

郭君, 孔锋. 自然灾害概率风险历史资料的有效性及其检验[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 21–26. [GUO Jun and KONG Feng. Validity analysis of historical data for probabilistic risk analysis in natural disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(3): 21–26. doi: 10.3969/j. issn. 1000–811X. 2019. 03. 005.]

自然灾害概率风险历史资料的有效性及其检验^{*}

郭 君^{1,2,3}, 孔 锋^{1,2,3}

(1. 清华大学 公共管理学院, 北京 100084; 2. 清华大学 应急管理研究基地, 北京 100084;
3. 清华大学 中国社会风险评估研究中心, 北京 100084)

摘 要: 动态变化的自然-社会系统导致自然灾害风险处于动态变化中, 久远的历史资料可能不是概率风险评估的有效样本, 然而目前基于历史记录的概率风险评估尚未对使用的一段时间历史资料的有效性加以说明。鉴于此, 通过指出自然灾害风险系统和历史记录统计口径具有动态变化性, 揭示历史记录资料存在有效性问题, 即一段时期的历史灾害记录序列可能存在变点, 继而将变点检验方法引入自然灾害概率风险历史资料有效性检验。当前变点检验的方法众多, 包括最小二乘法、广义似然比检验、贝叶斯方法、局部比较法、非参数方法等, 针对具体的问题需选择合适的方法。研究指出的历史资料有效性问题, 希望对后续历史资料选取的理念、选取后的风险评估理论和实践应用等方面提供参考意义, 以期从数据使用层面提高灾害风险评估结果的可靠性。
关键词: 自然灾害; 概率风险; 动态风险; 历史资料; 有效性; 变点检验。
中图分类号: X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2019)03–0021–06
doi: 10.3969/j. issn. 1000–811X. 2019. 03. 005

风险问题是一个古老的问题, 但风险科学的形成则较晚。人们通常将 1969 年昌西·斯塔 (Chauncey Starr) 在《科学》杂志上发表的题为“社会效益及技术风险”的文章, 作为风险研究成为一门新学科开端的标志^[1]。专门针对自然灾害风险的研究则源自 1980 年代, 美国里根政府开始注重环境治理方面投入产出的效益问题、大量资助科学家研究如何在不确定条件下进行合理的决策, 之后自然灾害风险分析被广泛应用于应急管理、巨灾保险等领域^[2]。发展至今, 从 1990–2000 年的“国际减轻自然灾害十年”到 2000 年之后的“国际减灾战略”, 国际减灾理念完成了由灾后应急到灾前防御、从关注灾害的应急抗御发展到灾害风险的全面管理的转变^[3]; 无论是《2005–2015 年兵库行动框架》^[4], 还是《2015–2030 年仙台减少灾害风险框架》^[5], 灾害风险评估始终是全球减灾工作的行动重点之一。

由于自然灾害风险系统的复杂性、灾害事件发生的不确定性以及概率统计理论的成熟发展, 概率分析法被用来量化自然灾害风险值^[6]。自然灾害概率风险评估是将灾害事件看做随机事件、历史灾害记录看做样本, 采用概率统计方法获得某些统计指标 (如期望损失值、最大可能损失值等) 来表征风险^[1], 其已被用于多种灾害的风险评估中^[7], 诸如崩塌^[8]、滑坡^[9]、洪水^[10]、干旱^[11]等, 作为保险费率厘定、风险区划、政府部门的救灾资金预算等^[12]的理论依据。

自然灾害概率风险对历史资料的依赖性, 使得评估时不容忽视历史记录的质量、一致性问题。理论上, 概率统计结果的可靠性与样本点的

数量存在一定的相关关系, 往往认为样本点越多、评估结果越准确^[13]。在自然灾害概率风险分析中, 由于自然灾害事件的相对低发生率, 较多的样本点需要较长时间的历史记录积累。

自然和社会环境的动态变化导致自然灾害风险系统动态变化^[14], 同时科技的进步和社会的发展会导致历史记录的统计口径不一致, 久远的历史记录能否作为当前灾害事件发生规律的有效样本值得斟酌, 若忽视该问题会降低风险评估的可靠性。然而, 当前大部分研究中使用的历史记录长短依赖于研究区历史记录的建设情况, 收集到的记录从何时开始便使用该时段的历史记录^[15]。

