

地表水资源脆弱性:概念、内涵及定量评价

邹君¹, 杨玉蓉¹, 谢小立²

(1. 衡阳师范学院 资源环境与旅游管理系, 湖南 衡阳 421008; 2. 中国科学院 亚热带区域农业生态研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要:总结了资源环境科学脆弱性研究领域、研究进展及其存在的问题,认为水资源脆弱性研究比较薄弱,南方地表水资源脆弱性研究尤甚。借鉴脆弱性相关研究成果,结合南方地表水资源系统的特点,提出了地表水资源脆弱性的概念,分析了其脆弱性的内涵以及影响地表水资源脆弱性的因素。认为地表水资源脆弱性包括水质和水量 2 个方面,从脆弱性构成因素上来看它们都可以分解为自然脆弱性、人为脆弱性和承载脆弱性。构建了一个评价地表水资源脆弱性的多用途指标体系。最后,给出了一种简便易行的地表水资源脆弱性评价方法。

关键词:地表水资源;自然脆弱性;人为脆弱性;承载脆弱性;评价方法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)02-0132-04

中图分类号: P331, TV211.1

Concepts of Vulnerability of Surface Water Resource and Its Quantitative Assessment

ZOU Jun¹, YANG Yu-rong¹, XIE Xiao-li²

(1. Department of Resources Environment and Tourism Management, Hengyang Normal University, Hengyang, Hu 'nan 4210081, China; 2. Changsha Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hu 'nan 410125, China)

Abstract: The domain, advancements and existed problems of research on vulnerability in the field of resources and environmental science are concluded. It is believed that research on vulnerability is weak in aspect of water resource, especially surface water resource in South China. After reviewing research on vulnerability in the field of resources and environmental science, a concept of vulnerability of surface water reflecting the characteristics of surface water resource system is put forward for the first time. Then the meaning and contributing factors about vulnerability of ground water are analyzed. It is believed that vulnerability of ground water includes two aspects of water quality and quantity, which all can decompose as natural vulnerability, artificial vulnerability and burdening vulnerability. A multipurpose index system is built to express the vulnerability of ground water resource. A quantitative assessment method is brought forward in the end.

Keywords: surface water resource; natural vulnerability; artificial vulnerability; burdening vulnerability; assessment method

1 问题的提出

经济的快速发展、人口的急剧膨胀以及生活水平的不断提高,人类对其赖以生存的生态环境和自然资源的干扰和开发利用强度越来越大。在此背景下,以生态环境保护 and 自然资源合理开发利用为目标的生态环境脆弱性、灾害脆弱性以及自然资源脆弱性研究成为近年来诸多领域学者关注的热点,其中又以生态环境脆弱性和灾害脆弱性研究成果最多。近年来,资源环境科学领域学者在脆弱生态环境的概念、内涵、特性、脆弱生态环境的类型、影响因素及表现、脆弱生

态环境的分区及制图、生态环境脆弱度评价方法等众多理论和应用领域做了大量的研究工作^[1-5]。基于全球气候变化条件下的自然灾害脆弱性特别是水旱灾害脆弱性方面的研究成果也不少^[6-8]。然而,资源脆弱性的研究却显得薄弱得多,水资源脆弱性的研究尤甚^[9]。

资源脆弱性研究方面,国内只在生态旅游资源和水资源脆弱性 2 个方面做过少量研究工作。田喜洲先生分析了生态旅游资源脆弱性的含义,并且从生态旅游资源脆弱性的角度讨论生态旅游资源的保护问题^[10]。国内水资源脆弱性研究起步于 20 世纪 90 年

收稿日期:2006-03-27

修稿日期:2006-09-20

资助项目:湖南省社科规划项目(06YBB0);中国科学院知识创新工程项目“红壤丘陵区复合农业生态系统水分养分优化管理研究”(KZCX3-SW-441);湖南省自然科学基金项目(05JJ40061)

