

Earthquake Risk Analysis and Rapid Assessment of Disaster Losses in Linfen Area

Xiaofei Han^{1,2}, Zihong Li^{1,2}, Jianjie Bo^{1,2}, Xiaoyun Zhao^{1,2}, Shuangshuang Shi^{1,2}

¹Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030021, China

²State Key Observatory of Shanxi Rift System, Taiyuan 030025, China

临汾地区地震危险性分析及灾害损失快速评估

韩晓飞^{1,2} 李自红^{1,2} 薄建杰^{1,2} 赵晓云^{1,2} 史双双^{1,2}

¹山西省地震局, 太原 030021, 中国

²太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 太原 030025, 中国

Abstract

Through the probability analysis of seismic hazard analysis, the probability distribution results of different intensity in each township of Linfen area are given. Through analysis, it is concluded that the probability of occurrence of high-intensity impact in the Linfen basin is higher than that of the mountains on both sides of the basin, and the difference is significant. difference is positively correlated with the intensity. When calculating the seismic intensity, it is necessary to consider the difference in the seismic geological background, but also to consider the complexity and homogeneity of the site conditions. If necessary, correct the calculated intensity. Finally, based on the attenuation relationship applied to the local area, a hypothetical earthquake is caused to cause loss of buildings, casualties, and direct economic losses.

Keywords: Seismic danger; Seismic intensity; Attenuation relationship; Loss of disaster

摘要

通过地震危险性分析的概率性方法给出临汾地区各乡镇的不同烈度的概率分布

结果, 通过分析得出临汾盆地未来 50 年发生高烈度影响的概率比盆地两侧山区要高的多, 而且差异性随烈度影响呈正相关。地震烈度评估计算时, 既要考虑地震地质背景的差异性, 也要考虑场地条件复杂性和均一性, 如有必要要对计算的烈度进行修正。最后依据适用于本地的衰减关系计算一次假设地震造成建筑物损失、人员伤亡、以及直接经济损失。

关键词: 地震危险性; 地震烈度; 衰减关系; 灾害损失

1. 引言

临汾市地质构造复杂, 存在着发生强烈地震的构造背景。1303 年洪洞 8 级地震、1695 年临汾 7¼ 级地震就发生在临汾盆地。目前我们还不能准确地预报地震发生的时间, 也无法阻止它发生; 所以只能采取预防措施, 尽量减轻地震可能造成的损失。减轻地震灾害的措施有工程上的措施和社会方面的措施。不论哪一类措施都必须以本区的地震危险性和它对社会的危害度为依据。彭艳菊 (2012) 对渤海地区地震危险性特征及工程抗震设防的关系进行了研究, 在分析地震危险性区划结果的基础上, 引入地震危险性特征参数 K 对研究区进行地震危险分区, 证明地震环境可以造成危险性差异。马宗晋 (1993), 陈颀 (1999), 高孟

基金项目: 山西省青年基金面上项目 (编号: 201701D221019); 山西省重点研发计划项目 (编号: 201603D321124); 地震科技星火计划项目 (编号: XH18011)

作者简介: 韩晓飞 (1981-), 男, 太原市人, 工程师, 现主要从事地震地质及地球物理方面的研究。E-mail: 38094048@qq.com

谭 (2004) 对山西地震地区都作过系统性的防灾减灾研究。周中红 (2011), 白仙富 (2014), 李昌珑 (2016) 对地震影响场模型都做了专门研究, 使理论分析结果更接近实际震害结果。Zhongyu He (2015) 研究了不同国家的人民对自然灾害的响应情况。本文预测未来 50 年临汾市各乡镇地震危险性分析结果即各乡镇未来 50 年发生地震烈度为 6、7、8、9、10 度的概率分布图。并模拟一次 M6.2 级地震临汾市房屋建筑可能受到的地震破坏、人员伤亡和经济损失, 为制订防灾规划提供依据。

2. 地震危险性分析

地震危险性定义为某种大小的宏观烈度或地面运动参数 (地面运动加速度、速度和位移) 在给定地点上给定时间周期内被超越的概率。与其他自然灾害的分析类似, 地震危险性分析由两部分组成: ①确定灾害的来源, 这里给出地震的大小和空间位置; ②确定这些震源在给定位置造成的影响, 这里通常是给出由地震造成的地面运动。

