

# 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12月

---



# 目 录

- 1 背景和基本概念**
- 2 关键技术**
- 3 政策、市场机制和商业模式**
- 4 案例和应用**

## 背景

# “双碳”和新型电力系统

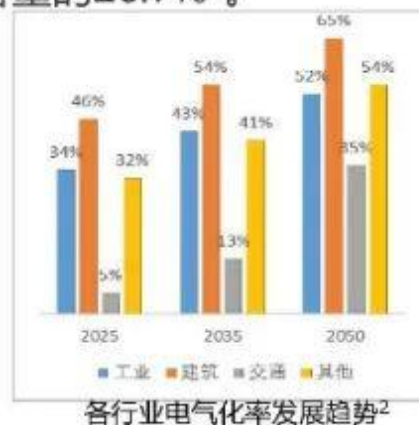
### “碳达峰、碳中和”

- 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>。



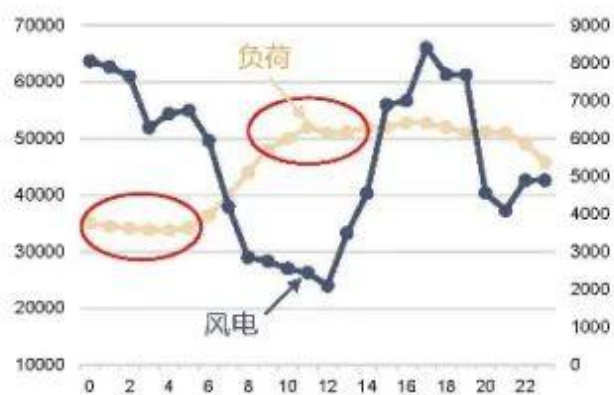
<sup>1</sup> 来源：国家能源局2022年一季度网上新闻发布会文字实录

<sup>2</sup> 来源：国网能源研究院《中国电力供需分析报告 2021》

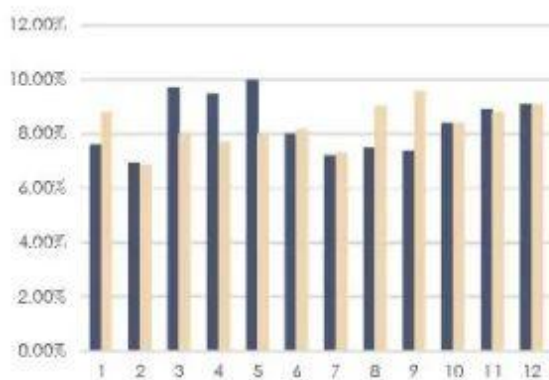
## 痛点

## 系统灵活调节能力

- **新能源占比逐年提高**，低谷时段消纳难，尖峰时段保供难，波动时段调节难。
- **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)





## 难点

## 关键问题

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？

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



关键技术

政策、市场机制

商业模式

# 解决方案

## 虚拟电厂定义



## 虚拟电厂

聚合优化“网源荷储”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、储能侧的柔性调用，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)

