

初 论 时 效 烈 度

郭 安 宁

(国家地震局兰州地震研究所)

一、前言

地震烈度区划是把未来地震危险程度不同的地区划分出来,以供建设单位进行抗震设计时参考,这种烈度称基本烈度。由于具体建设场地工程地质和水文地质条件的差异和其对地震动的反应不同,因之人们又提出场地烈度或小区划烈度。前一种烈度是以几十年或百年来考虑时间尺度的。后一种烈度则未考虑时间尺度,或者说它是假定在工程使用期间,建设场地的工程地质条件和水文地质条件不变。无论那一种烈度都忽视了场地工程地质和水文地质条件随季节的变化,然而这种变化对烈度是有影响的。例如,在喜马拉雅地震带中,1950年察隅8.5级地震高烈度区有1/3的面积发生了滑坡;1897年西阿萨姆8.6级地震也同样产生了大面积的滑坡;但是1905年坎格拉8.4级地震和1934年比哈尔8.3级地震的滑坡面积要小得多。造成这种差别的重要原因之一就是1950年和1897年地震发生在雨季,而1934年和1905年地震发生在旱季。

对于我国来说,由于地域广大,不同的地震分别位于不同的气候区。即使地震发生的震级相同,并发生在同一月份,其烈度亦不相同。另外据统计,我国许多地震区往往有地震发生的优势季节,这个季节对应着一年当中特有的气候条件,因之在该地区不同季节发生的地震,即使震级相同,其烈度亦不相同。由此可知,我们应当在原有基本烈度和场地烈度的前提下再提出具有时间概念的地震烈度,故称其为时效烈度。本文将对这个问题进行一些论证。

二、气候条件变化对场地条件的影响

1. 降水的影响:就场地性质来说,降水主要影响的是地下水的分布状态和地表土层含水量的变化。

(1) 地下水的分布状态:按埋藏条件可将地下水分为上层滞水、潜水和层间水三类。上层滞水是当地表水下渗时被阻截在局部隔水层上部的积水,其来源主要是雨水补给,所以是季节性的产物,即在雨季才存在,旱季可能干涸。上层滞水的分布是局部性的、多层的,水位往往高于潜水水位。潜水是指埋藏于第一个连续分布的隔水层上部的地下水。由于雨水和地表水能直接渗入地下补给潜水,因此它的分布与气候有关,即当雨季水量增大时潜水面上升,相反情况则下降。层间水是指埋藏于两个隔水层之间的地下水,由于层间水上部有隔水层与地面相隔,所以受当地气候的影响不大。

(2) 地表土层含水量的变化:若用流域水量平衡关系式表达地下土层含水量的变化,则可写为:

$$\Delta W = x - y - z - f - \Delta W^1 \quad (1)$$

式中 ΔW 是土层含水量的变化， x 是降水量， y 是地面径流量， z 是土壤蒸发， f 是入渗为潜水的水量， ΔW^1 是地面蓄水量的变化^[1]。

上式表明土层含水量随季节和气候而变，它与降水成正比关系，降水多时含水量就高，反之则相反。

2. 寒冷的影响：地表的土石在寒冷的气候条件下，由于“负的热均衡”，即土石与水圈、大气圈、太阳、宇宙空间之间进行热交换过程，致使土石温度等于或低于摄氏零度，并含有冰，形成冻土。冻土的物理力学性质和原状土大不一样。要形成冻土的最起码条件是气温要低到零度以下。由于气温有四季之分，所以除了永久冻土外还有季节性冻土。我国北部广大地区皆属季节冻土带，某些区为多年冻土带。现将冻土的性质分述如下：

(1) 冻土的冻结深度：冻土的冻结深度主要决定于当地的气象条件，气温越低，低温的持续时间越长，冻结深度就越深。现将我国一些城市的标准冻结深度列下^[2]：

北京	0.8~1.0米
沈阳	1.2米
大连	0.8米
哈尔滨	2.0米
天津	0.5~0.7米
西安	0.6米
长春	1.6米
满州里	2.5米
济南	0.5米
太原	1.0米

(2) 冻土的含水性：冻土的含水量除了冻结前原状土固有的含水量外，在冻结的过程中由于温度的差异及一系列的物理—化学作用过程，下部的水份就要向冻结层迁移，当地下水的埋藏越浅时，这种效应就越明显，有时含水性要比冻结前大一倍。这样的迁移往往在冻土融化时土的湿度总是比冻结前大大提高，往往强烈软化，甚至会转化为稀泥浆。

