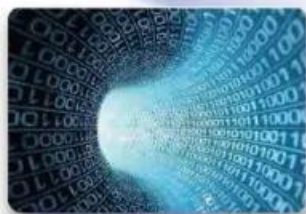


电力商品的经济属性及各交易品种的定位



1. 商品属性：公共资源与私有物品

2. 配置手段：计划与市场协同

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

4. 成本价格：容量-中长期-现货-辅助服务-绿电

1. 商品属性：公共资源与私有物品

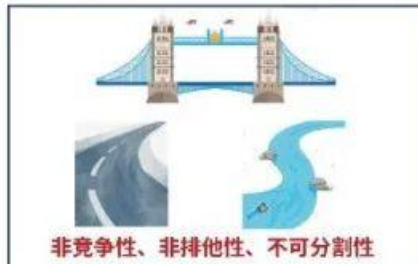
1.1 电力商品的双重属性：公共资源与私有物品

公共资源：具有非竞争性和排他性（边际成本不为零）、不可分割性的特点。

私有物品：具有竞争性、排他性的特点。其价格主要靠市场竞争形成，由价值决定，并受供求影响。

排他	不排他	
私人物品 ——一般商品 ✓	公共资源 ——公园、公交车道 ✓	竞争
俱乐部商品 ——健身会员 ✗	公共物品 法律、国防、空气 ✗	非竞争

■ 私有物品与公共资源的经济学属性



■ 公共资源



■ 私有物品

公共资源的配置手段——计划

- 投资运营主体：政府、国企、公私合营或非盈利机构
- 数量与规模：根据预测，按需建设或采购
- 定价方式：计划定价，如成本加成、两部制、高峰价格、分时价格、阶梯累进价格、分类定价
- 费用分摊：谁受益、谁承担

1.2 国内外电力商品的定位

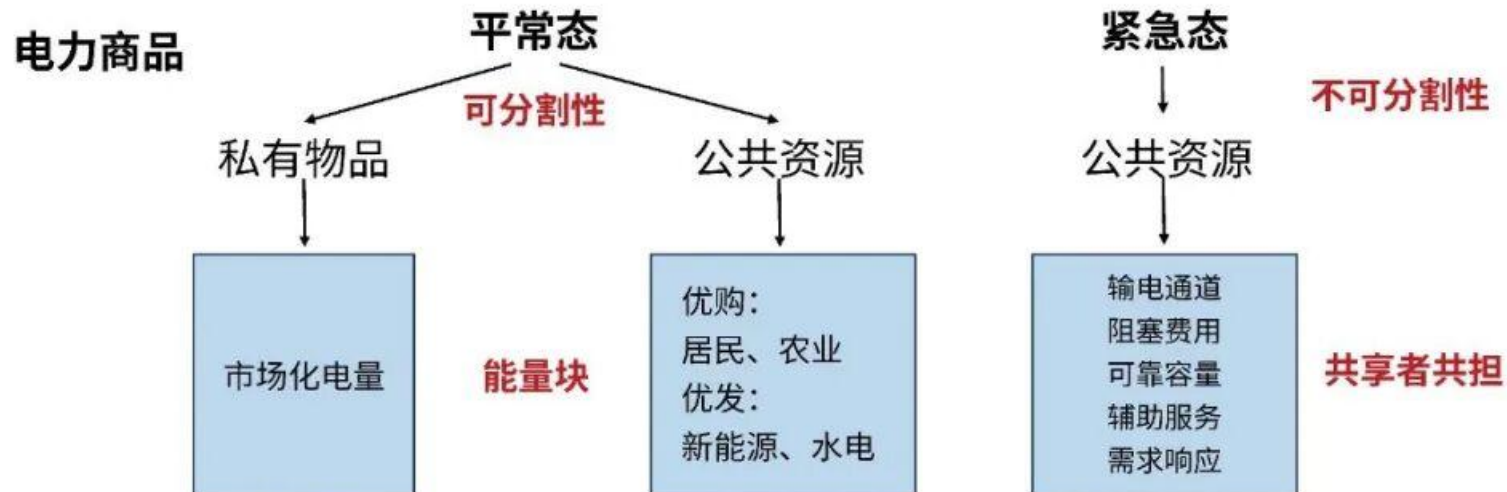
维度	国外	我国
私有化程度	私有化：产权是交易的前提和边界 欧美电力工业全面私有化	国有
社会责任	弱化社会责任 没有保供责任，代之以停电损失的违约条款 通过保险公司理赔，风险自担	保供应、稳价格、促转型
市场化程度	从Regulation到Deregulation 完全通过市场进行资源配置	计划与市场协同
危机频现	危机频现：风调雨顺时有效提升运行经济性 发生多次电力危机、价格飞涨、主体破产	电价稳定、系统安全性高、电网、新能源 和储能技术全面世界领先

1.3 我国电力商品兼具公共资源与稀有物品双重属性

我国电力工业是国民经济的重要支柱，承担着保障能源供应、稳定能源价格、促进绿色发展的社会责任。

电力商品首先是公共资源，在满足一定条件时才具有私有物品的市场竞争空间：

- 在通道紧张、供应稀缺时，应视为公共资源，（非价格排序）公平分配资源
- 在安全域内、供应充裕时，可视为一般商品，通过市场竞争（价格排序）分配资源



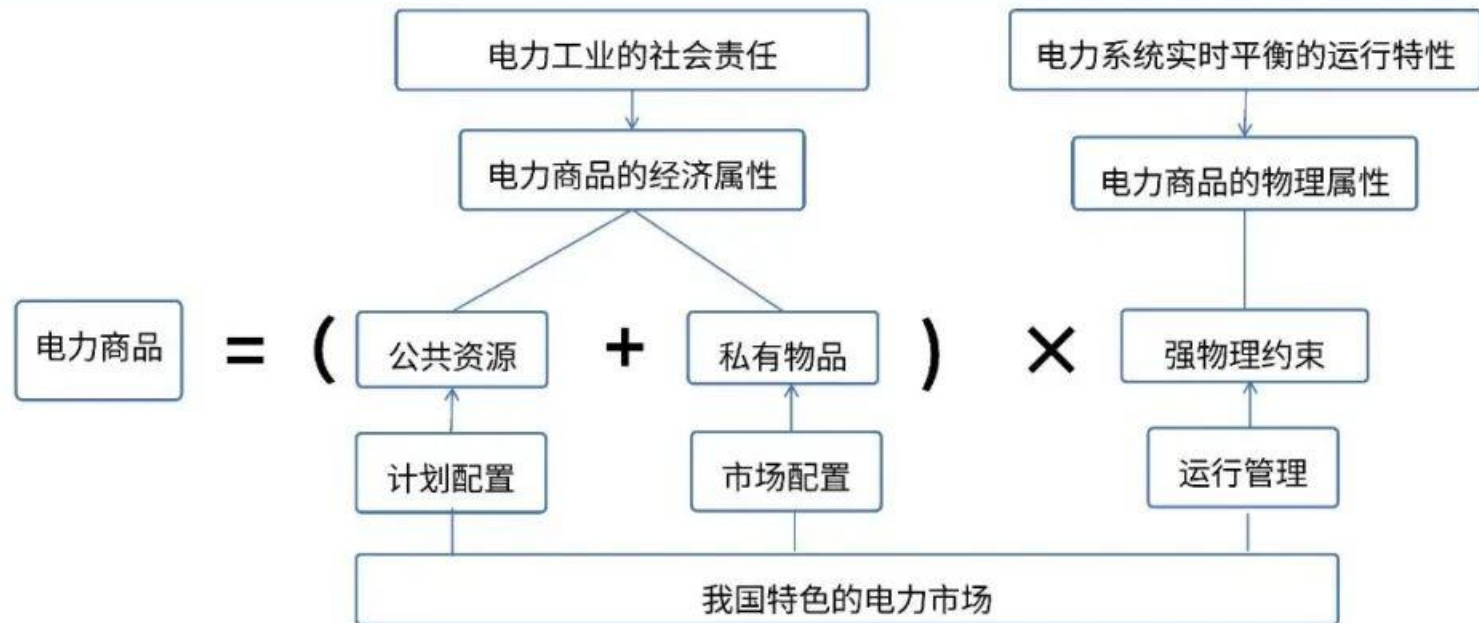
1.4 体现公共资源与私有物品协同配置的三阶段平衡模式设计

- (1) **优先成交阶段——体现计划**：优发优购优先成交，按政府核定价格结算；
- (2) **供需竞价阶段——灵活连续的中长期**：多元主体同台竞价，开展带时标灵活能量块的双边中长期交易；
- (3) **保底平衡阶段——集中统一的现货/平衡**：统筹电网内发、用两侧灵活调节资源通过保障系统稳定运行。



