

03730

56.5254

活断层研究

〔苏〕 И.Е. 古宾 等著
〔日〕 松田时彦



地震出版社

活 断 层 研 究

〔苏〕И.Е.古宾 〔日〕松田时彦 等著

沈德富 等译

地 震 出 版 社

1 9 8 3

内 容 提 要

本文集共选译了苏、美、日、德四国32篇有关活断层的研究论文，还包括一篇编译文章。共分六部分：一般问题，区域活断层定性研究，活断层定量研究，断层年龄确定方法，断层附近物理场及应力场研究，其它与活断层有关的工程地质问题研究等。

一般问题中论述了活断层的地震地质问题、发震的经验规律等。第二部分探讨了世界若干主要地震区活断层的特征以及活断层与地热和地震活动的关系。第三部分从定量方面研究了断层长度等有关参数与预计震级的相关关系，以及地震重复发生的时间间隔等问题。第四部分专门分析了根据断层崖高度、古土壤等野外调查得到的参量确定活断层年龄的方法及此方法的应用，第五、六部分论述了活断层与地球物理场、应力场，以及与工程地质有关的内容。

本文集可供地质构造、地震地质、地球物理、地震预报等科研人员、现场调查人员以及大专院校有关专业的师生参考。

活 断 层 研 究

〔苏〕И.Е.古宾 〔日〕松田时彦 等著
沈德富 等译

地质出版社出版

北京复兴路63号

新村印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092 1/16 16.5印张 240千字

1983年5月第一版 1983年5月第一次印刷

印数 0001—3000

统一书号：13180·185 定价：2.60元

目 录

一、一般问题	(1)
地质与地震	И.Е.古宾 (1)
活断层和地震的地质研究	松田时彦 (15)
关于地质构造和地震形成的几个问题	植村武 (32)
地震的石化标志	大塚道男 (38)
确定活断层和发震的六条经验规律	松田时彦 (46)
近代地壳运动方向和速率的经验规律	松田时彦 (51)
二、区域活断层研究	(57)
中美加勒比—北美板块边界的第四纪断层作用	D. P. Schwastz等 (57)
加利福尼亚州圣迭戈湾的第四纪断层	G. W. Moore等 (64)
康涅狄格州东南部的现代逆冲运动	J. W. Block 等 (69)
华盛顿奥林匹克半岛晚第四纪断层以及它们与构造作用的关系	J. R. Wilson 等 (73)
阿尔卑斯山前新构造运动、地热异常和地震活动	Henning Illies等 (78)
日本的活断层与地震	冈田笃正等 (89)
中亚塔拉斯—费尔干 断层	R. E. Wallace (99)
委内瑞拉中北部瓦伦西亚湖盆地晚更新世和全新世的断层作用	C. Schubert等 (102)
斯塔诺夫高原中部古地震地质构造的特征	Р. А. Курюшин (106)
贝加尔裂谷带的转换断层及其两翼的地震活动性	С. И. Шерман等 (112)
日本中央构造线第四纪构造活动与地震	冈田笃正等 (120)
三、活断层定量研究	(138)
根据断层规模计算预期地震的最大震级	M. Wyss (138)
圣安德烈斯断层地震的重复间隔	R. E. Wallace (143)
日本活断层和破坏性地震——强震分区和警告断裂带	松田时彦 (152)
从日本大陆的活断层估计今后的破坏性地震	松田时彦 (162)
中亚山区现代地震构造断裂运动及其与震级的关系	A. A. Hikono (168)
四、断层年龄确定方法	(172)
断层的年龄	J. B. Lyons 等 (172)
内华达州北—中部年青断层崖的剖面 and 年龄	R. E. Wallace (175)
根据断崖高度—坡度角的关系计算断层崖的年龄	R. C. Bucknam等 (189)
利用埋藏古土壤确定美国西南部第四纪断层的年龄	M. N. Machette (195)

弗尔韦塞尔断层的晚第四纪错断和南阿拉斯加地壳板块的相互作用
..... G.Plafker等(206)

五、断层附近物理场及应力场研究 (216)

堪萨斯州涅马哈县地震、断层和地球物理异常及其与区域构造的关系
.....D.W.Steeple等 (216)

南卡罗来纳州查尔斯顿附近海岸平原的正断层和原地应力.....M.D.Zoback等(222)

中欧主断裂带的现代应力场和地震构造断块运动..... L.Ahorner (229)

六、其它问题研究 (239)

从工程地质学来研究活断层的几个问题.....羽田忍(239)

断层位移和地表断层作用有关的地面变形..... C.L.Taylor等 (248)

大城市地区的活断层研究.....佐藤博文等(255)

一、一般问题

地质与地震

И. Е. 古 宾

地震预报应理解为预报未来可能发生的破坏性地震的地点、强度和时间 (И.Е.Губин, 1964)。然而, 这个课题相当复杂, 它涉及各种问题, 其解决对各方面的实际应用都是必要的。

首要的任务是确定: 1. 发震带, 即破坏性地震震源*可能出现的地带; 2. 每个带及其各段中震源出现的深度和规模; 3. 一个带及其各段内预计的最大地震震级及其震源以上地表的地震烈度; 4. 该带及其各段内可能发生的各种大小地震的重复频度; 5. 预计的一定烈度的地震, 由发震带边界向外传播的宽度。

上述地震活动各要素的预报结果, 都以某种形式表示在当前国民经济所要求的地震区划图上 (И.Е.Губин, 1976)。首先根据地质和地球物理资料确定活断裂所控制的发震带, 这是这类新型图件的决定性要素。

根据标有发震带的地震区划图, 可以提出以下要解决的预报问题: 1. 划分以后最有可能发生在发震带 (或发震带各段) 内的最大地震; 2. 确定建筑场地预计地震动的特点、地震动持续时间、距发震带越来越远的动力效应、波谱和典型加速度谱, 以及该带特有的地震仪器记录 (Ш.Г.Напетваридзе, 1976); 3. 依据建筑场地的土体条件和地形条件, 预报该场地的预计震动强度的可能变化; 4. 制订某些发震带及其各段内可能发生破坏性地震的时间的预报方法。

