地 质 学 报
1984 年 ACTA GEOLOGICA SINICA 第 2 期

北纬 20—50° 的大陆地震构造系

马宗晋 傅征祥 薛 峰
（国家地震局分析预报中心）

地震活动是岩石圈构造变动的突出表现。按地震发生的构造环境和地理分布，地球地震活动可分属于三大地震构造系统[1]，（1）环太平洋地震构造系；（2）洋脊地震构造系和（3）大陆地震构造系。

众所周知，除了环太平洋是全球地震活动最密集的地带而外，再就是陆壳分布区。亚、欧、美、非和澳洲各大陆内均有浅源地震活动，但它们突出地集中分布在北纬 20—50° 之间的纬向带内，横贯亚欧大陆中部（包括日本内陆）和北美中部，所以又称其为北大陆纬向地震构造系，这是第二个与全球尺度相当的，与地球座标系有关的环形地震构造系。大陆地震构造系，这是新提出的一个概念[2]。

本文将主要讨论北纬 20—50° 大陆地震构造系中的地震活动和地震构造特征及相关问题。

一、北大陆纬向地震构造系的地震分布和地震构造特征

图 1 是全球大陆地震活动分布图。显而易见，全球地震活动大多数分布在北纬 20—50° 之间，1897—1976 年间大陆 Ms ≥ 7 级（h ≤ 50 公里）地震频度占全部大陆内地震的 71%。所以，大陆地震和地震构造的特征将主要在这个环带内显露出来。这一点十分鲜明地显示了大陆地震活动在南北半球上的不对称现象。

1. 地震区和反对称地震构造活动

在该地震构造系中地震活动沿纬向是疏密分布的，可以从整个纬向带分出四个相似的地震活动分布区（图 1）即中国-蒙古区、伊朗-阿富汗-巴基斯坦区、地中海区、北美区。各区受经向中轴线（30°E、60°E、105°E、100°W）的分隔，均分为东西两个半区。

四个西半区都是近似三角形的地震密集区，那里地震带均以北西向为主，横穿有断续的北东向地震带，纬向断裂带上有代表性的震源破裂都是左型走滑，近代造山运动强烈而且多半是地势较高、地壳较厚的地区；相反，四个东半区都是地震较少的地区，那里地震带均以北东向为主，横穿北西向断续分布的地震带，纬向断裂带上有代表性的地震破裂多为右型走滑，该区的地势较低、地壳厚度较小。

上述这种东西两半区反对称的现象表现得如此规则，且它们东西依次排列环绕北半球一周构成北大陆地震系的整体，这是十分引人注意的。其中经向构造近似等间距的出现，且成为分区的中轴线，可能对北大陆地震系总体的规律起着重要作用。

2. 地震震源深度和地壳能干层

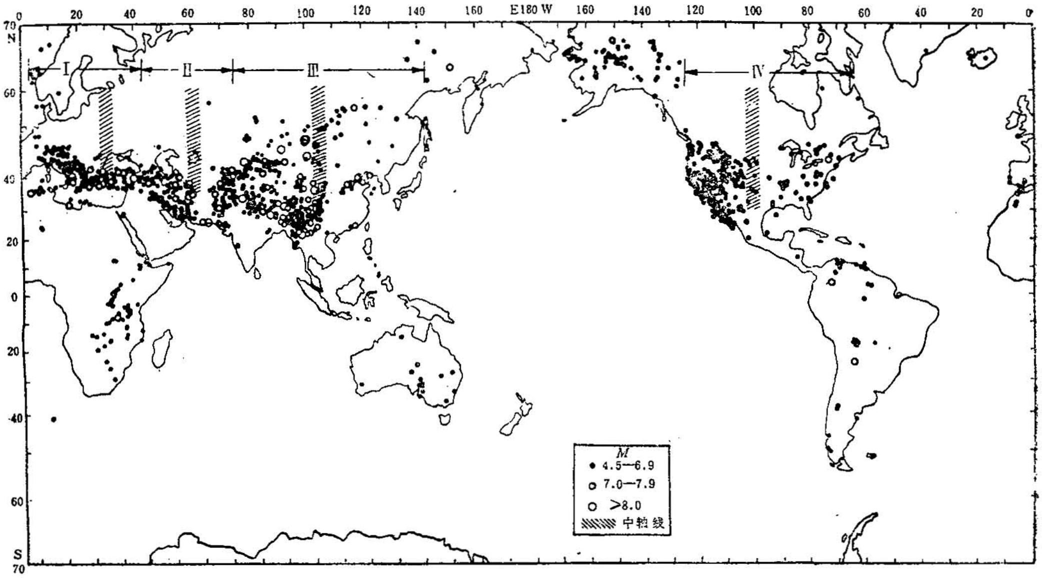

图 1　全球大陆地震分布图

Fig. 1　Map showing distribution of earthquakes on earth's continents.

大陆地震系内绝大部份是浅源地震，只是在亚欧大陆内有七个复杂的构造扭结点[2]，那里陆壳插入岩石圈，分布有中源地震。表 1 是文献[1]收集和归纳的北大陆地震系中一些典型地震区地震震源深度的优势分布层位。它表明优势层位多在陆壳的中部。 看来，大陆地震实质是陆壳地震，而且，陆壳内发震的优势层位是普遍存在的，与各地陆壳的地球物理分层相比，大体都相当于 P 波速度 6 公里/秒左右的花岗质层和向上与之过渡的区域变质岩系。

表　1

(Table 1)

地区	中国华北	中国川滇	中国西藏	伊朗	高加索	贝加尔	西土尔其	巴尔干	中欧	美国加州	美国东部	日本本岛
优势层	5—20	14—18	18—24 33—50	33—40	10—27	15—21	12—24	15—34	5—20	4—10		4—18
陆壳厚度	36	55	68	40+	40+	55	40	50	40	25	40	31

为了阐明陆壳内地震分布的力学实质，我们以中国大陆东部物探工作结果[3,4,5] 为基础，编制了陆壳柱状剖面及地质地球物理条件对比表（表 2）。限于目前的探测和认识的程度，我们把陆壳分为上、中、下三层。上层以沉积岩系和现代堆积为主体，一般厚 5 公里左右；中层以花岗质层和变质岩系为主体，一般厚 15—20 公里；下层以玄武质层为主体，一般厚 15—20 公里。中下层之间与康氏介面相当，可能较普遍的存在着低波速层和低电阻层，厚度几百米不等，它是陆壳中层较明确的下界面。上中层之间，与沉积岩系的底界面相当，也是沉积岩与区域变质岩相界面的过渡带，那里可能存在高波速层，它是目前尚

不甚明了的陆壳中层的上界面。从表 2 所列上、中、下三层在岩性结构、强度、温压条件等方面的差异可以理解到，陆壳这个三层组合板，在统一的受力作用下必然既产生统一变形又会发生分层的差异变形。上层具有大量的薄层理，而且其内部岩性总是软硬相间的，加之含有大量层间水，又处于低温低压条件下，所以它们自身易于发生柔性永久变形，不易积累巨大应变能，同时依附于中层发生变位或变形。中层具有厚块状的结构，本身以粗晶质为主，不含大量自由水，处于中温中压条件下(400℃ 左右，6 千巴左右)，岩性本身强度又高，总之，三层相比，中层是弹性模量高，最易于产生粘滑错动的岩层和环境，加之中层上下都是较明确的突变界面(带)存在，易于层间滑动，更利于该层体的独立变形，所以它既是蓄积弹性能的主要层位，又是决定着整个陆壳板体变形特征的主干层位，这也就决定了它是陆壳内发生强震最多的层位，因此，我们称其为陆壳内主要发生强震的强震层，力学品格上的能干层。下层也是厚层结构，但本身为细晶或隐晶质，它处于 700℃ 以上的高温和 10 千巴以上的围压条件下，玄武质岩性易于发生脱水液化，易于发生稳滑，总之，易于表现塑性变形。实际上，从地震探测剖面[3] 可以知道，陆壳厚度变化急剧的地段，主要是下层的厚度变化，而中层一般厚度很稳定，这也说明中、下层之间在表现弹、塑性程度上的明显差别。此外在断裂的发育程度上，上、中、下三层之间也有明显差别，而且既有穿过三层或两层的断裂，又有各层独自发育的断裂[4]。

表 2　陆壳分层及其环境的对比表

Table 2. Correlation of the continental crust stratifity and it's environments.

深度（公里）	地壳分层及界面	P 波速度（公里/秒）	岩性结构	电阻率（欧姆·米）	温度（℃）	压力（千巴）	强度（千巴）
	上层	1—4	沉积岩系，薄层，含大量层间水	1—10	0—200	0—1.3	1.5—6.0
~5	G	（高速?）		?			
	中层	6	变质岩系，花岗质层，厚层、粗晶	10^2—10^4	200—700	1.3—10.0	6.0—7.5
~20	C	（低速）		（1—10）			
	下层	6.5	玄武质层，厚层稳晶	10^2—10^3	700—1200	10.0—20.0	7.5
~36	M						
	上地幔	7.8—8.0		10^2—10^3	>1200	>20.0	

（以中国华北为例）

3. 地震线和网络构造

和环太平洋及洋脊地震系相比，北大陆地震构造系地震分布的总貌是相对分散的，但在其中每一个地震区中却又显示出相对密集成带的现象，所以总的说来大陆地震的平面分布是散而有序。前已述及大陆地震主要是在陆壳中层——能干层中发生，而地震本身就是能干层破裂的直接表现，所以我们可以把空间上密集成带，发生的时间比较接近，动力特征相似的一组地震看做能干层中一条新活动断裂的表现，它们直接显示陆壳中层的构造活动，不受地表构造线有无的影响。我们称这样的地震密集带为地震构造线或简称地震线。

目前我国测震能力可以测定东部较大地区二级以上和西部较大地区 3—4 级以上地震震中位置，由大小地震点染的地震构造线相当清晰，呈现网状的几何图案[6]。主要的地

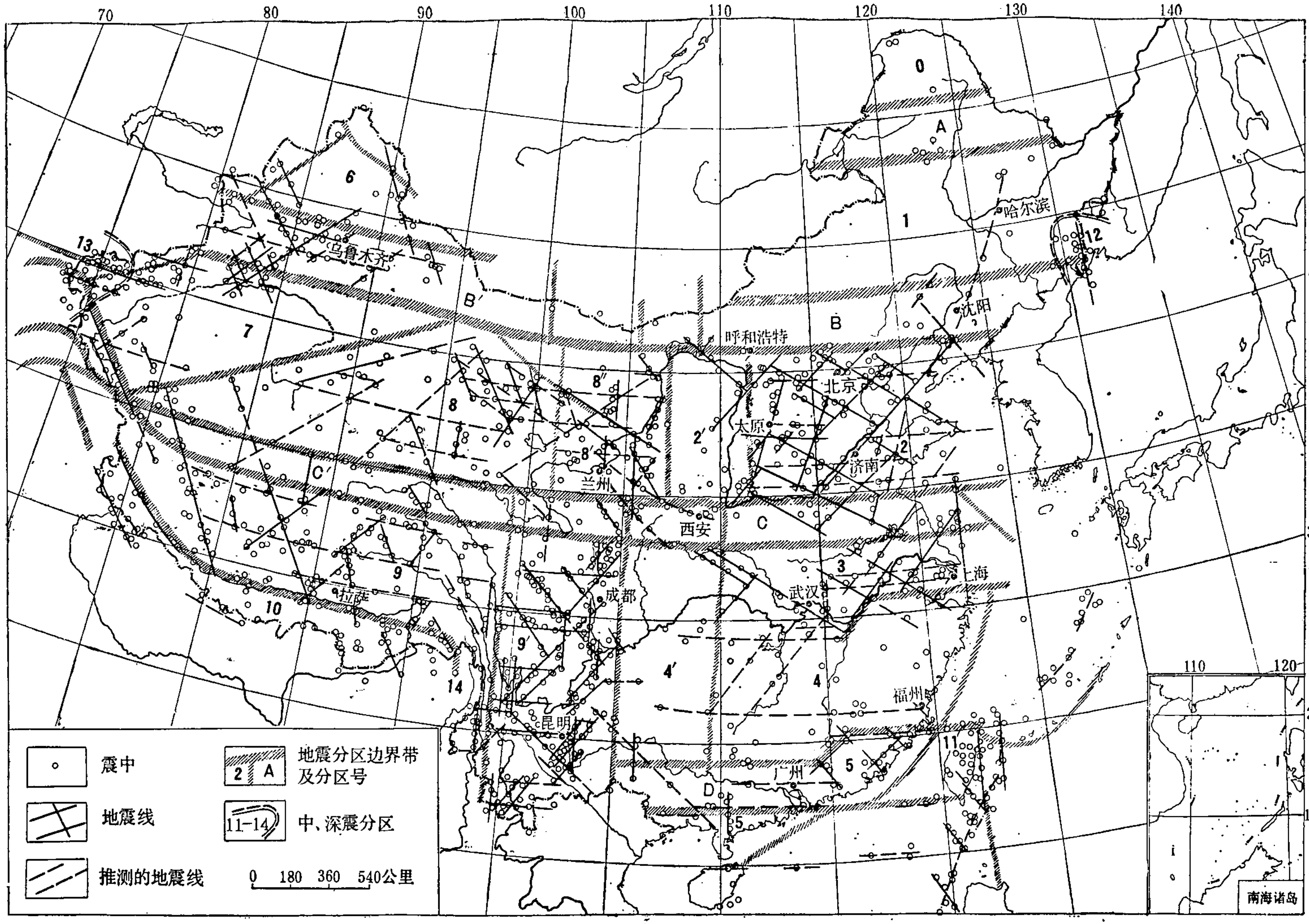

图 2　中国地震分区和地震构造线图

Fig. 2　Map showing seismic regionalization and seismo-tec tonic lines in China.　A—D 代表四个纬向带，0—14 代表地震分区。

震构造线是四个方位：北东、北西、东西和南北。两组斜向的地震构造线交织成网的现象最明显(图 2)，但不同分区，斜向地震线并非均等活动，中国西半区以北西向地震构造线活动为主，而东半区则都是以北东向地震构造线活动为主，每个小的地震分区地震线的几何图案也各有不同，一是密度上有差别，二是地震线的走向有变化。斜向地震构造线有分级等间距现象，7 级以上强震构造的地震线往往表现 500 公里、1000 公里的等间距，而 2—3级微震则可显示 100 公里至 50 公里的等间距性。

二、中蒙地震区地震分幕、及其地震活动与地球自转速度变化

地震活动在时间轴上的分布是不均匀的，一段时间活跃，地震多而强；一段时间平静，地震少而弱，相互交替。根据中国近两千年连续的地震史料，可以明显地分出二百年左右起伏的地震期，地震活跃期内还可按地震频发和暂息时间区分出 20 年左右的地震活跃幕和幕间的相对平静[7]。仔细研究，可能分出不同的地震活跃幕。

文献[8]将自上世纪末以来中国大陆及邻区强震 (Ms ≥ 7.0) 发生的时间序列划分为四个地震活跃幕：(a) 1897—1912 年； (b) 1920—1937 年；(c) 1946—1957 年和 (d) 1966—1980 年。图 3 是这四个地震活动幕中的地震分布图。图 4 是中国大陆中轴构造带内强震(Ms ≥ 5.0)的震中分布图。

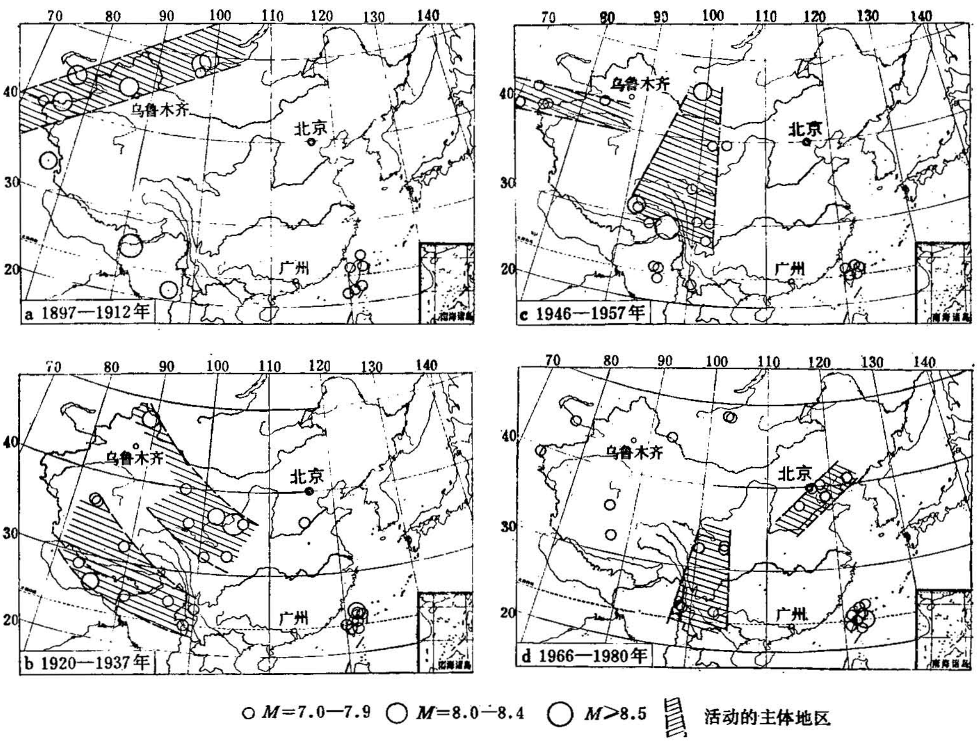

图 3 中国大陆及邻区强震(Ms ≥ 7.0)震中分布图

Fig. 3 Epicentre map of strong earthquakes (Ms≥7.0) in China continent and its adjacent areas.

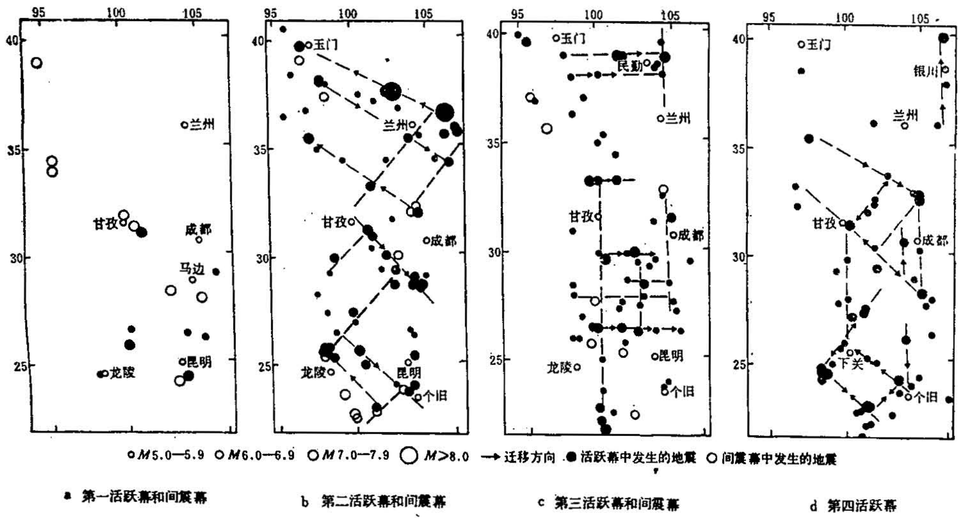

图 4　中国大陆中轴构造带强震(Ms ≥ 5.0)震中分布图

Fig. 4　Epicentre map of strong earthquakes (Ms≥5.0) along the longtitudinal middle structure in China continent.

从图 3、图 4 可以看出：

第一幕，中国大陆及邻区的地震活动主体地带在中国的西北边境，从帕米尔到贝加尔湖呈北东向分布；另外，沿喜马拉雅山前的北西向地震带也有一定的活动（图 3 a)。此幕在中国大陆其它地区地震活动都很弱，中国大陆中轴构造带内只有少量 b 级多地震发生（图 4 a)。

第二幕，地震活动主体带主要在中国大陆内祁连山北侧河西走廊北西西向地震带内，8 级和 7 级强震接连发生(图 3b)。在中轴构造带内的其它几条北西向地震构造带全面活动的同时，北东向地震构造带也显示共轭性少量的穿插活动(图 4 b)。

第三幕，地震活动的主体在中国西藏东部，连同整条中轴构造带都有活动，直到蒙古和贝加尔湖，所以此幕的活动主体地带是北东向和南北向相结合的中轴地带（图 3c, 4c)。如果把察隅和当雄地震包括在内，更可以看出第三幕，地震构造活动中轴构造带内部的主要方向是东西向和南北向，至少有 4—6 条东西带明显活动，同时显示了四条南北向地震构造带的活动。对中国大陆来说，此幕天山东西向地震带活动也很突出。第三幕地震分布的图案与第二幕有重要变换。

第四幕，地震活动的主体地带是中国川滇地区和华北北部，总的活动方向是北东向（图 3 d)。此幕在中轴构造带内的地震活动，仍显示北东向和北西向的交叉活动，还兼有南北向活动，与第二幕有相似之处，但活动的主要地段是南段而不是第二幕的主要活动是在北段(图 4d)。

由以上的概要描述可获得以下三点认识：

1. 不同地震幕中地震的时、空、强度图案各有特色，需要把三者结合起来认识地震活动时空变化的规律。对一个地区来说，地震活动强弱起伏时段的划分是分段研究的基础。根据中国大陆和中轴构造带的具体情况来看，划分十几年至二十年的地震幕可能是比较