1.5 我国电力商品的特殊性与市场建设的特殊性

我国电力商品兼具**公共资源与私有物品**的双重属性，同时具有强物理约束性，因此，计划与市场协同，交易与运行协同，是我国特色电力市场建设的重要特征。





1. 商品属性：公共资源与私有物品

2. 配置手段：**计划与市场协同**

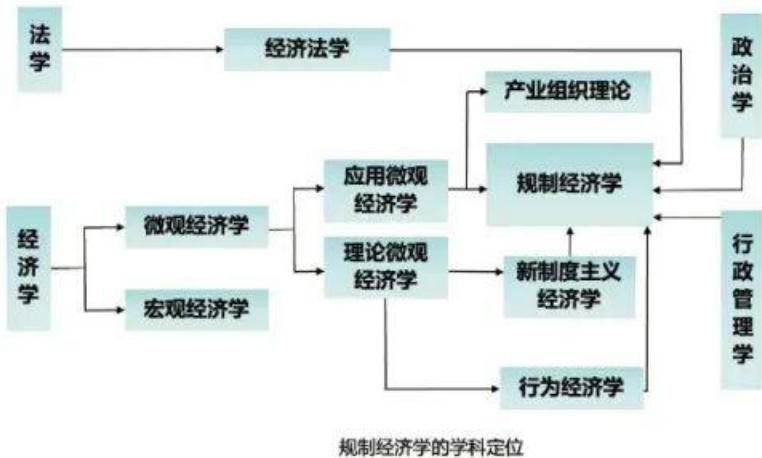
3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

4. 成本价格：容量-中长期-现货-辅助服务-绿电

2.1 规制经济学

规制 (regulation) 又称为政府监管、政府管制，是市场经济下国家干预经济政策的重要组成部分。

规制经济学以政府对特定微观主体及活动实施规制或放松规制的理论、政策为研究对象，为政府及相关部门制定有利于社会经济效率提高与社会福利满足相均衡、社会总产出最大化与可持续发展相协调的微观经济干预政策提供理论依据。**我们常说的“计划与市场双轨制”、“有为政府与有效市场”，属于规制经济学范畴。**



规制目标
——
解决市场失灵

保证稀有资源的有效配置

防止垄断和市场力

补偿不充分信息，降低信息获取成本

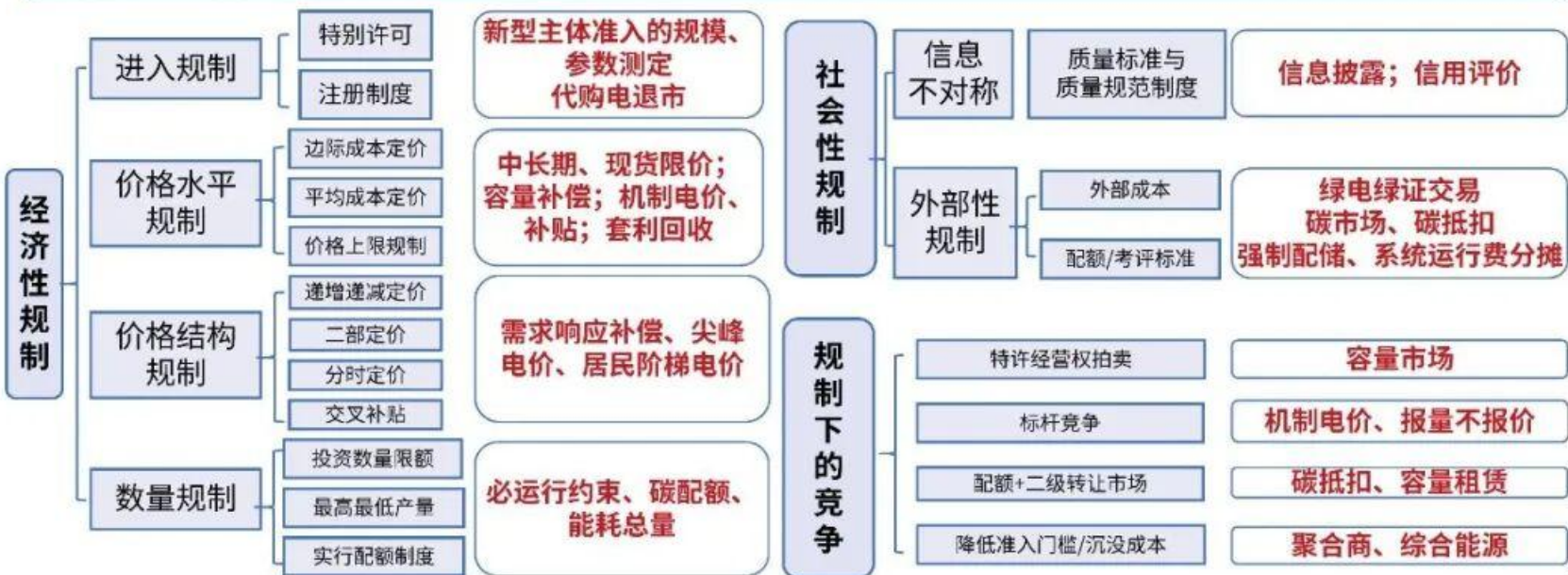
外部成本内部化

解决公共品供给缺失与缓解道德风险

2.2 规制手段与电力市场应用

政府规制的手段，包括**经济性规制**和**社会性规制**

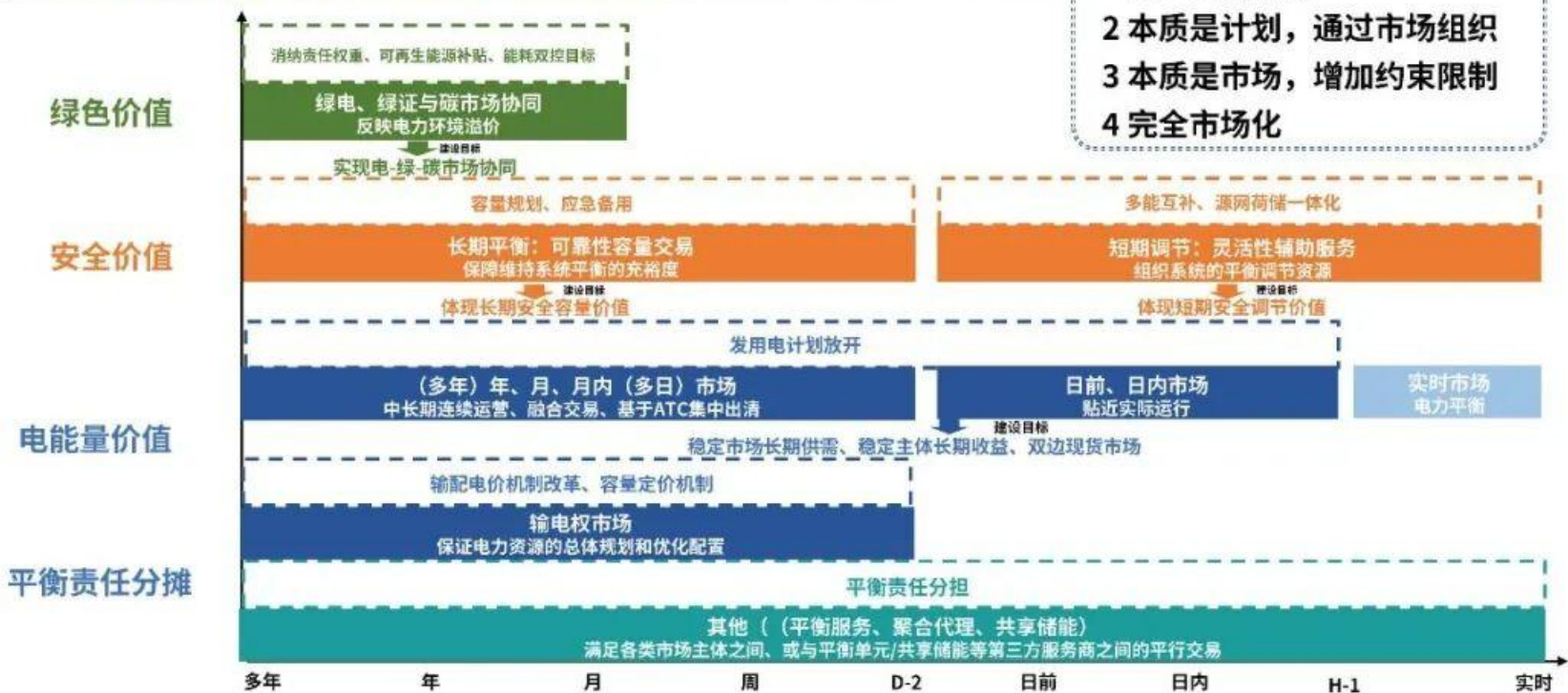
政府规制也从最初的完全计划手段，发展出规制下的市场竞争形式，或者说借用市场的形式实现规制，改进规制目标的合理性。





