

# 地震危险性定量评价问题

【苏】Ю. Б. 里兹尼钦科 等 著

地震出版社

0  
5

# 地震危险性定量评价问题

[苏] IO. B. 里兹尼钦科 等著

曹可珍 李树菁 译  
宋炳忠 蒋浩旋

地震出版社

1981

## 内 容 提 要

本文集是根据 1971 年在苏联杜尚别城召开的全苏地震及抗震工程部门协作会议报告集翻译的。

文章内容主要是综合运用地震-地质-地球物理-大地测量方法,定量确定长期地震危险性,为地震区划提供依据。文中阐述了平均频率地震震动度的计算以及一定强度的地震震动重复性概率的计算问题,地震波谱的参数化;地震振动谱与地震能量、震源深度的关系;地震图的合成;地震振动度图的编制经验等。

本文集的前言、总论文章以及第一部分和第二部分的最末一篇由曹可珍翻译;第三部分和第二部分的第一、四、五篇由李树菁翻译;第四部分和第二部分的第二篇由宋炳忠翻译;第二部分的第三篇由蒋浩旋翻译。

本书可供从事地球物理、地震地质、地震区划及抗震结构设计的工作和研究人员参考。

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
Межведомственный Совет по Сейсмологии  
и Сейсмостойкому Строительству  
ВОПРОСЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ  
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ  
Издательство «НАУКА»  
Москва, 1975

### 地震危险性定量评价问题

[苏] Ю. В. 里兹尼钦科 等著

曹可珍 等译

\*

地震出版社出版

北京复兴路 63 号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 9 印张 210 千字

1981 年 5 月第一版 1981 年 5 月第一次印刷

印数: 0,001—3,200

统一书号: 13180·88 定价: 0.95 元

# 目 录

|                |                  |
|----------------|------------------|
| 前 言 .....      | ( 1 )            |
| 地震危险性的确定 ..... | Ю. Б.里兹尼钦科 ( 3 ) |

## 第一部分 地震活动性

|                              |                                         |
|------------------------------|-----------------------------------------|
| 欧亚大陆大地震孕育区的地震活动度 .....       | В.И.布涅 Т.П.波利亚科娃 ( 6 )                  |
| 地中海东北部地壳下地震的活动性 .....        | Ю. Б.里兹尼钦科, А.В.德鲁米亚 Н.Я.斯捷潘年科 ( 21 )   |
| 克里米亚地区的地震活动度和可能发生的最大地震 ..... | Б.Г.普斯托维钦科 А.Г.卡明诺勃罗茨基 В.Е.库里契茨基 ( 26 ) |
| 克里米亚-黑海地区地震的能级分类 .....       | Б.Г.普斯托维钦科 В.Е.库里契茨基 ( 31 )             |
| 乌兹别克地震震源深度及其与地震能量关系的研究 ..... | А.И.札哈罗娃 И.Б.雅科夫列娃 ( 36 )               |
| 评价地震过程稳定性的图解方法 .....         | Р.В.杜皮尼娜 Л.А.科甘 ( 40 )                  |

## 第二部分 地质-地球物理场和地震活动性

|                                  |                                                         |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 重力异常与地震活动性的关系 .....              | Э.А.日勃拉泽 ( 45 )                                         |
| 阿尔泰-萨彦岭地区地震活动性与地壳均衡异常的关系 .....   | В.Н.盖斯基 А.В.拉迪宁 Л.П.普列斯尼亚科娃 ( 48 )                      |
| 东乌兹别克地震动态要素与地壳不均匀性的相关性 .....     | Ю.Б.列兹尼钦科 Е.М.布托夫斯卡娅 А.И.札哈罗娃 М.Г.弗列诺娃 X.A.阿塔巴耶夫 ( 55 ) |
| 根据近贝加尔地区地貌和地球物理参数预测长期地震活动度 ..... | Ю.А.佐林 М.Р.诺沃谢洛娃 ( 62 )                                 |
| 计算 $K_{\max}$ 时地质资料的应用 .....     | В.К.库恰伊 ( 65 )                                          |
| 关于地质环境对震动传播的影响 .....             | А.А.科尼科夫 ( 69 )                                         |

## 第三部分 地震震动的定量表示

|                           |                                                                           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 地震波谱的参数化 .....            | Ю.Б.里兹尼钦科 С.С.谢杜佐娃 ( 74 )                                                 |
| 考虑地区特点的强震合成地震图的构成方法 ..... | Т.Г.拉乌季安 ( 78 )                                                           |
| 地震波谱的取得、处理及对比的方法问题 .....  | Л.А.科甘 В.И.弗兰楚佐娃 ( 83 )                                                   |
| 地震震动谱与地震能量的关系 .....       | В.И.哈尔图林 Т.Г.拉乌季安<br>А.努尔马加姆别托夫 В.Л.戈卢比亚特尼科夫 Е.Э.勃拉戈维欣斯卡娅 Т.Ф.别里科娃 ( 99 ) |

|                                                         |                 |
|---------------------------------------------------------|-----------------|
| 兴都库什地震时间谱特征值与震源深度的关系 .....                              |                 |
| .....B.И. 哈尔图林 Т.Г. 拉乌季安 В.Л. 戈卢比亚特尼科夫 Т.Ф. 别里科娃 ( 98 ) |                 |
| 根据ЧИСС台的记录讨论地方震振动的持续时间和振动谱 .....                        | Г.М. 洛基诺娃 (104) |
| 亚美尼亚区地震振动谱 .....                                        | Н.К. 卡拉别江 (108) |

## 第四部分 地震危险性

|                                                        |                         |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| 苏联新地震区划时地震危险性估计的定量方法 .....                             | Ю.В. 里兹尼钦科 (114)        |
| 编制阿尔泰-萨彦岭地区地震震动度图第一阶段工作 .....                          |                         |
| ..... В.Н. 加伊斯基 Л.П. 米希娜 (119)                         |                         |
| 小区域地震危险性的定量估计.....                                     | Л.А. 科甘 О.А. 罗马诺夫 (126) |
| 喀尔巴阡-巴尔干地区壳源地震带地震震动度图 .....                            |                         |
| ..... Ю.В. 里兹尼钦科 А.В. 德鲁米亚 Н.Я. 斯捷潘年科 Н.И. 奥诺弗拉什 (137) |                         |

## 前 言

本文集总的思想和目的,是介绍在综合定量利用地震和其他地球物理资料以及地质和大量测量资料的基础上,阐述定量估计区域地震活动性和地震危险性的新方法。所建议的方法的试用实例,属于欧亚地震区范围,主要是苏联境内从摩尔达维亚到近贝加尔湖地区。

文集的第一篇,是 IO.B. 里兹尼钦科的《地震危险性的确定》。这篇文章把读者引向这一课题并介绍本书的内容。其任务是用统一的观点来介绍这些内容,使这本文集接近于一本专著。

