

以运动地块为单元的区域地震活动研究

—鄂尔多斯地块和它的地震活动

苏 刚

(陕西省地震局)

鄂尔多斯地块有其特殊之处。据统计,有记载以来8级以上大震在此地块边缘地区共发生了5次,足见其活动的强烈。另外还有55次6级以上地震也分布在边界处。从实际意义讲,地块周边的一些地堑区是西北、华北人口稠密,工农业集中的地点,故研究这些地区的地震活动,就更为必要。本文在〔1〕文的基础上对鄂尔多斯块体和其周围的地震活动性作进一步的讨论。

一、可划为独立区域地块的地质学和地震学依据

1.明显的地质构造分界。如图1所示,鄂尔多斯地块是以受正断层控制形成的汾渭地堑、银川地堑、河套地堑、六盘山、管涔山等构造为边界。这些构造一般延伸长、规模大、活动强烈。它们是构造运动中不容忽视的差异地段和分界,例如属汾渭地堑的关中东部,据断裂北侧钻井资料和南侧太白、华山古老剥夷面的相对抬升,新生代以来断层落差达9公里左右〔2〕。银川地堑内平罗地区新生代以来沉降也有3—4公里。

2.构造运动中显示的整体性。地块区在中生代时期曾强烈沉降,形成鄂尔多斯盆地;新生代时期,发生了反向转变,而成为隆起区〔2〕。因此,从较长的地质年代看,在构造运动中地块显示为一整体运动单元。从陕西地震局一些地震地质工作看,地块内已查明断层、隆起等构造,其规模和活动远较边界为小。

3.边界处测深资料明显异常。据国家测绘局资料,汾渭地堑及六盘山地区较地块内有较大的重磁梯度,一般要高3~5倍,有的更大。银川地堑亦为重力负异常区,重力梯度也很大。这就是说,地块内各部构造较为均一,而真正显示深部大变化的是地块边界部分。它反映出地堑等构造,特别是它们的边部或有明显断折,或深部物质差异变化较大。

4.6级以上地震沿边界分布。从历史地震看,鄂尔多斯地块区发生6级以上地震有60次之多,其中7级以上约17次,8级以上的有5次。其中有属于我国大陆内最大的地震之一的海原8.5级地震。这些充分说明了地块区地震活动的强烈。但上述地震全分布在地块边界处或接近边界处(图2),而其内部没有一次6级地震,5级左右地震的频度也很低。此特点与现今活动激烈的太平洋等(刚性)板块相似,它几乎是以刚性地块“跻身”于相邻地块的相

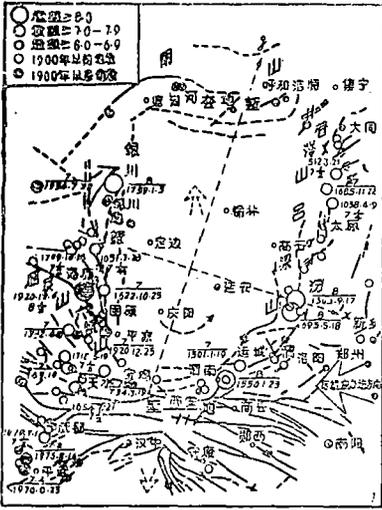


图 1
Fig. 1

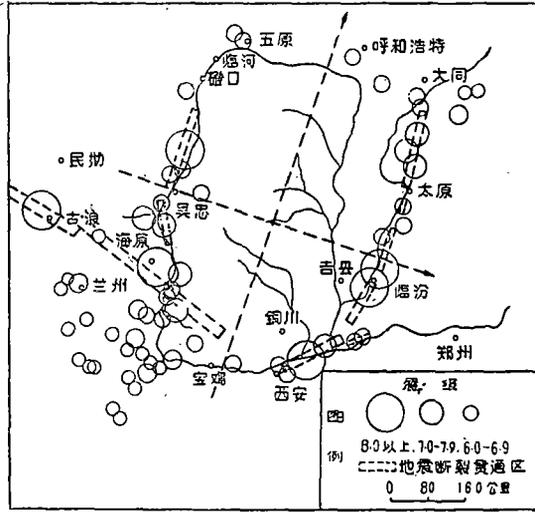


图 2 鄂尔多斯地块 $M_s \geq 6$ 级震中分布和断层贯通情况
Fig. 2 The epicentral distribution of $M_s \geq 6$ and fault collision in the periphery of the Ordos block (780 B.C. ~ A.D 1980)

