

区域小震平均节面解的时空分析

阎 明

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘要

本文提出了根据所研究地区地质构造特点划分小区求小震平均节面解的方法，并以晋、冀、蒙三省交界地区为例，得到 107 个小震平均节面解。分析了它们在唐山大震前后参数变化的时空特征，取得了一些有意义的结果。

关键词 初动符号；平均节面解；矛盾符号比

一、引言

晋、冀、蒙三省(以下简称北三省)交界地区地质背景复杂，近几年来小震活动趋于频繁。该区曾多次被列为全国地震危险区之一。本文试图通过对小震平均节面解参数变化时空特征的分析，寻找评定该区地震危险性的依据，并验证本文方法的可行性。

二、资料

本文采用 1966 年 1 月至 1984 年 12 月发生在北三省交界地区(北纬 38° — 42° ，东经 110° — 117°)的二千多次地震的三千多个初动符号。这些数据是在原有资料^[1]的基础上，作者于 1985 年进行补加的。补加的符号分别读自河北省地震局台网记录图、北京遥测地震台网记录图、山西省地震局台网记录图和北京遥测地震台网、山西省地震局、内蒙古自治区地震局的地震报告。读取数据时经过仔细筛选，只选用清晰可靠的初动符号。

本文使用的震中位置资料分别取自北京遥测地震台网和北三省各省地震局的地震目录。本文所用地震的震中与台站分布见图 1。没给出震源深度的地震，其深度取京、津、唐、张地区小震平均震源深度 15km。

三、方法

首先参照所研究地区的地质构造图(见图 2a)。沿主要构造线划分小区。从图 2a 可看到，北三省交界地区的主要构造线走向为北西和北东二组。本文沿北西 65° 线划分小区。以北纬 42° 和东经 102° 线的交点为顶点，以南东 65° 线为边作 8 个边长为 120km

