

马睿, 李云玲, 何君, 等. 我国水资源承载力分析及分区管控对策[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(2): 209-217. MA R, LI Y L, HE J, et al. Water resources carrying capacity analysis and zoning management measures in China[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(2): 209-217. (in Chinese)

我国水资源承载力分析及分区管控对策

马睿¹, 李云玲¹, 何君¹, 张小丽²

(1. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120; 2. 华北水利水电大学水资源学院, 郑州 450046)

摘要:从地表水、地下水和用水总量 3 个方面对我国水资源承载状况(不超载、临界超载和超载)进行评价,以地表水、地下水和用水总量承载状况的最差评价结果作为综合评价结果。在此基础上分析城市群、经济区、能源基地和粮食主产区的水资源承载力,最终提出分区管控对策。结果表明:水资源超载区和临界超载区涉及全国 53% 的国土面积、近 60% 的人口和 GDP,水资源量仅占全国的 28%;地表水超载与临界超载单元有 151 个,主要分布在海河、辽河、黄河中下游支流、淮河中游水系、西北内陆河局部河段;地下水超载与临界单元有 107 个,超采的地下水主要用于农业灌溉和城市发展。重要城市群、经济区、能源基地几乎全部分布在水资源超载或临界超载地区,17 个粮食主产区中有 14 个在水资源超载和临界超载地区。基于水资源承载能力分析结果,提出超载区“补水”,临界区“控水”,不超载区“保水”的分区管控对策。

关键词:水资源承载力;分水源;重点区域;分区管控;对策

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0022

水资源承载能力是各种自然资源承载力的重要组成部分,既是支撑区域可持续发展的重要条件,也是解决水资源问题的关键因素^[1-3]。以水资源承载能力评价结果为依据,加强水资源分区精准管控,强化水资源刚性约束,对促进水资源-经济社会-生态环境系统协调发展具有重要意义^[4]。

自施雅风^[5]于 1995 年提出水资源承载能力的概念起,国内学者^[6-11]针对水资源承载力的概念、评价指标和评价方法等问题展开了大量的研究,提出了基于“社会-经济-生态-水资源”复合系统^[10,12]、面向水流系统功能^[13]、基于“量-质-域-流”的^[6,11]评价指标体系,以及基于模糊综合评价^[14]、层次分析法^[15]、粗糙集和集对分析^[16]、组合博弈论^[17-18]等方法的水资源承载力评价方法。王建华等^[6]从水量、水质、水域空间和水流状态 4 个维度研究了水资源承载力的新内涵,并构建了水资源承载力评价指标体系。李原园等^[19]围绕机理研究、评价方法和应用实践等方面系统阐述了水资源承载能力的理论与战略问题。金菊良等^[20]构建了集对分析和风险矩阵相结合的区域水资源承载力评价方法,并对

2010—2015 年安徽省淮北市的水资源承载力进行了评价。李云玲等^[4]选取水量、水质、水生态等指标,构建了水资源承载力评价指标体系,并在河北省水资源承载力评价中验证了其合理性和可行性。然而,目前对水资源承载力的研究仍百家争鸣,尚未形成统一的理论技术体系,仍需进一步研究。

分区管控是强化水资源最大刚性约束的基础,是从水资源的角度贯彻落实“空间均衡”和“四水四定”的根本需要,是因地制宜解决我国水问题的重要途径^[21-23]。已有不少学者对水资源分区管控进行研究,如:郭孟卓^[22]在分析新形势下水资源管控分区新要求的基础上,对分区划定的依据、原则、类型及政策措施进行了阐述;王生鑫等^[24]基于宁夏水资源开发利用分区模式,提出了超载区、临界区、平衡区和储备区 4 类分区的管控策略,以期加强宁夏水资源开发利用管理能力;张楠等^[25]针对河西走廊地区地下水超采状况,提出了南北盆地分区管理、东中西部分区管理的地下水分区管控措施;吕铃钥等^[26]基于山东省用水量、用水结构等水资源利用现状,构建了山东省水资源利用分区管控体系。可以

收稿日期: 2022-04-29 修回日期: 2023-01-29 网络出版时间: 2023-02-07

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20230206.1709.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3202300); 国家自然科学基金青年项目(51709108); 河南省科技攻关计划项目(182102311062)

作者简介: 马睿(1988—),女,山东东阿人,高级工程师,博士,主要从事水资源规划与战略研究。E-mail: marui@giwp.org.cn

通信作者: 张小丽(1985—),女,河南沈丘人,副教授,博士,主要从事水资源管理方面研究。E-mail: zx1436@163.com

看出,这些研究主要是针对我国特定省份和区域展开的,尚无关于全国层面的研究。我国地域空间辽阔,受水资源禀赋条件、产业结构、经济社会发展水平和布局等因素的影响,不同区域水资源承载状况差异较大。因此,基于水资源承载能力进行水资源分区管控,将有效提高水资源管理的效率。

本文在已有研究的基础上,选择河流水资源开发利用阈值、生态流量(水量)指标、地表水用水量控制指标、地下水开采量控制指标和用水总量控制指标共 5 个指标,从地表水、地下水和用水总量 3 个方面对全国现状水资源承载状况(不超载、临界超载和超载)进行评价,探讨不同水源全国水资源承载状况的空间分布特征,并深入分析人口、经济、能源和粮食重点区域的水资源承载状况,最终提出全国水资源分区管控措施。研究成果不仅可以揭示我国水资源承载状况的空间分布特征,还可为水资源分区管控提供一定的参考价值。

