

文章编号:1001-4179(2015)16-0010-04

# 基于集对分析法的水资源承载能力评价研究

代 涛,周冬妮,张 虎

(长江勘测规划设计研究有限责任公司,湖北 武汉 430010)

**摘要:**为了评价水资源承载能力,根据水资源可持续利用的量度需求,采用定量和定性相结合的方法,从社会经济系统、生态环境系统和水资源系统3个方面,构建了水资源承载能力评价指标体系,给出了5级评价标准。针对评价体系,提出水资源承载能力集对分析评价模型,并对模型的优越性进行了分析。最后选取南京市高淳区为实例,介绍了集对分析评价模型的应用方法,为水资源承载能力研究提供了一种新方法。

**关键词:**水资源承载能力;评价;集对分析法;指标体系

中图法分类号:TV211.1

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.16.003

我国水资源时空分布不均,随着城市人口的不断增长和社会经济的快速发展,水资源短缺以及水质的不断恶化已经成为制约我国社会经济可持续发展的“瓶颈”因素。全国661座建制市中有400多座缺水,其中110个城市严重缺水。水资源承载能力关系国家和地区经济可持续发展,对国家或地区社会经济发展极为重要。要解决区域水资源短缺问题,必须先深入分析当地的水资源承载能力,为社会经济发展决策和区域规划提供水资源方面的支撑依据。

水资源承载能力评价是为了研究水资源与人口、经济三者之间的关系,充分合理地利用现有的水资源,使经济社会发展与水资源保护协调进行。目前,国内外已有部分学者对水资源承载能力进行了研究,取得了一些研究成果,如J. N. Harris研究了农业生产区域水资源农业承载能力,将此作为区域发展潜力的一项衡量标准<sup>[1]</sup>;J. H. Munther从供水的角度对城市水资源承载能力进行了研究,并将其纳入城市发展规划当中<sup>[2]</sup>;在国内,也有学者对水资源承载能力进行了研究<sup>[3]</sup>。周琳运用主成分分析法对江门市水资源承载能力进行了研究等<sup>[4]</sup>;杨广建立了物元分析模型对玛纳斯河流域的水资源承载力进行了研究<sup>[5]</sup>;常进提出了投影寻踪分类模型对水资源承载能力进行了研究<sup>[6]</sup>。但由于水资源系统及其所支撑的社会经济系统的复杂性,水资源承载能力与可持续发展之间的相

互联结关系还不清晰,水资源承载能力的分析评价还主要局限于静态分析,不能反映区域的特点和发展目标。在水资源承载能力评价方法方面,目前常用的方法有层次分析法、主成分分析法等,其中层次分析法计算简单,需求信息量少,但需要评价者的主观判断;主成分分析法只能进行横向比较,不能进行纵向比较,评价结果不能反映随时间的动态变化。因此如果能采用一种能反映系统内在关系且操作简便的方法对水资源承载能力进行评价,则结果将更趋于合理。集对分析法(Set Pair Analysis, SPA)是我国学者赵克勤提出的一种新的不确定性分析方法<sup>[7]</sup>,可具体描述一些确定性和不确定性问题,全面反映确定性和不确定性系统的对立统一关系,该方法概念清晰,计算简捷,便于操作,已经在国内得到广泛应用<sup>[8-9]</sup>。相比于传统评价方法中专家打分法、模糊综合评价法、灰色聚类评价法、主成分分析和因子分析法等,集对分析法摆脱了传统模型中权重赋值的缺点,使评价结果更加客观,能反映评价的客观真实情况。与人工神经网络、灰色关联度分析法相比,集对分析法计算过程简单,操作性更强。目前,集对分析法在生态环境质量评价、水资源变化趋势的统计预测、水资源可持续利用评价、节水型社会建设评价等领域具有广阔的应用前景。本文将集对分析法用于水资源承载能力评价中,为水资源承载能力评价提供了一种新方法。

收稿日期:2014-11-14

作者简介:代 涛,男,高级工程师,博士,主要研究方向为水利规划与设计。E-mail:taod@163.com

1 区域水资源承载能力评价指标体系

水资源承载能力的概念包括了自然和社会两个方面,所构成的系统很复杂、庞大,包括了众多因素,这些因素相互影响、作用,有积极主动的,也有消极被动的。水资源承载能力的定义尚无统一的认识,不同学者有不同的观点<sup>[10-12]</sup>。但有一个认识是相同的,都强调了水资源承载能力具有时间和空间属性。本文综合前人研究成果认为,区域水资源承载能力是一个区域的水资源最大程度地支撑当地的经济、人口规模的能力。

