

农业水权交易大数据技术应用研究

李楠, 张雨, 张振华*, 边晓南, 高 清
(德州市水利局, 山东 德州 253014)

摘 要: 实行农业水权交易是促进农业水资源优化配置的有效方法之一, 然而农业用水的资源数据具有多源性、时效性、不确定性的特点, 为了实现水权交易的智能高效管理, 需要利用大数据技术对相关数据进行高度融合和利用。本研究通过数据采集、数据存储、数据分析、数据应用等 4 方面技术, 建立农业水权交易大数据技术框架。以德州市农业水权交易为例, 基于大数据技术设计了农业水权交易平台, 其功能和技术实现了对数据利用的全面性、时效性和准确性, 以大数据技术提出了农业水权交易管理新模式。本研究深度挖掘了水权交易的交易信息和交易潜力, 为农业水权交易的发展提供可视化技术支持和决策信息, 深化了农业水权交易的应用, 提升了农业水资源优化配置技术。

关 键 词: 水权交易; 大数据技术; 农业水权; 交易平台

中图分类号: TV93; TP399

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022583

李楠, 张雨, 张振华, 等. 农业水权交易大数据技术应用研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 99-104.

LI Nan, ZHANG Yu, ZHANG Zhenhua, et al. Research on the Application of Big Data Technology in Agricultural Water Rights Trading [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 99-104.

0 引 言

【研究意义】近年来, 我国农业用水量占总用水量的 61.4%~63.6%, 农业用水仍处于“平台期”, 农业用水与粮食增产的矛盾仍将长期存在。我国经济社会的迅速发展导致用水矛盾的日益突出已成为制约我国经济社会发展的瓶颈, 开展农业水权交易是优化水资源配置、破解农业水资源供需矛盾的重要举措, 基于大数据技术开展农业水权交易是探索智慧水利发展的重要方向之一。

【研究进展】水权交易是指水权持有人与用水需求者自愿进行水权转让的行为。自 1999 年, 我国工程水利逐步向资源水利转变, 汪恕诚^[1]结合我国国情提出水权和水市场。东阳市与义乌市完成了我国第一例跨市水权交易后^[2], 水权交易的基本特征^[3]、交易时限^[4]、交易价格^[5]等方面的理论开始逐步发展, 从理论探索阶段进入技术发展阶段。2011 年, 吐鲁番率先探索实现水权改革。此后, 学者们在交易成本^[6]、第三方影响^[7]、监督机制^[8]等技术理论方面进行了深入

探讨, 建立了水权交易的技术框架和数学模型^[9-10], 随着研究成果向实践的不断转化, 水权交易进入了实践推广阶段; 建立健全的水权制度被列为深化水利改革的任务之一, 推动了水权交易在行业监管^[11]、合同节水应用^[12]、市场金融机制^[13]等方面的研究, 《水权交易管理暂行办法》开始被用于指导水权交易的推广实践标准, 中国水权交易所也正式运营, 我国开始全面推进水权交易建设工作。

《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》提出了建立健全水权交易系统, 在全国范围内开展了水权交易试点, 取得了丰富的实测数据, 围绕实际交易数据运用区块链^[14]、云计算^[15]、水联网^[16]等新技术开展水权交易模型和平台研究, 建设了不同层级的水权交易平台并投入使用。员青泽^[17]提出了利用大数据技术获取农业生产全部数据, 将人工智能准确应用到农业领域。李会勤^[18]研究了农业水权交易生态经济补偿构成体系和量化方法。代小平等^[19]从农业水权交易主体的交易需求和交易激励 2 个角度构建了农业水权交易的驱动机制分类框架。

【切入点】农业水权交易与高新信息技术的结合, 对推动农业水权交易的高质量发展具有重要意义。大数据技术是政策引导下推进智慧水利建设的核心技术, 为了充分发挥产权约束和市场经济在水资源配置中的重要作用, 运用大数据技术全面整合数据信息,

收稿日期: 2022-10-20

基金项目: 山东省省级水利科研与技术推广项目 (SDSLKY201703)

