

基于文本计量和知识图谱的武汉市水政策演进研究

董 怡^{1,2}, 邹 磊¹, 夏 军^{1,3}, 张家兴⁴, 周超普⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 武汉大学水资源工程与调度全国重点实验室, 湖北 武汉 430072;
4. 华北水利水电大学信息工程学院, 河南 郑州 450046)

摘要:构建了基于机器学习、文本计量和知识图谱的水政策演进分析框架,以武汉市2001—2021年出台的252份水政策文件为研究样本,提出了基于Word2Vec模型的关键词词典构建技术及关键词热度计算方法,从政策关键词和政策工具两个维度探究了武汉市水政策演进规律。结果表明:在研究时段内武汉市水政策演进经历了初期探索、综合治理、生态优先3个阶段,形成了较为完善的水政策体系;水政策关注重点由供用水需求逐渐转向生态文明建设;政策工具以命令控制型为主,经济激励型政策工具呈现减少趋势,技术支撑型政策工具和公众参与型政策工具占比有所提升;武汉市水政策发展主要面临系统治理理念相对薄弱、防洪防涝关注不够、政策工具类型结构失衡等问题,未来可以从坚持系统治水、提升防洪防涝能力、完善政策工具结构等方面对水政策制度加以改进。

关键词:水政策;政策演进;文本计量;政策工具;武汉市

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2024)04-0099-10

Study on water policy evolution of Wuhan City based on text measurement and knowledge graph//DONG Yi^{1,2}, ZOU Lei¹, XIA Jun^{1,3}, ZHANG Jiaying⁴, ZHOU Chaopu⁴ (1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. State Key Laboratory of Water Resources Engineering and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 4. School of Information Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: A framework for analyzing water policy evolution was constructed based on machine learning, text measurement, and knowledge graph. With 252 water policy documents issued in Wuhan City from 2001 to 2021 taken as research samples, a keyword dictionary construction technique based on the Word2Vec model and a keyword hotness calculation method were proposed to explore water policy evolution laws of Wuhan City from two aspects of policy keywords and policy instrument. The results show that water policy evolution in Wuhan City experienced three stages during the study period, including initial exploration, comprehensive management, and ecological priority, and a relatively complete water policy system was initially formed. The focus of water policy gradually shifted from water supply and demand to ecological civilization construction. Policy instruments were dominated by the type of command and control, and the economic incentive policy instruments demonstrated a decreasing trend, while the proportions of the technology-supporting policy instruments and public participation policy instruments increased. Water policy development is currently facing problems such as a relatively weak concept of systemic governance, insufficient attention to flood prevention and control, and an imbalance in types and structures of policy instruments. In the future, the water policy system can be improved from aspects of adhering to systemic water management, enhancing flood control and drainage capacity, and improving the structure of policy instruments.

Key words: water policy; policy evolution; text measurement; policy instrument; Wuhan City

随着社会经济的快速发展和城市化进程的加速,城市水灾害、水资源、水环境、水生态等问题日益

凸显^[1-2]。水政策是以政府为核心的不同水利益相关主体在水资源管理过程中制定的行为准则,是各

基金项目:国家自然科学基金项目(42101043, 41890823)

作者简介:董怡(1995—),女,博士研究生,主要从事社会水文学研究。E-mail:dongy.19b@igsnr.ac.cn

通信作者:邹磊(1990—),男,副研究员,博士,主要从事流域水循环模拟研究。E-mail:zoulel@igsnr.ac.cn

类水问题治理措施发挥作用的重要保障,对于国民经济稳定发展和满足人民生活需求具有重要意义^[3]。对水政策演进开展研究有利于完善水政策体系,提升水政策的协同性和有效性^[4],为水问题治理和可持续发展提供有力的科学支撑。

关于水政策研究,国内外学者已经开展了广泛的研究,根据内容可大致分为政策作用机制^[5-8]和政策分析评估^[9-11]两类。在政策作用机制方面,Werdiningtyas 等^[12]对维多利亚 1860—2016 年采用的土地、水和环境治理政策工具进行研究,探究了其在社会-生态系统治理中发挥作用的机制;Wang 等^[13]将博弈论和多智能体模拟系统相结合,探讨了价格补贴、水信息披露监管等政策工具在影响水市场利益相关者行为方面的作用机制;Castro^[14]结合系统动力学与模糊认知图,将人类行为和环境反馈的定性关系进行半定量表示,以识别政策在发挥作用时的协同效应和冲突效应。政策分析评估方面的研究成果相对更为丰富,可以被进一步细化为政策工具^[15-18]、效果评价^[10,19-21]、演进分析^[22-25]3 类。政策工具指基于政策解决特定问题或达成某种目标所采取的各类手段的总称,周海炜等^[15]构建了政策工具、政策目标、政策力度三维分析框架对我国水安全政策加以分析,提出了优化政策工具结构等对策建议;王鹏飞等^[16]通过分析总结长三角水环境政策工具的使用情况,从政策工具角度给出了长三角地区政策优化建议。效果评价通常采用实测数据或模型模拟来评价政策的有效性,沈坤荣等^[19]基于 2004—2010 年 497 个国控断面监测点水污染数据,使用双重差分法评估了河长制政策的实施效果,结果表明水环境的改善与河长制的实施存在正相关关系;Dias 等^[21]利用水文模型模拟阿尔加维水资源的可用性和灌溉需求的演变,评估了当地水资源管理适应性措施与社会-水系统变化的协同性。演进分析通常聚焦某地区突出的水问题,分析其相关政策的变迁过程,钟方雷等^[25]通过总结 1960 年以来黑河流域分水政策制定和实施的历史,提出纳入多方

利益相关主体的分水制度变迁模型,对分水政策制度提出了改进建议;杨旭等^[26]基于内容分析法对 2000—2019 年京津冀地区水污染治理政策工具进行了研究和考察,认为京津冀水污染政策需要提升整体均衡度,加强“府际联动”以及强调常态化治理。综上所述,尽管目前水政策方向的研究已经获得了较为丰富的成果,但是对水政策演进规律的定量分析相对较少,且现有研究大多面向国家和流域层面,城市层面的水政策演进规律未受到足够关注。城市是国家治理体系的重要单元,在贯彻落实国家水治理方针和政策时会出台一系列配套政策,由于密集的人水交互作用,近年来城市水问题日益凸显,亟须科学高效的治理手段,以应对变化环境下可持续发展面临的挑战^[27]。开展城市水政策研究,定量分析其演进规律,有利于理解制度走向,改进政策制度,对促进城市高质量发展具有重要意义。

