南京市水资源承载力评价

张光凤，张祖陆

（山东师范大学 人口·资源与环境学院，山东 济南 250014）

摘　要：利用复合模糊评价模型，选用具有南京市特色的评价指标体系，以 2009 年为现状年，对南京市水资源承载力（WRCC）进行了评价，得出 WRCC 为 0.365 4，表明南京市处于可承载的较低水平，已经接近不可承载的临界状态。通过灰色预测方法对南京市 2020 年的相关指标进行预测，再次利用复合模糊评价模型对南京市 2020 年的水资源承载力进行综合评价，得出 WRCC 为 0.490 2，表明该市还处于可承载的范畴，比 2009 年的水资源承载能力有所提高。提高南京市水资源承载力的策略包括：（1）节约用水，减少人均用水量；（2）控制人口自然增长速率；（3）调节用水结构，降低万元 GDP 耗水量；（4）加强污水处理和中水利用的水平。

关键词：南京市；水资源承载力；复合模糊评价模型；灰色预测

文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2014)03-0154-06　　**中图分类号**：TV213，F323.213

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.030

Evaluation on Water Resource Carrying Capacity of Nanjing City

ZHANG Guang-feng, ZHANG Zu-lu

(*College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong* 250014, *China*)

Abstract: Utilizing composite fuzzy evaluation model, selecting the characteristic evaluation index system of Nanjing City, and taking the year of 2009 as status quo, this paper evaluated the water resource carrying capacity(WRCC) of Nanjing City and obtained WRCC=0.365 4, which indicating that the water resource carrying capacity was at a low level and closed to the critical state of quasi-non-bearing. Then the paper predicted the relevant indexes of Nanjing City in 2020 with the grey prediction method and comprehensively evaluated the water resource carrying capacity of Nanjing City in 2020 reusing the composite fuzzy evaluation model. The result was WRCC =0.490 2, indicating that the water resource carrying capacity of Nanjing City will be still in the category and will be higher than that in 2009. Finally, the paper proposed some strategies to improve water resource carrying capacity of Nanjing City: (1) conserving water and reducing water consumption per capita; (2) controlling natural population growth rate; (3) regulating water structure and reducing water consumption of million GDP; (4) strengthening sewage disposal and reclaimed water utilization levels.

Keywords: **Nanjing City; water resource carrying capacity; composite fuzzy evaluation model; grey prediction**

水资源承载力是资源承载力的重要组成部分，但由于水资源承载力的区域性以及其影响因素的复杂性与不确性，水资源承载力的概念至今没有一个统一的表达。

概括地说可以分为以下几类。（1）以施雅风[1]、惠泱河[2]、韩俊丽等[3]为代表从水资源的最大支撑能力的角度对水资源承载力的解释。例如韩俊丽等[3]对水资源承载力的解释为在特定的历史发展阶段，以可持续发展为原则，以维护生态良性循环为条件，以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据，在水资源适度开发和优化配置的前提下，区域水资源系统对当地人口和社会经济发展的最大支持能力。（2）从水资源的最大支撑规模的角度进行定义。典型代表有阮本春[4]、何希吾[5]、夏军[6]、张丽[7]等人，例如夏军等[6]对水资源承载力的定义为某一区域在特定历史阶段的特定技术和社会经济发展水平条件下，以维护生态良性循环和可持续发展为前提，当地水资源系统可支撑的社会活动规模和具有一定生活水平的人

收稿日期：2013-07-23　　修回日期：2013-07-13

作者简介：张光凤（1987—），女（汉族），山东省潍坊市人，硕士研究生，研究方向为区域可持续发展与全球变化。E-mail：zhangmoru1987@163.com。

通信作者：张祖陆（1949—），男（汉族），上海市嘉定区人，博士生导师，硕士，教授，主要从事区域自然地理学及资源环境系统遥感与地理信息系统的研究。E-mail：zulzhang@126.com。

口数量。(3) 从水环境的最大承受能力的角度进行的定义。例如许友鹏[8]认为水资源承载力是指在一定的技术经济水平和社会生产条件下,水资源可最大供给工农业生产、人民生活和生态环境保护的用水的能力,即水资源的最大开发容量,在这个容量下水资源可以自然循环和更新,并不断地被人们利用,造福于人类,同时不会造成恶化。

