

Research Article

Breaking Barriers and System Construction for Innovation-Industrial Chain Integration in Resource-Based SOEs: A Case Study of L Oilfield

Yueyang Wu* , Shuangying Li , Han Li , Le Wang

Economics and Technology Research Institute, Petrochina Liaohe Oilfield Company, Panjin, China

Abstract

Deepening the integration of the innovation chain and industrial chain ("Dual-Chain Integration") is a core strategic pathway to overcome the sustainable development bottlenecks of mature oilfields, cultivate new quality productivity forces, and ensure national energy security. Taking Oilfield L as a typical case, this paper first constructs an analytical framework encompassing "Factor Aggregation—Platform Empowerment—Mechanism Synergy—Ecosystem Evolution." Through field research and policy text analysis, it systematically diagnoses the prominent challenges faced by Oilfield L in the process of Dual-Chain Integration. A coupled System Dynamics and Agent-Based Modeling (ABM-SD) framework is designed: the upper-level SD module simulates the evolution of macro-level resource constraints and policy environments, while the lower-level ABM module simulates the micro-level game-playing and strategy learning processes of three types of agents—research institutions, production units, and coordination platforms. Multi-agent reinforcement learning is employed to derive flexible organizational models featuring risk-sharing and benefit-sharing mechanisms. Parameter calibration and scenario simulations are conducted based on empirical data from Oilfield L. The findings reveal that: (1) establishing a substantive collaborative innovation platform improves overall system efficiency by approximately 21.6%; (2) technology transfer rates reach an optimal equilibrium when the risk-sharing ratio is optimized to 32% for research institutions and 68% for production units; and (3) building industrial innovation ecosystems around characteristic areas such as heavy oil green development and CCUS can effectively break the structural barrier of a weak pilot-scale testing phase. This study provides a replicable micro-level practical paradigm for resource-based state-owned enterprises to achieve kinetic energy conversion through Dual-Chain Integration.

Keywords

Dual-Chain Integration (Innovation-Chain and Industrial-Chain), Resource-based SOEs, ABM-SD Coupling Model, Multi-Agent Reinforcement Learning, New Quality Productivity Forces

*Correspondence: Yueyang Wu (61399722@qq.com)

Received: 18 March 2026; Accepted: 27 May 2026; Published: 29 May 2026



Copyright: © The Author(s), 2026. Published by Science Publishing Group. This is an **Open Access** article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

基于 L 油田分析资源型国企创新链与产业链融合的 壁垒突破与体系构建

武越洋*, 李双莺, 李晗, 王乐

中国石油辽河油田公司经济技术研究院, 盘锦市, 中国

摘要

推动创新链与产业链的深度融合(“双链融合”),是破解老油田可持续发展瓶颈、培育新质生产力、保障国家能源安全的核心战略路径。本文以 L 油田为典型案例,首先构建涵盖“要素汇聚—平台赋能—机制协同—生态演进”的分析框架,并通过实地调研与政策文本分析,系统诊断 L 油田在双链融合过程中面临的突出挑战。设计 ABM-SD 耦合模型:上层 SD 模块模拟宏观资源约束与政策环境演变,下层 ABM 模块模拟科研机构、生产单元、协调平台三类智能体的微观博弈与策略学习过程。通过多智能体强化学习求解风险共担与利益共享的柔性组织模式,并基于 L 油田实际数据进行参数校准与情景仿真。研究表明:(1)建立实体化协同创新联合体可使系统整体效能提升约 21.6%;(2)当风险分担比例优化为科研机构承担 32%、生产单元承担 68%时,技术转化率达到最优均衡;(3)围绕稠油绿色开采、CCUS 等特色领域构建产业创新生态圈,可有效破解“中试环节薄弱”的结构性壁垒。该研究为资源型国企通过“双链融合”实现动能转换提供可借鉴的微观实践范本。

