

文章编号:1001-4810(2006)01-0023-06

# 喀斯特地区水资源承载力评价研究<sup>①</sup>

## ——以贵州省为例

周亮广, 梁虹

(贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:**喀斯特地区水文运动规律特殊,生态环境脆弱,其水资源承载力也不同于非喀斯特地区。本文从喀斯特地区的水资源承载力入手,选取了供水模数、需水模数、水资源开发利用程度、人均供水量、工业用水重复利用率、耕地灌溉率、生态环境用水率等评价指标,并用多目标灰色关联投影法对贵州省各地区的水资源承载力状态进行了合理排序。最后对人口、GDP、水资源量和喀斯特面积与评价结果进行了灰色关联度分析,得出以上四因素与喀斯特地区的水资源承载力具有一定的关系,其关联程度大小顺序为:水资源量>人口>GDP>喀斯特分布面积;喀斯特分布面积对其水资源承载力具有一定程度的影响,喀斯特地区经济发展的落后导致其经济发展与水资源承载力关系不明显;随着经济技术水平的提高,喀斯特分布面积对水资源承载力的影响将逐渐减小。

**关键词:**水资源承载力;灰色关联投影;评价;喀斯特;贵州

**中图分类号:**P641.2 **文献标识码:**A

在水资源供需日益紧张的今天,其供需矛盾已成为制约我国许多地区经济可持续发展的重要因素。水资源承载力问题受到了广泛的关注,并已有不少的研究成果发表<sup>[1~11]</sup>。但在这些成果中,属于西北地区研究的较多,而属于西南喀斯特地区的则较少。喀斯特地区独特的水文地貌结构及其功能效应,使其流域空间结构、水系发育规律、水文动态等方面表现出与常态流域的巨大差异<sup>[12]</sup>。这也增加了喀斯特地区水资源的开发和利用难度。同时,由于喀斯特地区生态环境脆弱,因而必须合理估算喀斯特地区的水资源量及其水资源的可开发和利用程度,明确喀斯特发育与水资源承载力的关系,对喀斯特地区水资源承载力作出合理评价。

### 1 喀斯特地区的水资源承载力

水资源承载力的研究至今仍未形成统一的概念与理论体系。笔者认为对水资源承载力的定义比较有

代表性的有2001年惠泱河等人认为的“水资源承载力是某一地区的水资源在某一具体历史发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展为条件,经过合理优化配置,对该地区社会经济系统的最大支撑能力”<sup>[3]</sup>。可以看出,不同特定生态环境下,水资源对人民生活及社会经济系统的承载阈值是不同的,这个阈值又取决于不同时间、不同条件下生态系统与社会系统的协调程度。喀斯特地区,一方面由于地貌类型复杂多样,地形起伏大,土壤瘦薄,植被结构简单,地下裂隙、管道发育,降水大部分径流入地下或由地表径流排走,致使地表水资源短缺;另一方面由于喀斯特水的赋存在时间和空间上又不均匀,水资源开发困难,利用率较低,因此造成喀斯特水资源对社会经济和人民生活承载阈值相对较小。特别是近年来随着经济的发展,人们毁林开荒,生态环境遭到破坏,水土流失严重,甚至出现石漠化,生态系统与社会经济系统的矛盾进一步削弱了喀斯特地区的水资源承载力。

<sup>①</sup> 基金项目:贵州省优秀青年科技人才培养计划资助项目[黔科合人字(2003)0315]、贵州省优秀科技教育人才省长专项资金项目[黔科教办(2003)04]

第一作者周亮广(1981—),男,山东桓台县人,在读硕士研究生,研究方向:喀斯特水文水资源与GIS。

收稿日期:2005-11-27

目前,对喀斯特地区水资源承载力的研究主要有王在高 2001 年构建了喀斯特水资源承载力的指标体系并用 LOGISTIC 对水资源承载力进行了预测;贺中华 2005 年提出了喀斯特地区枯水资源承载力的概念及其计算模型,并用承载指数对水资源承载力系统进行了类型划分等。本文运用多目标灰色关联投影法,对水资源承载力进行评价,以对不同喀斯特地区的水资源承载力状态进行合理排序,为地区间水资源的调度和合理安排经济生产活动提供一定的理论依据。同时,通过对评价结果与喀斯特地区水资源承载力主要影响因素的灰色关联度分析,明确了喀斯特发育对水资源承载力的影响程度。

