

文章编号:1672-3031(2021)01-00122-08

## 用水竞争力指数评价方法及其应用研究

翟家齐<sup>1</sup>, 赵勇<sup>1</sup>, 赵纪芳<sup>1,2</sup>, 付雯琪<sup>1,3</sup>, 王丽珍<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 河北农业大学 城乡建设学院, 河北保定 071001; 3. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 水资源短缺加剧了区域、行业间水资源竞争的程度, 影响了水资源的演变格局, 也对水资源供需管理提出了新的要求。为了量化描述用水竞争现象, 辨析了用水竞争力概念、内涵及其驱动因素, 引入了用水竞争力指数(WCI), 并采用驱动增长率、刚性需水量、用水效益和用水紧缺程度四类指标构建了用水竞争力评价模型, 以京津冀地区为例, 定量分析得到京津冀地区2001—2015年农业、工业和生活分行业多年平均用水竞争力指数分别为0.09、0.17和0.56, 其中生活用水竞争力指数最大并长期保持增长趋势, 成为影响京津冀地区用水竞争力的主要行业, 其次是工业用水竞争力指数, 但呈波动性变化特征, 农业用水竞争力指数最小但呈持续增加的趋势。

**关键词:** 水资源竞争; 用水竞争力指数; 评价指标; 行业用水竞争力; 京津冀

**中图分类号:** TV211.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13244/j.cnki.jiwhr.20200151

### 1 研究背景

人口的持续增加和社会经济的迅速发展, 加剧了水资源供需矛盾和用水竞争形势。以人类活动强度大、水资源承载压力大、水资源安全保障难度大的京津冀地区为例, 其多年平均水资源量不足全国1%, 人均水资源量仅为全国平均值的1/9, 还面临着可利用水资源量呈显著衰减趋势的多重问题<sup>[1]</sup>, 区域间、行业间水资源竞争现象已成为常态。如何科学认识和描述用水竞争的现象、特征及关键驱动因素, 对科学掌握区域水资源供需态势、合理调配水资源时空分布、支撑区域发展用水需求具有重要参考价值及实践意义。

通常认为, 竞争是指由于资源的稀缺性导致两个及两个以上的主体, 为了满足自身的发展和利益, 去争夺所需资源的一种行为<sup>[2]</sup>。围绕这一现象或行为, 有学者结合水资源竞争和管理特点, 认为工业的迅速崛起、人口和城市化进程的加速是产生水资源竞争的主要原因<sup>[3]</sup>, 从而出现了各地区和行业间的水资源高度竞争现象<sup>[4]</sup>; 而我国水资源时空分布的不均衡、社会经济的发展程度不匹配的特点, 则加剧了区域间、行业间的用水冲突<sup>[5]</sup>。为了量化描述竞争的程度及分布特征, 比较常见的方法是通过建立相关的评价指标体系来计算研究对象的竞争力数值, 包括两种类型: 一是采用单一指标进行评价, 例如以进出口差额和贸易总额的比值评价国家进出口竞争力<sup>[6]</sup>, 或者以人均GDP作为衡量国家竞争力的评价指标, 此类方法没有考虑竞争力是受多方面因素影响的情况, 其适用对象具有明显局限性<sup>[7-9]</sup>; 二是建立多层次竞争力综合评价体系, 从竞争力影响因素角度考虑直接指标和间接指标, 例如魏敏等将区域竞争力因素分为初始竞争力、潜在竞争力和现实竞争力, 再把这三类竞争力细分为不同的量化指标<sup>[10]</sup>; 水资源竞争力的评价研究也多采用此类方法, 例如常玉苗从水资源和水环境两个方面构建了区域水资源的评价体系, 评价了我国各省市地区的区域水资源竞争力<sup>[11]</sup>;

收稿日期: 2020-07-29; 网络首发时间: 2021-01-14

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20210113.1607.002.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401407); 中国水科院创新团队项目(WR0145B622017)