(3) 冻土的强度：冻土的强度较非冻土大大提高，它是负温度的函数，即随温度的降低，它的强度就增大。据冰川冻土研究所的测定，当含水量为42.4%时，温度为-1.5℃时，抗剪强度为9.3kg/cm²，温度降至-3.0℃时，就增加到14.3kg/cm²。另外在温度恒定的情况下，冻土的含水量在塑限范围以下含水量增加强度也增加，在塑限以上含水量增加强度降低，一般在小的极限范围内冻土的抗剪强度约在2 kg/cm²~7 kg/cm²内。

三、气候条件影响下场地的地震反应

因气候条件影响的场地性质很复杂，资料也有限，各地也不一，在时间序列里也非平稳过程，要做定量化的地震反应分析困难很大，在此仅做一个定性的分析，列出一个条理，以便以后进一步研究。

1. 场地土质对地震反应的时效性

(1) 滤波作用：地震时从基岩传播来的地震波到达地表土层后，必然要引起地表土层的被迫振动。由于地表土层本身也有一个自振周期，所以对外来的地震波就有选择放大作用。对于单层水平土层，其卓越周期表达为：

$$T_g = \frac{4H}{V_s} \quad (2)$$

式中： T_g 是卓越周期； H 是土层厚度； V_s 是横波在土层中的传播速度。对于复杂多层的土层其物理实质也是一样的。上式表明土层的卓越周期 T_g 与土层中的波速 V_s 呈反比关系。在降雨量大的季节（夏季），由于地表土层水量大大增加，波速 V_s 值变小；相应地在冬季（旱季），地表土层是缺水带和冻土带， V_s 值增大。这样按以上公式降水量大的季节较寒冷的季节土层的卓越周期长。针对结构物的破坏来说是在发生共振的情况下，一般而言是较长周期的波较短周期的波破坏要重。由此可由滤波作用说明夏季（降水量大）较冬季（寒冷，降水量小）的震害重，即烈度高。

（2）衰减作用：由震源产生出的地震波要向四周传播，投影到地表上将是随震中距向四周发散，若经过某一时间 t 到达某一距离，则这时波动方程式的解表达为：

$$X = Ae^{-\xi\omega't} \sin(\omega't + \alpha) \quad (3)$$

式中 X 表示位移； A 是振幅； ω 是无阻尼自振频率； ω' 是有阻尼自振频率； t 是时间； α 是相位角； ξ 是阻尼比。对于夏季（降水量大）的土层含水量高，含水量高的土层阻尼比大，在式中的意义就是传播衰减的快，因为它是有阻尼衰减的振动，衰减的越快就意味着在传播路程中某一单位面积上释放的能量越多，这就肯定加重了震害，此点的时效烈度就高。而在冬季恰恰相反，地震波衰减的慢，地表层连绵不断的冻土带对波意味着要很长距离才衰减完，这样在传播路程上单位面积释放的能量少，破坏轻，时效烈度低。

2. 强震地面破坏效应的时效性

强震的地面破坏程度取决于在地震作用下地面的加速度值的大小，一般而言加速度值大则震害重，除此之外还与振动持续时间相关，对同等地面加速度，振动持续时间长则破坏重。国外资料表明在场地土质不良的情况下，峰值加速度值就相对较高，振动持续时间则相对较长，在时效性方面夏季的场地土质条件较冬季的差，则针对一个地震夏季的加速度和振动持续时间较冬季的偏大偏长，这样就引起了震害加重。就强震的地面破坏效应按其形成条件及危害工程建筑的规模，可大体归纳为三种基本类型，即破裂效应、斜坡效应、地基效应。

