

冀东地区地震活动与地壳稳定性的研究

张振江 郑云贞

(河北省地震局, 石家庄 050021)

摘 要 通过对冀东地区活动断裂与地震关系的研究, 对今后该区的地震活动程度进行了估计, 并对区域稳定性进行了初步的工程地质评价, 这对冀东地区震害预测和经济发展都提供了一定的依据。

主题词: 断裂构造; 地震活动性; 地震灾害预报; 工程地质

1995 年 10 月 6 日在河北滦县发生了 4.9 级地震, 这是继 1991 年唐山 5 月 29 日 5.1 和 5 月 30 日 5.3 级地震后又一次有影响的地震。由于这几次中强地震的发生, 使冀东地区的经济建设再次受到冲击, 同时对冀东地区建(构)筑物和人民生命财产造成一定破坏和损失。因此, 对冀东地区今后地震活动形势、地壳稳定程度、震害预测和今后的经济发展都提出了新的研究内容。

1 冀东地区主要断裂与地震活动形式

1.1 冀东地区地形地貌特征

冀东地区位于燕山褶断带的东部, 北依燕山, 南临渤海, 滦河由西穿过燕山, 向东经迁安盆地进入滦县以南的平原。

该区地质构造复杂, 地层露头欠佳, 残、坡积发育, 而且变质程度较深, 90% 以上地区已受混合岩化的强烈改造, 在地质历史发展过程中, 地壳经历了多次构造运动。如前寒武纪的强烈褶皱, 根据地层间的不整合关系可以看出, 本区地壳前后经历了三次大的褶皱运动。它们分别为: 早—中太古代迁西期褶皱; 阜平期褶皱及五台—吕梁期褶皱。由于各期褶皱相互重叠, 交织成一幅错综复杂的构造图案(图 1)。

由此可以看出, 滦县一带的晚太古代早期硅铁质沉积盆地, 明显地受下伏迁西期构造线的控制。盆地长轴呈东西向, 并自卢龙一带的迁西群分布区向南, 表现为由盆地边缘趋于中心。从漫长的地质历史发展到第三纪即晚近期以来的构造运动, 主要是继承了老的构造运动, 地壳的隆起与沉降, 基性玄武岩浆的喷溢, 老断裂的重新活动和地震的发生、温泉的形成、水系的分布, 现今巍峨壮丽的地貌景观, 大都是新时期构造活动的结果。

1.2 冀东地区主要断裂活动与地震

本区主要发育有北东—北北东向, 北西向和近东西向三组断裂, 而以北东—北北东

向断裂为主,同时也最活跃。发育较早和有影响的应是青龙—滦县断裂。该断裂北起青龙扎兰枝子,向南沿青龙河谷经卢龙、滦县西北隐于华北平原。总体走向北东 25 度左右,向西北陡倾,长 150km 以上。按断裂两侧地层的控制关系,北京大学地质系的钱祥麟推

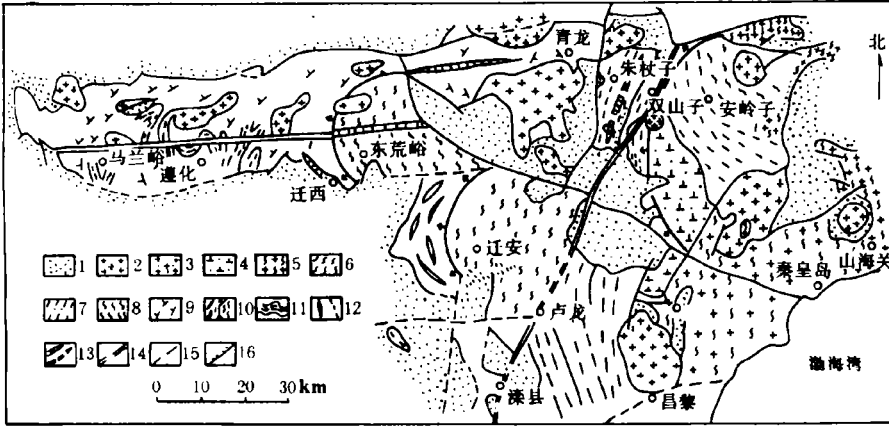


图 1 冀东地区基底褶皱构造图

(据 1:20 万地质图、孙大中、钱祥麟、武汉地院等资料综合拟编)