基于以上定义,本文对某区域水资源承载力的定义为:某地区在某一发展阶段,以该地区社会发展水平和技术为依据,在可持续发展的框架下,以维持生态环境的良性循环为条件,在水资源得到合理开发利用和有效配置的前提下,区域水资源所支撑最大社会经济规模。

关于水资源承载力研究采用的方法有常规趋向法[1]、模糊综合评价法[8-9]、多目标模型分析法[10]、系统动力学方法[3,11]、主成分分析法[12]等,这些方法各自有各自的优势与劣势,目前没有形成成熟的方法体系。水资源承载力研究是属于评价、规划与预测一体化性质的综合研究。由水资源承载力的定义可以看出,对于水资源承载力的研究必须综合考虑水资源系统、社会系统、经济系统以及生态系统的协调发展,同时要充分考虑到水资源承载力评价指标的多层性、综合性、不确定性与模糊性。

因此,本文采取多层次模糊综合评价模型的改进模型——复合模糊评价模型[13],既保留了多层次模糊综合评判方法的优势,又克服了它遗失有用信息、信息利用率低的局限性。

1　南京市概况

南京市位于江苏省西南部,东与扬州、镇江、常州 3 市接壤,南、西、北部与安徽毗邻[14],是江苏省政治、经济、文化、交通的中心;下辖 6 个城区、5 个郊区、2 个县,总面积 6 582 km^2。地理坐标 118°21′28″—119°15′57″E, 30°13′39″—32°36′37″N;地貌类型多样,交错分布,其中平原凹地占 24.0%,低山占 15.7%,丘陵占 48.9%,水面占 11.4%。

南京市境内共有大小河道 120 条,分属两江(长江、青弋江—水阳江)、两湖(固城湖、石臼湖)、两河(滁河、秦淮河),以跨省、市的流域划分水系,可划分为长江南京段、滁河、秦淮河、青弋江—水阳江 4 大水系。

南京市地处北亚热带季风气候区,气候温暖湿润,多年平均气温 15.4 ℃,降水量较为丰沛,多年平均降水量 1 075.5 mm。降雨量分布不均匀。

南京市年平均水资源总量 2.56×10^9 m^3,其中地表水资源量 1.86×10^{10} m^3,地下水资源量 7.00×10^9 m^3。过境水资源量比较丰富,年平均水资源量 9.22×10^{11} m^3,主要来自于长江、水阳江、秦淮河、滁河。

改革开放以来,南京市城市和人口规模迅速发展,已经形成电子信息、钢铁、汽车电力、石油化工五大产业为主导的综合型工业体系;高新技术产业开发区等工业园的发展[14-16],促进了沿长江地区外向型经济的发展。随着区域经济一体化带来的机遇,沿江城市化的发展与水资源利用之间必然存在着不可忽视的矛盾。南京段江河起着行洪、供水排水和美化环境的多种功能,而南京市的快速发展是以沿江大规模的开发为基础的,沿江发展必然使南京市水资源的供需发生变化,对水环境质量产生影响。因此本文以南京市为例,分析了随着长江下游沿江城市发展,对水资源承载力进行了现状分析与预测。

2　南京市水资源承载力基于复合模糊评价模型的计算

2.1　水资源承载力的指标体系[13,16-18]

综合评价是对各评价指标的信息综合。指标的选取一般遵循以下原则:整体性、层次性、独立性、区域性、可测性、可操作性、综合性指标优先等。

影响水资源承载力的因素多种多样,概括来讲主要包括:某地区水资源的数量、质量以及开发程度;区域社会的发展状况;区域经济发展水平;区域的政策法规、市场、其他资源的利用潜力等。这些因素决定评价水资源承载力的评价指标体系的庞大性与复杂性。对一个区域进行水资源承载力评价时,应结合当地的具体情况选择评价指标体系。