作者简介: 李楠 (1982-), 女。硕士研究生, 主要从事水资源管理、水文预报、水权交易、农作物灌溉等方面研究。E-mail: 13459512@qq.com

通信作者: 张振华 (1982-), 男。硕士研究生, 主要从事水文学及水资源、农作物灌溉、水利工程等方面的研究。E-mail: zhangzhenhua2710@126.com

通过数据采集、数据存储、数据分析、数据应用等关键技术，建立农业水权交易大数据技术框架。

【拟解决的关键问题】本研究通过对农业水权交易大数据技术应用研究，充分发挥产权的约束和激励功能，深度挖掘水权交易的交易信息和交易潜力，结合我国农业水资源特点建立基于大数据技术的农业水权交易平台，为水权交易提供技术支撑和应用实践，推进农业水资源利用的节约、增效、可持续利用，提升水资源的利用效益和有效配置。

1 材料与方法

1.1 数据分类

水权交易是指拥有水权的权利人与用水需求者通过水权交易市场自愿进行水权转让的行为，按照结构可分为2个层次。第1层次将水权从流域分配到各个地区；第2层次将水权从各个地区分配到相应的不同用水部门。农业水权交易的数据内容主要分为初始水权分配、交易市场建设、影响评价分析3个方面。初始水权分配是水资源配置的重要组成部分，具体指对水资源的使用权进行分配，以有效性、公平性、可持续性为原则，在控制指标体系的限定下，对水资源使用权做出明晰与合理的分配；水权交易市场建设依据水权交易制度，水权持有人之间对水权自由交易的市场建设。水权交易属于市场配置资源的范畴，需要

明确水权交易的范围、对象、条件、形式、价格和程序，建立各级水权交易平台，对水资源通过市场机制进行适当的重新分配；影响评价分析，指水权交易改变了原有的水资源利用相关信息，对未参与交易的第三方造成的影响。利用科学智能的方式对水权交易进行影响评价分析，将交易数据和影响分析数据耦合，促进建立更为规范的流转机制。据此，综合利用大数据技术的信息数据来实现水权分配、交易、分析等流程。

1.2 数据来源

农业水权交易的数据资源具有多源性，包括数据库数据、模型演算数据等方面的结构化数据；相关网络日志、电子邮件、json文档等方面的半结构化数据；监测终端数据、互联网数据、传感器数据、相关的法律法规政策等方面的非结构化数据。农业水权交易的数据资源具有时效性，数据信息是不断变化和更新，在农业水权交易过程中通过实时数据来获取交易信息，确保利用信息的全面性和准确性；农业水权交易的数据资源具有不确定性，农业水权交易涉及多样的数据来源和应用需要，大数据技术突破了确定性模型在数据信息利用方面的局限性，应用更为科学的数据分析模型和算法。农业水权交易数据分类及来源见表1。

表1 农业水权交易数据分类及来源

Table 1 Classification and source of agricultural water rights trading data

类型	项目	内容	性质	来源
初始水权分配	控制指标	水资源量、农业产量指标、用水控制指标、需水量、用水级别	结构/非结构性数据	数据库、监控终端
	水源类型	地表水、地下水、非常规水等	非结构性数据	监控终端
	水权期限	法规政策、取水许可、分配方案	结构/非结构性数据	互联网、数据库
	水权交易形式	区域水权交易、取水权交易、灌溉用水户交易	结构性数据	数据库
交易市场建设	农业水权水市场	市场调节机制、水权交易制度、水权交易体系	半结构/非结构性数据	互联网、数据库
	交易平台	各级水权交易平台及相关信息	结构/非结构性数据	互联网、数据库
	交易时限	暂时水权、短期水权、长期水权	结构型数据	数据库
	经济效益	用最大GDP来量化	结构性数据	数据库、监控终端
影响评价分析	社会效益	区域总缺水量最小来间接反映	结构性数据	数据库、监控终端
	生态效益	以生态环境供水保证率最大量化	结构性数据	数据库、监控终端
	影响分析	影响分析数据；第三方影响数据	结构/非结构性数据	互联网、数据库
其他数据	农业经济	农业发展规划、国民经济和社会发展规划、农业节水措施	结构性数据	互联网、数据库
	农业生产	农作物种类、产量、分布面积等	结构性数据	数据库、监控终端
	相关法律法规	水权交易制度、灌溉定额	非结构性数据	数据库、监控终端、互联网

