

doi: 10.12029/gc20210412

宋博,张发旺,杨会峰,刘春雷,孟瑞芳,南天. 2021. 基于生态优先的水资源承载力分源评价及应用——以河北保定平原为例[J]. 中国地质, 48(4): 1156–1165.

Song Bo, Zhang Fawang, Yang Huifeng, Liu Chunlei, Meng Ruifang, Nan Tian. 2021. Ecological priority-based source-division evaluation and application on water resources carrying capacity: Take Baoding plain of Hebei Province as a case study [J]. *Geology in China*, 48(4): 1156–1165(in Chinese with English abstract).

基于生态优先的水资源承载力分源评价及应用 ——以河北保定平原为例

宋博^{1,2,3}, 张发旺^{2,4}, 杨会峰^{1,3}, 刘春雷¹, 孟瑞芳^{1,3}, 南天^{1,3}

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074;
3. 京津冀平原地下水与地面沉降野外科学观测研究站, 河北 石家庄 050061; 4. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,
河北 保定 071051)

摘要:水资源是保障区域发展的重要因素,是维持生态环境的关键要素。保定平原区作为京津冀地区的重要区域,其水资源承载能力对于区域生态和社会经济发展具有重要意义。本文以生态优先为基本理念,基于不同供水来源与不同用水类型的供给与利用关系,采用定额计算和线性加权目标规划相结合的方法,对保定平原区水资源承载力进行分源评价,并与地方规划相对比,进行了水资源承载力分级。结果表明:在保证生态需水和农业灌溉用水的基础上,保定平原区在持续枯水年条件下城镇生活和工业生产 2025 年可提供水量为 $4.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、水量缺口 $0.52 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2030 年可提供水量为 $6.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、水量缺口 $0.56 \times 10^8 \text{ m}^3$; 持续平水年条件下,城镇生活和工业生产 2025 年可提供水量为 $5.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、水量盈余 $0.66 \times 10^8 \text{ m}^3$; 2030 年可提供水量为 $8.14 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、水量盈余 $0.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。该项研究旨在为保定平原地区发展规划制定提供科学依据。

关键词:水资源承载力;分源评价;生态优先;水文地质调查;保定平原;河北省

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2021)04-1156-10

Ecological priority-based source-division evaluation and application on water resources carrying capacity: Take Baoding plain of Hebei Province as a case study

SONG Bo^{1,2,3}, ZHANG Fawang^{2,4}, YANG Huifeng^{1,3}, LIU Chunlei¹, MENG Ruifang^{1,3}, NAN Tian^{1,3}

(1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China*; 2. *China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China*; 3. *Observation and Research Station of Groundwater and Land Subsidence in Beijing-Tianjin-Hebei Plain, Shijiazhuang 050061, Hebei, China*; 4. *Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, China Geological Survey, Baoding 071051, Hebei, China*)

收稿日期:2021-02-20;改回日期:2021-05-26

基金项目:中国地质调查局项目(DD20160230, DD20190336)资助。

作者简介:宋博,男,1984年生,博士生,助理研究员,主要从事水文地质与水资源研究;E-mail:songbosyw@126.com。

通讯作者:张发旺,男,1965年生,博士,研究员,俄罗斯自然科学院外籍院士,主要从事水文地质环境地质研究;

E-mail:zfawang@mail.cgs.gov.cn。

Abstract: Water resource is an important factor to ensure regional development and a key factor to maintain ecological environment. As an important region in Beijing-Tianjin-Hebei, the water resource carrying capacity of Baoding Plain is of great significance to regional ecology and social and economic development. Based on the basic concept of ecological priority, according to the supply and utilization relationship of different water sources and different water types, the water resource carrying capacity of Baoding Plain was evaluated separately by using the method of combination of quota calculation and linear weighted objective programming, and compared with the local planning, the water resource carrying capacity was classified. The results show that on the basis of guaranteeing ecological water and agricultural irrigation water, under conditions of persistent dry years, total available water of urban life and industrial production will be 463 million m^3 in 2025, lacking of 52 million m^3 , and total available water will be 696 million m^3 in 2030, lacking of 56 million m^3 . Under conditions of persistent median water years, total available water of urban life and industrial production will be 581 million m^3 in 2025, surplus 66 million m^3 , and total available water will be 814 million m^3 in 2030, surplus 62 million m^3 . This research can provide scientific basis for development planning in Baoding Plain.

Key words: water resources carrying capacity; source-division evaluation; ecological priority; hydrogeological survey engineering; Baoding Plain; Hebei Province

About the first author: SONG Bo, male, born in 1984, doctor candidate, assistant researcher, engaged in hydrogeology and water resources research; E-mail: songbosyw@126.com.

About the corresponding authors: ZHANG Fawang, male, born in 1965, doctor, professor, foreign academician of Russian Academy of Natural Sciences, engaged in hydrogeology and Environmental geology research; E-mail: zfwang@mail.cgs.gov.cn.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No. DD20160230, No. DD20190336).

