

地震烈度区划会议论文

关于地震烈度问题的讨论

郭 增 建

(国家地震局兰州地震研究所)

新中国自1949年建立以来,至今已37年了。在这期间,我国的经济建设有了很大的发展。与此相应,地震烈度区划工作也在不断发展,以适应国家建设的需要。本文拟简要回顾37年来我国地震烈度工作的进展,并对第三代烈度区划图的编制提出一些不成熟的看法。

一、中国第一代地震烈度区划图

该图于1954年即开始编制,1957年正式完成^[1]。主持这个工作的是已故的李善邦先生。苏联专家果尔什可夫是编图顾问,徐煜坚先生是地震地质方面的主要专家。作者当时曾参加了这项工作。

这张地震烈度区划图的编图原则有两条:一个是历史上曾发生过多大的地震,将来还会重演;另一条是地质条件相同的地方地震危险程度相同。为了体现第一条原则,当时曾编制了历史震中分布图,仪器震中分布图和大震等震线图。闵子群当时提出了我国地震的烈度衰减规律,为的是烈度区划时考虑烈度的递降距离。在地震地质准则方面,当时应用的指标主要是年青而强烈的垂直差异运动带(包括冲积层掩盖区地下的垂直差异运动)是发生强震的地带,因之当时很重视地质图和地貌图。根据上述两条原则最后概括等烈度区时,在中国西部概括的范围较大,因为那里地质和地貌清楚,山脉延伸长而大;在中国东部则范围小,因这里许多地方为冲积层掩盖,地下垂直差异运动不明。由于当时编图的科学依据有限,故认为比例尺定为三百万分之一较宜。该图为基础烈度图并以绝大多数居民点所在的地基土为标准土考虑。

这张图于1957年公布后,在中国西部于1958年四川北川发生6.2级地震,1960年四川松潘发生 $6\frac{3}{4}$ 级地震,1962年青海霍布逊湖发生6.8级地震,1963年青海阿兰湖东发生7级地震,1961年新疆巴楚附近发生6.8级地震。这些地震都符合1957年所划的烈度。但在中国东部1962年广东河源发生的6.1级地震却比原来的烈度高两度。由于这个地震与水库有关,还未引起人们对1957年烈度区划图的重要发难。

1963年中国地球物理学会举行第二次全国会议。作者和姜秀娥在会上发表了用《震源机制资料讨论中国境内的现代构造运动》的论文。文中指出,根据本世纪全国48个大地震震源机制的研究发现,绝大多数地震的震源断层错动是平推错动占优势,倾滑分量次之,断层面比较陡直。因之提出,在进行地震烈度区划时不仅要注意现代垂直差异运动的地质指标,而且还要注意现代水平运动的地质迹象。这一点对1957年编制中国地震烈度区划图的地质原则是一个重要补充,因为1957年时只考虑垂直差异运动的发展指

标。

1965年中国科学院西北地震考察队*在西北的银川和酒泉执行地震烈度任务。我们对1957年编制地震烈度区划图的历史地震重演原则未考虑时间这一缺点进行了修正。银川平罗地区历史上于1739年曾发生过8级地震（也有定 $7\frac{1}{2}$ 级的），烈度为10~11度。我们根据陕甘宁等省区历史上9度以上地震区千年内未重演原强度地震的事实以及该强度地震极震区中数百年内有8度地震重演的事实，认为今后百年内银川地区的烈度可定为8度，后来我们对1556年关中大震区的烈度也作了类似考虑。这个认识在西北地震考察队中形成了统一意见。这是我们对1957年中国地震烈度区划图第一个原则的重要改进。另外作者与秦保燕同志考虑到当时的地震地质指标是定性的，不能定量地回答未来的震级和烈度，所以便提出用发震断层的规模（主要是长度）来估计未来地震的震级，从而换算烈度。由于西北地区断层多是活动的，且长度很大，但一次大震对应的构造分段是什么呢？由于当时地震地质方面主要还是垂直差异运动的发震指标，所以当时认为垂直差异运动幅度大致相同的地段定为未来震源的主体，当垂直差异运动幅度剧降时或构造走向有变化时则为分段地点。进一步的问题是当发震构造段长知道后又如何得知其将来发震时的震级呢？对此我们普遍收集全中国强震时地表造成的断层长度，并试图建立适于我国的震级与断层长度公式。考虑到同样震级的地震由于震源深度和介质状况的不同，其震源断层向地表传递时有不同的衰减，因之地表形成的断层长短不一，我们认为同类震级的地震，其地表断层的最长者最能代表该类震级地震在震源处的长度。所以我们建立震级与地震断层长度之间的关系时，不用最小二乘法（前人都这样用）处理数据，而取断层长度的最大边界线最后建立了震级 M 与地震断层长度 L 的关系式为：

