

资产代币化：Web3.0 时代的金融新范式

殷剑峰 国家金融与发展实验室副主任

张旻 国家金融与发展实验室宏观金融研究中心特聘研究员

内容简介

与资产证券化是将非流动性资产打包分割为具有流动性的证券类似，资产代币化是将各种虚拟数字世界的加密资产和现实物理世界的金融、非金融资产打包、分割成在区块链上计价、储值、交易的代币。

随着 Web3.0 时代的到来，建立在资产代币化基础之上的去中心化金融（DeFi）将成为人类金融、经济和各种社会活动延伸到虚拟数字世界，并与现实物理世界融合扩张的金融基础。同时，鉴于代币的可编程性、可组合和可分割性以及 7X24 小时全球点对点的原子结算特性，DeFi 将能够无限逼近于阿罗—德布鲁完备市场的理想境界，从而在资源时间配置这一最根本的金融功能上完成对包括银行业和资本市场在内的传统金融体系的全面替代。

2025 年 7 月美国众议院通过的天才法案、清晰法案和反 CBDC 法案为稳定币、数字资产的监管和发展建立了一个系统性战略框架，建立这一框架是确保美国引领 Web3.0 革命的基础，同时，这也将为支撑美国政府债务、打造以美元为核心的全球统一资本市场、维持和强化美元霸权带来新的战略机遇。

对于资产代币化，我们需要意识到其中蕴藏的风险和危机溯源。因为纵观人类历史，金融风险总是陪伴着金融创新，重大的金融创新技术能够得以普及通常需要经受金融危机的洗礼。但是，我们也要深刻认识到，在虚拟数字世界和现实物理世界融合扩张的新大航海时代，推动金融创新才是根本之要务。

一、引言：阿罗-德布鲁证券与完备市场

金融本质上就是在不确定环境下进行资源的时间配置。如博迪和莫顿（2000）所说：“金融学是研究人们在不确定性的环境中如何进行资源的时间配置的学科。”他们指出，金融决策不同于其他资源配置决策，因为金融决策的成本和收益是在时间上分布的，并且任何人都不能预先知道结果。在现实世界中，绝大部分的金融决策都依赖于包括金融机构、金融市场和金融监管当局的金融体系。

那么，如何来判断金融体系进行资源时间配置的效率呢？阿罗和德布鲁的一般均衡模型（Arrow and Debreu, 1954）提供了一个简洁有力的说明：在完全竞争条件下，一个包含所有未来状态的完备市场必然存在均衡价格体系，从而使得资源配置达到帕累托最优状态。所谓“完备市场”（complete market）是这么一种市场：针对未来的状态空间，存在足够多状态依存性（根据未来发生的某种状态触发支付条件）、互斥（不同状态间没有

关联)且完备(覆盖未来所有状态)的原子证券——称作“阿罗-德布鲁证券”，从而使得任何未来状态下的支付流都可以通过这些证券的线性组合来实现。

可以用一个简单的例子来说明阿罗-德布鲁证券与完备市场的关系。假设今天($t=0$)存在两个经济主体：需要在明天($t=1$)出门摆摊的小贩和希望在明天卖雨伞的雨伞商，明天的状态空间存在两种状态：下雨和不下雨。假设市场中存在两种阿罗-德布鲁证券：一个叫“下雨证券”，如果明天下雨，则支付相应的金额；一个叫“不下雨证券”，如果明天不下雨，则支付相应的金额。由于明天的状态空间包含两种互斥的状态(下雨和不下雨)，市场也存在两种状态互斥和完备的证券，此时的金融市场就是完备市场。小贩可以购买下雨证券对冲下雨带来的损失，雨伞商可以购买不下雨证券对冲不下雨造成的损失，所有经济主体在未来面临损失的风险都得到对冲——这就是最优风险分担。同时，小贩和雨伞商今天的生产活动(如小贩准备明日摆摊的食材)与消费活动(如预祝明日赚钱而吃一顿大餐)可以尽情展开，完全不必顾忌明天天气造成的影响——这被称作“费雪分离定理”。

当然，为了达成完备市场，原子证券的数量需要根据状态空间做相应变化。如果状态变多，状态空间变大，则阿罗-德布鲁证券需要进一步细化颗粒度，增加数量。例如，明天“下雨”的状态变成“下小雨”、“下中雨”、“下大雨”，明天“不下雨”

的状态变成“阴天”、“多云”、“晴天”，则需要对应的 6 种阿罗-德布鲁证券才能形成完备市场。

完备市场在现实中显然是不存在的。因为现实世界存在许多交易成本，从而不可能为每一种状态创造一个原子证券。任何一种金融工具（股票、债券、贷款、衍生品等）都是一种契约，从契约签订到完成的整个过程都存在交易成本（殷剑峰，2006）：在签约前，经济当事人需要搜集信息（信息搜寻成本），在不对称信息环境下需要甄别交易对手（甄别成本）；契约的签订需要经过反复的协商（协商成本）；契约签订后，在不对称信息环境下，需要监督交易对手是否在履约（监督成本）；契约到期后，需要对已经发生的状态进行证实（证实成本）；最后，需要根据状态进行支付结算（支付结算成本）。

虽然完备市场并不存在，但是，从公元前 5000 年的苏美尔人时代算起迄今（戈兹曼和罗文霍斯特，2010），人类就一直在用各种金融创新不断地向这个理想迈进。上个世纪 80 年代发端于美国的金融自由化浪潮极大地加快了迈向完备市场的步伐，新的原生证券（如场外交易的纳斯达克股票、垃圾债券）和衍生品（期权、期货、互换等）大量出现。在各种金融创新中，融合了众多原生证券和衍生品的资产证券化（securitization）堪称是集大成者。

资产证券化，简单地说，就是将原先不可交易的非标准化金融工具（如住房抵押贷款）打包、分割成更小单位的标准化、可

交易证券。与资产证券化类似，近期兴起的资产代币化（tokenization，也称作“通证化”）是将各种加密资产和现实世界资产（real world asset, RWA）打包、分割成在区块链上计价、储值、交易的代币（token，也称“通证”）。与资产证券化相比，由于代币的可编程性、可组合和可分割性以及可以进行原子结算，资产代币化能够无限接近于创造各种原子化的阿罗—德布鲁证券，因而是迈向完备市场的更为重大的金融创新。

当然，从人类过往数千年的金融创新看，每一次向完备市场的迈进，依照其迈进的幅度，在其初始阶段都可能引起程度大小不同的金融风险、甚至是金融危机。例如，18 世纪初英国股票市场的大发展导致了人类历史上第一次股票市场危机——1720 年南海泡沫危机；上世纪 80 年代货币市场基金的出现加剧了美国银行业的脱媒，使得大量银行机构破产倒闭；资产证券化在本世纪初演绎发展为结构金融（structure finance）的巨大浪潮，这为 2007 年美国的次贷危机及随后的全球金融危机埋下了伏笔。简言之，向完备市场迈进幅度越大的金融创新，在其初始阶段，就越需要有配套的金融监管措施和风险处置预案。

