

潮州市湘桥区洪涝灾害承灾体易损性及其变化

尚志海¹, 刘华¹, 邢伟纯²

(1. 岭南师范学院 地理系, 广东 湛江 524048; 2. 嘉应学院 地理科学与旅游学院, 广东 梅州 514015)

摘要: 基于突变理论, 选取城市人口状况、城市经济状况、生命线工程状况、城市环境状况等指标, 构建洪涝灾害易损性评价指标体系。在理论分析的基础上, 将评价模型应用于广东省潮州市湘桥区 2000—2010 年洪涝灾害易损性综合评价中。结果表明, 湘桥区洪涝灾害承灾体易损性在波动中有所减小, 其易损性变化有两个转折点, 分别是 2004 和 2008 年。影响承灾体易损性变化的主要因素是人口自然增长率和建成区绿化覆盖率。可以通过以下途径降低该区洪涝灾害易损性: (1) 控制人口增长速度; (2) 增加建成区绿化覆盖率; (3) 增加排水管网密度。

关键词: 易损性; 洪涝灾害; 突变理论; 潮州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0267-05

中图分类号: P642.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.056

Vulnerability and Its Changes of Flood Disaster-bearing Bodies in Xiangqiao District of Chaozhou City

SHANG Zhi-hai¹, LIU Hua¹, XING Wei-chun²

(1. Department of Geography, Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048, China;

2. School of Geography and Tourism, Jiaying University, Meizhou, Guangdong 514015, China)

Abstract: Based on catastrophe theory, an evaluation system of flood disaster-bearing bodies' vulnerability was constructed by indexes of the conditions of population, economy, lifeline engineering and environment. Then, the model was used to evaluate the vulnerability in Xiangqiao district in Chaozhou City of Guangdong Province during 2000 to 2010. The results showed that vulnerability in Xiangqiao district decreased in fluctuation, and it had two turning-points in 2004 and 2008, the main influencing factors of which were population growth and vegetation coverage rate. Several measures should be taken to reduce the vulnerability of flood disaster-bearing bodies in the study area, which include to control the increase of population, to increase the coverage of vegetation, and to increase the density of drainage pipe network.

Keywords: vulnerability; flood disaster; catastrophe theory; Chaozhou City

近年来,全球变暖使极端天气和气候事件变得更为频繁,尤其是受气候变化深刻影响的洪涝灾害愈演愈烈^[1-2]。同时,人口和社会经济因素在不断改变,随着人口和经济密度增大,灾害损失也越来越严重^[3]。

在此背景下,愈来愈多的学者开始关注灾害易损性^[4-7]。除了易损性理论研究外^[8],评价方法及其实践研究更为活跃。高吉喜等^[9]利用层次分析法对区域洪水灾害易损性进行评价;毛德华等^[10]运用模糊综合评判对湖南省城市洪涝易损性进行了定量评估;刘兰芳等^[11]选取 8 个因子对湖南省农业洪涝灾害易损性进行了量化评价;张海玉等^[12]以安徽沿长江地

区为例,建立了基于 GIS 的模糊综合评价模型,对洪水灾害经济易损性进行评价;葛鹏等^[13]运用模糊综合评价模型,结合层次分析法,对南京市进行了洪涝灾害承灾体易损性评估。现有洪涝灾害易损性评价的研究,在研究层面上以静态评价为主,动态评价比较少;在评价方法上以传统的层次分析法、模糊评价法为主,在计算过程中都会涉及到权重的确定,主观性比较强,评价结果的可靠性有待检验。

由于人类社会经济系统是动态演化的,因此承灾体易损性就不可能是静态的,也是不断变化的,因此易损性研究不能忽视其变化性。本文将突变理论应

收稿日期:2013-09-23

修回日期:2013-11-01

资助项目:国家自然科学基金项目“藏东南帕隆藏布流域冰川地貌光释光测年研究”(41371080);广东省科技厅计划项目“鹤地水库水环境生态系统的修复重建核心技术研究”(2011B030800017);湛江师范学院引进人才资助项目“基于社区尺度的台风灾害抵抗力评估与应用研究”(ZL1306)

