

水资源可持续利用指标体系及评价方法研究

宋松柏¹, 蔡焕杰¹, 徐良芳²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 四川工业学院能源与环境工程系, 四川 成都 610039)

摘要: 回顾了国内外水资源可持续利用指标体系及评价方法的研究现状, 较系统地总结了水资源可持续利用指标体系建立、评价方法和存在的主要问题, 在此基础上, 对区域水资源可持续利用指标体系及评价方法研究的主要内容及其研究趋势进行了探讨。

关 键 词: 区域水资源; 可持续利用; 指标体系; 评价方法

中图分类号: TV213.4; G353.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2003)05-647-06

寻求人口、经济、社会和环境之间相互协调的可持续发展之路, 探讨 21 世纪水资源的国家战略及其相关科学问题, 已经成为全球关注和各国政府的重点议题之一, 又是 21 世纪多学科综合研究的重大领域之一。水资源可持续利用指标体系及评价方法则是目前水资源可持续利用研究的核心, 是进行区域水资源宏观调控的主要依据。目前, 国内外许多学者从各自的研究领域出发, 对其进行研究。但是, 还尚未形成水资源可持续利用指标体系及评价方法的统一观点。因此, 本文针对现行国内外水资源可持续利用指标体系建立、评价研究存在的主要问题, 区域水资源可持续利用指标体系及评价方法研究的主要内容及其研究趋势进行了探讨。

1 区域水资源可持续利用指标体系研究的基本思路

水资源可持续利用是一个反映区域水资源状况(包括水质、水量、时空变化等), 开发利用程度, 水资源工程状况; 区域社会、经济、环境与水资源协调发展; 近期与远期不同水平年对水资源分配竞争; 地区之间、城市与农村之间水资源的受益差异等多目标的决策问题。根据可持续发展与水资源可持续利用的思想^[1~5], 笔者认为水资源可持续利用指标体系的研究思路应包括以下方面。

1.1 基本原则

- (1) 体现水资源可持续利用的内涵和目标。
- (2) 在全面反映水资源可持续利用特性的前提下, 尽可能减少指标数目。
- (3) 指标特殊性与普遍性有机统一的原则。
- (4) 指标时间维和空间维结合的原则。
- (5) 指标实用性和可操作性的原则。

1.2 理论与方法

借助系统的理论、系统协调原理, 以水资源、社会、经济、生态、环境, 非线性理论, 系统分析与评价, 现代管理理论与技术等领域的知识为基础, 以计算机仿真模拟为工具, 采用定性与定量相结合的综合集成方法, 研究水资源可持续利用指标体系。

收稿日期: 2002-06-10; 修订日期: 2002-09-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50179031); 高等学校全国优秀博士学位论文作者专项基金资助项目 (200052)

作者简介: 宋松柏(1965 -), 男, 陕西永寿人, 西北农林科技大学副教授, 主要从事水文水资源教学、科研工作。

E-mail: ssb6533@yahoo.com.cn

1.3 研究内容

主要包括水资源可持续利用的现状指标评价, 指标体系的趋势、稳定性和水资源可持续利用的综合评价。

1.4 评价与标准

水资源可持续利用指标的评价标准可采用 Bossel^[1,2] 分级制与标准进行评价。将指标分为 4 个级别, 并按相对值 0~4 划分。其中, 0~1 为不可接受级, 即指标中任何一个指标值小于 1 时, 表示该指标所代表的水资源状况十分不利于可持续利用, 为不可接受级; 1~2 为危险级, 即指标中任何一个值在 1~2 时, 表示它对可持续利用构成威胁; 2~3 为良好级, 表示有利于可持续利用; 3~4 为优秀级, 表示十分有利于可持续利用。

