



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

电气工程学院
School of Electrical Engineering

信息交互视角下的电力市场

西安交通大学 电气工程学院

肖云鹏

2023年3月

目录

CONTENTS

信息交互视角下的电力市场

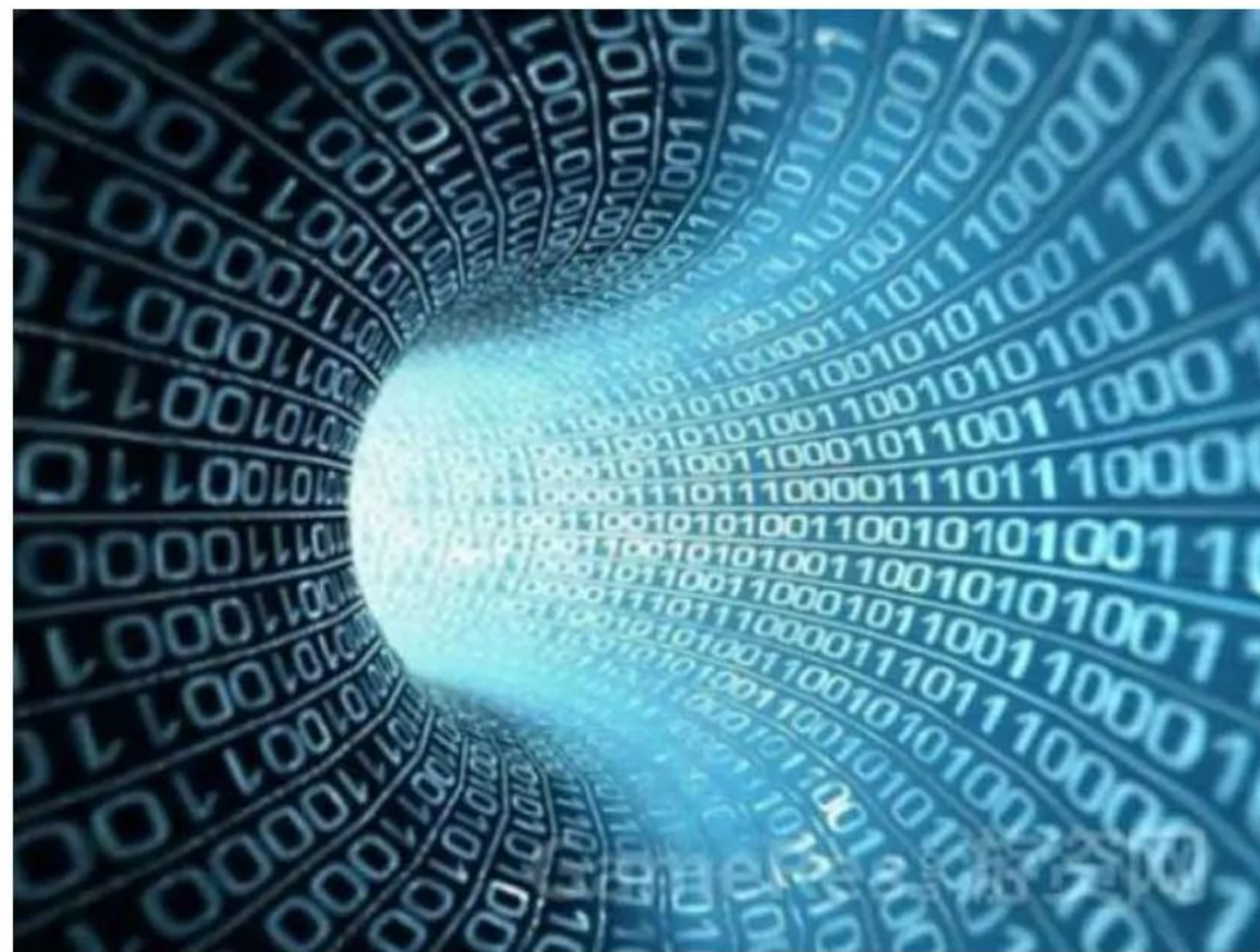
01 信息的价值 PART

02 电力市场机制驱动信息交互 PART

03 基于价值的信息交互—信息交易 PART

04 结论与展望 PART

数据：原材料



增值

采集、感知、清洗、
纠正、转换、预警

.....

信息：产品



“Data Rich and Information Poor.”

Peters. T. J., Waterman, R. H. (1983). In search of excellence.
美国国防部研究报告.

“在非供应链研究中，**适度模糊数据与信息边界**来讨论与运用信息经济学的理论与成果。”

Laney. D. B. (2017). Infonomics.

2017年5月，英国《经济学人》杂志文章提出：

“The world's most valuable resource is no longer oil, but data.”

The Economist (2017, May 6). The World's Most Valuable Resource Is No Longer Oil, but Data. The Economist.
<https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data>



(微观) 信息经济学 Infonomics:
研究有关**信息的成本和价值**，信息对
价格、收入和其它生产因素的影响，
信息资产的**定价、管理与度量**。

Stigler, G. J. (1961). The economics of information. Journal of political economy, 69(3), 213-225.

THE JOURNAL OF POLITICAL ECONOMY

Volume LXIX JUNE 1961 Number 3

THE ECONOMICS OF INFORMATION¹

GEORGE J. STIGLER
University of Chicago

ONE should hardly have to tell academicians that information is a valuable resource: knowledge *is* power. And yet it occupies a slum dwelling in the town of economics. Mostly it is ignored: the best technology is assumed to be known; the relationship of commodities to consumer preferences is a datum. And one of the information-producing industries, advertising, is treated with a hostility that economists normally reserve for tariffs or monopolists.

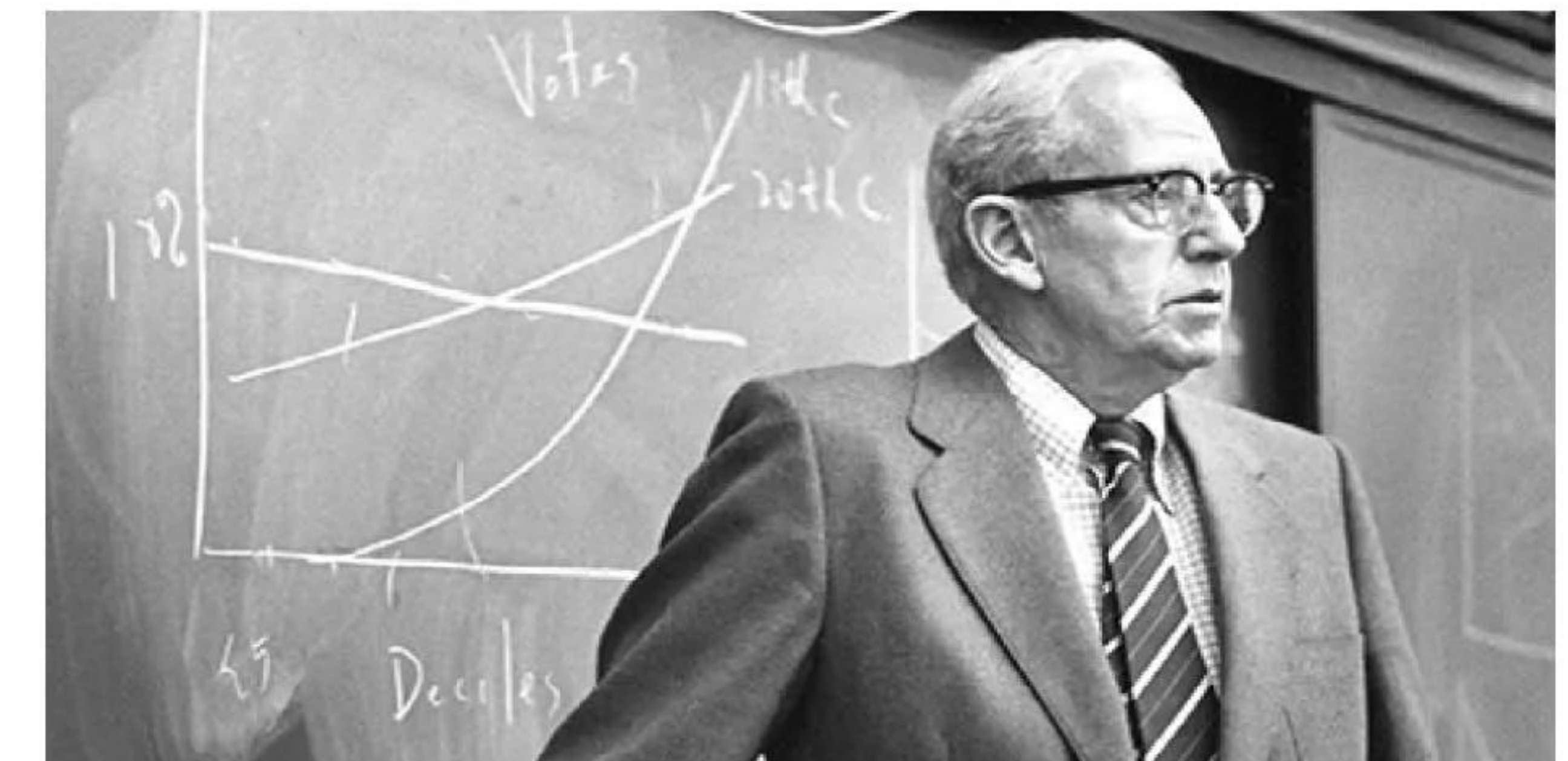
There are a great many problems in economics for which this neglect of ignorance is no doubt permissible or even desirable. But there are some for which this is not true, and I hope to show that some important aspects of economic organization take on a new meaning when they are considered from the viewpoint of the search for information. In the present paper I shall attempt to analyze systematically one important problem of information—the ascertainment of market price.

¹I have benefited from comments of Gary Becker, Milton Friedman, Zvi Griliches, Harry Johnson, Robert Solow, and Lester Telser.

I. THE NATURE OF SEARCH

Prices change with varying frequency in all markets, and, unless a market is completely centralized, no one will know all the prices which various sellers (or buyers) quote at any given time. A buyer (or seller) who wishes to ascertain the most favorable price must canvass various sellers (or buyers)—a phenomenon I shall term “search.”

The amount of dispersion of asking prices of sellers is a problem to be discussed later, but it is important to emphasize immediately the fact that dispersion is ubiquitous even for homogeneous goods. Two examples of asking prices, of consumer and producer goods respectively, are displayed in Table 1. The automobile prices (for an identical model) were those quoted with an average amount of “higgling”: their average was \$2,436, their range from \$2,350 to \$2,515, and their standard deviation \$42. The prices for anthracite coal were bids for federal government purchases and had a mean of \$16.90 per ton, a range from \$15.46 to \$18.92, and a standard deviation of \$1.15. In both cases the range of



乔治·斯蒂格勒

(George Joseph Stigler, 1911-1991,
芝加哥大学教授，1982年诺贝尔经济学奖)

- 对信息的价值及其对价格、收入和其他生产要素的影响进行了研究
- 认为获取信息要付出成本，不完备信息会导致资源的不合理配置
- 对信息价值的估计：

$$\sum_{m=1}^r \frac{r!}{m!(r-m)!} \lambda^m (1-\lambda)^{r-m} \Delta C_m.$$

与信息交易主体数量、信息交易发生概率、获得信息对成本的降低有关。

Part1 信息的价值

《中共中央 国务院关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》印发

习总书记在中共中央政治局第三十四次集体学习时强调 把握数字经济发展趋势和规律 推动我国数字经济健康发展

《中共中央 国务院关于加快建设全国统一大市场的意见》印发

中央全面深化改革委员会审议通过《关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》

2020.4

2021.10

2022.3

2022.6

数据作为一种**新型生产要素**写入了《意见》

充分发挥海量数据和丰富应用场景优势，促进数字技术与实体经济深度融合，赋能传统产业转型升级，催生**新产业新业态新模式**

将**数据与土地、资本、能源等并列**为构建新发展格局中的重要要素和资源

要建立**数据产权制度**，建立数据资源**持有权**、数据加工**使用权**、数据产品**经营权**等分置的产权运行机制



- 2023年3月，组建国家数据局

- 预计到2025年，我国数据量将达到 48.6ZB(10^{12} GB)，占全球数据量的 27.8%，远高于美国的 17.5%，拥有**全球最大的数据体量**，数据要素**市场规模将突破1749亿元**。

