

地震预报方法

实用化研究文集



国家地震局科技监测司

地震学专辑

学术书刊出版社

地震预报方法实用化研究文集

地 震 学 专 辑

许绍燮 陆远忠 朱传镇 修济刚等编著
刘正荣 韩渭宾 刘蒲雄

学 术 书 刊 出 版 社

内 容 提 要

本书收编了41篇研究成果,系统地介绍了地震预报地震学方法的最新成果。共包括空间图象方法、时间进程方法、地震系列方法、地震相关方法、震源及介质参数方法以及多项合成方法等多种方法。本书对各种方法中实际预报中的效果,分别作了震例总结和展望式模拟预报实况评分,给出了若干成功预报的震例。本预报方法可推进地震预报实用化进程,并可为研究工作提供基础资料。

本书可供从事地球物理、地震学研究的科技人员及大专院校有关师生参考。

地震预报方法实用化研究文集

地 震 学 专 辑

许绍燮等编著

责任编辑 苏公望

学术书刊出版社出版(北京海淀区学院南路86号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷三厂联营厂印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 37 $\frac{1}{4}$ 字数: 950千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 1—2000册 定价: 19.00元

ISBN7-80045-427-4/P·11

序 言

提高地震预报水平,减轻地震灾害是各级地震部门和全体地震工作者的首要任务。地震预报水平的提高,依赖于现代化技术的进步和有关学科领域研究和进展,也依赖于地震科研成果在分析预报中应用的程度,诚然,地震预报是当今自然科学领域的一大科学难题,必须持之以恒地坚持探索。地震预报的困难和任务性,决定着地震预报方法研究是一个长期的任务。经过20多年来的广泛实践,我国地震预报既有成功的经验,也有失败的教训,整体来说预报水平还是不高的,需要花大力气探索研究提高地震预报水平的方法途径。为了继承发展我国20多年的预报实践经验,推进我国地震分析预报工作的科学化,加快地震科研成果在分析预报工作中的应用,以便更有效的提高预报水平,尤其是短临预报水平,国家地震局于1987~1988年,集中了全国优秀科技骨干近千人重点开展了以短临预报为主的地震预报方法实用化研究,从某种意义上说,这是国家地震局为迎接我国大陆地区新的地震活跃期到来所采取的技术准备的一项重大措施。

这次实用化攻关研究的主要目标和任务是把20年来各级地震部门的预报经验系统化,进行科学的论证。对各种资料处理方法、干扰因素的排除、异常的识别、前兆判定及其有关软件程序设计等进行深入研究和认真的筛选,制定出各前兆手段和综合预报方法适用于分析预报工作各个环节的一套技术指南。同时要对20年来监测台网内发生的一系列中强以上地震和震情事件做深入再研究,着重研究不同地区,不同类型地震前兆的共性表现与差异,研究地震前兆与无震异常的区别,以提高各种前兆手段和综合的试用性预报方法、判据和指标,同时要给出用其进行预报可望获得成功的概率估计。

在国家地震局攻关学术领导小组的领导下,组织了地震学、定点形变、大地测量、水位、水化、重力、地电、地磁、应力应变及综合预报方法十个攻关组,十个学科方法先后共部署了51项一二级课题,及201个三级课题。通过攻关重点突出了预报方法的实用性、预报指标的定量化(半定量化)及资料处理的微机化、规格化、无疑对于预报经验、科研成果的应用是有力的推动。

为了便于广大地震工作者,尤其分析预报人员更好地学习、了解各学科方法实用化研究的具体内容和详细的理论分析、计算推导为地震预报第一线的科技人员在工作中更好地运用“地震分析预报方法指南”并提供进一步探索研究的基础资料,国家地震局科技监测司出版《地震预报方法实用化研究文集》将各学科方法三级课题的研究成果汇编成六个专辑,即地震学专辑、综合预报专辑、电磁重专辑、水位水化专辑、形变应变专辑大地测量专辑。这些专辑是在1983~1985地震前兆系统清理汇编基础上的深入研究,它不仅对当前的分析预报工作有积极的指导意义,而且也为今后的深入攻关研究奠定了一定的科学基础。攻关研究一、二级课题将分别另行汇编“中国地震分析预报指南”。

希望本文集的出版能够给我我国地震分析预报带来新的发展,为各国学者了解我国地震分析预报的进展提供方便。

国家地震局科技监测司

1989年3月

前 言

本书汇集了地震预报地震学方法——在实践中行之有效的诸方法。各项方法均由该方法的创导人或在实践中长期从事本项研究最有经验的专家撰写。本主题是国家地震局组织的地震预报各类方法实用化研究的一个重要环节。

选入的地震预报地震学方法大体可分为：

1. 空间图象方法；
2. 时间进程方法；
3. 地震系列方法；
4. 地震相关方法；
5. 震源及介质参数方法；
6. 合成方法。

各项研究与报告编写是在统一约定下进行工作的，所以收入本书的诸方法，具有下列共同的特色：

1. 使用与检验的资料较全面。各方法一般收集了尽可能多的资料总结规律与检验效果。以显示其方法的能力。

2. 不仅进行了回顾式的震例总结，更侧重于展望式的模拟日常监测预报的检验效果，一般前兆总结多以列举震例为主，这是一种震后回顾性的总结。本书汇集的方法要求以模拟日常监测预报的方式，按展望式进行分析检验，以求客观地查明它的符合实况的虚漏情况。

3. 普遍进行了评分。利用评分使各个预报方法的质量达到了有效的控制，优选劣汰。

4. 进行了指标稳定性的试验。在预报参数的选定中，对究竟应取多大的空间窗、多长的时间段，滑动步长如何定，震级的下限有无影响等问题，均作了系统的考查与试验。这不仅为作者选定最佳方案提供依据，也为使用者提供了指标稳定性的全貌。

5. 分析程式化和计算机化。使分析方法有了比较客观的准绳，不受分析人员主观的影响。

本文集的成果是在国家地震局及其所属职能部门科技监测司的领导下，并在国家地震局委任的领导小组成员许绍燮、陆远忠、朱传镇、刘正荣、韩渭宾、刘蒲雄、修济刚等同志具体组织实施下完成的。