1.1 评价指标体系的构建

指标体系是一系列独立的可以相互制约的指标的总体。研究水资源承载能力就需要先分析水资源开发利用的可持续性,建立区域水资源可持续利用评价指标体系。区域水资源可持续利用评价指标体系要体现水资源系统的发展水平,即水资源开发利用管理等状况,以及社会经济水平、生态环境状况等,很难用一两个指标反映其全部的特性和状态。

杨广<sup>[5]</sup>根据干旱区水资源及其利用的特点建立了人均水资源量、水资源利用率、林草覆盖率、污水处理率、生态环境用水率、人口自然增长率、城镇化率、人均 GDP、第三产业占 GDP 比重、人均粮食占有量、用水效益等 11 个指标的水资源承载能力评价指标体系。陈南祥根据河南省禹州市社会经济发展状况和水资源情况,参照全国水资源供需平衡分析的指标体系,最终选取人均水资源量、人均供水量、水资源利用率、需水量模数、生活用水定额、工业万元产值用水量、耕地灌溉率、生态环境用水率 8 项指标作为水资源承载能力综合评价指标。马峰根据河北省石家庄市水资源具体情况,选择人口密度、人口增长率、城镇化率、森林覆盖率、人均生活用水量、万元工业增加值用水量、工业用水重复利用率、生态环境用水率、节水灌溉率等 18 项指标建立水资源承载能力指标体系。

本文根据评价指标的选取原则,结合区域水资源可持续利用要求,在指标优选时采用了定性和定量分析相结合的方法,最大限度满足指标的代表性、重要性和独立性,最终从社会经济系统、生态环境系统和水资源系统 3 个方面建立 20 个评价指标(图 1)。

1.2 指标体系评价标准

指标体系的评价标准是水资源承载能力评价的一项重要内容,直接

影响到评价结果的客观性和准确性。目前国内对指标体系的评价标准研究包括:对其 11 个指标的指标体系,给出了三级评价标准<sup>[5]</sup>;对其 8 个指标分为 3 个评价级别;对其 18 个指标建立了 4 级评价级别。由于目前对水资源承载能力等级划分标准存在认识上的不同,加之各地区、各流域水资源特点不同,不同的承载能力等级所对应的单项指标取值范围也存在差异,没有形成统一的认识,一般由人们根据相关原则自行确定评价标准。

本文在已有研究成果基础上,结合我国社会经济发展水平及水资源承载能力评价的特点,按照评价事件常用 5 级评价标准,将区域水资源承载能力划分为 5 级:好、较好、一般、较差和差。

“好”级别表示本区域水资源开发较少,具有进一步大规模开发潜力,水资源供给情况很好。

“一般”级别表示区域水资源已进行了部分开发,但没有过度开发,有开发潜力,水资源能在一定程度上满足区域的社会经济发展需水要求。

“差”级别表示当地的水资源承载能力趋于饱和,开发潜力极小、水资源无法满足区域经济进一步发展,需要采取相应的水资源合理配置对策。

“较好”级别和“较差”级别则分别是处于好与一般、差与一般的中间级别。

综合考虑我国近年来各项指标的平均值、上限值和下限值,以及国际上一些相关指标的警戒值,按 5 个等级确定了 20 个评价指标的评价标准,如人均 GDP 和 GDP 增长率是参照了我国近 10 a 来的经济发展情况,分析及各区域的经济水平综合确定 5 级评价标准,城镇化率则是根据我国不同城市的总体规划确定评价标准,人均水资源量、人均供水量和水资源利用率则是根据我国各地区水资源开发利用情况以及供水情况进行分析,确定 5 级评价标准。其他指标体系也是根据相关社会经济发展资料和已有研究成果

