

# 水资源承载能力评价方法研究及应用

李云玲, 郭旭宁, 郭东阳, 王晓红

(水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

**摘要:**为全面客观评价水资源承载状况,进而为经济社会发展合理布局提供理论支撑,本文在对水资源承载能力评价研究现状进行综述的基础上,考虑水量、水质、水生态3个要素,讨论分析了水资源承载能力内涵,从水资源承载负荷和承载能力2个方面出发,构建了水资源承载能力评价指标体系,采用实物量指标对水资源承载能力各因素分别评价,采用“短板法”全面考虑各要素评价结果,进而得到水资源承载能力综合评价结果。并以河北省为案例进行水资源承载能力评价,最后结合资源承载状况和超载成因,提出了河北省水资源调控措施建议,以验证评价方法的合理性与可行性。

**关键词:**承载能力;超载;水资源;评价方法;河北省

## 1 引言

中国水资源的严峻形势迫切要求协调人口、经济与包括水资源在内的资源环境的关系。党的十八届三中全会通过的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确提出,“建立资源环境承载能力监测预警机制,对水土资源、环境容量和海洋资源超载区域实行限制性措施”。因此,以水资源承载能力评价为抓手,加强水资源管控,强化水资源刚性约束,对促进水资源—经济社会—生态系统协调发展具有重要意义。

随着20世纪中期可持续发展理念的提出,国际社会对于资源环境承载能力的研究和实践持续深入推进。国际粮农组织(UNESCO FAO, 1986)、世界气象组织(UNESCO WMO, 1988)等针对资源承载能力进行了研究和定义;在实践层面,美国、以色列等国家提出需水管理战略及措施,探索了在水资源承载能力容量较低条件下通过提高效率、调整结

构保障国家水安全的新路径。中国从“六五”开始进行水资源承载能力相关研究。施雅风(1995)在研究西北干旱区治理时率先提出了水资源承载能力的概念;许新宜等(1997)在华北、西北、黄河、海河等水资源国家攻关项目中,提出了水资源承载能力的理论基础、生态临界阈值、调控措施等关键性成果。之后,不少学者还对疏勒河、塔里木河、黑河等水资源供需矛盾比较突出的流域和地区,开展了水资源承载能力的综合评价与分析。

综合来看,国内外关于水资源承载能力的研究,目前未能形成一个普遍接受的定义和完整的理论体系,对于水资源承载能力内涵、表述、评价方法等仍具有较大的争议。基于此,本文在对水资源承载能力内涵的不同观点进行归纳讨论的基础上,提出一种以现状技术与管理水平为基础,在全国范围内切实可行、便于操作的水资源承载能力评价方法,并将该方法应用于案例研究中,验证评价方法的合理性与可行性。

收稿日期:2017-01;修订日期:2017-03。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0401300);国家自然科学基金项目(51409282);中国科学院科技服务网络计划(STS计划)项目(KFJ-STZ-ZDTP-021) [Foundation: National Key R&D Program of China, No.2016YFC0401300; National Natural Science Foundation of China, No. 51409282; Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Sciences, No. KFJ-STZ-ZDTP-021]。

作者简介:李云玲(1978-),女,黑龙江绥化人,博士,教授级高级工程师,主要从事水资源规划及管理方面的研究,  
E-mail: liyunling@giwp.org.cn。

引用格式:李云玲, 郭旭宁, 郭东阳, 等. 2017. 水资源承载能力评价方法研究及应用[J]. 地理科学进展, 36(3): 342-349. [Li Y L, Guo X N, Guo D Y, et al. 2017. An evaluation method of water resources carrying capacity and application[J]. Progress in Geography, 36(3): 342-349.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.03.010

## 2 水资源承载能力内涵

水资源承载能力作为自然资源承载能力的一部分,主体是水资源系统,客体是经济社会与生态环境系统。水资源承载能力具有明确的时空概念,不仅取决于不同区域范围内水资源量、可供水量、需水量以及经济社会发展水平和生态环境问题的差异,而且受不同时期由经济和社会发展所决定的用水水平、节水水平及其对需水量变化的影响。水资源承载能力对客体的支撑应以可持续为原则,在此基础上确定可承载最大能力。难点是确定水资源对经济社会支撑最大限度的标准是多少。只有标准确定后,才能定量计算水资源承载能力。基于以上共识,一些学者在不同阶段都曾提出过水资源承载能力的定义,较有代表性的观点包括:施雅风(1995)、冯尚友(2000)、汪恕诚(2002)、夏军等(2002)、樊杰等(2015)等。张丽等(2003)、左其亭等(2004)曾对此作过系统梳理。笔者认为,从定义角度来看,上述专家对水资源承载能力内涵的定义可以分为3类:一是从主体出发,表述为通过水资源合理分配和有效利用,使得社会、经济与环境协调发展的水资源开发利用的最大规模,如可供水量、最大排污量等;二是从客体出发,总结为通过水资源的合理分配和有效利用,一定时间阶段和一定空间范围内水资源所能承载的人口或经济总量等;三是从主客体关系出发,定义为合理充分地利用水资源,使经济建设与水资源保护同步进行,亦即水资源对经济社会可持续发展的支撑能力。虽然上述3类定义出发点不同,但都坚持可持续发展原则,任何基于对资源过度使用和对环境破坏所取得的短期承载量的提高,都是不可接受的承载能力。也就是说,水资源承载能力应是在满足可持续发展条件下的最大或上限。

