

# 地震活动性研究及其应用于 地震预测的一些问题

王 健

中国地震局地球物理研究所,北京市民族大学南路 5 号 100081

关键词: 地震活动性 地震带 地震密集 地壳介质 地震预测

[中图分类号] P315 [文献标识码] A

依据 20 世纪上半叶的强震资料对全球地震活动性进行的研究结果显示,强震活动呈带状分布,其实质是揭示了全球大尺度地壳介质的非均匀性。地震带与板块的活动密不可分,对认识板块活动做出了应有的贡献。基于悠久的历史地震资料和地质构造活动特征划分了 20 多条地震带,这是对大陆内部地壳介质非均匀性的一种认识,也是统计预测方法的基础之一。

利用 1970 年代以来仪器记录到大量中小地震资料,通过定量研究,其结果表明中小地震活动的明显特征是地震密集,其意义是能够在更小尺度上反映地壳介质的非均匀性。在此基础上,能够对统计预测方法提供有一定物理意义的约束条件。

轻视地震活动性研究的作用是不可取的。试图直接从地震活动图像中寻找与强震发生一一对应的“前兆”,这种思路和做法需要反思。

## 1 地震活动性研究的历程和现状

地震活动性研究就是通过分析一定震级区间地震时间、空间的分布特征,探讨其物理含义,进而对地震发生的规律进行科学总结。尽管地震活动性研究所使用的参数相对较为简单(一般仅是发震时间、震中位置等),但它仍“是以地震图的资料为基础的”。通过地震活动性研究,可对地壳介质非均匀性和运动形态有宏观的了解和总体把握,因此可服务于地震预测和地球动力过程等研究。根据地震活动性研究所依据资料的不同,我们分两部分进行叙述:即以强震为资料和以中小地震为资料的地震活动性研究。

### 1.1 以强震为资料划分地震带

[收稿日期] 2005-04-18; [修定日期] 2005-07-09。

[项目类别] 中国地震局“十五”科研课题“强震中期预测物理基础研究(课题编号:10-5-08-09)”资助。中国地震局地球物理研究所论著:05AC1016。

[作者简介] 王 健,男,1963 年出生。博士,中国地震局地球物理研究所研究员。主要从事地震活动性和历史地震、中长期地震预测、地震危险性分析和工程地震等方面的研究。

由于全球和区域性地震台网的建立和完善,使得研究全球尺度的地震活动性成为可能。Gutenberg 和 Richter(1954)根据 20 世纪上半叶全球记录到的 3000 多个中强以上地震(包括 300 多个 7 级以上大地震)以及部分历史大地震记录,较系统地研究了全球地震活动性,并编制了全球近代强震活动分布图。他们指出,全球的地震活动主要集中分布在 4 个狭窄的带上,这 4 个地震带是:环太平洋地震带、地中海-横贯亚洲地震带、大洋脊地震带和裂谷地震带。其中,全球 80% 的浅源地震( $h < 70\text{km}$ )、90% 的中源地震( $70\text{km} \leq h < 300\text{km}$ )和全部的深源地震( $h \geq 300\text{km}$ )都发生在太平洋地震带上。除上述地震带外,地震还散布在某些大陆地区,其中最重要的是东亚地震活动区和北美地震活动区。这种分布格局至今没有重大的变化。这项工作使人类首次认识全球范围地震分布的总体特征,其实质是揭示了全球大尺度地壳介质的非均匀性。这些地震带与板块的活动是密不可分的,对认识板块活动作出了应有的贡献。

20 世纪 60 年代,梅世蓉(1960)对中国的地震活动性进行了研究,划分了地震活动带。70 年代,时振梁等(1974)基于中国地震活动和地质构造的特征,划分了 23 个地震带。这种分布格局至今没有实质的变化,它不仅是对大陆内部地壳介质非均匀性的一种表示方式,作为统计预测方法的基础之一至今仍在应用(王健,1994)。