1.3 农业水权交易大数据技术框架

大数据技术是指对于海量的数据信息在合理时间内采用工具集合的新分析模式进行撷取、存储、管

理、分析等专业化处理，并整理成为更具有决策力和价值力的信息。大数据技术是在获取、存储、管理、分析数据方面远超传统数据库软件能力的数据集，

具有大量、高速、多样、低价值密度、真实的特征。

构建农业水权交易大数据技术平台框架,将农业水权交易分类表中的初始水权分配、交易市场建设、影响评价分析等3方面的信息数据,按照相关结构性、半结构性、非结构性3类农业水权交易数据进行采集,并结合相关数据分析预测模型生成的处理数据,大数据技术数据存储采用分布式架构,依托云计算的分布式数据库、分布式处理和云存储、虚拟化技术,以大数据标准格式存入基于分布式结构的存储服务系统,对海量数据进行数据分析和挖掘。提供与农业水权交易相关的可靠数据,应用数据信息进行分析、挖掘和处理,通过总结数据的信息和规律,更好的更全面的在农业水权交易中应用,提供高效、准确的数据应用支持。

基于大数据技术建立农业水权交易平台,构建农业水权交易大数据技术框架,包括大数据技术的数据采集、数据存储、数据分析、数据应用4大部分的建设,开展各部分数据相关技术应用建设,开展农业水权交易的应用,建设农业水权交易平台。

2 结果与分析

大数据技术的数据应用功能集成现有水权交易平台的数据,明确水权交易的范围、对象、条件、形式、价格和程序,升级各级水权交易平台,促进水权流转交易规范运行,并提供水量校核、审定水价、资金结算、信息公开等服务,建立水权交易大数据存储机制的数据库。通过农业水权交易,水权从节水成本高的用水户转让给节水成本低的用水户,对水资源配置通过市场机制进行适当的重新分配,提升水资源利用效率和效益。

2.1 数据采集

采集的数据因为类型不同、规则不同、传输协议不同等情况而无法直接使用,必须对所采集数据进行如分类、审核、筛选、排序等处理。通过数据清洗、数据集成、数据变换、数据归约等方法利用数据仓库技术进行数据预处理,将异构数据进行统一化形成对应目标数据,提高数据使用的质量,成为农业水权交易大数据分析处理的基础。

数据采集是大数据技术应用的第1个环节,通过系统日志、网络、数据库等数据来源进行大数据的采集,可以按数据类型分为3类:交易数据,即使用大数据技术能够获取时间跨度更大、更海量的结构化交易数据,这样能够对全面的交易数据进行数据分析;人为数据,即非结构化数据,广泛应用并存在于各种途径、人为或媒体所产生的数据流,为使用大数据技术的文本分析、移动分析等功能提供了丰富的数据资

源;传感数据,即与互联网节点之间通信或向中央服务器进行数据传输的配置设备,对其创建或生成的数据进行数据分析,构建分析模型,连续监测预测性行为。

2.2 数据存储

农业水权交易相关数据存储采用分布式结构,按照结构化、半结构化、非结构化的3种数据类型以大数据技术数据格式存储在不同功能服务器中。NAS提供了文件级的数据访问和共享服务,SAN则实现了海量、面向数据块的数据传输,在大数据技术进行复杂数据存储时NAS与SAN可以作为互补技术同时使用,NAS/SAN混合架构可以为数据使用者提供不同类型数据的访问。本系统采用NAS/SAN混合架构,对于结构化数据的存储机制采用关系型数据库处理;对于半结构和非结构数据采用基于Hadoop框架的存储机制,综合实现大数据的存储功能。将农业水权交易数据分类存储在不同功能服务器中,采用云存储技术构成共享存储资源池,并提供数据存储、访问和处理功能的系统服务。