确定发震带及其中可能发生的最大地震的参数, 即长期预报可能发生的地震地点和强度, 仍然是头等重要的任务。只有详细地编制标有发震带的地震区划图, 并且相应地设计和完成抗震建筑, 才能在大地震时保存房屋、建筑物和人的生命。例如, 1977年5月4日罗马尼亚地震时, 在摩达维亚南部地区, 烈度达7—8度, 在基什涅夫达6—7度, 然而没有发生大的破坏 (Б.Е.Владов, 1977)。按照这种情况, 曾经预先确定了罗马尼亚境内可能发生破坏性地震的弗朗恰震源带, 以及从弗朗恰带开始的一定烈度的可能震动带的分布宽度。

若要制订预报可能的未来地震时间的方法, 那就只有同时确定出这次地震将在什么地点、多大强度和多宽的分布面积, 这样方法才具有实际的重大意义。换言之, 当编成了具有发震带的详细地震区划图时, 才有可能制订出预报地震时间的方法。

记得在老式的1940—1970年地震区划规范图上, 只标出一定烈度的预计地震带, 没有标出可能发生这种烈度地震的地点、震级、重复频度和其他地震活动要素。所以老式的规范图

* 震源, 指地震时发生位移的构造断裂面。

实际上不适于作为解决预报地震时间课题的依据。

而且从科学技术革命、地震区的多层房屋、大型水工建筑物和水电站的建设方面，这种图件也不大适用。这种建筑物的设计需要标有受活断层控制的发展带的地震区划图，因为活断层在不同程度上反映着地震活动区内地震危险性的各种特点。如上所述，利用这种图件还可以确定建筑场地上可能出现的震动的动力效应及振动谱。目前所需的这种新式图件，有许多地区已经发表，有些地区正在编制，有的正在拟订其编制方法（И.Е.Губин，1976）。

众所周知，在老式规范图发表后（Методич. реком. по сейсм. районир. террит. СССР，1974），在研究不充分的地区发生了多次破坏性地震。为了避免这类错误，必须查明其原因。这类错误不是部分缺点造成的，而是编制老式规范图的方法所依据的原理有缺点。本文将对这个问题以及地震区划的原则进行阐述。所要讨论的基本课题是：不同震级大地震发生的地震原因，即物理原因，并以此作为预报各种参数的破坏性地震和编制地震区划图的理论依据。这是决定研究途径、工作方法、工作结果和进一步开展这项工作的依据。

一、1940—1970年的地震区划规范图

老式的苏联地震区划规范图上，只标有烈度带，是1940年Г.П.Горшков 编制的。后来作了非原则性的改变，按编辑人员的意见作了修改，于1949、1951、1957和1970年再版过。此图的编制和修改的方法，基本上是将记录到的地震分布区连接起来。在编制1957和1970年规范图的方案中，考虑了小震的各种解释结果。下面将讨论这种1:500万区划图编制的实际情况。

在1940年的图上，将记录到的某种烈度的地震极震区（一级等震线地区），以椭圆和圆圈标出。例如，在中亚区划图上，将邻近的较小地震动分布地区连接起来（图1）。如果已知大地震的极震区相互邻近，那么，也就把它们联起来。结果图上标出预计的低烈度震动区很宽，其中记录到的大地震极震区很小。这种区划方法没有发表过。仅从图的内容就可以看出，它的依据是这样一种原则，即在记录到某些地震的地方，就认为这些地震有可能以同样的最大烈度重复发生，而在其他地方就不会发生这种地震。

这种图出版后，自1940至1948年在中亚地区的图上没有预计到地震的地方，发生了一些8—9和10度地震。例如，1941年加尔姆地震、1943年法伊扎巴德地震、1946年恰特卡尔地震、1946年卡赞日克地震，以及1948年阿什哈巴德地震（详见下节）。

在1949年的规范图修正案内，考虑了1940年以后发生的地震分布区，尤其在中亚的地震区划图上，标出了1946年恰特卡尔地震的极震区。而将土库曼的1895年克拉斯诺沃德地震、1946年卡赞日克地震和1948年阿什哈巴德地震的极震区连接成整个9度带。1949年，在中亚地震区划图的8度带内，发生了9—10度的海特大地震（图2）。

在后来修改的1951年规范图上，曾把中亚和哈萨克斯坦记录到的一些相距100公里以上的9度地震极震区联在一起。结果在图上形成一个大9度带，包括中亚和哈萨克斯坦的山区以及山间地带，长达1000公里，宽400公里（图3）。在这种情况下，图上没有对这个带作出区划，即没有对这个巨大区域作任何划分，把它全列为地震危险区。把中亚和哈萨克斯坦的山前地区和邻区的平原列为低烈度带。

因此，1951年的区划规范图是将记录到的所有地震分布区按地震烈度联在一起。结果在图上出现各种宽度的地震烈度带，没有标出极震区。

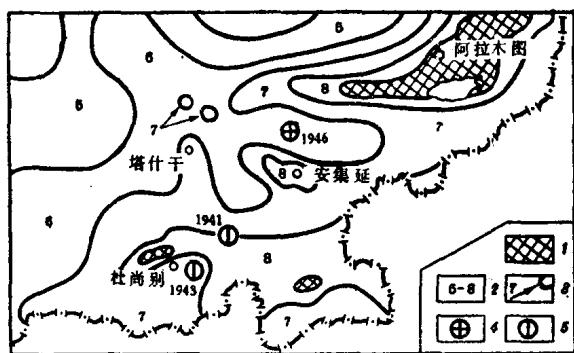


图1 1940年的中亚和哈萨克斯坦地震区划规范图

1. 可能发生9度地震的地带; 2—3. 标出烈度的地震带; 4—5. 本图出版后发生的地震震中; 4. 1946年9度带; 5. 1941—1943年8—9度带

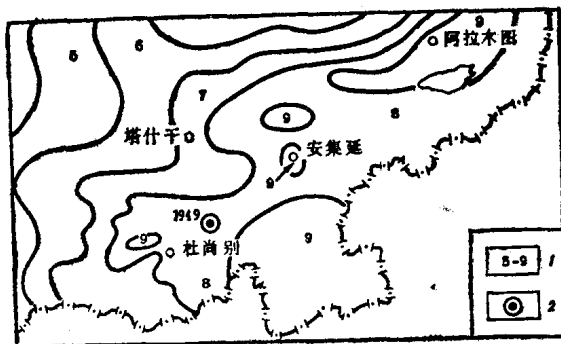


图2 1949年的中亚和哈萨克斯坦地震区划规范图

1. 标有烈度的可能地震带; 2. 本图出版后发生的1949年9—10度的海特地震震中

1957年和1970年的规范图，几乎同以前的一样，所作的修改在于改变某些地区的烈度带边界位置，并且主要把新发生的大地震分布面积扩大到8度和9度地带。我们以贝加尔地区为例讨论一下这种区划的作法。

