

06.259

03364

赠阅

地震小区划

[苏] C. B. 麦德维杰夫 主编

黄秀铭 译 沈德富 校

259
64

地震出版社

56.259

03364

地震小区划

[苏] C. B. 麦德维杰夫 主编

黄秀铭 译 沈德富 校

地震出版社

1 9 8 1

内 容 提 要

本书论述了进行地震小区划以及确定和修定原始地震活动性的方法；分析了工程地质和水文地质条件对土层振动强度和特征的影响；提供了取得地震小区划所需的仪器观测资料的方法；还叙述了大城市地区地震小区划的经验。

本书可供从事于解决工程地震课题的科学工作者、勘察人员和设计人员参考。也可作为研究城市和工业建筑场地地震小区划问题的参考书。

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ
ИМ. О. Ю. ШМИДТА

МЕЖДУ ВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ
ПО СЕЙСМОЛОГИИ И
СЕЙСМОСТОЙКОМУ
СТРОИТЕЛЬСТВУ

СЕЙСМИЧЕСКОЕ
МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ
Под Редакцией
Доктора Технических Наук
С. В. Медведева
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1977

地 震 小 区 划

[苏] С. В. 麦德维杰夫 主编
黄秀铭 译 沈德富 校

*
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 12½ 印张 294 千字
1981年6月第一版 1981年6月第一次印刷
印数 0001—2600
统一书号：13180·93 定价：1.30元

目 录

前言	(1)
第一章 研究区的原始地震活动性及其在小区划时的修正	(2)
第一节 地震危险性的预测要素和地震小区划[C. B. 麦德维杰夫].....	(2)
第二节 为修正原始地震活动性用的区域震中图、重复率曲线图以及地震活动度图的编制 [A. E. 扎哈罗娃].....	(16)
第三节 地震震源参数和地震效应参数的某些相关关系[H. B. 谢巴林].....	(23)
第四节 根据地质资料评价未来地震的最大震级[B. A. 波里索夫、Г. И. 雷斯涅尔].....	(28)
第五节 利用宏观地震资料进行地震小区划[Ю. B. 贝斯特里次卡娅、И. A. 叶尔绍夫、Ф. Т. 库利耶夫、И. Л. 雷维利斯、H. B. 谢巴林]	(33)
第六节 按振动形式、频率成分和地质条件的地震分类[Л. H. 鲁斯塔诺维奇]	(40)
第二章 地震小区划用的仪器观测资料	(44)
第一节 工程研究用的地震仪器[B. A. 托克马科夫].....	(44)
第二节 解释微震记录的方法[И. A. 叶尔绍夫]	(54)
第三节 根据低能量地震进行地震小区划[B. Г. 吉列尔、Л. A. 科甘]	(59)
第四节 利用爆破的地面振动资料进行小区划 [A. И. 斯科维廷]	(63)
第五节 地震波的屏蔽效应[H. И. 斯莫利、Я. И. 采特林].....	(66)
第六节 峡谷两侧的振动特征[E. Г. 布加耶夫、Э. M. 哈尔洛夫]	(71)
第七节 地震时复杂地形条件下的振动[Т. Г. 伊万诺娃].....	(78)
第三章 为小区划和研究土层物理力学性质进行的工程地质和水文地质调查.....	(83)
第一节 关于岩层的工程地质特征和地震特征之间的相关关系 [A. H. 瓦赫塔诺娃].....	(83)
第二节 进行小区划时的土层动力弹塑性研究 [H. Д. 克拉斯尼科夫]	(85)
第三节 土层的地震残余变形及其预测的可能性[E. B. 波波娃].....	(90)
第四节 在 $(5-10) \times 10^5$ 巴或 5—10 公斤/厘米 ² 应力范围内软土层的力学性质和描述强震时土层动态的模型选择 [Ю. И. 瓦西利耶夫、A. A. 格沃兹杰夫、Л. A. 伊万诺娃、Л. B. 莫洛托娃、B. Б. 福米切夫、M. H. 谢尔博].....	(95)
第五节 土层中纵波和横波的传播速度和土层的主要工程地质特征	

	[Г. Н. 纳扎罗夫].....	(101)
第六节	工程地质特征在地震小区划中的应用 [Г. Н. 纳扎罗夫、 B. A. 舍姆舒林]	(107)
第四章	地震小区划的方法	(113)
第一节	利用弱震的仪器记录资料进行地震小区划 [И. А. 叶尔绍夫]	(113)
第二节	地震小区划中采用计算方法时所需的原始资料 [И. Г. 纳彼特 瓦里泽、A. B. 奥季沙里亚]	(118)
第三节	多次反射波的数值分析法在地震小区划中的应用 [Г. Г. 扎鲍里、 И. Г. 纳彼特瓦里泽]	(123)
第四节	地震小区划中有限单元法的应用 [Т. И. 戈格利亚、И. Г. 纳彼 特瓦里泽]	(126)
第五节	对可能发生强震时的土层振动参数的计算 [B. B. 施坦贝格]	(129)
第六节	地震振动传播时土层的位移场和应力场的计算 [A. З. 卡茨]	(138)
第七节	按强震和弱震记录确定的土层地震参数的相互关系 [Л. М. 普洛特尼科娃]	(142)
第五章	城区地震小区划的经验	(149)
第一节	塔什干地区的地震小区划 [B. M. 米尔扎耶夫、C. M. 卡瑟莫夫]	(149)
第二节	阿拉木图地区的地震小区划 [Э. М. 委托宁科、K. T. 库利科夫 斯基、П. А. 奥斯特罗皮科]	(153)
第三节	伏龙芝城区的地震小区划 [И. 杜伊舍纳利耶夫、З. Ф. 雷皮纳]	(160)
第四节	阿什哈巴德城区的地震小区划 [A. H. 巴赫塔诺娃、 Д. Ж. 戈拉戈索夫、C. B. 麦德维杰夫、P. Д. 涅别索夫、 Э. М. 埃塞诺夫]	(161)
第五节	第比利斯城区的地震小区划 [C. A. 戈格马恰泽、 И. Г. 纳彼特瓦里泽、B. H. 萨姆科夫]	(163)
第六节	本捷雷城区的地震小区划 [Ф. М. 博古斯拉夫斯基、A. Ф. 加涅 布纳亚、H. И. 奥诺弗拉什、B. C. 萨彦诺夫、A. И. 斯科维廷]	(166)
第七节	堪察加彼得罗巴甫洛夫斯克城区的地震小区划及其宏观地震资料 的检验 [И. А. 叶尔绍夫]	(171)
第八节	堪察加彼得罗巴甫洛夫斯克城区地震小区划编图原则 [Т. Г. 康斯坦季诺娃、B. Г. 沙拉波夫]	(182)
参考文献	(186)