1.5 水资源可持续利用的现状指标体系

现状指标体系分为两大类: 基本定向指标和可测指标。

(1) 基本定向指标^[1,2] 是一组用于确定可持续利用方向的指标, 是反映可持续性最基本而又不能直接获得的指标。基本定向指标可选择生存、能效、自由、安全、适应和共存 6 个指标。生存表示系统与正常环境状况相协调并能其中生存与发展。能效表示系统能在长期平衡基础上通过有效的努力使稀缺的水资源供给安全可靠, 并能消除其对环境的不利影响。自由表示系统具有能力在一定范围内灵活地应付环境变化引起的各种挑战, 以保障社会经济的可持续发展。安全表示系统必须能够使自己免受环境易变性的影响, 使其可持续发展。适应表示系统应能通过自适应和自组织更好地适应环境改变的挑战, 使系统在改变了的环境中持续发展。共存指系统必须有能调整其自身行为, 考虑其它子系统和周围环境的的行为、利益, 并与之和谐发展。

(2) 可测指标 即可持续利用的量化指标, 按社会、经济、环境 3 个子系统划分, 各子系统内的可测指标由系统本身有关指标及其可持续利用涉及的主要水资源指标构成。这些指标又进一步分为驱动力指标、状态指标和响应指标。

1.6 水资源可持续利用指标趋势的动态模型

应用预测技术分析水资源可持续利用指标的动态变化特点, 建立适宜的水资源可持续利用指标动态模拟模型和动态指标体系, 通过计算机仿真进行预测。根据动态数据的特点, 模型主要包括统计模型、时间序列(随机)模型, 人工神经网络模型(主要是模糊人工神经网络模型)和混沌模型。

1.7 水资源可持续利用指标的稳定性分析

由于水资源可持续利用系统是一个复杂的非线性系统, 在不同区域内, 应用非线性理论研究水资源可持续利用系统的作用、机理和外界扰动对系统的敏感性。

1.8 水资源可持续性的综合评价

根据上述水资源可持续利用的现状指标体系评价、水资源可持续利用指标趋势的动态模型和水资源可持续利用指标的稳定性分析, 应用不确定性分析理论, 进行水资源可持续性的综合评价。

2 水资源可持续利用指标体系研究进展

2.1 水资源可持续利用指标体系建立的方法

现有指标体系建立的方法基本上是基于可持续利用的研究思路, 归纳起来包括^[3~22]:

(1) 系统发展协调度模型 指标体系由系统指标和协调度指标构成。系统可概化为社会、经济、资源、环境组成的复合系统。协调度指标则是建立区域-地相互作用和潜力三维指标体系, 通过这一潜力空间来综合测度可持续发展水平和水资源可持续利用评价。

(2) 资源价值论 应用经济学价值观点, 选用资源实物变化率、资源价值(或人均资源价值)变化率和资源价值消耗率变化等指标进行评价。

(3) 系统层次法 基于系统分析法, 指标体系由目标层和准则层构成。目标层即水资源可持续利用的目标, 目标层下可建立一个或数个较为具体的分目标, 即准则层, 准则层则由更为具体的指标组成。应用系统综合评价方法进行评价。

(4) 压力-状态-反应(PSR)结构模型 该模型由压力、状态和反应指标组成。压力指标用以表征造成发展不可持续的人类活动和消费模式或经济系统的一些因素。状态指标用以表征可持续发展过程中的系统状态。响应指标用以表征人类为促进可持续发展进程所采取的对策。

(5) 生态足迹分析法 是一组基于土地面积的量化指标对可持续发展的度量方法,它采用生态生产性土地为各类自然资本统一度量基础。

(6) 归纳法 首先把众多指标进行归类,再从不同类别中抽取若干指标构建指标体系。

(7) 不确定性指标模型 认为水资源可持续利用概念具有模糊、灰色特性。应用模糊、灰色识别理论、模型和方法进行系统评价。

(8) 区间可拓评价方法 将待评指标的量值、评价标准均以区间表示,应用区间与区间之距概念和方法进行评价。

(9) 状态空间法度量方法 状态空间法以水资源系统中人类活动、资源、环境为三维向量表示承载状态点,状态空间中不同资源、环境、人类活动组合则可形成区域承载力,构成区域承载力曲面。

