DOI:10.19789/j.1004-9398.2016.05.014

缺水型地区水资源供需风险评估研究*

李亚凯 闫 娜 张潇蕊 张玉虎**
(首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048)

摘 要

通过水资源支撑指数(WSPI)定量描述北京市水资源短缺程度,表征水资源条件对区域经济的支撑能力. 计算了北京市五大流域及区县行政单元的WSPI,据此划分了水资源供需风险等级,并探讨了其与人口、GDP指标的关系. 同时综合考虑北京市水资源供需风险因子,结合近十年来的北京市水资源条件数据,拟定水资源风险评估报告,为政府相关部门提供政策建议.

关键词: 水资源支撑指数,水资源短缺,水资源支撑能力,北京.
中图分类号: TV213.4

北京市属于资源型极度缺水地区,人均水资源量不足200 m^3,远低于国际人均1 000 m^3的缺水下限[1-2],持续干旱及过度开发利用水资源将使北京出现无地表水可供和地下水环境更加恶化的局面[3]. 水资源紧缺已成为制约北京经济社会可持续发展的主要瓶颈. 本文选择小尺度水资源支撑能力指数WSPI为主要指标,以北京为研究地区,根据评估结果系统分析地区水资源的紧缺程度及其产生原因,因地制宜制定水资源合理规划方案,形成可行性建议,以提高首都地区水资源综合利用率,指导本地经济生态可持续发展.

1 水资源风险评估研究现状

1.1 水资源短缺风险评价方法

水资源风险的是指在特定的时空环境条件下,水资源系统中非期望事件的发生概率及其所造成的损失程度[4-5]. 随着水资源短缺和供需矛盾问题的日益突出,水资源短缺风险的研究已经成为风险研究的重要领域[6]. 目前评价水资源短缺风险等级主要有三种方法. 一为风险等级计算法:例如刘登伟[7]利用水资源短缺风险指数将水资源短缺风险分为六级,对京津冀大都市圈的水资源风险进行评价,得出了未来首都圈水资源短缺风险水平. 二为评价指标体系法:例如马黎等[8]运用缺水率、人均缺水量和缺水边际损失3项指标对我国水资源二级分区的缺水风险进行了评价,综合反映了缺水对经济、社会和环境的影响. 三为风险动态模拟模型法:例如苏布达等[9]的基于GIS栅格数据的洪水淹没风险模拟模型,可以对长江流域分洪区运用预案的制订、土地利用的规划及洪水科学管理提供定量的科学依据. 简言之,区域水资源短缺风险是由用水需求和供水两方面因素来决定的. 又因水资源系统径流、降雨和其它各种随机性影响,供水和需水都存在不确定的因素,因此水资源的短缺也具有随机性,即区域供水存在着一定的风险[10].

1.2 水资源短缺一般风险因子

区域水资源风险受供给和需求的影响,如(图1)所示. 主要风险因子包括(1)供给方面:自然因素里的降水是水资源的主要来源,气象条件的变化影响区域水资源的丰枯[8];工程开发因技术条件有限影响,使得水资源利用不合理,浪费现象严重,引起区域水资源短缺. (2)需求方面:人口激增、GDP增长、产业经济发展对水资源的需求所占的比重大;环境需水量也随着社会经济的发展不断增加,引发区域水资源短缺. 水资源的供给与需求不平衡,导致区域水资源短缺风险.

