

1695年山西临汾7 $\frac{1}{2}$ 级大地震 前地震围空图象*

任 振 起

(山西省地震局, 太原)

摘 要

本文主要利用历史地震资料探讨了山西临汾7 $\frac{1}{2}$ 级大地震前的地震活动图象, 发现地震围空区是这次地震前的主要活动特征。文章首先介绍了历史地震资料的来源及其使用原则; 进而对空区图象的性质和指标进行了确立, 亦探讨了空区的孕育演变过程, 分析了临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震与周围地震的关系。作者通过一定的工作, 得出了: 临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震的发生是华北一系列大震活动后的产物、7 $\frac{1}{2}$ 级大震前, 临汾盆地构造应力已处于高度集中状态, 临汾地震围空区的孕育和发展大约经历了50年左右的时间, 其过程主要包括: 构造应力积累—应变加速—平静—地震释放。故应高度注意这个强震活动场所的地震活动图象和演变。

关键词: 历史地震资料 地震 围空图象 孕育演变过程

一、前 言

山西地震带上, 曾发生过两次最大的地震, 它们均发生在临汾盆地内。一次是1303年9月17日洪洞8级, 另一次是1695年5月18日临汾7 $\frac{1}{2}$ 级。在一个不大的盆地范围内, 连续两次发生8级左右地震, 恐怕在全球也尚不多见。为了研究这一区域内的地震活动特征, 特别是大震的孕发震过程及其规律, 依据历史地震资料, 追寻识别这些大震前的地震活动图象无疑是重要的。由于1303年洪洞8级地震前的记载资料太少, 故仅对1695年临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震作一基本分析。

二、历史地震资料的来源及其使用

公元1484—1730年是我国大陆东部的第3个地震活动跃期^[1]。这期间, 华北地区(108°—120°E, 33°—42°N)共发生7级以上地震9次, 其中山西地震带3次, 最大者就是1695年临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震(震级由中国第二代地震区划图会议重新测定)。为了较详细了解临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震前的地震活动图象, 仅根据目前所给出的M \geq 4 $\frac{3}{4}$ 级地震目录是远远不够的; 为此, 我们必须进一步挖掘。一般认为, 大震前如有地震空区图象存在的话, 可按照陆远忠等人给出的大震孕震空区经验公式计算^[2]:

* 本文为山西临汾地震小区划课题之一。

$$M_s = 2.80 \text{Log} A - 7.18 \quad (1)$$

$$M_s = 1.23 \text{Log} T + 5.35 \quad (2)$$

式中A为空区面积, 单位: 平方公里; T为空区出现的时间, 单位: 年。根据临汾7½级震级计算, 如有空区, A大致为17万平方公里, T约55年左右。依据上述前题, 作者从《中国地震历史资料汇编》第三册资料中, 选取了临汾地震前50年(1645—1695)、震中范围20多万平方公里(108.9°—114°λE, 34°—38°φN)的历史地震记载条目, 并逐一进行了震级与震中的核算工作, 初步给出了上述范围内M≥3级的地震目录。

关于时间T的选取, 我们事先做了一下这个地区与外围地区的地震时序对比(图2)。发现1642年平陆6¼级地震前后是该区地震活动的一个转折点。1642年前, 大部分地震在临汾一带活动, 外围较平静; 1642年后, 临汾一带出现平静, 而外围地震增多, 空区图象逐渐形成。所以, 我们选取(1645—1695)50年的资料, 是能够较清楚地反映地震围空图象的。

关于地震历史资料的使用, 借鉴了我局齐书勤等同志对历史地震划分的一些原则: ①如果只有一个县志有地震记载的, 订其为3级。②有两处(县志或史书)记载的, 订为3½级。③有两个县志记载或记有地声、晃动等强有感的地震订为4级。④有3个县志记载, 并对地震的影响有详细描述情节的, 按4½级处理。⑤4个县志以上记载, 且有轻微破坏, 按4¾级处理。这一条补充了原有4¾级地震的不足。

对于震中位置的确定, 原则上订为: 只一个县志有地震记载的, 就按原县址确定震中。两个县有记载的, 取两县连线的中点或记载较重的那个县。3个县志有记载的, 为3县之间的中心位置或取靠近地震影响较大的县……。