不同于微网，可跨地域

连接

聚合

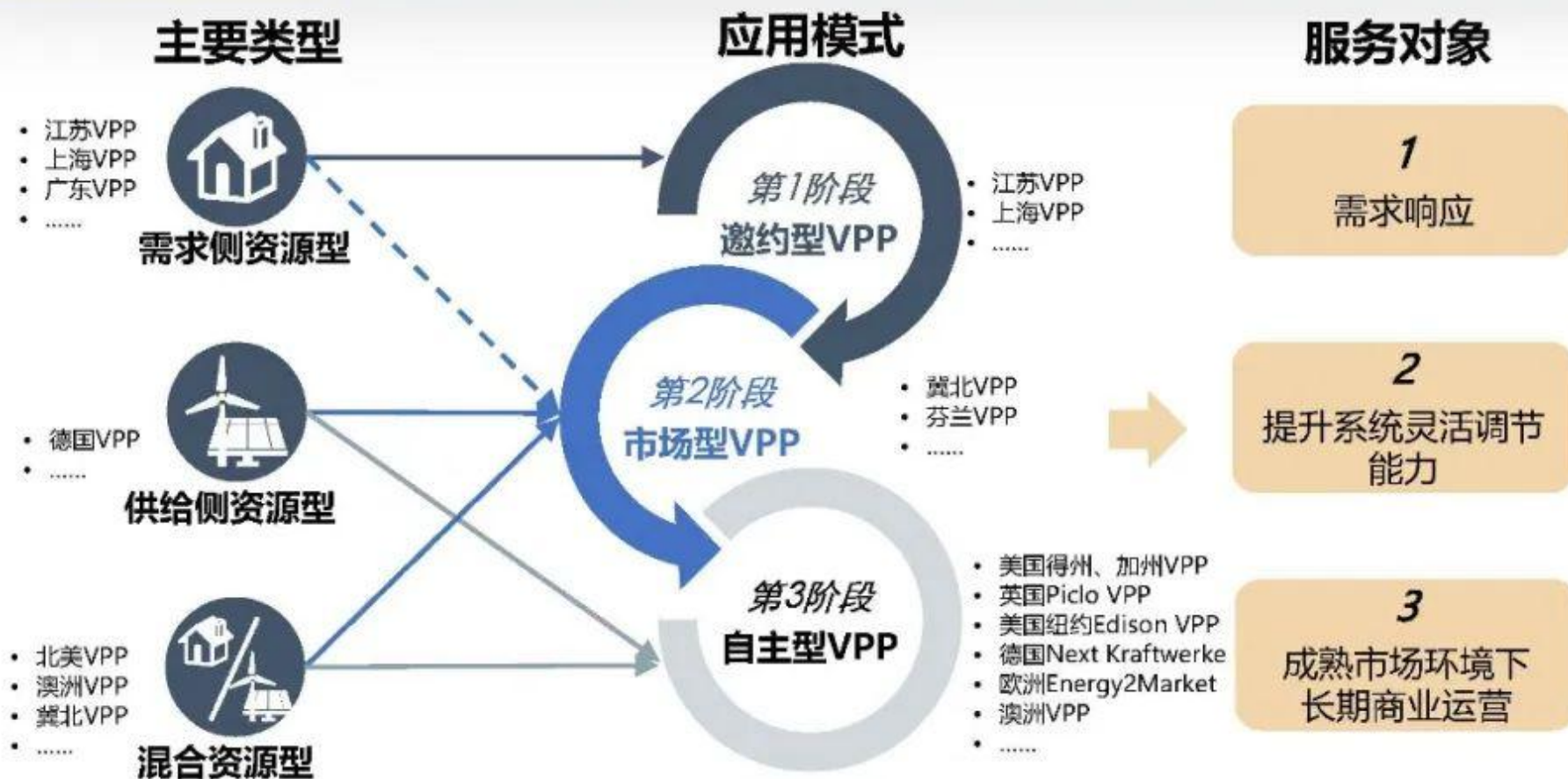
调控

交易



# 解决方案

## 虚拟电厂主要类型



# 解决方案

## 虚拟电厂功能和价值



电力监管



监管机构



电力系统



发电企业



电网公司



电力用户



运营商



虚拟电厂运营商



负荷聚合商



辅助服务提供商



产业链



资产所有者



技术提供商



设备提供商



服务购买商

### 监管侧：降低系统运行成本

- 促进市场多元竞争，保障系统价格稳定
- 助力分布式能源监管

### 电网侧：服务电网稳定运行

- 提高可调资源的可控性和实时响应能力，提升系统调节能力
- 提高设备使用效率，减少电网的投资与建设

### 发电侧：促进新能源消纳

- 缓解传统火电深调压力，提升火电的利用率（减少尖峰电源投资）
- 为新能源提供新增调节能力，降低市场总成本费用

### 用户侧：产销结合者，保证优质供电服务

- 拓宽资产的盈利方式
- 提供移动APP、微信小程序等便捷互动渠道
- 用户可以远程开展交易申报、用能监测、实时控制等业务

### 运营商侧：引入新兴市场主体

- 确立虚拟电厂运营商（负荷聚合商）作为新兴市场主体
- 新商业模式业务模式

### 产业链：创造综合产业收益

- 创造全产业链效益
- 提供衍生增值服务



# 解决方案

## 虚拟电厂国际标准

### Virtual Power Plant(VPP)

A party or system that realizes aggregation, optimization and control of decentralized generations, energy storage devices and controllable loads, which are not necessarily within the same geographical area, and facilitate the activities in power system operations and electricity market.



### 标准立项

2018.03

• IEC TS 63189-2  
《虚拟电厂：用  
例》国际标准提  
案**获批立项**

2018.04

• 组建IEC TC8  
SC8B WG4虚拟  
电厂国际工作组

2018.09

• 虚拟电厂国  
际标准首次  
工作组会

2019.10

• 明确虚拟电厂  
概念定义

2020~2021

• 工作组草案/WD  
• 第一版委员会流转稿/CD1  
• 第二版委员会流转稿/CD2

### 标准编制

### 标准发布

2022.11

• IEC TS 63189-2  
《虚拟电厂：用  
例》国际标准  
**获批发布**

2022.06

• 委员会投票  
稿/DTS





Voting Result

APPROVED

Document 68(1)35/DTS

Project: IEC TS 63189-2 E01

IEC TS 63189-2 E01: Virtual Power Plants- Part 2: Use Cases

Reference	Circulation date	Closing Date	Revisions
68(1)35/DTS	2022-09-22	2022-11-26	



# 目 录

**1**

**背景和基本概念**

**2**

**关键技术**

**3**

**政策、市场机制和商业模式**

**4**

**案例和应用**

# 关键技术

## 冀北虚拟电厂

### ①用户侧智能终端

(建模、计量、通讯、控制)

### ②边缘智能网关

(数据存储、分析、计算)

### ③通信网络

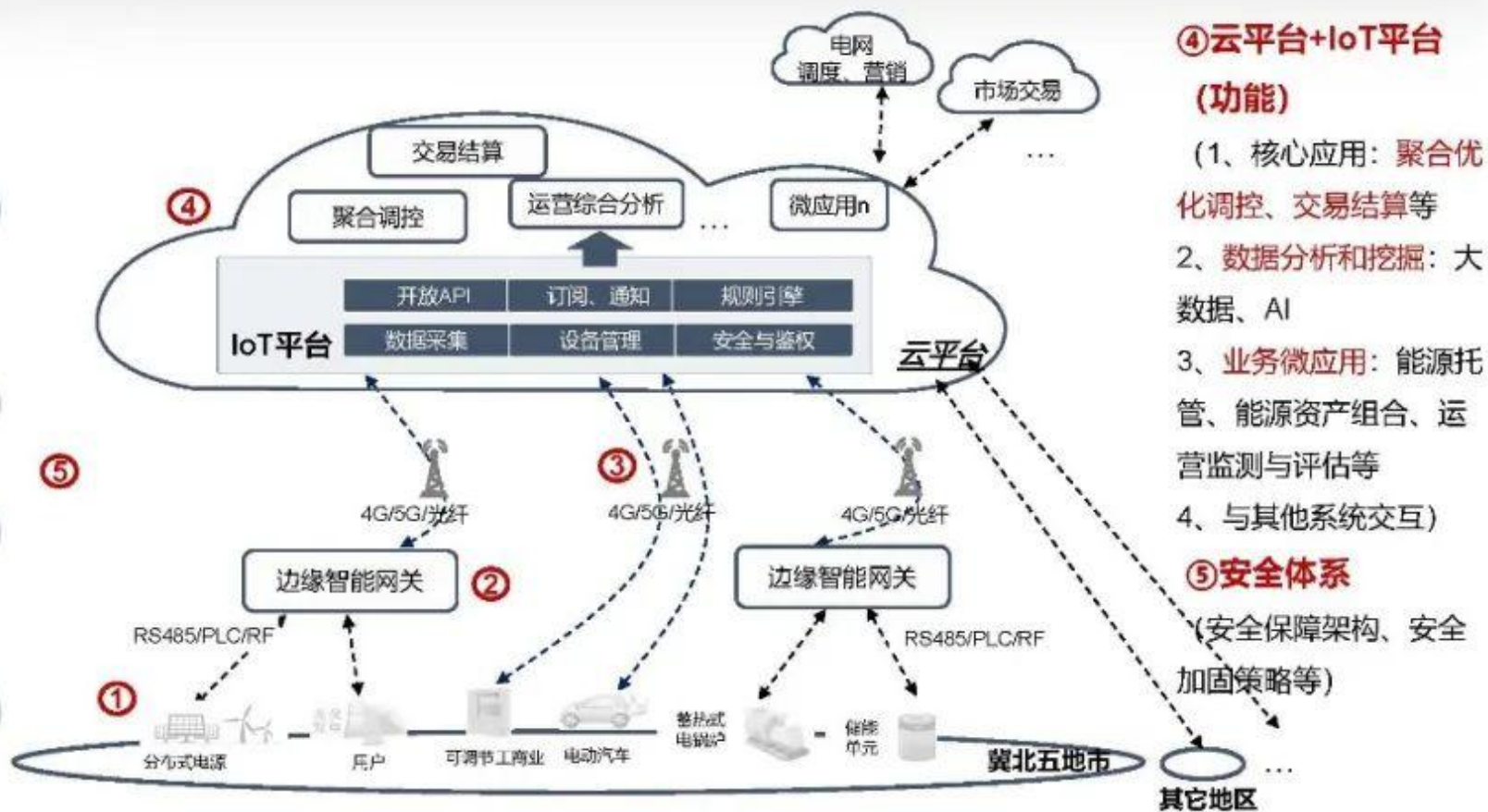
(5G、LoRa、光纤等异步通讯、网络安全等)

云

管

边

端



### ④云平台+IoT平台

#### (功能)

- 1、核心应用：聚合优化调控、交易结算等
- 2、数据分析和挖掘：大数据、AI
- 3、业务微应用：能源托管、能源资产组合、运营监测与评估等
- 4、与其他系统交互)

### ⑤安全体系

(安全保障架构、安全加固策略等)



