

我国水资源空间均衡研究的文献计量分析

陈艳萍^{1,2}, 陈邵琪^{1,2}, 蒋倩倩^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学规划与决策研究所, 江苏 南京 211100)

摘要:为全面客观了解国内水资源空间均衡研究现状和发展趋势,从文献计量学角度,运用科学知识图谱可视化软件 CiteSpace 分析了 CNKI 数据库中 2000—2021 年共计 1217 篇与水资源空间均衡相关的文献。初步检索以“水资源空间均衡”为主题检索词得到 121 条相关文献,二次检索以“水资源”并含“时空+空间”为主题词,限定为 SCI、EI 和 CSSCI 期刊,检索得到相关文献 1 120 篇,与初步检索 121 篇文献的重合比例达到 20% 左右,说明二次检索对研究水资源空间均衡具有重要意义。CiteSpace 分析结果表明:我国水资源空间均衡研究仍处于初期发展阶段,发文量逐年增长,研究者主要为水利部以及水利相关专业的高校师生,但核心研究群体规模较小且缺少跨学科的合作;“空间均衡”“时空分异”“影响因素”是当前我国水资源空间均衡研究的热点,且呈现出由早期定性的政策解读到运用空间均衡方法(基尼系数、空间自相关系数、GIS 等)进行定量分析的研究趋势。

关键词:水资源空间均衡;计量分析;CiteSpace;知识图谱

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-9511(2023)01-0017-07

“十四五”时期,我国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段,水资源与经济要素之间不适配仍是我国基本水情,水资源的供给质量与结构直接决定了我国经济社会高质量发展的成长空间^[1],而“空间均衡”是破解水资源空间分布与经济社会发展需求不适配的关键方针。2014 年,习近平总书记提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的十六字治水方针,为新时期强化水治理指明了方向,其根本目的是在水资源水环境承载力之内发展经济,实现两者的和谐共生^[2],以解决水资源空间分布与经济社会发展需求不适配的现实问题,实现水资源的合理配置和利用。当前,我国关于水资源空间均衡的内涵解读与评估方法的研究主要基于两个视角:一是水资源与经济社会发展、环境保护等之间的协调关系^[3];二是水资源与其他因素空间分布上的不平衡性^[4-5]。

a. 关于空间均衡的概念与评价方法。“空间均衡”在《地理学名词》中被解释为空间上的经济供应与需求平衡,可以简单理解为“空间上的均衡”^[6]。目前国内外关于“空间均衡”的研究较为成熟,多侧重于空间配置“供需关系”资源环境供给与开发强

度等方面^[7]。“空间均衡”的评估是判断某一区域资源开发利用状态的基础,当前广泛运用的计算方法有洛伦兹曲线法、基尼系数法、数列法、Kernel 密度估计、GIS、不平衡指数法等。Pang 等^[8]研究了一类特殊的单商品空间均衡问题,提出一种简单算法来分析最短路径问题;Milasi 等^[9]研究了广义拉格朗日乘子和拉格朗日理论,得到了拉格朗日变量,从而提出了动态市场价格空间均衡理论;Beaudry 等^[10]提出了研究工资、失业、房价和城市规模(或移民)的空间均衡状态评估方法。准确把握“空间均衡”的深刻内涵和精神实质,关键要准确把握均衡的内容(谁和谁均衡)、均衡的范畴(在什么空间尺度上均衡)、均衡的方向(实现均衡的路径)、均衡的标准(达到均衡的条件)等^[11]。现有文献将“空间均衡”的基本内涵总结为两点:一是指某一事物在不同空间发展上的均衡,即区域间发展的均衡性,如经济发展水平、自然资源禀赋在空间上均匀而等量的分布;二是指同一空间中不同事物之间发展的均衡性,即一定空间内部要素之间的均衡性和协调度。“水资源空间均衡”则属于第二类,均衡的具体内容