## 1.2 利用中小地震资料圈定地震密集区

随观测技术的发展,大量中小地震(一般是指  $M_L$  2.0 ~ 5.0 的地震)被记录到。我国自 1966 年邢台地震后,逐渐积累了丰富的资料,相关研究也开展得较为活跃。在利用中小地震资料进行地震活动性研究过程中,国内外许多研究者发现了诸多现象,提出了多种方法,主要包括:地震条带、地震空区、震情窗口、 $b$  值异常、相关地震、诱发前震、前兆震群、响应地震以及爆发余震(Burst of aftershocks)等等。

在多年的探索中,人们逐渐认识到,在利用中小地震资料进行地震活动性分析时,沿用强震活动性分析方法存在问题。利用强震资料进行地震活动性分析所用的方法,我们可以称之为“目视法”,即画出地震震中分布图,根据其空间分布特征进行判断,所划定地震带的边界具有专家主观因素。

中小地震从数量上要比强震多得多,从震中分布图所反映的空间分布特征也要复杂的多。用“目视法”所发现的各种现象倚重于专家主观判断,不具备可重复性,图象稳定性差。有研究者指出“实际上不仅在预报实践中,而且在震例总结中,圈定空区的不确定性依然十分明显地存在着。不同人总结,可能画出很不相同的空区。使用资料的震级不同,所给出的空区时、空范围也不同”(韩渭宾等,1985)。存在的问题还包括诸如种类繁多、有些称呼不尽相同但所描述的现象是类似的(许绍燮,1989)、物理机制研究不够等等。

国内外学者都在探索一些定量方法来处理中小地震活动性图像(王健,1999)。笔者曾提出了地震活动性图像处理的网格点密集值计算方法(王健,2001),该方法同时考虑了计算范围内的地震数量和计算点到震中的距离,计算得到的图像能够准确反映地震空间分布特征,图像具有较好的稳定性。应用该方法定量处理了 1970 年以来中国大陆东部和川滇地区中小震活动性图象。结果显示,中小地震活动密集特征较为显著。

在我国华北地区,我们对中小地震密集特征及其与强震的关系进行了系统研究。以 1 年为时间窗,1970 ~ 2000 年的 31 年中共有 74 次 3 级( $M_L$ )地震密集发生在 22 个地点。这些

密集与强震的关系可分为 4 种情形:一是余震;二是大震区的长期活动,即过去发生过大地震的地方至今中小地震仍很活跃(王泽皋,1985);三是到目前为止与强震没有关系,这里我们称之为震群;四是中小地震密集出现后,确有强震发生,但时间间隔长短不一,最长相隔达 13 年,我们暂且称之为中长期前兆。海城地震的前震与主震相隔数小时;1974 年江苏溧阳出现小地震密集,其后于 1979 年在原地发生了 6 级地震;内蒙古包头在 1983 年就曾出现过 3 级( $M_L$ )地震密集,1996 年才发生 6 级强震。各类密集所占比例及密集区尺度详见表 1。

从表 1 中还可以看到,地震密集区的尺度一般为数公里至百公里,相对于地震带要小得多。他们能够在更小的尺度上反映出地壳介质的

表 1 华北地区地震密集的类型

地震密集类型	余震	长期活动	震群	中长期前兆
次数(比例)	38(51.4%)	27(36.5%)	4(5.4%)	5(6.8%)
密集区尺度(km)	150~10	90~10	40~20	40~5

