

构造力学性质与地震强度的关系

—以鄂尔多斯地块及其周边地区为例

刘仲温 王贵华 张文国 孙小平 苏春平

(国家地震局地壳应力研究所)

摘 要

在总结了鄂尔多斯地区构造特征的基础上,提出构造力学性质与地震强度之间有以下关系:(1)在以张性为主的断裂和断裂带上,可能发生的地震的最大震级一般小于7级;(2)在扭性特征显著的断裂和断裂带上发生的地震的最高震级可达到8级;(3)在具有明显压性特征的断裂和断裂带上,发生地震的震级大于8级,可达8½级。根据这一规律,对鄂尔多斯地区不同震级的潜在震源区进行了预测。

一、引 言

关于构造与地震强度的关系,前人从构造的规模、位置、几何形态等方面做了总结⁽¹⁾,但是很少涉及构造的受力状态和构造的力学性质。然而,构造的受力状态及其力学性质对地震的强度也有一定的影响。本文从这种观点出发,以鄂尔多斯地区为例,对构造受力方式、断裂力学性质与地震强度的关系进行了一些探索,并对鄂尔多斯地区的潜在震源区提出了一些看法。

二、鄂尔多斯地块及其周边地区的构造特征

鄂尔多斯地块及其周边地区是指阴山以南,秦岭以北,贺兰山以西,太行山以东的广大地区。在大地构造上包括祁吕贺兰山字型的脊柱、前弧、东翼和盾地部分,即传统地质学称谓的华北地台的西部和祁连山褶皱系的一部分。在构造上包括鄂尔多斯地块及其周边断裂带(图1,图中断裂和断陷名称见表1、表2)。

1. 鄂尔多斯地块

其范围北到河套盆地南缘丘陵,南到渭河盆地北山,西以桌子山与银川盆地为界,东以吕梁山与山西中部盆地相邻。地块四周被丘陵、山地环绕,中间是黄土高原,结晶基底由前震旦纪变质岩系组成,震旦系到中生界组成地块盖层,其中缺失了上奥陶统到下石炭统地层。盖层构造除在地块与周边断裂带接壤部分较复杂外,一般平缓简单,断裂稀少。总体来

