

国家地震局科技监测司

地震学分析预报方法 程式指南



地震出版社





数据加载失败，请稍后重试！

地震学分析预报方法 程式指南

国家地震局科技监测司

地震出版社

1990

内 容 提 要

本书在总结中国二十多年中短期地震预报工作经验和方法的基础上,提出了预报中实用性较强、效果较好的方法。对这些方法给予了实用性的阐述,以作为实际预报工作的程式指南,供地震预报工作者依照使用。书中的方法都做了震例检验和稳定性检验,并形成了相应的计算机化工作途径。

本书可供地震预报和地震研究人员参照使用;也适于地球科学和灾害学有关专业及非确定性分析预测研究人员和有关院校相应专业师生参考阅读。

地震学分析预报方法程式指南

国家地震局科技监测司

地质出版社 出版发行

北京民族学院南路9号

国防大学第一印刷厂印刷

787×1092 1/16 6印张 150千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷

印数: 0001-1500

ISBN 7-5028-0389-0/P·252

(778) 定价: 3.50元

前 言

九十年代我国大陆地区将进入一个新的地震活跃时期。严峻的地震形势对地震工作者将是一次新的挑战 and 难得的机遇。

国家地震局于 1983—1984 年、1987—1989 年，组织了两次规模较大的地震前兆系统清理和预报方法实用化攻关研究，这是为迎接地震活动高潮所作的最重要的技术准备。

地震学方法是地震预报实践中应用的一种主要方法。从 1987 年起，经过三年的实用化攻关研究，对我国廿多年来的经验和现有预报方法集中地进行了认真总结和科学论证、评价，提出了一批在中期预报中实用性较强、效果较好的方法，力求系统化；在开展三级课题研究的基础上，编制出旨在指导地震预报工作的地震学分析预报方法程式指南，供各级分析预报人员和科研人员参照使用，以逐步推进分析预报工作的规范化、制度化与计算机化。

本指南提出的预报方法分为六类：1. 空间图象方法，2. 时间进程方法，3. 地震序列方法，4. 地震相关方法，5. 震源及介质参数方法，6. 合成方法。

这些方法都做了尽量多的实际震例检验以及指标稳定性的试验；尽可能做到分析程式化和计算机化（或人机结合），使分析方法具有比较客观的标度。

“指南”中每一种单项方法，都有可能受震例不足、获取资料的点位分布不均、数据优劣等多种因素影响，以及本身所具有的局限性的影响，因而在使用过程中应充分注意到各类方法相结合使用的综合效果。