收稿日期:2014-09-30
* 北京市大学生科学研究与创业行动项目(编号:BJS-201310028201),国家科技支撑计划项目(No. 2012BAC19B03)
**通讯作者

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

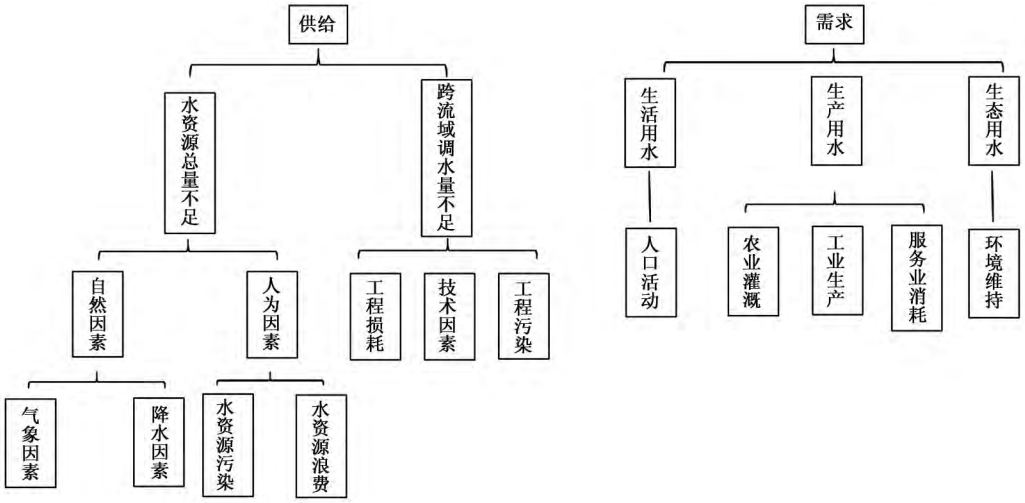


图 1　水资源短缺风险因子

2　北京市水资源支撑能力评价

2.1　评价指标 WSPI

本文选择水资源支撑系数 WSPI 作为水资源短缺定量评价方法. 其优势在于能够应用于市、县级等小尺度行政单元,统筹考虑了流域水资源利用状况,描述本区水资源条件对区域社会经济发展的支撑能力,服务于水资源决策以及区域发展规划、主体功能区划、城市发展指数评价等社会经济评价与规划. WSPI 指标能够较好的代表区域水资源短缺程度,表征水资源条件对区域社会经济发展的支撑能力.

$$\mathrm{WSPI} = \frac{1}{1 + \mathrm{BWSI}} \tag{1}$$

式中,WSPI 为水资源支撑指数[10],通过评价单元自身及上游地区水资源开发利用程度,表征区域来水与用水的矛盾,代表区域水资源条件对区域社会经济发展的支撑能力. 其中,

$$\mathrm{BWSI} = \min(\mathrm{WWI}, \mathrm{BWWI}) \tag{2}$$

WWI 为水资源开发利用率指标是取水量与水资源总量的比例,计算公式如下:

$$\mathrm{WWI} = (S - T - \mathrm{NW}) / \mathrm{WR}, \tag{3}$$

式中,S 是该区域供水总量; T 是跨流域调水量; NW 是供水量中非常规水源的数量,如淡化海水量、中水利用量等; S-T-NW 为评价单元从自然系统中的取水量; WR 是评价单元的水资源总量.

BWWI 表示这一单元的人水矛盾,计算公式如下:

$$\mathrm{BWWI} = \Sigma(Sn - \mathrm{NWn} - Tn) / \Sigma\mathrm{WRn} \tag{4}$$

式中,n 为评价单元及流域上游所有评价单元; Sn 为供水量; NWn 为非常规水源供水量; Tn 为跨流域调水量; Sn-NWn -Tn 为取水量; WRn 为水资源量[11].

2.2　评价结果与分级

采用《北京市统计年鉴 2013 版》[12] 以及北京市统计局及各区县水务局 2001—2012 年数据资料的平均值计算出北京市五大流域水资源的支撑指数.