基于上述总结分析,本文将水资源承载能力定义为:在可预见的时期内,在满足合理的河道内生态用水和保护生态环境的前提下,综合考虑来水情况、开发利用条件、用水需求等因素,水资源承载经济社会的最大负荷。根据这一定义,水资源承载能力主要包括水量、水质、水生态3个要素。水量要素是指在保障合理生态用水的前提下,允许经济社会取用的最大水量;水质要素是指在满足水域使用功能水质要求的前提下,允许进入河湖水域的最大污染物负荷量;水生态要素是指对水资源进行开发利

用的同时,需保留一定的河湖生态水量和生态空间。

## 3 水资源承载能力评价方法

### 3.1 评价指标

目前,水资源承载能力评价指标确定方法大致可以分为2类:一是从水资源供需平衡角度构建水资源承载能力评价指标体系;二是从经济社会发展用水、生态环境用水、水资源开发利用等角度,构建以一些相对性指标为主的评价指标体系,如人均供水量、单位GDP用水量、耕地灌溉率、水资源开发利用率等。其中,第一类指标能反映区域水资源的供需状况,但无法反映水资源系统、社会经济系统结构差异对区域水资源承载能力的影响;第二类指标既不能反映区域水资源系统供需状况,也不能作为反映区域水资源承载能力大小的绝对指标。因此,构建水资源承载能力指标体系应从区域或流域水资源特征出发,借鉴国内外已有成果,强调具有可操作性、能全面反映社会经济和生态环境协调发展的状况与进程、水资源可持续利用的状况及其相互之间适应程度。

为使评价指标便于操作运用,考虑到评价指标相关数据获得性和认可性,本文从水资源承载负荷和承载能力2个维度出发,构建水资源承载能力评价指标体系。水量要素部分包括用水总量指标、地下水开采量指标;水质要素部分采用水功能区水质达标率控制指标和水功能区污染物入河限排量作为评价指标;水生态要素部分则采用地表水生态环境用水挤占情况和地下水开采指标作为评价指标。上述指标主要根据各级政府实行的最严格水资源管理制度实施方案或考核办法、全国水资源综合规划、地下水利用与保护规划、全国水资源保护规划和全国重要江河湖泊水功能区纳污能力核定及限制排污总量控制方案等相关规划成果获得。

### 3.2 评价方法

目前,水资源承载能力评价研究领域尚未形成成熟的理论技术和方法体系,关于水资源承载能力评价方法的研究大致可以分为以下3类:①在构建指标体系的基础上,通过某种方法将指标体系进行综合,对综合结果进行比较排序,进而得到评价结果,以主成分分析法、综合指标法为代表。②按照可持续原则,将水资源承载主、客体统一考虑,研究

不同社会经济发展模式、不同水资源开发利用方式下,水资源对承载对象的承载状况,以系统动力学法、多目标分析法等为代表。③通过设置不同模式或背景,与类似区域比较或现实状况与理想情景比较,得到评价成果,以背景分析法和动态模拟递推法等为代表。

本文按照可操作、可度量、可监测等原则,提出水资源承载能力评价技术路线与评价标准。即根据流域或区域水资源开发利用控制指标分解成果,复核评价单元在保障合理生态环境用水的前提下,在评价期允许经济社会取用的最大水量、最大排污量等;根据经济社会现状取用水量、排污量等,核算评价单元承载负荷。在此基础上,进行水资源承载状况评价。

### 3.2.1 技术路线

收集整理经济社会发展指标有关数据,全国水资源调查评价、第一次全国水利普查、水资源有关规划、水资源公报等有关资料,建立水资源及开发利用基础台账。根据水资源禀赋条件、允许开发利用上限、“三条红线”管理要求、水资源调配能力等,从全国、流域及省区对水资源及承载能力核算需要的基础资料和指标进行分解协调或补充复核,确定评价区水资源承载能力。根据水资源承载能力和承载负荷成果,提出各级行政区及河流水系水资源承载状况评价结果,分析其超载原因与发展趋势,提出水资源管控措施建议。其中,评价单位可以是河流水系、三级流域或行政区域,评价要素包括水量、水质和水生态等。水资源承载能力评价技术路线见图1。

