

【专题研究】

基于风险的黄河流域水资源可再生性评价指标

左其亭¹, 吴泽宁^{1,2}

(1. 郑州大学 环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 河海大学 水电学院 江苏 南京 210098)

摘要: 考虑到黄河流域水资源系统的具体特点、水资源系统本身的可再生性特性、水资源可再生性与社会经济生态环境的协调作用及水资源调控的风险因素, 建立了“基于调控风险的黄河流域水资源可再生性评价指标体系”。该体系包括三大指标群, 即水资源天然可再生性指标群、水资源与社会经济生态环境协调性指标群、水资源调控风险因素指标群。对指标体系建立的原则及各指标的含义作简要说明, 从而为黄河流域水资源可再生性评价与调控研究奠定基础。

关键词: 水资源可再生性; 指标体系; 风险; 黄河流域

中图分类号: TV231 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1379(2003)01-0038-03

1 问题的提出

目前, 黄河流域正面临着水资源短缺、水灾害加剧、生态环境恶化三大问题交织的严峻局面。从机理上分析, “水资源可再生”是水资源可持续利用的基础和前提, 而水资源可持续利用又是区域社会经济可持续发展的支撑和保障。水资源的可再生能力受众多自然与人为因子的影响。那么, 如何去评价水资源的可再生性? 如何调控才能维持水资源的可再生? 用哪些指标去评价和调控水资源的可再生性? 这都是研究水资源可再生性最基础的问题^[1]。

从广义上讲, 水资源可再生性评价与调控研究, 至少应涉及到三方面的问题: 水资源系统本身特性(内在因素)、水资源系统与社会经济生态环境的协调问题(人与自然的和谐问题)以及水资源调控风险因素(不确定性问题)^[2]。实际上, 这三者又是密切联系、互相影响的。水循环的永续性是水资源具有可再生性的基础特性, 正是水资源的这种特性给水资源的可持续利用提供了物质条件。但是, 并不是所有的永续水循环都能保证水资源的可再生性, 这里不仅要考虑自然界本身的水循环特征, 而且也要考虑受人类活动的影响, 有时这种影响起到很关键的作用。因此, 在研究水资源的可再生性时, 也要同时考虑人类活动的影响, 只有保证水资源利用与社会经济发展、生态环境保护相协调, 才能说水资源的可再生性得到维持^[3,4]。另外, 水资源系统中广泛存在不确定性因素, 如自然、社会经济、工程和管理等, 从而导致水资源系统可再生性评价与调控存在一定风险。也就是说, 在研究水资源可再生性时, 不仅要关注水资源系统本身特性以及水资源系统与社会经济系统的协调问题, 而且还要考虑各种不确定性影响下的风险问题。

2 评价指标体系建立的原则及结构

水资源可再生性评价是利用易于操作的评价指标体系全

面科学地反映水资源可再生性的状况与特征, 并通过评估指标来分析流域水资源量可再生性的时空分布规律, 为流域水资源可再生性的维持、水资源优化调配以及可持续利用提供科学依据。因此, 建立科学、完善、可行的评价指标体系是成功地进行水资源可再生性评价的第一步。

2.1 指标体系建立的原则^[1]

由于水资源可再生性评价与调控的研究极其复杂, 层次众多, 子系统既有相互作用、又有相互间的输入与输出, 因此要在众多的指标中选择那些最灵敏的、可度量且内涵丰富的主导性指标作为评价因子, 必须遵守以下原则:

(1) 科学性原则。指标体系一定要建立在科学的基础上, 能够较客观、真实地反映系统的内涵, 较好地度量水资源可再生性的基本特征。

(2) 完备性原则。要求指标体系覆盖面广, 能综合反映水资源可再生性的各个方面。选择有代表性指标, 同时也要考虑到“面”上指标的合理分布。

(3) 可操作性原则。选择的指标应当简单且易于解释, 易于定量表达, 易于取得数据且费用合理。

(4) 主导性原则。建立指标时应尽量选择那些有代表性的综合指标, 应能反映水资源可再生性最主要的特点。

(5) 独立性原则。度量水资源可再生性的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) 动态性原则。由于水资源可再生性研究考虑的是一个变化的自然系统和社会系统, 因此建立的指标体系就应该定期

