

第四届控制科学与工程前沿论坛



国家电网  
STATE GRID

# 智能电网的建设与发展

-  **一、什么是智能电网**
- 二、智能电网的建设成就
- 三、国家电网的未来形态和挑战
- 四、智能电网互动运行控制

# 智能电网的本质动因—原动力



国家电网  
STATE GRID

接纳可再生能源  
提高供电可靠性  
提高设备利用率  
用户更多用电选择

坚强智能电网可概括为：

坚强电网，绿色电网  
创新型电网，智能化系统

# 智能电网的本质动因——建设重点



国家电网  
STATE GRID

坚强网架=电力高速公路

“三华”大电网=平抑可再生能源间歇性和波动性的蓄水池

智能配电网=分布式可再生能源消纳的保证

智能用电=提高能源的利用效率、使用清洁能源



在更大范围内实现能源资源的优化配置，需要加快建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网，才能够有效解决能源资源的大规模、远距离、低损耗传输问题，缓解煤电油运压力，最大限度发挥电网优化配置资源作用。

# 什么是智能电网？——有关的定义



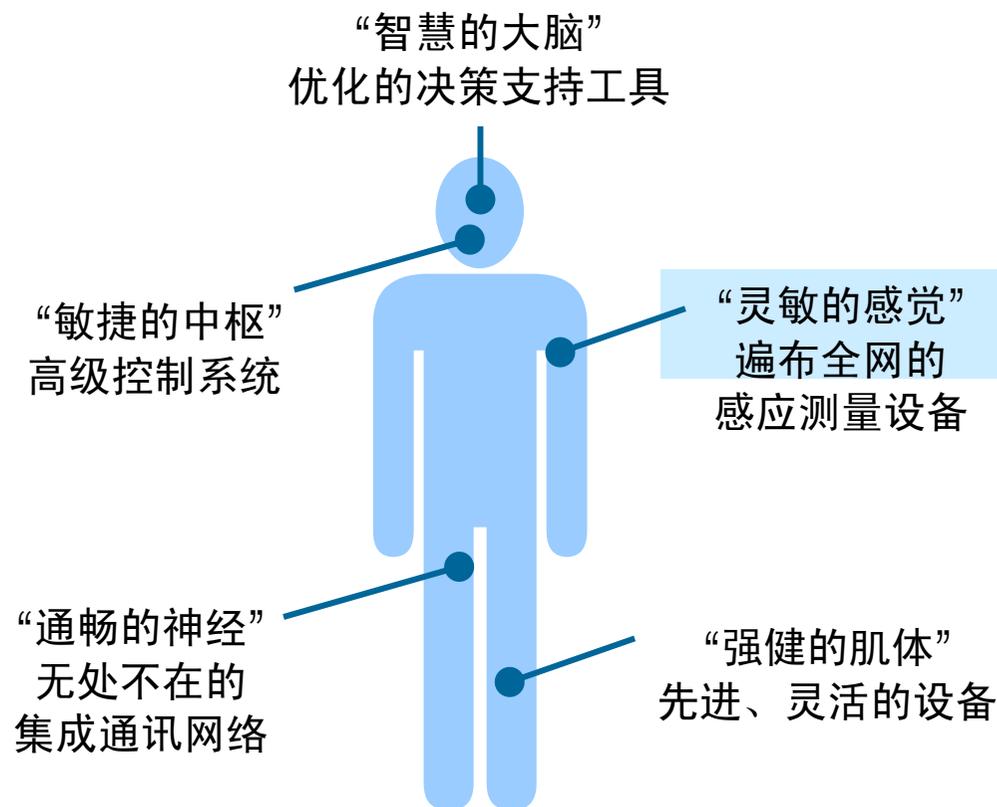
国家电网  
STATE GRID

智能电网利用传感、嵌入式处理、数字化通信和IT技术，将电网信息集成到电力企业的流程和系统中，使电网**可观测**，**可控制**和**自动化**，从而打造更加**清洁、高效、安全、可靠**的电力系统。

