

多指标综合地震小区划方法及其意义

孙崇绍

(国家地震局兰州地震研究所)

前 言

地震小区划的主要目的是在一个不太大的范围内(如一个城市、工矿区等)查明在遇到可能发生的强震时各个小区的地震动强度以及产生震害差异的主要原因。作为一个比较完善的地震小区划至少要能回答以下两方面的问题:1)不同小区内的强震地面运动特征,如地面最大加速度、速度、反应谱等,2)不同场地可能出现的地基失效,如地震可能引起地基永久变形、崩塌、滑坡、开裂等各种现象。近年来,地震小区划作为地震工程学中一个较活跃的领域,进展很快。在我国,地震小区划主要是结合城市抗震防灾规划进行的,目前已有十多个大、中城市先后进行了这项工作^[1]。随着城市规划等各方面的要求日趋严格,如何全面又准确地预知强震的震害和损失,就成为摆在地震小区划面前的一个重要问题。

我国的地震小区划自五十年代末以来大致经过了烈度增减、场地类型区划、地震动参数区划等三个阶段^[2]。然而上述方法或手段的依据大多是同一类型的一种或几种指标,所反映的问题也往往局限于某些方面。其中采用地震动参数进行地震小区划固然是较先进的方法,但也难克服上述缺陷。事实上,由于地震破坏原因的复杂性,仅采用单一的方法往往很难指出强震对建筑物危害的全部原因。

基于对震害差异的全面的认识,提出了综合的方法,其实质是从不同的角度来反映强震时各小区的差异,是一种多指标的方法。这种方法的表现形式往往是用平行的几张图件共同反映某一地区的问题。从学科上讲主要是通过动力地质、工程地质等学科的手段研究一个地区的环境结构、通过地震工程手段研究地面运动参数。这种方法在国内以西北地区采用较早^{[3][4]},也是我们在地震小区划中的特点。

这种方法之中,对于地震动参数的计算和其他方法相似,本文不作论述。而对于一个地区各种自然条件,即所谓环境结构的研究,是这种方法突出的特点。

一、环境结构研究在地震小区划中的意义

将各种因素联系在一起综合考虑一个地区的自然条件在地理学中称为环境结构分析方法。在地震小区划中,主要应注意那些可能影响到震害的自然条件,如地质构造、土质条件、地下水埋深、地形等。研究这些条件以及它们之间的关系主要应用于分析地震时场地性能,确定场地的稳定性以及其本身可能发生的地基失效。目前在这个领域中广泛应用着工程地质学、土力学、岩体力学、动力地质学等学科中的原理和方法,不论在方法上和精度上都有较大的伸缩性。

近年来,随着理论分析方法不断加强,手段不断改善,曾一度有人片面地认为地震小区划的主要目的是通过理论分析求出强震地面运动参数,其他的问题大多只能定性地解决,已经退居于次要的地位了。这种看法自然很不妥当。实践证明,对环境结构的分析不仅不应当削弱,反而应当在不断采用新技术的前提下,进一步加强具在地震小的区划中的作用。因为:

1.地震震害和一个地区的环境结构之间有着密切的关系。比如,由于地基失效所引起的震害差不多完全取决于当地的土层结构和地下水埋深。这类问题在地震小区划中决不应忽视,甚至比小区间地震动参数的某些差异还重要得多。解决这类问题的方法也是多种多样的。比如有时可以采用工程地质条件类比法从宏观上估计其危险性。也就是说,可以解决当前单靠理论分析尚不能或不易解决的一些问题。

2.从应用方面讲,地震小区划的结果既然应用于城市规则、土地利用规则以及一般建筑物的抗震设计,除了地震荷载之外,还必须说明各种地基失效的可能性。在建筑物抗震设计时,也需要根据场地的情况采取相应的抗震工程措施。所以,对场地问题的分析应该具体,而决不能仅仅指出有利、不利和危险的分类就算满足了要求。环境结构分析的意义首先在于对工作地区全面的认识。解决这种问题可以首先划分出几种结构类型的场地,针对每一个这样的单元分析各种可能影响到震害的自然因素,勘探、测试乃至理论分析地面运动参数的工作。这比单纯采用按网格布置测试点的方法要好得多,除了能够节省一定的工作量而外,更主要的是能够从自然的场地结构上划出更合理的小区划界线。