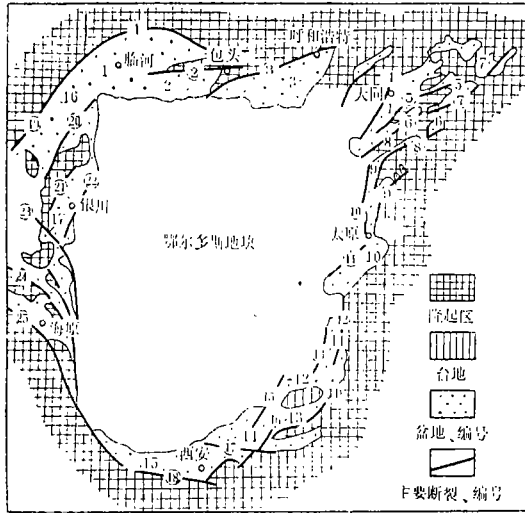


图 1 鄂尔多斯地区构造略图
Fig. 1 Tectonic sketch in Ordos region

表 1

编号	名称	性质	走向	倾向	倾角(度)	断距(m)	备注
1	狼山—色尔腾山断裂	正倾滑	NE—EW	S	40—60	>14200	
2	乌拉山南麓断裂	正倾滑	近EW	S		>4000	
3	大青山山前断裂	正倾滑	近EW	S	35—80	>7600	
4	口泉断裂	正倾滑	N35°E±	SE	65—75	2000	见压性逆冲现象及右旋走滑分量*
5	东后子口—豆庄断裂	正倾滑	N55°—65°E	NW	60		
6	恒山断裂	正倾滑	N50°—70°E	NW	60—70	>500	
7	南山断裂	正倾滑	NEE	NW		>500	
8	五台山山前断裂	正倾滑	N60°E	NW	高角度		西端转向SSW
9	系舟山山前断裂	正倾滑	NE	NW	60	300—700	西端转向SSW—S, 具右旋*
10	云中山断裂	正倾滑	N20°E±	SE	高角度		
11	交城断裂	正倾滑	N50°E±	SE	30—54	2000—4000	
12	狐山山前断裂	正倾滑	N10°—30°E	NW	65—75	500—700 向南减小	具右或左旋迹象*
13	罗云山断裂	正倾滑	N30°—50°E	SE	40—80	南部400 北部100—150	具右旋走滑分量*
14	中条山山前断裂	正倾滑	NE—NEE	NW	55—70	4000—6000	
15	韩城断裂	正倾滑	NNE	SE	高角度	北段>南段	有人将之延至华县一带称韩城—华县断裂带[4]
16	中条山西缘断裂	正倾滑	NNE	NW	高角度	南段<北段	
17	华山西山前断裂	正倾滑	NE—EW	N	60—70	>7000	
18	秦岭北断裂	正倾滑	EW	N	60—80	>12000	
19	巴音乌拉山东麓断裂	正倾滑	N40°E	SE(E支) NW(W支)		1500—2000 北大南小	西支为逆冲断裂[1]
20	贺兰山西麓断裂	正倾滑	N30°E±	SW	陡		隐伏
21	贺兰山东麓断裂	正倾滑	N40°E±	SE	>60	>3000	具有旋平移*
22	黄河断裂	正倾滑	NNE	NW	70±	南: 2800 北: <300	

* 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组，鄂尔多斯周缘活动断裂带。

表 2

编号	断陷名称	控制断陷的主要断裂数	断陷走向	沉积中心	内部构造	备注
1	临河断陷	一条	近EW	一个, 偏于北侧	简单	
2	白彦花断陷	一条	近EW	一个, 偏于北侧	简单	
3	呼和断陷	一条	近EW	一个, 偏于北侧	简单	
4	桑干河断陷	二条	NEE	二个, 一个偏于口泉断裂, 一个偏于东后子口—豆庄断裂	较复杂	东部NEE, 简单, 西部复杂, 受二断裂控制
5	蔚县断陷	一条	NEE	一个, 偏于南侧	简单	
6	灵丘断陷	一条	NEE	一个, 偏于南侧	简单	
7	延怀断陷	二条	NE-近EW	二个, 偏于北侧	简单	实为由二个断陷组成
8	代县断陷	一条	NEE	一个, 偏于南侧	简单	
9	原平断陷	二条	近SN -NNE	二个, 北部偏于西侧, 南部相反	复杂	
10	晋中断陷	一条	NEE	一个, 偏于北侧	简单	
11	临汾断陷	二条	近SN ~NNE	二个, 北部偏于东侧, 南部偏于西侧	复杂	
12	侯马断陷	一条	NEE	一个, 偏于北侧	简单	
13	运城断陷	一条	NEE	一个, 偏于南侧	简单	
14	固市断陷	一条	NEE ~近EW	一个, 偏于南侧	简单	
15	西安断陷	一条	NEE ~近EW	一个, 偏于北侧	简单	
16	吉兰泰断陷	二条	NNE ~NE	不 清	复杂	
17	银川断陷	二条	NNE	二个, 北部偏于西侧, 南部偏于东侧	复杂	

看, 盖层在南北方向上呈一箱形向斜形态, 在东西方向上大致呈向西倾的单斜形态。

新生代以来地块一直处于隆起状态, 只在晚第三纪上新世时期东、南部的一些洼地中接受了部分红色碎屑堆积。第四纪除沿河谷两岸见有冲积层外, 一般均为新、老黄土或风沙堆积。新生界地层水平, 基本上看不到变形迹象。地块是新生代以来构造运动稳定的地区。

2. 周边断裂带

断裂带中, 前新生界地层褶皱强烈, 断裂复杂。新生代以来断裂活动强烈, 沉积巨厚, 强震频繁, 现今地面形变显著。按受力方式和自身特点, 断裂带可分为:

(1) 以引张作用为主形成的张性断裂带

分布于地块北部的河套地区。主要由狼山—色尔腾山断裂、乌拉山南麓断裂、大青山断裂和由它们控制的临河断陷、白彦花断陷、呼和断陷及其间隆起组成。它们近乎平行排列, 相互交错、重迭, 略呈斜列形式。

