

基于微服务架构的区块链体系与应用范式研究

肖楚乔¹, 刘竹森², 倪雄¹, 薛立德¹, 杨昊¹, 高丽¹

- 上海市大数据中心, 上海, 200072;
- 上海浦江数链数字科技有限公司, 上海, 200443

摘要

数字经济纵深发展背景下, 区块链已成为关键基础设施, 但传统单体区块链架构在规模化应用中面临三大瓶颈: 共性能力难复用、架构演化受限、与现有IT技术栈融合困难。本研究系统梳理区块链与微服务的技术演化脉络, 从架构同构、机制协同、解耦一致三个维度论证二者融合的内在逻辑, 阐明从“模块化”向“微服务化”转型的必要性与可行性。在此基础上, 提出四层架构模型, 自下而上依次为: 核心基础设施层、区块链微服务核心层、微服务网关与编排层、典型应用范式层。基于云原生技术栈将区块链核心能力拆解为标准化微服务组件, 辅以微服务全生命周期管理体系, 保障系统安全性和可观测性。遵循领域驱动设计(DDD)原则, 通过限界上下文划分核心子域、支撑子域与通用子域, 构建可信数据存证溯源、可信数据要素流通、可信智能跨域协同三大标准化应用范式, 并指明了具体应用场景。该技术体系将区块链共性能力解耦复用, 有效降低跨行业应用门槛, 为区块链打破封闭单体架构、迈向开放式服务生态提供了系统性的理论支撑与可落地的实践路径。

关键词

区块链; 联盟链; 微服务; 云原生; 数据要素流通; 智能协同

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.BDR26070

Research on Blockchain Systems and Application Paradigms Based on Microservice Architecture

XIAO Chuqiao¹, LIU Zhusen², NI Xiong^{1,2}, XUE Lide^{1*}, YANG Hao¹, GAO Li¹

- Shanghai Municipal Big Data Center, Shanghai 200072, China;
- Shanghai Pujiang Digital Chain Technology Co., Ltd., Shanghai 200443, China

Abstract

Against the backdrop of the deepening development of the digital economy, blockchain has emerged as a critical infrastructure. However, traditional monolithic blockchain architectures face three major bottlenecks in large-scale adoption: difficulty in reusing common capabilities, limited architectural evolution, and poor integration with existing IT technology stacks. This study systematically reviews the technological evolution of both blockchain and microservices, and demonstrates the inherent rationale for their integration from three dimensions—architectural isomorphism, mechanistic synergy, and decoupling consistency—thereby clarifying the necessity and feasibility of

transitioning from a “mode” to a “microservitized” architecture. On this basis, a four-layer architectural model is proposed, consisting of, from bottom to top: the Core Infrastructure Layer, the Blockchain Microservices Core Layer, the Microservices Gateway and Orchestration Layer, and the Typical Application Paradigm Layer. Using a cloud-native technology stack, the core capabilities of blockchain are decomposed into standardized microservice components, complemented by a full lifecycle management system for microservices to ensure system security and observability. Following the principles of Domain-Driven Design (DDD), bounded contexts are used to delineate core subdomains, supporting subdomains, and generic subdomains, resulting in the construction of three standardized application paradigms: trusted data certification and traceability, trusted data element circulation, and trusted intelligent cross-domain collaboration, each with clearly defined application scenarios. This technical system decouples and reuses the common capabilities of blockchain, effectively lowering the barriers to cross-industry application. It provides systematic theoretical support and a practical implementation path for blockchain to break away from closed monolithic architectures and move toward an open service ecosystem.

Key words

Blockchain, Consortium Blockchain, Microservice, Cloud-Native, Data Element Circulation, Intelligent Collaboration

1 引言

数字经济纵深发展，区块链已成关键基础设施，广泛服务于全球数据交易、金融结算、国际贸易、政务民生，驱动产业数字化转型^[1-3]。国内区块链产业历经培育，如今规模应用与创新突破并行。政产学研用协同发力，探索实体经济深度融合新模式，共绘高质量发展蓝图。政策指明发展方向。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》明确提出，要壮大数字经济核心产业，发展新一代通信技术、云计算、区块链等产业，提升高端芯片、光电子器件、基础软件和工业软件等产业水平，打造具有国际竞争力的数字产业集群。工业和信息化部、中央网络安全和信息化委员会办公室联合印发《关于加快推动区块链技术应用与产业发展的指导意见〔2021〕62号》（以下简称“意见”）。意见指导思想强调：一是以深化实体经济和公共服务领域融合应用为路径，加强技术攻关，夯实产业基础，壮大产业

主体，培育良好生态，实现产业基础高级化和产业链现代化。二是推动区块链和互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术融合，建设先进的区块链产业体系。未来，区块链技术须紧扣政策，面向场景迭代技术，升级服务能力，连接技术演进与产业需求。

我国区块链应用以联盟链为主^[4-5]，但规模化落受困于传统“单体区块链架构”，三大局限日益凸显：1. 融合难：难与云计算、微服务等现有IT技术栈兼容；2. 复用低：核心能力难以共享，重复造轮子；3. 灵活性差：架构调整迟滞，响应变化慢^[6-9]。这导致应用门槛居高不下，难以适配实体经济多元需求。事实上，区块链本质是“组合式创新”。它曾通过架构设计，将原本孤立的核心构件整合，建立了全新的可信协作范式。这一特性为向微服务转型提供了天然起点^[10-11]。从技术演化看，从“模块化”迈向“微服务化”，具备历史连续性和技术合理性，是打破瓶颈、深度融合产业的必然选择。

本文立足技术演化脉络，探究微服务架构下的区块链体系与应用范式。全文结

构安排如下：第2节梳理演进历程，剖析瓶颈，明确微服务化的内涵与逻辑；第3节构建四层架构模型，阐释设计逻辑与组件功能；第4节结合领域驱动设计，说明三大应用范式的构建思路与典型场景；第5节总结全文并展望未来。

2 区块链的微服务化

区块链技术历经数十年演化，立足于数十年计算机科学与密码学的深厚积淀，从早期比特币的单一公有链形态，逐步分化出联盟链、私有链等多元路线，再经共识机制迭代、智能合约引入、跨链互操作等阶段，最终走向模块化架构^[12-16]。与此同时，微服务架构于2014年由Martin Fowler正式提出^[17]，其要旨是将大型单体应用拆解为若干轻量、自治的服务单元——每个单元拥有独立的进程、网络地址与数据存储，通过HTTP、gRPC等标准协议相互通信，由此获得独立部署、故障隔离、弹性伸缩和自动化运维等能力。两条技术线索看似独立，实则在演化轨迹和核心问题域上高度重合，为融合奠定了基础。