通常, 地震的影响是指对一个给定的地震震源, 在一个确定场点造成的地面运动的估计。场点上地面运动被认为受以下三种因素影响: 震源、地震波的传播路径和场地条件。有两种类型的地震危险性分析方法: 确定性分析和概率性分析。

确定性分析是以确定的数值预测给出场点未来遭遇的地震危险 (地震烈度、地震动峰值加速度和速度等) 的水平, 概率性分析常以超越概率的形式预测给出在未来 T 年内场点的地震危险 (地震烈度、地震动峰值加速度和速度等)。

2.1 地震危险性分析的确定性方法

确定性分析方法包括 3 个基本要素的确定: 潜在震源、控制地震和地震危险性。

确定性分析的第一步是确定可能影响场点的潜在震源, 包括确切研究给出的断层和不甚了解的地质构造, 潜在震源可以是点源、线源、面源或体源。在分析中为方便起见, 场点与各潜在震源的距离以最短的距

离计算。第二步则是选取控制地震, 即根据各潜在震源的历史地震活动和地震地质构造特征等资料, 确定未来可能期望发生的最大地震。再由这些可能的最大地震中选取控制地震, 即选取在场点造成最大地震动的最大地震。第三步则确定。

从震源到场点间地震动参数通过传播介质途径的衰减关系。第四步即可根据第三步给出场点的地震动参数。

2.2 地震危险性分析的概率性方法

在地震危险性分析的统计性方法中, Cornell 方法是最具代表性和使用最为广泛的分析方法。对分析的场点, Cornell 方法给出在不同的平均重现周期下超越一定地震动参数 (地震烈度或峰值加速度 PGA) 的概率。

Cornell 分析方法的第一步与确定性方法的第一步相似, 即确定可能影响场点的潜在震源, 得到潜源区和场点间的距离分布 $f(r)$; 但与确定性分析方法不同的是: 假定在每一潜在震源区内, 给定震级的地震发生在任一地点的可能性相等; 地震事件的发生在时间和空间上的分布上是相互独立的, 即符合 Poisson 分布。第二步则是根据各潜在震源的历史地震活动资料, 确定每一个震源的震级与频度关系, 由此得到每一震源区的地震震级概率分布 $f(m)$ 和可能的最大地震震级。第三步也与确定性方法的第三步相似, 即确定从震源到场点地震动参数通过传播介质途径的衰减关系, 但有所不同的是: 需要考虑衰减关系中的不确定性因素, 以及多个潜源不同的最大震级的衰减。第四步则是计算所研究场点的地震危险性概率, 即根据 Poisson 分布, 可计算出时间 T 内地震动参数 I 超过某一给定值 i 的概率 $P(i)$:

$$P(I \geq i) = 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^N v_j \int_{m_0}^{\mu_j} \int_{r=0}^{\infty} f_i(m) \times f_i(r) P(I \geq i | m, r) dr dm\right)$$

式中的 v_j 是第 j 震源区发生 $m_0 \leq m \leq \mu_j$ 的地震的年平均次数, $P(I \geq i | m, r)$ 为第 j 震源区发生震级为 m 的地震时, 造成场点 (距离 r) 地震

动参数 I 超过某一给定值 i 的概率。

如果将连续的时间分化为离散的时间增量, 假设年与年之间研究场地的年最大地震动参数 z 存在统计独立性, 而各年的年超越概率保持不变, 则根据 Bernoulli 重复独立试验结果, 在 T 年内地震动参数 I 超过某一给定值 i 的概率 $P_T(z)$ 为

$$P_T(I \geq i) = 1 - (1 - P(i))^T$$

在震害预测里需要的是概率, 因此必须将超越概率换算为概率。所以确定 T 年内地震发生的概率公式为:

$$P_T[I = I_k] = P_T[I \geq I_k] - P_T[I \geq I_k + 1]$$

式中 $P_T[I = I_k]$ 和 $P_T[I \geq I_k + 1]$ 是地震烈度大于等

于 I_k 和 $(I_k + 1)$ 的概率。

本文论述的临汾市位于汾渭地震带, 属于华北地震区, 见图 1。

2.3 临汾市地震危险性分析结果

临汾市各乡镇地震危险性分析结果, 即各乡镇未来 50 年发生地震烈度为 6、7、8、9、10 度的概率分布图见图 2~6。

由图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 可以看出, 随着未来 50 年发生地震的烈度增大, 发生高概率的事件越来越集中在临汾盆地。这与临汾盆地历史上的 2 个 7 级以上