$$M = 3.3 + 2.1 \log L \text{ (公里)} \quad (1)$$

我们认为这个公式虽由地表断层长度建立，但它是代表震级与震源断层长度关系的，因之它是适于去求不同发震构造段相应的未来最大震级的。在1965年的酒泉烈度任务中，我们用上述办法对嘉峪关断层未来相应的地震强度作了估计。这是这个方法和公式第一次应用于国家建设。

1965年冬新疆乌鲁木齐东边发生6.6级地震，这里以前没有历史地震记载，然而却符合1957年由新构造运动判断的烈度。这使人感到1957年的图还是不错的。然而1966年我国进入了大震活动高潮期。该年3月河北省邢台地区发生6.8级和7.2级地震，损失惨重。它的烈度值超过1957年区划烈度值达2~3度。这一下子引起了人们对1957年区划烈度图的质疑。仔细分析一下，重演原则是被突破了。然而随后物探资料表明，邢台震区冲积层下方却有断陷盆地，垂直差异运动强烈。但这一点在1957年编制烈度区划图时是不知道的，因为那时还未进行深部探测工作。

1969年渤海湾发生7.4级地震，这与历史重演原则相符，因为1888年在其附近发生过 $7\frac{1}{2}$ 级地震。但1969年广东阳江发生的6.4级地震却又超过了1957年区划图上的烈度。

1970年梅世蓉提出用地震空区判断未来地震的强度。1971年作者和秦保燕提出震级 M 与

* 此考察队由中国科学院兰州地球所、北京地球所、北京地质所和兰州地质所共同组成。

空区形
级的关

式中 V
我们是
免不同

则是比
合1
近, 1
2

空分

中既

来百
层上

唐山
烈度
一个
得手

到

地
未

按
人
古

送

力

耳

空区形成时间 T 之间的统计公式。1973年我们又进一步提出适于我国推算地震重复时间与震级的关系式。

$$T = \frac{D}{V} = \frac{1}{V} (10^{0.52M-1.25}) \quad (2)$$

式中 V 为发震断层的平均滑动速度。这个式子中的 D 是某种震级地震所相应的震源错动幅度。我们是取同类震级地震在地表的最大错动幅度来代表震源地方错动幅度的。这样作是为了避免不同地区由于震源深浅和介质性质的差异对地表错动幅度的影响。

二、第二代烈度区划图

从1972年开始国家地震局组织许多学者编制中国第二代地震烈度区划图。这个图应用原则是比第一代图的原则改进了。其实质性的观点如下：

1. 过去发生的地震越强，在百年内重演的可能性越小，过去发生大震的时间距现在越近，百年内发震的可能性更小。

2. 利用数理统计方法（如线性预测，极值理论和马尔可夫链），拟合过去地震发生的时空分布，假设它能在未来重演，于是用它推断未来百年内的地震强度。

3. 在地震地质原则方面仍保持第一代烈度图的原则，但具体的发震指标大大增加了。其中既考虑到垂直差异运动，也考虑到水平运动。另外还应用了更晚近的和现代运动的资料。

第二代烈度区划图的重要特点是在大一些的区域取较多地震从数理统计学角度推出未来百年内的最大地震，然后选那个断层最可能发生大震并将统计预测得出的大震安在这段断层面上。这是有道理的。

第二代烈度区划图于1974年内部完成。但1975年发生了海城7.3级地震，1976年发生了唐山7.8级地震，都未在予期烈度之内。当然这些地震的强度也突破了第一代烈度区划图的烈度。这就使人想到，还未经大震高潮考验的该图西北地区部分，究竟能否经得起考验？第一代图把这个地区烈度划得高，第二代图画得低，其后果何者为佳呢？这是一个重要问题，值得我们研究。

回顾第一代和第二代烈度区划图，它们在科学上是不断前进的，在国民经济建设中都起到一定的作用。然而它本身是存在缺点的。

1. 在应用重演原则时，历史资料的时间还是太短。在中国东部的绝大部份地区大震在原地重复需要几千年或更长，我们仅按千余年可靠的地震资料（更早时期资料不完整）去推断未来的大震发生情况，必然会出问题。

