

杨歧焱, 孟立朋, 彭远黔, 王晓山, 李冬圣, 姜佳宁, 李峰, 2015. 河北省张家口市涿鹿 $M_S4.3$ 级地震震害调查及地震特征分析. 震灾防御技术, 10 (2): 353—360. doi: 10.11899/zzyf20150215

河北省张家口市涿鹿 $M_S4.3$ 级地震 震害调查及地震特征分析¹

杨歧焱^{1, 2)} 孟立朋¹⁾ 彭远黔¹⁾ 王晓山^{1, 2)} 李冬圣¹⁾ 姜佳宁³⁾ 李峰⁴⁾

1) 河北省地震局, 石家庄 050021

2) 中国地震局地球物理研究所, 北京 10081

3) 河北省地震局怀来地震台, 怀来 075400

4) 河北省地震局张家口中心台, 张家口 075000

摘要 总结了张家口涿鹿县 $M_S4.3$ 级地震应急调查工作, 了解到震区一带的震感现象和地震影响的分布情况。依据《地震现场工作大纲和技术指南》, 以《中国地震烈度表 (GB/T 17742-2008)》为烈度评定标准以及其对现场实地调查的要求, 确定了此次地震震中区一带的地震影响烈度为 V 度, 并圈定了地震的等烈度分布区域。同时, 依据震源机制解和现场调查情况, 分析了此次地震的特征。

关键词: 地震调查 涿鹿地震 地震特征

前言

2014 年 9 月 6 日 18 时 37 分在河北省张家口市涿鹿县 (北纬 40.3° , 东经 115.4°) 发生了 $M_S4.3$ 级地震, 震源深度 10km (图 1)。涿鹿县震感强烈, 张家口市周边大部分县有明显震感, 北京、天津、廊坊、唐山等地也有震感。地震发生后, 河北省地震局依据“河北省地震局地震应急预案”, 立即启动 III 级应急响应, 并派出现场应急工作组开展了地震现场调查工作。

1 地震微观参数

此次地震震级虽然不高, 但在地震

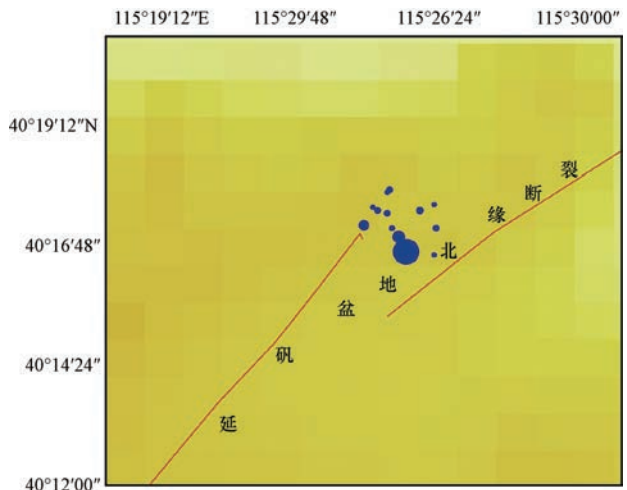


图 1 涿鹿 $M_S4.3$ 级地震震中分布示意图

Fig.1 Epicenter distribution sketch map of zhuolu $M_S4.3$ earthquake

1 基金项目 河北省地震局震害防御中心应急经费资助 (2014)

[收稿日期] 2014-09-27

[作者简介] 杨歧焱, 男, 生于 1982 年。博士研究生。主要从事深部构造、地球物理勘探及地震现场考察等工作。E-mail: yangqiyuan413@163.com。

