

现实世界资产（RWA）通证化与托管机制的融合：技术协同、区域实践与未来路径

黎建达

上海财经大学金融学院，上海

DOI:10.62836/ssr.v3n1.1037

摘要：区块链驱动下，现实世界资产（RWA）通证化正改变全球金融资产配置。托管机制与通证化技术结合，有助于突破传统金融瓶颈。本文通过全球和亚洲典型案例，分析RWA通证化的技术基础、托管机制演变及智能合约创新，并探讨中国香港、新加坡等地的监管实践，识别跨区域合规与技术的挑战。从技术、监管、生态三个维度提出系统性发展路径。RWA通证化与托管机制的协同发展需立足资产属性构建差异化方案，通过技术创新平衡安全与效率，实现现实资产与数字金融的深度融合。

关键词：现实世界资产；通证化；托管机制；智能合约；区块链；区域监管；金融创新

Integration of Real-World Assets (RWA) Tokenization and Custody Mechanisms: Technological Synergy, Regional Practices, and Development Pathways

Kin-Tat Lai

School of Finance, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai

Abstract: Driven by blockchain technology, the tokenization of real-world assets (RWA) is reshaping global financial asset allocation. The integration of custody mechanisms with tokenization technology helps overcome traditional financial bottlenecks. This paper analyzes the technological foundations, evolution of custody mechanisms, and smart contract innovations in RWA tokenization through global and Asian case studies. It examines regulatory practices in Hong Kong, Singapore, and other jurisdictions to identify cross-regional compliance and technical challenges. A systematic development pathway is proposed across three dimensions: technology, regulation, and ecosystem. The synergistic advancement of RWA tokenization and custody mechanisms requires tailored solutions based on asset characteristics, balancing security and efficiency through technological innovation to achieve deep integration between physical assets and digital finance.

Keywords: Real-world Assets; tokenization; custody mechanisms; Smart Contracts; Blockchain; regional regulation; financial innovation

1 引言

全球金融市场正经历由区块链技术引领的数字化转型，传统金融体系中存在的中介依赖、结算周期长、资产流动性不足等痛点，推动市场寻求新的资产配置范式。现实世界资产（Real World Assets, RWA）通证化作为连接实体资产与数字经济的核心载体，通过将房地产、大宗商品、知识产权等有形及无形资产转化为区块链上可交易的数字代币，打破了传统资产的交易壁垒，实现了流动性提升、投资门槛降低与全球市场接入的多重价值[1]。

托管机制作为金融交易中的风险防控核心，在RWA通证化场景中承担着所有权确认、交易履约保障、收益分配监管等关键职能。传统托管依赖银行、律师事务所等中心化机构，存在成本高、效率低、单点风险等局限；而区块链技术驱动的智能合约托管，通过自动化执行、透明可追溯、去中心化架构，为RWA通证化交易提供了更安全高效的信任基础[2]。二者的深度融合不仅重构了资产交易的底层逻辑，更成为推动数字金融从投机属性向实体经济赋能转型的重要路径，尤其在亚洲市场，新加坡、中国香港等金融枢纽的监管创新与实践探索，正为全球RWA托管机制的发展提供新的参照。

本文结合RWA通证化技术与托管机制的演变，提出“技术-制度-场景”分析框架，补充了相关领域跨区域与跨场景协同机制研究的不足。通过梳理亚洲典型案例和监管路径，为资产方、金融机构及监管部门提供操作参考，有助于解决合规、技术适配和信任等核心问题，推动RWA市场规范化发展。文章聚焦于智能合约托管如何应对信任与履约挑战，不同资产类型对托管设计的要求，以及亚洲监管创新对全球RWA发展的启示，并探讨跨司法区合规与生态适配的突破路径。

2 核心理论与技术基础

2.1 RWA通证化的定义与技术架构

RWA通证化是指通过区块链技术将真实资产的所有权、收益权或债权转化为数字代币，实现资产权利的数字化登记、交易与管理的过程。其核心

价值在于依托区块链的不可篡改性、透明性与去中心化特性，解决传统资产证券化中的信息不对称、交易效率低下等问题，具体优势体现在流动性创造、普惠性提升、成本优化三个维度：相较于传统资产证券化T+2结算、地域受限的特点，RWA代币可实现7×24小时全球跨链交易；通过拆细所有权（fractional ownership）的设计，将投资门槛降至1美元级别，激活长尾投资需求；智能合约自动化执行替代人工干预，使发行成本降低50%，周期从6-12个月缩短至7天以内[3]。

技术架构层面，RWA通证化需依托“底层区块链-中间件-应用层”三级体系：底层区块链提供分布式记账与安全保障，以太坊2.0通过PoS共识机制与分片技术，实现了安全性、效率与扩展性的平衡，成为主流技术选择[4]；中间件包括预言机（Oracle）、隐私计算模块，解决链下资产数据上链的真实性验证与敏感信息保护问题，如蚂蚁集团Ensemble平台采用零知识证明技术实现数据“可用不可见”；应用层则根据资产类型设计代币标准与交易规则，如证券型代币采用ERC-1400、ERC-3525等标准，确保合规性与权益可追溯。

