



低碳电力技术基础——课程实验

碳交易模拟

康重庆

清华大学电机系

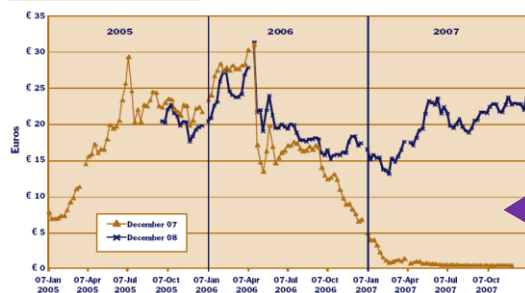
cqkang@tsinghua.edu.cn

课程内容回顾

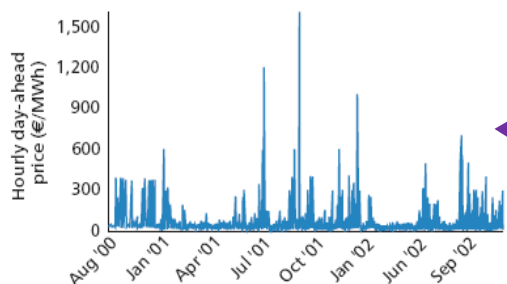


● 市场成员交易策略的变化

Evolution of EUA Prices 2005-2007



欧盟排放配额价格



日前电能量价格

Source: APX

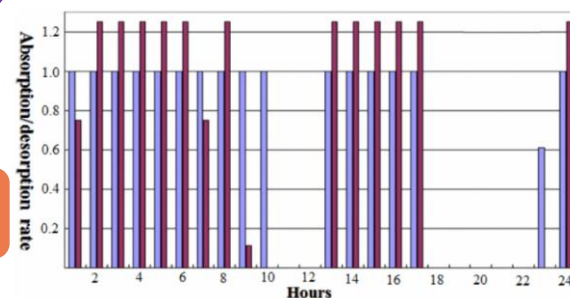
电碳价格预测



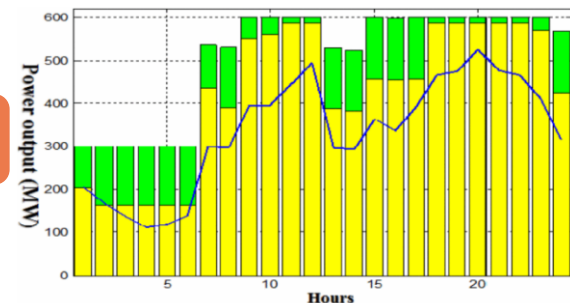
碳捕集

协调

发电循环



碳捕集比例



发电出力计划

Max 预期收益

发电 + 碳排放 2

背景设定



假设你是一个电厂的经理，负责进行电厂的**运营决策**，以**最大化收益**。

你的电厂有若干火电机组（已安装碳捕集装置），该电厂可以在电力市场售电获得收益，其发电产生的碳排放需要通过碳捕集装置回收，或者在碳市场购买相应的排放配额。故你的总收益由以下几部分综合而成：

- 在电力市场中的发电收入
- 发电成本（**如果启动碳捕集装置将会带来额外成本**）
- 在碳市场中购买碳配额成本
- 超额碳排放的罚款

规则说明



经过简化，你的决策主要分为两部分：

第一部分是**发电量决策**

- **直接发电量 G_e** ：碳排放强度为 e ，需要购买相应的碳配额
- **启用碳捕集的发电量 G_n** ：完全捕集，净碳排放为零

发电产生的碳排放总量为

$$E = e \cdot G_e + 0 \cdot G_n = eG_e$$

第二部分是在**碳市场的投标**

- **碳市场投标量 E_C^B ，对应报价 λ_C^B**

注意：对任意轮次，如果在碳市场购买的指标超过了实际所需指标，则**多余指标将会直接浪费掉**（配额无法进行跨期存储）。



收益分析



根据上述规则，每一轮的收益（利润）为：

$$R = \underbrace{\lambda_G(G_e + G_n)}_{\text{发电收入}} - \underbrace{c_e G_e - c_n G_n}_{\text{发电成本}} - \underbrace{\lambda_C E_C}_{\text{配额购买}} - \underbrace{\lambda_P(eG_e - E_C)}_{\text{超额罚款}}$$