互作用中，使边界处地震活动（包括构造运动）特别强烈，而内部却反映了较好的完整性。这是鄂尔多斯地块可整体划块的又一重要依据。

地块的刚性还可从周边地震的围空图象得到证实。地震围空中，当其震源区所在构造带两侧均为坚硬的地壳块体时，空区图象则表现为空段^[3]。地块边界处的一些主要地震基本有此特征，即大震前中、小地震活动多集中在断层或未来断裂的方向上，形成空段型活动图象。

二、鄂尔多斯地块的反时针扭动运动

板块构造的成功在于它不仅给出了准解态的板块划分，更重要的是研究了作为独立运动单元的板块运动。鄂尔多斯地块作为一完整性好的刚性地块，在参与地块间相互作用时，各部都会有一致的运动形式，就其整体与局部关系而言，它是对地块各处起控制作用的因素。因此，了解这种运动对地震学就十分必要。那么，镶嵌在板块内的各地块究竟以什么形式在协调地运动呢？这还是一个探讨中的问题。从运动学、动力学推论，地块间的挤撞和相对转动（或扭动）是可能的。文献^[1]指出，鄂尔多斯地块在大华北区域应力场作用下有向北兼反时针扭动趋势。在那里，扭动是以不平衡的北移运动形成的。现在看来，扭动将是该地块的主要运动形式。

1. 由震源机制解所得地块周围应力场的图1)中加一地块的反时针扭动(图3)时，可以看出，除地块西南缘符合稍差外，震源机制解的主压应力轴分布与地块整体运动(反时针扭动)在边界各处的作用方式一致。二者的一致揭示出，展布在地块边界各处的应力场是地块

1) 此图录自陈阳近作。

反时针扭动运动与相邻地块作用的结果，也给出了边界各处应力场间的内在关系。其次，1976年以来发生在地块周边的几次6级以上地震，即和林格尔6.3、巴音木仁6.2、五原6.0级地震所确定的主断裂错动方向，也基本符合反时针扭动所给的运动方向。不言而喻，反映在一运动物体中的应力场形式与其运动所造成的作用方式是一种因果关系，故此一致性无疑就使图3所示情形成为现在所述的有力证据。

2. 地块边界处的渭河、汾河、葫芦河、清水河、大黑河等流域的水系分布反映了现代运动中的反时针扭动。河流水系既是范围最大、灵敏度较高的“大地水准仪”，又是一较长地质年代中地壳变动最真实的“见证”。在讨论我国活断层全新世以来的活动时，丁国瑜运用了断层附近的水系分布，作了有力论证。它清楚地给出一次大震的位错或一次较大地壳变动引起的断错，使难以复现的地壳运动历史，通过河床变迁的“形迹”，较真实地显现了出来〔4〕。沿用此思路这里来讨论地块运动形式。图4表明，尽管各地不同河流域的地貌特征千差万别，但边界处诸河流主要支流的河床展布有扭向一边的倾向，将各部联系起来看，不仅使人看到了一个统一扭动的运动趋势，而且还显示了反时针这个方向。因此，图4所示水系分布图象，自然就成为地块反时针扭动的证据之一。（〔1〕中曾指出，巴山地块有向南运动趋势。从图4亦可看出，汉江以南的勉县至城固段水系分布，似有被压缩的现象）。有趣的是，西安以西，宝鸡以东地段水系的扭动趋势并不明显，后面的讨论将看到，这并非没有道理。