以上选取和处理, 虽有一定的误差, 但对于研究较大范围的地震活动图象而言, 影响并不很大, 故可基本满足使用。

三、1695年临汾7½级地震前地震围空图象

1、围空图象的确立

根据上述原则, 我们从50年内、20万平方公里范围的地震历史记载中, 共确定出M≥3级地震85次。其中3—3.9级60次, 4—4.9级21次, 5—5.9级4次; 范围包括山西、陕西、河南等几省(表1)。由表1绘制的震中分布图(图1)中, 可以较明显地看到临汾7½级地震前的空区活动图象。

临汾地震围空区走向为北东, 与山西地震带中、南部构造盆地的总体走向一致。空区长轴为520公里, 短轴为260公里, 面积约11万平方公里。空区除西部为鄂尔多斯块体地震较少外, 其余区域地震均较丰富。围空区边缘最大震级为5½级, 与主震级差2级。空区内曾是第2活跃期中地震活跃的场所, 1303年发生的洪洞8级大震, 仅与临汾7½级地震距离30多公里。

为了鉴别该空区图象是否为孕震空区, 作者就第3活跃期以来空区及外围地区M≥4½级地震进行了对比(图2)。由图2看出, 该活跃期以来空区内一直是地震较为活跃的场所。

表1 1695年临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震前地震目录(1645—1695年 $\phi_{N}34^{\circ}-38^{\circ}, \lambda_{E}108.9^{\circ}-114^{\circ}$)

序号	年月日	北纬	东经	震级	地点	备注
1	1645.6.18	36.5	113.1	3 $\frac{1}{2}$	襄垣	
2	1645.8.20	36.8	112.2	4 $\frac{3}{4}$	介休襄垣间	
3	1646.10.30	36.5	113.1	3 $\frac{1}{2}$	襄垣	
4	1647.7.2	37.3	111.2	3	中阳	
5	1648.4.15	34.6	108.9	4 $\frac{1}{2}$	陕西三原泾阳间	
6	1648.6.14	37.1	113.0	3 $\frac{1}{2}$	榆社	
7	1648.6.15	37.1	113.0	3 $\frac{1}{2}$	榆社	
8	1648.9	36.3	113.2	4 $\frac{1}{2}$	长治潞城间	
9	1649.3.18	35.8	113.2	3	陵川	
10	1649.9.5	35.8	112.9	4 $\frac{3}{4}$	高平	
11	1649.5.27	34.6	112.2	3	河南宜阳	
12	1649.6.1	35.5	113.6	3	河南辉县	
13	1649.9.11	34.6	108.9	3	陕西泾阳	
14	1649.秋	35.0	111.0	4 $\frac{3}{4}$	解州	
15	1649.秋	37.4	112.8	3	文水	
16	1650.1.24	34.6	108.9	3	陕西泾阳	
17	1650.1	35.5	111.6	3	绛县	
18	1651	36.7	110.1	4 $\frac{3}{4}$	陕西延安陕长间	
19	1651.1.7	35.8	112.9	3 $\frac{1}{2}$	高平	
20	1652.7.13	34.4	108.9	4 $\frac{1}{2}$	陕西户县	
21	1652.10	35.6	111.7	3 $\frac{1}{2}$	翼城	
22	1653.4	37.3	111.8	3	汾阳	
23	1653.10.5	34.6	108.9	3	陕西泾阳	
24	1653.秋	36.6	109.5	4	陕西延安	
25	1655.6.1	37.7	112.7	3	榆次	
26	1655.7 ²⁴	34.9	110.4	3 $\frac{1}{2}$	永济	
27	1656.5.7	37.9	112.5	3 $\frac{1}{2}$	阳曲	
28	1656	35.7	112.2	3 $\frac{1}{2}$	沁水	

