

# 唐山(1976)和三河—平谷地震(1679) 附近的地应力场特征\*

丁健民 梁国平  
(国家地震局地震地质大队)

## 摘要

本文讨论了唐山(1976)和三河—平谷地震(1679)附近的地应力场特征,发现位于震中附近的测点,其应力值比较低,而离开震中以远的测点则应力值比较高。同时还讨论了在唐山市凤凰山和顺义吴雄寺(三河—平谷地震附近)连续几年的测量结果,表明这两个地区震中附近的主应力值随时间变化的幅度不大,而它们的主应力方向随时间则有明显地变化。最后分析了引起震中附近低值应力的原因,并指出研究低值应力异常对地震预报的意义。

近十几年来,国内外学者对地壳里主应力方向的分布和主应力值随深度的变化方面有较多的报道,尤其是在美国、加拿大、澳大利亚、联邦德国、瑞典、苏联和日本等国家都取得了许多观测资料。我国的地应力测量工作是从六十年代初开始的,目前在地震、地质、水工、冶金、石油、煤田以及军工等部门得到应用。

自从1979年美国学者M. D. Zoback等人<sup>[1,2]</sup>报道了在圣安德烈斯断层附近的水压致裂应力测量结果以后,人们才对断层附近的应力场的研究引起了兴趣。M. D. Zoback等人的研究结果表明,作用于圣安德烈斯断层上的最大剪切应力仅仅为100巴,而不是过去所设想的几千巴。同时他们还发现,位于断层附近的剪切应力比远离断层的低得多,而不是过去所认为的断层附近是应力集中地带。近来,我国学者在郯城—庐江断裂带和八宝山断裂带的地应力测量中也得出类似结果<sup>[4,5,9]</sup>。这些实测资料对于当前深入开展研究具有重要意义。

迄今为止,人们对地震震中附近的地应力场还研究得很少,目前在国外仅有一例,这就是D. Denham等人<sup>[3]</sup>在澳大利亚梅克林地震附近所进行的地应力测量。

我国自1975年海城地震以后,就开始重视对大震震中区应力场的研究,曾先后在发生过大震的海城、龙陵、唐山以及历史上发生过大震的北京以东的三河—平谷等地区进行了地应力测量,从而对大震震中区及其附近的地应力场特征有了一些认识。我们就唐山和三河—平谷大震为例,讨论一下大震震中区的应力场特征。

\* 1982年12月17日收到。

## 一、唐山和三河—平谷地震附近的地应力测量结果

自 1971 年以来，国家地震局地震地质大队和中国地质科学院地质力学研究所在京津唐地区采用压磁应力计进行了钻孔解除法地应力测量<sup>[6]</sup>。在需要测定应力的地方，首先用小口径钻头（直径约 36 毫米）钻出一测量孔，并在测孔中放置三个互成 60° 或 45° 的测量元件，同时给每一个测量元件施加一定的预应力，使测量元件与孔壁接触牢固，然后用大口径钻头（直径约 150 毫米）在测孔外围钻出同心孔，使其岩芯应力解除。由于岩芯脱离周围应力场的作用而发生弹性恢复，测量元件的测值就随之变化。假定一个主应力平行于钻孔轴，则根据钻孔中三个不同方向的测量元件的变化数值，便可计算出测点处垂直于钻孔轴平面的主应力大小和方向。

在一条由北京温泉至河北省滦县的长达 250 公里的剖面上，国家地震局地震地质大队曾对 9 个地方共计 15 个钻孔进行了地应力测量。这条剖面穿过 1679 年的三河—平谷 ( $M_s = 8$ ) 震中区和 1976 年的唐山 ( $M_s = 7.8$ ) 震中区。所有测量孔都是由地面向下的垂直钻孔。为了便于各钻孔测值的对比，将大多数钻孔的位置选定在厚层石灰岩中。测量深度一般离地表 20 米左右，均达到所在地点的侵蚀基准面之下。在每一个钻孔中都要取 10 至 20 个有效数据，然后用最小二乘法进行整理<sup>[7]</sup>，其结果见表 1。