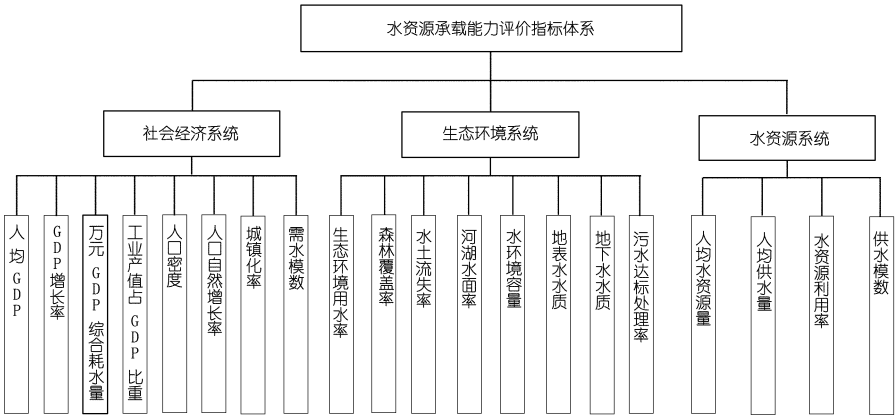


图 1 区域水资源承载能力评价指标体系

综合分析确定,具有一定的参考价值。本文建立的水资源承载能力评价指标评价标准见表 1。

## 2 集对分析法评价模型

### 2.1 集对分析法评价模型原理

集对分析法是一种系统分析方法,能有效处理不确定性问题,该方法的核心思想是把被研究的客观事物之间确定性联系与事物之间的不确定性联系作为一个整体系统来分析处理,这符合系统科学的观点。集对的概念是指由一两个集合组成的具有一定联系对子,集对原理则是在一定的条件下,对相互结合、组成集对的两个集合(  $A, B$  )的属性进行差异性、同一性和对立性分析。集对关系可以用联系度来描述,见式(1)。

$$\mu_{A-B} = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j$$

(1)

式中,  $N$  为集合的总个数;  $F$  为差异性的个数;  $P$  为对立性的个数;  $S$  为同一性的个数;  $i$  为差异不确定系数,  $j$  为对立系数,仅起差异标记作用。

如果令  $a = S/N$ , 则  $a$  为在研究问题下的同一度,  $b = F/N$  称为差异度,  $c = P/N$  称为对立度; 根据该定义,  $a, b, c$  满足  $a + b + c = 1$ , 式(1)可写成

$$\mu_{A-B} = a + bi + cj$$

(2)

式(1)、(2)就是常用的联系数。将(2)式进一步拓展,可以得到多元联系度。通常将  $\mu_{A-B} = a + bi + cj$  中  $b_i$  这一项展开为  $bi = b_1i_1 + b_2i_2 + \cdots + b_ki_k$ , 得到具有层次结构的数学式, 如  $k = 3$  时, 可得五元联系度表达式

$$\mu_{A-B} = a + b_1i_1 + b_2i_2 + b_3i_3 + cj$$

(3)

式中,  $a, b_1, b_2, b_3, c$  称为联系分量, 满足归一化条件;  $i_1, i_2, i_3, j$  称为联系分量系数,  $i_1, i_2, i_3$  实质是差异不确定系数  $i$  的分量形式。对  $i_1, i_2, i_3, j$  取值得到的联系度的值称为五元联系数。

对于一个具体问题, 当集对组成以后, 联系分量可以直接计算出, 又常取  $j = -1$ , 因此其核心问题是  $i_1, i_2, i_3$  的确定。 $i_1, i_2, i_3$  确定了, 该问题的联系度的值就

确定了。

### 2.2 联系分量系数的取值方法

在数据资料 and 标准给定的情况下, SPA 中联系分量  $a, b_1, b_2, b_3, c$  是确定问题, 而联系分量系数  $i_1, i_2, i_3$  是不确定的。本文选定式(3) 中联系分量  $a$  的系数为 1, 即指标与评价分类标准相比较处于 5 级的联系分量;  $b_1$  表示样本值与评价分类标准相比较, 处于 4 级的联系分量, 其系数为  $i_1$ ;  $i_2, b_2$  和  $b_3, i_3$  依次类推。对立系数  $j$  取  $-1$ , 表示样本值与评价分类标准相比较, 处于一级的联系分量。当指标级别与 5 级级别较近时, 可以认为系数为正, 对联系度值起增益作用, 当指标级别与 5 级级别较远时, 可以认为系数为负, 对联系度值起衰减作用, 当指标级别处于 3 级时可认为系数为 0, 对联系度值既无增益作用也无衰减作用, 体现了联系数与各联系分量之间的对立统一关系。确定  $i$  值的方法有很多, 如逆势取值法、计算取值法、顺势取值法、随机取值法、均分原则、特殊取值法等。在上述方法中, 均分原则法概念明确, 计算简单, 容易操作, 是一种常用方法, 本文中也采用均分原则法计算联系分量系数  $i$ 。如四元联系数中  $i$  的取值应位于区间  $[-1, 1]$  的三等分点处,  $i_1 = -1/3, i_2 = 1/3$ 。同理, 在五元联系数中  $i$  的取值应位于区间  $[-1, 1]$  的四等分点处, 故  $i_1 = 0.5, i_2 = 0, i_3 = -0.5$ 。