1—盖层; 2—燕山期花岗岩; 3—太古代花岗岩; 4—太古代闪长岩; 5—混合花岗岩; 6—下元古界朱枝子群 (花纹表示构造线方向); 7—上太古代双山子群 (线条表示构造结线方向); 8—上太古代单塔子群 (线条表示构造方向); 9—中、下太古界迁西群及片麻理产状; 10—迁西期穹窿及边缘弧形褶皱 (I); 11—迁西群铁矿层及褶皱变形包络面 (II); 12—阜平期同斜倒转复式背、向斜轴 (III); 13—五台—吕梁期背斜轴及同斜倒转复向斜 (?) 轴 (IV); 14—五台期开始活动的主要断裂; 15—其它断裂; 16—地层不整合界线

论其形成于太古代晚期至元古代。在青龙双山子—朱枝子一带,断裂控制了双山子期基性熔岩的线性喷发,早元古代初期开始差异活动,断裂西盘连续堆积了数千米厚的碎屑岩系,其砾岩层的砾石大部来自正向隆起的东盘,属坡下冲积洪积堆积成因。自元古代开始,断裂以西地区继续大幅度拗陷,而东侧相对隆起,遭受剥蚀,直至晚期开始超覆,长龙山组直接覆盖在太古界基底之上。该断裂自形成以来活动就可能没有停止过,新生代时期活动更加频繁,在桃园羊山断面见有厚 1m 的灰断层泥及糜棱岩带,沿断裂第四系红粘土中有大量新活动的擦痕,同时从地貌的区域差异和形态结构的特殊性上得到反映。滦河在迁安盆地堆积了两级阶地,滦河多次改道及滦河在晚更新世冲积扇上切割与侧蚀时受这条断裂约束而不能向西扩展。

该带晚近时期地震活动频繁,近年来中强地震沿带时有发生。

此外,还有一条滦县—乐亭断裂,该断裂控制了山海关隆起和唐山拗陷的活动。它的走向为北西,倾向北东,为一条高角度的逆冲断层。第三纪以来活动强烈,如滦县以西有一系列北北西走向的断层残山,断裂的东侧各种海岸地貌现象表明海岸是上升的。如海蚀穴及高达 20—40m 的沙丘,其两侧则出现三角洲湿地,表明地壳是相对下降的,两岸对比反映了断裂两侧存在差异运动。断裂北端历史上和现今都有地震发生。

由于受北东、北西两条活动断裂的影响,以滦县为中心地震活动较集中,成为华北

地区一个重点危险监视区。据记载滦县及周围地区从 1562 年—1995.10 月发生 4 $\frac{3}{4}$ 级以上地震 40 余次^[3], 其中有破坏记载的 8 次 (见表 1)。