1 引言

水是人类生存和社会进步不可或缺的宝贵资源,水资源的多寡对区域发展起到支撑或制约的效应(夏军等,2002)。水资源到底能承载多大的人口和经济规模,即水资源承载力,成为政府和社会关心的问题,也成为学界研究的热点。保定平原区位于京津冀协同发展战略区的核心区域,该地区拥有海河流域诸多水系以及白洋淀等重要湿地,生态保护处于战略优先地位。随着南水北调中线工程和引黄入冀补淀工程通水,水资源供给来源更为丰富,水资源短缺问题有所缓解,但地方发展规划与水资源承载力尚未实现科学联系。如何支撑地方发展规划,依然是水资源承载力研究亟待解决的问题。

“水资源承载力”自20世纪80年代末由中国科学院水资源新疆研究组提出以来(施雅风等,1992),历经30余年的理论发展、方法创新和实例应用,在中国取得了较为丰硕的研究成果(刘晓等,2014;党丽娟等,2015;殷志强等,2018)。目前关于水资源承载力的评价方法大致包括三大类:一是经验估算类,以背景分析法、定额估算法、常规趋势法为代表(曲耀光等,2000);二是指标体系评价类,如综合指标法(孟江涛,2011;唐佐其等,2020)、模糊综合评价法(李俊晓等,2015;马立新等,2018)、主

成分分析法(任玉忠等,2012;王鸿翔等,2018)等;三是系统分析类,如系统动力学法(姜秋香等,2015;刘江宜等,2019)、多目标规划法(丁超,2013;杜立新等,2014)等。以往的水资源承载力评价,主要是基于当地的水资源总量或者地表水与地下水量开展研究,水资源的“来龙”与“去脉”相对粗放。而实际的水资源开发利用中,不同来源的水资源往往运用到不同的用水部门(潘桐,2004)。如深层地下水、浅层地下水、本地地表水、不同外调水、处理回用中水等,会在生态环境、工业生产、农业灌溉、城市与农村居民生活等不同领域分别发挥作用。梳理供水来源与用水途径的对应关系,进而开展水资源承载力分源评价,是承载力研究的发展趋势。

另外,21世纪以来,伴随着水资源利用产生的生态环境问题愈发突出(张利平等,2009)。尤其在中国华北地区,降水量减少引发水资源短缺,土地沙漠化扩展与蔓延形势严峻(刘平贵等,2001),地下水超采引发地面沉降(何庆成等,2006)等一系列环境地质问题(段永侯等,2003;张光辉等,2009;张源等,2018)。目前地下水超采问题虽然受到管理部门高度重视,地下水超采加剧态势得到遏止(李文鹏等,2020),但是华北平原深层水超采仍然比较严重(石建省等,2014),甚至一些地区深层水开采量呈现日趋扩大的情况(张光辉等,2011)。尤其在

保定平原区,河道断流问题依然严重,白洋淀等湿地主要依靠外来调水维持水量,如何发挥生态功能是水资源科学利用需要优先解决的重要问题。

本研究以京津冀典型地区保定平原区作为研究区域,将生态环境用水作为优先用水对象,基于不同来水对应不同用水的供水与用水关系,通过定额核算结合多目标规划的方法,开展水资源承载力分源评价,为保定平原区人口和经济发展规划提供科学依据。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

保定平原位于冀中平原西部,太行山东麓,是太行山脉与河北平原的接壤地带,总面积约1.1万 km^2 ,位于京津冀中心地区(图1),国家千年大计——雄安新区位于其中。该区地处北温带,属大陆型半干旱季风气候区,四季分明。多年平均降水量543.5 mm,多年平均蒸发量1728 mm,平均蒸发量约为平均降水量的3.2倍。

2.2 数据来源

保定各行政区人口、面积与经济增长等数据通过《保定经济统计年鉴》和《河北经济年鉴》获得,工业、农业、生活、生态等不同用途的用水量、污水回用量、有效灌溉面积等数据来自《河北水利年鉴(2010—2020年)》,本地地表水资源量参考《保定水资源公报(2010—2020年)》,其他资料还包括《河北省水资源公报(2015—2020年)》、《河北农村年鉴(2015—2020年)》等。地下水资源量通过区域水均衡计算得到。

根据《河北省南水北调配套工程规划(2010年)》,南水北调中线工程年均分配保定市南水 $5.05 \times 10^8 \text{m}^3$,以此作为保定市平原区2020年南水北调资源量。根据《海河流域综合规划(2012—2030)》,河北省2030年计划南水北调引水42.3亿 m^3 ,按照比例折算,保定市2030年南水北调引水7.03亿 m^3 。考虑到雄安新区建设,适当增加引水量,保定市平原区2030年南水北调量按8亿 m^3 计算。

3 评价的理论模型

3.1 评价思路

首先进行水资源量核算,包括深层和浅层地下

水可开采量、不同保证率($P_{75\%}$ 枯水年、 $P_{50\%}$ 平水年)条件下地表水资源量、南水北调资源量、引黄入冀补淀水量、污水处理回用量。根据这几种水资源针对的不同用水类型进行供需分析。第一步满足地区最小生态需水,包括地下水位生态恢复需水、湿地生态需水、河道生态需水和绿地生态需水,然后满足地区农业灌溉需水和农村生活用水。结合地区发展定位将生活和工业用水优化分配,核算水资源可支撑的城镇人口和工业增加值,进一步与近、远期规划年的人口和经济发展规划对比,得到水资源对人口和经济的承载能力。