**可观测：**能够监测电网所有元件的状态

**可控制：**能够控制电网所有元件的状态

**自动化：**可自适应并实现自愈



智能电网的实现需要融合先进的设备、采集、通信、决策和控制技术

中国电力科学研究院  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

# 什么是智能电网？——概念归纳及全景图

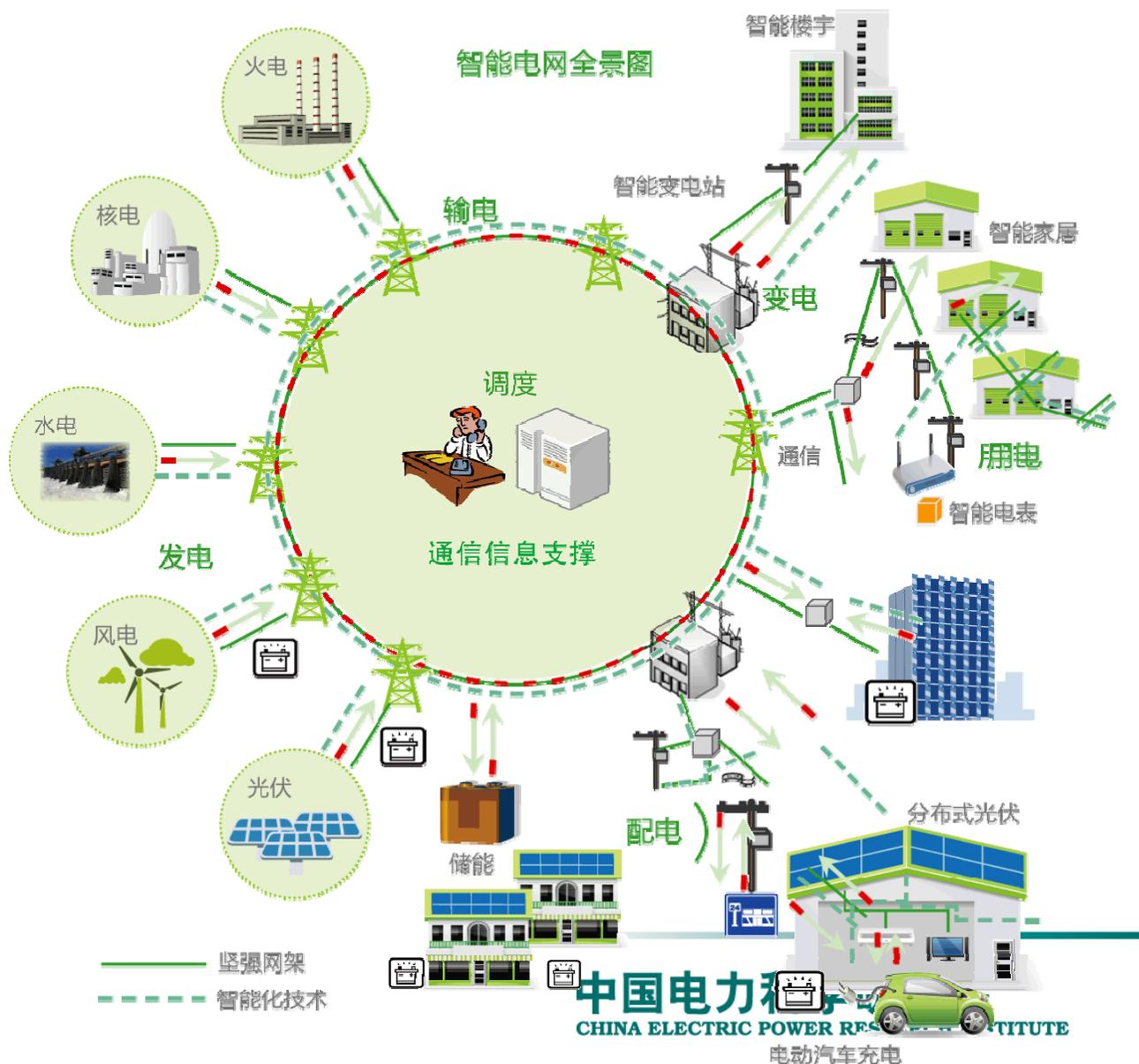


国家电网  
STATE GRID

智能电网是坚强网架与智能化技术的高度集成。能够：

1. 大量接入风电、太阳能等清洁能源。
2. 与用户双向互动，实现智能生活。
3. 提高电网的灵活性和安全性。

是新型现代化电网。



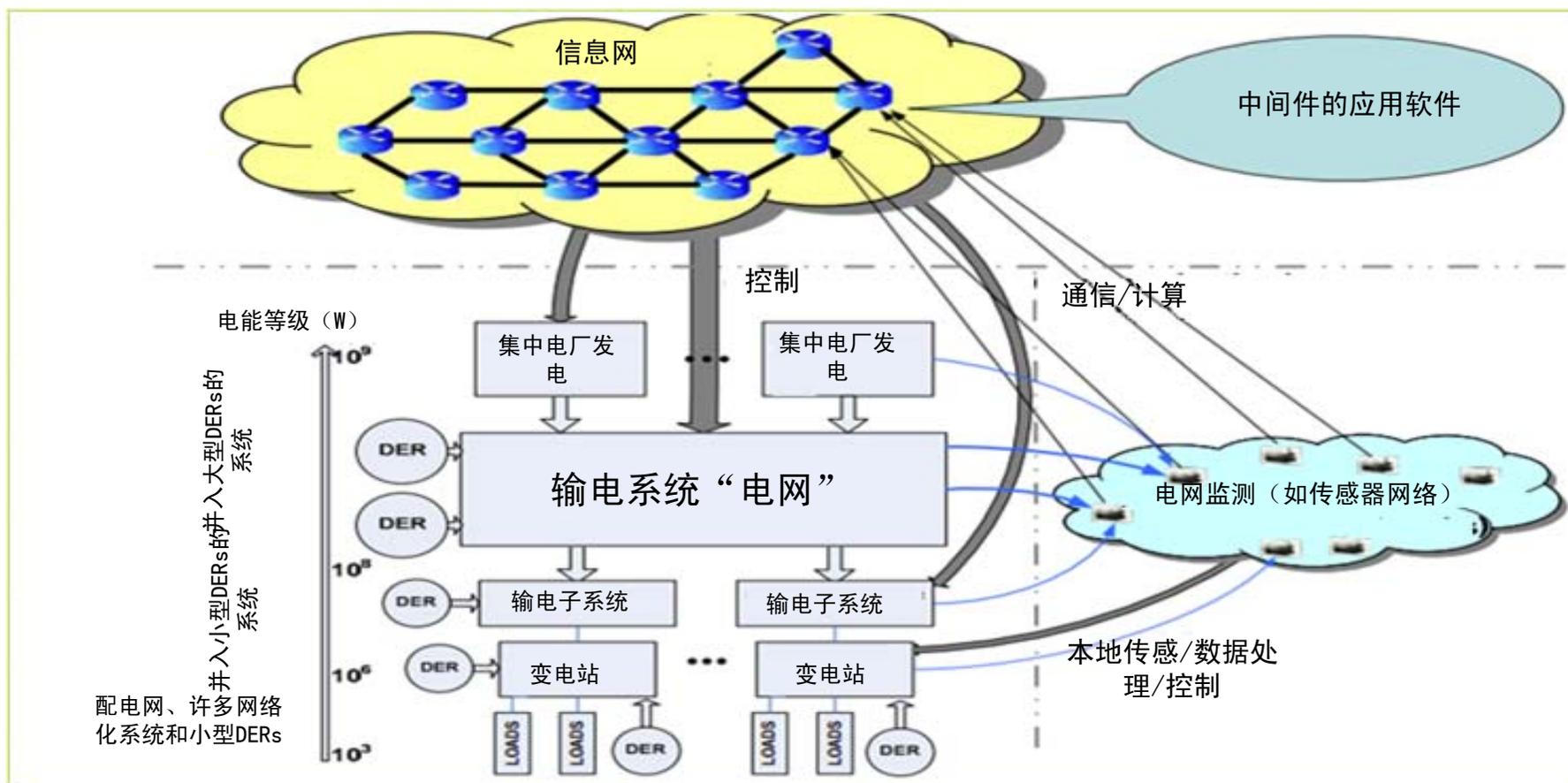
# 什么是智能电网？——发展目标



国家电网  
STATE GRID

一层：发输配用：智能元件，智能电器 二层：传感量测保护控制：智能控制

三层：信息通讯网络：智能网络 四层：高级调度中心：智能运行



# 什么是智能电网？——智能电网的“智能”



国家电网  
STATE GRID

智能电网的“智能”，应主要体现在四个方面：

(1) **一次设备（包括输电线路）的智能**，它能主动“告诉”人它的运行状况，包括可能受到的侵袭，以大大减少设备维护的工作并提前告诉电网可能遇到的危险；

(2) **电表的智能**，它能感知频率和电价的变化，适时启动或调整电器设备的运行，以保证可再生能源的消纳和电网的安全运行。也就是说通过负荷自动的调节，来调整电网的运行；

(3) **调度的智能**，是智能电网“智能”的集中体现。电网调度的智能化如何体现呢？清洁高效的调度计划、灵活可变的运行方式、全面主动的安全防御、可视自动的操作模式，当然还包括可视化；

(4) **微电网的智能**，由分布式可再生能源和储能作为电源构成的微电网，可以保证重要负荷的连续供电，体现供电的智能。

# 目录



国家电网  
STATE GRID

一、什么是智能电网



二、智能电网的建设成就

三、国家电网的未来形态和挑战

四、智能电网互动运行控制

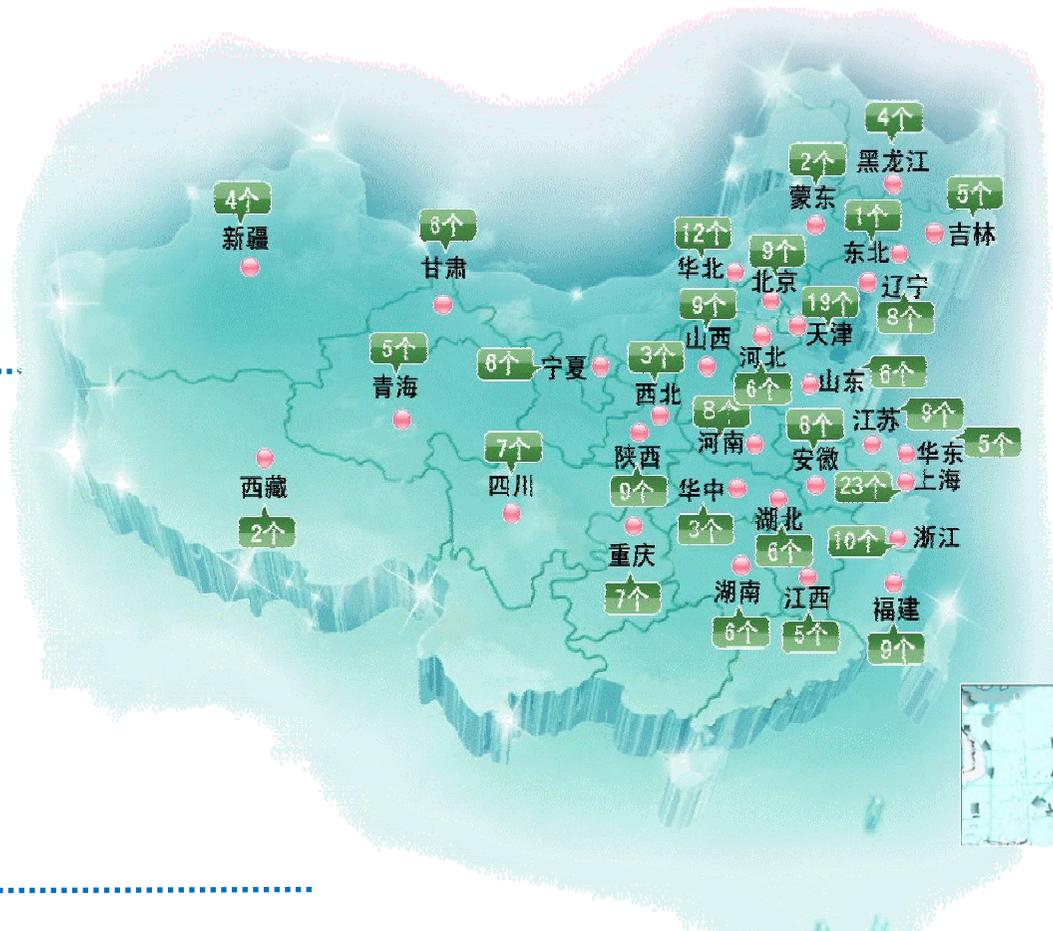
# 开展了全面的智能电网建设实践



国家电网  
STATE GRID

- 累计安排了**287**项试点项目
- 已建成投产的项目达到**238**项

- ✓ 涵盖范围广
- ✓ 建设规模大
- ✓ 推进速度快
- ✓ 应用效果好



对已建成**11**类试点项目进行了技术经济评价



## 2.1 增强可再生能源并网能力



国家电网  
STATE GRID

- 攻克了大规模可再生能源发电并网技术
- 实现了分布式光伏发电接入

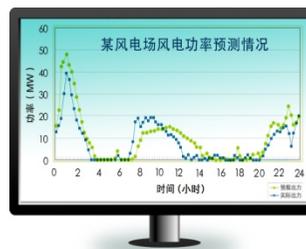
### 国家风光储输联合示范工程

- 一期建设风电10万千瓦，光伏发电4万千瓦，储能电池1.4万千瓦
- 规模最大、技术先进、运行灵活的清洁能源综合示范工程



### 大规模风功率预测及运行控制

- 华北、东北、西北、新疆、吉林、甘肃6个试点投运
- 风电并网容量全部纳入风电功率预测范围，预测精度达到85%以上



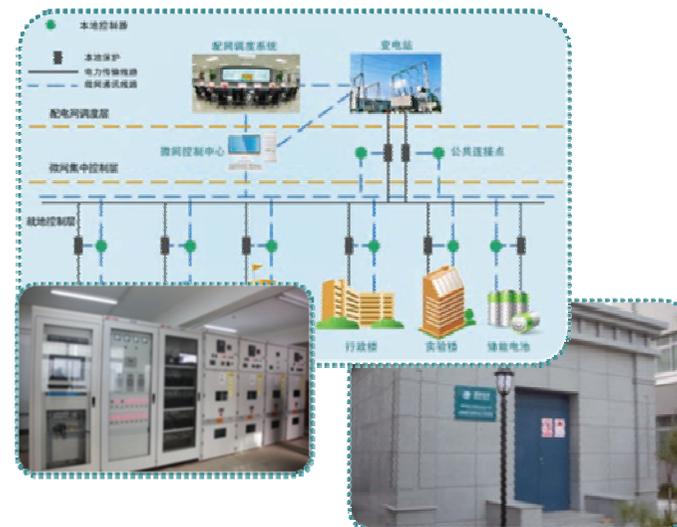
## 2.1 增强可再生能源并网能力



国家电网  
STATE GRID

### 微电网及分布式电源接入试点

- 河南财专分布式电源接入及微电网试点-已建成  
光伏 380kWp, 储能 2x100kW/100kWh
- 浙江省电力试验研究院微电网示范项目-已建成  
光伏 60kWp, 储能 100kW/100kWh
- 天津生态城分布式电源及微电网试点-已建成  
光伏 30kWp, 风电 6kW, 储能 15kWx4h
- 北京未来科技城分布式电源接入及微电网试点  
光伏 3200kWp, 储能 300kWx4h
- 江苏扬州开发区分布式电源接入及微电网试点  
光伏 1100kWp, 储能 125kW/x2h
- 江西共青城分布式电源接入及微电网试点  
光伏 1000kWp, 储能 500kW



