

# 基于区块链的加密代币定价研究

陈阳<sup>1,2</sup>, 费为银<sup>2</sup>, 潘海峰<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030; 2. 安徽工程大学数理与金融学院, 芜湖 241000)

**摘要** 代币作为区块链融资过程中的重要媒介, 在区块链平台运营中发挥了重要作用. 本文构建了有分红权益的平台币和无分红权益的一般实用型代币的定价模型. 与传统金融产品价格依赖于未来的现金流不同, 加密代币的价格由用户对代币的均衡采纳所决定. 模型中影响代币价格的变量包括平台用户基础、平台生产力、用户的应用需求、代币供应量、价格的漂移项和分红水平等, 其中平台生产力、平台用户基础与代币价格的交互影响促进了平台代币经济的积极发展. 具体地, 采用随机分析的方法来刻画代币的价格、平台生产力和平台用户基础的变动规律, 分析平台币和一般实用型代币在平台的用户基础、用户基础波动性以及代币价格波动性等方面的差异. 研究表明代币赋权能够促进平台用户基础的增长, 但同时也会放大用户基础和代币价格的波动性; 此外, 分红系数越高, 用户基础增长越快, 用户基础和代币价格的波动性也越大.

**关键词** 区块链; 代币定价; 分红权益; 用户基础; 随机分析

## The Blockchain Crypto Token Pricing Research

CHEN Yang<sup>1,2</sup>, FEI Weiyin<sup>2</sup>, PAN Haifeng<sup>2</sup>

(1. Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;  
2. School of Mathematics-Physics and Finance, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

**Abstract** As an important medium in the process of blockchain financing, token plays an important role in the operation of blockchain platform. This paper gives a pricing model of platform token with dividends and general utility one without dividends. Unlike the traditional financial products whose price depends on the future cash flow, the price of crypto token is determined by the user's balanced adoption of the token. The variables that affect token price include platform user base, platform productivity, user application demand, token supply, price drift and dividend level. Among them, the platform productivity, platform user base and token price interact

收稿日期: 2021-07-28

基金项目: 国家自然科学基金 (62273003)

Supported by National Natural Science Foundation of China (62273003)

作者简介: 陈阳, 博士研究生, 研究方向: 资产定价实证, E-mail: shuxuecy@sjtu.edu.cn; 通信作者: 费为银, 教授, 博士, 研究方向: 金融数学与金融工程、随机分析、控制理论, E-mail: wyfei@ahpu.edu.cn; 潘海峰, 副教授, 博士, 研究方向: 宏观金融, E-mail: panhaifeng708@126.com.

with each other to promote the positive development of platform token economy. We use stochastic method to describe the token price, productivity and user base of the platform, and analyze the differences between the platform token and the general utility token without dividends in terms of the platform user base, user base volatility and token price volatility. The results show that token empowerment can promote the growth of user base, but also enlarge the volatility of user base and token price. In addition, the higher the dividend coefficient, the faster the growth of user base, and the greater the volatility of user base and token price.

**Keywords** blockchain; token pricing; dividend; user base; stochastic analysis

## 1 引言

自 2008 年中本聪发表了关于比特币的白皮书以后, 多种基于区块链的加密货币开始出现. 这些原生于区块链的加密货币几乎拥有和传统货币一样的职能, 如价值储存、充当流通和支付的手段等. 随后, 在智能合约的应用下, 已有的区块链网络又开发出了新的价值单位——加密代币. 加密代币可以作为一切价值的数字化形式, 使得自由和无国界的数字化价值在区块链上流动. 其产生之初, 便作为融资工具来应用. 项目方通过发行代币来募集比特币、以太坊等通用数字货币, 获得项目前期发展所需的资金 (Lee and Low (2018)). 后来随着区块链项目的演化和更多场景的探索, 发现可以通过代币设计构建财富与权力再分配的激励体系, 实现用户和平台的交互, 同时促进和利益相关者分享利益. 目前, 关于代币的设计和使用已经逐渐成为一门科学——代币经济学. 如何建立一个具有可编程激励机制的模型成为代币经济的研究核心.

过去几年, 区块链的代币经济范式中存在诸多乱象且普遍缺乏激励机制. 如早期 ICO (initial coin offering) 发行的实用型代币, 仅通过发行时的一纸白皮书, 强调自己在开发平台或生态系统的应用功能, 而实际上并没有任何具体的应用和激励机制作为价值支撑. 在 2017 年中国实施 ICO 禁令后, ICO 代币价格普遍跌幅巨大, 不少都已经成为了“空气币”. 与之不同的是数字货币交易所平台通过 IEO (initial exchange offering) 发行的代币 (简称为“平台币”). 平台币发行时大多赋予投资者一定的权益, 比如回购、优先认购上市新币、收益分红、交易所新币上市投票等, 这些激励机制吸引了大量的用户参与, 给交易所的成交量和市场集中度带来了大幅提升, 通过 IEO 发行的项目也大都取得了成功. 另外平台币的价格表现也优于一般 ICO 发行的实用型代币. 以三大交易所为例, 火币交易所发行的火币 (HT) 和 OKEx 交易所发行的 OK 币目前的市场价格都比发行价涨幅超过一倍, 而币安币 (BNB) 目前市场价比发行价涨幅甚至超过千倍.

代币的激励机制会对平台发展产生何种影响, 又会如何影响代币的价格, 这些问题还尚未有一致的理论. 本文将平台币和一般实用型代币为例, 首先给出这两类代币的动态定价模型. 和传统金融产品的定价方法不同, 代币的价值不是依赖于未来产生的现金流, 而是取决于其所在应用平台的效益. 我们用平台生产力和平台用户基础作为反映平台发展的内生变量. 平台的生产力和用户基础越高, 平台能提供的应用场景越广泛, 平台的网络外部性效果越明显, 持币者享有的应用价值也就越大. 模型中假设平台币和一般实用型代币的差别就在于

是否具备权益激励机制。考虑到分红对金融产品定价产生的重要影响, 模型中用分红来体现平台币的权益。

本文后续内容安排如下: 第二节回顾总结了国内外学者关于加密代币的价值获得以及定价方法的理论综述; 第三节建立有分红权益的平台币定价模型, 给出代币均衡价格的随机微分方程; 第四节比较平台币和一般实用型代币这两种代币经济下, 平台的用户基础、用户基础的波动性以及代币价格波动性方面的差异, 解释了代币激励机制对代币价格和平台经济的影响机理; 最后总结全文。

## 2 文献综述

自以比特币为代表的加密数字货币推出以来, 加密数字货币越来越受到媒体、民众、学者和政府的关注。除了从计算机科学、密码学等角度进行的研究, 越来越多的学者开始重视数字加密货币的经济学分析、货币或资产特征和传统融资方式的对比以及对传统货币理论和支付方式的影响等 (Freni and Ferro (2022), 谢平和石午光 (2015), Liu and Yang (2022))。由于加密数字货币有不同的种类, 所以其价值以及价格的驱动因素也有较大差异。

关于代币的价值获得, 学者们认为不同类型的代币价值受不同因素所驱动。对于比特币、以太坊、莱特币等支付型代币而言, 其价值主要来源于支付和投资效用。Biais et al. (2018) 强调了比特币的基本价值在于交易获利。Fanti et al. (2019) 对基于权益证明机制 (POS) 的支付系统提供了估值框架, 认为代币的价值在于持币者在平台的流动性效用而不是传统的现金流。Athey et al. (2016) 认为比特币具备与法定货币一样的交换价值。此外, 这些基于区块链技术产生的加密货币实现了充分的去中心化。姚前 (2018) 论述了货币的本质在于一致规则下的社会共识。好的共识协议解决了用户交易的信任问题, 提升了交易网络的用户基础, 而用户基础的提升又会促进代币的价值。对于证券型代币, 其一般与现实中的资产相对应, 其价值依赖于资产在未来所产生的现金流。Pazos (2019) 用现金流折现方法, 得到了证券型代币的估值模型。对于一般实用型代币, 其价值来源于区块链网络的应用价值和二级市场的投资价值。Catalini and Gans (2019) 认为 ICO 发行的代币作为融资和交换媒介, 其价值和项目未来的产出相关。Chod and Lyandres (2020) 提出了代币和股权的内在联系和区别: 他们都代表了对企业的风险投资, 但是代币对应的是企业未来产品或服务的产出, 而股权是对应企业未来利润的要求。Bakos and Halaburda (2018) 同样认为代币未来的价值取决于平台项目的成功。以上学者的研究都表明实用型代币的价值和其关联的平台发展相关, 平台发展越好, 其在平台上的应用价值越高。另外, 现实中主流的实用型代币都在数字货币交易所上市, 持币者不仅能够享受到平台的产品和服务, 还能够在交易所自由的变现。现有文献充分概括了多种类型的代币在支付、交易、应用、投资等方面的价值, 但是对平台币这种兼具权益价值的代币, 学者们研究较少。本文将重点研究平台币的权益属性对代币价格以及平台经济的影响。