# 技术架构

## 冀北虚拟电厂

### 三级架构



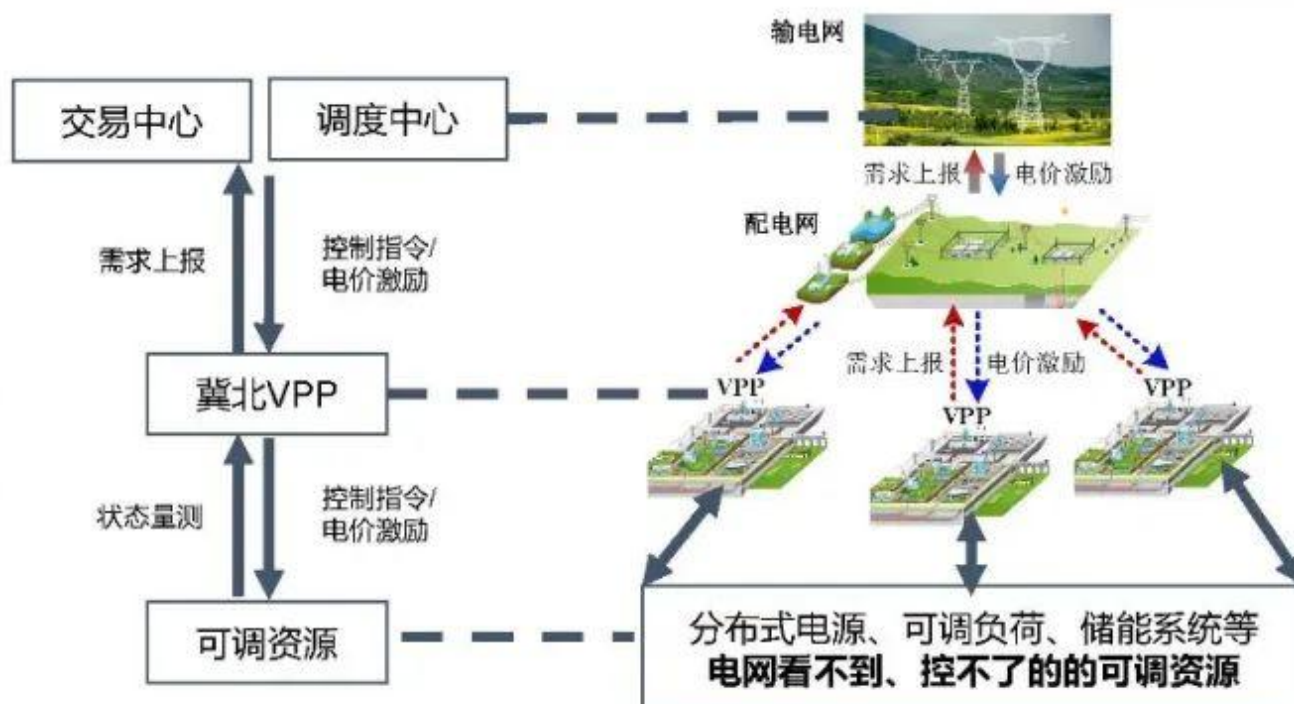
电力系统



冀北VPP



电力用户



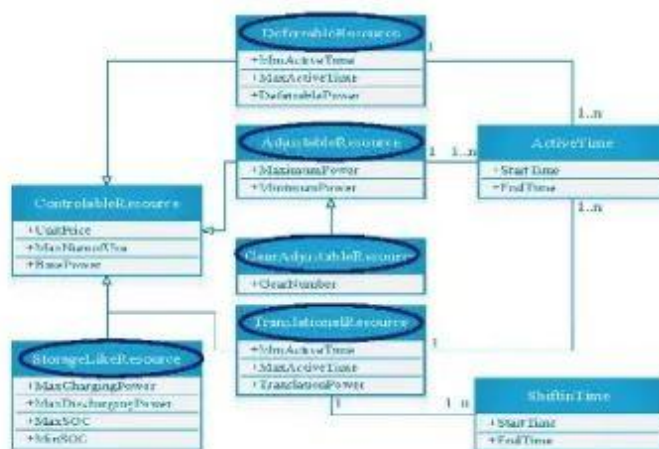
## 关键技术

# 虚拟电厂异质分布式资源的建模技术

### 多能异质资源



### 资源标准模型库

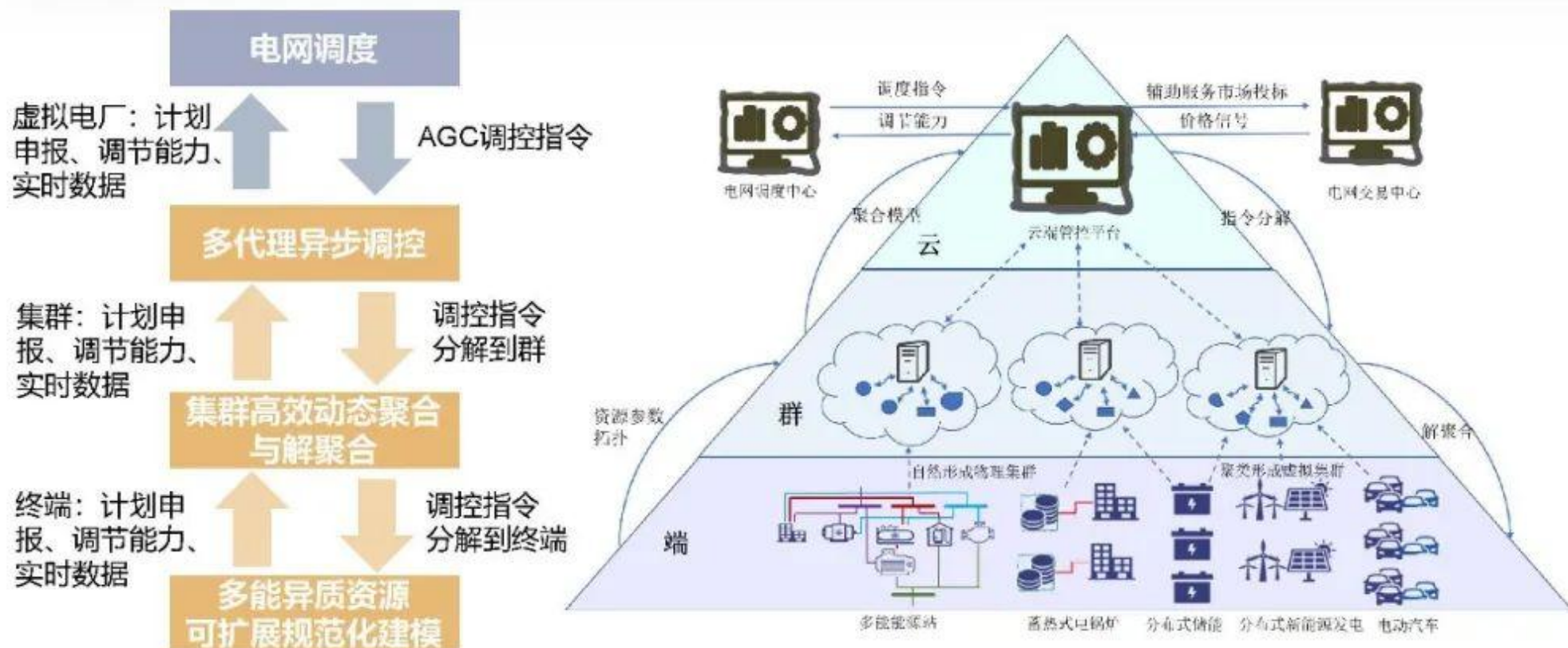


### 灵活性统一建模



# 关键技术

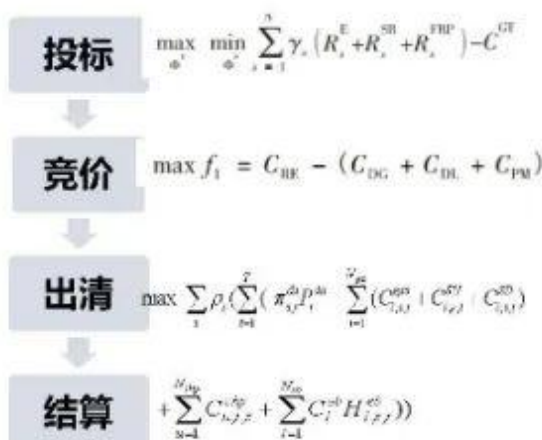
## 虚拟电厂聚合优化调控



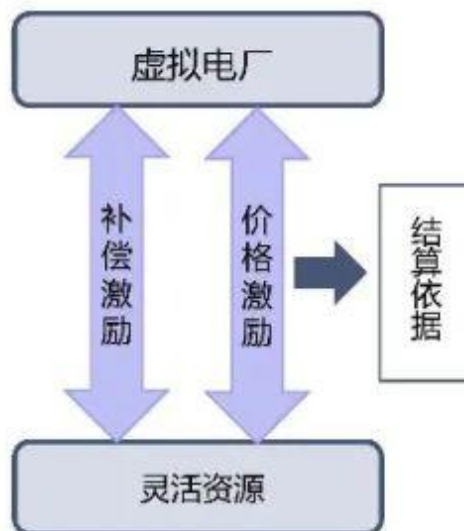


# 关键技术

## 虚拟电厂最优交易与定价



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



