



建设工程招投标合谋行为智能监测预警系统设计研究

罗鑫亿, 聂 婷, 罗 鑫, 朱文喜

(长沙理工大学 交通学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为了有效解决建设工程招投标中现有合谋行为监测手段不足、发现困难等问题,提升合谋行为的识别效率与预防能力,本文基于大数据与人工智能技术,构建了建设工程招投标合谋行为智能监测预警系统。研究结果表明:该系统采用分层递进式架构设计(由数据采集层、分析处理层、决策支持层构成),通过有机整合多源异构数据并建立跨模态联合修复机制,结合分层识别模型实现了合谋行为的快速识别;同时融合规则引擎的快速筛查功能与集成学习算法的深度研判能力,建立了合谋风险分级预警响应机制,通过可视化界面直观展示预警结果并支持辅助决策,成功推动了工程招投标合谋行为从被动查处向主动预防的转变,显著提升了招投标监管效率、规范了市场竞争秩序并优化了公共资源配置。本文成果可为工程建设领域招投标合谋行为的智能监测预警提供技术支撑与工具参考,对促进行业监管智能化发展具有重要实践价值。

关键词: 智能监测预警; 工程招投标; 合谋行为; 系统设计

中图分类号: TU723.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2026)02-0073-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2026.02.022

Study on design of intelligent monitoring and early warning system for collusive behaviors in construction project bidding and tendering

LUO Xinyi, NIE Ting, LUO Xin, ZHU Wenxi

(School of Transportation, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, Hunan, China)

Abstract: In order to effectively solve the problems such as insufficient monitoring methods and detection difficulties for existing collusive behaviors in construction project bidding and tendering and to enhance the identification efficiency and preventive capabilities for such behaviors, an intelligent monitoring and early warning system for collusive behaviors in construction project bidding is established based on big data and artificial intelligence technologies. The study results show that the system adopts the hierarchical progressive architecture design (consisting of a data acquisition layer, analysis processing layer, and decision support layer) and can rapidly identify the collusive behaviors by organically integrating multi-source heterogeneous data and building a cross-modal joint repair mechanism, and in combination with a hierarchical identification model. In the mean time, by integrating the rapid screening function of a rule engine and the in-depth analysis capability of ensemble learning algorithms, a risk-graded early warning response mechanism for collusion was established in this system. Through a visual interface, the early warning results were visually displayed and the auxiliary decision-making was supported. This system has successfully promoted the transformation of collusive behavior in project tendering and bidding from passive investigation and treating to proactive prevention, significantly improved the efficiency of tendering and

收稿日期: 2025-04-06

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2023JJ30056);长沙市自然科学基金资助项目(kq2208237);湖南省大学生创新训练项目(S202510536079)

作者简介: 罗鑫亿(2004—),女,本科生,从事工程项目管理方面的研究。

通信作者: 朱文喜(1973—),男,副教授,从事工程项目管理方面的研究。

bidding supervision, standardized the market competition order, and optimized the allocation of public resources. The findings of this study can provide technical support and tool references for the intelligent monitoring and early warning of collusive behaviors in the project construction bidding, and has significant practical value for promoting the intelligent development of industry supervision.

Key words: intelligent monitoring and early warning; project bidding and tendering; collusive behavior; system design

建设工程招投标作为建筑市场资源分配的核心环节,在推动基础设施建设、促进产业升级等方面发挥着不可替代的作用。因其涉及多方利益主体且易受各类因素干扰,合谋行为时有发生。具体表现为投标人之间或投标人与招标人通过串通投标谋取中标利益的行为^[1],严重违背公平、公正、公开原则,破坏市场竞争秩序。近年来,政府主管部门为规范招投标市场、打击合谋行为,加快完善招投标法律法规体系,创新监管方式,积极探索应用人工智能等先进技术赋能招投标监管工作。