为水资源开发、利用和保护的空间平衡;基于我国长期治水实践视角,均衡的范畴为全国、流域、区域以及区域内城乡之间等不同空间范围和层次的空间均衡;具体到水利实践,实现均衡的路径是以水资源、水生态、水环境承载能力作为刚性约束,促进经济社会发展布局与水资源条件的匹配;均衡的标准是人口、经济、资源与环境相协调的一种空间上的“帕累托最优”状态^[12],是一种相对平衡、动态发展的状态。

b. 水资源空间均衡内涵解读与评估方法。 Flinn 等^[13]最早将空间均衡应用于水资源配置中。我国于 2014 年将水资源空间均衡确定为新时期治水理念之一,亟待研究体现空间均衡的水资源配置方法^[14]。左其亭等^[15]提出了水资源空间均衡的理论体系和解决框架,其中关于水资源空间均衡的定义被广泛认可,即“水资源-经济社会-生态环境”复合系统在空间上的均衡。郦建强等^[16]系统总结了国内外有关“空间均衡”的研究,提出水资源的空间均衡是水资源可持续利用宏观战略的一个概念,即通过水资源的高效利用、适度开发、优化配置、合理布局,实现人口规模、产业结构、增长速度与水资源、水生态、水环境承载能力的匹配。方子杰等^[17]结合浙江实例,认为“水资源日益短缺甚至紧缺”将是一个“新常态”,在这种新常态下,只有坚持“空间均衡”的原则,才能破解“用水需求越来越增长、紧缺程度越来越加剧、水源建设越来越困难、引水距离越来越遥远”的恶性循环。王劲峰等^[18]提出了水资源空间配置的边际效益均衡理论。目前,水资源空间均衡研究仍然以理论分析为主,由于缺乏统一的评价标准,没有形成成熟的系统化的研究理论体系,也缺乏对空间均衡状态的综合评价研究^[19]。众多学者运用改良的空间均衡理论与方法来诊断各区域的水资源空间均衡状态。金菊良等^[20]提出了基于系数的区域水资源承载力评价与诊断分析方法,弥补了基尼系数无法衡量各自区域空间均衡状况的缺点,对安徽省 2011—2018 年水资源空间均衡状况进行评价;朱彩琳等^[21]结合洛伦兹曲线和基尼系数来研究水资源的空间匹配问题;韩春辉^[22]依据左其亭的和谐论五要素,提出空间均衡五要素法进行定量分析的路径与具体的系数计算方法;亢晓龙等^[23]采用不平衡指数来研究水资源空间均衡问题;夏帆等^[24]融合多种已有方法来综合表征水资源空间均衡状况。

为了全面了解当下水资源空间均衡的研究进展与趋势,本文基于文献计量法,运用 CiteSpace 文献可视化分析工具对现有文献进行了系统化梳理,以总结现有研究成果,为水资源高质量供需配置、国家现代化水网建设的研究提供借鉴。

1 研究时空分布情况

以“水资源空间均衡”为主题搜索词在 CNKI 数据库进行初步检索。由于仅有 121 篇相关文献,并且文献分析结果显示水资源空间均衡研究集中从区域水资源的时空演化视角展开,关注更多的是水资源、经济、生态三者均衡关系在时空上的演化。而水资源空间均衡是一种相对平衡、动态发展的状态,实现空间均衡的标准是水资源与人口、经济社会、生态环境三大系统的均衡协同。在具体研究某个地区的水资源空间均衡状态时,需要分析该地区相关要素随时间变化的具体均衡状况。于是,再次以“水资源”并含“时空+空间”为主题检索词,将 2000—2021 年发表期刊类别限定为 SCI、EI 和 CSSCI,检索得到 1 120 条相关文献,其中与初步检索 121 篇文献重合比例达到 20% 左右,说明二次检索分析对研究水资源空间均衡具有重要意义。最后将两次检索结果共计 1 241 篇文献导入 CiteSpace 软件绘制知识图谱并进行深入解读,总结当前研究热点和未来研究趋势。

1.1 研究发展历程

“空间均衡”战略的提出与实践是水资源空间均衡研究的开端。2000—2021 年,水资源空间均衡研究始终保持稳定的增长趋势。初始阶段,众多学者研究供需关系、资源的空间布局与均衡问题,如土地、金融、教育等领域。在后续的研究中,部分专家将空间均衡评估方法改良并运用于研究水资源与经济发展、水资源与环境和资源、环境和经济耦合关系的研究中,积累了一定的发文数量并推动了水资源空间均衡研究的发展。2014 年是发文量的转折点,但在水资源空间均衡研究发表论文数量的时间分布表(表 1)中并不明显。当年我国将水资源空间均衡确定为新时期治水理念之一,研究论文呈现快速增长趋势,说明水资源空间均衡研究的现实必要性与紧迫性。