在1940年的地震区划图（图4）上，对贝加尔南部地区标出了三个不大的椭圆，假设其中可能有8度地震，因为这里记录到了8度地震。贝加尔的其余地区属于7度、6度和5度带。

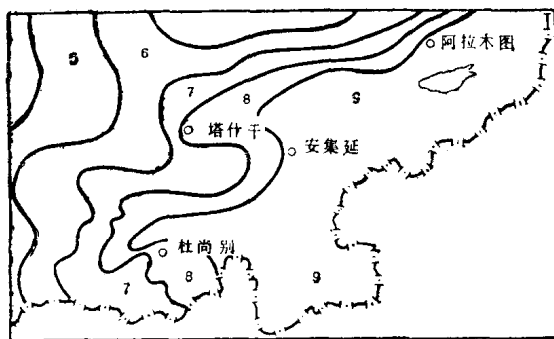


图3 1951年中亚和哈萨克斯坦地震区划规范图

5—9 标出可能烈度的地震带，其余图例同上图

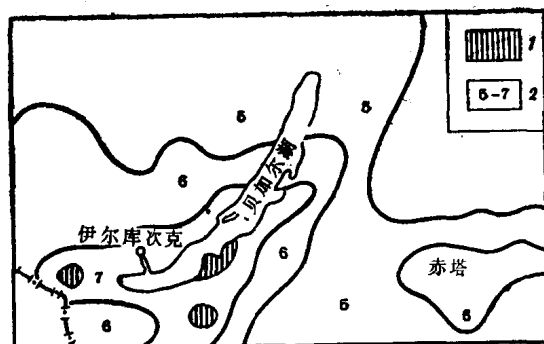


图4 1940年贝加尔地区地震区划规范图

1. 可能发生8度地震的带; 2. 可能发生5—7度地震的带

在1949年的规范图上，将上述三个8度椭圆形地区连结成一个宽的8度带（图5）。一年后，于1950年，在这个带的西部发生了9度的蒙达地震。所以这个8度带在后来的1951年规范图上就提高为9度带了（图6）。

贝加尔裂谷带东北部的穆雅盆地，在1951年编的图上的4度带内（图6），于1957年发生了9度的穆雅地震。在1957年的规范图上（图7），穆雅盆地和贝加尔湖区的烈度已提高到8度。贝加尔湖南部地区，同前一版的图上（图6）一样，已处在9度带内。

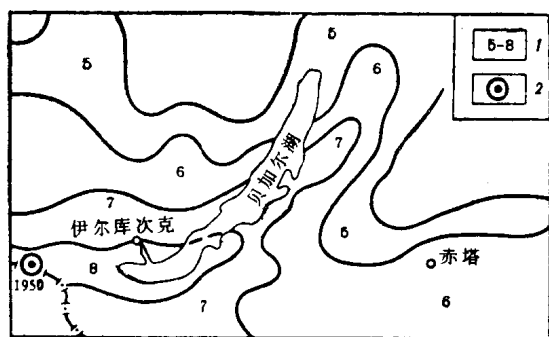


图5 1949年贝加尔地区地震区划规范图

1. 可能发生5—8度地震的带; 2. 图出版后于1950年发生的9度蒙达地震震中

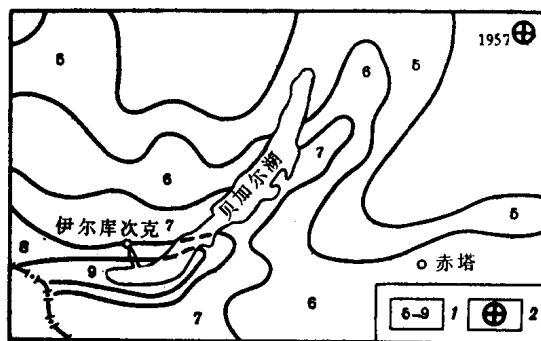


图6 1951年的贝加尔地区地震区划规范图

1. 标有5—9度的可能地震带; 2. 此图出版后1957年发生的穆雅9度地震震中

1957年的规范图出版后, 于1958年在斯塔诺沃山脉西南支脉的6度带范围内发生了两次9度地震(纽克兴地震和奥列克马地震), 以及1967年塔斯-尤里亚赫9—10度地震。1959年在这张图的6度带内发生了中贝加尔9度地震(图7)。

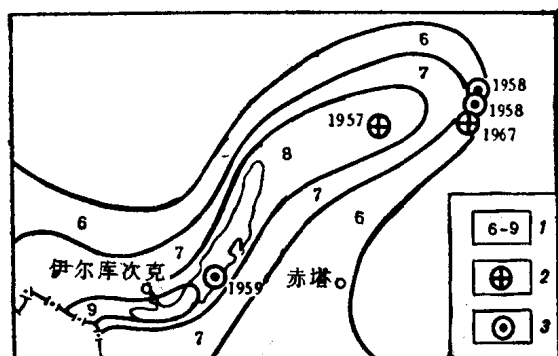


图7 1957年的贝加尔地区地震区划规范图

1. 标出可能发生5—8度地震的带; 2—3. 图出版后发生的地震震中; 2. 10度的地震; 3. 9度的地震

以上发生的地震使得经过历次修改的1970年规范图上, 将贝加尔地区记录到的所有9度地震带, 不管其相距多远, 都联在一起了(СНИП, 11-A, 1970)。结果在图上出现极宽的9度带, 长1200多公里, 包括通卡盆地、贝加尔盆地、穆雅盆地等。标出一些可能发生大于9度地震的带。

许多国家和地区编制了只有烈度带的单要素地震区划图, 例如, 1958年的美国地震区划图(S. Richter)、1959年的印度地震区划图(K. Guha)、1969年高加索地震区划图(И. В. Ананьин)。这种图的编制方法实际上同编制规范图是一样的。

