卡园区)	Tier1	多元综合型园区
19	赞比亚中国经济贸易合作区 (谦比希园区)	Tier1	多元综合型园区
20	中国·越南 (深圳-海防) 经贸合作区	Tier1	加工制造型园区
21	越南铃中加工出口区和工业区	Tier1	多元综合型园区
22	越南龙江工业园	Tier1	多元综合型园区
23	乌兹别克斯坦农林科技农业产业园	Tier2	农业开发型园区
24	乌兹别克斯坦鹏盛工业园	Tier2	加工制造型园区
25	中国 (广东) -乌干达国际产能合作工业园	Tier2	资源利用型园区
26	中国-乌干达农业合作产业园	Tier2	农业开发型园区
27	中俄 (滨海边疆区) 农业产业合作区	Tier2	农业开发型园区
28	俄罗斯中俄托木斯克木材工贸合作区	Tier2	农业开发型园区
29	俄罗斯乌苏里斯克经贸合作区	Tier2	加工制造型园区
30	俄罗斯龙跃林业经贸合作区	Tier2	农业开发型园区
31	冈比亚 (湖北) 境外经济贸易合作区	Tier2	农业开发型园区
32	海信南非开普敦亚特兰蒂斯工业园区	Tier2	加工制造型园区
33	中国·印度尼西亚聚龙农业产业合作区	Tier2	农业开发型园区
34	中国印尼综合产业园区青山园区	Tier2	资源利用型园区
35	印尼OBI产业园	Tier2	资源利用型园区
36	印尼纬达贝工业园	Tier2	多元综合型园区
37	吉尔吉斯斯坦亚洲之星农业产业合作区	Tier2	农业开发型园区
38	东非商贸物流产业园综合服务合作区	Tier2	商贸物流型园区

附表 1 | 159个海外园区基本情况 (续)

序号	境外经贸合作区名称	园区分析等级	园区所属类别
39	江苏-新阳嘎农工贸现代产业园	Tier2	农业开发型园区
40	塔吉克斯坦-中国农业合作示范园	Tier2	农业开发型园区
41	塞尔维亚贝尔麦克商贸物流园	Tier2	商贸物流型园区
42	墨西哥北美华富山工业园	Tier2	多元综合型园区
43	安哥拉奥德工业园	Tier2	多元综合型园区
44	尼日利亚一带一路产业园	Tier2	多元综合型园区
45	尼日利亚大众工业园	Tier2	农业开发型园区
46	巴基斯坦海尔-鲁巴经济区	Tier2	加工制造型园区
47	捷克(浙江)经贸合作区	Tier2	多元综合型园区
48	斐济-中国渔业综合产业园	Tier2	农业开发型园区
49	中东国际农业合作示范园区	Tier2	农业开发型园区
50	华新(柬埔寨)建材产业园	Tier2	资源利用型园区
51	华立柬埔寨农业园	Tier2	农业开发型园区
52	柬埔寨-中国热带生态农业合作示范区	Tier2	农业开发型园区
53	柬埔寨桔井省经济特区	Tier2	多元综合型园区
54	中国-比利时科技园	Tier2	技术研发型园区
55	TCL波兰经贸合作区	Tier2	多元综合型园区
56	广垦泰华天然橡胶加工产业经贸合作区	Tier2	农业开发型园区
57	缅甸曼德勒缪达产业新城工业园区	Tier2	加工制造型园区
58	杭州硅谷协同创新中心(钱塘中心)	Tier2	技术研发型园区
59	浙江海亮股份有限公司(美国)工业园区	Tier2	资源利用型园区
60	老挝-中国现代农业科技示范园	Tier2	农业开发型园区
61	苏丹-中国农业合作开发区	Tier2	农业开发型园区
62	莫桑比克-中国农业技术示范中心	Tier2	农业开发型园区
63	莫桑比克联禾境外经贸合作区	Tier2	农业开发型园区
64	贝宁中国经济贸易发展中心	Tier2	多元综合型园区
65	赞比亚农产品加工合作园区	Tier2	农业开发型园区
66	越南百隆东方越南宁波园中国	Tier2	加工制造型园区
67	迪拜义乌中国小商品城	Tier2	商贸物流型园区
68	印度尼西亚东加里曼丹岛农工贸经济合作区	Tier3	农业开发型园区
69	俄罗斯泰源农业与牧业产业园区	Tier3	农业开发型园区
70	柬中综合投资开发试验区	Tier3	加工制造型园区

附表 1 | 159个海外园区基本情况 (续)

序号	境外经贸合作区名称	园区分析等级	园区所属类别
71	东宁华洋境外绿色农业合作园区	Tier3	农业开发型园区
72	莫桑比克万宝产业园	Tier3	农业开发型园区
73	黑河北丰中俄阿穆尔农业(畜牧)产业园区	Tier3	农业开发型园区
74	中泰新丝路塔吉克斯坦农业纺织产业园	Tier3	农业开发型园区
75	中国建材赞比亚工业园	Tier3	资源利用型园区
76	罕王-富域产业园	Tier3	多元综合型园区
77	老挝云橡产业园	Tier3	农业开发型园区
78	中国-东盟北斗科技城	Tier3	技术研发型园区
79	老中甘蒙钾盐综合开发区	Tier3	多元综合型园区
80	中非先锋自贸区	Tier3	多元综合型园区
81	中乌泛达农业科技示范园区	Tier3	农业开发型园区
82	中国沙特(吉赞)产业园	Tier3	资源利用型园区
83	柬埔寨恒睿现代农业产业园	Tier3	农业开发型园区
84	埃塞中交工业园区(中交埃塞ARERTI工业园) 中交阿瑞提工业园	Tier3	加工制造型园区
85	江西(马来西亚)现代农业科技产业园	Tier3	农业开发型园区
86	印尼德龙工业园	Tier3	资源利用型园区
87	老挝磨丁经济开发专区	Tier3	多元综合型园区
88	埃塞俄比亚阿达玛工业园	Tier3	加工制造型园区
89	中塔(河南)农业产业科技示范园区	Tier3	农业开发型园区
90	埃塞俄比亚德雷达瓦(Dire Dawa) 工业园	Tier3	加工制造型园区
91	阿联酋中阿产能合作示范园	Tier3	多元综合型园区
92	马来西亚马中关丹产业园	Tier3	多元综合型园区
93	中国-阿曼(杜库姆)产业园	Tier3	多元综合型园区
94	缅甸皎漂特区工业园	Tier3	多元综合型园区
95	莫桑比克贝拉经贸合作区	Tier3	多元综合型园区
96	俄罗斯伊尔库茨克诚林农产品商贸物流园区	Tier3	商贸物流型园区
97	俄罗斯北极星林业经贸合作区	Tier3	农业开发型园区
98	肯尼亚珠江经济特区	Tier3	多元综合型园区
99	华夏幸福印尼卡拉旺产业园	Tier3	多元综合型园区
100	印尼吉打邦智能家居产业园	Tier3	多元综合型园区
101	哈萨克斯坦汽车工业产业园(哈萨克斯坦KAZ产业园)	Tier3	技术研发型园区
102	中国江铃经济贸易合作区	Tier3	资源利用型园区

