

基于数据包络分析的溃坝洪水灾害脆弱性评价

程翠云¹, 钱新¹, 盛金保², 李雷², 杨孟¹, 陈兆丰²

(1. 南京大学 环境学院 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093;

2. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 水库大坝的溃决将会对下游自然、经济和社会产生灾难性影响, 对溃坝洪水灾害的脆弱性分析有助于科学制定减轻灾害损失措施。提出了一种基于数据包络分析模型定量计算溃坝洪水灾害脆弱性的方法, 并结合实例加以应用。应用结果表明, 该方法具有可行性, 并得出实例研究区中的小河区和南明区属于溃坝洪水灾害的高脆弱区, 花溪区属于中脆弱区和云岩区属于低脆弱区, 可为该区制定减灾措施提供一定参考价值。

关键词: DEA; 决策单元; 溃坝洪水灾害

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0144-04

中图分类号: TV698

Evaluation of Vulnerability to Dam-break Disaster by Using the DEA Method

CHENG Cui-yun¹, QIAN Xin¹, SHENG Jin-bao², LI Lei², YANG Meng¹, CHEN Zhao-feng²

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, School of Environment, Nanjing

University, Nanjing, Jiangsu 210093, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210029, China)

Abstract: Dam break can cause disastrous consequences to natural, economic, and social systems in the downstream area. A analysis of vulnerability to dam-break disaster helps develop measures of mitigating disaster losses. This paper presents a quantitative method for evaluating vulnerability of dam-break disaster based on data envelopment analysis method with the downstream area of Huaxi dam as an example. Results show that Xiaohe District and Nanming District have high vulnerability, Huaxi District has middle vulnerability, and Yunyan District has low vulnerability in the study area. The study also provides some reference values for developing measures of mitigating disaster losses.

Keywords: DEA; decision making unit; dam-break disaster

水库大坝在促进经济社会快速发展方面发挥效益的同时, 也会对下游生命财产、基础设施和环境等构成风险。大坝的风险主要是溃决的可能性和溃坝后果 2 个方面, 其风险是客观存在的。水库溃坝的破坏性极强, 危害性极大。在世界库坝建设史上, 有过惨痛的溃坝事件^[1]。如 1979 年美国的 Teton 土石坝溃决, 1943 年德国的 Mohne 重力坝溃决, 1959 年法国的 Malpasset 拱坝溃决, 1963 年意大利的 Vajont 拱坝失事, 1979 年印度的 Machhu II 土石坝溃决, 以及我国板桥、石漫滩两座大型水库溃坝, 都造成了惨重的人员伤亡和巨大的经济损失。

人们只能通过工程或非工程措施去规避或降低大坝风险, 将其控制在一个最低的尺度内^[2]。通过分析大坝下游的脆弱性, 可以了解下游地区被溃坝洪水

干扰程度的相对大小, 有利于识别水库大坝溃坝灾害的相对严重性, 为采取适宜的减轻溃坝洪水灾害措施提供科学支持。目前相关领域定量评价承灾体脆弱性的方法^[3-5]主要依据建立评价指标体系进行评价, 多数方法需要定量或定性确定指标权重且确定方法多带有主观随意性。

数据包络分析法(data envelopment analysis 简称 DEA), 是由 A. Charnes 和 W. W. Cooper 等人在“相对效率评价”概念的基础上发展起来的一种全新的系统分析方法。DEA 基于数学规划模型, 利用有效的样本数据, 对决策单元(decision making unit, 简称 DMU)进行投入产出的相对有效性分析。与传统的统计方法相比, DEA 方法具有以下优势: (1) DEA 方法以样本数据为基础, 分析其中相对有效的

收稿日期: 2010-01-04

修回日期: 2010-01-14

资助项目: 国家科技支撑计划“水库大坝风险控制非工程措施研究”(2006BAC14B05)

作者简介: 程翠云(1981—), 女(汉族), 安徽省宁国市人, 博士研究生, 主要从事环境规划与管理研究。E-mail: chengcuiyun04@126.com。

