

Research of Earthquake Hazard Assessment in Zhejiang Province

Linfeng Hou^{1,2}, Min Li^{1,2}, Dawei Li², Shuzhong Shi^{1,2}

¹Zhejiang Earthquake Disaster Prevention Center, Hangzhou Zhejiang

²Zhejiang Earthquake Agency, Hangzhou Zhejiang

Email: 15381120920@163.com, houlinfeng1988@163.com

Received: Dec. 28th, 2017; accepted: Jan. 5th, 2018; published: Jan. 12th, 2018

Abstract

The risk management research has become a hot subject in the domain of disaster prevention and mitigation as the works changed from “passively relieve disaster” to “active prevention” in recent years. In this paper, the research progress of the earthquake hazard assessment is summarized, and the method of earthquake hazard assessment based on risk, vulnerability and exposure is proposed. Then, the standardized framework scheme and index evaluation system for earthquake hazard assessment in Zhejiang province are designed and the preliminary result is given.

Keywords

Earthquake Disaster, Risk Assessment, Hazard, Vulnerability, Exposure

浙江省地震灾害风险评估研究

侯林锋^{1,2}, 李敏^{1,2}, 李大卫², 石树中^{1,2}

¹浙江省地震灾害防御中心, 浙江 杭州

²浙江省地震局, 浙江 杭州

Email: 15381120920@163.com, houlinfeng1988@163.com

收稿日期: 2017年12月28日; 录用日期: 2018年1月5日; 发布日期: 2018年1月12日

摘要

风险管理研究已成为防灾减灾工作从“被动救灾”到“主动预防”转化的热门课题。本文在总结国内外地震灾害风险评估研究进展的基础上, 提出基于危险性、脆弱性、暴露量三原则的地震灾害风险评估方法, 建立浙江省地震灾害风险评估的标准化框架方案和指标评价体系, 并展示了初步研究成果。

关键词

地震灾害, 风险评估, 危险性, 脆弱性, 暴露量

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

二十世纪以来, 全世界因地震灾害造成的死亡人数约占全部自然灾害死亡总人数的 60% 以上。地震灾害具有“造成的损失大、修复难度大、恢复周期长”的特点。随着城市一体化进程加快, 社会功能和产业链的网络整体性不断加强, 一旦地震, 其造成的社会秩序的混乱和产业链条断裂的连锁反应将超出想象。

为有效减轻地震灾害风险, 世界各国都积极推动地震灾害风险评估工作的开展。早在 1977 年 10 月, 美国就通过立法要求在地震易发区开展风险评价[1]。英国于 2002 年 11 月开始一个为期两年的项目的风险研究, 目的是要尽早找出潜在的危险, 并按照一个合理的成本来处理这些危险, 因此有关部门进行了规划和风险管理框架的设计[2]。俄罗斯在开展风险评估过程中, 特别强调对该地区的脆弱性评估, 使用危机事件、准备、暴露水平以及响应和防范措施五个因素描述脆弱性[3]。日本首都东京按照国家防灾基本规划框架和救灾法, 以及东京灾害的特点和结构特点, 制定了区域防灾规划, 进行地震灾害风险评估, 特别关注社区居民的参与[4]。

我国地震灾害风险评估研究工作也在积极推进, 聂高众等[5]用风险指数评估了中国未来 10~15 年的地震灾害风险, 得出中国东部未来风险损失较小, 中部和西部较大的结论, 给出了适宜投资城市。王志涛等[6]以厦门市为例进行了风险模型和区划网格划分原则的确定和验证。刘毅等[7]提出了新的自然灾害风险评估与风险等级划分方法, 并以山西省地震灾害风险为例进行了定量化评估研究。近年, 陶正如[8]、陈洪富[9]、金书淼[10]等分别在其博士论文中就风险分析的部分模型(集成系统、城市供水和巨灾债券)进行了相关风险研究。