在统计预报方面，虽然方法很多，但它们的外推原则仍然是重演原则，不过这种重演是按概率来回答问题的。因之数理统计并未对重演原则有任何改进。在这里应当指出的是已往人们广泛应用古登堡震级—频度公式，但我们认为应用时还有个起算时间问题，如所周知，古登堡公式是：

$$\log N = a - bM \quad (3)$$

这个公式在后面我们用符号 $N(M)$ 来表示。该公式的局限性在于它既不能回答某地区的最大地震强度是多大，也不能回答这个最大强度的地震已发生过了没有。对于前一个问题，苏联学者早就指出了。对于后一个问题，已往来引起重视。在这里我们要特别指出，在已发生过特大地震的地区，最好由此震之后的时段建立起来的 $N(M)$ 曲线去外推未来的强震。在未发生过大震的地区由已知时段内建立起来的 $N(M)$ 曲线，不能简单的外推未来强震。因为

$N(M)$ 曲线还可向过去外推以索取中等地震的数目而出现大震。这样大震也可能发生于未来任何时候。以前人们往往把地震资料的开始时间作为 $N(M)$ 公式的起算时间并向未来外推, 这样大震就可能在很远的将来才发生。这种作法实际上包含了忽视明天即发生大震的可能性。

在这里应当指出国外广泛应用的极值理论。在我国某些同志于1973年讨论了这个问题。他们提出了一些预报意见, 以待检验。事后检验其效果不佳。事实上他们早先就指出了极值理论的局限性。

三、第三代烈度图编制的可能性

在编制第三代烈度区划图的时候我们认为应当注意以下方面。

1. 引入各种震源模式以预报地震强度

第一代和第二代烈度区划图的共同特点是震源物理的研究引用较少。我们曾建议过组合模式如能确定两个调整单元之间的段长(积累单元长度)且知其与区域压应力之间的夹角, 则可按(1)式推求未来地震的最大震级。调整单元的指标有构造破碎区、蠕滑断层区, 富含流体区, 高温塑性区, 小震应力降剧烈变化区, 固体潮反应灵敏区, 地震波吸收较大的地区, 长期小震活动频繁的地区以及刚发生过大震的地区等。

2. 用断层止裂观点去求未来地震的震级 如果我们在野外认为那个断层较活动, 当然就认为该断层可能发震。为了确定其未来地震的震级, 则除组合模式中止裂的指标外, 还有横断层止裂。当止裂指标找到后, 则发震段的长度即为已知, 于是就可用(1)式来推求其未来地震的强度, 对于止裂的物理我们已在1983年讨论过^[7]。对于平推断层来说横断层的止裂可分三种情况, 如图1所示。止裂的物理实质是横断层阻止压力和阻止张力的能力有差异。如果说未来发震的断层当错动传播时遇到了A的情况, 则压力可传过横交断层, 张力则传不过, 这样剪切断裂的传播就停止了。B情况亦能止裂, C则不能。

对于倾滑断层来说, 其止裂的情况主要是横交断层耐剪强度太低, 不足构成倾滑断层传播时的剪切位移连续性, 如图2所示。

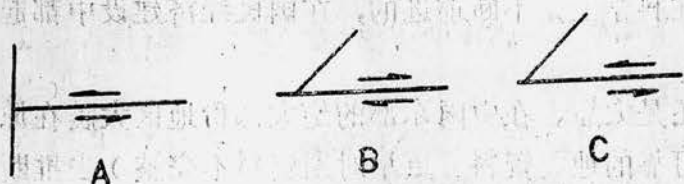


图1 横断层止裂各种的情况

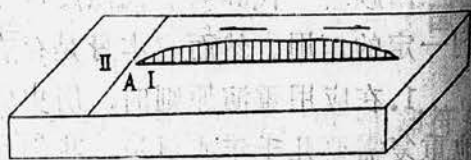


图2 倾滑断层的止裂

在图2中, 倾滑断层传播到A处时, I侧的上下错动带不动II侧的质点随之而动(只带动局部), 因之断裂传播停止。

3. 研究断裂的滑动速度、古地震和断层陡坎 在(2)式中, 如果能求得滑动速度 V 则可推求不同震级地震的重复周期。在这方面, 大地测量和新构造运动的研究可以求出 V 值。

