经济政策对代币经济中财富分布的影响

内生和外生经济政策如何影响代币经济中的财富分布?

R. Sadykhov、G. Goodell 博士和 P. Treleaven 教授

伦敦大学学院

2026年1月

arXiv:2602.17373v1 [q-fin.GN] 19 Feb 2026

摘要

本文分析了外生和内生因素对比特币代币经济中财富分布的影响，其中财富分布指 BTC 在经济参与者或经济参与者群体之间的分布。本文旨在分析经济政策对比特币生态系统中财富分布的影响。

我们采用不同的宏观经济和微观经济时间序列，以消除财富分布时间序列中的噪声，并对比特币改进提案（即 BIPs）与清理后的财富分布数据进行因果关系分析，从而揭示内生政策对代币经济中财富分布影响的可能模式。最后，本文提出了代币经济中经济政策分类体系的框架，并通过现有的 BIPs 展示不同政策的实施方式。

这种方法突显了政策制定者可采取的行动，同时提供了一种分析代币经济中的政策影响并对其进行分类的方式。

1 引言

自 2008 年区块链问世以来，代币经济（定义见 Sadykhov 等人 [1]）已成为最受欢迎的金融系统之一。随着其持续发展，许多人不禁想知道，如何监管这类去中心化的经济机制，以及金融监管机构可以出台哪些政策，以确保代币经济保持稳定、遵守反洗钱和反恐融资规定，并依法纳税。

为了了解需要制定哪些政策，首先必须评估哪些政策会对代币经济产生影响。还应考虑政策的实施层级：设定隔夜回购协议的管理利率，是否有助于激励代币经济中的经济活动？还是需要特定的激励计划来刺激消费？由此可见，针对代币经济可以采取不同类型的政策，我们将其称为外生政策和内生政策。

外生政策是在代币经济范围之外引入的政策，通常针对经济的“整体”状况（例如，为不同的所得税类别设定税收界限、发放资本利得税抵免等）。相比之下，内生政策是在代币经济内部制定的政策（例如，最大供应量），其目标纯粹是代币经济内部的经济活动。请注意，我们并未声称所有外生政策都与代币经济的状况无关；某些政策可能会针对已实现收入征税，而这项收入专属于某个代币经济。反过来，也可能存在其影响溢出至整体经济的内生政策。

根据对外生政策和内生政策的定义，我们推断，外生政策往往具有大得多的影响范围。因此，为了研究内生政策的影响，我们必须设法滤除外生政策以及与政策无关的事件所产生的“噪声”。如果没有这一步，我们将无法确定内生政策是否产生了影响、是否是为了应对某个影响代币经济的因素而实施，或者是否根本没有产生任何影响。

最后，为开展研究，我们使用财富分布来衡量政策影响，即比特币地址各区间之间的财富分布。之所以选择这一指标，是因为财富分布能够体现经济中的经济活动，而经济活动本质上就是经济中的财富再分配。此外，财富分布还是观察政策如何影响人口不同群体的一个很好的基准，因为政策制定者往往会根据不同主体的财富或收入水平，将其作为目标对象 [1] 。

基于上述各点，本文旨在考察不同的外生和内生政策如何影响代币经济中的财富分布，并为通用代币经济开发一种执行此类分析的方法。我们还旨在将内生政策映射到经济政策分类体系中的对应外生政策。

2 范围

本文将使用比特币代币经济的数据，对上述内容进行分析。选择这一对象的原因是，比特币拥有高质量的数据，尤其是存在比特币改进提案 [7]（即 BIPs）。比特币改进提案是比特币社区提交的提案，集中存放在一个提案库中，旨在改进比特币的设计。这些改进提案涉及网络安全和

性能改进，也涉及比特币经济机制的设计。并非所有 BIPs 都与构建代币经济的经济政策分类体系相关，但我们仍会在财富再分配分析中使用它们。因此，在本文中，我们将比特币改进提案视为比特币代币经济的内生政策。

我们使用的比特币财富分布数据，以及比特币收盘价数据，均取自 CCData [8]。财富分布数据被划分为10个区间，每个区间都是所有满足该区间边界条件的地址的持有量之和。例如，标记为 从*1*到*10* 的区间，是一个时间序列，表示在给定时间持有量介于1至10枚比特币之间的地址所持有的全部比特币总量。

首先需要注意的是，全部10个区间之和实际上就是比特币当前供应量的时间序列。其次，这些区间中的地址并不受限于在整个时间序列期间始终处于同一区间，因此，随着时间推移，每个区间中的地址数量以及该区间的财富都可能发生变化。

我们将使用的软件结合 Rust 和 Python 编程语言编写，用于分析数据的库包括 DigiFi [12], 、statsmodels [13], 、SciPy [14] 和 NumPy [15]。

为了完成其余分析，我们需要外生政策时间序列、宏观经济和微观经济数据。我们认为，这三类数据中的变量可能会对财富分布产生重大影响，因此希望检查代表这些类别的时间序列是否存在噪声。用于分析的时间序列如下所列。

2.1 外生政策数据

外生政策是指在代币经济范围之外制定的政策。为了表示外生政策，我们使用下文定义的时间序列。请注意，括号中依次列出数据来源、来源使用的时间序列标识符、测量频率以及该时间序列的最后日期。

- 联邦基金有效利率（FRED [9],DFF，每日，2025-08-28）
- 个人当期税（FRED [9], W055RC1，每月，2025-07-01）
- 5年高质量市场（HQM）公司债券平价收益率（FRED [9], HQMCB5YRP，月度，2025-07-01）
- 10年高质量市场（HQM）公司债券平价收益率（FRED [9], HQMCB10YRP，月度，2025-07-01）
- 30年高质量市场（HQM）公司债券平价收益率（FRED [9], HQMCB30YRP，月度，2025-07-01）
- 5年高质量市场（HQM）公司债券即期利率（FRED [9], HQMCB5YR，月度，2025-07-01）
- 10年高质量市场（HQM）公司债券即期利率（FRED [9], HQMCB10YR，月度，2025-07-01）
- 30年高质量市场（HQM）公司债券即期利率（FRED [9], HQMCB30YR，月度，2025-07-01）
- 英国政府证券，名义平价收益率，5年期（IADB [10], IUDSNPY，每日，29-08-2025）

- 英国政府证券，名义平价收益率，10年期（IADB [10], IUDMNPY，每日，29-08-2025）
- 英国政府证券，名义平价收益率，20年期（IADB [10], IUDLNPY，日频，29-08-2025）
- 英国政府证券，名义零息收益率，5年期（IADB [10],IUDSNZC，日频，29-08-2025）
- 英国政府证券，名义零息收益率，10年期（IADB [10],IUDMNZC，日频，29-08-2025）
- 英国政府证券，名义零息收益率，20年期（IADB [10],IUDLNZC，日频，29-08-2025）

我们选择这些特征作为外生政策数据，是因为当局和监管机构可以直接影响这些特征，并通过它们影响经济的其他部分。选择这些特征还因为这些时间序列的数据易于获取，而且每条时间序列的所有读数至少涵盖2008年至2025年8月，这一点很重要，因为其时间范围与我们的比特币供应分布数据相符。这里还可以考虑许多其他时间序列，但我们将分析范围仅限于这些数据。

2.2 宏观经济数据

以下是我们用于解释财富分布时间序列中因宏观经济因素而产生的部分噪声的时间序列。与外生政策的情况一样，有些时间序列可能更能解释财富分布区间的部分方差，但我们仍采用这些时间序列，因为它们易于获取，并且涵盖了许多不同的宏观经济因素。

- 非农就业总人数（FRED [9], PAYEMS，月度，2025-07-01）
- 失业率（FRED [9],UNRATE，月度，2025-07-01）
- M1（FRED [9], WM1NS，每周，2025-04-08）
- M2（FRED [9], WM2NS，每周，2025-04-08）
- 联邦政府债务总额的市场价值（FRED [9], MVGFD027MNFRBDAL，月度，2025-07-01）
- 私人持有的联邦总债务市值（FRED [9], MVPHGFD027MNFRBDAL，月度，2025-07-01）
- 美国城市平均水平的全体城市消费者消费价格指数：所有项目（FRED [9], CPIAUCSL，月度，2025-07-01）
- 黄金兑美元价格（Yahoo! Finance [11], GC=F，每日，26-08-2025）

2.3 微观经济数据

最后，我们选取了一项我们认为也与分析相关的微观经济时间序列。半导体应用于显卡，而显卡通常与比特币挖矿有关，因此我们决定纳入这一时间序列，以检验其是否会影响财富分布数据。

- 按行业划分的生产者价格指数：半导体及其他电子元件制造（FRED， [9], PCU33443344，月度，2025-07-01）

3 外生因素对财富分布的影响

本节将考察第 2 节所述不同特征对比特币财富分布的显著性，以及它们如何影响财富分布区间；随后，我们将从财富分布区间中剔除这些特征引入的噪声，以便进一步分析清理后的数据。我们首先根据第 2 节中的特征，为每个财富分布区间建立一个模型。剔除模型中的不显著特征后，我们利用该模型提取特征无法解释的噪声项 ϵ 。我们认为，该噪声项代表已剔除外生因素影响的数据，因此将在下一节使用它来分析比特币改进提案（BIPs）的影响。

3.1 数据预处理

在继续分析之前，我们必须对所有时间序列进行变换，使其变为平稳序列。这样做的原因是，大多数经济和金融时间序列都是非平稳的，通常会随时间出现某种漂移（例如，个人当期税 从 1959 年到 2025 年呈指数式增长）。时间序列的这一特性可能会使我们的分析产生偏差：如果选取足够长的时间范围，并观察两个非平稳时间序列，那么它们之间总会存在某种关系（例如，正的皮尔逊相关系数），因为这两个时间序列都会随着时间推移偏离各自的起点。

为减轻这一现象，我们必须对时间序列进行数据变换，使其转化为平稳时间序列。为此，我们采用两种不同的变换：一阶差分和对数变化变换。

一阶差分是一种变换：对于时间序列中的每个时间步，我们用当前值减去该时间序列中的前一个值，从而得到

$$\Delta x_t = x_t - x_{t-1} \tag{1}$$

其中， Δx_t 是该序列经过变换后的值。请注意，由于序列的初始值在时间序列中没有前一个值，因此这种变换产生的时间序列比原始时间序列少一个元素。我们对以下时间序列应用这种变换：

- 联邦基金利率
- 5年 HQM 公司债券平价收益率
- 10年 HQM 公司债券平价收益率
- 30年HQM公司债券平价收益率

- 5年HQM公司债券即期利率
- 10年HQM公司债券即期利率
- 30年HQM公司债券即期利率
- 5 年英国国债（名义平价收益率）
- 10 年英国国债（名义平价收益率）
- 20 年英国国债（名义平价收益率）
- 5年英国国债（名义零息收益率）
- 10年期英国国债（名义零息收益率）
- 20年期英国国债（名义零息收益率）
- 失业率
- 黄金兑美元价格

