

---

# DePIN:分布式物理基础设施网络

王普玉 邹传伟

假如我们以非常低的成本购买到一台标准化的小型设备（如无线路由器），它能与周边同类设备，甚至与其他不同国家、区域居民所购买的设备可以自行通信、组网，并形成一个个庞大的物理基础设施网络（如存储网络、通信网络、数据网络等），这将给行业会带来什么样的变化？因为拥有了一台标准化小型设备，大家成为网络的共同建设者，同时也拥有了该网络的收益权和治理权。而对用户而言，能够以极低成本，随时随地且无需许可的使用这些网络或数据服务。用户高频次的网络或数据服务使用，又可以给网络建设者们带来源源不断的被动收益。没有中心化机构组织协调、没有复杂的审批流程，一个庞大的基础设施网络却被建造起来。看似难以实现，却正在我们身边快速的发生着，这种经济活动有一个新名词，叫做分布式物理基础设施网络（Decentralized Physical Infrastructure Network, 简称 DePIN）。

## 一、什么是 DePIN?

DePIN 是在物理工作量证明 PoPW、MachineFi 等基础上衍生出的 Web3 新名词，DePIN（分布式物理基础设施网络）指使用代币经济学激励及协调社区成员完成各类物理基础设施网络的建设，遵循“贡献越多、收益越多”的原则。Messari 将 DePIN 赛道分为四大板块，分别是：服务

网络、无线网络、传感器网络和能源网络。



图 1： DePIN 生态分布图

资料来源：<https://messari.io/report/the-depin-sector-map>

## 二、为什么要 DePIN?

在数字基础设施建设方面，DePIN 充分发挥了加密经济在分布式组织中的优势，以从下到上、低成本、高效率组织方式实现网络快速扩张，改变以往从上到下的高支出和低效问题。

### 1. 传统中心化物理基础设施网络 CePIN

基础设施网络建设是一项成本高、耗时长的工作。以中国国内 5G 基站建设为例，从 2017 年到 2021 年底，累计建成并开通 5G 基站 142.5 万个，耗资 1849 亿元。

### 2. DePIN (去中心化物理基础设施网络)

Helium 采用了一种分布式方式，仅 31 个月布局了 83.3 万个小基站(热点)，覆盖 175 个国家，并长期维持在每月 3 万台的增长速度。且相

较于 CePIN，DePIN 前期建设成本可以忽略不记。

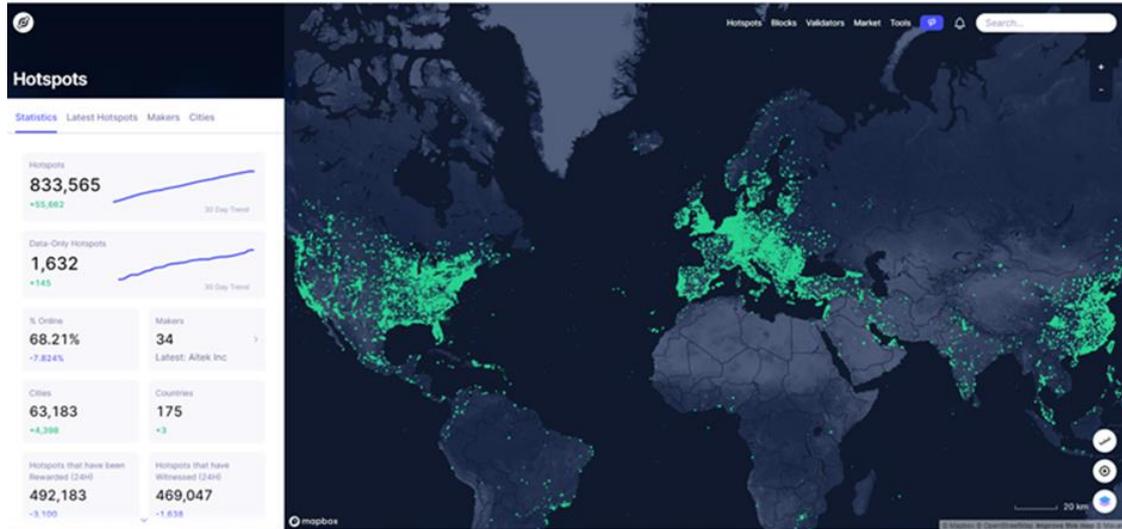


图 2：Helium 小型基站（热点）分布图

资料来源：<https://explorer.helium.com/old-explorer>

在不对 Helium 商业模式是否成功进行评判的前提下，Helium 过去 3 年长期维持每月 3 万个热点的增长速度，以几乎忽略不计的运营成本，证明了 DePIN 范式的可行性。