在使用本指南所列常规分析、程式的时候，应考虑本地区的实际地震活动的特征和规律，以及可能出现的某些特殊震例，来调整和改进相应的方法，使之更符合本地区的实际情况。

已由学术书刊出版社出版的《地震预报方法实用化研究文集——地震学专辑》一书，是对本指南的详细注解。本指南中的诸项问题，均在书中有明晰解释。

本指南是在实用化攻关成果的基础上由地震学实用化攻关领导小组汇总编制的，该组成员为：许绍燮、陆远忠、朱传镇、韩谓宾、刘正荣、刘蒲雄、修济刚。

本指南所列出的参考文献，凡未注明文章出处者均引自《地震预报方法实用化研究文集——地震学专辑》一书（许绍燮等编著，学术书刊出版社，1989）。

愿本“指南”在预报实践中不断补充、完善与发展。

国家地震局科技监测司

1990 年 3 月 8 日

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 科学思路	(1)
第二节 震兆量的误差及预报效能估计	(4)
第二章 空间图象方法	(7)
第一节 空区	(7)
第二节 条带	(12)
第三节 地震空间集中度 C	(14)
第三章 时间进程方法	(16)
第一节 b 值	(16)
第二节 地震活动的异常增强	(18)
第三节 地震活动的异常平静	(18)
第四章 地震序列方法	(20)
第一节 前震与余震序列的判别	(20)
第二节 余震预报	(23)
第三节 前兆震群	(25)
第四节 爆发余震图象 B	(28)
第五章 地震相关方法	(31)
第一节 相关地震	(32)
第二节 地震窗	(34)
第三节 震中迁移	(40)
第四节 诱发地震	(41)
第六章 震源及介质参数方法	(45)
第一节 波速比	(45)
第二节 地震尾波衰减系数 a 值	(47)
第三节 Q 值及应力降 $\Delta\sigma$	(49)
第四节 初动矛盾符号比	(51)
第七章 各类震兆合成方法	(53)
第一节 以经验和物理认识为基础的震兆合成	(53)
第二节 用 ICHAM 方法进行模式识别合成	(56)
第三节 模糊综合	(59)
第四节 专家系统不精确推理方法的合成	(60)
附录一 一般预报方法指南	(66)
I. 中等地震集中持续活动	(66)
II. η 值	(67)

III. 小地震活动的 $A(b)-N$ 法	(68)
IV. 调制小震	(69)
附录二 预报效能评分	(72)
I. 简易评分方法	(72)
II. 精确统计检验与评分	(77)
附录三 震兆识别的人机结合处理系统	(81)

第一章 概 述

第一节 科学思路

地震学地震预报方法是利用前期（包括大、中、小）地震的信息以预报后期的大地震。

地震是构造活动的产物。构造活动具有长期的历史继承性，故后期的地震活动是前期地震活动的继续。地震能反映构造活动的格局、规模、演变，特别是它更有利于反映深层的地震构造，震源区介质的变异，从而有可能推断其与发震有关的发展趋势与可能的应力集中部位。这是地震学地震预报方法的物理基础。

传统的地震观测都测定了时空强 X, Y, Z, t, M 五个参数；近代的地震观测正在不断增加震源与介质新参数的测定，例如 $M_0, \Delta\sigma, L, a, V_p, V_s, Q, f$ 等等。故前期地震为我们提供了：时空强 (X, Y, Z, t, M) 五维，震源与介质 $(\Delta\sigma, a, Q, V_p, V_s, f)$ 多维空间的信息。

地震学地震预报方法从多维信息参数的观点来看，实际是要从 t 时间前已知的多维信息空间中推断 t 时间后的大地震的 (X, Y, Z, t, M) 域。由于地震现象的复杂性，一下子在多维空间中分析研究，不易直观思考；同时早期资料中有关震源与介质的参数特别稀少，故目前常用的方法多是在多维空间的一些截面上进行分析，例如：研究 $M-t, X, Y, M$ 等时空强多维空间中的特定关系。这是当前分析预报工作中量大面广的工作。但鉴于震源与介质参数所提供信息的重要性，以及随着观测系统的进步，这些参数信息数量将会很快增长，故在本次实用化研究中组织了相当的力量开展工作；并在本方法指南中专设一章，以求推动新参数在实际工作中发挥其作用。

通过近年的“清理攻关”，对已有预报方法的多次筛选与新方法的开发，目前我们将较好的方法归纳为六类：

- 一、空间图象方法；
- 二、时间进程方法；
- 三、地震序列方法；
- 四、地震相关方法；
- 五、震源及介质参数方法；
- 六、合成方法。

在这六类方法中，第一类主要涉及地震强度的空间分布；第二类是分析地震强度的时间进程。第四类也是利用空间信息，但突出利用了构造的大尺度变形的同步性。第一、二、四类可全面利用时空强多维空间信息。第三类专门提取了有特殊现场意义的余震，以

及前震等序列信息。利用这六类方法基本上可以全面利用震兆多维空间的信息。

一、空间图象方法

空间图象方法在多维空间中是研究 (X, Y, M) 域与其时间演变。

地震构造在构造动力作用下会发生变形,变形有一定的图象;介质在失稳态前,应力应变及物态的空间展布亦会发生明显变化,导致地震活动空间图象出现异常。常见的有块体性,条带性,网络性图象。小的地震多散布在块内,中等地震易集中在块体边缘,呈现条带状分布。大震则位于块角、条带交会处,形成网格状分布。故利用条带活动,可以推测构造活动的变化,以预测未来大震。

