

数据资产融资的动态估值与信用评估数学模型

陈刚, 张大勇, 朱宏伟, 刘博韬

河北金融学院河北省金融科技应用重点实验室, 河北 保定

收稿日期: 2025年11月16日; 录用日期: 2025年12月9日; 发布日期: 2025年12月19日

摘要

数据资产融资的核心障碍在于原始数据的真实性验证与价值的动态评估。传统技术难以解决源头造假, 而静态估值模型无法捕捉数据价值的时效性。为应对这些挑战, 本文首先构建了一个多方参与的基于联盟链的数据资产融资业务生态, 并在此基础上, 提出了一套数学建模框架。本文构建了一套以联盟链为基础的多方数据融资业务框架。该框架的核心是两个数学模型: “动态数据资产估值模型DDAVM”和“数据信用分评估模型DCSM”。DDAVM创新性地融合了刻画时效性的指数衰减函数与基于多方信用的可信度权重函数, 实现了对资产价值的动态量化。DCSM则引入博弈论中的激励相容机制, 通过设计激励相容的“连带责任”惩罚项, 从数学上证明了数据背书方的“诚实”是其最优策略。最后, 通过多主体仿真实验, 验证了该框架在抑制数据造假、动态评估信用方面的有效性。本研究为解决数据资产的动态定价与可信激励问题提供了一种数学范式。

关键词

数据资产融资, 动态数据资产估值模型, 数据信用分评估模型, 激励相容, 联盟链

Mathematical Models for Dynamic Valuation and Credit Assessment in Data Asset Financing

Gang Chen, Dayong Zhang, Hongwei Zhu, Botao Liu

Hebei Key Laboratory of Financial Technology Application, Hebei Finance University, Baoding Hebei

Received: November 16, 2025; accepted: December 9, 2025; published: December 19, 2025

Abstract

The core challenges in data asset financing lie in the verification of raw data authenticity and the dynamic assessment of its value. Conventional technologies struggle to address source-level forgery,

文章引用: 陈刚, 张大勇, 朱宏伟, 刘博韬. 数据资产融资的动态估值与信用评估数学模型[J]. 应用数学进展, 2025, 14(12): 399-406. DOI: 10.12677/aam.2025.1412516

while static valuation models fail to capture the time-sensitive nature of data value. To tackle these challenges, this study first establishes a multi-party business ecosystem for data asset financing based on a consortium blockchain, and, building upon this foundation, proposes a mathematical modeling framework. The core of this framework consists of two mathematical models: the Dynamic Data Asset Valuation Model (DDAVM) and the Data Credit Scoring Model (DCSM). The DDAVM innovatively integrates an exponential decay function to characterize time-sensitivity with a credibility weighting function derived from multi-party credit, thereby enabling the dynamic quantification of asset value. The DCSM, in turn, introduces an incentive compatibility mechanism from game theory and, through an incentive-compatible “joint liability” penalty term, mathematically demonstrates that honesty becomes the optimal strategy for data endorsers. Finally, the effectiveness of the proposed framework in suppressing data fraud and dynamically assessing credit is validated through multi-agent simulation experiments. This study offers a mathematical paradigm for addressing the dual challenges of dynamic pricing and trustworthy incentive mechanisms for data assets.

Keywords

Data Asset Financing, Dynamic Data Asset Valuation Model (DDAVM), Data Credit Scoring Model (DCSM), Incentive Compatibility, Consortium Blockchain

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers 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

1. 引言

随着“数据二十条”等政策的颁布，数据要素的市场化配置进入了新阶段，数据作为新型生产要素，其资产化与融资是释放其经济价值的关键路径[1]。然而，在金融机构的普惠金融实践中，中小企业的数据资产融资仍面临巨大障碍。这些障碍可归结为如下两个根本性的数学及计算问题。

- (1) 源数据验证问题：金融机构难以核验企业上报的经营数据是否在源头造假。区块链技术的“不可篡改性”仅保证了链上数据的一致性[2]，却无法保证“输入真实性”。
- (2) 价值动态衰减问题：生产经营数据具有极强的时效性，传统的静态资产登记方法无法刻画这种价值随时间的动态衰减特性。