# 关键技术

## 虚拟电厂信息通信

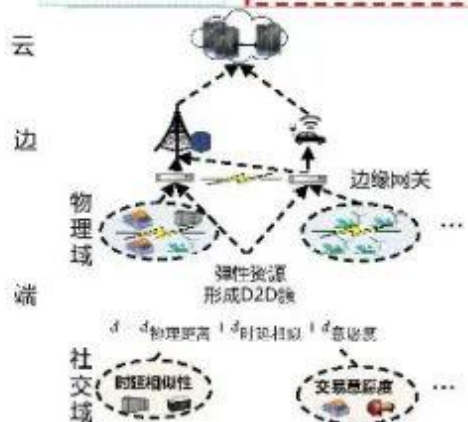
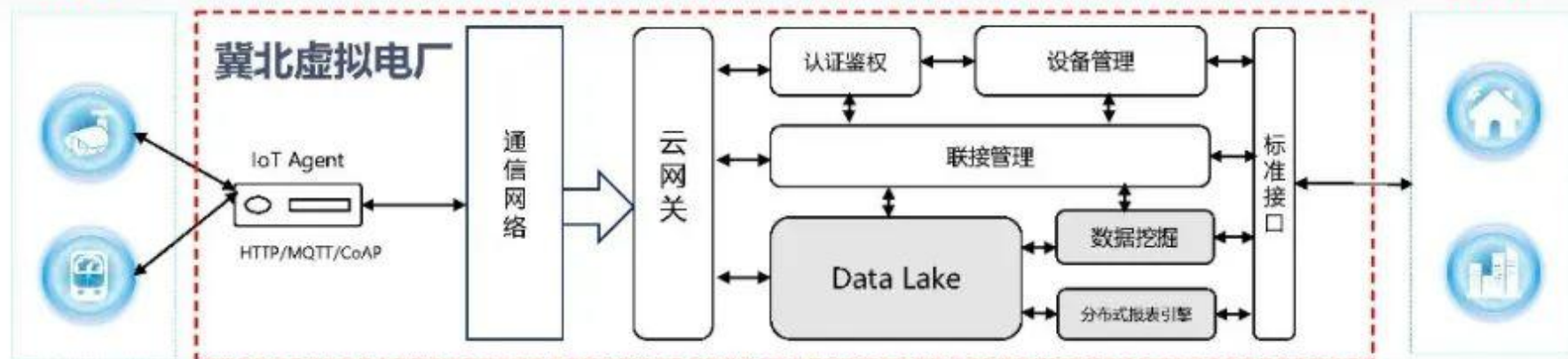
连接、安全、高效

终端

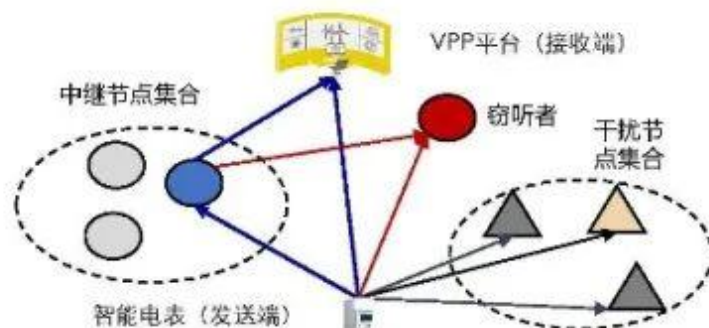
网络

平台

应用



基于社交-物理跨域D2D通信技术



中继和干扰节点辅助的安全通信



最优中继和干扰节点选择策略

## 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。**





## 平台研发

## 冀北虚拟电厂智能管控平台功能

从市场化运营业务协同角度分为四个阶段，冀北虚拟电厂智能运营管控平台为虚拟电厂运营商提供了分布式资源聚合优化、市场交易、友好协同互动业务支持。系统包括运营监控、终端app控制以及系统支撑等功能组成，按照不同的角色划分，不同的角色可以访问不同的功能应用。分布式资源商通过终端APP与平台的通信互动，实现虚拟电厂与分布式资源的互动响应。



