

自然灾害风险分析的时空尺度初探^{*}

赵思健^{1,2}

(1. 中国农业科学院农业信息研究所 农业部智能化农业预警技术重点开放实验室, 北京 100081;
2. 北京师范大学 民政部/教育部应急与减灾管理研究院, 北京 100875)

摘 要: 自然灾害风险存在着显著的动态特性, 即灾害风险会随时间与空间的变化而呈现出差异。研究自然灾害风险的时空差异是对自然灾害风险研究的进一步深化。其中, 时空差异研究的一个重要前提条件是选择恰当的危害风险分析的时空尺度。广度与粒度是时空尺度的两个孪生指标, 时空广度限定了灾害风险评估在时间和空间上的有效范围, 而时空粒度则是量度灾害风险时间和空间差异的最小单元。列出了风险时空差异的表达式, 深入探讨自然灾害风险的时空尺度, 并对我国三种典型的自然灾害(地震、洪涝和台风)风险分析的时空尺度选择进行了讨论, 为进一步深入开展自然灾害风险时空差异分析奠定了基础。

关键词: 自然灾害; 风险分析; 时空差异; 时空尺度; 广度; 粒度

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)02-0001-06

0 概述

近年来, 随着自然灾害发生频率的增加, 自然灾害风险分析研究日益受到重视。全面认识和评估自然灾害给人类社会造成的风险, 既是防灾减灾工作的基础环节, 也是人类社会经济可持续发展的迫切需求。然而, 当前的自然灾害风险研究大多集中在风险的不确定性、危害性和复杂性等静态特性上, 鲜有人关注灾害风险潜在而又突出的特性“动态性”, 即风险并非静态不变, 它会随时间与空间的变化而呈现出差异。正确认识灾害风险的时空动态特性有着重要现实意义, 将有助于制定不同地域和时域的灾害风险管理措施。

开展灾害风险时空差异研究的首要前提是正确掌握灾害风险的时空尺度。自然灾害作为一种地理过程, 在本质上是尺度依赖的。任何地理过程都具有内在的尺度特性, 对地理过程的辨别与建模事实上都是对一定尺度现象的刻画。尺度的关注是地理过程研究的一个重要挑战, 自然灾害也不例外。风险与灾害有所区别, 灾害强调发生过的, 而灾害风险则是未来可能发生某种或某几种自然灾害现象与过程的情景, 具备不确定性。这种不确定性不仅表现在风险来源于许多不确定要素, 还表现在这些不确定要素在时空域上的变化和波动, 而在不同时空尺度上, 这些变化和波

动所遵循的规律及其具有的基本特性存在着很大的差异。因此, 时空尺度的研究是深刻认识、恰当评价和有效管理灾害时空风险必须关注的首要问题。

1 尺度的内涵

一般而言, 尺度是指经历时间的长短或在空间上涵盖范围的大小。Cao 和 Lam^[1]提出了四种与空间现象有关的尺度: ① 制图尺度或地图尺度, 指地图比例尺, 大比例尺地图提供更详细信息; ② 地理尺度, 即研究区域的空间扩展, 大的研究区域具有更大尺度; ③ 分辨率, 指空间数据集中最小的可区分部分, 越细的区分单位具有越小的尺度; ④ 运行尺度, 指地学现象发生的空间范围, 如森林具有比单棵树更大的运行尺度。同样, Montello^[2]指出尺度的四方面的含义: ① 制图的尺度, 地图大小与地球大小的比率; ② 分析的尺度, 分析者选择研究的单元的大小; ③ 现象的尺度, 结构和过程发生的大小; ④ 类似“细节”、“粒度”、“分辨率”、“概括”等尺度概念。而 Bloschi 等^[3]则给出了过程尺度(Process scale)、观测尺度(Observation scale)和模拟尺度(Modeling scale)的定义, 认为过程尺度是随自然现象发生且无法控制的尺度, 而观测尺度是根据测量技术和实际需要自由选择的尺度。

* 收稿日期: 2011-11-02

基金资助: 国家自然科学基金青年基金(40901274)