附表 1 | 159个海外园区基本情况 (续)

序号	境外经贸合作区名称	园区分析等级	园区所属类别
103	格鲁吉亚华凌国际经济特区	Tier3	多元综合型园区
104	中法经济贸易合作区	Tier3	多元综合型园区
105	乌干达辽沈工业园	Tier3	多元综合型园区
106	柬埔寨齐鲁经济特区	Tier3	加工制造型园区
107	巴基斯坦开普省拉沙卡伊特别经济区	Tier3	多元综合型园区
108	库塔伊西华凌自由工业园区	Tier3	多元综合型园区
109	泰国湖南工业园	Tier3	加工制造型园区
110	埃塞俄比亚-湖南工业园	Tier3	多元综合型园区
111	尼日利亚宁波工业园区	Tier3	资源利用型园区
112	塞尔维亚中国工业园	Tier3	多元综合型园区
113	中国埃及曼凯纺织产业园	Tier3	加工制造型园区
114	埃塞俄比亚阿瓦萨工业园	Tier3	加工制造型园区
115	巴基斯坦瓜达尔自由区	Tier3	多元综合型园区
116	赞比亚中阳生态农业产业园	Tier3	农业开发型园区
117	埃塞俄比亚克林图工业园	Tier3	加工制造型园区
118	斯里兰卡科伦坡港口城	Tier3	多元综合型园区
119	中乌姆巴莱工业园	Tier3	多元综合型园区
120	北欧湖南农业产业园	Tier3	农业开发型园区
121	柬埔寨山东桑莎(柴桢)经济特区	Tier3	加工制造型园区
122	俄罗斯圣彼得堡波罗的海经济贸易合作区	Tier3	多元综合型园区
123	中俄伊曼木材加工经贸工业园区	Tier3	农业开发型园区
124	阿拉布加哈尔滨工业园区	Tier3	技术研发型园区
125	阿治曼中国城(阿治曼中东商贸物流园)	Tier3	多元综合型园区
126	俄罗斯滨海华宇经济贸易合作区	Tier3	多元综合型园区
127	中毛(宏东)海洋经济合作园	Tier3	多元综合型园区
128	奇瑞巴西工业园区(奇瑞汽车产业园)	Tier3	技术研发型园区
129	俄罗斯弗拉基米尔宏达物流工业园区	Tier3	商贸物流型园区
130	俄罗斯耐力木材园区	Tier3	农业开发型园区
131	塔吉克斯坦中塔工业园区	Tier3	资源利用型园区
132	越南北江省云中工业园区	Tier3	多元综合型园区
133	特变电工(印度)绿色能源产业园	Tier3	资源利用型园区
134	中国阿联酋(迪拜)食品工业园	Tier3	多元综合型园区

附表 1 | 159个海外园区基本情况 (续)

序号	境外经贸合作区名称	园区分析等级	园区所属类别
135	中非现代畜牧业循环经济工业区	Tier3	农业开发型园区
136	圣力 (越南) 特钢有限公司园区	Tier3	资源利用型园区
137	美的科技园	Tier3	技术研发型园区
138	俄罗斯车里雅宾斯克州创新工业园	Tier3	技术研发型园区
139	阿联酋中阿 (富吉拉) 商贸物流园区	Tier3	商贸物流型园区
140	非洲 (乌干达) 山东工业园	Tier3	加工制造型园区
141	乌兹别克斯坦安集延纺织园区	Tier4	加工制造型园区
142	中俄农牧业产业示范园区	Tier4	农业开发型园区
143	俄罗斯下列宁斯科耶木材加工园区	Tier4	农业开发型园区
144	俄罗斯巴什科沃木材加工园区	Tier4	农业开发型园区
145	俄罗斯格城新北方木材加工园区	Tier4	农业开发型园区
146	俄罗斯阿穆尔州别列佐夫卡石化建材加工园区	Tier4	资源利用型园区
147	俄罗斯阿穆尔综合园区	Tier4	多元综合型园区
148	绥芬河跃进工业园	Tier4	技术研发型园区
149	鹏瑞境外林业采伐加工区	Tier4	农业开发型园区
150	中民投印尼产业园	Tier4	多元综合型园区
151	中哈金土地高科技产业园区	Tier4	技术研发型园区
152	塞拉利昂国基工貿园区	Tier4	多元综合型园区
153	越美尼日利亚纺织工业园	Tier4	加工制造型园区
154	巴基斯坦工银-如意纺织服装工业园	Tier4	加工制造型园区
155	汉班托塔临港产业园	Tier4	多元综合型园区
156	华岳柬埔寨绿色农业产业园	Tier4	农业开发型园区
157	沙特 (吉达) 中国城	Tier4	商贸物流型园区
158	波兰 (罗兹) 中欧国际物流产业合作园	Tier4	商贸物流型园区
159	罗马尼亚麦道工业园区	Tier4	加工制造型园区
160	中欧物流产业园 (林堡)	Tier4	多元综合型园区

注：赞比亚-中国经济贸易合作区为一区两国，记为1个园区，因此园区实际数量为159。

附件 2

中国海外园区数据库

园区基本信息

园区基本信息包括园区名称、园区所在大洲、园区所在国家、园区所在国家发展水平、境内实施企业名称、企业性质、建设起始年份。

园区类型

海外园区的类型包括以轻工、纺织、建材、金属等加工制造和综合利用为主的加工制造型园区，以矿产、森林、油气等资源开发加工和综合利用为主的资源利用型园区，以谷物、经济作物、畜产品等的种植、养殖、开发、加工、收购、仓储等主导的农业开发型园区，以商品展示、运输、物流、仓储、商品集散、配送、信息处理、流通加工为主导的商贸物流型园区，以轨道交通、汽车、通信、工程机械、船舶海洋工程等为主的技术研发型园区，以及以多元、综合为发展方向的多元综合型园区。在统计时，我们根据该园区的主要业务方向确定园区类型。