二、自1940年至1976年高加索、中亚和西伯利亚发生的破坏性地震

下面列举了修改规范图所用的地震($I_0 \geq 8-9$, $M \geq 6$)资料, 这些地震是在规范图出版后发生的。

大高加索地震 1963年7月16日奇哈尔塔地震($I_0 = 9$, $M = 6.4$), 震中坐标为北纬 43.2° 、东经 41.6° , 发生在1940年、1949年、1951年和1957年的规范图上6度带的高加索山脉西南坡。这次地震的烈度比预计的该带烈度大3度。

1970年5月14日达格斯坦地震($I_0 = 8-9$, $M = 6.5$) (Н. В. Лебалин 等, 1973)。震中坐标为北纬 43.00° 、东经 47.09° , 发生在达格斯坦境内, 属于1970年规范图所示的7度带(СНИП, 11A, 1970)。此地震区在И. В. Ананьин等人1969年编的图上以及С. В. Медведев 1968年主编的图上都标为7度的带内, 比预计的烈度大1—2度。

土库曼地震 1946年11月4日卡赞日克地震 ($I_0 = 8-9$, $M = 6.5$)。震中坐标为北纬 39.7° 、东经 54.6° ，发生在1940年规范图和Г.П.Горшков等人1949年编制的图上7度带内。地震烈度比预计的几乎大2度。

1948年10月5日阿什哈巴德地震 ($I_0 = 9-10$, $M = 7$)。震中坐标为北纬 37.8° 、东经 56.6° ，发生在1945年和1957年的区划图上所示的7度带内，其烈度比预计的大3度。

中亚地震 1941年4月20日加尔姆地震 ($I_0 = 9$, $M = 6.5$)。震中坐标为北纬 39.2° 、东经 70.5° ，发生在塔吉克斯坦的吉萨尔山脉南坡，属于1940年规范图的7度带。8度震动波及此图上邻近的8度带的一小段。总的说来，这次地震烈度比预计的大2度(图1)。

1943年1月11日法伊扎巴德地震 ($I_0 = 8-9$, $M = 6$)。震中坐标为北纬 38.7° 、东经 69.3° ，发生在塔吉克斯坦的吉萨尔山脉南坡，属于1940年规范图的7度带。地震烈度比预计的大2度。

1946年11月2日恰特卡尔地震 ($I_0 = 9-10$, $M = 7$)。震中坐标为北纬 49.9° 、东经 71.9° ，发生在费尔干山脉西坡，属于1940年规范图的6度带。地震烈度几乎比预计的大4度(图1)。

1949年7月10日海特地震 ($I_0 = 9-10$, $M = 7.5$)。震中坐标为北纬 39.2° 、东经 70.8° ，发生在塔吉克斯坦的吉萨尔山脉南麓，属于1949年规范图的8度带(图2)。其烈度比预计的大1—2度。

1970年6月5日萨雷卡梅什(普尔热瓦尔)地震 ($I_0 = 8-9$, $M = 6.8$)。震中坐标为北纬 42.31° 、东经 78.42° ，发生在吉尔吉斯东部，属于1970年区划规范图的9度带，其烈度与预计的该带烈度相一致。

1974年8月11日马尔康绥(外阿赖山脉)地震 (I_0 可能为 $8-9$, $M = 7.2$)。震中坐标为北纬 39.4° 、东经 73.8° ，发生在外阿赖山脉南坡，属于1970年规范图的9度带。地震烈度与预计的该带烈度相一致*。

1976年5月17日加兹利地震 ($I_0 = 9$, $M = 7.3$)。震中坐标为北纬 40.26° 、东经 63.30° ，发生在距上述地震不远的地方，同样属于规范图所示的5度带。其烈度比预计的大4度。

贝加尔地区地震 1950年4月4日蒙达地震 ($I_0 = 9$, $M = 6.5$)。震中坐标为北纬 51.7° 、东经 101.0° ，发生在通卡盆地，属于1949年规范图的8度带。其烈度比预计的大1度。

1957年6月27日穆雅地震 ($I_0 = 10$, $M = 7.5$)。震中坐标为北纬 56.1° 、东经 116.7° ，发生在穆雅盆地，属于1951年规范图的4度带(图6)。其烈度比预计的大6度。必须指出，1957年的这次地震之后一个半月审定了新的规范图，图上没有把穆雅地震区标为10度或9度带，而是按某种原因只标出8度带，即比已经发生的穆雅地震烈度小2度。

1958年1月5日纽克兴地震 ($I_0 = 9$, $M = 6.5$)。震中坐标为北纬 56.6° 、东经 121.1° ，发生在斯塔诺夫山脉西南支脉，属于1957年规范图中的8度带(图7)，其烈度比预计的大3度。

1958年9月14日阿列克马地震 ($I_0 = 9$, $M = 6.5$)。震中坐标为北纬 56.7° 、东经 121.0° ，

* 萨雷卡梅什地区和马尔康绥地区，在1951年的区划图上也标为9度带。它们的一小部分地带位于一个长约1000公里、宽达400公里的9度带内(图3)。

发生在斯坦诺夫山脉西南支脉中,属于1957年规范图的6度带(图7),其烈度比预计的大3度。

1959年8月29日中贝加尔地震($I_0 = 9$, $M = 6.8$)。震中坐标为北纬 52.7° 、东经 107.0° ,发生在贝加尔湖的东南岸,属于1957年规范图上的8度带(图7)。最强烈的破坏发生在小都兰树。地震烈度比预计的大1度。

1967年1月18日塔斯-尤里亚赫地震($I_0 = 9-10$, $M = 7$)。震中坐标为北纬 56.6° 、东经 121.0° ,发生在斯塔夫山脉西南支脉,属于1957年规范图的6度带(图7)。其烈度比预计的大4度。

1971年5月18日阿尔特(奥伊米亚康)地震($I_0 = 9$, $M = 7.1$)。震中坐标为北纬 64.03° 、东经 145.98° ,发生在契尔斯基山脉东南缘,属于1970年规范图的8度带。其烈度比预计的大2度。