续表 1

序号	年月日	北 纬	东 经	震 级	地 点	备 注
29	1658	34.9	110.4	3 $\frac{1}{2}$	永 济	
30	1659.1.23	34.9	109.9	3 $\frac{1}{2}$	陕西大荔	
31	1659.2	34.9	110.4	3 $\frac{1}{2}$	永 济	
32	1661.1.12	34.6	109.8	4	陕西华县	
33	1661.1.23	34.0	110.3	4	陕西洛南	
34	1661.1.25	34.6	109.8	3 $\frac{1}{2}$	陕西华县	
35	1662	34.6	112.3	4 $\frac{3}{4}$	河南洛阳宜阳间	
36	1664.9.20	34.7	112.4	3 $\frac{1}{2}$	河南洛阳	
37	1664.10.11	35.0	110.9	4 $\frac{1}{2}$	解州安邑间	
38	1665.1	35.0	110.9	4 $\frac{1}{2}$	解州安邑间	
39	1665.4.15	34.7	111.1	3 $\frac{1}{2}$	河南陕县	
40	1665.10.9	37.9	112.5	4	太 原	
41	1666.5.21	37.7	112.7	3	榆 次	
42	1666.10.28	34.7	112.7	3	河南孟县	
43	1666.10.30	37.9	112.5	3	太 原	
44	1667.2.20	35.2	112.5	3	河南济源	
45	1668.7.18	35.4	113.4	3	河南获嘉	
46	1668.7.19	35.1	112.9	3	河南沁阳	
47	1668.7.24	35.2	113.3	4	河南修武武陟间	
48	1669.4.23	37.7	112.7	3	榆 次	
49	1671	37.7	112.7	3	榆 次	
50	1672.3.31	37.9	112.5	3	太 原	
51	1672.6.25	34.7	111.1	3	河南陕县	
52	1673.5.19	38.0	111.0	3 $\frac{1}{2}$	临 县	
53	1674.6.23	37.9	112.5	3 $\frac{1}{2}$	太 原	
54	1674	35.8	113.2	3 $\frac{1}{2}$	陵 川	
55	1675.6	37.6	110.8	5	平陆芮城间	
56	1676.4.13	36.1	112.9	3	河南沁阳	

续表1

序号	年月日	北纬	东经	震级	地点	备注
57	1676.7.11	34.7	111.1	3 $\frac{1}{2}$	河南陕县	
58	1677.4.2	35.4	113.4	4	河南获嘉	
59	1677	37.7	113.7	5	平定	
60	1678	36.5	113.7	3 $\frac{1}{2}$	襄垣	
61	1679.9.30	36.5	113.7	3	河北涉县	
62	1679.10	37.7	112.5	5 $\frac{1}{2}$	徐沟	
63	1679.11	36.2	113.2	3 $\frac{1}{2}$	长治	
64	1680.3.9	37.0	111.9	3	介休	
65	1680.3.20	37.1	111.8	3 $\frac{1}{2}$	孝义	
66	1680.5.29	37.1	111.8	3 $\frac{1}{2}$	孝义	
67	1680.8	37.1	111.7	4 $\frac{1}{2}$	孝义介休间	
68	1680.11.29	37.1	111.8	3	孝义	
69	1680	37.9	112.5	3	太原	
70	1681	35.8	109.4	5 $\frac{1}{2}$	陕西洛川	
71	1682.11.3	35.5	113.7	4	河南汲县焦作间	
72	1682.11.4	36.2	113.2	3	长治	
73	1683.6.25	36.3	113.8	3 $\frac{1}{2}$	河北磁县	
74	1683.夏	37.7	112.5	3	晋源	
75	1683.9.3	36.5	113.7	3	河北涉县	
76	1683.冬	35.1	112.8	4 $\frac{3}{4}$	河南沁阳	
77	1684.8.11	35.2	112.5	3	河南济源	
78	1684.11.11	35.3	113.4	3	河南修武	
79	1688.4.30	34.4	109.1	4	陕西咸阳临潼间	
80	1690.8	35.1	111.5	3 $\frac{1}{2}$	临汾	
81	1690.8	35.1	111.6	3	垣曲	
82	1690.10.26	36.0	111.4	4 $\frac{1}{2}$	临汾襄汾间	
83	1691.4.28	35.1	111.2	3 $\frac{1}{2}$	夏县	
84	1691	35.7	111.7	3	翼城	

续表 1

序号	年月日	北 纬	东 经	震 级	地 点	备 注
85	1694.4.29	37.1	111.8	3½	孝 义	
86	1695.5.18	36.0	111.5	7½	临 汾	