关于代币的定价, 学者们基于对代币属性的不同视角, 给出了不同的定价方法。姚前和陈华 (2018) 认为若将代币看作一般的货币, 可用购买力平价理论、费雪交易方程式、货币局制度等现有的货币经济学理论进行定价。还有学者将代币看作类商品, 用商品的定价方法来给代币定价。对于像比特币这类通过挖矿产生的加密货币, 挖矿的成本影响其价格变化, Hayes

(2016) 通过成本定价法给出了比特币的公允价格. Shorish (2019) 基于 Rosen 特征定价模型, 利用垄断发行的代币卖家和代币买家之间的交互来确定代币的特征价格. 另外通过供给和需求均衡对代币的定价方法也被诸多学者所采用. Pagnotta and Buraschi (2018) 构建了用户对比特币的需求函数以及矿工通过挖矿决定的代币供给函数, 通过供需均衡来得到比特币的价格. Catalini and Gans (2019) 通过构建代币发行企业的代币供给和投资者的代币需求均衡, 给出了 ICO 代币发行初期和市场交易两阶段下代币的定价模型. Sockin and Xiong (2019) 将代币视为进入区块链平台的通证, 其价格由平台用户需求、投机者供应和所有者的利益协调决定. Cong et al. (2019) 构建了代理人对代币需求的采纳模型, 根据平台上代理人的最优持币选择, 得到了代币动态的价格均衡模型. 上述学者的定价方法均认可代币的均衡价格应该由代币供需所决定, 但对代币具备的功能属性、发挥作用的机制有着不同的认识, 所以模型中设定的用户需求动机也有所差异, 由此无法形成统一的代币定价模型. 关于代币对平台的作用机制认识, Pagnotta and Buraschi (2018) 认为代币的最大作用在于提供了去中心化、可信任的交易网络. Catalini and Gans (2019) 更加看重代币对初创平台项目的融资作用. Sockin and Xiong (2018) 认为代币促进了平台商品或服务的交易. Cong et al. (2019) 认为代币除了充当交易媒介和会员资格之外, 还能通过价格的反馈机制, 对平台的网络外部性产生积极作用. 在此基础上, Cong et al. (2021) 进一步完善了平台经济模型, 考虑代币对平台贡献者的激励作用以及对平台投资水平的影响. 这种代币对平台经济的反哺作用是其他学者尚未考虑到的. 本文将在 Cong et al. (2019) 的代币定价模型研究框架上, 构建平台币的定价方法, 将平台币的权益属性加入模型中, 比较研究代币赋权对代币价格变化以及在平台经济中发挥作用的机制.

此外还有学者将代币看作类资产, 用传统的资本资产定价模型来研究代币收益率的定价因子, Shen et al. (2020) 提出了包含市场、规模和反转的三因子模型, 并验证了其优于 CAPM 模型. Wang and Chong (2021) 利用 Fama-MacBeth 方法, 证实了股票市场的传统因素, 例如市场因素、波动因素、流动性因素在解释加密货币超额收益率是有效的. Yang et al. (2020) 用两阶段合成与分解方法得出投资者情绪、微观层面因素、重大事件影响和基本面价值决定了加密货币的价格. Brauneis and Mestel (2018) 发现流动性是影响数字货币定价以及导致代币交易市场不稳定的主要驱动因素. Balcilar et al. (2017) 通过对成交量与投资回报构建非线性模型, 预测了价格的动态变化. Makarov and Schoar (2020) 记录了比特币在不同交易所的错误定价以及套利机会. Auer and Claessens (2018) 认为虽然加密货币通常被认为超出了国家监管的范围, 但事实上, 它们的价格、交易量和用户基础受监管的影响很大. 马俊俊和熊熊 (2020) 证实了加密货币虽然具有无第三方发行和监管的特点, 但是特定类型的加密货币价格仍会受到各个国家或经济体的货币政策影响. Nadler and Guo (2020) 分析了传统的市场风险因素和区块链特定的风险因素影响加密货币定价的机制. Biais et al. (2019) 研究了区块链分叉链产生的原因, 以及对代币价格的冲击. 费为银等 (2022) 构建了基于区块链的算力优化模型. 还有其他学者研究了数字货币的价格波动特征, Phillip et al. (2018) 发现加密货币表现出长记忆性、杠杆性、随机波动性和厚尾特征. Katsiampa et al. (2017) 采用多种 GARCH 模型去拟合比特币的价格波动, 得出了 AR-CGARCH 模型最适用于比特币. 实际上对于依赖区块链技术的创新型平台, 其发展过程面临着监管环境、竞争环境、技

术变革、用户偏好等诸多不确定性因素的影响. 所以会导致平台的生产力、用户基础、代币的价格有着不确定性的变化. 孙多好等 (2022) 论证了在 Knight 不确定下, 投资者的投资效率冲击会对区块链代币平台产生巨大影响. 为了更好地贴近实际, 本文应用随机理论方法对这些变量进行刻画, 假设平台的生产力、平台用户基础、平台币的价格都遵循几何布朗运动, 并对平台用户基础波动和代币价格波动做出分析.

### 3 平台币的定价模型

考虑一个连续时间的经济活动, 一群代理人在区块链平台上进行点对点的交易并渴望获得交易盈余, 而交易的媒介就是平台币. 此时对于持币者而言, 平台币的价值主要来自两个方面, 一是流动性效用, 与 ICO 实用型代币相似, 代币兼具使用和流通两种功能, 使用功能在于发币企业往往提供基于区块链技术的应用场景, 而使用应用场景的媒介便是代币. 流通功能在于持币者可通过交易市场进行自由变现, 从而产生投资收益. 二是权益, 这点是大部分实用型代币所不具备的, 鉴于分红权益对金融产品价格影响较大, 故本文平台币的权益属性用分红权益表示. 持币者分红的多少和平台的生产力直接相关, 平台使用人数越多, 生产力越高, 效益越好, 分红的数量也越多. 在模型中, 代理人需要做出两步骤的决定: 1) 是否愿意花费一定的成本参与平台; 2) 如果参与的话, 那么将持有多少的平台币. 是否参与平台, 由代理人自身的交易需求决定; 持币的数量由流动性效用、投资收益和分红收益共同决定.

#### 3.1 代理人和平台

假设代理人  $i$  在  $dt$  时间段内所获得的流动性效用由下式给出:

$$(P_t k_{i,t})^{1-\alpha} (N_t A_t e^{u_i})^\alpha dt, \quad (1)$$

其中  $P_t$  表示  $t$  时刻代币的均衡价格,  $k_{i,t}$  表示  $t$  时刻代理人  $i$  持有的代币数量,  $P_t k_{i,t}$  表示  $t$  时刻持币的市场价值.  $0 < N_t < 1$  表示  $t$  时刻平台的用户基础,  $A_t$  表示  $t$  时刻平台的生产力, 这是一个抽象的概念, 对  $A_t$  的正面冲击意味着平台的技术进步、有力的监管变化、用户的兴趣增长以及平台上日益增长的应用场景. 平台的生产力对平台的经营利润产生正向的影响.  $u_i$  表示用户的应用需求. 这个需求是多样化的, 可以代表支付需求 (国际汇款)、智能合约、分布式计算、数据存储 (数据的快速访问) 等. 在平台币模型中,  $u_i$  表示用户的交易需求或是投资需求.  $G(u), g(u)$  表示  $u_i$  的累积分布函数和概率密度函数, 假设是连续可微的.  $N_t A_t e^{u_i}$  反映了代币的使用价值. 为了分析便捷, 假设市场价值和使用价值的指数和为 1.  $\alpha \in (0, 1)$  为效用因子, 其大小反映了代理人的流动性效用偏好.

