



全球清洁能源开发与投资研究 成果发布

全球能源互联网发展合作组织

二〇二〇年十一月



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

全球清洁能源开发与投资

全球清洁能源
开发与投资研究

全球能源互联网发展合作组织

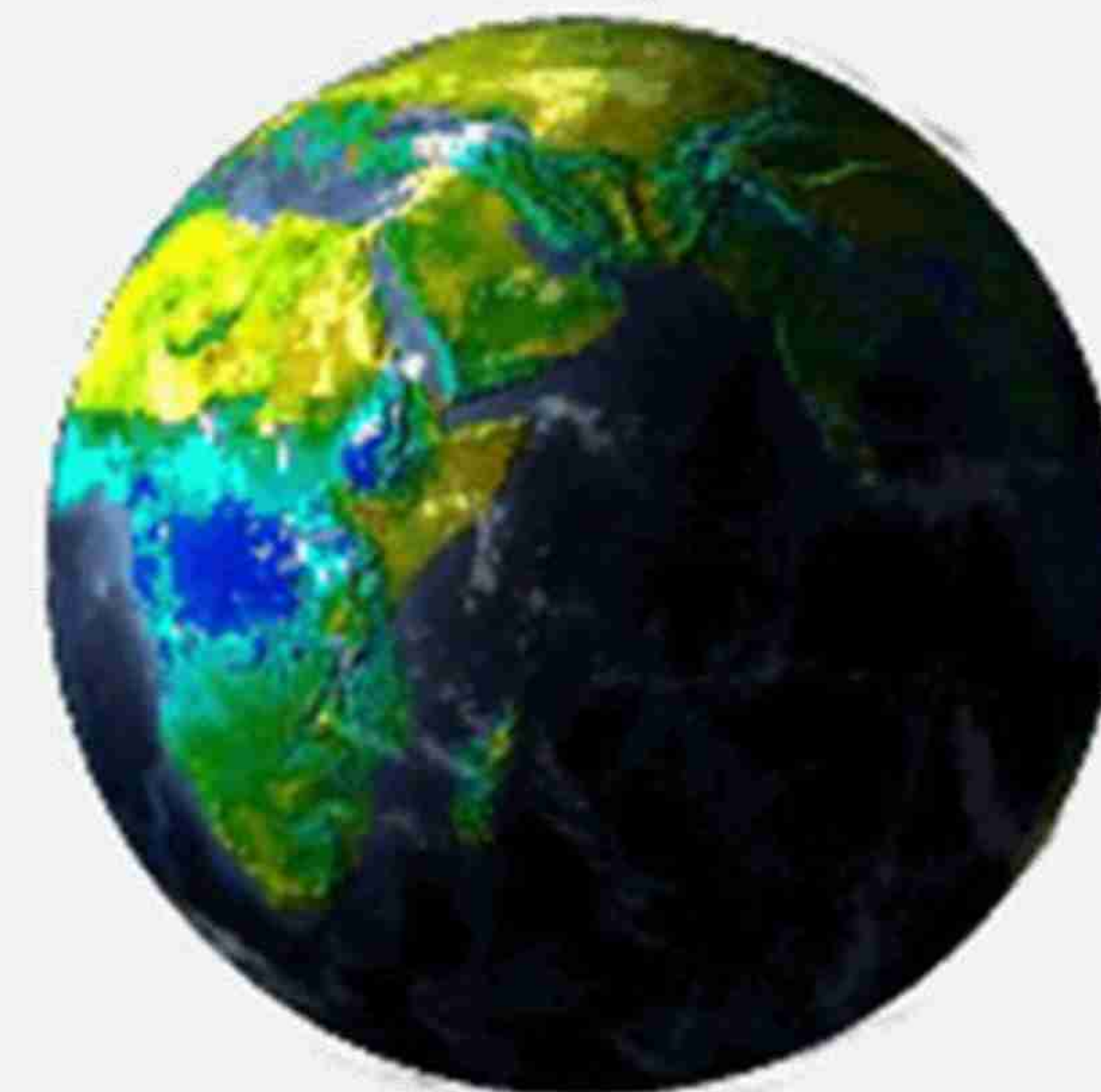
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



以**太阳能、风能、水能**等清洁能源替代化石能源是能源清洁发展的必然要求。**全球能源互联网**是能源生产清洁化、消费电气化的现代能源体系，是清洁能源大规模开发和高效利用的全球配置平台。

2019年，合作组织发布了**全球能源互联网研究与展望系列报告（1+6规划报告）**，提出了全球“九横九纵”骨干网架方案，全球、各大洲及重点区域能源互联网构建思路，完成了全球能源转型和清洁低碳发展的顶层设计。

2020年，为促进全球能源互联网战略落地，加快清洁能源大规模开发利用，合作组织系统开展了**全球清洁能源开发与投资研究（1+6清洁能源报告）**，形成了与能源互联网规划紧密联系、相互支撑的又一套全球及各大洲系列成果。



全球太阳能资源



全球风能资源



经济性怎么样？

清洁能源有多少？

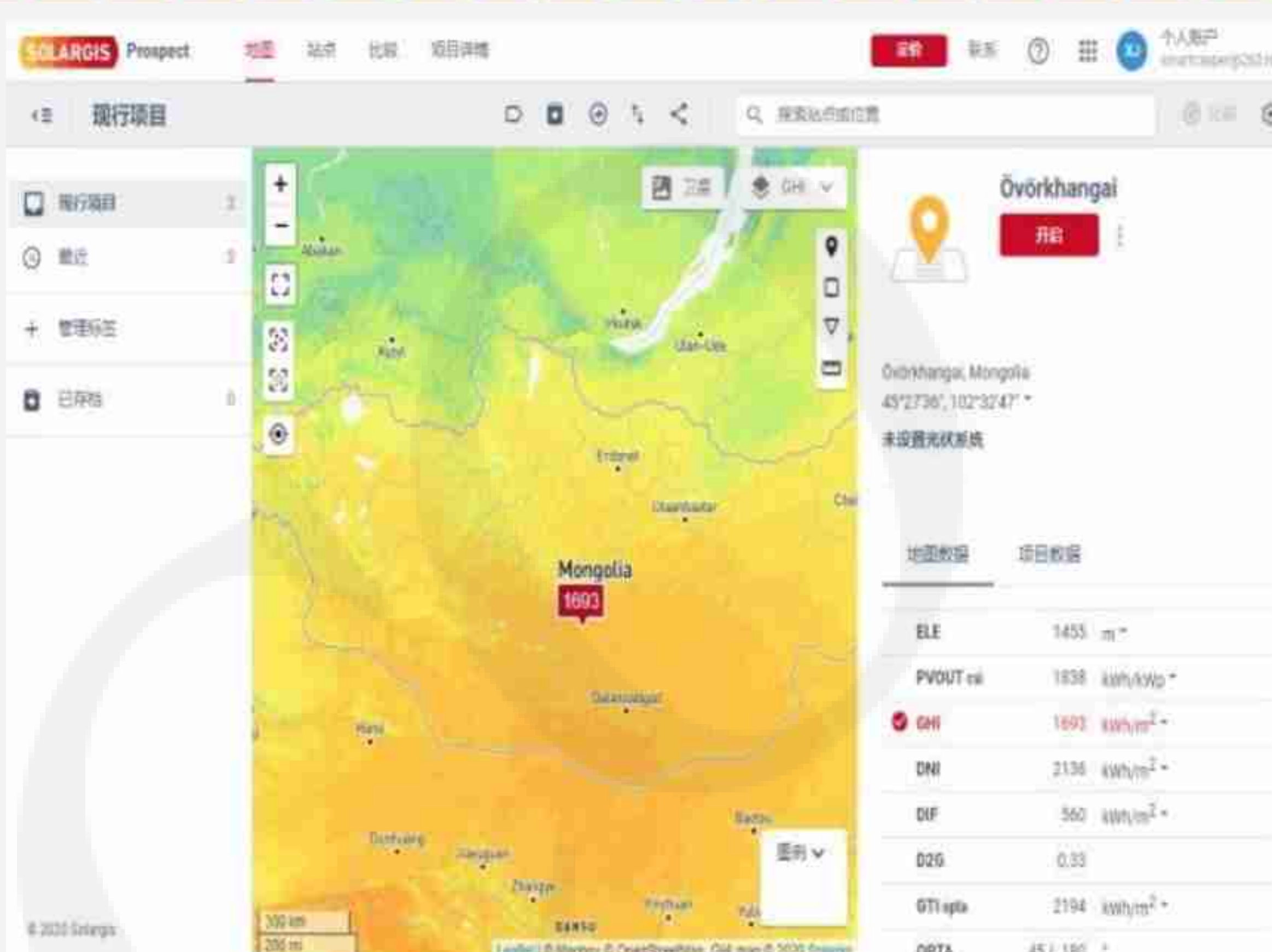
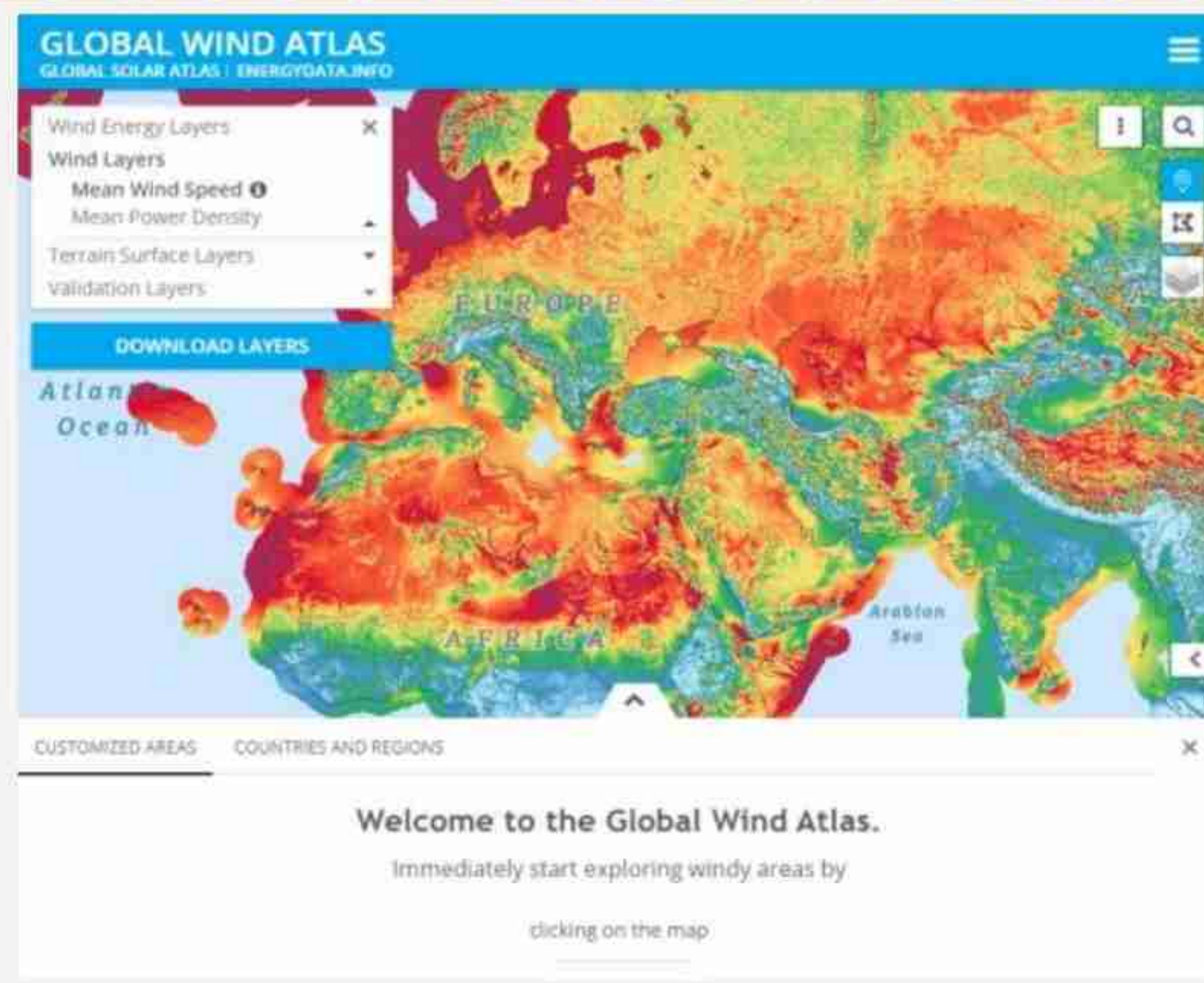
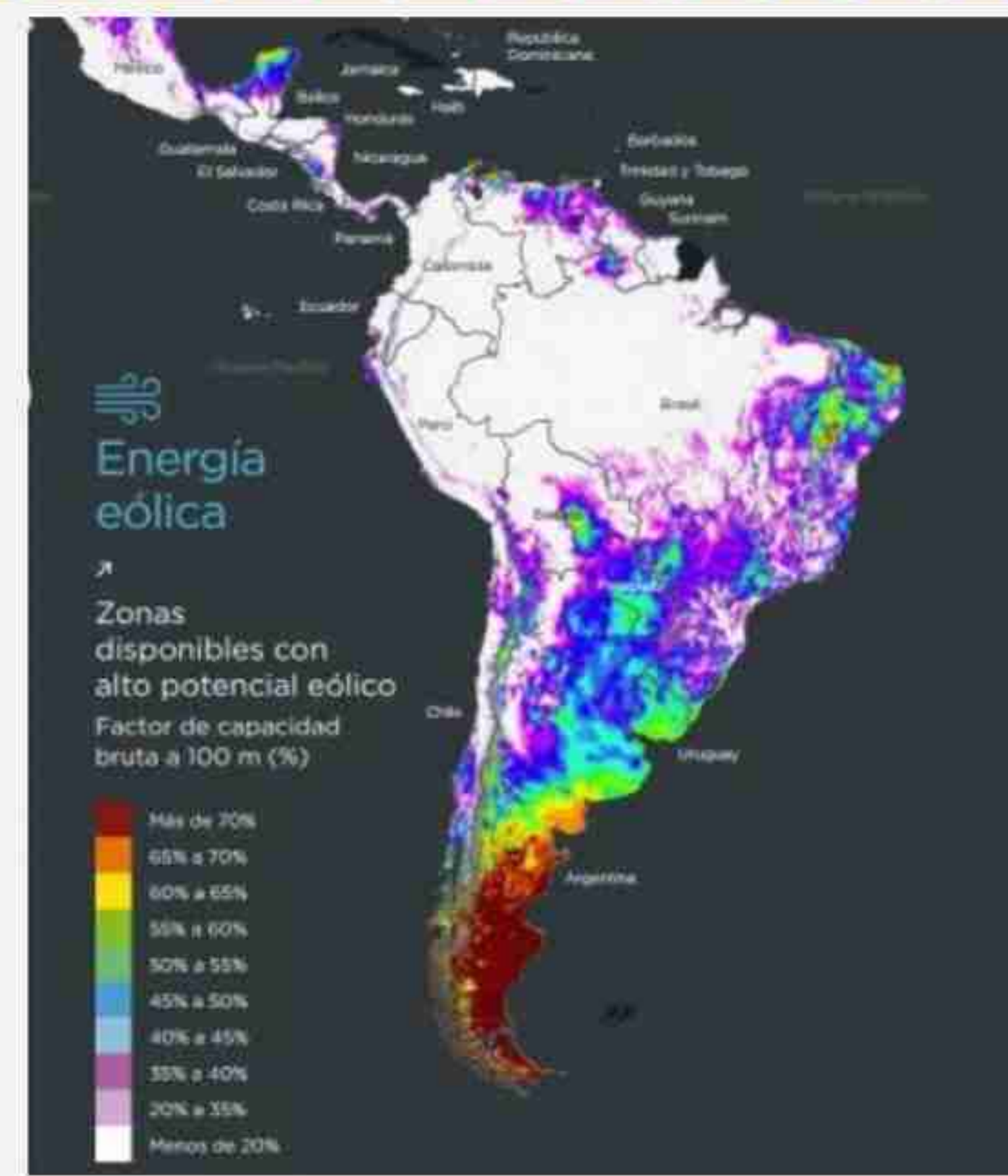
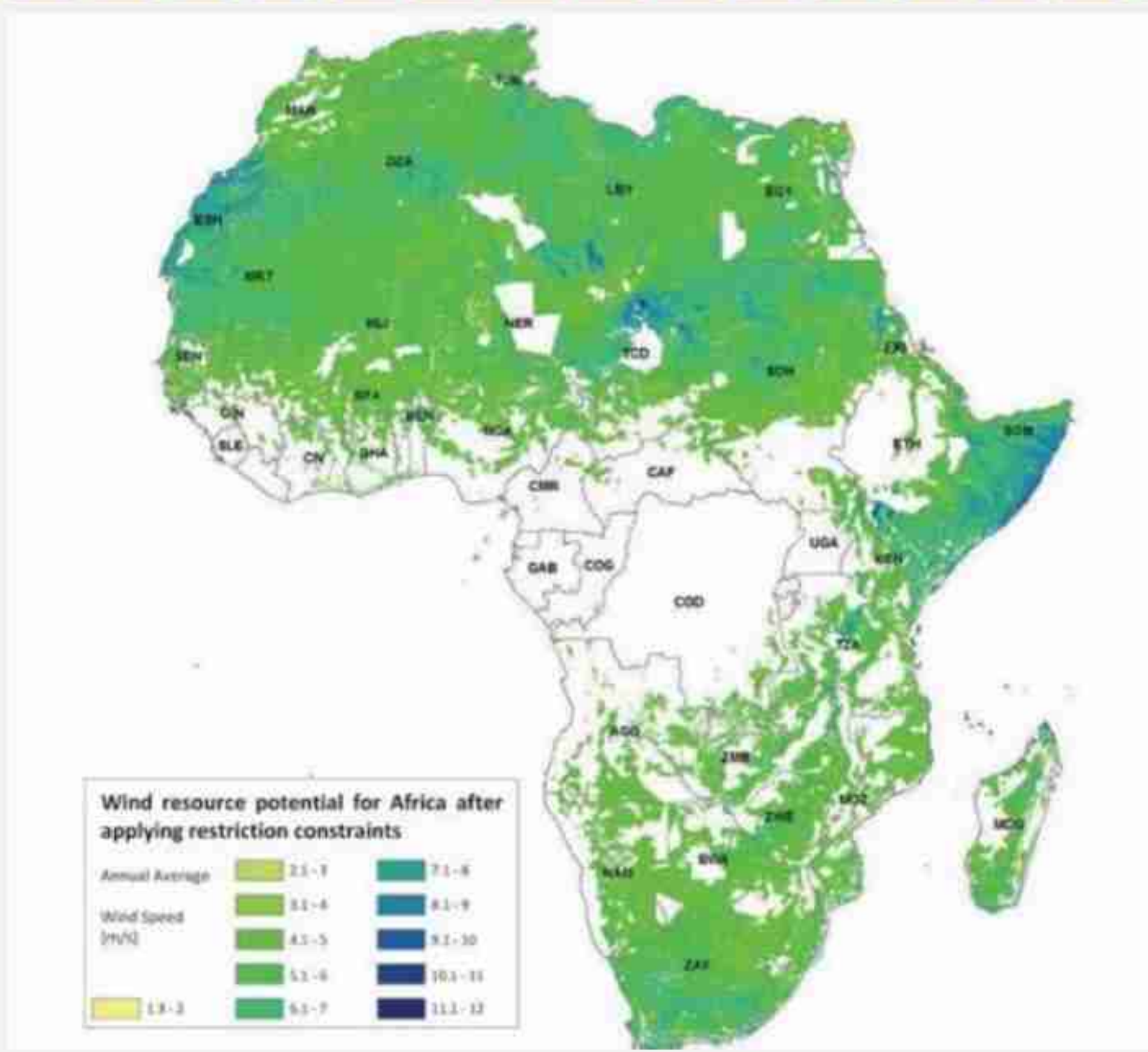
清洁能源给谁用？

开发投资条件如何？

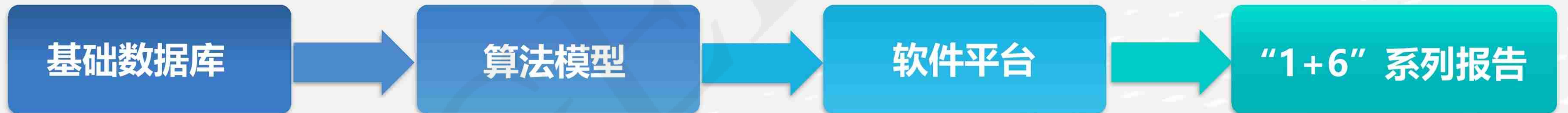
清洁能源在哪里？



大规模开发和利用清洁能源，需要系统回答清洁能源“在哪里”、“有多少”、“怎么样”、“给谁用”、“开发投资条件如何”等一系列关键问题。



- **宏观资源评估**：无系统性的水、风、光结果，多采用简略比例系数模型，数据、参数、方法不统一，可比性差。
- **基地选址研究**：多依赖高精度数据、模型复杂，以工程项目为对象开展研究，范围小、耗时长，成本高。



- **科学性**：准确的量化模型，客观的基础数据，统一的计算参数。
 - **系统性**：包含理论蕴藏量、技术可开发、经济可开发3个维度的评估；电源、电网的统筹研究。
 - **全面性**：范围覆盖全球的水、风、光；资源、技术和非技术3方面全面评估；各大洲基地选址布局。
- 本研究成果更加贴近清洁能源开发实际需求，可操作性和针对性更好。