三、1940—1970年地震区划规范的原始依据和方法

如上所述,1940年苏联第一份原始地震区划规范图是根据下列原则编制的:在记录到地震的地方,地震还会以同样的最大强度重复发生,而在其他地方预计不会发生。

由于新的破坏性地震主要发生在没有预计到的地方,即在早先没有指出地震的地方,所以1949年和1951年的区划是通过连接所有记录到的强震分布区来进行的。这种区划的原则和具体方法没有报道过。但根据我们以前对规范图和地震分布图所作的对比可以认为,在进行这种区划时,把同一烈度的地震分布区连接起来是形式上的,因为没有考虑到地震发生的当地地质条件。

在1949—1951年编制地震区划图时,编者Горшков对于地震发生的原因和条件以下列方式提出自己的理论依据:“对深源地震的真实性是无容置疑的,不排除任何一个地区的地震出现在至少达100公里深度的可能性。”他把所说的话付诸实现,尤其联系到土库曼地震时,他指出,“必须把9度地震带的面积扩大到基岩发生过错动而出露地表的整个地区,不管岩石的年龄如何、有无构造断裂带等。”(Г.П.Горшков и др., 1953)。

由此可知,地震区的划分显然没有地质和地球物理的准则,活断裂对区划似乎没有任何意义,况且目前对地震发生的原因和条件还不清楚。自然,按这种概念就不可能制订出任何适宜的地震区划原则或法则,因此所制定的法则也就没有什么可依据了。

在前些年代里,地震学家Е.А.Розова根据仪器观测资料写道:“在大多数情况下,震中和所谓的活动构造线之间没有一般认为的那样密切关系,即如果各种断裂是地震发生的基本原因,其间应有相互关系…”。

尽管上述的理论概念与实际地质状况相脱节,而且有错误,至今仍被许多地震学家和一些地质学家以某种形式用作解决地震预报和地震区划问题的原始依据。正是这种情况迫使我们不得不进一步讨论这些概念,并且指出,利用这些概念会得出什么样的结果。

对此我们以不久前利用这些概念的实例来说明。1958年在说明修正地震区划规范图的原始依据时曾经指出,现有关于地震发生原因和条件的概念是假设性的,需要发展。自然,在这种情况下就不会提出如何确定和利用发震的地质作用同地震现象之间的因果关系的问题。

据上述情况,1957年和1970年的编图工作,同以前一样,基本上是通过将已知地震的分布地区连接起来而完成的。然而,编图者对上述方法的利用什么也没有谈到,只是报道说

(Сейсм.районир.СССР, 1968)：确定和圈定等烈度带是根据地震和地质资料作出的，其中包括震中图、震源深度图、重复曲线图、地震活动性图等。但是，这些资料如何用于圈定烈度带就没有加以说明。曾经假定：震源力学是指地壳连续体的破裂，而对于震源是自然界中沿一定的长期活动构造断裂发生的就没有提到，即没有考虑到这种断裂，就在规范图上对许多地区的烈度带以不同的角度与活化的地质构造和活断裂带相交切。结果这些烈度带与活断裂有明显矛盾。换句话说，在确定和圈定烈度带时，实质上没有注意到具体的地质资料。于是，以前编图者关于这些资料的报道不能认为是正确的。

因此，没有把大地震发生的地质原因和条件的任何固定的概念用来编制地震区划规范图。这类图基本上是考虑到以记录的地震活动性为对象而编成的。自然，在这种情况下，认为仅用地震活动性进行工作就足够了。实际上采用这种只考虑结果而不考虑原因的作法，也就对确定真实地震条件系统地导致了重大错误。

四、关于从原则上改造地震区划规范方法的必要性

1940—1970年老式规范图之所以不能满足实际情况有如下原因。

1. 采用记录的地震活动性作为编制老式规范图的主要依据资料。由于观测时期短，地震活动性并没有适当地反映出大区域内存在的发震过程。将记录到的地震分布地区连接起来，对情况并没有改善，反而恶化了。因为这种连接缺乏一定的法则。在进行这种区划时，并没有查明大量的潜在震源。另一方面，许多地区没有依据地划为地震危险区，于是在图上只是从形式上将相距很远的大地震分布区连在一起。

上述1940年后19次破坏性地震中有17次发生在高加索、中亚和西伯利亚规范图上没有预计到的地方。它们都沿着活动大断裂发生。这种情况也出现在远东，例如在1970年规范图上5度带的阿穆尔州，于1973年11月2日发生了7—8度的捷雅地震。它位于图库林格拉活断层带内。

根据这种经验可以认为，新的破坏性地震仍然会像以前那样沿现有的长期活动的断裂发生，主要是在规范图上没有考虑到的、还没有释放过的构造应力积累的活断裂内。对于不久前有构造应力释放和只是重新开始积累的震源区，再次预计发生大地震是根据不足的。它们显然不会发生在没有活动大断裂的地区。在各条断裂的不同地震错动条件下，应力积累的速度在各地质带内是不同的，它取决于地质构造运动的速度和特征。

2. 过去的规范图是单要素的，因此它所概括的资料相当少。图上只标出可能有某种烈度地震的带，而且预计该带的震动值不是以物理单位表示的，而是按照结构破坏程度确定的烈度表示的。这种烈度显然对设计现代的抗震多层房屋和大规模建筑物用处不大。

3. 在过去的规范图上，显然不可能对解决现代建筑问题所需的地震活动因素作出预测。若把这些因素一下子加上去就会干扰图的内容。例如，把可能发生破坏性地震的带即发震带加进去，就要重新确定这些带的地区烈度，并用烈度等值线标出地震带两侧的预测烈度衰减。换句话说，只好对整幅图区的烈度重新研究。

由于上述三种原因，也就出现了编制其他的、原则上新的、标有发震带的地震区划规范图(И.Е.Губин, 1976)的必要性。只有依据所确定的大地震发生的原因和条件，并利用一种考虑这些原因和条件的方法，才能有充分依据地编制这种图件。这时，地震资料不作为主要依据，而是同其他资料一样用于识别发震构造作用，包括用于确定地震动的定量(仪器测定的)特征，这种地震动的发生可能就在研究区域的某个发震带内。

五、地震发生的原因以及地质现象与地震现象的对应关系

地震是一种地质现象。它既不是到处发生，也不是杂乱无章地发生，而是严格地依照地震活动区域的地质结构和构造运动而发生的。大断裂的剧烈运动决定着破坏性地震的发生。地质构造及其断裂运动的多样性，决定着地震在其成因、最大参数重复频度方面的多样性。这种多样性有规律地互为对应关系。