假设平台生产力和代币均衡价格遵循以下扩散过程:

$$dA_t = A_t \mu_t^A dt + A_t \sigma_t^A dZ_t^A, \quad (2)$$

$$dP_t = P_t \mu_t^P dt + P_t \sigma_t^P dZ_t^A, \quad (3)$$

其中  $Z_t^A$  是风险中性测度下的标准布朗运动. 我们关注的交易所平台是一个积极发展且有一定风险的平台, 也就是  $\mu_t^A > 0, \sigma_t^A > 0$ .  $\mu_t^P$  和  $\sigma_t^P$  反映价格的漂移项和波动率, 是由系统内生决定的.

### 3.2 代币价值和用户采纳均衡

在平台币的模型里面, 代理人持币除了能够获得流动性效用之外, 还能获得平台币的分红权益. 假设代理人  $i$  在  $dt$  时间内所获得的分红可由下式给出:

$$dD_{i,t} = k_{i,t}P_t\delta(A_t)dt = k_{i,t}P_t\beta A_t^\gamma dt, \quad (4)$$

其中  $\beta, \gamma$  为常数,  $0 < \beta < 1$  为分红系数.  $0 < \gamma < 1$  是反映平台生产力到利润的转化率, 假设平台的生产力投入和利润产出成指数函数关系. (4) 式的含义为代理人的分红和其持币的市场价值以及平台的生产力直接相关. 令  $y_{i,t}$  表示代理人  $i$  从平台币中所获得的累计效用, 则  $dy_{i,t}$  可表示为:

$$dy_{i,t} = \max \left\{ 0, \max_{k_{i,t} > 0} [(P_t k_{i,t})^{1-\alpha} (N_t A_t e^{u_i})^\alpha dt + k_{i,t} E_t [dP_t] + P_t k_{i,t} \beta A_t^\gamma dt - \phi dt - P_t k_{i,t} r dt] \right\}, \quad (5)$$

其中  $(P_t k_{i,t})^{1-\alpha} (N_t A_t e^{u_i})^\alpha$  是代币的流动性效用,  $k_{i,t} E_t [dP_t]$  反映了代理人通过代币价格波动获得的期望收益,  $P_t k_{i,t} \beta A_t^\gamma dt$  是平台币的分红, 持有平台币越多, 平台的效益越高, 分红的数额也越多.  $\phi$  是参与平台的损失成本, 例如参与平台的交易需要代理人付出时间和关注精力, 这些成本即为损失成本, 我们假设参与成本  $\phi$  是固定的.  $P_t k_{i,t} r$  作为机会成本, 代理人持有的  $P_t k_{i,t}$  价值的代币, 就无法投资其他风险资产, 一般  $r$  可选为无风险利率.

根据累计效用公式 (5), 求一阶极值条件, 可以得到代理人  $i$  持有平台币的最优数量  $k_{i,t}^*$  为:

$$k_{i,t}^* = \frac{N_t A_t e^{u_i}}{P_t} \left( \frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (6)$$

代理人持有最佳的代币数量所获得的即时收益为:

$$N_t A_t e^{u_i} \left( \frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \phi. \quad (7)$$

假设 (7) 式非负的时候, 代理人才会选择参与平台, 也就是说当代理人持有最优数量平台币, 其持币的流动性效用减去其参与平台的损失成本为非负时才会选择参与平台. 代理人的交易需求  $u_i$  越大, 参与平台的可能性越大. 由此我们得到代理人交易需求临界值  $\underline{u}_t$ ,

$$\underline{u}_t = -\ln(N_t) + \ln\left(\frac{\phi}{A_t}\right) - \frac{1-\alpha}{\alpha} \ln\left(\frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma}\right). \quad (8)$$

用户采纳的临界值  $\underline{u}_t$  随着平台生产力  $A_t$  的增长而下降, 平台的生产力越高, 代表在平台上能获得更好的交易体验与享受更广泛的应用场景服务, 用户将更容易参与平台. 另外当代理人有更高代币价格增长期望 ( $\mu_t^P$  更大) 时, 用户持币将会获得更高投资收益, 也会更好促进用户采纳.

当用户需求  $u_i \geq \underline{u}_t$  的时候, 用户才会选择参与平台, 由此得到用户基础:

$$N_t = 1 - G(\underline{u}_t). \quad (9)$$

(8) 和 (9) 式联合决定了  $N_t, A_t$  和  $\mu_t^P$  的关系.

### 3.3 代币定价

公式 (6) 是表示代理人  $i$  的交易需求, 持币数量和价格  $P$  的关系式, 而实际代币价格是受到市场所有投资者共同影响的均衡价格, 所以我们要得到定价公式, 需要考虑所有代理人持有的代币数量及交易需求.

假设代币的供应量为  $M_t$ , 市场出清的条件为:

$$M_t = \int_{i \in [0,1]} k_{i,t} di. \quad (10)$$

所有代理人总的交易需求  $S_t$ ,

$$S_t = \int_{i \in [0,1]} e^{u_i} g(u_i) di. \quad (11)$$

将 (6) 式中代理人的最优持币选择代入 (10) 式的市场出清条件, 结合 (11) 式中总代理人的交易需求, 得到平台币的价格公式 (12)<sup>1</sup>:

$$P_t = \frac{N_t S_t A_t}{M_t} \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (12)$$

由 (12) 式可知, 影响平台币价格的因素中, 平台的用户基础  $N_t$ , 用户的交易需求  $S_t$ , 平台的生产力  $A_t$ , 价格漂移项  $\mu_t^P$ , 分红系数  $\beta$  对价格是正向影响. 代币供应量  $M_t$  对价格是负向影响. 大部分平台币都有回购注销的机制, 定期将利润的一部分用于回购代币, 并将回购的代币销毁. 平台利润越高, 回购的数量越多, 即  $dM_t/dA_t < 0$ . 这种回购注销机制使得平台币形成通缩, 对平台币的价格形成支撑. 从广义的角度来看, 回购注销也是一种分红的形式, 都使得用户持有代币的价值提高, 增厚了用户权益. 本文假定平台币的分红机制是平台管理者将平台运营获得的利润从市场上回购代币, 然后分发给持币者. 因此模型中总的代币供应量默认为一个常数.

根据 (12) 式, 我们能够得到一个关于状态变量  $A_t$  的函数  $P(A_t)$  的微分方程<sup>2</sup>:

$$\mu^A A_t \left( \frac{dP_t}{dA_t} \right) + \frac{1}{2} (\sigma^A)^2 A_t^2 \frac{d^2 P_t}{dA_t^2} + (1 - \alpha) \left( \frac{N_t S_t A_t}{M_t P_t} \right)^\alpha P_t - (r - \beta A_t^\gamma) P_t = 0. \quad (13)$$

用下面的两个边界条件来求解 (13), 其中一个边界条件,

$$\lim_{A_t \rightarrow 0} P_t = 0. \quad (14)$$

当平台生产力为 0 时, 代币的价格为 0. 另一个边界条件, 考虑当平台被用户完全采纳时, 假设此时的总交易需求为:

$$\bar{S} = \int_{\underline{u}}^{\bar{u}} e^u g(u) du. \quad (15)$$

<sup>1</sup>由 (6) 式可得  $k_{i,t}^* P_t = N_t A_t e^{u_i} \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$ , 两边对所有代理人  $i$  进行积分可得:  $\int_i k_{i,t}^* P_t di = N_t A_t \int_i e^{u_i} di \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$ , 结合 (10) 和 (11) 式可得 (12) 式.