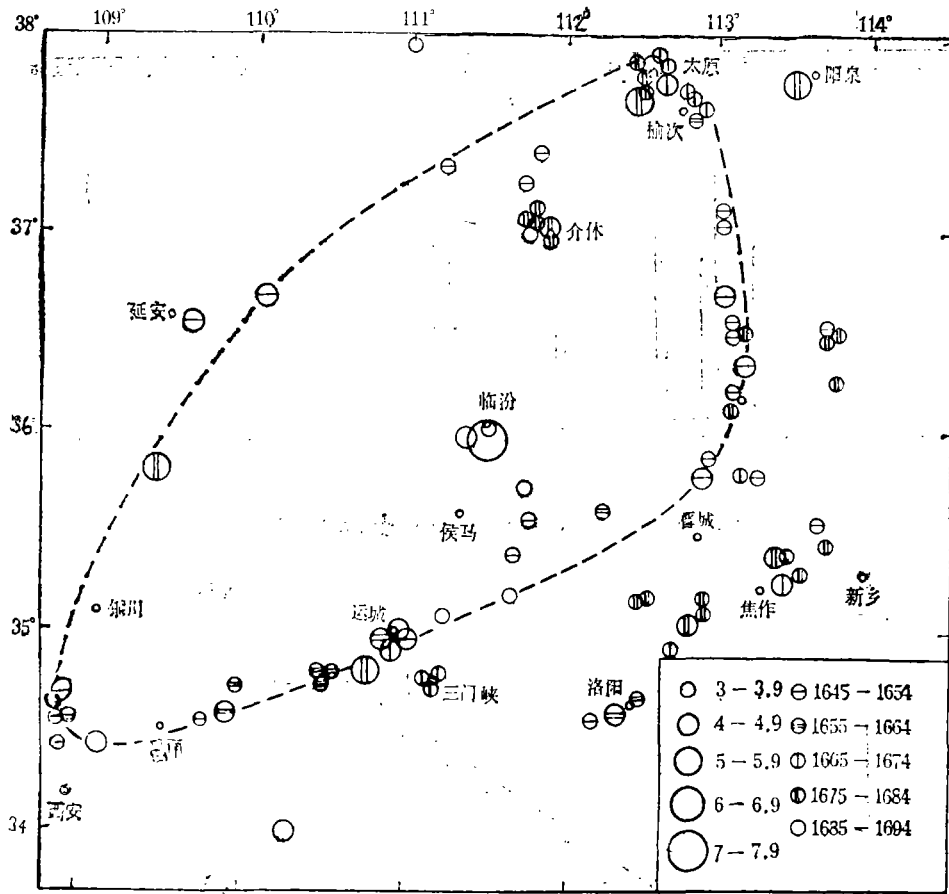


图1 临汾7½级地震前地震震中分布(1645—1695M≥3)

1642年平陆6¼级地震后,空区出现平静,外围地震活跃,从而显示出空区的图象。此外,从空区内及外围地区地震活动的频度比(图3)、应变能释放曲线上(图4),也较清楚地显示出地震孕震空区的性质。