表 1 水资源空间均衡研究发表论文的时间分布

年份	发表论文数量/篇	年份	发表论文数量/篇
2000	7	2011	51
2001	8	2012	62
2002	12	2013	60
2003	10	2014	58
2004	18	2015	73
2005	27	2016	73
2006	23	2017	88
2007	29	2018	80
2008	37	2019	87
2009	38	2020	112
2010	45	2021	152

1.2 研究作者

水资源空间均衡的较早研究者是方子杰等^[17]，于2015年发表了《对坚持“空间均衡”破解水资源短缺问题的思考》，对2014年习近平总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”十六字治水方针政策进行了详细解读，为后期研究提供了重要的参考。如图1所示，发文数量较多的作者为水利部的郦建强(7篇)、合肥工业大学的金菊良(4篇)以及郑州大学的韩春辉(6篇)、左其亭(4篇)。左其亭、郦建强、金菊良等对水资源空间均衡理论方法、应用研究框架及对策措施等方面开展了系统的研究。其中郦建强、金菊良、何君和王平的合作较为紧密，重点解读水资源空间均衡的内涵与特征，并通过对河道内外、地表地下水资源供需分析，计算各评价单元的综合缺水量和综合缺水率，以水资源空间均衡度为评价指标开展对京津冀水资源空间均衡评价^[25]。左其亭团队首创性地提出了系统化的水资源空间均衡量化的方法体系，弥补了当前研究的空白，但缺乏其他视角的横向对比。通过以上分析可知，自2000年以来水资源空间均衡的关注者较多，研究内容相对集中。然而高频次发文作者数量相对较少，合作研究基数不大。这些核心作者规模较小，学科分布以水文学及水资源、水利水电工程、资源科学为主，缺乏多学科、跨学科的合作。



图1 2000—2021年水资源空间均衡作者共现知识图谱

1.3 研究机构

利用CiteSpace软件对导入的1241篇文献进行图谱分析，得到图2的研究机构合作图谱。研究机构间的交叉线表明了研究主体间的合作关系与合作程度。如图2所示，中国科学院地理科学与资源研究所(64篇)、河海大学(53篇)、水利部水利水电规划设计总院(51篇)等机构发文量较大，为水资源空间均衡的研究理论发展提供了重要支持。另外，水资源时空分布不均衡地区如黄河流域等，其地区内学校以及该地区水利厅，也发表了相当数量的论文，这与他们进行水资源配置的实践是密不可分的，如郑州大学水利与环境学院、宁夏水文水资源勘测局等机构。虽然一些科研机构之间存在着一定的联

系与合作关系，但总体而言，我国在水资源空间均衡和时空分析研究方面尚未形成广泛的机构合作现象，缺少跨学科合作研究。

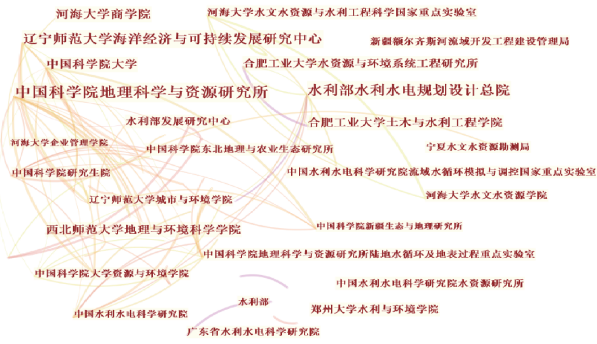


图2 2000—2021年我国总研究机构贡献知识图谱

2 研究热点分析

为了进一步探索水资源空间均衡研究的知识网络和发展战略历程，需要将可视化图谱分析与传统的文献综述方法相结合，进行文献的梳理和整合。先利用CiteSpace软件对收集的文献数据进行可视化分析，然后再根据图谱所显示的内容直观地分类进行综述。