的非均匀性。为说明这个问题,我们以山西地震带为例。山西地震带是我国一条著名的地震带,历史地震和地质构造活动都非常强烈,它大致呈 NNE 向,长达数百公里。我们选取其中的一段(110.5°E~113.9°E,34.8°N~38.3°N)为研究区域。该范围内历史地震记载丰富,有包括 1303 年 8 级地震的多次历史强震,同时仪器记录的中小地震资料也较为完整,1970~2002 年共记录到  $M_L$  2 以上地震 4145 次,震级最大为 5.5。 $M_L$  2 以上地震密集值等值线分布显示:在研究区范围内,中小地震空间分布极不均匀,存在多个显著的密集区。根据密集值等值线的分布,可将它们分为 6 个区:1 区(太原-太谷区);2 区(汾阳-平遥区);3 区(霍州-洪洞-临汾区);4 区(襄汾-候马区);5 区(运城区);6 区(昔阳-和顺区)。将密集区与 1303 年 8 级地震等震线和其他历史地震分布相比较,可以看到 3 区(霍州-洪洞-临汾区)的中小地震密集范围与 8 级地震的极震区较为相似,但略大一些。经详细分析,这 6 个密集区内的中小地震活动与历史地震存在一定的联系。3 区(霍州-洪洞-临汾区)和 4 区(襄汾-候马区)范围内历史上分别发生过 8 级和 7 级大地震,现今中小地震随时间分布较为均匀。6 区(昔阳-和顺区)历史上没有发生过 6 级以上强震,现今地震活动随时间分布极不均匀。1 区(太原-太谷区)、2 区(汾阳-平遥区)和 5 区(运城区)历史上发生过多次 6 级左右的强震,现今地震活动随时间分布的均匀程度介于上述两种情形之间(王健等,2004)。

小震震源机制矛盾比跟踪监测研究结果也显示,3 区(霍州-洪洞-临汾区)和 4 区(襄汾-候马区)范围内矛盾比始终很高(黄雨蕊等,1997;高阿甲等,1998;高阿甲,1999;2000)。结合岩石实验中声发射的研究成果(Haimson,1974;1978;Sondergeld, et al., 1981),我们试图用局部地壳介质的不同状态,来解释不同密集区地震活动特征及其与历史强震的关系。相对而言,中小地震密集区范围内局部地壳介质较为破碎,其中 3 区(霍州-洪洞-临汾区)和 4 区(襄汾-候马区)范围内破碎程度最高。通过这个具体的例子,我们试图说明利用强震资料划定的地震带刻画了大尺度的非均匀性,而在地震带内部,利用中小地震资料能够刻画出更小尺度的非均匀性。基于对局部地壳介质的进一步认识,有望提出适当的物理条件以约束统计预测方法。

### 1.3 正在探索的一些问题

分析地震活动的时间分布特征,并认为地震活动的起伏是区域应力涨落的表现形式,这类研究也一直在探索中(Mogi, 1979; Raleigh, et al, 1976)。困难在于,区域应力水平与局部地壳介质是一对矛盾的统一体,“相互缠绕,难以剥离”。定量分析中小地震随时间变化特征及其与强震的关系,结合我国地震预报中多年积累的经验,对中期时间尺度强震发生背景进行评估正在尝试中(王健, 2003)。

现阶段,我国地震台网所测定的中小地震震中定位精度最好为 I 类,误差为 5km,特定条件下(如加密观测),精度有所提高,也多为千米量级。美国从 1986 年开始在 Parkfield 建立了高精度深井地震观测台网(HRSN),观测的震级下限为 -0.5,相对定位精度可达 10m,能够刻画地震集中区的尺度一般为 100 ~ 200m(Nadeau, et al., 1994)。高精度观测及微震活动图像研究已经开始,并渐成趋势。

## 2 在地震预测中应用的一些问题

在邢台地震以及其后的一些强震前,在震中及附近地区,人们确实发现诸多现象:如小震活动出现“密集-平静”特征、井水的诸种变化、动物行为反常等,并根据这些现象有过成功预测强余震或强震的例子。如成功预测了 1966 年 3 月 26 日发生在宁晋百尺口的 6.2 级强余震。1975 年 2 月辽宁海城发生了  $M_s$  7.3 地震,这被认为是一次较为成功的地震预报范例。在主震之前发生前震序列对准确给出临震预报起了直接作用。人们曾一度期望能从海城地震的前震序列中寻找地震预报的突破口。研究者们希望能从前震序列的活动特征、震源机制等方面找出区分前震和普通震群的可能判据(金严等, 1976; 陈颢, 1978; 许绍燮等, 1981)。不能辨别“前震”与其他震群的差异,就意味着无法解决“虚报”问题。