- ✓ 提高城市供电的可靠性
- ✓ 增强电网整体抗灾能力
- ✓ 提升灾后应急供电能力

## 2.2 提升电网智能化水平



国家电网  
STATE GRID

### 智能变电站

建成110千伏至750千伏智能变电站65座

- 提出了智能变电站系列技术标准
- 研制了智能变压器、智能开关、电子式互感器、全数字化保护监控等设备
- 开发了一体化监控系统



500kV玉山智能变电站



750kV延安智能变电站

### 配电自动化

在23个城市核心区建设智能配电网

- 建立了配电自动化标准体系
- 研制了开放式配电自动化系统和智能配电终端
- 实现了信息共享与应用集成
- 在信息交互及分布式电源接入等方面取得创新性进展



青岛配电自动化管理系统



青岛配电调度大厅

## 2.2 提升电网智能化水平



国家电网  
STATE GRID

### 智能电网调度技术支持系统

#### 建成投运了11套智能电网调度技术支持系统

- 在一体化基础平台、大电网运行全景监视、新能源调控等方面实现突破，研制了世界先进的智能电网调度技术支持系统
- 形成了完整的智能电网调度技术支持系统标准体系
- 提升了驾驭大电网能力，为“三华”电网一体化运行和清洁能源并网提供了支撑



### 输变电设备状态监测系统

#### 在15个省完成输电设备状态监测系统主站部署

- 开发了输变电设备状态监测主站系统和终端设备
- 在设备的标准化、主站系统的集约化以及相关试验检测能力上取得了重要进展
- 在机器人、无人机智能巡检方面取得突破



## 2.3 丰富智能用电体验



国家电网  
STATE GRID

### 用电信息采集系统

超过6500万用户实现了用电信息自动采集

- 完成了全部省级公司采集系统主站和所有专变、公用配变采集终端建设
- 研发了用电信息密钥管理系统、多种类型采集终端及不同型式智能电能表等设备
- 建立了完备的信息安全防护体系

智能电能表



湖南用电信息采集系统监控中心



### 智能用电服务平台

在北京、上海等地建成28个智能小区，服务平台覆盖4万用户

- 研发智能用能服务系统、智能交互终端、光纤复合低压电缆等设备（系统）
- 提出电力光纤到户条件下的智能用电服务商业模式
- 构建智能用电服务平台



## 2.3 丰富智能用电体验



国家电网  
STATE GRID

### 电动汽车充换电服务网络

建成243座充换电站，13283个充电桩，覆盖26个省

- 开展了运营模式探索和实践
- 充换电服务网络运营管理系统标准化设计
- 研发了充电机、充电桩、电池更换装置
- 在青岛、杭州建成了电动汽车充换电服务网络



青岛薛家岛电动汽车换电站



杭州电动汽车换电站



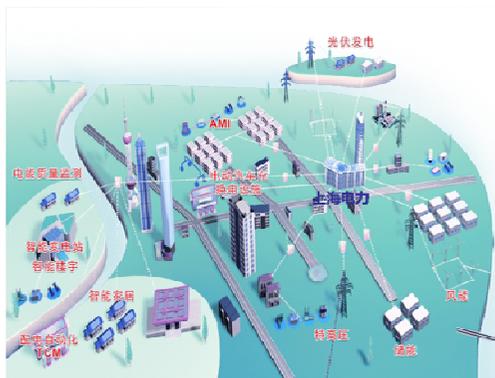
小区充电桩

## 2.4 推进智能电网综合项目建设



国家电网  
STATE GRID

- ◆ 上海世博园、中新天津生态城两个智能电网综合示范工程已建成投运。
- ◆ 北京未来科技城、江苏扬州开发区、江西共青城3项智能电网综合示范工程稳步推进。
- ◆ 2012年在唐山、重庆、郑州、大连等地启动17项智能电网综合建设工程。



上海世博园



中新生态城

### 2012年启动

序号	项目名称	承担单位
1	唐山曹妃甸生态城综合建设工程	冀北
2	保定中国电谷综合建设工程	河北
3	德州高铁新区综合建设工程	山东
4	虹桥商务区综合建设工程	上海
5	绍兴镜湖新区综合建设工程	浙江
6	合肥市滨湖新区综合建设工程	安徽
7	海西厦门岛综合建设工程	福建
8	武汉光谷科技城综合建设工程	湖北
9	长沙河西麓谷新区综合建设工程	湖南
10	郑州新区综合建设工程	河南
11	乐山综合建设工程	四川
12	两江新区综合建设工程	重庆
13	大连开发区综合建设工程	辽宁
14	农安新农村示范区综合建设工程	吉林
15	哈尔滨市群力新区综合建设工程	黑龙江
16	满洲里市综合建设工程	蒙东
17	银川高新开发区综合建设工程	宁夏

