

代币及其分配与解锁制度对于核心开发者 知识生产行为的影响研究

第一章 理论综述与研究假说

1.1 开源知识公共品的供给困境

知识公共品的有效供给，是创新经济学、公共经济学和科技治理研究长期关注的核心问题。作为一种典型的非竞争性、非排他性资源，知识一经产生便可以被重复使用和广泛传播，其社会收益往往显著高于私人收益。正因如此，知识生产长期面临创新主体投入不足、收益难以内部化和搭便车等问题。传统经济体系通常依靠公共财政补贴、知识产权保护或企业科层组织来缓解这一困境：公共财政通过政府资助和科研拨款承担部分研发成本；知识产权制度通过排他性权利保障创新者的垄断收益；企业则通过组织边界将知识生产和收益转化纳入内部管理体系之中。然而，这些机制均以某种形式的外部投入、排他权利或组织边界为前提，难以充分解释开放环境下知识公共品的持续供给。

开源创新的兴起进一步凸显了这一理论难题。与传统知识生产方式不同，开源项目通常以代码公开、自由使用、分布式协作为基本特征，创新成果在生产完成后即面向社区和市场开放。以 Linux、Apache、Python 等为代表的开源项目表明，在缺乏传统专利排他性和企业科层约束的条件下，分散开发者仍然能够持续贡献代码、修复漏洞、维护基础设施，并推动复杂技术系统不断演化。已有研究主要从声誉激励、职业信号、学习收益、社群认同以及企业互补性商业模式等角度解释开源参与行为。这些解释揭示了开源开发者参与协作的重要动机，但仍难以充分回答一个更深层的问题：当知识成果本身无法排他收费，且参与者高度流动时，开源公共品为何能够形成长期稳定的核心供给力量？

这一问题在复杂开源系统中尤为突出。开源社区表面上具有开放、去中心化和平等参与的特征，但其真实生产结构往往并非平均分布。大量代码贡献、架构设计、技术路线规划和关键维护工作，通常集中在少数核心开发者手中。外围开发者可以通过提交局部补丁、完善文档、修复接口或参与应用层适配等方式贡献知识，但项目的主体性创新和长期演进更依赖核心开发者的持续投入。换言之，复杂开源公共品的供给问题，本质上并不仅仅是是否有人参与的问题，而是核心开发者能否持续投入、稳定留存并承担长期维护责任的问题。因此，理解核心开

发者的激励来源，是解释开源公共品长期供给机制的关键。

区块链开源项目为重新理解这一问题提供了一个具有特殊价值的制度场景。与传统开源软件类似，区块链协议的底层代码通常完全开源，任何人都可以查看、复制和修改。然而，与传统开源项目不同，区块链系统通过发行原生代币，将开源代码所支撑的网络价值转化为可持有、可交易和可分配的资产。协议代码本身是开放的，但运行该代码所依托的网络资源、区块空间和结算能力具有稀缺性。用户和应用开发者若要调用底层网络，通常需要持有并支付原生代币。这一机制使得下游生态的扩张能够转化为对原生代币的需求，并进一步影响代币价值。由此，开发者通过持有代币，可以分享协议未来增长所带来的市场化收益。

在这一意义上，代币并不只是融资工具或投机资产，更是一种面向开源公共品生产者的收益权配置机制。它将原本难以定价的开源知识贡献，与项目未来网络价值之间建立起资产化联系。对于核心开发者而言，代币持有意味着其不再只是外部志愿贡献者或短期劳动投入者，而是成为项目未来价值的部分剩余索取者。项目生态越繁荣，代币价值越可能上升，核心开发者所持有的代币收益也随之增加。这种机制在一定程度上缓解了传统开源模式中知识贡献与经济回报脱节的问题，为开源公共品供给提供了内生性激励基础。

不过，代币激励并不是通过简单地发放代币而自动发挥作用。若代币在项目早期一次性分配并立即流通，开发者可能在短期收益兑现后降低投入甚至退出项目。真正具有制度含义的，是代币分配与解锁机制共同构成的跨期激励安排。初始分配决定了谁拥有项目未来价值的收益权，cliff 和 vesting 决定了收益权何时开始兑现以及以何种节奏释放，未解锁份额则代表核心团队仍然绑定在未来的剩余收益。当代币尚未解锁时，核心开发者仍需依赖项目长期发展来实现未来收益；当代币当期解锁时，收益权从锁定状态转为可兑现资产，可能对核心团队稳定性产生冲击；当未来解锁窗口临近时，开发者又可能对即将到来的收益兑现形成预期并调整当前投入。

因此，区块链开源项目中的代币机制应被理解为一种可编程的动态激励契约。它不仅通过初始分配界定开发者对项目未来价值的权益份额，也通过锁仓、线性释放和未来解锁安排，将核心开发者的私人收益与项目长期演进绑定起来。与传统开源创新依赖声誉、兴趣或外部企业商业模式不同，区块链项目在开源公共品供给中引入了一种更直接的收益权机制，使开发者能够通过项目生态增长获得市场化回报。

基于此，本文关注的核心问题是：代币是否起到了激励作用以及代币分配与解锁机制如何影响区块链开源项目中核心开发者的持续投入、留存稳定和核心圈层结构？更具体地，本文试图回答两个层次的问题：第一，静态的代币分配结构

和锁仓安排，是否与核心开发者行为存在系统性关联；第二，代币权益在时间维度上的动态释放，即团队未解锁份额、当期解锁流量和未来解锁预期，如何影响核心开发者的实际行为。通过对这一问题的分析，本文希望揭示区块链开源公共品供给中的代币激励机制，并进一步说明数字经济条件下开源知识公共品可能形成的内生性供给逻辑。

1.2 核心开发者与开源公共品的持续供给

开源项目通常被描述为开放、分布式和低门槛的协作体系，但这并不意味着其内部知识生产是均质化的。相反，大量开源软件研究表明，开源社区普遍存在明显的“核心—边缘”结构：少数核心开发者承担了项目中大部分持续性代码贡献、关键模块维护和技术协调工作，而大量外围贡献者则以较低频率参与局部修补、功能扩展、文档完善或问题反馈。Mockus、Fielding 和 Herbsleb 对 Apache 与 Mozilla 的经典研究较早揭示了这一点。他们发现，成功开源项目往往存在一个相对稳定且规模有限的核心开发团队，这一团队对代码库具有较强控制力，并承担了主要开发责任。

这一结构性分化意味着，开源公共品的持续供给并不能简单理解为参与者数量越多越好。对于复杂开源系统而言，外围开发者的进入固然能够扩大社区规模、提供功能补充并增强项目的开放边界，但项目能否持续演进，更取决于核心开发者能否稳定承担主体性创新与长期维护任务。Crowston 和 Howison 基于大量 FLOSS 项目的沟通网络研究发现，开源团队并非天然去中心化，而是在不同程度上呈现中心化和层级化特征：部分项目高度围绕少数关键开发者展开协作。这说明，开源社区虽然在准入层面开放，但其实际协作过程往往依赖核心成员对技术议题、代码合并和问题解决的持续协调。

核心开发者之所以重要，首先在于其承担了开源项目的主要知识生产任务。开源软件的创新并不是单次代码提交的简单累积，而是持续的架构优化、接口调整、漏洞修复和性能改进过程。对于区块链这类底层基础设施项目而言，核心代码往往涉及共识机制、执行环境、网络通信、状态存储和资源定价等高复杂度模块，任何局部变更都可能影响系统安全性、兼容性和生态运行稳定性。因此，核心开发者不仅是高频贡献者，更是对系统整体架构具有深度理解、能够在长期演进中识别关键瓶颈并推进技术路线调整的主体。Joblin 等对开源项目中核心与外围开发者分类方法的研究也表明，核心开发者通常具有更高的位置稳定性，处在协作网络中的上层位置，并与其他核心开发者保持更高水平的协调关系。

其次，核心开发者在开源项目中承担着架构协调和治理把关功能。复杂软件系统内部存在大量模块依赖和任务依赖，开发者之间并非只是在同一代码库中并

行工作，而是需要围绕接口、模块、版本、测试和发布节奏进行协调。Blincoe、Valetto 和 Damian 关于软件任务依赖的研究指出，并非所有依赖关系都会产生同等程度的协调需求，关键任务属性会决定哪些依赖需要被重点协调。在开源项目中，核心开发者正是这种关键协调需求的承担者。他们通过代码审查、合并请求管理、版本发布和技术讨论，将分散贡献转化为可运行、可兼容、可持续维护的公共代码资产。因此，核心开发者的作用不仅体现在写了多少代码，还体现在其对知识生产过程的组织能力和对系统演进方向的架构性影响。

再次，核心开发者的稳定性直接关系到开源公共品的长期供给韧性。开源项目可以吸引大量短期贡献者，但外围参与者往往具有更强流动性，其贡献更容易受到个人兴趣、市场环境和短期机会的影响。相比之下，核心开发者的持续留存和稳定协作，是项目能否跨越技术周期和市场周期继续演进的关键。Zhou 和 Mockus 研究长期贡献者形成机制时指出，成为长期贡献者不仅取决于个人能力，还取决于其参与意愿、社区环境和获得持续贡献机会的可能性。这表明，开源项目的长期供给能力并非自动形成，而是依赖于能否持续维系一批具有高投入、高协调能力和高留存倾向的核心成员。

从风险角度看，核心开发者的流失也会带来显著的项目脆弱性。软件工程研究中常用“bus factor”或“truck factor”衡量项目对少数关键开发者的依赖程度，即当多少关键开发者离开时，项目会面临严重知识断裂或维护风险。Avelino 等关于开源项目存续与开发者流失的研究指出，关键开发者退出可能对项目持续维护构成重要威胁，因而识别和衡量核心开发者对理解项目生存能力具有重要意义。这一视角进一步说明，开源公共品的持续供给不仅取决于总贡献量，也取决于关键知识是否过度集中、核心团队是否稳定以及核心圈层是否能够有序吸纳新成员。

因此，本文将核心开发者界定为区块链开源公共品供给的关键生产主体。与传统开源项目相比，区块链协议具有更强的基础设施属性，其底层代码直接关系到链上资产安全、交易执行、共识稳定和下游应用运行。外围开发者和应用开发者能够扩展生态边界，但底层协议的持续升级、性能瓶颈突破和安全维护，主要依赖核心开发者的长期投入。也正因如此，如果代币机制能够成为区块链开源公共品供给的关键激励工具，其影响首先应当体现在核心开发者的行为变化上，包括核心开发者活跃度、留存稳定性、核心团队结构以及非核心开发者进入核心圈层的可能性。

基于这一理论判断，本文后续实证分析不再仅考察项目层面的总开发活跃度，而是围绕核心开发者构造一组专门指标。通过这一处理，本文能够更直接地识别代币分配与解锁机制对关键知识生产主体的影响，而不是将短期外围参与和核心公共品供给混为一谈。

- **Mockus, A., Fielding, R. T., & Herbsleb, J. D. (2002).** *Two Case Studies of Open Source Software Development: Apache and Mozilla*. **ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 11(3), 309–346.**

用途：经典文献，证明成功开源项目存在小规模核心团队，核心团队承担主要开发责任。

- **Crowston, K., & Howison, J. (2005/2006).** *The Social Structure of Free and Open Source Software Development / Hierarchy and Centralization in Free and Open Source Software Team Communications*.

用途：说明开源社区并非完全平等去中心化，而是存在不同程度的中心化、层级化和核心—边缘结构。

- **Joblin, M., Apel, S., Hunsen, C., & Mauerer, W. (2017).** *Classifying Developers into Core and Peripheral: An Empirical Study on Count and Network Metrics*. **ICSE 2017.**

用途：支持核心/外围开发者的经验分类，说明核心开发者具有更高位置稳定性、层级位置和协调关系。

- **Zhou, M., & Mockus, A. (2012).** *What Make Long Term Contributors: Willingness and Opportunity in OSS Community*. **ICSE 2012.**

用途：说明长期贡献者形成机制与个人意愿、参与机会、社区环境相关，支撑核心开发者留存的重要性。

- **Blincoe, K., Valetto, G., & Damian, D. (2013).** *Do All Task Dependencies Require Coordination? The Role of Task Properties in Identifying Critical Coordination Needs in Software Projects*. **ESEC/FSE 2013.**

用途：支撑复杂软件系统存在关键协调需求，核心开发者承担架构协调和任务整合功能。

- **Avelino, G., Valente, M. T., Hora, A., & Ferreira, M. A. (2019).** *On the Abandonment and Survival of Open Source Projects*. **ESEM 2019.**

用途：支持关键开发者流失和项目存续风险之间的关系，可用于引出 bus factor、核心团队稳定性和知识集中风险。

- **Amrit, C., & van Hillegersberg, J. (2010).** *Exploring the Impact of Socio-Technical Core-Periphery Structures in Open Source Software Development*. **Journal of Information Technology, 25, 216–229.**

用途：可作为补充文献，说明开源项目存在社会—技术核心—边缘结构，且这种结构与协调问题有关。

- **Crowston, K., Wei, K., Howison, J., & Wiggins, A. (2012).** *Free/Libre Open Source Software Development: What We Know and What We Do Not Know*. **ACM Computing Surveys, 44(2).**

用途：综述类文献，可用于文献综述中概括 OSS 社区组织结构、贡献者角色和协作模式。

1.3 代币收益权配置与核心开发者激励

在传统开源软件项目中，开发者虽然能够通过声誉积累、职业机会、技术学习或企业雇佣等方式获得间接回报，但其收益往往与项目长期市场价值之间缺乏直接绑定关系。对于承担架构设计、底层维护和关键模块开发任务的核心开发者而言，这一问题尤其突出：他们贡献的是具有公共品属性的知识资产，但项目未来产生的商业价值、生态价值或网络价值并不必然回流到其个人收益之中。因此，开源公共品供给的关键难题之一，在于如何将核心开发者的持续投入与项目长期

价值增长建立更稳定的收益关联。

从产权与组织经济学角度看，激励强度与剩余收益权配置密切相关。Jensen 和 Meckling 在企业所有权结构理论中指出，所有权安排与代理成本、努力激励之间存在内在关联；当决策者能够分享其行动所带来的剩余收益时，其努力投入和价值创造动机会更强。Fama 和 Jensen 也强调，组织中的决策管理、决策控制与剩余风险承担之间的配置，会影响代理问题和组织效率。产权理论进一步指出，在契约不完备条件下，资产所有权和剩余控制权会影响行为主体的谈判地位和投资激励。尽管这些理论主要来自企业组织与公司治理研究，但其基本启示同样适用于开源公共品场景：如果核心知识生产者无法分享项目未来剩余价值，其长期投入就更依赖非货币性动机；而一旦某种制度安排能够赋予其对未来价值的收益权，开发者激励结构便可能发生变化。

区块链项目的特殊性在于，它通过原生代币将开源协议的未来网络价值转化为可分配、可交易和可持有的数字资产。比特币白皮书最早提出了一种不依赖金融中介的点对点电子现金系统，其安全性和运行依赖分布式网络中的共识机制与经济激励；以太坊白皮书则进一步将区块链扩展为支持智能合约和去中心化应用的平台，使底层协议成为可承载多样化应用的开放基础设施。与传统开源项目不同，区块链协议虽然开放源代码，但网络使用通常需要原生代币作为支付媒介、手续费媒介、抵押资产或治理参与工具。这样，开源协议所支撑的网络活动便可能转化为对代币的持续需求，从而赋予代币以经济价值。

