Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
《区块链：研究与应用》00 (2026) 1–27
区块链：R 和 A

代币经济设计：激励机制、治理与代币经济学

Samela Kivilo[a], Alex Norta[b,d,1,*], Marie Hattingh[c], Sowelu Avanzo[e], Luca Pennella[f]

[a]塔林理工大学，爱沙尼亚；*samela.kivilo@gmail.com*[b]塔林大学，爱沙尼亚；*alex.norta.phd@ieee.org*[c]比勒陀利亚大学，南非；*marie.hattingh@up.ac.za*[d]*Dymaxion OÜ*，塔林，爱沙尼亚[e]都灵大学，意大利；*soweluelios.avanzo@unito.it*[f]的里雅斯特大学，意大利；*luca.pennella@phd.units.it*

arXiv:2602.09608v1 [cs.CE] 10 Feb 2026

摘要

近年来，代币经济系统——即使用加密代币表示价值与权利的去中心化系统——已经取得了长足发展。激励结构日趋复杂，使区块链的应用范围扩展到纯交易用途之外。现有研究主要考察特定应用场景中的代币经济，提出概念框架，或研究治理、激励设计和代币经济学等孤立方面。然而，现有文献缺乏以实证为基础、贯穿端到端的指导，未能将这些维度整合为连贯、循序渐进的设计方法，也未充分借鉴具体的代币经济开发实践。为弥补这一空白，本文提出代币经济设计方法（TEDM）这一设计科学制品，通过综合归纳激励机制、治理和代币经济学领域的分步设计命题，为代币经济设计提供指导。TEDM 源于对既有研究成果的迭代式定性综合，并通过共同设计案例加以完善。该制品通过 Currynomics 案例研究和额外的专家访谈进行形成性评估。Currynomics 是一个以房地产为基础资产、维护 Redcurry 稳定币的生态系统。TEDM 被定位为可复用的设计指南，旨在促进对代币化生态系统基础需求的分析。该方法的独特之处在于聚焦系统的社会技术语境及其设计早期阶段。

© 2026 由 Elsevier Ltd. 出版。

关键词：代币经济、代币经济激励机制、代币经济设计、代币经济治理、代币经济学

1. 引言

近年来，区块链技术日益受到欢迎，因为它能够实现去中心化、安全和透明度。然而，尽管区块链技术多年来取得了显著进展，其真正潜力尚未得到充分发挥。虽然简单的加密货币转账易于执行和理解，但要将此类交易与现实世界对象或活动联系起来，仍然颇具挑战。这使得区块链难以拓展其有益应用场景的范围 [1]。为此，加密代币应运而生，可用于表示网络中的各种资产或服务 [2]。

*通讯作者[1]ORCID：0000-0003-0593-8244

在区块链技术出现之前，代币通常与代金券联系在一起，用来代表赌场筹码或节庆饮品等具有实际价值的东西 [3]。在区块链语境中，代币代表对有形和无形资产的权利，例如金锭、房地产及相关租赁合同。建立现实世界技术与区块链之间的联系，为开发先进且创新的应用铺平了道路。因此，代币在与超大规模Web2平台竞争方面发挥着重要作用；这些平台在过去十年间已近乎垄断 [4]。例如，Facebook、Instagram、Airbnb 和谷歌等主导平台以中心化的方式掌控用户数据，从而得以利用这些数据增加自身利润 [5]。这种中心化威胁着用户数据的隐私，并加剧了整个生态系统遭受黑客攻击的风险 [6]。另一方面，代币能够将此类平台的各种功能——从社交网络到搜索引擎和文件存储——转化为去中心化形式，使中介平台无法恶意利用用户数据牟利。

对于区块链初创企业而言，代币是一种创新的融资渠道，也可作为生态系统的“内部货币” [7]。此外，代币还催生了新型组织形式，通常称为去中心化自治组织（DAO）。在实践中，DAO 的自动化和去中心化程度差异显著：有些主要依赖链上智能合约和基于代币的治理，而另一些则将链上执行与链下协调、社会流程及非正式规范相结合。在此背景下，代币通常为成员资格和治理机制提供基础，并且许多治理协议都采用基于代币的投票 [8, 9, 10]。这使 DAO 中的决策与条件价值存储和转移等关键功能相互关联，而这些功能对 DAO 的运行至关重要 [11], ，也凸显了为 DAO 设计健全的代币经济的重要性。

第 2.2 节的文献综述指出，代币经济中反复出现三个设计维度：激励机制、治理和代币经济学。激励机制涉及奖励与惩罚，用以引导参与者的行为，使其朝着系统目标迈进。治理指决策权如何分配和行使。代币经济学则规定代币的发行、分布、分配和销毁规则 [12]。在本文中，我们将这些维度作为一种务实的设计框架，同时承认其他技术选择也可能影响可行的解决方案。

多项研究强调了代币经济设计对区块链生态系统及其治理的重要性 [13, 14]。在此情境下，代币能够协调区块链生态系统中不同利益相关者群体的利益，因为代币的价值与该生态系统本身所创造的内在价值相关 [6]。然而，代币功能种类繁多，因此需要谨慎进行代币经济设计。开发者往往并未充分了解其为区块链系统用户设计的激励结构，也不了解激励机制在意外市场事件出现时可能如何适得其反 [15]。例如，不恰当地组合使用资产代币与支付代币等功能，可能阻碍代币生态系统的发展 [16]。此外，过高的代币流动性会降低代币经济的市值相对于未来利润的水平，从而设定融资上限 [17]。Sockin与Xiong [18] 警告称，代币可能发生价格崩盘，即不存在能够使代币供应量与需求相匹配的均衡价格；这种情况通常由投机引起。

代币经济设计不佳的最大规模实证案例之一，是 Luna 和 TerraUSD 代币在2022年的崩盘，导致数千名利益相关者蒙受投资损失 [19]。区块链崩盘的原因，是加密货币生态系统内风险过度累积 [15]。也就是说，风险管理不充分往往与产品设计不佳同时出现，因此代币的设计使其在意外事件发生时容易遭受重大损失。2022年，许多数字资产项目和代币发行仍在持续伤害代币使用者及购买者 [20]。这些人往往在最初的成功之后，最终只剩下毫无价值的代币。

既有研究提出了若干关于代币经济的概念框架（例如， [21, 22, 12, 6]），并且针对特定领域的设计讨论日益增多（例如工业、汽车和 Web3 游戏） [23, 24, 25, 26]。然而，能够端到端提供指导的研究仍然有限：这类指导需（i）在统一连贯的结构中整合激励机制、治理和代币经济学；（ii）提供包含明确决策点和权衡的分步设计命题；（iii）以具体代币经济开发实践的实证证据为基础。此外，有些研究仅单独探讨三个维度中的一个，例如治理 [27] 或首次代币发行场景中的代币经济学 [28], ，而激励机制建模则往往被单独处理 [29]。

在去中心化自治组织领域，研究强调了代币经济设计对系统效用的重要性，并提及了融入激励机制的架构模型 [30, 31]。此外， [32], 还强调了去中心化自治组织需要一种全面的代币经济设计软件工程方法，以及

用于验证去中心化自治组织激励机制的支持工具，该机制在 [33]中提出。然而，目前尚未开发出适用于这一范围的完整软件工程方法。

考虑到这些挑战，本研究旨在提出代币经济设计方法（TEDM），将其作为一种设计科学制品，由基于实证代币经济开发案例的结构化设计命题构成。我们遵循设计科学研究（DSR）方法，通过迭代设计循环来解答以下研究问题 [34]:

- **主要研究问题：**如何通过明确整合激励机制、治理与代币经济学，以结构化方式设计代币经济？
- **子研究问题1（RQ1）：**哪些设计考量与决策点能够支持代币经济中的激励机制设计？
- **子研究问题2（RQ2）：**哪些设计考量与决策点能够支持代币经济中的治理设计？
- **子研究问题3（研究问题3）：**哪些设计考量与决策点能够支持代币经济中的代币经济学设计？

为此，第2.1节介绍了所提出的设计科学研究方法。第2.2节考察现有文献，以确定与代币经济设计相重叠的理论框架，并介绍所提出设计制品的三大支柱。第2.3节介绍Currynomics代币系统使用案例，该案例有助于寻找有效的设计原则。第3节介绍代币经济设计方法（TEDM）。第3.1、3.2和3.3节分别对设计制品的各个组成部分进行 वस्तार，以呈现各子研究问题的结果。第4节讨论了如何评估该制品：首先，通过一项案例研究，评估所提出的设计指南在Currynomics生态系统中实际应用时的可行性；其次，通过额外的专家访谈进行评估。最后，第5节总结了本研究，并提出未来研究的建议。

2. 前置内容

本节提供了理解本文主要贡献所必需的背景信息。首先，第2.1节描述了本研究采用的方法论以及数据收集与分析方法。随后，第2.2节介绍相关工作，第2.3节描述使用案例。

2.1. 方法论与数据

本研究采用设计科学研究（DSR）方法论，因为它非常适用于代币经济等社会技术系统 [34]。本研究旨在开发并评估一种代币经济设计方法（TEDM），以支持在早期阶段围绕激励机制、治理和代币经济学制定代币经济设计决策。设计科学研究产物是一份实用指南，它体现了该方法的核心结构，并以既有文献（第 2.2 节）中的概念为依据，再通过一个实证设计案例加以完善。

与设计科学研究（DSR）一致，本研究的知识库包括：(i) 与代币经济相关的基础理论和框架（第 2.2.1 节）；以及 (ii) 文献中用于解决相关问题的既有研究方法和面向设计的方法（第 2.2.3、2.2.4 和 2.2.5 节）。基于这一知识库，我们确定了组织该方法的三大设计支柱：激励结构、治理和代币经济学。重要的是，TEDM 并非旨在预测经济绩效的模型，而是将以实证为基础的设计命题转化为可操作的形式，明确呈现决策点、权衡和风险，从而支持代币经济开发过程中的分析推理与沟通。图 1 展示了本研究采用的 DSR 研究方法。DSR 旨在通过针对具体业务需求，确保所开发制品的相关性。DSR 研究的环境组成部分涵盖焦点组织的关键需求、缺陷和目标，并识别资源约束。与 DSR 的理念一致，本研究的贡献在于提出一种基于实证证据、可重复使用的设计制品。本研究的评价具有形成性，旨在支持分析可转移性（即

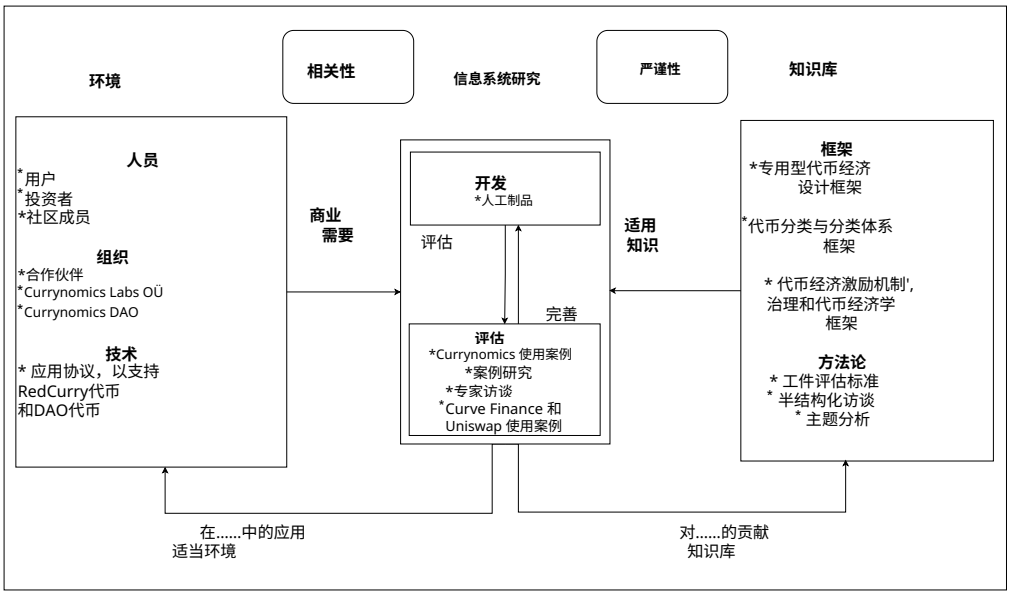

图1. 本研究采用的设计科学研究（DSR）框架 [34]。

通过推理实现跨情境适用），而非统计推广或对更优经济结果的因果证明。本案例研究聚焦于 Currynomics 生态系统，其环境包括利益相关者（用户、投资者和社区成员）、组织（合作伙伴、Currynomics Labs OÜ 和 Currynomics DAO），以及用于支持 Redcurry 代币和 DAO 代币的应用协议技术。第 2.3 节将详细介绍上述各项要素。

