

# 16—20 世纪华北构造应力场的可能变动

赵根模

(中国天津 300201 天津市地震局)

## 摘 要

通过研究 16—17 世纪华北 4 个特大地震的地表断层、重建应力场,其中 3 个是倾滑正断层,最大主应力是垂直向的,最小主应力是 NW-SE 向近水平引张应力;另一个是包含逆冲和倾滑事件的复杂断层,上述特点与现代应力场迥然不同,这表明从 16 世纪以来华北应力场曾发生重大变动,主应力轴旋转约 90 度。在 16—17 世纪,华北断陷盆地地幔上涌隆起导致引张应力场和一系列特大地震。

**关键词** 华北;古应力场;断层面解

## 一、引 言

根据地震断层面解资料,已经查明华北现代构造应力场特点。华北地块在 NEE-SWW 向水平挤压应力和 NNW-SSE 向水平引张应力控制下,地震错动方式主要是沿 NNE 或 NNW 向断层的右旋或左旋走滑运动(陈运泰等,1975;Molnar and Tapponnier,1975;鄯家全等,1979;李钦祖,1980)。有一种非常流行的观点认为,上述应力场形成于第三纪后期,并一直持续到现代(邓起东等,1979;张裕明等,1979;罗焕炎,1979;杨理华和李钦祖,1980)。但是笔者和其他人对 16—17 世纪大地震断层现场考察结果表明,这些大地震并没有明显的走滑运动,其错动方式及所代表的应力场与现代迥然不同。另外,近年来关于山西第四纪断陷盆地成因与应力场性质也出现明显分歧意见,一种认为是地壳引张的直接产物;另一种认为是水平挤压的派生构造(张之立等,1987;罗焕炎等,1988)。

上述一些彼此矛盾的情况表明,华北应力场的认识还有不清晰之处,很可能在整个第四纪期间乃至最近几千年或几百年来它都是随时间而变化的。

Bott 提出利用断层擦痕等滑动资料反演应力张量的原理,Etchecopar *et al.* (1981),许忠淮和戈树谟(1984)的工作完善了这种方法。16—17 世纪大地震断层年代久远,要取得反演应力张量所需数据,须要大量工程揭露,而目前尚不具备条件,本文只根据现有观测资料作定性分析。

## 二、空前强烈的地震活动

16—17 世纪是华北现代地壳运动的一个特别重要阶段,地震活动空前剧烈,发生

了几个著名的大地震,其能量释放超过 3000 年历史中其它任何时期.而且众所周知,正是在 16—17 世纪前后,中国内陆火山曾强烈喷发,包括长白山 1597、1668、1702 年,五大莲池 1720 年和腾冲 1609 年的喷发,它们是中国文字历史记录中仅有的.该时期中国东部特别强烈的地震与火山活动原因至今仍是一个谜(图 1).

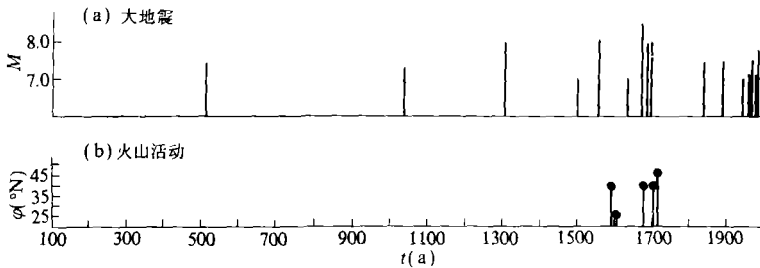


图 1 华北历史大地震(a)和中国大陆火山活动(b)

一般而言,大地震的震源应力场是有代表性的,反映大范围应力场的基本特征.同时大地震破裂可以从震源传播到地表.对于缺少仪器记录资料的历史地震而言,地表断层可以提供重要的应力场信息.根据现代大地震实地考察,其地表断层表现的错动方式和仪器记录 P 波初动符号反演的断层面解一致.例如唐山 1976 年 7 月 28 日  $M$  7.8 地震,地表破裂长约 10km,宽约 30m,走向  $NE30^\circ$ ,最大水平位移 2.3m,最大垂直位移 0.7m,断层面近于直立,右旋走滑特征显著.将以上资料利用赤平极射投影法求解,节面 1 走向  $NE30^\circ$ ,节面 2 走向  $NE120^\circ$ , $P$  和  $T$  轴仰角皆为  $0^\circ$ , $N$  轴近于直立.这个依据现场断层资料获得的概略解与依据国内外 129 个台站记录的 P 波初动符号反演的断层面解完全吻合.这样,我们就可以依据历史地震地表断层资料的微构造反演重建古应力场.