上述所有时间序列均以比率形式报价，因此通过应用一阶差分，我们得到原始时间序列变化量的时间序列。我们希望得到原始序列变化量的时间序列，是因为我们需要一个平稳时间序列，它能独立于先前时间步告诉我们原始序列增长或下降了多少，从而比较不同时间序列之间的增长/下降模式。在此变换下，增量 Δx_t 的分布不会因其规模而产生偏斜，因为按固定的 Δx_t 上升和下降后，原始值 x_t 保持不变（相反，假设 x_t 先增加5%再减少5%——所得值将不等于 x_t，因此在简单的百分比变化变换下，增量分布可能偏向正增量 Δx_t ）。

我们使用的第二种变换类型是对数变化变换，其定义如下：

$$R_t = ln(x_t) - ln(x_{t-1}) \tag{2}$$

其中， R_t 是原始时间序列的对数变化。与之前一样，这种时间变换得到的时间序列比原始序列少一个元素。除上文一阶差分部分列出的时间序列外，我们对所有时间序列都应用这种变换，也对财富分布时间序列本身进行对数变化。与之前一样，对数变化变换会得到平稳的时间序列，并消除上文所述的偏度偏差。

最后，通过将这些变换应用于原始时间序列，我们得到了相应的平稳时间序列。现在，我们对所有经过变换的自变量（即特征时间序列）和所有经过变换的因变量（即财富分布区间）进行恩格尔-格兰杰两步协整检验，置信水平为 5%，以确认特征与财富分布时间序列之间存在长期稳定关系。每一对自变量和因变量都通过了协整检验。

3.2 财富分布的线性回归分析

将数据变换为平稳时间序列后，我们现在尝试剔除财富分布中可能归因于外部因素的部分方差。为此，我们拟针对每个财富分布区间，利用现有的外生因子时间序列建立一个线性回归模型。

采用线性回归的原因在于，它能够很好地估计自变量与因变量之间的线性依赖关系。由于经济学和金融领域中的许多关系都被认为是线性的，因此线性回归是一种合适的工具。在第 3.1 节中，我们还确保了所使用的时间序列是平稳的，而平稳时间序列的线性组合也具有平稳性，这意味着我们可以使用线性回归，通过提出的自变量来模拟财富分布的变化。

线性回归还提供了一套实用工具，可用于系统地筛除不显著的自变量：对线性回归斜率进行 t检验，并通过计算方差膨胀因子来检查自变量之间是否存在共线性。不过，在应用这些工具之前，我们必须使用所有可用的时间序列构建一个基准模型。在本文中，我们将这类模型称为“全局线性回归”模型，因为回归使用了所有可用数据。全局线性回归的形式为

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_n X_n + \epsilon \tag{3}$$

其中， Y 是经过转换的财富分布区间， X_i是经过转换的自变量。请注意，由于我们有 10 个财富分布区间，因此会有 10 个不同的全局线性回归模型。

这种用于解释财富分布方差的方法还有一个需要注意之处：我们用作模型特征的时间序列 X_i 长度和频率各不相同。这意味着我们可以选择对数据进行内连接，也可以将特征与相应的财富分布区间进行左连接，并填补缺失数据。由于我们希望尽可能保留变量之间的关系，因此决定对数据集进行降采样，并对所有变量采用月度观测值，最终得到的数据集中，每个模型均有 140 个历史数据点。我们认为，这个样本量足以进行线性回归，从而确定自变量的显著性。

运行全部 10 个全局线性回归模型后，我们得到了模型的估计量α 和 β_i ，以及用于 t 检验的标准误 SE_α 和 SE_{β_i}。对于 t 检验，我们假设零假设为 $\beta_i = 0$ （即自变量 i 与财富分布区间之间不存在关系），因为我们此前从未拟合过该模型，并且希望利用全局线性回归检验自变量与因变量之间是否存在关系。附录B列出了所有全局线性回归模型的 t 检验结果。

这些表格中的每个列名都是一个财富分布区间，经过转换后，表示公式 3 中的 Y；而每个行名则是特征在经过转换成为 X_i 之前的名称。对这些表格的解读方式是：每一列代表特定财富分布区间的一个模型，其中行名表示我们在该模型中用于预测该财富分布区间变化的特征。表格单元格显示的是线性回归斜率 t 检验的 p值。

为检验显著性，我们采用5%置信水平——高亮单元格表示自变量与财富分布区间之间的显著关系。不过，现在我们必须从每个模型中筛除所有不显著特征，

运行线性回归，并再次检验各特征的显著性。完成后，我们发现一些先前显著的自变量变得不显著。因此，我们继续重复这一过程，直到模型中只保留根据5%置信水平下的t检验判定为显著的变量。

完全筛选模型的结果见附录??。从这些表格中可以看出，剩下的唯一显著自变量是联邦基金利率和*M2*（美国），它们分别对从*0*到*0.001* 和从*10*到*100* 财富分布区间产生影响。

3.3 财富分布数据的清理

在为财富分布区间建立模型后，我们现在使用这些模型来找出误差项 ϵ，以便用于分析比特币改进提案及其影响。请注意，ϵ 对于除从*0*到*0.001* 和从*10*到*100*之外的所有财富分布区间而言，将只是经过转换的财富分布区间，因为它们的模型中没有任何特征可以解释方差。

根据 t 检验，参数显著的唯一模型如下：

$$Y_{\text{From 0 to 0.001}} = 0.02188 X_{\text{Federal Funds Rate}} + \epsilon \tag{4}$$

and

$$Y_{\text{From 10 to 100}} = 0.12899 X_{\text{M2 (US)}} + \epsilon, \tag{5}$$

其中我们纳入了模型的斜率系数，而 $X_{\text{Federal 基金利率}}$和 $X_{\text{M2 (US)}}$ 的 p 值分别为 0.000010 和 0.001555。请注意，这两个模型都没有截距，因为任一模型中的截距均不具有显著的 t 统计量。

既然我们已经确定了模型的形式，现在就可以求出这些模型的误差项。我们假设这些误差项是清理后的数据，即无法由外生因素解释的部分。下一节将研究比特币改进提案对这些清理后的数据的影响，届时我们会看到这一假设的重要性。

3.4 总结

本节介绍了一种处理方法，用于解释比特币代币经济中归因于外生因素的财富分布区间噪声。我们将数据转换为平稳时间序列，以消除处理原始数据所带来的不良副作用。随后，我们构建了多元线性回归模型，用以从分析中剔除不显著的自变量，并清理财富分布数据，得到其方差主要由比特币改进提案解释的数据。

4 内生政策对财富分布的影响

本节将考察哪些比特币改进提案（BIPs）可视为金融政策，分析它们与比特币财富分布区间之间可能存在的因果关系，并比较不同因果关系检验技术得出的结果。为确保财富分布不受任何外生因素影响，我们已在上一节滤除了这些因素产生的噪声。我们将移除外生因素影响后的供应分布称为清理后的财富分布。

该　此处采用的分析流程可分为以下几个步骤：

1. 选择一组比特币改进提案进行分析
2. 根据选定的比特币改进提案子集构建信号时间序列
3. 对比特币改进提案的信号时间序列与清理后的财富分布进行因果关系检验

按照这一流程，我们可以确定某个比特币改进提案子集是否可能导致财富分布发生变化。然而，上述流程引出了两个主要问题：我们该如何选择一个比特币改进提案子集，以检验其是否会导致财富分布发生变化；以及应采用哪种因果关系检验来检验这种关系是否存在？我们将在接下来的两个章节中分别回答这两个问题。

4.1 比特币改进提案数据筛选

理想情况下，我们可以为每个BIP标注其是否属于经济政策，以便在分析中使用。然而，即使确实如此，仍会有一些“非经济类”BIP可能导致财富再分配，因此也必须纳入分析。目前也无法通过迭代创建包含不同BIP组合的样本来进行因果检验，因为截至撰写本文时已有176项BIP，采用迭代抽样技术极不切实际。

鉴于这些问题，我们决定采用另一种方法来筛选“经济政策”BIP并进行因果性检验。我们没有只使用一个BIP子集，而是决定采用以下四个子集：

- **全部BIPs**：包含所有可用BIP的集合
- **全部经济相关BIP**：我们手动筛选出看似属于经济政策的BIP——稍后将详细介绍筛选过程
- **主要经济相关BIP**：根据不同来源，被认为具有重大影响的比特币改进提案
- **除主要经济相关BIP之外的全部经济相关BIP**

在后续章节中，我们将详细说明为这些子集选择比特币改进提案时所作的选择及所采用的方法论。

4.1.1 全部BIPs

第一类（即 全部*BIPs*）是一组用作对照检验基准数据的BIP。由于大多数BIP分布在清理后的财富分布数据的时间跨度内，我们预计包含全部BIP的信号时间序列噪声过多，无法通过大多数现有的因果性检验。

4.1.2 所有与经济相关的比特币改进提案

第二类（即 全部经济相关*BIP*）代表我们认为属于经济政策，或我们认为有可能导致财富重新分布的BIP。本文的目标之一是为代币经济中的政策分类提供一个初步框架，但由于目前尚无此类框架，我们不得不检查全部BIP，并手动筛选出我们认为大体符合以下类别的BIP：

- 直接针对供应或流动性的改进：9、42、100、101、102、103、104、105、106、107、109、152、331
- 交易改进或升级：11、13、16、65、66、68、78、79、112、115、116、118、125、127、129、134、146、174、322、324、330、352、370、373
- 嵌入式金融工具与解决方案：197、199、300、345
- 安全与隐私改进或失效：30、50、53、54、151、351
- 分层确定性钱包：32、39、43、44、49、84、88、175
- 隔离见证：91、141、148、173
- Taproot：326、327、341、343、371
- 简化或推广比特币经济的改进：1、21、47、61、70、72、75、111、380

请注意两点：第一，这种用于构建代币经济中经济政策分类体系的分类方式，只是对框架的初步建议，并不一定涵盖所有情况；第二，有些比特币改进提案可能符合多个类别（例如，比特币改进提案 *39* 提出引入助记词代码来生成分层确定性钱包，因此既可以归为分层确定性钱包改进，也可以归为简化或推广比特币、使其更便于终端用户使用的改进）。在这种情况下，我们会将其归入定义范围更窄的类别（例如，比特币改进提案 *39* 归入分层确定性钱包类别）。

将比特币改进提案归入这些类别，有助于我们理解它们针对代币经济的哪些部分，也有助于我们在第 5 节构建代币经济的经济政策分类体系。我们没有直接使用这些类别进行分析，是因为它们是人工选定的；而且，如上所述，有些比特币改进提案与其他类别存在较大重叠，因此我们必须设计一种机制来决定是否将这些提案纳入分析，这会使结果更加主观。

最后请注意，我们有意将分层确定性钱包、隔离见证 和 $Taproot$ 定义为独立类别。这样做的原因是，这些更新涉及比特币的许多不同部分，属于重大系列更新，并且在发布时曾在比特币社区引发大量讨论。因此，我们假设这些事件会导致财富分布发生重大变化；由于每项更新都涉及比特币生态系统的许多不同部分，我们决定将与之相关的比特币改进提案单独归为一类。

