国家电网
STATE GRID

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

电力市场运营机理及江苏市场若干热点问题探讨

杨争林

中国电力科学研究院有限公司 电力自动化所

2023年2月

目 录

01 电力市场机理和建设进展

02 若干热点问题探讨

03 电力市场实验推演

01 电力市场机理和建设进展

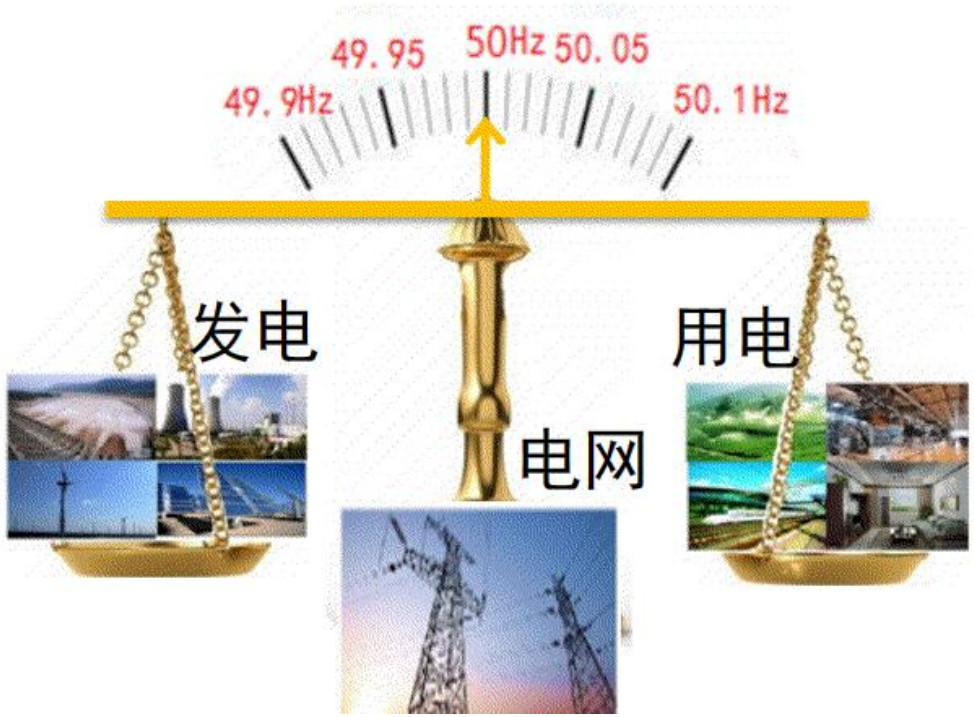
电力市场机理和建设进展

（一）电力市场的特殊性

通过引入竞争，促进电力生产技术进步和生产成本降低。以市场机制对已有发输配用电力资源进行优化配置，发现电力商品价格，并以价格信号引导电力投资，保障电力工业的健康可持续发展，承接国家能源发展战略落地。

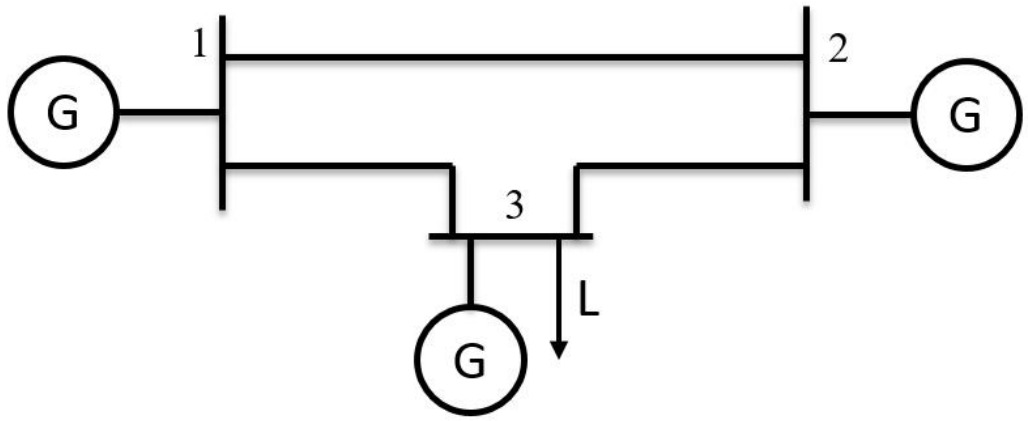
电力市场机理和建设进展

（一）电力市场的特殊性



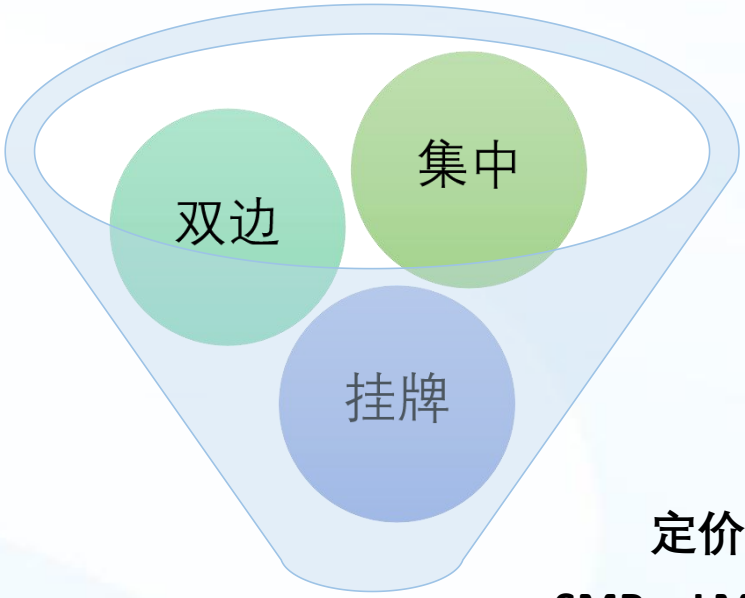
- 发用电实时平衡，难以大规模经济存储
- 负荷需求难以准确预测，发电设备技术特性复杂
- 潮流分布具有自然特性，输电能力受限

