

# 虚拟电厂在构建新型电力系统 中的实践与思考

---

国网冀北电力有限公司 王宣元

2022年7月

# 目录

1

背景

2

关键技术、工程建设与运营

3

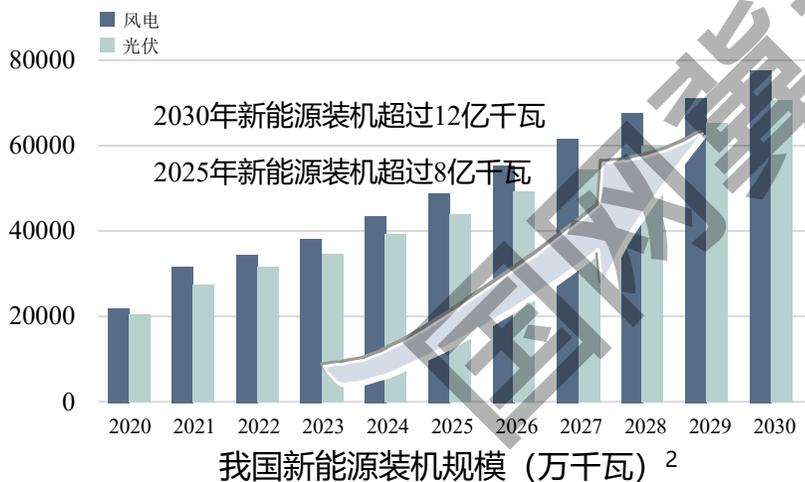
市场机制和商业模式

4

总结展望

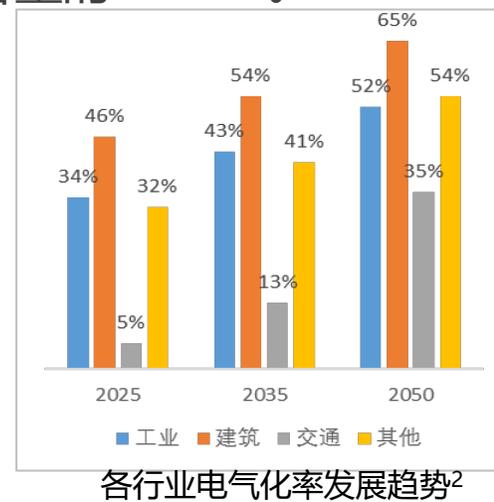
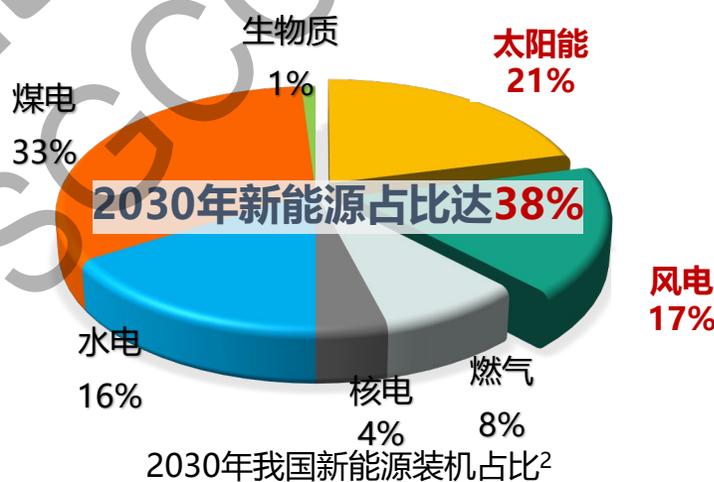
## “碳达峰、碳中和”

- 2020年9月，习近平总书记提出**2030年碳排放提前达峰目标与2060年碳中和愿景**。
- 能源转型是实现双碳目标的主要途径**。能源生产侧，清洁能源替代化石能源；能源消费侧，推动电能替代以降低社会整体碳排放。



## 构建新型电力系统

- 中央财经委员会第九次会议：构建清洁低碳安全高效的能源体系，构建以新能源为主体的**新型电力系统**。
- 我国新能源发展已取得显著成效：**电源结构持续清洁化**，截至2021年底，我国新能源发电装机达到6.34亿千瓦，占总发电装机容量的26.7%<sup>1</sup>。



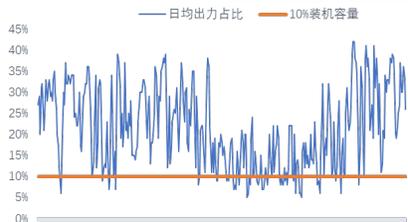
1 来源：国家能源局2022年一季度网上新闻发布会文字实录

2 来源：国网能源研究院《中国电力供需分析报告 2021》



# 背景

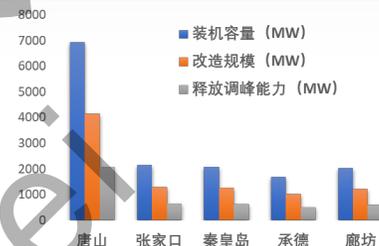
# 面临挑战



冀北全年有50天新能源日均出力低于装机容量的10%

## 调节能力提升

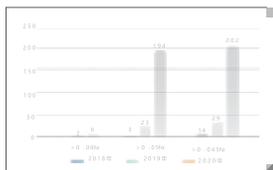
消纳保供压力叠加  
系统灵活调节能力亟需提升



2025年冀北区域火电机组预计释放调峰能力  
约占张家口新能源装机容量10%

## 安全稳定运行

安全稳定问题复杂  
系统运行机理亟需突破



频率超限次数增加，暂态过电压等问题突出

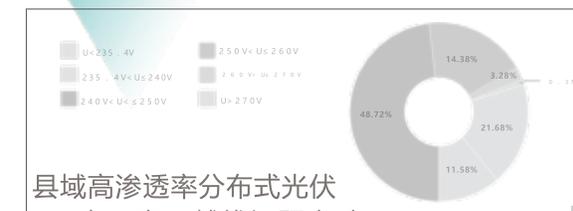


张北柔直电网屡次出现宽频带振荡现象



## 可持续高质量发展

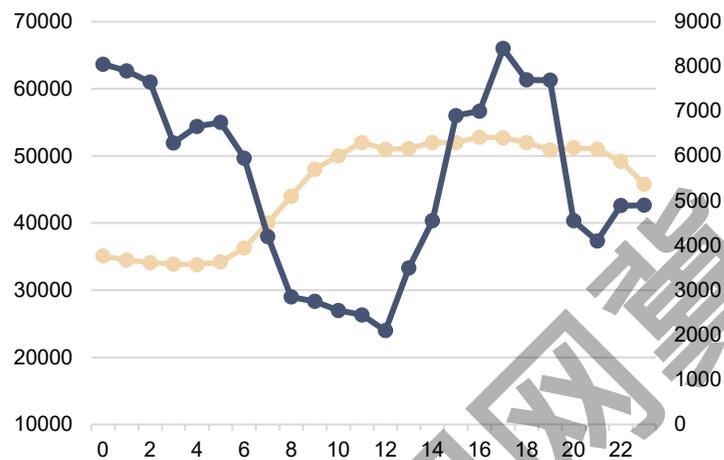
协同高效矛盾突出  
市场运营体系亟待加强



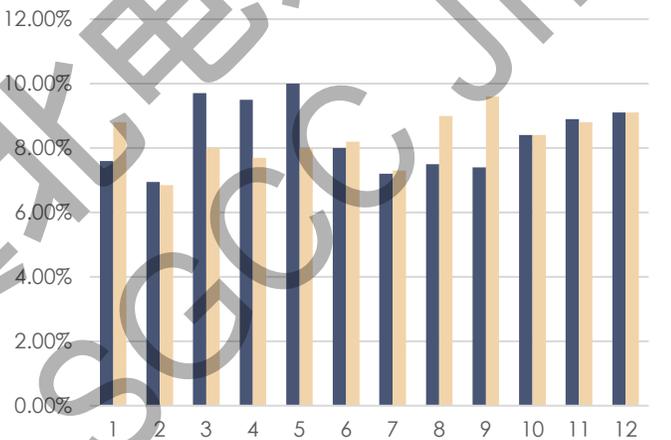
县域高渗透率分布式光伏  
10KV台区电压越线问题突破



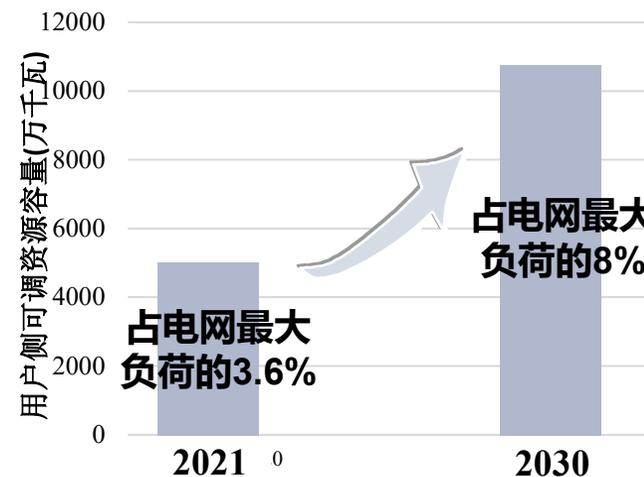
- **新能源占比逐年提高**，低谷时段消纳难；尖峰时段保供难。
- **用户侧灵活异质资源数量多、体量小、总量大，聚沙成塔。**然而，目前大量用户侧可调节资源尚未纳入电力系统可调控范围。



京津唐电网调峰与新能源消纳之间的矛盾日益严峻



我国新能源发电量与用电量月度分布 (2019年)