表 1 北京—滦县地应力测量剖面数据

编号	位置	测量时间 (年·月)	岩性	最大水平主应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	最小水平主应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	最大剪切应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	最大水平主应力方向 (度)
1	北京温泉	1976.9	灰岩	54	31	12	N67°W
2	顺义宠山	1973.11	灰岩	4	2	1	N58°W
3	三河孤山	1976.10	灰岩	21	5	8	N69°W
4	顺义吴雄寺	1971.10	灰岩	31	18	7	N75°W
	顺义吴雄寺	1973.11	灰岩	26	4	11	N73°W
	顺义吴雄寺	1976.9	灰岩	36	17	9	N83°W
	顺义吴雄寺	1977.7	灰岩	27	21	3	N75°W
5	蓟县蟠山	1971.9	灰岩	64	36	14	N47°W
6	唐山市凤凰山	1976.10	灰岩	25	17	4	N47°W
	唐山市凤凰山	1978.5	灰岩	23	11	6	N77°E
	唐山市凤凰山	1978.5	灰岩	16	10	3	N71°W
	唐山市凤凰山	1981.9	灰岩	37	21	8	N71°E
7	古冶赵各庄	1981.9	灰岩	27	13	7	N84°E
8	滦县 1 孔	1976.8	灰岩	58	30	14	N84°E
9	滦县 2 孔	1976.9	灰岩	66	32	17	N89°W

为了研究大震震中地区应力场随时间的变化，还在顺义吴雄寺（三河—平谷大震附近）和唐山市凤凰山进行了每两年一度的连续地应力测量。

## 二、唐山和三河—平谷地震附近的应力场特征

根据在唐山和三河—平谷地震附近测得的地应力结果，我们可以看出以下几个显著

特点:

1. 接近地表的水平主应力值比较高, 最大水平主应力一般为 20 到 60 公斤/厘米<sup>2</sup>, 最小水平主应力一般为 10 到 30 公斤/厘米<sup>2</sup>. 很显然, 在每一测点测得的水平主应力值都比以岩石比重为 2.6 克/厘米<sup>3</sup>的岩层自重所引起的垂直应力(在 20 米深处,  $\sigma_v = 5$  公斤/厘米<sup>2</sup>) 大得多.
2. 绝大多数测点的主应力方向是一致的. 从整体上看, 地应力场的主导方向为北西和北东东, 接近于近东西方向的压应力场(图 1).

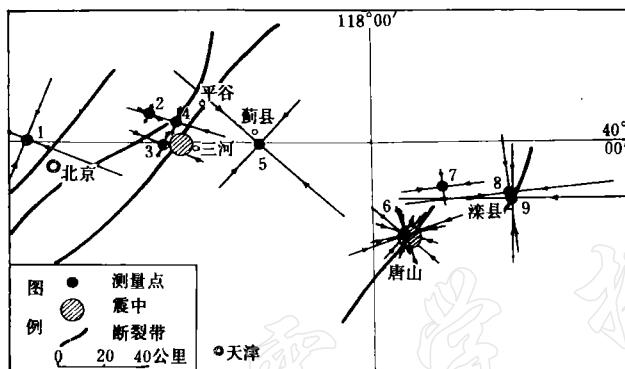


图 1 唐山和三河—平谷地震附近的地应力图象

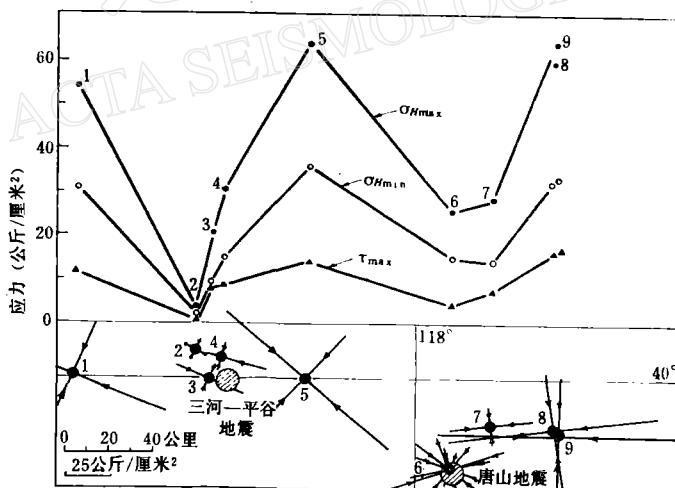


图 2 北京—滦县地应力测量剖面图  
(图中表示出应力图象和最大水平主应力、最小水平主应力、最大剪应力值曲线)