已有加密经济学和代币经济学研究从不同角度解释了这一机制。Catalini 和 Gans 讨论了创业者如何通过发行代币并承诺以代币作为产品或服务支付媒介来融资，并指出代币需求和平台使用之间存在关系。Cong、Li 和 Wang 的动态代币估值模型进一步强调，代币价值并非像传统资产那样完全由现金流贴现决定，而是受到平台用户交易需求、网络外部性和内生采用过程影响。Sockin 和 Xiong 也将加密货币建模为去中心化数字平台中的效用型代币，强调代币价格、用户参与和平台交易之间存在相互作用。这些研究共同说明，代币不是单纯的融资凭证，而是嵌入平台使用、网络采用和生态扩张过程中的价值承载工具。

在本文的分析框架中，代币的关键含义在于其构成了面向开源公共品生产者的剩余收益权安排。核心开发者持有项目代币，意味着其私人收益不再仅取决于工资、声誉或外部职业机会，而是部分取决于项目未来网络价值的变化。若协议性能提升、安全性增强、生态应用扩张和用户交易增加能够推高代币需求或市场估值，那么核心开发者所持代币也可能随之增值。由此，代币在一定程度上将开源代码贡献与项目未来价值连接起来，使核心开发者从一般意义上的外部贡献者转变为项目长期价值的部分索取者。

这种收益权配置机制与传统股权激励存在相似之处，但也具有明显差异。相似之处在于，二者都试图通过赋予生产者未来收益权来缓解努力不足和代理问题。差异在于，代币通常并不等同于公司股权，也不必然对应正式法律意义上的剩余控制权、股东权利或现金流分配权。许多区块链项目中的代币更接近于一种与网络使用、生态参与、治理权利或未来预期相关的数字权益。正因如此，代币收益权并不是传统企业所有权的简单复制，而是一种建立在开源协议、网络外部性和可交易数字资产基础上的新型激励安排。Chod 和 Lyandres 关于 ICO 的理论研究表明，代币融资与传统股权融资在代理问题、信息不对称和风险分担方面具有不同机制；Chod、Trichakis 和 Yang 进一步指出，平台代币化可以通过代币融资和去中心化治理缓解创始人、投资者与用户之间的道德风险。

因此，本文并不将代币简单理解为项目早期融资工具，而是将其视为一种将开源公共品未来价值分配给不同参与主体的制度装置。在代币分配结构中，团队份额通常代表核心开发者、创始团队或早期贡献者对项目未来价值的内部索取权；金库或基金会份额则代表项目在未来持续资助开发、生态建设和社区激励的内部资源池；私募投资者份额体现外部资本对项目未来价值的收益权；社区和生态份额则用于吸引应用开发者、用户和外围贡献者参与网络扩张。不同分配对象所对应的激励逻辑并不相同：团队和金库更接近项目内部长期建设者的收益权安排，私募投资者更接近外部资本的风险收益安排，社区份额则更强调生态扩张和网络采用。

这一静态分配结构为核心开发者激励提供了产权基础。团队代币分配比例越高，意味着核心生产者在项目未来价值中占有更大份额；金库或基金会份额越高，则说明项目保留了更多可用于后续开发资助、生态扶持和社区建设的内部资源。相应地，团队与金库合计份额可以被理解为一种较宽口径的“内部人收益权”安排，反映项目价值在内部生产者和治理支持体系中的保留程度。按照剩余收益权理论，这类安排可能增强核心开发者对项目长期发展的收益关联，并提高其持续投入和留存动机。

不过，静态分配比例并不足以完全刻画代币激励强度。首先，分配比例只是说明谁被赋予了未来收益权，并不说明收益权何时可以兑现。其次，如果团队代币在项目早期迅速释放，开发者即使拥有较高分配比例，也可能在短期兑现后降低投入。再次，较高的内部人份额也可能带来组织边界收缩，使外围开发者进入核心圈层的空间下降。因此，代币分配结构更适合作为一种初始产权安排和制度背景，而不是完整的激励机制本身。真正决定代币激励能否转化为长期开发行为的，还包括 cliff、vesting 和动态解锁节奏等跨期安排。

基于上述分析，本文将静态代币制度安排视为核心开发者行为的重要关联因

素。团队及内部人代币分配比例较高的项目，可能呈现出更强的核心开发者活跃度和留存水平，但也可能表现出更低的核心圈层开放性；设置团队 cliff 或具有较长 cliff/vesting 周期的项目，则可能与更稳定的核心开发者行为相关。需要说明的是，这类静态制度变量在项目层面基本不随时间变化，实证上较难完全排除项目质量、团队能力和社区基础等不可观测差异的影响。因此，本文将其定位为静态制度关联检验，用于刻画代币收益权配置与核心开发者行为之间的初步对应关系。后文将进一步从动态解锁角度考察代币激励如何通过未解锁权益、当期释放和未来预期持续影响核心开发者行为。

- **Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976).** *Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure*. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305–360.

用途：支持“所有权结构、剩余收益权和代理成本影响努力激励”的基础理论。

- **Fama, E. F., & Jensen, M. C. (1983).** *Separation of Ownership and Control*. *Journal of Law and Economics*, 26(2), 301–325.

用途：支持“决策管理、决策控制和剩余风险承担的配置影响组织效率”的理论背景。

- **Hart, O., & Moore, J. (1990).** *Property Rights and the Nature of the Firm*. *Journal of Political Economy*, 98(6), 1119–1158.

用途：支持产权理论中“不完备契约、资产所有权和剩余控制权影响投资激励”的观点。

- **Nakamoto, S. (2008).** *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.

用途：用于说明区块链系统最早将分布式账本、共识和经济激励结合起来。

- **Buterin, V. (2014).** *Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*.

用途：用于说明以太坊将区块链扩展为智能合约和去中心化应用平台，强化协议层作为开放基础设施的属性。

- **Catalini, C., & Gans, J. S. (2018).** *Initial Coin Offerings and the Value of Crypto Tokens*. *NBER Working Paper No. 24418*.

用途：支持“代币发行、平台使用和代币价值之间存在关系”的理论背景。

- **Cong, L. W., Li, Y., & Wang, N. (2021).** *Tokenomics: Dynamic Adoption and Valuation*. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1105–1155.

用途：支持“代币价值由交易需求、网络外部性和平台采用过程共同决定”的理论基础。

- **Sockin, M., & Xiong, W. (2023).** *A Model of Cryptocurrencies*. *Management Science*, 69(11), 6684–6707.

用途：支持“加密货币可被建模为去中心化数字平台中的效用型代币，代币价格与用户参与存在相互作用”。

- **Chod, J., & Lyandres, E. (2021).** *A Theory of ICOs: Diversification, Agency, and Information Asymmetry*. *Management Science*, 67(10), 5969–5989.

用途：支持“代币融资与股权融资在代理问题、信息不对称和风险分担方面具有不同机制”。

- **Chod, J., Trichakis, N., & Yang, S. A. (2022).** *Platform Tokenization: Financing, Governance, and Moral Hazard*. *Management Science*, 68(9), 6411–6433.

用途：支持“平台代币化可以通过代币融资和去中心化治理缓解创始人、投资者和用户之间的道德风险”。

1.4 解锁机制、跨期绑定与动态激励

而解锁机制则进一步决定了这些收益权如何在时间中逐步转化为可兑现资产。对于区块链开源项目而言，代币激励的关键不只是“分给谁”和“分多少”，更在于这些代币能否立即出售、何时开始释放、以何种节奏释放，以及释放之前是否会因离开项目或未履行贡献责任而丧失权益。换言之，代币激励并不是一次性的资产分配，而是一种具有明确时间结构的跨期契约安排。

在传统股票激励和员工股权激励中，**vesting** 是一个非常成熟的概念，通常指员工并非在授予日立即获得完全所有权，而是需要在满足一定服务期限或绩效条件后，逐步取得不可没收的权益。限制性股票单位、股票期权和退休计划中的雇主配套权益，均常采用 **vesting** 安排，以此将员工报酬与其持续服务或组织长期表现绑定起来。换言之，**vesting** 的核心含义是：资产已经被授予或承诺，但完整所有权需要在未来分期取得；若员工在权益完全归属前离开组织，未归属部分通常会被没收。

在 **vesting** 安排中，**cliff** 是一个更具体的初始锁定期概念。**Cliff** 通常指在某一段最低服务期限结束之前，员工不获得任何实际归属权益；只有跨过这一时间点，第一批权益才一次性归属，此后剩余部分再按月、按季度或按年度逐步释放。传统创业公司和科技企业常见的股权安排是“四年 **vesting**、一年 **cliff**”：员工在第一年内不获得既得权益，满一年后一次性获得一定比例，此后剩余权益继续线性归属。**Cliff** 的制度功能在于筛选短期参与者和降低早期离职风险，而 **vesting** 的制度功能则在于通过延迟兑现，使员工持续承担长期建设责任。

这一安排在经济上可以被理解为一种延期报酬和跨期激励机制。**Lazear** 关于延期工资和长期雇佣契约的经典研究表明，组织可以通过将一部分报酬推迟到未来支付，使员工在当前阶段面临更高的离职机会成本，从而提高努力水平并降低道德风险。**Oyer** 和 **Schaefer** 关于广义员工股票期权的研究也指出，企业向员工授予股票期权的经济理由包括激励、筛选和留用，而 **vesting** 安排正是使员工在未来获得权益前保持在组织中的重要制度条件。近期关于未归属股权和员工离职的研究进一步表明，未归属权益确实具有留任作用；例如，**Jochem** 对高管未归属股权的研究提供了延期报酬留任激励的证据，**Gong**、**Zhang** 和 **Zhou** 基于员工股票期权归属时点的研究也发现，期权归属之后员工离职率显著上升，说明权益从“未归属”转为“可兑现”会改变员工的离职激励。

区块链代币解锁机制与传统股权 **vesting** 具有高度相似性，但也存在重要差异。相似之处在于，二者都通过延迟收益兑现，将关键生产者的当前行为与组织未来价值绑定起来。团队、早期贡献者和投资人虽然在代币生成事件或项目早期获得了代币分配承诺，但这些代币通常不会一次性进入流通，而是受到 **cliff**、

线性释放或分期解锁规则约束。代币领域通常将 cliff 理解为 TGE 之后的一段完全锁定期，在这一时期内相关主体虽被分配了代币额度，但不能实际获得可流通代币；vesting 则指 cliff 结束后或从特定时点开始，代币按照预设时间表逐步释放，常见形式包括按月线性释放、按季度释放或在若干节点集中释放。

差异在于，区块链代币并不等同于公司股权。传统股权激励通常嵌入企业雇佣关系、公司法框架和明确的治理权结构，而区块链项目往往是跨国界、弱雇佣、社区化和协议化的组织形态。核心开发者、基金会成员、早期贡献者与外部投资者之间的边界并不总是清晰，代币本身也可能同时承担支付媒介、治理工具、质押资产、手续费媒介和投机资产等多重功能。因此，区块链中的 cliff 和 vesting 并不是传统雇佣合同的简单复制，而是以智能合约、白皮书承诺、基金会治理和市场披露为载体的可编程跨期激励安排。其作用对象也不只是正式雇员，而是包括核心开发者、早期贡献者、生态建设者和资本提供者在内的多类参与主体。

从本文关注的核心开发者行为来看，解锁机制至少包含三类动态激励含义。第一，未解锁份额代表尚未兑现的剩余收益权，构成对核心团队的持续绑定。当团队仍保留较高比例的未解锁代币时，意味着其未来收益仍依赖项目长期发展和代币价值维持。核心开发者若停止维护、降低投入或推动短期套现，可能会削弱项目生态信心和代币未来价值，进而损害其自身尚未兑现的收益。因此，团队未解锁份额可以被理解为一种“剩余绑定存量”：它延长了核心开发者与项目未来价值之间的利益关联，有助于提高核心开发者活跃度和留存稳定性。

第二，当期解锁流量可能构成兑现冲击。代币从锁定状态转为可流通资产，意味着原有跨期约束在边际上被削弱。对于团队代币而言，当月解锁可能释放出套现、重新分配或退出选择空间，也可能触发社区对团队长期承诺的重新评估。因此，当期解锁并不只是技术性供给增加，而是一个激励约束发生变化的时点。传统员工股权研究中，未归属期权能够提高留任，而归属之后离职率上升的发现，为理解这一机制提供了类比依据：当未来收益转化为现实可得资产时，个人继续留在项目中的机会成本会下降，组织稳定性可能受到冲击。

第三，未来解锁安排会形成可预期的行为激励。开发者并不只对当期解锁作出反应，也可能根据未来若干个月即将释放的代币额度调整当前投入。尤其是团队未来解锁压力，既可能被市场理解为潜在抛压，也可能被核心开发者理解为阶段性收益兑现窗口。当团队仍拥有较高未解锁存量时，未来解锁意味着项目后续仍存在可兑现收益，因而可能强化核心开发者在当前阶段维护代码、推进更新和稳定社区信心的动机。换言之，未来解锁并不必然是一种消极压力；在团队权益仍然被长期绑定的情境下，它也可能表现为一种预期激励信号。

需要进一步区分的是，团队解锁和私募投资者解锁的行为含义并不相同。团

队代币通常与核心开发者、创始团队或早期贡献者的知识生产投入直接相关，其未解锁、当期解锁和未来解锁都会更直接地影响核心开发者的努力、留存和组织稳定。相比之下，私募投资者代币更多代表外部资本的风险收益权，其解锁主要体现资本流动性释放和退出安排。私募解锁可能通过二级市场价格、治理压力或社区预期间接影响项目，但它与核心开发者自身的劳动投入和技术承诺之间的连接更弱。因此，本文预期团队相关解锁变量对核心开发者行为的影响更直接，而私募相关解锁变量的影响相对有限或更偏间接。

综上，代币激励的核心不在于一次性分配，而在于收益权如何被锁定、如何释放以及如何形成预期。静态分配结构提供了收益权基础，cliff 和 vesting 提供了跨期承诺框架，未解锁份额构成持续绑定，当期解锁形成兑现冲击，未来解锁则形成预期激励。正是在这一动态过程中，代币从一种数字资产转化为影响核心开发者行为的可编程激励契约。基于此，本文后续将围绕团队未解锁份额、团队当月解锁比例、团队未来解锁压力以及私募解锁变量，检验代币解锁机制如何影响核心开发者活跃度、留存稳定性和核心圈层结构。

