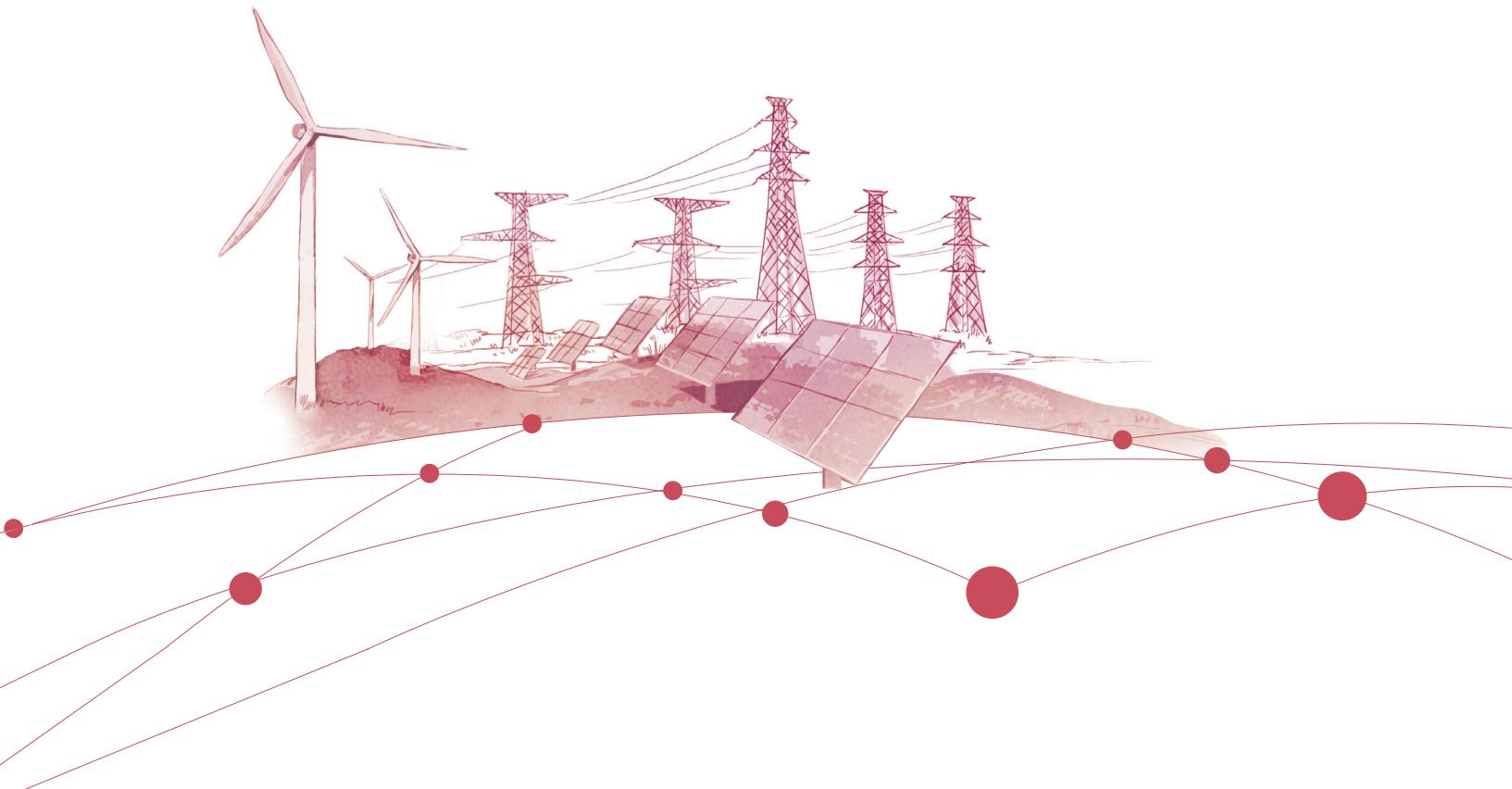
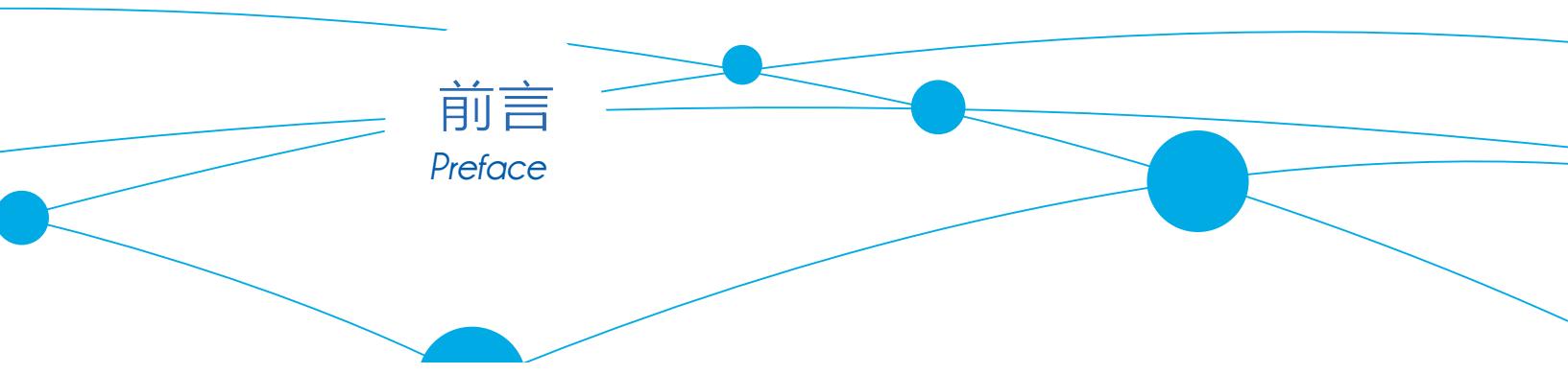




Global Energy Interconnection  
Development and Cooperation Organization  
全球能源互联网发展合作组织



# 全球能源互联网 发展战略白皮书



## 前言

Preface

2015年9月26日，中国国家主席习近平在联合国发展峰会上发表重要讲话，倡议探讨构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。全球能源互联网是以特高压电网为骨干网架、全球互联的坚强智能电网，是清洁能源在全球范围大规模开发、输送、使用的基础平台。构建全球能源互联网，加快实施“两个替代”（清洁能源替代和电能替代）、“一个回归”（化石能源回归其基本属性，主要作为工业原材料使用），“一个提高”（提高电气化水平），是促进能源与经济、社会、环境协调可持续发展的必由之路，将深刻改变世界能源发展格局。

2016年3月，中国国家电网公司发起成立了全球能源互联网发展合作组织（以下简称“合作组织”），以“推动构建全球能源互联网，以清洁和绿色方式满足全球电力需求”为宗旨，以“促进清洁发展，建设和谐世界”为使命，加快建设具有全球话语权、影响力和行动力的一流国际组织，打造共商、共建、共享、共赢的合作平台，推动实现全球能源互联和可持续发展目标。合作组织会员260多家，来自五大洲22个国家和地区，涵盖能源、电力、信息、环保、科研、咨询和金融等领域。中国国家电网公司前董事长刘振亚任合作组织主席，美国能源部前部长（诺贝尔物理学奖获得者）朱棣文、中国国家电网公司董事长舒印彪、日本软银集团董事长兼总裁孙正义任副主席。

构建全球能源互联网是解决资源紧缺、环境污染、气候变化、发展不均衡等问题的全球方案，实质就是打造能源共同体，建设人类命运共同体，得到联合国等有关各方大力支持。合作组织在大量研究基础上，编制了《全球能源互联网发展战略白皮书》，提出了战略体系、发展思路、发展路线图，明确了战略重点，为共同推动全球能源互联网发展提供战略指引和行动指南。