环境结构分析的意义当然也包括一些具体问题,如地基土本身的性质。不同地区、不同成因时代和类型的土石,除了具有不同的工程地质性质而外,也具有各自不同的动力性质。比如决定土的动力性质的重要指标之一——剪切波速,就和土的成因时代有密切的关系。以西安市为例,不同成因、类型和时代的土层切波速随埋深的变化如图1所示。

图1清楚地表明,把土当做工程地质体,按其成因时代分别求取其参数的变化比

单纯用统计手段所得的结果要好得多。

将环境结构分析与地震动参数的分析结合起来,就是我们通常所说的综合地震小区划方法。

二、综合地震小区划方法

综合地震小区划方法实质上是一种多指标的方法^[6],最早由美国地质调查局的Börcherdt在1975年提出并在旧金山地震小区划中采用^[7]。在该市的地震小区划中共包括了五个方面:(1)基岩地面运动的评价;(2)地震区划中沉积物的划分;(3)局部地质单元对地面振动的反应;(4)液化的可能性;(5)滑坡。事实上,五个方面可以归纳为两类问题,即场地震

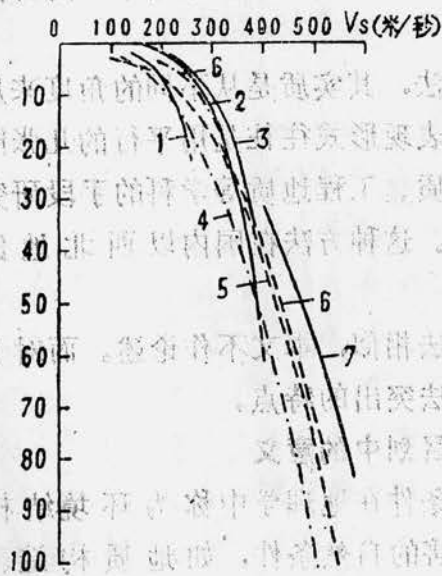


图1 西安市剪切波速随深度的统计规律^[5]

- | | | |
|---------------|----------------|-----------------|
| 1. Q_4 黄土状土 | 2. Q_2Q_3 黄土 | 3. Q_2Q_3 古土壤 |
| 4. 淤泥质土 | 5. 各种亚粘土 | 6. Q_4Q_3 砂类土 |
| 7. Q_2 砂砾土 | 8. 砂砾石 | |

害预测和地震动参数预测。

上述原则说明，这种综合地震小区划方法需要因地制宜地研究小区的环境结构。这里，我们以兰州和西安为例，进一步分析这种方法。

兰州市位于黄河中游山间盆地之中，东西狭长，南北受两山约束，黄河两岸断续发育有六级阶地。各阶地之间的结构、土质都有较明显的差别。而且高差大，市内地形复杂，南北两山都有较陡的斜坡面临市区。高阶地面上复盖有晚更新世的风成黄土，大孔隙发育、质地疏松。市区发育有北西向的断层，但这些断层近期没有发震活动的迹象。从市区的环境结构出发，在兰州市地震小区划中需要回答断层的地震效应，黄土的震陷可能性以及南北两山的抗震稳定性问题〔8〕。