国家工信安全中心测算数据

- 我国已于2020年10月与2021年11月、2022年9月、2022年11月设立北京、上海、广州、深圳数据交易所

行业龙头企业显著加强数据和信息资产价值挖掘及共享商业模式创新

2021年3月，国务院国资委印发《加快推进国企数字化转型的通知》

- 加快大数据平台建设，创新**数据融合分析与共享交换**机制。
- 强化业务场景数据建模，**深入挖掘数据价值**，提升数据洞察能力。
- 发展基于互联网平台的用户服务，**打造在线的数字服务产品，积极创新服务模式 and 商业模式**，提升客户体验，提高客户黏性，拓展数字服务能力，扩展数字业务规模。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

2021年

《碳达峰、碳中和行动方案》

- 加快信息采集、感知、处理、应用等环节建设，推进**各能源品种的数据共享和价值挖掘**。
- 打造**能源数字经济**平台。深化应用“新能源云”等平台，全面接入煤、油、气、电等能源数据，**汇聚能源全产业链信息，推动能源领域数字经济发展**，服务国家智慧能源体系构建。



中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID

2022年

《“十四五”数字化规划》

- 进一步把数字技术作为核心生产力，**数据作为关键生产要素**，推进数字化转型及数字电网建设可持续发展。
- 健全数据资产管理体系，**充分发挥数据资产价值**。
- 积极拓展数据产业，为用电客户提供金融、保险、一站式用能、能源数据等服务**打造数字能源生态体系**。



中国华能集团有限公司
CHINA HUANENG GROUP CO., LTD.

2022年

《数字化转型总体规划》

- **数据和信息已经成为**土地、劳动力、资本和技术等传统经济增长要素外，**新的推动经济增长和产业变革的核心要素**，成为企业竞争力的标志之一。
- 挖掘数据资源，打通数据壁垒，**将数据资源作为重要的资产进行管理和运营**，探索新业态新商业模式。
- 不断**开放和扩大数据资产**，打造数字经济新动能。



HUAWEI

2021年

《数字能源2030》

- 未来能源系统是去中心化、以大量分布式能源应用为主多中心“星系”生态系统，**通过数字技术实现智能化的联接和控制**。
- “万物感知、万物互联、万物智能”的数字时代加速数字化技术向能源领域渗透，推动能源格局重大变革。
- **能源流与信息流融合，真正实现“比特管理瓦特”**，持续推进能源革命。

- 在电力市场中，获取信息的主要目的是**降低决策风险**
- 作为规模最大、运行机理最复杂的人造动力学系统，新型电力系统特有属性凸显电力市场中信息的价值



目录

CONTENTS

信息交互视角下的电力市场

01 信息的价值

PART

02 电力交易与信息交互

PART

03 基于价值的信息交互—信息交易

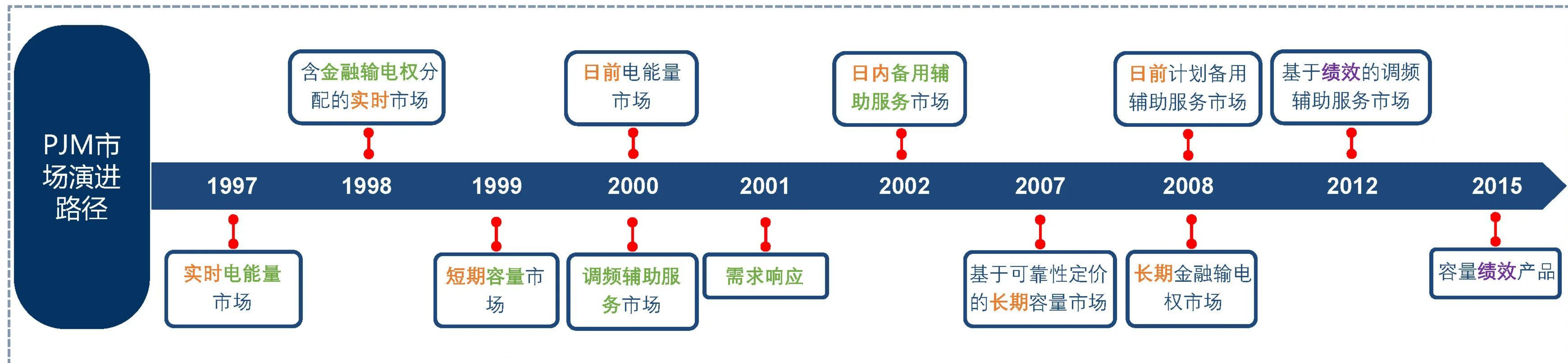
PART

04 结论与展望

PART

电力市场机制不断变革，持续促进信息交互

- 信息交互的实现：依托电力交易，表征平衡状态的信息得以披露、流通、传递
- 信息交互机制改进：实现更长时间尺度、更全面、更精细的信息交互
- 信息交互作用提升：提前降低平衡风险、全面刻画平衡需求、精细评价平衡贡献





市场成员利用更多信息，降低决策风险

市场运营机构：考虑随机性场景信息的市场出清

Zavala, V. M., Kim, K., Anitescu, M., Birge, J. (2017). A Stochastic Electricity Market Clearing Formulation with Consistent Pricing Properties. *Operations Research* 65(3):557-576.

3.2. Stochastic Formulation

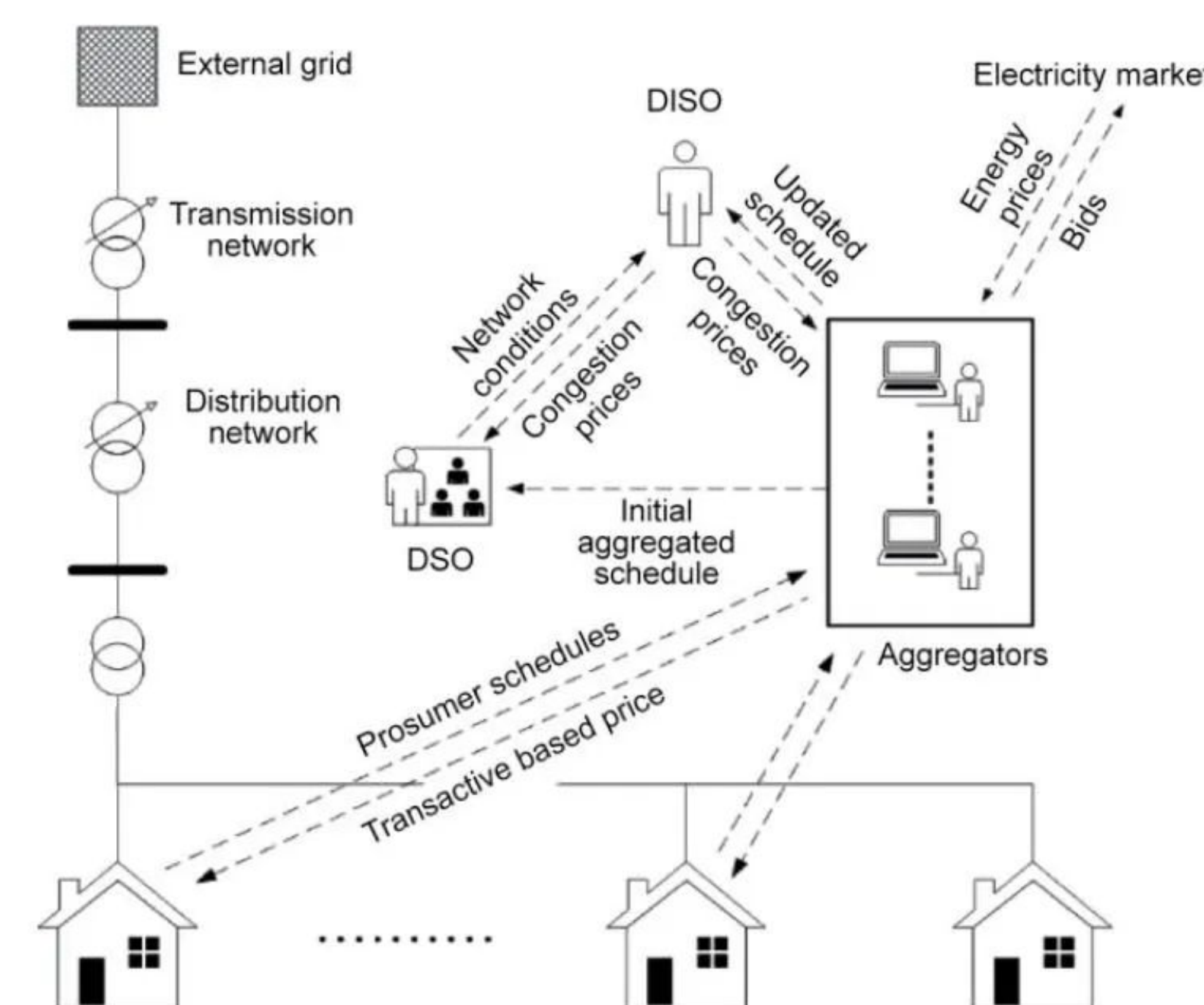
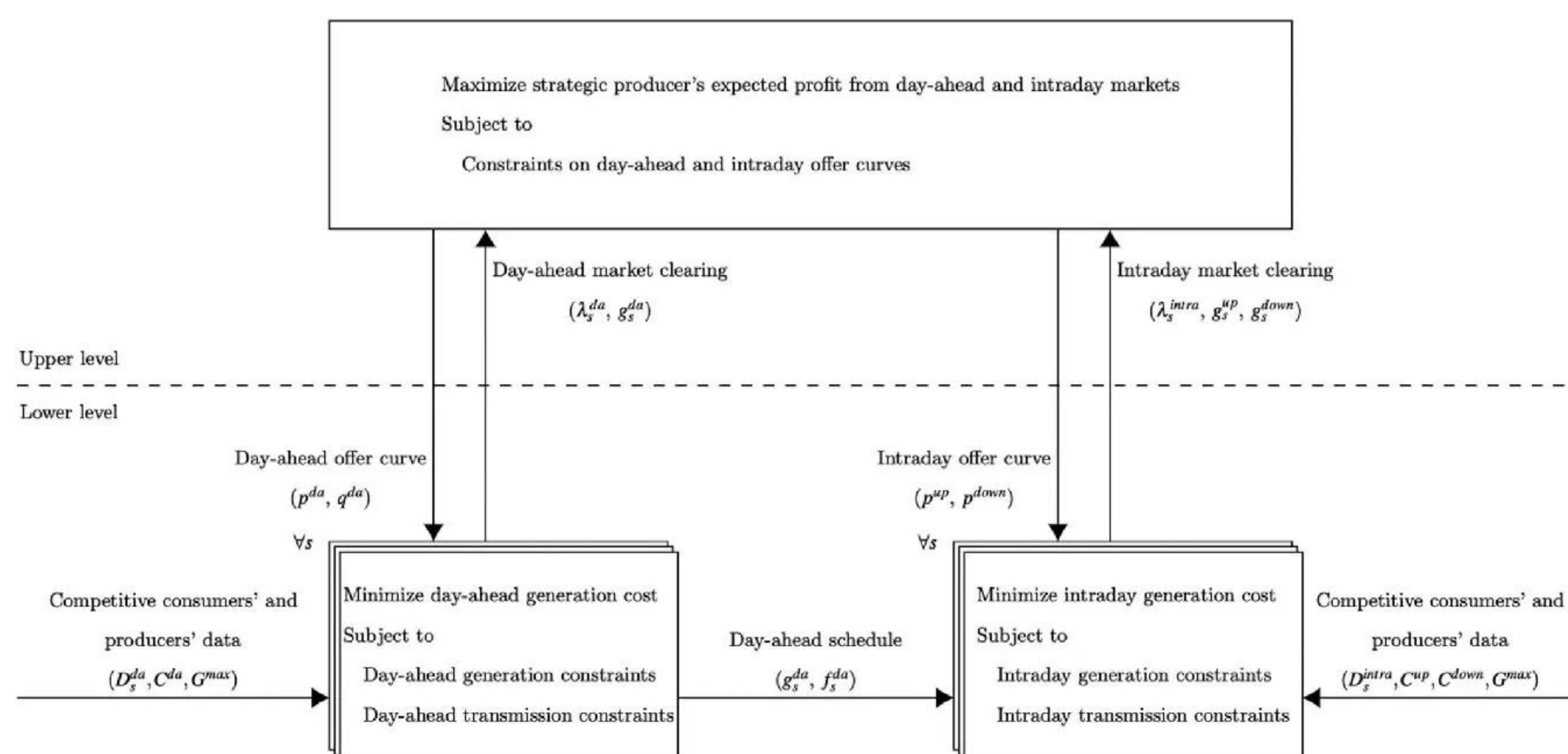
Motivated by the structure of the day-ahead and real-time market problems, we consider the stochastic market clearing formulation:

