

鄂尔多斯块体东界的地震活动

武 烈

(山西省地震局)

摘 要

鄂尔多斯块体东界,是山西境内一系列盆地组成的地堑系,是我国著名的地震带之一。根据历史资料,从公元前231年到现在划成七个地震活跃期,强震由北而南迁移,多分布于盆地中部,极震区走向分成两组,相间分布,震源深度均在10—20公里。最后分析了本活跃期来地震活动的几个特点。

一、引 言

鄂尔多斯块体是华北断块的一个构造单元。地质历史时期,长期处于稳定状态。内部结构简单,很少发生地震。但其周围,却被一系列新生代断陷盆地所包围。这些盆地是强震发生的主要场所,是我国著名的地震带。有记载以来,曾发生过洪洞、平罗、华县、临汾、海源等八级地震及一系列七级以上地震。强震的频度及空间分布密度,在我国大陆区是首屈一指的。鄂尔多斯块体的东界,是山西一系列断陷盆地组成的地堑系,即山西地震带斜贯山西境内的地段。本文将讨论这一地段地震活动特点,对研究板内地震的活动规律是有益的。

二、地质背景简况

山西地区,自中生代末以来,大面积隆起,轴部引张应力产生一系列北北东—北东—东向的正断层,成为现在各个盆地东西两侧的边界。盆地发育阶段,盆地之间同时形成近东西向的隆起或断裂,成为盆地南北两侧的边界或过渡带。其后,较大规模的北西向断裂,切割其它组断裂断续分布。这样,各组断裂在平面上切成大小不等而又有规律的块体,组成了山西地区构造的基本轮廓。可见在盆地的形成过程中,各组断裂的形成和发展起着重要的作用。总体分析,一系列盆地是右旋剪切—拉张的断裂带¹⁾。这个断裂带,清楚地将鄂尔多斯块体和山西隆起分开。

盆地系列形成后,新构造运动继承性地发展着。盆地外围的山区不断上升,基岩裸露地表,形成剥蚀地形。新生代以来,盆地内接受了巨厚的沉积物。根据占探,物探资料推断,各个盆地的沉积厚度,大同盆地2700米,忻定盆地1306米,太原盆地4000米,临汾盆地2200米,运城盆地5800米。盆地内各组断裂发育,而且在不同时期运动方向变化很大,形成次一级的隆起和凹陷。地质,考古以及近年水准复测均证实,盆地内新构造运动强烈,复杂、多变。垂向差异运动最大处可达4毫米/年。东西两侧山区,盆地之间的横向隆起区则相对稳定。

近年来,利用工业爆破的条件,求得山西地区地壳平均厚度为40公里,康氏面埋深26公里。陈顺、陈运泰计算了部分地区的地壳厚度,并提出地壳变薄可能是上地幔上拱引起的³⁾。地壳厚度的不均匀,区域分布上非常明显,盆地内薄,两侧山区和横向隆起区厚,不均匀幅度可达10公里以上。至于地壳变薄带的走向是否与各盆地走向吻合,由于资料所限,尚需进一步研究。

随着新构造运动的发展,不少地区出现第四纪岩浆活动和地热异常。大同盆地的火山口呈北西西向分布,喷发的玄武岩层数较多。沿太行山西侧的晋获断裂,昔阳、平定、左权等地也有第四纪的玄武岩喷发。温泉,热水井地热异常已发现20多处大多分布在各个盆地中,最高出水温度达63℃。显然与盆地边缘及其内部的深大断裂,局部的隆起区,中新世岩浆活动等因素有关。第四纪的岩浆活动和地热异常,在一定程度上直接反映了深部构造的特点及其活动性。

三、地震活动期的划分及强震的迁移

不少作者根据资料比较完整的公元1000年以来800多年的时段,将华北地区的地震活动分成四个活跃期。地震活动的总趋势是随时间在东移³⁾。山西地震带的地震活动,当然也符合这四个活跃期。1980年作者和贾宝卿,根据历史资料的研究,又将山西地震带公元1000年前的地震活动,划出三个活跃期,共为七个活跃期。除第六活跃期外,每个活跃期中并非是全带都活动。地震活动的场所,往往是某一段。这样,根据每个活跃期中地震活动的主要地段及最大地震的位置来分析强震的迁移。