# 目录

Contents

## 1

### 战略背景

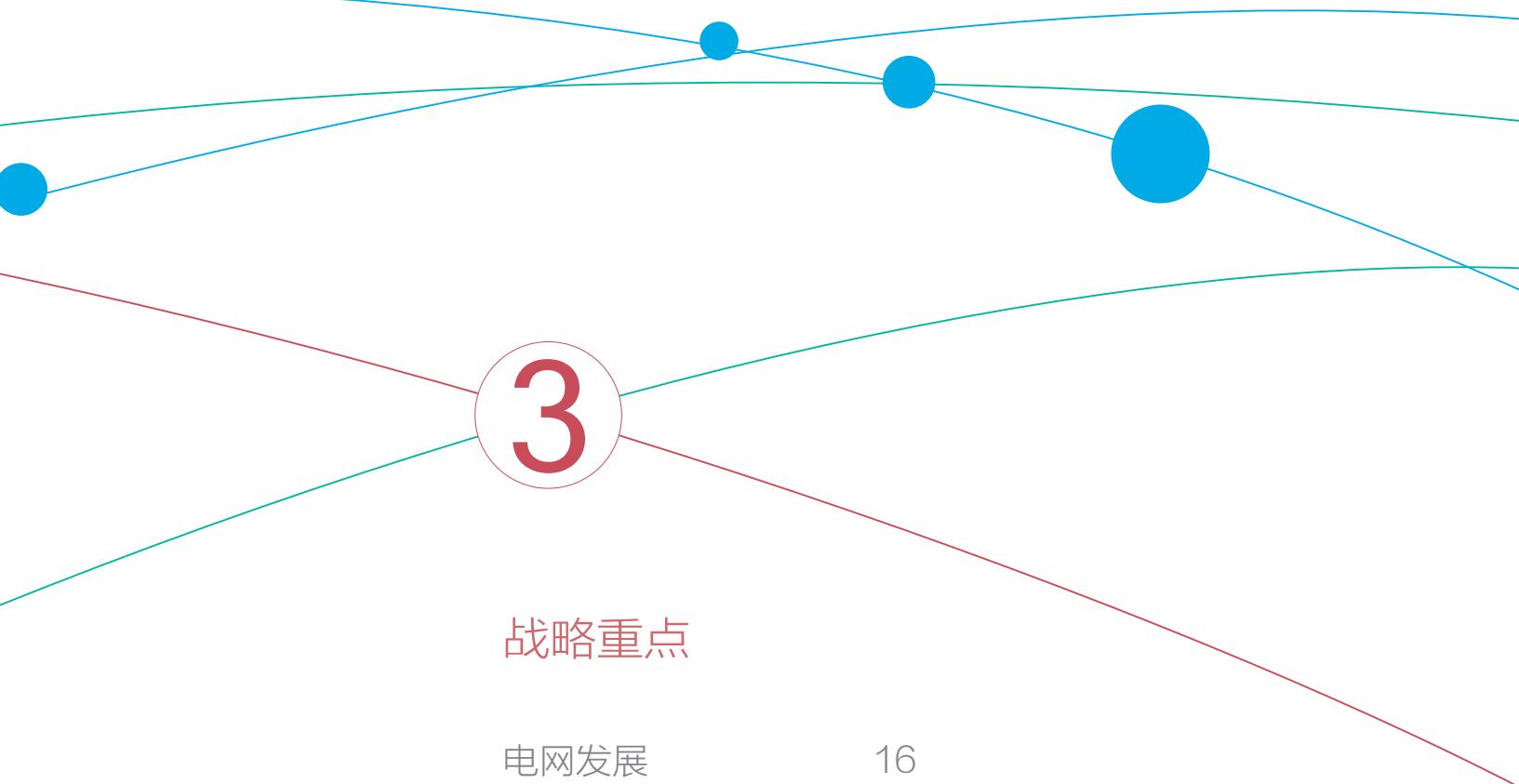
中国倡议  
能源挑战

6  
7

## 2

### 战略构架

战略体系	10
发展思路	11
发展路线图	11
战略实施	12
前景展望	13

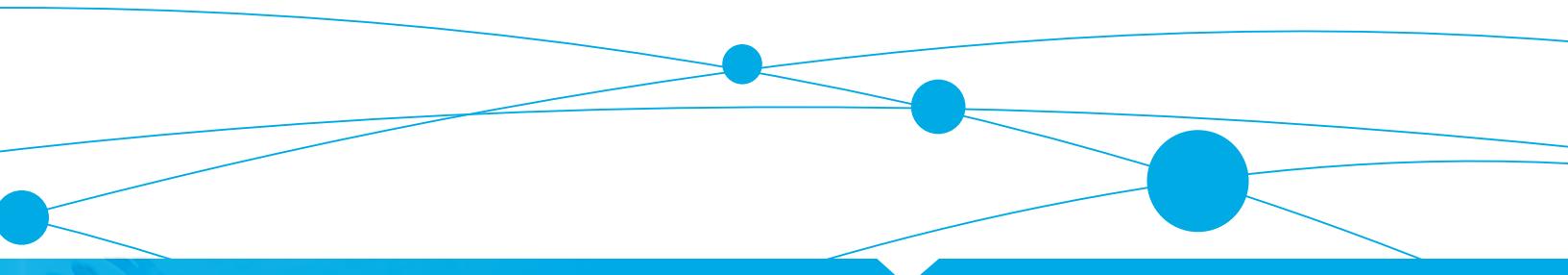


## 战略重点

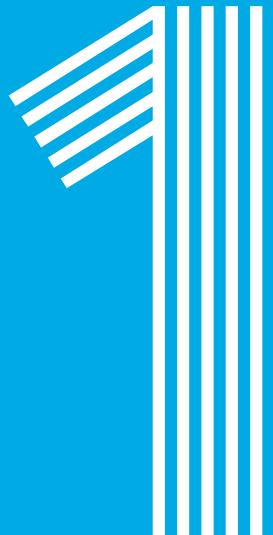
电网发展	16
清洁替代	20
电能替代	22
科技创新	24
产业创新	26
金融创新	28
机制建设	30
国际合作	32

结束语 34





# 战略背景





## 中国倡议

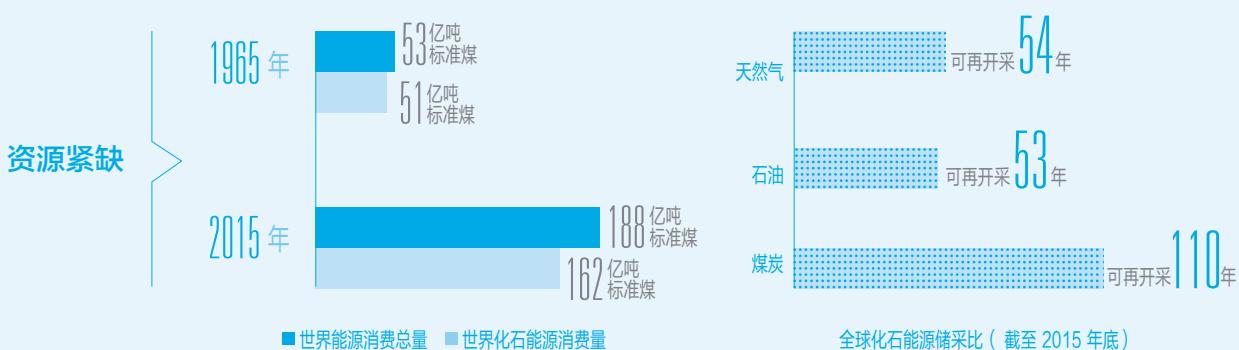
2015年9月26日，中国国家主席习近平在联合国发展峰会上发表重要讲话，倡议探讨构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。这是对传统能源发展观的历史超越和重大创新，深刻阐明了能源互联网的本质就是互联电网，构建全球能源互联网的根本目的是满足全球电力需求，描绘了世界能源绿色低碳发展的新蓝图，为应对气候变化开辟了新道路，得到国际社会普遍赞誉和积极响应。联合国秘书长古特雷斯表示，全球能源互联网是解决气候变化等问题的“中国方案”，将推动纳入联合国《2030年可持续发展议程》，引导各成员国共同参与和建设。



《巴黎协定》的签署和生效，标志着加快清洁发展、应对气候变化、推动世界能源转型已经成为各国共识和共同行动。构建全球能源互联网契合世界发展潮流，集中体现了创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，是造福全人类的宏伟事业。

## 能源挑战

全球能源发展面临资源紧缺、环境污染、气候变化、发展不均衡等严峻挑战，给人类生存发展带来严重威胁，根本出路是加快清洁发展，推进能源变革转型。



### 环境污染

- 化石能源在开采、运输、使用的各环节对水质、土壤、大气等造成严重污染和破坏。
  - 世界卫生组织对全球1600个城市空气质量进行调查，大约半数人口暴露于至少要比世卫组织建议水平高出2.5倍的空气污染之下。
- 全球化石能源燃烧每年排放二氧化硫约 1.2 亿吨  
氮氧化物约 1 亿吨以及大量烟尘等污染物

### 气候变化

- 气候变化是全人类面临的最紧迫、最严峻的挑战。
- 自工业革命以来全球地表平均温度上升了  $1^{\circ}\text{C}$
- 2016 年是有气象记录以来全球最热的一年
- 全球气温上升与大气二氧化碳浓度增加紧密相关。燃烧1吨标准煤的化石能源约排放2吨二氧化碳。
- 自工业革命以来二氧化碳浓度上升了 40% 多  
已超过 400 ppm
- 如不采取实质行动，到本世纪末全球温升将超过  $4^{\circ}\text{C}$ ，将导致冰川融化、海面上升、粮食减产、物种灭绝。

### 发展不均衡

- 
- 非洲人均能源消费量为世界平均水平的  $\frac{1}{3}$ ，OECD国家的  $\frac{1}{6}$
- 全球仍有 12 亿人用不上电  
30 亿人只能依靠木材、煤炭、动物粪便做饭取暖
- 未来，全球能源需求仍将持续增长，预计 2050 年达到 300 亿吨标准煤，加快能源转型迫在眉睫。