鉴于此, 本文通过指出自然灾害风险系统和历史记录统计口径的动态变化, 揭示历史记录资料存在有效性问题, 即一段时期的历史灾害记录序列可能存在变点, 继而将变点检验方法引入自然灾害概率风险历史资料有效性检验, 以期从数据使用层面提高灾害风险评估结果的可靠性。

1 自然灾害概率风险历史资料的有效性界定

1.1 历史资料有效性存在的原因

1.1.1 自然灾害风险系统自身的动态变化

自然灾害风险涉及复杂多变的自然-社会系统, 随着气候变化和快速城市化发展, 风险源所处的自然环境会发生变化, 风险承受体所处的社会系统更是变化迅速^[16–18], 不同时段尤其是跨越百年尺度以上甚至数十年尺度的自然灾害风险系

^{*} 收稿日期: 2019–01–01 修回日期: 2019–04–01
基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (2018M631510; 2019T120113); 国家自然科学基金项目 (41801064; 71790611)
第一作者简介: 郭君 (1988–), 女, 河南南阳人, 博士后, 主要研究方向为自然灾害风险分析与管理。E-mail: guojunaa@163.com

统相差较大。灾害风险系统的动态变化^[19]使得不同时段的历史记录服从的概率分布函数可能不一致,进而影响概率风险评估的有效性。

当前自然灾害动态风险已经成为研究的重点之一。从初步认识灾害风险到 IPCC 特别报告指出其动态变化性^[20-25],从全球减灾恢复机构(GFDRR)2014 年发布的灾害风险评估方法报告^[26]到 2016 年的灾害动态风险分析方法报告^[27],显示了灾害风险的研究已由静态发展到动态。其中,IPCC 在《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告》中指出灾害风险不仅取决于极端气候本身,而且还取决于承灾体的暴露度和脆弱性,极端气候、暴露度和脆弱性均受到各种自然和人为因素的影响,其中包括人为气候变化、自然气候变率和社会经济发展(高信度)^[28]。

一方面,风险源的动态性已被证实。当前的自然系统已远远偏离了初始状态,相对于过去,风险源的发生规律已经发生变化^[29];而且未来自然系统会继续改变,风险源的发生规律也仍将改变^[30]。IPCC 第五次评估报告关于已观测到的气候系统的变化研究指出,“气候系统的变暖是毋庸置疑的。大气和海洋已变暖,积雪和冰量已减少,平均海平面已上升,大气中温室气体浓度已增加”等;针对未来气候系统的可能变化研究指出,“很可能是热浪发生的频率更高、时间更长,很多地区的极端降水的强度和频率将会增加。海洋将持续升温 and 酸化,全球平均海平面也将不断上升”等^[31]。在气候系统已经并且仍将发生变化的同时,陆地系统也已经并且仍将发生变化。人类已经并将继续改造地表覆盖、开发利用土地^[32],如道路和房屋的修建、农田的开垦、森林和湿地的开发等。

另一方面,风险承受体的动态变化也被证实。当前的人类、社会和经济系统相对于过去已经发生变化,并且未来仍将继续改变,风险承受体的脆弱性受物理、社会、环境和经济因素的共同影响^[14],已经发生了变化并且未来仍会继续改变,而且是自然灾害风险系统中变化最快的一个成分。联合国减灾署发布的《2011 年减轻灾害风险全球评估报告》指出,城市化和工业化的发展以及人口的增加使得人类不断向着洪泛区、海平面地势低区、滑坡泥石流易发区等高风险地区拓展^[33],而且随着未来人口的继续增加和城市化、工业化的进一步发展,该趋势仍将继续。在 1970-2010 年的 30 年时间内,全球受洪水威胁地区的居住人口平均每年增长了 114%、易受热带气旋影响的人口增加了 192%,而全球过半数的大城市(即人口在 200 万~1 500 万)位于极易受地震影响的区域内^[33-34]。然而不容置疑的是,在人类社会发展和科技水平提高的带动下,防灾减灾备灾措施也得到不断提高,并随着未来科技的进一步发展而继续改变,例如灾害预警系统的建立、建筑物修建标准的提高、居民灾害风险知识的增加和风险意识的增强等^[26]。

1.1.2 灾害记录统计口径的动态变化

随着科学技术的进步,自然灾害历史事件的记录手段会改变,不同时期历史记录的统计口径会发生变化,导致一段时期内的历史记录标准不

一致,无法直接作为自然灾害概率风险评估的有效样本。

一方面,风险源的强度监测手段随着科学技术的发展而不断改进。例如,热带气旋的观测手段和定强方法,在 1975 年以前依靠高空观测,1976-1987 年期间由卫星和高空观测共同完成,1988 年以后主要依靠卫星观测^[35];降水量的测量技术和设备也在不断改进,当前国内用于观测降水量的仪器有人工观测雨量器、翻斗式遥测雨量计、翻斗式雨量传感器、称重式降水传感器等,不同仪器的工作原理不同,测得的降水量也存在差异^[36]。