武汉市是国家中心城市,也是中部崛起重要战略支点,在国家发展中具有重要的战略地位。在地理条件上,武汉以“百湖之城”而著称,然而长期以来武汉市发展受到湖泊萎缩、污染严重以及水系受损等问题的制约。本文基于文本计量和知识图谱技术定量剖析武汉市水政策演进特征,以期为武汉市水政策制定与完善提供科学依据与参考。

1 研究方法

1.1 水政策演进分析框架

图 1 为基于机器学习、文本计量和知识图谱方法的水政策演进分析框架,该分析框架旨在从政策关键词和政策工具两个维度分析武汉市水政策演进规律及存在的问题,主要步骤包括:

a. 数据准备。收集水政策文本数据,进行分词等预处理,利用分词数据训练 Word2Vec 模型,并通过训练好的 Word2Vec 模型构建政策关键词典和政策工具类型词典。

b. 文本计算。基于政策关键词词典计算关键词词频,进而计算每篇政策中词频最高的 3 个关键

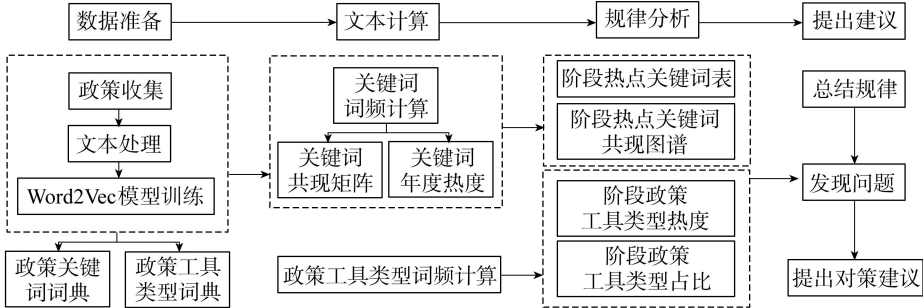


图 1 水政策演进分析框架

Fig. 1 Framework for water policy evolution analysis

词共现矩阵以及关键词年度热度;基于政策工具类型词典计算政策工具类型词频。

c. 规律分析。根据关键词年度热度分布对水政策演进过程进行阶段划分,形成阶段热点关键词表,并基于关键词共现矩阵绘制阶段热点关键词共现图谱;基于政策工具词频计算阶段政策工具类型热度及各政策工具类型占比。基于绘制出的数据图表,对武汉市水政策演进规律进行分析。

d. 提出建议。基于上述计算分析结果总结水政策演变规律,发现存在的问题,提出针对性建议。

1.2 关键词词典构建技术

Word2Vec 模型是一种用于生成词嵌入的神经网络模型,通过对每个词语进行向量表示,在高维空间中捕捉词语的语义关系^[28]。Word2Vec 模型需要在训练过程中通过不断调整参数来优化模型性能。本文将词语向量的维度设置为 300,以便更好地捕捉词语特征。同时,为了丰富上下文信息,选择每个词语周围 10 个上下文单词进行训练。为有效地训练模型,对训练数据进行 35 轮迭代。在训练过程中,设置负样本指数为 5,以提高模型准确性。使用 Python 的 jieba 分词工具,将人工标注的 N 个政策关键词作为自定义词典,对所有政策文本进行中文自然语言处理的分词操作。利用 Word2Vec 模型进行聚类,集合 A 表示 N 个关键词 a_i ,即 $A = \{a_i | i = 1, 2, \dots, N\}$;假设每个关键词 a_i 拥有 M 个相近词 $x_{ij}(j = 1, 2, \dots, M)$,将相近词聚类到相应的关键词集合构成关键词词典。

1.3 共现矩阵与共现图谱

共现矩阵是用于描述不同对象之间共现关系的一种矩阵表示方法。构建共现矩阵需要明确对象和特征,本文以收集到的水政策文本为对象,以政策关键词为特征,计算两者间的共现关系,并通过共现图谱实现可视化。共现图谱常用于展示多个变量之间的关系和共同出现的模式,通过将多个变量之间的共现情况绘制成图表,可以更加直观了解变量之间的联系并归纳其中的规律和趋势^[29-30]。本文共现图谱采用网络图的形式展示,其中节点表示关键词,连线表示关键词之间的共现关系,节点大小和网络图布局反映出政策关键词特征和共现模式。

1.4 关键词热度计算

词频-逆向文件频率 (term frequency-inverse document frequency, TF-IDF) 算法是一种统计分析方法,用于反映特定词语在文本库中对于某一文本的代表性和重要程度^[31]。本文基于 TF-IDF 算法计算关键词词频,计算公式为

$$F_{a_i} = \sum_j x_{ij} / K \quad (1)$$

式中: F_{a_i} 为关键词 a_i 对应的词频; K 为文本中所有词语出现次数之和。

在分析特定时段内关键词的重要性时,还需要考虑文本数量的影响。为进一步反映某一关键词在特定时段内的热度,本文在词频计算的基础上提出一种关键词年度热度和阶段热度的计算方法。该计算方法综合考虑了词频与文本数量,能够更加全面地反映某一关键词的重要性与影响力,计算公式为

$$F_{a_i}^* = F_{a_i} / \sum_{i=1}^N F_{a_i} \quad (2)$$

$$H_{ya_i} = \sum_{k=1}^{p_y} F_{a_i,k}^* \quad (3)$$

$$H_{sa_i} = \sum_{l=1}^{p_s} F_{a_i,l}^* \quad (4)$$

式中: $F_{a_i}^*$ 为归一化处理后每份政策文本中关键词 a_i 的词频; H_{ya_i} 为某年度关键词 a_i 的热度值; $F_{a_i,k}^*$ 为该年度政策文本 k 中关键词 a_i 的词频; p_y 为该年度政策文本数量; H_{sa_i} 为某特定阶段内关键词 a_i 的热度值; $F_{a_i,l}^*$ 为该阶段政策文本 l 中关键词 a_i 的词频; p_s 为该阶段政策文本数量。

2 数据来源与词典构建

2.1 数据来源

本文数据来源于北大法宝、法信、武汉市人民政府官网、武汉市水务局官网以及国家法律法规数据库等,筛选出 2001—2021 年 252 份与水相关的政策文件,包含条例、实施细则、办法、规划、计划、意见、方案和规定等。

2.2 政策关键词与政策工具类型词典构建

考虑到相似词语通常在语义和语境上具有相似特征,如节水与节约用水、防汛与防洪等,因此需要将这些相似的词语聚类并建立词典,以便更好地理解词语的语义关联,为关键词词频计算提供可靠的信息基础^[32]。通过对收集到的所有政策文本进行人工筛选、合并、去重,最终确定了 34 个关键词,利用 Word2Vec 模型聚类构建政策关键词词典,如表 1 所示。

