

区域水资源综合规划可持续发展评价研究

卞戈亚 董增川 陈康宁 童 芳

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098)

摘要 :从区域水资源复合系统出发 ,建立水资源支撑区域可持续发展的多层次评价体系 ,并对评价方法进行研究 ,以系统的发展系数、协调系数、公平系数综合反映区域可持续发展状况 .以海南省水资源综合规划为例 ,对区域各规划水平年的发展进行可持续性的定量评价 ,结果表明该评价体系合理、可行 .

关键词 水资源 ;可持续发展 ;指标体系 ;评价方法

中图分类号 :TV213 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2006)03-0254-04

水资源综合规划旨在通过水资源可持续利用支撑区域可持续发展 .目前 ,国内外关于可持续发展指标体系和评价方法的研究仍处于探索阶段 ,尚未形成直接付诸实践的研究成果 ,且研究侧重于国家一级的可持续指标体系^[1-3] ,因此对区域可持续发展评估方法及量化指标体系的研究具有重要的实际意义 .

1 评价指标体系

从系统论的观点出发 ,水资源支撑的区域可持续发展系统是指以水为主导的区域社会 -经济 -环境复合系统 ,它是整个区域人地系统的一个分支和重要的有机组成部分^[4] .基于水资源复合系统理论 ,将区域可持续发展系统分为水资源、社会、经济以及生态 4 个子系统^[5] .水资源系统是支撑区域可持续发展的核心和主体 ,区域的发展体现在各子系统的发展 ,而发展又必须是协调和公平的发展 .基于这一思想 ,评价指标体系整体结构设计由上而下为目标层、准则层、指标层 .指标体系结构如图 1 所示 .

1.1 目标层

目标层是评价综合指标 ,设为可持续发展系数(S) ,用以衡量水资源系统支撑区域可持续发展的综合水平与能力 ,由准则层的发展系数、协调系数、公平系数综合反映 .

1.2 准则层

准则层由发展系数(A)、协调系数(B)和公平系数(C) 3 个指标组成 .其中 ,发展系数(A)反映区域综合发展持续状况及发展的强弱程度 ,协调系数(B)反映区域水资源、社会、经济、生态环境子系统的协调程度 ;公平系数(C)反映区域发展的公平程度 .

1.3 指标层

指标层指标重点反映水资源综合规划后 ,水资源的开发利用水平 ,水资源投资效果、社会效果、经济效果以及生态环境效果 .其中反映水资源系统发展的指标分别为水资源开发利用率 G_{11} 、单位 GDP 用水量 G_{12} 、灌溉水利用系数 G_{13} 、工业用水重复利用率 G_{14} 、农业用水比例 G_{15} ;反映社会发展的指标分别为人口自然增长率 G_{21} 、城镇化人口比例 G_{22} 、人均粮食拥有量 G_{23} 、饮水困难人口比例 G_{24} ;反映经济发展的指标分别为人均 GDP G_{31} 、GDP 平均年增长率 G_{32} 、水利工程投资比例 G_{33} ;反映生态发展的指标分别为森林覆盖率 G_{41} 、水土流失治理率 G_{42} 、水体水质达标率 G_{43} .

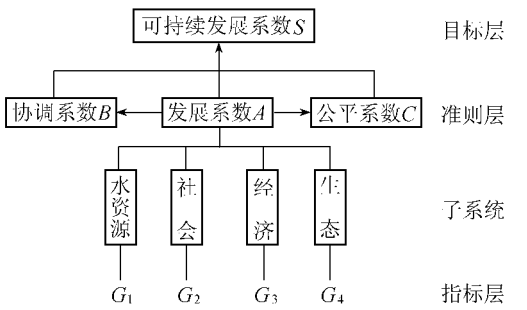


图 1 区域可持续发展评价指标体系
Fig.1 Indicator system for evaluation of regional sustainable development