4.1.3 主要经济相关BIP

如前一节所述，有一些比特币改进提案在其他提案中尤为突出，因为它们提出或描述了对比特币代币经济的重大变革。我们统计了五个此类比特币改进提案，尤其是：

• **BIP 32**（2012-02-11，信息性，最终）：提出了可在客户端之间互换的分层确定性钱包，并允许在不披露私钥的情况下生成公钥。

• **BIP 42**（2014-04-01，标准跟踪，最终版）：为比特币引入固定货币供应量。

• **BIP 50**（2013-03-20，信息性提案，最终版）：一个区块被挖出并广播，其交易输入总数超过了此前出现过的数量。Bitcoin 0.8 节点能够处理该区块，但部分早于 0.8 版本的比特币节点拒绝了它，导致区块链意外分叉。Bitcoin 0.8 节点不得不降级以解决分叉。在此期间，至少发生了一起大规模双重支付，但其并非恶意所为（即属于实验性质）。

• **BIP 141**（2015-12-21，标准跟踪，最终版）：定义了一种称为"见证数据"的新结构，该结构与交易默克尔树分开提交到区块中。此结构包含验证交易有效性所需、但确定交易效果时不需要的数据。具体而言，脚本和签名被移至这一新结构中。为使本 BIP 与软分叉兼容，见证数据通过 Coinbase 交易提交到一棵嵌套于区块现有默克尔根中的树中。

• **BIP 341**（2020-01-19，标准赛道，最终版）：提出一种新的隔离见证版本 1 输出类型，其支出规则基于 Taproot、Schnorr 签名和默克尔分支。

我们决定基于这些主要 BIP 构建一条独立的信号时间序列，因为我们预计它们会对清理后的财富分布数据产生最显著的影响。

4.1.4 全部经济相关BIP（不包括主要经济相关BIP） s

我们将此类别定义为全部经济相关*BIP*与主要经济相关*BIP* 之间的集合差（请注意，后者是前者的子集）。我们将这组 BIP 纳入分析，是因为如果前两个类别得出的结果有所不同，我们希望了解主要经济相关*BIP* 究竟造成了哪些差异，因此这个子集也和全部*BIP*类别一样，充当对照检验。

4.2 格兰杰因果关系检验

在阐明我们选择比特币改进提案来构建信号时间序列的理由之后，我们现在转向选择可用的因果关系检验技术。业界和学术研究中最常用于此目的的工具是格兰杰因果关系检验 [4]。

Granger [4] 提出的方法依赖于通过傅里叶变换将待检验因果关系的两个时间序列分解为振荡器子部分。这是一种非常理论化的方法，在计算数据处理过程中使用时，可能会导致计算时间过长和结果不准确。因此，像 *statsmodels* [13] 这样的统计软件包提供了经过优化、适用于计算分析的格兰杰因果关系检验函数。作者考察了不同的统计软件包后发现，各软件包之间的实现方式并不一致，而且也存在其他方法，与 Granger 在其原著 [4]中提出的谱分析方法相互竞争。

在维基百科 [5], 等在线资源中，格兰杰因果关系检验过程可概括如下，其中自变量X 和因变量Y:

1. 为Y建立自回归模型，模型阶数由偏自相关函数确定，即取Y 高于某个预设临界水平的最高阶数。将此模型称为嵌套模型。2. 将X的自回归项纳入嵌套模型，其中X 的阶数通过最小化信息准则（如赤池、贝叶斯等）来确定。3. 迭代剔除X 中不显著的滞后项，直至仅保留在给定临界水平下通过t检验的项。将此模型称为父模型。4. 对嵌套模型和父模型进行F检验，以确定在指定的F检验临界水平下，加入自变量X 是否能解释部分方差。

这种方法可以合理地替代Granger提出的原始方法。然而，检查Python软件包 $statsmodels$ 中的格兰杰因果关系检验后发现，该检验使用一个名为 $max\ order$ 的变量，同时将其作为X 和Y 滞后项的阶数，因此分别构建阶数为 $O(max\ order)$和$O(2max\ order)$的嵌套多元线性回归模型和父多元线性回归模型。该软件包中的格兰杰因果关系检验也忽略了t检验筛选步骤。

这种实现的问题在于，其限制远少于维基百科所建议的方法 [5], ，然而该软件包引用的却只有原始论文，而原始论文采用了截然不同的方法。为确保结果有效，我们决定采用两种测试变体：将 $statsmodels$ 实现称为“简单”测试，将维基百科的方法称为“完整”测试，因为后者采用了更复杂的筛选流程。我们使用的 Rust 软件包 DigiFi [12], 实现了这两种方法。

4.3 内生政策分析

现在，我们已经选定了分析中要使用的比特币改进提案集合和工具，可以开始进行测试。根据第 3 节，清理后的财富分布数据采用月度格式，因为我们用于清理数据的大多数外生因素都是按月报价的。这意味着，将选定的比特币改进提案集合转换为信号时间序列时，也必须采用月度格式（也就是说，如果某个月发布了比特币改进提案，该月时间序列的值为 1，否则为 0）。附录A以蓝线展示了每个经过清理的供应分布区间，并以红色虚线标出比特币改进提案（注意，这些图包含所有比特币改进提案）。

由于共有十个清洗后的财富分布区间、四条BIP信号时间序列以及两种格兰杰因果关系检验变体，我们将得到80个结果，其中值 T （即真）表示相应的BIP信号时间序列与清洗后的财富分布数据之间存在格兰杰因果关系，而 F （即假）则表示没有足够证据得出存在格兰杰因果关系的结论。为便于进一步使用，我们为每项检验结果补充了额外信息——对于显示出格兰杰因果关系的检验，我们在 T 旁的括号中加入了父模型中的最长显著滞后期（请注意，对于“Simple”检验，该值始终等于我们所设定的最大滞后，因为“Simple”检验不应用t检验筛选），而对于未通过的检验，我们

在 F旁的括号中注明了其未通过的原因。另请注意，我们为检验使用了非常标准的参数：对于“Full”检验，我们对偏自相关函数使用了10%的临界区间，并将其最大滞后设为10（即就我们的数据而言为10个月），自变量的最大滞后为10，t检验和F检验的临界水平均为5%；对于“Simple”检验，我们使用了最大滞后10（如上所述，该设置适用于两条时间序列）以及F检验5%的临界水平（“Simple”检验没有t检验，因此不存在相应的临界水平）。

结果见附录C，其中为方便起见，已突出显示包含 T 的单元格。首先值得注意的是，两种 Granger 因果关系检验实现的结果一致；从数据中可以看到相似的模式。这一点很重要，因为这意味着不同的因果关系检验实现会得出相似的结果。

第二个观察结果是，正如预期的那样，全部*BIPs* 信号时间序列与任何财富分布区间都没有显著的因果关系，这可能是因为它过于均一。然而，其他信号时间序列都至少与一个财富分布区间存在某种因果关系。

此外，我们注意到，全部经济相关*BIP* 集合似乎会对富裕地址造成显著的财富再分配，而主要经济相关*BIP* 集合则影响了较贫困和中等财富地址。为了进一步构建有助于解释数据中这一模式的假设，我们必须指出，地址与真实的人并不相同，因此，可能影响某个人的行为因素，也可能影响由该个人控制的多个地址，反之亦然：当多个人共同拥有一个地址时，行为因素可能不会影响该地址，却会影响这些人。由于缺乏数据，在本分析中，我们假设地址对应于人。因此，当我们谈论可能影响地址的行为因素时，假设这些因素影响的是由这些地址所代表的人。

较富裕的地址之间显著的财富再分配是一个有趣的模式，因为它可能表明，更富裕的地址由于在比特币生态系统中拥有更高的利益，因而更积极地参与其中；而财富较少的地址则较少参与这一过程，它们只对大型经济事件作出反应，因为这些事件会通过许多不同的传播和营销渠道扩散开来。这也可能意味着，更富裕的地址更能预判重大变化（甚至促成这些变化，因为富裕地址实际上是该系统的治理者），并逐步转移财富，从而将重大变化提前计入比特币经济的价格之中。从另一个角度来看，这还可能意味着，如果大多数较贫穷的地址由一小群个人持有，那么当经济发生微小变化时，这些人可能难以进行财富再分配；而当重大政策变化出台时，他们可能被迫作出反应。然而，这并不改变数据中的模式：较富裕的地址似乎会对“次要”经济政策变化作出反应，而较贫穷的地址似乎对“重大”政策变化更为敏感。

总体而言，我们假设，这种差异是由信息不对称造成的：富裕地址会在“次要”经济政策发布后迅速转移财富，因为它们持续监测这一领域，并且拥有这样做所需的资源；然而，对于“重大”经济政策变化，它们会提前将其计入价格，因为这些变化要么是由它们直接促成的，要么是它们事先知晓的。相反，较贫穷的地址的所有者似乎要么较少关注“次要”经济政策变化，要么对这些变化知之甚少，因此不会对此作出反应；而“重大”政策变化会导致较贫穷的地址作出反应性投资决策，因为它们无法预见这些变化。我们

可以通过表1将这一假设可视化，其中，对政策变化缺乏响应以 F 表示，而对政策变化具有统计显著性的响应（即，财富分布的显著对数变化）则以 T 表示。

	较富裕的地址	**较贫穷的地址**
重大经济政策变化	假 （已计入价格）	True
小幅经济政策变化	True	假 （资源有限／持仓较小）

表1：比特币改进提案与财富再分配之间因果分析中呈现模式的可能解释

接下来，我们看到，使用除主要经济相关提案外的所有经济相关比特币改进提案信号时间序列进行的对照检验，与预期一样，与使用全部经济相关比特币改进提案进行的检验结果相当相似，唯一的区别是针对从*10*到*100*区间的“简单”检验。可能的原因是，检验值非常接近临界水平，勉强通过了检验；但我们并未发现任何趋势表明，从全部经济相关比特币改进提案中移除主要经济相关比特币改进提案会产生一组截然不同的结果。

最后，我们必须讨论结果对所使用参数的敏感性。在附录C的表格中，我们看到，对于“Full”检验，有一个单元格表明10个月的滞后期仍然显著，因此我们想知道，如果缩短或延长检验窗口，会产生什么结果。我们决定重新进行相同的格兰杰因果关系检验，但这次将偏自相关函数和自变量的最大滞后分别设为6和12（即6个月和12个月）；这些检验的结果分别呈现在附录 D 和附录 E 中。尽管结果略有不同，但总体模式似乎保持不变，这使我们相信该模式相对稳定，不会因改变检验窗口而受到显著影响。敏感性分析的另一个有趣结果是，在附录 E 的12个月表格中，“Full”检验显示最长显著滞后期为6个月，这与6个月表格中的结果一致（请注意，尽管附录C的表格中未呈现相关结果，但显示“Full”检验的最长显著滞后期为10个月的单元格，根据t检验，6个月滞后也具有显著性，因此三张表在这一结论上是一致的）。因此，我们假设，根据“Full”检验的结果，6个月是比特币改进提案对财富分布产生影响的最长显著时期，而我们将10个月这一单元格视为统计异常。