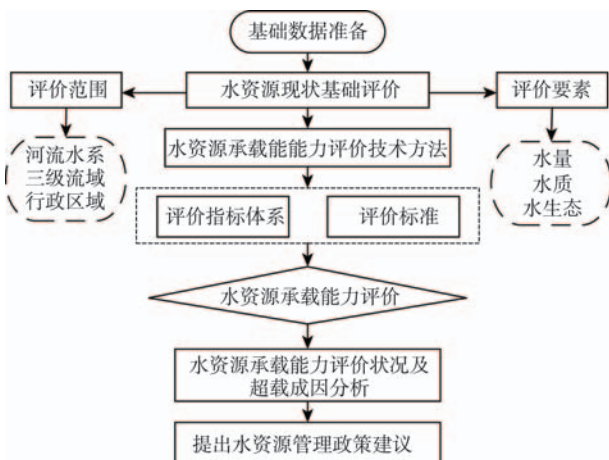


图1 水资源承载能力评价技术路线图

Fig.1 Flowchart of water resources carrying capacity evaluation

### 3.2.2 评价标准

本文先分别对水资源承载能力评价中的水量要素、水质要素和水生态要素进行单项评价,然后在此基础上采用“短板法”对多要素进行综合评价,进而得到水资源承载能力综合评价结果。单项评价时,对照各实物量指标度量标准直接判断其承载状况。

#### (1) 水量要素评价

根据现状年用水总量、地下水开采量等,进行水量要素评价,划分超载、临界、不超载的区域范围,具体判别标准见表1。根据表1所示的水量要素评价标准,分别进行用水总量和地下水开发利用两方面评价。当这两个指标中的“短板”指标为超载、临界超载或不超载时,水量评价结果则应分别为超载、临界超载或不超载。

#### (2) 水质要素评价

根据评价单元水功能区水质达标率、污染物入河量等,进行水质要素评价,水质评价判别标准见表2。将水功能区水质达标率 $Q$ 与水功能区水质达标率控制指标 $Q_0$ ,污染物入河量 $P$ 与污染物限排量 $P_0$ 进行比较,选择COD、氨氮入河污染物中 $P/P_0$ 的较大值,按照表2中污染物入河量评价标准进行评价。在水功能区水质达标率、污染物入河量中,选择最“短板”指标,其所处区间代表了水质评价结果。最后,结合各评价单元水质现状、废污水排放量、污水处理率等因素对评价结果进行合理性分析,适当调整评价结果。

表1 水量要素评价标准

Tab.1 Evaluation criteria of water quantity factor

评价指标	评价结果		
	超载	临界超载	不超载
用水总量	$W \geq W_0$	$0.9 \times W_0 \leq W < W_0$	$W < 0.9 \times W_0$
地下水开发利用	$G \geq G_0$	$0.9 \times G_0 \leq G < G_0$	$G < 0.9 \times G_0$

注:①用水总量: $W_0$ 为用水总量控制指标, $W$ 为区域或流域实际用水总量。②地下水开发利用: $G_0$ 为地下水开发利用控制指标, $G$ 为区域或流域地下水实际开发利用量。

表2 水质要素评价标准

Tab.2 Evaluation criteria of water quality factor

评价指标	评价结果		
	超载	临界超载	不超载
水功能区水质达标率	$Q \leq 0.4 \times Q_0$	$0.6 \times Q_0 < Q \leq 0.8 \times Q_0$	$Q > 0.8 \times Q_0$
污染物入河量	$1.2 \times P_0 \leq P$	$1.1 \times P_0 \leq P < 1.2 \times P_0$	$P < 1.1 \times P_0$

注:①水功能区水质达标率: $Q_0$ 为水功能区水质达标率控制指标, $Q$ 为水功能区水质达标率。②污染物入河量: $P_0$ 为污染物限排量, $P$ 为污染物入河量。



(3) 水生态要素评价

根据水资源综合规划、水中长期供求规划、水资源保护规划等综合分析确定存在生态环境用水挤占的评价单元。根据生态环境用水和地下水开采量评价结果,综合判定水生态承载状况,判别标准见表3。与水量水质要素类似,仍选取最“短板”要素进行水生态承载状况评价。

(4) 综合评价

根据水量、水质、水生态要素评价结果,综合评价水资源承载状况,判别标准如下:①超载:水量、水质、水生态要素任一要素为超载;②临界超载:水量、水质、水生态要素中最不利要素为临界超载;③不超载:水量、水质、水生态要素均不超载。