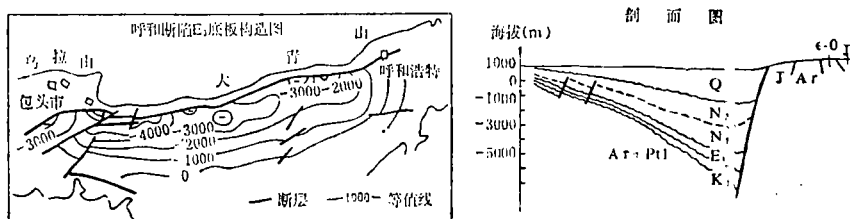


图 2 呼和断陷平面及剖面图
Fig. 2 Plane and section in Huhohote basin

其断裂的共同特点是：延伸长，总体走向近东西，呈正倾滑形态，断面南倾，新生代以来活动强烈，垂直断距大。狼山—色尔腾山断裂的垂直断距大于12600m，乌拉山南麓断裂大于5000m，大青山断裂大于7600m。

其断陷的共同特点是：基底在剖面上呈箕状形态，倾向主断裂，新生代沉积巨厚，沉积中心均靠近主断裂；内部虽有次级构造，但都比较简单（图 2、表 1、表 2）。

这些断裂、断陷的特点和它们的组合特征说明它们可能主要是在南北引张作用下形成的。它们稍具斜列的排列形式又暗示着该带形成之时可能还受了轻微剪切作用。

(2) 以剪切作用为主形成的扭裂带

主要包括地块西缘北部吉兰泰—银川断裂带和地块东、南部的山西—渭河断裂带。

吉兰泰—银川断裂带：位于鄂尔多斯地块西缘北部，总体近南北向，北与河套断陷相连，南以牛首山断裂与西缘南部弧形断裂带相隔。断裂带内北东向或北北东向的巴音乌拉山东麓断裂、贺兰山西麓断裂、贺兰山东麓断裂、黄河断裂和吉兰泰断陷、银川断陷、贺兰山隆起呈南北向雁列分布。

除贺兰山西麓断裂因覆盖其特点不清和巴音乌拉山东麓断裂西支具逆倾滑性质外，断裂一般具有以下特点（表 1）：具正倾滑性质，倾向南东或北西；同一条断裂两端活动强度不同，断陷北西侧断裂的北段活动强于南段，断陷南东侧断裂的南段活动强于北段；成对出现，共同控制一个断陷。

断陷中吉兰泰断陷的内部构造尚不清楚，有人据少量物探资料推测认为，其是一基底向北西倾的断陷盆地，但内部构造复杂，多组不同方向的构造发育〔1〕。

银川断陷（图 3）以贺兰山隆起与吉兰泰断陷相隔，受贺兰山东麓断裂和黄河断裂控制，内部构造复杂。在银川以北的石油物探工作发现，在银川至平罗一带于断陷的中部有一与断陷走向相同的次级深槽。该槽东西两侧分别由银川断裂和芦花台断裂控制，其特点与主断裂相同。

受四条断裂控制，断陷和次级深槽中出现两个新生代的沉积中心，分别位于断陷、深槽的南北两部，偏于不同断裂一侧（图 3、图 4），致使断陷基底在剖面上呈倾向不同的箕状形态。从次级深槽新生代不同时期的沉积等厚图分析，这一现象是早第三纪以来逐渐形成的