目 录

序言	
前言	
孕震空区方法在地震预报中的应用及其效能的研究.....	
.....王伟 黄冰树 陆远忠 郑兆蕊 刘东旺 潘坚云 陈宇卫 (1)	
借助R-t图、D-t图结合震中分布图在四川地区圈定空区的 研究.....	
.....韩渭宾 江道崇 杨虹 席敦礼 成小平 陈应伦 (25)	
背景空区及其在地震预报中的应用.....	
.....刘蒲雄 黄德瑜 周胜奎 严赜芬 刘连柱 杨满栋 韩丹 程燕 (41)	
中等强度地震前兆性空区判据及识别方法——以1983年菏泽5.9级地震为例.....	
.....魏光兴 赵兴兰 蒋海昆 (56)	
地震条带及其在地震预报中的应用.....	刘蒲雄 陈章立 (63)
四川地区地震活动条带预报效能的研究.....	韩渭宾 席敦礼 (85)
地震的条带分布.....	周传荣 孙志昆 (100)
基于知识的地震条带识别系统.....	黄元泰 刘蒲雄 高 伟 (111)
地震空间集中度C值及其在地震预报中的应用.....	王伟 潘坚云 黄冰树 (127)
大华北5级以上地震的震兆——中等地震的集中持续活动.....	郁曙君 (142)
小地震时间序列的A(b)-N法.....	吴佳翼 (154)
震级序列的前兆分析——关于b值研究的程式报告.....	陈锦标 李全林 (163)
震级序列的前兆研究.....	黄德瑜 张宇霞 周胜奎 杨满栋 韩 丹 (173)
用b值横截距法预报强余震震级的方法研究.....	吴开统 张智 焦远碧 张天润 (183)
地震频度衰减与地震预报的再研究.....	刘正荣 (194)
震群用于地震预报的实用程式研究.....	宋俊高 陆远忠 施玉芳 叶 峰 (204)
震群信息熵异常与地震预测.....	朱传镇 王林瑛 (229)
爆发余震图象B及其预报效能.....	马秀芳 傅丽萍 陈佩燕 (243)
利用地震活动的相关性进行地震预报的初步探讨.....	刘玉芬 廖清波 (253)
相关地震预报方法的研究.....	敖雪明 王桂岭 黄克强 杨成荣 (268)
“地震窗”在地震预报中的应用.....	姜秀娥 张国民 单锦芬 王惠敏 (296)
震情窗口、震情地带、震情网络.....	王泽泉 郭妍 李淑莲 戴英华 孙佩卿 (312)
云南地区震情窗口预报方案的研究.....	李晏平 王兴辉 (332)
诱发前震预报方法规范化研究.....	赵根模 刁桂苓 (345)
“诱发前震”地震预报方法研究报告.....	何淑韵 (358)
地震波速度比异常与预报应用.....	顾瑾平 李清河 盛国英 虞雪君 闵祥义 (367)
波速比用于地震预报程式研究.....	戴维乐 张光白 夏瑞良 庆 梅 (379)
中强地震的发生与地震尾波衰减特征的变化.....	刘文龙 (395)
强震震源破裂过程、地震震源参数与地震活动.....	林邦慧 胡小幸 周 冉 (409)

介质特性 (Q值) 的变化与地震预报	傅昌洪 (426)
矛盾符号比在地震预报中的应用	阎 明 (439)
震前应力变化与震后应力过程的研究	华祥文 (438)
关于强震前中小地震平均主压应力方向和初动符号矛盾比变化问题的研究	
.....	孙加林 武慧聪 阎海滨 (460)
甘肃省及邻区中强震前调制小震异常指标研究	秦保燕 刘江峰 (473)
强震震源区中等地震发震时刻的特征	高伟 许绍燮 黄元泰 余 洋 (502)
模式识别方法应用于测震前兆的综合预测	
.....	王碧泉 范洪顺 杨锦英 王春珍 陈佩燕 (514)
分析测震数据识别地震前兆的人机结合处理系统	
.....	杨建思 赵仲和 杨筱平 胡珍鲜 李心顺 张小平 许世昌 (527)
根据地震活动性预报地震的模糊数学方法	冯德益 蒋淳 陈荣华 林命周 (539)
以物理模型为基础的概率性地震预报方案	许绍燮 (554)
地震预报统计检验评分的基本原理和方法	洪时中 (576)
地震预报能力评分	许绍燮 (586)

孕震空区方法在地震预报中的应用及其效能的研究

王伟 黄冰树 陆远忠 郑兆蕊 刘东旺 潘坚云 陈宇卫

(安徽省地震局)

一、引言

近年来关于孕震空区的研究已取得了不少进展^[1-3, 6, 7, 9, 12],但是,由于不同人勾画空区的方法不一致,选取起始震级与时间的不一致,以及其他一些人为因素的影响,因此在预报实践中使用空区方法存在着在一定的任意性。文献〔5,6,9〕在孕震空区的展望性检验方面作了一些有益的工作,但是他们在地震空区的圈定、孕震空区识别指标的计算与判定等方面,仍主要依靠手工的方法。这除了使得工作量较大外,在实际运用中也增大了人为因素的影响。

本项研究基本按照陆远忠等人所提出的方法^[2,3],首先完成了空区识别、孕震空区判别指标计算并绘图的FORTRAN程序,实现了孕震空区预报方法的计算机化。然后,利用此程序对1970~1986年华北发生的19次5级以上地震进行了回顾性检验,再根据回顾性检验所得的结论与经验关系,利用此程序对该期间地震资料进行了展望性检验。从而估计和比较了孕震空区方法预报地震的对应率以及虚报、漏报等问题。本项研究基本由计算机完成,这就大大减少了在勾画与识别孕震空区中的任意性与人为因素。

利用孕震空区预报地震的另一重要问题就是应如何考虑使用地震目录的不一致,地震参数(三要素)的测定误差对结果的影响,以及基于少量样本统计得来的成功程度(报准、虚、漏报率)的概率估计的可信度问题,亦即由于两者的影响所给出预报的可信程度如何估计问题。本文利用专家系统中的不精确推理方法提出并给出了利用孕震空区预报地震的综合可信度的方法以及应用实例,据此即可对单项预报给出更客观的综合评价,又可将此作为运用多手段、多方法综合预报的基础。

此外,本文对选用的资料、以及空区与条带的关系、前兆空区的物理实质等作了一些讨论。

二、资料与程序

(一) 资料

本研究所使用的资料为《中国东部地震目录》^[8],该目录包含了自1970~1979年期间的两万多个地震。对1980年以后的资料,采用国家地震局分析预报中心编制的《中国东部地震月报目录》。该目录是我国东部地区目前最完整的地震资料。本研究选用了目录中的大华北地区(北纬 $30^{\circ}\sim 43^{\circ}$,东经 $105^{\circ}\sim 125^{\circ}$)部分。研究中所取最低震级为2.3级至3.0级。图〔1〕是所选时段和区域中2.3和3.0级以上地震的震级与频度关系曲线,并给出了相应古登堡公式的通用参数 a 、 b , $\sigma(a)$ 、 $\sigma(b)$ 、 r 分别为 a 、 b 的均方误差及曲线的相关系数,从图可知两种统计所得 b 值曲线线性均很好。由此可大致判断取2.3级以上地震进行统计是可行的,不致造成严重缺失。此外,我们为避免因震级下限选取不当导致的结论错误,后文分别将 $M_L \geq 2.3$, 2.5, 3.0, 3.6作为研究对象进行分析,并进行对比。