## 2.5 建成全面的试验检测能力



国家电网  
STATE GRID

综合试验检测能力达到国际先进水平



国家能源大型风电并网技术  
研发（实验）中心



国家能源太阳能发电技术  
研发（实验）中心



智能输变电技术分中心



柔性输电技术分中心



微电网技术分中心



定制电力技术分中心

国家能源智能电网技术  
研发（实验）中心



信息安全保障技术分中心



储能技术分中心



智能用电技术分中心

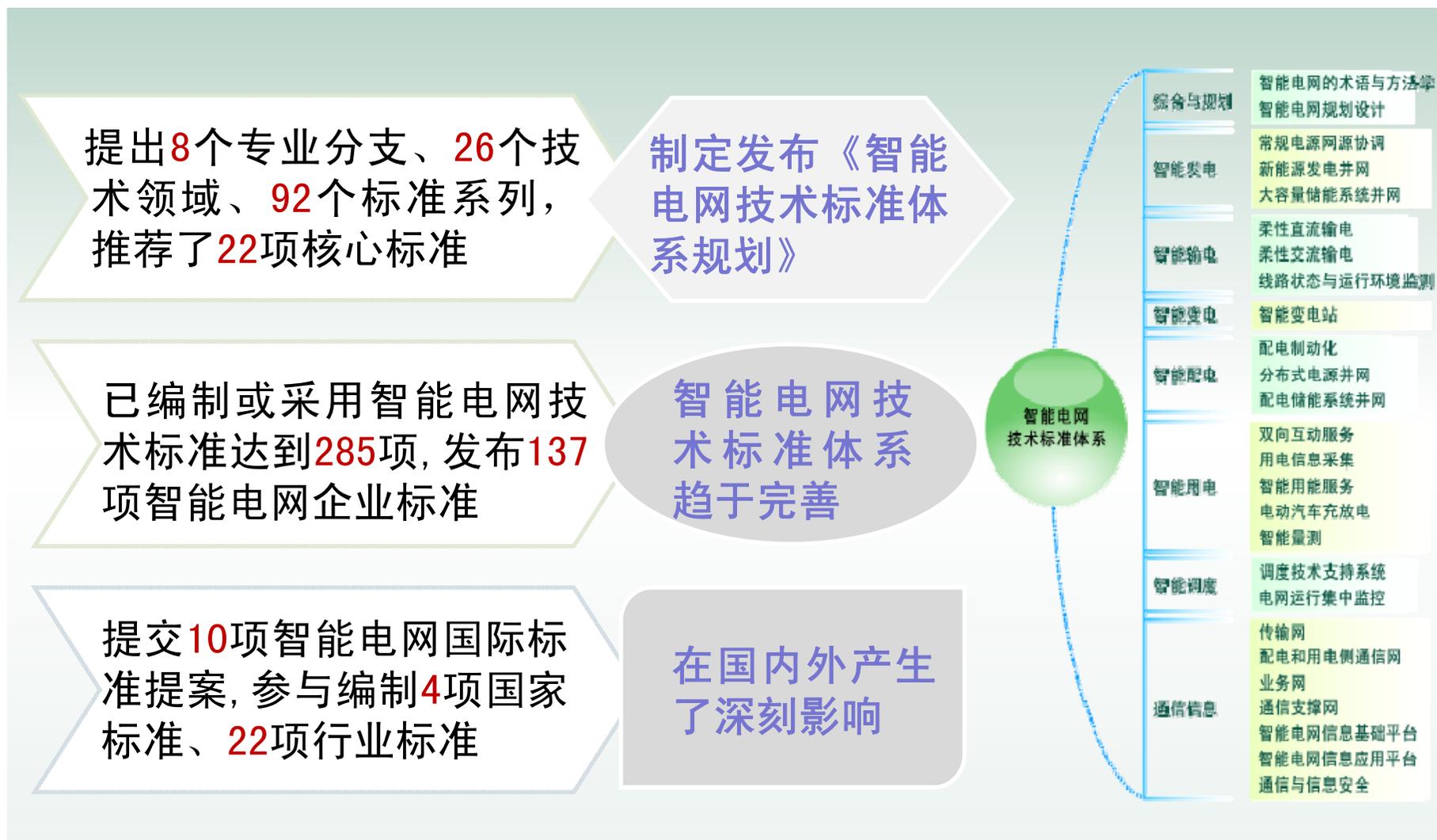


能效测评技术分中心

## 2.6 提出了完善的技术标准体系



国家电网  
STATE GRID



## 2.7 研制了先进的智能电网关键设备



国家电网  
STATE GRID

发布《智能电网关键设备(系统)研制规划》  
—包括**7**个领域、**28**个专题和**137**项关键设备

- 引导电力装备制造企业提升研发创新能力，推动其转型升级
- **60**项关键设备研制成功



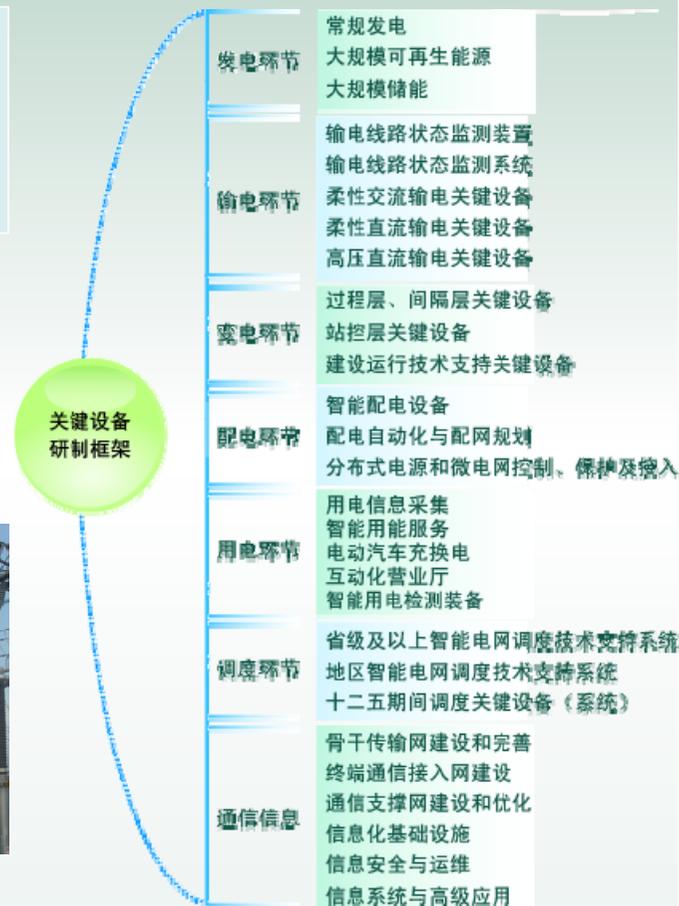
智能GIS



智能终端



智能开关



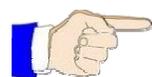
# 目录



国家电网  
STATE GRID

一、什么是智能电网

二、智能电网的建设成就



三、国家电网的未来形态和挑战

四、智能电网互动运行控制

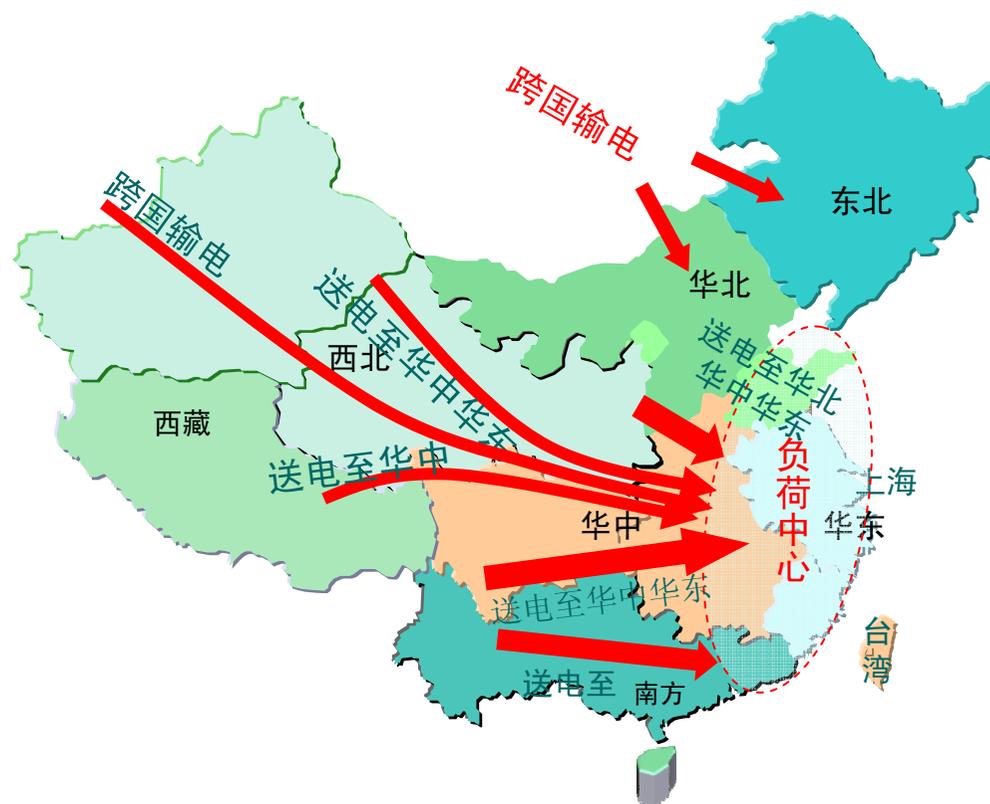
# 电力流



国家电网  
STATE GRID

大电源、大电网和大容量远距离输电格局是满足我国电力需求的主要形态，分布式电源、微网将快速发展。

我国能源资源和消费中心逆向分布的基本国情，决定了能源及电力流动具有跨区域、远距离、大规模的特点，电力输送呈现“西电东送、北电南送”的基本格局，形成清晰的受端电网和送端电网。