## 2 喀斯特地区水资源承载力评价指标体系的选取

水资源承载力的评价已有大量研究,不同地区对水资源承载力评价指标体系的选取也不尽相同。在参考前人成果<sup>[3,9~11,13~15]</sup>和充分考虑喀斯特地区的特殊性的基础上,本文选取如下方法和评价指标进行评价。

首先将喀斯特地区的水资源系统分为供水和需水两大系统,然后再根据供需水的影响特性选取相应的评价指标。在供水系统方面,由于水资源总量上主要受地区气候条件决定,以及喀斯特地区地下裂隙、管道、溶洞发育,渗漏严重,水资源开发利用程度较低,因此水资源承载力评价的供水系统方面选用:(1)供水模数,即供水量与土地面积之比(万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>);(2)水资源开发程度,即供水量与水资源总量之比(%);(3)人均供水量(m<sup>3</sup>/人)。在需水系统方面,主要有工业用水、农业用水、生活用水和生态环境用水。由于喀斯特地区生态环境脆弱,土壤瘦薄,抗旱能力低。因此水资源承载力评价的需水系统方面选用:(1)需水模数,即需水量与土地面积之比(万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>);(2)工业用水重复利用率;(3)耕地灌溉率,即灌溉面积与耕地面积之比(%);(4)生态环境用水率,即生态环境用水与总用水量之比(%).

无论供水还是需水都与喀斯特分布相关。喀斯特的分布既影响着本区的生态环境,又在一定程度上影响着人们的生活和工农业生产活动。因而在上述指标体系下,可进一步研究水资源承载力与喀斯特分布面积的关系。

## 3 评价方法

喀斯特地区的水资源承载力系统是一个灰色系统,其评价指标体系之间存在着一些联系,但这些关

系又不明确,是一种灰色关系。同时前已述及,水资源承载力是以可预见的经济、技术和社会经济发展水平为依据,以可持续发展为原则,由于不同地区经济发展水平不一样,其水资源开发利用程度也不相同,因而可以以不同地区水资源利用状况和经济技术发展水平作对比和参照,从中选取在可预见期内表征水资源承载力处于富余状态的各指标值组成理想方案、各地区水资源承载力指标的不同值组成投标方案。首先计算出各投标方案指标值与理想方案指标值的灰色关联度组成判断矩阵,再计算出各投标方案在理想方案上的投影值,运用多目标灰色关联投影法<sup>[16]</sup>对喀斯特地区的水资源承载力进行评价,得出不同地区水资源承载力的合理排序。该方法理论模型简单,操作方便,又不需要进行过多的数据运算,且评价结果与模糊综合评判法取得较好的一致性<sup>[17]</sup>,评价结果可靠。现将方法介绍如下:

### 3.1 决策矩阵的建立

令多目标决策域的集合为:

$$D = (D_0, D_1, \dots, D_n) \quad (1)$$

其中,  $D_n$  为  $n$  个不同的方案。

令方案中各因素指标的集合为:

$$I = (I_0, I_1, \dots, I_m) \quad (2)$$

其中  $I_m$  为  $m$  个不同的评价指标。

记  $Y_{ij}$  ( $i=0, 1, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ) 为方案  $Y_i$  对指标  $I_j$  的指标值。记理想决策方案的因素指标为  $Y_{0j}$ , 且满足:

当  $V_j$  为效益指标时,  $Y_{0j} = \max(Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{nj})$ ;

当  $V_j$  为成本指标时,  $Y_{0j} = \min(Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{nj})$ 。

这时,称矩阵  $Y = (Y_{ij})_{(n+1) \times m}$  ( $i=0, 1, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ) 为方案  $D$  对指标  $V$  的决策矩阵。

进行初值化处理使其无量纲化:

当  $V_j$  为成本指标时,  $Y'_{ij} = Y_{0j}/Y_{ij}, i=0, 1, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

当  $V_j$  为效益指标时,  $Y'_{ij} = Y_{ij}/Y_{0j}, i=0, 1, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

很明显,无量纲化处理后  $Y'_{0j} = 1, (j=1, 2, \dots, m)$  为理想方案的各指标值。

以  $Y'_{0j}$  为母因素,以  $Y'_{ij}$  为子因素,可得到各方案与理想方案的关联度:

$$\xi(i, j) = \frac{\min_n \min_m |Y'_{0j} - Y'_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |Y'_{0j} - Y'_{ij}|}{|Y'_{0j} - Y'_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |Y'_{0j} - Y'_{ij}|} \quad (5)$$

其中  $\lambda$  为分辨系数,通常取值为 0.5。

### 3.2 各方案投影值的计算

由  $(n+1) \times m$  个  $\xi(i, j)$  组成的矩阵为多目标灰

色关联度判断矩阵  $F$ :

$$F = \begin{pmatrix} F_{01} & F_{02} & \cdots & F_{0m} \\ F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ F_{n1} & F_{n2} & \cdots & F_{nm} \end{pmatrix} \quad (6)$$

进行多目标决策就是比较指标  $V$  中各方案点与理想方案点的关联度。投标方案  $D_i$  在理想方案(由  $Y'_{\theta_j}$  的不同值组成的方案)上的投影值为灰色关联投影值  $P_i$ :

$$P_i = d_i r_i \quad (7)$$

其中  $d_i$  为投标方案的模数:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_j F_{ij})^2} \quad (8)$$

$r_i$  为投标方案与理想方案之间夹角的余弦值:

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^m W_j F_{ij} W_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m [W_j F_{ij}]^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}} \quad (9)$$

以上式(8)、式(9)中  $i=0, 1, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ,  $W_j$  为各指标因素的权重。  $0 < r_i \leq 1$ , 其值越大, 表示

投标方案与理想方案之间的变化方向越一致。将(8)、(9)代入(7)就可得出各投标方案的投影值, 根据投影值的大小就可得出多目标决策的科学排序。

### 4 实例分析

贵州省地处我国西南喀斯特石山区的中心地带, 喀斯特强烈发育, 喀斯特面积达  $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占全省土地面积的 73%, 以致 95% 的县(市)都有喀斯特分布<sup>①</sup>。全省气候温和, 雨量丰沛, 但由于喀斯特发育, 山高水深, 因此水资源开发利用困难, 直接影响到水资源承载力的使用。

#### 4.1 多目标投影值的计算

根据 1999—2003 年《贵州省水资源公报》和 2003 年《贵州岩溶石山地区地下水资源勘查与生态环境地质调查报告》的水资源综合平衡分析, 统计并计算 1999—2003 年各指标的平均值如表 1 所示。

水资源承载力评价指标体系统计计算如表 2 所示。根据表 2 和式(1)、(2)可得理想方案  $D_0$  为:  $D_0 = (0.03, 4.78, 0.03, 20.80, 15.42, 0.24, 32.49)$

表 1 贵州省水资源相关资料统计(1999—2003 年平均值)

Tab. 1 Date about water resources in Guizhou province from 1999 to 2003(mean value)

分区	人口 (万人)	土地面积 ( $\text{km}^2$ )	水资源总量 ( $\text{亿 m}^3$ )	供水量 ( $\text{亿 m}^3$ )	用水量 ( $\text{亿 m}^3$ )	需水量 ( $\text{亿 m}^3$ )	耕地面积 ( $\text{km}^2$ )	灌溉面积 ( $\text{km}^2$ )
贵阳市	340.98	8034	49.66	11.08	10.86	13.33	1015	404
遵义市	721.57	30762	191.20	22.37	21.74	27.90	3953	1489
安顺市	248.07	9267	58.97	6.37	6.25	8.58	1189	459
黔南州	383.32	26193	168.36	9.59	9.98	12.44	1831	798
黔东南州	426.60	30337	193.70	12.81	12.58	14.87	1827	1044
铜仁地区	378.57	18003	131.80	7.24	7.40	8.49	1760	694
毕节地区	696.74	26853	125.87	8.49	8.36	8.54	3748	578
六盘水市	279.71	9914	67.25	4.98	5.79	6.29	990	241
黔西南州	294.06	16804	102.08	4.88	5.11	6.27	1691	474