作者简介: 翟家齐(1984-), 高级工程师, 主要从事平原区水循环模拟、农业节水潜力评估、区域干旱评估等研究。

E-mail: jiaqizhai@163.com

通讯作者: 赵勇(1977-), 教授级高级工程师, 主要从事分布式水循环模拟、水资源合理配置与高效利用等研究。

E-mail: zhaoyong@iwhr.com

方红远提出建立以指标属性和功效系数实际关系分析为基础的多段折线型改进功效系数评价方法,对北三河流域的区域洪水资源利用竞争状况进行了具体分析<sup>[12]</sup>;郑军运用制度结构和数学模型方法,评价了在不同制度下的跨境水资源竞争行为,并提出我国参与的跨境用水竞争策略和建议<sup>[13]</sup>。

虽然目前关于竞争力评价的研究应用已十分广泛,但有关用水竞争力方面的研究仍较为薄弱,其概念内涵尚不明确,评价方法上也可以从影响竞争力的主要和次要影响因素出发进一步丰富和完善,为科学认识水资源开发利用规律、合理配置水资源时空布局、统筹协调区域不同行业用水需求提供重要参考。本文针对区域用水竞争现象,拟从概念内涵、竞争力指标及评价模型方法几个方面开展区域用水竞争力的研究,建立更全面、适应于竞争力动态变化的评价指标体系,并以京津冀地区为例,分析其各行业用水竞争力的变化特征,从而为京津冀区域水资源的开发利用和合理配置提供科学依据。

## 2 用水竞争力概念及内涵

关于用水竞争力,目前尚无清晰统一的定义,通常是结合一定的情景来阐述用水竞争的含义或内涵,例如国际河流用水竞争是指不同国家争夺同一河流资源常引发的冲突,根本原因是淡水资源短缺危机加剧和非农业用水的不断增长<sup>[14]</sup>;跨流域及流域上下游之间的用水竞争现象也十分普遍,例如引滦入津跨流域分水之争、永定河流域官厅水库上下游用水之争、密云水库上下游用水之争、拒马河上下游北京与河北分水之争等等,主要是围绕水量、水质需求产生的用水竞争性问题<sup>[15-16]</sup>;区域间用水竞争与流域用水竞争类似,也是由于水资源供给量小于实际需求量而导致的区域间水资源竞争的现象,我国现有区域水资源管理制度尚不完善,无法完全协调和保障各区域水资源的合理分配,是产生用水竞争的重要原因<sup>[5,17]</sup>;行业用水竞争最为典型的是工业用水、农业灌溉用水、生态环境用水之间的竞争,不同用水行业都希望得到量质达标、供给稳定的水资源来满足发展的需要<sup>[18]</sup>。总的来看,用水竞争性是指由于水量不足和水质不达标等原因导致的在用水目的、时间和地域上的冲突,在水资源短缺的情况下,各地区和行业部门之间产生的水资源竞争现象<sup>[19]</sup>。基于国内外学者对水资源竞争的相关认识,本文定义的用水竞争力,即当用水主体的用水需求不能保障时,该用水主体与其他竞争主体相比,具备获得更多、更优质的水资源的能力来缓解水资源短缺、保障基本生产生活用水、促进经济高效运行及社会长期稳定发展,即对水资源的吸引力和争夺力。

根据上述定义,用水竞争力的内涵涉及竞争主体、利益需求、竞争本质和竞争目标四部分。其中,竞争主体是参与用水竞争过程的用水主体,可以从区域、行业两个维度进行明晰其用水主体,如不同行政级别区域,工业、农业、生活、生态等不同行业;利益需求主要是指用水主体对水资源的数量、质量的具体需求;用水竞争力的本质是用水优先级别、水资源刚性需求程度以及用水产生的经济效益的综合度量,是反映用水主体竞争力强弱的重要标识;竞争目标是指通过竞争获取水资源的最终用途或目的,如保障生活用水、提高生活质量,保障生产需水、获取高额的经济收益,保障生态用水、获得更好的居住环境。

## 3 用水竞争力指数评价模型

**3.1 用水竞争力指数** 基于用水竞争力的内涵及影响因素,选取驱动增长率、刚性需水量、用水效益、用水紧缺程度作为用水竞争力的评价指标,引入用水竞争力指数(Water Competitiveness Index, WCI),构建用水竞争力指数评价模型,以此分析不同用水主体用水竞争力大小及其变化特征。模型结构如图1所示。

用水竞争力指数(WCI值)的计算,参考针对人类发展指数提出的改进算法<sup>[20]</sup>,将四项标准化处理后的指标,几何平均之后再行算术平均,动态客观赋权,具体公式如下:

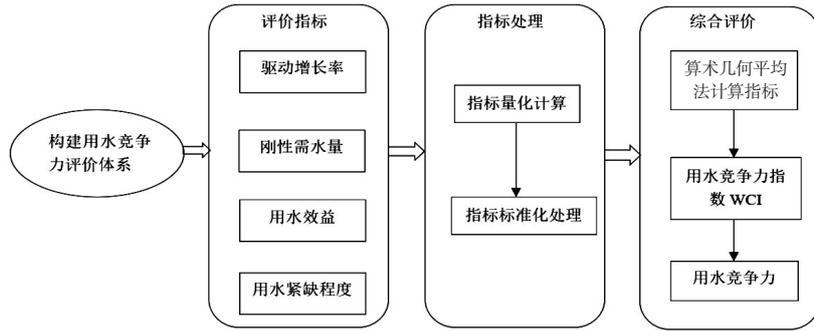


图1 用水竞争力评价模型结构图

$$WCI = \frac{Y_1^{N-1} \sqrt{Y_2 Y_3 \cdots Y_N} + Y_2^{N-1} \sqrt{Y_1 Y_3 Y_4 \cdots Y_N} + \cdots + Y_N^{N-1} \sqrt{Y_1 Y_2 \cdots Y_{N-1}}}{\sum_{i=1}^N Y_i} \quad (1)$$

式中： $N$ 为评价选取的指标数量； $Y_i$ 为采用第 $i$ 项评价指标值，需要先分类进行标准化处理，将各指标值换算到0~1之间。方法如下：

①对于正向指标：

$$Y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

②对于逆向指标：

$$y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

式中， $x_i$ 、 $y_i$ 分别表示指标系列值和标准化系列值； $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别表示 $x$ 指标系列的最大值与最小值，具体计算参照李晓西等<sup>[21]</sup>对人类绿色发展指数测算时采用的处理方法，取第95个百分位值和第5个百分位值为最大、最小值，使所有取值在可信区间之内，剔除变化异常的部分对评价结果的影响。对于正向指标，若指标值高于第95个百分位值，则取1；若指标值低于第5个百分位值，则取0，逆向指标与正向指标处理恰好相反。

### 3.2 评价指标及计算方法

(1)驱动增长率指标。用于表征用水量的变化趋势及方向，可选取不同的行业指标进行分析计算，如农作物播种面积、工业产值占GDP比重、人口规模等，利用上述指标长系列值的变化率来代表各行业用水的驱动增长率。

(2)刚性需水量指标。将满足一个地区社会经济的发展、居民生产生活和生态环境平衡的最低水量称为刚性需水量，按照行业用水特点可以分为农业刚性需水量、工业刚性需水量和生活刚性需水量。具体计算如下：

①农业刚性需水量。将作物在生育期最低需水量减去有效降水之后的水量作为农业刚性需水量，通过确定不同作物的调亏灌溉系数，使得水资源利用效率达到最优，在达到增产的同时满足作物的最小需水量<sup>[22]</sup>。农业刚性需水量计算如下：

$$W_{ADi} = ET_{Ci} \times \eta_i - P_i \quad (4)$$

式中： $W_{ADi}$ 为作物 $i$ 的刚性需水量，mm； $ET_{Ci}$ 为作物 $i$ 生育期的需水量，mm，一般采用Penman-Monteith公式与作物系数进行计算<sup>[23-24]</sup>； $\eta_i$ 为作物 $i$ 的调亏灌溉系数； $P_i$ 为作物 $i$ 利用的有效降水量，mm，可结合土壤前期含水量、土壤蓄水能力等参数进行计算<sup>[25]</sup>。区域农业刚性需水量计算如下：

$$W_{AD} = \sum_{i=1}^n W_{ADi} \times A_i \quad (5)$$

式中： $W_{AD}$ 为区域农业刚性需水量， $m^3$ ； $A_i$ 为作物 $i$ 的播种面积， $m^2$ ； $n$ 为区域农作物的种类。

②工业刚性需水量。工业需水量是指工业生产各环节需水量的总和，假定生产工艺最先进的

工业生产过程需水量最小，即为刚性需水量<sup>[26]</sup>，其计算公式如下：

$$W_{IDH} = \sum_{i=1}^n V_i \times \eta_{Ai} \quad (6)$$

式中， $W_{IDH}$  表示某一区域工业刚性需水量， $m^3$ ； $n$  表示某一区域工业行业的个数，个； $V_i$  表示行业  $i$  的工业产品产量； $\eta_{Ai}$  表示行业  $i$  工艺先进时该工业产品单位产量的需水量， $m^3$ 。