作者简介:邹君(1973-),男(汉族),湖南邵阳人,讲师,硕士,主要从事生态环境与水资源利用方面的研究工作。E-mail:zoujun4@163.com。

代,但主要研究对象集中在北方地下水资源脆弱性方面^[11-12],部分学者就水资源脆弱性的概念、内涵、定量评估等方面做了一些有益的工作^[13-15]。杨晓婷等以关中盆地为研究对象,建立了地下水资源脆弱性评价的指标体系并对其进行脆弱度评价^[12],刘绿柳提出了水资源脆弱性的概念,并且在分析其脆弱性内涵的基础上给出了水资源脆弱性定量评价的指标体系和评价方法^[13]。纵观国内水资源脆弱性的研究,存在以下2个突出的问题:一是北方地下水资源脆弱性研究远远多于南方地表水资源脆弱性的研究;二是水质脆弱性研究多于水量脆弱性方面的研究。

基于此,本文试图在了解资源环境科学领域有关脆弱性研究成果的基础上探讨地表水资源脆弱性的概念、内涵、影响因素以及定量评价方法,旨在为水资源脆弱性理论的丰富以及地表水资源科学管理有所裨益。

2 地表水资源脆弱性的概念

2.1 地表水资源系统范围界定

从水资源的存在形态和开发利用上来看,我国北方和南方地区存在明显的差异,北方以地下水居多,南方则以地表水居多。本文以我国南方地区的地表水资源系统作为研究对象来探讨地表水资源脆弱性的概念。其主要原因是地表水是我国南方地区水资源开发利用的主体。根据湖南省水利厅发布的水资源公报,2004年全省地表水资源 $1.63 \times 10^{11} \text{ m}^3$,地下水资源 $3.90 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中重复量 $3.82 \times 10^{10} \text{ m}^3$,地表水资源量占水资源总量的99.57%,地表水供水量占全省供水总量的93.7%。

2.2 地表水资源脆弱性概念

王小丹经过考证认为^[16]，“脆弱(性)(vulnerability or fragility)”作为一个物理概念具有3个方面的含义:它是物质自身的一种客观属性;它通过外力作用而表现出来;外力消失后难以恢复原状。资源环境科学领域有关生态脆弱性、灾害脆弱性、资源脆弱性的科学概念虽然说法不一,缺乏广为接受的定义。但基本上都是从脆弱性的本质含义中引申出来的。例如,在水资源脆弱性研究领域,2000年美国环保署(USEPA)和国际水文地质协会(IAH)给出了地下水资源脆弱性的概念^[17]:地下水系统对人类和(或)自然的有效敏感性,并且将其分为固有(天然)脆弱性和特殊(综合)脆弱性。2002年刘绿柳提出了水资源脆弱性的概念:水资源系统易于遭受人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态,受损后难于恢复到原来状态和功能的性质^[13]。

众所周知,南方地表水资源系统是与北方地下水资源系统在存在形式、自然属性及结构功能等方面相差悬殊的2个系统。然而,却未曾有人就地表水资源脆弱性的概念、内涵及其定量评价做过系统研究。为此,笔者在了解相关领域脆弱性研究进展和地表水资源系统特性的前提下,提出以下地表水资源脆弱性的概念:特定地域天然或人为的地表水资源系统在服务于生态经济系统的生产、生活、生态功能过程中,或者在抵御污染、自然灾害等不良后果出现过程中所表现出来的适用性或敏感性。

3 地表水资源脆弱性的内涵

为了阐明地表水资源脆弱性的概念,本部分就上述概念的内涵作如下说明。

首先,地表水资源系统脆弱性概念将其服务于生态经济系统的功能(或者说是负荷)作为一个主要的外部驱动因素(另外一个驱动因素是人为污染、自然灾害等)来进行定义,也就是说当其承受的负荷超出了系统本质上的以及现有社会经济、技术水平所能够长期维持目前人类对其的利用和发展的能力的时候,其脆弱性就会表现出来。

其次,地表水资源脆弱性具有3层涵义:脆弱性是地表水资源系统自身的客观属性;脆弱性通过农业水旱灾害、水质污染等不良后果表现出来;地表水资源脆弱性是系统敏感于人类不合理利用活动的一种状态,并试图从不良影响中实现自我恢复的一种能力。再次,地表水资源脆弱性具有动态性和区域性特点,在一定时间段内其脆弱性相对稳定,但可以通过人类活动发生改变,这种改变可以是正向的也可以是负向的。