在合谋治理的学术研究领域,众多学者开展了积极探索并取得了一定成果。朱文喜等^[2]基于 Python 语言环境构建 LDA 模型,用于揭示招投标合谋研究热点及演化历程;田兴鹏等^[3]通过建立影响因子模型横向比较投标主体在特定期望值下的串通投标概率;王佩洪^[4]聚焦大数据技术在电子招投标中的应用,提出基于数据挖掘技术分析投标人行为关联度、资金流和信息流,识别围标串标特征和合谋行为;WALLIMANN 等^[5]运用机器学习方法,通过分析统计投标数据与中标数据的分布特征,预测串通投标行为的发生概率;HUBER 等^[6]则借助神经网络和随机森林的方法,综合计算并筛选关键指标以预测串通投标行为。此外,诸多研究表明,借助大数据技术快速、有效认定串通投标行为,并实施强有力的惩罚措施,能够产生显著震慑效果;同时,扩大信息公开范围、实施全方位、全过程监督等举措,也能在一定程度上遏制工程领域的串通投标行为^[7]。

随着大数据、人工智能技术的飞速发展,部分地区已建立大数据监管平台,但合谋主体依托复杂社会网络与业务关联关系规避监测的现象依然存在,现有模型在合谋行为识别精度与适应性方面仍亟待提升。因此,本文聚焦于设计智能监测预警系统,旨在及时发现招投标合谋行为,借助智能技术实现精准监管,大幅提升监管效率,

为建设工程招投标市场防范合谋行为提供技术支持与先进工具。

1 智能监测预警系统开发的必要性

1.1 必要性分析

(1) 现有监测手段缺陷明显。传统招投标监管主要依赖人工审查,面对海量招投标数据时,其效率低下、易漏查误查的缺陷尤为突出,难以识别复杂的合谋行为,更无法有效应对隐蔽性强的合谋手段。

(2) 预警机制缺失,发现与查处难度大。当前招投标监管缺乏有效的预警机制,难以在合谋行为初期及时察觉并制止。往往需等到项目出现质量问题或资金异常时,合谋行为才被发现,导致事后补救成本高昂且效果有限。

(3) 人工智能技术带来新机遇。机器学习、数据挖掘等人工智能技术为招投标合谋行为监测提供了新途径。其中,机器学习算法能自动挖掘数据中的隐藏模式与规律,识别潜在合谋行为特征^[8];数据挖掘技术则可从复杂数据中提取企业关联关系、报价异常波动等有价值信息。通过这些技术的综合应用,能够实现实时监测,有效提升监管效率与精准度。

(4) 智能监测预警系统优势尤为突出。相较于现有技术,智能监测预警系统能够快速处理海量数据并实现实时更新分析,同时可基于预设阈值和模型分析及时触发预警,为监管部门提供决策支持,辅助其快速采取防范措施,有效遏制合谋风险,保障招投标市场的健康发展。

1.2 功能需求

(1) 全过程监测。系统为监管者提供工程招投标全流程的实时监测服务和动态跟踪服务,在每一个关键招投标步骤设置监测节点。当节点监测到合谋状态时即触发信息推送,通过可视化界面展示监测数据,使监管者能够直观了解项目进展情况及是否存在合谋现象,确保招投标过程中的合规性。

(2) 智能预警功能。合谋监测系统的核心在于构建分级预警与动态应对机制。基于全过程监测的预测结果, 设定多层次预警指标阈值; 当预测到潜在合谋行为时, 系统将评估其发生概率。一旦合谋可能性超过阈值, 系统立即触发预警信号, 并自动实施相应应对策略^[9]。

(3) 决策辅助功能。作为招投标合谋监测系统的核心智能支撑模块, 决策辅助功能通过多维度数据融合与知识驱动分析, 为监管人员提供精准可操作的决策依据及详细的决策支持信息。系统通过 pdf、图片等形式反馈合谋风险分析报告、嫌疑线索等内容, 结合专家经验和智能算法, 针对不同合谋风险等级提供个性化处理建议。

(4) 用户交互友好。界面设计遵循用户友好的交互原则, 通过可视化设计提升系统易用性和视觉体验, 确保用户操作便捷、界面直观。

2 智能监测预警系统功能层

系统采用分层递进式架构设计, 构建包含数据采集层、分析处理层、决策支持层构成的 3 层技术框架, 各功能层之间通过标准化数据接口实现层间信息交互, 具体系统架构如图 1 所示。

2.1 数据采集层

数据采集是智能监测预警系统的关键起始环节, 其核心任务在于构建覆盖招投标全流程的多维度数据采集体系。系统依托监管部门现有信息化系统及设施, 通过工程招投标数据共享交换平台实现多源异构数据的高效整合与汇聚。具体采集内容涵盖项目基本信息、招标公告、招标文件、企业资质、交易记录、评标报告、行为轨迹等数据。所采集数据需满足一致性、准确性、及时性和完整性等质量要求^[10]。