南京市水资源承载力指标的选取主要考虑以下 4 个方面:(1) 南京地处长江下游,水资源总量充足。因此,选取了人均水资源量、人均用水量以及水资源利用率 3 个指标来反映南京市水资源的数量以及开发程度;(2) 人口自然增长率与城市化水平是体现一个南京市城市的扩张程度和城市人口发展速度的重要指标,从另一方面反映了南京市水安全压力;(3) 经济方面,人均 GDP 以及第三产业占 GDP 比重反映了南京市的经济发展,万元 GDP 水耗体现了城市的节水力度;(4) 生态环境方面,80 年代以来,秦淮河等水域逐步遭到污染,目前形势仍十分严峻,需要加以综合治理,而污水处理率反映了一个南京市的污水处理能力,工业废水排放达标率越大,对提高水质和节约工业用水量的贡献越大,绿化覆盖率则体现了南京政府对环境的重视程度以及城市绿化需水量。因此,南京市水资源承载力指标系统如表 1 所示。

表 1 南京市水资源承载力指标体系

子系统	指 标	含 义	指标类型	可承载临界状态值	可承载理想状态值
水资源子系统	人均水资源量(m^3/人)	水资源总量/人口总数	+	1 700	5 000
	人均用水量(m^3/人)	可利用水资源总量/人口总数	−	800	400
	水资源利用率/%	供水量/可利用水资源总量	−	40	20
社会子系统	城市化水平/%	城市人口/总人口	+	20	70
	人口自然增长率/%	新增人口/人口总数	−	9.5	2.1
经济子系统	人均 GDP(元/人)	GDP/人口总数	+	3 280	32 800
	万元 GDP 水耗(m^3/万元)	总用水量/GDP	−	200	50
	第三产业占 GDP 比重/%	第三产业 GDP/GDP 总量	+	30	60
生态环境子系统	绿化覆盖率/%	植被面积/区域面积	+	15	60
	工业污水达标排放率/%	达标排放量/工业废水排放量	+	20	90
	污水处理率/%	污水达标处理量/污水总量	+	60	90

2.2 南京市水资源复合模糊评价

复合模糊评价模型的基本思路是:先计算指标承载(隶属)度,初级评判是通过多指标水资源承载力的 4 个子系统分承载力的评判,二级评判是对整个水资源承载力的评判。

2.2.1 南京市现状年水资源承载力的计算

(1) 隶属度以及权重的确定[14]。

正向指标采用公式:

$$u(x_i)=\begin{cases}1 & (x<a)\\ \dfrac{1}{2}-\dfrac{1}{2}\sin\dfrac{\pi}{b-a}\left(x-\dfrac{b+a}{2}\right) & (a\leqslant x\leqslant b)\\ 0 & (x>b)\end{cases} \quad (1)$$

逆向指标采用公式

$$u(x_i)=\begin{cases}1 & (x<b)\\ \dfrac{1}{2}-\dfrac{1}{2}\sin\dfrac{\pi}{a-b}\left(x-\dfrac{b+a}{2}\right) & (b\leqslant x\leqslant a)\\ 0 & (x>a)\end{cases} \quad (2)$$

式中:x_i——i 指标的实际值;$u(x_i)$——x_i 指标的隶属度;a,b——i 指标的可承载临界值和理想值。

各个因子权重是根据相关的资料并结合专家综合打分确定(如表 2 所示)。

(2) 初级评判。确定每个子系统中的每个元素的隶属度与权重后,每个子系统的分承载力为:

$$B_i=\sum_{j=1}^{n_i}u_j^i\star a_j^i \quad (i=1,2,3,4,j=1,2,\cdots,n_i) \quad (3)$$

式中:B_i——i 系统的分承载力;u_j^i,a_j^i——第 i 个子系统的隶属度与权重;n_i——第 i 个子系统指标个数。由此可得水资源子系统分承载力(WR)、社会子系统分承载力(SC)、经济子系统分承载力(EC)、生态环境子系统分承载力(EE)分别为 0.095 6,0.955 0,0.856 1,0.873 2。