作者简介: 赵思健(1977-), 男, 汉族, 广东潮州人, 博士, 从事自然灾害风险分析理论与应用研究。

E-mail: scanzhao@hotmail.com

通常,地理过程的研究尺度主要包括“广度”(Extent)和“粒度”(Grain)这对孪生指标。广度是指研究对象或现象的区域范围及时间跨度,即时空域的概念。其中,空间广度有球观、域观、局部观和微观四级,时间广度则有世纪观、年际观、月际观和日际观四级;粒度是考察事物或现象的精度,以及信息和知识的抽象度。粒度在物理学中指微粒或颗粒大小的平均度量,在地学分析中可看作像素的大小、地理目标的分辨率、空间数据和现象的认知层次等。广度与粒度之间即存在区别,也存在着某种固定关系,即:观察的视野越开阔、考察的年代越长久,其观察物体的细节就越粗略、越概括,就是说广度和粒度在一定程度上成反比关系。另外,需要强调的是在实际研究中,广度和粒度的确定和以下几个方面密切相关:①研究的地理现象和地理目标;②数据的采样方法;③对现象和目标的具体分析内容。

2 自然灾害风险时空差异表达

根据风险的原始特性,黄崇福等^[4]提出了风险(Risk)的情景定义:风险是与某种不利事件有关的未来情景集。根据该定义,区域自然灾害风险可以被定义为:由自然变异为主因导致的区域内未来不利事件情景集^[5]。在情景定义下,可用三元组对风险进行形式化表达^[6]。

$$Risk = \{ \langle S_i, P(S_i), X(S_i) \rangle \}, i=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

式中: $Risk$ 表示风险; S_i 是一个未来灾害情景; $P(S_i)$ 是灾害情景 S_i 发生的概率, $X(S_i)$ 是灾害情景 S_i 发生后造成的损失, N 表示未来可能出现的灾害情景总数。

当考虑灾害风险存在时空差异时,式(1)被进一步修正为:

$$Risk(T, C) = \{ \langle S_i(T, C), P[S_i(T, C)], X[S_i(T, C)] \rangle \}, i=1, 2, \dots, N_0. \quad (2)$$

式中: T 表示灾害风险的时间域因子; C 表示灾害风险的空间域因子; N_0 表示在有限时空域下未来灾害情景总数。根据尺度理论,灾害风险的时空域因子包括时空广度和粒度,即

$$T = \langle t_e, t_g \rangle; C = \langle c_e, c_g \rangle, \quad (3)$$

式中: t_e 表示风险的时间广度; t_g 表示风险的时间粒度; c_e 表示风险的空间广度; c_g 表示风险的空间粒度。空间和时间广度用于确定了风险的有限时空范围,而空间和时间粒度则可用作评价风险时空差异的最小单元。

史培军从系统论的角度出发将自然灾害系统归纳为致灾因子、孕灾环境和承灾体三个基本要素^[7-10]。因此,任何一个自然灾害情景 S_i 实质是刻画一个特定致灾因子 H 、孕灾环境 Y 和承灾体 E 三者相互作用的过程。由此可见,情景 S_i 可表达为三要素的函数:

$$S_i(T, C) = \text{Proc}(H(T, C), Y(T, C), E(T, C)). \quad (4)$$

自然灾害风险的时空差异主要体现在有限时空范围(t_e, c_e)内不同时空粒度(t_g, c_g)上风险量度值的差异。通常,期望损失 EL 被作为风险的量度值,即:

$$EL = R(t_g, c_g) = \int f[S_i(t_e, c_e)] \times X[S_i(t_e, c_e)] dx, (t_g \in t_e, c_g \in c_e). \quad (5)$$

自然灾害风险时空差异的图示如图1所示。根据不同时空粒度上的风险量度值,可以制作有限时空域范围内的时空风险区划图,为更加有效地防御灾害和制定更加合理精确的保险费率发挥重要的作用。