2.3 数据分析

数据分析指建立数据分析模型处理数据并获取数据中隐含信息的过程,是大数据技术应用的核心内容。根据数据分析深度可分为:描述性分析、预测性分析和规则性分析。农业水权交易大数据技术架构应用平台采用面向数据视角的分析方法,对海量数据进行分布式处理的计算框架Hadoop,以大数据分析处理的农业水权交易数据为依据,从交易数据本身和其相关数据的类型、数据量、数据处理方式以及数据能够解决的具体问题等方面实现数据分析功能。为了提高某些数据之间的关联性,农业水权交易数据和其他行业数据结合进行综合分析,例如与经济数据关联可以更为广泛地得到交易供需信息;与农业数据关联可以更为全面地得到水量需求信息等,从而提高数据利用效率,形成庞大的数据采集分析体系。

2.4 数据应用

大数据技术在农业水权交易的应用实现,体现出交易过程中各个环节的需求,数据分析应用结果按照系统业务需求,提供可视化功能的服务支持。为落实党中央的决策部署,实现资源、环境和生态的良好协调发展,体现水资源的收益性、稀缺性、权属性等特征,因此,开展德州市农业水权交易大数据技术应用研究。农业水权交易大数据技术应用,为政府管理部门提供全面准确的决策信息,促进政府对水市场的监督管理,健全水权市场法律法规及管理制度,培育和发展水权交易市场,借助大数据技术的数据采集、存储、分析及应用,不断完善农业水权市场交易,依靠

水权交易市场监管机构,制定水市场交易规则,保护第三方的利益,形成“政府监管、市场调节、公众参与”的水权交易监管机制^[20],促进规范水权交易制度和市场流转机制。

3 讨论

3.1 农业水权交易大数据技术架构

农业初始水权分配结果取决于水权初始分配模块的决策变量,具体为各行业的水权分配以及相关数据信息,绝对约束条件,利用如《用水总量控制管理办法》、《水资源管理控制目标》等数据信息分析结果,必须满足控制指标;目标约束条件按照优先保障居民生活用水、合理安排生态用水、优化配置生产用水的原则,综合适当考虑土地生产力,公平保障农业基本生产用水;条件约束参考节水型社会规划、农业综合规划、国民经济与社会发展规划、水资源综合规划等关联数据,结合数据采集信息进行农业初始水权分配。德州市初始水权分配模块分为3个层次^[20]:一是市级初始水权分配至县级用水户;二是县级初始水权分配至乡镇级用水户和农民用水者协会;三是乡镇级和农民用水者协会将初始水权分配至用水户。

水权交易指水权持有者与水权需求者进行水权交易的过程,决定因素包括水权持有者参与水权交易的动力、意愿、时机、方式、报价等特征^[21];水权需求者的意愿、成本、报价、供水可靠性、交易方式、收益等特征。科学制定水权交易价格,来引导市场水价反应水资源的稀缺程度和水资源的外部特性,促使水资源利用从低效率用途转向高效率用途。综合主观及客观因素,结合气象数据、水权交易制度、市场经济供需情况等关联数据,数据信息与分析预测模型相结合,最终促成水权交易行为。

水权交易的整体表现是众多交易行为集中积累的结果,其影响机制非常复杂,通常基于经济学和系统优化等理论,评估水权交易实施效果及相关利益方的影响。因水权交易改变了原有用水信息,而产生水权交易的第三方影响。从施加影响主体角度,包括长期、短期和临时水权交易的影响;从受影响的客体角度,包括河道流量、水质、周边用水、买卖双方等影响;从影响发生机制角度,包括直接、间接、缓慢累积、快速显现等影响。水权交易发生交易双方的用水量、退水量、水质是造成第三方影响的主因,对影响评价方面的研究直接影响水权交易的可持续性发展,得到学者们广泛的关注。