3. 在同一地点相离不远的两个钻孔中测得的结果相近似, 例如滦县 1 孔和 2 孔之间相距约 30 米, 其测量结果, 无论主应力大小或者主应力方向都相差不大.
4. 所有测量结果均为压应力, 未发现张应力. 应力张量具有很强的方向性, 最大水平主应力一般比最小水平主应力大几倍.
5. 位于震中的测量点, 其应力值比较低, 而离开震中以远的测量点则应力值逐渐增

高。我们可以从图 2 中清楚地看出这种关系，位于三河—平谷地震附近的 2 号测点与远离震中的 1 号(或 5 号)测点相比较，它们的最大水平主应力差、最小水平主应力差和最大剪切应力差分别为 50、30 和 10 公斤/厘米<sup>2</sup>；位于唐山震中的 6 号测点与远离震中的 9 号(或 5 号)测点相比较，它们的最大水平主应力差、最小水平主应力差和最大剪切应力差分别为 40、20 和 10 公斤/厘米<sup>2</sup>。

### 三、与其它大震附近的应力场的比较

唐山震中区和三河—平谷地震附近的低值应力证据可能引起一定的兴趣。为了说明这种观测结果不是偶然现象，有必要引出其它一些测量结果，以便进行比较。

#### 1. 与海城、龙陵地震的比较

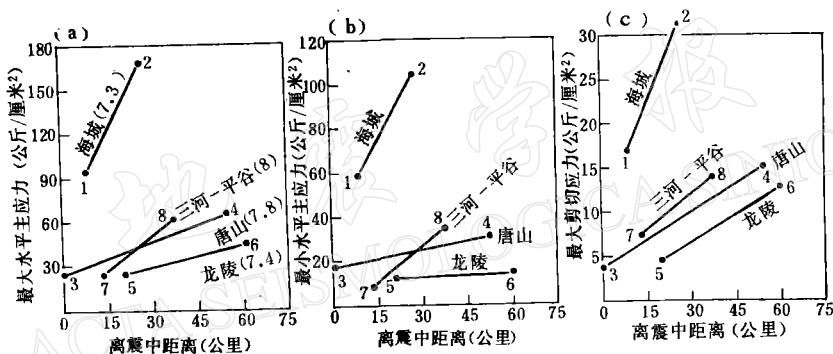


图 3 地震附近的应力值与震中距的关系

1. 海城，2. 大石桥，3. 唐山市凤凰山，4. 涞县，5. 潞西，6. 保山道街，7. 三河孤山，8. 蓟县蟠山。

(a) 最大水平主应力；(b) 最小水平主应力；(c) 最大剪切应力。

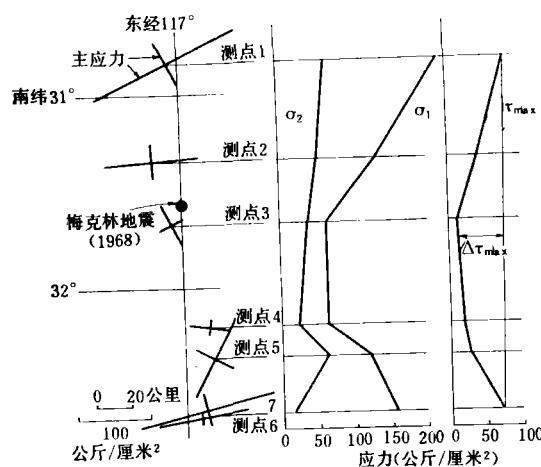


图 4 澳大利亚梅克林地震附近的应力图象和水平主应力、最大剪切应力曲线图

(据 D. Denham, 1980<sup>[3]</sup>)