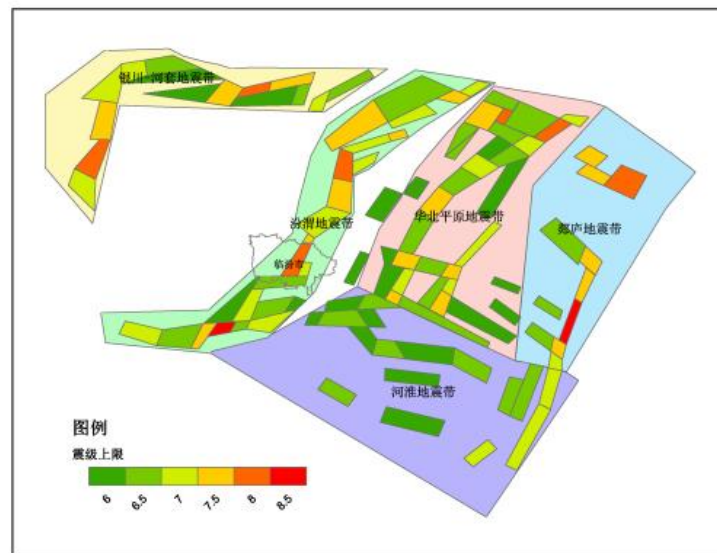


图 1 华北地震区地震带与潜在震源区分布图

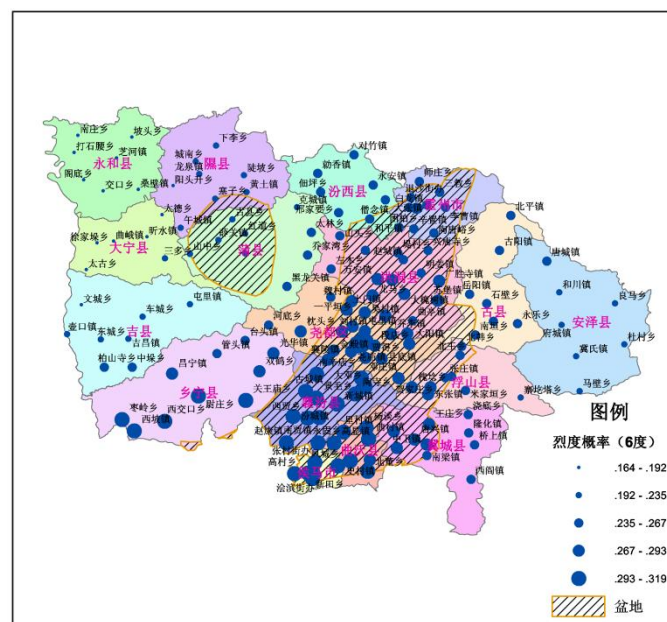


图 2 未来 50 年发生 6 度地震烈度概率分布图

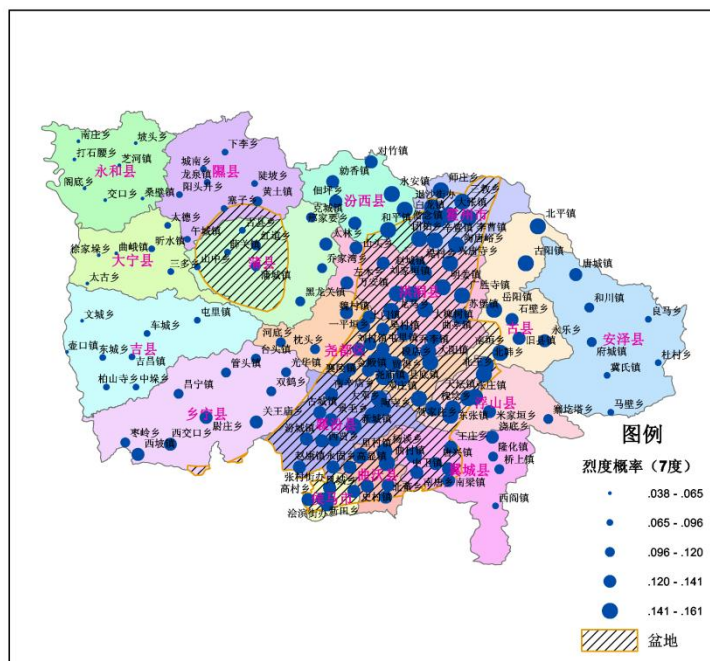


图3 未来50年发生7度地震烈度概率分布图

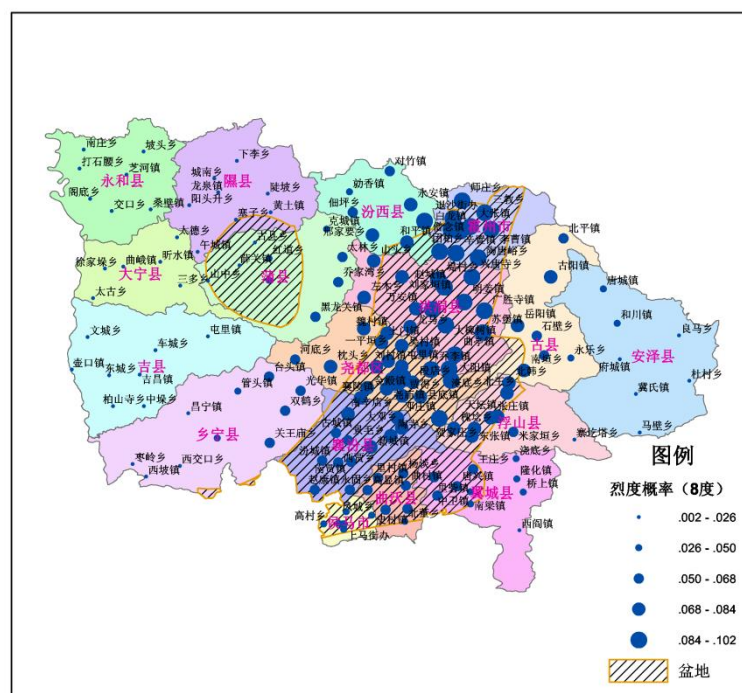


图4 未来50年发生8度地震烈度概率分布图

地震有很大的关系。

3. 地震影响场分析

在地震灾害快速评估中所使用的地震危险性输入的基本做法是,以地震台网所测定的地震震中位置、震级,通过地震烈度衰减的经验公式计算烈度的分布。

3.1 地震烈度衰减关系

地震烈度衰减关系表示方式有两种:等效圆模型和椭圆模型。在已知或未知刚发生地震破裂方向轴的两种情况下可分别使用椭圆或等效圆模型去快速确定地

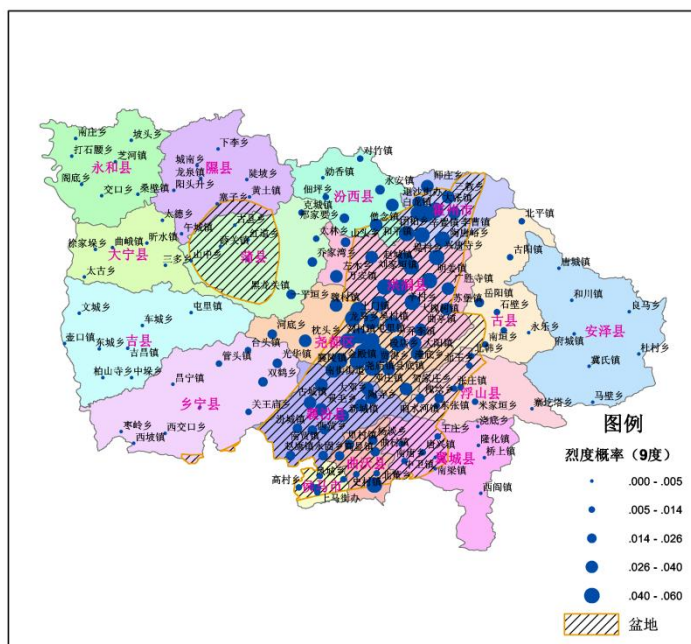


图5 未来50年发生9度地震烈度概率分布图

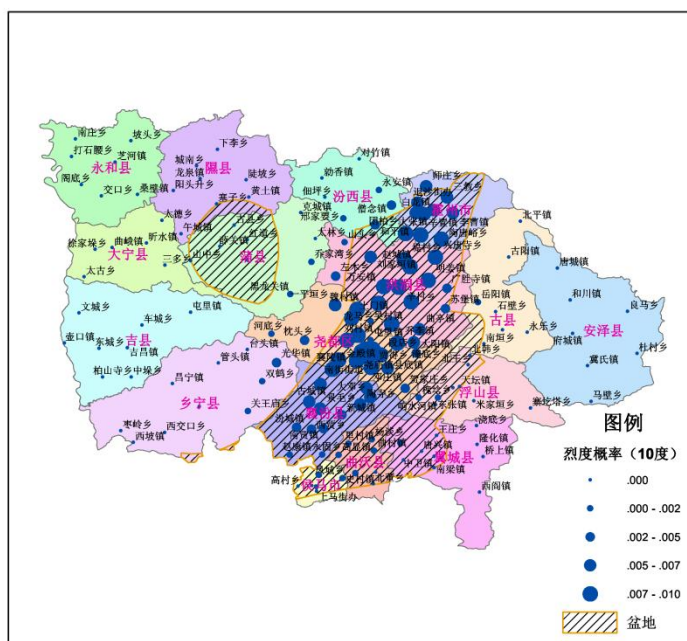


