



国家电网  
STATE GRID

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

# 面向新型电力系统的电能交易模式

中国电力科学研究院有限公司

2024.05

---

# 目录

## CONTENTS

### 面向新型电力系统的电能交易模式探讨

一

新兴主体参与电能市场面临的挑战

二

适应多兴主体的灵活能量块交易机制

三

灵活能量块交易关键技术及实验环境研发





国家电网  
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



## 一、新兴主体参与电能市场面临的挑战

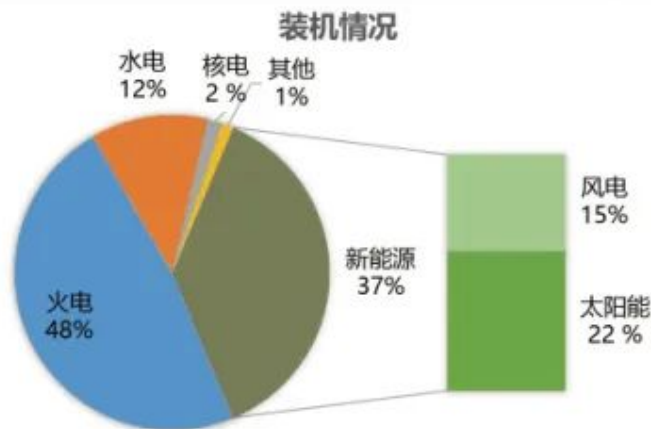




# 新兴主体参与电能市场面临的挑战

## 我国新能源发展趋势

### 新能源发展迅速



- 新能源大规模发展，23年度国网区域新能源装机容量8.66亿千瓦，占全部装机比重为37%，同比增长35.4%；预计24年新增装机2.7亿千瓦。

### 装机占比逐年递增



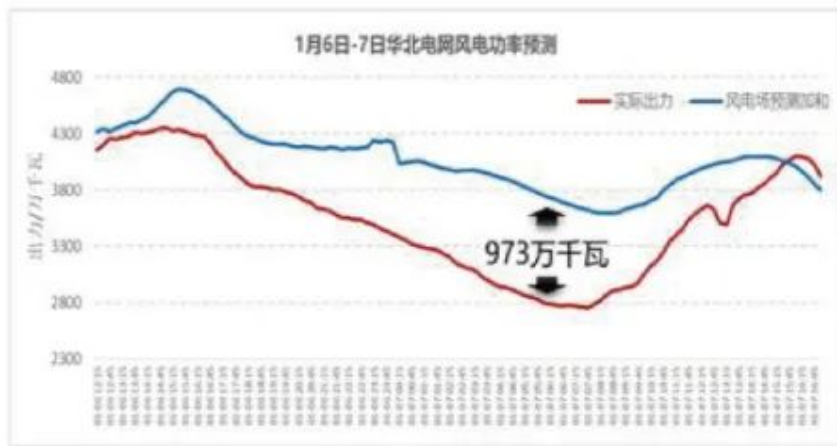
- 23年国网经营区新能源最大出力达3.6亿千瓦，占当时负荷的41%；日发电量最大49亿千瓦时，占当日总发电量的32%。



# 新兴主体参与电能市场面临的挑战

## 我国新能源发展趋势

### 时段电力平衡面临挑战



- 以华北区域电网风电为例，48小时内最高出力4300万千瓦，最低出力只有2800万千瓦，新能源出力波动大，造成局部时段电力平衡困难。

### 亟待挖掘新兴主体调节价值

虚拟电厂  
3.7GW

电动汽车保有量  
2000万

灵活调节资源

空调负荷  
3亿千瓦

新型储能  
3100万千瓦

- 迫切需要通过市场机制，发现储能、虚拟电厂、可控负荷、电动汽车等各类资源的灵活调节价值，激发新兴主体的调节能力。



# 新兴主体参与电能市场面临的挑战

## 我国电力市场建设现状



- 中长期开展年度、月度、月内、日滚动交易；
- 交易形式以双边协商为主，集中交易为辅；
- 粗粒度的电量交易向细粒度的电力交易转变；
- 中长期市场发挥了“压舱石、稳定器”的作用。

- 第一、二批现货试点进入模拟试运行和长周期结算试运行；
- 山西、广东电力现货市场进入正式运行，山东、甘肃也即将进入正式运行；
- 现货市场发现了电力资源的时、空价值。