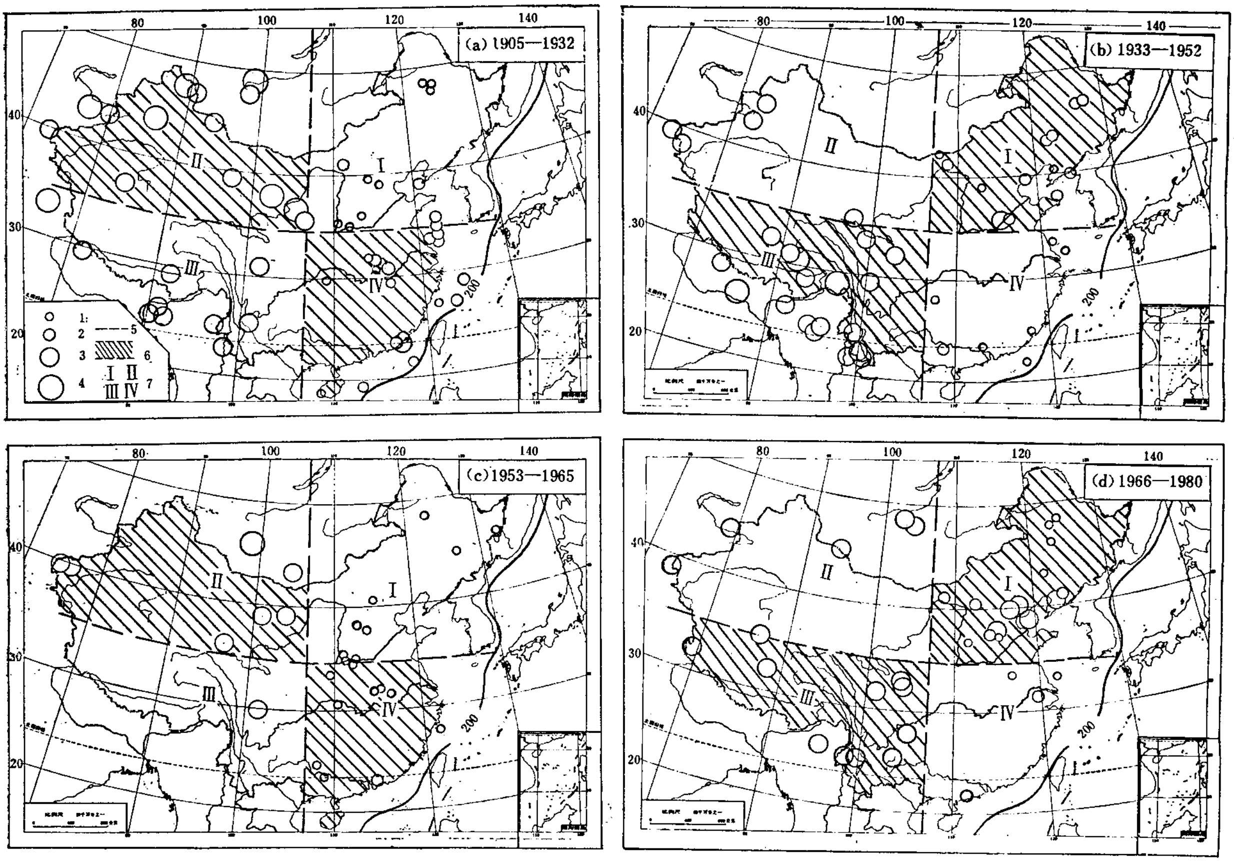

图 5a 中国大陆及邻区地震活动时空分布图

Fig. 5a Map showing the temporal and spatial distribution of seismic activities in China continent and its adjacent areas.

1. Ms 5.0—5.9 2. Ms 6.0—6.9 3. Ms7.0—7.9 4. Ms≥8.0 5.分区线
6.优势活动区域 7.象限号

合适的时间尺度。它可能与全球二十年左右地震活动周期现象有关[9]。

2. 不同的地震幕反映了不同的区域受力状态。从图 3、4 中四个地震幕地震分布图案的明显不同可以推论,各幕的区域受力状态有所差别,这是叠加在区域基本应力场上的变动应力场的表现。

第一幕地震少而弱,特征不突出。而第二幕区域受力状态的特征即很突出,此幕显示了以北西地震构造带的活动为主,北东地震构造活动为辅的交叉活动。如果说中轴构造带呈现斜交网络状图案的地震活动,而且北西向以左型错动为主,北东向以右型错动为主,因而反映了近东西向的区域动力基本作用方向的话,那么可能还叠加有中轴构造带两侧的左型扭动作用,即中国大陆的东半区向北,西半区向南的运动。在这种叠加力的作用方式下,可能造成以北西向地震断裂带为斜边,南北向断裂为底边的平行四边形块体发生微小的左型转动,从而决定着周缘地震迁移方向也多是左型的。

第三幕主要显示东西向和南北向地震构造带的活动,北西和北东向地震构造带活动

很弱。造成这种地震分布图案的区域基本动力方向仍是东西向，但叠加的变动应力场则可以有多种推论。我们注意到每条东西地震构造带上的地震都是从西端开始逐渐向东迁移的，这一现象缩小了可以推论的范围，一是自西向东的张裂；二是自西向东的剪切。

第四幕集中在中轴构造带的南段和中段活动，主要显示北东和北西向地震构造带的交叉活动，兼有南北向和东西向的活动。如果我们认为此幕川滇的地震活动与华北的地震活动存在大区域的动力联系的话，那么应当承认，此幕中国大陆地震活动是以北东向构造活动为主，与第三幕的情况恰好相反，在东西向区域动力作用的基础上，可能叠加了近南北向的右型扭动。此幕地震迁移的方式比较复杂，特点是它们大多不是从一端向另一端迁移而是由中间向两侧，或反复迁移。

3. 从图 3 可以理解到，如果按地震幕的时间尺度来了解中国大陆的强震活动规律，那么每一幕均表现以一个构造方向为主，以一条或两条地震构造活动带为活动主体地带。从本世纪的第二、三、四，三个地震幕的表现来看，都与中轴构造带上地震活动有关，且每幕在中轴构造带内都显示了特有的表现，因此，仔细研究中轴构造带上地震的现实表现及整条中轴构造带地震活动的历史变迁规律，有可能对预测整个中国大陆地震活动的大趋势起一定的指向性作用。

薛峰[1)]将 1900 年以来中国大陆及邻区的地震活动(在 107°E 以东取 Ms ≥ 5.0；以西取 Ms ≥ 7.0)，按其时空分布特征分为四个时间区间段：　1905—1932 年、1933—1952