第一活跃期:公元前231年前后

《史记》卷四十三《赵世家》记载:赵幽缪王五年,“代地大动,自乐徐以西,北至平阴,台屋墙垣大半坏,地圻东西百三十步。六年,大饥”《中国地震目录》(科学出版社,1971年)将这次地震震中定为临汾,震级6 $\frac{1}{2}$ 级。我们认为震中有误,震级偏小。代地大动,代为代郡。秦时代郡,包括今河北省的怀安,阳原,蔚县等,山西省的阳高,天镇,广灵,灵邱等县及内蒙的兴和等。郡治代县在今蔚县城东北不远处。乐徐约在今河北涞源县东南,平阴约在今山西阳高县南⁴⁾。故这次地震,震中应定在阳高,天镇一带。根据破坏区范围,震级可能在七级左右。

第二活跃期:110年前后

嘉庆辛未十六年本《晋乘搜略》卷九记载:永初初(公元107年),并州民讹言相惊,弃指旧居,老弱相携南走,官司不能制,诏并州刺史,敕长吏谕还本土。是时,河东地陷,日南地圻,长百八十二里,广五十六里,地陷,大变也……。地圻至百有余里,亦止一见变之尤甚者,按自安帝即位十三年以来,郡口地震无虚日。……郡口无不震之地,震不岁年而复然。

元初元年(公元114年),京师及太原,雁门,马邑地震。(京师,今洛阳。马邑,今山西朔县)。汉冲帝永嘉元年(公元145年),太原、雁门地震,水涌土裂。

上述记载分析,公元110年前后,可划为一个活跃期,地震活动的地段主要在太原以北地区,最大的地震可能发生在大同盆地的南端,即朔县一带。震级达七级左右。

第三活跃期:512年前后

145年以后,山西三百多年无地震记载。474年又开始活跃,到514年,发生地震23次。最大的地震是512年5月21日代县7 $\frac{1}{2}$ 级地震⁵⁾。分析23次地震,代县7 $\frac{1}{2}$ 级地震前20次,其中大同盆地10次,太原盆地7次,忻定盆地1次,其它地区2次。清楚地看出,忻定盆地的南北两侧地震活动水平较高,而忻定盆地形成空段。代县7 $\frac{1}{2}$ 级地震后的3次地震,均发生于忻定盆地,估计为代县7 $\frac{1}{2}$ 级地震的余震系列。

第四活跃期:989—1050年

512年代县7 $\frac{1}{2}$ 级地震以后,山西平静四百多年,到989年又开始活跃起来,一直延续到1050年。共记载地震15次,大同盆地1次,忻定盆地8次,太原盆地2次,临汾盆地4次,最大地震是1038年忻定7 $\frac{1}{2}$ 级地震⁶⁾。大同盆地虽然发生了应县6 $\frac{1}{2}$ 级地震,但是频度很低,临汾盆地的频度有所增

高。

第五活跃期：1209—1368年

1038年忻定7 $\frac{1}{4}$ 级地震以后，山西平静了近二百年。到1209年临汾盆地的浮山县发生6 $\frac{1}{4}$ 级地震，这是有历史记载以来山西南部第一个较大的破坏性地震。到1291年临汾又发生了6 $\frac{1}{4}$ 级地震，预示着临汾盆地应力的加强过程，1303年洪洞发生了8级地震。

洪洞8级地震前，太原盆地，临汾盆地活动水平较高，洪洞8级地震后，大同盆地，太原盆地，临汾盆地相继发生了一系列破坏性地震，而忻定盆地，运城盆地至静。

第六活跃期：1614—1695年

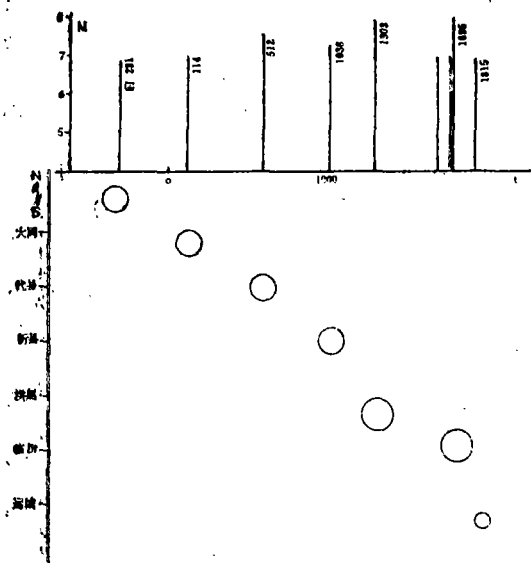


图1 山西强震的序列及迁移

1303年洪洞8级地震后，山西平静了近二百年无6级以上地震发生。到1614年、1618年在太原盆地的平遥，介休相继发生了6级以上地震，接着从北向南活动增强，发生了一系列中强地震及强震，唯独临汾盆地平静，形成空区，1695年临汾8级地震，发生在这个空区的中部。本活跃期是山西地震活动的全盛期，强震多，范围大。