按问题的实质,本文集分为四部分:1. 地震活动性,2. 地质-地球物理场和地震活动性,3. 地震震动的定量表示,4. 地震危险性。

1. 地震活动性。这里只限于讨论地震活动性问题,其中主要是地震活动度 $A$ ,即单位面积上发生不同大小地震(大多数为弱震)的平均频度和在这一地区可能的最大地震 $K_{\max}$ 值之间的关系。问题在于,接近 $K_{\max}$ 的大地震很少发生。这类地震在我们感兴趣的地点,在观测期内,甚至有史以来可能遇不到。在这种情况下,正如经验表明的那样, $K_{\max}$ 与 $A$ 的相关方法可以间接地大致确定 $K_{\max}$ 。 $K_{\max}$ 与震源深度 $H$ 作相关也是可以的。在苏联国内外许多地区应用 $K_{\max}$ 与 $A$ 相关方法的良好结果在引论文章中会提到。在 IO.B. 里兹尼钦科、A.B. 德鲁米亚、H.Я. 斯捷潘年科的《地中海东北部地壳下地震的活动性》,Б.Г. 普斯托维钦科、A.Г. 卡明诺勃罗茨基、B.E. 库列契茨基的《克里米亚地区的地震活动度和可能发生的最大地震》,以及编入第二部分的Θ.A. 日勃拉泽的《重力异常与地震活动性的关系》等文章里都有这类例子。这些都是地震活动性研究得相当好的地区。

但有时也会遇到一些困难。在 B.И. 布涅和 T. П. 波利亚科娃的《欧亚大陆大地震孕育区的地震活动度》文章中,讨论了主要在亚洲其他国家试用这个方法的例子。为此,使用了在短期内取得的粗略资料。文章作者得出结论说,在这样条件下,这个方法是不适用的。将来会弄清楚,这是否与特殊的地震条件有关,或是由所用资料不足和资料分析整理上的缺陷引起的。比如,观测期限短可能导致在大震前的平静期 $K_{\max}$ 与 $A$ 的负相关。为此,对这些地区应当详细、认真地进行研究。同时,要拟定不只是按地震资料,而且还要按其他的地球物理和地质等资料确定二级近似的 $K_{\max}$ 更为一般的方法。这些方法应当先在很好研究过的地区试验。这个问题在文集的第二部分还要讨论。

在第一部分的其他文章中,讨论了有关地震活动性的其他问题,这些问题对可靠地定量估计地震活动性是重要的。

2. 地质-地球物理场和地震活动性。在Θ.A. 日勃拉泽的文章(上面已提到)和 B.H. 盖斯基、A.B. 拉迪宁、Л.П. 普列斯尼亚科娃《阿尔泰-萨彦岭地区地震活动性与地壳均衡异常的关系》一文中,在地震活动性和实测参数与重力场参数作相关的基础上研究了评定地震活动性的长期平均参数 $A$ 和 $K_{\max}$ 的可能性和预期的精度; IO.B. 里兹尼钦科、E.M. 布托夫斯卡娅、A.И. 札哈罗娃等在《东乌兹别克地震动态要素与地壳不均匀性的关系》一文内,考虑了地壳深部结构的特点; IO.A. 佐林和 M.P. 诺沃谢洛娃在《根据近贝加尔地区地貌和地球物理

参数预测长期地震活动度»一文内,依据的是反映最新构造运动的地貌资料;在B.K.库恰伊的«计算 $K_{\max}$ 时地质资料的应用»文章里,许多例子表明,单靠地质资料要直接确定 $K_{\max}$ 是不行的,虽然在原则上使用这些资料是无可非议的。在这方面提出了一些建设性意见。

在这一部分的最后一篇文章中,A.A.科尼科夫描述了断裂带对地震等震线形状的影响。这为利用等震线形状发现可能是地震成因的隐伏断裂带提供了依据。

3. 地震震动的定量表示。用地震宏观烈度描述地震强度的传统方法越来越不可靠。它必须代之以仪器观测为基础的现代的定量估计方法。这首先是谱一时间特征值。确定这些特征值并使之系统化,以及使用这些特征值的方法在这一部分的多篇文章里讨论。

在Ю.Б.里兹尼钦科和C.C.谢杜佐娃的«地震谱的参数化»文章里,描述了地震平均谱系的数字模型和用电子计算机确定这些参数的方法。模型给出谱与震源大小和震源距离的关系。使用所推荐的方法不要求固定其他变量和研究每一变量的影响时作小的选择,如同地震学直到目前通常作的那样。这就允许把所有可靠的谱资料同时进行处理,立即得到总的更为稳定的结果。

在Т.Г.拉乌季安的«考虑地区特点的强震合成地震图的构成方法»文章里,描述了根据谱-时间分析(СВАН)资料用ЧИСС的模拟器绘制合成的综合地震图的方法。这种地震图对于某些抗震建筑的计算是有用的。在B.И.哈尔图林、Т.Г.拉乌季安等人的两篇文章里,用传统的选择方法研究了反应谱分别与震源的地震能级和震源深度(对深震)的关系。

在Л.А.卡冈和B.И.弗拉楚佐娃的«地震谱的取得、加工和对比的方法问题»,Г.М.洛基诺娃的«根据ЧИСС设备的记录讨论地方震的振动持续时间和振动谱»,И.К.卡拉别江的«亚美尼亚区的地震振动谱»等文章里研究了许多地震谱的问题,并附有观测结果的实例。

4. 地震危险性。Ю.Б.里兹尼钦科在这一部分的第一篇序论性文章里,讲述了任务,评述了新的定量估计地震危险性的方法,即地震震动度方法在苏联当前的研究水平。这个方法不仅能确定地震危险事件的大小,而且还能确定其概率。知道了震动度和建筑物的工程指标,就可估算地震危险程度,并进行建筑物的最优化计算。在1975年苏联地震新区划之前,应该编制苏联所有地震区地震震动度图。许多地区的样图已经编完。

在文集的最后三篇文章里,有编制这类图件的实例。讨论了按此方法编地震危险性图的成绩,指出了困难所在,并提出了克服困难的途径。

这样,总起来看,本文集接近于一本在理论和实践上无疑是重要的许多问题的专辑。它反映出地震活动性(活动度 $A$ ,可能最大地震能级 $K_{\max}$ )和地震危险性(按地震,地震-地质-地球物理和其他的资料综合确定的震动度 $B$ )定量计算方法的发展状况,并用具体例子说明它的实用情况。

