DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)07-0149-05

基于区块链技术的电网工程全过程投资数据统计系统设计

张丽丽, 黄 凯, 张世彪, 崔现军, 王 亮

(国网山东省电力公司淄博供电公司,山东 淄博 255000)

摘 要:为提升投资数据统计的安全性,研究基于区块链技术的电网工程全过程投资数据统计方法。存储层利用分布式存储框架设计文件存储数据库,加密存储电网工程全过程投资结构化与非结构化数据;核心层利用智能合约自动化执行合同条款,并实现存储层内投资数据的检索、过滤与权限控制,确保数据统计的高效性和公正性,采用基于随机数的共识机制,保证数据统计的可靠性和安全性;服务层通过调用经过核心层处理后的投资数据,统计用户节点,并利用安全多方统计计算方案,统计投资数据;应用层通过接口层调用服务层的投资数据统计结果,并以可视化的形式呈现给用户。通过应用区块链技术,确保投资数据统计结果不被篡改。实验证明该方法可有效统计电网过程全过程投资数据,并有效抵御双重支付攻击,提升投资数据统计的安全性。

关键词:区块链技术;投资数据统计;智能合约;安全多方统计;电网全过程

中图分类号: TP311.13;TP301.6;TM762 **文献标志码**: A **文章编号**: 1003-7241(2026)07-0149-05

The whole process investment data statistical system design of power grid project based on blockchain technology

Zhang Lili, Huang Kai, Zhang Shibiao, Cui Xianjun, Wang Liang

(State Grid Shandong Electric Power Company Zibo Power Supply Company, Zibo 255000, Shandong, China)

Abstract: In order to improve the security of investment data statistics, this paper studies the whole process investment data statistics method of power grid engineering based on blockchain technology. The storage layer uses the distributed storage framework to design the file storage database, encrypts and stores the structured and unstructured data of the whole process of power grid project investment. The core layer uses smart contracts to automate the execution of contract terms, and realizes the retrieval, filtering and authority control of investment data in the storage layer to ensure the efficiency and fairness of data statistics, and adopts the consensus mechanism based on random numbers to ensure the reliability and security of data statistics. The service layer calls the investment data processed by the core layer to count the user nodes, and uses the secure multi-party statistical calculation scheme to count the investment data. The application layer invokes the investment data statistics of the service layer through the interface layer and presents them to users in a visual form. The application of blockchain technology ensures that the statistical results of investment data are not tampered with. Experiments show that this method can effectively count the whole process investment data of power grid, effectively resist the double payment attack, and improve the security of investment data statistics.

Keywords: blockchain technology; investment data statistics; smart contracts; secure multivariate statistics; the whole proess of power grid

为了更好地把握电网工程全过程的投资动态,优化资源配置,提高投资效益,必须对电网工程全过程的投资数据进行系统、准确、全面的统计与分析[1-3]。建立一套科学、合理、高效的电网工程全过程投资数据统计方法,可加强电网工程投资管理效果。研究显示,杨阳等[4]首先通过收集与工程项目投资相关的各类数据,包括项目成本、预期收益、市场趋势、政策环境等多维度信息。运用统计学的相关性分析技术,对数据间的关联性进行量化评估,揭示不同变量之间的相互影响和依赖关系。最后,利用表格、图像等多种形式将数据可视化,便于决策者直观了解项目状况,并基于数据分析结果制定针对性的投资策略。相关性统计方法依赖于中心化的数据存储和处理系统,意味着所有数据都集中在一个或少数几个服务器上,这些服务器成为潜在的安全风险点。如果服务器遭受攻击或内部人员滥用权限,数据就可能被泄露、篡改或删除。翁非等[5]基于 t 分布对离散化数据进行降维处理,采用关联分类法,生成数据分类关联规则,实现数据的快速提取与有效统计。关联规则挖掘过程中需要处理大量的工程投资数据,其中可能包含敏感的商业信息和客户隐私,如果这些数据存在被泄露的风险,可能造成重大损失。亢晓琛等[6]的研究是将矢量数据按照地理区域或属性特征进行分区,并在分布式计算环境中并行处理这些分区数据。利