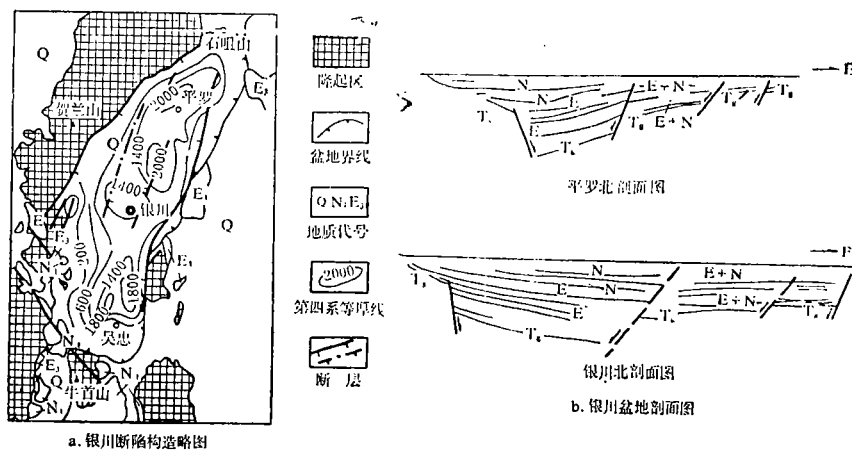


图 3 银川盆地构造图
a. 银川断陷构造略图 b. 银川盆地剖面图（据长庆油田资料）

Fig. 8 Tectonic sketch in Yinchuan basin

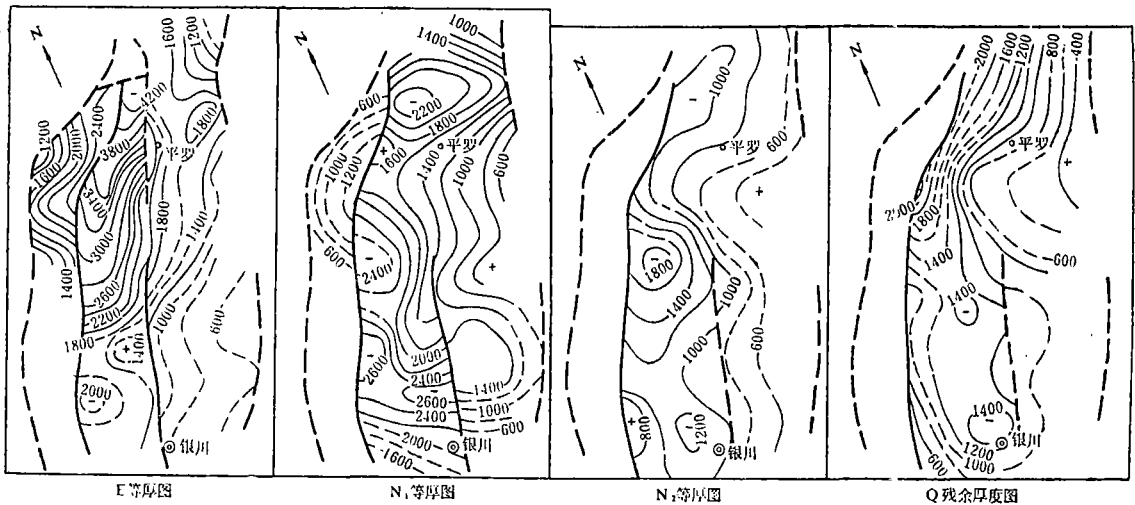


图4 银川断陷中次级深槽新生界等厚度图 (据长庆油田资料)
 Fig. 4 Cenozoic isopach map of secondary deep-trough in Yinchuan

(图4)。

上述断裂、断陷特点说明它们除具有张性特征外, 还具有显著的扭性。总体呈雁行排列的特征, 标志着它们是在两侧地块扭动下形成的。

山西—渭河断裂带, 断裂带从南到北横贯山西省中部, 向南延至渭河流域。该带宽度多变, 总体呈“S”形态。带内一系列北东东—东西向断裂、断陷和北北东—近南北向断裂、断陷呈雁行状排列(表1、2, 图1)。北东东—近东西向断裂和断陷组成该带的宽度较大的部分。从北到南大致分四段, 即五台山山前断裂以北地段, 晋中断陷一带, 侯马—运城断陷一带和渭河断陷一带。这四段中的断裂和断陷有着共同的特点, 而且这些特点与上述河套断裂带中断裂和断陷的特点基本一致(图5), 说明它们是受以引张为主的作用形成的以张性为主的构造。北北东—近南北向断裂和断陷, 除口泉断裂带外, 均分布于上述宽带之间, 组成山西—渭河带的狭窄部分。这些狭窄部分中的断裂和断陷有着共同的特点, 而且这些特点与上述吉兰泰—银川带的断裂和断陷特点基本一致(图6), 说明它们除具张性外, 扭性特征亦相当明显。