- **上网电价 λ_G** ：由电力市场确定，在每轮实验前**给定**
- **发电成本 c_e, c_n** ：由机组情况确定，在本实验中为**定值**
- **出清碳价 λ_C 和中标配额数量 E_C** ：由碳市场确定，由**出清程序**计算
 - 注意区分 λ_C, E_C 和 λ_C^B, E_C^B ! **中标和投标的区别**
- **惩罚碳价 λ_P** ：由监管机构决定，为**当轮出清碳价的2倍**(若无超额则置零)

$$\lambda_P = \begin{cases} 0 & , eG_e - E_C \leq 0 \\ 2\lambda_C, & eG_e - E_C > 0 \end{cases}$$

关于市场出清

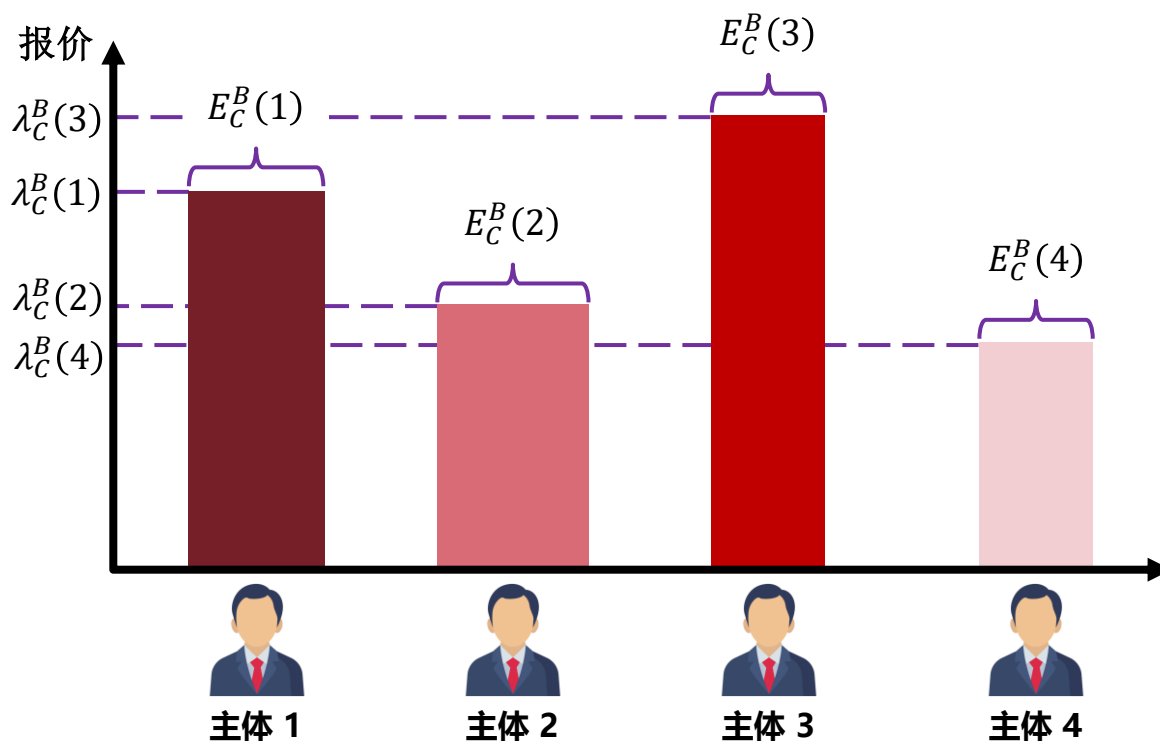


- 投标参数的含义？
 - **报价 λ_C^B** ：所能接受的最高价格，若碳价高于该数值，则此时主体“拒绝”购买碳配额
 - **报量 E_C^B** ：主体对碳配额的需求量，其中标量（买到的配额）不会超过此数值
- 市场出清的过程？
 - 碳配额**供给数量固定**，需求由各个主体的投标确定
 - **价高者得**：可理解为**优先满足高报价主体**的碳配额需求
 - **边际定价**：所有中标的主体均按照**统一价格（即出清价 λ_C ）**进行支付，出清碳价为**最后中标主体**的报价