表 2 贵州省水资源承载力评价指标体系

Tab. 2 Water resource carrying capacity assessment index system in Guizhou province

分区	供水模数 ( $\text{万 m}^3/\text{km}^2$ )	水资源开发 利用程度(%)	需水模数 ( $\text{万 m}^3/\text{km}^2$ )	工业用水重 复利用率(%)	耕地灌溉率 (%)	生态环境 用水率(%)	人均供水量 ( $\text{m}^3/\text{人}$ )
贵阳市	14	22.31	17	67.10	39.77	0.86	32.49
遵义市	7	11.70	9	69.20	37.68	0.32	31.00
安顺市	7	10.80	9	86.30	38.58	0.43	25.68
黔南州	4	5.70	5	27.80	43.55	0.29	25.02
黔东南州	4	6.61	5	36.80	57.17	0.24	30.03
铜仁地区	4	5.50	5	20.80	39.42	0.25	19.12
毕节地区	3	6.75	3	42.00	15.42	0.40	12.19
六盘水市	5	7.41	6	65.30	24.39	0.68	17.80
黔西南州	3	4.78	4	47.50	28.01	0.37	16.60

### 万方数据

① 高贵龙, 熊康宁, 苏孝良. 中国西南(贵州)喀斯特生态环境治理与可持续发展咨询会议论文集. 2003. 4, 2~3.

于是,根据(3)、(4)可以得出方案  $D$  对指标体系  $V$  的属性矩阵:

$$Y' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.2143 & 0.2143 & 0.1765 & 0.3100 & 0.3877 & 0.2791 & 1 \\ 0.4286 & 0.4085 & 0.3333 & 0.3006 & 0.4092 & 0.75 & 0.9541 \\ 0.4286 & 0.4226 & 0.3333 & 0.2410 & 0.3997 & 0.5581 & 0.7904 \\ 0.75 & 0.8386 & 0.6 & 0.7482 & 0.3541 & 0.8276 & 0.7701 \\ 0.75 & 0.7231 & 0.6 & 0.5652 & 0.2697 & 1 & 0.9243 \\ 0.75 & 0.8691 & 0.6 & 1 & 0.3912 & 0.96 & 0.5885 \\ 1 & 0.7081 & 1 & 0.4952 & 1 & 0.6 & 0.3752 \\ 0.6 & 0.6451 & 0.5 & 0.3185 & 0.6322 & 0.3529 & 0.5479 \\ 1 & 1 & 0.75 & 0.4379 & 0.5505 & 0.6486 & 0.5109 \end{bmatrix}$$

再根据式(6)计算得其灰色关联矩阵:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.3439 & 0.3439 & 0.3333 & 0.3737 & 0.4021 & 0.3635 & 1 \\ 0.4294 & 0.4203 & 0.3892 & 0.3770 & 0.4206 & 0.6596 & 1 \\ 0.6195 & 0.6288 & 0.5631 & 0.5174 & 0.6012 & 0.7172 & 1 \\ 0.8454 & 1 & 0.6700 & 0.8427 & 0.4992 & 0.9778 & 0.8761 \\ 0.5936 & 0.5688 & 0.4772 & 0.4565 & 0.3333 & 1 & 0.8283 \\ 0.5491 & 0.6993 & 0.4322 & 1 & 0.3333 & 0.8839 & 0.4252 \\ 1 & 0.5170 & 1 & 0.3823 & 1 & 0.4385 & 0.3333 \\ 0.9392 & 1 & 0.8274 & 0.6805 & 0.9819 & 0.7043 & 0.8720 \\ 1 & 1 & 0.5292 & 0.3333 & 0.3847 & 0.4444 & 0.3649 \end{bmatrix}$$