③生活刚性需水量。生活用水量是指满足居民日常生活和活动所需要的水量，而刚性需水部分则是满足居民生活最低的用水量，区域生活刚性需水量则可表示为人均刚性需水量与人口数的乘积，即：

$$W_L = W_p \times N \quad (7)$$

式中， $W_L$  表示生活刚性需水量， $m^3$ ； $W_p$  表示人均刚性需水量， $m^3/人$ ； $N$  表示人口数，人。

(3)用水效益指标。体现水资源使用之后所产生的经济效益，公式如下：

$$B_E = \frac{E}{W} \quad (8)$$

式中， $B_E$  为用水效益，元/ $m^3$ ； $E$  为经济产值，元； $W$  为用水量， $m^3$ 。

(4)用水紧缺程度指标。反映水资源的供需关系，当可供水量远远小于刚性需水量时，水资源处于极度紧缺状态。计算公式如下：

$$Z = \frac{W_D}{S} = \frac{W_D}{Q \times K} \quad (9)$$

式中， $Z$  为用水紧缺程度； $W_D$  为刚性需水量， $m^3$ ； $S$  为可供水量， $m^3$ ； $Q$  为区域水资源量， $m^3$ ； $K$  为该行业的用水结构系数。当  $Z > 1$  时，代表可供水量小于行业刚性需水量，水资源紧缺程度较高；当  $Z < 1$  时，代表可供水量大于刚性需水量，水资源紧缺程度较低。

## 4 应用案例分析

**4.1 京津冀区域概况** 京津冀地区位于华北平原，北靠燕山、西倚太行、东临渤海，地势呈现出从西北高山丘陵向东南平原过渡的特点，区域总面积约 21.8 万  $km^2$ ，见图 2 所示。2015 年，京津冀区域总人口 1.11 亿，占全国总人口的 8.1%，生产总值 6.9 万亿元，占全国的 10.1%，水资源总量 174.7 亿

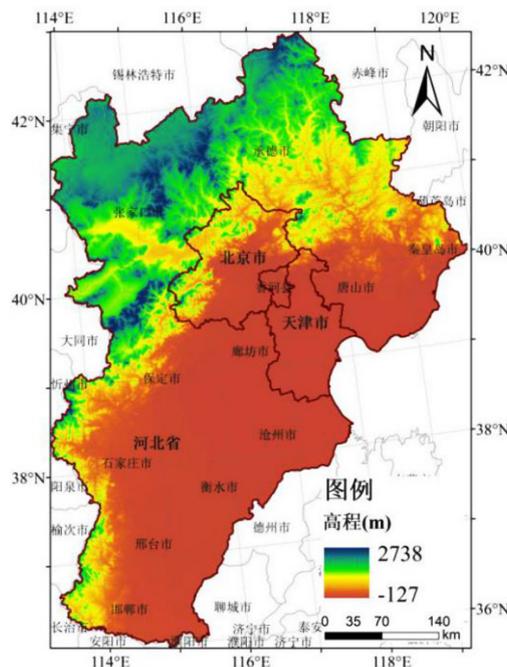


图 2 京津冀地区地理位置示意图

m<sup>3</sup>，仅占全国水资源总量的0.6%，人均水资源量156.4 m<sup>3</sup>，仅为全国平均的7.7%，水资源短缺成为制约京津冀协同发展的关键要素。从2001—2015年区域用水量及其构成来看，2015年用水总量达251.1亿 m<sup>3</sup>，过去十余年分行业用水量呈现“两增两减”的趋势特征，表现为农业用水量、工业用水量分别减少36亿 m<sup>3</sup>、11.6 m<sup>3</sup>，生活用水量、生态用水量分别增加5.5 m<sup>3</sup>、17.8 m<sup>3</sup>，行业间用水竞争产生新变化，而京津冀地区现状用水总量远超本地水资源量，当前水资源供需平衡是以超采地下水和增加跨流域外调水量为前提实现的，区域间、行业间用水竞争十分激烈。