(10) 系统预警方法 预警是水资源可持续利用过程中偏离状态的警告。它既是一种分析评价方法,又是一种对水资源可持续利用过程进行监测的手段。预警模型由社会经济子系统和水资源环境子系统组成。

(11) 属性细分理论 系统属性细分理论就是将系统首先进行分解,并进行系统的属性划分,根据系统的细分化指导寻找指标来反映系统的基本属性,最后确定各子系统属性对系统属性的贡献。

2.2 水资源可持续利用指标体系的评价方法

目前,水资源可持续利用指标体系的评价方法主要包括^[3~22]:

(1) 综合评分法 其基本方法是通过建立若干层次的指标体系,采用聚类分析、判别分析和主客观权重确定的方法,最后给出评判结果。它的特点是方法直观,计算简单。

(2) 不确定性评判法 主要包括模糊与灰色评判。模糊评判采用模糊联系合成原理进行综合评价,方法大多以多级模糊综合评价方法为主。该法的特点是能够将定性、定量指标进行量化。

(3) 多元统计法 主要包括主成分分析和因子分析法。该法的优点是把涉及经济、社会、资源和环境等方面的众多因素组合为量纲为一的指标,解决了不同量纲的指标之间可综合性问题,把难以用货币术语描述的现象引入了环境和社会的总体结构中,信息丰富,资料易懂、针对性强。

(4) 协调度 利用系统协调理论,以发展度、资源环境承载力和环境容量为综合指标来反映社会、经济、资源(包括水资源)与环境的协调关系。能够从深层次上反映水资源可持续利用所涉及的因果关系。

(5) 多维标度方法 主要包括 Torgerson 法、K-L 方法、Shepard 法、Kruskal 法和最小维数法。其方法与主成分分析方法不同,能够将不同量纲指标整合,进行综合分析。

2.3 水资源可持续利用指标体系的分类

2.3.1 国外水资源可持续利用指标体系

主要包括国家、地区、流域三种尺度^[3~12]。水资源可持续利用指标体系分为:质量指标、受损指标、交互作用指标、水文地质化学指标和动态指标。可持续类别根据生态状况分为:可持续、弱不可持续、中等不可持续、不可持续、高度不可持续和灾难性不可持续。

(1) 国家水资源可持续利用指标体系 其特点是具有高度的宏观性,指标数目少。主要指标包括:地表水、地下水年提取量,人均用水量,地下水储存量,淡水中肠菌排泄量,水体中生物需氧量,废水处理,水文网络密度等。

(2) 地区水资源可持续利用指标体系 其特点是指标具有种类数目相对较多,强调生态状况。主要指标包括:地表水利用量、地下水利用量,水资源总利用量,家庭用水水质,清洁水、废水价格,水源携带营养量,水流中有害物质数量,人口、濒临物种,居民区和人口稀疏地区废水处理效率,污水利用量,水系统调节、用水分配,防洪、经济和娱乐等。

(3) 流域水资源可持续利用指标体系 流域管理强调环境、经济、社会综合管理。其目的在于考虑下一代利益,保护自然资源,特别是水资源,使其对社会、经济、环境负面影响结果最小。指标体系大多为驱动力-压力-状态-反应(The Driving Forces-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR)指标。驱动力,为流域中自然条件以及经济活动。压力,包括自然、人工供水、用水量和水污染。状态,则是反映上述的质量、数量指标。反应,包括直接对生态的影响对流域资源的影响。

2.3.2 国内水资源可持续利用指标体系^[13~22]