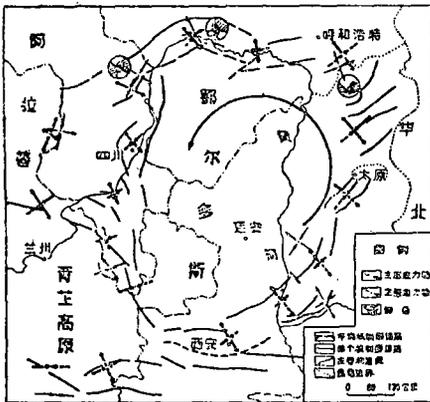


图 3 由震源机制解所得鄂尔多斯地块周围应力场

Fig. 3 The stress field of the periphery of Orduoce block from the solution of earthquake source mechanism

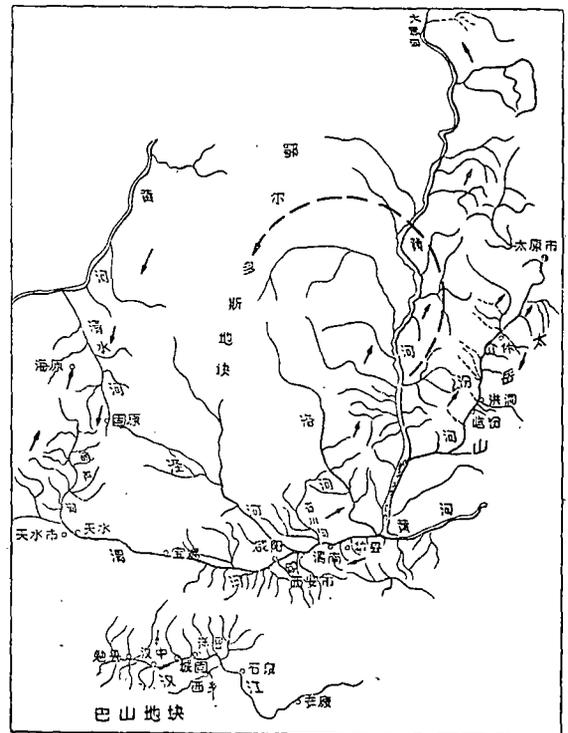


图 4 鄂尔多斯地块周边主要河流水系分布显示的地块运动

Fig. 4 The Pattern of block movement is displayed by water-system distribution at the periphery of the Orduoce block

关中东部的渭南、华县一带；汾河流域的介休、临汾一带；清水河、葫芦河流域等沿主

河道两侧水系有明显的相对运动现象。值得注意的是, 这些地段历史上都发生过8级或多次7级以上地震。它启示我们, 以水系分布为标志, 显示相对运动强烈的地方, 有可能是未来发生大震的地段。对用地震地质方法探寻未来大震的危险地段, 这是一个值得深入研究的问题。

此外, 图3标出的地块周边主要构造线分布, 也似为一扭动运动所致。联系上述讨论, 这不会全为一巧合。

3. 反映最新运动的形变测量也表明了地块的反时针扭动。国家地震局测量二队70—78近十年的成果表明, 渭河地堑北缘包括块体内继续上升, 出现由北向南和由东北向西南大面积倾斜, 致使沿北东向主断裂方向出现隆起带, 且越向晋南越大(图5)。这种范围较大的形变测量结果用反时针扭动曾给了较合理的解释^[1]。后面会看到, 它与地块总运动图象也是符合的。从图5还可以看出, 西安以西, 宝鸡以东地区形变很小或基本未变。

至此, 无论从运动产生的应力场, 还是全新世以来至最新的地壳运动表明, 鄂尔多斯地块存在着反时针扭动趋势。

三、反时针扭动在分析鄂尔多斯地块地质特征和地震活动中的作用。

我们鉴定地质分界明显、完整性好的鄂尔多斯地块具有反时针扭动作用并将其比拟作一椭圆截面的柱体扭转。根据弹性理论的结果^[5], 此时柱截面将发生翘曲, 其垂向位移

$$W = \frac{Mk(a^2 - b^2)}{G\pi a^3 b^3} Xy \quad (1)$$

这里 M_k 表示扭矩, a, b 分别表示地块长、短轴, G 为剪切模量, (X, Y) 为图1所示直角座标中地块内任一点的坐标。

对(1)式作一些定性讨论, 可以看出, 在 $X=0$ 或 $Y=0$ 时, 即坐标轴上 $W=0$, 不产生翘曲变形, 在扭转时不升不降; 在 $X>0, Y>0$ 或 $X<0, Y<0$ 的I, III象限 $W>0$, 产生上翘变形; 在 $X<0, Y>0$ 或 $X>0, Y<0$ 的II, IV象限 $W<0$, 产生沉降变形。即扭转时将出现对称的I, III象限上翘, II, IV象限沉降的运动图象。其次, 容易看到, 当 X, Y 绝对值较大时, 也即边界处比其内部上升或沉降的变形要大, 而边界处 $X=Y$ 或 $X=-Y$ 附近上翘或沉降最大。

其次, 椭圆截面柱体(以下简称椭柱)扭转的总剪切应力

$$\tau = \frac{2Mk}{\pi ab} \sqrt{\frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4}} \quad (2)$$

在短轴端部 b 达到最大值。

联系地块, 首先说明一下坐标轴选取: 根据关中一带形变测量结果(图5), 利用扭转时坐标轴上的性质, 并结合水系特点, 取 Y 轴通过靠近宝鸡的风翔和北部的包头, 呼和浩特之间, 与类比的椭圆长轴 a 重合; X 轴选为通过银川地堑与屈吴山, 六盘山隆起交界一带的中宁、中卫附近, 另一端沿垂直 Y 轴方向通过临汾偏北, 与类比的椭圆短轴 b 重合(图1)。

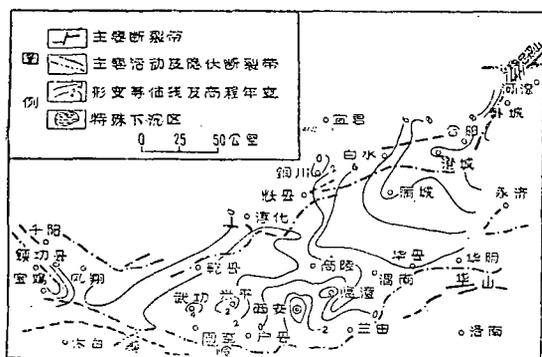


图 5

Fig. 5 Level change in the weihe region

①由图 6 可以看出，块体边界附近第四纪以来地壳升降区所显示的对称运动图象与前述椭柱扭转所得结果符合很好。事实上，现今的构造状况是，I 象限有银川地堑，河套地堑等剧烈沉降区；IV 象限有汾渭地堑剧烈沉降区。有趣的是，I 象限中的关帝山峰(海拔2831)，云中山等近似位于 $X = Y$ 附近；III 象限的米缸山峰(海拔2942)亦如此。II 象限的平罗地区、IV 象限的关中东部地区都大约在 $X = -Y$ 附近，它们是相应地堑区沉降最大的地段。这些都与椭柱扭转结果一致。尽管彼此不会全一样，但理论扭转结果与这些最主要地质事实的符合，已很能说明，地块确存在一反时针扭动。同时也清楚地解释了，为什么新生代以来整个地块处于上升运动时，对称的汾渭、银川，河套地堑及相邻部分却在剧烈沉降的地质现象(显然，这是地质学中垂直运动学说难以说明的问题)。如果结合地质上已有结果(3)，可以推断的是，新生代以来鄂尔多斯地块主要运动形式将是垂直运动加反时针扭动，即旋进式运动。

当直接将椭柱扭转结果与地震活动相联系时，就会看到，切应力(看(2)式)达到最大值即剪切作用最剧烈的短轴b端部：一为临汾、洪洞。这里曾发生了两次8级地震；一为中卫、中宁。这里曾发生了7½级和7¼级地震。其次， $W < 0$ 的II IV象限沉降变化最大的地方分别发生了平罗8级、华县8级地震。参照椭柱扭转运动，地块边界是剪切作用、升降差异运动最剧烈的地方。因此6级以上地震沿地块边界分布就为必然结果。这些都说明，明确反时针扭动并把它作如此类比后，对深入认识其地震活动特点是很有益的。