2.1 关键词共现聚类分析

图谱节点大小与关键词出现频次正相关，不同颜色的弧线和连线代表了关键词的频次和贡献关系。图3是水资源空间均衡的关键词知识图谱，可以观察到相关研究广泛运用基尼系数、均衡度等方法，从供需平衡、空间布局等视角来探讨水资源、空间均衡问题。本文重点分析水资源空间均衡和水资源时空研究总的聚类网络图谱，由图4可知，排名前10位具有代表性的聚类类别为水资源(#0聚类)、时空变化(#2聚类)、GIS(#3聚类)、气候变化(#4聚类)、空间均衡(#5聚类)、黄河流域(#6聚类)、京津冀(#7聚类)、均衡分析(#8聚类)和模型(#9聚类)。为了深入分析水资源空间均衡与水资源时空研究的主要研究方向，排除了地区类研究对象的聚类(黄河流域和京津冀(#6和#7聚类))，以及因检索词的设置而直接形成的聚类(水资源(#0聚类)、时空分析(#2聚类)和空间均衡(#5聚类))，对剩余5个聚类进行综述分析。由于每类文献数量较多，为了保证综述的客观性，结合后文中心性分析选取了引用量、下载量较高以及相关度较高的文献进行重点分析。

a. #1 聚类:水足迹。生态足迹是衡量资源可持续利用的一种工具，在研究用水效率和水资源可持续发展方面具有很大优势。王文国等^[26]根据水



图3 2000—2021年水资源空间均衡知识图谱



图4 2000—2021年总关键词聚类图谱

资源生态足迹计算模型对2001—2009年四川省的水资源生态足迹和生态承载力进行了计算和分析,探究了其时空分布差异。郭利丹等^[27]基于生态足迹理论,评价了江苏省2008—2017年的水资源生态足迹、水资源生态承载力和生态盈亏状况。杨骞等^[28]采用水资源生态足迹模型对2000—2014年中国农业用水生态足迹进行了计算,并考察了中国农业用水生态足迹的空间差异及演变趋势。

b. #3 聚类:GIS。GIS作为获取、处理和分析地理空间数据的重要技术,广泛地应用于水资源空间均衡分析。彭盛华等^[29]介绍了GIS技术在复杂且具有空间分布特性的水资源和水环境领域中的应用。邹君等^[30]采用遥感手段和GIS空间建模和空间分析技术对衡阳盆地1990—2010年的水资源系统脆弱性时空变化特征进行了分析。左其亭等^[31]通过GIS技术绘制了河南省的降水量等值线图和水资源分布空间均衡系数等值线图,并对比二者的相似性,以验证其提出的水资源分布空间均衡计算方法的可行性。

c. #4 聚类:气候变化。全球气候变化是影响我国水资源供应和分布情况的重要因素之一。任国玉等^[32]指出中国现有水资源问题的产生不仅与社会经济的快速发展有关,也与气候变化有很大关系,未来的气候变化将继续影响我国水资源的供应和分布情况。冯畅等^[33]利用SWAT分布式水文模型模拟分析了气候变化情景下涟水流域蓝水和绿水资源的时空分布变化特征。黄建平^[34]分析了黄河流域1979—2019年温度、降水、蒸散量等气候变化的时

空演变特征,厘清了其变化规律。

d. #8 聚类:均衡分析。研究者常使用洛伦兹曲线、基尼系数法、数列法、Kernel密度估计、不平衡指数法、ROXY指数法、平衡线模型分析法与和谐平衡理论法等来实现。刘洋等^[35]运用洛伦兹曲线与基尼系数的测算方法,结合区域用水结构和水资源需求的分布与耕地、农业人口、城镇人口分布的相关性,构建了区域水资源空间匹配模型,并对辽宁省水资源的匹配情况进行了实证研究。田培等^[36]以长江中游城市群为研究对象,构建水资源承载力评价体系,定量评价了长江中游城市群2012—2018年的水资源承载力时空变化和子系统之间的耦合协调性。