以下是本节实际使用或建议核查的文献与资料。前几类用于解释传统股权 vesting、cliff 和延期报酬，后几类用于解释代币解锁与 token vesting。

1. Lazear, E. P. (1979). *Why Is There Mandatory Retirement?* *Journal of Political Economy*, 87(6), 1261–1284.
用途：延期报酬、长期雇佣契约和留任激励的经典理论来源；可用于支撑“将报酬推迟到未来支付可以改变员工努力和留任激励”。
2. Kydland, F. E., & Prescott, E. C. (1977). *Rules Rather Than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans.* *Journal of Political Economy*, 85(3), 473–491.
用途：动态不一致和承诺机制的经典理论背景；可用于解释为何需要预先写入规则的跨期安排。
3. Oyer, P., & Schaefer, S. (2005). *Why Do Some Firms Give Stock Options to All Employees? An Empirical Examination of Alternative Theories.* *Journal of Financial Economics*, 76(1), 99–133.
用途：员工股票期权可能服务于激励、筛选和留任三类功能；用于将传统股权激励逻辑引入本文。
4. Jochem, T. (2018). *The Retention Effects of Unvested Equity.* *The Accounting Review*, 93(5), 247–276.
用途：未归属股权具有留任效应的经验研究；适合支持“未解锁权益形成持续绑定”。
5. Gong, Q., Zhang, H., & Zhou, L.-A. (2026). *Retention Effects of Employee Stock Options. Economic Development and Cultural Change.*
用途：利用员工期权归属时点识别留任效应，发现期权归属后离职率上升；可用于类比“当期解锁可能削弱跨期约束”。
6. Investopedia. *Vesting: What It Is and How It Works.*
用途：概念解释，说明 vesting 是员工在满足服务或条件后逐步获得不可没收权益的过程；适合脚注或概念说明，不建议作为主要理论文献。

7. **J.P. Morgan Workplace Solutions. Stock Vesting Explained; Cliff Vesting.**

用途：概念解释，说明股票、期权、RSU 常见 vesting 安排，以及 cliff vesting 的定义；可用于概念脚注。

8. **Tokenomist.ai. Token Unlocks / Vesting Schedules & Release Data.**

用途：说明代币解锁排程、cliff vesting 和 linear vesting 的行业定义；可作为数据口径或概念来源。

9. **CoinTracker. What is a vesting period in crypto? Understanding token vesting.**

用途：说明加密项目中 TGE 后 token 被分配但锁定、cliff 后逐步释放的基本流程；适合作为概念性说明来源。

10. **CryptoRank. Token Unlocks / Cryptocurrency Vesting.**

用途：说明 cliff period 是 TGE 后代币保持锁定的时间段，linear vesting 是在特定期间内均匀释放代币；适合用于口径核查。

1.5 研究假说

前文分析表明，区块链开源项目中的代币机制并不只是融资工具、交易媒介或投机资产，而是一种围绕开源公共品供给所形成的制度化激励安排。对于核心开发者而言，代币的意义在于将其私人收益与项目未来价值联系起来，使其能够通过持有代币分享协议增长、生态扩张和网络价值提升所带来的收益。因此，代币是区块链开源公共品供给中的关键激励工具。

但需要进一步指出的是，真正具有制度含义的是代币收益权的配置方式与跨期释放安排：初始分配结构决定不同主体拥有多少项目未来价值的索取权，cliff 与 vesting 决定这种收益权是否被延迟兑现，未解锁份额反映核心团队仍被未来收益绑定的程度，当期解锁代表收益权从锁定状态转向可兑现实态，而未来解锁压力则构成开发者可预期的收益节点。

因此，本文并不只是检验“代币是否有用”，而是进一步分析：代币激励如何被制度化地设计出来，并通过何种时间结构影响核心开发者行为。基于这一理论判断，本文提出两组研究假说。第一组关注静态制度安排，即代币分配比例、是否设置 cliff、cliff 时长和 vesting 时长与核心开发者行为之间的关联；第二组关注动态解锁机制，即团队未解锁份额、当期解锁流量和未来解锁预期如何影响核心开发者的活跃度、留存稳定性和核心圈层结构。

1.5.1 静态制度关联假说

代币分配结构构成区块链项目激励制度的初始产权基础。团队份额代表核心开发者、创始团队或早期贡献者对项目未来价值的收益权；金库或基金会份额代表项目为后续开发资助、生态扶持和公共品建设所保留的内部资源；私募投资者份额则更多体现外部资本的风险收益权。相较于单纯的市场融资安排，团队和金库份额更接近项目内部建设者和治理支持体系所保留的收益权。因此，团队及内

部人代币分配比例较高的项目，可能更容易形成核心开发者与项目未来价值之间的利益关联。

从核心开发者角度看，较高的团队或内部人收益权配置可能具有两方面作用。一方面，它可能增强核心开发者持续投入项目的激励，使其更有动力维护代码、推进技术迭代并保持长期活跃。另一方面，较高的内部人份额也可能强化既有核心团队的组织边界，使外围开发者进入核心圈层的难度上升。也就是说，内部收益权配置既可能提高核心团队稳定性，也可能降低核心圈层开放性。据此，本文提出如下假说：

H1：团队代币分配比例较高的项目，通常呈现出更强的核心开发者活跃度和留存水平，但也可能表现出更低的核心圈层开放性（静态分配结构关联）。

除了分配比例之外，静态锁仓安排也是代币激励设计的重要组成部分。Cliff 和 vesting 的作用在于延迟团队代币的实际兑现，将核心开发者收益与项目长期发展绑定起来。设置团队 cliff 意味着开发者在初始阶段无法立即获得可流通代币，从而提高短期退出成本；较长的 vesting 周期则意味着团队代币需要在更长时期内分批释放，使核心开发者在更长时间范围内与项目未来价值保持联系。因此，相比未设置锁仓或释放周期较短的项目，设置团队 cliff 或具有较长 cliff/vesting 周期的项目，可能更容易维持核心开发者的持续投入和留存稳定。

需要说明的是，cliff 与 vesting 属于项目层面的初始制度设计，其效果在经验上可能与项目质量、团队能力、融资背景和社区基础等因素交织。因此，本文将作为静态制度安排与核心开发者行为之间的关联性检验，而非直接的强因果识别。据此，本文提出如下假说：

H2：设置团队 cliff 或具有较长 cliff/vesting 周期的项目，通常呈现出更高的核心开发者活跃度和留存水平（静态锁仓安排关联）

上述两项假说主要用于检验静态代币制度安排与核心开发者行为之间是否存在系统性对应关系。它们回答的是：那些在初始代币分配和锁仓设计上更强调内部团队绑定的项目，是否也表现出更稳定的核心开发者行为。由于这类制度变量在项目层面基本不随时间变化，后文将采用混合 OLS、时间固定效应、项目层面聚类标准误以及项目控制变量进行检验，并将其定位为静态制度关联证据。

1.5.2 动态解锁机制假说

静态分配结构只是代币激励的产权基础，代币真正转化为持续激励，还取决于收益权在时间维度上的释放方式。对于核心开发者而言，未解锁代币代表尚未兑现的未来收益权。当团队仍持有较高比例的未解锁代币时，其未来收益仍依赖项目长期发展、生态信心和代币价值维持。核心团队若降低投入或退出项目，可

能削弱项目发展前景，并损害其尚未兑现的收益。因此，团队未解锁份额可以被理解作为一种剩余收益权绑定机制。

同时，较高的团队未解锁份额也可能产生组织边界效应。由于既有核心团队仍掌握大量未来收益权，其对项目技术路线、治理结构和核心资源的控制可能更稳定，外围开发者进入核心圈层的机会可能下降。因此，团队未解锁份额的作用并不只是提高活跃度和留存，也可能降低核心圈层开放性。据此，本文提出如下假说：

H3：团队未解锁份额越高，核心开发者活跃度和留存稳定性越强，但非核心开发者进入核心圈层的概率越低。

与未解锁份额不同，当期解锁代表代币收益权从锁定状态转为可兑现资产。对于团队代币而言，当月解锁可能削弱原有跨期绑定，使核心成员获得更大的流动性和退出选择空间。代币一旦解锁，核心开发者可以选择出售、再配置资产，或者降低与项目长期价值绑定的程度。因此，当期团队解锁可能扰动核心团队结构，表现为核心团队稳定性下降、核心成员更替增加或开发投入波动。

不过，当期解锁的影响还取决于团队剩余未解锁权益的规模。如果团队仍保留较高比例的未解锁代币，即使当月发生部分解锁，其未来收益仍然与项目长期价值相关联。此时，未解锁份额可以缓冲当期解锁带来的负向冲击，使核心团队不至于因阶段性兑现而完全解除长期承诺。据此，本文提出如下假说：

H4：团队当月解锁会降低核心团队稳定性；但团队未解锁份额越高，当期解锁对核心稳定性的负向冲击越弱。

除当期解锁外，未来解锁安排也会影响开发者行为。团队未来若存在较大解锁规模，核心开发者可能提前调整当前投入，以维护项目信心、稳定生态预期并提升未来可兑现代币的价值。因此，未来团队解锁并不必然只是市场抛压信号，也可能成为核心开发者的预期激励信号。尤其是在团队仍有较高未解锁份额的情况下，未来解锁意味着仍有较大的未来收益等待兑现，这会进一步强化当前投入动机。

与此同时，团队解锁与私募投资者解锁需要区分。团队代币权益与核心开发者劳动投入、技术承诺和项目长期维护直接相关；私募投资者代币权益则更多体现外部资本的流动性释放和退出安排。私募解锁可能通过市场价格或社区情绪间接影响项目，但其与核心开发者行为之间的联系相对较弱。因此，本文预期团队未来解锁压力对核心开发者行为的影响更明显，而私募未来解锁压力的作用较弱。据此，本文提出如下假说：

H5：团队未来解锁压力会提高核心开发者活跃度，且该效应在团队未解锁份额较高时更强；相比之下，私募未来解锁压力对核心开发者行为的影响较弱。

综上，本文的理论框架强调，代币激励并非简单的资产发放，而是由收益权配置和跨期解锁共同构成的制度化激励机制。静态分配结构决定核心开发者及其他利益相关方在项目未来价值中的初始索取权，cliff 和 vesting 为这种收益权加入时间约束，未解锁份额形成持续绑定，当期解锁带来兑现冲击，未来解锁则生成预期激励。通过上述机制，代币将核心开发者的私人收益与区块链开源项目的长期价值连接起来，进而影响核心开发者的持续投入、留存稳定和核心圈层结构。

第二章 数据与指标构建

本研究的样本框限定于区块链公链项目，项目必须具有公开的 GitHub 仓库、完整的代币分配信息，以及可追溯的代币解锁记录。这一标准既保证了开发者行为的可量化性，又确保了代币经济特征在实证分析中可以被完整捕捉，从而能够精确考察代币化激励对开源公共品供给的作用。最终样本覆盖 86 个区块链项目，包含不同技术背景和生态成熟度的公链项目，其中既有长期活跃、技术成熟的项目，也包含处于停滞或维护低活跃期的项目，为后续分析提供了充分的代表性和稳健性基础。在数据来源上，本研究整合了三类核心信息：GitHub 开发者行为数据、代币分配信息以及代币解锁信息。

本研究旨在精确考察代币化激励对开源公共品供给的作用。为确保实证分析能够从行为微观层面追溯到制度设计，并充分体现代币化激励在知识生产中的作用逻辑，本章将详细阐述研究的样本选择、数据来源、整理方式以及核心指标的构建过程。

本研究的样本框限定于区块链公链项目。样本选择基于以下三项严格标准：第一，项目必须具有公开的 GitHub 仓库；第二，项目必须具备完整的代币分配信息；第三，项目必须拥有可追溯的代币解锁记录。这一选样标准既保证了开发者行为的可量化性，又确保了代币经济特征在实证分析中可以被完整捕捉。最终，本研究共覆盖 86 个区块链公链项目。这些项目涵盖了不同的技术背景和生态成熟度，其中既包含长期活跃、技术成熟的项目，也包含处于停滞或维护低活跃期的项目，为后续的实证分析提供了充分的代表性和稳健性基础。

在数据结构上，本研究整合了 GitHub 开发者行为、代币分配以及代币解锁三类核心信息，最终形成了一个“开发者—项目—一月份”的面板数据。该数据架构既能够动态刻画区块链公链项目宏观产出与微观行为的演化轨迹，也为后文的回归分析及机制检验提供了坚实的数据基础。

3.1 数据来源

3.1.1 GitHub 开发者行为数据

GitHub 平台不仅是开源代码托管系统，更是一个高度数字化、可追踪的社会化协作环境。本研究通过 Python 脚本调用 GitHub REST API 与 Search API，回溯并抓取了样本项目自建仓起至观测终点的全量行为数据。本研究所获取的 GitHub 行为数据主要包含以下两类：

首先，本研究成功获取了 86 个目标仓库的仓库级元数据（Metadata），包括仓库唯一标识、主要编程语言、创建时间、最终星标数（Stars）、分叉数（Forks）以及项目状态（如是否归档）等。该部分数据可作为后文实证研究的重要控制变量。

其次，本研究回溯并抓取样项目自建仓起至观测终点的全量行为数据。数据包括以下三个不同维度的行为数据库：（1）代码提交数据库（Commits）。该数据库记录了每一次原子化的代码修改，用以精准记录开发者对仓库的直接贡献，涵盖提交者身份、提交时间及内容说明等核心字段。（2）拉取请求数据库（Pull Requests, PR），该数据库记录了开发者将代码提交至主项目的协作提案，涵盖 PR 的发起、讨论与合并全过程，能够真实反映开源社区的决策机制和协作响应速度。（3）代码评审数据库（PR Reviews）。该数据库记录了在拉取请求合并前，社区成员对代码质量进行的审核与反馈，用以衡量社区的监督机制与去中心化治理水平。

通过对上述多维度事件流的动态追踪，本研究不仅能够获取项目静态的控制变量，还能动态刻画核心开发者在生命周期中的活跃程度、留存率、核心团队晋升及协作治理行为，为微观机制分析提供高频实证依据。

3.1.2 代币分配信息

代币分配信息作为一种静态分配结构的刻画，反映了各利益相关主体在项目初始阶段所获得的权益份额，是理解整个代币激励结构的基础。为保证信息来源的权威性与准确性，本研究的数据主要来源于各公链项目的官方网站以及官方白皮书（Tokenomics 文档）。

由于本研究样本中的项目代币原始分配对象众多，且各项目的命名规则与归类方式极不统一。为了实现横向可比性，本研究对提取自原始数据的 558 个分配主体进行了系统的清洗与标准化归集，将异构的不同主体统一映射至六大核心类别：（1）团队（Founder & Team），包括创始人、早期贡献者及顾问等；（2）私募投资者（Private Investor），包括种子轮、天使轮及各类机构投资者等；（3）金库（Reserve），包括协议金库、基金会储备、生态基金等；（4）社区

激励 (Community)，包括生态建设、社区空投、挖矿奖励及流动性激励等；（5）公开投资者 (Public Investor)，通过公开销售（如 IE0、IDO 等）方式分配给公众投资者的份额；（6）其他类别 (Others)，无法明确归入上述五类的其他主体。具体的映射关系详见附表。

3.1.3 代币解锁信息

代币解锁数据记录了项目代币在时间维度上的释放情况，体现了激励兑现的具体节奏与动态供给变化。本研究获取了具体到日的解锁事件源数据，包括每一个解锁主体的名称及其当日对应的解锁份额。

通过对解锁主体名称的标准化重构，并按日度进行清洗汇总，本研究进一步生成了月度层面的解锁变量。在此基础上，本研究计算了累计解锁比例、剩余未解锁比例以及未来预期解锁压力等关键衍生指标，为后续系统考察代币流量、存量和预期对开发者行为的影响提供了数据支撑。