# 工程建设

# 冀北虚拟电厂示范工程

## 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



虚拟电厂在构建新型电力系统中的实践与思考 王宣元 2022年12月





# 目 录

**1** 背景和基本概念

**2** 关键技术

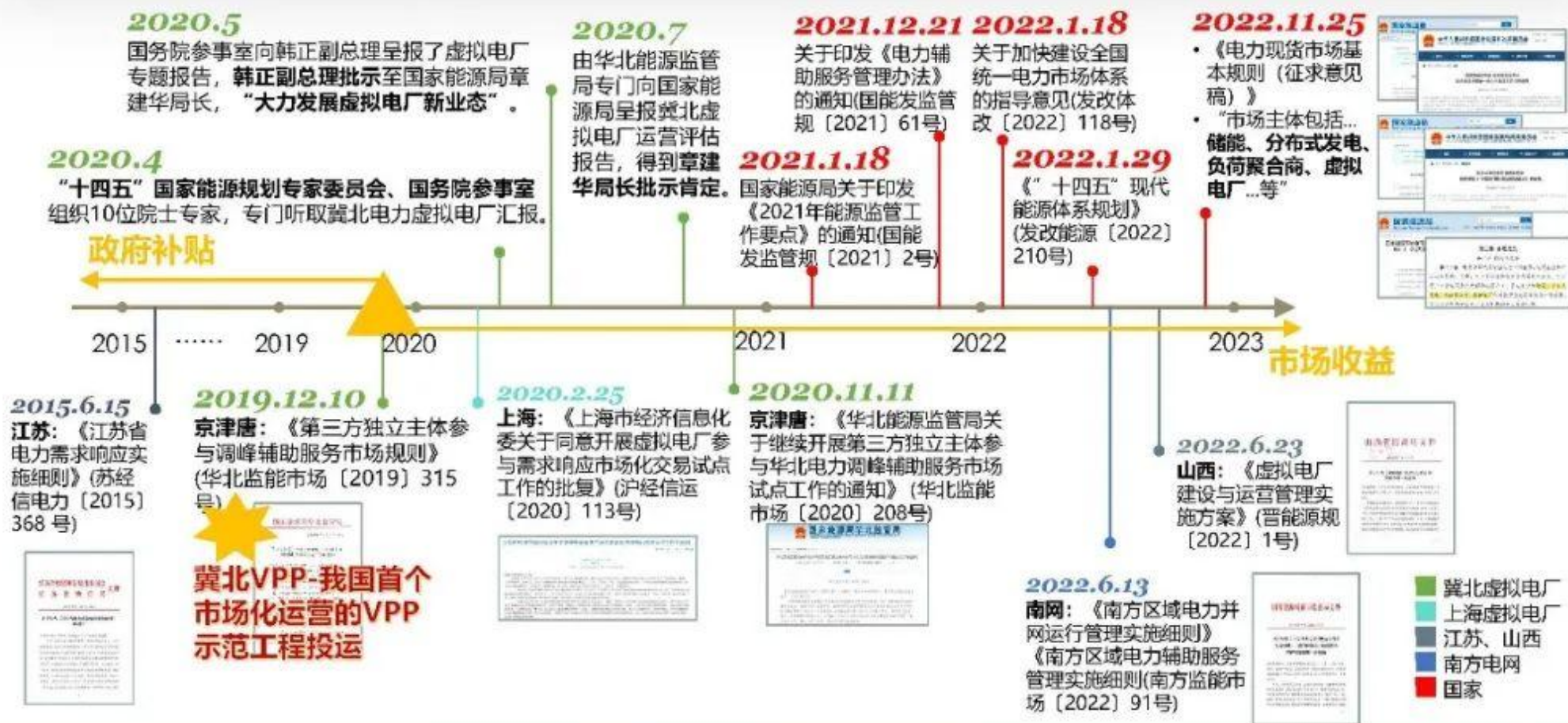
**3** 政策、市场机制和商业模式

**4** 案例和应用



# 政策机制

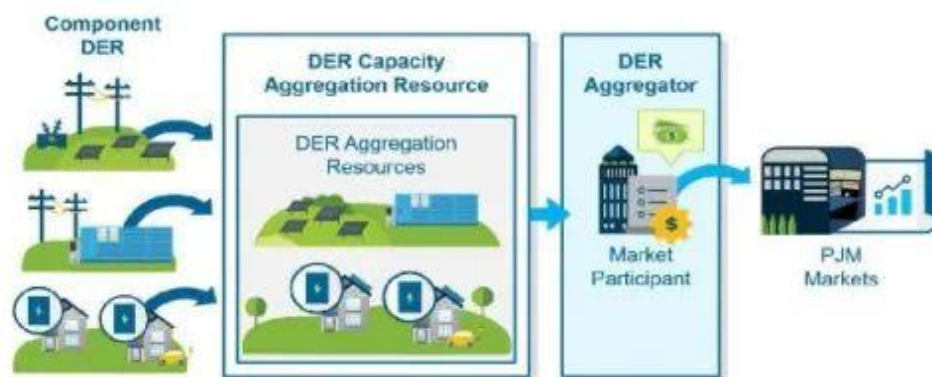
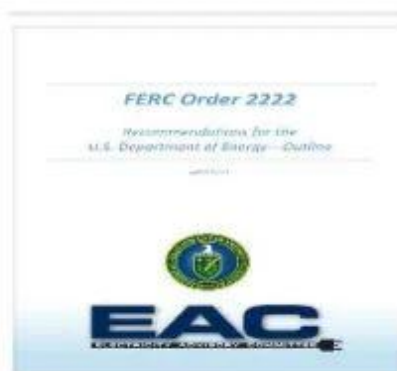
# 我国政策机制



## 政策机制

## 国外虚拟电厂主要政策机制

2021年4月，美国联邦能源管理委员会 FERC 2222号命令，要求通过**虚拟资源 (a single virtual resource)**，将分布式能源DER（分布式电源、储能、可调节负荷等）**智能聚合**，参加电力系统调度和市场，以降低电力系统的整体运行成本。



德国、英国、法国等欧洲国家，美国加州、德州、 纽约，日本、澳大利亚等也分别发布政策和市场机制，鼓励聚合分布式能源达到一定规模，参与主网调度运行和电力市场（提供灵活性，主要参与辅助服务、平衡市场、现货市场等）。