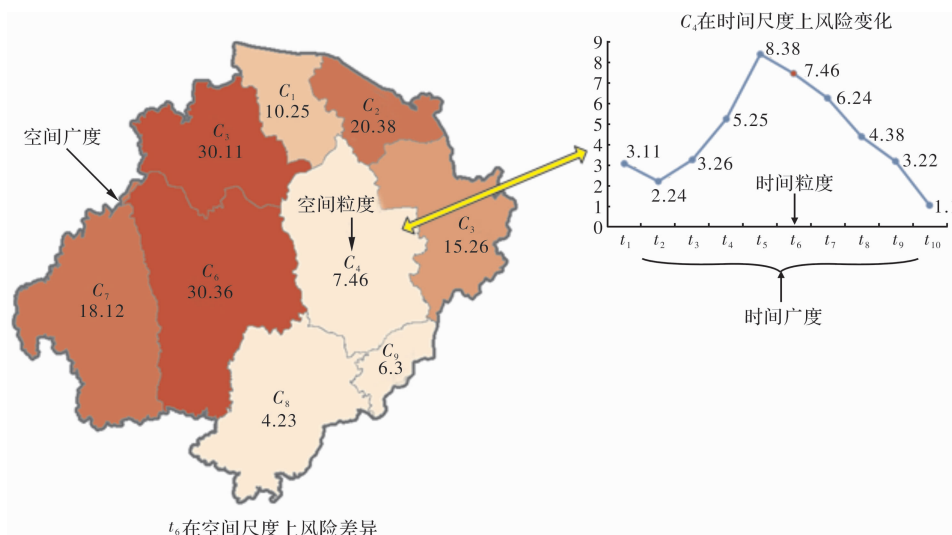


图1 自然灾害风险时空差异的图示

3 自然灾害风险的时空尺度选择

3.1 自然灾害风险的时空广度

3.1.1 空间广度

空间广度对自然灾害风险有重要的影响，空间广度的不同会带来风险分析中风险源及风险载体种类和性质的变化，也会影响时间广度及时空粒度的选择。从地理空间尺度的角度出发，自然灾害风险的空间广度主要分成全球、国家、区域和城镇四类。至于选择何种空间广度进行自然灾害风险分析，常常取决于研究者的研究目标及应用范围。

3.1.2 时间广度

时间广度是自然灾害风险的有效时间范围，常用的时间广度单位有百年、十年和几年三种。自然灾害是致灾因子、孕灾环境和承灾体三要素相互作用的产物，因此选择自然灾害风险时间广度需综合考察三要素的时间特性。

(1)不同类型的致灾因子，其灾害风险具有不同的有效时间广度，例如极端气候变化是一种中长期效应，其风险有效时间广度在几十年甚至百年；地震灾害发生的时间频率也较长，其风险有效时间广度为5~10年；洪涝灾害常几年发生一次，其风险有效时间广度为1~5年；沿海台风灾害常隔年发生，其风险有效时间广度为1~3年。由此可见，从致灾因子角度出发评判灾害风险的时间广度时，可以以致灾因子出现的频率作为标准。

(2)孕灾环境是孕育灾害发生的自然与人文环境，以自然环境为主，诸如地貌变化和土地覆盖变化等。通常，孕灾环境相对稳定、不易发生变化。因此，从孕灾环境角度上出发评判灾害风险的时间广度应是几十年。

(3)承灾体是灾害要素中最重要也是最灵活的要素，没有承灾体，灾变构不成灾害更谈不上灾害风险，而且承灾体种类与特质的不同还导致了灾害风险时间广度的多样性。从承灾体角度上评判灾害风险的有效时间广度时，可从如下三个方面进行识别。①保持承灾体“价值”存在的有效时间范围。既然灾害风险依赖承灾体某种“价值”而存在，只有在承灾体这种“价值”存的时间范围内灾害风险才有意义，其使用的时间广度应小于、等于这个有效时间范围。②承灾体“规模”、“行为”和“价值”发生显著变化的时间范围。承灾体会随自然、社会和经济的发展而发生规模、行为和价值的显著变化，例如城镇规模的扩大、人口规模的增加、农作物种植面积的扩大、城市基础设