前 言

地震小区划的目的在于：在所研究的城市或工业企业区范围内，划分出各种地震烈度的地段，这种烈度可能会与编入《建筑规范和条例》中的苏联地震区划图上所确定的地震烈度有所不同。造成地震烈度差别的原因有：1. 土层的物理力学性质及其结构特征的差异；2. 各个地段在地震构造带上的位置；3. 地震震源特征。

本书的写作小组曾编写了《地震小区划的建议 PCM-73》(С. В. Медведев 主编)，此书于 1973 年发表在《工程地震学问题》文集中，是苏联进行地震小区划工作的原始资料。

本书叙述了地震小区划研究工作的主要方向，这些研究的目的是给改进的地震小区划方法提供理论根据。在这项研究中，有许多加盟共和国研究所的杰出专家参加。

全书共分五章：第一章讨论了确定一个地区的原始地震活动性和在作小区划时根据地震活动度图和区域震中图对原始地震活动性作修正的问题，以及预测地震危险性、评价最大震级和震源参数与地震效应参数的相关关系问题。第二章分析了在进行地震小区划工作中取得仪器观测资料的方法。介绍了用于工程研究的仪器性能、微震记录的解释方法。第三章阐述了工程地质条件和水文地质条件的调查，以及土层的物理力学性质的研究。第四章叙述了地震小区划的一些方法问题。最后，第五章叙述了苏联一些城区，如阿拉木图、阿什哈巴德、塔什干、第比利斯等地进行地震小区划的经验。

参加本书付印前的准备工作的有：И. Ф. 博格达诺娃、И. А. 叶尔绍夫、Т. Г. 伊万诺娃、Р. Н. 莫罗佐娃、Л. Я. 诺斯科娃、О. Н. 波诺马列娃和 Е. В. 波波娃。

第一章 研究区的原始地震活动性及其 在小区划时的修正

第一节 地震危险性的预测要素和地震小区划

在编制城市地震小区划图时，要分析并在必要时修正该地区的一般地震活动性。要利用以前考察得到的水文地质和工程地质资料。如果这些资料不够，就要进行补充的野外调查。对土层的地震特征进行仪器测量，是小区划的主要工作。除地震时的仪器观测外，必要时还应对爆破引起的地面振动进行测定。在研究微震时也可以查明土层的某些性质。

确定强震时所预期的波谱，是实际小区划中最困难的工作。下列因素决定了地面振动的波谱特征：1. 地震能量和震源深度；2. 震中到区划地段的距离；3. 该区的地质结构；4. 土层和下伏岩层的物理性质及其厚度。

地震小区划的依据是：强震的破坏效应与土层条件类型、地下水位、弹性波传播速度的关系，以及与层状结构有关的地面波谱特征的关系。

在对城市和工业设施地区进行地震小区划时，要把该区总的地震活动性，包括地质构造、历史强震资料，以及其他可以确定该区预期地震强度的资料搞准确。还要考虑强震震源的规模，以及烈度随震源距离增大而衰减的程度。

重要的是要了解区划范围内可能产生7—9度以上大地震的震源分布，以便获得可能的强震波谱的某些估计值。

震中区地面振动的波谱成分，取决于震源机制特点及其规模。安艺(Aki, 1972)发展了震源机制的研究。坚硬岩层的震前应力 σ_1 和震后应力 σ_2 之差，决定着释放应力值 σ ，此值称为应力降：

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2.$$

通过震源规模(破裂长度 L_1 ，宽度 L_2)、介质材料剪切模量 μ 和破裂平均位移 D ，可以确定出地震矩 M_0 ：

$$M_0 = \mu L_1 L_2 D.$$

断层应力与震源距的关系式为：

$$\sigma = k_1 M_0 / r^3,$$

式中 r ——平均震源半径； k_1 ——比例系数。

在确定 r 时，必须建立剪切波(勒夫波)的傅里叶谱。这时，在达到 f_0 值之前(f_0 称为“频率角”)波谱振幅 Ω_0 与频率 f 关系不大，波谱振幅在达到 f_0 值之后，便随 f 的增大显著减小。震源的平均半径与 $1/f_0$ 值成正比：

$$r = k_2 V / f_0,$$

式中 V ——剪切波传播速度； k_2 ——比例系数。

根据震源至记录地震振动点的距离确定震源矩：

$$M_0 = 4 \pi \mu V R^3 \Omega_0.$$

震级 M 与震源矩 M_0 之间的关系可用下式表示：

$$\lg M_0 = 1.45 M + 16.$$

在此公式中，对于震级 $M \geq 6$ 的地震，应计算横波震级 M_s ，而对于 $M < 6$ 的地震，应计算面波震级 M_{LH} 。

M. 特里福纳克对 1971 年 2 月 9 日圣费尔南多的地震计算了震源参数 (Proc. Intern..., 1972)。图 1-1 表示了两种沿震源断裂的运动方式。左边相当于 1971 年 2 月 9 日圣费尔南多地震。大陆漂移引起的地壳挤压，导致与水平面成 45° 角的断层面运动。震源长度 $L_1 = 20$ 公里，宽度 $L_2 = 18$ 公里。坚硬岩体的应力差为 $\sigma = 8.5 \cdot 10^5$ 牛顿/米²。根据实验室资料，取剪切模量 $\mu = 3 \cdot 10^{10}$ 牛顿/米²。计算震源矩表明， $M_0 = 10^{19}$ 牛顿/米。震源的破裂位移 $D = 0.2$ 米。可以看出，对于 1970 年 5 月 14 日达格斯坦地震，B. B. 斯坦贝格等人 (Шельин, 1974) 确定： $M_0 = 10^{20}$ 牛顿/米； $\sigma = 10^6$ 牛顿/米²； $D = 0.17$ 米和 $L_1 L_2 = 170$ 公里²。这些数值与圣费尔南多地震为同一数量级。

有人研究过地震震源机制对地震波谱特征的影响问题。一般反应谱的振幅应在高频谱段减小。在靠近震源区，当震源距离小于震源规模时，加速度峰值与震级的对应关系不明显。距离大于震源规模 10 倍以上的反应谱，其长周期谱段的振幅可能与地震矩 M_0 有对应关系。距离小于震源规模时，此振幅便与定常位移成正比。为把现有按震级表划分的各活动区地震活动性的大量资料联系起来，可以考虑震级与地震矩的对应关系。