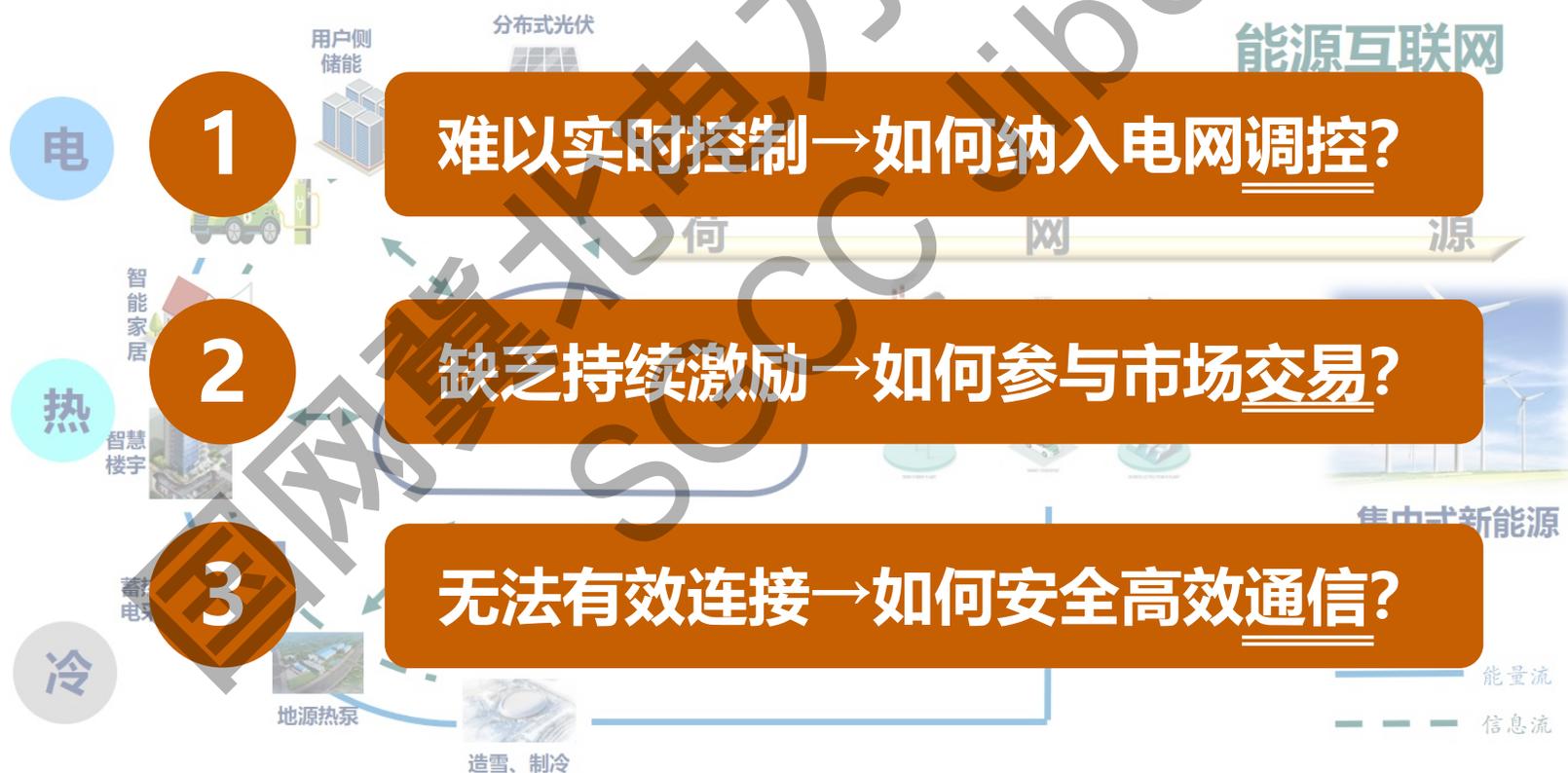


用户侧可调节资源容量规模

国内之前的负荷响应项目主要解决需求侧管理，主要依赖于补贴，为实现市场化、和与电力系统的**连续闭环响应**。

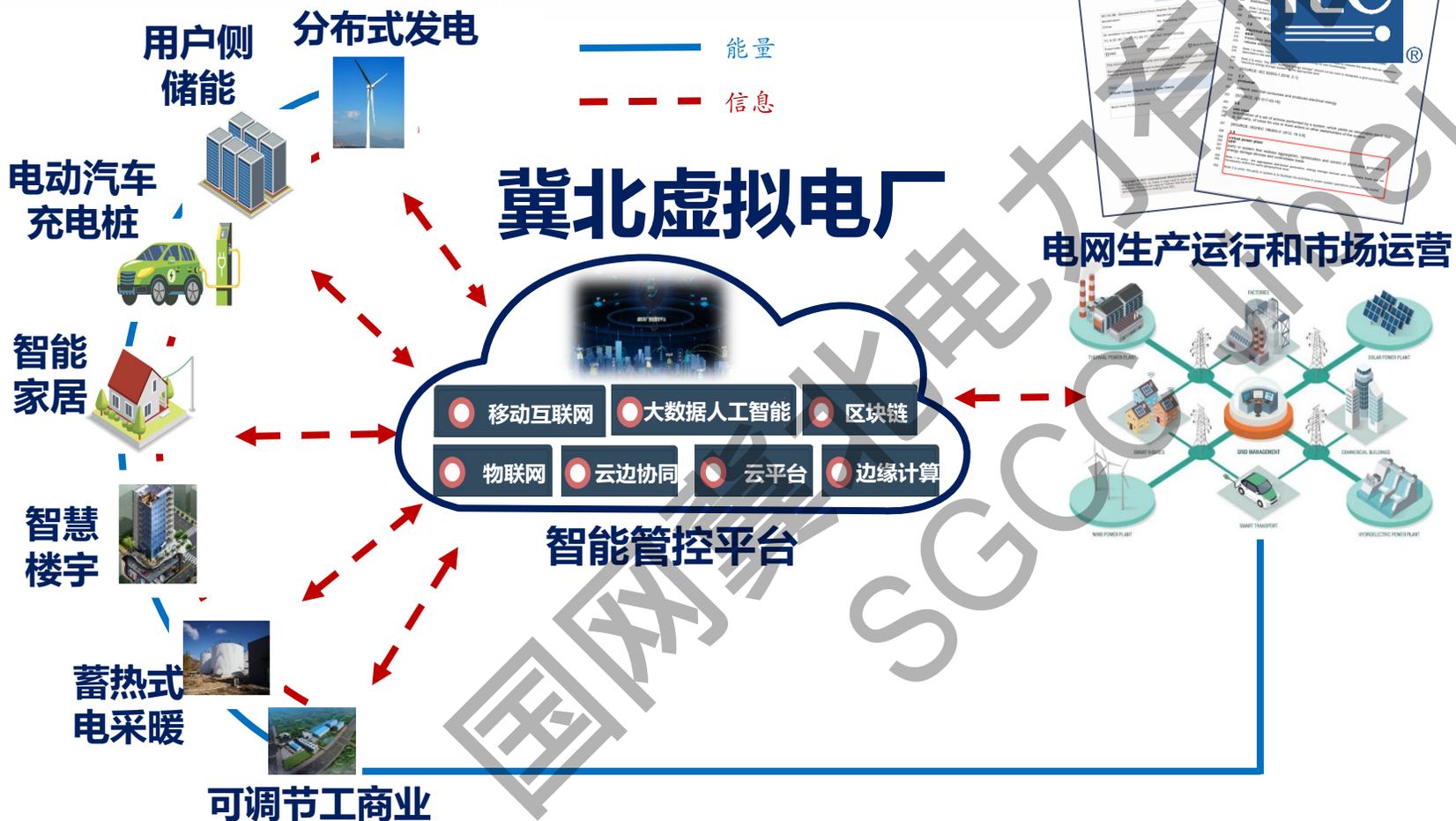
如何唤醒电网调度看不到、控不了的用户侧海量灵活异质资源，实现从离散动作的需求响应，到连续闭环运营、可调控、可交易的新型“虚拟”电厂？

如何用更经济的方案，解决能源转型中低碳-安全-经济三角矛盾？



# 背景

# 虚拟电厂定义



## 虚拟电厂

聚合优化“网源荷”清洁发展的新一代智能控制技术和互动商业模式。在传统电网物理架构上，依托互联网和现代信息通讯技术，聚合分布式电源、储能、负荷等尚未纳入电网现有调控范围各类资源，进行协同优化运行控制和市场交易，实现电源侧的多能互补、负荷侧的灵活互动，对电网提供调峰、调频、备用等辅助服务。

A party or system that realizes aggregation, optimization and control of decentralized generations, energy storage devices and controllable loads. (Source: IEC TC8 SC8B WG4)