2.2 托管机制的演进与类型划分

托管机制的核心功能是通过中立第三方介入，保障交易双方履约，降低交易对手风险，其发展历程可分为传统中心化托管与区块链智能合约托管两个阶段。传统托管以银行、律所、专业托管机构为主体，通过人工审核与书面协议执行，流程包括合同签订、资产存入、条件验证、资产释放四个环节，但存在成本高（高额服务费）、效率低（手动流程导致延迟）、中心化风险（单点故障与欺诈隐患）等局限，难以适配RWA通证化的高频、跨域交易需求。

区块链智能合约托管实现了托管功能的自动化与去中心化，其运行逻辑基于预编码的合约条款，无需第三方介入即可完成资产锁定、条件验证与自动释放：交易双方协商的条款（如资产交付标准、收益分配比例、违约处理规则）被写入智能合约并上链；买方将资金或代币转入合约地址，卖方完成

资产确权或交付义务；通过预言机或物联网设备验证条件达成后，合约自动执行资产划转，未达成则启动资金返还机制。相较于传统模式，智能合约托管具有成本更低、效率更高、透明性更强、去中心化风险可控等优势，成为RWA通证化场景的核心托管形态[5]。

2.3 二者融合的核心协同机制

RWA通证化与托管机制的融合并非简单叠加，而是形成了技术互补、功能协同、风险共控的有机整体，核心协同点体现在四个方面：一是自动化履约协同，智能合约托管将通证化资产的交易规则与履约条件深度绑定，实现“资产上链-条件验证-权益分配”全流程自动化，解决RWA通证化中的所有权转移安全与收益分配效率问题；二是透明度协同，区块链的分布式账本特性使托管过程中的资产流向、交易记录、条件验证结果全程可追溯，既强化了投资者信任，又降低了监管合规成本；三是流动性协同，拆细所有权带来的小额投资需求，通过智能合约托管实现资产份额的安全交易与快速清算，进一步放大RWA通证化的流动性提升价值；四是生态适配协同，托管机制作为连接RWA与DeFi生态的桥梁，使通证化资产可作为抵押品接入借贷、理财等场景，拓展资产应用边界的同时，通过托管规则控制跨生态风险。

3 典型场景与监管实践

3.1 典型应用场景与托管设计

RWA资产的通证化特征决定了托管机制需根据不同资产类型进行差异化设计，应遵循“资产适配”原则制定场景化方案。以下是三种典型应用场景：

1. 新能源资产：如充电桩和光伏电站等重资产项目，通证化时更侧重于收益权而非所有权。托管机制核心在于确保收益数据的真实性与分配的自动化。例如，朗新科技与蚂蚁数科合作开展的充电桩RWA项目，利用物联网设备实时采集充电量及收益数据，上链后交由智能合约自动完成每日收益分配。该项目采用ERC-1400代币标准，在香港合规交

易平台实现私募发行，托管节点包括发行方、审计机构与监管部门，保障收益权流转的合规性。通过“物联网+智能合约”的双重验证，解决了绿色资产通证化中“漂绿”问题，为ESG投资提供可信支撑。

2. 房地产资产：重点通过细分所有权降低投资门槛，同时确保产权合法和交易安全。香港首只合规房地产REITs STO项目，以甲级写字楼租金收益权为基础资产，通过SPV架构转化为ERC-1400代币。在联盟链（Hyperledger Fabric）上搭建私有账本，由发行方、律师事务所和香港中央证券存管处等节点参与，实现智能合约自动租金分红和代币交易结算。该项目最低认购金额仅为10万港元，大幅降低传统REITs门槛，同时30天价格波动率仅5%，充分展示托管机制对投资稳定性的支持。

3. 金融资产：涵盖货币基金、债券等传统金融产品，托管机制需优先满足合规和流动性要求。例如华夏人民币数字货币基金作为通证化货币基金项目，采用“稳定币+主权债券基金”模式，由持牌交易所托管，实现T+0结算和1:1赎回。智能合约内嵌合规规则，自动甄别合格投资者，接入央行监管系统，确保资金流向和交易全程可监管，为金融资产数字化转型提供了稳健合规的基础。

3.2 亚洲区域的监管实践

亚洲地区凭借清晰的监管导向与活跃的实践探索，已成为RWA通证化与托管机制融合发展的核心阵地，其中新加坡与中国香港的路径最具代表性，形成了“监管沙盒+标准化框架”的特色发展模式[6]。