水政策目标的实现路径关乎政策实施效果,通常体现在政策工具的选择和应用情况^[33]。现有研究成果中往往将政策工具分为命令控制型、经济激励型和公众参与型 3 类。随着科技水平的迅速发展和城市高质量发展目标的提出,高科技技术在环境治理方面发挥的作用日趋重要^[34]。因此,本文在

表 1 政策关键词词典

Table 1 Water policy keyword dictionary	
关键词	相近词
两型社会	两型社会
供水	供水、供水管、供水系统、自来水、饮用水、饮水
用水	用水、用水量、工业用水
农村水利	农村水利、农田水利、农村饮水、农村供水、农村饮用水
取水	取水、取水量、取水口、取用
四水共治	四水共治
地下水	地下水、含水层
城市管线	城市管线、管线、管廊、管网、管道
排水	排水、排水管、城市排水、排水系统、明渠、排渍、下水道、排口、渍水
水利改革	水利改革
水利风景区	水利风景区、名胜区、旅游景观、风景区、旅游区、景观带
水功能区划	水功能区划、功能区、区划、纳污
水土保持	水土保持、水土流失
水污染防治	水污染防治、水污染、达标排放、截污、防治
水环境	水环境、水体黑臭
生态	生态、生态建设、自然生态、生态系统、水生态、生态环境、生态农业、绿色生态、生态平衡、原生态
水网	水网、连通廊道、水系
水质	水质、水质标准、氨氮、总磷、总氮、浊度
水资源	水资源、水资源量
污水处理	污水处理、生活污水、城市污水、尾水、工业废水、废水、中水、废水处理、污水
排污	排污、雨污、排污口、清污
河湖保护	河湖保护、湖泊生态、湖泊保护、护湖
河道堤防	河道堤防、大坝堤防、涵闸、堤段、堤身、江堤
河道采砂	河道采砂、采砂、采砂船、内砂场、砂场、涉砂、砂石、沙场
河长制	河长制、河长、长制、湖长制、湖长、总湖长
海绵城市	海绵城市、海绵
湿地	湿地
环境保护	环境保护、环境治理、环保、环境监测、环境质量、环境污染
生态文明	生态文明
生态补偿	生态补偿、补偿、奖惩、损害、赔偿
节水	节水、节约用水、节水型、水平衡、喷灌、滴灌、循环水、水回用、水循环
节能减排	节能减排、节能减排建筑、节能低碳、新能源、节能降耗、节约能源、减碳
长江保护	长江保护、长江大保护
防洪防涝	防洪防涝、洪水、排涝、蓄洪区、防汛、内涝、防洪、防涝、城市防洪、滞洪区

前 3 种政策工具的基础上增加第 4 种政策工具类型——技术支撑型。具体而言,命令控制型政策工具涵盖责令整改、排污许可证、监督、整顿等关键词;经济激励型政策工具涵盖补贴、财政投入、差别水价、排污权交易等关键词;公众参与型政策工具涵盖宣传引导、信息公开、社会监督、志愿者等关键词;技术支撑型政策工具涵盖技术研究、更新改造、技术创新、信息化、监测网络等关键词。与建立关键词词典的方法类似,通过确定政策工具类型,建立政策工具类型词典(表 2)。

3 结果与分析

3.1 水政策演进基本特征分析

根据收集到的政策文本可以看出,研究期内武汉市水政策累计发布数量以较为稳定的速度上升。从逐年数量来看,2017 年前后,国家层面水治理相关政策密集出台,促进了武汉市政府相应政策出台,此阶段武汉市水政策发布数量剧增,2017 年达到顶峰(图 2)。

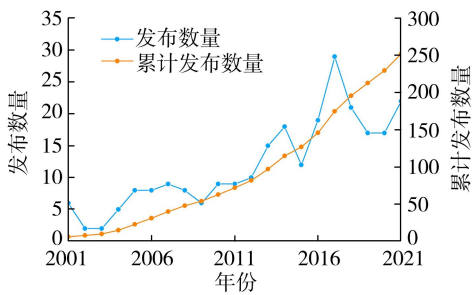


图 2 水政策发布数量变化趋势

Fig. 2 Trends in number of water policies issued

根据关键词年度热度值的计算结果,对关键词依据其年度热度值大小进行排序,选取历年排名前 8 位的关键词作为年度热点关键词(热度值为 0 的关键词忽略不计),得到 2001—2021 年逐年水政策年度热点关键词表(表 3),其中生态、环境保护、节能减排、污水处理、供水和用水等词汇在整个研究时段内出现频率较高。表 4 反映了出现频率较高的

表 2 政策工具类型词典

Table 2 Dictionary of policy instrument types	
政策工具类型	关键词
命令控制型	指标体系、准入资格、排污许可证、监督、督查、考核、考评、巡查、责令整改、整顿、行政处罚、刑事责任、约谈、抽查、审计、监管、核查、通报批评、整改措施、追责、问责、加强监督
经济激励型	补贴、补助、财政投入、资金投入、政府采购、政府购买、环境保护税、差别水价、污水处理费、排污费、水价、排污权交易、民间资本参与、社会资本参与、环境信用评价、绿色融资、奖补、奖励、表彰、扶持、价格政策、水费、经费、预算、财政、财政资金
公众参与型	宣传引导、环境教育、信息公开、信息共享、社会舆论、社会监督、举报、检举、听证会、宣传报道、宣传教育、新闻媒体、报刊、媒体、志愿者、自愿、全民行动、新媒体、实践活动、社会组织
技术支撑型	技术研究、更新改造、技术推广、技术研发、技术创新、科技、研发、转型、改造、产业结构、升级、转变、高新技术、创新能力、调整结构、信息化、自动监控、自动监测、监测网络、监测预警、数字生态、数据分析、环境大数据