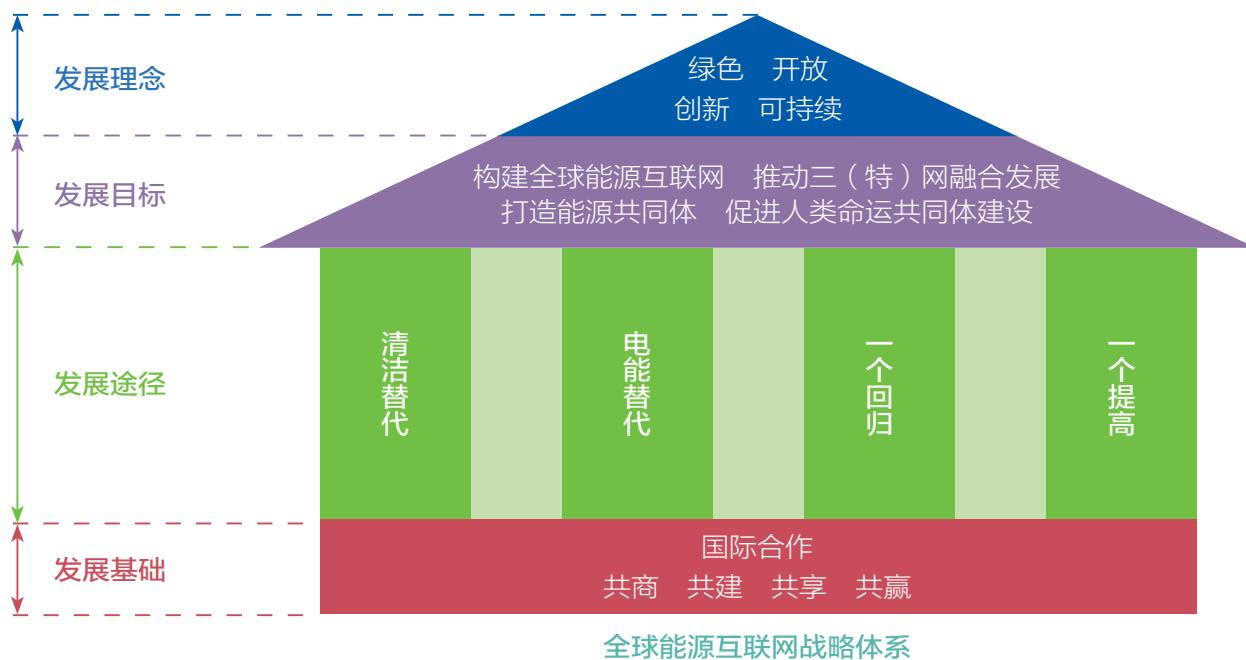






## 战略体系

坚持绿色、开放、创新、可持续发展理念，以国际合作为基础，实施“两个替代、一个回归、一个提高”，构建全球能源互联网，形成以清洁能源为主导、电为中心、全球配置的能源发展新格局，推动三（特）网融合发展，打造能源共同体，促进人类命运共同体建设。



全球能源互联网战略体系

- 两个替代**
  - 能源开发实施清洁替代，以太阳能、风能、水能等清洁能源替代化石能源；
  - 能源消费实施电能替代，以电代煤、以电代油、以电代气、电从远方来，来的是清洁发电，根本解决对化石能源的依赖以及碳排放等世界难题。
- 一个回归**
  - 化石能源回归其基本属性，主要作为工业原材料使用，为经济社会发展创造更大价值。
- 一个提高**
  - 提高电气化水平，增大电能在能源消费中的比重，在保障用能需求的前提下降低能源消费量。

全球能源互联网是以特高压电网为骨干网架、全球互联的坚强智能电网，是清洁能源在全球范围大规模开发、输送、使用的基础平台，实质就是“智能电网+特高压电网+清洁能源”。智能电网是基础，特高压电网是关键，清洁能源是根本。

三（特）网融合就是以世界能源转型和信息技术革命为契机，以全球基础设施互联互通为保障，发挥网络经济和规模经济优势，加快形成全球能源、信息、交通即“瓦特（Watts）、比特（Bits）、米特（Meters）”融合发展的新格局，推动实现高度电气化、高度智能化、高度全球化、高度人本化的发展目标。

## 发展思路

在共商、共建、共享、共赢的原则基础上，以战略规划为引领，以组织建设为保障，加强国际合作，联合各方力量，研究重大问题，攻克关键技术，完善合作机制，实施重点项目，共同推动全球能源互联网发展。

## 发展路线图

构建全球能源互联网总体可分为国内互联、洲内互联和洲际互联三个阶段。在清洁能源资源富集、电网基础条件较好的地区，可率先实现清洁能源大规模开发和跨国跨洲联网。到21世纪中叶，基本建成全球能源互联网。



### 第一阶段 国内互联

- 推动形成共识，开展技术和标准研究
- 加强各国国内电网互联和智能电网建设
- 开发各国清洁能源

### 第二阶段 洲内互联

- 推动洲内跨国电网互联
- 开发洲内清洁能源基地

### 第三阶段 洲际互联

- 推动跨洲特高压骨干网架建设
- 开发“一极一道”<sup>❶</sup>清洁能源基地
- 基本建成全球能源互联网

### 近期目标

现在~2020年

- 重点开发一批距离负荷地区较近的优质清洁能源基地；
- 加强各国内外电网互联和智能电网建设，大幅提高各国电网的资源配置能力、智能化水平和清洁能源比重；
- 规划建设一批重点电网互联工程，形成典型示范；
- 清洁能源发电、跨海输电、大规模储能等一批关键技术和装备实现突破；
- 启动“一极一道”清洁能源基地开发的前期研究。

### 中期目标

2020~2030年

- 大规模开发各洲清洁能源资源，全球清洁能源占一次能源比重超过1/3；
- 清洁能源发电量占总发电量比重达到50%左右，电能占终端能源消费比重达到25%左右；
- 研究推动亚欧非、南北美等重点跨洲输电通道建设；
- 启动“一极一道”清洁能源基地开发。

### 远期目标

2050年

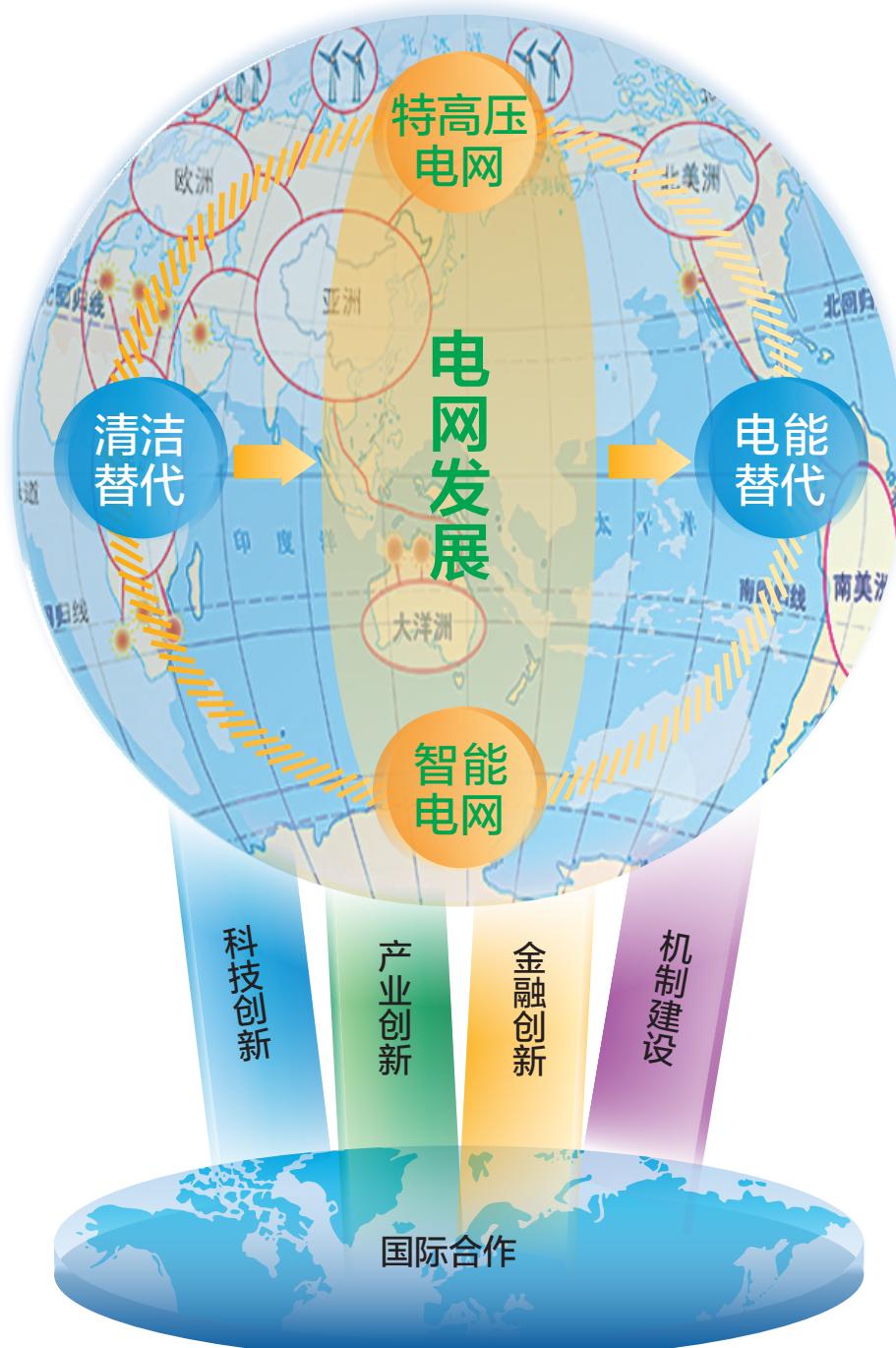
- 全球清洁能源占一次能源比重达到80%以上，实现清洁、可持续发展目标；
- 清洁能源发电量占总发电量比重达到90%左右，电能占终端能源消费比重达到50%左右；
- 各国各洲电网实现互联互通，清洁能源实现全球配置和高效利用，基本建成全球能源互联网。

<sup>❶</sup> “一极”指北极圈及其周边地区，“一道”指赤道及其附近地区。



## 战略实施

以电网发展为平台，以“三创一建”（科技创新、产业创新、金融创新、机制建设）为支撑，以国际合作为基础，加快构建全球能源互联网，实施“两个替代、一个回归、一个提高”，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。