传统的信用评估模型，如 FICO 分[3]或 Z-Score 模型[4]，依赖于标准化的历史财务数据，难以适用于数据形态非标、价值动态变化的数据资产。虽然供应链金融中的一些风险模型已开始引入多维度数据[2]，但源头造假的激励问题仍未解决。近年来，虽有研究尝试利用区块链技术增强数据可信度[5]，但大多聚焦于存证，未能深入到数据质量的激励机制层面。

为解决上述挑战，本文从应用数学的视角出发，首先设计了一套可行的业务模式，并在此基础上构建了基于“生态共信”的数学模型。本文核心贡献在于：

- (1) 提出一个以联盟链为核心的、多方参与的数据融资业务解决方案，为数学模型的应用提供场景。
- (2) 提出动态数据资产估值模型(Dynamic Data Asset Valuation Model, DDAVM)，利用指数衰减和信用加权量化数据资产的“时效性”和“可信度”。
- (3) 提出数据信用分评估模型(Data Credit Scoring Model, DCSM)，设计激励相容的博弈机制，以数学手段确保“诚实”成为理性参与者的占优策略。
- (4) 通过多主体仿真，验证了模型的有效性，并分析了关键参数对系统稳定性的影响。

2. 系统架构与业务模型

为实现上述构想，本文设计了一套以地方城商行为主导，联合相关方搭建的联盟区块链网络。该方案利用区块链不可篡改和多方共识的特性，结合隐私计算保护数据机密，在链上完成企业生产经营数据的登记确权和价值评估，实现数据变现融资。同时，引入关联企业背书和担保机制增强数据可信度和贷款安全，以数据信用分体系构建良性的信用激励约束网络。

2.1. 平台参与方与角色

该生态平台主要包含三类核心主体，其角色与动机如下：

- (1) 金融机构：通常为地方城商行，作为平台的发起者和核心服务提供者。其目标是拓展普惠金融业务，在风险可控的前提下，为中小企业提供便捷的融资服务。
- (2) 融资企业：通常是缺乏传统抵押物的中小企业。其目标是将自身经营数据变现，获得低成本的流动资金贷款。
- (3) 生态关联方：融资企业的上下游合作伙伴，如供应商、核心客户、物流公司等。设置生态关联方的目的在于，一方面，通过为合作伙伴背书，维护供应链生态的稳定与健康；另一方面，自身的良好行为能积累数据信用分，从而在未来需要时获得融资便利。

2.2. 联盟链治理框架

为确保数据融资生态在多方参与环境下的有效运行，需构建一套权责分明、激励相容的联盟链治理框架，主要包括联盟链组织结构的治理架构与估值模型的链上管理机制。

- (1) 治理架构
 - ① 管理节点：由发起项目的地方城商行担任。拥有智能合约部署权、成员准入审核权及监管数据的最高查看权，负责维护共识节点的稳定运行。
 - ② 业务节点：包括融资企业及其生态关联方。成员经 CA 认证接入，拥有数据上传、背书签名及自身数据查询权限，不参与底层共识出块，以降低技术门槛。
 - ③ 共识机制：考虑到金融业务的高并发与强一致性，采用 PBFT 或 Raft 算法，确保交易秒级确认且不可分叉。
- (2) 模型链上管理机制

DDAVM 估值模型与 DCSM 信用模型通过封装为智能合约实现链上存储与链上执行。合约升级遵循“多签提案”机制，当模型参数需调整时，需由银行发起，并获得超过 2/3 权重的核心节点签名同意，防止单方操纵规则。

2.3. 核心业务流程

整个业务流程形成一个闭环，具体步骤如下：

- (1) 数据登记确权：融资企业 B 将其生产经营数据(如采购订单、销售发票、物流仓单等)通过加密方式上传至联盟链。每条数据 D_i 都会获得一个时间戳 t_i ，完成链上存证。这一步为数据资产提供了基础价值 $V_{base,i}$ 的来源。
- (2) 交叉验证背书：融资企业 B 邀请其生态关联方 E 对上传的数据 D_i 进行验证。例如，一笔销售订单可邀请购买该批货物的核心客户进行背书；一份仓单可邀请仓储方进行背书。关联方 E 确认数据真实性后，在链上签署背书($e_j = 1$)。这一过程为可信度权重 $W_c(D_i)$ 的计算提供了输入。
- (3) 动态价值评估：银行 K 的风控系统实时获取链上数据。系统自动应用动态数据资产估值模型