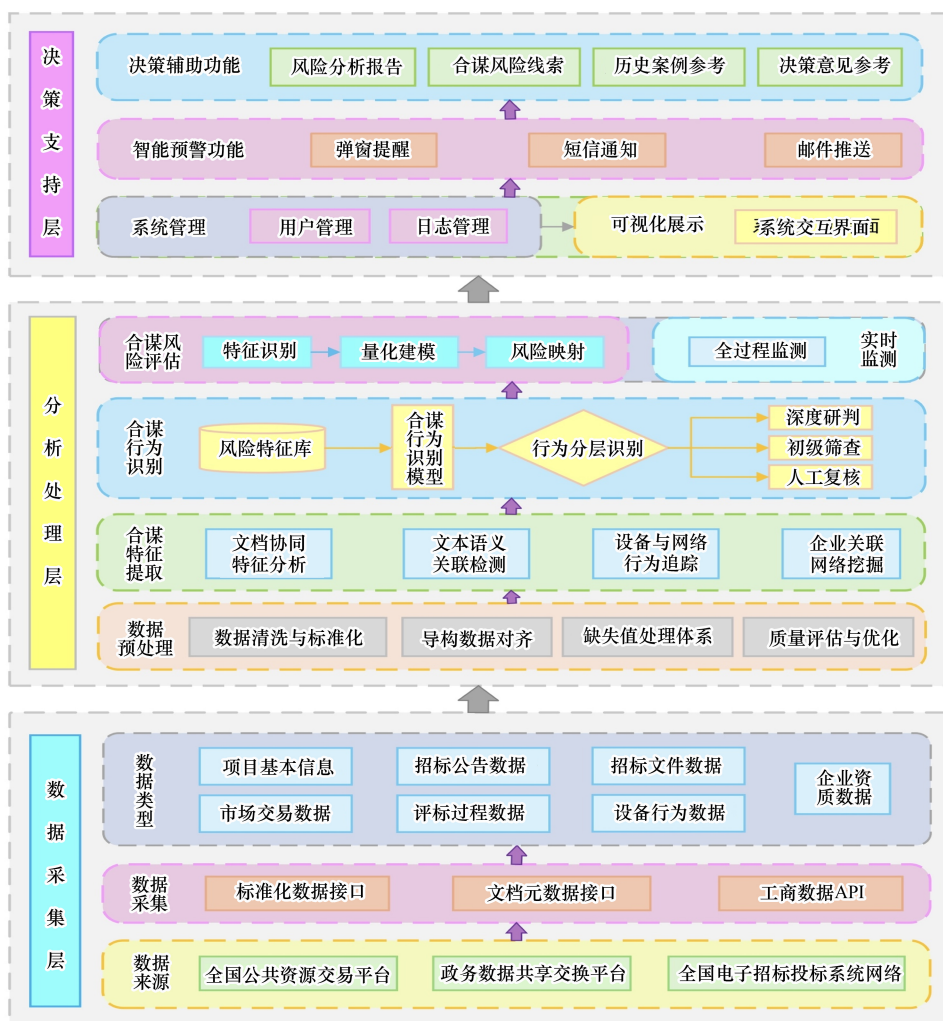


图 1 系统架构

2.2 分析处理层

2.2.1 数据预处理

数据预处理是智能监测预警系统的数据治理核心环节,其核心任务在于将多源异构数据转化为可分析的特征空间,关键创新在于建立跨模态联合修复机制,即通过跨模态联合修复机制与知识图谱融合多源特征,实现全维度数据治理^[11]。

(1) 数据清洗与标准化。针对招投标数据的多源异构特性,基于改进孤立森林算法构建混合清洗模型:数值型数据通过局部离群因子优化清洗,文本数据应用语义异常识别技术处理,图像数据通过卷积自编码器重构误差检测清洗。标准化处理阶段,数值字段采用 Z-score 归一化方法,文本数据转化为语义向量表示,图像数据统一为标准化输入格式。

(2) 异构数据对齐。建立时空-语义双驱动对齐机制:时间维度上,对招标公告发布、投标截止等关键时间点进行时区统一与同步;空间维度上,将不同地理坐标转换至标准坐标系;语义维度上,构建招投标领域知识图谱,通过实体消歧技术实现字段语义的统一映射。