如图1所示，区块链与微服务的演化进程大致可划分为四个阶段。2008—2013年（起步期）：区块链以比特币为起点，专注于数字货币场景；微服务则处于SOA向轻量化服务过渡的萌芽期，二者各自探索分布式范式，尚无明确交集。2014—2017年（成长期）：以太坊引入智能合约，大幅拓展了区块链的应用边界；同期Docker容器化普及、Spring Cloud等框架成熟，微服务理念正式确立，二者同步推进组件化与解耦化转型。2018—2021年（爆发期）：跨链协议与DeFi兴起，区块链向多

链互操作演进；Kubernetes、Istio等技术则将微服务编排与服务网格推向成熟，二者在“复杂系统协同”这一核心问题上深度趋同，微服务的工程经验开始为区块链架构演化提供借鉴。2022年至今（融合期）：区块链通过Layer2扩容、跨链桥接和模块化拆分^[18-20]向“链互联网”演进；微服务则随Serverless、Knative、边缘计算进入云原生时代。此阶段，两者均以“解耦、复用、协同”为核心取向，设计理念深度契合，微服务化转型的理论与实践条件已然成熟。

区块链微服务化并非技术的简单叠加，其内在逻辑根植于三方面的天然契合。其一，架构同构。微服务主张“拆分复杂、聚焦单一、接口标准”；模块化区块链同样将共识、执行、存储分层解耦，各模块独立迭代升级。Polkadot的中继链与平行链协同模式、API网关模式，均可直接映射为微服务组件，无需额外改造。其二，机制协同。微服务所依赖的服务自治、分布式协同与弹性容错，与区块链的运行机制天然契合：PoS、PBFT等共识算法^[21-22]本质上是去中心化的服务自治协议，区块链固有的容错特性亦可补强微服务的熔断与降级策略；Polkadot的XCMP协议、Cosmos的IBC协议与主流微服务通信协议兼容，容器弹性扩容与区块链分片扩容在机制上一脉相通。其三，解耦一致。微服务按业务领域划定边界，接口标准化、数据隔离；区块链则将共识、合约执行、数据存储等核心功能分层拆分、按需组合。共识服务、智能合约执行引擎等均可封装为独立微服务组件，供不同业务场景调用，在提升系统灵活性的同时，也显著降低了开发与运维成本。