1988 年 6 月 21 日收到本文初稿，1989 年 6 月 24 日决定采用。

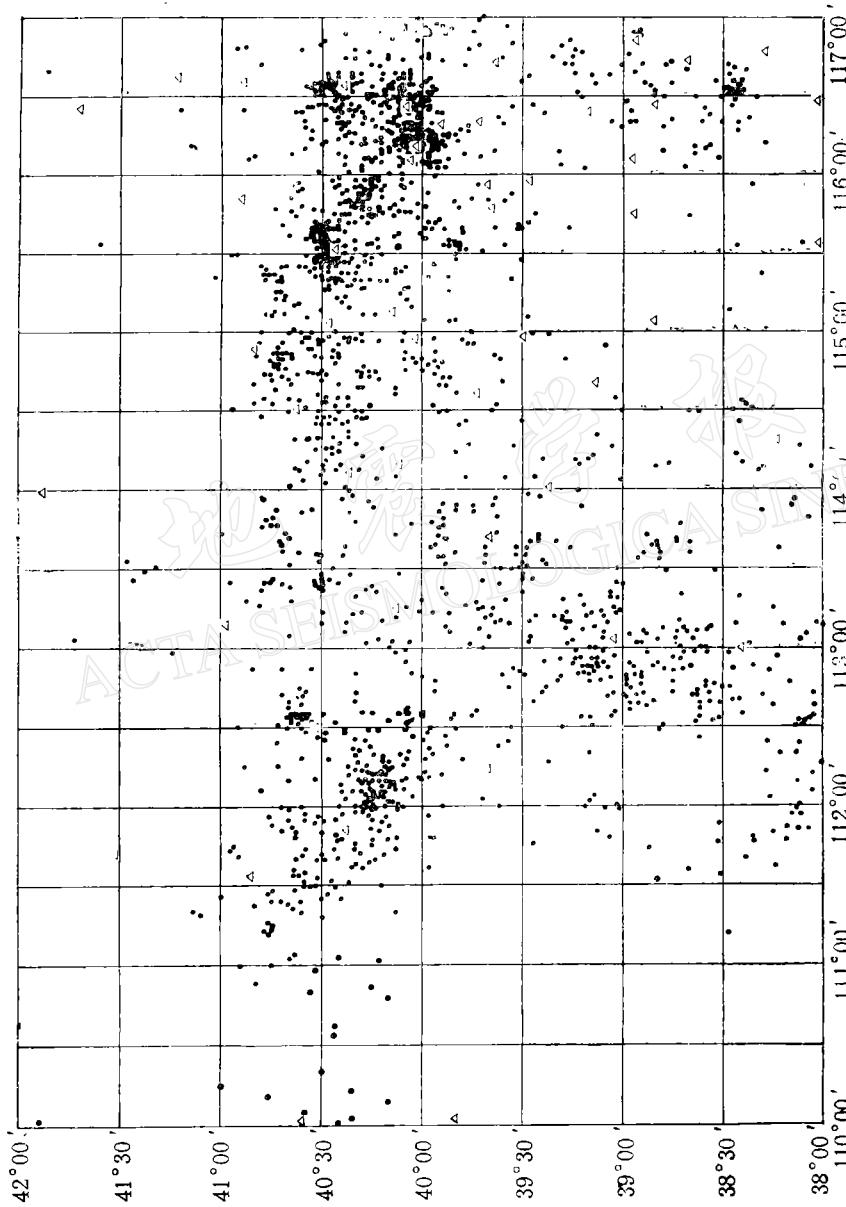


图 1 本文所用地震震中与台站分布图

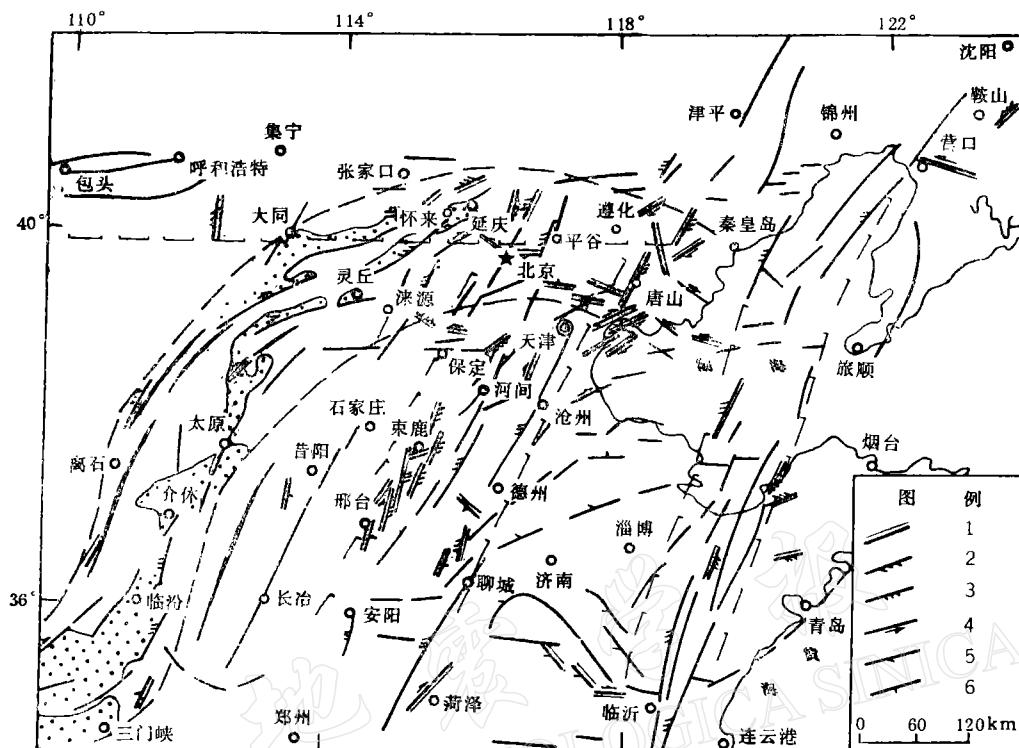
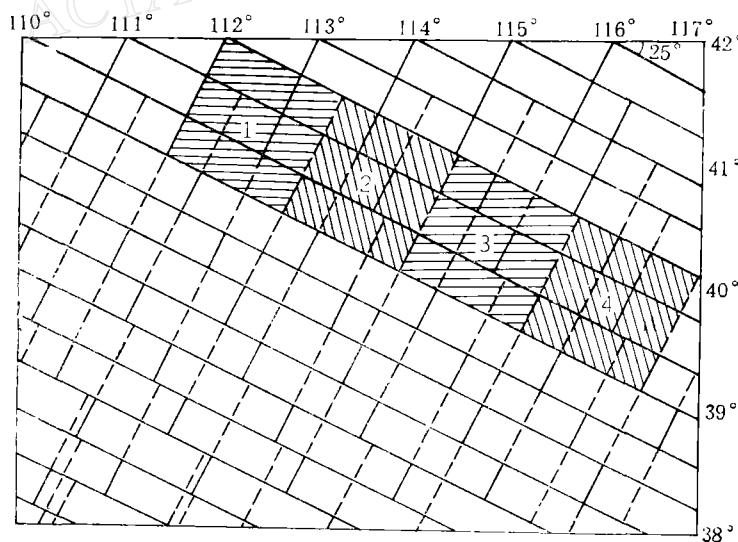


图 2(a) 华北地区发震构造及现今构造活动图

图 2(b) 小区划分示意图(图中阴影部分为以 112° 经度线与 42° 纬度线交点作顶点的条带中, 作以 120 km 为边长的四个正方形小区的图例)

的正方形, 每个正方形称为一个子区(见图 2b). 然后, 沿北纬 42° 线平滑, 以 42° 线与各整经度线交点为顶点共作出子区 104 个, 选出其中有足够数据可以分析的子区 35 个. 由于平滑的距离较小, 每个子区中的数据都有重复使用的部分. 最后将每个子区的数据适