西安市位于渭河冲积平原上，市区尽管也可划分为不同的地貌单元，但是起伏不大，地形的影响不显著。值得注意的是市区西部有全新世以来蜿蜒发育的古河道，在古河道中往往沉积有疏松而饱水的粉细砂；西安是我国著名的古城，历史上多次的兴衰，给这座城市留下了分布复杂的人工填土层，这层人工填土可能加重建筑物的震害；特别重要的是，市内自七十年代以来，发育了几条地裂缝。尽管有关地裂缝的成因说法不一，但既然在平时已经对通过其上的建筑物产生了破坏，这些地裂缝的地震效应自然是要弄清楚的。从当地的环境结构看，对于西安，地震小区划中重要的是回答人工填土的分布、古河道的分布以及其中饱和砂土（包括轻亚粘土）的液化势和地裂缝的效应等三个问题〔8〕。

可见，不同地区由于其环境结构的差别，在地震小区划中要考虑不同的问题。

不论那个地区或城市，反映环境结构的各种自然条件或因素在地区上是重合叠加在一起的。各种因素的共同作用决定了一个地区场地的性质。因此，在地震小区划中，应当解决各因素的影响程度以及它们之间的相互关系问题。为此，需要仔细比较各个因素可能造成的震害的规模和性质，首先应当注意那些产生较重震害的场地因素，而把那些影响较小的当做次一级因素考虑。比如，对兰州和西安，它们的次序分别为：

兰州

断层—斜坡稳定—震陷—其他

西安：

地裂缝—液化—人工填土—黄土震陷—软土—其他

上述因素之中，当两种或两种以上互相重合时，影响的程度前者大于后者，应当突出前者的作用。至于突出到什么程度，则应根据具体情况而定。

至于涉及到解决以上问题的具体方法和手段，则要根据问题的性质和现阶段的研究状况而定。正是由于在解决这些问题时没有一成不变的方法以及问题本身的复杂性，使得地震小区划一般都具有研究的性质，尤其是对于那些占地面积大、地位重要、问题复杂的大城市，首先应将地震小区划问题当做科研问题对待。

以上问题之中，相当多的一部分要依靠或借助工程地质学中的方法予以解决。比如在确定黄土震陷时我们曾采用过土动力学分析与理论计算相结合的办法。即首先从宏观上确定可能产生震陷的土类及地区，然后可按工程地质对比的原则，进行典型地区的采样和土在动力作用下残余变形的实验，将土的残余应变特征与地震时的剪应力相比，确定震陷发生的可能