关键词

双链融合, 资源型国企, ABM-SD 耦合模型, 多智能体强化学习, 新质生产力

1. 引言

1.1. 研究背景与意义

能源作为国民经济的命脉,在国际地缘政治博弈加剧、全球能源供需版图深刻重构的当下,战略属性愈发凸显,已成为大国博弈的关键领域和影响经济社会发展的关键变量。在此背景下,资源型国企的转型发展不仅关乎企业自身的生存与竞争力,更直接关系到国家能源供应的稳定性、能源转型的主导权以及国民经济的整体安全与长远韧性。”近年来,L油田相继发布《关于支持全面创新的相关举措(试行)》等系列文件,明确提出“推动科技创新与产业创新融合,因地制宜培育新质生产力”,并布局“3+12+4”技术体系,旨在通过创新链与产业链深度融合实现转型升级[1, 2]。

从理论层面看,创新链与产业链融合涉及宏观政策环境、中观组织架构、微观主体行为的多层次交互,传统单

一建模方法难以捕捉系统的复杂反馈与涌现特征[3]。本文引入系统动力学与多智能体建模相耦合的混合仿真方法,为“双链融合”研究提供新的方法论视角。

从实践层面看,L油田作为典型资源型国企,其转型经验对我国老工业基地和老油田的动能转换具有重要借鉴意义[2]。通过量化模拟不同政策情景下的融合效果,可为决策者提供科学依据。

1.2. 研究内容与创新点

本文的核心创新在于:①构建ABM-SD耦合模型,系统刻画“双链融合”的宏观约束与微观博弈[4, 5];②引入多智能体强化学习,内生求解风险共担与利益共享的柔性组织模式;③基于L油田最新政策实践进行参数校准与情景仿真,实现理论模型与实证数据的深度融合[6]。

2. 理论基础

2.1. ABM-SD 耦合建模方法与应用

系统动力学（System Dynamics, SD）擅长处理宏观层面的存量流量与反馈结构，能够刻画政策干预的长期演化效应；多智能体建模（Agent-Based Modeling, ABM）则聚焦微观主体的异质性行为与局部交互，能够揭示个体决策导致的宏观涌现现象[7, 11]。

近年来，ABM-SD耦合模型在供应链管理、公共健康、生态系统管理等领域的应用日益广泛。Hosseinnezhad等将其应用于供应链韧性分析，发现耦合模型能够有效捕捉企业间的复杂交互与个体偏好[8]。Nguyen等提出了混合仿真概念建模的实用框架[9]，为模型开发提供了方法论指导。Pessoa等将其应用于油气行业R&D项目技术成熟度预测，验证了模型在创新管理领域的适用性。

在中文文献中，周愉峰等将ABM+SD耦合建模应用于血液供应链绩效演进研究[5]，张家瑞等将其应用于环境政策仿真[15]，均取得了良好效果。这为本文在资源型国企场景下的应用提供了方法借鉴。

2.2. 理论框架构建

创新链与产业链融合是近年来创新管理学的研究热点。现有研究主要从创新生态系统、技术转移转化、产学研协同等视角展开，但针对资源型国企特殊情境的深入剖析相对有限。基于上述分析，本文构建“要素汇聚—平台赋能—机制协同—生态演进”的四层次分析框架（见图1）。其中，要素汇聚指创新资源与产业资源的双向流动；平台赋能指实体化协同创新联合体的支撑作用；机制协同指风险共担与利益共享的制度设计；生态演进指围绕特色领域形成产业创新生态圈的长远目标。



图1 “双链融合”四层次分析框架。

3. L 油田“双链融合”的现实诊断

3.1. 政策实践梳理

2023年以来，L油田在创新体系建设方面推出多项重要举措：科学立项方面，建立科学技术委员会“自上而下”主导的科技立项模式，突出“业务主导、科技统筹”原则，破解科研与生产“两张皮”问题；简政放权方面，简化科技项目外协程序，扩大科技项目经费自主权，将预算调整权限下放给项目承担单位；精准激励方面，实施“科技项目基础奖”制度，设置“揭榜挂帅”项目奖和“科技成果转化奖”，鼓励技术成果产业化，奖励上不封顶；创新联合体方面，扎实推进深层油气、页岩油、非常规油气、稠油绿色低碳开发等创新联合体建设，探索联合攻关、成果共享的有效机制；人才培养方面，打破“论资排辈”桎梏，建立青年人才破格晋升通道；容错机制方面，明确对未达预期的科学探索项目给予充分包容，鼓励探索不怕试错。

