

# 基于城市用地单元的自然灾害风险评估概念模型<sup>\*</sup>

辜智慧<sup>1</sup> 讲师 徐伟<sup>\*\*2,3</sup> 副教授 葛怡<sup>4</sup> 讲师 史培军<sup>2,3,5</sup> 教授

(1 深圳大学 建筑与城市规划学院, 广东 深圳 518060

2 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875

3 北京师范大学 减灾与应急管理研究院, 北京 100875 4 南京大学 环境学院, 江苏 南京 210093

5 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

学科分类与代码: 6203070(安全系统工程)

中图分类号: X913.4

文献标志码: A

资助项目: 国家重点基础研究发展计划课题(2012CB955404); 科技部“十一五”科技支撑计划课题(2008BAK50B07);

国家外国专家局高等学校学科创新引智计划(B08008)。

**【摘要】** 为使城市土地利用规划与灾害风险管理更好地结合,从城市规划的基础单元——城市用地系统出发,提出基于城市用地单元的区域综合自然灾害风险评估的概念模型。基于城市用地单元的灾害风险评估,包括城市土地利用单元上潜在致灾因子及承灾体自然脆弱性相结合的灾损风险评估,以及人口、经济、社会因素等所引起的社会脆弱性评估2个方面。通过耦合矩阵,得到5个等级的灾害风险。其中,灾损风险与脆弱性均较高的城市用地单元或区域应得到高度关注。基于城市土地利用单元的灾害风险评估模型的应用关键,在于建立城市用地单元的数据库。提高基础数据的精度,有助于提高评估结果的精度。

**【关键词】** 城市用地单元; 灾损风险; 社会脆弱性; 风险矩阵; 综合风险评估

## Conceptual Model for Natural Disaster Risk Assessment Based on Urban Land Use Unit

GU Zhi-hui<sup>1</sup> XU Wei<sup>2,3</sup> GE Yi<sup>4</sup> SHI Pei-jun<sup>2,3,5</sup>

(1 School of Architecture & Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong 518060, China

2 Key Laboratory of Environment Change & Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4 State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Re-use, School of the Environment/Nanjing University, Nanjing 210093, China

5 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** To combine disaster risk and sustainable land use, on the basis of the urban planning unit-urban land use system, a conceptual model for natural disaster risk assessment was proposed. The urban land use unit based model covers damage risk assessment and social vulnerability assessment, the former involves the potential disaster causing factors at urban land use unit and the natural vulnerability of disaster-bearing community, and the latter involves factors such as population, economic condition and social environment of the unit. The natural disaster risks at urban land use unit obtained with a risk matrix were divided into 5 types, of which the one with high damage risk and social vulnerability should be paid great

\* 文章编号: 1003-3033(2012)04-0110-06; 收稿日期: 2012-01-12; 修稿日期: 2012-03-11

\*\* 徐伟副教授为通信作者, E-mail: xuwei@bnu.edu.cn.

attention. The base for urban land use unit based risk assessment is a properly organized data set, generally better assessment result can be obtained by improving the resolution of land use data.

**Key words:** Urban land use unit; damage risk; social vulnerability; risk matrix; multi-risk assessment

## 0 引言

目前,灾害风险已经成为可持续发展的最大障碍。联合国的一份出版物《2005—2015年兵库行动框架:加强国家和社区的抗灾能力》指出:土地利用规划是减少灾害风险因素的重要措施,应将灾害风险评估纳入易受灾害的人类住区,特别是人口密集地区和快速城市化地区的城市规划和管理中<sup>[1]</sup>。发达国家的经验表明:将自然灾害风险评估结果与土地利用政策和规划相结合,能使非工程的防灾减灾预防措施效益远高于工程性的防灾减灾措施,从而将环境和灾害风险过渡到可持续的土地利用方式上<sup>[2]</sup>。法国政府在1982年就提出要将滑坡风险区划纳入城市开发和规划中,从真正意义上实现自然灾害管理从工程性措施向预防性非工程性措施的转变<sup>[3]</sup>。美国咨询委员会、规划协会和地质调查局于2003年正式发布名为《滑坡灾害与规划:将地质灾害规划纳入规划程序》的指南手册<sup>[4]</sup>。意大利也对如何将自然灾害风险评价与土地利用规划相结合进行过有意义的尝试<sup>[5]</sup>。