本文以下将首先讨论资产证券化和结构金融的机理以及由此造成的 2008 年全球金融危机，这可以为新兴的资产代币化提供有益的洞见；第三节以 Web3.0 为背景，分析了资产代币化的种类、基本流程以及以此为基础的去中心化金融的前景；如同当年的资产证券化一样，资产代币化还远未成熟，如何完善金融监管、

防范代币化的风险是第四节的主要内容；文章的最后是我们的一個基本判断：如果说人类终将进入一个现实物理世界和虚拟数字世界紧密融合的时代，那么，在这个时代，作为“现代经济的核心”，金融自然也要做到现实与虚拟的紧密融合。

二、迈向完备市场：资产证券化

在今天的金融体系中，资产证券化以及在此基础上演化发展出来的结构金融已经是得到广泛使用的普通金融技术。通过克服现实世界的交易成本，这些技术创造了原先根本不存在的状态依存性证券，使得原先不可交易的金融工具获得了流动性，但是，这些技术也带来了新的交易成本——尤其是甄别底层资产质量的甄别成本和监督金融中介行为的监督成本。在监管严重滞后于创新的当年，这些新的成本为金融危机埋下了伏笔。

（一）资产证券化

资产证券化的历史非常悠久。早在 1852 年和 1899 年，法国和德国就相继颁布了与住房贷款转让相关的法律。在德国，依据《抵押银行法》发行的抵押支撑债券（Mortgage-Backed Bonds, MBB）——德文中称作“Pfandbriefe”——可以说是最早的证券化产品。1938 年，美国政府注资 1000 万美元成立了第一家政府支持企业（Government-sponsored enterprise, GSE）——联邦国民抵押贷款协会（房利美，Fannie Mac），开始积极探索和培育住宅抵押二级市场。1970 年，第二家 GSE——福利美

(Freddie Mac) 成立。同年，第一笔住宅抵押贷款支持证券 (Mortgage Backed Security, MBS) 发行。

资产证券化的真正起飞始于上世纪 80 年代，起因就是使得未来状态空间扩张的一系列金融自由化改革。如同先前小贩和雨伞商的例子一样，当时两类经济主体的需求推动了资产证券化的迅猛发展。第一类是面临利率风险和流动性风险的银行机构。在利率市场化之前，由于 1933 年银行法 Q 条例的保护，银行发放期限长的固定利率贷款，创造期限短的固定利率存款，可以稳定地赚取期限息差。利率市场化后，银行负债端的活期存款利率开始浮动，利率风险越来越大。更为重要的是，活期存款开始流逝到新兴的非银行金融机构、尤其是货币市场基金，导致银行面临巨大的脱媒压力，亟需解决资产端的流动性问题。第二类是刚刚兴起的机构投资者，尤其是养老金体制改革后爆发的养老基金。这些机构需要配置长期、相对安全的固定收益证券，但住房抵押贷款的非标准化特性使得它们难以企及。

在这种背景下，MBS 市场开始扩张。起初的 MBS 是为了解决住房抵押贷款的流动性问题，购买贷款并将之证券化的主体是两家 GSE，底层资产是信用风险受到严格控制的合规贷款 (confirming loans) 或优先级贷款 (prime mortgage)。这种贷款具有三个特点：第一，借款人需有完整的收入证明，信用评级必须达到优良的标准（信用评级在 620 分以上）；第二，对还款额与收入比 (PTI)、贷款总额与房产价值比 (LTV) 有严格

要求，PTI 和 LTV 分别不能超过 55% 和 85%；第三，贷款利率固定，贷款利率在合约有限期内不变。此外，这些贷款还必须有额外的信用增级措施，例如保险公司提供的担保。

由于资产证券化的唯一目的就是获得流动性，因此，MBS 的设计非常简单：房利美和福利美从银行机构购买贷款组成原始资产池，然后设立证券化管道——特别目的载体（special purpose vehicle, SPV），将原始资产的所有权益让渡给 SPV 以实现真实出售和破产隔离，最后以 SPV 名义发行金额相同、风险和收益相同的同质证券。在这种发行方式下，原始资产池中的现金流没有经过任何变动就被简单地平均分配给各个投资者，SPV 仅仅是一个让渡资产权益的载体，没有其他任何功能，因此，这种证券被称作过手（pass-through）证券。

（二）结构金融

从上世纪 90 年代开始，随着金融衍生品市场的发展，一种以证券化技术为基础、完全新型的金融模式——“结构金融”开始浮出水面。结构金融是以投资银行等金融中介为中心的金融活动（殷剑峰，2006），流程包括三个步骤：第一，打包（pooling），金融中介将原始资产打包到一个资产池（pool）；第二，脱钩（de-linking），通常是通过 SPV 实现真实出售和破产隔离，使得底层资产的收益和价值不受原始权益人和中介机构的行为影响；第三，构造（structuring）——根据投资者的偏好对资产池的风

险和收益特性进行重新构造，进而形成新的证券、即结构金融产品（structured finance products）。

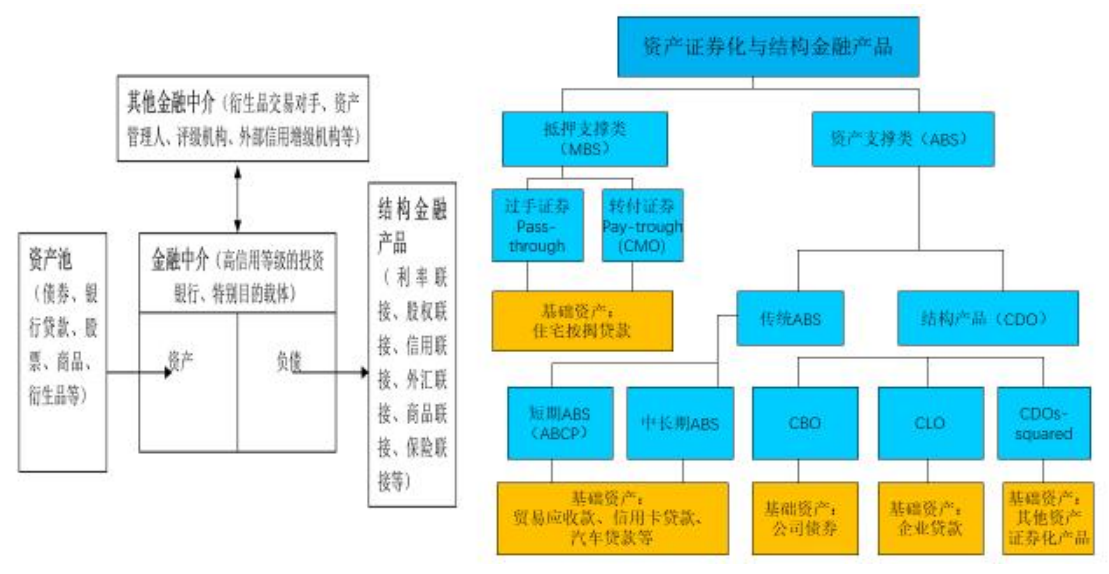


图 1 结构金融与产品

结构金融是资产证券化的延续，但与传统资产证券化存在着显著差异：第一，被证券化的金融工具不再局限于信用风险低、仅需要解决流动性问题的合规住房抵押贷款，还可以包括任何其他资产——甚至可以说，万物都可证券化；第二，金融中介的角色不再是消极地将资产打包分割为简单的标准化证券，而是成为积极的证券设计者和资产管理人；第三，依据打包资产的属性和金融中介对结构的设计，最终形成的结构金融产品可以是同利率、股权、信用等等相关的各种复杂精巧的证券。