e. #9 聚类:模型。构建差异化水资源空间均衡调控模型有助于因地制宜地探讨各层级空间水资源的均衡。李雨欣等^[37]基于生态足迹模型测算了中国31个省(自治区、直辖市)2003—2018年的人均水资源承载力和人均水资源生态足迹,根据两者相比较产生的人均水资源生态盈亏指标判断各区域的水资源供需平衡状况。邓正华等^[38]建立TOPSIS模型与水资源承载力评价指标体系,分析了洞庭湖流域水资源承载力的时空演变特征。朱丽娟等^[39]构建了土地资源利用效率和水资源利用效率间的耦合协调模型,运用莫兰指数分析耦合协调度的空间自相关性和空间集聚特征。沈晓梅等^[40]从经济、社会、生态3个层面对淮河生态经济带绿色高质量发展水平进行测度,并利用莫兰指数揭示其绿色高质量发展的空间特征。杨亚锋等^[41]基于可变集原理及偏系数方法构建一种新的水资源空间均衡评估模型,以弥补当前水资源空间均衡评估中对指标模糊性和信息动态性考虑不足的缺陷,综合考虑了水资源空间影响因素数据的当前状态与演化趋势,为水资源空间均衡评估及预警提供了新思路。理论是实践的先导,没有完善的理论体系,无法针对重点问题区域展开深入的实际量化调研研究。面对地域的经济、水资源等差异,需要因地制宜制定相应的评价指标模型才能进一步保障各区域的健康和可持续发展^[42-45]

2.2 关键词中心性分析

关键词中心性能够体现该关键词在研究领域中的相关度,中心性越大则相应的研究内容在某时间内具有较高的代表性,能够客观体现相关领域研究的热点。根据关键词频次、中心性、年份等信息,筛选得到水资源空间均衡和水资源时空研究的关键词中心性排行表(表2)。由表2可以看出,关键词“水资源”的中心性最高,“中国”“空间均衡”次之,说明

产问题。2015 年至今,研究者重点探讨水资源空间均衡的影响因素,如农业灌溉用水、水资源的时空格局以及不同空间层面的产业发展格局等。综上,水资源空间均衡的研究呈现由早期定性的政策解读到运用空间均衡方法(基尼系数、空间自相关系数、GIS 等)进行定量分析的研究趋势。

4 结 语

实现水资源空间均衡是贯彻落实新发展理念的必然选择,是实现人与自然和谐共生的内在要求,是做好新时代水利工作的客观需要。本文基于文献计量法,运用 CiteSpace 文献可视化分析工具对现有水资源空间均衡的研究进行了系统化的梳理与总结。

通过对该领域研究进展、研究作者、研究机构分析可知,水资源空间均衡研究起步较晚,自 2000 年开始缓慢发展。2014 年,我国将水资源空间均衡确定为新时期治水理念之一后,相关研究迎来增长转折点,呈现出快速增长趋势,并保持增速发展至今。在 2021 年达到增长最高点,具有较大的发展潜力。当前水资源空间均衡的研究已经有了一定的初步研究成果,以左其亭、郦建强、金菊良为主的学者们将相关概念理论与方法广泛地应用于具体的实践,探讨黄河流域、京津冀经济带等地区的实际水资源空间均衡状态。然而,当前水资源空间均衡总体研究内容相对薄弱,核心研究者规模较小;研究机构仍以中国科学院地理科学与资源研究所、河海大学为主,缺乏跨学科、多领域的合作,暂未形成广泛的研究合作网络。在未来研究中,可以通过加强研究机构间的合作,促进不同专业背景学者间的交流,以便从更多新的角度来研究水资源空间均衡问题。

从水资源空间均衡研究的关键词聚类结果与分析可以看出,当前我国关于水资源空间均衡的内涵解读与评估方法的研究主要基于两个视角:一是水资源与经济社会发展、环境保护等之间的协调关系;二是水资源与其他因素空间分布上的不平衡性。研究热点强调水资源空间均衡的研究对象是“水资源-经济-环境”复合系统;其具体内涵为水资源开发、利用和保护的空间平衡,而空间均衡的范畴则涉及全国、流域、区域以及区域内城乡之间等不同空间范围和层次的空间均衡。总关键词聚类图谱显示,相关研究广泛运用基尼系数、均衡度等方法,从供需平衡、空间布局等视角来探讨水资源、空间均衡问题。但这些研究方法多沿用空间均衡研究的成熟理论,较为单一而缺乏创新性,无法针对其中任意单一要素展开空间均衡的量化分析来真正体现空间的关系。此外,水资源空间均衡的研究覆盖范围较小,集

中研究个性化区域如京津冀、长三角等地区,在流域或区域等具有重大价值和战略意义上地区应用较少,无法为区域协同治理乃至为全球水资源治理贡献中国智慧,提供理论和实践层面上的支持。