(3) 缺失值处理体系。针对多模态数据的缺失特征,设计差异化处理方案:结构化数据采用马氏距离优化的 KNN 算法填充或贝叶斯网络推断最优取值;文本数据应用语义相似度检索融合补全,或通过生成模型生成内容并校验语法结构;图像数据使用生成对抗网络(GAN)重建,或多模态检索相似特征补充;音视频数据采用生成模型对齐背景音,或通过时序插值保持内容连贯性。

(4) 质量评估与优化。构建缺失影响因子量化模型,当缺失影响超过阈值时触发人工复核机制,形成“处理-评估-优化”的动态闭环,持续提升数据质量。

2.2.2 合谋特征提取

通过多维特征分析与动态识别机制构建招投

标合谋行为智能化监测系统,旨在从预处理后的数据中挖掘合谋行为关键特征,并基于动态更新的合谋风险特征库实现多层检测。具体特征提取路径如图 2 所示。

2.2.3 合谋行为识别

(1) 动态风险特征库。整合文档协同分析、文本语义检测、设备行为追踪及企业关联挖掘四维特征数据,采用图数据库(如 Neo4j)存储多维关联数据,通过 AHP-熵权法科学计算特征权重,实现风险特征的动态更新与优化。该方法支持新型合谋手段的快速响应(例如分布式标书制作、虚拟投标团队等特征扩展),特征库每日自动去重并应用权重衰减机制,确保风险特征的时效性与准确性,同时支持新增维度(如电子签章笔迹压力参数等)的快速接入。

(2) 分层识别。1) 初级筛查:基于历史案例与业务规则,定义显性违规行为的判定规则,通过规则引擎实现快速响应,过滤低技术含量的合谋行为;2) 深度研判:采用集成学习模型(如 XGBoost+随机森林)分析多维特征关联性,引入博弈论中的混合策略均衡模型模拟合谋主体决策逻辑,输出合谋风险概率值,精准识别隐蔽合谋行为;3) 人工复核:通过交互式可视化界面,结合算法输出结果与人工经验辅助判定,有效平衡检测速度与准确性。

(3) 动态优化。构建“特征反馈-模型迭代”闭环机制,将人工复核结果反向输入至特征库,利用在线学习技术实时更新模型参数,同时引入前景理论模拟合谋主体的有限理性决策行为。此机制可有效应对新型合谋手段,模型支持每周在线更新,特征维度扩展响应时间可缩短至 24 h 内。

2.2.4 合谋风险评估

基于“特征识别-量化建模-风险映射”的递进式架构,构建合谋风险多维度动态评估体系。

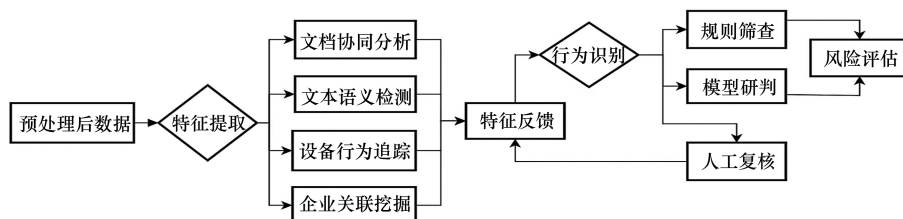


图 2 合谋特征提取路径

针对传统风险评估方法存在的指标静态化、权重主观化缺陷, 采用改进的层次分析法(AHP)与模糊综合评价法的混合架构, 通过特征层析技术实现风险要素的动态赋权, 三维风险量化模型如图3所示。根据合谋风险综合值, 将合谋风险划分为低风险、中风险和高风险3个等级。

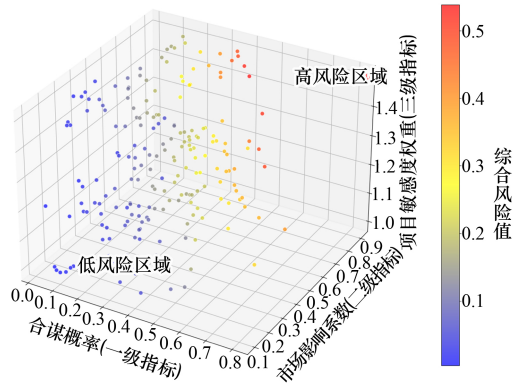


图3 合谋风险量化三维模型

2.2.5 实时监测

基于建设工程招投标流程构建合谋行为监测预警体系, 如图4所示。

首先, 在准备阶段开展招标信息发布、报名及招标文件获取的监测工作。系统针对招标文件的招标条件实施监测, 重点核查技术参数是否存在倾向性、资质要求是否异常狭窄, 并分析招标文件发布时间与投标截止时间的间隔是否符合法规要求, 以此防止招标文件出现排他性条款, 规