4.4 总结

这些结果之所以有趣，是因为它们揭示了财富再分配中的潜在模式，同时也表明，我们选择政策的方法尽管带有一定主观性，并非巧合，并且我们有可能将其形式化为一种分类体系。我们还看到，比特币改进提案确实会对财富分布产生影响，而且不同的政策组合会对比特币经济中不同的财富分布区间产生不同影响。本节与上一节共同提出了一种分析政策及其对代币经济影响的技术，并且在具备适当数据的情况下，有可能推广到传统经济。

通过对作为“完整”格兰杰因果关系检验一部分而构建的线性回归进行更深入的分析，可以进一步改进这一方法论，例如审查每个系数经迭代 t 检验得出的 p 值，以及

F 检验的 p 值。这有助于解释“完整”检验与“简单”检验之间的差异，并反馈所选置信水平是否过于严格或宽松。还可以为这一分析技术增加一项改进：制定程序，以确定“完整”检验中偏自相关函数的最大阶数和自变量的最大滞后，以及“简单”检验中的最大滞后。本文假设比特币改进提案的影响延迟不超过 10 个月；从敏感性分析中可以看出，影响最显著的延迟为 6 个月。不过，若能制定程序来确定这一影响延迟窗口，将会很有帮助。但这两项改进提案均留待未来工作。

5 代币经济的经济政策分类体系

本节旨在将第4.1.2小节中的观察结果形式化。在该小节中，我们将比特币改进提案划分为若干类别，并指出这些类别似乎与“经济相关”。为了构建代币经济中的经济政策分类体系，我们将以经济政策分类体系 [3]提出的框架为基础，将比特币改进提案映射到该框架的各个部分，反之亦然；我们也将利用该框架，提出可在代币经济中实施的潜在政策。然而，通过此前对比特币改进提案的考察，我们知道，尽管我们将其中一些政策视为经济政策，但它们无法直接映射到传统经济中的政策。因此，我们将本节分为两部分：第一部分介绍代币经济中可映射到传统经济政策的经济政策分类体系；第二部分介绍代币经济特有的经济政策分类体系。

首先请注意，我们在此提出的是分类体系的起点，未来研究应在此基础上加以扩展和修改，而不应将其视为完整且详尽无遗的清单。本节采用经济政策分类体系 [3]中对政策和原子政策的定义：

定义 1。 政策 是指一组人、商业组织、政府或政党正式认可的一系列理念，或关于在特定情形下应采取何种行动的计划。

定义 2。 原子政策 是指针对特定对象或现象施加改变的一项独立行动或理念。

我们特别致力于识别原子政策，因为它们是无法再拆分为更小行动集合的独立行动。理解这些行动十分有用，因为全球经济政策是一次性实施的一组原子行动，旨在作用于经济的特定部分。了解可能的原子政策，有助于我们利用 DeTEcT 框架设计更精确的经济模型。

5.1 代币经济中的标准经济政策分类体系

为代币经济重建政策分类体系框架时需要注意的是，我们需要一个政府和中央银行来映射传统经济中的原子政策；但由于代币经济被视为去中心化经济，因此经济中没有任何单一代理负责制定政策和重新分配财富。为了解决这个问题，我们可以将 DeTEcT [1] 提出的 控制机制 视为经济中的一个代理，它接收并支出财富，我们可以将其理解为协议本身。尽管

协议本身确实由经济中的其他代理治理，因此治理与财富再分配流之间存在区别，但分类体系只关注现金流，而不关注治理基础设施；在不失一般性的前提下，后者可以抽象处理。

由于控制机制 被视为一个独特的代理，而在标准经济中，政府 和中央银行 是两个不同的实体，因此我们建议，即使在代币经济中，也保留财政政策与货币政策之间的区别。这样能更好地对应标准经济中的政策，并使我们未来能够将代币经济中的控制机制 划分为类似“政府”和类似“中央银行”的代理；代币经济本身则可视为一种原子政策。

我们首先为控制机制 编制一份损益表，并如上所述将其分为两部分：类财政部分和类货币部分。

- **类财政损益表**
  - **收入**
    - **交易费**：直接支付给协议的费用（请勿与支付给矿工、以将交易纳入区块的交易费混淆）。
  - **支出**
    - **销售成本**：向维持经济运行的代理发行的代币（例如，矿工）。
    - **激励**：由控制机制向满足预定条件的经济参与者发放的激励。
- **类货币损益表**
  - **收入**
    - **外币出售**：以其他类型的货币重新获取代币。– **支出**
    - **外币购买**：出售代币以换取其他类型的货币。

此处定义的表述比经济政策分类体系 [3]中定义的表述简洁得多，因为代币经济中的可变因素比传统经济中的少。不过，由于比特币改进提案数量有限，我们可以更清晰地概述控制机制 可用于调节经济的原子政策，并提供政策实施的示例。以下是代币经济类财政政策与标准经济财政政策之间的对应关系：

- **收入政策**
  - **交易费用规模**：交易完成时需支付并将被“销毁”（即从当前流通量中移除）的代币数量。
- **支出政策**
  - **挖矿费用规模**：协议向生成并验证交易区块的代理发放的奖励规模。

– **意向规模**：协议向满足特定标准的代理发放的奖励规模。– **激励标准**：经济参与者必须满足的条件，满足后方可获得代币奖励。

- **辅助政策**

  – **拍卖**：允许经济参与者自行协商交易条款（例如，*BIP 78*、*199*）。

由于控制机制 实施的大多数政策都针对供应变化，或对代币经济内部的交易及金融工具交易进行监管，因此，我们通过比特币改进提案识别出的货币类原子政策要多得多：

- **债务与信贷政策**：与控制机制创建或发行债务相关的政策。

  – **固定供给**：经济中设定的供应量上限（例如，*BIP42*）。– **动态供给**：经济中设定的供应量上限为无穷大。– **供给增量**：在最大供应量基础上额外发行代币。– **供给减量**：从最大供应量中移除代币。

- **金融市场政策**：对代币经济中发行的交易和金融工具，或建立在代币经济之上的交易和金融工具进行监管。

  – **复杂交易**：交易双方设定条件的交易，这些条件规定了交易要成功完成必须满足的输入、输出或中间环节约束（例如，*BIP 13*、*16*）。

    * **签名数量**：完成交易所需的签名数量（例如，*BIP 11*）。
    * **相对锁定时间**：触发交易完成的时间戳（例如，*BIP 68*）。
    * **未来协议**：已完成交易的输出在某个时间戳之前不可花费（例如，*BIP 65*）。
    * **债务协议**：在交易双方之间建立债务协议的交易合约（例如，*BIP 197*）。
    * **交易顺序**：必须执行连续交易的顺序。
    * **身份验证证明**：请求在交易完成之前获取身份验证证明（例如，*BIP 75*）。
    * **储备金证明**：请求在交易完成之前获取储备金证明（例如，*BIP 127*）。
    * **目的地**：对交易未来目的地的限制（例如，*BIP 112*、*BIP 118*）。
    * **恢复路径**：指定交易恢复路径，可在交易完成前将财富恢复到指定地址（例如 *BIP 345*）。

* **系统状态**：经济或系统的状态，用于限制交易（例如 *BIP 115*）。

* **可变交易**：交易参与者可以在交易完成后更改其状态的能力（例如，*BIP 125*、*141*、*370*、*371*、*373*）。

*离线交易 支持离线和/或延迟交易（例如，*BIP 174*）。

* **祖先交易包传播**：请求中继指定交易的未确认祖先交易包，以便深入筛选未来的交易树（例如，*BIP 331*）。

– **交易验证**：根据协议定义的规则验证交易（例如，*BIP 53*、*54*、*66*、*146*、*173*）。

* **双重支付验证**：验证交易不会再次花费已花费的财富，也不会通过 ID 或其他元数据伪装成另一笔交易（例如，*BIP 30*）。

* **交易大小**：纳入区块的交易及由此延伸的区块本身的最大大小限制（例如，*BIP 100*、*101*、*102*、*103*、*104*、*105*、*106*、*107*、*109*）。

* **元数据**：对传入区块或在节点间传递的交易元数据进行标准化并制定要求（例如，*BIP 152*）。
* **提现验证**：对从 L2 及更高层解决方案向 L1 提取财富制定的要求（例如，*BIP 300*）。

至此，我们完成了将代币经济中识别出的原子政策与传统经济中定义的原子政策进行初步对应。值得注意的是，分类体系的总体结构得到了很好的保留，这表明传统经济与代币经济的政策制定之间存在一定的重叠。

5.2 代币经济专属的经济政策分类体系

本节介绍代币经济专属的经济政策，因此这些政策未纳入上一节定义的分类体系。需要注意的是，这些政策未被纳入前述分类体系，并不代表它们对财富分布的潜在影响如何。

- **流动性政策**：旨在改变经济中的流动性或交易吞吐量的政策。

– **硬分叉**：节点根据所采用的政策集合对区块链协议进行拆分。– **同时软分叉**：区块链能够同时运行多个软分叉，而不会因不同的软件版本（例如*BIP 9*）而失去流动性。– **分叉激活要求**：由经济参与者提出、用于触发分叉激活的要求（例如 *BIPs 91*、*148*、*343*）。

- **财富储存政策**：描述财富将如何以及在何处储存的政策（例如，钱包）

– **分层确定性钱包**：以分层地址结构生成地址的钱包，这些地址不会泄露私钥，并可在经济参与者之间共享，用于交易和储存财富（例如，比特币改进提案 *32*、*44*、*175*）。– **多重签名钱包**：需要多个私钥才能签署交易的钱包（例如，*BIP 129*）。– **聚合密钥**：允许多个签名者生成聚合密钥（例如，*BIP 327*）。– **钱包约束**：施加于钱包的约束（例如，*BIP 88*）。

- **社会政策**：旨在简化、普及或促进普通公众采用代币经济的政策（例如，比特币改进提案 *61*、*380*）。

  – **标准化政策设计机制**：使经济参与者能够创建改进提案、对其进行投票并加以实施的机制（例如，比特币改进提案 *1*）。– **支付方案**：促进供应商与客户之间交易的机制（例如，比特币改进提案 *21*、*47*、*70*、*72*、*79*、*111*、*322*、*324*、*330*、*341*、*351*、*352*）。– **助记词方案**：允许经济参与者使用易于记忆的变量（例如主密钥或公钥）的设计政策（例如，比特币改进提案 *39* ）。

- **辅助政策**：具有独特性且与其他政策重叠有限的政策。

  – **协议选择**：选择用于处理和验证交易的协议及其规则，同时允许开发更高层解决方案。– **货币权威机构**：用于规范财富再分配并控制供应的独特协议，而非独立的治理和财政机构。

