

甘肃中部地区水资源承载能力与可持续发展

刘金鹏¹, 费良军¹, 尹亚坤²

(1. 西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048; 2. 甘肃省水利水电学校, 甘肃 兰州 730021)

摘要 :以甘肃省中部地区 6 县区为研究区域,以多目标情景分析方法对该区域规划年(2020 年)的水资源承载能力进行分析和研究。研究中结合当地经济社会发展规划,利用不同情景基础的多目标分析方法,建立几种情景规划方案。并结合地区实际发展情况,建立水资源承载能力评价方案,最终确定 $A_1 + B_1$ 方案作为选择方案。运行结果表明:该方案符合研究区经济社会发展规划要求。并依据评价结果提出了研究区可持续发展方案,这对研究区未来规划年水资源优化配置将具有实际指导意义。

关键词 水资源承载能力;多目标情景方法;可持续发展;甘肃中部地区

中图分类号:TV213.9 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)05-0028-04

Study on water resources carrying capacity and sustainable development in central Gansu province

LIU Jin-peng¹, FEI Liang-jun¹, YIN Ya-kun²

(1. Institute of Water Resources, Xian University of Technology, Xian 710048, China; 2. Gansu Provincial Water Conservancy and Hydropower School, Lanzhou 730021, China)

Abstract The water resources carrying capacity of six counties in central Gansu Province was analyzed using the multi-objective scenario analysis method for the target year of 2020. In accordance with the plan for regional social and economic development, several scenario schemes were set up by applying the multi-objective scenario analysis method with different scenario bases. The evaluation schemes were also established according to the actual status of regional development. The $A_1 + B_1$ scheme was selected as the best. The results from the operating scheme proved that the selected scheme was in keeping with the planned requirements of regional social and economic development. A regional sustainable development scheme was proposed based on the evaluation results, which were useful and significant to the optimal allocation of water resources in the study region for a future target year.

Key words water resources carrying capacity; multi-objective scenario method; sustainable development; central region of Gansu Province

水资源短缺,生态环境脆弱是西部地区经济社会发展面临的主要问题。在国家“西部大开发”政策指导下,搞好经济发展与资源合理开发乃是西部地区发展的突出问题。因此,如何协调水资源与人口、环境、社会、经济之间的关系,如何处理好开发与保护的关系,是亟待研究解决的问题^[1-5]。笔者以研究当地水资源承载能力为途径,探索一条适合干旱地区经济、社会和生态协调发展的新路。

有关水资源承载能力分析的方法国内外研究较多,由于近年来计算机技术以及数学规划工具的日臻完善,运用多目标方法已成为此类研究的主要方法^[6-8]。

水资源承载能力多目标情景分析法是在多目标预测分析基础上提出的一套水资源承载能力分析方法。在历史尺度下,对区域可持续发展可能出现的未来状况加以描述,通常包括通向这一状况的途径

作者简介:刘金鹏(1972—),男,甘肃古浪人,高级讲师,博士研究生,主要从事水文与水资源研究工作。E-mail:liujp03@lzu.cn

及可能出现的多种多样的状态。情景分析法以构筑未来情景为核心。情景构筑可以使用各种预测技术手段,包括定性和定量预测手段。例如,通过对未来经济、社会和环境发展的预测分析,可以把定性和定量信息集合起来,形成可持续发展方案,为组织决策行动提供选择发展的机会,发挥主动优势,增加应变的能力、求得更好的发展,为区域长远发展规划提供科学依据^[9-11]。

本文以甘肃省引洮工程一期收益区为研究区域,在运用多目标情景方法分析和研究该区域规划年(2020年)的水资源承载能力的基础上,得出研究区可持续发展方案。

1 水资源承载能力多目标模型

1.1 目标选择

在西北干旱区水资源规划中,要求多目标分析模型能够综合考虑流域内经济、环境、社会、生态等各方面的因素,体现可持续发展的方针,综合反映经济社会、环境生态与水资源系统的结构及相互关系,因此模型应包括流域经济持续发展、社会稳定、生态保护、环境保护等方面的目标^[12-13]。

研究区地处甘肃中部,包括榆中、渭源、临洮、定西、陇西、会宁等6个中部县区,土地面积约为1.97万km²,2002年人口约为135.11万。研究区自产水资源量2.14亿m³,其中地表水资源量1.89亿m³,与地表水不重复的地下水资源量0.25亿m³。现状水资源开发利用程度为66.7%。当地人均水资源量约为137m³,城镇居民生活用水和农村人畜饮水困难,工业用水紧张,农业生产条件落后,经济发展缓慢,群众生活水平较低。水资源的短缺已严重影响了当地工农业生产的发展和人民生活水平的提高,制约了国民经济的可持续发展,并使生态环境日趋恶化。因此在本研究区水资源承载能力多目标规划模型中,针对当地社会经济发展状况,宜采用工农林牧业生产总值最大为经济发展目标,粮食人均水平最大为社会稳定发展目标;人均生态当量面积最大为生态目标。