## 二、如何布局 DePIN?

我们从 DePIN 生态系统的组成要素及经济模型两方面来尝试探究如何布局 DePIN。

### （一）DePIN 经济的构成要素

DePIN 生态系统的构成要素包括 6 个：物理硬件 DU、激励机制、共识协议、贡献者、Token 和 DAO 社区。

#### 1. 物理硬件 DU

DePIN Unit（简称 DU），通常是一个物联网设备，在 DePIN 网络中连接物理世界与数字世界的基本构成单元。以市场上发展较为快速的项目为例，分布式街景地图 Hivemapper 的 DU 是标准化行车记录仪、低功耗

---

广域网 **Helium** 的 **DU** 是网络矿机(热点)、可再生能源网络 **Arkreen** 的 **DU** 是太阳能光伏板等。为保证在分布式组织下，让不同地域、不同背景、不同认知的贡献者们都能够无摩擦的参与到 **DePIN** 的建设中，**DU** 需要尽可能满足以下条件：

- **DU** 是标准化的且可以即插即用
- 贡献者无需对 **DU** 进行频繁维护
- **DU** 成本与网络规模成反比，因此要尽可能降低 **DU** 成本，目前市场上不同项目的 **DU** 单价控制在 **200-500** 美金之间。

## 2.激励机制

激励机制是 **DePIN** 项目能否有序发展的关键所在，项目社区需要巧妙地应用激励机制对齐贡献者的行为目标，以实现基础设施网络的规模化发展。此外，项目社区首先需要根据基础设施类型，制定适合其规模化发展的行为奖励标准。如 **Helium** 为扩大网络的覆盖范围，网络覆盖密度低的区域会比密度高的区域所获得的奖励高；为防止有人作恶，对于覆盖密度过低的区域也是无法获得奖励的；综上，为了更高的收益，理智的矿工通常会选择将 **Helium** 矿机安置在密度适中的区域。同样，**Arkreen** 是根据发电能力激励贡献者，对于理性贡献者，会将矿机安装在光照理想的位置。整体而言，激励机制的设计大致需要遵循以下几个原则：

- 项目有清晰的总目标和分目标。总目标只有一个，分目标可以是多个。但每增加一种分目标，都会成倍增加对项目的理解难度
- 不同贡献者都要有确定的行为即挖矿奖励标准 (**X to Earn**)，贡献者类型不宜过多，每增加一种 **X to Earn**，会增加系统的复杂性

- 
- 激励也是 **Token** 分发的一种方式，发放数量需要根据市场流通总量设计规则，避免因 **Token** 超发而导致币价下跌。

### 3. 共识机制

**CePIN** 是在中心化机构绝对控制权下统一部署发展的。但 **DePIN** 是分布式、去信任化且匿名的，没有中心化机构的组织协调，所以需要通过一种或多种共识机制帮助所有参与者达成一致，同时保证网络安全及可持续发展。我们所讲的网络安全及可持续性包含两层含义，第一层含义是不同设备所组建基础设施网络的安全及可持续性，即设备之间能够组成一个基础设施网络并保证安全且正常地运转，这属于技术层面的问题，需要项目方在 **DePIN** 项目启动前做好充分评估；第二层含义是区块链上经济活动层面的网络发展安全与可持续性，包括验证物理世界 **DU** 真实性和验证链上 **DU** 数据的可靠性。如图 3 所示，区块链上的经济活动数据只能保证其上链后的不可篡改性，但无法保证上链数据的真实性。举例来说，如果数据在设备侧遭到攻击并被篡改，那么该数据上链后只能保证数据不会被二次篡改，但无法保证该数据是真实的。因此，我们需要在设备数据上链前，通过共识算法来验证数据的真实性；仅被所有贡献者认可的数据才能上链，以此保证生态的可持续发展。