(DDAVM)，结合数据的时效性权重 W_T 和可信度权重 W_C ，计算出每项数据资产的动态价值 $V_i(t)$ 。

(4) 授信审批与融资：银行 K 基于融资企业 B 的总数据资产价值及其自身的数据信用分 $S_B(t)$ ，动态计算出授信额度 $L(t)$ 。企业 B 可在此额度内申请融资。

(5) 履约与信用更新：贷款到期后，根据企业 B 的履约情况(完美还款或违约)，系统自动触发数据信用评分模型(DCSM)，更新企业 B 及所有为其背书、担保的关联方 E 的信用分 $S(t)$ ，完成生态的激励与约束闭环。

通过该平台，企业的经营数据转变为一种经多方验证的“可信数据资产”，能够用于融资且风险可控，从而解决传统数据融资的信任与风控难题。同时，针对“源数据验证”与“商业机密保护”的矛盾，可引入“哈希上链 + 零知识证明”的混合隐私保护方案：融资企业的原始数据不直接明文上链，而是将其哈希摘要、时间戳上链存证，原始数据存储于链下加密数据库；并关联零知识证明辅助背书以及计算，比如验证“交易金额是否达标”，企业 B 仅在本地生成证明 π ，关联方 E 和银行 K 仅需验证 π 的有效性，即可确认数据属性满足逻辑要求，而无需获知具体数值 $V_{base,i}$ 。

3. 模型构建与数学分析

基于上述业务模型，构建两个核心数学模型以支撑其运行。

3.1. 动态数据资产估值模型

对于融资企业 B 上传的任意一项数据资产 D_i ，其在 t 时刻的价值 $V_i(t)$ 由其基础价值、可信度权重和时效性权重的乘积决定。

$$V_i(t) = V_{base,i} \cdot W_C(D_i) \cdot W_T(t - t_i) \quad (1)$$

其中， t_i 为数据资产 D_i 的生成或上链时间戳。

3.1.1. 基础价值 $V_{base,i}$

$V_{base,i}$ 对应数据内在价值。例如，对于一笔订单， $V_{base,i}$ 可定义为订单金额；对于一份仓单，可定义为仓单内货物的市场公允价值。

3.1.2. 时效性权重 W_T

数据资产的价值随时间流逝而衰减。采用指数衰减函数来刻画此特性：

$$W_T(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (2)$$

其中 $\Delta t = t - t_i$ 是数据资产“账龄”， λ ($\lambda > 0$) 是衰减常数。 λ 的取值与数据类型强相关，例如，实时交易数据的 λ 值会远大于库存数据的 λ 值。

3.1.3. 可信度权重 W_C

可信度来自生态关联方的交叉验证(背书)。设 D_i 的关联方集合为 A_i ， $|A_i| = N_i$ 。设 e_{ij} 为关联方 $j \in A_i$ 对 D_i 的背书状态(1 为背书，0 为未背书)。

定义可信度权重 $W_C(D_i)$ 为所有背书方的信用加权平均。

$$W_C(D_i) = \frac{\sum_{j \in A_i} e_{ij} \cdot S_j(t)}{\sum_{j \in A_i} S_j(t)} \quad (3)$$

其中 $S_j(t)$ 是背书方 j 在 t 时刻的“数据信用分”。此设计确保了被高信用分主体背书的数据，其可信度更高。若无任何关联方背书，则 $W_C(D_i) = 0$ 。

3.2. 数据信用评分模型

该模型是业务流程第 5 步的核心，用于实现生态的激励与约束。它是一个动态递归的、内嵌激励机制的评分系统。

设 $S_k(t)$ 为主体 k 在 t 时刻的信用分。其递归更新公式为：

$$S_k(t) = S_k(t-1) + \sum \Delta S_{positive} - \sum \Delta S_{negative} \quad (4)$$