1. 资源评估与基地开发



1.1 基础数据

1.2 水能资源评估与开发

1.3 风能资源评估与开发

1.4 太阳能资源评估与开发

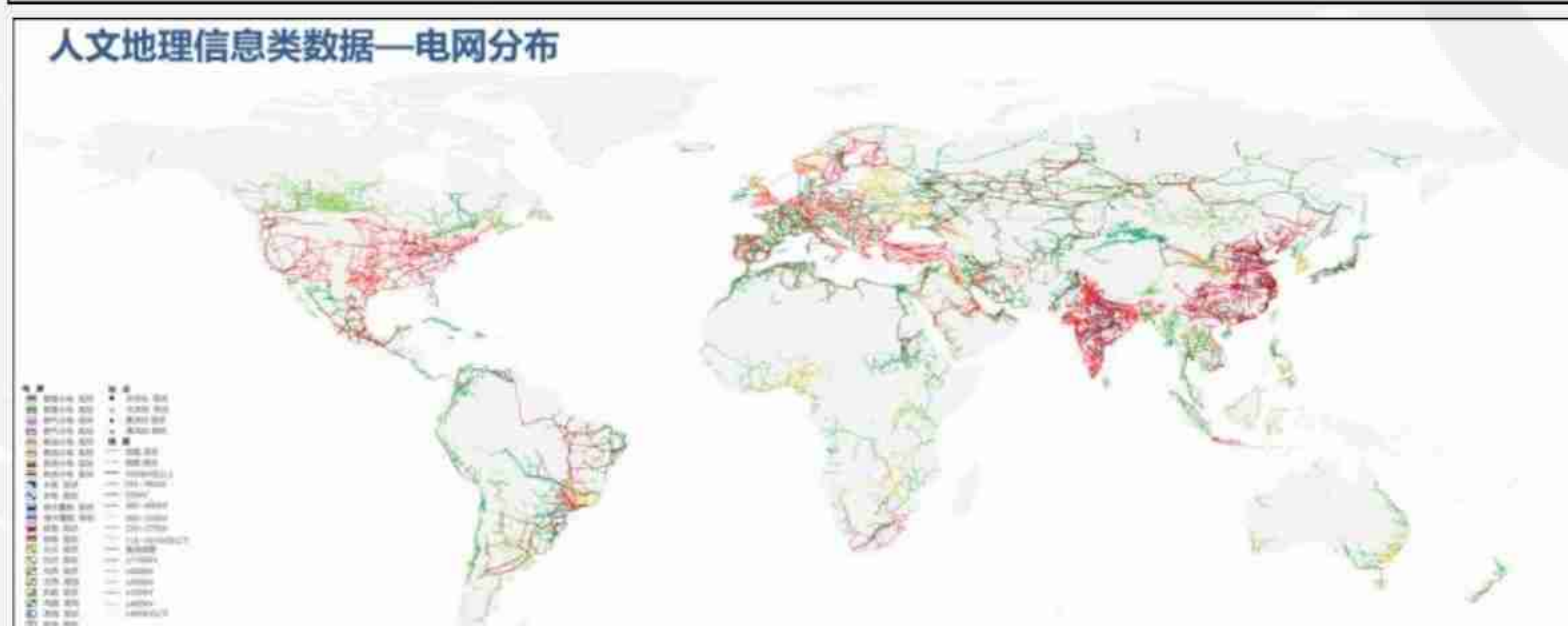
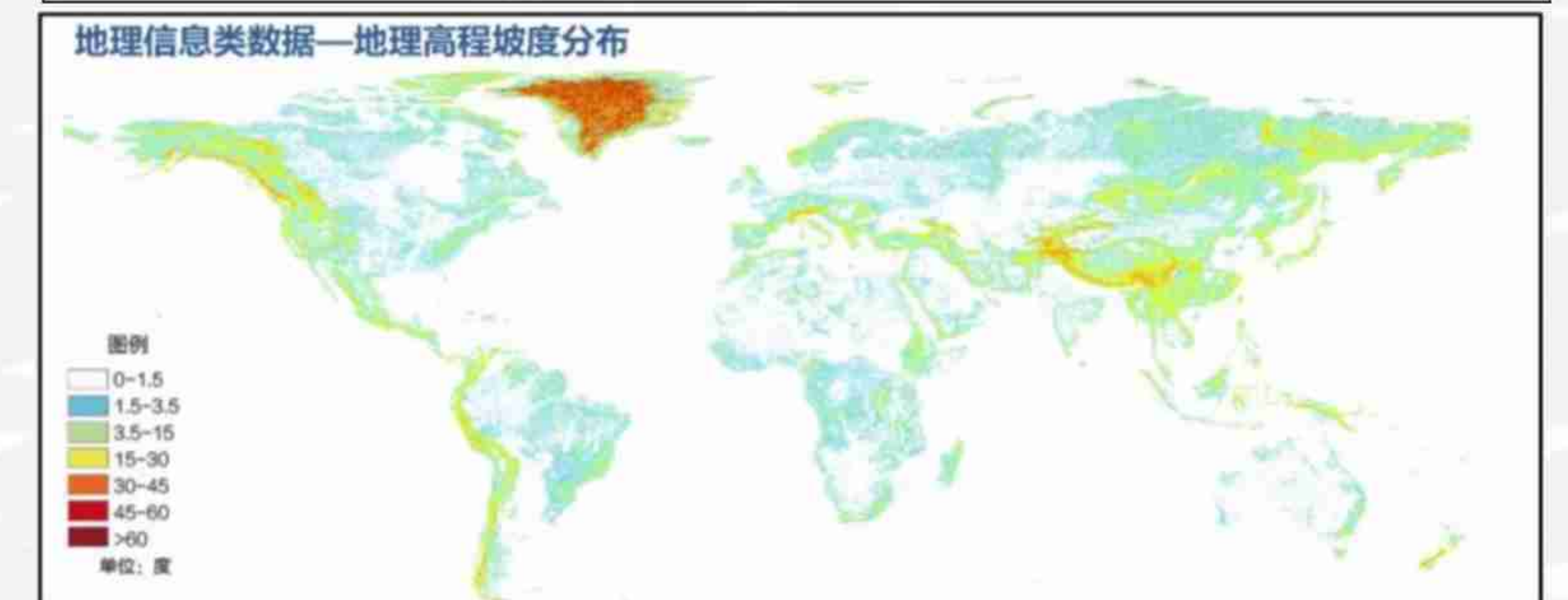
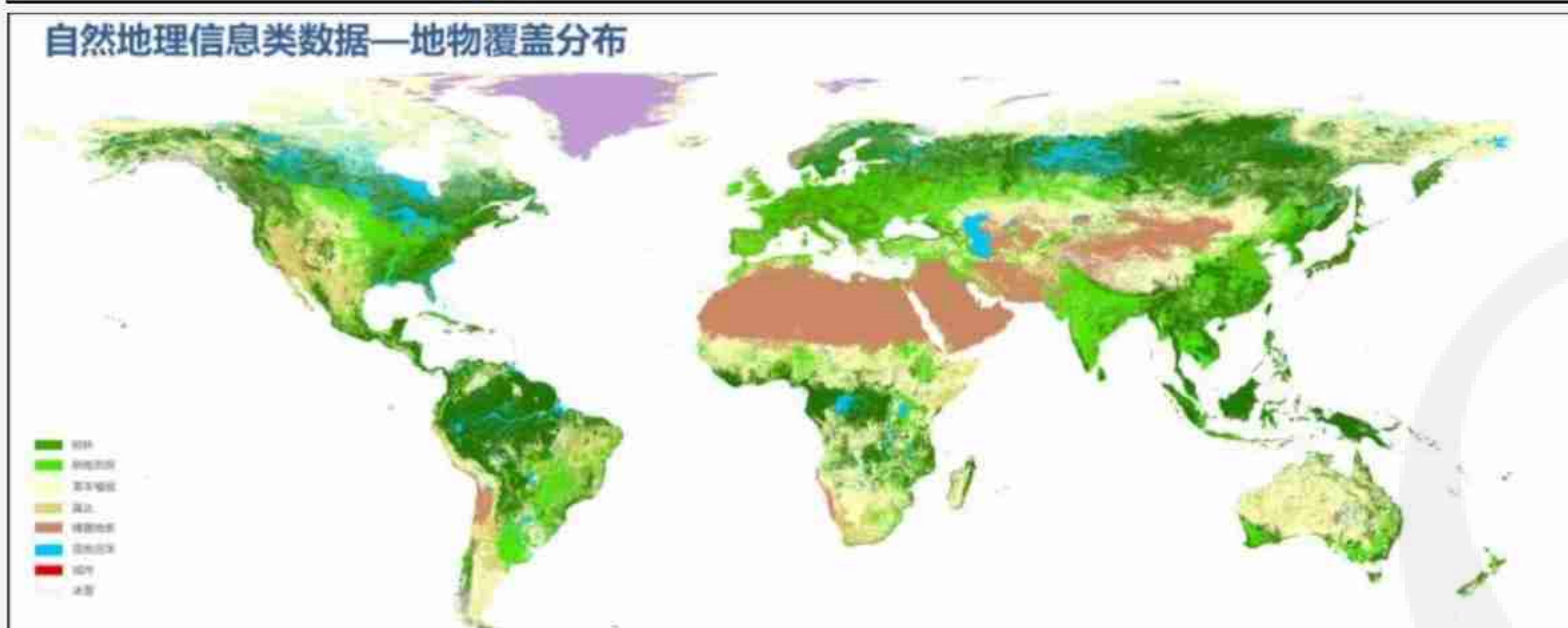
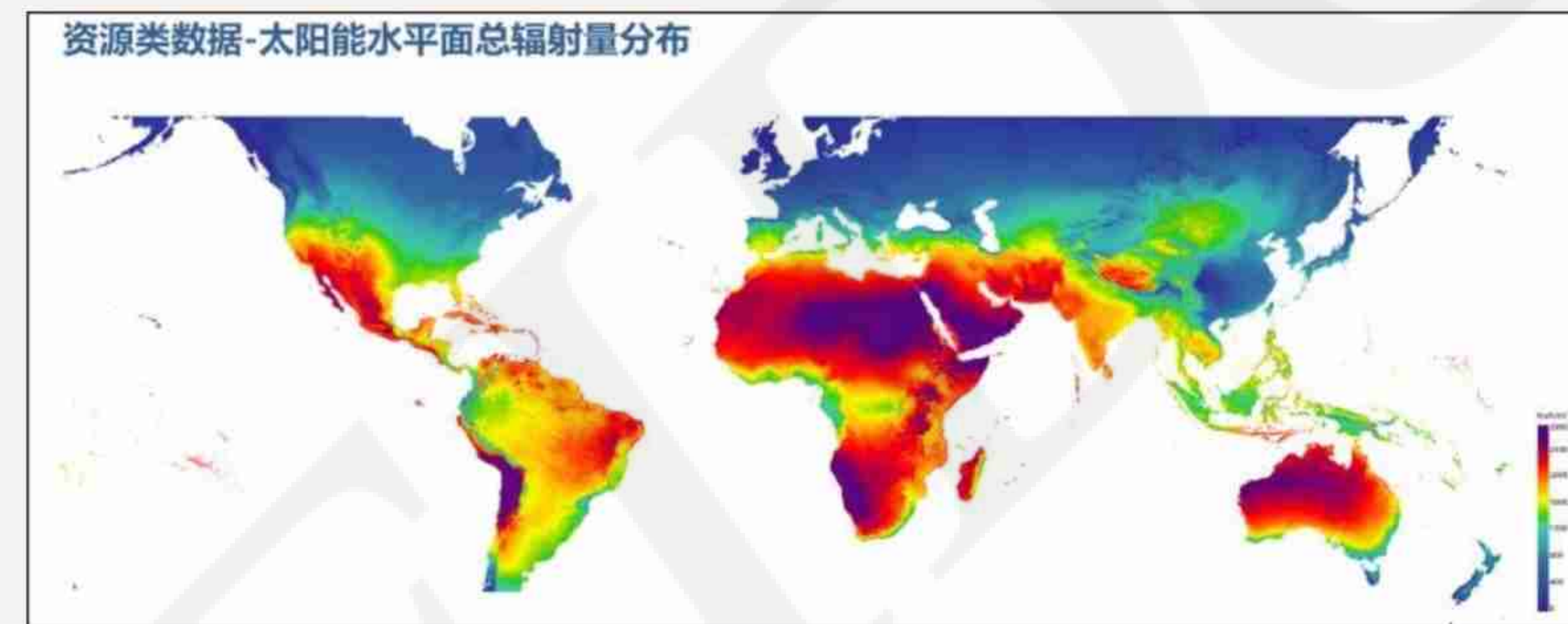
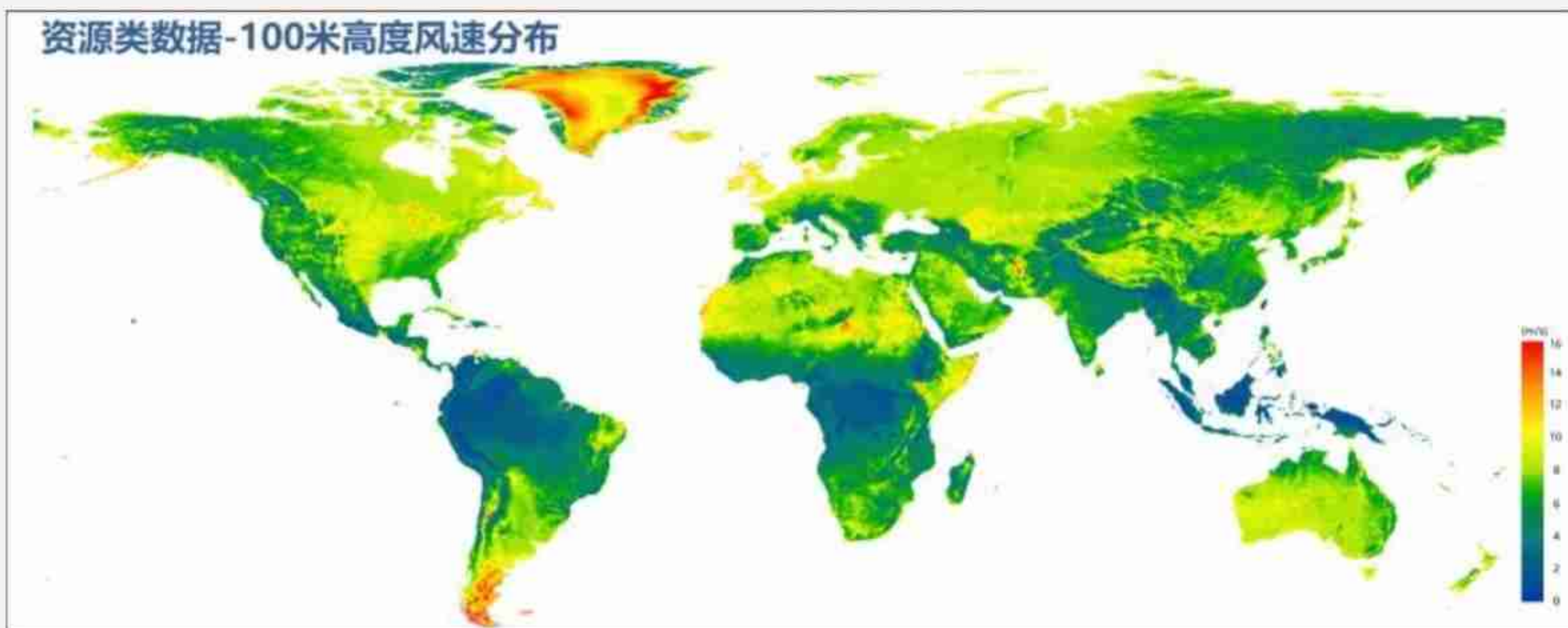
1.5 各洲基地开发方案

2. 电力外送与投资研究

1.1 基础数据



■ **河流流量、风速、太阳辐射等资源数据**是开展资源评估研究的**必备基础**，报告还引入了**全球地面覆盖物分布等地理信息类数据**，**全球交通与电网基础设施分布等人类活动数据**和**经济性、社会性资料**，建立了包含**3类18项覆盖全球范围的清洁能源资源评估基础数据库**。



1.2 水能资源评估—方法模型



■ 水能是蕴藏于河川和海洋水体中的势能和动能。报告重点研究河川水流的水能资源。

➤ 第一步：理论蕴藏量

河流水文与地理高程数据，计算得到详细的河网信息，计算干、支流蕴藏量。

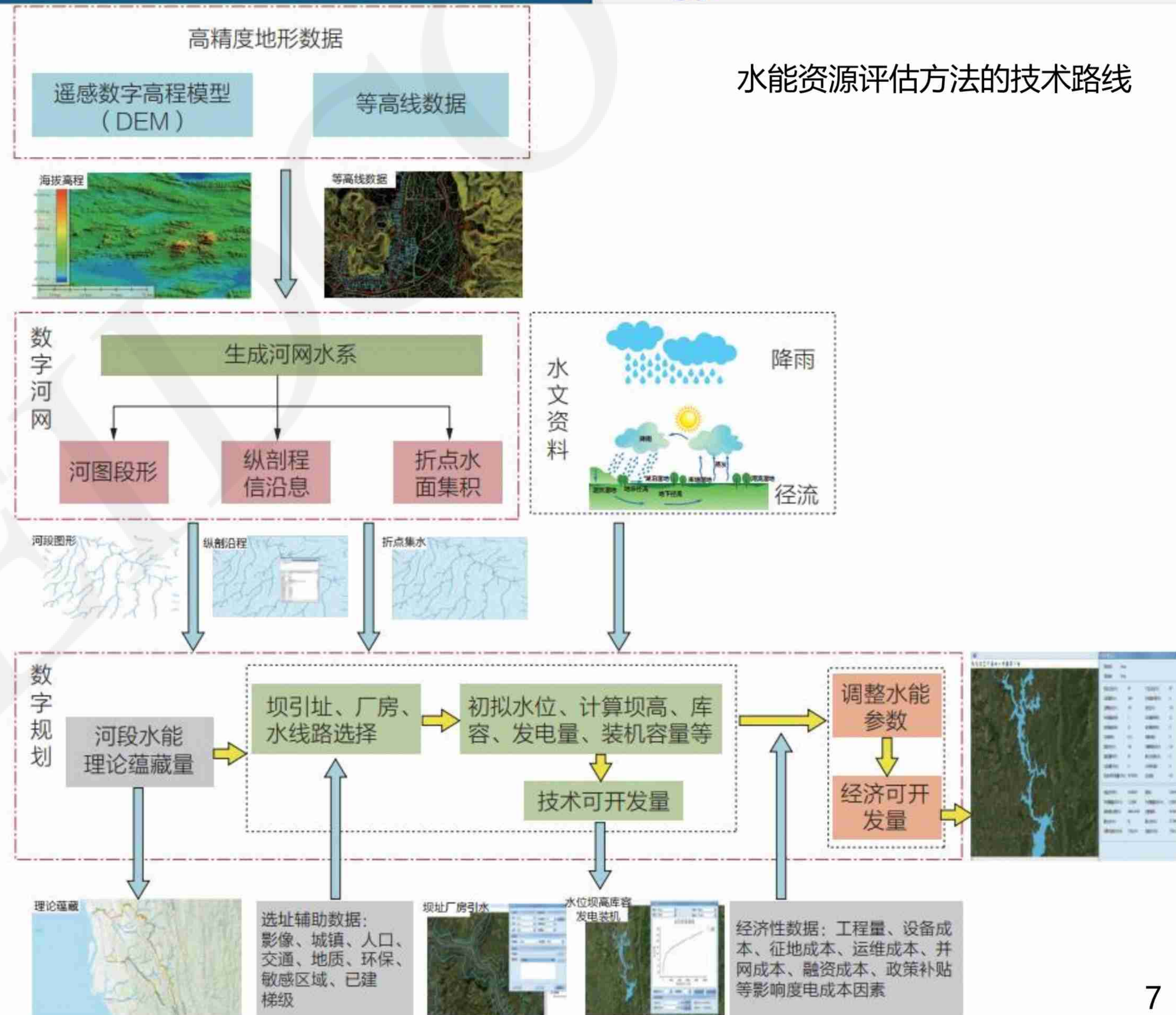
➤ 第二步：技术可开发量

➤ 第三步：经济可开发量

对具备开发潜力的河段，拟定梯级开发方案，完成技术、经济可开发量的评估。

遵循“从河段到河流、从支流到干流”原则，按照流域开展逐级评估。

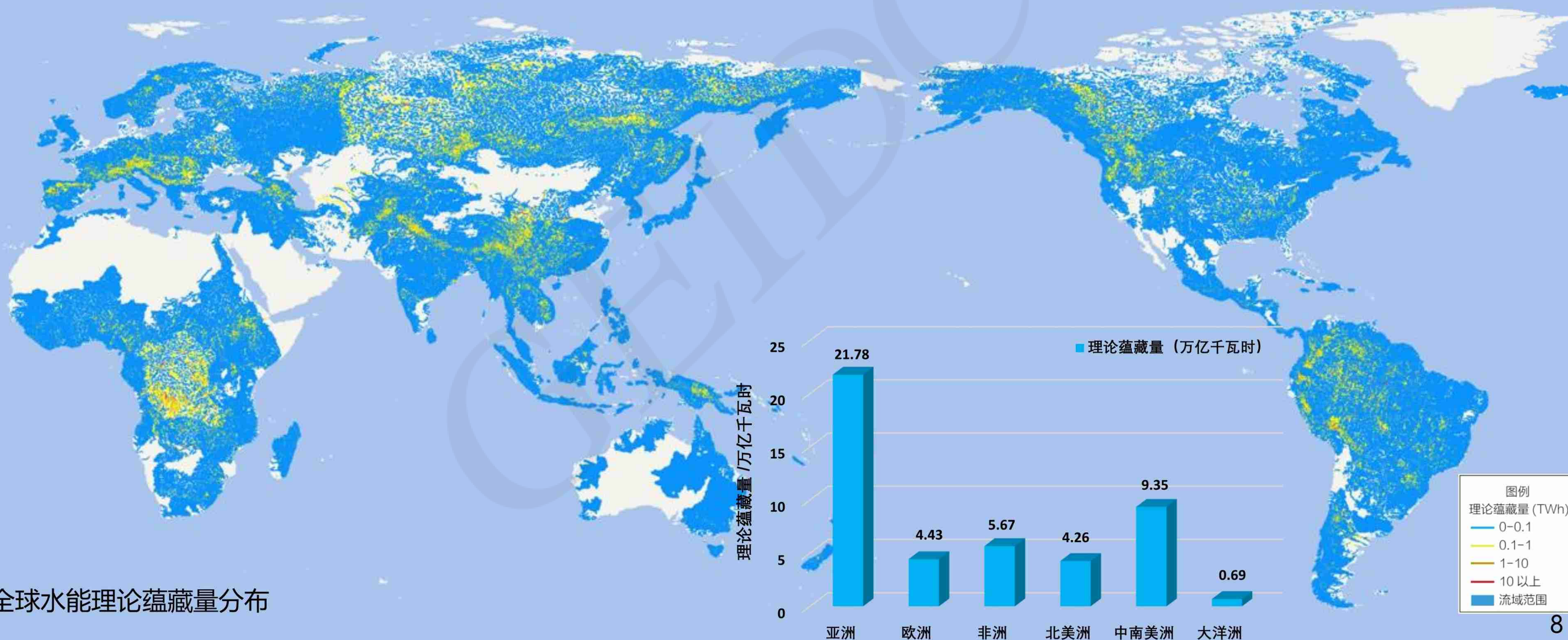
水能资源评估方法的技术路线



1.2 水能资源评估—全球评估结果



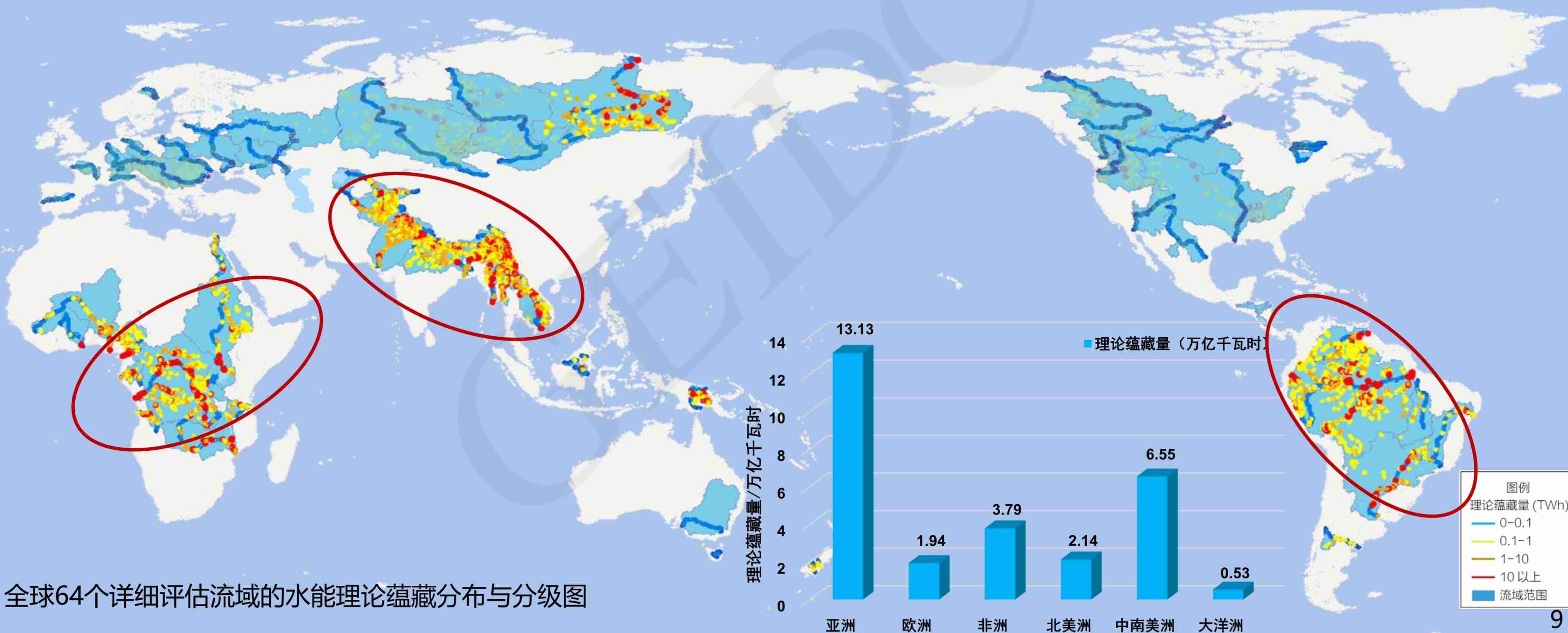
- 水电是技术最成熟、已开发规模最大的清洁发电，装机规模**12亿千瓦**。除南极洲外，资源量超过5万千瓦的流域全球共计**53685条**，水能理论蕴藏量**46万亿千瓦时**。



1.2 水能资源评估—全球评估结果



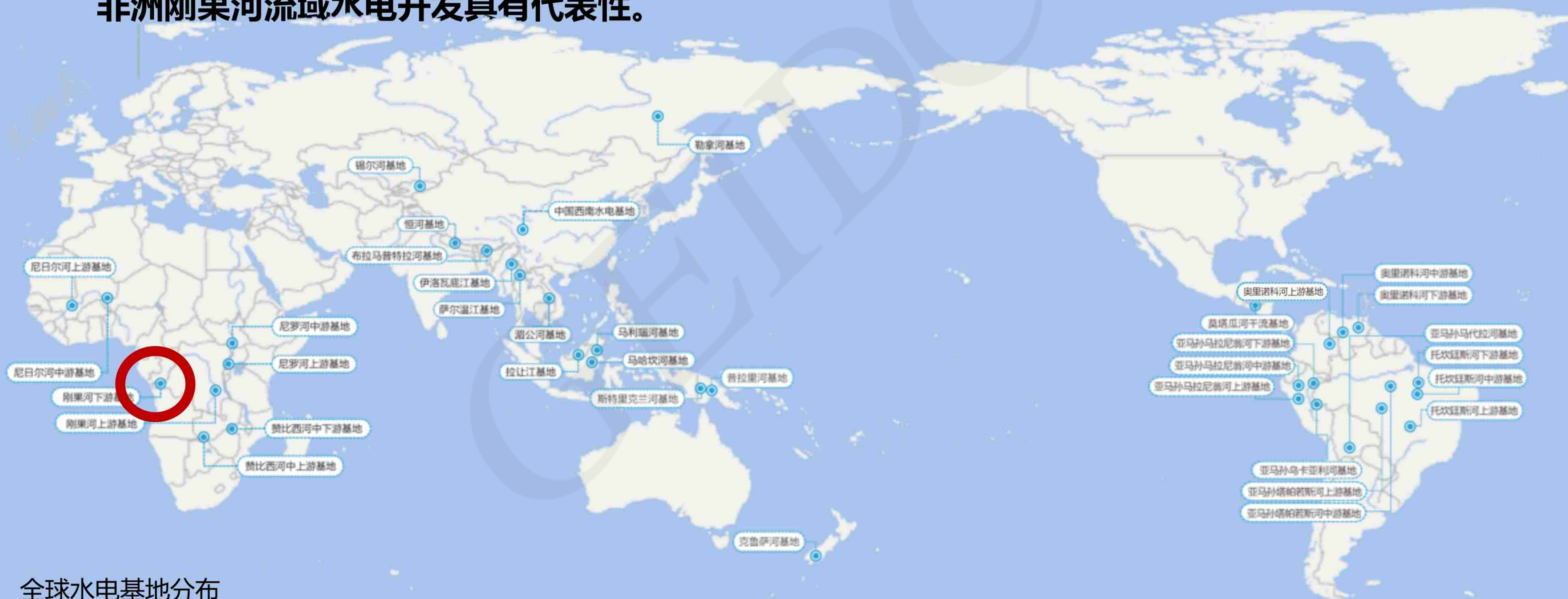
- 全球具有较好水电开发价值的河流有**205条**，报告给出了6大洲的**64条**待开发潜力较大流域的详细评估结果，在南北半球中低纬度的崇山峻岭之中，分布着未来全球水电开发的**“黄金地带”**。



1.2 水电基地开发—全球水电基地布局



- 综合考虑资源特性和开发条件，未来非洲刚果河、亚洲湄公河、中南美洲亚马孙河支流等**21个流域**可开发**超过10亿千瓦**水电。报告提出了其中经济性好的**35个水电基地**，超过**200个梯级电站**。其中，非洲刚果河流域水电开发具有代表性。





■ 水电基地数字化选址

提取数字化河网



选取规划河段



分析限制性因素



拟定电站布置



计算主要参数指标

■ 皮奥卡电站——工程设想与投资估算

- 电站采用坝式开发，挡水坝为混凝土重力坝，坝顶高程252米，坝高90米，坝长1900米，总库容70.2亿立方米，发电水头70.5米，发电引用流量59723立方米/秒。
- 电站总装机3500万千瓦，年发电量2213亿千瓦时。
- 总投资约890亿美元，度电成本约4美分。