1975 和 1976 年, 在海城和龙陵发生了 7.3 和 7.4 级地震。国家地震局地震地质大队都是在地震发生后到震区进行应力测量的。为了说明地震附近的应力大小与震中距的关系, 我们把在海城和龙陵地震附近的测量结果与在唐山和三河—平谷地震附近的测量结果都表示在图 3 中。从这里不难看出, 地应力值与震中距的关系有着明显的趋势, 靠近震中附近的应力值明显地小于远离震中的应力值。

## 2. 与澳大利亚梅克林地震的比较

根据 D. Denham 等人的报道<sup>[3]</sup>, 1968 年 10 月在澳大利亚西部的梅克林地区 ( $32^{\circ}\text{S}$ ,  $117^{\circ}\text{E}$ ) 发生了一次 6.9 级地震。1976 年 2 月, 澳大利亚学者通过梅克林震中区, 沿着一条长达 200 公里的南北剖面, 布置了 7 个测量点, 采用套芯法进行了地应力测量(图 4)。结果表明, 位于梅克林震中区的应力值比较小(3 号测点), 而离开震中以远的两侧剖面的应力值则逐渐增大。

## 四、唐山市凤凰山和顺义吴雄寺的主应力 大小及其方向随时间的变化

为了研究地震附近的地应力场随时间的变化特征, 自 1971 到 1977 年, 在顺义吴雄寺连续地进行了四次地应力测量。1976 年唐山地震发生之后, 又在唐山市凤凰山进行了地应力测量, 到目前为止, 已取得了四次数据。这些测量资料, 对研究历史地震地区和近期地震活动地区的应力场随时间的变化特征是有意义的。

图 5 表示在唐山市凤凰山和顺义吴雄寺数年来的测量结果。从这里我们可以看出主应力的大小及其方向随时间变化的一些特征。

### 1. 主应力值随时间变化的特征

在这两个不同的测区里, 测得的主应力值都随时间略有变化, 但幅度不大, 最大和最小水平主应力的变化都未超过 10 公斤/厘米<sup>2</sup>。它们的平均主应力值近似相等, 都呈现出低值应力的特征。需要指出的是, 唐山市凤凰山的地应力测量是在大震后的几年中获得的, 该区目前还处在活动时期, 仍有较强的余震发生, 而顺义吴雄寺的地应力测量则是在三河—平谷大震三百余年后获得的, 该区已处于相对稳定时期, 近几十年来没有发生较强地震。奇怪的是, 在这两个地区测得的都是低值应力, 而且它们的主应力值随时间的变化也比较相似。

### 2. 最大主应力方向随时间变化的特征

在这两个不同的测区里, 数年来测得的最大主应力方向都是北西西向, 唐山市凤凰山的平均最大主应力方向为  $N83^{\circ}\text{W}$ , 顺义吴雄寺为  $N77^{\circ}\text{W}$ 。这种方向上的一致性, 可能是由于它们受着同一区域应力场控制的结果。

值得注意的是, 在这两个地区里, 其最大主应力方向随时间的变化有较大的差别。唐山市凤凰山从 1976 到 1981 年的四次测量中, 发现最大主应力方向的变化范围较大, 可达  $62^{\circ}$  (从  $N47^{\circ}$ — $109^{\circ}\text{W}$ ); 而顺义吴雄寺从 1971 到 1977 年的四次测量中, 最大主应力方向的变化范围则小得多, 约为  $10^{\circ}$  (从  $N73^{\circ}$ — $83^{\circ}\text{W}$ )。