当划分时段,利用计算机使用尝试扫描法^[2]求出平均节面解。

为了考察大范围内小震平均节面解诸参数的时空特征,求出了1966年至1984年逐年的平均节面解,以便与子区得到的解进行分析对比。

划分时段时视初动符号的多少尽量使各时段的符号数目相近。由于1976年之前收集到的初动符号不多,因此,1976年之前的时段多数较长,甚至有的子区因1976年之前的数据太少而无法作出平均节面解。

本文共作出子区平均节面解84个,逐年平均节面解23个。因1980年之后数据太多,故1980年至1984年每半年求出一个全区范围的平均节面解。

四、结 果

作者发现,若以1976年唐山大震的发震时间为界,将其前后再适当划分小时段,可以得到如下几点结果:

1. 关于P轴方位的变化

从107个平均节面解的主压应力轴总体看,1976年唐山大震之前,P轴的方位分布比较集中,在乌尔夫网投影图上呈近东西向分布(见图3a)。而唐山大震之后,P轴方位分布杂乱无章,可以说唐山大震后,P轴几乎分布在所有方位上(见图3b)。

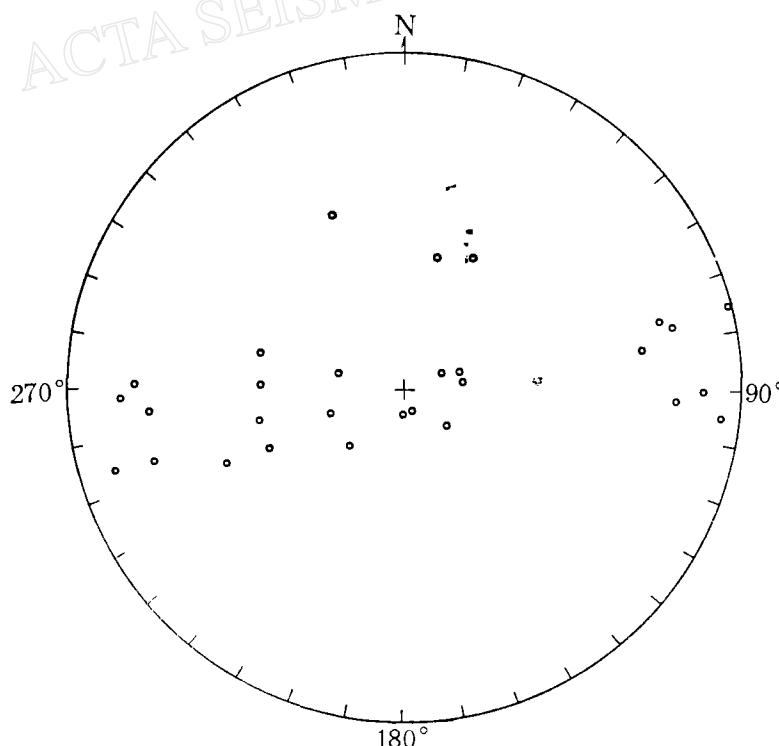
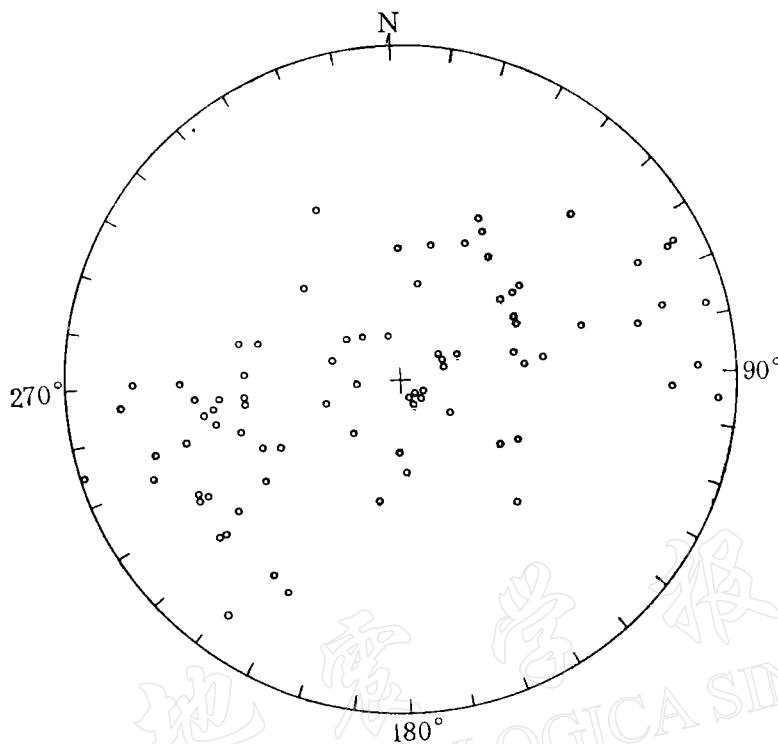