收稿日期:2024-11-13;**录用日期**:2024-12-22

基金项目:国家电网有限公司科技项目(5710-55222A-1)

作者简介:张丽丽(1985-),女,硕士,高级工程师,研究方向为电网规划、电力自动化及投资管理。

引用本文:张丽丽, 黄凯, 张世彪, 等. 基于区块链技术的电网工程全过程投资数据统计系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(7):149-153. (Zhang Lili, Huang Kai, Zhang Shibiao, et al. The whole process investment data statistical system design of power grid project based on blockchain technology[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(7):149-153.)

用空间分区技术将矢量数据集划分为若干个子集,每个子集都包含一部分地理空间范围的数据。再设计一个并行统计框架,该框架能够同时处理多个数据子集,并在每个子集上执行相应的统计操作。在分布式计算环境中,数据被分散到多个节点或服务器上进行处理。这种分散性使得数据更容易受到网络攻击或未经授权的访问。如果安全措施不到位,恶意用户可能通过攻击网络节点或服务器来获取敏感数据。杨振凯等[7]旨在通过构建嵌套的集合结构来有效表示和统计多层次数据,从而提高数据分析的效率和准确性。首先,将原始数据集划分为多个嵌套的集合,并为每个集合分配唯一的标识符。然后,根据数据的层级关系将这些集合组织成一个树状结构。在这个树状结构中,每个节点表示一个集合,而节点之间的关系则反映集合之间的层级关系,这样可以轻松地对各个层级的集合进行统计和分析。嵌套集合模型通过创建多层级的集合结构来表示数据,因此数据的访问控制需要考虑到各个层级之间的关系。这意味着需要制定更为复杂的访问控制策略,以确保只有经过授权的用户才能访问和修改特定层级的集合数据。这种复杂性会导致访问控制策略的设计和实施更加困难,从而增加数据泄露或篡改的风险。区块链技术的去中心化特性使得电网工程投资数据不再依赖于单一的中央服务器或机构进行存储和管理[8-10]。数据被分散存储在多个节点上,并采用加密技术进行保护,极大增强数据的安全性。同时,由于区块链的共识机制,任何对数据的篡改都会立即被其他节点发现并拒绝,从而保证数据的完整性和真实性。为此,研究基于区块链技术的电网工程全过程投资数据统计方法,利用区块链技术的去中心化、分布式账本、加密和共识机制等特性,为投资数据统计提供更高水平的数据安全性,帮助决策者做出更加科学、合理的决策。

1 投资数据统计系统设计

1.1 数据统计系统技术架构

区块链技术可增强电网工程参与方之间的信任和合作。各参与方可以共同维护一个公平、公正、透明的投资环境,降低合作成本和风险,促进电网工程的顺利进行。为此,以区块链技术为核心,设计电网工程全过程投资数据统计方法,该系统的技术架构如图 1 所示。

存储层通过先进的分布式存储框架设计一个高效、可靠的文件存储数据库,用于加密存储电网工程全过程的投资预算、成本估算、投资回报率、工程进度、设备清单等结构化数据,以及工程合同、设计文档、施工图纸、照片、视频等非结构化数据。这些技术不仅保证了数据在传输和存储过程中的隐私性和安全性,还通过加密、压缩、去重等手段提升了存储效率。同时,智能数据分类与索引技术确保了数据的快速检索,而完善的数据备份与恢复机制则进一步增强了数据的可靠性和可恢复性。存储层为服务层提供了高效的数据读取和写入服务,支持电网工程全过程投资数据的准确、安全、高效管理。

在智能合约方面,引入更加智能化的合约编写和执行工具,通过引入机器学习算法,使得智能合约能够自动适应合同条款的变化,实现合同条款的自动化执行,并进一步优化了存储层内电网工程全过程投资数据的检索、过滤与权限控制逻辑。在共识机制方面,采用基于随机数的新型共识算法,该算法通过引入随机数来增强共识过程中的随机性和不可预测性,进一步提高了系统的安全性和稳定性。此外,优化共识过程中的通信协议和节点间的数据同步机制,使得不同节点之间能够更快速、更准确地达成共识,从而保证了电网工程全过程投资数据的同步和一致性。