以  $D_0$  为标准,用理想方案的指标对各地区指标进行无量纲化处理,然后计算各指标权重,得出各指标间的加权向量为:

$$W = (0.16, 0.15, 0.13, 0.11, 0.12, 0.16, 0.17)^T$$

将相关数值代入式(8)可得各投标方案的模数  $d_i$  为:

$$d_i = (0.1223, 0.2357, 0.2730, 0.3275, 0.2640,$$

$$0.2466, 0.2698, 0.3333, 0.2554)$$

根据式(9)可得投标方案与理想方案之间夹角的余弦值  $r_i$  为:

$$r_i = (1.6886, 1.0344, 1.0886, 1.995, 1.0618, 1.0537, 1.0186, 0.8965, 1.0132)$$

由式(7)可得各决策方案的投影值  $P_i$  如表 3 所示:

表 3 各决策方案的投影值

Tab. 3 Projection values of the decisive schemes

投影值	贵阳市	遵义市	安顺市	黔南州	黔东南州	铜仁地区	毕节地区	六盘水市	黔西南州
$P_i$	0.2066	0.2438	0.2972	0.3601	0.2803	0.2598	0.2747	0.2988	0.2587

根据表 3 各投影值的大小得出贵州省各地区水资源承载力状态顺序为:黔南州水资源承载力处于最富余状态;六盘水、安顺和黔东南州,水资源承载力富余状态次之;再次为毕节、铜仁和黔西南州;最低的是贵阳和遵义,水资源承载力富余部分相当小,两市需水量又较大,有些地区水资源承载力已处于严重超载状态。据贵州省水利科学研究所的《贵州省抗旱战略研究报告》统计,2003 年贵阳市中心区水资源开发利用率达 49.8%,人均占有水量为  $642m^3$ ,已属严重资源性缺水,遵义市蓄水和供水设施相对寡少、落后,市中心区水资源开发利用率为 28.99%,人均占有水

量为  $813m^3$ ,属严重工程性缺水,必须采取相应的调水和工程措施,以满足人口增长和经济发展的需要。

#### 4.2 计算结果分析

贵州省各地区水资源承载力存在上述差异的原因不外乎是由人口、社会经济发展、水资源量以及喀斯特生态环境造成。现选取人口、国内生产总值、水资源总量和喀斯特面积 4 个因素进行分析。

根据 1999—2003 年《贵州省水资源公报》统计并计算人口、GDP 和水资源总量的 5 年平均值并计算出其占全省的百分比,根据《贵州省地理信息数据集》

统计喀斯特面积占各区的百分比情况如表4所示。

表4 贵州省人口、GDP和喀斯特面积统计

Tab. 4 Population, GDP and karst area of Guizhou province

指标(%)	贵阳市	遵义市	安顺市	黔南州	黔东南州	铜仁地区	毕节地区	六盘水市	黔西南州
人口占全省百分比	9.05	19.14	6.58	10.17	11.32	10.04	18.48	7.42	7.80
GDP占全省百分比	25.48	22.09	5.53	9.18	7.16	5.79	11.19	7.81	5.77
水资源量占全省百分比	4.56	17.56	5.42	15.46	17.79	12.10	11.56	6.18	9.37
喀斯特面积占各区百分比	85.0	65.8	71.5	81.50	23.20	60.6	73.3	63.2	60.3

现以 $x_{ij}$ 表示第*i*个地区的第*j*个指标, $y_i$ 表示第*i*个地区的决策方案投影值,计算两者的灰色关联度。首先由以下公式计算其灰色关联系数:

$$\xi(i) = \frac{\Delta(\min) + \rho\Delta(\max)}{|x_{ij} - y_i| + \rho\Delta(\max)} \quad (10)$$

其中, $\Delta(\min)$ 和 $\Delta(\max)$ 分别为 $x_{ij}$ 与 $y_i$ 差的绝对值的最小值和最大值, $\rho$ 取0.5。

其次,计算两者的灰色关联度:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \xi(i)}{n} \quad 1 \leq i \leq n \quad (11)$$