2. 配置手段：计划与市场协同

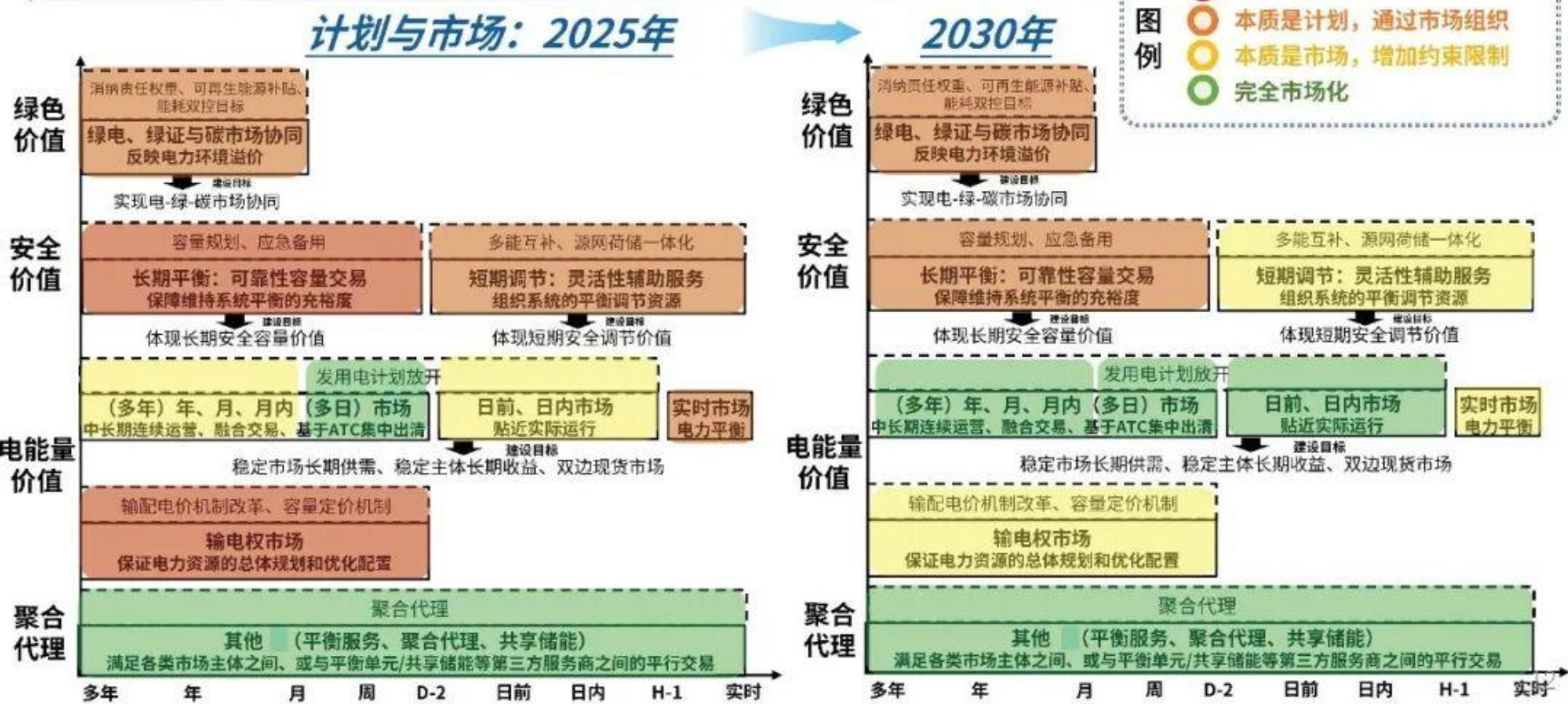
2.3 计划与市场协同的市场体系演化



- 1 完全计划定价
- 2 本质是计划，通过市场组织
- 3 本质是市场，增加约束限制
- 4 完全市场化

2. 配置手段：计划与市场协同

2.3 计划与市场协同的市场体系演化





1. 商品属性：公共资源与私有物品

2. 配置手段：计划与市场协同

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

4. 成本价格：容量-中长期-现货-辅助服务-绿电

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

3.1 多时间尺度有功电力商品分割的内涵

连续 → 离散

$$\int Qtdt \rightarrow \sum Q_{i,j}$$

	品种	标的	时间尺度	空间尺度	能量块类型
容量	容量	按MW定价	长周期	交流电网、集中组织	持续块
电能量	中长期	按MWh结算	离散 \leftrightarrow 积分	市场主体各自负责	小时块积分
	现货	按MWh结算	$t_{0-3} \rightarrow t_{0-1}$	交流电网、集中组织	Δ 积分
辅助服务	调峰	按MWh付费	15分钟	交流电网、集中组织	小时块积分
	调频	按 Δ MW定价	精细时段划分	交流电网、集中组织	$\int \Delta q $ 积分
	备用	按 Δ MW定价	默认满足爬坡15分钟 最大距离	市场主体各自负责	$d(Q_{15min})$ 导数
	爬坡	按 Δ MW定价	$t_0 \rightarrow t_1$	交流电网、集中组织	$d(Q)$ 导数

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

3.2 电力商品的分割性

可分割商品：可无限细分至微小单位，分割后保持同质性与使用价值。

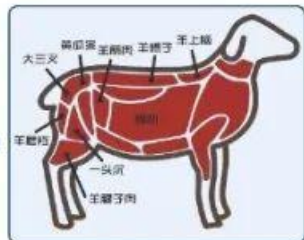
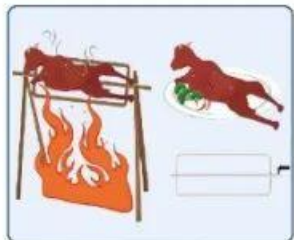
不可分割商品：需以整体形式存在，分割后失去原有功能或价值。

待分割商品：当前无法确定如何分割，日后可灵活决定分与不分、如何分，不影响其当前价值。

因此，体现一般商品属性时，电力商品也存在可分割性的区别，从而凸显不同电力商品的不同效用。

一般商品既存在整体趸售
作为不可分割商品

也同时存在细分市场
属性不同，价值不同



维度	可分割商品	不可分割商品
交易灵活性	支持部分交易，价格与数量连续变化	必须整单位交易，价格离散化（房价按套计价，不可拆分）
消费效用	边际效用递减规律显著	效用具有阈值效应（拥有一辆车的效用远高于拥有半辆车）
生产与供给	生产可逐步调整 规模经济效应平缓	生产需完整流程，沉没成本高且规模经济显著（车企需最低产量摊薄研发成本）
市场结构倾向	更接近完全竞争市场（标准化、供给弹性大）	易形成垄断/寡头市场（高进入壁垒、产品差异化）

3.3 跨周期的品种协调理论

基于带时标能量块电力商品的三级灵活性，对电力商品的可分割性做出以下定义：

长
周
期

不可分割商品

要求必须在多个时段内整体性中标

可分割商品

买入后即解耦，融合交易，自主调仓

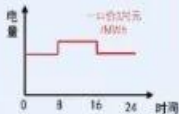
待分割商品

高度灵活或带有其他属性

短
周
期

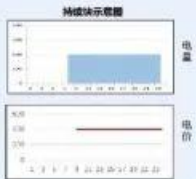
曲线块

申报典型曲线+一口价模式，适合当前省间带曲线交易、部分现货省份的中长期24点曲线交易、电网代理购电的申报、不可控负荷、风/光等不可控发电的申报。**直接申报总电量和一口价。**



持续块

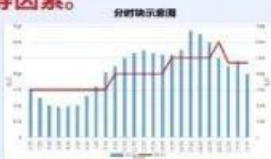
申报时段功率及持续时间，适合基荷、峰荷，以及核电、水电、供热机组固定出力部分报价。



分时块

各时段独立申报价、量，适合常规火电和常规负荷的分时竞价。

各个小时交易的投标之间不存在时段耦合约束，由市场成员自行考虑机组爬坡约束与用电负荷变化等因素。



可变块

只申报价格和最大电量，不确定电量，可根据实际需要，在总电量范围内任意调用以满足平衡需求，按预先约定的价格或约定的规则形成价格。

在总电量固定情况下，中标电量和时段均可变，具体中标时段、以及该时段内中标电量，均由市场出清模型统一优化确定。

适用于以下几种典型情况：

优发优购，机制电量，储能、电动汽车、可调负荷、虚拟电厂等灵活性资源

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割



3.4 带时标能量块的电能价值交易

■ 能量块品种设计——块的类型与优先级的组合

块的类型(约束条件模板化)