②对称象限地震活动的彼此呼应。地块区象限图的划分，自然使人想到，运动状况相似的边界地段地震活动应有一定联系，即对称象限的地震活动会有彼此呼应现象。统计历史地震后看到，I、III象限地震活动有呼应现象(表1)；II、IV象限地震活动也有呼应现象(表2)。地块区多数较大地震存在这种呼应。它使人有可能通过某象限范围的地震活动情况去推断对称象限的地震趋势，因而是有预报意义的。值得注意的是，5次8级以上地震中，除海原8.5级地震外，基本上都发生在II IV象限这种沉降区内。

从1556年华县8级地震来看，尽管该震发生前约50年中地块周边地震活动少而小。但此

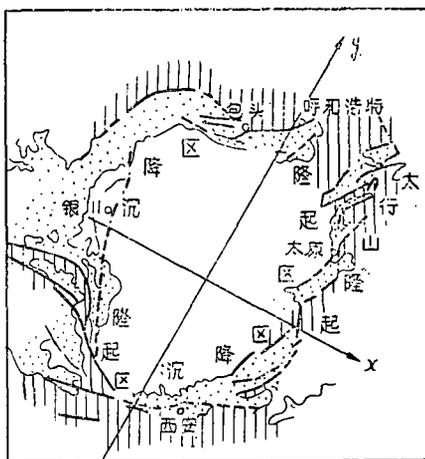


图 6 第四纪鄂尔多斯地块边界处隆起沉降区分布图

Fig. 6 The distribution of the rising and sinking region at the periphery of the Orduoec block in Quaternary period.

表 1

I (象限)	II (象限)	I	II
1022.4 应县6 ¹ / ₂		1626.6 灵丘7.0	1634.1 西和6.0
1038.1 定襄7 ¹ / ₄	1125.7 兰州7.0		1638.1 海原5 ¹ / ₂
1209.12 浮山6 ¹ / ₂	1219.6 固原6 ¹ / ₂		1654.7 天水7 ¹ / ₂
1291.8 临汾6 ¹ / ₂		1683.11 原平7.0	1704.9 岢县6.0
1303.9 洪洞8.0			1709.10 景泰6 ¹ / ₄
1305.5 怀仁6 ¹ / ₂	1352.4 会宁7.0		1718.6 通渭7 ¹ / ₂
1512.5 代县7.0	1573.1 岷县6 ³ / ₄		1920.12 海原8.5
1581.5 广灵6.0	1604.10 礼县6.0		1920.12 泾原7.0
1614.10 平遥6.0		1929.11. 土默特左旗6.0	1936.8 天水6.0
1618.5 介休6 ¹ / ₂		1979.6 介休5.1	1979. 礼县5.0
1618.11 蔚县6.0		1980.3 平遥5.1	1980.6 岢县4.4
1622.9 麟游5.0	1622.10 海原7.0	1981.8 丰镇5.8	1982.4 海原5.7

表 2

I (象限)	IV (象限)	II	IV
876.7 青铜峡6 ¹ / ₂	865.12 临汾5 ¹ / ₂ 867.2 临汾5 ¹ / ₂		1569.5 潼关5.0
1143.4 银川6 ¹ / ₂	1209.12 浮山6 ¹ / ₂	1608.9 青铜峡5 ¹ / ₂	1642.6 平陆6.0
1477.5 银川6 ¹ / ₂			
1495.4 中卫6 ¹ / ₄	1501.1 朝邑7.0	1709.10 中卫7 ¹ / ₂	
	1502.1 朝邑5.0	1739.1 平罗8.0	
1505.7 青铜峡5 ¹ / ₂	1556.1 华县8.0		1815.10 三门峡6 ³ / ₄
1561.7 中宁7 ¹ / ₄	1568.1 兰田5.0	1852.5 中卫6.0	
1568.4 银川5 ¹ / ₂	1568.4 临潼5 ¹ / ₂	1959.12 银川4 ¹ / ₄	1959.8 韩城5.4
		1961.8 吴忠4.0	1960.8 澄城4.0
	1568.5 西安6 ³ / ₄		