表 1 冀东地区历史地震震害现象

地震时间	震中位置	震级	地震断层、地裂缝	斜坡效应		地基效应		烈度异常
				山崩、地滑	地陷	砂土液化	地面涌水	
1562.6.12	滦县	5.0	州南孙家坨地裂			涌沙水	涌黑水	
1568.5.5	渤海	6.0	乐亭地裂二所, 各长三丈余			涌黑沙水		
1624.4.17	滦县	6 $\frac{1}{4}$	乐亭旧铺庄地裂多穴, 滦县地裂			滦县、乐亭沿海冒砂	涌水尺余, 黑色	
1795.8.5	滦县	5 $\frac{1}{4}$	滦县邑南村井溢, 地裂			涌砂水		
1797.8.5	乐亭东北	5 $\frac{1}{4}$	乐亭旧铺庄地裂				涌黑水	
1945.9.23	滦县	6 $\frac{1}{4}$	滦县兴隆庄、李兴庄、闫大营、古马、曹坎、夏庄子、高各庄、刘家庄、马城、编凉汀发生地裂, 长 1~16m, 宽 12~15cm, 分布范围 250km ² 。			滦县、昌黎、迁安、乐亭冒砂水, 喷水高 1~3m, 同时出现陷坑, 水井翻砂	冒砂水	
1976.7.28	唐山	7.8	地震断层长 10km, 右旋 1.53m, 裂缝带长 90km, 垂直落差 1m, 密集地裂缝带 900km ² 遍及唐山市、丰南、滦县、乐亭、宁河、天津等 30 个市县。	河堤、路堤、坝基渣堆大量滑坡, 沿陡河、还乡河、滦河、新运河两岸滑坡, 河道变窄, 抬高甚至堵死。	地面下沉范围约 3 万 km ²	喷水冒砂范围 2.4km ² , 喷砂覆盖面积 531km ² , 砂压农田 50 万亩, 6 万眼机井淤砂错断。	咸水淹田 70 万亩。	Ⅷ度烈度异常区内出现宁河、汉沽Ⅹ高烈度异常区, Ⅶ度区内出现乐亭Ⅷ度高烈度异常区, Ⅵ度区内出现秦皇岛市Ⅶ度高烈度异常区, Ⅶ度区内出现Ⅷ度玉田低烈度异常区。
1976.7.28	滦县	7.1	地震断层长 9.5km, 垂直落差 0.3~1.0m, 大量地裂缝主要分布在河两岸及沿岸残山两侧。			地裂缝沿线出现强烈砂土液化。	地面多处涌水, 乐亭王各庄等地面涌水成河。	

由于破坏性地震的发生, 对周围地区区域稳定产生不同程度的影响。主要表现在特定的地质条件下形成的物理地质现象, 如断裂活动加速及老断裂复活, 地震的发生, 岩溶塌陷, 滑坡等。唐山 7.8 级大地震发生, 作者认为是一个明显的例子。唐山市区现在已查明有三条活动断裂, 它们由东向西分别为唐山—古冶断裂, 唐山—长山断裂和陡河断裂 (图 2)。但在 7.8 级地震发生前, 人们知道, 陡河有一条北东向断裂, 市区开滦矿下有一条不大的 4 号断层, 历史上唐山市只有 1935 年一次 4 $\frac{3}{4}$ 级地震的记载, 震前区划图定的基本烈度是六度, 人们对该区构造活动程度和地震危险性认识并不深刻。近年来, 随着地震工作的不断深入和发展, 人们对地球深部地质构造活动现象认识越来越清楚, 地震是地壳范围内构造应力与岩石强度矛盾斗争引起的一种现象, 当构造应力超过岩石强度 (一般指抗剪强度) 往往是先从一些薄弱地点产生裂隙, 然后按一定的方向和顺序发展, 岩石由塑性变形进入突然断裂, 在大量释放能量时即发生地震。

此外, 冀东地区北部及东北部分布有前震旦系变质岩 (片岩、片麻岩、混合岩)。中部为古生代地层 (震旦系石英岩、灰岩、寒武系页岩、石炭二迭系砂页岩), 总厚度万余米, 唐山地震震源深度 11km 左右, 估计震源处岩性为变质岩与沉积岩接触部位, 易于应力集中。所以作者认为, 唐山 7.8 级地震是由于断裂活动引起唐山及附近地区应力高度集中到释放的结果。同时滦县周围历史上多次发生中强地震, 特别是 1624 年、1945 年两次 6 $\frac{1}{4}$ 级地震的发生对唐山地区应力高度集中和释放起到一个推动作用, 即对 7.8 级大