连接

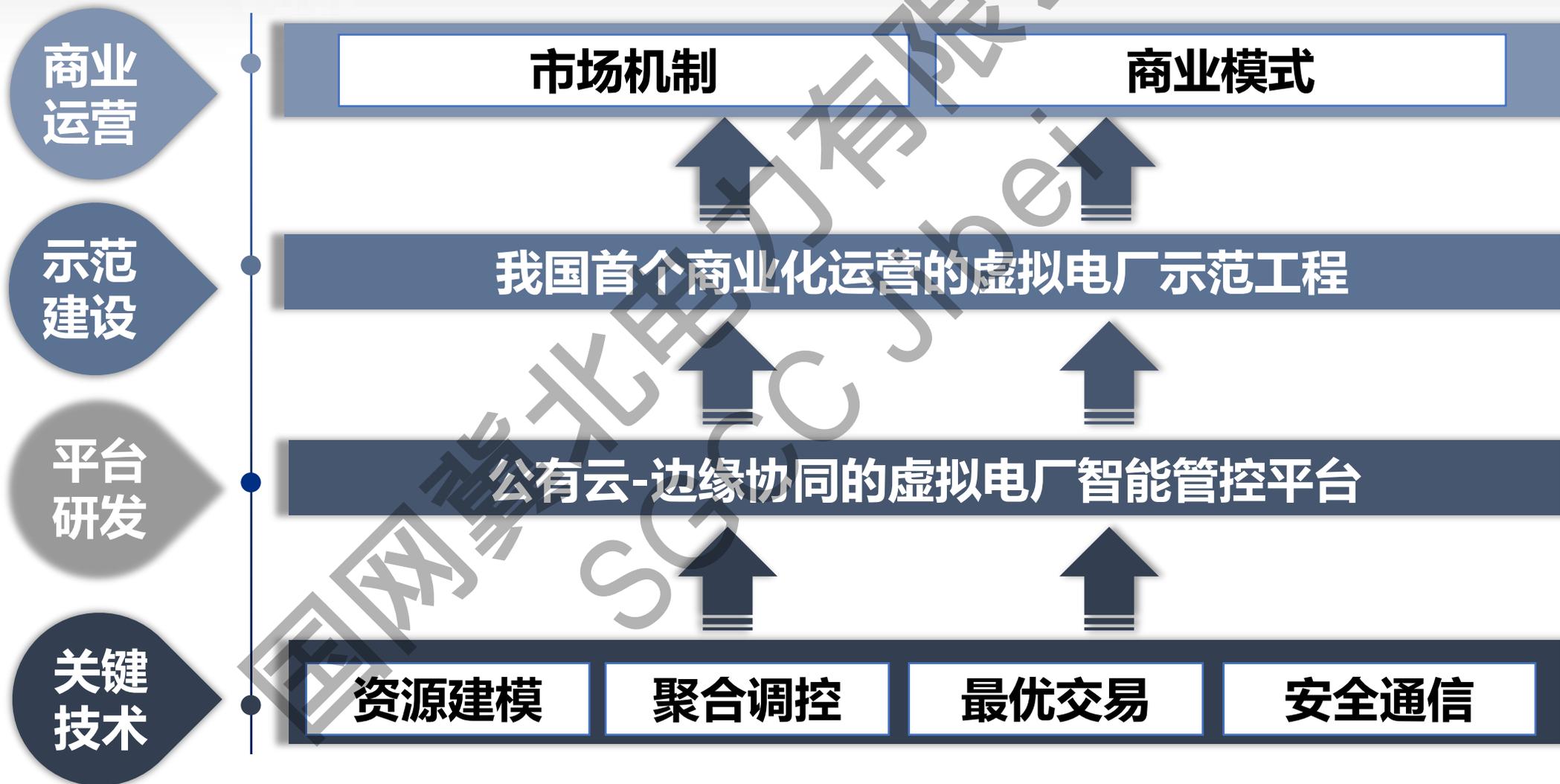
聚合

调控

交易

# 背景

## 冀北虚拟电厂解决方案



# 目录

1

背景

2

关键技术、工程建设与运营

3

市场机制和商业模式

4

总结展望

# 技术架构

## 冀北虚拟电厂

### 三级架构



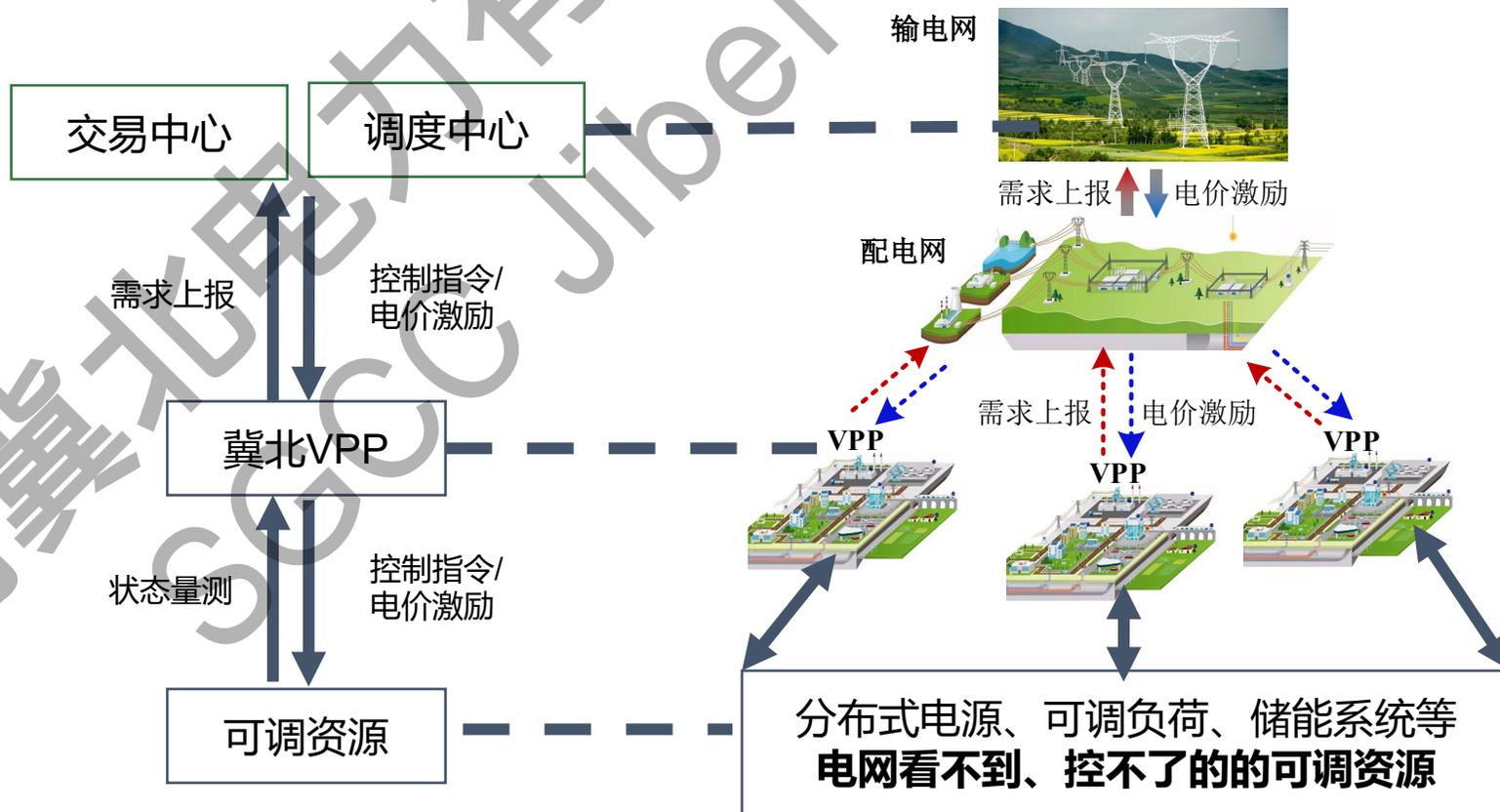
电力系统



冀北VPP



电力用户

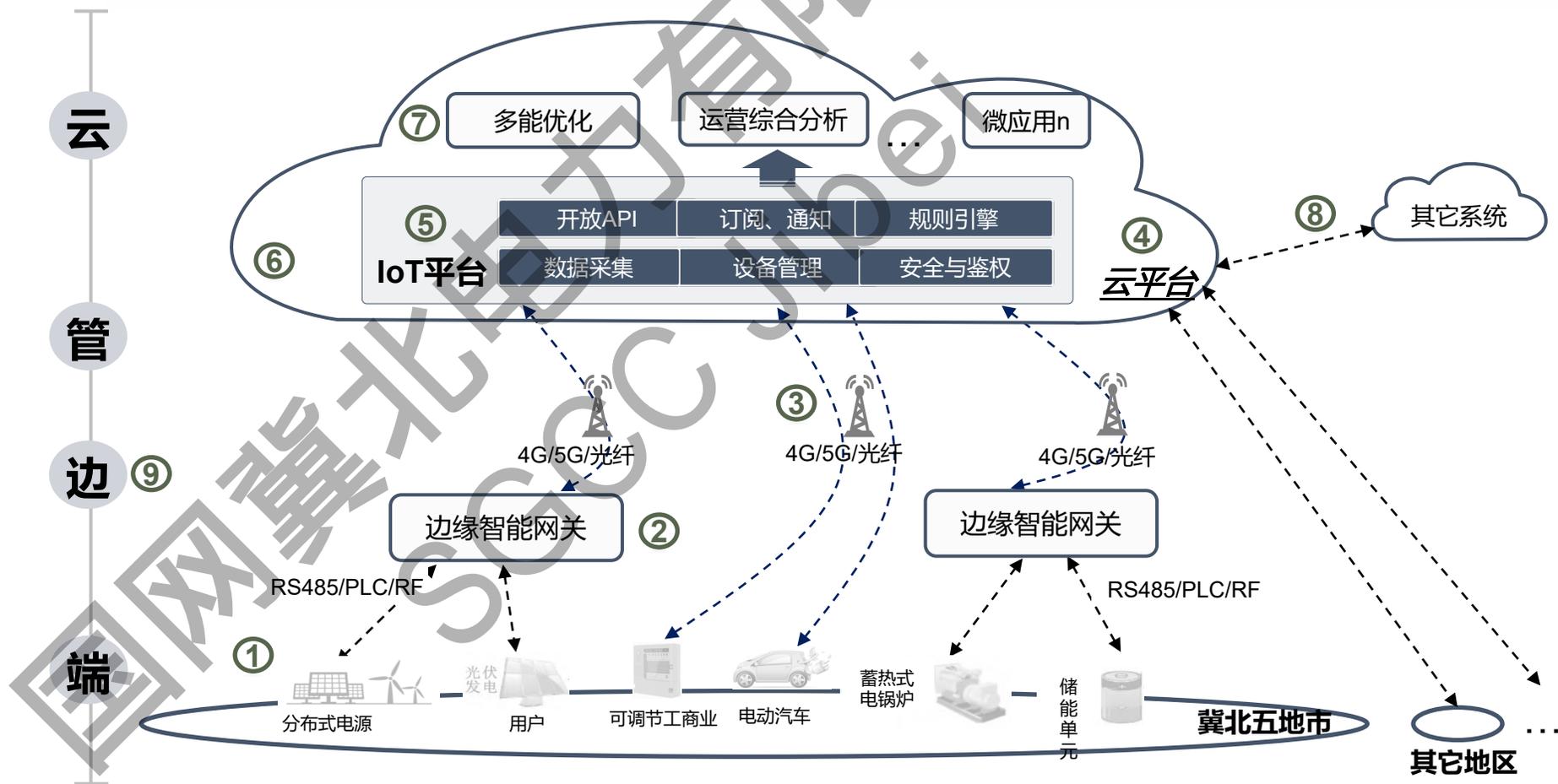


# 技术架构

## 冀北虚拟电厂

### 关键技术

- ①用户侧智能终端
- ②边缘智能网关
- ③通信网络
- ④云平台
- ⑤IoT平台
- ⑥大数据、AI
- ⑦业务微应用
- ⑧与其他系统交互
- ⑨安全体系