图 2　北京市五大水系水资源支撑能力图

由结果得出,北京市水资源条件对区域发展的支撑能力呈明显南北分异(如图 2),并呈现出自西北向东南递减的趋势. 北部山区水资源总体丰富. 北京境内潮白河水系白河堡水库至怀柔水库段,永定河水系官厅水库至妫水河段,WSPI 指标均较高,水资源综合条件较好,水资源供需风险较小. 中部山区-平原过渡区水资源支撑能力相对减弱. 永定河水系官厅水库至珠窝水库段,蓟运河水系海子水库沟河段,北运河水系怀柔水库至十三陵水库段,WSPI 处于中等水平,水资源供需存在一定风险. 北运河水系温榆河至东端出境段、潮白河水系北运河段,永定河水系大宁水库至南端出境段,WSPI 均处于较低水

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

平,水资源供需存在较大风险.

3 北京市行政单元水资源支撑能力评价

3.1 区(县)级行政单元评价结果

依据水资源支撑能力分级标准(表 1),采用《北京市统计年鉴 2013 版》及各区县统计局数据,计算出北京 16 个区县水资源支撑能力指数(WSPI),并以此为依据绘制出北京市各区县水资源支撑能力分级图(图 3).

北京市 16 个区县中,水资源支撑能力等级"较好",属轻度缺水的有密云,延庆和怀柔三个区县,水资源条件相对较好,能够有效支撑社会经济发展. 水资源支撑能力"一般",属中度缺水的有平谷区,存在一定缺水问题. 水资源支撑能力"较差",属重度缺水的地区有顺义区、昌平区、门头沟区,缺水问题相对突出,水资源支撑能力较差. 水资源支撑能力"差"属极度缺水的有城六区及昌平区、通州区、大兴区,区域社会经济发展受到水资源条件的严重影响.

表 1 水资源支撑能力分级标准与表现特征

支撑能力	缺水程度	WSPI	缺水表现具体特征
差	极度缺水	<60	持续性缺水,正常用水需求不能得到有效保障,区域社会经济发展明显受到水资源条件的制约,与水相关的生态问题突出
较差	重度缺水	60~72	周期性缺水,由干旱引发的缺水事件多发,社会经济发展受到水资源条件的制约
一般	中度缺水	72~84	阶段性缺水,干旱事件可能导致缺水
较好	轻度缺水	84~92	极端干旱事件下,可能出现用水紧张状态
好	不缺水	92~100	不缺水

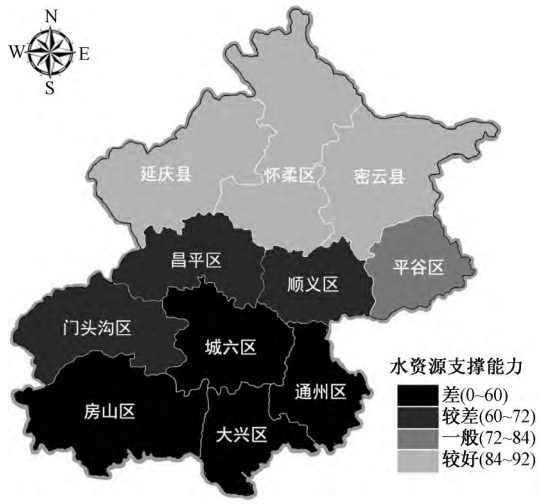


图 3 北京市各区县水资源支撑能力图

图 4 显示出北京市各区县的水资源支撑能力及其先后排名. 通州区为北京市最为缺水的地区,延庆县水资源条件最好. 水资源支撑能力"差"的区(县)级行政单元占到了全市总面积的 32.30%,"较差"的行政单元占全市总面积 23.24%. 评价等级"差"和"较差"的单元共占全市面积的 55.54%,水资源供需矛盾极为突出. 评价等级"一般"的行政单元占全市面积的 5.79%,"较好"的行政单元占全市总面积的 38.67%,水资源具备进一步开发利用的潜力.

3.2 区域水资源单元与人口、GDP 的关系

为了更好的表现区域特征,综合考虑地区自然、社会等因素,采用区域所含区县多年水资源数据的平均值,将北京市划分为五个缺水单元.

