

# 基于水量供需平衡的河北省张家口市崇礼区 水资源承载力分析

张萌雪<sup>1</sup>, 鲁春霞<sup>2</sup>, 吴燕红<sup>1</sup>, 夏建新<sup>1</sup>

(1. 中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** [目的] 对农业需水量进行了情景预测,旨在为河北省张家口市崇礼区冬奥会(2022年举办)以及未来水资源合理利用以及可持续发展提供基础。[方法] 基于水资源供需关系分析了2005—2016年水资源承载力并预测了不同规划年(2022年、2035年)水资源承载力。[结果] 2005—2016年水资源平衡指数(IWSD)从0.54下降至0.06,2016年水资源承载能力已趋于临界状态;当保证率 $P=25\%$ 时,2022,2035年IWSD分别为0.27,0.25,水资源承载盈余,当 $P=50\%,75\%$ ,水资源承载力均超载,尤其当 $P=75\%$ 时,IWSD分别为-0.77,-0.81,水资源严重超载;通过调整灌溉面积以及需水定额, $P=25\%,50\%$ 时,IWSD $>0$ , $P=75\%$ 时不同规划年缺水减少了22.68%,36.31%。[结论] 未来崇礼区可通过调整灌溉面积、灌溉需水定额,减少地下水开采量,提高地表水利用率来提高水资源承载力。

**关键词:** 需水量; 水资源可利用量; 供需平衡; 水资源承载力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0276-07

中图分类号: TV213.4

**文献参数:** 张萌雪, 鲁春霞, 吴燕红, 等. 基于水量供需平衡的河北省张家口市崇礼区水资源承载力分析[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 276-282. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.040; Zhang Mengxue, Lu Chunxia, Wu Yanhong, et al. Analysis of water resources carrying capacity in Chongli District, Zhangjiakou City, Hebei Province based on supply-demand balance of water resources[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 276-282.

## Analysis of Water Resources Carrying Capacity in Chongli District, Zhangjiakou City, Hebei Province Based on Supply-Demand Balance of Water Resources

Zhang Mengxue<sup>1</sup>, Lu Chunxia<sup>2</sup>, Wu Yanhong<sup>1</sup>, Xia Jianxin<sup>1</sup>

(1. Department of Environments, Minzu University of China, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** [Objective] Forecasting agricultural water demands aims to provide a basis for holding the 2022 Winter Olympic Games, while helping with a reasonable utilization of future water resources and sustainable development in Chongli District, Zhangjiakou City, Hebei Province. [Methods] Based on the relationship between water supply and demand, this study evaluated the water resources carrying capacity from 2005 to 2016 and forecasted the water resources carrying capacity for 2022 and 2035. [Results] The index of water supply and demand (IWSD) decreased from 0.54 in 2005 to 0.06 in 2016. Water resources carrying capacity in 2016 tended to be in a critical state. When the guaranteed rate equaled to 25%, IWSD indexes were equal to 0.27 and 0.25 respectively in 2022 and 2035, which indicated the water resources had an adequate carrying capacity. When the guaranteed rate equaled to 50% or 75%, the water resources carrying capacity was overloaded, particularly with the guaranteed rate equaled to 75%, IWSD indexes were -0.77 and -0.81, respectively, in different years. When adjusting the local planting industry and irrigation water quota, the guaranteed rate equaled to 25% and 50%, IWSD $>0$ . The amounts of shortage water in different years declined by 22.68% and 36.31%, respectively, with guaranteed rate equal to 75%. [Conclusion] To address overloading water

收稿日期: 2019-08-25

修回日期: 2019-09-16

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“京津冀西北水源涵养及永定河(上游)水质保障技术与工程示范项目”(2017ZX0701002)

第一作者: 张萌雪(1995—), 女(汉族), 山西省临汾市人, 硕士研究生, 研究方向为环境管理与规划。Email: maergo@sina.com。

通讯作者: 夏建新(1969—), 男(汉族), 湖北省黄冈市人, 博士, 教授, 主要从事水资源与水环境评价研究。Email: jxxia@vip.sina.com。

resources adjusting the agricultural irrigation area, decreasing irrigation water quotas, and increasing surface water use, as well as decreasing groundwater exploitation will help maintain an adequate carrying capacity.