# 目 录

**1** 背景和基本概念

**2** 关键技术

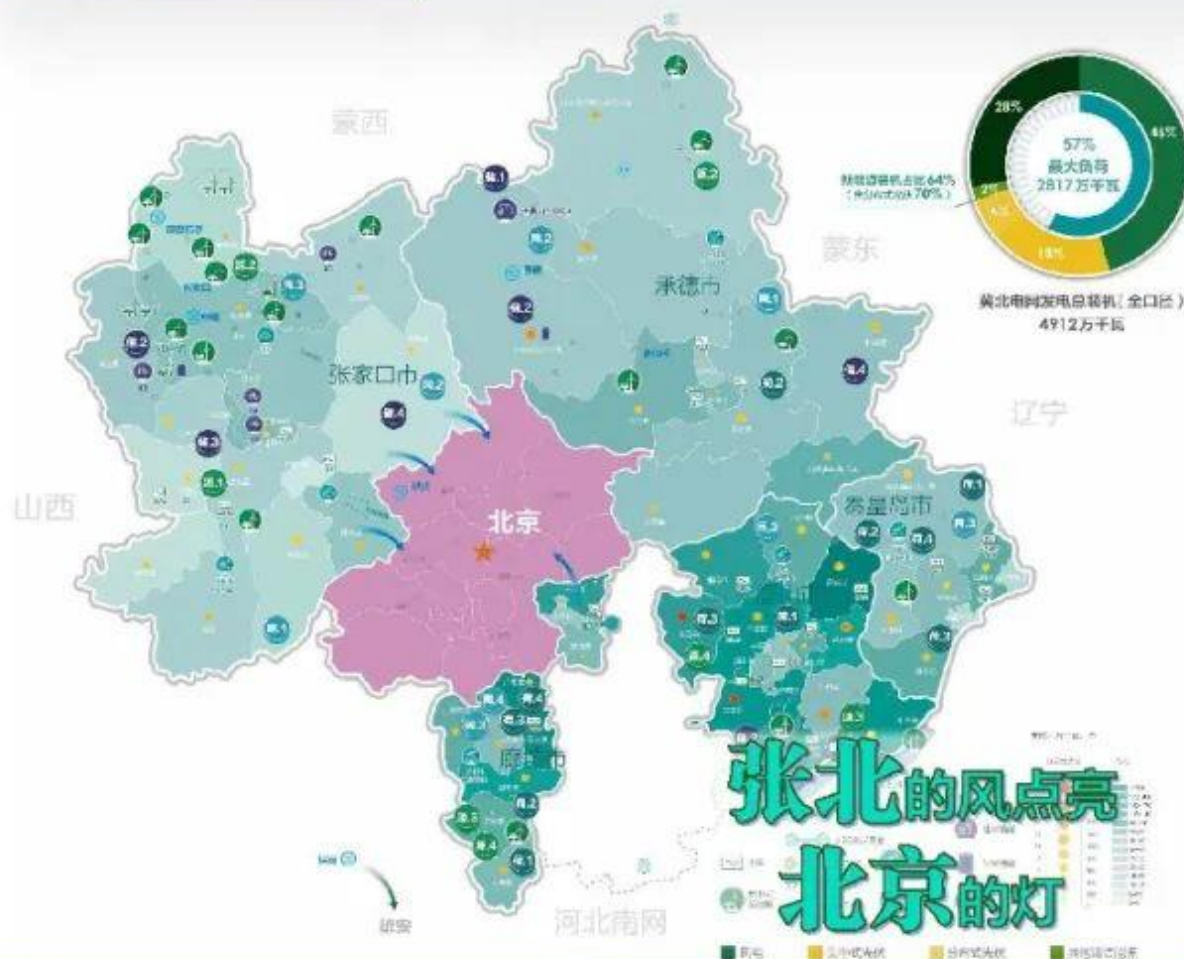
**3** 政策、市场机制和商业模式

**4** 案例和应用



# 冀北电网

## 电网结构



## 一保两服务

- 首都**70%**电力的传输任务
  - “西电东送” “北电南供” 500kV进京大通道，首都500kV大环网、6座500kV枢纽变电站
- 新能源装机占比**70%**，全国**首位**
- 首都和京津唐的绿电之源
  - 新能源装机占京津唐新能源装机**85%**
- 负荷内供外送；承担保首都供电责任
  - 历史最大负荷**2817万千瓦**，约占京津唐**45%**
  - 平均负荷占比**44%**，承担了京津唐**2/3**的有序用电

# 新型电力系统

## 面临挑战





## 冀北虚拟电厂

## 低谷调峰- 提升系统调节能力



接入蓄热式电锅炉、智慧楼宇、可调节工商业等**11类**可调资源，容量**358MW**

在后夜风电大发、电网低谷调峰困难时段，调动资源迅速拉升低谷用电负荷，最大调节电力**20.4万千瓦**

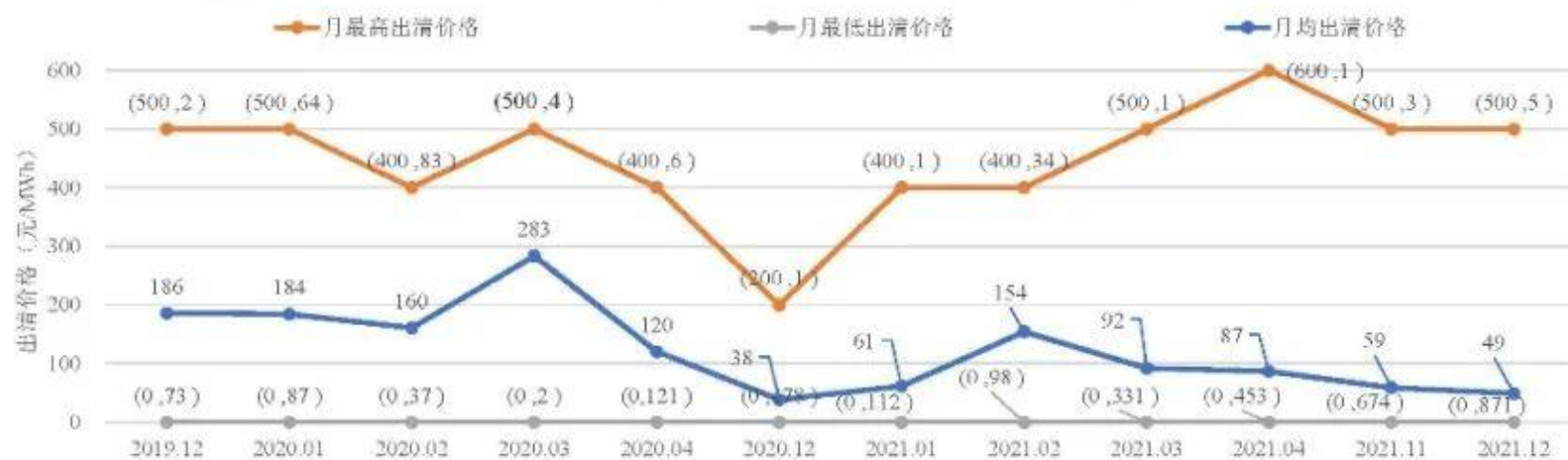


## 冀北虚拟电厂 实际运营情况

- 全程参与了华北(京津唐)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）
- 目前，虚拟电厂平台上有两家运营商，冀北综合能源公司、恒实科技。此外，包括国网综合能源公司、售电公司等多家系统内外运营商自建系统或平台。