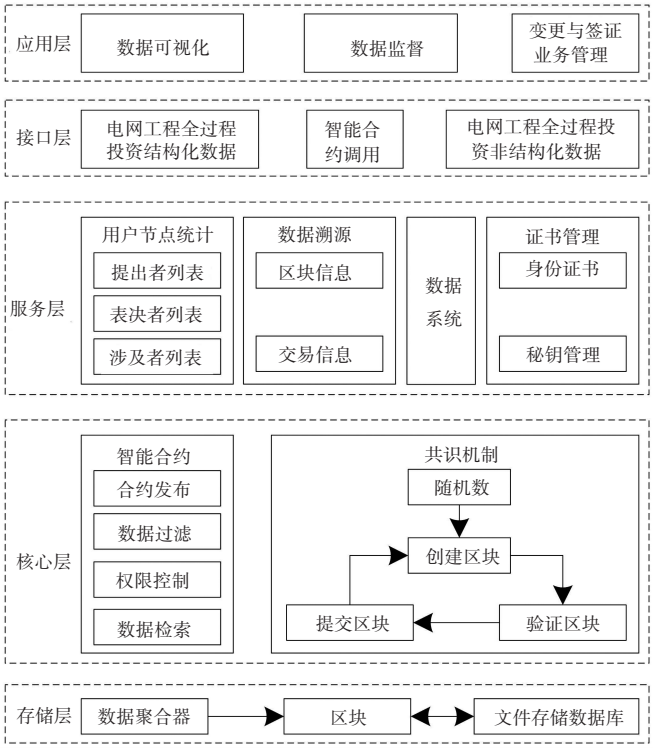


图 1 电网工程全过程投资数据统计系统的技术架构

Fig. 1 Technical architecture of the investment data statistics system for the entire process of power grid engineering

服务层通过调用核心层处理后的电网工程全过程投资数据,利用先进的技术创新优化手段,完成了用户节点统计、数据溯源、数据统计与证书管理服务。在用户节点统计方面,引入基于大数据分析和机器学习的用户行为预测模型,能够更准确地识别并统计电网工程项目的最初提出者、表决者及涉及者列表,为用户提供更加全面和细致的用户节点统计服务。在数据溯源方面,采用区块链技术的最新进展,如零知识证明和同态加密,以提供更加高效和隐私保护的数据溯源服务。在数据统计单元,引入分布式计算框架和流式处理技术,以实现对核心层处理后的电网工程全过程投资数据的实时统计和分析。在证书管理方面,采用基于区块链的数字身份认证技术,以确保只有经过授权的用户才能访问和修改相关数据。同时,引入先进的密钥管理技术,如硬件安全模块和多方计算,以进一

步提升统计数据的隐私性和安全性。

接口层负责连接服务层与应用层,其主要作用是实现服务层与应用层之间的数据交互和通信。通过引入微服务架构和容器化技术,实现接口的模块化、松耦合和可扩展性,提升了系统的迭代和升级效率。为保障数据交互的安全性,利用超文本传输安全(hypertext transfer protocol secure,HTTPS)协议加密数据传输,并建立了身份验证和授权机制。最后,为优化用户体验,引入实时通信技术和异步处理机制,确保用户能够实时获取服务层返回的数据统计结果,避免长时间等待,提升系统响应速度。

应用层通过接口层调用服务层的投资数据统计结果,通过结合先进的数据可视化技术和用户友好的界面设计,将统计结果以直观、易于理解的方式呈现给用户,极大地提升了用户对数据的感知和理解能力,并优化了用户与系统的交互体验。同时,应用层引入了智能数据监督功能,借助机器学习算法和大数据分析技术,能够自动检测数据异常和风险,提供及时的数据预警和建议,确保统计数据的准确性和合规性。