**Keywords:** water resources demand; available water resources; supply-demand balance; water resources carrying capacity

河北省张家口市作为京津冀水源涵养功能区旨在提高京津冀生态承载能力,为三地协同发展提供水安全保障,特别是作为冬奥会核心区的崇礼区,其水资源承载力是绿色奥运重点关注的内容之一。

2022年张家口市崇礼区将承办冬奥会部分赛事活动,并将以冬奥会为契机建设成为冬季冰雪运动和旅游胜地,未来大规模人口流动及赛事活动都需要利用大量水资源。近年该区地表水利用效率低,大量开采地下水作为主要供水方式,尤其是农业<sup>[1]</sup>。因此,未来崇礼区水资源承载力面临巨大挑战。水资源承载力包含了社会发展、资源禀赋、支撑状况和环境保障等多个方面,是水资源供需平衡状况的综合反映<sup>[2]</sup>。分析水资源可利用量以及基于水资源供需平衡的承载力对解决崇礼区冬奥会水资源供需问题、提高水资源利用效率以及保障水资源可持续利用具有重要意义。

对于水资源承载力的概念,学术界对其定义有多种表述<sup>[2-3]</sup>,从研究内容上可为水资源的最大开发能力和最大支撑规模<sup>[2,4-5]</sup>。由于区域水资源承载力具有一定的地域性、复杂性、动态性等,导致其研究方法具有多样性,对此学者们提出了水资源承载力的不同研究方法,如常规趋势法、综合评价法、系统分析法等<sup>[6-9]</sup>。国内学者基于研究区水资源供需关系具体分析了水资源承载力。王雅竹等<sup>[10]</sup>利用水资源供需平衡指数对五家渠市未来水资源承载力进行预测。李清河等<sup>[11]</sup>对绿洲灌区的水资源供给与需求量进行分析评价,设定3个方案利用水资源承载力平衡指数进行水资源承载力分析。李玲等<sup>[12]</sup>基于水资源供需关系利用SD模型对重庆市水资源承载力进行模拟分析。国外学者也利用供需关系进行水资源承载力研究,Milano等<sup>[13]</sup>基于水资源供需关系利用组合模型预测了埃布罗河流域未来水资源承载力。Dessu等<sup>[14]</sup>利用SWAT模型对马拉河流域水资源供需进行评价。由于水资源承载力直接与该区域可利用水资源量有本质联系,水资源量决定于不断变化的资源环境和人类活动影响下的水文循环规律及其控制的水资源形成规律,因此可从自然变化和人类活动影响的水循环系统出发,通过“自然生态—社会经济”系统对水的需求和流域能够提供多少可利用水资源量的“支撑能力”加以度量进而分析水资源对区域发展支撑情况<sup>[15]</sup>。通过计算分析区域可利用的水资源量以

及需水量,直接利用供需关系确定水资源承载能力,研究过程直观明确,且利于在小尺度研究区进行资料收集与数据分析。

本文通过计算崇礼区可利用的水资源量以及需水量,基于水资源供需关系分析了2005—2016年水资源承载力并预测分析了不同规划年(2022,2035年)水资源承载情况,对农业需水量进行了情景预测,旨在为崇礼区冬奥会(2022年举办)以及未来水资源合理利用以及可持续发展提供基础。

## 1 研究区概况

崇礼区位于河北省西北部,地处内蒙古高原与华北平原过渡地带,地理位置为东经115°12′—115°34′,北纬40°47′—40°17′,全区总面积2334 km<sup>2</sup>,该区域主要为清水河流域。该地区属于东亚大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季暖热多雨,冬季累计积雪量达1 m左右,存雪期长达140 d多,多年平均降水量480 mm,降水年际年内分布极不均匀,主要集中在6—9月份,年均蒸发量828.8 mm,径流量年际变化大,多年平均径流量为5.19×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>。该地区土地利用类型主要为耕地、林地、草地,面积比例分别为30.79%,32.47%,34.42%,以种植业为主的特色农业发展具有明显优势,作物有蔬菜、蚕豆、马铃薯等,2005年蔬菜种植面积为3360 hm<sup>2</sup>,2016年蔬菜种植增加为6466.67 hm<sup>2</sup>,增长了92.46%。近年以滑雪为主的旅游产业发展迅速。

2005—2016年崇礼区社会经济发展数据源于《崇礼区社会经济发展公报》,2005—2016年地表水和地下水利用量数据来源于崇礼区水文局,由于获取地下水位监测数据时间尺度上受限,地下水位监测数据时间跨度为2015年3月至2018年6月,崇礼区社会经济发展规划资料来源于崇礼区规划局,土地利用数据来源于地理国情监测云平台。

## 2 研究方法

### 2.1 水资源供需计算

#### 2.1.1 需水量计算

$$W_D = W_P + W_A + W_I + W_T + W_E + W_M \quad (1)$$

式中: $W_D$ 为水资源需求总量(m<sup>3</sup>); $W_P$ , $W_A$ , $W_I$ , $W_T$ , $W_E$ , $W_M$ 为生活、农业、工业、旅游、生态和其他需水量。下同。

崇礼区正处于飞速发展阶段,用水数据波动较大。这使得回归分析预测、灰色预测等需要大量数据样本和有规律统计资料的预测方法的使用受到了限制<sup>[16]</sup>。考虑水资源紧缺对社会经济发展的制约作用,本文利用定额法计算分析崇礼区需水情况。

