arXiv:2601.01013v1 [cs.GT] 3 Jan 2026

Carroll 机制：机遇、挑战与议程[1]

Philip N. Brown[2] 和 Connor McCormick[3]

目录

1 引言 2

2 相关工作 3

3 既定基础 4

3.1 Carroll 结构 .43.2 组合型 LMSR.53.3 边：如何编码关系.63.3.1 其他类型的边／关系 .63.4 可编程市场 .73.4.1 添加原子命题 .73.4.2 添加成对命题：负向初始化 .103.4.3 基于黄金比例的方法 .113.5 扩展方案：（尚未经过充分测试或分析） .113.5.1 循环卡罗尔结构 .113.5.2 值得研究的可能最坏情况图 .12

4 认识论层 度：开放问题1 2

4.1 高层次的预期功能 .124.1.1 基本功能 .134.1.2 预期属性 .144.2 机制要求 .144.2.1 要求：奖励真诚重新质押.144.2.2 要求：重新质押奖励双重 vindication .144.2.3 要求：不应奖励虚假信息 .154.2.4 要求：不应奖励无关再质押 .154.2.5 要求：再质押初始化攻击（RIA）防护 .164.3 机制挑战 .174.3.1 怀疑和改变想法是否必要？ .174.3.2 从认识论角度看，改变想法意味着什么？ .184.3.3 非对称诚实性验证 .184.3.4 如何在赋权善的同时不赋权恶？ .184.4 失效模式与威胁模型 .184.4.1 风险：再质押会产生过强的否定效应。 .194.4.2 资本抽取攻击 .19

[1]本研究由 ScrollDAO 通过 proposalFY25-RnDAO 资助。[2]布朗博士（philipnbrown@gmail.com）以付费顾问身份参与了这项研究，任职于网络商品研究所；他也是美国科罗拉多大学科罗拉多斯普林斯分校的计算机科学副教授。[3] Connor McCormick（cnnr.mccrmck@gmail.com）任职于网络商品研究所（https://www.networkgoods.institute/）。

4.4.3 有钱利益集团很容易利用怀疑来压制再质押。 . . . . . 194.5 实现尝试 .194.5.1 将认识论杠杆作为杠杆收购 .194.5.2 将认识论杠杆作为虚拟购买 .20

5 研究议程 **21**

5.1 当前总体议程 .215.1.1 明确且具体的系统目标陈述 .215.1.2 明确且具体的元架构.235.1.3 更为广泛的文献综述 .23

5.2 认识论杠杆的关键问题 .24

5.2.1 目标：将认识论杠杆陈述为一种 属性。 .245.2.2 问题： 为什么 我们希望参与者揭示其推理过程？ . . . . . 245.2.3 关键问题：是否需要声誉？ .255.2.4 关键底层问题：Restake 是否实现了其所需功能？ . . . . . 255.2.5 关键底层问题：Restake 能否防范初始化攻击？ 25

5.3 模型备注 .26

5.3.1 暂时假设困难部分不存在。.265.3.2 怀疑是否完全且直接地与声誉相关？ .265.3.3 异质先验是否有用武之地？ .26

5.4 机制备注 .275.4.1 自我结算预测市场： .275.4.2 Restake 是一种预先承诺的开关 $A \to B$，价格预先设定： . . . . . 285.4.3 Restake 是一种之后买入的合约 A： .285.4.4 Restake 是“买入 $A \wedge r$ 的份额 ”： .29

6 结论 **29**

1. 引言

Carroll 机制旨在通过激励参与者公开其推理过程，促进群体自主理解与基于推理的决策。我们设想，Carroll 机制将建立在网络化组合型 LMSR 的基础之上，从而继承市场评分规则和自动化做市商的理想特性。2025年秋季，我们在构建这一基础方面取得了长足进展（摘要见第 3 节），但仍有几个重要问题尚待解决，而且这项工作也带来了若干新的重大问题。本文旨在清晰地阐述这些问题，并提出解决这些问题的研究计划。

尽管本文内容详尽、涉及诸多问题，但我认为，未来研究计划中最重要的部分是：

1. 清晰、具体地阐明系统目标：我们希望这项工作解决什么问题？现有系统为何尚未解决这一问题？2. 清晰、具体地说明元架构：例如，系统会采取行动（向选定的利益相关者拨付资金），还是仅提供建议？系统是在截止期限模型、静止模型下运行，还是采用其他方式？系统是否真的是 Futarchy 的扩展，还是仅以类似方式运行？

3. 更深入、更全面地开展文献综述，以了解其他人处理这一问题及相关问题的方式。

本文旨在清晰记录我们迄今取得的进展和工作中的不足，为撰写这三篇文章奠定基础。2025 年秋季项目完全聚焦于一种新颖的网络化组合式 LMSR 方法（第3节），并加入了 Restake、怀疑和改变想法等可供性（第4节）。组合式 LMSR 核心架构支持多种功能，最初看来是一条极具前景的开发方向。此外，促成该项目的前期工作已清晰构想出 Restake、怀疑和改变想法机制，这些机制对我们选择这一方向产生了重大影响。因此，在项目启动之初，鉴于我们对初步工作的了解，我们认为采用以实现和开发为主的方案是合理的。然而，我们未能找到一种将这些可供性恰当地整合进 LMSR 框架的实现方案，既能实现我们的目标，又不会引入具有破坏性的攻击向量或失效模式。

此外，我们的技术和概念基础仍存在一些尚未解决的问题：

1. 关于是否需要怀疑/改变想法机制，存在概念上的疑虑：参见第 4.3.1 节。2. 目前，技术性的组合式 LMSR 框架无法解决两个命题之间的相关性 问题，除了可能的 自我结算预测市场（参见第 5.4.1 节）之外，我们没有特别有希望的线索。3. 类似地，LMSR 框架目前无法以有原则的方式处理决策（即，所有节点和边实际上都被建模为可结算预测市场）。

鉴于这些不足，以及我们尚未对第 2 页提出的主要问题给出令人满意的答案，我们认为现在正是合适的时机，可以“跳出当前视角”，着手处理第 2 页顶部列出的三个关键事项。关于我们目前对这些事项的理解，详见第5.1 节。本文档整体结构如下：第 2 节简要回顾文献，第 3 节介绍技术基础，第 4 节深入探讨认识论杠杆问题的目标与难点，第 5 节则提出全面的研究计划。

2. 相关工作

以下简要列出一些相关论文；这并非详尽无遗，而是可作为开展更全面文献综述这一漫长工作的起点。

首先，这里有一篇关于预测市场的优秀（但较早的）综述，出自 2010 [1]。这是开始了解这些系统的绝佳起点。另一个不错的起点是 Hanson 早期的一些研究，例如 [2]。本文的核心是组合型 LMSR 的概念；我最喜欢的阐述见 [3], , 不过 [2,4,5] 中也有其他相关信息，此外还有一些近期研究 [6]。

决策市场对我们而言是一个重要的研究场景；然而，使用类似预测市场的机制来作出现实世界决策，通常似乎是个难题。例如，Othman 和 Sandholm [7]展示了某些类型的决策市场中普遍存在的一种“操纵”方式：中立的完全知情交易者可以通过促使市场选出次优结果而使自己获利。陈怡玲有一篇很不错的后续论文 [8], , 并在其期刊论文 [9]中进一步探讨了决策过程中对混合策略的要求。

决策市场之外但仍与之相关的场景，是市场预测会对被预测的分数产生一定影响的情形；例如，选民会根据选举结果的预测作出回应。关于这类问题已有相当多的研究；例如，在下面这个场景中，只有当某些决策者（相对于正在讨论的议题而言）不太可能参与市场时，才会出现良好的均衡 [10]。下面还有一个例子，讨论的是“表演性”预测，即会影响事件结果的预测 [11]。

最后，这篇近期发表的论文与我们的“相关性 elicitation”问题有关；它提出了首个针对不可验证结果的激励相容的自我结算预测市场 [12]。所提出机制的激励相容性结果依赖于一些在我们的场景中可能不成立的假设，但该机制或许能为我们进行相关性 elicitation，甚至作出治理决策提供一些机会。我们将在第 5.4.1 节进一步讨论这一点，并得出结论（以及其他结论）：共同先验假设是自我结算预测市场具有真实性的必要条件。即使缺乏真实性性质，它们仍有可能对我们的目的有用。

3. 既定基础

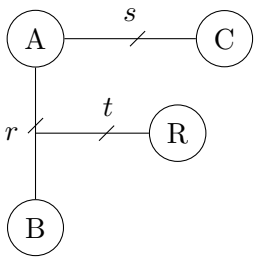
本节将概述 Carroll 结构、Carroll 对齐的组合对数市场评分规则及相关算法的形式化内容。除我们提供的代码外，本节也是 2025年秋季这项工作的主要技术文档来源。

3.1 Carroll 结构

A卡罗尔结构 构是由命题构成的网络化集合 Π，其中一个命题 $\pi \in \Pi$ 要么是 r

- 一个原子命题 $\pi = p$，要么是
- 两个不同命题的有序对 $\pi = (p', p'')$，满足 $p' \neq p''$，$\pi \neq p''$，且p' 是原子命题。

因此， Π 从潜在递归的意义上说，一个配对命题最多可以包含另一个配对命题；参见本例中的 t:



这里的命题集合为

$$\begin{aligned}\Pi = \{&A,\\ &B,\\ &C,\\ &R,\\ &r = (B, A),\\ &s = (C, A),\\ &t = (R, r)\}.\end{aligned}$$

配对命题 $r = (B,\ A)$ 的存在对以下命题的真值施加了逻辑约束： r， B，以及 A. 该逻辑约束可以配置，但在本文中，我们将默认约束视为这三个命题的与非： $\neg(A \wedge B \wedge r)$；也就是说，命题 r， B， A 不可能同时有超过两个为真。在第3.3节中，我们将讨论除与非之外其他逻辑约束的编码技术细节。请注意，我们通常将配对命题称为边。

3.2 组合型 LMSR

对数市场评分规则（LMSR）是一种数学形式化方法，可在预测市场中实现自动化做市。LMSR 机制会针对一组可能结果维持自洽的概率分布，并以边际价格的形式向交易者传达每种结果的概率。基本 LMSR 的数学运作方式如下 [2, 4]。设有一组结果 Ω；LMSR 允许交易者购买任意证券$\omega \in \Omega$。证券 ω 是一种合约，形式为“若结果 \$1 发生，则支付 ω；否则支付 \$0”。请注意，在这种形式化表示中，结果空间互斥且完备：Ω 中恰有一个结果会发生。按照 [3], 的记法，我们用 $\mathbf{q} = (q_\omega)_{\omega \in \Omega}$ 表示所有证券的流通股份数量。市场以 $\mathbf{q} = \mathbf{q}^0$初始化；具体情况见第 3.4 节。随着时间推移，做市商使用成本函数跟踪所有流通股份 $\mathbf{q}$。

$$C(\mathbf{q}) = b \log \sum_{\omega \in \Omega} e^{q_\omega / b}. \tag{1}$$

这里， b 是一个称为流动性参数的正参数； b 的值越大，推动市场价格变动所需的资本就越多。成本函数在交易中充当势函数： $C(\mathbf{q})$表示“存放于”做市商处的资本数量，因此$C(\mathbf{q}^0)$表示做市商的初始补贴和最终最大成本。[4] 因此，将流通股份数量从$\mathbf{q}$ 变为 $\tilde{\mathbf{q}}$ 的交易成本就是 $C(\tilde{\mathbf{q}}) - C(\mathbf{q})$。