在苏联境内，大地震主要发生在地壳上部。在地球科学发展的现阶段，要研究这种深度的地质结构是可以达到的。这种情况使得有可能主要根据地质和地震勘探资料，确定活断裂和断裂系（发震带），进而根据地质和地震资料，利用地震构造方法研究其因果关系，确定地震活动的特点和程度。

早在100年前，著名的地质学家E.休斯和И.В.穆什克托夫就观察到大地震与活断裂的成因关系。穆什克托夫写道：地震归因于水平和垂直错动，它们是沿隆起和下陷的接触带发生的。这种结论随后得到了发展。1947—1960年，在这个结论的基础上，确定了上面提到的地质现象与地震现象的因果关系（规律性的对应关系）。下面对此作较详细的讨论。首先强调指出，大地震是长期活动的大断裂的剧烈运动而发生的。没有任何根据可以认为，高震级的地震决定于任何地方突然形成的新的长达数十和数百公里的深大断裂。这种现象在自然界是看不到的。

地震活动区的确定 产生大地震的伸长的活断裂，不是到处发育的，而是沿活化的老构造和最新构造边缘、小构造的边缘，以及沿着构成小构造的大大小的隆起边缘发育的。在边缘之间是规模不等的、没有被活断裂破坏的地质构造地段，其中不会发生大地震。

不同形式和规模（等级）的断裂及其地震活动 在各种地质时代、结构、产出深度和现代运动的活动构造组合中，相应地出现彼此形态不同、长度、深度、形成过程和构造运动各不相同的断裂。这些差别很大，而且断裂按上述标志分成等级，组成复杂的系列。

发震断裂和发震带的长度由几公里到2—3千公里，产出深度由2—3公里到50公里以上，断裂带的宽度常由几公里到15—20公里以上。断裂的构造运动速度以及破裂介质的固结和破碎程度的差别也不小。根据上述地质差异，断裂和断裂带各具不同的地震活动性（И.Е.Губин, 1976）。

断裂、震源和震级 断裂越长，其产出深度越大；产生地震的破裂介质越为固结的，受到断裂位移的地质构造（断块和褶皱）的规模越大；断裂带的岩石粘结程度越高，那么构造位移所需的应力就越大，发生新的剧烈运动的断裂地段也就越长，地震的震源规模和震级（能量）也就越大，反之亦然（И.Е.Губин, 1976）。

因此，处在一定构造组合中的一些形式和规模（等级）的发震断裂，可以形成长的系列。在每一级断裂中，会发生它所固有的、具有一定震源规模和高震级的最大地震。作者（Губин, 1966, 1976）曾叙述了有规律的断裂系的最重要部位。沿这种断裂系的高级别断裂，会发生 $M \geq 7.5$ 级的地震；沿低级别的断裂会发生 $M = 4 - 5$ 的地震。断裂带的大小不等的地段，即使被横向断裂所切割，也都有震级不同的最大地震（Губин, 1976）。这种情况不包括 $M \leq 4$ 的小地震，因为它们在地震活动区内的各种地质变形条件下会到处发生（И.Е.Губин, 1974）。

断裂和地震烈度 位于类似地质构造中的、具有一定长度和深度的每一条均质破裂

带，不仅具有可能的最大地震的一定震源规模和震源的下限深度，而且在震源以上地区具有一定的最大烈度值，以及一定烈度的地震动由震中带边界向外传播地带的宽度。震源距地表越近，地震震级越大，震动越强烈；而震源下限越深，地震动传播区就越大。这种规律性是人们所熟知的。

我们以两次地震来说明。1939年卡拉捷克地震（ $I_0=9, M=5.75$ ），其极震区和大致的震源区长度约12公里，震源下限深度约为5—6公里。极震区宽3公里，9度和8度等震线间距约为2—3公里，8度和7度等震线间距约为4—5公里。1949年海特地震（ $I_0=9-10, M=7.5$ ），其极震区和大致的震源区长度约60—65公里，震源下限深度约为12—20公里。极震区宽约10公里，9度和8度等震线间距约8公里，8度和7度等震线间距约12公里。

伴随大面积破坏的1949年海特型大地震很少发生。这类地震发生在受长度大于50—70公里的活动深大断裂所控制的一级发震带内。伴有小面积破坏的1939年卡拉捷克型地震，则经常发生。这类地震发生在受活动性较小的地表断裂所控制的低级发震带内。

由于上述情况，在进行地震区划时，特别是进行详细地震区划时，确定各种等级的发震带（包括小的或它们的综合体），对适当认识研究区域的地震条件具有重要意义。

断裂和地震重复频率 断裂带的构造运动速度越大，其中发生它所特有的最大地震也越经常，反之亦然。一些带内，地震的时间间隔只有几个月，另一些带则为几年或几十年，而第三种带内达几百年。构造运动是不均一的，因此，地震的间隔甚至在一个带内也不均一，而且随时间而变化。

例如，日本—千岛—勘察加地震带，现代构造运动的规模相当大，相应的地震活动程度是世界上最高的地震带之一。这个带的各段自1940年至1976年发生了160次 $M \geq 6$ 的浅震，更不用说中源和深源地震了。地震的间隔平均为几个月。在弱活化地台的断裂带中，大地震很少发生。它们的间隔计为好几十年和几百年。

断裂和地震序列 大地震发生在发震断裂带内，主要在记录到的上次地震的震源之间，即在不久前释放构造应力的地点之间。这种迁移是以单个地震或震群发生的。可以用前述的苏联1940至1976年发生的19次破坏性地震来说明这种情况。这些地震都发生在自然界已有的活断裂带内以前没有出现过这种大地震而构造应力长期积累和接近释放的地段。确定断裂带中这类最危险地段，同确定记录到地震的地方可能的地震重复周期一样，是预报地震的最重要任务。

断裂和地震错动 在大地震发生的地带，出现塌陷的和断裂的地震错动。后一种发生在震源位于近地表的情况下，И.В.Мушкетов及其追随者在北天山对此作了详细研究，Н.А.Флоренсов（1960）和В.М.Солоненко（1975）也在贝加尔地区作了研究。在构造挤压区，断裂的最大垂直位移为几米至几十米，地震错动带的长度由几十公里至几百公里。在拉伸区，基岩中出现宽达好几米的裂隙。