#### 4.2 分项指标变化特征分析

(1)驱动增长率变化。根据影响农业、工业和生活用水的主要因素，分别取农作物播种面积、工业产值占GDP比重和人口的变化率作为三个行业用水的驱动增长率指标。图3为京津冀地区2001—2015年各行业的驱动增长率变化情况，可以看出，京津冀地区生活用水驱动力变化率最高且呈持续正向增长状态，对用水竞争力起着正向驱动作用，而农业、工业用水驱动力的变化率为负值，对用水竞争力起到逆向减弱作用，其中工业驱动增长率是三个行业中最底的，在2009年由于工业产值的增长率小于国民生产总值的增长率而下跌至-5.12%，对行业用水竞争力起到显著的削弱作用。

(2)刚性需水量变化。图4为京津冀地区2001—2015年各行业的刚性需水量变化情况，其中农业刚性需水量多年平均值为67.3亿 m<sup>3</sup>，其大小受降水丰枯变化的影响较为显著，如2003、2004、2008、2012年为丰水年，刚性需水量平均为51.1亿 m<sup>3</sup>，而2001、2002、2006、2014年为枯水年，刚性需水量平均为82.3亿 m<sup>3</sup>，枯水年刚性需水量较丰水年多31.2亿 m<sup>3</sup>；工业刚性需水量多年平均值为14.6亿 m<sup>3</sup>，呈现出显著的阶段性变化特征，如2001—2010年间，工业规模不断扩大，工业刚性需水量呈现递增趋势，年均13.2亿 m<sup>3</sup>，此后2011—2015年间，工业刚性需水量基本保持稳定，年均17.5亿 m<sup>3</sup>。生活刚性需水量与人口规模变化密切相关，2001—2015年间，京津冀地区人口数量增加了1.2倍，生活刚性需水量表现出同步增长趋势，由34.6亿 m<sup>3</sup>增长到43.5亿 m<sup>3</sup>，增长幅度为25.7%。综合各行业刚性需水来看，2001—2015年农业、工业、生活刚性需水量占比分别为55.9%，12.1%和32.0%，其中农业需水量仍然占比最大，达到行业刚性需水量的一半以上，这也意味着京津冀地区农业刚性需水量的竞争力最强，其次是生活和工业。

(3)用水效益变化。图5为京津冀地区2001—2015年农业、工业和生活三个行业用水效益变化情况，三个行业用水效益均呈增长的趋势，其中生活、工业的用水效益增幅最为显著，2015年的效益