从交易者的角度来看，证券的瞬时价格可解释为相关结果的隐含概率。由于做市商机制的运作，证券 ω 的瞬时价格 $p_\omega(\mathbf{q})$，就是成本函数对 q_ω的偏导数：

$$p_\omega(\mathbf{q}) = \frac{e^{q_\omega / b}}{\sum_{\omega' \in \Omega} e^{q_{\omega'} / b}}. \tag{2}$$

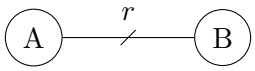
组合型 LMSR 通过允许交易者针对事件的逻辑组合进行具体下注（例如，若结果空间由互斥事件组成（A、 B、 C），组合型 LMSR 允许交易者交易诸如（A 或 B）这样的复合证券），提供了更进一步的推理方式。复合证券 $S \subset \Omega$是一种合约，形式为“若集合S 中的某个结果发生，则支付 1 美元，否则支付 0 美元”。交易者购买 q 份复合证券S，在数学上等价于购买每种证券 $\omega \in S$的 q 份。我们用 Θ表示所有复合证券的集合，用 $Q = (q_S)_{S \in \Theta}$ 表示所有复合证券的流通股份。注意到$q_\omega = \sum_{S \in \Theta : \omega \in S} q_S$，组合情形下的成本函数和价格函数分别与式（1）和式（2）形式相同。具体而言，复合证券 S 的价格等于其组成证券 ω的价格之和：

$$p_S(Q) = \frac{\sum_{\omega \in S} e^{q_\omega / b}}{\sum_{\omega' \in \Omega} e^{q_{\omega'} / b}}. \tag{3}$$

[4]不过请注意，如果任何证券 $\omega \in \Omega$ 具有 $q_\omega^0 < 0$，做市商的净成本可能会超过 $C(\mathbf{q}^0)$。

3.3 边：如何编码关系

在本节中，我们先从以下简单的 Carroll 结构开始：



该结构包含命题 $\Pi = \{A, B, r\}$，其中 $r \equiv \neg(A \wedge B)$。理解这种 Carroll 结构有多种方式；例如，可以将 r 视为一个“开关”：如果$r \equiv$为 False，那么 A 和 B 在逻辑上相互独立；但如果 $r \equiv$ 为 True，那么 A 和 B 中只有一个可以为 True。也就是说， r 在针对 A 和 B的两种不同真值表之间切换。另一种理解方式是，Carroll 结构本身等价于命题 $\neg(A \wedge B \wedge r)$。这种表述尤其便于将 Carroll 结构直接编码到组合型 LMSR 的结果空间中。

为此，我们为 Carroll 结构所允许的每一种可行真值赋值（即满足 $\neg(A \wedge B \wedge r)$ 的赋值）关联一个结果 ω 。对于上文的示例$A,\ B,\ r$结构，这样的可行赋值共有 7 种。有趣的是，如果没有 Carroll约束，可行结果共有 8 种；因此，与“原版”组合型 LMSR 相比，将 Carroll 逻辑直接编码到结果空间中确实能带来一些（或许不大的）计算收益。

3.3.1 其他类型的边/关系

本文档中大多数相关测试和实验都采用配对命题的与非解释。不过，也可以采用任何其他逻辑关系。这里介绍两个具体示例。请注意，在所有这些示例中，关系本身都是基本命题，因此可以进行交易：市场决定与非/支持/等价关系的强度。

- **支持**。“支持”关系是一种有向关系，用来编码从源到目标的蕴含。也就是说，在包含 $r = (B, A)$ 的 Carroll 结构中，若 $r =$ 为真，则会强制满足约束 $B \implies A$ ，或等价地满足 $\neg B \vee A$。在对应的组合型 LMSR 中，只允许满足 $(A \vee \neg B \vee \neg r)$ 的结果。由于这样的结果有 7 种，支持关系的计算复杂度与标准的与非关系相同。

- **等价**。“等价”关系是一种无向关系，它会强制源和目标具有相同的真值。也就是说，在包含 $r = (B, A)$ 的 Carroll 结构中，若 $r =$ 为真，则会强制满足约束 $B \equiv A$ ，或等价地满足 $(A \wedge B) \vee (\neg A \wedge \neg B)$。在对应的组合型 LMSR 中，只允许满足

$$\neg r \vee (A \wedge B) \vee (\neg A \wedge \neg B)$$

  均允许。请注意，这类结果只有 6 种；因此，等价关系的计算效率高于与非和支持关系。

- **超越二元：超边**。 原则上，没有什么能够阻止我们实现超越简单图结构的逻辑关系；例如，可以通过引入命题 r ，并只允许满足该命题的结果，来在 A、 B、 C 之间建立可切换的三元与非关系

$$\neg(r \wedge A \wedge B \wedge C).$$

这在数学上完全严谨且可行，并且在某些情况下可能具有优势。不过，必须仔细考量此类方法对计算复杂度的影响。我们的扩展方案（第 3.5 节）很可能高度依赖稀疏图结构。

3.4 可编程市场

为了充分释放 Carroll 机制和组合型 LMSR 的潜力，交易者需要能够在尽可能少的限制下添加新命题。理想情况下，交易者应能随时添加新的基本命题或配对命题。然而，经典 LMSR 文献并未考虑这一功能——传统上，人们假设结果空间由集中式市场运营方预先设定，且在交易过程中保持不变。因此，我们必须留意动态结构可能引发的若干问题：

1. 为防止垃圾信息，添加新命题不应是免费的。2. 引入新命题时，不应改变任何现有证券的价格。3. 引入新命题时，不应改变所有交易者未平仓头寸的清算价值。4. 新命题的初始价格应当可预测，并且对普通交易者而言“合情合理”。这一特性可能难以实现。

我们已经对可编程市场这一概念进行了一些初步研究，试图解决这些问题。然而，看来一些直接的方法可能存在难以克服的问题。

让我们考虑两种不同的操作：

- 添加一个新的原子命题，以及
- 添加一个新的配对命题。

我们逐一讨论。

3.4.1 添加原子命题

首先考虑向现有的 Carroll 结构 Π 中添加一个原子命题 S 的情况。直观来看，只添加一个没有边的原子命题似乎是合理的，因为 S 与所有其他命题概率独立，便可立即满足上述关注点 2 和 3。我们在此证明，事实确实如此。

添加新的原子命题 S 时，我们约定将份额数初始化为 0；即 $q_S = 0$。添加 S 之前，将 LMSR 结果集合记为 Ω；添加 S 之后，将~LMSR 结果集合记为 Ω。请注意，添加 S 会使结果数量恰好翻倍，~因为对于 Ω 中的每个结果 $\omega \in$ ，Ω 中都有一个结果使 $S =$ 为真，也有一个结果使 $S =$ 为假。我们采用~以下约定：若 $\omega \in \Omega$，则写作 $\omega \in \Omega$，表示 ω 中 $S =$ 为真的版本；而 $\tilde{\omega} \in \Omega$ 表示 ω 中 $S =$ 为假的版本。

添加新命题要求我们更新所有先前存在的份额数量，并初始化新创股份的数量。令 q_ω 表示添加 S 之前结果 ω 的份额数量，令 $\tilde{q}_\omega$ 表示添加

~S。对于任意满足 $\omega' \notin \Omega$ 的 $\omega' \in$~Ω，我们同样用 $\tilde{q}_{\omega'}$ 表示新创股份的数量。

~由于 $\Theta = \Theta \setminus S$ 和 $q_S = 0$，对于任意 $\omega \in \Omega$（即 $\omega \in S$），更新后的数量满足 $\tilde{q}_\omega = q_\omega$：

$$\begin{aligned}\tilde{q}_\omega &= \sum_{T \in \tilde{\Theta}: \omega \in T} q_T \\ &= q_S + \sum_{T \in \tilde{\Theta} \setminus S: \omega \in T} q_T \\ &= \sum_{T \in \Theta: \omega \in T} q_T = q_\omega.\end{aligned}$$

~同样，对于任意新创建的 $\omega' \in$~Ω，若 ω' 是 $\omega \in \Omega$ 的 $S =$ False 版本（即 $\omega' \notin S$），则有 $\tilde{q}_{\omega'} = q_\omega$：

$$\begin{aligned}\tilde{q}_{\omega'} &= \sum_{T \in \tilde{\Theta}: \omega' \in T} q_T \\ &= \sum_{T \in \tilde{\Theta} \setminus S: \omega' \in T} q_T \\ &= \sum_{T \in \Theta: \omega \in T} q_T = q_\omega.\end{aligned}$$

~这意味着我们有 $\tilde{p}_S(Q) = 1/2$，足以满足关注点 #4。这是因为对于~每个 $\omega \in$~Ω，我们都有 $\tilde{q}_\omega = \tilde{q}_{\omega'}$，而且 Ω 中恰好有一半的证券也是 S 的成员：

$$\begin{aligned}\sum_{\tau \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}_\tau / b} &= \sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}_\omega / b} + \sum_{\omega' \notin S} e^{\tilde{q}_{\omega'} / b} &(4)\\ &= 2 \sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}_\omega / b}, &(5)\end{aligned}$$

这意味着

$$\begin{aligned}\tilde{p}_S(\tilde{Q}) &= \frac{\sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}_\omega / b}}{\sum_{\tau \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}_\tau / b}} &(6)\\ &= \frac{\sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}_\omega / b}}{2 \sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}_\omega / b}} = \frac{1}{2}. &(7)\end{aligned}$$

