

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.01.008

京津冀地区水资源空间均衡评价及调控措施

郭旭宁¹, 郦建强¹, 李云玲¹, 何君¹, 金菊良^{2,3}

(1. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120; 2. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009;
3. 合肥工业大学水资源与环境系统工程研究所, 安徽 合肥 230009)

摘要:为科学诊断京津冀地区水资源空间均衡状态、切实提高京津冀协同发展水安全保障水平, 通过河道内外、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对京津冀地区水资源空间均衡进行了评价。评价结果表明, 现状情景下京津冀地区整体处于不均衡状态, 沧州、衡水等6个评价单元处于严重不均衡状态; 未来情景下随着调水和节水力度加大, 水资源空间不均衡状态得以改善。基于评价结果从供、需两端提出了确定开发上限、强化节约用水、退减不合理用水、保障生态环境用水、多渠道增加供给和健全法制体制机制等水资源空间均衡调控措施。

关键词:水资源空间均衡; 空间均衡度; 调控措施; 京津冀

中图分类号:TV213 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)01-0062-05

Water resources spatial equilibrium evaluation and regulation measures in Beijing-Tianjin-Hebei Region // GUO Xuning¹, LI Jianqiang¹, LI Yunling¹, HE Jun¹, JIN Juliang^{2,3} (1. China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing 100120, China; 2. College of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Institute of Water Resources and Environmental Systems Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: To scientifically evaluate spatial equilibrium level of water resources in Beijing-Tianjin-Hebei Region and practically improve the level of coordinately developing water security in the three regions, the integrated water scarcity amount and water scarcity ratio in each evaluation unit are calculated through analyzing the relationship between supply and demand of water resources inside and outside the river course, above and under the ground, and the water resources spatial equilibrium status in Beijing-Tianjin-Hebei Region is evaluated with water resources spatial equilibrium index. The evaluating results indicate that the water resources spatial equilibrium status of Beijing-Tianjin-Hebei Region is imbalance currently. In six evaluating units including Cangzhou and Hengshui, such situation is very serious. The status of water resources spatial equilibrium in Beijing-Tianjin-Hebei Region is getting better as long as water transfer and water saving projects are carried forward. Based on the evaluating results, water resources balanced regulation measures are proposed from the supply and demand perspectives, which consist of fixing upper limit, reinforcing water saving, retrograding improper water consuming, guarding ecology water using, increasing water supply by multiple channel and perfecting the legal system.

Key words: water resources spatial equilibrium; spatial equilibrium degree; regulation measures; Beijing-Tianjin-Hebei

空间均衡的核心要义是人口经济与资源环境均衡, 具体到水资源空间均衡就是要坚持以水定需、量水而行、因水制宜, 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、水环境承载能力相适应。国外关于空间均衡的研究经历了区域分工、区位选择和新经济地理条件下的空间均衡3个阶

段^[1], 国内对空间均衡的研究较多集中于国家政策引领下的国土资源空间均衡发展理论分析和宏观评价方面^[2-4]。关于水资源空间均衡研究国外鲜有报道, 近几年国内学者开展了系列探讨工作。王慧等^[5-8]从贯彻落实“十六字”治水思路的角度, 论述了对水资源空间均衡的理解和相关行业管理工作的思考。金菊良等^[9]从概念内涵、分析识别、评价方

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0407206)

作者简介: 郭旭宁(1983—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水利规划与战略研究。E-mail: guoxuning@giwp.org.cn

表 1 京津冀地区 2018 年主要经济社会指标
Table 1 The main economic and social indices in Beijing-Tianjin-Hebei Region in 2018

地 区	人口/万人		GDP/ 亿元	工业增 加值/ 亿元	农田有效 灌溉面积/ 万 hm ²	农田实际 灌溉面积/ 万 hm ²
	总人口	城镇人口				
北 京	2 154	1 863	30 320	4 465	78	11
天 津	1 560	1 297	18 810	6 963	185	28
河 北	7 556	4 264	36 010	13 698	2 718	378
京津冀	11 270	7 424	85 140	25 126	2 981	417