能量块	1、独立小时块	2、持续小时块	3、曲线块	4、可变块
报价内容	某小时的价、量	持续负荷、持续小时、价格	按指定曲线申报一口价	(预挂牌) 报最大电量和价格,
中标规则	各时段独立高低匹配	整体中标或整体不中标	整体中标或整体不中标	总电量固定 负荷和时段可变
交易需求	传统火电, 分时竞价	电力生产和消费的连续性	不可控刚性负荷、不可控发电(风电)	储能/电动汽车/灵活资源; 快充/慢充/曲线充/间歇充都行
优先级	A、B、C	A、B、C	A	C

块的成交优先级

	A 优先交易	B 竞价交易	C 保底交易
申报内容	报量不报价	报量报价	报价不报量
中标规则	优先出清 价格接受者	购售撮合	最后出清、根据不平衡量确定成交量、按预挂牌价格成交
交易需求	优发优购	火电、水电、市场化用户	调峰火电、储能、需求侧资源
责任	支付调节补偿	偏差考核或偏差结算	接受调节补偿

1B模式：分时报量报价模式，**适合火电**
对新能源、优购用户，1B模式超出能力范围
对储能/燃机/灵活资源，1B模式不足以体现其灵活性

传统市场：1B模式
过渡期市场：双轨协调3A、新能源3A、新兴主体4C
新型电力市场：1234 * ABC，多种情况并存

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

3.5 跨周期平衡调节交易品种设计

引入“可变块”思想，适应不同主体的交易需求，方便市场主体便捷参与报价。

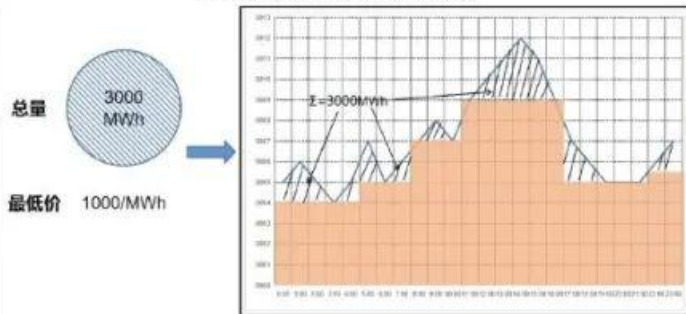
可变块

只申报价格和最大电量，不确定电量，可根据实际需要，在总电量范围内任意调用以满足平衡需求，按预先约定的价格或约定的规则形成价格。

可变块交易

- 在总电量固定情况下，中标电量和时段均可变，具体中标时段，以及该时段内中标电量，均由市场出清模型统一优化确定；
- 适用于以下几种典型情况：
 - 优先用电的用户按政府核定电价和实际用电量结算。
 - 优先发电的各类电源，按政府核定电价和实际上网电量结算。
 - 储能、抽水蓄能、电动汽车、可调负荷、虚拟电厂等灵活性资源，申报可接受价格和最大可用电量，可以按边际价格与最低可接受价格之间的高价，以及实际调用量结算。弥补当前竞价模式无法体现储能等资源真实报价需求，无法体现其灵活性价值的不足。
 - 预挂牌上下调的火电机组，申报有剩余调节能力时的上调价格、下调价格，按报价和实际调用量结算。

可变块申报及电量分解示意图



可变块电量电价申报

变形块			
主体	总电量	最低接受电价	中标时段及对应电量
1	q_1^d	P_1^d	按Max（其他主体的边际价格，最低接受价）成交，根据系统平衡需要填补空缺，各时段电量之和<总中标电量

3.6 带时标能量块的电能价值交易

● 能量块报价的实质

1. 定义最小块

 最小块
1小*1MWh

2. 按模板报价

约束条件内化在模版里

独立小时

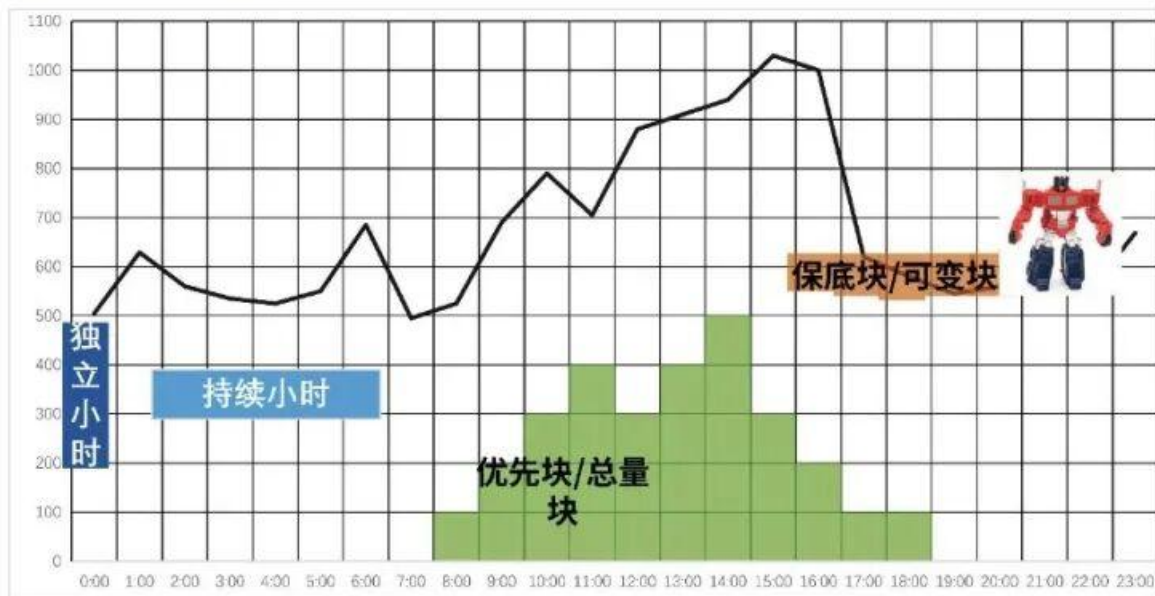
持续小时



曲线块



可变块
只规定总量



- ◆ 便捷、易懂，让市场主体“傻瓜式”报价
- ◆ 约束条件模板化，把复杂计算留给系统

3.7 市场最优分割理论

市场有效的评价标准——能及时充分反映信息的变化

- 1 纯经济学：考虑多目标优化信息获取成本
- 2 高频交易、连续交易降低信息获取成本
- 3 我国特点：考虑公共资源与私有物品所决定的优先权与责任
- 4 电力特点：考虑系统运行的边界和约束

集中优化还是分散自主决策，取决于信息获取成本：信息获取成本 < 信息边际收益



■ 就地平衡的微市场：集中优化+分散优化相协调

■ 全国统一电力市场的分层分区



1. 商品属性：公共资源与私有物品

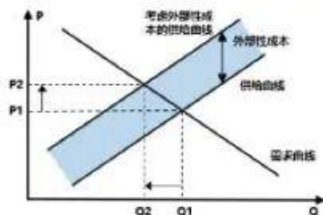
2. 配置手段：计划与市场协同

3. 品种设置：不可分割、可分割、待分割

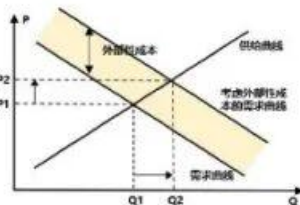
4. 成本价格：容量-中长期-现货-辅助服务-绿电

4.1 电力商品的外部性与全成本竞价理论

负外部性是指一个人的行为或企业的行为使其他人或企业的经济利益受损。



正外部性是指一个经济主体的经济活动导致其他经济主体获得额外的经济利益。



负外部性 (支付补偿)

正外部性 (获得补偿)