通信作者: 钱新(1964—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 博士, 教授, 主要从事环境系统模拟与评估和环境风险诊断、预警与应急。E-mail: xqian@nju.edu.cn。

样本个体,本质是最优化;(2)在测定决策单元的相对有效性时,DEA方法不受输入、输出数据量纲的影响;(3)DEA方法不需要事先估计输入与输出之间的函数关系式^[6-7]。

利用DEA模型进行溃坝洪水灾害脆弱性分析可以避免确定权重的主观随意性,得出相对客观的结论。本文正是借鉴相关研究成果,利用DEA模型定量评估水库下游地区的脆弱性指数,并以贵州省花溪水库下游为例,计算出100年一遇和1000年一遇2种洪水情景下的溃坝灾害影响指数,并进一步综合得出下游各个地区的相对脆弱性指数。

1 溃坝洪水灾害的脆弱性

在灾害学中,区域灾害系统的结构体系是由孕灾环境、致灾因子与承灾体共同组成^[8]。就溃坝洪水灾害系统而言,孕灾环境是指形成溃坝洪水灾害的自然环境和人类环境,包括地震、降雨、水库洪水、战事和恐怖袭击等。致灾因子是指导致溃坝洪水灾害发生的触发因素,即溃坝事件。承灾体是指遭受溃坝洪水灾害影响的大坝下游,包括大坝下游的经济、社会和环境因子。溃坝洪水灾害正是致灾因子在一定的孕灾环境中,共同作用于承灾体后形成的。

溃坝洪水灾害脆弱性评价针对的对象是溃坝洪水灾害系统中的承灾体,是对承灾体的功能所进行评价。所谓溃坝洪水灾害脆弱性是指大坝下游在遭受溃坝洪水灾害影响时,表现出来的易于受到伤害和损失的性质。通常脆弱性愈大,则致灾后易形成灾情;反之,脆弱性愈小,则致灾后不易形成灾情。

2 基于DEA模型的溃坝洪水灾害的脆弱性分析

采用DEA模型对溃坝洪水灾害进行脆弱性分析,分别涉及3个输入和输出数据。输入数据包括区域面积、人口总数和区域生产总值。输出数据包括溃坝洪水在影响区域中的淹没范围、溃坝洪水的风险人口和区域溃坝洪水的经济损失。

2.1 基于DEA模型计算溃坝洪水灾害影响的相对强度

DEA模型是对决策单元进行投入产出的相对有效性分析。对溃坝洪水灾害脆弱性来说,大坝下游不同区域由于社会经济发展水平不同,受到灾害的影响也不同。一般来说,大坝下游人口愈密集、经济愈发达的地区,愈易遭受溃坝洪水的影响。利用DEA模型对溃坝洪水灾害进行脆弱性分析时,首先是要划分决策单元。为便于输入和输出数据的收集,本文提出

划分决策单元的方法主要是依据行政区划来划分溃坝洪水影响地区,即一定等级的行政地区作为DEA模型的决策单位。水库遭遇的洪水大小不同,溃坝洪水亦有不同大小,对大坝下游影响的强度也不尽相同。需要考虑在不同强度的溃坝洪水影响下,决策单元的输入和输出数据。

计算每个决策单元相对溃坝洪水灾害影响强度的线性规划模型如下:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \theta(i_0) \\ & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \lambda(i_0) x_1(i) \leq x_1(i_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(i_0) x_2(i) \leq x_2(i_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(i_0) x_3(i) \leq x_3(i_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(i_0) y_1(i) \leq y_1(i_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(i_0) y_2(i) \leq y_2(i_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(i_0) y_3(i) \leq y_3(i_0) \\ \lambda(i_0) \geq 0 \\ 0 \leq \theta(i_0) \leq 1 \\ i_0 = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (1) \end{aligned}$$