另一方面,风险承受体的灾情统计制度和办法也在不断变化^[37]。我国建国初期灾情调查对象主要以农村自然灾害损失为主,2004 年起不再仅集中在农村^[38];而灾情信息获取的方式由传统的现场调查和测量发展到基于遥感技术和互联网技术等,其大大提高了灾情信息获取的时效性、便捷性^[39]。

1.2 有效历史资料的界定

自然灾害概率风险分析的基本原理是将历史记录看做自然灾害事件的样本,其潜在假设:所用历史记录所处时期的灾害风险系统与当前系统相似,历史记录可以作为当前灾害风险评估的有效样本^[40]。然而,如前所述,自然灾害风险源和(或)风险承受体是动态变化的,风险源的发生规律和(或)风险承受体的脆弱性会发生变化,久远历史记录所处时期的风险源概率分布函数和(或)风险承受体脆弱性函数可能与当前不同,加之历史记录的统计口径会发生变化,久远历史记录可能不是当前灾害风险相关函数的有效样本,即概率风险评估的历史资料存在有效性问题。

鉴于此,有效历史资料可界定为:考虑到自然灾害风险系统和历史记录统计口径的动态变化,能够作为当前灾害风险系统相关函数有效样本的历史资料为有效历史资料。在一定程度上,风险源发生规律的概率分布函数和风险承受体的脆弱性函数分别由风险源和风险承受体各自决定,两者之间相互独立,需分别考虑两者的历史资料有效性问题。其中,风险源发生规律概率分布函数的估计使用历史记录中关于风险源强度方面的指标,而风险承受体脆弱性函数的估计使用关于损失方面的指标。根据历史灾害事件发生的时间顺序,相对应的历史记录组成时间序列数据,通过分析时间序列数据的一致性可判断历史资料的有效性。

2 自然灾害概率风险历史资料有效性检验

2.1 有效历史资料获取的关键问题

历史资料的有效性是由自然灾害风险系统在历史时期的动态变化或者历史记录统计口径的变化引起的,相应地表现为历史时期组成的序列资料存在变点。对历史记录构成的时间序列数据进行变点检验,选取接近当前的一个变点之后的历史资料,即可得到当前概率风险评估的有效历史资料。

目前,有部分学者定性地划分了灾害风险动

态变化的时间点。例如, Stewart 和 Li 评估在温室效应和不同应对措施影响下居民建筑物的热带气旋动态风险, 将 1980 年代前、后作为动态变化的时间节点, 分别估计两个阶段的脆弱性函数, 进而评估在不同减灾措施下的损失情况来表征动态风险^[41]。庞西磊按照“五年计划”划分历史数据, 求解不同“五年计划”时段的风险表征动态风险^[42-43]。黄崇福界定了自然灾害动态风险分析的基本原理^[44], 指出需依据不同综合环境或者内在属性条件而划分历史记录数据^[45-46], 然而并未指出具体的划分方法。

在风险更新的实践应用方面, 灾害风险系统动态变化时间点的确定也缺乏详细论证。例如, 美国地质勘探局(USGS)从 1976 年第一张地震危险性概率区划图发布以来, 根据最新的研究成果、观察资料等分别于 1990 年、1996 年、2002 年、2008 年、2014 年和 2016 年对其进行了更新^[47]; 我国地震区划图从新中国成立以来到现在, 分别于 1957 年、1977 年、1992 年、2001 年、2016 年进行了 5 次更新, 第五代区划图于 2016 年 6 月 1 日起在全国正式实施^[48]。此外, 为了适应 2008 年汶川特大地震后的恢复重建工作的需要, 基于对地震灾区的新资料和新认识, 局部更新了汶川地震灾区的地震动参数区划图^[49]。

如前所述, 历史记录有效性选取的关键是判断自然灾害风险系统在历史记录所跨越的时间段内是否出现变化, 表现为对应时间段内历史记录组成的序列数据是否存在变点的问题, 该问题是统计学研究中的一个热点。