法和调控方法等方面对水资源空间均衡进行了综述,指出了水资源空间均衡未来研究趋势,其中“采用有效方法进行区域水资源空间均衡评价”即是未来研究趋势之一。杨亚锋等^[10]考虑水资源负载、水土资源匹配以及用水效益等水资源空间均衡条件,兼顾评价指标的模糊性和决策信息的动态性,建立了基于可变集与偏联系数方法的水资源空间均衡评估模型。夏帆等^[11]基于水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益计算水资源空间均衡系数,分析了水资源在空间分布、开发利用及经济效益方面的均衡状态。范嘉炜等^[12]基于洛伦兹曲线和基尼系数方法,对广州市用水结构整体趋势及均衡差异性进行了分析。金菊良等^[13]为定量分析评价水资源空间均衡状况和空间差异,提出了基于联系数和耦合协调度的区域水资源空间均衡评价方法。左其亭等提出了水资源空间均衡理论方法和应用研究框架^[14]以及应用规则和量化方法^[15]。郦建强等^[1,16]分析了水资源空间均衡要义和基本特征,研究了其理论方法和对策措施。综上可见,水资源空间均衡研究受到广泛关注,成为水资源领域的热点研究问题之一,但以水资源供需平衡分析为基础,对水资源空间均衡状态开展具有一定物理意义的定量评价研究相对较少。本文以京津冀地区为研究对象,基于水资源供需分析,考虑供水不足、河道内生态环境用水被挤占和地下水超采等因素,通过计算综合缺水率,采用水资源空间均衡度对京津冀地区现状和未来多种情景下的空间均衡状态进行评价,根据评价结果从供需两端提出京津冀地区“约束倒逼”和“优化提升”的水资源空间均衡调控措施。

1 研究区概况

京津冀地区是我国政治、经济、文化与科技中心,是我国北方地区的重要增长极,是推动国家经济发展的重要引擎,是高水平参与国际竞争合作的战略区域。京津冀地区包括北京、天津两个直辖市和河北省 11 个地级市及雄安新区,总面积 21.6 万 km²,平原区面积占 48%,主要涉及海河、辽河、内陆河三大流域。2018 年京津冀常住人口 1.13 亿人,城镇化率为 66%,地区生产总值 8.51 万亿元,农田有效灌溉面积 2 981 万 hm²。京津冀地区 2018 年主要经济社会指标见表 1。

2010 年以来,京津冀地区供水总量变化不大,其中地下水供水量逐年下降,外调水供水量呈增加趋势;用水总量变化也不大,农业用水量逐年下降,工业用水量呈波动变化但整体变幅不大,生活、河道外生态环境用水量呈增加趋势。受经济基础、发展

条件等因素影响,京津冀地区各城市间用水类别空间差异较大,尤其是生活用水量与工业用水量不均衡度加剧,空间差异明显^[17]。

2018 年京津冀地区供水总量 250.1 亿 m³,其中本地地表水、外调水、地下水、非常规水水源占总供水量比例分别为 23.4%、17.4%、50.7% 和 8.5%,生活、工业、农业和河道外生态环境用水占总用水量的比例分别为 21.4%、11.1%、54.1% 和 13.4%。京津冀地区 2010—2018 年年均供用水量为 251.7 亿 m³,京津冀现状地表水资源开发利用率为 69%,水资源总量开发利用率高达 119%。京津冀地区现状万元工业增加值用水量为 11 m³,是全国平均值的 27%;农田单位面积灌溉用水量为 3 060 m³/hm²,为全国平均值的 56%;农田灌溉水有效利用系数为 0.676,用水效率在全国处于领先水平。

2 评价方法

开展水资源空间均衡评价是判断和检验水资源供需平衡水平的重要手段,是有效解决“面多了加水”“无序调水”等突出问题的有力抓手,也是实现科学调水的一个前置条件,最终目标是引导科学有序谋划水资源配置工程,实现高质量的水资源空间均衡。为定量评价空间均衡状态,本文引入空间均衡度的概念,进一步完善空间均衡度评价指标体系和技术方法。郦建强等^[1]提出了水资源空间均衡的基本概念及内涵,并对其基本特征进行了剖析,提出了水资源空间均衡评价方向,在此基础上,本文进一步细化水资源空间均衡度计算方法,提出水资源空间均衡评价的具体步骤:①进行河道外的供需平衡计算,用缺水量和缺水率表示,体现供水不足;②把现状的不合理用水,主要包括超采的地下水、被挤占的河道内生态环境用水,转换成缺水量,再加上河道外的供需平衡差值形成综合缺水量,将其作为水资源空间均衡度测算的定量值;③综合缺水量转换为综合缺水率 α ,再进行归一化和正向处理,得到水资源空间均衡度 β :

$$\beta = 1 - \alpha/\alpha_{\max} \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad (1)$$