此外，对于 ~r 每一种其他证券 $T \in \Theta$，$\tilde{p}_T(Q) = p_T(Q)$，这符合我们的起源 al

关注点 #2。这是因为 $\omega \in S$ 等价于 $\omega \in \Omega$，而且 $\tilde{q}_\omega = \tilde{q}_{\omega'}$ ：

$$= \frac{\sum_{\omega \in T} e^{\tilde{q}_\omega / b}}{\sum_{\tau \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}_\tau / b}} \tag{8}$$

$$= \frac{\sum_{\omega \in S, \omega \in T} e^{\tilde{q}_\omega / b} + \sum_{\omega' \notin S, \omega' \in T} e^{\tilde{q}_{\omega'} / b}}{\sum_{\tau \in S} e^{\tilde{q}_\tau / b} + \sum_{\tau' \notin S} e^{\tilde{q}_{\tau'} / b}} \tag{9}$$

$$= \frac{2 \sum_{\omega \in S, \omega \in T} e^{\tilde{q}_\omega / b}}{2 \sum_{\tau \in S} e^{\tilde{q}_\tau / b}} \tag{10}$$

$$= \frac{\sum_{\omega \in T} e^{\tilde{q}_\omega / b}}{\sum_{\tau \in \Omega} e^{\tilde{q}_\tau / b}} \tag{11}$$

$$= \frac{\sum_{\omega \in T} e^{q_\omega / b}}{\sum_{\tau \in \Omega} e^{q_\tau / b}} = p_T(Q). \tag{12}$$

接下来，我们需要验证，添加一个新的原子命题不会改变任何流通股份的清算价值（关注点 #3）；也就是说，添加新命题不应影响现有交易者的头寸价值。为此，考虑 Θ 的两个任意股份数量向量，分别记为 Q^1 和 Q^2。对于 $i \in \{1, 2\}$，令 $\tilde{Q}^i$ 表示 $\tilde{\Theta}$ 的一个数量向量，其中对于任意 $T \in \Theta$ 都有 $\tilde{Q}^i_T = Q^i_T$，且 $\tilde{Q}^i_S = 0$。如果成本函数分别为 $C(\cdot)$ 和 $\tilde{C}(\cdot)$（分别表示添加命题 S 之前和之后的成本函数），我们要求

$$\tilde{C}(\tilde{Q}^1) - \tilde{C}(\tilde{Q}^2) = C(Q^1) - C(Q^2). \tag{13}$$

$$\tilde{C}(\tilde{Q}^1) - \tilde{C}(\tilde{Q}^2) = b \log \sum_{\omega \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}^1_\omega / b} - b \log \sum_{\omega \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}^2_\omega / b} \tag{14}$$

$$= b \log \frac{\sum_{\omega \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}^1_\omega / b}}{\sum_{\omega \in \tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}^2_\omega / b}} \tag{15}$$

$$= b \log \frac{\sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}^1_\omega / b} + \sum_{\omega \notin S} e^{\tilde{q}^1_\omega / b}}{\sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}^2_\omega / b} + \sum_{\omega \notin S} e^{\tilde{q}^2_\omega / b}} \tag{16}$$

$$= b \log \frac{2 \sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}^1_\omega / b}}{2 \sum_{\omega \in S} e^{\tilde{q}^2_\omega / b}} \tag{17}$$

$$= b \log \frac{\sum_{\omega \in \Omega} e^{q^1_\omega / b}}{\sum_{\omega \in \Omega} e^{q^2_\omega / b}} = C(Q^1) - C(Q^2). \tag{18}$$

因此，关注点 #3 得到了满足。

最后，我们将讨论定价问题，并说明成本函数意味着，每个新增命题都会被收取可预测的固定费用 $b\log 2$。我们将直接计算 ˜ ˜数量 $C(Q) - C(Q)$。推导中遵循（14）— （18）逻辑的步骤从略。

$$\tilde{C}(\tilde{Q}) - C(Q) = b\log\sum_{\omega\in\tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}_\omega/b} - b\log\sum_{\omega\in\Omega} e^{q_\omega/b} \tag{19}$$

$$= b\log\frac{2\sum_{\omega\in\Omega} e^{q_\omega/b}}{\sum_{\omega\in\Omega} e^{q_\omega/b}} = b\log 2. \tag{20}$$

$$\tag{21}$$

3.4.2 添加成对命题：负向初始化

对于成对命题（“边”），可以忽略问题 #2–#4，像初始化原子命题那样，直接将边的份额初始化为 0。这种做法虽然简单，但可解释性较差；边会以一个看似任意的价格初始化，并以看似任意的方式影响其他已有价格（从而影响清算价值）。另一种可行方法是采用第3.4.3节所述的基于黄金比例的方法。

为完整起见，我还在此介绍一种在市场内可行、但在市场结算时会失效的概念。只需将其证券余额初始化为负值（例如，$q_R^0 = -10b$），即可添加配对命题 R。然而，这通常会导致做市商资金不足，因为它可能大幅提高做市商的最大赔付额。LMSR 的最大赔付额并非 $C(q^0)$，而是 $C(q^0) + \sum_i (q_i^0)^-$；通过将 q_R^0 初始化为负数，每条边上负向初始化与 0 之间的差额可能会形成一大块未融资部分。一种可能的解决办法是，让添加边的交易者支付一笔（可能很高的）费用，以弥补最大赔付额的缺口。无论如何，分析采用负初始化的交易过程很有启发性。

在此情况下，选择一个足够大的常数 $K >> 1$，加入配对命题 R，然后将 Kb 份额的 R 幽灵股份卖出（即初始化 $q_R = -Kb$ 的负余额）。这样可以确保，由于新边是在“关闭”状态下添加的，添加该边不会影响任何现有的清算价值和价格。其结果是，任何配对命题的成本和初始价格都接近 0。

要看出这一点，只需沿用第 3.4.1 节中的论证，但将$q_R = -Kb$ 替换进去，即可看到，如果 $\omega \in R$，则有 $\tilde{q}_\omega = q_\omega - Kb$；如果 $\omega' \notin R$，则有 $\tilde{q}_{\omega'} = q_{\omega'}$。例如，$R$ 的初始价格接近 0：

$$\tilde{p}_R(\tilde{Q}) = \frac{\sum_{\omega\in R} e^{\tilde{q}_\omega/b}}{\sum_{\tau\in\tilde{\Omega}} e^{\tilde{q}_\tau/b}} \tag{22}$$

$$= \frac{\sum_{\omega\in R} e^{(q_\omega - Kb)/b}}{\sum_{\omega\in R} e^{(q_\omega - Kb)/b} + \sum_{\omega'\notin R} e^{q_{\omega'}/b}} \xrightarrow[K\to\infty]{} 0. \tag{23}$$

其他方　　与（8）-（12）和（14）-（18）类似的论证也可以用相同方式顺利推出。

3.4.3 基于黄金比例的方法

我还没有时间从解析角度验证这种方法是否有效（或为何有效），但通过数值实验，我发现了另一种在市场中初始化新点的方法。这种方法似乎相当优美，并且应当能够避免负初始化导致的资不抵债。简而言之，如果图是一棵树，并执行以下操作，似乎所有问题（#1—#4）都能得到满足。假设将配对命题$R = （A,\ B）$添加到 Carroll 结构中。令 $q^* = \log \phi \approx 0.481$，其中 $\phi \approx 1.6108$ 为黄金比例。然后，对于每个 $S \in \{R, A, B\}$，将 S的流通股数量增加 q^*；也就是说，$q_S \mathrel{+}= q^*$。只要图保持树结构，这种方法似乎就会使新增命题的初始价格为 0。5，成本约为 $1.92b$，并且能够满足其他问题（#1—#4）。目前尚不清楚这与第3.5节中的扩展方案如何衔接。

3.5 扩展方案：（尚未经过充分测试或分析）

组合型 LMSR 领域最重大的挑战之一是计算复杂度。众所周知，计算组合型 LMSR 的价格属于 #P 完全问题 [3], ，尽管相较于 $\mathcal{O}(2^{|\Pi|})$ 所给出的结果数量上界，我们略微降低了结果数量，但直接实现我们的系统仍然会随规模增长而呈指数级扩张。

不过，我们的初步实验表明，可以利用树状（也可能是任何稀疏的）Carroll 结构来缓解扩展问题，甚至可能彻底消除该问题。我们的解决方案将大型 Carroll 结构 Π 拆分为规模相近的两部分 Π^1 ，并使其满足：恰好有一个连接命题 L 同时属于这两部分。如果交易者购买（或出售）一项证券$A \in \Pi^1$，就会导致两部分中连接命题 L 的价格出现差异。为消除这一差异，系统会在 Π^2 中执行一次针对 L的虚拟 购买，以使 L 在 Π^1 和 Π^2 中的价格相等（在所提供的 Python 代码中，这是通过 Market Maker.buy to price 方法实现的）。同样，如果交易者购买（或出售）一项证券 $B \in \Pi^1 \setminus \Pi^2$，系统会在 Π^1 中执行一次针对 L 的虚拟购买，以使两个 L价格相等。

只要对每个部分的大小设定一个足够小的上界 Π^i，这里的扩展优势就非常显著。假设每个部分最多允许包含 M 个命题。那么结果总数最多约为 $|\Pi|/M \cdot 2^M$ （因为 Carroll 结构被分成了约 $|\Pi|/M$ 个片段）；也就是说，渐近上界为 $\mathcal{O}(|\Pi|)$，其中常数关于 M 呈指数增长。如果 M 保持较低（即不超过 10），实际性能应该相当不错。

我们尚未进行深入的数学分析来探究这种缩放方法的极限，但数值实验表明，它构成了对精确实现的非常近似。为进一步研究，任何交易序列和任何对 Π的划分都需要验证以下性质：

1. 分段卡罗尔结构中的价格必须与精确 Carroll 结构中的价格相同；2. 交易者在分段卡罗尔结构中结束时，必须持有与精确 Carroll 结构中相同的清算价值。

3.5.1 循环卡罗尔结构

如果底层 Carroll 结构包含环，我们猜想分段近似将不再精确；但只要谨慎选择适当的分段，就可以控制近似误差。我们的推理如下：假设有两个部分Π^1 和 Π^2 ，它们共享两个连接命题 L 和 L'。如果购买证券 $A \in \Pi^1$，就会影响 Π^1中的 L 和 L' 的价格。然而， L 和 L' 的价格也通过 Π^2 中的某条路径相互关联——因此，在精确 Carroll 结构中，它们之间还会产生一些额外的价格效应，而这些效应无法在 Π^1 部分中得到准确概括。或许可以通过一系列迭代的

在 Π^1 和 Π^2 中进行虚拟购买可以解决这一问题，但这并不明确，而且我们无法猜测这一迭代是否会收敛，或收敛速度如何。

不过，我们观察到两点，可能可以用来控制近似误差：

1. 如果 Π^2 连接 L 和 L' 的路径很短，那么重新分段很可能可以将问题环完全纳入某个 Carroll 部分。在这种情况下，问题就会彻底消失。 2. 如果 Π^2 连接 L 和 L' 的路径很长（因此不可能将该环纳入单个 Carroll 部分），那么 Π^2 中 L 和L' 之间的价格交互很可能非常弱，因此可以忽略。

希望能以某种方式将这两点形式化，从而明确地参数化近似误差。理想情况下，我们可以得到一个形式化的陈述，从定性上表达类似这样的意思：“要么近似误差很小，要么很容易修正。”

3.5.2 值得研究的可能最坏情况图

- 假设在局部 Carroll 部分中，购买 Π^1 导致 L 走高，而 L' 走低，但 L 和 L' 之间由一条支持度很高的等价边直接相连。也就是说， L 和L' 同时被推向相反方向，却又被 紧密地联系在一起。在精确 Carroll 结构中，这两种效应会相互抵消（并为反对这条等价边提供证据）；然而，若直接使用我们的近似技术， L和 L' 将被约束为跟随 Π^1 部分，因此很可能造成较大的近似误差。简便的解决办法是重新分段，将这条等价边纳入同一部分。不过，研究在不重新分段的情况下可能采取哪些缓解方法，也会非常有趣。例如，或许可以通过在 L 和 L' 上，分别在 Π^2 和 Π^1中执行一系列迭代的幻影交易，获得可接受的近似结果。这种迭代可能会像拉普拉斯共识那样收敛，或许也可以采用类似的分析技术。 [13, 14],

- 有可能只需延长连接 L 和 L' 在 Π^2中的链，就会让这种病态情形变得严重得多；实质上，这相当于通过串联许多有强力支持的等价边来模拟一条等价边。这会产生与第一种情况相同的效果，但不太适合重新分段。如果迭代方法能解决第一种情况，那么几乎可以肯定也能解决这里的情况。

4. 认识论杠杆：开放问题

本节将聚焦于我们在本项目中研究的认识论杠杆（EL）概念。

4.1 高层次的预期功能

目标：

- 我们希望这个系统实现什么功能?
- 我们希望这个系统具备哪些可供性?