序列上仍能分出主震和余震（见表 1）。余震震中分布在主震周边 4km 范围内，其能量高度集中在主震时释放，属孤立型地震。

表 1 2014 年 9 月 6 日涿鹿 $M_S 4.3$ 级地震快报目录（河北省地震局台网中心）

Table 1 The quick report catalogue of zhuolu $M_S 4.3$ earthquake

序号	发震时间		震中位置		震源深度 (km)	震级 (M_L)	地震类型
	年.月.日	时:分:秒	北纬 (°)	东经 (°)			
1	2014.09.06	18:37:40.9	40.278	115.428	20	4.8	主震
2	2014.09.06	18:43:17.0	40.293	115.415	12	-0.0	
3	2014.09.06	18:45:52.3	40.286	115.441	18	-0.1	
4	2014.09.06	18:48:47.2	40.292	115.416	15	-0.1	
5	2014.09.06	18:51:48.8	40.287	115.410	13	0.3	
6	2014.09.06	19:05:55.5	40.281	115.427	20	2.6	
7	2014.09.06	19:07:34.3	40.284	115.424	13	-0.0	
8	2014.09.06	19:15:26.5	40.294	115.440	18	-0.4	
9	2014.09.06	19:30:15.2	40.298	115.420	18	-0.4	
10	2014.09.06	20:03:29.0	40.286	115.422	20	0.6	
11	2014.09.06	20:23:36.5	40.291	115.420	13	0.2	
12	2014.09.06	21:32:17.5	40.292	115.434	18	-0.3	
13	2014.09.07	02:15:54.1	40.283	115.425	18	1.3	
14	2014.09.07	02:37:16.2	40.277	115.440	16	-0.1	
15	2014.09.08	01:46:41.9	40.293	115.414	13	0.0	
16	2014.09.08	11:14:18.0	40.299	115.421	15	-0.1	
17	2014.09.08	21:31:08.7	40.021	115.226	19	-0.2	

2 区域地震构造

此次地震震中位于华北断块区山西断陷带内，带内发育有一系列北东、北北东向的晚第三纪断陷盆地，地形上与周围隆起的断块山地形成鲜明的对比。盆地的形成主要受活动断裂的控制，同时上新世以来的沉积发育与断裂的活动有关，沉积物最厚的地段往往分布在紧靠活动断层的一侧。在延怀和涿鹿盆地，上新统第四系厚度达 889m，历史上在这一区域内地震活动性较强（陈立春等，2002）。

此次地震即发生在山西断陷带内的延矾盆地北缘断裂附近，如图 2 所示。该断裂为延庆—矾山盆地的西北边界断裂，包括延庆—永宁盆地北缘断裂和矾山盆地北缘断裂（冉勇康等，1991；1992；2001），它北起延庆东北端的营盘，往西南经黑峪口、龙庆峡口、狼山、张家营、口前西，终止于红土沟一带，总体走向北东，倾向南东，倾角 50° — 80° ，全长约 95km，由一系列北北东、北东、北东东向的不连续断裂斜列组成。该断裂两侧的唐县夷平面垂直断距达 3000m 左右，晚更新世—全新世滑动速率为 0.58 — 0.2mm/a 。据考证全新世以来发生过多次古地震，地震具有丛集复发的特点，长重复周期约为 1300—3700a，短周期约为 150—350a（徐锡伟等，2002），最新一次地震可能为 1337 年 6.5 级地震。在白草洼的探槽剖面中至少发育有 3 次古地震事件，累积位移量达 5.2m，其中单个地震事件的位移量约 1.7m。综上所述，延矾盆地北缘断裂为全新世活动断裂。