表1给出了所用地震目录中的定位精度状况统计,由表看出,I类与II类精度的地震(即定位误差 $\leq 15\text{km}$),占49%,大量地震由于种种原因未给出定位精度,这部分地震与少量IV类精度的地震约占43%,由此可以估计华北半数以上地震的定位误差小于15km。这使得本文的研究有了较好的基础。关于定位精度与震级误差对孕震空区方法预报地震的影响等问题还将在第四节的预报可信度中给予一定的讨论。

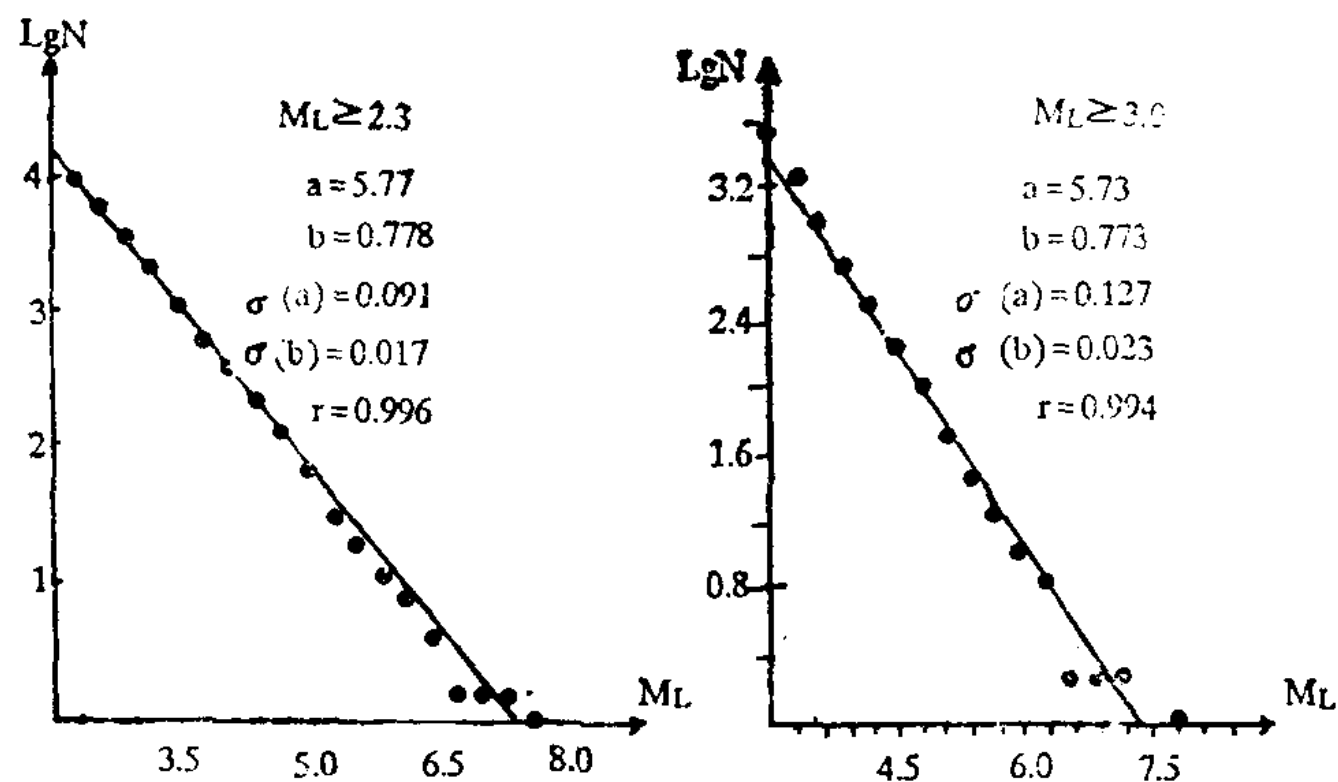


图1 大华北地区震级-频度关系
1970~1986; 30°~43°N; 105°~125°E.

表1 大华北地区1970~1986年, $M_L \geq 2.3$ 级地震的定位精度统计

定位精度	I类 $r \leq 5\text{km}$	II类 $r \leq 15\text{km}$	III类 $r \leq 30\text{km}$	IV类与未给出精度
地震个数	3077	2314	890	4835
百分比%	28	21	8	43

(二) 自动识别地震空区及孕震空区判断的计算机程序

对孕震空区方法的运用,本文仍主要采用陆远忠等^[3]所提出的步骤,首先按照一定的标准在某时段的震中分布图上识别预备性地震空区;其次,利用孕震空区的判据对识别得到的预备性空区进行检验,判断是否为孕震空区。本程序主要由相应的三个相对独立的部分组成。第一部分为计算机自动识别预备性地震空区;第二部分在识别出预备性空区的基础上,计算出识别孕震空区的两条判据随时间变化曲线并绘图进行判断;第三部分为打印该时段的震中分布图以检验空区识别判断的效果。该程序使用FORTRAN语言在PDP-11计算机上实现。

在计算机自动识别单个地震空区方面,文献〔10〕做了十分有意义的工作。本程序吸收了其基本思想,即在识别空区时将地震的地理坐标化为极坐标,然后用二次曲线对空区进行拟合。但在许多方面做了较大的改进与提高,尤其在空区边界点的确定方面,采用了相邻点比较与椭圆拟合误差比较两种方法,以剔除距空区边界较远的地震,减小空区拟合的方差,从而大大改善了拟合效果,使得计算机识别结果与人工圈定空区结果大体相符。同时对空区的识别采用了迭代方法,并选用拟合椭圆均方差及椭圆中心迭代误差两个迭代收敛准则。程序还对二次曲线是否为椭圆型进行了判别。在给定中心点后可对单个空区进行识别,同时也可

对某一区域的地震以一定滑动步长进行空间扫描,以识别整个区域的空区。程序运行时,在给定输入数据文件后,仅需送入要求选取空区的最小短轴长度 $S(km)$ 、最大长轴长度 $L(km)$ 、空区拟合的最少地震个数 N 、允许围空的最大不闭合角 α 四个参量。在作空间扫描时还需送入起止经纬度 $LA1, LA2, LO1, LO2$ 。在纬度及经度方向上的滑动步长 Las, Los 共6个量。对华北地区扫描识别空区时,一般取 $S=50\sim60km$ 、 $L=200\sim330km$ 、 $N=6$ 、 $\alpha=120^\circ$ 、滑动步长 $Las=Los=0.5^\circ$,这样在PDP-11/34计算机上一次识别空区运行一般仅需10~20分钟左右时间。结果将输出空区拟合椭圆的中心经纬度、长短轴长度、椭圆主轴方向及拟合均方差等参数,如图7—1所示。