式中: $x_1(i)$ ——第*i*个评价地区的区域面积; $x_2(i)$ ——第*i*个评价地区的总人口; $x_3(i)$ ——第*i*个评价地区的GDP; $y_1(i)$ ——第*i*个地区受溃坝洪水影响的淹没面积; $y_2(i)$ ——溃坝洪水导致的灾害经济损失费用; $y_3(i)$ ——第*i*个地区受溃坝洪水影响的人口; i_0 ——计算的地区; $\lambda(i_0)$ ($i=1, 2, \dots, n$)——在计算*i*₀地区时的第*i*个地区的权重; $\theta(i_0)$ ——在DEA中是指决策单元的相对规模效率。在本文中是指溃坝洪水灾害对第*i*₀个评价地区影响相对强度的指标。该值的范围介于0~1。当 $\theta(i_0)$ 等于1时,表示溃坝洪水对评价地区影响的程度相当严重; $\theta(i_0)$ 越小,表示溃坝洪水对第*i*个评价地区的相对影响越小; 当 $\theta(i_0)$ 为0时,表明区域不受溃坝洪水灾害的影响。

一定溃坝洪水规模下,就溃坝洪水灾害影响强度计算而言,*n*个决策单元意味着有*n*个线性规划模型。所有的模型都解算出来,就能够得到所有评价地区的溃坝洪水灾害影响相对强度指数。

2.2 基于DEA模型的区域溃坝洪水灾害脆弱性分析

在一定规模的溃坝洪水影响下,某区域的溃坝洪水灾害影响强度指数是通过与溃坝洪水影响最严重的区域,即 $\theta(i_0)$ 等于1的区域比较后得到的。不同

规模的溃坝洪水对区域社会、经济和环境的影响强度不同,如果要计算某个区域相对的溃坝洪水灾害脆弱性,那么就需要综合不同规模溃坝洪水灾害影响强度。为此,把不同规模溃坝洪水影响下溃坝洪水灾害对第 i_0 个评价地区影响相对强度指数为 1 的区域挑选出来,再次利用 DEA 模型计算溃坝洪水灾害影响最严重的决策单元之间的相对强度。具体地来说,在 r 次规模溃坝洪水下,决策单元对第 i_0 个评价地区影响相对强度为 1 的个数有 s 个。那么在总的 R 次规模溃坝洪水中,总的决策单元个数为 $N = \sum_{r=1}^R s(r)$ 。对 N 个决策单元来说,单元之间相对溃坝洪水灾害影响强度计算的线性规划模型如下:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \theta(n_0) \\ & \text{s. t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda(n_0) x_1(i) \leq x_1(n_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(n_0) x_2(i) \leq x_2(n_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(n_0) x_3(i) \leq x_3(n_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(n_0) y_1(i) \leq y_1(n_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(n_0) y_2(i) \leq y_2(n_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda(n_0) y_3(i) \leq y_3(n_0) \\ \lambda(n_0) \geq 0 \\ 0 \leq \theta(n_0) \leq 1 \\ n_0 = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

式中: x_1, x_2, x_3 ——模型的输入参数; y_1, y_2, y_3 ——淹没面积、溃坝洪水灾害导致的经济损失费用和溃坝洪水影响的风险人口数量; $\lambda(n_0)$ ——第 n 个决策单元的权重; $\theta(n_0)$ ——决策单元的影响强度指数。

通过计算 N 个线性规划方程,得到所有决策单元的溃坝洪水灾害影响强度指数。需要指出的是,通过把各种规模溃坝洪水中影响最严重的决策单元挑选出来,对比分析这些决策单元才能够计算得到溃坝洪水灾害影响强度指数,并将该影响强度指数作为对应规模溃坝洪水灾害影响强度的权重。也就是说, $\theta(r)$ 是第 n_0 个规模溃坝洪水灾害影响强度权重。乘以(1)式中的计算结果 $\theta(r, i) = \theta(r) * \theta(i)$,就能得到不同规模溃坝洪水灾害对评价地区的综合影响。

$$\omega(i) = 1/R \sum_{r=1}^R \theta(r, i) \quad (3)$$

利用公式(3)归一化所有的影响强度指标 $\theta(r = 1, \dots, R)$,即计算得到评价地区的溃坝洪水影响相对脆弱性指数。

3 贵州省花溪水库溃坝洪水灾害脆弱性分析

3.1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部,是全省政治、经济、文化、科教中心,同时也是我国西南地区重要的交通通信枢纽、工业基地、商贸和旅游服务城市,辖有花溪区、南明区、小河区、云岩区、乌当区、白云区、金阳新区以及开阳县、息烽县、修文县、清镇市等。