# 地震危险性的确定

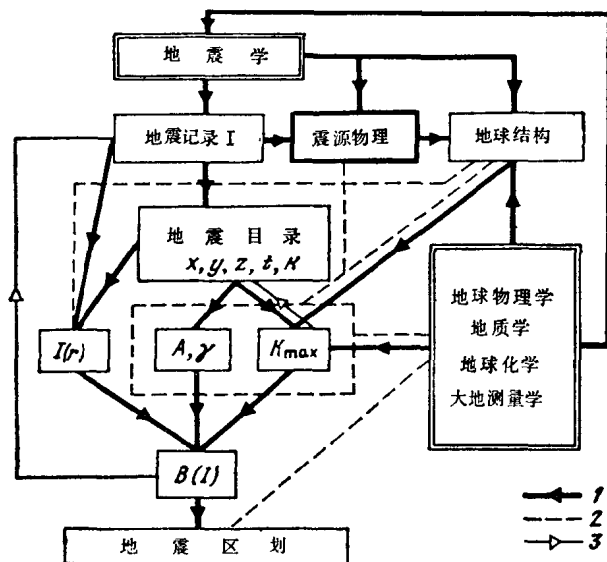
Ю. В. 里兹尼钦科

这里我们将谈论地震危险性及其在地面上某一点（城市，建筑工地等等）的度量，而与这一度量确定的时间无关。因此，我们指的是地震区划问题，而不是单个地震的时间预报。地震区划是反映在几十年、几百年内几乎不变的总的环境。

地震危险性不只由地震的能级和强度，同时还由它们重复的频率来确定。在预期的时间内发生地震的概率，直接与此有关。可以反映这一点的最简单的一个量，就是地震震动度（Сотрясаемость），即某一任意给定强度的地震在给定地点重复的长期频率  $B$  ( $T=1/B$  为平均周期)。  $B$  值是  $I$  的函数，  $B=B(I)$ 。这个实质上是统计分布函数的图或表，就包含有可能的最大强度值  $I_{\max}$ ，后者直到目前为止，仍为从事我国地震区划的人们所惯用。

地震危险性新的尺度，即地震震动度  $B(I)$  更为复杂，但与过去的尺度，即最大强度  $I_{\max}$  相比更能说明问题。由苏联科学院主席团所属地震与抗震部门间会议制定新的地震危险性定量评价方法委员会 (KCOMCCCC) 拟定的计划包括：先在描述性的宏观强度，即烈度的基础上，然后再在定量表示强度，即表现为土层运动的物理、工程指标——位移、速度、加速度，以及谱-时间特征值和统计特征值的基础上来确定震动度。

让我们看一下信息加工程序的逻辑系统图。这些信息，总的来说，是属于为在震动度含义上确定地震危险性所必需的各种地球科学的范围。最终目的是力图更好地表明，这些科学能向地震学家提供那一种具体的有用资料，以解决我们这一综合问题。应当说明，这里讨论



地震学和其他科学分支在确定用震动度  $B(I)$  表示的地震危险性时相互关系示意图

主要的关系：1—从属关系，2—协调关系，3—校核关系

的地震危险性和区划问题是大区域的，不是小范围的，也就是不考虑场地土质条件。在小范围的地震区划中可以补充考虑这一因素，归结为在大区划取得的一般结果中引入地方性的修正。

解决我们问题的方框图见附图。为简明起见，在图上只表示被研究系统的基本要素及它们之间的基本关系。主要程序上的、解决问题所必需有的一些要素安排在铅垂线附近：“地震学”——“地震区划”(图上方框内的名称加引号)。首先看一下它们的内容。

方框“地震记录 I”包括各种地震图的仪器记录(包括加速度图在内)；非仪器记录的有关强度、烈度的资料；有关古代地震地面效应的历史、年鉴和古地震资料。在所有这些资料的基础上编制“地震目录”，它包含地震的主要参数：震中坐标  $x, y$ ，震源深度  $z$ ，震源处地震的能级  $K = \lg E$  ( $E$  为地震能量，焦耳) 或者震级  $M$ ；还有震源的时间  $t$ 。为取得这些参数值所必需的全部方法和操作，如确定震源坐标的方法，能量、震级标度的方法，利用宏观地震资料估计震源参数的方法，都落在这一方框内。在“地震目录”的基础上，按已知的规则，确定长期平均“地震动态”的参数 ( $A, \gamma, K_{\max}$ ) 或代替它们的其他参数，例如考虑重复性曲线的曲率，假定  $\gamma = var$ ，如果这在统计上能证实，或者考虑这一点有意义的话。这里还包括考虑代表性地震，也就是一个不漏地全部能记录的地震  $K_{\min}$  的大小，这些代表性地震在不同的观测期是有区别的；考虑地震分组，评定被确定参数的计算精度，以及这些参数自然、暂时的变化，等等。需要指出，按这一程序计算得到的可能最大地震的结果  $K_{\max}$ ，要用“地震目录”中包含的原始资料来校核(第二次校核在计算的最后阶段进行，见下文)。

另一方面，在“地震记录”(在地面已知点上进行)的基础上，根据这里得到的强度值  $I$ ，以及从“地震目录”了解到的震源坐标  $x, y, z$  和它的能级  $K$ ，在方框“ $I(r)$ ”内确定距观测点不同距离  $r$  上的、具有不同参数  $K, z$  的震源周围强度  $I$  的分布规律。因而，按描述性的烈度建立宏观地震烈度场和制定仪器标度的课题，以及为不同震源建立谱-时间的烈度系统的课题都落在这一方框内。

最后，在“ $I(r)$ ”和“ $A, \gamma$ ”和“ $K_{\max}$ ”方框内资料的基础上，为方框“ $B(I)$ ”计算所求的震动度  $B(I)$ 。取决于强度  $I(r)$  是以什么形式给出的，得到的震动度  $B(I)$ ，或者是按宏观地震烈度的震动度，或者是谱-时间的震动度。前一种我们已系统地计算过，后一种我们相信在不久的将来就可以计算。

到目前为止地震震动度方面的大部分计算，是与以上讨论的方框图中的必需部分相一致的情况下进行的。这一部分，如同我们已看到的，纯粹是地震学的。而且它还没有包括地震学中那样一些最为重要的部分，如“震源物理”和以地震资料为基础的“地球结构”。在图上，这部分课题用专门的方框划出，并表明与“地震记录”部分的关系，后者向前者提供资料(这两个课题都要研究地震波)。方框图的必需部分，暂时还没有直接包括“地球物理”、“地质”、“地球化学”、“大地测量”等方法所能提供的有用资料。而且，这些领域极为丰富的资料中，某些部分对解决我们的问题，在提高精度和减少不确定性方面将是有益的。这种富有前景的联系，在图上是用空心箭头表示的。让我们研究一下其它领域在这方面的具体前景。

“震源物理”，看来是能够更好地预示长期平均的地震动态参数化的系统。参数  $\gamma$  在岩石粘滞度增大(与岩石的成分， $P-T$  条件和形变条件有关)地区有可能减小。从“地球结构”、“地质学”和“地球化学”各方框可以获得有关这方面的补充资料。

“地球结构”和“地质学”部分包含有关大地构造运动(地震活动性是它的部分表现)最重

要的信息。这是关于活的孕震深断裂的资料和地表不同地段（也可推测到一定深度）垂直运动和水平运动的资料。重要的是，在地球结构中留下自己痕迹的过程，一般是持续很长时间的。因此，得出的结论是属于长期平均的指标。而这恰好是在地质尺度上是“瞬间”这一时期内观测到的地震资料所不能及的。