第七活跃期：1815年—

1695年临汾8级后，山西平静了一百二十年，1815年发生了平陆6 $\frac{3}{4}$ 级地震，揭开了本活跃期的序幕，到目前为止，已发生5—6级地震22次。关于本活跃期以来山西的地震活动特点，后面将专门讨论。

上述情况，清楚地看出，山西地震活动有300年左右的活跃—平静周期。6级以上地震，均发生于活跃期内。每个活跃期中，地震活动的主要地段及最大地震的位置，由北而南迁移（图1）。但是有两点尚需说明和提出来进一步研究。

1. 同一活跃期，强震迁移可能与较大范围块体整体运动，应力积累点的分布特点，闭锁段连通情况的变化等因素有关，有独特的迁移规律。

2. 鄂尔多斯块体的西边界，是西北和华北两个强震区的边界，因此它表现着华北和西北两个强震区的动态⁽¹⁾。而鄂尔多斯块体的东西两边界的地震活动，在前几次活跃期中有着同步的动态特征。但是本活跃期以来，西边界已发生了一系列强震，而东界从大同盆地—运城盆地一段，未发生8级以上地震，这种现象需要认真注意和研究。

四、强震发生的部位及极震区走向特点

有历史记载以来，山西境内发生过一系列强震。本文所谈的强震，是指历史资料较多，造成严重破坏的11次地震，包括两次8级地震，四次 ≥ 7 级地震，五次 ≥ 6 级地震。极震区的划分，对于8级地震和 ≥ 7 级地震而言，为九度以上地区，对 ≥ 6 级地震而言，为八度以上地区。

通过对上述地震极震区范围及其走向的研究，初步看出：

极震区的几何中心，或者说破坏最严重的区段，均在盆地中部。极震区的走向分为两组，一组和盆地走向一致。如洪洞8级地震，代县7 $\frac{1}{4}$ 级地震，忻定7 $\frac{1}{4}$ 级地震，灵邱7级地震，介休和徐沟6级地震。另一组和盆地走向斜交或正交。如临汾8级地震，原平7级地震，平遥和应县6级地震。更有意思的是同一盆地内，震中相邻震级相似的两次地震，极震区范围有一部分重复，而它们的极震区

走向互相斜交或正交。如临汾盆地内的洪洞，临汾两次 8 级地震，太原盆地内的介休，平遥，徐沟 8 级地震，忻定盆地内代县，原平，忻定 7 级地震。这些地震形成了极震区走向相间变化的图案（图 2）。这种现象不是偶然的巧合，反映了这些强震蕴震过程及蕴震构造特点。

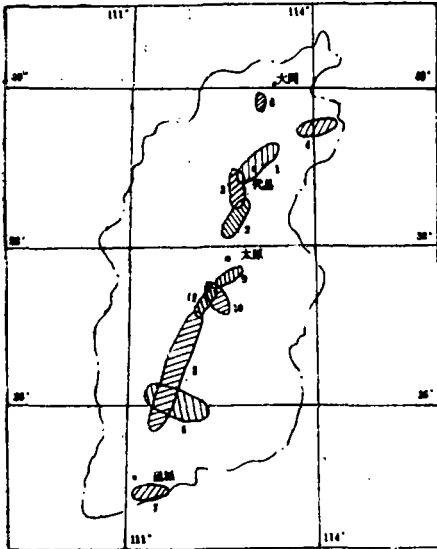


图 2 历史强震部位及极震区走向

图 2 图注：1. 512 年代县 7 $\frac{1}{2}$ 级 2. 1038 年忻定 7 $\frac{1}{2}$ 级 3. 1303 洪洞 8 级 4. 1626 广灵 7 级 5. 1683 6. 1695 临汾 8 级 7. 1815 平陆 6 $\frac{1}{2}$ 级 8. 1022 应县 6 $\frac{1}{2}$ 级 9. 1368 徐沟 6 级 10. 1614 平遥 6 级

