

河北廊坊地区的设定地震灾害评估¹

杨歧焱¹⁾ 杨家亮¹⁾ 王振明²⁾ 盛艳蕊¹⁾ 范强¹⁾

1) 河北省地震局, 石家庄 050021

2) 美国肯塔基州列克星顿市, 肯塔基州地质调查局 40506

摘要 本文对 1700 年以来的历史地震烈度资料进行了分析, 并结合地震地质资料来确定设定地震 (Scenario Earthquake), 然后利用模拟强地面运动确定了廊坊地区的强地面运动灾害。研究表明, 按照目前的地震活动趋势, 廊坊地区出现大于或等于地震烈度 8 度的周期大约是 600 年。也就是说, 在未来 50 年廊坊地区出现地震烈度 8 度的超越概率为 8%。为此, 本文建议廊坊地区应该考虑 0.3g 峰值加速度 (Ⅷ度) 作为基本地震工程设计参数。

关键词: 地震烈度 地震灾害 设定地震

引言

地震是一种严重危及人类生命财产安全的突发性自然灾害。强烈地震频繁发生, 给人类和社会都带来了巨大的损失。地震本身很少造成直接的人员伤亡, 然而由地震引起的对建筑物和工程设施的破坏往往会造成重大的损失, 因此, 只有建筑物和工程设施具备适当的抗震能力, 才能有效减轻地震造成的人员伤亡和经济损失。依据大量记载历史地震的资料, 研究地震灾害及其设防是一条有效的途径 (Xie 等, 2011)。地震灾害评估的目的是对其 3 个参数进行定量的评估: 地面运动水平或烈度、空间和时间度量、相关的不确定性 (Wang 等, 2009; 2011)。目前地震动参数的确定方法有几种, 其中最为常用的有 2 种方法: 概率地震危险性分析 (probabilistic seismic hazard analysis——PSHA)、确定性地震灾害分析 (deterministic seismic hazard analysis——DSHA)。概率性和确定性分析使用相同的地震与地质信息, 但所定义的地震灾害不同, 并且计算的方式也不同。概率地震危险性分析是根据地震与强地面运动统计关系的数学模型来计算地震灾害: 在一个场点的强地面运动水平与年超越频率或超越周期 (Cornell, 1968; McGiure, 2004)。确定性地震灾害分析是根据一个单一的或一组设定地震来确定地震灾害: 在一个场点的强地面运动水平 (Krinitsky, 1995; 2002)。虽然概率性分析方法是当前应用最普遍的, 如中国地震动参数区划图 (高孟潭等, 2008) 和美国国家地震动参数图 (Petersen 等, 2008) 都是应用概率性分析方法编制的, 但是该方法存在一些缺陷

1 基金项目 河北省科学技术研究与发展计划项目“强震动记录在唐山地区抗震设防中的应用研究”(编号 11276905D) 资助
[收稿日期] 2012-04-23

[作者简介] 杨歧焱, 男, 生于 1982 年。2009 年毕业于中国地震局地壳应力研究所, 获硕士学位。主要从事地震安全性评价和浅层地震勘探工作。E-mail: yangqiyang413@163.com

(Wang 等, 2009; 2011)。概率性分析方法给出的场址地震动参数不能反映未来实际地震发生时场址的实际地震动过程, 如“一致概率反应谱”只能是代表一群震级、距离各异的地震综合特征的包络谱。如何给确定性的地震事件赋予概率的含义, 或者给出具体的地震事件来代替概率方法分析结果, 是地震灾害评估的发展方向, 即通常所说的设定地震 (Scenario Earthquake) 研究方法 (张翠然等, 2010; 陈厚群等, 2005)。

本文利用华北地区 1700 年历史地震烈度资料, 首先对河北廊坊地区进行了地震灾害分析。类似于洪水和风的灾害分析, 一个场点的地震烈度与其超越频率或周期可以根据历史地震烈度资料来确定 (Milne 等, 1969; 刘静伟等, 2010; Xie 等, 2011)。然后应用烈度灾害分析的结果, 并结合地震与地质资料来确定设定地震。最后利用复合震源模型 (Composite source model) (Zeng 等, 1994) 来确定设定地震所产生的强地面运动。