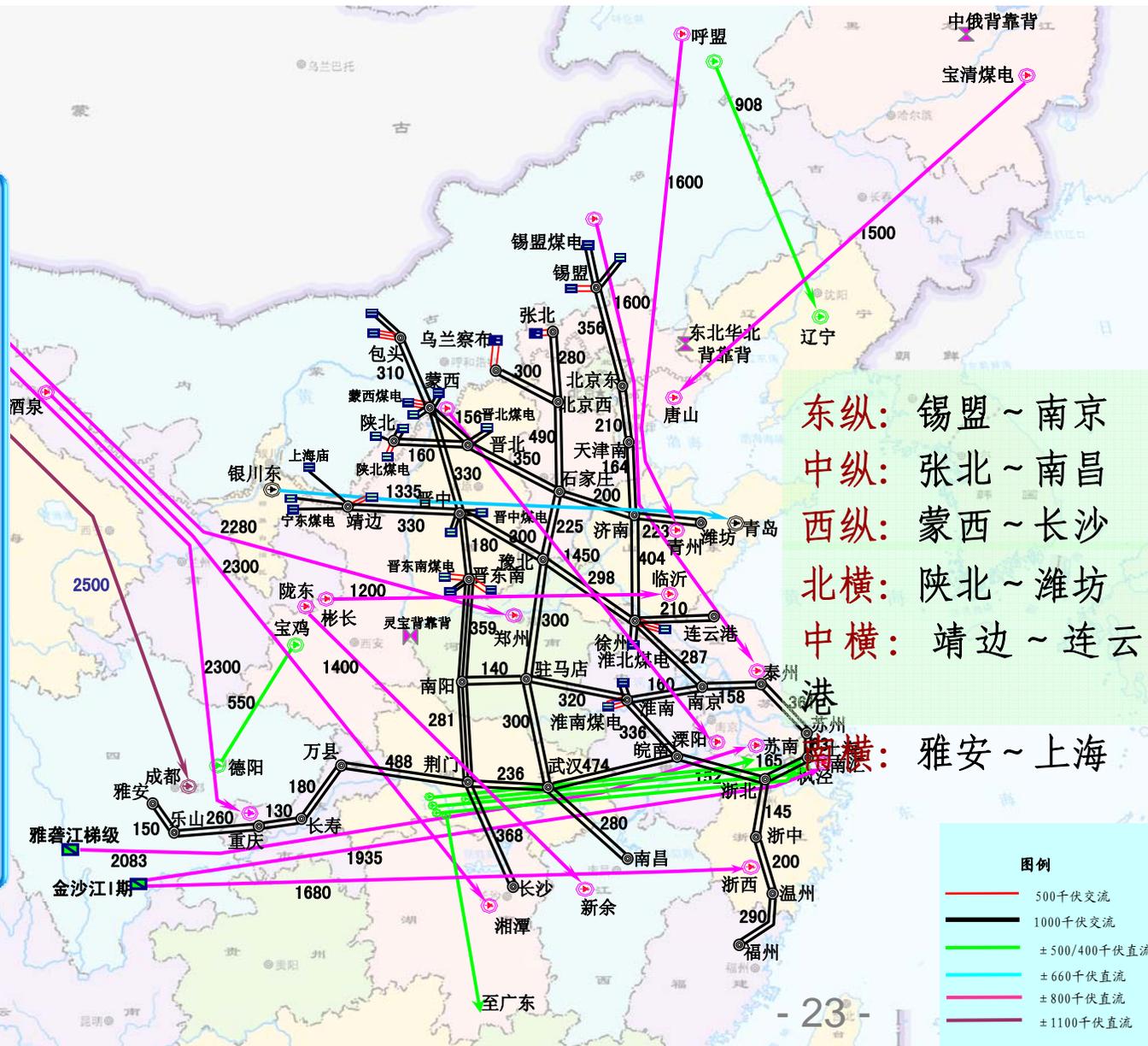


# 2015年目标网架



国家电网  
STATE GRID

“十二五”期间我国特高压电网进入快速发展阶段，形成以“三纵三横”特高压交流和14回特高压直流为骨干网架的“三华”大规模交直流混联电网。



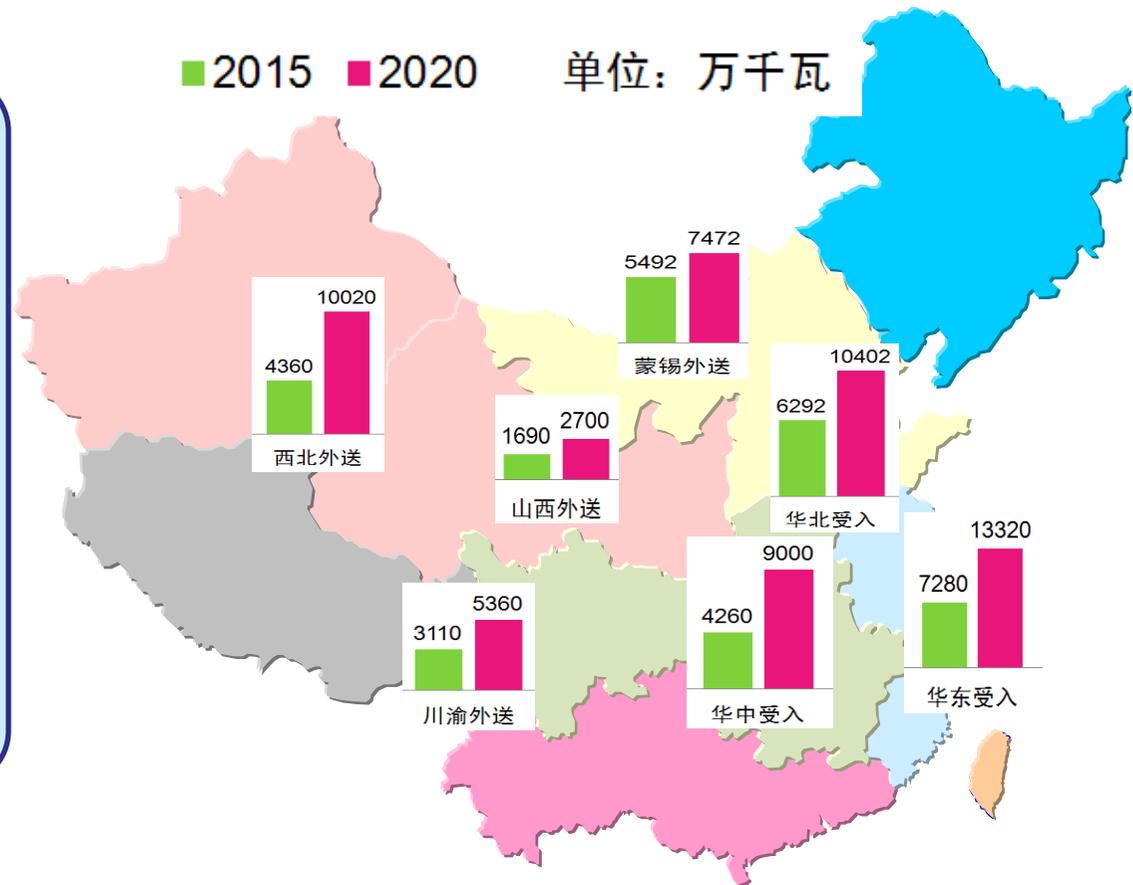
# 大电网形态1：送受电力规模巨大



国家电网  
STATE GRID

未来我国送受端电力规模巨大：

- 2015年，能源基地外送规模达**1.47亿千瓦**，负荷中心受电规模达**1.78亿千瓦**。
- 2020年，能源基地外送规模达**2.56亿千瓦**，负荷中心受电规模达**3.27亿千瓦**。



北部煤电和西南水电规模巨大，主要送电方向为华中、华北、华东电网

## 大电网形态2：大容量远距离输电



国家电网  
STATE GRID

2015年，我国跨区电网输送容量为2.5亿千瓦，占全国总负荷的25.3%。

2020年，我国跨区电网输送容量为3.2亿千瓦，占全国总负荷的25%。

各大能源基地，距离中东部负荷中心**500~3500公里**，大多数在1000公里以上，通过交直流大规模送入华北、华中、华东电网。



大容量远距离输电是我国实现大范围资源优化配置的必然选择

# 大电网形态3：跨大区大容量接续式交直流混合输电



国家电网  
STATE GRID

我国已形成跨大区交直流接续式混联电网，西北电网送华北华中电网约800万千瓦，华北华中电网送华东电网约1660万千瓦。

未来接续式交直流混合输电形态将更加明显。西北直流送华中2150万千瓦，西北直流送华北860万千瓦，华中直流送华东1470万千瓦，华北直流送华东1500万千瓦。



现状电网



未来规划电网

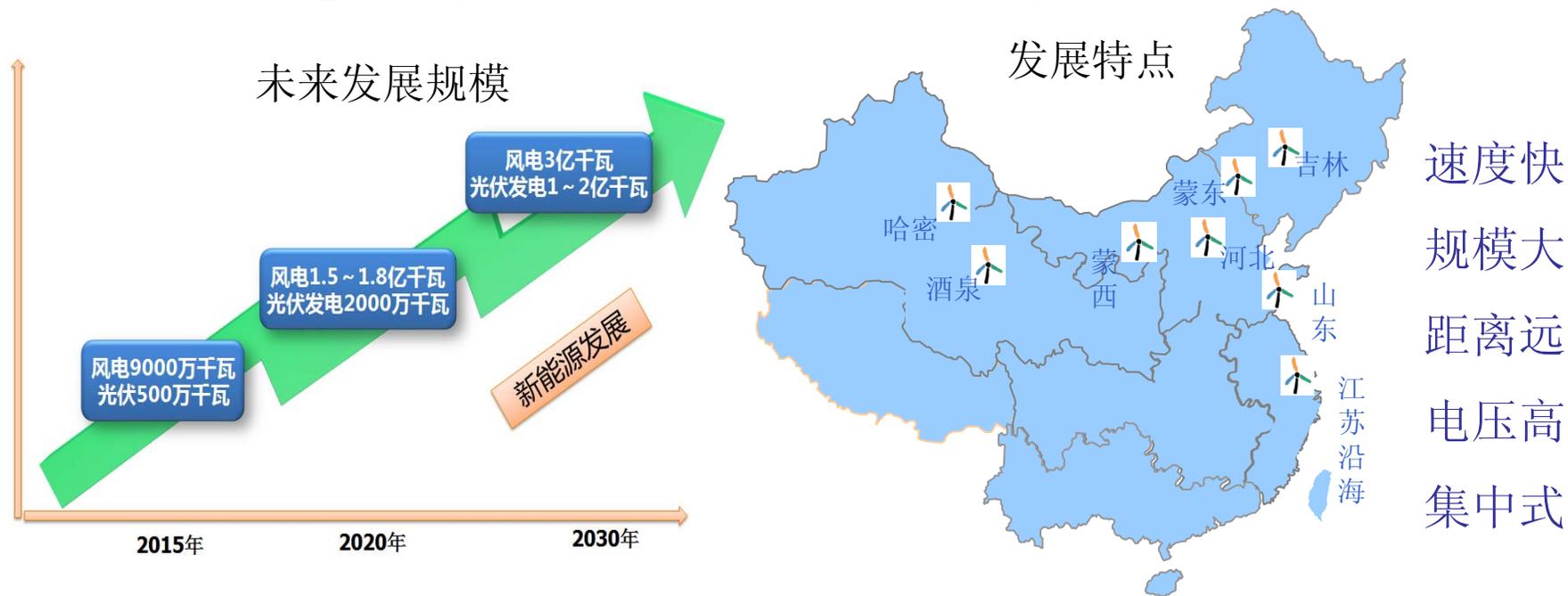
我国电网已逐步形成跨大区大容量接续式交直流混合输电格局

# 大电网形态4：大规模新能源接入电网



国家电网  
STATE GRID

我国风电、太阳能等新能源快速增长，2020年，非化石能源占一次能源消费比重要达到15%左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%，预计2020年风电装机将达到1.5~1.8亿千瓦，光伏装机将达到2000万千瓦。



我国未来新能源发电接入电网规模巨大

# 大电网形态5：FACTS技术广泛应用

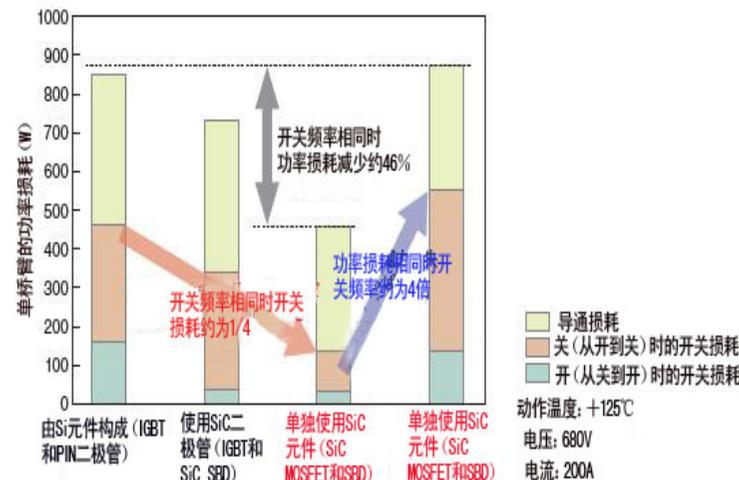


国家电网  
STATE GRID

大电网中可控串补、可控高抗、SVC等新型电力电子设备将得到大量应用，增强了系统调控能力，同时也增加了电网控制的复杂性。未来基于SiC、GaN和金刚石材料的器件技术将改变整个电网的运行控制模式。