(3) 二级评判。二级评判采用乘积算子进行计算。

水资源承载力:$WRCC=WR^{0.4}\times SC^{0.2}\times EC^{0.2}\times EE^{0.2}=0.365\ 4$。

2.2.2 评价结果分析 为了更细致地描述南京市水资源的承载状态,对 WRCC 的值进行等级划分(如表 3 所示)。

表 2 南京市 2009 年水资源承载力初级评判

子系统	权重	指 标	权重	原始值	隶属度
水资源子系统	0.40	人均水资源量	0.40	456.50	0
		人均用水量	0.30	647.30	0.32
		水资源利用率	0.30	54.60	0
社会子系统	0.20	城市化水平	0.50	79.00	1.00
		人口自然增长率	0.50	2.57	0.99
经济子系统	0.20	人均 GDP	0.30	67 46	1.00
		万元 GDP 水耗	0.40	96.00	0.79
		第三产业占 GDP 比重	0.30	51.30	0.81
生态环境子系统	0.20	绿化覆盖率	0.41	44.11	0.71
		污水处理达标率	0.18	94.41	1.00
		污水处理率	0.41	87.50	0.98

注:原始数据来源于《南京市统计年鉴 2010》。

表 3　水资源承载力等级划分

水资源承载力	0	0～0.3	0.3～0.8	0.8～1	1
承载状态	不可承载	准可承载	可承载	良好承载	理想可承载

由以上计算结果可以看出,2009 年南京市的水资源承载力评价值仅为 0.365 4,隶属可承载范围,但已经处于可承载的边缘。水资源子系统承载力为 0.095 6,已属于不可承载的范畴,这主要是因为南京市人口较多,人均水资源量少造成的。

3　南京市水资源承载力预测分析

运用灰色预测[13,19-20]对水资源承载力系统相关指标进行预测,然后运用复合模糊综合模型对 2020 年的水资源承载力进行预测分析。

3.1　相关指标的预测

3.1.1　GDP 预测　南京市 2000—2009 年 GDP 原始数据以及根据模型所求得的数据分析如下。

(1) 级比检验。

数据序列:$x_0=(1\ 385.14,1\ 690.77,2\ 067.18,2\ 451.94,2\ 822.8,3\ 340.05,3\ 814.62,4\ 230.26)$

计算级比:$\sigma=(8\ 192,0.817\ 9,0.843\ 1,0.868\ 6,0.845\ 1,0.875\ 6,0.901\ 8)$

均落在可容覆盖$(0.800\ 7,1.248\ 8)$内,故可进行灰预测建模。

(2) 模型建立与求解。

累加生成序列:$x^1=(x_1^1,x_2^1,\cdots,x_n^1)$,其中 $x_k^1=\sum_{i=1}^{k}x_i^0$,$k=1,2,\cdots,n$,具体数值为 $x^1=(1\ 385.14,3\ 075.91,5\ 143.09,7\ 595.03,10\ 417.8,13\ 757.9,17\ 572.5,21\ 802.8)$。

均值生成序列:$z^1=(z_2^1,z_3^1,\cdots,z_n^1)$,其中 $z_k^1=0.5x_k^1+0.5x_{k-1}^1$,$k=2,3,\cdots,n$,所求数据为 $z^1=(2\ 230.53,4\ 109.5,6\ 369.06,9\ 006.43,12\ 087.9,15\ 665.2,19\ 687.6)$。

建立灰微分方程为:

$$x_k^0+az_k^1=b\quad(k=2,3,\cdots,n)\tag{4}$$

若 $A=\begin{pmatrix}a\\b\end{pmatrix}$,$Y=\begin{pmatrix}x_2^0\\x_3^0\\\vdots\\x_7^0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\ 690.77\\2\ 067.18\\2\ 451.94\\2\ 822.80\\3\ 340.05\\3\ 814.60\\4\ 230.26\end{pmatrix}$

$$B=\begin{pmatrix}-z_2^1 & 1\\-z_3^1 & 1\\\vdots & \vdots\\-z_7^1 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-2\ 230.53 & 1\\-4\ 109.50 & 1\\-6\ 369.06 & 1\\-9\ 006.43 & 1\\-12\ 087.90 & 1\\-15\ 665.00 & 1\\-19\ 687.60 & 1\end{pmatrix}$$