关于市场出清



- 主体投标与市场出清的图形化表示



清华大学
Tsinghua University

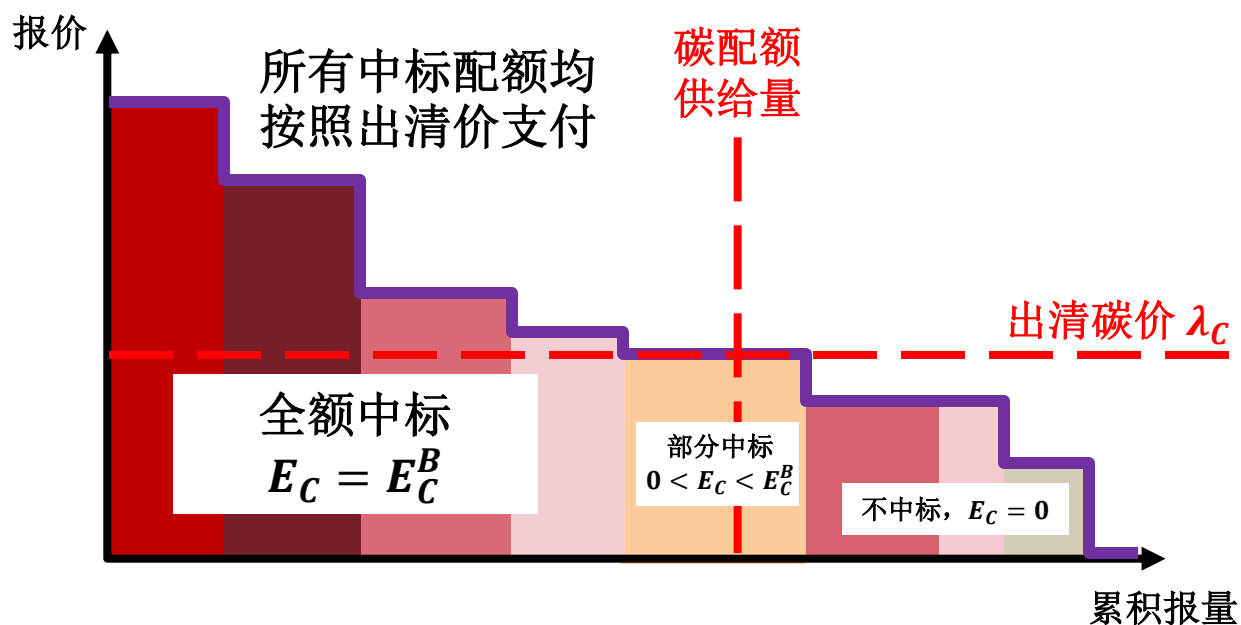
EITab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组