序列数据的变点问题是指某一过程或现象在

某个(些)阶段或位置内在机制发生了变化, 导致该过程或现象对应的序列数据在某(些)处的某性质发生变化; 在过程或现象内机制变化信息未知的情况下, 采用统计学方法分析对应的序列数据, 发现其中变点等相关信息, 进而了解对应过程或现象的内在变化情况并采取响应措施等。目前, 变点问题的相关理论和方法的应用领域, 也不仅仅局限于最初的生产线上的质量控制问题^[50], 已经发展到气象学^[51]、经济^[52]、金融^[53]、行为学^[54]、流行病、生物学^[55-56]、图像识别^[57-58]等众多领域。

2.2 有效历史资料获取的变点检验法

2.2.1 变点检验的基本思想

变点问题是指在某一过程或现象对应的按照时间等顺序组成的序列数据中, 由于该过程或现象内在机制的变化, 导致该序列数据在某处(或某些处)的某个性质发生了变化。基于上述序列数据, 采用统计学方法对“其是否存在变化”、“在何处(或哪些处)”以及“发生怎样的变化”等问题的研究, 便是变点问题的统计研究。

具体地, 统计学中的变点是指按照一定顺序排列的序列数据, 在某个(些)点处, 其某些性质发生了变化, 则该点(集)称为变点。其中, 序列的顺序多为时间先后顺序, 也可为按照一定规则的空间位置顺序^[59]等。

变点问题源于生产流水线上产品的质量检验问题, 即从生产流水线上抽检产品, 检测产品质量的波动情况是否超过控制范围。一旦检测到抽检的产品质量超过控制线, 则给出预警以免出现更多的次品。

表 1 变点检验的主要方法简介

变点检验方法	简介	优点	缺点
最小二乘法	比较待检验序列值与理论值, 构建两者之差的平方和为目标函数, 以目标函数取得极小值对应的序列点作为变点估计结果。	该模型不需对误差做假设分布 ^[66]	需要事先假设理论值, 因此应用受到一定的限制 ^[67]
广义似然比检验	基于似然函数的思想, 构建似然比统计量进行假设检验。	一般用于序列数据服从正态分布的变点检验问题	当序列数据不服从正态分布时则会出现较大偏差 ^[66-67]
贝叶斯变点检验法	通过将序列中的变点、序列的分布参数均视为随机变量, 对其概率分布做出假设得到先验分布, 继而利用上述先验分布以及序列值的分布函数, 得到变点的后验分布, 选取后验分布取得最大值时可获得变点估计值。	能够得到一个关于变点的概率分布, 可以容易地得到变点的位置点估计或位置区间估计	由于需要对先验分布做出假设, 导致该方法在实际应用缺乏充分的理论支撑 ^[68-70]
局部比较法	也可以指移动比较法、滑动比较法或滑窗法, 基于“序列数据的某一性质对应的量值在变点周围的‘局部’会出现显著变化而在非变点的‘局部’则会保持相对稳定”的思想, 通过取考察性质对应的量值变化最显著之处而得到变点位置的估计 ^[63, 71, 72] , 常见的有滑动 t - 检验法 ^[73-74] 、Cramer 法、Yamamoto 信噪比法 ^[75] 等。	可以得到变化的性质量值的渐近分布, 并且也可以较方便地得到变点位置的点估计或区间估计 ^[61]	需要人为地选取“局部”的大小, 因此具有很大的主观性 ^[76-77] , 此外也需要对序列的分布类型作出假设
非参数法的变点检验法	通常不直接分析原始待检验序列, 而是分析构造的统计量继而确定原序列的变点, 例如基于 U - 统计量的 Pettitt 非参数检验法, 基于秩统计量的 Mann - Kendall 检验法等。	无须对分布模型作出假设, 适用于无法确定序列的分布模型的情况	缺乏普遍有效的方法、检验的临界条件难以确定、不适用于多变点问题等 ^[78]

针对变点问题的科学研究,一般认为起源于1954年Page发表的关于生产质量控制的连续检验方案的文章,详细介绍了累积和的变点检验法(cumulative sum, CuSum)^[60]。发展至今,变点问题的研究内容和理论基础均得到了极大的丰富和扩展。针对变点问题的研究内容,采用不同的标准可作出不同的划分^[61-63]:根据序列中样本的产生过程,分为连续抽样方法(或事中)和固定抽样方法(或事后)变点问题;依据变点处的表现形式,可分为突变和渐变变点问题;由序列中样本之间的关系,可分为独立样本和相依样本情况下的变点问题;从变化的性质,可分为均值、方差、斜率等统计特征值变化的变点问题;等等。对于上述众多类型的变点问题,变点的理论基础也相应地壮大起来,包括数理统计理论(变点的假设检验等)、贝叶斯理论(变点估计)、小波分析理论(变点识别)、系统控制理论(变点研究的应用)等等^[61, 64]。