综上，三类数据的整合形成了一个开发者—项目—一月份的面板数据，既能够刻画区块链公链项目宏观产出与微观行为的演化轨迹，也为后续核心指标计算、回归分析及机制检验提供了坚实的数据基础。该数据架构的构建，保证了实证分析能够从行为微观层面追溯到制度设计，并充分体现代币化激励在知识生产中的作用逻辑。

3.2 数据整理方式

为确保开发者行为、代币分配与解锁信息在实证分析中的可用性与一致性，本研究对原始数据进行了系统化整理。由于原始数据涉及 GitHub 平台的高频协作事件流与代币经济学的链下白皮书及链上解锁账目，表现出极强的异构性，因此必须通过严密的清洗与对齐流程将多源数据转化为统一的面板结构，最终形成了可用于回归分析与机制检验的项目—月份—指标非平衡面板数据。

3.2.1 代币数据的整理方式

为了将静态的白皮书文本和动态的解锁时间线转化为可用于回归的计量指标，本研究对代币数据按以下五个步骤进行了系统整理：

（1）建立项目—代币映射关系

根据项目官方网站、白皮书及代币经济 (Tokenomics) 说明文档，精准提取每个公链项目对应的原生代币信息，并建立唯一的项目—代币映射索引表。该步骤能够确保每个项目在面板数据中仅对应其真实的代币集合，有效避免跨项目代币的重复计算或错配，为后续代币分配与解锁数据的纵向合并提供了索引基础。

（2）整理代币分配结构

鉴于各公链项目的原始代币分配方案包含多类利益主体，且命名方式具有高度的碎片化和不统一性（如同一团队份额可能被命名为 Team、Founder 或 Contributors 等）。本研究利用系统设计的映射规则（详见后文附表）对所有主体类别进行了标准化归集，并在此基础上计算了各主体所占的初始分配百分比，生成标准化的代币初始分配表。该表作为静态变量，为每个公链项目在整个样本观测期间提供了一致的初始产权结构信息。

（3）整理解锁设计

代币的解锁规则通常由锁仓期（Cliff，即悬崖期）和线性释放期（Vesting）共同决定。本研究通过对各项目官方规则进行细致梳理与计算，生成了包括“是否存在团队悬崖期”、“是否存在私募投资者悬崖期”等在内的系列虚拟变量（0/1 变量）。这些解锁设计数据同样作为静态制度变量，能够准确反映项目的初始激励安排与制度承诺，并为后续解锁流量与预期变量的测算奠定基础。

（4）整理日度解锁事件数据并聚合到月

由于代币解锁源数据在时间维度上精确到日，记录了每个代币每日的释放数量及具体主体，直接用于月度面板会造成严重的数据稀疏与计量偏误。因此，本研究采用两步法对其进行月度聚合：第一步，利用前述标准化的代币分配结构，规范解锁主体名称并按六大类别进行划分；第二步，精准标注文档对应的解锁类型（如属悬崖期释放或线性释放），汇总每日的解锁百分比与代币实际数量。最终，将日度解锁事件按月度进行加总，生成月度总解锁比例、各主体月度解锁比例以及解锁类型汇总。该步骤形成的月度流量表是后文计算月度解锁压力、分析代币流量冲击对开发者行为影响的底层依据。

（5）计算解锁存量以及预期变量的月度数据

在动态流量的基础上，本研究为每一个代币构建了从最早解锁日期（或开发者面板起始日期）至观测终点的连续时间月度序列。对于没有发生实际解锁事件的月份进行补零处理，以保证时间序列的完整性与连续性。在此基础上，按代币分组累计计算了团队、私募、社区及金库等主体的累计已解锁比例（即解锁存量）。此外，为了捕捉开发者的前瞻性预期，本研究基于前瞻滚动窗口计算了未来 3 个月的计划解锁比例，用以度量未来的激励兑现压力与潜在的市场冲击。

3.2.2 开发者数据的整理方式

GitHub 平台的原始行为数据由海量的、原子化的事件流（Event Stream）构成，无法直接与项目层面的经济指标进行纵向匹配。为此，本研究对开发者行为数据进行了如下次序的处理：

（1）建立项目 - GitHub 仓库映射关系

依据公链项目官网、GitHub 官方组织及相关技术白皮书，系统提取每个公链项目所对应的核心 GitHub 仓库信息，并建立唯一的映射表，以此作为后续加载代码提交、拉取请求、代码评审等高频行为数据的索引基础。这一处理能够确保每个项目在最终的面板中仅对应其真实的 GitHub 仓库，排除了非核心仓库的干扰，有效避免数据的重复或错配。当前的映射关系包含了 86 个项目的完整基础信息。

（2）标准化原始开发者行为数据

对提取的开源社区全量行为数据进行严格清洗。在完成时间标准化的前提下，针对开源社区中普遍存在的重复账号现象，本研究通过开发者名称、数字指纹以及提交邮箱等关键信息进行多源账号实体对齐，将不同账号或邮箱的同一开发者精准映射到统一的自然人 ID。同时，利用关键词过滤和行为模式识别剔除机器人账号，并删除了跨仓库的冗余重复事件，确保每一条代码贡献和治理记录在实证分析中仅被精准计入一次。

（3）指标计算

在微观自然人 ID 和清洗后的事件流基础上，本研究基于 6 个月的滚动窗口以及 80% 的累积代码贡献阈值，动态识别并重新界定了每个项目在每一个月份的核心开发者集合。据此，进一步计算了核心开发者活跃数、核心团队稳定性（Jaccard 系数）、非核心向核心转化率等核心微观指标。在此过程中，本研究将原始的提交、PR 以及评审数据按贡献量进行了加权处理，从而确保最终构建的指标能够真实反映开源公共品供给中实际产出的核心团队，而非名义上的注册核心。

（4）面板整合

最后，本研究将经过标准化处理的开发者行为面板，与前述代币初始分配、解锁设计、月度流量、解锁存量及前瞻性预期变量进行横向与纵向的深度整合，最终形成了以项目 - 月份为基本观测单元的最终面板数据。该最终面板数据共包含 4794 条有效的月度观测值，覆盖 86 个公链项目，时间跨度自 2019 年 8 月起至 2025 年 9 月止。该多维异构异频数据的成功构筑与对齐，既能够刻画公链项目宏观产出与微观行为的演化轨迹，也为后文开展严格的双向固定效应回归和因果推断奠定了数据基础。

3.3 指标介绍

为了全面量化公链项目的代币产权结构、代币释放的动态冲击，以及开源社区微观开发者的行为特征，本研究构建了三类核心指标体系：代币分配指标、核

心开发者行为指标和代币动态解锁指标 。以下将对各指标的定义、计算方式及经济含义进行详细阐述。

3.3.1 代币分配指标

代币分配指标用以刻画公链项目初始阶段的静态产权结构，反映了不同利益相关主体在项目中所拥有的权益份额与激励边界。本研究通过将复杂的原始分配主体标准化归集为六大类份额，并构建了相应的锁仓虚拟变量。指标详情见下表。

表 1

指标名称	单位	指标定义	经济含义
团队份额占比	百分比	团队和早期贡献者获得的代币分配比例	反映项目对内部团队的激励强度，较高的团队份额通常意味着更强的内部激励与长期的利益绑定。
私募投资者份额占比	百分比	私募投资者获得的代币分配比例	反映项目对机构投资者的依赖程度。较高的私募份额意味着更强的机构背书。
金库份额占比	百分比	协议金库、储备基金、基金会等保留的代币比例	反映项目对未来发展的资源储备。较高的金库份额意味着更强的长期发展资源保障
社区份额占比	百分比	用于生态建设、社区激励、空投等的代币比例	反映项目对社区建设和去中心化的重视程度。较高的社区份额意味着更强的社区激励和参与度
公开投资者份额占比	百分比	通过公开销售方式分配给公众投资者的代币比例	反映项目的公众参与度和融资民主化程度。较高的公开份额意味着更广泛的散户持有基础
其他类型份额占比	百分比	无法归入上述五类的其他主体获得的代币比例	反映代币分配结构的复杂性和透明度。较高的其他份额意味着分配结构复杂
是否有团队悬崖期	虚拟变量 (0/1)	团队代币是否存在锁仓期的虚拟变量	反映对团队的短期约束机制。存在悬崖期意味着团队在代币发行后一段时间内无法获得任何代币，降低早期抛售风险
是否有私募投资者悬崖期	虚拟变量 (0/1)	私募投资者代币是否存在锁仓期的虚拟变量	反映对机构投资者的短期约束机制。存在悬崖期意味着机构投资者在代币发行后一段时间内无法退出

3.3.2 核心开发者行为指标

在开源公共品的生产中，核心开发者是决定项目技术走向和代码质量的中流砥柱。为了准确识别核心圈层并排除噪音，本研究在指标设定上采用了两项关键

的指标计算基准。一是 6 个月滚动窗口，选择 6 个月时长的窗口期旨在平衡开源代码提交的短期剧烈波动和长期演进趋势。二是 80% 代码贡献阈值，本研究选择 80% 累积代码贡献的最小开发者集合作为核心圈层，能够更全面、系统地识别出对项目贡献最大的核心群体。

基于上述基准，本研究测算并引入了以下四项核心微观行为指标，详见下表。

表 2

指标名称	单位	指标定义	计算方式	经济含义
核心开发者活跃数	人数	核心开发者集合中当月仍活跃的开发者的数量	(1)在 6 个月窗口 $[t-5, t]$ 内识别核心开发者集合（累计贡献达 80% 的最小开发者集合） (2) 识别当月 t 实际活跃的开发者的集合 $Core_t$ (3) 计算交集后获得该指标	反映核心团队的实际活跃程度和真实投入。该指标越高，越接近 $Core_t$ 的人数，则说明核心开发者都在积极参与。
核心开发者季留存率	百分比	核心开发者在一季度后仍活跃的比例	(1) 识别当前月 t 的核心开发者集合 $Core_t$ (2) 识别 $t+3$ 月实际活跃的开发者的集合 $Active_{t+3}$ (3) 计算留存率，公式如下： $\frac{Core_t \cap Active_{t+3}}{Core_t}$	反映核心开发者的留存情况。较高的季留存率意味着核心开发者对项目有长期承诺，技术路线稳定。
核心开发者稳定性	百分比	相邻 6 个月核心开发者集合的 Jaccard 系数	(1) 识别当前月 t 的核心开发者集合 $Core_t$ (2) 识别上月 $t-1$ 的核心开发者集合 $Core_{t-1}$ (3) 计算 Jaccard 相似度，公式如下： $\frac{Core_t \cap Core_{t-1}}{Core_t \cup Core_{t-1}}$	反映了核心圈层的延续性与稳定性，较高的系数意味着核心团队人员流动少，创新核心团队得以持续保持
非核心向核心转化率	百分比	非核心开发者晋升为核心的比例	(1) 识别上月 $t-1$ 的核心开发者集合 $Core_{t-1}$ (2) 识别当前月 t 的核心开发者集合 $Core_t$ (3) 计算新晋核心集合， $Newcore_t = Core_t - Core_{t-1}$ (4) 计算可晋升池 $Pool_t = Active_t - Core_{t-1}$ ， $Active_t$ 为当月活跃的核心开发者集合 (5) 计算转化率，公式如下：	反映核心圈层的开放性和流动性。较高的转化率意味着项目的核心开发者圈层有更多的新成员加入。

$$\frac{Newcore_t \cap Pool_t}{Pool_t}$$

3.3.3 代币动态解锁指标

代币动态解锁指标用以衡量激励在时间维度上的兑现节奏，捕捉链上代币从未解锁到实际释放对开发者产生的心理预期与现实流量冲击。本研究构建了以下四项动态指标，详见下表。

表 3

指标名称	单位	指标定义	计算方式	经济含义
团队未解锁份额	百分比	截至当月，团队份额中仍未解锁的比例	(1) 利用团队每月解锁比例 $Unlock_month_{team}$，计算团队累计已解锁份额 Cum_unlock_{team}，公式如下： $\sum Unlock_month_{team}$ (2) 利用团队份额占比 $Team_share$，计算未解锁份额，公式如下： $Team_share - Cum_unlock_{team}$ 计算方法同上行的团队未解锁份额	反映团队未来可解锁的代币规模，未解锁份额越高，意味着未来对内部团队的所有权绑定效应越强。
私募未解锁份额	百分比	截至当月，私募投资者份额中仍未解锁的比例	计算方法同上行的团队未解锁份额	反映了机构投资者未来可退出的代币规模和潜在的长期所有权锁定效应。
团队当月解锁比例	百分比	当月团队代币解锁量占最大供应量的比例	(1) 提取所有团队主体的日度解锁数据 $Unlock_day_{team}$ (2) 月度加总，$Unlock_month_{team} = \sum Unlock_day_{team}$	反映了当期代币释放带来的现实流量冲击与所有权释放强度。
团队未来解锁压力	百分比	未来 3 个月团队即将解锁的代币比例	(1) 获取未来各月的计划解锁比例 (2) 加总未来 3 个月的计划解锁比例	反映了短期的预期解锁压力，用以捕捉开发者因预期未来代币释放而产生的行为异动。

第三章 样本特征与代币制度事实

本章旨在对样本公链项目的代币经济学 (Tokenomics) 特征进行系统性的描述性分析。为了全面刻画现代区块链开源公共品供给的产权边界与激励兑现节奏, 本章将从静态的代币产权分配结构、动态的时空释放路径以及以及代币流通的动态脉冲冲击三个核心特征出发, 系统梳理并重构多源异构数据。这不仅能系统勾勒出当前 Web3 行业在开源公共品供给上的制度蓝图, 也将为后文深入开展双向固定效应因果推断奠定坚实的典型事实基础。

3.1 代币初始产权与分配结构分析

代币的初始分配结构决定了公链项目初创时期的静态产权边界, 规定了内部团队、外部资本与社区生态等利益相关主体的初始权益份额, 是理解整个激励兼容机制的起点。因此, 为了理解代币激励如何在区块链开源项目中形成长期绑定效应, 本节首先分析项目初始分配的总体结构 (见表 4) 及分布特征 (图 1)。对 86 个样本项目的统计分析显示, 该分配结构呈现高度制度化的规律, 同时也存在显著的项目间异质性。

首先, 金库与社区占比较高。协议金库的分配份额均值最高, 达到了 29.38% (中位数为 20.00%); 社区激励的分配份额均值紧随其后, 为 23.36% (中位数为 18.74%)。这两者相加超过了总供应量的半数 (约 52.74%)。这一特征清晰地表明, 现代公链项目在初始产权设计上, 优先保障长期生态建设与去中心化治理所需的资源储备, 旨在为后续的代码迭代、资助以及社区动员预留充足的代币份额。

其次是核心团队与私募投资者占比相对次之且总体稳定。私募投资者的份额均值为 16.54%, 核心团队的份额均值为 14.67%。值得注意的是, 两者的中位数均为 16.00%, 中位数与均值非常接近。结合图 1, 团队的份额主要集中在 20%左右的区间, 体现行业内形成较稳定的内部激励强度的预期。这既保证了内部人的激励强度, 又引入了强大的外部机构背书, 保证了核心开发者的长期绑定的同时, 也吸收了早期资本对项目发展的支持。