由图3可见,空区外围的地震频度一直呈缓慢及加速上升趋势,而空区内则主要为衰减势态。图4同样给出了类似的结果。

以上看出,临汾7½级地震的围空图象符合孕震空区的基本指标,是与未来大震有关的孕震空区图象。

2、地震围空区的孕育演变过程

空区的孕育及演变基本上反映大震的孕育和演变过程。按照试验室中对岩石的压力

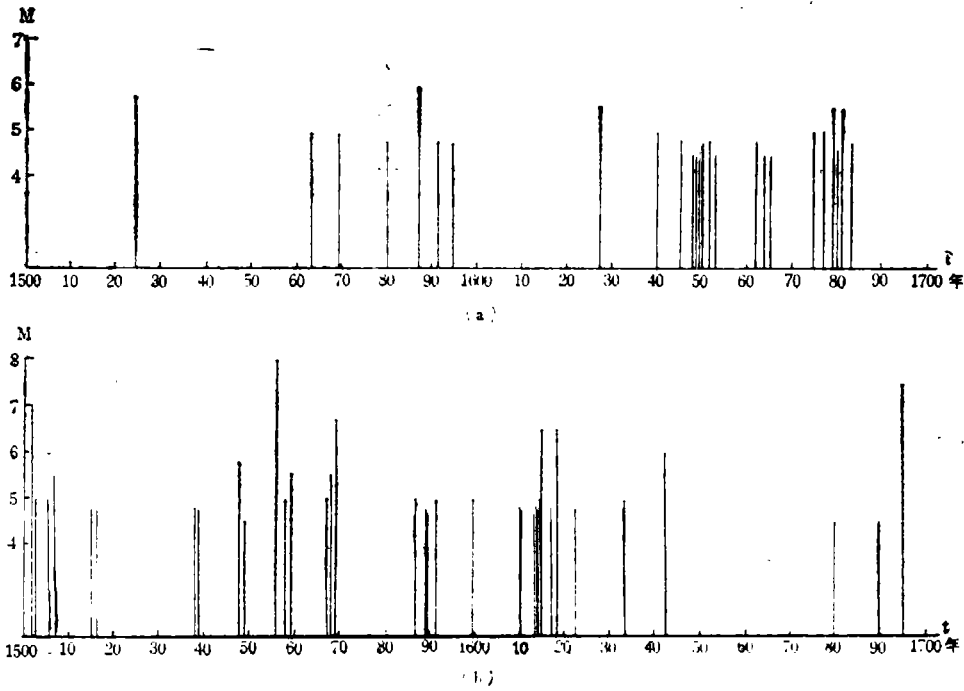


图2 临汾7½级地震前空区与外围地区M>4½级地震时间分布

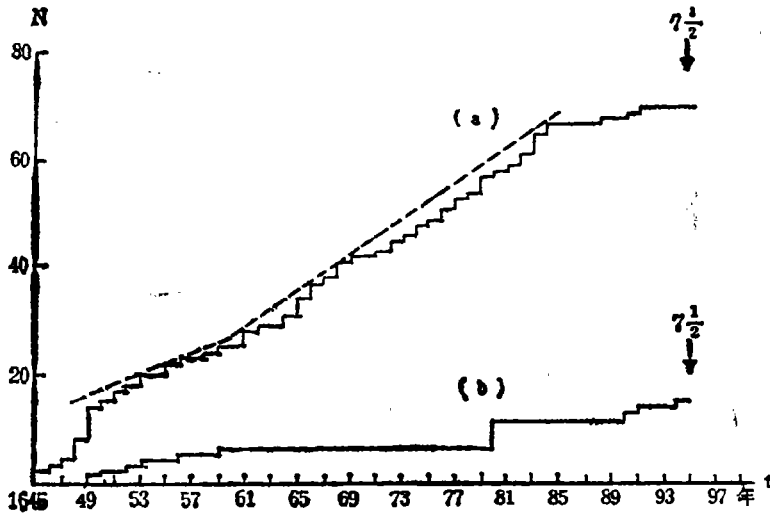


图3 临汾7½级地震前空区内与外围地区M≥3级地震频次、累计曲线 (a) 外围地区 (b) 空区

试验,一般岩石破裂主要有以下几个过程:微破裂—破裂串通—稳定—主破裂发生。临汾7½级地震的破裂形式与其大同小异,我们从图4的地震应变释放曲线中可粗略地分析出这次地震的孕育发展过程,临汾地震的孕育发展主要经历了构造应力积累—应变加速—平静—发震几个过程。其中构造应力积累阶段大约经历了30年的时间;应变加速阶段约8—9年;平静阶段稍长约十几年,实际上从1683年至1691年仍有小震不断发生,只是

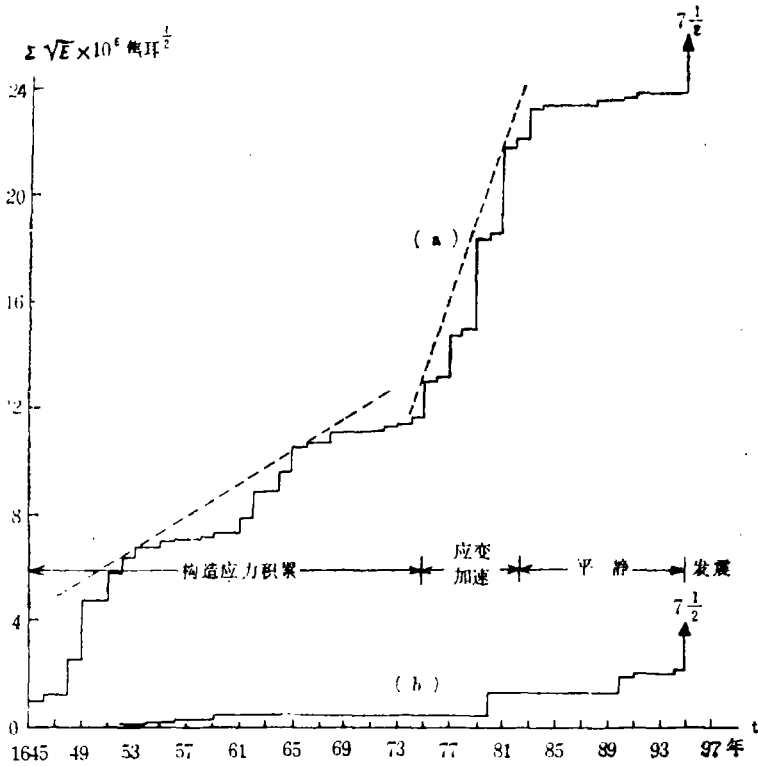


图4 临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震前空区与外围地区地震应变释放曲线

能量偏低，1691年后才出现真正平静。图4中的孕育过程符合一般地震的基本孕育规律，那么它们是怎样具体演变的呢？我们从图1中可以看出，在构造应力积累的最初阶段，地震首先从空区的东、西两侧开始活动即109度和113度附近；其后发展到南北两端，这时东、西两侧地震减少；在空区完成的后期，仅在震中附近有所活动，表明应力在震中已经高度集中，我们将图1的椭圆形空区划分为四个象限，取10年为一时间段，来看一