1 评价指标与方法

水资源承载力评价指标应能从本质上反映水资源承载力影响因素,同时也应考虑评价指标的易获得性和可操作性^[1,27]。现阶段我国水资源管理主要从地表水、地下水和用水总量 3 个方面展开,各方面所采用的指标均有已发布的文件作为依据,且有一定的数据基础。因此从地表水、地下水和用水总

量 3 个方面进行水资源承载力评价,评价结果分为不超载、临界超载和超载 3 类,具体指标见表 1: D_0 为我国南北方、不同类型河流水资源开发利用程度阈值标准; D 为河流水系实际地表水资源开发利用程度; E_0 为流域水量分配方案、流域综合规划、水量调度条例实施细则、水利部印发的生态流量保障目标等规定的生态流量或下泄水量要求; E 为重要控制断面生态流量(水量)满足程度; S_0 为水量分配方案、历史分水协议或相应协定文件、流域综合规划等规定的地表水用水量控制指标; S 为区域或流域实际地表水用水量; G_0 为地下水开采量控制指标; G 为区域或流域地下水实际开采量; W_0 为区域或流域用水总量控制指标; W 为区域或流域实际用水总量。需要注意的是,河流水资源开发利用阈值 D_0 是对地表水用水量控制指标 S_0 的补充,对于已经批复水量分配方案的河流,地表水是否超载主要通过地表水用水量控制指标 S_0 判断^[28],对于目前尚未批复水量分配方案的河流,暂以河流水资源开发利用阈值 D_0 为依据进行判断。对于大江大河和较大江河而言,北方地区地表水资源开发利用程度一般不应超过 70%,南方地区不超过 50%。对中小河流而言,北方地区地表水资源开发利用程度一般不应超过 75%,南方地区不超过 60%。对内陆河而言,西北干旱地区地表水资源开发利用程度一般不应超过 80%,青藏高原地区不超过 40%。

表 1 水资源承载力评价指标等级划分标准

Tab. 1 Grade classification standard of evaluation index for water resources carrying capacity

类别	控制指标	现状值	不超载	临界超载	超载
地表水	河流水资源开发利用阈值 $D_0/\%$	河流水资源开发利用程度 $D/\%$	$D < 0.9D_0$	$0.9D_0 \leq D < D_0$	$D \geq D_0$
	生态流量(水量)指标 $E_0/\%$	生态流量(水量)满足程度 $E/\%$	$E \geq 1.1E_0$	$E_0 \leq E < 1.1E_0$	$E < E_0$
	地表水用水量控制指标 $S_0/\text{亿m}^3$	地表水用水量 $S/\text{亿m}^3$	$S < 0.9S_0$	$0.9S_0 \leq S < S_0$	$S \geq S_0$
地下水	地下水开采量控制指标 $G_0/\text{亿m}^3$	地下水开采量 $G/\text{亿m}^3$	$G < 0.9G_0$	$0.9G_0 \leq G < G_0$	$G \geq G_0$
用水总量	用水总量控制指标 $W_0/\text{亿m}^3$	用水总量 $W/\text{亿m}^3$	$W < 0.9W_0$	$0.9W_0 \leq W < W_0$	$W \geq W_0$

根据最严格水资源管理、强化水资源刚性约束的要求,地表水、地下水和用水总量之一被认定为超载,则区域的水资源承载状况即判定为超载。同时,考虑评价方法的易于操作性,本文的评价方法采用单指标评价法^[29]。首先分别对地表水的 3 个指标进行评价,将 3 个指标中最差指标的状态作为地

表水承载状态的评价结果;然后对地下水的指标进行评价,得到地下水承载状态的评价结果;接着对用水总量指标进行评价,得到用水总量承载状态的评价结果;最后以地表水、地下水、用水总量承载状况的最差评价结果作为水资源承载状况综合评价结果。

2 水资源承载状况分析

根据上述承载力评价方法分别对现状年 2021 年我国 410 个地级行政区评价单元的地表水、地下水、用水总量、水资源总体承载状况进行评价。其中,评价数据来源为全国水资源公报、第三次全国

水资源调查评价,管控指标来源为水资源综合规划、流域综合规划、相关重大战略规划、已批复的水量分配方案、地下水管控指标确定方案等。受篇幅限制,本研究统计 31 个省(自治区、直辖市)展示 410 个地级行政区的评价结果,见图 1。