1 河北廊坊地区的区域地质概况

廊坊市位于华北平原沉降带的二级构造区——冀中拗陷北部。拗陷具有多凸, 多凹, 多断裂的特点, 它的主体由一系列北北东和北东向雁列排列的凸起和凹陷相间组成。拗陷北部和西北部为大兴隆起, 东南为沧县隆起。北东向展布的平谷—三河—廊坊构造带控制了冀中拗陷的发育, 构造带中的一系列断层, 如: 马坊-夏垫断裂、大兴断裂、河西务断裂等, 将冀中拗陷分隔为大厂、廊坊、固安、武清、霸县 5 个断陷盆地。

河西务断裂是控制武清凹陷的分界断裂, 它北起河西务西北, 向南西延伸至别古庄, 全长 40 多 km, 走向北东, 倾向南东, 为上陡下缓的铲形正断层。断层上盘有完整的下第三系, 厚达 5000—6000m, 其下为中生界。下盘 3000m 以下的下第三系之下为古生界。深地震反射剖面 BJ2 清楚的显示, 河西务断裂错断了第四系底界面, 为第四纪活动断裂¹。河西务断裂总体走向为北东向, 是一条倾向南东的正断层, 断层视倾角 50°—65°, 断层错断了晚更新统(Q₃)底界面²。

2 烈度分析

本文利用地震目录、历史地震和地质构造数据来构建廊坊地区的地震动灾害曲线。首先根据地震目录, 对历史地震和烈度进行分析, 可以得到地震烈度-频度关系, 即灾害曲线 (hazard curve), 它反映了在历史上一个特定烈度 (强度) 所发生的频率 (时间特征)。计算频度-烈度关系的方法类似于古登堡-里克特 (Gutenberg-Richter) 震级-频度关系, 只是用烈度代替了震级 (刘静伟等, 2010; Xie 等, 2011):

$$\lg(f) = a - b \times I \quad (1)$$

式中, I 为烈度; f 为烈度大于或等于 I 的年发生率; a 和 b 为参数, 由最小二乘拟合得出。

本文研究区的范围为东经 115°—119°, 北纬 38°—41°, 从地震目录中搜集了自公元 294 年以来的 82 个地震烈度资料, 包括 56 个古代历史地震 (294—1911 年) 和 26 个近代地震 (1912—2006 年)。其中有 42 个地震的烈度图中只给出了有感范围, 没有确定烈度的等级。对于这 42 个烈度图, 本文使用震级与烈度的关系推算出了有感范围内的烈度值, 采用华北平原区平均轴烈度衰减公式为:

1 北京市地震局, 中国地震局地质研究所, 2007. 北京市活动断层探测与地震危险性评价工程技术报告.

2 河北省工程地震勘察研究院, 2010. 河北省城市地震活断层探测与地震危险性评价项目 (廊坊).

$$I = 2.429 + 1.499M - 1.391 \ln(R+11) \quad (2)$$

$$S = 0.377$$

式中, I 为烈度; M 为震级; R 为平均轴半径 (km); S 为标准差。

烈度—频率灾害曲线 (图 1) 表明: 在廊坊地区烈度超 8 度的平均复发周期为 600 年; 超越 9 度的平均复发周期为 1200 年; 超越 10 度的平均复发周期为 2400 年。

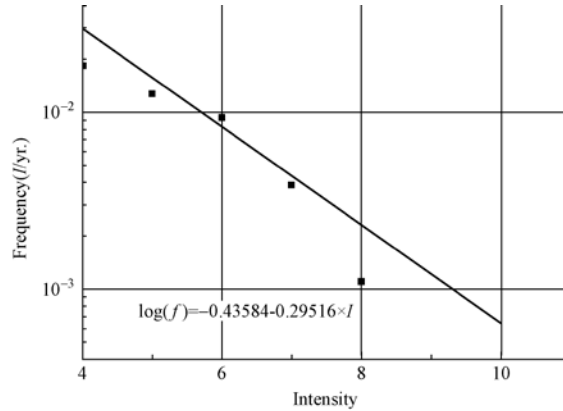


图 1 廊坊地震烈度拟合曲线

Fig.1 The frequency-intensity curve for Langfang

3 设定地震灾害分析

从图 1 可以看出, 廊坊地区的最高影响烈度是 8 度, 分别受 1507 年北京南地震和 1679 年三河—平谷地震的影响。1679 年三河—平谷 8 级地震是夏垫断裂最新一次地表破裂型地震事件, 也是廊坊地区受影响最大的一次地震事件, 因此, 选择 1679 年三河—平谷 8 级地震作为地震灾害分析的设定地震事件 Scenario A; 同时河西务断裂以被证实为第四纪活动断层, 该断层与廊坊市的垂直距离不足 10km, 因此选择河西务活动断裂作为 Scenario B 加以研究。