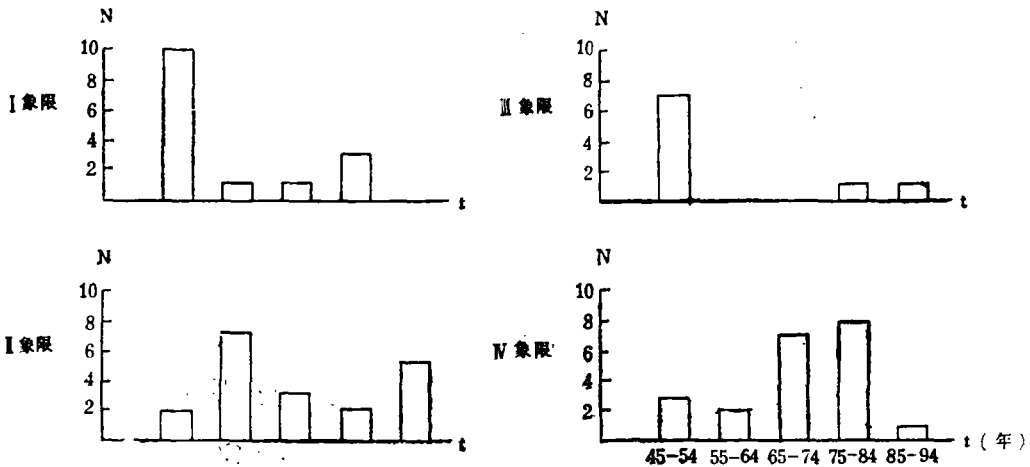


图5 临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震前围空区不同地段地震频度与时间关系图

下不同象限地震频度随时间的变化(图5)。从图5中得知,在第1个10年中,地震主要在I、II象限即空区的东北和西南区域活动;在2个10年里,地震主要发生在II象限即东南区域;在其后的20年中,大部分地震集中在第IV象限内,通过近40年的时间完成了空区的图象。在最后一个10年中仅在第II象限的震中附近有个别地震,其余区域均较平静,此情景一直维持到发震

由上看出,空区地震的发生并不是杂乱无章的,似有一定的规律。在构造应力积累的最初阶段,地震均发生在山西主体地震带的东、西两侧,即晋获断裂和鄂尔多斯块体的东南缘;表明震源体最先受到来自主体地震带外围东西两侧应力的作用。在构造应力积累的其后阶段,地震逐渐发展到临汾盆地的南、北两端即太原及运城盆地内活动,表明震源体也开始受到来自主体地震带内部南北两端应力的作用。这样,由于地震在震源体周围的均匀布满,进而完成了构造应力的积累。在应变加速阶段,几个5级以上地震也都是围绕着震中发生的。再结合平静阶段中发生在空区中南部的一些地震来看(图1),在震前20年的时间内,地震活动还似有南北压缩的现象;这些代表空区南北压缩的地震主要发生在太原盆地南端的介休和临汾盆地的南端一带。

四、临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震与周围地震的关系

1、临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震与山西地震带地震的关系

如前所述,在中国大陆东部的第3活跃期内,山西地震带是地震较为活跃的区域之一。其中发生5—5.9级地震17次,6—6.9级3次,7—7.9级3次。我们仅将6级以上地震