5.3 政策分类体系组成部分分析

提出分类体系后，我们已将全部经济相关*BIP*集合中的比特币改进提案分配给相应的原子政策，或分配给分类体系中未来工作需要进一步拆解为原子政策的部分（例如拍卖）。我们提出的分类体系包含三大政策类别：类财政政策、类货币政策 和纯代币经济政策（即代币经济专属政策）。由于我们的分类体系中每一类别都有相应的比特币改进提案，我们决定检视第4节所述的格兰杰因果关系分析能否揭示这些类别划分中的任何模式，因此我们再次进行了格兰杰因果检验，但这次使用以下三组比特币改进提案：

- **类财政比特币改进提案**：78, 199
- **类货币比特币改进提案**：11, 13, 16, 30, 42, 53, 54, 65, 66, 68, 75, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 112, 115, 118, 125, 127, 141, 146, 152, 173, 174, 197, 300, 331, 345, 370, 371, 373
- **纯代币经济学类比特币改进提案**：1、9、21、32、39、44、47、61、70、72、79、88、91、111、129、148、175、322、324、327、330、341、343、351、352、380

检验参数与上一节相同：“完整”检验采用偏自相关函数的10%临界区间、最大滞后为10；自变量的最大滞后为10；t检验和F检验的临界水平为5%。 “简单”检验的最大滞后为10，F检验的临界水平为5%。分析结果见附录F，其中 T 表示这组比特币改进提案能够 Granger 导致比特币财富分布区间发生变化。

从表中可以看出，结果非常零散，没有呈现出任何明显的模式。“Simple”和“Full”测试似乎并不一致，而且也无法明确划分哪些政策会影响哪些财富分布区间。我们或许可以追踪到的一种可能模式是，纯代币经济学比特币改进提案 集会影响多个财富分布区间。

这一结果与附录C中的因果关系分析之间存在差异，一个可能的解释是，不同财富区间可能会关注那些引入比特币经济变化的比特币改进提案，但并不在意这些变化属于财政、货币还是其他类型。我们推测，财富分布区间中观察到的响应，是由具体的原子政策所引起的，而不是由某种特定的财政政策或货币政策的实施所引起的；按照预期，我们本应观察到后者。

5.4 总结

本节为代币经济的经济政策分类体系设计了一个起点。我们采用了传统经济中引入的结构 [3] ，以了解代币经济中的哪些原子政策在传统经济中具有对应方案，以及哪些政策是代币经济所独有的。这一区分有助于我们理解代币经济与传统经济之间的结构性差异。我们分析了将某项政策归类为财政政策或货币政策是否会对经济参与者产生影响，并根据分析结果得出结论：对于比特币财富再分配而言，这类标签似乎并未呈现一致的模式。我们还可以通过研究以太坊等代币经济的改进提案（即 EIPs）进一步完善这一分类体系，但这将留待未来工作。

6 未来工作

完成这项研究后，我们想指出一些可用于后续研究并进一步发展本文所提方法论的方向。首先，我们想提到，未来还可以考虑滤除许多其他外生因素，例如美国和英国管辖范围以外的因素（如欧洲中央银行政策、中国中央银行政策等）、基本面冲击（如世界新闻、经济衰退等），以及许多其他因素。为此，开发一个框架将很有帮助，该框架可用于判断需要滤除哪些因素，从而使相关经济时间序列能够被视为“已清理”。

其次，正如第4.4小节所述，本文提出的分析政策影响的方法论仍可进一步改进。具体而言，可以对“完整”格兰杰因果关系检验进行更严格的分析：比较“完整”检验与“简单”检验的线性回归模型，以确定哪些滞后特征被筛除，以及格兰杰因果关系检验结果对 t 检验和 F 检验置信水平变化的敏感程度。此外，若能为这两种检验补充确定最大滞后参数的方法，也将有助于完善分析方法论。

第4节的结果可以从代币经济的角度进一步考察，也可以从传统经济和金融的角度进行分析。从代币经济的角度出发，我们可以通过考察个别富裕地址的财富变动，尝试验证较富裕地址会对政策变化进行定价这一假设；同时，还可以考察较贫穷的地址相对于主要经济相关*BIP* 信号时间序列的交易执行时机。将交易执行的时间范围纳入本研究，或许能进一步揭示不同经济参与者对经济政策变化的响应模式。

不过，这些结果也可能揭示传统经济和金融领域的一些模式，可通过应用本文所述的方法论加以检验。例如，我们可以考察政府或中央银行提出或实施的“重大”经济政策变化是否确实已被其他经济参与者计入价格，以及信息不对称是否会导致不同基尼系数分组在响应和行动上的差异。

最后，通过考察以太坊或 Solana 等其他代币经济中实施或提出的政策，可以进一步完善代币经济的经济政策分类体系。这将拓展我们对政策制定者可能采取的行动的理解，并为未来的研究提供更好的参考。

7 结论

本文旨在分析以比特币改进提案（BIP）为代表的内生政策对比特币代币经济中财富分布的影响，检验这些政策是否会影响财富分布，并了解监管机构在经济中可以实施哪些原子级政策。

我们分析了影响比特币财富分布的外生因素，并得出结论：只有联邦基金利率 和 *M2*（美国） 分别对从*0*到*0.001* 和从*10*到*100* 财富分配区间产生显著影响。基于这些结果，我们从财富分布数据中剔除了外部因素造成的噪声，进而检验内生政策（即比特币改进提案）与清理后的财富分布之间的因果关系。根据分析，我们得出结论：比特币改进提案确实会通过格兰杰因果关系导致财富再分配；比特币代币经济中较贫穷的地址似乎受到主要经济相关*BIP*的影响，而较富有的地址则受到全部经济相关*BIP*的影响。这一结果可能反映出，由于经济参与者在经济中持有的“权益”（即财富）不同，他们对所实施政策的关注程度也有所不同；也可能是因为较富有的地址更善于预测重大政策变化。根据格兰杰因果关系检验的敏感性分析，我们还认为，比特币改进提案的影响延迟窗口为6个月，因此，如果推出新政策，最多需要6个月才能产生具有统计显著性的影响。

在经济政策分类体系所引导的结构基础上，我们构建了代币经济中的政策分类体系。我们通过比特币改进提案中的示例，为原子政策的选择提供依据，这也解释了为何此前将其纳入因果关系分析。我们注意到，为代币经济构建的分类体系结构与传统经济的政策分类体系结构相似，但有一些原子政策无法映射到传统经济中，这可能体现了传统经济与代币经济在监管结构上的差异。

