

大陆多震层研究

国际大陆多震层学术讨论会选集

马宗晋 主编

地震出版社

大陆多震层研究

——国际大陆多震层学术讨论会选集

主 编：马宗晋

副主编：刘国栋 刘若新

马宝林 张家声

地 震 出 版 社

1 9 9 2

(京)新登字095号

内 容 提 要

大陆地壳大约 10—20km 的深度范围内,地震震源呈优势集中形成一个层次,被称之为“大陆多震层”。目前,大陆多震层已成为世界各国地震科技工作者十分重视的研究对象,并获得了许多研究成果。本书选编了国际大陆多震层学术讨论会的40篇论文。这些文章的作者从不同的角度以不同的手段、方法,广泛深入地探讨了大陆多震层的成因、性质和特征。本书可供地球物理、地震、地质科技工作者和有关院校师生参考。

大陆多震层研究

——国际大陆多震层学术讨论会选集

主编 马宗晋

副主编 刘国栋 刘若新
马宝林 张家声

责任编辑 李洪水

责任校对 王花芝

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 26.75印张 680千字

1992年12月第一版 1992年12月第一次印刷

印数 001—400

ISBN 7-5028-0749-7/P·485

(1142) 定价: 17.00元

前 言

1989年4月26日至30日由国家地震局地质研究所主办,在北京召开了一次小型的由多学科的专家参加的大陆多震层国际讨论会,交流和讨论了大陆多震层的性质和特征。

“大陆多震层”指的是大陆地壳内地震震源呈优势集中的一个“层次”,一般在地壳的中、上部,其深度大约为10—20km。绝大多数 $M \geq 6$ 级的强震发生在这个深度范围内,亚洲、欧洲等大陆地震广布的地区普遍存在这一现象。在“大陆多震层”研究方面,已作了大量有益的工作:

第一是多震层的观测验证工作。通过高密度、高精度的近场台网和震源定位程序所给出的震源资料,验证多震层的普遍性。中国近年在几个大震区,美国在加利福尼亚州,日本在本州,苏联在中亚所进行的工作都给出了同样的结果。

第二是大陆地壳热力学剖面的实验理论工作。大陆剖面温压组合的岩石实验结果和理论计算结果共同指明陆壳中、上部存在一个温压适中的介质高强度带,这个带可能是陆壳应变能的高值带。

第三是陆壳岩石学剖面的研究。华北多震区陆壳地质剖面的岩石学研究,证实壳内震源层位于曾受强烈剪切和上侵的岩相结构区。上侵的变质岩相层均属角闪岩相和麻粒岩相。主要岩石的结构相对于其以上的层位和中、下部的变质岩相层的岩石结构都更易于表现弹性行为。

第四是中、上地壳地球物理环境的研究。地震测深、大地电磁测深和热流值剖面的推算结果表明,在华北的主要地震带和近10个大震区,发现当地的震源深度层之下存在着低速层与高导层,甚至呈局部增厚的低速体。这可以作为促使其上部岩石层易于表现弹性断错的底部边界条件。航磁资料的初步研究结果表明,多震层可能与陆壳内的一个厚10km左右磁层的埋深范围有关。

第五是古震源的研究,从断裂快速运动所产生的遗迹来认识震源区的应力积累和释放过程。

以上五大方面都是围绕证明、描述和理解“多震层”的特征和力学行为的基础工作,现有的结果是相互配合,令人鼓舞的,但目前的工作区域还很局限,实验工作也还处于一般论证的阶段,还有待扩展和深化。

应用多震层概念的实用性研究已开展很久了。例如划定多震层内地震构造线,从而研究地震构造线的区域性特征、区域构造格架及建立相应的地震构造应力场与动力作用方式。把多震层视为陆壳内的“蕴能层”,视为陆壳组合中的“能干层”,陆壳动力学行为中的“信息层”,动力传递的“中介层”,展开全面的力学思考。把多震层作为一个相对独立的层单元,研究地震的场关系,震级的依据,地震迁移的规律,以及前兆场的构造力学基础和预报地震的方法、程序和理论。

这次多震层的讨论会虽然规模很小,参加的国家 and 地区也不多,但它却是全面涉及上述

五大方面工作的第一次综合研究的会议，本文集是它的一个记录，希望它能成为推动“多震层”研究的激浪之石。

本书由马宗晋主编，刘国栋、刘若新、马宝林和张家声任副主编，吴裕文编辑。图件由张淑年、董兆匀、赵芹和赵东芝清绘，黄道弘、潘林声和华淑玉完成植字任务，组稿过程中，刘慧敏付出了艰辛的劳动，在此一并致谢。

目 录

大陆多震层的研究与震源体的破裂发展·····	马宗晋等(1)
北爱琴海地区地震构造综述(英文)·····	帕夫力德斯(9)
1986年11月山西省运城震群活动及其构造活动含义·····	傅征祥(28)
亚洲东部地区震源深度分布特点及其构造含义·····	汪良谋等(33)
青藏高原的地震活动与壳内多震层·····	郑剑东(44)
华北盆地的断层特征与地壳多震层·····	高祥林(52)
地块运动、地震分布与多震层的不均匀性·····	洪汉净(62)
从大地震的天文周期论多震层·····	杜品仁(71)
中国和日本大陆地震活动性的模糊自相似与模糊分维研究·····	冯德益等(78)
华北地震区地震空间分布与震源层构造特征·····	王晓青等(91)
孕震层结构和物性·····	刘国栋(100)
辽南地区的深部构造异常与海城7.3级地震·····	卢造勋(110)
中国西北某些地区多震层的电性特征和热力学环境·····	林长佑(121)
华北地震区强震深部结构与发震机制·····	刘昌銓等(132)
中原地区地震活动的深部构造与地壳磁结构特征·····	战传富(142)
青藏高原隆起的原因及应力场特点·····	陈家超(154)
地壳中流体临界温度的重要作用——论“多震层”的成因及大震前兆·····	荣代潞(167)
中国冀东壳内低速层的重力不稳定性与地震·····	吴宗絮(173)
南北地震带北段深部构造与均衡异常·····	梁桂培等(183)
大陆板块内部变形的多层构造模型·····	王绳祖(191)
大陆多震层应力场·····	宋惠珍等(204)
中亚地震活动性和地壳应力场·····	戈澍谟等(216)
区域应力场方向的微动态变化及其研究意义·····	周翠英等(230)
华北中地壳某些岩石-构造特征综述·····	刘若新等(240)
中国东部新生代上地幔深部作用与地震·····	邓晋福等(249)
中下扬子区叠层倾滑系统及其地震地质意义·····	孙 岩等(257)
华北大块地震多震层的构造和性质·····	邵学钟等(268)
多震层多震的若干岩石力学因素·····	张 流(277)
中国华北岩石圈断面中主要岩石高温高压下的物理力学性质·····	高 平等(292)
华北板块北缘堆叠构造带及其地壳结构与地震·····	阎 红等(304)
华北平原裂陷盆地区多震层的一个重要的构造特征·····	徐 杰等(315)
中国天水地震区深部地壳结构·····	李清河等(329)
多震层次断层的判别标志·····	杨主思等(346)

化石地震及地震成因讨论·····	张家声(354)
角闪岩变形实验和多震层·····	顾芷娟等(365)
地震断裂带断层岩中石英形变微结构的超高压电镜(HVEM)研究·····	林卓然等(373)
发震构造的一种新型式——转换破裂型·····	魏柏林(381)
地壳岩石中长石变形序列与孕震过程的实验研究·····	赵阿兴等(391)
华北地壳结构与震源深度的关系·····	刘汝才(402)
地震力源新探兼论地震成因问题·····	张家志(408)

Contents

Studies on the continental seismogenic layer and rupture extending of the source	Ma Zongjin et al. (1)
North Aegean seismotectonics, an overview	Spyros Pavlides(9)
The earthquake swarm (Nov. 1986, Yuncheng, Shanxi), and its tectonic implication	Fu Zhengxiang(28)
Characteristics of focal depths in Eastern Asia and their tectonic implications	Wang Liangmou et al. (33)
Seismicity and seismogenic layer of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau	Zheng Jiandong(44)
Characteristics of faults and the crustal seismogenic layer in the North China Basin.....	Gao Xianglin(52)
Crustal blocks, earthquake distribution and heterogeneity of seismogenic layer.....	Hong Hanjing(62)
Seismogenic layer and astronomic periodicities of large earthquakes	Du Pinren(71)
A study on fuzzy self-similarity and fuzzy fractal dimension of continental seismicity in China and Japan.....	Feng Deyi et al. (78)
The characteristics of spatial distribution and seismotectonics of seismogenic layer in North China.....	Wang Xiaoqing et al. (91)
The structure and physical parameters of seismogenic layer.....	Liu Guodong(100)
Deep geophysical anomalies and Haicheng earthquake of 1975.....	Lu Zaoxun(110)
The electrical character and thermodynamic circumstance of the seismogenic layer in some regions of Northwestern China.....	Lin Changyou(121)
Deep structural characteristics of the North China seismic region	Liu Changquan et al. (132)
Study of deep structure characteristics of Central China using aeromagnetic data.....	Zhan Chuanfu(142)
Origin and characteristics of the tectonic stress field in Qinghai-Tibet Plateau	Chen Jiachao(154)
The important effect of crustal temperature of fluid in the crust —a discussion on the formation cause of seismogenic layer and precursor just before great earthquakes.....	Rong Dailu(167)
Gravitational instability of crustal low-velocity layer and earthquakes in	

eastern Hebei, China	Wu Zongxu(173)
The deep structure and isostatic anomaly of the north segment in North-South Seismic Belt	Liang Guipei et al.(183)
A multi-layer tectonic model for interior deformation of continental plate	Wang Shengzu(191)
Analysis of stress field in continental seismogenic layer.....	Song Huizhen(204)
The seismicity and crustal stress field in Central Asia.....	Ge Shumo et al.(216)
Micro-variation of stress field and its research implications	Zhou Cuiying et al.(230)
Review on some petrology and structures of intermediate crustal rocks in North China.....	Liu Ruoxin et al.(240)
Cenozoic upper-mantle deep processes and earthquakes in eastern China	Deng Jinfu et al.(249)
On the dip-slip systems with super incumbent-beds and their seismo-geological significance in the middle-lower Yangzi area.....	Sun Yan et al.(257)
The structures and properties of the continental seismogenic layer in North China.....	Shao Xuezhong et al.(268)
Some rock mechanical aspects of earthquake concentration in the seismogenic layer.....	Zhang Liu(277)
Some physical and mechanical properties of main rocks of lithologic section in eastern China	Gao Ping et al.(292)
The stacking belt and its crustal structure related to earthquakes of North China.....	Ma Baolin et al.(304)
An important structural feature of seismogenic layer in the rift basin of North China Plain	Xu Jie et al.(315)
The deep crustal structure of Tianshui seismic area, China	Li Qinghe et al.(329)
Indicators for the fault of seismogenic layer in the crust	Yang Zhuen et al.(346)
Fossil earthquakes and the cause of earthquakes.....	Zhang Jiasheng(354)
Deformation experiment of amphibolite and seismogenic layer	Gu Zhijuan et al.(365)
A HVEM study on the deformation microstructures of quartz in the fault rocks from a seismic fault zone.....	Lin Zhuoran et al.(373)
A new type of seismogenic tectonic pattern, transform-fracture	Wei Bailin(381)
The experimental study of feldspar deformation sequence in crustal rock and its implication for seismogenic process.....	Zhao Axing et al.(391)

Relationship between structure of continental crust and earthquake focal depth.....	Liu Rucai(402)
A new hypothesis about the force source and the origin of earthquakes	Zhang Jiazhi(408)

大陆多震层的研究与震源体的破裂发展

马宗晋 高祥林

(国家地震局地质研究所)

一、大陆多震层的研究

大陆多震层是指根据大陆内部地震震源深度的优势分布或相对集中分布确定的地壳层状介质,也就是在垂直剖面上显示的地震空间分布的特征,通常它位于地壳中部10—15km的深度范围。这是在全球范围普遍存在的现象^[2-4]。

大陆地壳内为什么会存在这样一个“层次”?它具有什么特点?它的形成机制是什么?这些都是地震学研究中令人感兴趣并很有意义的问题。

50多年前,已有人注意到大陆内部的地震震源集中分布于地壳内一个有限的深度范围,并提出了地壳的脆性—延性双层流变学模型^[5]。1936年,Macelwane最先提出这个概念^[6]。1951年,Gutenberg总结全球地震分布时,在太平洋边缘给出了俯冲带震源分布的基础资料,同时在大陆地区也给出了大陆壳内震源分布的基本数据。60年代世界地震台网大量建立以后,给震源深度的测定创造了条件,所以在70年代,中国、日本、美国以及一些欧洲国家不约而同地注意到了“多震层”的现象,这在1982年北京举行的大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会上得到了集中的反映。

最近十几年来,关于岩石圈流变学、断层岩构造以及大陆断层深部的性质的研究(包括野外观察和实验室岩石力学实验)取得了很大进展,促进了对大陆多震层的力学成因的探讨,因为震源深度分布的下界直接与岩石流变学性质的转变相联系,多震层深度范围内断层的不稳定摩擦滑动行为是地震机制的主要控制因素。许多作者从不同角度研究了大陆多震层问题,得到的结果表明这个层次的形成机制与许多因素有关,例如温度、压力、地壳的构造与成分、断层类型与运动方式、断层的结构与几何形状、岩石的脆性—延性过渡、断层摩擦滑动行为的稳定—不稳定转变、断层面剪切阻力随深度的变化、岩石及断层的抗剪强度、孔隙流体、地壳应力状态、震源破裂机制等。在这些因素中,有些是普遍存在的必要条件,有些则可能是在某种构造环境中存在的特殊的充分条件;有些是直接的作用因素,有些则是间接的作用因素。大陆多震层这个地壳层次的形成是上述多种复杂因素共同作用的结果。

从研究方法上看,关于大陆多震层的研究主要涉及到下面五个方面:

1. 大陆多震层的分区或区域性特征及其与地质构造环境的关系

已有的资料表明,大陆浅源地震的震源深度分布有鲜明的区域性^[9]。例如在中国大陆西部,震源深度范围绝大部分在10—50km,其优势分布是10—30km。青藏高原南部震源深度

范围是15—70km, 中部10—40km, 北部10—30km。中国大陆东部震源深度分布范围是5—30km, 优势深度分布为10—25km。从全球范围看, 在构造上稳定的大陆内部地区(地台或地盾), 震源深度的下限是25—30km, 而在构造运动强烈的大陆地区震源深度一般不超过15km, 多数在10km以内^[6]。在不同的构造环境下, 多震层的深度、厚度及其它特征都显示出共同的或特殊的性质, 需要分别地进行分析 and 比较, 研究产生区域性共同点与差异性的原因以及多震层与构造环境之间的关系。

2. 大陆多震层的地壳深部构造环境

近年来广泛开展的地球物理探测, 提供了关于大陆地壳深部构造环境的丰富资料, 加深了对地壳细结构、热状态的认识。特别是石油勘探提供的地震反射剖面以及人工地震测深、大地电磁测深、地热测量、航磁测量等方面的数据, 对于确定断层的深部状态、判别低速或高导异常体(带)的存在、认识地壳结构的非均匀性起了重要作用, 同时直接显示了这些特征体与震源深度分布的相关性, 为研究大陆多震层的深部环境及其与地震成因的关系提供了重要条件。

3. 大陆多震层的地壳成分与岩石学特征

根据断层岩的研究结果, 认为地壳成分的变化是影响岩石流变学行为的转变以及相应的震源深度的最重要的因素之一。例如在长英质地壳中, 控制断层从摩擦行为向准塑性行为转变的主要因素是石英的变形机制。断层的剪切阻力及地壳岩石的抗剪强度随深度的变化与地壳岩石组份有密切关系。确定地壳多震层的岩石学特征, 也能够为实验室岩石力学实验以及数学模拟所要建立的力学模型提供可靠的野外观察依据。

4. 大陆多震层的力学机制

这方面的工作包括断层的显微构造研究、实验室岩石力学实验和数学模拟分析。已获得的研究结果指出, 多震层的存在直接与岩石在一定温度、压力条件下的脆性—延性(或摩擦—准塑性)转变、断层的稳定摩擦滑动与不稳定摩擦滑动之间的转变有关。从地震机制来看这是最重要的直接控制因素, 因为从本质上讲地震是岩石的非稳态的破裂扩展和错动的动力学过程^[7]。通过对断层岩标本的显微构造的观察, 可以直接得到地壳深部岩石变形机制的微观证据。通过实验室的物理模拟实验能够直观地表明岩石的变形过程以及岩石流变行为与温度、围压、应力状态、应变率、岩石成分、孔隙流体等因素的关系, 而数学模拟则能提供关于这些参数之间的相互关系以及宏观变形过程的定量分析结果。这些力学方面的研究将有助于对野外观察到的现象提出合理的解释, 并促进对多震层内的动力学过程的解释^[10-12, 14-18]。

5. 震源时空分布与岩石圈动力学过程的关系

利用精确测定的地震震源位置, 可以描述岩石圈内现今构造的几何形态, 我们称之为岩石圈活动构造的“点染法”。进一步研究震源之间的动态规律, 如震源在三维空间内的迁移, 同一震源区地震序列的深度变化, 同一构造内不同部位震源的呼应活动, 以至地表活动构造的动态与深部震源活动的关系等, 这些都可能是对深部构造的动态和深浅部构造关系研究的有效途径。

二、震源体的破裂发展

1. 震源体与多震层

根据地球物理学的考虑,地震震源的能量积累与释放过程是发生在地球内部的一个有限体积内;而根据地震地质学考虑,地震能量的积累可以是大范围的,而地震释放的能量只是其中的一部分。震源体表示震源断层周围有效地释放了应变能的区域,而断层则是震源体内的破裂面。震源体积与震级成正比,一个8级大地震的震源体积可达几百万立方公里,甚至更大,这要看蓄能与放能的比例。

根据P、S波到时按定位程序测定的震源深度(H_1)代表震源体的初始破裂点,而基于点源模型、由远场记录的地震波形拟合反演得到的震源深度(H_2)代表震源体的质心深度或平均深度^[10],一般地这两个深度值不相同,反映了震源体破裂的扩展方式与方向。

虽然大陆多震层是根据点状震源深度的优势分布确定的^[1],这个“多震层”是不是一个层状体还有待证明。姑且假定它是一个层状体,那么它就应该具有一定的厚度与边界,多数震源体就应该被包含在这个层内。震源体的破裂受到多震层边界的约束。从流变学考虑,多震层应是地壳内积累并释放弹性应变能的主要层次,具有半脆性介质,它是地壳内的能干层^[1]。

2. 震源体的破裂过程

多震层内震源体的破裂总是在局部首先开始,然后以大约3km/s的速度向周围扩展。根据最近汪素云等人作出的华北16个震源深度资料^[10](表1),比较 H_1 、 H_2 可以粗略地分析地震震源的破裂过程。

表1 华北地震震源深度

编 号	日 期	发 震 时 刻	地 点	震 级 (M_s)	震 源 深 度 (km)	
					H_1	H_2
1	1966. 3. 8	05-29-14	河北邢台	6.8	10	10
2	1966. 3. 22	16-11-36	河北邢台	6.7	9	6
3	1966. 3. 22	16-19-27	河北邢台	7.2	15	10
4	1966. 3. 26	23-19-04	河北邢台	6.2	15	9
5	1967. 3. 27	16-58-20	河北河间	6.3	30	16
6	1969. 7. 18	13-24-50	河北渤海	7.4	35	6—9
7	1975. 2. 4	19-36-05	辽宁海城	7.3	16	10
8	1976. 4. 6	00-54-38	内蒙古和林格尔	6.2	18	10
9	1976. 7. 28	03-42-54	河北唐山	7.8	22	7—15
10	1976. 7. 28	18-45-34	河北唐山	7.1	22	8
11	1976. 9. 23	04-07-01	内蒙古磴口	6.2	20	16
12	1976. 11. 15	21-53-01	河北唐山	6.9	17	18
13	1977. 5. 12	19-17-52	河北唐山	6.2	19	16
14	1979. 7. 9	18-57-23	江苏溧阳	6.0	12	7
15	1979. 8. 25	00-59-29	内蒙古五原	6.0	18	9
16	1983. 11. 7	05-09-46	山东菏泽	5.8	15	8

(1) 1966年邢台地震——多次破裂过程的事件 表1中1号地震的 H_1 与 H_2 都是10km,说明初始破裂点与质心重合,或者震源体的破裂是从中心向四周扩展的。2号地震与3号地震发生在同一位置,相隔发震时间近8min。2号地震的 H_1 是9km, H_2 是6km;3号地震 H_1 是15km, H_2 是10km,这两次地震的破裂都是由深向浅发展。4号地震震中位置更向东北迁移,深度与3号地震几乎相同,也是由深向浅扩展。将1—4号地震联系起来看,可以获得两点认识:第一,这个强震系列所反映的震源区的破裂过程是从西南向东北发展的。第二,每次震源破裂又都是从深向浅扩展的,即由15—10km深处发展到6—10km深度,这些认识与余震的迁移情况一致。

(2) 1976年唐山地震 3次强震的初始破裂点都在20km左右的深度。9号和10号(表1)两次地震是由深部向浅部非对称破裂扩展;12号强余震是大致从中心向周围对称扩展的。

(3) 1975年海城地震 $H_1 = 16\text{km}$, $H_2 = 10\text{km}$, 破裂过程也是由深向浅发展。

三、讨 论

1. 震源破裂的发展

震源破裂由深向浅发展,这一现象可能有两种解释:第一,根部滑动模式^[13],即多震层以下的延性物质滑动向上传递到半脆性的多震层引起破裂(图1a);第二,地壳的微拗曲,类似于岩层褶曲的应力分布,当震源由深向浅发展即代表地壳向下微拗曲;相反,震源破裂由下往上发展,代表地壳的向上微拗曲(图1b)。

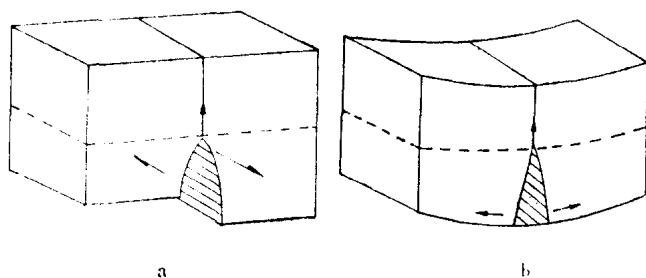


图1 震源破裂模式示意图

2. 地震震源的优势深度

同一次地震的 H_1 和 H_2 或者同一次地震序列的深度往往集中在两个深度上,一是10km左右,二是20km左右。和林格尔地震(8号)、磴口地震(11号)、溧阳地震(14号)、五原地震(15号)、菏泽地震(16号)(表1),它们的 H_1 都大于 H_2 ,除14号较浅外, H_1 多接近20km, H_2 接近10km。这两个深度值可能与多震层的上下两个界面有关,或者从力学角度看,发生脆性破裂并辐射出弹性地震波的破裂面的发生与扩展是受到多震层的界面约束的,无论这是岩性界面还是物理界面都有约束作用。Sibson(1984)认为断层剪切阻力随深度增加,在多震层的底部达到最大值,因此5.5级以上地震的破裂一般从多震层的底部开始,再向浅处扩展。由此看来,强调能量传递的根部滑动模式可能更具有普遍意义。

3. 地震线的地球动力学意义

按照下列三条原则,在平面上将震中联成一系列直线,叫做地震线^[20]:

(1) 在一定时间,即相当于一个地震活跃幕内,地震沿此线依次发生,显示了地震破裂带的定向伸展;

(2) 沿此线两次以上强地震的破裂传播方向、余震分布方向、等震线长轴方向以及地表破裂的主方向基本重合;

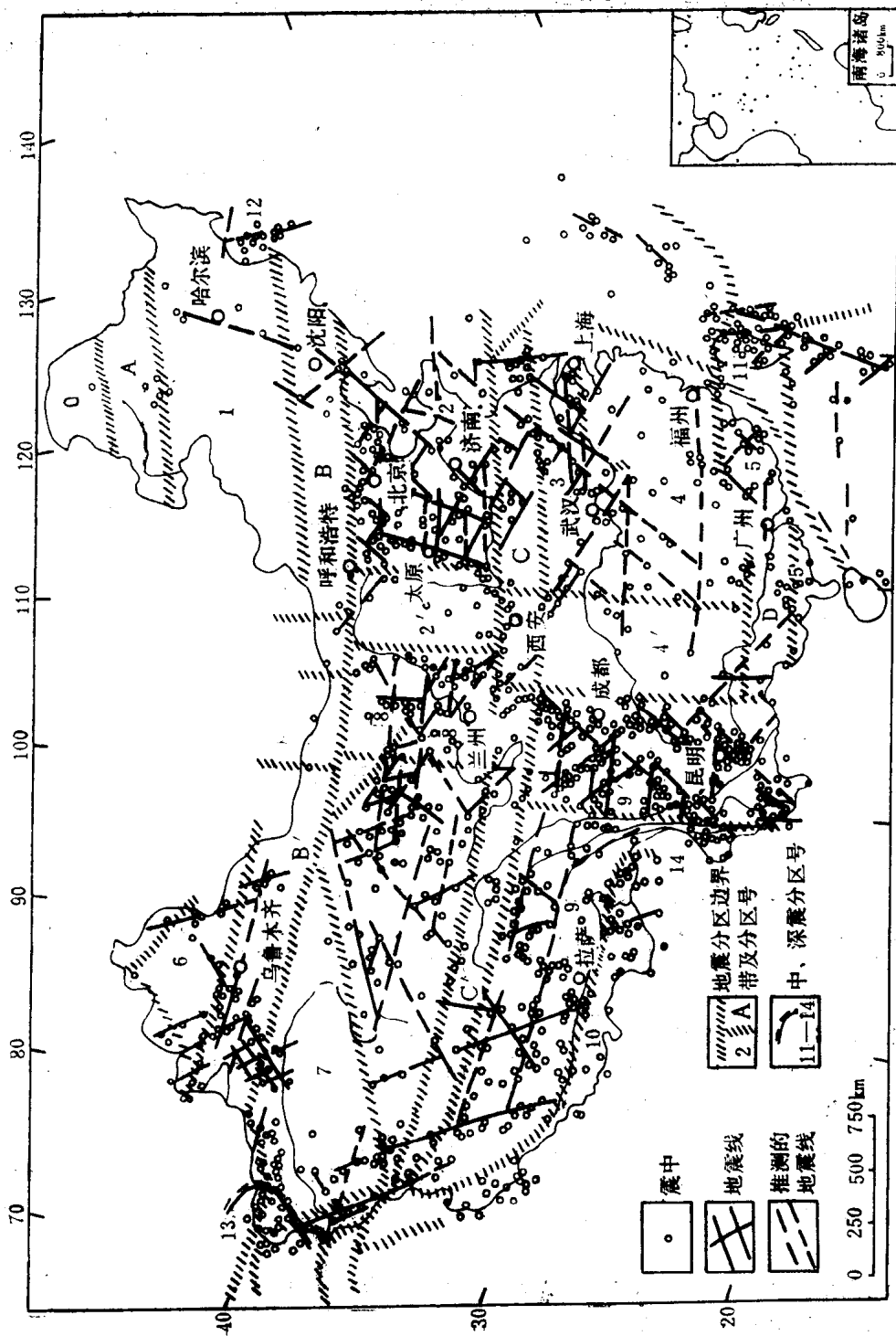


图2 中国地震线及地震分区图

(3) 沿此线, 不同地震活跃期(2—3百年)的地震重复活动。

这样得到的地震线反映了大陆地壳多震层内已有破裂在区域动力作用下再活动的基本格局。图2是全国地震线的分布图, 它与地表见到的构造特征不完全一致, 地震线的动态图象则表示平面网络区域应力场的变化。这些地震线并不一定同时发生, 也不一定都是最新发生的, 所以它们也并不都是X型共轭破裂, 也不一定平行一致。

仔细分析这些地震线的动态图象, 就有可能发现多震层及地壳深部的地球动力学过程的变化规律, 为地震预报提供重要的参考信息。图3给出了中国南北地震带本世纪前4个地震活跃幕的地震线动态图象, 它们可以说明多震层内应力场和破裂格局的分幕变化。

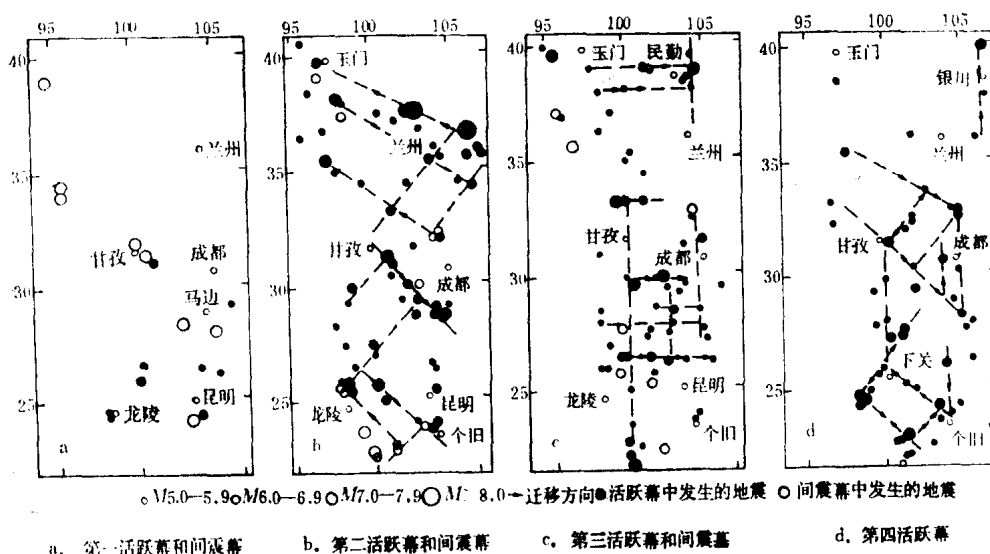


图3 中国南北地震带活跃幕和间震幕震中分布图

参 考 文 献

- [1] 马宗晋、薛峰, 1983, 中国大陆地震分布与“易震层”初探, 地震科学研究, 3期。
- [2] 臧绍先、杨军亮, 1984, 我国华北等地区板内地震的深度分布及物理背景, 地震地质, 3期。
- [3] 史兰斌、陈孝德, 1984, 北京北石城断层与河防口断层带断层岩石显微构造研究, 地震地质, 3期。
- [4] Chen, W.P., P. Molnar, 1983, Focal depths of intracontinental and intraplate earthquakes and their implications for the thermal and mechanical properties of the lithosphere, J. Geophys. Res., 88, 4183—4214.
- [5] 马杏垣主编, 1987, 中国岩石圈动力学纲要, 地质出版社。
- [6] Chen, W.P., 1988, A brief update of the focal depths of intracontinental earthquakes and their correlations with heat flow and tectonic age, Seismol. Res. Lett., 59, 263—272.
- [7] Das, S. and C.H. Scholz, 1983, Why large earthquakes do not nucleate at shallow depths, Nature, 305, 621—623.
- [8] Macelwane, J., 1936, Problems and progress on the Geologic-seismological frontier, Science, 83, 193—198.

- [9] Marone, C. and C. H. Scholz, 1988, The depth of seismic faulting and the upper transition from stable to unstable slip regimes. *Geophys. Res. Lett.* 15, 621—624.
- [10] Meissner, R. and J. Strehlau, 1982, Limits of stresses in continental crusts and their relation to the depth-frequency distribution of shallow earthquakes, *Tectonics*, 1, 73—89.
- [11] Scholz, C. H., 1988, The brittle—plastic transition and the depth of seismic faulting. *Geol. Rundsch.*, 77, 319—328.
- [12] Scholz, C. H., 1989, Mechanics of faulting, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 17, 309—334.
- [13] Sibson, R. H., 1982, Fault zone models, heat flow, and the depth distribution of earthquakes in the continental crust of the United States. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 151—163.
- [14] Sibson, R. H., 1983, Continental fault structure and the shallow earthquake source, *J. Geol. Soc. London*, 140, 741—767.
- [15] Sibson, R. H., 1984, Roughness at the base of the seismogenic zone: contributing factors. *J. Geophys. Res.*, 89, 5791—5799.
- [16] Sibson, R. H., 1986, Earthquakes and rock deformation in crustal fault zones, *Ann. Rev. Earth Planet.*, 14, 149—175.
- [17] Tse, S. and J. R. Rice, 1986, Crustal earthquake instability in relation to the depth variation of frictional slip properties. *J. Geophys. Res.*, 91, 9452—9472.
- [18] Vetter, U. R. and R. O. Meissner, 1979, Rheologic properties of the lithosphere and applications to passive continental margins. *Tectonophysics*, 59, 367—380.
- [19] 汪素云等, 1991, 华北强震断层面解和震源深度特征, *地球物理学报*, 1 期.
- [20] 马宗晋, 1987, 中国大陆的地震层和地震线, *地壳构造与地壳应力文集*, 地震出版社.

STUDIES ON THE CONTINENTAL SEISMOGENIC LAYER AND RUPTURE EXTENDING OF THE SOURCE

Ma Zongjin and Gao Xianglin

(Institute of Geology, State Seismological Bureau)

In this paper the history as well as the current state of studies on the continental seismogenic layer are reviewed. It is pointed out that there are a lot of factors which are associated with the mechanism of the seismogenic layer and some principal focuses have emerged from the studies on these factors. Based on the focal depth data obtained by different methods, the relationship between the seismogenic layer and the rupture process of the source is discussed. It is suggested that the