但是，从“地球结构”和“地质学”部分得来的资料，可能显得时间过长。现代地震活动性或许相当于早期构造运动的近期改造，后者用这些方法是发现不了的。这时，大地测量方法和在一定程度上作为“地质学”内容的地貌方法可以提供有关现代运动的资料。当然，大地测量资料可能更显得时间过于短促。

除了地震，地球物理场中对我们工作最有益的算是重力场。它反映出由构造运动引起的，或者反过来，引起构造运动的地球物质的不均衡性。从原则上讲，地震活动性，其它运动方式也一样，在地热场中会有反映，但这种关系远非简单。磁场，除了无用的古老的史前磁场，在很大程度上是由现代断裂格架和热场所控制。这就导致与现代地震活动性有间接联系，因此，同样可以利用。

请注意，我们把方框图上大多数补充的资料领域（“地球结构”，“地球物理-地质学-地球化学-大地测量”）与地震动态（ $A, \gamma, K_{\max}$ ）用简单的关系联在一起，而与主要程序中的方框“ $K_{\max}$ ”用更为密切的关系联在一起。问题在于，我们难以期望从其他学科取得比直接的地震观测和“地震目录”所包含的有关地震活动度  $A$  和大小地震分布  $\gamma$  更为确定的资料。而且，确定  $K_{\max}$  仍然是一个困难的任务。用地震方法确定的  $K_{\max}$  仍有待用其它方法，例如地质方法来验核和补充。地质学家一般自认为善长解决问题的这一部分，即最大烈度  $I_{\max}$ （他们习惯于搞最大烈度），实质上是  $M_{\max}$  或  $K_{\max}$ ，烈度与它们有直接联系。需要指出，地质学家有时也讨论地震能量总的消耗，主要是通过接近最大可能地震的大地震来实现。

上述有关吸取除地震学外的其他学科的知识来解决地震危险性和地震区划问题的前景的内容，总的说来是清楚的。无疑，还可以有一些类似的设想。然而，现在问题不在于重复一般的地方，而是从其他学科具体提取最有前途、最有用的资料，使之补充到为所研究的目的进行的资料分析处理方案中去；在于通过实际例子检验这些方法；最后，如果成功的话，在于把它们纳入综合解决问题的总方案。在本文集的许多文章里，以及在 Ю.Б. 里兹尼钦科 (1974) 的文章里，都介绍了这方面的例子。

# 第一部分 地震活动性

## 欧亚大陆大地震孕育区的地震活动度

В. И. 布涅 Т. П. 波利亚科娃

在孕震区地震活动度  $A$  资料基础上划出可能发生极限或最大地震  $K_{\max}$  地区的方法, 是里兹尼钦科提出的 (Ю. В. Резниченко, 1967, 1972, 1974)。对这一方法的主要反对意见是与以下事实相联系的, 即根据地质资料不应有大地震的地区, 按这一方法就会属于可能发生  $K_{\max} \geq 16$  地震的地区 (Н. В. Шебалин, 1971)。这类错误 (可以把它们称作“虚惊”错误), 当然是不希望有的。然而另一些问题意义也不小。在多大程度上可以相信, 在现有的关于震源在时间、空间上以及按能量 (震级) 的分布资料的情况下, 使用这个方法可以不犯“漏掉”的错误? 截至 1970 年收集到的有关地震活动性的资料, 是否可以用这个方法划分出已发生或将发生例如  $M \geq 7\frac{1}{2}$  地震的所有地区? 这些问题已经讨论过 (V. I. Bune 等, 1970, 1974)。В. И. 布涅在文章中 (1970) 曾指出, 在现代地震活动度很低的地区发生过一些很强的地震 ( $M \geq 8\frac{1}{2}$ )。要在北阿纳托利断裂带和高加索地区划出已发生过  $M = 6\frac{3}{4} - 7\frac{1}{4}$  地震的所有地区, 看来, 靠 40 年观测得到的  $M \leq 5\frac{1}{2}$  地震的资料是不够的 (В. И. Бунэ 等, 1974)。

自 1961 年起, 世界上大多数地区  $m_{PV} = 4-5$  地震的资料, 有明显改进。对  $m_{PV} > 4$  的地震, 观测 6—9 年是否足以把更强的地震区可靠地划分出来? 如果把代表性资料降到  $m_{PV} = 3$  的水平, 是否能指望取得成功? 本文就是讨论这些问题的。

### 一、强震孕育区地震活动度水平的评价方法

按照 Ю. В. 里兹尼钦科著作中提出的概念 (Ю. В. Резниченко, 1967, 1972, 1974), 存在着大震孕育区, 在它的范围内  $\bar{A}_{10}$  和  $K_{\max}^*$  之间应满足以下关系式:

$$\lg \bar{A}_{10} = 2.84 + 0.21(K_{\max} - 15) \quad (1)$$

为估算  $\bar{A}_{10}$  一般采用相加法 (И. В. Горбунова 等, 1965):

$$\bar{A}_{10} = \frac{N_S(1 - 10^{-\gamma})}{10^{-\gamma}(K_{\min} - K_{10})} \cdot \frac{1000 T_{\text{定额}}}{T_{\text{观测}} \cdot S} \quad (2)$$

式中  $S = \pi R^2$ ——孕震区面积, 单位平方公里;  $R$  由下式确定:

$$R^3 = 0.315 \cdot 10^{K-10} \text{ 或 } R^3 = \pi \cdot 10^{K-11} \quad (3)$$

$R$  单位为公里;  $T_{\text{定额}} = 1$  年——定额期;  $T_{\text{观测}}$ ——观测期;  $N_S$ ——观测期内强震孕震区  $K \geq K_{\min}$  地震的次数。

在有关文献 (Bulletin of the International Seismological centre 1964—1969;

\* 在有关文献 (Ю. В. Резниченко, 1974) 中, 对  $K \geq 19$  的地震的孕震区半径要小些,  $\bar{A}_{10}$  要大些。在此篇文章里, 采用有关文献 (Ю. В. Резниченко, 1967, 1972) 中建议的关系式 (1) 和 (2)。

preliminary determination of epicenters, 1961—1971) 中, 地震是按  $m_{PV}$  分类的。大地震按  $m_{PV}$  分类是很不可靠的 (M. Báth, 1966; V. I. Bune 等, 1970; 等), 因此, 把根据有关资料 (Бюлл. Сейсмических станций 1-го класса сейсмической сети СССР 1929—1935, 1936—1940, 1945—1961 年卷; Сейсмологический бюлл. сети сейсмических станций СССР 1962—1963, 1962—1964 年卷; 等等) 确定的震级  $M_{LH}$  作为基础。对欧亚大多数  $M_{LH} < 6$  的地震, 只有  $m_{PV}$  震级。为了把震级  $m_{PV}$  换算成  $M_{LH}$ , 以便按  $M_{LH}$  分类绘制地震重复性图, 采用有关文献 (В. И. Бунэ 等, 1971) 中的关系式

$$M_{LH} = 1.43 m_{PV}^{1.5} - 2.15 \quad (4)$$

或

$$m_{PV} = 0.70 M_{LH} + 1.5$$

这样, 绘制以下形式的重复性图:

$$\lg N_{\Sigma}(M) = a - b M_{LH} \quad (5)$$

公式(2)中使用的系数  $\gamma$ , 由关系式

$$\lg N_{\Sigma}(K) = \lg A_{10} - \gamma(K - 10) \quad (6)$$

为把震级  $M$  换算成能级  $K$ , 采用公式

$$K = 4.3 + 1.8 M$$

如果为换算  $M$  和  $K$  采用公式(7), 则为换算  $b$  和  $\gamma$  得公式

$$\gamma = b/1.8 \quad (8)$$

作为例子, 我们估算一下  $K=17$  或  $M_{LH}=7\frac{1}{4}$  地震孕震区的最低活动度。孕震区是半径为 144 公里的一个圆。最低地震活动度  $\bar{A}_{10}=0.18$ 。

