

干旱区内陆河流域水资源开发对水土环境效应的评价指标体系设计

师彦武¹, 康绍忠^{1, 2}, 简艳红³

(1. 西北农林科技大学 教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083; 3. 陕西省水利电力勘测设计研究院, 陕西 西安 710001)

摘要: 水资源开发的水土环境效应评价是水资源可持续利用评价的前提和基础。根据干域的水土环境特点, 分析了水资源开发的水土环境效应间的内在联系, 论述了水土环境效应评价指标体系构建的必要性及其构建原则, 设计了评价指标体系的大致框架, 并就指标体系构建的合理性及指标设置方法进行了论证。

关键词: 水资源开发; 水土环境效应; 指标体系; 内陆河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)03-0024-04

中图分类号: TV213; X143

Designing of Indicator System Assessment of Water-Soil Environmental Effect on Water Resources Development in Continental River Basin in Arid Areas

SHI Yan-wu¹, KANG Shao-zhong^{1, 2}, JIAN Yan-hong³

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil-Water Engineering in Arid Area of Ministry of Education, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. China Agricultural University, Beijing 100083, China; 3. Shaanxi Water Conservancy & Electric Power Exploitation & Design Research Institute, Xi'an 710001, Shaanxi Province, China)

Abstract: Assessment of water-soil environmental effect on water resources development is a basis for the assessment of water resources availability. The relations among the water-soil environmental effects on water resources development are analyzed. And the necessity of constructing an indicator system and basic principles while constructing the system are discussed. A gross framework is designed for the system based on its principles, and some questions which arose while constructing the index system are also discussed.

Keywords: water-soil environmental effect; indicator system; continental river basin

水土环境是区域自然生态环境的最基本要素, 水资源的不合理开发, 一般会首先引起水土环境的恶化, 例如水资源短缺、水质恶化、地下水位下降, 土地盐渍化、沙漠化等。因此定量评价水资源开发的水土环境效应, 是水资源可持续开发利用的前提条件和有益补充, 具有十分重要的理论和实践意义^[1]。对于系统内零散的信息, 建立评价指标体系对零散信息进行综合评价是行之有效的手段之一^[2]。不少学者在这方面进行了有益的探索^[3-5]。目前, 可持续发展方面的评价指标体系研究较为深入^[6-8], 方法较为成熟。

1 旱区流域水资源开发的水土环境效应系统关系

流域是功能健全的复合生态系统。在这一系统中, 水循环是一个不以人的意志为转移的自然现象^[8]。特别在干旱内陆河流域, 水循环都是由河流

贯穿联系的地表水和地下水的统一体, 构成独立的水系统和完整的生态系统, 上游地区人类活动对水循环的影响会迅速传递到下游的生态。所以流域内的自然生态系统、经济社会发展都和水资源紧密关联, 人类活动和水资源开发利用不当是导致区域水土环境恶化的直接原因, 人口增长、水资源短缺和干旱区生态环境脆弱等因素则刺激了这一过程的发生。

随着各地国民经济的飞速发展, 水资源的需求量愈来愈大, 流域内中上游地区“近水楼台先得月”, 大量拦截河水, 必然使中下游径流量减少、河湖萎缩, 地下水补给减少、水位下降, 与地下水关系密切的林草植被也将枯萎, 降低防风抗沙能力。加上土地盐碱化程度日益加剧而弃耕和缺水造成的耕地撂荒, 这些都为沙漠侵袭敞开了大门。水资源开发和自然环境之间的相互作用关系如图 1 所示。

由图 1 可见, 由于人为水资源不合理的开发, 经过一系列演化过程, 最终导致区域水土环境全面恶化, 生态系统崩溃。因此, 弄清楚各系统之间的相互作用, 是正确构建水土环境效应评价指标体系的基本前提, 也是全面评价水土环境效应发展程度的关键。

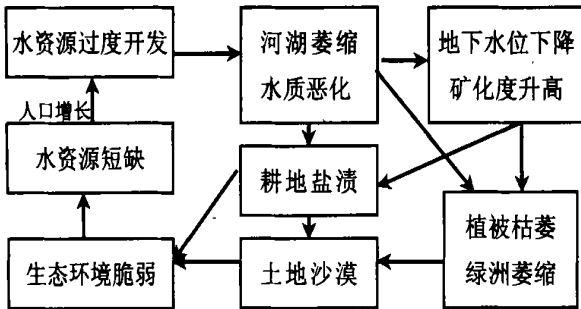


图 1 干旱区流域水资源开发利用与环境相互作用关系

2 建立干旱区流域水土环境效应评价指标体系的原则

评价指标是度量区域水土环境效应特征的参数, 是评价的基本尺度和衡量基准。指标体系是综合评价的根本条件和理论基础, 指标体系构建成功与否决定了评价效果的真实性和可行性。在研究和确立评价指标体系时, 应遵循如下指导原则。