收稿日期: 2002-10-18

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(GI999043608); 2000年河南省杰出青年科学基金项目计划; 河南省科技攻关计划项目(0224660030)。

作者简介: 左其亭(1967-), 男, 河南固始人, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为水文水环境与水资源管理。

更新,能够显示随时间变化的趋势。鉴于此,本文在建立指标体系时,采用“多层次、多目标”的复杂结构体系。

2.2 指标体系构成

根据以上分析,水资源系统本身特性、水资源系统与社会经济系统的协调问题以及水资源调控风险问题,是我们评估水资源可再生性所考虑的主要方面,也是建立水资源可再生性评价指标体系的主要来源。

根据这一框架,把水资源可再生性评价指标体系分解为:“水资源天然可再生性指标群”、“水资源与社会经济生态环境协调性指标群”、“水资源调控风险因素指标群”。该指标体系是一个多层次的复杂结构体系,具体选择指标时参照已有研究成果,如文献[1]、[5~8]等。

3 基于风险的黄河流域水资源可再生性评价指标体系

3.1 水资源天然可再生性指标群

水资源天然可再生性指标群主要由反映水资源状况、水文循环特性和水资源可再生能力的指标集组成,包括水质与水量、地表水与地下水。这是水资源可再生性评价与调控的基础,也是水资源可再生的内因。我们把这些指标合在一起,便构成水资源天然可再生性指标群。下面对该指标进行分类,并作简要的说明。

(1) 水资源总量指标:包括水资源模数(土地)、单位面积水资源量(耕地)、径流系数(产水)、降水量(来水)、蒸发量、干旱指数(蒸发)。在水资源可再生性研究中,首先应该关心的是区域(或流域)水资源量的大小以及在土地和耕地方面的分布情况,这是协调“人与水”关系的必备信息。“径流系数”和“干旱指数”提供了区域(或流域)的产流、降水和蒸发的信息。

(2) 水资源质量指标:主要指水质等级(水质)。水资源可再生性包括质与量两个方面。水资源的质量可以用评价水体的水质指标或类别(即“水质等级”)进行描述。

(3) 反映水资源被破坏程度的指标:包括河流断流频数、断流河长百分比(地表水体破坏)、小于适宜地下水位发生频数(地下水体破坏)。水资源不可再生的表现有多方面,针对黄河流域来说,地表水体主要关注的是河流断流问题,地下水体主要关注的是地下水位下降问题,从这两方面来表达水资源被破坏的程度。

(4) 天然水体循环强度指标:包括水质恢复周期(水质)、天然水体循环周期(水量)。天然水体的循环能力对计算水资源可再生性非常关键,它应该包括水量和水质两方面。在水量方面,水资源的可再生性与水体天然状态下的循环周期密切相关;在水质方面,水资源的可再生性又与水体天然状态下的污染水体的恢复周期密切相关。

(5) 综合衡量水资源可再生性的指标:包括地表水资源量可再生性指数(地表水)和地下水水资源量可再生性指数(地下水)。

度量某水体水资源量可再生性指数 a_n 的计算公式:

$$a_n = \frac{(V_n - V_{\min}) + \bar{I}_n \times t}{V_{\max} - V_{\min}}$$

式中: V_n 为水体的蓄水量; V_{\max} 为蓄水能力的最大值; V_{\min} 为蓄水能力的最小值; \bar{I}_n 为被损耗的水量通过水体的输入量, t 为时间段。

3.2 水资源与社会经济生态环境协调性指标群

水资源系统是否能够保持可再生性,不仅取决于水资源系统本身,而且与社会经济活动密切相关。另外,为了保证水资源系统的可再生性,也必须保护水资源的涵养来源(即生态系统),使自然界具有永续的水资源生产能力。因此,这就要求水资源系统与社会经济生态环境相协调,只有达到协调的可持续发展路径,才能保证水资源系统为人类服务的可持续性。“水资源与社会经济生态环境协调性指标群”主要由描述和表征人口、经济、社会、科技等发展的指标集、描述和表征生态环境状况与演变的指标集以及描述和表征水资源系统与社会经济生态环境协调的指标集所组成。该类指标比较繁杂,定性的较多,可操作性不强。在水资源可再生性研究中,我们主要选取与水资源系统紧密相关的,能够综合衡量社会经济发展态势、生态环境演变的可量化指标。通过这些指标能够反映出水资源在社会经济系统中的配置状况,水资源对社会经济发展的贡献作用,以及水资源系统与生态环境系统的相互依存关系。“水资源与社会经济生态环境协调性指标群”可分为以下几部分。