华北地区，自晚第三纪以来，一直处于主压力轴方向为北东东向的应力场中⁷⁾。近年来震源机制解也证实华北处于统一的应力场中，主压应力轴方向为北东东⁸⁾。对于主压应力轴而言，接近剪切破裂方位的两组断层面，最容易积累剪切应变能，最后作走向滑动破裂。显然，各盆地内和盆地走向一致的北东东—北东向断裂，和盆地走向斜交或正交的北西—北西西向断裂，是主要的发展构造，并显示共轭特点。两组断裂交汇，形成良好的闭锁区。当一组断裂发展后，本身积累的应力释放，处于蠕滑状态。另一组断裂则加速积累应力，继而最后发震破裂。前述的几组地震，极震区走向的变化，说明了这个蕴震过程。这对分析危险地段和预测极震区走向是有益的。

关于强震发生的部位，前人的研究曾得出：盆地与横向隆起复合的部位；多组断裂交汇部位；盆地内垂向差异运动强烈的地段有利于发生强震。由于工作程度有限，深部构造还不太清楚，作者这里强调两点。

1. 一系列的强震，说明力源条件充分，太平洋板块推挤力是主要的。但是，从一些强震多发生于垂向差异运动强烈，上地幔上拱，地壳变薄的地区来看，垂向力的因素不可忽视。可以这样说，山西断陷式盆地内的强震，其力源是水平、垂向的合成力。

2. 多组断裂交汇，形成闭锁区，发生强震。其中最主要的是盆地内部沿盆地走向的深大断裂与北西—北西西向深大断裂交汇处。如果一组断裂已发震，另一组断裂可能是未来发生强震的部位。

五、强震发生的空间深度

历史地震，是根据宏观烈度等震线图计算其震源深度。有台网记录以来的地震，全部用山西地震目录的深度资料，作了从南到北的震源深度图（图 3）。可以看出，不论强震，弱震均分布于 40 公里之内的地壳层中。各个盆地与横向隆起区，震源深度无

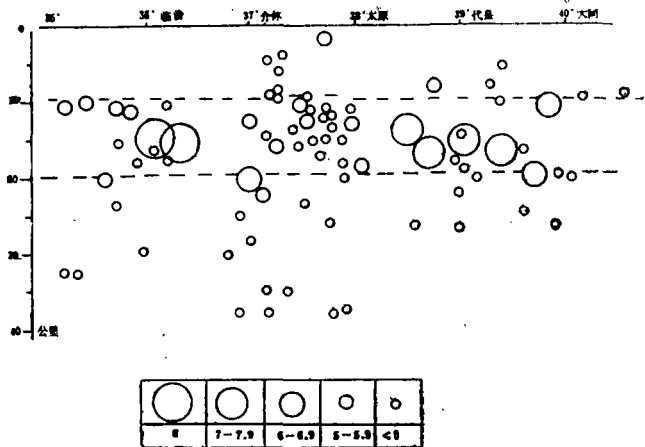


图 3 震源深度分布图

明显差异。5级以上的破坏性地震,几乎均分布于10—20公里之间。岩性为康氏面上的花岗岩层。这个深度可以说是山西断陷盆地孕育破坏性地震的优势深度。这个深度的花岗岩层,温度条件,围压条件利于断层运动以粘滑形式出现⁹⁾。上部物体的重力在断层面上产生的正压力,下部上地幔物质上拱产生的正压力,合力可能在这个深度上最大。盆地边界或盆地内侧的一些倾向盆地的深大断裂,向深部可能倾角变缓,在这个深度交汇而形成闭锁区,地表的一些中小断裂又延深不到这个深度,故使这个深度的介质相对完整,利于积累较大的应变能量。

六、第七活跃期以来的地震活动

1. 中部地震活动水平较高,南北两个盆地长期处于平静。

1695年临汾8级地震后,山西地区的地震活动转入平静期,到1815年平陆6 $\frac{1}{2}$ 级地震之前,只发生两次5—5.9级地震,17次4—4.9级地震。这些地震几乎都分布于中南部,运城盆地及平陆一带形成无震空区。到平陆地震前3年,空区边缘相继发生了1812年闻乡5级地震,1813年襄汾5级地震,1814年汤阴5 $\frac{1}{4}$ 级地震,空区更加明显,走向近东西(图3)。平陆地震极震区走向也是近东西向。