经历了成功和失败,目前人们对地震活动性与强震关系的认识是:地震活动图象是地壳应力场的一种反映,随着强震孕育过程中构造应力的变化,地震活动图象也必然发生相应的演变。因此,人们希望通过研究地震活动图象,探索强震发生前地震活动的演变规律,以达到“以震报震”或称“以小震报大震”的目的。人们一直希望寻找到能与强震发生一一对应的“前兆”,但到目前为止,还未找到。

如何正确看待和评价地震活动性研究及其在地震预测中的应用十分重要,否则容易导致两种极端,一种是“全盘否定”;另一种则是“守株待兔”。有 3 个问题可以探讨:

(1) 沿用“目视法”研究中小地震活动图像,必须谨慎。

大家都知道,地震学是观测的科学,倚重于观测,受制于资料。而观测是逐步扩展的,资料也是逐渐积累的。在研究中小地震活动之初,资料有限,可借鉴的成果和经验也非常有限。在那种情况下,沿用“目视法”是很自然的。在极其艰难的条件下,利用非常有限的资料,发现一些现象,总结出一些规律,提出一些方法,是极其难能可贵的。然而,随着观测的拓展,资料的积累,要求现象或方法具有“可重复性”,并接受进一步观测的检验,这也是观测科学发展的必然要求。如果继续沿用“目视法”,得出不可重复的现象或方法,很容易使我们陷入假象之中。

(2) 试图在中小地震活动与强震之间建立直接联系的想法,需要反思。

中小地震与强震都是地壳运动的某种表现形式,但中小地震活动比强震更具普遍性。

强震发生前,往往有中小地震活动,但反之并不成立,即中小地震活动之后并不一定紧接着有强震发生。通过中小地震活动图像,也许只能窥探地壳介质和运动形态的某些信息。

(3)应用于中长期地震预测,可以尝试。

从华北地区的情况看,大部分的中小地震密集与已经发生过的强震有关,但也确有其后发生强震的例子,尽管无法判断相隔的时间,但可作为中长期地震预测的地点加以重视。

### 3 回顾与展望

#### 3.1 地震活动性研究的 3 个阶段

根据地震活动性研究所依据的资料和研究结果,我们将其分为 3 个阶段。

(1)以强震为资料划分地震带。

这一阶段的研究主要以强震为资料,强震震中的定位精度一般为十几~百公里。所确定的地震带的空间尺度一般为几百~千公里,时间尺度一般为几十~几百年。地震带边界的确定存在人为因素。地震带所反映的往往是大的构造格架,如板块边界或板内大型断裂带。

(2)以中小地震为资料圈定地震密集区。

这一阶段的研究主要是以中小地震为资料,震级一般为 2~5 级( $M_L$ ),定位精度为几十公里。密集区的空间尺度一般为几~百公里,时间尺度为几个月~几年。地震密集区由定量方法确定。中小地震密集区主要反映的是局部地壳介质性状的相对差异。