2.1.1. 制品推导与可追溯性

TEDM 通过一个与社会技术系统设计科学研究（DSR）一致的迭代式定性过程推导而来 [34]。首先，我们对现有代币经济学设计研究进行了范围限定的综合分析，重点关注激励机制、治理和代币经济学领域中反复出现的构念、决策点与权衡（第2.2节）。其次，我们开展了概念提取与聚类分析，将相互重叠的构念整合为一组连贯的设计命题。该综合分析形成了三个宏观维度，这些维度在既有研究和实践中反复共同出现：激励结构、治理和代币经济学。第三，我们通过与 Currynomics案例开展设计循环，对形成的设计命题进行了迭代式完善；在每一步中，均对以下方面进行检查：(i) 目标清晰度；(ii) 操作层面的可解释性；以及 (iii) 在文献、案例证据或两者中的可追溯依据。因此，TEDM 应被理解为一种具有实证基础、可复用的设计指导，并具有明确的边界条件，而不应被视为一种能够对代币经济结果进行统计泛化预测的模型。

2.1.2. 数据收集与分析

在设计科学研究产物评估中，专家访谈可以有效地 eliciting 关于制品实用功能和可解释性的知情判断 [35]。半结构化访谈是收集数据的一种宝贵方式，可以从专家那里了解其做法、信念、经验和观点 [36]。每个 TEDM 组件（第 3.1、3.2 和 3.3 节）都经历了四轮开发、评估和完善的迭代周期。在第一轮中，将现有文献中的概念整合为初步设计命题，并按步骤组织成一种方法。随后通过用例演示评估该制品，即通过简化评估展示如何使用制品解决特定问题实例 [37]。此步骤涉及将规定的 TEDM 步骤应用于 Currynomics案例。首先向目的性抽样选取的两位 Currynomics代表介绍可视化方法步骤，随后由他们根据项目需求构建图 4 所示的目标模型。之后通过与两位 Currynomics代表（IN1、IN2）进行半结构化访谈来评估制品的实用功能。此外，还从该案例之外的一个独立目的性抽样群体中收集了反馈，该群体由

三位行业专家（IN3、IN4、IN5）组成。最后的评估步骤是将 TEDM 类别应用于两个现有代币经济，以进行比较性演示，旨在评估该方法的构念和决策点在核心案例之外是否仍然具有可解释性。此步骤并不检验经济绩效结果，而是支持该方法结构逻辑在不同情境间的分析可转移性。

访谈的目的是评估该制品的完整性、简洁性、可理解性、操作可行性和感知准确性；这些评估标准是信息系统/设计科学研究制品评估中常用的标准 [37]。这些标准的选择借鉴了van Pelt等人 [38], 的研究，他们开发并评估了一个范围较本研究更窄的区块链治理框架。访谈使用Transkriptor软件进行了转录[2]。收集的数据采用主题分析法进行分析，遵循Braun和Clarke [39],提出的六个步骤，并使用MAXQDA[3]的编码功能。每次访谈开始时，研究人员都会向参与者说明研究目的和访谈结构，并征求其录音同意。第一部分向参与者介绍TEDM，并邀请他们就自己认为重要的任何设计主题发表意见。第二部分提出以下问题：

1. 您如何看待该方法的完整性？ 2. 您如何评价该方法的简洁性？
3. 您如何看待该方法的可理解性？ 4. 您对该方法的操作可行性有何看法？ 5. 您如何看待该方法的感知准确性？

表1展示了使用案例示例中采用的记号，用以说明该方法。该记号属于面向智能体建模（AOM），因其简洁、易于解释，且适用于代币经济等社会技术系统而被选用 [40]。在AOM中，目标模型用于表示和分析系统需求。智能体追求的目标对应于系统的功能需求，而质量目标对应于与给定功能相关的质量属性。目标按层级分解为子目标。下一节将回顾相关文献，为该方法奠定背景基础。

2.2. 文献综述

本综述将既有研究归纳为四个相辅相成的方向。首先，我们讨论从理论层面构建代币经济概念的学术框架与分类体系（第 2.2.1 节）。其次，我们回顾针对特定领域提出的专用代币经济设计方法（第 2.2.2 节）。第三，我们考察单独探讨代币经济设计三个反复出现维度之一的文献：治理（第 2.2.3 节）、激励机制（第 2.2.4 节）和代币经济学（第 2.2.5 节）。最后，我们综合归纳由此发现的研究空白，并阐述为何需要一种循序渐进、以实证为基础且整合这些维度的设计方法。

2.2.1. 代币经济的理论框架与分类体系

学术文献提出了若干从不同视角探讨代币经济设计的理论框架。Benedetti 等人 [12]考察了典型的代币经济设计，探讨了监管方法，并回顾了效用型代币在去中心化金融和虚拟现实平台等领域的应用。Lage 等人 [21]分析了基于区块链的去中心化平台模型的基本特征。Khamisa [6] 提出了代币经济设计的概念结构，其中包括经济目标的界定、代币设计选择以及治理考量。

Barrera和Hurder [22] 提出了*House*框架 （图2），该框架将基于区块链的生态系统的经济设计分解为五个层次：（1）价值主张，（2）融资，（3）激励机制，（4）代币设计，以及（5）治理。尽管该框架有助于概念分解，但它仍停留在较高层面，对于如何在各层内部及跨层之间的具体设计选项中进行权衡，仅提供了有限的指导。

除概念框架外，还有多项研究聚焦于代币分类和分类体系。Freni 等人 [41]梳理了代币创造价值的渠道（技术、行为、协调），并强调了以下方面的相关性：

[2]https://app.transkriptor.com/uploader [3] https://www.maxqda.com/

要素	描述	记号
Goal	世界中的特定情境或状态， 利益相关者希望达成的—— tain.	
质量目标	为实现更广泛的目标， 必须达到的一系列精确标准或条件。	
分解	用于说明两个不同目标之间联系的 关系，即一个 更高层级或父级目标，以及较低 层级目标或子目标。	
关联	用于将目标与其他相关要素联系起来的 关系，这些要素有助于定义 或描述该目标。	
示例	一个用于说明的具体实例化 案例研究中的一个目标	

表1. 使用案例中采用的目标模型表示法。

代币特征、货币政策和激励机制。Oliveira 等人 [2]基于文献综述和专家访谈，提出了一套代币设计指南。Tapscott [42]探讨了代币标准，以及从分类学视角将代币视为数字资产的观点。总体而言，这些研究提供了有价值的构念和类别，但通常未能将这些构念转化为端到端、循序渐进的设计方法，无法在整合激励机制、治理和代币经济学的同时，明确列出决策点和权衡。

相较于实践中的代币工程与定量设计框架。 在业界及相关研究领域，代币工程方法通常侧重量化优化、仿真或状态空间探索。例如，BlockScience[4] 开发的仿真工具与方法论，以及相关

[4]https://block.science/

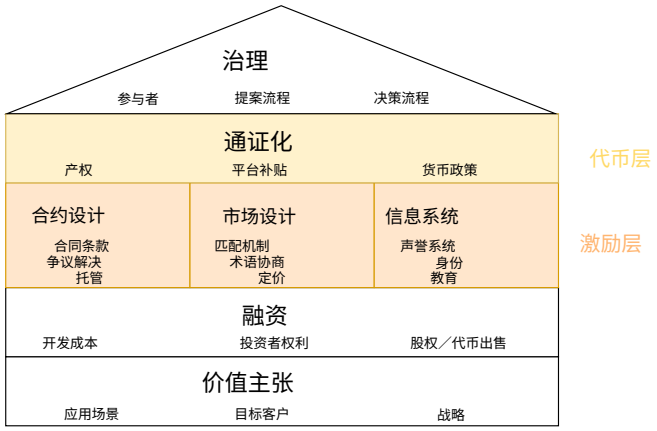

图2. House框架 [22]。

工作（例如 [33, 43]），还有用于工程化设计加密经济系统的状态空间建模框架（例如 [44,45]）。这些方法在候选设计确定后，对于压力测试、参数调优和探索系统动力学尤其有价值。然而，它们通常预设设计者已经以足够结构化的方式阐明了 (i) 系统目标、(ii) 利益相关者角色、(iii) 治理决策权，以及 (iv) 代币发行／分配政策，从而能够将其用于模型或模拟。在此背景下，TEDM 被定位为一种互补的设计科学制品，支持对代币经济学需求和设计命题进行定性且结构化的推导，涵盖激励机制、治理和代币经济学，从而产出后续可通过定量方法加以优化和验证的输入。

2.2.2. 特殊用途代币经济设计

代币设计研究中很大一部分聚焦于特殊用途案例和特定领域的限制，这限制了其跨领域的适用性。例如，Wang 等人 [23]和 Dasaklis 等人 [46] 聚焦于供应链场景，而 Hofmann 等人 [24] 则探讨协同制造。Hasan 等人 [47] 和 Zhang 等人 [25]针对汽车行业提出了特定领域的设计。Direr 等人 [26] 为一款 Web3 游戏设计了经济机制。Hou 等人 [48]提出了一种采用双代币设计的自愿公共碳市场机制。Kim 等人 [49] 则为 Insolar 商业网络提出了代币经济设计。尽管这些研究在各自领域颇具价值，但通常未能提供一种广泛适用、循序渐进的方法，以整合治理、激励机制和代币经济学，从而适用于拥有异质利益相关者和不同目标的代币经济。

2.2.3. 治理

多项研究强调了代币经济与去中心化自治组织之间的相互联系，因为基于代币的治理既依赖代币（例如投票权和成员资格），也直接影响代币供应量、分布和激励机制的一致性。Avanzo 等人 [32] 强调了去中心化自治组织环境下代币经济设计的复杂性，并主张采用能够支持基于稳健代币经济设计的治理的建模语言和方法。实证研究考察了知名去中心化自治组织中的治理情况，例如投票权集中和参与度（如 Compound、Uniswap、ENS） [50], , 以及治理决策对代币经济的影响（如 MakerDAO） [51, 52]。Venugopalan 等人 [53] 探讨了去中心化自治组织中治理、代币经济学与激励机制之间的相互联系，但其提出的方法和工具主要针对治理相关张力，并未构成一种涵盖这三大支柱的集成式分步设计方法。

另有研究提出了区块链治理的治理模型、评估视角和分析工具。Bena 和 Zhang [27] 研究了异质贡献者成本条件下的去中心化治理。Kiayas 和 Lazos [54] 讨论了治理程序的评估。Liu 等人 [4]提出了一个治理框架，涵盖去中心化、权威、激励机制和问责制等因素。Fernandez 等人 [55] 模拟了代币发行后的投票权集中情况。Mohan 等人 [56] 讨论了女巫攻击抵抗和财阀统治等挑战。Wang 等人 [13]提出了一个区块链治理本体，其中包含与激励机制相关的概念。总体而言，这一研究方向提供了重要的构念和实证见解，但同时纳入代币经济学决策（发行时间表、分配策略、价格管理机制）的实用分步指导仍然有限。

2.2.4. 激励结构

大量研究探讨了区块链系统中的激励机制，包括对激励机制的综述 [57, 58, 59, 29]。然而，许多研究主要关注挖矿和基础层协议激励，而非应用层代币经济。相关研究还考察了代币设计如何影响基于账本的生态系统中的参与者激励，有时聚焦于特定领域（例如供应链或数据市场） [60]。其他研究则提出了旨在提升商业市场盈利能力的激励模型 [61]，或分析了竞争性平台环境（例如去中心化交易所）中的代币激励 [62]。面向DAO的模型通常将激励机制作为核心组成部分 [30, 31] ，但往往只提供有限的分步设计指导，且通常未纳入发行、分配和价格管理政策等代币经济学决策。

2.2.5. 代币经济学

代币经济学经常从代币货币政策、供应策略和分配机制的角度进行研究。先前研究探讨了空投和策略性行为（包括女巫参与） [63, 64], , 并将代币经济学与金融概念（例如股份、利润、股息）联系起来 [63, 64], relates

还提出了针对去中心化自治组织的估值视角 [66]。其他研究聚焦于首次代币发行设计和发行上限 [28], , 以及数字资产的代币发行实践和估值方法 [20]。另有研究分析了财富集中 [67, 68, 69] ，并从公司金融的角度探讨销毁机制和回购等机制 [70]。