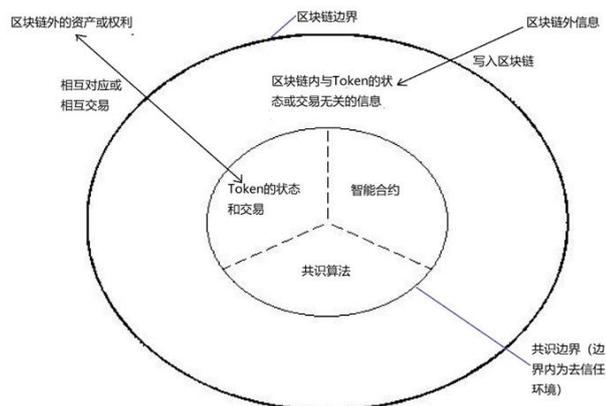


图 3：区块链边界与共识边界

资料来源：《区块链能做什么，不能做什么》徐忠，邹传伟

该部分我们讨论共识机制仅针对于第二层面，即在区块链经济活动层面的网络安全和可持续性，分为两方面：首先是链上记账的公平性和准确性，这是保证去中心化协作的基础和生命线；其次是网络上各种节点或数据的真实性，以免作恶者更改节点位置或发送虚假数据骗取生态奖励。前者是项目方准备自建区块链时需要考虑的问题，如 PoW 或 PoS 等共识机制；后者则是所有 DePIN 项目方需要从技术和算法考虑如何设计共识机制。例如 Arkreen 项目，项目采用了 Proof of Green-Energy Generation(PoGG)共识机制，大致流程如下：首先，所有 DU 每 5 分钟间隔采样 PoGG 数据并在本地缓存，并于每 1 小时向 Arkreen Network 报告 12 条记录。其次，在上一个奖励周期结束后，Arkreen Network 使用 VRF（可验证随机函数）方法生成一个随机值，再结合当前周期 DU 属性，筛选出本周期有机会获得奖励的矿工。然后，Arkreen Network 验证 PoGG 数据的可信度并将淘汰被判定伪造数据的 DU。最后，根据合格 DU 权重分配当前周期内的奖励。Arkreen 通过上述 PoGG 方法保证网络数据的真

---

实性和可靠性。总体而言，DePIN 共识机制的设计需要遵循以下原则：

- DePIN 共识机制设计遵循物理工作量证明 Proof of Physical Works 原则
- Proof 是共识的方式，Physical Works 是共识的对象，如 Helium 的 Physical Work 是 Coverage，Filecoin 的 Physical Work 是 Replication 和 Spacetime
- 为实现系统自组织且维持系统可持续性，需反复论证 DePIN 项目需要哪些 Physical Works
- Proof 设计没有最优解，需要从技术和算法两个层面设计，且需要长期迭代验证 Physical Works 的方法
- 所有共识规则都是内嵌到 DU 芯片中，共识过程是自动化完成而无需 DU 所有者做任何操作，但共识过程的真实性和可靠性可以被任何人查验。

#### 4. 贡献者

贡献者通常分为以下 6 类：

- DePIN 项目发起者：通常 DePIN 都有一个机构或若干人作为项目发起人，他们负责早期 DU 技术开发、系统开发、链上合约部署、DePIN 社区发展等。在 Token 分配中，DePIN 项目发起者会自留一定比例 Token 作为回报
- DU 所有者：DU 是在社区指定的渠道购买的标准化小型设备，DU 所有者也被称为是矿工。根据共同目标，DU 所有者将设备安装在当下收益更高的位置即可参与网络建设，该过程被称之为 DePIN