3.2 评价方法

本文采用的水资源承载力分源评价,是基于不同供水来源与不同用水类型的对应关系,以2025年为近期规划水平年,2030年为远期规划水平年,依据“生态优先、保证农业、人口经济协调发展”的原则,采用定额计算与线性加权目标规划相结合的方法,开展保定平原区水资源承载力动态预测。对首先需要优先保证的生态用水和农业灌溉及农村生活用水,采用定额算法;在此基础上,对工业生产和城镇生活用水采用线性加权目标规划法进行优化分配。该方法可以最大限度地保证生态用水,同时对人口和工业用水进行优化配置。

保定平原区供水-用水关系如表1所示。

3.2.1 定额计算公式

(1)水资源量计算公式为:

$$W_{sg} + W_{dg} + W_{sp} + W_{nt} + W_{ht} + W_{rt} = W_t \quad (1)$$

式中, W_{sg} ——多年平均浅层地下水资源量(m^3/a); W_{dg} ——多年平均深层地下水资源量(m^3/a); W_{sp} ——不同保证率P条件下本地地表水资源量(m^3/a); W_{nt} ——不同年份南水北调水资源量(m^3/a); W_{ht} ——不同年份引黄入冀补淀水资源量(m^3/a); W_{rt} ——不同年份污水处理回用量(m^3/a); W_t ——不同年份的总水资源量(m^3/a)。

(2)水资源承载力分源评价计算公式为:

$$\begin{cases} W_{sg} = W_{sgt} + W_{irt1} \\ W_{dg} = W_{dgt} + W_{rut} \\ W_{sp} = W_{irt2} + (X_{p1} + X_{E1}) \\ W_{nt} = W_{rit1} + W_{gri1} + (X_{p2} + X_{E2}) \\ W_{ht} = W_{wet} + W_{irt3} \\ W_{rt} = W_{gri2} + W_{rit2} \end{cases} \quad (2)$$

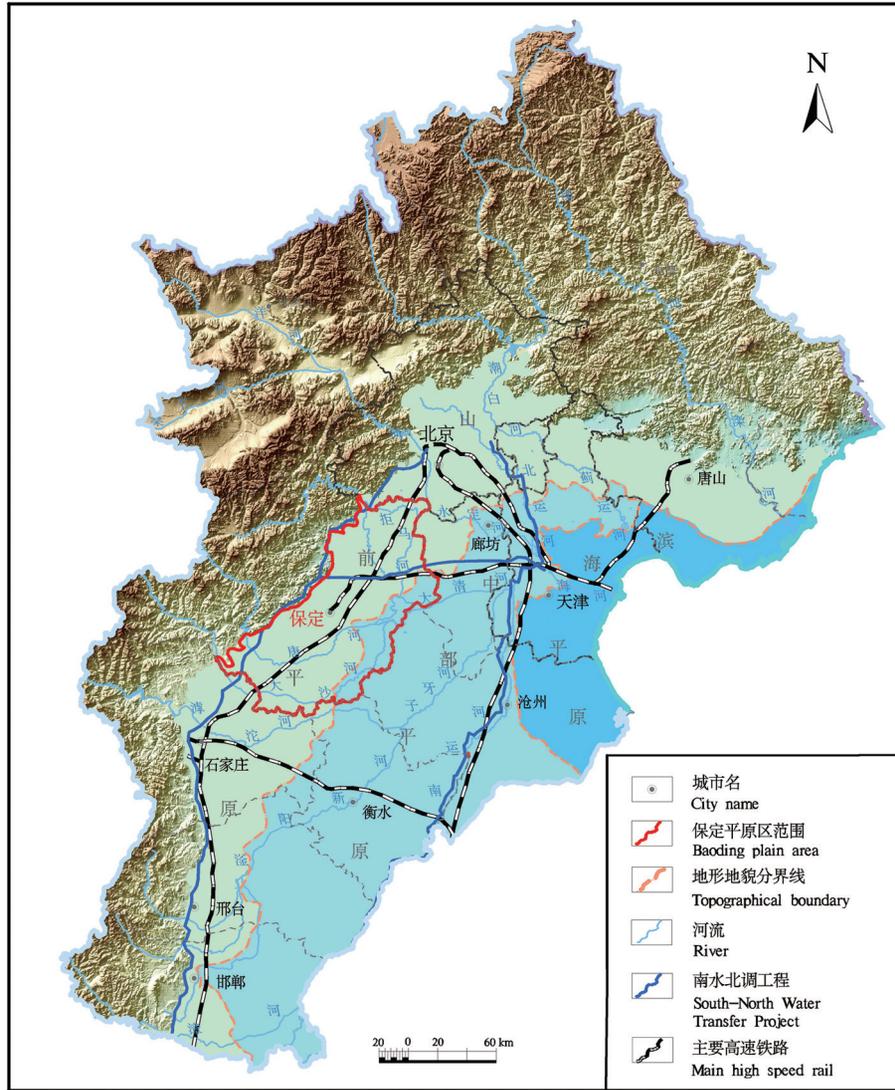


图1 保定平原区地理位置图
Fig.1 Geographical location of Baoding Plain

其中:

$$\begin{cases} W_{irt} = W_{irt1} + W_{irt2} + W_{irt3} \\ W_{rit} = W_{rit1} + W_{rit2} \\ W_{grt} = W_{grt1} + W_{grt2} \\ X_p = X_{p1} + X_{p2} \\ X_E = X_{E1} + X_{E2} \end{cases} \quad (3)$$