表 3 水政策年度热点关键词

Table 3 Annual hot keyword list of water policy

年份	热点关键词
2001	用水 1.38、污水处理 1.07、排水 0.74、取水 0.65、防洪防涝 0.58、供水 0.48、河道堤防 0.33、城市管线 0.24
2002	排水 0.71、河湖保护 0.42、污水处理 0.39、环境保护 0.06、防洪防涝 0.06、城市管线 0.06、水环境 0.06、水利风景区 0.05
2003	水利风景区 1.00、供水 0.50、污水处理 0.50
2004	供水 0.98、水网 0.80、水土保持 0.63、污水处理 0.44、长江保护 0.31、河湖保护 0.29、水功能区划 0.44
2005	用水 1.31、供水 1.16、河湖保护 0.64、污水处理 0.60、节水 0.60、生态 0.56、节能减排 0.52、水功能区划 0.31
2006	生态 0.95、污水处理 0.83、供水 0.65、环境保护 0.58、取水 0.53、地下水 0.45、水利风景区 0.44、河湖保护 0.41
2007	节能减排 1.43、水利风景区 1.14、供水 1、节水 0.94、生态 0.79、用水 0.66、环境保护 0.55、污水处理 0.42
2008	节能减排 2.02、环境保护 1.22、地下水 0.79、污水处理 0.74、排污 0.53、生态 0.42、两型社会 0.35、供水 0.34
2009	防洪防涝 1.08、排水 0.89、水土保持 0.71、污水处理 0.68、环境保护 0.60、湿地 0.42、生态 0.39、节能减排 0.30
2010	生态 1.76、农村水利 0.94、河道采砂 0.94、供水 0.81、环境保护 0.81、水网 0.62、河湖保护 0.60、污水处理 0.44
2011	河道堤防 1.06、污水处理 1.05、环境保护 1.04、河道采砂 0.63、防洪防涝 0.58、生态 0.57、水质 0.53、供水 0.47
2012	供水 1.43、城市管线 1.24、防洪防涝 1.10、污水处理 1.08、节水 1.01、生态 0.86、环境保护 0.53、水质 0.52
2013	环境保护 1.50、供水 1.45、河湖保护 1.44、生态 1.37、节能减排 1.22、湿地 1.13、排水 0.97、生态文明 0.65
2014	河道采砂 3.81、生态 1.70、水利风景区 1.69、生态文明 1.29、环境保护 1.26、节能减排 1.04、供水 1.02、污水处理 0.85
2015	环境保护 2.48、生态 1.85、供水 1.24、防洪防涝 0.98、海绵城市 0.91、河湖保护 0.75、水利风景区 0.49、水质 0.48
2016	生态 2.34、环境保护 1.61、水污染防治 1.42、水利风景区 1.36、节水 1.29、海绵城市 1.23、城市管线 1.21、污水处理 0.85
2017	环境保护 4.38、水利风景区 2.26、水污染防治 2.13、水质 2.10、供水 2.05、生态 1.84、排污 1.36、城市管线 1.30
2018	生态 2.80、排污 1.66、污水处理 1.53、湿地 1.49、环境保护 1.43、城市管线 1.22、水污染防治 1.14、水利风景区 1.12
2019	生态 3.38、水处理 2.87、水质 1.21、环境保护 1.13、水土保持 0.83、湿地 0.77、排污 0.73、水污染防治 0.69
2020	生态 3.79、防洪防涝 2.76、水利风景区 2.09、水污染防治 1.60、环境保护 0.96、排污 0.94、污水处理 0.94、河湖保护 0.61
2021	生态 4.87、污水处理 1.87、节水 1.79、用水 1.54、环境保护 1.49、供水 1.18、湿地 1.18、排水 1.14

注：关键词后的数值为年度关键词热度值。

表 4 水政策高频热点关键词热度值的逐年变化
Table 4 Changes in hotness of high-frequency hot keywords in water policy over years

年份	热度值					
	生态	环境保护	节能减排	污水处理	供水	用水
2001	0	0	0	1.07	0.48	1.38
2002	0.05	0.06	0	0.39	0	0
2003	0	0	0	0.50	0.50	0
2004	0.29	0.05	0	0.08	0.98	0.44
2005	0.56	0.15	0.52	0.6	1.16	1.32
2006	0.95	0.58	0.25	0.83	0.65	0.11
2007	0.79	0.55	1.43	0.42	1.00	0.66
2008	0.42	1.22	2.02	0.74	0.34	0.11
2009	0.39	0.60	0.30	0.68	0	0
2010	1.76	0.80	0.02	0.44	0.81	0.27
2011	0.57	1.04	0.23	1.05	0.47	0.05
2012	0.86	0.53	0.08	1.08	1.43	0.35
2013	1.37	1.50	1.22	0.38	1.45	0.63
2014	1.60	1.24	1.03	0.82	0.94	0.41
2015	1.77	2.47	0.28	0.14	1.23	0.09
2016	2.34	1.61	0.47	0.85	0.50	0.68
2017	1.84	4.39	0.94	1.26	2.05	0.47
2018	2.81	1.43	0.31	1.63	0.73	0.19
2019	3.79	1.13	0.35	2.87	0.39	0.11
2020	3.38	0.96	0.02	0.84	0.14	0.10
2021	4.87	1.49	0.19	1.87	1.18	1.54

热点关键词热度值的逐年变化情况。基于对武汉市水治理过程的初步认识,将水政策演进过程划分为 3 个阶段,结合图 2、表 3 和表 4 可以总结出武汉市水政策演进 3 个阶段的主要特征:

a. 第一阶段为 2001—2006 年。武汉水政策发

文量总体处于低位,重点关注供水、用水、污水处理,在水环境、水生态等方面建章立制比较罕见,属于初期探索阶段。

b. 第二阶段为 2007—2014 年。2007 年党的十七大要求建设生态文明,加强水生态环境保护,同年武汉城市圈被国家正式批准为全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区。2014 年武汉入选第二批全国水生态文明城市建设试点。此阶段已经综合考虑生态、环境保护、供水、节能减排等,属于综合治理阶段。

c. 第三阶段为 2015—2021 年。2015 年新修订的《中华人民共和国环境保护法》正式实施,国务院印发实施《水污染防治行动计划》(国发〔2015〕17 号)。同年,武汉市实施《武汉市水生态文明城市建设试点实施方案(2015—2017 年)》,武汉水治理走向生态优先阶段。

3.2 政策热点关键词演进规律分析

根据 3 个阶段关键词热度值计算结果,按照阶段关键词热度值排序,依次选取前 12 个关键词得到表 5。利用 gephi 软件绘制了 3 个阶段政策关键词图谱,如图 3 所示,图谱节点由阶段关键词构成,节点之间的关系连线由共现矩阵算法得出,图中不同颜色表示不同聚类,节点大小代表关键词热度。结合表 5 和图 3 对政策热点关键词演进规律进行分析。

a. 在 2001—2006 年初期探索阶段,水政策以

表 5 分阶段热点关键词
Table 5 Staged hot keywords

阶段	关键词	热度值	阶段	关键词	热度值	阶段	关键词	热度值
2001—2006 年	供水	3.77	2007—2014 年	生态	7.75	2015—2021 年	生态	20.80
	污水处理	3.47		环境保护	7.46		环境保护	13.49
	用水	3.25		供水	6.44		污水处理	9.35
	生态	1.85		节能减排	6.33		水污染防治	7.96
	排水	1.83		污水处理	5.62		水利风景区	7.85
	水利风景区	1.81		河道采砂	5.43		防洪防涝	6.96
	河湖保护	1.55		水利风景区	4.07		供水	6.25
	取水	1.25		防洪防涝	3.64		排污	6.20
	农村水利	1.15		河湖保护	3.33		水质	5.33
	防洪防涝	1.14		排水	2.99		城市管线	4.36
	节水	1.03		节水	2.52		河湖保护	4.11
	水土保持	0.90		水质	2.48		节水	3.99