震前后约80年中,属 II IV 象限的中卫、中宁、华县、朝邑、西安一带却发生了包括该震在内的6次6级以上地震,即反映了地块整体活动的强烈,又反映了 II、IV 象限间地震的对称呼应。此外,沿每个象限的边界(即沿带),甚至包括部分相邻边界,地震在一时期内有沿带迁移现象。也就是一个短期内,地震集中而似有一顺序的发生。例如,IV 象限中,1501到1695年期间从朝邑7.0级开始到临汾8.0级地震,中间发生5级以上地震达16次,此期间相连的 I 象限边界处也比较集中地发生了多次5级以上地震。

当然受相邻地块剧烈活动影响,地块周边也会发生一些地震,故不可能任何时期的较大地震都呼应、对生。某些违例情况,例如1920年海原8.5级大震,可能主要不是本地块活动所致。只要看一下海原地震后,沿阿拉善地块南缘(北西向)在不到12年时间里相继发生古浪8级(1927年)、富蕴8.0级(1931年)、昌马7¹/₂级(1932年)等地震就明白它们可能是阿拉善地块激烈活动的结果。

利用震级与断层长度统计关系

$M = \frac{4}{3} \lg L + 5.0$, $M \geq 7$ [9], $M = 4 \lg L + 1$, $M \leq 7$ [10] 可求一些主要地震的断层长

度。统观这些地震的断层长度可了解地块周边沟通情况，结果见图2。可以看出，地震断裂主要取决于大震发生。已有情况是，大同至西安、乌海至西海固一带大震造成的断裂已基本沟通，间有未沟通小段，它们或原来就有断层，或尚未贯穿。当然对确未贯穿地段，在现今运动格局下，存在发震可能。但由于尺度小，其强度会在7级以下。需要提及的是，对隆起区边界及邻近，一方面它受张扭作用，另一方面又受产生隆起的挤压，其特点与沉降段不同，这个问题尚需进一步讨论。

79年6月在分析形变测量、小震及一些前兆现象反映鄂尔多斯地块运动有加强趋势的基础上，曾提出必须密切注意南北强震带北端和晋陕交界一带震情的今后发展〔1〕。实际情况是，79年下半年以来，地块周边发生了包括介休5.1、五原6.0、丰镇5.8、海原5.7级等一系列中强震。此可视为对上述看法的某种应验。它表明，研究地块整体运动，对地震活动趋势判断是有意义的，也直接有益于形变测量结果的分析认识。

四、对鄂尔多斯地块区地震趋势的几点看法

1. 在地震活动中与大华北地块的呼应。镶嵌在地块中间的鄂尔多斯地块，由于受制于大范围应力场控制，不可能是孤立的，它的运动形式和运动强烈程度等直接与相邻地块的活动有关。属大华北地块的6次8级地震集中发生在400多年中。其中1668年莒县—郟城8.5级、1679年三河—平谷8.0级、1695年临汾8.0级、1739年平罗8.0级4次大震前后间隔才70年。这么多这样大的地震，时间却如此集中，足见其联系之紧密。开展前兆观测以来，特别是76年唐山7.8级地震前后，此问题看得较为明显。震前，除华北地区像邢台余震频次突增，庙岛、黑山石几震群、大城4.4级地震、其它多种异常外，作为大华北一部分的鄂尔多斯地块区，有76年4月6日和林格尔6.3级，太原多达820次的小震群，晋东南一带76年初的多起宏观异常，关中地区小震次数剧增高达正常年份的三倍多（包括震后部分地震）；震后，在大范围应力调整中，此地区发生了巴音木仁6.2级、关中一带小震频繁、多起火球、地裂、地下水异常等。这些事实说明，鄂尔多斯地块受制于大华北地块的整体剧烈活动，在唐山地震前后作了积极呼应。它反映了地块间、局部与整体间运动的相互联系和统一性。