作者简介:尚志海(1979—),男(汉族),河北省迁安市人,博士,副教授,主要从事环境灾害风险评价研究。E-mail:shangzhihai@126.com。

用在洪涝灾害承灾体易损性评价中,以潮州市湘桥区为例对其易损性进行分析,并探讨潮州市区 2000—2010 年洪涝灾害承灾体易损性的变化情况,以期对灾害易损性动态评估提供一个新思路。

1 研究方法 with 区域概况

1.1 研究方法

目前洪涝灾害易损性的评价方法很多,主要有层次分析法、模糊综合评价法、投影寻踪分类法、逼近理想解排序法、数据包络分析法以及人工智能方法等^[14],其中层次分析法和模糊综合评价法在实际运用中较多。但是层次分析法的权重来源主要是专家打分,主观因素干扰比较强;模糊综合评价法中,隶属度函数的确定存在一定的随意性。

为了弥补上述研究方法的不足,本文采用突变理论来对广东省潮州市湘桥区洪涝灾害承灾体易损性

进行评价。

突变理论是 20 世纪 70 年代发展起来的一门新数学学科^[15],其基本特点是根据系统的势函数将系统的临界点分类,研究分类临界点附近的不连续特征,从而归纳出若干初等突变模型,并以此为基础探索自然和社会中的突变现象^[16]。突变模型特别适用于对内部作用尚未知系统的研究^[17],在自然灾害这一领域将有广阔的应用前景。

常用的突变模型有尖点突变、燕尾突变及蝴蝶突变(表 1)。对于突变模型的势函数 $f(x)$,它的所有临界点集合成一平衡曲面,通过对 $f(x)$ 分别求一、二阶导数,并令 $f'(x)=0$ 和 $f''(x)=0$,即可得到反映状态变量与各控制变量间关系的分解形式的分歧方程。通过分歧方程可导出归一公式(表 1),运用归一公式可求出系统总突变隶属函数值,这是利用突变理论进行综合评价的基本公式^[17]。

表 1 初等突变模型的势函数及归一公式

类型	势函数	分歧方程	归一公式
尖点突变	$f(x)=1/4x^4+1/2ax^2+bx$	$a=-6x^2, b=8x^3$	$x_a=a^{1/2}, x_b=b^{1/3}$
燕尾突变	$f(x)=1/5x^5+1/3ax^3+1/2bx^2+cx$	$a=-6x^2, b=8x^3, c=-3x^4$	$x_a=a^{1/2}, x_b=b^{1/3}, x_c=c^{1/4}$
蝴蝶突变	$f(x)=1/6x^6+1/4ax^4+1/3bx^3+1/2bx^2+dx$	$a=-10x^2, b=20x^3, c=-15x^4, d=4x^5$	$x_a=a^{1/2}, x_b=b^{1/3}, x_c=c^{1/4}, x_d=d^{1/5}$

注: x 为系统的状态变量; a, b, c, d 表示该状态变量的控制变量。

1.2 突变评价法的主要步骤^[17-18]

(1) 构建评价指标体系。根据系统的内在作用机理,将其分解为按重要性排序的若干指标组成的系统。

(2) 对底层指标进行原始数据规范化。具体过程是将各控制变量的原始数据采用隶属度函数法转换为 $[0, 1]$ 之间的无量纲可比较数值,得到初始模糊隶属函数值。

(3) 归一运算。利用归一公式进行综合量化递归运算,这是突变评价法的核心;逐级向上归总的过程中,根据三准则得到最后的突变隶属函数值,即①非互补准则。一个系统的诸控制变量之间,其作用不可互相替代,即不可相互弥补其不足时,按“大中取小”原则取值。②互补准则。诸控制变量之间可相互弥补其不足时,按其均值取用。③过域互补准则。诸控制变量必须达到某一阈值后才能互补。

(4) 重复上述步骤,分别计算出不同时期的总隶属度函数值。

(5) 分析评价结果,计算出的综合值将在 $0 \sim 1$ 间变化。

1.3 研究区域概况

研究区域位于广东省潮州市,其地理坐标为 $23^{\circ}26' - 24^{\circ}14'N, 116^{\circ}22' - 117^{\circ}11'E$ 。潮州市自然灾害频发,以暴雨洪涝、台风暴潮最为严重,且由暴雨、台风带来的洪涝灾害几乎每年都会发生。在 2000—2009 年的 10 a,除了 2007 年潮州市没有发生洪涝灾害外,其余 9 a 里洪涝总共出现 16 次。2006 年,受第 4 号强热带风暴“碧利斯”影响,潮州市普降暴雨到特大暴雨,过程雨量达 $300 \sim 500$ mm,导致异常严重的洪涝灾害。全市共有 144.33 万人受灾,共有 15 人死亡(失踪),直接经济损失达到 19.38 亿元。