通过对水资源空间均衡的研究热点演进情况分析可知,水资源空间均衡的研究呈现由早期定性的政策解读到运用空间均衡方法(基尼系数、空间自相关系数、GIS 等)进行定量分析的研究趋势。虽然运用 CiteSpace 进行科学知识图谱分析有助于了解某一领域的演进情况,但未来研究中还是需要根据研究演进趋势,结合某一区域真实情况,进行更为详细的实证研究。综上,水资源空间均衡领域的研究仍处于初步发展阶段,存在很多尚待解决的问题。问题主要集中于以下 3 个方面:构建水资源空间均衡的理论体系问题;构建系统化的水资源空间均衡量化的方法体系问题;构建差异化水资源空间均衡调控模型问题^[46]。因此,在研究水资源空间均衡相关问题时,需要坚持以问题为导向,先对空间均衡机理进行分析,再诊断空间均衡状态,最后提出实现水资源空间均衡优化的方法与政策建议,即沿着“空间均衡机理分析—空间均衡诊断—空间均衡优化”的阶梯式解决路径深入分析水资源空间均衡问题。

参考文献:

[1] 胡鞍钢. “十四五”时期经济社会发展目标与指标探究[J]. 前线, 2020(12): 12-16

[2] 鄂竞平. 深入践行水利改革发展总基调 在新的历史起点上谱写治水新篇章: 在 2021 年全国水利工作会议上的讲话[J]. 水利发展研究, 2021, 21(1): 1-14.

[3] 王亚迪. 区域水资源与经济社会均衡发展及市场机制研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2017.

[4] 王豪杰, 左其亭, 郝林钢, 等. “一带一路”西亚地区降水时空特征及空间均衡分析[J]. 水资源保护, 2018, 34(4): 35-41.

[5] 朱俊海, 林涛, 钱会. 陕西省水资源时空均衡研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 63-67.

[6] 全国科学技术名词审定委员会审定. 地理学名词[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2007.

[7] BRUCE L, THOMAS B. Equilibrium and non-equilibrium theories of sustainable water resources management: dynamic river basin and irrigation behaviour in Tanzania[J]. Global Environmental Change, 2007, 17(2): 168-180.

[8] PANG J S, YU C S. A special spatial equilibrium problem[J]. Networks, 2010, 14(1): 75-81.

[9] MILASI M, VITANZA C. Time dependent spatial price equilibrium problems [J]. Journal of Molecular

Diagnostics, 2004, 8(2):218-224.

[10] BEDUDRY P, GREEN D A, SAND B M. Spatial equilibrium with unemployment and wage bargaining: theory and estimation[J]. Journal of Urban Economics, 2014,79(1):2-19.

[11] 冯东昕. 深入践行“十六字”治水思路, 奋力谱写壮美辽宁水利新篇章[J]. 中国水利, 2021(24):66.

[12] FAN J, SUN W, ZHOU K, et al. Major function oriented zone: new method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China [J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(2):196-209.

[13] FLINN J C, GUISE J W B. An application of spatial equilibrium analysis to water resource allocation [J]. Water Resources Research, 1970, 6(2):398-409.

[14] 王浩, 何凡, 何国华, 等. 黄河流域水治理准则、路径与方略[J]. 水利发展研究, 2020, 20(10):5-9.

[15] 左其亭, 韩春辉, 马军霞. 水资源空间均衡理论应用规则和量化方法[J]. 水利水运工程学报, 2019(6):50-58.

[16] 郦建强, 王平, 郭旭宁, 等. 水资源空间均衡要义及基本特征研究[J]. 水利规划与设计, 2019(10):1-5.

[17] 方子杰, 柯胜绍. 对坚持“空间均衡”破解水资源短缺问题的思考[J]. 中国水利, 2015(12):21-24.

[18] 王劲峰, 刘昌明, 王智勇, 等. 水资源空间配置的边际效益均衡模型[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2001, 31(5):421-427.

[19] 马睿, 李云玲, 贾冬冬, 等. 基于多指标的黄河流域空间均衡状态评价[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(2):217-225.

[20] 金菊良, 苏维, 周戎星, 等. 基于基尼系数和联系数的区域水资源空间均衡评价模型[J]. 人民黄河, 2021, 43(9):73-78.