式中, W_{sgt} ——不同年份的浅层地下水位生态恢复需水量(m^3/a); W_{dgt} ——不同年份的深层地下水位生态恢复需水量(m^3/a); W_{wet} ——不同年份的湿地生态需水量(m^3/a); W_{rit} ——不同年份的河道生态需水量(m^3/a), W_{rit1} 、 W_{rit2} 分别表示南水北调水、中水用于河道生态的水量; W_{grt} ——不同年份的绿地生态需水量(m^3/a), W_{grt1} 、 W_{grt2} 分别表示南水北调水、中水用于

绿地生态的水量; W_{irt} ——不同年份的农业灌溉需水量(m^3/a), W_{irt1} 、 W_{irt2} 、 W_{irt3} 分别表示浅层地下水、本地地表水、引黄入冀补淀水用于农业灌溉的水量; W_{rit} ——不同年份的农村生活需水量(m^3/a); X_p ——不同年份的城镇居民生活分配水量(m^3/a), X_{p1} 、 X_{p2} 分别表示本地地表水、南水北调水分配用于城镇居民生活的水量; X_E ——不同年份的工业生产分配水量(m^3/a), X_{E1} 、 X_{E2} 分别表示本地地表水、南水北调水分配用于工业生产的水量。

(3) 地下水位生态恢复, 以2020年为基准, 以2030年消除浅层和深层地下水位降落漏斗为目标, 需水量计算公式为:

表1 保定平原区供水-用水关系及用途
Table 1 Relationship of water supply and utilization in Baoding Plain

供水来源	用水类型		
	生态	农业	人口、工业
浅层地下水	浅层地下水位恢复	农业灌溉	—
深层地下水	深层地下水头恢复	—	农村生活
本地地表水	—	农业灌溉	城镇生活、工业
南水北调水	河道生态、绿地生态	—	城镇生活、工业
引黄入冀补淀水	湿地生态	农业灌溉	—
污水处理回用	绿地生态、河道生态	—	—

浅层:

$$W_{sgt} = (Z_n - Z_0) \times S \times \mu \times A / (2030 - 2020) \quad (4)$$

式中, W_{sgt} ——年均浅层地下水位生态恢复需水量(m^3/a); Z_n ——消除浅层地下水位降落漏斗的目标水位标高(m); Z_0 ——当前浅层地下水水位标高(m); S ——浅层含水层厚度占水位恢复带厚度的比例; μ ——给水度; A ——区域面积(m^2)。

深层:

$$W_{dgt} = (H_n - H_0) \times \mu S \times A / (2030 - 2020) \quad (5)$$

式中, W_{dgt} ——年均深层地下水头生态恢复需水量(m^3/a); H_n ——消除深层地下水降落漏斗的目标水头标高(m); H_0 ——当前深层地下水水头标高(m); μS ——储水系数; A ——区域面积(m^2)。

(4)湿地、河道与绿地生态需水量

根据《河北省水资源保护规划(2016—2030年)》,白洋淀湿地的最小生态需水量为 $1.05 \times 10^8 m^3$,计划2025年即达到该需水量。保定平原区规划河道生态水量为 $2.09 \times 10^8 m^3/a$,考虑到河道现状情况,计划2025年满足河道生态需水量的70%,2030年满足全部河道生态需水。根据《河北省经济发展报告(2018—2019年)》,河北省人均绿地面积 S_G 为 $14.26 m^2$,绿化浇灌用水定额 q_G 按 $1.0 L/m^2 \cdot d$ 计算,与规划人口数量相乘即得到不同年份的绿地生态需水量。

(5)农业灌溉、工业生产和居民生活需水量:

农业灌溉、农村居民生活、城镇居民生活和工业生产需水量,通过灌溉面积、农村人口数量、城镇人口数量和工业产值与用水定额相乘得到。

3.2.2 线性加权目标规划方法

在上述定额计算的基础上,对保定平原区城镇居民生活用水和工业生产用水通过多目标规划分析的方法进行优化分配。

(1)目标函数计算公式

$$Z = \max \{f(P, E)\} \quad (6)$$

式中, P ——城镇人口数量(万人); E ——工业增加值(亿元)。

①城镇人口目标函数计算公式:

$$P = \max \sum_{i=1}^{21} \left(\frac{10^3 X_{pi}}{365 K_p} \right) \quad (7)$$

②工业生产目标函数计算公式:

$$E = \max \sum_{i=1}^{21} \left(\frac{X_{Ei}}{K_E} \right) \quad (8)$$

式中, i ——各县、市、区编号; X_{pi} ——第 i 个地区城镇居民生活分配水量($万 m^3$); K_p ——城镇居民生活用水定额(升/(人·天)); X_{Ei} ——第 i 个地区工业生产分配水量($万 m^3$); K_E ——万元工业增加值用水量($m^3/万元$)。