按照上述评价方法,逐一分析评价单元水资源承载状况,并结合区域水资源条件、开发利用状况、经济社会发展现状与趋势,以及区域现状水生态状况(河流断流、湖泊湿地萎缩)等情况,综合分析评价结果的合理性。根据评价结果,划定超载区、临界超载区和不超载区。

4 河北省水资源承载能力评价

4.1 研究区概况

河北省地处华北平原,东临渤海、内环京津,西为太行山。现辖11个地级市,47个市辖区、19个县级市、96个县、6个自治县,总面积18.88万km<sup>2</sup>,2014年常住人口7383.8万人,年生产总值29421亿元,第一、二、三产业增加值占生产总值的比重分别约为11.7%、51.1%和37.2%。河北省属温带大陆性季风气候,大部分地区四季分明,年均降水量500mm左右,降水量分布特点为东南多西北少,省内河流主要分为海河和东北部的滦河两大水系。全省多年平均水资源总量约200亿m<sup>3</sup>,人均水资源量约300m<sup>3</sup>,约为全国的1/7。随着河北省经济社会快速发展以及京津冀协同发展战略的推进(鲍超等,2017;李国平等,2017),日益严峻的水资源短缺形势已成为制约发展的重要因素,长期依靠超采地下水保障城乡生活及工农业生产用水需求的局面亟需改善。考虑到将建立国家水资源承载能力评价动态机制,仅选取数据较新和完备的2014年对河北省县域水资源承载能力进行评价,其他年份评价仍适用。

4.2 评价结果

4.2.1 水量要素评价

(1) 用水总量评价结果

表3 水生态要素评价标准

Tab.3 Evaluation criteria of water ecological factor

评价指标	评价结果		
	超载	临界超载	不超载
地下水开发利用	$G \geq G_0$	$0.9 \times G_0 \leq G < G_0$	$G < 0.9 \times G_0$
是否存在生态环境用水挤占	是	否	否

采用上文提到的用水总量承载状况评价方法,对河北省2014年县域用水总量承载状况进行评价。2014年全省用水总量承载状况表现为北部的张家口、承德、唐山、秦皇岛和西南部山区多为不超载或临界超载,其余区县多为超载,评价结果见图2。从全省来看,河北省整体处于超载状态。从地市级层面来看,秦皇岛市、邯郸市评价口径用水总量界于核定后的用水总量指标的90%~100%,处于临界超载状态;张家口市、承德市评价口径用水总量小于核定后用水总量指标的90%,处于不超载状态。

(2) 地下水开发利用评价结果

地下水承载状况的判定需要先进行地下水超采量的核定,再进行地下水开采量控制指标与评价口径开采量指标的对比,以此综合判别河北省地下水承载状况。值得注意的是,对于处于山区的市(区、县),由于开采地下水相当于袭夺地表水,可直

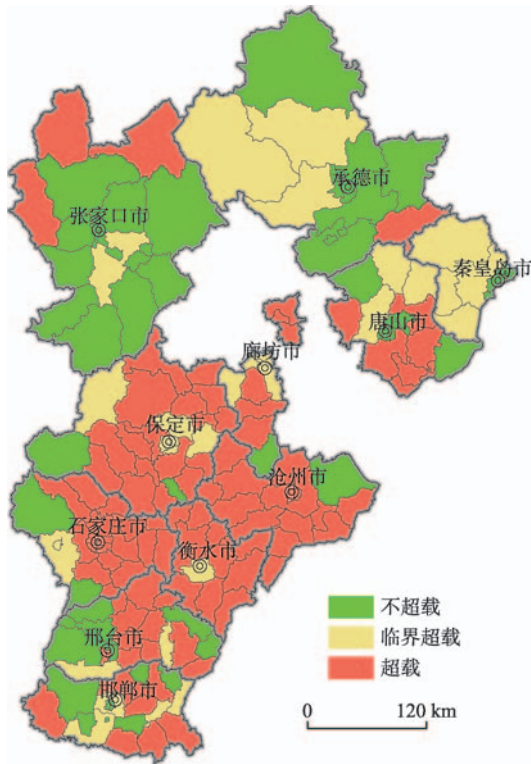


图2 2014年河北省用水总量承载状况评价结果  
Fig.2 Water use overloading situation of Hebei Province in 2014