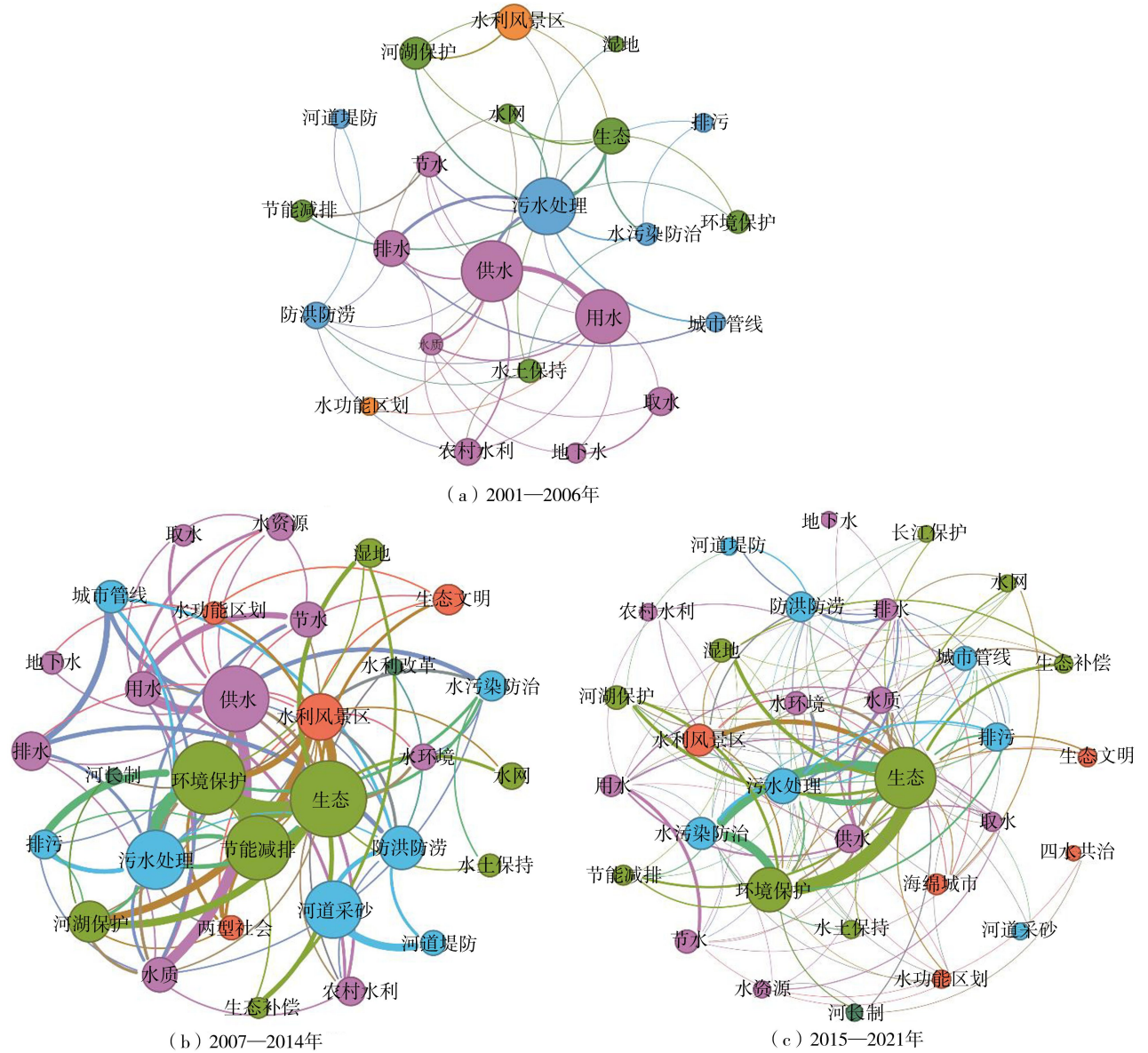


图 3 分阶段水政策热点关键词共现图谱

Fig. 3 Staged water policy hot keyword co-occurrence mapping

供水、污水处理、用水为主要关注点。在此阶段水环境治理以满足基本的供用水需求为首要目标,主要采取末端治理,集中在末端的管网、泵站、污水处理厂建设等,以弥补之前水基础设施建设欠账过多等

问题。此阶段政策发文数量不多,关键词热度值普遍偏低,关键词之间的关联密度不高,水治理各方面尚未建立统一协调的机制。

b. 在 2007—2014 年全面综合治理阶段,关键词中生态、环境保护的热度值最高,供水、节能减排、污水处理、河道采砂的热度值也较高,关键词之间的关联较初期探索阶段有所增强,水治理方式由末端治理向关注生态状况的水环境综合治理转变,发展方式从前一阶段的补欠账,重建设向建管并重转变。

c. 在 2015—2021 年生态优先阶段,关键词中生态的热度值远远高于其他关键词,环境保护的热度值也比较高,这是因为 2018 年“生态文明”被写入宪法,生态文明建设被提到了前所未有的高度,武汉市将生态提升到绝对突出的地位。此阶段各关键词之间的关联密度进一步增强,生态、环境保护、污水处理、水污染防治之间的关联强度突显,治水方式从综合治理向生态优先的全过程治理转变,发展方式从建管并重向系统提升转变。

3.3 政策工具演进规律分析

基于政策工具类型词典及热度计算方法得到各阶段政策工具类型热度值及占比如表 6 所示。整体而言,武汉市在 2001—2021 年命令控制型政策工具在 4 种政策工具类型中始终占据主要地位,表明水政策偏向于借助权威和强制力,即通过一系列强制型政策工具对机构和个人的行为作出规定,并且有逐渐增强的趋势。经济激励型政策工具在第一阶段占比最高,在随后的两个阶段占比逐渐减少,原因可能是武汉市 2001 年对水资源费、污水处理费、水价格等集中做出调整。技术支撑型和公众参与型政策工具的演进过程相似,在第一阶段,二者占比均不足 5%,而在随后的两个阶段,技术支撑型和公众参与型政策工具占比均有所提升,稳定在约 10%。整体而言,政策工具体系以命令控制型政策工具和经济激励型政策工具为主,技术支撑型和公众参与型政策工具在政策工具体系中仅起到补充作用。