在上述观测报告的资料基础上, 编绘了 1961—1967 年 (M. Barazangi 等, 1969) 和 1961—1969 年 (World Seismicity 1961—1969, Washington, 1970) 的震中图。上述观测报告中的资料在有关著作 (J. F. Evernden, 1970, 1971; 等) 中已作过分析。

在上述观测报告的地震目录中大约有 70% 1963—1966 年发生在欧亚的  $m_{PV} \geq 4$  的地震资料 (K. L. Kaila 等, 1971)。这个估计是建立在对重复性图的分析上的, 当  $m_{PV}=4$  时, 记录

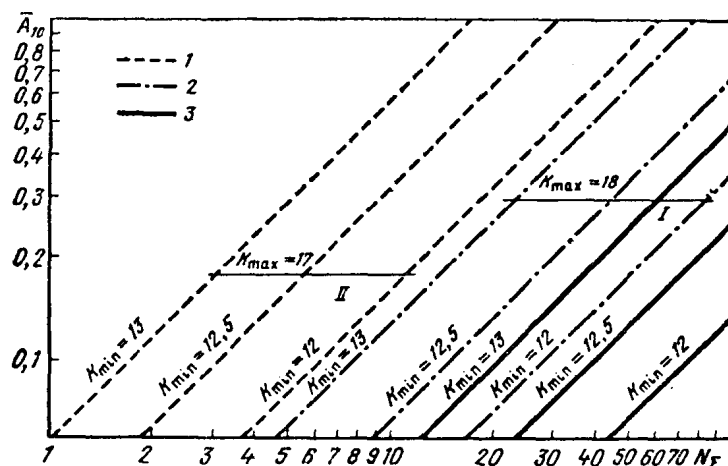


图 1 根据震中数  $N_{\Sigma}$  (观测期 9 年,  $\gamma=0.56$ ) 确定孕震区地震活动度用的列线图

1— $K_{\max}=17$ ,  $R=144$  公里; 2— $K_{\max}=18$ ,  $R=311$  公里; 3— $K_{\max} \geq 18$ ,  $R=500$  公里; I— $K_{\max}=18$  时的  $\bar{A}_{10}$  值; II— $K_{\max}=17$  时的  $\bar{A}_{10}$  值

到的地震数目剧减。

在这些工作基础上,假定自1961年以来在整个欧亚大陆上记录的 $M_{HL}=4\frac{1}{2}$  ( $m_{PV}\approx 4.6$ )地震不会有多少遗漏。设方程(2)中 $K_{\min}=12$  ( $M_{LH}=4\frac{1}{2}$ ),估算9年来相当最近活动度 $\bar{A}_{10}=0.18$ 的地震数目 $N_z$ 。为此,利用图1上的列线图。由图可见,9年内在 $M=7\frac{1}{2}$  ( $K=17$ )地震的孕震区应发生 $M\geq 4\frac{1}{2}$  ( $K>12$ )地震10次。

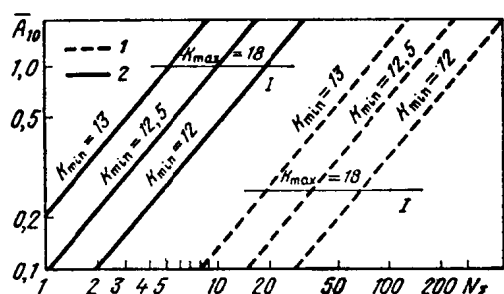


图2 根据震中数 $N_z$ (观测期9年; $K=12$ ;地震 $K=12.5$ ;  $K=13$ ;  $\gamma=0.56$ )确定 $K=18$ 孕震区地震活动度 $\bar{A}_{10}$ 用的列线图  
1— $R=31$ 公里,据Ю. В. 里兹尼钦科1967及1972年文章中的建议; $R=69$ 公里,据Ю. В. 里兹尼钦科1974年文章中的建议

据有关著作(С. Миямура, 1972)中更为谨慎的估算,从世界上所有的地震活动区收集了自1963年以来 $m_{PV}\geq 5$ 地震的代表性资料。如果最小震级相当于 $K_{\min}=13$ ,那么在半径144公里范围内震中数目应当等于3。对于 $M\geq 8$  ( $K=18$ )的地震,9年内在半径 $R=311$ 公里的孕震区内应当发生 $K\geq 13$  ( $M\geq 5$ )的地震30次, $K\geq 12$ 地震70—80次。在上述两本英文的地震观测报告和震中分布图(M. Barazangi等, 1969)中,1961年以来 $M\geq 5$ 的地震都没有漏过。因此,可以相信,现有的资料对于整个欧亚地区 $K_{\max}\geq 17$ 地震作地震活动度与

$K_{\max}$ 的相关分析是足够的。

如果用文献(Ю. В. Ризниченко等, 1974)中建议的类似公式来代替公式(1)和(3),那么由图可见,为了把所有可能发生 $K\geq 18$ 地震的地区划出来,在9年观测期(1961—1969年)内应当发生许多(从4到20) $K=12-13$ 的地震。

## 二、地震活动度与 $K_{\max}$ 的相关性

### 1. 1961年前 $M_{LH}\geq 7.9$ 地震

据文献(B. Gutenberg等, 1954; J. P. Rothe, 1969; 等)资料,自1897年到1957年,在欧亚大陆共发生 $M\geq 7.9$ 地震18次(表1, A和图3)。估算一下孕震区内现今(1961—1969年)的地震活动度。按照有关文献(Ю. В. Ризниченко, 1967, 1972),我们假定半径 $R=311$ 公里( $M\geq 7\frac{1}{2}$ )和 $R=500$ 公里( $M\geq 8$ )的圆是大震孕育区的地面投影。根据文献(M. Barazangi等1969; World Seismicity 1961—1969, Washington, 1970)。和图3上的震中分布图,计算在这些圆范围内的地震次数(表1,  $N_z$ )。再根据图1上的列线图确定 $\bar{A}_{10}$ 值。为更可靠起见,假定所有地震震级为 $M>5$ 或 $K>13$ ,尽管更为现实的是 $K_{\min}=12.3$ 。在表1的第10和12栏列有取得的 $\bar{A}_{10}$ 值。在相关图(图4,表1, A, Б)上18个 $M>7.9$ 的地震明显在直线I之下。蒙古和中国中部最强地震区的地震活动度显得更低。现有的地震台网完全可以记录这一地区 $M=5$ 的地震(J. F. Evernden, 1970)。因此,这一地区震中数量的不足不能用大量地震漏记来解释。因而应当断定,欧亚大陆过去发生过 $M\geq 8$ 地震的地区,现今的地震活动度是低的。