式中 α_{\max} 为评价区域最大综合缺水率。

由于不同区域的自然地理特征、主体功能定位、水工程布局状况、未来经济社会发展情景和水安全保障需求存在差异,各地的水资源空间均衡阈值也不相同。京津冀地区综合缺水率较大,经测算京津冀地区综合缺水率的最大值为 50%,初步以 β 取值 $[0 \sim 0.4)$ 、 $[0.4 \sim 0.7)$ 、 $[0.7 \sim 0.9)$ 、 $[0.9 \sim 1.0]$ 来间接反映水资源空间严重不均衡、不均衡、基本均衡、高质量均衡的状态。水资源空间均衡度计算流程见图 1。

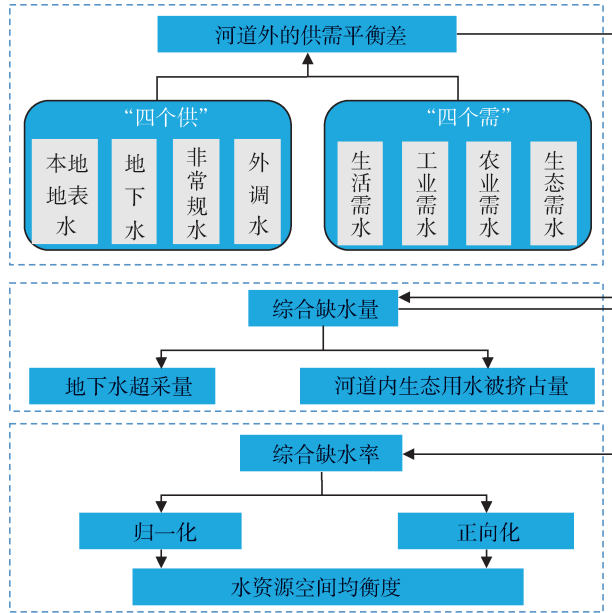


图 1 水资源空间均衡度计算流程

Fig. 1 The computing procedure of water resources spatial equilibrium degree

3 评价结果与分析

3.1 现状情景

京津冀地区现状(2018年)综合缺水主要表现为供水不足、地下水超采和挤占河道内生态环境用水。根据现状供需平衡计算,供水不足 16.1 亿 m^3 ,地下水超采 42.0 亿 m^3 ,挤占河道内生态环境用水 15.3 亿 m^3 ,合计现状综合缺水量为 73.4 亿 m^3 ,综合缺水率为 27.6%。京津冀地区现状水资源供需分析结果见表 2。

根据空间均衡评价方法,京津冀地区水资源整体空间均衡度为 0.45,处于不均衡状态。以北京、天津、雄安新区和河北 11 个地级行政区为分析单元进行水资源空间均衡评价,邯郸、邢台、沧州、廊坊、衡水和雄安新区 6 个单元处于严重不均衡状态,石家庄、唐山、保定和张家口 4 个单元处于不均衡状态,北京、天津、承德和秦皇岛 4 个单元处于基本均衡状态。现状和未来不同情景下京津冀地区水资源

空间均衡度见表 3。

表 2 京津冀地区现状水资源供需分析结果

Table 2 Analysis of current water resources supply-demand status in Beijing-Tianjin-Hebei Region

地区	需水量/ 亿 m^3	缺水量/亿 m^3			总缺水	缺水率/ %
		供水 不足	地下水 超采	挤占河道 内生态 环境用水		
北京	39.7	0.4	0.6	1.1	2.1	5.3
天津	29.0	0.6	1.7	0.4	2.7	9.3
河北	197.5	15.2	39.7	13.8	68.7	34.8
京津冀	266.2	16.1	42.0	15.3	73.4	27.6

表 3 不同情景下京津冀地区水资源空间均衡度评价结果

Table 3 The evaluating results of water resources spatial equilibrium degree in Beijing-Tianjin-Hebei Region under different scenarios