空区是构造变形介质变化发展过程中的一种特征显示,它可能正是反映了一种块体的活动。目前一般认为历史上有地震活动的场所,其外围活动增强,而中间部位异常平静,则构成了空区。一旦中间平静部位开始活动,有可能引致大震。

地震前可出现空区,可出现条带,可出现块体,或兼而有之,现象具有多样性。但如考虑到在出现空区、条带、块体等图形前,地震分布多是凌乱的没有差异,然而特定图形的出现则标志着地震分布从凌乱走向有序,在空间分布出现了差异,故若我们不注重于具体的图形,只着眼于分布上的差异性,则震前的普适性将有所改善。我们引入了空间分布上的集中度预报方法,可以利用差异性这一特征信息。

二、时间进程方法

时间进程方法在多维空间中是研究不同地点 (X, Y) 的 (M, t) 域。

由于在地震学研究中,已发现不同 M 的大小地震的次数 $N(M)$ 间具有一定的比例关系:

$$\log N = a - bM. \quad (1-1)$$

故凡是偏离这一关系而短缺的地震,都有可能在今后补足。特别是上式中当 $N=1$, $M_m = a/b$ 这一最大地震尚未发生时的缺震性,具有更明显的预测意义。追踪 M_m 或其它震级档次上的缺震随时间的变化是有预报意义的信息。

60年代已发现前震的 b 值小,余震的 b 值大。当时对 b 值的理解是以(1-1)式的一个统计量为基础。近年人们才搞清 b 值反映了地震分布的分维数,大震前系统的增能减熵使分维数减小,故 b 值下降。

大震前系统的增能减熵也可以从 $\sqrt{E}-t$ “蠕变”曲线观测,比较普遍的现象是大震前“蠕变”曲线有明显的加速现象。

三、地震序列方法

地震序列方法在多维空间中是研究限定震级以上的地震次数 N 随时间的衰减 $N(M)-t$ 。

在地震学研究发现余震的衰减关系符合

$$N = N_1 t^{-h}, \quad (1-2)$$

一般余震 $h>1$ 。如果某余震系列在正常衰减过程中,有突然偏离(1-2)式频数显著增高的现象,这就意味着供能情况有了变化,从而有可能改变正常的余震衰减。如果 h 值一开始

就小于 1, 这不是正常的余震衰减, 从而表明该地区正在进行新的能量输入, 因之可作为前震序列或前兆震群判别。

爆发余震预报方法也是基于利用这一类信息。

四、地震相关方法

地震相关方法在多维空间中是研究不同(X, Y, Z, t)域间的相关性。

利用地震在大范围群发性的特点, 根据前期一定地区的地震, 可以预测后期另一定地区的待发地震。一般言之, 前后期的地震可以是地震, 也可以是小震; 前后期的地区可以是一个区(大面积), 也可以是一个点(小面积)。但只有 3 种组合才有实用意义, 即:

相关地震: 以一定地区的大震预报另一特定地区的大震。

地震窗: 以余震区或常时震群区的小震频度预报一个大区的大震。

震情带: 以一个地震带或区中的小震预报一个大区带中的大震。

这三种组合在实践中均已形成了如上所列的相应的预报方法。

地震迁移若是有多次重复的震例, 则从数据统计着眼, 也是一种相关地震。但迁移还有其构造与物理的成因理论, 故虽无足够震例以建立统计信度, 但在模型指导下, 可具有预报意义。这是迁移方法具有的活力。

地震相关的本质是构造变形在大范围具有统一性, 变形波纹的特定部位(例如变形梯度大的处所)可能遥相呼应, 同时动作, 故呈现出相关性。有的相关也可能源于应力应变的转移和调整。