与文献(Ю. В. Ризниченко, 1967)的建议相适应,在表1, A中为全部地震所列的计算都是用孕震区半径的最小值进行的。在绝大多数情况下,孕震区面积的缩小并不会提高地震活动度,在表1基础上得出的结论没有变化。

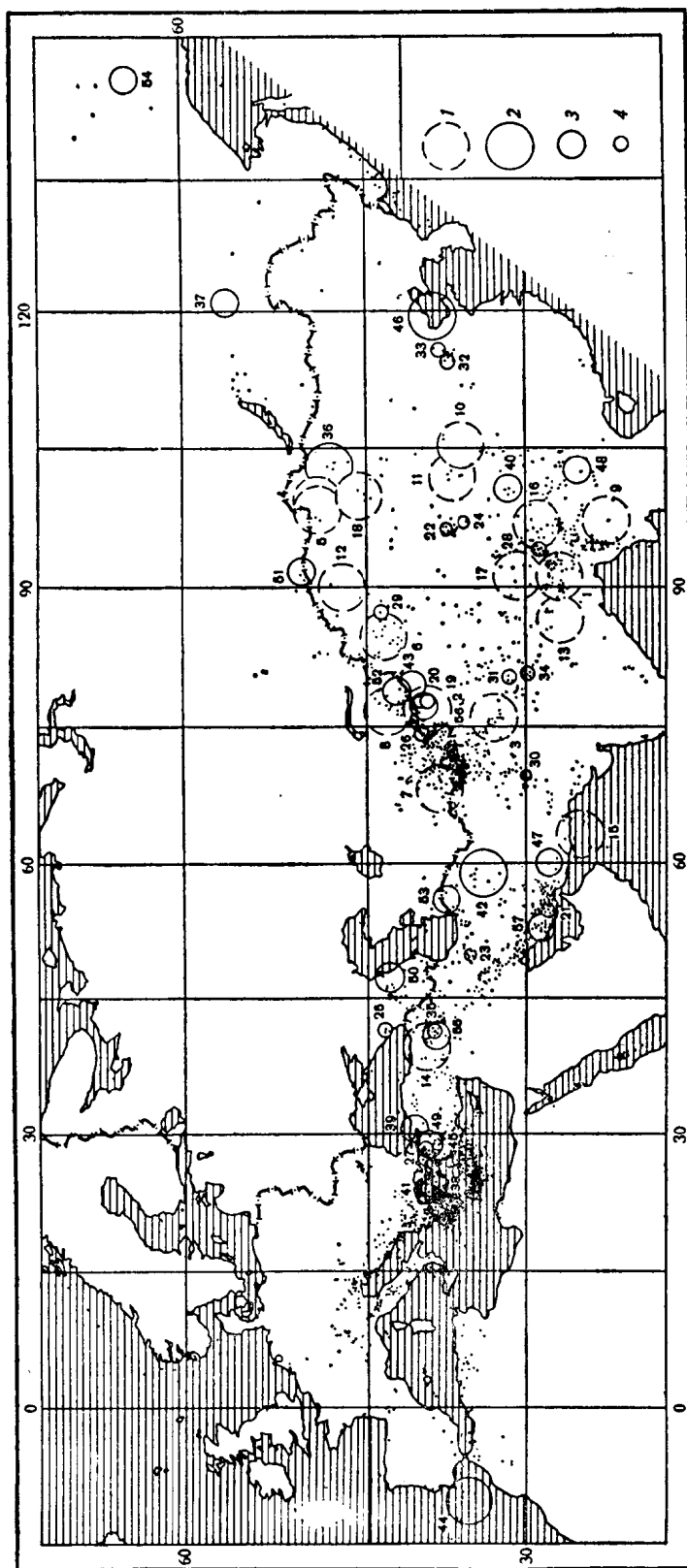


图 3 欧亚大陆震中分布和大震孕育区(地震编号根据表 1)

1——1897—1957 年  $K=18$ ,  $r=311$  公里, 2——1967—1972 年  $K=18$ ,  $r=311$  公里, 3——  
1967—1972 年  $K=17$ ,  $r=144$ , 4——1961—1966 年  $M \geq 6.5$  的地震震中, 9 年内 (1961—1969)  
 $m \geq 5$  的地震用点标示