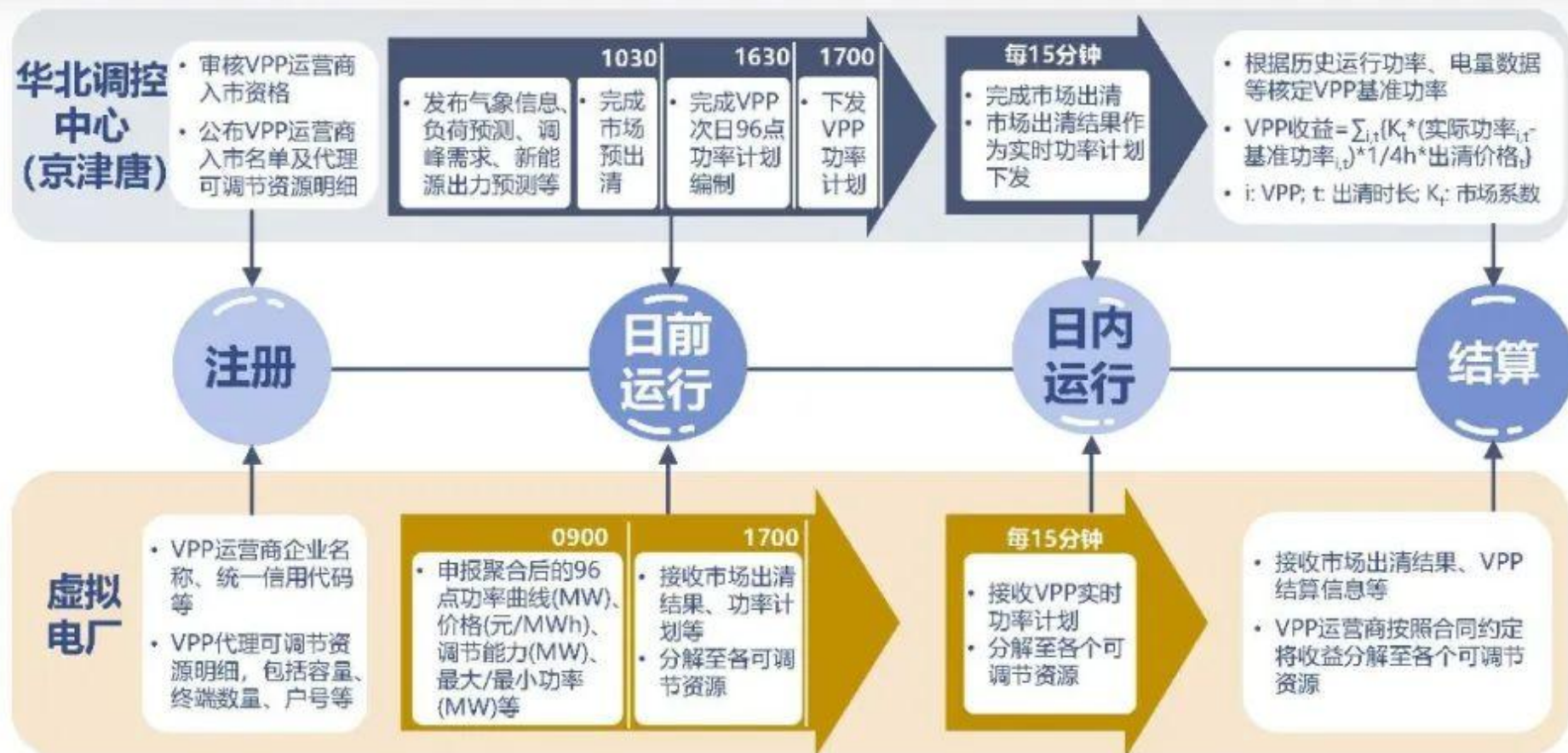


- 冀北虚拟电厂主要参与华北调峰省网（京津唐）市场，每年11月至次年4月开展，开展时段为00:30-07:00、12:30-16:00。
- 截至2021年12月，华北调峰市场月最高出清价格位于200元/MWh（2020年12月）至600元/MWh（2021年4月）之间，月最低出清价格为0元/兆瓦时。
- 2019-2020年火电、负荷统一报价出清机制下，月出清均价187.7元/MWh；自2020年执行火电、负荷分别报价出清机制以来，市场出清价格明显下降，月均价74.95元/MWh。

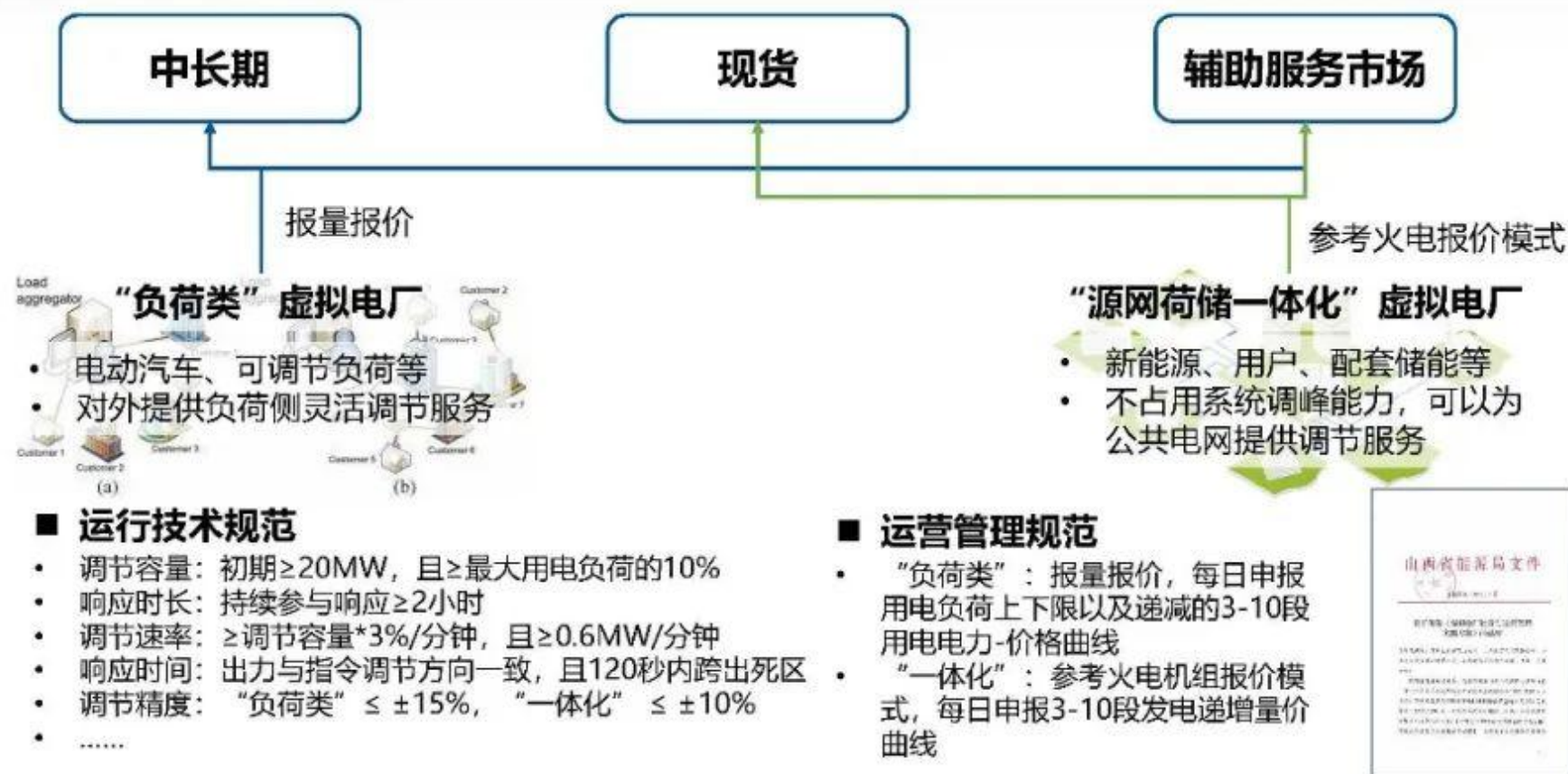


# 冀北虚拟电厂

## 参与调峰辅助服务市场流程







\* 来源：《虚拟电厂建设与运营管理实施案例》（晋能源规〔2022〕1号）

# 美国加州

## 聚合商DERP



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

- Emergency Load Curtailment

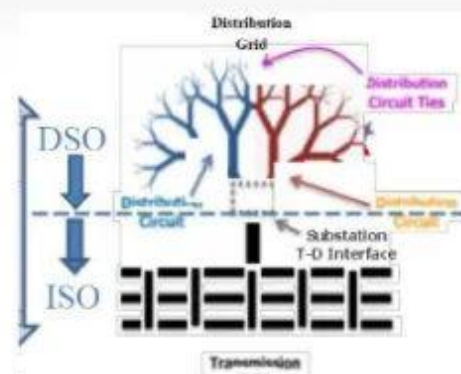
**代理需求响应资源 PDR** –Proxy Demand Resource

- Traditional Load Curtailment

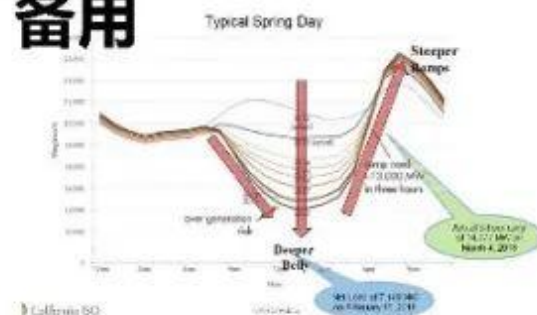
**非发电资源 NGR**- NGR-Non Generator Resource Model

- 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.