另外古地震和断层陡坎的研究也很重要。国内在丁国瑜同志带动下现已取得了很有价值的结果。使地震的历史拉长了, 因之有可能去预测未来的大地震。

4. 减震和加震作用的研究 以前的烈度区划原则皆把发震构造单独考虑其危险性, 而不考虑它们相互之间的影响。1984年作者和秦保燕曾经指出以下规则^[8], 即“平行同旋减震”、“平行异旋加震”、“底震垂减”和“垂震底继”。这些规则不只对平推断层适用, 对

生于未
未来外
震的可

问题。
了极值

过组合
夹角，
区，富
大的地

，当然
，还有
推求其
层的止
有差
，张力

断层传

裂未

边（具

速度 V

V 值。

有价值

性，而

司旋减

用，对

滑断层也适用。对于平推层来说，有如图 3 所示的各种情况。图 3 中的双线箭头为构造压力方向。对于倾滑断层来说（图 4 和图 5）也符合以上的原则。即图 4 为平行同旋减震，图 5 为平行异旋加震。

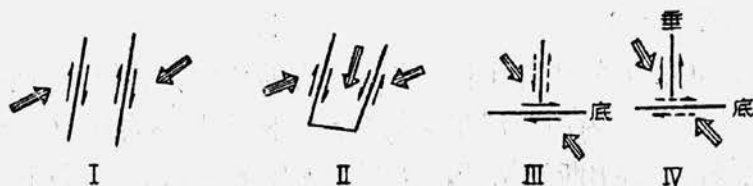


图 3 水平面内的减震和加震情况

I. 平行同旋减震 II. 平行异旋加震 III. 底震垂减 IV. 垂震底继



图 4 倾滑断层的平行同旋

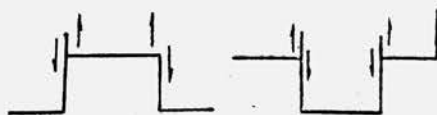


图 5 地垒和地堑是平行异旋

对于我国大震来说，主要是平推占优势并兼有倾滑。在此情况就出现减震和加震的合成问题。在此不予详论。

5. 对压构造和单压构造的研究 在地表，常可发现有互交的断层，由于各断层段环境不同，其中有的可以蠕滑，有的则锁住积累应力。作者和秦保燕提出断层组合中的对压构造和单压构造，如图 6 和图 7 所示。这样图中 A 断层除受区域构造压力的挤压外，还受蠕滑断层 B 和 C 的挤压，因之孕震的能力就大，地震重复性也较高，相反的，还有对张构造和单张构造，其孕震能力相对小和大震的重复性也低。

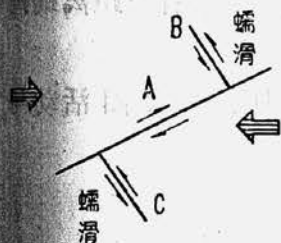


图 6 对压构造



图 7 单压构造

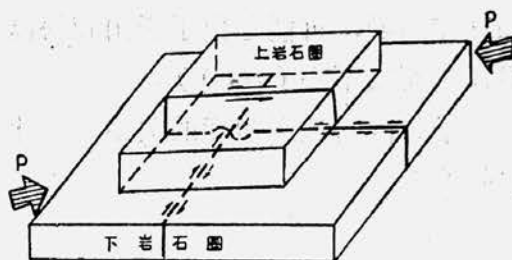


图 8 复式立交模式示意(P为区域构造压力)

6. 立交构造的研究^[9]立交构造在评定烈度上的指标是先求出短期地震迁移带（可与地表构造无关），然后找该带与地表可见的发震构造交会的地方。这种地方往往孕育大震。短期震中迁移带反映着下岩石圈中（粘弹性）有蠕滑断层带活动，它与地表可见的岩石圈上部断层立交。这种立交结构之所以对应大震，是因为上部孕震断层面被下部断层弄弯以后更易积累巨大能量。如图 8 所示。

在图 8 中有垂直于上岩石圈中孕震断层的下部剪切蠕滑断层（称垂直立交），还有平行于上部岩石圈中孕震断层的下部剪切蠕滑断层（称平行立交）。垂直立交使孕震断层面变弯而锁住，以积累弹性应变能而孕育大震；平行立交一旦出现，则是一种解锁条件。当然在孕震区应力极累到临界状态时，如垂直的剪切蠕滑断层再次活动，亦可触发地震，其触发机制是孕震断层被弯扭太厉害时则弯曲部分产生大量竖向张裂缝而使锁住带弱化以便发生大震。上述

