

朱凯龙, 方明, 韩松亮, 等. 基于区块链的储集层伤害诊断可信系统的研究[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(8): 59-64.
DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.240810

基于区块链的储集层伤害诊断可信系统的研究

朱凯龙, 方明, 韩松亮, 田梦璐
(西安石油大学 计算机学院, 西安 710065)

摘要: 钻井过程中, 储集层伤害诊断涉及的因素较多, 传统使用人工对储集层伤害诊断给出的诊断结果可信度低、诊断数据存放平台存在数据泄露的安全隐患问题, 基于此类问题, 本文提出一种基于区块链的储集层伤害诊断可信系统。在储集层伤害诊断的过程中, 引入区块链确保采集数据的不可篡改性 and 真实可信性; 引入智能合约开发, 实现诊断结果的自动化可靠执行。应用结果表明, 该系统确保了为每一条伤害诊断结果生成历史的不可篡改的可信追溯记录, 提高诊断结果的可信度。

关键词: 储集层; 区块链; 可信度; 伤害诊断

中图分类号: TP315

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)08-0059-06

Research on a trustworthy system for damage diagnosis in storage layers based on blockchain

ZHU Kailong, FANG Ming, HAN Songliang, TIAN Menglu

(School of Computing, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: During the drilling process, there are various factors involved in damage diagnosis in storage layers. The traditional method of manually diagnosing damage in storage layers yields low credibility, and the platforms for storing diagnostic data are susceptible to security risks such as data leakage. To address these issues, a system is proposed, which is a trustworthy system for damage diagnosis in storage layers based on blockchain technology. In the process of diagnosing damage in storage layers, blockchain is introduced to ensure the immutability and authenticity of collected data. Smart contracts are employed to automate and reliably execute diagnostic results. The application results demonstrate that this system ensures the generation of immutable and trustworthy traceable records for each diagnostic result, thereby enhancing the credibility of the diagnostic results.

Key words: storage layers; blockchain; credibility; damage diagnosis

0 引言

2022年, 中国原油对外依存度达71.2%, 原油供需矛盾突出^[1]。石油对外依赖严重, 原油供需矛盾突出, 如何从已有的石油储量中扩大产出率成为迫切需要考虑的问题。储集层伤害诊断是指油气勘探和生产过程中, 对地下储集层(通常是含油气的岩石层)发生的任何损伤、破裂、渗漏、压力变化或其他异常情况进行分析 and 评估的过程^[2]。安全、可信的储集层伤害诊断是维护石油开采条件的重要基础。在储集层诊断的过程中, 涉及收集数据、处理数据、上传数据、数据共享等多个阶段。

区块链(Blockchain)的典型特征有去中心化、透明性、信息不可篡改性、隐私匿名性, 能够满足复杂的储集层伤害诊断的安全可靠诊断需求^[3]。将区块链技术应用于储集层伤害诊断中, 为提高油气田开发企业辨别储集层伤害的类型、提高伤害诊断结果的可信度提供了新思路。储集层伤害类型诊断涉及的因素繁多, 主要有润湿性、渗透率、水敏损害程度、固相体积含量、孔隙度、胶结状态、漏斗粘度、油水井作业施工、地层压力等多方面因素, 诊断通常是依据以往类似问题诊断的经验与结果进行有效的求解^[4]。传统的储集层伤害诊断方法主要依赖于少量较全面知识的储集层伤害诊断方面专家来解

作者简介: 朱凯龙(2000-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 高级信息系统。

通讯作者: 方明(1963-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 高级信息系统。Email: mfang@xsyu.edu.cn

收稿日期: 2024-01-04

决,由于具备这种经验的专家少、若有相关专家参与也需要大量分析工作、诊断完成后诊断结果无法追溯,可能在诊断过程中存在欺诈或诊断错误,影响钻井作业的效益和成败。本文基于区块链技术设计一个储集层伤害诊断系统,首先确保储集层数据从收集、验证上链的所有环节完全依据既定策略可靠执行;其次,构建一个储集层伤害诊断可信系统(Case-Based Reasoning, CBR),用储集层伤害类型诊断实例构建有知识目标和能力的智能实体,建立实例智能体直接的偏序关系进行问题的诊断;最后,将诊断结论发送给有着丰富储集层伤害诊断经验的专家来验证系统判断合理性,为结论背书,将最后的结果提供给钻井方。数据向参与到应用网络内部的可信企业组织完全开放,用户可以通过矿井项目名称或者操作人员姓名进行追溯,提高储集层诊断结果的可信度。

