

一、模型建立.....	2
二、最优策略建构	3
2.1 有效报价与收益目标	3
2.2 名义报价与实际出价行为	5
三、最优策略分析	6
四、均衡稳定性分析	9
4.1 机制下的最优反应与稳态行为	9
4.2 一阶条件下的最优报价唯一性与局部稳定性.....	10
五、个体理性约束分析	14
5.1 平台的先验与后验理性	14
5.2 投标者的先验与后验理性.....	16
六、分配效率分析	17
6.1 动态多轮竞价机制	18
6.2 单轮二级价格拍卖	20
七、买方成本控制与价格稳定.....	21

一、模型建立

平台在拍卖过程中提供一个运输任务，并设定动态报价机制，该机制将决定最终中标者的实际收入。参与投标的是潜在的承运商，他们依据自身的运输成本，在多轮竞价中动态调整报价。每一轮，平台根据投标者的报价与运输网络的拥堵状况，公布一个综合报价信号（即门槛价格 P_t^{obs} ），作为当前轮次的存续标准。不同于传统一次性拍卖机制，平台并不在初始轮次即选定最低报价者为中标方。这是因为实际运输需求具有动态波动性，且在最终形成双寡头竞争格局前，允许新投标者在过程中灵活进入。通过多轮筛选与信息更新，平台逐步识别出最契合任务需求、能够在成本异质性与需求不确定性下实现收益最优化的承运方，从而提升整体资源配置的效率与稳定性。

每个投标者的成本为：

$$TC_{i,t} = \alpha D_i + \beta \frac{DE_t}{CA} \quad (1)$$

$TC_{i,t}$ 为投标者 i 在时间 t 的总成本， D 为激励， DE_t 为需求， CA 为网络承载能力。 α 、 β 为成本调节参数。在本模型设定下，每轮由运输网络拥堵引致的成本变化（即 $\beta \frac{DE_t}{CA}$ ）对所有投标者而言是相同的；因此，各投标者在每轮的运输成本差异源于其各自的运输距离 D_i 所带来的基础成本 αD_i 。

平台公布的门槛价格为：

$$P_t^{obs} = \frac{1}{n_t} \int_{i \in n_t} \tilde{P}_{i,t} di \quad (2)$$

$\tilde{P}_{i,t}$ 是平台在每轮根据投标者报出的名义报价 $P_{i,t}$ 和当前运输网络的拥堵状况，所计算出的实际有效报价，也代表其最终的实际成交价格。当 $\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs}$ 时对

应的投标者将被出局，即投保者如果报价太高，就有可能不中标。此时若投标者 i 在 t 轮的有效投标价格为 $\tilde{P}_{i,t}$ ，那么它被出局的概率为 $Prob(\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs})$ 。

二、最优策略建构

2.1 有效报价与收益目标

假设每轮出价时投标者知道当下的运输成本，他会确保最优有效投标价格(实际成交价格)至少能够涵盖运输成本， $\tilde{P}_{i,t} > TC_{i,t}$ 。在此条件下，投标者才有动机继续留在竞标过程中。反之，该投标者将理性地选择退出拍卖，以避免预期亏损。在该机制设计下，投标者在参与过程中无法预知哪一轮将成为最终决定实际收益的轮次，因此他们必须将每一轮的投标行为视为潜在的决胜轮，从而在每一轮中选择最大化当期预期收益的出价策略。此时投标者 i 在时期 t 的目标函数为：

$$\max_{\tilde{P}_{i,t}} (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) + (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) Prob(\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs}) \quad (3)$$

因为 $Prob(\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs})$ 时投标者 i 出局，即 $(\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) Prob(\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs})$ 部分为 0，所以式 3 修正后可以得到

$$\max_{\tilde{P}_{i,t}} (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t) \quad (4)$$

其中 $\mathcal{H}_t = \{P_t^{obs}, P_{t-1}^{obs}, P_{t-2}^{obs}, \dots, P_0^{obs}\}$ 为历史可观测的信息，由贝叶斯更新规则有：

$$Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t) \propto Prob(\mathcal{H}_t) \cdot Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \quad (5)$$

因为 t 轮之前的均为历史信息，所以 $\{P_{t-1}^{obs}, P_{t-2}^{obs}, \dots, P_0^{obs}\}$ 为常数，有

$$\begin{aligned} Prob(\mathcal{H}_t) &= Prob(P_t^{obs}) \cdot Prob(P_{t-1}^{obs}) \cdot Prob(P_{t-2}^{obs}) \cdot \dots \cdot Prob(P_0^{obs}) \\ &= Prob(P_t^{obs}) \end{aligned}$$

若 $\tilde{P}_{i,t}$ 的密度函数为 $f_i(\tilde{P}_{i,t})$, 那么:

$$Prob(P_t^{obs}) = \frac{1}{n_t} \prod_{j=1}^{n_t} \int_{\Sigma \tilde{P}_{j,t}=P_t^{obs}} f_j(\tilde{P}_{j,t}) d\tilde{P}_{j,t} \quad (6)$$