数据处理和模型求解功能是水权交易系统的运行核心,本系统采用一体化计算体系,数据分析模型以 Matlab 软件编程实现。系统对水权分配采用多目

标规划模型求解。选用 Matlab 优化工具箱中 Fgoalattain 函数,该函数采用目标逼近方法,其基本优化思路是要使目标函数尽可能接近目标值,在保障合理效益的原则下,合理保障农业基本生产用水,综合考虑赋予不同变量的初始值,以不同的约束条件下设定约束函数对目标函数进行求解。应用 Fgoalattain 函数是多目标规划的算法,求解多目标规划问题,给每个目标设置一个权重,求解可得到不同的优化配置方案,经过数据分析和参数优选,最终确定目标方案,更好的更全面的提高信息数据在农业水权交易中应用。

3.2 水权交易实例

德州市宁津县作为首批水权交易试点,自2014年开展水权交易研究并不断推进,按照《宁津县水权水市场建设实施方案》,进行农业初始水权分配,按照“区域分配原则”将用水量分配到各乡镇,其中各乡镇政府预留总量的10%,其余90%分配给农户。农业水权交易系统配合农业水价综合改革信息管理系统共同开发并使用。

水权交易管理系统包括水权登记、用水户注册、用水管理、水权交易管理等功能,采用 SOA 面向服务的系统架构,通过网络访问实现服务和功能,创建了互联网+水权交易“两证一卡一平台”的管理模式。以大数据数据采集、存储、分析的功能为基础,将交易数据以及通过实时信息和监控的动态数据通过大数据技术在农业水权交易得以应用实现,提升农业水权交易的效率和效益。2021年,与中国水权交易所实现平台数据共享,农业水权交易3896次,交易水量90.82万m³,涉及金额4.69万元(表2)。

表2 德州市宁津县2021年水权交易统计

Table 2 Statistics of water rights transactions in Ningjin, Dezhou in 2021

乡镇	涉及协会 个数	水权交易 次数	交易水量/ (万 m ³)	交易 金额/ 万元
保店镇	3	320	8.07	0.40
柴胡店镇	29	618	9.87	0.49
大曹镇	22	761	12.23	0.61
杜集镇	21	1 252	19.47	0.97
津城街道办事处	1	24	0.22	0.01
刘营伍乡	8	882	39.93	2.16
宁城街道办事处	2	27	0.14	0.01
时集镇	1	10	0.26	0.01
相衙镇	1	2	0.63	0.03
合计	88	3 896	90.82	4.69

3.3 适用性分析

与传统农业水权交易相比,基于大数据技术的农业水权交易具有智能化、可视化、精准化的特点,体现在多源性数据的融合,交易各个环节的数据通过大数据技术的智能计算与智能识别,进行数据重组和聚合,深入识别和挖掘数据价值。利用图像处理功能、计算机视觉及用户界面,对数据加以可视化解释,展现数据的基本特征和隐含规律,更好的支持人们对数据认知、数据表达、人机交互和决策支持等方面的应用,获取所需要的或者影响未来的数据信息,提高水权交易数据信息的利用效率和精准度。

4 结 论

农业水权交易大数据技术应用研究,建立了面向市场经济的农业水权交易平台,能够将农业水权交易相关信息有效整合到系统平台中,形成完整的水权交易大数据技术信息化体系。农业水权交易大数据技术的应用,为农业水权交易高质量发展提供技术支撑和决策信息,闲置的用水指标通过水权交易实现高效利用,在满足经济指标条件下实现农业用水负增长,最大程度发挥交易产生的效益,实现农业用水节水增效。基于大数据技术农业水权交易的实施,提升了农业水资源优化配置效率,挖掘了农业节约用水的潜力,实践证明,农业水权交易大数据技术应用研究具备现实可行性,是符合流域“水文-生态-经济”集成模型对于数据全面精准分析的体现。

参考文献:

- [1] 汪恕诚. 水权和水市场——谈实现水资源优化配置的经济手段[J]. 中国水利, 2000(11): 6-9.
- [2] 胡鞍钢, 王亚华. 从东阳-义乌水权交易看我国水分配体制改革[J]. 中国水利, 2001(6): 35-37.
- [3] 安新代, 殷会娟. 国内外水权交易现状及黄河水权转换特点[J]. 中国水利, 2007(19): 35-37.
- [4] 张文鸽, 胡玉荣, 陈连军. 黄河水权转换期限研究[J]. 中国水利, 2007(19): 54-55.
- [5] 裴勇, 殷会娟, 王铁民. 黄河水权转换价格研究[J]. 中国水利, 2007(19): 56-58.
- [6] 田前进. 交易成本对水权市场的影响分析[J]. 水利水电科技进展, 2006(4): 75-77.
- [7] 韩锦绵, 马晓强. 水权交易第三方效应的类型和成因初探[J]. 生态经济, 2012(4): 35-38.
- [8] 张军连. 可交易水权制度中的相互监督机制[J]. 中国农村经济, 2007(9): 53-59.
- [9] 王慧敏, 佟金萍, 林晨, 等. 基于 CAS 的水权交易模型设计与仿真[J]. 系统工程理论与实践, 2007(11): 164-170, 176.
- [10] 胡晓寒, 纪昌明, 王丽萍. 基于优化和博弈理论的农业用户间水权交易分析[J]. 水利学报, 2010, 41(5): 608-612, 618.
- [11] 田贵良. 关于水权交易全过程实行行业强监管的若干思考[J]. 中国水利, 2019(20): 45-47, 57.
- [12] 王寅, 周维伟, 范景铭, 等. 公共管网合同节水参与水权交易的模式研究[J]. 水利经济, 2019, 37(6): 76-79, 88.
- [13] 张凯. 市场导向下不同水权交易模式价格形成机制研究[J]. 水资源开发与管理, 2021(4): 72-77.
- [14] 刘云杰, 刘睿, 邓延利, 等. 区块链技术在国家水权交易系统中的应用[J]. 水利经济, 2020, 38(4): 55-59, 83-84.
- [15] 代颖, 陈伟华. 大数据背景下的灌区信息化建设[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(7): 159.
- [16] 范英琦, 郑航, 刘悦忆, 等. 基于水联网的水银行机制设计: 以宁夏回族自治区为例[J]. 水利发展研究, 2022, 22(2): 51-57.
- [17] 员青泽. 大数据背景下农业领域中人工智能技术的应用[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2020, 2: 142-144.
- [18] 李会勤. 农业节水型水权交易生态经济补偿能值量化研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [19] 代小平, 刘闯, 万福兵, 等. 中国农业水权交易的驱动机制分类研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(12): 72-77.
- [20] 李楠, 赵复强. 关于德州市水权市场建设的思考[J]. 中国水利, 2014(22): 15-16, 20.
- [21] 刘悦忆, 郑航, 赵建世, 等. 中国水权交易研究进展综述[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(8): 76-90.

Research on the Application of Big Data Technology in Agricultural Water Rights Trading

LI Nan, ZHANG Yu, ZHANG Zhenhua*, BIAN Xiaonan, GAO Qing

(Dezhou Water Conservancy Bureau of Shandong, Dezhou 253014, China)

Abstract: 【Objective】 The implementation of agricultural water rights trading is one of the effective methods to promote the optimal allocation of agricultural water resources. However, the data of agricultural water resources has multi-source, timeliness and uncertainty. To realize the intelligent and efficient management of water rights trading, it is necessary to highly integrate and utilize relevant data with big data technology. 【Method】 This paper establishes the big data technology framework of agricultural water rights trading through the big data technology of data collection, data storage, data analysis and data application. 【Result】 Taking Dezhou agricultural water rights trading as an example, a platform of agricultural water rights trading is designed based on big data technology. Its functions and technologies realize the comprehensiveness, timeliness and accuracy of data utilization. A new management mode for agricultural water rights trading is proposed based on big data technology. 【Conclusion】 The research deeply explored the trading information and trading potential of water rights trading, that provided visual technical support and decision-making information for the development of agricultural water rights trading. It deepened the application of agricultural water rights trading, and improved the optimal allocation of agricultural water resources.

Key words: water rights trading; big data technology; agricultural water rights; trading platform

责任编辑: 韩 洋