1 相关研究

1.1 区块链

区块链从本质上来说是一个去中心化、各节点安全共享的数据账本^[5]。区块链由两个部分组成,一个是“区块”,一个是“链”,不同区块按时间顺序连接起来成为完整的数据。区块使用密码学方式产生,数据以电子记录的方式储存,将数据打包就成了区块。区块由区块头和区块体两部分构成,每一个区块都由块头和块体组成。块头主要用来存放时间戳、当前模块的目标哈希值等,主要用于链接到上一个区块的地址、维护区块链的稳定性、确保数据的完整性。块体通常存放实际交易数据,主要用于提供交易的透明性、支持智能合约执行等作用。区块链的数据存储通过两种方式来保证数据库的完整性和严谨性。首先,每个区块上的交易都是在前一个区块完成后,在下一个区块产生之前所发生的必须都是有意义的交易,因此才能保证数据的整体性;其次,当一个新的区块被添加到一个区块链的尾部时,这个区块的数据记录是不可改变或删除的,这一特性确保了该数据库的完整性,不会被人篡改^[6-7]。

区块链系统由数据层、网络层、共识层、激励层、合约层和应用层组成^[8]。区块链系统可应用于多个领域,包括金融服务、供应链管理、医疗健康、投票系统、数字身份验证等。不同的区块链系统在设计、功能、构建和标准上都会有很大的区别。区块链系统通常包含多个参与方,彼此之间有特殊的规则和协定,以实现特定的功能。

1.2 智能合约

智能合约是一种在区块链上执行的自动化合约,其是一段包含了预定规则和条件的计算机代码,开发部署后,最后运行在以太坊虚拟机中。部署成功之后的代码触发某些特定条件后会自动执行,保证了合约的规范性、不可逆性、不可违约性、匿名性^[9-10]。完成基于区块链智能合约的构建及执行分为以下步骤:

- (1) 多方用户共同参与制定一份智能合约;
- (2) 合约通过 P2P 网络扩散并存入区块链;
- (3) 区块链构建的智能合约自动执行。

物联网中采集数据要确保其不可篡改和真实可信性。物联网平台大多是为企业或者行业运营者打造的中心化系统,通过智能合约就可以满足数据的真实可信性,提高效率,追溯数据处理的全过程,从这些设备的数据中挖掘出价值^[11]。

1.3 实例推理

基于实例推理(Case-Based Reasoning, CBR)的核心思想是以过去求解类似问题的成功经验为基础求解新问题的一种类比推理模式。整个决策分为检索(Retrieve)、重用(Reuse)、修正(Revise)和保存(Retain)^[12-13]。

(1) 检索:从已有的数据库资料中检索,用以分析当前的案例,核心就是从以往的经验中获得对当前问题有重要参考价值的信息;

(2) 重用:对现有数据库中检索的信息、案例、模型进行必要的修改,以符合当前的问题具体需求,体现了对先前价值的认可,用于适应当前问题的解决途径,提高问题的解决效率;

(3) 修正:对之前的方案进行修改,满足当前问题的需求;

(4) 保存:将当前问题的解决方案存储在数据库,以应对以后可能面对的问题^[14]。

2 储集层伤害诊断可信系统

2.1 系统架构

系统的数据存储架构采用区块链技术,基于联盟链架构的石油企业数据管理系统网络结构如图1所示。钻井方作为一个节点,将储集层伤害数据和诊断结果打包共享给对应石油企业,对应石油企业作为一个节点可以共享到相关的其他石油企业。对于多方获取的数据可以用来训练多 Agent 储集层诊断模块的性能,提高诊断模块的诊断能力^[15-16]。