表 6 各阶段政策工具类型热度值及占比

Table 6 Heatness and proportions of policy instrument types at each stage						
政策工具 类型	2001—2006 年		2007—2014 年		2015—2021 年	
	热度值	占比/%	热度值	占比/%	热度值	占比/%
命令控制型	16.11	53.70	45.07	58.54	79.54	60.72
经济激励型	11.21	37.37	16.48	21.40	22.85	17.44
公众参与型	1.27	4.23	6.97	9.05	14.59	11.14
技术支撑型	1.41	4.70	8.48	11.01	14.01	10.70

3.4 水政策发展现状问题剖析与建议

结合上述结果分析,武汉市水政策发展主要面临以下问题:

a. 系统治理理念有待加强。武汉市水问题表现在水资源、水环境、水生态、水安全等诸多方面,从图 3 可以看出,尽管当前水政策体系包含了上述方面,但各个政策相对独立,关联不够紧密,表明城市水政策体系对水资源、水环境、水生态、防洪防涝之间的统筹考虑不够,系统治理理念在水政策体系中有待加强。

b. 防洪防涝关注度有待加强。武汉市地势低洼、雨洪同期的自然地理条件使其在主汛期面临高水位外洪和区域暴雨内涝频发的压力,表 5 显示关键词中防洪防涝的热度值在 3 个阶段的 12 个热点关键词中出现频率排名分别位列第 10、8、6 位,表明防洪防涝在水政策制定过程中并未得到首要关注。此外,武汉市雨污合流制的排水系统使得内涝发生时产生的溢流极易造成城区水体污染,对水资源环境和生态状况均会造成威胁,而图 3 显示,目前防洪防涝与水资源、水环境、水生态等关联度不强,表明防洪防涝与水资源、水环境、水生态相关政策的协调性有待进一步提升。

c. 政策工具结构体系尚需完善。武汉市水政策体系中命令控制型政策工具占比均超过 50%,呈现增长态势;经济激励型政策工具占比位列第二,呈现减少趋势;公众参与型和技术支撑型政策工具占比偏低,两种政策工具共占 20%。尽管命令控制型政策工具具有效用显著的优势,但往往成本高昂;而经济激励型政策工具相较于前者具有降低环保成本,提高行政效率,减少政府补贴和扩大财政收入等显著优点,因此在实践中应当强调不同政策工具间的互为补充和交互效应。当前 4 种政策工具运用不够均衡,市场功能发挥不够充分,公众参与度有待提升,科技支撑运用不足,表明政策工具结构体系尚需完善。

针对上述问题,提出以下建议:

a. 坚持系统治水,采用系统治理理念,克服多头建设、分散管理的现状。统筹水资源、水环境条件和经济社会发展需要,优化调整产业结构,加快实施河湖连通、生态修复等进程,推进城市、农村全域治理,推进江、河、湖、库同步治理,推进水中、岸上立体治理。

b. 提升防洪防涝能力,在水政策体系中进一步加强对防洪防涝的关注,提升排水标准和内涝防治标准,并加强与水生态、水环境、水资源统筹考虑。统筹水生态环境治理和防洪防涝,保护和修复自然生态系统,提升自然蓄水和排水能力;统筹水资源利用和防洪防涝,推进海绵城市建设,提升城市应对洪涝灾害的韧性及能力,以政策引领建立完善的防洪

防涝体系。

c. 完善政策工具体系结构,强化科技支撑,鼓励探索创新和推广示范高效的治水手段和适用技术;充分发挥经济调节作用,用好市场机制,发挥市场在资源配置中的决定性作用;提倡全民治水,建立健全公众参与体制、机制,健全公众举报制度,支持公众监督,充分利用各类媒体宣传和多种形式教育等手段,推动由政府治水向全民治水转变。

4 结 论

a. 2001—2021 年,武汉市水政策演进过程经历了初期探索、综合治理、生态优先 3 个阶段,初步形成了较为完备的水政策体系。

b. 武汉市水政策关注重点由供用水需求逐渐转向生态文明建设;政策工具类型以命令控制型政策工具为主,经济激励型政策工具呈现减少趋势,而技术支撑型和公众参与型政策工具的占比有所提升。

c. 武汉市水政策目前仍存在系统治理理念有待加强、防洪防涝需进一步关注、政策工具结构体系尚需完善等问题。

参考文献:

[1] 何艳虎,郭红江,谭倩,等. 广东省东江流域显著水问题类型识别[J]. 水资源保护,2021,37(5):16-21. (HE Yanhu, GUO Hongjiang, TAN Qian, et al. Type identification of significant types of water problems in the Dongjiang River Basin, Guangdong Province [J]. Water Resources Protection,2021,37(5):16-21. (in Chinese))

[2] 李轶,万芬芬,张文龙. 长三角地区工业园区水资源高效利用的发展趋势与策略[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):1-9. (LI Yi, WAN Fenfen, ZHANG Wenlong. Development trend and strategy of efficient utilization of water resources for industrial parks in Yangtze River Delta region [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2023, 51 (3): 1-9. (in Chinese))

[3] 范仓海. 中国水资源公共政策形成机制:经验、问题与对策[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(增刊 2): 94-98. (FAN Canghai. Study on formation mechanism of China 's public policy of water resource: experience, problem and countermeasure [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25 (Sup2): 94-98. (in Chinese))

[4] 杨明一. 太湖流域分省市水环境政策量化分析与比较研究[D]. 北京:北京林业大学,2021.

[5] 李薇,宋国君,杨靖然. 中国取水许可制度和水资源费政策分析[J]. 水资源保护,2011,27(4):83-89. (LI

Wei, SONG Guojun, YANG Jingran. Analysis on China 's water abstraction license and abstraction charge policies [J]. Water Resources Protection, 2011, 27 (4): 83-89. (in Chinese))

[6] 毕建培,刘晨,林小艳. 国内水流生态保护补偿实践及存在的问题[J]. 水资源保护,2019,35(5):114-119. (BI Jianpei, LIU Chen, LIN Xiaoyan. Practice and problems of compensation for water flow ecological protection in China [J]. Water Resources Protection, 2019, 35 (5): 114-119. (in Chinese))

[7] 李锋,封雯静. 区域协同治理视角下太湖流域湖长制研究[J]. 水利经济,2023,41(4):61-65. (LI Feng, FENG Wenjing. Research on lake chief system in Taihu Basin from the perspective of regional collaborative governance [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2023, 41 (4): 61-65. (in Chinese))