1.3 风能资源评估—方法模型



■ 风能是空气流动所产生的动能。

➤ 第一步：理论蕴藏量

利用风速与风功率密度分布数据，采用地理格点法计算得到风能理论蕴藏量。

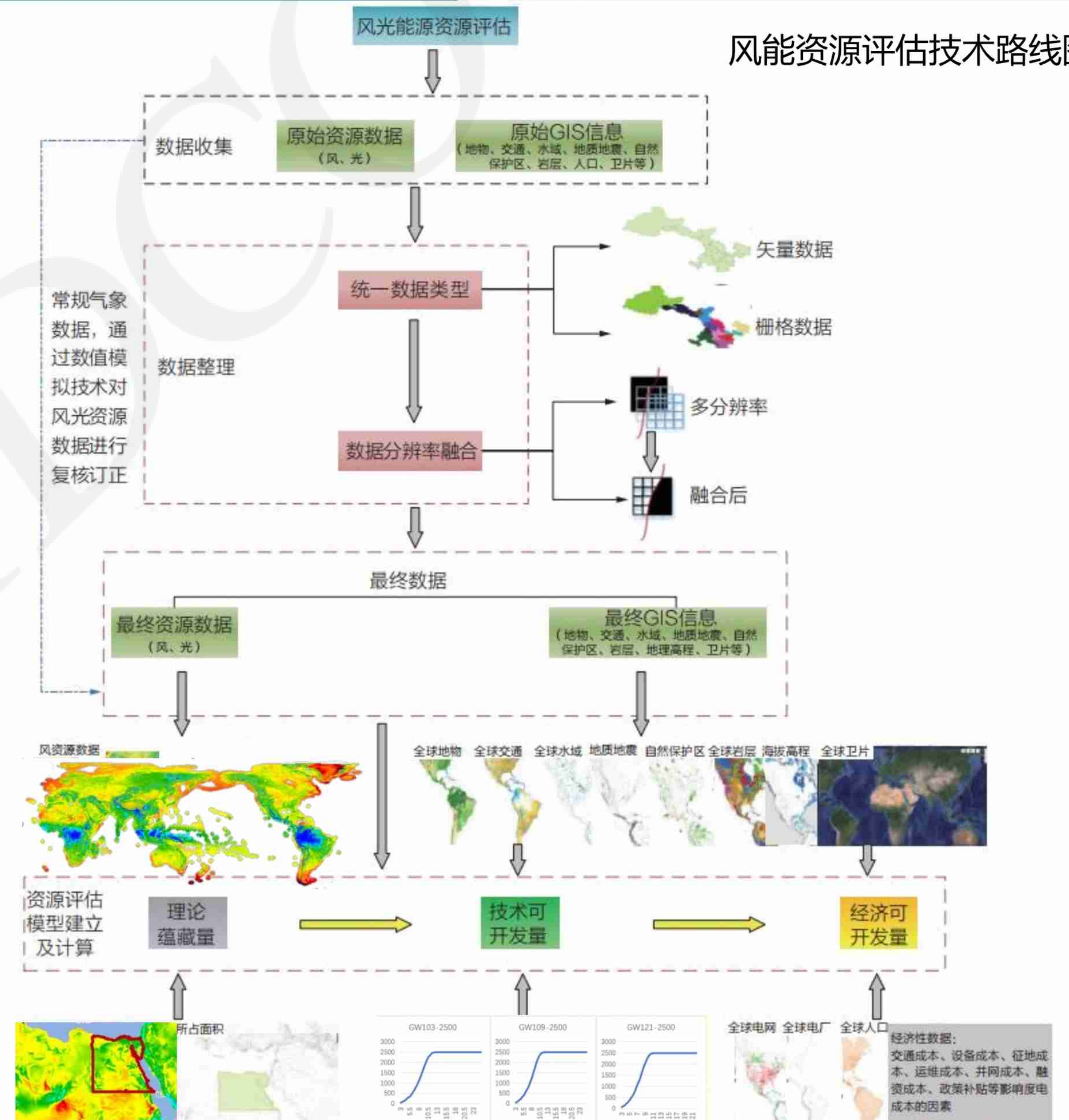
➤ 第二步：技术可开发量

综合考虑资源禀赋、保护区、海拔高程、地面覆盖物等限制性因素，排除不宜开发区域后，结合评估年份技术水平，计算得到技术可开发量。

➤ 第三步：经济可开发量

在考虑交通与并网成本的基础上，计算每个地理格点的度电成本，统计具有经济竞争优势的装机，完成经济可开发量的评估。

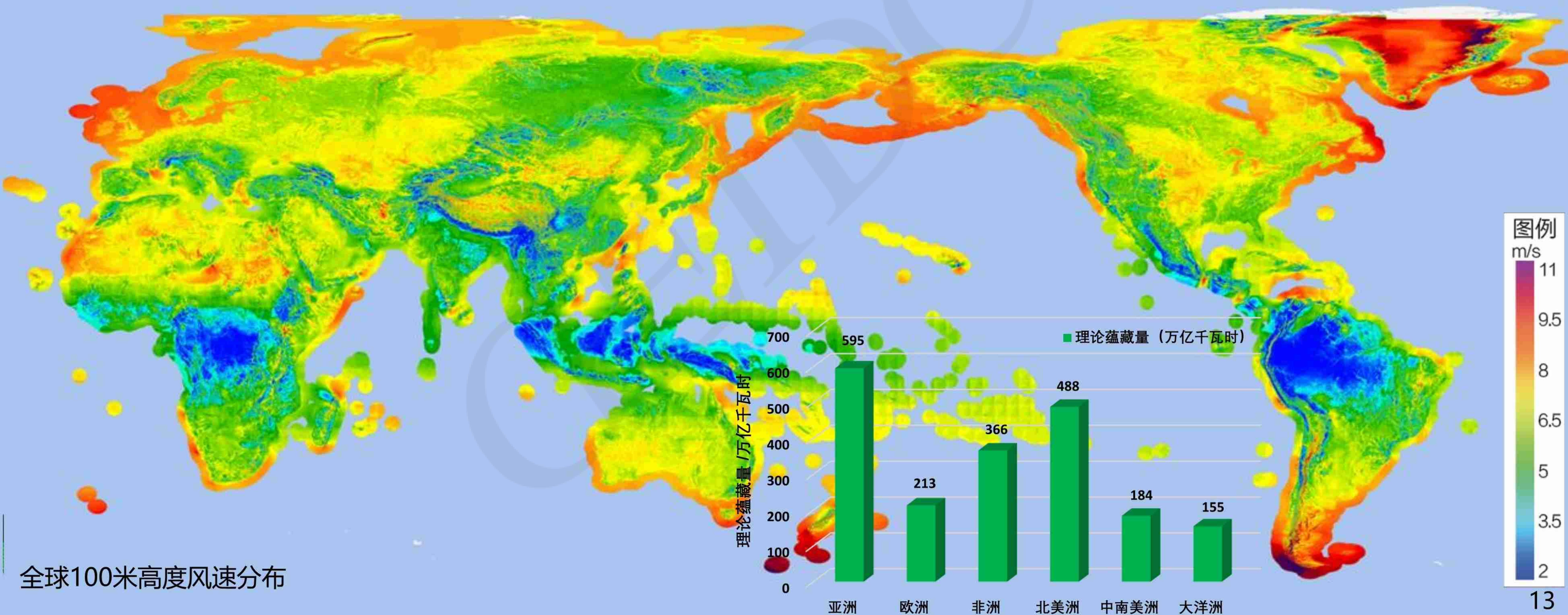
风能资源评估技术路线图



1.3 风能资源评估—全球理论蕴藏量评估结果



- 全球风能理论蕴藏量**2000万亿千瓦时**，是当前全球电力需求的约100倍。其中，亚洲风能理论蕴藏量**595万亿千瓦时**，占全球总量的30%。





■ 技术可开发量模型

评估的关键是排除不宜开发的区域，主要考虑的限制性因素如下：

■ 资源禀赋

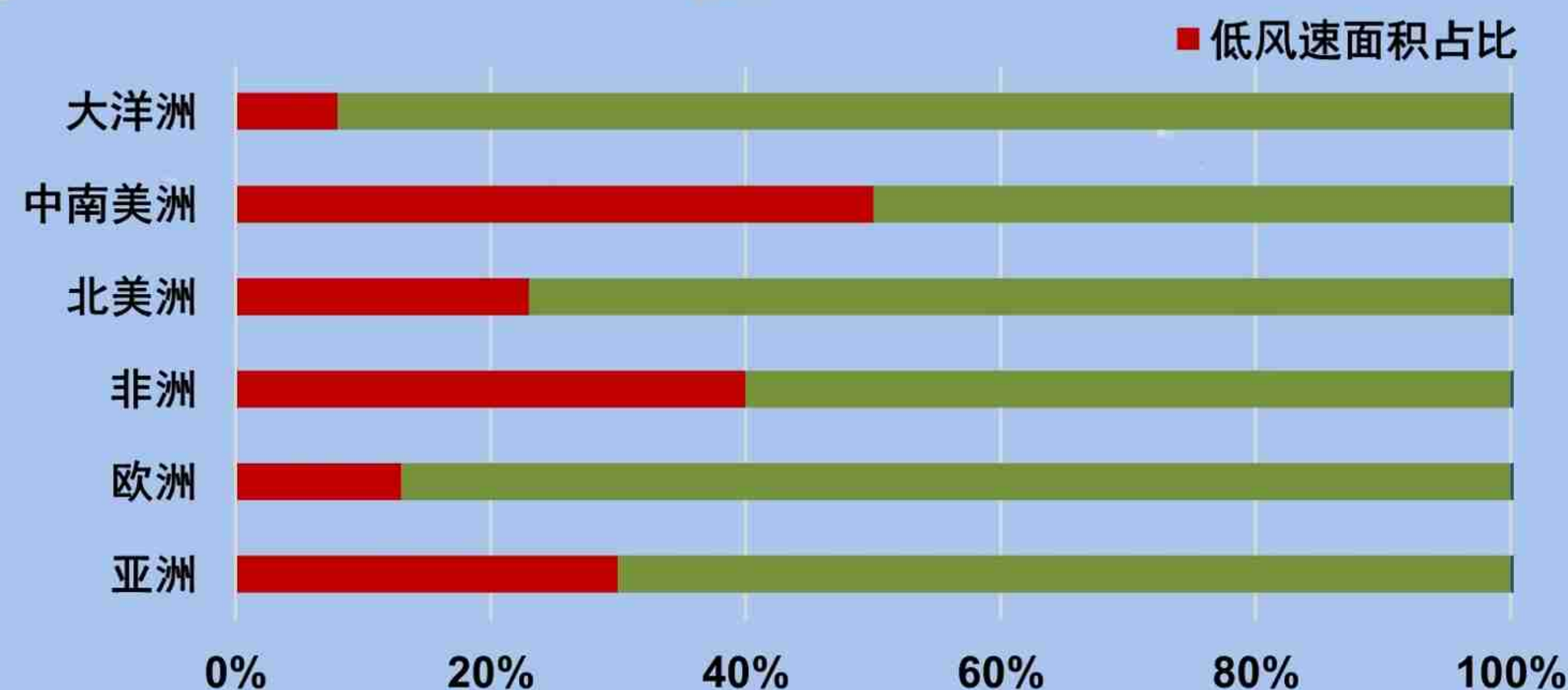
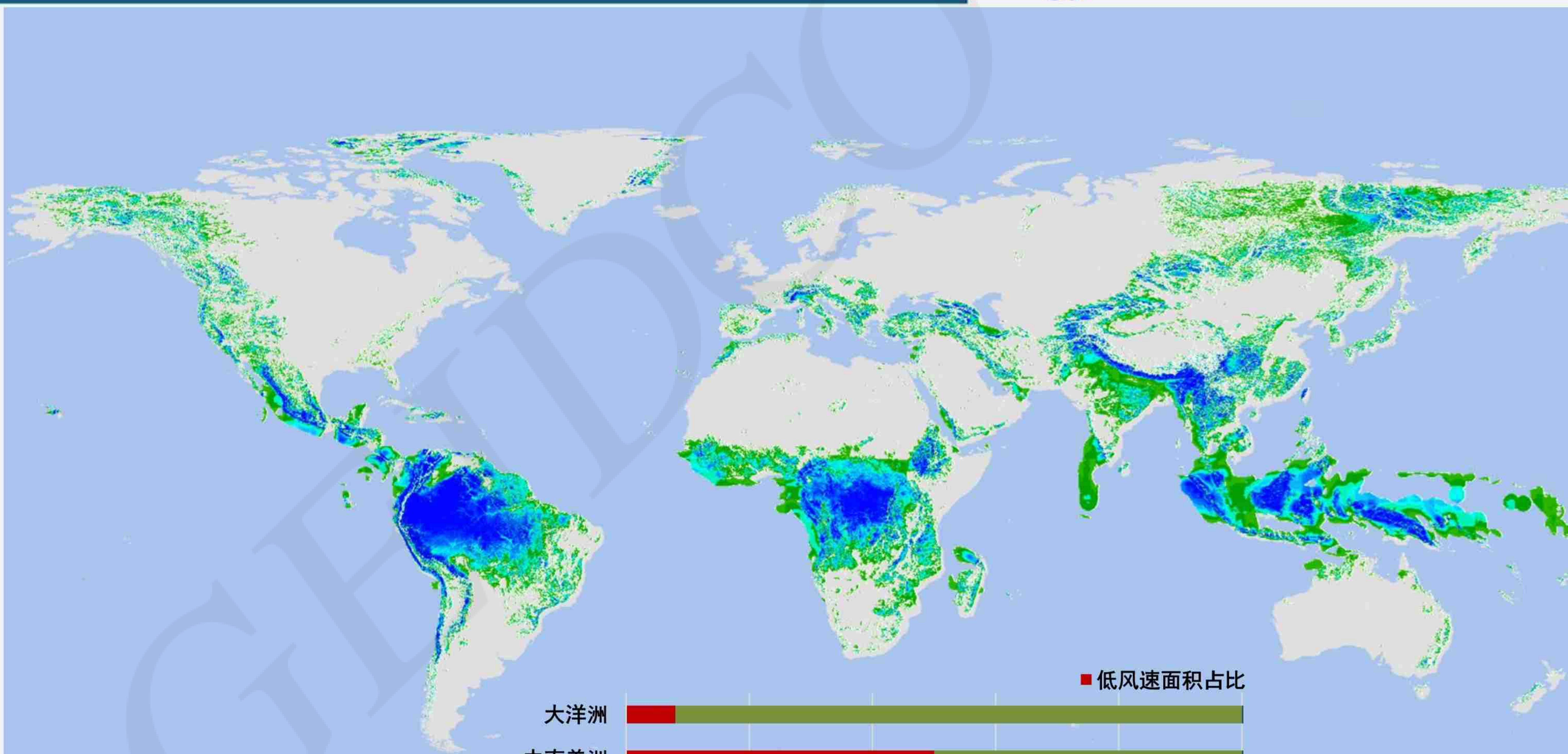
年均风速低于5m/s。

■ 保护区

■ 海拔高程

■ 地面覆盖物

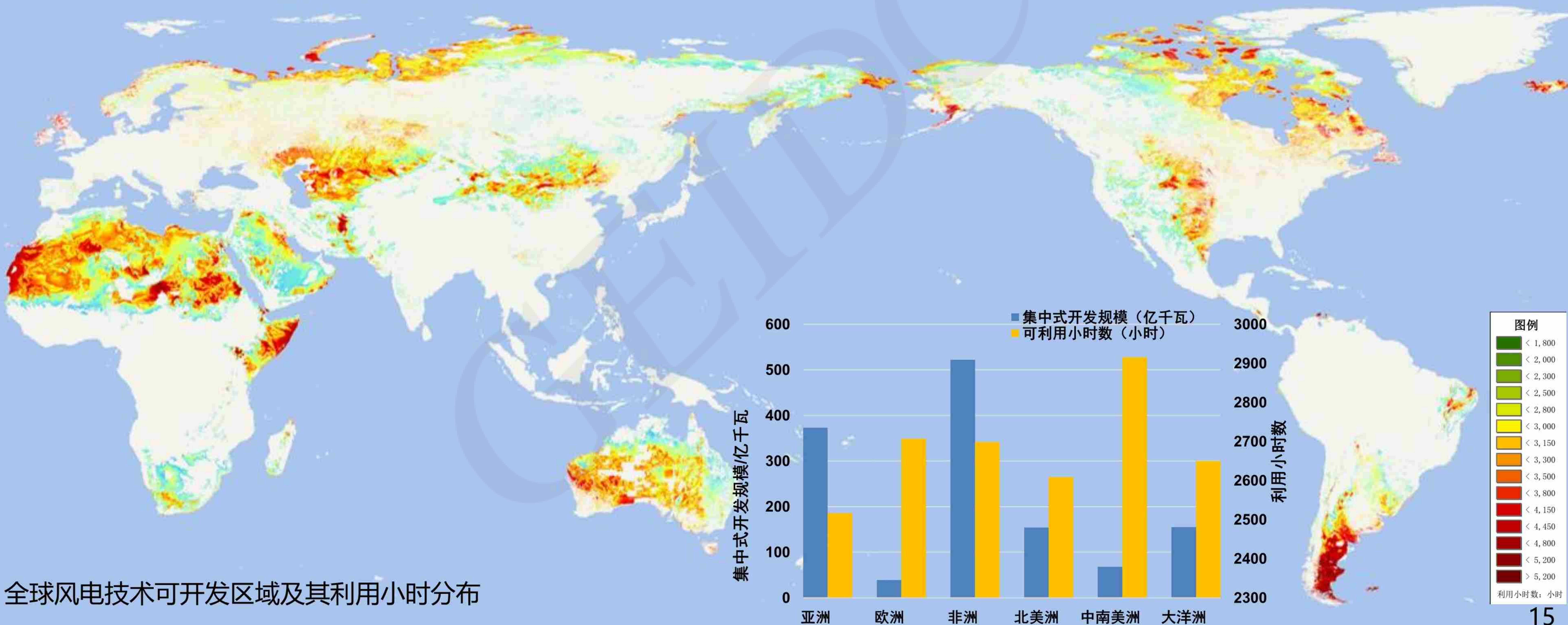
■ 地形坡度



1.3 风能资源评估—全球技术可开发量评估结果



- 全球风电现有装机规模**6.2亿千瓦**。经评估，适宜集中开发的风电规模约**1312亿千瓦**，年发电量约**347万亿千瓦时**。其中，亚洲规模**373亿千瓦**，占比约**28%**，居全球第二。



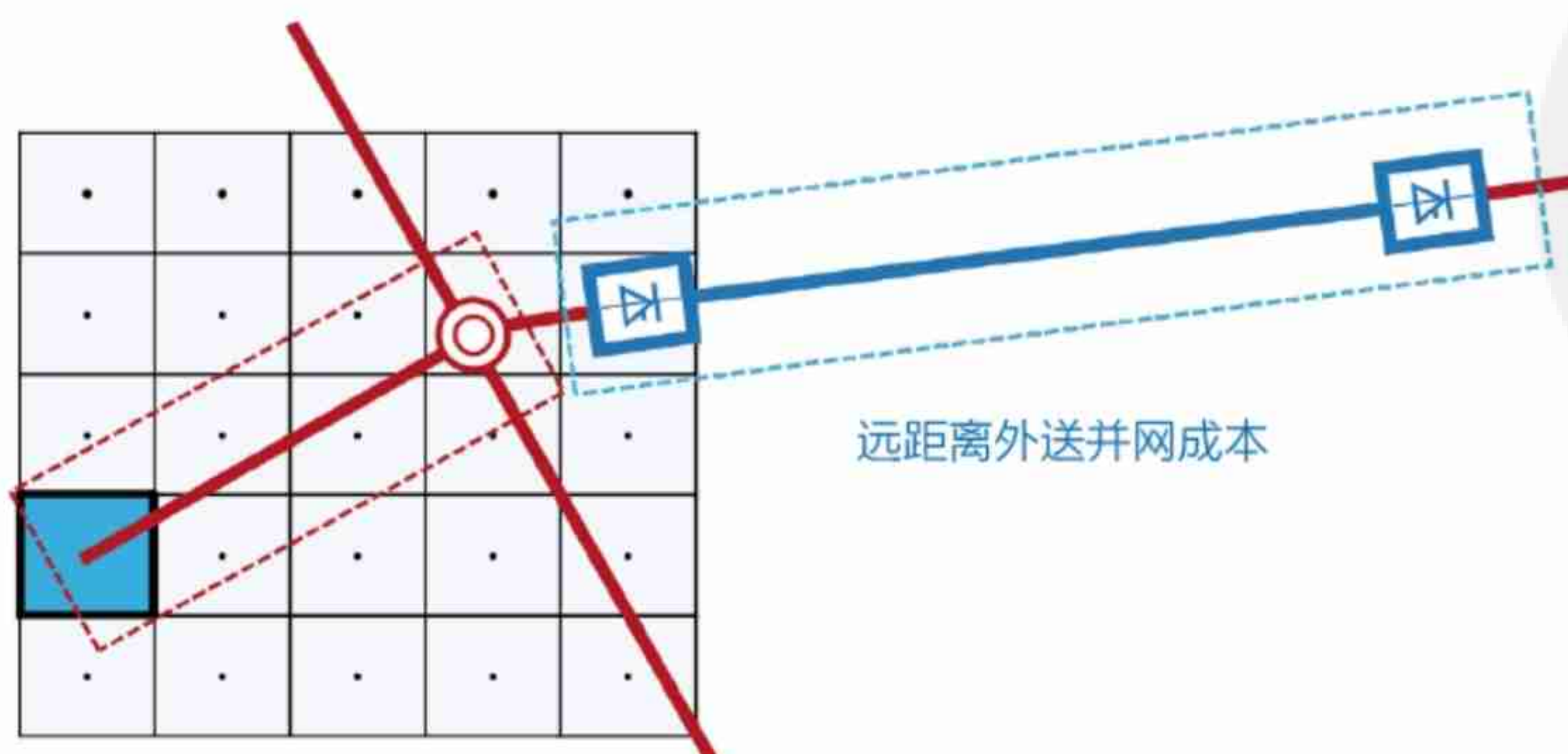
全球风电技术可开发区域及其利用小时分布



■ 经济可开发量模型

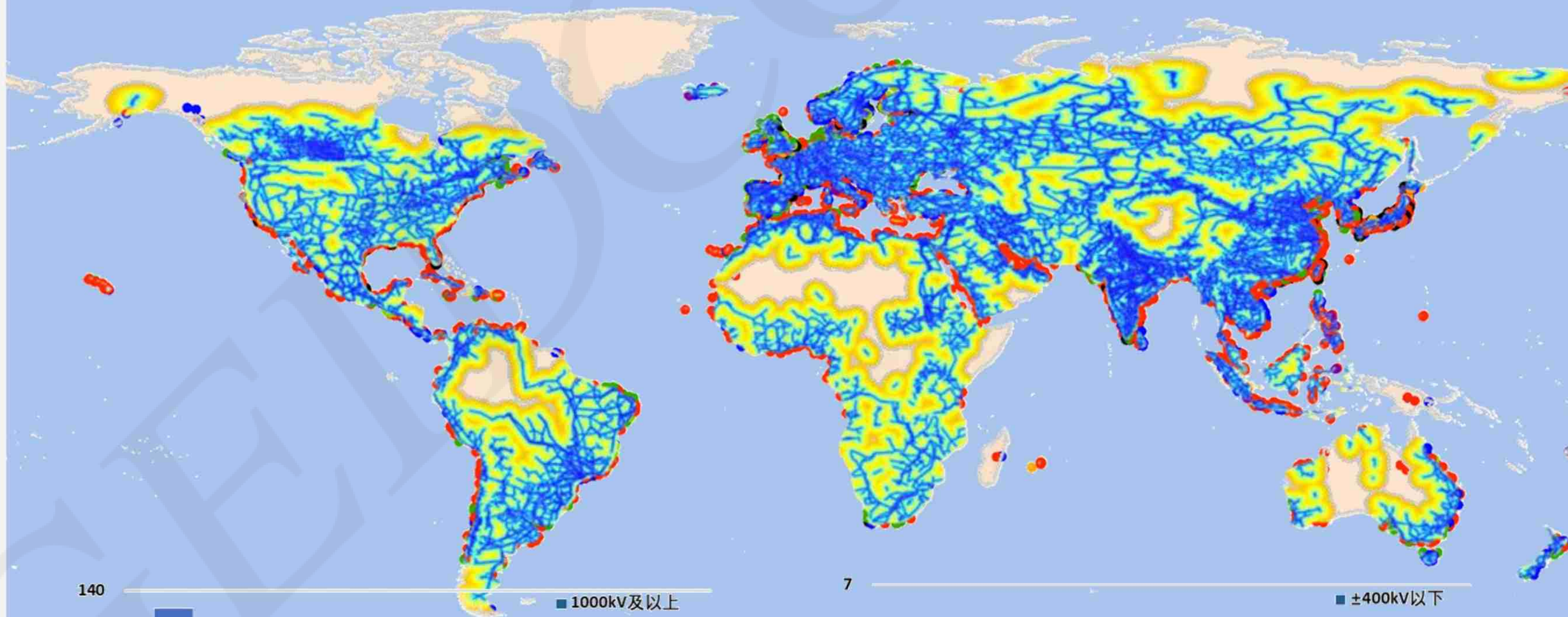
采用LCOE作为评估指标，以地理格点为单位，计算具有经济竞争力的装机容量。

报告将**并网成本**和**场外交通成本**纳入评估。基于全球电网数据，针对不同的并网方式，结合实际工程经验测算每个地理格点资源量的并网成本。



并网成本测算模型

■ 人口分布 ■ 电源分布 ■ 电网分布

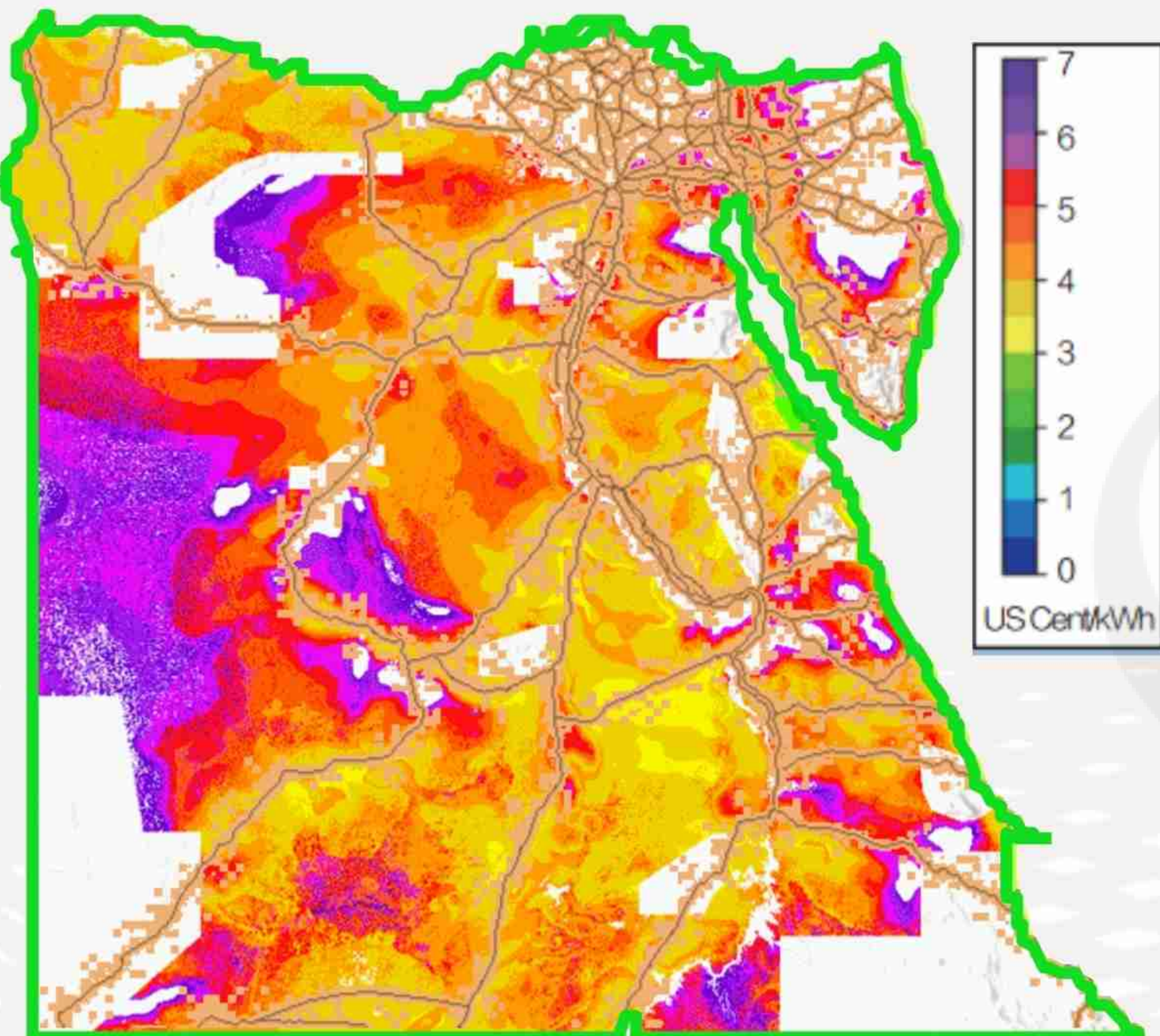




■ 经济可开发量模型

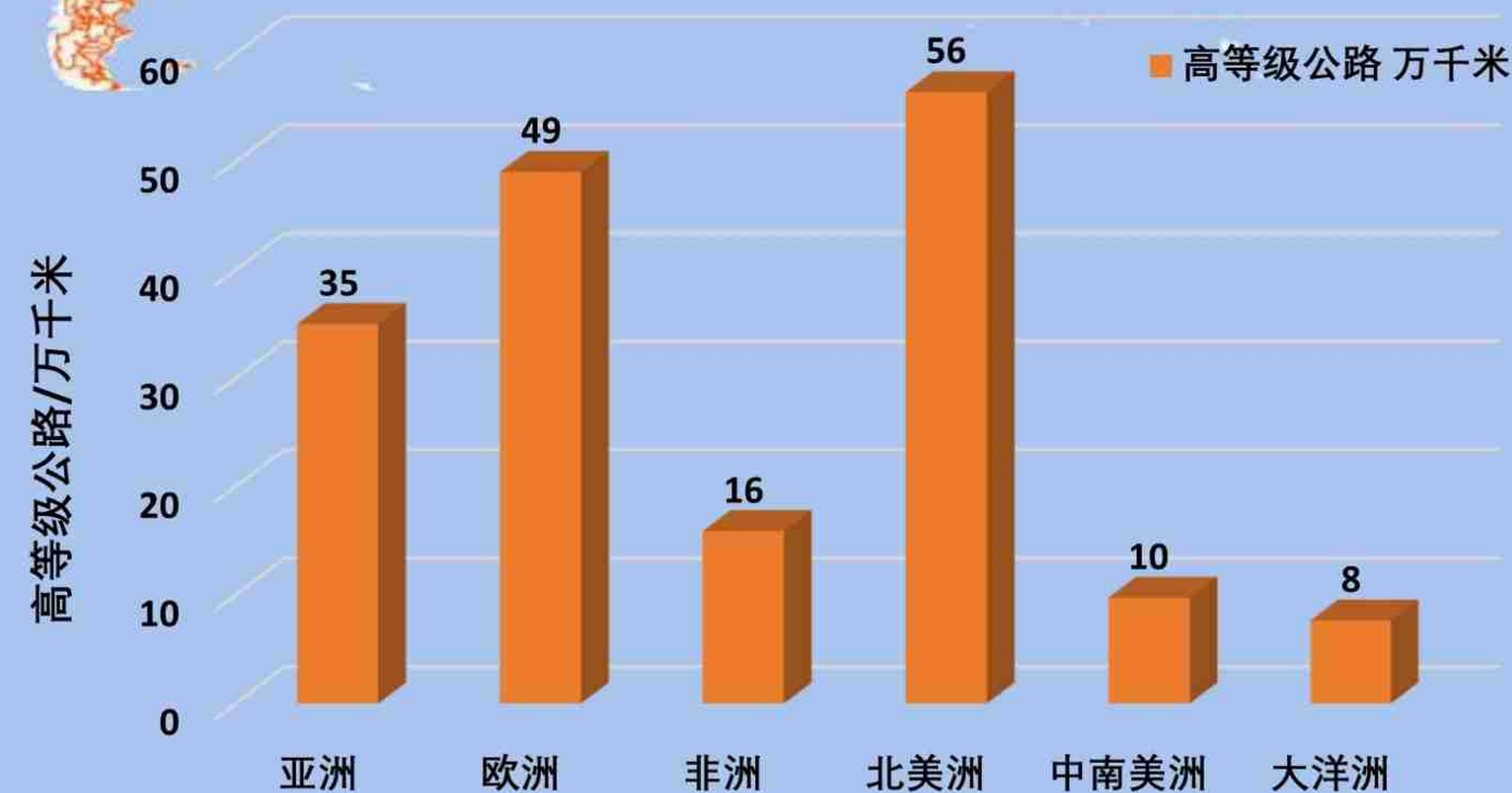
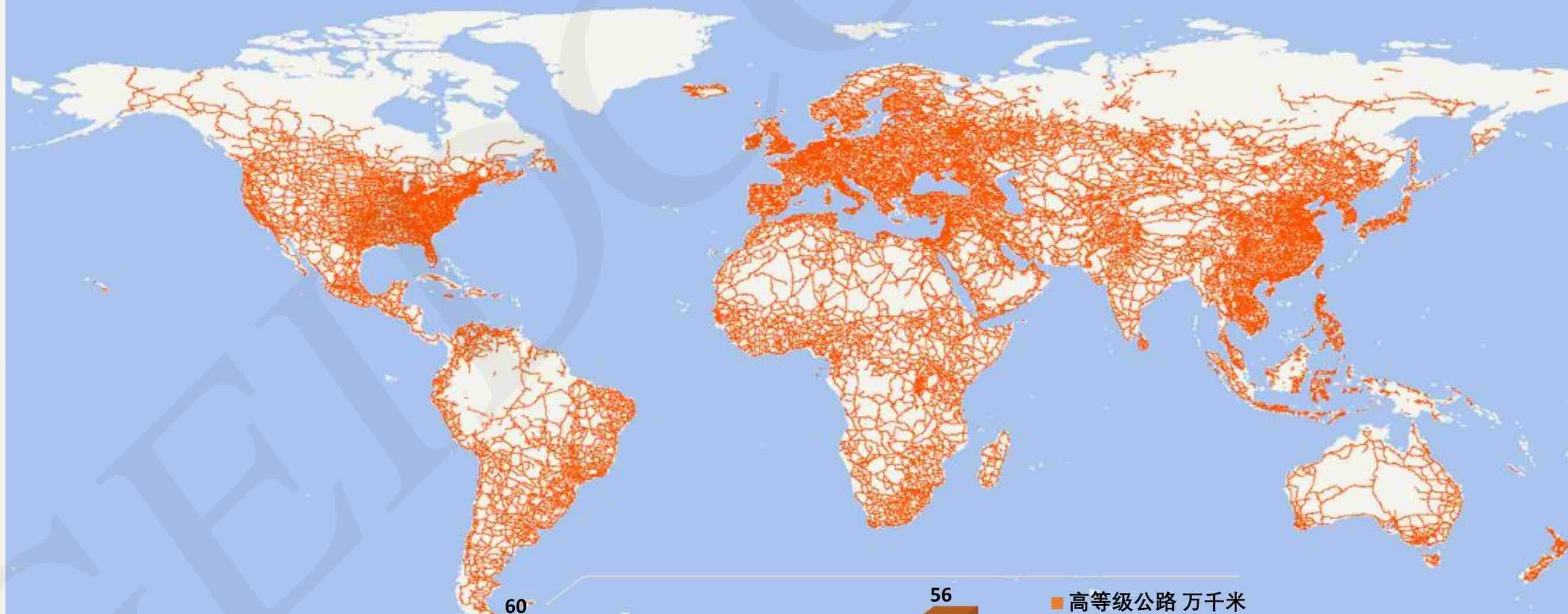
采用交通成本因子法，基于全球公路数据，结合实际工程经验完成场外交通成本测算。