在最接近的分步研究中，Kimand Chung [71] 分析了代币化社交网络 Steemit，并提出了一个旨在成功开展首次代币发行的八步设计流程。尽管这一流程颇具价值，但它针对的是首次代币发行场景，未能以整合的方式处理治理属性规范和激励结构设计。

综合与研究空白。 在所回顾的研究领域中，既有工作提供了（i）界定相关构念的概念框架和分类体系，（ii）纳入本地约束的领域专属代币设计，以及（iii）针对治理、激励机制或代币经济学各支柱的洞见。然而，能够将这三大支柱整合为连贯设计方法、明确说明决策点、权衡和适用边界条件，并以实证为基础提供分步指导的研究仍然有限。因此，有必要开发代币经济设计方法（TEDM），将其作为一种设计科学研究产物，整合并落实涵盖激励机制、治理和代币经济学的设计命题，并通过实证设计案例和专家反馈对其进行形成性评估。

2.3. 使用案例 - *Currynomics*生态系统

本研究以 Currynomics生态系统作为实证设计案例，对 TEDM 进行形成性评估。该案例适用，因为它涉及一项综合性的代币经济设计问题：在现实约束（例如资产支持、组织角色和利益相关者信任）下，必须联合明确激励机制、治理和代币经济学。同时，我们明确将 Currynomics 视为一个有界问题实例：它并不代表所有类型的代币经济（例如最小治理协议或纯算法稳定币），本案例旨在为该方法提供实际依据并加以完善，而非宣称其具有统计推广性。

Currynomics 是一个去中心化的区块链生态系统，将其稳定币（Redcurry代币）的价值与商业房地产（CRE）投资组合的净资产价值（NAV）挂钩 [72]。Redcurry 的设计源于稳定币面临的一项普遍挑战：代币持有者往往无法充分核实或信任底层抵押品的有效性及其可用性，这会增加感知到的短缺风险，并威胁锚定汇率 [73]。在 Currynomics 中，Redcurry 代表 CRE 投资组合的价值，并通过资产支持机制维持锚定汇率 [72]。

Redcurry既可作为支付手段，也可作为价值储存手段，因此与USDT等成熟的稳定币相似，但不同之处在于其供应量并非固定不变 [72]。此外，Redcurry并非纯粹的资产代币：持有者不会因此获得特定底层房产的直接法律权利。相反，该生态系统会将投资组合产生的财务收益再投资于系统之中。从这个意义上说，这种设计旨在通过搭建一座桥梁，将房地产“商品化”，使资本能够从传统经济流向加密经济，同时维持一个资产支持的价值锚。

Currynomics生态系统如图3所示。生态系统的核心主体以红色标示：Redcurry Holding铸造Redcurry代币，在商业房地产投资组合中购置房地产，并向合作伙伴分发代币。以橙色标示的是生态系统的开发者和维护者：CurrynomicsLabs OÜ提供开发、营销和管理服务，而Currynomics DAO则是代币经济的治理主体，并在决策过程中使用DAO代币。Currynomics DAO作为一个去中心化组织运作，与生态系统中的其他法律实体相互独立。

支撑 Redcurry 的代币经济面临着多重挑战，这些挑战源自周边的商业环境。一个关键挑战是，在加密货币经济之外存在竞争性投资替代品（例如低风险房地产基金）的情况下，如何找到能够建立用户（Redcurry持有者）信任的关键因素，使他们愿意购买并长期持有代币。信任与治理设计密切相关，因此引发了这样的问题：如何在不使系统暴露于治理俘获或激励错配风险的前提下，维持社区参与。最后，引入治理代币（去中心化自治组织代币）需要审慎作出代币经济学决策，涉及发行时机、分配和分配机制，因为这些选择会影响治理权力以及长期激励一致性。

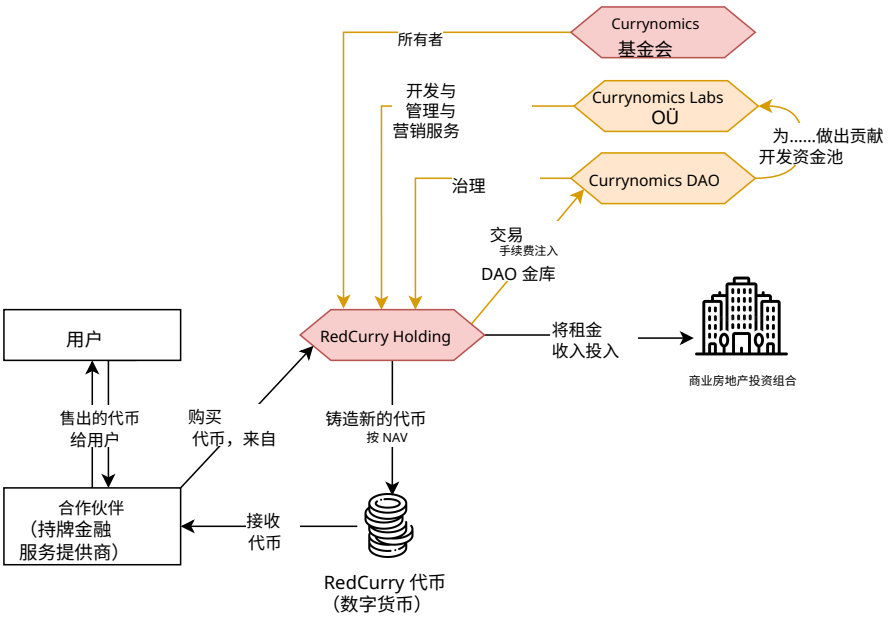

图3. Currynomics生态系统的利益相关者图谱。

3. 代币经济设计方法

第 2.2.3、2.2.4 和 2.2.5 节介绍的代币经济设计要素整合为代币经济设计方法（TEDM），我们将在本节中对此进行说明。

TEDM 并未采用以定量方法为主的路径（例如优化或基于仿真的搜索），而这类方法在从业者的部分代币工程文献中颇受强调。相反，TEDM 是通过对相关学术文献进行迭代综合，并通过一个实证设计案例开展形成性评估而形成的。这种方法有意优先考虑实际相关性和可解释性，而非形式上的完整性；因此，应将 TEDM 理解为一组以实证为基础的设计命题，明确呈现决策点、权衡和风险，而不是将其视为预测代币经济结果的模型。

TEDM 应用于第 2.3 节介绍的 Currynomics 案例。研究结果通过案例演示和专家访谈进行评估（第 4 节）。图 4 总结了三个依次展开的方法组成部分及其分步结构。

TEDM 由三个组成部分构成：激励结构、治理和代币经济学。下文各小节将分别详细介绍这些组成部分。

3.1. 激励机制

精心设计的激励结构对于使利益相关者行为与代币经济的目标保持一致至关重要。正如 Yoo 等人所指出的，了解哪些用户群体参与代币经济，以及他们从奖励与惩罚机制 [74]中获得哪些益处，十分重要。根据 [6], , 激励设计的关键原则是鼓励有助于实现代币经济主要目标的行动，遏制破坏性行为，并考虑到利益相关者需求的异质性。激励机制也很重要，因为它们作为报酬机制，能够支持生态系统的长期可持续性 [75]。

本小节通过提供建立激励机制的分步指导来回应 RQ1（第 1 节）。在 TEDM 中，每个步骤都被表述为一项设计命题：说明该步骤所针对的设计目标、其依据以及预期的输出成果，从而明确呈现权衡与风险，而非仅仅提供一份纯程序性的检查清单。

步骤 1 和 2 从（i）参与者和（ii）系统预期执行的功能这两个方面，定义了代币经济的价值主张。在确立价值主张后，步骤 3 将识别支持

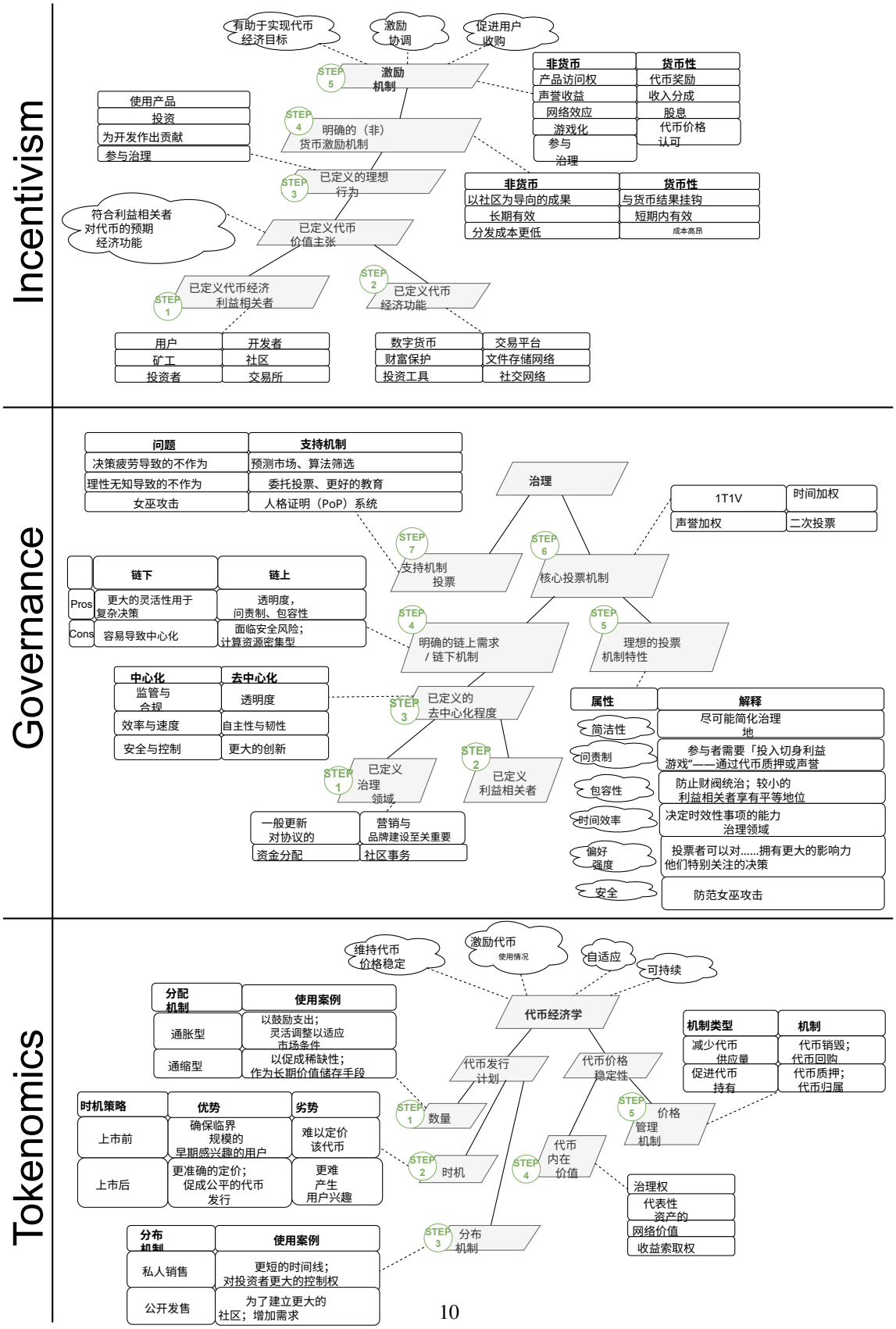

图 4. 代币经济设计方法（TEDM）。

激励设计目标	TEDM 激励设计
定义代币经济价值主张	1) 识别代币经济利益相关者
	2) 定义代币经济功能
识别有助于提升系统效用的行为	3）确定期望行为
选择激励机制以促进期望行为	4）定义激励机制的类型。
	5）指定激励机制

表2：激励设计目标及对应的 TEDM 步骤。

系统效用。步骤 4 和 5 随后确定所需的激励类型，并明确具体的激励机制 .
每个步骤的定义如下 并随后将其应用于 Currynomics案例。

3.1.1. 步骤 *1* - 确定利益相关者

识别利益相关者类别及其动机，是进行激励设计的重要前提 [6]。以往研究提出了不同的利益相关者分类体系。Davidson [76]区分了维护者、贡献者和用户。Allen and Berg [77] 纳入了代币持有者、开发者、创始团队、矿工/验证者，以及政府和风险投资等间接利益相关者。Voshmgir [78] 强调了节点、开发者、矿工和市场参与者（例如做市商）。Liu 等人 [4] 区分了项目团队、节点运营者、用户、应用提供商和监管机构。一个人可能同时属于多个利益相关者群体。