(1) 按复合系统子系统划分 自然生态指标:包括水资源总量,水资源质量指标,水文特征值的稳定性指标,水利特征值指标,水源涵养指标,污水排放总量,污水净化能力,海水利用量。 经济指标:包括工业产值耗水指标,农业产值耗水指标,第三产业耗水指标,水价格。 社会指标:包括城市居民生活用水动态指标,农村人畜用水动态指标,环境用水动态指标,技术因素、政策因素对水资源利用的影响。

(2) 按水资源系统特性分 水资源可供性:包括产水系数、产水模数、人均水量、地均水量、水质状况。 水资源利用程度及管理水平:包括工业用水利用率、农业用水利用率、灌溉率、重复用水率、水资源供水率。 水资源综合效益:包括单位水资源量的工业产值、单位水资源量的农业产值。

(3) 按指标的结构分 综合性指标体系:由反映社会、经济、资源、环境的多项指标综合而成。 层次结构指标体系:由一系列指标组成指标群,在结构上表现为一定的层次结构。 矩阵结构指标体系:这是近年可持续发展指标体系建立的新思路,其特点是在结构上表现为交叉的二维结构。

(4) 按指标体系建立的途径分 统计指标:指以统计途径获得的指标。 理论解析模型指标:指通过模型求解获得的指标。

(5) 按指标体系的量纲分 有量纲指标:指具有度量单位的指标,如用水量,其度量单位可用亿 m^3 或万 m^3 表示。 无量纲指标:指没有度量单位的指标,如以百分率或比值表示的指标。

(6) 按可持续观点分 外延指标和内在指标。外延指标分为自然资源存量、固定资产存量。内在指标是由外延指标派生出来的指标,分为时间函数(即速率)、状态函数两种。 描述性指标和评估性指标:描述性指标是以各因素基础数据为主的指标。评估性指标是经过计算加工后的指标,实际中多用相对值表示。

(7) 按评价指标货币属性分 货币评价指标:指能够按货币估值的指标。 非货币评价指标:指不能够按货币估值的指标,如用水公平性。

(8) 按认识论和方法论分析分 经济学方法指标:按自然资源核算、环境核算建立的指标。 生态学方法指标:以生态状态为主要指标,主要包括能值分析和最低安全标准指标。 统计学指标:把水资源可持续利用看作是一个多层次、多领域的决策问题,指标结构为多维、多层次。

(9) 按评价指标考虑因素的范围分 单一性指标:它侧重于描述一系列因素的基本情况,以指标大型列表或菜单表示。 专题性指标:选择有代表性专题领域,制定出相应的指标。 系统化指标:它是在一个确定的研究框架内,为了综合和集成大量的相关信息,制定出具有明确含义的指标。

3 水资源可持续利用指标研究存在的问题

水资源可持续利用是在可持续发展概念下产生的一种全新发展模式,其内涵十分丰富,具有复杂性、广泛性、动态性和地域特殊性等特点。不同国家、不同地区、不同人、不同发展水平和条件对其理解有所差异,水资源可持续利用实施的内容和途径必然存在一定的差异。因此,水资源可持续利用研究的难度非常大。目前,水资源可持续利用指标体系的研究尚处于起步阶段,主要存在以下问题。

(1) 水资源可持续利用体系的理论框架 水资源可持续利用体系建立的理论框架仍处在探索阶段。其理论基本上是从可持续利用理论框架演化而来的,而可持续利用的理论框架目前处在研究探索阶段,因而水资源可持续利用指标体系建立的原则、方法和评价尚不统一。从目前研究来看,关于水资源可持续利用的探讨,政府行为和媒体宣传多于学术研究,现有研究工作大多停留于概念探讨、理论分析阶段,定性研究多于量化研究。

(2) 水资源可持续利用指标体系 建立一套有效的水资源可持续利用评价指标体系是一项复杂的系统工程。目前, 仍未形成一套公认的、应用效果很好的指标体系, 其研究存在以下问题。