<sup>2</sup> $dP(A_t) = P'(A_t) dA_t + \frac{1}{2} P''(A_t) \langle dA_t, dA_t \rangle = \left[ \frac{dP}{dA} A_t \mu_t^A + \frac{1}{2} \frac{d^2 P}{dA^2} A_t^2 (\sigma^A)^2 \right] dt + \frac{dP}{dA} A_t \sigma_t^A dZ_t^A$ , 结合 (3) 式有  $P_t \mu_t^P = \frac{dP}{dA} A_t \mu_t^A + \frac{1}{2} \frac{d^2 P}{dA^2} A_t^2 (\sigma^A)^2$ , 由 (12) 式求解出  $\mu_t^P$  并代入上式可得 (13) 式.

此时价格为:

$$\bar{P}_t(A_t) = \frac{\bar{S}A_t}{M_t} \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^A - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (16)$$

当用户完全接受平台时, 用户基础不再增长, 代币价格变化和平台的生产力变化趋同, 即  $\mu_t^P = \mu_t^A$ . 设  $\tilde{A}$  是平台生产力达到用户完全采纳平台的临界点, 则有:

$$P(\tilde{A}) = \bar{P}(\tilde{A}), P'(\tilde{A}) = \bar{P}'(\tilde{A}). \quad (17)$$

上文得到了平台币的价格、代理人的最优代币持有量、用户采纳及用户基础的内在联系. 通过 (14) (17) 式的边界条件, 求解 (13) 式的微分方程, 从而得到平台币价格的均衡模型. 图 1 总结了平台币的经济机制, 介绍了平台生产力、用户基础和代币价格的内生影响机理.

假设平台生产力  $A$  未来的预期是积极增长的, 生产力的提高一方面使得持币者的流动性效用增加, 另一方面使得平台的效益增长, 平台的分红  $D$  增加. 这两种结果都会促进用户基础  $N$  的增加. 随着用户的积极参与, 代币的需求增加, 推动未来代币的价格上涨, 价格的增长预期又会促进更多的用户采纳. 因此在用户基础、平台生产力和代币价格的内生影响下, 促进了平台用户增长和代币价格上涨的良性循环. 另外平台效益增加, 平台会选择回购销毁平台币, 导致平台币的供应量  $M$  减少, 平台币的通缩促使价格进一步提高. 事实上, 交易所平台经济的成功可以对其他代币发行的企业起到借鉴作用. 企业发行代币募资只是平台发展的第一步, 还应当不断地进行技术创新、扩大平台的应用场景支持、赋予代币更多的权益以及维护代币的价格稳定. 区块链技术的迅速发展, 可以提升平台的生产力和运行效率. 扩大平台的应用场景, 使得代币的应用范围更加广阔, 不仅提升了代理人的总应用需求, 还能吸引

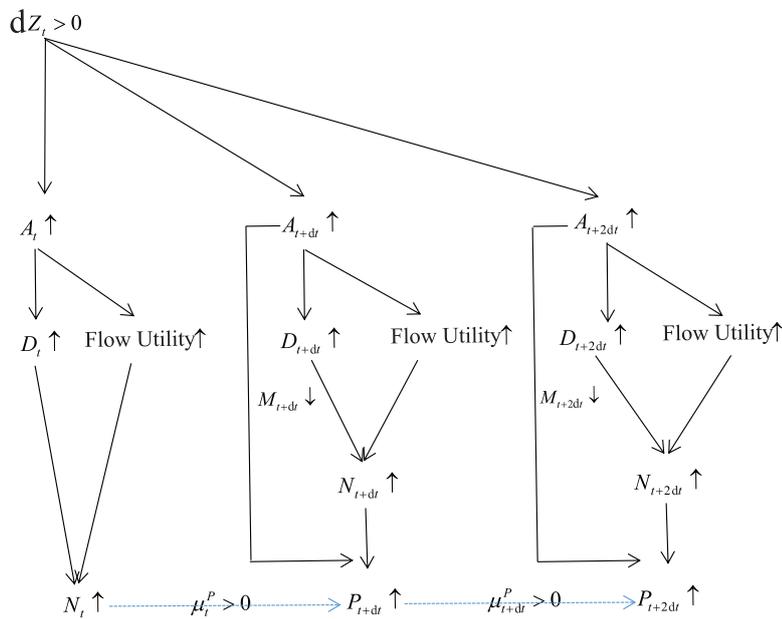


图 1 平台币经济解释机理

更多的用户参与, 增加用户基础. 赋予持币者更多的权益意味着改变了利益结构, 可以激发平台的经济活力. 这些方式最终也都会促进代币价格的上涨, 另外通过回购注销等方式进一步稳定代币的价格, 使得持币者可以享受代币价格的增长红利, 进一步提升代币的用户采纳. 作为交易媒介, 能够储存价值、保持价值稳定是数字货币避免成为投机渠道而实现大范围应用的前提 (郭笑春和汪寿阳 (2020)).

#### 4 代币的赋权作用

为了突出赋予代币额外权益价值 (代币赋权) 的作用以及赋权后的代币对平台用户采纳、用户基础波动性和价格波动方面的影响. 进一步, 本文将无分红机制的一般实用型代币和有分红权益的平台币经济模型进行比较.

##### 4.1 无分红权益的代币经济模型

令平台币的定价模型中分红系数  $\beta = 0$ , 我们得到相应的无分红权益的一般实用型代币价格模型, 和 Cong et al. (2019) 的模型一致, 代理人的流动性效用由下式 (18) 给出:

$$dy_{i,t} = \max \left\{ 0, \max_{k_{i,t} > 0} [(P_t k_{i,t})^{1-\alpha} (N_t A_t e^{u_i})^\alpha dt + k_{i,t} E_t [dP_t] - \phi dt - P_t k_{i,t} r dt] \right\}. \quad (18)$$

代理人的最佳持币数量为:

$$k_{i,t}^* = \frac{N_t A_t e^{u_i}}{P_t} \left( \frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (19)$$

由此得到代理人参与平台的即时利益,

$$N_t A_t e^{u_i} \left( \frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P} \right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \phi. \quad (20)$$

在一般实用型代币模型中, 代理人选择参与平台的临界条件为 (20) 式非负, 由此得到一般实用型代币平台的用户参与需求临界值:

$$\underline{u}_t^{\text{ND}} = -\ln(N_t) + \ln\left(\frac{\phi}{A_t}\right) - \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \ln\left(\frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P}\right). \quad (21)$$

上式中的上标“ND”表示的是无分红的情况, 下文相同. 由 (21) 式得到无分红代币平台的用户基础:

$$N_t^{\text{ND}} = 1 - G(\underline{u}_t^{\text{ND}}). \quad (22)$$

结合 (21) 和 (22) 式, 我们得到无分红代币平台的用户基础、平台生产力之间的关系. 和前面的讨论相同, 可以得到一般实用型代币的价格模型:

$$P_t^{\text{ND}} = \frac{N_t^{\text{ND}} S_t A_t}{M_t} \left( \frac{1-\alpha}{r - \mu_t^P} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (23)$$

#### 4.2 分红权益与用户基础

在一般的 ICO 项目中, 发行方只把代币当作是融资的媒介, 募资到手后, 往往忽视了代币在区块链生态经济中发挥的作用, 认为给代币赋权即减少了发行方的利益, 那么项目在发展过程当中也就缺少了用户基础、平台生产力和代币价格之间的内在促进和良性循环. 下面我们先比较两种代币经济下平台的用户基础随着平台生产力增长的关系.

图 2 反映了平台生产力对用户基础的影响, 在两种经济中, 随着平台生产力的增长, 用户基础都呈现 S 型增长趋势, 当平台生产力很低的时候, 用户基础趋近于 0. 当平台生产力从低慢慢增长的时候, 用户基础将出现较快增长. 当用户基础足够高的时候, 用户基础随着平台生产力的增长速度又会平稳下来. 这种 S 型的增长趋势表明了平台发展初期, 由于太多的不确定性因素, 用户对平台的信任度不够, 参与意愿不强, 用户基础提升较慢. 而当平台逐渐发展的过程中, 新用户的增长潜力较大, 代币价格期望变动也越大, 会促进用户采纳. 而平台发展足够成熟后, 用户基础较高, 即使平台生产力再增加, 新用户的增长也会乏力.