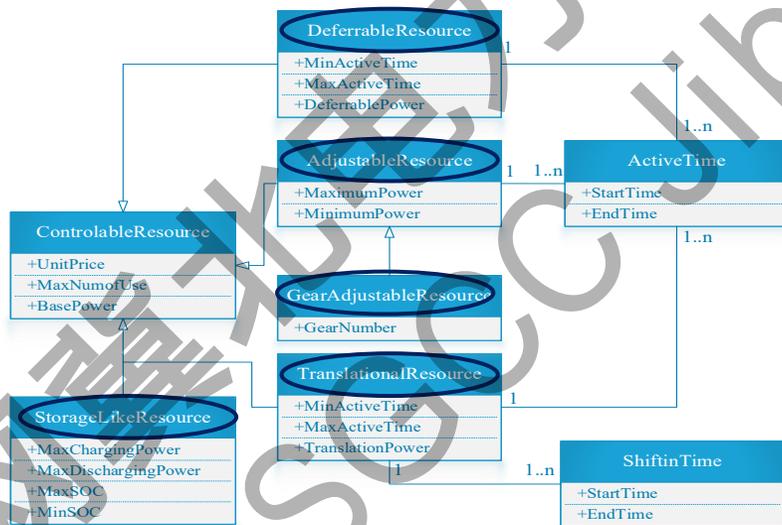


## 冀北虚拟电厂

### 多能异质资源



### 资源标准模型库



### 灵活性统一建模



# 关键技术

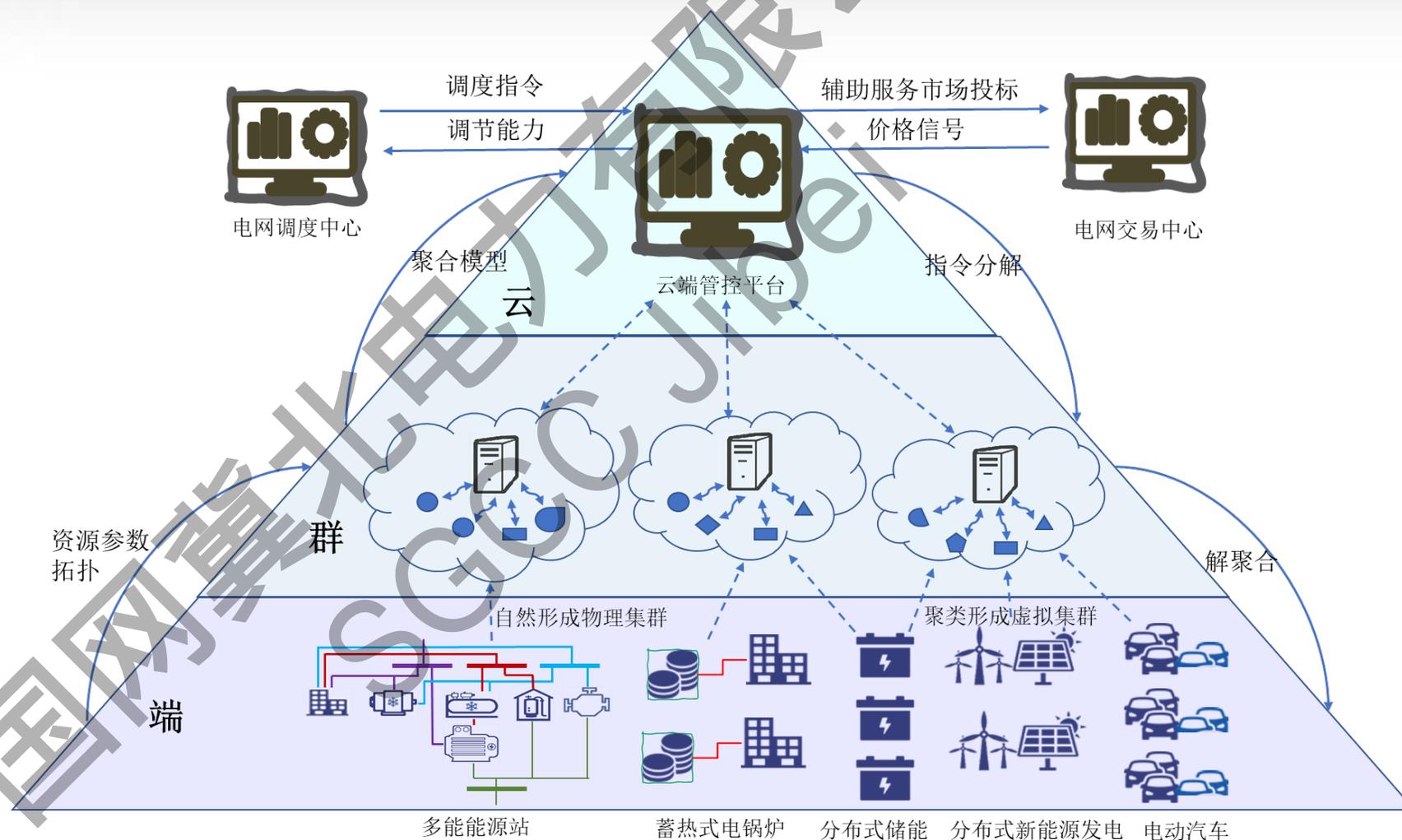
# 聚合调控

## 冀北虚拟电厂

多代理异步调控

集群高效动态聚合与解聚合

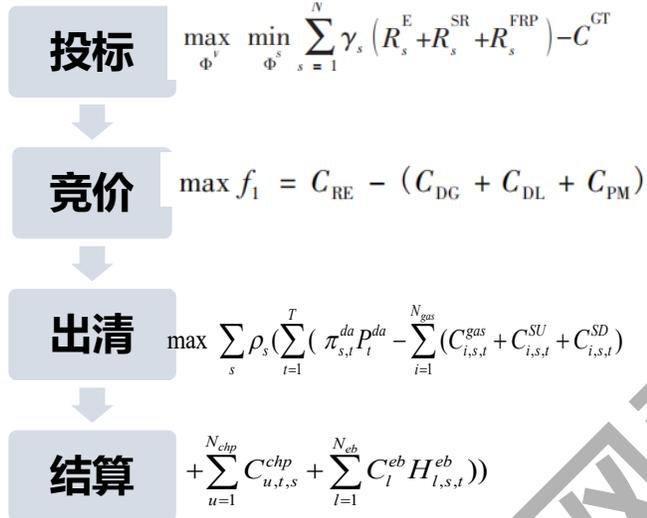
多能异质资源可扩展规范化建模



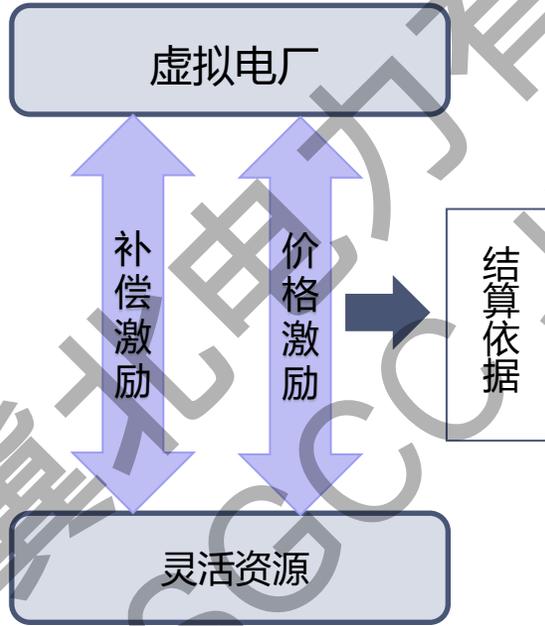
# 关键技术

# 最优交易

## 冀北虚拟电厂

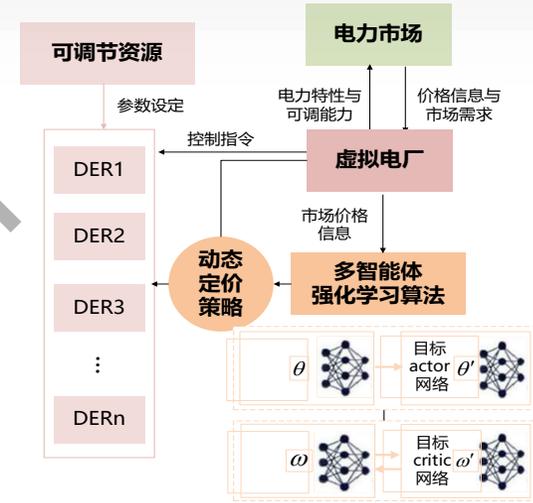


对上：市场最优交易模型



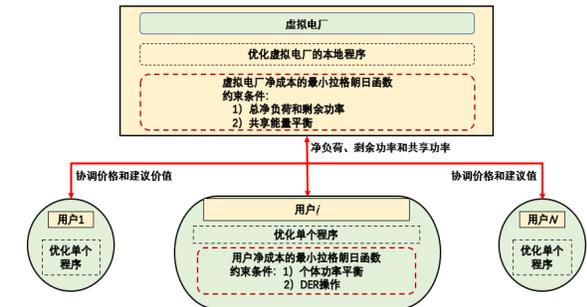
对下：基于商业模式的定价

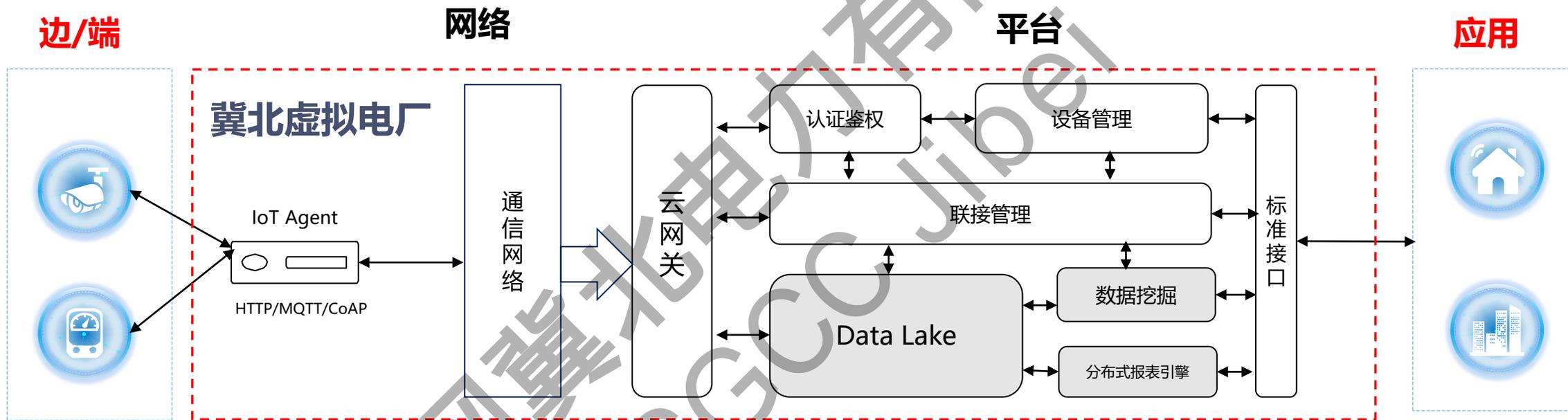