(1) 科学性与客观性相结合。即指标的选择、权重系数的确定, 数据的选取、计算与合成, 必须以公认的科学理论为依据。同时要求所设计的指标必须以客观存在的事实为基础来获得数据, 作为计算和评价的基础。

(2) 系统性与层次性相结合。确定相应的评价层次, 将各个评价指标按系统论的观点进行考虑, 使主要因素不致遗漏, 构成完整的评价指标体系。同时, 确定评价层次时, 层间因素应为递进关系, 同层内因素应保持独立, 避免指标重复。

(3) 综合性与具体性相结合。水资源开发引起的水土环境效应是多方面的, 对诸多环境因子要全面衡量, 进行综合分析和评价。同时又要突出具体、有代表性指标的作用。

(4) 动态与静态相结合。水资源持续过度开发, 使区域水土环境不断恶化, 是一个不断变化的动态过程, 这就要求指标选择既要有静态指标, 又要有发展的动态指标。

(5) 稳定性与独立性相结合。有些指标在不同时期有不同的要求, 会随时间而发生变化, 因而尽量避免选择这类指标。另外, 水土环境效应是呈连锁式发生的, 度量指标往往存在信息上的重叠, 所以要尽

量选择那些具有相对独立性的指标。

(6) 可操作性与简易性相结合。由于区域系统复杂性的缘故, 一些传统指标往往是难操作的定性指标较多。建立层次复杂、数量庞大的指标群, 会使精确计算非常困难, 并影响结果的可靠性。因此在构建评价指标体系时, 要在尽可能简单的前提下, 挑选一些易于计算, 容易得到, 并能在要求水平上有很好的代表性的指标, 使其具有较强的操作性。

设置指标时, 上述各项原则既要综合考虑, 又要区别对待。一方面要综合考虑评价指标的科学性、完备性和独立性, 不能仅凭借某一个原则决定指标的取舍; 另一方面由于各项原则各具特殊性, 还有目前人们认识上的差距, 对各项原则的衡量方法和精度, 不能强求一致, 要灵活应用。

3 指标的筛选

在实际应用中, 并非指标越多越好, 关键在于指标能否反映评价问题的本质。指标过多, 一方面引起评价者判断上的错觉, 另一方面导致其它指标权重减小, 造成评价结果失真。权重是判断指标相对重要性程度的度量, 因此可利用权数判断法, 即剔除权数较小的指标, 进行指标筛选。

Satty 认为大多数人对不同事物在相同属性上差别的分辨能力在 59 级之间, 他建议某一准则下指标数量不宜超过 9 个, 据此我们认为指标取舍权数取 0.1 较合适, 当指标权数小于 0.1 时, 可认为其影响较小, 予以舍弃。

4 评价指标选择和设置的方法论问题

建立评价指标体系来描述一个综合性的目标, 它的基本目的在于寻求一组具有典型代表意义, 同时又能全面反映综合目标各方面要求的特征指标。这些指标及其组合能恰当地表达人们对该综合性目标的定量判断。

一般讲, 综合目标往往是一种定性概念, 为了建立与定量指标的联系, 就必然将综合目标分解为较为具体的目标^[9], 称之为“准则”, 有时根据需要, 还可将其再细分为次准则层。

这些准则从侧面反映了被描述对象的系统结构特征和综合目标对它的要求。尽管它们仍是定性的, 但相对而言, 它们与定量指标间的相关关系较综合目标更为直接和简单, 更便于进行研究和判断。目前, 构建评价指标体系通常的做法是将其分为 3 层, 即“目标层—准则层—因素层”。由具体指标的全体构成因素层。

在确定各准则所包含的具体定量指标时,关于准则与指标之间的相互关系,主要存在以下几个方面的问题。

(1) 人们对定量指标与准则间的相关关系只有一种经验上的判断,尚未建立精确的定量规律。在建立指标体系时,难点就在于对这类指标的分析 and 选取。在实际工作中,由于相关因素的复杂多样,人们一般采取经验方法(如实地调查,专家咨询等)与定量分析方法相结合的思路,研究指标主要因素与准则的关系,从而确定是否将这一指标作为该准则的一个描述指标。