## 前景展望

构建全球能源互联网具有显著的能源、经济、社会、环境等综合效益，发展前景广阔。

### 实现人人享有可持续能源

到2050年，全球清洁能源占一次能源比重将达到80%以上，世界能源供应充足，根本解决亚洲、非洲、拉美有关国家和地区能源贫困问题。

### 有效控制全球温升

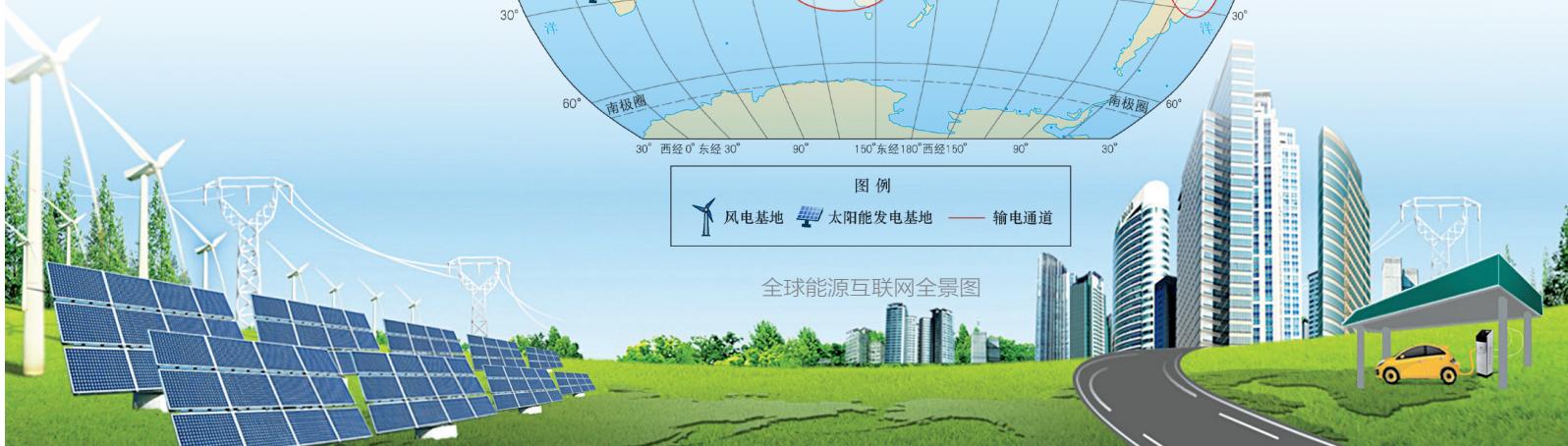
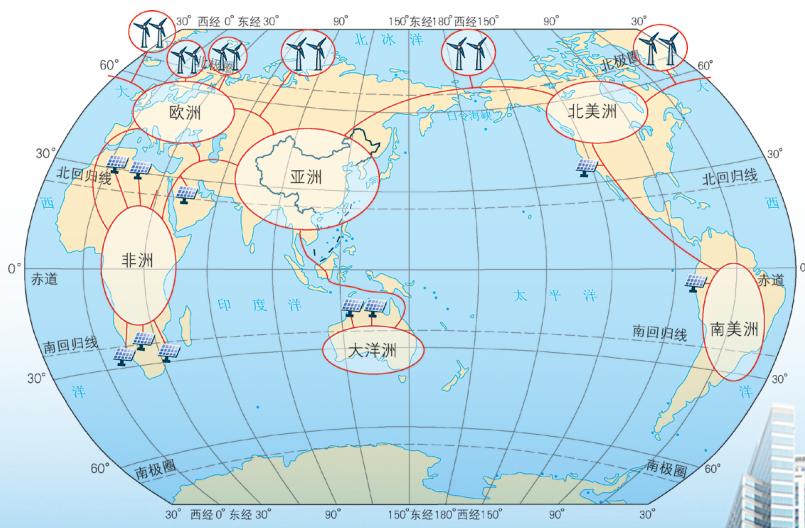
全球能源二氧化碳排放量可控制在115亿吨左右，仅为1990年的一半，能够实现全球温升控制在2℃以内甚至1.5℃以内的目标。

### 拉动世界经济增长

构建全球能源互联网投资规模超过50万亿美元，将有力带动高端装备制造、新能源、新材料、电动汽车等新兴产业的发展，同时获得巨大的时区差、季节差、电价差效益。今后，随着全球能源互联网发展，电力贸易将快速增长，对拉动经济增长发挥重要作用。

### 促进世界和平发展

增进南南合作、南北合作，将非洲、拉美等地区的清洁能源资源优势转化为经济优势，解决缺电、消除贫困，缩小地区差异，减少国际争端，让世界成为一个能源充足、天蓝地绿、亮堂堂、和平和谐的“地球村”。







战略  
重点

3



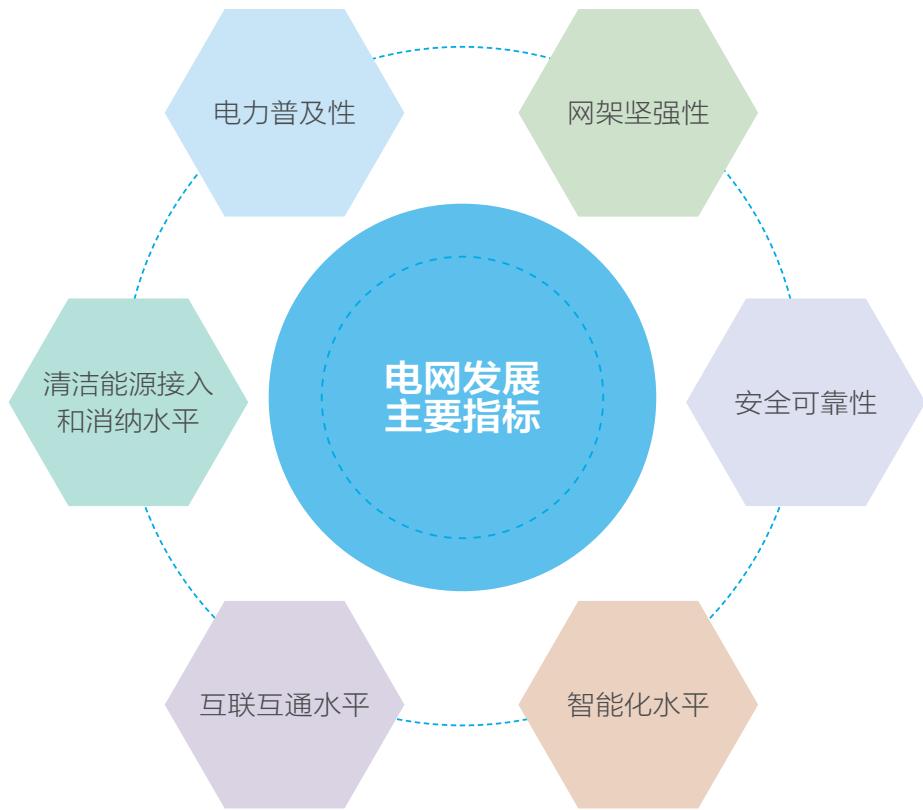
## 电网发展

电网是构建全球能源互联网的基础平台。关键是扩大电网覆盖范围，提高互联互通水平，保障安全可靠运行，适应各类集中式和分布式电源接入和消纳，实现能源资源大范围优化配置，满足智能用电需求。



开展各级电网规划

建设各国坚强网架

**03**

推动电网技术与信息通信技术、智能控制技术、互联网技术深度融合，全方位提升发电、输电、变电、配电、用电、调度各环节智能化水平，实现电网监测、控制、运行管理和决策支持智能化升级，打造开放的综合能源利用平台，提升电网安全性、经济性、适应性和互动性。

**04**

推动各洲清洁能源大规模开发、配置和使用，将跨国输电纳入各国能源电力发展战略，按照先易后难的原则，加快推进跨国电网互联，在电网基础较好、联网条件具备、需求较为迫切的区域，优先开展跨国联网工程规划、设计和建设。

**05**

主要采用特高压交流和直流、特高压柔性直流输电技术，建设跨洲清洁能源外送通道和重点跨洲联网工程，实现清洁电力跨洲流动和互补互济，获得时区差、季节差、电价差等联网效益。