(1) 人口发展指标:包括人口密度或人口总数(现状)及人口增长率(趋势)。“人口”是可持续发展的关键部分。描述人口发展的指标主要来自人口数量、质量、结构与变化率等方面。在水资源可再生性研究中,我们主要考虑的是反映人口发展状况、与社会用水量相关的指标,即人口密度和人口增长率。

(2) 经济发展指标:包括人均 GDP(现状)、GDP 增长率(趋势)、工业产值模数(工业)、人均粮食产量(农业)、工业总产值占 GDP 比重(结构)及水利投资系数(投资)。经济是可持续发展的基础部分。经济与人口互相作用,共同驱动社会经济系统的发展。在水资源可再生性分析中,经济系统既是水资源的主要消耗系统,又是水资源的开发、利用、保护和治理的保障系统。经济发展带来了水问题,各种水问题也制约了经济发展,同时水问题的解决最终还要依赖于经济发展。协调经济与水利的发展关系是水资源可再生调控的核心内容。衡量经济发展的指标繁多,与可持续发展和水资源可持续利用相关的指标主要有:“人均 GDP”和“GDP 增长率”,用于描述经济的总体状况;“工业产值模数”、“人均粮食产量”和“工业总产值占 GDP 比重”,用于描述经济结构;“水利投资系数”,用于描述经济发展对于水资源系统的补偿作用。

(3) 社会发展指标:包括社会安全饮用水比例(福利)和人均耕地面积(资源占有)。社会的发展进步是衡量可持续发展的主要依据。可持续发展的最终目标是提高人类的生存能力、生活质量和健康水平。其中,自然资源的占有量,特别是耕地资源和水资源的占有量,是人类生存的主要物质基础。社会发展主要体现在社会福利的提高上,而社会福利一方面反映在经济增长上,另一方面则反映在自然资源的存量上。与水资源可持续利用有着内在联系的“社会安全饮用水比例”和“人均耕地面积”可以作为社会发展的指标。“人均 GDP”和“GDP 增长率”也可看作社会发展的指标,但已放在经济发展指标中;“人

均水资源量”放在了水资源指标中。

(4) 科技发展指标:包括地表水控制率、渠系利用系数、灌溉用水定额(农业科技)、工业用水重复利用率(工业科技)。科技是实现可持续发展的重要环节。科技的发展能够减少环境的污染,能够降低单位产值的资源消耗。在水资源可再生性研究中,科技发展主要表现在农业和工业的节水技术上,可以用可量化的指标“地表水控制率”、“渠系利用系数”、“灌溉用水定额”和“工业用水重复利用率”加以描述。

(5) 生态环境指标:包括森林覆盖率、草场面积比、河湖水体矿化度、河长缩减率、湖泊面积缩减率、地下水平均矿化度、沙化面积比、水土流失面积比、土壤侵蚀模数、河道输沙量等。生态环境系统是水资源系统和社会经济系统赖以存在的物质基础,是实现可持续发展的重要保证。

(6) 水资源需求指标:包括耕地灌溉率(农业)、城镇用水比例(结构)、需水量模数(土地)、人均需水量(人口)、单位 GDP 需水量(经济)、需水增长率(综合)、污径比(水环境)、河道内外生态需水量(生态用水)等。人口、经济、社会的发展使得人们对水资源(在质与量方面)的需求(包括生存需求、发展需求和享乐需求)不断增加,给水资源系统造成了一定的压力。然而,生态环境需水又不可减小,其满足情况将直接影响生态环境质量。如何协调有限的水资源与各种需水之间的关系是问题的关键。这首先需要描述各种需水量大小。