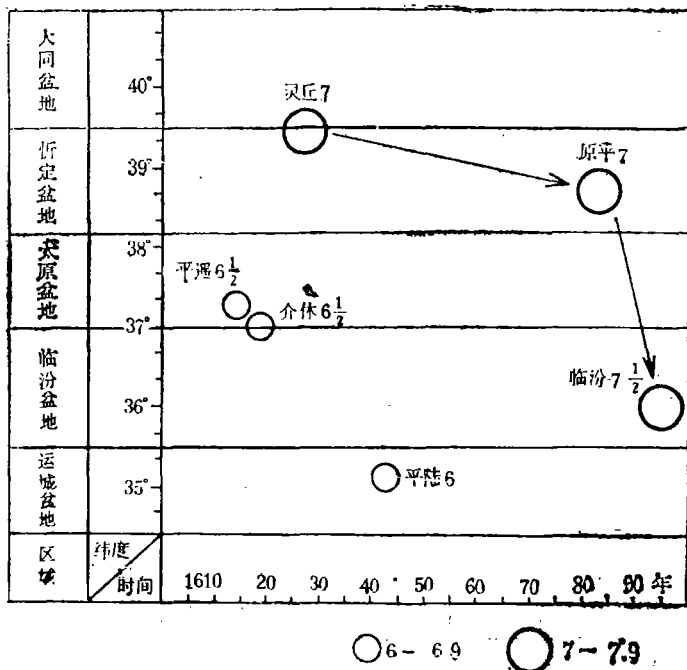


图6 第3活跃期山西地震带M>6级地震时空分布

作成地震时空分布图(图6)，来探讨一下与临汾7½级地震的关系。

由图6看出,本活跃期中山西地震带的6—7级地震都发生在临汾7½级地震之前,且在地理位置上有一定的分布特征,其中3次6级地震都发生在临汾盆地两端的盆地内。发生在太原盆地的两次为1614年10月23日平遥、榆社6½级和1618年5月20日介休6½级;发生在运城盆地的是1642年6月30日平陆、安邑6½级地震。上述情况表明:临汾7½级地震前,该区域的南、北两端都在活动,临汾盆地正好为空段。此外,山西中南部的5级地震也表现出上述性质,地震均发生在太原盆地和运城盆地内,其中太原盆地6次,运城盆地3次,临汾盆地无5级地震。

7级以上地震又有何特征呢?本活跃期中山西地震带的第1个7级地震是1626年6月28日灵丘7级,时隔57年后1683年11月22日在原平发生7级地震;又相隔12年后才发生临汾7½级地震。由图6看出,上述几个7级地震都是由北向南逐步迁移的,这一现象是与山西地震带历史强震的迁移规律是一致的。应当指出的是,这种迁移是随地震的活跃期而重复完成的,并不是持续地向南迁移的。

2、临汾7½级地震与华北强震的关系

在临汾7½级地震发生的第3活跃期,是迄今为止地震最为活跃的周期。这期间华北地区(33°—42°λ_E, 108°—120°φ_N)共发生6级以上地震27次〔8〕。其中6—6.9级18次,7—7.9级6次,8级以上3次(图7)。从图7中可以看出,在第3活跃期中华北6级以上地