图3(a) 唐山大震前P轴在乌尔夫网投影图上的位置

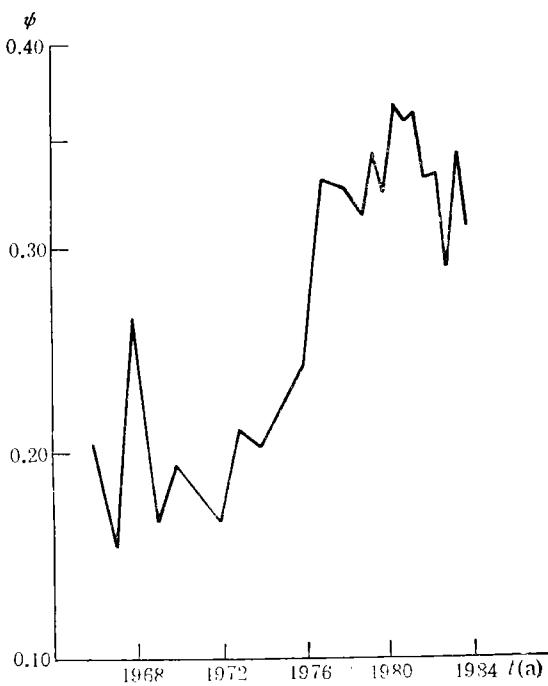
图 3(b) 唐山大震后 P 轴在乌尔夫网投影图上的位置

2. 关于矛盾符号比 ϕ 随时间的变化

唐山大震之前, 矛盾符号比 ϕ 相对较低, 大震之后, ϕ 突然大幅度增加(见图 4)。在全区逐年的平均节面解中, 大震前 $\phi \leq 0.25$, 大震之后 $\phi > 0.30$ (除 1983 年下半年的 $\phi = 0.29$ 之外, 见表 1)。就子区的 84 个平均节面解而言, ϕ 变化也存在着同样的规律。所不同的只是 ϕ 在大震前后的变化幅度略小。也有个别子区这种变化不太明显。多数子区最后时段的平均节面解之 ϕ 略有下降。这些情况都表示在图 5 中。

3. 全区与子区小震平均节面解矛盾符号比的差异

在子区的 84 个平均节面解中, $\phi > 0.30$ 的为 29 个, $\phi < 0.30$ 的为 55 个。其中, 除唐山大震前时间段得到的 18 个 ϕ 之外, 大震之后仍有 37 个解的 $\phi <$

图 4 矛盾符号比 ϕ 随时间的变化

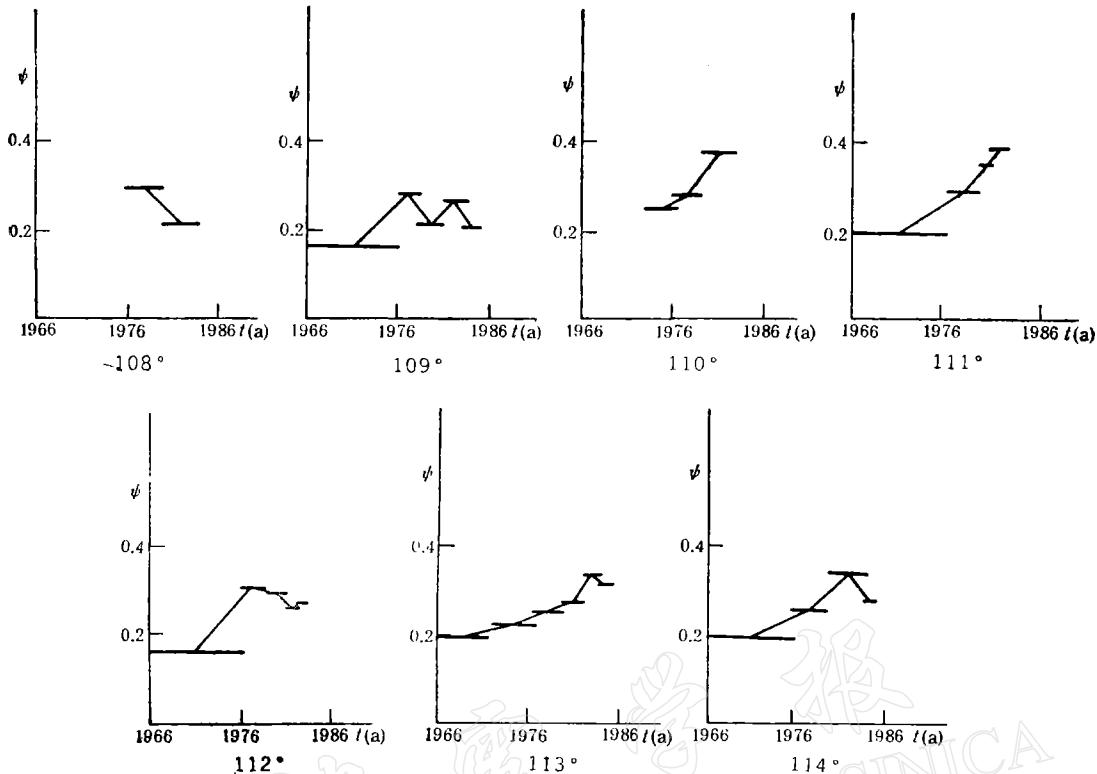


图 5(a) 以经度线 108° — 114° 分别与 42° 纬度线之交点为顶点的条带中第三小区小震平均节面解矛盾符号比随时间的变化(横坐标为以年为单位的时间轴,纵坐标为矛盾符号比。图中每一横线段表示所取数据的时间范围及其平均节面解的矛盾符号比)