(b) 功率损耗与Si元件相比较



中国电力科学研究院  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

# 大电网形态6:大规模和分布式储能的应用



国家电网  
STATE GRID



## 关键技术

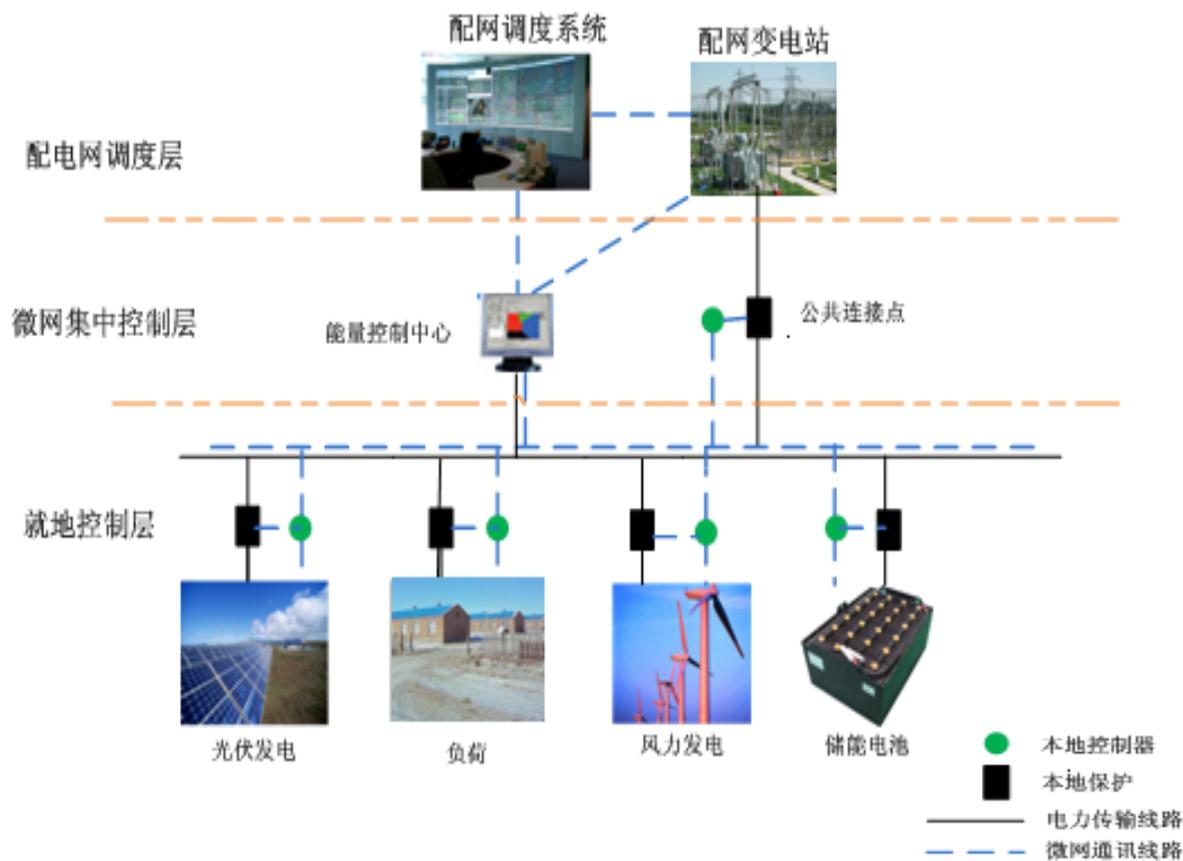
- 大容量储能与间歇式新能源发电出力互补机制
- 储能电站与间歇式新能源容量配置技术及优化方法
- 储能系统控制与能量管理技术研究及开发
- 储能电站的多点布局方法及广域协调优化控制技术

利用储能技术缓解新能源功率波动，重点研究功率能量匹配、能量管理及多点布局等技术，解决“用什么、用多少、怎么用”的问题。

# 大电网形态7：分布式电源与微电网大量接入



国家电网  
STATE GRID



- 分布式电源接入保护、控制技术
- 微电网优化规划
- 微电网智能保护与协调控制技术
- 微电网经济运行与能量优化管理技术
- 微网电能质量治理技术

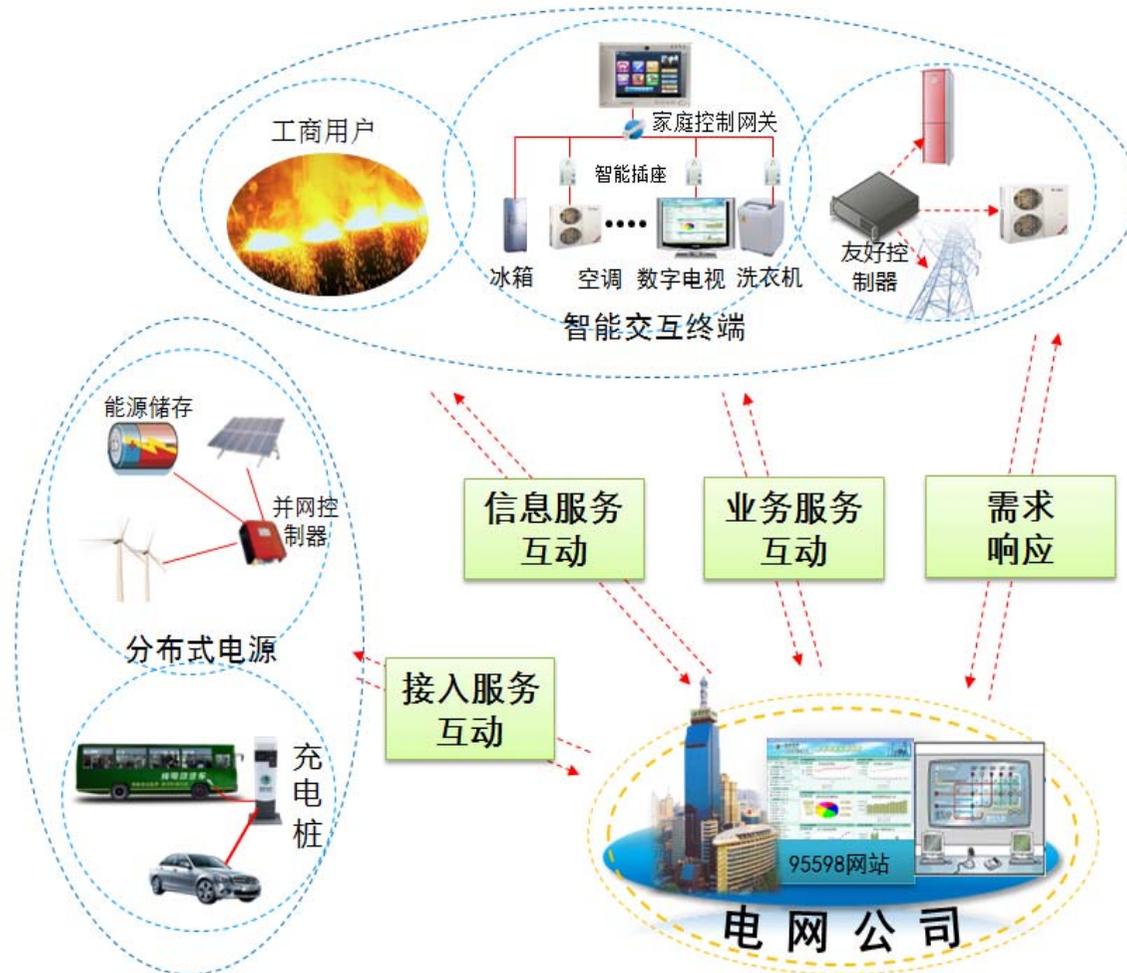
# 大电网形态8：灵活互动的智能用电



国家电网  
STATE GRID

## 面临的技术挑战

- 支持新能源/电动汽车即插即用；
- 海量用户用电信息的采集处理；
- 基于用户主动性的需求侧资源优化；
- 用电信息和互动业务的高效集成。

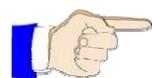


# 目录



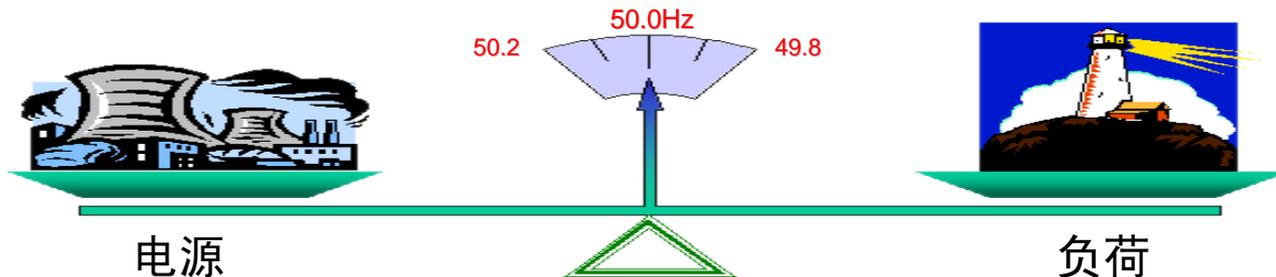
国家电网  
STATE GRID

- 一、什么是智能电网
- 二、智能电网的建设成就
- 三、国家电网的未来形态和挑战



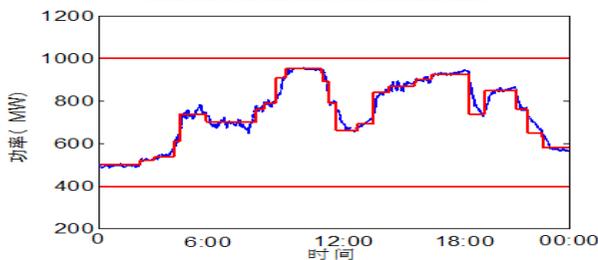
## 四、智能电网互动运行控制

## 2.1 有功平衡问题



有功平衡难度加大,安全稳定受到威胁

常规电源



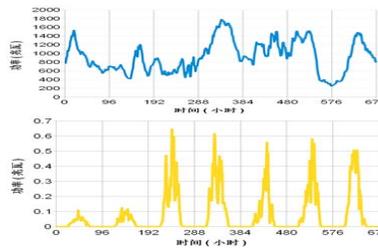
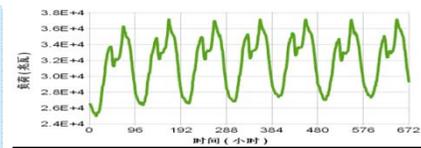
火电机组在运行上下限内按调度指令运行