随着交通成本的提高，经济可开发区域逐渐缩小至公路周边。



经济可开发规模变化

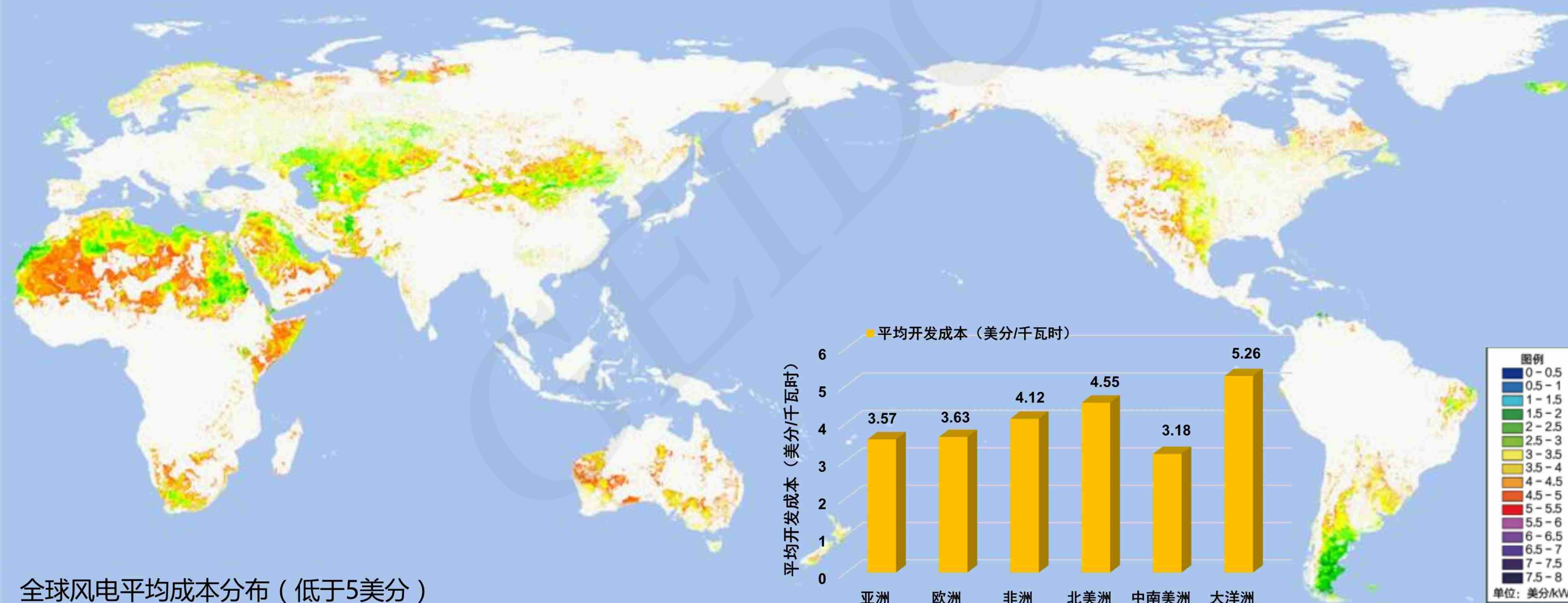
■ 高等级公路分布



1.3 风能资源评估—全球经济可开发量评估结果



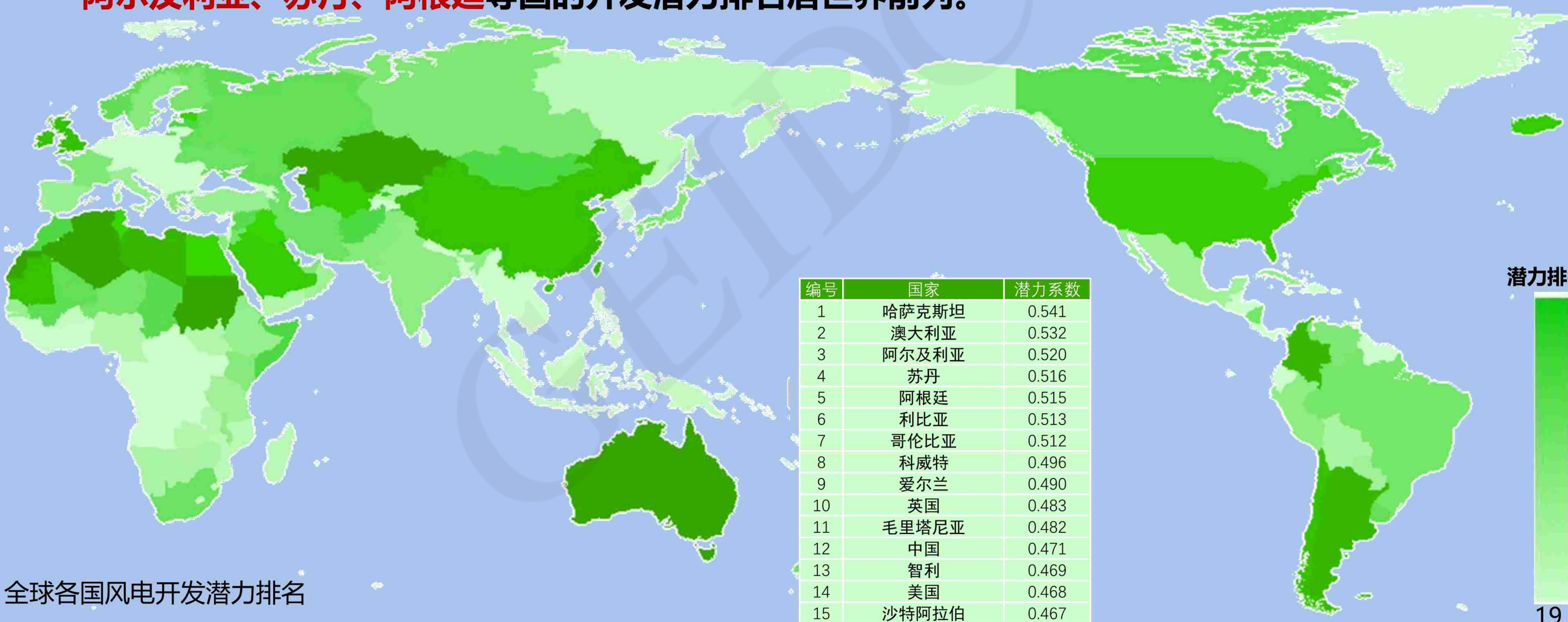
- 全球风电经济可开发规模**969亿千瓦**，平均开发成本约**4美分**。其中，**极地高纬度地区**风资源条件好，但开发经济性并不十分理想。



1.3 风能资源评估—全球风能开发潜力评估结果



■ 基于全球200个国家和地区的国别风电平均开发成本评估结果，综合各国的技术可开发规模、单位面积装机能力、容量因子等因素，报告提出了**国别风能开发潜力系数**。其中，**哈萨克斯坦、澳大利亚、阿尔及利亚、苏丹、阿根廷**等国的开发潜力排名居世界前列。

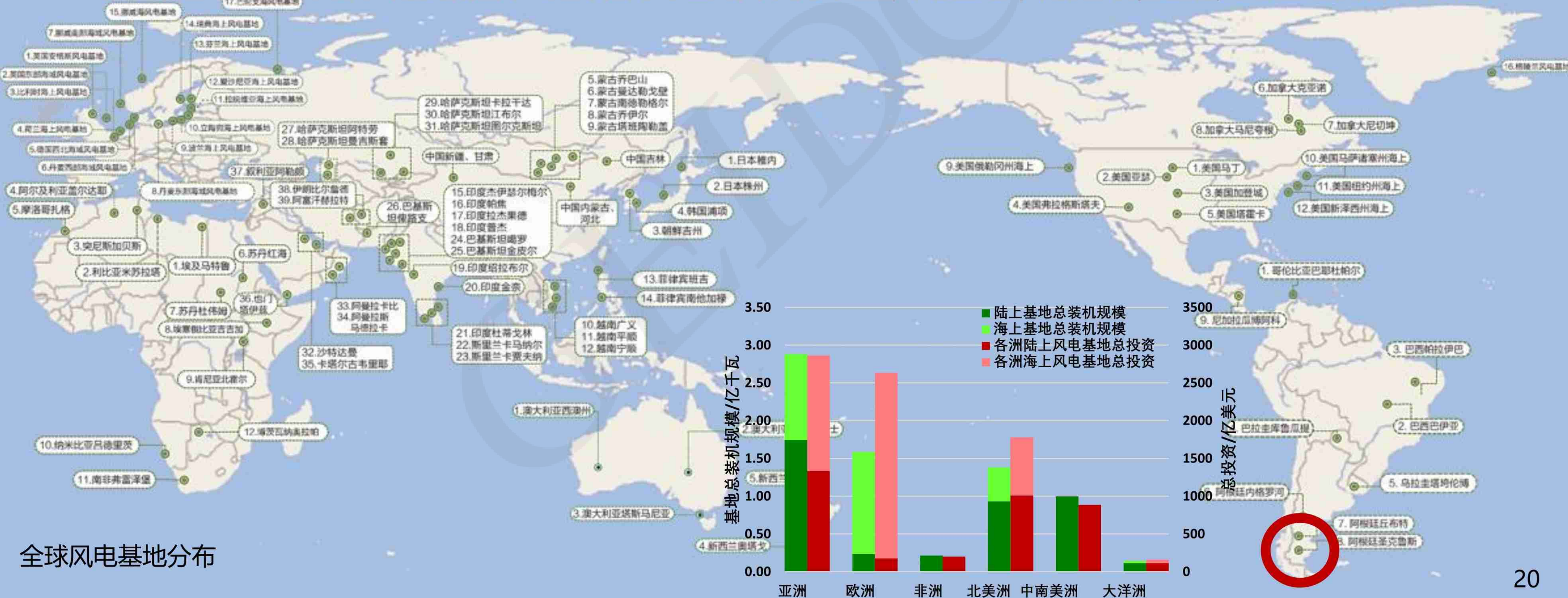


全球各国风电开发潜力排名



1.3 风电基地开发—全球风电基地布局

■ 未来，全球风电基地规模将超过**30亿千瓦**。根据全球能源互联网主要战略输电通道规划，报告提出了**94个**经济性好的风电基地的选址成果，总装机约**7.2亿千瓦**，其中海上风电**3.0亿千瓦**。按照2035年风电投资水平预测，计及交通和并网成本的基地总投资约**8500亿美元**。陆上风电成本低至**1.75美分**，海上风电成本低至**4美分**。其中，在非洲北部、亚洲中部、南美南部、欧洲北海等区域布局了大量风电基地，南美阿根廷的风电基地具有代表性。





■ 风电基地数字化选址

分析风能资源数据

分析限制性因素

风机自动排布

计算参数指标

■ 工程设想与经济性分析

- 选取单机3兆瓦、叶轮直径140米的风机，平地采用梅花型布机、山地依地形走势进行单列布置，风机总数3334台。
- 总投资87.4亿美元，其中并网及交通成本3.54亿美元。
- 度电成本1.82美分。



1.4 太阳能资源评估—方法模型



■ 太阳能是地球表面接收到太阳能量总和，报告研究适宜开发光伏的太阳能资源。

➤ 第一步：理论蕴藏量

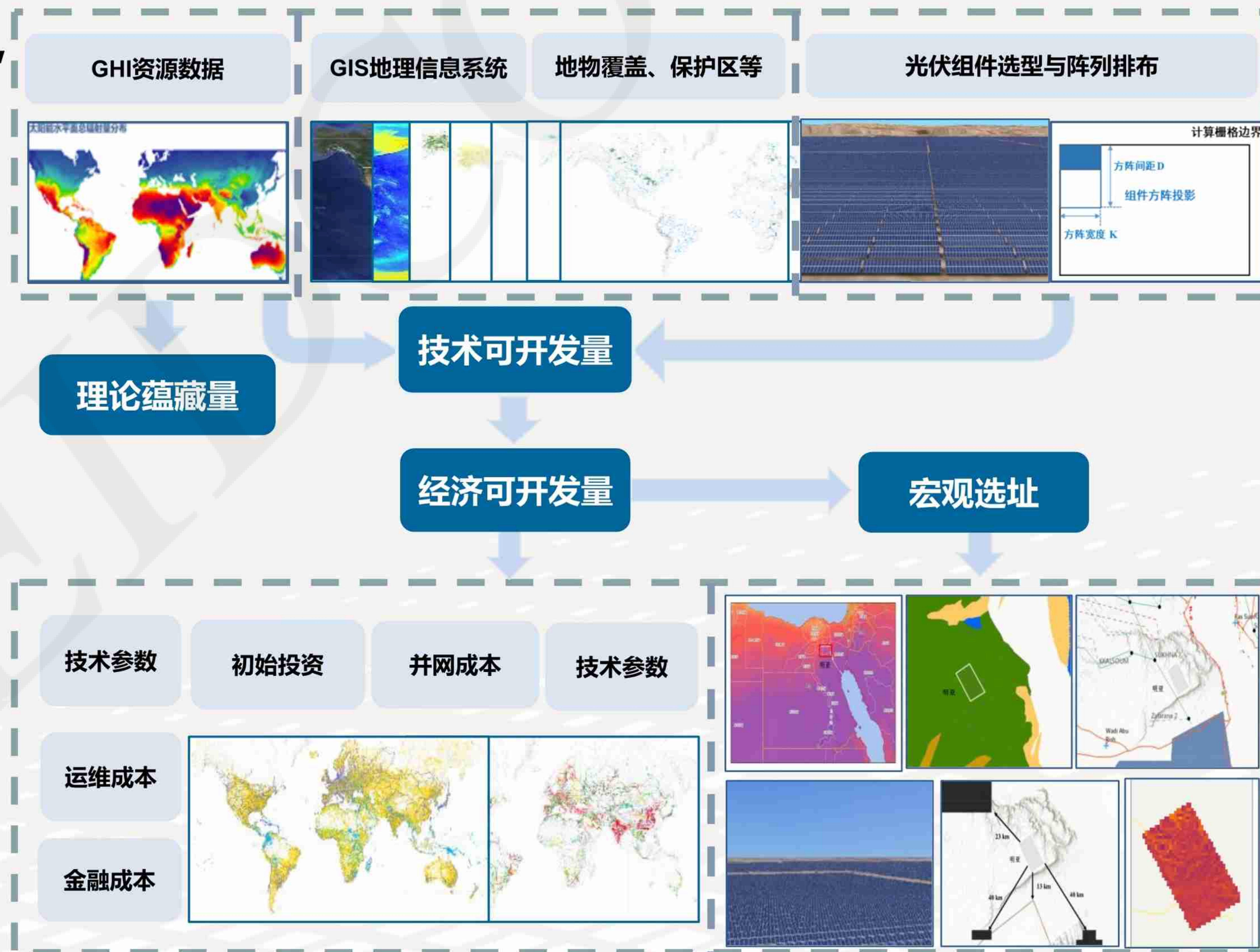
利用太阳能水平面总辐射量分布数据，采用于地理格点法计算得到光伏理论蕴藏量。

➤ 第二步：技术可开发量

综合考虑资源禀赋、海拔高程、地面覆盖物与地形坡度等限制性因素，排除不宜开发区域后，计算技术可开发量。

➤ 第三步：经济可开发量

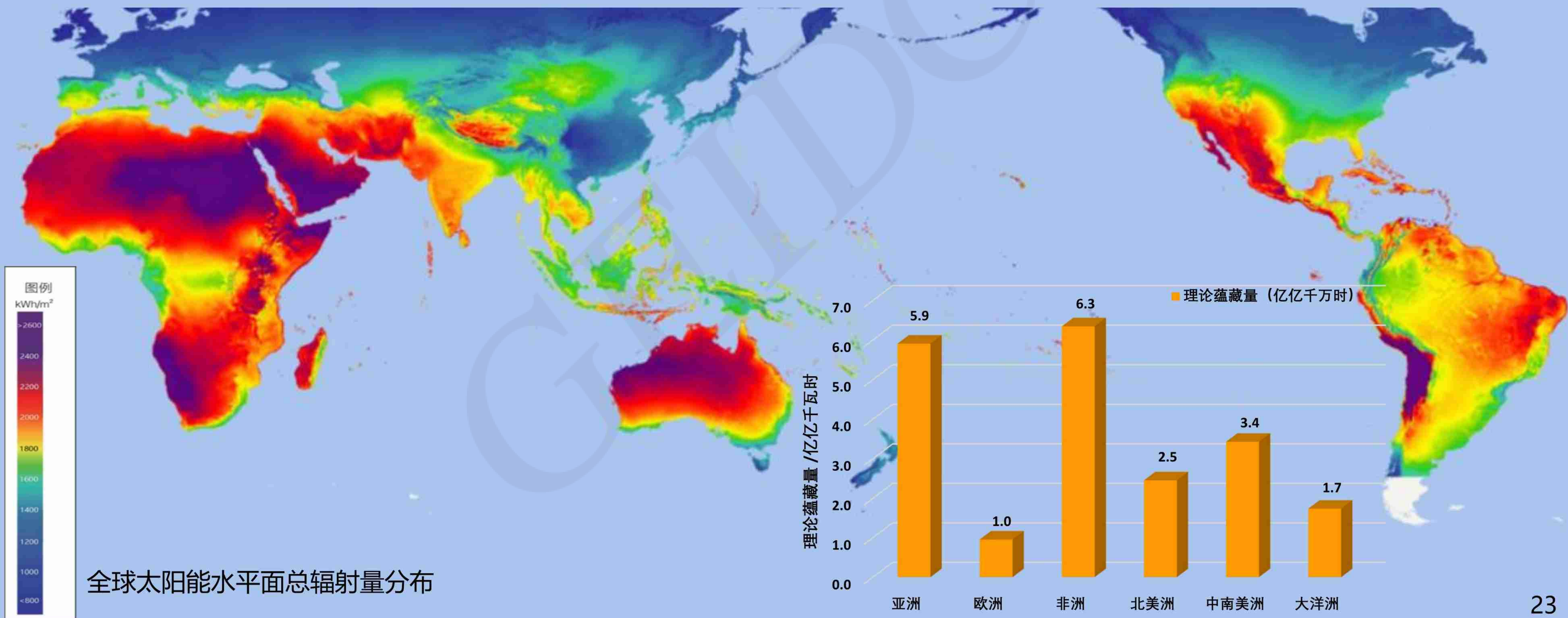
计算每个地理格点的度电成本，统计具有竞争优势的装机，计算经济可开发量。



1.4 太阳能资源评估—理论蕴藏量评估



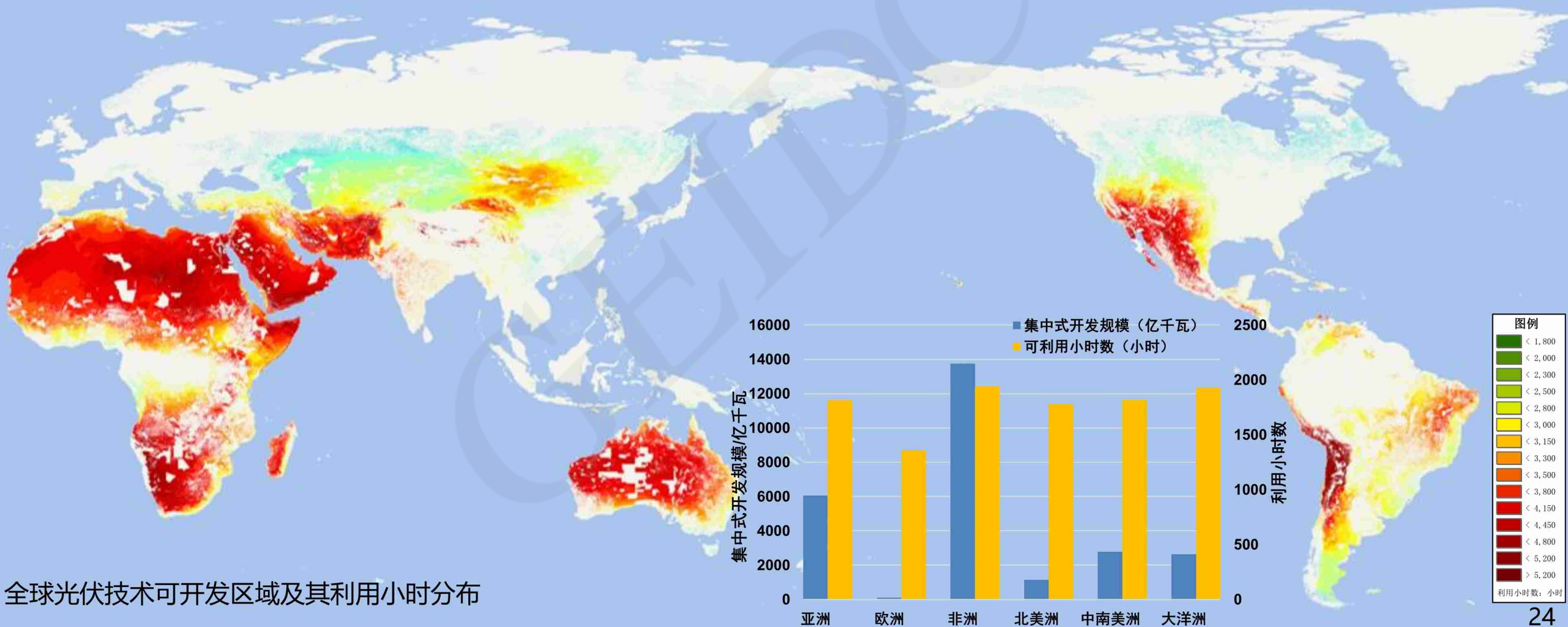
- 全球光伏理论蕴藏量**20万亿千瓦时**，是当前全球电力需求的约1万倍。其中，亚洲光伏资源量**5.91亿千瓦时**，占全球的28%。



1.4 太阳能资源评估—全球技术可开发量评估结果



- 全球光伏现有装机**5.8亿千瓦**。经评估，适宜集中开发的光伏规模**2.65万亿千瓦**，年发电量**5002万亿千瓦时**。其中，亚洲光伏可开发规模**6060亿千瓦**，占比约**23%**，居全球第二。

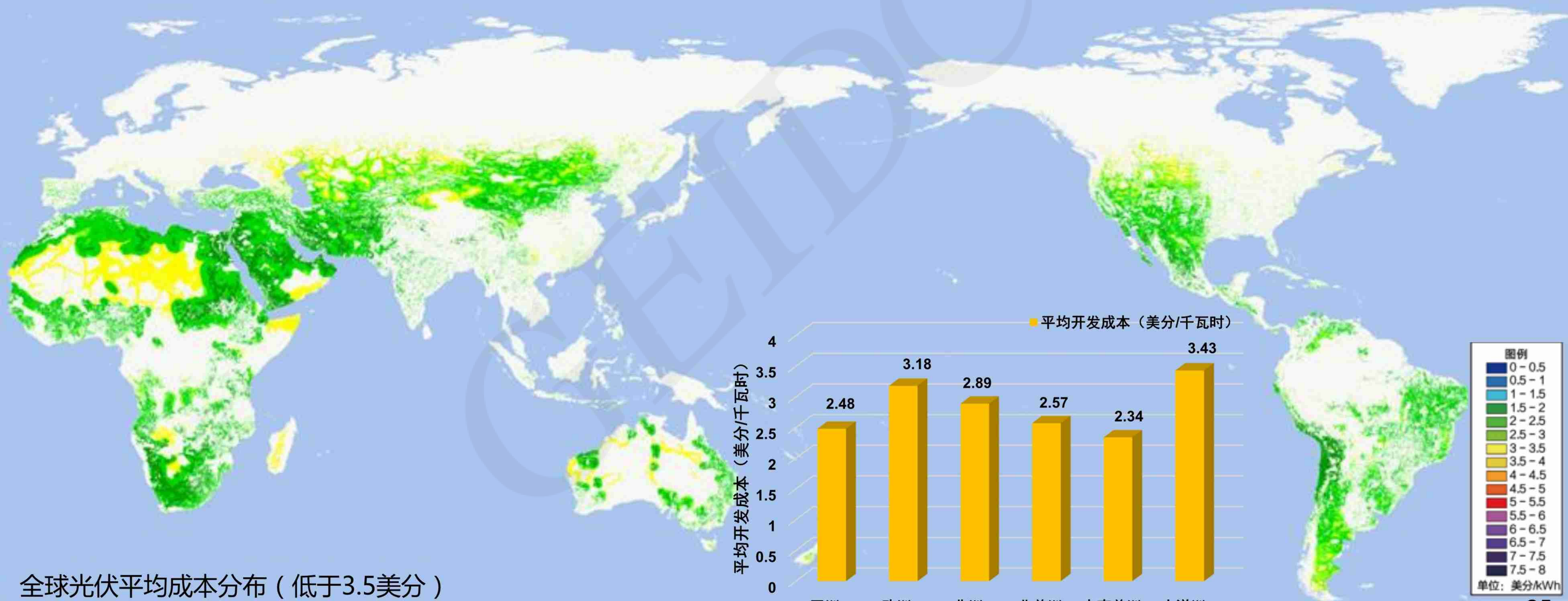


全球光伏技术可开发区域及其利用小时分布

1.4 太阳能资源评估—全球经济可开发量评估结果



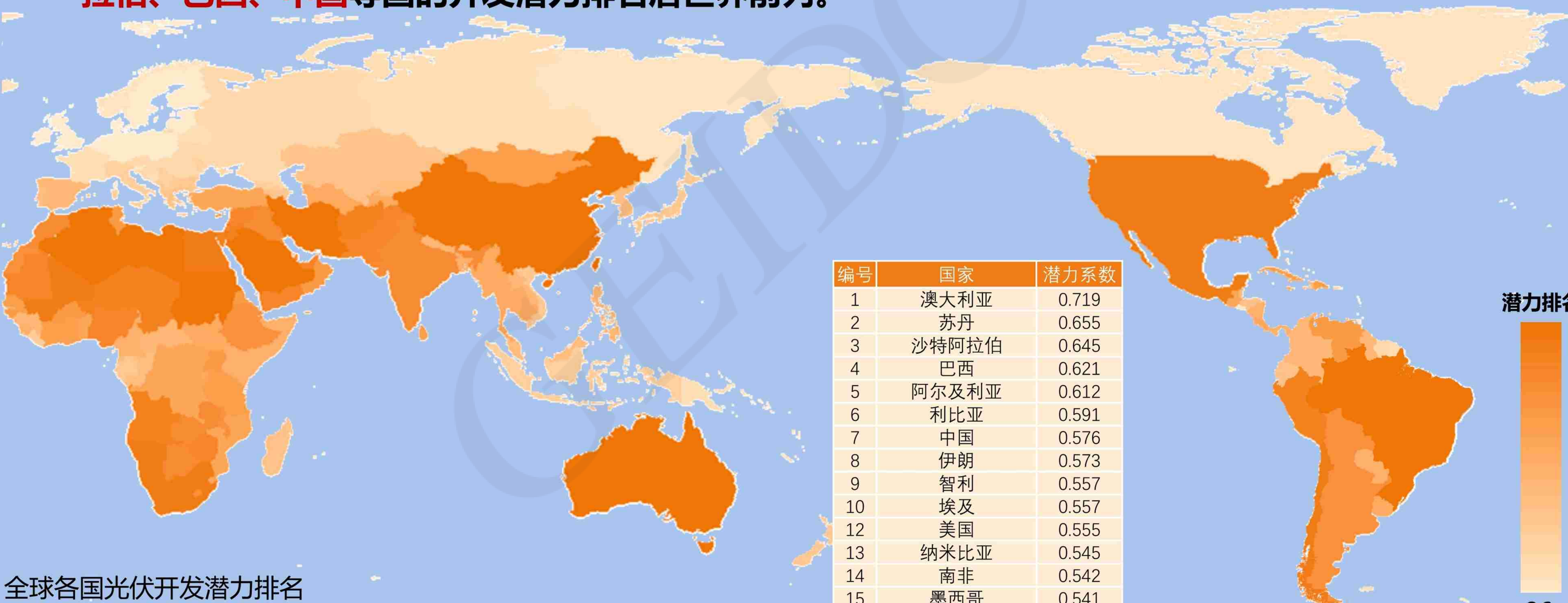
- 全球光伏经济可开发规模**2万亿千瓦**，集中式光伏的平均成本**2.8美分**。其中，**撒哈拉沙漠腹地、澳大利亚内陆**等地区资源条件好，但开发的经济性并不是最好的。