园区级别

通过商务部确认考核的境外经贸合作区以及被农业农村部认定的境外农业合作示范区被认定为国家级园区；通过省级商务部门（单独或会同省级财政部门）对应考核的园区被认定为省级园区，目前涉及浙江省、山东省、湖北省和广东省四个省份；不在国家级确认考核或认定名单内，也未通过省级相关考核的园区被认定为其他园区。若某园区通过了国家级考核，则默认通过了省级考核，被认定为国家级园区。

园区级别信息来源于国务院、商务部、各省份商务主管部门的官方网站。在本研究建立的数据库中，共有国家级园区29个，省级园区31个，其他园区101个。

其中，吉尔吉斯斯坦亚洲之星农业产业合作区既属于商务部认定的境外经贸合作区，也属于农业农村部认定的境外农业合作示范区。

园区投资金额与规划面积

园区投资金额为总规划投资金额（若有多期投资）；规划面积为总规划面积（若为多期建设），包括工业园区部分和农业种植用地部分。信息来源包括商务部有关统计资料、各园区官方网站、“走出去”公共服务平台、中国国际贸易促进委员会境外产业园区信息服务平台、中华全国工商业联合

会、商务部发布的《对外投资合作国别（地区）指南》、地方政府发布的对外合作发展报告、权威媒体报道等。若无法搜索到可靠数据，则该项空缺。

园区分析等级

根据研究需要和信息完整程度，我们将159个海外园区分为4个分析等级：Tier1、Tier2、Tier3和Tier4。其中，Tier1园区共有22个，它们是发展较好的龙头园区，包括最新通过考核的11个国家级园区，以及其他11个（包括4个省级园区和7个其他园区）曾被列为国家级，或经国家领导人倡议成立或访问的综合产业园区/工业园区（赞比亚-中国经济贸易合作区为一区两园，记为1个园区）。Tier2 园区为除Tier1园区以外的国家级和省级园区，共45个。Tier3园区为除了Tier1、Tier2园区以外，公开数据信息可以支撑进一步研究分析的园区，共73个。除Tier1、Tier2、Tier3园区之外的其余园区归为Tier4园区，共20个，尽管这些园区的建立与投资情况有公开记录，但投资金额等重要信息暂缺。

园区位置信息

园区位置信息通过基于互联网地图的数据爬取获得，并辅以两轮交叉人工复核。首先，在互联网地图获取对应的经纬度坐标。考虑到园区英文名称与所在国当地语言译名的差异，以及园区位置在互联网地图上的误标，我们对搜索结果进行了两轮交叉的人工核实与复核，复核内容包括国别和区域吻合性、土地利用类型准确性。其次，对于有错误的位置信息，尝试采用不同的译名再次搜索和复核。若仍然无法得到合理的位置信息，则检查园区网站及上述官方信息中是否提及园区地址。若提及具体地址，则采用该地址的位置；若描述了大体位置，则根据描述人工在互联网地图上估计其位置。经过上述过程仍无法明确地理位置的园区，其数据库中的位置信息一栏标注为“未知”。本数据库中采用估计坐标的园区共有31个，未知坐标的园区共有4个。

需要指出的是，共有6个海外园区涉及一区多园。其中，赞比亚-中国经济贸易合作区分设卢萨卡园区和谦比希园区，信息较为完善，故分别列出，对于其余园区，则选择其中一个主要园区的地理位置作为该园区的位置信息，标注在数据库中。

附件 3

园区的屋顶面积数据采集方法

Tier1园区的屋顶面积数据采集方法

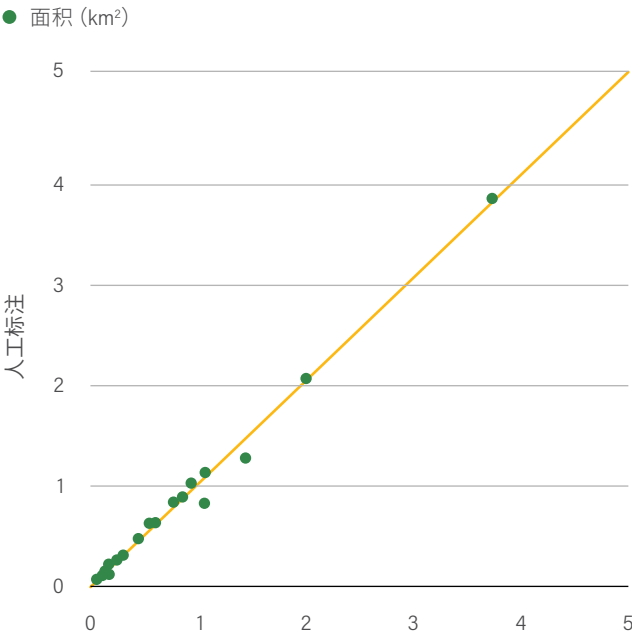
操作时, 首先将园区的位置信息导入GEE, 确定园区位置后, 在Google Map的高分辨率卫星图层上绘制多边形, 标记园区范围内屋顶, 然后调用GEE内的面积函数, 计算每个屋顶面积, 并汇总得出每个园区的屋顶总面积, 具体步骤如附图1所示。