（1）破裂效应：当地震发生时，由于构造应力的作用往往使地面土层产生破裂而破坏结构物，这种破裂产生的地裂缝成因有二：一是构造活动，构造活动是一个整体的伴随活动断裂的大变形，这种成因的破裂只受活动构造应力的控制，不受别的因素控制；二是地震传播而产生的地震力所引起的地裂缝，这种地裂缝受地形地貌的影响大。这里我们是要讨论它受季节的影响，从力学上看，当地震波传至某一地层时，必定对这个地层给予一个地震力，若是张力过大，超过这一土层给邻近土层的传递力（拉破裂极限），则出现张裂缝，若不超过则传递给邻层而继续传播。对于含水高的夏季地层较松软，拉破裂极限小，从而不易传播地震力而导致自身破裂，所以破裂也多而大。而在冬季地层性质改变，易传递地震力，本身不易破裂，所以它显示的破裂效应也少，对于压应力作用的情况也类似。以上仅是以理论上从某一角度说起，而实际情况往往很复杂，为此还需进一步探讨。

（2）斜坡效应：斜坡的稳定性可由下列简单关系式表示：

$$K = \frac{\sum R}{\sum P} \quad (4)$$

式中 ΣR 为抗滑力之和， ΣP 为滑动力之和， K 为稳定系数。

显然， $K = 1$ 时斜坡处于极限平衡状态； $K < 1$ 时斜坡处于不稳定状态； $K > 1$ 时斜坡是稳定的。它的抗滑力可根据库仑定律得出：

$$\tau_f = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C \quad (5)$$

式中 τ_f 为抗剪强度， σ 为垂直剪切面的压应力，也就是滑坡体的重力， $\operatorname{tg} \varphi$ 为内摩擦系数， C 为粘聚力。

由上式可看出，降低式中每一个指标都促使边坡向不稳定的方向发展。在夏季降水量大时，降水对斜坡的影响可概括为：

1) 降水渗入边坡体而产生静水压力，土中孔隙水压力的增加引起坚固性的改变，进而造成粘聚力 C 和内摩擦系数 $\operatorname{tg} \varphi$ 的降低，促进滑坡的发生。

2) 有些著者量测过形成滑动面的两岩层间接触带的电位差，用电渗过程以解释因含水量增大而引起的滑动^[3]。

3) 在某些滑坡中有迹象表明，由水的渗流引起的化学变化（水化作用），粘土中的离子交换是另一有害因素。

4) 由于雨季地下水流相对活跃，地下水流给土粒子施加压力，因而降低边坡的稳定性。

5) 地下水能够洗掉易溶的胶结物，因而使颗粒间的结合减弱，其结果是粘聚力 C 降低，同时内摩擦系数 $\operatorname{tg} \varphi$ 也降低。

6) 活动的地下水，从边坡和地下洞穴中冲走细砂和泥质颗粒，因而降低稳定性。

若是地震发生在降水量大的季节，本来降水就大大降低了边坡稳定性，这时再给予一个地震振动，滑坡的发生则不论在规模大小和数量的多少方面都会大大提高。苏联学者叶米里扬诺娃指出，只有当土体相当潮湿甚至饱和时，地震才能成为诱发滑坡的因素。例如，苏联克里米亚南岸是滑坡广泛分布的区域，1927年干旱季节发生了该地区历史上最强的地震（ $M = 7$ ），但没有引起滑坡的复活，与此相反，在山坡土中饱和度较大的夏季该地区某些滑坡的复活却与很微弱的四级地震有关^[4]。在分析时效性的地震滑坡时还应注意两个特殊情况：一是岩石裂隙中的水在冻结时体积增大，结果导致现存裂隙的加宽并产生新的裂隙，因而降低岩石的粘结力。由于冻土的聚水性和粘质土、粉砂土中形成的冻薄层，在春融时表层将加大含水量。二是在季节性干旱和地震前特有的干旱期时粘性土干燥和收缩，结果裂隙张开，土的粘结力降低。另一方面由于旱裂的因素，在雨季来临时水份能大量渗入山坡体中。除了主体边坡的失稳之外，还有一种边坡效应就是泥石流，同理，在水份充分再加之有地震力的作用下，泥石流便很易发生，若是先有地震作用，后有雨水作用，泥石流也会大规模发生，1976年8月松潘7.2级地震证实了此点。相对而言对于冬季情况则相反，旱和冻土对边坡起到一个保护作用，对泥石流尤其是这样。另外一个值得注意的是对地震滑坡来说冬震时未发生，可能在次年春融时就会发生。总的来说地震发生在夏季边坡效应的震害重，时效烈度高，冬季轻，时效烈度低。