环境外部性

火电



新能源



安全外部性

新能源



火电



电力全成本

= 电能量成本

+

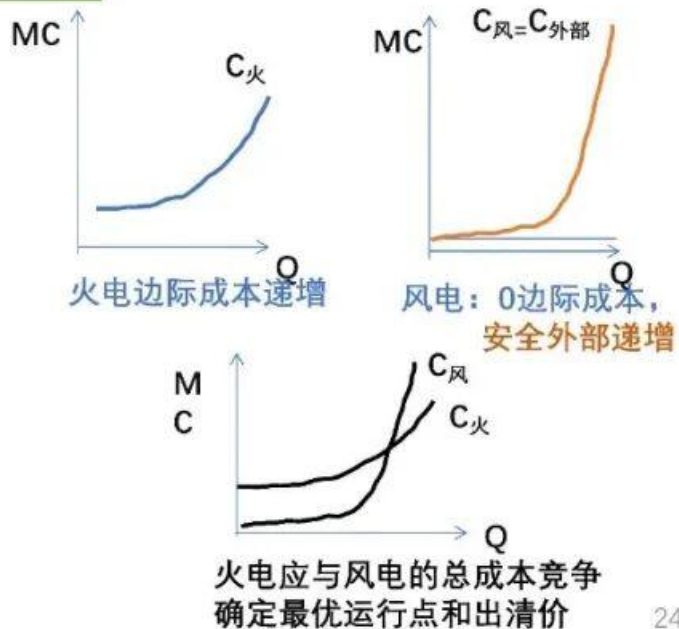
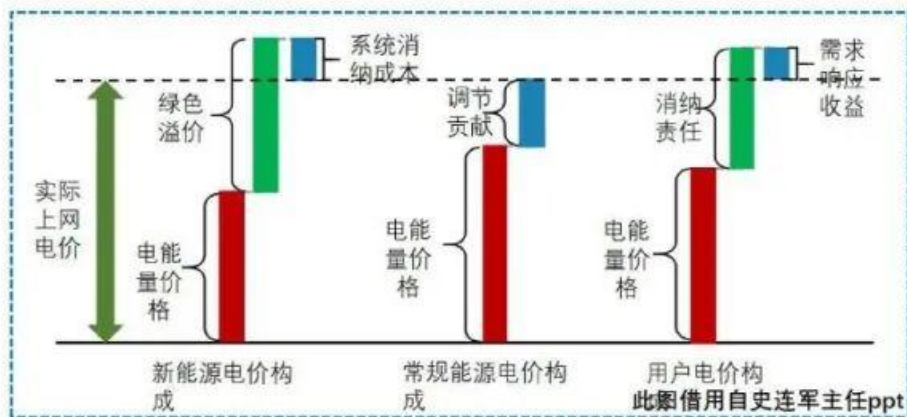
安全外部成本

+

环境外部成本

4.1 电力商品的外部性与全成本竞价理论

$$\text{电力全成本} = \text{电能量成本} + \text{安全外部成本} + \text{环境外部成本}$$



4.1 电力商品的外部性与全成本竞价理论——电力市场的功能层级结构

当前我国市场并未完善容量市场，容量电价补偿机制是对历史沉没成本的补偿，是保供目标下政府的直接规制。当前凸显的外部性安全成本，各层级电力市场承担着电力商品作为公共资源和政府管制的职能。



4.1 电力商品的外部性与全成本竞价理论

$$\text{电力全成本} = \text{电能量成本} + \text{安全外部成本} + \text{环境外部成本}$$

$$C = P_{\text{优先}} Q_{\text{优先}} + P_{\text{年}} Q_{\text{年}} + P_{\text{月}} Q_{\text{月}} + P_{\text{月内融合}} Q_{\text{月内融合}} + P_{\text{现货}} Q_{\text{现货}} + P_{\text{输配}} Q_{\text{输配}} - P_{\text{安全}} Q_{\text{分摊}} + P_{\text{环境}} Q_{\text{环境}}$$