式(6)是关于一个 $\Sigma \tilde{P}_{j,t}$ 的一个卷积,

$$\begin{aligned} & Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \\ &= \frac{\frac{1}{n_t} \prod_{j=1}^{n_t} \int_{\Sigma \tilde{P}_{j,t}=P_t^{obs} \text{ and } \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}} f_j(\tilde{P}_{j,t}) d\tilde{P}_{j,t}}{\int_{\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}} f_i(\tilde{P}_{i,t}) d\tilde{P}_{i,t}} \quad (7) \end{aligned}$$

式(7)也是一个卷积, 将式(6)和式(7)带入式(4)可以得到:

$$\begin{aligned} & \max_{\tilde{P}_{i,t}} (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) \\ & \cdot \frac{\frac{1}{n_t} \prod_{j=1, j \neq i}^{n_t-1} \int f_j(\tilde{P}_{j,t}) d\tilde{P}_{j,t} \int_{\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}} f_i(\tilde{P}_{i,t}) d\tilde{P}_{i,t} \int_{P_t^{obs} - \sum_{j=1}^{n_t-1} \tilde{P}_{j,t}} f_{n_t}^{cond.}(\tilde{P}_{nt,t}) \tilde{P}_{nt,t}}{\frac{1}{n_t} \prod_{j=1}^{n_t} \int f_j(\tilde{P}_{j,t}) d\tilde{P}_{j,t} \int_{P_t^{obs} - \sum_{j=1}^{n_t-1} \tilde{P}_{j,t}} f_{n_t}^{cond.}(\tilde{P}_{nt,t}) d\tilde{P}_{nt,t}} \\ & \max_{\tilde{P}_{i,t}} (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) \frac{Prob(\mathcal{H}_t \cap \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{Prob(\mathcal{H}_t)} \\ &= \max_{\tilde{P}_{i,t}} (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) \frac{Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{Prob(\mathcal{H}_t)} \quad (8) \end{aligned}$$

作一阶条件可以得到:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \pi_{i,t}}{\partial \tilde{P}_{i,t}} = Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \frac{1}{Prob(\mathcal{H}_t)} + \\ & (\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}) \cdot \left\{ \frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \cdot Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \frac{1}{Prob(\mathcal{H}_t)} \right. \\ & \quad + Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \cdot \frac{1}{Prob(\mathcal{H}_t)} \\ & \quad \left. - Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right\} \cdot \frac{1}{Prob^2(\mathcal{H}_t)} \quad (9) \end{aligned}$$

对式(9)整理可以得到，投标者的最优投标策略为：

$$\begin{aligned}\tilde{P}_{i,t} = & TC_{i,t} - Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\ & - Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\ & + Prob(P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1}\end{aligned}$$

2.2 名义报价与实际出价行为

然而，在动态环境中，投标者在每一轮出价时通常无法实时掌握其当期的运输成本 $TC_{i,t}$ 。因此，理性投标者会以上一轮已知的成本 $TC_{i,t-1}$ 作为对当前成本的估计基础，并基于该估计值制定其名义投标价格 $P_{i,t}$ ，即投标者在当前轮中实际提交的报价：

$$\begin{aligned}P_{i,t} = & TC_{i,t-1} - Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\ & - Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\ & + Prob(P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1}\end{aligned}$$

名义报价的一个关键特征是：它并不等同于投标者最终的实际成交价格。平台会在每轮依据当前与前一轮的运输网络拥堵程度变化，对投标者的名义报价进行调整。具体而言，平台将根据 $\beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) = \beta \left(\frac{DE_t}{CA} - \frac{DE_{t-1}}{CA} \right)$ 对名义报价进行补偿性修正，从而形成决定实际成交价格的有效报价 $\tilde{P}_{i,t}$ 。这种调整机制确保了投标者在基于前一轮成本估计 $TC_{i,t-1}$ 所制定的名义报价 $P_{i,t}$ 依然能够实现期望利润最大化，从而维持其策略的最优性：

$$\begin{aligned}
\tilde{P}_{i,t} = P_{i,t} + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) = TC_{i,t} - Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\
- Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\
+ Prob(P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \quad (10)
\end{aligned}$$

平台通过公布基于名义报价修正而得的门槛价格，不仅决定投标者的淘汰与否，也向所有参与者传递了当前运输网络拥堵状况的信号。投标者可据此对后续轮次的运输成本进行更精确的预估，从而调整其最优报价策略。平台在每一轮所公布门槛价格 P_t^{obs} 的实际计算公式：

$$P_t^{obs} = \frac{1}{n_t} \int_{i \in n_t} P_{i,t} di + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) = \frac{1}{n_t} \int_{i \in n_t} \tilde{P}_{i,t} di$$