1.2 分布式存储框架

在 1.1 小节的技术架构中,存储层利用分布式存储框架设计文件存储数据库,加密存储电网工程全过程投资的结构化数据与非结构化数据。存储层的分布式存储框架如图 2 所示。

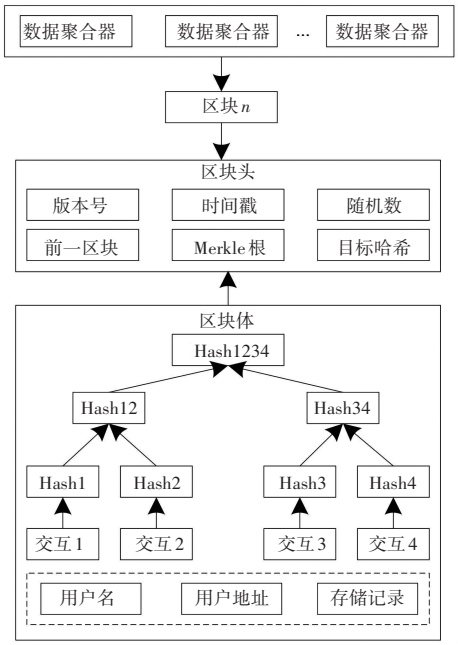


图 2 存储层的分布式存储框架

Fig. 2 Distributed Storage Framework of Storage Layer

存储层利用分布式存储框架,存储电网工程全过程投资结构化数据与非结构化数据的具体步骤如下。

步骤 1 电网工程全过程中,提出者、表决者或涉及者,提出电网工程全过程投资数据存储请求后,会随机选择一个节点[11],即数据聚合器,向其发送投资数据存储请求。

步骤 2 数据聚合器接收请求后,会回复存储响应至提出者、表决者或涉及者,同时为其发送服务次序号[12]。当提出者、表决者或涉及者确认后,便可存储电网工程全过程投资数据。

步骤 3 数据聚合器利用 CryptoNote 协议,加密存储提出者、表决者或涉及者上传的电网工程全过程投资数据。同时上传存储记录至区块链上的区块内[13],各区块均包含区块头与区块体两部分。

1.3 智能合约数据检索

在 1.1 小节的技术架构中,核心层利用智能合约完成 1.2 小节存储层加密存储的电网工程全过程投资数据的检索、过滤与权限控制服务。通过提出者发布合约,即设定电网工程全过程投资数据统计的规则和机制。通过智能合约,确保数据的透明性、不可篡改性和去中心化,提高整个投资数据统计的可信度和效率。涉及者和表决者通过获得提出者的授权和背书,参与到电网工程全过程投资数据的统计和验证中,将自己的数据上传到区块链网络中,并通过基于随机数的共识机制确保数据的一致性和准确性。

令存储层内存储的电网工程全过程投资数据检索类型是 h;起止时间是 t_a、t_b;投资数据采集点是 p;开始键是 $t_a^{'}$;结束键是 $t_b^{'}$。则智能合约中数据检索的步骤如下。

步骤 1 建立电网工程全过程投资数据检索区间,公式为

$$t_a^{'} \leftarrow h \sim p \sim t_a, t_b^{'} \leftarrow h \sim p \sim t_b \tag{1}$$