在判断预备性空区是否为孕震空区时,需计算空区及其邻近区域的应变释放及空区外部与内部频次比 $(N_{外}+1)/(N_{内}+1)$ 随时间的变化。在计算频度比时,资料采取一年累计逐月滑动的方式。为了简化起见,并考虑到用最小二乘法求得的空区长轴比实际空区要大,若无特殊要求,计算一般选取以椭圆中心向外扩展1.5倍长半轴的区域。计算完成后可使用绘图仪绘制应变释放与频度比随时间变化曲线。程序还可要求空区周围区域应有一定数量的地震个数,并且其中应有一些一定震级(M_0)以上的地震,否则将不予识别该空区是否为孕震空区。在本文的计算中一般要求地震个数 $N\geq 10$, $M_0=3.6(M_L)$ 。程序的第三部分为使用行打或绘图仪绘制震中分布图。整个整序共约1400多条语句,程序可单独启动某一部分,也可全部运行。

三、华北地区孕震空区方法的回顾性检验与展望性检验

大华北地区(北纬 $30^\circ\sim43^\circ$,东经 $105^\circ\sim125^\circ$)自1970~1986年期间共发生19次 $M_s\geq 5.0$ 级地震(不包括余震及远海和朝鲜地震)(表2)。本研究将利用上述计算机程序GAP·FTN对所有5级以上震例进行回顾性检验与展望性检验,以期尽可能客观地研究孕震空区方法的预报效能,并给出一套切实可行的预报程式。为进行展望性检验,表2也列出了1987年发生的三次5级以上地震。

表2 大华北地区1970~1987年,所发生的 $M_s\geq 5.0$ 级地震

No.	日期 (年.月.日)	纬度	经度	M_s	地点	震前是否存在孕震空区
1	1973.12.31	$38^\circ28'$	$116^\circ33'$	5.2	大城	有
2	1974.4.22	$31^\circ27'$	$119^\circ19'$	5.5	溧阳	有
3	1975.2.4	$40^\circ39'$	$122^\circ48'$	7.3	海城	有
4	1975.9.2	$32^\circ54'$	$121^\circ48'$	5.3	黄海	有
5	1976.4.6	$40^\circ14'$	$112^\circ12'$	6.3	和林格尔	有
6	1976.7.28	$39^\circ38'$	$118^\circ11'$	7.8	唐山	有
7	1976.9.23	$40^\circ05'$	$106^\circ21'$	6.2	巴音木仁	有
8	1979.3.2	$33^\circ11'$	$117^\circ25'$	5.0	固镇	有
9	1979.5.22	$31^\circ06'$	$110^\circ28'$	5.1	秣归	无

续 表

No	日期 (年·月·日)	纬度	经度	Ms	地 点	震前是否存在 孕震空区
10	1979.6.19	37°06′	111°52′	5.1	介休	有
11	1979.7.9	31°27′	119°15′	6.0	溧阳	有
12	1979.7.25	34°29′	105°18′	5.0	礼县	无
13	1979.8.25	41°14′	108°07′	6.0	五原	有
14	1981.8.13	40°30′	113°25′	5.8	丰镇	有
15	1982.4.14	36°45′	105°30′	5.7	海原	无
16	1983.1.17	40°22′	107°01′	5.1	磴口	无
17	1983.11.7	35°8′	115°36′	5.9	菏泽	有
18	1984.5.21	32°49′	121°36′	6.3	南黄海	有
19	1984.11.23	38°04′	106°13′	5.2	灵武	无
20	1987.2.17	33°35′	120°32′	5.0	射阳	
21	1987.8.10	38°03′	106°17′	5.5	灵武	
22	1987.10.25	34°03′	105°10′	5.1	礼县	

(一) 回顾性检验

1. 方法 文献〔1〕〔2〕研究了1966~1980年期间我国大陆发生的23次6级以上地震及部分5级以上地震震例,指出震前普遍存在着孕震空区,这项工作基本由手工完成。本文将完全由计算机对华北19次震例进行回顾性检验,以探讨震前存在孕震空区的普遍性并检验识别空区计算机程序的有效性。其步骤大体如下:

(1) 确定围空地震的起始震级。由文献〔1〕〔2〕知,孕震空区的围空地震的起始震级一般比主震小3.3~4.3级。在实际选取时还应兼顾该区的检测能力。

(2) 以5级以上地震的震中为中心向外扩展2.5°~3.0°的近似正方形区域进行空区的空间扫描,以确定震前是否存在地震空区。其震前地震资料时间长度的选取可由经验公式〔2〕

$$M_s = 6.02 + 1.34 \lg T(\text{年}) \pm 0.48$$

初步确定。若未能发现空区,则可改变时间段长度或起始震级重复此过程。

(3) 若发现震前存在空区,则进一步启动程序计算空区及邻近区域中的应变释放及空区外部与内部频次比 $(N_{\text{外}}+1)/(N_{\text{内}}+1)$ 两条识别孕震空区指标随时间变化曲线。若出现持续时间半年到一年以上的较同步加速异常,则可初步确定该空区为孕震空区,并选取开始加速时间为空区形成的起始时间。

(4) 根据已得到的空区形成时间为起始时间,重复(1)(2)(3)过程,最后得到较理想的结果。

2. 结果 经上述检验过程得到,在本文所说的大华北区域中的19次 $M_s \geq 5.0$ 级地震前,发现有14次在震前存在着孕震空区(图2),占总数的74%。若取 $M_s \geq 5.8$ 级地震,则在该

期华北共发生的9次地震前全部存在孕震空区。由表2可知,在这5次无空区的5.0~5.7级地震中,有4次发生在东经 $107^{\circ}.5$ 以西到南北地震带上,一次发生在大华北块体边界南部的湖北秭归,显示了这些地区与华北块体不同的地震活动特征。因此若对通常构造上划分的华北块体来说,即取块体的西界为东经 $107^{\circ}.5$,南界为秦岭、大别山构造,则在华北块体中共发生的13次 $M_s \geq 5$ 级地震前,全部存在着孕震空区。