湘桥区位于潮州市中心城区,韩江自西北向东南斜贯湘桥区。2011 年末常住人口 45.47 万人,户籍人口 35.13 万人^[19]。湘桥区属亚热带海洋性季风气候,雨季一般开始于 4 月,6 月是前汛期的降雨高峰期。同时,每年 6—10 月又是受热带气旋影响的主要时段,因而多大雨和暴雨。在季风气候的影响下,湘桥区洪涝灾害十分严重。2000 年 8 月 31 日,受强热带风暴“玛莉亚”影响,湘桥区 24 h 最大降雨量为

179 mm;2001 年 7 月 6 日,受台风“尤特”所带来的暴雨洪水影响,湘桥区直接经济损失接近上亿元;2002 年 7 月 16—20 日,受西南季风云团和高空槽影响,湘桥区雨量达 181.7 mm;2006 年,受第 4 号强热带风暴“碧利斯”影响,湘桥区遭遇超百年一遇的暴雨袭击,导致湘桥区内涝严重;2008 年 7 月 8 日,湘桥区日雨量 241 mm,为当地有记录以来的最强降水。湘桥区洪涝灾害之所以频发,除了致灾因子的影响外,承灾体易损性的作用亦不可忽视。

2 潮州市区洪涝灾害承灾体易损性分析

不同的研究领域和研究方向,对于“易损性”有着不同理解。郭跃^[3]认为,对易损性的理解可以分为 3 类:第 I 类是指易于遭受自然灾害的破坏和损害;第 II 类是指个人或群体预见、处理、抵御灾害和从灾害中恢复能力的特征;第 III 类是指灾害风险及其处理灾害事件的社会和经济能力的综合量度。刘希林等^[20]

定义易损性为:在给地区区和给定时段内,由于潜在自然灾害而可能导致的潜在总损失,易损性的度量被称为易损度。据此我们认为,洪涝灾害承灾体易损性评价,是为了定量评价人类社会经济系统在遭受洪涝灾害打击时可能导致的潜在损失程度。

2.1 构建评价指标体系

目前,国内外对洪涝灾害易损性评价指标的选取各不相同。本文通过对现有研究进行分析,参考相关文献中的评价指标^[14],最后结合数据资料的可用性,构建了本文的评价指标体系(表 2)。洪涝灾害承灾体易损性评价指标体系,是以城市人口状况、城市经济状况、生命线工程状况及城市环境状况 4 个评价准则层作为基本框架构建起来的。本文中的评估指标体系中 A 为目标层,B 为准则层共 4 项评估指标,C 为最底层共 7 项指标。最底层指标中的 C_1 与 C_2 , C_3 与 C_4 , C_5 与 C_6 具有明显的互补性,分别构成互补性尖点突变模型,准则层 4 项指标为互补性蝴蝶突变模型。

表 2 洪涝灾害易损性评价指标及其选取依据

一级指标	二级指标	选取依据
城市人口状况(B_1)	人口密度 C_1 /(人· km^{-2}) 人口自然增长率 C_2 /%	人口密度大、增长率高的城市在遭受洪涝灾害的时候,其受灾人口要多于人口密度小、增长率低的城市
城市经济状况(B_2)	经济密度 C_3 /(万元· km^{-2}) 居民人均可支配收入 C_4 /元	城市化过程中,随着经济发展和规模扩大,城市遭遇洪涝灾害后的损失程度在发展初期会变大;当城市经济发展到一定程度,经济状况越来越好,城市有能力实施完善的风险管理措施,这时灾害损失不再随着经济发展明显增大,甚至有时会减小;此后灾害损失与经济发展会处于一种动态平衡中
生命线工程状况(B_3)	排水管网密度 C_5 /($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$) 道路网密度 C_6 /($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)	洪水破坏道路以及通讯设施的事件屡见不鲜。生命线工程的破坏对生产、生活造成巨大影响,生命线工程的易损性加大了城市洪涝灾害的易损性;排水管网的建设是减少城市内涝的主要措施
城市环境状况(B_4)	建成区绿化覆盖率 C_7 /%	增加城市绿化是减少城市内涝的途径之一