(2)约束条件:

①可供水量约束:

根据公式(2)、(3),模型决策变量,即城镇居民生活分配水量(X_p)和工业生产分配水量(X_E),是本地地表水和南水北调水在保证生态需水和农业灌溉需水后,剩余的水量。即:

$$\sum_{i=1}^{21} X_{pi} + \sum_{i=1}^{21} X_{Ei} = (W_{sp} + W_{nt}) - (W_{int2} + W_{int1} + W_{grt1}) \quad (9)$$

其中:

$$W_{int2} = W_{int} - W_{int1} - W_{int3} = W_{int} - (W_{sg} - W_{sgt}) - (W_{nt} - W_{wet}) \quad (10)$$

$$W_{int1} = W_{int} - W_{int2} = W_{int} - (W_{rt} - W_{grt2}) \quad (11)$$

②地区保障约束:根据区域重要性和地区发展定位,将保定城区和雄安新区作为重点区,人口和经济发展权重最高,优先满足人口发展规划;满城区、清苑区、徐水区作为次重点区,人口和经济发展权重基本相同;县级市作为中等区,人口和经济发展权重略低,以经济发展为主;县作为一般区,人口和经济发展权重较低。各层次区人口和经济发展权重见表2。

3.2.3 评价分级标准

将可用水量资源量分配给生态需水、农业灌溉需水和农村生活需水后,根据各县、市、区规划发展定位与侧重,将各市、县、区分级,根据各区人口和经济发展权重,通过线性加权目标规划法,在各地区人口和经济发展规划的基础上,优化分配城镇居民生活

和工业用水,得到满足规划需水的百分比,进而核算保定平原各县、市、区水资源在枯水年和平水年能够承载的城镇人口和工业增加值。

根据可分配的城镇生活和工业生产水资源量与规划需水量对比,将比较结果分为五级,得到水资源承载力动态预测分区。具体分级标准如表3所示。

4 评价结果与讨论

通过优化分配,得到保定平原区各县、市、区水资源能够承载的城镇人口和工业增加值,以及所占规划的比例,并进行了水资源承载力分级。

4.1 枯水年预测

持续枯水年条件下,按照地方发展规划计算,保定平原区城镇生活和工业生产2025年总需水量为 $5.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,可提供水量为 $4.63 \times 10^8 \text{ m}^3$,水量缺口 $0.52 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030年总需水量为 $7.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,可提供水量为 $6.96 \times 10^8 \text{ m}^3$,水量缺口 $0.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2025年保定城区、容城县、安新县、雄县水资源可以满足95%人口规模和工业生产规划,承载能力中等,基本可以满足发展规划;满城区、清苑区、徐水区、涿州市、高碑店市、定州市、安国市水资源能够满足90%~95%人口规模和工业生产规划,承载能力较低,基本满足发展规划但略有亏欠;涞水县、易县、定兴县、顺平县、望都县、唐县、曲阳县、高阳县、蠡县、博野县水资源能够满足的人口规模和工业生产规划在90%以下,承载力较低,不能满足发展规划。2030年保定城区、满城区、徐水区、清苑区、容城县、安新县、雄县水资源承载力中等,基本可以满

足发展规划;其他县、市水资源承载力一般,基本满足发展规划但略有亏欠。持续枯水年条件下保定平原区水资源承载力分级见图2。

4.2 平水年预测

持续平水年条件下,按照地方发展规划计算,保定平原区城镇生活和工业生产2025年总需水量为 $5.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,可提供水量为 $5.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,水量盈余 $0.66 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030年总需水量为 $7.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,可提供水量为 $8.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,水量盈余 $0.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2025年保定城区、满城区、清苑区、徐水区、容城县、安新县、雄县、涿州市、高碑店市、定州市、安国市水资源能够完全满足人口规模和工业生产规划,且有10%以上的盈余,水资源承载力高;定兴县、望都县、高阳县水资源能够满足人口规模和工业生产规划,且有5%~10%的盈余,承载力较高;涞水县、易县、顺平县、唐县、曲阳县、蠡县、博野县水资源在人口规模和工业生产规划的 $\pm 5\%$ 浮动,承载力中等,认为基本可以满足发展规划。2030年保定城区、满城区、清苑区、徐水区、容城县、安新县、雄县水资源承载力高,满足发展规划且有较多盈余;涿州市、高碑店市、定州市、安国市水资源承载力较高,可以满足发展规划且略有盈余;涞水县、易县、定兴县、顺平县、唐县、曲阳县、望都县、高阳县、蠡县、博野县水资源承载力一般,基本可以满足发展规划。持续平水年条件下保定平原区水资源承载力分级见图3。

4.3 讨论

4.3.1 地下水位生态恢复

本文以生态优先为基本理念,基于保定平原地区地下水位降落漏斗较为严重的现状,将地下水位生态恢复作为首要保障目标,首先保证浅层和深层地下水位生态恢复需水。通过GMS地下水数值模型模拟,以-5 m等水位线划定地下水漏斗边界,得到平水年条件下不同年份浅层、深层地下水位降落