图6 未来50年发生10度地震烈度概率分布图

震烈度的分布状况。

可使用的地震烈度衰减关系有：

(1) 等效圆模型（东部地区）

$$I = 4.493 + 1.454M - 1.792 \ln(R+16), \quad 6 \\ = 0.5304$$

(2) 椭圆模型

① 东部地区

$$I_a = 5.019 + 1.446M - 4.316 \lg(R+24), \quad 6$$

$$= 0.5174$$

$$I_b = 2.240 + 1.446M - 3.070 \lg(R+9), \quad 6$$

$$= 0.5174$$

② 中国东部地区 $8-8\frac{1}{4}$ 级地震各烈度

分区半长、短轴

表 1 中国东部地区 8-8 $\frac{1}{4}$ 级地震各烈度分

	区半长、短轴				
烈度分区	X	IX	VIII	VII	VI
半长轴 (km)	37	64	109	182	296
半短轴 (km)	14	28	57	118	253

上述公式中, I_a 和 I_b 沿长轴和短轴方向衰减的地震烈度, R 是震中距 (公里), δ 为剩余误差。

考虑到地震地质背景的差异性,本项目基于临汾盆地构造特点主要采用东部地区椭圆模型地震烈度衰减关系。

对于椭圆模型,在一次破坏性地震发生之后不久,有时可以由震源机制解了解到地震的破裂方向,有时则不能,这取决于地震波初动或波形资料是否能快速获得;另外,也可以通过当地地震地质条件初步判定。

3.2 场地条件对地震烈度的影响

影响地震烈度分布的因素,除了震源特征(地震能量,应力降、破裂类型与方向等)外,还有场地条件。场地条件一般是指局部地表地质条件(地表几百米内的地基土壤和地下水埋深,局部地形及地表断裂破碎带等)。鉴于地震烈度主要是通过自然村里

房屋破坏综合评定,而大多数房屋,是建在土层上,地震烈度值自然是反应土层上地震动强烈的程度。所以,地震烈度衰减是相对土层而言。

对于地震灾害损失评估,假如要评估的震中区及邻近的场地条件较复杂和不均匀,那么就有必要对得到的烈度进行修正。表 1 是不同场地条件单元相对饱和和冲积土的烈度修正(Evernen and Thomson, 1985)。

表 2 不同场地条件相对饱和和冲积土的烈度修正

地表地质条件	烈度修正 (ΔI)
第四纪冲积层 (水位>30米)	0.0
第四纪冲积层 (水位=9~30米)	1.0
第四纪冲积层 (水位<9米)	1.5
沉积岩	0.0~1.6
火山岩、花岗岩、变质岩	1.7~2.0