# 新兴主体参与电能市场面临的挑战

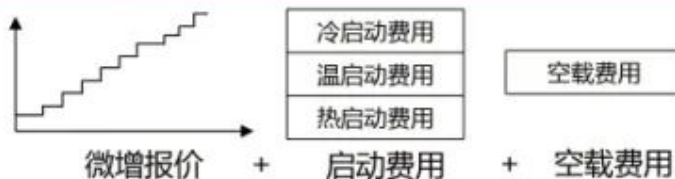
## 我国现货市场设计以传统电源为目标

现有现货市场设计源于上世纪末的经验积累，以“发电能力稳定可控的传统电源”为中心。

- 发电侧报价，包括启停、空载和多段微增曲线；
- 发电能力和燃料成本不随时间变化；
- 用电侧报价，通常采用报量不报价模式，提交用电曲线。

### ➤ 发电侧申报

#### 发电侧的申报内容

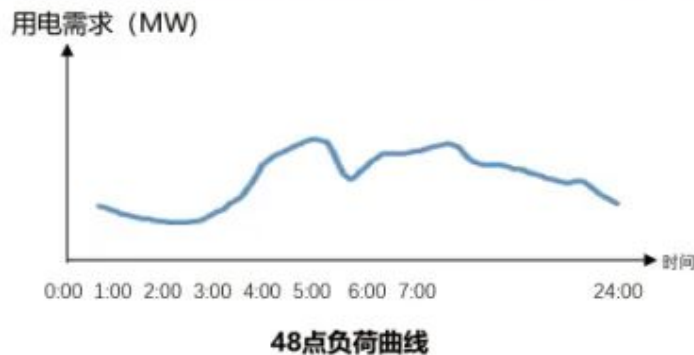


#### 发电侧的技术参数

|          |          |          |
|----------|----------|----------|
| 最小/大技术出力 | 最小开/停机时间 | 联合循环燃汽配比 |
| 爬/滑坡率    | 检修       | 发电能力 ... |

### ➤ 负荷侧申报

#### 报量不报价-分时段用电需求曲线





# 新兴主体参与电能市场面临的挑战

## 新兴市场主体参与市场面临挑战

对比传统的火力发电，新兴市场主体参与市场化交易，其提供出力的能力和成本随时间而变化，由此带来交易方式和报价模式上的新变化。

### 风电和光伏

- 风电和光伏，可控性差，发电出力波动频繁；
- 启停成本和空载成本为零；



### 储能

- 没有精确的发电成本曲线；
- 成本和收益取决于充放电行为，互相耦合；
- 能量型、功率型储能报价差异大。



### 虚拟电厂

- 没有固定的成本曲线；
- 响应时间受到限制；
- 无启停成本、空载成本。



### 可调节负荷

- 没有物理执行的刚性约束；
- 由市场价格决定交易行为；
- 绝对量和相对量调节差异大。



**现有交易方式和报价模式，对新兴主体的报价需求支持不足！**



# 新兴主体参与电能市场面临的挑战

## 市场主体灵活决策面临挑战

准确模型+集中优化



标准模型+两级决策



现有市场出清，由运营结构“统一优化”

1. 针对不同主体类型需要分别建模，导致模型复杂；
2. 新兴主体的模型参数，随时间变化，准确度低；
3. 集中出清算法计算困难，耗时长。
4. 市场主体的决策主动性未能体现。