其中 a 是发展灰度,b 是内生控制灰度,由最小二乘法得 $\hat{A}=(\hat{a},\hat{b})=(B^TB)^{-1}B^TY$

解方程(4)得:

$$x_{k+1}^1=(x_1^0-\frac{b}{a})e^{-ak}+\frac{b}{a}\quad(k=1,2,\cdots,n)$$

则根据模型进行计算求得:

$$\hat{A}=\begin{bmatrix}-0.146\ 2\\1\ 472.41\end{bmatrix}$$

$$\hat{x}_{k+1}^1=11\ 456.22e^{0.146\ 2k}-10\ 071.08\quad(k=1,2,\cdots,7)\tag{5}$$

$$\hat{x}_{k+1}^0=\hat{x}_{k+1}^1-\hat{x}_k^1\tag{6}$$

(3) 残差检验。

由图 1 可得,$\varepsilon(k)<0.1$,$\varepsilon(\text{avg})=0.024\ 9$,由此得精度 $p=1-\varepsilon(\text{avg})=97.51\%>95\%$。建模达到较高的精度,可以用此模型进行 GDP 预测。

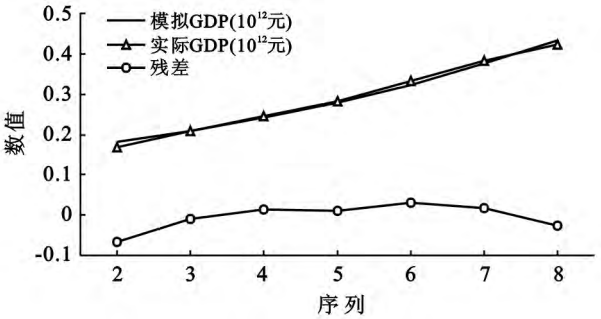


图 1　南京市 GDP 预测模型残差检验

(4) 2020 年 GDP 预测。

2020 年的经济规模计算如下:

$$\hat{x}_{19}^1=11\ 546.22e^{0.146\ 2*18}-10\ 071.08=149\ 129.3$$

$$\hat{x}_{18}^1=11\ 456.22e^{0.146\ 2*17}-10\ 071.08=127\ 475.4$$

$$\hat{x}_{12}^0=\hat{x}_{12}^1-\hat{x}_{11}^1=21\ 653.9$$

即 2020 年 GDP 为 21 653.9 亿元。

3.1.2 其他指标预测结果 其他指标的预测都是按照经济预测的步骤进行的，预测结果如下。

（1）人口预测模型：$x^1_{k+1}=35\ 147.76e^{0.016\ 23k}-34\ 584.48$，2020 年人口预测值为 758.128 万人。

（2）第三产业比重预测模型：$x^1_{k=1}=40.88e^{0.011\ 45k}-40.4$，2020 年第三产业比重预测值为57.22%。

（3）自然增长率预测模型：$x^1_{k+1}=74.1e^{0.301\ 04k}-71.81$，2020 年的自然增长率预测值为 3.72%。

（4）污水处理预测模型：$x^1_{k+1}=2\ 375.3\times e^{0.030\ 65k}-230\ 562$，精度为 98.3%。预测 2020 年污水处理率为 124.5%，因处理率不可能超过 100%，所以 2020 年污水处理率为 100%。

（5）污水排放达标率预测型：$x^1_{k+1}=9\ 586.52e^{0.009\ 41k}-9\ 495.4$，精度为 99.12%，由此预测出 2020 年污水处理达标率 106.31%，大于 100%，因此 2020 年的污水处理达标率为 100%。

（6）植被覆盖率预测模型：$x^1_{k+1}=9\ 234.09\times e^{0.004\ 79k}-9\ 191.2$，精度为 98.94%，2020 年植被覆盖率预测为 48.07%。

（7）城市化水平预测模型：$x^1_{k+1}=3\ 601.93e^{0.019\ 28k}-3\ 541.7$，精度为 98.64%，2020 年的预测值为97.34%。