步骤 2 通过 GerStateByRange 接口,得到 h 类型电网工程全过程投资数据的检索记录 r。

步骤 3 分页处理 r,得到 $r^{'}$,即 h 类型电网工程全过程投资数据的检索结果 $r^{'}$。

智能合约中数据过滤的步骤如下。

步骤 1 通过 m 个彼此无关的哈希函数,映射处理存储层内存储的电网工程全过程投资数据集合 X 内的元素,映射位置是 g。

步骤 2 如果 X 内某元素映射位置都是 g,那么去掉该元素。

步骤 3 以 η 个点为初始质心,得到 η 个聚类。

步骤 4 再次求解各聚类的质心,以聚类无任何改变为止[14]。

步骤 5 任意选择一个聚类内的几个点,将其当成完成过滤的数据,并读入其字符 z。

步骤 6 令字符串变量是 q,通过整合 q 与 z 得到字符串 $z+q$。

步骤 7 在 X 内搜索 $z+q$,如果包含 $z+q$,那么令 $q=z+q$,反之,输出 q,并构造记号映射,更新 $q=z$。

步骤 8 重复操作步骤 5,以全部数据均完成遍历为止,完成存储层内电网工程全过程投资数据过滤,得到过滤后的电网工程全过程投资数据 Y。

智能合约中权限控制的步骤如下。

步骤 1 查找身份证书的属性条目[15],是不是 p。

步骤 2 若是 p,则确认存在该身份证书的用户[16-17]。

步骤 3 分析该用户是否异常,如果无异常,则允许其访问 Y,反之,不允许访问 Y。

1.4 全过程投资数据统计

在 1.1 小节的技术架构中,服务层中数据统计单元,利用安全多方统计计算方案,对 1.3 小节过滤后的电网工程全过程投资数据 Y 进行统计。

电网工程全过程投资数据统计的具体步骤如下。

步骤 1 计算协商与任务发布。在区块链网络内提出者会向表决者发布一条消息,包含投资数据统计任务编号,结束时间、任务内容与提出者的公钥。表决者负责指挥涉及者,为此,仅在表决者参加该统计任务时,提出者才能在表决者手中获取涉及者的公钥。达到结束时间时,提出者会汇总所有涉及者的信息,同时下发至链上的矿工,等待上链。上链结束后,提出者便可获取全部涉及者的公钥集合,并写入智能合约内,提升可信度。

步骤 2 生成一次性地址。各涉及者均需通过其余涉及者的公钥,产生一个一次性地址,便于接收 1.3 小节过滤后的电网工程全过程投资数据 Y。

步骤 3 分段与重组 Y。按照比例 l, 分割涉及者 Y_{i2} 上传的电网工程全过程投资数据 Y_i, 得到分段数据 Y_{i1} 与 Y_{i2}。Y_{i2} 发送 Y_i 时,需要发送 Y_{i2}, 并保留 Y_{i1},确保电网工程全过程投资数据统计过程中,不会出现泄漏情况。当涉及者 j 解密 Y_{i2} 发送的 Y_{i2} 时,可以结合其保留的分段数据 Y_{j1}, 得到拼接数据为

$$Y_j = Y_{i2} + Y_{j1} \tag{2}$$

同理, Y_{i2} 可获取拼接数据为

$$Y_i = Y_{j2} + Y_{i1} \tag{3}$$

此时,只破解 Y_j 或 Y_i 无法获取正确的原始数据,可提升投资数据统计的安全性。

步骤 4 提出者接收,分段重组后的 Y_j 后,对其展开统计,便可获取电网工程全过程投资数据统计结果为

$$\hat{Y} = \sum Y_j \tag{4}$$

2 实验分析

以某电网工程为实验对象,该电网工程的相关概况如表 1 所示。

利用本系统对该电网工程的全过程投资数据进行统计,该系统基于技术架构、存储层、核心层和服务层的设计,能够高效地收集、存储、处理和分析电网工程的投资数据,帮助电力企业不断优化电网工程投资流程和管理方式,提高投资效益和企业的竞争力。

利用本系统对该电网工程的全过程投资数据进行统计,部分投资数据统计结果如表 2 所示。

分析表 2 可知,本系统可有效完成电网工程全过程投资数据统计,其中,全部项目材料费用的统计结果为 919 847 元,表示在电网工程全过程中,用于购买和安装各种材料(如电缆、保护管、槽钢等)的费用总额,通过统计材料费用,可为优化材料采购策略,选择性价比更高的材料提供参考。全部项目的人工费用统计结果为 930 410 元,表示支付给工人和技术人员的工资和福利等费用总额,通过统计人工费用,可以提高工人的技能水平,优化工作流程,减少不必要的人力投入。全部项目的机械费用为 356 725.8 元,表示使用各种机械设备(如挖掘机、吊车等)所产生的费用,通过统计机械费用,可以提高机械设备的利用率,优化施工方案,减少不必要的设备投入。