施的增加、人口分布的变化、社会经济价值的增长等。此时，灾害风险使用的时间广度应小于或等于承灾体“规模”、“行为”和“价值”发生显著变化的时间范围。③防灾减灾能力变化的有效时间范围。影响防灾减灾能力变化的要素主要与具体的监测措施、预测预报措施、防灾备灾措施、应急措施和具体的恢复重建措施的力度和科技水平有关，而这些措施变化的有效时间范围主要取决于社会经济整体发展水平、科技发展水平和对防灾减灾事业的重视程度和整体投入。

综上所述，确定灾害风险时间广度时需综合考虑致灾因子、孕灾环境及承灾体的有效时间范围，选取其中最小的有效时间范围作为风险有效的时间广度。另一方面，从灾害风险时间广度的研究中可以得出一个重要结论，并非一次灾害风险评估就能永久生效，灾害风险评估结果存在时间上的有效期。灾害风险的有效时间广度便是判断灾害风险评估有效期的一个重要指标，超出有效时间广度的灾害风险评估结论需要重新修正，相应的风险区划图也需随之更新。

3.2 自然灾害风险的时空粒度

3.2.1 空间粒度

灾害风险的空间粒度反映了风险空间评价对象的粗细和角度上的不同。也就是说，粗略的评价对象和全角度的考察是粒度大的表现，反之细微的评价对象和独特角度的考察是粒度小的表现。灾害风险空间粒度通常可以分为国家、省、市县、网格、街区和个体六种，反映出空间评价对象由粗到细的变化。灾害风险空间粒度的选择受到如下几个方面的影响：

(1)空间粒度的选择受到空间广度的影响，大空间广度的灾害风险宜选用粗略的空间粒度，小空间广度的灾害风险宜选用精细的空间粒度。例如，全球灾害风险宜选用国家级别的空间粒度，国家和区域灾害风险宜选用省级或市县级别的空间粒度，而城市灾害风险宜选用街区或个体级别的空间粒度。

(2)空间粒度的选择受到灾害风险分析所需相应空间粒度的地理数据制约，没有相应空间粒度的地理数据就无法开展该粒度下风险空间差异分析。当然地理数据的空间重采样可部分解决该问题，但带来的分析结果精度却受到很大影响。

(3)除地理数据的影响外，灾害样本对灾害风险空间粒度的选择也有影响。由于灾害记录的精度限制，有时无法满足样本记录的位置信息与所选的空间粒度保持一致，这给灾害风险的空间精度提升带来了障碍。

此外，李金锋、黄崇福等^[11]提出了风险的反

精确理论,指出:风险具有不确定性,越精细的风险评估结果未必越准确。换句话说,风险空间粒度的选择未必越精细评估结果就越好,合理选择风险空间粒度是风险空间差异研究的关键。

3.2.2 时间粒度

灾害风险的时间粒度反映了风险时间变化的评价单元,通常可以分为年、季、月、日和时五种。灾害风险的时间粒度也随致灾因子、孕灾环境和承灾体的时间特性而发生变化。

(1)在有效时间广度范围内,致灾因子在时间轴上的不同时间点上发生的可能性存在差异,如分析未来3年的洪涝风险时,由于该地区洪涝灾害平均每两年发生一次且今年又发生过洪涝灾害,可以推断未来3年内最可能发生灾害的是第2年,未来第2年的洪涝风险较高。此外,洪涝灾害发生与强降雨密切相关,年内最可能发生洪涝灾害的是在7-9月间,由此推断第3季度的洪涝风险较其他季度的风险大。这样以年为时间粒度时,洪涝风险存在年际差异,以季节为时间粒度时,洪涝风险又存在季节差异。由此可见,致灾因子发生的时间规律是识别灾害风险时间粒度的关键。