3.2. 主要壁垒诊断

尽管政策举措密集出台，但L油田在“双链融合”过程中仍面临以下突出挑战：

第一，基础研究与应用开发脱节。科研机构追求技术前沿与学术突破，生产单元关注短期稳产与成本控制，二者目标函数不一致导致创新方向与实际需求错位。

第二，成果转化中试环节薄弱。从实验室成果到工业化应用之间缺乏有效的中试平台和风险分担机制，大量技术成果“沉睡”在实验室。

第三，跨组织协同成本高昂。研究院、采油厂、管理部门之间信息壁垒较高，协同决策流程繁琐。

第四，创新收益分配机制不健全。成果转化收益在科研团队、研究院、生产单元之间的分配比例缺乏科学依据，激励效果有限。

4. ABM-SD 耦合模型构建

4.1. 模型总体架构

本文采用AnyLogic仿真平台构建ABM-SD耦合模型，模型架构由上层SD模块和下层ABM模块构成，二者通过双向接口实现动态交互：

SD模块模拟宏观资源环境，包括总资产存量、总人才存量、碳排放配额、累计原油产量等存量变量，以及油价波动、政策约束等外生变量。SD模块每季度向ABM模块传递“总预算上限”“年度减排目标”等约束参数。

ABM模块模拟微观主体行为，包含科研机构智能体、生产单元智能体、协调平台智能体三类。智能体在SD模块设定的宏观约束下进行策略博弈，其博弈结果（如实际技术转化率、实际协同成本）反馈至SD模块，调整相关速率

变量。这一耦合架构借鉴了Nguyen等提出的混合仿真概念框架和Pessoa等在R&D项目中的应用。

4.2. SD 模块设计

SD模块的存量流量主要方程包括：

创新链存量

$$K_I(t): \frac{dK_I}{dt} = R_D(t) - O_{TR}(t) - D_I \cdot K_I(t) \quad (1)$$

其中， $R_D(t)$ 为研发投入速率， $O_{TR}(t)$ 为成果转化流出速率， D_I 为知识折旧率。

产业链存量

$$K_P(t): \frac{dK_P}{dt} = P_{OUT}(t) - O_{TR}(t) \cdot \eta - D_P \cdot K_P(t) \quad (2)$$

其中， $P_{OUT}(t)$ 为常规产出速率， η 为成果转化对产出的贡献系数。

总资产存量

$$A(t): \frac{dA}{dt} = R(t) - C_{RD}(t) - C_{OP}(t) \quad (3)$$

其中， $R(t)$ 为营业收入， $C_{RD}(t)$ 为研发投入， $C_{OP}(t)$ 为运营成本。

4.3. ABM 模块设计

4.3.1. 智能体设定

参照Hosseinnezhad等对供应链协同的建模思路，本文设置三类智能体：

科研机构智能体（Agent_R）：代表研究院、实验室等创新主体。目标函数为最大化科研成果转化率与学术影响力，策略空间包括研发方向选择（基础研究/应用研究）、中试参与意愿、成果定价等。

生产单元智能体（Agent_P）：代表采油厂、炼化企业等产业链主体。目标函数为最大化采收率与成本控制，策略空间包括新技术采纳意愿、中试风险承担比例、内部技术采购决策等。

协调平台智能体（Agent_C）：代表实体化运营的协同创新联合体。目标函数为最大化“双链融合”整体效能，策略空间包括风险补偿比例设定、信息透明度调节、联合基金分配等。

4.3.2. 智能体学习机制

引入多智能体强化学习，采用多智能体深度确定性策略梯度（MADDPG）算法进行训练[10]。每个智能体*i*的观测空间 o_i 、动作空间 a_i 和奖励函数 r_i 定义如下：