$$\begin{aligned} \min_{d_j, D_j(\cdot), g_i, G_i(\cdot), f_\ell, F_\ell(\cdot), \theta_n, \Theta_n(\cdot)} \varphi^{sto} := & \sum_{i \in \mathcal{G}} \mathbb{E} [\alpha_i^g g_i + \alpha_i^{g,+} (G_i(\omega) - g_i)_+ - \alpha_i^{g,-} (G_i(\omega) - g_i)_-] \\ & + \sum_{j \in \mathcal{D}} \mathbb{E} [-\alpha_j^d d_j + \alpha_j^{d,+} (D_j(\omega) - d_j)_- - \alpha_j^{d,-} (D_j(\omega) - d_j)_+] \\ & + \sum_{\ell \in \mathcal{L}} \mathbb{E} [\Delta \alpha_\ell^{f,+} (F_\ell(\omega) - f_\ell)_+ + \Delta \alpha_\ell^{f,-} (F_\ell(\omega) - f_\ell)_-] \\ & + \sum_{n \in \mathcal{N}} \mathbb{E} [\Delta \alpha_n^{\theta,+} (\Theta_n(\omega) - \theta_n)_+ + \Delta \alpha_n^{\theta,-} (\Theta_n(\omega) - \theta_n)_-] \quad (6a) \end{aligned}$$

发电商：考虑多个电力产品交易信息的竞价策略

Rintamaki, T., Siddiqui, A. S., Salo, A. (2020). Strategic offering of a flexible producer in day-ahead and intraday power markets. *European Journal of Operational Research* 284(3):1136-1153.

用户：考虑邻近用户发用电信息的可交易能源运营策略



Hou P, Yang G, Hu J, Douglass, P. J., Xue Y (2022). A Distributed Transactive Energy Mechanism for Integrating PV and Storage Prosumers in Market Operation. *Engineering* 12:171-182.



由于电力平衡的影响因素不断变化，新型电力系统更加依赖信息交互

发电



一次能源供给
(预测) 不断
变化

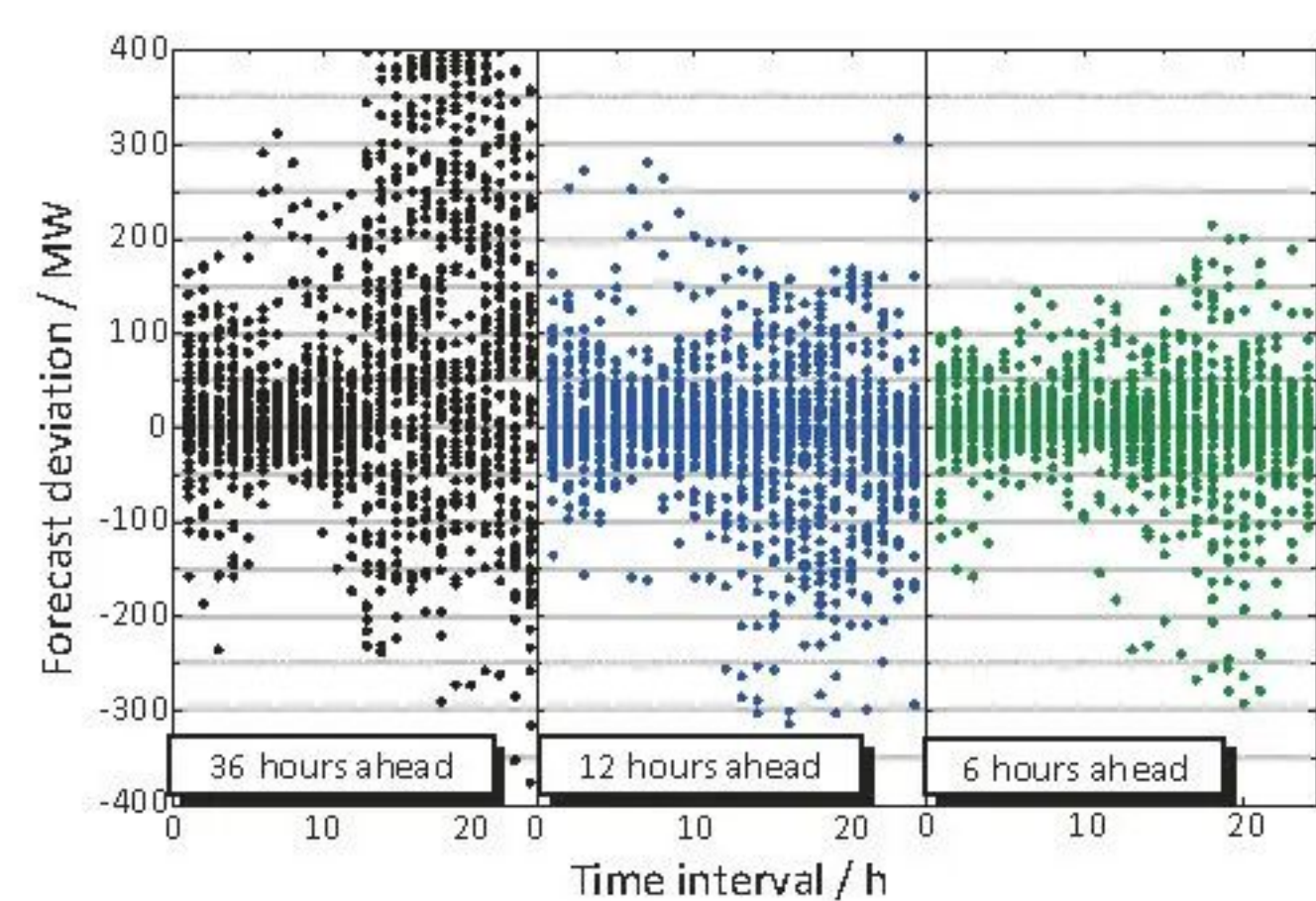
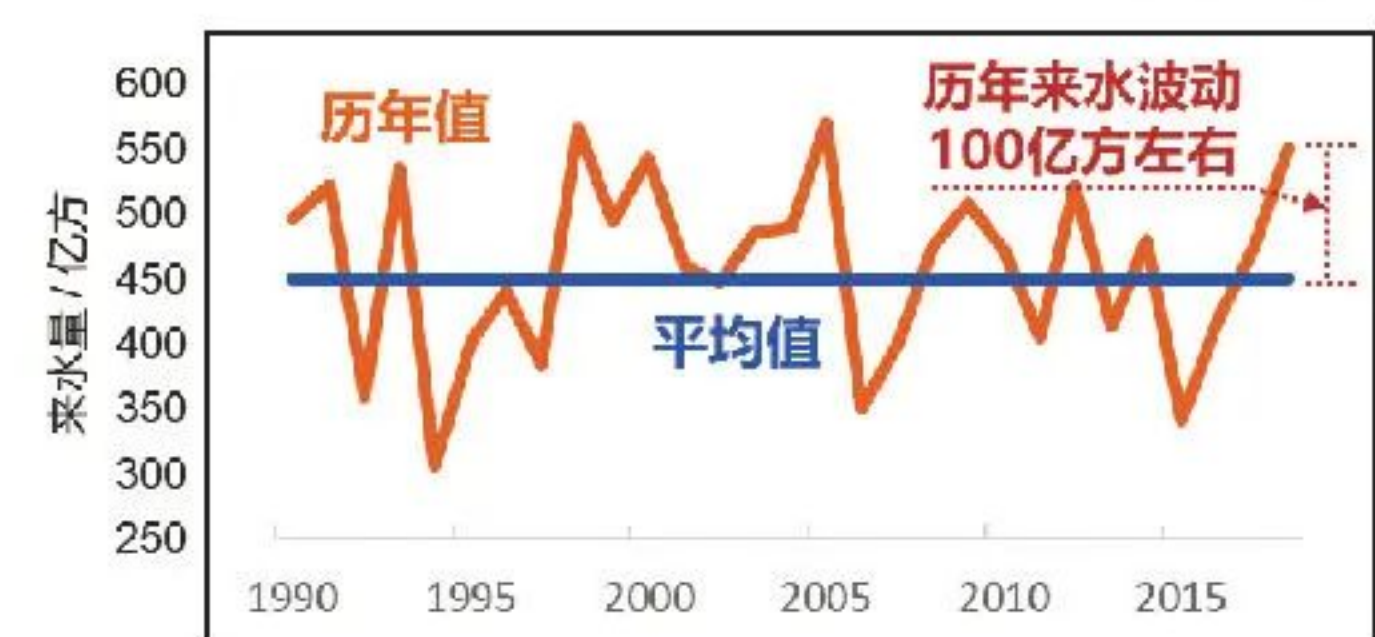