在 Currynomics案例中，我们识别出：

- **用户**：出于金融用途购买并持有 Redcurry代币的 Redcurry 代币持有者。
- **合作伙伴**：从 Redcurry Holding 购买代币，并收取交易费用将其分发给终端用户的持牌金融机构。
- **开发者**：Currynomics Labs OÜ，为生态系统提供开发、营销和管理服务。
- **社区成员**：参与治理流程的 Currynomics 治理代币（DAO代币）持有者。
- **投资者**：通过购买/持有治理代币，或投资 Currynomics Labs OÜ 以支持生态系统发展来提供资本的参与者。

3.1.2. 步骤 *2* - 确定代币经济的功能。

区块链生态系统将利益相关者联系起来，基于共享资源创造价值 [22]。价值创造可以包括商品转移、支付手段、监测资产状态、提供服务/产品的使用权限，或投票 [3]。Sockin和Xiong [18] 认为，价值可能源于（i）促成大量用户之间的交易，或（ii）提供投资工具。从金融角度来看，系统也可能旨在实现价格稳定（稳定币通常如此），或保护财富免受通货膨胀影响 [79]。

Currynomics生态系统的核心目标主要是金融方面的。Redcurry代币以房地产收购为支撑进行铸造，旨在支持：

- 为储蓄提供财富保护和流动性停泊；
- 与商业房地产投资组合价值增值挂钩的投资工具；
- 一种支付手段；
- 价格稳定所支持的信贷场景中的抵押品效用。

3.1.3. 步骤 *3* - 定义期望行为

在有效的代币经济中，参与者的行为应支持系统效用，而不应只追求个人的短期收益 [6, 80]。Khamisa [6] 将此称为代币—网络契合度。Yoo [74] 认为，期望行为取决于这些行为是否为生态系统创造长期经济价值。长期参与和留存经常被视为特别有价值的行为 [74, 81]。

在 Currynomics 中，确定了以下行为：

- **用户**：将 Redcurry 作为长期价值储存手段持有，并在其参考价值/市场价格锚以下时避免持续卖出。
- **社区成员**：通过 DAO代币参与讨论和决策。
- **投资者**：提供开发流动性（例如，通过购买/持有 DAO代币或投资开发实体）。

尽管 Redcurry 可以支持多种金融功能，但在早期阶段，其主要用途是长期持有，以建立稳定性和信任。在后续阶段，只要交易不会在低流动性时期系统性地削弱价格锚，交易活动就可以保持中性。

3.1.4. 步骤 *4* - 选择激励机制类型

激励机制可以是货币性的，也可以是非货币性的。货币激励包括：针对各类行动的代币奖励 [4], 质押机制，即锁定代币以支持生态系统运营 [41, 66], ；通过向去中心化交易所/去中心化金融协议提供流动性进行流动性挖矿 [62], ；以及有关平台成功的增长预期，这类预期无需直接获得代币收益即可激励参与 [41, 16]。文献中讨论的非货币激励包括服务访问权限、声誉机制和治理参与 [41],, 以及网络效应和游戏化 [71]。

激励机制类型	**机制描述**
货币性	代币奖励（用户行为） [4]
	质押（锁定代币以示支持） [41, 66]
	流动性挖矿（通过去中心化交易所/去中心化金融获利） [62]
	增长预期（平台成功） [41, 16]
非货币	服务访问权限 [41]
	声誉机制（声誉提升） [41]
	治理参与（决策） [41]
	网络效应 [71]
	游戏化 [71]

表 3. 货币性和非货币激励机制类型。

3.1.5. 步骤 *5* - 明确激励机制

具体的激励机制应当 (i) 为代币经济目标作出贡献，(ii) 激励支持系统效用的行为，以及 (iii) 吸引并留住参与者。这些可以被视为质量目标，即激励机制应满足的标准。

在 Currynomics 中，Redcurry 用户主要受到货币激励的驱动，尤其是与 Redcurry 价值增值和稳定性相关的收益。相比之下，DAO 代币的主要目标是激励治理参与和协调一致的决策。因此，声誉收益和治理参与的内在价值等非货币激励对于社区成员尤其重要，而 DAO 代币的潜在价值增值则可以作为面向投资者的额外货币激励。

3.2. 代币经济治理

图 4 总结了 TEDM 中的七个治理设计步骤。目标是根据项目需求构建治理决策，同时明确主要的权衡与风险（例如财阀统治/治理俘获、女巫攻击、参与度低和决策疲劳） [82]。

3.2.1. 步骤 *1* - 定义治理领域

治理领域取决于系统目标，以及社区获准（且有能力）做出决策的范围。治理决策可包括协议升级和参数变更、生态系统服务/产品的开发、人员招募与管理、金库与代币资产管理，以及治理规则本身的变更 [6]。治理还可能包括紧急行动（例如触发关停模式）和基础设施资助决策 [83], ，以及薪酬和资源分配政策 [22]。

在 Currynomics 中，我们确定了四个广泛的治理领域：

- **金库管理**：DAO 金库资金的分配与管理。
- **治理与流程**：治理结构、投票程序、社区目标，以及社区对提案的态度。
- **协议升级**：实施升级、调整全局及金库专属参数，以及替换模块化智能合约。
- **代币经济学**：与治理代币的发行、分配和分布以及其他代币政策参数相关的决策。

3.2.2. 步骤 *2* - 确定治理利益相关者和角色

对于每个治理领域，都应确定相关利益相关者及其角色（例如，谁提出提案、谁参与审议、谁投票、谁执行以及谁承担责任）。在 Currynomics 中，利益相关者群体已在第 3.1.1 节中定义；在此，TEDM 使用这些类别，在各治理领域中分配决策权和责任。

3.2.3. 步骤 *3* - 确定目标去中心化程度

在此阶段，应确定期望的去中心化程度。Liu 等人 [4] 区分了（i）私有且中心化的生态系统（例如，企业区块链）、（ii）公开但中心化的代币经济（治理在形式上开放，但实际上由特权参与者控制）以及（iii）公开且去中心化的系统（不存在特权利益相关者，从而能够实现广泛参与）。

为将去中心化目标付诸实践，通常会使用基于分布的指标来评估公共代币经济，例如基尼系数和中本聪系数 [84, 69]。基尼系数用于量化资源分布（例如投票权）中的不平等程度，取值范围为 0（完全平等）至 1（集中度最高）：

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} |x_i - x_j|}{2n^2 \bar{x}}. \tag{1}$$

基尼系数越高，表示集中度越高，因此中心化程度也越高。

中本聪系数反映了控制某项资源（例如投票权）超过 50% 所需的独立实体数量：

$$N = \min \left\{ k \;\middle|\; \sum_{i=1}^{k} S_i > \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n} S_j \right\}. \tag{2}$$

中本聪系数较低，表示少数实体便能组成控制联盟（中心化程度较高）；系数较高，则表示控制权分布更为广泛。

这些指标可用于：（i）在设计阶段设定去中心化目标；（ii）系统投入运行后，监测实际治理是否仍与这些目标一致。在实践中，去中心化具有多个维度（代币所有权、投票参与度、提案者权力和执行权限等方面的去中心化程度可能各不相同），因此，这些指标应被视为参考信号，而非全面的衡量标准。

在 Currynomics 中，出于法律和运营限制，某些治理决策仍必须集中处理。例如，Redcurry 的发行由代码控制，而储备资产构成则由投资委员会管理。负责监督生态系统完整性的 Currynomics Foundation 董事会，其组成也

不受社区投票决定。不过，多个治理领域仍向去中心化参与开放，使社区成员能够影响决策，同时维持必要的监督。

3.2.4. 步骤 *4* - 明确对链上和链下机制的需求

链上治理是指通过协议（例如借助智能合约）执行提案和投票的流程，这可能使已获通过的变更得以自动实施 [85]。链下治理是指在协议之外（例如论坛、社交渠道）进行审议和决策的流程，通常用于讨论、表达意向和设定议程 [70]。

Currynomics 致力于尽可能确保治理的透明度和包容性；因此，大多数治理领域都通过链上投票机制来决策。不过，有些阶段有意安排在线下进行，例如在社区论坛中筛选提案并开展前期审议（“温度检查”）。如果提案通过温度检查，就可以进入正式投票。这种混合结构兼顾了透明度、包容性与实际审议需求，而后者很难完全通过链上方式来满足。

3.2.5. 步骤 *5* - 定义所需的投票机制属性

没有任何单一投票机制能够在所有标准上普遍达到最优；选择需要进行权衡 [54]。在 TEDM 中，候选机制（步骤 6）将根据以下所需属性进行评估：

- **简洁性**：程序应易于理解和实施，避免不必要的复杂性。
- **问责制**：参与者应当“利益攸关”（例如投入代币、时间或声誉），以促进负责任的决策 [54]。
- **包容性**：机制应避免仅因小型利益相关者财力有限，就系统性地将其边缘化 [56]。
- **时间效**率：紧急决策应能够在时间限制内完成 [54]。
- **偏好强度**：机制应允许投票者表达他们对某个问题的在意程度 [56]。
- **安全**：机制应减轻选民舞弊（例如女巫攻击） [56] ，并降低投票权集中所带来的中心化／俘获风险 [86]。

3.2.6. 步骤 *6* - 核心投票机制

我们区分文献中讨论的四类核心投票机制：

- **1一代币一票（1T1V）**根据代币持有量 [56]按比例分配投票权。这种机制简单且时间效率高，但可能助长买票和财阀统治，降低包容性并增加俘获风险 [86]。
- **时间加权投票**引入时间承诺，以加强问责制并减轻短期俘获动态 [56]。与纯粹的一人一票相比，时间加权可以提升问责制和安全性，但往往会降低时间效率并增加复杂性。常见变体包括：
  - **信念投票**：持续支持会随时间增加对某项提案的“信念” [87]。– **投票托管（ve-token）**：用户锁定代币一段时间，以获得更高的投票权 [56]。– **债券投票**：通过类似债券的承诺，质押资源越多，投票权越高 [56]。
- **声誉加权投票**根据声誉而非代币财富为投票赋予权重 [88]。这可以提升包容性，但需要额外的机制来量化和更新声誉，也可能引入新的攻击面并增加治理开销。例如，Colony 就采用了这种方式 [56]。
- **二次投票** 分配发言权积分，使额外票数的边际成本呈二次增长，旨在反映偏好强度 [89, 90, 91]。与一人一票相比，它可以提升包容性，但其在现实世界中的稳健性以及抵御策略性行为的能力仍有争议 [90]。

Voting mechanism	Simplicity	Accountability	Inclusivity	Time efficiency	Intensity of preferences	Security
1t1v	●	○	○	●	○	○
Time-weighted	◒	●	◒	○	◒	◒
Reputation-weighted	◒	●	●	●	◒	◒
Quadratic voting	◒	●	◒	●	●	◒
Legend: ● - strong fulfilment ◒ - rather strong fulfilment ○ - weak fulfilment						

表4. 投票机制类别与期望属性的对应关系，评分依据所引用的文献得出。

表4将这些机制与期望属性进行了对应。在表中，实心圆表示根据所引用的文献，该属性得到充分满足；半实心圆表示部分满足；空心圆则表示满足程度较低。

当投票权主要取决于单一因素（例如质押代币）时，同时实现女巫攻击抵抗和财阀统治抵抗性颇具挑战。 [56]加入时间或声誉因素可以缓解某些风险，但无法彻底消除女巫行为或俘获激励；因此，没有任何机制能在安全维度上获得满分。

在 Currynomics 中，由于系统侧重财务，去中心化自治组织优先考虑问责制和安全。遴选过程排除了1t1v，因为它容易受到财阀统治和俘获动态的影响。在剩余选项中，Currynomics 将实施和沟通复杂性视为关键约束。声誉加权投票被认为不合适，因为它需要额外的声誉评估基础设施。二次投票则被认为不值得为预期的治理需求增加复杂性。因此，Currynomics 选择了时间加权投票，并在该类别中选择了信念投票这一相对简单的方案。这一选择取决于具体情境：TEDM 为在既定约束条件下选择机制提供了系统化依据，而非声称某一种机制适用于所有代币经济。