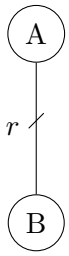
认识论杠杆机制集的初衷，是让那些以改变观点的能力著称的市场参与者拥有不成比例的影响力。在这一迭代中，我们探索了通过激励措施促使参与者揭示其持有头寸背后的推理过程，以实现这一目标的技术。此外，我们提出的若干目标是设计一种能够：

- 揭示私人信息，包括私人推理（即，我们期望的机制集能够推断潜变量的状态及其相关性），
- 为各种主张之间的相互相关性提供真实的依据，
- 赋予具体（“低歧义”）陈述更大的影响力，并且
- 为研究和新闻业等信息提供提供资金。

4.1.1 基本功能

拟议的基本机制集包括以下原始可供性：

- **Restake：** 智能体可以说明自己为何相信某个观点，以换取对该观点的额外影响力。我们通常设想，这会以如下陈述的形式出现：“我相信 A 为真，但如果我发现 B 为真，我就会改变看法。”这可以有几种解读方式，但我们倾向于将其视为对 A 的购买，同时也为 r 提供一些信号（或者是对 r 的购买，这可能会为 A提供一些额外信号）。请看下图：



另一种可能的实现方式是，交易者购买一份再质押合约，然后该合约会逐渐“蒸发”；蒸发速率取决于市场条件、其他参与者的怀疑，以及市场状态的其他可能因素。再质押的首要目的是奖励透明推理；其次，它或许也能促使人们提供一些有关相关性边的信息。单靠再质押，可能会激励人们提出牵强或无趣、缺乏信息价值的相关性主张；参见第 4.2 节。因此，必须谨慎设计，以避免这种错误激励。

总之，这种“谨慎设计”要求：只有在 B 较高（且 r 较低）时执行 Restake，才能带来实质性收益；随后 B 大幅下降（且 r 大幅上升）。更详细的推理请参见第4.2.2节。

- **怀疑：** 怀疑允许其他交易者揭穿再质押者的虚张声势，以此阻止某种形式的不诚实的再质押。[5] 怀疑的核心用例是：再质押者表示：“我喜欢 A，但如果 B 为真，我会改变想法。现在 B 很高，但我赌它会下降。如果它一直居高不下，我就会放弃对 A的依恋。”质疑者买入一份合约，内容是：“我赌你在 B 一直居高不下时，实际上不会改变想法。”随后，如果 B 一直居高不下，而再质押者确实 改变了想法，质疑者就会蒙受损失。[6] 如果 B 一直居高不下，而再质押者没有 改变想法，怀疑合约就赋予质疑者从再质押者额外影响力中获得少量份额的权利。

[5]如果我们有可判定边，或许就不需要威慑机制了；也许可以把怀疑视为边判定机制的一个组成部分。[6]这里的想法是，如果别人认为你在被证明错误时很可能会改变看法，那么你就不太可能受到怀疑。这种效应能让那些以学术诚信著称的人更有影响力。

- **改变想法：** 如果 Restake 的意思是“如果 B 一直居高不下，我就会改变想法”，那么改变想法就是后续实际行动：我会跨越一条相关性边重新定位自己。改变想法操作的一个预期好处是，它可能 提供相关性信息：如果我说过“我相信 $A \wedge r$”，然后转而支持 $B \wedge r$，这可能表明我确实是认真的。这种信息可能具有不对称性：与其他情况相比，如果市场走势对再质押者不利，它所提供的信息会更多。

4.1.2 理想属性

我们希望 Carroll机制集优于现有系统（如 Futarchy、代币投票和代议制民主）：信息充分且诚实的交易者群体能够更轻易地抵消金钱的欺凌效应，并且决策背后的推理能够在机制内部得到明确裁定。我们特别希望具备以下两项属性：

- **相关性 elicitation：** 普通的解耦预测市场只能从否定的角度发现相关性。如果我们有结构 B--r--A，且 A和 B 都判定为 True，那么由此便可发现 r 为 False。如果 A 和 B 都不为真，那么这或许并不太重要。但如果 A 或 B 其中之一为真，相关性在逻辑上就要求它们互为否定。在这种情况下，我们确实希望知道人们是否认为 A 和 B 互斥。

- **真诚优势：** 在其他条件相同的情况下，诚实交易者的质押最终应比不诚实交易者的质押具有更大的权重。这或许可以通过某种声誉效应来增强，也可能需要交易者被认为是诚实的才能发挥作用。这种区分实际上可能是我们需要解决的关键研究问题之一！参见第5.2.3。

4.2 机制要求

本节将详细介绍我们对各种机制和可供性的要求。其中一些要求是针对特定攻击/操纵模型提出的。

4.2.1 要求：奖励真诚重新质押

结果：重新质押会向 A提供额外信号。

这是 Restake 操作的核心功能；应奖励交易者披露相关性信息。如果交易者对 $A/r/B$ 进行重新质押，就意味着他们相信 A，前提是 $\neg B$ 也成立。这种影响力或许不一定会在重新质押时立即产生：额外影响力可能会随着时间推移而授予，也可能只有在投注被证实成功后才授予。还要注意，这是一个非常宽泛的要求；以下小节将对其进行细化，并进一步限定其实现方式。

4.2.2 要求：重新质押奖励双重 vindication

结果：如果在 $B = 1$ 且 $r = 0$ 且随后 B 和 r都改变数值时执行 Restake，那么 Restake 会带来丰厚的奖励。 这是 Restake 的理想应用场景：交易者做出一个两方面都不受欢迎但正确的押注，结果两方面都押对了。如果说有什么情形能让 Restake 带来丰厚奖励，那就是这里。请注意，这是一个前提中包含 AND 的蕴含；也就是说，它的适用范围非常狭窄：

> 如果 B 下跌且 r 上涨，那么 Restake 会带来丰厚的奖励。

这并不一定意味着，如果 B 下跌而 r 保持不变，或如果 r上涨而 B 保持不变，Restake 就会提供任何奖励。

4.2.3 要求：不应奖励虚假信息

结果：只有当反命题 B 下跌时，Restake 才能帮助 A。

这一基本理念是，对于在一个显然为假的命题上再质押的交易者，Restake 不应给予任何特殊优势。以下是三个相关的攻击；请注意，在每一种情形中，攻击者提出反命题，目的是不真诚地在其上再质押：

1. **毫无信息价值的相关性主张**。我可以说："我认为我们应该发射这颗卫星，但如果有人证明地球是平的，我就会改变主意。"也就是说，我在一项相关的主张上再质押，而我确信这项主张最终会被判定为假。

2. **虚假的相关性主张**。我可以说："我认为我们应该发射这颗卫星，但如果水的冰点是 -10 摄氏度，我就会改变主意。"这比毫无信息价值更糟，因为这还涉及对相关性的不真诚：我知道水的冰点是 0 摄氏度，但即使不是这样，我实际上也不会改变主意。不过，我不怕自己的不真诚被揭穿，因为我知道水的冰点不是 -10 摄氏度。

3. **相关性含义模糊的主张**。 我可以说："我认为我们应该发射这颗卫星，但如果木卫二上存在生命，我会改变主意。"这句话的含义是有意模糊的：我们不知道木卫二上是否存在生命；即使知道，也不清楚这是否会构成不应发射卫星的理由。我们可以说，反命题和相关性都明显含糊不清，而在这种情形下，再质押机制不应奖励再质押。

请注意，这些潜在攻击的示例无法通过类似质疑的机制加以缓解，因为当反命题明显为假或含义模糊时，虚假的再质押是不可证伪的。其共同特征是，交互过程中 B 上的信号始终不变。也就是说，无论 r 上的相关性信号如何变化，在B的信号不发生变化的情况下，再质押都不应带来任何特殊优势。这意味着：

命题 1。 相对于直接购买 A，进行 $A/r/B$ 再质押所获得的优势，随 ΔB单调不增；其中， ΔB 是 B 的价格/信号变化，并且当 $\Delta B \geq 0$时，再质押奖励为 ≤ 0 。

其中有一些关联 非对称诚实性验证挑战：参见第4.3.3 .

