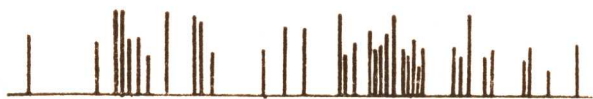


单台地震预报的 地震学方法

王海涛 敖雪明 杨马陵
曲延军 魏若平 申文庄 等编著



地震出版社

单台地震预报的 地震学方法

王 强 著 王 强 校
王 强 校 王 强 校



地震出版社

单台地震预报的地震学方法

王海涛 敖雪明 杨马陵 等 编著
曲延军 魏若平 申文庄

地震出版社

1992

(京)新登字095号

内 容 提 要

利用地震学方法提取大震前兆信息是地震预报中最基本、最重要的方法。为了促进地震台站第一线的同志投身于预报工作,作者编写了此书。本书全面介绍了利用单台地震观测报告以及地震记录资料进行地震预报的方法,在介绍每种方法时力求简明、通俗,易于掌握,便于使用。本书适合于从事地震预报的科技人员特别是台站工作人员使用。

单台地震预报的地震学方法

王海涛 敖雪明 杨马陵 等 编著
曲延军 魏若平 申文庄

责任编辑:姚家榴

责任校对:徐雁生

地震出版社 出版

北京民族学院南路9号
北京朝阳区小红门印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 3,625 印张 97 千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

印数0000—1100

ISBN 7-5028-0564-8/P·376

(953) 定价: 3.00元

序

利用地震学方法提取大震前兆信息是地震预报中最基本的、最重要的方法，尤其在中短期预测及大震发生后震情趋势判断时更是如此。当前，新的大震活跃期即将到来，可能发生大震的危险日趋明显，我们应加强地震分析预报工作。不仅分析预报人员要努力工作，而且应让台站第一线的更多同志也投身于监视预报中来。台站的同志开展分析预报工作有不利的一面，即资料不全面，小地震的位置也不甚清楚，但也有其有利的一面，即资料新、获取快，便于追踪。针对这种情况，王海涛、敖雪明等同志搜集整理了多种方法，编写了此书，比较全面地介绍了利用单台地震资料进行地震预报的方法。这些方法的推广使用在新疆近两年的跟踪预报实践中取得了良好的效果，受到了台站同志的欢迎。该书力求简明、通俗，易于掌握。尽管本书还有一些缺点，如有些方法的适用条件不太明确，有的震例缺乏代表性等，但总的来说是好的。希望台站同志根据自己的情况选择一些方法做一做，在实践中检验，为搞好大震的监视预报作出贡献。

朱令人

1991年6月

前 言

在地震预报研究中，地震学预报地震方法占有重要的地位。特别是在地震中、长期预测中，地震活动性分析往往是划分地震危险区的主要依据。在短临预报研究中，地震学预报方法也很多，但实际预报的震例却较少。究其原因，主要是这类方法多依靠地震波记录及观测报告来进行分析，而这些分析资料预报科研人员是难以及时获取的。如果工作在地震监测预报第一线的台站科技人员能开展这方面的工作，对及时发现地震短临前兆信息一定是有益的。基于此，我们编写了此书，力求通俗系统地介绍散见于各类文献资料的适于地震单台开展地震预报工作的实用方法。本书侧重于具体方法的介绍，而对一些理论性较强的问题则相应地予以删减。

本书由四个部分组成。第一部分介绍可以利用单台测震观测报告开展的地震预报方法；第二部分介绍利用地震波资料确定地震运动学和动力学参数并用于预报研究的方法；第三部分介绍了余震监视预报分析方法和地震现场工作的一般程式；最后一部分介绍了 R 值评分和集成 R 值综合分析方法，全书介绍方法近40种，并结合震例分析对一些方法的可能机制做了简要的解释。这里需要说明的是，有些方法还处于探索之中，在使用中应注意积累资料，积累经验，不断解决其中的问题，提高方法的实用性。还有一些方法，如果使用多台的数据可能会取得更好的效果，对于这类方法也需结合本台的特点，不断地总结单台经验。

本书的初稿完成于1988年底。初稿完成后，在新疆地震局领导和科技监测处的支持下，举办了三届短期学习班，向全疆地震台站推广单台地震学预报方法，并要求地震危险区内的台站定期

报送分析预报数据，参与例行会商预报分析。在1990和1991年新疆地震危险区跟踪预报研究中，主要依据部分单台测震学预报方法并配合其它定点观测项目，对危险区的震情动态变化提出了有效的分析依据。