表2 各层次区人口和经济发展权重
Table 2 Weights of population and industrial development of hierarchical areas

	重点区	次重点区	中等区	一般区
人口发展	1	0.7	0.5	0.4
经济发展	0.8	0.7	0.6	0.4

表3 水资源承载力分级标准

Table 3 Classification criteria of water resources carrying capacity

序号	级别	分级标准
1	承载力高	可分配水量大于规划需水量上浮10%以上,即水资源满足发展规划且有盈余
2	承载力较高	可分配水量大于规划需水量上浮5%~10%,即水资源可以满足发展规划且略有盈余
3	承载力中等	可分配水量在规划需水量上浮5%~下浮5%,即水资源可以满足发展规划
4	承载力一般	可分配水量小于规划需水量下浮5%~10%,即水资源基本满足发展规划但略有亏欠
5	承载力较低	可分配水量小于规划需水量下浮10%以上,即水资源不能满足发展规划

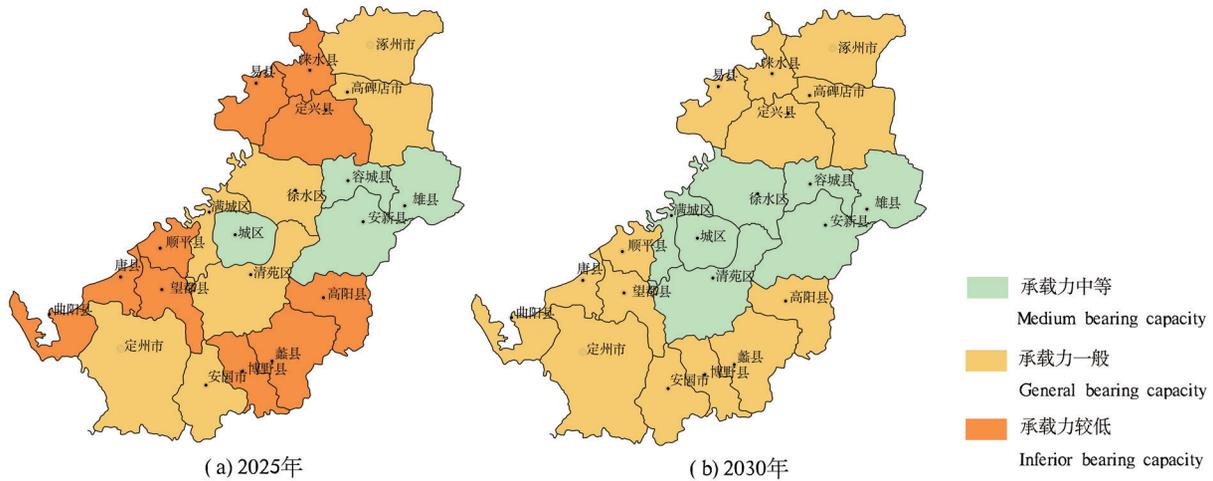


图2 枯水年保定平原区水资源承载力分区
Fig.2 Partition of water resources carrying capacity in continuous dry years in Baoding Plain of Hebei Province

漏斗恢复情况。

通过模型模拟,全区浅层地下水位由2020年至2025年逐步抬升,漏斗区面积逐渐减小,到2030年,保定市平原区浅层地下水位全区均高于-5 m,浅层地下水漏斗完全消除。相对于浅层地下水,深层地下水更新缓慢,水头恢复能力相对更弱。全区深层地下水头由2020年至2025年逐年上升,到2030年,漏斗面积进一步缩小,只有雄县局部地区深层地下水头在-5 m以下,其他地区地下水头均高于-5 m,保定市平原区深层地下水漏斗基本消除。

4.3.2 用水定额变化

本文在计算不同年际生活和生产用水时,考虑了用水定额的变化。

根据《河北省地方标准》(DB 13/T 1161.1-2016),依据河北省灌溉用水定额编制分区,保定平原区小麦灌溉用水定额平水年(50%)为0.21 m³/m²,枯水年(75%)为0.30 m³/m²;玉米灌溉用水定额平水年(50%)为0.07 m³/m²,枯水年(75%)为0.15 m³/m²。现有灌溉用水效率为0.71,随着节水灌溉技术的不断普及,预计2025年农业灌溉水利用率达到0.76,2030年达到国内领先水平0.80。按照现状年灌溉用水定额和农业灌溉水,结合灌溉用水效率,推测2025年、2030年灌溉用水定额如表4所示。

根据《保定市全面推进节水型社会建设》,提高工业用水重复利用率,工业生产用水定额逐步降低,2025年万元工业增加值用水量可以控制在16.5

m³/万元,2030年预计控制在15 m³/万元。

根据《河北省地方标准》(DB 13/T 1161.3-2016),农村和城镇居民生活用水定额逐步增加,2030年农村居民生活用水定额为60升/人·天;城镇居民生活用水定额为140升/人·天。

