研究简报

水资源承载力评价指标体系研究

惠泱河[1], 蒋晓辉[2], 黄 强[2], 薛小杰[2]
(1.西北大学, 陕西 西安 710069; 2.西安理工大学, 陕西 西安 710048)

摘 要: 水资源承载力涉及到整个资源、经济、环境大系统,水资源承载力与社会、经济、环境可持续发展是否协调是全球关注的重大问题。在充分理解水资源承载力概念、水资源承载力影响因素的基础上建立了水资源承载力评价指标体系及评价方法,并以典型缺水的关中地区为例进行了研究,得到了关中水资源可持续利用的满意方案。

关键词: 水资源承载力; 指标体系; 评价; 关中
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2001)01-0030-05 中图分类号: TV213, F323.213

Research on Evaluation Index System of Water Resources Bearing Capacity

XI Yang-he[1], JIANG Xiao-hui[2], HUANG Qiang[2], XUE Xiao-jie[2]
(1. *Xi'an University of Technology*, *Xi'an* 710048, *PRC*; 2. *Northwest University*, *Xi'an* 710069; *PRC*)

Abstract Water resources bearing capacity relates to economy, environment and other resources. The notion of water resources bearing capacity is given. the variety factors affecting water resources are studied, and then the evaluation index system on water resources bearing capacity and evaluation model are established. At last, demonstrated with Guanzhong region, the satisfaction scheme on water resources sustainable development is obtained.

Keywords **water resources; index system; evaluation; Guanzhong region**

1 水资源承载力概念

目前,"水资源承载力"一词在研究缺水地区的工业、农业和城市及整个经济发展水资源供需平衡时被广泛采用,但至今尚无一个统一的定义。"承载力"一词原为物理力学中的一个物理量,指物体在不产生任何破坏时的最大(极限)负荷。被其它学科借用最初应用于群落生态学,其涵义是"某一特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的配合),某种生物个体存在数量的最高极限"。后来应用于土地科学中,形成了"土地承载力这一较为成熟的概念,其定义为"在一定条件下,土地资源的生产能力所能承载一定生活水平下的人口数量"。水资源作为一种资源,其承载力合乎上述定义的内容,但水资源承载力有着自己的特点。水资源承载力体现在一定社会经济条件和一定状态下水资源系统可以承载一定程度和方式的人类活动的指标,在这些指标所允许的范围和程度之内的人类经济发展活动作用下,水资源系统结构组合特征,功能状态不会发生质的变化,这是水资源具有承载力的内在原因;由于上述指标在量上是有限度的,当某一指标消耗过大(例如地下水超采),会影响水资源系统的整体结构水平,进而导致功能失常。因此,水资源系统的物质、能量的输入存在限度,水资源承载力具有极限。综上所述,我们对水资源承载力的理解为: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循环发展为条件,经过合理优化配置,对该地区社会经济发展的最大支撑能力。

2 水资源承载力评价指标体系的建立

2.1 影响水资源承载力的主要因素

由上面水资源承载力概念看出,水资源承载力研究涉及到社会、经济、环境、生态、资源在内的纷繁复杂的大系统。在这个大系统内既有自然因素影响,又有社会、经济、文化等因素的影响。

2.1.1 *水资源的数量、质量及开发利用程度* 由于自然地理条件的不同,水资源在数量上都有其独特的时空分布规律,在质量上也有所差异,如地下水的矿化度、埋深条件,水资源的开发利用程度及方式也会影响可以用来进行社会生产的可利用水资源的数量。

2.1.2 *生产力水平* 不同历史时期或同一历史时期

收稿日期: 2000-07-22
资助项目: 国家"九五"攻关项目"关中水资源承载力研究"(96-912-05-01-04)
作者简介: 惠泱河(1954-),男(汉族),教授。研究方向为水资源系统工程等。电话(029)8303508, E-mail jxhxu@netease.com

不同地区都具有不同的生产力水平,在不同的生产力水平下利用单方水可生产不同数量及不同质量的工农业产品,因此在研究某一地区的水资源承载能力时必须估测现状与未来的生产力水平。

2.1.3　消费水平与结构　在社会生产能力确定的条件下,消费水平及结构层次将决定水资源承载能力的大小。

2.1.4　科学技术　科学技术是生产力,现代历史过程已经证明了科学技术是推动生产力进步的重要因素,未来的基因工程、信息工程等高新技术将对提高工农业生产水平具有不可低估的作用,进而对提高水资源承载能力产生重要影响。