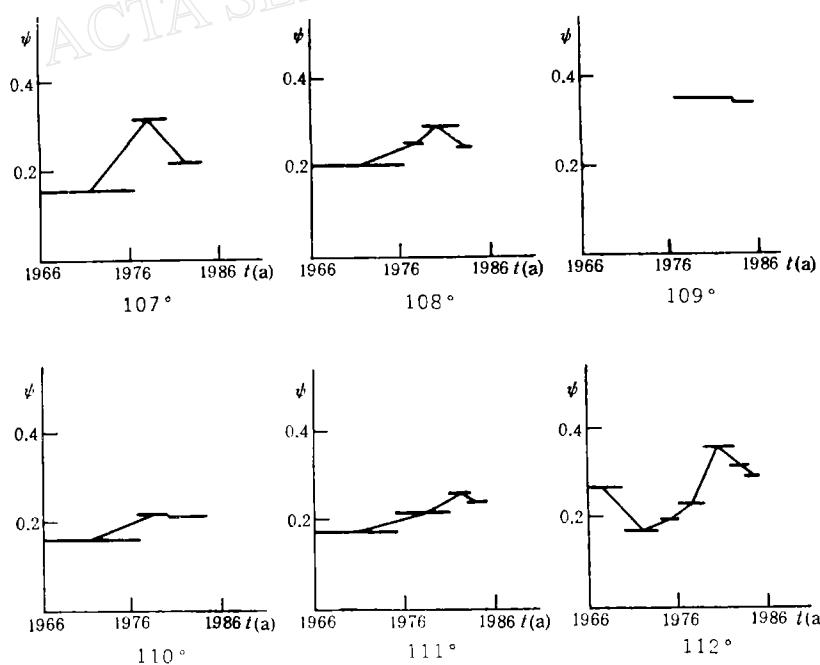


图 5(b) 以经度线 107° — 112° 分别与 42° 纬度线之交点为顶点的条带中第四小区小震平均节面解矛盾符号比随时间的变化(横坐标为以年为单位的时间轴,纵坐标为矛盾符号比。图中每一横线段表示所取数据的时间范围及其平均节面解的矛盾符号比)

表1 晋冀蒙三省交界地区逐年平均节面解

时间 (年)	节面 I		节面 II		P		B		T		ϕ	备注	
	倾向	倾角	倾向	倾角	Az	Ih	Az	Ih	Az	Ih		地震数	符号数
1966	198	54	312	61	257	40	70	50	163	86	0.205	78	78
1967	194	36	310	73	273	38	50	60	153	69	0.154	52	52
1968	30	90	300	90	75	90	0	0	345	90	0.265	83	83
1969	180	50	0	40	180	5	90	90	0	85	0.167	30	30
1970	193	56	296	71	249	52	50	40	152	80	0.194	36	36
1972	218	73	312	80	266	71	70	20	174	85	0.167	42	42
1973	178	54	292	61	238	40	50	50	143	86	0.211	33	38
1974	166	53	308	44	226	21	60	70	328	85	0.203	58	59
1975	210	87	300	81	255	81	100	10	345	86	0.224	116	125
1976	28	80	123	62	72	63	280	30	168	78	0.236	79	85
1977	330	50	150	40	330	5	60	90	150	85	0.335	129	188
1978	207	82	305	41	243	51	110	50	356	64	0.331	149	243
1979	8	61	123	64	62	40	250	50	157	86	0.317	133	224
1980(上)	168	61	283	54	222	40	50	50	317	86	0.349	76	146
1980(下)	28	73	122	80	76	71	240	20	344	85	0.329	74	179
1981(上)	327	32	124	61	97	18	220	80	313	75	0.371	91	186
1981(下)	164	36	280	73	243	38	20	60	123	69	0.365	86	189
1982(上)	150	60	330	30	150	15	60	90	330	75	0.369	93	206
1982(下)	210	90	120	90	255	90	290	0	165	90	0.337	84	185
1983(上)	188	61	303	54	242	40	70	50	337	86	0.338	131	272
1983(下)	190	81	280	87	235	81	30	10	145	86	0.292	118	274
1984(上)	162	41	322	51	267	11	60	80	151	85	0.349	113	289
1984(下)	170	40	350	50	350	5	80	90	170	85	0.313	190	227

注: (上)指上半年, (下)指下半年

0.30, 占震后时段所求解的 56% (详见表 2)。而在全区逐年平均节面解的矛盾符号比中, 大震后只有 1983 年下半年一个解的 $\phi < 0.30$, 只占震后解总数的 8%。由此可见: 大震后子区平均解的矛盾符号比普遍低于全区范围内求出的平均解的矛盾符号比。