MBF屋顶选取工具开发方法与应用步骤

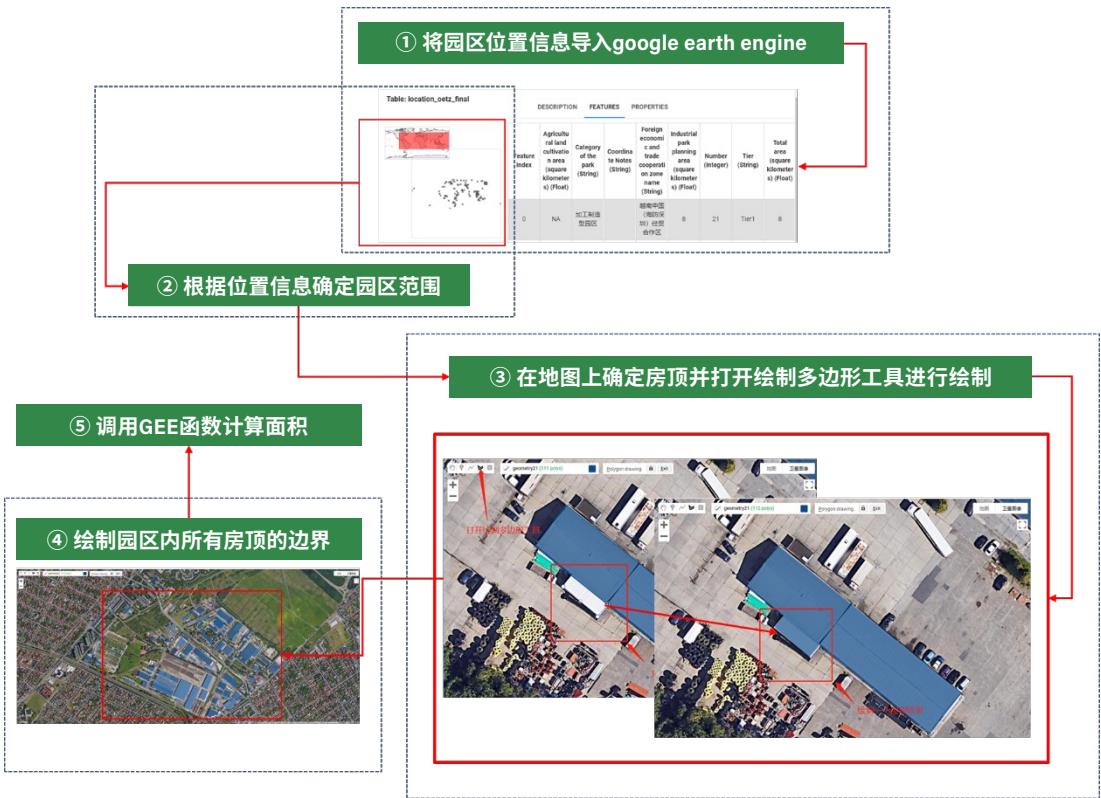
MBF是一个全球范围内开放的建筑足迹数据集, 由微软根据开放数据共享组织的开放数据库许可证 (ODbL) 授权。本研究为了快速获取海外园区内的屋顶面积结果, 结合MBF数据集建立了一个基于GEE的交互式屋顶选取工具, 只需知道园区的位置信息, 就可以根据园区位置勾勒园区范围, 并提取园区内屋顶数据, 进而计算每个园区的屋顶总面积, 相比于Tier1 园区的人工逐个选取, 基于该屋顶选取工具可以快速选取Tier2园区和Tier3园区的屋顶, 且数据质量可以和人工相媲美。为了评估屋顶选取工具数据源的数据质量, 本研究对Tier1园区的数据进行对比。Tier1园区共有22个, 去除

了屋顶选取工具中缺失数据的4个园区, 本研究对比了其他18个园区由人工标注的屋顶面积和采用屋顶选取工具标注的屋顶面积, 结果如附图2所示。

附图 2 | 基于人工标注和屋顶选取工具标注的屋顶面积



附图 1 | Google Earth Engine (GEE) 的交互式人工标注流程



其平均相对误差为 7.502%。平均相对误差公式为：

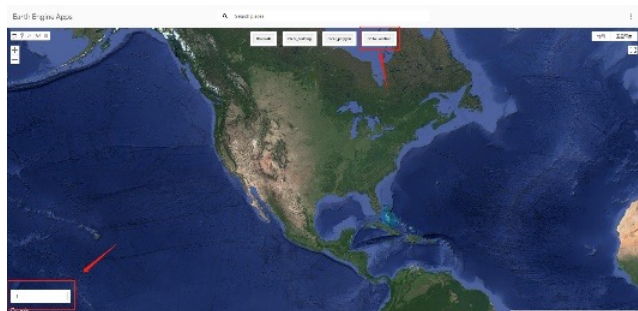
$$MRE = 100\% \cdot \frac{1}{n} \sum \left| \frac{x_{true,i} - x_{pred,i}}{x_{true,i}} \right|$$

其中，MRE为平均相对误差， $x_{(true,i)}$ 为第 i 个样本的人工标注值， $x_{(pred,i)}$ 为第 i 个样本基于MBF屋顶选取工具的标注值， n 为样本数量， $\sum$ 表示求和， $||$ 表示取绝对值。

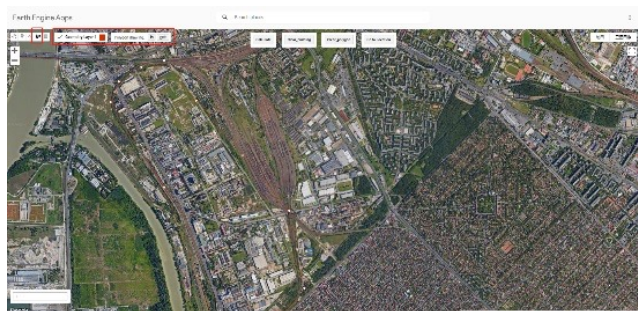
MBF工具的具体操作步骤如下：

1. 进入屋顶选取工具页面，在左下角输入园区序列号，并点击“Go to Location”，如附图3所示。

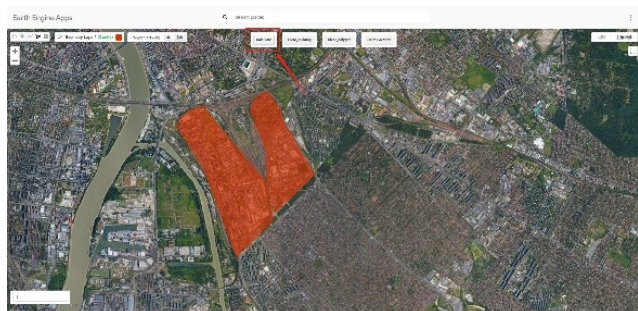
附图 3 | 进入屋顶选取工具页面并输入园区序列号



附图 4 | 打开交互式绘制多边形工具对园区范围进行勾勒



附图 5 | 勾勒结束后点击中间的“Calculate”