这些宽、窄带有规律地组成一条多字型构造带, 说明山西—渭河带是在两侧地块做右旋扭动时形成的一条扭裂带。

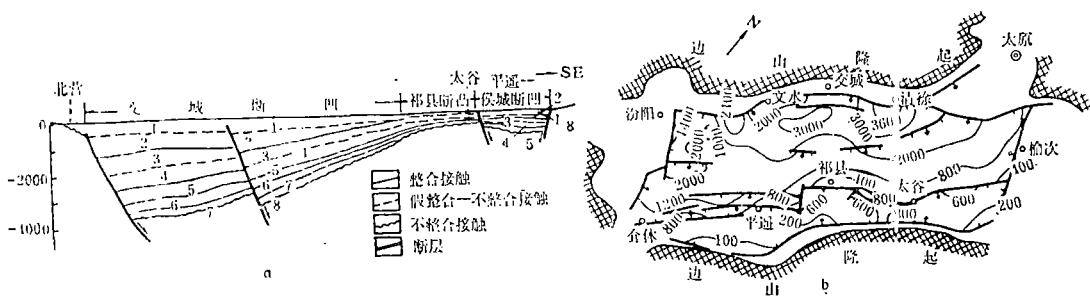


图5 晋中断陷平面及剖面图 (据文献〔3〕)
 1. Q 2. N_{2y} 3. N_{2s} 4. N_{2x} 5. N_{2n} 6. N_{2c} 7. N_{2w} 8. AnKz
 a. 清徐—太谷地质构造横剖面图 b. 晋中断陷新生界底板深度图
 Fig. 5 Plane and section in the centre of Shanxi basin

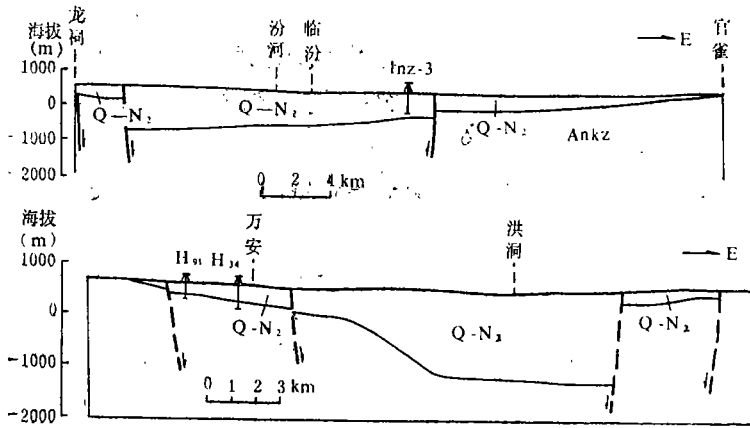


图 6 临汾断陷剖面图 (据山西石油队资料)

Fig. 6 Section in Linfen basin

(3) 压扭性断裂带

见于地块西南缘中卫、海原、固原和宝鸡一带，由数条向北东突出的弧形断裂带组成，它们的走向由近东西转变为近南北，然后又变为北北西向。该断裂带西北部宽，东南部窄，近似呈带状形态。地貌上从西南向东北，山地和盆地相间排列。山地东北缘与盆地呈断层接触，西北缘与盆地呈过渡关系。

山地和盆地间的断裂为逆倾滑断裂，断面倾向山地，向盆地逆冲。主要断裂带有三条，即三关口—牛首山—云雾山断裂带(图1中编号23)，香山—天景山断裂带(图1中编号24)和海原—六盘山断裂带(图1中编号25)。各断裂带的主干断裂均为逆倾滑或逆倾滑兼走滑断裂，如香山北麓断裂泥盆系和石炭系逆冲于第三系之上；西华山北侧哨马堂等处前寒武系逆冲于第三系之上，并见左旋现象；六盘山东麓断裂在固原西和尚铺一带，下白垩统逆冲于第三系之上，并具有左旋特征(图7)。