新加坡金管局（MAS）通过Project Guardian推动行业协作和资产通证化的监管创新，2023年修订《支付服务法案》，将证券型代币纳入监管，并制定智能合约托管标准，为机构参与提供明确预期。中国香港采用“政策宣言+牌照制度+基础设施”三位一体模式，出台虚拟资产相关政策并实施虚拟资产服务提供者（VASP）牌照制度，2025年8月起施行《稳定币条例》。HKMA推出Project Ensemble沙盒支持RWA通证化测试，通过SPV架构助力内地资

产跨境合规转化，为中国企业拓展全球市场创造条件。中国内地对加密货币交易较为谨慎，但积极推进区块链技术标准建设。2025年3月，《可信区块链实体资产可信上链技术规范》立项，为RWA托管机制提供国内标准，促进“香港实践+内地标准”的协同发展。

4 发展路径建议

4.1 技术创新：强化安全与效率的平衡

技术层面的挑战集中在三个维度：1）智能合约存在安全风险，代码漏洞或逻辑失误可能导致重大资产损失，RWA通证化更需谨慎；2）链下数据与链上合约协作中，预言机面临数据篡改和单点故障等问题，影响托管有效性；3）区块链可扩展性和兼容性不足，难以支撑大规模交易，不同平台标准不一，跨链托管困难。此外，量子计算的发展对现有加密技术构成威胁。

为解决上述问题，可从三方面入手：一是加强智能合约安全，例如推行代码验证、第三方审计及AI漏洞检测；二是优化跨链与数据验证能力，发展去中心化预言机和统一协议，实现区块链协同；三是布局量子抗性技术，并通过分片和Layer2扩容提升区块链性能，以适应大规模RWA交易需求。

4.2 完善监管：构建分层分类与国际协同框架

RWA通证化和托管机制在全球范围内与各国不同的监管政策存在冲突，这带来了主要挑战。美国SEC将RWA代币视为证券，需注册与披露；欧盟MiCA规定了相关规则，但27成员国之间需协调利益；中国尚未明确许可，可能被视为变相ICO。监管差异导致跨境交易合规难度大，例如大陆企业若通过香港发行RWA，需要同时满足内地与香港的法律要求，增加了合规成本。此外，国际上缺乏统一托管标准，智能合约法律效力也未达成全球共识，加剧了风险。

监管建议包括：一是按资产风险分级，低风险RWA简化管理，高风险加强监管和准备金要求；二是推动区域及国际监管合作，借鉴中国香港、新加坡经验，并与国际组织协作，制定统一标准与托

管操作规范，解决跨域合规难题；三是完善国内监管体系，明确RWA的许可类别与监管边界，将智能合约纳入监管科技应用，实现对托管流程的实时监管。

4.3 生态构建：强化多主体协同与标准化建设

RWA通证化与托管机制的落地需监管机构、技术开发商、金融机构、资产所有者、投资者等多主体协同，但当前生态仍存在碎片化问题：技术开发商聚焦底层技术，缺乏对资产特性与合规要求的深度适配；金融机构受传统业务模式限制，对智能合约托管的接受度不足；投资者面临技术门槛与认知偏差，对去中心化托管的信任度低于传统中心化机构。此外，不同资产的特性差异导致托管方案难以标准化，如房地产需兼顾产权登记与租金分配，知识产权需关注侵权风险，定制化方案的开发成本高、复用性低，不利于生态规模化扩张。

生态层面需推动“标准统一+主体协同”：一是加快行业标准制定，以《可信区块链实体资产可信上链技术规范》为基础，联合国际机构制定RWA通证化与托管的技术标准、数据接口规范、合约模板，提升方案复用性；二是构建多主体协作平台，鼓励监管机构、技术企业、金融机构、资产所有者组建联盟，共同参与托管机制设计与场景测试，如依托蚂蚁Ensemble、HKMA Project Ensemble等平台，形成可复制的行业模板；三是加强投资者教育与市场培育，简化用户操作界面，降低技术门槛，同时通过案例宣传与知识普及，提升市场对智能合约托管的信任度，激活多元化投资需求。

参考文献

- [1] 韩立岩. RWA的创新思路与商业模式研究[J]. 国际金融, 2025(06): 61-70.
- [2] Schär, F. Decentralized finance: on blockchain-and smart contract-based financial markets. FRB of St. Louis Review, 2021.
- [3] Riabokin, M., & Kotukh, Y. RWA-tokenization as a tool for attracting investments and developing post-war Ukraine. Global Scientific and Academic Research Journal of

- Economics, Business and Management, 2024, 3(11): 64-77.
- [4] Radziwill, N. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World. The Quality Management Journal, 2018, 25(1): 64-65.
- [5] Cong, L. W, & He, Z. Blockchain disruption and smart contracts. The Review of Financial Studies, 2019, 32(5): 1754-1797.
- [6] Ren, C., Lu, L., Ye, N., et al. Real-World Asset (RWA) tokenisation in Asia: emerging use cases and regulatory pathways. Oxford Business Law Blog, 2025.

Copyright © 2026 by author(s) and Global Science Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access