接判定为地下水不超采,不再进行地下水开采量控制指标与评价口径的对比。2014年河北省县域用水总量承载状况评价结果如图3所示。

河北省参与评价的11个地级市行政单元中,仅秦皇岛市、承德市、张家口部分区县及河北省西部沿太行山麓部分区县处于不超载状况,其他均超载。其中,全省各地级市评价口径地下水开采量均大于地下水开采控制指标,但对位于山区的地市,需要重点考察其地下水超采量,以此综合判断地下水超载状况。鉴于秦皇岛市、承德市位于山区,且未发生地下水超采量,故判定其地下水开采状况为不超载。

根据用水总量承载状况和地下水开采状况评价结果,综合评价河北省各区县的水量要素承载状况。评价结果表明,由于存在用水总量超载或地下水超载,或者两者均超载的情况,导致水量要素承载状况属于超载状态。在参与评价的11个地级市行政单元中,仅秦皇岛市处于临界超载,承德市、张家口部分区县及河北省西部沿太行山麓部分区县处于不超载状况,其余均为临界超载或超载。从分布情况看,北部大部分地区处于不超载或临界超载状态,而南部大部分处于超载状态。在参与评价的所有县级行政区中,仅有11%处于不超载状态,7%处于临界超载状态,82%处于超载状态(图4)。

#### 4.2.2 水质要素评价

水质要素承载状况主要从水功能区达标率和污染物入河排放量2个方面进行评价。在地级行政区层面,2014年全省仅张家口和保定为临界超载,其余各地级行政区均为超载。从县域层面来看,2014年全省县级行政区中有59%处于超载状态,4%处于临界超载状态,37%处于不超载状态。水质不超载的县级行政区主要集中在张家口西北部、保定中南部、承德市东部、唐山市南部、衡水及邢台和邯郸东部、石家庄西部等地。上述地区主要为山区等水环境污染较轻的地区,或是经济社会活动较活跃但水污染治理力度较大的地区(图5)。

#### 4.2.3 水生态要素评价

水生态要素承载状况主要从地下水开发利用和生态环境用水挤占情况2个方面进行评价。2014年河北省水生态要素承载状况评价结果如图6所示。受地下水超采影响,2014年河北省水生态承载状况表现为平原地区普遍超载,而山区大多处于不超载的状态。另外,受地表生态环境用水挤占影

响,张家口西北部地区处于超载状态,唐山、秦皇岛部分区县处于临界超载状态。从地级行政区的层面来看,全省仅张家口、承德、秦皇岛等水生态承载状况较好,其余各地级行政区均为超载。从县域层面来看,全省县级行政区中78%处于超载状态,3%处于临界超载状态,19%处于不超载状态。

#### 4.2.4 综合承载状况评价

综合考虑水量、水质和水生态要素,采用“短板法”选取“短板”要素的评价结果作为综合评价结果,得到2014年河北省水资源综合承载状况评价结果。从图7得出,2014年全省水资源承载能力综合承载状况表现为整体处于超载状态。从地级行政区层面来看,石家庄、保定、廊坊、沧州、衡水、邢台和邯郸所辖范围全部处于超载状态;张家口市除崇礼县不超载外,其他全部处于超载状态;承德市除平泉县不超载、滦平县临界超载外,其他区县均处于超载;秦皇岛市除青龙县和昌黎县处于临界超载外,其他区县均处于超载;唐山市除迁安处于临界超载外,其他区县均处于超载。分析2014年河北省水资源承载能力超载原因不难发现,地下水超采、水质不达标是造成超载的主要原因。

#### 4.2.5 评价结果合理性分析

河北省现状人均水资源量和亩均耕地水资源量均远低于全国平均水平。水资源自然条件较差,而经济社会用水量大,经济社会对水资源的压力较大,造成多数区(县)处于超载状态。结合上述结果分析,可以看出河北省水资源超载状况呈现以下几个特点:①用水总量要素大部分地区处于超载或临界超载状态,地下水要素大部分地区处于超载状态,水质要素多数处于超载或临界超载,水生态要素表现为平原区基本处于超载状态,山区处于不超载或临界超载状态。②水质要素承载能力评价结果不仅取决于经济社会活动强度、水功能区分布,而且取决于污水处理能力和治污力度。③水生态要素受地下水超载影响明显,平原区基本处于超载状态。④总体来看,山区单元评价结果优于平原单元,以地表水用水为主的单元优于依赖地下水的单元。

具体而言,石家庄、邯郸、邢台、保定、沧州和衡水6市大部分位于平原地区,地下水普遍超采;张家口坝上地区的张北、康保、沽源、尚义4县位于内蒙古高原内陆河东部流域,地表水利用条件较差,地下水普遍超采;其余地区地下水开发利用较好,不存在地下水超采。水质要素承载状况表现为不规