国家电网  
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



## 二、适应多主体的灵活能量块交易机制





# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 新型电力系统建设要求

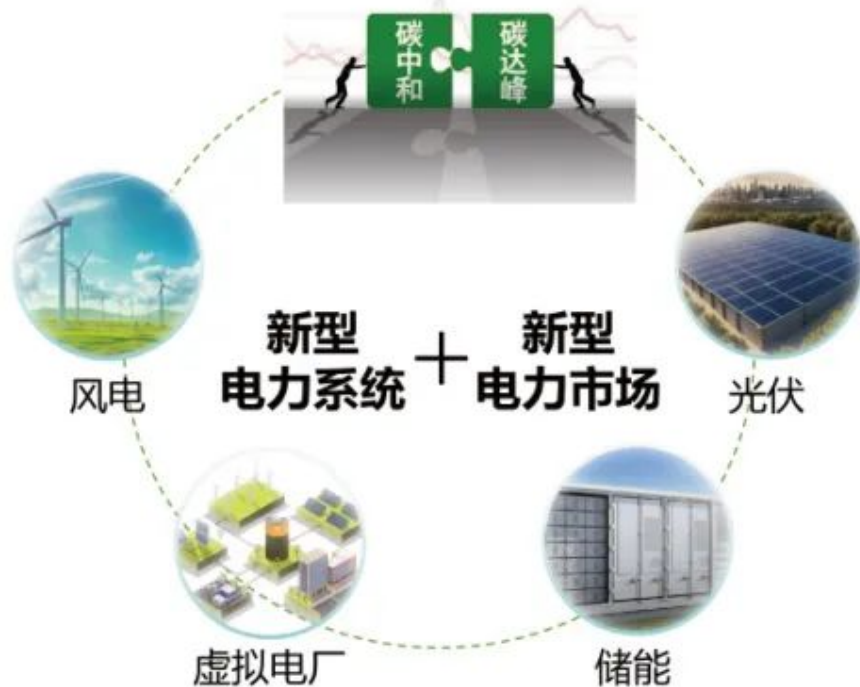
清洁低碳

安全充裕

经济高效

供需协同

灵活智能



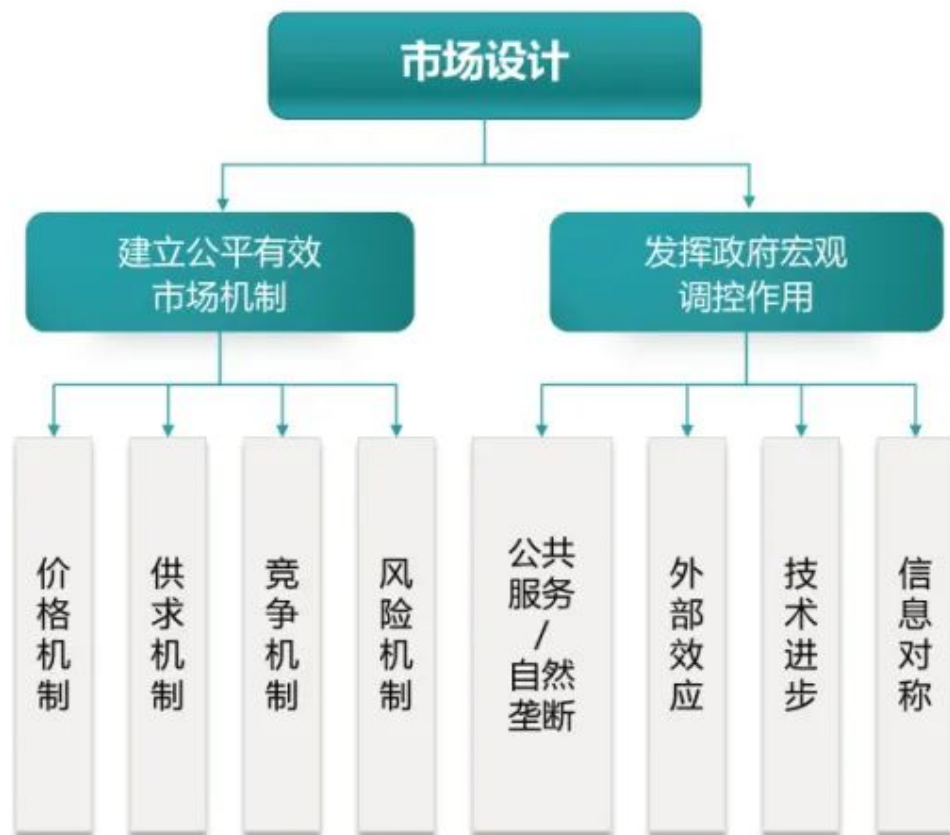
以最经济的方式实现  
“保供”和“消纳”双重目标

1. 激励各类主体参与市场交易;
2. 发现各类主体多元价值;
3. 激发灵活资源调节潜力发挥;



# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 新型电力市场设计原则





# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 新型电力市场设计原则

### 新型电能市场

与绿证、绿电等  
建立复合型市场



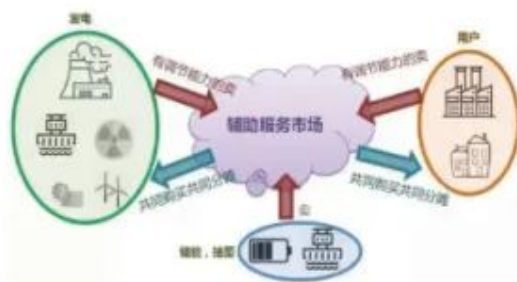
### 电能市场

构建独立的电能市场



### 辅助服务市场

构建电能与辅助服务  
联合出清市场



多元主体  
参与

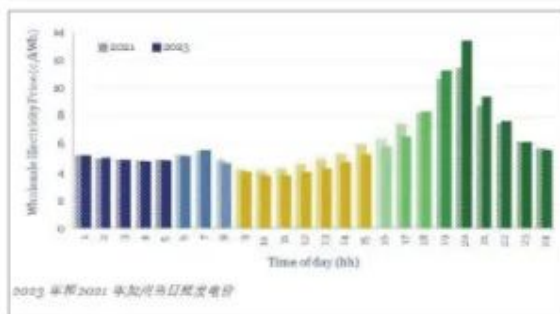
联合



# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 电能市场设计原则

### 基于分时定价的 电能商品统一化



### 技术中性的 申报、出清和定价



### 交易机构和市场主体 双层决策优化

交易优化目标:  $\min E = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [(p_i^t p_j^t) q_i^t]$

市场主体决策目标:  $\min e = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (C_m^n)$





# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 统一电能商品的交易标的

### 新型电力市场

中长期市场

现货市场

年度

月度

月内

日

日前

实时

集中优化

1  
小时

1  
小时

1  
小时

1  
小时

1  
小时

...

15  
分钟

15  
分钟

...

15  
分钟

15  
分钟

...

### 新型电力系统



经济投标信息

自行优化

物理技术参数



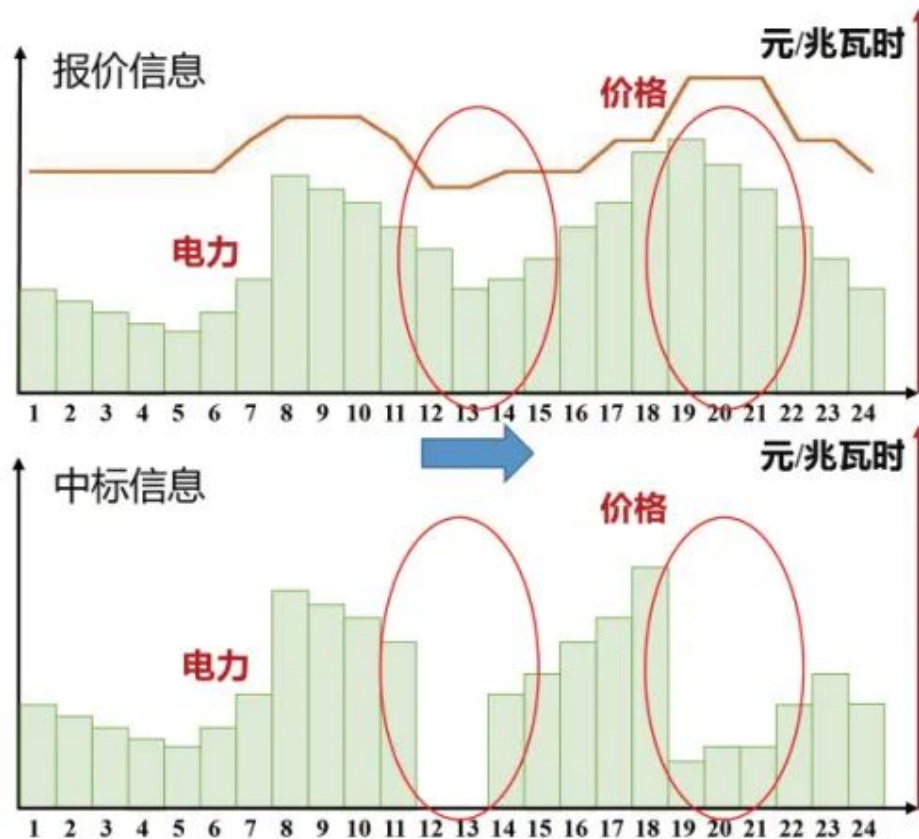
# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 构建多样化能量块产品