表 2 区域水资源支撑能力统计表

缺水单元	水资源支撑能力	行政单元数量	面积/km^2	人口/万人	人口密度/人·km^{-2}	GDP/亿元
城六区极度缺水单元	差	6	1 368.32	1 227.7	8 972	12 452.47
东南部极度缺水单元	差	2	1 942.6	276.1	1 421	1 669.96
西南部重度缺水单元	较差	2	3 440.24	128.4	373	566.33
西北部中度缺水单元	一般	2	3 337.29	214.7	643	590.14
东北部中度缺水单元	一般	4	6 322.0	222.4	351	1 616.99

由表 2 中可以看出各单元的缺水程度与本单元人口,GDP,总体呈现一定的对应关系. 城六区(包括东城区、西城区、海淀区、朝阳区、丰台区、石景山区)集中了北京市 80%以上的人口,GDP 产值占全市最高,经济最为发达,水资源供需风险极大,水资源短缺问题极为突出. 其次为东南部地区(大兴区、通州区),由于区域水资源条件的不足,再加上本地区人口数量庞大,经济发达,水资源开发利用率大大高于合理开发利用极限,成为北京市仅次于城六区的极度缺水单元. 西南部地区(门头沟区、房山区)人口密度较小,区域经济欠发达,虽然存在着一定的过境客水资源,但水资源量并不丰富,同样存在着较

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

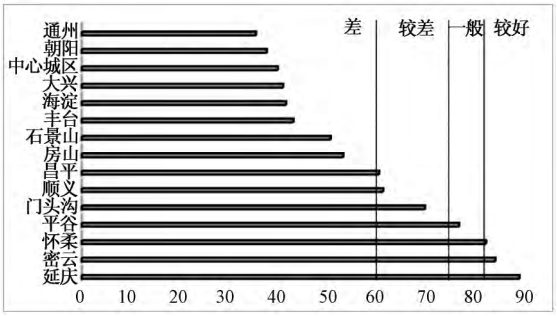


图 4　北京市各区县水资源支撑指数与水资源支撑能力分级

为严重的水问题. 西北部地区(昌平区、延庆县) 水资源较为丰富,有利于经济的可持续发展. 东北部地区(顺义区、平谷区、怀柔区、密云县) ,水资源保障程度较高,经济较为发达,应合理规划,科学利用.

4　北京市水资源现状及潜力分析

4.1　北京市水资源利用现状

如图 5 所示,在各种用水类型中,生活用水所占比重最大,2012 年占到北京市用水量的 44.57%. 生态环境用水量比重呈现明显的上升趋势. 农业用水和工业用水无论是绝对量还是相对量都呈现显著的下降趋势,但农业用水量 2012 年依然占到 25.91%,成为北京市用水的第二大户.