图 1-16 表示圣安德烈斯断层带上 1906 年 4 月 14 日旧金山地震的震源模型。这条具有水平位移的垂直断层称为“走向滑动”断层。

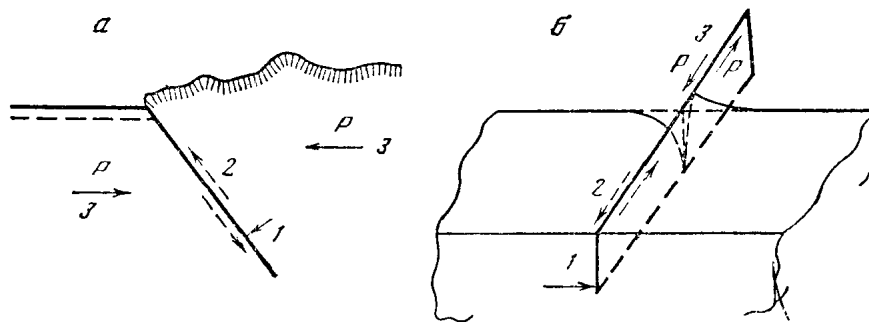


图 1-1 1971 年 2 月 9 日圣费尔南多地震和 1906 年 4 月 14 日旧金山地震时震源断裂运动示意图

1. 断层面；2. 滑动方向；3. 作用力方向

在许多情况下，可靠的地震资料是不足的。这时要利用灵敏度高的地震台进行详细的地震研究。这就可以获得有关地震震源分布及其更精确的能量资料。

按照现有苏联地震区划图，地震危险区具有表 1-1 所示的规模。表中列出了抗震防护费用数目。如果所设计的住宅和公共建筑的使用期低于表中所列，那么，采用全国平均的抗震措施在经济上是不合理的。

过去几年的研究结果表明，由于现有手段的发展和评价各地区地震条件的新方法的建立，近年来在地震危险性预测方法方面取得了显著成绩。预测地震危险性的三种要素，即地震区划、地震小区划和地震烈度表，都超出各自的范围，彼此渗透，变得难以分开了。

今后对地震危险性的预测，可以分成两个阶段进行。第一阶段要查明震源区轮廓；第二

表 1-1

地震危险区的若干经济资料

地区说明内容	地震活动度(烈度)			
	6	7	8	9
地区面积(百万平方公里)	3.5	1.7	0.7	0.5
占全苏面积的百分比	15	7.5	3.2	2.4
居民数(百万)	24	20	9.5	6.1
建设追加费用占原有费用的百分比	—	4	8	11
每年所用的建筑抗震总费用(百万卢布)	—	120	90	75
从经济上认为抗震措施合理的建筑物的最小使用期限(年)	—	150	110	40

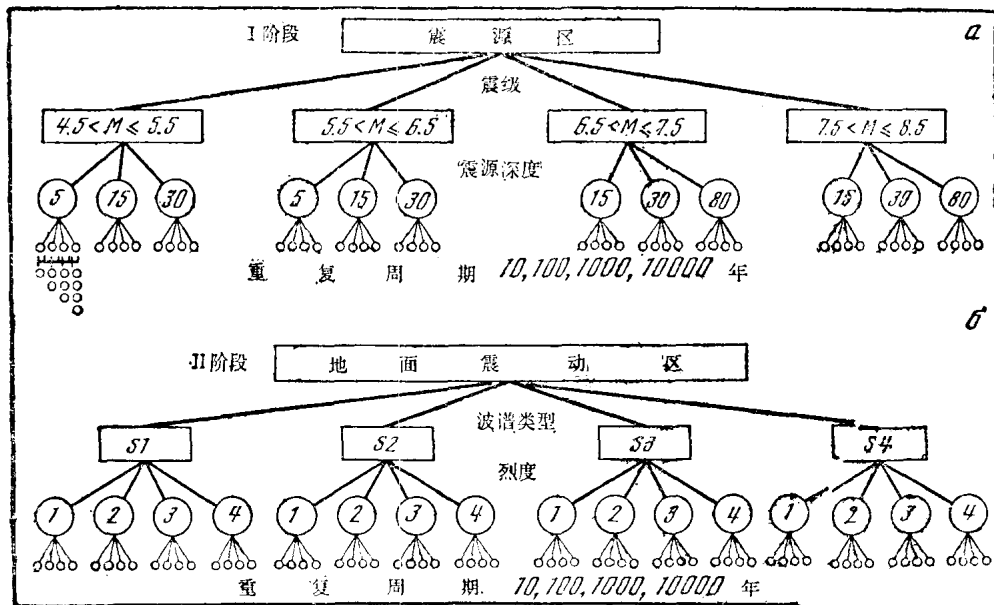


图 1-2 确定地震危险性的双阶段方法的方框图

a——震源带预测；b——地表地震危险性预测

阶段要在地表上确定地震危险区。在编制震源区分布图时，应按地震震级、震源深度和重复率进行分类(图 1-2)。按震级至少分成四类：(1) 4.5—5.5；(2) 5.5—6.5；(3) 6.5—7.5；(4) 7.5—8.5。每类震级又可按震源深度细分成四组：(1) 3—10 公里；(2) 10—20 公里；(3) 20—40 公里；(4) 40—100 公里。按照重复率也分成四级：(1) 3—30 年；(2) 30—300 年；(3) 300—3000 年；(4) 3000—30000 年。如果每种分类都同时进行，那么它们的类别数目应达到 64。当然，这对于一个地震带说来是太多了。实际上，在一个地区范围内不会出现所有类型。例如，在震源深度方面，不会到处都有深度很大的震源，也不会处处发生震级大的地震。而震源深度小的地震就不会有大的震级。

今后可能按震源本身的类型，特别是按波辐射的方向性和波谱特征、地震矩、释放应力和震源规模进行分类。这方面的研究在苏联、美国和日本都在积极进行。

各种震级的地震重复率是对所划分的整个发震带而言，所以重复率的最小值在整个区内可能为 10 年左右，特别是对震级小的地震更是这样。震源区的预测图解系统见图 1-2。可