结构金融被广泛运用的一个领域就是美国的次级按揭贷款（subprime mortgage，简称“次贷”）。次贷早在上个世纪 60 年代就已经出现，不过，当时不叫这个名字，而是被称作“非

合规贷款”（non-confirming loans）——所谓“非合规”，指的是不能满足房利美和福利美购买要求的贷款，主要有三个特点：第一，借款人的信用品质较差，以低收入的少数族群为主，这些借款人一般缺少信用史料和收入证明，信用评分低于 620 分；第二，PTI 和 LTV 分别超过了 55% 和 85%，不仅借款人的收入远低于其应付贷款本息，而且，许多贷款的首付比低于 20%、甚至是零首付；第三，85% 以上的次贷实行浮动利率，且综合债务负担显著高于优级贷款。为了减轻初期的还款压力，贷款的偿付采用先低后高的方式，即通常在贷款的头两年只需支付很少的月供，两年后“利率重置”——贷款利率按照市场利率大幅度提高。例如，有的次级按揭贷款允许借款人在头两年以低于市场利率水平的固定利率还贷，两年后再转化为利率水平高于市场利率的浮动利率贷款；有的次级按揭贷款允许借款人在开始的阶段只偿还利息，甚至允许出现负的分期摊还（即还款额低于当期需要偿还的借款利息）。

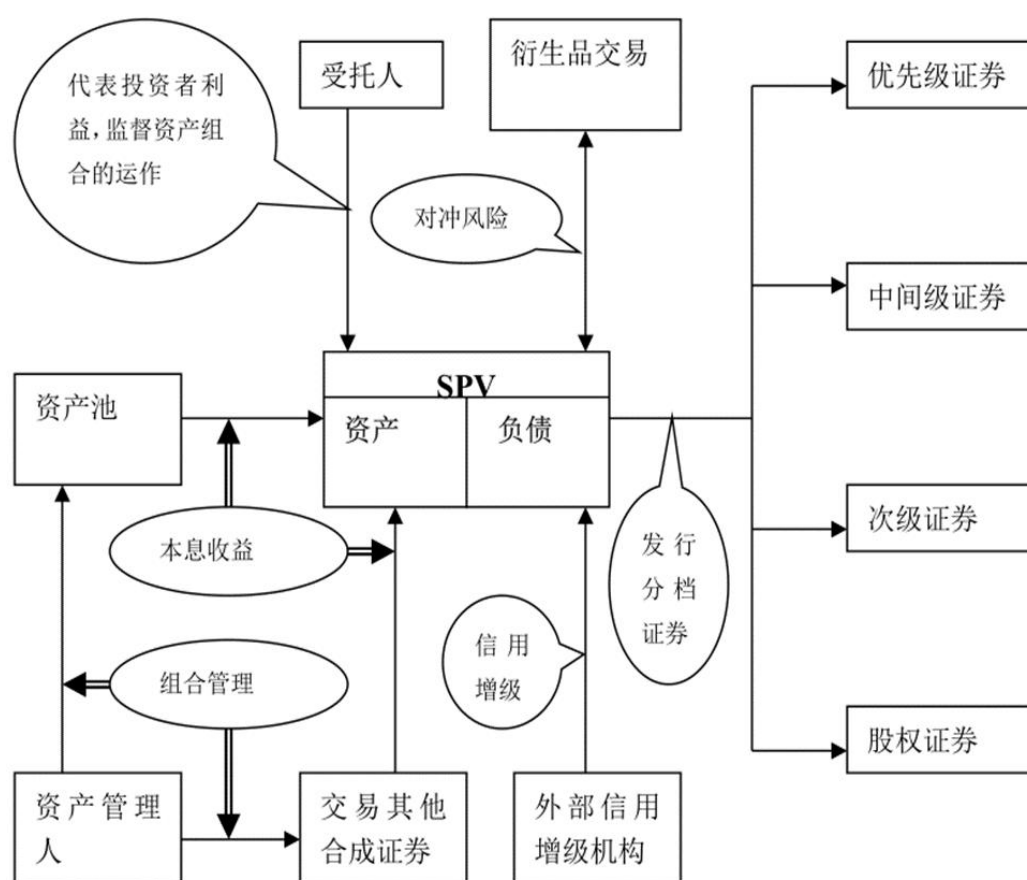


图 2 抵押债务证书 (Collateralized Debt Obligations, 简称 CDO) 的一般结构

显然，与合规贷款的证券化只需要解决流动性问题不同，要将次贷证券化，需要解决其中蕴含的高信用风险问题。否则，风险偏好较低的养老基金、寿险公司以及各国的主权基金等都不会参与到这个市场。一种结构金融产品完成了这项任务：CDO (Collateralized Debt Obligations)。CDO 的种类极其繁多，但结构都大体相同 (图 2)。

首先次贷被打包注入资产池，然后通过 SIV（structured investment vehicle）——一个类似于 SPV、但更加积极的证券化管道——实现破产隔离和真实出售。最终设计出来的证券按照承担信用风险由低到高、投资收益也由低到高依次是优先级证券、中间级证券、次级证券和股权证券。如果底层资产发生违约，则先由股权证券的投资者承担损失，然后是次级证券投资者，依次类推。由此，分档的结构化设计就将高风险、同质化的次贷分割成适应不同风险偏好投资者的证券。此外，CDO 还可以通过信用衍生品交易对冲信用风险，或者利用外部信用增级机构提供信用增级。通过一系列手段，优先级证券通常能够获得接近于国债的信用评级，从而成为美国国内机构投资者和国外主权基金竞相投资的对象。

（三）金融危机

次贷在上世纪 60 年代就已经出现，但规模一直很小。随着以 CDO 为主的结构金融产品的推广，次贷随之也蔓延开来。由于 GSE 发行的证券化产品主要是 MBS，而非 GSE 机构发行的证券化产品主要是包括 CDO 在内的结构化金融产品，比较两者规模即可看到市场的变化（图 3）。



图 3 各类机构资产占美国金融机构总资产的比重 (%)