(2)在有效时间广度范围内,通常孕灾环境的变化较少,对灾害风险的时态差异影响不大,常被忽视。

(3)承灾体的生命周期特征与行为特征也会影响灾害风险时态差异。灾害发生时承灾体的脆弱性是造成灾害损失的主要原因,处于不同生命阶段和行为特征的承灾体在抵抗灾害力的能力上存在差异。例如,处于分蘖期的水稻就比处于孕穗期的水稻显脆弱,在同样的洪涝灾害力下损失更严重;同样,处于夜间睡熟的人与白天屋外工作的人相比,前者较为脆弱,如遇地震灾害时造成的人员伤亡较大。由此可见,只有正确分析承灾体拥有的生命阶段和行为阶段能更好地识别灾害风险分析时间粒度。

综上所述,确定灾害风险时间粒度时须综合考虑致灾因子、孕灾环境和承灾体的时间粒度,常取其中的最小值作为时间粒度。此外,时间粒度的选择也受灾害样本数据时间序列采样频度的限制,大频度时间序列样本常常不易转换成小频度样本,限制了风险评价时间精度的提高。

4 典型灾害风险时空尺度选择

4.1 地震灾害

地震是一种破坏性极大的自然灾害,汶川地震给我国带来了巨大的灾难,评估地震灾害风险、

做好防震减灾工作是“十二五”期间国家减灾应急的一项重要任务。目前,地震灾害风险分析的空间广度包括全球、国家、区域(多省)、省和城镇,其中以国家和省为空间广度开展地震灾害风险评估较为普遍。

全球地震灾害风险评估是为全球地震防御战略服务的,一般以不同级别地震发生频率、国家人口分布和GDP分布为据进行评价,因此在空间粒度选择上通常选择国家单元。作为致灾因子的地震动是一个较长期的过程,其发生的周期较长,一般不适宜用作时间广度的约束。而作为承灾体的人口和经济,发生较大规模增长和分布变化却可能在一定时间段内发生,常以10年为单位。因此,时间广度上可以选用10年作为地震风险评估的有效期。在整个时间广度范围内,地震发生的时间规律并不明显,人口的规律性变化也不显著,因此一般不选择时间粒度进行时间差异的分析。

以国家为空间广度的地震风险评估一般服务于国家宏观层面上地震灾害防灾减灾策略的部署。在空间粒度上,一般以省或公里网格为单元;时间广度上,宜选择5~10年为风险评估的有效期间。在这类空间广度和时间广度下,一般也不宜选择时间粒度进行时间差异分析。

以区域或省为空间广度的地震风险评估是地震频发地区(例如我国的西南地区、美国东南部地区等)进行地方性地震灾害防御工作的一个重要依据。在空间粒度上,一般会以省或县为单元;时间广度上,考虑局部地区人口和GDP的变化,宜选择5年左右作为风险评估的有效期间。与前两种空间广度相似,这类空间广度下的风险评估也不选择时间粒度进行时空差异分析。

以城镇为空间广度的微观地震风险评估在地震频发的城市(诸如东京市、洛杉矶市等)中应用得最为广泛,它在城市地震灾害防范(如避难场所规划)和巨灾保险等方面发挥着重要的作用。在空间粒度上,这类评估通常宜选择街区作为评价单元,以便开展城市具体减灾措施的规划和部署。同时,在以城镇为空间广度的地震风险评估,常以人口和房屋作为承灾体。对于发展中国家(如我国),城市人口的增长、城市的扩张和房屋结构性能的老化近似在3~5年内会发生,因此可以选择3~5年作为风险评估的时间广度。由于城镇地震风险研究实属微观研究,因此可以考虑地震在不同时段发生时人行为对风险的影响,在时间粒度上可选择工作日与周末,或白天与夜晚等作为时间单元。

地震灾害风险时空尺度选择的建议如表1所示。

表 1 地震灾害风险时空尺度

空间广度	空间粒度	时间广度/年	时间粒度
全球	国家	10	——
国家	省, 公里网格	5 ~ 10	——
区域(多省)	省, 市县, 公里格网	5	——
省	市县, 公里格网	5	——
城镇	行政区, 村镇, 街区	3 ~ 5	工作日周末, 白天夜晚