利用现有全部的地震、地球物理和地质的资料进行预测。

必须指出，不同的资料说明不同时段(以年为单位)的地震活动：

(1) 构造资料说明 10^6 — 10^8 年的时段；(2) 地貌和最新构造说明 10^3 — 10^6 年的时段；(3) 古地震断层错动资料说明 10^3 — 10^4 年的时段；(4) 宏观地震资料说明 10^2 — 10^3 年时段；(5) 仪器观测的地震资料说明 10^1 — 10^2 年的时段；(6) 临时地震台网资料说明 10^0 — 10^1 的时段；(7) 地球物理资料说明 10^1 — 10^2 的时段。

在评价地震危险性的第一阶段综合解释震源区资料时，特别应当考虑这一情况。

第二阶段可根据所查明的震源区特征来确定地震危险区在地表上的轮廓(图 1-2)。在地表确定地震危险性时，可按波谱形状分成四类。这时可能利用以下的某一种波谱：傅里叶谱、反应谱或地面振动最大位移谱、最大速度谱和最大加速度谱。还可按波谱振幅大小分成四类。最好是使下一个波谱振幅大致比前一个大一倍。这就在某种程度上可以利用现有的地震烈度表。按照重复率对每一种波谱仍保持与震源区相同的平均值，即 10, 100, 1000 和 10000 年。类型总数等于 64。第二阶段所得的地震危险区分布图是针对该震源区标准土层编制的。这可以是坚硬岩层条件，也可以是“中等”土层条件。但无论是前者或是后者，都各有优缺点。

要对地震危险性进行双阶段预测，必须按要解决的各种问题分区进行调查。

在美国、加拿大等国的现有地震区划规范图上，区的划分不是采用以度表示的地震烈度，而是采用规范中以计算系数标示的设定级别(0, 1, 2, 3)。在美国这种图的附件上，为了计算建筑物，还编制了地震详细区划的工程图。这种图的基本资料是地面振动的定量数据。例如，在“埃迪克森有限公司”编制的南加利福尼亚州某一区段的图上，划分成 A、B、C 三个区。这种图与地震小区划图相类似。对于 A 区，采用埃尔森特罗地震作用的全计算谱。对于 B 区，采用该波谱强度值的 2/3，而 C 区则采用计算波谱值的 1/3。分区时，利用爆破和地震资料。美国和加拿大地震区划图上的分区不一致，边界的出入相当大。有时，加拿大的 0 区与美国的 2 区相接。这里应当指出，在大多数情况下，两个调查者编出同一次强震的两幅等震线图也不相同。例如，在高加索两个共和国各自独立编制的地震区划图上，边界的烈度等值线彼此不相符合。所以地震区划中的烈度分级实际上不可能准确(Назаров, Дарбинян, 1974)。只好随时积累新资料，不断修正。这种情况对于地震小区划图也是一样。

其次，对于小区划必须注意利用水文地质和工程地质资料。这些资料是把研究区划分成土层条件类似区的依据，同时也是选定地震仪器观测点的必要依据。仪器观测资料要结合地质、工程地质、水文地质和地貌测量资料一起解释。预期地震烈度的仪器评价结果，应标在相应的同类区上。这些区的界线同时又是地震区边界。

详细调查区的地形测量、地貌、地质、工程地质、水文地质资料应以图表形式提出。对于研究较差的地段或缺乏资料的情况下，要由专门小组进行专门调查，其成员应包括上述各方面有经验的专家。

在陡山坡、峡谷地段和地形复杂地区进行地震小区划时，要考虑到残余变形的可能性。图 1-3、1-4 和 1-5 所表示的强震残余变形分布示意图，就是一些实例。地震影响对斜坡和路堤的损坏和破坏的主要类型有斜坡岩石的崩塌和滑动、路堤沉陷、裂缝及伴有沙土液化现象。应当区别上述破坏的性质：它是由斜坡不稳定性引起的，或是由地震对斜坡影响的强度增大所引起的(Инженерное описание..., 1974)。在斜坡上进行测震时，振幅可能随高度

而增大。这时，运动的垂直分量没有很大的变化，而峡谷横截面上的水平分量会发生显著变化。变化的特征取决于振动频率、波的入射方向、斜坡陡度和峡谷深度。图 1-6 表示达格斯坦的奇尔凯伊水电站峡谷的地震观测条件(Быраев, 1976a, б)。

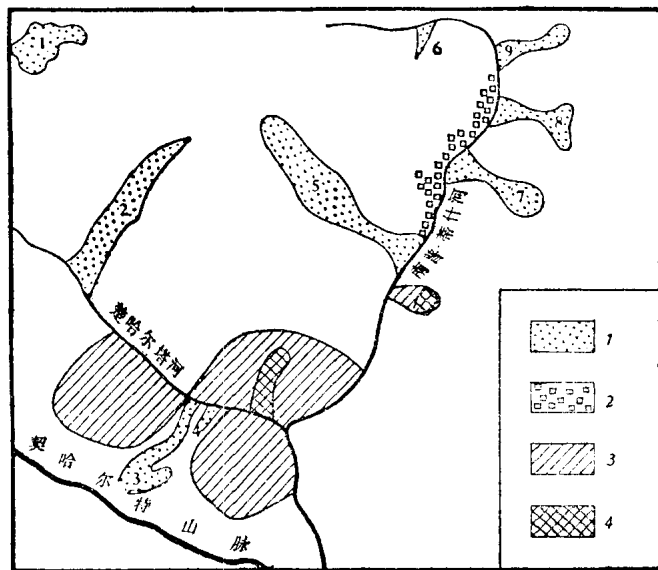


图 1-3 奇哈尔迪河下游崩塌和滑坡分布图
1——崩塌；2——硬岩崩塌；3——滑动的滑坡；4——流动的滑坡(数字表示滑坡的编号)

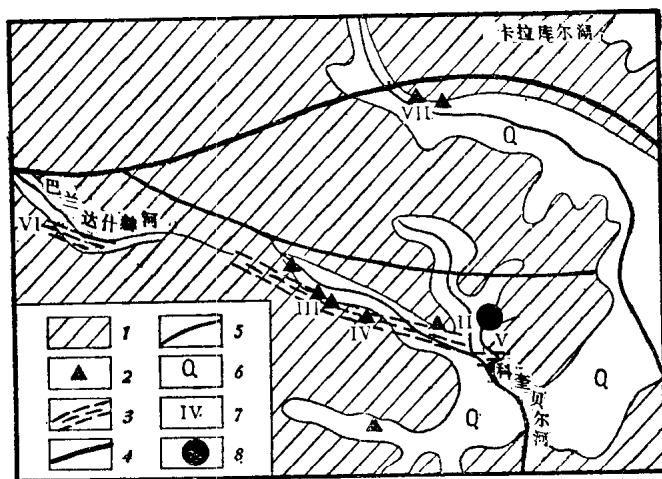


图 1-4 1973 年卡拉库尔地震震中区地面残余变形示意图
1——基岩露头；2——崩塌；3——地面裂缝；4——南卡拉库尔深大断裂；5——吉利库尔断裂；6——第四纪沉积物露头；7——地面破坏编号；8——震中