### 三、断层面解的差异

#### 1. 1679 年三河 8 级地震

1679 年 9 月 2 日三河 8 级地震,地表断层分布于北京以东的夏垫,长 20km,据探槽工程揭露(6 处)和断层陡坎测量,走向  $NE41^\circ$ ,断层面倾向 ES,倾角  $70^\circ$ ,断层面上垂直擦痕十分清晰,与铅垂方向最大偏离角仅为  $3-12^\circ$ (潘各庄,东柳河屯),未见到水平擦痕,垂直位错 3.16—4.0m.震时官方调查报告记述详细,仅记有大规模垂直变位,没有任何水平位移的描述.从地表断层鉴定是倾滑正断层,用吴尔夫网求解其  $P$  轴倾角  $65^\circ$ ,近直立, $T$  轴倾角  $25^\circ$ ,走向 NW-SE,近水平. $N$  轴也近水平(图 2a).1976 年唐山大地震位于三河大震震中以东 110km,但唐山大震断层面解的  $P$  轴与  $T$  轴皆近水平,水平位移远大于垂直位移,其应力场完全不同(图 2b).

#### 2. 1556 年华县 8 级地震

1556 年 1 月 23 日华县 8 级地震发震断层为陕西华山山前断裂,断层陡坎和三角面地形保存清楚,据 15 个探槽揭露断层面上擦痕清晰,皆为垂直向(白石堡,竹峪口),断层垂直位移显著,未观测到水平错动痕迹,断层走向  $NE65^\circ$ ,倾向 NNW,倾角  $68^\circ$ ,确定为倾滑正断层.断层面解得  $P$  轴近于垂直(倾角  $67^\circ$ ), $T$  轴和  $N$  轴都近于水平.震时官方调

查报告未记录任何水平位移现象(图 2c).

利用 1975—1976 年华县附近(耀县—淳化)小地震综合断层面解确定  $P$  轴倾角仅  $4^\circ$ , 近水平. 显然渭河盆地历史时期应力场与现代是不同的(图 2d).

### 3. 1695 年临汾 8 级地震

1695 年 5 月 18 日临汾 8 级地震发生于山西临汾盆地, 地震断层位于霍山断层与赤峪断层之间, 垂直变位明显, 未发现水平错动证据. 断层走向  $NE 70^\circ$ , 以倾滑张性破裂为特征. 为计算方便, 设断层面倾向 SE, 倾角  $70^\circ$ , 求得断层面解,  $P$  轴倾角  $65^\circ$ , 近于直立(图 2e).  $T$  和  $N$  轴近水平.

1971—1972 年临汾地区小地震综合断层面解的  $P$  轴和  $T$  轴都近于水平, 属于走滑断层性质(图 2f).

### 4. 1668 年郯城 8.5 级地震

1668 年 7 月 25 日郯城 8.5 级地震发生在山东郯城地区, 地震断层复杂, 断层长 120—160km, 断层面倾角  $20^\circ$ — $30^\circ$ , 走向  $NE 5^\circ$ — $15^\circ$ , 主断层为逆冲性质, 逆冲 7—9m, 垂直错距 2—3m. 以主破裂带何庄—茆山段的断层参数求解, 其  $P$  轴和  $T$  轴倾角为  $20^\circ$  和  $70^\circ$ (图 2g). 在主断层南北两端存在典型倾滑断层. 在大断裂上各种形式断层并存, 在同一次地震中不同段落运动性质不同, 而同一段落在不同时期错动性质也不同.

1970—1986 年郯城地区小地震综合断层面解表明  $P$  与  $T$  轴倾角为  $18^\circ$  和  $25^\circ$ , 节面倾角  $70^\circ$ — $75^\circ$ , 为右旋走滑断层(图 2h).