生活需水量  $W_P$  ( $m^3$ ) 根据城镇农村居民数量  $P$  (人) 以及居民需水定额  $K_P$  ( $m^3$ /人) 计算:

$$W_P = P \times K_P \quad (2)$$

农业需水  $W_A$  ( $m^3$ ) 根据不同作物的面积  $A$  ( $hm^2$ )、灌溉定额  $K_A$  ( $m^3/hm^2$ ) 计算:

$$W_A = A \times K_A \quad (3)$$

工业需水  $W_I$  ( $m^3$ ) 根据万元工业增加值 IVA (元) 以及需水定额  $K_I$  ( $m^3$ /元) 计算:

$$W_I = IVA \times K_I \quad (4)$$

旅游需水  $W_T$  ( $m^3$ ) 根据游客数量  $P_T$  (人)、旅游天数  $D$  (天) 以及需水定额  $K_T$  ( $m^3$ /人·d) 计算:

$$W_T = P \times K_T \times D \quad (5)$$

由于计算可利用水资源把河道内生态需水量扣除,因此生态需水量仅考虑河道外需水量,依据经验公式按照城镇生活需水 10% 进行计算。其他需水包括冬奥会赛事需水以及造雪需水,赛事需水根据运动员人数、运动员需水定额以及运动员居住天数计算,造雪需水量根据雪量以及造雪定额进行计算。

2.1.2 水资源可利用量计算 水资源可利用量为在满足一定的生态保护标准下的生态需水的前提下,在一定的经济技术水平条件下,在水权保证的、在总水资源量中可以被当地净消耗于生产生活的那部分水资源量<sup>[17]</sup>。水资源可利用量估算公式如下<sup>[18]</sup>:

$$W_s = W_o + W_g \quad (6)$$

式中:  $W_s$ ——可利用的水资源量 ( $m^3$ );  $W_o, W_g$ ——地表水量 ( $m^3$ ) 和地下水量 ( $m^3$ )。

其中计算地表水资源量需扣除天然生态需水量<sup>[19]</sup>,计算地下水可开采量需结合地区水文地质条件分析,依据地下水位观测、实际开采量等资料确定地下水可开采量<sup>[20]</sup>。

## 2.2 水资源承载力计算

2.2.1 水资源平衡指数 利用水资源平衡指数反应水资源供需平衡关系,分析 2005—2016 年水资源承载力现状并依据 2022,2035 年需水量进行水资源承载力预测,计算该指标公式如下<sup>[15]</sup>:

$$IWSD = \frac{W_s - W_D}{W_s} = 1 - \frac{W_D}{W_s} \quad (7)$$

式中:  $IWSD$  为可利用水资源量 ( $m^3$ )。当  $IWSD > 0$ ,

可利用的水资源量可以支撑社会经济系统。当  $IWSD < 0$ , 可利用的水资源量不能支撑这样规模的社会经济系统。

2.2.2 地下水开采潜力 选取地下水开采潜力指数反映崇礼区地下水开采程度。

$$I = Q_{允} / Q_{采} \quad (8)$$

式中:  $I$  为地下水开采潜力指数;  $Q_{允}$  为地下水允许开采量 ( $m^3$ );  $Q_{采}$  为地下水现状开采量 ( $m^3$ )。若  $0.8 \leq I \leq 1.2$  则表明区域地下水采补平衡; 若  $I < 0.8$  表明地下水超采; 若  $I > 1.2$  则表明区域有开采潜力。

## 3 结果与分析

### 3.1 水资源承载力现状

根据水资源承载力计算公式,计算 2005—2016 年研究区水资源平衡指数。由图 1 可知,2005—2016 年水资源承载力呈下降趋势,  $IWSD$  从 2005 年 0.54 下降至 2016 年 0.06, 趋于水资源采补平衡状态。