由于作者水平及资料有限，难免有错误和不当之处，敬请读者和专家指正。

本书的主要执笔人有：王海涛、杨马陵、敖雪明、魏若平、曲延军、王桂岭、申文庄、王盛泽、周任勇编写了部分章节。由王海涛负责统编，朱令人审阅了全书。

国家地震局科技监测司及副司长李宣瑚同志对我们编写本书和及时投入地震预报的实用化研究给予了肯定和鼓励，并资助了本书的出版。在此作者谨致深切的谢意。

新疆地震局朱令人研究员自始至终支持、指导本书的编写工作并于百忙之中为本书作序。另外在本书的编写过程中，张炜研究员，戈澍漠、王克元副研究员给予了关心和帮助，在此表示衷心的感谢。

目 录

第一章 利用单台观测报告的分析预报方法	(1)
第一节 单台地震监测能力的分析测定	(1)
第二节 地震窗预报方法	(4)
第三节 地震序列分类和地震类型的早期判断	(10)
第四节 固体潮小震调制比	(14)
第五节 能量及有关参量分析预报方法	(16)
第六节 “缺震”曲线	(23)
第七节 b 值	(25)
第八节 地震序列的信息熵和分数维计算	(31)
第九节 地震活动水平 A 值计算	(34)
第二章 利用地震波资料的分析预报方法	(37)
第一节 地震波速比	(37)
第二节 振幅比异常	(38)
第三节 地震尾波持续时间比	(42)
第四节 尾波衰减系数 a 值	(45)
第五节 地震波振幅衰减特征	(47)
第六节 脉动异常	(50)
第七节 S 波分裂	(54)
第八节 区域剪应力值 τ_0	(56)
第九节 出射角异常	(59)
第十节 地壳介质品质因子 Q 值	(61)
第十一节 P 波初动特征分析	(63)
第十二节 利用初动半周期测定地震应力降	(66)
第十三节 小震综合断层面解	(69)

第三章 余震活动分析	(81)
第一节 地震序列的 h 值分析方法.....	(81)
第二节 强余震的“等待时间”	(86)
第三节 强余震的准周期分析.....	(89)
第四节 余震监视分析综述.....	(91)
第四章 预报评分和综合分析	(95)
第一节 R 值预报评分.....	(95)
第二节 集成 R 值预报.....	(99)
编后——实用化建议	(102)
参考文献	(104)

第一章 利用单台观测报告的分析预报方法

第一节 单台地震监测能力的分析测定

在进行单台地震学预报研究中,单台地震监测能力的分析测定是一项重要的基础工作。开展此项工作的主要目的是为了在实际预报工作中,能够合理地选用完整的统计资料。即定出不同的选取资料范围及所需的震级下限值。同时通过地震台监测能力的分析,了解本台对近台范围的地震活动性的反映能力,以及所监测区域内的地震活动特性。

单台监测能力的分析方法主要有以下三种。

一、 $M-\Delta$ 法

选取1—2年的单台观测报告做为基础统计资料,要求统计时段内地震仪工作正常,并且仪器放大倍数标定前后的变化率小于10%。首先统计震级 M_i (M_s 或 M_L)和相应震中距 Δ_i 数据,根据 $M_i-\Delta_i$ 数据,作 $M-\Delta$ 散点图,只要地震数足够多,即可从 $M-\Delta$ 图上简单地划定单台监测能力曲线。

图1-1为根据乌鲁木齐地震台1985—1987年DD-1地震仪记录的观测报告统计作出的 $M-\Delta$ 散点图。图中点阵分布清楚地表明,随着震中距 Δ 的增大, M_i 点位下限相应升高,具有较好的线性规律。以图中散点的下边界拟合一直线,此即单台监测地震能力曲线。可用经验公式