三方面契合共同说明，区块链向微服务化演进具有充分的技术依据，而非强行

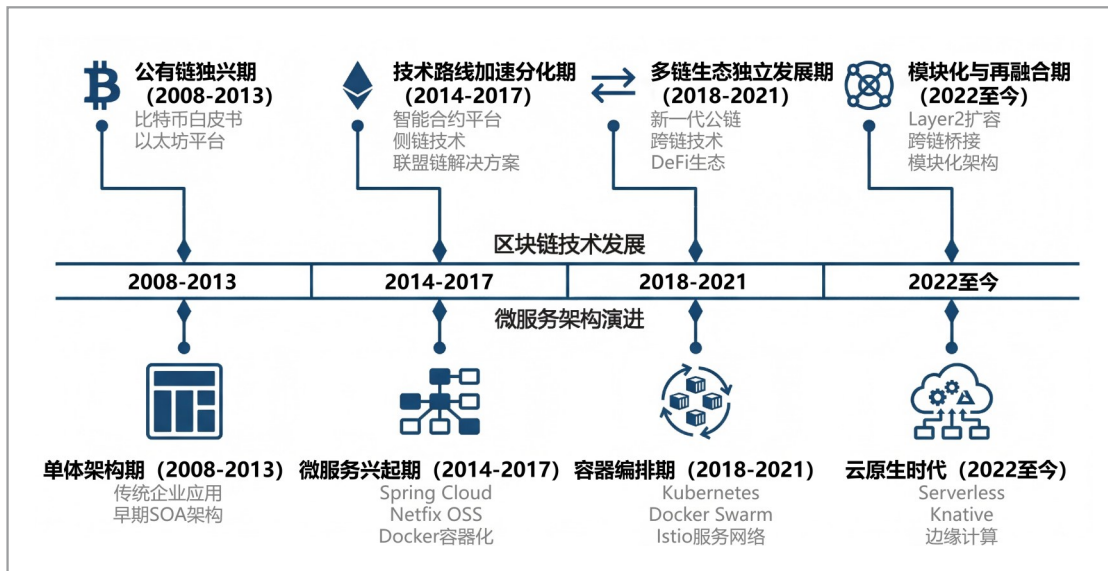


图1 各时期区块链与微服务发展对比图

移植。这一转型路径既能释放微服务架构在工程层面的成熟红利，又能保留区块链不可篡改、去中心化信任的核心特性，是突破当前规模化应用瓶颈的可行选择。

3 纵向深化——基于微服务架构的区块链技术体系设计与实现

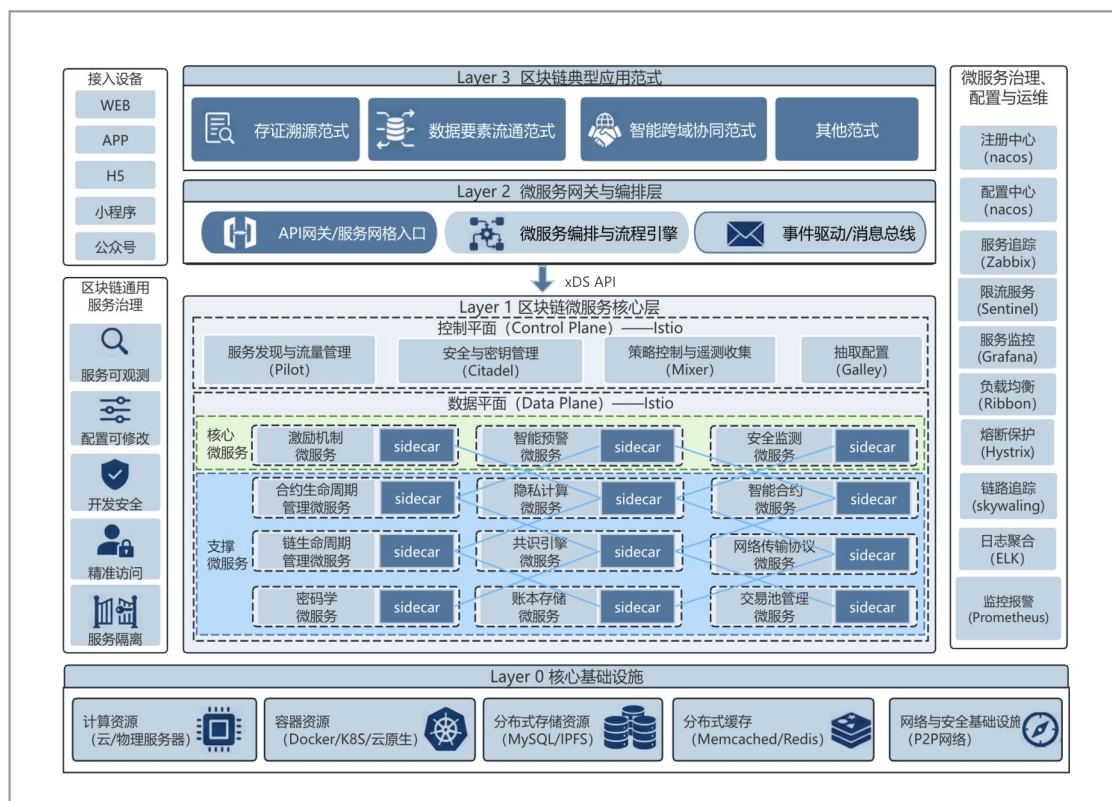
基于微服务架构的区块链以“分层解耦、能力复用、弹性扩展、可信协同”为核心设计理念，将传统单体区块链的能力拆解为标准化微服务组件，并基于云原生技术栈实现模块化编排，构建“核心基础设施层-区块链微服务核心层-微服务网关与编排层-典型应用示范层”的四层协同体系（如图2所示）。该架构既保留区块链的不可篡改、去中心化信任等核心特性，又融合微服务架构的优势，为多元应用场景提供灵活扩展、可信的技术底座。

整体架构自下而上分为四层。具体而言，Layer 0（核心基础设施层）提供计算、存储、网络等基础资源，支撑上层微

服务的弹性部署与运行；Layer 1（区块链微服务核心层）分为控制平面与数据平面，其中数据平面封装了区块链的核心、支撑微服务；Layer 2（微服务网关与编排层）作为连接上层应用和底层服务的关键枢纽，实现微服务的统一接入、流程编排与异步协同；Layer 3（区块链典型应用范式层）基于底层微服务能力组合，衍生出标准化应用范式，直接适配业务场景需求。此外，四层架构辅以区块链通用服务治理体系与微服务治理、配置与运维体系，分别聚焦区块链特性治理与微服务全生命周期管理，保障系统的安全性、可观测性与运维效率。

（1）Layer 0 核心基础设施层

Layer 0是架构的物理基础与资源支撑。采用云原生技术栈实现资源的弹性调度与高效利用，核心组件包括计算资源、容器资源、分布式存储资源、分布式缓存、网络与安全基础设施。计算资源支持云服务器与物理服务器混合部署模式，通过Kubernetes实现容器化资源的动态调度，



根据负载变化，满足微服务的弹性扩容需求。容器资源基于 Docker 封装微服务镜像，结合 Kubernetes 的编排能力，实现服务的快速部署、滚动升级与故障自愈。分布式存储资源可采用中心化数据库和去中心化数据库实现链上链下数据的协同管理。分布式缓存通过 Memcached/Redis 缓存高频访问数据（如交易记录、合约调用结果等），减少数据库访问压力，提升交易查询、合约调用等场景的响应速度。网络与安全基础设施构建 P2P 网络架构，支撑区块链节点的去中心通信，结合防火墙、VPN 等技术保障网络传输安全。

（2）Layer 1 区块链微服务核心层

Layer 1 层基于 Istio 服务网格实现控制平面与数据平面分离。控制平面由 Pilot、Citadel、Mixer、Galley 等组件构

成：Pilot 负责服务发现与流量管理，通过负载均衡、熔断限流保障服务高可用；Citadel 提供安全与密钥管理，实现双向 TLS 加密及区块链身份认证与权限校验；Mixer 实现策略控制与遥测收集，支持自定义策略并采集监控数据；Galley 负责配置抽取与验证，保障配置变更的一致性与合法性。数据平面通过 Sidecar 代理实现微服务间的透明通信，无需修改微服务代码即可实现服务交互与监控；同时，将区块链核心能力按照领域驱动的设计原则拆解成独立的微服务单元，主要分为核心微服务与支撑微服务两大类：核心微服务聚焦区块链的核心业务能力，实际多由各委办局的业务部门决定，例如激励机制、智能预警、安全监测等。支撑微服务聚焦区块链的共性支撑能力，实际多由各委办局

的技术部门决定，例如合约生命周期管理、隐私计算、智能合约执行等。通过这种拆分，实现区块链核心能力的解耦与灵活复用，各微服务单元可独立在各个委办局的技术方迭代、按需组合，适配不同业务场景的需求。

(3) Layer 2 微服务网关与编排层

Layer 2 微服务网关与编排层是连接上层应用与底层区块链服务的关键枢纽，目标是实现业务场景的快速接入与微服务的高效协同，降低上层应用的开发难度。核心组件包括 API 网关/服务网格入口、微服务编排与流程引擎、事件驱动/消息总线三大模块。API 网关/服务网格入口作为整个系统的统一的流量入口，承担统一认证、流量控制、请求路由、协议转换等职责。同时通过 xDS API 实现与底层 Istio 服务网格的无缝集成，保障跨服务调用的可观测性与可靠性，便于运维人员监控服务调用链路 with 排查问题。微服务编排与流程引擎基于状态机与流程模板，支持存证溯源、数据要素流通、智能跨域协同等复杂业务场景的可视化编排，通过流程驱动实现区块链核心服务（如合约执行、身份认证、数据存证）的有序组合，大幅降低业务开发的复杂度，实现业务场景的快速落地。事件驱动/消息总线采用异步消息模型，构建高可靠的事件发布/订阅机制，支持跨微服务的解耦通信与状态同步，通过 Kafka 等消息中间件实现事件的持久化存储与顺序消费，确保事件传输的可靠性与有序性，避免消息丢失或乱序，为跨链交互、数据同步、多服务协同等场景提供支撑。