---

挖矿

- **DU 真实性验证者**: 在去信任环境下保证不同矿工所持有的设备是按照系统规则正常运转，这对物理基础设施网络的稳定性有着非常重要的影响。如果将设备数据直接上链，只能保证上链后的数据不可篡改，而无法保证链上数据的真实性。因此需要验证者角色的出现，他们以特殊的规则参与设备数据真实性的验证工作
- **社区治理者**: 在分布式协作过程中，公平、公开、透明在治理中非常重要。为防止治理者作恶，治理者通常需要质押一定数量的 **Token**，治理权与 **Token** 的质押数量和质押时长有关，实现治理者与生态利益的强绑定关系
- **项目投资人**: 与传统商业一样，在项目早期还未发行代币阶段，仍需依赖外部投资机构支持项目发起人在技术和商业方面的支出。投资机构通常会以 **DePIN** 项目发起人的主体股权或 **DePIN** 项目代币分配作为回报。如果以主体股权方式，投资机构需要等到 **DePIN** 项目发起人 **IPO** 后退出，或者 **DePIN** 项目方以未来收益或股权代币化，通过 **STO** 发币的方式退出。如果以项目代币分配方式，代币通常会分 **2-4** 年时间线性解锁。
- **其他**: 项目方通常会预留 **3-5%** 的代币用于奖励生态顾问，或奖励系统技术漏洞发现的机构或个人。根据不同项目类型，贡献者类型会有所差异。

## 5. Token

如果说共识是链上项目的根基，那么 **Token** 则是经济系统的血脉。从

---

Web3 项目创意到技术开发，再到后期运营、生态发展和社区等的价值都将体现在 Token 中。用肖风博士的“三代币模型”理解 DePIN 项目，NFT 是 DU 的数字证明，功能型 Token 代表 DePIN 的使用权，而证券型 Token 代表实体企业（创始机构、DU 生产企业或其他）的股权。在 DePIN 项目中，一般会使用一到两种功能型 Token 捕获生态价值，这类 Token 具有以下几点特征：

- Token 通常会以奖励或空投的方式免费发放给贡献者
- Token 发行速度需要匹配经济活动总量的增长速度
- Token 会被用作生态中的支付工具或治理凭证
- Token 作为交易手续费或通过创始团队回购等方式回流，一部分回流的 Token 按照规则被燃烧，让总量持续减少，以实现经济系统处于通缩状态
- Token 所捕获的价值源于现实世界资产（RWA），受二级市场高频交易影响，价格会发生变化。为了让参与者专注于经济活动本身，通常会分离 Token 的资产功能和货币功能以隔离价格波动对市场应用侧带来的影响；典型做法是锚定美元货币铸造支付型稳定币，且这类稳定币仅通过燃烧资产功能的功能型 Token 才能获得。

## 6. DAO 社区

在去中心化自组织 DAO 模式下，任何人随时随地都可以发起对 DePIN 项目发展的各类提案或参与各种事项的决策投票。为防止治理攻击，通常会将参与提案或投票的治理者利益与 DePIN 项目进行强绑定，即任何负面治理导致的损失需要治理者承担，典型做法是根据质押功能型

---

Token 的数量和质押时长决定治理者的权利。

DePIN DAO 社区通常需要治理的内容包括但不限于以下：

- 合格 DU 供应商名单投票
- DePIN 技术实施提案及投票
- 影响 DePIN 经济模型的各项参数提案及投票
- 经济模型迭代提案及投票

## （二）经济模型

在互联网平台经济中,人们习惯讨论商业模式,很少有人会讨论经济模型,甚至有人将商业模式和经济模型概念进行混淆使用。但是在 Web3 经济系统中,我们能够看到两个概念本质的区别,因为每个 Web3 项目都有自己的货币体系。在 Web3 项目中,商业模式讲述项目如何创造、传递和获取价值,而经济模型讲述的是 Token 本身的供需模型和货币政策模型。Web3 经济模型和商业模式并不是独立的,因为经济模型需要商业模式承载,而商业模式又决定着如何调节经济模型。万向区块链首席经济学家邹传伟博士将经济模型的设计分为以下几个步骤:

- 思考经济故事
- 提炼经济模型的「脚手架」
- 确定 Token 化的对象和使用场景,包括支付工具
- 确定公共产品的投融资机制
- 制定去中心化、去信任化环境中各参与方的激励
- 确定价值捕获的有效性
- 选择 Token 的二级市场并评估其影响