### ➤ 独立能量块

每个时段的能量块分别投标，无耦合关系

- 市场主体可以针对每个时段制定相应策略，灵活性高；
- 考虑发用双侧报价出清后，难以达成期望的中标曲线。





# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 构建多样化能量块产品

### ➤ 标准能量块

交易机构根据电力系统特性和市场主体意愿，制定标准能量块

- 由多个最小时段组成，例如峰、平、谷和基荷等标准化能量块；
- 申报简单方便，但是组合方式有限；
- 标准块内部电量必须相同，不够灵活。





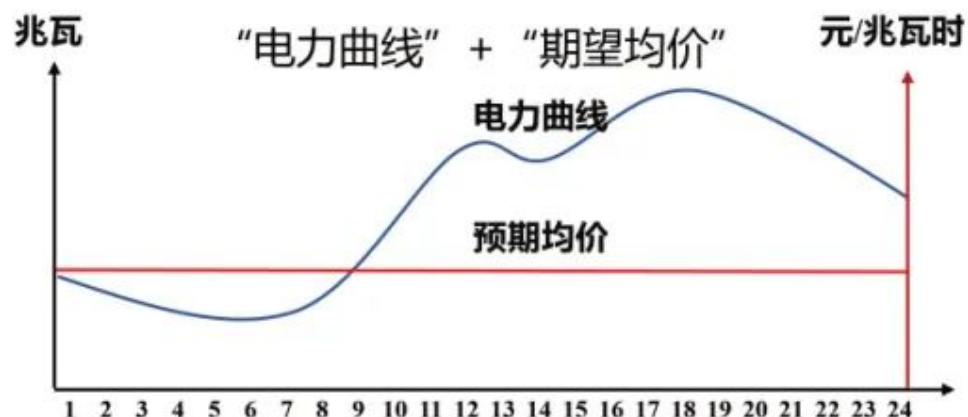
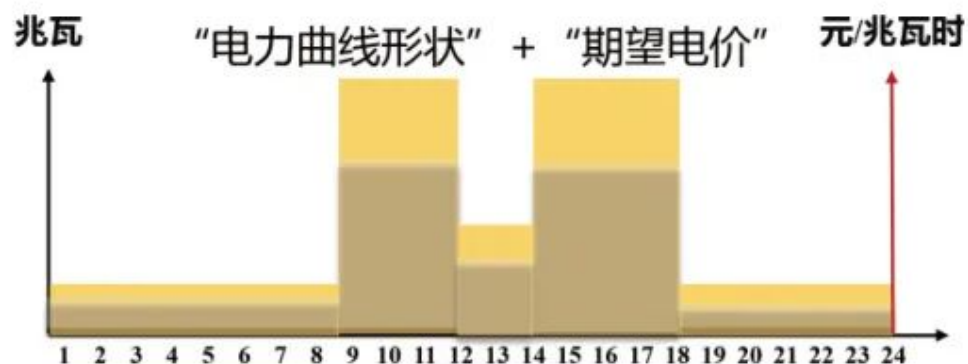
# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 构建多样化能量块产品

### 自定义时段耦合能量块

由连续或者不连续的多个时段组成

- 可选择是否支持按比例部分电量成交，比如“成交比例60% - 100%”，或者最低成交量
- 保持曲线形状的前提下，可以申报期望均价；
- 曲线定制灵活简单，适用性强。





# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

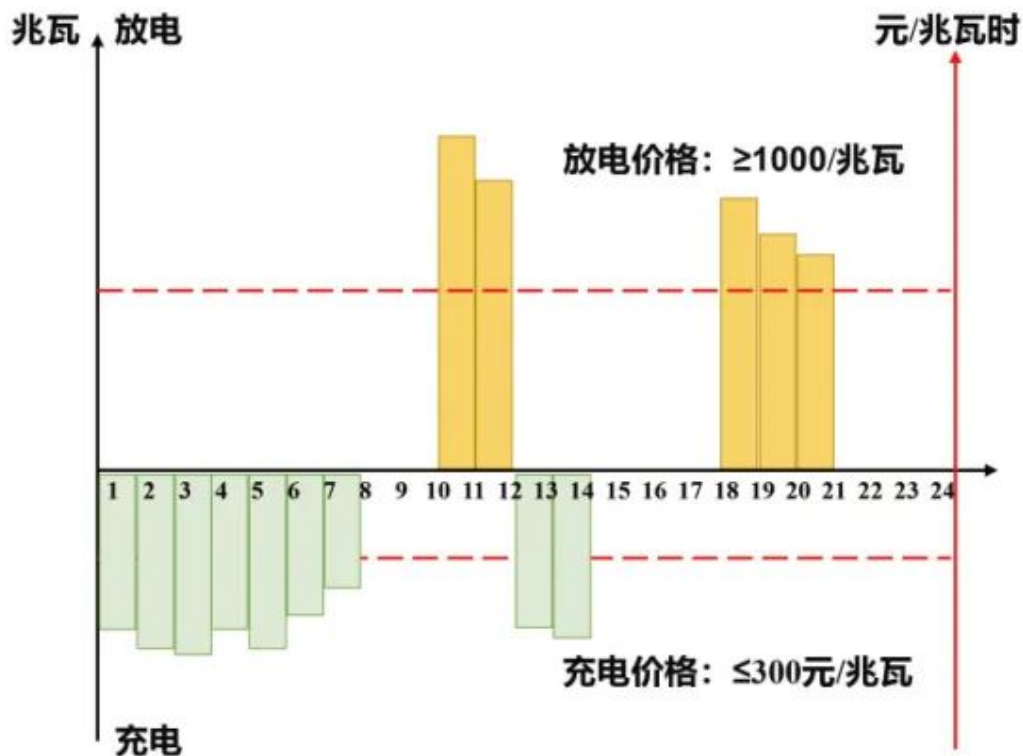
## 构建多样化能量块产品

### ➤ 条件式能量块

同时申报两个或以上的自定义或者标准能量块，一个成交后其他能量块才可以成交

如储能的报价需求，充电和放电有优先级：

- 充电时长、充电价格预期；
- 放电时长、放电价格预期；
- 充电和放电的电量耦合关系；
- 充放之间顺序约束。





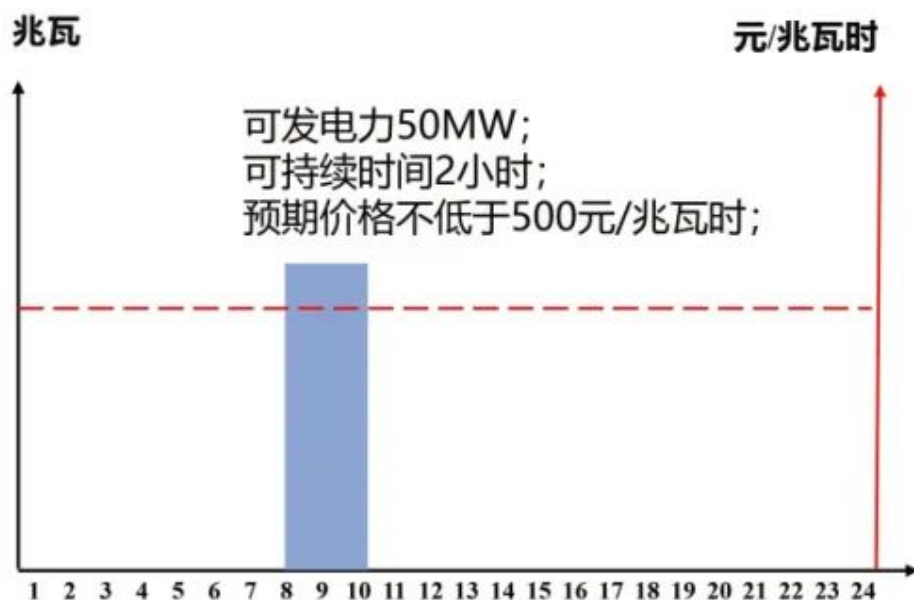
# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 构建多样化能量块产品