三是向公开投资者发行的筹码份额相对偏低。面向公众散户的公开投资者份额均值仅为 2.53%，且中位数为 0.00%。这一典型事实说明早期散户参与在公链项目中并不普遍，初始产权主要由创始团队、私募投资者及基金会控制，公开投资者所组成的去中心化众筹叙事并不符合数据呈现的经验事实。

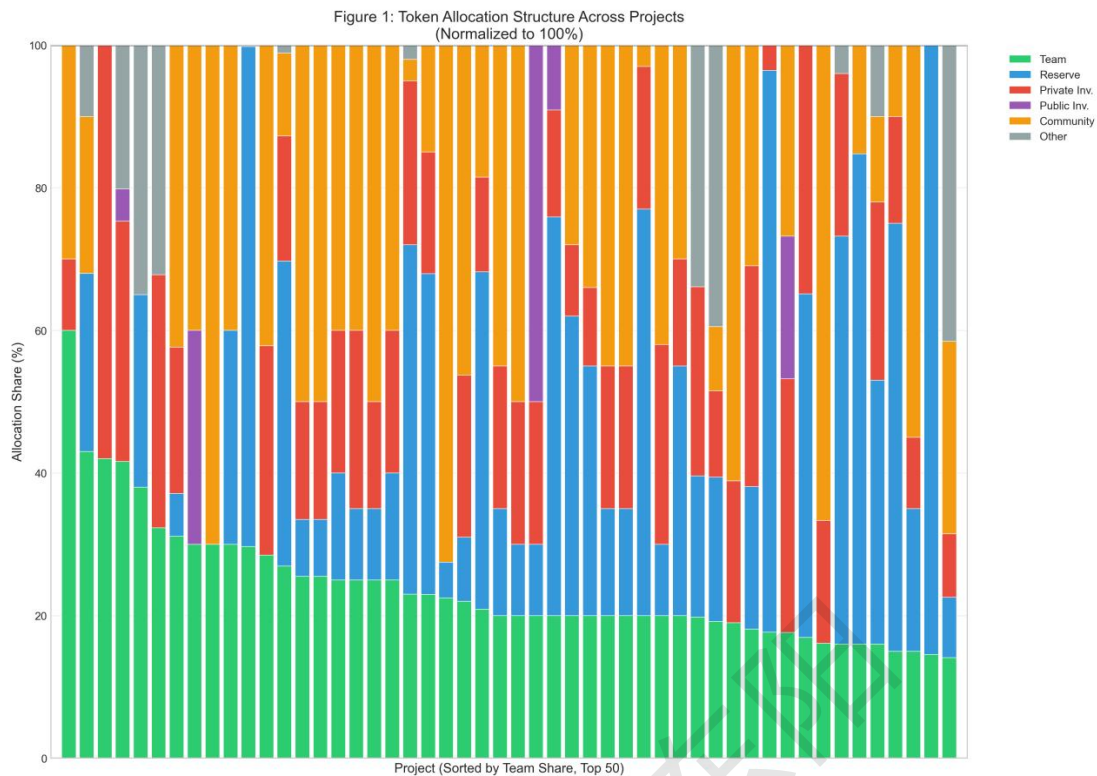
表 4

类别	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
团队份额占比	14.67	16	11.90	0	60
私募份额占比	16.54	16	15.90	0	92.3
金库份额占比	29.38	20	29.11	0	100
社区份额占比	23.36	18.74	23.09	0	84.9
公开投资者份额占比	2.53	0	10.63	0	75
其他类型份额占比	9.75	0	21.93	0	100
是否有团队悬崖期	0.62	1	0.48	0	1
是否有私募投资者悬崖期	0.58	1	0.49	0	1

四是代币产权分配在不同项目之间展现出了极大的异质性。图 1 横截面堆叠图显示，不同项目的团队、私募、金库及社区份额差异极大。部分高度中心化项目的团队份额高达 60%，而强调社区主导的项目团队或私募份额则接近 0%；私募和金库份额的标准差分别为 15.90 和 29.11，显示极宽的分布跨度。此外，62% 的项目为团队设置了悬崖期锁仓，58% 的项目为私募投资者设置悬崖期，这也反映了锁仓安排的制度异质性。

总体来看，初始分配结构呈现四个典型特征：（1）金库和社区份额占比最高，为长期生态建设和资源储备提供基础；（2）团队和私募份额次之且稳定，保证核心开发者与机构投资者的长期绑定；（3）公开发行业占比极低，散户参与有限；（4）项目间差异显著，反映了不同项目对内部控制、社区参与及融资策略的不同偏好。这种静态分配结构为后续的动态解锁机制和团队行为分析提供了制度背景，也为理解核心开发者与外部资本之间的激励兼容关系奠定基础

图 1

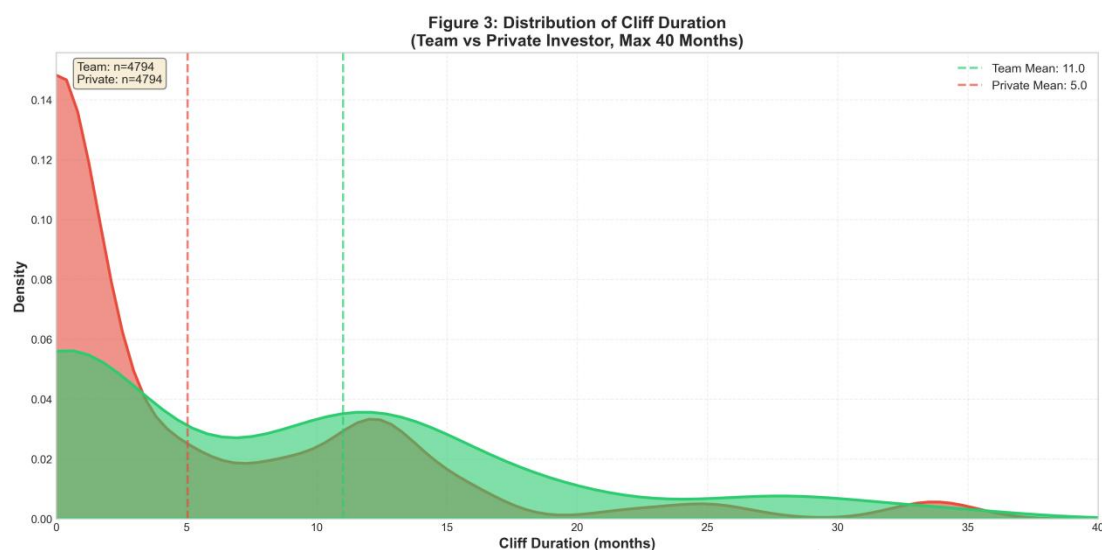


3.2 私募与团队解锁的非对称特征

在静态分配结构的基础上，代币锁仓（cliff）和线性释放（vesting）安排进一步决定了各主体的实际收益兑现节奏。本节将核心团队与私募投资者的锁仓特征进行对比，揭示其在激励和制度安排上的显著差异。

首先，在悬崖期设置方面，私募投资者解锁提前且集中，团队平缓且长期。样本显示，私募平均悬崖期为 5 个月，解锁曲线高度左偏（红色区域），0 - 5 个月释放比例显著（峰值概率密度约 0.15），随后该曲线急剧衰减，直到 12 个月处出现次级峰值（约 0.033）。在度过 15 个月之后，私募投资者的悬崖期解禁概率几乎完全归零。相比之下，团队平均悬崖期为 11 个月，解锁曲线呈更长的跨度和多峰、厚尾特征（绿色区域）。虽然团队在 0 月处存在约 0.056 的初始密度，这代表部分项目不设团队悬崖，但团队核心的解锁高潮期主要在第 11 至 12 个月关口，形成了一个高度显著、圆润的局部主峰（峰值密度接近 0.036）。此外，团队的曲线在 15 至 25 个月之间依然保持着相当的密度高度，并在 24 个月和 36 个月处伴随着微弱的局部隆起，其长尾最长可延伸至 40 个月。

图 2

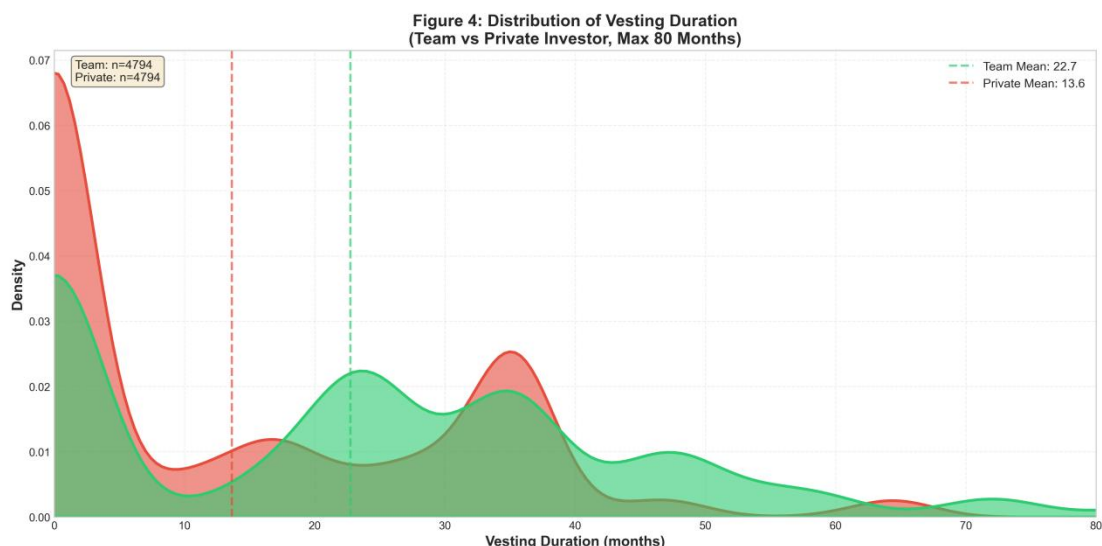


其次，在线性释放期设置方面，私募投资者解锁集中且提前，而团队解锁幅度稳定、跨期跨度大。从图 3 中可知，团队的平均线性解禁周期为 22.7 个月，也显著高于私募投资者的 13.6 个月。私募的线性释放曲线（红色区域）在 0 月处形成了一个绝对主峰，这说明存在不少公链项目对私募投资者采取悬崖期后一次性释放，不设置任何后续线性释放周期。在度过 10 个月的低谷后，曲线在第 35 至 36 个月迎来了一个极为显著、陡峭的爆发高潮期，局部峰值密度达 0.025。在该高潮期过后，私募的线性释放概率迅速收敛至 0 周围。

团队的线性释放曲线（绿色区域）不仅在 0 月处的概率密度明显低于私募，而且在全生命周期内呈现出系统的、有规律的多阶段释放形态。除去 $T=0$ 的代币生成时期，其第一个核心释放阶段位于第 23 至 24 个月，团队曲线在此处形成了其生命周期内的最高局部主峰，这表明 2 年线性释放是核心团队最普遍的合同约定。第二个核心释放阶段在第 35 至 36 个月，团队曲线与私募曲线形成了共同的释放高潮期。与私募在 40 个月后迅速断流不同，团队的曲线在 40 个月之后展现出了厚尾结构，其密度曲线平缓地下滑，持续蔓延至 60 个月以上整体基线维持在约 0% - 0.05%，与私募的早期集中释放形成鲜明对比。

综上所述，团队与私募投资者的锁仓和线性释放安排呈现出显著的制度差异：体现了面向短期资金与核心开发者差异化的制度安排。此差异表明，区块链项目在设计激励机制时，既需要满足早期资本的流动性和退出需求，也必须通过长期锁仓确保核心团队稳定贡献和技术连续性，从而形成兼顾短期融资和长期公共品供给的双重激励制度。

图 3

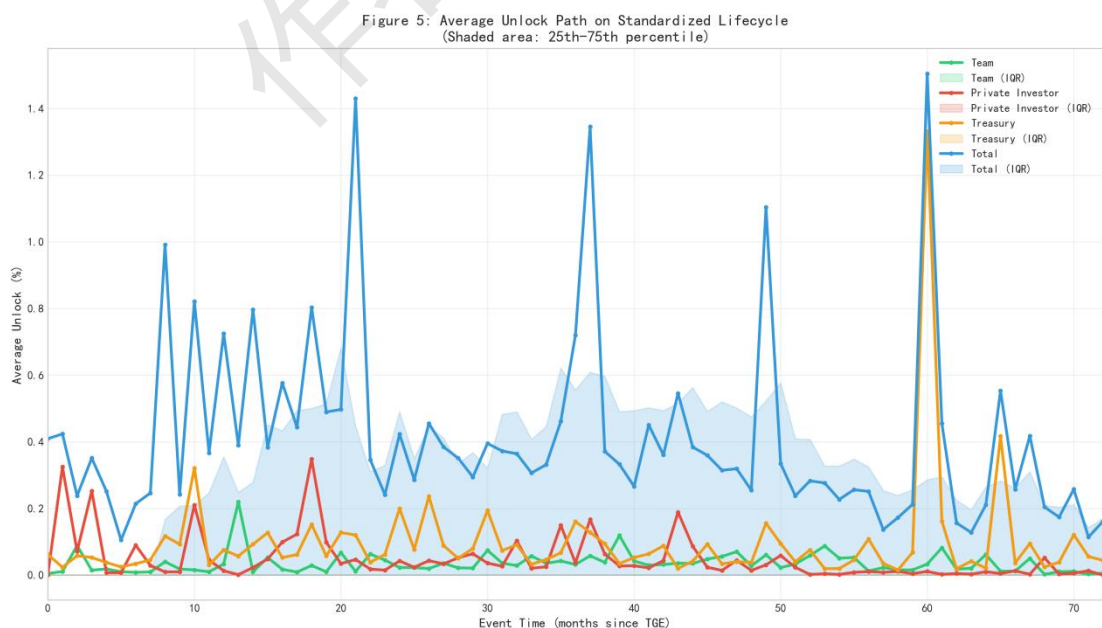


3.3 动态释放特征与流量冲击

在静态产权和锁仓安排的基础上，链上代币的动态释放展示了高频、离散的微观冲击特征。将 86 个项目从 TGE 起 72 个月的生命周期平均解锁路径进行分析发现，代币释放并非平滑渐进，而呈现出明显的“大爆发—长平稳”模式。

首先，月度解锁高度不均衡。绝大多数月份的解锁接近零，但在少数关键节点出现大幅释放。例如，团队当月解锁均值仅 0.03%，但瞬时最大值可达 16.20%，形成强烈的流量冲击。这种高峰主要对应特定锁仓合同到期，短时间内显著改变项目内的产权结构，并可能引发社区心理预期波动。