避部分投标人围标串标行为^[1], 切实保护其他投标人的合法权益。

其次, 在投标阶段聚焦投标文件的监测。利用词频-逆文档频率算法(TF-IDF)计算不同投标文件文本间的相似度, 用于识别具有相似特征的投标文件。针对可能存在合谋风险的相似文本, 系统进一步通过相似度计算、标书一致性检测, 深度挖掘潜在的合谋行为。

再次, 在评标与定标环节强化评标定标数据的监测。作为招投标全流程的关键环节, 此阶段也是合谋行为的高发期, 常见如投标文件特殊化处理、规律性报价等典型合谋行为。系统将通过投标人资格审查与专家行为监测双轨并行, 具体包括评分偏离度检测、评审时间合理性校验等措施。

最后, 在中标结果确定后, 针对专家与投标人的合谋状态展开深度分析。如采用“云+马尔可夫”组合模型进行检测: 基于云模型获得主体的合谋状态等级后, 运用马尔可夫模型进行后续状态预测研究, 二者协同提升分析效能^[12]。同时结合现场录音录像、专家评标记录等多维度数据进行交叉验证, 确保合谋监测的全面性与准确性。

2.3 决策支持层

2.3.1 智能预警功能

系统实时监测招投标各环节是否存在合谋行为, 若判定存在合谋风险, 则根据识别确定的合

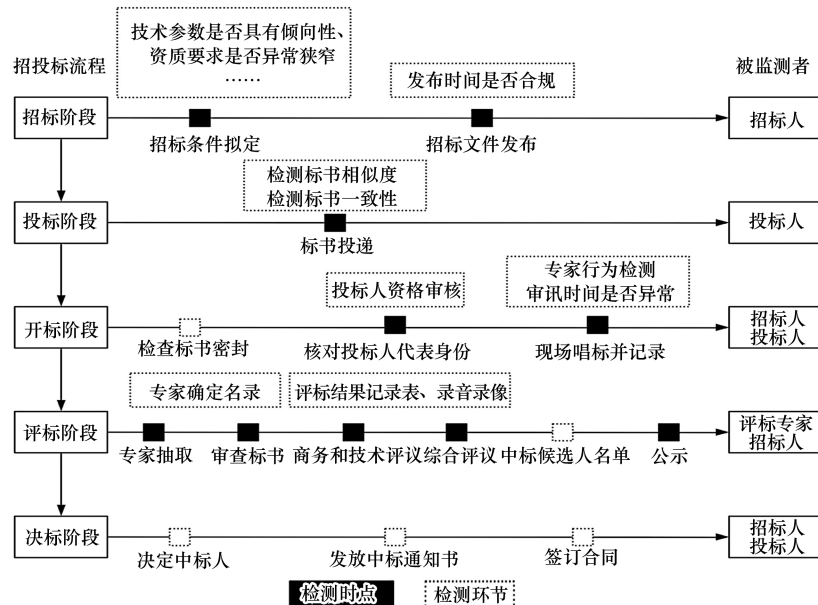


图4 全过程监测预警

谋风险等级启动分级预警, 预警信号的发送流程如图 5 所示。

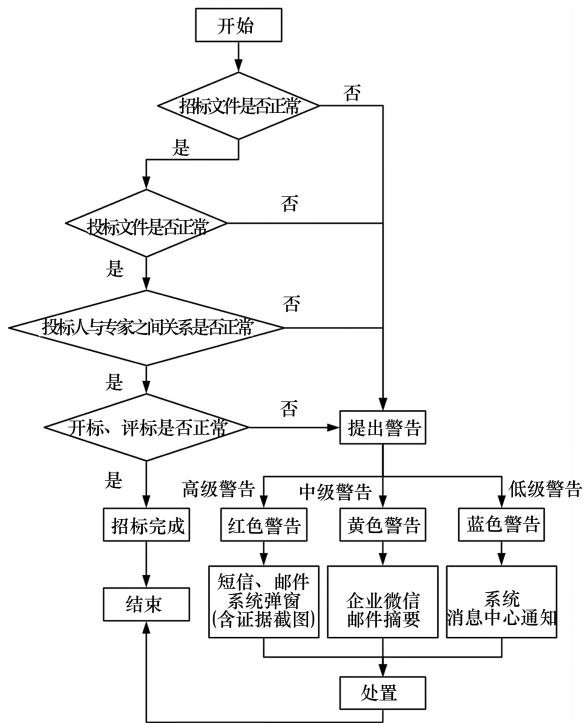


图 5 预警信号发送流程

2.3.2 决策辅助功能

系统依托智能化分析引擎与多源数据融合技

术, 通过生成 pdf、图片等多种形式的数 据产品 (内容涵盖合谋风险分析报告、动态行为与关系图谱、可视化简报、嫌疑线索、处置方案、后续追踪等), 向用户实现可视化展示。同时, 系统内置交互式推演沙盘功能, 可模拟不同治理措施的传导效应, 并自动生成多级处置建议, 最终实现合谋风险研判的精准化与行动策略的可视化呈现。

2.3.3 可视化展示

系统登录页面主色调为蓝色, 整体设计简洁清晰, 信息呈现直观明了。用户通过输入账号、密码及验证码完成平台登录后, 即可进入系统操作界面。系统交互界面主要包含导航栏、功能按钮、菜单选项、预警信息展示区、实时监测界面、智能搜索框等交互组件(图 6)。这些界面元素对用户了解系统结构、明确功能位置、实现跨模块自由跳转及高效使用各项功能操作起到关键支撑作用。