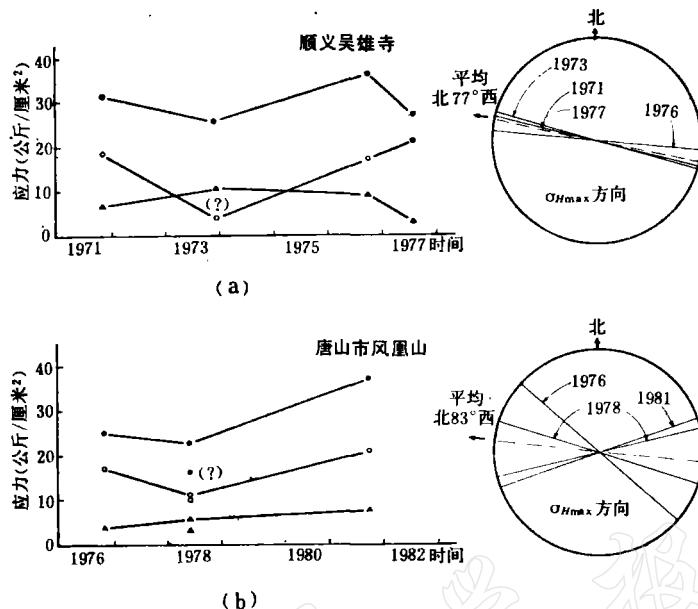


图 5 顺义吴雄寺 (a) 和唐山市凤凰山 (b) 测点主应力值与方向随时间的变化

这一对比观测结果表明,一次大地震发生之后,震中附近的主应力方向是在不断地改变着。余震也随时间逐渐衰减,地震附近的主应力方向变化的幅度也会减小,并逐渐趋近于区域应力场的方向。唐山市凤凰山测点的最大主应力方向随时间变化较大,这就说明该地区仍有较强的地震活动,主应力方向也就不断地改变着;而顺义吴雄寺测点的最大主应力方向随时间几乎没有变化,这就说明该地区已没有较强地震发生,主应力方向已趋于稳定。

## 五、引起震中附近低值应力的原因的讨论

关于引起震中附近低值应力的原因,目前尚有不同的认识。传统观点认为,震中附近的低值应力是由于地震时应力释放所形成的<sup>[6,8,9]</sup>,如若经过一定时期的应力调整之后,仍可恢复到区域应力值水平。然而,也有人认为地震是发生在低值应力地区<sup>[10]</sup>,换句话说,在地震发生之前震中附近就已存在着低值应力。

到目前为止,还没有人在发震断层附近直接地测量出震前、震时和震后三种应力状态的完整资料,特别是未有震前的应力资料作比较,因此也就难以判断这种低值应力异常到底是在地震发生之前就存在着呢?还是在地震发生之后形成的呢?

我们在分析已稳定的历史地震区和活动断层附近的应力场特征中,也发现了相类似的低值应力的证据。据此,我们推断,震中附近的低值应力异常可能是在地震发生之前就存在着。

### 1. 历史地震附近的低值应力证据

前面已经叙述了关于在顺义吴雄寺(三河—平谷地震附近)几年来的应力测量结果,

表明三河—平谷历史地震附近的主应力大小和方向随时间没有明显变化，也就是说该地区的应力场已处于稳定状态。值得注意的是，三河—平谷地震已过三百余年，然而震中附近测点的应力值却比远离震中测点的应力值小得多。如果说这一低值应力异常是一种“震后效应”的话，那么将会在地震平稳或者应力场稳定之后就可恢复到较高的区域应力场的水平，但事实并不如此，测得的结果却是低值应力。

## 2. 活动断层附近的低值应力证据

我们在分析郯城—庐江断裂带和八宝山断裂带附近的应力场特征<sup>[4,6,9]</sup>时，发现在活动断裂带的附近也同样存在着低应力的证据（图6）。可以看出，靠近断裂带附近的剪切应力值比较低，随着与断层距离的增加，剪切应力值也跟着增加。

我们将郯城—庐江断裂带和八宝山断裂带附近的剪切应力值与唐山地震附近的剪切应力值相比较，发现靠近断裂带的剪切应力值与震中附近的近似相等，而离开断裂带的剪切应力值则与离开震中以远的近似相等。

众所周知，地震的产生乃是已有断层错动的结果，而震中地区只是活动断层所通过的一部分。通过活动断层和地震附近的地应力测量资料的对比分析，我们认为，震中附近的低值应力异常可能与活动断层有关。