$$\Delta = P_L - (P_G - P_{loss})$$



电力市场机理和建设进展

（一）电力市场的特殊性



定价机制

SMP、LMP、Zonal

交易方式

市场力防控
信用体系建设

年度 → 季度 → 月度 → 多日 → 日前 → 日内 → 实时

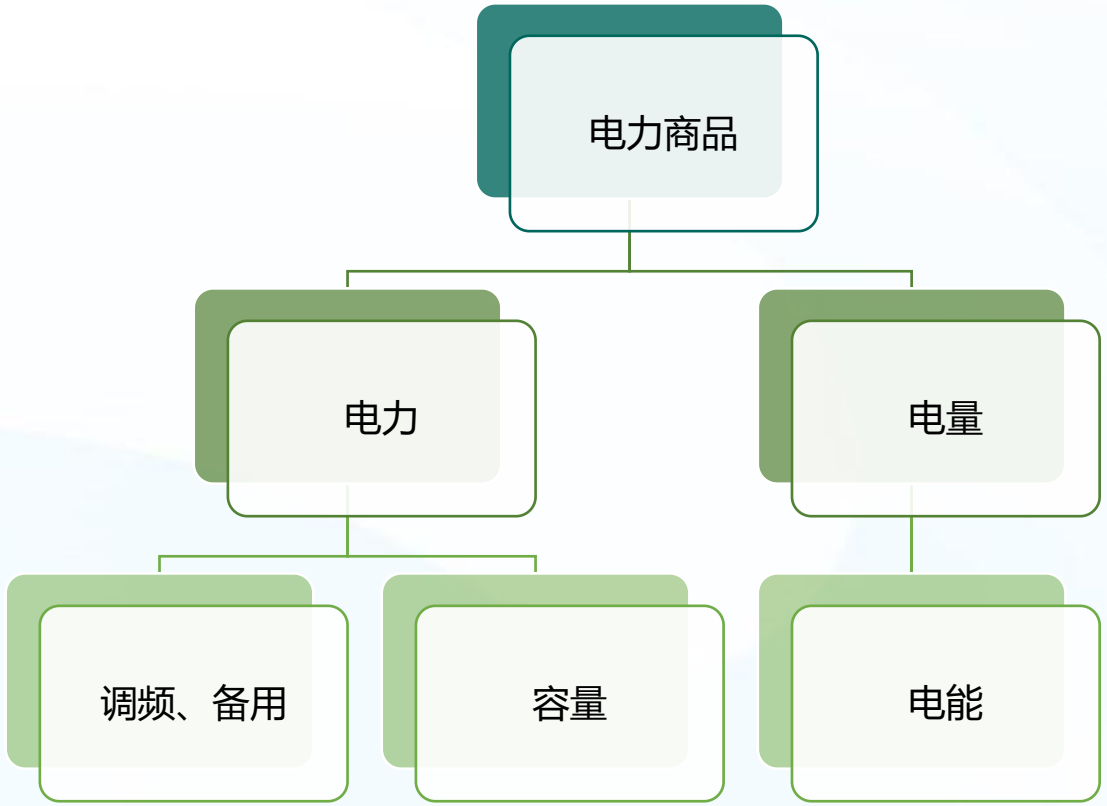
电力市场机理和建设进展

（二）电力市场运营机理

电能、调频、备用

调压、黑启动等

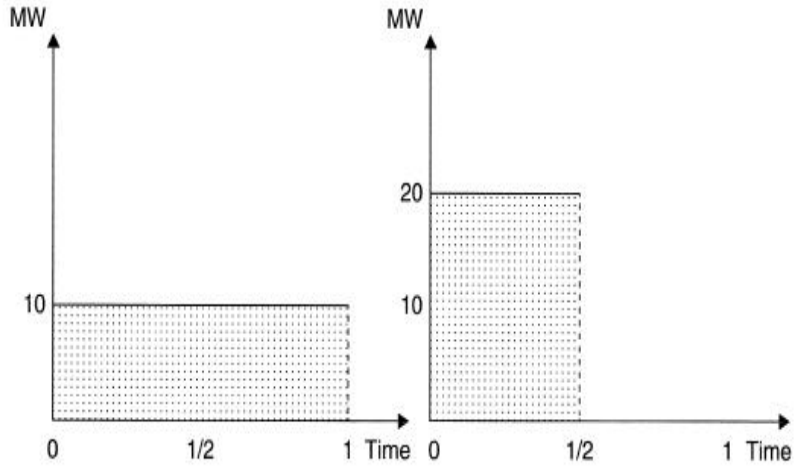
容量



电力市场机理和建设进展

（二）电力市场运营机理

分时段的电力商品定义



1小时

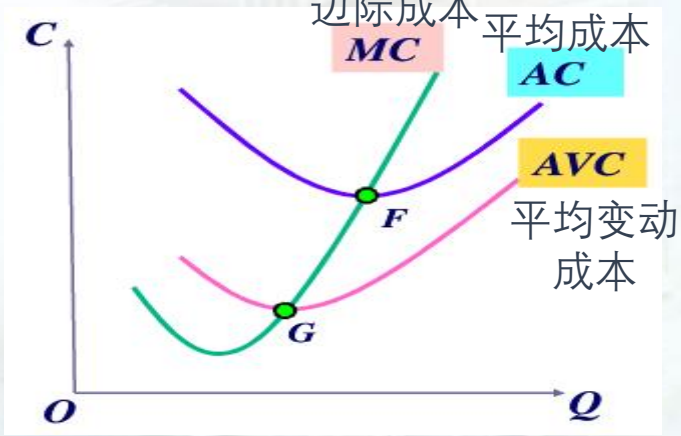
15分钟

电力市场机理和建设进展

（二）电力市场运营机理

$$F(p) = ap^2 + bp + c$$

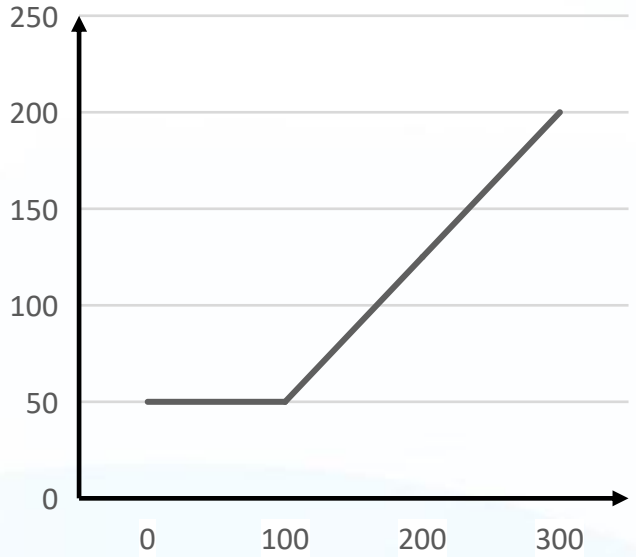
$$C_{边际}(p) = dF(p)/dp = 2ap + b$$



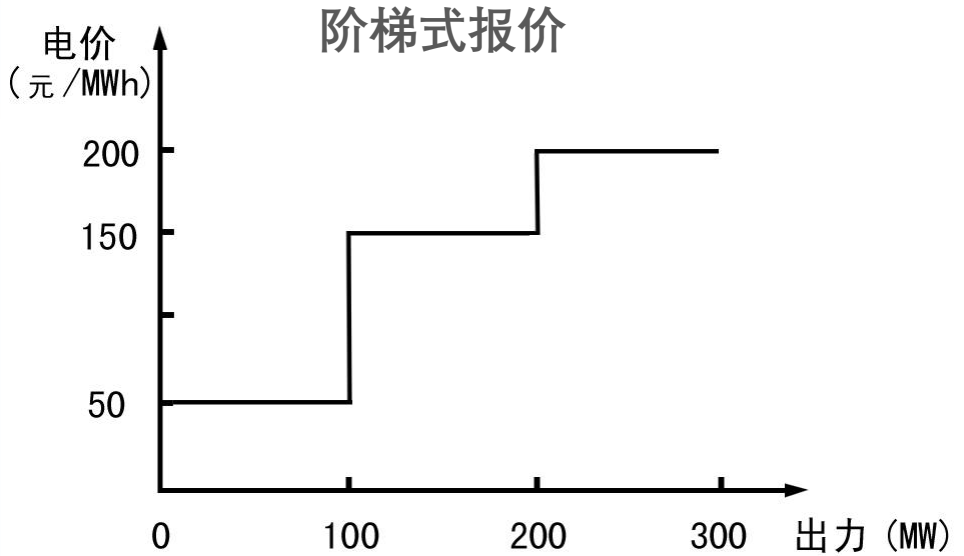
边际成本　平均成本

平均变动成本

斜线式报价



阶梯式报价



报价：

（0，50），（100，50），（200，150），（300，200）

电力市场机理和建设进展

（二）电力市场运营机理

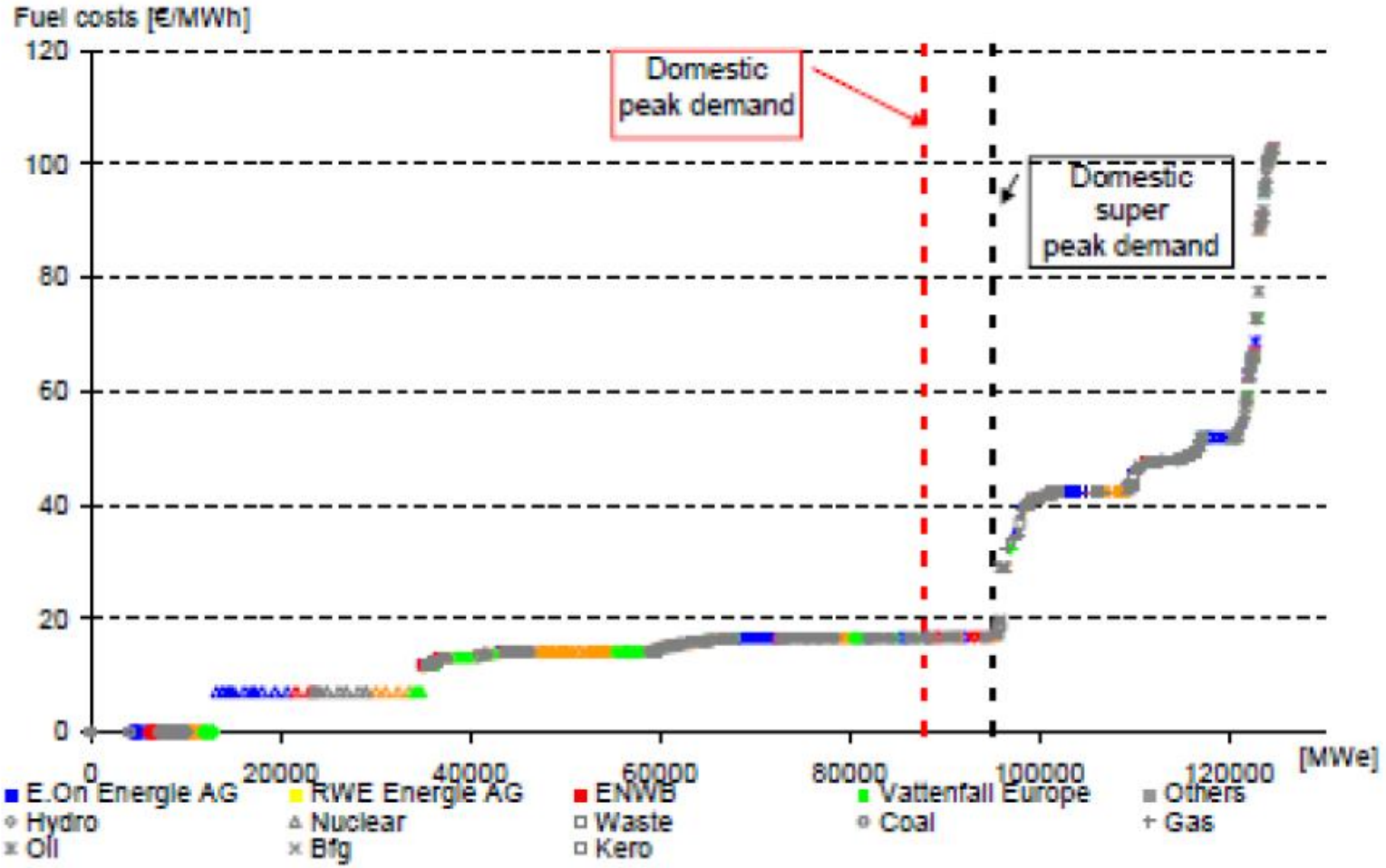


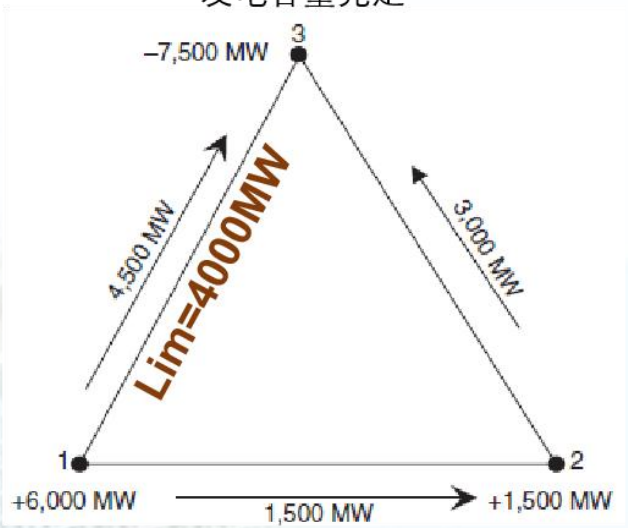
Figure 3.5 *SRMC curve for Germany in 2001*

电力市场机理和建设进展

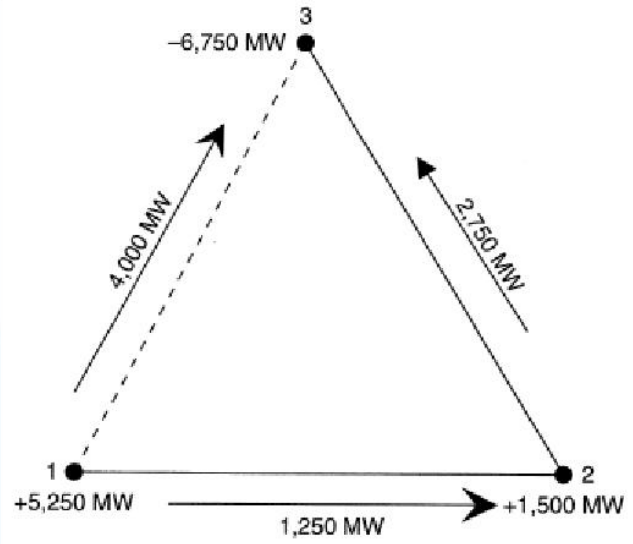
（二）电力市场运营机理

线路1-3的额定输送容量为4000MW

400元/MWh
发电容量充足



-7500 + 750 (MW)



160元/MWh
发电容量充足

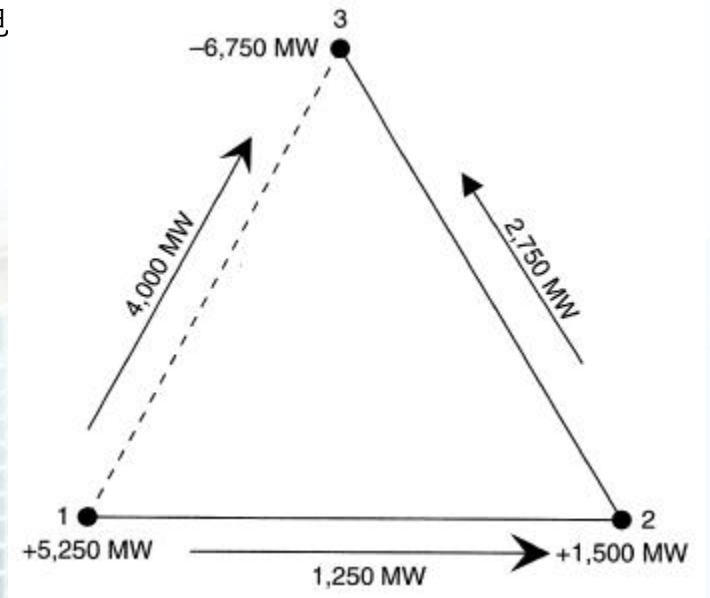
80元/MWh，
若超过1500MW，
成本为1000元/MWh

（二）电力市场运营机理

线路1-3的额定输送容量为4000MW

-7500 + 750 (MW)