(2) 指标选取中定性 with 定量关系的处理。依据指标体系建立的完整性和可操作性原则,在具体区域进行指标筛选时,往往会遇到一个很难解决的问题,即对于某一指标,尽管能很好地反映出系统中某一子系统的状态或某几个子系统间的相互关联,但要将这一指标量化,具有较强可操作性,用一般统计方法却很困难。例如本研究中,水资源不合理开发所引起的耕地退化达到什么程度,对该地区的节水潜力如何等描述性指标即是如此。

其实,对这些难于量化的指标,完全可以作为一种模糊因子予以保留^[10],然后利用模糊数学中的相关理论,计算这些指标相对于某一具有明确定量内涵的定性概念的隶属度。通过这种模糊量化以后的评价指标体系使重要指标不致遗漏,而且将更具有可操作性和说服力,因而在实践中更能充分发挥指标体系对综合目标的决策和调控作用。

5 评价指标体系框架设计和评价方法

5.1 评价指标体系框架设计

干旱区流域水资源短缺,全流域供需矛盾和流域内上下游争水矛盾都很突出,生态系统功能脆弱,水资源不合理开发,必然导致一系列的水土环境效应,并且呈连锁式发生。干旱区流域这个特点和水资源具有高度竞争性的多功能资源的特点结合,决定了流域水土环境是一个以水资源为主要控制因素,以人为核心的脆弱系统,水土环境效应指标体系的建立必须体现这一主导思想。

本文从水土环境效应的内涵出发,根据以上水土环境效应各因素相互关系的分析,参考前人研究成果^[3-5 11],选择相应指标,设计出了能够以水资源为主要控制因素的流域水土环境效应综合评价指标体系(如表 1)。该指标体系是由一个总目标,6 个准则,32 个指标组成的层次体系。目标层由准则层加以反映,准则层由具体的因素层指标来反映。

5.2 指标体系框架论证

干旱区水资源开发利用引起的水土环境效应是多方面的。综合衡量水土环境效应程度,不仅应考虑其自然系统的各个组成部分(如地表水、地下水、土地退化)状况,而且应考虑水资源对社会需求的满意程度。因为水资源的欠缺是区域水资源过度开发引起的,是组成水土环境效应的重要因素。因此,我们在准则层中设立了“水资源承载力效应”准则。

水资源的过度开发,一方面使水资源短缺而直接引起耕地退化和弃耕;另一方面,还可以通过间接影响,即由于缺水而使地表林草植被枯萎和退化,而地表缺乏林草植被屏障又成为风沙肆虐的通道,这在西北干旱区表现尤为明显。因而在准则层中将地表植被与绿洲效应列为一个准则。

在西北内陆干旱区流域,降雨量少,地表天然林草生长态势及植被群落空间分布状况几乎完全由地下水状况所决定,地下水状况成为联系水资源短缺和因缺水造成土地退化的纽带(如图 1)。这是干旱区流域的一个特点。因而,在准则层中将地下水效应与地表水效应和土地退化效应并列,具有充分理论根据。

5.3 评价方法

指标的权重是分析指标之间数量关系的纽带。各因素在系统的变化中所起作用是不同的,应根据各因素的重要程度分别赋予其不同的权重,才能客观、准确地把握系统的特点,揭示其发展规律。常用的较为成熟的方法主要有层次分析法(AHP)和主成分分析法等。在进行水土环境效应综合评价时,目前常用的数学模型主要有模糊评判法、密切值法、灰色关联度法和综合指数法等。鉴于评价指标体系的复杂性,一般采用两种以上的方法进行评价,然后综合对比,使结果更符合实际。水资源开发引起的水土环境效应是多方面的,各分效应又相互作用,构成一个复杂的系统,其内部具有模糊属性。因此建议优先用模糊评判法进行评判,再结合其它方法进行对比分析,使评判结果更具有可靠性。

水资源开发引起的水土环境效应是多方面的。不同的地区具有不同的自然生态条件,人类对水资源不合理开发引起的水土环境效应更是千差万别,对这样的系统进行综合评价不可能建立统一的评价指标体系。事实上,其指标本身量化的确定就是一个难点。因此,本文以干旱区内陆河流域为研究对象,在全面分析干旱区流域水资源特点的基础上,尝试构建了以水资源为控制因素的水资源开发的水土环境效应评价指标体系。该指标体系能较为全面地反映流域水土环境效应状况。