在某些活动断层的附近，断层从地表一直延续到地壳深部，假若下面有一高压或高热源的存在，例如在岩浆上升或熔岩体形成的地方，就会使该处介质的压力和温度升高。这样，形成的高压水将沿着断面上涌，并引起周围岩石产生相对弹性膨胀，从而降低了断层附近的压应力值。

除此之外，断层带及其附近的微裂隙、断层泥以及水化学作用等都可以降低岩石的力学性质，形成低值应力异常。

综上所述可以看出，唐山地震和三河—平谷地震都是发生在与活动断层有关的低值应力地区。根据这一认识，我们可以借助于地应力测量的方法，通过寻找低应力地区来预测地震发生的地点。

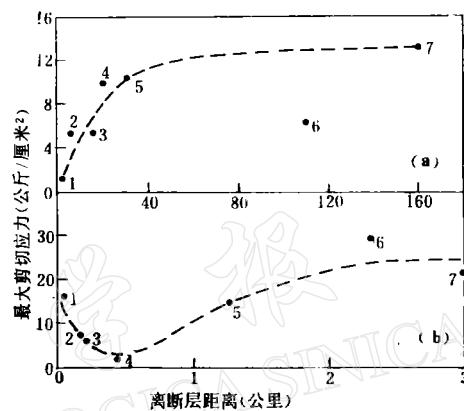


图6 郯城-庐江断裂带(a) 和八宝山断裂带(b) 附近的最大剪切应力值与断层距离的关系<sup>[4,5]</sup>

### 参 考 文 献

- [1] M. D. Zoback and J. G. Roller, Magnitude of shear stress on the San Andreas Fault: Implications of a stress measurement profile at shallow depth. *Science*, **206**, 4417, 445—447, 1979.
- [2] M. D. Zoback, H. Tsukahara and S. Hickman, Stress measurements at depth in the vicinity of the San Andreas Fault: Implications for the magnitude of shear stress at depth, *J. Geophys. Res.*, **85**, B11, 6157—6173, 1980.
- [3] D. Denham, L. G. Alexader and G. Worotnicki, The stress field near the sites the Meckering (1968) and Calingiri (1970) earthquakes, Western Australia, *Tectonophysics*, **67**, 283—317, 1980.
- [4] 梁国平、丁健民, 郑城—庐江断裂带附近的地壳应力场特征, 地壳形变与地震, 4, 1982.
- [5] 刘 霆、丁健民, 八宝山断裂带附近的地应力场特征, 地震科学, 4, 8—11, 1982.
- [6] 李方全、王连捷, 华北地区地应力测量, 地球物理学报, **22**, 1, 1—8, 1979.
- [7] 王连捷、范雪玲、廖椿庭, 平面地应力测量结果的最小二乘方整理方法, 地应力测量的理论和应用, 地质出版社, 1981.
- [8] 丁旭初, 震后应力状态, 地震战线, 6, 27—30, 1980.
- [9] 李方全、孙世宗、李立球, 华北及郯庐断裂带地应力测量, 岩石力学与工程学报, 1, 1982.
- [10] B. Raleigh and J. Evernden, The case for low deviatoric stress in lithosphere, 岩石圈中低偏应力的论证, 国外地震, 6, 38—51, 1980.

## ON STRESS FIELD IN EPICENTRAL AREAS OF 1976 TANGSHAN EARTHQUAKE AND 1679 SANHE-PINGGU EARTHQUAKE

DING JIANMIN LIANG GUOPING

*(Seismo-geological Brigade, State Seismological Bureau)*

### Abstract

This paper discusses the characteristics of the stress field in the epicentral areas of two large earthquakes — Tangshan of 1976 and Sanhe-Pinggu of 1679. Stress measurements in drill holes give lower values for the points close to the epicentral areas while higher values at points away from them. Meanwhile, a series of stress measurements at two points, Fenghuangshan in Tangshan City and Wuxiongsi of the Shunyi County, nearby the Sanhe-Pinggu epicenter in a period of several years show that the values of principal stress do not vary appreciably with time but their directions are changed obviously. Finally, a preliminary analysis on the cause of low stress values in the epicentral areas has been made and the significance relating to prediction of earthquakes mentioned.