在国内,如何将自然灾害风险评估结果与城市规划有效地结合起来也日益得到专家学者们的重视。高军等<sup>[6]</sup>指出应将城市灾害学的研究成果纳入城市规划体系中,形成综合防灾规划,与城市规划中的土地利用规划、空间形态设计、市政基础设施规划等一起构成完善的城市发展建设指导体系。金磊<sup>[7]</sup>提出要选择重点,突破单一灾种防灾的局限性,启动全国城乡综合减灾规划编制。史培军<sup>[8]</sup>提出用划定区域高风险“红线区”的办法,调整土地利用时间格局和产业结构,有利于建立区域可持续发展的综合减灾范式。然而,由于自然灾害风险评估的结果,特别是在评价单元、精度及多灾种风险综合等问题上,不能适应城市规划管理的需求,而且现行的评价结果对城市内部用地规划缺乏具体的规范或指导性建议,城市规划管理者很难将自然灾害的风险评估结果,转化为有效的规划策略与管理措施。也就是说,能够与城市规划相结合的区域自然灾害风险评估方法及实践少之又少。

因此,笔者提出以城市用地单元为风险评估基

础,结合灾害系统理论,从承灾体的暴露性和脆弱性出发,建立基于城市用地单元的区域自然灾害综合风险评估模型。与传统的基于行政单元或单元网格的自然灾害风险评估模型相比,这个模型具有以下2个优势:①传统自然灾害风险评估因其评价尺度较大,多以行政单元为主,因此对暴露性和脆弱性、自然脆弱性和社会脆弱性往往难以区分,并采用简单相乘以综合其影响。基于城市用地单元的灾害风险评估由于评价空间精度较高,从其功能属性、经济价值等属性出发,将其与自然灾害危险性产生直接叠加影响的自然属性和与自然灾害抵抗力、恢复力相关的社会灾害脆弱性指标区分开来,分别计算其灾害的暴露性和脆弱性,采用风险矩阵的方式将2种不同价值体系的影响综合在一起,与灾害系统理论框架更加一致。②城市规划标准的基础单元即是城市用地系统,以城市用地单元为基础的自然灾害风险评估结果能够直观地反映城市用地在空间的灾害灾损风险和社会脆弱性,有助于城市规划管理部门更加直观地了解风险评估结果,为城市防灾减灾规划等提供科学依据。

## 1 基于城市用地单元的灾害风险评估框架

灾害风险通常是指未来灾害损失的可能性。从灾害系统或灾害致灾—成灾过程角度,灾害风险常常被认为由致灾因子  $H$  (hazard)、脆弱性  $V$  (vulnerability) 和暴露度  $E$  (exposure) 3个要素决定<sup>[9]</sup>,可通过式(1)进行计算。

$$R = H \cdot V \cdot E \quad (1)$$

致灾因子  $H$  是指可能会造成损失的自然或人为事件,可用事件的强度、频率等表示;脆弱性  $V$  是承灾体的属性,反映承灾体对致灾因子的抗御能力,有时也包括灾后恢复能力,可包括自然脆弱性和社会脆弱性;暴露度  $E$  是承灾体暴露在风险中的程度,包括人口、基础设施、财产、资源和生态环境等,可以用其数量或密度表示。

根据上述灾害风险及其计算方法,基于城市用地单元的灾害风险评估研究的基本思路是以城市用地单元为主,首先建立城市用地单元的承灾体信息

数据库,包含其与自然灾害危险性产生直接叠加影响的暴露度属性(如建设用地的建筑结构、材料、年代、雨水管渠设计标准等,绿地系统的植被类型、耐旱耐涝性等),以及与自然危害抵抗力、恢复力相关的社会脆弱性指标(如城市用地单元内部的人口密度、结构、经济产值及其承担的社会服务价值等),此外还有区域主要的自然灾害的潜在危险性分析,即对城市用地单元上自然灾害发生的概率及强度、影响范围等进行分析;其次,结合承灾体自然属性,建立单灾种承灾体灾损函数,即只考虑承灾体自然脆弱性的城市用地单元的危害风险,并基于此得到

