

# 1976 年唐山 7.8 级地震震区现今地震震源机制分析<sup>\*</sup>

张宏志<sup>1</sup>, 刁桂苓<sup>2</sup>, 陈祺福<sup>3</sup>, 胡新亮<sup>2</sup>, 王晓山<sup>2</sup>, 张跃刚<sup>2</sup>

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 河北省地震局, 石家庄 050021

3. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

**摘要:** 利用首都圈数字地震台网记录, 采用双差定位法对 1976 年唐山地震震区近年来发生的中小地震重新定位, 获得 1 998 个高精度结果, 据此将震区划分为中、东、西 3 个分布特征不同的区。唐山 7.8 级主震所在的中区南部地震分布走向 NNE, 主震震中北部转为 NE 向; 滦县 7.1 级余震所在的东区地震分布呈“丁”字形; 宁河 6.9 级余震所在的西区地震分布没有明显优势方向。反演得到 198 个地震的震源机制解, 对进一步划分的 5 个子区分别给出平均解的应力轴取向, 并结合震源位置讨论了唐山地震序列的震源构造。

**关键词:** 唐山地震; 震源构造; 精确定位; 震源机制; 长期活动

**中图分类号:** P315.3<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)01-0001-06

## 0 引言

1976 年唐山大地震由于余震丰富而构成特殊的地震序列。7 月 28 日 03 时 42 分发生主震, 3 小时之后, 在主震西南部的宁河发生 6.2 级余震, 16 小时之后又在东北部的滦县发生 7.1 级最大余震, 形成 3 个余震区。震区的西区最大震级仅 6.2, 能量释放显然不充分, 而后在同年 11 月 15 日发生 6.9 级余震, 次年 5 月 12 日再次发生 6.2 级余震, 3 个余震区能量释放大体上达到平衡, 以后则表现为有起伏的衰减。30 多年来, 国内外的地震学者对唐山大震进行了大量的研究工作, 但还存在许多悬而未决的问题。唐山地震的极震区在平面上呈椭圆形, 长轴方向大致呈 NE50°, 烈度达到 XI 度(国家地震局〈一九七六年唐山地震〉编写组, 1982)。极震区内出现一条地裂缝带, 总长大于 8 km, 总宽约 30 m, 整体走向为 NE30°, 裂缝带两侧呈右旋水平扭动, 由十几条扭裂缝呈反雁列组成。极震区长轴的走向和地表裂缝组成的地震断层的长轴走向, 都属于地下震源断层错动在地面的表现, 为什么二者相差 20°。地震断层仅 8 km 长, 与近 8 级大震所释放的能量极不匹配, 王钟琦等(1983)在此地表裂缝带上开挖了 3 处: 唐山

市十中、吉祥路、牛马库的地表裂缝都在 3 m 之内消失, 可见极震区出现的地面断裂, 并不是岩体中的断裂通达地表。由 P 波初动测定的震源机制给出的断层面走向是 NNE(李钦祖等, 1980), 与地表破裂带一致, 而用面波波形反演所得的断层面走向是 NE, 震后形变反演结果也是 NE 向的直立断层右旋走滑错动(陈运泰等, 1979)。震中附近的浅表地质断层都具有正断层性质, 与震源机制结果给出的滑动走向不同。强震序列爆发之后, 震区内地震持续不断, 至今仍然陆续发生中小地震。那么现今地震和唐山地震序列存在哪些异同, 它们之间在成因上有何联系, 这些问题都很值得探讨。

国内外的一些研究表明, 通过对现今小震震源位置群体特征和震源机制的研究, 可得出历史大震震源断层的位置及其在构造应力场作用下的运动方式(刘澜波等, 1995)。国内地震工作者曾依据历史大震区域现今中小地震的群体特征和震源机制解来探讨这些历史大震震源断层的规模、产状、埋深及动力学和运动学群体特征(刁桂苓等, 1999, 2007; 胡新亮等, 2002a, 2002b)。单次中小地震的发生具有随机性, 而统计它们的群体特征, 可以提取共有的信息。大量地震的震源位置和震源机制解既可以描述震源断层的空间取向和应力场的状态, 也能够

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-07-10

基金项目: 科技部国际合作项目(2005DFA20980)资助

用来探讨大范围的构造应力场的作用，帮助我们从动力成因和运动过程两方面分析大震区数 10 年来的演化和不同阶段的特征。

1 震源位置修订结果

1976年唐山地震有大量余震，但由于当时是手工对时，读取的地震波记录图上的震相到时数据精度较低；地震台网比较稀疏，控震能力较差；用于记录地震的是短周期模拟地震仪，稍大些的地震会使记录限幅，并且地震波形重叠不易分辨；使用手工交切定位。这些因素导致震源定位误差较大，直接影响后续资料处理结果的精确性和可靠性。2002年，首都圈数字地震台网建成并投入正式运行，该台网有 107 台地震仪同时传输记录，包括大动态范围、宽频带仪器和短周期仪器，采样率为 50 Hz 采用 GPS 自动对时，计算机定位。唐山震区就在首都圈台网的范围内，这就从根本上改善了唐山地震震源定位基础数据的质量，使得用地震学方法研究唐山大震更为精细的震源构造成为可能。