电网智能化升级

跨国电网互联

跨洲电网互联



## 各大洲电网互联展望

### 电网格局

**非洲互联电网：**建设非洲北部、南部互联电网，满足洲内清洁能源开发和经济社会发展需要；加强与周边联网，建设北送欧洲、东接西亚的联网通道，形成非洲—欧洲—西亚电网互联格局。

### 联网工程

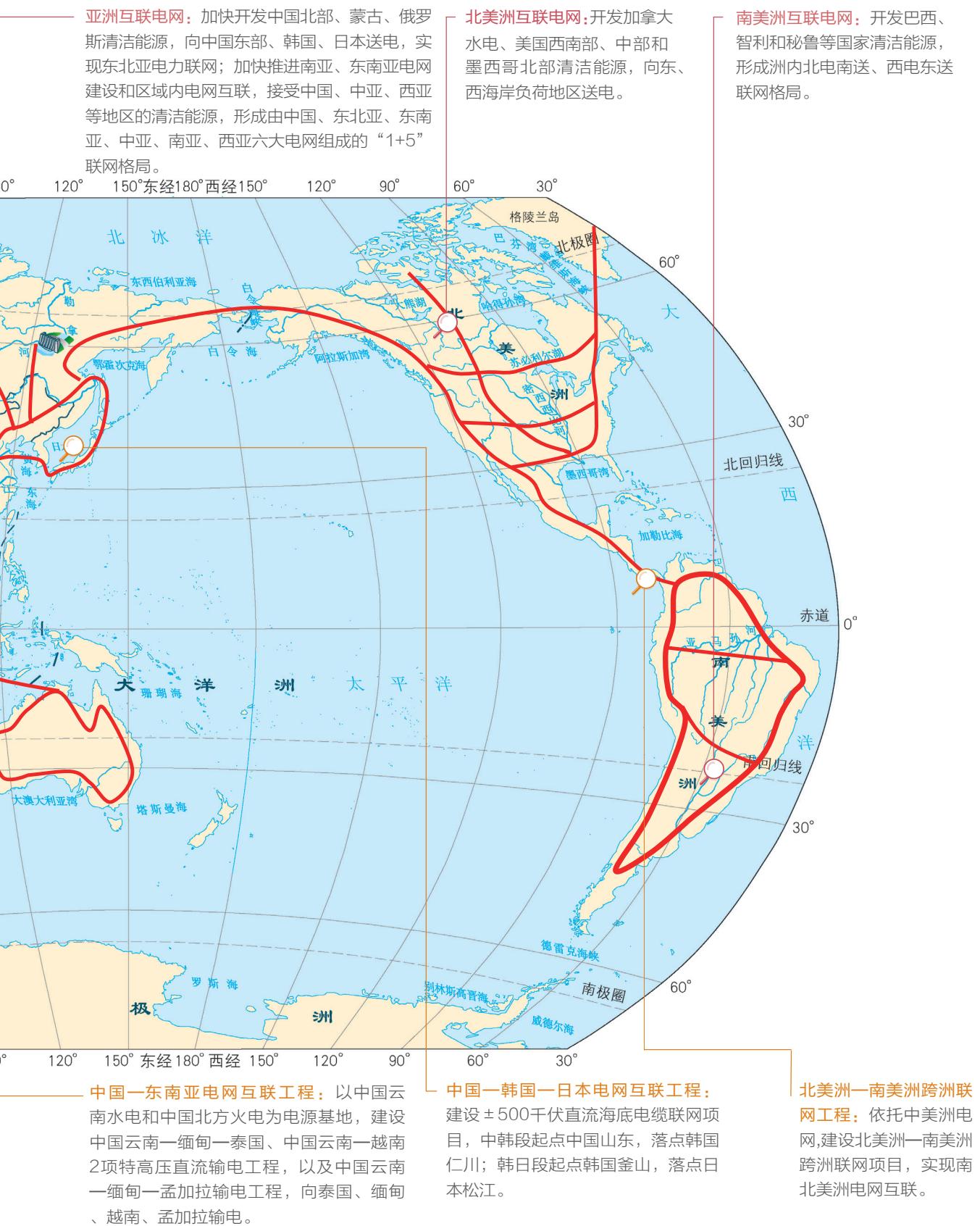
**地中海联网工程：**建设地中海电力环网和跨地中海的东、中、西三个输电通道。

**大英加水电开发及外送工程：**可装机容量3900万千瓦，以特高压直流输送至北非，与北非太阳能发电和东非风电打捆，接力送至欧洲；或者通过特高压直流工程直接送电欧洲。

**欧洲互联电网：**加强欧洲电网骨干网架建设，支撑清洁能源大规模开发、并网和消纳；加快欧洲—非洲、欧洲—亚洲联网通道建设，引入非洲和亚洲清洁能源。



**中国—南亚电网互联工程：**以中国新疆和哈萨克斯坦为电源基地，建设中国新疆—巴基斯坦和哈萨克斯坦—中国新疆—巴基斯坦2项特高压输电工程，解决巴基斯坦电力紧缺问题。以中国西藏水电为电源基地，建设中国藏东南—印度班加罗尔、中国藏东南—印度孟买2项特高压直流输电工程，以及中国藏东南—孟加拉输电工程，为印度、孟加拉提供清洁电能。





## 清洁替代

开发利用清洁能源是构建全球能源互联网的根本。实施清洁替代的关键是要解决清洁能源开发经济性、大范围配置和大规模消纳问题。有限且不可再生的化石能源主要作为工业原材料使用。



## 重点任务

### 01

整合国际机构和各国已有的资源调查成果，对全球清洁能源资源总量、分布、利用条件、开发现状和规划目标等进行全面、深入的调查评估，为统筹开发全球清洁能源资源提供支撑。

### 02

启动西亚和非洲太阳能发电、非洲东部和环北极地区风电、非洲和亚洲水电等大型清洁能源基地开发，发挥政府机构、科研咨询机构、国际组织和相关企业等各方优势，联合开展清洁能源基地研究、规划、投融资和项目建设。

开展资源调查评估

开发大型清洁能源基地



### 限制化石能源 消费增长

- **中国**: 制定国家煤炭消费总量中长期控制目标, 京津冀、长三角、珠三角等区域力争实现煤炭消费总量负增长, 通过逐步提高接受外输电比例等措施替代燃煤。
- **英国**: 已经关闭国内所有深层煤矿, 并计划到2025年关停所有燃煤电厂。
- **德国**: 在2021年之前淘汰所有使用褐煤的发电厂。
- **七国集团**: 提出全球应于21世纪末结束使用化石能源, 实现全球经济脱碳。

**03**

因地制宜开发利用小水电、太阳能发电和风电等分布式能源, 为大电网供电提供有益补充。

**04**

各国积极采取措施, 限制煤电产业增长, 减少或取消化石能源补贴, 鼓励清洁能源替代化石能源。加快提高化石能源作为原料使用的比重。

**05**

鼓励清洁能源发电技术创新和应用, 扩大清洁能源发电规模, 降低清洁能源开发成本。未来5~10年, 推动风电和太阳能发电成本低于传统化石能源发电成本。

统筹开发分布式清洁能源

限制化石能源消费增长

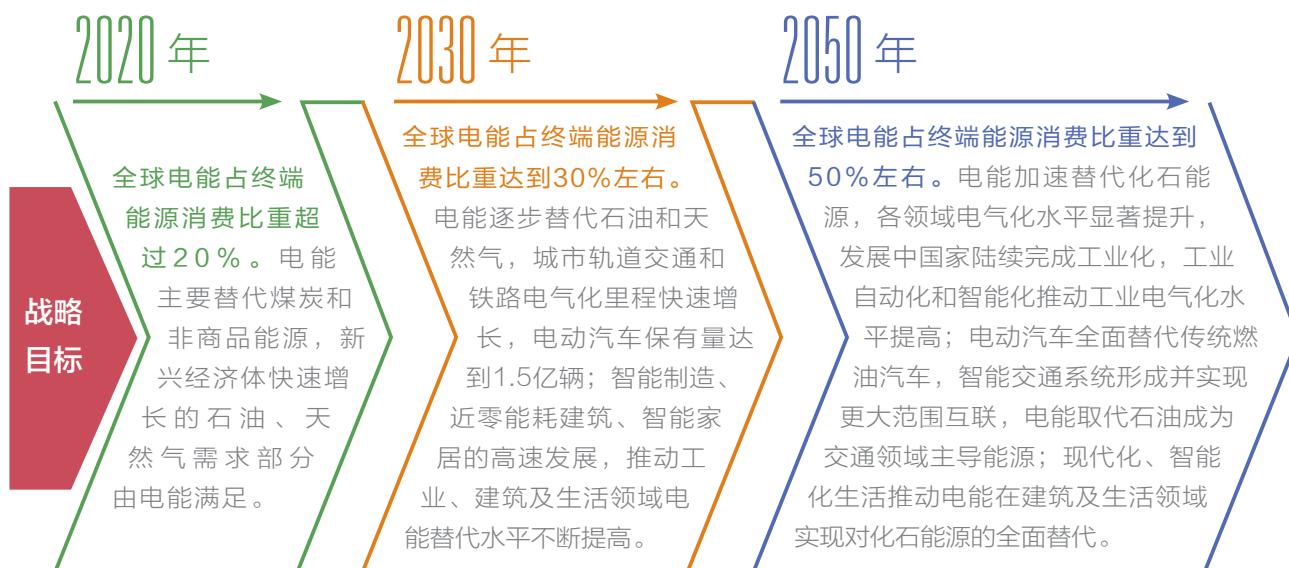
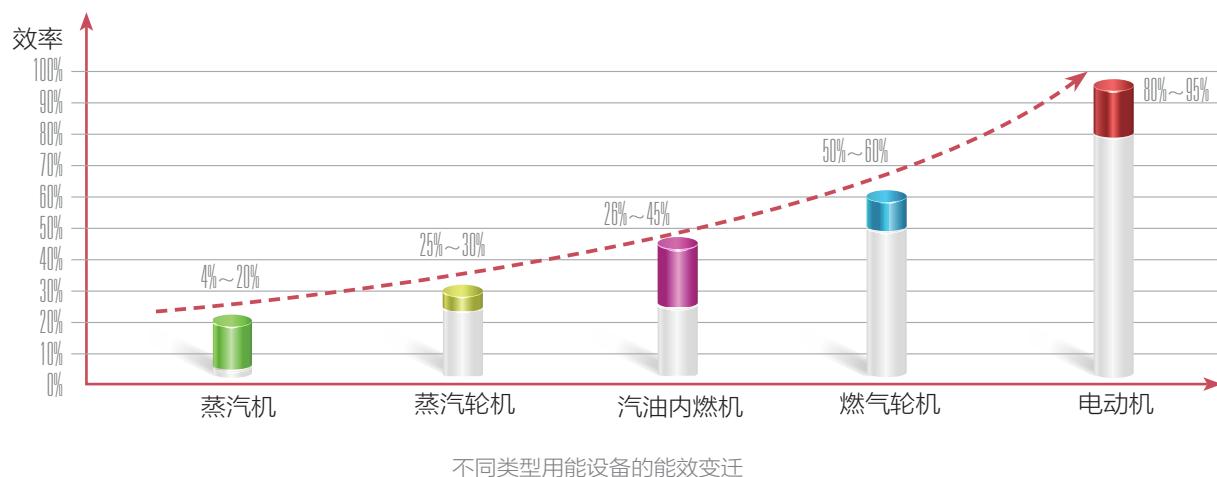
降低清洁能源开发成本