图 4



其次，私募投资者早期集中释放。在项目 0 - 20 个月的前期，私募解锁频繁

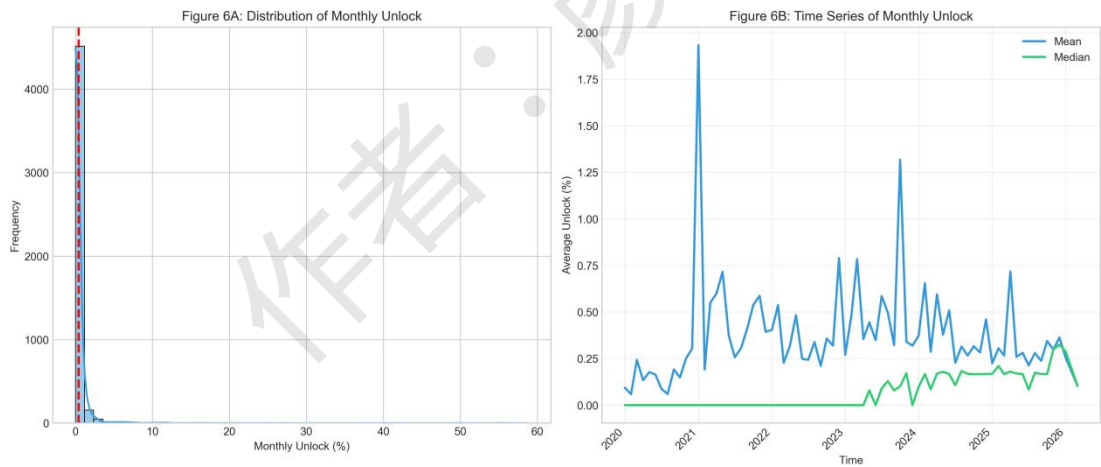
且集中，第 1、4、10、18 个月均出现高达 0.22% - 0.35% 的短期洪峰。这表明私募解锁主要满足资本流动性和市场退出需求，是早期资金回收的制度性安排。

再次，核心团队解锁长期平缓。核心团队解锁曲线长期贴近 0% - 0.05%，仅在 13、24、36 个月出现微幅局部峰值，展现厚尾和多阶段释放特征。这种平稳释放保证了核心开发者的长期绑定和代码迭代的连续性，为开源公共品供给提供制度保障。

此外，协议金库存在期末集中释放。在发币满 5 年的第 60 个月，金库释放瞬时均值飙升至约 1.3%，形成全生命周期最高峰。这体现了制度性战略资金的集中调度作用，用于支持生态建设、Grant 拨付及长期项目发展。

这种“大爆发一长平稳”的动态特征在图 5 中得到了统计验证。月度解锁比例呈现出极度右偏的喇叭状分布，绝大多数月份的解禁流量趋近于 0%，但极少数月份蕴含着巨大的供应量扩张。总体而言，私募投资者偏向短期兑现，核心团队偏向长期绑定，而金库承担集中战略资金安排，三类解锁安排呈现此起彼伏的解锁态势。总体来看，这种非对称的动态释放机制形成了复杂的激励矩阵，使不同主体在项目生命周期中扮演不同角色，同时为后续研究团队与私募解锁对核心开发者行为的微观影响提供了制度背景。

图 5



第四章 静态代币制度与核心开发者行为的初步关联

本章旨在检验静态代币制度与核心开发者行为的初步关联。在第一章理论框架和假说的指导下，核心逻辑认为：代币初始分配比例及锁仓安排为核心开发者提供制度化收益权激励，这种静态制度可能影响其活跃度、季度留存及核心圈层开放性。本节通过描述性分析和相关性回归，初步刻画静态制度与行为指标的系统对应关系，为后续动态解锁机制分析奠定制度背景。

样本包括 86 个区块链公链项目，覆盖不同技术背景和生态成熟度。每个项目均具备公开 GitHub 仓库、完整代币分配信息及可追溯解锁记录，保证数据可量化和可比较。样本时间跨度自 TGE 起至观测终点，能够涵盖完整生命周期的静态制度与核心开发者行为信息。

4.1 回归模型设定与变量

4.1.1 回归模型设定

为考察静态代币制度与核心开发者行为的相关性，本研究采用混合 OLS 回归，引入时间固定效应并对项目层面进行聚类标准误处理，以控制跨月宏观冲击和项目间潜在相关性。模型形式如下：

$$Y_{it} = \alpha + \beta TokenIndicator_{it} + \gamma Control_{it} + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中：

i 和 t 分别代表具体的公链项目与观测月份。

Y_{it} 为因变量，代表核心开发者行为的各项微观测度指标。

$TokenIndicator_{it}$ 则是本节的核心自变量。

$Control_{it}$ 为控制变量组合，用以捕捉随时间动态演进的项目微观特征。

λ_t 表示月份固定效应，用以全面吸收整个行业层面随时间发生的高频宏观冲击与市场周期波动。

ε_{it} 为计量模型的残差项。为了克服同一公链项目在不同时间点上因代码迭代连续性而产生的序列相关以及异方差问题，本研究所有回归模型的标准误均在项目层面进行了严格的聚类。

该模型仅用于检验静态制度变量与核心开发者行为的相关性，不能作为因果推断依据。它能够揭示制度设计与行为之间的初步对应关系，为后续动态解锁和机制分析提供制度背景。

4.1.2 变量设定

为系统刻画静态代币制度与核心开发者行为之间的关系，以下是本节所使用的变量及其说明。

因变量，即核心开发者行为指标，主要用于反映核心开发者在项目生命周期中的实际投入和团队稳定性，包括三项：一是核心开发者活跃数，定义为六个月滚动窗口内，累计贡献占 80% 的最小核心开发者集合中当月仍活跃的人数；二是核心开发者季度留存率，表示核心开发者在季度结束后仍保持活跃的比例；三是非核心向核心转化率，衡量非核心开发者晋升为核心开发者的比例，反映核心圈层的开放性和流动性。计算方法详见前文表 2。

核心自变量，即静态制度变量，用于衡量项目初始代币分配及锁仓安排对核心开发者行为的潜在影响，包括：团队份额占比，即核心团队及早期贡献者在总代币中的初始分配比例；私募份额占比，即早期机构投资者的初始分配比例；团队悬崖期，用于指示是否设置团队锁仓期（0/1）；以及悬崖期长度及其平方项，用于捕捉锁仓期对行为的非线性效应。

控制变量用于剔除项目生命周期、受欢迎程度和规模差异的潜在干扰，包括项目月龄、GitHub 星标数以及项目规模等指标。通过引入这些控制变量，本研究能够在相关性分析中更精确地观察静态代币制度变量与核心开发者行为之间的初步对应关系。

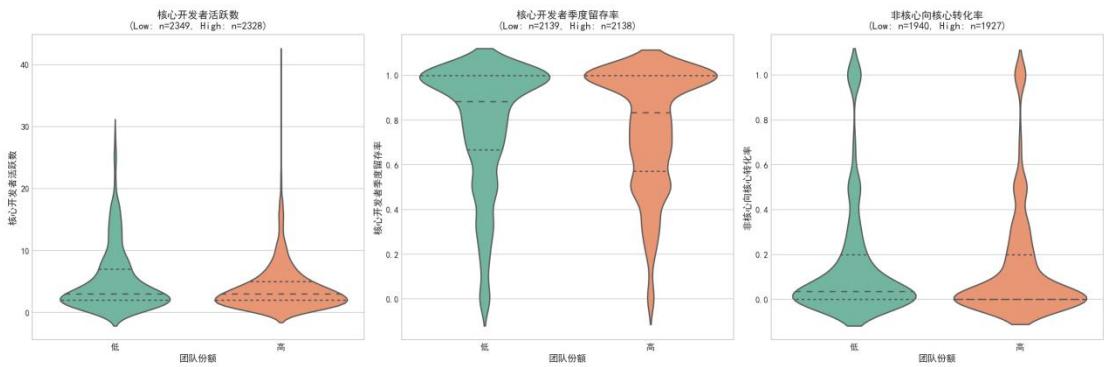
4.2 描述性分析与初步观察

为了直观展示静态代币制度与核心开发者行为之间的相关性，本节利用小提琴图对团队份额高低以及悬崖期设置对核心开发者活跃数、季度留存率和非核心向核心转化率的分布特征进行了比较。通过这种可视化手段，可以更清晰地观察样本项目在不同制度安排下核心开发者行为的分布差异，但需要强调，以下分析仅反映相关性，而非因果关系。

团队份额与核心开发者行为的相关性（图 6）显示，高团队份额项目的核心开发者活跃数明显偏高，分布更加集中，峰值明显且波动较小，表明样本中高团队份额项目通常拥有较为稳定的核心开发者群体。季度留存率亦呈现右偏分布，高团队份额项目的核心开发者在季度末仍保持活跃的比例普遍高于低团队份额项目。这一观察提示，在样本中团队份额较高的项目，其核心开发者往往表现出较高的活跃性和一定的留存稳定性。相比之下，非核心向核心转化率在高团队份额项目中偏低，显示核心圈层在高团队份额情况下较为集中，外围开发者进入核心团队的机会相对受限。整体来看，这些分布趋势反映了团队份额在样本中与核心开发者活跃性和留存水平存在一定的相关性，但仍无法证明其对行为有直接因

果作用。

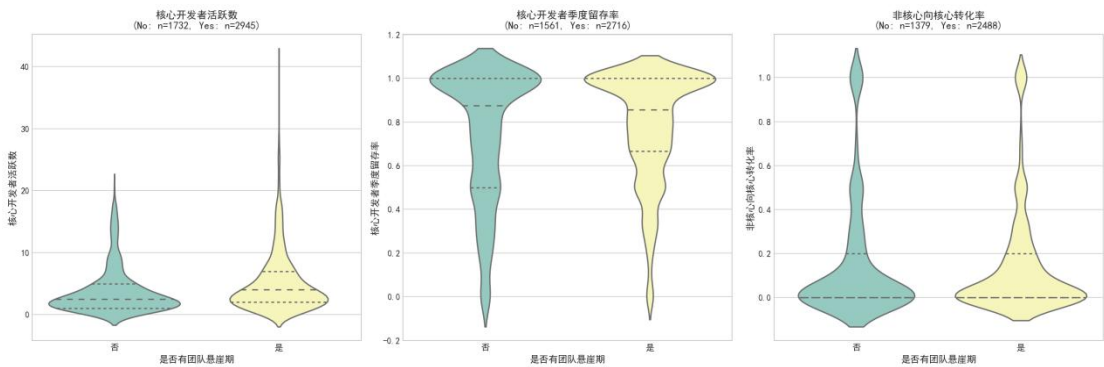
图 6



团队悬崖期设置与核心开发者行为（图 7）的可视化结果进一步补充了对制度特征的理解。设置悬崖期的项目，其核心开发者活跃数和季度留存率总体偏高，分布峰值向右偏移，显示样本中悬崖期安排可能与核心团队的初步稳定性存在相关性。此外，核心团队稳定性在有悬崖期的项目中略高于未设置悬崖期的项目，表明锁仓期在样本中可能有助于维持团队成员持续参与代码开发的相对稳定状态。值得注意的是，尽管存在个别团队成员流动，高峰值集中及厚尾分布表明大部分核心开发者在悬崖期安排下行为更加集中和平稳，这为观察静态制度变量与核心行为的相关性提供了直观证据。

通过对团队份额和悬崖期两类静态制度变量的可视化分析，可以发现一些显著的模式。首先，高团队份额与悬崖期安排在样本中均对应核心开发者活跃数和季度留存率的上升趋势，表明在初始制度安排下，核心开发者群体的行为呈现一定的集中和稳定性。其次，非核心向核心转化率在高团队份额或有悬崖期项目中整体偏低，显示核心圈层形成一定程度的闭环。这些观察为后续回归分析提供了参考，也为理解静态制度变量与核心开发者行为的潜在相关性奠定了基础。

图 7



4.3 三组回归分析

本小节旨在基于回归分析初步考察静态代币制度变量与核心开发者行为之间的相关性。结合前述理论与假说，核心逻辑认为，团队份额及锁仓安排构成了核心开发者初始产权和制度激励的制度环境。这些静态制度变量在样本中可能与开发者活跃性、季度留存率以及核心圈层结构呈现分布性差异。通过混合 OLS 回归、时间固定效应和项目聚类标准误处理，本节旨在验证这些静态制度变量在样本中的初步相关性，为后续动态解锁机制分析提供制度背景和实证依据。

4.3.1 团队份额占比与核心开发者行为

回归结果显示，团队份额占比与核心开发者活跃数和季度留存率均呈现正向相关。在控制项目月龄、GitHub 星标数及项目规模，并引入月份固定效应的情况下，高团队份额项目的核心开发者活跃数明显高于低团队份额项目（系数=0.050386，t=10.13），季度留存率也呈显著正向（系数=0.1182，t=2.69）。这些结果表明，在样本中，团队初始代币分配越高，与核心开发者活跃度和留存率存在较强的相关性趋势。需要强调的是，这些回归仅反映统计上的相关性，并不能作为因果推断依据，但从理论视角来看，这种分布趋势与第一章提出的高团队份额可能强化内部收益权绑定、稳定核心开发者的假设相一致。

表 5

变量	(1)	(2)
	核心开发者活跃数	核心开发者季度留存率
团队份额占比	0.050386*** (10.13)	0.1182*** (2.69)
其他控制变量	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
R2	0.235	0.082
Observations	4677	4277

4.3.2 团队悬崖期与核心开发者行为

进一步考察团队悬崖期设置对核心开发者行为的相关性，结果显示，存在悬崖期的项目，其核心开发者活跃数和季度留存率均高于未设置悬崖期的项目。具体而言，回归系数表明，设置团队悬崖期项目的核心开发者活跃数高出未设置项目约 1.5401 人（t=12.44），季度留存率高出 0.0614（t=6.55）。这些结果反映了悬崖期作为静态锁仓制度变量在样本中与核心开发者活跃性和留存稳定性存在明显相关性。同时，非核心向核心转化率的分布显示，核心圈层在有悬崖期的项目中更集中，外围开发者晋升的可能性较低。需要注意，这些观察均为相关性，不能解释悬崖期对行为的因果作用，但为理解锁仓安排与核心团队稳定性提

供了经验依据。

表 6

变量	(1)	(2)
	核心开发者活跃数	核心开发者季度留存率
是否有团队悬崖期	1.5401*** (12.44)	0.0614*** (6.55)
其他控制变量	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
R2	0.241	0.087
Observations	4677	4277

4.3.3 悬崖期长度及非线性效应

为了进一步探讨悬崖期长度对核心开发者行为的相关性，本节引入悬崖期长度及其平方项进行回归分析。结果显示，悬崖期长度与季度留存率呈显著正向关系（系数=0.5682， $t=6.55$ ），而平方项系数为负（系数=-0.0194， $t=-7.96$ ），提示悬崖期对留存率的影响存在一定的非线性特征，即在初期增加锁仓长度与留存率正相关，但超过一定阈值后边际相关性下降。在核心开发者活跃数方面，悬崖期长度的线性效应不显著，但平方项呈显著负相关（系数=-0.000377， $t=-3.32$ ），说明极长悬崖期可能与活跃数略呈负相关趋势。这些结果进一步强调，在样本中，悬崖期长度及其非线性特征与核心开发者行为存在统计上的相关性，但仍需注意，这仅是相关分析，不能解释制度对行为的直接因果影响。

表 7

变量	(1)	(2)
	核心开发者活跃数	核心开发者季度留存率
悬崖期长度	0.0192 (1.46)	0.5682*** (6.55)
悬崖期长度平方	-0.000377** (-3.32)	-0.0194*** (-7.96)
其他控制变量	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
R2	0.308	0.118
Observations	2945	2716