图2: 长江口和北方四大港区煤炭库存情况

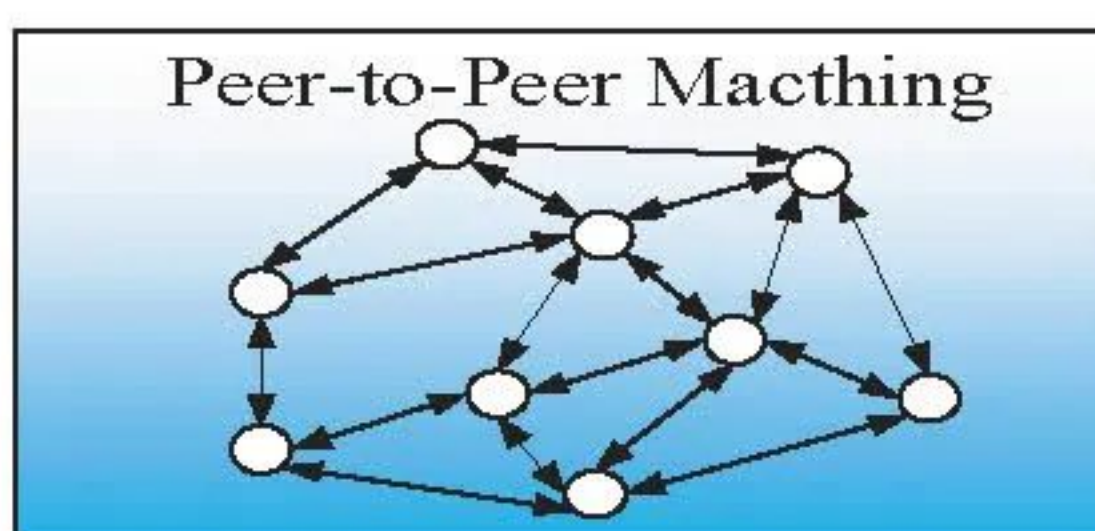
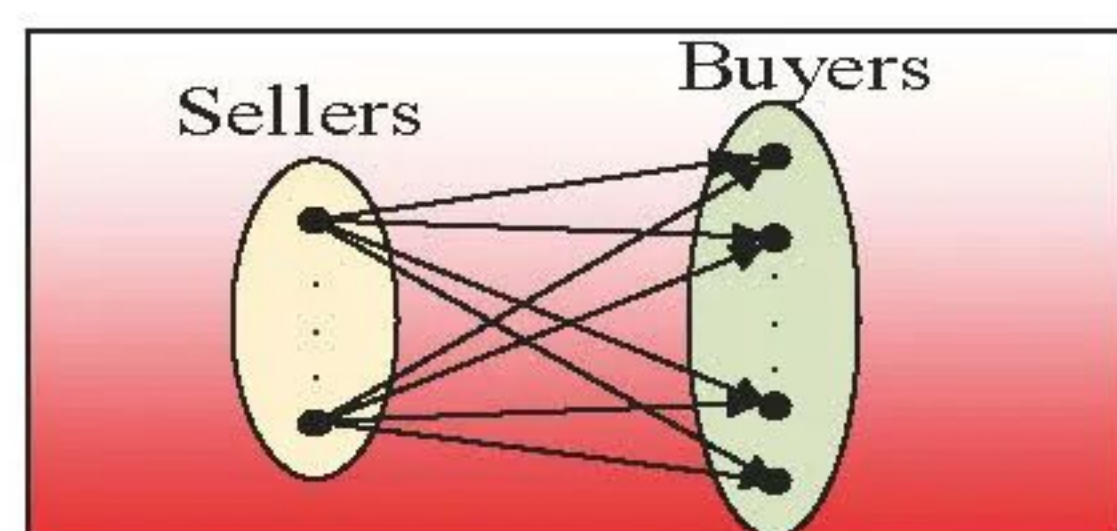
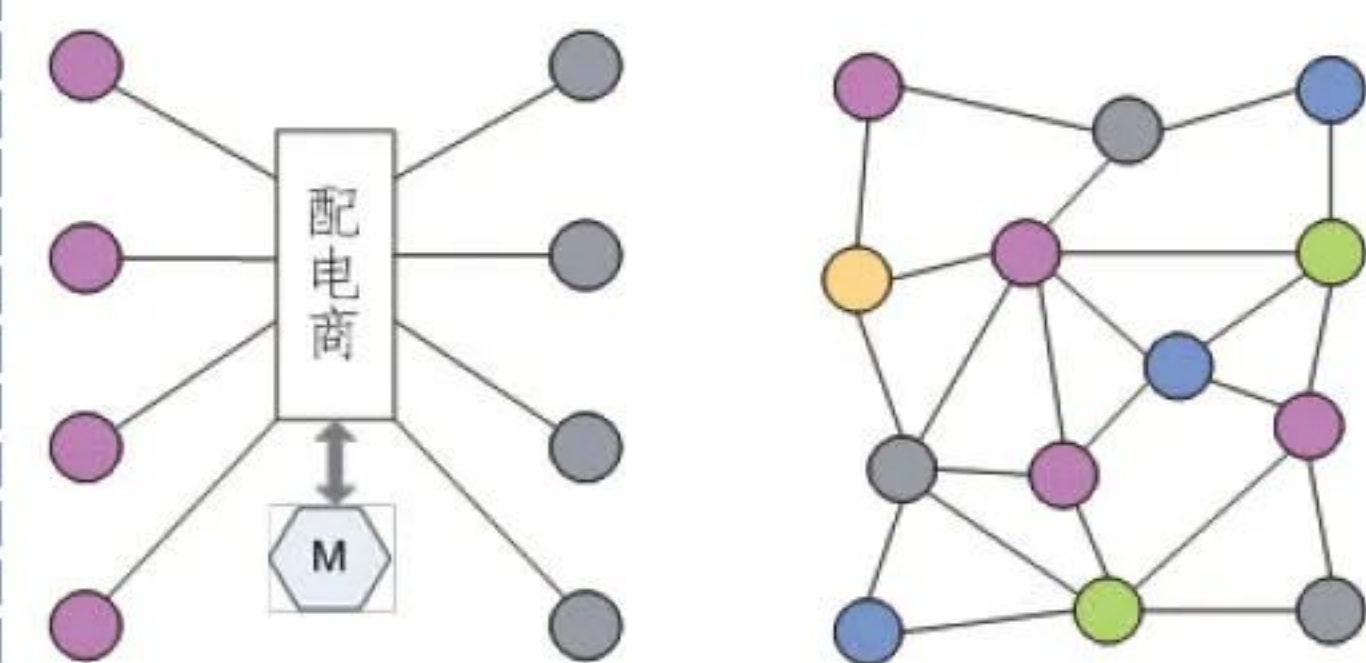