2. 浙江省地震灾害概况

2.1. 浙江省地震发生情况

浙江省虽然远离中国大陆主地震活跃带, 但地震灾害造成损失较大, 历史上发生过 5 级以上破坏性地震。近年来又相继发生多次 4 级以上地震, 均造成一定经济损失, 具有小震致灾特点。1994 年宁波皎口水库发生 4.7 级地震[11], 2006 年温州珊溪水库发生 4.6 级地震[12], 都造成一定经济损失和局部地区社会不安定。浙江省容易受到周边中强以上地震波及和远场强震的灾情链式剧增效应影响。

2.2. 浙江省地震构造概况

浙江省地区位于长江下游 - 南黄海地震带南部、长江中游地震带的北部, 结合新构造和断裂活动情况分析, 属于地壳相对稳定, 断裂差异活动不强的弱活动区。浙江省地震构造大致以湖州 - 余杭 - 镇海一线为界分为两个区, 以北地区构造活动较强, 有中强地震发生; 以南地区构造活动较弱, 主要表现为中小地震活动。

3. 浙江省地震灾害风险评估研究进展

3.1. 技术思路

浙江省开展地震风险评估是以省、市、县防震减灾工作需求为出发点，建立量化地震风险评价指标体系，提出不同风险等级地震风险管理对策和措施，为防震减灾政策制定、抗震设防管理，应急准备和备灾方案制定、灾后救助和恢复重建的实施提供依据。

地震灾害风险的表达式可以表示为[13] [14] [15]:

$$\text{风险} = \text{致灾因子危险性} \times \text{承灾体脆弱性} \times \text{暴露量}$$

其中风险是地震灾害风险；致灾因子危险性主要指自然危害，包括地震本身，由地震引发的地震地质灾害和次生灾害；承灾体脆弱性是承灾体对破坏或者损害敏感性或被灾害事件破坏的可能性，包括承灾体易损性和防灾能力；暴露量是研究区域内房屋建筑、生命线工程、居民人口、社会经济总量等方面的数量分布状况，这些数据可以从统计数据库、空间数据库、地图集、行业研究、现场的实际调查以及新的技术方法等获取。

根据自然灾害风险理论和地震灾害风险的形成机制，建立地震灾害风险评估技术流程(图 1)。

地震灾害风险由致灾因子危险性、脆弱性和暴露量三个主要因子构成，每个因子又由若干评价指标组成。主要包括地震危险性、地震地质灾害、地震次生灾害、房屋建筑、生命线工程、防震减灾能力、人口和经济 7 个因子。致灾因子危险性环节主要包括地震危险性分析、地震地质灾害分析和地震次生灾害分析，地震危险性分析主要是为上部承灾体的脆弱性分析提供输入地震动参数，地震地质灾害是由于地震活动引起的地质灾害，是引起上部承灾体破坏的次要影响要素；地震次生灾害是指在地震作用下，发生各类次生灾害所造成建筑物的破坏和人员伤亡。地震灾害风险评估的脆弱性分析主要是指对“房屋建筑、生命线工程、防震减灾能力、人口和经济”这四个一级因子进行风险评估，输出风险等级、单一风险图和针对不同因子风险等级的对策建议等。然后对各二级因子进行综合的风险评价进而得到综合风险图，最终给出综合对策建议。