4.4 小结

本章通过描述性分析与回归检验，初步揭示了静态代币制度与核心开发者行为之间的相关性特征。首先，从团队份额和悬崖期设置的小提琴图观察来看，高团队份额项目和设置悬崖期的项目，其核心开发者活跃数与季度留存率普遍较高，而非核心向核心转化率相对较低，显示核心团队在制度安排下呈现集中性和稳定性。这一初步观察为静态制度与行为之间的分布性关系提供了直观证据。

进一步的回归分析显示，团队份额占比与核心开发者活跃数和季度留存率呈显著正相关，悬崖期设置同样与这两类指标表现出正向相关性。此外，悬崖期长度及其平方项的分析揭示了非线性特征：锁仓期初期增加可提升留存率，但超过一定长度后其边际相关性下降；在核心开发者活跃数上，极长的悬崖期可能略微抑制活跃度。这些结果在统计意义上显示了静态制度变量与核心开发者行为之间的系统关联，但需要明确，这些分析均为相关性研究，不能作为因果推断依据。

总体而言，本章实证结果表明，静态代币制度在样本中与核心开发者的活跃性、留存率及核心圈层结构存在明显的分布性对应关系。团队份额和锁仓安排在制度层面塑造了核心团队的潜在激励环境，为后续第五章对动态解锁机制及其对行为的潜在作用提供了制度背景和经验基础。

第五章 动态解锁机制与核心开发者行为

在前文第四章中，本文基于静态代币分配结构，初步刻画了核心开发者的活跃性、留存稳定性以及核心圈层的开放性差异，同时分析了团队份额和悬崖期等静态制度变量的相关性。在此基础上，本章将深入探讨代币在时间维度上的动态激励效应，系统检验代币解锁机制对核心开发者行为的实际影响。理论上，代币不仅作为静态的收益权配置工具存在，更通过跨期释放安排在不同时间节点形成多维度激励。

具体而言，本章关注三类动态指标：一是存量指标（团队未解锁份额），反映核心团队尚未兑现的收益权，作为长期绑定和内部激励的制度载体，可能对核心团队留存及外围开发者晋升产生系统性偏转；二是流量指标（团队当月解锁比例），体现当前解锁带来的即时资产流量冲击，可对核心团队的稳定性产生扰动效应，同时存量产权可能在其中发挥调节缓冲作用；三是预期指标（团队未来3个月解锁压力），代表可预期的收益兑现事件，对核心开发者的当前行为形成心理预期信号，并通过存量所有权强化预期激励的效应。

此外，本章将引入其他所有者类别（如私募投资者）的动态解锁指标作为对照，以确保识别结果针对核心团队内部的制度化激励效应。通过对存量—流量—

预期三位一体的全时域分析，本文旨在揭示代币化激励在区块链开源公共品供给中的制度逻辑及其对核心开发者行为的微观作用机制，从而为理解数字经济条件下知识公共品的内生性供给提供实证证据。

5.1 实证模型设定

在开展具体的计量回归之前，本节首先详细阐述本章实证研究所采用的计量模型设定、核心变量的数理定义，并对回归样本进行系统的描述性统计分析，为后文各小节的因果识别与机制解构确立统一的方法论基准。

为了准确识别代币化激励对核心开发者行为的因果效应，并有效控制开源社区中大量难以观测的混淆变量，本研究确立以双向固定效应模型作为基础计量工具。

在开源公共品供给的实证分析中，传统的最小二乘法（OLS）往往面临严重的内生性挑战。一方面，不同公链项目背后的技术愿景、社群文化、创始人的个人号召力等特征往往不随时间改变，但会同时决定代币产权设计和开发者的凝聚力，从而构成遗漏变量偏误；另一方面，加密货币市场的整体牛熊周期、全球宏观经济环境以及区块链行业的技术共识演进，会作为时间趋势或宏观冲击同时影响代币解禁后的二级市场表现与开发者的活跃程度。由于所有的解锁安排在项目初期就通过代码完成了设置，因此其内生性被极大地缓解了。

本研究通过在模型中同时引入项目固定效应与月份固定效应，对上述两类混淆方差进行严格控制。本章各实证部分的基本模型设定如下：

$$Y_{it} = \alpha + \beta TokenIndicator_{it} + \gamma Control_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中：

i 和 t 分别代表具体的公链项目与观测月份。

Y_{it} 为因变量，代表核心开发者行为的各项微观测度指标。

$TokenIndicator_{it}$ 则是本研究的核心自变量，在后文各小节中将分别具体对应团队未解锁份额（存量）、团队当月解锁比例（流量）以及团队未来解锁压力（预期流量）。其对应的系数 β 即为本研究所欲精准识别的因果效应系数。

$Control_{it}$ 为控制变量组合，用以捕捉随时间动态演进的项目微观特征。模型统一引入以下两项连续型控制变量：星标数和项目月龄，分别用以动态控制该公共品在开发者生态与用户层面的受欢迎程度与外部声誉以及控制开源项目自身生命周期演进与成熟度对团队规模的自然规律约束。

μ_i 表示项目固定效应，用以捕捉并消除不随时间发生改变的项目个体异质性。

λ_t 表示月份固定效应，用以全面吸收整个行业层面随时间发生的高频宏观冲

击与市场周期波动。

ε_{it} 为计量模型的残差项。为了克服同一公链项目在不同时间点上因代码迭代连续性而产生的序列相关以及异方差问题，本研究所有回归模型的标准误均在项目层面进行了严格的聚类。

5.2 样本描述性统计分析

在最终整合的非平衡面板数据中，本章用于实证回归的样本共包含 86 个主流公链项目，时间跨度自 2019 年 8 月起至 2025 年 9 月止。由于部分衍生指标（如季度留存率和核心团队稳定性）在建仓初期或项目特定生命周期中存在天然缺失，各变量在回归中呈现非平衡面板特征。表 8 与表 9 分别汇报了核心开发者行为指标和代币动态特征指标的描述性统计。

表 8 核心开发者行为因变量描述性统计

变量标签	样本量	均值	标准差	最小值	最大值	偏度
核心开发者活跃数	4677	4.61	4.53	0	41	2.29
核心开发者季留存率	4109	71.95	28.61	0	100	-0.71
核心开发者稳定性	4577	83.71	18.48	0	100	-1.21
非核心向核心转化率	3867	15.35	26.11	0	100	5.56

注：样本涵盖 86 个公链项目，指标基于 80% 代码贡献阈值测算。

表 8 的核心开发者行为指标描述性统计显示，核心开发者活跃数均值为 4.61 人，标准差 4.53，最大值达到 41 人，偏度为 2.29。这表明，即便在市值巨大、生态繁荣的公链项目中，核心开发团队通常较小，且人力资本高度集中。核心开发者季度留存率均值为 71.95%，稳定性均值为 83.71%，偏度分别为 -0.71 和 -1.21，说明一旦开发者进入核心圈层，其留存意愿和技术承诺通常较为稳固。相比之下，非核心向核心转化率均值仅为 15.35%，偏度高达 5.56，中位数为 0，显示外围开发者晋升为核心成员的概率低且呈阶段性爆发特征。这一“小圈层、高黏性、低晋升率”的特征为后续识别代币所有权对外围开发者激励的潜在作用提供了可量化基础。

表 9 的代币动态特征描述性统计显示，团队未解锁份额均值为 13.06%，标准差 11.98%，最大值 60%；私募未解锁份额均值为 13.92%，标准差 16.93%，最大值 92.30%。这表明在样本生命周期内，不同项目和月份所面临的未解锁产权规模存在显著异质性，保证了回归分析中方差的充足。团队当月解锁比例均值为 0.03%，最大值达到 16.20%，团队未来 3 个月解锁压力均值为 0.08%，最大值达到 16.59%，再次呈现了代币释放在大部分月份接近零、但在特定时间节点出现高洪峰的动态特征。这种离散的流量冲击体现了链上智能合约所编码的时间

产权变更，为后续双向固定效应回归分析提供了稳健的数据基础。总体而言，这些描述性统计清晰展现了核心开发者行为的“小圈层—高黏性—低晋升率”特征，以及代币动态释放的“存量—流量—预期”结构。

表 9 代币化自变量与参照变量描述性统计

变量标签	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
团队未解锁份额	4794	13.06	11.98	0	60
私募未解锁份额	4794	13.92	16.93	0	92.30
团队当月解锁比例	4794	0.03	0.30	0	16.20
团队未来解锁压力	4794	0.08	0.42	0	16.59

5.3 团队剩余收益权与核心开发者绑定

在开源公共品生产中，团队未解锁代币份额构成了核心开发团队可合法索取的未来剩余收益权存量，直接表征了项目至今的激励强度和制度约束力。理论上，这一存量产权不仅是内部激励的载体，也是塑造核心圈层稳定性和排他性的重要机制。依据第一章的理论假说，核心开发者的行为在很大程度上受到其未来收益权承诺的制度约束，这种“金手铐效应”通过智能合约硬编码实现了长期绑定与激励传递。本节通过双向固定效应模型检验团队未解锁份额的因果效应，并与外部私募投资者未解锁份额形成对比，以揭示内部产权在开源协作生态中的核心治理功能。

回归结果显示，团队未解锁份额对核心开发者活跃度具有显著正向因果效应（系数=0.1510，t=7.01），即在其他条件不变的情况下，每增加 1 个百分点的团队未解锁代币，当月核心开发者活跃人数显著增加 0.1510 人。相比之下，私募投资者未解锁份额对活跃度的因果效应虽为正向，但幅度明显较小（系数=0.0226，t=4.37），约为团队系数的七分之一。理论上，这一差异体现了产权归属对行为激励的制度性依赖：核心开发者的行为对其未来可支配收益权高度敏感，而外部资本尽管提供财务信号，却无法重塑其日常贡献与项目投入。团队未解锁份额作为未来剩余索取权的存量，不仅提供了长周期激励，还形成了微观组织结构中的制度黏性，使核心团队在项目生命周期中保持稳定活跃。

表 10

变量	(1) 核心开发者活跃数	(2) 核心开发者季度留存率	(3) 非核心向核心转化率
团队未解锁份额	0.1510*** (7.01)	0.6870*** (3.49)	-0.3986** (-2.13)
其他控制变量	Yes	Yes	Yes
项目固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes

R2	0.6450	0.3408	0.1733
Observations	4677	4109	3867

在季度留存率维度，团队未解锁份额同样展现出显著正向因果效应（系数=0.6870， $t=3.49$ ），说明每增加1个百分点的未解锁团队份额，核心开发者在三个月后的留存概率提升约0.687个百分点。私募投资者未解锁份额在同样模型下不显著（系数=0.0591， $t=0.31$ ），进一步凸显外部资本对核心团队长期留存缺乏制度约束力。理论上，这验证了团队产权的“长期绑定假说”：未解锁的团队代币通过智能合约锁定了未来收益，使核心开发者面临显著的沉没成本，从而自发选择维持长期参与。在Web3开源公共品的生产中，锁在智能合约里、未来才属于团队的代币存量越大，意味着核心创作者所能锚定的未来长期组织租金规模越宏大。理性的核心开发者会将这种高度集中的未来预期剩余索取权，视为自身人力资本投入的最核心信任抵押物。这种制度性约束不仅影响个体行为，也塑造了核心圈层的稳定结构，为开源知识公共品的持续供给提供了制度保障。

表 11

变量	(1) 核心开发者活跃数	(2) 核心开发者季度留存率	(3) 非核心向核心转化率
私募未解锁份额	0.0226*** (4.37)	0.0591 (0.31)	-0.3201 (-1.46)
其他控制变量	Yes	Yes	Yes
项目固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R2	0.64290	0.3393	0.1734
Observations	4677	4109	3867

然而，这种基于存量产权的激励逻辑在跨越圈层壁垒、作用于外部外围成员时，展现出了截然相反的排他性防御面貌。对非核心开发者向核心圈层的晋升转化率的回归显示，团队未解锁份额每增加1个百分点，会显著降低外围开发者晋升为核心成员的概率（系数=-0.3986， $t=-2.13$ ）。这一负向因果效应揭示了内部产权的排他性效应：高比例的团队剩余收益权使核心圈层形成“租金防御”，核心成员通过智能合约绑定未来收益，从而抬高外围开发者进入的门槛。这一制度安排在样本中表现为明显的阶层固化现象，而私募投资者未解锁份额的影响不显著（系数=-0.3201， $t=-1.46$ ），说明外部财务资本无法改变核心圈层的产权结构和晋升逻辑。理论上，这支持了第一章提出的“剩余索取权与核心圈层排他性假说”：内部团队的存量收益权不仅激励核心成员投入，还在组织治理层面形成制度性壁垒，塑造了长期稳定的知识生产生态。

综合来看，团队未解锁份额对核心开发者行为的影响呈现出“双重人格”：一方面，它通过制度化的收益权绑定显著提升核心团队的活跃度和季度留存率；另一方面，它通过产权排他性降低外围开发者的晋升概率，强化核心圈层的稳定性与阶层固化。相比之下，私募投资者未解锁份额对核心开发者行为的因果效应有限，凸显了内部产权结构在 Web3 开源知识生产中的关键治理作用。这一实证结果从微观层面验证了第一章提出的理论假说：团队剩余收益权是推动核心开发者深度绑定、塑造圈层结构和维持长期协作的制度核心。

5.4 当期解锁流量与核心团队稳定性

在开源公共品的生产中，团队当月解锁比例直接体现了智能合约硬编码的短期激励强度，是核心开发者极为关注的即时收益信号。研究关注的问题在于：当解锁强度变化时，核心开发者在短期内的行为如何异变？同时，团队手中留存的未来未解锁代币作为长期产权存量，是否能够在短期激励波动中发挥制度性缓冲作用，维持核心团队的稳定性和技术连续性。本节基于双向固定效应模型，系统检验团队当月解锁比例的即时扰动效应及剩余未解锁份额的调节缓冲效应，以揭示代币化激励在开源公共品供给中的微观作用机制。

在开源公共品的生产中，团队当月解锁比例不仅是代币即时释放的量化指标，更是核心开发者高度关注的短期激励信号。从理论角度来看，智能合约将未来收益以锁仓和线性释放的方式编码在链上，使当期解锁成为衡量即时激励强度的关键变量。根据第一章提出的“存量—流量—预期”理论框架，当解锁强度增强时，核心开发者面临的即时收益机会增加，这可能促使他们在短期内调整贡献、活跃度和参与行为，从而体现出因果上的行为响应。

回归结果（表 12 Model (1)）显示，团队当月解锁比例对核心团队稳定性施加了显著的负向效应：在控制项目固定效应、时间固定效应及项目规模、星标数和月龄等变量后，当月解锁比例每增加 1 个百分点，核心团队的 Jaccard 稳定性系数显著下降 2.3421 个百分点（ $t=-2.48$ ，5% 显著性水平）。该结果明确揭示了即时流量冲击对核心团队行为的因果扰动机制，即当团队代币解锁达到一定强度时，部分核心开发者可能出于理性收益最大化的考虑而调整当期投入，表现为短期活跃度下降或贡献波动。