表 1 电网工程概况

Tab. 1 Overview of power grid engineering

类别	参数	数值
电力隧道	隧道尺寸	2 m × 2.1 m
	隧道全长	1 000 m
	人孔井数量	25 座
	进风口数量	7 处
	出风口数量	6 处
	接地装置数量	5 处
电力线路	额定电压	220 kV
	载流量	800 A
	线路长度	50 km
变电站	变电容量	220 kV/100 MVA
	变压器类型	三相变压器
	变压器数量	10 台
	进线方式	双回进线
施工条件	地理环境	平原
	泥土条件	黏土、砂土
其他	占地面积	20 000 m^2
	预期投资	1 亿元人民币

设计的基于区块链技术的电网工程全过程投资数据统计系统,基于其技术架构、存储层、核心层和服务层的合理设计,能够实现对电网工程投资数据的全面、高效统计。通过系统提供的数据支持,电力企业可以更加精确地掌握工程成本,为优化投资决策提供有力依据。此外,系统还有助于电力企业优化材料采购策略、提高工人技能水平、优化工作流程和施工方案,从而提高电网工程投资效益和企业的竞争力。

利用节点参与度衡量本方法的共识效果,节点参与度与节点共识度具有正相关关系,与共识效果也具有正相关关系,当节点参与度超过 85%时,说明此时节点的共识度较高,具备较优的共识效果,本文系统的共识效果分析结果如图 3 所示。

分析图 3 可知,随着时间的延长,本文系统方法的节点参与度呈上升趋势,当时间接近 5 min 时,节点参与度逐渐趋于稳定,最终稳定在 98%左右,明显大于 85%,说明本文方法的节点共识度较高,即共识效果较优,利于保证不同节点之间的电网工程全过程投资数据同步和一致性,防止数据被篡改和攻击。

表 2　部分投资数据统计结果

Tab. 2　Partial investment data statistics results

项目名称	工程量	单价/元	合价/元	人工费/元	机械费/元
变压器安装	10 台	50 000	500 000	100 000	100 000
架空线路建设	1 km	20 000	20 000	500	400
电缆敷设	1 km	30 000	30 000	1 200	600
通讯设备安装	20 套	5 000	100 000	20 000	20 000
照明配电箱	10 台	349.49	3 494	1 320	573.8
LED 投光灯	50 台	3 215.99	160 799	4 400	1 150
电缆保护管	1 000 m	21.76	21 760	461 000	55 200
1 kV 及以下电力电缆	2 000 m	17.39	34 780	242 800	142 200
管内穿设绝缘线	800 m	7.34	5 872	42 880	2 480
热镀锌钢管	600 m	30.68	18 408	24 780	24 180
槽钢	200 m	116.97	23 394	30 420	9 600
DBB 玻璃钢保护管	30 根	44.68	1 340	1 110	342
合计	—	—	919 847	930 410	356 725.8

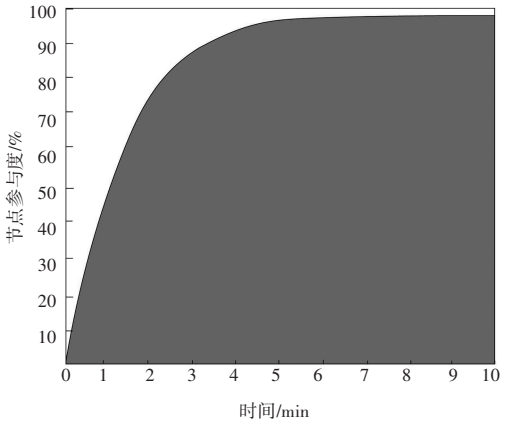


图 3　共识效果分析结果

Fig. 3　Consensus effect analysis results

3　结论

区块链技术能够确保电网工程全过程投资数据的完整性和安全性。为此,研究基于区块链技术的电网工程全过程投资数据统计方法,实验证明,本方法具备较优的数据统计抗攻击性能,最高被成功攻击概率仅有 0.3,明显低于其余方法。随着区块链技术的不断发展,不同的区块链网络之间需要进行跨链互通和标准化。这将有助于实现不同区块链网络之间的数据共享和协同工作,进一步提高电网工程全过程投资数据统计的效率和准确性。