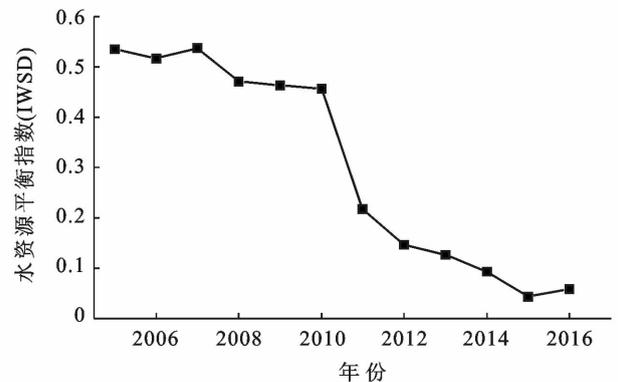


图 1 2005—2016 年崇礼区水资源承载力

结合 2005—2016 年需水情况来看(图 2a),崇礼区需水量从 2005 年  $1.20 \times 10^7 m^3$  增加至 2016 年的  $2.76 \times 10^7 m^3$ 。不同需水类型具体情况如下: ①农业需水为主要需水类型,多年平均占总需水比例为 65.02%。导致崇礼区需水量变化的主要原因是农业需水变化,而农业需水变化与作物种植面积增加相关,灌溉面积由 2005 年  $3.36 \times 10^3 hm^2$  增加至 2016 年的  $6.47 \times 10^3 hm^2$ ,灌溉类型主要为设施蔬菜和露地蔬菜,两者面积分别增长了 110.52%,87.18%。崇礼区 2016 年农民人均蔬菜收入占农民人均纯收入的 70% 以上,蔬菜产业已成为富民主导产业,蔬菜种植的突出利益优势带动了灌溉面积的增加。结合河北省用水定额可知,崇礼区设施、露地蔬菜灌溉定额分别为  $1905, 3600 m^3/hm^2$ 。②工业需水为第二大需水类型,多年平均占总需水量比例为 13.31%。工

业需水从 2005 年  $1.18 \times 10^6 \text{ m}^3$  增长至 2016 年的  $4.01 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 需水量不断增加与工业迅速发展相关。由于该区矿产资源禀赋, 高耗水的采矿行业不断发展, 万元工业增加值由 2005 年  $3.49 \times 10^4$  元增加至 2016 年  $1.85 \times 10^4$  元, 呈现逐年增长趋势。结合该区水资源公报, 工业需水定额为  $33.88 \text{ m}^3/\text{万元}$ 。  
 ③崇礼区旅游需水呈增加趋势, 从 2005 年  $3.81 \times 10^5 \text{ m}^3$

增加至 2016 年的  $5.27 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 结合中国旅游者基本消耗标准, 崇礼区每位游客每天需水量为  $0.01 \text{ kg}$ 。近几年该区以滑雪为龙头的生态旅游业不断发展, 旅游人数以年均  $26.75\%$  增长, 2016 年旅游人数达到  $3.52 \times 10^{10}$  人, 万龙、云顶等 5 个大滑雪场已投入使用, 因此旅游设施不断完善促进旅游人口显著增加导致需水增加。

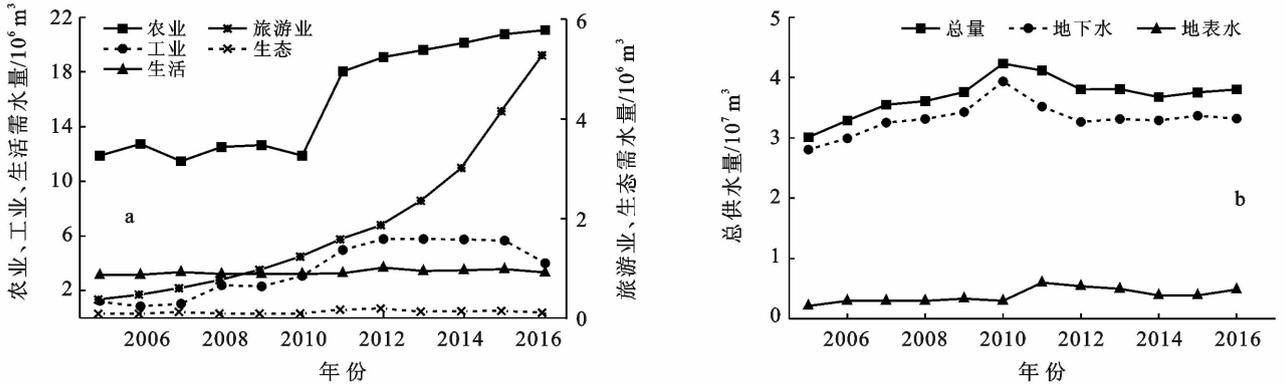


图 2 2005—2016 年崇礼区水资源供需水量

崇礼区水资源由大气降水补给, 可利用的水资源为地表水和地下水。2005—2016 年崇礼区可利用水资源量如图 2b 所示, 由图可知崇礼区总供水量呈先升后降的趋势, 供水类型主要为地下水, 多年地下水平均供水占总供水量比例为  $87.91\%$ , 地下水供水量呈先升后降趋势, 多年地表水供水量占总供水量的  $10.28\%$ , 2011 年起该区域通过蓄水、引水工程增加了地表水供水量。受水利基础设施建设以及传统灌溉方式影响, 该区域利用机电井抽取地下水进行供水, 由于社会发展程度不平衡, 部分地区地下水开采强度较大, 地下水出现超采现象, 超采区主要为矿业开采发展区以及蔬菜大棚产业区。结合崇礼区 2015—2018 年地下水监测数据(图 3)可知, 西湾子蔬菜产业