解锁和触发是中期和短临预报中的问题,暂不多论。对于烈度来说,形成垂直立交的震中迁移线出现的时间就是孕震断层开始锁住的时间,也是空区开始形成的时间,对此可用作者和秦保燕在1971年提出的空区时间与震级的公式来估计未来不同时间发震时相应的震级。

$$M = 1.55 \log T + 4.6 \quad (4)$$

式中T以年为单位。这样用立交模式可求得未来地震的位置、震级和时间。

应当指出的是同一水平层内的断层相交的模式实际上是不合理的,如图9所示。在图9中, I 图中A断层先错动,使B断层错开,错开后如图 II 所示。然后B断层再错动(图 III),由于其断层面凹凸不平,所以地震就特别大。这种模式的缺点是由于A断层强度变低,因之总是它老在错动,B断层强度虽高但一直轮不上发震。

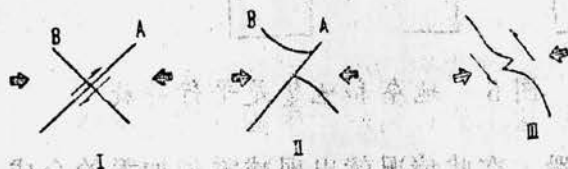


图 9

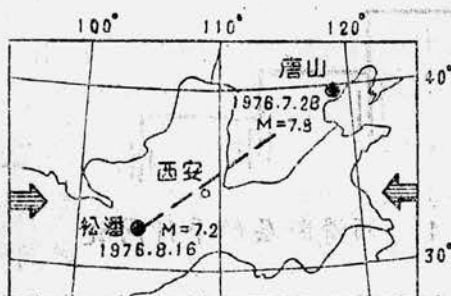


图10 西安地裂缝与唐山大震和松潘大震的可能联系

7. 给发震构造带上时间的色彩 对此应当研究地震高低潮的问题,高低潮空间转移的问题以及长期外因对地震高低潮的影响问题。例如1957年我们发现渭河流域地震活动有600—800年的平静间歇期^[10],因之30余年来,尽管我国出现了大震高潮,但这儿很平静。只在西安附近于1976年发生了地裂缝的加剧(这个地裂缝主要由抽水所引起)。西安地裂缝之所以在1976年加剧,可能是由于唐山和松潘大震只隔19天,它们可能反映地下深处有长距离蠕滑断层通过西安下方(图10)。

关于外因与地震烈度的关系问题作者和秦保燕在1971年曾经讨论过^[11]。如太阳活动与地震的关系。

讨 论

1. 在洪华生模式中把发震断层单个考虑,不考虑一个发震后对另一个断层发震的影响,这是不合理的,因之在概率计算上也是不合理的。
2. 未来的第三代烈度区划图究竟以概率表示一下就行了,还是要从物理和地质的角度进行成因性预报。我们认为应当在成因性预报的基础上进行概率性处理。
3. 目前的地震学研究应当向预报前进。例如震源机制的研究应当向预报方面过渡。目前的震源机制研究已取得很大成就,但大都研究震时和震后的情况,例如测定震源诸参数和波谱特征。这是很不够的,今后应当研究如何预报这些参数和波谱特征,因为我们研究的目的是为建设服务。
4. 必须重视7.5级以上地震特别是特大地震的研究。用概率方法进行地震烈度区划时,由于不知道上次特大地震的发生时间,而是按已知史料时段的开始时间作为外推未来特大地震的起始时间,这会把特大地震在今后发生的概率全面的加以缩小。实际上某些地区的特大

地震在史料开始时间以前早就孕育了，它在今后50~100年内发生的可能性很大，如果地区范围取大一些，它在其内发生的可能性甚至是不可避免的。一个8级大震伴有一系列6—7级地震的活动，且它本身的破坏力要顶大量6—7级地震。因之在第三代烈度区划图的编制中，必须对7.5级以上大震的潜在危险区进行专门研究。

5. 应进行地旋的研究。在五十年代苏联学者凯伊里斯巴罗克曾提出震源的单旋和双旋类型，但纯属数学讨论。1971年作者和秦保燕根据我国的地震史料曾提出震前地面旋转的问题（地震战线，1971，8期）。1957年我们曾讨论过明代关中大震前的旋转问题。在震时地表呈现的以平推为主的宏观断裂中，有时不同段上具有不同的正逆错动分量，我们认为这是平推断层兼有布里季曼（Bridgman）效应的结果，即剪切加旋转的结果。

参 考 文 献（略）