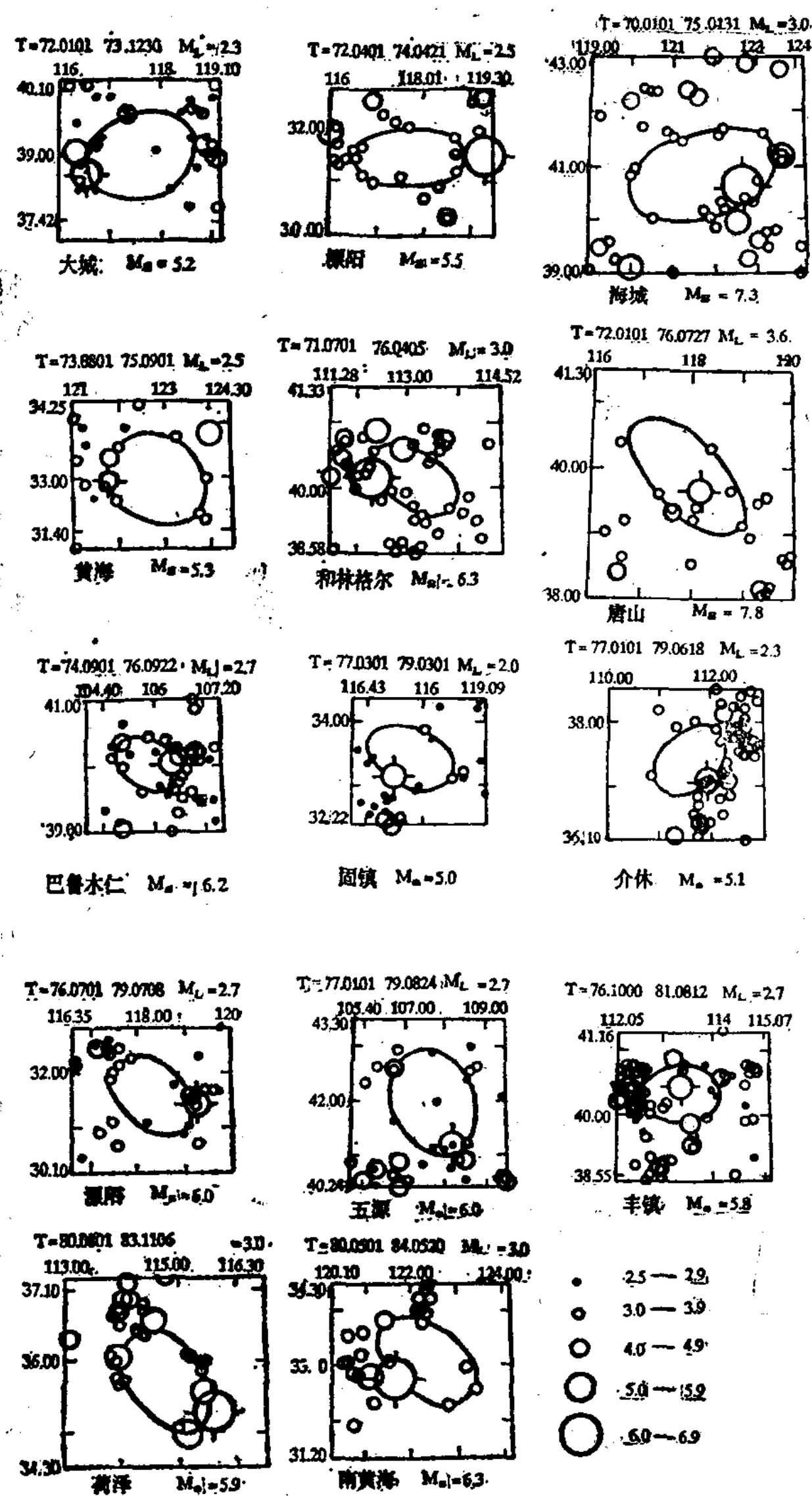


图2 回顾性检验所得到的大华北14次震例的孕震空区

图3为这13次地震前空区周围区域的应变释放及空区外内频度比曲线(原为大华北14个孕震空区,该图缺丰镇地震)。可以看到,孕震空区形成期间一般将出现半年至一年以上的较同步的应变释放加速与频度比高值的过程。除1975年9月 黄海5.3级地震前的应变释放及频度比的加速过程异常特征稍差外,其它13次震例在此期间的应变释放速率及频次比都是正常期的3倍以上。图4为由13次震例得到的华北构造块体内孕震空区长轴,形成时间以及空区形

成期空间周区围区域的地震应变释放与主震震级关系图。由此可得到如下的经验关系，它们在 $\alpha=0.05$ 的水平上都能很好地通过相关系数检验。（由于巴音木仁地震前，其空区长轴及时间都明显小于其它13次华北震例，故在统计中未将其列入）。

$$M_s = 4.13 \lg T (\text{月}) - 0.51 \pm 0.52 \quad (1)$$

$$M_s = 6.20 \lg L (\text{公里}) - 8.08 \pm 0.61 \quad (2)$$

$$\Sigma \sqrt{E} \times 10^{10} \text{ 尔格}^{1/2} = 5.7 M_s - 2.59 \pm 0.35 \quad (3)$$

可以看到由本文(1)(2)式得到的时间 T 与空区长轴 L 要明显大于文献〔2〕中所得到的结果，这是由于文献〔2〕的结果是基于全国23个6级以上地震资料得到。这表明华北地区孕震空区的长轴与形成时间要比西部明显偏大，显示了区域间的不同地震活动特征。由(3)式所给出的在空区形成期间空区周围区域所释放的地震应变能表明，在孕震空区形成期间，对5~6级中强地震，空区周围将发生一些3级以上地震；而对7级以上强震，空区周围区域将发生一些4级以上地震。华北14次孕震空区围空起始震级 M_0 与主震震级 $M_{\text{主}}$ 关系示于图5，其相应的经验关系可表为公式(4)。