4. 算例

4.1 地震影响场计算

实时地震地震影响场计算参数为：纬度 36.1、经度 111.5、震级 6.2、破裂方向 35 度, 计算得到的等震线见图 7, 裂度分区统计见表 2。

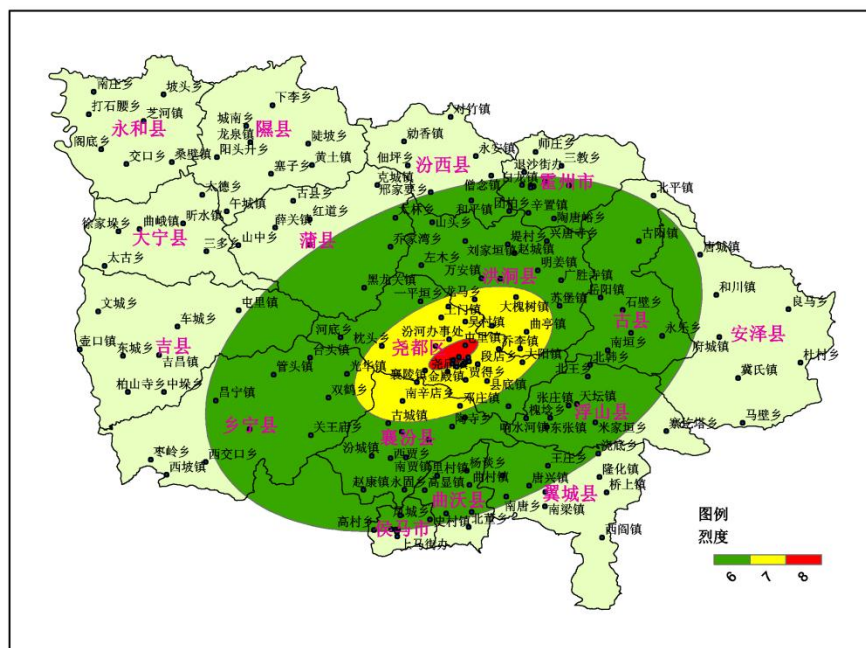


图 7 实时地震等震线图

表3 临汾市各个烈度分区的乡镇个数

烈度分区 (度)	VIII	VII	VI
乡镇 (个)	4	26	76

4.2 建筑物损失评估

利用前面计算得到的地震影响场,对临汾市建筑物的损失进行了快速评估,建筑物损失统计见表 3,建筑物毁坏面积分布图见图 8。

表 4 建筑物损失统计表

烈度 分区	破坏等级 (平方米)				
	完 好	轻微破 坏	中等破 坏	严重破 坏	毁 坏
VIII	1781914	565977	352024	188654	97493
VII	10807389	5386248	1824489	1269010	737830
VI	22714510	8390577	2408107	508985	132539
合计	35303813	14342802	4584620	1966649	967862

4.3 人员伤亡评估

利用前面计算得到的地震影响场,对临汾市人员伤亡进行了快速评估,人员伤亡统计表见表 4,人员死亡、受伤、无家可归人数分布图分别见图 9、10、11。

表 5 人员伤亡统计表

烈度 分区	死亡人数 (个)	伤亡人数 (个)	无家可归人 数(个)
VIII	5	18	15724
VII	72	288	121023
VI	0	6	100268
合计	77	312	237015