400元/MWh
发电



160元/MWh
发电容量充足

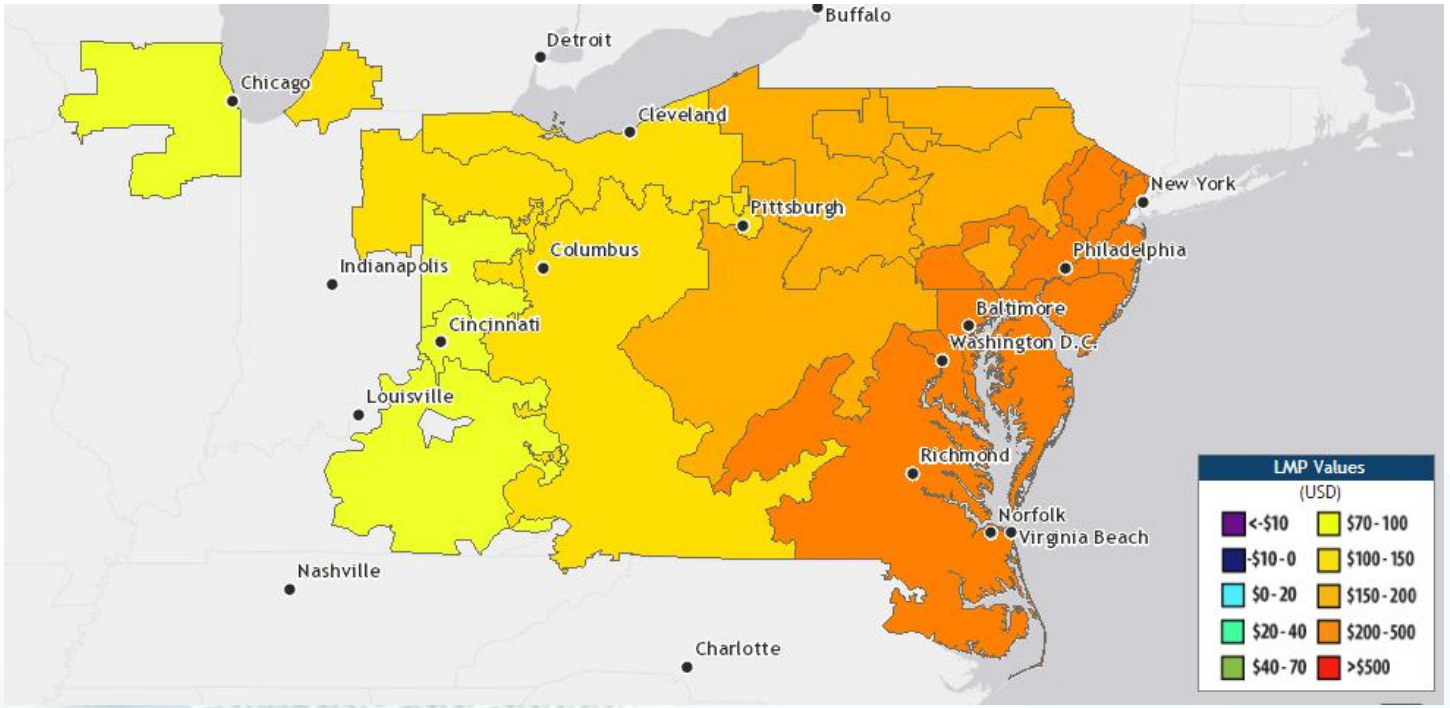
80元/MWh，
若超过1500MW，
成本为1000元/MWh

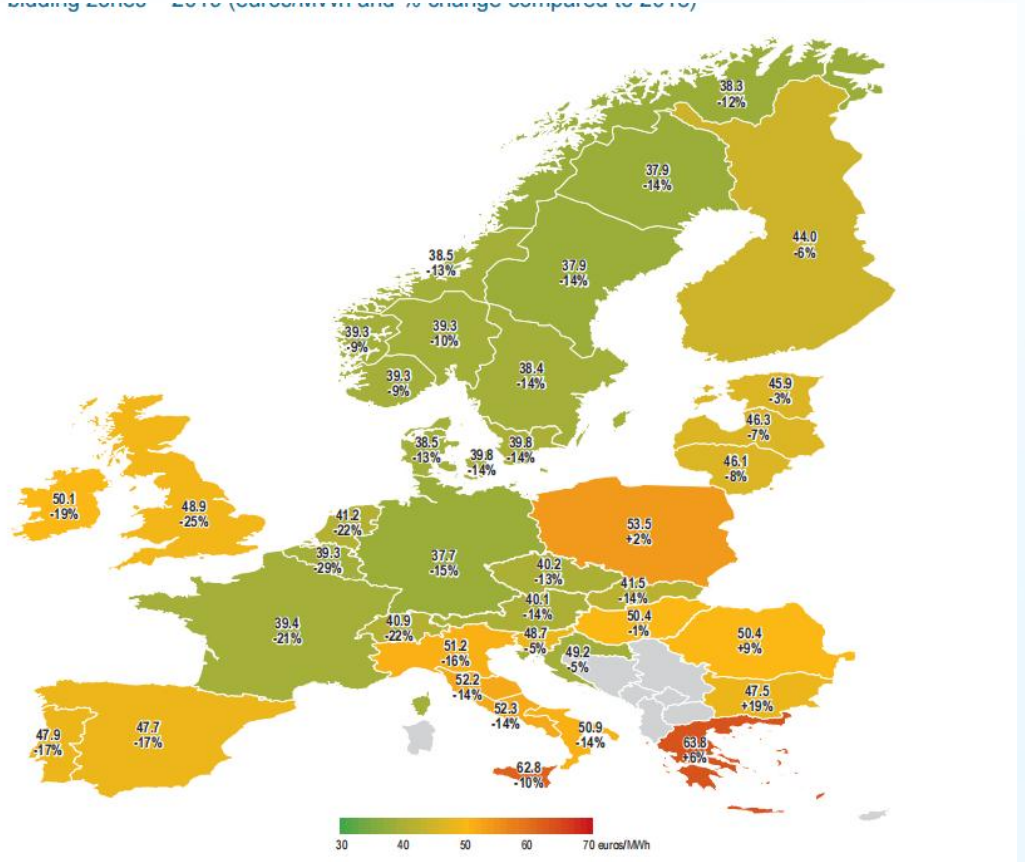
1. **节点1的LMP=160元/MWh；**
2. **节点3的LMP=400元/MWh;**
3. **节点2的LMP？**

400*1/2+160*1/2=280元/MWh

电力市场机理和建设进展

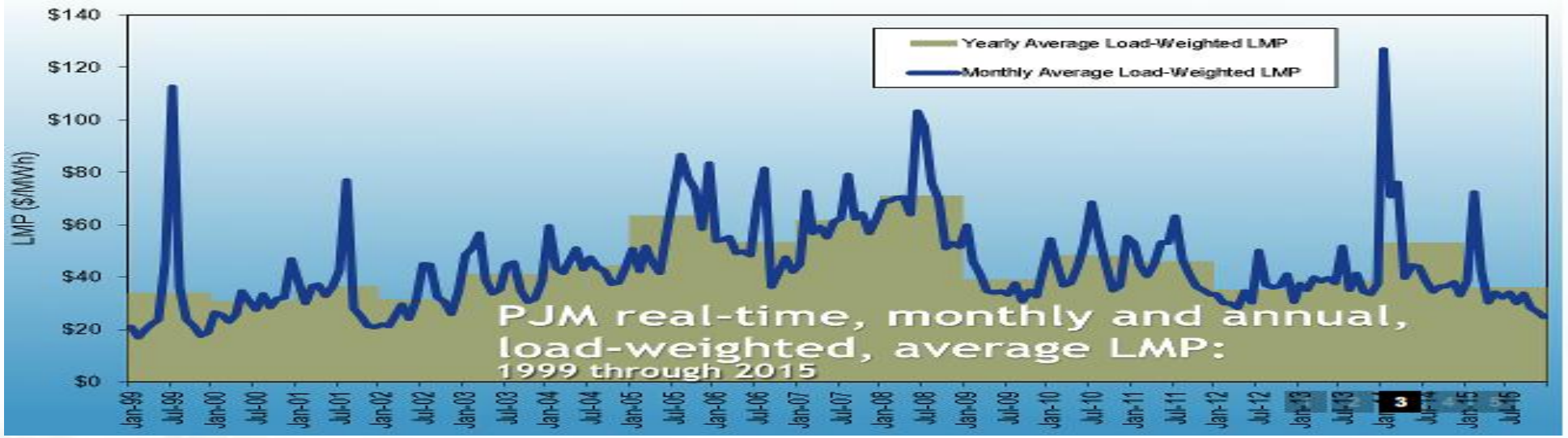
（二）电力市场运营机理

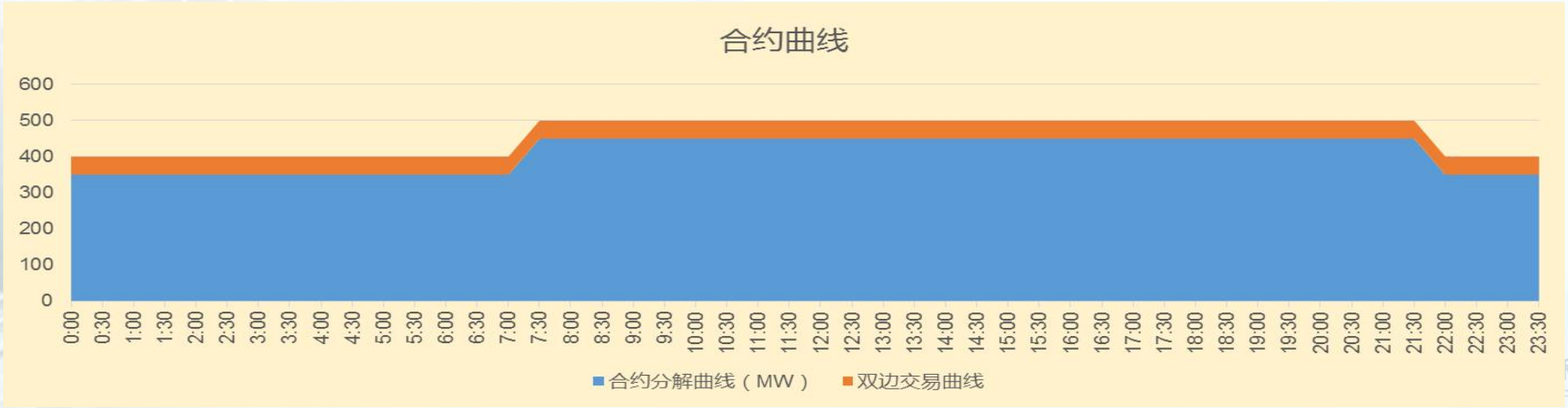




电力市场机理和建设进展

（二）电力市场运营机理





电力市场机理和建设进展

（二）电力市场运营机理

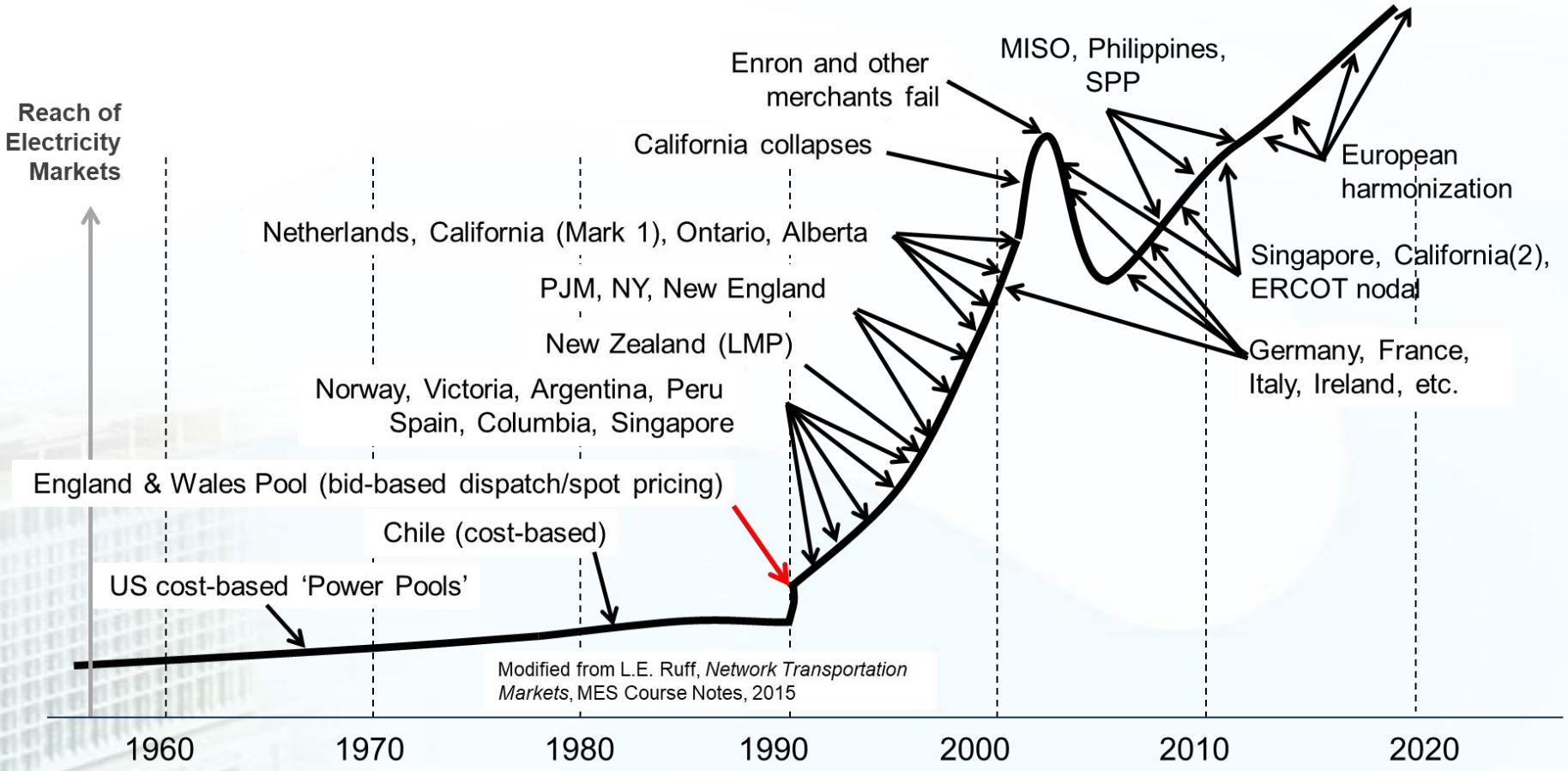
事前 集中度管控

事中 三寡头测试

事后 行为与影响分析

电力市场机理和建设进展

（三）国外电力市场建设进展



来自：*PJM*

电力市场机理和建设进展

（三）国外电力市场建设进展

- 加强竞争和降低电价为主要目标
- 强调部分开放、适度监管以及电网或天然气管道业务与电力或天然气生产/供应分离

（1）不要求强制性出售电网或天然气管道业务；
（2）要求电网或天然气管道的运营实现管理及法律上的独立；
（3）欧盟委员会可介入非欧盟实体对欧盟电网或天然气管道业务的收购
（4）进一步支持可再生能源及低碳发电，发展智能化，以提高能源效率；
（5）设立能源监管机关合作机构，由其行使监管职能。