区地下水位大致呈现逐年下降趋势, 年均地下水位下降  $2.03 \text{ m}$ , 高家营种植业产业区地下水位呈逐年上升趋势但年均地下水位下降  $48.45 \text{ m}$ , 可见崇礼区部分区域地下水开采强度较大, 地下水出现超采现象。计算 2005—2016 年地下水开采潜力指数(图 4)可知崇礼区地下水位开采潜力呈先下降后上升趋势, 2010 年地下水开采指数为  $1.01$ , 达到最低值, 地下水已达到采补平衡程度, 由于 2010 年后地表水利用量增加, 地下水实际开采量小幅下降, 2016 年地下水开采潜力为  $1.20$ , 地下水资源采补平衡。若地下水开采持续超过可开采的地下水资源量, 极易导致崇礼区地下水位低于生态安全水位, 导致水资源利用安全问题。

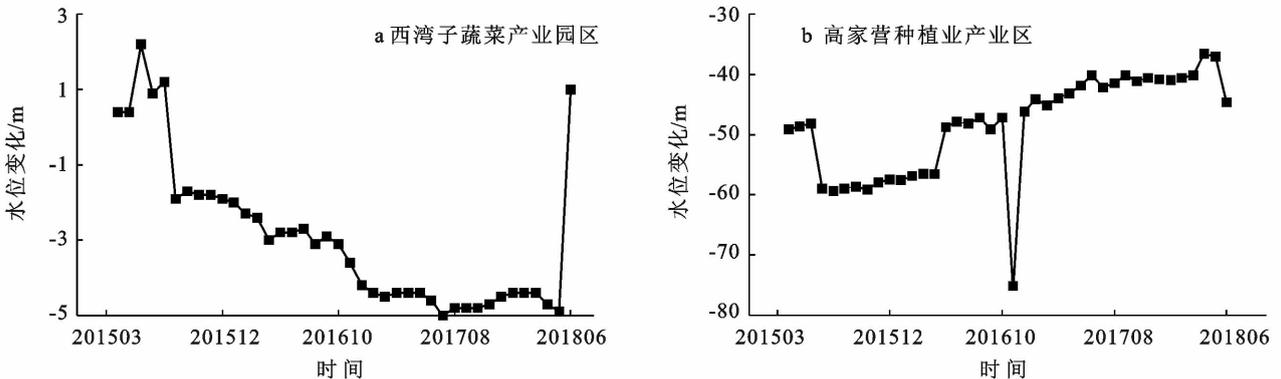


图 3 崇礼区多年地下水位动态变化

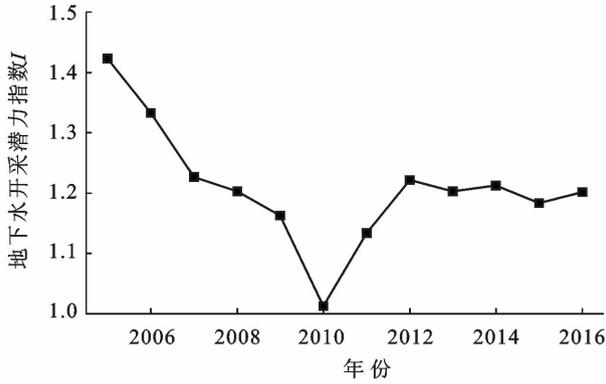


图4 崇礼区2005—2016年地下水开采潜力

### 3.2 水资源承载力预测

考虑水资源可持续发展,以2016年为现状水平年,计算不同规划年(2022,2035年)生活、生产、生态和其他需水量,对不同规划年不同保证率的水资源供需平衡结果进行分析(表1),其余规划年需水量可由线性插值计算得到。在2022年,若保证率 $P=25\%$ ,崇礼区水资源供给有盈余,盈余量约占总需水量的37.20%;当 $P=50\%$ ,水资源供给小幅亏缺,亏缺量为 $6.53 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,缺水率为14.30%;当 $P=75\%$ 时,水资源亏缺严重,亏缺量为 $1.99 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,缺水率为43.51%。在2035年,当 $P=25\%$ ,水资源供给有盈余,当 $P$ 为50%,75%时,水资源供给均亏缺,分别为 $7.61 \times 10^6$ , $2.10 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,缺水率分别为16.28%,44.82%,亏缺量较2022年相比均增加。

利用定额法对2022,2035年需水量进行预测,不同需水类型情况如下:①农业需水量占总需水量63.41%,农业灌溉需水仍为主要需水类型。根据崇礼区农业经济发展以及政府规划,未来该区将主要发展观光农业,将小幅增加设施蔬菜面积,预计2022年