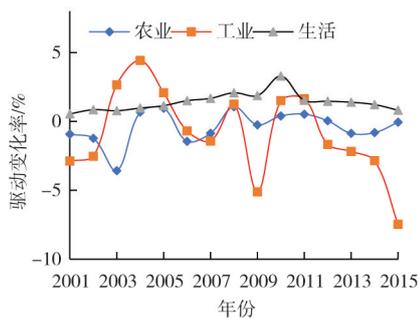


图3 京津冀地区行业用水驱动增长率变化

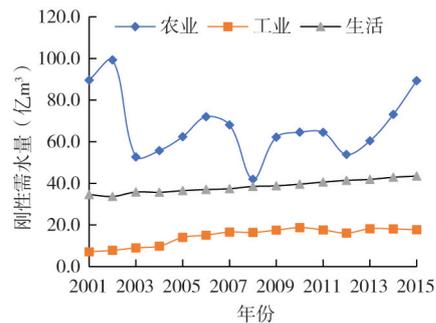


图4 京津冀地区行业刚性需水量变化

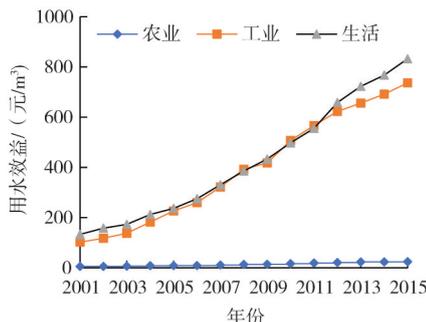


图5 京津冀地区行业用水效益变化

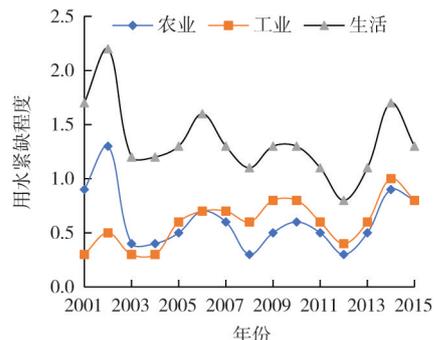


图6 京津冀地区行业用水紧缺程度变化

值分别为 832.6 元/m<sup>3</sup>、736.8 元/m<sup>3</sup>，较 2001 年分别增加了 618%、524%，生活用水效益是农业用水效益的 33.8 倍。这也反映了用水效益的巨大差异所带来的行业驱动演化作用，是促使有限的水资源优先从低效的农业逐渐向高效的生活、工业转移的经济动力。

(4) 用水紧缺程度变化。用水紧缺程度是反映区域水资源供需状态的标识，紧缺程度越高，说明区域用水竞争力越强。图 6 展示了京津冀地区 2001—2015 年的用水紧缺程度计算结果，农业、工业和生活三个行业的用水紧缺程度在研究时段内呈显著降低趋势，其中生活用水量紧缺程度仍相对最高，平均紧缺程度为 1.4，农业、工业紧缺程度较低且较为接近，平均值为 0.6 左右，基本能够满足其刚性用水需求。

#### 4.3 京津冀用水竞争力指数变化分析

(1) 用水竞争力单项指标比较分析。表 1 为京津冀地区 2001—2015 年农业、工业、生活的驱动增长率、刚性需水量、用水效益和用水紧缺程度四类评价指标的标准化结果。可以看出，农业用水竞争力影响因素主要为刚性需水量和驱动增长率，两项指标标准化分别为 0.75、0.59，其次为用水紧缺程度和用水效益；工业用水竞争力单项指标影响大小排序为：用水效益=驱动增长率>用水紧缺程度>刚性需水量，表明驱动增长和用水效益是工业用水竞争力的主要影响因素，用水紧缺程度和刚性需水量对工业用水竞争力的影响相对较小。生活用水竞争力单项指标影响大小排序为：驱动增长率>用水紧缺程度>用水效益>刚性需水量，驱动增长率和用水紧缺程度标准化值达到 0.8 和 0.7，对生活用水竞争力的影响最强，用水效益和刚性需水量标准化后值为 0.6 和 0.4，仅次于前两个指标。

表 1 评价指标标准化结果

评价指标	农业	工业	生活
驱动增长率	0.59	0.54	0.80
刚性需水量	0.75	0.09	0.40
用水效益	0.01	0.54	0.60
用水紧缺程度	0.23	0.22	0.70

(2) 用水竞争力指数分析。按前述评价方法计算后得到 2001—2015 年系列京津冀地区各行业用水竞争力指数(见图 7(a)所示)，可以看出，京津冀地区农业、工业、生活三个行业的用水竞争力指数总体均呈增加趋势，农业用水竞争力指数在 2001—2007 年呈增长趋势，其中在 2001、2002 年由于用水效益低于最小值竞争指数减为 0，在 2008、2012 年丰水年份，天然降水增加使得用水紧缺程度和刚性需水量大幅下降，竞争力指数减为 0，其余年份指数逐渐增加，2015 年的 WCI 达到 0.2；工业用水竞争力指数在 2001—2008 年由逐渐增加，2005 年比 2004 年增长了 1 倍，其中在 2001、2002 年和 2009、2015 年四个年份，分别由于刚性需水量和驱动增长率低于第 5 个百分位值，竞争力指数骤减为 0，2010 年—2015 年呈现波动性变化；生活用水竞争力指数在 2001—2011 年间从 0.4 逐渐增加到 0.62，增幅为 58%，2012 年 WCI 降为 0.57，随后在 2012 年—2014 年呈增长状态，2015 年降为 0.7。