2 评价方法

从指标原始值入手,首先计算系统的发展系数,再通过发展系数计算协调系数和公平系数,最后综合计算出可持续发展系数。

2.1 发展系数计算

2.1.1 发展指数

子系统发展指数采用投影寻踪评价方法确定,其目的是根据理想的可持续发展指标评定标准,求出子系统的发展等级。投影寻踪是直接由样本数据驱动的探索性数据分析方法,把高维数据通过某种组合投影到低维子空间上,通过低维投影数据的散布结构来研究高维数据特征。本文采用基于加速遗传算法的投影寻踪等级评价模型,计算出的投影值即为子系统的发展指数。指标等级评价标准见表 1^①。

表 1 指标等级评价标准

Table 1 Evaluation standard for different indictor grades

指标等级	水资源开发利用率/%	单位 GDP 用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	灌溉水利用率	工业用水重复利用率/%	农业用水比例/%	人口自然增长率/%	城镇化人口比例/%	人均粮食拥有量/(kg·人 ⁻¹)	饮水困难人口比例/%	人均 GDP/(元·人 ⁻¹)	GDP 平均年增长率/%	水利工程投资比率/%	森林覆盖率/%	水土流失治理率/%	主要江湖库水质达标率/%
1	> 50	> 1060	< 0.3	< 30	> 90	> 2.0	< 20	< 200	> 60	< 3 000	< 2	< 0.1	< 10	< 10	< 90
1~2	30~50	610~1 060	0.3~0.4	30~40	73~90	1.5~2.0	20~40	200~400	40~60	3 000~6 600	2~4	0.1~0.3	10~30	10~40	90~97
2~3	20~30	140~610	0.4~0.5	40~70	55~73	0.2~1.5	40~60	400~600	20~40	6 600~25 000	4~6	0.3~0.5	30~50	40~60	97~98
3~4	10~20	24~140	0.5~0.6	70~90	40~55	0~0.2	60~80	600~800	10~20	25 000~77 400	6~7	0.5~0.7	50~60	60~90	98~100
4	< 10	< 24	> 0.6	> 90	< 40	0	> 80	> 800	< 10	> 77 400	> 7	> 0.7	> 60	> 90	100

2.1.2 发展系数

发展系数是一个介于[0,1]之间的区间数,反映系统的发展程度。以上求出的子系统的发展指数,应用线性插值模型可得出子系统发展系数,见式(1)。根据可持续发展的原则,发展程度等级划分如表 2 所示。

$$A_i(t) = \begin{cases} 0.4r_i(t) & r_i(t) \in [0, 1] \\ 0.4 + 0.2(r_i(t) - 1) & r_i(t) \in [1, 2] \\ 0.6 + 0.2(r_i(t) - 2) & r_i(t) \in [2, 3] \\ 0.8 + 0.2(r_i(t) - 3) & r_i(t) \in [3, 4] \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, A) \quad (1)$$

式中:A_i(t)——子系统*i*在*t*时刻的发展系数;r_i(t)——子系统*i*在*t*时刻的发展指数。

区域发展系数采用的综合评价模型为

$$A(t) = \sum_{i=1}^4 \omega_i A_i(t) \quad (2)$$

式中:A(t)——区域在时刻*t*的发展系数;ω_{*i*}——各子系统的权重。

2.1.3 权重确定

目前,权重的确定还无法通过数学解析方法很好地直接推求,它涉及行为科学。不同的人,由于所从事的专业不同,所处的环境不同,所学的知识及所积累的经验不同,会有不同的观点,从而给出不同的权重。近年来,用层次分析法确定权重越来越受到研究人员的重视,并在许多方面得到应用。这种多层次分别赋权法可避免大量指标同时赋权的混乱与失误,从而提高赋权的简便性和准确性。本文所涉及的权重采用层次分析法确定。

2.2 协调系数计算

协调系数是反映各子系统之间协调关系的指标。水资源综合规划必须使得水资源效益、社会效益、经济效益、生态环境效益 4 个方面同步发展,使综合效益最大;同时,4 种效益保持一种平衡状态,即在综合效益最大的基础上,求得最大复合效益^[6]。通常以 4 种效益之和表示综合效益,之积表示复合效益,则协调系数可定义为

$$B(t) = \left| \frac{\prod_{i=1}^4 A_i(t)}{[\sum_{i=1}^4 A_i(t)/4]^4} \right|^k \quad (3)$$

① 宋松柏,蔡焕杰.区域水资源可持续利用指标体系与评价方法研究.西安:西北农林科技大学,2003:66-68.