这一发现不仅验证了代币作为即时激励的制度性作用，也凸显了短期解锁对核心团队微观治理的现实影响。在智能合约约束下，团队当月解锁比例的波动构成了核心开发者行为的即时触发器：高流量释放会增加技术骨干的短期收益预期，但同时也可能引发内部重新评估边际贡献与收益的行为调整，从而在短期内扰动团队的稳定性。这一机制体现了代币激励在 Web3 知识生产中微观因果传导的核

心路径：即时流量作为短期激励信号，对核心开发者行为具有可观测的因果效应，而非简单的相关性。

表 12 当期解锁流量、剩余产权缓冲与核心团队稳定性的回归结果

变量	(1) 核心团队稳定性	(2) 核心团队稳定性	(3) 核心团队稳定性
团队当月解锁比例	-2.3421 ** (2.48)		2.4252* (1.65)
私募当月解锁比例		-0.0063 (1.57)	
团队未解锁份额			-0.1930 (0.97)
交互项			0.3842*** (4.25)
其他控制变量	Yes	Yes	Yes
项目固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R ²	0.1983	0.1023	0.2249
Observations	4361	4361	4361

注：括号内为聚类到项目层面的 t 统计量；***、**、* 分别代表在 1%、5%、10% 的统计水平上显著。。

为了排除核心团队稳定性受二级市场或外部金融波动干扰的可能性，本研究在模型中引入私募投资者当月解锁比例作为安慰剂检验（表 12 Model（2））。回归结果显示，私募当月解锁比例的系数为 -0.0063（t=-1.57），在统计上不显著。这一结果表明，核心开发者的即时行为并未受到外部资本流量的显著影响，确认了当期团队解锁流量对核心团队稳定性的因果效应边界。换言之，团队成员对外部财务资本的短期流动并不敏感，其行为调整主要由团队内部代币解锁的即时激励信号驱动，而非市场价格波动或金融恐慌。这一发现进一步支持了第一章提出的假说：核心开发者高度关注智能合约中与自身相关的收益权，而外部资本的存在仅提供潜在的支持性或参照性信息，而无法直接影响团队微观行为。

在识别团队当月解锁流量的扰动效应之后，本研究进一步检验团队未解锁份额作为存量产权在当期解锁冲击中的调节作用。模型 C（表 12 Model（3））引入团队当月解锁比例与剩余未解锁份额的中心化交互项，回归结果显示该交互项显著为正（系数=0.3842，t=4.25，1% 显著性水平），表明未解锁存量能够有效缓冲即时解锁流量对核心团队稳定性的负向冲击。理论上，当团队仍持有大量未解锁代币时，核心开发者在面临当期解锁的即时收益诱惑时，会综合考虑未来潜在收益，从而调整短期行为，保持贡献的连续性和技术稳定性。该机制体现了智能合约对行为的制度化约束：未解锁代币构成跨期激励，通过预期收益信号稳定核心团队，从而在面对大额当期解锁事件时，缓解短期波动可能引发的内部治理

分裂与技术断层。这一结果也充分呼应了第一章提出的“存量—流量—预期”激励框架，揭示了存量产权在短期激励波动中发挥制度性稳态作用的微观因果路径。

5.5 未来解锁预期与核心开发者活跃

在开源公共品生产网络中，核心开发者不仅受历史产权存量和当期解锁流量约束，其行为也会前瞻性地响应未来代币解锁的制度信号。团队未来 3 个月解锁压力作为核心自变量，反映了智能合约硬编码的短期预期激励强度。本节旨在从“前瞻性预期”视角，系统检验开发者在面对链上即将到来的团队代币解锁事件时，其当期活跃度如何发生异变，并探讨剩余未解锁代币在预期引导中的调节作用。

传统金融和劳动力经济学表明，个体行为会受到对未来收益的预期影响。然而，在 Web3 开源公共品的生态中，未来即将到来的团队代币解锁可能被核心开发者解读为不同性质的信号：一方面，它可能被视为二级市场抛压和资产稀释风险；另一方面，它也可能被视为技术里程碑完成或合规兑现的制度红利。在理性预期框架下，核心开发者会根据对未来收益和剩余权益的判断，调整当期代码贡献和协作行为。

基于表 6.6 Model (1) 回归结果，团队未来 3 个月解锁压力对核心开发者活跃数展现出显著的正向因果效应（系数=0.2832，t=2.40，5% 显著性水平）。这一结果表明，当其他条件保持不变时，未来即将到来的代币解锁被核心开发者感知为制度化的即时激励信号，能够显著提升当期的贡献投入。理论上，这支持了“增长信号假说（Growth Signal Hypothesis）”：核心开发者会将即将到来的收益事件视为努力的激励杠杆，从而增加代码提交、PR 协作和评审活动，确保技术成果与即将解锁的节点契合。该发现体现了未来预期对短期行为的因果传导路径，即代币释放不仅是一种财务安排，更通过前瞻性激励机制直接塑造核心开发者的行为模式。

表 13 未来解锁预期、剩余产权池与核心开发者活跃数的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	核心开发者活跃数	核心开发者活跃数	核心开发者活跃数
团队未来解锁压力	0.2832** (2.40)		0.3344*** (2.66)
私募未来解锁压力		0.0339 (1.24)	
团队未解锁份额			0.1460*** (6.86)
交互项			0.0505*** (3.39)

其他控制变量	Yes	Yes	Yes
项目固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R2	0.6382	0.6420	0.6468
Observations	4677	4677	4677

为了检验这种预期信号的身份敏感性，本研究在 Model (2) 中引入私募投资者未来 3 个月解锁压力 (PIFuturePressure) 作为平行安慰剂。回归结果显示，其对核心开发者活跃数的影响系数为 0.0339 ($t=1.24$)，在统计上不显著。这一结果说明，核心开发者的行为对外部资本的未来解锁表现出冷漠，仅对团队自身的未来解锁压力产生显著响应。这一发现进一步验证了第一章提出的内部产权约束假说：核心开发者的短期行为主要由与自身直接相关的制度化激励驱动，而非由外部财务资本的预期流量所影响。

在验证主效应的基础上，本研究进一步探讨团队剩余未解锁份额对未来解锁压力的调节作用（表 6.6 Model (3)）。交互项回归结果显示，团队未解锁份额与未来解锁压力的交互项系数为 0.0505 ($t=3.39$, 1% 显著性)，表明未解锁存量能够显著强化未来解锁压力的激励效应。理论上，当团队持有大量未解锁代币时，未来解锁的预期信号会被放大，核心开发者在面临即将到来的收益事件时，会更积极地投入当前工作，以确保贡献与预期收益匹配。该机制揭示了存量产权与未来流量在时间维度上的跨期协同效应：高未解锁存量不仅增强了未来解锁的即时激励效力，也为核心技术团队提供长期制度保障，使短期激励波动不会削弱团队稳定性和技术连续性。这一发现进一步支持了全文提出的“存量—流量—预期”全时域激励框架，并突出了智能合约编码的代币制度在引导核心开发者行为中的因果机制。

第六章 结论

本文系统考察了区块链开源公共品供给中代币激励机制对核心开发者行为的作用路径，验证了第一章提出的理论框架和假说。研究从静态分配、动态解锁和未来解锁预期三个维度展开，既梳理了样本项目的典型事实，又明确了代币作为制度化激励的因果作用。

本文首先回顾了样本特征与代币制度事实。基于第三章的描述性统计，本文发现显示开源知识生产呈现小圈层、高黏性、低晋升率的特征。在代币制度方面，团队和私募的未解锁份额在不同项目和月份间存在显著异质性，团队当月解锁比例和未来 3 个月解锁压力虽然均值较低，但最大值可高达总供应量的十几个百分点，体现出代币释放的“大爆发—长平稳”基本特征。这一描述性分析为理解

后续团队未解锁份额、当期解锁流量和未来解锁压力对核心开发者行为的制度性因果效应提供了基础，并为本文的全时域激励框架奠定了典型事实背景。

其次，静态代币分配与锁仓安排在样本中与核心开发者活跃度、季度留存率及核心圈层结构存在明显相关性。团队份额占比、悬崖期设置以及锁仓长度与核心开发者行为指标呈现系统分布差异，高团队份额和较长锁仓周期通常对应核心团队活跃度和留存率偏高的样本特征，同时外围成员晋升为核心的概率较低。这一观察确认了静态分配结构作为制度基础，为后续动态激励的因果效应分析提供制度背景和经验基础，但需要强调，这些静态制度变量与核心开发者行为仅表现为相关性。

最后，本文通过双向固定效应回归识别了三类动态制度变量的因果作用。团队未解锁份额作为核心开发者未来剩余收益权的存量，是制度化激励的根本体现。实证显示，未解锁份额显著提升核心开发者活跃度与季度留存率，同时降低外围开发者向核心圈层晋升的概率，形成核心圈层稳定性和排他性。当期解锁流量作为即时激励信号，对核心团队稳定性产生负向扰动，反映短期激励异变对行为的因果冲击，而未解锁存量在此过程中发挥显著缓冲作用，使短期扰动被平抑。未来解锁压力作为前瞻性预期信号，显著提升核心开发者活跃度，并在高未解锁存量情况下进一步放大激励效应，形成跨期协同的信号强化机制。在这一基础上本文确立了代币在开源公共品供给中的“存量—流量—预期”三位一体因果机制。

本研究的核心贡献在于全面揭示了智能合约硬编码的代币在开源公共品供给中的制度性作用：代币既作为长期绑定的存量产权，也通过即时解锁和未来预期形成可量化的因果激励链条，直接影响核心开发者的活跃度、留存稳定性及核心圈层结构。这一发现不仅验证了“存量—流量—预期”的理论框架，也为区块链项目设计精细化激励与治理机制提供了坚实的实证依据，同时为理解数字经济条件下开源知识公共品的内生供给逻辑提供了微观机制解释。

参考文献

附录

类别	数量	原始分配对象名称
Founder & Team	29	Advisor, Advisors, Broader Founding Team, Cloudless Labs, Contributors, Core Contributing Team, Core Contributors, Core Team Pool, Core contributors, Dapper Labs, Developer Vesting, Development team, EOS Labs, Early Contributors, Enigma and Affiliates, Founder, Founders, Founders and Early Backers, Infrastructure, Initial Core Contributors, Initial Development Team, Initial Team, Natural Selection Labs, Project Advisors Incentives, Protocol Labs Team and Contributors, Team, Team allocation, Yuga Labs, team
Private Investor	57	ASMB Investors, Angel Round, Aurora Validator Delegators, Backers, Binance IEO Investors, Business Cooperation, Crowdfunding Investors, Cumulative Mining Mint, EOS VC Fund, Early Backers, Early Financial Backers, Early Integration Partners, Enterprise Investors, Fundaising, Growth Backer Round, Growth Round, IQ Fund, Initial Claims, Initial private sale investors, Institution Investors, Investors, Key Partners, Masternodes, Net Inflation, New Investors Pool, Parachain Bond Funding, Partners, Partnerships, Private, Private Investors, Private Round, Private Sale, Private Sale A, Private Sale B, Private Sale Investors, Private Sale investor, Private Sales, Private sale, Public Investors, PureStake Early Backers, Seed, Seed Funding, Seed Round, Seed Sale, Series A, Series B, Slot Auctions, Strategic Allocation, Strategic Funding, Strategic Investors, Strategic Partners, Strategic Round, Strategic Sale, Strategic sale, TFH Investors, VC

		Round, Venture Round
Public Investor	23	APE Terminal IDO, Binance Launch Pool, Bounce Finance IDO, Community Sale, Genesis Drop, IEO, Individual wallets, Launch Contributions option, Lockdrop, Main Sale Option, Public, Public Allocation, Public Fundraise, Public IEO, Public Launch, Public Sale, Public Sale (IDO on Polkastarter), Public Sales, Retrodrops, Stake Subsidies, TGE, Token Generation Event, Token Sales Academic Research, Arbitrum DAO treasury, Business Development, Community Grants, Community Reserves, Community Treasury, Company treasury, DAO Balance, DAO Treasury, DAO treasury, Daos in Arbitrum Ecosystem, Development, Development Funding, Development Purposes, EOS Network Foundation, Ecosystem, Ecosystem & Community, Ecosystem Development, Ecosystem Fund, Ecosystem Growth, Ecosystem Growth Fund, Ecosystem Incentives, Ecosystem Partners, Ecosystem Pool, Ecosystem Reserve, Ecosystem incentives, Filecoin Foundation, Foundation, Foundation Endowment, Foundation Reserve, Foundation Treasury, Future Initiatives, Grant Program, IOTA Foundation, Initial Reserve, Managed by Bonfida and the FIDA Foundation, Mina Foundation Endowment, Mine Reserve, Mysten Labs Treasury, Neo Council, Operation Reserves, Operational Grants, Parachain Bond Reserve, Project Development, Protocol Development, Protocol Labs, Protocol Reserve, Protocol Treasury, Reserve, Reserved for Bonfida, Staking Reserve, Strategic Reserve, TFH Reserve, Tangle Ecosystem Association, Tezos Foundation, Treasury, ZEN Sustainability Initiative ASMB IF Members, Adaption Incentives, Adoption Incentivization, Airdrop, Airdrop EOS Distribution, Airdrops, Binance Launchpad, Binance Launchpool, Binance launchpool, Block Rewards, Bug Bounty Program, Capacity incentive, Collator Rewards, Community, Community Access Program, Community Airdrop, Community Funding, Community Growth, Community Incentives, Community Pool, Community Provisions, Community Rewards, Community Round, Community fund, Community reward, Community rewards, Developer Adoption Program, Developer Community, EcoSerum going to SRM yield, Future Airdrop, Future Employee Incentives, Growth Marketing, HODLer, IOTA Airdrop, Initial Airdrop, Liquidity Bootstrap, Liquidity Mining Incentives, Long Term Incentives, Marketing, Marketing and Listing, Mining
Reserve	57	
Community	55	

Others	41	Rewards, NFT Holders airdrop, Network Incentivization, Operations, Parachain Auction, Rewards and Incentive, SHO, Short, Staking & Rewards, Staking Rewards, Take Flight Community Event, Users and Early Supporters, Validator Rewards, Worldcoin Community, ZEN Holders AEDPoS, All in Bits, BAYC, Baseline Minting, Block Producer Pay, Bootstrapping, Charity, DLS, ERC, EVM OM, Escrow, Exchange Liquidity Allocation, Genesis Block Unlocking, Interchain Found, Legacy Supply, Liquidity, Liquidity Programs, Locked Contract, Long, MANTRA Chain Association, Market makers, Merlin, Migrated from GAL, Mkt, Monthly Release, New Paradigm, Non, OM Upgrade, Post, Pre, R, Remaining RBN in circulation, Simple minting, Staking, Sugar Xaddies, Test, Testnet, UAE Entity, Uniswap Liquidity, Unlocked Token, Unlocked Tokens
--------	----	---

变量	(1) 非核心向核心转化 率	(2) 非核心向核心转化 率	(3) 非核心向核心转化 率
团队当月解锁比例	0.00157** (2.24)	0.0734** (2.33)	-0.0016 (-0.97)
未解锁份额		0.0020*** (2.90)	0.0042*** (2.71)
交互项		-0.0008** (2.21)	0.0105*** (5.18)
私募当月解锁比例			-0.0012 (0.79)
其他控制变量	Yes	Yes	Yes
项目固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R2	0.1767	0.1935	0.0752
Observations	4327	4327	4327