2. 另一方面，无论从中生，新生代的运动和现今活动看，它又有自己的个性。拿最新运动来说，76年后地块南部形变测量结果表明，约从70年以来地块运动加强的格局和趋势，并未随华北地区，特别是唐山大地震的发生而衰减。在大华北地震活动总体处于衰减情况下，此地块周边从79年下半年以来却发生了介休5.1、乌拉特前旗4.8、五原6.0、银川4.3、平遥5.1、陇县4.4、礼县5.0、丰镇5.8、同心4.0、海原5.7级等地震（即使不计76年和林格尔及巴音木仁地震，也能看出其活动的强烈）。这也说明把地块作为独立单元研究的必要性。

地块区是地块和边界处中强以上地震活动的关系密切区和前兆反映集中区。由上面的讨论知，这些属同一地质块体的地震，在运动学、动力学上有其同因性。因此当考虑地块局部地区震情时，要把整个地块的运动趋势、对称象限地震活动和本象限内边界一带的地震活动、前兆反映结合起来。它们是判断时的主要依据。同时由于整体性，边界处一些较大地震的前兆会在内部有所反映，而且边界处发生较大地震的危险远较内部为大。

按椭柱扭转变形结果，应特别注意剪应力作用最大上升、沉降变形较大的地段。它们可能是更易蕴震的地方。同时围绕这些地段（包括自身）前兆反映会较为集中。在分析和措施安排

上,要有所区别。

李永善、牛志仁同志给予了热情支持。姜家兰同志参加了部分讨论并在地震活动资料等方面给予了帮助。笔者向他们表示深切谢意。

(本文1983年1月3日收到)

参 考 文 献

- [1]苏刚,鄂尔多斯地块运动和地震趋势,西北地震学报,1980,2卷4期。
- [2]聂宗笙,华北地区新生代构造活动特征,地震科学研究,1980,第二辑。
- [3]陈章立,薛峰,选择未来大震危险区的一种方法—地震空区述评,地震科学研究,1982,3期。
- [4]丁国瑜,活动走滑断裂带的断错水系与地震,地震,1982,1期。
- [5]ИИ别茹霍夫,杜庆华等译,弹性与塑性理论,高等教育出版社,1956。
- [6]许忠淮等,京、津、唐、张地区地震应力场的方向特征,地震学报,1979,1卷2期。
- [7]陈培善等,从断裂力学观点研究地震的破裂过程和地震预报,地球物理学报,1977,20卷3期。
- [8]苏刚,震级与前兆持续时间关系的探讨,地震科学研究,1981,1期。
- [9]王泽皋,邢台余震频度增高及以后发生的华北强震,地震学报,1979,1卷2期。
- [10]苏刚,我国大陆地壳深部现代的条带状翘曲变形和地震活动,西北地震学报,1979年1期。
- [11]李永善等,地壳快速弹性破裂与地震,西北地震学报,1981。
- [12]何志桐、谢挺,邢台地震系列的空间分布构造应力场及其发生过程的探讨,地球物理学报,1977,20卷2期。

THE RESEARCH OF REGIONAL SEISMICITY USING
THE MOVING-BLOCK AS AN UNIT
(The ORDUOCE BLOCK AND ITS SEISMICITY)

Su Gang

(*The Seismological Bureau of Shanxi Province*)

Abstract

In this paper, using the division of plate tectonics for reference, we have discussed that the Orduoce Block may be an independent block based on some facts of geology and seismology. And by the stress field from the solution of earthquake source mechanism and distribution of water-system etc. we have shown counterclockwise torsion in this block, which is used to discuss the regional seismicity. When comparing the movement of the block with the torsion of the cylinder of elliptic section, we found theoretical pattern of symmetric rise-sinking will show no difference from the pattern of tectonic motion of the block in Quaternary period. We have analysed symmetric echo of seismic activity of block boundary, mechanical character of the area of occurring great earthquake, the distribution of great earthquake along block boundary, the collusion of boundary fault from the earthquake and mechanical properties of the fault etc. by the result obtained from the study of cylinder torsion of elliptic section. On this basis, we put forward five respects which are needful to estimate the trend of earthquake of block region. Then, shortrange trend is estimated.

After the preliminary analysis of force source we consider that Pacific plate play a main part in the movement of the Orduoce block, but the reflection of Indian Ocean plate can't overlooked too in it.