

地貌与震害预测

刘伯礼

(河北省地震局)

摘 要

本文讨论了海城、唐山等若干大地震的地震地貌特征,并从成因上划分为以改造为主的地震地貌和以建造为主的地震地貌,以及混合类型。经研究认为不同地震地貌——自然震害是与地貌成因类型紧密相关的,不同地貌单元的自然震害是有规律的。讨论了构造侵蚀地貌单元、剥蚀地貌单元、山前倾斜平原、滨海平原及其他类型的地貌单元可能出现的震害、在此基础上指出,用研究地貌成因类型的方法是可以进行宏观震害预测的。

一、地震地貌形态

地震作为内营力对地貌有明显的改造作用。大地震自然震害景观并不是杂乱无章的,它是在长期接受内外营力雕塑的基础上,承受了瞬时地震荷载作用,使自然景观留下了地震痕迹,即自然震害。这种自然震害有别于建筑物发生的工程震害。讨论自然震害的目的在于寻求自然界的规律,使工程建设减少或者避免震害损失。

自然震害矛盾的双方,即地震与地壳介质,其相互作用的结果反映在它的外部形态即地貌上。但由于地震地貌形态大多规模较小,在外力作用下又迅速被破坏,因此保留的也较少。

地震的地貌作用主要表现在对地貌的改造和建造两个方面。

1、以改造为主的地貌:①地裂缝,这是地震地貌的主要形态之一。按其地裂缝的成因又可以划分以下三种类别:第一是构造裂缝,也就是地震断层,这种裂缝与应力释放有成生上的联系。因此,其力学属性可以反映应力场的特征。第二是重力裂缝,是由于地层受到震动,降低或丧失了抗剪强度后,在上部岩(土)体重力作用下开裂而成,其力学属性只与局部地形及重力的分力有关。第三种是波动裂缝,唐山地震发生在乐亭王滩、赵滩一带的大规模地表裂缝,就属于这类裂缝,其水平错距多在1米以上,错断公路、树行、田埂、房屋,其延展方向从海滨的王滩至赵滩再到崔魏埝至青坨,再向北西仍有出现,裂缝整体走向为北西,长达30公里以上。如此规模巨大的裂缝出现在远离震中的七度区的平原地带,一直使人迷惑不解。然而经考察后分析,不难看出是在特定

的地质条件下出现的一种震害现象。即相当大的范围内砂土液化，使孔隙水中的土颗粒呈悬浮状态，孔隙水瞬间变成了连续的水层，土层似漂浮在水中的小舟，在地震波作用下，荡来荡去，驱使地面产生大规模开裂，波动行止，土层的运动也随即行止。因此，这种裂缝经常表现出多种力学属性，而且在小范围内水平位移的方向也可能相反。这种裂缝有别于重力裂缝，主要是造成这种裂缝的动力源并不是重力。重力裂缝与地形及地质结构关系更为密切，而波动裂缝只限定在大规模砂土液化地区才能产生的一种特殊的震害现象。它自然也有别于构造裂缝，主要在于它的力学属性与应力场没有成生上的联系。

②滑坡、崩坍，它对改造或建造地貌形态更为突出，但滑坡与崩坍都与原始地貌形态及地质结构有关，并不是任何一次大地震都能产生滑坡。我国地震滑坡主要发生在西南及黄土分布地区，见表 1。这是由于那里的地貌条件决定的。从表中可以看出烈度六度时

表 1 分布不同烈度区的滑坡百分数*

地震区	烈度 (%)	震级							
			V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
四川炉霍	7.6				3.0	27.0	70.0		
云川大关	7.1			25.0	14.0	61.0			
辽宁海城	7.3			—	—	—			
河北唐山	7.8			—	—	—	—		
云南龙陵	7.3			52.0	48.0				
四川松潘	7.2		6.0	53.0	41.0				

据杜恒俭资料补充修改

就可以促成滑坡发生，可见地震滑坡的动力并不一定很大，而主要取决于地震前的岩体稳定状态，地震力只是作为附加力从而增大了滑动力。当然从结构上讲，也有可能震动使滑动面的抗剪强度降低(如有水渗入降低了内摩擦角；破坏了结构降低了内聚力等)，抗滑阻力小也可能发生滑坡。因此，不能单以滑坡作为地震高烈度的标志。