(3) 地基失效：地震往往使松散土体压密下沉，砂体液化，淤泥发生流塑变形，这种变形导致地基失效，使上部建筑物破坏。这类现象统称为砂基液化问题，砂基液化发生可能性和分布规律主要受砂土的埋藏深度及地下水位的高低影响所致，地下水位愈高，砂层愈容易液化。砂土的埋藏深度及地下水的综合影响以判别液化可能性的方法可由下式给出：

$$N = N_0 [1 + \alpha_w (h_w - 2) + \alpha_s (h_s - 3)] \quad (6)$$

式中 N_0 为地表附近 ($h_s \approx 3$ 米、 $h_w \approx 2$ 米) 砂土发生液化的临界标准贯击数; α_w 为地下水位影响系数; α_s 为砂的埋深影响系数; h_w 为地下水位 (米); h_s 是砂的深度 (米)。当某一现场实测的平均标准贯击数 N 大于按 (6) 式所计算的 N 时, 则判为不会液化; 反之, 则判为将发生液化。在降水量大的夏季, 地下水位高, 由 (6) 式判别则 N 小, 冬季地下水位低, N 大, 这样对液化来说夏季就比冬季发生的更普遍和低烈度的地震都可能发生。此外, 还存在有这样的两种情况: 一是在雨季才存在而旱冬季就消失了的地下水类型——上层滞水, 这种普遍散布高于潜水面的地下水类型可能大大增加了地基失效发生的普遍性。二是冬季冻土层还起着这样的作用: 一是对喷砂冒水顶层厚厚的冻土层强度很高, 不易被冲破, 在一定程度上阻止了它的发生, 二是冻土层做为结构物的持力层, 当下部砂层发生部分液化及全部液化时, 冻土层支承了结构物下沉的重量, 仍能使上部结构物不受损害和少受损害, 这一点已为 1975 年 2 月海城地震所证实。

液化的另一意义是对滑坡的滑动面发生影响。液化的实质是在地震过程短时间的地震力作用下, 土中水的压力骤然增大, 孔隙水压力来不及消散, 水就向四面八方急剧运动破坏了砂土原来的间架结构而导致剪切强度快速降低, 对于含水不丰的砂土在振动的作用下, 其动剪切强度也逐步降低, 另外还会发生触变现象。这些能引起土的抗剪强度的诸方面都是在同等振动强度同等持续时间下土越富水抗剪强度越丧失的多, 下降的幅度就越大。夏季的地表层较冬季的含水量高, 这就针对同等地震砂土的抗剪强度方面夏季的土层就较冬季的土层丧失的多, 这一点对地基或是滑坡的滑动面都是一样的。总的来说地基失效在夏季重而冬季轻, 时效烈度夏季高而冬季低。

综上所述, 时效烈度最高值在年变化中是在降水量最丰的夏季及初秋, 最低值是在隆冬及晚冬, 其余各季节在这两个峰值中变动。但地震前兆期间气象气候因素的特殊变化则要个别考虑。

四、时效烈度的具体应用

前所述及场地条件是随时间而变的, 因之对于一系列时间值可得出一系列的时效烈度值。从这些值中可求出最大值和最小值, 其中最大值是我们最为关心的。因为现今地震预报仍未过关, 我们在各期的预报中无法精确地得知今后的地震在那一具体时间发生, 所以在工程措施设防中就要考虑最坏的情况下设防。这一点是对过去不分时效评价场地烈度是一个改进。

(1) 新一代烈度区划图: 梅世蓉统计过我国约一千个历史强震在一年中出现的月频度分配曲线 (见图 1)。如图所示三条曲线不因震级和统计时限的变化而有重大改变, 说明我国强震的季节分配是稳定的。因为强震的发生在某个区域具有季节分配的特点, 故作者也粗略地统计了一个我国强震发生季节分布的地域图 (见图 2)。按照上述两个图, 我们可以给出在一年内各时间段的强震发生概率, 对于某一时间 t_n , 强震的发生概率为 $P(t_n)$, 时效烈度为 $I(t_n)$, 则时效烈度的概率表达式为:

$$I(t_n) = P(t_n) \quad (7)$$

上述一年内各时间段的时效烈度概率表达式, 可做为新一代烈度区划图的参考。

(2) 经济预测: 时效烈度表明了在一-年内各时间段中烈度是不一样的, 存在一个最大值和最小值, 这样在损失上就出现一个最大和最小的问题。相应的经济预测则必然也出现一