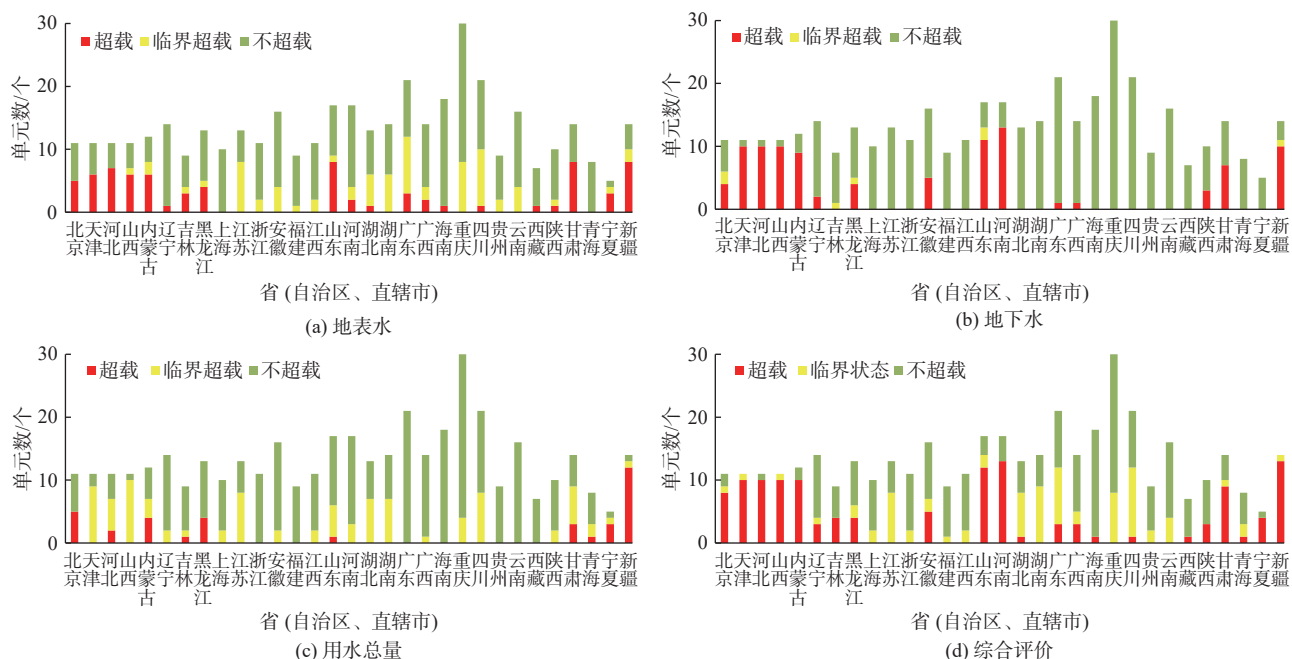


图 1 现状年各省(自治区、直辖市)评价单元水资源承载状况

Fig. 1 Water resources carrying capacity of each province in current year

2.1 地表水资源承载状况

地表水超载单元共 77 个,不超载单元 259 个,临界超载单元 74 个。由图 1(a)可知,地表水超载区主要分布在海河区、西辽河及浑太河、黄河兰州至河口镇区间及龙门以下地区以及西北诸河的河西内陆河、吐哈盆地、天山北麓、塔里木河等地区,主要涉及北京市、天津市、河北省、山西省、黑龙江省、山东省、广东省、四川省、甘肃省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区共 11 省(自治区、直辖市)。这些地区也是我国水资源承受压力最大、水资源最紧缺的地区。其中,海河等地区还从外区调入水量以弥补当地水源不足,而黄河下游还向外流域调出水量加剧水资源的紧缺,这些地区水资源开发利用程度达 70% 以上,水资源的开发已超过其控制上限(即水资源可利用量)。

地表水临界区主要分布在黄河兰州以上、内流区、淮河中游、沂沭泗、山东半岛、东辽河及辽河干流等地区,第三次全国水资源调查评价结果显示,这些地区水资源开发利用程度达 50% 以上、水资源

承载能力已接近饱和,基本无开发潜力。

地表水资源不超载地区,包括一部分水资源承载能力富裕度不高、水资源开发潜力较小的地区,主要分布在松花江、辽宁沿海诸河、淮河上游及下游、西北的阿尔泰山南麓及中亚西亚内陆河、太湖流域、珠江三角洲、浙东诸河等地区,这些地区水资源开发利用程度已接近 50%,有一定的开发潜力。另外一部分水资源承载能力富裕度较高、水资源开发尚有一定潜力的地区主要分布在长江(除太湖流域外)、珠江(除珠江三角洲外)及华南沿海诸河海南岛、东南诸河(除浙东诸河)等地区,这些地区水资源开发利用程度 10%~30%,开发潜力较大,其中长江、东江、钱塘江等还向外区调出水量。西南诸河及东北地区周边的界河水资源开发利用程度小于 10%,开发潜力大,具有较大的开发利用和向外流域调出水量的潜力。

受区域自然地理条件、水资源禀赋条件和生态环境特点影响,同时也与河流大小、径流调控能力以及水资源开发利用程度有关,我国河湖生态流量

状况区域差异显著,保障程度整体呈从南向北递减态势。北方地区受水资源禀赋条件差、资源衰减和开发利用过度等共同影响,河道内生态流量难以有效保障,约 59% 的区域生态流量占比低于 60%,112 条河流出现不同程度的断流现象,占全国断流河流条数的 81%,断流河段长度占全国断流河段总长度的 97%。南方地区由于极端气候和工程不合理调度等方面影响,部分河流生态流量难以保障,甚至在枯水期出现断流现象。南方地区通过加强流域水量调度管理,生态流量基本可得到保障,北方地区由于水资源与经济社会用水矛盾突出,河湖生态流量保障仍面临很大挑战。

2.2 地下水资源承载状况

地下水超载单元有 100 个,不超载单元 303 个,临界超载单元 7 个。由图 1(b)可知,主要分布在东北、华北和西北地区。

东北地区,黑龙江省鸡西、鹤岗、双鸭山和佳木斯市城市开采浅层地下水用于农业灌溉,近年开采量较大,平原区地下水开采系数已达 1.3~1.8,本次评价为超载。辽西北山丘区朝阳市存在傍河开采地下水挤占河道生态用水的情况,沿海地区大连市因超采浅层地下水造成海水入侵,均评价为超载。