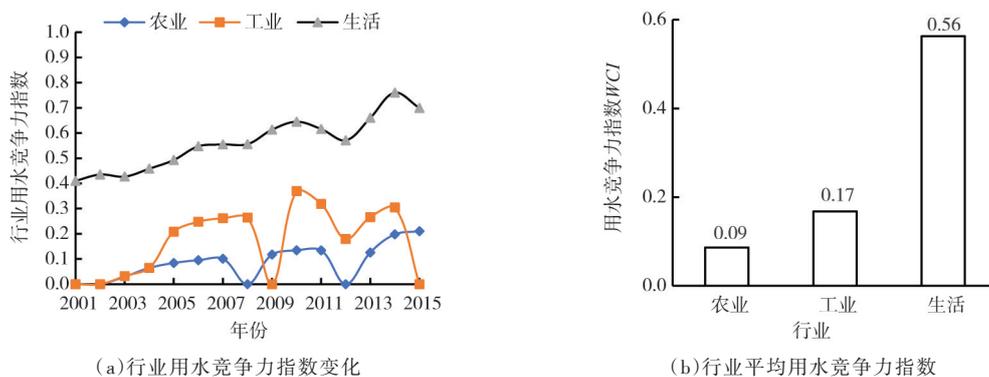


图 7 京津冀地区行业用水竞争力指数(2001—2015 年)

总的来看, 2001—2015年间, 京津冀地区农业、工业和生活三个行业的竞争力指数  $WCI$  平均为 0.09、0.17 和 0.56(见图 7(b)所示), 其中生活用水竞争力最高, 分别达到工业、农业的 3 倍和 6 倍以上, 主要由驱动增长率、用水效益和用水紧缺程度驱动, 2001—2015 年间增幅达到 75%; 其次是工业用水竞争力, 主要驱动影响指标是用水效益和驱动增长率; 农业用水竞争力最小, 主要由刚性需水量和驱动增长率决定。

## 5 结论

(1) 受水资源短缺影响, 各区域及行业间产生竞争性用水现象已成为常态, 本文从用水竞争产生的关键因素出发, 借鉴当前对竞争力的理解与认知, 提出了用水竞争力的内涵包括竞争主体、利益需求、竞争本质和竞争目标四部分, 并将用水竞争力定义为: 当用水主体的需求不能保障时, 该用水主体与其他竞争主体相比, 具备获得更多、更优质的水资源的能力来缓解水资源短缺、保障基本生产生活用水、促进经济高效运行及社会长期稳定发展, 即对水资源的吸引力和争夺力。

(2) 提出了用水竞争力计算模型和用水竞争力指数  $WCI$ , 该模型方法以驱动增长率、刚性需水量、用水效益和用水紧缺程度作为评价要素, 表征区域或行业的用水需求、用水效益及供水条件, 能够为评价区域、行业用水竞争程度提供定量化方法。

(3) 采用用水竞争力计算模型计算分析了京津冀地区 2001—2015 年农业、工业和生活三个行业的用水竞争力, 其行业多年平均用水竞争力指数  $WCI$  分别为 0.09、0.17 和 0.56。其中, 生活用水竞争力逐渐增加并处于最高状态, 主要影响因素为驱动增长率和用水紧缺程度, 指标标准化值分别达到 0.8 和 0.7; 工业用水竞争力起伏波动较大, 驱动增长和用水效益是主要因素, 指标标准化值均为 0.54; 农业用水竞争力最小但总体增加, 刚性需水量和驱动增长率是主要因素, 标准化值分别为 0.75、0.59。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 赵勇, 翟家齐. 京津冀水资源安全保障技术研发集成与示范应用[J]. 中国环境管理, 2017, 9(4): 113-114.
- [ 2 ] 汪应洛, 马亚男, 李泊溪. 几个竞争力概念的内涵及相互关系综述[J]. 预测, 2003, 22(1): 25-27.
- [ 3 ] CORTESE C F, FIRTH L J. Systematically intergrating public participation into Planning controversial project: A case study[J]. Public Particip, 1997, 3(1): 3-6.
- [ 4 ] FALKENMARK M, ROCKSTRÖM J. Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology[M]. London: Earthscan, 2004.
- [ 5 ] 李曦, 杨卫国. 水资源区域竞争与协调[J]. 科技进步与对策, 2005, 2: 22-24.
- [ 6 ] CARMICHAEL E A. Canada's Manufacturing Sector: Performance in the 1970s[J]. Canadian Study, 1978 (51): 37-46.
- [ 7 ] 叶琪. 区域竞争力评价指标体系的国内外研究综述[J]. 福建师范大学学报(哲学社会科学版), 2008(1): 91-96.
- [ 8 ] 商春荣, 黄燕. 国家竞争力评价理论与方法: 演变过程及发展趋向[J]. 科学学与科学技术管理, 2005(6): 22-27.
- [ 9 ] 芦岩, 陈柳钦. 国内区域竞争力研究综述——历程、问题与进展[J]. 河南社会科学, 2006(4): 149-154.
- [ 10 ] 魏敏, 李国平, 王巨贤. 我国区域竞争力区位差异的实证研究[J]. 中央财经大学学报, 2004(5): 41-45.
- [ 11 ] 常玉苗. 区域水资源环境竞争力评价及空间差异研究[J]. 节水灌溉, 2018(2): 88-92.
- [ 12 ] 方红远, 程毅, 李超新, 等. 区域洪水资源利用竞争性评价方法[J]. 水力发电学报, 2013, 32(4): 32-37.
- [ 13 ] 郑军, 张永庆, 王顺林. 跨境水资源竞争制度模型与竞争行为[J]. 运筹与管理, 2017, 26(8): 45-53.
- [ 14 ] 余日牛, 余雪飞. 淡水资源竞争[J]. 吉林水利, 2006(4): 51-54.
- [ 15 ] 冯彦. 跨界流域水资源竞争利用与协调管理对策——以官厅水库流域为例[J]. 云南地理环境研究, 2005