在恰特卡尔山区萨雷-切列克湖附近，曾对斜坡进行大量仪器观测(图 1-7)。在这里确定了不同周期的振幅比。利用坚硬岩石露头上的测点记录的振幅作为标准。其他点分布在阻挡萨雷-切列克湖水的天然堤的不同高度上。高频的振幅随高度增大 1—2 倍(Влияние Грунтов, 1973)。

现有关于地形复杂地段的振动强度变化的数据，按地质和地貌资料进行定量评价是不够

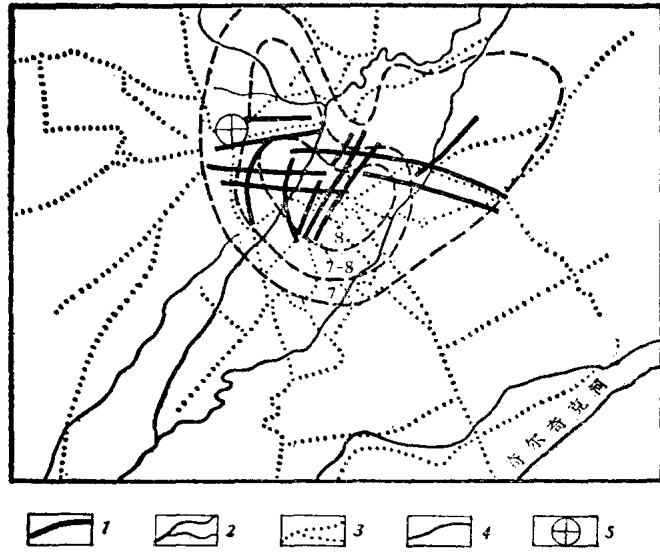


图 1-5 1966 年塔什干地震震中区地表裂缝示意图
 1——表土、沥青和坚硬覆盖层的裂隙带；2——河系；3——城市街道；4——等震线；5——震中

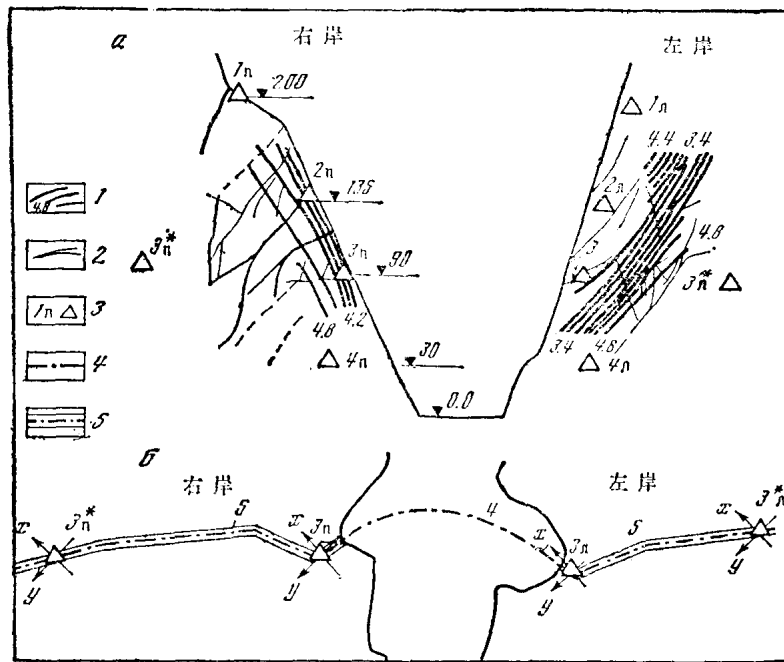


图 1-6 奇尔凯伊水电站峡谷中地震观测示意图
 a——峡谷横剖面；b——标高 90 米的平面图；
 1——等速度线；2——构造应力；3——观测点；4——坝拱轴部；5——隧道

的。因此，在这些地段要对地震或远距离爆破引起的振动进行仪器观测。检波器的数量及其分布取决于研究地段的具体条件。

应当指出，地震烈度与土层特征的关系是极其复杂的。这是由于土层条件的多样性造成的。所以，要有说明研究区特征的资料。地震小区划的研究详度，在很大程度上取决于调查区

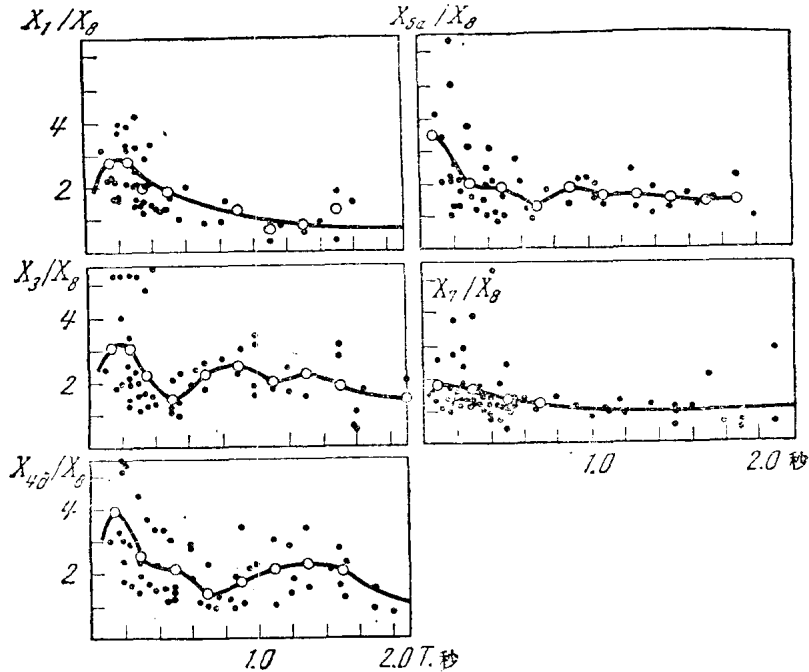


图 1-7 吉尔吉斯的萨雷-切列克湖岸天然堤剖面 I 的斜坡上各点的不同周期
振动幅度的相对水平分量分布图
测点 1 位于天然堤顶部；测点 2—6 顺坡向下分布；测点 7 在基底部位；测点 8 在基岩露头上