### 基于机器学习的定价



### 基于价格博弈的定价

- 1) 定义共享贡献率以量化不同用户对能量共享和调峰的贡献
- 2) 建立虚拟电厂-灵活资源利益分配的非对称纳什讨价还价模型





# 平台研发

# 冀北虚拟电厂智能管控平台



- 研发了基于公有云和边缘协同的虚拟电厂智能管控平台，建立调度、交易、营销与用户侧的数据交互接口，**实现虚拟电厂持续在线响应电网AGC调控指令。**



## 我国首个以市场化方式运营的虚拟电厂示范工程

冀北虚拟电厂  
智能管控平台



物联网  
云平台



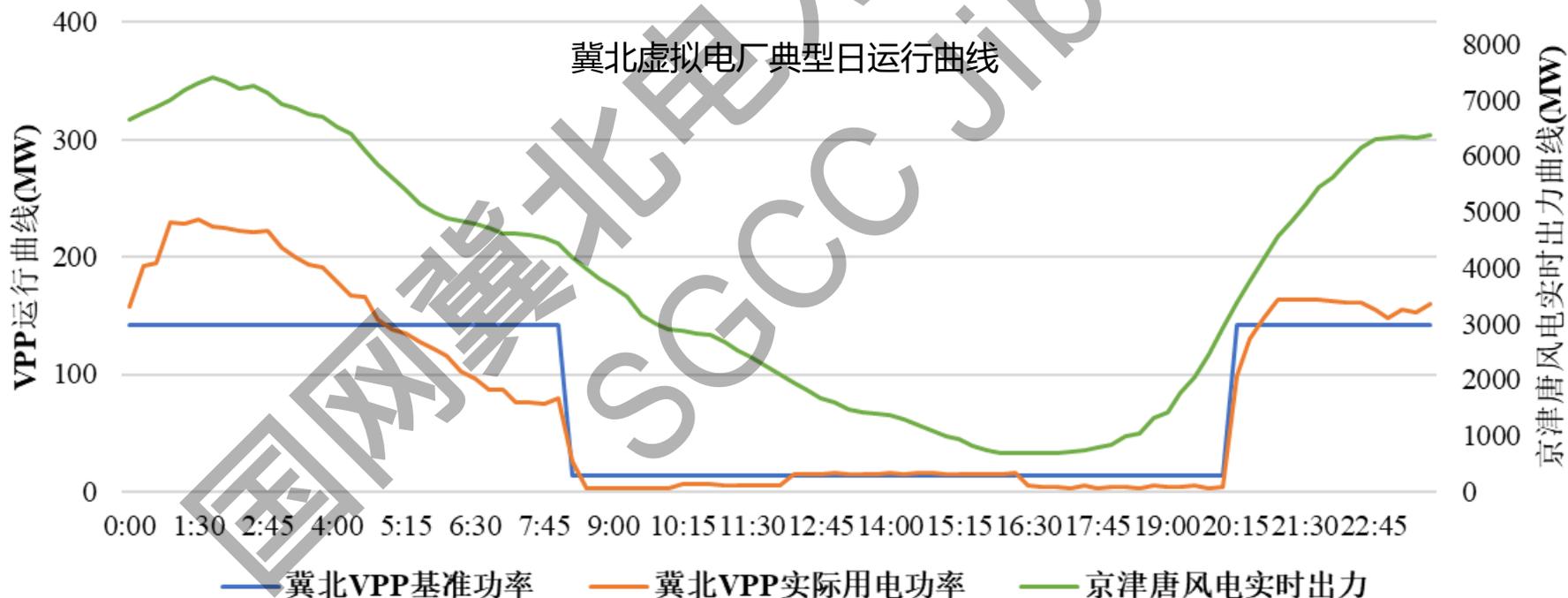
边缘网关  
智能终端



用户  
APP



- 全程参与了华北调峰辅助服务市场出清，纳入了**电网调度计划和AGC闭环调控**。
- 截至2021年4月，已在线连续提供调峰服务超过**3200小时**，累计增发新能源电量**3412万千瓦时**，虚拟电厂运营商和用户收益**624.2万元**。（11月-次年4月，11/24Hr）