华北地区,随着南水北调工程的实施,北京地下水开采量持续下降,全市平均地下水水位已出现略微回升,但大兴区、通州区、怀柔区、房山区还存在地下水超采,评价为超载。天津市除蓟州区外,均存在地下水超采的情况,均评价为超载。河北省开展地下水超采综合治理试点以来成效初显,但部分区域仍然超采。山西省中部盆地部分地市为满足经济社会发展过量开采浅层地下水,评为超载;东部山地区晋城市岩溶地下水超采,造成了泉域萎缩等地质环境问题,评价为超载。河南豫东、豫北及豫中地区地下水超采严重,评价为超载。山东鲁西北地区、安徽省淮北地区开采深层承压地下水用于城镇生活与工业,评价为超载。山东烟台、威海等市因过量开采浅层地下水造成海水入侵等地质环境问题,评价为超载。

西北地区,内蒙古通辽、巴彦淖尔、乌兰察布、阿拉善等以农牧业为主的盟市井灌区地下水开发利用程度较高,评价为超载。陕西省关中平原西安、咸阳、渭南等市为满足经济社会发展过度开采浅层地下水,评价为超载。甘肃省黄河流域是人口密集、工农业较集中的城镇所处的河谷区,地下水开采量

较大,存在超采问题,但随着石羊河流域地下水超采治理,超采问题有所缓解,本次评定为超载。新疆过量开采浅层地下水用于农业灌溉,主要分布在乌鲁木齐、吐鲁番盆地、哈密盆地、天山北麓以及塔额盆地,评价为超载。

另外,南方地区的广东省湛江市因开采深层承压地下水,广西北海市存在过量开采浅层地下水,均评价为超载。

2.3 用水总量承载状况

用水总量超载单元有 36 个,不超载单元 283 个,临界超载单元 91 个。由图 1(c)可知,用水总量超载区集中在我国东北部地区和西北地区,包括北京市、河北省、内蒙古自治区、吉林省、黑龙江省、山东省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区共 10 省(自治区、直辖市)。

海河流域水资源供需矛盾突出、水资源量持续减少是导致北京、衡水、保定、山东滨州等地市超载的原因。内蒙古自治区呼和浩特市作为省会城市,人口密度较大,而巴彦淖尔市降水极少,农灌用水比重高达 94%,导致两市超载。甘肃省西部河西走廊属内陆河流域,干旱多风,年降水量稀少,整体用水总量接近用水总量控制指标,处于临界或超载。嘉峪关工业用水较多,张掖、金昌的灌溉农业用水较大,此次判定为超载。宁夏回族自治区用水历来主要依靠黄河过境水,当地水资源非常匮乏;北部地区为宁夏人口聚集、经济发展较好的区域,银川、石嘴山和吴忠 3 市此次判定为超载。新疆维吾尔自治区整体农灌用水所占比重极大,加之新疆降水少,蒸发大,水资源禀赋较差,属于资源性缺水地区,全区整体用水紧张,吐鲁番市、塔城地区人口密度大,农灌用水比重大,此次判定为超载。

天津、山西、江苏、湖北、湖南、四川、甘肃临界超载单元较多。浙江、安徽、江西、广东、广西、海南、重庆、贵州、云南、西藏、青海等大部分地市虽然用水总量临近超载,但总体处于水资源较为丰富的长江流域和珠江流域,且水资源开发利用不高,综合考虑评价为不超载。

2.4 综合评价结论

综合考虑地表水、地下水、用水总量承载状况,得到我国 410 个地级行政区评价单元的水资源承载状况评价结果,见表 2。由表 2 可知,现状年全国有 129 个超载单元、81 个临界状态单元和 200 个不超载单元,超载比例为 31%,超载和临界超载区面积占全国的 53%,具体分布见图 1(d)。可以看出,出现

水资源超载或临界超载的部分地区是我国当前人口密集、开发强度高、水资源负荷过重的区域,涉及全国 40% 的耕地面积、近 60% 的人口和 GDP,水资源量仅占全国的 28%。同时该区具有较强经济基础,是带动全国经济社会发展的重要区域,几乎覆盖了我国重要经济区和城市群。超载的主要原因:一部分是水资源禀赋不足,开发利用强度大,主要存在资源型缺水问题,涉及海河区、淮河区、辽河区和黄河区的大部分流域,其人均水资源占有量不足

500 m³;另一部分是经济社会发展负荷比较大,我国重要城市群、粮食主产区和能源基地分布地区约有 195 万 km²区域的水资源开发利用超过 60%,华北地区农业灌溉和城市发展过度依赖于地下水,其农业灌溉超采地下水约占 60%;南方地区主要是季节性的水资源紧缺和过程性的不匹配,主要涉及长三角、珠三角、两湖流域等地区,经济社会发展用水需求较大,水资源承载负荷较大,枯水期枯水年容易出现紧缺,三角洲河网水动力交换能力弱。

表 2 现状及 2035 年水资源承载状况综合评价结果

Tab. 2 National water resources carrying capacity in current year and 2035

状态	现状年水资源承载状况					2035年水资源承载状况				
	地区数/个	面积占比/%	水资源量占比/%	人口占比/%	GDP占比/%	地区数/个	面积占比/%	水资源量占比/%	人口占比/%	GDP占比/%
超载	129	38	11	35	35	156	43	17	43	45
临界超载	81	15	17	23	24	64	18	13	20	21
不超载	200	46	72	42	41	190	39	70	37	33