即使投标者不知道当前轮的实际运输成本，只要确保名义报价高于前一轮成本估计，就足以做出合理的退出或继续参与决策。当最优名义报价 $P_{i,t} < TC_{i,t-1}$ 对应的有效报价 $\tilde{P}_{i,t} = P_{i,t} + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) < TC_{i,t}$ ，此时投标者的预期收益为负，理性的投标者将选择主动退出。这一设定在保障退出决策合理性的同时，降低了对即时成本信息的依赖。当有效报价 $\tilde{P}_{i,t} = P_{i,t} + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right)$ 低于门槛价格 P_t^{obs} 时，投标者将被淘汰出局，这一判定标准同样与机制先前设定一致。

三、最优策略分析

为了方便分析，我们将 $A := Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})$, $A' := \frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}}$;

同样的， $B := Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})$, $B' := \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}}$

将 $C := Prob(P_t^{obs})$, $C' := \frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}}$

式(10)中最优名义报价的表达式被简化为：

$$P_{i,t} = TC_{i,t-1} - \frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'}$$

对应的最优有效报价的表达式被为：

$$\tilde{P}_{1,t} = TC_{i,t} - \frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'} \quad (11)$$

在最优出价的一阶条件中，出现了三个关于投标者报价 $\tilde{P}_{i,t}$ 的偏导项，为了分析 $\tilde{P}_{i,t}$ 和 $TC_{i,t}$ 的大小关系(投标者实际成交价格和运输成本的大小关系)，已知

A, B, C 为正，我们将逐一分析 A' , B' , C' 的正负性。

$$A' := \frac{\partial \text{Prob}(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} = \frac{\partial \text{Prob}(P_t^{obs} | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \text{ 为负:}$$

投标者 i 的有效报价会被纳入等同于平均报价的门槛价格 P_t^{obs} ，他的出价变动会改变门槛价格的条件分布。在投标者 i 没有被淘汰($\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}$)的情况下，有效报价 $\tilde{P}_{i,t}$ 提升，会让门槛价格 P_t^{obs} 变得“更容易满足”或者说“更常见”。该导数反应了平台规则对门槛结构的影响。

$$B' := \frac{\partial \text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \text{ 为负:}$$

它反映了中标概率对有效出价变动的边际响应程度，随着投标者 i 出价的提升，被淘汰的概率 $\text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs})$ 变大，即存活概率 $\text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})$ 变小。

$$C' := \frac{\partial \text{Prob}(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \text{ 为正:}$$

投标者出价对平台整体门槛 P_t^{obs} 密度函数的影响。因为投标者的报价可能“推动”平台门槛右移，使得某一点处的密度下降，该项一般为负，体现了投标者对外部环境密度的扰动效应。

综上，最优有效报价 $P_{i,t}$ 实际由运输成本 $TC_{i,t-1}$ 加上两个负值和一个正值决定的

$$\tilde{P}_{1,t} = TC_{i,t} - \frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'}$$

$$\tilde{P}_{i,t} = TC_{i,t} + \text{negative term} + \text{postive term} + \text{negative term}$$

同理，最优名义报价的表达式为：

$$P_{i,t} = TC_{i,t-1} - \frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'}$$

$$P_{i,t} = TC_{i,t-1} + \text{negative term} + \text{postive term} + \text{negative term}$$

其中 A' ， C' 主要依赖于平台平台如何设定门槛价格（如用均值、中位数、加权平均等）。它们反映的是投标者行为对平台机制本身的结构性反馈，但不是投标者主动行为的核心驱动项。只有第二项 B' 完全由投标者自身控制，它表示中标概率对出价的绝对变化率，直接衡量了投标者对失败风险的边际感知,与投标者的风险敏感程度(risk sensitivity)相关，因此将在后续分析中作为核心行为驱动因素重点考察。

我们的主要结论如下，而当对风险不敏感时，他的出价较高；当竞拍者对风险敏感时，他的出价较低，接近运输成本。以下是具体分析过程：

风险敏感程度的核心表达：

$$\begin{aligned} \text{Risk Sensitivity} &= \left| \frac{d}{d\tilde{P}_{i,t}} \log \text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \right| \\ &= \left| [\text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})]^{-1} \cdot \frac{\partial \text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right| \\ &= - \left\{ [\text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})]^{-1} \cdot \frac{\partial \text{Prob}(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right\} \end{aligned}$$

简化表达为：

$$\text{Risk Sensitivity} = \left| \frac{d}{d\tilde{P}_{i,t}} \log B(\tilde{P}_{i,t}) \right| = \left| \frac{B'(\tilde{P}_{i,t})}{B(\tilde{P}_{i,t})} \right| = - \frac{B'(\tilde{P}_{i,t})}{B(\tilde{P}_{i,t})}$$

$\left| \frac{B'}{B} \right|$ 反映了中标概率对出价变动的边际响应程度，即成功概率的相对变化率。

它衡量了投标者对失败风险的敏感性：“我提高出价一点点，会让中标概率下降多少，而这个下降相对于我现在的成功概率来说有多严重？”我们将该项解释为投标者的风险敏感程度(risk sensitivity)。由式(11)得：

$$\tilde{P}_{i,t} = TC_{i,t} - \dots + \left| \frac{B(\tilde{P}_{i,t})}{B'(\tilde{P}_{i,t})} \right| - \dots$$