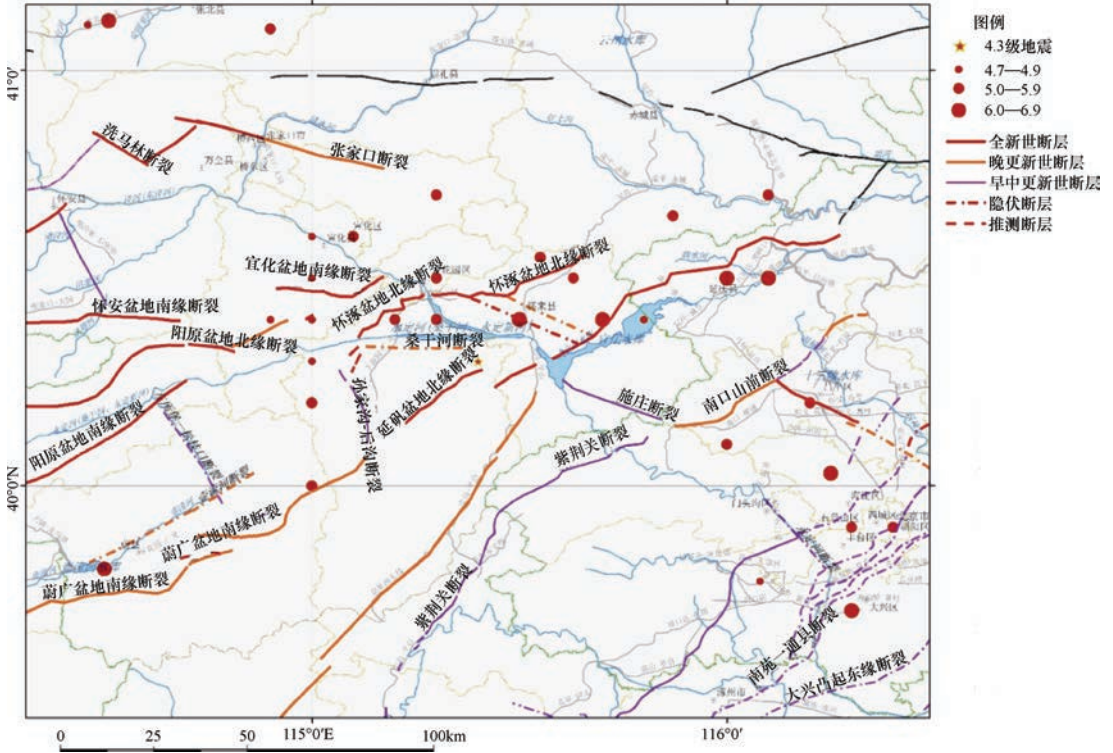
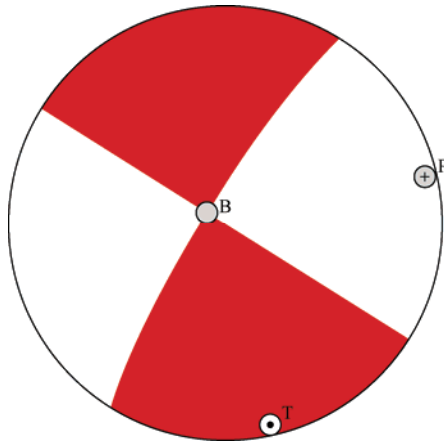


图 2 涿鹿 M_S 4.3 级地震区域地震构造图（中国地震局地质研究所）

Fig.2 The regional structural map of zhuolu M_S 4.3 earthquake

3 震源机制

笔者利用格点尝试法计算了初动震源机制解，计算结果如图 3 和表 2 所示。



节面 1 走向 302° ，倾角 90° ，滑动角 8° ；节面 2 走向 212° ，倾角 82° ，滑动角 180° ；
 P 轴方位 76° ，倾角 5° ；T 轴方位 167° ，倾角 6° ；B 轴方位 304° ，倾角 82° ，矛盾比 0.042

图 3 涿鹿 M_S 4.3 级地震震源机制解

Fig.3 The focal mechanism solution of zhuolu M_S 4.3 earthquake

表 2 涿鹿 $M_s4.3$ 级地震震源机制解参数Table 2 The parameters of focal mechanism solution of zhuolu $M_s4.3$ earthquake

最佳双 力偶解	节面 I			节面 II		
	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角
	302°	90°	8°	212°	82°	180°
应力轴	T 轴		B 轴		P 轴	
	方位角	倾角	方位角	倾角	方位角	倾角
	167°	6°	304°	82°	76°	5°

该区现代构造应力场的特征表现为北东东-南西西向挤压、北北西-南南东向拉张的水平构造应力作用，应力结构为走滑型（张红艳等，2009；谢富仁等，2007；李瑞莎等，2008）。

4 现场调查

依据《地震现场工作大纲和技术指南》，以《中国地震烈度表（GB/T 17742-2008）》（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2008）为烈度评定标准。根据烈度表的使用说明，按照 I 度—V 度以地面上人的感觉及其他震害现象为主的要求，此次地震现场调查除重点调查房屋的破坏情况外，主要以调查人的感觉和器物反映为主。

（1）建筑物类型的划分

砖房：乡镇及农村普遍分布，一般为 24cm 或 37cm 砖墙。

土坯房：土坯墙体，内外用泥掺草筋抹面。

（2）人的感觉类型划分

晃动感觉：强烈、明显，微弱，无感觉。

地声：地声强烈、明显，微弱，无地声。

（3）器物的反应类型

搁置物滚落：少量、部分、多数、全部。

悬挂物：电灯摆动、墙上挂画、乐器、小型家具。

（4）建筑物的破坏程度划分

完好：震害指数 0。

基本完好：房屋承重构件完好，个别非承重构件轻微破坏，不加修理可继续使用。

（5）烈度的主要标准

烈度为 V 度的主要标准：室内人绝大多数感觉，室外多数人有感觉，多数人梦中惊醒。大多数房屋门窗、屋顶、屋架颤动作响，个别房屋墙体出现裂缝，个别屋顶烟囱掉砖，不稳定器物摇动或翻倒。