3.2. 框架方案

随着自然灾害风险评估结果向量化、区域综合化、管理空间化的方向发展，许多研究的做法是将

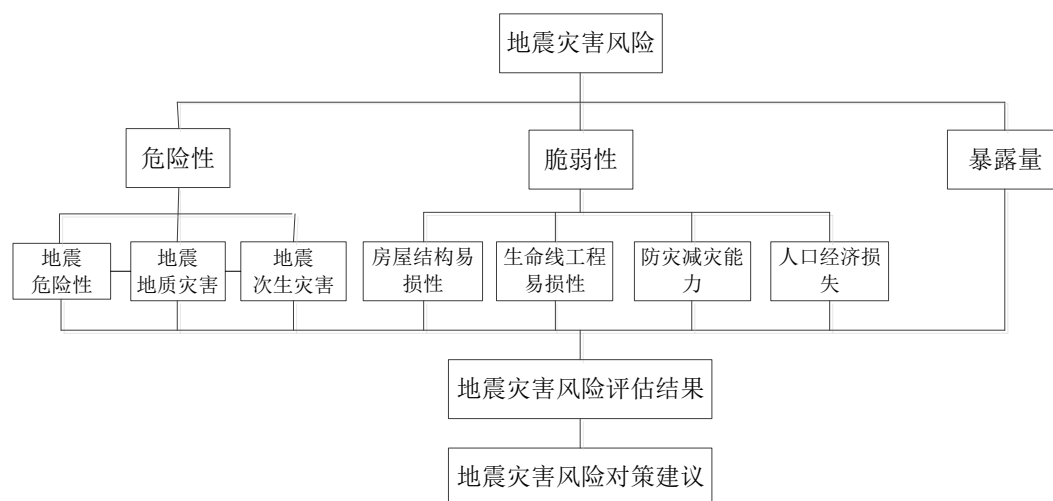


Figure 1. Technical flow chart of earthquake hazard assessment

图 1. 地震灾害风险评估技术流程图

自然灾害的危险性与脆弱性分等定级[16]。按照风险事件发生的频率设定其可能性等级，并按照损失的强度设定风险事件的强度等级，最终根据风险评估矩阵来表示自然灾害的风险等级。

对地震灾害事件潜在的风险进行评估，首先对致灾因子的危险性进行评价，根据地震危险性分析结果，对致灾因子的危险性进行分级和量化。其次，对地震灾害造成的人员伤亡和经济损失的严重程度(后果)进行分级和量化，最后按照公式 $R(\text{自然灾害风险}) = P(\text{自然灾害风险事件发生的可能性}) \times C(\text{自然灾害风险事件产生的后果})$ 计算风险等级值，最后根据风险等级计算值确定灾害风险等级[17]。

具体分析时采用地理空间信息技术方法[18]，首先考虑地震动影响场和地震地质灾害两致灾因子的危险性，形成地震动影响场和地震地质灾害地震灾害单一危险性分布图，其次通过承灾体脆弱性和暴露量分析，形成房屋建筑、生命线工程、次生灾害、人口与经济和防震减灾能力五个因子的单一因子地震灾害风险图，最终通过综合风险评估方法(概率统计、GIS等)，按照地震危险性、脆弱性和暴露量相互叠加的原理形成统一的某地区综合地震灾害风险图及综合风险评估结果。

浙江省地震风险评估的工作思路是首先进行致灾因子识别，其次进行各因子破坏等级划分，综合给出风险等级划分，给出致灾因子和承灾体的地震灾害风险图和风险成果，最后根据不同因子的地震灾害风险评估结果提出降低风险的对策和建议，为地震应急、国土规划利用、震灾预防等提供依据，具体的框架方案见图2。

4. 初步研究

基于浙江省地震灾害风险评估框架方案的地震灾害风险评估研究需要收集研究区人口经济、房屋建筑、生命线工程，次生灾害危险源等一系列数据，难度较大，需要分阶段完成。浙江省地震局研究团队在前期工作中以德尔菲法(Delphi)和层次分析法(AHP)初步建立了浙江省地震灾害风险评估的粗略指标体