这3个目标是模型进行规划的总目标,它们表现了整个模型规划的方向。在此基础上设置了一些

与此相关的一些下层局部决策变量,主要有:①经济决策变量:行业产值、行业投入产出结构等。②粮食决策变量:灌溉面积、耕地面积、林牧副渔业产值等。③生态决策变量:林业种植面积、牧业发展结构等。④水资源决策变量:社会需水量、可供地表水、地下水(其中总水量包含引洮一期工程调水量)等。这些决策变量相互影响、相互作用,构成了模型的各个关键点,决定了整个模型的行为方式和规划方向。

1.2 模型构成

目标函数:

maxZ(X)=[Z₁(X),Z₂(X),...,Z_p(X)](1)

约束条件:

$$\left. \begin{aligned} g_i(X) &\geq b_i \text{ 或 } \leq b_i & i &= 1, 2, \dots, m \\ X_j &\geq 0 & j &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中:X为决策向量,X=[X₁,X₂,...,X_n];Z(X)为p个独立的目标Z_p(X)组成的目标向量;X_j为用水量。

1.3 主要情景预测

在进行各部门需水量预测时,根据研究区社会经济发展趋势,结合研究区各部门发展规划和用水定额预测结果,参考研究区有关统计资料 and 我国部分地区对区域发展规划的具体要求,分别拟定在不同发展情景下的约束情景,以A₁、A₂分别表示经济高低发展两种情景,B₁、B₂分别表示生态目标高低方案,组成以下几种情景方案:①A₁+B₁(两者高发展);②A₁+B₂(偏经济);③A₂+B₁(偏生态);④A₂+B₂(两者低发展)。因为第4种方案中经济生态均为低目标发展,不符合实际意义,故在本次计算中主要分析前3种方案结果。各方案主要约束情景如表1所示。

2 各情景方案下水资源承载能力评价

水资源承载能力评价指标的选择受多方面因素影响^[4-5,14-15]。本文依据研究区区域特征,尽量选择一些能反映干旱地区水资源利用方面的主要因素作为评价指标。在评价指标标准的选取方面,借鉴国内外较权威的可持续发展相关指标来确定,见表2所示。

表1 各方案主要约束情景预测值

情景方案	工业增长速度/%	万元工业用水/m ³	灌溉面积/万hm ²	农田灌溉定额/(m ³ ·hm ²)	人口数量/万人	城市化水平/%	大小牲畜数量/万头	林草覆盖率/%
2010A ₁ +B ₁	13.1	70	4.09	3600	143.24	30.0	151.27	19.0
2010A ₁ +B ₂	13.1	70	4.09	3600	143.24	30.0	151.27	15.0
2010A ₂ +B ₁	12.0	125	3.17	3750	143.66	25.0	140.21	19.0
2020A ₁ +B ₁	12.4	40	5.08	3000	151.36	40.6	181.37	24.7
2020A ₁ +B ₂	12.4	40	5.08	3000	151.36	40.6	181.37	20.0
2020A ₂ +B ₁	11.0	70	4.86	3300	154.56	30.0	171.35	24.7

在确定指标综合评价因子权重时 ,由于缺乏专家咨询的资料 ,因此采用目前在水资源承载力权重选择方面普遍使用的层次分析法。首先建立递阶层次结构 ,将各评价指标层次化。其次 ,构造两两比较判别矩阵。指标层次结构建立后 ,上下层次之间的隶属关系就可确定。对同一层次进行两两比较 ,其比较结果以 T.L.Saaty 的 1-9 标度法表示。并结合研究区注重经济发展与生态环境相协调的实际 ,以此获得各指标权重值。各层次权重求解结果见表 2。

表 2 水资源承载力评价指标

子系统层	系统层权重	因素层	因素层权重	临界状态(V_1)	理想状态(V_2)
水资源子系统 C_1	0.07192	人均水资源量 C_{11}/m^3	0.670565	1700	4000
		人均用水量 C_{12}/m^3	0.330436	800	400
生态环境子系统 C_2	0.33903	林草覆盖率 $C_{21}/\%$	0.508268	15	60
		生态需水率 $C_{22}/\%$	0.491472	25	50
		人口自然增长率 $C_{31}/\%$	0.189791	9.5	2.1
		城镇化水平 $C_{32}/\%$	0.048519	20	70
社会经济发展子系统 C_3	0.58905	人均工农林牧业产值 C_{33} (元)	0.372071	3280	32800
		人均粮食占有量 C_{34}/kg	0.074117	300	590
		用水效益 C_{35} (元· m^{-3})	0.315502	3.07	408.6