1.4 太阳能资源评估—全球光伏开发潜力评估结果



■ 基于全球200个国家和地区的国别光伏平均开发成本评估结果，综合各国的技术可开发规模、单位面积装机能力、容量因子等因素，报告提出了国别光伏开发潜力系数。其中，澳大利亚、苏丹、沙特阿拉伯、巴西、中国等国的开发潜力排名居世界前列。



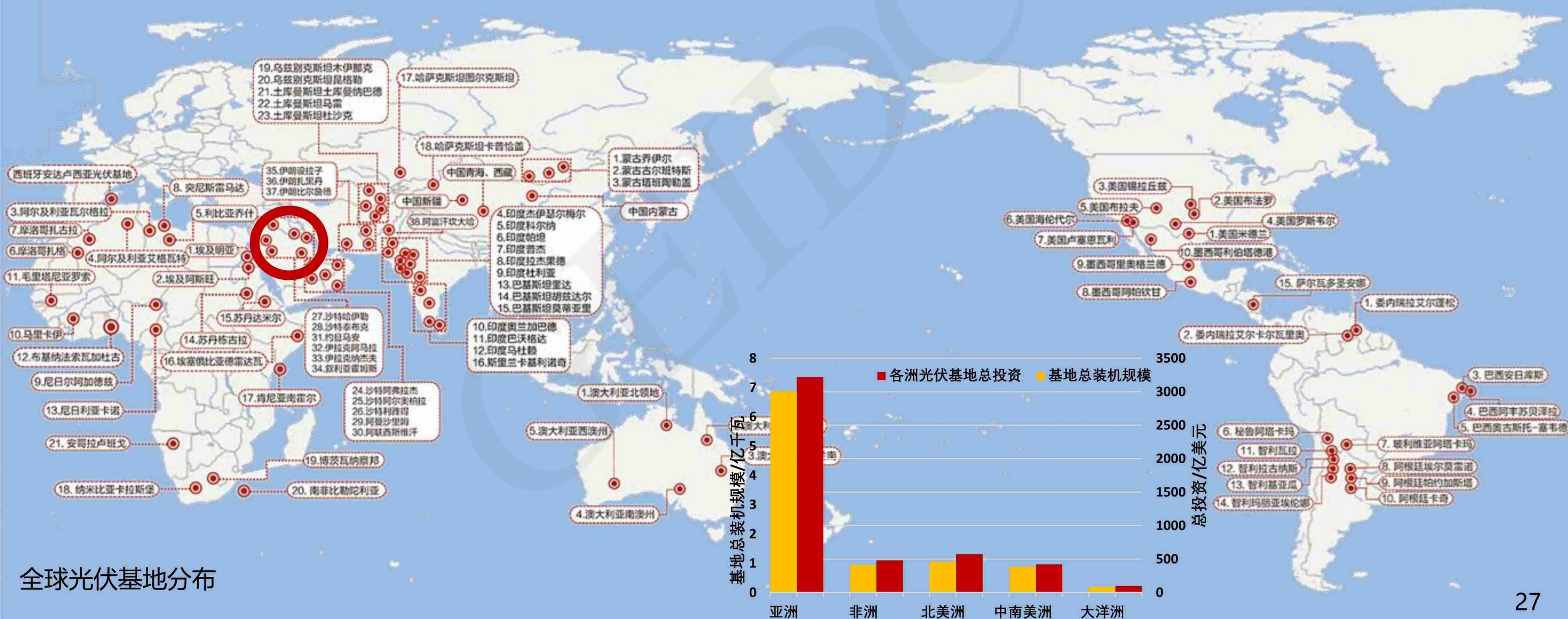
全球各国光伏开发潜力排名

潜力排名
26

1.4 光伏发电基地开发—全球光伏基地布局



■ 未来，全球光伏基地规模将超过**50亿千瓦**。根据全球能源互联网主要战略输电通道规划，报告提出了经济性好的**90个**光伏基地的选址成果，总装机约**10亿千瓦**。按照2035年投资水平预测，总投资约**4793亿美元**，发电成本低至**1.65美分**。其中，在亚洲西部、非洲北部、南美西部等布局了大量基地，西亚沙特阿拉伯的光伏基地具有代表性。



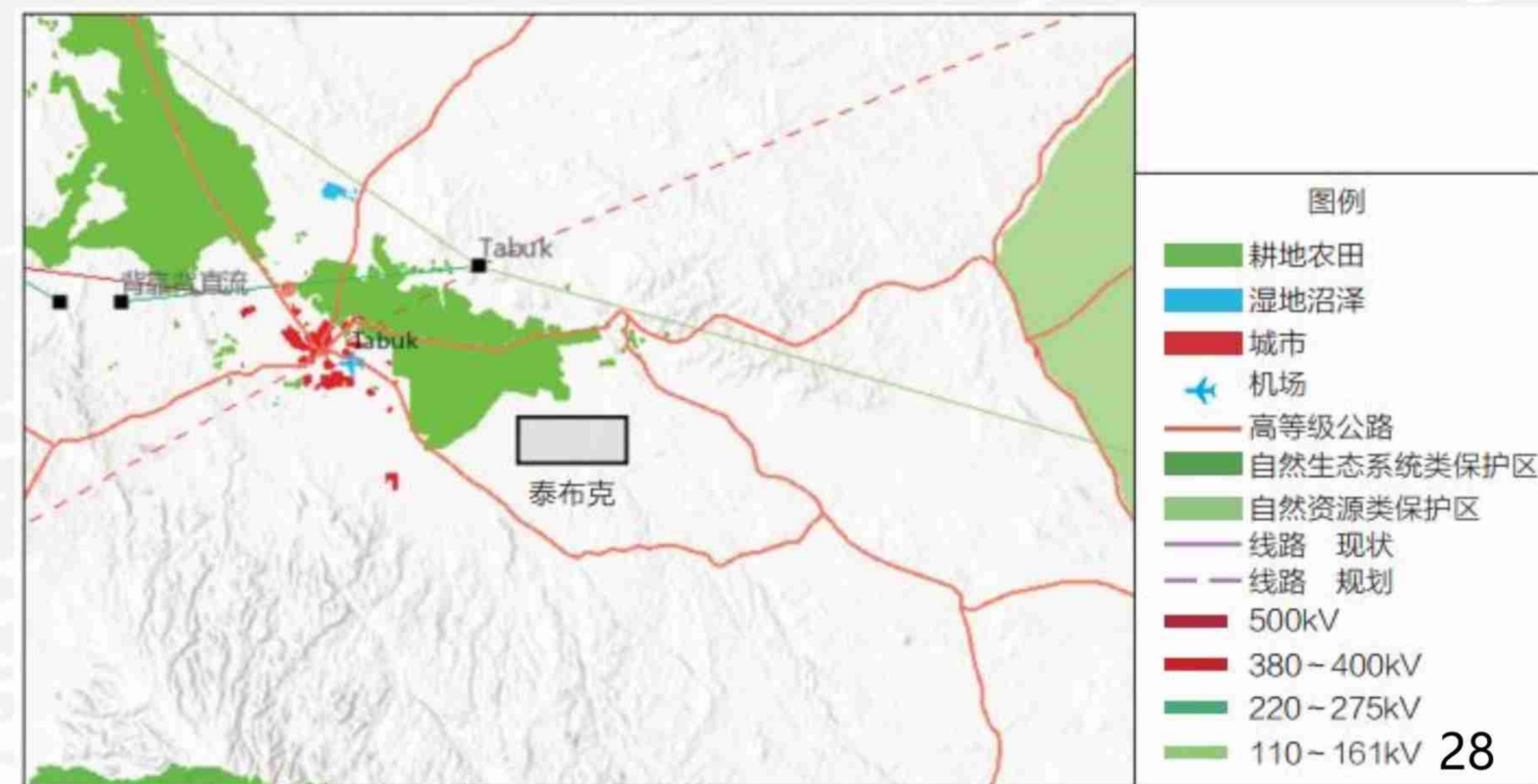
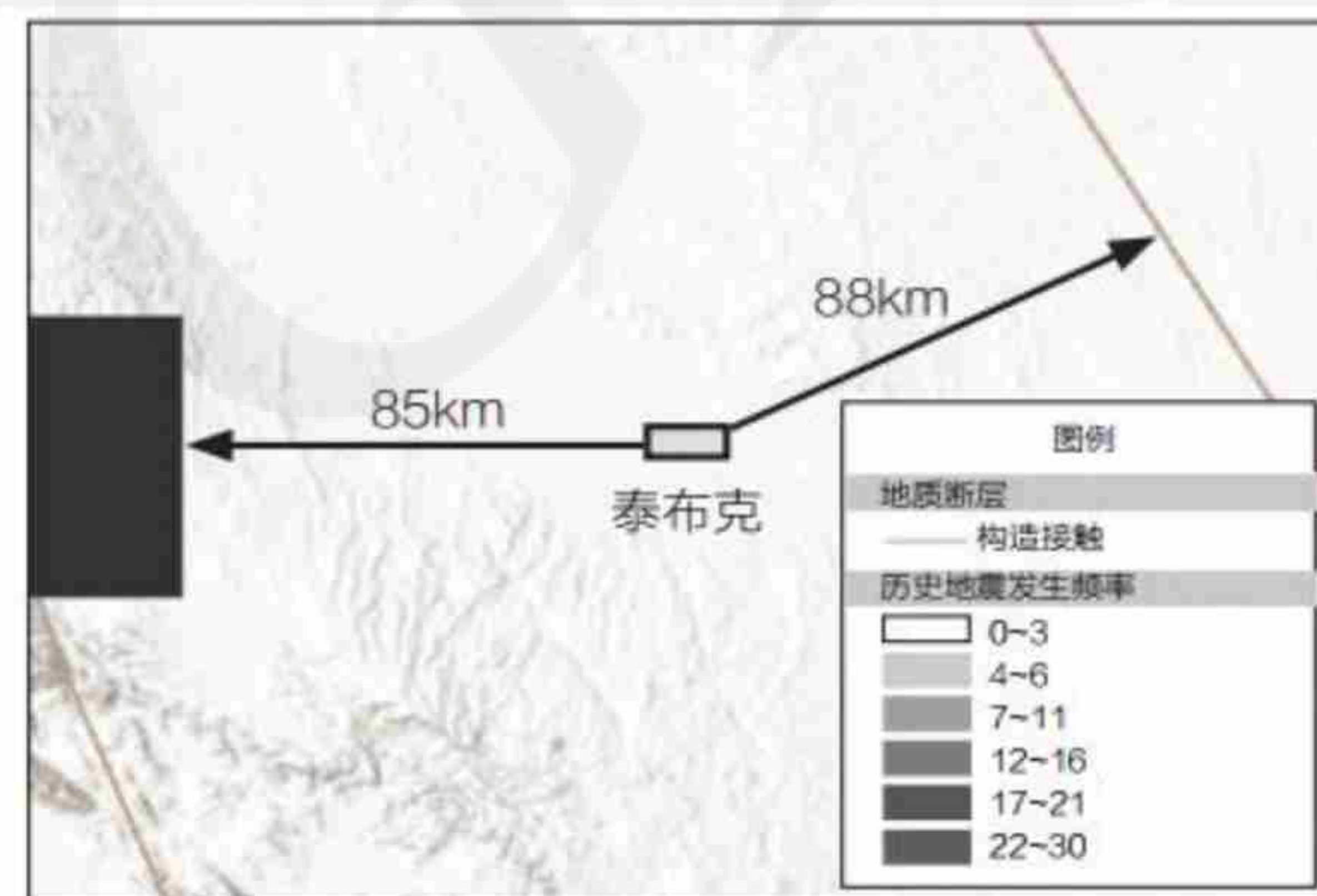
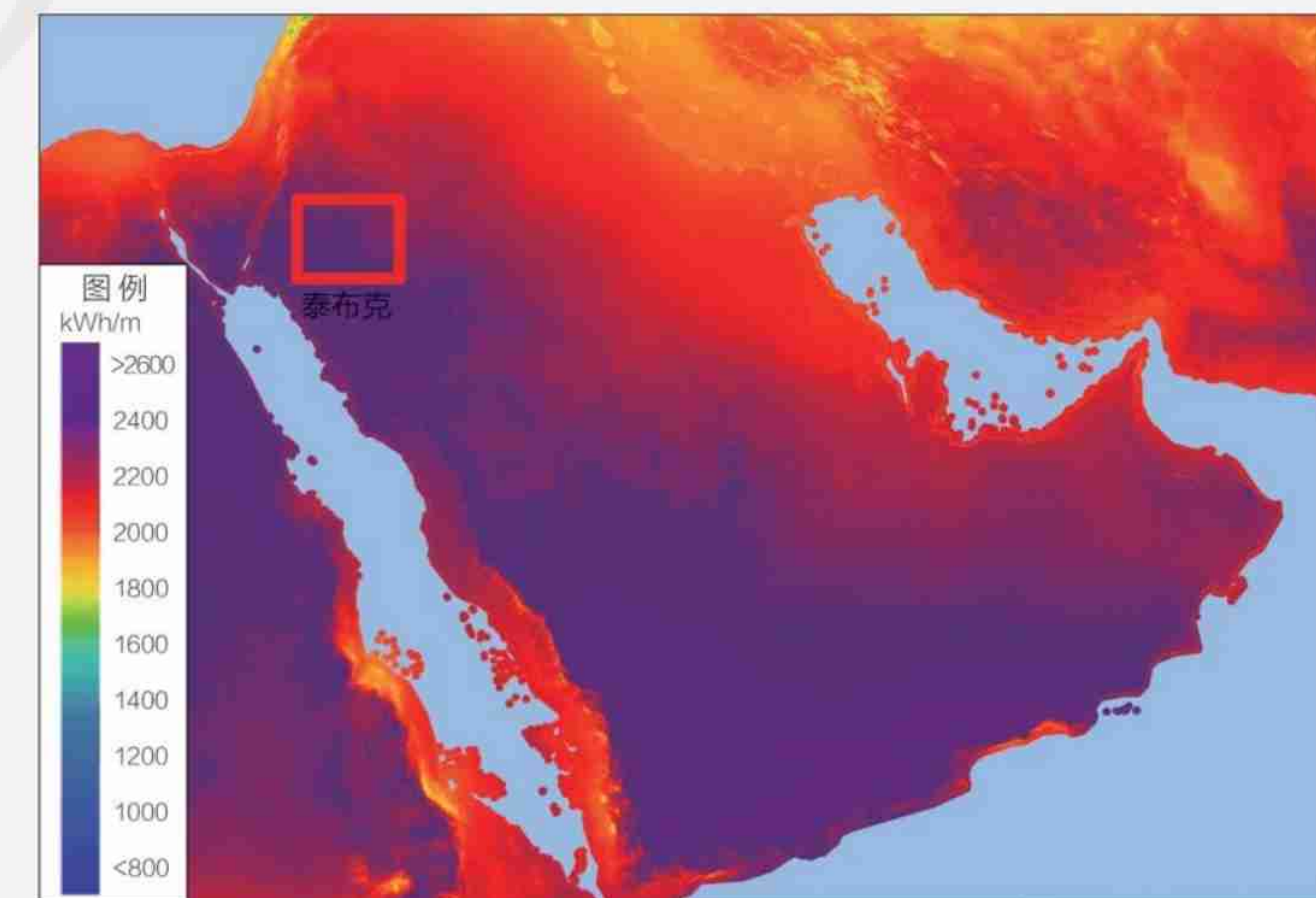
1.4 光伏发电基地开发—沙特阿拉伯泰布克光伏基地选址案例



■ **泰布克光伏基地** 位于沙特阿拉伯西北部泰布克区，太阳能水平面总辐射量为2333千瓦时/平方米，属于最丰富等级，非常适宜进行太阳能资源规模化开发。

■ 主要限制性因素

➤ **基地地物覆盖物为裸露地表，无自然保护区，避让西北部3千米外的耕地农田。** **交通方面：**西北部25千米处有机场，15千米内有多条公路通过。**电网方面，**东北部16千米有1条110kV交流输电通道经过，西北部25千米有1条±500kV直流输电通道经过，接入电网条件较好。

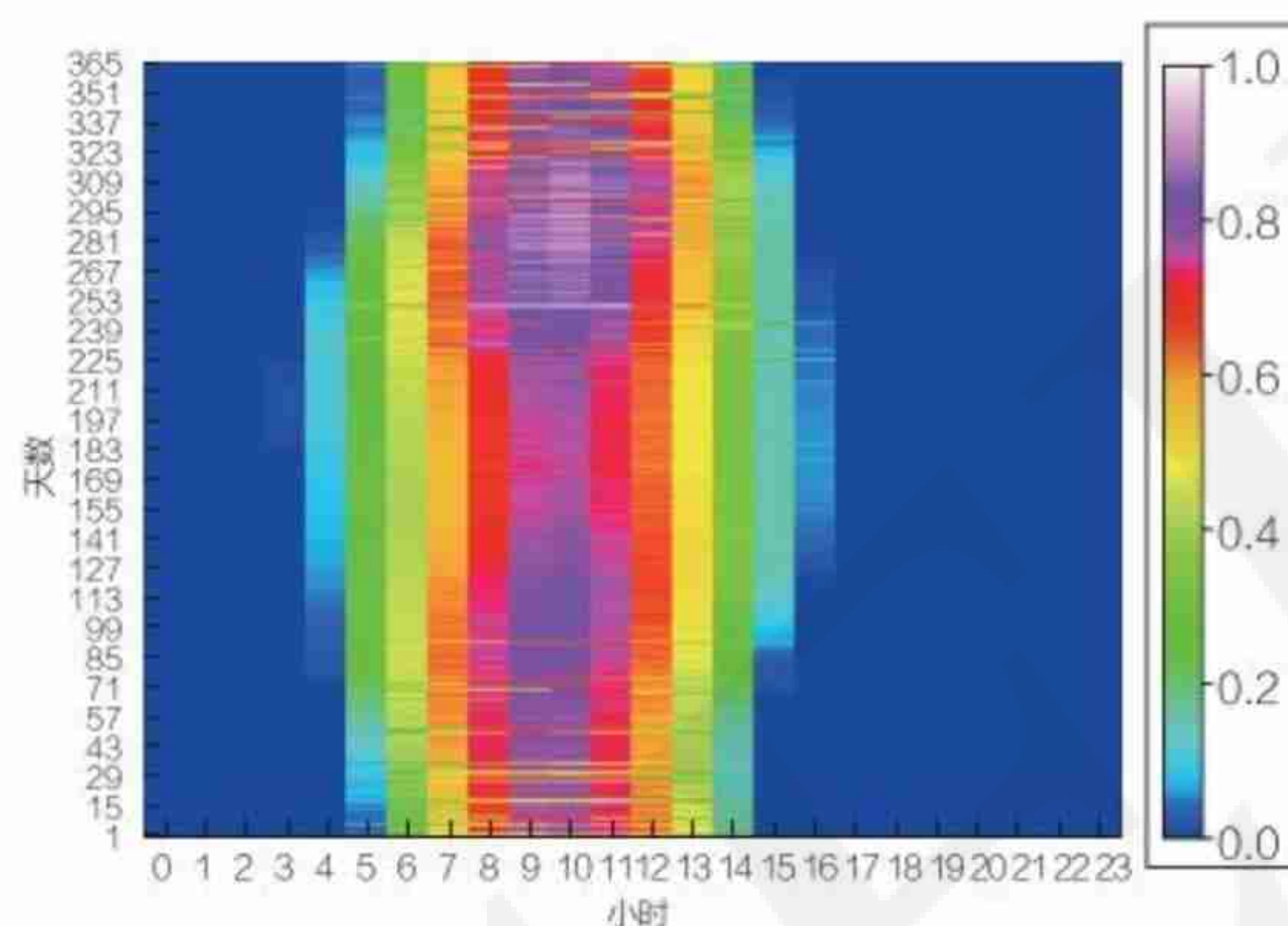


1.4 光伏发电基地开发—沙特阿拉伯泰布克光伏基地选址案例

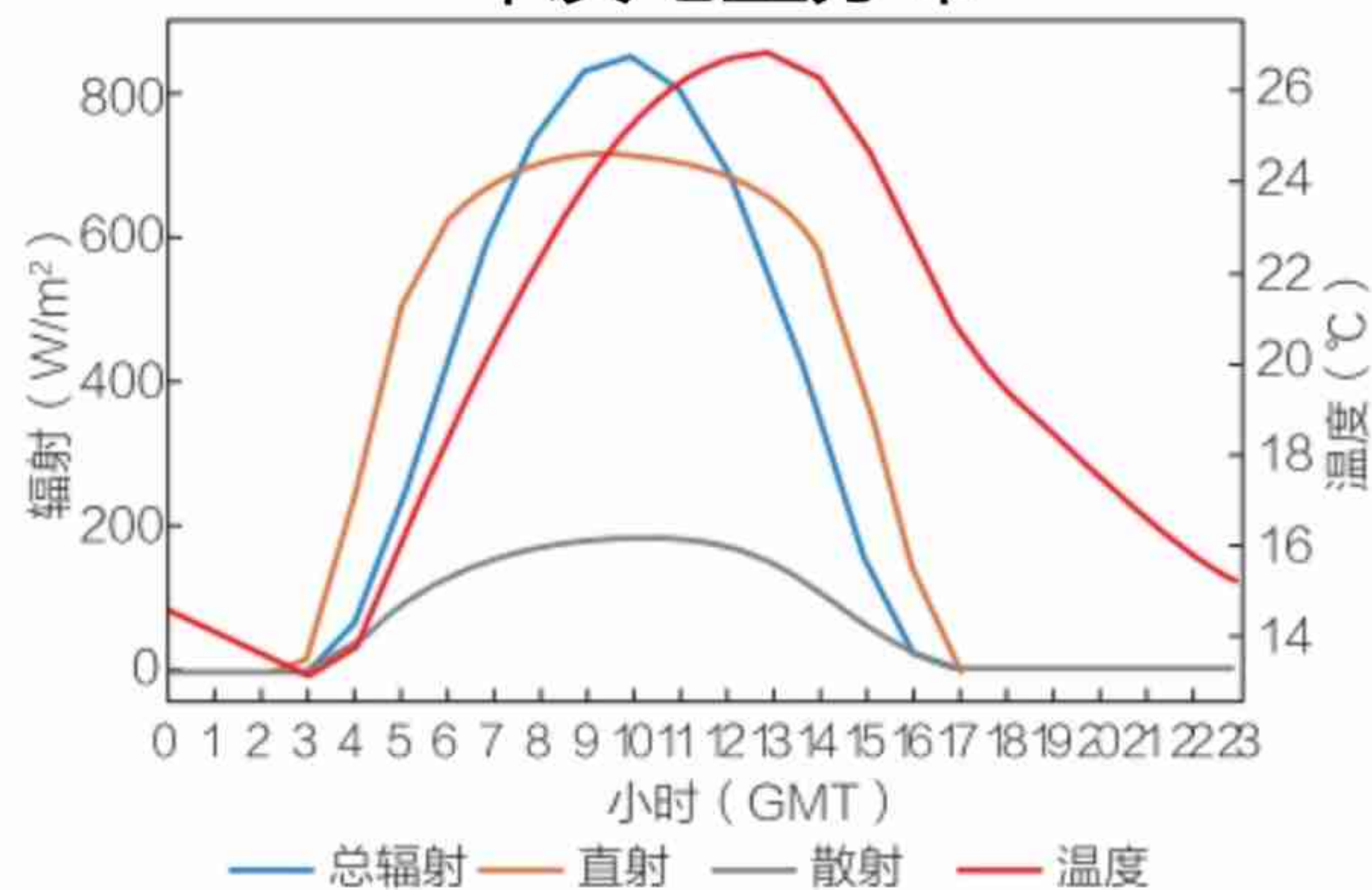


■ 开发规模与资源特性

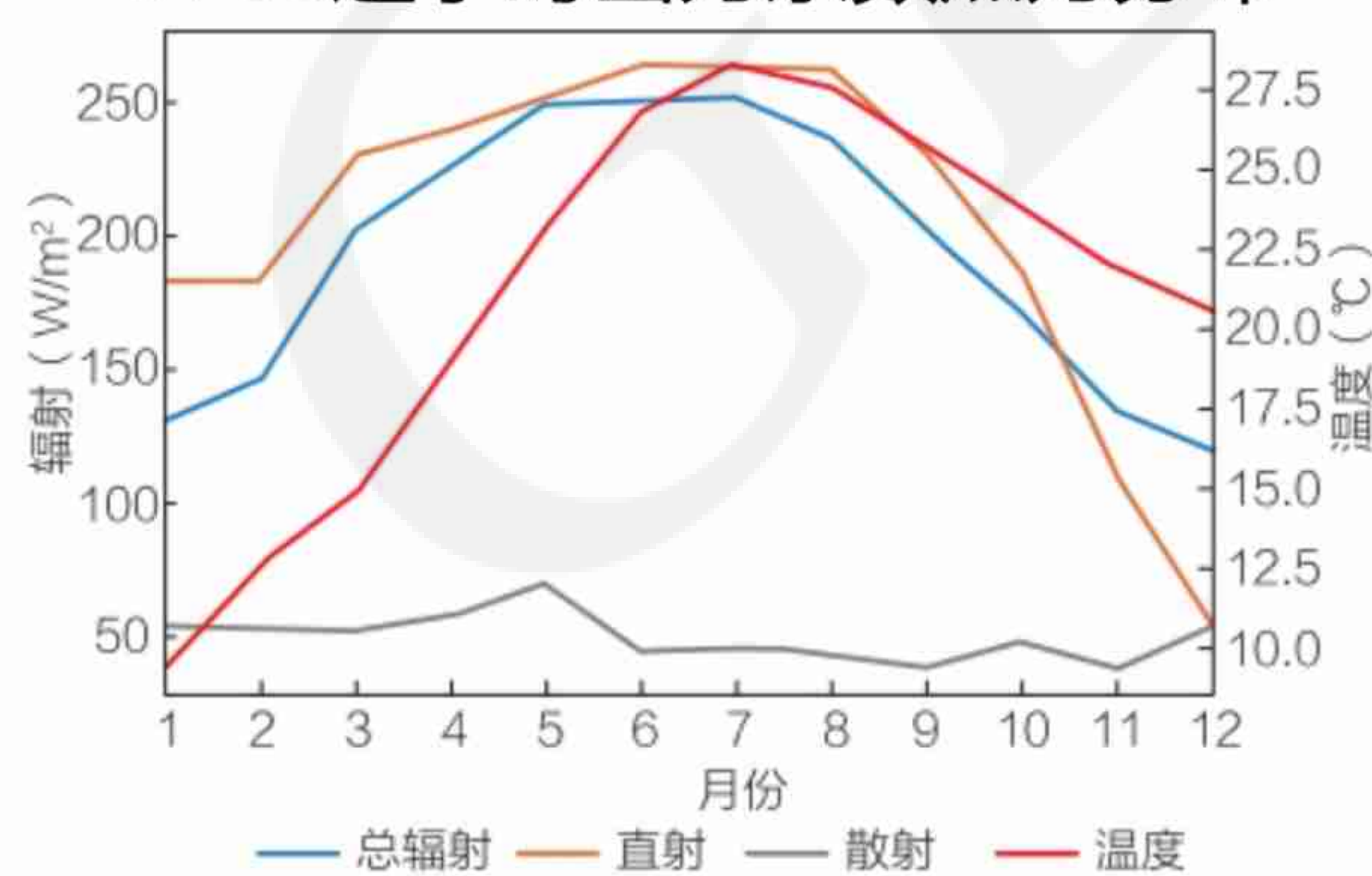
- 装机规模**1000万千瓦**。
- 年发电量**214亿千瓦时**，利用小时数**2122**。