平均成本法：
考虑容量投资保障的固定补贴、溢价补贴、差价补贴

公共资源
计划定价

平均成本法：
考虑固定成本分摊和变动成本的平均成本定价法

机会成本法：
考虑供需博弈、替代品报价的撮合，机会成本定价

私有物品
市场定价

预期收益法：
连续滚动撮合，考虑偏差风险规避、套期对冲收益

边际成本法：
中长期回报
固定成本后，
低谷和平段
机会损失法：
高峰、尖峰
时段

固定成本分摊：容量费
变动成本分摊：辅助服务费

公共资源
计划定价

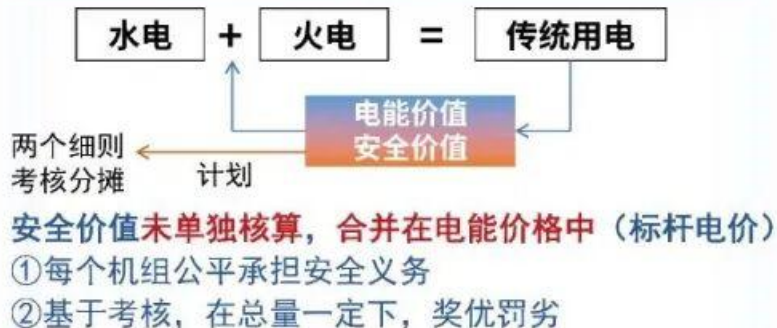
机会成本法：
政策性市场价格
机会损失法：
抵扣避罚
预期收益法：
卖证收益

外部性
政策性市场

4.1 电力商品的外部性与全成本竞价理论



传统电力市场



新型电力市场



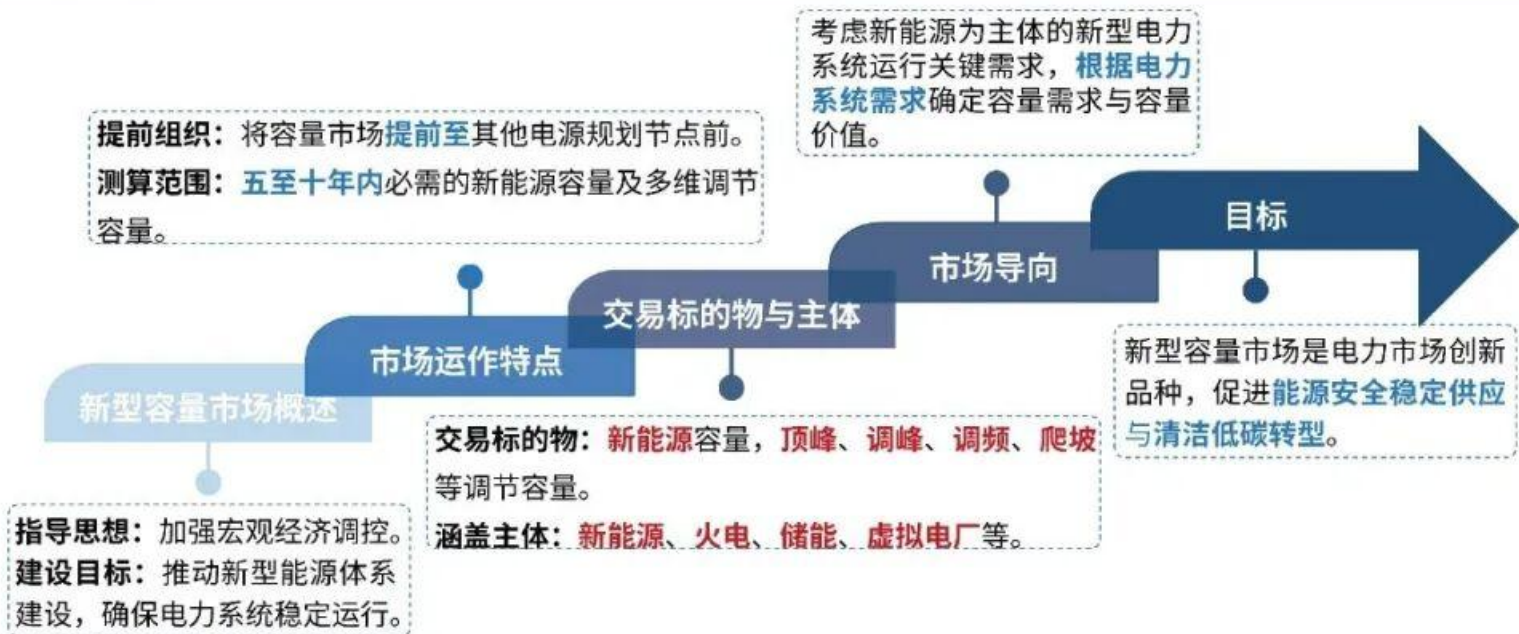
4.2 跨周期平衡调节交易品种设计

电力系统运行与市场交易协同关系重点在于协调电力**平衡量**与**不平衡量**间的关系；
通过主体交易申报、市场出清等市场化引导方式调用灵活性资源参与平衡互动。



4.3 新型容量市场机制设计

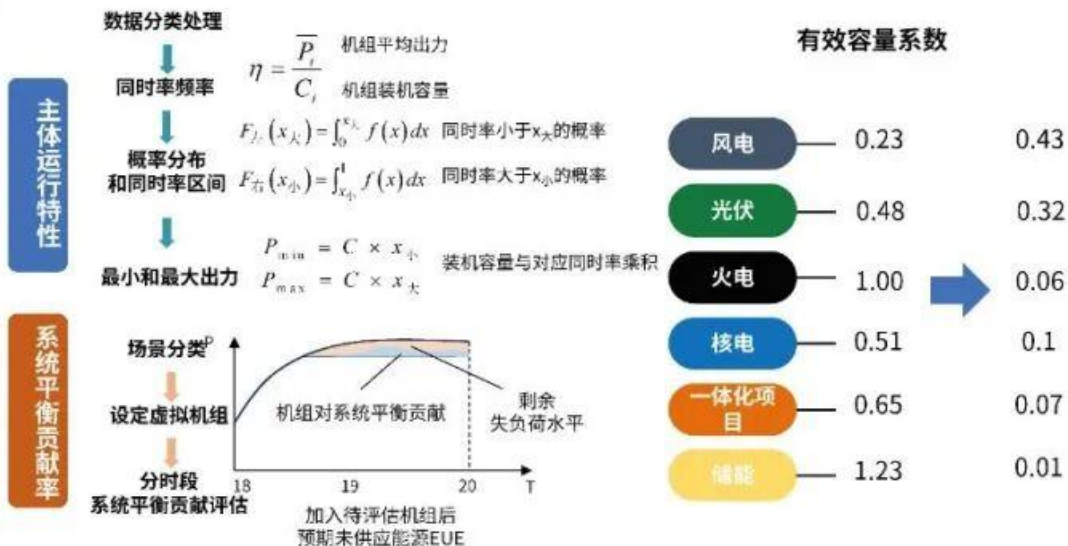
考虑多元主体差异化有效容量，设计兼顾经济性与可靠性的容量市场交易机制。



4.3 新型容量市场机制设计——多类型主体差异化有效容量系数评估

综合考虑风、光、火、燃、核、一体化各类主体机组自身运行特性和对系统运行平衡贡献度的影响，开展一定置信概率下多时间尺度各类主体有效容量系数评估，为新型容量市场供需系数、容量补偿价格、平衡责任分摊系数设置提供量化工具。

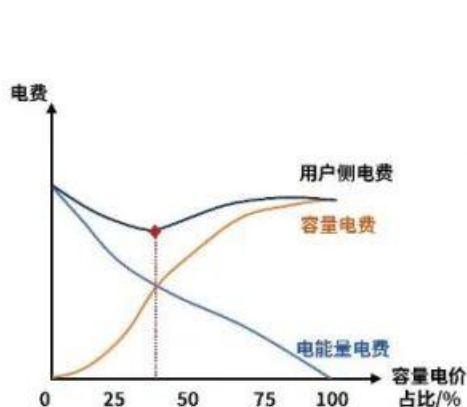
主体类型		有效容量系数评估思路
不可控资源	集中式新能源	随机性部分：峰谷一致性、出力同时率、预测波动率
	分布式新能源	
	负荷	确定性部分：关键时段电量贡献率
可控资源	火电	关键时段电量、爬坡、转动惯量贡献率
	水电	
	配套	具体电源类型 + 计划要求



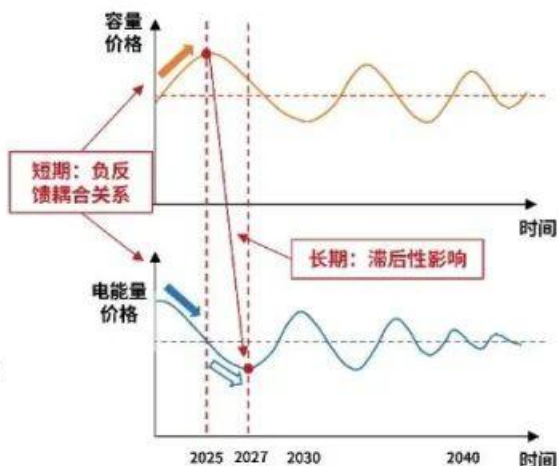
4.3 新型容量市场机制设计

考虑电能量-容量电价占比下对用户侧电价的影响，生成**不同新能源占比及容量需求场景下的电能量-容量电价最优比例**；

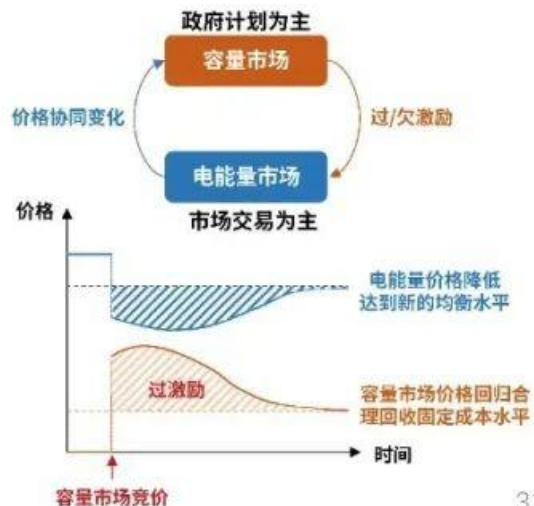
推演电能量-容量市场“量价波动-主体决策”过程，发现**电能量-容量市场长期均衡量价信号**，给出不同新型电力系统阶段下各类灵活性资源投资决策依据。



电能量-容量电价最优比例



电能量-容量市场长期均衡推演



4.4 中长期市场机制设计

- 电力中长期交易是远期实物交割的**物理合约**
 - 交易准入：发电、用户等电力市场主体
 - 交易前：以同期剩余发用电量确定申报限额
 - 交易中：安全校核
 - 交易后：实物交割，偏差考核

- 电力中长期不是金融的
 - 金融合同的主体是金融投资者，交割方式是对冲
- 电力中长期不是“财务性质”，属于自造词，经济学教材和DeepSeek、ChatGPT都没有这个说法。

对比维度	远期合约 (Forward Contract)	期货合约 (Futures Contract)
交易场所	场外交易 (Over-the-Counter, OTC)	交易所交易 (Exchange-Traded)
合约标准化	非标准化，条款可定制	标准化，条款由交易所设定
信用风险	较高，交易对手可能违约	较低，有交易所的保证金和清算机制保障
监管程度	监管较少	监管严格，需遵守交易所规则和监管机构要求
保证金要求	通常不要求保证金，但可能有信用额度要求	需要缴纳保证金，以确保履行合约义务
每日结算	通常不实行每日结算	实行每日无负债结算制度 (Mark-to-Market)
履约方式	通常进行实物交割	可选择实物交割或对冲平仓

deepseek

财务合同是指以货币资金的融通、资金的筹集、资金的使用等财务活动为核心内容的合同。它主要涉及资金的借贷、投资、融资、结算等经济行为。主要包括：借款合同、融资租赁合同、银行结算合同等。



在合同领域，并没有“财务合同”和“实物合同”这两个标准的法律术语分类。



A financial contract is a legally binding agreement between two or more parties that outlines the terms of a financial transaction.

4.4 中长期市场机制设计

➤ 对差价合约、差价结算的探讨

《电力现货市场基本规则(试行)》中描述了两种现货结算模式:

方式一:差价结算 $F1=Q_{d-1} \times P_{d-1} + Q_d \times P_d - Q_{d-1} \times P_d + Q_{\text{合约}} \times P_{\text{合约}} - Q_{\text{合约}} \times P_{\text{参考点}}$

方式二:差量结算 $F2=Q_{\text{合约}} \times P_{\text{合约}} - Q_{\text{合约}} \times P_{\text{参考点}} + Q_{d-1} \times P_{d-1} + Q_d \times P_d - Q_{d-1} \times P_d$

“差价合约”是一种金融衍生品，本质是一种担保性质的期权合约，有价值，需要被担保方向担保方购买。

我国的中长期交易，不是“差价合约”。新的136号文属于差价合约，政府作为担保方，免费向相关新能源企业提供担保。

中长期与现货的结算方式，可理解为差价结算，也可理解为差量结算。从市场主体个体角度、从15分钟的时间尺度上，可以理解为差价结算；但从市场整体角度，从中长期合同对应的年/月时间尺度看，更应理解为差量结算。

现货是在中长期高比例签约前提下的全电量报价、全电量出清，但不应理解为现货价格代表全电量价格，尤其在现货“负电价”频出的情况下，全电量负电价意味着灾难，现货只是为中长期未覆盖的局部电量定价。

中长期作为“压舱石”具有避险功能，但不能因此说中长期是金融的、财务的。当前非现货市场省份中长期分时段交易，中长期计划的执行完成率是95%左右，偏差在所难免、完全可以认为是具备物理执行能力。