### ➤ 移动能量块

申报能量块形状和期望价格，不提交  
能量块开始时间，由市场出清确定

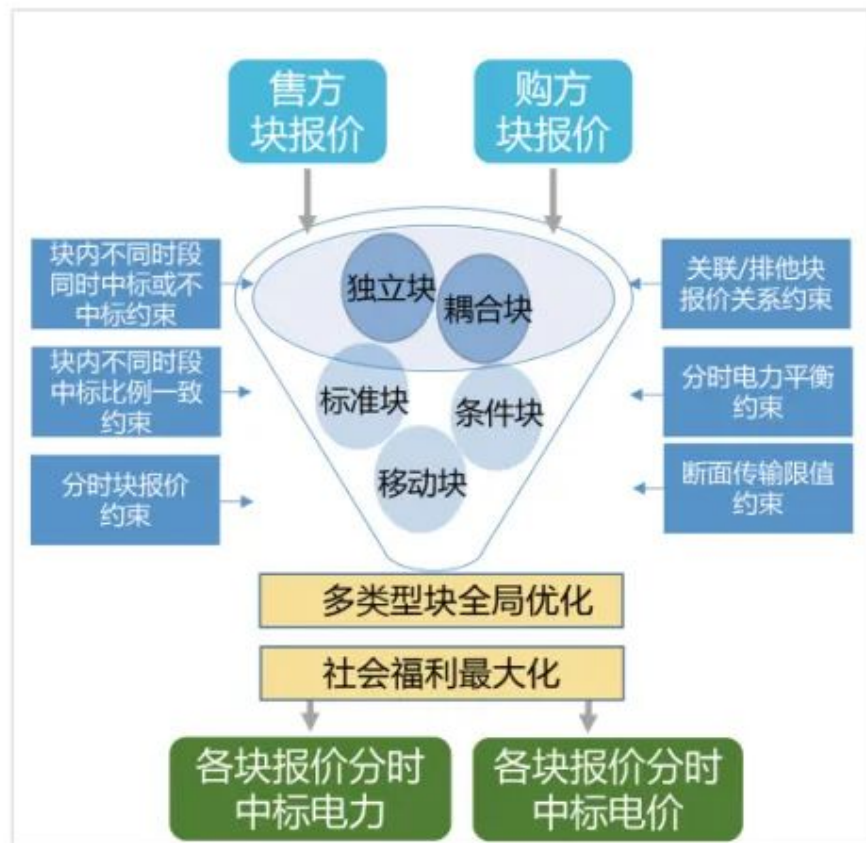
- 申报发电时长、发电价格预期；
- 不指定具体发电时间，时间可移动。





# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 灵活能量块的联合出清模型



### 目标函数

$$\max \text{ 社会福利} = \text{购方费用} - \text{售方费用}$$

### 约束条件

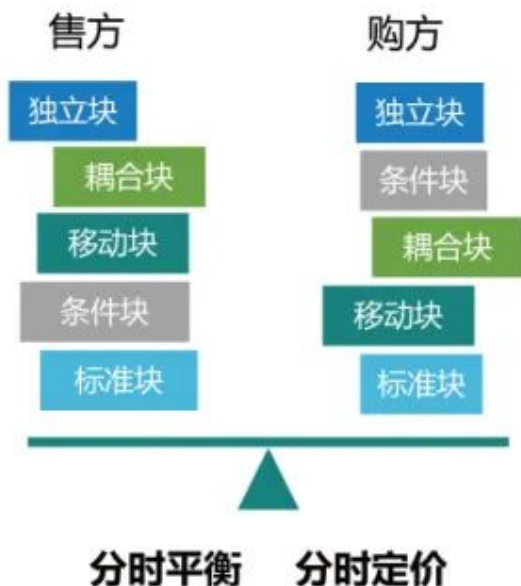
- 常规块报价同时中标、同时不中标约束
- 可调块报价同时中标一定比例约束
- 关联式块报价约束
- 排他性块报价约束
- 分时报价约束
- 发用电力平衡约束
- 传输断面限值约束



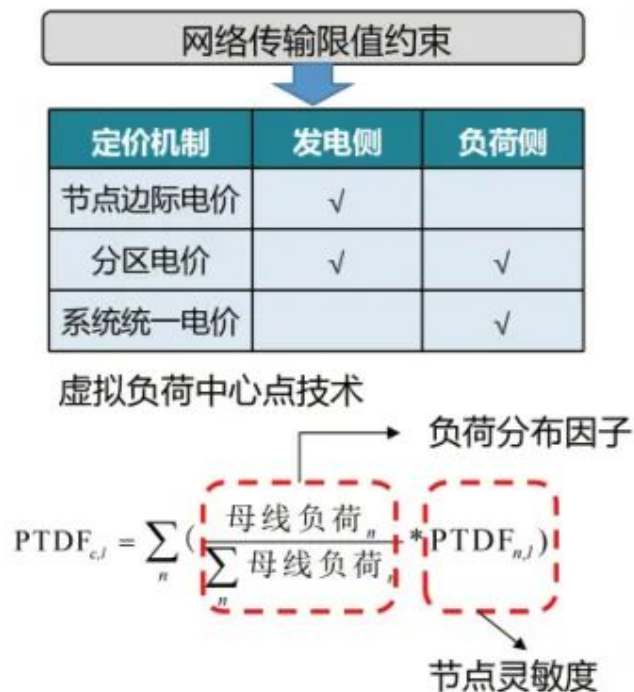
# 适应新兴主体的灵活能量块交易机制

## 灵活能量块交易的定价机制

### 体现电力的分时价值信号



### 体现电力的位置价值信号



### 符合市场主体的申报意愿





国家电网  
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



### 三、灵活能量块交易关键技术及实验环境研发





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

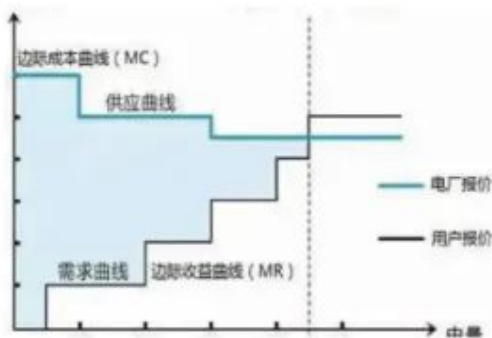
## 灵活能量块交易关键技术

灵活能量块交易在各个交易周期中应用，采用相同的申报机制、出清机制、定价机制，能够实现电能市场交易的**标准化、规范化**，降低市场主体参与的技术门槛。

### 统一商品



### 出清机制



### 定价机制



年度

月度

月内

日滚动

日前

日内、实时



# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易关键技术

能量块交易可采用双边、集中等方式，根据交易时序顺序占用交易限额和网络约束；取消交易角色的限制、减少专场交易；可考虑多轮次集中出清的方式，兼顾集中竞价和滚动撮合的优点；实现出清算法和技术参数解耦。