4. 关于 P, B, T 轴方位角随时间的变化

从 $P_{Az}, B_{Az}, T_{Az}-t$ 图(图 6)可看出, 就其形态讲, 分别自 1973 年和 1974 年开始出现前后截然不同的形态变化, 而且分别于 1968 年和 1969 年各有一畸变。在矛盾符号比 $\phi-t$ 图上 1968 年也有相应的异常值(图 4)。更有趣的是, 1968 年全区范围内求出的小震

表 2 子区平均节面解部分参数

顶 点		子区号	时 段	地震数	符号数	主压应力轴		矛盾符号比
$\varphi_N(^{\circ})$	$\lambda_E(^{\circ})$					$P_{AZ}(^{\circ})$	$P_{Ih}(^{\circ})$	
42	102	8	1976.7—1984.12	63	130	30	46	0.328
42	103	8	1976.7—1981.12 1982.1—1984.12	54 54	85 131	0 62	35 33	0.325 0.321
42	104	7	1976.7—1981.6	57	85	80	30	0.318
42	104	7	1981.7—1984.12	54	136	62	33	0.338
42	104	8	1976.7—1984.12	51	97	160	5	0.289
42	105	6	1976.7—1984.12	83	166	10	27	0.315
42	105	7	1976.7—1980.12	56	88	307	18	0.299
42	105	7	1981.1—1984.12	58	150	126	32	0.380
42	106	5	1976.7—1984.12	34	60	84	32	0.220
		6	1976.7—1980.1	60	89	243	38	0.322
		6	1980.1—1982.1	53	110	184	21	0.336
		6	1982.1—1984.12	67	182	236	46	0.341
		7	1976.7—1984.12	24	48	180	25	0.250
		8	1966.1—1984.12	56	67	78	86	0.185
42	107	4	1966.1—1976.7	37	47	130	15	0.156
		4	1976.7—1980.1	81	133	140	45	0.333
		4	1980.1—1984.12	91	211	140	5	0.227
		5	1976.7—1980.12	76	103	316	36	0.287
		5	1981.1—1982.6	42	103	218	63	0.282
		6	1976.7—1984.12	67	122	52	40	0.361
		8	1976.7—1984.12	34	60	250	74	0.356
		3	1976.7—1980.12	49	98	120	35	0.296
42	108	3	1981.1—1984.12	49	116	267	11	0.216
		4	1966.1—1976.7	37	46	26	40	0.217
		4	1976.7—1978.1	60	91	26	40	0.261
		4	1978.1—1981.1	87	141	34	82	0.284
		4	1981.1—1984.12	76	169	83	38	0.249
		5	1976.7—1980.1	51	76	320	15	0.311
		5	1980.1—1984.12	95	214	77	11	0.327
		6	1974.1—1984.12	43	59	270	60	0.241
		7	1976.7—1984.12	42	74	263	51	0.371
42	109	3	1966.1—1976.7	41 _o	49	70	15	0.163
		3	1976.7—1978.6	84	127	36	40	0.288
		3	1978.6—1981.1	83	154	211	66	0.214
		3	1981.1—1983.6	60	142	53	38	0.268
		3	1983.6—1984.12	30	68	224	21	0.206
		4	1976.7—1982.12	72	117	130	5	0.350
		4	1983.1—1984.12	50	98	192	33	0.347

续表 2

顶 点		子区号	时 段	地震数	符号数	主压应力轴		矛盾符号比
$\varphi_N(^{\circ})$	$\lambda_E(^{\circ})$					$P_{Az}(^{\circ})$	$P_{Ih}(^{\circ})$	
42	110	2	1974.1—1984.10	81	159	67	11	0.208
		3	1973.1—1976.7	33	40	336	50	0.250
		3	1976.8—1979.12	93	137	29	48	0.277
		3	1980.1—1984.12	111	234	218	80	0.378
		4	1966.9—1976.7	33	35	14	36	0.171
		4	1976.7—1980.12	74	114	67	11	0.237
		4	1981.1—1983.12	68	118	140	5	0.229
		5	1966.1—1976.7	76	77	93	74	0.247
		5	1976.7—1984.12	95	194	267	50	0.237
		3	1966.1—1976.7	29	31	286	40	0.197
42	111	3	1976.7—1980.12	77	116	48	63	0.293
		3	1981.1—1981.12	54	102	284	45	0.353
		3	1982.1—1984.12	94	206	231	66	0.358
		4	1966.1—1975.6	64	73	160	5	0.164
		4	1975.6—1976.7	85	89	79	66	0.202
		4	1976.7—1980.12	58	94	247	42	0.202
		4	1981.1—1983.1	80	190	257	61	0.311
		4	1983.2—1984.12	84	192	65	80	0.271
		5	1966.1—1971.6	69	71	268	77	0.254
		5	1971.6—1976.7	70	76	95	86	0.118
42	112	5	1976.7—1980.12	40	80	234	57	0.250
		5	1981.1—1984.12	68	151	104	80	0.311
		2	1976.7—1984.12	48	85	347	11	0.329
		3	1966.1—1976.7	93	104	67	11	0.163
		3	1976.7—1979.12	81	132	52	33	0.303
		3	1980.1—1983.1	104	223	261	54	0.296
		3	1983.1—1983.12	60	127	263	42	0.260
		3	1984.1—1984.12	39	110	232	63	0.273
		4	1966.1—1970.6	78	80	271	73	0.275
		4	1970.6—1975.7	65	72	255	70	0.165
42	113	4	1975.7—1976.7	77	79	90	80	0.190
		4	1976.7—1980.1	62	119	242	63	0.244
		4	1980.1—1982.6	57	112	267	42	0.357
		4	1982.7—1983.12	67	140	259	52	0.329
		4	1984.1—1984.12	40	117	255	90	0.291
		3	1966.1—1973.1	80	82	287	18	0.195
42	114	3	1973.1—1976.7	135	148	77	74	0.223
		3	1976.7—1980.1	71	138	242	63	0.254
		3	1980.1—1982.1	70	158	254	46	0.278
		3	1982.1—1983.6	85	180	65	89	0.339
		3	1983.6—1984.12	89	221	267	57	0.303
42	114	2	1976.7—1984.12	37	72	65	81	0.208
		3	1966.1—1976.7	70	76	254	21	0.197
		3	1976.7—1981.1	49	107	242	63	0.252
		3	1981.1—1983.6	53	109	273	42	0.349
		3	1983.6—1984.12	45	123	77	50	0.285