注：“GSE”为GSE发行的证券化产品占比；“非GSE”为GSE之外的机构发行的证券化产品占比。

数据来源：美国资金流量表。

在1980年，非GSE证券化产品占比尚低于GSE证券化产品占比，到了1990年，前者规模已经相当于后者2倍多，2007年次贷危机爆发时更是相当于后者3倍之多。在结构金融大行其道的同时，银行的业务模式也发生了变化：从原来的“贷款—持有”模式变成了“贷款—分销”模式，即发放贷款之后立刻通过证券化将贷款打包卖给市场。由此导致的一个结果就是，银行资产占金融机构总资产的比重大幅下降（图3）：在1980年，银行资产占比超过了40%，到2000年已经下降到20%。

结构金融不断演化，最终在2007年引发了美国次贷危机，并在2008年10月雷曼兄弟公司倒闭后放大为全球金融危机。事

后来看，危机的爆发一点都不令人奇怪，因为与金融创新相伴的三大潜在风险一直存在。

首先，产品的结构设计忽视了系统性风险。通过分档等结构化设计来分散信用风险，其前提假设是信用风险只是源于个别次贷借款人的特异风险，而不是全国房价同时下降导致的系统性风险。当全国房价同时下降时，所有的次贷都将面临违约，因而即使是优先级证券的投资者也无法避免损失。

其次，忽视了包括贷款银行、评级机构和投资银行在内的金融中介机构的道德风险。在“贷款—分销”模式下，贷款银行将贷款风险转嫁给了证券投资者，自身仅承担极小的风险损失，因而更加倾向于发放利率高、风险也高的次贷，同时，在发放贷款之后也更加疏于监督借款人的行为，从而造成证券化底层资产愈发劣质。三大信用评级机构也是如此，为了获得信用评级带来的收益，普遍倾向于给予 CDO 等结构化产品较高的评级。至于以雷曼兄弟公司为典型的投资银行，为了追求高杠杆带来的利润，甚至是刻意向投资者隐瞒底层资产的劣质，将产品结构设计得愈发复杂，杠杆通过复杂的结构不断放大，从而使得风险能够迅速在金融机构间传染并放大成金融危机。

最后，监管缺失。资产证券化和结构金融不仅横跨传统银行业务和证券业务，更是横跨各国金融体系。但是，在 2008 年前，美国的监管模式是多头分业监管模式，无法有效监控跨市场风险积累和传染。同时，各国监管机构缺乏紧密的国际监管合作，从

而既无法阻止国别风险的相互传染，也无法在危机爆发后提供统一的流动性支持。

三、迈向完备市场：资产代币化

2008 年 10 月，就在雷曼兄弟公司刚刚破产并引发全球金融危机之际，一个化名“中本聪”的“密码朋克”成员发布了题为《比特币：一种点对点的电子现金系统》，并在随后发布的《比特币白皮书》中提出“区块链”的概念。由此，世界上第一种加密货币——比特币诞生，这成为推动 Web3.0 发展的关键事件。随着 Web3.0 时代的到来，人类面对的不仅是现实的物理世界，还有虚拟的数字世界，虚拟与现实相互融合，将会使得未来的状态空间得到极大扩张。如同当年金融自由化扩张了未来状态空间、从而推动资产证券化的大发展一样，Web3.0 时代要求金融活动必须深入到新兴的虚拟世界中，并在虚拟和现实之间搭建信息、资金顺畅流通的桥梁。这种新兴的金融活动就是资产代币化。

（一）Web3.0

Web3.0 是以区块链为核心，通过分布式账本、智能合约和去中心化身份等技术，构建的一个用户拥有数据产权的价值互联网。与当下的 Web2.0 相比，Web3.0 的最根本区别在于用户、而不是互联网中的中心化平台拥有对数据的所有权和控制权。经济活动的基本前提是产权的确立，当数据的产权能够被确立，数据就变成了资产，互联网就从联通共享的只读互联网 Web1.0、

互通交流的读写互联网 Web2.0 演变为能够创造价值的 Web3.0, 数字经济由此就获得了生命力。

以 Web3.0 为基础, 在人工智能技术的加持下, 人类的经济社会生活将迎来一个虚拟数字世界和现实物理世界相互融合扩张的新形态。这种融合将从三个阶段逐步展开:

第一, 数字孪生, 即虚拟世界对现实世界的模仿。通过将现实物理世界的各种设备和资产映射到虚拟数字世界, 形成虚实世界的相互交互。例如, 工业设备的数字孪生将实现远程监控和预测性维护, 城市基础设施的数字孪生将优化交通和能源管理, 医疗设备的数字孪生将提高诊断和治疗效率。

第二, 数字原生, 即虚拟数字世界的原创内容。在这一阶段, 数字世界不再是物理世界的简单模仿, 而是成为独立的价值创造中心。用户可以在数字世界创造原创内容和资产, 这些内容和资产不仅具有数字形式的价值, 而且会影响物理世界。例如, 数字艺术作品可以在数字世界确权和交易, 进而影响物理世界的实体艺术品市场。

第三, 元宇宙, 即虚拟世界与现实世界的完全融合。现实世界依托数字化技术高密度收集、学习和重建数据, 并转化为元宇宙(虚拟世界), 元宇宙依托虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)等技术渗透现实世界, 进而形成虚实融合的人类经济社会生活的新形态。

元宇宙的概念在 2022 年经历一番炒作后迅速冷却，但是，在游戏和电子商务、元宇宙教育（虚拟课堂、远程教育等）、数字医疗等消费和服务领域，元宇宙的应用正在悄然推进（Cantu etc., 2024）：2023 年底，全球游戏市场中的玩家就达到了 34 亿人（占全球总人口的 40% 多），创造了 1880 亿美元的收入；元宇宙教育的收入预计到 2030 年将会达到 240 亿美元，其中，美国（80 亿美元）和中国（30 亿美元）的份额居于前两位。

实际上，与消费和服务业相比，基于 Web3.0 的虚实融合更可能在工业领域率先实现。因为工业领域主要涉及机器之间的交互，在伦理、安全、法律合规方面的要求远低于需要与人交互的消费、服务业，同时，工业领域的技术也更加成熟——早在 2011 年，德国就提出了以网络物理系统（cyber physic system, CPS）为核心技术架构的工业 4.0。

CPS 利用工业机器人、物联网、云计算、人工智能等技术，将现实物理世界中各种机器设备的运行数据采集、传输到分布式网络中，由人工智能对数据进行分析、推理和决策，最后形成对物理设备的控制指令，从而形成数字化、智能化的生产流程。与 Web2.0 的缺陷一样，传统的 CPS 多采用中心化网络结构，限制了跨企业、跨地域的数据传输和协同。利用 Web3.0 中的区块链、去中心化身份、智能合约等技术，改造后的 CPS 可以实现安全可信的身份认证、去中心化的数据共享、自动化执行和透明可信的