$$M_0 = 0.5 M_{\text{主}} - 1.11 \pm 0.188 \quad (4)$$

由此可知，对5~6级中强震，选择围空起始震级一般比主震小3.6~4.0级；对7级以上强地震，起始震级一般比主震小4.8~5.0级。

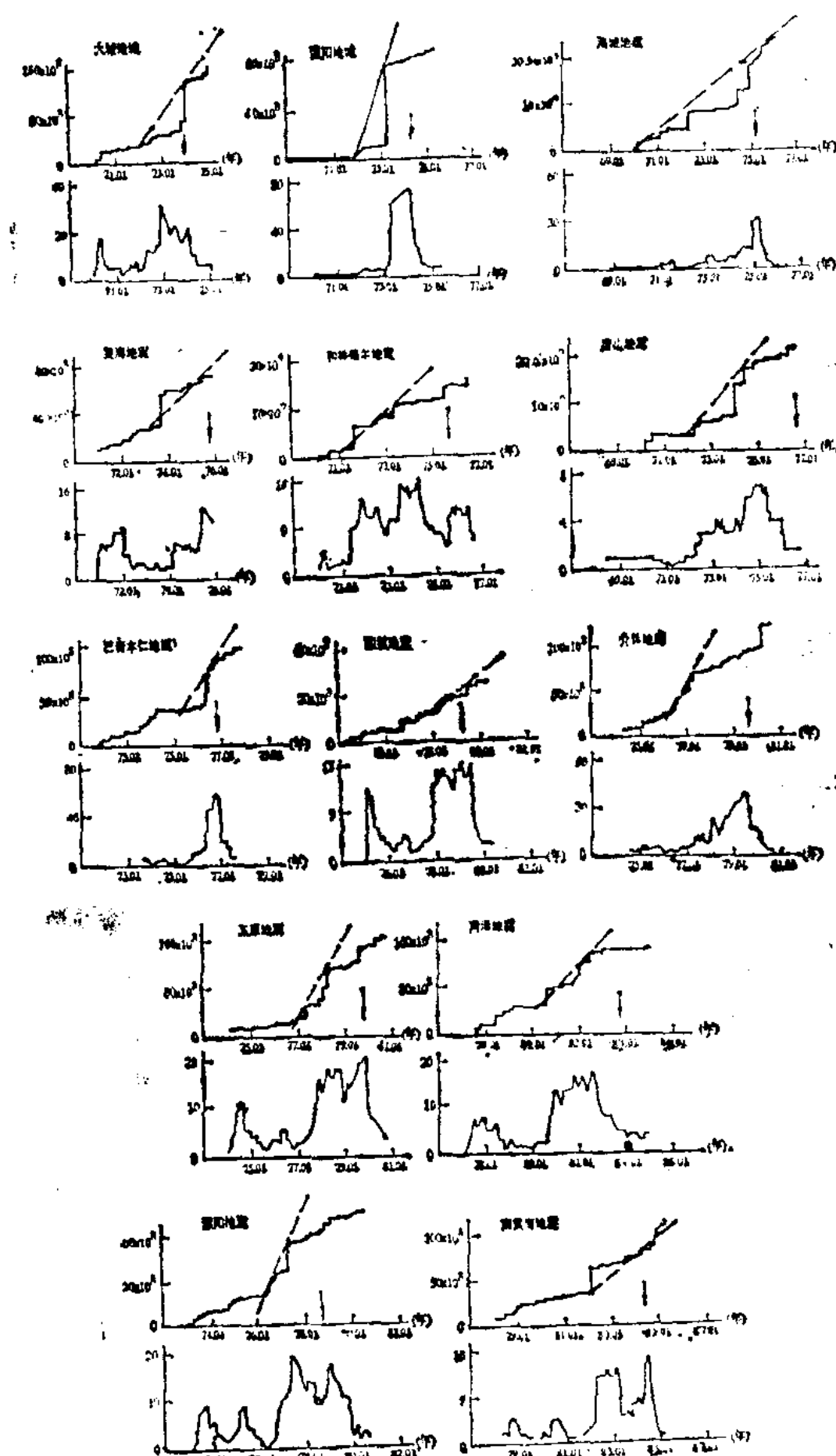


图3 大华北13个孕震空区形成前后的应变释放及空区外部与空区内部频次比曲线

为讨论选用资料区域对识别孕震空区的影响，图6给出1981年丰镇地震前后，当向外扩展1.5、1.75及2.0倍长半轴区域的应变释放及频次比曲线，由此例可看见，各曲线变化类似，表明空区形成期间应变释放及频度比的加速主要由于空区及邻近区域地震引起。但应注意所取范围较大则可能受到较远地震的影响，使识别效果变差。