### 统一电能商品 衔接交易方式

- 统一分时电能商品；
- 多种交易方式有序衔接；
- 共享交易限额、网络约束；
- 可选择物理或金融。



### 放松角色限制 开展融合c交易

- 取消交易角色的限制；
- 减少合同转让等专场交易；
- 设计多轮次集中出清交易方式，替代滚动撮合；



### 解耦技术参数 实现技术中立

- 出清算法和发电类型无关；
- 出清算法和买卖角色无关；
- 实现市场出清技术中立；
- 提高出清算法的扩展性和兼容性。





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易研发和验证

依托国网公司实验室“电力市场运营技术实验室”，开展灵活能量块交易的研发和验证工作。

### 电力市场运营关键技术

#### 2. 电力中长期交易关键技术

- 省间多通道集中优化交易
- 省级高频次曲线化交易
- 高性能全口径柔性市场结算

#### 3. 电力现货市场关键技术

- 电能市场推演技术
- 辅助服务市场推演技术
- 输电权市场推演技术

#### 4. 电力零售市场关键技术

- 批发与零售市场衔接
- 零售市场交易结算技术
- 套餐设计与优选技术

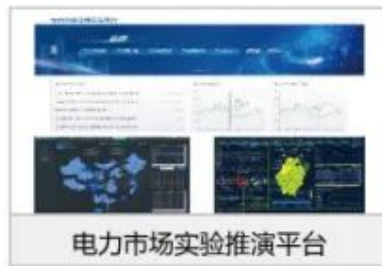
#### 5. 电力市场体系与标准

- 市场体系设计
- 市场模式机制设计
- 市场运营标准编制

### 电力市场全景实验平台

#### 1. 电力市场全景实验推演平台技术

- 电力市场实验理论
- 电力市场模拟推演技术
- 电力市场推演平台技术





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易关键技术

程海花

为了解决不同类型的灵活块报价的集中优化出清和定价问题，分步骤开展研究工作。

01

### 构建基础块交易集中优化出清模型，中小规模案例验证

首先构建支撑独立能量块、标准能量块的集中出清优化模型，按需调用LP或MIP算法，支持时段定价，采用中小规模案例进行测试；

02

### 新增移动能量块，支撑独立能量块、标准块和移动能量块的联合优化

然后构建移动能量块约束，支撑独立能量块、标准块和移动能量块的联合优化出清和定价，反应市场的时段价格信号；

03

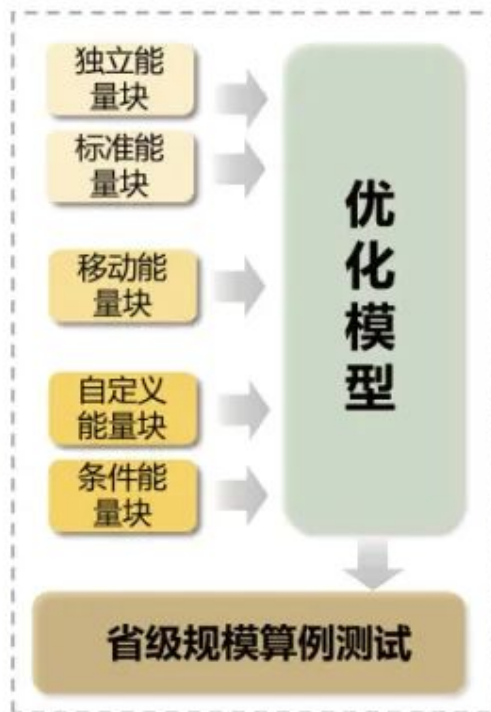
### 新增自定义时段耦合能量块和条件块（互斥或互为链接）

考虑增加自定义时段耦合能量块和条件块（互斥或互为链接），研究满足市场主体期望均价的前提下，如何体现每个时段市场价格信号，探索出清定价与交易出清耦合迭代的问题；

04

### 构造省级大规模案例，进行压力测试

最后基于电力市场运营技术实验室，构造省级大规模案例，进行压力测试。





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易研发和验证

依托国网公司实验室“电力市场运营技术实验室”，开展灵活能量块交易的研发和验证工作。

### 电力市场运营关键技术

#### 2. 电力中长期交易关键技术

- 省间多通道集中优化交易
- 省级高频次曲线化交易
- 高性能全口径柔性市场结算

#### 3. 电力现货市场关键技术

- 电能市场推演技术
- 辅助服务市场推演技术
- 输电权市场推演技术

#### 4. 电力零售市场关键技术

- 批发与零售市场衔接
- 零售市场交易结算技术
- 套餐设计与优选技术

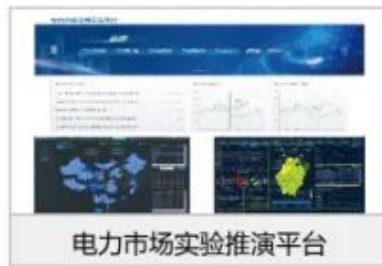
#### 5. 电力市场体系与标准

- 市场体系设计
- 市场模式机制设计
- 市场运营标准编制

### 电力市场全景实验平台

#### 1. 电力市场全景实验推演平台技术

- 电力市场实验理论
- 电力市场模拟推演技术
- 电力市场推演平台技术





在电力市场全景实验平台的基础上，电科院团队研究构建了多种能量块产品，对市场机制和关键技术进行仿真验证。





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易的仿真验证

在电力市场全景实验平台的基础上，电科院团队研究构建了多种能量块产品，对市场机制和关键技术进行仿真验证。

自定义块申报



条件块申报





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易的仿真验证

在电力市场全景实验平台的基础上，电科院团队研究构建了多种能量块产品，对市场机制和关键技术进行仿真验证。