年发电量分布



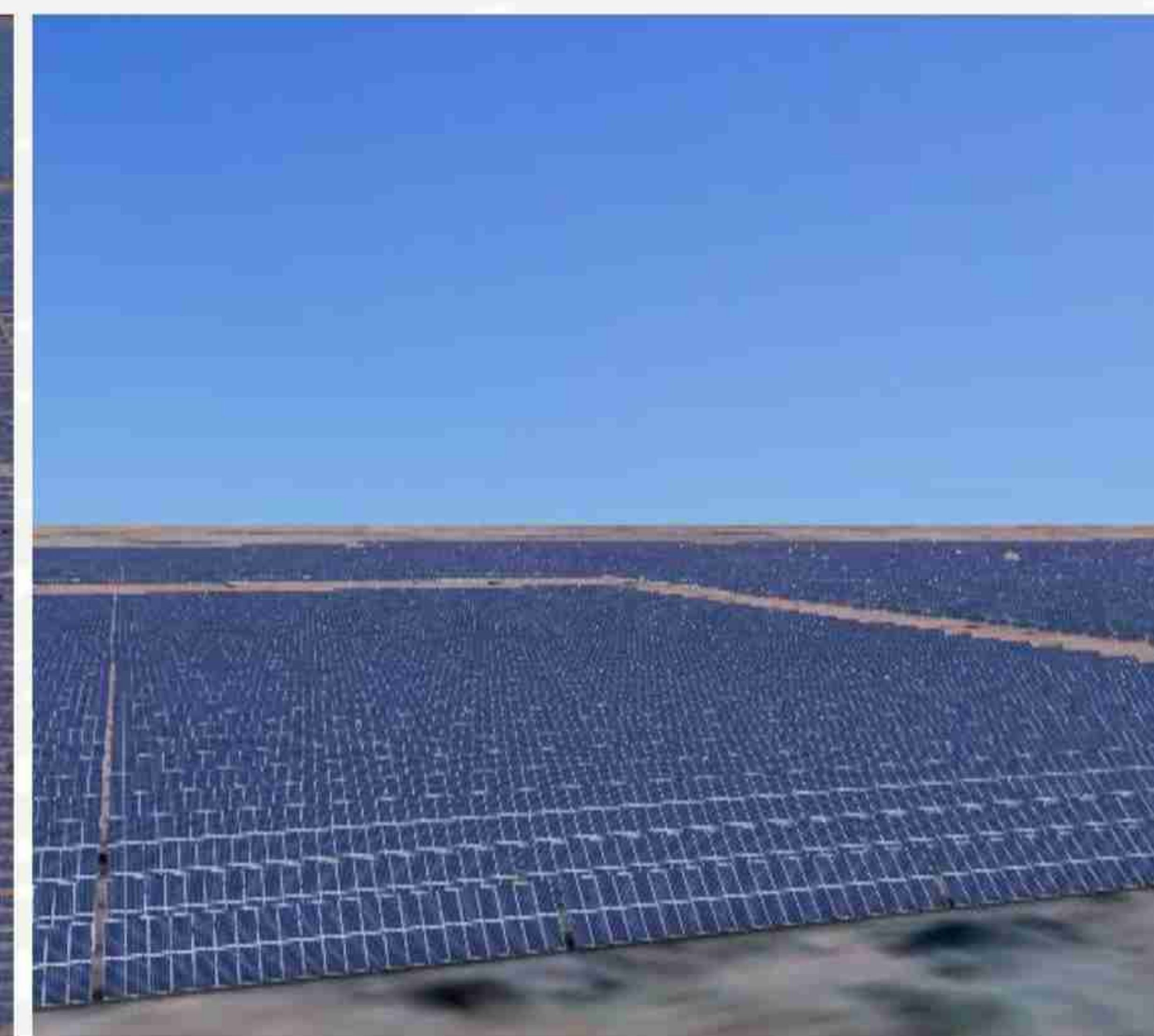
8760逐小时出力系数热力分布



泰布克光伏基地辐射和温度典型日变化和年变化曲线

■ 工程设想与经济性分析

- 光伏阵列布置：采用**310Wp**高效单晶组件，固定式支架，横向**22排**、竖向**2列**，结合地形与纬度计算得到光伏板最佳倾角**28°**，预留前后排间距**6.7米**。
- 总投资**43亿美元**，其中并网及交通成本**2.4亿美元**，度电成本**1.81美分**。



泰布克光伏基地组件排布示意图

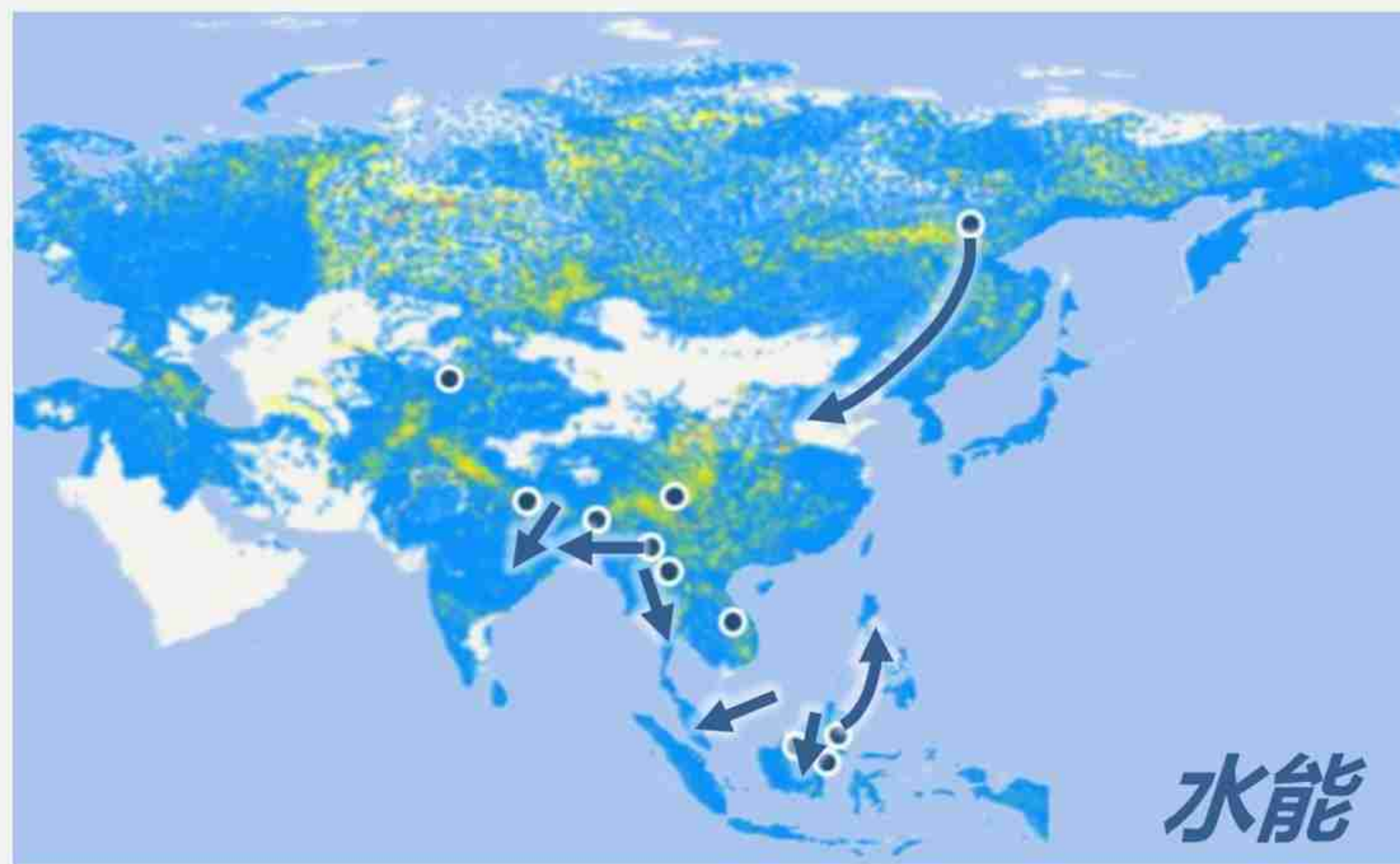
1.5 亚洲、非洲基地开发方案



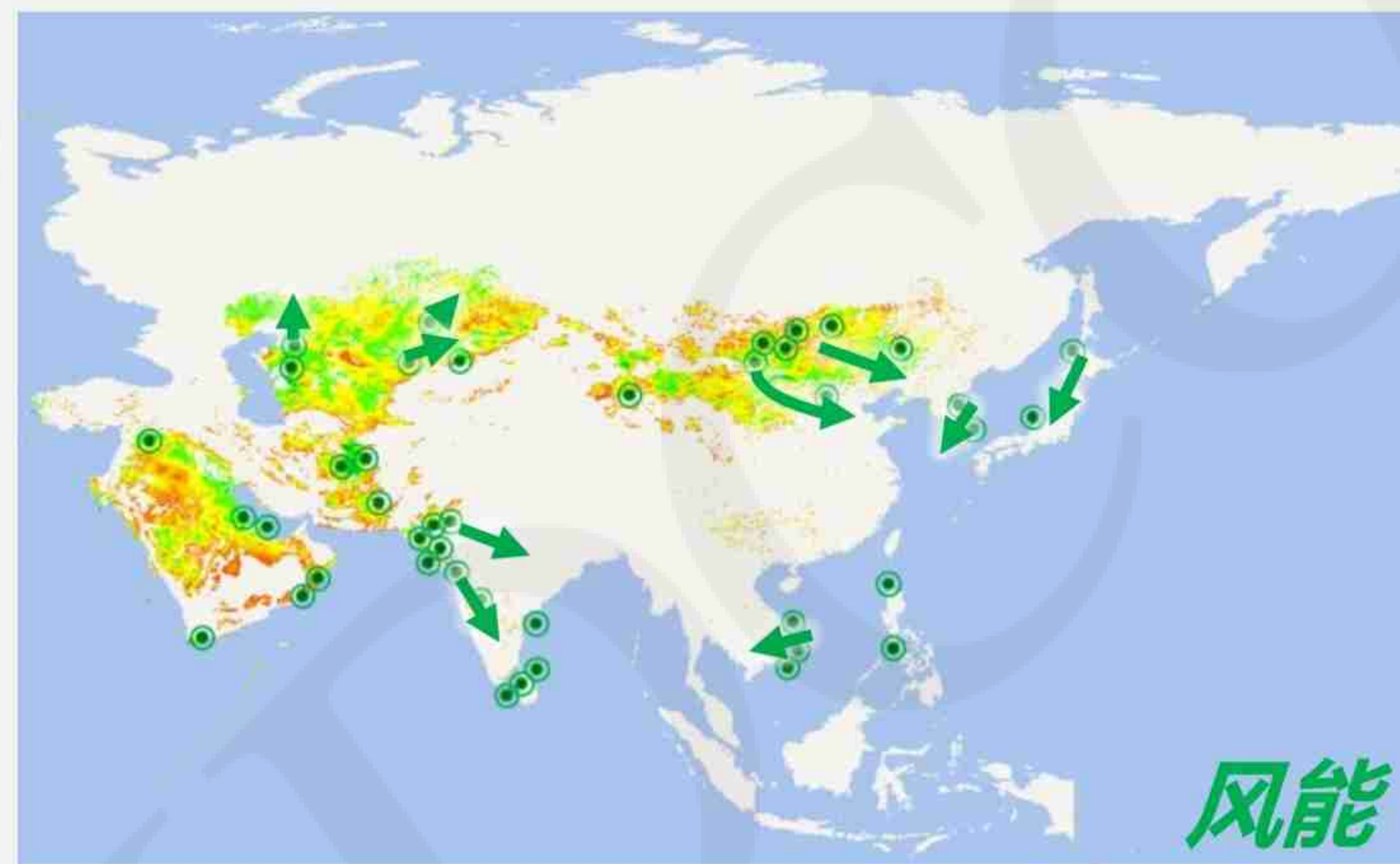
Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织