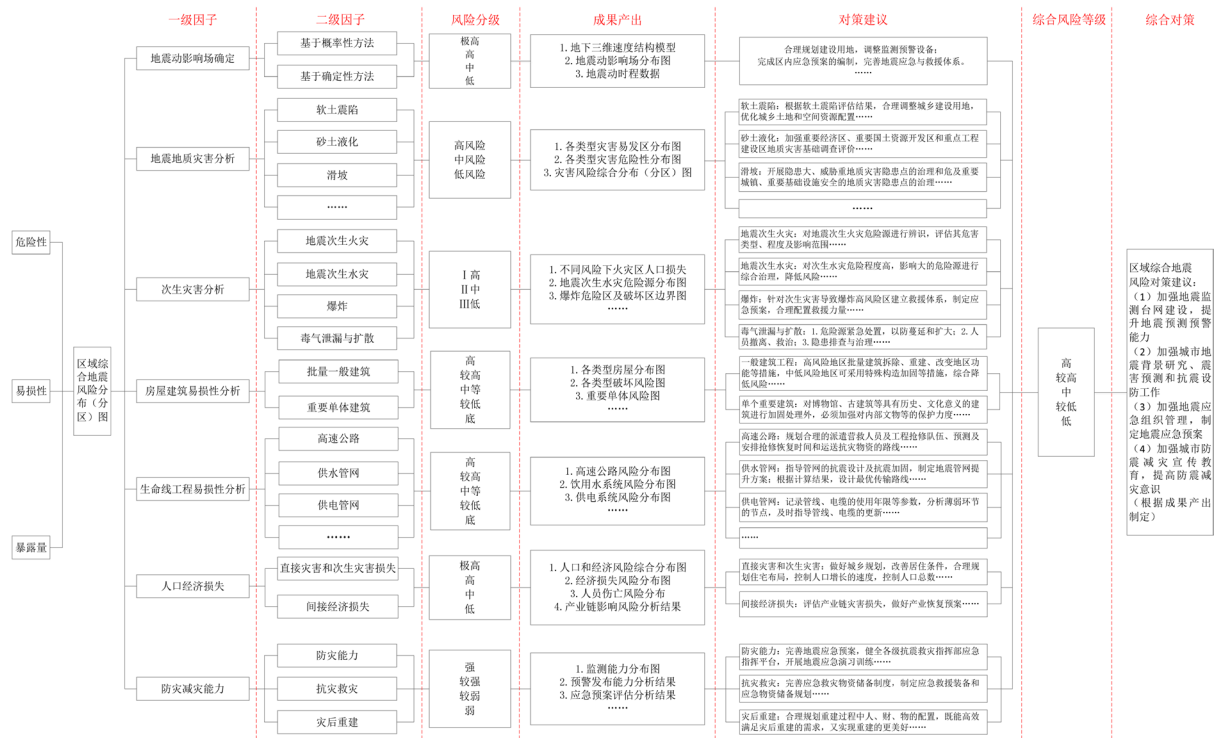


Figure 2. Earthquake hazard assessment framework of Zhejiang province
图 2. 浙江省地震灾害风险评估框架方案

系, 主要包括致灾因子危险性、历史灾情、暴露 - 易损性和抗灾恢复力, 并对各风险要素制定指标因子进行评价, 采取问卷调查形式和专家咨询意见形成各个指标体系的权重分布(表 1)。

在初步建立了基于指标体系的地震灾害风险评估体系后, 搜集了大量的资料并进行整理分析, 对浙江地震灾害风险进行了初步评估(表 2, 图 3)。综合评估结果显示:

- 1) 浙江省各市地震灾害风险差异较大, 从地域上看, 浙南的丽水、温州地区灾害风险最大, 浙江东

Table 1. A rough indicator system of earthquake hazard assessment in Zhejiang province

表 1. 浙江省地震灾害风险评估粗略指标体系

目标层	权重	准则层	权重	指标因子	权重		
地震灾害风险	1.000	致灾因子危险性	0.5638	地震危险性	0.4229		
				次生地质灾害敏感性	0.1410		
		历史灾情	0.0550			因灾伤亡	0.0111
						灾害影响范围	0.0286
						灾害社会影响	0.0111
						经济损失	0.0043
		暴露 - 易损性	0.1178			经济密度	0.0176
						建成区面积占比	0.0074
						人口密度	0.0335
						60 岁以上人口比重	0.0074
						特殊工程	0.0519
						抗灾恢复力	0.2634
		抗灾恢复力	0.2634			万人病床数	0.0439
						人均 GDP	0.0439
疏散能力	0.0439						
应急管理能力	0.1317						

Table 2. Preliminary results of earthquake hazard assessment in Zhejiang province