价值分配，进而在整条供应链、甚至整个工业领域打造出一个虚实融合的智能化系统。

作为全球制造业规模最大的国家，中国已形成一个重要基础设施，即工业互联网。工业互联网中涉及的技术、理念与工业 4.0 中的 CPS 完全一致，即利用物联网、人工智能、大数据等技术实现人、机、物的全面互联。根据中国工业互联网研究院（工联院，2024）的估算，2024 年我国工业互联网产业的增加值已经达到 5.01 万亿元，占 GDP 比重为 3.81%。由于我国拥有全球最大的 5G 网络，链接物理世界和虚拟世界的工业互联网标识解析体系日趋完善，工业大数据体系基本建成，工业互联网在中国的发展空间巨大。

总之，虽然在技术标准、性能扩展、法律合规等方面还面临诸多挑战，但是，Web3.0 已经从概念阶段进入到规模化应用阶段。截至 2025 年 1 季度，全球 Web3 钱包用户达到了 5.8 亿，较 2024 年增长 40%；Web3 市值突破 4.3 万亿美元，占全球互联网经济的 12%。可以预期，随着物联网、人工智能等技术的快速发展，基于 Web3.0 的虚实融合世界将会很快到来。

（二）资产代币化

代币是基于区块链技术发行、记录在分布式账本上的数字权益凭证。代币具有三个关键属性（BIS，2023），从而使其可以无限逼近状态依存性、原子化的阿罗—德布鲁证券：

第一，可编程性 (programmability)。开发者可以编写代码对代币的发行规则、价值锚定机制、使用场景等进行界定，因此，代币不仅仅是某个资产的数字凭证，而且，它还定义了这种凭证在各种状态下的使用规则。从金融的角度看，这意味着各种衍生品合约（如期权、互换）可以被直接编码到代币中，从而实现代币对特定状态的依存性。

第二，可组合性 (composability) 和可分割性。底层资产不同、使用规则不同的各种代币可以任意组合，同时，代币也可以被无限分割为更小的单位（例如，一个比特币可以被细分为 1000 个代币，每个代币代表 0.001 个比特币）。从金融的角度看，这意味着对代币进行构造 (structure) 以实现新资产组合的能力远远超过了结构金融。

第三，点对点的原子结算 (atomic settlement)。由于代币的可分割性，交易单位也可以无限细分到“原子”级别。同时，利用分布式账本，代币可以直接在区块链的节点之间进行交易，信息流和资金流完全同步，支付就等于结算。整个环节不仅不需要传统的金融中介，而且没有国界约束 (borderless)，从而极大地降低了交易成本。代币的这种特点触及到整个金融体系的最底层功能——支付结算，可能引发一场颠覆传统支付结算体系的金融革命，这是以往包括资产证券化在内的任何金融创新都难以企及的地方。

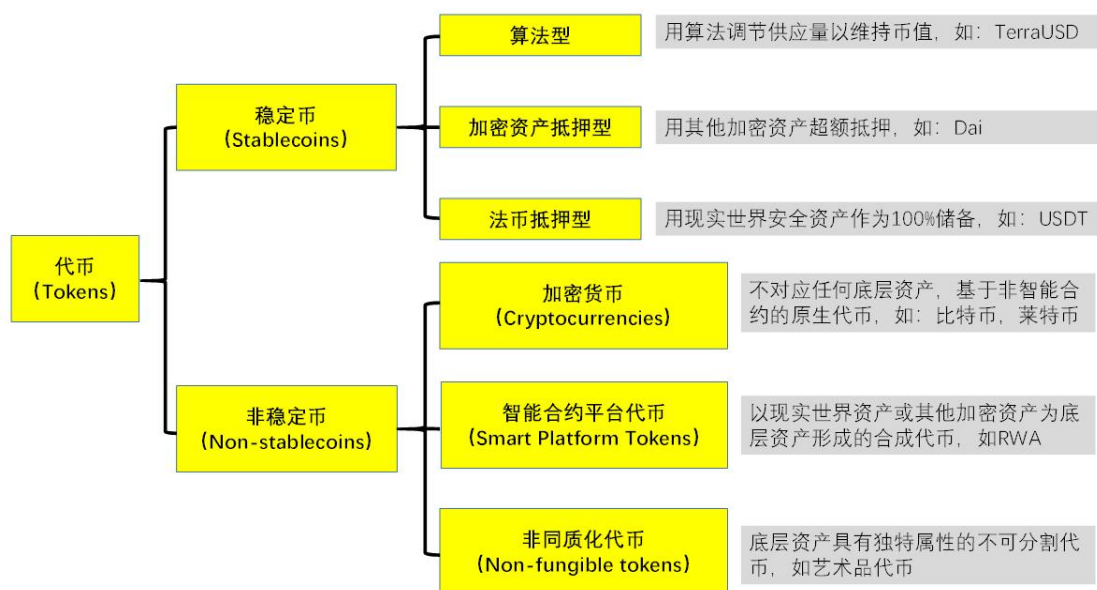


图 4 代币的类型

关于代币的类别，存在多种划分方法，例如，依据代币的发行人，依据代币锚定价值的资产和机制，以及依据代币的功能等。参照相关文献（Makarow and Schoar, 2022），本文根据代币的货币属性和资产属性（货币是资产的一种，但资产未必是货币），将代币分为稳定币和非稳定币两大类（图 4）。

稳定币是一种（试图）在虚拟数字世界中扮演货币角色（价值尺度、交易媒介、支付手段、储藏手段）的代币。按照“稳定”程度由低到高依次有三种类型：第一，算法型稳定币。即利用算法来控制供应量，从而保持“币值”稳定，如 2022 年 5 月崩盘的 TerraUSD；第二，加密资产抵押型。这是利用其他加密资产超额抵押的稳定币，如 Dai；第三，法币抵押型。即用现实世界的安全资产（短期国债、银行存款等）作为 100%储备的稳定币，如 USDT 和 USDC。2025 年美国出台《天才法案》和中国香港出

台《稳定币条例草案》后，法币抵押型稳定币成为人们关注的焦点。这种类型的稳定币是否能够真正实现稳定？与现实世界的货币体系是何种关系？我们在下节进行分析。

非稳定币是虚拟数字世界中经过区块链技术加密的资产。加密资产包含三大类：第一，加密货币。这是虚拟数字世界的原生代币，不同任何资产挂钩。虽然叫做“货币”，但由于其价格大幅波动，根本无法承担价值尺度和交易媒介的功能，只因为数量的稀缺和人们的认可，才成为有投资价值的“虚拟黄金”，如比特币、莱特币等；第二，各种在智能合约平台上开发出来的代币。这类代币以现实世界的资产（股票、债券、贷款、房产等）或虚拟世界的其他加密资产作为底层资产，利用智能合约（smart contract）实现代币的可编程、可组合和可分割，从而构成资产代币化的主体；第三，非同质化代币。以上所有的代币都是同质化、可分割的代币，而非同质化代币则是不可分割的，例如，证明某人在虚拟世界的身份或者拥有某个数字藏品的代币。当然，如同现实世界不可分割的房产权益可以通过证券化进行分割一样，非同质化代币也可以通过代币化变成可分割的同质化代币。