当投标者 i 对风险越敏感时， $\left| \frac{B'(\tilde{P}_{i,t})}{B(\tilde{P}_{i,t})} \right|$ 越大，其倒数 $\left| \frac{B(\tilde{P}_{i,t})}{B'(\tilde{P}_{i,t})} \right|$ 越小，因此有效出价 $\tilde{P}_{i,t}$ 越低；当投标者对风险越不敏感时， $\left| \frac{B'(\tilde{P}_{i,t})}{B(\tilde{P}_{i,t})} \right|$ 越小，其倒数 $\left| \frac{B(\tilde{P}_{i,t})}{B'(\tilde{P}_{i,t})} \right|$ 越大，因此有效出价 $\tilde{P}_{i,t}$ 越高。

四、均衡稳定性分析

4.1 机制下的最优反应与稳态行为

动态多轮拍卖机制中，投标者在每一轮面临的信息更新与生存门槛机制 (即门槛价格 P_t^{obs} 会随轮次实时调整) 共同作用，促使其逐步采用基于当前信息的最优回应策略。该机制中的关键特征在于，投标者并不具备对轮次数的完全认知，当前轮的出价不仅影响当轮是否被淘汰，还可能直接决定最终收益。因此，投标者需综合考虑竞标门槛与轮次的不确定性，从而逐步调整并收敛至稳定的出价策略。

特别是在最后一轮，当报价将直接决定是否中标及最终收益水平时，任何偏离最优期望收益的报价行为都将带来实际的收益损失。此时投标者面临的博弈结构不再是预期概率上的“生存-淘汰”判断，而是对当前真实报价的成本-收益权

衡。由于报价将不再影响是否“晋级”下一轮，而是直接影响是否中标并获得相应回报，理性投标者在最后一轮没有任何动力去偏离期望收益最大化的最优策略。

尽管从动态激励的角度出发，可以假设若投标者提前知晓总轮次数 T ，他们可能会在非最后一轮中故意压低报价，以提高自身的生存概率，从而进入后续阶段，再在最后一轮采用真实反映成本与风险的最优报价。然而，在本机制设定下，投标者并不具备对轮次数的完全认知。平台不公开总轮数，使得投标者在每一轮中都面临高度的不确定性。若试图基于“可能不是最后一轮”的假设进行策略性报价压低，将有可能因低于合理报价而被产生负利润。反之，若投标者坚持在每一轮都基于当前已知信息和门槛机制作出理性回应，则在长期演化下将自然趋近最优均衡策略。

4.2 一阶条件下的最优报价唯一性与局部稳定性

为进一步验证所提出机制下最优策略的稳定性，我们对单个投标者的收益函数进行微分分析。通过一阶条件的建立与解析解的推导，我们展示了任意投标者在面对其他投标者采取最优策略时，其自身仅在采取同样的策略下才能实现期望收益最大化，从而构成均衡。该策略不仅是局部最优的，而且在给定观测出价的分布下具有自洽性和可持续性。因此，我们以投标者 1 的出价行为为例，分析重心在于验证：当投标者 1 遵循与他人相同的规则时，其期望收益是否达到最大值。

式(10)和(11)为最优有效出价策略 $\tilde{P}_{i,t}^*$ 的表达式：

$$\begin{aligned}
\tilde{P}_{i,t}^* &= P_{i,t} + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) \\
&= TC_{i,t} - Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\
&\quad - Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\
&\quad + Prob(P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \quad (10) \\
\tilde{P}_{i,t}^* &= TC_{i,t} - \frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'} \quad (11)
\end{aligned}$$

我们要证明：当 $\tilde{P}_{i,t} > \tilde{P}_{i,t}^*$ 以及 $\tilde{P}_{1,t} < \tilde{P}_{i,t}^*$ 时 $\frac{\partial \pi_{i,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} \neq 0$

投标者 1 的利润公式为：

$$\pi_{1,t} = (\tilde{P}_{1,t} - TC_{1,t}) = (\tilde{P}_{1,t} - TC_{1,t-1}) Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)$$

作一阶条件可以得到：

$$\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} = Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t) + (\tilde{P}_{1,t} - TC_{1,t-1}) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\partial \tilde{P}_{1,t}} \quad (12)$$

由式(10)可得使一阶条件满足，即 $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} = 0$ 时， $(\tilde{P}_{1,t}^* - TC_{1,t-1})$ 的取值：

$$\begin{aligned}
\tilde{P}_{1,t}^* - TC_{1,t} &= -Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{1,t}} \right]^{-1} \\
&\quad - Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{1,t}} \right]^{-1} \\
&\quad + Prob(P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{1,t}} \right]^{-1} \quad (13)
\end{aligned}$$

我们沿用式(11)中所定义的简化表达：

$$\tilde{P}_{1,t}^* - TC_{i,t} = -\frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'} \quad (14)$$