花溪水库位于贵阳市花溪区境内,距贵阳市中心 20 km,处于南明河的上游河段,是一座以防洪为主,兼有城市供水、环境用水、发电等综合利用的中型水库。坝址以上控制面积为 315 km²,区间流域面积 176 km²。保护贵阳市花溪区、小河区、南明区、云岩区等城镇及重要工矿区,涉及人口 80 万人。

南明河属长江流域乌江水系清水河的上游主干流,为山区性河流,经花溪水库,在花溪区转向北流,进入贵阳市区,流经花溪区、小河区、南明区、云岩区等。

3.2 贵州省花溪水库溃坝洪水灾害影响强度分析

花溪水库溃坝洪水主要是对水库下游造成影响。将研究区划分为花溪区、小河区、南明区和云岩区 4 个决策单元。花溪水库的洪水设计标准为 100 年一遇洪水设计,1 000 年一遇洪水校核,所以本文计算的溃坝洪水灾害影响强度主要是百年一遇设计洪水溃坝和 1 000 年一遇校核洪水溃坝 2 种规模的溃坝洪水。输入数据和输出数据主要基于《2007 年贵阳市统计年鉴》^[9]和《贵州松柏山水库、花溪水库大坝安全管理应急预案》。采用式(1)计算,两种规模下的花溪水库溃坝洪水灾害影响强度结果如表 1 所示。

表 1 花溪水库溃坝洪水灾害影响强度

溃坝洪水	100 年一遇	1 000 年一遇
花溪区	0.325	0.634
小河区	1.000	1.000
南明区	1.000	0.964
云岩区	0.030	0.215

由表 1 可以看出,当花溪水库遭遇 100 年一遇洪水而溃坝后,小河区和南明区遭受到溃坝洪水灾害相对影响最严重,相对影响强度指数为 1;花溪区的影响次之;云岩区遭受的溃坝洪水灾害影响最小,相对影响强度指标仅为 0.03。当 1 000 年一遇洪水导致花溪水库溃坝后,与 100 年一遇溃坝洪水灾害影响情况不同,相比南明区,小河区受到更为严重的影响。

研究区4个决策单元的溃坝洪水灾害影响强度排序为:小河区>南明区>花溪区>云岩区。值得注意的是,南明区在花溪水库遭遇1000年一遇洪水溃坝情况下的灾害影响强度小于100年一遇溃坝洪水的灾害影响强度,其原因在于DEA模型计算的灾害影响强度是通过决策单元之间的比较后得出的相对值。对本研究区而言,在2种溃坝洪水影响下,花溪区和云岩区的区域淹没面积、受影响的人口和遭受的经济损失增加的比例大于南明区的,这就导致相对于100年一遇溃坝洪水,在利用DEA模型计算的1000年一遇溃坝洪水影响强度时,南明区相对影响强度变小,而花溪区和云岩区相对强度变大。

3.3 贵州省花溪水库溃坝洪水灾害脆弱性分析

研究案例根据式(2)计算“100年一遇洪水溃坝”和“1000年一遇洪水溃坝”两种情况的灾害影响强度的权重,并结合式(1)的计算结果,带入式(3)求解下游地区针对花溪水库溃坝洪水灾害的相对脆弱性大小。花溪区、小河区、南明区和云岩区的溃坝洪水灾害脆弱性指数分别为0.378, 0.687, 0.669和0.113,脆弱性大小排序情况是小河区>南明区>花溪区>云岩区。