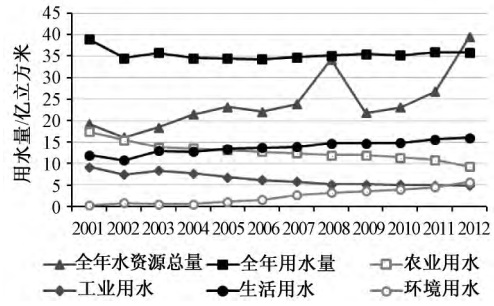


图 5　北京市 2001—2012 年水资源利用折线图

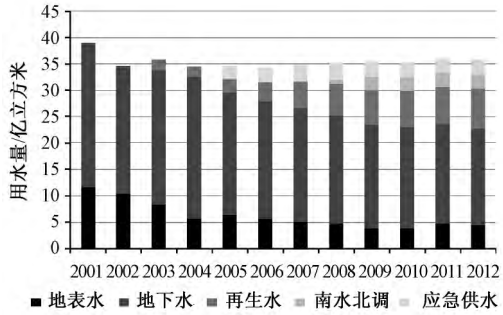


图 6　北京市 2001—2012 年供水组成柱状图

如图 6 所示,北京市的供水中,以地下水开采量为主,其中 2004 开采比例达到峰值,占当年北京市总供水量的 77.46%. 地表水和地下水供水量总体呈逐年减少趋势,地表水从 2001 年的 11.65 亿 m^3 减少到 2012 年的 4.4 亿 m^3,比重则从 30.07% 减少到 12.26%. 地下水从 2001 年的 27.2 亿 m^3 减少到18.3 亿 m^3,比重则从 69.93% 减少到 50.97%,依然占到我是供水总量的一半以上. 再生水和南水北调的应急调水量逐年增大,2012 年分别占到了 20.89% 和 15.88%.

5　结　论

(1) 基于水资源管理等方面的需求,本文以水资源支撑指数 WSPI 为主要指标,统筹考虑流域水资源利用,定量评价了水资源条件对北京市社会经济发展的支撑能力. 该指标评价结果和北京市实际水资源短缺问题基本一致,表现出了方法的优越性与较强的适用性,能够为首都地区水资源决策与有关社会经济发展规划提供科学参考.

(2) 以水资源支撑指数 WSPI 为依据,计算了北京市五大水系的 WSPI,划定了水资源支撑能力等级. 研究表明,北京市水资源短缺问题具有较明显的南北分异,北部四大水系片均有较强的水资源支撑能力,而南部三大水系片除个别地区外水资源支撑能力均较差. 水资源支撑能力为“差”和“较差”的地区主要分布在东南平原地区及西部山地地区,水资源支撑能力“较好”主要分布在北部山地地区.

(3) 定量评价了区(县) 级行政单元的 WSPI,并划分了等级. 其中,水资源支撑能力为“差”的区(县) 级行政单元共 9 个,区内分布全市 77.4% 的人口与 80.9% 的 GDP,而水资源量却仅占全市总量的 39.1%. 研究认为,这些区(县) 的缺水机理分为两种类型: 一种是由于人口集中,经济发达,导致人均水资源占有量不足,主要集中在城六区及南部郊区; 另一种是因为降水量偏少,水资源开发利用程度较低,人均用水量较高,主要分布在北京市西部郊区.

(4) 本文以水资源支撑能力指数(WSPI) 为主要评估指标. WSPI 指标是根据区域供水与用水的矛盾,来描述区域水资源短缺程度. 而实际上,用水量与需水量并不一致,而且随着社会经济的发展,区域需水量会是个动态变化的. 因此,下一步将继续研究北京市社会经济用水空间特征与发展趋势,综合考虑北京市水资源相关风险因子,完善北京市地区

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

水资源供需风险评估方法.

6 相关政策及建议

1) 制定并严格执行水资源管理政策,完善相关体制和机构建设

为了管理好水资源,必须制定一套合理的管理政策. 政府部门要对北京市用水总量和用水效率进行严格调控,用水总量每年增长量控制在 1 亿立方米以内. 同时,制定发布《水环境质量标准》,提高水功能区的水质,控制水环境污染,改善水的生态环境.

运用市场经济法则,调控水资源的使用. 现实表明,较低的水价并不利于保护水资源. 因此,建立合理的水价形成机制,拉开高耗水行业与其他行业的水价差,合理制定"阶梯水价",充分发挥市场在水资源配置方面的作用,推行工业和服务业用水超额累积加价制度,居民用水阶梯水价,是十分必要的.

2) 调整用水结构,提高再生水和降水利用率

提高污水资源化利用效率,把城市污水排放管理、污水处理厂建设、再生污水利用三个环节综合起来,全面规划,实现污水资源化.

加大降水和洪水利用的研究和应用,收集和利用城市降水和洪水,既可防治雨洪灾害,缓解城市雨洪压力; 同时又增加了可用水资源,并可补给地下水.