总之，本文研究了外生因素和内生因素对比特币生态系统中财富分布的影响，为代币经济中的经济政策分类提出了一个起点——

并提出了一套分析政策对财富分布影响的流程。

附录

A CleanedSupplyDistribution数据

Hint

- 红色虚线表示比特币改进提案
- 图表上的年份标签标记年初

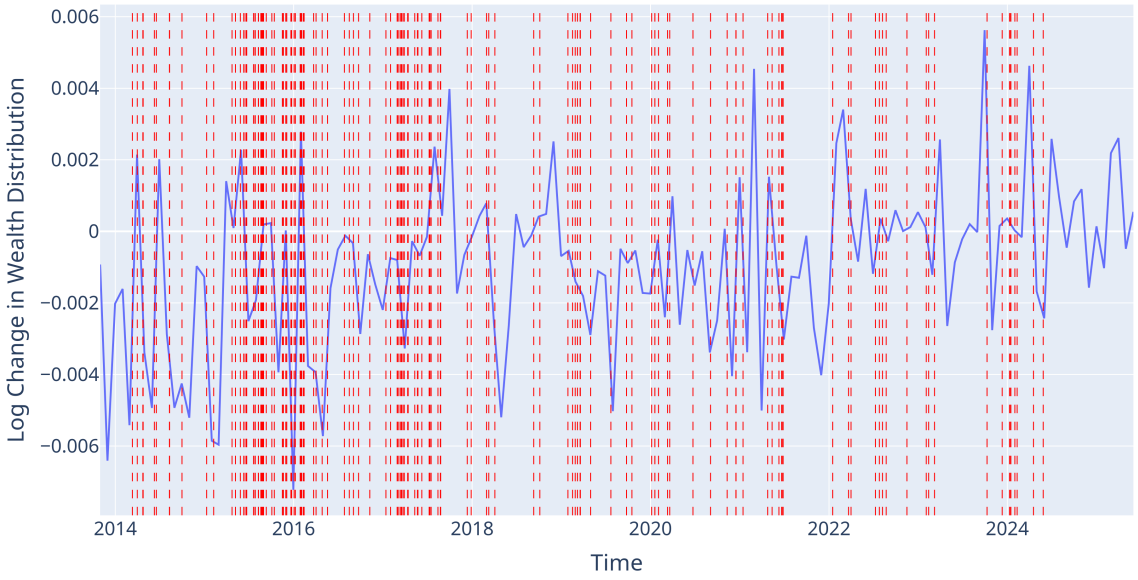


图 1：区间 从 *0* 到 *0.001* 的财富分布对数变化

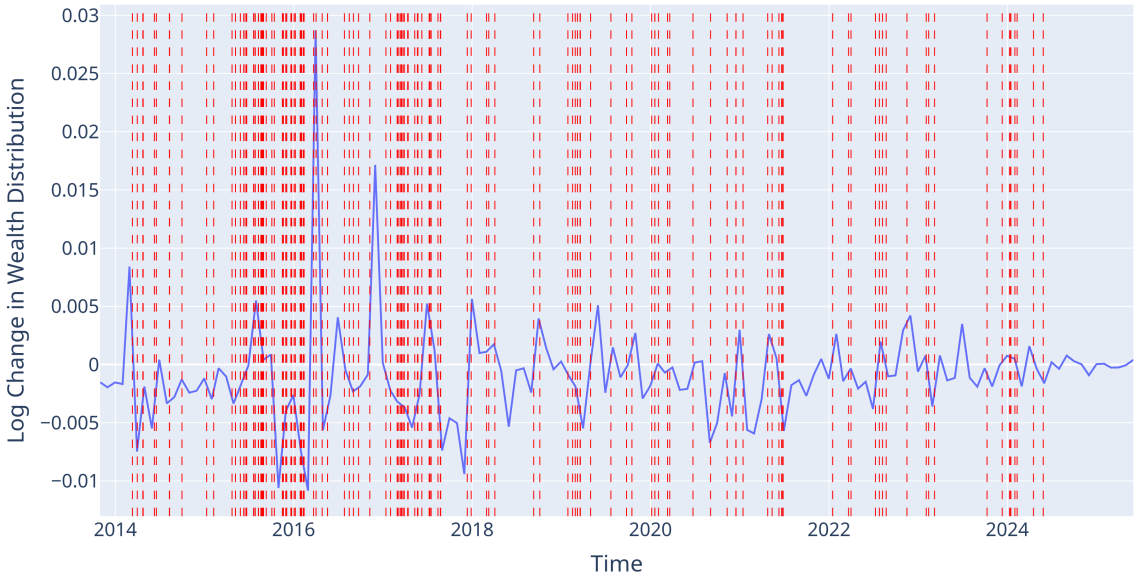


图 2：区间 从 *0.001* 到 *0.01* 的财富分布对数变化

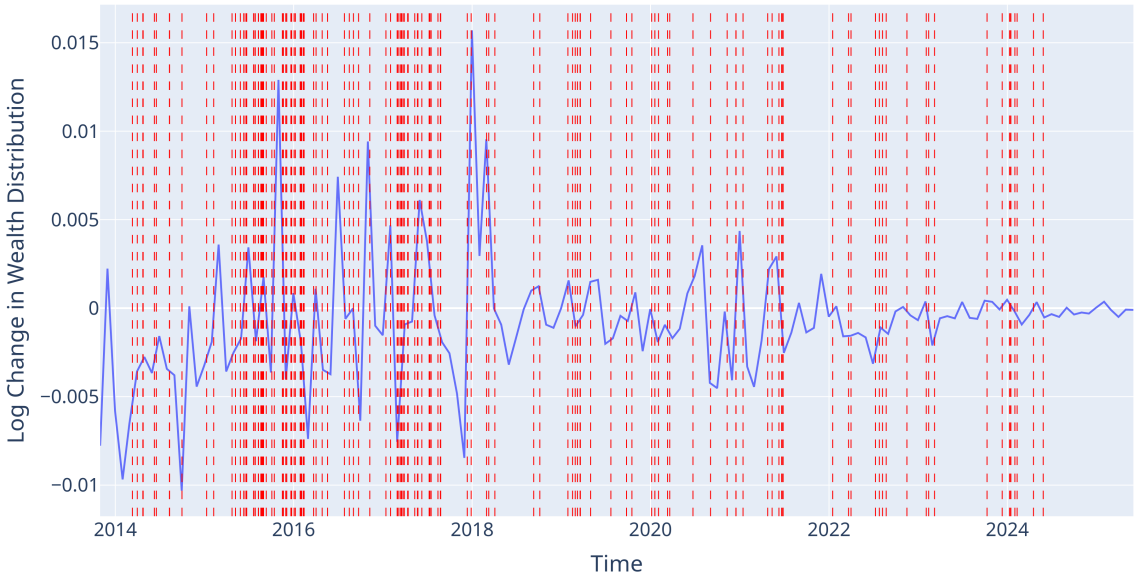


图3：区间从*0.01*到*0.1*的财富分布对数变化

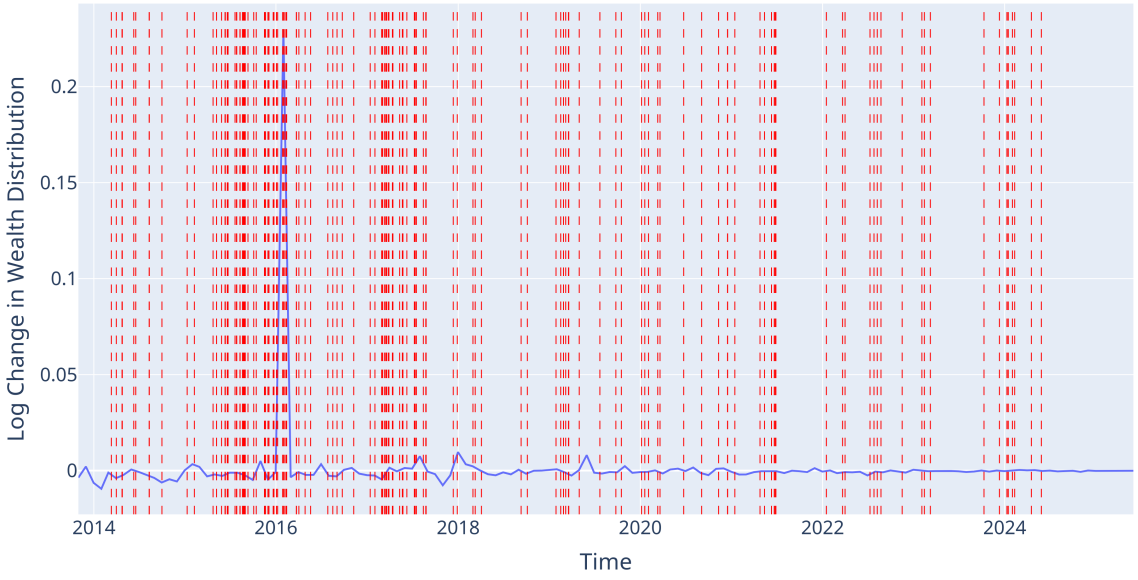


图4：区间从*0.1*到*1*的财富分布对数变化

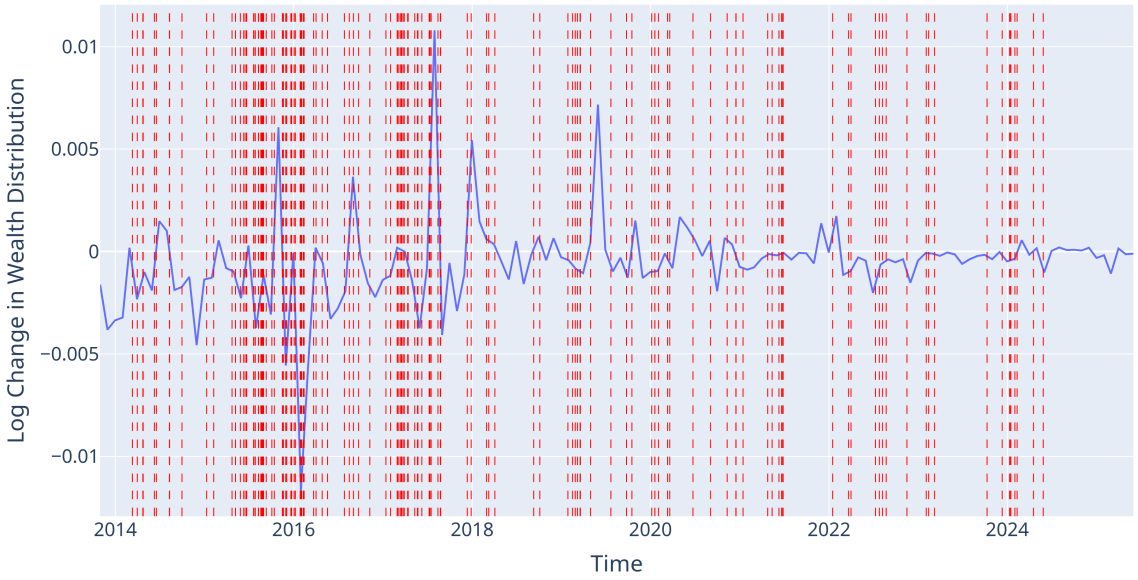


图5：区间从*1*到*10*的财富分布对数变化

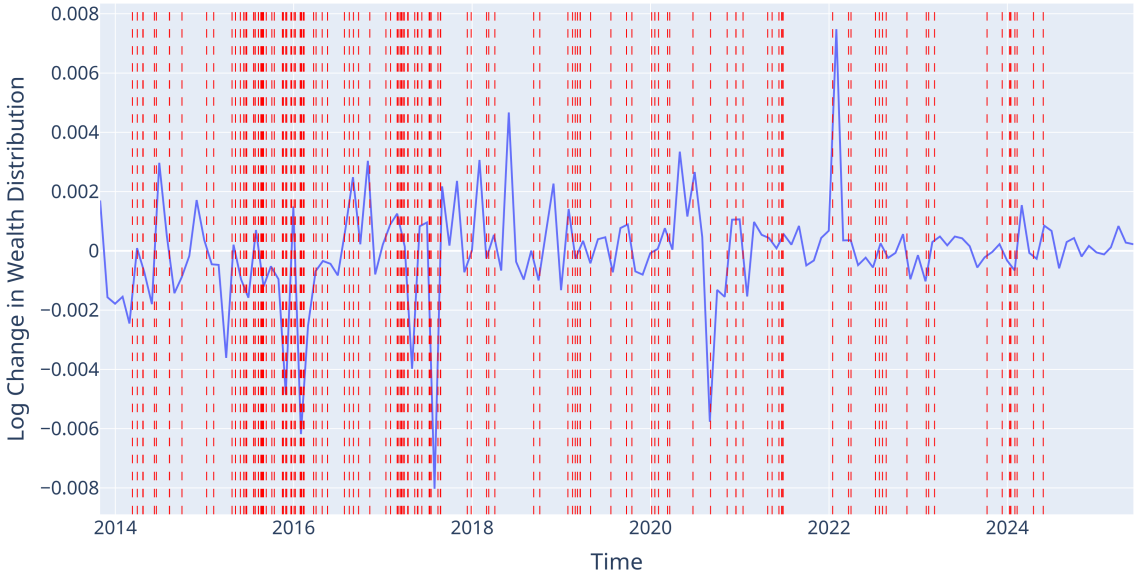


图6：区间从*10*到*100*的财富分布对数变化

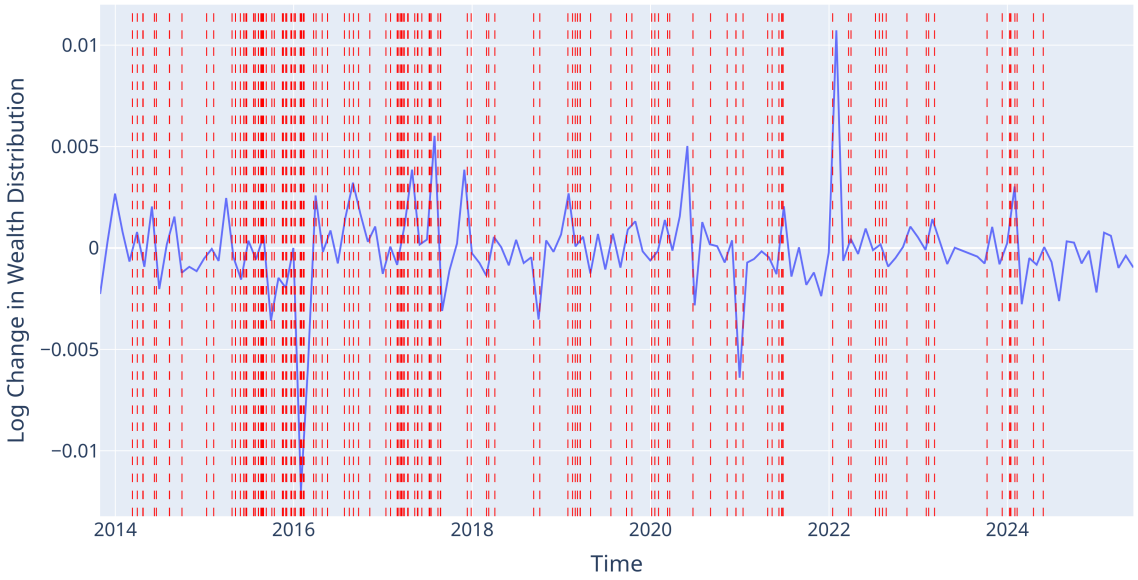


图7：区间财富分布的对数变化从*100*到*1000*

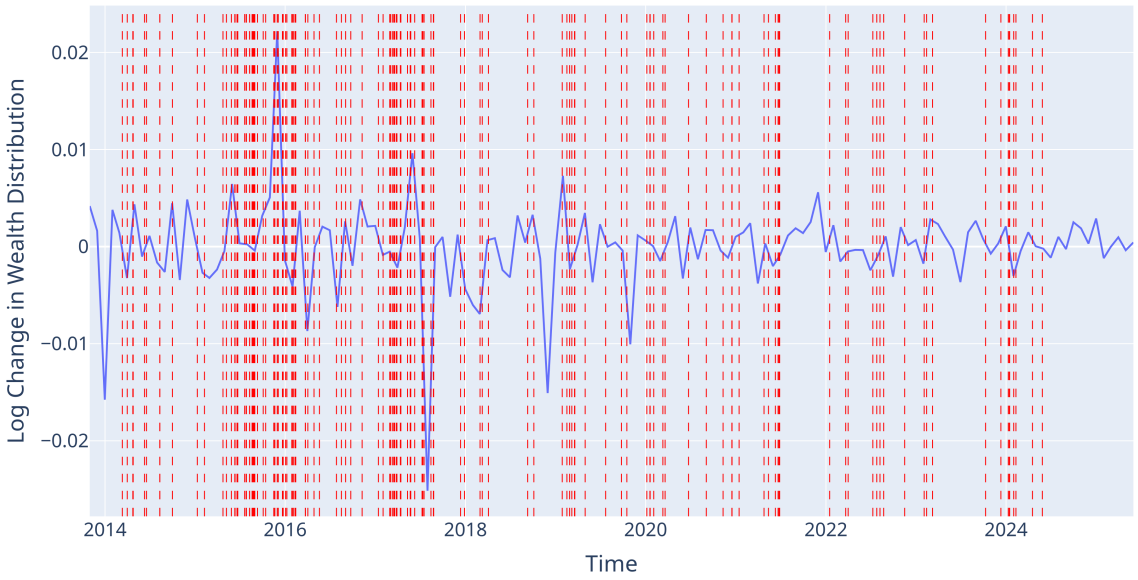


图8：区间财富分布的对数变化从*1000*到*10000*

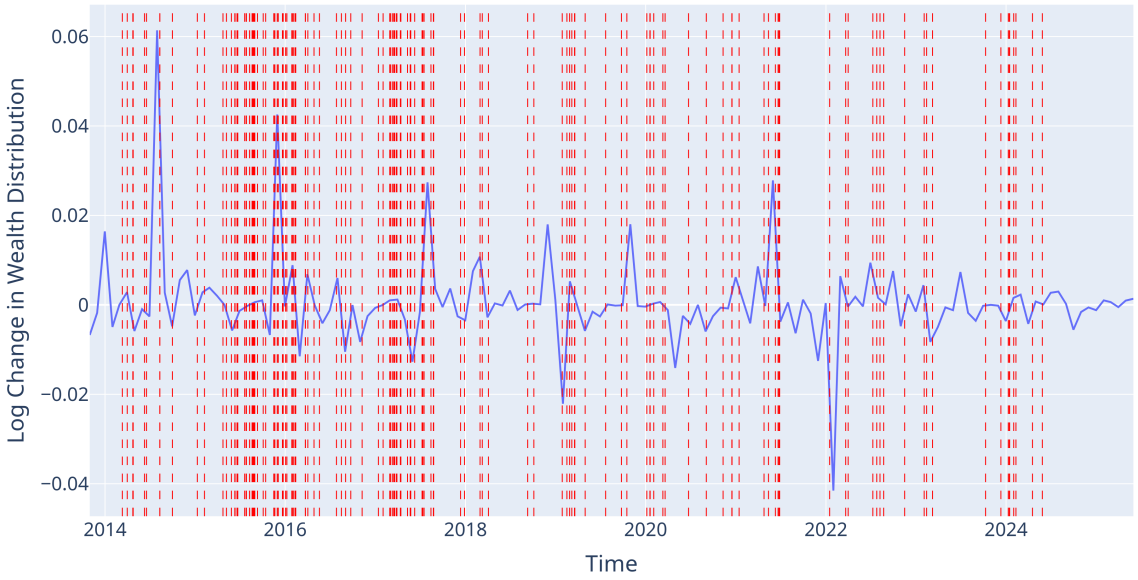
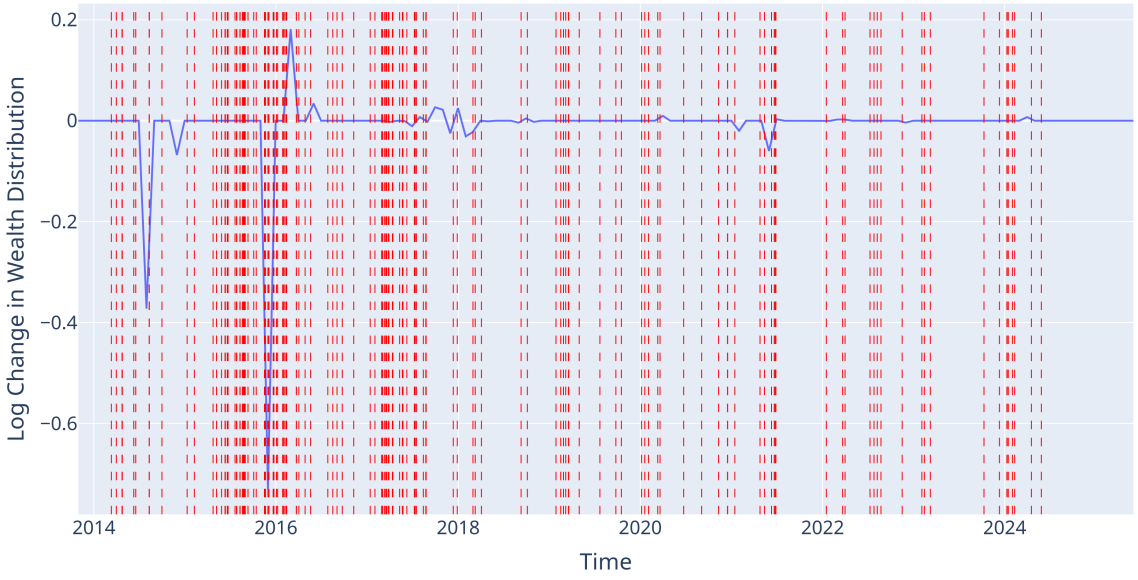


图9：区间从*10000*到*100000*的财富分布对数变化



Fi图10：区间从*100000*到无穷大的财富分布对数变化

B 全局线性回归（p值）

提示：星号和单元格底纹突出显示低于所选 5% 临界水平的 p值 .

	From 0 to 0.001	From 0.001 to 0.01	From 0.01 to 0.1	From 0.1 to 1	From 1 to 10
比特币（收盘价）	0.95552	0.05879	0.11609	0.39121	0.2371
黄金兑美元价格	0.78693	0.77605	0.17878	0.24755	0.75837
20年期英国国债（名义零息收益率）	0.03687*	0.33783	0.8859	0.67275	0.73541
10年期英国国债（名义零息收益率）	0.83118	0.30361	0.10171	0.14961	0.3184
5年期英国国债（名义零息收益率）	0.30856	0.96274	0.78562	0.79379	0.89922
20年期英国国债（名义平价收益率）	0.68882	0.84201	0.80301	0.71128	0.49422
10年期英国国债（名义平价收益率）	0.47746	0.65285	0.33442	0.58821	0.51561
5年期英国国债（名义平价收益率）	0.57838	0.0172*	0.48107	0.24873	0.07603
生产者价格指数（半导体和电子元件）	0.59451	0.97032	0.57565	0.59474	0.71034
30年期高质量市场公司债券即期利率	0.90286	0.75138	0.41004	0.24977	0.70001
10年期高质量市场公司债券即期利率	0.75744	0.50603	0.79627	0.31648	0.85344
5年期高质量市场公司债券即期利率	0.12468	0.4359	0.36901	0.74853	0.44947
30年期高质量市场公司债券平价收益率	0.0981	0.35661	0.55473	0.73128	0.33157
10年期高质量市场公司债券平价收益率	0.34237	0.4497	0.25276	0.67013	0.16626
5年期高质量市场公司债券平价收益率	0.88041	0.58471	0.61756	0.21268	0.59216