3.2.1. 信用分的归一化处理

为防止信用分无限累积或降低，引入一个归一化函数，将信用分映射到 $[S_{min}, S_{max}]$ 区间内（例如 $[0, 1000]$ ）。

$$S_k(t) = S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{1 + e^{-\alpha(S'_k(t) - \beta)}} \quad (5)$$

其中 $S'_k(t)$ 是更新前的原始分值， α 和 β 是控制曲线陡峭度和中心点的参数。

3.2.2. 正向与负向激励

信用分的调整项 ΔS 由在 $(t-1, t]$ 区间内发生的事件触发，具体定义如下：

(1) 正向激励：

- ① 融资企业 B 完美履约还款 R ： $\Delta S_B = \delta_R$ 。
- ② 关联方 E 为真实数据 D_i 背书： $\Delta S_E = \delta_E \cdot V_i(t)$ 。
- ③ 关联方 E 为伙伴 B 提供担保 G ： $\Delta S_E = \delta_G$ 。

(2) 负向激励(连带惩罚)：

- ① 融资企业 B 发生违约 F ： $\Delta S_B = -\delta_F$ ($\delta_F \gg \delta_R$)。
- ② 若 B 违约，为其担保的 E_G ： $\Delta S_{E_G} = -\gamma_G \cdot \delta_F$ 。
- ③ 若 B 违约，为其背书数据 D_i 的 E_E ： $\Delta S_{E_E} = -\gamma_E \cdot W_C(D_i) \cdot \delta_F$ 。

其中 $\gamma_G > \gamma_E$ ，表示担保的连带责任远大于数据背书。

3.3. 博弈论分析

关联方 E 在决定是否为 D_i 背书时，面临一个策略选择，构建其收益函数 U_E 。当数据真实时，即诚实背书，预期收益 $U_E(H) = \delta_E \cdot V_i(t)$ ；当串通造假时，即数据虚假，预期收益

$U_E(C) = Gains_{collusion} - P(F | D'_i) \cdot (\gamma_E \cdot W_C(D'_i) \cdot \delta_F)$ 。设置激励相容体条件，为了使“诚实背书”成为 E 的占优策略，必须满足 $U_E(H) > U_E(C)$ ，即：

$$\delta_E \cdot V_i(t) > Gains_{collusion} - P(F | D'_i) \cdot (\gamma_E \cdot W_C(D'_i) \cdot \delta_F) \quad (6)$$

通过合理设置参数 δ_F 和 γ_E ，可使预期的“连带惩罚损失”远大于“短期串通收益”，在数学上引导理性参与者选择诚实策略，形成纳什均衡。而具体参数设定可基于银行历史数据统计进行：惩罚项 δ_F 的设定可参考银行的历史违约损失率，设置为单次违约造成的平均坏账金额的归一化数值；激励项 δ_R 可参考银行的获客成本或利差收益，根据博弈论约束，需满足 δ_F / δ_R 大于特定阈值，以保证惩罚的威慑力； γ_E 根据关联方在供应链网络中的“介数中心度”动态调整，对于处于核心地位、信用传导能力强的关联方，其 γ_E 应设定较高，以强化其“生态看门人”责任，对于边缘小微企业，可适当降低。

4. 模型仿真与分析

为验证模型的有效性，构建了一个包含 10 个融资企业 B、30 个关联方 E 和 1 个银行 K 的多主体仿真环境。仿真周期为 100 个时间单位。

4.1. 仿真环境设置

- (1) 主体策略: 70%的 B 和 E 设定为“诚实”主体, 30%为“机会主义”(可能串通)主体。
- (2) 参数设定: $\lambda = 0.1, \delta_R = 5, \delta_F = 100, \delta_E = 0.01, \gamma_E = 0.5$ 。所有主体初始信用分为 500。
- (3) 数据生成: 诚实企业每周期生成真实数据, 机会主义企业有 20%概率生成虚假数据。

4.2. 场景对比分析

对比两种场景:

- (1) 场景 A (无 DDAVM、无 DCSM 模型): 银行仅基于数据金额进行授信, 无信用分和惩罚机制。
- (2) 场景 B (采用 DDAVM + DCSM 模型): 银行采用本文模型进行授信和贷后管理。