在考虑充分节水(即采取深度节水控水措施,充分挖掘节水潜力,东部发达地区用水效率达到同类地区同期国际领先水平,中西部欠发达地区达到同类地区国际先进水平),但无新增供水的条件下(即不考虑新增跨流域调水及重要水库调蓄工程),结合近年来国家批复的相关区域经济社会发展的新情况,采用定额法、BP 神经网络预测不同地区 2035 年用水量,分析不同地区 2035 年供用水变化态势及供用水量增减情况,并根据上述评价方法得到 2035 年水资源承载力的综合评价结果,见表 2。由表 2 可知,超载单元达到 156 个,临界超载为 64 个,水资源超载和临界超载区范围进一步扩大,面积将占到全国的 58%,涉及人口、GDP 较现状分别增加 21%、29%,超载程度进一步加剧。超载区主要集中在我国北方地区,临界超载区主要集中在南方地区,涉及长三角、长江中游、滇中、黔中、粤港澳大湾区、海峡西岸等人口经济集聚的城市群。

3 重点区域水资源承载状况分析

为进一步评价我国水资源承载力的空间分布状况,结合现状年水资源承载状况,对我国人口、经济、能源和粮食重点区域的水资源承载力进行分析,见图 2。

随着经济快速增长,快速工业化和人口城镇化进程,中国常住人口城镇化率由 1978 年的 17.9% 增加到了 2021 年的 64.7%。根据《国家人口发展规划

(2016—2030)》^[30] 预测,中国 2030 年城镇化率将达 70%,对应城镇人口为 10.3 亿人,比 2021 年新增约 1.2 亿人。这 1.2 亿新增城镇人口的 80% 左右将集聚在 19 个城市群,其中约 60% 将集中在长三角、珠三角、京津冀、长江中游、成渝、中原和山东半岛 7 大城市群。这 19 个城市群中有 10 个位于北方水资源超载区,19 个全部位于临界区或超载区,存在资源环境压力,见图 2(a),其中京津冀城市群、中原城市群、山东半岛城市群人口增长与水资源短缺的矛盾最为突出,京津冀城市群超载原因主要是地下水超采、部分河流过度开发利用,中原城市群主要是部分河流生态下泄流量不满足要求、地下水超采,山东半岛城市群主要是超黄河干流引黄指标和地下水超采。

改革开放以来,我国经济总量不断扩大,国内生产总值(GDP)由 1978 年的 3 650 亿元增长到了 2021 年的 114 万亿元,居世界第二位。随着我国经济发展进入新常态,未来我国经济增长将以中低速增长为主,预计 GDP 增长率将从 2021 年的 8.1% 降至 2035 年的 4.1%。2035 年全国 GDP 将达近 200 万亿元,是 2021 年的近 1.8 倍。未来我国产业将主要集中在 21 个经济区。这 21 个经济区几乎全部位于水资源超载和临界超载地区,其中有 15 个分布在水资源超载地区,见图 2(b)。中国社会科学院数量经济与技术经济研究所 2020 年的研究报告指出,未来这 15 个经济区的经济总量将占到全国经济总量的 70% 以上。