注 :临界状态与理想状态数据来自文献 [5]。

在确定方案选择评价指数时 ,为使方案选择更具实际性 ,本研究采用模糊数学中的隶属度构建水资源承载力综合指数 ,对方案进行评价。计算步骤如下。

第一步 ,计算单指标隶属度 u_{ij} 。 u_{ij} 可表示为 :

$$u_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} < v_{ij2} \\ \frac{x_{ij} - v_{ij1}}{v_{ij2} - v_{ij1}} & v_{ij2} \leq x_{ij} \leq v_{ij1} \\ 0 & x_{ij} > v_{ij1} \end{cases} \quad (3)$$

式中 : x_{ij} 表示第 i 个子系统第 j 个指标的值 ; v_{ij1} 为临界层值 ; v_{ij2} 为理想值。

第二步 ,计算多指标隶属度 L_{C_i} 。 L_{C_i} 可表示为

$$L_{C_i} = \prod_{j=1}^m u_{ij}^{a_{ij}} \quad (4)$$

式中 : m 表示子系统被考虑的指标数目 ; a_{ij} 表示第 j

指标的指数权重。权重计算方法和结果见表 2。

第三步 ,计算整个系统的隶属度 L_C ,即水资源承载力综合指数

$$L_C = \sum_{i=1}^n a_i L_{C_i} \quad (5)$$

式中 : n 为子系统数量 ,本研究中为 3 ; a_i 为第 i 个子系统的权重。

综合评价指数的大小表明区域水资源承载力的大小 ,其区间为[0 ,1] ,越接近 1 表明区域水资源承载力越好。在其分级方面 ,本文依据朱一中等 [5] 在 2002 年对西北地区水资源分析和研究的结果对水资源承载力“ 满意 ”程度进行分级。不可承载、不满意、满意、良好、理想这几种程度分别取值为 0、0~0.2、0.2~0.6、0.6~0.8、0.8~1.0。

计算得到研究区水资源在不同情景方案下的综合承载力指标如表 3 所示。

表 3 各方案水资源承载力综合评价指数

方 案	水资源子系统	生态子系统	社会经济 发展子系统	综合评价 指数
2010A ₁ + B ₁	0	0	0	0
2010A ₁ + B ₂	0	0	0	0
2010A ₂ + B ₁	0	0.0629528	0	0.0213428
2020A ₁ + B ₁	0	0.1442352	0.2938399	0.2219349
2020A ₁ + B ₂	0	0	0.2963495	0.1745646
2020A ₂ + B ₁	0	0.2273278	0.2268838	0.2107168

从各方案水资源承载力综合评价指数结果来看 ,由于 $A_1 + B_1$ 方案在 2020 规划年的综合评价指数最高(0.2219349) ,说明在该方案下研究区水资源承载力水平最好。因此 ,建议采用 $A_1 + B_1$ 方案作为研究区未来水资源可持续规划方案。

3 可持续发展方案

3.1 人口承载力

根据评价结果 ,选用 $A_1 + B_1$ 方案作为研究区未来水资源承载力规划方案。在该方案下研究区规划年水资源承载结果如表 4 所示。

表 4 是考虑生态、经济、社会综合因素后的综合结果。如果在保证生态用水的前提下 ,以研究区未来规划的人均用水标准和总水资源量进行水资源极限承载力计算 ,则 2020 规划年研究区水资源能承载的极限人口为 155.54 万 ,人均产值为 1.2975 万元。因此 ,人口的承载极限发展应以 2020 年达到 155.54 万人作为控制目标。

表 4 研究区规划年水资源承载结果

情景方案	工农林牧业 总产值/亿元	人均产值/ 万元	用水效益/ (元· m^{-3})	粮食人均值/ ($\text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$)	总人口/ 万人	人口自然 增长率/‰	社会经济 用水/亿 m^3	生态用水/ 亿 m^3	生态用水 比例/‰
2010A ₁ + B ₁	92.210	0.6437	42.06	278.5	143.24	0.733	2.1924	0.3609	14.1
2020A ₁ + B ₁	201.821	1.3334	73.81	500.0	151.36	0.633	2.7344	0.9579	26.0