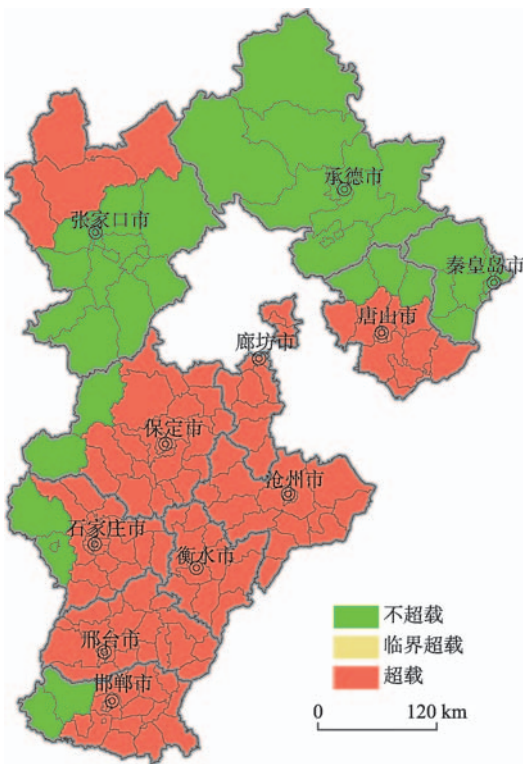


图3 2014年河北省地下水承载状况评价结果  
Fig.3 Ground water use overloading situation of Hebei Province in 2014

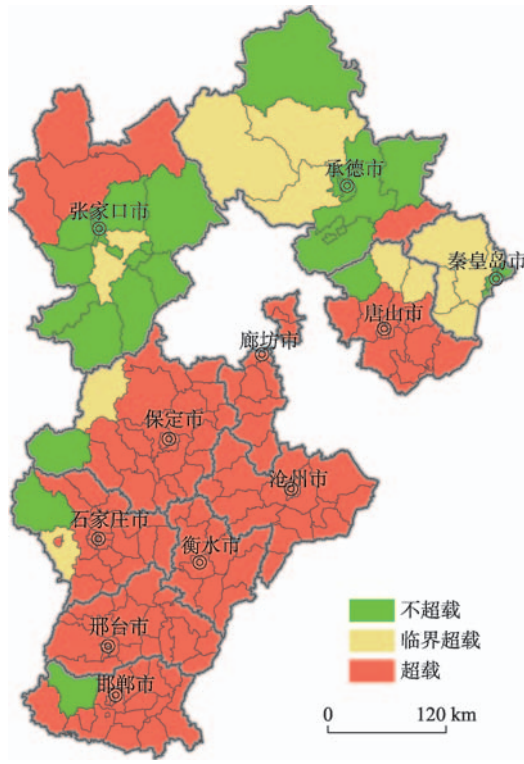


图4 2014年河北省水量要素承载状况评价结果  
Fig.4 Water quantity factor overloading situation of Hebei Province in 2014

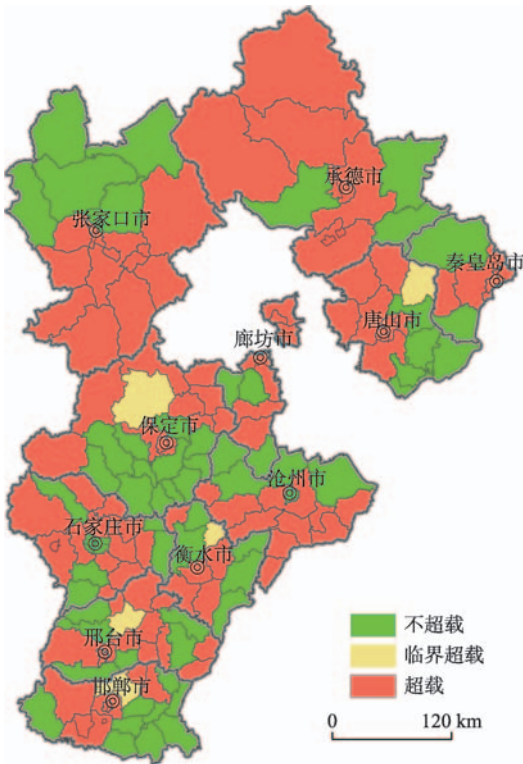


图5 2014年河北省水质要素承载状况评价结果  
Fig.5 Water quality factor overloading situation of Hebei Province in 2014