电网

间歇式能源发电

用电负荷

日负荷规律性强



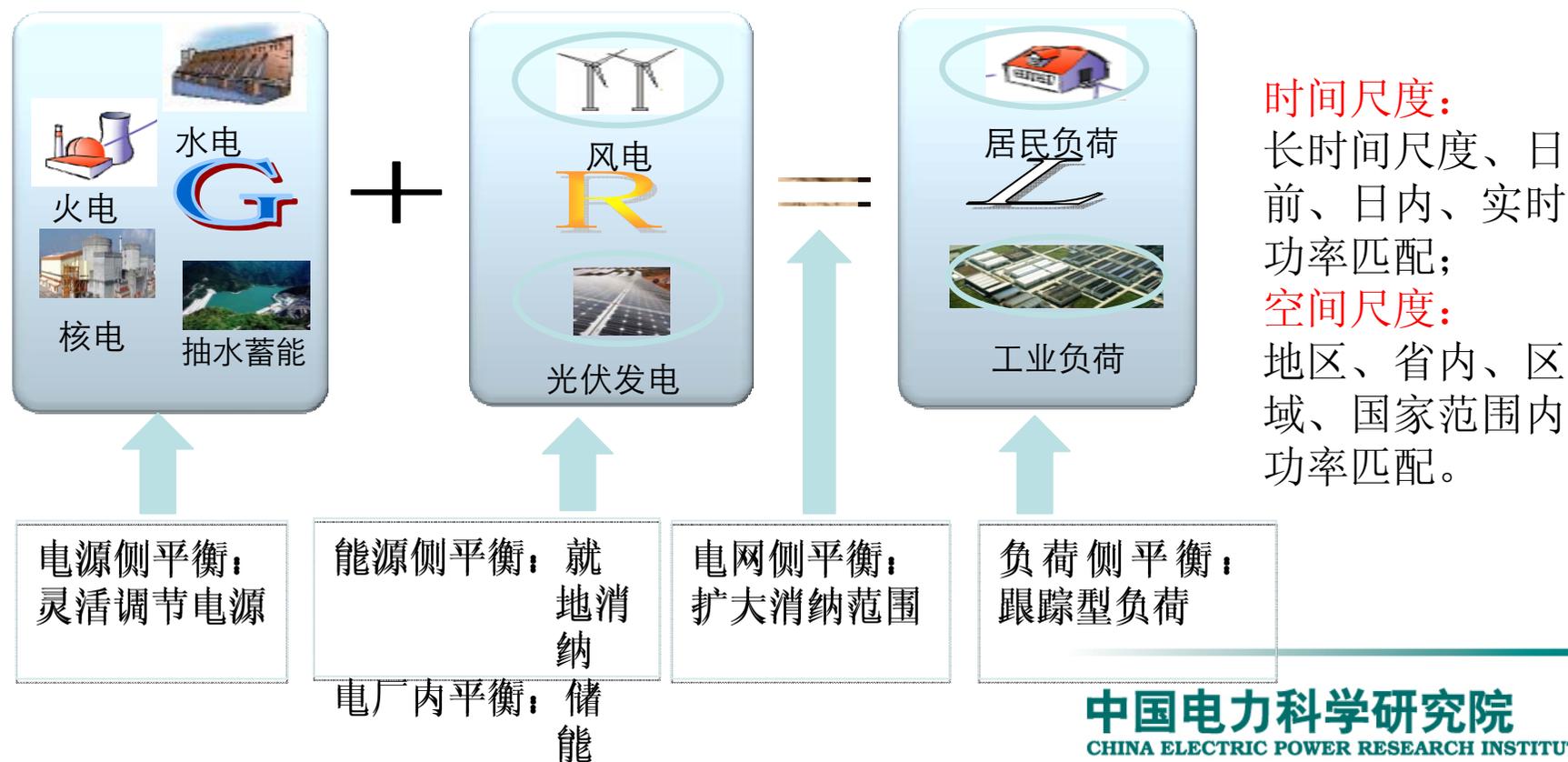
间歇式能源出力随机变化,可预测性差

# 功率平衡



国家电网  
STATE GRID

- 电力系统主要特征之一是功率实时平衡；
- 常规电源实时调节功率，满足正常波动负荷的供电需求，需要与负荷匹配；
- 新能源接入电网，常规电源与负荷匹配基础上，需要实时跟踪新能源功率波动，与新能源匹配。