城市用地单元上的多灾种的承灾体灾损风险评估结果。再者,结合城市用地单元各类社会脆弱性指标,采用专家打分或主成分分析等方法,评价基于城市用地单元的空间脆弱性;最后,结合城市用地单元的灾损风险和空间化社会脆弱性评估结果,通过风险矩阵,得到城市区域综合自然灾害风险评估结果。

技术框架如图1所示。关键评估可分为基于城市用地单元的灾损风险评估、基于城市用地单元的社会脆弱性评估和基于城市用地单元的综合风险评估3个步骤。

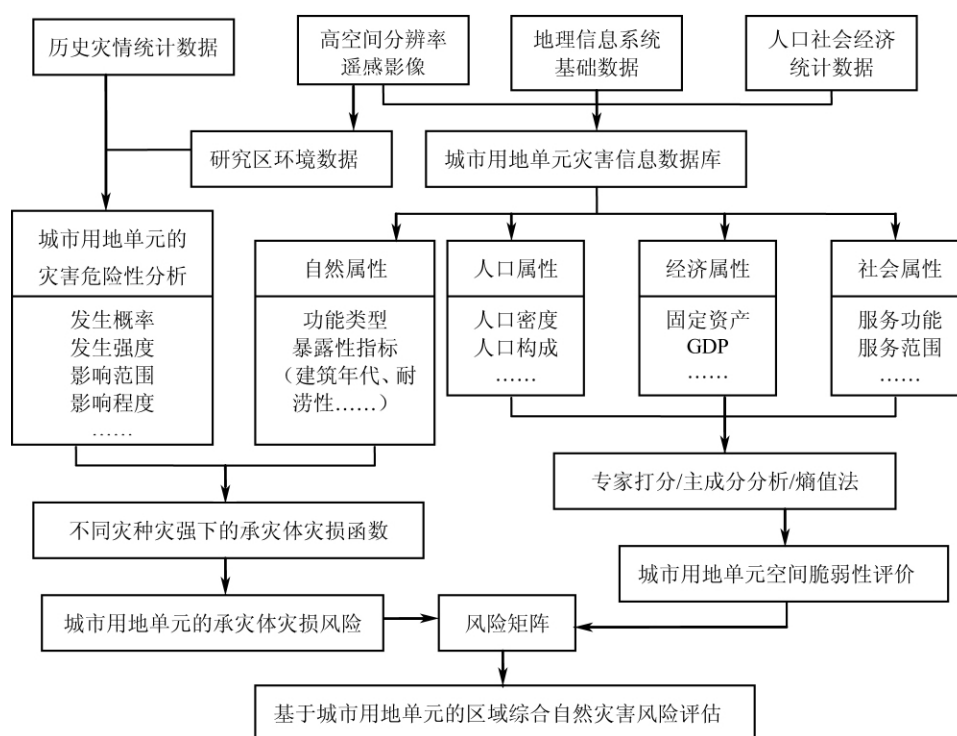


图1 基于城市用地单元的区域自然灾害综合风险评估技术路线图

Fig. 1 Technical flow for natural disaster risk assessment based on urban land use unit

## 2 基于城市用地单元的灾损风险评估

从灾害系统的角度,基于城市用地单元的灾损风险  $D_i$  可以理解在某一类型的城市土地利用上的建筑物或其他承灾体,受到某种潜在致灾因子  $i$  的作用,造成损失的可能性。同一般灾害风险计算步骤一样,基于城市土地利用单元的危害风险评估可以分为3个步骤进行。首先是确定某一用地单元上致灾因子强度  $h_i$  与其发生概率  $p$  之间的关系;其次是致灾因子强度  $h_i$  作用于该用地单元上的不同暴露性  $E_i$  的承灾体上,造成的破坏程度或损失程度  $d$ ;最后,获得该用地单元上损失程度的超越概率,即为灾损风险值。具体可按照式(2)进行计算。

$$D_i = p(h_i) \cdot d(h_i, E_i) \quad (2)$$

式中:  $E_i$  表示城市用地单元易受潜在致灾因子  $i$  影响的暴露性指标(如:建筑物类型、植被类型、耐涝性、地形环境、雨水管渠设计标准等);  $p(h_i)$  表示城市用地单元上发生致灾因子强度为  $h_i$  的概率;  $d(h_i, E_i)$  表示发生致灾因子强度为  $h_i$  的灾害对暴露性为  $E_i$  的城市用地单元可能造成的破坏程度。