## 3 实例研究

南京市高淳区位于南京市最南边, 江苏省的西南端, 地处东经  $118^{\circ}41' \sim 119^{\circ}12'$ , 北纬  $31^{\circ}13' \sim 31^{\circ}26'$ , 东界溧阳, 北临溧水, 南部和西部与安徽当涂、郎溪、宣州 3 县接壤, 现辖 8 个镇及 163 个行政村。高淳区南北相距 29 km, 东西最大相距 49 km, 总面积 801.8  $\text{km}^2$ , 其中陆地面积 566.5  $\text{km}^2$ , 占 70.65%, 水域面积 235.3  $\text{km}^2$ , 占 29.35%。

高淳区的水系划分以茅东闸为界, 分属 2 个水系, 即水阳江水系和太湖水系。水阳江从高淳境内穿过, 胥河、官溪河横贯高淳的东西部、漆桥河沟通高淳的南

表 1 水资源承载能力评价指标评价标准

评价 指标	人均 GDP/ 万元	GDP 增长率/ %	万元 GDP 综合耗水 量/ $\text{m}^3$	工业产值 占 GDP 比重/%	人口密度/ (人· $\text{km}^{-2}$ )	人口自 然增长 率/%	城镇 化率/ %	需水模数/ (万 $\text{m}^3$ · $\text{km}^{-2}$ )	生态环 境用水 率/%	森林 覆盖率/ %	水土 流失率/ %	河湖 水面率/ %	水环境 容量* 率/%	水功能 区达标 率/%	地下 水质 率/%	污水达 标处理 率/%	人均水 资源量/ ( $\text{m}^3$ ·人 $^{-1}$ )	人均 供水量/ ( $\text{m}^3$ ·人 $^{-1}$ )	水资源 利用率/ %	供水模数/ (万 $\text{m}^3$ · $\text{km}^{-2}$ )
差	<1.0	<8.5	>600	<30	>800	>7	<35	>80	<2	<9	>25	<6	小于	<60	V	<35	<1700	<250	>80	>80
较差	1.0~1.5	8.5~9.0	300~600	30~40	700~800	5~7	35~40	60~80	2~3	9~12	20~25	6~9	略小于	60~70	IV	35~50	1700~2200	250~300	65~80	60~80
一般	1.5~2.0	9.0~9.5	100~300	40~50	600~700	3~5	40~45	45~60	3~4	12~15	15~20	9~12	等于	70~80	III	50~65	2200~2500	300~350	45~65	45~60
较好	2.0~2.5	9.5~10.0	50~100	50~60	500~600	1~3	45~50	30~45	4~5	15~18	12~15	12~15	略大于	80~90	II	65~80	2500~3000	350~400	30~45	30~45
好	>2.5	>10.0	<50	>60	<500	<1	>50	<30	>5	>18	<12	>15	远大于	>90	I	>80	>3000	>400	<30	<30

注: \* 水环境容量是纳污能力和污染物量比较; \*\* 水功能区达标率是指地表水水质。

北,另外还有横溪河、运粮河、狮树河、港口河、砖墙河、双湖河、桡溪河,一共有 17 条骨干河道,192 条一般性河道,16 座水库,21 423 个塘坝。高淳区按水资源分区可分为 4 个,分别是固城湖西区、龙墩河水库区、固城湖东区和太湖湖西区。

根据高淳区水资源基本情况,选择 2012 年为代表年,计算相应的评价指标。考虑到高淳区属于苏南地区,水土流失并不明显,在实际评价中不考虑水土流失率指标。各项指标如下:

人均 GDP(万元/人)	4.03
需水模数(万 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	98.12
污水达标处理率(%)	53
GDP 增长率(%)	13
生态环境用水率(%)	8.25
人均水资源量(m <sup>3</sup> /人)	6245.94
万元综合耗水量(m <sup>3</sup> )	200
森林覆盖率(%)	26
人均供水量(m <sup>3</sup> /人)	1021.71
工业产值占 GDP 比重(%)	55
河湖水面率(%)	29.35
水资源利用率(%)	45.4
人口密度(人/km <sup>2</sup> )	531
水环境容量	一般
供水模数(万 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	76.76
人口自然增长率(%)	2.48
地表水水质	一般
城市化率(%)	69
地下水水质	一般