震诱发作用。反之，唐山地震发生对滦县 7.1 级地震和宁河 6.9 级地震起到一个触发和推动提前发生的作用。

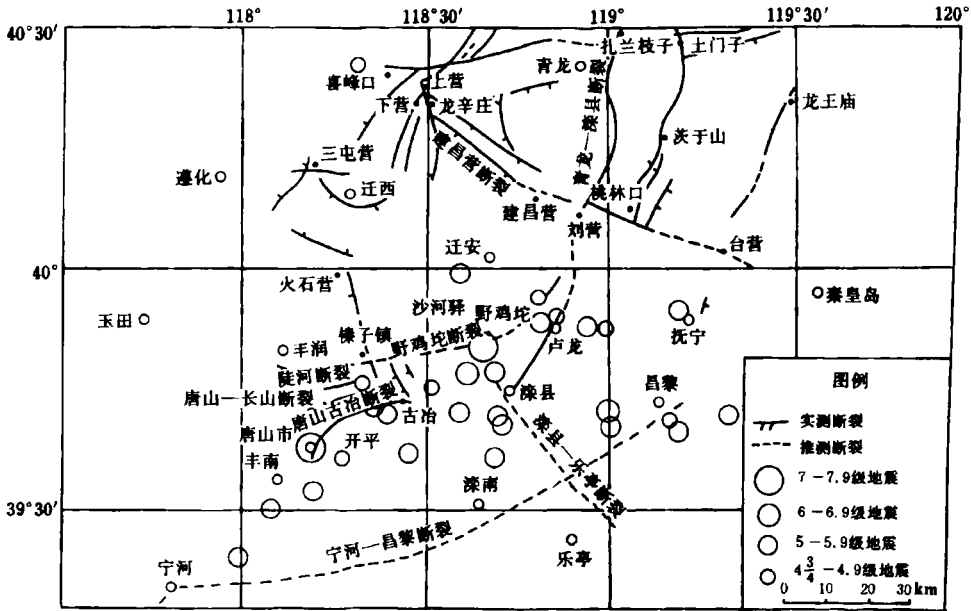


图2 冀东地区主要断裂构造与震中分布图

1.3 今后地震活动程度的估计

冀东地区自 1976 年唐山发生 7.8 级和滦县 7.1 级地震至今已 20 年，在这 20 年内冀东地区一直处于应力调整状态。大地震后地下岩体破碎，产生大量热能一时难以消散，岩体处于塑性状态，发生变形，逐渐释放应力，因此中小地震连续发生。但破碎岩体在调整过程中应力同时又在一定程度上积累，因原地岩体破碎且温度升高，应力不易在短期积聚，但地球总是在转动，且转速时常发生变化，构造应力总是存在的，此处不能集中，则必然在破碎岩体周围较完整的岩体处集中，这就在震区出现一个相对平静期，当应力积聚到一定程度时，超出了其摩擦阻力就可在震区附近活动起来，这可能就是 1982—1984 年冀东地区 3 次 5 级左右地震和 1991—1995 年双 5 级及 4.9 级地震发生的直接原因。通过对这几次地震震源机制解的结果也可证明这一点。它们的节面 I 走向分别与唐山断裂和滦县—青龙断裂及滦县—乐亭断裂走向相一致，是受 7.8 级及 7.1 级地震破裂面严格控制。是北东—北北东向断裂及北西向断裂伸展破裂的结果。所以认为它们应属于大震后的晚期强余震，今后随着时间的推移，震源体内部的自身调整平衡，应力积累的速度放慢，产生地震的时间间隔会延长，震级可能会自行减小。

2 冀东地区区域稳定性工程地质初步评价

区域稳定主要是指地壳运动形成水平位移、升降错位、褶曲、断裂以及地震等造成对某区域的安全程度。其次是在特定的地质条件下形成的物理地质现象，如断裂活动、滑坡、震动液化、岩溶塌陷等造成对某区域的安全程度。影响区域稳定的因素有区域岩土