2.1.5　人口与劳动力　社会生产的主体是人,水资源承载能力的对象也是人,因此人口和劳动力与水资源承载能力具有互相影响的关系。

2.1.6　其它资源潜力　社会生产不仅需要水资源,而且还需要其它诸如矿藏、森林、土地等资源的支持。

2.1.7　政策、法规、市场、宗教、传统、心理等因素　一方面,政府的政策法规、商品市场的运作规律及人文关系等因素同时会影响水资源承载能力的大小,另一方面,水资源承载能力的研究成果又会对它们产生反作用。

这些主要因素间的关系见图 1。从图中可看出,主要因素相互关系复杂,难以弄清楚本质联系,但从图中也可获得一些有用信息,运用关系间的结构解析就可以弄清系统的结构。

图 1　水资源承载力影响因素关系图

2.2　水资源承载力指标选择原则

水资源承载力指标体系是一个复杂的大系统,它并非仅是水资源承载力大小的评判依据,而且应该也是水资源承载力大小的决策工具。因此,指标的选择要遵循如下原则: (1) 以区域为评价主体进行综合评价。主要用于行政区域,也可用于流域,兼顾自然和人文因素、现状和发展前景、水量和水质、客观条件和利用管理水平; (2) 人口和经济是反映水资源承载力大小的最直接指标; (3) 除列出必要的水文资料外,着重加入能反映水资源可利用程度的指标和供需情况以及满足程度指标; (4) 要有决策变量指标; (5) 水资源承载力评价指标体系必须是动态的,其指标随社会经济发展而变化。

2.3　建立评价指标体系

结构解析法是从两个因素间的结合开始,迅速构造因素集合上二项关系的方法。通过有向图和相邻矩阵的计算得到可达矩阵,然后分析可达矩阵,使复杂系统分解成多级递阶形式,使众多因素间关系条理化、系统化。

从图 2可得到相邻矩阵 A,可达矩阵 R则由下式得到:

$$R = (A + I)^m = (A + I)^{(m-1)} \neq (A + I)^{(m-2)} \neq \cdots \neq (A + I)^1$$

式中: I 为单位矩阵, R 可按布尔代数规则得到。以可达矩阵为准,对因素进行分级划分得到如图 2所示的结构模型。

3　指标体系的评价方法

水资源承载力评价指标体系是对在不同时段、不同策略下水资源承载力进行综合评判的工具,由于水资源承载力涉及面比较广宽,不同方案的实施结果,其则重面不同,如偏重经济、偏重社会效益、偏重环境等,但水资源承载力的评价不能只从一个方面进行,往往考虑诸多因素。因此,运用水资源承载力评价指标体系进行水资源承载力评价时,评价方法尤为重要。密切值法能综合考虑诸多因素,是进行水资源承载力评价的理想方法,其主要原理如下。

3.1　确定权重

权是目标重要性的数量化表示,决策者可以按目标的重要程度给赋不同的值,但在目标较多情况下,这种赋值很难直接确定,一般借助于数学运算检验手段,推求各级目标的权重,本研究用判断矩阵分析法确定权重。

判断矩阵分析法,是把 m 个评价因素排成一个 m 阶判断矩阵,专家通过对因素两两比较,根据各因素的重要程度来确定矩阵元素值的大小。然后,计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量,这个特征向量就是所要求的因素权重。