## 电能替代

电能替代的核心是提高电气化水平，增大电能在终端能源消费中的比重，这是提高能源利用效率，促进节能减排的必然要求。

- 电能是清洁、高效、便捷的能源，可以方便地转化为其他形式能源，能够灵活满足各种条件下的用能需求，在使用环节不会对环境造成污染。
- 直燃煤的二氧化硫、烟尘排放量是同等质量电煤排放量的3倍、9倍。
- 港口岸电能够有效减少船舶靠港期间污染物排放和噪声污染，改善港口环境。



交通领域  
电能替代

近期，加快推动电动汽车商业化应用，加速替代传统燃油汽车，城市轨道交通和铁路电气化里程快速增长，港口岸电、机场作业车辆油改电等全面推广。远期，随着储能技术进步和经济性提升，电能逐步成为交通领域主导能源，石油逐步回归其基本属性，主要作为工业原材料使用。

工业领域  
电能替代

近期，重点推广应用电炉、电加热干燥、热泵、电窑炉等技术，推动电能替代煤炭、石油直接消费；中远期，加快发展智能制造和自动化生产，广泛使用清洁能源提供的电力及其产生的热力，加快提高电能在工业用能中的比重。

建筑及生活  
领域电能替代

近期，重点推动近零能耗建筑、智能家居、智慧城市的实践和发展，通过电能替代实现全球2%~3%的年均用电增长；大力提高缺电地区的电力供应能力和电力服务水平，大幅改善生活用电质量。远期，全面推广应用建筑及生活领域电能替代技术，实现电能对化石能源的全面替代，世界各地均能享受电气化、智能化的现代生活。

**重点任务**

**01**

大力推动交通电气化，电动汽车逐步替代化石燃料汽车。加快推进智能交通系统建设，全面实现“以电代油”。

**02**

各国根据工业发展所处阶段，以及工业用能特点，选择与本国工业化、自动化、智能化发展相适应的电能替代路径。

**03**

提高电力供应能力，发展近零能耗建筑、智能家居、智慧城市，提升生活电气化水平。

交通领域电能替代

工业领域电能替代

建筑及生活领域电能替代



## 科技创新

科技创新是全球能源互联网发展的核心驱动力，关键是要突破大容量低成本储能、特高压海底电缆和柔性直流输电、虚拟同步机等技术和设备，实现清洁能源灵活接入、大范围配置和高效利用，保障互联大电网安全经济运行。



### 01

主要攻克 $\pm 1100$ 千伏以上特高压直流输变电技术，加快设备研制和工程应用，适应大型清洁能源基地开发及电力外送需要；突破特高压直流海底电缆技术，解决跨海输电问题；加快开发极冷、极热等特殊环境下特高压核心装备制造及应用技术；突破 $\pm 800$ 千伏特高压多端柔性直流、超高压/特高压柔性直流、高压直流断路器等技术，以及可控串补、可控并联电抗器等特高压灵活交流输电技术。

特高压领域技术创新

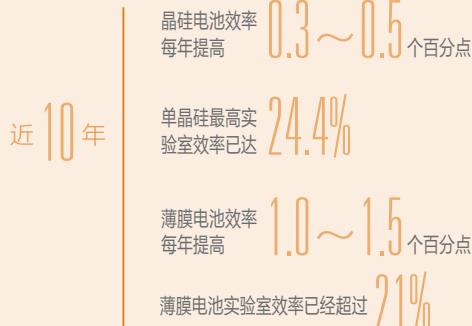
### 02

主要攻克涵盖发电、输电、变电、配电、用电、调度各环节的智能技术，保障电网安全可靠、经济高效运行，适应各类清洁能源灵活接入；研发电网技术与云计算、大数据、物联网、移动互联技术深度融合的新技术、新设备，为建设智慧家庭、智慧社区、智慧城市、智慧国家、智慧地球提供基础平台和服务。

智能电网领域技术创新

风电机组将朝着高可靠、大容量和模块化方向发展，单机容量将达到20兆瓦以上。海上风电成为未来重要发展方向，预计2030年离岸20千米及以上风电场将实现规模化发展。

**光伏发电**效率将进一步提升。



锂离子电池是有望率先实现大规模应用的电池储能技术。



**压缩空气储能**通过模块集成，可实现大规模应用，目前处于兆瓦级试验示范应用阶段。



### 03

主要攻克大容量高参数风机、高效率低成本光电转换、大规模海洋能发电等清洁能源技术，突破风电、光伏等清洁能源发电虚拟同步技术，全面提高清洁能源发电的经济性、稳定性和安全性。

### 04

提高储能装置能量密度，研发大容量、长寿命、低成本、高安全性的新型储能技术，满足电力系统的大规模储能需求。

### 05

主要攻克特大型交直流混合电网安全稳定运行机理和特性分析技术，建设新一代电网仿真平台，提高计算效率和计算精度；突破电网故障诊断、恢复及自动重构等技术，全面提升连锁故障、极端灾害天气或外力破坏条件下的大电网防御能力。