通过建立计算溃坝洪水灾害脆弱性的DEA模型,得出花溪水库下游4个影响区的脆弱性指数。单从模型的输入、输出数据上看,在“100年一遇洪水溃坝”和“1000年一遇洪水溃坝”两种溃坝洪水灾害情况下,小河区的淹没面积分别为5.222 km²和5.288 km²,受溃坝洪水影响的风险人口分别为11205人和11065人,溃坝洪水可能导致的经济损失分别为2.332亿元和2.3619亿元;南明区的淹没面积分别为2.468 km²和2.777 km²,风险人口分别为14985人和16862人,经济损失分别为3.174亿元和3.571亿元。

两种溃坝洪水情况下,小河区的淹没面积大于南明区;但是就风险人口数量和经济损失2个指标而言,小河区的二指标均小于南明区。

所以从淹没面积(自然因素)、风险人口(社会因素)和经济损失(经济因素)来看,很难判断出小河区 and 南明区受花溪水库溃坝洪水灾害影响孰大孰小。利用DEM方法却可以综合自然、社会和经济因素,通过定量分析方法计算出区域的灾害影响指数。

根据魏一鸣等^[10]对区域灾害脆弱性的5级分类法,花溪水库溃坝洪水灾害脆弱性分类结果如图1所示。从图1可知,小河区 and 南明区属于溃坝洪水灾害的高脆弱区,花溪区属于中脆弱区,云岩区属于低脆弱区。

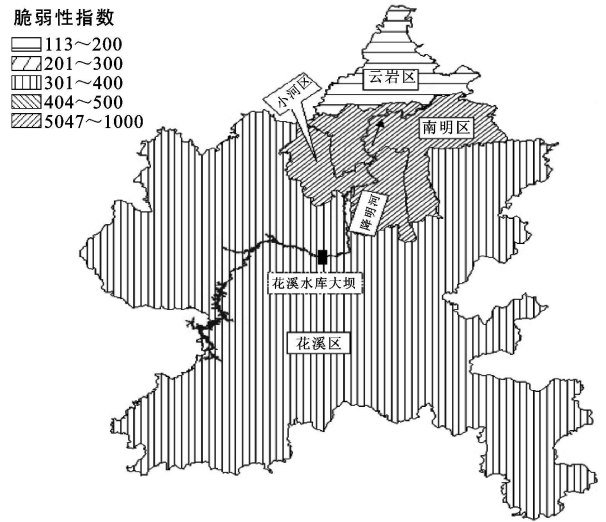


图1 花溪水库溃坝洪水灾害脆弱性指数

3.4 减少花溪水库溃坝洪水灾害脆弱性的措施

从风险的角度上说,水库下游地区的溃坝洪水灾害脆弱性是客观存在的,必须采取必要的措施减少溃坝洪水灾害对下游地区的影响。

(1) 加强对花溪水库大坝的工程管理。由于花溪水库地处贵阳市市区上游,与阿哈水库、松柏山水库同称“贵阳市头顶上的三盆水”,失事后将对下游产生不可估量的损失。花溪水库的最近一次加固工程于2003年完成。但是水库大坝的加固工作并非一劳永逸的,要切实落实大坝安全管理责任制,注重大坝的日常管理,积极推进大坝工程管理的规范化、现代化,达到降低大坝溃决可能性的目的。

(2) 强化应急预案的编制。可行、有效的应急预案是通过减少下游人员伤亡和重大财产损失来降低水库大坝风险,可以提高应对溃坝等突发事件的防范能力,规范灾害的应急管理和应急响应程序,及时有效地实施应急管理和响应工作。针对脆弱性分析结果,要在应急预案中有重点地加强对小河区 and 南明区的应急管理。

(3) 加强安全宣传,提高水库下游的风险意识。经验表明,减少对水库下游的可能溃坝洪水灾害的损失离不开公众的参与。要通过人员培训、媒体宣传、应急预案教育等多种途径对公众进行宣传教育,积极吸引公众参与,真正增强公众风险意识,提高公众的避险、逃生与救生的能力。

4 结论

溃坝洪水灾害脆弱性的形成受到自然、经济和社会因素的共同作用,对其进行评价能够为制定减轻溃坝洪水灾害措施提供科学依据。

(下转第157页)

防治 Zn 和 As 的污染, 其次 Cd 的污染也应引起重视, 重点查明污染源, 有针对性地治理。

[参 考 文 献]