最后,地表水资源脆弱性包括水质脆弱性和水量脆弱性2个方面。不同研究区域、不同研究目的其研究的侧重点不一样。但从脆弱性形成因素来看都可以分解为3部分:

(1)自然脆弱性。指人为活动难以改变的地表水资源系统的自然要素所形成的系统内部固有的维持地表水资源系统在水质和水量上符合人类各种利用要求的适用性或敏感性,表现为地表水资源脆弱性的静态特征。在水量方面,影响自然脆弱性的因子主要包括降水量、蒸散量等气候因子,土壤类型、结构、厚度等土壤因子以及地形地貌因子等。降水量的多少、降水资源的时空分布状况是其中的主导因子。我国南方地区,降水资源时空分布特征对地表水资源脆弱性影响显得尤为突出。土壤类型、结构、质地、厚度等决定降水资源在地表向地下转换的过程和转换比

例,具有减慢暴雨径流形成的速度、增加雨水资源转化率等作用。因此,如果土壤层厚、孔隙度高、吸水性好,则能够储蓄更多的雨水资源供生态系统所需,从而降低地表水资源的脆弱性。地形地貌对地表水资源脆弱性也具有一定的影响,以坡度为例,坡度越大,越不利于雨水资源在土壤中的快速下渗和充分蓄存,从而增强其脆弱性。在水质方面,影响自然脆弱性的因子主要包括影响水体污染物自净能力的流速、气温、气压等物理因子,影响地表水资源天然水质的岩性、土质等地球化学因子以及导致水资源含沙量增大的降水、地形等水土流失因子。某种元素本底含量的异常往往是导致地方疾病发生或者使水资源用途发生限制的重要原因。

(2) 为脆弱性。指人为活动主动改变地表水资源系统自身结构所形成的维持其在水质和水量上符合各种利用要求(需要)的适用性或敏感性,表现出地表水资源脆弱性的动态性特征。在水量方面,影响人为脆弱性因素主要有:通过提水、引水、蓄水等水利工程建设来改变地表水资源在空间上的分布不均匀问题,从而增强系统的功能,降低脆弱性;

通过产业结构的优化调整和合理布局,使其与水资源的空间分布更加协调,从而减少农业旱灾、企业缺水停产等不良后果的出现;通过人工绿化荒山荒坡、退耕还林还草等改变下垫面结构的合理行为来降低地表水资源的脆弱性;通过改善资源管理水平来提高水资源的利用效率,建立节水型的社会,从而降低对水资源利用压力的有效管理行为。在水质方面,人为脆弱性的影响因素主要是通过对工农业和城市生活污水的处理行为来增强水资源系统的净化能力,从而改变系统在水质方面的脆弱性。

(3) 承载脆弱性。指系统应对外部负荷或人类不合理扰动所形成的维持地表水资源系统在水质和水量上符合人类各种利用要求的适用性或敏感性。自然和人为脆弱性是由系统结构所形成的,而承载脆弱性则是由系统外部冲击力(负荷)所形成的。其影响因素主要来源于:人类对水资源的需求给系统带来的压力,亦即系统的使用负荷。水资源需求数量及质量与区域经济发展总量、人口规模以及消费水平等相关,因此,影响地表水资源承载脆弱性的因子主要包括工农业产值、人口数量以及消费水平等经济、社会发展指标。人类在利用水资源过程中的不合理行为,主要包括工业废水等点源污染行为,以及农业生产上施用大量化肥、农药所引起的面源污染行为及城市和乡村居民因生活需要而向地表水资源系统中排放生活污水。