五、震源及介质参数方法

震源及介质参数方法在多维空间中是研究震源及介质参数域的个别参量在时间或空间上的变化。

由于这些参数资料积累得尚不够充分, 故目前还多局限于分析单一参量的变化。基本的思路是立足于大震前介质性质的变化, 可反映在震前的小震震源参数及其地震波在传播途中所受到的影响中。例如认为微裂的增多可影响波速、 Q 值, 宏观裂纹的形成可改变局部应力场的方向等。

六、合成方法

合成方法在多维空间中是研究多维信息的最佳合成。

地震学地震预报单项方法种类较多, 震兆信息布满多维空间。如何有机合成, 需要有科学的思想指导。目前开发的下述四种合成方法, 各有所长, 有的适宜于大样本, 有的可用于小样本, 有的有模型, 有的只管数据统计。这一方面可适应震兆前的多样化与具体情况的差异, 同时现阶段也为了广开思路多途径探索。这四种合成方法是:

1. 以物理概念为基础的概率合成;
2. 模式识别合成;
3. 模糊合成;
4. 专家系统合成。

综上所述, 我们可将地震学地震预报方法的科学思路归纳如表 1-1。

表 1-1 地震学预报的方法、对象及依据表

预报方法	分析对象	物理与构造依据
空间图象方法 时间进程方法 地震序列方法 地震相关方法	(X, Y, M) 域与其时间演变 不同地点 (X, Y) 的 (M, t) 域 $N(M)-t$ 不同 (X, Y, M, t) 域间的相 关性	构造变形图象, 非线性失稳态的非均匀性 $\log N = a - bM$ 规律, 增能减熵 $N = Nr^{-h}$ 规律, 主要地震发生后, 供能状况变化 大范围变形的统一性, 应力应变转移和调整
震源与介质参数方法	单一参数的时 (T) 或空 (X, Y) 变化	介质应变或物态变化
合成方法		
模式识别	大容量震兆数据	从大样本学习判据
模糊识别	模糊性震兆	按从属度进行聚类
专家系统	专家预报经验	专家知识与不精确推理
以经验和物理震兆合成	震兆的物理模型及其效能概率	构造变形模型与概率集成

第二节 震兆量的误差及预报效能估计

在地震预报中, 观测资料的可靠性是十分重要的。我们要解决: (1) 是否是地震(剔除爆破、矿塌等); (2) 地震参数精度; (3) 震兆量的预报效能这三个基本问题, 这里简述后两个问题。

一、震兆量误差

多数震兆量均从 X, Y, Z, M, t 五个参数中导出。

发震时间(t)的测定, 对于区域地震其测定精度目前一般可优于 s。应用于与绝对走时无关的震兆分析, 精度已足有余。

深度(Z)的测定, 误差较大。但我国大陆地震, 除东北小部分深震地区外, 震源深度的变化范围都不大, 东部约为 10—25km, 西部约为 15—30km。地震活动性图形的尺度常为数百、上千 km, 故深度的误差不足以改变如此大尺度的空间图象。但是对于其他问题, 例如波速与深度有关, Z 的误差可影响波速的震兆分析。

震中经纬度(X, Y)的误差, 在有包围震中的区域台网, 特别是有电信传输台网时, 其定位误差约为 km 级。即使仅用全国台网, 甚至仅用国际台网其定位误差一般也可在 10km 级。故用于大尺度的图象分析, 尚不致于引起严重的畸变。在现代完善的地震目录中, 都附有各个地震的测定误差值, 具体问题均有可能进行详细的误差分析。根据大华北地区, 1970—1986 年 $M_L > 2.3$ 给出定位精度的 6281 次地震统计, 精度不低于 5km 的 I 类地震有 3077 次(占 49%); 不低于 15km 的 II 类地震有 2314 次(占 37%); 不低于 30km 的 III 类地震有 890 次(占 14%), 另有 4835 次未给出精度。关于历史地震震中的误差, 根据 16 至 19 世纪近 600 次 $M > 4.7$ 地震的统计, 1 类($< 10\text{km}$)占 2%; 2 类($< 25\text{km}$)占 54%; 3 类($< 50\text{km}$)占 35%; 4 类($< 100\text{km}$)占 8%; 5 类($> 100\text{km}$)占 0.7%。故历史地震的误差绝大部分均在几十 km 内, 对于上述大尺度的空间图象, 仍能提供一定的震兆信息。