### 块交易出清



### 结果分析展示





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

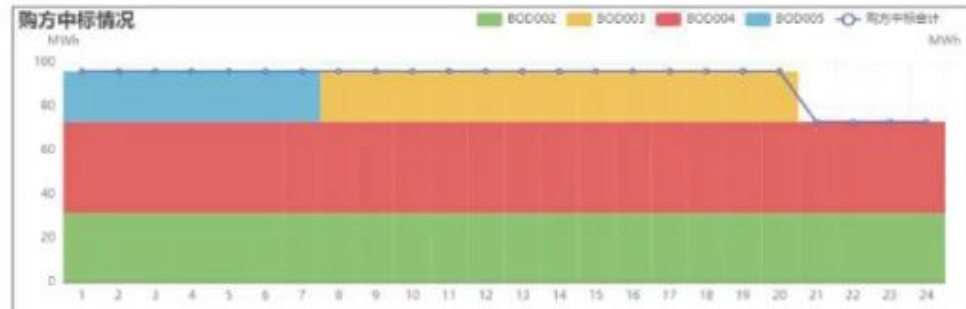
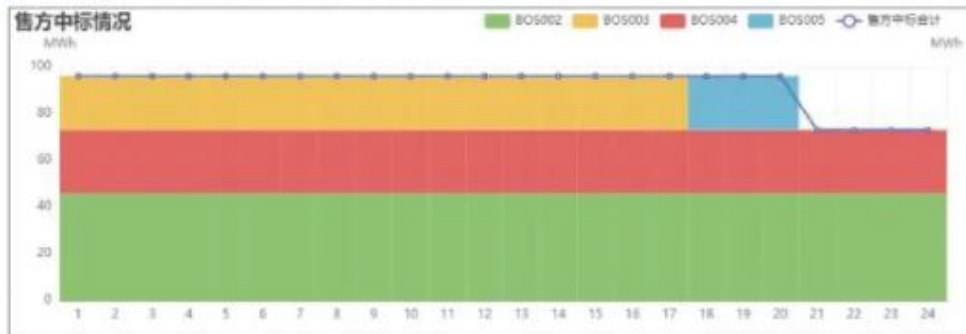
## 灵活能量块交易的仿真验证

程海花

5个机组、5个用户进行块交易，购售侧申报均涵盖标准块和独立块，其中最小中标比例允许非零，软件自动选择LP和MIP不同算法。计算结果显示，优化算法能够支持不同类型块集中出清，出清结果满足需求。

| 块名     | 机组名 | 块类型 | 起始时段 | 终止时段 | 电量(MMh) | 电价(元/MMh) | 最小中标比例 | 实际中标比例  |
|--------|-----|-----|------|------|---------|-----------|--------|---------|
| BOS001 | 机组1 | 独立块 | 8    | 20   | 1000    | 350       | 0      | 0       |
| BOS002 | 机组1 | 标准块 | 1    | 24   | 1100    | 320       | 0      | 1       |
| BOS003 | 机组2 | 独立块 | 1    | 17   | 3833.1  | 340       | 0.1    | 0.10235 |
| BOS004 | 机组3 | 标准块 | 1    | 24   | 650     | 345       | 0      | 1       |
| BOS005 | 机组4 | 独立块 | 18   | 20   | 1000    | 350       | 0      | 0.06923 |
| BOS006 | 机组4 | 独立块 | 21   | 22   | 1000    | 300       | 0      | 1       |
| BOS007 | 机组5 | 独立块 | 22   | 24   | 1000    | 300       | 0      | 0       |

| 块名     | 机组名 | 块类型 | 起始时段 | 终止时段 | 电量(MMh) | 电价(元/MMh) | 最小中标比例 | 实际中标比例  |
|--------|-----|-----|------|------|---------|-----------|--------|---------|
| BOD001 | 用户1 | 标准块 | 1    | 24   | 723     | 370       | 0      | 0       |
| BOD002 | 用户2 | 标准块 | 1    | 24   | 1100    | 380       | 0.6    | 0.68182 |
| BOD003 | 用户3 | 独立块 | 8    | 20   | 300     | 370       | 0      | 1       |
| BOD004 | 用户4 | 标准块 | 1    | 24   | 1000    | 390       | 0      | 1       |
| BOD005 | 用户5 | 独立块 | 1    | 7    | 616     | 399       | 0      | 0.26224 |
| BOD006 | 用户5 | 独立块 | 22   | 24   | 820     | 400       | 0      | 0       |





# 灵活能量块交易关键技术及实验环境研发

## 灵活能量块交易的思考

以构建“**适应新型电力系统的中长期交易技术**”为目标，中国电科院团队将持续开展灵活能量块交易的探索和研究工作。

---

### 研究成效

- ❑ 灵活能量块交易，能够满足新兴市场主体的需求，降低市场交易门槛；
- ❑ 灵活能量块交易，能够激励市场主体自行决策，利于构建两层资源优化模型。

### 存在挑战

- ❑ 能量块应用于现货市场，如何和网络约束协调，实现“经济+安全”；
- ❑ 电能和辅助服务联合出清，灵活能量块是否能够兼容。



国家电网  
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



汇报结束，  
谢谢！