对于设定地震, 采用 Composite source model (Zeng 等, 1994) 模型, 地震动时程曲线以 0.5° 空间网格取点 (图 2)。模型中所用到的地壳速度结构 (孙武城等, 1987; 孙若昧等, 1995; 1996; 郑建常等, 2007) 列于表 1。对于 Scenario A 的震源参数, 本文采用了潘波等 (2009)、冉勇康等 (1997) 的研究结果。对于 Scenario B, 可以由断层长度 40km, 应用华北地区地震活断层的震级—破裂长度、破裂面积的经验关系 (龙锋等, 2006):

$$M_s = 3.821 + 1.860 \lg(L) \quad (3)$$

$$M_s = 4.134 + 0.9541 \lg(A) \quad (4)$$

华北地区震级 M 、地表破裂长度 L 和位移量 D 三者的关系式为 (邓起东等, 1992):

$$M = 5.90 + \lg(L) + \lg(D) \quad (5)$$

地震矩公式为:

$$M_0 = \mu DA \quad (6)$$

式中, μ 为剪切模量; D 为位错位移量; A 为断层面积。

根据区域地震相似原则, 借鉴和利用 1679 年三河—平谷地震取剪切模量 $\mu = 4 \times 10^4$ MPa (潘波等, 2009)。若取 $M = 6.8$, $D = 2$ m, 则 $L = 4$ km, 这是因为华北地区第四系覆盖较厚, 出

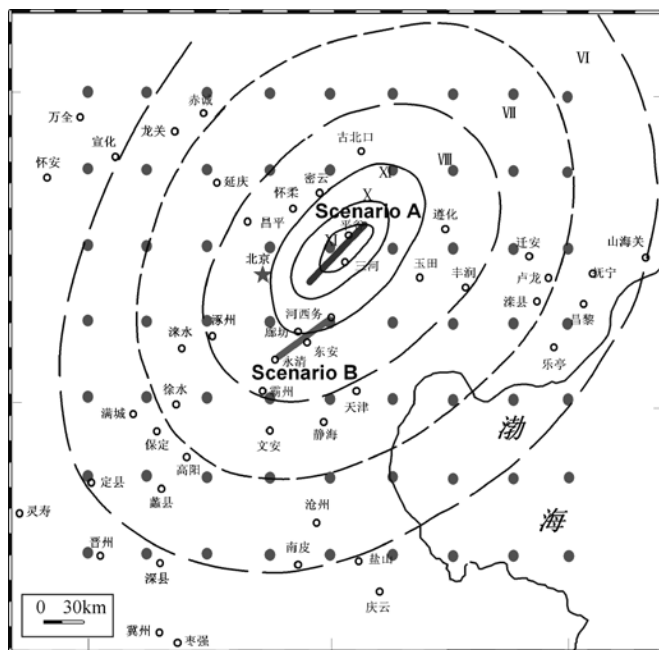
露的地表破裂带长度偏小。

对于每个设定地震，应力降 $\Delta\sigma$ 可以用以下公式计算 (Stein 等, 2002):

$$\Delta\sigma = \frac{2 M_0}{\pi W^2 L} \quad (7)$$

式中, W 是断层宽度; L 是断层长度。

类似于其他地震破裂模型 (Macpherson, 2009), 每个设定地震的断层破裂速度取剪切波速的 80%。表 2 是 Scenario A 与 Scenario B 的震源参数。



圆点表示 0.5° 空间网格

图 2 1679 年三河—平谷 8 级地震等震线图 (据《中国历史地震目录》, 1995)

Fig. 2 Isoseismal map of 1679 Sanhe-Pinggu earthquake ($M8.0$) from Historical Strong Earthquake Catalog of China, 1995

表 1 廊坊地区的地壳速度结构

Table 1 Crustal velocity structure for Langfang area

层数	对应厚度	P 波速度	Q_P	S 波速度	Q_S	密度
1	3	3.5	200	2.05	100	2.5
2	10	6.0	1000	3.5	500	2.80
3	5	6.2	2000	3.61	1000	2.85
4	4	6.25	2000	3.68	1000	2.92
5	9	6.6	2100	3.86	1050	3.02
6	20	7.9	4000	4.64	2000	3.07