表 2. 浙江省地震灾害风险评估初步结果

	致灾因子指数	历史灾情指数	暴露易损性指数	抗灾恢复力指数	地震灾害风险指数
嘉兴	0.2089	0.0320	0.0737	0.0923	0.1526
湖州	0.1986	0.0365	0.0654	0.1418	0.1591
杭州	0.4030	0.0349	0.0808	0.1108	0.2679
绍兴	0.3601	0.0213	0.0927	0.1188	0.2464
衢州	0.2278	0.0281	0.0733	0.1578	0.1802
金华	0.2449	0.0245	0.0510	0.2172	0.2027
丽水	0.4547	0.0186	0.0338	0.1540	0.3020
宁波	0.4553	0.0500	0.1038	0.1128	0.3014
舟山	0.4511	0.0408	0.0547	0.1017	0.2899
台州	0.3764	0.0245	0.0914	0.1643	0.2676
温州	0.5234	0.0259	0.0521	0.1619	0.3454

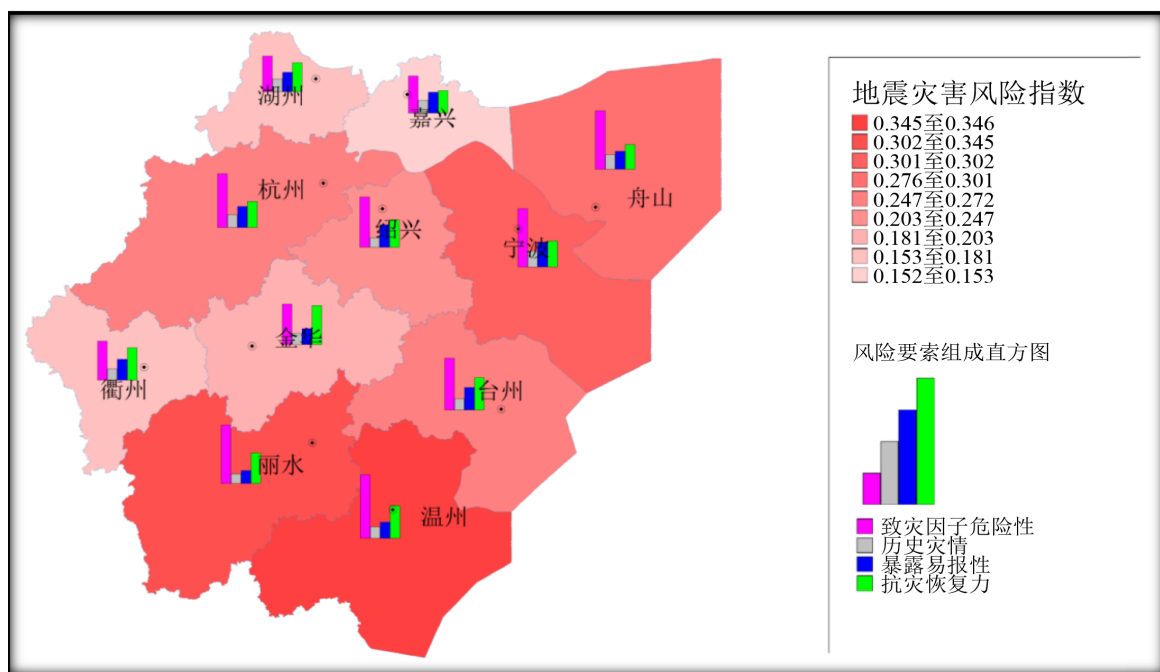


Figure 3. The spatial distribution of earthquake hazards in various cities of Zhejiang province

图 3. 浙江省各市地震灾害风险空间分布图

北部的宁波、舟山地区其次，浙中衢州、金华、台州、绍兴地区相对不大，浙北的湖州、嘉兴地区较小。

2) 从风险要素组成上看，受指标权重影响，致灾因子危险性对最终灾害风险的影响最大，抗灾恢复力对灾害风险的影响其次。从致灾因子危险性角度看，丽水、宁波、舟山三个地区的致灾因子危险性相当，但是由于抗灾恢复力指数及暴露易损性指数上的差距，致使丽水地区的灾害风险较宁波、舟山高，根据抗灾恢复力的指标因子数值上分析，其原因可能是由于经济、应急管理指数的相对较小所造成的。