备注: 为保持统计口径一致, 长江库存不含新统计的中信码头和泰州港。
数据来源: 易煤研究院

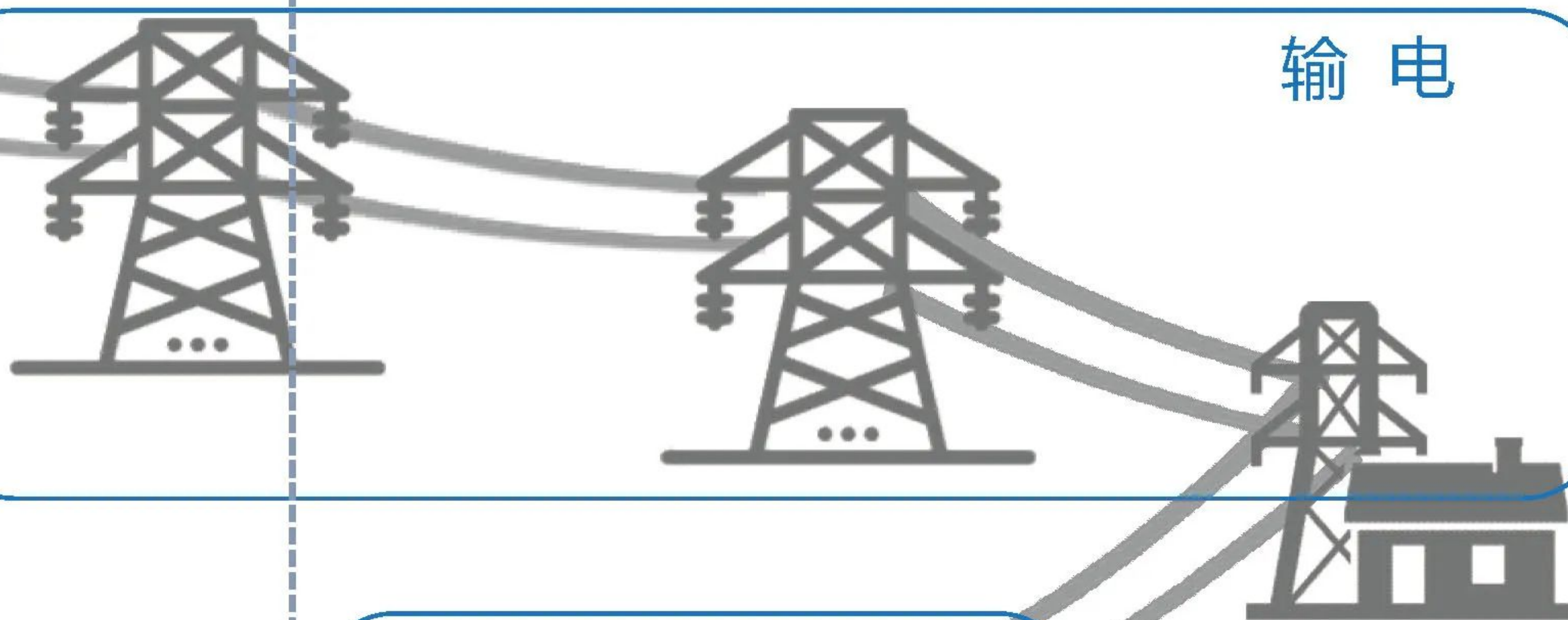


用户行为不断变化

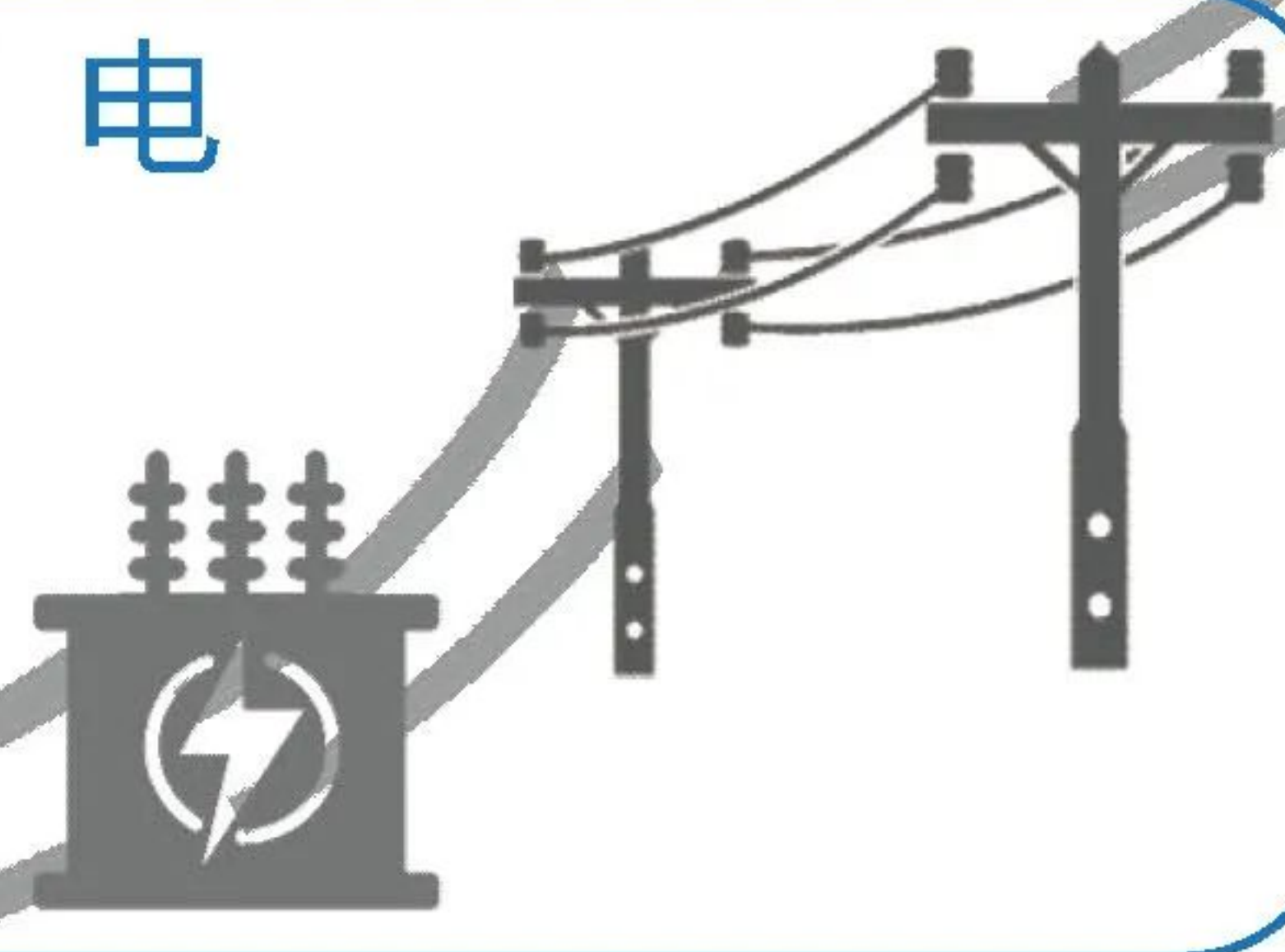
用电



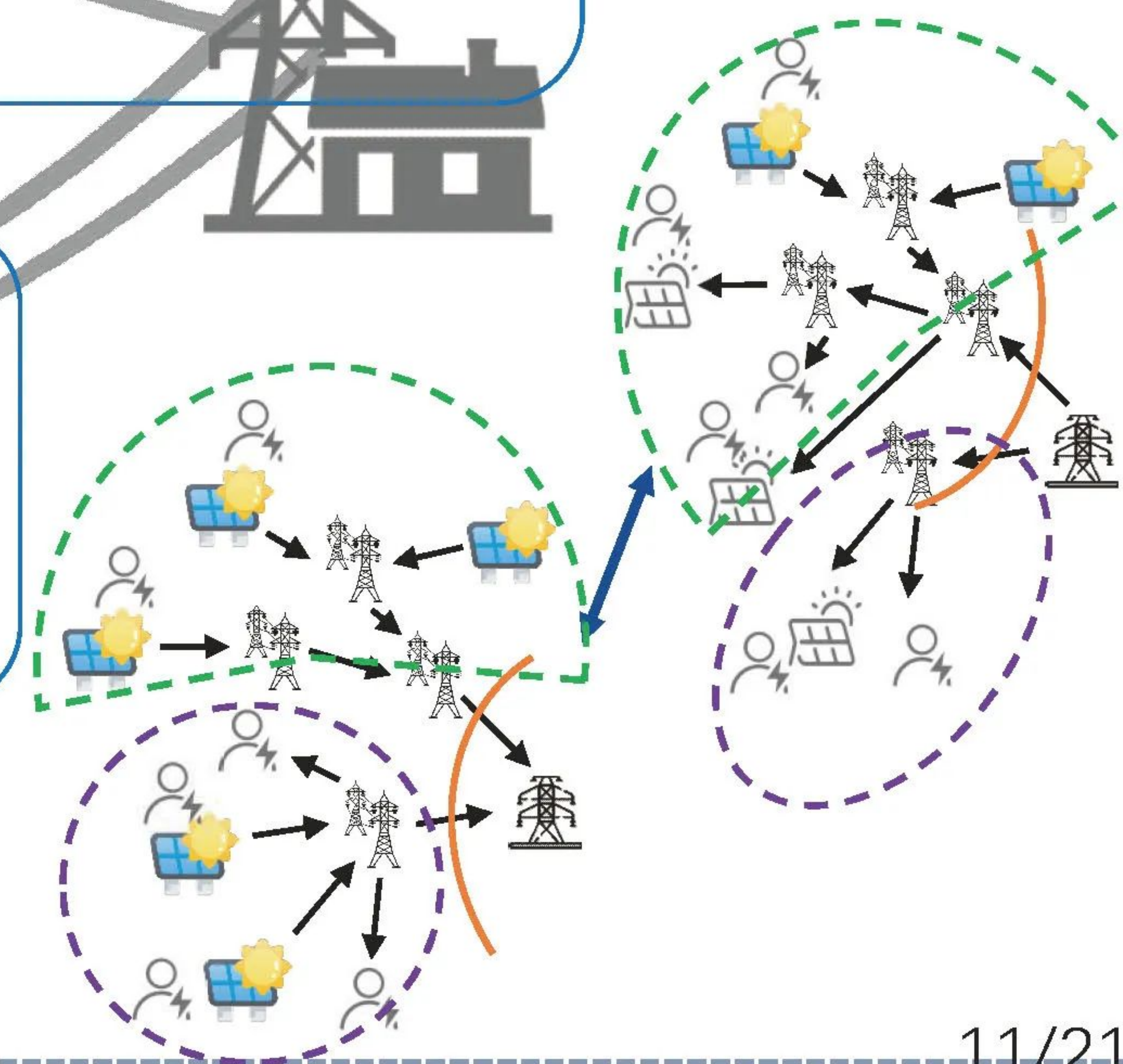
输电



配电

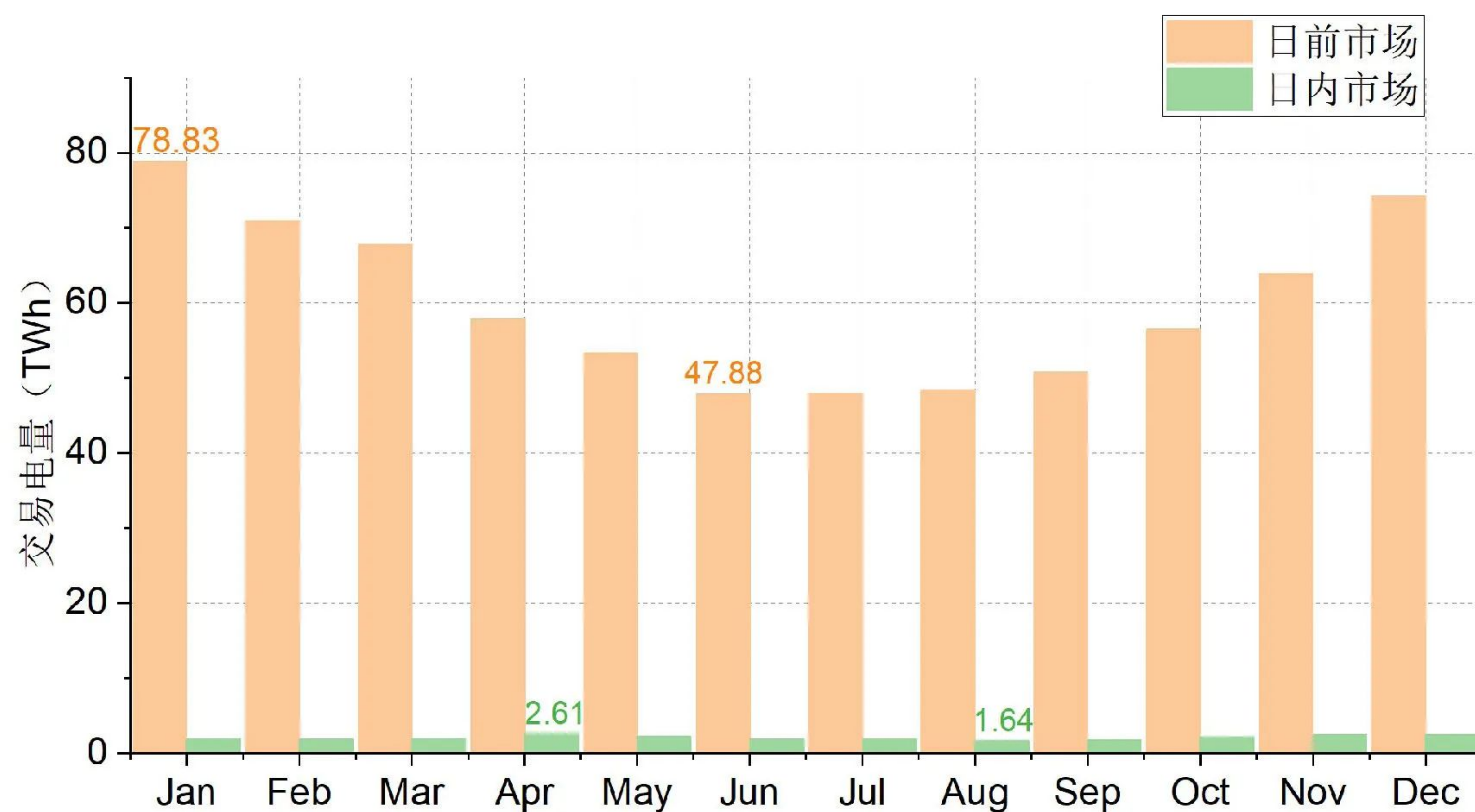


系统运行方式
不断变化



电力市场中信息交互的瓶颈与对策

- 当前，**信息交互必须依托电力交易实现**
- **瓶颈**：受制于电力需求与传输的有限性，随交易机制的扩充，部分**电力交易流动性较低**
- **对策**：信息具有非排他性、传输成本低等特点，应建立**独立于电力交易的信息交互机制**



北欧市场2021年交易电量

日内市场交易机制	代表市场
连续撮合	比利时、荷兰 (T-5min) 法国、德国、奥地利 (T-30min) 北欧 (T-45min) 瑞士、跨国交易 (T-60min)
集中竞价	意大利 (7次) 西班牙、葡萄牙 (6次)

- 日内市场交易流动性较低
- 限制了新能源预测更新信息的利用率

目录

CONTENTS

信息交互视角下的电力市场

01 信息的价值

PART

02 电力交易与信息交互

PART

03 基于价值的信息交互—信息交易

PART

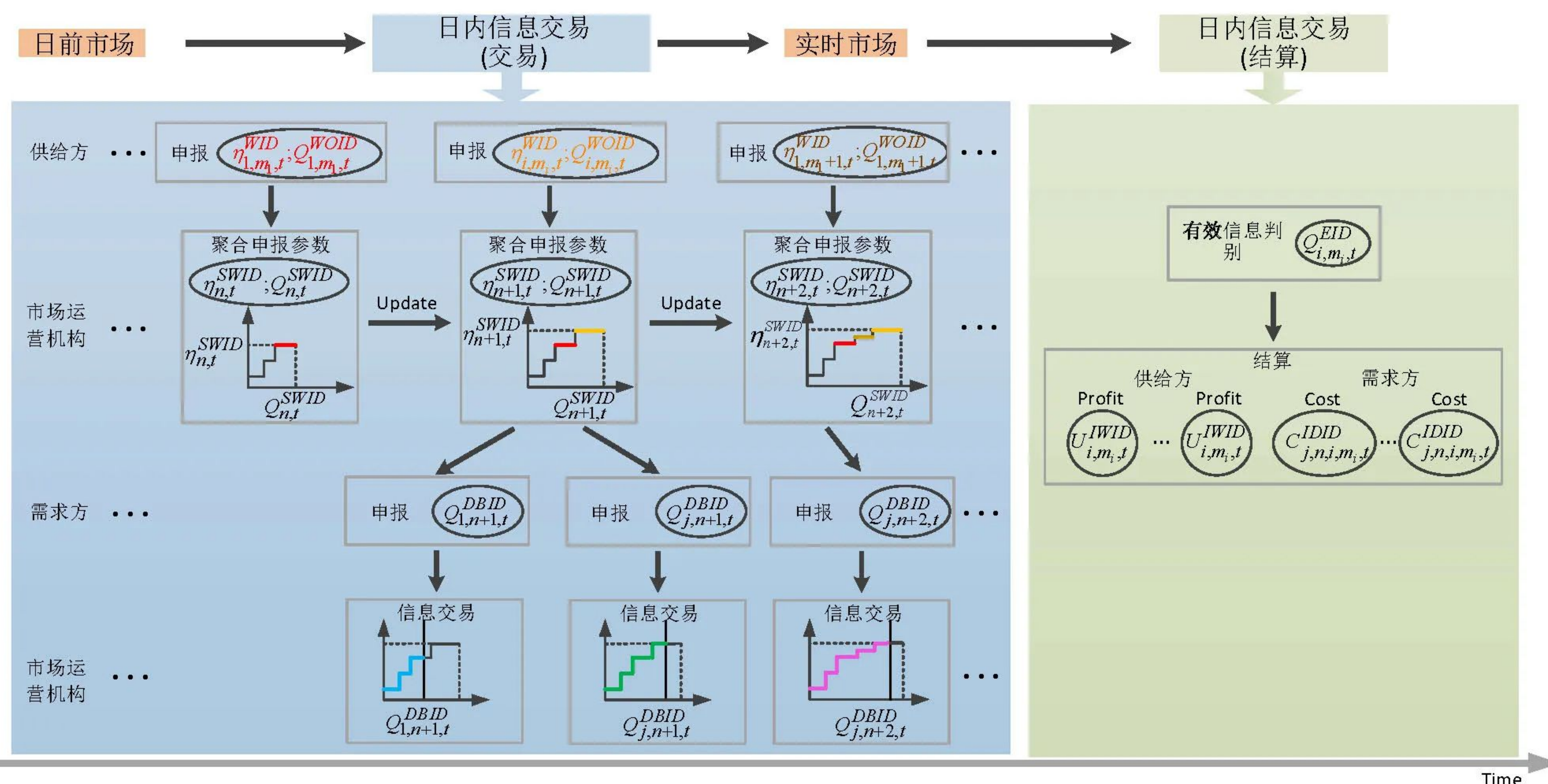
04 结论与展望

PART

日内信息交易机制

- 当前问题：1) 流动性较低。日内交易需求不足，因而多采用连续撮合交易，价格效用较低
2) 负荷侧灵活资源调用效率较低。越接近运行时段，新能源预测越准确，但负荷侧灵活性越低。灵活资源需根据市场中未成交报价及自身灵活性决策最优交易时刻