指标尺度 水资源可持续利用体系始于宏观尺度内的国际或国家水资源可持续利用研究, 从研究内容来看, 宏观尺度内的流域、地区的水资源可持续利用指标体系研究则相对较少。

指标特性 目前, 应用较多的指标体系为综合指标体系、层次结构体系和矩阵结构指标体系。综合性指标体系依赖于国民经济核算体系的发展和完善, 只能反映区域水资源可持续利用的总体水平, 无法判断区域水资源可持续利用的差异。如联合国最新指标体系中与 21 世纪议程第 18 章关于水的指标。这些指标只适用于大范围的研究区域, 如国家乃至全球, 对区域水资源可持续利用评价并无多大的实用价值。层次结构指标体系在持续性、协调性研究上具有较大的难度, 要求基础数据较多, 缺乏统一的设计原则。矩阵结构指标体系包含的指标数目十分庞大、分散, 所使用的“压力”、“状态”指标较难界定。

指标的可操作性 现有水资源可持续利用在反映不同地区、不同水资源条件、不同社会经济发展水平、不同种族和文化背景等方面, 具有一定的局限性。

评价的主要内容 现有指标基本上限于水资源可持续利用的现状评价, 缺乏指标体系的趋势、稳定性和综合评价。因此, 对反映水资源可持续利用的时间和空间特征仍有一定的距离。

权值确定 水资源可持续利用评价的许多方法如综合评价法、模糊评价法等含有权值确定问题。权值确定可分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法更多地依赖于专家知识、经验。客观赋权法则通过调查数据计算, 指标的统计性质确定。权值确定往往决定评价结果, 但是, 目前还没有一个很好的方法。

定性指标的量化 在实际应用中, 定性指标常常结合多种方法进行量化, 但由于水资源可持续利用本身的复杂性, 其量化仍是目前一个难度较大的问题, 因此定性指标的量化方法有待于进一步深入研究。

指标评价标准和评价方法 现有的水资源可持续利用指标评价标准和评价方法各具特色, 在实际水资源可持续评价中, 有时会出现较大差异, 其原因是水资源可持续利用是一个复杂的巨系统, 现有指标评价标准和评价方法基于的观点和研究的重点有所差异。如何选取理想的指标评价标准和评价方法, 目前没有公认的标准和方法。综合评分法能否恰当地体现各子系统之间的本质联系和水资源可持续利用思想的内涵还值得商榷, 应用主观评价法确定指标权重, 其科学性也值得怀疑, 目前最大的难点在于难以解决指标体系中指标的重复问题。多元统计法中的主成分分析、因子分析为解决指标的重复提供了可能。主成分分析在第一个主成分分量的贡献率小于 85 % 时, 需要将几个分量合起来, 使贡献率大于 85 %, 对于这种情况, 虽然处理方法很多, 但目前仍存在一些争论。因子分析由于求解不具有惟一性, 在选择评价问题的适合解时, 采用选择的适合标准, 目前还有各种不同的看法。模糊评判与灰色法较评价主观、定性指标提供了可能, 但其受到指标量化和算子选择方法的限制。协调度是根据协使用一组微分方程来表示系统的演化过程, 虽然协同的支配原理表明, 系统的状态变量按其临界行为可分为慢变量和快变量。根据非平衡相变的最大信息熵原理, 可以简化模型的维数, 但是快变量和慢变量的数目确定没有理论上的证明, 因而仅停留在利用协同原理解释和研究大量复杂系统的演化过程。另外对于发展度、资源环境承载力、环境容量以及可持续利用的结构函数尚需进一步研究。多维标度方法则在多目标综合评价的方法和众多指标整合为一个量纲为一的评价性指标仍需进一步研究

4 结 论

在分析水资源可持续利用指标体系研究现状的基础上, 提出了区域水资源可持续利用系统评价的理论与方法以及研究的主要内容, 其研究思路是一种探索, 对于促进水资源可持续利用研究有着积极的意义。

参考文献:

- [1] Bossel H. Indicators of sustainable development: Theory, Method, Applications [R]. International Institute of Sustainable Development. Winnipeg. Canadian Cataloguing in Publication Data. 1999. 20 - 55.
- [2] Bossel H. The human actor in ecological-economic models: Policy assessment and simulation of actor orientation for sustainable development [J].