比较平台币和一般实用型代币的用户基础随着平台生产力的变化, 当平台生产力足够高的时候, 两种情况下都能达到完全采纳. 另外可以看到分红权益对平台用户基础的提高具有“加速器”作用. 平台币的用户基础相对一般实用型代币平台会增长更快, 这是因为随着平台生产力的增长, 带动平台效益的增长, 分红的数量就会增多, 额外的分红期望会吸引更多的用户参与平台. 可以说, 代币赋权能够进一步放大平台的网络外部性.

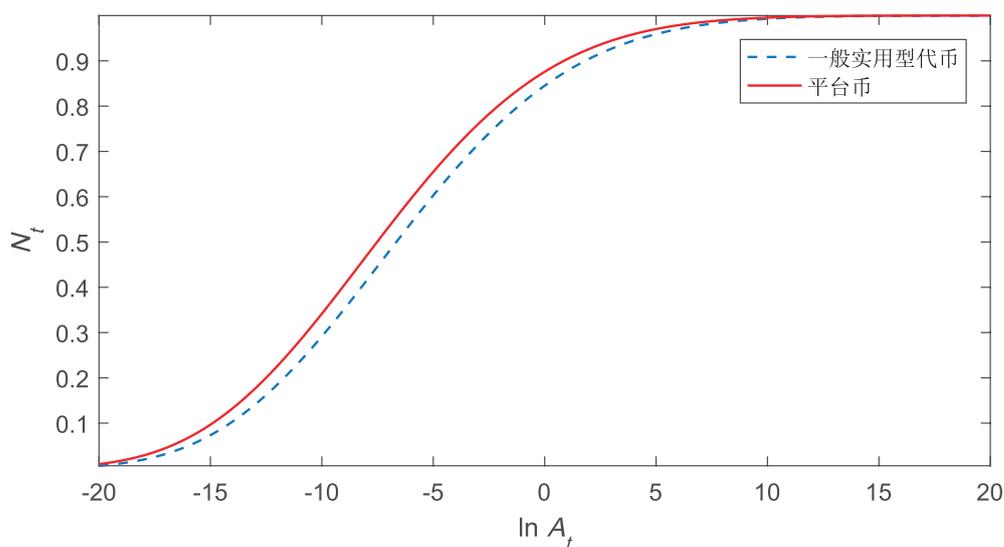


图 2 平台生产力和用户基础

#### 4.3 分红权益与用户基础波动

前面得到了分红权益对用户基础的促进作用, 下面我们来看用户基础的稳定性在两种平台经济下的表现. 为了刻画用户基础的动态变化, 我们假设用户基础满足:

$$dN_t = \mu_t^N dt + \sigma_t^N dZ_t^A. \quad (24)$$

可得平台币的用户基础波动项  $\sigma_t^{N3}$ :

$$\sigma_t^N = \left( \frac{g(\underline{u}_t)}{1 - g(\underline{u}_t)/N_t} \right) \left[ \sigma^A + \left( \frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) \left( \frac{\sigma_t^{\mu^P} + \beta\gamma\sigma^A A_t^\gamma}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right) \right], \quad (25)$$

其中  $\sigma_t^{\mu^P}$  为  $\mu^P$  的波动项, 满足 (26) 式:

$$d\mu_t^P = \mu_t^{\mu^P} dt + \sigma_t^{\mu^P} dZ_t^A. \quad (26)$$

令  $\beta = 0$ , 我们得到无分红权益的实用型代币的用户基础波动  $\sigma_t^{NND}$ :

$$\sigma_t^{NND} = \left( \frac{g(\underline{u}_t^{NND})}{1 - g(\underline{u}_t^{NND})/N_t^{NND}} \right) \left[ \sigma^A + \left( \frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) \left( \frac{\sigma_t^{\mu^P}}{r - \mu_t^P} \right) \right]. \quad (27)$$

图 3 是用户基础的波动图, 平台用户基础波动值随着用户基础的增长呈现倒“U”型. 当用户基础较低的时候, 平台的用户基础波动性较低, 但随着用户基础的增长, 用户基础的波动性加大, 随后达到峰值. 待用户基础较高后, 用户基础的波动开始降低且趋于 0. 其原因在于平台发展初期, 没有太多用户参与, 用户基础的波动性较小, 而当平台发展较为成熟时, 用户黏性较高, 用户基础的波动性也小.

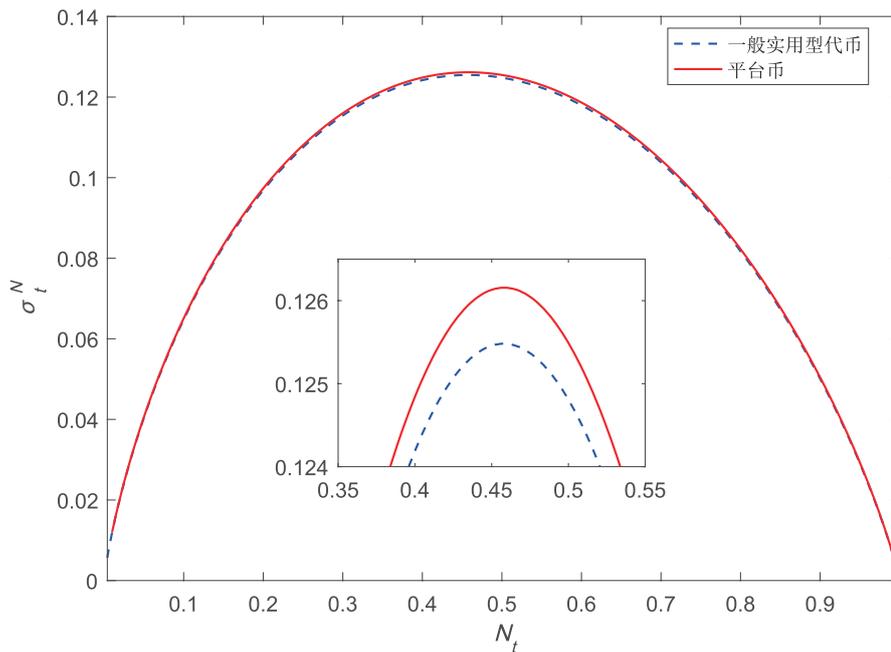


图 3 用户基础波动性

<sup>3</sup>通过 (8) 式可知,  $du_t \equiv \left[ -\frac{\sigma_t^N}{N_t} - \sigma^A + \frac{(1-\alpha)\beta\gamma\sigma^A A_t^\gamma}{\alpha(r-\mu_t^P-\beta A_t^\gamma)} - \frac{1-\alpha}{\alpha} \left( \frac{\sigma_t^{\mu^P}}{r-\mu_t^P-\beta A_t^\gamma} \right) \right] dZ_t^A + F(N_t, A_t)dt$ , 由 (9) 式可知  $dN_t = -g(\underline{u}_t)d\underline{u}_t - \frac{1}{2}g'(\underline{u}_t)\langle d\underline{u}_t, d\underline{u}_t \rangle$ , 将求出的  $d\underline{u}_t$  代入上式, 通过比较 (24) 式中  $dZ_t^A$  的系数可得 (25) 式 (其中  $F(N_t, A_t), H(N_t, A_t)$  分别为  $d\underline{u}_t$  和式  $dt$  中的系数).