2.2.2 变点检验的主要方法

关于变点检验的方法主要有最小二乘法、广义似然比检验、贝叶斯方法、局部比较法、非参数方法等^[65]。由于变点问题类型复杂、多样,相应地变点检验的方法众多,不同方法具有不同的适应性和优缺点(表1),针对具体的问题可以选择具体的方法。

3 结论与展望

3.1 结论

由于自然灾害风险系统的动态变化性和历史灾害记录资料统计口径的变化,久远历史资料可能不是当前概率风险评估的有效样本,即历史资料存在有效性的问题。随着气候变化和快速城市化的发展,风险源所处的自然环境会发生变化,风险承受体所处的社会系统更是变化迅速,导致不同时期的自然灾害风险系统会改变;同时,随着科学技术的进步,不同时期历史记录的统计口径也会出现变化,因此开展自然灾害概率风险评估时应检验历史资料的有效性。

历史资料的有效性是由自然灾害风险系统或者历史记录统计口径的动态变化引起的,相对地表现为历史时期的灾害记录序列会出现变点。通过检验历史记录构成的序列数据是否存在变点,可以判断对应的历史资料的有效性,接近当前的一个变点之后的历史资料可近似作为自然灾害概率风险评估的有效资料。由于变点问题类型的复杂、多样,相应地变点检验的方法众多,诸如最小二乘法、广义似然比检验、贝叶斯方法、局部比较法、非参数方法等,不同方法具有不同的适应性和优缺点,针对具体的问题需选择合适的方法。

历史资料作为概率风险评估的数据基础,本文将变点检验方法引入自然灾害概率风险历史资料的有效性检验中,以期从数据层面提高灾害风险评估结果的可靠性。

3.2 展望

3.2.1 历史资料的选取理念

本文探讨的历史资料存在有效性的问题,提出开展灾害风险评估时应摒弃“数据资料的时间序列越长、风险评估的结果越可靠”的观念。通过分析历史阶段灾害风险系统以及历史记录统计口径的动态变化,选取合适时间尺度或情景条件下的历史记录,作为风险评估的有效资料。

理论上,风险的动态变化是由所处综合环境或内部属性的变化引起的^[44],时间只是标定变化的一个指标,有效的历史资料所处时期的风险系统和当前评估时是近似的。历史资料有效性检验的关键是对灾害风险动态变化本质以及统计口径标准的认识和理解,找到动态变化的原因,选取一致条件下的历史记录作为风险评估的有效资料。

实践中,自然灾害风险系统的复杂性和不确定性以及统计口径记载的不详实性,使得对灾害风险系统以及统计口径标准动态变化的认识不充分,而依据历史资料构成序列数据的变点检验反推动态变化继而得到有效历史资料,这是本文引入变点检验方法的出发点。

3.2.2 动态风险评估理论

有效历史资料是与当前灾害风险系统相似以及统计口径一致的历史记录。基于有效历史资料的灾害风险评估结果本质上是与当前综合环境或内在属性相似条件下的风险^[44],进而需依据动态风险分析的基本原理——“研究综合环境和内在属性变化对风险源和风险承受体的影响”开展动态风险评估。

此外,考虑历史资料有效性的自然灾害概率风险评估面临的小样本问题将更加突出。由于自然灾害事件的低发生率,自然灾害风险评估通常面临小样本问题,再考虑有效性检验,可用的历史资料将更加有限,小样本问题会更加突出,而可充分利用不完备信息的信息扩散技术将继续发挥作用^[79]。

最后,历史资料有效性检验是自然灾害风险评估最主要的实践应用——保险业、风险区划图制作的基础。其中,保险业是概率风险评估应用最广泛的领域,其利用历史记录厘定恰当的费率;风险区划图的制作中也往往采用风险源的历史强度记录作为其中一个指标或用于风险源发生规律的评估。

本文主要从理论层面探讨了概率风险评估历史资料的有效性检验问题,后续将开展有效历史资料选取的案例验证及在此基础上的动态风险评估实践。

参考文献:

- [1] 谢贤平,李怀宇. 灾害风险研究及其应用[J]. 安全, 1994(5): 1-7.
- [2] 黄崇福. 自然灾害风险分析的基本原理[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 21-30.