体特征,构造活动程度,地震等因素。

2.1 冀东地区岩土体工程地质特征

岩土体工程地质类型受地质因素控制,它们的性状受各时代的地层形成环境、岩性岩相变化、地质构造及外力作用等因素影响。

(1) 岩体

冀东地区岩体主要由沉积岩(碳酸岩、碎屑岩),岩浆岩(侵入岩、火山碎屑岩和火山熔岩),变质岩(片麻岩、板岩、片岩)组成。但受多次构造运动影响,岩体裂隙发育。除火山碎屑岩、板岩、片岩易风化,强度较差,还有灰岩中岩溶发育,地下水分布不均衡,给工程带来一定的危害以外,其它岩石都较坚硬,强度及整体都较好。

(2) 土体

土体地层主要指第三系和第四系松散层。主要分布于冀东地区的东、南部地区及山间盆地和山间河谷地区。土体的工程地质特征是:一般粘性土和非粘性土(砂类土)不具有湿陷性,大部分属于中等压缩性;砂类土多数为稍密—中密状态,也是大部分属于中等压缩性的;黄土状土具有轻微的湿陷性,它的渗透系数一般为 $0.8\text{—}1.5\text{m/d}$,压缩系数在 $0.15\text{—}0.5(\text{MPa})^{-1}$ 之间,属于低—中等压缩性土;淤泥质土灰黑色,普遍有螺蚌壳,有机质含量高,一般在 2% 以上,孔隙比大多在 $0.8\text{—}1.5$ 之间,属于高压缩土。

总之冀东地区岩体稳定,坚硬整体状岩体和坚硬中厚层状岩体多,软弱岩体很少。土体地层中,有少数湿陷黄土及淤泥质土,从宏观上讲,无论山区、平原、岩土体工程地质条件均较好,但在沿海地区少数淤泥质土和松散砂土层岩土体工程地质条件较差。

2.2 冀东地区地下水动态及埋藏深度

冀东地区地下水动态是很复杂的,地下水位随季节而变化。平原区地下水一般年变幅 $2\text{—}4\text{m}$,强烈开采区地下水可达 $4\text{—}10\text{m}$ 。一般情况下随着春耕开始,水位逐渐下降,到 $6\text{—}7$ 月初雨季之前降到最低值。随着雨季的到来,开采量减小,地下水位开始回升,但总的情况地下水呈下降趋势,根据调查中收集到 495 口水井资料,我们编制了 1992 年丰水期冀东地区水位埋深等值线图(图3),由图看出总的形态为:北部由迁西附近 11m 深向南逐渐降为 4m (唐海县附近),由东部昌黎一带 4m 向西逐渐增大为 11m (迁西),迁西—迁安之间地下水埋深最大(大于 11m)。 5m 等值线大致沿抚宁—滦县—滦南分布,构成向南凸出的弧形。此线以南地下水埋深小于 5m ,对工程地质条件影响较大。

2.3 对冀东地区区域稳定性的初步评价

该区由于地质构造复杂,地下隐伏多组不同方向的活动断裂,根据河北北部 2005 年地震危险性分析和地震危险区预测,冀东地区今后十年发生八度地震的概率为 $4/1000$,与本作者前面提到的冀东地区地震活动程度的估计结果相一致。即冀东地区今后一段时间内不会发生像吉祥路那样地震断层的震害,只有在特定的地质条件下,遇到砂土液化、塌陷、地裂缝等。

(1) 液化区预测

根据历史地震场地震害重视性,同时对冀东地区工程地质资料综合分析和部分实际计算结果,在冀东有部分地区具有液化的天然条件,特别是渤海沿岸的滦县、乐亭、唐海县古今中强以上地震,砂土液化多次出现,预计未来还会出现较重的砂土液化和喷水