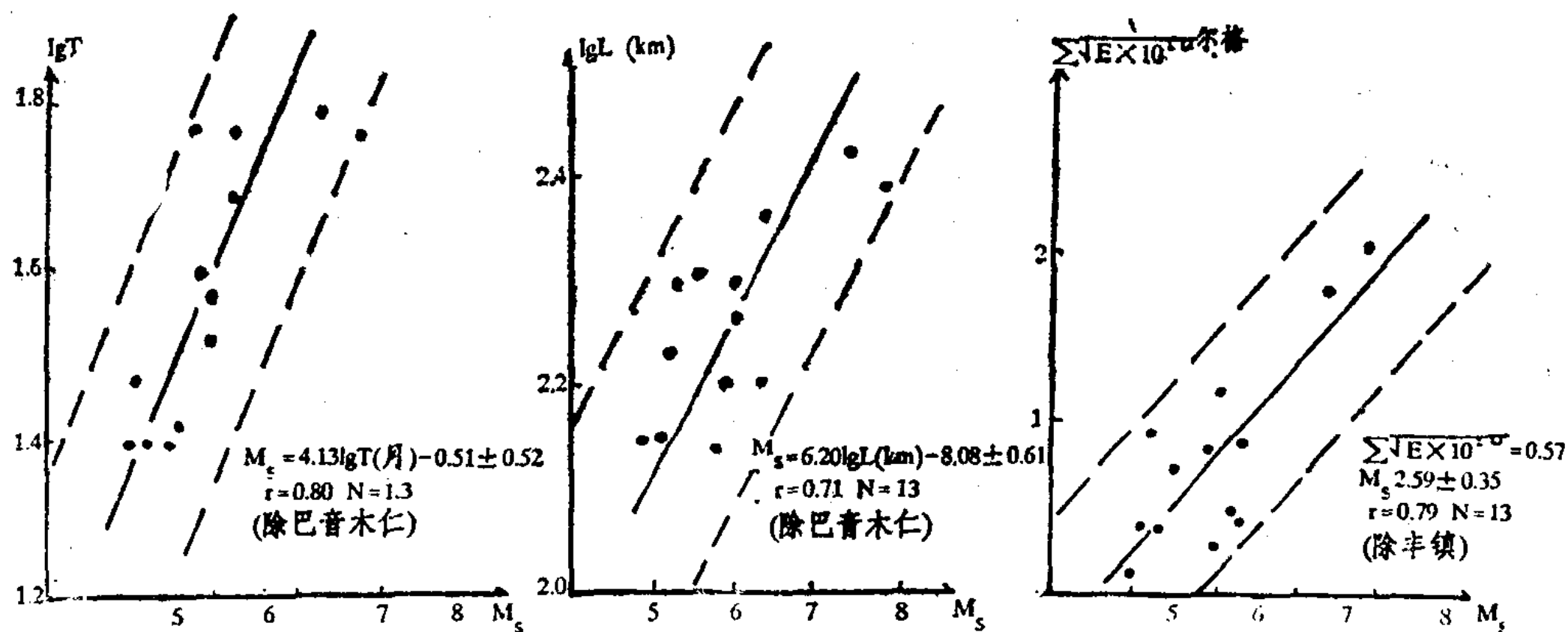


图4 华北地区孕震空区长轴、形成时间及形成期间所释放应变能与主震震级关系

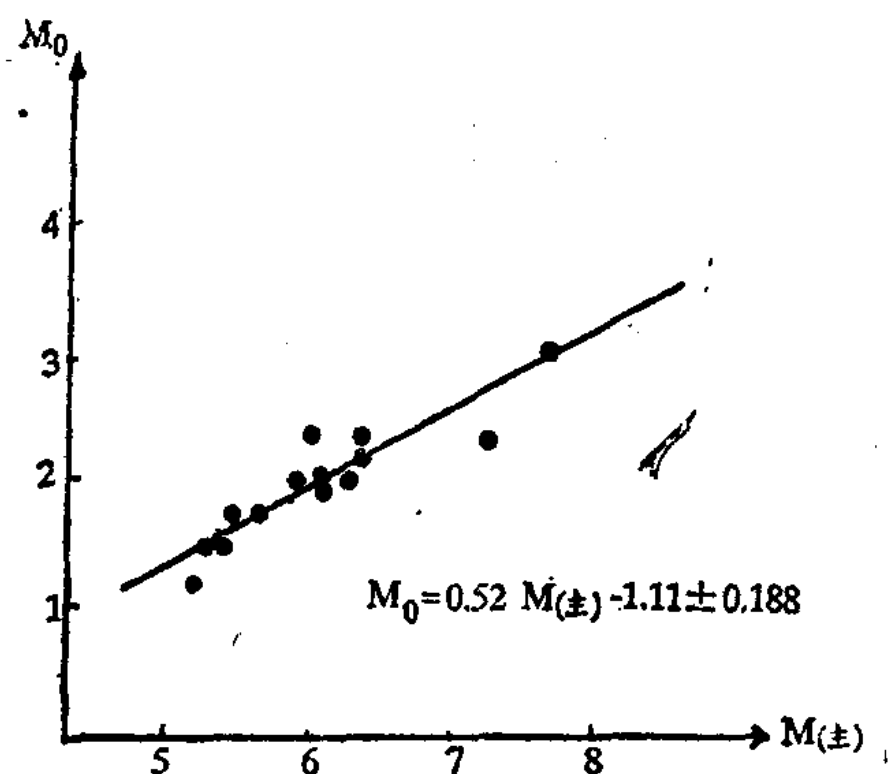


图5 大华北孕震空区围空起始震级 M_0 与主震震级关系

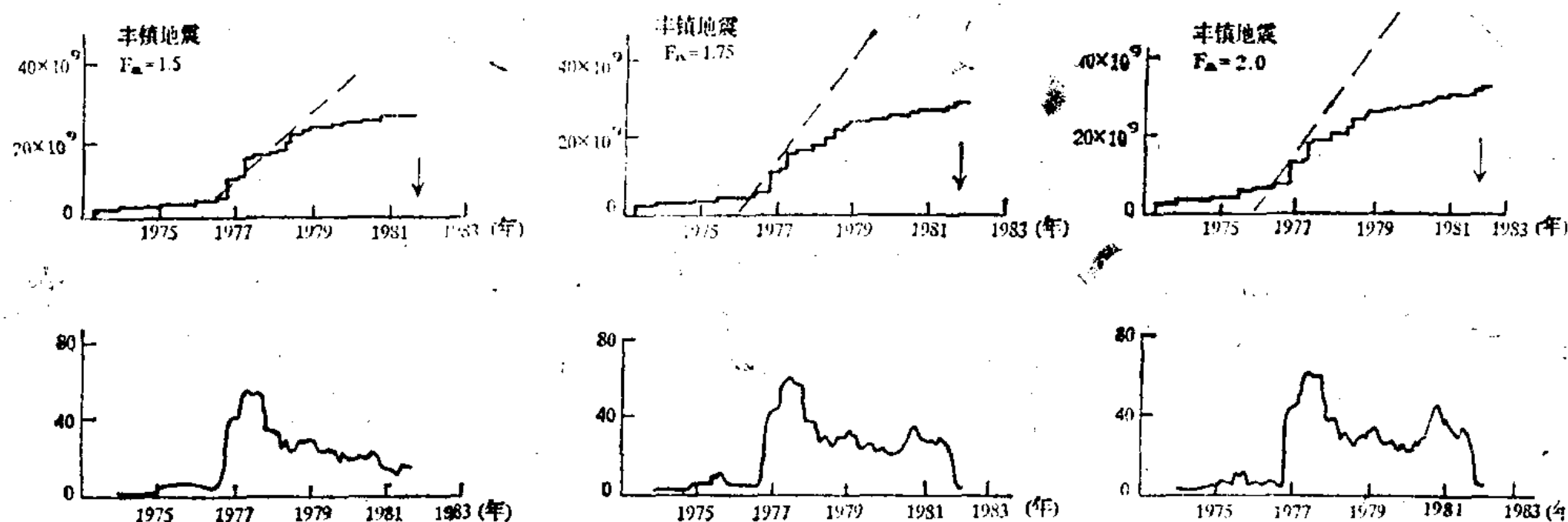


图6 丰镇地震前后，自空区中心向外扩展1.5、1.75、2.0倍长半轴的方形区域时，所相应的应变释放与频度比曲线

(二) 展望性检验

1. 方法 本文所进行的展望性检验基本采用文献〔3〕所提供方法。所不同的是前者在很大程度上由手工完成, 而本文所进行的检验基本由计算机完成。其步骤大体如下:

(1) 使用本文所述的计算机程序识别某时段中大华北地区的地震空区, 将这些空区作为预备性空区。

选取如表3所示的围空起始震级、时间段长度以及最大空区长轴7组参数进行检验。表中选取围空起始震级分别为 $M_L=2.3, 2.5, 2.7, 3.0, 3.6$, 它们可分别作为5级以上中强震乃至强震的围空起始震级。根据在文献〔3〕及我们实际工作中的经验, 为得到较好的效果, 其相应的扫描时段长度一般可略小于(1)式结果, 表中给出的最大长轴长度即为计算机识别空区的最大长轴距离, 对大于此长轴的空区, 程序一般将不予识别, 因此该值的选取一般应大于经验值。实际检验对1970~1986年资料按0.5年的滑动步长进行滑动, 即若取扫描时间段为2年, 则第一次将识别1972.1~1973.12期间华北空区(通常其前留出二年资料以作为孕震空区的对比期), 第二次识别1972.7~1974.6, ..., 最后将识别到1985.1~1986.12期间的地震空区。

表3 展望性检验所用的7组参数

T (年)	m_L				
	2.3	2.5	2.7	3.0	3.6
	最大长轴(k_m)				
1.5	200				
2.0		220	240		
3.0			240	250	
4.0				280	
5.0					330

(2) 从预备性空区中判别孕震空区。这时将启动程序的第二部分, 得到文献〔2〕〔3〕

中关于判别孕震空区的两项指标, 即应变释放及空区外部与内部频次比 $\frac{N_{外}+1}{N_{内}+1}$ 随时间变化曲线。

根据回顾性检验与文献〔3〕的结果, 将预备性空区时段中的频度比及应变释放速率(单位时间的平均应变值)与预备性空区前二年的频度比均值及平均应变释放速率比较, 若出现持续时间半年以上的高值与加速, 即该期间的频度比与应变释放速率是其前对比期的3倍以上, 并且根据公式(3)中的结论, 这一应变释放加速过程是由于发生了一些3级以上地震引起(这一限制已在程序的第二部自动实现), 则认为空区内外频度比及应变释放两条识别孕震空区的指标出现异常。

(3) 启动程序第三部分, 绘制该扫描时段的震中分布图, 检查满足孕震空区判据的这些空区是否由于某余震序列引起。若非如此。则认为该空区为孕震空区, 否则不认为是孕震空