根据以上公式可得贵州省各地区的人口百分比、GDP百分比、水资源量百分比、喀斯特面积百分比与表3各决策方案投影值 $P_i$ 的灰色关联度如表5所示。

表5 贵州省水资源承载力各因素与各决策方案投影值( $P_i$ )的灰色关联度

Tab. 5 Gray correlation coefficients between the factors influencing water resource carrying capacity and the projection values of the decisive schemes

灰色关联系数	贵阳市	遵义市	安顺市	黔南州	黔东南州	铜仁地区	毕节地区	六盘水市	黔西南州	灰色关联度
人口与 $P_i$	0.7403	1	0.5036	0.4685	0.6129	0.6292	0.8288	0.5133	0.5860	0.6536
GDP与 $P_i$	0.8613	1	0.4176	0.3902	0.4580	0.4673	0.5289	0.4426	0.4686	0.5594
水资源量与 $P_i$	0.6715	1	0.5204	0.5801	0.8473	0.7288	0.6760	0.5291	0.6621	0.6906
喀斯特面积与 $P_i$	0.3834	0.5027	0.5003	0.4764	1	0.5540	0.4744	0.5650	0.5556	0.5569

首先,总的来看,贵州省水资源承载力与以上4个因素都具有一定关系,其关联度大小顺序为:水资源量(0.6906)>人口(0.6536)>GDP(0.5594)>喀斯特面积(0.5569)。

其次,从地区来看,贵阳和遵义两市的水资源承载力状态与其人口、GDP和水资源量的关联程度相当高,导致其水资源承载力富余部分都相当小。这正是由于两市的人口数量较大,经济相对比较发达,需水量较大造成。而黔南州的水资源承载力除与水资源量的关联系数为0.5801外,与其它因素的关联系数都小于0.5。它本身的水资源量较大,水资源承载力受其它因素的影响又相对较小,因而它的水资源承载力处于相当富余状态。

第三,从人口因素来看,贵阳、遵义和毕节地区的水资源承载力与人口的关联系数都较大,人口因素是这个3个地区水资源的一大压力。从GDP因素来看,除贵阳和遵义外,其它地区的水资源承载力与GDP的关联系数都很小,甚至小于0.5,这主要与贵州喀斯特山区生态环境脆弱、环境承载力较低、交通不便、经济发展比较落后密切相关。

从水资源量来看,各地区的水资源承载力与它的关联程度与其它因素相比相对都比较高,尤其是经济相对比较落后的地区。

从喀斯特面积这一因素来看,喀斯特的发育主要是导致水资源渗漏严重,时空分布不均,开发利用困难。由表5可以看出尽管各地区的水资源承载力与喀斯特面积相关系数不是很大,但基本上都有一定的相关关系。需指出的是由于贵阳市经济技术水平发达,水资源开发利用率高,虽然喀斯特面积占到全市面积的85%,但它对贵阳市水资源承载力的影响却较小。由此可以看出,随着科学经济技术水平的发展,喀斯特对水资源承载力的影响将逐渐减小。

## 5 小结

(1)多目标灰色关联投影法理论简捷,操作方便,应用到喀斯特地区的水资源承载力的评价研究中,能够得出合理的评价结果。通过对贵州省的水资源承载力研究可知其各地区水资源承载力状况为:黔南州水资源承载力处最富余状态;其次为六盘水、安顺和黔东南

南州;再次为毕节、铜仁和黔西南州;最低的是贵阳和遵义。对于贵阳和遵义两市必须采取相应的调水措施,以满足人口增长和经济发展的需要。

(2)贵州省水资源承载力状态与其影响因素都具有一定的相关关系,其关联度大小顺序为:水资源量>人口>GDP>喀斯特面积。其中人口和经济发展是贵阳和遵义两市水资源承载力最为明显的两大主要压力。

(3)喀斯特分布面积对水资源承载力存在一定程度的影响,喀斯特地区环境承载力低,经济发展落后,导致其经济发展与水资源承载力状态的关系不明显。随着经济技术水平的提高,喀斯特分布面积对水资源承载力的影响会逐渐减小。