(4) Layer 3 区块链典型应用范式层

Layer 3 是整个架构的价值输出层，核心目标是将底层区块链微服务能力，转化为面向实际产业需求的业务价值，实现

技术与场景的高效适配。该层基于底层区块链微服务与微服务编排能力，面向政务、金融、供应链、医疗等多领域需求，形成存证溯源、数据要素流通、智能跨域协同等标准化应用范式，为各行业领域提供稳定、安全、可扩展的服务支撑。每个应用范式均基于领域驱动设计原则，结合具体行业场景的业务需求，对底层微服务进行灵活组合与定制，形成标准化的业务解决方案；同时支持根据行业细分场景的差异，进行个性化调整，具备较强的场景适配能力。通过标准化应用范式的构建，可大幅降低各行业区块链应用的开发门槛，推动区块链技术在实体经济各领域的规模化应用。

(5) 区块链通用服务治理

为保障四层架构的稳定运行与可信性，架构配套了区块链通用服务治理体系。聚焦区块链场景的专属治理需求，核心包括服务发现、链配置管理、共识控制、身份认证与访问控制四大模块。服务发现模块实现区块链微服务与节点的自动发现与注册，支持节点与微服务的动态增减，确保服务交互的连续性；链配置管理模块负责区块链网络参数、共识规则、合约配置等信息的统一管理，支持配置的动态更新与版本控制，确保配置变更的安全可控；共识控制模块对区块链共识机制的运行进行管控，保障共识过程的公平性、安全性与高效性，防范共识攻击；身份认证与访问控制模块整合区块链身份认证技术，实现节点、微服务、用户的统一身份管理与权限管控，确保链上行为的合规性与安全性，防范恶意节点与非法访问。

(6) 微服务治理、配置与运维

架构同时配套了微服务治理、配置与运维体系，基于成熟的云原生工具链，实现微服务的全生命周期管理，提升系统的

可观测性、韧性与运维效率。包括注册配置（Nacos）、链路追踪（SkyWalking）、监控告警（Prometheus+Grafana）与熔断限流（Sentinel+Hystrix）等。

4 横向拓展：基于微服务架构的区块链技术体系赋能多元应用范式

在基于微服务架构的区块链实际应用范式搭建过程中，微服务核心层严格遵循领域驱动设计（Domain-Driven Design, DDD）的原则^[23-24]，通过限界上下文明确切分业务边界，划分为核心子域、支撑子域、通用子域三个层次，各子域内又按业务属性，进一步划分为链相关微服务与非链相关微服务，确保微服务拆分的合理性与业务适配性。其中，核心子域承载系统的主要业务价值，是应用范式的核心内容；支撑子域提供基础的业务支撑能力，确保核心业务流程的顺畅运行；通用子域包含技术基础微服务，可跨范式复用。基于

DDD原则开展微服务划分，构建存证溯源范式、数据要素流通范式、智能跨域协同三大核心应用范式，充分发挥基于微服务化架构的区块链技术体系“能力解耦、服务复用、灵活组合”的优势，有助于政府相关办事机构明确业务系统职责边界，提升数字化基础设施建设的规范化水平和实施效率，为各行业领域数字化转型提供系统性解决方案。

4.1 可信数据存证溯源范式

存证溯源是区块链技术最成熟、应用最广泛的场景之一，其核心需求是实现数据从产生、传输、存储到使用全生命周期的不可篡改、可追溯与可验证。传统区块链存证溯源方案多采用单体架构，存在功能耦合严重、存证类型单一、溯源链路不灵活、与现有业务系统集成困难等问题，难以适配多行业、多场景的差异化存证溯源需求。基于微服务架构的区块链通过对

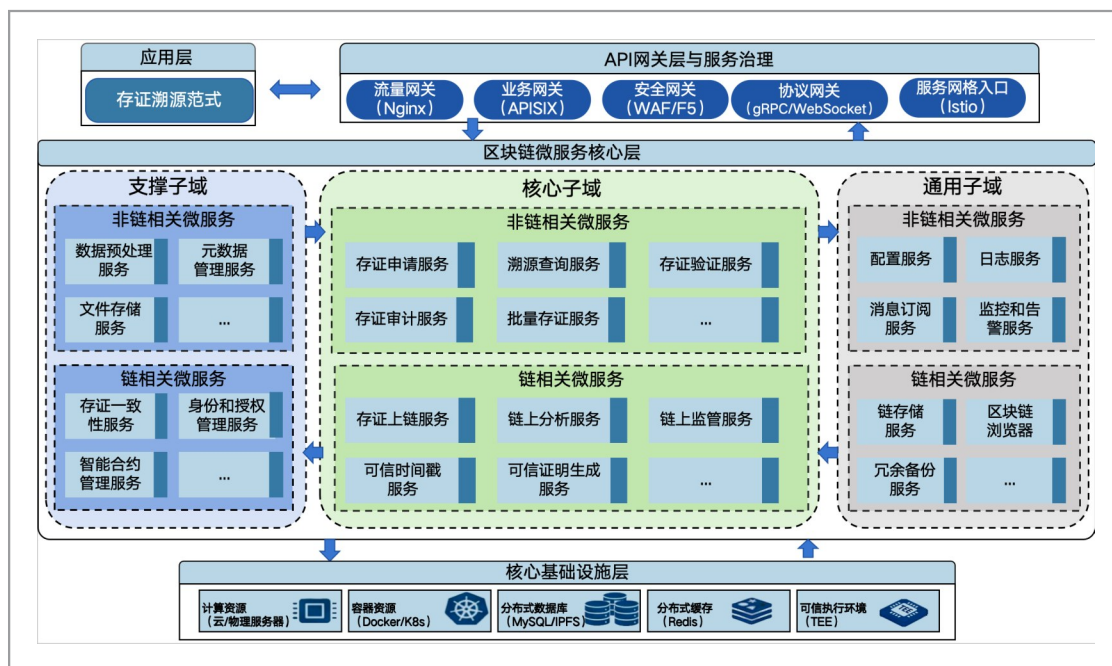


图3 基于微服务架构的区块链技术体系赋能存证溯源场景

存证溯源相关能力的解耦与服务化封装，构建标准化、可复用、可扩展的存证溯源范式，实现可信数据管理能力与业务场景的深度适配，推动存证溯源从单一场景应用向全行业通用能力转型。