灌溉面积将达到 $8.84 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,设施蔬菜面积增加至 $2.90 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,2035年面积保持不变。考虑到未来蔬菜设施规模化种植,节水灌溉措施改善,较2022年2035年需水定额缩减10%,2035年设施、露地蔬菜灌溉定额分别为 $3240,1905 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,因此2035年农业需水量将小幅下降,但仍为主要需水量,占需水总量50.75%。②2022,2035年旅游需水量均为第二大需水类型,分别占总需水量的18.30%,20.85%,根据2005—2016年崇礼区游客数量可知,近年游客数量增长率保持20%,参考北京奥运会人口变化情况<sup>[21]</sup>,预计2022,2035年旅游人口达到 $5.57 \times 10^6$ , $6.50 \times 10^6$ 人,大幅增长的旅游人口数量将导致旅游需水量的增长。③按照人口增长规律并结合崇礼区相关规划预测,2022,2035年人口数量分别增长至 $1.50 \times 10^5$ , $1.80 \times 10^5$ 人,较现状年2016年分别增长了 $2.40 \times 10^4$ , $5.40 \times 10^4$ 人,因此随着人口数量的增长,崇礼区生活需水增加,2022,2035年分别占总需水量的14.98%,18.27%,结合河北省用水定额标准,崇礼区城镇以及农村人均需水定额分别为140和110 L/d。④由于崇礼区进行产业结构调整,未来主要发展农业和旅游业,减缓工业发展,根据政策要求,未来工业需水量将大幅下降,维持 $1.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,为2016年工业需水量的25%。⑤由于2022年冬奥会赛事开展,需水类型还包括赛事需水以及造雪需水,2022,2035年崇礼区雪道最大面积分别为8.25,10  $\text{km}^2$ ,利用造雪 $1 \text{ m}^3$ 需水量为 $0.5 \text{ m}^3$ 关系求得造雪需水量,冬奥村运动员公寓提供床位共计5034个,运动员居住时间为27 d(包括残奥会),参考河北省用水定额为500 L/床·d,经计算其他需水量分别仅占2022,2035年需水总量的5.10%,5.94%。

表1 崇礼区水资源供需平衡预测分析

规划年	保证率 $P/\%$	可利用水资源 量 $W_s/10^7 \text{ m}^3$	水资源需求量 $W_D/10^5 \text{ m}^3$							水资源供需 差额/ $10^6 \text{ m}^3$
			生活	农业	工业	旅游业	生态	其他	合计	
2022年	25	6.27								17.00
	50	3.91	68.44	267.65	10.00	83.57	3.83	23.24	456.73	-6.53
	75	2.58								-20.00
2035年	25	6.27								16.00
	50	3.91	85.41	240.75	10.00	97.48	6.13	27.78	467.55	-7.61
	75	2.58								-21.00

崇礼区不同保证率可利用的水资源量相差较大, $P=75\%$ 下的可利用的水资源量为 $P=25\%$ 可利用水资源量的56.50%。为确保地下水资源安全,可开采的地下水资源量将维持在采补平衡状态下 $1.53 \times 10^7 \text{ m}^3$ ;崇礼区地表水水资源由大气降水补给,降水呈现年际

变化,因此地表径流年际分配不均,呈丰平枯变化, $P=75\%$ ,50%,25%地表径流量分别为 $5.27 \times 10^7$ , $2.92 \times 10^7$ , $1.58 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。参考相关文献<sup>[19]</sup>,若生态需水量长时间维持在适宜生态流量的阈值,从生态系统弹性和抗性考虑,最终会导致河流生态系统破

坏,因此生态需水存在范围波动。利用 Tennant 方法计算得到崇礼区生态需水量为  $5.32 \times 10^6 \sim 8.57 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 从而地表水资源量也存在上下范围,本论文进行供需预测分析时取可利用水资源的最大值。经计算可知,  $P=75\%$ ,  $50\%$ ,  $25\%$  地表水资源分别占可利用水资源总量  $75.58\%$ ,  $60.91\%$ ,  $40.70\%$ , 相比地下水资源,地表水资源较丰富,但由于传统供水方式,该区缺乏相关工程措施对地表水进行蓄积利用,未来该区应考虑增加地表水利用工程措施来提高地表水利用率。

由水资源供需平衡(表 2)可以看出,当  $P=25\%$  时 2022, 2035 年 IWSD 分别为 0.27, 0.25, 水资源均能承载,水资源能维持供需平衡且地下水维持最大开采量即可;当  $P=50\%$  时,2022, 2035 年 IWSD 均  $< 0$ , 水资源不能支撑社会发展;当  $P=75\%$  时, 2022, 2035 年 IWSD 分别为  $-0.77$ ,  $-0.81$ , 水资源供需缺水率均接近  $50\%$ , 水资源严重超载,水资源一定程度上将会制约社会发展。当崇礼区水资源不可承载时,可考虑通过节水措施,减少农业需水以及旅游需水量来保证水资源供需平衡。