1920年海原 8 ½级大震发生于六盘山东麓断裂带上，该地震反映的现今应力场与新生代以来的应力场一致，主压应力均为北东东—南西西向〔5〕。

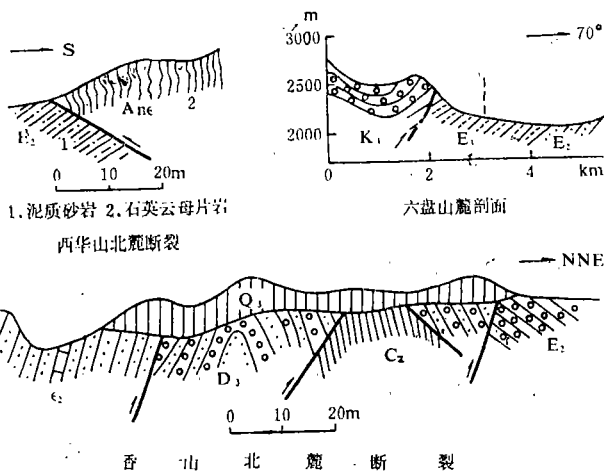


图 7 弧形断裂带剖面图

Fig. 7 Section in Arc-like fault zone

三、构造性质与地震强度关系的探讨及潜在震源区的划分

鄂尔多斯地区是一个多震区，地震分布极不均匀。概括起来其地震分布具有以下特点

(图8)：

(1) 大多数地震发生于周边断裂带中，地块本身地震很少且均小于6级。

(2) $M \geq 6$ 级地震均沿各断裂带的主断裂，尤其是主断裂控制的断陷分布，在各断裂带中的分布也不同(表3)。

(3) 山西—渭河带上 $M \geq 6$ 级强震在宽、窄带中的分布不同(表4)。

表3

名称	$M \geq 6$ 次数	最高震级 (年代, 地点)	备注
河套断裂带	4	6 1/4 (1934, 五原)	为1900以后发生, 以前未见记载
吉兰泰—银川断裂带	3	8 (1739, 平罗)	
山西—渭河断裂带	26	8 (1303, 洪洞; 1556, 华县; 1695, 临汾)	1695临汾地震有人认为是小于8
弧形断裂带	13	8 1/2 (1920, 海原)	

表4

山西—渭河断裂带	地震次数			最高震级	备注
	M	M	M		
宽带	15	1	8	7 (1626, 灵丘)	除灵丘7级外, 均小于7级
窄带	3	4	3	8 (1303, 洪洞) (1556, 华县) (1695, 临汾)	1695临汾地震有人认为是小于8级

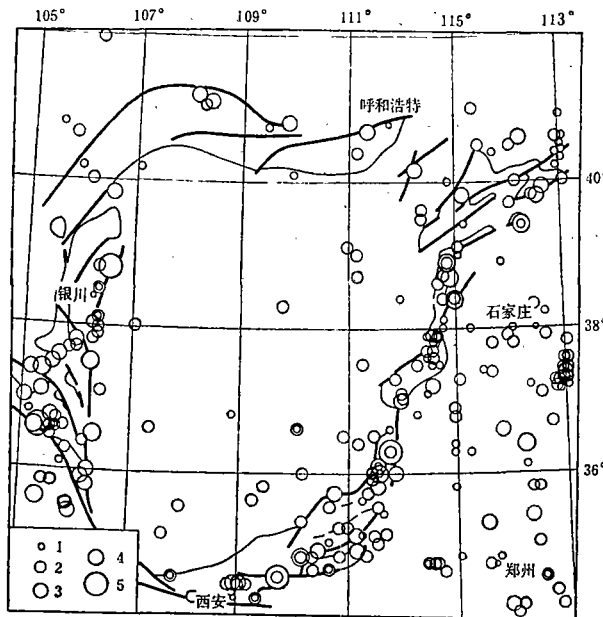


图8 4.0级以上地震震中分布图

1. $M = 4-4.9$ 2. $M = 5-5.9$ 3. $M = 6-6.9$ 4. $M = 7-7.9$ 5. $M \geq 8$

Fig. 8 Distribution of earthquakes ($M \geq 4.0$)