# 柔性互动是未来智能电网的重要特征



国家电网  
STATE GRID

## 发电侧



具有友好调节能力和特性的“柔性电厂”将成为电源的重要特征

## 用电侧



负荷的柔性变化将成为平抑电源波动的手段之一，分布式电源和储能技术的突破，将会对整个用电的方式产生革命性的变化

## 电网侧



电网具有柔性开放的接入能力和灵活的调节能力是源-网-荷的互动的承载体

灵活应变

柔性可控

开放互动

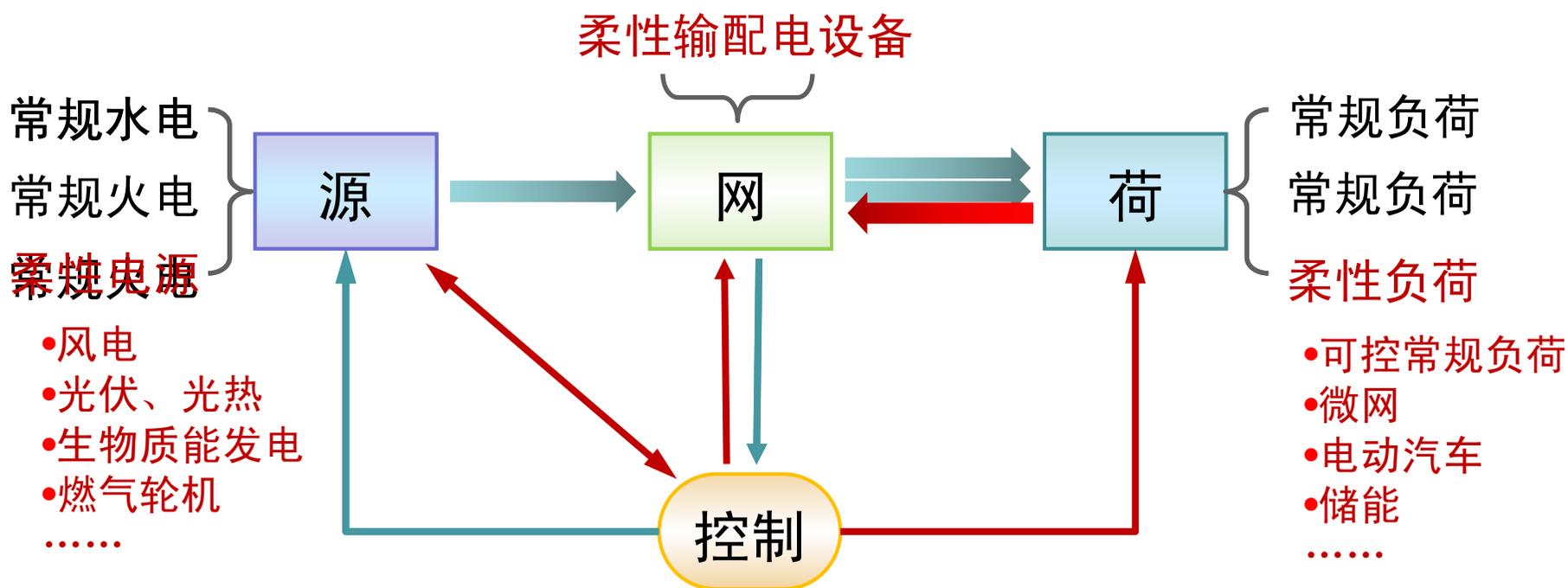
科学研究院

CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

# 源-网-荷互动概念的发展



国家电网  
STATE GRID



# 关键技术



国家电网  
STATE GRID

## 电网特征

规模大

复杂性

随机性

多变性

## 重大战略需求

源-网-荷互  
动运行

## 关键技术

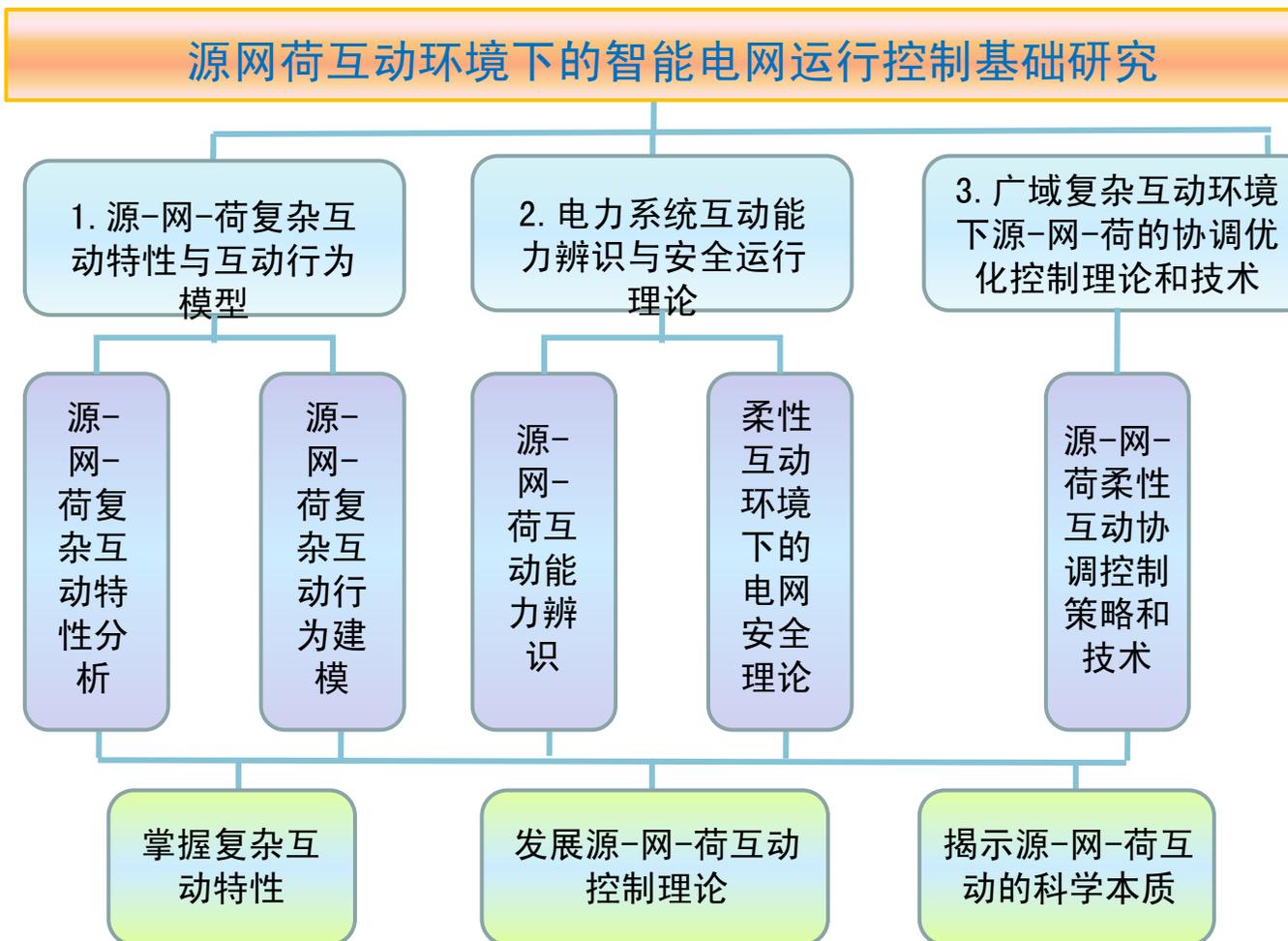
源-网-荷复杂互动特性与互  
动行为模型

电力系统互动能力辨识与安  
全运行理论

广域复杂互动环境下源-网-荷  
的协调优化控制理论和技术

中国电力科学研究院

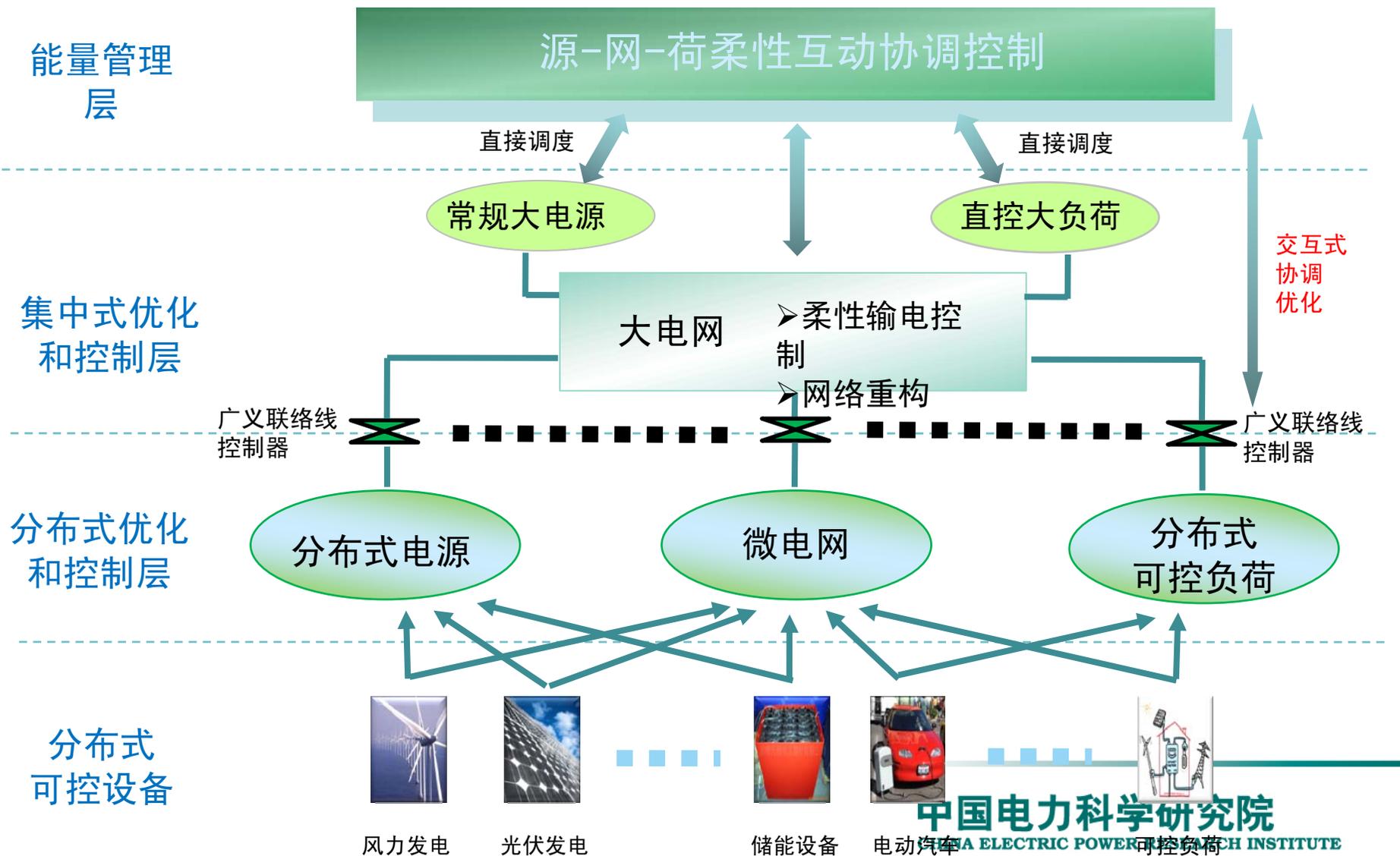
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



# 源-网-荷柔性互动协调控制策略和技术



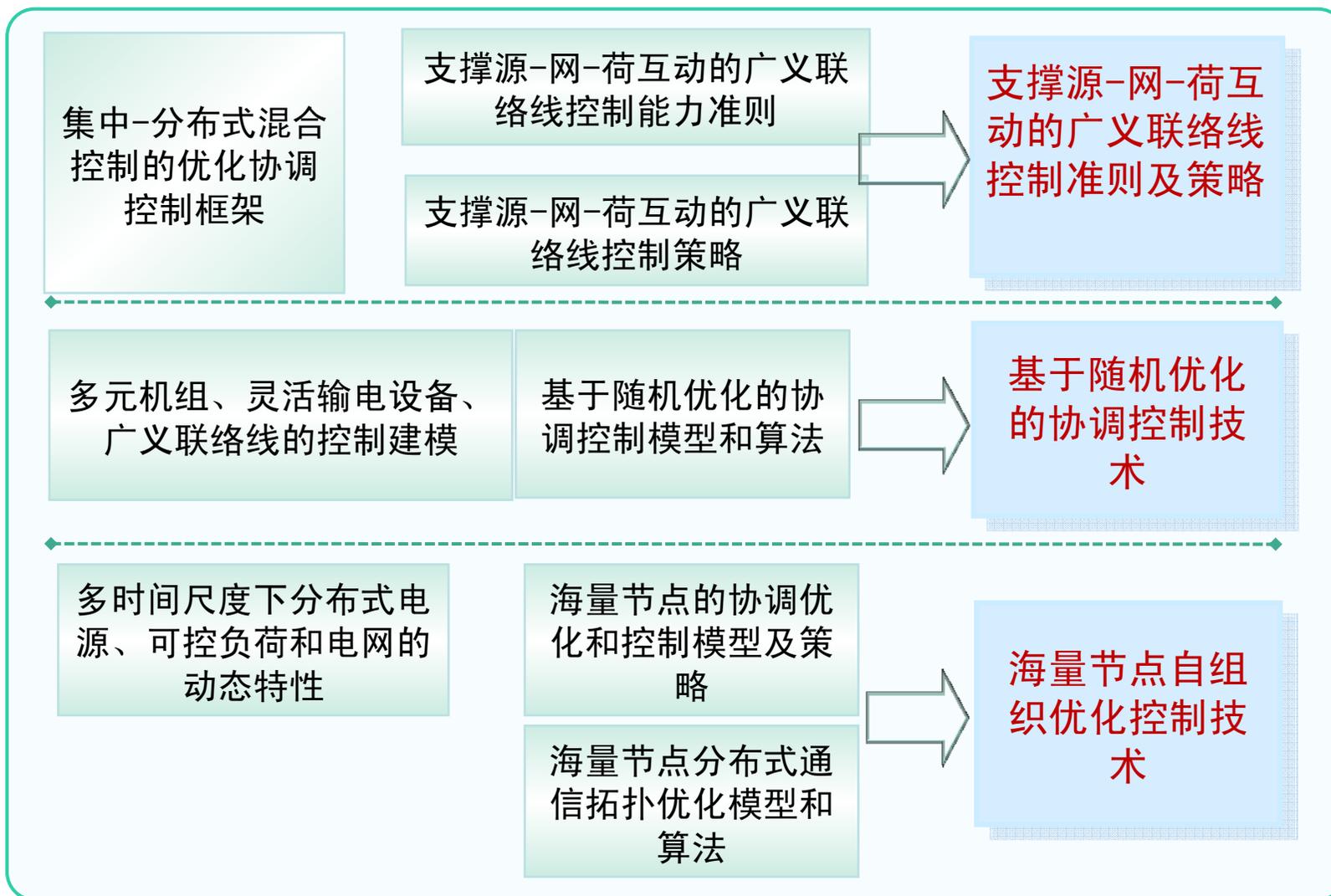
国家电网  
STATE GRID



# 源-网-荷柔性互动协调控制策略和技术



国家电网  
STATE GRID



院



国家电网  
STATE GRID

谢 谢

---

中国电力科学研究院  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE