

地震空区的物理意义和震源系统的无标度性

顾浩鼎¹⁾ 陈运泰²⁾

1) 沈阳 110031 辽宁省地震局

2) 北京 100081 国家地震局地球物理研究所

摘 要

根据旋转理论给出的弹性介质动力学关系,得到了破裂扩展的必要条件。在理论上解释了地震空区的物理意义。地震空区意味着震源区的应力集中震前是稳定的,同时它证明应力集中稳定与破裂尺度无关,从而证明震源系统满足由应力分布稳定所表示的无标度性。无标度性是利用重正化群方法研究空区危险性的必要前提。

关键词: 地震空区; 应力集中; 旋转理论; 重正化方法

引言

众所周知,研究震前地震活动是认识大地震发生过程的最重要的地震学课题之一。地震活动无非是通过一定空间范围和一定时间间隔内地震事件的频次变化,震级或能量变化,大小地震的比例关系和空间分布这样一些最基本的特征来描述。虽然,没有两次完全相同的地震活动几乎可以被作为地震学的一条公理,但是地震活动过程的复杂性至今仍未被深刻地理解。许多同义反复的地震活动性研究仍在经典地震学的观念下试图寻找可用于预测大地震发生的判据或准则。由于伴随大地震发生的地震活动过程本质上是非线性的自然过程,可以断言,经典意义下的上述判据和准则是不存在的。

通过地震活动演化理论(顾浩鼎,孙文福,1992)和地震活动多重分形研究(王安东,顾浩鼎,1995)我们正在逐渐接近对真实地震发生的非线性过程的认识。前者主要是研究地震活动的时间过程,后者则是研究地震活动增长过程的空间变化。说到地震活动的空间变化,由震中分布显示的地震空区是我们熟知的一种大地震的前兆性地震活动图像。不仅对于大地震,就是某些中强震前,也同样存在空区现象。所谓地震空区,无非是由地震震中分布给出一个相对低的地震活动性区域。既然地震空区作为一种著名的前兆现象被人们接受,地震学理应从理论上做出解释。对空区的一种定性的直观解释认为,低地震活动性的空区意味着孕震区具有较高的破裂强度而使其能积累较高的应变能。

本文从弹性介质的旋转理论出发,由弹性介质的动力学关系给出的破裂扩展必要条件,在理论上既讨论了地震空区的物理意义,也阐述了震源系统的无标度性,并进一步说明由非线性重正化群方法判断空区的状态以及与此有关的地震预报问题。

1 旋转理论简介

旋转是变形介质中伴随形变产生的一类独立的运动。长期以来,传统的连续介质力学和地震学都忽略了它在动力学过程中的重要作用。

传统的地震学是以位移理论为基础的。这一理论的本质是胡克定律加牛顿定律。旋转理论是通过速度矢量和旋转矢量来描述介质的运动状态。旋转理论最重要的两个理论结果是旋转矩定律和弹性介质动力学关系(顾浩鼎,陈运泰,1987;1988):

$$\mathbf{m} = \mu \boldsymbol{\Omega} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{K} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{v} = \frac{\partial \boldsymbol{\Omega}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\Omega} = 0 \quad (4)$$

$$\nabla \times \boldsymbol{\Omega} = -\frac{1}{\beta^2} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \frac{\gamma}{K} \nabla p + \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{m} \quad (5)$$

式中, $\mathbf{v}$ 和 $\boldsymbol{\Omega}$ 分别为速度矢量和旋转矢量(其实是一个反对称张量); $\mathbf{m}$ 为旋转矩; $p = \sigma_{ii}/3$ 为平均应力; ∇p 为应力集中; K 代表弹性介质的体积压缩模量; $\gamma = \alpha/\beta$, α 和 β 分别为由密度 ρ 和拉梅常数 λ, μ 定义的纵横波速度。

旋转矩定律(1)像胡克定律一样具有简明的物理定律形式。我们知道,任一形变梯度张量 u_{ij} 都可以包括对称的形变张量 u_{ij} 和反对称的旋转张量 ω_{ij} 两个部分。胡克定律只与对称的形变张量有关,而在传统的连续介质力学和地震学中,没有与反对称张量有关的物理定律。然而谁都不会否认,与此反对称张量有关的旋转运动是另一类与形变性质不同的运动。一种客观存在的运动却缺少相应的物理定律,既显得不可思议,又表明旧理论的不完美。现在,旋转矩定律恰好改正了旧理论的缺陷,关于变形介质的物理定律有两个,它们分别与形变和旋转两类不同性质的运动有关。

式(2)~(5)既描述弹性介质的形变,也描述了旋转运动。不难注意,包含在上述动力学关系中的场源不再是传统位移理论中的数学表示,而是真实的物理源:应力(变化率),应力集中 ∇p (如裂纹端部,断层上的凹凸体或障碍物等)和旋转矩集中 $\nabla \times \mathbf{m}$ (其实它具有力密度量纲,当沿断层面的剪切力偶矩分布不均匀时,这一物理源将对旋转物产生非零的贡献)。

2 破裂扩展的必要条件和地震空区的物理意义

由动力学关系,很容易得到场源 $\partial p/\partial t$ 和 ∇p 所满足的连续方程

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) - \nabla \cdot (\alpha^2 \nabla p) = 0 \quad (6)$$

应力变化率具有功率密度的量纲, 相当于产生速度场纵场的源密度, 它是做功本领的量度。 $-\alpha^2 \nabla p$ 具有流密度量纲。源密度和流密度满足连续方程形式, 表明它们之间的一种动力学过程中的守恒关系。注意到 ∇p 同时又是裂纹端点应力集中的量度。在连续介质中, 一种最普遍的源密度 $\partial p / \partial t$ 和流密度 $-\alpha^2 \nabla p$ 满足守恒关系的动力学过程应当是伴随裂纹端点移动的破裂扩展。设破裂速度为 v_f , 于是裂纹端点的运动速度与源密度之间应有如下关系:

$$\frac{\partial p}{\partial t} \cdot v_f = -\alpha^2 \nabla p \quad (7)$$

式(7)代表了弹性介质中破裂扩展的必要条件。破裂传播的动力学则可表示为:

$$v_f = \frac{-\alpha^2 \nabla p}{\frac{\partial p}{\partial t}} \quad (8)$$

根据式(8), 不难得出破裂传统的极值条件

$$\partial \nabla p / \partial t = 0 \quad (9)$$

式(9)告诉我们, 伴随破裂的大地震发生之前, 震源区介质处于准静态。它意味着, 介质的平均应力在震前可以增加或减小, 但是地震断层上的应力集中(或应力分布)是稳定的。因此, 式(9)代表了广泛存在的地震空区的物理意义。这样, 我们从理论上证明了地震空区这样一种地震活动图像并非人们虚构。空区无非说明地震围空区域内地震活动性相对很弱, 这一现象与式(9)所表明的应力集中的稳定性是一致的。因为从能量释放考虑, 一个有很高地震活动性的区域与稳定的应力集中是相冲突的。这里要说明的是, 根据式(9), 只要震源区的应力集中保证是稳定的, 那么空区“空”的含义是相对的, 决非没有任何小地震活动。事实上, 对于孕育一次7级地震甚或仅是5级、6级的中强震而言的震源区, 由于诸如2~3级的小地震释放的能量与未来强震或中强震相应的累积应变能比较相差甚巨, 不可能改变震源区应力场的分布。

3 地震空区的发展和非线性预测

地震空区作为一种前兆现象, 早已成为我国地震工作者从事中期预测的重要经验依据。当然, 其中要判别一个空区究竟是前兆性的地震空区, 还是一个原本就无危险的低地震活动性地区并非易事。根据上面的讨论, 我们可以说, 地震空区作为中期地震危险预测是有理论根据的。

接下来需要讨论的是如何判断地震空区的状态或危险性。人所共知, 一次大地震预报的成功与否最终取决于临震预报。临震预报归根结底与震源系统是否进入临界点状态有关。根据近代非线性物理学和地震活动演化理论(顾浩鼎, 孙文福, 1992), 我们已经初步认识了像大地震发生这样典型的非线性动力学过程, 特别是认识了震前地震活动处于临界点状态的一些重要特征。例如, 处于临界点状态的震源系统, 随机的地震事件可能导致涨落的自行扩大而最终产生突变, 系统行为的不可预测性(既可能表现为有丰富的前震, 也

可能有零星的前震,或许根本无任何前震)。

判断地震空区的状态,实际是通过围空地地震活动去判断震源系统的。由1982年诺贝尔物理奖获得者 Wilson 所发展的重正化群方法是判断处于临界点状态的物理系统发生突变行为的最有效途径。对于大地震发生这样的突变行为,这一方法同样也被证明是有意义的(杨毅,1990)。杨毅利用重正化理论给出了由围空地地震能量 E 与按空区面积估计的可能发生地震能量 E_0 之比的应变能累积临界值为 0.1872。当 $E/E_0 < 0.1872$, 空区尚无危险性,若 $E/E_0 > 0.1872$, 空区已面临发生较大地震的危险。

在这里需要指出的是,应用重正化群方法的前提是物理系统必须是无标度性的,或者说物理系统的性质与行为与尺度无关,即在标度变换下是不变的。震前震源区介质应力集中稳定的式(9),不仅从理论上解释了地震空区的物理意义,同时也证明了破裂扩展必要条件与破裂尺度无关。或者说,无论什么尺度的破裂,都满足式(9),于是证明了震源系统在震前确是满足由应力分布不变所表示的无标度性。

4 结论

我们从旋转理论的弹性介质动力学关系,给出了场源所满足的具有守恒定律形式的连续方程以及破裂扩展的必要条件。进而从理论上解释了地震空区的物理意义和震源系统的无标度性。这一重要推论再次说明传统地震学的位移理论不能很好地描述像破裂这样的典型动力学行为,反过来证明了旋转理论的生命力。应用重正化群方法对地震空区的危险性进行非线性预测完全不同于经典意义下的传统方法,它代表了地震预测的新方向。

参 考 文 献

- 顾浩鼎,陈运泰. 1987. 裂纹端部旋转与应力集中的相互作用. 东北地震研究, 3(1): 1~9
- 顾浩鼎,陈运泰. 1987. 旋转矩与地震矩. 东北地震研究, 3(2): 1~6
- 顾浩鼎,陈运泰. 1988. 旋转在地震学中的意义. 东北地震研究, 4(2): 1~9
- 顾浩鼎,孙文福. 1992. 地震活动的自组织和演化. 地球物理学报, 35(1): 25~36
- 王安东,顾浩鼎. 1996. 辽宁地区地震活动空间分布的多重分形. 地震学报, 18(1): 34~43
- 杨毅. 1990. 重正化群方法及空区危险性研究. 东北地震研究, 6(2): 11~24

PHYSICS OF SEISMIC GAP AND NONSCALETY OF FOCAL SYSTEM

Gu Haoding¹⁾ and Chen Yuntai²⁾

1) *Seismological Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110031, China*

2) *Institute of Geophysics, State Seismological Bureau Beijing 100081, China*

Abstract

Having obtained the necessary condition of rupture expanding based on the dynamic relationship of elastic medium in respect to the rotation theory, physical significance of seismic gap has been explained well in theory. Seismic gap means that the stress concentration of focal region is stable. Meanwhile, it proved that stabilization of stress concentration is independent of rupture scale, thus focal system satisfies nonscalety expressed by stable stress concentration. Nonscalety is essential prerequisite to apply the renormalization method to studying risk of seismic gap.

Key words: seismic gap, stress concentration, rotation theory, renormalization method

华东北部地区中强震的迁移特征

贺楚儒

(南京 210014 江苏省地震局)

摘 要

华东北部地区是现今中强震活跃区。郯庐断裂将该区分为东西两部分,东部地区中强震沿北东—南西向迁移,西部则沿北西—南东向迁移;西部5级多地震与东部6级多地震又呈北西—南东向对迁。全区中强震活动线可组成地震活动网络,中强震都发生在网络的节点附近。当一次中强震后,应力重新调整,再积累,到下一次地震发生,是沿节线迁移。研究该区中强震时空分布的迁移特征,以及由此组成的网络结构,对于该区中强震的预报和震中预报是很有意义的。

关键词: 华东北部;中强震;地震迁移;地震预报

引言

地震震中有规律的迁移现象,早就引起人们的兴趣并进行了诸多的研究。1968年茂木清夫在“地震活动的迁移”一文中,研究环太平洋地震带西支和亚洲大陆 $M_s \geq 8$ 的浅源地震迁移特征指出震中是从南往北迁移的。不少研究我国大陆强震迁移特征的文章指出我国大陆强震是以地震幕的形势从南往北迁移;在南北地震带,在不同的地震轮回中,出现南北—南的循环迁移,每个轮回的起始主体活动区都在云南;在其往北迁移中,还出现次一级的北东向迁移;华北地区在第三四地震活动期的各幕中, $M_s \geq 6$ 的地震有明显的西—东—西的迁移现象。对地震中期预报而言,单有不同幕的迁移或不同轮回的迁移是不够的。本文研究华东北部地区,在现今同一个活动幕中,即从本世纪70年代以来,单个中强地震的迁移特征,从中寻求可能存在的规律。这对该区的地震中期预报,特别是震中的预报是很有意义的。

1 研究区域及其现今的中强地震

华东地区发生过1668年的郯城8.5级巨大地震、1846年南黄海7级地震等强震,但主要的地震活动还是5~6级的中等强度地震。

华东地区的中强震在空间分布上是不均匀的。李起彤等(1990)在研究历史地震空间分布的基础上,将华东地区分为北南中三区。从历史地震看,中强震主要分布在鲁西南、淮河中游、大别山北缘、茅山和镇(江)杨(州)地区、太湖、杭州湾附近和南黄海海域,上述地区可以合称为北区。在泉州—南澳地震带和邵武—河源地震带也有一些中强地震,这些地区可以合称为南区。在南北区之间的浙南、闽北等地区几乎没有中强地震,而且小震也很

少。这段少震区可称为中区。现今中强震活动承袭了历史地震的活动情况，主要活跃在北区。本文主要是研究北区的中强震活动情况。

本世纪 70 年代北区进入现今地震活跃幕以来，共发生了 13 次 5~6 级地震，见表 1。

表 1 北区现今中强震简目

序号	年月日	$\phi_N(^{\circ})$	震 中	$\lambda_E(^{\circ})$	M_s	震中地名
1	1971-04-22	31.4		119.3	5.5	江苏溧阳
2	1975-09-02	32.9		121.7	5.3	南黄海朗家沙
3	1976-10-06	35.3		124.4	5.1	黄 海
4	1979-07-09	31.4		119.2	6.0	江苏溧阳
5	1984-05-21	32.4		121.6	6.2	南 黄 海
6	1987-02-17	33.6		120.5	5.1	江苏射阳
7	1990-02-10	31.5		120.0	5.1	江苏常熟-太仓
8	1992-01-23	35.2		121.1	5.3	黄 海
9	1994-07-26	34.9		124.6	5.3	黄 海
10	1996-11-09	31.7		123.1	6.1	南 黄 海
11	1979-03-02	33.2		117.4	5.0	安徽固镇
12	1983-11-07	35.2		115.2	5.9	山东菏泽
13	1995-09-20	35.0		118.0	5.2	山东苍山

2 研究区内中强震迁移特征分析

田建明等(1996)据历史上的中强震和 70 年代以来 $M_L \geq 2.0$ 地震的分布，描绘出江苏

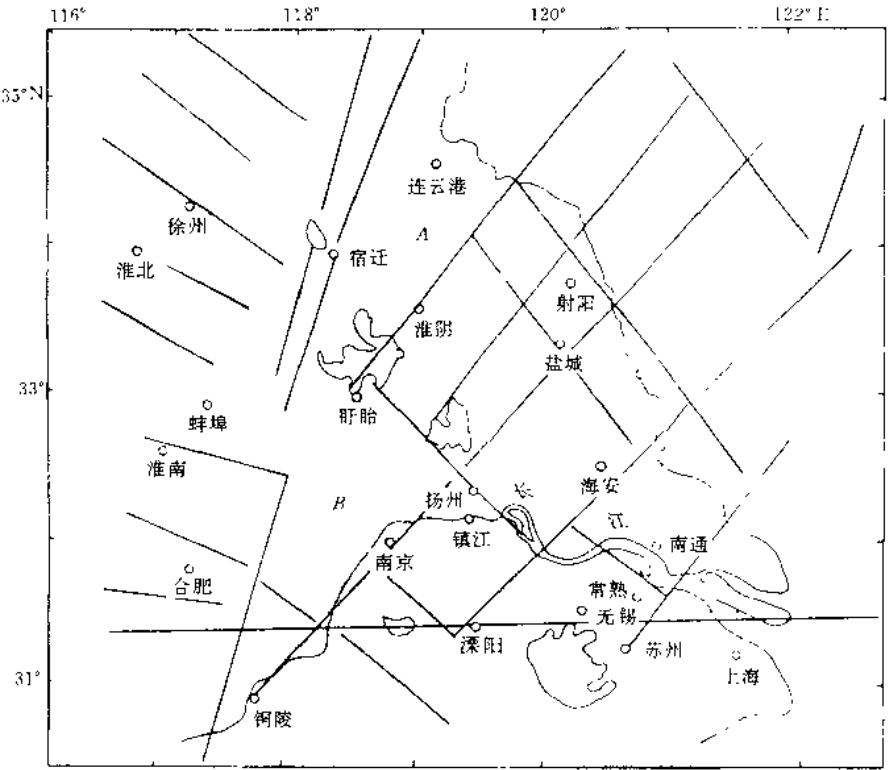


图 1 江苏地区地震构造线分布

及邻近地区的地震构造线分布见图 1。图 1 中的两个楔形区 A 和 B，紧靠郯庐断裂东侧，其间历史上没有发生过中强震，现今地震活动也很微弱。图 1 中北北东向的郯庐断裂将研究区分为东西两部分。现今地震活动表明东强西弱。表 1 中的 13 次地震有 10 次(表 1 中 1~10)发生在东部，西部仅发生 3 次；东部还发生了十几次 M_s 4.5 左右的有感地震，而西部仅发生了两次。现分别研究各部分内现今中强震的迁移特征。

2.1 东区地震迁移特征

东区似一北东走向的扇形地带，其南沿近东西向与郯庐断裂交于北纬 30° 、东经 118° 附近，并沿北东延伸至黄海海域。从 1974 年溧阳 M_s 5.5 的地震开始，接着迁移到 1975 年南黄海朗家沙 M_s 5.3 的地震，1976 年又迁移到黄海 M_s 5.3 的地震处。这 3 次地震近乎成直线从该区的西南角迁移到东北角，见图 2(a)。

1979 年溧阳又发生 6 级地震，随后又几乎沿同一线路迁至南黄海(1984 年南黄海 M_s 6.2 地震)，接着进行了小范围的次一级的南—北对迁，即 1987 年射阳 M_s 5.1、1990 年常熟—太仓 M_s 5.1 和 1992 年该区北沿的 M_s 5.3，而后又于 1994 年迁至该区的东北角(M_s 5.3，见图 2(b)。

这两组迁移的起点和终点都相同。这种迁移方向与我国大陆强震迁移方向、乃至西太平洋和亚洲大陆 8 级大震的迁移方向是雷同的，起始都在南部，终止于北部。1996 年该区东南角又发生 M_s 6.1 地震，据上述迁移特征，以后中强震往北或北东迁移的可能性最大。

2.2 西区的地震迁移

西区的 3 次中强震(表 1 中序号 11~13)的迁移方向与东区的迁移线路垂直，即沿北西—南东向迁移，见图 2(c)。

2.3 东西两区的相关迁移

正如田建明等(1996)所指出的那样，尽管郯庐断裂将本区分为东西两部分，但近期地震活动表明，以长期存在的郯庐断裂带为根据划定的地震带已经解体，至少是在本文研究区内的控制作用已大为削弱，使得东西两部分中强震活动具有明显的相关性。具体表现为东区 3 次 6 级地震之前，先在西区发生 1 次 5 级多地震，并沿北西—南东方向迁移至东区，见表 2 和图 2(d)。

表 2 东西区中强震的相关迁移

次序	西 区	东 区	间隔
1	1979-03-02 安徽固镇 M_s 5.0	1979-07-09 江苏溧阳 M_s 6.0	5 个月
2	1983-11-07 山东菏泽 M_s 5.9	1984-05-21 南 黄 海 M_s 6.2	7 个月
3	1995-09-20 山东苍山 M_s 5.2	1996-11-09 南 黄 海 M_s 6.1	14 个月

3 研究区内中强震活动的网络

根据丁国瑜等提出的区域构造网络分布概念，该研究区内的地震活动同样具有明显的带状网络分布特征。东区有两条横贯全区的北东向地震带状线，另有两条横贯东西两区的北西向带状线，还有一条小规模西区北东向带状线。它们交叉成网络状，构造了本区的地震活动网络(图 3)；其南界在北纬 31.5° 附近，田建明等(1996)研究表明这是一条近东西向的地震线；北界在北纬 35° 附近，它是本区现今中强震活动的北沿。上述北东和北西

两条近乎垂直的带状线，与刘蒲雄(1988)研究大华北地震空间分布所描述的本区地震带走向完全一致；从刘蒲雄给出的 1970~1985 年华北及其邻近地区震中分布图($M_c \geq 3.0$)上可以看出，在北纬 35° 附近的東西走向地震活动带更为明显，这说明本文研究所定的北界

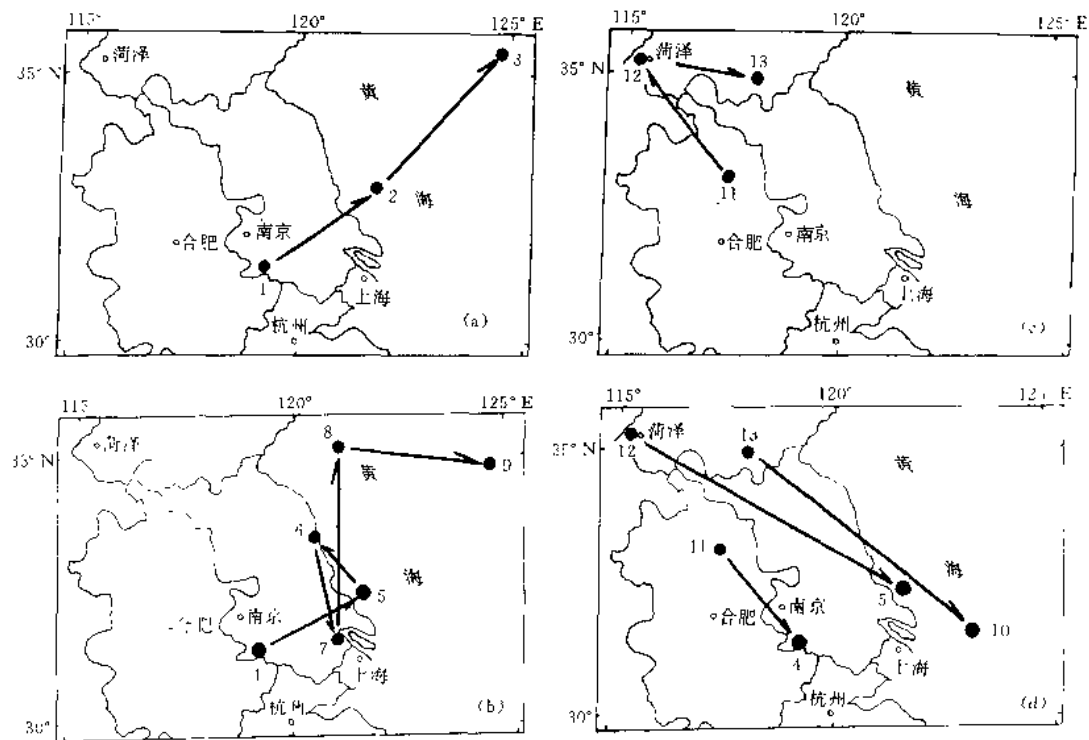


图 2 研究区内中强震的迁移线路

(a)东区 1974~1976 年；(b)东区 1979~1994 年；(c)西区 1979~1995 年；(d)东西两区的相关迁移

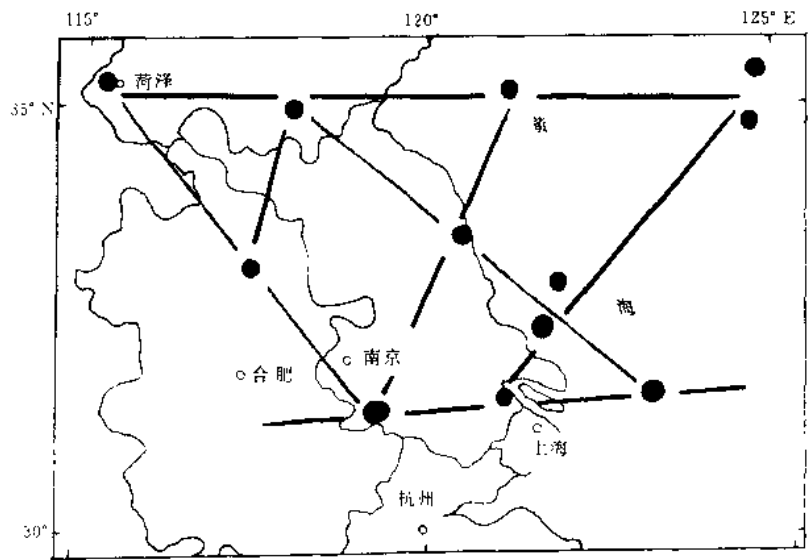


图 3 研究区内的地震活动网络

为近东西向是符合实际情况的。本区近 20 多年来所发生的 13 次 5~6 级中强震都位于图 3 网络的节点附近。

4 结语

(1) 华东地区北部的中强震活动有北东、北西两条迁移路线：北部东区呈北东向迁移，这种迁移特征对于预报未来一次中强震的震中位置是很有意义的；西区呈北西向迁移；东区 3 次 6 级多地震前每次都在西区先发生 1 次 5 级多地震，然后沿北西—南东向迁移至东区发生 6 级多地震；时间间隔为 4~14 个月，这对于东区 6 级多地震的中期预报和震中预报是很有意义的。

(2) 由北东、北西、东西地震活动带状线组成了本区中强震活动带状网络分布，近期 13 次中强震都发生在网络的节点附近，这对于进一步缩小震中位置的预报很有作用。

(3) 林邦慧等(1982)将 1979 年溧阳 6 级地震、1983 年菏泽 5.9 级地震与同期发生的林县、介休、五原等中强震统称为北西带地震活动，都归于唐山大地震后应力调整中的次一级活动。但从 1984 年起，林县—介休—五原的北西带处于平静的状态下，在本区却又连续发生了 7 次 5~6 级中强震，其中有 2 次 6 级多地震(表 1)，这表明溧阳、五原北西地震带是否存在是值得怀疑的，也很难都将其归于唐山大地震的后效。正如傅承义教授等(1985)所指出的，即使一个大地震可以改变局部地区的应力分布，但很难想象它可以改变区域性的应力状态。本研究区内地震活动表明，即使受到华北强震的诱发，但有它自身活动的特征，其迁移路线和网络结构都是与其局部和构造力源密切相关的。

由图 1 的地震构造线可以看出本区的北东、北西走向两组构造线大体成 $\pi/2$ 相交，与本文所描述的图 3 构造网络是一致的。汪素云等研究本区的地震构造应力场为北东东向，为北东、北西两组地震活动构造线成 $\pi/4$ 和 $3\pi/4$ 的夹角；在其交点上，两组断裂的应力聚集的概率是相同的。在这样一种状态条件下，产生了本区地震活动有规律的迁移。当然，其力源作用过程是十分复杂的，值得深入研究。

参 考 文 献

- 陈荣华. 1989. 华北地区地震活动性主体地区的迁移. 地震, (4): 38~43
傅承义, 陈运泰, 祁贵仲. 1985. 地球物理学基础. 北京: 科学出版社, 258
李起彤等. 1990. 华东地区中强震构造背景和地质标志的研究. 见: 地震科学联合基金会资助课题成果汇编(1985~1989). 北京: 地震出版社.
林邦慧等. 1982. 溧阳—介休—五原北西地震带强震的破裂特征. 地震学报, (4): 116~126
刘藩雄. 1988. 溧阳、邢台、菏泽、南黄海地震的相互关系. 地震学报, 10(3): 236~245
马宗晋等. 1992. 1966~1976 中国九大地震. 北京: 地震出版社
田建明, 谢华章. 1996. 江苏地区地震活动性图像的构造解释. 地震地质, 18(3): 251~257
张国民. 1987. 中国大陆强震活动韵律性特征. 地震地质, 9(2)
张志理. 1989. 本世纪来中国大陆 $M_s \geq 7.0$ 地震的轮回性探讨. 地震, (4): 44~51

MIGRATION CHARACTERISTIC OF MEDIUM-STRONG EARTHQUAKES IN NORTHERN EAST CHINA

He Churu

(*Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

Abstract

The northern part of East China is presently a medium-strong earthquake active region. The Tanlu fault divided the region into the east and the west parts. In the east part, medium strong earthquakes migrated along NE-SW direction, whilst in the west part, they migrated along NW-SE direction. Earthquakes with $M > 5$ in the west and those with $M > 6$ in the east occurred alternatively along the NW-SE direction. Medium-strong earthquakes in the whole region occurred along lines forming a network of seismic activity. All such earthquakes occurred around the points of intersection of these lines. After a medium-strong earthquake, readjustment and reaccumulation of stress occurred along the nodal lines. Investigation of the migration characteristic of temporal-spatial distribution of medium-strong earthquakes in this region and the network thus formed is significant in medium-strong earthquake prediction.

Key words: northern east China, medium strong earthquake, earthquake migration, earthquake prediction

“库渗穴”在地震预报中的意义

郭增建

(兰州 730000 国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

水库蓄水后地壳介质变弱，因之成为“库渗穴”。当下岩石圈剪切蠕滑线从水库所在地区下方通过时可牵动水库区而发生小震群或引起其他异常，后蠕滑线触发附近别处强震，故水库成了“穴位”，蠕滑线成了“经络”。用“库渗穴”理论曾对 1994 年北部湾 6.1 级地震和 1996 年上海东边海中的 6.1 级地震作过预报。

关键词：强震；库渗穴；蠕滑线

前言

“库渗穴”是我们在 1989 年提出的地震前兆穴位之一(郭增建等, 1989)。由于水库蓄水后地壳介质变弱，所以，地壳内如有应力加强或深部有运动向上牵动，则水库地区就会有小震活动(不是刚蓄水时的水库诱发地震)或其他前兆显示。按照立交横式的理论，在下岩石圈中有剪切蠕滑线通过水库下方时，它牵动水库地区的地壳会表现出小震活动或前兆显示。然后此剪切蠕滑线传播到附近别的地区可触发强震，这就是水库区活动与这个强震的联系。因之把水库视为“穴位”，把深部剪切蠕滑线视为“经络”，强震为所预报的对象。本文拟对由“库渗穴”预报强地震的问题作些讨论。

1 由“库渗穴”预报地震的几何作图

根据郭增建等(1991)的研究，如果发现某水库区有小震群突然活动，或是有其他手段的异常显示，则以区域主压应力方向通过库区作一条直线称为主压应力线，如图 1 中的实线所示。然后引出两条与这个主压力线成 45° 角的直线称剪切蠕滑线，如图 1 中的虚线所示。

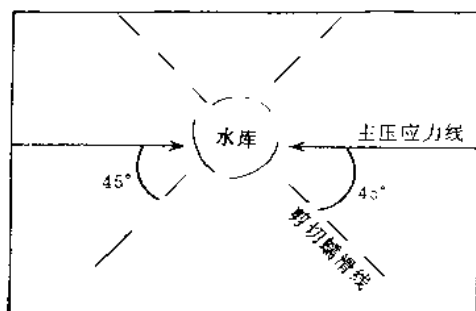


图 1 由“库渗穴”预报强地震图

按照立交横式中剪切蠕滑线的理论，未来的强震就在此蠕滑线上。但到底在何处，则需要其他的手段判断。这些手段是：

- (1) 在蠕滑线上某段有前兆显示；
- (2) 在蠕滑线上有小震围成的空区；

(3) 近期别处震中迁移可能达至蠕滑线的地区；

(4) 有地震带与某蠕滑线相交汇。

以上 4 点与“库渗穴”相配合则可对未来强震作出位置判断。

2 预报实例

1994 年我们在中国地球物理学会天灾预测会 3 月出版的《天灾预测意见汇编》中曾按“库渗穴”与震中迁移两个指标较成功地预报了雷州半岛附近的 5~6 级地震，实际发生的地震在雷州半岛西南角海中震级为 6.1 级和 6.2 级，国内同行们称“北部湾地震”。现将具体情况介绍如下。

2.1 广西大化水库“库渗穴”

1993 年广西大化水库发生地震群，最大地震震级接近 5 级。根据这个地区的区域主压应力方向为近 SN 向(林纪曾等, 1980)，我们可作出两条剪切蠕滑线，其中北西一条如图 2 中的双虚线所示。之所以只画这一条是因为福建地区发生破坏性地震后，地震活动要向雷州半岛附近迁移，两者有个交汇地区在大化水库东南，如图 2 所示。关于福建作为震中迁移始发区的情况是：历史上多次出现迁移，1992 年在福建地区已有两次破坏性地震活动(图 2 中黑圆点所示)，估计下一步要向雷州半岛附近迁移。因之我们在 1994 年 3 月曾预测 1994 年在雷州半岛附近可能有 5~6 级地震发生(见 1994 年 3 月由翁文波院士审定的 1994 年天灾预测意见汇编，此汇编当时曾上报中国科协并向天灾预测会有关人员散发)。结果于 1994 年 12 月 31 日在雷州半岛西南角海中发生 6.1 级地震，1995 年 1 月 10 日在同一地区又发生 6.2 级地震。我们发布这个预报时，1994 年 9 月 16 日台湾海峡的 7.3 级地震还未发生。事实上，这个 7.3 级大震才是福建地区向雷州半岛附近形成震中迁移的主要信号。

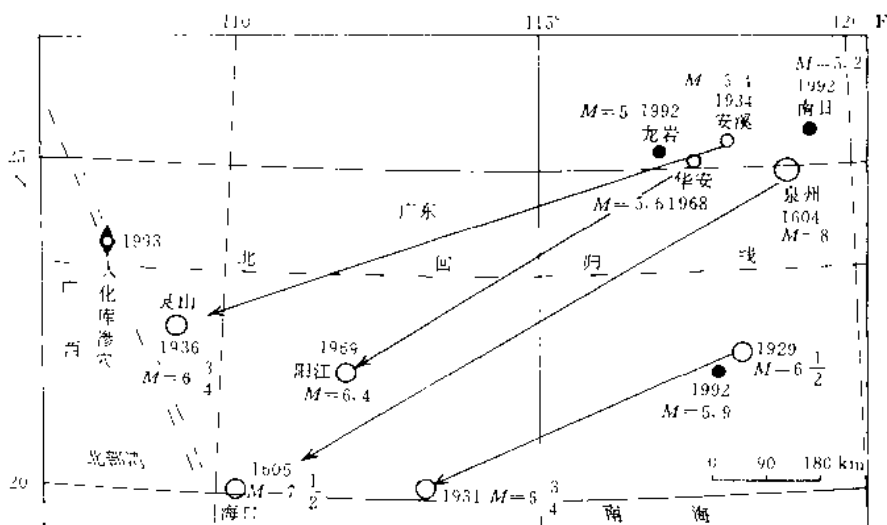


图 2 1994 年雷州半岛附近将发生 5~6 级地震的预测

震中迁移：时间间隔 1~2 年；“库渗穴”：时间间隔 1~2 年；==：推测的深部蠕滑线；

(○) 形成迁移的历史地震；● 1992 年发生的欲向雷州半岛附近迁移的地震

2.2 浙江皎口水库“库渗穴”