存证溯源范式（如图3）中，基于领域驱动原则划分区块链微服务核心层，各子域的职责与微服务构成如下：（1）核心子域作为业务中枢，分为非链相关和链相关微服务。非链相关微服务聚焦存证溯源的核心业务流程与校验逻辑，包括存证申请、溯源查询、存证验证、审计等业务服务，建议由需求方的业务部门拟定；链相关微服务则封装存证溯源相关的区块链核心能力，包括存证上链、链上分析、链上监管等业务服务，建议由技术提供的委办局的业务部门拟定；（2）支撑子域为核心子域提供技术支撑，分为非链相关和链相关微服务。非链相关微服务聚焦数据预处理、元数据管理与文件存储等，为多源异构数据提供标准化处理服务，建议由需求

方的技术部门提供；链相关微服务则保障存证一致性、身份和授权管理服务、智能合约管理服务，建议由技术提供的委办局的技术部门提供；（3）通用子域是更通用的微服务，同样分为非链相关和链相关微服务。非链相关微服务提供配置管理、日志监控等能力，建议由需求方的技术厂商提供；链相关微服务则负责区块链数据存储、冗余备份与可视化服务，保障系统稳定运行与可审计性，建议由技术提供的委办局的技术厂商提供。

存证溯源范式的典型应用场景覆盖多个高价值领域：在司法存证领域，该范式可对接电子合同、在线庭审、知识产权登记等系统，将合同文本、庭审记录、电子送达凭证、知识产权证明等数据实时采集，经数据预处理服务标准化处理后，由存证上链服务上传至区块链，生成不可篡改的链上凭证；在纠纷处理过程中，司法机构可通过溯源验证服务快速核验证据真实性与完整性，为司法审判提供可信依据。

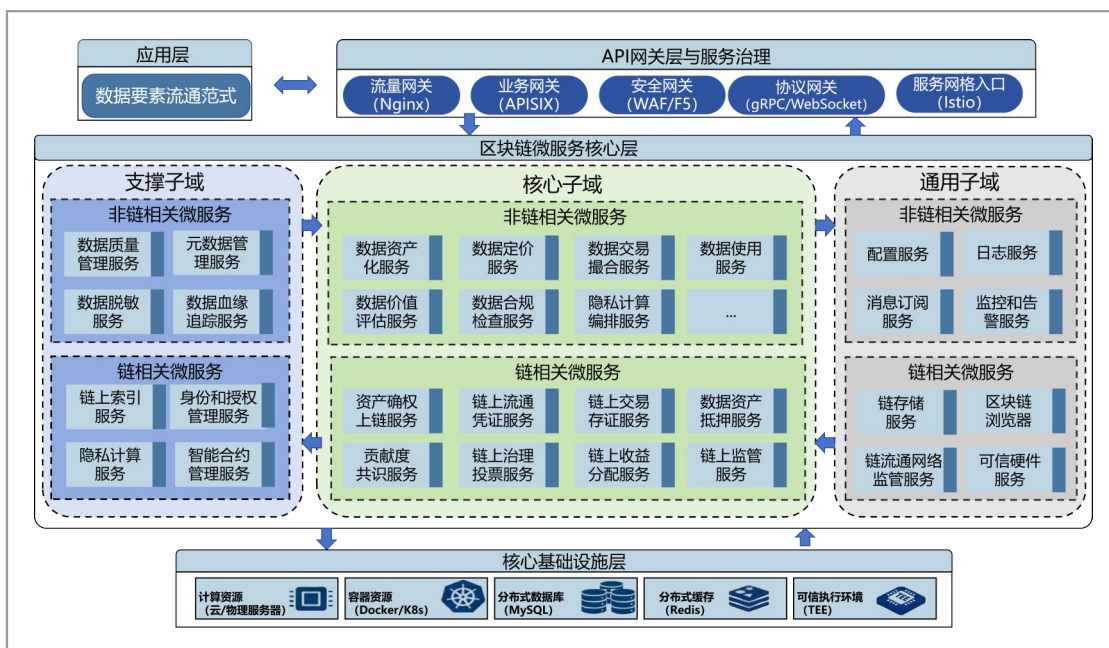


图4 基于微服务架构的区块链技术体系赋能数据要素流通场景

在医疗健康领域，该范式可对接医院信息系统（HIS）、实验室信息管理系统（LIS）与患者终端，将病历、检验报告、用药记录、疫苗接种记录等敏感数据进行加密预处理后，上传至区块链；患者可通过授权溯源查询服务，查询自身健康档案；医疗机构在跨院诊疗时，可通过存证验证服务核验病历数据真实性，避免重复检查，保障医疗数据安全性与诊疗协同效率。在政务服务领域，该范式可将行政审批、公共资源交易、社保缴费、不动产登记等政务数据存证上链，实现政务数据全生命周期的可追溯、可审计；企业与群众可通过统一入口的溯源查询服务，查询办事进度与结果，提升政务服务的透明度；监管部门可通过链上监管服务，对政务数据流转与业务办理过程进行全流程审计，及时发现违规操作，提升政务服务的公信力与监管效能。

4.2 可信数据要素流通范式

数据要素流通是数字经济发展的核心引擎，其核心需求是在严格保障数据隐私、数据权属与合规性的前提下，实现数据的可信共享、可控流转与价值释放，破解传统数据交易模式中“确权难、隐私保护弱、信任缺失、交易效率低”等痛点，推动数据要素从静态存储向动态流转转型。基于微服务架构的区块链通过对数据流通相关能力的解耦与服务化封装，结合隐私计算技术，构建“可用不可见、可控可追溯”的数据要素流通范式，实现数据可信流通与价值释放。其整体架构如图4所示。

数据要素流通范式中，基于领域驱动原则划分区块链微服务核心层，各子域的职责与微服务构成如下：（1）核心子域作为业务中枢，直接承载数据要素确权、交

易、流转的核心业务价值，分为非链相关和链相关微服务。非链相关微服务聚焦数据要素流通的核心业务流程与合规校验逻辑，包括数据资产化服务、数据定价服务、数据交易撮合服务、数据使用服务、数据价值评估服务、数据合规检查服务、隐私计算编排等，负责将原始数据转化为标准化数据资产、制定合理的数据定价策略、撮合数据供需双方的交易、管控数据使用过程、评估数据资产价值、校验数据流通的合规性，确保数据交易的顺畅性与合规性，建议由需求方的业务部门拟定；链相关微服务则封装数据要素流通相关的区块链核心能力，包括资产确权上链服务、链上流通凭证服务、链上交易存证服务、数据资产抵押服务、链上收益分配服务、链上监管服务等，负责对数据资产进行权属登记与上链确权、生成数据流通的可信凭证、对数据交易过程进行存证、支持数据资产的质押抵押、实现数据价值的公平分配、对数据流通全流程进行监管，是实现数据可信流通的核心支撑，建议由技术提供的委办局的业务部门拟定；（2）支撑子域为核心子域提供技术支撑，分为非链相关微服务和链相关微服务。非链相关微服务聚焦数据质量管理、元数据管理、数据脱敏服务、数据血缘追踪服务等，为数据资产化与合规流通提供标准化处理服务，建议由需求方的技术部门提供；链相关微服务则负责构建链上索引、隐私计算服务、身份和授权管理服务、智能合约管理服务，夯实数据要素可信流转的基础，建议由技术提供的委办局的技术部门提供；（3）通用子域是更通用的微服务，同样分为非链相关微服务和链相关微服务。非链相关微服务提供配置管理、日志、消息订阅、监报告警等能力，建议由需求方的技术厂商提供；链相关微服务则负责链数据存储、

跨链数据流通网络服务、可信硬件服务、可视化服务等，保障数据流通和计算的安全，确保数据要素全生命周期可追溯，建议由技术提供的委办局的技术厂商提供。

数据要素流通范式的典型应用场景涵盖金融、工业、政务等多个领域：在金融风控场景中，银行、征信机构、消费金融公司等多方主体，通过隐私计算微服务（如联邦学习、安全多方计算）开展联合建模，在保护原始用户隐私的前提下，精准识别信贷风险、提升反欺诈模型精度；数据确权与价值评估微服务可对风控数据进行权属确认与价值评估，数据资产抵押服务则支持金融机构将合规数据作为授信依据，实现数据资产的市场化流通。在工业互联网场景中，制造企业的设备运维、生产质量、能耗监测等数据，经数据确权微服务完成权属登记后，可通过数据合规检视服务完成合规性校验；隐私计算微服务支撑工业互联网平台与第三方服务商开展联合分析，在保护企业核心工艺数据的同

时，实现设备预测性维护、生产流程优化与供应链协同，释放工业数据价值。在政务数据共享场景中，政务部门通过数据资产化服务将人口、交通、环保等公共数据确权登记，经数据合规检查与隐私计算服务完成脱敏处理后，可安全开放给科研机构、企业等主体；数据交易与分配服务则支撑政务数据的合规共享与价值分配，助力智慧城市建设、公共政策制定与社会治理效能提升。

4.3 可信智能跨域协同范式

传统跨域协同模式多依赖中心化协调机构，存在协同流程繁琐、数据互通壁垒高、责任界定模糊、信任成本高昂等突出问题，尤其在政务跨域办理、跨行业供应链协同、跨区域数据共享等场景中，上述痛点更为明显，严重制约了协同效率与价值释放。当前，区块链和AI的结合呈现深度耦合趋势^[25-26]。智能跨域协同正是二者

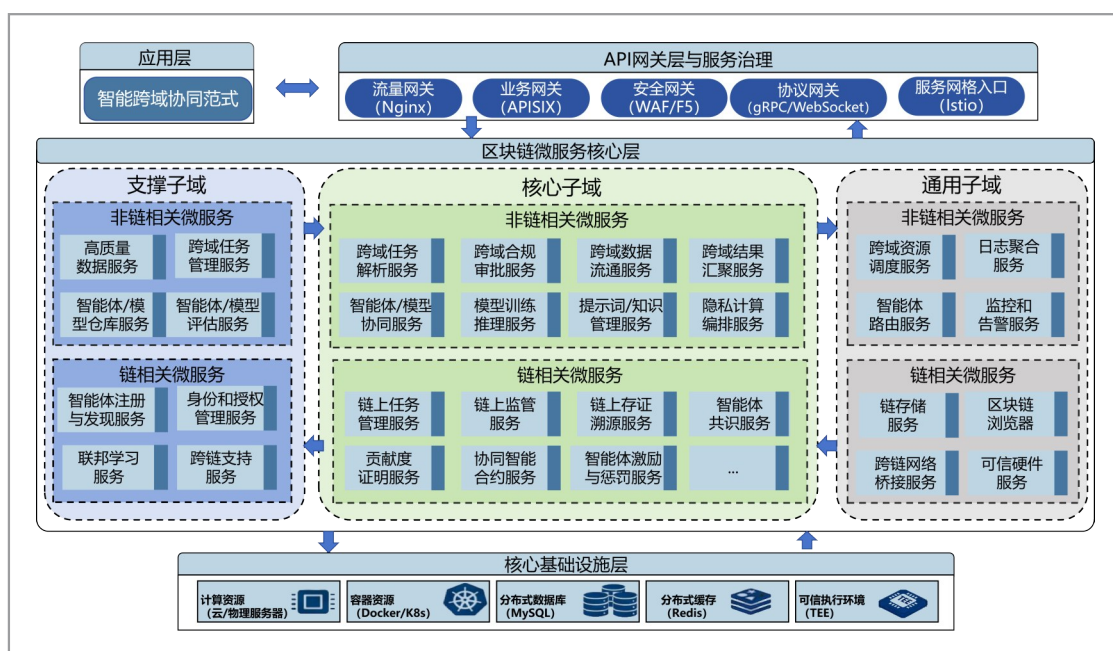


图5 基于微服务架构的区块链技术体系赋能智能跨域协同场景

融合的典型适用场景——结合人工智能/大模型等技术，实现不同组织、不同系统间的自主可信协作、任务调度与价值流转，推动跨域协同向去中心化自主协同模式转型，为跨区域、跨行业、跨部门的协同治理与业务联动提供可信技术支撑。基于微服务架构的区块链架构凭借其解耦化、自治化、可信化的核心优势，结合人工智能的自主决策与智能调度能力，可有效破解传统跨域协同的核心瓶颈，构建高可信的智能跨域协同范式，其整体架构如图5所示。