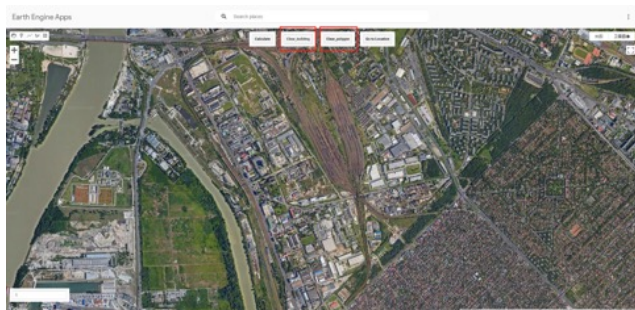


2. 跳转到园区位置后，在左上角打开交互式绘制多边形工具对园区范围进行勾勒，如附图4所示。
3. 勾勒结束后点击中间的“Calculate”，如附图5所示。
4. 计算结束，地图上会展示出勾勒园区内所有屋顶的边界数据，右下角会展示园区的基本信息，包括所绘制园区范围的几何中心、园区的中文名称、勾勒的园区范围，以及园区内屋顶的总面积，如附图6所示。
5. 在一个园区统计结束后，需要点击“Clear_building”清理上一个园区统计的面积，然后点击“Clear_polygon”清理上一个园区的边界信息（附图7），然后重复上述步骤，进行新园区的屋顶面积选取和统计。

附图 6 | 计算结束并展示园区的基本信息



附图 7 | 一个园区统计结束后，进入对下一个园区的统计



附件 4

太阳辐射量评估简述

园区基本信息

太阳辐射量（或资源潜能）是评估光伏系统产生电能的重要初始因素，与地理位置和当地的气候条件密切相关，常以单位面积的瞬时功率（千瓦/平方米）表示。在涉及光伏系统设计时，辐射数据通常表示为单位面积每年接收的能量（千瓦时/平方米）。太阳辐射量的三种表示方式见附表2。

既有研究常采用上述参数估算某地区的太阳辐射量。其中，大量研究采用GHI参数进行估计，例如，欧盟各国（Šuri et al., 2007）、挪威（Yordanov et al., 2015）、南非（Gericke & Luwes, 2019）、美国加利福尼亚州（Yang et al., 2014）、美国得克萨斯州（Xia et al., 2018）的太阳能潜力估算均采用GHI参数。此外，也有少量研究同时采用了GHI参数和DNI参数，更为全面地展示太阳辐射潜力。例如，有研究通过进一步筛选GHI和DNI两个参数值，计算印度的集中式光伏发电潜力（Mahtta et al., 2014）。本研究选择更常用的GHI参数估算太阳辐射量。

获得太阳辐射量数据主要有两种方法，即查询记录法与模型计算法。在设施完善的地区，太阳辐射量数据记录的时间可超过20年，因此可直接采用查询记录法了解太阳辐射量。这种方法可以真实、准确地反映该地区的太阳辐射强弱程度，缺点是对历史记录的数据要求较高，且适用范围受限，不适合应用在更大地理范围的估算研究中。在更多地区，太阳辐射量数据大多通过辐射模型和气温模型计算获得。例如，美国国家太阳辐射数据库（NSRDB）用快速全天辐射模型（Fast All-sky Radiation Model for Solar Applications, FARMs）计算GHI参数。ArcGIS 的太阳辐射分析模型也常用于估算研究某地区的太阳辐射，该模型考虑了大气影响、场地纬度和海拔、陡度和指南针方向、太阳角度的每日和季节变化，以及周围地形投射阴影的影响，同时允许修改大气透射率。世界银行推荐的Global Solar Atlas 光伏系统估算平台也可用于分析光伏潜力。该平台依托Solargis太阳能数据库，具备高达250米的空间分辨率，适用于北纬60° 到南纬55° 的区域。考虑到该数据库可以涵盖海外园区数据库中全部园区的地理位置，本研究采用Global Solar Atlas 光伏系统平台获得海外园区所在地的太阳辐射量数据。

附表 2 | 太阳辐射量的三种表示方式

名称	释义	参照表面
水平面总辐射量 Global Horizontal Irradiation (GHI)	与地面水平的表面从上方接收的短波辐射总量	与地面水平的表面
直达日射量 Direct Normal Irradiation (DNI)	太阳以当前位置的法线方向射入的辐射量	垂直于太阳的表面
扩散日射量 Diffuse Horizontal Irradiance (DHI)	经大气中的分子和粒子散射后的辐射量	与地面水平的表面

附件 5

风能资源潜力评估简述

风能资源潜力评估是进行风能资源开发规划最为关键的一步，其结果对相关机构制定风电发展规划以及评估风电场运行效益至关重要。在进行风能资源潜力评估时，风速和风向是两个重要的参数。

风速（或空气流通速度）是指空气相对于地球某一固定地点的运动速率，单位为米/秒。影响风速的主要因素分为气象因素和地形因素。一般来说，风速越大，风力等级越高，风能资源潜力越大。

风向是指风吹来的方向，用方位表示。通常用风向频率表示某个方向的风出现的频率，它是指一年（月）内某方向风出现的次数占各方向风出现的总次数的百分比。

由于风向一般用方位表示，具有不能量化的特征，故现有关于量化风能资源潜力评估的研究中没有将风向考虑在

内，仅采取风速的数据。同时，本报告研究对象为百余个中国海外园区，要获取每个园区的风向数据难度较大。基于以上两点原因，我们在本报告中仅使用风速数据量化评估风能潜力。

目前研究中，获取风速数据的方法主要有四种（附表 2）。如果研究对象的地理尺度小且检测设施较为完善，可直接利用现场测定法获取风速等资源侧数据（Bañuelos-Ruedas et al., 2010）。这种方法可较为真实、准确地获取研究对象的实时风速数据，但也具有一些弊端，如耗费较多的人力、物力及时间，同时非特定高度的数据不可直接获取，要通过风切变指数进行测算。如果研究对象的地理尺度较大，风能风速数据可以通过实验数据检验法（Ongaki et al., 2021）、气象与卫星数据结合法（Wei et al., 2019）、风能数据库引用法（Feng et al., 2020; Siyal et al., 2015; Mentis et al., 2015; Bandoc et al., 2018）等方法获取。