将式(14)代入式(12),

$$\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} = Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t) + \left(-\frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'} \right) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}} = 0$$

当 $\tilde{P}_{1,t} > \tilde{P}_{1,t}^*$, 即 $\tilde{P}_{1,t} - TC_{i,t} > -\frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'}$ 时, $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} < 0$ 。证明过程过如下:

由于 $\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}}$ 为负, 此时

$$(\tilde{P}_{1,t} - TC_{1,t}) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}} < \left(-\frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'} \right) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}}$$

$$\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} = (\tilde{P}_{1,t} - TC_{i,t-1}) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}} < 0$$

当 $\tilde{P}_{1,t} < \tilde{P}_{1,t}^*$, 即 $\tilde{P}_{1,t} - TC_{1,t} < -\frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'}$ 时, $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} > 0$ 。证明过程如下:

$$(\tilde{P}_{1,t} - TC_{1,t}) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}} > \left(-\frac{A}{A'} - \frac{B}{B'} + \frac{C}{C'} \right) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}}$$

$$\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} = (\tilde{P}_{1,t} - TC_{i,t}) \frac{\partial Prob(\tilde{P}_{1,t} \leq P_t^{obs} | \mathcal{H}_t)}{\tilde{P}_{1,t}} > 0$$

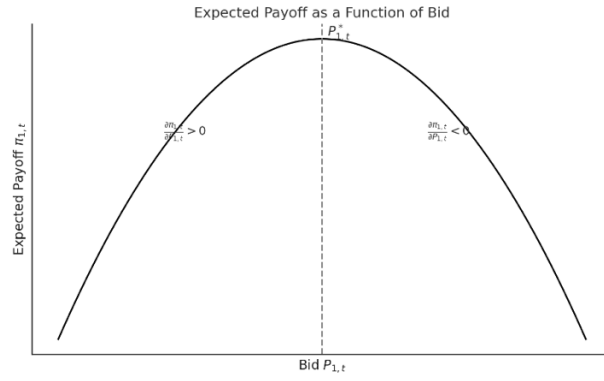
当投标者 1 的有效报价低于最优水平 $\tilde{P}_{1,t}^*$ 时, 提升报价可以在增加单位收益的

同时仍维持一定中标概率, 从而提升其期望收益, 表现为 $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} > 0$ 。相反, 当

出价高于 $\tilde{P}_{1,t}^*$ 时, 进一步提高价格将显著降低中标概率, 反而减少期望收益,

此时 $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} < 0$ 。只有当投标者 1 的有效报价正好为 $\tilde{P}_{1,t}^*$ 时, 其期望收益达到最

大值, 满足最优性一阶条件。



通过证明当 $\tilde{P}_{1,t} \neq \tilde{P}_{1,t}^*$ 时, $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} \neq 0$, 我们证明了在任意一轮中, 如果所有其他投标者 $i \neq 1$ 采取各自的最优出价策略, 当且仅当投标者 1 采取相同策略 $\tilde{P}_{1,t} = \tilde{P}_{1,t}^*$ 时, 他的收益才能达到最大化, 即 $\frac{\partial \pi_{1,t}}{\partial \tilde{P}_{1,t}} = 0$ 。因此这一策略组合构成了稳态均衡(steady-state equilibrium)。

五、个体理性约束分析

5.1 平台的先验与后验理性

在本机制中，平台为一个运输任务设定成交价格，并根据投标者的报价动态调整交易结构。我们从后验与先验两个角度，分析平台是否具备个体理性约束，即平台参与机制后是否能获得非负收益。

平台后验理性分析（Ex-Post Individual Rationality）

平台向资源供应商收取最后一轮($t=T$)门槛价格:

$$P_T^{obs} = \frac{1}{n_T} \int_{i \in n_T} P_{i,T} di + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right)$$

平台需向中标者 i 支付的金额为:

$$P_{i,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right)。$$

假设 T 轮剩下 n 名投标者($i=1, \dots, n$), $p_{1,T}^* = \min(p_{1,T}^*, p_{2,T}^*, \dots, p_{n,T}^*)$, 中标者为投标者 1, 平台利润为:

$$\pi_{platform} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{i,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right) - [P_{1,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{i,T}^* - P_{1,T}^* > 0$$

可见，平台在此情境下获得正利润，满足后验个体理性。

考虑一个极端情况，假设 t 轮时，只剩下投标者 1 和投标者 2 两人，

$p_{1,t}^* < p_{2,t}^* < p_{1,t}^* + 2\beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right)$ 。此时, $P_t^{obs} = \frac{1}{2} (p_{1,t}^* + p_{2,t}^*) + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right)$, 投标者 2

退出条件为:

$$\begin{aligned} p_{2,t}^* &> \frac{1}{2} (p_{1,t}^* + p_{2,t}^*) + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) \\ p_{2,t}^* &> p_{1,t}^* + 2\beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) \end{aligned}$$