为了更好地比较平台币和一般实用型代币用户基础波动性的差异,我们将图像局部放大做成小图嵌入大图中.可以发现刻画平台币用户基础波动的曲线始终在刻画一般实用型代币曲线的上方,说明平台币的用户基础波动比一般实用型代币更大.从(25)和(27)式可知两者的用户基础波动性和平台生产力波动 $\sigma^A$ 以及价格漂移的波动 $\sigma_t^{\mu^P}$ 有关.由于平台生产力代表了平台技术的创新、监管的积极变化以及平台应用场景的支持,那也就意味着平台生产力变化的不确定性较大,因此我们将平台生产力波动设定为200%,另外代币价格预期变化波动 $\sigma_t^{\mu^P} < 0^4$ ,我们将 $\sigma_t^{\mu^P}$ 设定为-0.05%.由于用户采纳的内生性影响,当用户基础越高,新用户的增长潜力也就越低,对代币的新需求也就下降.因此代理人对代币价格的预期变化是下降的,对价格的变化预期又会抑制用户对平台的采纳,所以价格的波动调节了用户基础的波动性.而对于平台币,用户基础的波动除了和平台生产力和代币价格期望波动有关,还和分红有关.观察公式(25),分红项放大了用户基础的波动性(在波动性的分式中,分红项放大了分子,缩小了分母的值,从而加大了用户基础的波动).Cong et al. (2019)的结果论证了引入代币能够降低平台的用户基础波动性,本文证实了代币赋予分红权益之后,虽然能够提升平台用户基础,但用户基础的波动性会更大.所以对于具有权益属性的代币发行企业而言,在享受用户基础快速提升红利的同时,要稳定平台内部环境变化,以避免对用户基础波动产生过大的影响.

#### 4.4 分红权益与代币价格波动

平台币的分红机制能够给用户基础的波动性带来影响.本节考虑代币价格的波动性随平台生产力变动的情况.在这里,我们把用户基础当作内生变量,和平台生产力互相影响( $N_t = N_t(A_t)$ ).

结合(8)(9)式和(12)式可以证明在交易所平台币的模型中有(28)式:

$$\frac{\sigma_t^P}{\sigma_t^A} = \left( \frac{dP_t}{dA_t} \right) \left( \frac{A_t}{P_t} \right) = 1 + \frac{g(\underline{u}_t)}{N_t - g(\underline{u}_t)} + \frac{\beta\gamma A_t^\gamma (N_t - \alpha g(\underline{u}_t))}{\alpha(N_t - g(\underline{u}_t))(r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma)}. \quad (28)$$

之所以有这样的结果,一方面根据 $P_t = P(A_t)$ ,由Itô公式可知:

$$dP_t = \frac{dP_t}{dA_t} dA_t + \frac{1}{2} \frac{d^2 P_t}{dA_t^2} (dA_t)^2. \quad (29)$$

将(2)式代入(29)式整理可得:

$$dP_t = \left[ \frac{dP_t}{dA_t} A_t \mu_t^A + \frac{1}{2} \frac{d^2 P_t}{dA_t^2} A_t^2 (\sigma_t^A)^2 \right] dt + \frac{dP_t}{dA_t} A_t \sigma_t^A dZ_t^A. \quad (30)$$

将(30)式与(3)式对比可知,

$$\frac{\sigma_t^P}{\sigma_t^A} = \left( \frac{dP_t}{dA_t} \right) \left( \frac{A_t}{P_t} \right). \quad (31)$$

<sup>4</sup>由于 $\sigma_t^{\mu^P} = \frac{d\mu_t^P}{dA_t} \sigma^A A_t$ ,所以 $\sigma_t^{\mu^P}$ 的符号取决于 $\mu_t^P$ 随 $A_t$ 增长的变化.事实上, $\mu_t^P$ 随着 $A_t$ 的增长而降低,可知 $\sigma_t^{\mu^P} < 0$ .

结合 (8) (9) 式得  $N_t = N_t(A_t)$ , 再由 (12) 式可得,

$$\frac{dP_t}{dA_t} = \frac{N_t S_t}{M_t} \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}} + \frac{A_t S_t}{M_t} \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \frac{dN_t}{dA_t} + \frac{\beta \gamma N_t S_t A_t^\gamma}{M_t \alpha (1 - \alpha)} \left( \frac{1 - \alpha}{r - \mu_t^P - \beta A_t^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha} + 1} \quad (32)$$

将 (32) 式代入 (31) 式可得 (28) 式.

而对于一般实用型代币, 其价格波动项  $\sigma_t^{PND}$  应满足:

$$\sigma_t^{PND} = \left( \frac{dP_t^{ND}}{dA_t} \right) \left( \frac{A_t}{P_t^{ND}} \right) = 1 + \frac{g(u_t^{ND})}{N_t^{ND} - g(u_t^{ND})} \quad (33)$$

图 4 为代币价格波动与平台生产力波动之比  $\frac{\sigma_t^P}{\sigma_t^A}$ , 反映了用户采纳对价格波动的放大影响. 无论是平台币还是一般实用型代币, 价格波动总是比平台生产力的波动性大, 即  $\frac{\sigma_t^P}{\sigma_t^A} > 1$ . 假设平台生产力是积极变化的 (即  $\mu^A > 0$ ), 一个  $A_t$  的冲击会影响到代理人对平台的采纳决定和持有的代币数量, 进而影响价格和流动性效用的提升. 另外效用的提升又会促进用户基础提高, 从而产生更高的效用. 这种良性循环放大了平台生产力变化对代币价格的影响. 从代币定价公式中也能看到, 因为价格模型中既包含  $A_t$  又包含  $N_t$ , 在  $N_t$  的内生作用影响下, 价格的波动率会比平台生产力  $A_t$  的波动率更大.

另外无论是交易所平台币还是一般实用型代币, 代币价格波动总是在平台发展初期最高, 随着平台生产力的提高, 代币价格波动逐渐降低, 呈现“L”型特征. 在平台发展初期, 平台未来发展、技术进步、监管环境、场景活动支持等不确定因素较大, 这些不确定性因素使得代币在发行初期的价格波动性较大. 当平台发展以及用户基础趋于稳定时, 代币的价格波动也

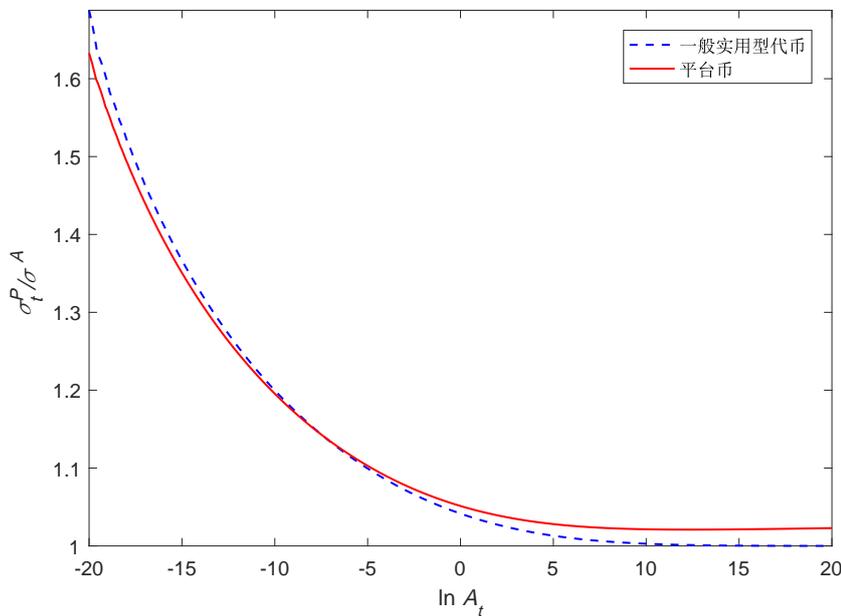


图 4 代币价格波动性

会趋于稳定. 当用户对平台完全采纳, 即  $N_t = 1$  时, 一般实用型代币的价格波动只和生产力有关, 因此价格波动和生产力波动趋于一致, 即  $\frac{\sigma_t^{\text{PND}}}{\sigma_A} = 1$ , 但平台币的价格波动始终高于平台生产力的波动, 即  $\frac{\sigma_t^P}{\sigma_A} > 1$ . 因为在平台币经济下, 代币价格波动除了受到内生用户基础和生产力波动的直接影响, 还会受到生产力波动的间接影响. 这种间接影响来源于分红. 生产力的变动会对平台效益产生影响, 而平台效益又会影响分红, 生产力波动对分红的影响最终会传导到代币的价格波动. 所以即使当用户完全采纳平台时, 代币的价格波动仍然会比生产力波动更大.