附表 2 | 太阳辐射量的三种表示方式

名称	简述	特点
现场测定法 (Bañuelos-Ruedas et al., 2010)	通过测量站现场收集风速等资源侧数据	优势：可较为真实、准确地获取研究对象的实时风速数据 劣势：耗费较多的人力、物力以及时间；测量站仅能测定某一特定高度的数据，获取其他高度的数据需通过风切变指数进行推算
实验数据检验法 (Ongaki et al., 2021)	从气象部门获得长期数据后，用实验数据检验长期数据是否真实且准确地反映该地点的风速轮廓线，并用于短期特征的确定	优势：实验数据核实过的长期数据能够真实且较为准确地反映该地点的风速轮廓线 劣势：获取实验数据的过程中可能会受到干扰，导致数据不准确
气象与卫星数据结合法 (Wei et al., 2019)	利用气象站观测的风速等气象数据，结合通过卫星获取的矢量风数据，在经过卫星风能数据可用性验证与数据校正后，形成相对比较完整的风速数据集	优势：卫星数据弥补了气象数据成本高和经常出现缺失或无效数据的缺点，同时气象数据也可以核实卫星数据的可用性；高时空分辨率的卫星数据将大大提高风速数据的精度 劣势：该方法仅适用于小尺度的研究，同时对卫星数据要求较高
风能数据库引用法* (Feng et al., 2020; Siyal et al., 2015; Mentis et al., 2015; Bandoc et al., 2018)	在数据库中搜索目标区域，直接引用风能数据库中的风速数据	优势：便于批量进行风速数据的引用与比较 劣势：数据的可访问性是风力潜力评估和建模过程中最大的挑战。有些影响因素只能取理想值，或者很多数据难以获取，无法进行进一步分析

* 常用数据库有Global Wind Atlas、European Centre for Medium-Range Weather Forecasts（ECMWF）、Vortex、National Oceanic and Atmospheric Administration（NOAA）和WindFinder等。

考虑到海外园区分布广泛，需要大量风速数据以支撑研究，在比较上述方法后，我们选择风能数据库引用法，借助 Global Wind Atlas 风能潜力评估平台获取风速数据。这主要基于两点考虑：一是该平台具有高达250米的空间分辨率且考虑到局部地形和粗糙度对风能的影响，能更好地呈现典型和极端气候，以及提高风速仿真准确度；二是该平台风速数据覆盖全球陆地，包括了本报告所有的研究对象，即中国海外园区，基本可以满足本研究的颗粒度需求。

风能功率密度 (WPD)

风能功率密度指风力涡轮每平方米扫除面积的年平均可用功率，与空气密度和风速有关，表示为：

$$WPD_t = \frac{1}{2} \rho U^3$$

其中， WPD_t 为时间t内的每一扫除面积的风能功率密度（瓦/平方米）； ρ 为空气密度（千克/立方米）； U 为每个网格点的风速（米/秒）。

风速是一个随机性很大的参数，必须通过一定时间的观测才能了解它的平均状况。因此，需要将上述风能功率密度公式对时间积分，才能获得一段时间内某一面积的平均风能功率密度，计算公式如下：

$$WRD = \frac{1}{2} \cdot \overline{\rho \cdot U^3} = \frac{1}{2} \cdot \rho \int_0^{\infty} U^3 f(U) dU$$

本研究中，我们采用如下公式简化计算风能功率密度（Mentis et al, 2015）：

$$WPD \approx 0.955 \overline{\rho U^3}$$

其中， ρ 为空气密度（定值），一般取1.225千克/立方米； U 为风机轮毂高度处年平均风速（米/秒）。

名词解释

技术潜力	某项技术在理想情况下能够实现的最大能源生产能力。除了系统性能之外,还包括了地形条件、环境因素和土地使用限制等多种因素的综合影响 (NREL, n.d.)。
投资潜力	形容某一项目或技术在未来能够带来的经济回报和增长空间。它不仅评估当前的市场需求和资源可用性,还考察了长期的市场趋势、技术发展前景以及政策支持等因素,研究和分析对于确定和衡量最能影响投资是否带来成果,对商业投资者至关重要 (ForrestBrown, n.d.)。
发电量	发电机组在特定时间内产生的电量 (EIA,n.d.), 本文关注可再生能源发电技术实际利用和转化的电量,这受可获取的自然资源,技术效率、环境因素以及设备运行状况等因素的影响。
装机容量	发电机组可产生的最大电量 (SMARD,n.d.), 这一指标反映了系统在最佳运行状态下所能提供的最大输出功率。
平准化度电成本	在一个发电项目的整个生命周期内,每度电的平均综合成本。这一指标涵盖了设备购置、建设、运营、维护以及燃料成本等所有相关费用,分摊到项目的总发电量中 (中国电力网, 2023)。

中国海外园区	主要分为六大类型:多元综合型园区、加工制造型园区、资源利用型园区、技术研发型园区、农业开发型园区、商贸物流型园区 (Jing Song, n.d)。
地理信息系统 (Geographical Information System, GIS)	一种用于捕获、存储、分析和管理地理空间数据的工具。由Esri等开发者创建, GIS能够将不同来源的数据集成在一起,通过地图和其他可视化手段,为用户提供复杂的空间分析和决策支持 (ESRI, n.d.)。
Global Solar Atlas 光伏系统在线平台	一个由世界银行和国际金融公司 (统称为世界银行集团) 开发的在线平台,旨在为用户提供全球范围内的光伏系统潜力评估和相关信息。(World Bank Group, n.d.)。
Global Wind Atlas 风能系统在线平台	由世界银行集团和丹麦技术大学风能发展研究中心 (DTU Wind Energy) 共同开发的在线平台,旨在为全球用户提供高分辨率的风能资源数据 (Technical University of Denmark, World Bank Group, n.d.)。

缩略语表

亚洲开发银行	Asian Development Bank (ADB)	微软建筑足迹	Microsoft Building Footprints (MBF)
扩散日射量	Diffuse Horizontal Irradiance (DHI)	美国国家海洋和大气管理局	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
直达日射量	Direct Normal Irradiance (DNI)	美国国家太阳辐射数据库	National Solar Radiation Database (NSRDB)
快速全天辐射模型	Fast All-sky Radiation Model for Solar Applications (FARMS)	开放数据库许可证	Open Database License (ODbL)
水平总辐射量	Global Horizontal Irradiance (GHI)	运行效率	Performance Ratio (PR)
地理信息系统	Geographic Information System (GIS)	越南-新加坡工业园区	The Vietnam-Singapore Industrial Park (VSIP)
国际可再生能源机构	International Renewable Energy Agency (IRENA)	世界资源研究所	World Resources Institute (WRI)
国际能源署	International Energy Agency (IEA)		
平准化度电成本	Levelized Cost of Energy (LCOE)		

注释

1. 地区划分参见李祐梅、邬明权、牛铮等撰写的《1992—2018年中国境外产业园区信息数据集》。

2. 在中华人民共和国境内（不含香港、澳门和台湾地区）注册、具有独立法人资格的中资控股企业，通过在境外设立的中资控股的独立法人机构投资建设的基础设施完备、主导产业明确、公共服务功能健全、具有集聚和辐射效应的产业园区（商务部，2010）。