可信智能跨域协同范式（如图5所示）中，基于领域驱动原则划分区块链微服务核心层，各子域的职责与微服务构成如下：（1）核心子域作为业务中枢，直接承载智能跨域协同、任务调度、可信联动的核心业务价值，分为非链相关和链相关微服务，其非链相关微服务聚焦跨域任务解析、跨域合规审批、跨域数据流通服务、跨域结果汇聚服务等业务流程与协同逻辑，依托AI实现协同决策优化、确保跨域协同流程顺畅、合规高效，建议由需求方的业务部门拟定；链相关微服务则聚焦链上任务管理、链上监管服务、链上存证溯源服务、智能体共识、智能体激励与惩戒服务、贡献度证明服务等，是实现基于链的可信智能跨域协同的核心支撑，建议由技术提供的委办局的业务部门拟定。（2）支撑子域为核心子域提供技术支撑，分为非链相关微服务和链相关微服务。非链相关微服务聚焦高质量数据服务、智能体/模型仓库服务、跨域任务管理服务，为跨域协同提供高质量数据与智能体能力支撑，建议由需求方的技术部门提供；链相关微服务则保障智能体注册与发现、身份授权管理、联邦学习、智能合约执行，夯实跨域可信协同基础，建议由技术提供的委办局的技术

部门提供；（3）通用子域涵盖更通用的微服务，非链相关微服务提供跨域资源调度、智能体路由服务、日志聚合、监报告警等通用技术能力，建议由需求方的技术厂商提供；链相关微服务则负责区块链存储、区块链浏览器、跨链网络桥接、可信硬件等，确保智能跨域协同全流程可追溯、可监管，建议由技术提供的委办局的技术厂商提供。

可信智能跨域协同范式的典型应用场景覆盖政务的多个领域：在政务跨域协同场景中，该范式可支撑不同区域、不同部门的政务服务联动。如公安、民政、社保等多部门通过跨域任务管理服务发起联合办事流程，链上存证溯源服务对审批材料、流转记录等数据进行可信存证，隐私计算与智能共识服务支撑跨域数据共享与决策协同，实现跨部门、跨级别、跨行政区的业务协同处理，提升政务服务效率与监管能力。在跨区域应急联动场景中，气象、应急、交通等部门通过跨域结果汇聚服务整合灾害预警、交通管制等信息，链上智能合约服务自动触发应急响应预案，智能体/模型协同服务支撑多部门联合研判与资源调度，实现跨区域突发事件的快速响应与协同处置。在跨行业产业协作场景中，制造、物流、金融等产业链主体通过跨域合规审查服务完成协作准入校验，贡献度证明与智能激励服务对协作贡献进行链上确权与分配，协同智能合约服务自动执行订单、物流、结算等协同逻辑，构建可信高效的产业协同生态。

5 总结与展望

区块链微服务化，是打破单体封闭架构、走向开放服务生态的必由之路。本文

梳理区块链技术演化脉络, 论证微服务化的理论依据与技术可行性, 提出"核心基础设施层—区块链微服务核心层—微服务网关与编排层—典型应用范式层"四层协同架构, 并遵循领域驱动设计原则, 构建存证溯源、数据要素流通、智能跨域协同三大应用范式。该体系将区块链共性能力解耦复用, 为政务、金融、工业等领域数字化转型提供了可落地的技术路径。后续研究可重点推进三个方向。其一, 攻关性能瓶颈: 微服务化引入了额外的通信开销, 须针对跨服务调用延迟、跨链安全等关键问题, 研究服务网格轻量化通信协议与零信任跨链身份认证机制, 制定云原生环境下区块链部署与性能调优的工程规范。其二, 拓展应用边界: 数字孪生、绿色低碳、跨境贸易等新兴领域对可信协同需求迫切, 可借助微服务编排能力, 深化区块链与人工智能、物联网、隐私计算的技术融合, 形成更多行业适配的标准化范式。其三, 健全治理体系: 应建立覆盖微服务全生命周期与区块链全节点的安全审计、隐私保护、权限管控机制, 推动技术标准与合规框架落地, 为区块链微服务化在关键行业的规范应用提供制度保障。

参考文献:

- [1] ABLA P, LI T, HE D, et al.. Fair and Privacy-Preserved Data Trading Protocol by Exploiting Blockchain[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2024, 19:9012-9025.
- [2] 莫梓嘉, 赵晨. 融合区块链和联邦学习技术的数据资产流通交易方案研究[J]. 大数据, 2025, 11(5):185-196.
- [3] 李云辉, 陈家辉. 区块链技术在政务数据共享中的应用[J]. 大数据, 2023, 9(6):39-52.
- [4] 何嘉昊, 杨森, 潘子玲, 等. 国产区块链软件发展趋势与核心技术分析软件学报[J]. 2026, 37(01):102-138.
- [5] CHALAEMWONGWAN N, KURUTACH W. A Survey of Consortium Blockchain and Its Applications[J]. Cryptography, 2024, 8(2): 12. DOI: 10.3390/cryptography8020012.
- [6] CAO B, WANG Z, ZHANG L, et al. Blockchain Systems, Technologies, and Applications: A Methodology Perspective[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022, 25(1): 353-385. DOI: 10.1109/COMST.2022.3204702.
- [7] BELCHIOR R, VASCONCELOS A, GUERREIRO S, et al. A Survey on Blockchain Interoperability: Past, Present, and Future Trends[J]. ACM Computing Surveys, 2022, 54(8): 168: 1-168:41. DOI:10.1145/3471140.
- [8] AUGUSTO A, CORREIA M, VASCONCELOS A, et al. Blockchain Agnostic Protocols: An Analysis of the State of the Art [J]. ACM Computing Surveys, 2025, 57 (4):1-35. DOI:10.1145/3758089.
- [9] LI Z, ZOU H, WAN Z, et al. A Survey on Off-chain Networks: Frameworks, Technologies, Solutions and Challenges [J]. ACM Computing Surveys, 2025, 57 (5):1-42. DOI:10.1145/3735124.
- [10] HE S, NING Y, XIONG D, et al. A Blockchain-Based Micro-services Architecture for Distributed Business[C]//Blockchain - International Conference on Blockchain (ICBC 2023), LNCS, vol. 14206. Cham: Springer, 2023: 21-35. DOI:10.1007/978-3-031-44920-8_3.
- [11] TRAN A B, PHAM T, NGUYEN P D, et al. How Blockchain and Microservices Are Being Used Together[C]//Proceedings of the 5th International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB @ ICSE 2022). New York: ACM, 2022: 36-40. DOI:10.1145/3528226.3528371.
- [12] SENDNER C, CHEN H, FERREIDOOONI H, et al. Smarter Contracts: Detecting Vulnerabilities in Smart Contracts with Deep Transfer Learning [C]//Proceedings of the 30th Annual Network and