2、以建造为主的地貌，由于震动，使土体(主要是饱和的松散粉细砂)结构改变，发生大规模的喷砂冒水，大量的砂土从地下被孔隙水压冲到地表，埋没农田，堵塞渠道，在地表建造了新的地貌形态，一个个喷砂孔形态似火山口，大小不一，有的呈线状排列，有的呈片状。唐山地震后，在滦县李各庄出现两个交接的喷砂孔，长轴走向东北为33米，孔内积水为潭。

3、地震的次生灾害对地貌改造，地震引起海啸，海浪的巨大冲击力对海岸的改造起了重要作用；地震引起泥石流，泥石流又对地貌进行新的改造；地震滑坡堵塞河道，形成新的湖泊。总之，地震作为内营力是可以再造地貌的。

下面举例说明地震对地貌形成的作用。1923年日本关东大地震时,面积约150平方公里的相模湾,一部分迅速上升了200—300米,而另一部分则下降了150—200米。1755年葡萄牙地震,里斯本的沿海岸山脉瞬间即沉入水底,而在原地形成深达200米的海湾。印度阿萨姆地震时,大海中升起许多岛屿,其中有一个岛长150米,宽25米。1911年帕米尔地震时,发生大规模的崩塌,崩塌体隔断了穆尔加河谷地。形成宽5公里以上,高达600米的拦河坝〔1〕。1654年甘肃天水地震时,极震区天水罗家堡七十峪及木门里一带,山崩水壅,塞河为潭,或两山合为一处,压埋村落近十里。1668年山东莒县郯城8.5级地震时,莒县马蓍山山崩四散,五庐固山劈裂一半,阎家固、施风朵、科罗朵、马齐山各裂一半〔2〕……。1933年四川迭溪地震时,岷江两岸多处滑坡、崩塌,形成十余个海子,其中大海子坝长竟达800米左右,底宽170米,高160米,水深98米,库容量达7300多万方〔3〕。至于地裂缝,喷水冒砂更为常见,如1556年陕西华县8级地震时,地裂隙,水涌成渠〔2〕。1975年海城地震时,下辽河喷水冒砂面积可达3000平方公里〔4〕,1976年唐山地震时,喷水冒砂面积高达24000平方公里〔5〕。

现将几种主要的地震地貌按其在地貌的作用划分为以改造为主和以建造为主两种类型,和既有改造又有建造的混合形态,见表2。

地震既然具有巨大的破坏力,改造着自然景观,我们通过地震地貌及自然震害的研究,可以达到两个目的:一是寻找自然震害的内在规律,然后用类比方法进行宏观震害预测,为减轻地震灾害服务;二是为研究古地震提供方法。

二、震害与地貌条件

如前所述,我们研究地震地貌的目的在于寻找自然震害规律,大量的地震宏观考察材料表明,不同地貌单元出现的震害是有明显差异的。这是因为不同地貌单元的地质结构,堆积物类型是不同的,如山前洪积扇(裾),地处山前,堆积物是以粗颗粒为主的,地下水埋藏较深,水力坡度较大,迳流条件好。一般来说在这种地貌单元内,因为缺少液化所必备的粉细砂物质,地下水位深,所以发生液化的可能性很小。而在滨海平原,它的堆积物主要是近代海积粉细砂且结构松散,有效压力层一般很薄,地下水位浅,迳流条件差,地层处于饱水状态,具备液化的天然条件,因此,在地震作用下,极易发生液化。海城地震下辽河平原液化严重,唐山地震时滦南、乐亭、柏各庄等地液化严重,都是因为地处滨海平原的缘故。由于堆积物结构不同可以产生不同的震害效果。相同的地质结构,由于受地貌作用的过程不同,产生的震害也可以不相同。如处于构造侵蚀地貌单元的山岳区,河流对地貌的改造作用尤为突出,河谷深切,岸边在自然条件下经常处于极限平衡状态,地震后自然会出现多处滑坡、崩塌;而以剥蚀作用为主的山岳区,由于地壳的垂直运动相对平缓,流水的下切作用并不突出,以面流为主,山势多呈浑圆形,地形坡度较小,植被发育,河谷开阔,在这种地貌单元即使发生强烈地震也是不易发生滑坡、崩塌的。