- [3] 黄崇福. 自然灾害风险分析与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [4] 联合国减灾署(UNISDR). 加强国家和社区的抗灾能力: 2005 – 2015年兵库行动纲领[EB/OL]. (2005 – 01 – 22) [2015 – 10 – 22]. <http://www.un.org/zh/humanitarian/disaster/hfa.shtml>.
- [5] 联合国减灾署(UNISDR). 2015 – 2030年仙台减少灾害风险框架[EB/OL]. (2015 – 03 – 18) [2016 – 02 – 03]. <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>.
- [6] 武宾霞, 宋昕沂, 叶涛, 等. 论政府综合灾害风险防范的优化[J]. 保险职业学院学报, 2013, 27(5): 34 – 36.
- [7] SAGE A P, WHITE E B. Methodologies for risk and hazard assessment: A survey and status report[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 2007, 10(8): 425 – 446.
- [8] CHAU K T, WONG R H C, LIU J, et al. Rockfall hazard analysis for Hong Kong based on rockfall inventory[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2003, 36(5): 383 – 408.
- [9] LUNA B Q, BLAHUT J, CAMERA C, et al. Physically based dynamic run-out modelling for quantitative debris flow risk assessment: a case study in Tresenda, northern Italy[J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72(3): 645 – 661.
- [10] MOURI G, MINOSHIMA D, GOLOSOV V, et al. Probability assessment of flood and sediment disasters in Japan using the Total Runoff-Integrating Pathways model[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2013, 3: 31 – 43.
- [11] KIM H, PARK J, YOO J, et al. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: a case study for administrative districts in South Korea[J]. Journal of Hydro-Environment Research, 2015, 9(1): 28 – 35.
- [12] 庾国柱, 赵乐, 朱俊生, 等. 政策性农业保险巨灾风险管理研究——以北京市为例[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2010.
- [13] ZHANG S. Assessment of typhoon induced wind risk under climate change in Japan[D]. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2013.
- [14] HOCHRAINER S, MECHLER R. Natural disaster risk in Asian megacities A case for risk pooling? [J]. Cities, 2011, 28(1): 53 – 61.
- [15] LU Y, REN F M, ZHU W J. Risk zoning of typhoon disasters in Zhejiang Province, China[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2018, 18(11): 2921 – 2932.
- [16] DEWAN A. Floods in a Megacity Geospatial Techniques in Assessing Hazards, Risk and Vulnerability[M]. Springer Geography, 2013.
- [17] JONGMAN B, WINSEMIUS H C, AERTS J C, et al. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(18): 2271 – 2280.
- [18] MITCHELL J K. Megacities and natural disasters: a comparative analysis[J]. GeoJournal, 1999, 49(2): 137 – 142.
- [19] DIFFENBAUGH N S, SWAIN D L, TOUMA D. Anthropogenic warming has increased drought risk in California[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(13): 3931 – 3936.
- [20] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012.
- [21] BONABEAU E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 2002, 99(Supplement 3): 7280 – 7287.
- [22] 彭贵芬. 气象灾害静态风险管理初探[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 134 – 139.
- [23] 彭贵芬, 刘盈曦. 基于动态风险分析的云南特大干旱灾害事件的应急响应[C]//第十四届中国科协年会第14分会场: 极端天气事件与公共气象服务发展论坛, 河北石家庄. 北京: 气象出版社, 2013.
- [24] 范远芳, 张小趁, 褚宏亮, 等. 区域地质灾害风险静态评估对比研究[J]. 工程地质学报, 2012, 20(S1): 510 – 515.
- [25] 彭贵芬, 刘盈曦. 2009 – 2010年云南特大干旱动态风险分析[J]. 气象科技进展, 2012, 2(4): 50 – 52.
- [26] GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery). Understanding risk in an evolving world, Emerging Best Practices in Natural Disaster Risk Assessment [R]. The World Bank, Washington DC, USA: The World Bank, 2014.