4.2.4 要求：不应奖励无关再质押

结果：只有当相关性 r 上升时，Restake 才能帮助 A。

攻击者可能试图在无关的 B 减少时获得再质押奖励，尽管对r 的偏好从未高涨过。这种威胁有两种形式：

1. **虚假边变化：** Alice 是一位 A支持者，并且知道一个当前估值过高的虚假命题 B。Alice 用一条新边 r 将 B 连接到 A，并对 $A/r/B$进行再质押；当对 B 的偏好下降时，Alice 会获得 A上的再质押奖励。

2. **无关 B 变化：** 成本更高时，这可以作为一种攻击变体来实施1其中 Alice 创建一个无关的 B 并故意高估其价值，然后任其崩盘。参考实现将 B 的初始价格设为 $1/2$，因此这会是一个重要问题（不过，RIA 变化 3 的修复方案应能处理这种情况，参见第 4.2.5节）。

在这种攻击中，如果市场最终是明智的，价格最终应趋近于 $B = r = 0$。攻击成本可能较低，具体取决于可编程市场中的实现细节。满足这一要求的一种简单方法是确保重新质押收益随r单调递增，由此得到以下与命题 1相似的结论：

命题 2。 与直接购买 A相比， $A/r/B$ 再质押的优势随 Δr非递减，其中 Δr 是 r的价格/信号变化，且当 $\Delta r \leq 0$时，再质押奖励为 ≤ 0 。

注意：命题 2 并不是说，再质押奖励只能是 Δr的函数。例如，可以设想再质押奖励接受两个参数：(1) Δr，以及 (2) r_{initial}，即再质押时 r 的价格。可能的最大奖励或许会随 r_{initial}递减，而实际获得的奖励则会随 Δr递增。

4.2.5 要求：再质押初始化攻击（RIA）防护

结论：再质押奖励的上界，或再质押成本的下界。

Restake 操作不得允许交易者通过操纵一个明显虚假（但具有相关性）的B ，使其价格暂时升高，仅为获得再质押奖励。结合4.2.1和4.2.2的性质可知，在 B 较高而 r 较低的状态下，进行 $A/r/B$ 再质押必须相对于直接购买 A 为 A提供某种优势。这里的潜在威胁是一类攻击：

1. **基本攻击：** A—动机驱使下，玩家 Alice 会迅速连续地进行以下操作：(1) 建立一个“显然错误”但显然相关的命题 B ，例如“水的冰点是 -10 度”，(2) 通过边 A 连接 B ，(3) 大量购买 r（或许使用傀儡账户），以及 (4) 再质押 $A/r/B$。由于 Alice 再质押时 B 的价格较高（而 r 较低），性质 4.2.1 和 4.2.2 会在 A 最终下跌时，为她大幅提升 B 。随后，Alice 卖出她在 B 中的质押，并收回剩余的资本。

2. **既有 B 变体：** Alice 或许可以找到一个现成的命题 B，将其连接并提升，而不是自行建立命题。这样就省去了基本攻击中代价高昂的步骤 (1)。**优点：** 这或许能省下 Alice 创建 B 的成本。**缺点：** 要找到一个既有的 False+相关命题可能很困难。

3. **无操纵变体：** Alice 可以跳过步骤（3），从而避免操纵；这样会降低攻击成本。这是否可行，取决于向 Carroll 结构添加新命题所采用的具体模型；具体而言，取决于新添加命题的初始价格，如第3.4节所述。

至少，基本攻击和无操纵变体始终可以执行，因为很容易针对任何你想做的事情编造相关但虚假的陈述。“地球是平的”（与任何涉及天文学的事情都相关）和“水的冰点是 -10 度”（与任何涉及管道工程的事情都相关）就是很直接的例子。因此，这种攻击也可以通过垃圾信息反复实施。根据4.2.2，在这种特定情形下（ B高、 r 低，然后两者都交换），Restake 必须提供丰厚的奖励。由于无法从结构上阻止这种攻击，因此必须通过确保其相较于其他某种“有益于社会”的行为（例如直接购买 A）始终无利可图，来降低实施这种攻击的动机。

这次攻击的成本取决于执行哪种变体；在最坏情况下（变体 1），其成本等于攻击者在 B 购买后又转售所遭受的份额损失，加上创建命题 B的成本。对攻击者而言，直接将这笔成本投入 A，而不是发动攻击并获得再质押奖励，必须更有利。**因此，这项要求意味着，可获得的再质押奖励存在一系列上界，或者进入再质押合约的成本存在一系列下界。**

请注意，这一界限最简洁的版本（来自无操纵变体）指出，应比较以下两种选择：

1. 创建命题 B 和 r（在一种拟议的实现方式中，成本为 $b$log 2），并将 $A/r/B$ 再质押，以获得再质押优势 RES。2. 将 $b$log 2 资本投入命题 A，以获得信号优势 SIG。

因此，RIA-Proofness 要求 RES $\leq$ SIG。换言之，与 $\Delta B = -0.5$ 和 $\Delta r = 1$ 相关的 A 上的再质押奖励，必须小于将 log 2 资本直接投入 A 时给 A 带来的优势。

4.3 机制挑战

在此，我们讨论实施该机制时的一些突出挑战，例如各种可供性的设计用例之间明显存在的冲突。

4.3.1 怀疑和改变想法是否必要?

第 4.2 节的讨论清楚地表明，$A/r/B$ 只有在 B 较高时执行再质押，才能带来优势；随后 B 上的信号会下降。因此，怀疑的设计用例是：B 较高，随后 B 要么保持较高，要么下降；质疑者押注再质押者会在 保持较高时 B 改变想法，但若 B 下降，则没有特别的押注。

在我们采用明确向再质押支付再质押奖励的方案中，我们通常会把质疑者视为在逐渐购买这笔再质押奖励。然而，我们对再质押的核心理解是，再质押只有在 A 下跌时才能发挥作用 B（见第 4.2.3 节）。也就是说，如果 B 一直居高不下，质疑者就没有再质押奖励可赚！所以，不妨换个角度来理解：再质押是一种合约，内容是：“如果 B 下跌，且 r 在截止期限前上涨，你就会获得 A奖励。”再质押者支付合约费用以签订这份合约。怀疑是一种合约，赋予质疑者逐渐获得这笔费用的权利。同样，质疑者也要支付质疑溢价以签订这份合约。可能的情况如下：

- B 保持高位：
  - 如果再质押者**不**改变想法，那么质疑者的判断就得到了证实。
    - 最终，质疑者会获得全部再质押费用，并且
    - 质疑者拿回保费。
  - 如果再质押者改变想法，那么：
    - 质疑者会失去保费，这笔保费或许会以某种方式用于资助再质押者重新定位到 B。

- B 跌至低位（再质押者的判断得到证实）：
  - 如果再质押者**不**改变想法，
    - 质疑者拿回保费，但或许需要支付费用。
    - B的信号下降得越快，剩余的再质押费用就越多。
  - 如果再质押者改变想法，那么：
    - 质疑者会失去保费，也许这笔保费会以某种方式用于资助再质押者重新定位到 B。
    - 这会导致一种奇怪的结果：不清楚再质押者为何会在这种情形下改变想法。

这一切或许都行得通——但“怀疑”这一选项的附加价值并不明确。看起来，Restake 是一个足够“有限”的选项（即仅适用于足够少数的情形），以至于只有在 Restake 有效的情况下（B 下降且 r 上升），机制才能自行裁定。

4.3.2 改变想法在认识论上意味着什么?

我们通常将改变想法机制描述为：玩家在获得新信息后，放弃自己过去想要的某样东西。我们对此进行思考时，通常会这样描述：“我相信 A，但如果有关 B的新信息浮出水面，我就会放弃对 A 的信念，转而选择 B。”这或许可以被理解为贝叶斯智能体可能采取的做法，但这并非我们真正的理解方式。我们讨论这类情况时，实际上更像是在讨论智能体改变先验分布。这凸显了一个缺口：我们需要更清楚地说明，在本项目的后续迭代中，我们希望如何对认识论进行建模。我曾指出，未来的研究应优先开展一些认知博弈论方面的研究（第5.1.3节）。

无论如何，如果 我们继续使用 LMSR 框架，就必须非常谨慎，确保改变想法这类操作在后验变化或对世界的先验信念变化方面具有明确含义。否则，其价格效应实际上可能与我们声称的含义不一致。

4.3.3 非对称诚实性验证

这里的一个关键难点在于，“真诚性验证”过程是不对称的；这与第5.2.3节中关于声誉的问题有关。假设不诚实的意思是“当我说如果 B 被证明为真，我就会改变主意时，我其实是在撒谎”，那么就有两种情况：

- 当 B 被证明为真时，玩家不会改变主意。在这种情况下，我们只需观察他们是否改变了主意。

- 当 B 被证明为假时，玩家不会改变主意。如果 B 为真，他们会改变主意吗？我们无从得知，因此在这种情况下无法验证他们是否诚实。**无论如何，这个机制最好**不要**奖励这种行为**。

4.3.4 如何在赋予善者权力的同时，不赋权于恶者?

这个挑战归根结底可以概括为：

> **能否在赋予“好人”强大工具的同时，不让“坏人”也能利用这些工具?** 也就是说，假设我们设计出一套有利于诚实参与者的优秀机制集。我们如何确保富有但不诚实的参与者不能只是假扮成诚实参与者，从而为自己谋取同样的优势?

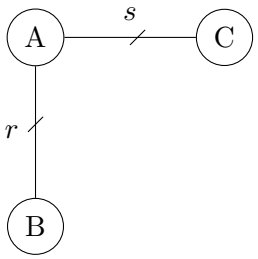
显然，基础 LMSR（以及许多其他市场评分规则，另见 [7, 8]）在用作决策市场的基础时，会受到各种操纵效应和攻击。因此，我们应当预期，任何纯粹基于 LMSR 的方法都会继承这些漏洞，优势也必然来自某些额外的 LMSR 可供性（例如声誉效应）。如果确实如此，这些额外的 LMSR 可供性可能会破坏我们原以为能从 LMSR 获得的一些关键保证。无论如何，都必须谨慎行事。

4.4 失效模式与威胁模型

在本节中，我们将详细介绍一些额外的方式，说明一个原本运作正常的系统如何可能助长不良行为：它可能无意间提供内在激励，也可能使利己（甚至恶意）的攻击者得以破坏机制。

4.4.1 风险：Restake 带来的否定效应过强。

这在很大程度上取决于 Restake 的实现方式。不过，这里的潜在问题是，再质押 A/r 可能会强力压低 B。我不知道有什么情形会无法做到这一点，因为它必须推高 r，而且通常至少会保护 A，甚至会提升 A。这些操作本质上都不利于-B，而某些 Restake 实现基本上相当于廉价地抵消- B（例如，将 retsake 解释为购买 $A \wedge r$）。问题在于，如果你实际上可以抵消- B，那么是什么阻止你利用这种能力去抵消- A? 试想一个简单的情形：



我是 A 的富有对手。我可以添加一个论点 C，其含义显然为真，例如“水的冰点是 0 摄氏度”。然后，我可以在攻击 A 时重新质押 C/s。反对 s 确实可以是出于真诚的辩护，但这里没有任何内在因素能打破真诚与不真诚交易者之间的对称性。

4.4.2 资本抽取攻击

任何已实施的机制都必须防止交易者及其马甲账户（Alice 和“Balice”）通过一系列交易先买入再卖出并从中获利。如果这成为可能，老练的（或许也很有耐心的）交易者就能一遍又一遍地重复利用这一漏洞，在不提供任何有意义信息的情况下，从机制中抽走流动性。

如果整个机制集仅由 LMSR 交易构成，这类攻击从根本上说是不可能的。然而，认识论杠杆可能需要在基本 LMSR 交易之外加入其他机制，我们在这里需要谨慎：深入探究后发现，我们两种类似 EL 的实现都允许抽取资本（卖空 4.5.1和幽灵股份 4.5.2）。