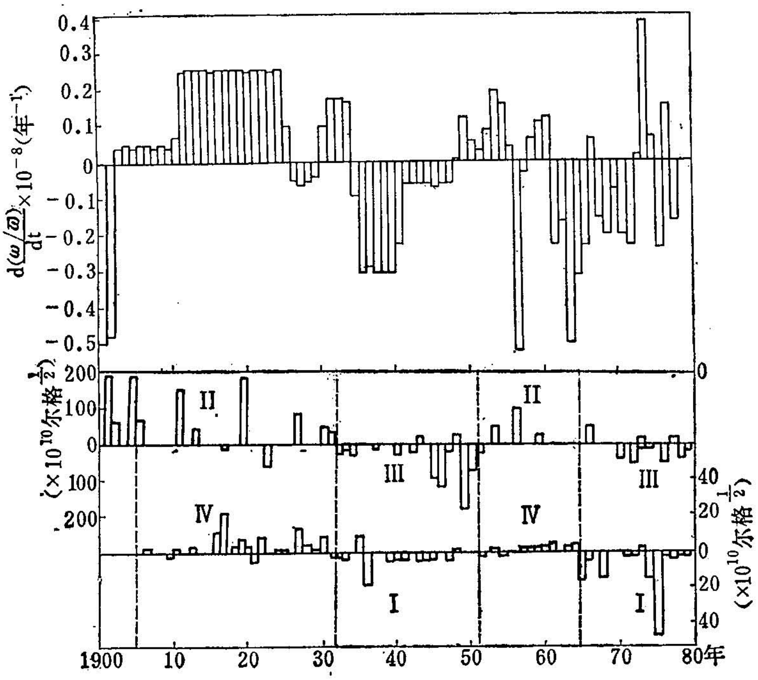

图 5b　中国大陆及邻区各象限应变释放与地球自转角加速度变化对照图

Fig. 5b　Map showing strain release in each quadrant in relation to the variation % angular.

1) 薛峰，1982，中国大陆及其邻区地震对称活动现象，地震，No. 3.

年、1953—1965 年和 1966—1980 年。在这四个时段中，中国大陆及邻区的地震震中分布(图 5 a)，较为明确地显示出中国大陆及邻区可以由北纬 35° 线和东经 107° 线划分为四个象限。在 1905—1932、1953—1965 年两个时段中，中国大陆西北(II)和东南(IV)象限内地震活动明显地比其它两个象限的地震活动强烈;相反，在 1933—1952 和 1966—1980 年两个时段中，东北(I)和西南(III)象限内的地震活动相对活跃。产生这种地震活动呈象限交替的现象，可能与地球自转速度变化具有一定的关联。

由于地球自转速度的变化，在地壳内部就可能显出惯性力的差异作用。而这种惯性力的差异作用将叠加在大陆地壳构造地震蕴育的过程中，可能对地震的发生起一定的触发作用。从图 5b 的对比可见，除了 1953—1965 年的对应率较差外，在时间尺度上显示出一定的一致性。

三、结 论

上面，我们阐述了北纬 20°—50° 大陆地震构造系中地震活动和地震构造的主要特征，以及相关的某些问题。这些特征的力学成因涉及全球岩石圈构造运动的力源问题。我们认为:

(1) 北大陆纬向环带的地震构造系统与地球大地水准面近似梨形的形状，其形成机制可能是同源的，它们主要受控于地幔中南北反对称的三环对流系的运动方式[10]。不过我们认为需要对 Licht. A. L. (1960) 提出的这个对流模型作些修正: 首先靠近南极的(60°S 左右)上升对流点应当放在环南极洋脊的下方，这样既可说明南极的下凹，也可说明环南极洋脊的张裂生长，其次，北半球靠近高纬度的下降对流点应考虑是一个比较宽的带，带的南边界在北纬 20°，北边界在北纬 50—60°，这之间是一个纬向延伸的挤压带，正好与北大陆地震构造系相当，也是世界上各纬度带内大陆面积最多的地带。正因为它是地球上唯一的受南北向挤压的纬向大环带，南半球没有类似的环带存在，所以大陆地震活动是南北半球非对称的。经向中轴构造主要发生在这个受南北挤压的环带内，可以看做是挤压带内的派生横褶曲现象。

(2) 正如文中所述，陆壳是组合板状体的结构，在以水平力作用为主的多种动力因子的联合作用下，板状体和能干层夹层，决定了强震震源浅和成层分布。走滑为主的网状破裂图案也是板体受水平力作用的基本特征。分区的活动首先受经向构造带的分隔; 总体沿纬向排列，这又受纬向构造带的控制，而纬、经向构造带的发生，最好从与地球座标系有关的动力因素寻找说明，例如地球转速变化引起的惯性力的作用就是不应被忽视的一种。