4.2 洪涝灾害

洪涝灾害是我国发生频度高、造成损失巨大的一种自然灾害, 汛期的防洪抗涝是我国一直以来的减灾工作重心。洪涝灾害发生时, 造成破坏的主要对象是人、设施与农作物, 其中农作物的灾后绝收是我国洪涝灾害造成的最主要损失, 以下便以农作物作为承灾体进行洪涝灾害风险时空尺度选择的举例。洪涝灾害风险分析的空间广度包括全球、国家、流域(多省)、省和城镇, 其中以流域为空间广度开展洪涝灾害风险评估较为普遍。

类似地震灾害, 洪涝灾害也是许多国家面临的主要自然灾害之一, 全球性洪涝灾害风险评估主要服务于为各国提供防洪抗涝策略, 在空间粒度上宜选择国家作为空间单元。由于洪涝灾害发生的频率较高, 加上近些来极端气候导致极端暴雨天气的频繁出现, 像中国、印度等河流较多的国家常在 5 年内会发生一次较大规模的洪涝灾害, 因此在时间广度上宜选择 5 年左右。在时间粒度上, 宜选择以年为最小单位, 体现出风险在年际间的变化, 找到各国高风险可能出现的年份。

以国家为空间广度的洪涝风险评估也是服务于国家宏观层面上防洪抗涝策略的规划和部署。在空间粒度上, 一般以省或公里网格为空间单元; 考虑到全国不同省份洪涝发生周期的不一致, 时间广度上宜选择 5 年左右作为风险评估的有效期间。在时间粒度上, 也适宜选择以年为最小单位, 体现出风险年际间的变化, 从而找到全国各省高风险可能出现的年份。

由于洪涝灾害多集中发生在流域上, 因此以流域(多个省或一个省)为空间广度开展洪涝灾害风险评估最为常见, 它为针对性地抵御区域洪涝灾害提供依据。在空间粒度上, 一般选择省、市县或公里网格作为空间单元, 其中以市县行政单元最合适。在时间广度上, 考虑到单个流域洪涝发生频率较高(例如我国的淮河流域, 平均每 3 ~ 5 年便发生一次洪灾), 可选择 3 ~ 5 年作为风险评估的有效期间。至于时间粒度, 可选择的模式较

多。为体现极端暴雨天气出现的周期性和集中性, 可选择年、月和季节作为时间粒度; 为体现农作物不同生长期洪涝风险的差异, 可选择农作物生长期作为时间粒度。

开展微观的城镇洪涝灾害风险评估通常是针对城市暴雨内涝灾害, 以村镇、街区和不规则格网为空间粒度为常, 在分析的方法上常采用模拟仿真技术。在时间广度上, 考虑到暴雨频率较高的城市由于内涝发生频率较高, 宜选择 3 年左右作为风险的有效时间范围。在时间粒度上, 与上一种情况相同, 可选择年、月和季度来体现暴雨天气造成洪涝风险的差异, 也可选择生长期来体现农作物不同生长期洪涝风险的差异。

洪涝灾害风险时空尺度选择的建议如表 2 所示。

表 2 洪涝灾害风险时空尺度

空间广度	空间粒度	时间广度/年	时间粒度
全球	国家	5	年
国家	省, 公里网格	5	年, 月
流域(多省)	省, 市县, 公里格网	3 ~ 5	年, 月, 季节, 生长期
省	市县, 公里格网	3 ~ 5	年, 月, 季节, 生长期
城镇	村镇、街区、不规则格网	3	年, 月, 季节, 生长期

4.3 台风灾害

台风是我国沿海地区危害性较大的自然灾害, 历年来台风给沿海城市造成了巨大的经济损失。从台风灾害风险评估的应用目的来看, 目前的台风灾害风险分析的空间广度包括全球、区域(多省)、省和城镇。由于台风主要集中在沿海地区, 有较显著的地域性, 通常以国家为空间广度进行风险评估较少, 意义也不明显。