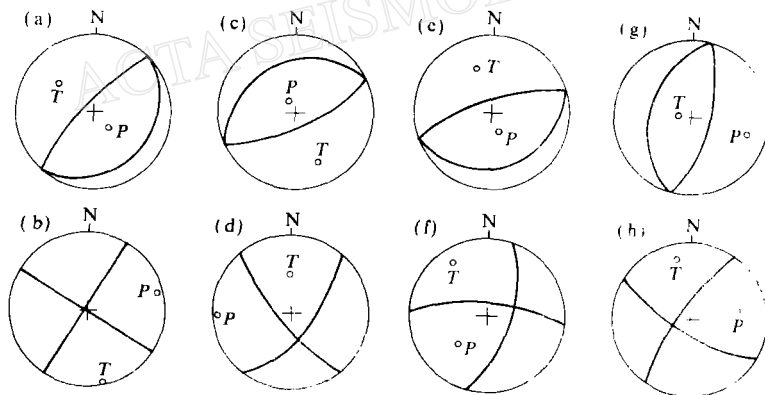


图2 华北16—17世纪大地震与现代地震断层面解比较

(a) 1679年9月21日王河 8.0 地震

(b) 1976年7月28日唐山 7.8 地震

(c) 1556年1月23日华县 8.0 地震

(d) 1975—1976年华县小地震

(e) 1695年5月18日临汾 8.0 地震

(f) 1971—1972年临汾小地震

(g) 1668年7月25日郯城 8.5 地震

(h) 1970—1986年郯城小地震

表 1 地震断层面解

编 号	时 间 (年·月·日)	位 置		震 级	地 区	节面 I		节面 II		P 轴		T 轴		N 轴		资 料
		$\varphi(^{\circ}\text{N})$	$\lambda(^{\circ}\text{E})$			$A_1(^{\circ})$	$N_1(^{\circ})$	$A_2(^{\circ})$	$N_2(^{\circ})$	$A_3(^{\circ})$	$N_3(^{\circ})$	$A_4(^{\circ})$	$N_4(^{\circ})$	$A_5(^{\circ})$	$N_5(^{\circ})$	
1	1679.9.21	40.0	117.0	8.0	三河	41	70	41	20	131	65	311	25	41	0	断层
2	1976.7.28	39.4	118.1	7.8	唐山	30	90	120	90	75	0	345	0	210	90	P 波初动
3	1556.1.23	34.5	109.7	8.0	华县	65	68	65	22	335	67	155	23	65	0	断层
4	1975—1976 年	34—35	109—110	小震	华县	41	65	321	70	270	4	2	33	176	58	P 波初动
5	1695.5.18	36.5	111.5	8.0	临汾	70	70	70	20	160	65	340	25	70	0	断层
6	1971—1972 年	36—37	111—112	小震	临汾	18	56	274	71	230	38	328	10	71	50	P 波初动
7	1668.7.25	35.3	118.6	8.5	郾城	10	25	10	65	100	20	280	70	10	0	断层
8	1970—1986 年	35—36	118—119	小震	郾城	35	75	302	70	80	25	346	10	250	73	P 波初动

注:  $A_i$  和  $N_i$  表示方位角和倾角(从水平面起算)。

四、讨 论

上述资料提供了华北 16—17 世纪应力场概略轮廓,有 3 个大地震为倾滑正断层,最大主应力轴近于直立,与现代水平挤压应力场和走滑断层运动非常不协调,一个合理的推论是华北应力场在最近几百年来可能已发生重大变动(图 3)。

按照高维明等(1988)结果,1668 年  $M8.5$  地震的逆冲运动起因于华北和黄海断陷盆地的隆起扩张的侧向应力,这样可以解释它与另外 3 个地震的不一致。

至于说华北断陷盆地的隆起扩张的起因可能是地幔物质上涌引起,这是一个较为合理的解释,16—17 世纪前后内陆空前的火山喷发活动就是最好的证据。;图 4 表示华北断块活动的两种情况:一种情况是地幔上涌引起盆地扩张,侧向引张应力部分地抵消了板块运动引起的水平挤压应力,于是垂直应力成为最大主应力,这是 16—17 世纪的情况;第二种情况是地幔下沉引起盆地收缩并使板块水平挤压应力得到加强,成为最大主应力,这是现代的情况,两种情况随着地幔周期性升降而交替出现,最大和中等主应力交换位置;应力轴旋转近 90 度。

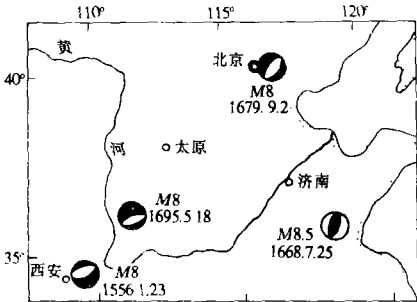


图 3 华北 16—17 世纪 4 个大地震断层面解和分布(黑色象限为压缩区)

现代		16—17 世纪
$\sigma_1$	$\sigma_{H1}$	$\sigma_v$
$\sigma_2$	$\sigma_v$	$\sigma_{H1}$
$\sigma_3$	$\sigma_{H2}$	$\sigma_{H2}$

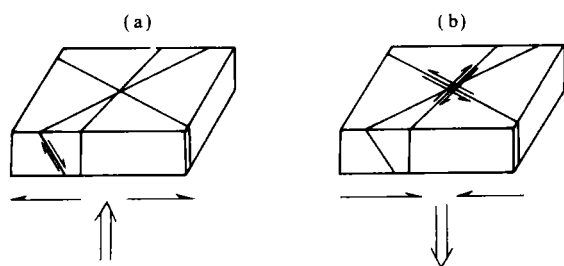


图4 华北断块断层活动模式

(a) 隆起扩张; (b) 沉降收缩

象山西第四纪断陷盆地中张性与压性构造组合的情况可能是两种应力场交替出现而逐步形成的. 该过程并不局限于华北, 还涉及到中国东部大陆. 16—17 世纪在东南沿海台湾海峡(泉州附近), 海南岛琼州海峡及朝鲜半岛都曾发生强烈地震, 而现代很平静. 值得注意的是在古地磁场, 地球自转速度、古气候、古海平面等

都已发现  $3.6 \times 10^2$ ,  $5.6 \times 10^2$ ,  $22 \times 10^3$ ,  $42 \times 10^3$  和  $10^5$  年的周期变化, 且均与核-幔过程、日-地过程、极轴移动及地球公转轨道变化有关, 这些因子的变化都足以引起岩石层应力场的改变.

本文提出华北应力场可能存在几百年或几千年的周期变化还仅是一个推测或假说, 还需要对古应力场做更深入的研究, 需要更充分的证据.

## 参 考 文 献

- 陈运泰、林邦慧、林中南、李志勇, 1975. 根据地面形变观测研究 1966 年邢台地震的震源过程. 地球物理学报, **18**, 3, 164—182.
- 邓起东、张裕明、许桂林、范福田, 1979. 中国构造应力场特征及其与板块运动的关系. 地震地质, **1**, 1, 11—12.
- 高维明、郑朗孙、李家灵、林趾祥, 1988. 1668 年郯城 8.5 级地震的发震构造. 中国地震, **4**, 3, 9—15.
- 李钦祖, 1980. 华北地壳应力场的基本特征. 地球物理学报, **23**, 4, 376—388.
- 罗焕炎, 1979. 从大陆动力学观点试论我国地震成因和机制. 地震地质, **1**, 1, 1—10.
- 罗焕炎、高维安、高维红, 1988. 山西断陷盆地形成机制数值模拟. 地震地质, **10**, 1, 71—78.
- 许忠淮、戈树漠, 1984. 用滑动方向拟合法反演富蕴地震断裂带应力场. 地震学报, **6**, 395—403.
- 鄯家全、时振梁、汪素云、环文林, 1979. 中国及邻区现代构造应力场的区域特征. 地震学报, **1**, 24—37.
- 杨理华、李钦祖, 1980. 华北地区地壳应力场, 82—90. 地震出版社, 北京.
- 张裕明、汪良谋、董瑞树, 1979. 华北东部新生代构造应力场变化探讨. 地震地质, **1**, 1, 23—28.
- 张之立、方兴、闫红, 1987. 山西地堑形成的力学模式及山西地堑带特点. 地震学报, **9**, 36—50.
- Etchecopar, A., Vasseur, G. and Daiguitres, M., 1981. An inverse problem in microtectonic for the determination of stress tensors from fault striation analysis. *Jour. Struc. Geol.* **3**, 1, 51—65.
- Molnar, P. and Tapponnier, P., 1975. Cenozoic tectonic of Asia: Effects of a continental collision. *Science*, **189**, 4201, 419—426.