观测空间：包括SD模块传递的宏观约束（预算上限、碳配额）、其他智能体的历史策略、技术成熟度水平、市场环境参数等。

动作空间：

Agent_R：基础研究投入比例 $aR, 1 \in [0, 1]$ ，成果定价系数 $aR, 2 \in [0.5, 2]$

Agent_P：新技术采纳比例 $aP, 1 \in [0, 1]$ ，风险承担比例， $aP, 2 \in [0, 1]$ ，

Agent_C：风险补偿比例 $aC, 1 \in [0, 0.5]$ ，信息透明度 $aC, 2 \in [0, 1]$

奖励函数：设计包含多目标的奖励函数：

$$r_i = w_1 \cdot Profit_i - w_2 \cdot Risk_i + w_3 \cdot Coop_i \quad (4)$$

其中， $Profit_i$ 为个体收益， $Risk_i$ 为承担风险， $Coop_i$ 为

协同贡献，权重系数通过层次分析法确定。

4.3.3. 耦合机制设计

ABM与SD的耦合采用“弱耦合”方式：以季度为时间步长，SD模块更新宏观状态变量并传递至ABM模块；ABM模块进行多轮微观博弈，将聚合后的行为结果（如平均转化率、平均协同成本）反馈至SD模块，调整下一期的速率参数。

4.4. 参数校准与数据来源

模型参数校准基于以下数据来源：

① L油田2022-2025年科技统计年报、财务报表；②《L油田公司关于支持全面创新的相关举措（试行）》等政策文件；③“3+12+4”技术体系相关数据；④对研究院、采油厂管理人员的深度访谈（N=15）；⑤对于无法直接获取的参数，采用遗传算法进行反向校准，使模型输出与历史数据拟合度达到85%以上。

5. 仿真实验与结果分析

5.1. 实验设计

设置三组对比情景进行仿真实验，仿真周期为10年（120个月），蒙特卡洛运行次数为50次：

情景S0（基准情景）：维持现有体制机制，无实体化联合体，智能体基于本地信息独立决策。

情景S1（政策干预情景）：引入实体化协同创新联合体（Agent_C），联合体负责风险补偿和信息协调，但收益分配沿用现行规则。

情景S2（优化情景）：在S1基础上，采用MADDPG算法优化收益分配比例，实现激励相容。

5.2. 结果分析

5.2.1. 整体效能对比

仿真结果显示，S2情景下的系统整体效能较S0提升21.6%，较S1提升9.3%。具体指标方面：

技术转化率从S0的34.2%提升至S2的67.8%；

中试周期从平均18个月缩短至9.5个月；

跨组织协同成本下降28.3%；

这一结果与Hosseinzhad等关于供应链协同的研究发现一致，即协调机制的引入能够显著提升系统韧性。

5.2.2. 风险分担优化

通过MADDPG算法训练，模型收敛到最优风险分担比例：科研机构承担32%，生产单元承担68%。这一比例下，科研机构有足够动力推进技术研发，生产单元也因承担可控风险而愿意参与中试，实现了风险与收益的平衡[12]。

敏感性分析表明，该最优比例对技术成熟度敏感：对于成熟度较高的技术（TRL \geq 7），生产单元愿意承担更高比例（可达75%）；对于早期技术（TRL \leq 4），需要协调平台提供更多风险补偿。

5.2.3. 特色领域生态圈仿真

针对L油田“3+12+4”技术体系，分别对稠油绿色开采、CCUS、储气库建设三个特色领域进行专项仿真。结果表明：

稠油绿色开采领域：SAGD技术产业化进程最快，第5年可实现规模化应用；

CCUS领域：初期投入大、回报周期长，需要持续的政策补贴支持；

储气库建设领域：涉及多主体协同，对信息透明度要求最高。

5.3. 鲁棒性检验

通过改变油价波动幅度（ $\pm 20\%$ ）、碳配额收紧速度、技术外生突破概率等外生参数，对模型进行敏感性分析。结果显示，S2情景在各组参数下均保持优于S0和S1的表现，表明优化方案具有较好的鲁棒性。

6. 体系构建与政策建议

6.1. 实体化协同创新联合体建设

基于仿真结论，建议L油田进一步做实“创新联合体”机制：一是赋予联合体实质性资源配置权，设立联合创新基金；二是建立联合体层面的技术成熟度评估体系，分类施策推进成果转化；三是将联合体作为“风险共担池”，为早期技术提供风险补偿。

6.2. 柔性组织模式与激励相容设计

采用MADDPG算法优化出的收益分配比例（科研32%、生产68%）作为基准[13]，结合技术成熟度动态调整。同时，借鉴L油田“科技成果转化创效奖”经验，将奖励与转化实效挂钩，上不封顶。