式中： $B(t)$ ——区域在时刻 t 的协调系数；
 $A_i(t)$ ——子系统 i 在 t 时刻的发展系数； k ——调整系数。

由协调系数可反映出区域系统之间的协调程度,协调度等级划分如表 3 所示。

2.3 公平系数计算

公平性是一个按时间、空间和内容组合的复杂问题,从可持续发展观角度考虑,公平指的是当代人与后代人以及不同国家与地区的人在环境与资源面前的平等,即代际公平与代内公平。因此本文的公平系数包涵区域内部发展的公平性和相邻时间段发展水平之间的差异程度^[7]。

$$I_{ij}(t)=\begin{cases}1 & \text{当 } A_{ij}(t) \geq \max_j A_{ij}(t) \text{ 时} \\ \frac{A_{ij}(t)}{\max_j A_{ij}(t)} & \text{当 } A_{ij}(t) < \max_j A_{ij}(t) \text{ 时}\end{cases}$$

(4)

$$C_{1j}(t)=\sum_{i=1}^4\omega_iI_{ij}(t)$$

(5)

$$C_{2j}(t)=\sum_{i=1}^4\omega_i\left[1-\frac{|A_{ij}(t+1)-A_{ij}(t)|}{\max_{1\leq t\leq T-1}|A_{ij}(t+1)-A_{ij}(t)|}\right]$$

(6)

$$C_j(t)=(C_{1j}(t)+C_{2j}(t))/2$$

(7)

式中： $C_{1j}(t)$ ——第 j 分区内部发展公平系数； $A_{ij}(t)$ ——第 j 分区第 i 子系统发展系数； ω_i ——各子系统的权重； $C_{2j}(t)$ ——第 j 分区代际公平系数， $C_{2j}(t)=1$ 说明系统在相邻时段发展水平的差异程度为 0，属于完全平等， $C_{2j}(t)$ 趋于 0 说明系统在相邻时段发展水平的差异程度很大，接近于完全不平等； $C_j(t)$ ——第 j 分区系统公平系数，为表述简便，以 $\alpha(t)$ 表示公平系数； t ——时段数。

2.4 可持续发展评价

本文建立的评判体系旨在通过系统的发展等级、协调状况、公平程度 3 个方面来具体反映区域可持续发展的程度。对于发展中国家,根据可持续发展内涵,系统的发展系数、协调系数和公平系数必须同时满足相应的目标。在此基础上构建可持续发展系数,用以综合度量系统的可持续程度。可持续发展系数 S 采用加权平均型综合评判函数,即

$$S(t)=\omega_1A(t)+\omega_2B(t)+\omega_3\alpha(t)$$

(8)

式中： ω_1 、 ω_2 、 ω_3 ——发展、协调、公平准则相对于目标层可持续发展的权重。

区域可持续发展的判别标准： $S(t)=0\sim0.6$,为不可持续发展； $S(t)=0.6\sim0.7$,为弱可持续发展； $S(t)=0.7\sim0.8$,为准可持续发展； $S(t)=0.8\sim1.0$,为可持续发展。

3 实例研究

本文以海南省水资源综合规划为研究对象,以 2000 年为基准年,2010 年、2020 年、2030 年为规划水平年。根据规划推荐方案,将海南省按流域分区,按以上方法进行该地区规划方案实施后区域可持续发展评价。评价结果见表 4。