4 地表水资源脆弱性定量评价

脆弱性评价的方法很多,但一般来说都要经过 3 个步骤,一是建立评价指标体系;二是确定指标体系中各因子的权重;三是运用数学方法进行计算。

4.1 指标体系的构建

针对目前水资源脆弱性研究成果少的现状,立足于上述对地表水资源脆弱性内涵的理解,考虑到南方地表水资源系统的特点,同时遵循以下指标体系构建原则:主导因素原则:影响地表水资源脆弱性的因素很多,不可能将其全部纳入指标体系,必须从中选择对地表水资源脆弱性影响起主导作用的因素。况且,指标的选取并不是越多越好,指标多了既会带来资料获取的难度和工作量的加大,也会削弱主要指标的影响作用。可操作性和可比性原则:指标计算所需的数据应该易于从各种渠道获得,在统计和计算上具有一致性才能够确保最终结果的可比性。最后,建立地表水资源脆弱性评价指标体系(图 1)。

有关该指标体系的两点说明:首先,该指标体系比较全面地涵盖了地表水资源脆弱性内涵所要求的信息,从而能够确保评价结果的准确性。其次,该指标体系具有较好的层次性,实际操作当中可以根据需要对评价区域内地表水资源总的脆弱性进行总体评价,也可以对水质或者水量方面的脆弱性进行单项评价,甚至可以对自然脆弱性、人为脆弱性或者承载脆弱性进行单项评价。

4.2 定性指标的量化及指标数据来源

19 个指标中,除坡度、土壤蓄水能力、水环境自净能力和水环境有害元素本底含量 4 个指标为定性指标外,其它 15 个指标均为定量指标,而且其数值可以通过统计年鉴或相关政府部门直接获取。坡度和土壤蓄水能力两指标的量化方法采取研究单元各等级土地和土壤类型的面积与相应指标脆弱性分值加权求和进行量化。其中,不同土壤类型的蓄水能力指数可以借鉴前人的研究成果^[18]。水环境自净能力和水环境有害元素本底含量两指标可以依据相关资料进行分级打分量化。

4.3 评价方法及步骤

针对多层次、多指标、大系统的定量评价方法很多,但不同的评价方法都有其相应的适用范围,评价方法的选用应该充分考虑评价系统的特点、指标体系情况以及研究尺度等因素。从而尽量减少评价结果的非确定性,获得更为客观的评价结果。目前,以克服单一方法不足的 2 种方法结合是脆弱性评价的一个重要发展趋势。本文采用参数系统法中的计点系

统模型(Point Count System Model)结合 AHP 法确定指标权重来计算地表水资源的脆弱度。其步骤如下:
 数据标准化:采用(1)、(2)式对量化指标数值进行标准化处理。

越大越脆弱型指标(正向指标):

$$C_i = x_i / \max x_i \quad (1)$$

越小越脆弱型指标(负向指标):

$$C_i = \min x_i / x_i \quad (2)$$

式中: C_i ——标准化之后的指标数值; x_i ——标准化前的指标数值; $\max x_i$ 和 $\min x_i$ ——分别表示各评价单元中同一指标标准化前的最大值和最小值。

用 AHP 法求各指标的权重 W_i ;

用加权平均法计算脆弱度: $V = W_i \times C_i$;