我们曾多次提出某种认识论杠杆机制，却都被一个使用马甲账户的智能体挫败。未来的研究需要包括对一种全面检查并防止此类情况的方法进行研究。

4.4.3 有钱利益集团很容易利用怀疑来压制再质押。

一个潜在的担忧是，怀疑这一功能可能被用来彻底压制真诚的再质押者，使再质押化为乌有。如果未来的机制集包含怀疑，就需要解决这一担忧。

4.5 实现尝试

4.5.1 作为杠杆收购的认识论杠杆

这里的核心思想源于这样一个事实：LMSR 可以让交易者以数学上有意义的方式对某种证券进行“卖空”：交易者可以通过获得现金，在该证券上建立负（空头）头寸。做空证券 A是一种形式为“若 A的结果为 True，则欠付 1 美元 ” 的合约。或许可以利用这一原语实现认识论杠杆：持有 A 的交易者可以通过对证券 $\neg r$ 建立空头头寸，在 r 上进行“再质押”（在数学上等同于做多 r，只是以债务的形式表现）

然后用卖空所得款项购买更多 A。未偿付的 A 份额由机制锁定，并作为抵押品持有，以担保 $\neg r$ 贷款。在我的表述中，这些 $\neg r$ 空头份额从未被明确交易，而只是用数学方式表示，以提供所需的杠杆。这会让再质押者/做空者承担更大的风险，因为其使用了杠杆；同时，这会推高 A和 r，并压低 B。

由于空头头寸结算时可能会对交易者形成负债，因此必须确保开立空头头寸的交易者被迫在合约中维持足够的抵押品，以便在市场结算结果对其不利时偿还这笔贷款。为此，机制需要采用某种“追加保证金”机制，在市场走势对交易者不利时，扣押已锁定的 A 资本以平仓。追加保证金机制有多种可能的实现方式，但我们未能找到一种不会导致第 4.4.2 节所述某种形式的资本抽取攻击的机制。是否存在一种不允许任何形式资本抽取的追加保证金机制，仍是一个悬而未决的问题。

4.5.2 认识论杠杆作为虚拟购买

我们还设想过，或许可以通过一系列幻影购买、货币重定基和销毁来实现认识论杠杆。基本思路如下：Alice 持有A中的份额。如果她随后购买 r中的份额，就会自动触发一次 A/r 再质押。由于 r具有与非特性，任何对 r 的购买都会从根本上压低 A的价格。也就是说，当 Alice 披露有关 r的信息时，实际上损害了她在 A中的头寸；再质押机制则用于补偿这一行为。为补偿她，我们会对 A 的份额进行一次幻影[7] 购买，从而将 A的价格推回到她购买 r之前的水平。为这次幻影购买提供资金时，我们会销毁每个未结清份额余额的一小部分，实际上是将对 Alice 的保护成本分摊给所有人。（或者，也可以不为这种保护提供资金，从而可能在市场结算时面临资不抵债的风险。）

实施后，我们立即发现了一种资本抽取攻击（第4.4.2节）：Alice 的傀儡账户（“Balice”）一开始便在 A 中持有大量质押，随后 Alice 购买 r，然后 Balice 卖出她的 A （这些份额如今因幽灵股份而更值钱），接着 Alice 卖出她的 r，此时这些份额的价值已大幅增加。利润实际上主要来自 Alice 卖出 r （Balice 卖出 A 时也会带来少量利润），但最终结果是，Alice 只需带着她的傀儡账户现身，就能立即从其他交易者那里抽取大量资本。销毁这一步或许是攻击的关键；也许可以通过以机制亏损为代价购买幽灵股份来规避这一问题。然而，越来越有可能的是，任何包含 LMSR 之外的操作的机制集（例如4.5.1 中的追加保证金机制和4.5.2中的虚拟购买）都很可能破坏普通 LMSR 的无套利特性。

类似这样的做法或许仍然可行；我们尚未全面探索这一领域。不过，设计空间错综复杂。需要考虑以下几点：

- 要实现预期结果，需要进行多大规模的虚拟购买?
- 如何管理幽灵股份？也就是说：
  - 也就是说，当 Alice 购买 r 时，会生成一些似乎以某种方式与 r 的这些份额挂钩的幽灵股份。如果 Alice 出售或转让相关的

[7]对证券 A 进行虚拟购买，只是简单地增加 q_A，而不将新创股份记入任何交易者的名下。由于这会在没有新资本流入的情况下提高成本函数的价值，因此要么必须通过减少系统中的其他余额来支付，要么就得冒着市场结算时资不抵债的风险。

份额of r? – 关于 A 的原始份额，也存在类似问题；Alice 是否可以出售或转让她在A中的原始份额?

- 如果在此处集成怀疑/改变想法机制，它会如何运作?

5. 研究议程

本节介绍了 Carroll 机制下一轮研究应探索的若干方向。我们首先在第 5.1 节从宏观层面描述必须优先关注的目标；明确这些目标，将有助于后续工作严谨推进。随后，我们在第 5.2节介绍一些更具体地聚焦于认识论杠杆和 Restake 机制的研究问题。最后，我们将在建模注释（第 5.3节）和机制备注（第 5.4节）中讨论若干可推进研究议程的具体思路。

5.1 当前最迫切的总体议程

2025年秋季项目在某些方面取得了令人瞩目的成功（例如，网络化预测市场的组合式LMSR表述），但一些核心问题仍存在模糊之处，开始阻碍进一步进展。本节将进一步阐述第 2 页列出的内容，其中指出，任何未来研究都必须首先探究三个核心组成部分。若能在这些方面取得实质性进展，将极大促进未来研究。

5.1.1 清晰而具体地阐述系统目标

自 2025 年秋季项目启动以来，这部分内容一直难以明确。这需要经过审慎的流程，并在概念上按以下顺序展开：

- **叙事：界定问题**。必须阐明现有系统的缺陷，并明确指出需要改进的具体问题。例如：在代币投票中，巨鲸仅凭钱包规模就能左右所有决策。Futarchy 的特点是必须预先定义指标和决策选项；此外，它天生容易受到 Othman-Sandholm操纵 [7]。这两种机制都没有内置功能，让交易者能够说明自己采取某个立场的理由。拟议系统具体试图缓解上述哪些问题？最初的提案和社区讨论中包含了大量相关内容，但需要投入研究时间来探讨这些问题，并将各种概念整合成连贯的叙事。这项工作很可能需要 Connor 与一位研究者进行一系列深入讨论，最终整理出一份结构化（例如表格形式）的现有系统清单，并清楚描述它们的缺陷。

- **定性：阐明后继系统应如何运行**。如果叙事部分解释了现有系统为何失效，那么本部分应（定性地）说明一个能够成功运行的后继系统将是什么样子。例如，2025年秋季项目的主题之一，是尝试在预测市场中激励某种诚实性；这构成了重新质押/怀疑/改变想法机制的重要部分。然而，我们从未正式规定，这一拟议属性旨在缓解现有系统缺陷中的哪些问题。同样，输出应是一份结构化的自然语言清单，列出理想属性，并且每项属性都应与叙事部分中的现有系统缺陷建立非常明确的联系。应注意使这些属性定义尽可能模块化；属性之间任何不可避免的互补关系都应明确指出。

- **定量：我们将如何知道自己已经成功？**拟议系统需要优化（具备）哪些指标（或形式化属性）？一旦定性部分完成，并且系统的理想属性得到充分阐述，就有必要明确形式化的成功标准。由于即使系统目标已经有清晰的自然语言描述，确定形式化指标和属性通常也很困难，因此这同样会耗费大量研究时间。在可能的情况下，应采用文献中已有的指标/属性（例如真实性），以促进与现有工作的连贯性。此外，相关指标/属性将在很大程度上取决于所选的元架构。因此，我们预计这部分工作将与元架构和文献综述（第5.1.2、5.1.3节）紧密整合或迭代进行。

实际上，这一步中的叙事、定性和定量 部分会相互影响，未必会严格按顺序执行。尽管如此，我们认为，将这些部分视为研究计划中彼此独立且不可或缺的组成部分，有助于更清晰地表述最终目标。

为启动这项工作，我们在此介绍若干在2025年秋季项目期间讨论过的属性。在大多数情况下，我们尚未成功地将这些非正式表述的属性与具体目标联系起来。这些属性包括：

- **相关性 elicitation：** 这里的核心思想是，我们希望机制集具备一种内在能力，能够通过逻辑关联各种命题来推理 。然而，这一属性的具体含义始终没有完全明晰。它是否意味着彼此关联的命题之间的价格会同向变动？是否意味着交易者会如实披露他们对相关性的看法？这一概念一直相当模糊，部分原因在于我们尚不清楚如何在相关性预测市场中实现结算。此外，我们还需要将此类概念与更高层次的元目标联系起来。

- **远距离传播：**我们对这一概念的定义较为模糊，大致是指“市场某一部分的价格变动能够传播到市场中的其他命题，且传播距离可能很远”。我们可以笼统地声称，拟议的机制集仅凭其网络结构就具备这一性质，但我们从未对该性质进行严谨的表述，也未将其与任何更高层次的元目标联系起来。也就是说，关于这一性质的“叙事”和“定性”部分完全缺失。

- **退化至 Futarchy：**这是一个更明确的目标；理想情况下，我们设想有一个调节参数，可以平滑地将我们的机制一路调低至 Futarchy。由于我们从未最终确定机制集，因此也从未专门检验是否满足这一点；不过，在这些性质中，这似乎是最容易满足的一项。我们可以将其视为一种条件性质：只有当决策市场能够在我们的系统中实现时，这一性质才有意义。因此，要求具备这一性质可能意味着我们需要采用某种特定的元架构。

- **适当评分：**由于我们一直是在组合型 LMSR 的基础上构建，因此理所当然地认为这项性质成立——但凡事都需要谨慎。如果没有可解析市场，就需要更形式化地阐述这一点。了解自我结算市场如何处理这个问题，或许会很有启发性 [12] ，并借鉴其中某些做法。此外，如果在基础 LMSR 交易之上增加额外的可供性，适当评分这一性质几乎肯定会丧失。

5.1.2 清晰具体的元架构

在我的非正式笔记中，我把这个问题称为“端点”问题：信息如何进入系统，行动又如何从系统中产生？例如，Carroll 结构中的节点是决策市场的输入，还是它们本身就是一个决策市场？所有节点都必须是自我结算的吗？还是有些节点拥有可信的裁定来源？这很可能与第5.1.1 节的目标工作紧密相关：如果不了解系统如何与外界交互，就很难判断哪些目标是相关的。

2025年秋季项目采取的做法主要是为了保持通用性而不明确界定这些内容；然而，缺乏明确的端点最终对我们造成了不利影响，因为这导致人们对交易者激励问题作出了含糊的假设。因此，我建议拨出一些研究/规划时间，确定一种具体的元架构，以便清晰地界定激励属性。在这里，明确采用某种架构比选择哪种具体架构更重要（当然，前提是所选架构被认为与第 5.1.1 节讨论的目标足够相关）。这一承诺可能会牺牲一定的通用性；我认为这是可以接受的权衡，因为它将有助于进行严谨得多的推理。在考虑两种不同架构时，我建议为降低复杂性而优先选择较简单的架构。