- [1] 易秀. 泾惠渠灌区土壤质量变化规律及评价研究[R]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [2] 时元正. 我国磷矿磷肥中 Zn, Cu, Co, Cr 的含量及其对环境的影响[J]. 磷肥与复肥, 1992, 7(3): 79-81.
- [3] 董站荣. 猪粪中的重金属对菜园土壤和蔬菜重金属积累的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [4] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. 地理科学, 2005, 25(1): 108-112.
- [5] 贾琳, 王国平, 刘景双. 长白山锦北雨养泥炭剖面元素富集规律分析[J]. 湿地科学, 2006, 4(3): 187-192.
- [6] 郑喜坤, 鲁安怀, 高翔, 等. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 79-84.
- [7] 闰秋良, 刘福柱. 通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染[J]. 家禽生态, 2002, 23(3): 68-70.
- [8] Barker A V, Bryson G N L. Bioremediation of heavy metals and organic toxicants by composting[J]. The Scientific Word Journal, 2002, 2: 407-420.

- [9] 郭松林, 武丽群. 微量元素铬、砷在家禽生产中的应用[J]. 山东家禽, 2000, 22(1): 32-33.
- [10] 席承藩. 中国土壤分类系统[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 102-100.
- [11] 黄辉. 城市化背景下城市边缘带土壤资源数量及质量动态研究: 以南通市为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [12] 国家环境保护总局. 土壤环境监测技术规范(HJ/T 166-2004)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [13] Chen T B. Application of NaHCO₃ DTPA extractant-ICP spectrometry technique in soil test for availability of nutrients and heavy metals[J]. Pedosphere, 1993, 3(4): 377-382.
- [14] 杨军. 灌溉水中重金属对土壤和农作物的污染风险[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [15] 农业环境背景值研究编写组编著. 农业环境背景值研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 248-252.
- [16] 祖艳群, 李元, 陈海燕, 等. 昆明市蔬菜及其土壤中铅、镉、铜和锌含量水平及污染评价[J]. 云南环境科学, 2003, 22(S): 49-52.
- [17] 易秀. 黄土类土对铬砷的净化机理及其迁移转化研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2006: 46-48.

(上接第 147 页)

基于 DEA 模型分析溃坝洪水灾害系统, 本文提出了一种定量评估溃坝洪水灾害脆弱性指数的方法, 并以贵州省花溪水库的下游 4 个行政区域为例进行应用, 计算结果表明小河区和南明区属于溃坝洪水灾害的高脆弱区, 花溪区属于中脆弱区, 云岩区属于低脆弱区, 评价方法具有一定的实用价值。由于在构建 DEA 模型时, 考虑到数据的获取性, 本文仅选取区域面积、区域人口、区域经济指标、溃坝淹没面积、溃坝风险人口和溃坝经济损失 6 个指标作为模型的输入、输出数据, 这与脆弱度的复杂影响因素相比甚为片面, 所以需要将构建定量评价指标作为今后深入研究的工作重点。

[参 考 文 献]

- [1] 娇勇. 高度重视水库大坝安全管理工作[J]. 中国水利, 2008(20): 1-5.
- [2] 蔡跃波, 盛金保. 中国大坝风险管理对策思考[J]. 中国水利, 2008(20): 20-23.

- [3] 刘兰芳, 邹君, 刘湘南. 农业洪涝灾害脆弱性成因分析及评估: 以湖南省衡阳市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 291-295.
- [4] 赵庆良, 许世远, 王军, 等. 上海城市系统洪灾脆弱度评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(5): 143-147.
- [5] 帅红, 刘春平, 王慧彦. 洞庭湖区农户洪涝灾害脆弱性评价[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 37-42.
- [6] 魏权龄. 数据包络分析(DEA)[J]. 科学通报, 2000, 45(17): 1793-1808.
- [7] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-59.
- [8] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.
- [9] 贵阳市统计局. 2007年贵阳统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007: 13-26.
- [10] Wei Y M, Fan Y, Lu C, et al. The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2004, 24: 427-439.