清洁能源领域技术创新

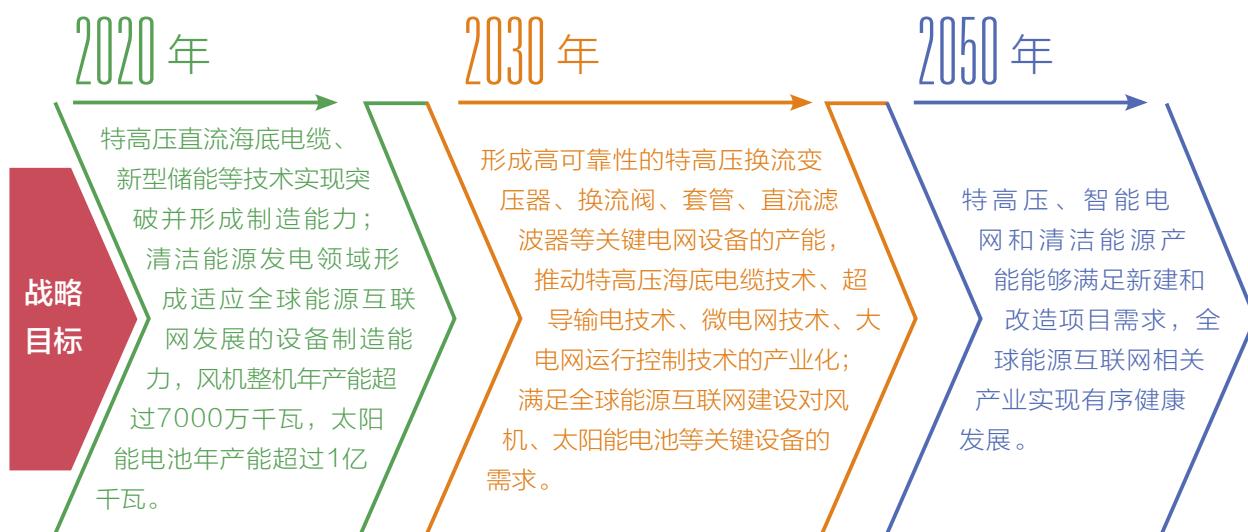
储能领域技术创新

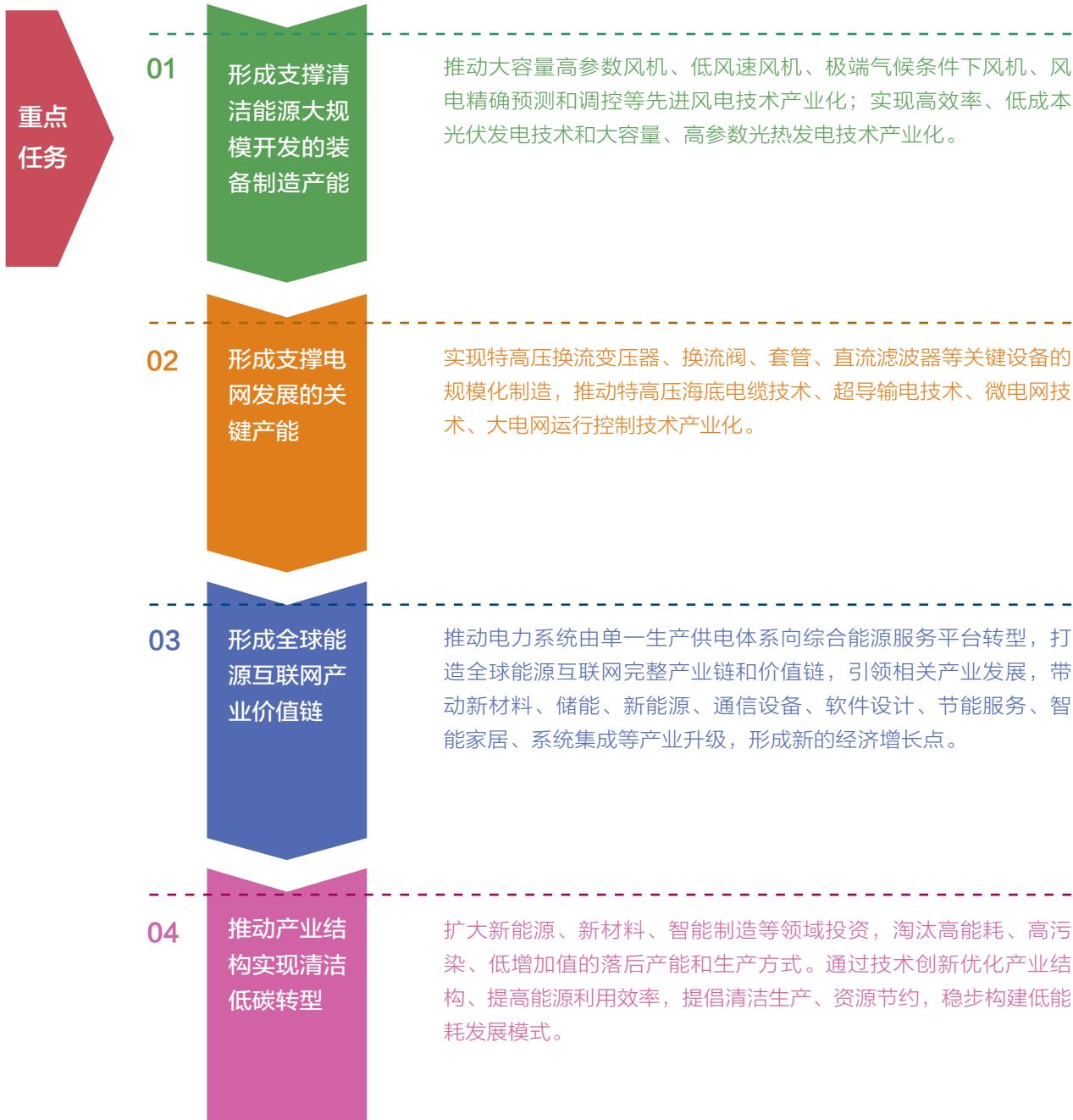
电网运行控制领域技术创新



## 产业创新

全球能源互联网发展涉及多个产业，关键是要通过产业发展将科技创新成果转化为生产力，形成涵盖电源、电网、运行控制等各领域的产业体系和适应全球能源互联网发展的产能规模。

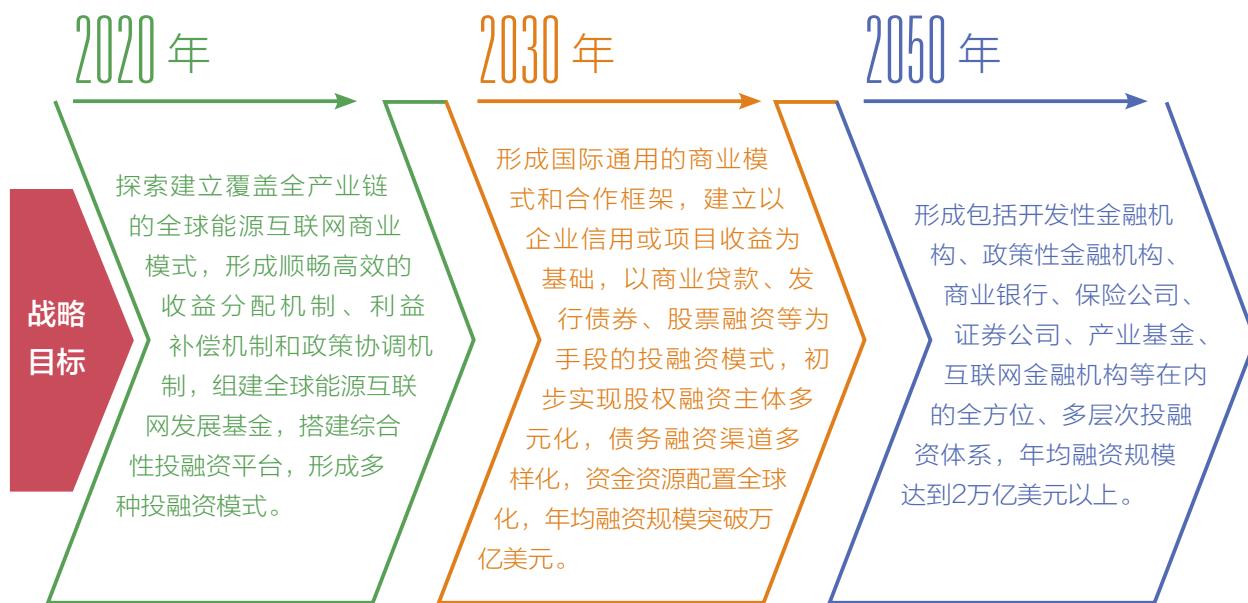






## 金融创新

全球能源互联网具有资金密集型特征，需要发挥国际金融的支撑服务作用。重点研究建立覆盖能源生产、传输、消费全环节的新型商业模式，构建新型投融资平台，调动全球资本市场，形成具有竞争力的金融解决方案。



### 01

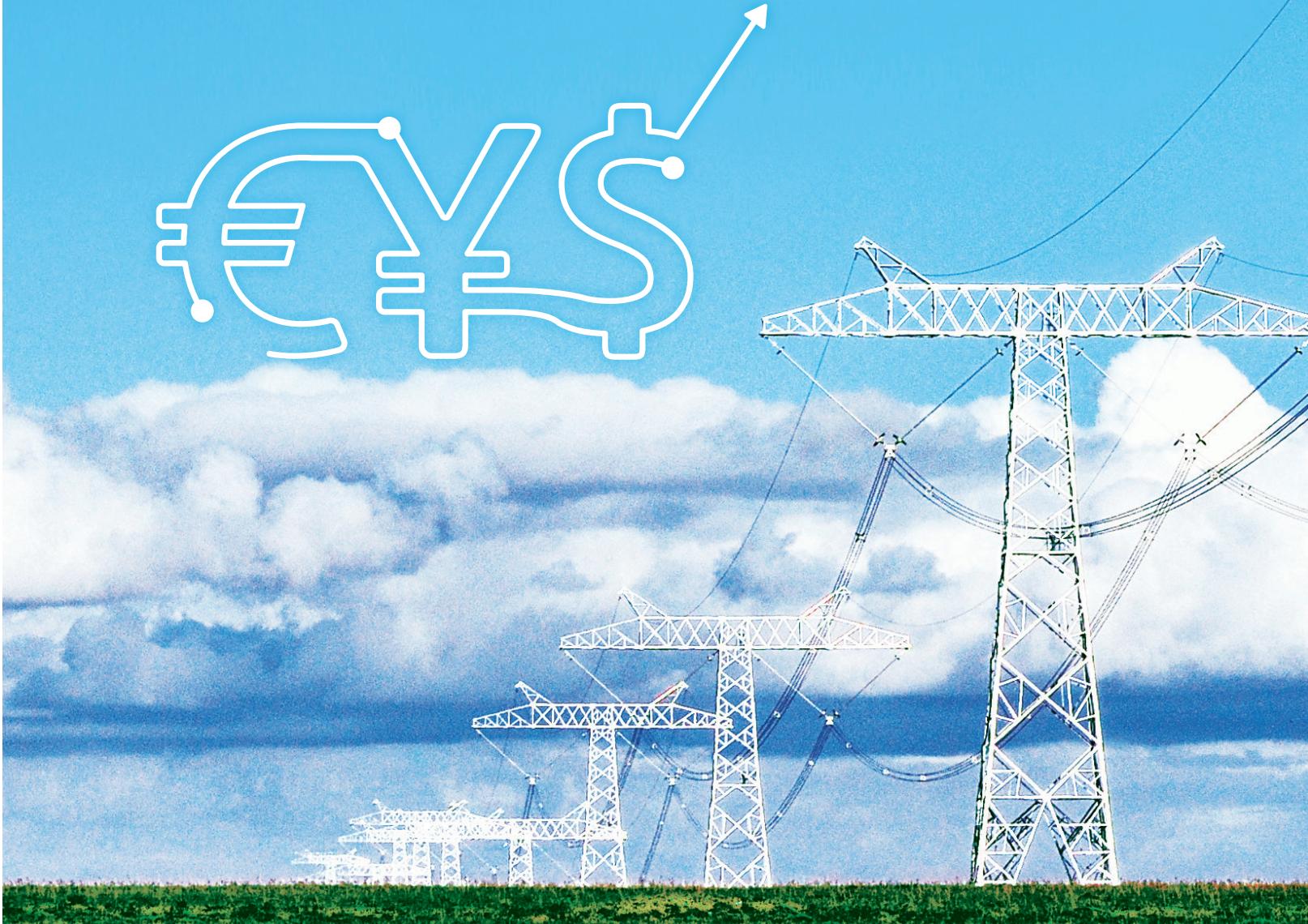
充分发挥亚洲基础设施投资银行等国际金融机构作用。推动各国政府或政策性银行通过财政贴息、直接贷款等方式给予政策性融资支持。加强与国际商业银行合作，为全球能源互联网建设提供多样化的融资服务。探索建立全球能源互联网发展基金，发行适合项目特点及资金需求的各类债券，开展多种形式融资租赁。

### 02

各国政府、能源企业、投融资机构及其他参与主体，按照市场规则，通过不同形式参与全球能源互联网建设，共享收益、共担风险。专业分包公司按照商业契约，负责全球能源互联网项目建设、运行和维护。发电商或用户根据连接点位置和电压等级，支付网络接入费，参与电力市场交易，按照监管规则完成结算和收益分享。

构建多层次的投融资体系

构建互利共赢的商业模式



### 03

合理设置各利益相关方的收益获得方式，建立利益补偿机制，保障联网途经国家和地区能够获得相应输电效益、联网效益、环境效益等。加强与各国政府投融资政策对接，优化商业、法律、监管、税收等投资环境，加强投资者保护，消除跨国投融资壁垒。