设评价集  $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$ , 其中  $C_1 = \{1 \text{ 级 / 优}\}$ ,  $C_2 = \{2 \text{ 级 / 良}\}$ ,  $C_3 = \{3 \text{ 级 / 中}\}$ ,  $C_4 = \{4 \text{ 级 / 差}\}$ ,  $C_5 = \{5 \text{ 级 / 很差}\}$ 。

采用层次分析法确定各层指标体系的相对权重,社会经济系统、生态环境系统和水资源系统的权重为 (0.5472, 0.1897, 0.2631)。按照集对分析法步骤进行计算,一级指标综合评价五元联系数如表 2 所示。

计算确定总指标的综合评价五元联系数,得  $\mu = 0.5214 + 0.2357i_1 + 0.1318i_2 + 0.0148i_3 + 0.0962j$  (4)

根据“均分原则”,五元联系数中的取值应位于区间  $[-1, 1]$  的四等分点处,故令在  $i_1 = 0.5, i_2 = 0, i_3 = -0.3, j = -1$ , 得到各一级指标  $I_m (1 \leq m \leq 3)$  的综合评价联系数主值(见表 2)以及总指标的综合评价联系数主值,即  $\mu = 0.5356$ 。

根据集对分析的“均分原则”,本文确定五元联系数主值的 5 个范围区间分别为  $[0.6, 1], [0.2, 0.6],$

$[-0.2, 0.2], [-0.6, -0.2], [-1, -0.6], 5$  个区间分别对应 5 个等级,即  $C_1 = \{1 \text{ 级 / 优}\}$ ,  $C_2 = \{2 \text{ 级 / 良}\}$ ,  $C_3 = \{3 \text{ 级 / 中}\}$ ,  $C_4 = \{4 \text{ 级 / 差}\}$ ,  $C_5 = \{5 \text{ 级 / 很差}\}$ , 由此可知南京市高淳区水资源承载能力等级为 2 级/良。

表 2 一级指标的综合评价五元联系数、联系数主值及评价等级

一级指标	综合评价五元联系数	联系数主值
社会经济系统	$\mu_1 = 0.4677 + 0.2912i_1 + 0.0936i_2 + 0.1475j$	$\mu_1 = 0.4658$
生态环境系统	$\mu_2 = 0.3374 + 0.2375i_1 + 0.3433i_2 + 0.0818j$	$\mu_2 = 0.3743$
水资源系统	$\mu_3 = 0.7658 + 0.1191i_1 + 0.0588i_2 + 0.0564i_3$	$\mu_3 = 0.7972$

南京市高淳区的过境水很丰富,但是水资源开发利用率不高,且受到供水能力的限制,现状提供的水资源满足不了未来高淳区社会经济快速发展的快速需求。现状年除丰水年外,供水能力并不能满足全县用水的需要,水资源承载能力潜力分布不均衡,固城湖西区水资源承载能力潜力远远高于其他 3 个水资源分区。随着高淳区工业的发展和人民生活水平的提高,高淳区对水资源需求量越来越大,需要在工农业生产及日常生活中,加大节水力度,减缓当地水资源承载能力下降趋势。高淳在工农产业以及生态用水等方面,分配还不太合理,影响了水资源承载能力。考虑今后社会经济发展方式和方向,采取一定的工程及非工程措施,可使当地水资源承载能力明显提高。结合当地的实际情况,为提高高淳县水资源承载能力,高淳区今后可在水功能区水质保护、非传统水源开发利用、节约用水等方面实施一些措施,来增强高淳县水资源承载能力。

4 结 论

水资源承载能力是指在一定流域或区域内,在某一具体历史发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会水平为依据,以可持续发展为原则,经过合理优化配置,水资源最大能够支撑社会经济发展规模,并维持生态环境发展的能力。本文结区域水资源可持续利用要求,从社会经济系统、生态环境系统和水资源系统 3 个方面建立了水资源承载能力评价指标体系,并采用集对分析法进行评价,选取南京市高淳区进行了实例研究,并对结果进行分析,提出了相应的对策措施。

集对分析法是一种新的评价方法,充分利用了评价系统的不确定性信息,有效处理评价指标体系中的定性指标和定量指标,定量计算不同层次意义上的水资源承载能力水平,并给出相应的评价等级。本文构建的基于集对分析法的水资源承载能力评价模型结构

为工程建设服务。

参考文献：

[1] 王法岭,顾建林.隧道围岩收敛自动化量测方法[C]//2003年全国公路隧道学术会议,2003.  
[2] TB10204 铁路隧道施工规范[S].  
[3] JTGF60 公路隧道施工技术规范[S].