# 目录

1

背景

2

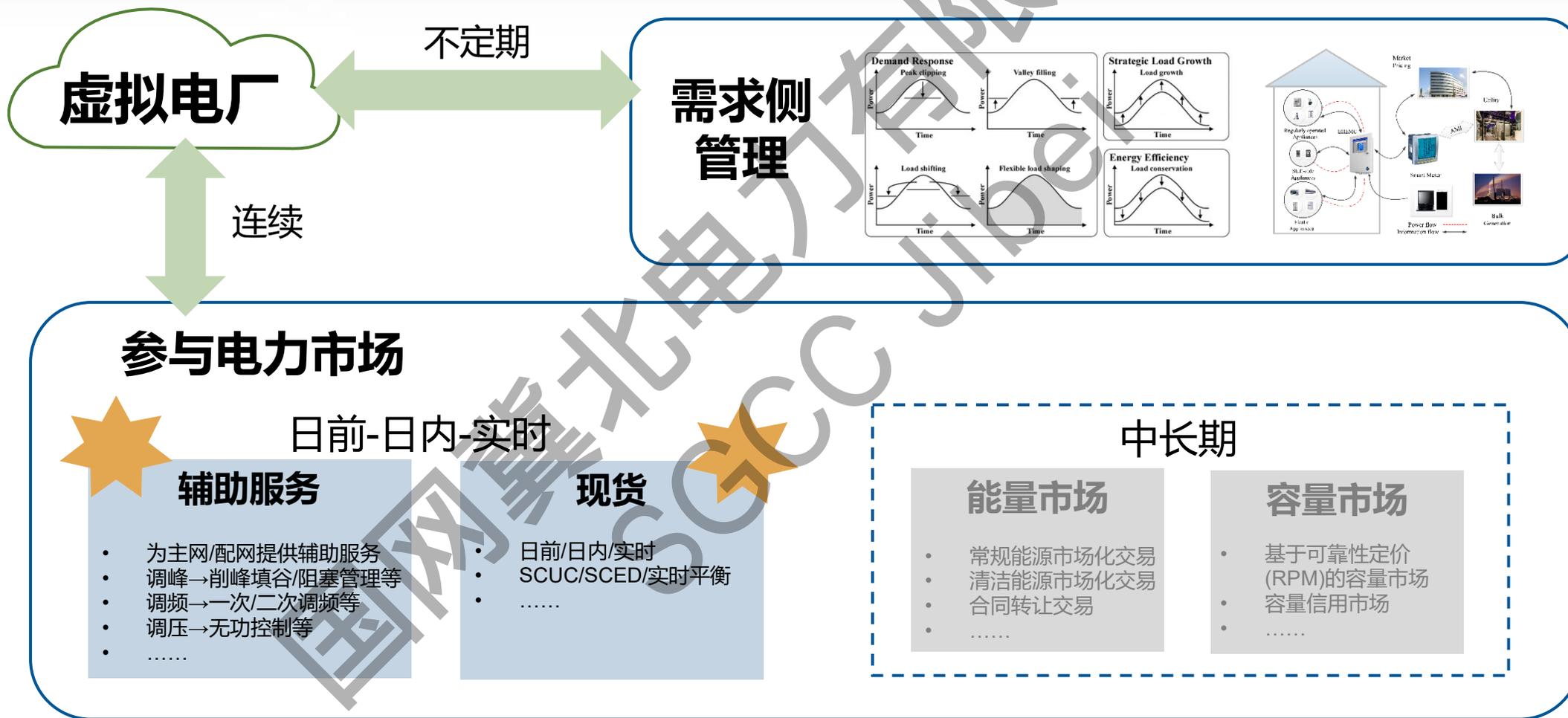
关键技术、工程建设与运营

3

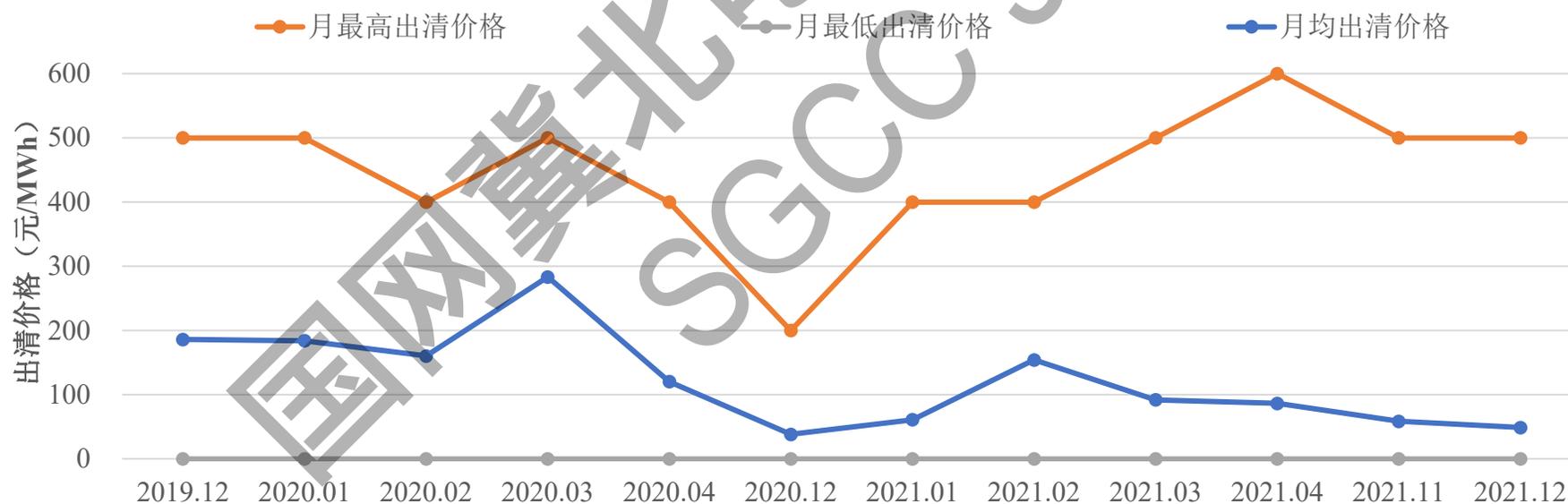
市场机制和商业模式

4

总结展望

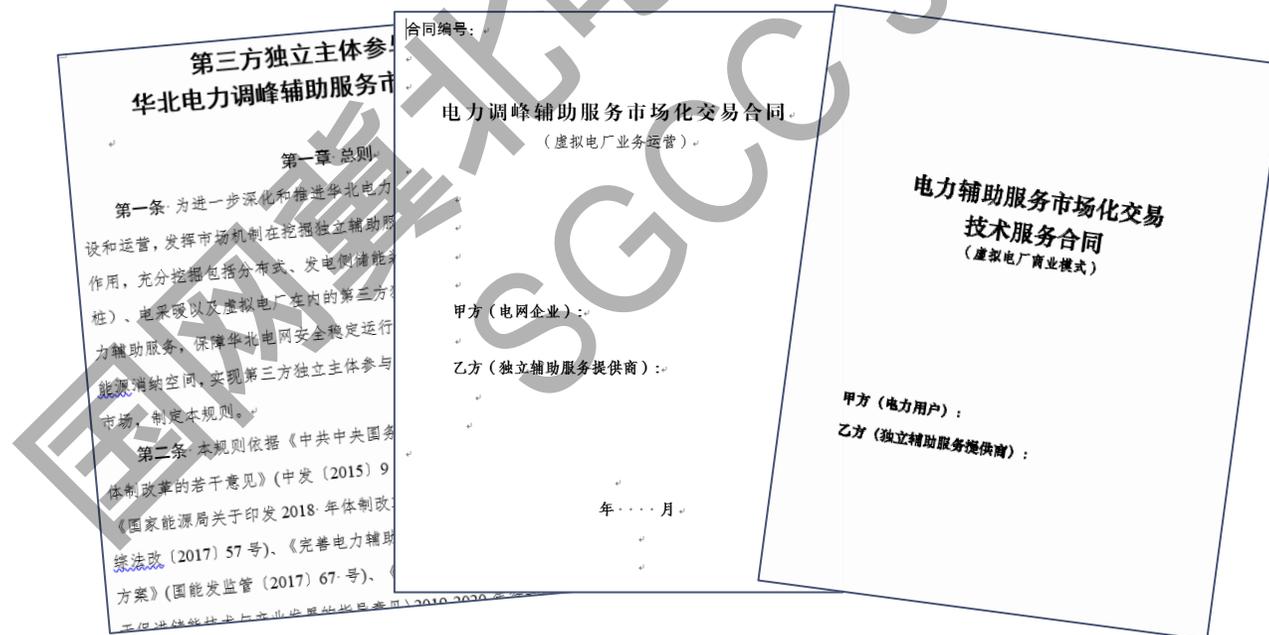


- **申报：**虚拟电厂运营商以报量报价的方式参与省网市场，申报用电功率曲线（MW）、价格（元/MWh）、最大可调节量（MW）、调节速率（MW/S）。等。
- **出清：**调度机构以购买调峰服务成本最小为目标，完成省网市场统一边际出清，市场出清结果作为用电功率计划，通过AGC下发至虚拟电厂智能管控平台。
- **结算：**虚拟电厂运营商每15分钟时段根据调峰贡献，在华北市场获得获得的辅助服务费用\*。



\* 《华北能源监管局关于继续开展第三方独立主体参与华北电力调峰辅助服务市场试点工作的通知》（华北监能市场〔2020〕208号）

- **签订代理合同**，与具备条件的用户签订代理合同协议。
- **聚合曲线申报**，每日结合用户历史负荷曲线及实际运行情况，组织用户确认申报交易。
- **指令优化分解(解聚合)**，实时对上级电网的调度指令进行计算，分解到终端，调整用电行为。
- **按月结算收益**，运营商按月从华北辅助服务市场获取收益；根据合同约定方式和每个用户调峰贡献量与聚合用户结算费用。

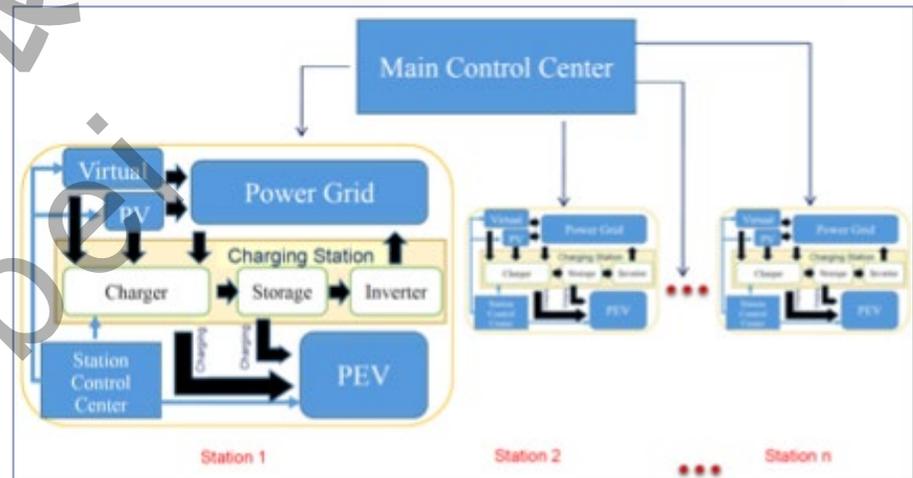
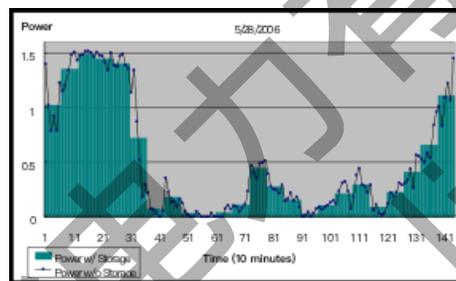
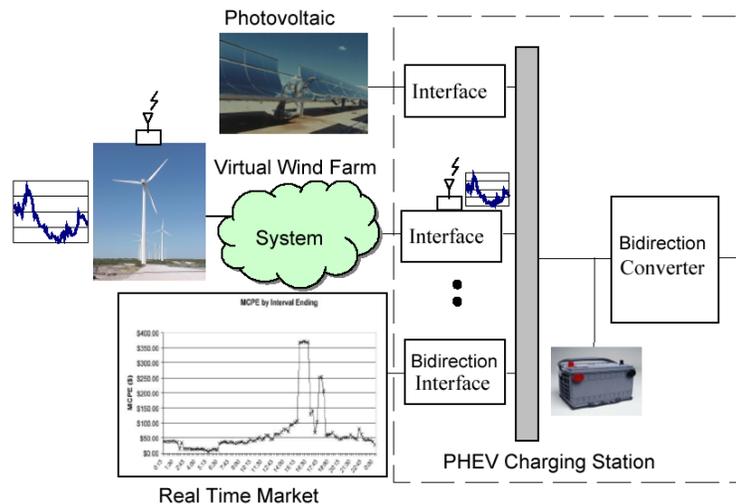