基于影响城市地区的历史致灾因子强度、频次等,通过计算机模拟和曲线拟合等方法,得到未来城市土地利用单元上的致灾因子  $i$  的强度及其发生概率  $p(h_i)$ 。致灾因子强度作用于暴露性不同的城市用地单元上,造成的破坏程度  $d$ ,类似于通常所说的脆弱性曲线。对于破坏程度函数,一般可通过构建

破坏概率矩阵、灾情统计回归和蒙特卡罗计算机模拟等方法来获取。

以台风灾害为例,基于城市用地单元的台风灾损风险评估应包含以下内容:

1) 台风危险性评估: 即不同等级台风灾害在城市用地单元上的年发生概率。

2) 承灾体信息收集: 包括区域的地形环境, 及不同城市用地单元的暴露性指标, 如建设用地的建筑结构、年代及相应的雨水管渠设计标准; 非建设用地如农用地的作物耐涝性、排灌能力等。

3) 灾损风险评估: 可采用建筑结构的整体破坏程度与风速关系的结构易损性函数曲线, 也可以采用经验分析法判断某类农业用地的台风灾害受损风险等<sup>[10]</sup>。

一个城市往往会受到多种灾害的共同影响。基于城市用地单元的综合灾害风险的评估, 可以在上述单灾种风险评估的基础上开展。笔者提出的承灾体灾损风险评估不涉及不同用地类型的比较和价值转换, 可直接采用不同灾种对城市用地单元的灾损风险值直接叠加, 即可通过式(3) 计算得到:

$$D_T = \sum_{i=1}^n p(h_i) \cdot d(h_i, E_i) \quad (3)$$

式中:  $D_T$  表示基于城市土地利用单元的多灾种综合风险;  $n$  表示城市内可能发生的自然致灾因子总数。

3 基于城市用地的社会脆弱性评估

社会脆弱性的评估与自然灾害是密切相关的, 脆弱性既能放大又能缩小自然灾害的危害。因此, 在综合自然灾害风险评估中, 不能不考虑对社会脆弱性的研究。一般自然灾害风险研究直接将此部分指标纳入风险函数甚至暴露性指标当中, 但在多灾

种的风险综合中, 这一类指标的交叉、重复、转换等无疑给风险评估的结果带来较大误差。因此, 这个模型框架对基于城市用地单元的社会脆弱性指标进行单独评估, 最后与考虑自然脆弱性指标的城市用地单元上的承灾体灾损风险评估相结合, 形成基于城市用地单元的自然灾害综合风险评估模型。

灾害社会脆弱性量化评估的研究仍处于探索阶段, 尚未形成统一的评估模式, 其指标主要针对脆弱性人群的特点来选取等。例如: Cutter 等<sup>[11]</sup> 选取 250 个统计指标, 在检验多重共线性后筛选为 85 个指标, 进一步采用主成分分析等方法最终选取了 11 个指标, 主要来自个人财富、年龄构成、居住形式、民族构成、就业类型、建成环境等。国内对脆弱性指标的总结, 也主要集中在年龄构成、人口分布、家庭构成、社会保障、经济水平、医疗水平、产业人口分布、房屋状况、受教育程度、文明水平、就业状态机从事的工作类型等<sup>[12]</sup>。

基于城市用地单元的社会灾害脆弱性评估, 更倾向于空间上用地单元的脆弱性指标, 其目的是通过描述、提升或改变用地相应功能属性以评估和降低社会灾害脆弱性。因此, 在指标选取上集中于各用地单元的人口性质( 居住或就业人口)、经济价值及空间可达性 3 个方面( 表 1), 从而实现灾害社会脆弱性指标的空间量化。城市用地单元分类标准参考中华人民共和国住房和城乡建设部最新发布的《城市用地分类与规划建设用地标准》<sup>[13]</sup>。

在此指标体系上, 可进一步通过空间自相关模型剔除其空间自相关性, 采用专家打分或主成分分析等方法对指标及其影响进行综合, 实现城市用地单元上的灾害社会脆弱性评估。