由于该不等式不成立，投标者 2 留在机制中，参与下一轮投标。根据设定，在形成“最后两人局面”后平台将关闭投标入口，不再接受新参与者，此时退出行为仅由拥堵调整项驱动。由于投标者 2 的名义报价高于投标者 1，其对应的有效报价将在较早的轮次超过门槛价格，从而率先满足退出条件。因此，即使两名投标者都持续参与竞拍，随着拥堵项的逐轮调整，投标者 2 也将优先被淘汰，最终投标者 1 获胜，平台支付金额： $P_{1,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right)$ ，向资源方收取

$P_T^{obs} = \frac{1}{2} (p_{1,T}^* + p_{2,T}^*) + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right)$ ，平台利润为：

$$\begin{aligned} \pi_{platform} &= \frac{1}{2} (p_{1,T}^* + p_{2,T}^*) + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right) - [P_{1,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right)] \\ &= \frac{1}{2} (p_{2,T}^* - p_{1,T}^*) > 0 \end{aligned}$$

在极端设定下，平台后验个体理性仍满足。

平台先验理性分析 (Ex-Ante Individual Rationality)

平台在机制启动前，其预期收益取决于最终报价分布。假设 T 轮剩下 n 名投标者 ($i=1, \dots, n$)， $p_{1,T}^* = \min(p_{1,T}^*, p_{2,T}^*, \dots, p_{n,T}^*)$ ，中标者为投标者 1。平台预期利润为：

$$\begin{aligned} E(\pi_{platform}) &= E \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{i,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right) \right] - E \left[\min(p_{1,T}, \dots, p_{n,T}) + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right) \right] \\ &= E \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{i,T}^* \right) - E[\min(p_{1,T}, \dots, p_{n,T})] \end{aligned}$$

根据 Jensen 不等式及 order statistics 的基本性质，平均值始终大于等于最小值，且严格大于的情况在实际投标中广泛存在，因此：

$$E \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{i,T}^* \right) > E[\min(p_{1,T}, \dots, p_{n,T})]$$

$$E(\pi_{platform}) = E(p_{i,T}^*) - E[\min(p_{1,T}, \dots, p_{n,T})] > 0$$

从而可得，平台在机制启动前具备非负预期收益，满足先验个体理性。

5.2 投标者的先验与后验理性

投标者后验理性分析 (Ex-Post Individual Rationality)

投标者每轮的最优名义出价可表示为：

$$\begin{aligned} P_{i,t}^* = & TC_{i,t-1} - Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\mathcal{H}_t | \tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\ & - Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \\ & + Prob(P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \end{aligned}$$

其简化表达为： $P_{i,t}^* = TC_{i,t-1} - \left| \frac{A}{A'} \right| + \left| \frac{B}{B'} \right| - \left| \frac{C}{C'} \right|$ ，中标者获得实际成交价格为

$\tilde{P}_{i,T} = P_{i,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_T}{CA} \right) = TC_{i,t} - \left| \frac{A}{A'} \right| + \left| \frac{B}{B'} \right| - \left| \frac{C}{C'} \right|$ ，最终净利润为

$$\pi_{winner} = - \left| \frac{A}{A'} \right| + \left| \frac{B}{B'} \right| - \left| \frac{C}{C'} \right|$$

在结构上，尽管 $-\frac{B}{B'}$ 是三个项中唯一的正项，它却对实际成本 $TC_{i,t}$ 与有效报价

$\tilde{P}_{i,T}$ 之间的关系具有决定性影响。具体而言，B 项代表生存概率，是累计分布

函数 $F(P)$ ，而 A 与 C 分别为密度函数。在经济分析中，当 P 为有效价格 $\tilde{P}_{i,t}$ 而

$F(P)$ 代表生存概率时， $\left| \frac{F(P)}{f(P)} \right|$ 通常被称作 inverse hazard rate，其值恒为正。由

于概率密度在尾部衰减显著，在 $\tilde{P}_{i,t}$ 接近尾部时 $\left| \frac{F(P)}{f(P)} \right|$ 甚至趋于无穷大，远大于和

$\frac{C}{C'}$ ，因而更有可能成为决定投标者有效出价水平的主导项。

在数值层面，根据模型设定，当理性投标者发现其最优报价 $P_{i,T}^* < TC_{i,t-1}$ ，即

实际成交价格 $\tilde{P}_{i,t} < TC_{i,t}$ 时，为避免负利润，其将主动退出竞标。因此，机制

满足投标者的后验个体理性。

投标者先验理性分析 (Ex-Ante Individual Rationality)

从先验视角出发，假设该机制共进行 T 轮拍卖，投标者 i 获胜的概率为：

$$Prob(win) = Prob(\tilde{P}_{i,1} \leq P_1^{obs}, \tilde{P}_{i,2} \leq P_2^{obs}, \dots, \tilde{P}_{i,T} \leq P_T^{obs})$$

由于各轮出价彼此独立，且每轮门槛价格 P_t^{obs} 是由所有投标者的有效报价分布共同决定，故可以得到投标者的预期利润：

$$E(\pi_{bidder_i}) = (\tilde{P}_{i,T} - TC_{i,T}) \prod_{t=1}^T Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})$$