3. 网格多排排列时可参考网格单排排列情况。在多排排列时，风机数量（ N ）可根据以下公式计算： $N = 4 + 2(N_0 - 1) + (R - 1)(N_0 + 1) = 1 + (R + 1)N_0 + R$ ，其中 N_0 是每排网格数， R 是排数。假设 N_0 一样，则最小风机间距情景时， $N_0 = S_0 / (8D \times 3D \times R)$ ；最大风机间距情景时， $N_0 = S_0 / (12D \times 5D \times R)$ 。其中，因为每排网格数必须大于1，且为整数，所以针对每一个园区：最小风机间距情景时， $R \leq S_0 / (24D)^2$ ，最大风机间距情景时， $R \leq S_0 / (60D)^2$ 。根据风能发电量通用计算公式，单排和多排排列网格所对应的发电量比值（ E_1/E_2 ）为两种排列方式下的风机数量之比（ N_1/N_2 ）， R 取满足条件的最大整数。通过计算，所有园区两种排列方式下的发电量之比近似为1:1，因此本研究选取使用网格单排排列结果代表网格多排排列结果。

4. 部分园区的规划面积缺失。所有Tier1~Tier3园区中，共有7个园区无规划面积数据，另有10个园区仅包括农业种植用地，几乎不含工业/商业部分。上述17个园区的光伏发电潜力在资源潜力情景中记为0。

5. 部分园区的屋顶面积缺失。所有Tier1~Tier3园区中，共有40个园区在地图中无法找到影像数据，12个园区所在位置的卫星图像显示没有房屋。上述52个园区的光伏发电潜力在卫星影像情景中记为0。

6. 在所有44个农业园区中，仅考虑Tier1~Tier3园区中的38个。假设以种植作物为主的土地和畜牧业用地均可以铺设光伏板；以林业为主要经营范围的园区（10个）不适合安装常规光伏农业系统，故不考虑光伏潜力计算；有3个农业开发型园区以工业厂房为主，故种植用地部分光伏潜力为0，工业园区部分光伏潜力按照工业/商业园区方法进行计算；此外，有1个农业开发型园区未找到具体种植面积信息，由于其面积仅有0.3平方千米，占比很小，故忽略不计。

参考文献

NREL. Renewable Energy Technical Potential. [R/OL].(n.d.). <https://www.nrel.gov/gis/re-potential.html>

ForrestBrown. Investment Potential Index: informing UK investment opportunities [R/OL].(n.d.). <https://forrestbrown.co.uk/investment-potential-index/>

EIA. What is the difference between electricity generation capacity and electricity generation? [R/OL]. (n.d.) <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=101&t=3#:~:text=Electricity%20generation%20capacity%20is%20the,without%20exceeding%20design%20thermal%20limits.>

SMARD. Installed generation capacity. [R/OL]. (n.d.) <https://www.smard.de/page/en/wiki-article/6080/6038>

中国电力网. 各类储能技术度电成本分析. [R/OL]. (2023.8.16) . [http://mm.chinapower.com.cn/chuneng/dongtai/20230816/213695.html#:~:text=%E5%B9%B3%E5%87%86%E5%8C%96%E5%BA%A6%E7%94%B5%E6%88%90%E6%9C%AC\(Levelized%20Cost%20of%20Energy,Cost%20of%20Storage%E5%BC%8C%E3%80%82](http://mm.chinapower.com.cn/chuneng/dongtai/20230816/213695.html#:~:text=%E5%B9%B3%E5%87%86%E5%8C%96%E5%BA%A6%E7%94%B5%E6%88%90%E6%9C%AC(Levelized%20Cost%20of%20Energy,Cost%20of%20Storage%E5%BC%8C%E3%80%82)

宋婧 王芳 苗红 焦健著. 中国海外园区的低碳 评估——低碳发展指标体系的开发与应用. 2022. 工作论文，北京：世界资源研究所. <https://doi.org/10.46830/wriwp.21.00073>.

ESRI. What is GIS? [R/OL] (n.d.). <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>

[8] World Bank Group. Global Solar Atlas. [R/OL].(n.d.). <https://globalsolaratlas.info/map>

Adeh,E.H.,Good,S.P.,Calaf, M., Higgins, C. W. Handbook for rooftop solar development in asia[R/OL]. (2019).<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/153201/rooftop-solar-development-handbook.pdf>.

Campana, P. E., Stridh, B., Amaducci, S., Colauzzi, M. Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems[R/OL]. (2021.11.20).<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>.

Dinesh, H., Pearce, J. M. The potential of agrivoltaic systems[R/OL]. (2016.02). <https://doi.org/10.1016/j.jrser.2015.10.024>.

Gericke, G. A., Luwes, N. J. Evaluating Real-Time-Location Solar Irradiance Data Against SOLARGIS Ground Station Solar Irradiance For The South African Sasol Solar Challenge[R/OL]. (2019.07). <http://dx.doi.org/10.23919/EETA.2019.8804551>.

IEC. Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and analysis[R/OL].(1998.04). https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61724%7Bed1.0%7Den.pdf.

IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2021[M/OL]. (2022). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8.

Izquierdo, S., Montañés, C., Dopazo, C., & Fueyo, N. Roof-top solar energy potential under performance-based building energy codes: The case of Spain[R/OL]. (2011.01).<https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.11.003>.

Khalid, A. M., Mitra, I., Warmuth, W., & Schacht, V. Performance ratio – Crucial parameter for grid connected PV plants[R/OL]. (2016.11). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.066>.

Mahtta, R., Joshi, P. K., & Jindal, A. K. Solar power potential mapping in India using remote sensing inputs and environmental parameters[R/OL]. (2014.11). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.037>.

Majumdar, D., & Pasqualetti, M. J. Dual use of agricultural land: Introducing ‘agrivoltaics’ in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA[R/OL]. (2018.02). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.011>.

SETO. (2022). AGRIVOLTAICS Market research study. Retrieved from

Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., & Ossenbrink, H. A. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries[R/OL]. (2007.10). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.12.007>.

Xia, S., Mestas-Núñez, A., Xie, H., Tang, J., & Vega, R. Characterizing Variability of Solar Irradiance in San Antonio, Texas Using Satellite Observations of Cloudiness[R/OL]. (2018.10). <https://doi.org/10.3390/rs10122016>.

Yang, H., Kurtz, B., Nguyen, D., Urquhart, B., Chow, C. W., Ghonima, M., & Kleissl, J. Solar irradiance forecasting using a ground-based sky imager developed at UC San Diego[R/OL]. (2014). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.02.044>.