表 1 基于城市用地单元的灾害社会脆弱性指标选取

Table 1 Indicators for social vulnerability assessment based on urban land use unit

用地类型	人口性质		经济结构			空间可达性		
	人口密度	脆弱人口比例	容积率	固定资产	生产产值	与重要公共管理与公共服务用地距离	与重要交通设施用地距离	与重要公用设施用地距离
居住用地	●	●	●	●	●	●	●	●
公共管理与公共服务用地	●	●	●	●				
商业服务业设施用地	●	●	●	●	●	●	●	●
工业用地	●	●	●	●	●	●	●	●
物流仓储用地	●	●	●	●	●	●	●	●
交通设施用地	—	—	—	●	●	—	—	—
公用设施用地	—	—	—	●	—	—	—	—
绿地	—	—	—	●	—	—	—	—

\* 注 “●”表示与脆弱性有关系

## 4 基于城市用地单元的危害风险评估

基于城市用地单元的多灾种灾损风险评估结果和灾害社会脆弱性评估结果分别对城市用地单元的结构脆弱性和社会脆弱性进行评估。灾害发生过程中,往往是2种脆弱性叠加的地区受灾最为严重,也最值得城市管理及防灾减灾规划者关注的区域。传统的自然灾害综合风险评估往往由于评价单元和体系的不同,难以将两者统一或结合<sup>[14]</sup>,而基于同一单元评价的承灾体灾损风险和空间脆弱性,可通过风险矩阵(图2)的方式对2类评估结果进行等级综合,其结果可进一步指导城市防灾减灾规划的统筹安排及合理布局。

等级	灾害社会脆弱性评估				
	1	2	3	4	5
多灾种灾损风险	1	低社会脆弱性		高社会脆弱性	
	2	低灾损风险区		低灾损风险区	
	3		中社会脆弱性中灾损风险区		
	4	低社会脆弱性		高社会脆弱性	
	5	高灾损风险区		高灾损风险区	

图2 多灾种灾损风险与社会脆弱性耦合关系评估图

Fig. 2 Risk Matrix by combining the damage risk and social vulnerability

其中,对灾损风险与脆弱性均较高的区域或城市用地单元应予以高度关注,一方面可通过加强公共设施的基础建设,改变、提升承灾体的减灾抗灾能力,另一方面也可以通过规划引导改变人口、社会、经济结构等以降低社会脆弱性,从而降低综合灾害风险。对低灾损风险低社会脆弱性地区的城市用地性质改变也应慎重,尤其应避免灾害危险性高但灾损风险低的区域开发。对高灾损风险低社会脆弱性的区域,以及低灾损风险高脆弱性的区域,也应非常关注,前者可主要通过改变土地利用功能类型以降低综合风险,后者可主要通过改变社会经济结构等降低综合风险。对于中社会脆弱性中灾损风险区,

则可采取加强防灾减灾工程建设、防灾减灾意识及演习等,以进一步提高城市综合防灾减灾能力。

## 5 结 论

从城市规划的基础单元——城市用地系统出发,提出基于城市用地单元的区域综合自然灾害风险评估的概念模型。结果表明:

1) 该模型从灾害系统理论角度出发,基于城市土地利用单元,有效考虑了潜在致灾因子及其影响下的承灾体灾损风险评估和人口、经济、社会等因素引起的社会脆弱性。

2) 区别于传统的基于行政单元或公里网单元的自然灾害风险评估,基于城市用地单元的自然灾害综合风险评估研究,一方面能以城市用地单元为公共平台,更好地将城市灾害风险管理 with 城市规划结合起来,协调灾害风险管理 with 城市发展之间的关系,另一方面,也能为区域高空间分辨率自然灾害风险评估提供案例支持。

值得注意的是,基于城市土地利用单元的区域综合自然灾害风险评估模型的应用关键,在于建立城市用地单元的信息数据库。它既要收集有关自然、人口、经济、社会等属性信息,又要收集区域灾害危险性信息,并针对城市用地单元收集历史灾情信息。也就是说,该模型可以适用于不同精度的城市土地利用单元的风险评估,而土地利用基础数据单元的精度和尺度将直接影响评估结果的精度和尺度。