美国失业率	0.83498	0.07568	0.72303	0.76021	0.06659
美国消费者价格指数	0.65166	0.89672	0.72195	0.88553	0.91983
私人持有的市场价值联邦债务总额	0.96968	0.81238	0.91815	0.70745	0.94792
市场价值联邦债务总额	0.11826	0.23086	0.10521	0.39906	0.10054
M2（美国）	0.79448	0.24604	0.46469	0.20304	0.86395
M1（美国）	0.99723	0.28262	0.32516	0.11052	0.33234
非农就业人数（美国）	0.84165	0.04645*	0.70288	0.73462	0.04578*
个人当期税（美国）	0.06454	0.12047	0.36148	0.52582	0.57357
联邦基金利率	0.01864*	0.91238	0.80898	0.98497	0.10087

	From 10 to 100	From 100 to 1000	From 1000 to 10000	From 10000 to 100000	From 100000 to infinity
比特币（收盘价）	0.93867	0.46682	0.70236	0.21032	0.80568
黄金兑美元价格	0.76503	0.68464	0.07651	0.6149	0.68218
20年期英国国债（名义零息收益率）	0.51814	0.43059	0.80933	0.34878	0.40557
10年期英国国债（名义零息收益率）	0.89177	0.69377	0.2441	0.28757	0.90289
5年期英国国债（名义零息收益率）	0.35175	0.68574	0.38014	0.59197	0.22758
20年期英国国债（名义平价收益率）	0.01138*	0.30415	0.25454	0.82128	0.39393
10年期英国国债（名义平价收益率）	0.64698	0.46399	0.63107	0.59572	0.19319
5年期英国国债（名义平价收益率）	0.4147	0.17991	0.80825	0.44746	0.64333
生产者价格指数（半导体和电子元件）	0.63546	0.19781	0.8154	0.42572	0.37454
30年期高质量市场公司债券即期利率	0.57632	0.66095	0.43108	0.54761	0.36277
10年期高质量市场公司债券即期利率	0.41708	0.56404	0.72565	0.26456	0.52256
5年期高质量市场公司债券即期利率	0.16551	0.39963	0.96729	0.12264	0.52284
30年期高质量市场公司债券平价收益率	0.37634	0.39991	0.51794	0.47668	0.62582
10年期高质量市场公司债券平价收益率	0.62523	0.38101	0.28999	0.74516	0.42881
5年期高质量市场公司债券平价收益率	0.83063	0.65482	0.03731*	0.85632	0.50252
美国失业率	0.52021	0.58443	0.64602	0.09818	0.92865
美国消费者价格指数	0.20949	0.89747	0.02143*	0.43401	0.63789
私人持有的市场价值联邦债务总额	0.33362	0.16659	0.06504	0.55106	0.95536
市值联邦债务总额	0.57143	0.61409	0.95303	0.59789	0.01417*
M2（美国）	0.02234*	0.63307	0.89056	0.16755	0.57691
M1（美国）	0.91529	0.43484	0.97615	0.07317	0.79659
非农就业人数（美国）	0.52601	0.4809	0.80202	0.12235	0.84016
个人当期税（美国）	0.72656	0.35213	0.12155	0.30312	0.88685
联邦基金利率	0.06506	0.30516	0.21317	0.87413	0.16522