参考文献

[1]金智博, 李华强, 李山山, 等. 考虑投资能力反馈的电网规划项目投资时序优化方法[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(3):168-174.
[2]潘泽宇, 史健勇, 姜柳. 基于语义网的电网工程 BIM 模型完备性审查方法[J]. 图学学报, 2023, 44(5):1021-1033.
[3]李智威, 罗超月岭, 张赵阳, 等. 输配电价监审规则下基于配电网评价的投资分配方法[J]. 电气应用, 2023, 42(4):91-98.
[4]杨阳, 武昱, 汪云海, 等. 大规模结构网格数据的相关性统计建模轻量化方法[J]. 计算机研究与发展, 2023, 60(3):676-689.
[5]翁非, 卢伟龙, 陈斌. 基于关联规则分类模型的电力智慧档案馆数据快速提取方法[J]. 微型电脑应用, 2025, 41(10):201-204.
[6]亢晓琛, 董春, 栗斌, 等. 自然资源分区矢量数据的快速并行统计方法[J]. 测绘科学, 2022, 47(4):199-206.
[7]杨振凯, 曹一冰, 赵鑫科, 等. 基于嵌套集合模型的时态层次数据管理方法[J]. 计算机科学, 2023, 50(增刊 1):543-547.
[8]贾俊强, 郭江涛, 王涛, 等. 云边协同环境下基于区块链的电网数据安全管理方法[J]. 沈阳工业大学学报, 2023, 45(2):121-126.
[9]吴建宏, 林俊昌, 李冉冉. 基于区块链的电气设备管理及其应用研究[J]. 自动化仪表, 2023, 44(4):72-77.
[10]宋杰, 甘海庆, 徐晨波, 等. 基于区块链技术的电力碳排放权分配模型[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(10):134-137.
[11]张雪芹. 基于以太网区块链的边缘计算资源分布式编排系统[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(12):130-133.
[12]贺春光, 檀晓林, 周兴华, 等. 基于博弈论组合赋权的智能配电网项目投资效益评价[J]. 电力科学与技术学报, 2022, 37(1): 161-167.
[13]乔慧婷, 文上勇, 黄琰. 电网输电工程项目数据插补及造价预测融合模型[J]. 沈阳工业大学学报, 2021, 43(5):481-486.
[14]刘峰, 曹倩. 全生命周期管理下电网建设工程造价管理研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (1):284-286, 290.
[15]刘淑芝. 养殖 RFID 测温定位电子耳标研究--基于智慧农业区块链[J]. 农机化研究,2025,47(2):181-185.
[16]程曦, 吴霜, 王静怡, 等. 输配电价改革背景下电网项目多阶段投资优化决策研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(15): 116-123.
[17]孟贤, 鲍红焉, 石孟宇, 等. 基于区块链的电网物资供应链合作伙伴选择[J]. 计算机仿真, 2023, 40(12):434-440, 469.

(上接第 50 页)

[9]彭昊, 刘显晖, 李建强, 等. 基于 PLC 的钢支撑智能伺服控制系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(4):53-56, 70.
[10]付鸿泽, 许子杰, 曲培健, 等. 基于十字滑台的 PLC 的运动控制系统[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(6):130-132.
[11]叶同祥. 基于运动控制器的自动螺丝机控制系统设计[J]. 自动化应用, 2023, 64 (20):100-101, 108.
[12]汪鹏举. 数控精磨机优化技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2016.
[13]李雪晓, 李阔, 毕星瑞. 航天异形紧固件加工多工位机床的控制系统设计[J]. 制造技术与机床, 2023(11):29-33.
[14]莫丽琴, 秦兵. 多自由度果蔬采摘手电气控制系统研究——基于模糊自适应控制[J]. 农机化研究, 2024, 46(9):227-231.
[15]马光, 周万勇, 汪杰, 等. 六自由度并联平台多轴运动控制系统设计[J]. 机床与液压, 2020, 48(5):1-5.