[4] 潘学政,陈国强,彭铭.钱江特大隧道盾构推进段施工风险评估[J].地下空间与工程学报,2007,(S1):1245-1254.  
[5] 吴世勇,王鸽.锦屏二级水电站深埋长隧洞群的建设和工程中的挑战性问题[J].岩石力学与工程学报,2010,(29):2161-2171.  
(编辑:赵凤超)

Improvement and application of convergence monitoring technology of underground cavern with large cross section

LI Yuepeng, WANG Yongqiang, WANG Mengying

(PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China)

**Abstract:** Through the analysis of the convergence monitoring technology and its limitations, the improvement of the traditional measurement technology by extensometer was put forward. A new convergence monitoring pile is introduced and so are the structure, installation and operation method, the new scheme has the advantages of convenient operation, quick measuring and high measurement precision. The monitoring of the convergence of above 10 m measurement distance can be realized. Accordingly, we put forward the convergence measurement scheme for the tunnel with large section and underground cavern with large span, and obtain the actual measurement results, which prove that the new convergence monitoring pile can meet the requirements of measurement accuracy.

**Key words:** underground cavern; convergence monitoring; monitoring pile; extensometer

(上接第 13 页)

简单,计算方便,评价结果避免了主观定性的局限,更加客观合理,在水资源承载能力评价中具有推广应用价值。当然,由于经济社会的发展和环境的变化,水资源承载能力涉及的各种因素都在变化,集对分析法无法反映指标之间的内在变化规律,在评价时需要结合其他方法来确定指标的综合权重进行评价。

参考文献：

[1] Harris Jonathan N. et al. Carrying capacity in agriculture:globe and issue[J]. Ecological Economics,1999,129(3):443-461.  
[2] Munther J. Haddadin. Water issue in Hashemite Jorden[J]. Arab Study Quarterly,2000,22(5):54-67.  
[3] 袁鹰,甘泓,王忠静,等.浅谈水资源承载能力研究进展与发展方向[J].中国水利水电科学研究院学报,2006,4(1):63-66.  
[4] 周琳,金辉.主成分分析法在江门市水资源承载力研究中的应用[J].人民珠江,2007,38(5):39-42.  
[5] 杨广,何新林,李俊峰,等.基于物元模型的干旱区水资源承载力

评价研究[J].人民长江,2009,40(21):52-54.  
[6] 常进,赵小勇.PPC模型在水资源承载能力评价中的应用[J].人民黄河,2013,35(9):71-73.  
[7] 赵克勤.集对分析及其初步应用[M].杭州:浙江科技出版社,2000.  
[8] 孟宪萌,胡和平.基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报,2009,40(3):257-262.  
[9] 赵学敏,胡彩虹,王永新.综合利用水库工程方案评价的集对分析法[J].水利发电,2009,35(3):11-13.  
[10] 施雅凤,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.  
[11] 许有鹏.干旱地区水资源承载能力综合评价[J].自然资源学报,1993,8(3):229-237.  
[12] 陈洋波.水资源承载能力研究中的若干问题探讨[J].中山大学学报:自然科学版,2004(S),43:181-185.

(编辑:常汉生)

Evaluation of water resources carrying capacity based on set pair analysis

DAI Tao, ZHOU Dongni, ZHANG Hu

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the definition of the water resources carrying capacity, according to the measuring demand of the sustainable water resources utilization, the evaluation index system of water resources carrying capacity is constructed from three aspects of social economic system, ecological environment system and water resources system by combining the quantitative and qualitative methods, and a five-grade assessment standard is put forward. According to the evaluation system, the set pair analysis model for evaluating the water resources carrying capacity is established, and the superiority of the system is analyzed. Finally, Gaochun District of Nanjing City is studied by the presented model, which provides a new method for the evaluation of the water resources carrying capacity.

**Key words:** water resources carrying capacity; evaluation; set pair analysis; index system