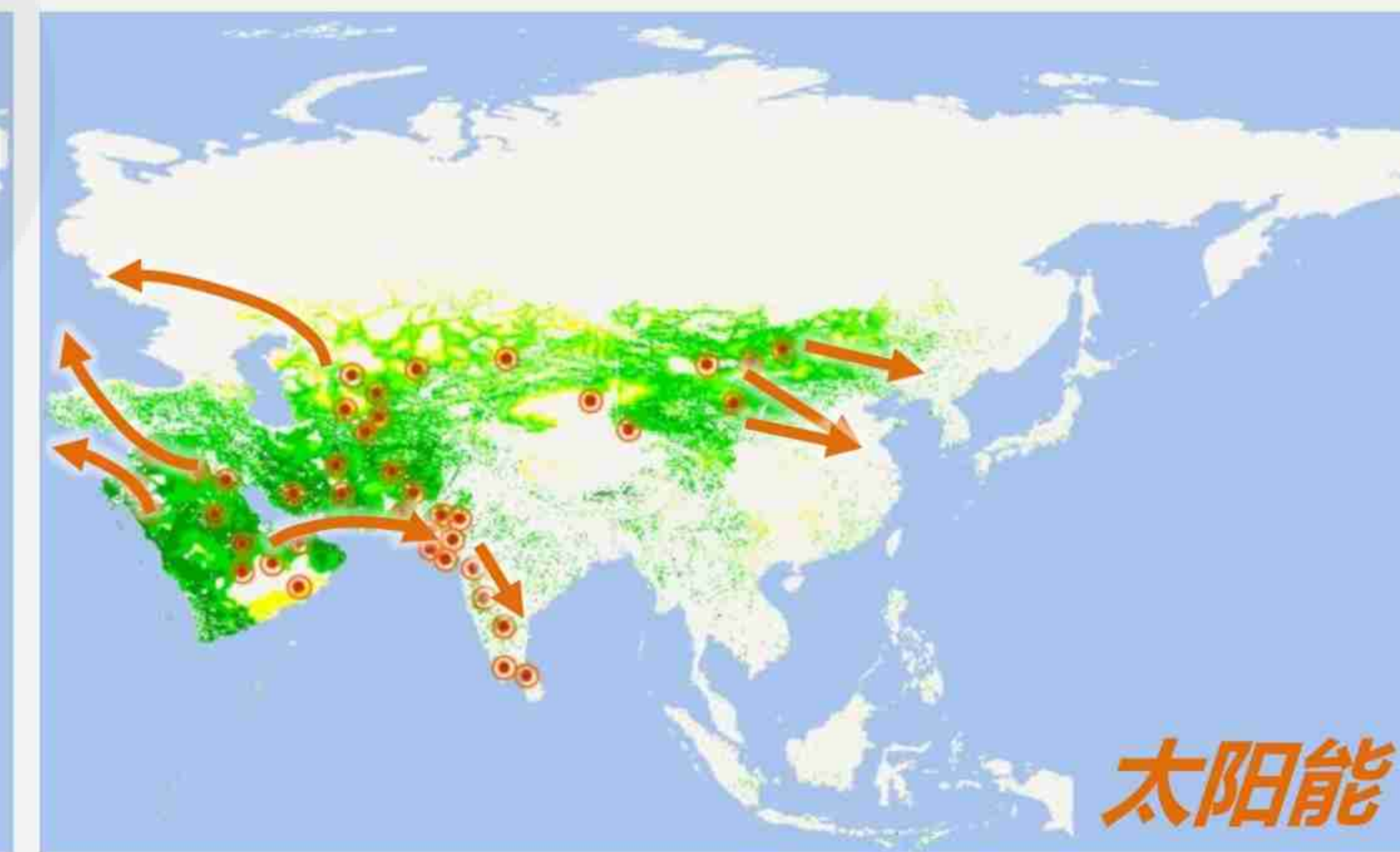
亚洲



10基地88梯级，9200万千瓦，
投资2000亿美元



39基地，2.9亿千瓦，投资2860亿美元，
成本3.05、5.72美分



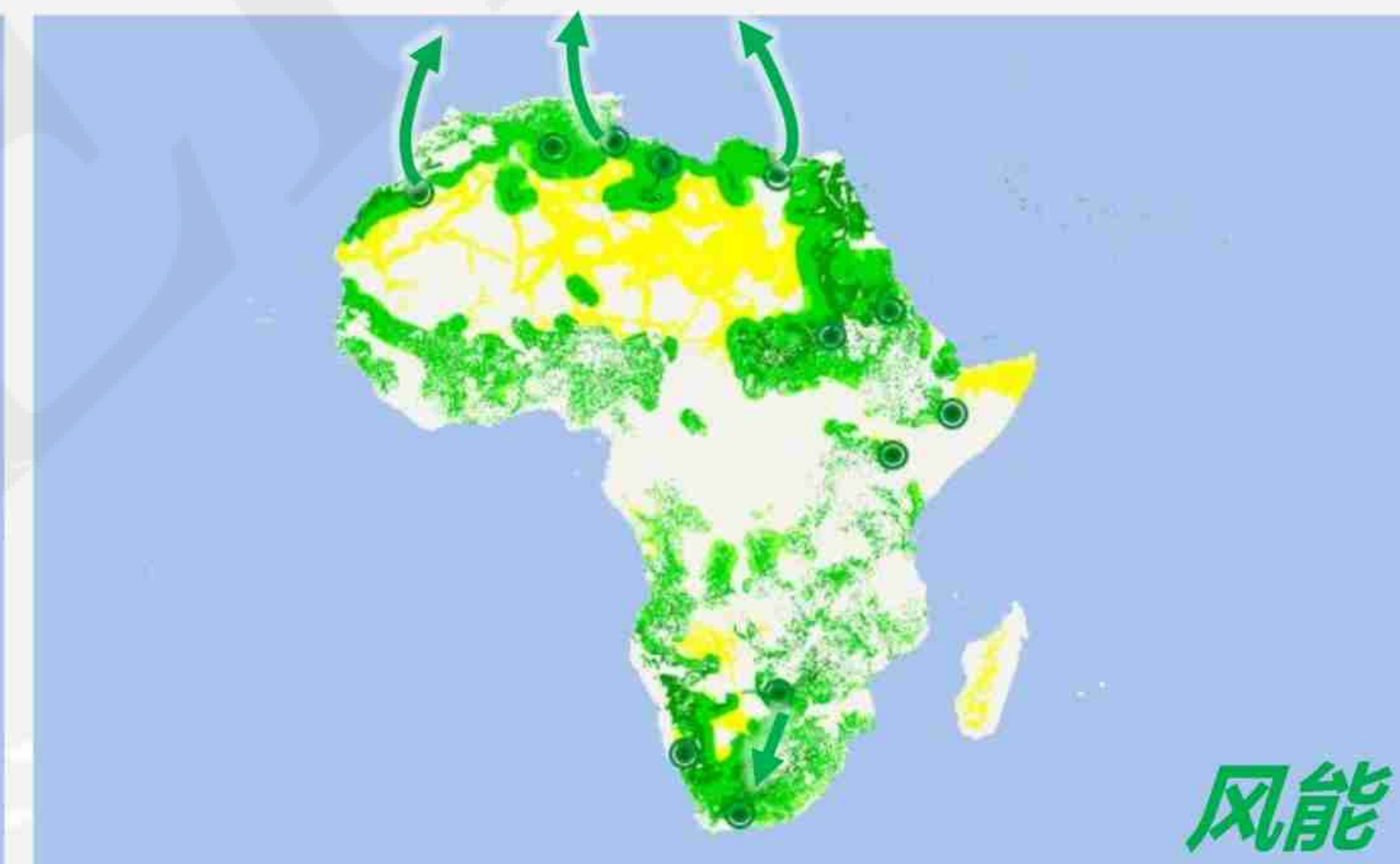
38基地，6.9亿千瓦，
投资3220亿美元，成本2.13美分



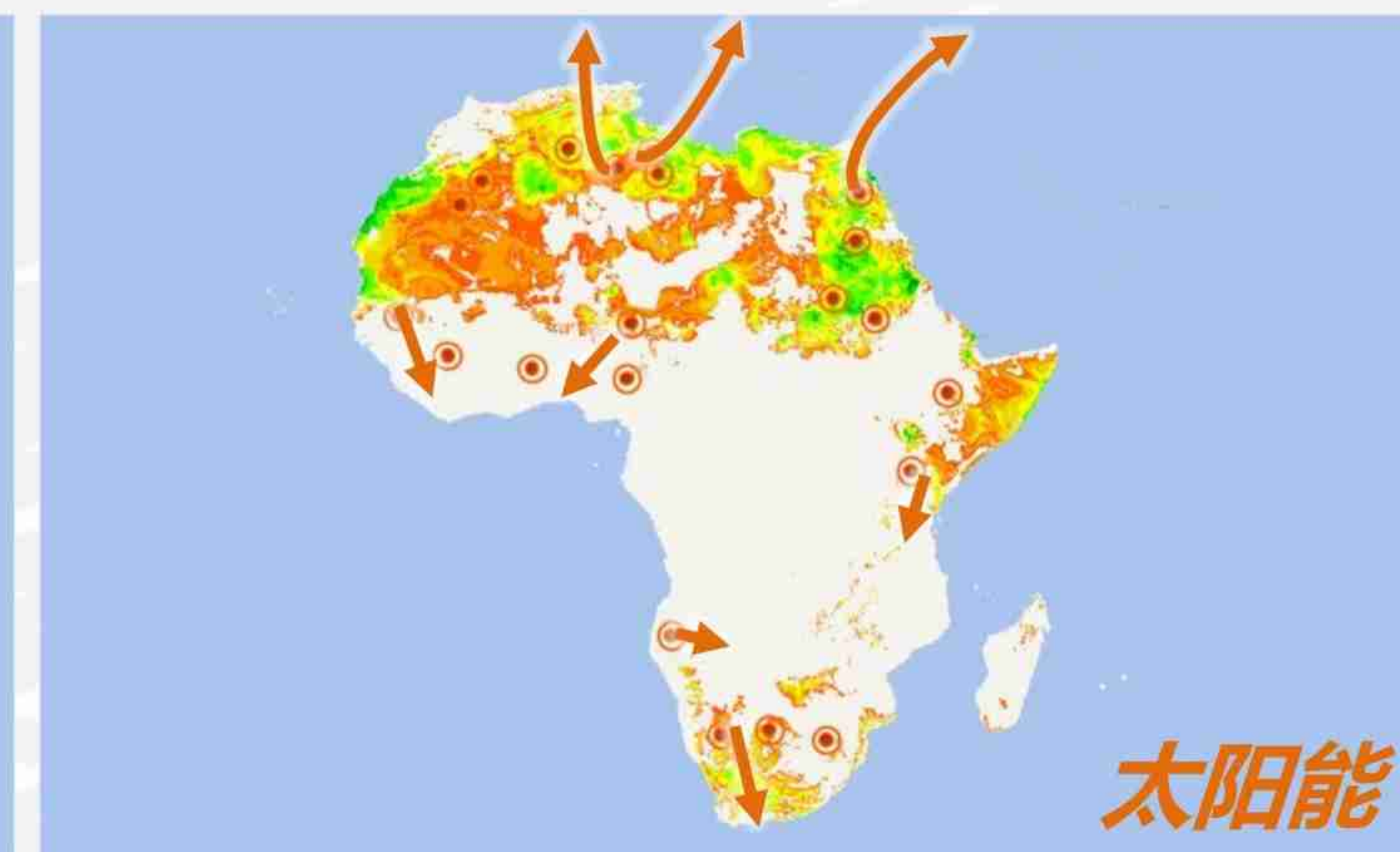
非洲



8基地48梯级，1.4亿千瓦，
投资4500亿美元



12基地，2140万千瓦，投资200亿美元，
成本2.77美分



21基地，9380万千瓦，
投资480亿美元，成本2.10美分

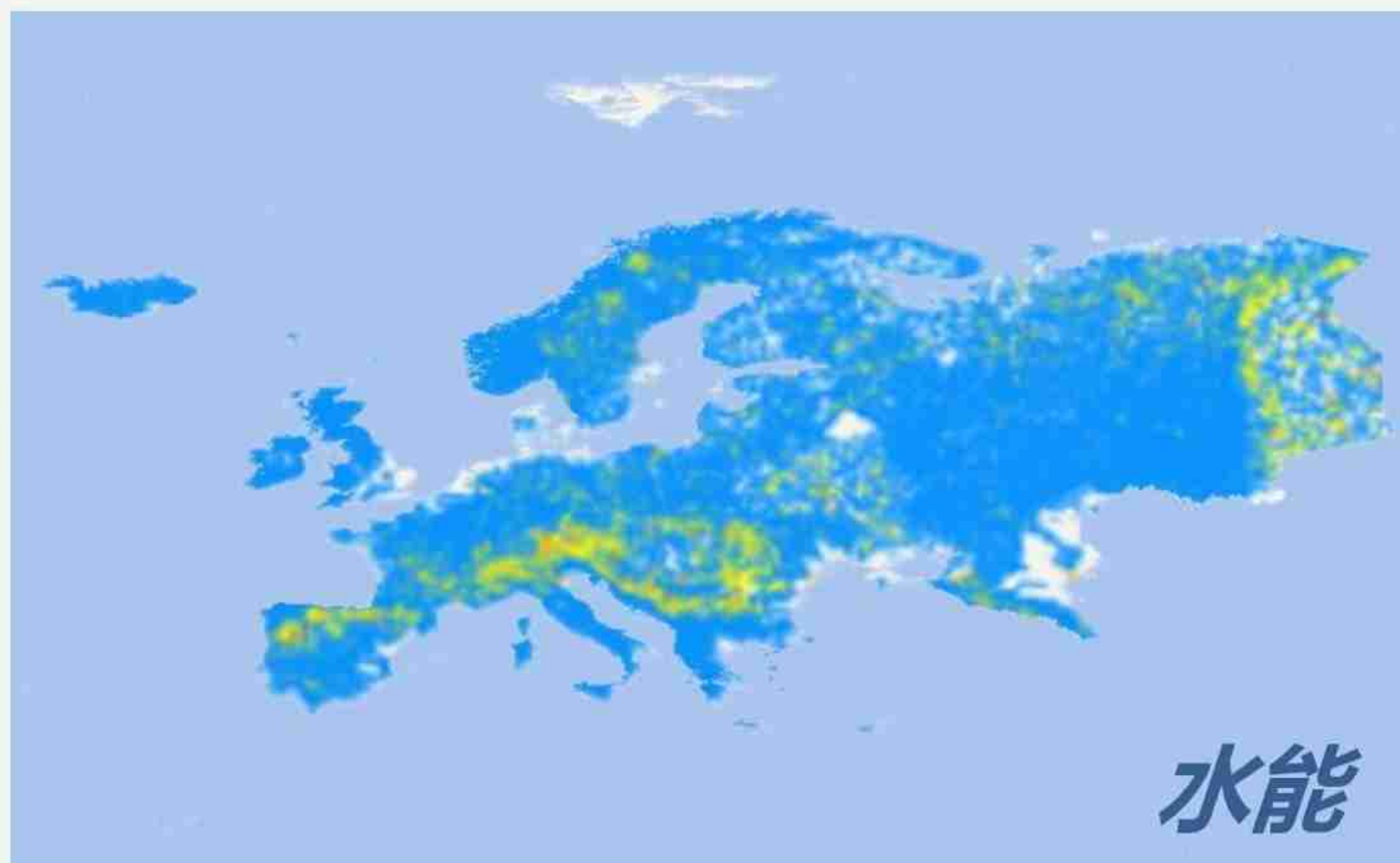
1.5 欧洲、北美洲基地开发方案



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织



欧洲



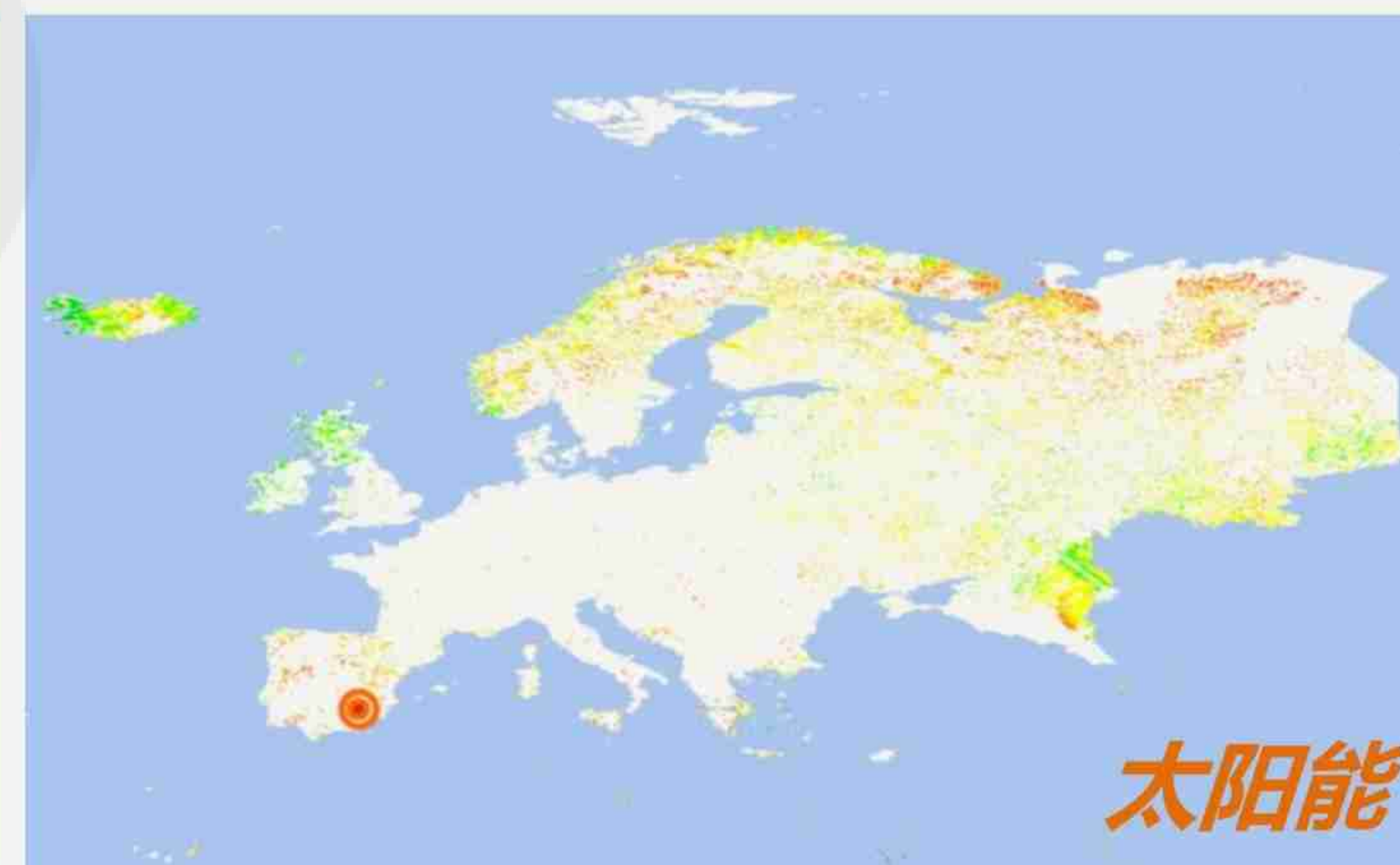
水能

未来水能待发展潜力较小



风能

17基地，1.6亿千瓦，投资2630亿美元，
成本2.66、5.67美分



太阳能

集中式与分布式并举

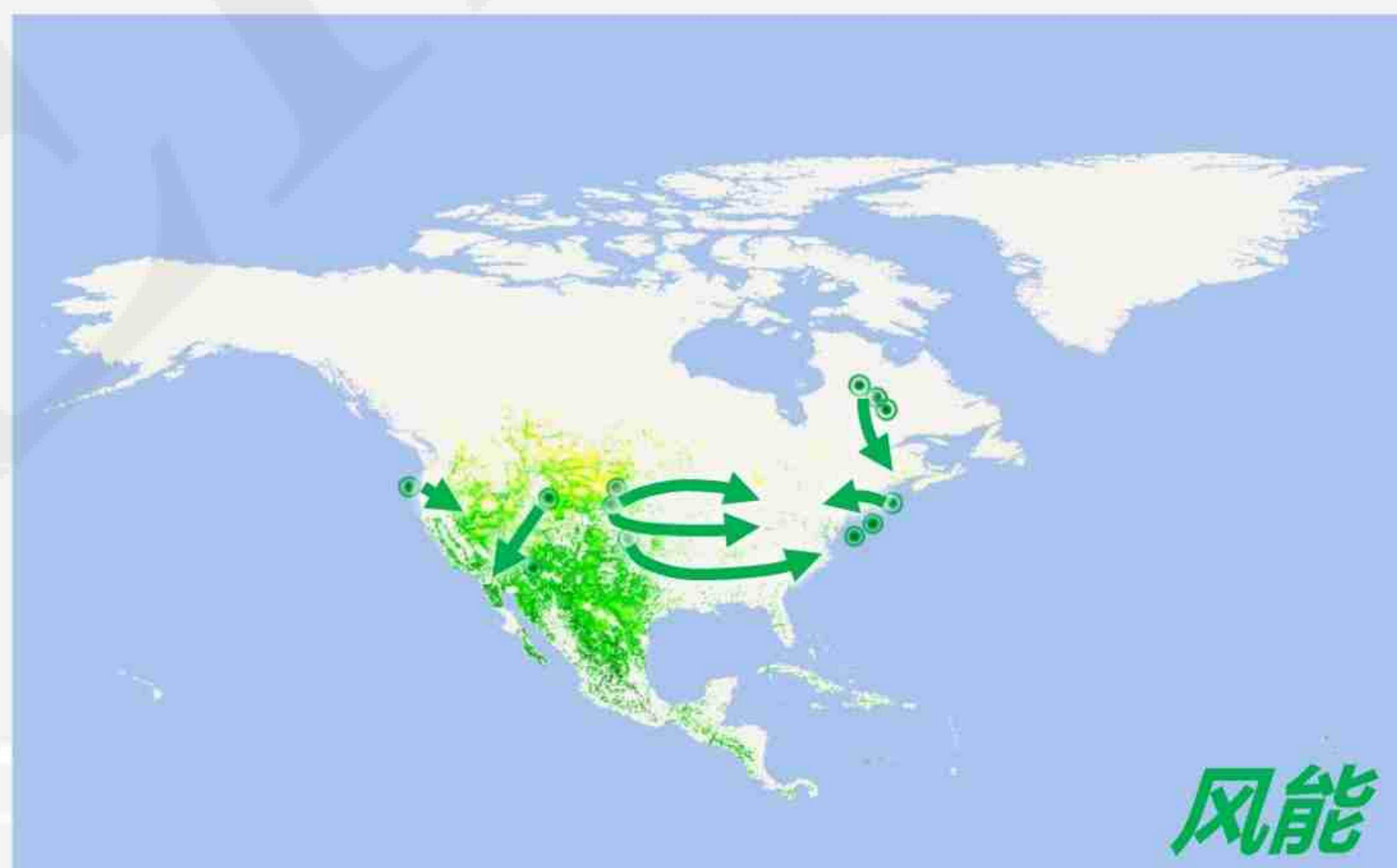


北美洲



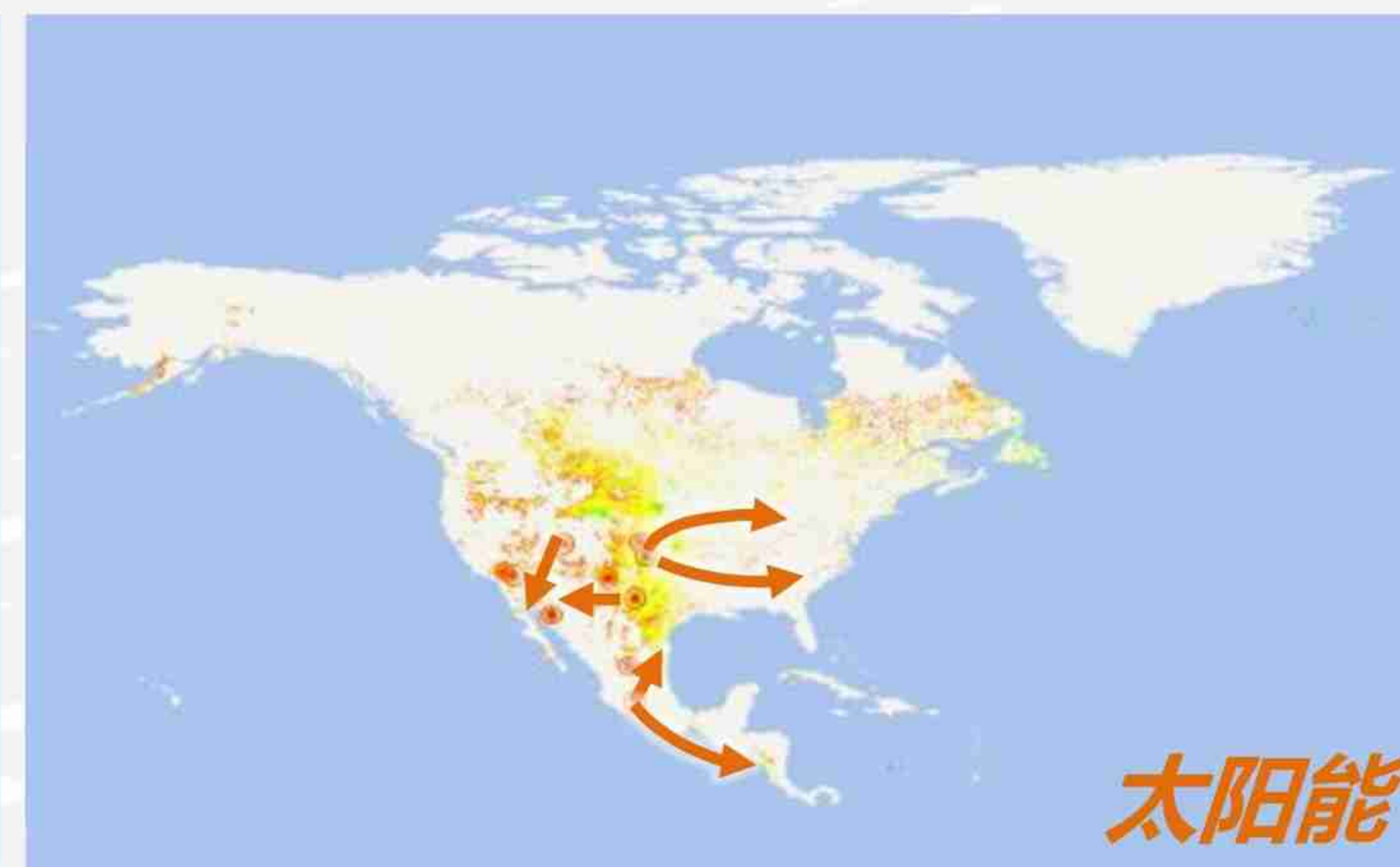
水能

未来水能待发展潜力较小



风能

12基地，1.4亿千瓦，投资1800亿美元，
成本3.56、5.87美分



太阳能

10基地，1.1亿千瓦，
投资575亿美元，成本2.36美分

1.5 中南美洲、大洋洲基地开发方案



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织



中南美



水能

14基地74梯级，6500万千瓦，
投资1900亿美元



风能

9基地，1亿千瓦，投资886亿美元，
成本2.48美分



太阳能

15基地，8800万千瓦，
投资420亿美元，成本1.90美分

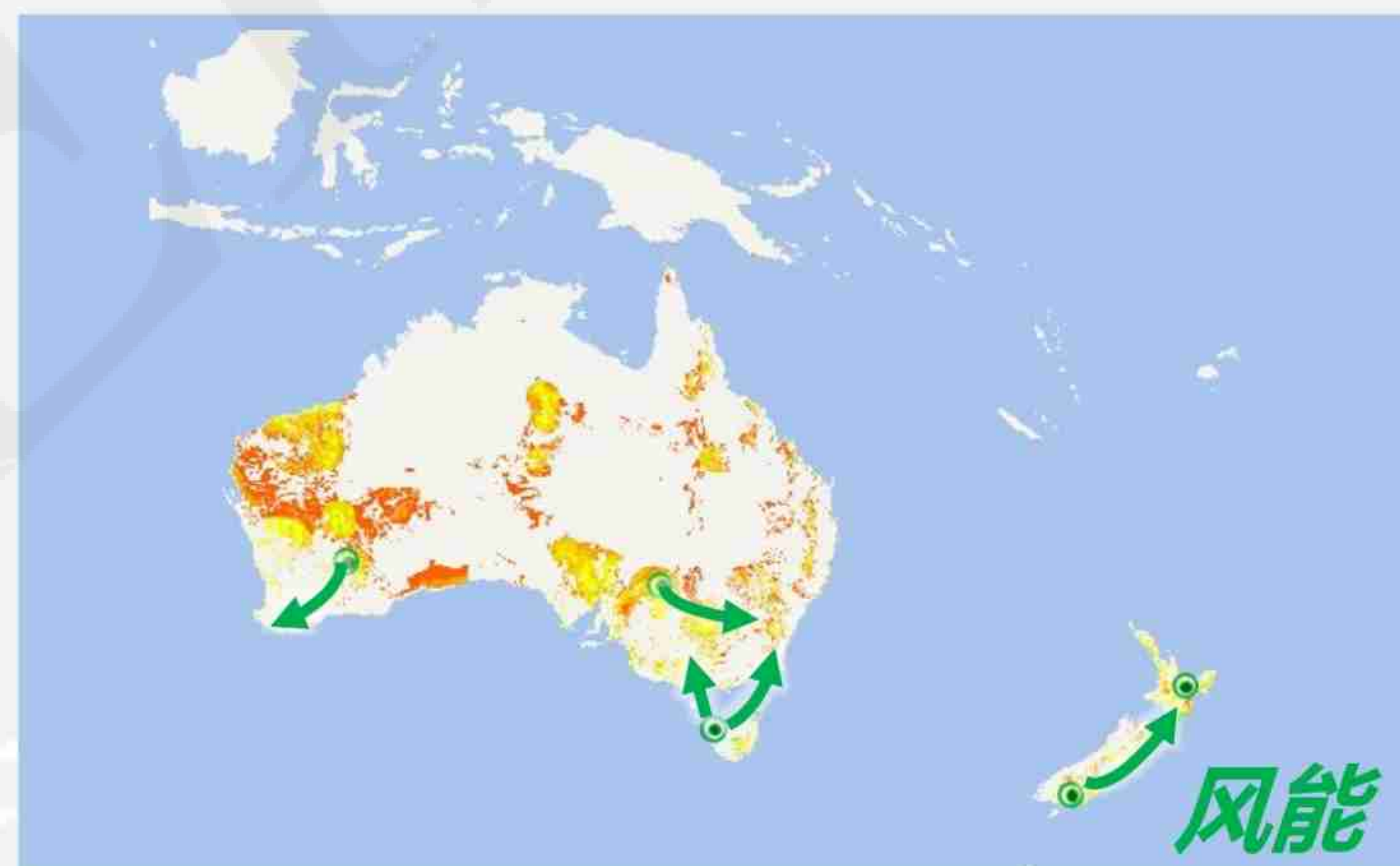


大洋洲



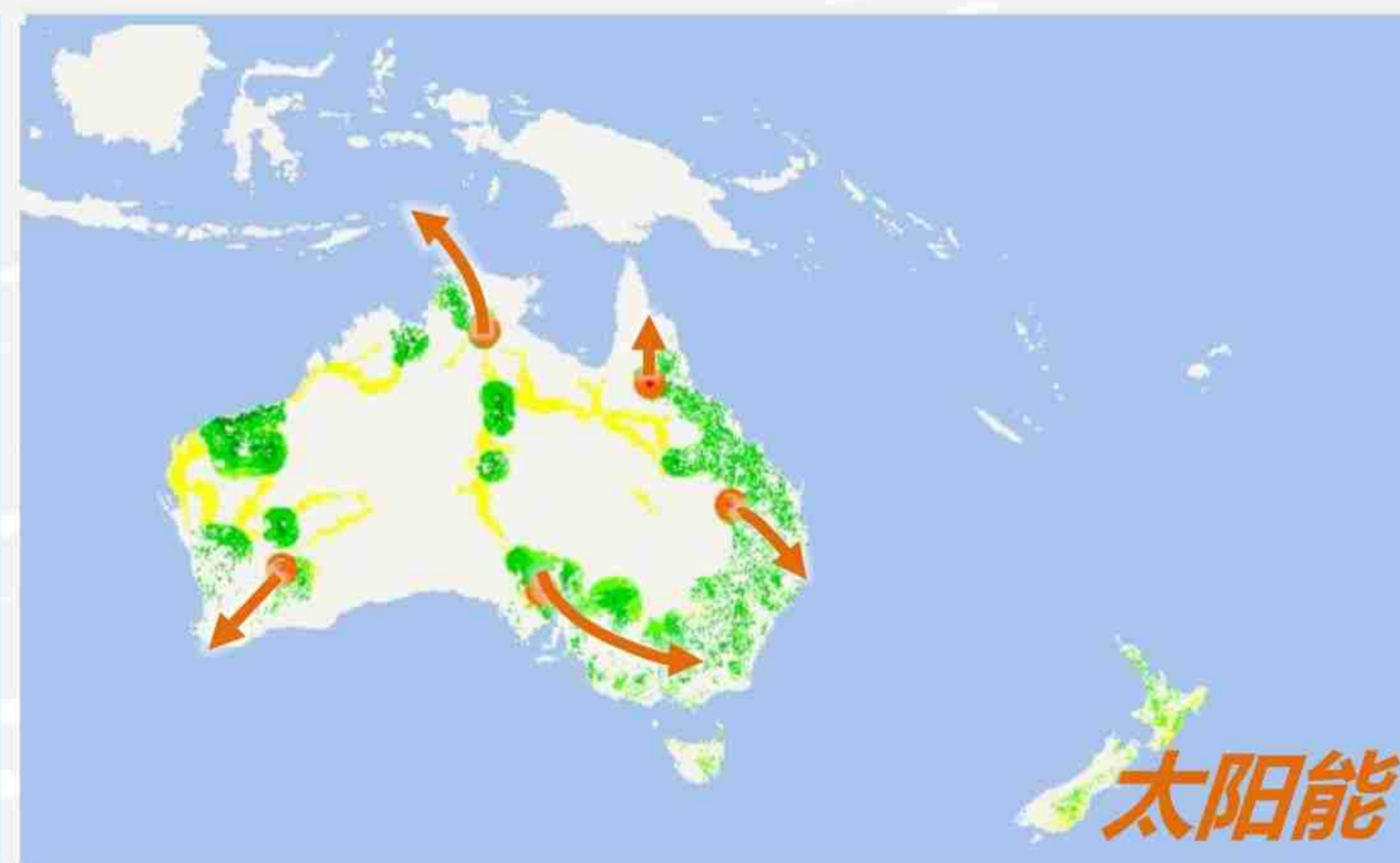
水能

3基地19梯级，2360万千瓦，
投资700亿美元



风能

5基地，1420万千瓦，投资160亿美元，
成本3.19、5.61美分



太阳能

5基地，2000万千瓦，
投资100亿美元，成本2.05美分



1. 资源评估与基地开发

2. 电力外送与投资研究

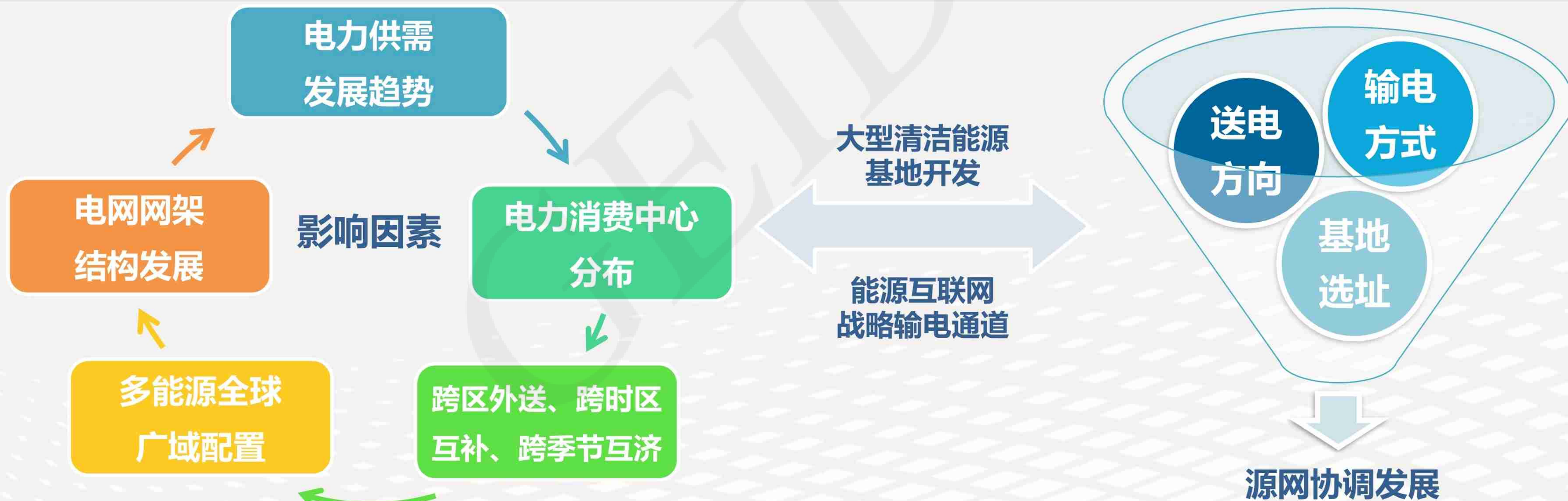
2.1 全球基地外送方案

2.2 政策环境与投融资

2.1 全球基地外送方案研究—思路与方法



- **思路与方法**：基于全球能源电力供需发展趋势，结合主要电力消费中心分布，在充分确保资源国用电需求基础上，考虑多能源品种跨区外送、跨时区互补、跨季节互济和全球广域配置，报告给出了全球主要大型清洁能源基地**送电方向和输电方案**。
- **研究目标**：保障基地开发与输电通道**有效衔接、协调发展**，实现清洁能源大规模开发和高效利用。



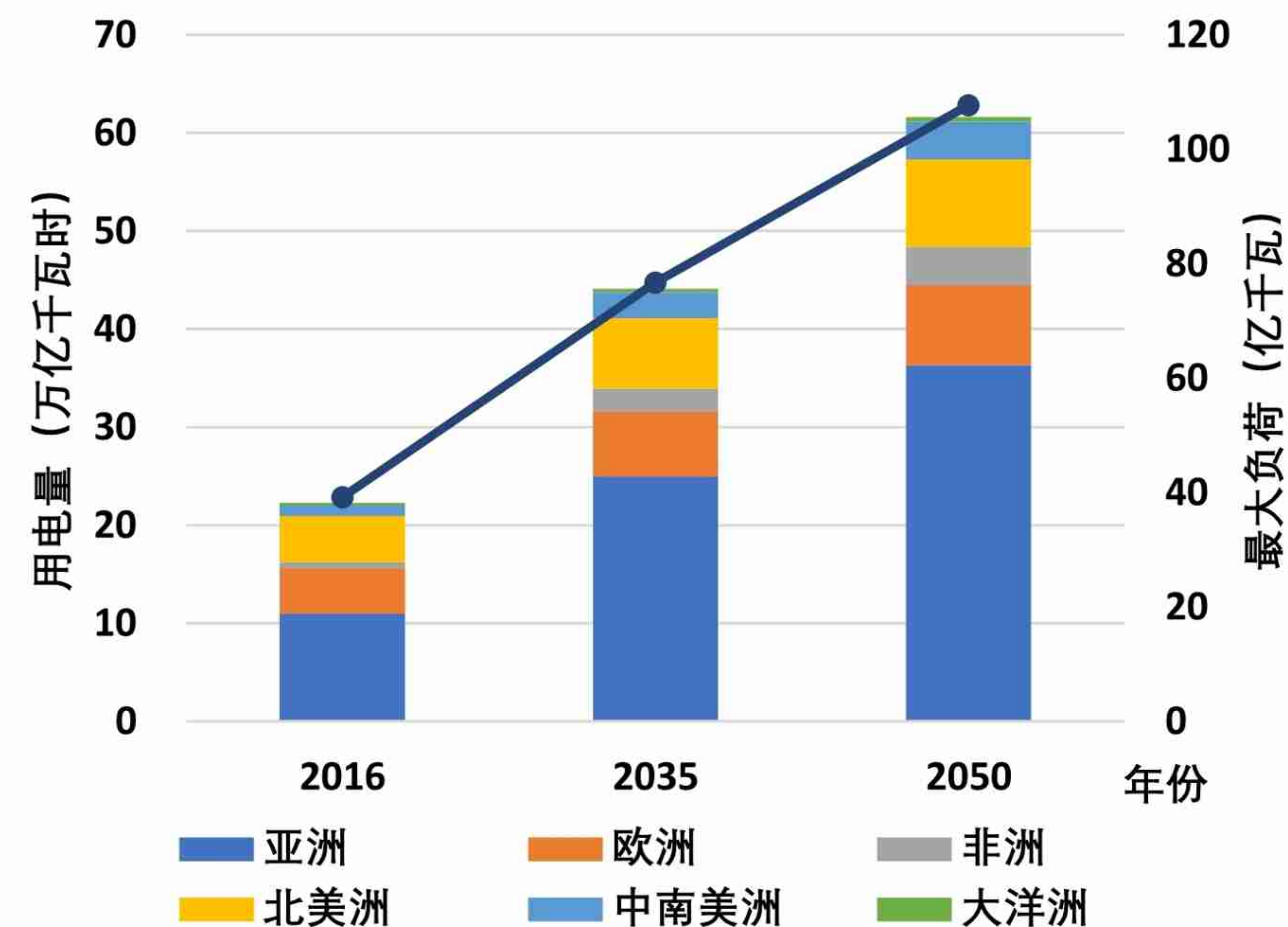
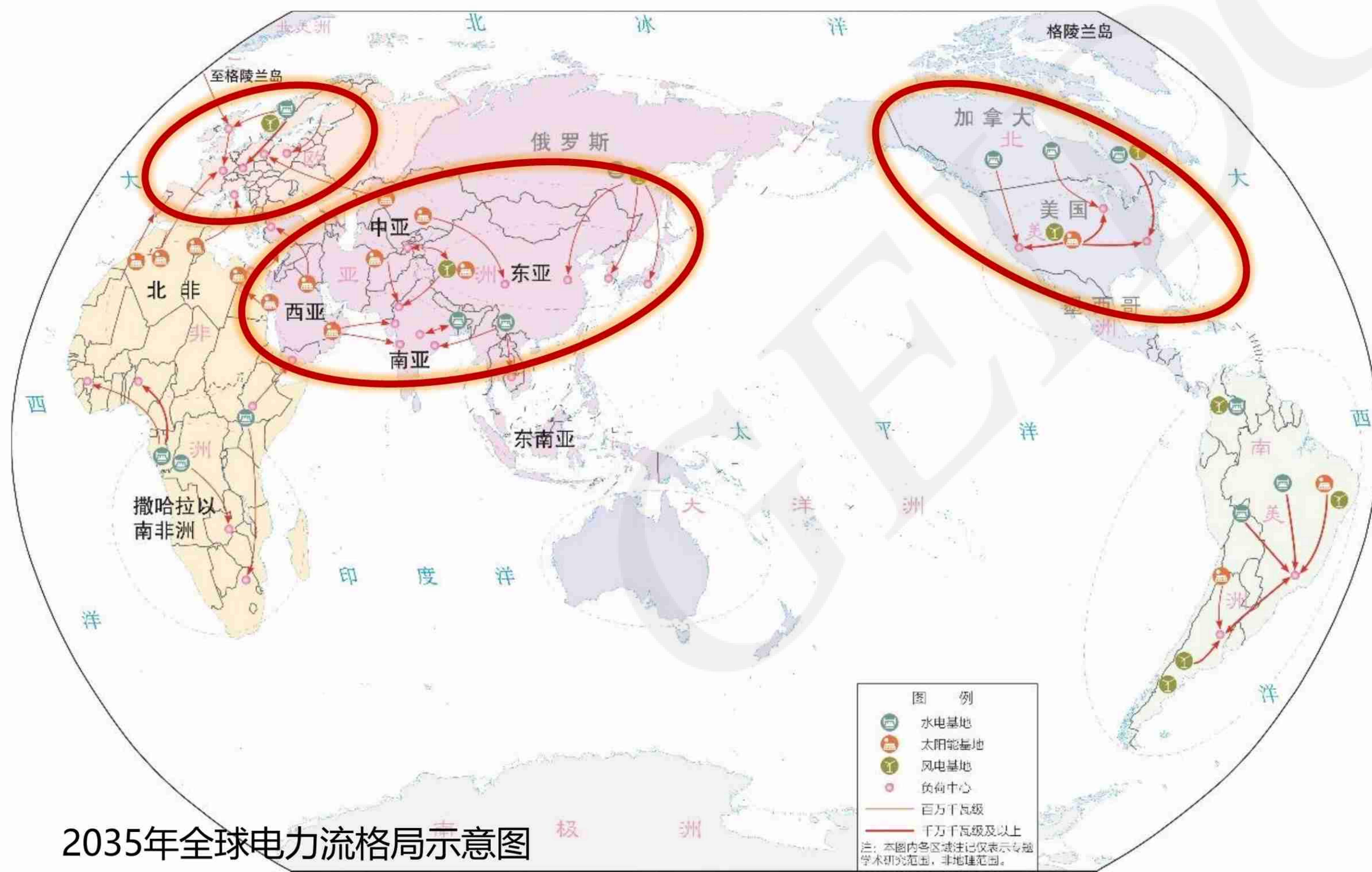
大型清洁能源基地电力外送研究相关影响因素示意图

2.1 大型基地外送方案研究—清洁能源全球配置



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

预计2035年，全球总用电量44.1万亿千瓦时，最大负荷76.7亿千瓦。全球水电、风电与光伏基地总计219个，总装机规模超过20亿千瓦。大型清洁能源基地的规模化开发将促进形成洲内跨区和跨国，以及跨洲电力交换，总规模达到3.3亿千瓦。亚洲电力需求占比57%。