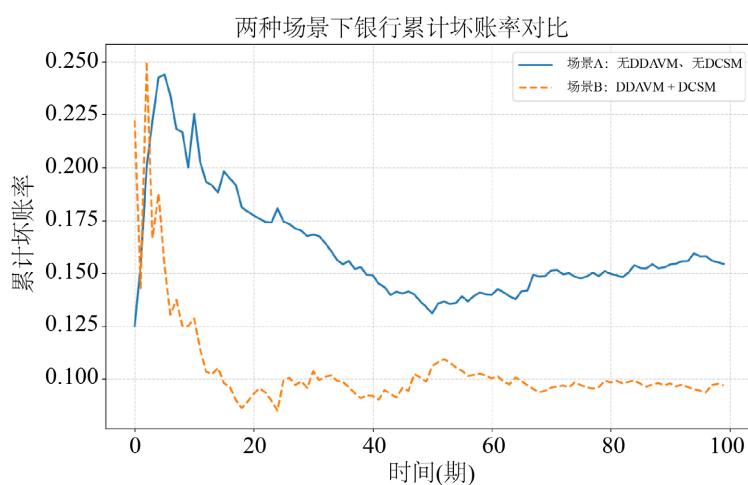


Figure 1. Comparison of average bank default rates under two scenarios
图 1. 两种场景下银行平均坏账率对比图

如图 1 所示, 在场景 A 中, 由于缺乏惩罚机制, 机会主义企业频繁造假, 导致银行坏账率相对较高;而在场景 B 中, 应用 DDAVM 与 DCSM 模型的连带惩罚机制有效遏制了造假行为, 关联方因害怕信用分受损而拒绝为虚假数据背书, 银行坏账率相对较低。

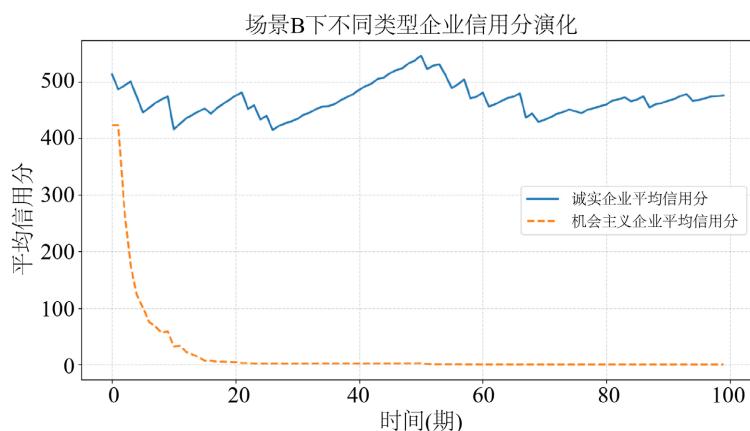


Figure 2. Changes in average credit scores for opportunistic and honest enterprises under scenario B
图 2. 场景 B 下机会主义企业与诚实企业平均信用分变化图

如图 2 所示, 在场景 B 中, 诚实企业的平均信用分相对稳定, 而机会主义企业一旦违约, 其信用分和为其背书的关联方信用分均会断崖式下跌, 难以再获得融资, 以此遏制数据造假行为。

4.3. 多参数耦合的鲁棒性理论分析

为验证模型在不同市场环境下的鲁棒性, 本节从理论层面分析关键参数耦合对系统均衡的影响。

(1) 惩罚 - 激励比与连带系数 γ_E 的互补效应: 根据公式(6), 并关联方诚实背书的条件, 将不等式右侧的惩罚项展开, 可见惩罚力度由 $\gamma_E \cdot \delta_F$ 共同决定。理论上, 存在一个“威慑乘积常数” C 。当银行出于获客考虑无法设置过高的违约惩罚 δ_F 时, 必须通过提高连带责任系数 γ_E 来补偿, 使得 $\gamma_E \cdot \delta_F \geq C$ 成立。这种参数间的互补性保证了模型在不同风险偏好下均能维持纳什均衡, 具有较强的鲁棒性。