此次共调查了 18 个自然村，建筑结构主要以砖混、砖木和土坯房等结构类型为主。其中砖混结构占 85%—90%，砖木结构占 10% 左右，其他有少量为土坯房，具体调查情况如表 3（表中只附烈度 V 及以上调查点）和图 4 所示。

表 3 涿鹿 M_S 4.3 级地震现场调查表Table 3 The field investigation of zhuolu M_S 4.3 earthquake

序号	调查点	调查情况	烈度初判
1	涿鹿县温泉屯乡	人有明显的晃动感觉,无抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况。有两处土坯房有轻微裂缝,约 1—2cm。有一处危房出现屋顶横梁折断情况。	V
2	涿鹿县吉家营	人有明显的晃动感觉,无抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况。有两处土坯房有轻微裂缝。	V
3	涿鹿县红彤营	人有明显的晃动感觉,有抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况。有一处土坯房有轻微裂缝。	V
4	涿鹿县外虎沟村	人有较强的晃动感觉,无抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况。有一处 50 年的三间土坯房中的两间有三、四处轻微裂缝,约 1—1.5cm。有一处 30 年左右的外层包砖的土坯房有三、四处轻微裂缝,约 0.5—1cm。	V
5	涿鹿县好地洼村	人有较强的上下抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况。多数 50—60 年的土坯房有较大裂缝,个别危房和加盖的牲口棚发生坍塌,少数外层包砖的土坯房外墙有 5cm 裂缝。	V
6	涿鹿县赵庄村	人有较强的上下抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物有滚落,伴有较强的地声。无人员伤亡情况。房屋多为 80 年代初建的包砖土坯房,有部分房屋破坏较为严重,有两处房屋檩条断裂,屋顶坍塌出窟窿,有一处房屋吊顶整体坍塌,将人掩埋。需要说明的是,该建筑的破坏是震前雨水冲刷和此次地震共同作用造成的。	V
7	涿鹿县窝铺村	人有明显的晃动感觉,有微弱的抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况,个别砖房出现裂缝,窝铺村至杏园村部分路段的斜坡有小规模垮塌。	
8	涿鹿县杏园村	人有明显的晃动感觉,有微弱的抛起感,家具响声较强,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况,个别砖房出现裂缝,个别土坯房房梁折断、围墙局部垮塌。杏园村至矾六堡公路部分路段的土质边坡有小规模垮塌。	V
9	涿鹿县燕王沟村	人有明显的晃动感觉,无抛起感,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况,该村房屋以砖房为主,没有房屋破坏情况。	V
10	涿鹿县李家堡村	人有明显的晃动感觉,无抛起感,家具响声较强,玻璃窗有晃动的响声,室内器物没有滚落,伴有明显的地声。无人员伤亡情况。个别房屋烟囱掉砖、折断,个别土坯房屋墙体出现裂缝。	V

5 烈度评定及地震特征分析

此次地震有感范围较广,但震害轻,地表无地裂缝,无人员伤亡,无大牲畜伤亡,仅个别砖房出现裂缝,个别土坯房墙皮脱落、木梁折断。部分路段的边坡有小规模的滑塌,未对道路造成破坏,也没有对交通造成影响,群众生活稳定,无恐慌情绪,未出现地震谣传。V 度区长轴呈东北向,短轴呈北西向展布,长轴约 12km,短轴约 10km,V 度区面积约 100km²,如图 5 所示。

此次地震 V 度区范围较大,与所处延矾盆地的放大效应有一定的联系。现场调查的第一组线路在盆地的内部,其震害相对另外两组线路较轻;而另外两组沿盆地边缘进入山区,这里的盆地放大效应比较明显,盆地边缘震害相对严重。分析其原因可能是地震波在传递的过程中,遇到山体受阻挡,一部分地震波会被反弹回来并与后续到达的地震波进行交汇叠加,从而增强了地震的破坏(郭恩等,2010;胡聿贤,2005;李小军等,2008),以至于发生了小

规模的边坡滑塌。



图4 涿鹿 $M_S4.3$ 级地震典型震害图 (墙体裂缝及小规模边坡滑塌)