#### 4.5 分红水平的差异性影响

前面小节讨论了在平台币和一般实用型代币经济下, 用户基础、用户基础波动性、代币价格波动性方面的差异性, 表明代币赋权在平台经济中的影响. 而现实中平台币虽然都有相应的分红机制, 但是分红的方式, 系数各不相同, 那么不同的分红系数对平台经济又会产生怎样的影响? 接下来通过设定不同的分红系数 ( $\beta = 0.02, 0.01, 0.005$ ) 来比较说明.

图 5 给出了不同分红系数下平台用户基础随平台生产力增长的趋势比较. 我们发现分红越多, 用户基础增长越快. 在平台其他变量相同的情况下, 代币分红越高, 越能吸引用户参与平台, 平台的网络外部性越强.

图 6 比较了分红高低对用户基础波动性的影响, 分红系数越高, 代币的用户基础波动越大. 依据 Cong et al. (2019) 的研究结果, 引入代币能够降低平台的用户基础波动, 但是分红效应却放大了用户基础波动. 因此选择合适的分红策略, 实现用户基础增长和波动性降低的平衡是平台需要细致决定的.

图 7 比较了不同分红系数对代币价格波动的影响, 平台币的价格/生产力波动比率曲线还是呈“L”型. 当平台发展较为成熟的阶段, 分红越高的平台币, 生产力对价格波动的影响越显著. 该结论和传统股票市场的现象一致: 分红水平高的优质公司, 其基本面信息的变化对价格波动的影响尤为明显.

通过比较, 我们得出对于实用型代币, 给代币赋予额外的权益价值会促进平台实现更快的用户采纳. 对于初创型企业而言, 更快的用户采纳意味着网络价值的快速提升, 越有可能从

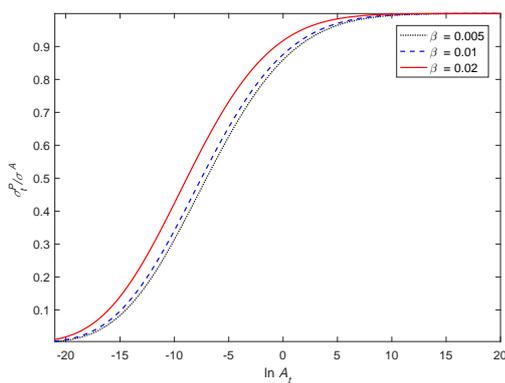


图 5 不同分红系数的用户基础

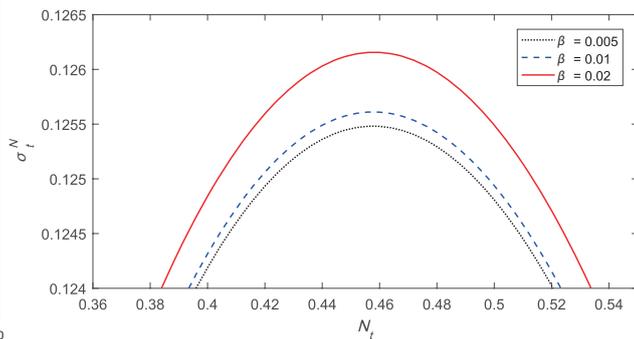


图 6 不同分红系数下的用户基础波动

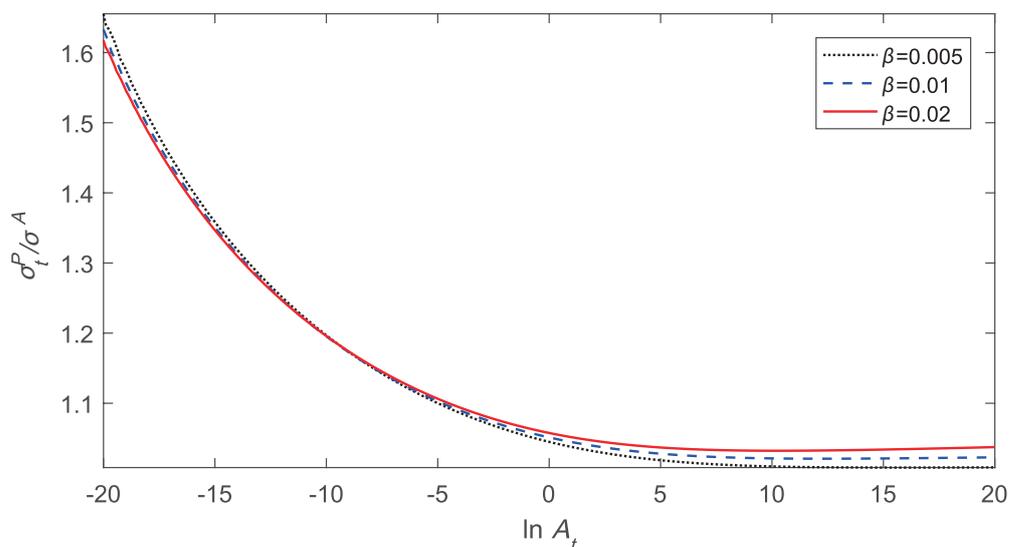


图7 不同分红系数下价格波动

激烈的行业竞争中生存下去. 这就要求企业在发行代币的前期, 不仅要注重代币的价值创造机制, 还要重视价值获取机制. 通过设计代币的激励机制, 将消费者、合作伙伴、社群等利益相关者深度融入区块链网络生态中. 另外在企业发展后期, 尤其是代币可在市场自由交易时, 还需控制内外部环境的变化, 从而抑制用户基础和价格的过大波动.

## 5 结论

本文论证了代币的激励机制对平台发展和代币价格的影响. 首先构建了有分红权益的平台币的动态定价模型. 与一般实用型代币不同, 平台币的均衡价值不仅包含应用价值和投资价值, 还有其独特的权益价值. 平台币的应用价值主要体现在代币可以作为用户在平台上进行点对点交易的媒介以及享受平台提供的其他应用场景支持. 投资价值主要在于代币在交易市场上的价格变动. 权益价值主要在于平台生产力转化而成的分红. 平台币的定价模型中, 影响代币价格内生变量包括平台生产力和平台用户基础. 这两者影响了代理人持币应用效用、投资收益和分红收益.

其次通过比较平台币和一般实用型代币在平台用户基础、代币价格等方面的差异性, 我们发现代币的激励机制对平台经济所产生的影响. 结果表明有分红权益的代币会降低平台用户参与需求的临界值, 促进平台实现更快的用户采纳, 增加平台网络外部性. 但与此同时, 代币的分红权益会放大平台用户基础的波动性. 对于赋权代币的发行企业而言, 为了使得用户稳定, 需要更加注重平台内部环境变化, 实现用户基础增长和波动性降低的平衡. 除此之外, 我们发现分红权益的代币价格和平台生产力的波动比率将会比一般实用型代币更大, 这是因为在有分红权益的代币经济中, 代币的应用价值和权益价值都和平台的生产力有关, 因此分红权益会放大平台生产力对价格的影响. 最后通过设定不同的分红系数, 我们发现分红水平越高, 平台的用户基础增长越快, 用户基础波动性和代币价格的波动性也更高.