3.2　建立方案的多目标评价矩阵

$$A = [a_{ij}]^{m \times n}$$

式中: a_{ij}—— 第 I 个方案第 j 项指标值; m—— 方案数; n—— 目标数。

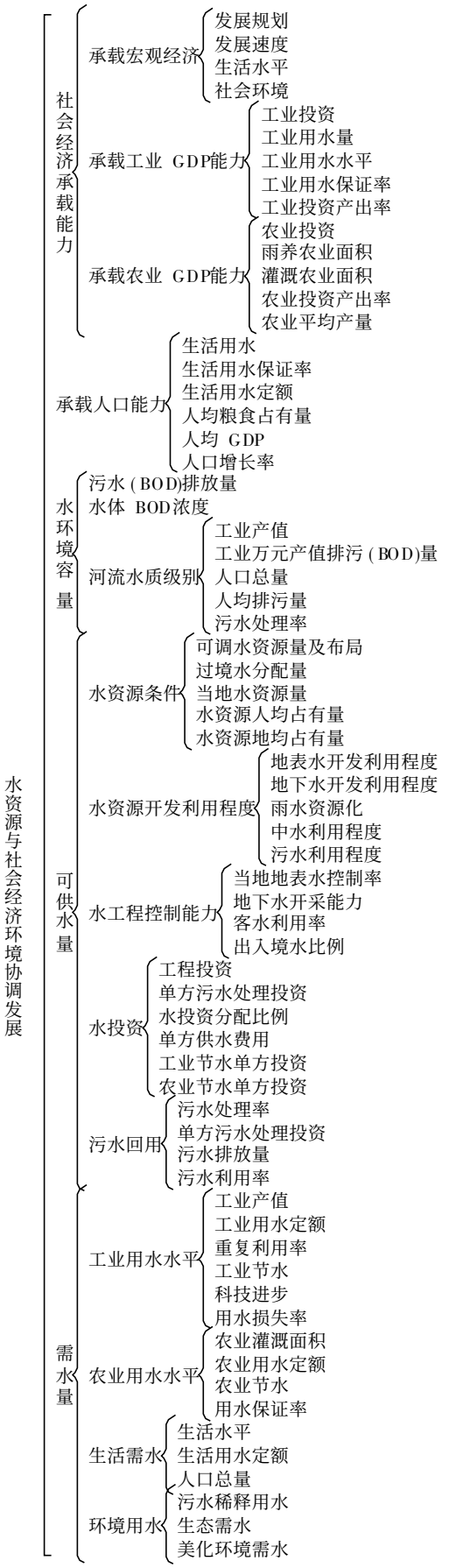

图 2 水资源承载力指标体系关系框架图

3.3 对评价矩阵规范化

$$R = [r_{ij}]^{m\times n}$$

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \cdot P_j, \qquad P_j = \begin{cases} 1 \\ -1 \end{cases}$$

式中: P—— 该目标效益方向。

3.4 按密切值法排序

按下式计算

$$C_i = d_i^- / d_i^+ - d_i^- / d_i^-$$

式中: C_i—— 密切值,反映方案指标距最优点和最劣点综合距离,越小越好; d_i^+, d_i^-—— 分别为方案指标距最优点和最劣点的欧氏距离。计算公式如下:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} w_j^2 (r_{ij} - r_j^-)^2},$$

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} w_j^2 (r_{ij} - r_j^+)^2},$$

式中: W_j—— 第 j 个指标的权重。

$$r_j^+ = \max_{1\le i\le m}(r_{ij}) \qquad j = 1\cdots, n$$

$$r_j^- = \max_{1\le i\le m}(r_{ij}) \qquad j = 1\cdots, n$$

r_j^+ 构成最优点,即 $A^+ = r_1^+, r_2^+, \cdots, r_n^+$

r_j^- 构成最劣点,即 $A^- = r_1^-, r_2^-, \cdots, r_n^-$

$d^+ = \min_{1\le i\le m}(d_i^+), d^- = \max_{1\le i\le m}(d_i^-)$

通过密切值计算和排序可以得出这个意义下的各个方案的相对优劣。密切值愈小,方案愈优。

4 实例研究

关中地区是国家确定的重点经济开发区,是国家经济发展战略向中西部转移的纽带和桥头堡。关中地处承东启西,呼应八方的地理位置,具有辐射周围的显在和潜在功能。关中经济发展不仅对陕西省,而且对西北实现国民经济发展的第二、第三步战略目标具有十分重要的意义。但关中水资源严重短缺,在全国水资源评价报告中,被列为全国最缺水地区之一,人均、地均水资源远低于全国平均值,水资源已成为关中地区社会经济发展首要制约因素。因此,关中水资源承载力是否与关中的社会、经济、环境协调发展已成为关中当前需要急迫解决的重要课题。

4.1 关中水资源承载力评价指标体系的选取

水资源承载力研究涉及面广,各种不同方案应有所偏重,如偏重经济,偏重环境,偏重社会效应等。不同方案的实施结果,其主要效益也反映在其相应方面,而衡量一个区域可持续发展的水资源承载力决不能只从某一方面进行,往往要综合考虑诸多因素,使

水资源承载的各种目标与区域可持续发展的目标相协调. 根据前面建立的水资源承载力评价指标体系和本文研究区域的实际情况,并考虑到可操做性,拟定如下方案评价指标: (1) 粮食产量: 指水资源所能承载的粮食; (2) 国内生产总值: 指水资源所能承载的国内生产总值; (3) 人口: 指水资源所能承载的人口; (4) BOD排放量: 指水资源约束下的一定社会发展模式排放的 BOD; (5) 国内生产总值增长率: 指水资源所能承载国内生产总值增长率; (6) 供水量: 某一水平年区域可供水量; (7) 工业供水效益: 某一水平年区域工业供水效益; (8) 工农业供水效益: 某一水平年区域工农业供水效益.