通常根据地表地质构造形迹和区域的震源机制的综合，认为区域的应力场在相当长的时间内是稳定不变的，但从本文对地震幕的描述，可以明显地看出，在二十年左右的时间范围内，地震活动的图像就有明确的变化，各自显示了不同的应力场状态，这说明一个相当大的地区内，应力场状态是可以发生变化的，虽然这是一种叠加应力场的显示，但它足以造成地震，也就是影响现今地体构造变动一步步前进的具体方式，看来研究几十年时间尺度的地体变动的微动态，不仅对地震预报是重要的，对地壳运动以及地球动力的基本研究也是有益的。

地震活动与地球自转速度变化的相关，与太阳黑子周期的相关，与大气环流型式的相关，以及与更多天文因素相关的讨论，启发我们需要对地球动力因子作更复杂的考虑。

参　考　文　献

[1] 马宗晋，1982，论全球地震构造系统。地球科学，3 期，23—38 页。

[2] 马宗晋等，1980，亚欧地震系的地震构造特征。中国科学，9 期，883—890 页。

[3] 邵学钟、张家茹，1980，京津唐地区地震转换波测探结果。地震地质，2 卷，2 期。

[4] 滕吉文等，1975，华北平原中部地区深部构造背景及邢台地震(二)。地球物理学报，18 卷，3 期。

[5] 国家地震局兰州地震大队大地电磁测深组，1976，中国南北地震带北段地壳和上地幔的电性特征。地球物理学报，19 卷，1 期。

[6] 丁国瑜、李永善，1979，我国地震活动与地壳现代破裂网络。地质学报，第一期。

[7] 马宗晋等，1982，1966—1976 年中国九大地震，地震出版社。

[8] 马宗晋、郑大林，1981，中蒙大陆中轴构造带及其地震活动。地震研究，4 卷，4 期，421—436 页。

[9] Mogi, K., 1974, Active periods in the world's chief seismic belts. Tectonophysics, Vol. 2, No. 314.

[10] Licht, A. L., 1960, Convection Currents in the Earth's Mantle. J. Geophys. Res., Vol. 65, No. 1, 349—353.

[11] Duda, S. J., 1965, Secular Seismic energy release in Circum-pacific belt, Tectonophysics, Vol. 2, No. 5, 409—452.

[12] Båth, M., 1979, Some aspects of global seismicity. Repost seismol. Inst. Uppsala, No. 1, 39.

CONTINENTAL SEISMO-TECTONIC SYSTEM WITHIN 20—50°N

Ma Zongjin Fu Zhengxiang and Xue Feng
(Center of Analysis and Prediction, S. S. B.)

Abstract

1. Earthquake is a manifestation of tectonic movements occurring in lithosphere. There are recognized three seismo-tectonic systems on the globe in which earthquakes are involved. They are (1) Circum-Pacific seismo-tectonic system. (2) Ocean Ridge seismo-tectonic system and (3) Continental seismo-tectonic system.

About 70 per cent of earthquakes (Ms $\geqslant$ 7.0) on the earth's continents occurred within the North Continental seismo-tectonic system (20—50° N), forming a characteristic (latitudinal) seismic belt.

The North Continental seismic belt can be divided into four seismic regions: Sino-Mongolian seismic region, Iran-Afghanistan-Pakistan seismic region, East Mediterranean seismic region and North American seismic region. Each region is partitioned by a longitudinal middle structure into two halves. For example, the Sino-Mongolian seismic region is subdivided in to two halves (east and west subregions with the east-edge (about 105°E) of the longitudinal middle structure extending from the southern end of the Baikal Lake to the south as the boundary between them. In comparison with the east subregion, the west one is featured by a thicker crust, more accreting crustal materials, much stronger modern tectonic movements and a greater amount of Ms $\geqslant$ 7.0 earthquakes (eight times as many as those in the east subregion) occurring between 1900 and 1980. The seismo-structural lines are trending predominantly NW-WNW in the west segment and NE-NNE in the east one.

In the North American seismic region the middle structure lies along the Rocky Mts; in the Iran-Afghanistan-Parkistan region the line lies along the N-S trending mountain range located at the boundary between Iran and Parkistan; and in the East Mediterranean seismic region the middle structure is situated between Greece and Turkey.

2. Most of the continental earthquakes are shallow crustal ones, expect at seven complicated tectonic points. It seems that the mid-crust (granitic layer) is subject to earthquakes. A network pattern is formed by continental seismic lines.

3. The temporal distribution of the continental earthquakes shows that there are an active seismic episode of about 20 years and a calm episode of about 10 years. the remarkable variation in their spatial distribution reflects the micro-change in the stress field.

4. The formation of the Circum-continental seismic belt may be related to the Licht's longitudinal mantle convection system, and also to the inertiae force caused by thechange of the velocity of earth's rotation.