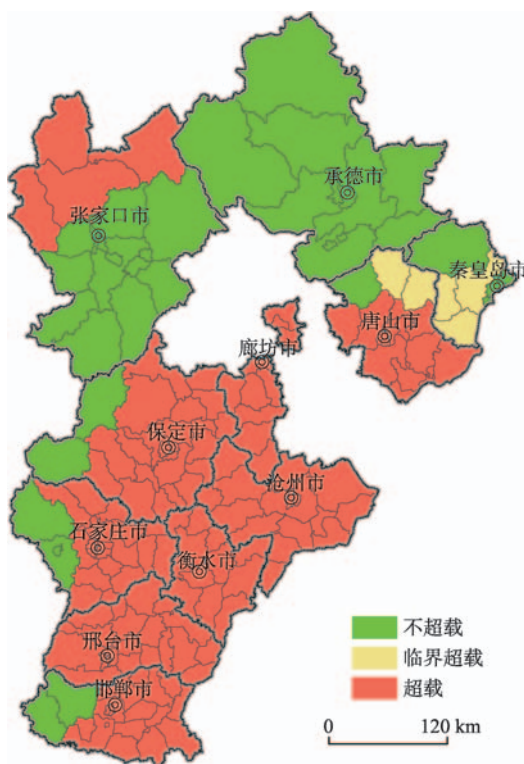


图6 2014年河北省水生态要素承载状况评价结果  
Fig.6 Water ecological factor overloading situation of Hebei Province in 2014

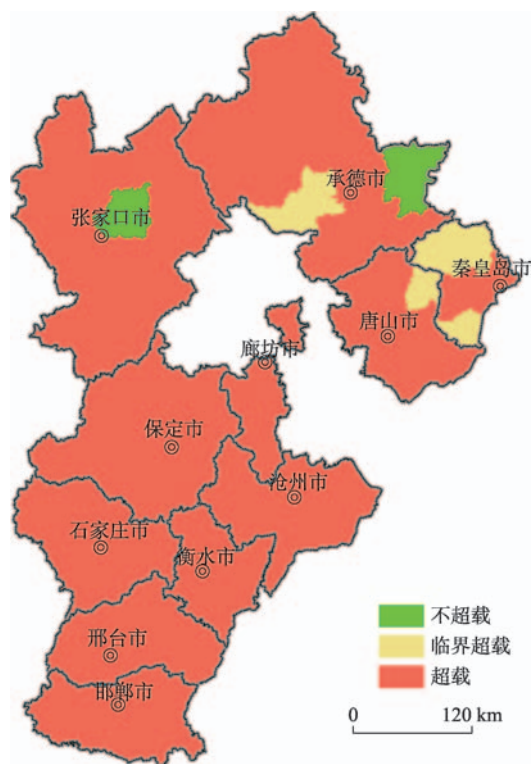


图7 2014年河北省水资源综合承载状况评价结果  
Fig.7 Aggregated water resources carrying capacity of Hebei Province in 2014

则的带状或点状的分布特点,张家口西北部、保定中南部、承德市东部、唐山市南部,衡水及邢台和邯郸东部、石家庄西部等地水质承载状况良好,与水功能区分布、各地区排污强度与治污能力等密切相关。水生态要素承载状况主要表现为沿燕山—太行山麓水生态状况良好,其他地区大多处于超载状态的分布特点。这主要是与山区地下水开发利用基本不超采,且人类活动不剧烈,地表生态环境用水挤占不严重等因素有关。

#### 4.3 措施建议

综上,目前河北省地下水超采区面积和超采量均为全国的1/3,是全国超采最严重的省份。不合理的水资源开发利用方式导致地面沉降、河流断流、水质污染、海水入侵等一系列生态环境问题。根据水资源承载状况评价结果,在上述水资源承载状况成因分析的基础上,提出该地区水资源调控措施建议:

(1) 全面推进节水型社会建设,大力提高水资源利用效率。坚持节水优先的方针,因水制宜、量水发展,严格用水管理,强化农业、工业、服务业和生活节水,全面建设节水型社会。

(2) 合理控制经济社会发展规模和优化产业结构,减少经济社会用水负荷。按照以水定发展的要求,以河北省水资源承载能力为约束,协调好经济社会发展与生态环境保护的关系,努力调整优化产业结构,在强化节水的基础上,统一配置生活、生产和生态用水。

(3) 统筹调配多种水源,合理提高水资源承载能力。综合河北省发展空间布局,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,统筹调配多种水源,优水优用,合理配置,确保生活用水安全,保证城市用水需求,基本满足农业和生态用水需求。

(4) 加强地下水动态监测,开展地下水超采区综合治理。因地制宜实施耕地休养生息政策,减少地下水开采量,逐步实现地下水采补平衡,结合河湖生态修复建设,在重要河流两岸及湿地周边区域,逐步偿还地下水累计超采量,恢复地下水位到适宜水平。

(5) 宣传教育,增强保护水资源的意识。加大省情水情宣传教育力度,大力宣传节水和“节水”观念,持久开展水利法治宣传教育,提高全社会的水忧患意识,为水利又好又快发展营造良好的社会环境。