将地震分布特点与前述本区构造特征进行综合分析，可以清楚看到地震强度和构造之间有如下关系：

(1) 新生代以来的活动断裂带中可发生 $M \geq 6$ 级强震，相对稳定的地块区内一般不发生 $M \geq 6$ 级地震。

(2) 活动断裂带中，以张性为主的断裂带，其中可能发生的强震最大震级一般小于7级，如河套断裂带；扭裂带中可能发生大于7级的地震，但一般不大于8级，如山西—渭河

带和吉兰泰—银川带，压或压扭性断裂带中可能发生大于8级达8½级的地震，如地块西南弧形断裂带。

(3) 一条扭裂带上性质不同的构造部位发生的地震最大强度不同，张性显著的构造部位最大地震一般小于7级，如山西—渭河带的宽带地段；扭性明显的部位最大地震可达7—8级，如山西—渭河带的窄带地段。

综上所述，对于构造力学性质与地震强度的关系，可以得出如下认识：

在挤压或挤压—剪切作用下形成的压或压扭性断裂及断裂带上可能发生大于8级地震；以剪切作用为主形成的扭性显著的断裂及断裂带上不大可能发生大于8级的大震，但可能发生7—8级地震；以拉伸作用为主形成的张性为主的断裂及断裂带上可以发生 $M \geq 6$ 级的地震，但一般小于7级。

这一结论与一些同志的研究结果¹⁾近似。另外，大华北地区新生代以来规模较大的断裂大多为正倾滑形态，仅郯庐断裂在鲁南地区（如马陵山一带）见有逆冲现象，具有明显的压性特点，而华北地区唯一的一次8½级大震（1668年莒县大震）恰恰就发生于此，这似乎也为我们的结论提供了证据。

当然，从理论上直接证明这一结论是困难的，这是因为积累多少应力才能造成多大地震至今尚无定量概念。但是，一般说来，岩石的抗拉强度最小，抗剪强度较抗拉强度约大一个数量级，而抗压强度则远大于上述两种强度。这说明在同一岩石内发生不同性质的破裂，所释放的能量是不同的。因此，同一地区在岩石大致相似的情况下，不同力学性质的断裂及断裂带控制不同强度的地震在理论上是可以成立的。

根据上述结论，我们对鄂尔多斯地区的潜在震源区作如下划分：

(1) 地块为 $M < 6$ 级地震的潜在震源区，周边断裂带为 $M \geq 6$ 级地震的潜在震源区。

(2) 周边断陷带中，河套断裂带为 $M < 7$ 级地震的潜在震源区，吉兰泰—银川断裂带和山西—渭河断裂带为7~8级地震的潜在震源区，西南部弧形断裂带为 $M > 8$ 级地震的潜在震源区。

(3) 山西—渭河带中，宽带部分为 $M < 7$ 级地震的潜在震源区，窄带部分为7—8级地震的潜在震源区。

在本文写作过程中，得到刘光勋研究员的帮助，在此表示感谢。

（本文1988年4月29日收到）

[1] 国家地震局，中国地震烈度区划工作报告，1981。

[2] 宁夏地质局研究队《地质力学》编图组，宁夏回族自治区构造体系图说明书，1980。

[3] 张文惠，晋中断陷构造特征及其形成机制探讨，石油地质文集，No. 2，1987。

[4] 陕西省地震综合队，陕西省活动性构造与地震震中分布图说明书，1980。

[5] 国家地震局兰州地震研究所、宁夏回族自治区地震队，一九二〇年海原大地震，地震出版社，1980。

1) 卞兆银等同志研究成果。

RELATION BETWEEN THE FEATURES OF TECTONIC MECHANICS
AND THE EARTHQUAKE STRENGTH—CITE AN EXAMPLE IN
ORDOS BLOCK AND ITS SURROUNDING REGION

Liu Zhongwen, Wang Guihua, Zhang Wenguo,
Sun Xiaoping, Su Chunping
(*Earth Crust Dynamics Institute, SSB*)

Abstract

Based on the summarizing tectonic features in Ordos region, the authors advance following views relating the tectonic mechanics specific property to the earthquake strength.

1. The maximum magnitude of earthquake that will happen on the tension fault or fault zone will be smaller than 7.

2. The maximum magnitude of earthquake that will happen on shear fault or fault zone will be 7—8.

3. The maximum magnitude of earthquake that will happen on the press fault or fault zone will be bigger than 8, may be $8\frac{1}{2}$.

According to these rules, the authors have predicted potential seismic focus place of different magnitudes in Ordos region