本活跃期以来,山西共发生5—5.9级地震23次,6—6.9级地震1次。分布于中南部的有22次,如果从释放能量考虑,约占全省总释放能量的98%。但是运城南部盆地仍然处于平静,未发生5级以上地震。大同盆地也未发生5级以上地震(图4)。

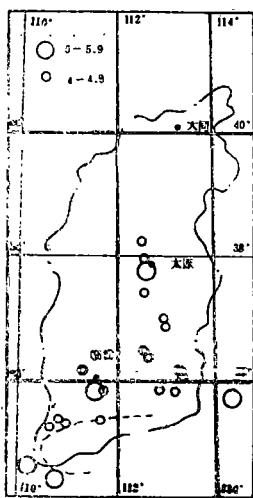


图4 1695年临汾地震后—1815年平陆地震前山西及邻区的地震活动

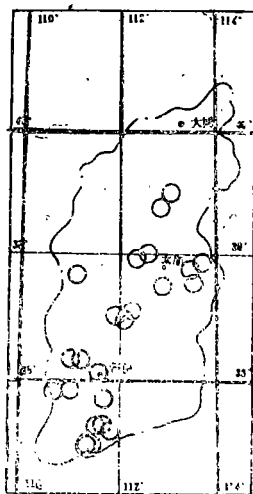


图5 1812年以来山西≥5级地震的分布图

2. 震群多发生于中部,并有两个密集的时间段。

目前地震学界对震群的严格含意并无统一的说法。我们用最大震级和次大震级差小于或等于1,日频度大于或等于5,连续活动2天以上,震中位置变化不大等几个条件,整理了山西境内1957—1980年的震群资料(见表一)。

震群分布,范围较广,但是中部的太原盆地及东侧的昔阳,和顺等地最多,特别是一些总次数大,日频度高,延续时间长,起伏明显的著明震群,都发生于这些地区。如和顺、昔阳、太谷、北格等震群。震群随时间的分布,密集在两个时间段内,一个时间段是1967—1971年,另一个时间段是1975—1976年。很明显,第一个时间段是邢台地震以后,第二个时间段是唐山地震之前。和顺震群的

山西境内震群情况表 (表一)
(1957—1980年)

编 号	地 点	时 间	延续时间 (天)	总次数	最高日频度	最大震级 M_m	次大震级 M_1
1	太原	1957.6				5.4	4.9
2	垣曲	1965.1				5.5	5.1
3	西坪	1967.	15	148	42	3.8	
4	蒲县	1967.12				5.4	5.0
5	繁峙	1969.4	20	107	12	4.6	4.0
6	平遥	1970.9	152	340	43	4.1	3.8
7	和顺	1971.4	700	>500	95	4.6	4.5
8	太谷	1971.11	620	43	5	4.5	4.0
9	平遥	1971.12	60	140	22	4.7	3.7
10	灵邱	1975.6	19	162	23	2.1	2.0
11	代县	1975.8		15	12	1.0	
12	介休	1975.10		50	8	2.3	
13	翼城	1975.11			5	3.2	
14	绛县	1975.11		17	6	3.1	
15	北格	1976.6	180	>1000	51	3.7	3.5
16	汾阳	1979.7	8	58	13	2.1	2.0
17	代县	1979.10		171	30	3.8	3.6

起伏和邢台余震的起伏,北格震群的起伏和唐山地震的起伏,时间上有一定的同步关系。北格震群的应力降只有几巴,背景应力值不高^{*}。除北格震群外,大多数震群的震源机制解与区域应力场一致。全序列 b 值不高,0.6左右。衰减系数除灵邱震群外均大于1。震群的振幅比线性关系差,但初动符号的优势分布是强的。上述情况说明,震群活动反映了区域应力场调整和加强过程,中部太原盆地及其东侧,是一个“敏感区”,就震群而言,并未反映出本区的危险背景。较长时间平静的大同盆地及运城盆地则无震群发生,这种情况尚需进一步研究。

3. 震源机制解特征

近年来有代表性的11次地震震源机制解可以看出(表二)(图6)。

(1) 北部的5次地震,南部的2次地震及中部的介休地震,基本上反映与区域应力场一致的特点,主压应力轴方位北东—北东东,主张应力轴方位北北西—北西,断层面倾角较大,应力轴仰角较小,断层面以走向滑动为主。