根据浙江省地震局1995年编写的《浙江省1996年度地震趋势研究报告》称1993年2月26日鄞县皎口发生 $M_L 3.9$ 的地震群, 1994年9月7日在皎口又发生 $M_L 4.7$ 地震。1995年在皎口发生了65次 $M_L \geq 1.0$ 的余震。

由于这个水库是蓄水后好长时间后才发生震群的, 所以, 我们认为这是“库渗穴”的活动, 即下岩石圈剪切蠕滑线从该水库所在的地区下方通过时牵动水库地区而发生震群。因之我们由此可推求在水库附近的剪切蠕滑线上某处可能有强震发生。其作图如下:

(1) 江浙地区区域主压应力为近 EW 向, 故通过皎口水库作近 EW 向主压应力方向线:

(2) 取与主压应力方向成 45° 角作两条剪切蠕滑线;

(3) 寻找这两条剪切蠕滑线与那些可能发震条件相交切, 发现与 EW 向地震带相交切。相切共得两点, 一点在上海西边溧阳附近, 一点在上海之东的海洋中。1996年11月9日 $M = 6.1$ 的地震就发生在这后一个交切的位置(图3中的黑圆点)。图3中空心圆圈是1900年以来的6级和6级以上地震的位置。它们形成了一个南北带和一个东西带。对于上述皎口水库作为“库渗穴”的预报指标曾参与了中国地球物理学会天灾预测专业委员会1995年在南京开会时所作的关于南黄海和附近陆区1995~1996年有发生5~6级地震可能的预报意见。这一意见南京会议后即以书面形式上报中国科协, 并散发给天灾预测专业委员会有关人员。

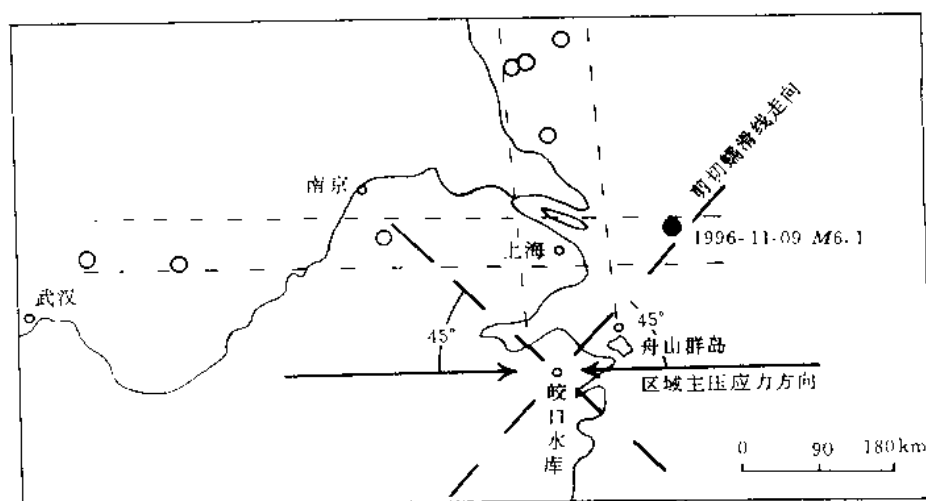


图3 由浙江皎口水库穴位推求南黄海6.1级地震

3 讨论

根据福建省地震局于1995年编写的《1996年闽台地区地震趋势研究报告》称古田附近的水口水库是从1993年5月23日有小震剧烈活动起来的。将其与浙江皎口水库的小震活动对比, 发现其时间比较接近, 即浙江皎口水库是在1993年2月26日开始明显活动起来的。如果它们是地下深部同一剪切蠕滑线所触发, 则如图4所示。

的。如果它们是地下深部同一剪切蠕滑线所触发,则如图4所示。

在图4中,连接水口水库和皎口水库的直线(与近EW向主压力方向成 45° 的角)则大致通向1996年11月9日上海东边海中的6.1级地震震中区。

我们还要讨论的是在1996年11月9日上海东边海中6.1级地震前,人们是不知上海以东的海中属强震活动区的。因为无那里强震活动的任何资料。对这一问题,我们在1992年地震出版社出版的《未来灾害学》一书中曾用剪切蠕滑线理论讨论过(郭增建等,1992),认为这个区域可能属有强震活动的区域。其主要论据是对1505年 $6\frac{3}{4}$ 级地震可能位置的限定。

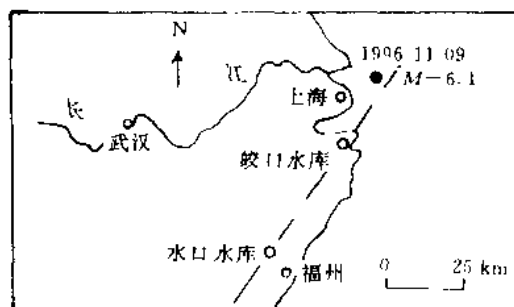


图4 福建水口水库与浙江皎口水库的连线

1505年 $6\frac{3}{4}$ 级地震在海中的位置一直定不下,不同的作者所估计的震中位置相差很大。这是因为人们对该震在陆地上所波及部分的理解不同,因之由波及部分还原到震中所得的位置也不同。对此我们在1991年曾用立交模式中的剪切滑移线观点来帮助判断。即1502年在山东郯城,有一个 $6\frac{1}{2}$ 级地震发生,海中的1505年 $6\frac{3}{4}$ 级地震与其时间接近,故可认为它们是下岩石圈中的剪切蠕滑线所触发上