根据机制设计，投标者仅在最优名义 $P_{i,T}^* \geq TC_{i,T-1}$ 的前提下才会选择继续参与，因此 $\tilde{P}_{i,t} - TC_{i,t}$ 始终非负。而概率不为负数，因此 $E(\pi_{bidder_i}) \geq 0$ ，机制满足投标者先验个体理性。

六、分配效率分析

为了系统评估文章所提出的动态多轮竞价机制在资源配置效率 (allocative efficiency) 方面的表现，本文将从三个维度进行分析：是否实现成本最低的配置（静态效率）、是否激励投标者如实揭示其真实成本（策略简单性），以及是否在中标后有效降低违约风险（事后稳健性）。在每一方面，本文将以传统的单轮二级价格拍卖 (second-price sealed-bid auction) 作为对比基准，展示在面对需求波动等现实情境时，动态机制如何展现出更优的效率表现。通过这种结构化的对比分析，能够更清晰地揭示将拥堵和需求变化纳入定价过程所带来的潜在制度优势。本文提出的动态多轮竞价机制允许场外投标者在拍卖过程中动态加入。然而，为了使与传统机制的对比更加具备可比性，以下分析将暂时不考虑该机制中的投标者灵活进入这一设定。

6.1 动态多轮竞价机制

本机制设定下，投标者在除运输成本以外的其他方面完全对称，每轮不同投标者运输成本间的差异由由外生给定 D_i 决定。所有投标者为完全理性行为者，在每一轮均采用最优回应策略。每一轮有效报价 $\tilde{P}_{i,t} > P_t^{obs}$ 会被淘汰；其最优回应为 $\tilde{P}_{i,t}^* = TC_{i,t} + markup_i$ 。有效报价和运输成本成正比 $\tilde{P}_{i,t}^* \propto TC_{i,t}$ ，运输成本 $TC_{i,t}$ 高的投标者更有可能出价较高，进而更早被淘汰，实现“低成本者存续”的选择机制。

$markup_i$ 中的主导项为 $\left| Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs}) \cdot \left[\frac{\partial Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})}{\partial \tilde{P}_{i,t}} \right]^{-1} \right|$ ，可以简略地表达为 $\left| \frac{F(P)}{f(P)} \right|$ ，其中 $F(P)$ 为有效报价的生存概率，即 $Prob(\tilde{P}_{i,t} \leq P_t^{obs})$ ； $f(P)$ 为其概率密度函数，结构上为典型的 inverse hazard。 $F(P)$ 为单调递减函数，当 $\tilde{P}_{i,t}$ 越高时，生存概率越低。在有效报价 $\tilde{P}_{i,t}$ 接近均值时，分母 $f(P)$ 数值较大；而当 $\tilde{P}_{i,t}$ 趋近于尾部时，分母 $f(P)$ 衰减较快，导致 $markup_i$ 迅速上升。该设计保证了三点：第一、过高报价会导致 $markup_i$ 上升，促使高成本投标者更快被淘汰；第二、对于低成本者，即使出现较高 $markup_i$ ，其绝对有效报价仍低于门槛，不会被机制误伤；第三、当投标者的报价接近门槛价格时， $markup_i$ 收缩至较小数值，此时投标者的有效报价基本等于其运输成本，机制对淘汰与否的判断主要取决于成本本身而非策略性扰动。

换言之，较大的 $markup_i$ 仅在投标者的运输成本处于极端高或低的情形下才会出现。在动态拍卖的前期， $markup_i$ 对出价存在一定扰动，可能会导致运输成本最低的投标者的前几轮最优出价并不是最低的，但不会造成对低成本投标者

的误淘汰，且该偏差具有渐进可控性。随着高运输成本的投标者逐轮被淘汰，剩余投标者的报价分布趋于集中，门槛价格 P_t^{obs} （即存续投标者报价的均值）将逐步向低成本投标者的出价靠拢。低成本投标者面临的 $markup_i$ 持续减小，其最优策略自然收敛于真实运输成本 $TC_{i,t}$ ，实现所谓的渐近真实性。总而言之，在前期，机制不会造成对低成本投标者的误淘汰；而在后期，通过使有效报价与运输成本之间逐步呈现出稳定的正比例关系，机制确保运输成本最低的投标者胜出，实现成本最小化的资源配置目标。

此外，该机制还通过信息更新与定价调整，进一步增强了投标行为的前瞻性与稳健性。每一轮平台通过公布门槛价格 $P_t^{obs} = \frac{1}{n_t} \int_{i \in n_t} P_{i,t} di + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right)$ 以及其构成公式，向投标者传递了有关当前网络拥堵状况的最新信息，使得投标者可以在 $t+1$ 轮中，基于上一轮观察到的运输成本 $TC_{i,t}$ ，制定其最优回应策略 $P_{i,t+1}^* = TC_{i,t} + markup_i$ 。随着轮次推进，场上所剩的投标者数量越来越少，且相邻两轮之间的时间间隔缩短，使得 $TC_{i,t}$ 趋近于 $TC_{i,t+1}$ 的真实值，因此，基于过去轮次的成本信息进行策略制定的有效性也不断提升。尽管在最终两轮