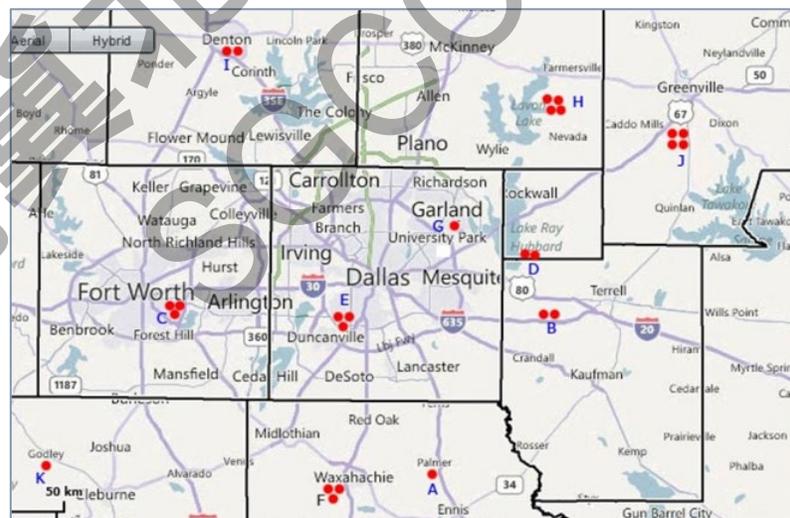
\* 来源：《虚拟电厂建设与运营管理实施管理方案》（晋能源规〔2022〕1号）

# 美国德州

# 电动汽车型虚拟电厂+现货市场

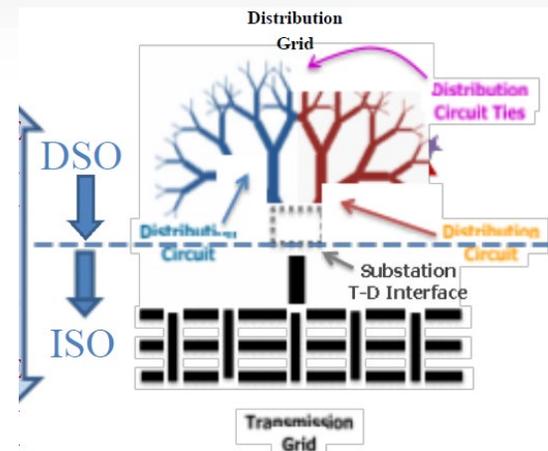
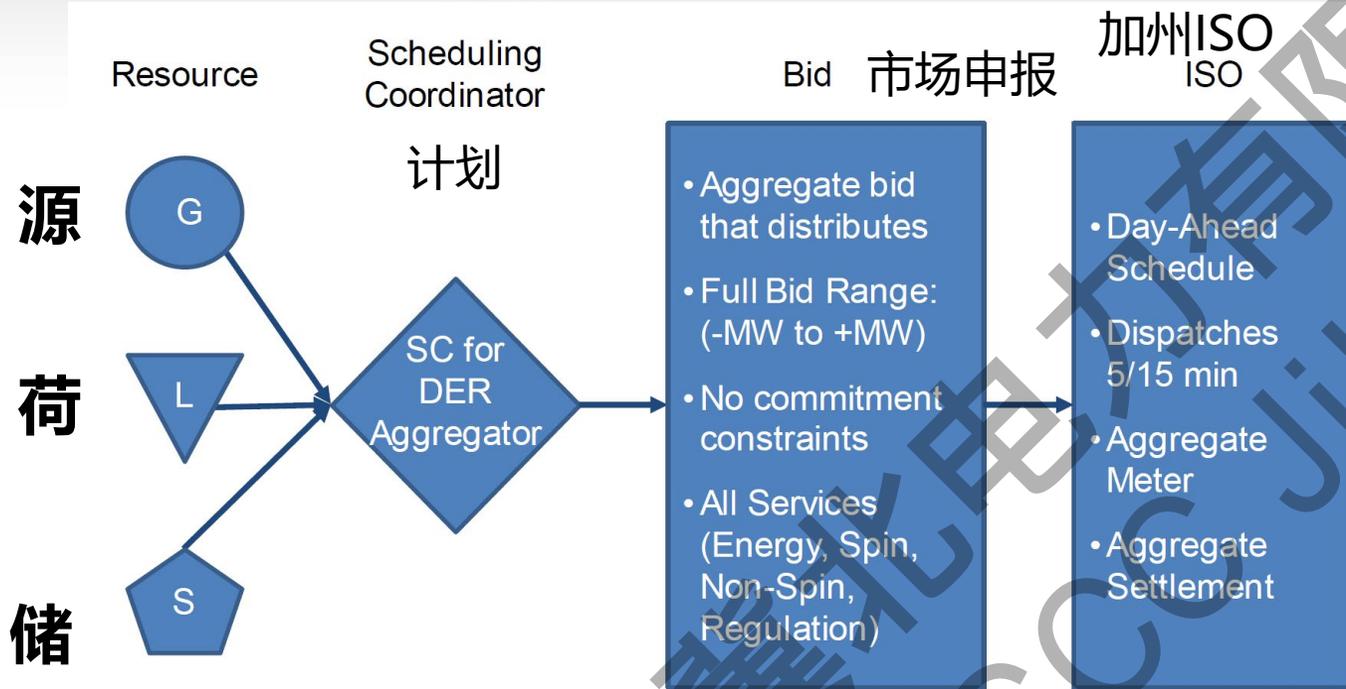


现货能量+辅助服务  
调频、备用



储能、负荷参与辅助服务市场: Reg up, Reg Dn, RR

\* 来源: ERCOT, Tesla Virtual Power Plant Workshop, Related to OBDRR041 by Webex, 31 May, 2022