表 1

用来与地震活动度作相关分析的欧亚大陆的大地震

A. 1897—1960 年间  $M \geq 7.9, h \geq 70$  公里的地震

| 地震<br>编号 | 日 期               | 发震时间<br>时-分-秒        | 坐 标                     |                         | 震级 $M^{***}$   |            | $N_2^*$<br>( $R=$<br>311<br>公里) | $K_{min}$  | $\bar{A}_{10}^*$<br>( $R=$<br>311<br>公里) | $N_2^*$ | $\bar{A}_{10}^*$<br>( $R=$<br>500<br>公里) | 地震地区        |
|----------|-------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------------|---------------------------------|------------|------------------------------------------|---------|------------------------------------------|-------------|
|          |                   |                      | $\phi^\circ$            | $\lambda^\circ$         | A              | B          |                                 |            |                                          |         |                                          |             |
| 1        | 2                 | 3                    | 4                       | 5                       | 6              | 7          | 8                               | 9          | 10                                       | 11      | 12                                       | 13          |
| 1        | 1897.6.12         | 11-06                | 26                      | 91                      | —              | <u>8.7</u> | 37                              | 12.5<br>13 | <u>0.24</u><br><u>0.38**</u>             | 54      | 0.14<br>0.26                             | 印 度         |
| 2        | 1902.8.22<br>1905 | 03-00                | 40                      | 77                      | —              | <u>8.6</u> | 34                              | 12.5<br>13 | <u>0.23</u><br><u>0.36</u>               | 80      | 0.21<br>0.39                             | 南天山<br>(喀什) |
| 3        | 4.4               | 00-50-00             | 33                      | 76                      | 8              | <u>8.6</u> | 25                              | 12.5<br>13 | <u>0.17</u><br><u>0.26</u>               | 54      | 0.14<br>0.26                             | 印 度         |
| 4        | 7.9               | 09-40-24             | 49                      | 99                      | $8\frac{1}{4}$ | <u>8.4</u> | 2                               | 12.5<br>13 | <u>0.01</u><br><u>0.02</u>               | 11      | 0.03<br>0.05                             | 蒙 古         |
| 5        | 7.23              | 02-46-12             | 49                      | 98                      | $8\frac{1}{4}$ | <u>8.7</u> | 2                               | 12.5<br>13 | <u>0.01</u><br><u>0.02</u>               | 3       | 0.008<br>0.013                           | 蒙 古         |
| 6        | 1906.12.22        | 18-21-00             | $43\frac{1}{2}$         | 85                      | 7.9            | <u>8.3</u> | 21                              | 12.5<br>13 | <u>0.14</u><br><u>0.22</u>               | 40      | 0.10<br>0.20                             | 中国<br>东北部   |
| 7        | 1907.10.21        | 04-23-36<br>8        | 38<br>38.6              | 69<br>68                | 8.0            | <u>8.1</u> | 34                              | 12.5<br>13 | <u>0.23</u><br><u>0.36</u>               | 88      | 0.23<br>0.43                             | 南天山         |
| 8        | 1911.1.3          | 23-25-45<br>23-25-58 | $43\frac{1}{2}$<br>43.8 | $77\frac{1}{2}$<br>76.7 | 8.4<br>8.0     | <u>8.7</u> | 16                              | 12.5<br>13 | <u>0.11</u><br><u>0.16</u>               | 57      | 0.15<br>0.28                             | 北天山<br>(克宾) |
| 9        | 1912.5.23         | 02-24-06             | 21                      | 97                      | 8.0            | <u>7.9</u> | 5/5                             | 12.5<br>13 | <u>0.06</u><br><u>0.15</u>               | 39      | 0.10<br>0.19                             | 緬 甸         |
| 10       | 1920.12.16        | 12-05-48             | 36                      | 105                     | $8\frac{1}{2}$ | <u>8.6</u> | 5                               | 12.5<br>13 | <u>0.03</u><br><u>0.05</u>               | 13      | 0.03<br>0.06                             | 中国中部        |
| 11       | 1927.5.22         | 22-32-42             | $36\frac{3}{4}$         | 102                     | 8.0            | <u>8.3</u> | 6                               | 12.5<br>13 | <u>0.04</u><br><u>0.06</u>               | 10      | 0.03<br>0.05                             | 中国中部        |
| 12       | 1931.8.10         | 21-18-40             | 47                      | 90                      | 8.0            | <u>7.9</u> | 0                               | 12.5<br>13 | 0<br>0                                   | 8       | 0.02<br>0.04                             | 蒙 古         |
| 13       | 1934.1.15         | 08-43-18             | $26\frac{1}{2}$         | $86\frac{1}{2}$         | 8.3            | <u>8.4</u> | 13                              | 12.5<br>13 | <u>0.09</u><br><u>0.14</u>               | 20      | 0.05<br>0.10                             | 尼泊尔         |
| 14       | 1939.12.26        | 23-57-21             | $39\frac{1}{2}$<br>39.7 | $38\frac{1}{2}$<br>39.7 | 8.0<br>8.0(6)  | <u>7.9</u> | 35                              | 12.5<br>13 | <u>0.23</u><br><u>0.36</u>               | 76      | 0.20<br>0.37                             | 土耳其         |
| 15       | 1945.11.27        | 21-25-50             | $24\frac{1}{2}$         | 63                      | $8\frac{1}{4}$ | <u>8.3</u> | 12                              | 12.5<br>13 | <u>0.08</u><br><u>0.12</u>               | 24      | 0.06<br>0.12                             | 阿拉伯海        |
| 16       | 1950.8.15         | 14-09-30             | $28\frac{1}{2}$         | $96\frac{1}{2}$         | 8.6            | <u>8.7</u> | 28                              | 12.5<br>13 | <u>0.18</u><br><u>0.29</u>               | 70      | 0.18<br>0.34                             | 印度<br>(阿萨姆) |
| 17       | 1951.11.18        | 09-35-47             | $30\frac{1}{2}$         | 91                      | 8.0            | <u>7.9</u> | 7                               | 12.5<br>13 | <u>0.05</u><br><u>0.07</u>               | 60      | 0.16<br>0.30                             | 中国南部        |
| 18       | 1957.12.4         | 03-37-45             | $45\frac{1}{2}$         | $99\frac{1}{2}$         | 8.0            | <u>8.3</u> | 4                               | 12.5<br>13 | <u>0.03</u><br><u>0.04</u>               | 13      | 0.03<br>0.06                             | 蒙 古         |

\* 地震活动度是按(1961—1969)9年计算的。

\*\* 强调用来作相关分析的震级和地震活动度。

\*\*\* 震级 A——据 B. Gutenberg, C. F. Richter, Seismicity of the Earth and associated phenomena 和 Н. В. Голубева, Каталог сильных землетрясений земного шара с 1953 по 1967 годы с  $M \geq 6$ .

震级 B——据 S. J. Duda, Secular seismic energy release in the Circum-Pacific belt 和 C. F. Richter, Elementary seismology.