3) 积极实施外调水

通过实施南水北调工程建设,建立外来水源、本地水源相互协调的供水网络,提高北京城市供水安全保证程度,支持城市可持续发展.

4) 因地制宜,制定相应的水资源管控措施

北部地区水资源条件相对较好,水资源供需风险较低,应对水资源利用制定科学的规划,促进本地区水资源合理可持续发展,

城六区及南部地区经济最为发达,人口密度极高,存在着极大的水资源供需风险,应进一步控制人口数量,发展集约型节水经济,外迁高耗高污染型企业.

5) 实施海水淡化储备

积极推动海水淡化前期工作和工程建设,建设曹妃甸海水淡化工程,未来可新增供水 5 亿 m^3. 随着工程的完善,可能成为北京市供水保障主要组成部分.

6) 深入开展宣传教育工作

长期以来,人们对于珍惜水资源意识很淡薄,认为水取之不尽,用之不竭. 要改变这种意识,必需要宣传节水教育工作,不断通过网络、报刊、电视、广播等新闻媒体宣传节水思想. 从幼儿园做起直到大学,向学生灌输节水意识. 把节水意识发展成为一种习惯、文化.

参 考 文 献

[1] 廖强,张士锋,陈俊旭. 北京市水资源短缺风险等级评价与预测[J]. 资源科学,2013,35(1):140 – 147.

[2] 张士锋,陈俊旭. 华北地区缺水风险研究[J]. 自然资源学报,2009,24(7):1192 – 1200.

[3] 甘治国,蒋云钟,鲁帆等. 北京市水资源配置模拟模型研究[J]. 水利学报,2008,39(1):91 – 102.

[4] 阮本清,韩宇平,王浩,蒋任飞. 水资源短缺风险的模糊综合评价[J]. 水利学报,2005,36(8):906 – 912.

[5] 张士锋, 陈俊旭,华东, 孟秀静. 水资源系统风险构成及其评价——以北京市为例[J]. 自然资源学报,2010,25(11):1855 – 1863.

[6] 韩宇平,阮本清. 水资源短缺风险经济损失评估研究[J]. 水利学报,2007,38(10):1253 – 1257.

[7] 刘登伟. 京津冀大都市圈水资源短缺风险评价[J]. 水利发展研究,2010,10(1):20 – 24.

[8] 马黎,汪党献. 我国缺水风险分布状况及其对策[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2008,6(2):131 – 143.

[9] 苏布达,姜彤,任国玉,陈正洪. 长江流域 1960—2004 年极端强降水时空变化趋势[J]. 气候研究变化进展,2006,2(1):9 – 14.

[10] 曾国熙,裴源生. 流域水资源短缺风险调控模型研究[J]. 东北水利水电,2009,27(3):24 – 27.

[11] 李九一,李丽娟. 中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力[J]. 地理学报,2012,67(3):410 – 419.

[12] 北京市统计局,国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社,2013.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Risk Assessment of Water Supply and Demand in Water-scarce Region

Li Yakai　Yan Na　Zhang Xiaorui　Zhang Yuhu

(College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing　100048)

Abstract

The shortage of water resources in Beijing was quantitatively described by Water Supporting Index(WPSPI), showing supporting capacity of water resources in regional economic development. The risk levels of water supplying and demanding were divided by the calculation of WSPI in five watershed and administrative units of Beijing, and their relationship with population and GDP was analyzed. Considering the risk factors of water supplying and demanding in Beijing, and combining with recent ten years of water resources data, the water resources risk assessment report was drawn up, which would provide the related departments of the government with policy suggestions.

Key words: Water Supporting Index, water scarcity, water resources supporting capacity, Beijing.

作者简介　**李亚凯**(1992 -) **男,首都师范大学资源环境与旅游学院地理科学专业**. E-mail: yakailee@163.com.
通讯作者　**张玉虎**. E-mail: zhang-Yuhu@163.com

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net