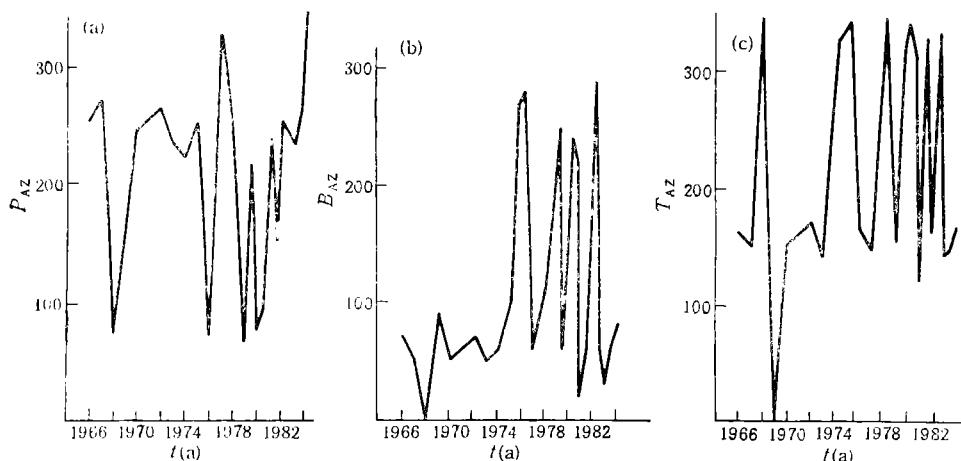


图 6 晋、冀、蒙三省交界地区逐年平均节面解主应力轴方位角
(P_{AZ} , B_{AZ} , T_{AZ}) 随时间的变化

平均节面解与 1976 年唐山大震的震源机制解完全相同(据张之立等人研究结果, 见文献 [5]).

5. 北三省交界地区小震平均节面解的特点

本文得到的 84 个子区平均节面解中, 倾滑解为 29 个, 走滑解为 21 个. 其余是既有走滑分量又有倾滑分量的混合解. 北三省交界地区西部倾滑解稍多. 东部, 其他二种解占优势.

在 23 个全区逐年平均解中, 倾滑解为 15 个, 占总数的 65%.

总之, 在得到的 107 个平均节面解中, 倾滑解所占的比例是不可忽视的. 这说明该地区不仅承受着水平方向的挤压力, 而且还承受着由地壳垂直运动造成的垂直方向力的影响.

五、讨 论

本文结果实质上可归纳为两类: 一类是主应力轴方位在唐山大震前后的变化; 另一类是矛盾符号比在唐山大震前后的变化. 我们对导致这二类结果的原因有如下认识:

首先, 关于前兆与大震的关系存在二种设想: 一种设想认为, 在大地震之前, 在较大范围内区域应力场加强, 大范围内形成一系列特征性变化. 但在哪里发生大地震则取决于具体的构造条件及其他因素. 结果, 在大区域中条件具备的某小区内发生了大地震. 另一种设想则认为, 大震孕育过程中孕震体内部的应力状态发生变化. 这种变化波及周围地区. 这个波及的范围大大超过孕震体, 因而在较大范围内观测到应力场变化造成的小震初动符号分布的时空变化特征.

就第二种设想而言, 唐山 7.8(M_s) 级地震是否能致使北三省交界地区出现前兆响应, 它的影响范围究竟有多大?