(2) 和顺地震,主压应力轴方位北北西,仰角较大,主张应力轴方位近东西,仰角接近零度,反映了水平引张特征,和北北东向的晋获断裂构造背景吻合。

(3) 太原盆地内应力场较为复杂。有两方面的原因,一是所用的地震,为北格震群,震级较小,难以反映区域应力场特征。二是太原盆地是个敏感区,实质上是多应力集中点场中结构上的敏感点,这样对小震而言,应力场特征的变化,也是可以解释的。

(4) 不同深度的地震,反映的应力场特征有差异,震源深度在10公里左右时,断面倾角较大,主压应力轴仰角较小。震源深度在20公里左右时,与10公里左右的地震相比,断层面倾角变小,而主应力轴仰角较大,这一现象与上地幔上拱力到上部时的转化,盆地目前仍处引张应力场作用下继续发

* 1977年,地球物理研究所一室与我局测震组合作测得。

(表二)

震源机制表

编 号	发震时间	震中位 置	震级	深度	A节面		B节面		P		T		备 注		
					走 向	倾 向	走 向	倾 向	方 位	仰 角	方 位	倾 角			
1	1965.1.13	垣 曲	5.5	10	10	NWW	64	90.5	S	72	228	32	321	5.5	国家局震源机制组
2	1967.12.18	蒲 县	5.4	30	175	NE	80	81.5	NW	71	127	6	220.5	20	地球物理所 (1974)
8	1971.6.5	和 顺	5.2	20	4	W	47	354	E	43	89	2	337	84	河北省地震队 (1972)
4	1979.6.19	介 休	5.5	14	338	SW	20	26	SE	75	135.5	65.5	281	33.5	山西地震局张辛远
5	1980.8.9	平 遥	5.0	22	20	SE	20	301	SW	87	49	38	192	45	"
6	1976.9.11	北 格	3.7	11	8	SE	70	90	N	70	139	0	49	41	"
7	1977.1.31	忻 县	4.0	13	42.5	SE	45	319	SW	85	82	26	190.5	34	"
8	1979.11.10	代 县	3.8	16	339	SW	84	31	SE	10	240	50	70	38	"
9	1978.10.4	浑 源	4.5	17	348	SW	55	287	NE	55	226.5	0	315.5	54	"
10	1978.6.1	大 同	4.5	20	41	NW	70	294	SW	50	266	43.5	163.5	13	"
11	1978.4.21	天 镇	4.5	15	295	SW	45	25		90	260	30	150	29.5	"

展是一致的。但由于资料较少，尚需进一步研究。

总的说来，山西处于华北统一的区域应力场中，但是对一些中小地震而言，也反映了盆地内的局部构造及上地幔不均匀起伏的特点。

4. 1970年~1980年的地震活动

从1970年山西区域台网建立以来，较好地记录了本区的地震活动。作这段时间的 $\sqrt{E} \sim t$ 图，可以客观地分析地震随时间的起伏特征。这段时间内，华北连续发生渤海、海城、唐山一系列强震，而山西仅在太原盆地的介休，平遥发生两次5级地震。从 $\sqrt{E} \sim t$ 图看出，地震活动虽有4年的周期起伏，但与11年的平均背景值变化不大。外国的一系列强震，对山西地区的地震活动水平影响不明显（图7）。