表 2 Scenario A 和 Scenario B 的震源参数

Table 2 Source parameters for Scenario A and Scenario B

参 数	Scenario A	Scenario B
地震矩 (M_0)	$1.48 \times 10^{27} \text{ dyn} \cdot \text{cm}$	$1.746 \times 10^{26} \text{ dyn} \cdot \text{cm}$
应力降	34.78bars	39.1bars
断层长度	56km	40km
断层宽度	22km	15.6km
震中	40.00°N, 117.00°E	39.5°N, 116.71°E
震源深度	15 km	10 km
Max subevent radius	7	5
Min subevent radius	0.5	0.5
倾角	78°	65°
走向	40°	40°
破裂速度	2.6km/s	2.6km/s
错动角	219°	0°

每个设定地震的合成地震动模型在所有空间网格点产生三分量地震动时程曲线（见图 3 和图 4），从而得到其等震线图（见图 5 和图 6），Scenario A 与 1679 年三河—平谷地震的等震线图可很好的对应，表明了用该方法构建地震动模型的有效性。正是基于这种方法的有效性，可通过 Scenario B 来评估河西务活动断裂对廊坊的地震灾害。Scenario A 和 Scenario B 在廊坊的地面峰值加速度分别为：0.72g 和 0.33g。根据地震烈度与地面峰值加速度的对应关系，2 个设定地震对廊坊的影响均超过了 8 度。