(6)

, α_w 为

米)。

反之,

地下水

生。此

一上层

。二是

冲破,

分液化

损害,

地震力

破坏了

, 其动

是在同

的地表

土层丧

冬季轻

在隆冬

要个,

效烈度

震预报

以在工

一个改

的月频

, 说明

作者也

们可以

), 时

(7)

个最大

出现一

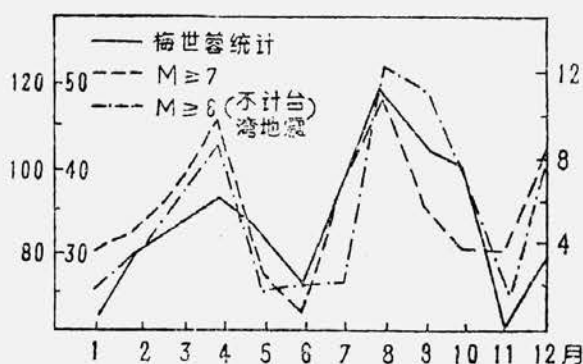


图1 我国强震月频度分布曲线

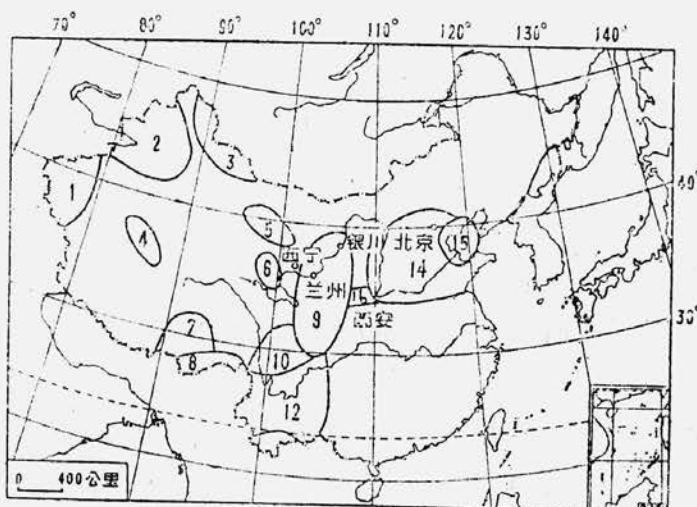


图2 中国强震季节分配区域图

1. 夏5/6, 冬1/6 2. 冬 3. 夏 4. 夏 5. 冬2/3, 夏1/3 6. 冬
7. 冬3/4, 夏1/4 8. 夏 9. 冬5/18, 夏2/18 10. 初春6/8, 夏2/8 11. 冬
12. 夏7/9, 初春2/9 13. 冬 14. 冬3/11, 夏9/11 15. 夏 16. 夏1/4, 冬3/4

个最大值和最小值。所以时效烈度有助于经济预测和分析。

(3) 大震对策: 虽然我们的地震预报还没有过关, 但现在我们还是在努力预报地震。当出现了一系列的短临异常, 我们就要考虑是否可能发生地震。若是在冬季发震, 在抗震中对边坡和地基效应就要与夏季区别对待, 若出现气象异常, 可在临震措施中随机行事, 以减损失。另外还需指出一点的是: 按照时效烈度的含义, 同时间同地震发生在南方则震害可能较北方发震震害重。

(4) 宏观震害研究: 在地震的震级和深度一定的情况下, 地震发生后烈度要按一定的规则随距离衰减, 这就是所谓烈度衰减公式。前已述及, 在降水量大的季节较寒冷干旱的冻土带季节地震波衰减的快, 但烈度高。我们建议, 今后在烈度衰减研究中要考虑时效烈度和其衰减。

(5) 历史地震学: 在历史地震的研究中, 要是同一地区或相当的地区发生过两次地震, 史料记载或考察的宏观震害相同, 但发震时间不一样, 这样就要考虑这是不同震级的两个地震, 所以历史地震的研究应把时效烈度作为参考。

时效烈度的概念才刚刚提出, 对它的研究还很不成熟, 需要深入研究的问题很多, 本文只想起一个抛砖引玉的作用, 引起大家的注意。

参 考 文 献 (略)