- (6): 11-15, 35.
- [ 16 ] 曾勇. 跨界水冲突博弈分析[J]. 水利学报, 2011, 42(2): 204-210.
- [ 17 ] 李曦, 熊向阳. 水资源区域竞争失范的原因及规制[J]. 求索, 2008(8): 68-70.
- [ 18 ] HERMAN BOUWER. Urban and agricultural competition for water, and water reuse[J]. International Journal of Water Resources Development, 2015, 9(1): 13-25.
- [ 19 ] 许新宜, 王浩, 甘泓. 华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [ 20 ] 陆康强. 要素均衡: 人类发展指数的算法改进与实证研究[J]. 统计研究, 2012, 29(10): 45-51.
- [ 21 ] 李晓西, 刘一萌, 宋涛. 人类绿色发展指数的测算[J]. 中国社会科学, 2014(6): 69-95.
- [ 22 ] 郭相平, 康绍忠. 调亏灌溉——节水灌溉的新思路[J]. 水资源与水工程学报, 1998(4): 22-26.
- [ 23 ] MONTEITH J L. Principles of Environmental Physics[M]. Edward Arnold, 1973.
- [ 24 ] 温忠辉, 张刚, 鲁程鹏, 等. 基于作物需水的灌溉用水量核算方法及应用[J]. 南水北调与水利科技, 2015(2): 370-373.
- [ 25 ] 赵晗, 吴迪, 刘玉春, 等. 基于多因素影响的区域旱作物有效降水量估算[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(7): 101-109.
- [ 26 ] 陆克. 天津市城市用水定额编制研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.

## The evaluation method of water competitiveness index and its application

ZHAI Jiaqi<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>1</sup>, ZHAO Jifang<sup>1, 2</sup>, FU Wenqi<sup>1, 3</sup>, WANG Lizhen<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin,

China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Urban and Rural Construction College, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

3. Power China Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an, Shanxi 710065, China)

**Abstract:** Water shortage intensifies water competition for different regions and industries, which affects the evolution pattern of water resources and puts forward new requirements for water supply and demand management. In order to quantitatively describe water competitiveness, the concept, connotation and driving factors of water competitiveness are analyzed, and the water competitiveness index (WCI) is defined, which is constructed by four indicators: driving growth rate, rigid water demand, water use efficiency and water shortage degree. The results show that the multi-year mean water competitiveness index for agriculture, industry and domesticity from 2001 to 2015 in the Beijing-Tianjin-Hebei region are 0.09, 0.17 and 0.56, respectively. The domestic water competitiveness index is the largest and maintains a long-term upward trend. It becomes the main industry affecting the water competitiveness of the Beijing-Tianjin-Hebei region. The industrial water competitiveness index is second, and it is characterized by volatility. The agricultural water competitiveness index is the smallest but keeps an increasing trend.

**Keywords:** water resources competition; the water competitiveness index; evaluation index; the industrial water competitiveness; Beijing-Tianjin-Hebei

(责任编辑: 祁 伟)