（8）水资源利用率预测模型：$x^1_{k+1}=-56.99e^{-0.01k}+57.55$，精度为 98.56%。由此可得 2020 年水资源利用率为 47.93%。

（9）需水量的预测模型：$x^1_{k+1}=-2\ 903e^{0.0213k}+2\ 959.95$，精度为 95.4%，2020 年的需水量为 43.54 $\times10^9$ m^3。

（10）供水量预测。《南京市总体规划（2007—2020 年）》中提议南京是将长江作为全市主要供水源，固城湖、中山、方便、金牛等水库作为补充水源以及应急备用水源，南京规划 15 座城市水厂，供水总体规模 6.30 $\times10^6$ m^3/d，总供水量大约 2.30 $\times10^9$ m^3。

3.2 2020 年水资源承载力的复合模糊分析

利用灰色预测方法预测分析相关的数据进行 2020 年的水资源承载力复合模糊分析。

（1）初级评判。由表 4 可得南京市 2020 年的水资源承载力子系统的分承载力分别为：

WR=0.18，SC=0.943 2，EC=0.993 6，EE=0.932 8. 具体计算过程数值如表 6 所示。

（2）Ⅱ级评判：$WRCC=WR^{0.4}\times SC^{0.2}\times EC^{0.2}\times EE^{0.2}=0.490\ 2$，隶属于可承载范畴，相对于 2009 年承载力有所提高。

表 4 南京市 2020 年水资源承载力初级评判结果

子系统	权重	指 标	权重	原始值	隶属度
水资源子系统	0.40	人均水资源量	0.40	303.31	0.00
		人均用水量	0.30	574.35	0.60
		水资源利用率	0.30	48.00	0.00
社会子系统	0.20	城市化水平	0.50	97.30	1.00
		人口自然增长率	0.50	3.72	0.87
经济子系统	0.20	人均 GDP	0.30	285 623.00	1.00
		万元 GDP 水耗	0.40	20.00	1.00
		第三产业占 GDP 比重	0.30	57.20	0.98
生态环境子系统	0.20	绿化覆盖率	0.41	48.07	0.84
		污水处理达标率	0.18	100.00	1.00
		污水处理率	0.41	100.00	1.00

通过对 2009 年与 2020 年的水资源承载力的计算分析可以看出，南京市的水资源承载力水平都处于可承载范畴，并且 2020 年的承载能力比 2009 年提高了 34%，子系统的分承载力都相对有所提高，其主要原因如下。

（1）在水资源子系统中，2020 年的预测的人均用水量相对于 2009 年有所减少。

（2）在社会子系统中，水资源的分承载力有所下降，主要是由于人口的自然增长率相对于 2009 年增长了 44%。

（3）在经济子系统中，水资源的分承载力有 2009 年的 0.856 1 增长到 2020 年的 0.993 6，这主要是由于 2020 年的万元水耗量由 2009 年的 96 m^3/万元降到了 2020 年的预测的 20 m^3/万元，同时第三产业所占比重增加了 5.9%。

（4）在生态环境子系统中，水资源分承载力增加是因为 3 个指标都为正向指标且指标数值都有所增加，污水处理率与污水排放达标率 2020 年的预测值都达到了 100%。

4　对策与展望

4.1　水资源可持续利用的对策

(1) 节约用水,建设节水型社会。调节城镇生活用水定额,进一步调节水价,提高居民的节水意识,重点在于开发新的节水设备和器具,加快供水管网的改造;工业方面,建立健全完善的节水管理体系与法规,推行节水目标责任制,重新制定主要行业的用水定额;农业用水方面,开发和研究抗旱节水的农作物品种,以及用于浇灌的节水技术,全面改造骨干灌水线,提高骨干渠线的配套率以及防渗率。

(2) 调节用水结构结构,降低万元 GDP 耗水量。改变三次产业的比例,增加第三产业比重,同时提高南京市用水企业的重复利用率,节约用水,逐步降低万元 GDP 耗水量。