3.2.7. 步骤 *7* - 投票支持机制

随着代币经 济日趋成熟，治理可能会面临核心投票机制无法直接解决的问题 . 因此，TEDM 包含可选的支持机制，可在出现特定需求时引入：

- 决策疲劳 /提案过载：提案过多会降低参与度和决策质量。缓解措施包括议程设置、提案预筛选、预测市场或算法筛选 [92, 22]。
- 理性无知：参与者可能会避免收集信息，尤其是在其成本超过预期收益时 [54]。缓解措施包括委托投票、改进信息设计以及结构化审议 [93]。
- 女巫攻击：即使投票者投入代币、时间或声誉，也可能发生身份拆分。缓解措施包括采用人格证明（PoP）等身份系统，同时承认这可能会在隐私和可及性方面带来权衡 [56]。

Currynomics 团队计划初期采用简单的机制来支持社区参与，只有在治理复杂性和参与需求增加时，才引入更先进的支持机制。

3.3. 代币经济学

本小节通过为 TEDM 中的代币经济学设计提供分步指导，回应研究问题3。在该方法中，代币经济学被视为 (i) 发行与分配政策（步骤 1–3）和 (ii) 价值与价格管理政策（步骤 4–5）。每个步骤都被表述为一项设计命题，阐明设计目标、文献中讨论的典型选项，以及预期的输出成果（例如供应政策、时间规划或价格管理工具箱）。图 4 概述了这五个步骤。

3.3.1. 步骤 *1* - 定义代币供应政策

代币经济学的首要决策之一，是确定代币供应量是否设有上限，以及铸造和销毁如何随时间影响流通供应量。以往研究通常将无上限 （通胀型）模型与有上限 （通缩型或固定供应量）模型区分开来：前者的供应量可随时间增加，后者则设有上限 [94, 95, 96]。代币供应量在离散时间步长上的简单会计恒等式如下：

$$S_t = \min\left(S_{\max}, S_{t-1} + M_t - B_t\right)$$

其中，S_t 表示时刻t的流通供应量，M_t 表示新铸造的代币，B_t 表示销毁的代币。对于设有上限的设计，还需施加额外约束$S_t \leq S_{\max}$。

此外，下文施加的约束针对的是通胀型或通缩型发行模型。

- **通胀模型：**
  - 供$_{\max}$ 没有定义（无上限）。– 铸$_t$ > 造$_t$（净供应量随时间增加）。
- **通缩模型：**
  - 供$_{\max}$ 固定（供应量不会超过上限）。

设计影响与权衡。 有上限的供应量可以支撑稀缺性叙事和长期持有，但如果代币主要被视为价值储存手段，可能会降低人们为治理或实用功能而支出的意愿。无上限的供应量可以提高灵活性，并能响应需求，但如果铸造规则不透明且缺乏约束，可能会加剧人们对稀释和长期可信度的担忧。

Currynomics。 Redcurry的发行由需求驱动，并由资产支持：随着底层商业房地产投资组合扩大，新的Redcurry代币将被铸造。从运营角度看，这类似于无上限机制，但铸造规则受抵押品基础约束，而非酌情发行。相比之下，Currynomics DAO 代币遵循有上限的供应政策。团队承认，强烈的稀缺性激励可能会降低人们使用DAO代币参与治理相关活动的意愿；治理设计（例如锁定代币以进行投票）可以在一定程度上缓解这一问题，使参与激励不再完全受“支出还是持有”的动态影响。

3.3.2. 步骤 *2* - 确定时机策略（上线前 *vs.* 上线后）

代币可以在上线前 （产品/协议上线之前）或上线后 （上线之后）发行 [50]。上线前发行可以为开发提供资金，并扶持早期利益相关者（通常通过托管/归属结构实现） [94]。上线后发行可以按照既定计划进行，也可以由需求驱动；需求驱动型发行有助于使供应扩张与采用情况相匹配，与大规模前期集中发行相比，或可减轻某些波动压力 [94]。设计启示与权衡。上线前发行有助于早期融资和协调，但如果代币归属和锁仓机制不够完善，就会增加错配风险（例如早期集中度过高、机会性抛售）。上线后发行能够更好地反映已实现需求，但如果参与激励需要前期分配，也可能减缓生态系统的早期增长。

Currynomics. Redcurry 无法在上线前有意义地发行，因为发行需要收购和管理底层房地产组合；因此，它实际上是在上线后发行，且由抵押品驱动。DAO代币可以在上线前部分发行，以确保早期贡献者参与并建立治理能力，同时采取控制措施（例如代币归属）来限制早期抛售压力。

3.3.3. 步骤 *3* - 确定分配机制（公开渠道与私人渠道）

代币可以通过不同渠道进行分配，包括：

- **私人销售**：向有限的投资者群体出售代币（通常会打折） [97]。
- **公开发售**：向广大群体出售代币（例如首次代币发行/首次交易所发行或其他公开发行） [28, 41, 98]。
- **空投**：免费向用户分发代币，以促进采用 [63, 64, 99]。

设计启示与权衡。 私人销售可以加快融资并吸引战略合作伙伴，但可能加剧集中度并引发不公平感。公开发售可以扩大参与范围并体现需求，但面临监管和市场操纵风险。空投可以推动采用起步，但可能将投票权分配给治理能力较低或参与意愿较低的接收者，从而可能损害治理质量 [76]。

Currynomics. Redcurry 的分布通过持牌金融机构（合作伙伴）以公开渠道进行，这与其资产支持属性和合规约束相符。DAO 代币一部分通过上线前私人销售进行分发（面向创始人、早期贡献者、顾问和早期投资者），另一部分则通过上线后的公开机制分发。剩余代币池将留作流动性提供和生态系统激励（例如漏洞赏金、社区管理和营销），并额外预留一部分以满足未来的生态系统需求。

3.3.4. 步骤 *4* - 定义价值捕获机制（“内在价值”）

代币价格可持续性取决于可信的价值捕获机制，以及代币需求与系统效用之间的关系。尽管有些作者认为，从严格意义上讲，代币缺乏内在价值 [70, 94], ，文献仍讨论了代币可以捕获价值的常见渠道：

- **治理权**：参与决策 [65, 66]。
- **与资产挂钩的权益**：代表与现实世界资产或链上资产相关联的权益（例如，以抵押品支持的结构） [41, 94]。
- **网络价值**：受生态系统 [41, 94]的采用、信任和实用功能影响的价值。
- **收益权**：代币持有者可直接或间接受益于费用流或经济盈余的结构 [41, 96]。

3.3.5. 步骤 *5* - 定义价格管理机制（稳定性工具箱）

设计者通常会引入一些机制，以减轻过度波动、维护信任并应对不利情形（例如投机压力、流动性冲击或快速抛售）。先前研究指出，在高波动性下，投机可能挤压实用型用户，从而损害长期采用 [100, 101]。文献中常讨论的机制包括：

- **代币销毁**：通过永久移除代币来减少流通供应量 [70]。
- **质押/锁定**：通过锁定承诺减少流通供应量并协调激励机制 [66]。
- **回购**：使用国库资金或收入从市场上购买代币，减少流通供应量，并表明拥有资源 [65, 70]。
- **代币归属**：逐步释放代币，以避免早期利益相关者突然释放代币造成供应冲击 [74, 100]。

设计启示与权衡。 供应量削减机制有助于稳定价格，但如果发生大规模解锁事件，或质押收益主要吸引投机参与者，也可能加剧未来的波动性。因此，TEDM 将价格管理视为一套工具，其适用性取决于代币的价值捕获渠道以及预期的不利情景。

Currynomics。 Redcurry 的主要价值锚定在于其与现实资产的联系以及相关的信任动态。一种互补的渠道是网络价值：更广泛的采用可以增强新用户的感知可信度。 r

对于 DAO 代币，关键价值渠道是治理权和（未来可能拥有的）收益索取权，因为交易手续费可能会间接支持代币的长期价值。关于价格管理，Redcurry 纳入了与需求变化挂钩的赎回/回购式控制逻辑；此外，用户可以质押 Redcurry 并获得 DAO 代币作为奖励，这会减少流通供应量，并可能缓解短期抛售压力。对于 DAO 代币，采用代币归属机制以缓解早期贡献者的抛售，而所选的投票机制则提供了额外的锁定渠道，可在治理参与期间减少流通供应量。团队正在考虑，随着生态系统日趋成熟、流动性状况不断变化，是否有必要采用额外的价格管理机制。

4. 评估

本节依据第2.1节所述的迭代式设计科学研究周期，对代币经济设计方法（TEDM）进行评估。该评估具有形成性：它考察TEDM的可解释性、完整性、简洁性、可理解性、操作可行性和感知准确性，而非提供统计概化或其能够带来更优经济结果的因果证明。由于撰写本文时Currynomics生态系统尚未上线，结果导向验证（例如长期可持续性、市场压力下的稳健性）不属于本研究当前版本可获得实证证据的范围。为部分应对外部效度和失效模式问题，我们在重点案例演示的基础上，补充了：（i）外部专家访谈；以及（ii）结构化的案头压力情境讨论，将TEDM决策点与常见不利情景联系起来。

首先，我们在第 4.1 节报告用例演示。其次，我们在第 4.2 节通过访谈 Currynomics 参与者，介绍基于案例的评估。基于案例的评估广泛应用于设计科学研究研究 [102]；然而，鉴于本文撰写时目标系统的成熟度，能够通过实证方式验证的内容受到限制。因此，我们进一步通过访谈与 Currynomics案例无关的行业专家开展评估（第 4.3 节）。最后，第 4.4 节概述主题分析编码的结果。

Code	Role	背景
IN1	Redcurry基金会联合创始人	商业开发，工商管理硕士
IN2	Redcurry基金会联合创始人	工程师，信息技术理学学士
IN3	外部行业专家	电气工程师，代币工程研究人员。
IN4	外部行业专家	Web3 项目顾问和顾问。
IN5	外部行业专家	计算机科学理学硕士、软件开发人员和 Web3 基础设施创始人 .

表 5. 受访者角色与背景。

专家采用目的性抽样，筛选标准为在代币经济设计领域拥有至少三年的丰富经验，无论经验来自行业实践还是学术研究。参与者的构成有助于在案例特定约束与更广泛的从业者视角和研究视角之间进行三角互证。

4.1. 用例演示

该演示说明 TEDM 如何支持从环境问题陈述过渡到围绕激励机制、治理和代币经济学制定结构化设计命题。

激励机制（第 3.1 节）。TEDM 支持提取 (i) 利益相关者类别、(ii) 系统功能，以及 (iii) 需要通过激励机制加以促进的期望行为。根据这些结果，Currynomics 团队得出结论：与 Redcurry 相关的激励机制应主要采用货币性方式（体现财务价值主张）；而围绕 DAO代币的治理参与则应更多依靠非货币机制（例如参与治理和声誉信号），并将货币性认可作为次要激励。

治理（第 3.2 节）。TEDM 支持将治理领域映射到利益相关者，并明确哪些决策因法律或运营约束而仍由中心化方式处理。根据去中心化目标和期望的投票属性，该方法指导团队选择时间加权投票类别；考虑到简洁性约束，

团队决定最初采用信念投票作为一种机制。团队还得出结论，只有随着治理复杂性增加，才应引入支持机制。

代币经济学（第 3.3 节）。TEDM 有助于构建代币供应政策、释放时机和分配机制。对于 Redcurry，该方法确认了与其资产支持型设计相一致的、由需求驱动且受抵押品约束的发行方式。对于去中心化自治组织代币，该方法阐明了供应上限带来的权衡（例如，强化持有激励），并促使采用代币归属和代币锁定，以缓解早期抛售压力、降低短期波动性。该方法还明确了价值捕获渠道（与资产挂钩、治理权、预期收益）如何影响价格管理选择和失效模式风险。

4.2. 基于案例研究的评估

如第 2.1 节所述，TEDM 根据五项标准进行评估：完整性、简洁性、可理解性、操作可行性和感知准确性。由于篇幅限制，图 4 展示了纳入反馈后完善的 TEDM 版本。

完整性. 从 Currynomics案例的角度来看，IN2 认为 TEDM 涵盖了当前阶段相关的主要治理、激励和代币经济学选择，并指出接下来切实可行的一步是针对选定机制进行定量优化（例如，模拟）。IN1 建议，未来可扩展该方法，纳入代币分配指南（上线前和上线后），以及关于初始价格形成的最佳实践。