的地质结构和工程地质条件的多样性。在划分和圈定不利于建筑的地震地质条件的地段，饱和水的细粒砂质沉积物地段、潮湿砂质粘土地段，尤其需要详细研究。

对土层的地震特征进行仪器观测具有重大意义。为了预测按工程地质资料所划分的各类地区中的地震反应，在地震小区划时必须作好仪器观测。解决这个问题可以采用两种基本方法。第一种是根据地震勘探或观测所得的土层地震刚度和若干其他地震特征的对比，并考虑潜水面和所研究岩层的其他特征。第二种是根据场地地面的地震振动位移(速度、加速度)随时间变化的幅度、波谱或反应谱与各类工程地质条件的对比。

为了提高调查成果的可靠性，最好是综合采用两种方法。当然根据调查组的技术装备使用其中一种方法也可以。

仪器调查的初期阶段，包括利用地震勘探方法对土层地震特征进行的详细研究。这种方法具有足够的精度和可靠性，所以效果良好，并可在短期内调查大面积地区。

用地震刚度研究法进行地震小区划时，要考虑两种因素。这两种因素能确定调查地段的地震烈度增量相对于中等土层条件的变化值。这些变化包括：

(1) 以度为单位的烈度变化 ΔI_c ，可由研究段所测的土层平均地震刚度值 $V_i \rho_i$ 与标准段的平均地震刚度值 $V_0 \rho_0$ 的关系来确定。其关系式为

$$\Delta I_c = 1.67 \lg \frac{V_0 \rho_0}{V_i \rho_i}$$

为了按这一关系式计算增量，最好利用弹性横波传播速度 V_s 的数据。在利用潜水位不深的地段上的纵波速度测定值时，所测定的数值应当换算为不含水的土层所具有的数值。

(2) 以度为单位的烈度增量，可用以下公式中的潜水面深度 h 来确定：

$$\Delta I_B = \exp(-0.04 h^2).$$

如地下水含在细砾层中，可采用较低的系数 0.5—0.9。

上述土层调查是用地震勘探方法进行的。地震勘探的原理是以土层弹性特征与地震效应的相关关系为根据。与此不同的另一种研究，是对地震和爆破进行测量，这有可能对地面振动反应进行对比，这种反应的参数可能与破坏性地震有关。应当注意，迄今还没有找到从地震的弱振动变换为强振动的严格可行的方法。因此，必须积累资料以拟定较为完善的变换方法。在钻孔的不同深度，同时测定弱震的振动，可以获得重要的仪器观测资料。

图 1-8 表示在多层介质的不同深度上五次地震按每次两个分量记录的加速度峰值变化。

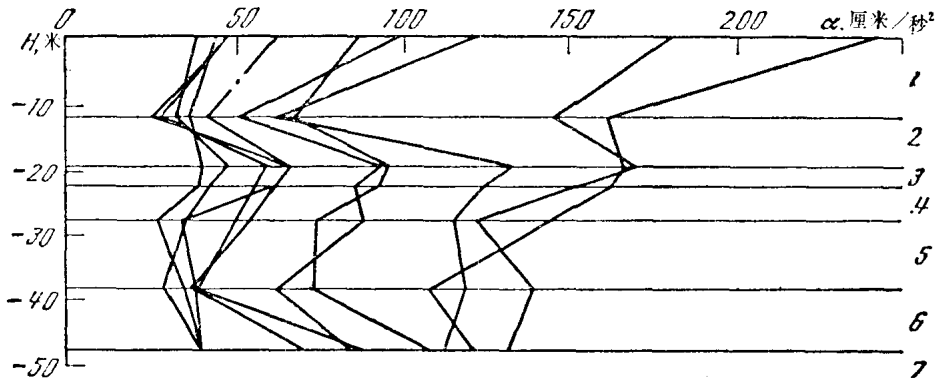


图 1-8 深达 50 米的钻孔中，不同层位土层的加速度变化
1——砂；2——含淤泥杂质的粘土；3——砂；4——粘土；5——含亚粘土的砾石层；6——含粘土的砾石；7——坚硬岩石

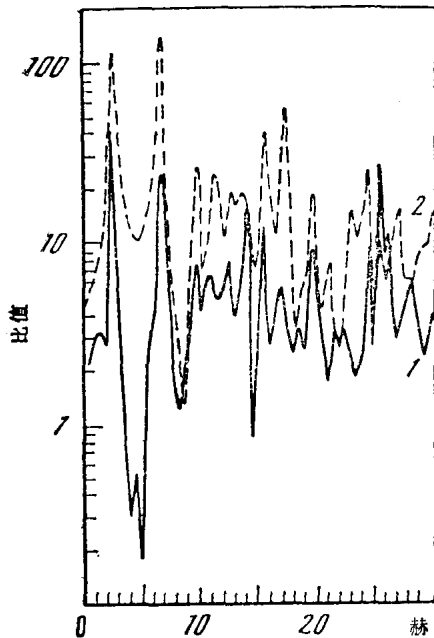


图 1-9 1967 年 9 月 14 日地震时地表 (H_0) 与深 H_{15} 和 H_{28} 深处土层振动谱的对比
1—— H_{15} : H_{28} 的比值；2—— H_0 : H_{28} 的比值

由于多次反射，峰值加速度增大很多。

图 1-9 表示地表和深达 15、28 米的土层振动的对比。1967 年 9 月 14 日地震的震级 $M=5.4$ ，震源深度为 6.0 公里，震中距离 $\Delta=23$ 公里。根据不同深度的东北—南西方向位移分量的记录，计算了傅里叶谱。图 1-9 的虚线表示地表与 28 米深度的波谱比值。实线表示 15 米与 28 米深度的波谱比值。土质为细粒砂和亚粘土的薄层沉积物。高频段 (10 赫以上) 的这种比值，在第一种情况下通常约等于 10，在第二种情况下约等于 5。但在频率为 3—5 赫时，比值显著变小。

为了记录加速度，在地表和钻孔中装置了 CM-AK 型加速度仪。图 1-10 表示周期从 0.05 到 5 秒范围内的傅里叶谱。分析了日本 1971 年 8 月 2 日地震时在地表和 50 米深处的钻孔中得到的南北向和东西向两个分量的加速度谱。这次地震的震级 $M=7.0$ ，震中距离 $\Delta=200$ 公里。在这些傅里叶谱上，出现了不常见的 2.5 秒周期的峰值。对这个地区记录的其他地震，主要出现 0.1 至 0.6 秒周期的峰值，它随震中距