表 1 干旱区内陆流域水资源开发的水土环境效应综合评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标特点
水资源承载效应		C ₁₁ 人均水资源总量	可直观判断区域水资源条件与丰度
		C ₁₂ 亩均水资源总量	反应天然水资源多寡, 是对农用水很好的参考
		C ₁₃ 水资源总利用率	表明区域总的水资源开发程度
		C ₁₄ 总缺水率	综合衡量区域缺水程度
		C ₁₅ 水资源负载指数*	综合衡量区域水资源对人口与农业的承载力
		C ₁₆ 总灌溉率	反映水资源对农业的支持程度
地表水效应		C ₂₁ 地表径流模数	反映区域地表水资源量丰度
		C ₂₂ 水域面积缩减率	过度引水造成的局部水量减少程度
		C ₂₃ 上游来水量缩减率	反映流域上下游用水矛盾
		C ₂₄ 灌溉用水矿化度	水资源重复利用造成的水质恶化程度
		C ₂₅ 地表水质级别	反映地表水污染程度
		C ₂₆ 河流输沙模数	衡量流域侵蚀程度, 和河流水质的重要参数
旱区流域水资源开发的 水土环境综合效应	地下水效应	C ₃₁ 地下水超采率	反映地下水超采状态
		C ₃₂ 地下水埋深	反映地下水超采状态
		C ₃₃ 地下水位年降幅	反映地下水超采程度
		C ₃₄ 地下水矿化度	反映地下水超采造成的结果
绿洲及植被效应		C ₄₁ 绿洲面积率	反映人类对自然环境的征服程度
		C ₄₂ 人工绿洲面积变化率	反映水资源开发对人工绿洲的影响
		C ₄₃ 天然绿洲面积变化率	反映水资源开发对天然绿洲的影响
		C ₄₄ 森林覆盖率	反映水源涵养状况和防风抗沙能力
		C ₄₅ 缺水的林地死亡率	反映水资源开发对林木的影响
		C ₄₆ 天然草场退缩率	反映水资源开发造成的草场破坏
土壤盐渍化效应		C ₅₁ 土壤盐渍化面积比率	水资源不合理利用造成土壤盐渍化的程度
		C ₅₂ 土壤盐渍化程度	重度盐渍化土地所占比例
		C ₅₃ 盐渍化面积扩大率	水资源不合理利用造成盐渍化扩大程度
		C ₅₄ 盐渍化区土壤含盐量	土壤盐渍化达到的程度
土地沙漠化效应		C ₆₁ 沙漠化面积比率	
		C ₆₂ 潜在沙漠化面积率	水资源开发对土地的潜在影响
		C ₆₃ 沙漠化程度	重度沙漠化面积所占比例
		C ₆₄ 沙漠化面积扩大率	
		C ₆₅ 沙漠化区地下水埋深	反映地下水对沙漠边缘生态的支持程度
		C ₆₆ 沙漠化区植被盖度	反映沙漠边缘生态脆弱程度

注: 水资源负载指数 = (总人口 × 总灌溉面积)^{1/2} / 水资源总量。用以说明现状水资源利用程度以及判断今后开发难易程度的指标。见“九五”攻关项目《石羊河流域水资源开发利用现状评价报告》, 甘肃省水电勘测设计院, 1998。

[参 考 文 献]

[1] Barrow. Land Degradation [M]. New York: Cambridge University Press, 1991.	[7] 曹利军. 可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究 [J]. 环境科学学报, 1998, 18(5).
[2] 张于心, 智明光. 综合评价指标体系和评价方法 [J]. 北方交通大学学报, 1995, 19(3): 393—400.	[8] 秦莉云, 金忠青. 流域可持续发展评价指标体系框架设计 [J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 3—5.
[3] 吴贻名, 李元红, 宋强, 等. 干旱区流域生态环境质量现状评价研究 [J]. 中国农村水利水电, 2001(1): 25—30.	[9] 刘求实, 沈红. 区域可持续发展指标体系与评价方法研究 [J]. 中国人口. 资源与环境, 1997, 7(4): 60—64.
[4] 朱发升. 层次分析法在石羊河流域生态环境评价中的应用 [J]. 甘肃水利水电技术, 1999(1): 66—68.	[10] 余丹林. 区域可持续发展评价指标体系的构建思路 [J]. 地理科学进展, 1998, 17(2): 84—89.
[5] 徐立峰. 中国西部内陆干旱区水资源开发的环境影响评价指标体系. 水电站设计 [J], 1999, 15(3): 109—122.	[11] 王让会, 樊自立. 干旱内陆河生态脆弱性评价——以新疆塔里木河流域为例 [J]. 生态学杂志, 2001, 20(3): 63—68.
[6] 叶文虎, 栾胜基. 论可持续发展的衡量与指标体系 [J]. 世界环境, 1996(1).	