Yordanov, G. H., Saetre, T. O., & Midtgård, O.-M. Extreme overirradiance events in Norway: 1.6 suns measured close to 60° N[R/OL]. (2015.05). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.02.020>.

国家能源局.关于新能源发电占全社会用电量比例问题[EB/OL]. (2021.04.16) . http://www.nea.gov.cn/2021-04/16/c_139884169.htm.

李祐梅, 邬明权, 牛铮, 等. 1992—2018年中国境外产业园区信息数据集[R/OL]. (2019.12.23) <https://zh.wikisource.org/wiki/1992%E2%80%932018%E5%B9%B4%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%A2%83%E5%A4%96%E4%BA%A7%E4%B8%9A%E5%9B%AD%E5%8C%BA%E4%BF%A1%E6%81%AF%E6%95%B0%E6%8D%AE%E9%9B%86>.

Bandoc, G., Prăvălie, R., Patriche, C., Degeratu, M. Spatial assessment of wind power potential at global scale[R/OL]. (2018.11). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.288>.

Enevoldsen, P., & Jacobson, M. Z. Data investigation of installed and output power densities of onshore and offshore wind turbines worldwide[R/OL]. (2021.02). <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.11.004>.

Feng, J., Feng, L., Wang, J., & King, C. W. Evaluation of the onshore wind energy potential in mainland China—Based on GIS modeling and EROI analysis[R/OL]. (2020.01). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.10.4484>.

Jäger, T., McKenna, R., & Fichtner, W. The feasible onshore wind energy potential in Baden-Württemberg: A bottom-up methodology considering socio-economic constraints[R/OL]. (2016.10). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.013>.

Mentis, D., Hermann, S., Howells, M., Welsch, M., & Siyal, S. H. Assessing the technical wind energy potential in Africa a GIS-based approach[R/OL]. (2015). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.072>.

Obane, H., Nagai, Y., & Asano, K. Assessing land use and potential conflict in solar and onshore wind energy in Japan[R/OL]. (2020.11).<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.018>.

Ongaki, N. L., Maghanga, C. M., & Kerongo, J. Evaluation of the Technical Wind Energy Potential of Kisii Region Based on the Weibull and Rayleigh Distribution Models[R/OL]. (2021.06). <https://doi.org/10.1155/2021/6627509>.

Patel M.R.Wind and solar power system[M].Taylor & Francis, New York, 2006.

Schallenberg-Rodríguez, J., & Notario-del Pino, J. Evaluation of on-shore wind techno-economical potential in regions and islands[R/OL]. (2014.07). <https://doi.org/10.1016/j.japenergy.2014.02.050>.

Siyal, S. H., Mörtberg, U., Mentis, D., Welsch, M., Babelon, I., Howells, M. Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-based approach[R/OL]. (2015.04). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.044>.

Technical University of Denmark, World Bank Group. (n.d.). Global Wind Atlas. <https://globalwindatlas.info/>.

Vallejo-Díaz, A., Herrera-Moya, I., Fernández-Bonilla, A., Pereyra-Mariñez, C. Wind energy potential assessment of selected locations at two major cities in the Dominican Republic, toward energy matrix decarbonization, with resilience approach[R/OL]. (2022.07). <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101313>.

Van Wijk, A.J.M., Coelingh, J.P. Wind Power Potential in the OECD Countries.(1993).Utrecht University, Utrecht, NL.

Wei, X., Duan, Y., Liu, Y., Jin, S., & Sun, C. Onshore-offshore wind energy resource evaluation based on synergetic use of multiple satellite data and meteorological stations in Jiangsu Province, China [R/OL].(2019.03). <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0699-7>.

中国光伏行业协会.中国光伏产业发展路线图（2022—2023年）[EB/OL],（2023.02.23）. http://www.chinapv.org.cn/road_map/1137.html.

新华社. 新疆：借光照资源开启光伏牧业精准扶贫新模式[EB/OL].（2016.09.26）. http://www.gov.cn/xinwen/2016-09/26/content_5112313.htm.

Emily Folk. How Solar Energy Can Coincide With Crop and Animal Agriculture[EB/OL].(2020.11.19).<https://www.renewableenergymagazine.com/emily-folk/how-solar-energy-can-coincide-with-crop-20201119>.

Benjamin Mow. Solar Sheep and Voltaic Veggies: Uniting Solar Power and Agriculture[EB/OL].(2018.06.06).<https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/solar-sheep-and-voltaic-veggies-uniting-solar-power-and-agriculture.html>.

NCSL. State Renewable Portfolio Standards and Goals[EB/OL].(2021.08.13).<https://www.ncsl.org/energy/state-renewable-portfolio-standards-and-goals>.

关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

我们的工作方法

量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

图片说明

Cover, 中国老挝万象赛色塔低碳示范区; Pg. 1 宋婧; Pg. 2, Adrian Sulyok/Unsplash; Pg. 4, 宋婧; Pg. 6, 7, 宋婧; Pg. 8, Xinhua App; Pg. 10, 宋婧; Pg. 12, Xinhua App; Pg. 14, world.people.com.cn/www.news.cn; Pg. 17, Xinhua App; Pg. 18, Thomas Richter/Unsplash; Pg. 26, 中国老挝万象赛色塔低碳示范区; Pg. 29, Erwan Hesry/Unsplash; Pg. 30, Ricardo Gomez Angel/Unsplash; Pg. 36, Karel Vh/Unsplash; Pg. 39, 宋婧; Pg. 42, Serhat Beyazkaya/Unsplash; Pg. 46, Nuno Marques/Unsplash; Pg. 49, sd.china.com; Pg. 50, Jackson Jost/Unsplash.

世界资源研究所（WRI）出版物，皆为针对公众关注问题而开展的适时性学术性研究。世界资源研究所承担筛选研究课题的责任，并负责保证作者及相关人员的研究自由，同时积极征求和回应咨询团队及评审专家的指导意见。若无特别声明，出版物中陈述观点的解释权及研究成果均由其作者专属所有。

地图仅供说明之用，并不代表 WRI 对任何国家或地区的领土的法律地位、边界或边界划分发表任何意见。



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

世界资源研究所（美国）北京代表处
北京市东城区东中街 9 号
东环广场写字楼 A 座 7 层 K-M 室
WRI.org.cn



Copyright 2024 World Resources Institute. 版权所有。本产品由创用（Creative Commons）4.0 许可授权。
许可副本参见<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>