2.2 数据统计及处理

根据《潮州市统计年鉴》中的相关数据,计算整理出潮州市湘桥区 2000—2010 年的 7 项最底层指标的原始数值,其中除了 C_2 , C_4 , C_7 是从年鉴里面获取之外,其他 4 项指标都是通过一定的计算得出。计算方法分别是: C_1 = 区域常住人口/区域面积; C_3 = 区域国民生产总值(GNP)/区域面积; C_5 = 区域排水管道长度/区域建成区面积; C_6 = 区域实有道路总长度/区域面积。

由于 7 个指标单位不完全相同,它们之间无法进行相互比较。所以,在使用归一公式之前,要将底层各指标原始数据转换为 $[0,1]$ 之间的无量纲化数值。

为了使数据的无量纲化更为客观真实,提高最终结果的可信度,本文通过查阅一些相对有代表性城市的相关数据资料,对其进行分析对比,并参考相关研

究成果^[10-11,14],在此基础上分别对 7 个指标数据进行无量纲化处理:人口密度赋值为人口密度/10 000;人口自然增长率赋值为人口自然增长率/5;经济密度赋值为经济密度/10 000;居民人均可支配收入赋值为居民人均可支配收入/15 000;排水管道密度赋值为:1—排水管道密度/10;道路网密度赋值为道路网密度/2;建成区绿化覆盖率赋值为:1—建成区绿化覆盖率/45。

由此,7 个指标的取值变化均在 0~1 之间。通过对这些指标的原始数据统一无量纲化,得到初始模糊隶属函数值,计算结果见表 3。

2.3 归一化及易损性计算

按照突变理论多准则评价方法,采用各突变系统的归一公式逐级向上归总计算,直到算出最高层指标的突变级数。归一化是以表 2 的评价指标体系来计算的,计算过程分 3 步(以 2010 年为例)。

表 3 2000—2010 年潮州市湘桥区洪涝灾害易损性底层指标数据无量纲化结果

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
C_1	0.239 0	0.244 9	0.246 5	0.248 2	0.251 1	0.251 5	0.258 1	0.265 8	0.274 7	0.285 0	0.297 3
C_2	0.644 0	0.418 0	0.406 0	0.356 0	0.314 0	0.350 0	0.412 0	0.520 0	0.558 0	0.5060	0.226 0
C_3	0.131 7	0.134 9	0.140 3	0.151 0	0.164 8	0.178 2	0.201 0	0.228 0	0.261 4	0.288 6	0.327 3
C_4	0.460 3	0.482 1	0.484 1	0.517 6	0.556 7	0.596 4	0.638 3	0.692 7	0.754 7	0.826 5	0.911 3
C_5	0.572 0	0.491 0	0.407 0	0.388 0	0.311 0	0.295 0	0.283 0	0.280 0	0.268 0	0.266 0	0.263 0
C_6	0.415 0	0.445 0	0.455 0	0.455 0	0.465 0	0.475 0	0.485 0	0.500 0	0.525 0	0.525 0	0.530 0
C_7	0.239 6	0.242 7	0.130 7	0.127 6	0.119 6	0.115 6	0.097 8	0.080 0	0.073 1	0.064 4	0.051 1

(1) 最底层指标中的 C_1 与 C_2 为互补性尖点突变模型,采用表 1 中的尖点突变模型归一公式得到: $x_{c_1} = (0.297 3)^{1/2} = 0.545 3$, $x_{c_2} = (0.226)^{1/3} = 0.609 1$ 。由于这两个控制变量之间可以互弥,综合起来共同对上一层评价指标 B_1 产生作用,因此按“互补”原则,取均值有: $B_1 = (x_{c_1} + x_{c_2})/2 = 0.5772$ 。按照同样的计算方法可算出 2000—2009 年 C_1 人口密度、 C_2 人口自然增长率的归一值及 B_1 城市人口状况的评估值。