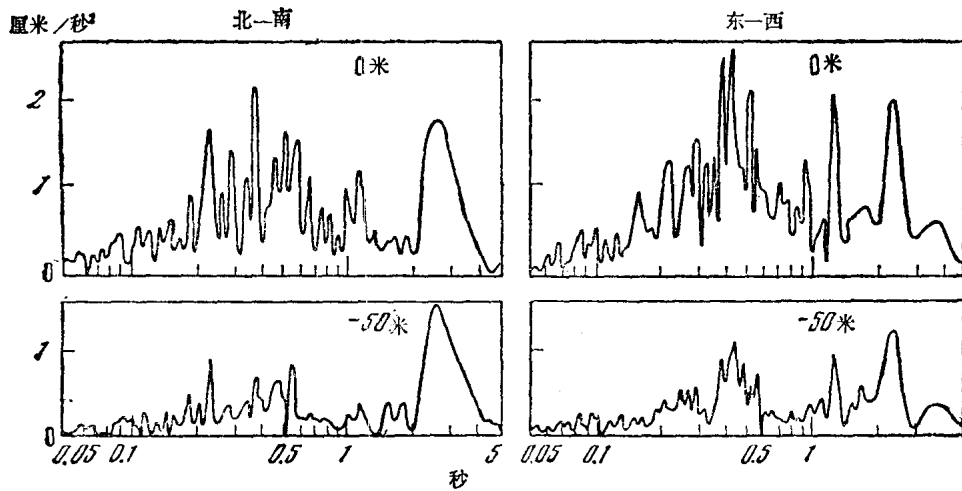


图 1-10 距震源 200 公里处，七级地震时地表(上图)和深 50 米(下图)的土层振动和加速度谱

和震级的变化很小。周期大于 1 秒的波谱振幅，小于最大振幅的 $1/3$ 。

这个台记录到 1971 年 8 月 2 日地震的余震，震级 $M=5.8$ ，震中距 $\Delta=195$ 公里。在地表或深 50 米的钻孔中，此加速度谱的记录都没有出现 2.5 秒周期的峰值。主波谱段处在 0.25 到 0.5 秒的范围内。

利用这个地震台下深达 380 米至基岩的地质剖面，建立了这一层的横波多次反射的理论波谱。对于振动速度，用平面波作为输入波谱，而且没有周期大于 1 秒的地面加速度峰值。这就可以得出结论，认为 CMAK 型仪器记录上的地面长周期振动，不能用土层条件影响来解释。它们是由震源辐射特点引起的。如图 1-10 所示，地表周期 2.5 秒的波谱振幅与深度 50 米的振幅相比，并未出现增大现象。对于小于 1 秒的周期，其振幅增大到 2-3 倍，这是因土层的影响引起的，并且与所计算的土层固有振动的波谱相一致。这种土层由泥岩和坡积亚粘土层构成。

根据 1971 年圣费尔南多地震时 11 个台记录的加速度，分析了地表沉积物振动的影响。选用了 11 个台中几个台所作的主震记录和五个余震记录。根据地震勘探资料，得出了总厚度约 3.5 公里的 23 个地层剖面。横波速度从顶层的 190 米/秒变化到底层的 2500 米/秒，其底部下伏为波速达 3360 米/秒的弹性半空间。已考虑到实验测定的衰减系数。

分析时利用了傅里叶谱和线性系统理论。余震在振幅谱方面与主震一致。仪器测定的变换函数不完全符合计算得到的函数。

根据圣费尔南多地震的仪器记录资料研究了基岩上的土层影响。因此，确定了下伏基岩的振动值。根据多次反射波的理论研究了基岩运动的特征。对 9 次强震选择了 37 个记录，并计算了无阻尼振动的加速度相对反应谱。9 个台中有五个台的基岩运动谱与在地表岩层露头上记录的运动谱很符合。运动谱在 0.2 秒左右周期上出现很陡的尖峰。其他台的基岩振动谱与岩石露头的谱没有出现这种相似性，因为它们不具有共同的特点，其原因还不清楚。

在按弱震和爆破参数对比土层时，应分别评价以度为单位的可能烈度增量：

(1) 在根据地震地质资料有可能发生危险性地震的地区内，接近震记录进行评价；

- (2) 根据远震记录按较低频谱段的土层特性进行评价；
- (3) 根据爆破记录，主要对高频波谱部分进行评价。

在各地段的振动谱的估计值差别很大的情况下，在进一步研究时就要注意此差别，必要时，在地震小区划中要作更细的划分。

对于变形小的地区，即在线性振动区，通常按弱震进行地震危险性评价。强震与可能导致土层非线性大变形的过程有关。目前还没有找到评价非线性过程的可靠方法。所以首先要用记录强烈运动的仪器研究振动，其次要研究土层非线性振动的新方法。

在观测点上测定土层在地震运动时的能量密度具有重要意义。解释强震地面振动记录，可以确定地面能量密度(焦耳/米²)与以度为单位的振动烈度 I 之间的关系；随着烈度每增大 1 度，地震能量密度将增大到 5 倍；在烈度 $I=6$ 时，地表地震能量密度将处在 5.5×10^2 到 27×10^2 焦耳/米² 的范围内。

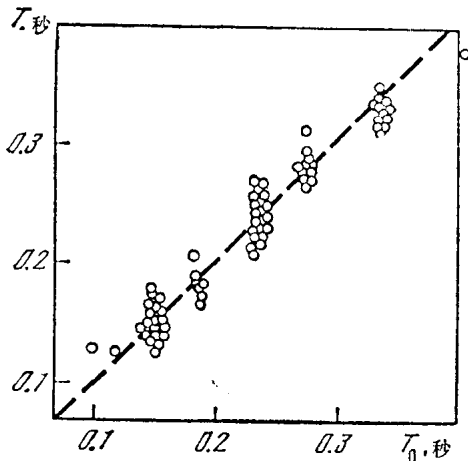


图 1-11 南斯拉夫巴亚-卢卡城不同地点地面振动的实测周期 T_0 和计算周期 T 的对应关系

作地震小区划时进行微震研究是有益的。通过对高频微震背景值的观测，容易补充小震的研究。在这种情况下，研究的对象是评价土层共振特性用的振动卓越周期和附带要说明的微振振幅的大小。可用与记录弱震相同的仪器在相同的频率范围内进行观测，但放大倍数要大些。应当知道，现在城市微震研究得还不够充分，这些微震资料只能与其他仪器资料综合应用。