Fig.4 The typical seismic hazard of zhuolu $M_S4.3$ earthquake

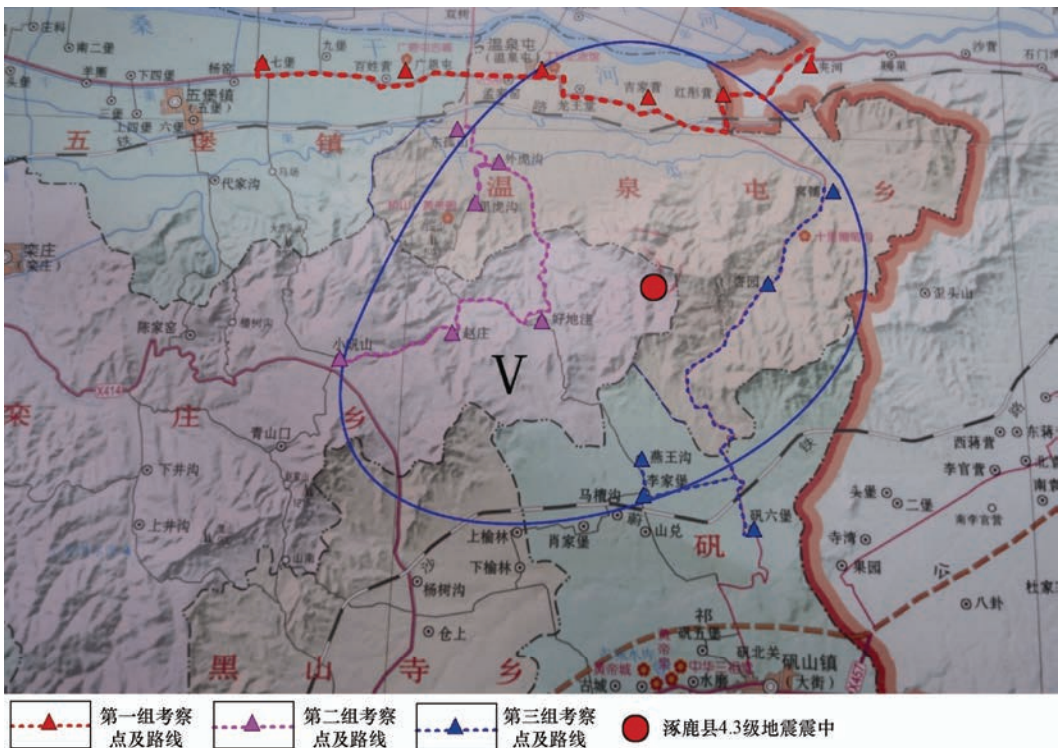


图5 涿鹿 $M_S4.3$ 级地震烈度划分

Fig.5 The intensity zonation of zhuolu $M_S4.3$ earthquake

从 1970 年到 2014 年 9 月, 在震源区附近范围 ($N39^\circ-42^\circ$, $E113^\circ-117^\circ$) 内, 共记录到 $M_L \geq 2.0$ 级地震 2711 次, 其中 2.0—2.9 级地震 2259 次; 3.0—3.9 级地震 372 次; 4.0—4.6 级地震 80 次。因此, 该区域内小震频度较高, 现代小震活动密集, 其主要沿北东、北西和北西西方向呈带状分布, 这与该区域的历史地震空间分布特征是一致的。在震源区附近 50km 范围内, 自有历史地震记载以来共发生了 5 级以上破坏性地震 7 次, 其中 6.0—6.9 级地震有 2 次。同时在近场范围内, 还发生了 M_L 1.0 级以上地震 1400 次, 其中, M_L 2.0—2.9 级地震有 174 次, M_L 3.0—3.9 级地震 18 次, M_L 4.0—4.9 级地震 7 次。由此可以判定该区域地震活动水平较高, 尤其在北东方向地震分布比较明显。此次涿鹿 $M_S 4.3$ 级地震属孤立型地震, 其活动特征与该区域历史地震活动特征一致。

6 结论与讨论

(1) 涿鹿 $M_S 4.3$ 级地震虽然震级不高, 但在地震序列上能分出主震和余震, 地震主要分布在 4km 范围内, 其能量高度集中在主震时释放, 属孤立型地震。地震没有造成重大的震害, 地表无地裂缝, 无人员伤亡, 无大牲畜伤亡, 仅个别砖房出现裂缝, 个别土坯房墙皮脱落、木梁折断。部分路段的边坡有小规模的滑塌, 未对道路造成破坏。虽然地震震害轻, 但地震有感范围较广, 并且地震发生在人员密集的首都圈范围内, 所以地震造成了一定的影响。