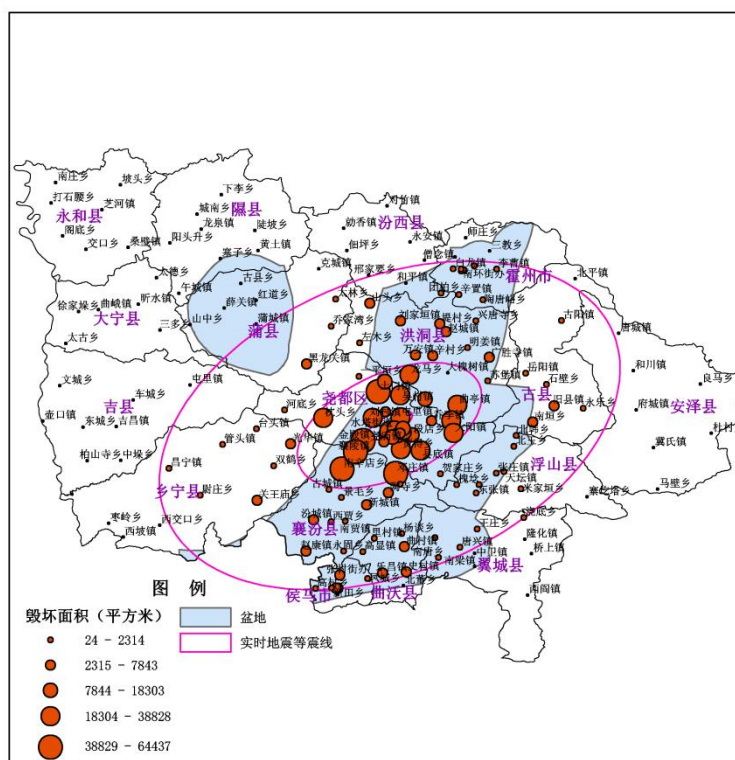


图 8 建筑物毁坏分布图

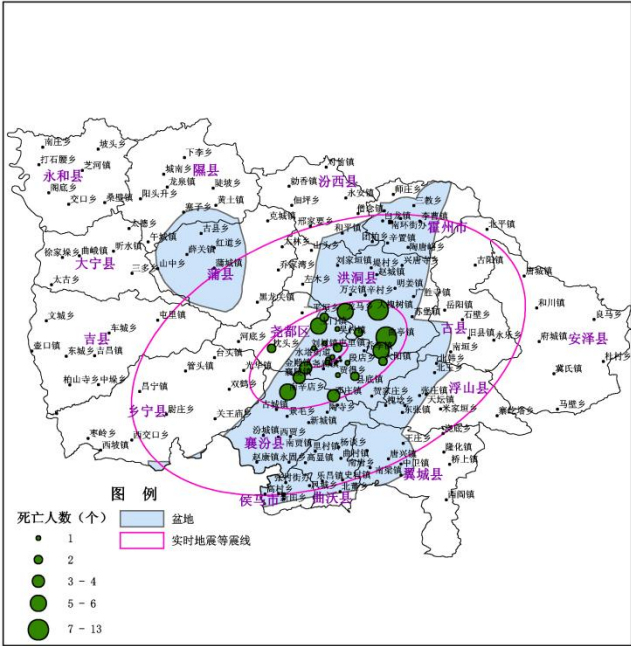


图9 死亡人数分布图

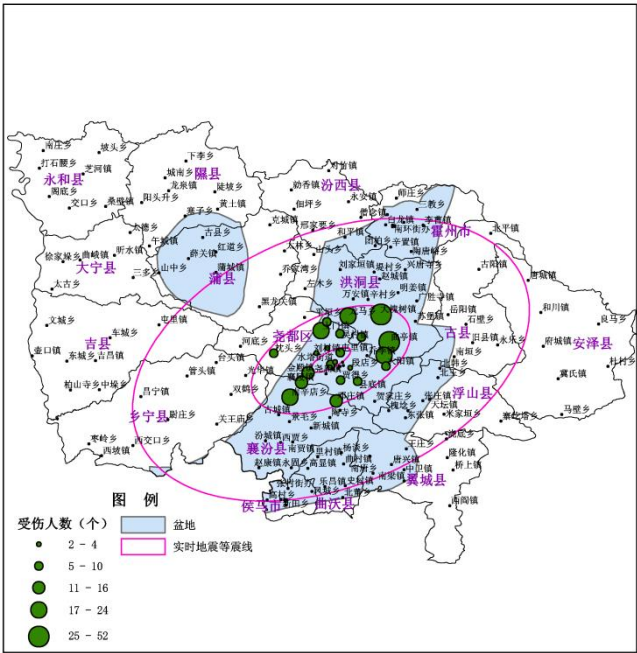


图10 伤亡人数分布图

4.4 直接经济损失评估

利用前面计算得到的地震影响场,对临汾市直接经济损失进行了快速评估,经济损失统计表见表 5,直接经济损失分布图见图 12。

表6 直接经济损失统计表

烈度分区	房屋建筑损失(万)	室内财产损失(万)	直接经济损失(万)
------	-----------	-----------	-----------

	元)	元)	元)
VIII	29211	3808	33019
VII	53201	7585	60790
VI	44985	1669	46655
合计	127397	13062	140464