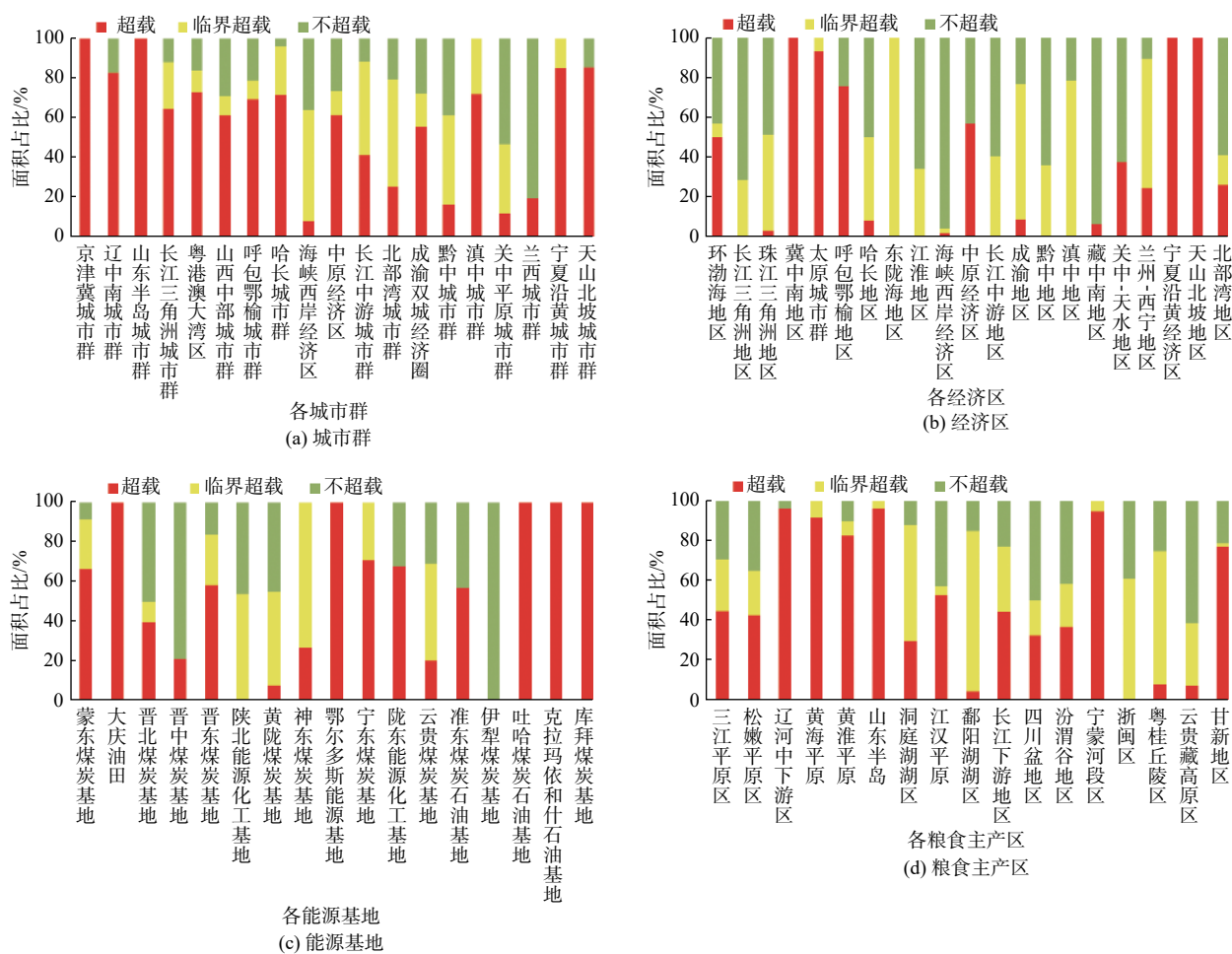


图 2 我国城市群、经济区、能源基地及粮食主产区的水资源承载状况

Fig. 2 Water resources carrying capacity of urban agglomerations, economic zones, energy bases and main grain-producing areas in China

1978—2021 年,我国能源产量持续上升,已居世界第一。《全国主体功能区规划》^[31] 提出在能源资源富集的山西、鄂尔多斯盆地、西南、东北和新疆等地区建设能源基地,形成以“五片一带”(“五片”即山西片、鄂尔多斯盆地片、西南地区片、东北地区片、新疆片,“一带”即核电产业带)为主体,以点状分布的新能源基地为补充的能源开发布局框架。“五片一带”能源基地中,煤炭、油气资源蕴藏量、一次能源生产能力均占全国 70% 以上,向外输出能源占全国跨省区输送量的 90%。从“五片一带”国家能源布局看,高碳化石能源的开发潜力主要集中在水资源短缺、水生态脆弱的神东煤炭基地,鄂尔多斯市能源与重化工产业基地,准东、伊犁、吐哈、库拜等煤炭石油基地。随着中东部能源资源的衰竭,我国能源发展战略西移的特征越来越明显,西移主要是西北地区,正是我国水资源超载和临界超载地区聚集的区域,见图 2(c)。晋北、晋东、晋中煤炭基地主要是河流断面不满足生态基流、河流过

度开发导致地表水超载,以及山丘区过量开采地下水造成地下水超载。吐哈煤炭石油基地超载原因主要是地表水开发利用率高、地下水超采和用水量总量超红线。

2021 年我国粮食年产量近 6.8 亿 t,比 1978 年的 3 亿 t 增产 127%,是 1949 年 1.1 亿 t 的 6 倍多。我国人均粮食占有量达到 470 kg 左右,高于世界平均水平。《全国主体功能区规划》提出在气候适宜、土壤养分条件较好、水土资源相对匹配的东北平原和黄淮海平原等区域划定了 7 个农产品主产区。在“七区”基础上,为充分发挥各地区比较优势,又划分出以水稻、小麦等农产品生产为主的 23 个产业带,形成了“七区二十三带”农业战略格局。其中,对保障国家粮食安全重要的区域有 17 片(涉及 26 个省区 898 个县,耕地面积 0.68 亿 hm^2 ,粮食产量 4.1 亿 t),其中 14 个粮食主产区分布在水资源超载和临界超载地区,其粮食产量占全国粮食产量的 70%,见图 2(d)。

4 水资源分区管控对策

基于上述水资源承载能力分析结果,依据全国江河流域水资源的功能定位、现状承载状况、生态保护和经济社会发展对水资源需求、战略储备条件等特点和差异性,将全国流域区域划分为超载区、临界区、不超载区3类,并提出相应的水资源调控方案。

超载区“补水”。该区主要包括我国410个地级评价单元(含直辖市)中的129个超载地区,面积约349万 km^2 ,占全国(不含荒漠区)的38%,主要分布在西北、华北、东北的地表水超载区和地下水超采区,南方地区仅有个别零星分布。在“节水优先”的前提下,未来在需求侧应严格控制不合理的用水需求,暂停新增取水许可审批,制定并严格实施用水总量削减方案,制定比其他分区更加严格的用水定额和节水标准,提高用水效率和水资源集约节约利用水平;在供给侧,统筹调配多种水源,对刚性需水无法保障的区域科学谋划调水,结合国家水网构建,更大范围内优化水资源配置,合理提高水资源承载能力;同时还水于河,修复受损河湖生态环境,退减现状超采的地下水和挤占的河道内生态环境用水,缓解和扭转水资源过度开发。