[8] 冯欣,姜文来,刘洋. 利益相关者影响农业水价的机制研究[J]. 水利经济,2023,41(4):36-44. (FENG Xin, JIANG Wenlai, LIU Yang. Research on the mechanism of stakeholders ' influence on agricultural water price [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2023, 41 (4): 36-44. (in Chinese))

[9] 毛春梅,蔡成林. 英国、澳大利亚取水费征收政策对我国水资源费征收的启示[J]. 水资源保护,2014,30(2):70-73. (MAO Chunmei, CAI Chenglin. Experience of water abstraction charge collection policies of United Kingdom and Australia and recommendations to China [J]. Water Resources Protection, 2014, 30 (2): 70-73. (in Chinese))

[10] 张素英. 江苏省淮河流域水污染防治现状及其对策[J]. 水资源保护,2009,25(3):80-84. (ZHANG Suying. The status and strategy of water pollution prevention for Huaihe River Basin in Jiangsu Province [J]. Water Resources Protection, 2009, 25 (3): 80-84. (in Chinese))

[11] 何维达,陆平,邓佩. 北京市供水与用水政策的一般均衡分析:基于水资源 CGE 模型[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2015,17(2):72-76. (HE Weida, LU Ping, DENG Pei. General equilibrium analysis of Beijing 's water supply and consumption policies based on CGE-water model [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2015, 17 (2): 72-76. (in Chinese))

[12] WERDININGTYAS R, WEI Yongping, WESTERN A W. The evolution of policy instruments used in water, land and environmental governances in Victoria, Australia from 1860-2016 [J]. Environmental Science & Policy, 2020, 112: 348-360.

[13] WANG Wei, WU Fengping, YU Hui, et al. Assessing the effectiveness of intervention policies for reclaimed water reuse in China considering multi-scenario simulations [J]. Journal of Environmental Management, 2023, 335: 117519.

- [14] CASTRO C V. Systems-thinking for environmental policy coherence: stakeholder knowledge, fuzzy logic, and causal reasoning [J]. *Environmental Science & Policy*, 2022, 136:413-427.
- [15] 周海炜,张蔚怡,王腾,等. 政策工具视角下我国水安全政策文本分析三维框架[J]. *情报杂志*, 2022, 41(9): 62-70. (ZHOU Haiwei, ZHANG Weiyi, WANG Teng, et al. A three-dimensional framework of water security policy text analysis in China from the perspective of policy tools [J]. *Journal of Intelligence*, 2022, 41(9): 62-70. (in Chinese))
- [16] 王鹏飞,陈娟. 政策工具: 长三角水环境政策制定的动力引擎: 基于江浙沪皖水环境政策的文本分析[J]. *中共南京市委党校学报*, 2021(5): 77-86. (WANG Pengfei, CHEN Juan. Policy tool: the power engine of water environment policy formulation in the Yangtze River Delta based on text analysis of water environment policy in Jiangsu, Zhejiang, Shanghai and Anhui [J]. *Journal of Party School of Nanjing Municipal Committee of CPC*, 2021(5): 77-86. (in Chinese))
- [17] 鞠茂森,吴宸晖,李贵宝,等. 中国河湖长制管理规范化与标准化进展[J]. *水利水电科技进展*, 2023, 43(1): 1-8. (JU Maosen, WU Chenhui, LI Guibao, et al. Progress of management normalization and standardization of river and lake chief system in China [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2023, 43(1): 1-8. (in Chinese))
- [18] 刘高峰,龚艳冰,黄晶. 基于流域系统视角的城市洪水风险综合管理弹性策略研究[J]. *河海大学学报(哲学社会科学版)*, 2020, 22(3): 66-73. (LIU Gaofeng, GONG Yanbing, HUANG Jing. Research on resilient strategies of urban flood risk comprehensive management from the perspective of river basin system [J]. *Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences)*, 2020, 22(3): 66-73. (in Chinese))
- [19] 沈坤荣,金刚. 中国地方政府环境治理的政策效应: 基于“河长制”演进的研究[J]. *中国社会科学*, 2018(5): 92-115. (SHEN Kunrong, JIN Gang. The policy effects of local governments' environmental governance in China: a study based on the evolution of the "river-director" system [J]. *Social Sciences in China*, 2018(5): 92-115. (in Chinese))
- [20] FROHLICH M, FIDELMAN P, DUTTON I, et al. A network approach to analyse Australia's blue economy policy and legislative arrangements [J]. *Marine Policy*, 2023, 151: 105588.
- [21] DIAS L F, APARÍCIO B A, NUNES J P, et al. Integrating a hydrological model into regional water policies: co-creation of climate change dynamic adaptive policy pathways for water resources in southern Portugal [J]. *Environmental Science & Policy*, 2020, 114: 519-532.
- [22] 王金南,董战峰,蒋洪强,等. 中国环境保护战略政策70年历史变迁与改革方向[J]. *环境科学研究*, 2019, 32(10): 1636-1644. (WANG Jinnan, DONG Zhanfeng, JIANG Hongqiang, et al. Historical evolution and reform of China's environmental strategy and policy during the past seventy years (1949-2019) [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2019, 32(10): 1636-1644. (in Chinese))
- [23] 罗理恒,张希栋,曹超. 中国环境政策40年历史演进及启示[J]. *环境保护科学*, 2022, 48(4): 34-38. (LUO Liheng, ZHANG Xidong, CAO Chao. Historical evolution and enlightenment of environmental policies in past 40 years of China [J]. *Environmental Protection Science*, 2022, 48(4): 34-38. (in Chinese))
- [24] 邵帅,刘丽雯. 中国水污染治理的政策效果评估: 来自水生态文明城市建设试点的证据[J]. *改革*, 2023(2): 75-92. (SHAO Shuai, LIU Liwen. Evaluating the effect of water pollution governance policy in China: evidence from the water ecological civilization city construction pilot [J]. *Reform*, 2023(2): 75-92. (in Chinese))
- [25] 钟方雷,徐中民,窪田顺平,等. 黑河流域分水政策制度变迁分析[J]. *水利经济*, 2014, 32(5): 37-42. (ZHONG Fanglei, XU Zhongmin, KUBOTA J, et al. Institutional evolution of water allocation policies in Heihe River Basin since 1960 [J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2014, 32(5): 37-42. (in Chinese))
- [26] 杨旭,陈廷栋. 水污染治理政策工具变迁: 基于2000—2019年京津冀地区政策文本的考量[J]. *中共南京市委党校学报*, 2020(5): 72-82. (YANG Xu, CHEN Tingdong. Change of policy tools for water pollution control: based on the consideration of the Beijing-Tianjin-Hebei region policy texts from 2000 to 2019 [J]. *Journal of Party School of Nanjing Municipal Committee of CPC*, 2020(5): 72-82. (in Chinese))
- [27] 董怡,邹磊,夏军,等. 武汉市人水系统耦合协调发展及障碍因素识别[J]. *水资源保护*, 2023, 39(6): 87-94. (DONG Yi, ZOU Lei, XIA Jun, et al. Coupling and coordinated development of human-water system in Wuhan City and identification of obstacle factors [J]. *Water Resources Protection*, 2023, 39(6): 87-94. (in Chinese))
- [28] 丁敬达,陈一帆,刘超,等. 基于共词和 Word2Vec 加权向量的文献-主题语义匹配分析方法[J]. *图书情报工作*, 2022, 66(12): 108-116. (DING Jingda, CHEN Yifan, LIU Chao, et al. An article-topic semantic matching analysis method based on co-word and weighted Word2Vec [J]. *Library and Information Service*, 2022, 66(12): 108-116. (in Chinese))
- [29] 陈艳萍,陈邵琪,蒋倩倩. 我国水资源空间均衡研究的文献计量分析[J]. *水利经济*, 2023, 41(1): 17-23. (CHEN Yanping, CHEN Shaoqi, JIANG Qianqian. Bibliometric analysis of research on water resources spatial equilibrium in China [J]. *Journal of Economics of Water*