下面进一步讨论几种不同地貌单元的震害特点。

几种主要地震地貌类型

表 2

地震地貌类别	地震地貌	易于出现的地段	主要特征	研究目的
以改造为主的地貌	地裂缝	极震区 岸坡 古河道	无论何种成因的地裂缝，它们都使岩土发生相对位移，造成永久变形。	发生在裸露岩石中的地裂缝，是可以作为地震遗迹考证的，发生在松散土层中的裂缝由于易被消除，除非有地物或明显地层标志，一般不易考证。
以建造为主的地貌	喷水冒砂	滨海平原 古河道 洼地 现代河谷	饱和粉细砂震动后液化，在孔隙水压力作用下，易于在有效压力较低处（井孔、渠道等）喷出地表，可埋没渠道，淤塞井孔，积压农田。	地表堆积易于被清除，但液化层的通道却可长期保留在地层中，是鉴别古地震的主要标志。
混合类型的地貌	滑坡崩塌	侵蚀河谷 陡坡	一方面由于地震改造了地形，但同时滑坡体（或崩塌体）又建造了新的地表形态，它们可以堵塞河谷，形成地震湖。	由于其体积大，是易于保留的地震地貌形态，但要认真鉴别是否由地震成因造成的

1、构造侵蚀地貌单元,在内动力作用下,地壳长期上升,地貌显示出明显的原始地质构造特点;同时又由于流水的侵蚀切割,山坡陡峻,河流纵剖面比降大,河谷多呈“V”字型峡谷。岸边在重力作用下张节理发育,若遇构造结构面(断层面、节理面)及地层的软弱面构成不利岩体稳定的棱形体时,那么斜坡在自然状态下经常处于极限平衡状态,崩坍、滑坡时有发生。因此,地震若发生在此类地貌单元内,滑坡、崩坍就不是偶然事件。显然震级的大小并不是发生滑坡、崩坍的决定性因素,而主要取决于地震前斜坡的稳定状态。我国西南地震多出现滑坡而华北与东北地震则少见滑坡就是这个道理。

这类地貌单元主要分布于中、高山地区,由于地壳长期上升,堆积物不发育,即使在河谷地段,也很少有堆积物,若有也是粗颗粒的,因此,一般不具备发生液化条件。

2、剥蚀地貌单元,由于地壳垂直运动缓慢,河流的下切速度并不突出,地形除受流水的改造外,尚受其他外营力的改造作用,地势多较平缓,地面坡度小,河流谷地开阔,植被发育,自然状态下斜坡多处于稳定状态,除斜坡与结构面的组合极不利于稳定,或有软弱夹层存在时,可能发生因地震产生的滑坡,一般情况下是不会产生滑坡的。当然,由于采石,修筑铁路、公路等出现的高边坡,人为的改变了自然条件,边坡的稳定状态随之改变,不属于本文讨论的自然灾害范畴。

在此地貌单元内,由于河谷开阔,以及山间盆地发育,堆积物具有细粒物质来源,地震时,在局部地段可以发生液化,但一般规模较小。

在剥蚀地貌单元内,经常存在一些规模不等,成因不同的小型山间盆地。由于其成因上的差异,盆地基岩面起伏形态及其内堆积物也不尽相同,震害也自然不同。对沉积盆地而言,在盆地的中央震害有加重趋势。对此种现象高振寰〔6〕认为是盆地起了聚焦作用。对于断陷盆地,由于盆地内堆积物的成分及厚度可以差别很大,对震害起控制作用的则是地基土的类别和厚度。海城地震时,岫岩县苏子沟乡的罗圈里村,地处山间盆地内,烈度高出周围一度。该盆地系为一小型旋卷构造,以盆地为中心,周围为一列由内向外放射状排列的断裂面和弧形背斜,盆地内堆积灰黑色的淤泥层,厚度为3—7米,盆地边缘为冲积、坡积亚砂土夹碎石,厚1—3米。地下水位埋深1—3米。震害最重处并不在旋涡中心,也不在断层线上,而是在地基土最软最厚处。这是由于软土地基的放大作用,加重了震害。因此,对盆地震害要具体分析、断层,地基土、地下水等都会在加重震害上起作用。