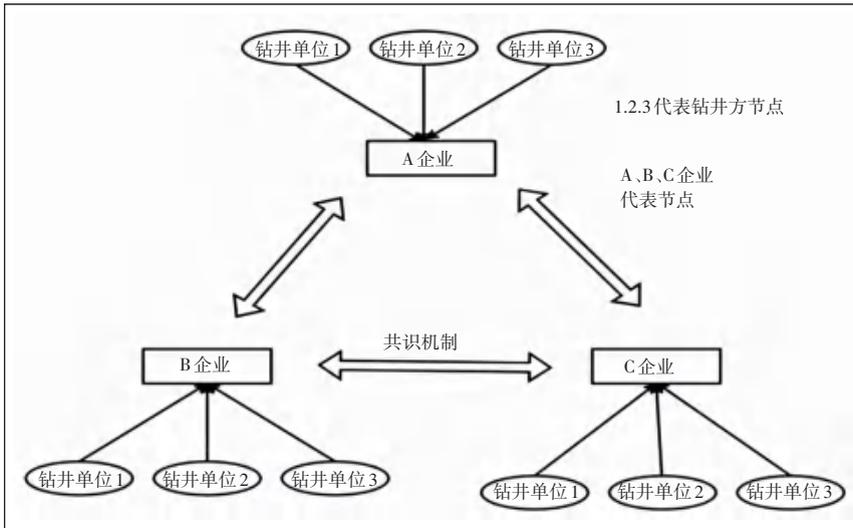


图 1 石油企业数据管理系统网络结构

Fig. 1 Network architecture of the petroleum enterprise data management system

系统面向一家或多家石油相关企业,只有参与建立网络组织的企业下的油气田开采方有权利进行数据的添加,整个系统的流程由智能合约控制。系统使用 P2P+分层架构的方式实现,将应用中核心的数据使用区块链存储,关键的核心逻辑使用智能合约来定义。借助过区块链云技术服务,收集、集成和共享多个来源的交易数据。数据被细分为多个共享区块,并以加密哈希形式的唯一标识符链接在一起。在储集层伤害诊断系统中,涉及多个利益相关者,如钻井方、工程师、管理员、石油企业等。建立联盟链网络,将这

些参与方纳入系统,意味着建立一个本地账本,通过区块链的每一个节点都能和本地账本打交道,以确保数据的安全性和可控性,保证了储集层伤害诊断结果可以被有效的验证和安全存储。储集层伤害诊断可信系统使用智能合约来自动执行特定的操作。系统数据处理过程如图 2 所示,在数据处理的最后一步进行人为协商进行储集层的伤害的最终诊断,损害了智能合约的自动执行理念,但是考虑到储集层伤害的可能因素众多,一旦判断失误会造成大规模的损失,必须需要有着丰富储集层诊断经验的专家为诊断结果做背书。