日内信息交易机制



日内信息交易流程

- **供给者（风电商）申报**
信息量（反映与上一次申报量的偏差），价格
- **形成聚合申报参数（交易簿, Order Book）**
累计信息量 $Q_{n,t}^{SWID} = \sum_i \sum_{m_i} |Q_{i,m_i,t}^{WID}|$
最高报价 $\eta_{n,t}^{SWID} = \max_{i,m_i} (\eta_{i,m_i,t}^{WID})$
- **需求者（灵活负荷资源）申报**
信息需求量 $\min \eta_{n,t}^{SWID} Q_{j,n,t}^{DBID} + (U_j^{DIR} - U_j^{DIB})$
- **形成交易对**
Obj: 最小化信息购买成本 $\min \sum_i \sum_{m_i} \eta_{i,m_i,t}^{WID} |Q_{j,n,i,m_i,t}^{DID}|$
s.t. $0 \leq |Q_{j,n,i,m_i,t}^{DID}| \leq |Q_{i,m_i,t}^{WID}|$ $\sum_i \sum_{m_i} |Q_{j,n,i,m_i,t}^{DID}| = Q_{j,n,t}^{DBID}$
 $0 \leq Q_{j,n,t}^{DBID} \leq Q_{n,t}^{SWID}$

日内信息交易机制

日内信息交易结算流程

□ 仅有效信息能够获得收益

有效信息：相比前序申报的预测精度改进量

□ 按报价支付机制 (Pay as Bid)

供给方收益：

$$R_{i,m_i,t}^{IWID} = \eta_{i,m_i,t}^{WID} \cdot \min \left(Q_{i,m_i,t}^{EID}, \max_{j,n} |Q_{j,n,i,m_i,t}^{DID}| \right)$$

仅有当信息是有效的，且被购买才会获得收益

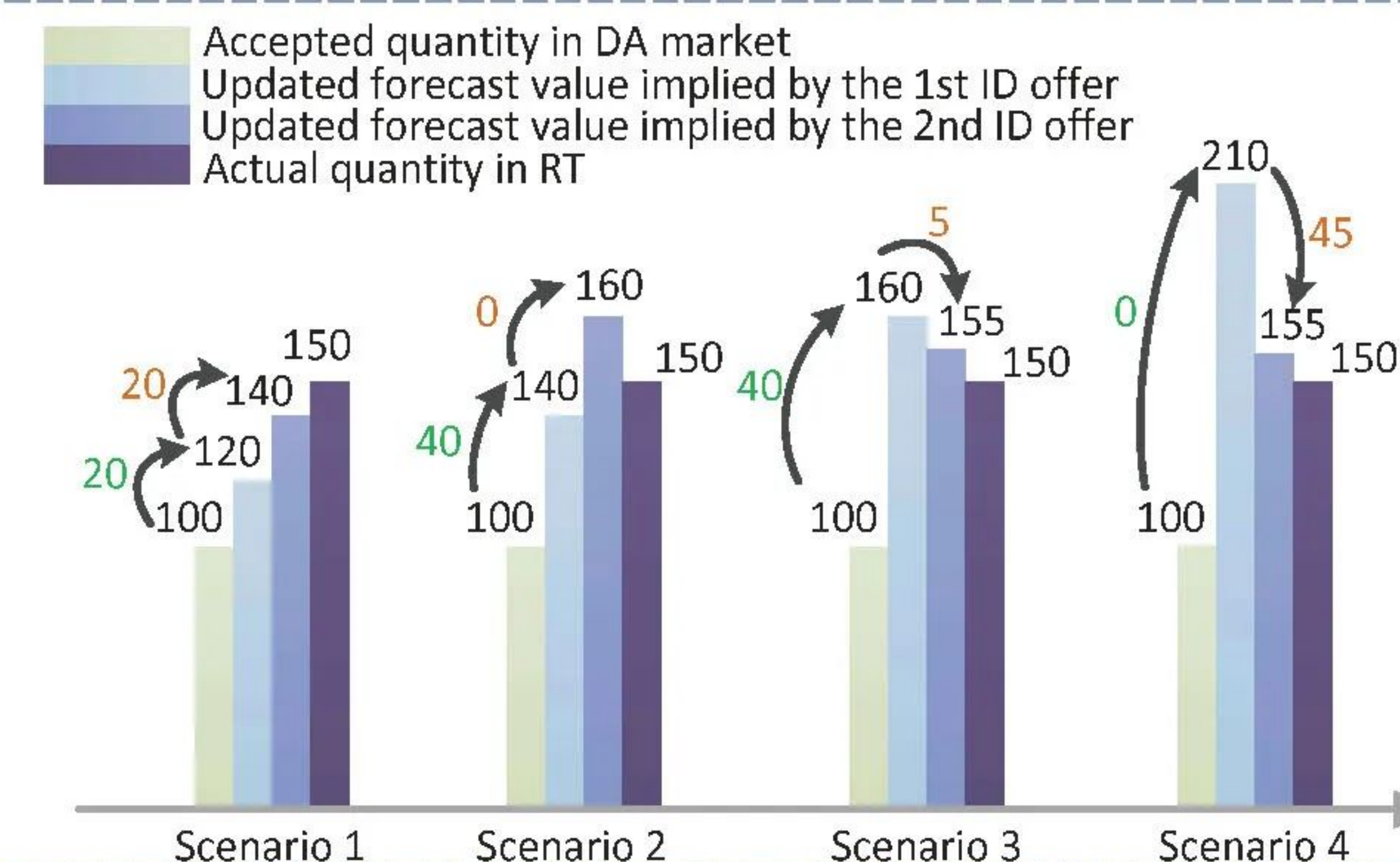
□ 需求方按购买信息量比例分摊信息费用

信息购买成本：

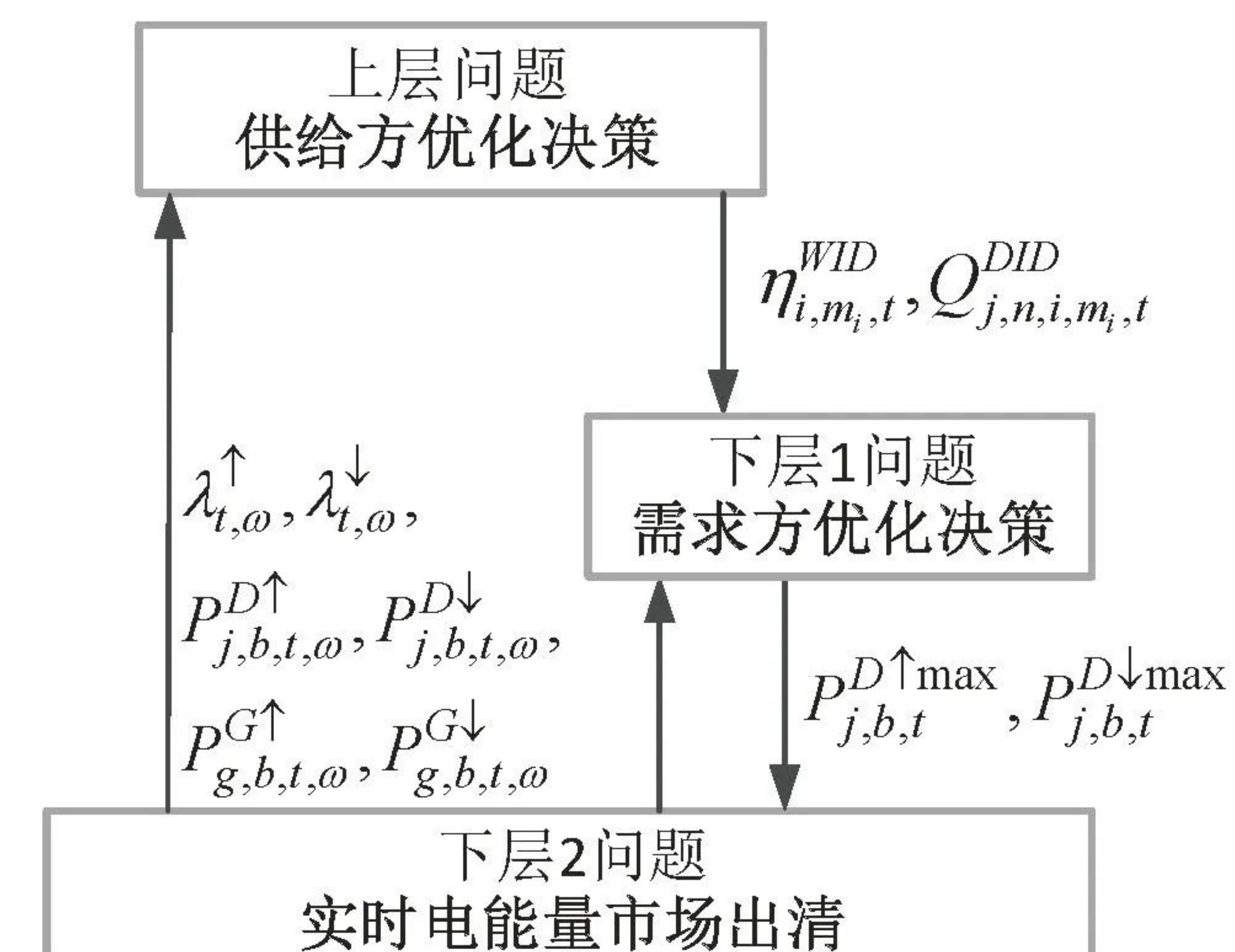
$$C_{j,n,i,m_i,t}^{IDID} = R_{i,m_i,t}^{IWID} \frac{|Q_{j,n,i,m_i,t}^{DID}|}{\sum_j \sum_n |Q_{j,n,i,m_i,t}^{DID}|}$$