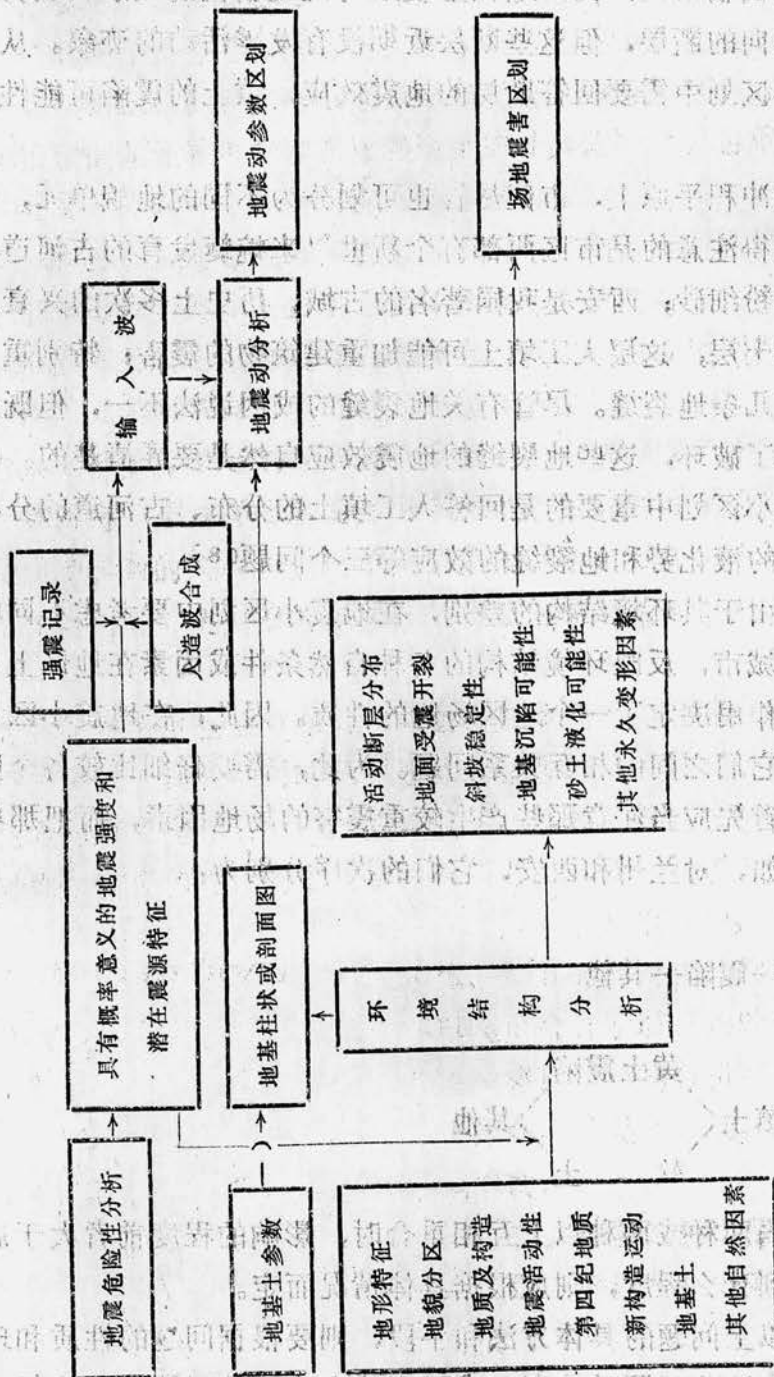


图2 图例

性^[9]。这样就可按照工程地质对比的原则，划出一个城市之内可能发生震陷的地区。显然，这比单纯靠经验方法要精确得多，比采用纯土动力学的方法灵活且节省较多的工作量。对于诸如斜坡失稳、断层效应、地裂缝或地形影响等，也都可根据问题的性质和要求，确定适宜的方法。本文由于篇幅所限，不能一一再作介绍了。

将理论分析方法和场地分析的方法结合起来，地震小区划可以归结为如下的进程（图2）。

三、从兰州、西安两城市的地震小区划结果

看综合多指标方法的优越性

兰州、西安都是西北的大城市。兰州地震研究所在1978—1985年间先后完成了两市的地震小区划。两市的小区划都是按本文所介绍的原则方法完成的。详情见文献[3][5]，在此不做论述。

由此上两例可以看出：

1. 这种方法的优点首先在于从地基失效和地震动两个方面同时进行了区划，符合目前对地震灾害成因的总体认识，便于与地震灾害的分析，预防相结合。
2. 由于进行了环境结构的研究，这种方法在场地预测方面有较大的进展，它不只是简单的场地分类，而且具体指出了各个小区场地抗震中的具体问题。
3. 这种方法所得的结果与现行建筑抗震规范结合紧密，为建筑物的抗震设计提供了全面的指标。

结 论

地震小区划是地震工程学中的一个重要分支，近年来发展较快。目前，有关小区划的方法很多，其中综合的多指标方法能够全面地反映强震时场地的影响。

1. 地震小区划中首要的问题是要对场地的环境结构有一个整体的认识，然后围绕着地基失效和地震动两个方面进行研究。

2. 环境结构的研究中，工程地质研究方法和原理非常重要。工程地质指标往往能反映环境结构的各有关方面，在地震小区划中具有重要的意义。

3. 综合地震小区划中应当因地制宜，分析确定环境结构中的控制性因素，以及它们间的相互关系。

4. 综合多指标小区划的结果常分别用不同的图件表示场地震害和地面运动参数。这样的处理便于全面说明问题，可以直接在规划和抗震设计中应用。

5. 这种方法今后有待进一步研究。主要的问题是使一部分地质指标进一步定量化以便和震害之间建立定量的关系。

参 考 文 献（略）