Resources,2023,41(1):17-23. (in Chinese))

[30] 蔡旺炜,夏继红,祖加翼,等. 基于 WOS 数据库的饮用水源地评价知识图谱分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(5):15-23. (CAI Wangwei,XIA Jihong,ZU Jiayi,et al. Knowledge mapping analysis of drinking-water source evaluation based on Web of Science[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2023,51(5):15-23. (in Chinese))

[31] 万福兵,代小平. 基于改进 TF-IDF 算法的灌区水权市场运行效果评价[J]. 中国农村水利水电,2022(6):147-153. (WAN Fubing,DAI Xiaoping. Performance evaluation of agricultural water right market in irrigation district using improved TF-IDF algorithm[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022 (6): 147-153. (in Chinese)).

[32] 程秀峰,邹晶晶,叶光辉,等. 融合 Word2Vec 的半积累引用共词网络的领域主题演化研究[J]. 情报学报,2023,42(7):801-815. (CHENG Xiufeng,ZOU Jingjing, YE Guanghui,et al. Exploring the evolution of research topics based on partial-cumulative citation co-word network with Word2Vec[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2023, 42 (7): 801-815. (in Chinese))

[33] 杨明一,乔海娟,王银堂,等. 太湖流域分省市水环境政策量化分析与比较[J]. 资源科学,2021,43(10):2042-2054. (YANG Mingyi,QIAO Haijuan,WANG Yintang,et al. Quantitative analysis and comparative study on provincial water environment policies in the Tai Lake Basin[J]. Resources Science,2021,43(10):2042-2054. (in Chinese))

[34] 郝亮,陈劲锋. 我国水资源领域科技创新取得阶段性成果[J]. 科技促进发展,2013,9(5):9-17. (HAO Liang, CHEN Shaofeng. Achievements obtained in water resources scientific and technological innovation of China [J]. Science & Technology for Development,2013,9(5):9-17. (in Chinese))

(收稿日期:2023-08-23 编辑:施业)

+++++

(上接第 72 页)

[15] PAN Zhengwei, WANG Yanhua, ZHOU Yuliang, et al. Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis [J]. Applied Water Science, 2020,10(6):139.

[16] KOECH R, LANGAT P. Improving irrigation water use efficiency: a review of advances, challenges and opportunities in the australian context[J]. Water,2018,10(12):1771.

[17] DU Haibo, JI Xuepeng, CHUAI Xiaowei. Spatial differentiation and influencing factors of water pollution-intensive industries in the Yellow River Basin,China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2022,19(1):497.

[18] 苗峻瑜,张春英. 黄河流域九省(区)工业水资源效率时空分异及影响因素[J]. 科技导报,2022,40(19):71-80. (MIAO Junyu, ZHANG Chunying. Temporal and spatial differentiation and influencing factors of industrial water resources efficiency in nine provinces (regions) of the Yellow River Basin [J]. Science & Technology Review,2022,40(19):71-80. (in Chinese))

[19] 雷玉桃,黄丽萍. 中国工业用水效率及其影响因素的区域差异研究:基于 SFA 的省际面板数据[J]. 中国软科学,2015(4):155-164. (LEI Yuitao, HUANG Liping. Regional differences in industrial water consumption efficiency and its influencing factors for China's major industrial provinces:a study of provincial panel data based on SFA[J]. China Soft Science,2015(4):155-164. (in Chinese))

[20] 叶堂林,毛若冲. 京津冀科技创新与产业结构升级耦合[J]. 首都经济贸易大学学报,2019,21(6):68-79. (YE Tanglin, MAO Ruochong. Coupling of science and technology innovation and industrial upgrading in Beijing-Tianjin-Hebei [J]. Journal of Capital University of Economics and Business, 2019, 21 (6): 68-79. (in Chinese))

[21] 贾洪文,张伍涛,盘业哲. 科技创新、产业结构升级与经济高质量发展[J]. 上海经济研究,2021(5):50-60. (JIA Hongwen, ZHANG Wutao, PAN Yezhe. Scientific and technological innovation, industrial structure upgrading and high-quality economic development [J]. Shanghai Journal of Economics,2021(5):50-60. (in Chinese))

[22] 姜德娟,李丽娟. 2011—2020 年山东省水资源利用效率及动态分析[J]. 水资源与水工程学报,2023,34(3):10-18. (JIANG Dejuan, LI Lijuan. Analysis of water use efficiency and its dynamics in Shandong Province during 2011-2020 [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2023,34(3):10-18. (in Chinese))

[23] 吴振华. 劳动报酬、消费升级与产业结构升级[J]. 工业技术经济,2019,38(11):101-106. (WU Zhenhua. Labor remuneration, consumption upgrading and industrial structure upgrading[J]. Journal of Industrial Technological Economics,2019,38(11):101-106. (in Chinese))

[24] 何为,刘昌义,刘杰,等. 环境规制、技术进步与大气环境质量:基于天津市面板数据实证分析[J]. 科学与科学技术管理,2015,36(5):51-61. (HE Wei, LIU Changyi, LIU Jie, et al. Environmental regulation, technology change, and air pollution: a panel study on Tianjin [J]. Science of Science and Management of S. &T. ,2015,36(5):51-61. (in Chinese))

(收稿日期:2023-09-12 编辑:王芳)