4.2 备选方案下的水资源承载力分析评价

我们研究 A(水资源开发利用及节流维持现状)、B(仅考虑节流)、C(当地开源及节流)、D(区外调水及当地开源节流)4钟方案下水资源承载力. 通过建立多目标模型分析计算,得到不同方案下水资源承载力指标值及理想值如表 1. 运用上面的评价模型,得到不同方案下不同水平年水资源承载指标值与理想值的密切值如表 2,以此来选择与可持续发展相协调的最优方案及水资源持续利用模式. 密切值愈小,表示水资源承载力与理想值愈接近.

表 1　关中地区水资源承载力评价指标

方　案	年价	人口 /10^4人	粮食产量 / 10^4 t	国内生产总值 /10^8元	国内生产总值增长率 /%	BOD排放量 /10^4 t	供水量 / 10^8 m^3	工业供水效益 /10^8元	工农业供水效益 /10^8元
A方案	2000	2071.78	655.90	1080.52	7.80	10.45	54.55	35.54	44.37
	2010	1050.67	396.01	1508.01	3.38	28.87	54.55	52.13	60.41
	2020	565.60	228.05	1940.62	2.55	67.10	54.55	77.27	79.85
B方案	2000	2119.10	667.41	1105.20	8.30	15.04	57.13	39.94	46.20
	2010	1404.75	552.82	2016.90	6.20	20.08	58.64	69.87	66.27
	2020	1073.15	425.76	2715.80	3.02	61.79	59.81	101.30	92.61
C方案	2000	2194.58	691.18	1148.5	9.17	15.10	64.05	35.56	46.77
	2010	2325.20	865.39	3377.20	11.38	20.11	90.78	116.40	71.71
	2020	1754.88	696.23	6015.80	5.90	62.17	106.60	234.06	107.60
D方案	2000	2207.70	690.22	1150.75	9.23	16.63	76.84	35.72	47.25
	2010	2366.00	873.09	3397.52	11.43	30.39	103.60	126.49	74.32
	2020	2459.80	958.94	8459.04	9.55	52.51	131.00	287.38	12.97
理想值	2000	2208.42	695.54	1151.78	9.25	15.10	82.93	39.01	47.08
	2010	2387.68	888.65	3428.17	11.67	20.11	113.98	156.73	86.45
	2020	2477.53	982.93	8497.45	9.55	62.17	136.42	437.08	131.68

表 2　不同方案下不同水平年水资源承载指标值与理想值的密切值

方案	2000年	2010年	2020年
A	2.6497	3.9443	4.5592
B	1.4204	2.3365	3.5261
C	0.6151	0.002506	1.3506
D	0.3282	0.09595	0.0000

下面我们比较分析 A, B, C, D 4种提高水资源承载力方案的优劣.

A方案下各个水平年密切值均是最大的,水资源开发利用不能满足社会经济可持续发展的需要. 由于该方案未采取开源节流及污水治理措施,其承载能力与理想值相差甚远,完全不能达到"九五"计划和 2010年远景规划目标,该方案实际反映了无所作为停止发展的观点. 从另一方面也反映出,关中水资源的短缺对关中经济可持续快速发展的制约程度,开源节流迫在眉睫.

B方案下各个水平年的密切值要优于 A方案,这是由于该方案采取了节流和污水回用措施,用水水平有了提高,污水回用量增大,有效可供水量略有增加,水环境有了改善,水资源承载能力的主要指标都要优于了零方案,但是,由于节流和污水回用增加的有效供水十分有限, B方案下密切值仍然较大, B方案下水资源承载力的主要指标与理想值相比还有较大差距,平的需要. 总之,节水和污水回用是缺水对策的优先措施,但由于新增加的可供水量十分有限,对关中这一缺水地区来说不是解决问题的根本性措施.