$$M = a + b\Delta \quad (a, b \text{ 为常数}) \quad (1-1)$$

表示。实际工作中,可适当上移直线(图1-1中虚线),舍弃一些下边界离散点,这样能充分保证统计资料的可靠性。

式(1-1)表示选定某一震中距范围时,所能监测地震的震

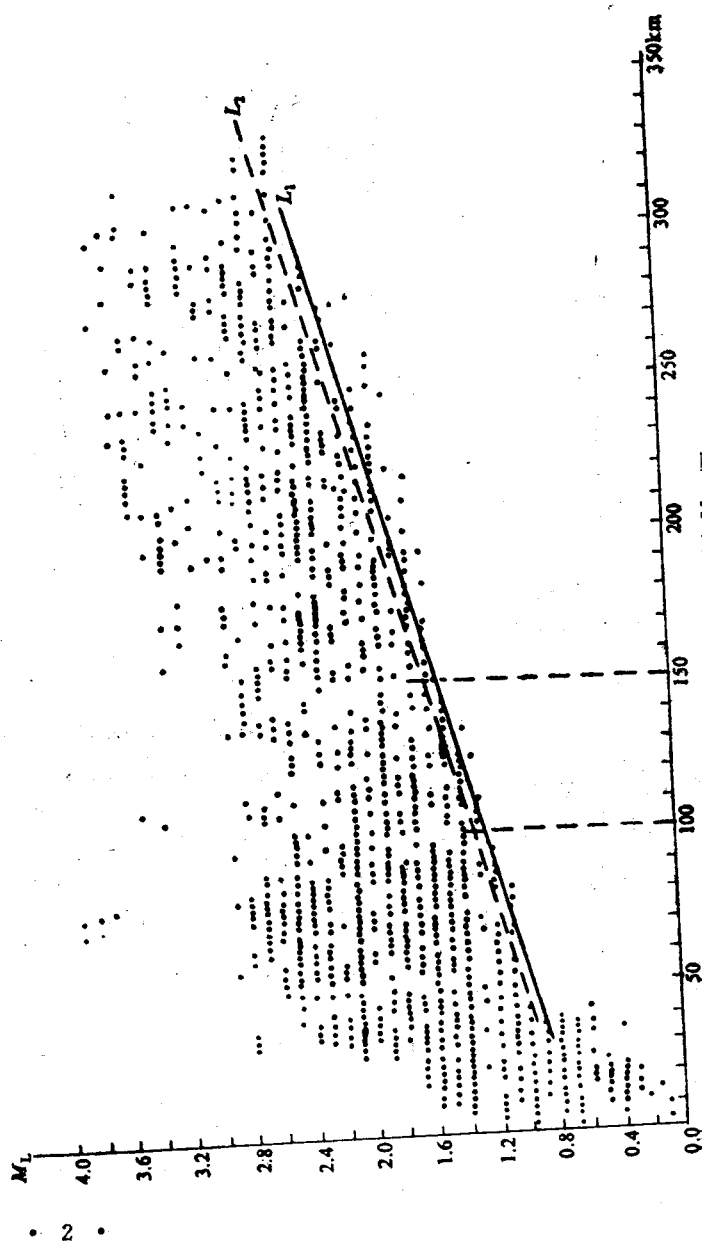


图1-1 乌鲁木齐地震台 $M-L$ 图

级下限。也可从图中直接量取此值，如以图1-1中 L_2 为监测能力曲线为例，当震中距分别为100和150km时，相应的震级下限分别应为1.3级和1.6级（ M_L ）。

二、优势分布法

在进行单台预报研究和大地震序列的研究时，多用优势分布法确定震级统计下限。具体做法是：

（1）确定选用资料的震中距范围，以一定时段内的地震记录为统计样本，以0.1或0.2级的震级分档，统计出 N_i-M_i 数据表。

（2）作 $N-M$ 图。以各震级档相应的震级 M 为横坐标，对应于震级的地震次数 N 为纵坐标，作出 $N-M$ 统计图。见图1-2。图中 M 为1.0级时对应的频次最高，因此所需的震级统计下限定为1.0级。

三、 $\log N-M$ 法

在研究一定范围内大小地震比例关系时，既可统计出活动水平 a 和 b 值，同时也可定出合理的统计震级下限。

（1）以0.3—0.5的震级间隔，统计一定时空范围的地震 $\log N-M$ 数据，并列成表。

（2）据数据表中的数据，作出 $\log N-M$ 图。见图1-3。由图易见，当 M 大于

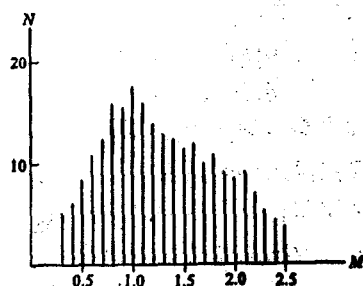


图1-2 $N-M$ 统计图

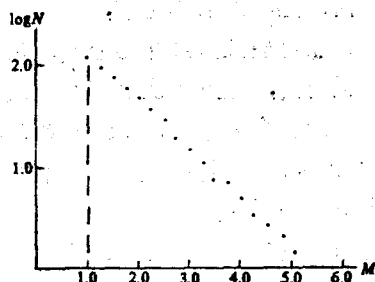


图1-3 $\log N-M$ 统计图

一定震级后， $\log N-M$ 点呈线性分布，而小于此震级后，

$\log N-M$ 出现拐点。我们一般把线性段的起始震级作为震级下限。线性段的斜率即为 b 值。

在实际工作中，我们建议使用 $M-\Delta$ 法来确定震级下限。因为通过 $M-\Delta$ 的统计作图后，即可根据经验公式给出任意震中距范围内的震级下限，而后两种方法统计出的只是某一固定范围震级下限，显然 $M-\Delta$ 法具有较强的实用性。