从全球空间广度出发的台风风险评估, 通常是评估未来全球气候变化下台风造成全球经济损失的风险。风险评估的结果通常是展现不同国家之间台风风险的差异, 为各国台风灾害防御提供全球性的战略指导。因此, 全球空间广度下台风风险的空间粒度以选择国家为宜。此外, 从气候变化引发台风的致灾因子角度出发来看, 气候变化是一个长期漫长的过程; 而从地区经济发展水平出发的承灾体特性来看, 经济发生全球性的大变化也是个长期过程。因此, 全球台风风险评估的有效时间广度可选择以 10 年为单位, 时间粒度选择以年为单位, 从而展示出未来 10 年内不同年份台风风险可能的变化趋势。

通常, 台风集中影响沿海大范围区域, 因此

以沿海区域(涉及多个省)为空间广度进行台风风险评估是目前国家宏观层面上评估台风风险的重要方式。在这样的空间广度下,宜选择省行政单元、市县行政单元或公里格网单元作为风险评估的空间粒度。至于选择何种空间粒度,应以所能获取数据的空间精度为据。就沿海大范围区域而言,各地区的台风发生周期并不均匀,通常在3~5年不等,因此可选择5年以下的时间作为风险评估的时间广度。而时间精度上也适宜选择年为单位,进而计算未来5年内不同年份上台风风险可能的变化趋势。

以省为空间广度进行台风风险评估是地方级别评估台风风险的一种方式,也是沿海地区台风财产保险应用的重要基础。在这样的空间广度下,通常选择市县行政单元或公里格网单位作为评估的空间粒度,其中以市县行政单位为主,以便进行台风财产保险费区划的应用。在时间广度上,在台风易损针对易于发生台风的省份而言,省内各地台风出险的周期通常在1至3年不等,因此宜选择3年以下时间作为风险评估的有效时间广度。台风出险的周期性和季节性可以判定风险评估的时间粒度可以是年、季和月为单位,进而展现出风险在未来3年内风险的年度、月际变化和季节差异。

以城镇为空间广度进行微观的台风风险评估较为少见,主要服务于城市防台风重点区域的识别和避难场所的选择。一般以城镇为空间广度进行风险评估时,通常选择街区单元作为空间粒度。如遇台风频发的城市(厦门、深圳等),台风的发生周期较短,通常一两年变发生一次,因此城镇台风评估的时间广度宜选择1~2年,而在时间粒度上可以选择月甚至周为单位。

台风灾害风险时空尺度选择的建议如表3所示。

空间广度	空间粒度	时间广度/年	时间粒度
全球	国家	10	年
区域(多省)	省, 市县, 公里格网	≤5	年
省	市县, 公里格网	≤3	年、季、月
城镇	行政区, 村镇, 街区	1~2	月, 周

5 总结

同任何事物一样,风险也存在着时空差异。自然灾害作为一种自然和社会现象,它的风险时空差异研究有助于人们更加微观地认识灾害本身和风险动态性,为有效防御灾害和规避风险提供更有力的支持。在自然灾害风险时空差异研究之前,首要解决的关键问题便是确定风险的时空差异评价单元,即时空尺度。本文就自然灾害风险的时空差异表达和时空尺度选择(包括时空广度与粒度)进行了初步探讨,并就典型的灾害时空尺度提出了建议,旨在为风险时空差异的评估研究奠定基础。在后续的研究中将会提出自然灾害分析差异的评估技术及时空风险区划图的制作。

参考文献:

- [1] Cao C, Lam N S. Understanding the Scale and Resolution Effects in Remote Sensing and GIS [C]//Dale A Quattrochi, Michael F Goodchild. Scale in Remote Sensing and GIS. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997: 57-72.
- [2] Montello D. Thinking of Scale; The Scale of Thought [C]//Daniel R Montello, Reginald G Golledge. Scale and Detail in the Cognition of Geographic information. Varenus Workshop, 1998.
- [3] Blösch G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modeling: A review [J]. Hydrology Process, 1995, 5(2): 67-76.
- [4] Chongfu Huang, Da Ruan. Fuzzy risks and updating algorithm with new observations [J]. Risk Analysis, 2008, 28(3): 681-693.
- [5] 黄崇福. 自然灾害风险区划图的更新原理 [C]//风险分析与危机反应的理论和实践-中国灾害防御协会风险分析专业委员会第三届年会论文集. 巴黎: Atlantis 出版社, 2008: 1-8.
- [6] Stanley Kaplan, John B Garrick. On the quantitative definition of risk [J]. Risk Analysis, 1981, 1(1): 11-27.
- [7] 史培军. 论灾害研究的理论与实践 [J]. 南京大学学报, 1991, 11: 37-42.
- [8] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 7-17.
- [9] 史培军. 二论灾害研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [10] 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.
- [11] 李金锋, 黄崇福, 宗恬. 反精确现象与形式化研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(4): 128-132.