冒砂现象。

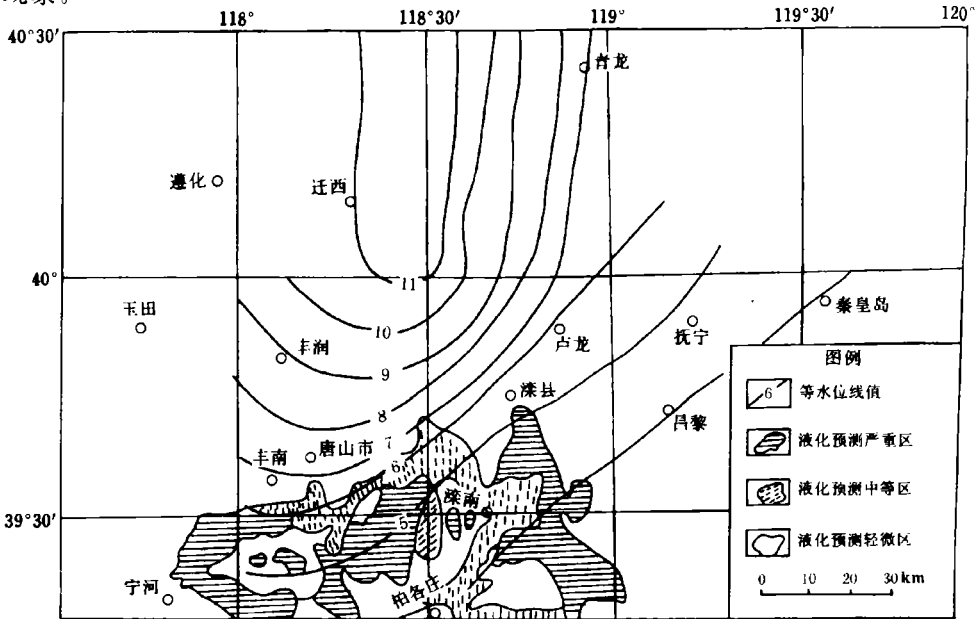


图3 冀东地区浅层地下水(1992)埋深与砂土液化预测图

另外,在冀东平原和滨海地区,有较多软弱淤泥质土夹于20m深度内的粘性土层中,这些软弱淤泥质土,按其成因有冲—洪积扇前洼地型、湖沼型、古河道型和海积型等。它们条块相混,面积较大,厚度不等,层数不一,它的孔隙比在0.8—1.5之间。多属于高压压缩性质。这类软弱层在震动力作用下,一般多成软—流塑状态,结构增密,体积压缩,使一定范围内产生不均匀沉降或开裂。

(2) 煤矿采空区和岩溶塌陷预测

根据本区历史地震和现今地震震害分析研究表明,唐山市区潜伏着煤矿采空区和岩溶塌陷的危害。唐山开滦矿为我国重要煤炭工业基地,它由唐山矿、范各庄等八个矿组成。由于矿区长达百年的开采,使开滦矿采空区遍布矿区边缘,虽然矿区在开采过程中采取留有足够大小的煤柱,但在采空区还是出现范围不等的均匀沉降,产生一些洼地。1976年唐山7.8级地震时,采空区范围内的建(构)筑物破坏严重。现在矿区还在开采,同时大量抽取地下水等原因,所以本区可能随时伴有不均匀沉降或局部塌陷发生。

此外,唐山市区岩溶也很发育,它们分布规律受地层、岩性、构造、水动力场、水化学场等因素制约,空间上呈现不均一性和多层性。在市区,据初步统计,岩溶塌陷15处,塌陷总数超过100个(表2)。

岩溶塌陷是由内动力与外动力作用的结果。依据唐山市岩溶塌陷形成条件的差异性和岩溶发育程度,我们认为该区今后还有出现塌陷的可能,希有关部门应采取必要手段,对塌陷进行以预防为主的综合治理。