在 2025年秋季项目中，出现了一些与这一概念相关的潜在事项。我们已在其他地方更详细地讨论了其中一些，现总结如下：

- “每个节点都是一个预测市场”：这是所有组合型 LMSR 工作背后的隐含假设。这种方法几乎立即就行不通了，因为决策节点（例如“学校应该上午 9 点开课”）和相关性边（用第 3 节的说法，即配对命题）都缺少结算来源。

- 顶层节点构成一个决策市场（从 [7], 节点是条件预测市场节点这一意义上来说，它们与“若做出决策 A，指标 X 将会达成”“若做出决策 B，指标 Y 将会达成”之类的事件相关联），其上还有一个逻辑层，根据市场的预测输出决策。

- Connor 提出了这样一个概念：Carroll市场在某种程度上是某类决策市场的输入；Carroll机制使用户能够在某种 Futarchic系统中裁定指标和决策应当是什么。

这一步之所以至关重要，是因为交易者所感受到的激励措施会产生影响；如果由市场作出决策，交易者的行为就会受到具体决策机制的影响。从这个意义上说，我们可以把这一节称为“元机制”部分：Carroll 机制“置身于”一个更大的系统之中，而这个系统会以某种方式与现实世界互动；我们需要非常清楚地了解这些外部互动实际如何运作，这样才能明确我们要解决的工程或激励措施方面的挑战究竟是什么。

5.1.3 更详尽的文献综述

这无需多加解释。2025年秋季，我们在这方面的大部分进展都集中在一两天内：那时我们发现了组合预测市场的威力；此后，在撰写本文期间又取得了一些进展。我的实用建议是从 [12] （发表于2025年，探讨的问题与我们的某些问题相似，并对经典预测市场以外的广泛主题作了非常详尽的文献综述）入手，然后从中深入挖掘。进一步深入了解认知博弈论文献也可能有所帮助，以便弄清楚在我们试图解决的问题下，哪些

建模方法是“正确的”，无论这些方法最终是否切实可行或易于处理。

此外，研究者应承诺在整个研究项目期间定期回顾文献，例如每隔两三周花一天时间重新查阅文献，寻找与新发现的概念相关的研究。这有助于避免某些研究失败模式：研究者突然想到一个“新颖”的角度，却没有意识到其他人已经考虑过这个角度（无论是肯定还是否定）。

5.2 认识论杠杆的关键问题

在确立组合型 LMSR 的主要技术基础后，2025年秋季项目的重点转向了认识论杠杆（EL）这一概念。在第 5.1 节的工作取得更大进展之前，我们建议不要再投入更多研究来探讨 EL。不过，待这项工作完成后，我们将在此概述几个深入研究 EL 的关键议题。

5.2.1 目标：将认识论杠杆表述为一种属性。

如果能将认识论杠杆表述为机制的一种属性，那就再好不过了。用自然语言来说，这种属性可以表述为

> 认识论杠杆是指，诚实 说明投票理由的参与者，比那些（1）不说明投票理由，或（2）对投票理由不诚实的参与者拥有更大的影响力。

如果能以严谨、形式化的方式提出这种属性，原则上就可以检查任何机制是否具备该属性。或者，也可以假设某种认识论杠杆属性成立，再推导由此产生的机制所具有的属性，从而有可能推导出否定性结果。

5.2.2 问题：为什么我们希望参与者透露他们的推理 ？

换言之，我们需要将追求认识论杠杆的意愿与更高层次目标联系起来。2025年秋季期间，我们基本上默认认识论杠杆是可取的，却没有明确解释原因；如果我们能够提出这样的解释，就能大大澄清总体目标，并显著完善问题表述（第5.1节）。

在治理中，我们似乎追求的是知识诚实：我们能否“倾斜天平”，赋权给那些告诉我们自己为何如此投票的人？

- 什么才算学术诚信？在现实生活中，人们几乎必须说明自己为何持有某种立场：参议员 X 会为自己投票赞成法案 A 说上一番理由。然而，我们可能很难判断：（a）他们是否真的相信自己所说的话；以及（b）这是否真的是一个站得住脚的论证。

- 因此，认识论杠杆并不是为了奖励那些只告诉我们自己为何如此投票的人。这一点非常重要：光说不练！

- 那么，问题来了：

  – 如果我们有一种用于裁决相关性主张的裁决机制，是否存在能够促进知识诚实的机制？参见第 5.3 节“暂时假设困难部分不存在”。– 更难的问题：我们如何构建一种用于裁决相关性主张的裁决机制（或许是自我结算预测市场 5.4.1）？

– 有没有办法独立解决这两个问题？（我怀疑没有；它必须是生命周期层面的，因为裁决机制的运作方式与参与者的具体目标密切相关。）

5.2.3 关键问题：是否需要声誉?

我的直觉：几乎可以肯定。
有没有办法在不让声誉发挥作用的情况下，赋予“诚实”的交易者额外的影响力/信号？这个问题可能本质上与怀疑机制有关。怀疑机制提供了一种途径，让人们可以押注（或投票？）判断自己是否相信某人的推理。这与非对称诚实性验证这一挑战密切相关，详见第 4.3.3节。

我之所以直觉上认为声誉是必需的，是因为所有参与者（无论诚实与否）都能使用同一套工具，而且某些类型的不诚实行为很难自动识别。很可能有些类型的不诚实行为/不真诚是机制无法识别、但参与者相对容易识别的（例如，针对一个错误但无关紧要的命题再次质押）。与声誉挂钩显然是解决这一问题的一种方式，但要恰当地整合进来可能并不容易。所需的功能似乎可能类似于投票或押注，判断特定批次的质押是否诚实，但这不过是另一种可能被用于谋取私利的机制。

5.2.4 低级关键问题：Restake 是否实现了其应有的功能 ?

直觉：Restake 必须满足几个关键性质：4.2.1、4.2.3、4.2.2、4.2.4。
这些性质的核心含义是，对 $A/r/B$ Restake 概念的任何解释，都只能在 B 下降且 r 上升时，对 A产生特殊的正面影响；如果 B 不递减，或 r 不递增，restake 就不应帮助 A。不满足其中任何一项性质，都会使交易者能够通过使用 Restake 获得不应有的优势。必须验证对 Restake 的任何解释都满足这些性质。

5.2.5 低级关键问题：Restake 能否防范初始化攻击?

直觉：RIA 性质（4.2.5）为再质押奖励提供了一组上界。

再质押初始化攻击是针对再质押机制的一种危险攻击，旨在为市场预先营造有利条件，从而获取不应得的再质押奖励。攻击途径始终存在（即攻击者不必等待有利条件），并利用了 Restake 的核心 用例。

对再质押的任何解读都必须处理这种攻击。RIA 性质（4.2.5）明确要求这种攻击无利可图，但满足 RIA 所带来的具体影响取决于所考察的 Restake 的具体实现。预计满足这一性质将意味着一系列关于再质押奖励的基本上界（或关于再质押合约成本的基本下界）。

RIA 性质的初步探讨
这一性质至关重要，因此我将概述一项具体议程。攻击者模型颇为棘手。攻击者拥有 c 资本，并愿意损失 $\ell \leq c$ 资本，以实现提升 A的目标。基准情形是，攻击者将全部 c投资于命题 A，从而产生诚实的 A-信号 p_A。另一种情形是，攻击者将买入拆分为两部分：一部分c_A 用于在 A 中进行支持再质押的投资，另一部分 c_B 用于临时提升 B，其中

$c_A + c_B = c$。这 c_B 直接投资于 B，然后将 c_A 投入一次 $A/r/B$ 再质押，随后立即退出 B 头寸。出售 B 份额所得款项（如有）也可以投资于 A，最终得到 A-信号p'_A。RIA 性质似乎表明，对于(c_A，c_B)的所有选择，都必须满足

$$p_A \geq p'_A.$$

幻影份额再质押的代码结果：请参阅代码交付中的`ria.py`脚本。要留出的 frac 和 `A frac` 变量可以调整攻击者为再质押节省的资本数量，以及在 A-购买和 B-操纵之间的分配；最后两次市场打印结果分别对应不攻击和攻击。初步实验似乎表明，如果再质押模型类似于4.5.2中的幻影份额模型，那么按照此定义，RIA-Proofness 得以满足。

5.3 建模注释

本节汇集了一些关于如何对该问题建模的零散注释。

5.3.1 暂时假设困难部分不存在。

这会大幅缩小范围，并可能得出一些否定性结果。事实上，我们目前还不知道如何进行相关性 elicitation。不过，假设我们知道该如何做——那么 Carroll 机制能否为我们提供所需结果？也就是说，一个起初或许值得关注的策略环境是：假设相关性可判定，然后以此作为初步检验，判断该机制集是否有用。如果在边可判定的情况下机制集仍然没有用，那么就没有必要进一步探究如何判定边。

5.3.2 怀疑是否完全且直接地与声誉相关?

在某种程度上，怀疑是一种行动，表达的意思是“我不认为你会改变主意”，或者“我觉得你不够真诚”。这些或许与声誉有明显关联。那么，如果怀疑多少起到了威慑作用，是否只有真诚的人才会再质押？在这种情况下，我们能否得到良好的结果，也就是说因为 再质押成为一种额外工具，让真诚的人拥有更大的力量，使他们现在能够对抗当权者。

5.3.3 异质先验有用武之地吗?