(下转第18页)

- [7] 奥田节夫, 侯秀英. 泥石流的综合观测[J]. 水土保持科技情报, 1983 (1): 8-14.
- [8] 唐川. 泥石流扇形地研究[J]. 云南地质, 1990, 9(3): 239-246.
- [9] 田连权, 吴积善, 康志成, 等. 泥石流侵蚀搬运与堆积[M]. 成都: 成都地图出版社, 1993: 96-118.
- [10] Takahashi T. Study on the deposition of debris flow (2): process of formation of debris flow [J]. Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 1980, 23 (B-2): 443-456.
- [11] 谢正伦, 蔡元芳. 突扩断面土石流淤积形态几何相似性特性之研究[J]. “中华民国力学学会”期刊, 1997, 13(1): 11-20.
- [12] 蔡元芳, 谢正伦. 土石流扇状地几何相似特性之实验与数值研究[J]. 中国工程学报, 1997, 20(6): 629-642.
- [13] 柳金峰, 欧国强, 游勇, 等. 不同出口山脚约束的泥石流淤埋实验研究[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 7-10.
- [14] Mizuyama T, Yazawa A. Computer simulation of debris flow depositional processes [C]//International Symposium on Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim. Vancouver: IAHS Publ, 1987, 165: 179-190.
- [15] 王光谦, 邵颂东, 费祥俊. 泥石流模拟: I-模型[J]. 泥沙研究, 1998 (9): 7-13.
- [16] 崔之久. 泥石流沉积与环境[J]. 北京: 海洋出版社, 1996: 138-144.

Experimental Study of Fan Development Process of Viscous Debris Flow

Liu Jinfeng^{1,2}, Ou Guoqiang^{1,2} and You Yong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Process and Hazards, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: This study quantificationally discussed the phased characteristics of fan development process of viscous debris flow based on 3 groups, 106 indoor experiments under the condition of different debris flow densities, different slopes in the accumulation area and different channel slopes. Based on the average deposition slope of debris fan's cross-section and vertical-section, the development process of viscous debris fan can be divided into three stages. The first stage is characterized by rapid development in the longitudinal and transverse of debris fan. In the second stage, the longitudinal of debris fan will not develop and the debris flow will mainly develop in the transverse. The third stage is a longitudinal development stage. And the width of debris fan develops slowly in this stage.

Key words: Viscous debris flow; debris fan; development process; experimental study

(上接第6页)

A Preliminary Study on the Spatial and Temporal Scales of Natural Disaster Risk Analysis

Zhao Sijian^{1,2}

(1. Agricultural Information Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Digital Agricultural Early-warning Technology, MOA, Beijing 100081, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Natural disaster risk varies in spatial and temporal dimensions. The study on spatial and temporal variance of natural disaster risk is a new challenge, in which the foremost subject is to explore its inherent spatial and temporal scales. As a twin index, the extent and grain play an important role in the scale study. In detail, the spatial and temporal extent could constrain the effective ranges of risk in spatial and temporal dimensions; while the spatial and temporal grain would be as smallest unit to present the variances of risk in spatial and temporal dimensions. In this paper, the expression about the spatial and temporal variance of natural disaster risk is given, and then the scale theory of natural disaster risk is discussed deeply. Finally the choosing of spatial and temporal scales for three kinds of natural disaster risks (earthquake, typhoon and flood) that occur frequently in China is discussed. This study laid a basis for further analysis of the spatial and temporal variance of natural disaster risk.

Key words: natural disaster; risk analysis; spatial and temporal variance; spatial and temporal scale; extent; grain