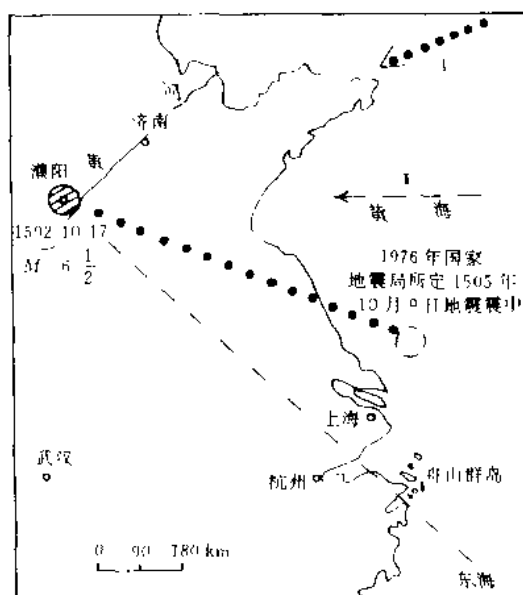


图5 按照深部剪切蠕滑线所推求的1505年 $6\frac{3}{4}$ 级地震的震中位置

岩石圈中的地震遂形成长距离、直线式和越过不同地质构造单元的震中迁移。这个震中迁移线与区域主压应力方向成 45° 的夹角。据此,我们可由现今知道的在中国华东地区的主压应力方向来判断1505年地震可能在哪一条线所通过的位置上。如图5所示,点线箭头和虚线箭头为可能的主压应力方向。如果实际的主压应力方向为点线箭头I所示,则1505年10月9日黄海 $6\frac{3}{4}$ 级地震的震中位置为1976年国家地震局所定位置。如果实际的主压应力方向为虚线箭头II所示,则实际的震中应在虚线所通过的海域。尽管实际的主压应力方向和其相应的剪切蠕滑线尚不能准确确定,但可以说其相应的震中在南黄海至舟山群岛的海域范围内。

根据上述分析,对上海和杭州的地震烈度不能定得太低,上海不能低于Ⅲ度,杭州不能低于Ⅵ度,甚至还要提高一些。这是1992年《未来灾害学》一书中的结论。由这个讨论可知,1996年11月9日上海东边海中的

6.1 级地震,其位置由原来已知的南黄海 6 级以上地震分布区向东南移动了约 200 km,即向过去不知有 6 级以上地震发生的海域迁移了,这说明以上《未来灾害学》中的讨论是有一定意义的。

参 考 文 献

- 郭增建,秦保燕,1989,灾害物理学,西安:陕西科学技术出版社
郭增建,秦保燕,1991,地震成因与地震预报,北京:地震出版社
郭增建,秦保燕,李革平,1992,未来灾害学,北京:地震出版社
林纪曾等,1980,东南沿海地区的震源机制与构造应力场,地震学报,(3)

THE SIGNIFICANCE OF RESERVOIR PERMEATION ACUPOINT RESEARCH IN EARTHQUAKE PREDICTION

Guo Zengjian

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau, Lanzhou 730000, China)

Abstract

The crust media become weak after storing water in the reservoir which forms "reservoir permeation acupoint". When the shear creeping slip lines in the lower lithosphere pass through the region under it, the reservoir region is affected, this causes the occurring of small earthquake swarms or other anomalies. Then the creeping slip lines trigger the occurrence of strong earthquakes in other nearby places. Thus, the reservoir becomes the "acupoint" and the creeping slip lines become the "channels". The theory of reservoir permeation acupoint was used in the prediction of the Beibuwan $M=6.1$ earthquake of 1994 and the Shanghai $M=6.1$ earthquake of 1996 in the East Sea.

Key words: strong earthquake, reservoir permeation acupoint, creeping slip line

地震前兆“穴位”

姜秀娥

(北京 100036 国家地震局分析预报中心)

摘 要

文中介绍了利用地震学所研究的地震结构网络与“穴位”进行地震监测预报这种整体思维的方法。这是地震学通向整体化研究的重要课题。来源于我国古代整体观。

关键词: 地震前兆; 穴位; 思维方法

引言

有关本文的部分观点从六七十年代开始萌芽,谢毓寿先生虽然不是我的直接指导老师,但在事业共处的几十年内,他的敏捷的思维能力、不一般的记忆力、加上流利的外语表达才能,对我们有着潜移默化的影响。正值谢先生八十寿辰,以此文表示谢意,感谢老一代科学家严谨的教诲。

在自然科学方面,被涉及的“穴位”,大体有以下几方面:①地学方面有地震前兆“穴位”、构造“穴位”(如构造交汇穴、玄武岩喷发穴)等;②环境因子方面如太阳黑子活动,海流分岔等“穴位”。

地震前兆“穴位”是指一次强地震前,与强震有通道关系的地区(带)。地震前兆“穴位”是地球“穴位”的一种形式,“天地之大德曰生”,是指大地亦有生命,这已被现代地球动力学所证明,地震学所研究的地震结构网络与穴位,就是大地生命特征的标志,这是地学通向整体化研究的重要课题。这种整体思维方法,来源于我国古代整体观。

1 地震预测步入整体观研究

60年代前的地震成因说,在西方传统科学的影响下,是将震源孕育过程简单地模拟为点源来进行研究的,人们将注意力集中在震源区能量的累积、释放过程及机理解释,形成了断层说、岩浆冲动说、相变说等。然而,震源孕育过程是一个与环境进行物质、能量、信息交换和反馈的开放的复杂系统,从而使地震预测陷入一条狭窄的不可知的死胡同。60年代至70年代,中国地震活动进入第四个高潮幕,大量的强震观测事实表明,震源孕育过程存在场与源的关系,从弹性波理论出发,强调了源的主导与制约作用,并强调了单个震源的影响。随之,在中国华北平原上出现一系列强烈地震,在这不同寻常的实践中,使地震