因此，发育在一定地质构造内的不同规模（等级）和形式的发震断裂，可以根据定量资料和其中发生最大地震的重复频度进行有规律的划分。其数字资料见И.Е.Губин（1960，1976）的文献。

确定上述地质现象和地震现象的对应关系，即确定它们的因果关系，并进而过渡到以此为依据编制标有受断裂控制的发震带的地震区划图，这是由预报地震的平面概念向立体概念的过渡，由未知到已知的过渡。如果在以前进行地震区划时主要考虑了记录到的地震的面

积、无体积的震源和震中，那么，在新的方法中首先要考虑到深部地质结构、具有一定规模（长度和深度）的体积震源、发震构造运动。不了解后者就进行地震预报和地震区划，这是盲目的工作。

标有发震带的图件，可以有效地促进详细地震区划所需的专门地震研究。确定发震带中震源的规模和震源机制、发震层位的上下界限、发震带内出现地震振动的特点、带内外的介质的地球物理性质、可能危险震动的持续时间以及建筑场地的振动谱与发震带距离的关系等。

六、新型的地震区划图与某些总结

自1949至1976年，已对许多地区编制了标有活断裂控制的发展震带的地震区划图。对于编图的地震构造方法已讨论过（И.Е.Губин, 1974, 1976）。下面仅叙述一下工作阶段。

首先，在一个区域内确定活化的老地质构造和最新地质构造的组合，以及某些类型和规模（等级）的活断裂*和没有断裂的地段。然后确定断裂及其接合部位，其中可能形成的最大震源的规模和上下限深度、可能发生的最大地震震级和烈度上下限、带内和接合部位的地震重复频度、一定烈度的震动由带边界向外传播的地带宽度、预计的地震错动地段，以及发震带各段的大地震发生顺序。

关于确定的方法和结果可靠程度可参见И.Е.Губин（1960, 1974, 1976）的著作。一种方法是：将一个地质上完整的区域内任何地方以任何方式记录到的最大地震发生的可能性和内插到类似的地质条件。这只是根据地质条件确定地质现象和地震现象之间的有规律定性和定量对应关系之后才能做到。

采用成因分析的地震构造法可以得出：在研究区域内确定出受断裂控制的、包括发生过地震的和潜在震源的发震带；详细划分出规范图上属于9度和8度区的大区域，降低其中没有潜在大震震源的地段烈度。换句话说，对过去的规范图上标出的地震危险性进行重新评价和划分。例如，把东乌兹别克斯坦标有发震带的地震区划图（图8），同规范图（图1—3）进行比较是有益的，或者研究一下1970年规范图上一个8度的亚美尼亚发震带的区划图是有益的，并对这个8度带的地震危险性作了划分。

逐步制订了编制新型地震区划图的内容和编制方法。这种图的底图是受活断裂控制的伸长的发震带，并有如同在塔吉克斯坦1947年初次确定的那种各带地震活动的特征。其中包括南天山隆起南缘地带，后来称为吉萨尔-科克沙阿尔带；彼得一世山脉北坡、苏尔赫库和季安斯克山脉带，后来称为普里巴赫什带、帕米尔外带南缘等。已经查明，这些带从地质结构、岩石年龄、断裂的形式和规模，以及它们所固有的最大地震的参数方面是各不相同的。

1949年出版了塔吉克共和国加尔姆州标有发震带的地震区划图。在编图时确定了：该区的地质结构和地质发育史、活化的老构造和最新构造，以及一定类型和规模的伸长的活断裂。已经查明，震源长度和深度以及各类地质构造内不同大小断裂上记录到的最大地震的分布区规模，都有规律性的差别。在这些定义中不是把震源当作震中（即无体积的点源）的同义词，而是当作沿其发生剧烈位移的断裂表面，这就决定了这种研究的方法的内容（И.Е.Губин, 1949）。

* 活断裂的标志有：它在晚更新世和全新世时的运动及其大地测量数据，它在发生过某种运动的构造单元中的位置，以及沿断裂发生的大地震。

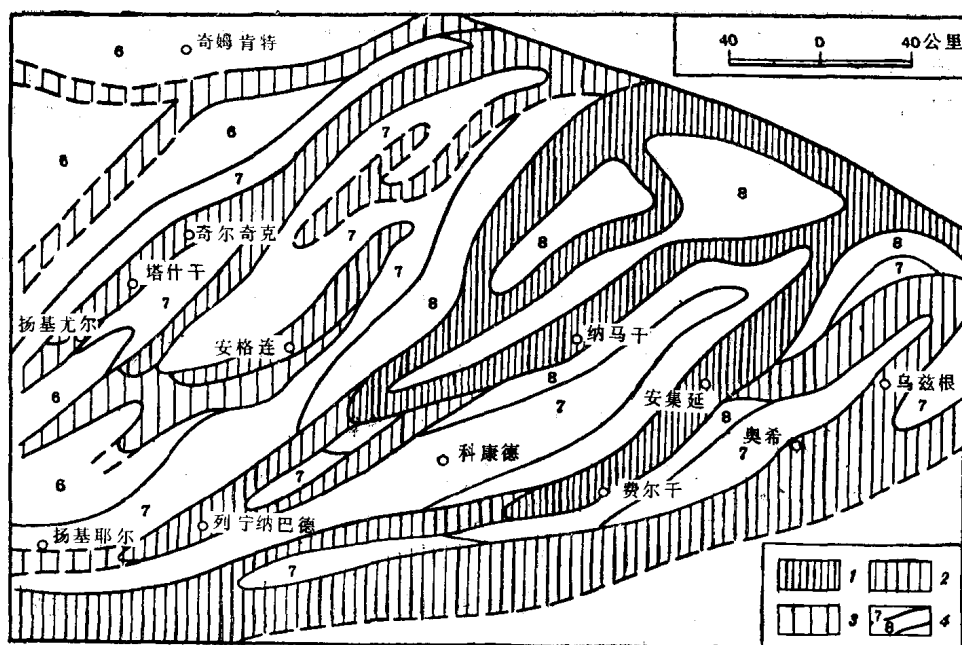


图8 东乌兹别克斯坦及其邻区的地震区划图

- 1—3. 发震带, 可能发生的最大地震及其分布: 1. 烈度达9度的 ($M=7.5$); 2. 达8度的 ($M=6.5$); 3. 达7度的 ($M=5.25$); 4. 自发震带向外传播的可能震动烈度带