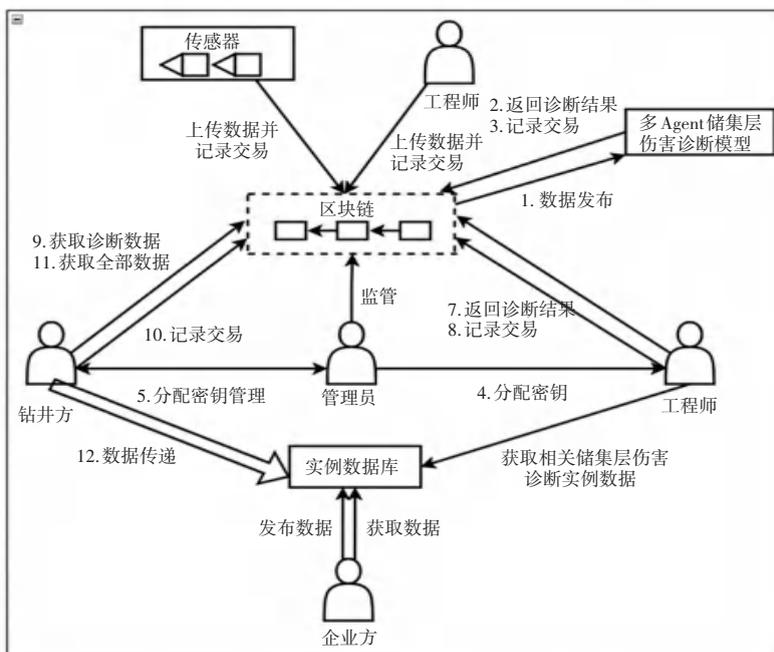


图 2 储集层数据处理过程

Fig. 2 Reservoir data processing

本文设计的基于区块链的储集层伤害诊断系统框架如图3所示,包含技术层、核心层、服务层、应用层。

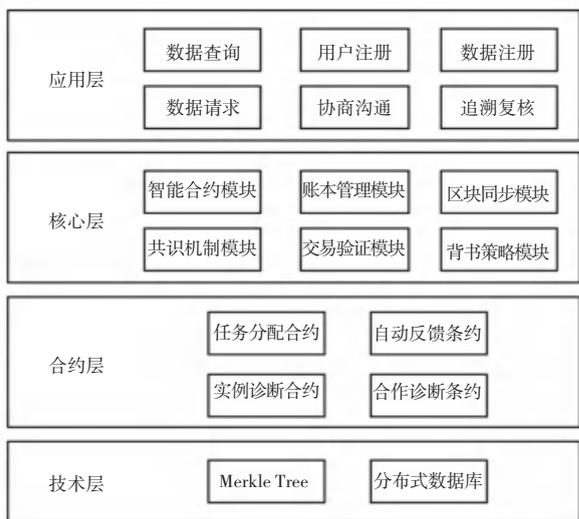


图3 基于区块链的储集层伤害诊断系统框架

Fig. 3 Blockchain-based framework for reservoir injury diagnosis system

(1)技术层:负责系统的底层数据存储,为系统数据的记录和查询提供支持。其中Merkle Trees用来高效的验证区块中交易数据是否完整、是否被修改,分布式数据库用于数据的管理、系统相关数据的存储。

(2)核心层:负责区块链在底层运行方面扮演着核心支撑的角色,为数据共享服务提供了必要的基础设施。各项功能都是由许可区块链系统所提供的,包括智能合约、共识机制、区块同步、账本管理、交易验证和背书策略等模块。

(3)合约层:负责封装系统使用的主要智能合约,如实例诊断合约、自动反馈合约、任务分配合约、合作诊断合约,为系统自动执行提供现实基础。实例诊断合约是指当数据发布过程中,钻井方导入数据后,自动诊断储集层数据,把可能的结果存储到数据库并且发送给系统方;任务分配合约是指将系统诊断的可能结果以及钻井方的储集层数据同时以任务分配算法将合适的资源分配给合适的人;自动反馈条约是指每次数据被处理后发送给下一个人,会自动把处理的结果以及发送的过程添加到区块链;合作诊断合约是指将多个专家集成自己的经验并参考系统反馈的结论,将合作诊断的结果自动反馈给钻井方。

(4)应用层:包括数据添加、数据查询、数据请求、用户注册、协商沟通、追溯复核等功能。

2.2 多agent储集层合作诊断模型

2.2.1 多agent储集层合作诊断模型设计

储集层伤害类型诊断涉及的因素繁多,主要有润湿性、渗透度、水敏损害程度等多种复杂因素^[17]。

实例库中的实例是等待检索的状态,缺乏根据问题和环境变化主动进行知识结构调整和主动问题求解的能力,使得诊断的效率低、计算量大。为了这类复杂性问题,本文提出使用大量具有自治性、交互性、可通信性、能动性的Agent构建一个储集层伤害诊断可信系统(CBR),整个CBR系统可以根据主动性、环境变化来调整自身实例和自我诊断的能力,如图4所示。