C方案下, 2000, 2010年 2个水平年密切值较小, 2020年密切值较大,由于本方案充分考虑当地开源节流,可供水量有了很大的提高,相应地水资源承载能力的主要指标都比低方案有很大提高,其中在

2010年承载力已接近理想值,但在 2020年,水资源承载力与理想值相差较大,这是由于关中当地水资源量有限,到 2010年前后,当地水资源承载能力已基本达到极限,为了保证关中未来经济社会可持续发展,摆脱水资源严重短缺的被动局面,必须考虑境外调水,根据黄河流域规划和陕西水利规划以及前期工作的程度,开发黄河以北干流和两江(嘉陵江、汉江)调水是增加关中供水量的必不可少的对策和措施。

D方案下各个水平年密切值很小,由于本方案在 C方案的基础上考虑了两江调水和加强了黄河过境水开发利用,可供水量比 C方案有了增加,相应地,水资源承载能力比中方案有了很大的提高,水资源承载力的各项指标与理想值较为接近,社会经济环境获得可持续发展,同时水资源也可得到可持续利用。因此,本方案的实施效果满足人民生活水平提高的需要,可促进关中可持续发展,本方案可作为水资源开发利用的优选方案。

[参 考 文 献]

[1] 崔凤军. 城市水环境承载力及其实证研究 [J]. 自然资源学报, 1998, 13(1): 58- 62.

[2] 刘绍军. 新疆塔里木河沿岸地区水资源优化分配模型研究 [J]. 水利学报, 1995(1): 69- 74.

[3] 甚江. 本溪经济技术开发区环境—— 经济协调发展研究 [J]. 环境科学, 1996, 16(16): 26- 30.

[4] 牟海省,刘昌明. 我国城市设置与区域水资源承载力协调研究分议 [J]. 地理学报, 1994, 7(4): 32- 36.

[5] 蔡明喜,等. 基于宏观经济的区域水资源多目标集成系统 [J]. 水科学进展, 1995, 6(2): 2- 7.

[6] 王地宁. 社会发展评价指标体系建构定量方法初探 [J]. 系统工程理论与实践, 1991, 7(4): 49- 52.

耕作侵蚀研究项目 进展

土壤侵蚀是全球性的严重环境问题,而农耕地则是全球土壤侵蚀最严重的地区。农地上存在的水力等侵蚀早已被研究者认识到,并且已进行了大量的研究,但农地上存在的另一种侵蚀,也是从根本上导致农地土壤退化及产生严重水土流失的侵蚀,却在以往的土壤侵蚀研究中被大大地忽视,这就是耕作侵蚀。

耕作侵蚀是土壤物质在耕作机具的作用下发生分散、搬运、沉积的过程。在耕作侵蚀过程中,土壤物质主要在农地内发生再分布,在坡地上,这种再分布则主要表现为坡面土壤的从上向下运动。

耕作侵蚀作为一种新近认识到的重要侵蚀过程,已引起国际上的广泛关注。耕作侵蚀研究也已在各大洲迅速开展起来。 1997年起,欧共体将耕作侵蚀列为大型研究项目,组织了 7个国家的科学家协作攻关,研究范围包括到全部欧共体国家; 1997年 7月在加拿大多伦多(Toronto)举行了第 1次耕作侵蚀国际会议; 1999年 4月在比利时鲁汶(Leuven)举行了第 2次耕作侵蚀国际会议; 2001年 8月将在英国埃克塞特(Exeter)再次举行关于耕作侵蚀影响的重要国际会议。

我国是一个幅员辽阔,农业人口众多,耕种历史悠久的农业大国,坡耕地面积大,尤其与西方发达国家相比,坡耕地普遍较短,较陡,较崎岖,且各地的耕作机具与耕作方式差异较大,因此,耕作侵蚀是在我国广泛存在、形式多样的一种重要类型的土壤侵蚀。 为了认识我国坡耕地的耕作侵蚀规律,进而发展科学的坡耕地保护性耕作技术,我们从 1999年开始,在我国黄土高原开展了耕作侵蚀研究。

我们在主持的国家自然科学基金项目“黄土地区耕作侵蚀评价”(1999- 2001)、中国科学院水土保持研究所知识创新工程项目课题“耕作侵蚀过程与模拟”(1999-)及陕西省人事厅留学回国人员科技活动择优资助项目“农地耕作侵蚀研究”(2000- 2002)的资助下,通过前两年的研究,已获得了黄土地区耕作侵蚀过程中的土壤再分布规律、黄土地区耕作侵蚀模型,黄土地区耕作侵蚀强度及其空间分布特征,以及黄土地区耕作侵蚀在总土壤侵蚀中的重要性及其空间变化规律。 目前,我们正在对该地区耕作侵蚀其它方面的内容进行研究,各个项目进展顺利。

(王占礼,中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)