(2) 最底层指标中的 C_3 与 C_4 、 C_5 与 C_6 为互补

性尖点突变模型,按照第(1)步的计算方法可算出 2000—2010 年 C_3 (经济密度)、 C_4 (居民人均可支配收入)、 C_5 (排水管道密度)、 C_6 (道路网密度的归一值)及 B_2 (城市经济状况)、 B_3 (生命线工程状况的评估值)。

(3) 准则层 4 个指标 B_1, B_2, B_3 与 B_4 为互补性蝴蝶突变模型,由于这 4 个控制变量之间可以互弥,共同对上一层评价指标 A 产生作用,采用表 1 中的蝴蝶突变模型,最终可以计算得出洪涝灾害综合易损性的评估值 A (表 4)。

表 4 潮州市湘桥区 2000—2010 年洪涝灾害易损性评价结果

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
B_1	0.822 4	0.788 2	0.786 4	0.776 9	0.768 4	0.776 6	0.791 3	0.812 3	0.820 8	0.815 7	0.759 7
B_2	0.827 9	0.831 9	0.833 9	0.841 5	0.850 1	0.858 1	0.868 3	0.879 9	0.892 5	0.903 6	0.916 9
B_3	0.751 1	0.732 1	0.703 6	0.696 0	0.666 2	0.661 7	0.658 9	0.661 5	0.662 2	0.661 3	0.661 1
B_4	0.751 4	0.753 4	0.665 7	0.662 5	0.654 0	0.649 5	0.628 2	0.603 4	0.592 6	0.577 8	0.551 7
A	0.833 2	0.824 6	0.800 5	0.798 5	0.794 0	0.796 5	0.797 2	0.799 4	0.802 0	0.799 7	0.782 5

2.4 易损性评估结果分析

从评估过程和结果来看,从 2000—2010 年潮州市湘桥区的经济状况和市民收入都得到较大的改善,一直呈上升趋势。同时为了满足发展需求,生命线工程的建设不断完善,道路网密度逐渐增加,这些因素可能使得潮州市湘桥区的易损性增大。虽然潮州市湘桥区人口一直在增长,但是人口自然增长率却在小波动中呈大幅下降趋势;排水管道密度和建成区绿化覆盖率都在稳步增加,这两个因素则可能使得潮州市湘桥区的易损性减小。

由图 1 可知,从 2000—2010 年,潮州市湘桥区洪涝灾害承灾体易损性有两个转折点,分别是 2004 和 2008 年。在 2004 年之前,易损性呈下降状态;2004—2008 年,易损性呈上升状态;2008 年后,易损性又呈下降状态。2002 和 2010 年这 2 a 易损性下降得比较快,而在 2002—2009 年 8 a 中,虽然易损性出现下降—上升—下降,但是波动很小。总的来说,在 2000—2010 年这 11 a,湘桥区洪涝灾害承灾体易损性在波动中有所下降。

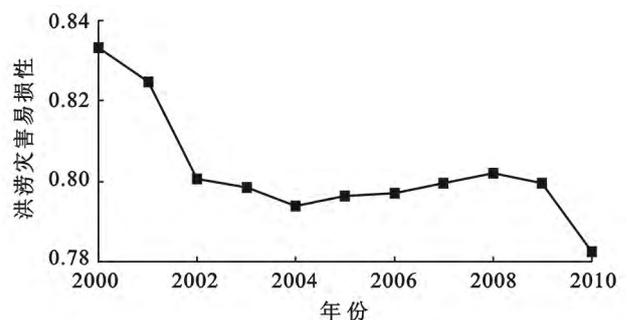


图 1 2000—2010 年潮州市湘桥区洪涝灾害易损性变化

易损性在 2004 和 2008 年前后都出现变化的主要原因都是由于人口自然增长率的变化,人口自然增长率在 2000—2004 年快速下降,在 2004—2008 年一直上升,到 2008 年后又回到下降状态。由此可知,洪涝灾害易损性受人口自然增长率的影响非常大。即使人口密度大,但只要人口自然增长率降低,易损性也会随之减小。所以,为降低洪涝灾害的易损性,可以从控制人口增长的速度入手。2010 年易损性降低较快的主要原因是人口自然增长率的大幅降低,这再一次说明人口自然增长率对洪涝灾害易损性的影响作用。