3) 地震灾害风险指数是一个高度综合的风险指数，以衢州、金华为例，我们从致灾因子危险性的两个指标因子来看，衢州的地震危险性比金华略低，但是其次生地质灾害敏感性远高于金华，考虑权重计算后，其致灾因子危险性差异却并不大，而在风险要素层面，虽然衢州的暴露一易损性指数要高于金华，但是其抗灾恢复力指数要低于金华，考虑权重计算后，最终的风险指数比金华略低。

5. 结论与展望

地震灾害风险评估是践行防灾减灾“从灾后救助向灾前预防转变，从减少灾害损失向减轻灾害风险转变”的重要方法，国内对地震灾害风险评估的研究还处于探索阶段，尚未形成标准化的工作流程和指标评价体系。本文风险评估基于危险性、脆弱性和暴露量三原则，建立风险评估指标体系和标准化对策措施，为浙江省地震灾害风险评估研究提供参考。

本文给出了以德尔菲法和层次分析法构建的浙江省地震灾害风险评估粗略指标体系，并给出了浙江省各地市的地震灾害风险评估初步结果。按照浙江省地震灾害风险评估框架方案的设计，基于危险性、脆弱性和暴露量三原则的风险评估需要大量的基础数据支撑，下一步的工作将在重点城市地区开展基于方案设计的地震风险评估研究。

基金项目

城市地震风险评估技术应用调研(1216222)。

参考文献 (References)

- [1] Hays, W.W. (1998) Reduction of Earthquake Risk in the United States: Bridging the Gap between Research and Practice. *IEEE Transactions on Engineering Management*, **45**, 176-180. <https://doi.org/10.1109/17.669765>
- [2] 周玲, 马奔. 政府公共事务风险管理国际经验对中国的借鉴[J]. *山东社会科学*, 2009(2): 137-142.
- [3] Wenzel, F. (2006) Earthquake Risk Reduction-Obstacles and Opportunities. *European Review*, **14**, 221-231. <https://doi.org/10.1017/S1062798706000214>
- [4] Koravos, G., Tsapanos, T. and Bejaichund, M. (2006) Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Japan. *Pure and Applied Geophysics*, **163**, 137-151. <https://doi.org/10.1007/s00024-005-0003-0>
- [5] 聂高众, 高建国, 马宗晋, 等. 中国未来 10~15 年地震灾害的风险评估[J]. *自然灾害学报*, 2002(1): 68-73.
- [6] 王志涛, 苏经宇, 马东辉, 等. 城市地震灾害风险区划的研究[J]. *中国安全科学学报*, 2008(9): 5-10.
- [7] 刘毅, 吴绍洪, 徐中春, 等. 自然灾害风险评估与分级方法论探研——以山西省地震灾害风险为例[J]. *地理研究*, 2011(2): 195-208.
- [8] 陶正如. 基于工程地震风险评估的巨灾债券定价模型[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2007.
- [9] 陈洪富. HAZ-China 地震灾害损失评估系统设计及初步实现[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2012.
- [10] 金书淼. 城市供水系统地震灾害风险及恢复力研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨工业大学, 2014.
- [11] 杨作恒, 王和章. 皎口水库地震特征及震情趋势分析[J]. *山西建筑*, 2006, 32(6): 80-81.
- [12] 钟羽云, 周昕, 张帆, 等. 2006 年温州珊溪水库地震序列特征[J]. *华南地震*, 2007, 27(1): 21-30.
- [13] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 2002, 11(3): 1-9.
- [14] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(5): 1-9.
- [15] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1991(自然灾害研究专辑): 37-42.
- [16] 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.
- [17] 黄崇福. 风险分析基本方法探讨[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(5): 1-10.
- [18] 冉晓艳. 基于 ArcGIS Engine 的城市地震灾害风险管理信息系统研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org