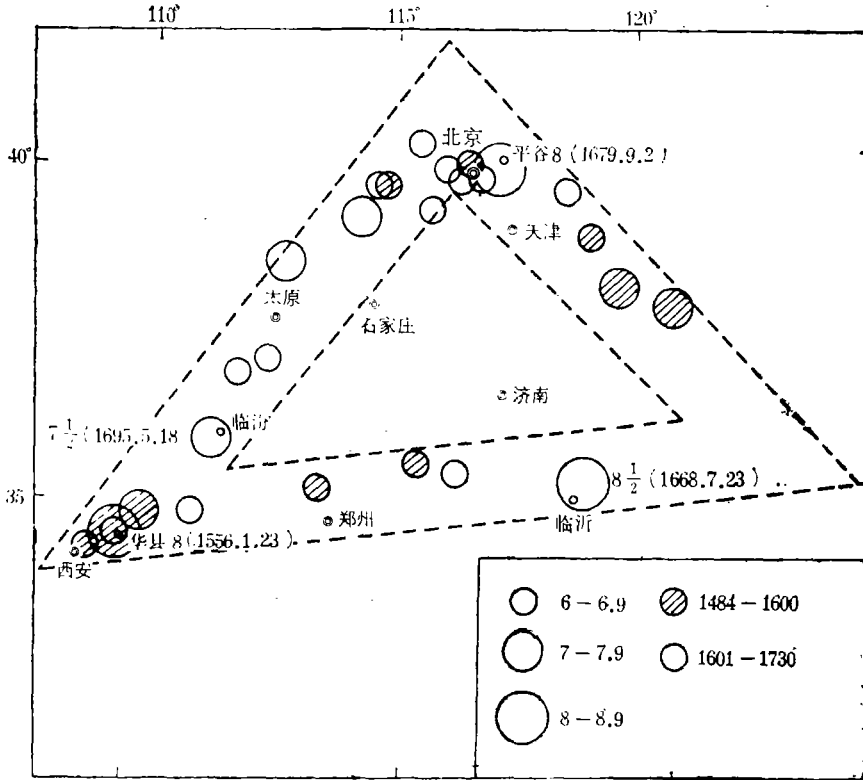


图7 第3活跃期内华北M ≥ 6级地震震中分布

震的分布具有一定的规律,它们的分布图象正好为一个大致等腰三角形。我们将地震从1600年划分为两个时间段,从中发现:1600年前的地震(图中阴影部分)大都发生在华北的东北和西南两个区域,而山西地震带的地震则是在这个活跃期的后期才较活跃。由图看出,华北的四个7 $\frac{1}{2}$ 级以上地震是按照逆时针顺序沿三角形条带的轨迹先后发生的,临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震的发生完成了这个轨迹的任务,也完成了本次活跃期的使命。

从图7中还可发现,本活跃期中的四个8级左右地震大都发生在三角形图象的转折部位附近。由此联想到,华北历史上的其它较大地震,如第2活跃期中的1303年9月17日山西洪洞8级地震,第4活跃期中的1976年7月28日河山唐山7.8级地震,也都是发生在上述转折部位。为此,上述区域是值得我们认真研究和注意的地区。

由上看出,临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震的发生是与华北大区域应力场密切相关的,它是活跃期中华北一系列地震活动后的必然产物。由此可见,山西地震带周围区域的地震开始活跃以后,山西地震带将很可能是下一步地震活动的场所。

五、几点认识

通过对历史地震资料的分析和研究,我们可以基本上确认1695年山西临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震前是存在着较明显的地震围空图象的,它的孕育和发展也具有一定的内在规律,并与周围的地震形势密切相关。

1、临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震是中国大陆东部第3活跃期中最后一个强地震,它的发生是华北大区域应力场作用的结果,是华北一系列强地震活动的产物。

2、临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震的发生再次证明:山西地震带是华北区域的一条强地震带,临汾盆地则是山西强震活动的主要场所。

3、一次大震的发生必与所处地震带的震前地震活动密切相关。临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震就是山西地震带7级以上大震自北向南迁移的结果,同时出现震前中强地震的空段现象。

4、临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震也同现今中国大陆的许多大震一样,震前存在着地震活动的空区图象。空区的孕育和发展大约经历了50年左右的时间。其过程主要包括:构造应力积累—应变加速—平静—地震释放。

5、地震围空区图象作为一种前兆现象是可以应用于地震预报的。但由于大震的空区时间长、范围大、故需掌握几种主要的指标。笔者认为:大震前的应变加速及平静现象是一个重要的依据。

6、目前,中国大陆东部的第4活跃期自1815年以来已活动175年,山西地震带始终是弱活动场所。1989年10月18日山西大同—阳高发生6.1级震群,表明该带已开始活动。所以,我们必须警惕山西地震带在未来一段时间内发生较强地震的可能性;而作为强震场所的临汾盆地更应重视。因此,我们应当高度注意这个地区及其周围的地震活动和它们的演变过程。

(1990年4月20日收到初稿)

参 考 文 献

- [1] 马宗晋等, 中国的强震期和强震带, 中国地震, 1, 1987.
[2] 陆远忠等, 地震预报的地震学方法, 地震出版社, 1985.
[3] 顾功叙主编, 中国地震目录(公元前1831年—公元1969年), 科学出版社, 1988.

THE SEISMIC GAP PATTERN BEFORE THE LINFEN 7.5 EARTHQUAKE, SHANXI PROVINCE IN 1695

Ren Zhenqi

(Seismological Bureau of Shanxi Province)

Abstract

This paper mainly discussed the seismicity patterns before the Linfen 7.5 earthquake Shanxi Province based on historical seismic data, and found that seismic gap was the main characteristic prior to this earthquake. The paper first introduced the source of historical seismic data and the principle of usage, then determined the property of index of the seismic gap, discussed the development process of the gap and also analyzed the relationship between the Linfen 7.2 earthquake and the earthquakes occurred in its surrounding areas. It is concluded that the Linfen 7.5 earthquake is the product of a series of large earthquakes occurred in North China area. Before the 7.2 earthquake, the tectonic stress in Linfen Basin was highly concentrated and the development of Linfen seismic gap underwent about 350 years. Its process mainly included the variations of tectonic stress accumulation—strain acceleration—quiescence—release by earthquake and the development process of the seismicity pattern of this active place of strong earthquake which attracted great attention.