表 2 崇礼区不同规划年水资源承载力预测

规划年	$P=25\%$	$P=50\%$	$P=75\%$
2022 年	0.27	-0.17	-0.77
2035 年	0.25	-0.30	-0.81

### 3.3 农业需水情景分析

崇礼区多年露天蔬菜种植面积占总种植面积比例为  $76.61\%$ , 露地蔬菜灌溉方式为沟灌,水资源利用效率低,因此本文结合崇礼区农业灌溉的实际情况,通过改变种植面积和灌溉方式计算水资源承载力,将 2022, 2035 年农业灌溉方式全部变为滴灌并且两年需水定额分别减少  $15\%$ ,  $20\%$ , 面积均缩减  $20\%$ , 计算结果见表 3。当  $P=25\%$ , 2022 年灌溉需水量缩减  $53.26\%$ , IWSD = 0.52, 水资源盈余量增加  $1.54.49 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 2035 年灌溉需水量缩减  $55.93\%$ , IWSD = 0.47, 水资源盈余量增加  $1.33 \times 10^7 \text{ m}^3$ ; 当  $P=50\%$ , 不同规划年 IWSD 分别为 0.23 和 0.15, 水资源均由超载变为可承载,水资源盈余量分别为  $8.83 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,  $5.73 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; 当  $P=75\%$  时, IWSD 分别为  $-0.17$  和  $-0.29$ , 水资源仍超载,但缺水相比之前分别减少了  $22.68\%$ ,  $36.31\%$ 。由此可见,适当缩减露地蔬菜种植面积并改善灌溉方式是提高水资源承载力的一种有效途径。本文与胡彬等人<sup>[1]</sup>均分析得到农业需水对水资源承载具有显著影响,但本文定量计算了改变农业种植结构以及缩减农业需水定额对水资源承载情况的影响。

表 3 崇礼区水资源承载力情景变化

规划年	保证率 $P/\%$	灌溉需 水量 $W_A/$ $10^7 \text{ m}^3$	水资源 承载力 IWSD	水资源 供需差额/ $10^6 \text{ m}^3$
2022 年	25		0.52	32.35
	50	1.43	0.23	8.83
	75		-0.17	-4.51
2035 年	25		0.47	29.25
	50	1.35	0.15	5.73
	75		-0.29	-7.61

## 4 结论

本文通过计算水资源平衡指数,分析了 2005—2016 年崇礼区水资源承载力并预测了 2022, 2035 年水资源承载情况。

(1) 2005—2016 年崇礼区水资源承载力不断下降,2016 年水资源承载力 IWSD 降至 0.06, 趋于临界状态。农业、工业需水为主要需水类型,多年平均占总需水量的  $65.02\%$ ,  $17.03\%$ 。崇礼区多年主要抽取地下水进行水资源利用,地下水供水量占总供水量多年平均为  $87.91\%$ , 地下水开采潜力先降后升,2016 年开采潜力达到 1.20, 已达到采补平衡。

(2) 在不同规划年 2022, 2035 年, 当保证率  $P=25\%$ , 水资源承载力 IWSD 分别为 0.27, 0.25, 水资源盈余量分别为  $1.70 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,  $1.60 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 能够支撑社会发展;当  $P=50\%$  和  $75\%$  时, 不同规划年水资源均超载,当  $P=75\%$  水资源严重超载, IWSD 分别为  $-0.77$ ,  $-0.81$ 。

(3) 通过减少灌溉面积以及需水定额,当  $P=25\%$ , 2022, 2035 年 IWSD 分别为 0.52 和 0.47, 水资源承载力提升,当  $P=50\%$ , 不同规划年水资源由超载均变为可承载, IWSD 分别为 0.23 和 0.15, 当  $P=75\%$ , 2022, 2035 年 IWSD  $< 0$ , 缺水量分别减少  $22.68\%$ ,  $36.31\%$ 。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 胡彬, 刘俊国, 赵丹丹, 等. 基于水足迹理念的水资源短缺评价: 以 2022 年冬奥会雪上项目举办地为例[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(7): 108-116.
- [2] 段春青, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82-90.
- [3] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 191-198.
- [4] 党丽娟, 徐勇, 王志强. 陕西省榆林市水资源人口承载规模研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 90-97, 321.
- [5] 曹丽娟, 张小平. 基于主成分分析的甘肃省水资源承载力评价[J]. 干旱区地理, 2017, 40(4): 906-912.
- [6] 高彦春, 刘昌明. 区域水资源开发利用的阈限分析[J].