第一能源法案 1996年

第二能源法案 2003年

第三能源法案 2007年

清接能源法案CEP 2019年

- 进一步开放市场，加强电力监管
- 要求电网或天然气管道业务和电力或天然气生产/供应必须实现法律分离

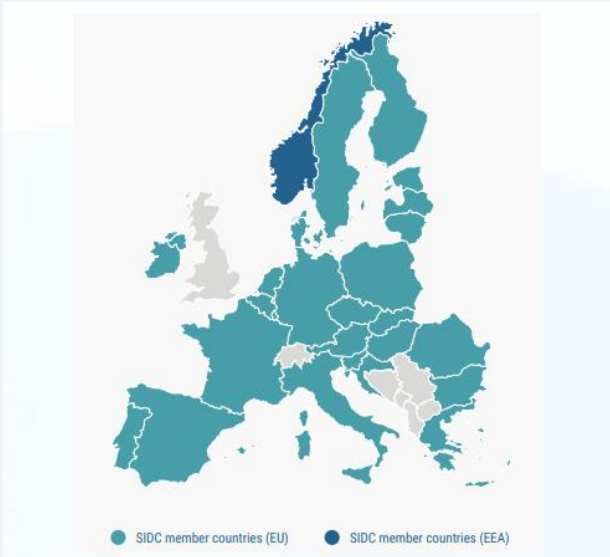
2030达到35%的可再生能源份额，作为对欧洲能源消费总量的约束性目标。

电力市场机理和建设进展

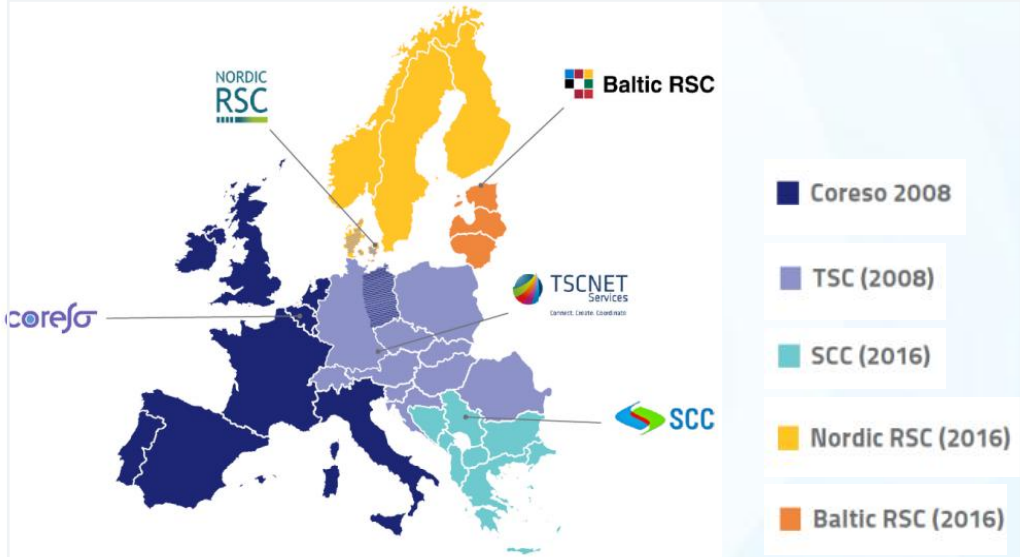
（三）国外电力市场建设进展

- **日前市场** 6月17日，顺利完成4MMC国家与欧洲统一日前电力市场耦合，形成欧盟统一的日前电力市场。
- **日内市场** 正在进展的是第三阶段耦合，目前22个国家开展日内统一连续交易。
- **实时平衡市场** 4类平衡产品交易。

日前市场



日内市场



实时平衡市场

电力市场机理和建设进展

（四）国内电力市场建设进展

电力市场运营机构建设

- 电力交易中心；
- 电力调度中心；
- 电力市场管理委员会。

双碳目标、环境约束、新能源消纳

电力市场机制建设

- 电力中长期交易；
- 电力现货交易。

01.管住中间，但未能全面放开两头

- 部分主体进入市场，优发优购比重大。

02.部分主体定价，价格无法有效传导

- 部分市场主体定价，发现价格能力有限；
- 价格难以从发电传递到用户；
- 中长期与现货价格无法相互牵引。

03.商品类型单一，电力交易机会不足

- 单一电能商品为主；
- 中长期交易普及，电力现货交易滞后。

1439号 + 809号文 全部燃煤发电电量上网电价+电网企业代理购电机制

电力市场机理和建设进展

（五）江苏电力现货市场

◆ 江苏电力现货市场成员包括**市场主体**、**电网企业**和**市场运营机构**。

市场主体
- 发电企业、一类用户（直接参与批发市场交易的电力用户）、售电公司、独立辅助服务提供者等。
- 电网企业代理购电业务参照售电公司参与市场交易。

电网企业
- 电网企业指国网江苏省电力有限公司。

市场运营机构
- 电力调度机构：江苏电力调度控制中心。
- 电力交易机构：江苏电力交易中心有限公司。

（五）江苏电力现货市场

日前电能市场

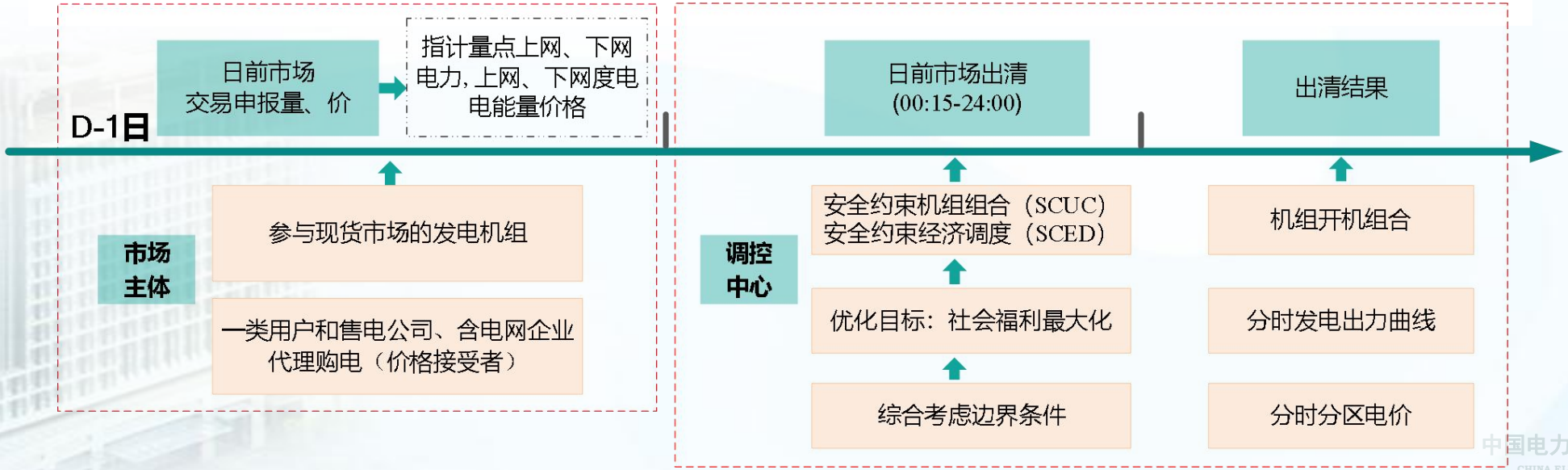
- **组织方式：** D-1日开展D日日前电能量交易，采用发电侧、用户侧报量报价的方式组织交易，采用全电量申报、集中优化的方式进行出清。
- **交易时间：** 每个自然日含有96个交易出清时段（00:15-24:00），每15分钟为一个交易出清时段。
- D-1日，参与现货市场的发电机组、一类用户和售电公司（含电网企业代购购电）在日前电能量市场申报D日的量价信息，其中电网企业代理购电作为价格接受者参与现货市场出清。
- 定价机制：分区定价（最大节点电价、最大发电报价、节点价钱平均电价等）

电力市场机理和建设进展

（五）江苏电力现货市场

日前电能市场

- 根据各市场主体日前市场申报，综合考虑负荷预测、区外来电情况、设备检修、安全运行约束条件等因素，**以社会福利最大化为优化目标**，出清得到D日的机组开机组合、分时发电出力曲线以及分时分区电价。



（五）江苏电力现货市场

实时电能市场

- 实时电能量市场采用**全电量申报**、**集中优化**的方式进行出清。
- **参与现货市场的发电机组**可在实时电能量市场中申报实际电网运行点未来半小时（P+2点）至未来4小时（P+16点）的分时（每15分钟）量价信息或采用日前市场封存的申报量价信息。
- 各市场主体申报的实时电能量市场量、价信息，均指计量点上网、下网电力，以及对应的上网、下网度电电能量价格（含税，不含辅助服务费用、容量补偿费用、不平衡资金分摊、输配电价、政府性基金及附加等）。
- 根据需要，**设置市场电能量申报价格上下限、电能量结算价格上下限。**
- **系统实际运行点（P点）15分钟前**，完成实时电能量市场出清。
- 实时电能量市场交易每15分钟滚动优化一次。