(3)以高精度定位为目标的微震观测。

这是未来发展的一个趋势,地震震级应当至少拓展至 0 级,定位精度应为几十~百米。资料需要积累到一定程度,才能看清能够带给我们何种信息。

#### 3.2 努力方向

(1)充分利用现有地震观测台网记录资料,结合历史地震资料和岩石实验的成果,对局部地壳介质状态进行更深入详细的研究。

(2)继续探索地震活动时间变化特征及其物理意义。

(3)提高地震震源深度的确定精度,做分层的地震活动图像分析。因为强震发生的深度多位于地壳的中、下层,对所谓“易震层”的分析尤为重要。

(4)逐步开展我国的高精度观测,为下一阶段的研究积累资料。

#### 参考文献

- 陈 颢.1978.用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数.地球物理学报,21(2),142~159.
- 高阿甲,许忠淮,黄雨蕊.1998.华北地区地震震源机制的分区跟踪监测.地震地磁观测与研究,19(1A),56~61.
- 高阿甲.1999.1998 年华北地区地震震源机制.地震地磁观测与研究,20(1A),75~81.
- 高阿甲.2000.华北地区地震震源机制分析.地震地磁观测与研究,21(1A),53~59.
- 韩渭宾,席敦礼.1985.炉霍 7.9 级地震前兆性弱震空区的不同画法——研究前兆空区的不同思路.地震,6,16~19.
- 黄雨蕊,高阿甲,许忠淮.1997.地震震源机制的研究应用于地震预报的探索.地震地磁观测与研究,18(1),52~57.
- 金 严,赵 毅,陈 颢.1976.辽宁省海城地震前震源错动方式的一个特点.地球物理学报,19(3),156~164.
- 梅世蓉.1960.中国的地震活动性.地球物理学报,9(1),1~19.
- 时振梁,环文林,曹新玲,武宦英,刘耀斌,黄玮琼.1974.中国地震活动的某些特征.地球物理学报,17(1),1~13.

- 王 健,1994,复杂记忆概率预测模型,地震学报,16(4),533 ~ 537。
- 王 健,1999,地震活动性震级结构特征及其应用研究,中国地震局地球物理研究所博士论文,北京。
- 王 健,2001,地震活动性图象处理的网格点密集值计算方法,地震学报,23(3),262 ~ 267。
- 王 健、吴 宣,2003,中国大陆东部地区地震活动图像及其含义,地震地磁观测与研究,24(6),1 ~ 4。
- 王 健、吴 宣、张晓东,2004,1303 年山西洪洞 8 级地震高烈度区内地震活动特征及其物理意义,地震学报,26(4),347 ~ 354。
- 王泽皋,1985,大震区的“长期活动”,地震学报,7(3),254 ~ 266。
- 许绍燮、汪碧泉、章光月(M. L. Jones),1981,海城地震前震系列与震群——兼论前震系列在地震预报中的一种功能。地震学报,3(1),1 ~ 10。
- 许绍燮,1989,地震预报的地震活动前兆清理总结,地震监测与预报方法清理成果汇编,测震学分册,1 ~ 11,北京:地震出版社。
- Gutenberg B., Richter C. F., 1954. Seismicity of the earth and associated phenomena, 16 ~ 25. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Haimson, B. C., 1974. Mechanical behavior of rock under cyclic loading, in Advances in Rock Mechanics, vol. 2, p. 373 ~ 378, National Academy of Science, Washington, D. C. .
- Haimson, B. C., 1978. Effect of cyclic loading on rock, Rep. ASTM 654, 228 ~ 245, Am. Soc.
- Mogi, K., 1979. Two kinds of seismic gaps. Pageoph 117; 1172 ~ 1186.
- Nadeau, R and Antolik, M. 1994. Seismological Studies at Parkfield III: Microearthquake Clusters in the Study of Fault-Zone Dynamics. Bull. Seism. Soc. Am. 84, 2, 247 ~ 263.
- Raleigh, C. B., Healy, J., and Bredehoeft, J. 1976. An experiment in earthquake control at Rangely, Colorado. Science 191: 1230 ~ 1237.
- Sondergeld C. H., Estey L. H., 1981. Acoustic emission study of microfracturing during the cyclic loading of westerly granite. J. Geophys. Res., 86(B4): 2915 ~ 2924.

## Some Problems of Seismicity Research and Its Application in Earthquake Prediction

Wang Jian

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

**Key words:** Seismicity Earthquake belts Seismic density Earthquake prediction Crustal medium