在上述所有的代币中，**除了以比特币为代表的加密货币是原生代币外，其余所有的代币都对应着不同的底层资产，即某种资产被代币化的结果。**例如，法币抵押型稳定币就是现实世界法币的代币，RWA（Real World Asset）是现实世界资产（如股票、房产）的代币。除了一些细节差异外，资产代币化的流程与资产

证券化没有本质的不同：第一，打包，即通过对市场、技术和法律的评估，选择资产形成资产池；第二，匝道（ramp），与资产证券化中的“脱钩”类似，就是将底层资产锁定到发行代币的智能合约平台上，其中一般也需要通过 SPV 实现真实出售和破产隔离；第三，构造，证券化可以利用传统金融体系中成熟的法律监管规定、金融产品设计和发行流通机制，与此相比，代币化的构造环节要相对复杂一些。

在代币化的构造环节，首先需要选择合适的区块链平台和技术框架。以太坊凭借其成熟生态和 ERC-5143 代币标准成为 RWA 的首选公链；Solana 因高吞吐量(2025 年达 2000+ TPS)成为机构级资产代币化的新兴选择；而 Plume Network 作为首个全栈 L1 RWA 公链，通过 SkyLink 协议支持 16 个网络的 RWA 收益分配。技术选型需考虑链上执行效率、数据存储成本、隐私保护需求等因素。例如，迪拜的房地产代币化项目选择以太坊，而泰国橡胶种植园项目则采用 Cosmos 生态，以满足不同司法管辖区的合规要求。

其次是编写智能合约。智能合约是一种自动执行、不可篡改的计算机程序，将现实世界中的法律协议和商业规则转化为代码逻辑，通过预设条件触发自动执行，无需人工干预。智能合约不仅可以进行收益的分配和支付，例如，在房地产代币化过程中，智能合约可以实现租金的自动分配，而且，智能合约还可以满足

特定的风险管理和合规要求，例如，当底层资产的价格波动超过某个阈值后，自动进行资产的处置。

最后，代币化需要解决链下与链上以及跨链的数据对接问题。

这一方面是因为在 RWA 模式下，链上智能合约需要获得链下资产的信息（如价格变动）才能够被触发执行，这种链下和链上的信息传输依靠预言机（Oracle）网络。另一方面，由于分布认证的机制，区块链不可避免地存在着“可扩展性三元悖论”

（Scalability Trilemma）：在安全性、去中心化和可扩展性等三个特性中只能取其二。通过链上与链下的联动，即区块链主链作为负责验证和状态存贮的“信用层”，将大量数据存储和高频交易处理转移到作为“执行层”的链下，以及通过跨链技术实现信息在不同区块链之间的互通，就可以在保持安全性和去中心化的同时，显著提高可扩展性。

（三）去中心化金融

有了在虚拟世界扮演货币并与现实世界实现价值交换的稳定币，有了各种代币化的资产，现实世界的金融活动就可以复制到虚拟数字世界——这就是去中心化金融（DeFi）。目前的 DeFi 种类主要包括：第一，去中心化交易所（Decentralized exchanges, DEXs）。利用智能合约和自动做市商（automated market maker, AMM），DEXs 可以实现点对点的瞬时交易，从而排除交易对手风险；第二，去中心化借贷。这通常是利用加密资产的超额抵押，获得可以在虚拟数字世界进行支付的稳定币；

第三，收益耕作（Yield farming）。这实际上就是在虚拟世界中基于加密资产的财富管理和资产管理；第四，去中心化的保险。

基于资产代币化的 DeFi 还处于发展的早期阶段，有的领域还存在着超高杠杆、过度投机的特征，但是，不能由此而忽略了它的重大意义。

首先，如果说 Web3.0 是未来虚实融合世界的技术基础，那么，DeFi 就是这个世界的金融基础。这里的逻辑也很简单：金融是现代经济的核心，只有当金融能够进入到虚拟世界时，经济活动也才能如此；经济是整个社会活动的基础，当经济活动可以在虚拟世界展开之后，则整个社会活动也能被复制到虚拟世界。作为技术基础的 Web3.0 和作为金融基础的 DeFi 相互促进，共同推进形成虚实相容的新的人类经济社会形态。

其次，在新的虚实融合的状态空间中，DeFi 是通向完备市场的必要途径。如同当年结构金融所具备的金融功能一样（殷剑峰，2006），DeFi 将从克服信息不对称、解决市场不完全问题、打通分割的市场、规避不必要的管制成本等四个方面推动形成阿罗—德布鲁的完备市场。并且，由于代币的可编程性、可组合和可分割性、原子结算等三大基本属性，资产代币化向完备市场的迈进幅度远超结构金融。例如，稳定币为全球数以十亿计、没有银行账户的人们以及那些饱受通货膨胀和货币贬值压力的国家居民提供了可靠的货币服务，非稳定币代币的铸造使得人们可以将财富投资于原先没有能力投资或者根本就不存在的市场和产品。

最后，DeFi 演化的极端场景就是传统金融体系（银行和非银行金融部门）可能会面临集体性的脱媒。上世纪 80 年代的金融自由化只是让传统银行业体会到了脱媒的痛楚，资产代币化不仅会让银行业继续体会可能更加严重的痛楚，也会让传统的资本市场面临前所未有的挑战。银行业面临的脱媒压力类似于货币市场基金造成的结果：设想一下，随着越来越多的人将银行的存款货币转变成稳定币，则银行负债端相对稳定、成本较低的零售存款将会变成越来越多的流动性高、成本也高的同业存款（稳定币发行机构的存款），银行将不得不在资产端收缩期限长、流动性差的贷款，利润空间由此将被极大压缩。资本市场面临的脱媒压力也非常容易理解：如果在虚拟数字世界可以发行代币化的股票、债券，并且，成本更低、流动性更好、全球 7X24 小时交易结算，那么，企业为什么还要在交易所用流程冗长、成本高昂的股票、债券发行来融资呢？

至于未来的国际货币金融体系，可以预期，一个拥有强大 DeFi 的国家一定会用其替代其他国家那些还只是停留在现实世界的传统金融体系——这将不仅是货币替代，是对担负资源时间配置功能的整个金融体系的全方位替代。

四、迈向完备市场的必经之路：风险与危机

金融风险总是与金融创新相伴，重大的金融创新技术要得到普及使用几乎都必须经历金融危机的洗礼。在全球金融危机之后，2010 年美国出台《多德-弗兰克华尔街改革和消费者保护法案》

（简称“多德-弗兰克法案”），通过风险自留、强化信息披露、系统性风险管理、投资者保护、设立金融稳定监督委员会以协调监管等措施，重塑了美国金融监管架构，并对全球金融监管体系产生了深远影响。与资产证券化一样，资产代币化也存在着系统性风险、道德风险、监管缺失等三大潜在风险，而且，这些风险同时存在于链上虚拟世界和链下现实世界。可以设想一下，随着未来代币化资产达到一定的规模，一个意外事件可能就会触发风险在两个世界相互瞬时传染，同频共振，最终造成更加严重的后果。