### 参考文献

- [1] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报. 1993, 8(3):229—237.
- [2] 毛汉英,余丹林. 区域承载力定量研究方法探讨[J]. 地球科学进展. 2001, 16(4):550—555.
- [3] 惠泱河,蒋晓辉,黄强等. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报. 2001, 21(1):30—34.
- [4] 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.
- [5] 贾嵘,蒋晓辉,薛惠峰,等. 缺水地区水资源承载力模型研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版). 2000, 36(2):114—121.
- [6] 贾惠艳,马云东,张忠永. 半干旱地区水资源承载力研究及应用[J]. 辽宁工程技术大学学报. 2003, 22(增刊):46—48.
- [7] 朱一中,夏军,谈戈. 西北地区水资源承载力分析预测与评价[J]. 资源科学. 2003, 25(4):43—48.
- [8] 韩俊丽,段文阁,李百岁. 基于SD模型的干旱区城市水资源承载力模拟与预测[J]. 干旱区资源与环境. 2005, 19(4):187—191.
- [9] 王在高,梁虹. 岩溶地区水资源承载力指标体系及其理论模型初探[J]. 中国岩溶. 2001, 20(2):144—148.
- [10] 邓欢,郭纯青. 岩溶地区水资源承载力与经济社会的可持续发展[J]. 桂林工学院学报. 2004, 24(1):32—35.
- [11] 贺中华,梁虹,黄法苏,等. 岩溶地区枯水资源承载力的概念与讨论—以贵阳市为例[J]. 中国岩溶. 2005, 24(1):13—22.
- [12] 杨明德,谭明,梁虹. 喀斯特流域水文地貌系统. 北京:地质出版社[M]. 1998, 12: 2—23.
- [13] 张丽萍,朱钟麟,邓良基. 水资源评价指标体系的研究现状及问题探讨[J]. 资源调查与评价. 2004, 21:5—9.
- [14] 陈洋波,陈俊合,李长兴,等. 基于DPSIR模型的深圳市水资源承载力评价指标体系[J]. 水利学报, 2004, 7:98—103.
- [15] 闵庆文,余卫东,张建新. 区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J]. 水土保持研究. 2004, 11(3):14—16.
- [16] 吕锋,崔晓辉. 多目标灰色关联投影法及其在应用[J]. 系统工程理论与实践. 2002, 1:103—107.
- [17] 袁晓宇. 多目标决策灰色关联投影法在水资源承载力分析中的应用[J]. 江苏水利. 2004, 12:11—13.

## RESEARCH ON ASSESSMENT OF WATER RESOURCE CARRYING CAPACITY IN KSRST AREA —A Case Study in Guizhou Province

ZHOU Liang-guang, LIANG Hong

(School of Geography and Biology, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

**Abstract:** The hydrologic motion law of karst area is special, the karst ecological environment is frail and the water resource carrying capacity is different from non-karst area. Based on the water resource carrying capacity in karst area, the authors select the following assessment index systems: water supply modulus, water requirement modulus, water resources exploitation and utilization rate, average water resources amount per capita, industry water resources utilization rate, infield irrigation rate and environment water resources utilization rate, and then make an reasonable arrangement to the state of water resource carrying capacity in Guizhou province. It showed that the water resource carrying capacity in Qiannan state is the highest, while it is the least in Guiyang. Finally, the gray correlation coefficients analysis between the assessment results and the factors (population, GDP, water resource amount and the area of karst distribution) is made. And the analysis proves that there is some correlation between the factors and water resource carrying capacity. The order of the correlation coefficients is as follows: water resources amount > population > GDP > karst area. The area of karst distribution is of certain effects to water resource carrying capacity. Economic level almost has nothing to do with water resource carrying capacity for the backwardness of economic development in karst area. With the development of economy and technique, the influence on water resource carrying capacity by the area of karst distribution will reduce gradually.

**Key words:** Water resource carrying capacity; Gray relational projection; Assessment; Karst; Guizhou