查明 0.1—1 秒周期的微震，可提供研究土层振幅-频率特征和评价烈度变化的满意结果。这些微震代表着位于观测点附近或远处的不同震源激发的一组不同的波。微震记录的条件很难保持必要的标准，所以得出的最大振幅值很分散。

例如，南斯拉夫的巴亚-卢卡城的微震测量结果，是在城区 360 个点上取得的。这时查明了分别在 0.15 到 0.35 秒范围的卓越周期 T_0 。用浅层地震勘探法找出了表层横波传播速度 V 和表层厚度 H 。根据 $T=4H/V$ 公式计算出各测点上部土层的固有振动周期 T ，并与测定的卓越周期 T_0 进行比较。这种比较用图解表示在图 1-11 上。如图所示，各点振动周期的上述数值十分一致。1969 年 10 月 27 日巴亚-卢卡强震时的房屋损坏率，与不同层数房屋的地基振动卓越周期相比，也得出了令人满意的一致性(Jugoslavenski..., 1975)。

波谱-时间分析法对说明地震作用的特征有很大益处。图 1-12 表示了用这种方法对图 1-6 所示的奇尔凯伊水电站闸门右岸峡谷顶部的一级水准点记录的这种振动分析的结果。波谱-时间分析法可用来查明振幅和频率成分随时间的变化，从而用来解决地震小区划的课题(Бураев, 1976 a)。

按波谱-时间分析法分析资料表明，最大速度在时间上未必与地面最大加速度成比例。可以认为，高速度组比地面的大加速度组的持续时间小得多。

振荡器振动周期和振动过程持续时间的比较表示于图 1-13 上。这种时间的比值提供了振荡器所完成的振动(周期)数。这可以解释为什么波科伊马大坝附近(Jonson, Evilly, 1974)振动时破坏不大，因为那里的振荡器发生的振动次数较少。

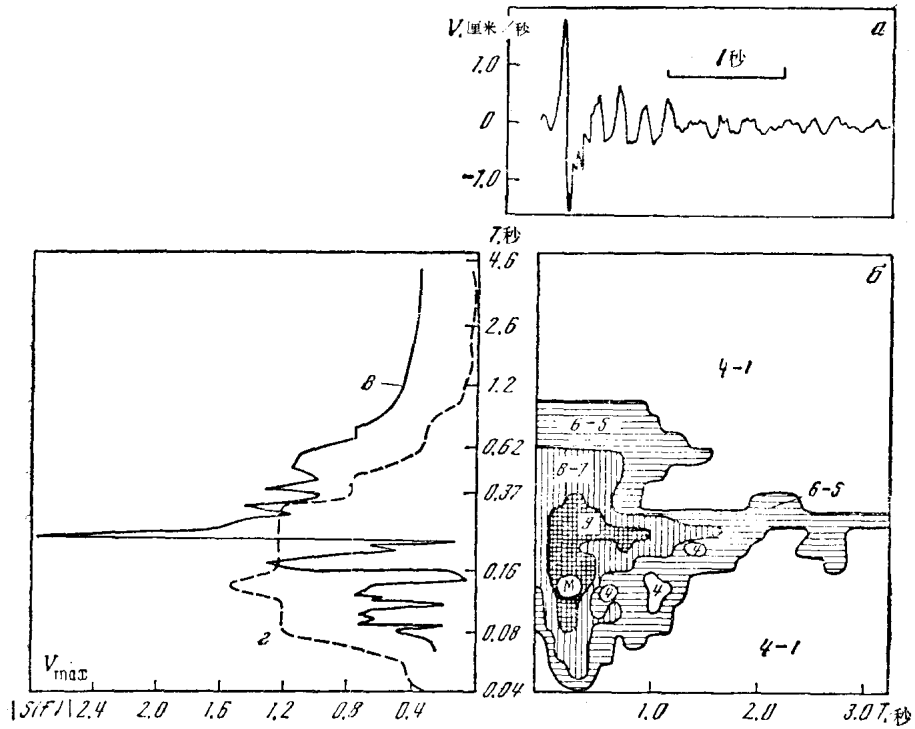


图 1-12 波谱-时间分析的结果

a——振动速度记录；b——波谱-时间分析区(数字——振荡器位移的速度，厘米/秒)；B——振幅谱；r——最大包络线谱

由小区划得到的包络线谱，对于分析受强震作用的结构是有用的实际资料。对于建筑物设计，最好利用该区可能发生强震时的各种土层分布地段的震动波谱。

测定震动波谱是一项需要进一步完善的新工作。这里只能指出定量估计震动波谱参数的若干方法。有一种计算方法是根据较弱地震得到的资料，外推到强烈运动范围。

应根据地震区的特点来选定研究内容，通过这种研究以能作出确定建筑设计场地的预期地震烈度，以及估价地震对建筑物的作用。

仪器观测工作有助于确定与区域特点有关的预期地面振幅-频率谱。预测每个点的震动波谱特征的问题还没有解决。但是，近年来的成就，使得有可能在若干地段获得近似的结果。

在定量评价地震小区划地面振动强度时，应在所得的记录机械分解为积分或傅里叶级数的基础上建立三个分量的傅里叶式的地面振动谱。通

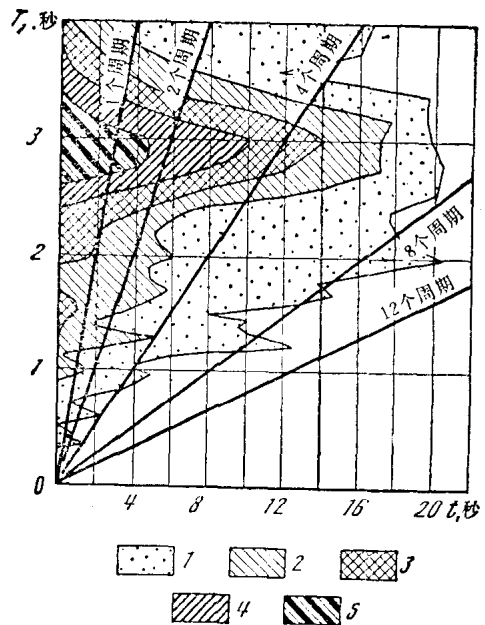


图 1-13 振荡器固有振动周期 T_1 与波谱-时间分析法的包络线谱振动过程持续时间 t 的比较 (花纹线的轻重程度与振荡器移动速度的大小相对应)