稳价避险只是中长期众多功能之一，还承担着引导长中期经济运行，承载着政府对公共物品宏观调控的功能。

4.4 中长期市场机制设计

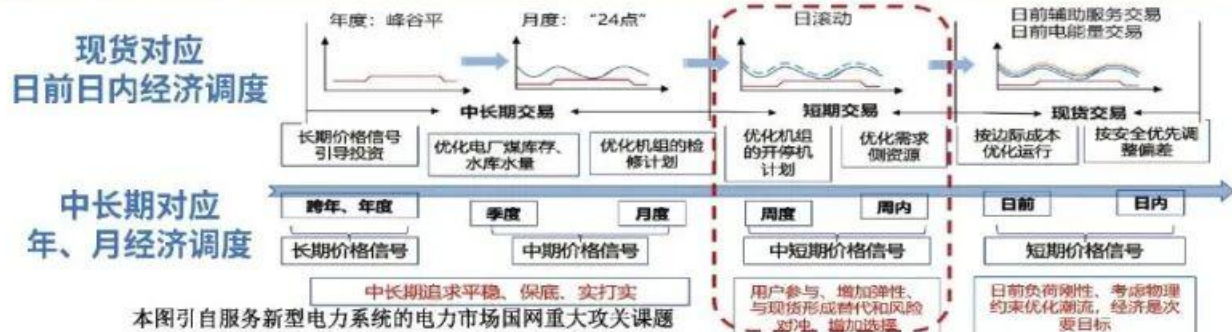
➤ 中长期市场的定位

1 电力中长期交易是远期实物交割的**物理合约**，对应指导相应周期的经济调度

2 电力商品具有公共资源属性，中长期承载着稳价、保供、转型多重政府宏观调控的职能。

这些职能必须要落在实物上。金融化，会束缚和弱化政府的管理能力。

市场化改革前	市场化改革后	价格发现的功能体现
多年规划	多年绿电PPA、容量规划参考价（计划价）、基准资源指标	价格锚定、预示未来，引导资源跨期配置
年经济调度	年度中长期合同（基准价 + 指导上限）、绿电比例合同	体现年度市场方案和预期规划
月经济调度	月度合同（相对市场化）、跨区合同调剂交易（结合ATC）	边际电价引导
日前经济调度	日前现货市场（双边报量保价 + 集中出清）	节点电价 + 区域边界电价形成机制
实时平衡调度	实时市场（自动发电控制/AGC + 辅助服务竞价）	反映最短期负荷-供给失衡边际成本



本图引自服务新型电力系统的电力市场网重大攻关课题

4.4 中长期市场机制设计

■ 目前争论：日前现货计划没有以中长期分解曲线为边界，还算不算物理执行？



预订年夜饭，6个人，预测2个人能喝1瓶、另外4个人一瓶

中长期合同：提前让饭店备好2瓶酒、6个杯子。

吃饭当天，**实时现货**有两种倒酒方法：

- ① **刻板的**按中长期比例分解，6杯酒，每次都按2:2:1:1:1:1来倒酒。
- ② 大家自斟自饮，每人基本按酒量喝，最终两瓶酒喝完。

从中长期尺度看，6个人2瓶酒，**是物理执行的**，有偏差、差不多。

现货的日前倒酒组合，没有**刻板的**按中长期合同来分解，是因为中长期预定年夜饭时，精确到1桌6人2瓶酒就足够了，无需提前对执行细节都预测清楚、定死。**2瓶酒的中长期合同，是可分割的。**

如果因倒酒方式，非要说中长期不是完全物理执行，但也绝不能因此而说中长期是金融的，因为2瓶酒是被**实物交割**了的。**真正的金融合同是**：酒店可选择退两瓶酒钱了事、顾客要继续吃饭不许抱怨。

□ 建议向市场主体如实、准确、全面介绍我国中长期合约的作用，不要进行的易误导产生二元对立的简单化描述。

4.4 中长期市场机制设计

➤ 未来的电力中长期市场框架

- 电力平衡时： $P_{发} = P_{用}$ → 当期交易完成
- 电力不平衡时： $\Delta P_{发} = \Delta P_{用}$ → 留待未来更短期进行交易

大智慧国债板块



像选理财产品一样买中长期

俄罗斯方块游戏机



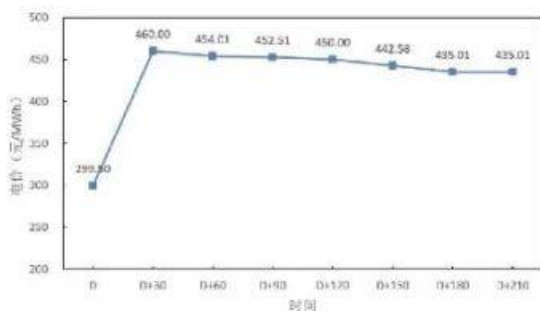
像玩俄罗斯方块一样做交易

4.5 中长期与现货价格关联

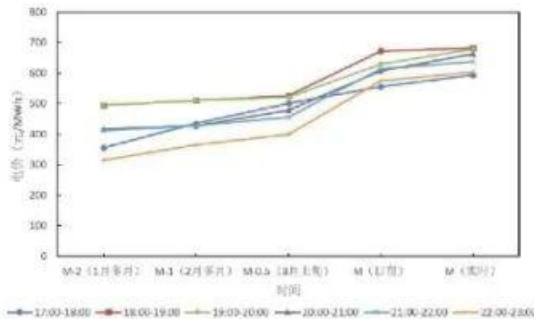
- 连续多月交易的远期价格发现功能
- 高频次交易增加透明度，降低信息获取成本，规避预测偏差风险
- 通过连续交易，多周期市场达到帕累托均衡，价量协同
- 增加流动性，市场结构动态变化，抑制市场力

案例：山西中长期多月连续交易

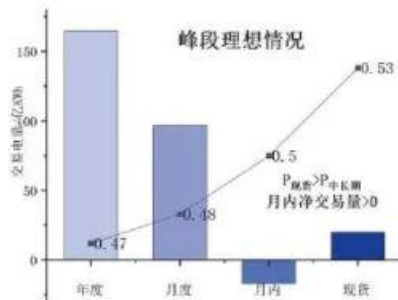
滚动撮合交易方式，实现按日连续开市，交易标的为未来6个月内每月每个时段的总电量，市场主体可根据自身需求自由选择交易方向，按照价格优先、时间优先的方式滚动成交。



提前发现未来210天价格信号



远期价格随时间逐步逼近现货价



不同周期品种价格

4.6 报价不报量的预挂牌交易——中长期报价、日内曲线

适合需求响应资源参与市场，D-1响应资源少、响应成本高，因此需要中长期完成交易，日内再确定曲线；

适合储能、虚拟电厂参与市场，只关心调节补偿价，可以申报参与由调度集中灵活调用当前储能“报量报价”参与市场，经常次高价次低价中标，是自调度，并未完全释放灵活性。

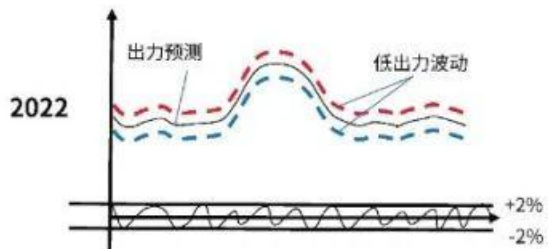


4.7 现货与辅助服务联合出清——系统平衡模式转变

平衡： $E(P_{发}) = E(P_{用})$

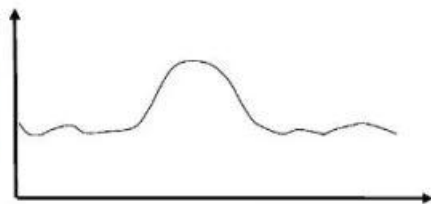
不平衡： $\sigma(\Delta P_{-30min}) = C_{30min}$ 备用 $\sigma(\Delta P_{-1min}) = C_{1min}$ 二次调频