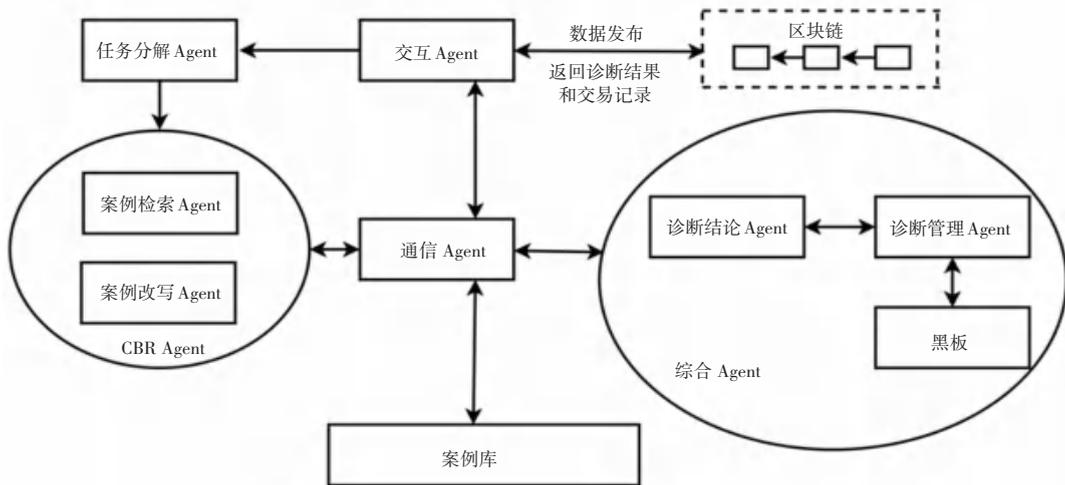


图4 储集层伤害诊断可信系统

Fig. 4 Trustworthy case-based reasoning (CBR) system for damage diagnosis in storage layers

当储集层数据由区块链自动发布,通过交互Agent完成问题的描述,然后任务分解Agent将诊断

任务分解后交给CBR Agent进行诊断分析和诊断支持。CBR系统完成相似案例的检索之后,将相似案

例的解作为初始结果发送至综合 Agent 中。综合 Agent 则是根据各个相似案例的解,对储集层数据进行综合评价,从而产生复杂问题的解。

2.2.2 多 Agent 合作诊断算法

合作诊断实际上是一种对实例推理的研究,传统的实例推理主要分成生成问题实例、实例的检索匹配、实例修改与保存^[18-19]。传统的 CBR 系统实例库中实例缺乏根据解决问题和环境变化主动进行知识结构调整和主动问题求解的能力,效率低和计算量大^[20]。为了解决这个问题,本文提出构建多 Agent 合作诊断算法。

假设具有 M 个属性集合 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 的实例集合 $B = (B_1, B_2, \dots, B_n)$,并通过一系列定义的关系和标准来诊断问题 P ,多 Agent 合作诊断算法具体设计如下:

(1)初选:采用最近邻法计算 A 集合的相似性系数,检索最相似的案例作为初步筛选的实例集 T ,可知实例集 $T \in A$ 。

(2)偏序关系的建立:备选实例集 T 中的每个实例 T_i ,根据比较第 i 个实例的第 l 个属性值 T_{il} 与结论集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ 中元素的关系,定义了关系 R_k ,这个关系表示具有相同结论 S_k 的实例 T_i 和 T_j 之间的属性值关系, T_i 和 T_j 都属于 T ,且 T_i 和 T_j 有相同的结论 S_k 。关系 R_k 表示具有相同结论 S_k 的实

例 T_i 和 T_j ,具有自反性、反对称性和传递性,因此关系 R_k 是一种偏序关系。针对每个结论 S_k ,定义了判定集合 X_k 和 X'_k ,然后使用这些集合来确定结论 S_k 的判定准则。

(3)针对为每个结论 S_k 所建立的偏序关系 R_k ,确定该结论的判定准则 1:

准则 1 定义集合 $X_k = \{T_i \in S_k | \exists T_j \in S_k, \text{ 且 } \langle T_i, T_j \rangle \in R_k\}$,则 $X'_k = \{T_i \in S_k | \exists T_1 \in S_k, \text{ 且 } \langle T_1, T_i \rangle \in R_k\}$ 为集合 S_k 的判定集合。

(4)问题结论的诊断,诊断准则 2:

准则 2 如果存在 $T_i \in X_k$,使得 $(P, T_i) \in R_k$,并且存在 $T_j \in X'_k$,使得 $(T_j, P) \in R_k$,则认为问题 P 的结论为 S_k 。

2.3 系统实现

基于区块链的储集层伤害诊断可信系统可以实现在石油企业内部用户的管理、数据的管理以及石化企业之间储集层数据和诊断结果共享的业务需求,并在系统的设计过程中智能合约,以确保任务可以自动执行,防止执行过程中人为因素干扰造成诊断的不可信因素。系统基于区块链的不可篡改、可追溯的特性,依托链式的结构可以构建可追溯的电子证据凭证如图 5 所示,可信追溯记录如图 6 所示。

编号	油田场站名	操作项目	交易时间	操作人员
6	延长油田2号井	钻井方获取数据	2023-11-30 17:20:09	lishi
9	渭北油田1号井	数据上传	2023-11-30 16:35:23	zhangli
8	延长油田1号井	数据上传	2023-11-30 16:35:10	wangdali
7	渭北油田1号井	实例诊断	2023-11-30 16:34:12	lixiang
5	延长油田2号井	二次诊断	2023-11-30 16:06:04	lixiang
4	延长油田2号井	实例诊断	2023-11-29 10:30:56	zhangwei
3	渭北油田1号井	数据上传	2023-11-29 09:00:43	wangdali
2	延长油田2号井	数据上传	2023-11-29 08:57:21	zhangli
1	延长油田2号井	数据上传	2023-11-28 18:45:27	wangdali