3、山前倾斜平原,堆积物主要是洪积、冲积及坡积物。因地处山前,堆积物主要由洪积构成,颗粒粗,厚度相对薄,渗透性好,地下水迳流条件也好,地下水位一般埋深较大,地基条件好。在这一地貌单元内震害一般较轻,特别是当洪积层较厚时更是如此。这一单元除河谷地段,一般不具备液化条件。如唐山地震时,唐山市处于洪冲积倾斜平原上,第四纪堆积物厚度在20—30米,下覆奥陶纪灰岩,灰岩的上面是厚度不等的洪积砾石层,其上一一般为含砾石的亚砂土,顶部多为亚粘土及粘土。地下水位深在20米左右,因此,尽管极震区烈度高达十一度,但在市区内并未见喷水冒砂现象,而只是在陡河两岸才见到这类现象。它与乐亭、滦南县大面积喷水冒砂呈显明对比。这种情况清楚表明了地貌及地质结构对震害的控制作用。

山前倾斜平原若处于高烈度区,它的主要震害是地裂缝,特别是在一面临空的边坡地段,如路基、岸坡等地段经常产生很大的裂缝。如,唐山地震时,市区通往各地的公路都发生了大规模的裂缝。当烈度较低时,这类地貌单元应是较稳定的。如玉田县的低烈度异常区,该区为七度区中的六度异常区。在1679年三河平谷8级地震时,该区也处于低烈度异常,正如史料记载的“京东地方凡庙宇房屋墙垣倒坏殆尽,唯玉田无恙”〔2〕。在玉田东边的丰润,在这次地震时则是“城郭崩塌十之八九,民房半颓,人多露处”。显然,玉田低烈度异常的重复性(1679、1976年两次大地震),是由于它的地质结构特点决定的,主要是因为玉田下面是由厚度很大的洪积砾石层构成,这是产生低烈度异常的根本原因。

4、平原区,由冲积或冲积、海积、湖积等混合成因的,特别是在那些近代海积的滨海平原,或以湖相沉积为主的洼地,震害均较重。由于这一地貌单元堆积物多为细粒组成:细砂、粉砂、淤泥、亚粘土、粘土等软弱层,且形成时代较晚,土层固结差,地下水位又浅,因此是不良的工程地质地段。地震时是极易发生砂土液化的。在有淤泥、软粘土分布地区亦可出现不均匀沉陷,进而造成上部结构的破坏。喷水冒砂是饱和砂土在地震作用下丧失抗剪强度的一种外在表现。当然,由于土层丧失了抗剪强度也可以产生其他震害,如大规模的地裂缝,或岸边滑坡等。液化虽然有加重震害的一面,但也有“湿震不重于震重”的说法,这里所说的湿震系指液化土层,由于液化层消减了地震波的能量,对上部建筑物起到了一定减震作用,可以减轻震害。当然这要作具体分析,这只适用于那些对地基条件要求不高的自重较轻的民房,而对荷载较大的高层建筑物显然不适用。

平原区水系发育,由于地质或人为因素,水道常常变迁,遗留古河道甚多,如河北南部滏阳河古河道就极为发育。唐山地区滦河古河道也有多条,在这些地方由于堆积物颗粒较细,时代较新,固结差且又饱水,因此往往沿古河道分布地段发生砂土液化。在——些海湾地区,由于海岸变迁和海浪的回流作用,大量的松散物质在海滩上形成垄岗海岸堤,它可封闭海水形成泻湖。秦皇岛市、威海市都有这类成因的地形。因此,在规划时对此种不良工程地质地段特别要予以注意。

5、其他地貌类型,有些特定的震害,只发生在特定的地貌单元内,如震陷,这种现象多发生在有可溶岩分布区或地下采空区,由于地下有溶洞或其他溶蚀地形分布,在地震作用下失去稳定状态,使地表出现陷坑。因此,在岩溶地貌单元内查清地下岩溶发育规律,是搞好防灾规划所必须的。

黄土在中国分布面积广,厚度大,尤以黄河中游甘肃、陕西、山西一带分布最广。黄土堆积地貌主要有塬、梁、峁。此外由于黄土性质决定,在水的参予下可发生潜蚀现象。如黄土碟、黄土陷穴、黄土柱等。黄土分布于半干旱区,植被不发育,水土流失严重、沟谷深切,深度可达几十米,甚至上百米。由于黄土的堆积时代不同,性质有很大差别,时代愈老固结愈好,强度也愈高,反之则差。黄土地区一般缺水,地下水埋藏深。

由于黄土地形多支离破碎,沟谷发育,虽然在自然状态下黄土有较高的强度,形成很陡的边坡,由于其具有大孔结构和湿陷性,以及常有红色粘性土分布,对边坡的稳定带来不利影响,在地震作用下,是极容易发生崩塌、滑坡的。1920年海原地震时,滑坡相