(2) V 度区长轴呈北东向, 短轴呈北西向展布, 长轴约 12km, 短轴约 10km, V 度区面积约 100km²。

(3) 震源机制解和现场调查评定的烈度图表明, 地震长轴为北东向, 短轴呈北西向展布。烈度图的长轴方向与震源机制解节面 II 走向基本一致, 可判定节面 II 即为地震的震源断层。

(4) 地震发生在山西断陷带内延矾盆地北缘断裂附近, 该断裂为全新世活动断裂, 此次地震烈度图长轴方向与延矾盆地北缘断裂走向基本一致, 因此地震与该断裂的关系有待做进一步的研究, 其中盆地放大效应也需进行深入论证。

致谢: 感谢张家口市科技与地震局、张家口中心台和张家口涿鹿县科技局的同志在地震调查中的支持和帮助! 感谢河北省地震局贾晓辉有益的建议和意见! 感谢审稿专家提出的宝贵意见和建议!

参考文献

- 陈立春, 冉勇康, 2002. 京西北盆岭构造区强震复发概率模型及地震潜势的定址评估. 地震地质, **24** (1): 91—100.
- 郭恩, 周锡元, 2010. 汶川地震盆地效应的思考与建议. 防灾减灾工程学报, **30** (4): 459—465.
- 胡聿贤, 2005. 地震工程. 北京: 地震出版社.
- 李瑞莎, 崔效锋, 刁桂荃等, 2008. 华北北部地区现今应力场时空变化特征研究. 地震学报, **30** (6): 570—580.
- 李小军, 于爱勤, 甘朋霞, 李敏, 刘浪, 2008. 汶川 8.0 级地震北川县城区灾害调查与分析. 震灾防御技术, **3** (4): 352—362.
- 冉勇康, 方仲景, 李志义等, 1991. 怀来—涿鹿盆地周缘的活动断裂及其基本特征. 见: 活动断裂研究(1). 北京: 地震出版社, 140—175.
- 冉勇康, 方仲景, 李志义等, 1992. 怀来—涿鹿盆地北缘断裂上的古地震重复序列与断裂分段. 中国地震, **8** (3): 74—85.

- 冉勇康, 陈立春, 徐锡伟, 2001. 北京西北活动构造定量资料与未来强震地点的讨论. 地震学报, **23** (5): 502—513.
- 谢富仁, 张红艳, 崔效锋等, 2007. 延怀盆地活动断裂运动与现代构造应力场. 地震地质, **29** (4): 693—704.
- 徐锡伟, 吴卫民, 张先康等, 2002. 首都圈地区地壳最新构造变动与地震. 北京: 科学出版社.
- 张红艳, 谢富仁, 荆振杰, 2009. 京西北盆岭构造区现代构造应力场的非均匀特征. 地球物理学报, **52** (12): 3061—3071.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008. 中国地震烈度表 (GB/T 17742-2008). 北京: 中国标准出版社.

Survey and Analysis of the Engineering Damage in $M_S4.3$ Zhuolu Earthquake of Zhangjiakou City, Hebei Province

Yang Qiyang^{1,2)}, Meng Lipeng¹⁾, Peng Yuanqian¹⁾, Wang Xiaoshan^{1,2)},
Li Dongsheng¹⁾, Jiang Jianing³⁾ and Li Feng⁴⁾

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

2) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

3) Huailai Seismic Station of Zhangjiakou, Earthquake Administration of Hebei Province, Huailai 075400, China

4) Zhangjiakou Central Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Zhangjiakou 075000, China

Abstract In this paper, we summarized the results from survey of engineering damage caused by Zhuolu county $M_S4.3$ earthquake, and obtained the features of earthquake and the distribution of earthquake effect. Based on “The Guidelines of Earthquake Field Work and Technique”, following with “The Chinese Seismic Intensity Scale (GB/T 17742-2008)”, we have determined the epicentral area of seismic intensity V, as well as the earthquake intensity distribution. Furthermore, we analyzed the earthquake features on the basis of focal mechanism solution and field investigation.

Key words: Earthquake damage survey; Zhuolu earthquake; Earthquake feature