（五）江苏电力现货市场

辅助服务市场

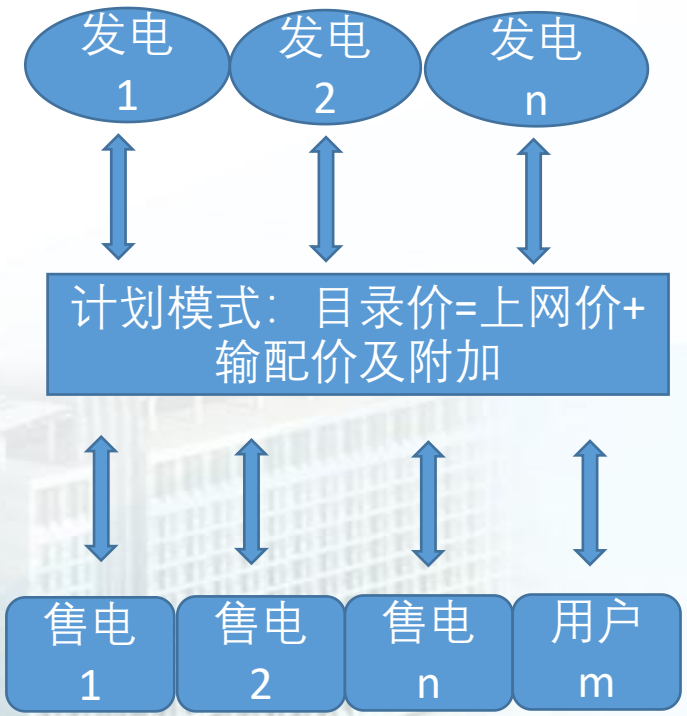
- 辅助服务市场包括旋转备用辅助服务、调频辅助服务、黑启动辅助服务等市场品种。

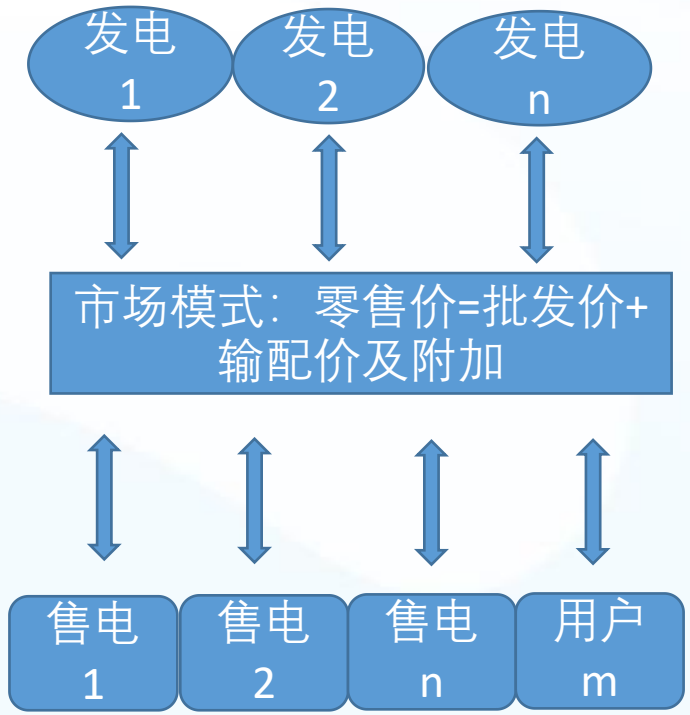
- 调频辅助服务市场主体为满足准入条件且具备 AGC 调节能力的各类发电企业、储能电站以及提供综合能源服务的第三方机构。
- 日前预出清根据“七日综合调频性能指标/调频报价”由高到低进行排序。日内调用以单次调节里程为一个计费周期，以被调用机组的报价作为其调用价。
- 中标机组应投入 AGC 功能并执行以计划为基点的自动发电控制，提供调频服务。
- 调频辅助服务市场补偿费用按日统计、按月结算，分为基本补偿和调用补偿两类。