当严重,主要是发生在黄土地貌单元内。山西、陕西、新疆在进行古地震考察时,也发现大量由古地震造成的黄土滑坡。

各地貌单元可能出现的震害列于表3。

表3 各地貌单元主要震害

类型	地貌特点	主要震害	调查主要内容
构造侵蚀单元	地壳垂直运动明显,河流下切显著,河谷呈“V”字型,纵坡比降大,山坡陡峻,基岩裸露	滑坡,崩塌 常因滑坡或崩塌堵塞河流,形成地震湖,大规模的滑坡崩塌以及地震湖常使地貌改观。	调查时主要研究斜坡结构面组合情况,对其稳定性作出评价。同时应注意有无构成泥石流形成的固体材料。
剥蚀单元	地壳升降运动相对缓慢,流水下切作用相对不突出,其他外营力与流水共同改造地貌,山坡较缓,植被发育	斜坡一般处于稳定状态,在风化严重地段,可能由于震动而产生风化壳的外层剥落,在河谷地区是有可能产生喷水冒砂的,在人工破坏的边坡地段是可能发生崩塌或滑坡的。	需注意河谷地层结构及地下水位埋深,还要注意调查人工边坡的稳定性。 对山间盆地要查清其成因以及堆积物类型、成因、厚度等。
山前洪冲积倾斜平原	处于山区与平原交接地带,多由洪积、冲积或坡积物构成,地下水径流条件好,埋藏较深	一般情况下是较稳定的,在极震区或边坡地段,可发生地裂缝,河谷有发生液化的条件。	着重研究人工改造的地形,以及人工填土的分布,这是产生各种震害的主要地点。
冲积平原	由冲积湖积海积构成的平原,细粒物质多,结构松散,地下水径流缓慢,且埋藏浅。	是易于发生液化地区,同时由于有软弱层(淤泥、粘土等)亦可发生地基不均匀沉降。 由于震动土层强度降低,可产生大规模地裂缝和岸边的滑移	要查清可能液化层的深度,判别由于液化可能产生的其他震害

三、地貌是震害预测的重要因素

从前面的讨论中不难看出自然震害对地貌的依赖关系,这种关系为我们预测未来震害提供了条件。

人类在与地震灾害斗争中不断地从工程上,地质上总结经验,推动了工程地震科学

的发展。为了减轻地震灾害，主要是寻找地壳相对稳定地区，或称地震基本烈度低的地区。地震灾害在小范围内有 1—2 度的差别，甚至还会有更大的差别，这要是由场地条件的差异而造成的。显然，从工程角度看来，在给定地震基本烈度后，还要求对工程范围的小区进一步研究，从地貌、堆积物的成因及结构以及地基土的静、动态性状上进行研究，以便选择最良好的场地，取得最佳防震效果。

震害与地貌关系是极为密切的，因此，作为一种规划工作，在给定地震基本烈度之后，从宏观角度看，完全可以从地貌成因类型研究入手，对震害进行预测。这主要因为地貌成因类型不仅仅是地形外部形态的反映，它还包含在地质年代形成过程中的改造和建造作用，它是内外营力与地壳介质矛盾斗争的总结果。因此，不同的地貌成因类型，它的稳定状态，堆积物类型，当然是有差别的，对地震动的反映也必然要有差别，这种差别必然反映在震害上，这就是我们用此作为震害预测的根本出发点。

如上所述，作者认为在给定地震基本烈度以后，应用地貌与震害关系的研究成果，是可以在宏观上(小比例尺)对震害进行预测，这种工作是以地学研究为基础的，可在为工程建设服务的专门性工程地质图件上反映出来，它可适应于规划阶段工作的需要。

(1985年4月10日收到初稿)

参 考 文 献

- [1] O. K. Леонтьев等，普通地貌学，人民教育出版社，1983。
- [2] 中国科学院地震工作委员会历史组编辑，中国地震资料年表，科学出版社，1956。
- [3] 四川省地震局编著，1933年叠溪地震，四川科学技术出版社，1983。
- [4] 中国科学院工程力学研究所，海城地震震害，地震出版社，1979。
- [5] 中国科学院工程力学研究所，河北省地震局抗震组，唐山地震震害调查初步总结，地震出版社，1978。
- [7] 高振寰等，唐山地震震害的若干地质问题，华北地震科学，1，1，1983。