（一）资产代币化的监管现状

对于资产代币化的监管，欧洲、美国和中国香港都已陆续出台了相关的法律条例。2025 年 7 月，美国众议院通过了天才法案（《指导与建立美国稳定币国家创新法案》）、清晰法案（《数字资产市场清晰法案》）和反 CBDC 法案（《反中央银行数字货币监控国家法案》），在全球最先形成了对稳定币和非稳定币代币进行监管的系统性初步框架。为此，我们就以这个框架为蓝本，简述一下当前监管的状况。

天才法案的目的是将稳定币纳入传统金融监管体系，主要内容包括：第一，要求稳定币发行机构必须持有 100% 的高流动性储备资产，包括美元现金、银行存款和短期美国国债，旨在防止发行机构因储备不足而引发挤兑风险；第二，要求发行机构每月公布储备资产构成，并接受独立第三方审计；第三，建立“联邦-

州”双规监管体系，根据发行机构规模实施差异化监管。市值超过 100 亿美元的发行机构由美联储或货币监理署直接监管，低于 100 亿美元的机构由州级监管负责。值得注意的是，由于传统金融部门（银行和华尔街）的游说，天才法案禁止大型科技公司发行稳定币，从而在一定程度上缓解了传统金融部门的脱媒压力。

清晰法案针对的是稳定币之外的数字资产（非稳定币代币）。该法案将数字资产分为由美国证券交易委员会（SEC）监管的数字证券和由商品期货交易委员会（CFTC）监管的数字商品，从而建立了一个由 SEC 和 CFTC 组成的双重监管框架。数字商品被定义为区块链系统内在关联且价值源于该系统的资产（如比特币、以太坊），而代表所有权、债权和符合 Howey 测试中“投资合同”定义的数字资产被归类为数字证券。数字证券和数字商品并非一成不变，对此，该法案引入了“成熟区块链系统”的认证机制。所谓“成熟区块链系统”是指去中心化（不受任何个人或机构控制）、源代码开源、基于预设规则自动化运行的系统。当区块链系统被认定为“成熟”之后，链上的数字资产将从 SEC 监管的“证券”进阶成为 CFTC 监管的“商品”。这一动态监管框架旨在鼓励开发者推动项目的去中心化，从而推动资本代币化的创新。

反 CBDC 法案相对简单，就是禁止美联储在没有国会授权的情况下面向公众发行零售型 CBDC，同时禁止美联储将 CBDC 用作实施货币政策的工具（例如利用 CBDC 推行负利率政策）。这

一法案一方面可以看成是天才法案的补充，即通过限制政府发行的 CBDC，为私人部门发行的美元稳定币保驾护航；另一方面，这一法案也将起到阻止和弱化其他国家（例如中国）利用 CBDC 摆脱美元的作用，从而强化美元霸权。

（二）资产代币化的三大潜在风险

从目前监管的状况看，基本思路还是将链下的监管框架复制到链上。同时，由于市场发展尚处于早期，监管部门的基本态度还是以鼓励创新为主。因此，针对未来可能发生的风险事件，当前的监管框架尚没有做好应对准备。

首先是系统性风险。现实世界的系统性风险主要来自现实世界资产价格（如股价和房价）的大幅波动，而在资产代币化时代，系统性风险既来自于链下的现实世界，也可能起源于链上的虚拟世界。一方面，当链下资产价格大幅波动时，链上的代币价格也会随之剧烈变化，并触发智能合约的自动清算机制，从而引发链上和链下的连锁反应；另一方面，链上的智能合约在完成部署之后，其代码无法被修改，这虽然确保了规则执行的一致性和可预测性，但也意味着一旦发生挤兑，则系统可能因为多米诺骨牌效应而迅速崩溃。同时，跨链桥使得不同区块链间可以实现信息流、资金流的联动，但也增加了系统的复杂性，尤其是混合型代币（同时包含数字证券和数字商品的 RWA 差评）结构异常复杂，非常类似于 2008 年全球危机时的 CDO。

其次是中介机构的道德风险。DeFi 号称是“去中心化”，但实际上在资产代币化的过程中，既存在链下的传统金融和非金融机构，如银行、证券公司、会计事务所、评级机构等，也存在链上的各种机构，如比特币中的矿工（miners）、以太坊中的验证者（validators）以及各种预言机服务商等。链下机构的道德风险在 2008 年全球金融危机时期我们已经体会到了，而链上机构是否会存在类似风险则不得而知（从人性贪婪的角度看一定会存在）。我们知道的是，技术提供商、区块链平台、DAO 社区等技术控制者不在传统金融监管体系中，却掌握了传统金融机构的核心权力，如资产定价（通过预言机机制）、交易清算（基于智能合约自动执行）、规则制定（依托治理协议修改）等。这种权力转移带来了多重风险，如智能合约开发者可能植入有利于己方的代码（2016 年 The DAO 事件）、验证节点可能合谋操纵交易顺序（51%攻击）等。更为重要的是，链上的中介机构也是高度集中的，例如，比特币前五大矿池占据了 60%的算力，以太坊前 20 名验证者的质押量也高达 60%。高集中度既增加了 51%攻击风险，也成为系统性风险的重要源头。

最后是监管缺失。对于链上和链下同时存在的系统性风险，无论是针对稳定币的天才法案（以下将会分析稳定币存在的问题），还是针对非稳定币的清晰法案都没有预案。对于传统中介机构的道德风险，虽有考虑，例如清晰法案要求项目方强制披露关键信息以及限制内部人员利用信息不对称获利等，但也依然不是没有

瑕疵。例如，天才法案通过储备资产透明度和托管隔离机制防范道德风险，但是，未限制发行机构高管的薪酬与储备管理挂钩，因而可能鼓励冒险行为。至于如何监管链上的那些新型中介机构，清晰法案似乎并不清晰。该法案界定了去中心化的成熟区块链系统，但是，对何为“去中心化”仅提出了七大标准（如无实体持有超过 20% 的代币、价值源于实际使用等），缺乏细化的量化指标，没有明确节点数量和治理机制等具体参数。至于跨国监管合作，在各国缺乏共同标准（例如规范银行业的巴塞尔协议）、甚至对如何发展、是否发展资产代币化缺乏一致态度的情况下，现在远没有进入到议事日程。

（三）稳定币的“稳定性”

上述三大风险是包括资产证券化在内的所有金融创新都存在的共同风险，但是，**资产代币化还存在一个独特的风险——稳定币的“稳定性”问题**。在算法、加密资产抵押、法币抵押等三种稳定币中，2022 年 TerraUSD 的崩盘已经证明算法稳定币根本不稳定，那么，被认为最稳定的法币抵押型稳定币就一定稳定吗？