（第 T 轮与 $T-1$ 轮）之间仍可能存在由拥堵水平波动带来的不确定性，机制设计通过如下调整克服该风险：中标者最终获得的有效价格为 $\tilde{P}_{i,T} = P_{i,T} +$

$\beta \left(\frac{DE_T - DE_{T-1}}{CA} \right)$ ，从而其最终利润为：

$$\pi_i = P_{i,T}^* + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) - \left[TC_{i,T-1} + \beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right) \right] = P_{i,T}^* - TC_{i,T-1} = markup_i$$

可见，中标者的实际收入与其运输成本实现“同升同降”，即使在存在需求扰动的情形下，其收益仍能得到有效保障，从而消除事后违约的激励。需要强调的

是，该部分不确定性由平台作为中介转嫁至资源供应商一端。鉴于最终两轮之间的时间间隔较短，平台所面临的风险暴露处于可控范围之内。

6.2 单轮二级价格拍卖

在投标场景中，我们考虑传统的单轮二级价格拍卖作为对照基准。在该机制下，所有投标者在同一时间点提交不可更改的报价，系统随后选出报价最低者作为中标者，但其支付价格为第二低报价。该机制的一个优势在于：每位投标者的最优策略是在不知道他人报价的情况下如实申报自己的成本估计，即具备策略简约性。

然而，该机制也存在局限性：第一、中标者是对未来运输成本估值最低的投标者，而不一定是实际运输成本最低者。只有当所有投标者估计未来运输成本的方式不仅是线性的，而且具有相同的斜率与截距时，才能保证中标者具备最低实际成本。而现实中估计偏差是常态，这种机制设计可能**错配资源**。相比之下，本文提出的多轮动态机制通过逐轮信息更新，使得投标行为在渐进意义上趋近于真实成本，从而更稳健地实现成本最小化配置。

第二、风险暴露在投标者一方。所有报价在 $t=0$ 一次性提交，而实际履约往往发生在更靠后的 $t=T$ 时间点。则投标者在 $t=0$ 基于当下 $TC_{i,0}$ 对未来做出的估算运输成本，若此期间拥堵程度发生变化， $\widehat{TC}_{i,T}$ 与实际履约时的 $TC_{i,T}$ 有显著偏离，尤其在存在需求波动的环境中更为明显。存在中标者因成本激增 $TC_{i,T} \gg \widehat{TC}_{i,T}$ 导致负利润 ($\pi_i = P_{i,0}^* - TC_{i,T} < -$)，**增加事后违约风险**。而动态机制中，平台每轮发布的门槛价格 P_t^{obs} 中包含对拥堵变化的调整项 $\beta \Delta \left(\frac{DE_t}{CA} \right)$ ，该项直接作

用于中标价格，使最终收入与真实成本同步上升/下降，帮助投标者规避事后风险。

七、买方成本控制与价格稳定

我们将传统的单轮二级价格拍卖与本文提出的动态多轮门槛调整拍卖机制进行了买方支付方面的对比分析。

在动态模型中，平台在每一轮公布的门槛价格中引入了最新的拥堵信息，允许投标者逐轮更新报价。当最后一轮剩下两人时，买方支付的是两人报价的均值，再加上最新一轮的拥堵调整项。由于随着轮次推进，markup 项趋于零，报价越来越接近真实成本，因此买方支付价格约等于真实运输成本的均值。若只有两位投标者，在单轮二级拍卖中，买方需支付的是其中的第二低报价，投标者根据对未来运输成本的估计进行真实报价，则支付价格实际上等于两者中估计成本更高的一方，即 $Max(P_{1,T}, P_{2,T}) = Max(\widehat{TC}_{1,T}, \widehat{TC}_{2,T})$ 。假设在单轮二级拍卖中投标者对未来运输成本的估计接近真实值时，动态模型能为资源供应商和需求方带来更具吸引力的交易价格。

当最终阶段仍有多位投标者时，动态拍卖机制与单轮二级价格拍卖在买方支付成本上的优劣并无确定性判断，结果高度依赖于参与投标者的数量及其运输成本 $\widehat{TC}_{i,T}$ 以及 $TC_{i,T-1}$ 的分布特征。即使在理论上假设投标者能准确估计自身未来运输成本，在价格波动和投标者异质性的影响下，两种机制的比较优势仍不稳定。然而，在现实情境中，理想化假设往往难以成立。投标者可能无法准确预测履约时的真实成本，二级拍卖模型下的报价行为也未必完全围绕真实成本

展开。而本文提出的动态多轮拍卖机制，通过逐轮调整门槛价格并引导投标者据实更新报价，更贴近实际操作环境，从而为资源供应方构建了一个更具稳定性的收益结构。