简洁性. IN1 和 IN2 均认为，考虑到代币经济设计本身的复杂性，该方法足够简洁；他们强调，其可视化结构有助于减轻认知负担，同时不遗漏关键主题

可理解性. 两位参与者都指出，该方法得益于明确的阅读指南，以及对三大支柱及其子步骤的排序。这些反馈促使我们在图 4 中加入递进的步骤编号，并提供更清晰的导航提示。他们还强调，治理概念涉及社会科学术语，技术背景的从业者可能并不熟悉，因此每个步骤都需要简洁的定义和理由说明。

操作可行性。 参与者认为，TEDM 在早期结构设计以及根据案例约束排除不适用机制方面具有实际价值。他们指出，关于如何选择去中心化自治组织技术栈的指导可以提升其实用价值，同时也承认，这类实施层面的选择超出了当前范围。一项关键观察是，TEDM 有助于明确哪些内容不 符合案例约束，从而聚焦工作重点，缩小设计空间。

感知准确性。 IN1 提醒，应更突出地权衡不设上限的供应可能带来的缺点及其收益，并指出稀释动态和连锁抛售风险。这一担忧与先前关于不受限制的贡献所带来的估值不确定性和不稳定性风险的讨论一致 [20]。这条反馈促使 TEDM 更明确地说明边界条件（例如，何时适合采用不设上限的供应或需求驱动型发行，以及需要哪些保障措施）。

4.3. 专家访谈

本小节汇报外部专家在听取 TEDM 和案例实例化方案（图 4）的介绍后提供的反馈。

完整性。 IN3 强调，代币经济设计与法律和监管约束密切相关，并建议增设可选的法律意识模块，同时承认完整的法律框架超出了本版本的范围。IN3 还强调，需要从博弈论视角考量激励设计，并指出收益结构若协调不当，可能引发不利动态（例如快速抛售）。IN4 认可 TEDM 当前的范围，但建议未来工作可针对不同的 DAO 类型提供模块化扩展。IN5 提议通过分阶段决策（例如提案接收、审议、投票、执行）以及各阶段的工具支持来丰富治理，这与治理会随时间演进的观点一致 [103]。

简洁性与可行性。 IN3 和 IN5 认为范围恰当，且未发现明显冗余的组成部分。IN5 赞赏将核心投票机制与支持机制分开的做法，认为这种务实的“附加组件”方式适用于生态系统日后成熟时采用。IN4 指出，该方法对新手而言实用，但要掌握细节仍需进一步阅读，这对于该领域而言是可以预期的。

感知准确性与边界条件。 专家强调，完全去中心化在实践中并不常见，而且可能降低灵活性，这与实证研究中观察到的去中心化自治组织治理 [50]面临的挑战相一致。他们还主张采用链上/链下混合设计，因为许多有效的决策工具仍处于链下，成本也更低，这支持了 TEDM 中的混合治理定位 [104]。关于女巫攻击抵抗，IN3 提醒，基于身份的机制可能引入新的攻击向量（例如买票），因此，介绍此类机制时应同时说明其权衡与局限，而不应将其视为普遍适用的解决方案。

对抗性压力讨论（诊断用途）。 尽管以结果为导向的测试超出了现有实证研究范围，但专家反馈和相关文献促使我们使用 TEDM 对常见失效模式进行诊断。因此，我们将该方法的关键决策点与不利情景联系起来，如下所示：(i) 治理俘获/财阀统治可通过去中心化目标（步骤 3）和投票属性选择（步骤 5）加以应对，并辅以支持机制（步骤 7）；(ii) 流动性冲击与抛售引发的连锁效应 促使采用审慎的释放/分配政策（代币经济学步骤 1–3）以及价格管理工具选择（步骤 5）；(iii) 投机主导与激励反噬 促使明确将期望行为（激励机制步骤 3）与激励类型及保障措施（步骤 4–5）相联系，并阐明应谨慎使用货币激励的边界条件。本讨论并不构成稳健性的实证证明；相反，它阐明了如何利用 TEDM 尽早揭示风险与设计权衡。

4.4. 主题分析概述

表6总结了五份访谈记录中与评估标准相关的主题分析编码结果。计数反映了与各项标准及立场相关的编码评论片段（代码）数量。这些描述性计数有助于透明地呈现哪些主题被提及得最频繁；它们并非旨在作为统计证据。

评估标准	**支持**	**中立**	**反对**
完整性	3	4	2
简洁性	7	2	-
可理解性	-	2	3
操作可行性	6	8	-
感知准确性	4	11	3

表6. 按评估标准汇总的编码访谈意见

总体而言，TEDM 获得了积极的形成性评估。简洁性和操作可行性得到了充分肯定，凸显了其在早期结构设计中的实用价值。完整性和感知准确性方面的反馈不一，反复出现的建议包括：(i) 更明确地说明法律/监管边界条件；(ii) 加强定性设计命题与后续定量验证之间的联系。可理解性成为主要关注点，因此需要改进图 4 中的导航提示和步骤顺序。

4.5. Curve Finance 与 *Uniswap* 代币经济的比较分析

我们将第 3–5 节提出的 TEDM 分类用作分析性编码方案，以比较两种正在运行的代币经济：Curve Finance[5] 和 Uniswap[6]。两者都是基于自动做市商（AMM） [105]的成熟去中心化交易所（DEX）。这一比较性应用补充了此前的评估

[5]https://resources.curve.fi/ [6] https://app.uniswap.org/

步骤，展示 TEDM 类别如何应用于 Currynomics案例之外的场景。尽管这两个案例属于同一应用类别，但它们在激励机制和治理设计方面存在显著差异，因此能够对 TEDM 分类在同一领域内的可移植性进行一项不流于形式的检验。

两种协议都通过流动性池而非订单簿，支持无需许可的代币互换 [105]。Uniswap 采用恒定乘积自动做市商设计（通常通过不变量 $x \cdot y = k$ 进行形式化），支持广泛 ERC-20 代币对之间的互换。治理由去中心化自治组织负责，UNI 代币持有者可对升级和协议参数进行投票。Curve Finance 专注于稳定价值资产互换，采用针对相关资产（例如稳定币和包装资产）量身设计的联合曲线设计，以优化低滑点并减少无常损失 [105]。Curve 的治理同样基于去中心化自治组织，但高度依赖代币锁定（veCRV），将治理影响力与长期承诺及奖励加成挂钩。

下文将使用 TEDM 的支柱——激励机制、治理和代币经济学——总结这两种代币经济的主要设计特征。

4.6. 激励机制

TEDM步骤	**Uniswap**	**Curve Finance**
价值主张-tion	• **流动性提供者（LP）**：赚取交易-手续费，通过向流动性池提供流动性。 • **交易者**：兑换代币，无需中介-以自动化市场价格。 •**UNI 持有者**：参与治理-治理（例如，升级和参数决策）。决策）。	• **流动性提供者（LP）**：赚取交易手续费和 CRV激励，以提供流动性。 • **交易者**：兑换稳定价值资产将滑点降至最低。 • **veCRV持有者**：锁定 CRV 以获得治理权力和奖励加成治理权力和奖励加成。 • **外部DeFi利益相关者**：展开竞争通过影响排放方向来吸引流动性，投向特定流动性池将资金流向特定的流动性池。
理想的行为 Be-	流动性提供；参与治理。	长期承诺；积极治理；将激励机制导向具有战略相关性的vant 流动性池。
激励机-制	流动性提供者的交易手续费（货币性）；治理权归 UNI 持有者（非货币）。	交易流动性提供者手续费（货币性）；CRV向流动性提供者发放代币排放（货币性）；基于 veCRV 的收益加成（货币性）；通过锁定 veCRV 获得治理影响力（非货币性）。通过锁定 veCRV 获得治理影响力（非货币性）。

表 7. 基于 TEDM 的 Uniswap 与 Curve Finance 激励结构比较。

应用 TEDM 分析激励机制，可以看出两种协议都将流动性提供与治理参与相结合，但机制复杂度各不相同（表 7）。在 Uniswap 中，利益相关者集合相对精简：流动性提供者通过手续费分配获得奖励，而 UNI 持有者则拥有治理权。期望行为包括持续提供流动性和参与治理，主要由基于手续费的货币激励和非货币性治理权予以支持。

Curve Finance 引入了额外的激励渠道和角色。除了手续费，CRV 排放会奖励流动性提供，而将 CRV 锁定为 veCRV 则会提升治理权力和奖励加成。此外，外部去中心化金融项目可能会试图影响 veCRV 投票，将 CRV 排放引导至自己的流动性池（这种动态通常被称为“贿赂”） [106, 107]。这使激励机制与治理之间的关联更加紧密：治理参与不仅具有非货币属性（决策权），还通过收益加成和代币发行分配与货币性结果紧密相连。

4.7. 治理

TEDM 步骤	Uniswap	Curve Finance
治理领域	协议升级、费用相关决策，以及 金库管理。	流动性激励/代币发行分配、协 议升级和财库分配。
利益相关者角色	UNI 持有者提议（通过治理程 流程）并对变更进行投票。	veCRV持有者对流动性激励机制进行投票 以及其他治理决策；流动性提供者可通过锁仓决策 和以代币排放为重点的参与，间接影响结果 以及以代币排放为重点的参与。
去中心化程度	无需许可，但投票 权高度集中（报告称高度中心化）。	无需许可；投票权较为分散 比 Uniswap 更分散，但仍明显集 中。
投票机制	基于 UNI 的一币一票。	时间加权投票托管治理（ve- CRV：锁定时间越长 ⇒投票权重越高）。

表8. TEDM -模型比较 Uniswap 和 Cur 中的治理模型 ve 金融。

表8总结了 TEDM 下的治理属性。Uniswap 采用标准的一币一票模型，虽然简单，但容易受到财阀式集中的影响。已有研究报告称，Uniswap 治理权力的基尼系数为 0.996，中本聪式阈值为 11，表明其集中度极高 [50]。这意味着治理过程的包容性较低，俘获风险较高。

Curve Finance 采用投票托管模型（veCRV），投票权取决于锁定的 CRV 数量和锁定期限。我们的分析显示，基尼系数为 0.8402，中本聪系数为 23，这表明与 Uniswap 相比，投票权分布更广，但从绝对意义上看仍然较为集中。这些指标应被视为反映治理集中度的分布信号；它们无法全面体现投票率效应、委托模式或链下影响渠道。Curve 集中度分析的完整方法论和数据集可在相关 GitHub 仓库中获取[7]。

4.8. 代币经济学

TEDM 步骤	Uniswap	Curve Finance
代币 供应 模型	通胀政策（例如，年通胀率为 2%，据文献报 道 [108]）。	供应上限（据报告，上限为 ≈ 3.03B CRV）。
代币分配	通过空投和（限时 ）流动性挖矿进行上线后分配；用于财 库、团队和投资者的分配。	通过流动性挖矿进行上线后代币排放；已归属 分配给团队和早期利益相关者。
价值捕获 渠道	• **UNI**：治理权；网络价值。 • **流动性池代币：** 对流动性池资产和手续费 收入的权利；网络价值。	• **CRV/veCRV：** 治理权；通过锁定获得加成 奖励；与收益挂钩的价值 通过引导流动性激励。 • **流动性池代币：** 资产索取权，收入索取权- 入 ，网络价值
价格管理 机制	没有明确的价格稳定机制；价格 动态主要由市场驱动（除分配中的归属期/ 锁仓外）。	锁定 veCRV 会减少流通供应量，并将 治理权力与长期承诺挂钩 ment。

表9. 基于TEDM的Uniswap与Curve Finance代币经济学比较。

表9凸显了截然不同的代币经济学选择。据报告，Uniswap 的 UNI 供应量为通胀型（例如每年 2% 的通货膨胀），没有硬上限，初始上线后分配通过空投和流动性挖矿以及

[7] https:github.comSoweluAvanzoCurve_Finance_数据_分析

对国库、团队和投资者的额外分配 [109]。据报告，Curve Finance 设有上限（约 30.3 亿 CRV），代币排放主要通过流动性挖矿进行，并由已归属分配加以补充 [110]。与 Uniswap 向早期采用者立即空投不同，CRV 分配强调通过代币排放和代币归属实现持续参与。

对于这两种协议，流动性提供者代币通过对资金池资产和手续费收入的索取权来捕获价值，而网络活动的增长会进一步增加手续费收入。UNI 和 CRV/veCRV 赋予治理权；不过，Curve 还将治理与奖励分配及长期锁定联系起来，这可能同时影响激励一致性和流通供应量动态。在 TEDM 框架下，这些差异说明了价值捕获渠道和分配政策如何与治理设计及激励机制相互作用，也支持将 TEDM 分类作为去中心化交易所自动做市商领域跨案例分析视角的做法。