关于市场出清



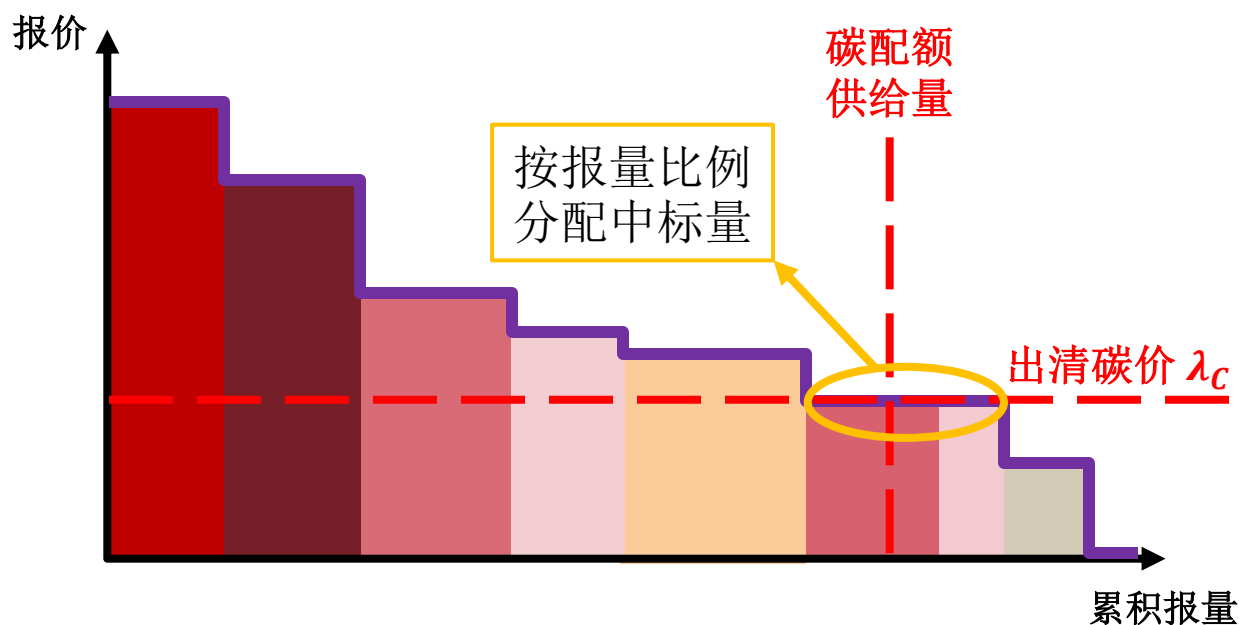
- 主体投标与市场出清的图形化表示



关于市场出清



- 主体投标与市场出清的图形化表示



参数设定



- **上网电价** $\lambda_G = 500$ 元/MWh
- 发电厂的**最大发电量为** $G_{\max} = 1500$ MWh $\geq G_e + G_n$
 - $G_e, G_n \geq 0$; 若 $G_e + G_n > G_{\max}$, 则自动调整为 $G'_e = G_e, G'_n = G_{\max} - G'_e$
- **直接发电成本为** $c_e = 300$ 元/MWh
- 如果开启**碳捕集装置**, **发电成本为** $c_n = 420$ 元/MWh
- 发电厂的**碳排放强度为** $e = 0.8$ tCO₂/MWh
- **碳市场报价范围为** $\lambda_C^B \in [20, 200]$ 元/t
 - 出于规范市场考虑, 每个电厂在碳市场的投标量限制在 $E_C^B \in [0, 1200]$ t
- **罚款价格**是市场出清价格的 2 倍, 即 $\lambda_p = \begin{cases} 0, & eG_e - E_C \leq 0 \\ 2\lambda_C, & eG_e - E_C > 0 \end{cases}$



奖励方案



- 所有轮次**总收益**较大的同学
 - 排名第 1 名，加 3 分
 - 排名第 2-4 名，加 2 分
 - 排名第 5-10 名，加 1 分
- 最后两轮**单轮**收益最大的同学，加 1 分
- 完整参与所有轮次的同学，加 1 分
- 每位同学在本实验中的加分**上限为 5 分**，直接加到最终的课程成绩中

竞价操作



相关信息： <https://thu-eilab.feishu.cn/docx/J5WddJNliolbO2xqXUhc7LWpnrg>

运行决策和报价报量通过问卷提交：

- 选择姓名并输入密码（详见网络学堂作业栏），进行身份验证
- 输入4个决策值，系统自动检验相关约束、纠正不合法的申报并展示最终提交数值
- 提交 **（每人每轮仅允许提交一次，多次提交取最后的记录）**

每轮出清后将公开部分信息，如出清价格、累积投标曲线等

可通过学号+密码查询个人的历史投标和出清结果

竞价操作



Pre 1: 熟悉操作

上网电价为 $\lambda_G = 500$ 元/MWh

碳市场**价格固定**，碳价为 $\lambda_C = 100$ 元/t

Pre 2: 思考策略

上网电价为 $\lambda_G = 500$ 元/MWh

碳市场**总配额**为 40000 t，竞价获取，价高者得

碳交易投标



打开手机扫一扫



清华大学
Tsinghua University

EITab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组



竞赛轮次



碳交易投标



打开手机扫一扫

第 1~N 轮

(N根据具体时间情况确定)

上网电价为 $\lambda_G = 500 \text{元}/MWh$

碳市场总配额为 $40000t$ ，竞价获取，价高者得