## 5 结论

本文在综述水资源承载能力评价研究现状基础上,对水资源承载能力内涵进行讨论,从水资源承载负荷和承载能力2个方面出发,以可操作、可度量、可监测等原则,构建水资源承载能力评价指标体系,采用实物量指标对水资源承载能力各因素分别评价,运用“短板法”全面考虑各要素评价结果,进而得到水资源承载能力综合评价结果。最后,以河北省为实例,对该省2014年水资源承载状况进行评价。根据河北省水资源承载状况和超载成因,提出了该地区水资源调控措施建议,验证评价方法的合理性与可行性。

#### 参考文献(References)

- 鲍超,贺东梅. 2017. 京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示[J]. 地理科学进展, 36(1): 58-67. [Bao C, He D M. 2017. Spatiotemporal characteristics of water resources exploitation and policy implications in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration [J]. Progress in Geog-

- raphy, 36(1): 58-67.]
- 樊杰, 王亚飞, 汤青, 等. 2015. 全国资源环境承载能力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程[J]. 地理科学, 35(1): 1-10. [Fan J, Wang Y F, Tang Q, et al. 2015. Academic thought and technical progress of monitoring and early-warning of the national resources and environment carrying capacity (V 2014)[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(1): 1-10.]
- 冯尚友. 2000. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京: 科学出版社. [Feng S Y. 2000. Shuiziyuan chixu liyong yu guangli daolu[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 李国平, 罗心然. 2017. 京津冀地区人口与经济协调发展关系研究[J]. 地理科学进展, 36(1): 25-33. [Li G P, Luo X R. 2017. Coordinated development between population and economy in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Progress in Geography, 36(1): 25-33.]
- 施雅风. 1995. 气候变化对西北华北水资源的影响[M]. 济南: 山东科学技术出版社. [Shi Y F. 1995. Qihou bianhua dui Xibei Huabei shuiziyuan de yingxiang[M]. Ji'nan, China: Shandong Science and Technology Press.]
- 汪恕诚. 2002. 水环境承载能力分析 with 调控[C]//水资源及水环境承载能力学术研讨会论文集. 威海: 水利部: 2-6. [Wang S C. 2002. Shuihuanjing chengzai nengli fenxi yu tiaokong[C]//Shuiziyuan ji shuihuanjing chengzai nengli xueshu yantaohui lunwenji. Weihai, China: Ministry of Water Resources: 2-6.]
- 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. [Xia J, Zhu Y Z. 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.]
- 许新宜, 王浩, 甘泓, 等. 1997. 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. [Xu X Y, Wang H, Gan H, et al. 1997. Huabei diqu hongguan jingji shuiziyuan guihua lilun yu fangfa [M]. Zhengzhou, China: The Yellow River Water Conservancy Press.]
- 张丽, 董增川, 张伟. 2003. 水资源可持续承载力概念及研究思路探讨[J]. 水利学报, 34(10): 108-118. [Zhang L, Dong Z C, Zhang W. 2003. On concept of sustainable capacity of water resources[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 34(10): 108-118.]
- 左其亨, 张培娟, 马军霞. 2004. 水资源承载能力计算模型及关键问题[J]. 水利水电技术, 35(2): 5-8, 11. [Zuo Q T, Zhang P J, Ma J X. 2004. Calculating model and key questions about carrying capacity of water resources[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 35(2): 5-8, 11.]
- UNESCO FAO. 1986. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya. Population-resources-environment-development: A resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development[M]. Paris and Rome: UNESCO FAO.
- UNESCO WMO. 1988. Water-resources assessment activities [R]. New York: WMO Secretariat.

## An evaluation method of water resources carrying capacity and application

LI Yunling, GUO Xuning, GUO Dongyang, Wang Xiaohong

(General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Beijing 100120, China)

**Abstract:** In order to comprehensively and objectively assess water resources carrying status and provide a theoretical support for sound spatial planning of socioeconomic development, this study reviewed existing research on carrying capacity of water resources and examined the meaning of water resources carrying capacity. An index system for evaluating water resources carrying capacity was constructed considering three key factors—water quantity, quality, and ecology. Physical quantity index was employed in the evaluation of each factor of water resources. Comparing the index values and the evaluation standards, comprehensive carrying status of water resources system can be obtained by considering the situation of the worst factor. Hebei Province was taken as a case study to evaluate the carrying status of its water resources system. Measures and suggestions for managing water resources were proposed based on the evaluation result and overloading cause analysis. Finally, the evaluation method was verified.

**Key words:** carrying capacity; overloading; water resources; evaluation method; Hebei Province