未来工作应将比较性实例化扩展到结构迥异的代币经济（例如治理最小化协议、稳定币或失败的算法设计），以进一步探究边界条件。

5. 结论与未来工作

本研究提出了代币经济设计方法（TEDM），这是一种受设计科学研究启发的分步方法，旨在围绕三大核心支柱——激励机制、治理和代币经济学——支持早期代币经济设计。TEDM 是一种定性需求分析、推导与结构化方法，供从业者使用，尤其适用于 Web3 新手；他们必须应对广阔的设计空间，并在进入实施和定量优化之前明确权衡。

该方法的开发遵循设计科学研究方法，将先前的学术知识综合为设计命题，并通过应用于具体案例进行迭代完善。TEDM在Currynomics生态系统中得到实例化，该生态系统正在开发一种抗通胀、由 CRE 支持的稳定币（Redcurry），并通过与两名案例参与者和三名外部专家进行的半结构化访谈，依据完整性、简洁性、可理解性、操作可行性和感知准确性等标准进行形成性评估。反馈主要促使对方法的导航提示与排序加以改进，这些改进已被纳入制品的最终版本。

为补充焦点案例，我们进一步在对两个已投入运营的去中心化金融代币经济（Uniswap与CurveFinance）的比较分析中实例化了TEDM 分类 [105]。尽管二者均属于去中心化交易所AMM领域，但它们呈现出显著不同的激励与治理耦合（手续费驱动的治理，相对于投票托管锁定与代币排放方向）。这表明，TEDM可作为可复用的分析视角，在同一应用类别内、超越焦点案例之外，对代币经济设计选择进行结构化与比较。

总体而言，TEDM 提供了一种方法层面的制品，有助于：（i）明确利益相关者目标和期望行为；（ii）通过去中心化目标、投票属性和机制选择，构建治理选择的框架；（iii）将代币经济学决策组织为连贯的政策空间，涵盖释放与分配以及价值／价格管理机制。该方法并不被定位为经济成功的保证，而是支持对设计权衡和边界条件进行严谨推理，并为后续的定量测试与改进奠定基础。

局限性与未来工作。本段阐明了应如何解读当前证据，并概述了未来工作的方向。首先，评估属于定性和形成性评估。基于访谈的评估侧重于感知有用性和可解释性（例如完整性、简洁性、可理解性、操作可行性和感知准确性），不应被解读为因果证据，不能据此认定在真实市场条件下应用 TEDM 会带来更优的经济结果（例如可持续性、稳健性或激励一致性）。

其次，实证基础较为有限。深入评估依赖于小规模的目的性抽样和单一共同设计案例，这有助于深入了解设计权衡，但限制了统计推广。因此，这些结果旨在实现分析层面的可迁移性，而非统计上的普遍推广。与 Uniswap 和 Curve Finance 的比较性实例化支持将 TEDM 分类法推广至焦点案例之外，但仍局限于一类应用（去中心化交易所自动做市商），因此本身并不能确立跨情境有效性。

第三，TEDM 的开发优先考虑与设计实践的相关性，而非严格的可复现性。该方法通过对精选文献进行迭代综合，并根据评估反馈加以完善，而非通过完全形式化且可复现的推导流程开发而成。因此，当前版本提供了结构化的

指导，帮助推导定性需求并在早期界定设计范围，但并未规定定量参数的选择（例如最优发行数量），也未提供完整性的形式化保证。

第四，TEDM 的适用性取决于具体情境。它最适用于激励机制、治理和代币供应政策属于首要设计决策，且可通过此类机制有效塑造利益相关者行为的代币经济体。对于治理最简系统，或设计意图与持续效用或制度约束无关的纯投机性代币发行，TEDM 提供的信息可能较少。此外，当前版本未纳入若干技术层面的决策（例如基础层区块链选择、中间件/DAO技术栈选择以及执行层约束），而这些因素可能对可行的治理与代币经济学设计产生重大影响。

这些问题促使我们思考未来工作的若干方向。一个自然的拓展方向是，对结构各异的代币经济体开展更广泛的跨情境评估（例如借贷协议、采用不同抵押策略的稳定币、治理最简系统以及失败的设计），以更好地明确边界条件。另一个方向是整合代币工程中的仿真与状态空间探索方法，以定量优化和压力测试补充 TEDM，从而在不利情景下实现结果导向验证 [44, 43, 45]。未来工作还可通过采用更明确的推导规程（例如开展系统映射，明确纳入标准，并确保从文献构念到方法步骤的可追溯性）来增强可复现性。未来工作将通过链上行为指标（例如代币流通速度和持有时间分布）补充 TEDM [111]。这将有助于评估基于 TEDM 的选择是否与运营中的代币经济体所观察到的使用情况和治理动态相符。最后，TEDM 可扩展加入可选模块，涉及法律/监管认知、基础层与中间件选择以及 DAO 类型，例如协议型、投资型和社交型 DAO [112], ，并可根据需要纳入其他代币经济学方案，如动态供应机制（例如基于联合曲线的政策） [45]。

致谢

本项目还部分获得爱沙尼亚“个人研究资助：团队资助（PRG）”项目 PRG1641 的资助。

利益冲突声明

作者声明不存在任何利益冲突。

参考文献

[1] D. R. D. Santos, M. A. Sanfins, A. Nascimento, P. L. D. S. Nacif, 《代币经济：区块链时代的资产》，《全球媒体期刊》19 (37) (2021) 226. [2] L. Oliviera, L. Zavolokina, I. Bauer, G. Schwabe，是否采用代币：理解区块链代币的工具，载于：第39届国际信息系统会议，旧金山，2018. [3] N. Schubert, D. Obermeier, F. Kohlbrenner, P. Sander，代币设计框架的开发，载于：IEEE去中心化应用与基础设施国际会议（DAPPS），2021. [4] Z. Liu, Y. Li, Q. Min, M. Chang，区块链赋能的在线社区中的用户激励机制：一项实证研究，《信息与管理》59 (7). [5] V. Aistov, B. Kirpes, M. Roon，去中心化电动汽车充电平台融资的区块链代币经济模型，载于：IEEE第44届计算机、软件与应用年会（COMPSAC），马德里，2020. [6] A. Khamisa，代币经济，载于：《翡翠出版社区块链商业手册》，2021，页121–140. [7] L. Pietrewicz，基于代币的区块链融资与治理：交易成本经济学方法，《华沙大学管理学院研究与材料》2 (28) (2018) 126–139. [8] W. Kurniawan, S. Jansen, J. M. van der Werf，去中心化自治组织的投票机制选择，技术报告，SecureSECO（2022）。网址 https://secureseco.org/wp-content/uploads/2022/08/Voting_机制_选择_for_去中心化_自治_组织-3-1.pdf [9] E. Baninemeh, S. Farshidi, S. Jansen，去中心化自治组织平台选择的决策模型：三个行业案例研究，《区块链：研究与应用》4 (2) (2023) 100127. [10] C. Ziegler, I. M. Welpe，去中心化自治组织分类法，载于：ICIS 2022会议论文集，2022. [11] O. Rikken, M. Janssen, Z. Kwee，去中心化自治组织的方方面面：揭示去中心化自治组织的定义、特征与新兴发展，《区块链：研究与应用》（2023）100143.

[12] H. Benedetti, C. Caceres, L. A. Abarzúa，效用型代币，载于：《翡翠出版加密资产手册：投资机遇与挑战》，2023，页79–92. [13] Y. Wang, F. Kaya, J. Gordijn，区块链治理设计：计算机科学视角，载于：国际先进信息系统工程会议，施普林格，2023，页178–185. [14] R. Han, Z. Yan, X. Liang, L. T. Yang，激励机制与区块链如何相互促进？一项综述，《ACM计算调查》55 (7) (2022) 1–38. [15] C. Biancotti，加密货币的下一步是什么？，偶刊第711号，意大利银行（2022年9月21日）。doi:10.2139/ssrn.4462817. URL https://ssrn.com/abstract=4462817 [16] B. J. Drasch, G. Fridgen, T. Manner-Romberg, F. M. Nolting, S. Radszuwill，代币的秘密：代币经济的双面金融激励，《电子市场》30 (3) (2020) 557–567. [17] J. Chod, N. Trichakis, S. Yang，平台代币化：融资、治理与道德风险，《管理科学》68 (9) (2021) 6411–6433. [18] M. Sockin, Q. Xiong，加密货币模型，[在线。可查阅：https://www.nber.org/papers/w26816。[访问日期：3月23日 2023]（2020）。[19] Z. Faux, M. Shen，600亿美元加密货币崩盘揭示了一种新型银行挤兑，[在线。可查阅：https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-05-19/luna-terra-collapse-reveal-crypto-price-volatility。 [访问日期：10月29日 2022]（2022）。[20] W. A. Kaal，公平代币发行，技术报告22-19，圣托马斯大学（明尼苏达州）法律研究（2022）。[21] O. Lage, M. Saiz-Santos, J. M. Zarzuelo，去中心化平台经济：新兴的基于区块链的去中心化平台商业模式，《电子市场》32 (3) (2022) 1707–1723. [22] C. Barrera, S. Hurder，加密经济学：运用经济学洞见为区块链网络设计有效的激励机制与治理模型，技术报告，区块链研究院（2020）。[23] Y. Wang, C. H. Chen, A. Zghari-Sales，设计区块链赋能的供应链，《国际生产研究杂志》59 (5) (2020) 1450–1475. [24] A. Hofmann, C. Freichel, A. Winkelmann，协同制造的去中心化市场，载于：第29届欧洲信息系统会议（ECIS），马拉喀什，2021. [25] J. Zhang, H. Zhao, Y. Yang, J. Yan，迈向透明与可信：基于区块链的二手车定金平台，载于：IEEE第19届软件质量、可靠性与安全国际会议伴会（QRS-C），索非亚，2019. [26] A. Direr, R. Doursat, B. Laurent, D. Biton，设计新型区块链游戏代币经济学的数据驱动且有原则的方法，SSRN电子期刊。[27] J. Bena, S. Zhang，基于代币的去中心化治理，SSRN电子期刊。[28] J. Gan, G. Tsoukalas, S. Netessine，使用加密货币为平台融资：代币留存、销售佣金与首次代币发行上限，ResearchGate（2022）。[29] R. Han, Z. Yan, X. Liang, L. T. Yang，激励机制与区块链如何相互促进？一项综述，《ACM计算调查》55 (7) (2022) 1–38. [30] R. Qin, W. Ding, J. Li, S. Guan, G. Wang, Y. Ren, Z. Qu，基于Web3的去中心化自治组织及其运营：架构、模型与机制，《IEEE系统、人类与控制论汇刊：系统》53 (4) (2022) 2073–2082. [31] S. Wang, W. Ding, J. Li, Y. Yuan, L. Ouyang, F.-Y. Wang，去中心化自治组织：概念、模型与应用，《IEEE计算社会系统汇刊》6 (5) (2019) 870–878. [32] S. Avanzo, A. Norta, C. Schifanella，面向高实用性的去中心化自治组织开发的建模方法，载于：国际区块链与应用大会，施普林格，2023，页542–547. [33] X. Liang, W. Ding, R. Qin, J. Hou, Y. Yuan, X. Wang, F.-Y. Wang，从cadcad到cascad2：基于平行智能的去中心化自治组织机制验证与核验系统，《IEEE计算社会系统汇刊》。[34] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, S. Ram，信息系统研究中的设计科学，《MIS季刊》（2004）75–105. [35] R. Wieringa，技术验证的实证研究方法：扩大至实践应用，《系统与软件杂志》95 (2014) 19–31. [36] M. Harrell, M. Bradley，数据收集方法：半结构化访谈与焦点小组，技术报告ADA512853，兰德国防研究所（2009）。[37] N. Prat, I. Comyn-Wattiau, J. Akoka，信息系统制品评估方法分类体系，《管理信息系统杂志》32 (3) (2015) 229–267. [38] R. van Pelt, S. Jansen, D. Baars, S. Overbeek，区块链治理的定义：分析与比较框架，《信息系统管理》38 (1) (2021) 21–41. [39] V. Braun, V. Clarke，主题分析，载于：《临床与健康心理学中的定性研究》，帕尔格雷夫·麦克米伦，汉普郡，2014，页95–114. [40] L. Sterling, K. Taveter，面向智能体建模的艺术，麻省理工学院出版社，2009. [41] P. Freni, E. Ferro, R. Moncada，代币经济学与区块链代币：面向设计的形态学框架，《区块链：研究与应用》3 (1). [42] S. Tapscott，代币分类体系：数字资产开源标准的必要性，技术报告，区块链研究院（2020）。[43] C. Rice, M. Zargham，代币工程实践（第三部分）：有所缺失，blockScience博客（2019年4月）。网址 https://blog.block.science/on-the-practice-of-token-engineering-part-iii-something-is-missing/ [44] M. Zargham, Z. Zhang, V. Preciado，区块链赋能经济系统工程的状态空间建模框架，arXiv预印本（2018）。arXiv:1807.00955，doi:10.48550/arXiv.1807.00955。网址 https://arxiv.org/abs/1807.00955 [45] M. Zargham, J. Shorish, K. Paruch，从曲线键合到构型空间，载于：2020年IEEE区块链与加密货币国际会议（ICBC），2020.