地区	空间均衡度			
	现状情景	未来情景 1	未来情景 2	未来情景 3
北京市	0.89	0.85	0.96	0.98
天津市	0.81	0.76	0.83	0.95
石家庄市	0.40	0.69	0.89	0.89
唐山市	0.52	0.68	0.83	0.89
秦皇岛市	0.74	0.90	0.90	0.96
邯郸市	0.38	0.69	0.88	0.89
邢台市	0.22	0.65	0.79	0.89
保定市	0.52	0.62	0.84	0.89
张家口市	0.66	0.90	0.90	0.96
承德市	0.75	0.92	0.92	0.98
沧州市	0.02	0.52	0.69	0.89
廊坊市	0.13	0.57	0.86	0.89
衡水市	0.02	0.46	0.69	0.89
雄安新区	0.02	0.80	0.94	0.94
河北省	0.30	0.65	0.83	0.90
京津冀	0.45	0.69	0.85	0.92

3.2 未来情景

综合考虑京津冀地区协同发展空间布局,落实以水定发展的要求,按照优先使用外调水、加大使用非常规水、控制使用地下水、合理利用地表水的原则,在强化节水的基础上,协调经济社会发展与生态环境保护的关系,统一配置生活、生产和生态环境用水,开展水资源供需平衡分析。在未来情景下,考虑充分节水要求,从供需两侧分析相关因素变化对京津冀水资源空间均衡的影响。在供给侧考虑不同外调水规模的影响,在需求侧考虑不同层次需求得到满足的情况,共分为 3 种不同的情景进行评价:①未来情景 1,即充分节水,南水北调中线一期工程调水达到调水规模的情景;②未来情景 2,即充分节水,新增外调水解决刚性缺水的情景;③未来情景 3,即充分节水,新增外调水基本解决缺水的情景。不同情景下京津冀地区水资源空间均衡度评价结果见表 3。

a. 未来情景 1。在充分节水和现状供水能力达标、南水北调中线一期工程调水达到调水规模条件下,综合考虑不同行业用水的重要程度及社会发展状况,优先保证刚性需水,进行供需平衡计算。在充分节水条件下,2035 年京津冀地区多年平均河道外总需水量为 254.7 亿 m^3 ,考虑退还地下水超采量和地表水被挤占量,在南水北调中线一期工程调水达到调水规模的情况下,总需水共配置 216.3 亿 m^3 ,总缺水 38.4 亿 m^3 ,缺水率为 15.1%,缺水主要集中在农业和生态环境用水,还有少量工业生产用水。其中,刚性需水配置水量为 208.9 亿 m^3 ,刚性需水缺水量为 19.2 亿 m^3 ,缺水率为 8.4%,缺水主要集中在农业灌溉以及生态环境用水。由此计算,京津冀地区水资源整体空间均衡度为 0.69,处于不均衡状态。对京津冀地区 14 个分析单元开展水资源空间均衡评价,石家庄、唐山、邯郸、邢台、保定、沧州、廊坊和衡水 8 个单元处于不均衡状态,北京、天津和雄安新区 3 个单元处于基本均衡状态,秦皇岛、张家口和承德 3 个单元处于高质量均衡状态。从空间不均衡关键因素看,地下水超采严重的衡水、沧州地区仍存在刚性缺水,唐山、廊坊等仍存在一定程度缺水,表现为基本的农业和生态环境需水不足。因此,为满足用水需求,京津冀地区缺水需要考虑增加跨流域调水量才能实现供需基本平衡。

b. 未来情景 2。考虑增加南水北调东线二期工程调水到京津冀地区,来满足刚性用水需求,以达到水资源供需基本平衡。考虑水源置换,外调水满足生活、工业需水,置换出本地水满足农业和生态环境需水。考虑充分节水和现状供水能力达标、南水北调中线一期工程调水达到规模、新增南水北调东线二期 19.2 亿 m^3 调水量,刚性需水缺水得到解决,合理性需水缺水量为 19.2 亿 m^3 ,缺水率为 7.5%。经计算京津冀地区水资源整体空间均衡度为 0.85,处于基本均衡状态。对京津冀地区 14 个分析单元开展水资源空间均衡评价,结果表明,沧州和衡水 2 个单元处于不均衡状态,天津、石家庄、唐山、邯郸、邢台、保定和廊坊 7 个单元处于基本均衡状态,北京、秦皇岛、张家口、承德和雄安新区 5 个单元处于高质量均衡状态。从空间不均衡关键因素看,刚性需求得到满足,但衡水、沧州等地区仍存在一定程度缺水,生态环境需水满足程度较低。根据上述分析结果可知,未来考虑南水北调东线二期工程新增调水量 19.2 亿 m^3 ,京津冀地区刚性需水得到满足,刚性需水基本实现水资源供需平衡。但其他合理需水仍不能满足,要满足全部合理需水量,需要考虑再增加调水量,以实现高水平的水资源供需平衡。