临界区“控水”。该区主要包括我国410个地级评价单元(含直辖市)中的81个临界地区,分布在南方长三角、成渝、长江中游、粤港澳大湾区、滇中、黔中等主要城市群聚集区,以及北方三江平原等粮食主产区。未来维持用水现状,以加强节水为重点,着力提高节水潜力,建立水资源承载能力监测预警机制,严格取用水监督管理,防止出现水资源超载。同时提升重点地区供水安全保障能力,统筹本地水与外调水、地表水与地下水、常规水源与非常规水源,加强各类水源联调联供,优化完善水资源配置体系,新增供水主要是满足重点区域城镇化和工业化发展的刚性用水需求,提高水资源短缺地区特别是国家重要城市群、重要能源基地及粮食主产区等所在地区水资源承载能力和水资源调控能力。

不超载区“保水”。该区主要包括我国410个地级评价单元(含直辖市)中的200个不超载地区,分布在西南青藏高原、横断山区、华南山区、东北大小兴安岭、西北伊犁河等地区。该区水资源较为丰沛,国土面积占比46%。对于一部分江河源头生态功能重要的区域,主体功能定位为保护、不宜开

发的区域,未来应在合理分水的前提下,以保障重要河湖湿地生态环境用水、改善水生态环境质量、扩大水生态空间为重点,通过调整不合理的产业结构,退减不合理的水土资源开发,涵养保护水源修复和保护生态环境。对于西南诸河及东北地区周边的界河等水资源较为丰沛,现状水资源开发利用程度较低或目前不具备开发条件的地区,未来结合重点区域经济高质量发展需求、应急保障需求和国家战略调水需求,将富余水资源纳入全国统筹规划和调配,为跨流域跨区域调水工程实施及预防区域重大供水安全风险预留储备水量。

5 结论

综合评价结果显示,我国410个地市评价单元中,现状有129个单元超载、81个单元临界超载、200个单元不超载,超载和临界超载区面积占全国的53%。到2035年,在考虑充分节水但无新增供水的条件下,水资源超载和临界超载区范围将进一步扩大,超载单元为156个,临界超载为64个,面积将占到全国的58%。超载的主要原因为:水资源禀赋不足,开发利用强度大;经济社会发展负荷较大;南方地区主要是季节性的水资源紧缺和过程性的不匹配。

我国水资源时空分布不均,与经济社会发展不匹配,突出表现在人口、经济、能源、粮食与水资源不匹配上。19个城市群全部分布在水资源超载或临界超载地区;21个经济区中有15个分布在水资源超载地区,未来这15个经济区的经济总量将占到全国经济总量的70%以上;全国能源发展向西北地区移动的特征越来越明显,而西北是我国水资源超载和临界超载地区聚集的区域;17个粮食产区中有14个在水资源超载和临界超载地区,其粮食产量占全国粮食产量的70%。

根据水资源承载力的空间分布差异,提出超载区“补水”、临界区“控水”、不超载区“保水”的水资源管控对策,可为强化水资源分区精准管控提供一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 余灏哲,李丽娟,李九一.基于量-质-域-流的京津冀水资源承载力综合评价[J].资源科学,2020,42(2):358-371. DOI: 10.18402/resci.2020.02.14.
- [2] 吴旭,刘彬,刘杰,等.基于多目标决策分析的水资源

- 承载力研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(1): 42-45.
- [3] 李雨欣, 薛东前, 宋永永. 中国水资源承载力时空变化与趋势预警[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7):1574-1584. DOI:10.11870/cjlyzyyhj202107005.
- [4] 李云玲, 郭旭宁, 郭东阳, 等. 水资源承载能力评价方法研究及应用[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 342-349. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.03.010.
- [5] 施雅风. 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, 1995.
- [6] 王建华, 姜大川, 肖伟华, 等. 水资源承载力理论基础探析: 定义内涵与科学问题[J]. 水利学报, 2017, 48(12): 1399-1409. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2017.0651.
- [7] 金菊良, 沈时兴, 崔毅, 等. 半偏减法集对势在引黄灌区水资源承载力动态评价中的应用[J]. 水利学报, 2021, 52(5): 507-520. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.20200561.
- [8] 金菊良, 陈鹏飞, 陈梦璐, 等. 基于知识图谱的水资源承载力研究的文献计量分析[J]. 水资源保护, 2019, 35(6): 14-24. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2019.06.003.
- [9] 金菊良, 刘东平, 周戎星, 等. 基于投影寻踪权重优化的水资源承载力评价模型[J]. 水资源保护, 2021, 37(3): 1-6. DOI: 10.3880/j.issn.10046933.2021.03.001.
- [10] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 258-269. DOI: 10.11849/zrzyxb.2011.02.009.
- [11] 丁相毅, 石小林, 凌敏华, 等. 基于“量-质-域-流”的太原市水资源承载力评价[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(1): 9-20. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0002.
- [12] 左其亭, 张志卓, 吴滨滨. 基于组合权重TOPSIS模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 1-7. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2020.02.001.
- [13] 唱彤, 郦建强, 金菊良, 等. 面向水流系统功能的多维度水资源承载力评价指标体系[J]. 水资源保护, 2020, 36(1): 44-51. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2020.01.007.
- [14] 孟丽红, 韦雪梅, 吴绍雄, 等. 基于模糊综合评价模型的赣州市水资源承载力动态评价[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(4): 300-309.
- [15] 刘雁慧, 李阳兵, 梁鑫源, 等. 中国水资源承载力评价及变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5):1080-1091. DOI:10.11870/cjlyzyyhj201905008.
- [16] 丁爱中, 陈德胜, 潘成忠, 等. 基于粗糙集和集对分析的中国水资源承载力现状评价[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(3): 71-75. DOI: 10.3724/SP.J.1201.2010.03071.
- [17] 韩礼博, 门宝辉. 基于组合博弈论法的海河流域水资源承载力评价[J]. 水电能源科学, 2021, 39(11): 61-64.
- [18] 史紫薇, 冯文文, 钱会. 基于流域尺度的甘肃省水资源承载力评价[J]. 生态科学, 2021, 40(3): 51-57. DOI: 10.14108/j.cnki.1008-8873.2021.03.007.
- [19] 李原园, 郦建强, 李云玲, 等. 水资源承载力评价理论与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [20] 金菊良, 陈磊, 陈梦璐, 等. 基于集对分析和风险矩阵的水资源承载力评价方法[J]. 人民长江, 2018, 49(7): 35-41. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2018.07.008.
- [21] 庞博, 赵钟楠, 李原园, 等. 水资源整体管控的内涵、技术框架与展望[J]. 中国水利, 2019(1): 17-21. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2019.01.007.
- [22] 郭孟卓. 试论水资源管控分区划定与政策措施[J]. 中国水利, 2021(15): 26-28. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2021.15.021.
- [23] 徐翔宇, 唱彤, 郦建强, 等. 我国水资源承载力的布局特征与调控对策[J]. 中国水利, 2020(19): 31-33. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2020.19.018.
- [24] 王生鑫, 赵宇翔, 张海涛, 等. 宁夏水资源开发利用分区管控策略研究[J]. 中国水利, 2022(15): 45-48. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2022.15.018.
- [25] 张楠, 张丽, 李计生. 河西走廊重点区域地下水分区管控初探[J]. 水资源开发与管理, 2022, 8(6): 11-16. DOI: 10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.06.03.
- [26] 吕铃钥, 黄祺祺, 张亚峰, 等. 山东省水资源利用上线分区管控体系研究[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(10): 103-106. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9500.2021.11.021.
- [27] 王玉举. 基于EFAST-云模型的区域水资源承载力评价[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2021.
- [28] 李原园, 李云玲. 新时期江河流域水量分配思路与技术路径探讨[J]. 中国水利, 2020(7): 17-19. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2020.07.007.
- [29] 齐静威. 松辽流域水资源承载力评估及优化配置研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2021.
- [30] 国务院. 国家人口发展规划(2016—2030年)[Z]. 2016.
- [31] 国务院. 全国主体功能区规划[Z]. 2010.