表 4 海南省流域各分区评价结果

Table 4 Evaluation results for different areas of Hainan Province

分区	发展系数 S_1			协调系数 S_2			公平系数 S_3			可持续发展系数 S		
	2010 年	2020 年	2030 年	2010 年	2020 年	2030 年	2010 年	2020 年	2030 年	2010 年	2020 年	2030 年
南渡江	0.7509	0.8075	0.8261	0.8663	0.8061	0.8068	0.5323	0.5832	0.7899	0.7683	0.7619	0.8086
昌化江	0.7206	0.7753	0.7925	0.7758	0.7099	0.7278	0.4909	0.6002	0.8337	0.7039	0.7056	0.7665
万泉河	0.7409	0.7997	0.8191	0.7716	0.7245	0.7310	0.5575	0.5623	0.8289	0.7005	0.7124	0.7744
南部	0.7228	0.7784	0.7967	0.7552	0.7076	0.7137	0.4919	0.5947	0.8306	0.7039	0.7041	0.7595
东北部	0.7308	0.7922	0.8089	0.7362	0.6942	0.6923	0.5523	0.5515	0.8489	0.6980	0.6921	0.7551
西北部	0.7265	0.7883	0.8070	0.7801	0.7346	0.7360	0.5577	0.5574	0.8281	0.7211	0.7137	0.7736

由表 4 和可持续发展判别标准可知 2010~2030 年,海南省各区的发展模式均进入准可持续发展模式,这说明规划方案实施后能基本保障社会经济的可持续发展,水资源与经济社会发展和生态环境保护能较好地相协调,但近期和中期东北部的发展模式为弱可持续发展模式,处于准可持续发展的边缘,因其农业存在缺水,缺水主要出现在大型灌区特枯水年和连续枯水年,在平水年和丰水年农业用水能得以保证.因此,海南省水资源综合规划方案实施后,可以支撑海南未来的可持续发展,同时不破坏区域生态环境,使海南省逐渐进入良性发展的模式.

4 结 语

本文建立的区域可持续发展评价体系,主要针对水资源综合规划后各子系统的指标变化进行研究,以区域可持续发展系统的发展系数、协调系数和公平系数综合度量区域可持续发展程度,指出了评价的基本方法和步骤.通过实例研究,表明该评价体系科学、合理,评价方法具有可操作性.

参考文献:

[1]王春泽,崔振才,田文苓.区域水资源与社会经济协调程度评价研究[J].水文,2004,24(3):25-29.
[2]崔振才,田文苓.区域水资源与社会经济协调发展评价指标体系研究[J].河北工程技术高等专科学校学报,2002,2(1):15-19.
[3]曾珍香,顾培亮.可持续利用的系统分析与评价[M].北京:科学出版社,2000:54-87.
[4]冯耀龙,练继建,韩文秀.区域水资源系统可持续发展评价研究[J].水利水电技术,2002,12(9):9-11.
[5]张丽,董增川.基于水资源的流域可持续发展评价及判别[J].水利水电技术,2005(7):1-3.
[6]陈静,曾珍香.社会、经济、资源、环境协调发展评价模型研究[J].科学管理研究,2004(6):9-12.
[7]宋松柏,蔡焕杰.区域水资源可持续利用的 Bossel 指标体系及评价方法[J].水利学报,2004(6):68-74.

Sustainable development assessment of comprehensive planning
of regional water resources

BIAN Ge-ya , DONG Zeng-chuan , CHEN Kang-ning , TONG Fang

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :The regional water resources were regarded as a composite system consisting of water resources subsystem , social economic subsystem and environment subsystem. A multi-hierarchy evaluation system for sustainable development of regional water resources was established. With the development coefficient , harmonious coefficient , and fair coefficient reflecting the state of sustainable development of regional water resources , the evaluation method was studied. With the comprehensive planning of water resources for Hainan Province taken as a case study , a quantitative evaluation of regional water resources sustainable development was performed for each planned year , and the result shows that the evaluation system is reasonable and feasible.

Key words :water resources ; sustainable development ; indicator system ; evaluation method