5. 结论

临汾盆地位于鄂尔多斯东南缘,历史上发生过两次 7 级以上地震,依据概率分析随着未来 50 年发生地震的烈度增大,发生高

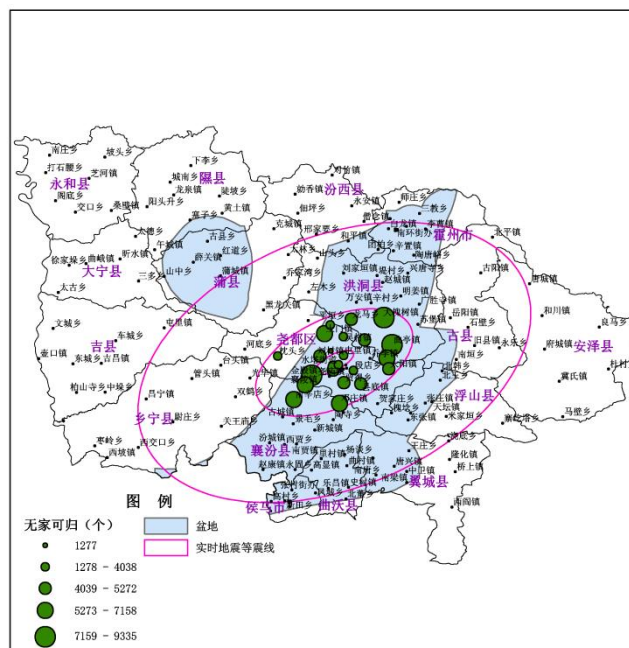


图 11 无家可归人数分布图

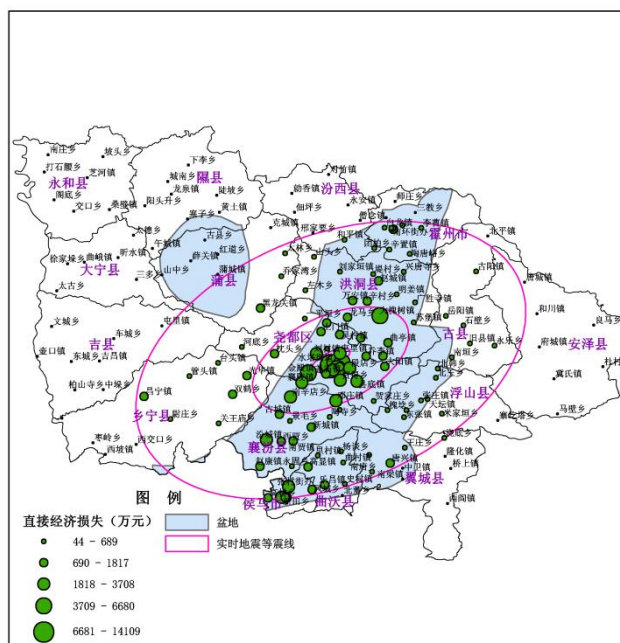


图 12 直接经济损失分布图

概率的事件越来越集中在临汾盆地。地震烈度的计算必须充分考虑场地条件的影响,复杂和不均匀的场地必须进行烈度修正。最终可利用改进的衰减关系快速进行地震烈度评估以指导救灾。

参考文献

- [1] 白仙富,戴雨芾,赵恒. 地震影响场应急评估方法研究.自然灾害学报,2014.23 (4):91-102.
- [2] 陈颙等. 地震危险性分析和震害预测.地震出版社,1999.

- [3] 高孟潭,金学申,安卫平,等. 1303 年洪洞 8 级地震 GIS 系统与震害分布特征分析. 地震学报. 2004. 26(4): 363-368.
- [4] 李昌珑,徐伟进,吴健,等. 使用新模型的巴颜喀拉块体东部的概率地震危险性分析.地球物理学进展 ,2016. 31(6): 23 70-2379
- [5] 马宗晋等. 山西临汾地震研究与系统减灾. 地震出版社.,1993.
- [6] 彭艳菊,吕悦军,徐 杰,等. 渤海地区地震危险性特征及对工程抗震设防的启示. 地球物理学进展,2012.27 (1) :18-28.
- [7] 周中红,何少林,陈文凯,等. 甘肃地区地震烈度影响场计算模型参数的改进研究与应用. 震灾防御技术, 2011, 6 (2) : 180-189.
- [8] Zhongyu He. Spatial Effect on Public Risk Perception of Natural Disaster: a Comparative Study in East Asia . Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2015, 5(3):161-168.