2002年易损性降低较快的主要原因是建成区绿化覆盖率的大幅增加,绿地可以涵养水源,降雨量的70%都渗流入地下,大大增加了抗洪防洪能力。虽然潮州市湘桥区的建成区绿化覆盖率一直在增加,但总体上还较低。所以,为了降低洪涝灾害承灾体的易损性,应该合理规划土地,增加建成区绿化面积。虽然潮州市湘桥区洪涝灾害承灾体易损性在波动中下降,但是承灾体易损性依然较高。

为了促进湘桥区社会经济可持续发展,可以通过以下途径降低洪涝灾害承灾体的易损性:(1)控制人口增长速度;(2)增加建成区绿化覆盖率;(3)增加排水管网密度,也是降低洪涝灾害易损性的另一有效途径。

3 结论

本文通过构建洪涝灾害易损性的评价指标,应用突变理论计算出2000—2010年潮州市湘桥区洪涝灾害易损性的评估值,发现湘桥区洪涝灾害承灾体易损性在波动中有所下降。洪涝灾害承灾体易损性评价是一个复杂问题,属于多准则、多层次的综合评价问题,本文采用的突变评价法汲取了层次分析法和模糊评价法的长处,其对各目标重要性的确定量化是根据各目标在归一公式本身中的内在矛盾地位和机制决定的,而不是由决策者主观“权重”确定的,从而减少了人为主观性又不失科学性,使评价和分析更趋于实际,而且计算简单方便。因此,突变评价法有利于实际应用,特别是将其应用于像洪涝灾害这种多层次复杂系统评价决策时更能体现出优越性。

[参 考 文 献]

- [1] 尚志海,丘世钧.当代全球变化下城市洪涝灾害的动力机制[J].自然灾害学报,2009,18(1):100-105.
- [2] 广东省防汛防旱防风总指挥部,广东省水利厅.广东省水旱风灾害[M].广州:暨南大学出版社,1997.
- [3] 郭跃.灾害易损性研究的回顾与展望[J].灾害学,2005,20(4):92-96.
- [4] Blaikie P M. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters [M]. London: Routledge, 1994.
- [5] Cutter S L. Vulnerability to environmental hazards[J]. Progress in Human Geography, 1996,20(4):529-539.
- [6] Turner B L, Kaspersen R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003,100(14):8074-8079.
- [7] ISDR. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives [EB/OL]. [2009-11-01]. <http://www.unisdr.org/publications>.
- [8] 姜彤,许朋柱.自然灾害研究的新趋势:社会易损性分析[J].灾害学,1996,11(2):5-9.
- [9] 高吉喜,潘英姿,柳海鹰,等.区域洪水灾害易损性评价[J].环境科学研究,2004,17(6):30-34.
- [10] 毛德华,王立辉.湖南城市洪涝易损性诊断与评估[J].长江流域资源与环境,2002,11(1):89-93.
- [11] 刘兰芳,彭蝶飞,邹君.湖南省农业洪涝灾害易损性分析与评价[J].资源科学,2006,28(6):60-67.
- [12] 张海玉,程先富,马武.洪涝灾害经济易损性模糊评价:以安徽沿长江地区为例[J].灾害学,2010,25(1):30-34.
- [13] 葛鹏,岳贤平.洪涝灾害承灾体易损性的时空变异:以南京市为例[J].灾害学,2013,28(1):107-111.
- [14] 王绍玉,刘佳.城市洪水灾害易损性多属性动态评价[J].水科学进展,2012,23(3):334-340.
- [15] 周绍江.突变理论在环境影响评价中的应用[J].人民长江,2003,34(2):52-54.
- [16] 施玉群,刘亚莲,何金平.关于突变评价法几个问题的进一步研究[J].武汉大学学报:工学版,2003,36(4):132-136.
- [17] 冯平,李绍飞,李建柱.基于突变理论的地下水环境风险评价[J].自然灾害学报,2008,17(2):13-18.
- [18] 韩晓军,肖琳,邱林.基于突变理论的灌区地下水资源承载力评价方法[J].灌溉排水学报,2011,30(1):113-116.
- [19] 潮州市统计局,国家统计局潮州调查队.潮州统计年鉴2012[M].北京:中国统计出版社,2012.
- [20] 刘希林,莫多闻.泥石流风险评价[M].成都:四川科学技术出版社,2003.