02 若干热点问题探讨

若干热点问题探讨

（一）偏差费用

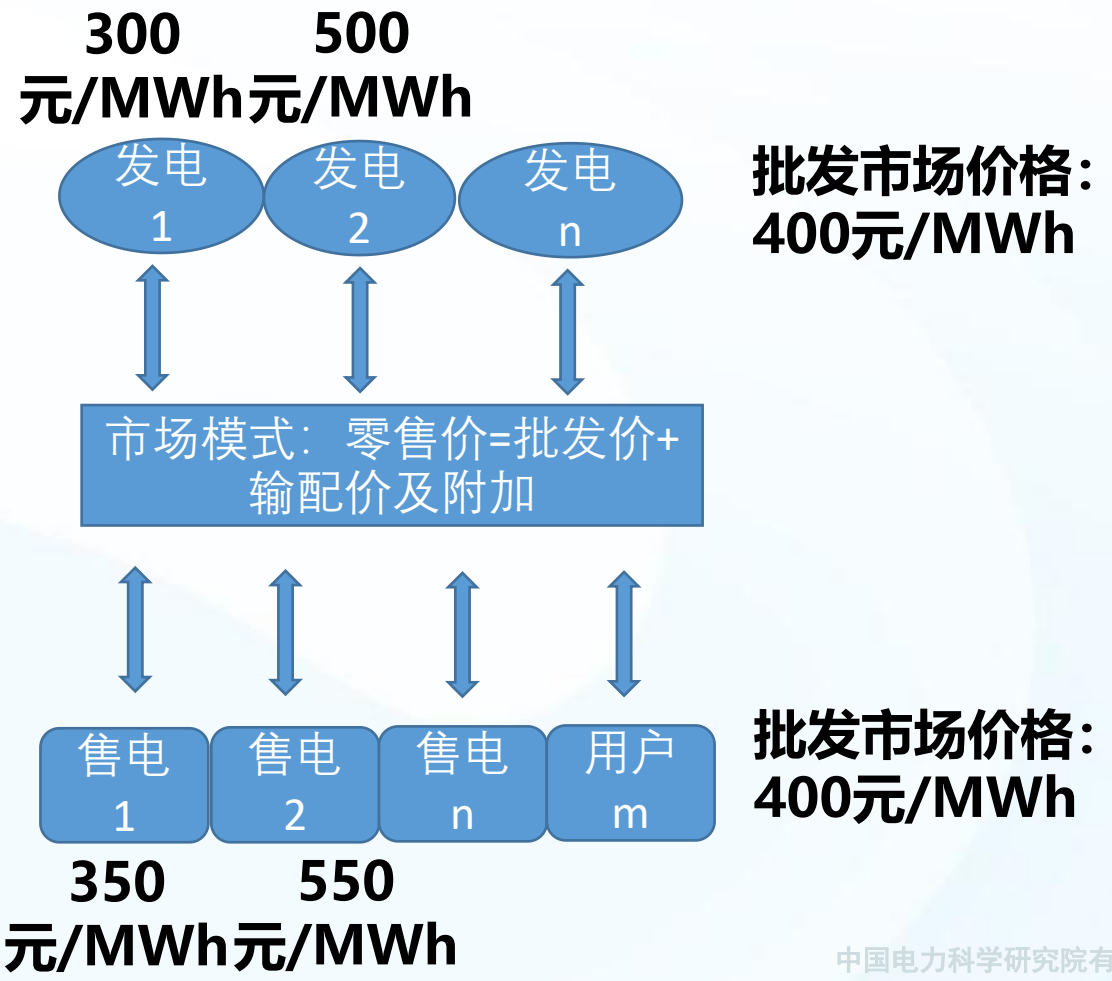




若干热点问题探讨

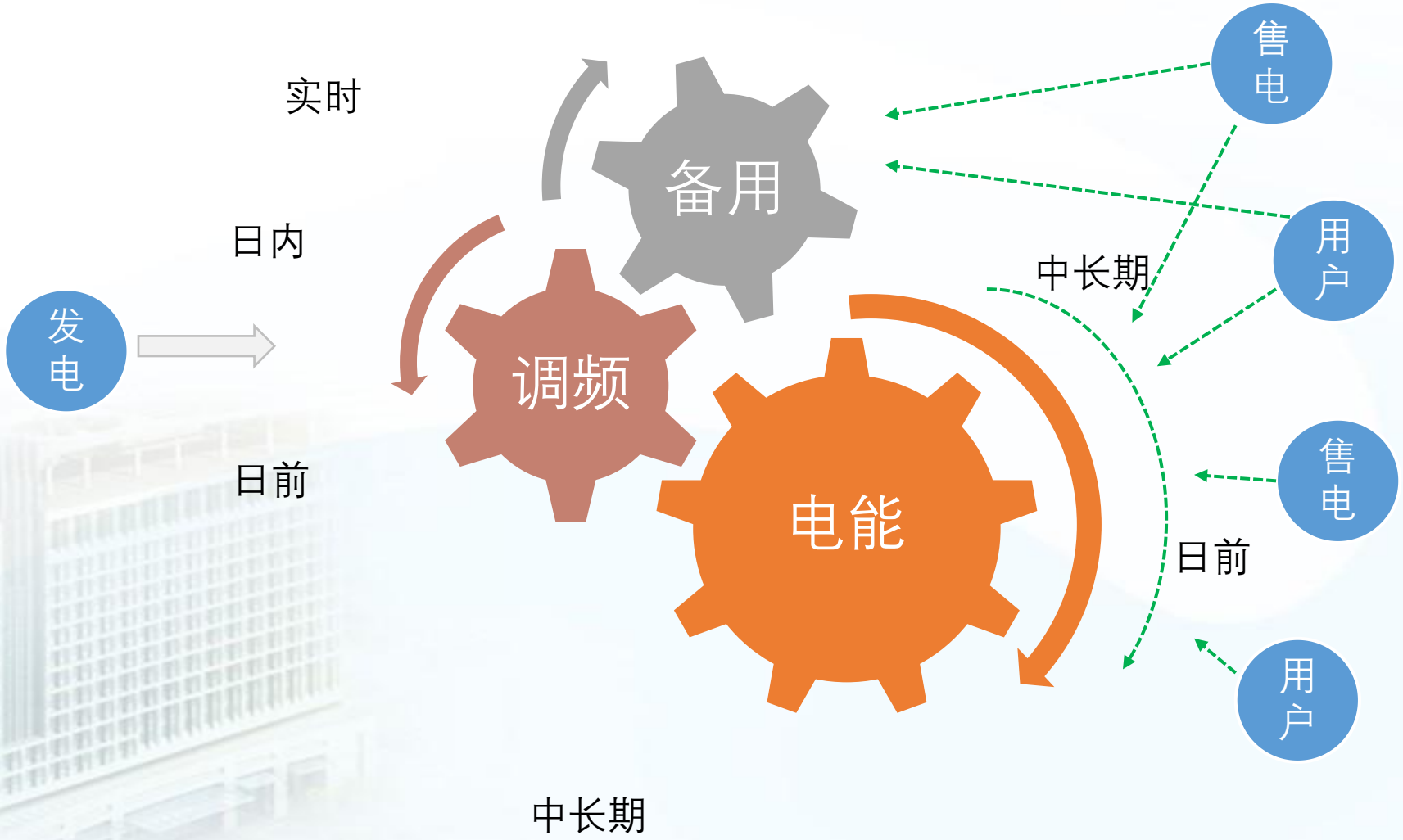
（一）偏差费用

- 计划市场双规
- 运行成本补偿
- 人工干预补偿



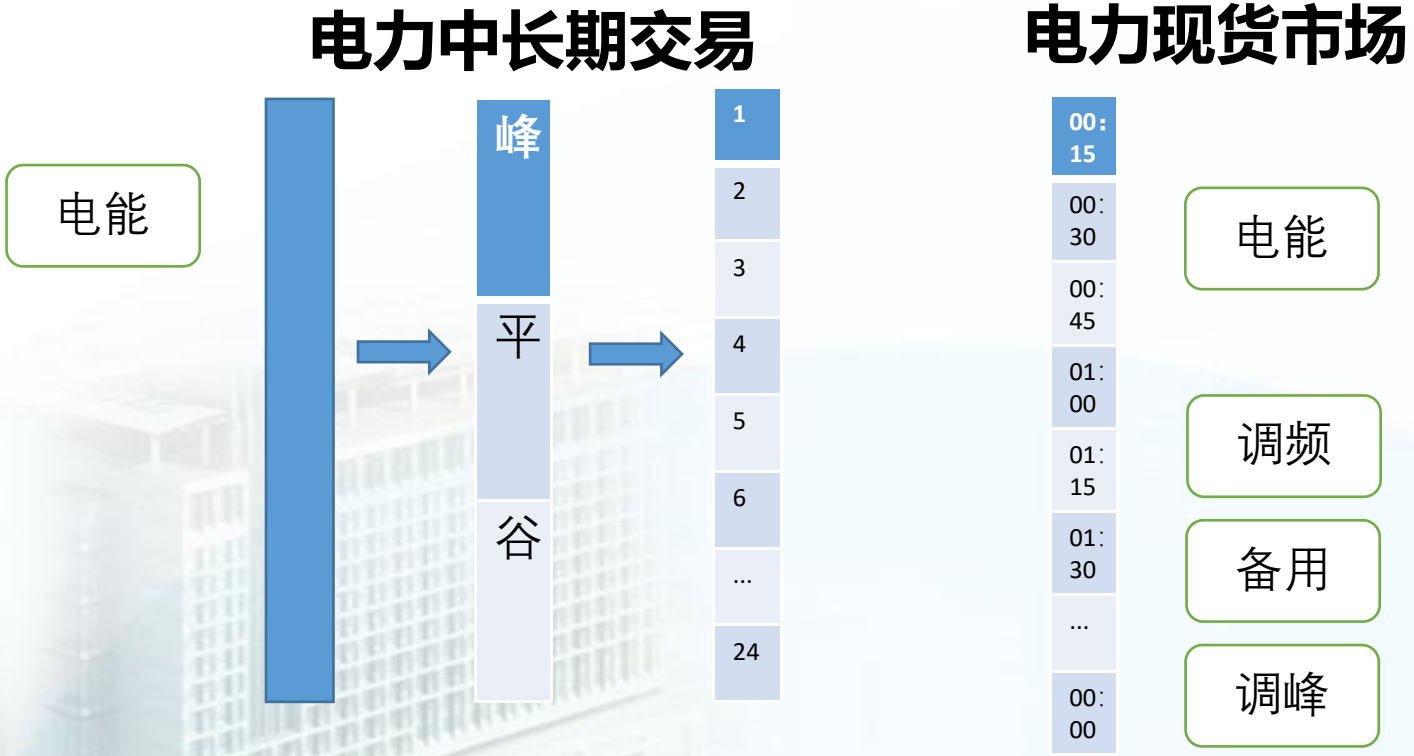
若干热点问题探讨

（二）部分市场主体参与市场



若干热点问题探讨

（三）中长期与现货市场衔接



如果现货市场分时定价，而中长期交易未采用分时定价，会引发什么问题？

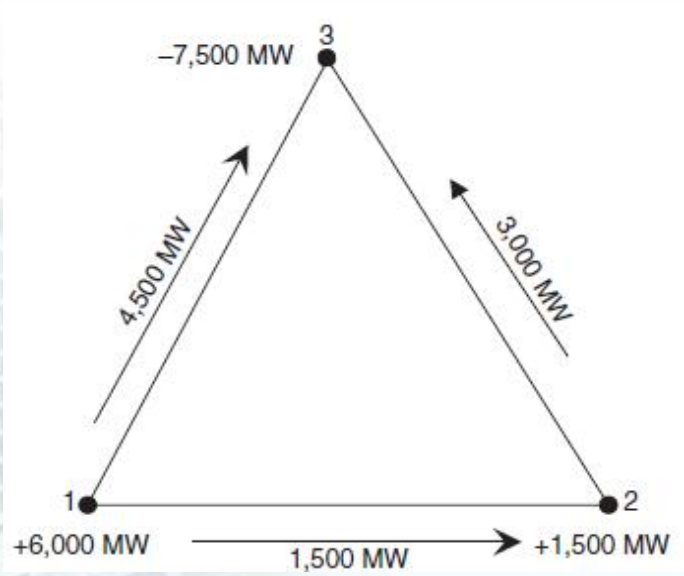
中长期交易电量分解时，发电倾向于在现货低价时段多分电量，用户倾向在现货高价时段多分电量，利益冲突明显。

若干热点问题探讨

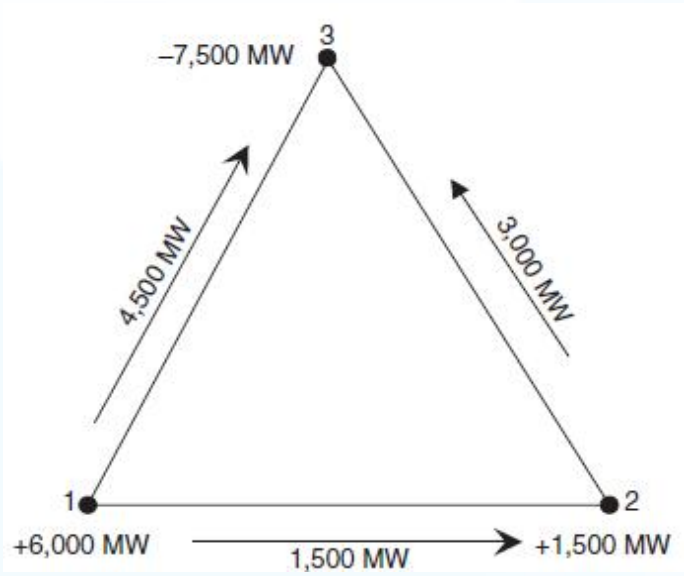
（三）中长期与现货市场衔接

中长期双边交易按交付点协商定价，集中交易按照系统边际电价定价；而电力现货市场定价通常采用节点定价机制，出现阻塞时不同位置的价格不同。节点电价较高的发电会减少中长期交易占比，而节点电价较低的发电会减少现货交易占比。

300元/MWh



400元/MWh



300元/MWh

300元/MWh，

160元/MWh

80元/MWh，

若干热点问题探讨

（三）中长期与现货市场衔接

中长期与现货市场衔接中需要解决：

（1）商品结构一致性
（2）定价机制一致性
（3）参与主体一致性
（4）交易周期衔接性
（5）配置资源流动性
（6）市场成员协同性
（7）运营技术可行性

若干热点问题探讨

（四）省间市场与省内市场衔接

当前，**“统一市场、两级运作”**的市场总体框架基本建成。形成覆盖省间省内，包括中长期、现货、辅助服务的全周期全品种市场体系。

优先发电、购电交易	中长期电能交易	合同电量转让交易	辅助服务交易	现货市场建设试点
● **优先购电**指按照政府定价优先购买电力电量，并获得优先用电保障。 ● **优先发电**指按照政府定价或同等优先原则，优先出售电力电量。 ● **优先发电电量和基数电量**现阶段视为厂网双边交易电量，纳入电力中长期交易范畴。	◆ **省间市场交易**，指跨越省级电网的交易，包括省间电力直接交易； ◆ **电力直接交易**，指电力用户、售电公司与发电企业通过交易平台开展的交易。	■ 指各类电量交易合同的转让交易； ■ **目前主要形式**：发电权交易，包括：火火、水火、新能源与常规电厂之间的合同替代交易，公用电厂与自备电厂的替代交易、省间替代交易等。	◆ 区域省间辅助服务市场方面，国网经营区内**除西南区域外，其他五个区域**相继出台了区域省间辅助服务市场运营规则。 ◆ 省内辅助服务市场方面，国网经营区内**除江西、西藏外，其余省份**均出台了辅助服务市场运营规则。	● 根据国家能源局批复，开展跨区域省间富余可再生能源电力现货交易试点。 ● 在国家发改委、国家能源局组织下，**第一批**8个现货试点省全部正式启动试运行。 ● **第二批**试点省份已确定，正在推进市场建设方案及规则体系的编制和完善工作。
年度	月度	月内短期	日前	日内、实时

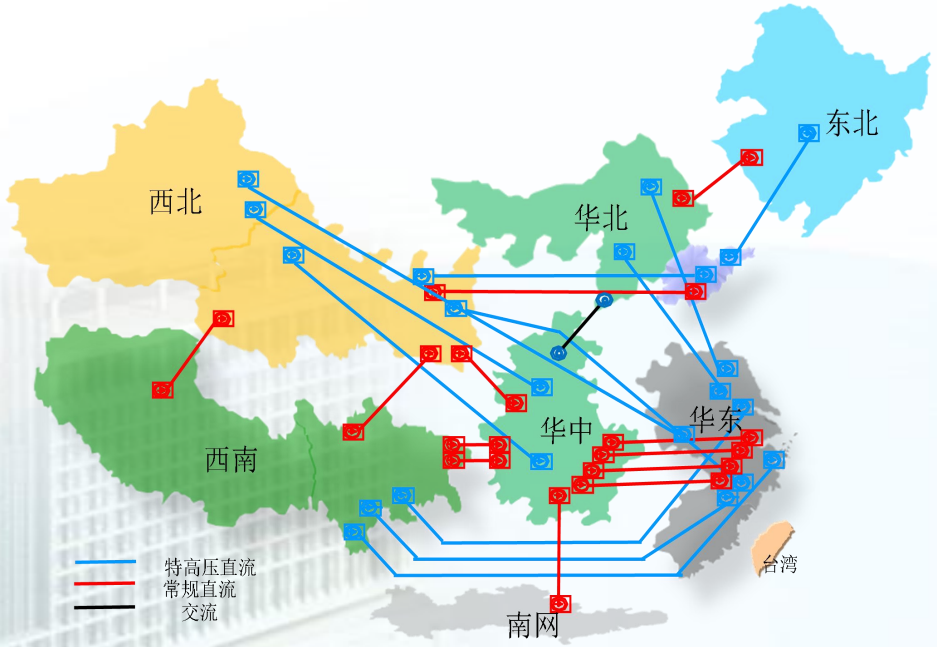
省间省内全周期全品种市场体系

若干热点问题探讨

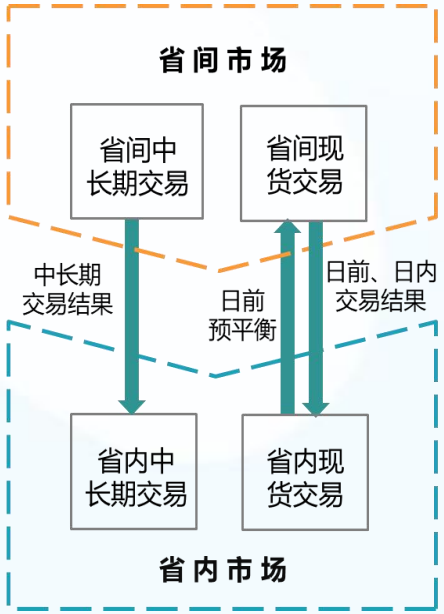
（四）省间市场与省内市场衔接

省间市场定位：省间交易定位于落实国家能源战略，促进能源消纳和能源资源大范围优化配置。

省级市场定位：省内交易定位于优化省内资源配置，确保电力供需平衡和电网安全运行。



我国电网互联情况



省间省内市场衔接

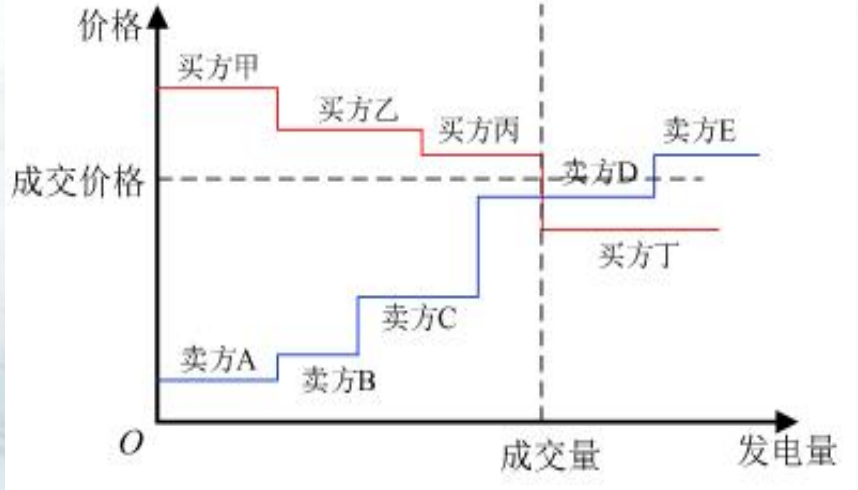
若干热点问题探讨

（四）省间市场与省内市场衔接

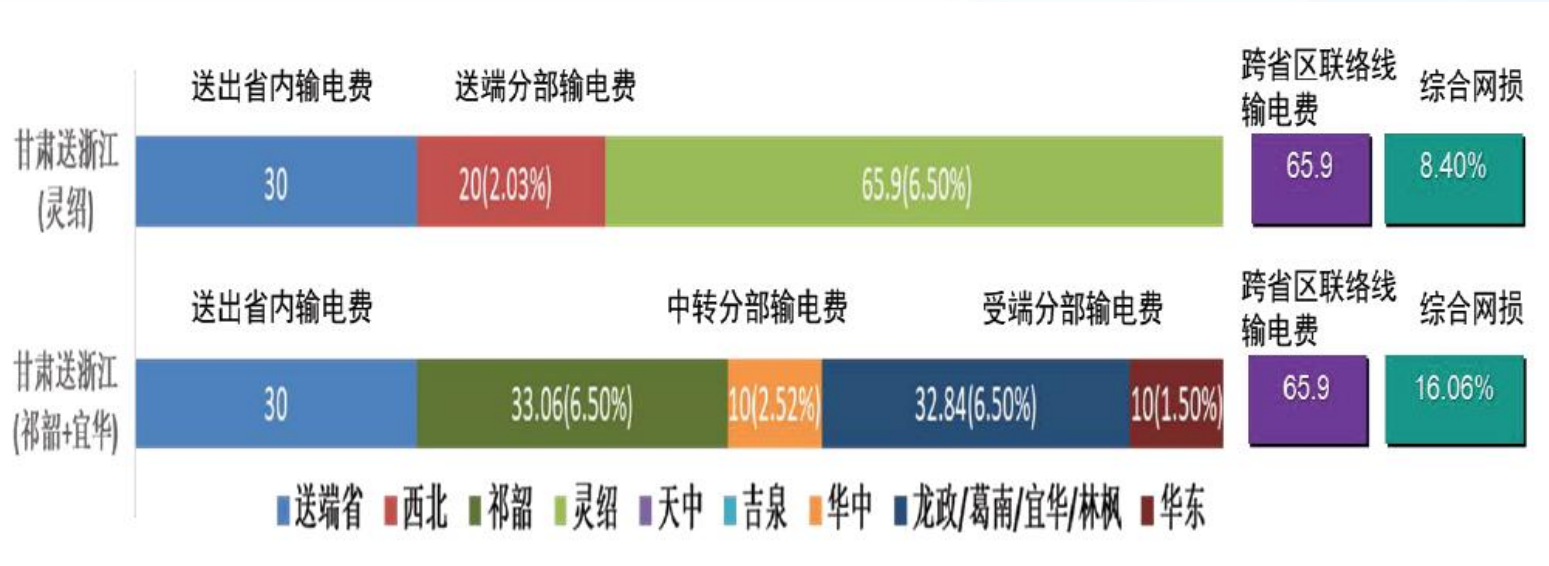
省间中长期交易组织时序：中长期交易中，省间交易先于省内交易出清，出清结果作为省内交易的边界。