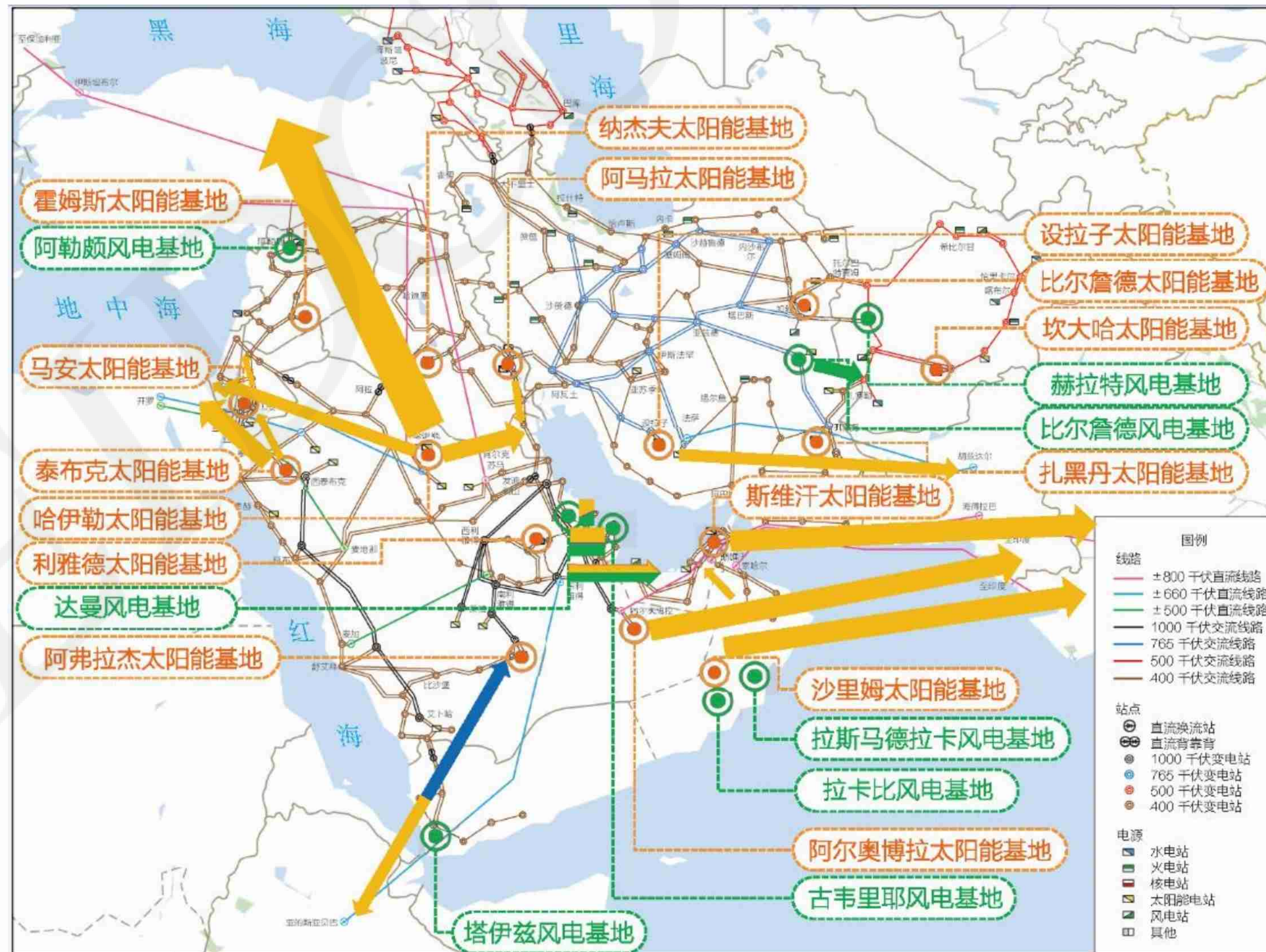
西亚区位优势明显，清洁能源资源丰富，是亚欧非电网互联的重要枢纽。

支撑区域能源转型

加强区域内400（380）/500千伏主网架建设，实现各国间的广泛互联。支撑清洁能源制氢、海水淡化等技术的大规模、低成本应用，推动清洁产业发展，助力能源低碳转型。

服务能源广域配置

加强跨洲跨区通道建设，太阳能、风能等清洁能源外送欧洲、非洲和南亚，在更大范围内配置能源资源。通过跨时区、跨季节的互补互济，进一步提升能源整体利用效率。



2.2 政策环境与投融资研究—思路与方法



- 研究思路：**清洁能源发电项目开发成本包括**技术**和**非技术**2类成本。技术类包括设备、建设、并网、运维等；非技术类指通过调整政策或法规可以减免的成本，包括融资成本、土地费用、前期费用等，影响因素多，往往与项目所在国的**政策环境**相关，一般国家占总成本的40%左右。经测算，相同资源和**技术**条件下，政策环境好、获得较大支持的发电项目，非技术成本可下降超过80%。

清洁能源发电项目投资

技术类成本

非技术类成本



不同非技术成本的光伏度电成本比较

单位：美元/千瓦

分类	内容	缺少支持	力度一般	积极支持
入网	电网接入	210	100	0
土地	土地租赁	215	85	0
前期	前期开发	500	290	0
融资	贷款利率	12%	10%	2%
资源	利用小时	2200		
度电成本 (美分)		13	6.5	1.6

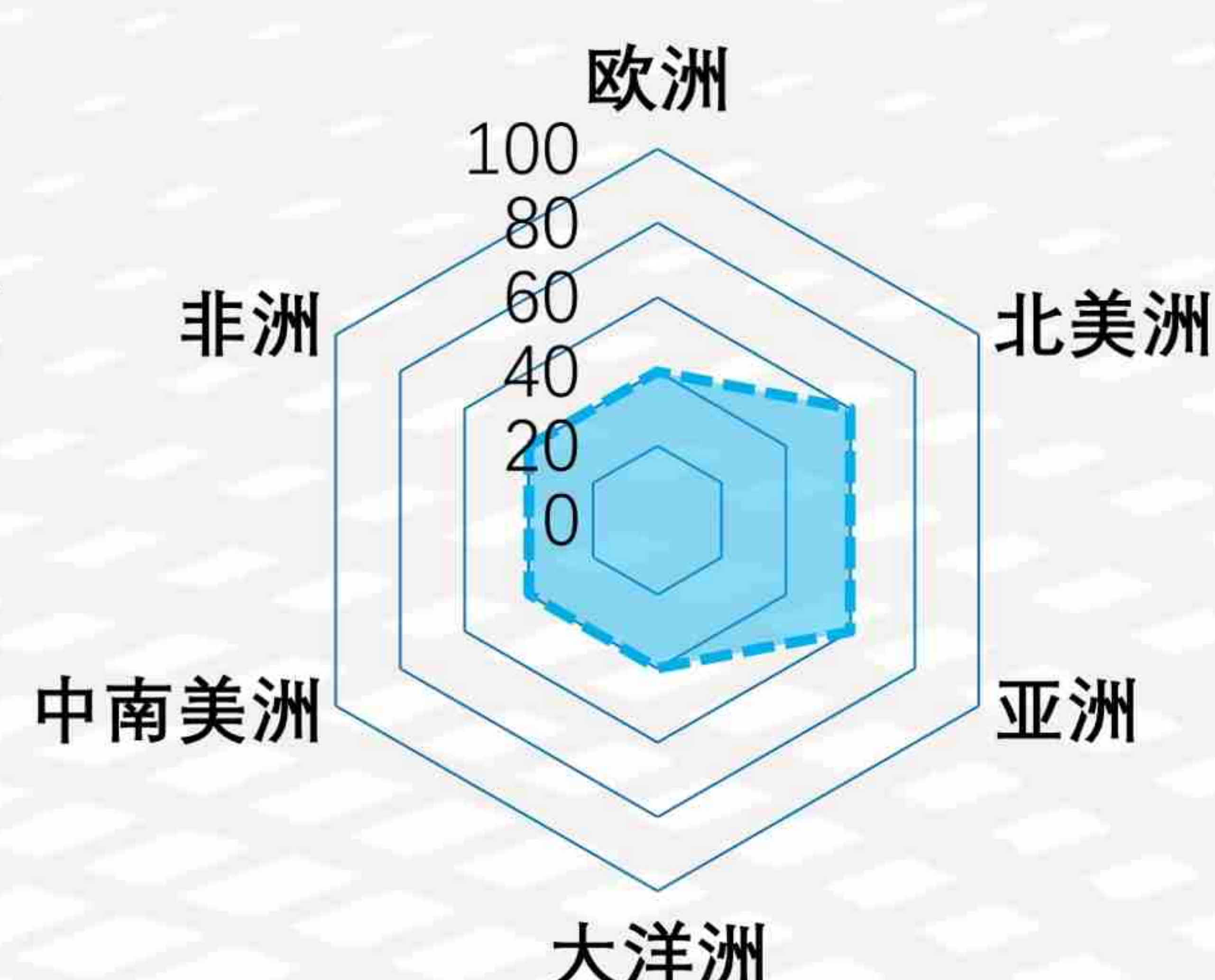
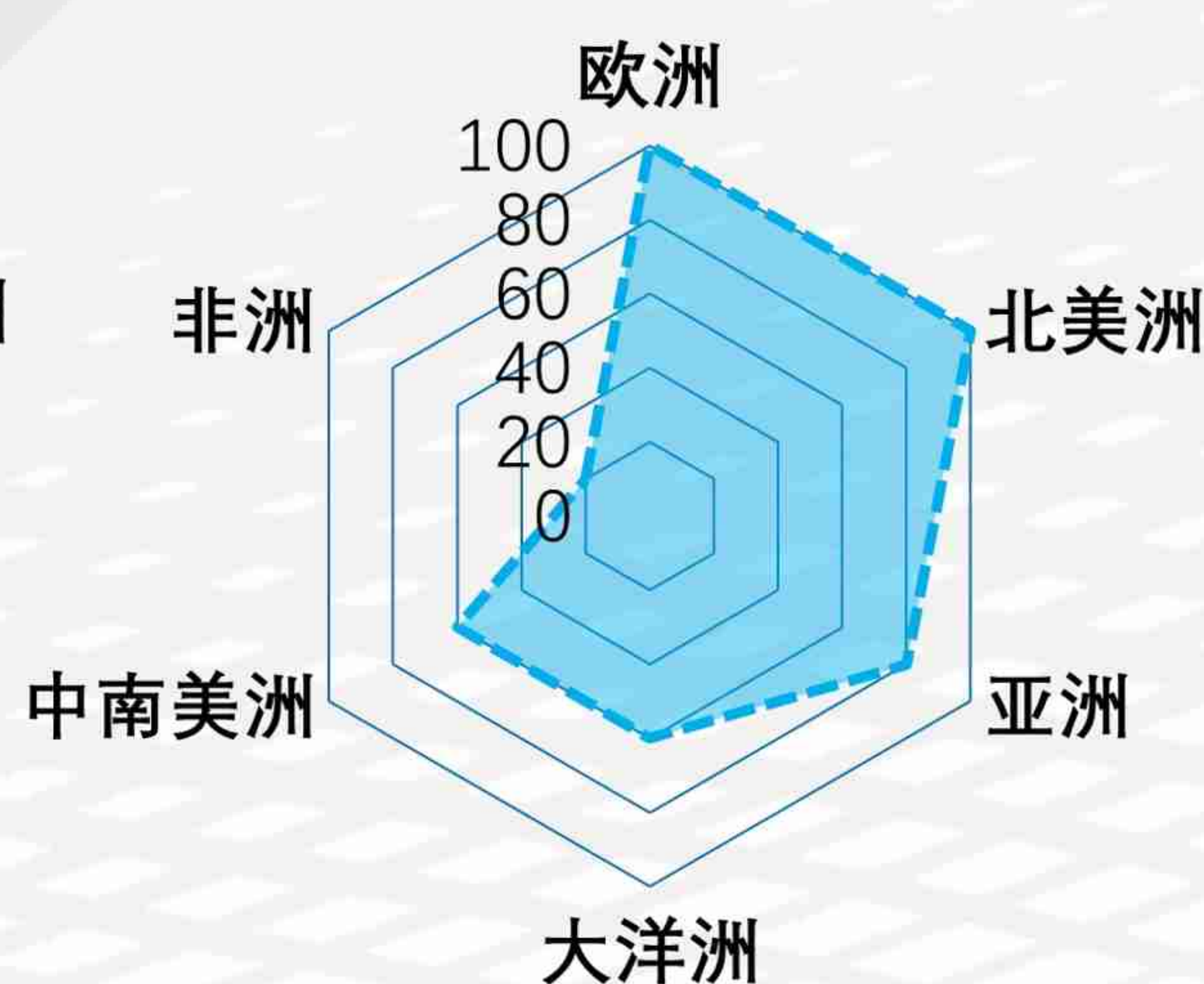
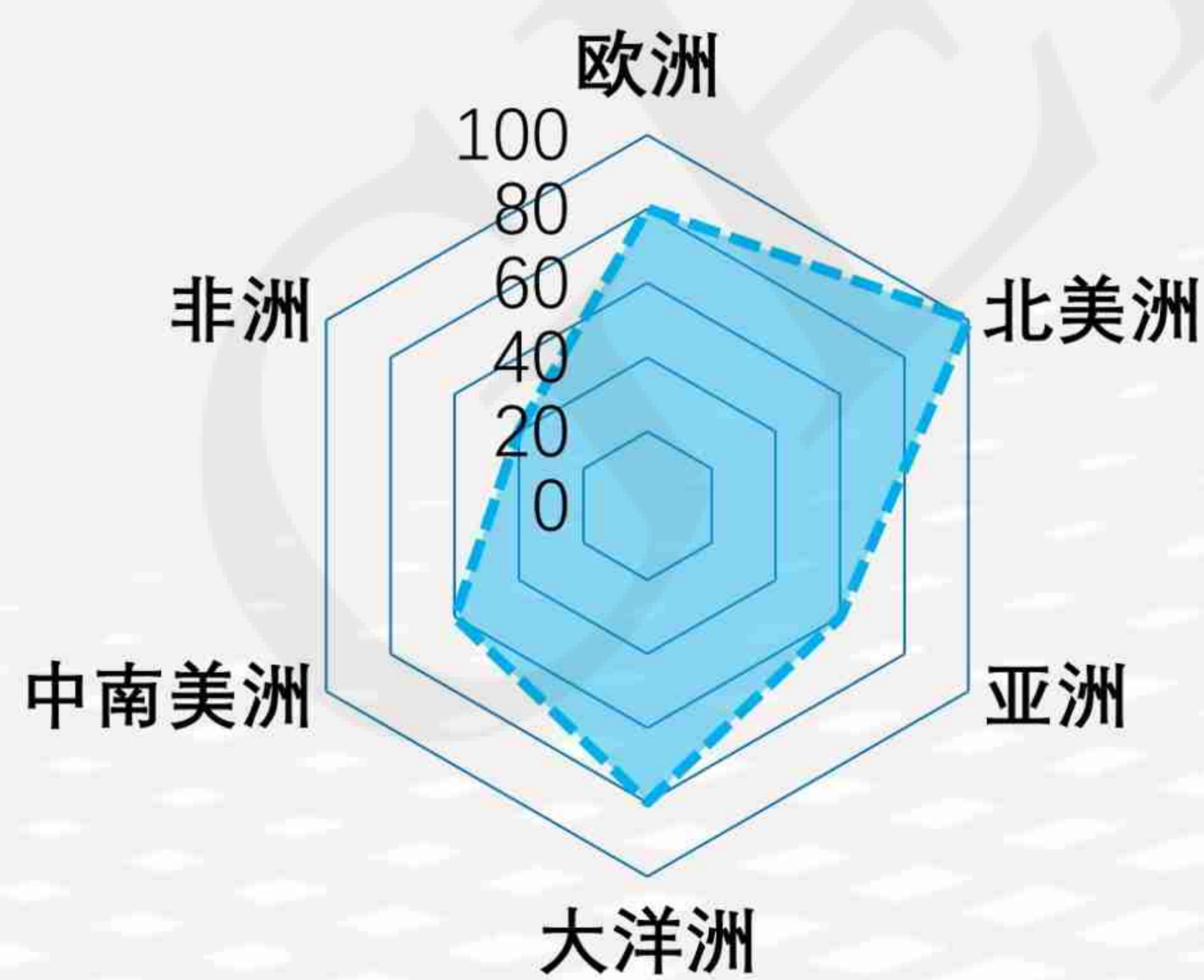
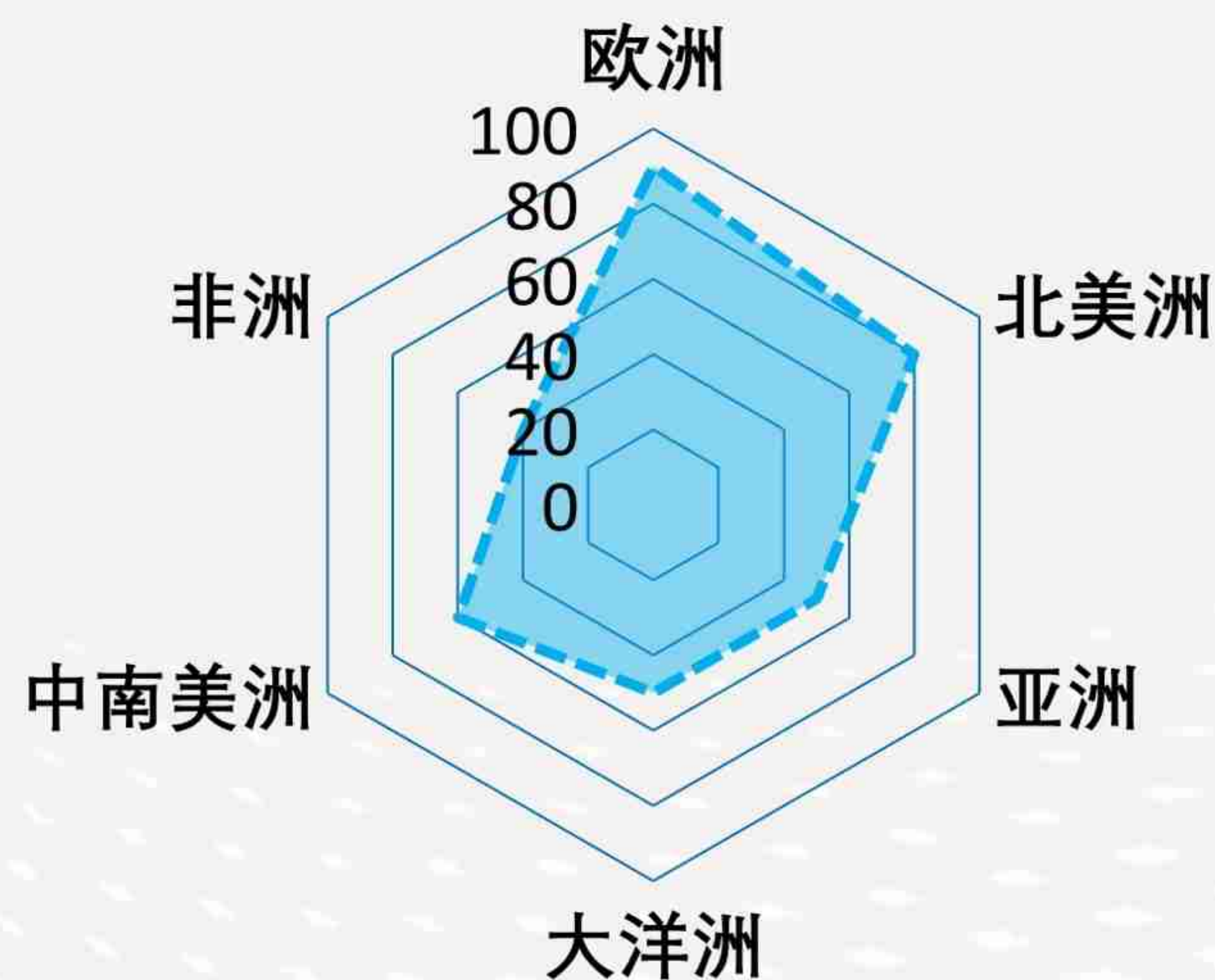
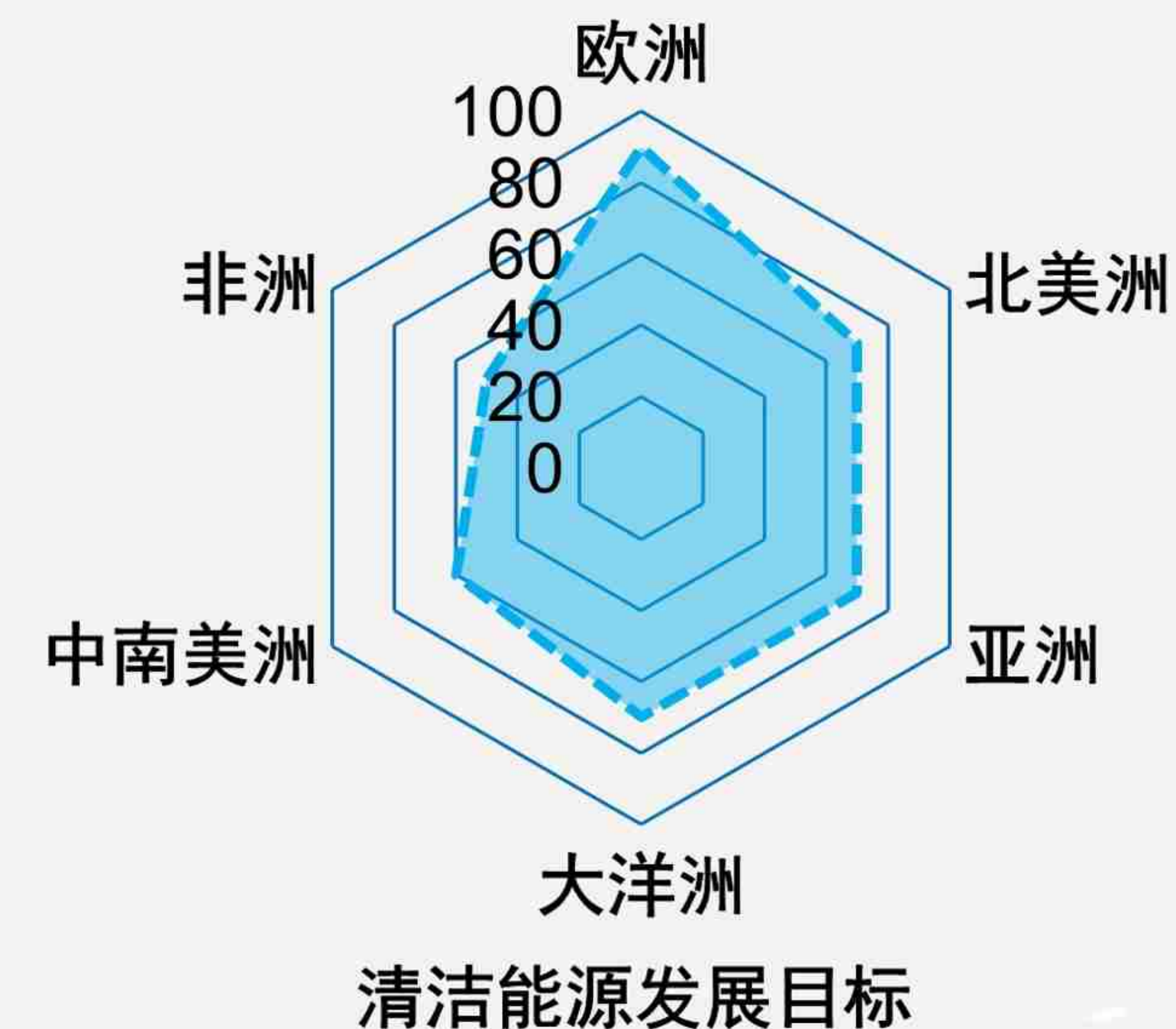
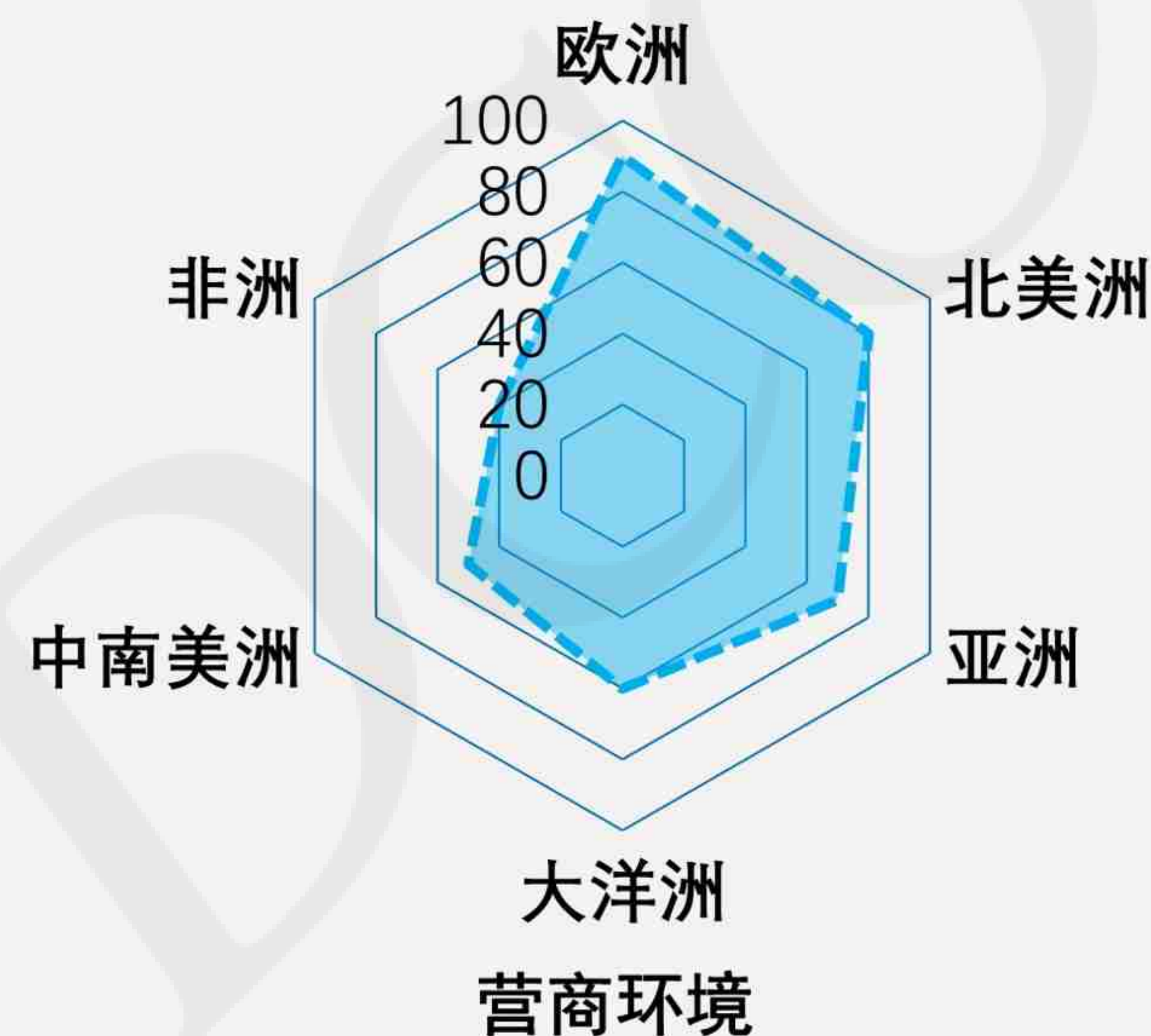
- **研究方法：**营商环境、清洁能源发展目标、电力行业体制与市场、能源电力投资政策、支持性财政政策、土地劳工和环保政策等是影响清洁能源项目非技术成本的主要方面。报告针对各洲发展情况提出针对性的投资建议，加速可再生能源大规模开发利用。



2.2 政策环境与投融资研究—全球概况



- **营商环境**：不断改善，欧洲、北美和亚洲相对领先。
- **发展目标**：已制定中长期规划，不断提升战略地位。
- **电力体制**：积极推动市场化改革。
- **投资政策**：多数国家趋向放松投资准入。
- **财政政策**：税收优惠、电价补贴，各国存在差异。
- **土地等政策**：劳工政策趋紧，日益重视环境保护。





- **全球层面**：建立“信息共享、规划协调、市场融通、互惠共赢”的跨国、跨区域**能源合作机制**。构建“资源-技术-市场”、“政府-企业-金融机构”更广泛的**利益共同体**，共享投资收益、共担项目风险非常重要。各国应制定更加开放、透明、稳定的**投融资政策**。结合资源条件与发展要求，创新**投融资模式**，设立绿色产业投资基金，积极推动PPP项目投资。

1. 亚洲

- 构建包含中亚、西亚和东南亚资源方，东亚、南亚市场方的跨国、跨区域的清洁能源电力市场。发挥“一带一路”能源金融优势，依托亚投行、丝路基金、亚开行等区域金融机构，扩大项目投资。利用清洁能源产业园区等灵活优惠政策，吸引国际资本参与清洁能源投资。西亚等区域逐步降低化石能源补贴，提高清洁能源市场竞争力。

2. 欧洲

- 以跨国并购、股权交易等多种形式参与欧洲清洁能源项目开发、投资和运营。借助欧洲发达绿色金融市场，通过绿色债券、绿色信贷、绿色保险、绿色基金等方式降低金融成本、提升项目收益。



3. 非洲

- 创新“电-矿-冶-工-贸”联合投融资模式，以产业链核心企业为信用依托，以能源和工业项目收益预期为基础，发输用三方签订长期合约，形成风险共担、收益共享的利益分配机制。更好的利用世界银行、国际货币基金组织、非开行、中非发展基金、中非产能合作基金等国际开发性金融机构的资金，推动大型项目落地实施。

4. 北美洲

- 金融市场成熟，可以充分利用市场化融资手段，吸引全球多元投资方参与。发行基于项目收益的股票、债券等金融产品，提高项目资产流动性，增强清洁能源开发项目吸引力。

5. 中南美洲

- 充分利用国际资本市场，形成资金来源广泛、投资方式灵活的多元投融资体系。加快构建区域共同电力市场，发挥市场机制调节作用，扩大清洁能源消纳空间。改善营商环境，制定开放、透明且稳定的投融资政策，提高项目预期收益的稳定性。加强通货膨胀风险管理，降低项目资金成本。

6. 大洋洲

- 完善清洁能源投融资模式，设立区域清洁能源发展基金，加快澳大利亚、新西兰与其他岛屿国家的清洁能源开发。加强能源基础设施投资，提高气候变化适应能力。

结语



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

怎么样

风电成本低至2.5美分
光伏成本低至1.8美分

有多少

清洁转型仅需开发水电30%，
风、光技术可开发10%与1%。

消纳与外送

满足本国需求
全球能源互联网全球配置

环境与投资

优化营商环境，给予政策
支持，创新投融资模式

在哪里

水、风、光“黄金地带”



《全球清洁能源开发与投资研究》系列报告系统回答了全球清洁能源开发和投资面临的一系列关键问题，为世界绿色低碳和可持续发展贡献了思路和方案。

加快推动清洁发展，携手共创美好未来！