6.3. 数智驱动的产业创新生态圈

将仿真模型产品转化为“双链融合智能决策支持系统”，实现融合壁垒的实时监控与组织模式的动态调整。围绕“3+12+4”技术体系，构建稠油绿色开采、CCUS、储气库建设等特色领域的创新生态圈，形成可复制的“L模式”[14]。

7. 结论与展望

本文以L油田为实证对象，构建ABM-SD耦合模型系统研究了资源型国企“双链融合”的壁垒突破与体系构建问题。研究揭示了宏观政策环境与微观主体行为的互动机制，量化评估了实体化协同创新联合体的政策效果，求解了激励相容的风险分担与收益分配比例，为L油田战略转型提供了科学依据。

研究存在以下局限：一是模型参数校准受数据可得性限制，部分参数依赖专家判断；二是智能体行为规则进行了必要简化，未能完全反映现实复杂性。未来研究可引入图神经网络挖掘智能体交互网络的动态演化特征[16]，进一步深化对“双链融合”微观机制的理解。

参考文献

- [1] 刘海涛, 陈世青, 张玲. 聚焦新质生产力: 知识产权驱动资源型国有企业产业链知识图谱式布局 [J]. 青海师范大学学报(社会科学版), 2025(4): 1-12. <https://doi.org/10.12451/202512.01636>
- [2] 刘江鹏. 油气田企业基于资源优化配置的一体化体系研究 [J]. 中国总会计师, 2023(10): 27-32.
- [3] 毛丰付, 陈强, 郭子彤. 数据要素驱动创新链与产业链融合的机制研究——基于创新生态系统视角 [J/OL]. 科研管理, 1-15 [2026-03-17].
- [4] 赵佳. 创新链与产业链融合发展的机制与路径研究 [J]. 科学管理研究, 2022, 40(3): 56-62.
- [5] 周愉峰, 张熙培, 李志. 血液供应链绩效演进与评价研究: 基于ABM+SD耦合建模与仿真 [J]. 供应链管理, 2023, 4(3): 18-35.
- [6] 聂常虹, 何雨轩, 李钊. 中国“四链”融合发展的水平测度、问题分析与对策[J]. 中国科学院院刊, 2026, 41(1): 177-193.

- [7] 陈晓红, 唐湘博, 李大元. 基于多智能体仿真的环境政策评估研究综述 [J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(6): 1489-1500.
- [8] Hosseinnezhad D, Heavey C, Goodarzi F. Application of hybrid agent-based modeling and system dynamics simulation: Collaboration to improve supply chain resilience [C]//SW 2025 - OR Society 12th Simulation Workshop. Birmingham Operational Research Society, 2025.
- [9] Nguyen L K N, Howick S, Megiddo I. A framework for conceptualising hybrid system dynamics and agent-based simulation models [J]. European Journal of Operational Research, 2024, 315(3): 1153-1166.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.01.027>
- [10] 杜威, 丁世飞. 多智能体强化学习综述 [J]. 计算机科学, 2019, 46(8): 1-8.
- [11] 肖锋. 基于强化学习的库位优化算法在物料拉动系统中的研究与应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [12] 闫俊宇, 吴孟武. 基于MAPPO算法的串行多车间调度方法 [J]. 计算机应用研究, 2026, 43(2).
- [13] 姜兴宇, 陈嘉淇, 王立权, 等. 基于深度多智能体强化学习的机床混流装配线调度优化 [J]. 工业工程, 2025, 28(4): 15-23.
- [14] 孙海燕, 王建国. 资源型国企转型升级中的创新生态系统构建 [J]. 经济体制改革, 2024(2): 112-118.
- [15] 张家瑞, 王慧慧, 曾维华. 基于 ABM+SD 耦合模型的滇池流域水价政策仿真 [J]. 中国环境科学, 2017, 37(10): 3991-4000.
- [16] 黄璐, 任航, 刘明熹, 等. 融合大语言模型与动态图神经网络的产学研知识流动测度方法研究 [J/OL]. 中国管理科学, 1-16 [2026-03-17].