**现货能量+辅助服务  
调频、备用**

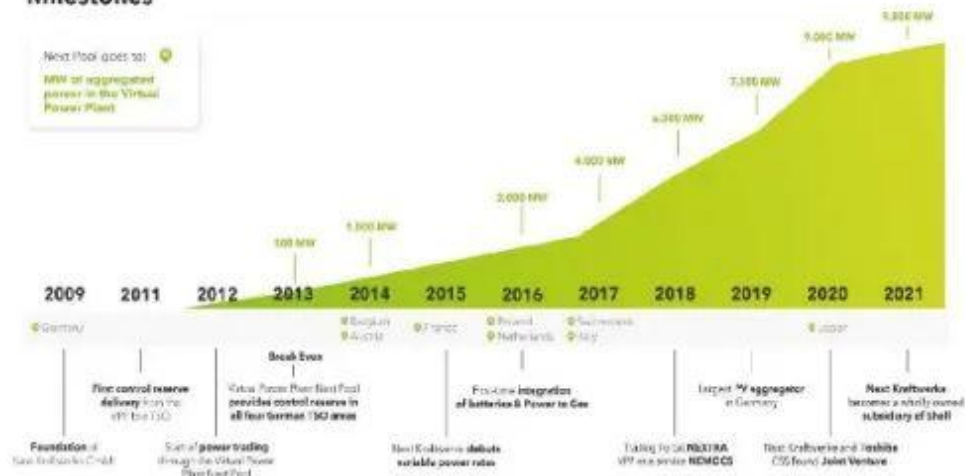


德国

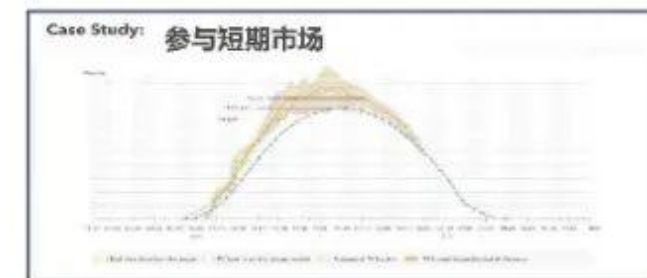
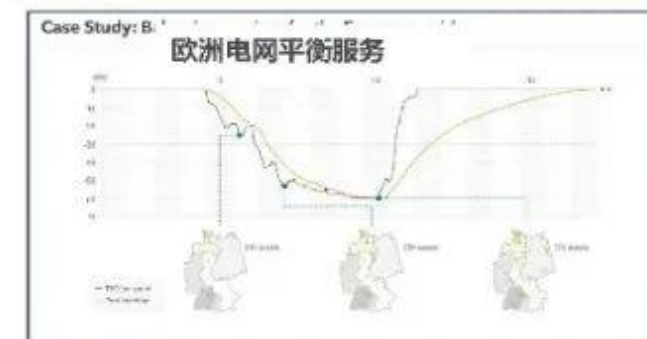
## Next Kraftwerke - 欧洲电力交易中心EPEX

- 截至2022年2季度，聚合资源数14414个，容量10836MW
- 2020年年度收益5.95亿欧元
- 2019年年度交易电量15.1TWh，即151亿kWh

### Milestones



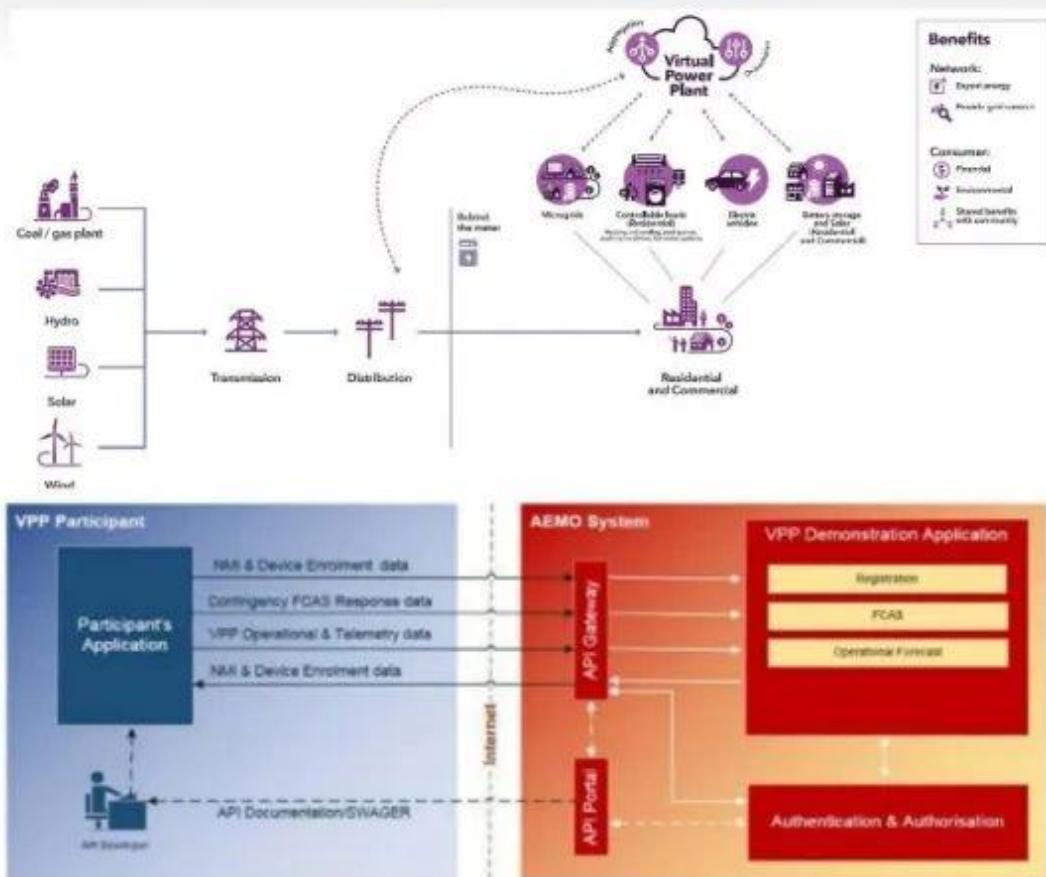
\* 来源: NEMOCS VPP-as-a-service-solution, [www.next-kraftwerke.com/](http://www.next-kraftwerke.com/)





# 澳洲

## 特斯拉墙 - 澳大利亚能源市场运营机构 AEMO



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.

虚拟电厂在构建新型电力系统中的实践与思考 王宣元 2022年12月

# 谢 谢!