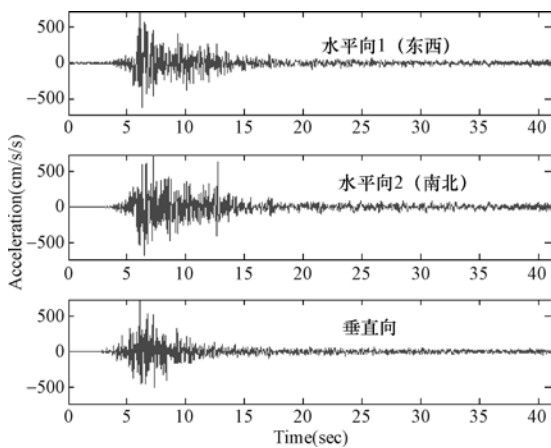


图 3 Scenario A 在廊坊的加速度时程曲线

Fig. 3 Acceleration time-history used in Scenario A

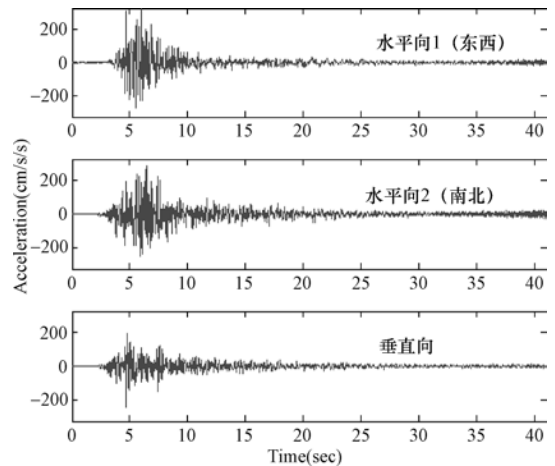


图 4 Scenario B 在廊坊的加速度时程曲线

Fig. 4 Acceleration time-history used in Scenario B

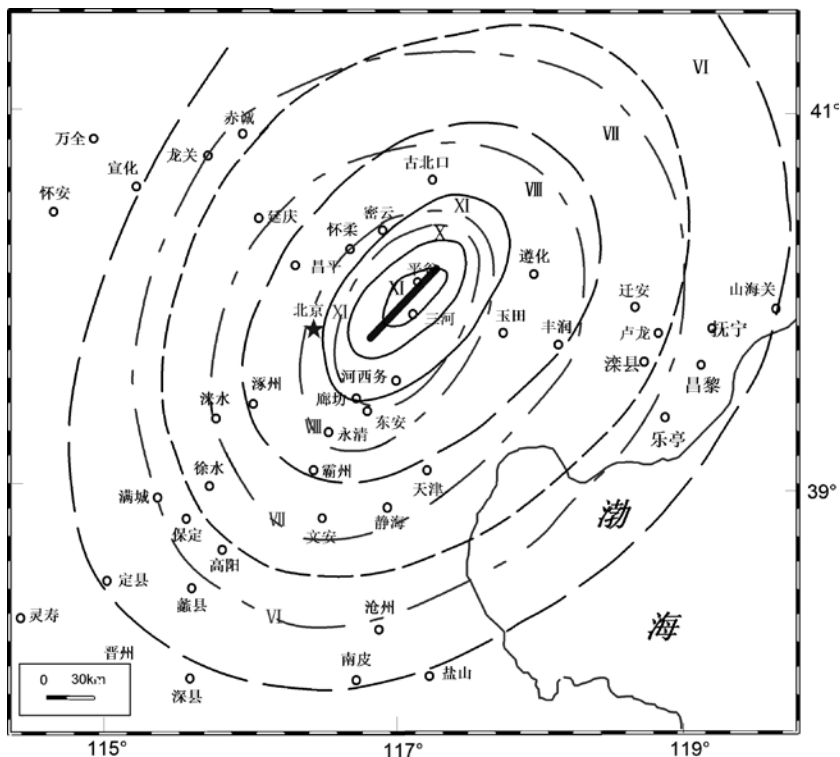


图 5 三河—平谷地震等震线图（黑色）和由 Scenario A 所得到的等震线图（蓝色）

Fig. 5 Isoseismal map of Sanhe-Pinggu (black) and from Scenario A (blue)

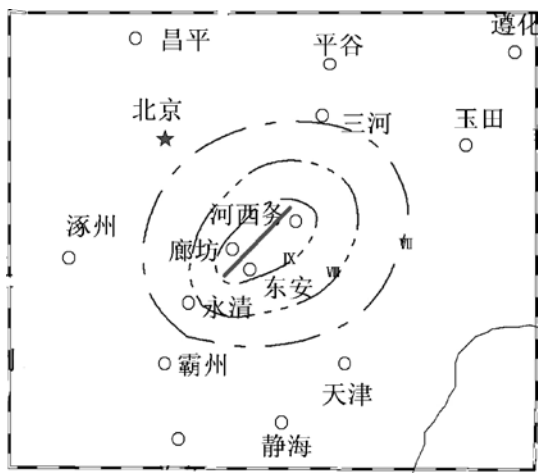


图 6 由 Scenario B 所得到的等震线图

Fig. 6 Isoseismal map from Scenario B

4 讨论与结论

本文对 1700 年以来的历史地震烈度资料进行了分析，并结合地震地质资料来确定设定地震 (Scenario Earthquake)。然后利用模拟强地面运动，来评估廊坊地区的地震灾害。这种

方法的优点是: ①不需要过多的假设; ②所得到的结果(强地面运动)具有明确的物理和统计意义; ③该结果容易被地球科学家和工程师理解; ④能充分利用强地面运动模拟技术。这些优点使得本方法所得到的结果更易于在地震工程中使用。

从本文的研究结果可以看出, 按照目前的地震活动趋势, 廊坊地区出现大于或等于地震烈度 8 度的周期大约是 600 年。也就是说, 在未来 50 年廊坊地区出现地震烈度 8 度的超越概率为 8%。根据中国地震烈度与地面峰值加速度的对应关系(表 3)以及设定地震的合成地震动模拟结果, 我们建议廊坊地区应该考虑 0.3g 峰值加速度(VIII 度)作为基本地震工程设计参数。

表 3 中国地震烈度与地面峰值加速度的对应关系(中国地震动区划图, 2001)

Table 3 Relationship between intensity and peak ground acceleration (PRNCS, 2001)

地面峰值加速度/(g)	<0.05	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	≥0.4
地震烈度	<VI	VI	VII	VII	VIII	VIII	IX

致谢: 衷心感谢中国地震局地壳应力研究所谢富仁研究员和刘静伟给与的帮助和指导!