### 04

通过金融创新推动示范项目建设，以示范项目建设带动金融创新，探索形成可借鉴、可复制、可推广的典型投融资模式。

构建高效顺畅的投融资保障机制

发挥重大示范项目的带动效益



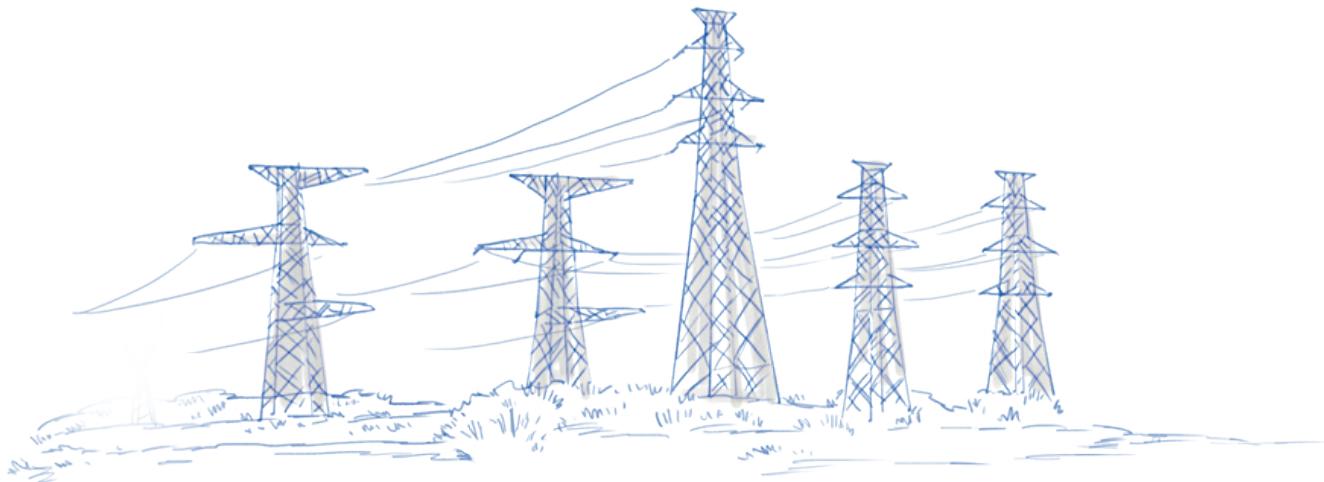
## 机制建设

机制建设是实现全球能源互联网安全经济运行、引导各方积极参与全球能源互联网发展、全面提升各国电网发展能力的重要保障。要研究适应全球能源互联网发展的电力调度、电力交易、教育培训和智库建设等机制。



研究建立跨国跨洲电力调度机制

统筹协调各国电价与税收机制



### 03

建立促进跨国跨洲输电的中长期交易机制，形成稳定的电量和收益预期。建立灵活的短期交易机制，适应清洁能源波动和需求变化带来的资源配置需求。

### 04

制定适应全球能源互联网发展的学科建设和人才培养规划。依托重大项目实施，在全球范围培育一批高层次的国际、政治、经济、技术、管理和金融等领域的综合性人才。组织开展专项教育培训。

### 05

设立全球能源互联网战略研究基金，引导国际组织、各国智库、咨询机构等开展重大问题研究，培育一批高端智库。针对关键问题和热点问题定期发布研究报告，全面提升全球能源互联网发展的研究支撑能力。

推动建立跨国跨洲电力交易机制

建立教育培训机制

培育国际高端智库

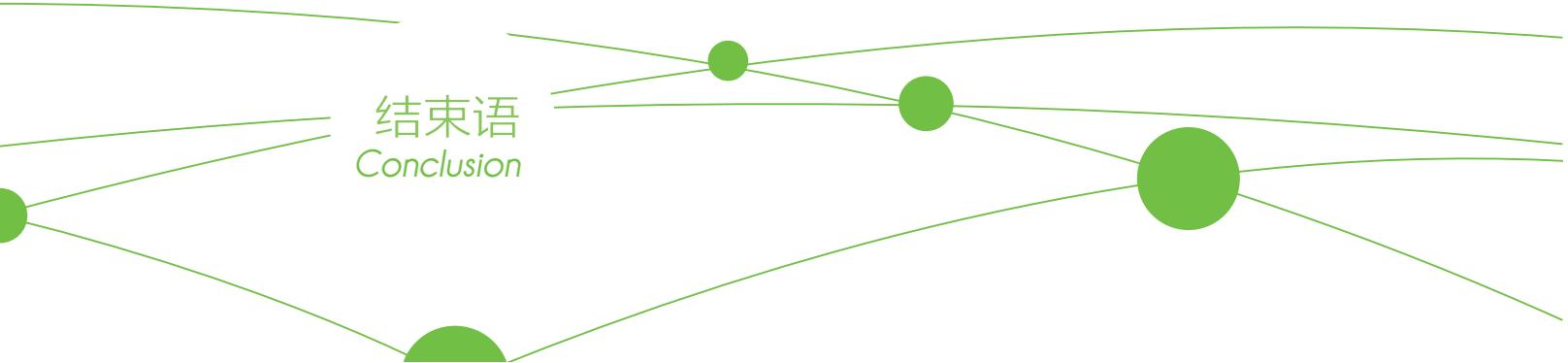


## 国际合作

国际合作是构建全球能源互联网的重要基础和前提，需要凝聚各方力量，达成广泛共识，建立互信互利的国际合作机制和统筹协调的政策体系，共同推进全球能源互联网建设。

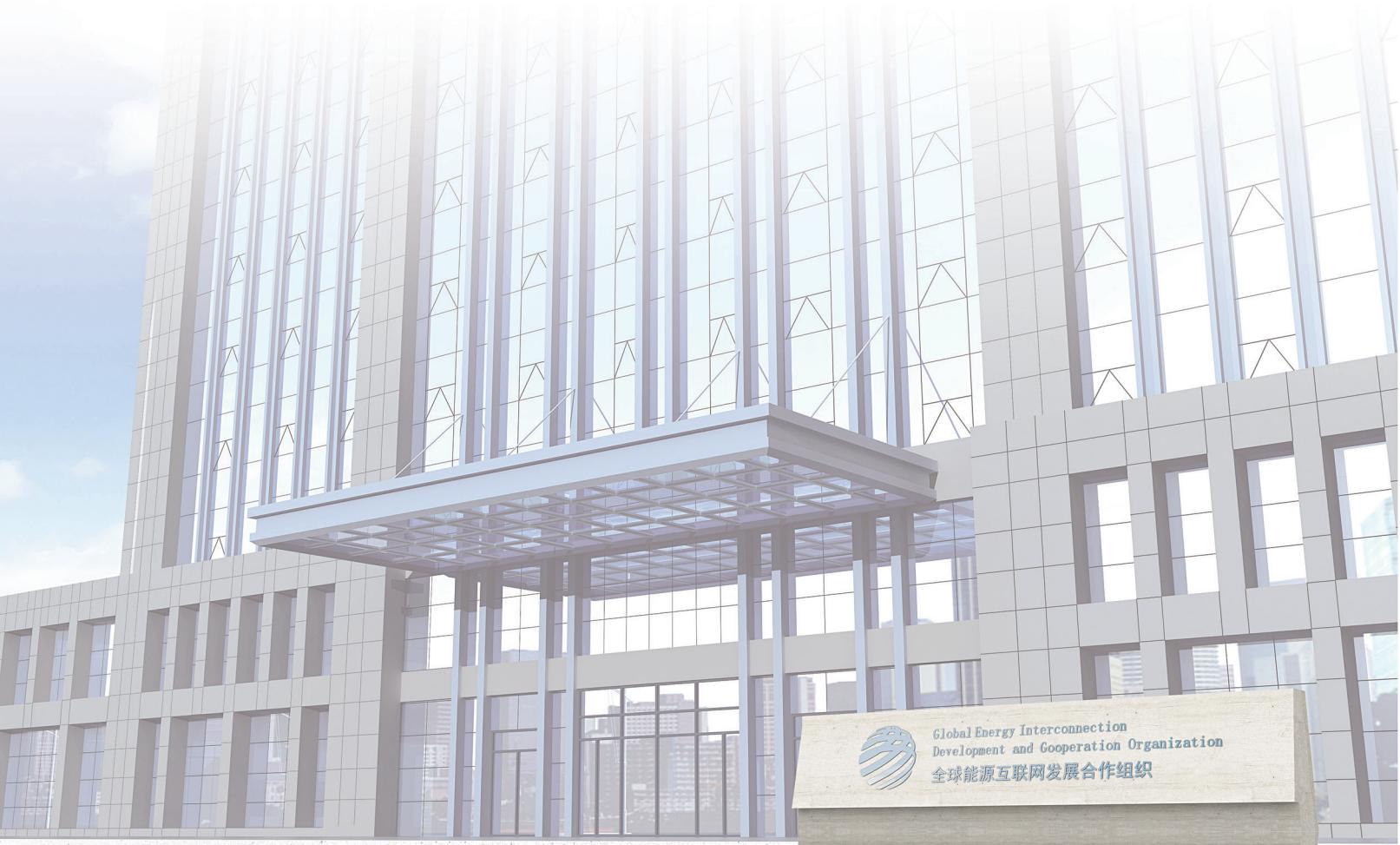






## 结束语 *Conclusion*

展望未来，构建全球能源互联网，推动世界能源转型，促进全球经济发展，符合全人类的共同利益，意义重大、影响深远、前景广阔。全球能源互联网发展合作组织愿与世界各国和有关方面一道，凝聚广泛共识、深化务实合作，共同推动全球能源互联网建设，促进世界能源和经济转型，实现清洁、低碳、可持续发展，为全人类创造巨大福祉，走向更加美好的明天！





[www.geidco.org](http://www.geidco.org)



微博二维码 微信二维码