省间中长期交易组织方式：现阶段省间中长期交易以单条联络线进行组织，以电量交易为主。

出清定价机制：将购电方电价和电力，考虑输电费和网损，按交易路径折算到售电侧进行集中排序撮合，报价最低的售电方和报价最高的购电方优先成交，购售双方在售电侧最后一笔成交的报价平均值作为售电侧边际出清价格。



市场出清过程



输电费和网损的折算过程

若干热点问题探讨

（四）省间市场与省内市场衔接

考虑输电通道可用输电能力的集中优化出清机制：

- 将购电方电价和电力，考虑输电费和网损，按交易路径折算到售电侧，计算购售价差；
- 以购售价差乘以购售对成交电力构建社会福利，以社会福利最大为优化目标，以每条通道上的剩余可用输电能力（ATC）为约束，进行多通道集中优化出清；
- 根据每条交易路径上的中标市场主体，采取边际定价方式，确定每条路径购售方电价。

优化目标：

$$\max U = \sum_{t} \sum_{\text{购售方}}$$ （每个购售对中标电力*(购售对之间减去网损和输电费的价格差值）*时段间隔）

约束条件：

01 购方电力申报约束

02 售方申报电力约束

03 联络线/断面可用容量约束

04 联络线的功率变化最大限值约束

05 联络线上每天功率变化最大次数约束

06 发电企业出力上限约束

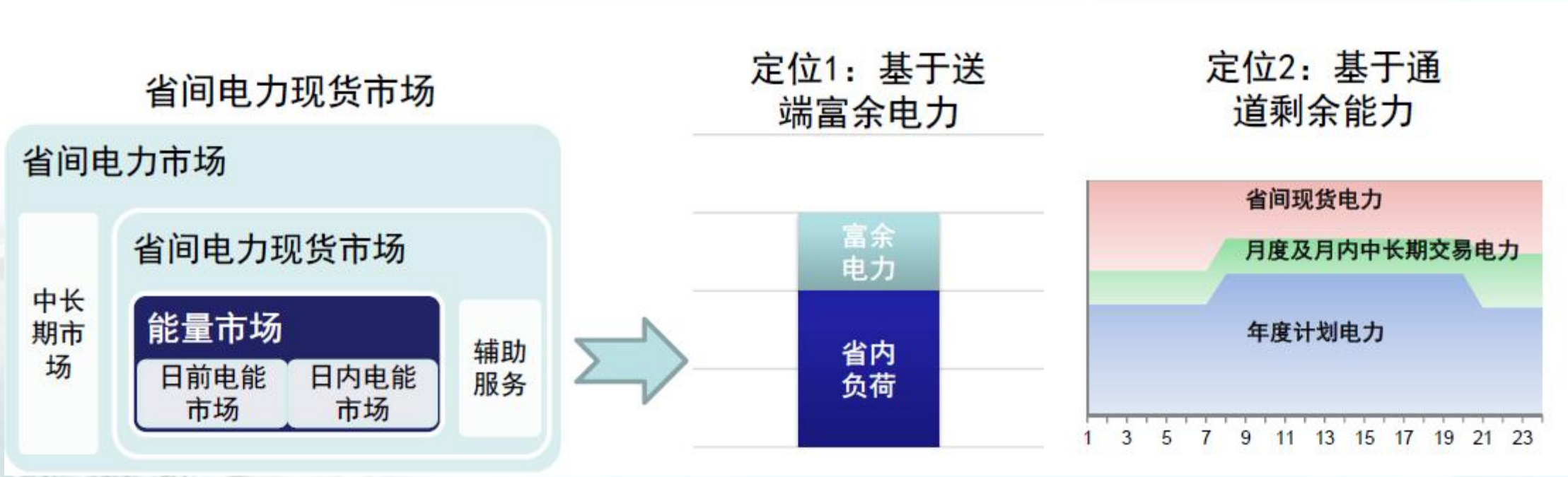
07 联络线集ATC约束

08 机组群出力约束

若干热点问题探讨

（四）省间市场与省内市场衔接

省间电力现货市场定位：充分落实省间中长期交易，针对送端省内平衡后的富余发电能力，充分利用跨区跨省输电通道剩余空间，在省间现货交易平台开展日前、日内省间现货交易。



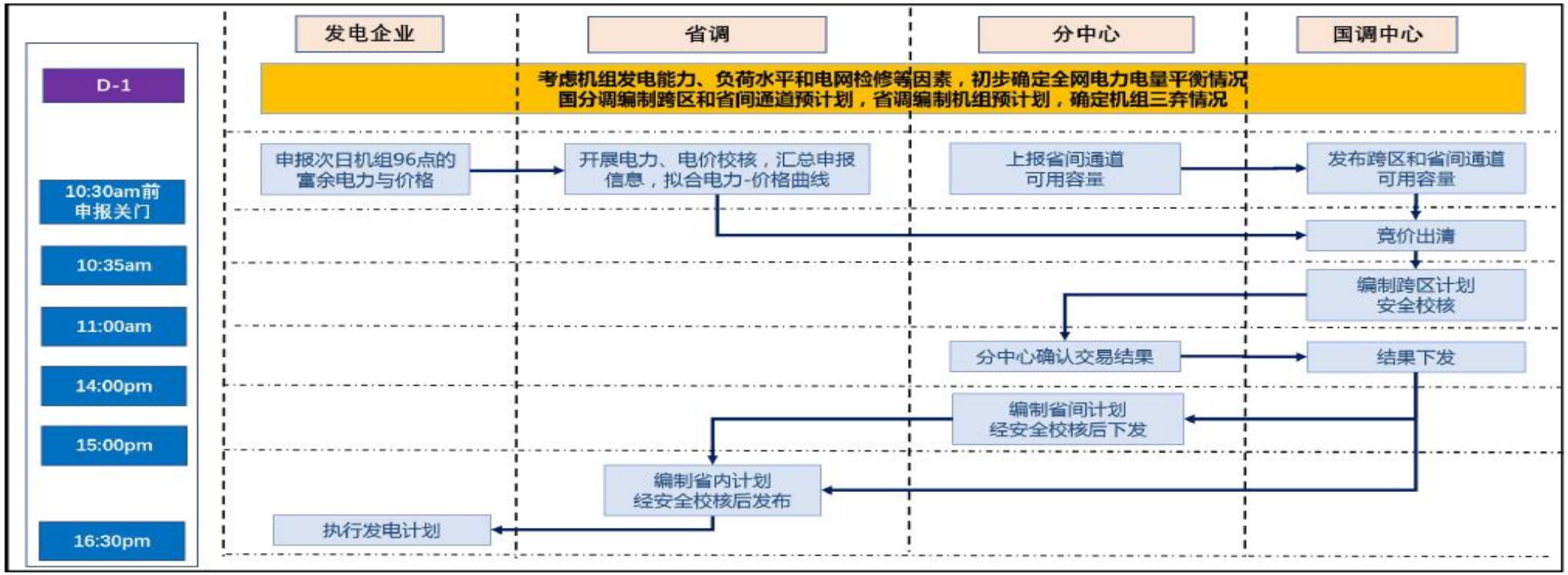
省间电力现货市场定位

若干热点问题探讨

（四）省间市场与省内市场衔接

省间电力现货市场交易时序：

- 日前市场中首先在省内形成预平衡，再开展省间日前现货，市场环境下三级调度日前市场业务流程如下图所示。
- 省间日内现货交易按照2小时/次，形成12个固定交易，三级调度日内市场业务流程如日前类似。



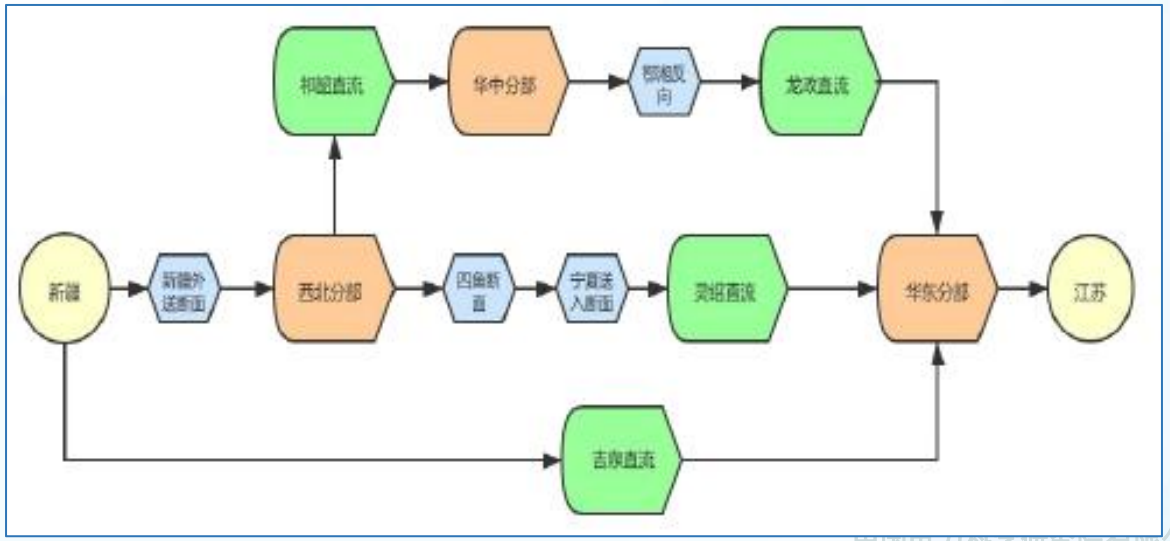
现货市场环境下三级调度日前市场业务流程

若干热点问题探讨

（四）省间市场与省内市场衔接

交易定价机制：

- 将购电方电价和电力，考虑输电费和网损，按交易路径折算到售电侧进行集中排序撮合，**报价最低的售电方和报价最高的购电方优先成交，**同一送受端之间可能存在不同的交易路径。
- 不同于省间中长期交易，省间现货按**送出省进行边际定价**，购售双方在送出省最后一笔成交的报价平均值作为送出省边际出清价格，买电侧出清价格由卖电侧边际价格考虑输电费和网损反向折算后得到。



省间交易路径

若干热点问题探讨

（五）电力商品绿色价值体现

2021年8月，我国启动绿色电力交易试点工作，市场化绿证作为绿色电力标识以“证电合一”方式随绿色电力转移至用户侧，作为用户消费绿色电力的认证依据。

- 2021年8月，国家发改委、能源局发布了《关于绿色电力交易试点工作方案的复函》(发改体改〔2021〕1260号)，同意国家电网公司、南方电网公司开展绿色电力交易试点，并提出要做好绿色电力交易与绿证机制的衔接。建立全国统一的绿证制度，国家能源局组织国家可再生能源信息管理中心，根据绿色电力交易试点需要，向北京电力交易中心、广州电力交易中心批量核发绿证。电力交易中心依据国家有关政策组织开展市场主体间的绿证交易和划转。