译者注: 编号 12 的那次地震应是我国富蕴地震; 编号 16 的那次地震应是我国察隅地震。

表 1 B

1961—1972 年间  $M \geq 6.5$  的地震

| 地震<br>编号 | 日<br>期     | 发震时间<br>时-分-秒 | 坐 标             |                   | $h$<br>公里 | 震 级      |          | $T$<br>(年) | $N_{\Sigma}$<br>( $R=144$<br>公里) | $K_{\min}$ | $\bar{A}_{10}$<br>( $R=144$<br>公里) | 地震地区  | 附 注                      |
|----------|------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------|----------|----------|------------|----------------------------------|------------|------------------------------------|-------|--------------------------|
|          |            |               | $\phi^{\circ}N$ | $\lambda^{\circ}$ |           | $M_{LH}$ | $m_{PV}$ |            |                                  |            |                                    |       |                          |
| 1        | 2          | 3             | 4               | 5                 | 6         | 7        | 8        | 9          | 10                               | 11         | 12                                 | 13    | 14                       |
| 19       | 1961.4.1   | 15-18-22      | 39.6            | 77.7E             | 21        | 6.8      |          |            |                                  |            |                                    | 中国西部  |                          |
| 20       | 4.13       | 16-34-39      | 40.1            | 77.8E             | 19        | 7.1      |          |            |                                  |            |                                    | 中国西部  |                          |
| 21       | 6.11       | 05-10-26      | 27.9            | 54.6E             | 37        | 6.8      |          |            |                                  |            |                                    | 伊朗南部  |                          |
| 22       | 1962.5.21  | 12-02-50      | 37.3            | 96E               | 27        | 6.9      |          |            |                                  |            |                                    | 中国中部  |                          |
| 23       | 9.1        | 19-20-39      | 35.6            | 49.9E             | 24        | 7.2      |          |            |                                  |            |                                    | 伊朗    |                          |
| 24       | 1963.4.19  | 07-35-23      | 35.8            | 96.9E             | 33        | 7.0      |          |            |                                  |            |                                    | 中国中部  |                          |
| 25       | 7.16       | 18-27-18      | 43.1            | 41.5E             | 33        | 6.8      |          |            |                                  |            |                                    | 北高加索  |                          |
| 26       | 8.29       | 08-53-48      | 39.6            | 74.2E             | 31        | 6.5      |          |            |                                  |            |                                    | 南天山   |                          |
| 27       | 1964.10.6  | 14-31-19      | 40.3            | 28.2E             | 10        | 6.8      |          |            |                                  |            |                                    | 土耳其   |                          |
| 28       | 10.21      | 23-09-18.8    | 28.1            | 93.8E             | 37        | 6.6      |          |            |                                  |            |                                    | 中国南部  |                          |
| 29       | 1965.11.13 | 04-33-53      | 43.8            | 87.8E             | 59        | 6.9      |          |            |                                  |            |                                    | 中国    |                          |
| 30       | 1966.2.7   | 04-26-10.6    | 29.9            | 69.7E             | 10        | 6.5      |          |            |                                  |            |                                    | 巴基斯坦  |                          |
| 31       | 3.6        | 02-15-57.2    | 31.5            | 80.5E             | 50        | 6.5      |          |            |                                  |            |                                    | 喜马拉雅山 |                          |
| 32       | 3.7        | 21-29-17.4    | 37.3            | 114.9E            | 33        | 6.8      |          |            |                                  |            |                                    | 中国北部  |                          |
| 33       | 3.22       | 08-19-34.5    | 37.6            | 115.2E            | 33        | 6.9      |          |            |                                  |            |                                    | 中国北部  |                          |
| 34       | 6.27       | 10-59-14.1    | 29.7            | 81E               | 13        | 6.5      |          |            |                                  |            |                                    | 喜马拉雅山 |                          |
| 35       | 8.19       | 12-22-10.7    | 39.2            | 41.6E             | 33        | 6.8      |          |            |                                  |            |                                    | 土耳其   |                          |
| 36       | 1967.1.5   | 00-14-40      | 48.1            | 102.8E            | 33        | 7.5      |          | 6          | 4                                | 12.5<br>13 | 0.04<br>0.08                       | 蒙古    | $R=311$ 公里<br>$R=311$ 公里 |
| 37       | 1.18       | 05-34-32.6    | 56.6            | 120.8E            | 11        | 6.8      |          | 6          | 0                                | 12.5<br>13 | 0<br>0                             | 斯塔诺夫山 |                          |
| 38       | 3.4        | 17-58-06      | 39.2            | 24.6E             | 33        | 6.8      |          | 6          | 15                               | 12.5<br>13 | 0.70<br>1.30                       | 爱琴海   |                          |
| 39       | 7.22       | 16-56-53.3    | 40.7            | 30.8E             | 4         | 7.1      |          | 6          | 6                                | 12.5<br>13 | 0.27<br>0.54                       | 土耳其   |                          |
| 40       | 8.30       | 04-22-06      | 31.6            | 100.4E            | 33        | 6.9      |          | 6          | 4                                | 13         | 0.35                               | 中国    |                          |

\* 1961—1966 年间发生的地震未与地震活动度作相关

\*\* (同前)

| 地震<br>编号 | 日<br>期     | 发震时间<br>时-分-秒          | 坐 标             |                   | $h$<br>公里 | 震 级        |            | $T$<br>(年) | $N_{144}^{\Sigma}$<br>( $R=144$<br>公里) | $K_{min}$  | $\bar{A}_{10}$<br>( $R=144$ 公里) | 地震地区    | 附 注                        |
|----------|------------|------------------------|-----------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|----------------------------------------|------------|---------------------------------|---------|----------------------------|
|          |            |                        | $\phi^{\circ}N$ | $\lambda^{\circ}$ |           | $L_{LH}$   | $m_{PV}$   |            |                                        |            |                                 |         |                            |
| 1        | 2          | 3                      | 4               | 5                 | 6         | 7          | 8          | 9          | 10                                     | 11         | 12                              | 13      | 14                         |
| 41       | 1968. 2.19 | 22-45-46<br>22-45-42   | 30.7<br>39.4    | 25E<br>24.9E      | 7         | 7.0<br>6.0 | 6.9<br>6.0 | 7          | 17                                     | 12.5<br>13 | 0.68<br>1.2                     | 爱 琴 海   |                            |
| 42       | 8.31       | 10-47-35<br>10-47-41   | 34.2<br>34.2    | 59E<br>59E        | 25        | 7.5        | —<br>5.9   | 7          | 7                                      | 12.5<br>13 | 0.06<br>0.11                    | 伊 朗     | $R=311$ 公里<br>$R=311$ 公里   |
| 43       | 1969. 2.11 | 22-08-50<br>22-08-51   | 41.5<br>41.4    | 79.5E<br>69.2E    | 3±21*     | 6.6<br>5.8 | —<br>5.8   | 7          | 5                                      | 12.5<br>13 | 0.2<br>0.36                     | 南 天 山   |                            |
| 44       | 2.28       | 02-40-33<br>02-40-32.5 | 36<br>36        | 10.7W<br>10.6W    | 22        | 7.8<br>8.0 | 8.1<br>7.3 | 7          | 5                                      | 12.5<br>13 | 0.04<br>0.08                    | 直布罗陀海峡  | $R=311$ 公里<br>$R=311$ 公里   |
| 45       | 3.28       | 01-48-33<br>01-48-29.5 | 38.6<br>38.6    | 28.4W<br>28.5E    | 4±5.7*    | 6.5<br>—   | 6.8<br>5.9 | 7          | 12                                     | 12.5<br>13 | 0.55<br>0.88                    | 土 耳 其   |                            |
| 46       | 7.18       | 05-24-47<br>05-24-45   | 38.3<br>38.4    | 119.5E<br>119.5E  | 6±13*     | 7.7        | 6.7<br>5.9 | 7          | 1                                      | 12.5<br>13 | 0.01<br>0.02                    | 中国东部    | $R=311$ 公里<br>$R=311$ 公里   |
| 47       | 11.7       | 18-34-01<br>18-33-59.9 | 27.6<br>27.9    | 60E<br>60E        | 60<br>35  | 6.4<br>6.7 | 6.9        | 7          | 2                                      | 12.5<br>13 | 0.08<br>0.14                    | 伊朗东南部   |                            |
| 48       | 1970. 1.4  | 17-00-37<br>17-00-40   | 24.1<br>24.1    | 102.7E<br>102.5E  | 20<br>31  | 7.3<br>7.5 | 6.7<br>5.9 | 9          | 1                                      | 12.5<br>13 | 0.03<br>0.06                    | 中国南部    |                            |
| 49       | 3.28       | 21-02-25<br>21-02-23   | 39.2<br>39.2    | 29.3E<br>29.5E    | 20        | 7.2<br>7.1 | 7.0<br>6.0 | 9          | 26                                     | 12.5<br>13 | 0.84<br>1.6                     | 土 耳 其   |                            |
| 50       | 5.14       | 18-12-24               | 43              | 47.1E             | 12        | 0.6        | 6.5        | 9          | 4                                      | 12.5       | 0.12                            | 达 格 斯 坦 | 图 4 A <sub>1</sub> , 区见图 3 |

\* 原文如此