4.3.3 评价结果分析

本文基于两种情况:持续枯水年条件和持续平水年条件。持续枯水年条件可以代表极端干旱条件,通过评价计算,这种条件下保定平原区城镇生活和工业生产可供水量可以达到规划需水量的90%左右,水资源量缺口在0.5×10⁸m³左右。说明如果遇到极端干旱条件,现有水资源量无法完全满足发展规划,若要满足规划要求,需要增加南水北调或引黄入冀补淀引水量。持续平水年条件可以代表平均条件,通过评价计算,这种条件下保定平原区城镇生活和工业生产可供水量可以达到规划需水量的110%左右,水资源可以满足规划需要且有盈余。说明在平均条件下,保定平原区水资源量是可以满足发展规划要求的。

表4 保定平原区农业灌溉用水定额(m³/m²)
Table 4 Water quota for agricultural irrigation in Baoding plain (m³/m²)

年份	灌溉水利用效率	小麦灌溉用水定额		玉米灌溉用水定额	
		平水年	枯水年	平水年	枯水年
2020年	0.71	0.21	0.30	0.07	0.15
2025年	0.76	0.19	0.27	0.06	0.14
2030年	0.80	0.17	0.24	0.05	0.12

- abstract).
- Li Wenpeng, Wang longfeng, Yang Huifeng, Zheng Yuejun, Cao Wengeng, Liu Ke. 2020. The groundwater overexploitation status and countermeasure suggestions of the North China Plain[J]. China Water Resources, 13: 26–30(in Chinese with English abstract).
- Liu Jiangyi, Dou Shiquan, Li Qinghua, Zhang Jie. 2019. Research of water resources and environment carrying capacity of island[J]. Ecological Economy, 35(10): 130–135,184(in Chinese with English abstract).
- Liu Min, Nie Zhenlong, Wang Jinzhe, Wang Lifang, Tian Yanliang. 2016. An assessment of the carrying capacity of groundwater resources in North China Plain region— Analysis of potential for development[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 4(3): 174–187.
- Liu Pinggui, Li Xueju. 2001. Facing to potential danger of desertification in the Huang–Huai–Hai Plain[J]. Journal of Hebei Normal University (Natural Science Edition), 25(1): 119–123(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiao, Chen Jun, Fan Linlin, Cui Shengyu. 2014. Progress and a review of new methods in water resources capacity research[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 50(3): 312–318(in Chinese with English abstract).
- Ma Lixin, Wu Li. 2018. Multi–hierarchy and multi–index variable fuzzy evaluation model for carrying capacity of water resources in Tongliao City[J]. Geology and Resources, 27(1): 83–88(in Chinese with English abstract).
- Meng Jiangtao. 2011. Comprehensive Index Assessment and Balance Index Forecasting of Water Resources Carrying Capacity in Hubei Province[D]. Wuhan: Central China Normal University(in Chinese with English abstract).
- Pan Tong. 2004. The necessity and feasibility of the water supply by different quality in large cities: Taking Tianjin city as an example[J]. Geological Survey and Research, 27(3): 184–189(in Chinese with English abstract).
- Qu Yaoguang, Fan Shengyue. 2000. Water resources capacity and developing strategies in Heihe River Basin[J]. Journal of Desert Research, 20(1):1–8(in Chinese with English abstract).
- Ren Yuzhong, Ye Fang, Gao Shudong, Jiang Daode, Tan Xude, Wang Yirui. 2012. Study on water resources carrying capacity in weifang city based on principal component analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 28(5): 312–316(in Chinese with English abstract).
- Shi Jiansheng, Li Guomin, Liang Xing, Chen Zongyu, Shao Jingli, Song Xianfang. 2014. Evolution mechanism and control of groundwater in the North China Plain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 35(5): 527–534.
- Shi Yafeng, Qu Yaoguang. 1992. Water Resources Carrying Capacity and its Rational Utilization in Urumqi River Basin[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Tang Zuoqi, Li Ruimin, Qiao Wenlang, Yin Zhiqiang, Liu Qiong, Chen Wu, Zhao Degang. 2020. A study of the environmental carrying capacity of groundwater resources in Southwest karst mountain areas: A case study of Qixingguan District of Guizhou Province[J]. Geological Bulletin of China, 39(1): 124–130(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongxiang, Chen Qiumi, Zhang Haitao, Guo Wenxian, Chen Dingxin, Wang Qun. 2018. Research on the water source bearing capacity in Ninxia based on principle component analyses[J]. China Rural Water and Hydropower, 11: 30–34(in Chinese with English abstract).
- Xia Jun, Zhu Yizhong. 2002. The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 17(3): 262–269(in Chinese with English abstract).
- Yin Zhiqiang, Li Ruimin, Li Xiaolei, Meng Hui, Liu Qiong, Yang Nan, Wang Yi, Tong Xiaoxia, Li Chunyan, Gao Mengmeng. 2018. Research progress and future development directions of geo-resources and environment carrying capacity[J]. Geology in China, 45(6): 1103–1115(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guanghui, Lian Yingli, Liu Chunhua, Yan Mingjiang, Wang Jinzhe. 2011. Situation and origin of water resources in short supply in North China Plain[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 33(2):172–176(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guanghui, Yang Lizhi, Nie Zhenlong, Shen Jianmei, Wang Jinzhe, Yan Mingjiang. 2009. Assessment of groundwater function in North China Plain[J]. Resources Science, 31(3): 368–374(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liping, Xia Jun, Hu Zhifang. 2009. Situation and problem analysis of water resource security in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 18(2): 116–120(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuan, Zhao Kai, Li Haitao, You Bing, Wang Yongbo, Wang Shixiong. 2018. Dataset of the 1: 50000 hydrogeological map of the plain area of the Baiyangdian Lake Basin, Xiongan New Area[J]. Geology in China, 45(S2):1–17(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 党丽娟, 徐勇. 2015. 水资源承载力研究进展及启示[J]. 水土保持研究, 22(3):341–348.
- 丁超. 2013. 支撑西北干旱地区经济可持续发展的水资源承载力评价与模拟研究[D]. 西安:西安建筑科技大学.
- 杜立新, 唐伟, 房浩, 闫丽雯. 2014. 基于多目标模型分析法的秦皇岛市水资源承载力分析[J]. 地下水, 36(6): 80–83.
- 段永侯, 肖国强. 2003. 河北平原地下水资源与可持续利用[J]. 水文地质工程地质, 1:2–8.
- 何庆成, 刘文波, 李志明. 2006. 华北平原地面沉降调查与监测[J]. 高校地质学报, 12(2): 195–209.
- 姜秋香, 董鹤, 付强, 王子龙, 纪毅, 谢萌. 2015. 基于SD模型的城市