3.2 社会发展方案

社会发展方案是以人均粮食产量为指标,在模型计算中以约束条件给出。在本研究中,2010 年以灌溉为主的农业种植面积为 3.17 万~4.09 万 hm²。2020 年为 4.86 万~5.08 万 hm²。如果按照目前粮经林草种植比例 75.69:18.72:5.59,粮食产量为 3 750 kg/hm² 经济作物以洋芋、中草药平均产值达到 12 000 元/hm²(以定西安定区 2003 年为基准),小麦价格 1.2 元/kg 作为基准计算,得到 2010 年粮食产量最大为 19.27 万 t,人均粮食 127.3 kg,远低于联合国规定的人均粮食临界量 370 kg 的要求。因此必须对“粮经比”做一定调整,配合农业增产技术,大力提高粮食产量,大力发展经济作物来保证粮食产量达到或接近目标规划值。按照当地农业生产潜力,参照资源条件相近的先进发达地区,在所选方案下预测研究区 2010 年、2020 年粮食产量及经济作物产值见表 5。

表 5 粮食产量及经济作物产值预测

年份	可灌耕 地面积/ 万 hm ²	粮经比	粮食产量/ (kg·hm ⁻²)	经济作物 平均产值/ (元·hm ⁻²)	粮食产 量/万 t	人均 产量/ kg
2010	4.09	2:1	5 250	22 500	39.89	278.5
2020	4.86	1.24:1	6 750	30 000	75.68	500.0

3.3 生态及经济发展方案

从所选方案可知,生态需水量逐年增加,这符合生态规划要求,但处于接近可承载力的边缘,这就要求当地政府部门要加大生态建设和保护力度,逐步提高水资源的生态承载能力,力求在 2020 年生态需水率达到 26%,才能做到研究区社会、经济、生态的初步协调发展。经济目标方面,2020 年经过逐步调整均处于可承载状态。但需要说明的是所选方案下 2020 年的用水效益(73.81 元/m³)远低于发达国家的平均标准(267 元/m³)^[1]。这说明,研究区在节水增效工作方面还有很大的潜力。

3.4 社会总需水量及各部门需水量

社会总需水量呈增长趋势,这与区域经济发展的趋势、人口增长趋势相符合。工业用水量比例呈平稳趋势,这说明虽然研究区域注重第二产业的发展,工业结构比例逐年增大,但由于工业节水技术的提高,中水的重复利用等工业节水措施的实施,工业用水呈现这种趋势符合实际。农业用水比例呈下降趋势,这与大力发展农业节水技术,调整粮、经、草比例的结果一致。生态用水比例呈增长趋势,这与研究区域可持续发展政策,保护生态环境措施的实施,

注重生态发展的目标相一致。

4 结 论

运用不同情景基础的多目标分析方法对研究区域水资源承载能力进行分析和应用后,所提出的规划方案能较好地反映研究区发展实际,说明该方法具有很强的可操作性;另外,笔者还运用承载能力的计算结果,结合区域实际,提出了符合研究区特点的可持续发展方案,这将对研究区今后的经济社会发展具有很好的指导意义。

参考文献:

[1] 翁文斌,王忠静,赵建世.现代水资源规划:理论、方法和技术[M].北京:清华大学出版社,2004:21-41.

[2] 谢新民,张海庆,尹明万,等.水资源评价及可持续利用规划理论与实践[M].郑州:黄河水利出版社,2003:206-208.

[3] 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.

[4] 张鑫,李援农,王纪科,等.关于水资源承载力研究中的几个问题的探讨[J].水文水资源,2000,21(4):35-36.

[5] 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.

[6] 王建华,江东,顾定法,等.水资源承载力的概念与理论[J].甘肃科学学报,1999,11(2):1-4.

[7] 王顺久,侯玉,张欣莉,等.流域水资源承载能力的综合评价方法[J].水利学报,2003,34(1):88-92.

[8] 闵庆文,余卫东,张建新,等.区域水资源承载能力的模糊综合主成分分析方法及应用[J].水土保持研究,2004,11(3):14-19.

[9] 姚治君,王建华,江东,等.区域水资源承载力的研究进展及理论探讨[J].水科学进展,2002,13(1):111-115.

[10] 冯宝平,张展羽,贾仁辅,等.区域水资源可持续利用机理分析[J].水利学报,2006,37(1):16-20.

[11] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等.面向可持续发展的区域水资源优化配置研究[J].系统工程理论与实践,2003,23(2):134-138.

[12] 程国栋.承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J].冰川冻土,2002,24(4):361-367.

[13] 张鑫,李援农,王纪科.水资源承载力研究现状及其发展趋势[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):115-120.

[14] 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):230-237.

[15] 李丽娟,郭怀成,陈冰,等.柴达木盆地水资源承载力研究[J].环境科学,2000,21(2):20-23.

(收稿日期 2008-03-04 编辑 高渭文)