(3) 地裂缝预测

历史地震研究表明,地震引起的地裂缝与地震震级、发震构造、地下水位、地形地

貌、工程地质条件等密切相关。裂缝可为构造裂缝和非构造裂缝。构造裂缝在华北地区只有 7 级以上大震才会在发震构造或孕震构造沿线出现。前面提到冀东地区 10 年内发生八度地震的概率为 4/1000, 不会出现构造裂缝。而非构造裂缝大多与砂土液化相伴随, 可以认为渤海沿岸乐亭、滦县、滦南、唐海县未来遭受中强以上地震时会是地裂缝较严重发生之地。冀东其它地区发生地裂缝的可能性较小。

表 2 唐山市岩溶塌陷一览表

成因类型	地点	塌坑数 (个)	影响范围 (km ²)	形态特征	可溶岩层	覆盖层		地下水			危害
						厚度 (m)	岩性结构	含水层结构	岩溶水位埋深 (m)	第四系孔隙水水位埋深 (m)	
抽汲岩溶水	唐山市区	5	3	圆形、椭圆形、筒状、碟形直径 3~7m, 可见深度 1.5~6.2m	∈-0	20~50	多层结构, 粘性土类, 砂层, 砂砾石层。	双层结构	40~52	20~45	建筑物倒塌, 地基开裂, 地下管道、公路损坏。
矿坑突排水	东矿区、唐山市区	23	5	圆形、椭圆形、碟形直径 1.5~35m, 可见深度 2~15m	0	20~70	双层结构, 粘性土, 砂砾石。	双层结构	20~26	15~20	破坏农田, 增大矿坑涌水量。
唐山地震	唐山市区、东矿区、荆各庄盆地。	>80	20	圆形、椭圆形、碟形直径 5~40m, 可见深度 5~10m	JX-∈0	3~180	单层结构 双层结构	单层结构、双层结构、多层结构	20~40	15~20	房屋倒塌下陷, 地基破坏, 农田被损。

(4) 山崩、地滑预测

冀东地区山崩、地滑现象在历史地震中无有记载。只是在 1976 年唐山地震中有过零散出现, 一般都沿较陡的山坡或崖壁分布崩滑。如迁西县南观乡大山观、迁西县爪村龙山和震中区的大城山的老采石场有崩塌和滚石现象。所以作者感觉在冀东地区今后出现大范围的山崩现象可能性不大, 即便有也只是受地形地貌条件控制或人为的某些场点零星出现小型崩塌。

总的来看, 冀东地区工程场地条件较好, 有害外动力地质现象不多, 而且不太严重, 地震给部分地区带来不稳定, 但一般强震发生后, 重新集聚能量需要很长时间, 危害性相对减小, 在今后经济建设中, 要切实增强防震减灾意识, 认真抓好建筑物和工程建设的抗震设防工作。对上述提到的不利地段和地区, 应加强工程地质勘查, 以防给工程带来隐患。

(1996 年 4 月 25 日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 刘恢先主编. 唐山大地震震害 (第一册), 北京: 地震出版社, 1985.
- 2 刘国昌. 刘国昌工程地质文集, 西安: 陕西科学技术出版社, 1992.

- 3 顾功叙主编, 中国地震目录, 北京: 科学技术出版社, 1983.
- 4 河北省地震局编, 河北地震资料汇编, 北京: 地震出版社, 1990.
- 5 张洪波. 唐山市岩溶塌陷预测与防治. 河北省环境水文地质总站, 1989.
- 6 蔡华昌, 等. 1995年河北滦县4.9级地震考察报告, 河北省地震局, 1995.

A STUDY OF SEISMICITY IN EASTERN PART OF HEBEI PROVINCE AND CRUST STABILITY

Zhang Zhenjiang Zheng Yunzhen

(Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang, 050021)

Abstract

In this paper, the estimation of the seismicity level in the eastern part of Hebei Province has been made through a study of the relation between the strong earthquake and active fault. At the same time, the estimation of engineering geology for the crust stability in this region has been made. The results have provided a basis for the prediction of the seismic hazard and economic development in this region.

Subject words: fault Structure; seismicity; seismic hazard prediction; engineering geology