若干热点问题探讨

（五）电力商品绿色价值体现

2022年5月《**北京电力交易中心绿色电力交易实施细则**》正式下发。作为国网区域内第一份公开发布的绿电交易细则，明确了绿色电力产品、绿色电力交易、绿色电力证书的定义、市场成员范围及责任、交易品种、交易方式及交易组织流程、价格机制等内容。

2022年9月，北京电力交易中心制定《**北京电力交易中心绿色电力证书交易规则**》。明确了绿证交易市场成员、市场注册、绿证核发与划转、交易组织、价格机制、结算与交割、绿证注销等内容。

03 电力市场实验推演

电力市场实验推演

（一）实验能力建设的必要性

● 电力市场建设和运营是一项个复杂的系统性工程

- 既要保障短周期的电力系统安全经济运行，又要保障长周期电力工业可持续发展；
- 既要充分挖掘电力的商品特性，又要充分考虑电力系统的技术特性；
- 既要适应各种电力供需关系，又要能够调节供需关系。

● 电力市场建设的试错成本高

- 技术密集性；
- 资金密集性。

● 电力市场机制不断发展，市场建设意见多样

- 交易品种不断丰富，交易频次不断提升，市场主体逐步放开。
- 市场建设的意见和声音多样，难以达成一致。

为降低市场运营风险，为建立适应新型电力系统的市场机制提供支撑手段，为公司在市场改革中争取话语权和主动性提供助力，有必要建立电力市场仿真推演平台。

电力市场实验推演

（二）实验能力功能构成

市场成员行为模拟
EM Entities Behavior Simulation

交易人员

机器人

固定报价　动态学习　最优决策

电网运行模拟
Power Grid Operation Simulation

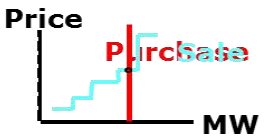
电网运行模拟

出力模拟　负荷模拟　方式模拟

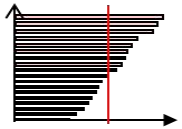
电力市场运营模拟
EM Operation Simulation

三个维度

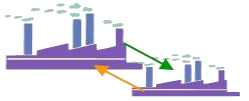
交易方式



挂牌交易


集中撮合

集中竞价


发电权交易

市场品种

电能　辅助服务　容量　…

时间

年度　季度　月度　多日　日前　日内　实时

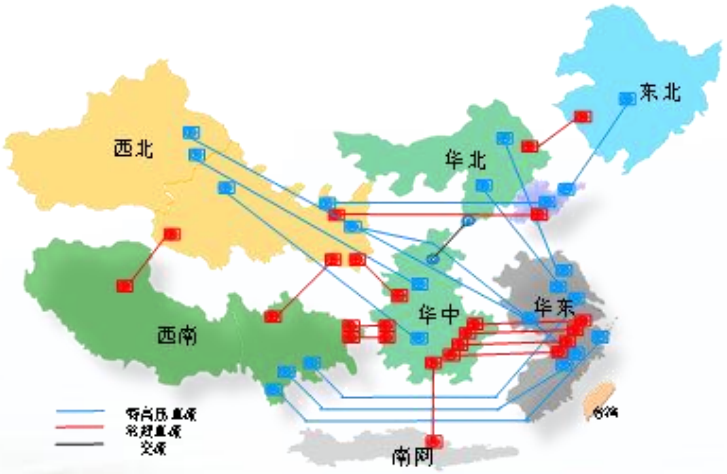
- 中长期交易运营模拟
- 现货交易运营模拟
- 市场成员报价模拟
- 市场结算模拟
- 市场与电网互动模拟

电力市场实验推演

（三）实验能力建设进展

省间市场推演场景

面向省间中长期交易，探索不同出清算法对于引导电力资源优化配置的提升作用。



省级日前市场连续推演场景

面向省级现货市场，通过长周期连续推演，分析市场整体运行趋势与市场主体总体收益情况。

省级市场全业务推演场景

面向省级现货市场，通过多时间尺度细粒度仿真，分析市场运行层面的具体问题。

新型电力系统推演场景

面向未来不同发展阶段的新型电力系统，分析未来电力电量平衡特性，为电力市场机制设计提供先验环境。

（三）实验能力建设进展

可开展多种规则、场景下的跨区跨省电力交易运营过程模拟与规则验证分析，支持基于交易路径的出清模型以及基于网络灵敏度的出清模型。

（三）实验能力建设进展

支持开展省级市场日前市场连续运营推演过程模拟，支持1000个负荷节点、300个发电节点的市场规模。支持连续自动运营模拟，连续一年的省级日前市场运营推演时间<72小时。

电力市场实验推演

（三）实验能力建设进展

市场规则设计

- 全国统一电力市场深化设计（北交，国调）
- 省间现货市场规则设计(北交，国调)
- 电力现货市场导则编写（国调）
- 浙江电力市场规则设计
- 上海电力市场规则设计
- 参与江苏电力市场规则设计
- 参与安徽电力市场规则设计
- 参与山西电力市场规则设计
- 参与广东电力市场规则设计

系统建设支撑

- 计及ATC的省间中长期交易优化出清算法（北交）
- 省间现货市场（国调）
- 省级中长期交易系统（浙江、江苏）
- 现货市场交易系统（浙江、上海、四川、福建、江苏等）
- 电力市场结算系统（总部+6分部+27个省公司）
- 申报发布（江苏、浙江））
- 零售市场结算（安徽、河北、湖南）
- 分布式交易软件（江苏）
- 售电代理决策（浙江）
- 发电竞价决策软件（宁夏国能集团）。

电力市场实验推演

（三）实验能力建设进展

电力交易对抗赛

中国电力科学研究院有限公司

国家电网 STATE GRID
中国电力科学研究院有限公司 CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

中国电力科学研究院有限公司是国家电网有限公司直属科研单位，是中国电力行业多学科、综合性的科研机构。主要从事电力系统分析与保护控制技术、高电压与输变电技术、自动化与信息通信技术、配用电与计量技术、新能源、储能与电工新技术等研究，研究范围涵盖电力科学及其相关领域的各个方面。

“中国的电力 我们的事业”

电力自动化研究所

国家电网 STATE GRID
中国电力科学研究院有限公司 CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

中国电力科学研究院有限公司电力自动化研究所（中国电机工程学会电力市场专委会挂靠单位），具有雄厚的技术研发能力和丰富的工程实践经验，聚集了大批具有深厚理论基础及丰富实践经验的技术专家和中青年技术骨干，承担了国家“973”计划项目、国家自然科学基金重大项目、国家“863”重大项目、国家科技支撑计划项目以及国家电网公司重大科技项目等大批科研课题，为我国电力工业和国家电网公司的发展提供了坚强的技术支撑和优质的技术服务。

主要承担：

- 电力自动化领域的基础性、前瞻性和重大共性关键技术的研究
- 重大系统（装备）的研制及首台首套试验示范工程的实施
- 深入、全面的电力自动化领域的技术支撑、服务和咨询
- 电力自动化领域技术标准体系研究和系统、技术与装备的试验、检测和认证工作

主要研发方向

国家电网 STATE GRID
中国电力科学研究院有限公司 CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

调度自动化

- “调控云”
- 电网运行分析与控制
- 电力系统经济运行
- “源-网-荷-储”协同调度控制
- “源-网-荷-储”场景模拟与试验验证平台

电力市场

- 中长期电力市场运营技术
- 电力现货市场运营技术
- 电力市场结算技术
- 市场成员竞价决策
- 售电及聚合交易
- 电力市场实验推演

变电站及电站自动化

- 宽频测量和振荡分析
- 自主可控二次系统
- 变电站智能调试验证

电力市场方向产品

国家电网 STATE GRID
中国电力科学研究院有限公司 CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

支撑全商品全周期电力市场建设

省间市场运营

- **中长期交易**：承建计及ATC的省间中长期交易优化出清系统；
- **现货交易**：承建国调省间现货市场系统；
- **市场结算**：承建省间市场结算系统，支持总部+6分部市场结算。

省级市场运营

- **中长期交易**：承建浙江、江苏中长期交易系统；
- **现货交易**：承建浙江、上海、江苏、四川、福建、山西现货支持系统；
- **市场结算**：承建27个省公司结算系统。

发电竞价决策

- 发电竞价决策软件基于集团总部-区域公司-发电公司三级联动架构设计开发，具备**市场分析、运营分析、计划指标、竞价辅助、交易管理、结算管理**和培训仿真等功能。

售电代理服务

- 售电代理服务软件面向综合能源公司、售电公司、负荷聚合商、虚拟电厂等市场主体设计开发，**具备购售电以及聚合交易功能。**

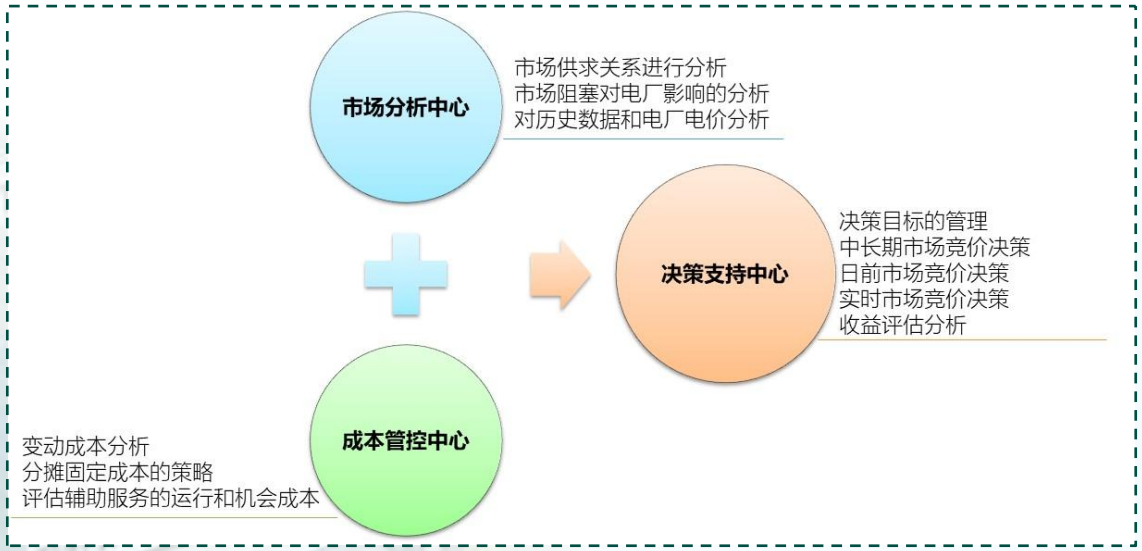
市场推演仿真

- **电力市场全景仿真平台**：与北京电力交易中心共建**在线协同电力市场全景仿真实验平台**；
- **电力市场仿真系统**：承建浙江、山西等省公司现货、中长期交易仿真系统。

国内唯一覆盖从中长期到现货、从省间到省内、从市场规则设计、技术支持系统建设到模拟推演仿真等全业务链条的电力市场技术支撑团队

发电竞价决策

- 发电竞价决策系统围绕市场分析中心、成本管控中心、决策支持中心三块核心业务协调互动，为发电企业竞价决策提供支撑。
- 系统基于集团总部-区域公司-发电公司三级联动架构，具备市场分析、运营分析、计划指标、竞价辅助、交易管理、结算管理和培训仿真等电力市场交易管理功能。
- 应用于国能宁夏公司等。



发电竞价决策系统核心业务

发电竞价决策系统监控

售电运营管理

- 面向综合能源公司、售电公司、负荷聚合商、虚拟电厂等市场主体，提供售电和聚合交易服务，为用户提供增值服务，实现多方利益最大化。
- 系统具备分散资源、零售用户的综合管理功能，支撑中长期购售电、用户侧需求响应、绿电交易、电网互动调峰等独立第三方辅助服务市场交易参与支撑功能，实现市场主体资源效能和运营效益的综合提升。
- 系统已应用于国网浙江综合能源公司，以及江苏、浙江多家售电公司和能源公司。

购售电交易服务监控

聚合交易服务监控

汇报完毕，谢谢!

杨争林
yangzhenglin@epri.sgcc.com.cn