2.3.4 系统管理

通过构建多层次角色权限体系筑牢安全防线, 将用户账户划分为管理员、监管员、审计员、普通用户、访客等若干角色实施精细化管理。所有

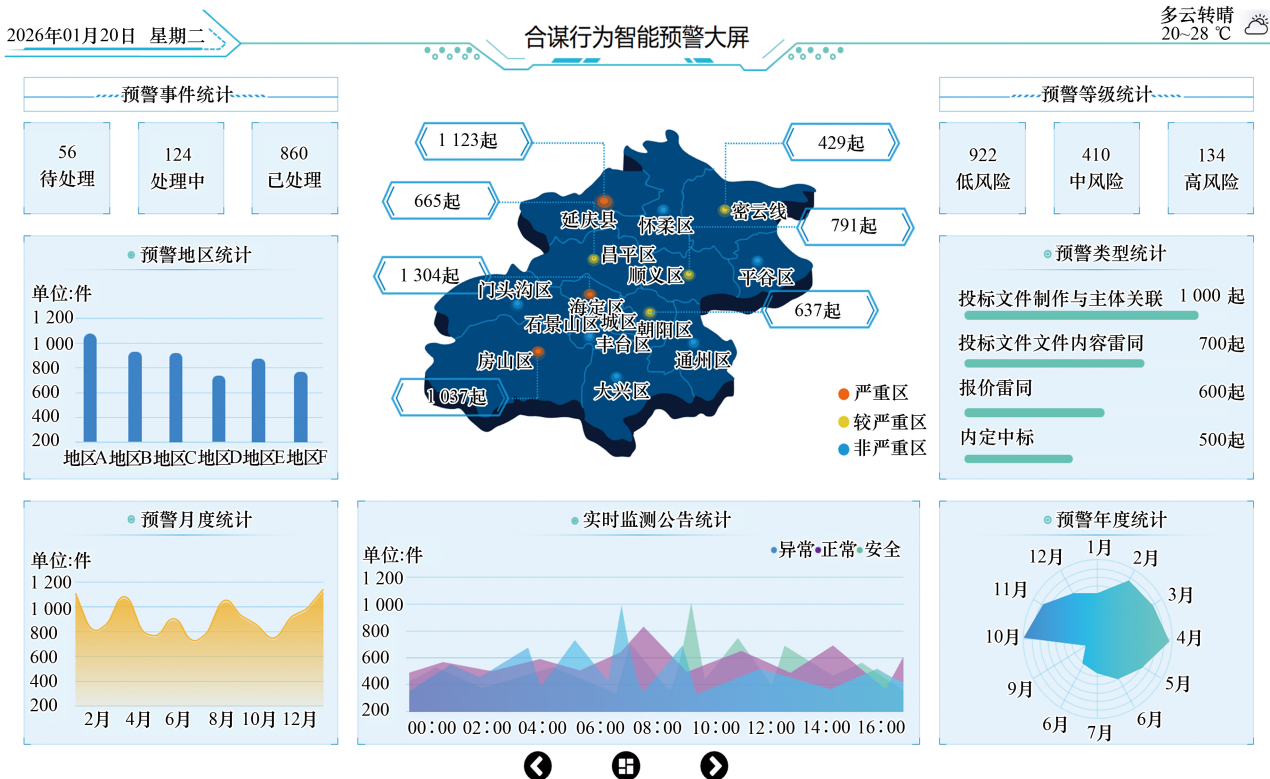


图 6 系统交互页面

角色操作均全程留痕并自动生成操作日志,系统可自动检测越权行为;界面通过悬浮权限提示框实时显示当前账户的操作权限边界,结合跨角色操作关联图谱分析技术,实现权限滥用前置预警与合谋行为立体化防控。

3 结 语

针对建设工程招投标合谋行为隐蔽性强、复杂性高的特点,本文基于大数据与人工智能技术,构建了融合多源数据采集、动态特征提取与智能分级预警功能的监测系统。该系统采用数据采集、分析处理、决策支持三层架构设计,形成全流程监管闭环,打破了传统监管的时空限制,显著提升了合谋行为的识别效率与预警精度,实现了对招投标全过程的实时监测、智能分级预警与决策辅助,推动监管模式从被动响应向主动预防转变,为招投标数字化监管体系的重构提供了可落地的技术方案。

该系统推广应用前景广阔,高度契合监管部门打击围标串标、维护市场公平的迫切需求,且能与招投标电子化流程深度融合,顺应行业数字化转型趋势。但需注意,在实际应用中需重点保障数据的准确性、完整性及敏感信息安全,结合新型违规手段、法规政策及抽检结果动态优化预警模型;同时需进一步加强跨部门数据共享与人机协同监管,推动招投标监管向数字化、智能化、透明化方向发展,为构建公平竞争的市场生态提供可持续的技术支撑。

参考文献:

[1] 郝春延. 工程项目投标中合谋行为及其防治研究

[D]. 郑州:河南工业大学,2020.

- [2] 朱文喜,曾滢,陈赟. 建设工程招投标合谋研究热点演化及其态势分析[J]. 系统工程,2021,39(5):21-29.
- [3] 田兴鹏,王伟. 利用函数模型解析围标串标问题[J]. 中国招标,2021(6):90-93.