- 水利学报,1997,28(8):73-79.
- [7] 张天宇,卢玉东,王正川.基于多层次模糊综合评价模型的沙漠绿洲水资源承载力评价与预测[J].水土保持通报,2018,38(2):275-280.
- [8] Wang Yanli, Zhou Ruiping, Zhang Min, et al. Analysis of water resources carrying capacity in Xianyang City under the background of the Xi'an-Xianyang Integration [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014,675/676/677:787-793.
- [9] 王翠,杨广,何新林,等.基于系统动力学的水资源承载力研究[J].中国农村水利水电,2016(9):212-215,220.
- [10] 王雅竹,石炼.五家渠市水资源供需平衡及水资源承载力分析[J].中国农村水利水电,2013(6):16-20.
- [11] 李清河,赵英铭,江泽平,等.乌兰布和沙漠东北部绿洲灌区水资源供需平衡及其承载力研究[J].水土保持通报,2005,25(6):24-27.
- [12] 李玲,潘雪倩,夏威夷,等.基于SD模型的重庆市水资源承载力模拟分析[J].中国农村水利水电,2018(5):128-133.
- [13] Milano M, Ruelland D, Dezetter A, et al. Modeling the current and future capacity of water resources to meet water demands in the Ebro basin[J]. Journal of Hydrology, 2013,500(11):114-126.
- [14] Dessu S B, Melesse A M, Bhat M G, et al. Assessment of water resources availability and demand in the Mara River Basin[J]. Catena, 2014,115:104-114.
- [15] 夏军,朱一中.水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J].自然资源学报,2002,17(3):262-269.
- [16] 刘裕辉,范泽华,肖凯,等.滨海新区水资源供需量预测及用水结构特点分析[J].中国给水排水,2016,32(7):63-68.
- [17] 贾绍凤,周长青,燕华云,等.西北地区水资源可利用量与承载能力估算[J].水科学进展,2004,15(6):801-807.
- [18] 张靖琳,吉喜斌,陈学亮,等.河西走廊中段临泽绿洲水资源供需平衡及承载力分析[J].干旱区地理,2018,41(1):38-47.
- [19] 付玉娟,何俊仕,慕大鹏,等.辽河流域水资源可利用量分析计算[J].干旱区资源与环境,2011,25(1):107-110.
- [20] 董颖,赵健.水资源可利用量计算方法在陕北地区的应用研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(3):104-108.
- [21] 刘佳燕,李强.2008年奥运会对北京社会人口的影响评估[J].北京规划建设,2012(4):64-69.

(上接第235页)

- [15] 张青峰,吴发启,王力,等.黄土高原生态与经济系统耦合协调发展状况[J].应用生态学报,2011,22(6):1531-1536.
- [16] 任春燕,王继军.黄土丘陵区农业生态经济效益评价指标体系的构建[J].水土保持通报,2009,29(1):155-159.
- [17] Wang Qingsong, Yuan Xueliang, Cheng Xingxing, et al. Coordinated development of energy, economy and environment subsystems: A case study[J]. Ecological Indicators, 2014,46(6):514-523.
- [18] Yuan Chaoqing, Liu Sifeng, Xie Naiming. The impact on Chinese economic growth and energy consumption of the Global Financial Crisis: An input-output analysis [J]. Energy, 2010,35(4):1805-1812.
- [19] 马丽,金凤君,刘毅.中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J].地理学报,2012,67(10):1299-1307.
- [20] 李亮.评价中权系数理论与方法比较[D].上海:上海交通大学,2009.
- [21] 张荣天,焦华富.泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(5):719-727.
- [22] 熊建新,陈端吕,彭保发,等.洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J].地理科学,2014,34(9):1108-1116.
- [23] 王辉,苑莹,刘帆,等.辽宁省人口、经济与环境协调发展的空间自相关分析[J].人口与发展,2013,19(3):29-37.
- [24] 韩瑞玲,佟连军,佟伟铭,等.沈阳经济区经济与环境系统动态耦合协调演化[J].应用生态学报,2011,22(10):2673-2680.
- [25] 姜磊,柏玲,吴玉鸣.中国省域经济、资源与环境协调发展分析:兼论三系统耦合公式及其扩展形式[J].自然资源学报,2017,32(5):788-799.
- [26] 张晶,刘耀林,陈新明.基于生态足迹的浙江省生态安全动态研究[J].水土保持通报,2008,28(4):185-190.
- [27] 周成,冯学钢,唐睿.区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测:以长江经济带沿线各省市为例[J].经济地理,2016,36(3):186-193.
- [28] 宋永永,米文宝,杨丽娜,等.宁夏农业生态环境与经济耦合协调演化研究[J].南方农业学报,2015,46(5):922-928.
- [29] 王晓君,周立华,石敏俊.农牧交错带沙漠化逆转区禁牧政策下农村经济可持续发展研究:以宁夏盐池县为例[J].资源科学,2014,36(10):2166-2173.
- [30] 贾小蓉.原州区水土保持生态文明建设目标和实现途径[J].中国水土保持,2015(4):65-67.
- [31] 吴梦初,延军平.丝绸之路东段生态支持能力与社会经济动态耦合[J].水土保持通报,2015,35(2):287-291.
- [32] 田晓勇.固原生态文明建设略论[J].宁夏社会科学,2013(6):67-69.
- [33] 朱晓华,杨秀春,蔡运龙.基于灰色系统理论的旅游客源预测模型:以中国入境旅游客源为例[J].经济地理,2005,25(2):232-235.