- [27] GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery). The making of a riskier future: How our decisions are shaping future disaster risk[R]. Washington DC: The World Bank, 2016.
- [28] IPCC, Summary for policymakers. In: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation [R]. Cambridge, 2012.
- [29] 联合国减灾署(UNISDR). 实现可持续发展: 管理灾害风险的未来[R]. 瑞士: 日内瓦, 2015.
- [30] UNISDR. Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management[R]. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland, 2015.
- [31] IPCC. 决策者摘要. 政府间气候变化专门委员会第五次评估报告第一工作组报告——气候变化2013: 自然科学基础[R]. 英国剑桥: 剑桥大学出版社, 2013.
- [32] 王灵芝. 吉林西部旱涝灾害与土地利用变化关系研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2014.
- [33] UNISDR. Revealing Risk, Redefining Development[R]. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland, 2011.
- [34] 联合国减灾署(UNISDR). 制订2015年后减轻灾害风险框架[EB/OL]. (2012 – 02 – 16) [2016 – 02 – 03]. http://www.preventionweb.net/files/25129_posthazfzh.pdf.
- [35] 赖芬芬. 西北太平洋热带气旋强度的年际变化特征及其机理分析[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [36] 张红英, 沈元德, 武向娟, 等. 三种雨量观测仪观测降水的差异对比分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2017, 34(1): 73 – 75.
- [37] ASHLEY W S. Spatial and temporal analysis of tornado fatalities in the United States: 1880 – 2005[J]. Weather and Forecasting, 2007, 22(6): 1214 – 1228.
- [38] 张宝军. 我国自然灾害情况统计制度与标准化进展[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 150 – 155.
- [39] 陶全刚. 基于VGI和遥感的地震灾情提取及迁建选址研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2018.
- [40] NOTT J. The importance of prehistoric data and variability of hazard regimes in natural hazard risk assessment - Examples from Australia[J]. Natural Hazards, 2003, 30(1): 43 – 58.
- [41] STEWART M G, LI Y. Impact and adaptation assessment of cyclone damage risks due to climate change[R]. Centre for Infrastructure Performance and Reliability Research Report, University of Newcastle, Australia, 2009.
- [42] 庞西磊. 自然灾害动态风险分析基本模式的探讨及其应用研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2012.
- [43] 庞西磊, 黄崇福, 张英菊. 自然灾害动态风险评估的一种基本模式[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 1 – 6.
- [44] 黄崇福. 自然灾害动态风险分析基本原理的探讨[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 1 – 7.
- [45] 黄崇福. 自然灾害动态风险分析的一个形式化模型[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 1 – 9.
- [46] 黄崇福. 自然灾害动态风险分析的一个虚拟案例[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 1 – 11.
- [47] 美国地质勘探局(United States Geological Survey, 简称USGS). Seismic Hazard Maps and Site-Specific Data[EB/OL]. [2019 – 02 – 28]. <https://earthquake.usgs.gov/hazards/hazmaps/>.
- [48] 罗华春, 任志林, 刘影. 中国地震区划图发展历程简介[J]. 城市与减灾, 2016(3): 12 – 17.
- [49] 高孟潭, 陈国星, 谢富仁, 等. 《四川、甘肃、陕西部分地区地震动参数区划图》编制[J]. 国际地震动态, 2008(6): 9 – 12.
- [50] NICULITA O, SKAF Z, JENNIONS I K. The application of Bayesian change point detection in UAV fuel systems[J]. Proceedings of the 3rd International Conference in through-Life Engineering Services, 2014, 22: 115 – 121.
- [51] SHIRVANI A. Change point analysis of mean annual air temperature in Iran[J]. Atmospheric Research, 2015, 160: 91 – 98.
- [52] YOON G. Locating change-points in Hodrick-Prescott trends with an application to US real GDP: A generalized unobserved components