- 
- 根据用户需求和风控，完善经济模型细节并不断迭代

在 **DePIN** 经济模型设计中，以下 9 个问题有助于项目方和专业从业者思考如何设计一个经济模型：

- 项目的 **Roadmap** 是什么？
- 网络上支持什么商品的流通？
- 相关商品有哪些提供者和需求者？它们的利益最大化目标是什么？
- **Token** 在商品流通中的作用是什么？
- **Token** 如何发行？如何体现 **Proof of Physical Work** 原则？
- **Token** 的用途有哪些？以及如何回流？
- 准备如何激励早期贡献者？
- 通过 **DAO** 准备达成哪些目的？
- 网络中有哪些不稳定因素？

### 三、总结

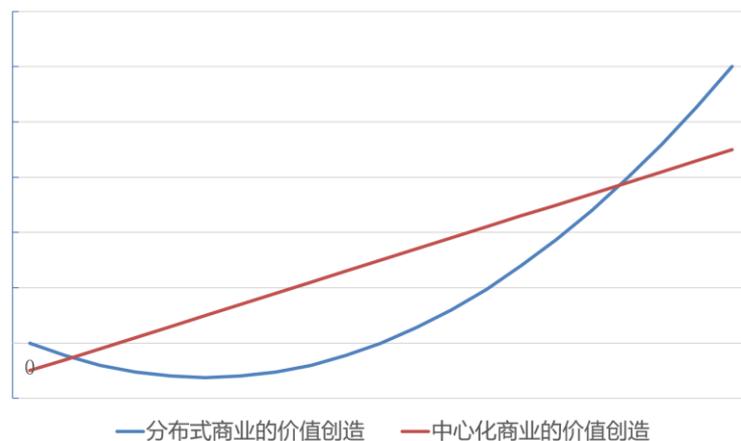
**DePIN**, 通过 **Token** 捕获现实世界资产(**RWA**)的物理基础设施价值。以从下到上的自组织方式，通过经济机制吸引用户，充分发挥了分布式经济的规模效用。相较而言，**DePIN** 仍处于非常早期阶段，其商业模式和经济模型都在快速迭代中。虽然 **DePIN** 让我们看到了很多可能性，但它并不是万能的，通过对 **Helium**、**Filecoin** 等早期项目的研究，我们可以发现其在商业和技术方面依然存在边界，并不是适合所有场景，简单总结为以下几方面：

1. **DePIN** 适用于单一基础设施场景，避免多场景迭代，即避免“既要、

又要”。由于 DePIN 涉及物理世界设备之间的交互，因此项目目标和参与规则要尽可能简化，降低项目认知门槛，避免因复杂规则导致贡献者理解偏差，出现贡献者行为与项目总目标相背离的情况。

2. 物理基础设施网络组建中，如果存在人为管理和运营的环节，DePIN 模式并不适用。从供应链四流（商流、物流、资金流、信息流）解释，仅在 DU 买卖环节涉及物流外，其他环节均能够在链上完成，才能够减少分布式物理基础设施网络建设中的各种摩擦。链下活动每增加一项，DePIN 经济活动中就需要通过中心化方式解决该类摩擦，分布式商业的规模效应也可能被弱化。

3. 在项目发展初始阶段，很难显现出分布式经济的规模效应，仅当网络超过一定规模后（称为“关键规模”），才能体现出相对中心化商业机构的优势。如图 4 所示，在达到关键规模（两条线第二次相交处）后，才能体现出分布式组织在规模扩张和价值创造方面的优势。因此，DePIN 项目在未达关键规模前，仍需依赖于核心团队布 DePIN 节点，对网络的方式以弱中心化方式进行推进。待达到关键规模后核心团队通常会退出，网络治理也同步交由社区治理，通过分布式方式提高网络效应。



---

#### 图 4：分布式商业的 J 曲线

此外，现阶段 DePIN 发展仅停留在网络建设阶段，还未打开需求侧的普遍应用。未来，仍需观察 DePIN 项目在需求侧推进中遇到的各种问题和瓶颈，才能真正打通 DePIN 生态的商业和经济闭环。