震级(M)的测定误差, 情况比较复杂, 不同情况有不同的误差值。量规函数、台基都

经过校正的区域台网,测定震级 M_L 的精度目前可达到 0.1 级。特别是用尾波持续时间测定震级 M_D 散度较小,0.1 级的精度较有把握。关于面波震级 M_S 的测定,若我国地震仅用我本国台站测定时,因震中距一般都不够大($\Delta < 20^\circ$),20s 面波不够发育,故误差较大。一般估计中误差为 0.2 级。且与美国 NEIS 地震中心有一系统偏差,我国约偏大 0.2 级;但我国与莫斯科中心较为相近。震级测定精度的情况如上所述。如仅就当前对预报地震三要素的要求来说,报准震级的目标,能达到半级就很不错了,故测定震级的误差,还不会影响到预报目标的判定。但作为震级导出量的震兆分析,则显然亟须提高震级测定的精度。

震源与介质参数的测定,多数均须从地震图中读取波形数据。如读取 P 波 S 波的精确到时,以求波速;如计算波形的拐角频率,以求震源尺度。目前在测震学中,求这些量误差较大,一般可达震兆量的异常值。在条件有利时,有可能小于异常值。故对这类方法的震兆分析,亟须提高震源、介质参数的测定精度。

二、预报效能评估

预报方案的设计与选定,以其预报效能的优劣为依据。据此,进一步选出最佳方案。为此,如何评价预报效能,给出合理的评分,是进一步展开工作的基础。

设计了两种评分方法,一种比较简易,适宜于普及推广;另一种较为精确。

简易方法—— R 值评分

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}}$$

故 R 值即为扣除了随机概率的预报成功率。 $R=1$ 表示全报对, $R=0$ 表示预报没有起作用。对计算所得 R 值的信度尚须另作检验。

精确方法—— Z 系列评分

首先计算在完全随机情况下任意一次有震预报报准的概率 P

$$P = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} [1 - e^{-(S_k/S) \cdot \lambda_m(k) \cdot T_1(k)}]$$

式中 N_1 ——有震预报总次数, k ——有震预报次数的序号, S ——工作区域的总面积, S_k ——第 k 次预报的面积, $\lambda(k)$ ——第 k 次预报所预报震级的地震发生率, $T_1(k)$ ——第 k 次有震预报的预报时长。

同时计算在完全随机情况下任意一次无震预报报准的概率 q :

$$q = \frac{1}{N_0} \sum_{k=1}^{N_0} e^{-(S_k/S) \cdot \lambda_m(k) \cdot T_0(k)}$$

式中 N_0 ——无震预报总次数, $T_0(k)$ ——第 k 次无震预报时长, 其他符号同有震预报。

再计算多次预报时的随机概率(小于 20 次用二项式分布)

$$P(A_1) = \sum_{k=A_1}^{N_1} \binom{N_1}{k} P^k (1-P)^{N_1-k},$$

式中 A_1 ——有震预报报准的次数。

如 $P(A_1)$ 小于指定的显著性水平 α , 即 $P(A_1) < \alpha$, 表示检验通过, 预报方法有效。

多次无震预报的随机概率为

$$P(A_0) = \sum_{k=A_0}^{N_0} \binom{N_0}{k} q^k (1-q)^{N_0-k}.$$

式中 A_0 ——无震预报报准的次数，检验同上。

如预报次数少于 20 次，则用正态分布计算随机概率，有震 X ：

$$X = \frac{N_1}{N_1 + 1} \left[\frac{A_1 - N_1 P}{\sqrt{N_1 P(1-P)}} \right];$$

无震 Y ：

$$Y = \frac{N_0}{N_0 + 1} \left[\frac{A_0 - N_0 q}{\sqrt{N_0 q(1-q)}} \right].$$

以指定的显著水平 α ，查相应的临界值 X_α 与 Y_α ，参见附录二表 3。如 $X > X_\alpha$ ，有震预报方法有效； $Y > Y_\alpha$ ，无震预报方法有效。