采用聚类方法对计算结果进行分级,一般分为 5 级:不脆弱、较不脆弱、中等脆弱、较脆弱和非常脆弱。

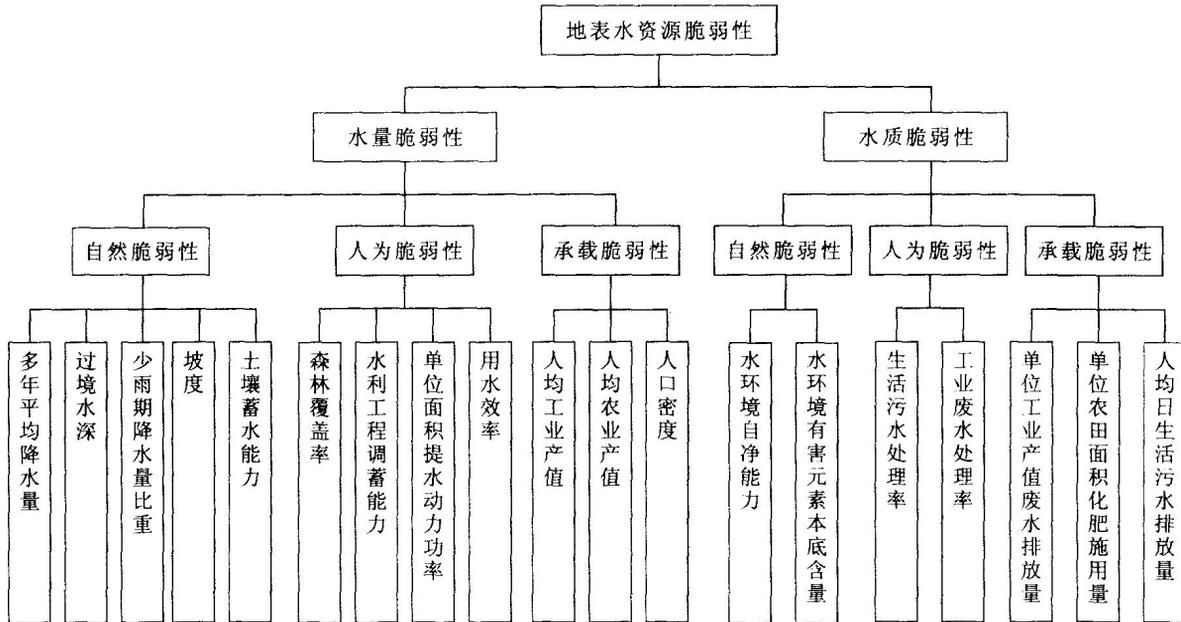


图 1 地表水资源系统脆弱性评价指标体系

采用上述评价方法具有以下几个优点:首先,数据获取和量化相对方便,既可以从统计资料上直接获取数据,也可以通过分级打分的方法对定性指标进行量化。只要指标分级标准一致,不同研究区域的评价结果也具有可比性。当然,也可以针对一定的研究区域主观划定分级标准,从而使评价结果只在研究区域范围内的各单元之间具有可比性。其次,AHP 法较好地克服了指标赋权时人为主观因素的影响。笔者以为,指标体系建立过程本身就带有较大的主观性,因此,指标赋权最好采用客观性较好的方法。

5 结论

地表水资源脆弱性是经济社会可持续发展的障碍,脆弱性越大就越不利于区域经济的可持续发展,因此,对地表水资源脆弱性的研究应该更加深入,尤其在广大以地表水资源利用为主的南方湿润地区。本文在分析资源环境科学领域脆弱性研究成果的基础上尝试提出了地表水资源脆弱性的概念,分析了其

内涵,构建了一个地表水资源脆弱性定量评价指标体系,提出了一种计算脆弱度的可行方法。对地表水资源脆弱性研究做了初步尝试。同时也发现了这项研究工作的积极意义及其复杂性。有关地表水资源脆弱性概念的表达,评价指标体系的构建,地表水资源不同用途领域的脆弱性研究,不同区域地表水资源脆弱性的研究,评价目的、用途与指标体系的关系,定量评价方法的选择等诸多问题都有待开展深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 赵跃龙. 中国脆弱生态环境类型分布及其综合整治[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999. 1—106.
 [2] 姚建,艾南山,丁晶. 中国生态环境脆弱性及其评价研究进展[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2003,39(3): 77—80.
 [3] 王经民,汪有科. 黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨[J]. 水土保持通报,1996,16(3): 32—36.
 [4] 蓝安军. 黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局分析[J]. 地理研究,2003,22(6): 733—742.