c. 未来情景 3。考虑充分节水和现状供水能力达标、南水北调中线一期工程达到调水规模、新增南水北调东线二期调水、新建其他调水工程,在增加 19.2 亿 m^3 调水量满足刚性用水需求的基础上,再新增 19.2 亿 m^3 的调水量,京津冀地区合理性需水基本得到满足。根据供需平衡计算,总配置水量达到 244.8 亿 m^3 ,枯水年缺水量为 9.9 亿 m^3 ,缺水率为 3.9%,缺水主要为少量农业灌溉用水。在此条件下,京津冀地区合理性需水基本得到满足,能够达到高水平的水资源供需平衡状态。在此情景下,京津冀地区水资源整体空间均衡度达到 0.92,处于高质量均衡状态;石家庄、唐山、邯郸、邢台、保定、沧州和廊坊等 8 个单元处于基本均衡状态,北京、天津、秦皇岛、张家口、承德和雄安新区 6 个单元处于高质量均衡状态。

4 调控措施

从京津冀地区水资源空间均衡评价结果来看,空间均衡度客观反映了空间均衡水平。按郗建强等^[1]提出的实现空间均衡的思路和措施,通过“约束倒逼”和“优化提升”供需双向发力,在需求侧把水资源承载力作为刚性约束贯彻到水资源管理各项工作中,坚决抑制不合理用水需求,在供给侧通过水资源配置、调度、管理等,构建科学合理、运行高效的供配水体系。

a. 确定开发上限。严控水资源开发利用强度,根据流域和区域水资源条件及生态与环境保护的要求,研究制定滦河、蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河、滹沱河、滏阳河和漳卫河水资源开发利用和生态环境需水保障的控制指标,作为流域和区域水资源综合管理的管控指标。至 2035 年,京津冀地区 14 个分析单元的水资源总量开发利用率降低到 70% 以下,其中地表水开发利用率控制在 54% 左右。

b. 强化节约用水。调整产业结构,严格产业准入政策,在地下水超采区,不得新建扩建高用水项目。严格高耗水工业用水定额标准,依法压减或淘汰高耗水产业不达标产能用水。优先发展国家鼓励的节能环保等高附加值、高技术含量产业,降低高耗水行业比重。严格实施区域流域用水总量和强度控制,强化节水监督考核,在农业节水方面,重点推进节水灌溉、节水养殖、农村节水器具推广等,开展节水型灌区、节水养殖场等示范区建设;在工业节水方面,重点推进节水改造,推广水循环梯级利用,加快节水及水循环利用设施建设;在城镇节水方面,重点是紧抓节水型城市建设,提高城市节水工作系统性。

c. 退减不合理用水。在实施节水措施的基础上,从减少灌溉面积、压减工业产能等方面退减不合理用水。在减少灌溉面积方面,实施季节性休耕,改种抗旱作物或改“两季”变“一季”等方式,适度减少冬小麦种植面积,在深层承压水超采区,适度退减部分地下水灌溉面积。在压减工业产能方面,结合供给侧结构性改革和化解过剩产能,依法依规减少或淘汰高耗水产业不达标产能,实现适水式发展^[18]。

d. 保障生态环境用水。以保护水资源可持续更新能力,保障生态环境用水下泄,恢复河道生态功能为主,退还被挤占的河道生态环境用水,增加再生水用作补充河道内的生态环境需求。以“六河五湖”为重点,重点保障滦河入河口、大黑汀、于桥水库,潮白河宁车沽、密云水库,永定河屈家店,大清河东茨村、进洪闸,南运河第六堡等重要断面生态环境用水下泄,退还河湖被挤占的生态环境用水量 15 亿 m³。