Water resources carrying capacity analysis and zoning management measures in China

MA Rui¹, LI Yunling¹, HE Jun¹, ZHANG Xiaoli²

(1. General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China;

2. College of Water Resources, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: With rapid population growth, industrial expansion, improved urbanization level and living standards, the water resources has been excessively utilized, which leads to a series of ecological problems such as rivers and lakes atrophy, land subsidence, and so on. It has directly threatens the high-quality development of China's economy and society and the virtuous cycle of the ecological environment. Water resources carrying capacity is not only an important condition to support regional sustainable development, but also the key to solve water resources problems. At present, the research on water resources carrying capacity has not formed a unified theoretical and technical system, and it still needs further research. At the same time, for China, water resources carrying capacity varies greatly in different regions, affected by water resources endowment conditions, industrial structure, economic and social development level and layout, and other factors. Zoning management is the foundation to strengthen the maximum rigid constraint of water resources, and is also the fundamental need to implement "spatial balance" and "four water and four determination" from the perspective of water resources. Therefore, it is of great significance to implement accurate zoning management of water resources based on the evaluation results of water resources carrying capacity.

Based on the existing research, the carrying capacity of water resources in China was analyzed from three aspects of groundwater, surface water and total water consumption. The carrying capacity of surface water was evaluated. The carrying capacity of groundwater was evaluated. The carrying capacity of total water consumption was evaluated. The worst evaluation result of surface water, groundwater and total water consumption was taken as the comprehensive evaluation result of water resources carrying capacity. The zoning management countermeasures for different areas were also put forward.

The results are as follows : (1) water resource overload zone and critical overload zone involve 53% of the national land area, nearly 60% of the population and GDP, and only 28% of the national water resource. (2) For surface water, there are 77 overloading units, which are mainly distributed in Haihe River, Liaohe River, middle and lower reaches of the Yellow River, middle reaches of the Huaihe River system and partial reaches of the northwest inland river. For groundwater, there are 100 overloading units, and the overexploited groundwater is mainly used for agricultural irrigation and urban development. (3) Important urban agglomerations, economic zones and energy bases are almost all distributed in areas with water resource overload or critical overload; 14 of the 17 grain production bases are in areas of water overload and critical overload. (4) Based on the evaluation results of water resources carrying capacity, the watershed regions in China were divided into three types: overloading area, critical area and non-overloading area. And the zoning management measures of "water replenishment" in the overloading area, "water control" in the critical overloading area and "water conservation" in the non-overloading area were proposed.

The comprehensive evaluation results showed that among the 410 evaluation units of cities in China, there are 129 overloading units, 81 critical overloading units and 200 units not overloading. By 2035, the scope of water overloading and critical overloading zones will be further expanded under the condition that adequate water saving is considered but no new water supply is added. The reasons for overloading was the lack of water resources endowment, and the relatively heavy burden of economic and social development. In China, the distribution of water resources did match the development of economic and social, especially in population, economy, energy, food. The research results can not only reveal the spatial distribution characteristics of water resources carrying status in China, but also provide some reference value for strengthening the precise control of water resources zoning.

Key words: water resources carrying capacity; water point; key area; zoning management; countermeasure