可见，同一信息被越多的用户购买，则各用户支付的费用越少

有效信息
辨识示意



供给方优化
决策模型

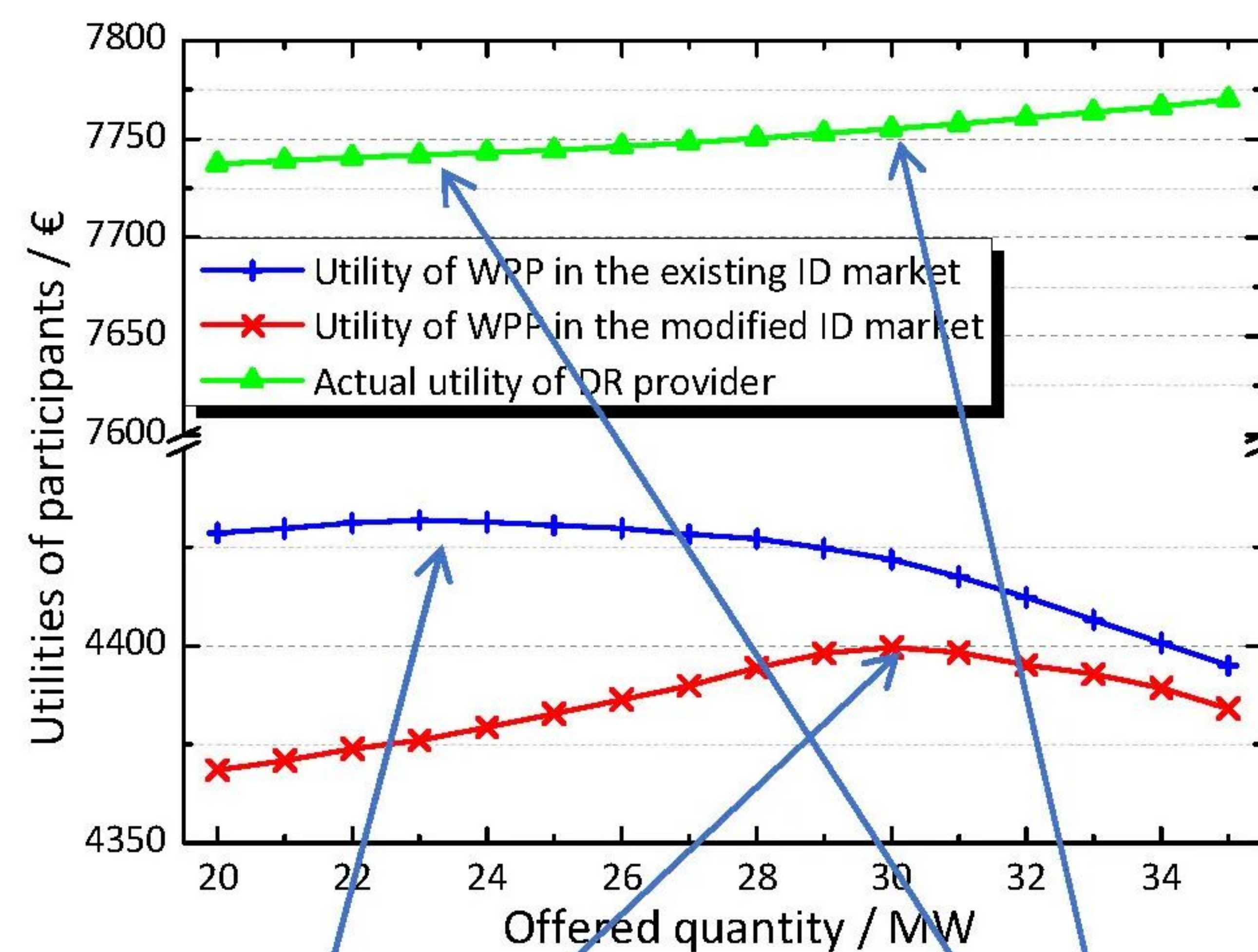


日内信息交易机制

算例分析

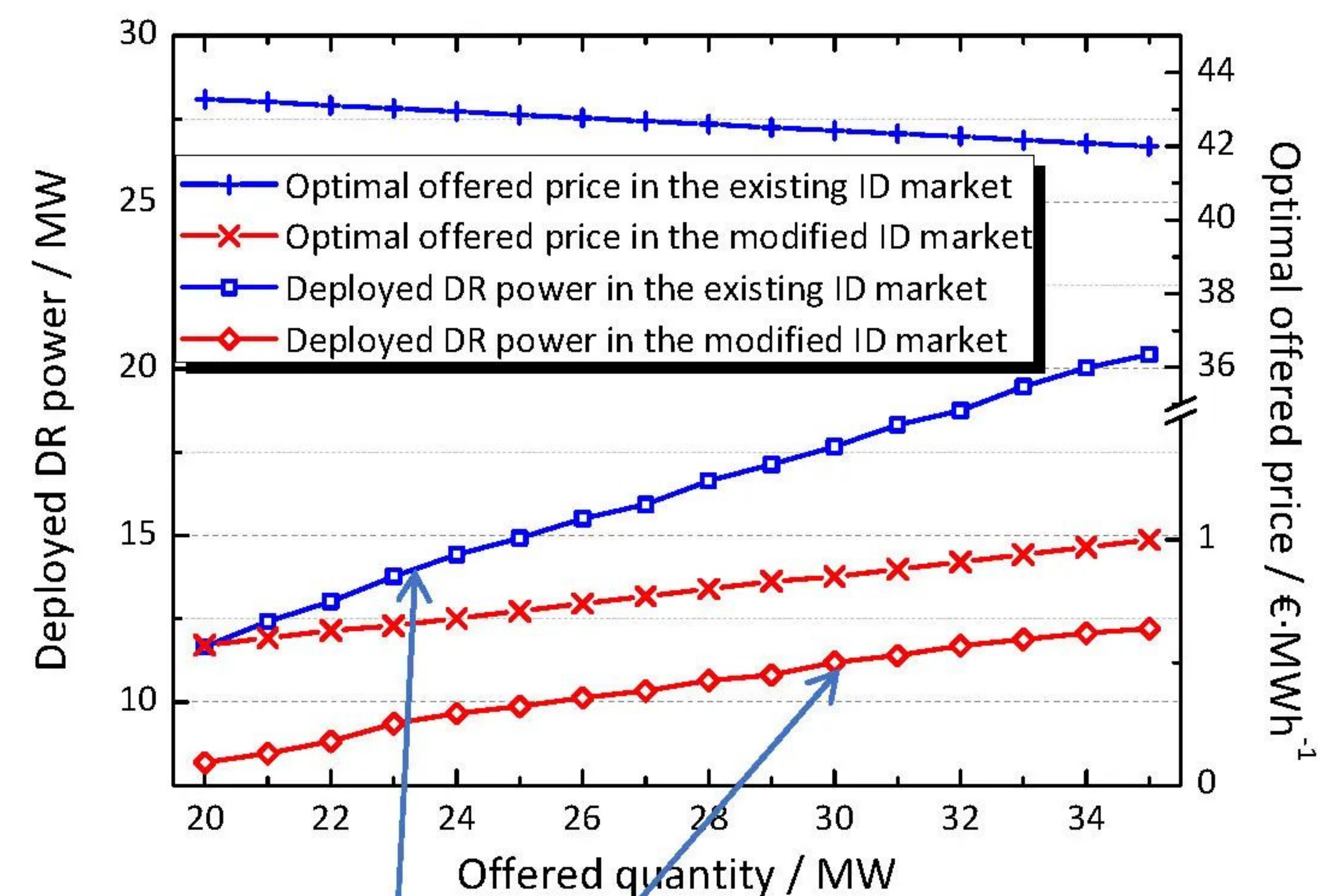
火电机组 (100MW)，风电商 (100MW)，灵活用户 (日前负荷200MW，可响应负荷50MW)；日前风电商申报电量50MW，价格0

场景1：日内更新预测显示出力为80MW，即偏差30MW



最优申报电量

用户效用



需求响应电量

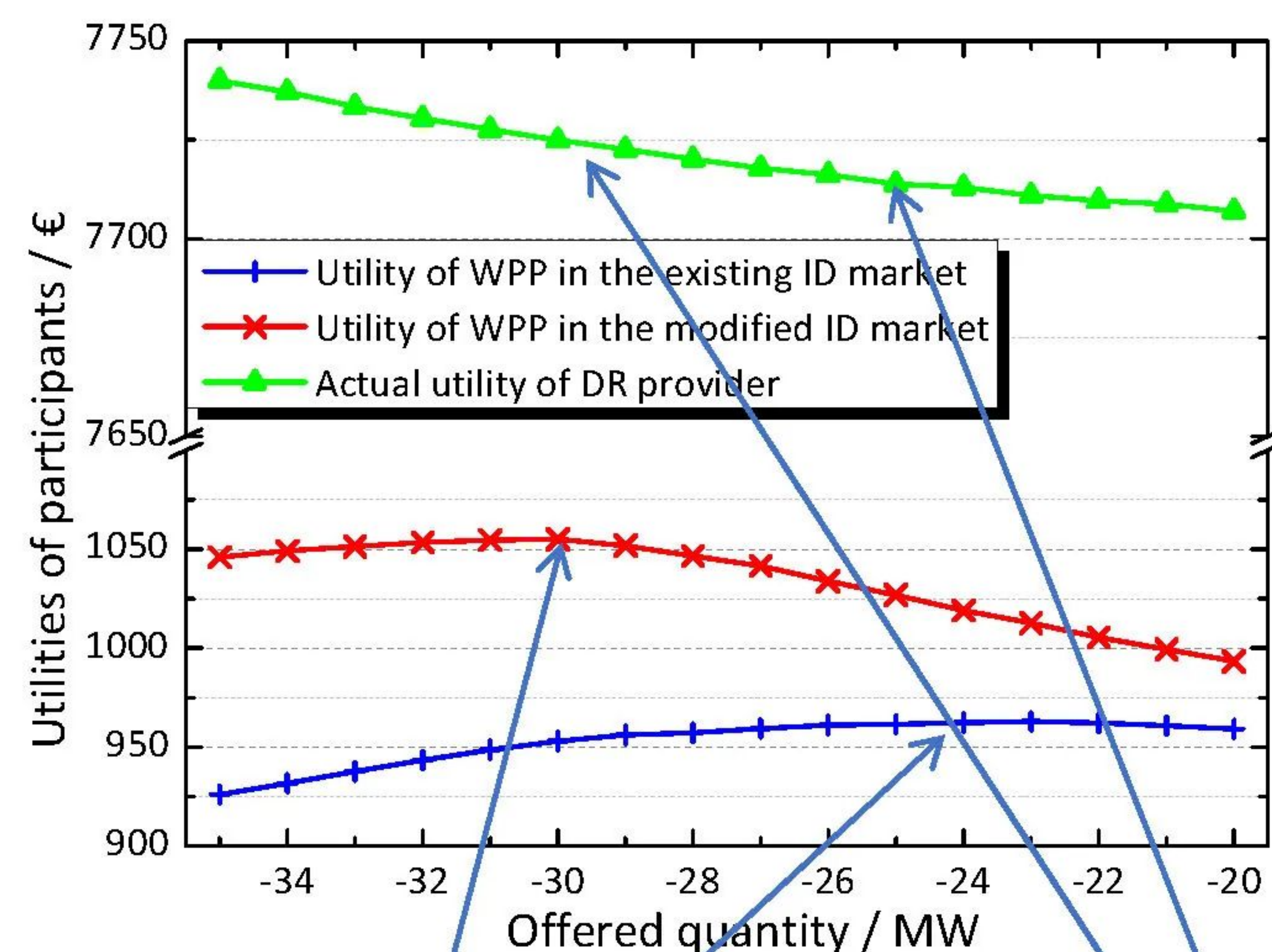
- 日内信息交易激励供给方按真实预测信息申报，以获得最大收益

日内信息交易机制

算例分析

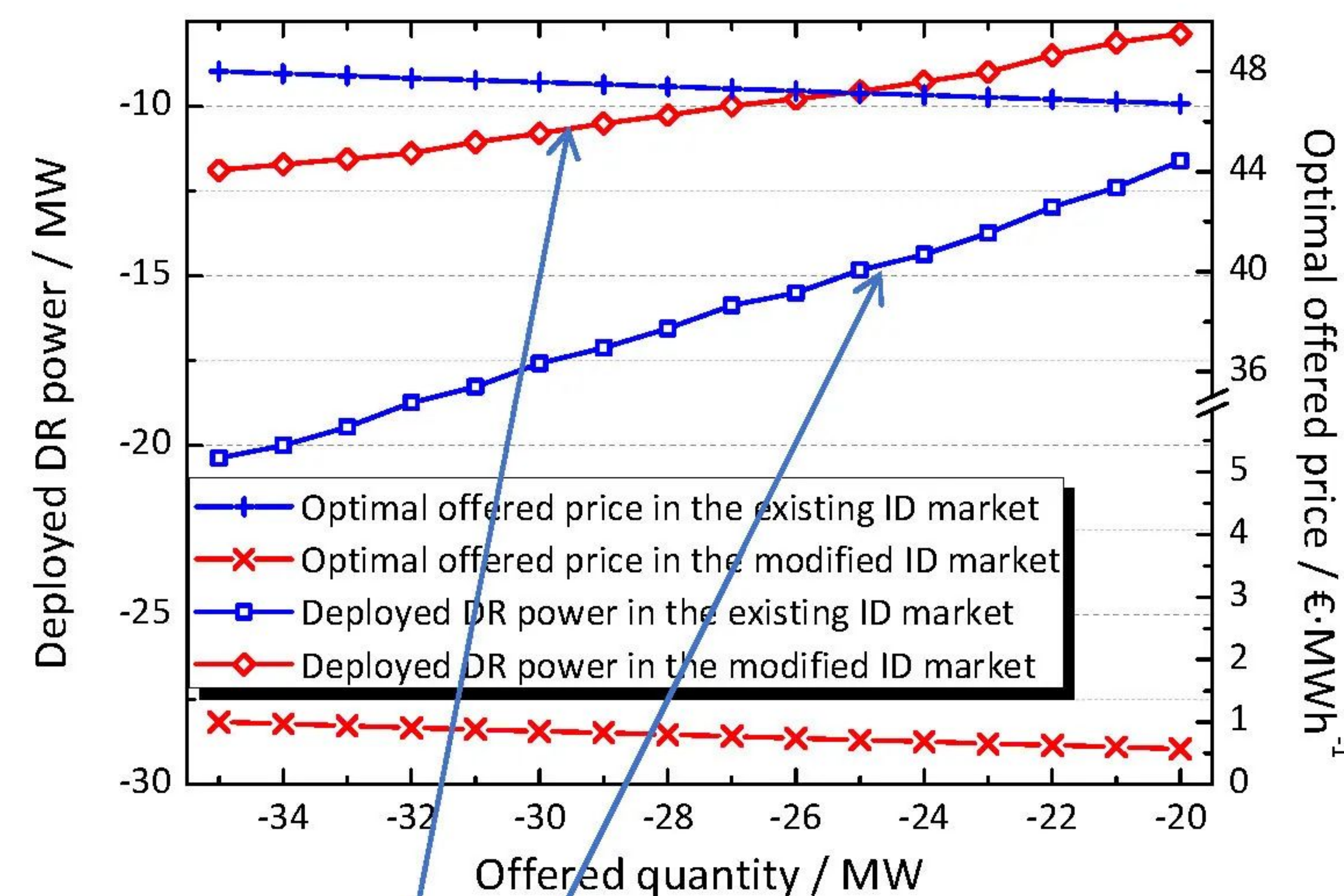
火电机组（100MW），风电商（100MW），灵活用户（日前负荷200MW，可响应负荷50MW）。日前风电商申报电量50MW，价格0