$\sigma(\Delta P_{-15min}) = C_{15min}$ 爬坡 $\sigma(\Delta P_{-1s}) = C_{1s}$ 惯量



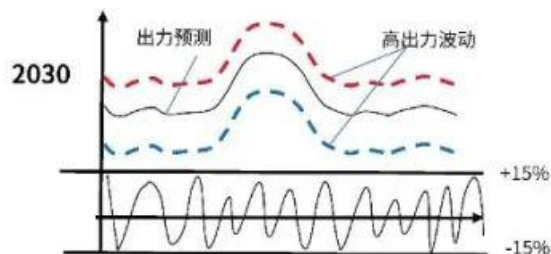
期望值 E

电能量市场

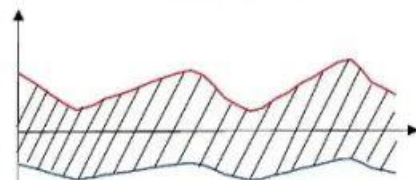


依据预测期望值 E
组织电能量交易

电能量市场



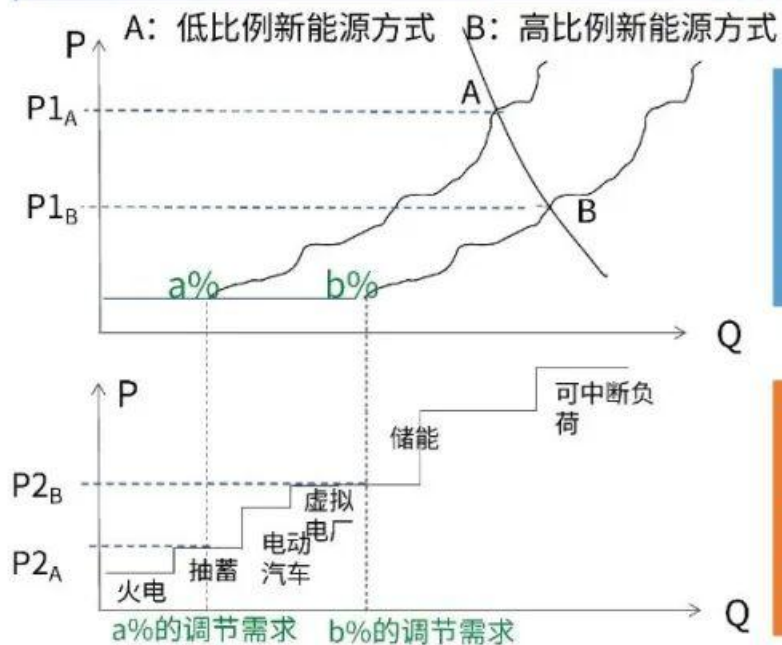
平衡调节市场



依据一定置信度下的波动区间
(95%, 2σ)
确定备用容量/爬坡服务需求

长期备用容量+短期爬坡服务

4.7 现货与辅助服务联合出清——外部成本内部化



➔ $P1_A > P1_B$, 随新能源比例提升, 电能量成本降低

➔ $P2_A < P2_B$, 新能源比例提升, 安全外部成本升高

不平衡调节费与平衡费之比将不断提升
应综合比较: $(P1_A + P2_A)$ 与 $(P1_B + P2_B)$

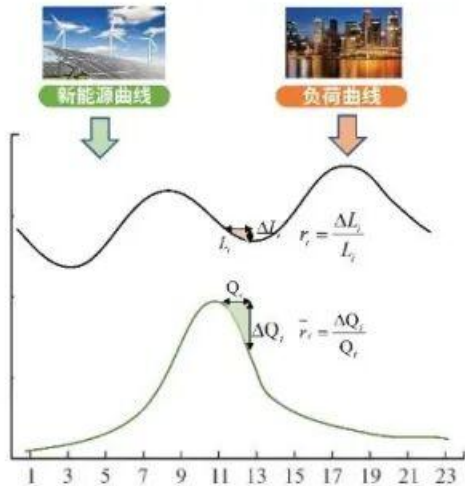
当前现货市场, 因新能源报低价, 较低的电能量出清价 $P1_B$, 带来高昂的系统调节成本 $P2_B$, **当前现货的最优点也偏离了系统总运行成本的最优点**。应推动电能量市场与平衡调节市场联合出清。

4.7 现货与辅助服务联合出清——安全外部成本内部化（量化分配到电能量市场主体）

按月统计新能源及负荷的出力曲线，量化各时段爬坡率，进而计算由于新能源出力特性引致的反调峰当量，进而明确新能源所需购买的爬坡容量。

新能源所需采购的爬坡容量 $C_{2,i}$ 计算方法如下：

依据新能源历史出力曲线，
量化反调峰特性引致安全成本



步骤一：依据历史值计算负荷及新能源爬坡率

负荷 L : $[L_1, L_2, L_3, \dots, L_{24}]$

负荷变化 ΔL : $[(L_2-L_1), (L_3-L_2), \dots, (L_{24}-L_{23})]$

负荷爬坡率: $r_j = \frac{\Delta L_j}{L_j}$ 同理可得, 新能源爬坡率 $\bar{r}_i = \frac{\Delta Q_i}{Q_i}$

步骤二：量化新能源反调峰率

反调峰率: $r'_i = \bar{r}_i - r_i$

反调峰当量需求: $C_{2,i} = Q_i * r'_i = Q_i * (\frac{\Delta L_j}{L_j} - \frac{\Delta Q_i}{Q_i})$ 同向, 有助于调峰
反向, 反调峰

步骤三：依据新能源出力曲线，量化新能源所需承担的调节量

光伏所应购买的爬坡当量: $C_{2,i} = Q_i * r'_i = Q_i * (\frac{\Delta L_j}{L_j} - \frac{\Delta Q_i}{Q_i})$

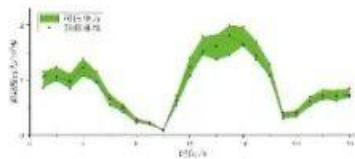
4.7 现货与辅助服务联合出清——体现调节价值市场竞价方式

新能源可信出力区间量化

可信出力区间量化

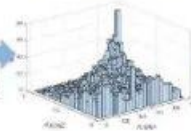
- 历史出力水平
- 出力季节特性
- 预测精度
- 波动水平

可信出力量化建模



多新能源场站相关性建模

- copula函数
- 相关性分析
- 关联系数量化



系统调节需求

需求量化

电能+平衡调节联合竞价模式

$$\min \{ \text{电能量成本} + \text{平衡调节成本} \}$$

现货市场

辅助服务市场

体现调节价值的电力市场竞价模式

联合优化目标函数

$$\min \left\{ \begin{aligned} & \sum_{i \in G} [C_{i,1} P_{i,t} + C_{i,2}^s + C_{i,3}^s] && \text{电能成本、机组启停成本} \\ & - \sum_{i \in G} [C_{i,4} (P_{i,t}^u - C_{i,4}^u) - C_{i,4} (P_{i,t}^d - C_{i,4}^d)] && \text{虚拟电厂调节成本} \\ & - \sum_{i \in G} [C_{i,5} (P_{i,t}^u - C_{i,5}^u) - C_{i,5} (P_{i,t}^d - C_{i,5}^d)] && \text{储能调节成本} \\ & \sum_{i \in G} M_i [S_{i,t}^+ + S_{i,t}^-] + \sum_{i \in G} M_i [S_{i,t}^+ - S_{i,t}^-] - \sum_{i \in G} M_i [S_{i,t}^+ + S_{i,t}^-] && \text{松弛惩罚因子} \end{aligned} \right.$$

约束条件

电力平衡约束： $\sum_{i \in G} P_{i,t} + \sum_{i \in D} P_{i,t} = D_t + g_{t,max}$

线路潮流约束： $-P_{t,max} \leq \sum_{i \in G} Q_{i,t} P_{i,t} + \sum_{i \in D} Q_{i,t} P_{i,t} - \sum_{i \in D} Q_{i,t} P_{i,t} = 2 P_{t,max}$

系统备用约束： $\sum_{i \in G} R_{i,t} P_{i,t,max} \geq R_{t,max}$, $\sum_{i \in G} R_{i,t} P_{i,t,max} \geq R_{t,max}$

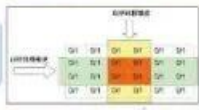
发电主体约束： $P_{i,t} - R_{i,t} \leq 0$, $R_{i,t,max} \geq R_{i,t} \geq 0$

其他约束： $-P_{t,max} M \leq (P_{i,t} + R_{i,t}) - (R_{i,t} - R_{i,t}) \leq P_{i,t} M$, $-P_{t,max} M \leq (P_{i,t} - R_{i,t}) - (R_{i,t} + R_{i,t}) \leq P_{i,t} M$

模型求解

出清求解

分支定界、概率
减枝求解算法

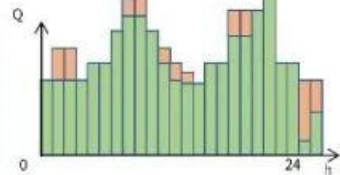


基于邻域搜索割
平面方法



模型求解

96点电能价格
+96点平衡调节价格



联合优化结果

**汇报结束
谢谢!**