本文的模型和理论研究还可以在以下方面有进一步拓展. 第一, 模型中代币的激励机制

主要体现在分红权益上,而实际上代币的激励机制有更多,这些复杂的激励机制都可以定量地嵌入到模型中。第二,代币供给机制给代币价格带来的影响并没有深入分析,本文理论模型为了简化,设定代币供应量是不变的,但当代币供应量不再是固定不变,而是由平台拥有者决定时,代币的均衡定价必定会有所变化。第三,本文用数值模拟方法比较平台币和一般实用型代币经济时,固定了参数  $\alpha$  值为 0.3,假定代币的市场价值对代理人的流动性效用影响更大。而实际情况中,不同代理人对代币的流动性效用偏好可能不一致,设定不同  $\alpha$  值对平台经济的影响可能又有所不同。

## 参 考 文 献

- 费为银,王良熠,陈阳,(2022).基于区块链的算力优化模型研究[J].系统工程,40(2):131-139.  
Fei W Y, Wang L Y, Chen Y, (2022). Computing Power Optimization Model Based on Blockchain[J]. Systems Engineering, 40(2): 131-139.
- 郭笑春,汪寿阳,(2020).数字货币发展的是与非:脸书 Libra 案例[J].管理评论,32(8):314-324.  
Guo X C, Wang S Y, (2020). The Black and White of Digital Currency Development: A Case Study of Facebook Libra[J]. Management Review, 32(8): 314-324.
- 刘明熹,甘国华,程郁琨,肖琳,刘帅,等,(2020).区块链共识机制的发展现状与展望[J].运筹学学报,24(1):23-39.  
Liu M X, Gan G H, Cheng Y K, Xiao L, Liu S, et al. (2020). Development and Prospect of Blockchain Consensus Mechanism[J]. Operations Research Transactions, 24(1): 23-39.
- 马俊俊,熊熊,王鹏飞,张维,(2020).国际货币政策对加密货币的影响:来自于不同国家的经验证据[J].国外社会科学,(4):58-66.  
Ma J J, Xiong X, Wang P F, Zhang W, (2020). The impact of International Monetary Policy on Cryptocurrencies: Empirical Evidence from Different Countries[J]. Social Sciences Abroad, (4): 58-66.
- 孙多好,费为银,邓寿年,(2022).Knight 不确定下基于代币的平台运营管理[J].系统管理学报,31(4):701-710.  
Sun D H, Fei W Y, Deng S N, (2022). Token Based Platform Operation Management under Knightian Uncertainty[J]. Journal of Systems and Management, 31(4): 701-710.
- 谢平,石午光,(2015).数字加密货币研究:一个文献综述[J].金融研究,(1):1-15.  
Xie P, Shi W G, (2015). A Literature Review of Cryptocurrency[J]. Journal of Financial Research, (1): 1-15.
- 姚前,(2018).共识规则下的货币演化逻辑与法定数字货币的人工智能发行[J].金融研究,(9):37-55.  
Yao Q, (2018). Currency Evolution Logic under Consensus Mechanism and Digital Fiat Currency Issuance based on Artificial Intelligence[J]. Journal of Financial Research, (9): 37-55.
- 姚前,陈华,(2018).数字货币经济分析[M].北京:中国金融出版社.  
Yao Q, Chen H, (2018). Economic Analysis of Digital Money[M]. Beijing: China Financial Publishing House.
- Athey S, Parashkevov I, Sarukkai V, Xiao J, (2016). Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence[R]. Stanford Graduate School of Business, Working paper.
- Auer R, Claessens S, (2018). Regulating Cryptocurrencies: Assessing Market Reactions[EB/OL]. BIS Quarterly Review. <https://ssrn.com/abstract=3288097>.

- Bakos Y, Halaburda H, (2018). The Role of Cryptographic Tokens and ICOs in Fostering Platform Adoption[EB/OL]. <https://ssrn.com/abstract=3207777>.
- Balcilar M, Bouri E, Gupta R, Roubaud D, (2017). Can Volume Predict Bitcoin Returns and Volatility? A Quantiles-based Approach[J]. *Economic Modelling*, 64: 74–81.
- Biais B, Bisière C, Bouvard M, Casamatta C, Menkveld A J, (2018). Equilibrium Bitcoin Pricing[EB/OL]. <https://ssrn.com/abstract=3261063>.
- Biais B, Bisière C, Bouvard M, Casamatta C, (2019). The Blockchain Folk Theorem[J]. *The Review of Financial Studies*, 32(5): 1662–1715.
- Brauneis A, Mestel R, (2018). Price Discovery of Cryptocurrencies: Bitcoin and Beyond[J]. *Economics Letters*, 165: 58–61.
- Catalini C, Gans J S, (2019). Initial Coin Offerings and the Value of Crypto Tokens[R]. MIT Sloan School of Management, NBER Working Paper, No.24418.
- Chod J, Lyandres E, (2020). A Theory of ICOs: Diversification, Agency, and Information Asymmetry[EB/OL]. <https://ssrn.com/abstract=3159528>.
- Cong L W, Li Y, Wang N, (2021). Tokenomics: Dynamic Adoption and Valuation[EB/OL]. *The Review of Financial Studies*, 34(3): 1105–1155.
- Cong L W, Li Y, Wang N, (2022). Token-based Platform Finance[J]. *Journal of Financial Economics*, 144(3): 972–991.
- Fanti G, Kogan L, Viswanath P, (2019). Economics of Proof-of-Stake Payment Systems[R]. Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, Working paper.
- Freni P, Ferro E, Moncada R, (2022). Tokenomics and Blockchain Tokens: A Design-oriented Morphological Framework[J]. *Blockchain: Research and Applications*, 3(1): 100069.
- Hayes A S, (2016). Cryptocurrency Value Formation: An Empirical Study Leading to a Cost of Production Model for Valuing Bitcoin[J]. *Telematics and Informatics*, 34(7): 1308–1321.
- Katsiampa P, (2017). Volatility Estimation for Bitcoin: A Comparison of GARCH Models[J]. *Economics Letters*, 158: 3–6.
- Lee D K C, Low L, (2018). Inclusive FinTech: Blockchain, Cryptocurrency and ICO[M]. Singapore: World Scientific.
- Liu X, Yang Z J, (2022). Security Token Offerings Versus Loan Guarantees for Entrepreneurship Under Asymmetric Information[EB/OL]. <https://ssrn.com/abstract=4028208>.
- Makarov I, Schoar A, (2020). Trading and Arbitrage in Cryptocurrency Markets[J]. *Journal of Financial Economics*, 135(2): 293–319.
- Nadler P, Guo Y, (2020). The Fair Value of a Token: How do Markets Price Cryptocurrencies?[J]. *Research in International Business and Finance*, 52: 101–108.
- Pagnotta E, Buraschi A, (2018). An Equilibrium Valuation of Bitcoin and Decentralized Network Assets[EB/OL]. <https://ssrn.com/abstract=3142022>.
- Pazos J, (2019). Valuation Method of Equity-based Security Token Offerings (STO) for Start-Up Companies[J]. *The Journal of British Blockchain Association*, 2(1): 71–80.
- Phillip A, Chan J S K, Peiris S, (2018). A New Look at Cryptocurrencies[J]. *Economics Letters*, 163: 6–9.
- Shen D, Urquhart A, Wang P, (2020). A Three-factor Pricing Model for Cryptocurrencies[J]. *Finance Research Letters*, 34: 101248.
- Shorish J, (2019). Hedonic Pricing of Cryptocurrency Tokens[J]. *Digital Finance*, 1: 163–189.

- Sockin M, Xiong W, (2020). A Model of Cryptocurrencies[R]. Cambridge, NBER Working Paper, No.26816.
- Wang Q, Chong T L, (2021). Factor Pricing of Cryptocurrencies[J]. The North American Journal of Economics and Finance, 57(5): 101348.
- Yang B Y, Sun Y Y, Wang S Y, (2020). A Novel Two-stage Approach for Cryptocurrency Analysis[J]. International Review of Financial Analysis, 72: 101567.

## 附录

表 1 数值模拟参数取值说明

参数符号	参数含义	参数取值
$\alpha$	代理人流动性偏好的效用因子	0.3
$\phi$	代理人参与平台的固定损失成本	1
$\beta$	代币的分红系数	图 2~4 设定为 0.01
$\gamma$	平台生产力到利润的转化率	1%
$r$	无风险利率	5%
$\mu_t^A$	平台生产力的漂移项	2%
$\sigma^A$	平台生产力波动率	200%
$\sigma_t^{\mu^P}$	$\mu^P$ 的波动率	-0.05%
$g(u_i)$	用户需求 $u_i$ 的概率密度函数, 假设为正态分布	$\sqrt{\frac{1}{2\pi\theta^2}} e^{-\frac{u_i^2}{2\theta^2}}, \theta = 5\sqrt{2}$