e. 多渠道增加供给。用足用好南水北调中线工程所调水量,后期完善南水北调中线配套工程,使供水能力达到 51 亿 m³;后续通过引江补汉工程,增加中线工程供水能力近 30 亿 m³。同时,根据丹江口水库水源条件,相机为京津冀河湖水系进行生态补充,回补地下水,增供南水北调东线工程调水量。到 2035 年前,南水北调东线二期通水达到调水规模,满足刚性合理的需求,至少需要新增可供水量 25 亿 m³左右。根据黄河来水条件和华北地下水压采、河湖生态环境补水等的要求,通过位山引黄、潘庄引黄、李家岸引黄等工程相机增加引黄水量。

f. 健全法制体制机制。完善实现水资源空间均衡的法制体制机制,确保以水定需各项举措能够真正落实落地。法制上,在涉水法规体系中强化水资源承载力刚性约束的作用和地位,把水资源空间均衡评价作为相关规划或项目前期论证的重要环节。体制上,进一步完善水资源统一管理体制,强化对水资源开发利用的监管。机制上,建立沟通协商机制,建立并完善水资源承载能力监测预警机制。

5 结 语

开展水资源空间均衡评价是落实“十六字”治水思路的重要举措之一,是实现以水而定、量水而行的有力抓手。当前水资源空间均衡研究受到广泛关注,成为水资源领域的热点问题之一,但以水资源供需平衡分析为基础,具有一定物理意义的水资源空间均衡定量评价研究相对较少。本文以京津冀地区为研究对象,在前期研究基础上,基于水资源供需平衡分析,考虑供水不足、河道内生态环境用水被挤占和地下水超采等因素,通过计算综合缺水率对京津

冀地区现状和未来多种情景下的水资源空间均衡状态进行评价,基于评价结果从供、需两端提出水资源空间均衡的调控措施,对于提高京津冀地区水资源空间均衡水平具有重要意义。

参考文献:

- [1] 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. (LI Jianqiang, WANG Ping, GUO Xuning, et al. Research on the essentials of spatial equilibrium of water resources and its basic feature [J]. Water Resources Planning and Design, 2019(10):1-5. (in Chinese))
- [2] 卞凤鸣,刘彦彤,赵玲. 吉林省土地利用空间均衡度评价研究[J]. 中国土地科学,2015,29(12):74-80. (BIAN Fengming, LIU Yantong, ZHAO Ling. The spatial balance degree evaluation on land use in Jilin Province[J]. China Land Sciences, 2015, 29(12):74-80. (in Chinese))
- [3] 陈逸,黄贤金,陈志刚,等. 中国各省域建设用地开发空间均衡度评价研究[J]. 地理科学,2012,32(12):1424-1429. (CHEN Yi, HUANG Xianjin, CHEN Zhigang, et al. The spatial balance degree evaluation of construction land in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(12):1424-1429. (in Chinese))
- [4] 乔彬,张圣,吉琳. 政府行为、产业聚散与产业空间均衡[J]. 经济问题,2019(5):28-35. (QIAO Bin, ZHANG Sheng, JI Lin. Government behavior, industrial gathering and industrial space balance[J]. On Economic Problems, 2019(5):28-35. (in Chinese))
- [5] 王慧,杨益. 扎实做好调水管理推动实现“空间均衡”:访水利部调水管理司司长卢胜芳[J]. 中国水利,2018(24):37-38. (WANG Hui, YANG Yi. Do a good job of water transfer management to realize a balanced space: interview with LU Shengfang director of Water Transfer Management Department of Ministry of Water Resources [J]. China Water Resources, 2018(24):37-38. (in Chinese))
- [6] 吴强,高龙,李淼. 空间均衡:必须树立人口经济与资源环境相均衡的原则[J]. 水利发展研究,2018,18(9):17-24. (WU Qiang, GAO Long, LI Miao. Spatial equilibrium: the principle of equilibrium between population economy and resources environment must be established[J]. Water Resources Development Research, 2018, 18(9):17-24. (in Chinese))
- [7] 王晶. 贯彻“空间均衡”强化承载力刚性约束:关于“空间均衡”的学习心得[J]. 水利发展研究,2018,18(7):20-21. (WANG Jing. Carrying out the theory of “spatial balance” and strengthening the rigidity of carrying capacity: on the study of “spatial balance” [J]. Water Resources Development Research, 2018, 18(7):20-21. (in Chinese))

(下转第 81 页)