**现货能量 + 辅助服务**  
**调频、备用**

**可靠需求响应资源 RDRR** –Reliability Demand Response Resource

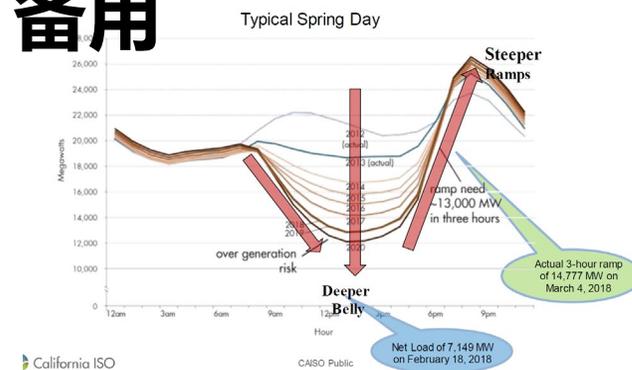
- Emergency Load Curtailment

**代理需求响应资源 PDR** –Proxy Demand Resource

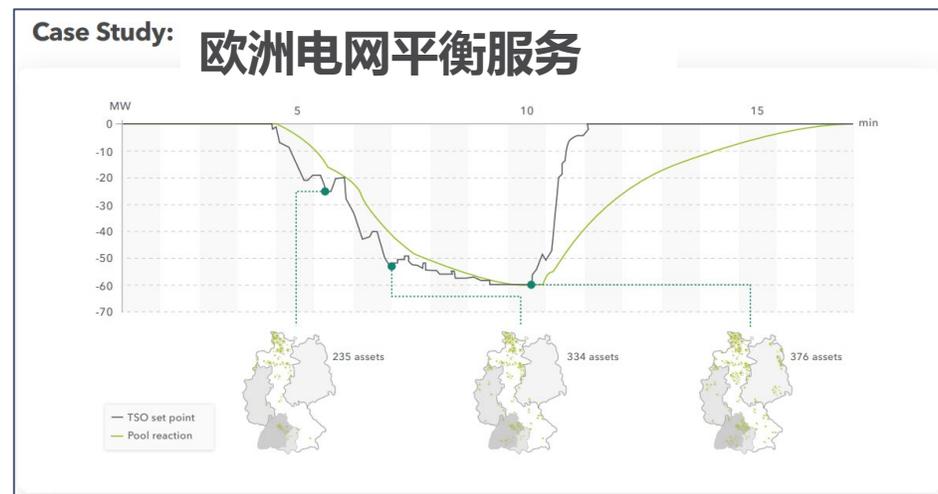
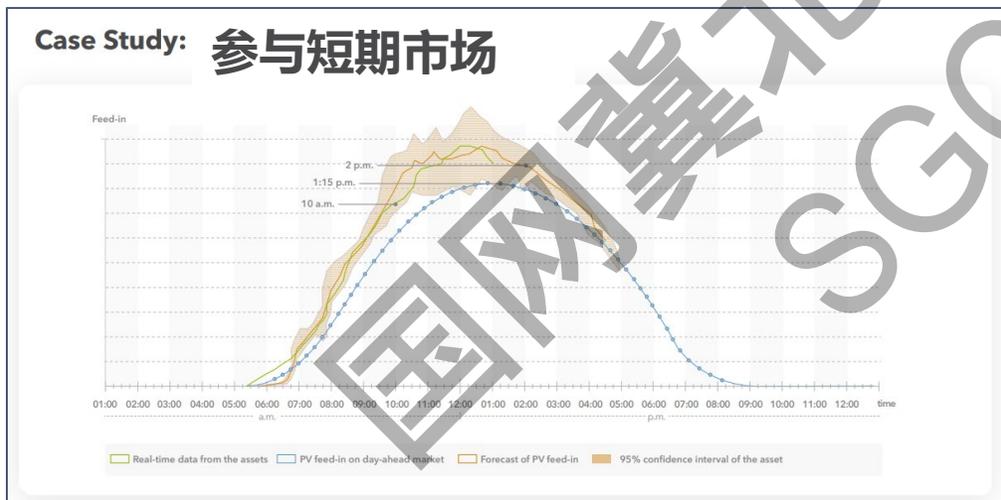
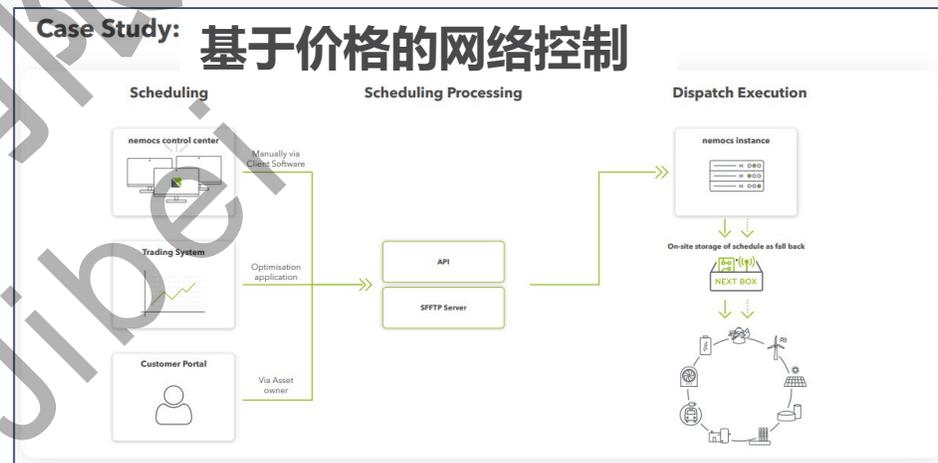
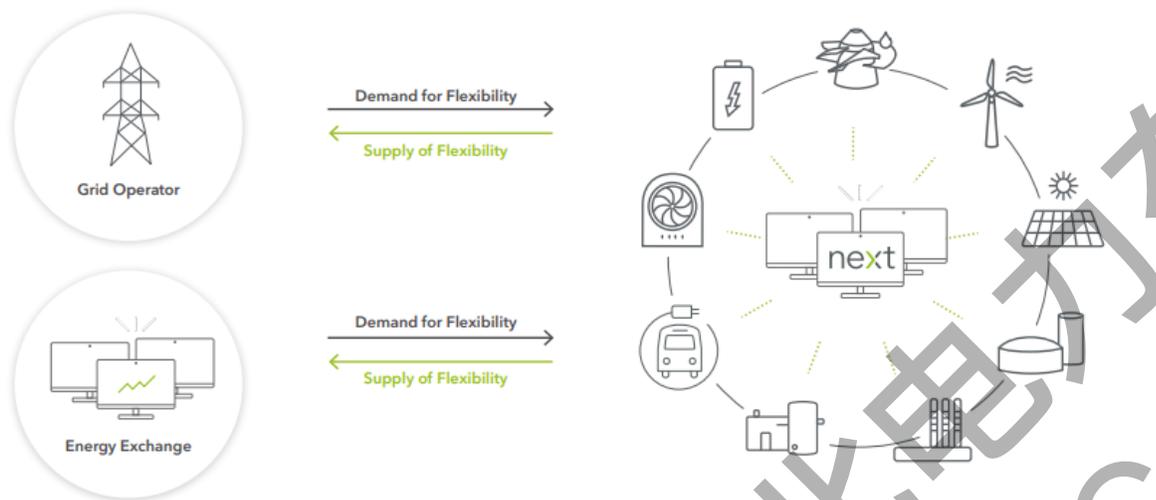
- Traditional Load Curtailment

**非发电资源 NGR**- NGR-Non Generator Resource Model

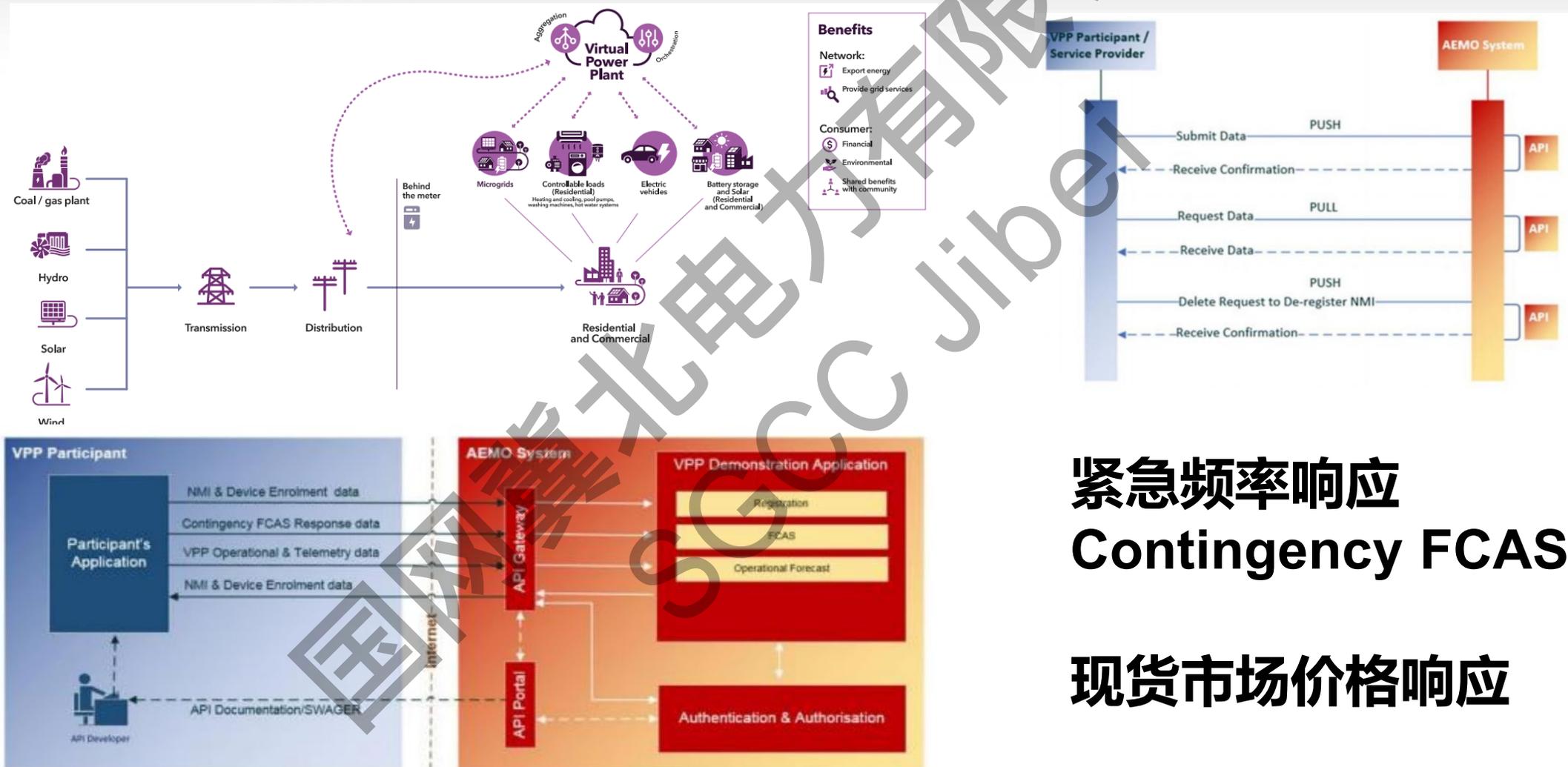
- Designed for a resource that can move seamlessly between consuming and injecting energy at different times



\* 来源: CASEY K E. Virtual power plant – California practice[R]. Portland, OR, USA: California Independent System Operator, 2018.



\* 来源: NEMOCS VPP-as-a-service-solution, [www.next-kraftwerke.com/](http://www.next-kraftwerke.com/)



## 紧急频率响应 Contingency FCAS

## 现货市场价格响应

\* 来源: AEMO NEM virtual power plant demonstrations - knowledge sharing report #4[R]. Australia: Australian Energy Market Operator, 2021.

# 目录

1

背景

2

关键技术、工程建设与运营

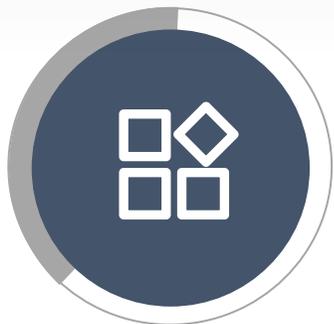
3

市场机制和商业模式

4

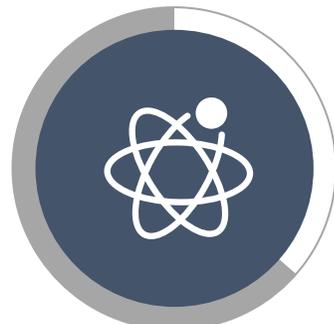
总结展望

# 总结展望



## 国家战略

- ◆ 碳达峰、碳中和战略目标
- ◆ 以新能源为主体的新型电力系统建设



## 技术突破

- ◆ 虚拟电厂技术体系架构
- ◆ 虚拟电厂基础理论和关键技术
- ◆ 数字化、信息化技术深度赋能



## 机制创新

- ◆ 虚拟电厂参与的中长期、现货、辅助服务等市场机制
- ◆ 以市场为驱动的虚拟电厂终端商业模式
- ◆ 面向能源互联网的共享生态

## 下一步:

- **接入标准**  
(可信调节能力、标准模型)
- **计量+结算**  
(实际调节量、激励相容)
- **信息安全**
- **市场机制、商业模式**

谢谢!

国网冀北电力有限公司  
SGCC Jibei