[46] T. Dasaklis, F. Casino, C. Patsakis, C. Douligeris, 《基于区块链代币的供应链可追溯性框架》, 载于：第17届商业流程管理国际会议，维也纳，2019年。[47] H. R. Hasan, K. Salah, 《基于区块链的实物资产交付证明：单一运输方与多个运输方》, 《IEEE Access》6（2018）46781–46793。[48] D. Hou, Y. Hao, Y. Du, 《基于跨链和代币经济学的公众自愿碳市场机制设计》, 载于：第四届ACM区块链与安全关键基础设施国际研讨会论文集，长崎，2022年。[49] H. Kim, M. Laskowski, M. Zargham, H. Turesson, M. Barlin, D. Kabanov, 《现实中的代币经济学：Insolar区块链网络的加密货币与激励设计》, 《Computer》54（1）（2021）70–80。[50] R. Fritsch, R. Wattenhofer, M. Müller, 《去中心化治理中的投票权分析：谁控制着去中心化自治组织？》, arXiv。[51] X. Sun, C. Stasinakis, 《去中心化金融中的去中心化假象：来自MakerDAO的证据》, SSRN 3971791。[52] X. Zhao, P. Ai, F. Lai, X. Luo, J. Benitez, 《去中心化自治组织中的任务管理》, 《运营管理杂志》68（6-7）（2022）649–674。[53] S. Venugopalan, H. Aydt, 《去中心化自治组织之舞：将数据资产构建作为一种使用案例》, arXiv预印本 arXiv:2301.05945。[54] A. Kiayas, P. Lazos, 《综述：区块链治理》, [在线]。获取地址：https://arxiv.org/pdf/2201.07188.pdf。[访问日期：2023年3月14日 2023]。[55] J. D. Fernandez, T. Barbereau, O. Papageorgiou, 《初始代币分配的基于主体的模型：评估公平发行中的财富集中度》, [在线]。获取地址：https://arxiv.org/pdf/2208.10271.pdf。[访问日期：2022年2月20日 2023]。[56] V. Mohan, P. Khezr, C. Berg, 《以时间承诺进行去中心化治理投票：债券投票作为一种抗女巫攻击机制》, SSRN电子期刊。[57] W. Wang, D. T. Hoang, P. Hu, Z. Xiong, D. Niyato, P. Wang, Y. Wen, D. I. Kim, 《区块链网络中的共识机制与挖矿策略管理综述》, 《IEEE Access》7（2019）22328–22370。[58] Z. Yu, X. Liu, G. Wang, 《源自点对点网络的区块链共识与激励机制综述》, 载于：2018年IEEE第24届并行与分布式系统国际会议（ICPADS），IEEE，2018年，第1010–1015页。[59] J. Huang, K. Lei, M. Du, H. Zhao, H. Liu, J. Liu, Z. Qi, 《区块链激励机制综述》, 载于：《数据科学：第五届开拓性计算机科学家、工程师与教育工作者国际会议》, ICPCSEE 2019，中国桂林，2019年9月20–23日，论文集，第一部分第5卷，施普林格，2019年，第386–395页。[60] J. Jürjens, S. Scheider, F. Yildirim, M. Henke, 《代币经济学：数据空间背景下的去中心化激励》, 载于：《设计数据空间》, 2021年，第91–108页。[61] C. Guo, P. Zhang, B. Lin, J. Song, 《用于提升区块链代币经济商业市场盈利能力的双重激励价值范式》, 《数学》10（3）。[62] X. Liu, W. Chen, K. Zhu, 《代币激励与平台竞争：两个互换平台的故事》, SSRN电子期刊。[63] K. Lommers, C. Makridis, L. Verboven, 《空投设计》, SSRN电子期刊。[64] Z. Liu, H. Zhu, 《打击空投中的女巫攻击者》, [在线]。获取地址：https://arxiv.org/pdf/2209.04603.pdf。[访问日期：2022年3月15日 2023]。[65] A. Carvalho, 《代币经济学及其与传统金融的相似之处》, SSRN电子期刊。[66] K. Lommers, J. Xu, T. A. Xu, 《DAO代币估值框架》, SSRN电子期刊。[67] B. Kusmierz, R. Overko, 《去中心化究竟有多去中心化？币与代币财富分布的比较》, 载于：2022年IEEE全层智能系统国际会议（COINS），2022年。[68] A. Peña Calvin, J. Arroyo, A. Schwartz, S. Hassan, 《在线治理中的权力集中与参与：去中心化自治组织生态系统》, 载于：2024年ACM万维网会议伴随论文集，WWW '24，计算机协会，纽约，纽约州，美国，2024年，第927–930页。doi:10.1145/3589335.3651481。URL https://doi.org/10.1145/3589335.3651481。/。T. Eisermann, C. Campajola, C. J. Tessone, A. S. Teixeira,[69] 《去中心化金融协议治理控制中的集中度》, 《EPJ数据科学》14（1）（2025）85。[70] D. W. E. Allen, C. Berg, S. Davidson, 《回购销毁机制：价格操纵还是价值信号？》, SSRN电子期刊。[71] M. Kim, J. Chung, 《可持续增长与代币经济设计：Steemit案例》, 《可持续性》11（1）。[72] RedCurry, Redcurry, [在线]。获取地址：https://docs.redcurry.co/。[访问日期：2023年4月16日 2023]。[73] M. Hafner, M. H. Pereira, H. Dietl, J. Beccuti, 《稳定币的四种类型：比较分析》, 《Ledger》9。[74] S. Yoo, 《如何设计加密货币价值，以及如何确保其在市场中的可持续性》, 《风险与金融管理杂志》。[75] J. Y. Lee, 《去中心化代币经济：区块链与加密货币如何革新商业》, 《商业视野》62（6）（2019）773–784。[76] S. Davidson, 《从公司治理到加密治理》, SSRN电子期刊。[77] D. W. E. Allen, C. Berg, 《区块链治理：我们能从公司治理经济学中学到什么》, SSRN电子期刊。[78] S. Voshmgir, 《代币经济：Web3如何重塑互联网》（2020）。[79] S. Kampakis, 《代币经济学审计：稳定币项目审计的案例研究与经验教训》, 《英国区块链协会杂志》5（2）（2022）1–7。[80] A. Pazaitis, P. D. Filippi, V. Kostakis, 《共享经济中的区块链与价值体系：Backfeed案例阐释》, 《技术预测与社会变革》。[81] S. Kang, K. Cho, K. Park, 《多代币经济的有效性》, 载于：2019年IEEE区块链与加密货币国际会议（ICBC），2019年。[82] J. Ma, M. Jiang, J. Jiang, X. Luo, Y. Hu, Y. Zhou, Q. Wang, F. Zhang, 《理解DAO治理流程中的安全问题》, 《IEEE软件工程汇刊》。[83] K. Bersani, 《将治理代币与证券区分开来：效用型代币为何可能不符合投资合同》, 《卡多佐法律评论》。[84] R. Feichtinger, R. Fritsch, Y. Vonlanthen, R. Wattenhofer, 《（去中心化）自治组织的隐性缺陷——一项链上治理实证研究》,

载于：国际金融密码学与数据安全会议，施普林格，2023年，第165–185页。[85] W. Reijers, I. Wuisman, M. Mannan, P. De Filippi, 《如今代码自行运行：区块链技术的链上与链下治理》，SSRN电子期刊。[86] V. Buterin, 《超越代币投票治理》，[访问日期：8月29日 2023]（2021年）。URL https://vitalik.ca/general/2021/08/16/voting3.html [87] Y. Faqir-Rhazoui, J. Arroyo, S. Hassan, 《以太坊区块链上去中心化自治组织平台的比较分析》，《互联网服务与应用期刊》12（1）。[88] M. C. Valiente Blazquez, S. Hassan, J. Pavon Mestras, 《去中心化自治组织开发软件框架的评估》，载于：第六届服务科学与工程会议（JCIS），2021年。[89] D. Wright Jr, 《二次投票与区块链治理》，《密苏里大学堪萨斯城分校法律评论》88（1）。[90] N. Dimitri, 《区块链治理中的二次投票》，《信息》13（6）。[91] A. Benhaim, B. H. Falk, G. Tsoukalas, 《平衡去中心化治理中的权力：二次投票与信息聚合》，《管理科学》。[92] W. W. Ding, X. L. Liang, J. C. Hou, G. Wang, Y. Yuan, J. Li, F. Y. Wang, 《区块链与智能合约赋能去中心化自治组织的并行治理》，载于：IEEE第一届数字孪生与并行智能国际会议（DTPI），2021年。[93] L. Weidener, F. Laredo, K. Kumar, K. Compton, 《去中心化自治组织中的委托投票：范围综述》，《区块链前沿》8（2025）1598283。[94] W. A. Kaal, 《加密经济学——前100种代币模型比较》，SSRN电子期刊。[95] J. Gan, G. Tsoukalas, S. Netessine, 《首次代币发行、投机与资产代币化》，《管理科学》67（2）（2020）914–931。[96] W. A. Kaal, S. Evans, H. Howe, 《数字资产估值》，SSRN电子期刊。[97] S. T. Howell, M. Niessner, D. Yermack, 《首次代币发行：通过加密货币代币销售为增长融资》，《金融研究评论》33（9）（2020）3925–3974。[98] E. Lyandres, B. Palazzo, D. Rabetti, 《首次代币发行（ICO）的成功与ICO后绩效》，《管理科学》68（12）（2022）8658–8679。[99] D. W. Allen, 《加密货币空投：一种演化方法》，《进化经济学期刊》34（4）（2024）849–872。[100] J. Li, W. Mann, 《数字代币与平台构建》，SSRN电子期刊。[101] S. Mayer, 《基于代币的平台与投机者》，SSRN电子期刊。[102] K. Peffers, M. Rothenberger, T. Tuunanen, R. Vaezi, 《设计科学研究评估》，载于：《计算机科学讲义》，2012年，第398–410页。[103] G. Laatikainen, M. Li, P. Abrahamsson, 《区块链治理的系统视角》，《信息与软件技术》157（2023）107149。[104] L. Mosley, H. Pham, Y. Bansal, 《迈向对提案投票中区块链治理的系统性理解：Dash案例研究》，《区块链：研究与应用》3（3）（2022）100085。[105] M. Ottina, P. J. Steffensen, J. Kristensen, 《自动做市商：去中心化交易所与加密货币交易实用指南》，施普林格，2023年。[106] T. Lloyd, D. O'Broin, M. Harrigan, 《ve代币模型的涌现结果》，载于：2023年IEEE全层智能系统国际会议（COINS），IEEE，2023年，第1–6页。[107] D. W. Allen, C. Berg, A. M. Lane, T. MacDonald, J. Potts, 《Web3治理的交换理论》，《Kyklos》76（4）（2023）659–675。[108] Uniswap, 《推出UNI：Uniswap的治理代币》，Uniswap博客（2020）。[109] J. Howell, 《Uniswap（UNI）代币经济学综合指南》，101 Blockchains访问日期：2024-02-10。URL https://101blockchains.com/uniswap-tokenomics-explained/ [110] Curve Finance, 《CRV代币供应量与分布》，访问日期：2024-02-10（2020）。URL https://resources.curve.fi/crv-token/supply-distribution/ [111] B. Kraner, L. Pennella, N. Vallarano, C. J. Tessone, 《流动中的资金：以太坊流动性质押代币的微观流通速度与使用情况》，载于：第七届金融科技进展会议（AFT 2025），达格施图尔城堡—莱布尼茨信息学中心，2025年，第9–1页。[112] S. Bonnet, F. Teuteberg, 《去中心化自治组织：系统性文献综述与研究议程》，《国际创新与技术管理期刊》（2024）2450026。