- model approach[J]. *Economic Modelling*, 2015, 45: 136–141.
- [53] ZHU X Q, XIE Y J, LI J P, et al. Change point detection for sub-prime crisis in American banking: From the perspective of risk dependence[J]. *International Review of Economics & Finance*, 2015, 38: 18–28.
- [54] ALBERTETTI F, GROSSRIEDER L, RIBAU X O, et al. Change points detection in crime-related time series: An on-line fuzzy approach based on a shape space representation[J]. *Applied Soft Computing*, 2016, 40: 441–454.
- [55] IAKHIAEV M A, IAKHIAEV A V. Mapping the intramolecular signal propagation pathways in protein using Bayesian change point analysis of atomic motions[J]. *Computational Biology and Chemistry*, 2013, 47: 89–95.
- [56] FAN Z, DROR R O, MILDORF T J, et al. Identifying localized changes in large systems: Change-point detection for biomolecular simulations[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(24): 7454–7459.
- [57] RAHMAN A F, DRAGONI D, DIDAN K, et al. Detecting large scale conversion of mangroves to aquaculture with change point and mixed-pixel analyses of high-fidelity MODIS data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 130: 96–107.
- [58] HENNEKEN R, DOSE V, SCHLEIP C, et al. Detecting plant seasonality from webcams using Bayesian multiple change point analysis[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 168: 177–185.
- [59] 周兵. 统计模型中突变检测的加权残差方法[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- [60] PAGE E S. Continuous inspection schemes[J]. *Biometrika*, 1954, 41(1/2): 100–115.
- [61] 温华洋. Γ 分布参数变点的非参数统计推断及其在气候资料均一性检验上的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [62] 王黎明. 变点统计分析的研究进展[J]. *统计研究*, 2003(1): 50–51.
- [63] 谭常春. 变点问题的统计推断及其在金融中的应用[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
- [64] 纪兆华, 郑爱军, 吴云艳, 等. 变点理论统计分析方法应用实例[J]. *科技创新导报*, 2013(8): 246–248.
- [65] 李强, 王黎明. 基于 LASSO 方法的结构突变理论综述[J]. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 39(2): 189–193.
- [66] 方媛. 气温时间序列的均值变点检验的探究[D]. 广州: 暨南大学, 2015.
- [67] 王超霞. 基于非参数方法的多变点识别方法与应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [68] 陈希孺. 变点统计分析简介(Ⅲ)极大似然法、累计次数法、Bayes 法[J]. *数理统计与管理*, 1991(3): 52–59.
- [69] 樊辉, 刘艳霞, 黄海军. 1950–2007 年黄河入海水沙通量变化趋势及突变特征[J]. *泥沙研究*, 2009(5): 9–16.
- [70] 熊立华, 周芬, 肖义, 等. 水文时间序列变点分析的贝叶斯方法[J]. *水电能源科学*, 2003, 21(4): 39–41, 61.
- [71] HE W P, WAN S Q, JIANG Y D, et al. Detecting abrupt change on the basis of skewness: Numerical tests and applications[J]. *International Journal of Climatology*, 2013, 33(12): 2713–2727.
- [72] 成海英, 何文平, 何涛, 等. 基于概率密度分布型变化的突变检测新途径[J]. *物理学报*, 2012, 61(3): 540–546.
- [73] MINETTI J L. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15 degrees S[J]. *Atmosfera*, 1998, 11(4): 205–221.
- [74] FU C B, DIAZ H F, DONG D F, et al. Changes in atmospheric circulation over Northern Hemisphere oceans associated with the rapid warming of the 1920s[J]. *International Journal of Climatology*, 1999, 19(6): 581–606.
- [75] VARGAS W M, MINETTI J L, POBLETE A G. Statistical study of climatic jump in the regional zonal circulation over South-America[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1995, 73(5): 849–856.
- [76] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于遗传算法的水文时间序列变点分析方法[J]. *地理科学*, 2005, 25(6): 6720–6723.
- [77] 张敬平, 黄强, 赵雪花. 漳泽水库径流时间序列变化特征与突变分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(1): 131–135.
- [78] 薛联青, 刘远洪, 张梦泽, 等. 基于样本熵的降雨和径流时间序列突变检验[J]. *地球科学与环境学报*, 2015, 37(3): 75–80.
- [79] 黄崇福, 郭君, 艾福利, 等. 洪涝灾害风险分析的基本范式及其应用[J]. *自然灾害学报*, 2013, 22(4): 11–23.

Validity Analysis of Historical Data for Probabilistic Risk Analysis in Natural Disaster

GUO Jun^{1,2,3} and KONG Feng^{1,2,3}

(1. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Center for Crisis Management Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Center for Social Risk Assessment in China, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: With the changes in the nature and the society, natural disaster risks will inevitably change. Some historical data at earlier period time would be invalid for probabilistic risk analysis. However, few studies have illustrated the selection of the historical data for probabilistic risk analysis in natural disaster nowadays. Therefore, this paper points out that historical data might be invalid due to the dynamics of natural disaster risk system and the change of statistical caliber for historical data. What's more, this paper tries to introduce abrupt change test methods into the validity analysis of historical data for probabilistic risk analysis in natural disaster. There are many kinds of abrupt change test methods and each method has its advantages and limitations. Proper method should be chosen for different change point problems in validity analysis of historical data. This study aims to improve the reliability of probabilistic risk analysis for natural disaster in data collection.

Key words: natural disaster; probabilistic risk; dynamic risk; historical data; validity analysis; abrupt change test