- Ecological Economics, 2000, 34:337 - 355.
- [3] Loucks D P. Sustainability criteria for water resources system[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 33 - 90.
- [4] Loucks D P. Sustainable water resources management[J]. Water international, 2000, 25(1):3 - 10.
- [5] Faures J M. Indicators for sustainable water resources development[R]. Land and Water Development Division, FAO, Rome, Italy. 1998. 1 - 10.
- [6] Ministry of Agriculture and Forestry. PA Svenka. Criteria, objectives and indicators for sustainable development of renewable natural resources [EB/OL]. <http://www.mmm.fi/english/landwater/natural-resources/administration/indicators/waters.htm>.
- [7] Europran Commission. Towards sustainable water resources management: A Strategic Approach[M]. Colourwise Ltd, Burgess Hill, UK September, 1998. 41 - 54.
- [8] New Delhi Declaration International Conference On Sustainable Development Of Water Resources: Socio-Economic, Institutional And Environmental Aspects[R]. New Delhi, November 2000. 27 - 30.
- [9] Belousova A P. A concept of forming a structure of ecological indicators and indexes for regions sustainable development[J]. Environmental Geology, 2000, 39(11):1227 - 1236.
- [10] Jay J Walmsley. Framework for Measuring Sustainable Development in Catchment Systems[J]. Environmental Management, 2002, 29:195 - 206.
- [11] Peter Hardi, Stephan Barg, Tony Hodge, *et al.* Measuring Sustainable Development: Review of current Practice[M]. The International Institute for sustainable. Canada Cataloguing in Publication Data. November 1997.
- [12] Peter Hardi, Terrence Zdan. Assessing Sustainable Development: Principales in Practice[R]. The International Institute for Sustainable. Canadian Cataloguing in Publication Data Development 1997.
- [13] 徐中民, 张志强, 程国栋. 可持续发展定量研究的几种新方法评介[J]. 中国人口、资源与环境, 2000, 10(2):60 - 64.
- [14] 《水科学进展》编辑部组稿. 水与可持续发展—定义与内涵(笔谈)[J]. 水科学进展, 1997, 8(4):377 - 384.
- [15] 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. 13 - 20, 81 - 115.
- [16] 冯尚友. 水资源可持续利用与管理导论[M]. 北京:科学出版社, 2000. 56 - 80.
- [17] 王先甲, 肖文. 水资源持续利用的特性与原理[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(4):436 - 440.
- [18] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2):203 - 208.
- [19] 冉圣宏, 金建君, 薛纪渝. 脆弱生态区评价的理论与方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1):117 - 122.
- [20] 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, 2001, 32(12):9 - 11.
- [21] 陈守煜. 区域水资源可持续利用评价理论模型与方法[J]. 中国工程科学, 2001, 3(2):33 - 38.
- [22] 胡宝清. 区域水环境质量的区间可拓评价方法及应用[J]. 中国工程科学, 2001, 3(6):53 - 56.

Indicators system for region sustainable water resources utilization and its assessing methods^{*}

SONG Song-bai¹, CAI Huan-jie¹, XU Liang-fang²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China;

2. Department of Energy and Environment Engineering, Sichuan Industry College, Chengdu 610039, China)

Abstract: This paper reviews the current state of indicators for sustainable water resources utilization and its assessing methods, analysis problems in establishing indicators for sustainable water resources utilization and evaluating methods. Finally, the authors probe into main contents and methods for sustainable water resources utilization.

Key words: regional water resources; sustainable utilization; indicators system; evaluating method

^{*} The project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50179031).