(2) 衰减常数 λ 对欺诈窗口的抑制作用: λ 通过公式(2) $W_T(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t}$ 直接影响欺诈收益。从数学性质看, 当 λ 增大, 数据时效性增强, $V_i(t)$ 随时间呈指数级下降。这意味着造假者必须在极短的时间窗口内完成从伪造数据、背书到骗贷的全过程。随着 t 的推移, 公式(6)左侧的“诚实收益”与右侧潜在的“串通收益”同时收缩, 但右侧的“信用惩罚”项(由 δ_F 主导)通常不随时间衰减。因此, 理论上对于高 λ 场景(如实时交易数据), 时间是风控的朋友, 模型对造假行为具有天然的“免疫力”; 而对于低 λ 场景, 则需依赖更强的 γ_E 参数来维持系统稳定。

5. 模型应用与优势分析

本套模型构建了一个“数据 - 信用”的闭环飞轮, 为银行提供了全新的风控抓手。

5.1. 在授信审批中的应用

在业务流程的第 4 步, 银行 K 的总授信额度 L 是 B 所有数据资产的动态价值总和, 并受其信用分 $S_B(t)$ 的调节。

$$L(t) = \beta \cdot \frac{S_B(t)}{S_{\max}} \cdot \left(\sum_i V_i(t) \right) \quad (7)$$

其中 $V_i(t)$ 由 DDAVM 模型(公式(1))计算得出, β 为风险调节系数。

5.2. 在贷中监控中的应用

银行 K 可以实时监控 $L(t)$ 的变化。若 B 停止上传数据, 或关联方 E 停止背书, 会导致 $\sum V_i(t)$ (因 W_T 衰减) 和 $S_B(t)$ (因缺乏正向激励) 双双下降, 银行可立刻触发风险预警。

5.3. 模型优势

- (1) 从机制上解决数据真实性问题: 通过 DCSM 模型的连带惩罚机制, 将“数据造假”的成本从“零”提升到“极高”, 利用博弈论迫使生态各方共同维护数据真实性。
- (2) 实现动态化估值: DDAVM 模型的 W_T (时效性) 和 W_C (可信度) 函数, 为“数据”这一非标、易逝资产提供了可计算的、动态的定价框架。
- (3) 构建激励相容生态: 参与方“利他”(背书、担保)的行为, 会积累自身 $S(t)$ (利己), 实现了生态的良性循环。

6. 结论与展望

本文针对数据资产融资中的真实性和估值难题, 首先设计了一套以联盟链为基础的业务模型, 并在此基础上构建了动态数据资产估值模型(DDAVM)和数据信用评分模型(DCSM)。DDAVM 通过指数衰减

和信用加权，解决了数据资产的动态定价问题；DCSM 通过设计激励相容的连带惩罚机制，解决了数据源头的可信激励问题。仿真实验表明，该模型能有效抑制数据造假，降低金融风险。

本研究将金融科技的业务需求抽象为可计算、可量化的数学模型，并为该模型提供了清晰的业务架构支撑，为普惠金融领域的数据要素市场化提供了新的理论基础和计算范式。

基金项目

2024 年度河北省金融科技应用重点实验室课题：开放银行实现城商行金融供给创新的应用系统开发（课题编号：2024011）。

参考文献

- [1] 杨东, 高一乘. 赋能新质生产力发展: 企业数据资产“确权”的三重维度[J]. 商业经济与管理, 2024(4): 83-93.
- [2] 郭佳楠, 张慧. 被操纵的透明性: 打开算法透明规制权力的“黑箱”——以美国 FICO Score 信用评分系统为例[J]. 浙江树人学院学报, 2024, 24(3): 40-48.
- [3] 朱艳敏, 陈超. Z-Score 模型最优分割点的确定方法比较——基于违约风险预测能力的分析[J]. 南方金融, 2013(8): 74-77.
- [4] 曹允春, 林浩楠, 李彤. 供应链金融创新发展下的风险变化及防控措施[J]. 南方金融, 2020(4): 36-44.
- [5] Timko, C., Niederstadt, M., Goel, N., et al. (2023) Incentive Mechanism Design for Responsible Data Governance: A Large-Scale Field Experiment. *ACM Journal of Data and Information Quality*, **15**, 1-18. <https://doi.org/10.1145/3592617>