4 结论和建议

调查表明,实施水土保持措施,开发建设项目中植被恢复系数一般能达95%以上,林草植被覆盖率一般在20%左右。火电项目在开发建设项目中占有很大比重,研究在开发建设的过程中如何节能降耗,保护环境,实现人与环境的和谐发展,是火电类项目必须考虑的问题。植物措施作为建立综合性水土保持防护体系的重要组成部分,对保护环境、改善环境和美化环境发挥着重要作用。

本文初步探讨了如何科学合理地配置植物措施,最大限度防止水土流失给工程带来的危害,保障工程的安全和正常运行,同时减轻水土流失对项目区土地资源的破坏,使项目区的土地生产力和水土保持功能得到一定程度的恢复。目的是为了社会效益、经济效益与生态效益的最大统一。

[参 考 文 献]

- [1] 姜德文. 开发建设项目水土保持全程管理简述[J]. 中国水土保持, 2004(6): 9—10.
- [2] 乔彦芬, 姜德文, 田玉柱. 综合型水土保持科技示范园的规划设计——以北京市延庆县水土保持科技示范园为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 85—88.
- [3] 赵永军, 姜德文, 袁普金. 线状工程建设项目的水土保持监测——以西气东输项目为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 71—76.
- [4] 赵永军. 水土流失防治责任范围的界定[J]. 中国水土保持, 2005(1): 19—20.
- [5] 赵永军. 水土流失防治责任范围的界定(续)[J]. 中国水土保持, 2005(2): 21—23.
- [6] 刘庆. 火电厂绿化系数专题调研报告[J]. 电力建设, 2000(5): 25—30.
- [7] 回莉君, 沈波. 东北地区植物带保护坡耕地水土资源效果研究[J]. 资源科学, 2006, 26(增刊): 119—124.
- [8] 许晓东. 边坡治理中植物护坡的选择与验收指标[J]. 人民珠江, 2004(4): 46—48.
- [9] 邹战强, 陈子平. 广东兴宁兴达坑口(煤矸石)电厂水土保持方案必要性及机组性能分析[J]. 广东电力, 2006(6): 28—31.
- [10] 胡丽萍. 燃煤电厂建设过程中的水土保持设计方案探讨[J]. 电力环境保护, 2006(2): 45—46.
- [11] 上海市林学会科普委员会, 上海市园林管理局绿化宣传站. 城市绿化手册[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [12] 任步钧. 北方城市园林绿化[M]. 黑龙江: 东北林业大学出版社, 2000.
- [13] 尹公. 城市绿地建设工程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 140—163.
- [14] 卓丽环. 城市园林绿化植物应用指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003. 3—30.
- [5] 田亚平. 南方丘陵区的生态脆弱度评估[J]. 地理研究, 2005, 24(6): 843—852.
- [6] 孙芳, 杨修. 农业气候变化脆弱性评估研究进展[J]. 中国农业气象, 2005, 27(3): 170—173.
- [7] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 705—709.
- [8] 苏筠, 李莲华, 吴之正, 等. 农业旱灾形成过程中的承灾体脆弱性分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 83—87.
- [9] 邹君, 谢小立. 中国南方水资源脆弱区农业水资源管理方略探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 158—163.
- [10] 田喜洲. 试论生态旅游资源的脆弱性及其保护[J]. 生态经济, 2001(12): 56—58.
- [11] 孙才志, 林山杉. 地下水脆弱性概念的发展过程与评价现状及研究前景[J]. 吉林地质, 2000, 19(1): 30—36.
- [12] 杨晓婷, 王文科, 乔晓英, 等. 关中盆地地下水脆弱性评价指标体系的探讨[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(2): 46—49.
- [13] 刘绿柳. 水资源脆弱性及其定量评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 41—44.
- [14] 杨燕舞, 张雁秋. 水资源的脆弱性及区域可持续发展[J]. 苏州城建环保学院学报, 2002, 15(4): 85—88.
- [15] 郭跃东, 何岩, 邓伟, 等. 扎龙河滨湿地水系统脆弱性特征及影响因素分析[J]. 湿地科学, 2004, 2(1): 47—53.
- [16] 王小丹, 钟祥浩. 生态环境脆弱性概念若干问题探讨[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 21—25.
- [17] GoguRC, Dassargues A. Current trends and future challenges in ground water vulnerability assessment using overlay and index methods. Environment Geology, 2000, 39(6): 549—559.
- [18] 何福红, 黄明斌, 李景保. 土壤水库和森林植被对水资源的调节作用[J]. 土壤与环境, 2001, 10(1): 42—44.

(上接第135页)