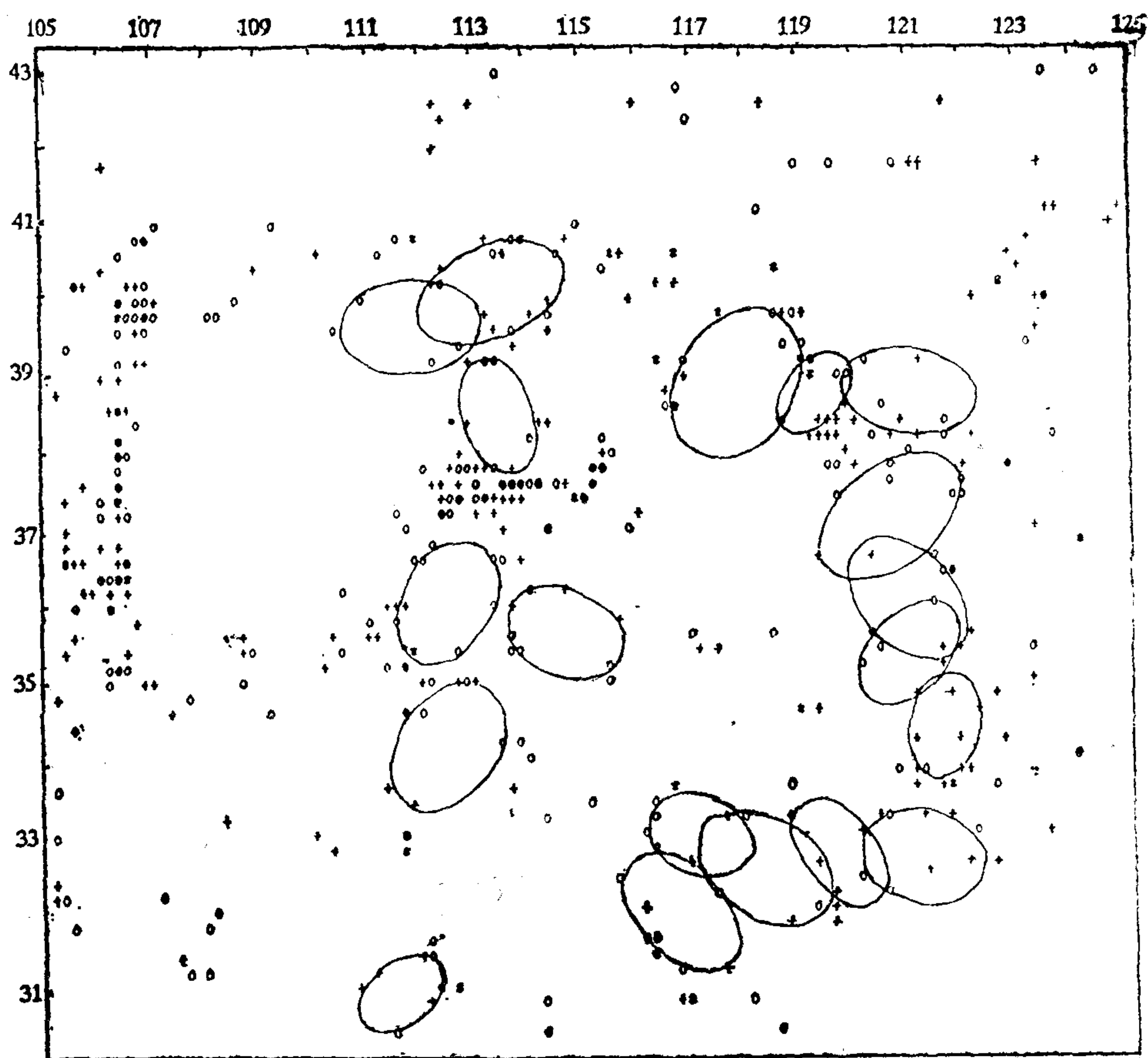
区。出现孕震空区后的二年之内，若在空区内部或边缘发生5级以上地震则为报准，否则为虚报。

以下举例说明此过程。图7为1972.1.1~1972.12.31期间，取起始震级 $M_L=2.7$ 、最大长轴 $L=240\text{km}$ 时，进行展望性检验的结果。其中图7-1为由程序识别得到的19个预备性空区参数，表中的第一、二项参数为拟合空区椭圆中心的纬度与经度，第三项为拟合均方差，第四、五项为拟合空区椭圆的长短轴，单位为 km ，第六项为拟合椭圆的长轴或短轴与东西方向的夹角。若根据这些结果将上述得到的预备性空区勾画在该期间的震中分布图上(图7-2)，则可以满意地看到这些结果可以完全取代于人为勾画空区。其中对均方差较大空区，其拟合

THE RESULT OF RECOGNIZING GAP					
(72.0101~73.1231)					
30°N~43°N 105°E~125°E					
SHORT=50.00 LONG=240.00 LOS=0.50 LAS=0.50 $M_L=2.7$ NC=6					
LATITUDE	LONGITUDE	SQUARE- ERROR	MAJOR AXIS	MINOR AXIS	DIRECTION
31.45	116.50	2.7084	194.49	134.62	46.015
32.28	118.08	16.0073	234.80	140.34	13.861
32.29	119.59	6.5045	188.61	72.53	56.091
32.32	121.04	3.9931	180.77	167.08	46.348
32.50	117.01	11.3748	198.76	124.34	38.940
34.14	121.47	15.6646	182.68	140.12	86.605
35.37	114.33	9.6303	195.08	104.41	19.818
35.04	120.51	4.5399	206.71	98.42	45.305
35.55	120.55	18.0117	226.68	138.66	80.220
37.11	120.44	18.8871	215.25	170.11	37.527
38.46	120.46	17.8593	230.57	114.47	3.564
38.44	117.43	4.2495	234.05	189.11	32.094
38.18	119.20	2.4042	166.32	132.25	47.139
30.52	111.35	2.9162	137.86	103.86	55.359
34.04	112.17	9.5748	225.87	162.20	54.267
35.59	112.29	2.9321	191.80	153.23	53.980
38.18	113.23	4.7486	174.63	123.24	17.229
39.34	111.22	9.4351	212.66	170.68	83.902
39.55	112.49	12.5077	197.81	116.86	1.429

图7-1 计算机所识别的地震空区

效果也相对较差。与文献〔3〕比较可以看到,用计算机得到的结果通常要比人为勾画的空区在数量上更多,更加客观。图7-3为利用孕震空区两条判据对上述预备性空区进行检验的随时间变化曲线,程序所给出的具体数据这里从略。根据本文给出的关于识别孕震空区两项指标为异常的规定,可以看到仅有1个预备性空区即中心位于北纬 $38^{\circ}44'$ 、东经 $117^{\circ}43'$ 的空区,其孕震空区两条判据在空区形成期间出现异常,并且由图7-2及计算机打印结果可以看到应变释放的加速异常是由于发生了一些3级以上地震引起,还可进一步看到其空区的形成及应



TB=72.01 TE=73.12 O=2.7-2.9 +=3.0-3.9 *=4.0-4.9 • =5.0-5.9 #>6.0 N=633

图 7-2 根据图7-1结果在震中分布图上勾画出的相应地震空区