随着遥感与地理信息系统等空间技术的高速发展和广泛应用,城市空间信息数据库日渐成熟,城市管理部门之间信息共享机制也在逐步完善,基于城市用地单元的自然灾害综合风险评估概念模型可被进一步地深化和应用,从而在城市防灾减灾规划管理中发挥其重要的技术及理论支持作用。

## 参 考 文 献

- [1] UN-ISDR. Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters [R], 2005.
- [2] Besio M. Dalla carta del rischio al piano integrato della sostenibilit  del territorio [J]. Urbanistica, 2001 (117): 5-7.
- [3] 张丽君. 法国滑坡灾害风险预防管理政策 [J]. 国土资源情报, 2006(10): 13-18.  
ZHANG Li-jun. Management policy of landslide risk prevention in France [J]. Land and Resources Information, 2006(10): 13-18.
- [4] Gori P L, Jeer S P, Highland L M. 谋求土地利用规划者的支持以减少美国的泥石流灾害损失 [C]. 2004 地质灾害调查与监测技术方法现场研讨会, 2004: 1-9.

- Gori P L , Jeer S P , Highland L M. Seek the support of land-use planners to reduce the loss of debris flows in the United States [C]. Workshop on the Geological Hazards Survey and Monitoring Techniques 2004: 1 - 9.
- [5] Stanganelli M. A new pattern of risk management: the Hyogo framework for action and Italian practice [J]. Socio-Economic Planning Sciences 2008 , 42( 2) : 92 - 111.
- [6] 高军, 王天青. 关于城市防灾规划的反思 [J]. 城市问题, 2005( 5) : 70 - 72 , 81.  
GAO Jun. WANG Tian-qing. A reflexive analysis on urban disaster preventing planning [J]. Urban Problems , 2005( 5) : 70 - 72 , 81.
- [7] 金磊. 加强我国城乡综合减灾规划设计的建议——写在汶川“5·12”大地震后的科学思考 [J]. 安全, 2008 , 29( 6) : 1 - 3.  
JIN Lei. Suggestions for strengthening urban and rural disaster reduction in China—reflecting after the 5·12 Wenchuan earthquake [J]. Safety , 2008 , 29( 6) : 1 - 3.
- [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.  
SHI Pei-jun. Theory and practice on disaster system research in a fourth time [J]. Journal of Natural Disasters , 2005 , 14( 6) : 1 - 7.
- [9] UN-ISDR. Living With Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives [M]. Geneva: United Nations Publication , 2004.
- [10] 顾明, 赵明伟, 全涌. 结构台风灾害风险评估研究进展 [J]. 同济大学学报: 自然科学版 2009 , 37( 5) : 569 - 574.  
GU Ming , ZHAO Ming-wei , QUAN Yong. Typhoon risk assessment of structures [J]. Journal of Tongji University: Natural Science 2009 , 37( 5) : 569 - 574.
- [11] Cutter S L , Boruff B J , Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards [J]. Social Science Quarterly , 2003 , 84( 2) : 242 - 261.
- [12] 葛灵灵, 易立新. 中国社会灾害脆弱性评价指标设计 [J]. 安全, 2011 , 32( 5) : 1 - 4.  
GE Ling-ling , YI Li-xin. Performance criteria for social vulnerability assessment in China [J]. Safety , 2011 , 32( 5) : 1 - 4.
- [13] GB50137—2011, 城市用地分类与规划建设用地标准 [S].  
GB50137 - 2011 , Code for Classification of Urban Land Use and Planning Standards of Development Land [S].
- [14] 颜峻, 左哲. 自然灾害风险评估指标体系及方法研究 [J]. 中国安全科学学报 2011 , 20( 11) : 61 - 65.  
YAN Jun , ZUO Zhe. Research on natural disaster risk assessment index system and method [J]. China Safety Science Journal 2011 , 20( 11) : 61 - 65.

作者简介: 辜智慧 (1979 -) , 女, 湖北浠水人。2006年毕业于北京师范大学, 现为深圳大学建筑与城市规划学院讲师, 主要从事城市防灾、减灾规划研究。E-mail: gzh@szu.edu.cn.