C BIPs 因果关系分析

真：接受格兰杰因果关系的假设

- **T (x)**： x 是在格兰杰因果关系检验的父模型中，自变量的最长显著滞后期（月）。

假：拒绝格兰杰因果关系的假设

- **F (a)**：由于所有模型的赤池信息准则均为无穷大，因此无法选择包含自变量自回归项的模型。
- **F (b)**：根据 t检验，自变量的所有自回归项均因不显著而被剔除。
- **F (c)**：根据 F检验，自变量的自回归项不会增加解释力。

	Simple Test, All BIPs	Simple Test, All Economy-Related BIPs	Simple Test, Major Economy-Related BIPs	Simple Test, All Economy-Related BIPs (Except the major ones)	Full Test, All BIPs	Full Test, All Economy-Related BIPs	Full Test, Major Economy-Related BIPs	Full Test, All Economy-Related BIPs (Except the major ones)
从 0 到 0.001	F (c)	F (c)	F (c)	F （c）	F （b）	F （b）	F （b）	F （b）
从 0.001 到 0.01	F (c)	F (c)	T (10)	F (c)	F (b)	F (b)	T （3）	F （b）
从 0.01 到 0.1	F （c）	F （c）	T （10）	F （c）	F （b）	F （b）	T （10）	F （b）
从0.1到1	F （c）	F （c）	T （10）	F （c）	F （b）	F （b）	T (1)	F (b)
从1到10	F (c)	F (c)	T (10)	F （c）	F （b）	F （b）	F （b）	F （b）
从10到100	F （c）	F （c）	F （c）	T （10）	F （b）	F （b）	F （b）	F （b）
从100到1000	F （c）	F （c）	T （10）	F （c）	F （b）	F （b）	F （c）	F （b）
从1000到10000	F （c）	F （c）	F （c）	F （c）	F （b）	T （3）	F （b）	T （3）
从 10000 到 100000	F （c）	T （10）	F （c）	真 （10）	假 （b）	真 （6）	假 （b）	真 （6）
从 100000 到无穷大	F （c）	F （c）	F （c）	F （c）	F （b）	F （b）	F (b)	F (b)

D BIPs 因果关系分析（6月）

真：接受格兰杰因果关系假设

- **T (x)**： x 是格兰杰因果关系检验中父模型里自变量最长的显著滞后期（以月计）。

假：拒绝格兰杰因果关系的假设

- **F (a)**：由于所有模型的赤池信息准则值均为无穷大，因此无法选择包含自变量自回归项的模型。
- **F (b)**：根据 t 检验，自变量的所有自回归项均因不显著而被筛除。
- **F (c)**：根据F检验，自变量的自回归项并未增加解释力。

	Simple Test, All BIPs	Simple Test, All Economy-Related BIPs	Simple Test, Major Economy-Related BIPs	Simple Test, All Economy-Related BIPs (Except the major ones)	Full Test, All BIPs	Full Test, All Economy-Related BIPs	Full Test, Major Economy-Related BIPs	Full Test, All Economy-Related BIPs (Except the major ones)
从 0 到 0.001	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (b)	F (b)	F (b)	F (b)
从 0.001 到 0.01	F (c)	F (c)	T (6)	F (c)	F (b)	F (b)	T (3)	F (b)
从 0.01 到 0.1	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (b)	F (b)	T (6)	F (b)
从0.1到1	F (c)	F (c)	T (6)	F (c)	F (b)	F (b)	T (1)	F (b)
从1到10	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (b)	F (b)	F (b)	F (b)
从10到100	F (c)	T (6)	F (c)	T (6)	F (b)	F (b)	F (b)	F (b)
从100到1000	F (c)	F (c)	T (6)	F (c)	F (b)	F (b)	F (c)	F (b)
从 1000 到 10000	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (b)	T (3)	F (b)	T (3)
从 10000 到 100000	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	T (1)	T (3)	T (1)
从 100000 到无穷大	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (b)	F (b)	F (b)	F (b)

E BIPs 因果关系分析（12个月）

真：接受格兰杰因果关系的假设

- **T (x)**： x 是格兰杰因果关系检验中父模型里自变量的最长显著滞后期（以月为单位）。

假：拒绝格兰杰因果关系假设

- **F (a)**：无法选择包含自变量自回归项的模型，因为所有模型的赤池信息准则均为无穷大。
- **F (b)**：根据t检验，自变量的所有自回归项均因不显著而被滤除。
- **F（c）**：根据 F检验，自变量的自回归项不会增加解释力。

	Simple Test, All BIPs	Simple Test, All Economy-Related BIPs	Simple Test, Major Economy-Related BIPs	Simple Test, All Economy-Related BIPs (Except the major ones)	Full Test, All BIPs	Full Test, All Economy-Related BIPs	Full Test, Major Economy-Related BIPs	Full Test, All Economy-Related BIPs (Except the major ones)
从 0 到 0.001	F（c）	F（c）	F（c）	F（c）	F（b）	F（b）	F（b）	F（c）
从 0.001 到 0.01	F（c）	F (c)	T (12)	F (c)	F (b)	F (b)	T (3)	F (b)
从 0.01 到 0.1	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F（b）	F（b）	F（b）	F（b）
从0.1到1	F（c）	F（c）	T（12）	F（c）	F（b）	F（b）	T（1）	F (b)
从1到10	F (c)	F (c)	F (c)	F (c)	F (b)	F (b)	F (b)	F (b)
从10到100	F (c)	F (c)	F (c)	T (12)	F (b)	F (b)	F (b)	F（b）
从 100 到 1000	F（c）	F（c）	F（c）	F（c）	F (b)	F (b)	F (c)	F (b)
从1000到10000	F (c)	F（c）	F（c）	F（c）	F（b）	T（3）	F（b）	T (3)
从10000到100000	F (c)	T (12)	F (c)	T (12)	F（c）	T（6）	F（b）	T（6）
从 100000 到无穷大	F（c）	F（c）	F（c）	F（c）	F（b）	F（b）	F（b）	F（b）

F 分类比特币改进提案因果关系分析

真：接受格兰杰因果关系假设

- **T (x)**： x 在格兰杰因果关系检验中，父模型里自变量的最长显著滞后期（以月为单位）。

假：拒绝格兰杰因果关系假设

- **F (a)**：由于所有模型的赤池信息准则均为无穷大，无法选择包含自变量自回归项的模型。
- **F (b)**：根据 t检验，自变量的所有自回归项均因不显著而被剔除。
- **F（c）**：根据F检验，自变量的自回归项不会增加解释力。

	Simple Test, Fiscal-Like BIPs	Simple Test, Monetary-Like BIPs	Simple Test, Purely Tokenomic BIPs	Full Test, Fiscal-Like BIPs	Full Test, Monetary-Like BIPs	Full Test, Purely Tokenomic BIPs
从 0 到 0.001	F（c）	F（c）	F（c）	F（b）	F（b）	F（b）
从 0.001 到 0.01	F（c）	T（10）	T（10）	F（b）	T（10）	F（b）
从 0.01 到 0.1	F（c）	F（c）	F（c）	T（9）	F（b）	F（b）
从0.1到1	F（c）	T（10）	F（c）	F（b）	T（8）	T（5）
从1到10	T（10）	F（c）	T（10）	T（4）	F（b）	T（2）
从10到100	F（c）	T（10）	F（c）	F（b）	F（b）	F（b）
从100到1000	F (c)	F (c)	T (10)	F (b)	F (b)	T (7)
从1000到10000	T（10）	F（c）	F（c）	F（b）	F（b）	T（3）
从10000到100000	F（c）	F（c）	F（c）	T（5）	T (6)	T (1)
从100000到无穷大	F (c)	T (10)	F (c)	F（b）	F（b）	F（b）

参考文献

[1] R. Sadykhov、G. Goodell、D. de Montigny、M. Schoernig 和 P. Treleaven，2023年12月。去中心化代币经济理论（*DeTEcT*）。DOI：https://doi.org/10.3389/fbloc.2023.1298330[2] R. Sadykhov、G. Goodell 和 P. Treleaven，2025年1月。*DeTEcT*：动态与概率参数扩展。DOI：https://doi.org/10.3389/fbloc.2024.1448160[3] R. Sadykhov、G. Goodell 和 P. Treleaven，2025年7月。经济政策分类体系。DOI：https: //doi.org/10.48550/arXiv.2507.03233[4] C.W.J. Granger，1969年8月。通过计量经济模型和交叉谱方法探究因果关系。DOI：https://doi.org/10.2307/1912791 [5] 维基百科：格兰杰因果关系，2026年1月15日。https://en.wikipedia.org/wiki/Granger_因果关系 [6] 区块链和分布式账本技术——词汇，2023年1月。DOI：https://www. iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22739:dis:ed-2:v1:en[7] 比特币改进提案。https://github.com/bitcoin/bips[8]*CCData API*。https://developers.coindesk.com/documentation/data-api/introduction，2025年6月24日。[9] FRED，圣路易斯联邦储备银行。https://fredhelp.stlouisfed.org，2025年6月24日。[10] IADB，英格兰银行数据库。https://www.bankofengland.co.uk/boeapps/database/，2025年6月25日。[11] Yahoo! Finance。https://uk.finance.yahoo.com/，2025年9月2日。[12] DigiFi，通用金融库，3.0.5版。https://crates.io/crates/digifi[13] Seabold、Skipper 和 Josef Perktold。*statsmodels*：使用 *Python* 进行计量经济与统计建模。第九届 Python 科学会议论文集。2010年。[14] Pauli Virtanen、Ralf Gommers、Travis E. Oliphant、Matt Haberland、Tyler Reddy、David Cour- napeau、Evgeni Burovski、Pearu Peterson、Warren Weckesser、Jonathan Bright、St´efan J. van der Walt、Matthew Brett、Joshua Wilson、K. Jarrod Millman、Nikolay Mayorov、Andrew R. J. Nelson、Eric Jones、Robert Kern、Eric Larson、CJ Carey、Ilhan Polat、Yu Feng、Eric W. Moore、Jake Van- derPlas、Denis Laxalde、Josef Perktold、Robert Cimrman、Ian Henriksen、E.A. Quintero、Charles R Harris、Anne M. Archibald、Antˆonio H. Ribeiro、Fabian Pedregosa、Paul van Mulbregt 和 SciPy 1.0 贡献者。（2020年）*SciPy 1.0*：用于科学计算的 *Python* 基础算法。Nature Methods，17(3)，261-272。DOI：https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2。[15] Harris、C.R.、Millman、K.J.、van der Walt、S.J. 等。使用 *NumPy* 进行数组编程。Nature 585，357–362（2020年）。DOI：https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2。