我们根据巴特的震源体积公式(转引自文献[5])

$$\lg v(\text{cm}^3) = (9.58 \pm 0.51) + (1.47 \pm 0.14)M$$

计算得到唐山 7.8 级地震震源体的等效面积约为 $200 \times 200 \text{ km}^2$ 。根据巴特指出的, 其前兆异常范围约为震源体线度的 5 倍左右。因此, 北三省交界地区处于唐山大震的影响范围之内。

不管哪种设想更符合实际情况, 最终都导致区域应力场加强这个事实。本文的结果正是区域应力场加强的表现和反映。大震前, 区域应力场加强了, 初动符号的象限性分布就明显了。因此, 在震前连续几年得到的平均节面解一致性较好。矛盾符号比也较低。而震后, 由于大震时释放了大量的应变能, 统一的区域应力场较震前减弱。这时大范围内的小震不再是由一个统一的孕震应力场作用下发生。此时局部应力场对小震的发生起着主导作用。因此, 小震的发震机制差异性较大, 大范围内平均节面解的矛盾符号比也就较高。每个子区内小震的发震机制与大范围内的小震发震机制相比, 其差异性也就小得多。因此, 大震后子区平均节面解的矛盾符号比较大范围内所得解的矛盾符号比小一些。

这与矛盾符号比变化明显的唐山大震孕育过程的“敏感点”一说并不矛盾^[1]。该文是结合地质构造特点研究初动符号分布特征。将正负号交错的地区圈出加以研究。随时间没变化的正号区和负号区都不予研究。这样圈出的小区自然是矛盾符号比随时间变化较大的小区。这样的地区也必然处于大断层的交汇点上。在这样的小区中, 小震的局部发震应力场也是不一致的。

这里得到的唐山大震前矛盾符号比低于震后的结果再一次证实了作者在文献[1]中得到的认识。

本文作出的 107 个平均节面解中, 倾滑解所占的比例不可忽视。这点与文献[2]中的结果略有差异。文献[2]与本文研究地区有关的三个分区是: 呼和浩特区, 其平均节面解中有小部分为倾滑解, 大部分为走滑解; 晋北和京西北二区, 其倾滑解极少, 走滑解占绝对优势。文献[2]所用资料的时间段为 1966 年至 1978 年。由于研究目的不同, 本文的分区和时间段划分都与文献[2]不同。前者都大大小于后者。因此, 尽管二文使用的部分资料和求平均节面解的方法相同, 但仍取得了不尽相同的结果。从总体看, 倾滑解西部多于东部这点是相同的。

本文得到的唐山大震前后时段解的 P 轴方位角变化没取得文献[1]中的另一点认识, 即在唐山地区, 大震前时段的解, 其 P 轴方位角小于震后时段解的 P 轴方位角。这说明仅在唐山地区因唐山大震的影响致使当地的区域应力场的方向发生了变化。而在离震中较远的地区则只能看到由于大震影响所显现的另一些变化。

就解的置信度而言, 107 个解都通过了文献[3]所提供的检验曲线, 说明结果有一定的可信程度。

影响本文结果的主要原因之一是震源深度。没给出震源深度的地震, 其深度取京、津、唐、张地区小震震源平均深度 15km。这样作的结果必然使平均节面解引进一定的误差。因为震源深度的大小直接影响着每个初动符号的离源角大小。

另外, 初动符号数据本身也存在不可避免的判读误差。

本工作得到朱传镇教授的支持和帮助, 在此深表感谢。同时感谢北京遥测地震台网、

河北省地震局、山西省地震局和内蒙古自治区地震局的有关同志对本项工作的支持。

参 考 文 献

- [1] 阎明、赵仲和, 1989. 唐山强震前后京、津、唐、张地区小震初动符号的时空分析. 地震监测与预报方法清理成果汇编, 测震学分册, 256—264. 地震出版社, 北京.
- [2] 许忠淮、阎明、赵仲和, 1983. 由多个小地震推断的华北地区构造应力场的方向. 地震学报, 5, 268—279.
- [3] 许忠淮、刘玉芬、张郢珍, 1979. 京、津、唐、张地区地震应力场的方向特征. 地震学报, 1, 121—132.
- [4] 成尔林、李桂芳、陈和川, 1982. 1976年四川省松潘—平武7.2级地震前后主压应力轴的方向特征. 地震学报, 4, 136—148.
- [5] 张之立、李钦祖、谷继成、靳雅敏、杨懋源、刘万琴, 1980. 唐山地震的破裂过程及其力学分析. 地震学报, 2, 111—129.
- [6] Mendiguren. J. A., 1980. A Procedure to resolve areas of different source mechanism when using the method of composite nodalplane solution. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 70, 4, 985—998.

TEMPORAL AND SPATIAL ANALYSIS OF REGIONAL COMPOSITE FAULT PLANE SOLUTIONS FOR SMALL EARTHQUAKES

YAN MING

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing 100081, China)

Abstract

A method is proposed in this paper for the analysis of temporal and spatial characteristics of composite fault plane solutions for small earthquakes. With this method, an interesting region is divided into small areas according to the geological features of the region. As an example, 107 composite fault plane solutions are calculated for the adjoining region of Shanxi, Hebei and Nei Mongol. The temporal and spatial characteristics of the variations of the solution parameters before and after the great Tangshan earthquake of July 28, 1976, have been analysed and some interesting results obtained.