图 5 可追溯的电子证据凭证

Fig. 5 Traceable electronic evidence artifacts

编号	油田项目名	操作项目	交易时间	操作人员
6	延长油田2号井	钻井方获取数据	2023-11-30 17:20:09	lishi
5	延长油田2号井	二次诊断	2023-11-30 16:06:04	lixiang
4	延长油田2号井	实例诊断	2023-11-29 10:30:56	zhangwei
2	延长油田2号井	数据上传	2023-11-29 08:57:21	zhangji
1	延长油田2号井	数据上传	2023-11-28 18:45:27	wangdali

图6 可信追溯记录

Fig. 6 Trusted traceable records

3 结束语

本文基于区块链系统及智能合约的相关概念和技术特征,结合区块链和多 Agent 技术设计了基于区块链的储集层伤害诊断系统,该系统提高了诊断效率、降低成本、并使得诊断结果共享可信,提高了储集层伤害诊断的透明度,解决了各个石油企业之间可信诊断结果不共享的问题。诊断过程可追溯,从根源上杜绝诊断过程中欺诈行为。

参考文献

- [1] 张勇,李超. 国内油气对外依存度发展趋势[J]. 中国石油和化工标准与质量,2023,43(17):124-126.
- [2] 曾金辉,马双政,赵新宇. 油田开发过程中储层伤害分析及解堵技术应用[J]. 科学技术创新,2019(5):55-56.
- [3] 巫光福,王蒙蒙. 基于区块链技术的生鲜农产品溯源系统设计[J]. 计算机技术与发展,2024,34(1):177-184.
- [4] 李福军. 基于智能计算的油气储集层损害诊断决策支持系统[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2005.
- [5] 袁勇,王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报,2016,42(4):481-494.
- [6] 姚可凡,宋承坤,王群,等. 基于区块链智能合约的存证与取证方法的设计与实现[J]. 网络安全技术与应用,2023(7):146-150.
- [7] SCHUEFFEL P, GROENEWEG N, RICO B. Crypto Encyclopedia: Coins, Tokens and Digital Assets from A to Z [M]. Bern: Growth

Publisher, 2019.

- [8] 沈传年. 区块链安全问题研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2024,46(1):46-62.
- [9] 邵奇峰. 区块链技术:架构及进展[J]. 计算机学报,2018(5):969-988.
- [10] 吴英华,罗家锋,林成创. 基于区块链智能合约的共享停车模式与系统研究[J]. 数据通信,2023(5):34-37.
- [11] 李焕. 基于区块链的工业互联网数据溯源技术实现[J]. 自动化与仪器仪表,2024(1):89-92.
- [12] 王运平,李宝清,曹立林,等. 基于知识工程的推理技术综述及应用[J]. 工具技术,2023,57(7):13-19.
- [13] 文家富,郭伟,邵宏宇. 基于领域本体和 CBR 的案例知识检索方法[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(7):1377-1385.
- [14] 高晓荣,郭小阳,徐英卓. 基于本体和 CBR 的钻井工程风险决策模型研究[J]. 计算机工程与应用,2015,51(3):265-270.
- [15] ROCCA G L. Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design[J]. Advanced Engineering Informatics, 2012, 26(2):159-179.
- [16] 张强,仲梁维. 集成知识工程和实例推理技术的产品变型设计研究[J]. 现代制造工程,2013(4):126-130.
- [17] 孔令乐. 储层近井带堵塞诊断及防治措施优选软件系统研制[D]. 青岛:中国石油大学,2009.
- [18] 方明,徐英卓. 基于实例的多智能体储集层伤害诊断模型的研究[J]. 小型微型计算机系统,2002(3):339-341.
- [19] 王运平,李宝清,曹立林,等. 基于知识工程的推理技术综述及应用[J]. 工具技术,2023,57(7):13-19.
- [20] 刘金根. 基于 CBR 与多 Agent 的分布式故障诊断系统研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2006.