如何处理交易者信念始终是一个悬而未决的问题。少数几次我开始撰写具体的形式化模型时，似乎都认为可以假设交易者对所有命题可能的真值集合持有先验信念。但我们该如何处理那些对世界运行方式存在根本分歧的交易者？认知博弈论中必定有某种框架能够处理这一问题；我们或许需要将其纳入文献综述计划。

另一个相关的建模说明涉及“改变想法”：在贝叶斯共同先验的世界里，“改变想法”这个说法几乎名不副实。如果贝叶斯智能体的信念从一个后验到下一个后验发生了很大变化，那么其新信念仍必须与其先验分布中认为有可能的某种情况相一致先验地。也就是说，与其说他们“改变了想法”，不如说是重新分配了已有的信念。这或许是因为他们看到了一个信号，该信号意味着某种在其先验分布中概率特别低的状态，但新信息并不会以某种方式让他们现在以不同的方式看待世界。你只是接收到了信息，它强化了某种你一直以来都知道且认为有可能的情况。

但当我们谈论改变想法时，听起来确实很像是在说采用新的先验分布，而贝叶斯智能体做不到这一点。再说一次，我认为值得花些时间

研读认知博弈论文献，寻找一种合理的方式来思考这个问题。提出这个问题或许会引出一大堆棘手难题；不过，至少弄清哪些建模方法可能适用，还是有帮助的。

5.4 机制备注

本节汇集了一些有关假设性机制组件的零散备注，这些组件旨在解决该问题。

5.4.1 自我结算预测市场：

提出自我结算预测市场的 EC'25 论文 [12] 是迄今为止我所见过的、最清晰地展现出某种有望解决相关性引出问题的方案的论文。该机制确实依赖一些让我担忧的假设：

- 交易者是贝叶斯的，对所有 信号持有共同先验分布（正如你所预料的，这一假设意味着他们具备很强的计算能力），
- 交易者与结果无关，
- 预测不会影响结果（非表演性），
- 每个智能体恰好参与一次（尽管这 或许不失一般性），
- 我们有一个随机性来源。

本文依赖于著名的奥曼概念 [15]："参与者无法 agree to disagree"（一句话简介：如果两个参与者拥有相同的先验分布，那么如果他们知道 彼此的后验 [，也就是说，他们了解彼此对世界的体验，], 就必须拥有 相同的后验 [，也就是说，他们对世界状态的看法必须一致]。）在一个我们尤其担心可能并不诚实、且拥有异质先验的交易者的情境下，假设参与者具有诚实性并共享共同先验，感觉是一个风险很高的框架。

尽管如此，思考如何将自我结算市场纳入相关性 elicitation（即在 Carroll 结构中结算成对命题）仍是一项有趣的练习。自我结算机制通过将最后一位交易者作为所有先前交易者的全局参照来运作；显然，这位交易者拥有极大的影响力。防止这位交易者操纵市场的巧妙办法是，市场会在一个随机时刻停止接受新的交易——因此，参照交易者直到为时已晚、无法利用其优势时，才会知道自己是参照交易者。

从本质上说，你几乎不可能成为参照交易者，因此实际上可以假设你不是参照交易者。因此，如果使用自我结算市场进行相关性 elicitation，它们必然会在一个无法预测的时间结算，随后，相关性值大概会在剩余的交互过程中保持不变。[8]

我认为，自我解决概念的棘手之处之一，是如何以无需许可的方式实现它。这里有一个关键参数 k，即参考代理知道、而所有非参考代理都无法获取的信息替代项的数量。论文中的概念是，每个智能体都知道一些其他智能体不知道的信息；只要参考代理知道的内容比任何其他受激励代理都 k 多，我们就能实现某种形式的激励相容性。为了确保这一点，我们只需不激励最后的 k 个参与者（而是向他们支付

[8]尽管该论文确实指出（第 562 页），你或许可以采用滚动窗口，每隔 T 智能体就（随机地）选出新的参考代理 *in expectation*. 这样做的缺点是需要无上限支付。

固定费用）；这样就能确保参考代理（最后一个参与者）比其他任何人都多知道 k 件事（因为参考代理了解了最后 k 个参与者揭示的每一件事）。

在我们的情形中，如果没有身份信息，我们能说的只能是最近 k 笔交易，而不是最近 k 位交易者的情况。这可能会大幅增强对手操纵机制的能力，因为这样一来，你就无法再利用后续交易所报告的信号之间的条件独立性这一概念。

另一个问题是异质先验（这似乎是对基本面存在分歧的恰当建模方式）。有一段有趣的论述（第555页底部）提到，参考代理（或者我想，任何后续交易者）可以检查先前智能体的报告是否与自己的信息结构一致；如果不一致，就直接忽略。接着设想这样一种情形：有两个交易者群体，每个群体都有各自内部“共有”的先验分布。如果每个群体都不了解另一个群体的先验分布，会发生什么？来自群体1的智能体把群体2的交易者一概排除在外，认为他们是傻瓜或噪声交易者，这或许是合理的；也就是说，天真地看，你可能会预期这两个群体就此分化，各自按照自己的先验分布推动市场来回波动。然而，除非所有交易者真的都完全不知道其他人可能持有不同的先验分布，否则这种情况可能并不成立： [12] 中关于激励相容性的论证，确实依赖参考代理采取恰当的行为。假设你选定了一位特定的参考代理，而且这位代理来自群体1：那么，如果群体真的分化了，这位代理就会忽略群体2的报告，并遵循群体1的先验分布。但这样一来，群体2的所有交易者都会按照群体1的先验分布接受评分和支付，他们不会满意这一结果；这意味着，一个群体完全忽略另一个群体不可能构成均衡。我认为这只意味着，在异质先验下，该机制通常不具备真实性，而这似乎是个问题。不过，也许问题并没有那么严重；即使先验分布相差悬殊，最终结果或许也会等同于代币投票。又或者，可以考虑引入某种机制，只有当最近 k 的价格方差较小时才予以结算，诸如此类。另一个可能有意思的研究问题是：“先验分布需要相差多大，该机制才会不再真实？”人们或许会预期，先验分布非常相似的两个交易者群体，仍能在一定程度上保持真实性。

最后，论文中有一段简短的说明（第 562 页）：如果机制设计者可以接触到可信代理，就可以将这些代理安排在末尾，并让他们成为参考代理。这似乎很难实现，但或许可以与因学术诚信而“令人敬畏”这一概念以某种方式结合起来。

5.4.2 Restake 是一种预先承诺：在预设价格下切换 $A \to B$ ：

与其让改变想法成为一件必须触发的事情，不如让它在达到特定价格时自动发生？这将与“如果……我就会改变想法”的概念完全吻合。这可能很适合与 Restake 的锁定机制搭配：你不能退出再质押头寸，但可以在头寸内于 A 和 B 之间切换。这对再质押的含义稍作重新诠释，将其视为一种表态：“我认为这两者相关；我更喜欢 A，但我会跟随证据的指引。”这听起来在理念上与我们的目标颇为相似！

5.4.3 Restake 是一个稍后购买 A 的合约：

当交易者进行 Restake 时，会将现金存入合约；当 B 低于阈值时，该合约便会执行（以预先设定的价格购买 A）。

5.4.4 Restake 即“购买 $A \wedge r$ 中的份额”：

如果我们简单地将 Restake 实现为“购买 $A \wedge r$ 的份额”，那么遗漏了什么？购买 $A \wedge r$ 对于任何实际上并不相信 r （或实际上相信 B =True）的人来说，都是一项高风险的举动。如果在 B 较高而 r 较低时执行购买，然后再进行交换，就能获得极高的投入回报，并自动满足 Restake 的双重验证性质（第4.2.2节）。

6. 结论

该项目不仅加深了我们对问题领域整体情况的认识，也让我们了解了可能的解决途径。此外，我们还确定了需要克服的重大挑战。最后，我们明确制定了研究议程，为下一阶段的研究奠定了基础。

引用文献

[1] Y. Chen 和 D. M. Pennock，《Designing Markets for Prediction》，《*AI Magazine*》，第 31 卷，第 4 期，第 42–52 页，2010 年 12 月。 [在线]。获取地址：https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1609/aimag.v31i4.2313

[2] R. D. Hanson，《组合信息市场设计》，《Information Systems Frontiers》，第 5 卷第 1 期，第 107–119 页，2003 年 1 月。 [在线]。链接：https://link.springer.com/10.1023/A:1022058209073[3]Y. Chen、L. Fortnow、N. Lambert、D. M. Pennock 和 J. Wortman，《组合市场做市商的复杂性》，载于第九届 ACM 电子商务会议论文集。美国纽约州纽约市：ACM，2008 年 7 月，第 190–199 页。 [在线]。链接：https://dl.acm.org/doi/10.1145/1386790.1386822[4] R. D. Hanson，《用于模块化组合信息聚合的对数市场评分规则》，《The Journal of Prediction Markets》，第 1 卷第 1 期，第 3–15 页，2007 年 12 月。 [在线]。链接：http://www.bjll.org/index.php/jpm/article/view/417[5] D. M. Pennock 和 L. Xia，《基于贝叶斯网络的组合预测市场价格更新》，载于第 27 届人工智能中的不确定性会议论文集，UAI 2011，2011 年，第 581–588 页。[6]P. S. Hossain、X. Wang 和 F.-Y. Yu，《组合证券自动化做市商的设计：几何视角》，载于 2025 年 ACM-SIAM 离散算法年度研讨会论文集（SODA）。美国宾夕法尼亚州费城：工业与应用数学学会，2025 年 1 月，第 1329–1365 页。 [在线]。链接：https://epubs.siam.org/doi/10.1137/1.9781611978322.40[7]A. Othman 和 T. Sandholm，《决策规则与决策市场》，载于 AAMAS ’10：第九届自主智能体与多智能体系统国际会议论文集，2010 年 5 月，第 625–632 页。 [在线]。链接：www.ifaamas.org[8] Y. Chen、I. Kash、M. Ruberry 和 V. Shnayder，《具有良好激励的决策市场》，载于互联网与网络经济国际研讨会（WINE），2011 年，第 72–83 页。[在线]。链接：http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-25510-6 7

[9]Y. Chen、I. A. Kash、M. Ruberry 和 V. Shnayder，《为决策制定引出预测和建议》，《ACM经济学与计算学汇刊》，第 2 卷第 2 期，第 1–27 页，2014 年 6 月。 [在线]。链接：https://dl.acm.org/doi/10.1145/2556271[10] M. Chakraborty 和 S. Das，《在操纵的博弈中交易：预测市场中的结果操纵》，载于 IJCAI'16：第二十五届国际人工智能联合会议论文集，2016 年，第 158–164 页。[11] C. Oesterheld、J. Treutlein、E. Cooper 和 R. Hudson，《运用适当评分规则激励诚实的表现型预测》，载于第 39 届人工智能中的不确定性会议（UAI 2023），第 P MLR 卷第 216 期，2023 年，第 1564–1574 页。[12]S. Srinivasan、E. Karger 和 Y. Chen，《不可验证结果的自我结算预测市场》，载于第 26 届 ACM经济学与计算会议论文集。美国纽约州纽约市：ACM，2025 年 7 月，第 547–573 页。 [在线]。链接：https://dl.acm.org/doi/10.1145/3736252.3742593[13]R. Saber 和 R. M. Murray，《动态智能体网络的共识协议》，《2003 年美国控制会议论文集》，第 2 卷，第 951–956 页，2003 年。[在线]。链接：http://ieeexplore.ieee.org/document/1239709/[14] R. Olfati-Saber、J. A. Fax 和 R. M. Murray，《网络化多智能体系统中的共识与合作》，《IEEE会刊》，第 95 卷第 1 期，第 215–233 页，2007 年。[15] R. J. Aumann，《同意彼此不同意》，《统计学年鉴》，第 4 卷第 6 期，第 1236–1239 页，1976 年 11 月。 [在线]。链接：https://projecteuclid.org/journals/annals-of-statistics/volume-4/issue-6/Agreeing-to-Disagree/10.1214/aos/1176343654.full