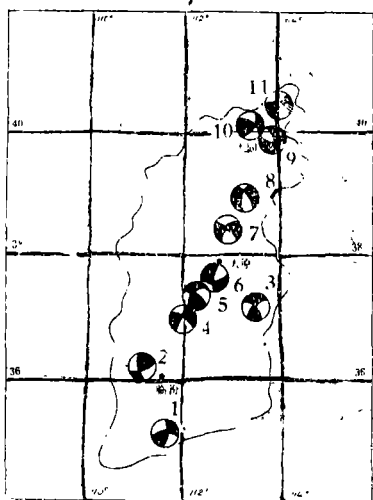


图8 震源机制解应力轴向图

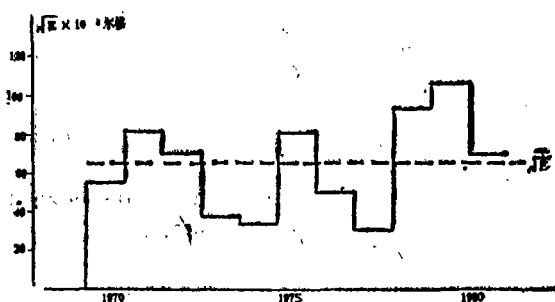
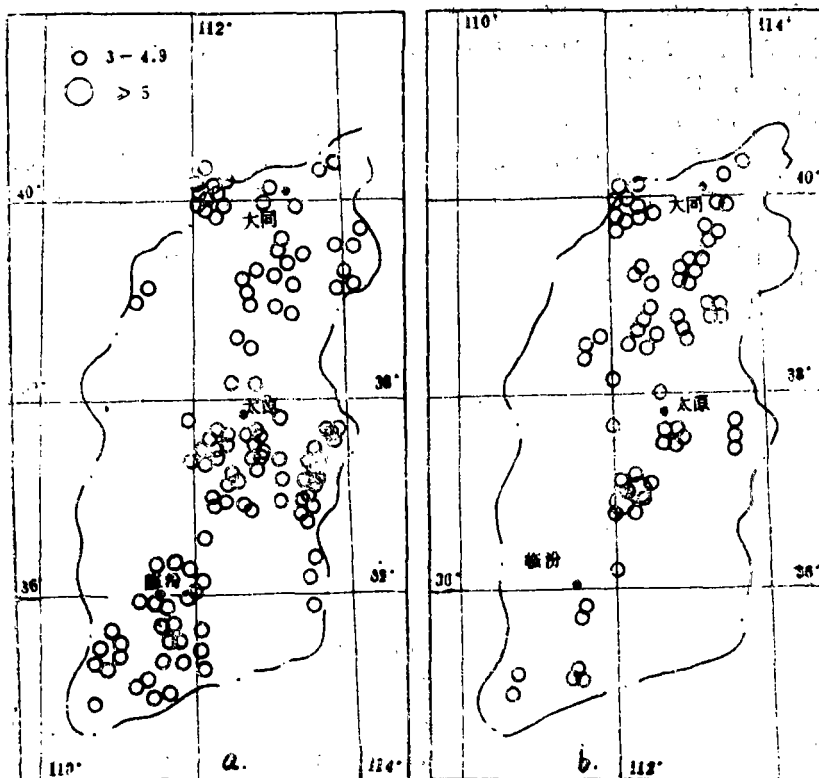


图7 山西 $\sqrt{E} \sim t$ 图 (1970—1980) $\Sigma \sqrt{E} / 11 = 65.4 \times 10^8$ 尔格

地震活动的空间分布，太原盆地及两侧山区的频度和强度占全省之首。唐山地震之前，南部和北部地震活动的频度和强度相似，唐山地震后，北部的频度和强度远大于南部（图8）。4级左右地震的震源机制解，唐山地震之前，主压应力轴方向较乱，唐山地震之后较为一致，接近华北区域应力场方向。

结 语

华北前几个地震活跃期中，强震虽有向东迁移的趋势，但山西总有7级以上强震发生。每个活跃期中鄂尔多斯块体的东西两侧，均有强震发生。本活跃期以来，西界已发生一系列强震，而东界至今无强震发生。山西的强震活动，本身有300年左右的周期性，1695年临汾8级地震后，现已接近300年。所以，在估计本活跃期尚未结束的前提下，山西的地震活动，虽然近年来表现了正常水平，但是今后几十年内，尚需密切注意，特别是南北两端较长时间处于平静状态的两个盆地。

图8 1970—1982年 $M \geq 3$ 级地震分布图

a) 1970—1976.7.28

b) 1976.7.29—1982

参 考 文 献

1. 邓起东：华北断块区新生代，现代地质构造特征，华北断块区的形成与发展，科学出版社，1980年。
2. 陈颙等：晋中南地区地壳结构的初步研究，地球物理学报，1974年。
3. 安欧：华北大震趋势的构造应力背景，华北地震科学，1983年。
4. 复旦大学历史地理研究室：一次古地震在京郊形成的地裂沟——历史上乐徐，平阴在今何处？复旦学报，1979年。
5. 《中国地震目录》，科学出版社，1971年。
6. 马宗晋：一个2000年的地震时序剖面，华北～朝鲜～日本地震期的同步性，华北地震科学，1983年。
7. 汪一鹏：我国板内地震和中新生代应力场，地震地质，1979年。
8. 李钦祖：由单台小震资料所得两个区域的应力场，地球物理学报，1973年。
9. 郭增建：震源物理，地震出版社，1979年。