- Distributed System Security Symposium (NDSS 2023). Internet Society, 2023: 1-17.
- [13] QASSE I A, ABU TALIB M, NASIR Q. A Survey on Cross-chain Technologies [J]. ACM Distributed Ledger Technologies: Research and Practice, 2023, 2(2): 1-41. DOI:10.1145/3573896.
- [14] MOTEPALLI S, JACOBSEN H A. Reward Mechanism for Blockchain Miners in the Modular Architecture[C]//Proceedings of the 4th International Workshop on Blockchain Theory and Applications. ACM, 2023. DOI: 10.1145/3590140.3629112.
- [15] NEU J, TAS E N, TSE D. Ebb-and-Flow Protocols: A Resolution of the Availability-Finality Dilemma[C]//2021 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). IEEE, 2022: 446-465. DOI: 10.1109/SP46000.2021.00044.
- [16] OU W, HUANG S, ZHENG J, et al. Interoperability in Blockchain: A Survey [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2023, 35(12): 12750-12771. DOI: 10.1109/TKDE.2023.3275220.
- [17] FOWLER M, LEWIS J. Microservices [EB/OL]. (2014-03-25) [2024-01-10]. <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>.
- [18] 何云华, 罗明顺, 胡晴, 等. 能源区块链的跨链服务安全技术研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2024, 61 (4): 913-937. DOI: 10.7544/issn1000-1239.202220892.
- [19] 张继威, 王文俊, 牛少彰, 等. 区块链扩展解决方案: ZK-Rollup 综述 [J]. 信息安全, 2024, 24(07):1027-1037.
- [20] 陈龙飞, 姚中原, 潘恒, 等. 跨链综述: 机制、协议、应用与挑战 [J]. 计算机应用, 2023, 43(10): 3017-3027.
- [21] AMIRI M J, AGRAWAL D, EL ABBADI A, et al. Bedrock: Foundations of BFT Protocols[C]//Proceedings of the 21st USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '24). USENIX Association, 2024.
- [22] XIAO Y, ZHANG N, LOU W, et al. A Survey of Distributed Consensus Protocols for Blockchain Networks [J]. ACM Computing Surveys, 2023, 55(5): 1-45. DOI:10.1145/3579845.
- [23] ABDELFAHATTAH A S, CERNY T, TAIBI D, et al. Domain-Driven Design for Microservices: An Evidence-Based Investigation [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2024, 50(6): 1425-1446. DOI:10.1109/TSE.2024.3385835.
- [24] BRITO A, GON ALVES T, CARVALHO N, et al. Domain-Driven Design for Microservices Architecture Systems Development: A Systematic Mapping Study[C]//Proceedings of the 48th IEEE International Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2024). IEEE, 2024: 1-10. DOI: 10.1109/COMPSAC61105.2024.00010.
- [25] Wang Z, Sun R, Lui E, et al. AIArena: A Blockchain-Based Decentralized AI Training Platform[C]// WWW '25: Companion Proceedings of the ACM on Web Conference 2025, ACM, 2025: 1375-1379.
- [26] 肖楚乔, 薛立德, 倪雄, 等. 基于联邦遗忘学习的公共数据隐私保护应用研究 [J/OL]. 大数据, 2026.

作者简介



肖楚乔 (1992-), 女, 博士, 上海市大数据中心工程师, 长期专注去中心化体系结构、分布式系统架构的规划与建设。主要研究方向为分布式数据库、分布式系统、区块链、隐私计算、政务信息化等。目前参与上海市政务“区块链+隐私计算”统一平台的建设和优化工作。



刘竹森（1993-），男，博士，浙江省计算机科学技术副研究员，现上海浦江数链数字科技有限公司技术部工作，主要研究方向为密码学、隐私计算、区块链等。已在国内外知名期刊和会议上共发表20余篇学术论文，已授权或申请专利10项，主持1项国家自然科学基金委基金青年基金项目、1项全国博士后面上项目、1项浙江省自然科学基金青年基金项目，作为科研骨干参与多项国家级项目。



倪雄（1979-），男，上海市大数据中心高级工程师、信息化服务部部长，主要研究方向为区块链应用、数字经济、隐私计算、政务信息化等。长期从事政务信息化规划管理，推动全市大系统大平台大数据建设，是上海市政务区块链体系的主要设计者和实施人。



薛立德（1994-），男，工学博士，毕业于中国科学技术大学计算机科学与技术学院，现为上海市大数据中心在站博士后，主要研究方向为区块链、AI智能体，分布式系统、信息安全等。



杨昊（1989-），男，上海市大数据中心工程师，主要研究方向为区块链、分布式网络、政务信息化等。目前作为核心人员参与国家区块链网络上海枢纽、国家航运贸易数字化试点和上海城市区块链数字工程等重大任务。



高丽（1990-），女，上海市大数据中心工程师，主要研究方向为区块链、隐私计算、人工智能、政务信息化等。作为核心成员参与过科技部科技创新2030、科技部2019年重点研发计划等省部级重点研发专项。目前作为核心成员参与上海城市区块链数字工程等重大任务。

收稿日期: 2026-02-24

通信作者: 倪雄, 18017089397@163.com

基金项目: 上海市2025年度高水平机构建设运行计划“软科学研究”项目(25692110800)。国家自然科学基金面上项目(62572196)。国家自然科学基金青年科学基金项目(C类)(62502024)。

Foundation Items: Shanghai Municipal 2025 High-Level Institution Construction and Operation Plan “Soft Science Research” (25692110800) . National Natural Science Foundation of China General Program (62572196). National Natural Science Foundation of China Youth Science Fund Project (Category C) (62502024) .