- 水资源承载力动态仿真——以佳木斯市为例[J]. 南水北调与水利科技, 13(5): 827-831.
- 李俊晓, 李朝奎, 罗淑华, 陈果. 2015. 基于AHP-模糊综合评价方法的泉州市水资源可持续利用评价[J]. 水土保持通报, 35(1): 210-214, 286.
- 李文鹏, 王龙凤, 杨会峰, 郑跃军, 曹文庚, 刘可. 2020. 华北平原地下水超采状况与治理对策建议[J]. 中国水利, 13: 26-30.
- 刘江宜, 窦世权, 黎清华, 张洁. 2019. 旅游海岛水资源环境承载能力研究[J]. 生态经济, 35(10): 130-135, 184.
- 刘平贵, 李雪菊. 2001. 黄淮海平原面临沙漠化的潜在问题[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 25(1):119-123.
- 刘晓, 陈隽, 范琳琳, 崔胜玉. 2014. 水资源承载力研究进展与新方法[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 50(3): 312-318.
- 马立新, 吴丽. 2018. 通辽市水资源承载能力的多层次多指标可模糊评价研究[J]. 地质与资源, 27(1): 83-88.
- 孟江涛. 2011. 湖北省水资源承载力综合指数评价和平衡指数预测研究[D]. 武汉:华中师范大学.
- 潘桐. 2004. 大城市实施分质供水的必要性和可行性——以天津市为例[J]. 地质调查与研究, 27(3): 184-189.
- 曲耀光, 樊胜岳. 2000. 黑河流域水资源承载力分析计算与对策[J]. 中国沙漠, 20(1):1-8.
- 任玉忠, 叶芳, 高树东, 姜道德, 谭绪德, 王依瑞. 2012. 基于主成分分析的潍坊市水资源承载力评价研究[J]. 中国农学通报, 28(5): 312-316.
- 石建省, 李国敏, 梁杏, 陈宗宇, 邵景力, 宋献方. 2014. 华北平原地下水演变机制与调控[J]. 地球学报, 35(5): 527-534.
- 施雅风, 曲耀光. 1992. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社.
- 唐佐其, 李瑞敏, 谯文浪, 殷志强, 刘琼, 陈武, 赵德刚. 2020. 西南岩溶山区地下水资源承载能力评价——以贵州省七星关区为例[J]. 地质通报, 39(1):124-130.
- 王鸿翔, 陈秋米, 张海涛, 郭文献, 陈鼎新, 王群. 2018. 基于主成分分析的宁夏水资源承载力研究[J]. 中国农村水利水电, 11:30-34.
- 夏军, 朱一中. 2002. 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, 17(3):262-269.
- 殷志强, 李瑞敏, 李小磊, 孟晖, 刘琼, 杨楠, 王轶, 仝晓霞, 李春燕, 高萌萌. 2018. 地质资源环境承载能力研究进展与发展方向[J]. 中国地质, 45(6): 1103-1115.
- 张光辉, 连英立, 刘春华, 严明疆, 王金哲. 2011. 华北平原水资源紧缺情势与因源[J]. 地球科学与环境学报, 33(2):172-176.
- 张光辉, 杨丽芝, 聂振龙, 申建梅, 王金哲, 严明疆. 2009. 华北平原地下水的功能特征与功能评价[J]. 资源科学, 31(3): 368-374.
- 张利平, 夏军, 胡志芳. 2009. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 18(2): 116-120.
- 张源, 赵凯, 李海涛, 尤冰, 王永波, 王世雄. 2018. 雄安新区白洋淀流域平原区1:50000水文地质数据集[J]. 中国地质, 45(S2):1-12.