第二节 地震窗预报方法

70年代初，我国地震工作者发现有些特殊构造部位的台站，有时比其它台站能观测到更明显的地震前兆信息。因此这种特殊构造部位可以作为反映区域应力场变化的“窗口”，称为“地震窗口”、“窗口”。

本文介绍如何应用一个地震台的长期观测记录建立地震窗以及进行预报的具体方法。

地震窗有两类做法，即作成震群窗和余震窗。前者是以某一固定窗口范围内的持续型或突发型小震活动频度为基础作成；而后者是当窗内发生较大地震之后，用余震频度资料为基础作成。

一、窗口的选择

窗口范围大小的选取，是以小震在空间上的集中优势分布以及与大震对应关系最佳为原则，根据本台的特点，选择 $S-P$ 小于某一适当值，经过多次试算筛选决定。例如：在新疆地区，我们以某一地震台为中心，取 $S-P \leq 8, 9$ 或 10 秒范围以内 $M_L \geq 1.0$ 级地震，然后分析小震月频度与附近较大地震的对应关系，如果对应关系好，则可作为地震窗，反之则不能作为地震窗。当震群窗内发生较大地震时，则需对震后按指数衰减的余震月频度进行曲线拟合，建立余震窗，直到余震频度衰减到大震之前的正常水平时，则停止使用余震窗而恢复大震之前的震群窗。无论是震群窗还是余震窗，异常判别指标——警戒线的选取均以能最大

限度地突出异常为原则。

窗口对应地震的震级下限，可根据不同地区实际情况决定，一般可取为 5 级。

窗口小震频度资料的来源，可直接从本台地震单台报告中选取或从地震图上取得。

对于某一地震窗，影响小震频度资料一致性的主要因素是仪器放大倍数的稳定性。研究表明，当放大倍数变化幅度不超过 20% 时，不致影响到资料的可靠性。因此，对于作为地震窗参加日常监视预报的台站，应尽可能保证放大倍数稳定不变。

二、地震窗小震月频度的异常特性

为了简便起见，在此约定，窗口小震月频度异常称为窗口异常。窗口异常特性如下：

1. 异常形态

图 1-4 为新疆水磨沟窗小震月频度与较大地震的对应关系，由图可见，正常情况下小震月频度在某一低值水平随机波动。大震之前，小震月频度先出现高值，然后出现低值、发震，即高值—低值—发震。也有高值之后并无低值阶段便发震的情况。

2. 异常幅度

由图 1-4 可见，水磨沟窗异常幅度的大小似有随地震强度增大而增大和随地震距离增大而减小的特性，图中，小震月频度超过 26 次/月的几次异常分别对应了几次 5 级地震，而其中超过 40 次/月的几次大幅度异常又分别对应了几次 6 级以上地震。因此，图 1-4 中将小震月频度 26 次/月和 40 次/月分别作为 5 级和 6 级（含窗内 5 级）地震的经验性警戒线，分别用 b_1 和 b_2 表示。