- [4] 王佩洪. 电子招投标管理引入大数据分析的策略研究[J]. 中国招标,2021(5):42-44.
- [5] WALLIMANN H,IMHOF D,HUBER M. A machine learning approach for flagging incomplete bid-rigging cartels [J]. Computational Economics,2023,62(4):1669-1720.
- [6] HUBER M,IMHOF D. Machine learning with screens for detecting bid-rigging cartels [J]. International Journal of Industrial Organization,2019,65:277-301.
- [7] 何培育,周煜. 大数据时代算法合谋的反垄断规制路径优化[J]. 科技与法律(中英文),2023(3):68-75.
- [8] 谭胜杰,陈洋. 基于 Python 的不动产可视化报告生成技术研究[J]. 中国设备工程,2025(5):256-258.
- [9] 张志业. 工程项目招投标串标问题探究及治理策略[J]. 建筑经济,2022,43(4):10-16.
- [10] 刘洋,王建林,孙志文,等. 煤矿灾害监测预警系统数据中台研究[J]. 能源与节能,2025(1):113-115;119.
- [11] 肖自为,马源,李金林,等. 基于过程预警模型的矿山边坡监测系统研究与应用[J]. 地质灾害与环境保护,2024,35(4):91-98.
- [12] 彭姣,朱文喜. 基于云+马尔可夫的招标人与投标人合谋状态预测研究[J/OL]. 工程研究:跨学科视野中的工程,2024:1-15(2024-11-21). <http://link.cnki.net/urlid/11.5780.TB.20241120.1545.004>.