初步拟定的评分标准为

$$Z = \begin{cases} 0; & (X \leq 1.04, Y \leq 1.04) \\ 1 - \frac{1.94}{0.9 + X}; & (X > 1.04, Y \leq 1.04) \\ 1 - \frac{1.94}{0.9 + Y}; & (X \leq 1.04, Y > 1.04) \\ 1 - \frac{1.94}{0.9 + \sqrt{X^2 + Y^2}}. & (X > 1.04, Y > 1.04) \end{cases}$$

$Z=1$ 表示全报对， $Z=0$ 表示预报没有起作用。

第二章 空间图象方法

强震前震中及周围地区, 中小地震空间分布图象可能出现明显变化。空区和条带是目前应用较广泛的两种根据空间图象变化预报地震的方法, 集中度是一种试图定量描述强震前中小地震集中活动图象的方法。

第一节 空 区

一、空区的概念

空区分两类: 第一类空区和第二类空区。

在巨型活动断裂带上, 已发生一系列强震的破裂区的空缺部位, 是未来可能发生强震的地区, 它被称为第一类空区。

强震前, 震中附近震级相对较低的地震活动性减弱, 而周围地区这类地震活动增强。这种由震级相对较低的地震组成的空区被称为第二类空区。

第二类空区又可分为背景性空区和弱震空区(或称孕震空区)。

由稍强(如 4 级以上或更强)地震组成, 时间较长、范围较大的第二类空区被称为背景性空区。

由更弱地震组成, 时间相对较近、范围相对较小的第二类空区被叫做弱震空区, 或称孕震空区。

早期在板缘研究第一类空区, 从图象上看, 未破裂段是一个空段, 两侧并未被包围。在大陆上研究空区, 特别是第二类空区可能出现两种情况: 一种是地震活动成带性强的地区, 所勾划的空区实质上是一条地震带上的空段。另一种情况则是内部地震活动相对减弱, 外部地震活动相对增强的围空区。空区与空段都有预报意义。

二、第一类空区

沿主要地震带(一般与活动性大断裂带一致)标出历次强震的破裂带, 按下列判据寻找空缺的未破裂带——第一类空区:

- (1) 所确定缺震未破裂带的长度与所预测强震可能产生的破裂带长度相当。
- (2) 所确定的空段内历史上发生过强震, 或与发生过强震的地区(段)具有类似的构造条件。
- (3) 该地段已平静相当长时间, 达到或接近该地强震平均复发期。

历次强震破裂带可用野外实测破裂带、或余震分布区、或Ⅷ度区等震线给出。对于历史早期强震, 实在无法获得上述资料, 亦可根据相应统计关系, 由震级或震中烈度换算求得。

判定第一类空区后, 可根据经验关系, 由空区长度估算未来强震震级, 预测时间一般 10 年或更长一些, 属长期预报范畴, 故本指南不评述。

三、背景性空区

1. 资料及预处理

(1) 4级以上或历史4 $\frac{1}{2}$ 级以上地震目录

(2) 活动断裂带分布图

(3) 震级下限的选定

A. 研究背景性空区所用地震不得小于4级;

B. 在所研究时段内, 研究区仪器能够检测或历史记载不至遗漏的震级下限。

确定仪器能够检测的震级下限的方法主要有: (a) 作台网检测能力图获得的研究时空范围内的震级下限。(b) 根据震级-频度关系开始偏离线性确定的研究时空范围内的震级下限。

C. 由预报震级限, 按经验确定的围空地震震级下限。一般围空地震震级下限比预报震级限低2—3级。

2. 判据与判定方法

判据:

(1) 背景性空段必须位于地震带即活动断裂带上, 背景性围空区必须包含地震带即活动断裂带的一部分, 或者说, 所勾画的空区内具备发生所预测地震的构造条件。

(2) 构成围空区的地震的最大空缺方位角不得超过120°。

(3) 空区范围必须明显大于定位误差, 又不能过大, 应与一次强震孕育可能出现的背景性地震活动异常范围相当。一般说来, 背景性空区的长轴范围约为200—600km。

(4) 空区内外4级以上或指定震级限以上地震活动有明显的差异性变化。

(5) 所勾画空区内强震平静时间已达到或接近历史平均重现期。

判定方法:

(1) 绘逐年4级以上, 或指定震级限的中等强度以上地震的震中分布图, 图上用不同的符号或颜色注明月份或季度。如能用计算机给出滑动时段震中分布图更好。

(2) 对比不同时段震中分布图, 按上述判据寻找空区。

(3) 也可将震中分布图和作 $R-T$ 图结合起来勾划空区。即在震中分布图上初定空区后, 以空区中央为原点, 作 $R-T$ 图选定空区持续时间和震级下限, 再作震中分布图, 最后判定空区。

3. 预报规则和方法效能评估

利用1910年以来5级以上地震资料对西南地区沿主要地震带作 $R-T$ 图扫描结合震中分布图寻找背景性空区, 并按下述规则作预报:

(1) 当空区形成晚期, 出现地震活动增强, 尤其是在空区内部出现信号震后, 可预报几年内(1—6年)可能发生6.5级以上地震。

(2) 在空区将形成的过程中, 区域地震活动显示条带状分布, 可将条带状分布的空段和端部延伸方向的平静地段作为预报地区。

照这样的预报规则, 研究23次震例($M>6.7$), 其中21次震前出现背景性空区, 报准率0.78, 虚报率0.22, 漏报率0.33。

着眼于更大时空尺度, 用4 $\frac{1}{2}$ 级以上地震研究华北地区1500年以来9次7级以上地震, 其中4次震前明显地出现空区, 有3次震前没有出现空区, 另两次有争议。

四、在定时段震中分布图上圈定孕震空区

1. 资料选取及其预处理

- (1) 收集尽可能齐全的弱震目录, 但要剔除余震序列。
- (2) 确定能在所研究时空范围内获得完整目录的震级下限, 具体办法同前。
- (3) 收集所研究范围内活断层等地质构造及历史地震资料。
- (4) 若用所提供的识别孕震空区软件系统自动勾划空区, 则需分别按(2-1)、(2-2)和(2-3)式, 由预报震级 M_s 求得围空地地震震级下限, M_0 围空时间 T 及围空最大长轴 L 。

$$M_0 = 0.5M_s - 1.11 \pm 0.188; \quad (2-1)$$

$$M_s = 4.13 \lg T - 0.51 \pm 0.52; \quad (2-2)$$

$$M_s = 6.20 \lg L - 8.08 \pm 0.61. \quad (2-3)$$

2. 孕震空区的判据及判定方法

判据:

(1) 所勾画的空区内部或边缘部位必须具备发生预测强度的地震的构造条件, 即或历史上发生过预测强度的地震, 或有与邻近地区发生过预测强度地震相类似的构造。

(2) 所勾画空区大小适度, 图形适当。最小短轴要超过定位误差, 如华北地区空区的最小短轴不小于 50km, 最大长轴不超过统计关系太多, 围空地地震不少于 10 次。当预测 7 级以上地震时, 必须至少有 1 次 4 级以上地震, 否则必须至少有 1 次 3 级以上地震。围空最大方位空缺(不闭合角)不超过 120° 。

(3) 空区内外地震活动频度比和“应变”释放速率出现明显变化。空区外的统计范围是以空区中心向外扩展 1.5 倍长轴的正方形区域。所谓频度比和“应变”释放速率出现明显变化是指与前两年相应量相比较, 出现大体同步的超过半年的 3 倍以上的高值。

判定方法:

(1) 按所确定的时间窗和震级下限, 作一系列定时段震中分布图, 最好按显著小于时间窗的步长给出起始时间滑动的定时段震中分布图系列。

(2) 按上述前两条判据勾画预备性空区。

(3) 按第 3 条判据确定孕震空区。

(4) 以上步骤可采用识别孕震空区软件系统由计算机自动完成。

3. 预报规则及方法效能评估

预报规则:

(1) 由空区长轴、形成时间以及所释放“应变” $\sum \sqrt{E}$ (当其单位为 10^{10} 尔格 $^{1/2}$ 时), 分别根据(2-2)、(2-3)式和下式所给出的统计关系预测未来强震的震级:

$$M_s = 1.75 \sum \sqrt{E} + 4.54 \pm 0.61. \quad (2-4)$$

(2) 空区内或其边缘部位即所预测可能发震的地区, 如空区范围较大, 其中历史上发生过强震的活断层的特殊部位更容易发震。

(3) 如果从图象上空区已大体形成, 且按(2-4)计算的震级与(2-2)和(2-3)式的结果大体接近, 则可认为孕震空区已进入后期, 可估计近几年内可能发震; 若此期间内, 在空区边缘或边缘部位发生空区形成以来最大或较大地震, 或显著震群, 可能为逼近地震, 则可预测未来半年内距逼近地震不超过空区半长轴的距离范围内发震可能性更大。

对大华北地区(北纬 $30^\circ - 43^\circ$, 东经 $105^\circ - 125^\circ$) 5 级以上和 5.8 级以上, 及华北块

体 5 级以上地震, 应用上述孕震空区判定方法及预报规则预报 2 年内可能发震的统计检验结果见表 2-1。

表 2-1 统计检验结果

项 目 区 域 及 预 报 震 级	报有震 报准率	预报率	后验 对应率	报有震 虚报率	虚报率	漏报率	R 评分
大华北 $M_s > 5.0$	0.34	0.18	0.33	0.66	0.82	0.67	0.28
大华北 $M_s > 5.8$	0.26	0.15	0.63	0.74	0.85	0.37	0.59
华北块体 $M_s > 5.0$	0.34	0.17	0.50	0.66	0.83	0.50	0.44

五、借助 $R-T$ 图, 结合震中分布图圈定弱震空区

1. 资料及预处理

(1) 收集研究地区尽可能齐全的弱震目录, 剔除余震序列。

(2) 确定能在研究时空范围内获得完整目录的震级下限, 或者取全台网的全部资料, 不得任意取舍。

(3) 根据以往资料和正反两方面震例作预研究, 确定布网作 $R-T$ 图的步长。四川的预研究表明, 取 24' 作步长可取得有意义的结果。

(4) 收集所研究地区活断层等地震地质及历史地震资料。

2. 判据与判定方法

判据:

(1) 在 $R-T$ 图上勾划时间空区, 要注意排除由于定位精度及当地地震活动起伏带来的干扰。即时间空区最大距离 R 值必须显著地大于定位误差(如四川台网较密地区时间空区最大距离不得小于 20—30km, 在台网较稀地区, 不得小于 40km), 时间空区的范围要大于当地以往地震活动正常起伏引起的平静范围。

(2) 在震中分布图上圈定空区时, 要注意圈在具备发震条件的活断层上, 该地或者历史上发生过预测强度以上的地震, 或者具备类似的构造条件。所圈定空区的长轴一般与构造走向一致。

(3) 注意不要去圈定如同鄂尔多斯地块一类的死空区。

判定方法:

(1) 在所研究的地区, 以前面所确定的步长(如 24') 布置原点网格, 扫描作一系列 $R-T$ 图。

(2) 在每张 $R-T$ 图上按第(1)条判据寻找靠近时间轴的相对平静区, 或称时间空区。

(3) 根据在 $R-T$ 图上确定的时间空区的时间作震中分布图, 若邻近几个原点作的 $R-T$ 图上找到出现时间相近的时间空区, 可合作一张震中分布图。

(4) 在震中分布图上按第(2)和第(3)条判据圈定空区。

3. 预报规则与方法效能评估