(3) 污水处理,中水回用。改变传统污水处理方式,采用循环经济理念,以源头控制为主,严格控制新的污染源;对于污染较重的化工企业要严格限制,新工厂要避开工业密集带以及沿江地带;在生产过程中采用高科技创新有效的清洁生产技术;通过排污口改道,同时对水上交通污染以及生活垃圾进行收集处理来实现对南京主城沿江水污染的控制。并继续对秦淮河、玄武湖、莫愁湖等水环境污染的综合治理工程。完善老城区中水处理设施以及管道系统的建设,将中水回用应用于农业灌溉中,提高中水利用率。

(4) 蓄引结合,合理开发利用水资源。南京市本地水资源不足,特别是丘陵山区产水量低,蓄水条件差,经常遭遇干旱;而长江过境水量丰沛,年客水资源量为 9.00×10^9 m^3 左右,沿江水资源供需平衡,但解决丘陵山区干旱较为困难。因此,对于丘陵山区,可通过修建建小型水库或挖水井的办法,同时居住房设置引水管,修建蓄水池收集雨水,城市用来浇花以及其他生活用水,农村可以用来饲养家畜家禽,以此节约用水增加蓄水量。

4.2　水资源承载力研究展望

水资源承载力研究涉及的是水—社会—经济—环境耦合系统,尽管本文在充分利用前人研究成果并对前人研究成果创新的基础上,选取了各个系统的水资源承载力指标,但是由于水资源承载力系统的复杂性、各系统之间的相互关系以及数据来源和方法的局限性,可能造成本文所得的南京市水资源承载力的水平不够精确,与实际水平有一定的偏差。以此,在今后的研究中,需要进一步加强对水资源承载力各个系统的相互约束机制以及各系统内部各指标之间的相互关系的研究。而本文对经济快速发展,城市化进程以及人民生活水平迅速提高的南京市的水资源承载力进行了现状分析与预测,根据分体提出水资源可持续发展的对策,这种研究对于探讨地区水资源承载能力有一定的示范意义。

[参　考　文　献]

[1] 施雅风,曲耀光. 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,1992.

[2] 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.

[3] 韩俊丽,段文阁. 城市水资源承载力研究现状及趋势[J]. 资源开发与市场,2004,20(5):353-355.

[4] 阮本青. 区域水资源适度承载能力计算模型研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(3):58-61.

[5] 刘昌明,何希吾. 我国 21 世纪上半叶水资源需求分析[J]. 中国水利,2000(1):19-20.

[6] 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.

[7] 张丽. 流域水资源承载能力浅析[J]. 中国水利,2002(10):100-104.

[8] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究:以新疆和田地区为例[J]. 自然资源学报,1993,8(3):228-237.

[9] 任建荣,郑国章. 山西省水资源承载力评价及对策研究[D]. 太原:山西农业大学,2010.

[10] 薛小杰,惠泱河. 城市水资源承载力及其实证研究[J]. 西北农业大学学报,2000,8(6):135-139.

[11] 倪滕南,张祖陆. 济宁市水资源承载力与可持续发展研究[D]. 济南:山东师范大学,2010.

[12] 孟凡德,王晓燕. 北京市水资源承载力的变化趋势及驱动力研究[J]. 中国水利,2004(9):22-25.

[13] 方文青,刘保东. 德州市水资源承载力研究[D]. 济南:山东大学,2009.

[14] 南京市水利局. 南京市水利公报[EB/OL]. [2007-04-23]. http://slj.nanjing.gov.cn/jlm/12349/12357/200704/t20070423_520606.html.

[15] 许有鹏,于瑞,宏朱岭. 长江下游沿江城市化发展与水资源利用和保护分析研究:以南京市为例[C]//全国第三届水问题研究学术研讨会论文集. 2007:445-449.

[16] 肖迎迎,宋孝玉,张建龙. 基于主成分分析的榆林市水资源承载力评价[J]. 干旱地区农业研究,2012,29(7):218-224.

[17] 惠泱河. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报,2011,21(1):30-35.

[18] 陈凯. 汕头市水资源承载力评价研究[J]. 长江科学院院报,2012,29(7):22-26.

[19] 王颖,楼章华. 乐清市水资源承载力研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.

[20] 聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2003.