需要指出，前述水磨沟窗异常幅度的特性系特殊情况，而多数地震窗的异常幅度与地震震级之间并未表现出明显依赖关系，因而仅给出一条经验性警戒线 b 便可。

3. 异常的时间进程

表 1 列出水磨沟窗小震月频度与较大地震的对应情况，由表

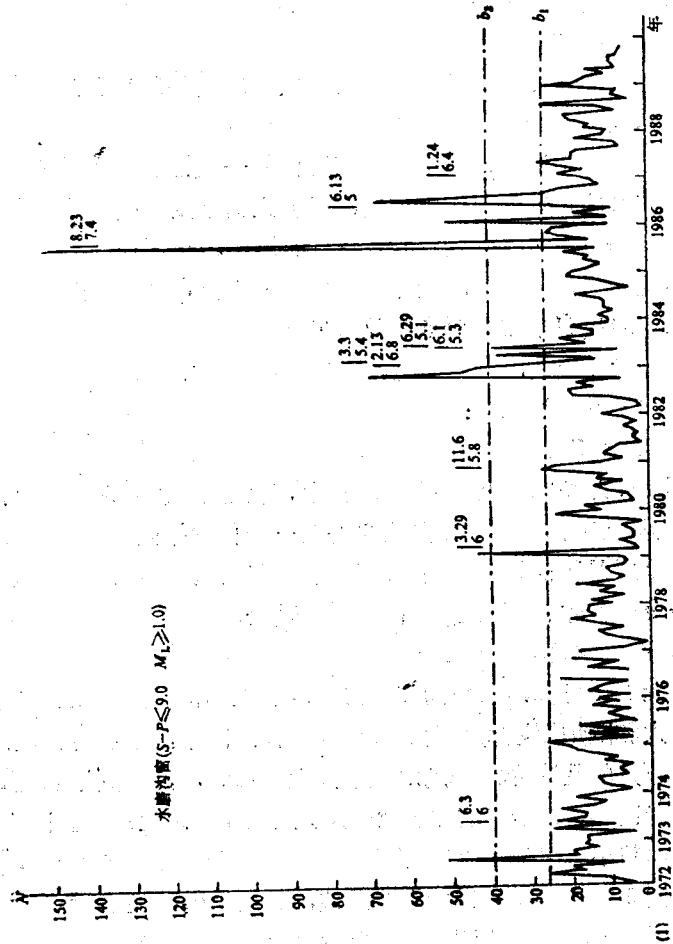


图1-4 水磨沟窗小震月频度与较大地震的对应关系

表1-1 水磨沟窗口小震月频度异常与地震的对应关系

序 号	异常日期 (T_1)	实 际 发 生 地 震					预 测 效 果	异常幅度 (次/月)	
		发震时间 (T_2)	北 纬	东 经	$T_2 - T_1$ (月)	地 点			距离 (km)
1	1972.7	1973.6.3	44° 15'	83° 37'	6.0	10.1	精河东南	329	虚、漏
2	1979.1	1979.3.29	41° 54'	83° 27'	6.0	2.0	库 车	407	准
3	1980.10	1980.11.6	43° 48'	86° 12'	5.8	0.2	玛纳斯南	120	准
4	1982.10—12	1983.2.13	40° 08'	75° 20'	6.8	3.4	乌 恰	1101	准
5		1983.3.3	43° 58'	86° 37'	5.4	4.4	呼图壁	87	漏
6	1983.3	1983.6.1	43° 52'	88° 36'	5.3	2.0	阜康南	73	准
7	1983.5	1983.6.29	43° 47'	84° 05'	5.1	1.0	尼勒克东	290	准
8	1985.7	1985.8.23	39° 24'	75° 36'	7.4	0.8	乌恰东南	1108	准
9	1986.1	1986.6.13	43° 47'	87° 24'	5.0	4.4	乌鲁木齐西南	24	准
10	1986.6—8	1987.1.24	41° 27'	79° 17'	6.4	6.8	乌 什	737	准
11	1987.4								虚
									27

1-1和图1-4可见,一般情况下,当窗口出现异常之后3、4个月内发震,个别情况可达10个月。

4. 异常的空间分布

窗口对应地震范围的几何形状为一椭圆,其长、短轴之比值约为2到3。椭圆的长轴方向即是窗口异常的优势对应方向,它与区域地质构造的走向基本一致。图1-5给出水磨沟窗小震月频度对应地震的空间范围,其中,5级地震对应范围的长轴约600km、短轴约300km。一般说来,5级地震对应范围的尺度约 $4^{\circ} \times 2^{\circ}$;6级以上的地震对应范围更大。

三、预报判据指标及效能评定

1. 预报指标

根据前述地震窗异常特性,可以制定出相应的地震三要素预报指标。例如,水磨沟窗的预报指标是:

(1) 震级。当水磨沟窗小震月频度超过警戒线 b_1 和 b_2 时,则预报地震震级分别为5级或6级。

(2) 发震时间。对于5级地震,时间预报指标为3个月;对于6级地震,时间预报指标为6个月。

(3) 地点预报指标。对于5级地震,地点预报指标为250km范围;对于6级地震,地点预报指标为500km范围。

2. 预报效能评估

按照前述异常判据和预报指标,水磨沟窗的研究总时间为1972年1月到1987年12月,计192个月,预报占用时间51个月,对应范围内共发生地震10次,报对8次,漏报2次,虚报3次,计算统计评分 R 值为0.534,达到97.5%的置信度水平,表明方法具有较高预报效能。

四、可能的物理机制

分析发现,窗口附近的地质构造都较复杂。例如,水磨沟窗附近不仅有北西、北东、近东西、近南北方向的多组构造交汇,而且是向北突出的博格达弧与向南突出的昌吉弧形构造的转折部