场景2：日内更新预测显示出力为20MW，即偏差-30MW



最优申报电量

用户效用

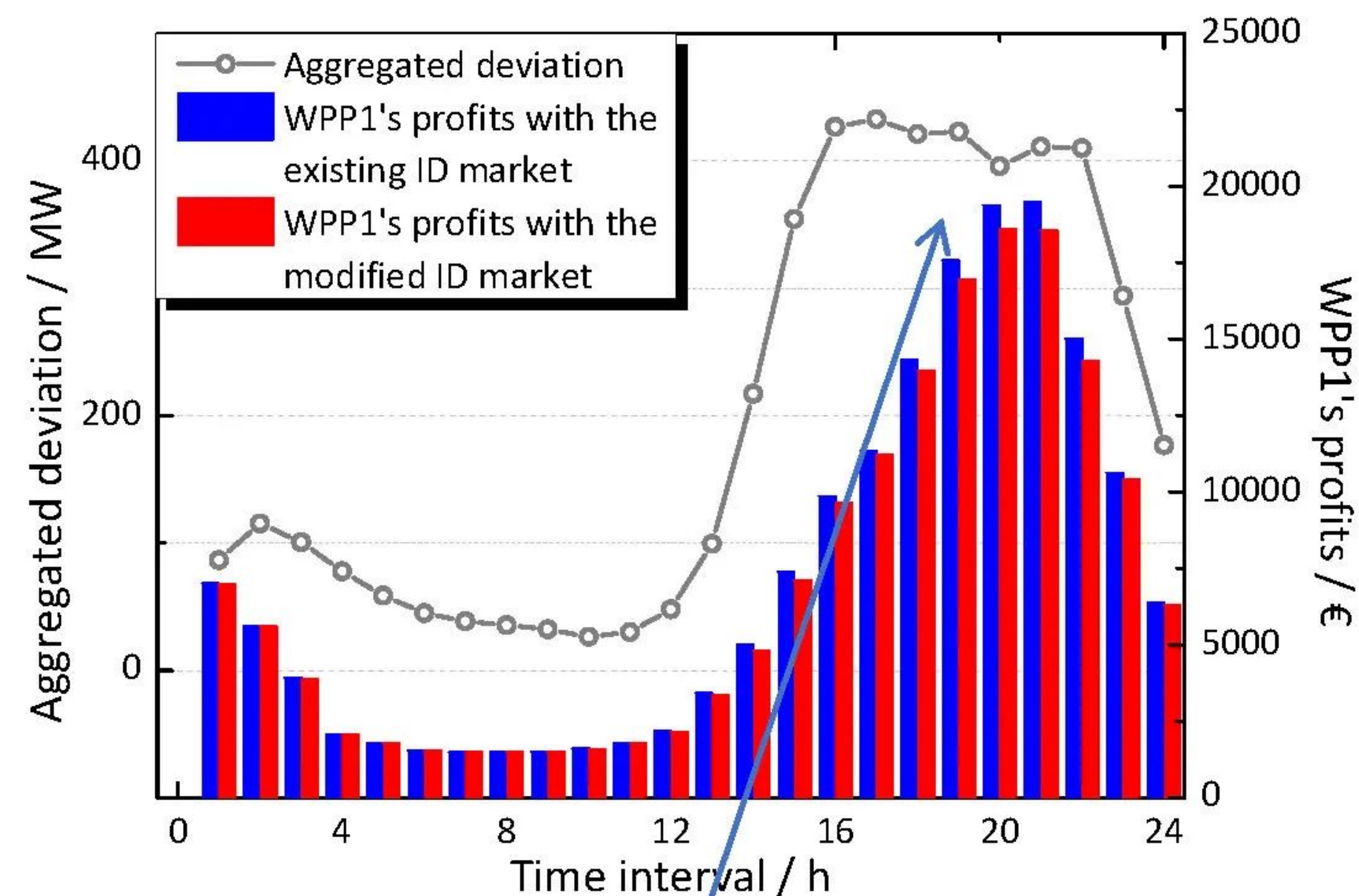


需求响应电量

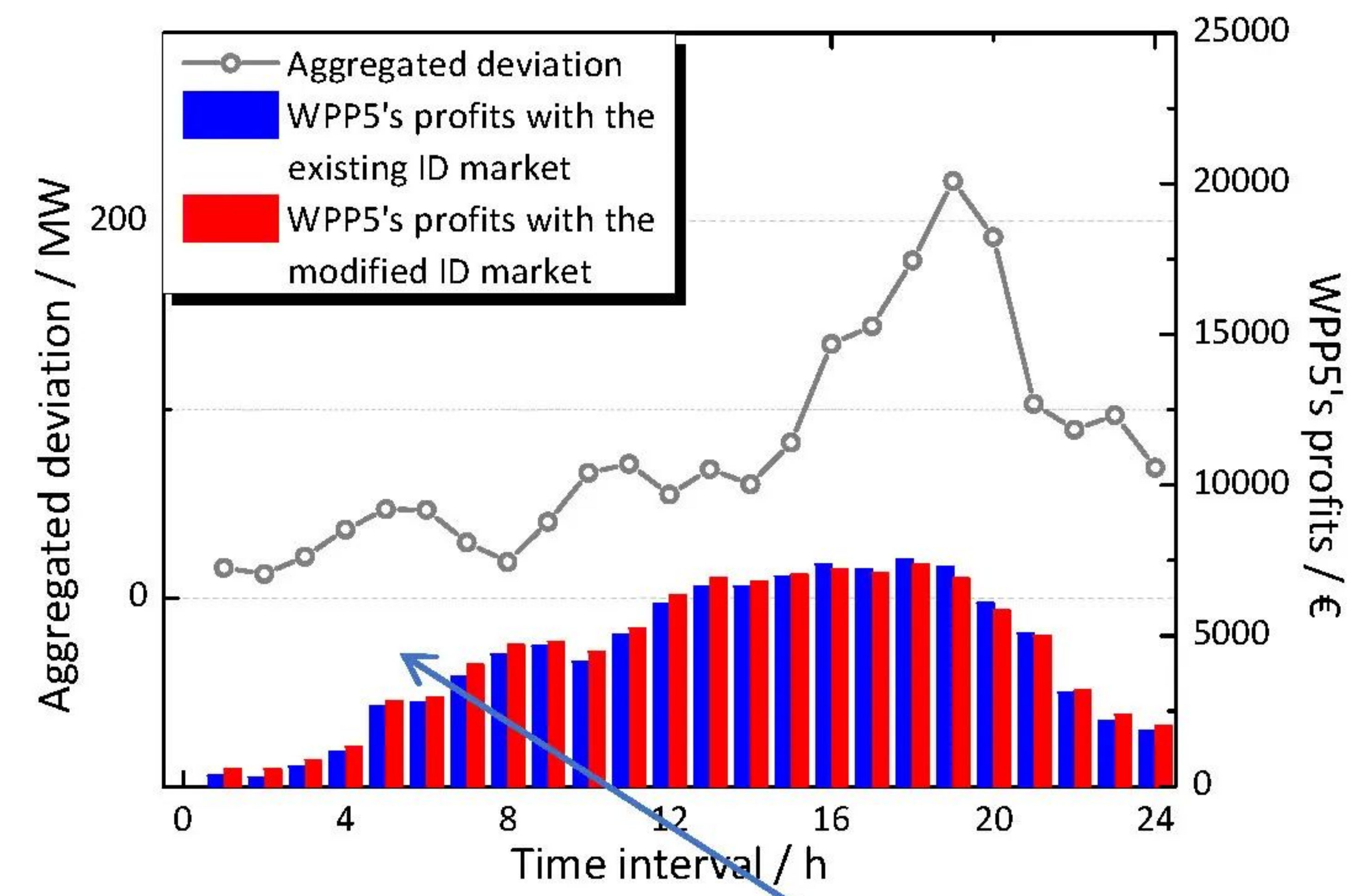
- 日内信息交易激励供给方按真实预测信息申报，以获得最大收益

日内信息交易机制

算例分析



预测偏差较大时，日内信息交易收益较小



预测偏差较小时，日内信息交易收益较大

- 日内信息交易机制激励预测精度的提升

日内信息交易机制

- Xiao Yunpeng, Wang Xifan, Wang Xiuli (2021). A Modified Intra-Day Market to Trade Updated Forecast Information for Wind Power Integration. IEEE Trans. Sustainable Energy 12(2):1044 - 1059.

- 性质:
- 1) **收支平衡**(Budget balance): 供给方收益在需求方中按购买量比例分摊, 市场总收支平衡
 - 2) **个体理性**(Individual rationality): 供给方收益非负
 - 3) **激励相容**(Incentive compatibility): 申报真实信息能够获得最大收益
 - 4) **匿名**(Anonymity): 市场主体身份不影响收益
 - 5) **女巫验证**(Sybil-proofness): 有效信息辨识机制使市场主体无法通过伪造或复制多个身份获取额外收益
 - 6) **有效激励**(Stimulant): 根据PAB机制, 申报价格越高, 可获取的收益越高

- 优势:
- 1) 日内信息交易**提升日内交易流动性**。相同的信息可出售给多个用户, 且用户越多, 各用户承担的成本越低
 - 2) 日内成交的信息不会从交易簿上移除, 因此**用户**不需要在市场某一特定时刻交易, 可根据自身灵活资源可用性的判断在运行时刻前的**任一时刻交易**
 - 3) 与现有日内电能交易一样, 日内信息交易能够**引导灵活负荷资源向新能源波动方向改变用电行为**
 - 4) 激励供给方**按实际预测申报**
 - 5) 新能源预测精度越高, 在日内信息交易中收益越大, 因而**激励新能源预测精度的提升**

目录

CONTENTS

信息交互视角下的电力市场

01 信息的价值

PART

02 电力交易与信息交互

PART

03 基于价值的信息交互—信息交易

PART

04 结论与展望

PART



结论



- 在信息交互的视角下，每一次电力市场机制的变革都在促进更全面、更精细的信息交互
- 受制于电力交易的需求及传输约束，当前依托电能交易的信息交互面临效率难以提升的瓶颈
- 构建了基于价值的、独立于电力交易的信息交互机制
- 促进新能源预测更新信息的高效利用，实现新能源与灵活负荷的高效匹配

展望



- 独立信息互动机制下信息流、能量流、价值流耦合机理
- 信息互动的隐私性、安全性、真实性问题
- 差异化信息互动产品标准、交易模型及定价方法
- 基于“云大物移智链”的信息互动实现技术，助力数字新基建

谢谢！请批评指正！

西安交通大学 电气工程学院

肖云鹏

2023年3月