[21] 朱彩琳, 董增川, 李冰. 面向空间均衡的水资源优化配置研究[J]. 中国农村水利水电, 2018(10):64-68.

[22] 韩春辉. 水资源空间均衡理论方法及应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.

[23] 亢晓龙, 尹鹏博. 基于不平衡指数的郑州、洛阳水资源空间均衡分析[J]. 河南水利与南水北调, 2019(4):33-35.

[24] 夏帆, 陈莹, 窦明, 等. 水资源空间均衡系数计算方法及其应用[J]. 水资源保护, 2020, 36(1):52-57.

[25] 郭旭宁, 郦建强, 李云玲, 等. 京津冀地区水资源空间均衡评价及调控措施[J]. 水资源保护, 2022, 38(1):62-66.

[26] 王文国, 何明雄, 潘科, 等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9):1555-1565.

[27] 郭利丹, 井沛然. 基于生态足迹法的江苏省水资源可持续利用评价[J]. 水利经济, 2020, 38(3):19-25.

[28] 杨骞, 秦文晋, 王弘儒. 中国农业用水生态足迹的地区差异及影响因素: 2000—2014[J]. 经济与管理评论, 2017, 33(4):135-145.

[29] 彭盛华, 赵俊琳, 袁弘任. GIS 技术在水资源和水环境领域中的应用[J]. 水科学进展, 2001, 12(2):264-269.

[30] 邹君, 刘红利, 郑文武, 等. 基于 GIS 与 RS 的南方丘陵区水资源系统脆弱性动态演变特征研究: 以衡阳盆地为例[J]. 资源开发与市场, 2015, 31(11):1327-1332.

[31] 左其亭, 纪瓔芯, 韩春辉, 等. 基于 GIS 分析的水资源分布空间均衡计算方法及应用[J]. 水电能源科学, 2018, 36(6):33-36.

[32] 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(6):772-779.

[33] 冯畅, 毛德华, 周慧, 等. 气候变化对涟水流域蓝水绿水资源的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10):1525-1537.

[34] 黄建平, 张国龙, 于海鹏, 等. 黄河流域近 40 年气候变化的时空特征[J]. 水利学报, 2020, 51(9):1048-1058.

[35] 刘洋, 金凤君, 甘红. 区域水资源空间匹配分析[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2005, 24(5):657-660.

[36] 田培, 王瑾钰, 花威, 等. 长江中游城市群水资源承载力时空格局及耦合协调性[J]. 湖泊科学, 2021, 33(6):1871-1884.

[37] 李雨欣, 薛东前, 宋永永. 中国水资源承载力时空变化与趋势预警[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7):1574-1584.

[38] 邓正华, 戴丽琦, 邓冰, 等. 洞庭湖流域水资源承载力时空演变分析[J]. 经济地理, 2021, 41(5):186-192.

[39] 朱丽娟, 张扬, 张改清. 我国城市土地与水资源利用效率的耦合协调及其时空特征研究[J]. 经济经纬, 2021, 38(5):22-30.

[40] 沈晓梅, 向敏. 协同视阈下淮河生态经济带绿色高质量发展及其空间特征研究[J]. 水利经济, 2020, 38(6):1-6.

[41] 杨亚锋, 巩书鑫, 王红瑞, 等. 水资源空间均衡评估模型构建及应用[J]. 水科学进展, 2021, 32(1):33-44.

[42] 金菊良, 郦建强, 吴成国, 等. 水资源空间均衡研究进展[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(6):47-60.

[43] 马慧敏, 武鹏林. 基于基尼系数的山西省水资源空间匹配度分析[J]. 人民黄河, 2014(11):58-61.

[44] 宋建, 庄玮. 新疆水资源分布的空间匹配性分析: 基于洛伦兹曲线和基尼系数[J]. 水利规划与设计, 2018(7):60-63.

[45] 李雪萍. 国内外水资源配置研究概述[J]. 海河水利, 2002, 21(5):13-15.

[46] 胡鑫, 冯杰, 苏长青. 基于区间直觉模糊集的空间均衡水资源优化配置模型[J]. 水电能源科学, 2021, 39(10):50-53.

(收稿日期: 2022-01-19 编辑: 胡新宇)