在区划图上相应地表示出: 逆断层或逆掩断层控制的发展带, 其中可能最大地震的烈度、低强度震动由发震带向外传播地带的规模。已经确定, 在南天山隆起带中, 地震最常发生在它的近东西向的南缘, 因为这里的断裂构造运动速度最大。

在1960年塔吉克斯坦的新型地震区划图上, 提供了有关未来可能发生的地震的最完整资料 (И.Е.Губин, 1960)。对于图上标出的和受某一断裂系控制的每一条发震带, 都确定了其中可能的最大地震的震源规模及其深度的上下限, 可能发生的最大地震的震级和烈度, 50年内可能发生的地震的重复频度和最大周期, 一定烈度的震动由带边界向外传播地带的可能宽度。在吉萨尔-科克沙阿尔带, 确定了可以预计到连续破坏性地震的地点, 查明了可能发生地震错动的地段。

在区划图说明书中, 叙述了各类发震断裂和受破坏的各种地质构造的宽度和深度数据, 以及各断裂和构造所特有的最大地震的参数。从经验上确定了: 断裂面上石膏和岩盐的存在, 即塑性岩石的存在会降低断块沿断裂位移所需的应力值和可能发生的最大地震的震级值。

塔吉克斯坦地震区划时所考虑的发震带, 是根据地质资料确定的, 因为缺乏地球物理资料。在编制土库曼西南部图时, 断裂带是根据地震勘探资料, 局部是根据震中资料确定的。在印度西部古吉拉特邦编制坎贝平原地震区划图时, 考虑的深部地质结构和发震断裂带是专门根据地球物理 (包括地震勘探) 资料确定的, 因为那里的地质构造被现代沉积物覆盖 (И.Е.Губин, 1976)。

在克里米亚和阿塞拜疆地震区划图上, 发震断裂带划分成各个段, 其间被横向断层所分隔。横向断层可以控制震源的长度。在东乌兹别克地震区划图上表示出了各带地震活动性沿走向的变化程度与地质结构和构造运动条件变化的关系。在进行贝加尔地区的地震区划

时，特别注意到地震错动。它在某些地区是断裂和断裂带地震活动的主要标志。

实践是认识事物真实性的唯一标准。在我们的情况下，新地震就是实践。在塔吉克斯坦的加尔姆州、印度西部、东乌兹别克和北天山的新型地震区划图发表之后，在这些图区内，自1949年以来发生了六次7—8度和9度地震和六次7度地震，其震源都发生在已确定的窄的发震带内，即沿自然界中所肯定的活断裂内。这些地区从前未出现过大地震，然而这六次地震被事先考虑到在这些带内。除1956年发生在加尔姆州的1939年破坏性地震区之外，已发生的地震震源的实例，以及其震源深度的上下限，都对应于断裂局部构造运动的特点。

七、发生在已确定的发震带内的破坏性地震

加尔姆州的地震 1949年7月8日雅斯曼地震 ($I_0 = 7-8$, $M = 5.5$) 的震源坐标为北纬 39.10° 、东经 70.50° ，它发生在1947年确定的南天山南缘的预计破坏性地震带内，特别是在预计到可能发生达9度地震的加尔姆州的发震带内。

1949年7月10日海特地震 ($I_0 = 9-10$, $M = 7.5$) 的震中坐标为北纬 39.20° 、东经 70.80° 。它发生在南天山南缘预计发生破坏性地震的带内，尤其在加尔姆州区划图的9度发震带内。极震区和震源沿南天山隆起南缘延伸。

外阿赖山脉地震 1974年8月11日马尔康绥地震 ($I_0 = 8-9$, $M = 7.2$) 的震中坐标为北纬 39.40° 、东经 73.80° ，它发生在1960年塔吉克斯坦地震区划图所示的宽10公里的卡拉库尔-莫木克发震带内。此带中预计可能发生9度或7.5级的地震，重复频率为50年两次。马尔康绥地震沿这个带延伸。

印度地震 1970年3月23日布罗奇地震 ($I_0 = 7-8$, $M = 5.5-6.0$)，震中在坎贝盆地南部布罗奇城附近。地震发生在1968年确定的纳尔马达森发震带西南部。极震区沿该带走向延伸。曾经预计到其中可能发生 $I_0 = 8$ 和 $M = 6.2-6.5$ 的大地震。

东乌兹别克斯坦地震 1977年1月31日伊斯法拉—巴特肯地震 ($I_0 = 8$, $M = 6.4$)，震中坐标为北纬 40.05° 、东经 70.52° ，发生在费尔干谷地南缘伊斯法拉和巴特肯村地区，沿Р.Н.Ибрагимов (1976) 确定的南费尔干发震带内的活动断裂发生。极震区和震中沿该带延伸 (图9)。曾经预计到该带可能发生 $I_0 = 8$ 和 $M = 6.5$ 的最大地震。

1978年3月25日北天山地震 ($I_0 = 8-9$, $M = 6.6$)，震中坐标为北纬 42.9° 、东经 78.5° 。它发生在孔格山脉东部，在吉尔吉斯共和国科学院地震研究所研究人员1977年确定的北天山发震带北段。早先指出天山山脉的本段会发生这类大地震，但该带的活断层规模大，而且相邻的断块提供了推测这里有 $M = 7.1-8$ 和 $I_0 = 9$ 最大地震的依据。地震分布区沿北天山带延伸。

八、已定发震带内发生的7度地震

加尔姆州地震 1952、1956和1958年发生在彼得一世山脉北坡，在1949年出版的地震区划图上标出的普里巴赫什发震带和萨雅特—塔维尔达林发震带内。

东乌兹别克斯坦地震 1977年7月3日海达尔拉康地震 ($I_0 = 7$, $M = 5.7$)，发生在1976年Ибрагимов确定的南费尔干发震带内。震中定在伊斯法拉—巴特肯地震震中以东35公里的带内 (图9)。1977年12月6日塔瓦克塞地震 ($I_0 = 7$, $M = 5.1$)，沿卡尔朗套断裂发生在已确定的普斯克姆—塔什干发震带内。震中确定在奇尔奇克城东北约12公里处。预