(7) 资源与社会经济生态环境关联性指标包括:人均水资源量(占有)、水资源利用率(开发)、人均可供水量(人口)、供水量模数(土地)、供水增长率(变化)、地下水供水比例(地下水)、蓄水工程供水比例(地表水)、跨区域调水比例(外境水)、供水普及率(供水)以及农业、工业、生活用水比例。水资源的开发最终表现在供水能力上,开发的程度用“水资源利用率”表示。供水的状况分别用人均、地均、增长率、各种水源比例以及普及率来反映。水资源使用指标(总用水量、农业用水比例、工业用水比例、生活用水比例)反映出水资源在现有供水能力基础上的分配情况,是优化配置水资源的重要参数。通过这些指标来表征水资源与社会经济生态环境之间的联系。

3.3 水资源调控风险因素指标群

由于客观世界的复杂性和人类认识的局限性,人类所有活动和决策都不可避免地伴随着不确定性的影响,因而也不可避免地冒一定风险。如洪水灾害、干旱灾害、地震灾害、台风灾害、战争以及股市下跌、经济突然滑坡等等。

水资源系统是一个十分复杂的不确定性系统,广泛存在着随机性、模糊性、灰色性、不确知性。正是由于不确定性的广泛存在,水资源系统在开发、利用及获得经济效益的同时,也存在一定的风险(如干旱、洪水、水污染、经济亏损、生态环境破坏)。

根据黄河流域具体情况,考虑水资源可再生性调控的目标,把风险指标群划分为:天然风险因素指标、社会经济风险因素指标、工程因素指标、管理因素指标。

(1) 天然风险因素指标:对黄河流域,一方面,关注其年径流量的大小问题,这里用“年径流量频率”来表达径流量大小的不确定性;另一方面,关注入黄泥沙量,可以用“泥沙含量与2000年的比例”来描述相对2000年的影响程度。

(2) 社会经济风险因素指标:在计算或分配水资源量时,总是要先计算社会经济的实际需水量,对未来用水的预测可能存在着偏差,由此带来水资源再生性的风险,这里用“社会经济用水量与需水量预测值的比值”来描述。

(3) 工程因素指标:指规划工程按期完工保障程度及使用目标达到程度。用这个指标来表达规划工程可能带来的风险。

(4) 管理因素指标:指计划外调水的可能性,政策、法规变化带来水资源利用的改变量占需水量的比例。用这个指标来表达因管理决策因素的改变带来的风险。

参考文献:

- [1] 左其亭,王中根. 现代水文学[M]. 郑州:黄河水利出版社,2002.
- [2] 左其亭,吴泽宁. 模糊风险计算模型及其应用研究[J]. 郑州工业大学学报,2001,(3):78-80.
- [3] 左其亭,夏军. 陆面水量—水质—生态耦合系统模型研究[J]. 水利学报,2002,(2):61-65.
- [4] 左其亭,吴泽宁,陈嘻. 面向可持续发展的水管理政策模拟实验研究[A]. 全国现代水利水电科技论文集[C]. 西安:陕西人民教育出版社,2001. 104-108.
- [5] 沈珍瑶,杨志峰. 黄河流域水资源可再生性评价指标体系与评价方法[J]. 自然资源学报,2002,(2):188-197.
- [6] 张成才,左其亭,李荣. GIS和RS技术支持下的小流域环境评价方法研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,(6):96-99.
- [7] XIA Jun, ZUO Qi-ting, PAN G Jin-wu. Enlightenment on sustainable management of water resources from past practices in the Bositeng Lake basin[J]. Regional Management of Water Resources,2001,(268):41-48.
- [8] Daniel D. Chiras. Environmental Science [M]. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company,1994.

【责任编辑 王 琦】

【黄河书屋】

《防汛抢险技术》

本书充分论证了防汛抢险技术在抗洪斗争中的重要性,总结了传统的防汛抢险技术与经验,对防汛抢的新材料、新技术以及机械化抢险进行了深入研究和探索,同时还广泛吸收了我国各大江河的抢险技术与经验,图文并茂,内容全面、系统,是一本科技含量高、实用性强、资料翔实、具有较高技术水平的工具书。它的出版,将为各级防汛部门和防汛人员从事抗洪抢险实践,进行抗洪抢险技术培训,提供极有实用价值的参考资料,为确保防洪安全发挥重要作用。本书为大32K精装,定价70.00元。

地址:郑州市金水路11号《人民黄河》杂志社
电话:(0371)6022902 传 真:6025672
邮编:450003 联系人:朱 宏