首先来回顾一下算法稳定币 TerraUSD 的机理和崩盘的原因。TerraUSD 算法试图通过一种自动做市机制来维持其 1 美元的平价：该算法允许 TerraUSD 的持有者、即“矿工”（miners）始终能够以面值 1 美元赎回 TerraUSD。不过，算法不是直接给予矿工 1 美元，而是按照当时的市场价格 p 给予矿工另外一种代币“Luna”，矿工可以将获得的 Luna 在加密交易所中出售给其他

投资者从而最终获得 1 美元。例如，假设 TerraUSD 的价格跌破 1 美元面值，比如说 0.9 美元，则算法发行 $1/p$ 的 Luna 赎回矿工持有的 TerraUSD，矿工在市场以价格 p 出售 $1/p$ 的 Luna 获得 1 美元，从而赚取了 0.1 美元的套利。这种套利活动的不断持续最终将会推升 TerraUSD 的价格回归其 1 美元的平价。

TerraUSD 的套利机制看似设计得很合理，但是，它忽视了一个关键问题——市场流动性（market liquidity）：如果 Luna 交易的市场丧失了流动性，以至于 Luna 无法以当前的价格 p 出售，则套利机制就失去了功能，从而发生 Luna 价格下跌、TerraUSD 价格下跌的恶性循环。2022 年 5 月 9 日，当 TerraUSD 价格跌破 1 美元平价时，Luna 的价格也开始下跌，短短 3 个交易日，Luna 的价格就跌到了零，而 TerraUSD 的价格跌到不值 20 美分。

市场流动性同样也是法币抵押型稳定币面临的问题。法币抵押型稳定币非常类似于“传统”金融机构、例如货币市场基金，两者都是以其资产端的安全资产作为 100% 的抵押，在负债端发行对应的金融工具（稳定币和基金单位）。当负债端遭遇到赎回压力时，稳定币发行公司或者货币市场基金都需要将资产端的储备资产售卖之后，才能在负债端完成持有人的赎回要求。如同 Luna 一样，如果资产端储备资产交易的市场丧失了流动性，就会发生资产价格下跌、负债端金融工具价格下跌的恶性循环。传统

的银行挤兑也是类似机理，即极端情况下负债端和资产端同时丧失了流动性。

这里就涉及到另外一种流动性——融资流动性（funding liquidity）。传统的银行或者货币市场基金在面临挤兑或赎回压力时，可以通过同业拆借市场获得融资，或者在最坏情况下，可以获得央行的再贷款，从而无需售卖资产来满足负债端的流动性要求。这种（挤兑）事后的融资便利使得事前发生挤兑事件的概率大幅度下降。

所以，BIS 的报告认为（Aldasoro etc., 2023），融资流动性是获得真正流动性的根本保障，而这正是稳定币发行机构所缺乏的属性。在 2023 年 3 月硅谷银行危机期间，USDC 的发行公司 Circle 在硅谷银行的 33 亿美元存款被困，这导致 USDC 的价格在 24 小时内就跌至 0.88 美元，链上赎回额达到 28 亿美元。在美联储对硅谷银行实施救助之后，USDC 才恢复平价。事后人们才意识到，正是作为最后贷款人的央行在救助硅谷银行的过程中，“顺便”挽救了 USDC。

稳定币的不稳定是资产代币化发生系统性风险的一大溯源。

由于稳定币既扮演着虚拟世界“货币”的角色，又成为虚拟世界和现实世界进行价值交换的桥梁，稳定币遭遇挤兑将不仅仅是资产价格暴跌的金融危机，也将是其锚货币的货币危机。对于这一潜在风险，BIS（BIS, 2023）给出的解决方案就是将现实世界的双层货币结算系统（基础货币和银行存款货币）全部代币化，形

成新的金融基础设施——统一账本（unified ledger），从而既能推动资产代币化的创新，又能改造老的金融体系。但是，美国的反 CBDC 法案已经对此予以了否决。

五、结语：新的大航海时代

15 世纪明朝的禁海和西方的大航海开启了东西方实力的大分流之路（殷剑峰，2023）。从那之后，曾经一直遥遥领先的东方逐步衰落，而西方不仅发现了新的地理世界，更是凭借光荣革命（建立了近现代的财政体制）、金融革命（建立了近现代的货币金融体系）、最终是工业革命实现了对东方实力的全面赶超。

人类社会正在进入一个新的大航海时代。在现实物理世界，人类的足迹将会迈向月球、火星，从而开创新的太空高边疆；同时，以 Web3.0 作为技术基础，以 DeFi 作为金融基础，人类的金融、经济和社会活动将会在虚拟数字世界逐步展开。虚拟世界与现实物理世界相互融合，未来的状态空间将会极大扩张，从而形成新的经济社会形态。

对于 Web3.0、稳定币和数字资产，美国的监管态度经历了从敌视到拥抱的转变。2021 年 12 月，美国众议院金融服务委员会举行听证会，主题为“数字资产和金融的未来：理解美国金融创新的挑战和益处”。与此前议员们对加密资产的敌视态度不同，此次听证会聚焦于稳定币监管和去中心化技术的优势，得出的结论就是：“要确保 Web3.0 革命发生在美国”。2022 年 3 月，时任美国总统拜登签署了《关于确保负责任地发展数字资产的行

政命令》，要求用数字资产技术加强美国在全球金融体系中的领导地位。2022 年 6 月，跨党派立法提案《负责任的金融创新法案》，指出要对数字资产进行界定和分类，加强数字资产审查标准，推动联邦部门协调，“务实地”回应 Web3.0 在监管中遇到的问题。最终，在 2025 年 7 月，美国众议院通过了天才法案、清晰法案和反 CBDC 法案，从而建立了一个稳定币、数字资产乃至数字金融的系统性战略框架。

在 2025 年 7 月的三个法案背后是美国的三个“阳谋”：第一，通过美元稳定币的发行来支撑美债。预计在 5 年后美元稳定币的规模将会达到 2 万亿美元，其中购买美国国债将会达到 1.4 万亿美元，稳定币发行机构由此将会超过日本，成为美债的最大持仓者；**第二，打造全球统一的资本市场。**利用代币的可编程性、可组合和可分割性、7X24 小时全球的原子结算，以去中心化交易所为平台，吸引全球优质资产进行代币化发行和交易，从而让包括传统资本市场在内的整个传统金融体系被集体性地脱媒；**第三，实施美元替代。**原子结算已经赋予了美元稳定币强大的货币替代能力，全球统一的资本市场更是为美元稳定币提供了极其丰富的业务场景。在这种情况下，其他国家面临的将不仅仅是本国货币被替代的问题，而是本国金融体系被美元 DeFi 所取代。

就在美国对数字资产态度发生转变的 2021 年 12 月，中国颁布了《“十四五”数字经济发展规划》，明确提出到 2025 年中国的数字经济将要迈入扩张期。显然，如果说金融是现代经济的

核心，那么，数字经济的发展就必须、也只能以数字金融的发展为根本前提。展望未来，如同当年资产证券化最终演化为 2008 年全球金融危机一样，资产代币化一定会产生这样或那样的风险、甚至是危机，但是，归根到底，风雨之后现彩虹。

(参考文献略)