参考文献

- 陈厚群, 李敏, 石玉成, 2005. 基于设定地震的重大工程场地设计反应谱的确定方法. 水利学报, **36** (12): 1399—1404.
- 邓起东, 于贵华, 叶文华, 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究. 见: 国家地震局地质研究所编, 活动断裂研究(2). 北京: 地震出版社, 247—264.
- 高孟潭, 肖和平, 燕为民等, 2008. 中强地震活动地区地震区划重要性及关键技术进展. 震灾防御技术, **3** (1): 1—7.
- 刘静伟, 王振明, 谢富仁, 2010. 京津唐地区地震灾害和危险性评估. 地球物理学报, **53** (2): 318—325.
- 龙锋, 闻学泽, 徐锡伟, 2006. 华北地区地震活断层的震级—破裂长度、破裂面积的经验关系. 地震地质, **28** (4): 511—535.
- 潘波, 许建东, 刘启方, 2009. 1679 年三河—平谷 8 级地震近断层强地震动的有限元模拟. 地震地质, **31** (1): 69—83.
- 冉勇康, 邓起东, 杨晓平等, 1997. 1679 年三河—平谷 8 级地震发震断层的古地震及其重复间隔. 地震地质, **19** (3): 193—201.
- 孙武城, 李松林, 罗力雷, 岳华峰, 1987. 初论华北地区的地壳低速层. 地震地质, **9** (1): 17—26.
- 孙若昧, 刘福田, 1995. 京津唐地区地壳结构与强震的发生——I. P 波速度结构. 地球物理学报, **38** (5): 599—607.
- 孙若昧, 赵燕来, 吴丹, 1996. 京津唐地区地壳结构与强震的发生——II. S 波速度结构. 地球物理学报, **39** (3): 347—355.
- 张翠然, 陈厚群, 李敏, 2010. 基于 NGA 衰减关系的坝址设定地震研究. 中国水利水电科学研究院学报, **8** (1): 1—10.
- 郑建常, 顾瑾平, 张元生, 2007. 联合反演研究华北地区三维速度结构. 地球物理学进展, **22** (6): 1706—1714.

- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**: 1583—1606.
- Krinitzsky E.L., 1995. Deterministic versus probabilistic seismic hazard analysis for critical structures. *Engineering Geology*, **40**: 1—7.
- Krinitzsky E.L., 2002. How to obtain earthquake ground motions for engineering design. *Engineering Geology*, **65**: 1—16.
- Macpherson K., 2009. Long-Period Ground Motions in the Upper Mississippi Embayment from Finite-Fault, Finite-Difference Simulations. The Graduate School, University of Kentucky, Lexington, Ky.
- McGuire R.K., 2004. Seismic hazard and risk analysis. Earthquake Engineering Research Institute, MNO-10, P240.
- Milne W.G. and Davenport A.G., 1969. Distribution of earthquake risk in Canada. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **59**: 729—754.
- Petersen M.D., Frankel A.D., Harmsen S.C., Mueller C.S., Haller K.M., Wheeler R.L., Wesson R.L., Zeng Y., Boyd O.S., Perkins D.M., Luco N., Field E.H., Wills C.J. and Rukstales K.S., 2008. Documentation for the 2008 update of the United States national seismic hazard maps. U.S. Geological Survey Open-File Report 08-1128, P60.
- Stein S. and Wysession M., 2002. *An Introduction to Seismology. Earthquakes and Earth Structure*, Blackwell Publishing, P266, 269.
- Wang Z., 2011. Seismic hazard assessment: issues and alternatives. *Pure and Applied Geophysics*, **168**: 11—25.
- Wang Z., 2009. Seismic hazard vs. seismic risk. *Seismological Research Letters*, **80**: 673—674.
- Xie F., Wang Z. and Liu J., 2011. Seismic hazard and risk assessments for Beijing-Tianjin-Tangshan, China area. *Pure and Applied Geophysics*, **168** (3) : 731—738.
- Zeng Y., Anderson J.G. and Yu G., 1994. A composite model for computing realistic synthetic strong ground motions. *Geophysical Research Letters*, **21** (8) : 725—728.

Scenario Earthquake Hazard Evaluation in Langfang Area

Yang Qiyang¹⁾, Yang Jialiang¹⁾, Wang Zhenming²⁾, Sheng Yanrui¹⁾ and Fan Qiang¹⁾

1) Earthquake Administration of Hebei province, Shijiazhuang 050021, China

2) Kentucky Geological Survey, Lexington, Kentucky 40506, US

Abstract This paper attempts to analyze the data from 1700-year intensity observation, and to combine seismology and geology data to determine the scenario earthquake, then to simulate strong ground motion to evaluate seismic hazard in Langfang. The study results show that the period of greater than or equal VIII intensity is about 600 years according to the current seismic activity trend. In other words, the probability of exceedance of VIII intensity in 50 years is 8 percent in Langfang area. We suggest that it should be considered 0.3g peak ground acceleration (VIII intensity) as the basic earthquake engineering design parameters in Langfang area.

Key words: Seismic intensity; Seismic hazard; Scenario earthquake