我们利用首都圈数字地震台网的资料，采用双差地震定位法 (Waldhauser, 2000) 对唐山地震余震区 2002 年 4 月 1 日至 2006 年 5 月 31 日共 2 425 次 1~4 级中小地震进行了重新定位，获得高精度定位结果 1 998 个，并根据于湘伟等 (2003) 和嘉世旭等 (2005) 的工作结果确定了速度模型。

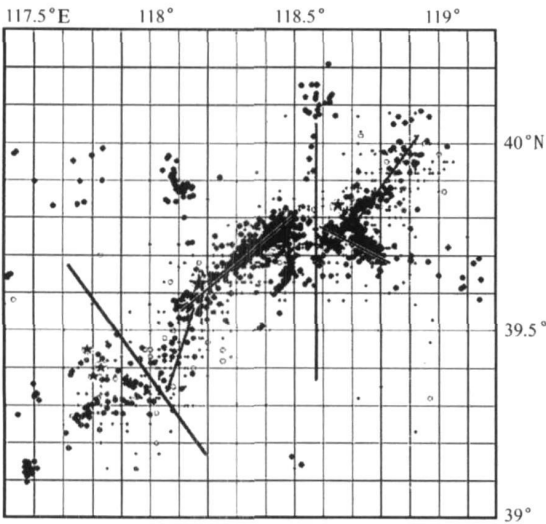


图 1 重新定位的中小地震 (实心圆) 和 1976~1979 年 4 级以上地震 (空心圆) 分布

图 1 给出了重新定位后的震中分布情况和 1976~1979 年唐山地区 4 级以上地震的分布情况以供对比。总体上看，现今小震仍然在唐山大震区内发生，并且更加集中，表明这些小震的震源定位的精度更高、更可信。也可以认为震区内的几次大震相继发生，使震源体内的岩体应力调整和重新分配的尺度较宽，而后期则集中于破裂面两侧相邻的岩体中，使我们更易于提取震源构造信息。从震中分布特征分析，唐山震区存在明显的差异，可以划分出 3 个区域：唐山 7.8 级主震所在的中区、滦县 7.1 级余震所在的东区和宁河 6.9 级余震所在的西区。中区内的地震条带走向从南向北以 NNE 向延伸 20 km，在主震震中处出现一个明显的转折，转向 NE 向，延伸约 50 km。东区内的地震呈“丁”字形的 2 个条带，SE 向长约 20 km，NE 向长约 30 km，此处发生最大的 7.1 级余震。西区内的地震没有密集成带，没有明显优势方向的区域，长度 30 km。地震区自西南到东北总长 140 km，与 1976~1979 年的余震震中分布情况大体一致。

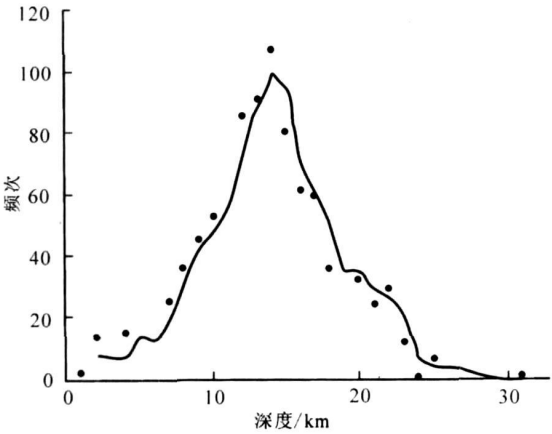


图 2 定位误差  $\leq 0.04$  地震的震源深度—频次分布

取定位误差  $\leq 0.04$  的数据统计，震源深度绝大多数集中在 7~22 km 范围内 (图 2)，峰值在 14 km，图形呈正态分布。以 7 km 和 22 km 的深度作为唐山震源断层的上、下界，因此震源断层是在 15 km 的深度内延展。

2 震源机制

我们采集了首都圈数字地震台网记录到的

2002~2006 年唐山震区的波形资料, 采用层状介质点源位错模型, 计算理论地震图拟合观测的垂直向波形 (梁尚鸿等, 1984), 反演得到了 198 次中小地震的震源机制解。这些地震的时间分布相对均匀, 说明唐山大震区地震依然在活动。有震源机制解的地震震中相对均匀地分布在唐山震区之内, 因此它们的状况可以作为长期活动的唐山地震序列现今状态的代表。

为了更清晰地分析这些震源机制解的异同, 我们采用系统聚类法进行比较 (刁桂苓等, 1992)。该方法的思路是在三维空间分别计算 2 个解的 P 轴之间的夹角, 再计算 2 个解的 T 轴之间的夹角, 由 2 个夹角之和作为距离, 以最大距离法取阈值 120 聚类得到最终的结果。把 198 个解划分为 13 类, 各类的数目差别较大。图 3 给出了这 13 类解的各种类型震源机制 P-T 轴及其平均轴的投影, 同时导出平均节面并一并绘于图中。表 1 列出了各类平均解的参数。分析图 3 可以看出, (a)、(b) 类为走向滑动类型, 可以作为主类, 它们和唐山主震震源机制解基本相同, 也符合华北构造应力场的作用方式, 其数目占总数的 40.8%; 同为走向滑动类型的 (c)~(f) 类相对主类有所偏转, 占 27.3%; (g)~(h) 类为逆冲错动类型, 占 6.1%; (i)~(m) 类是正断层错动类型, 占 25.8%。

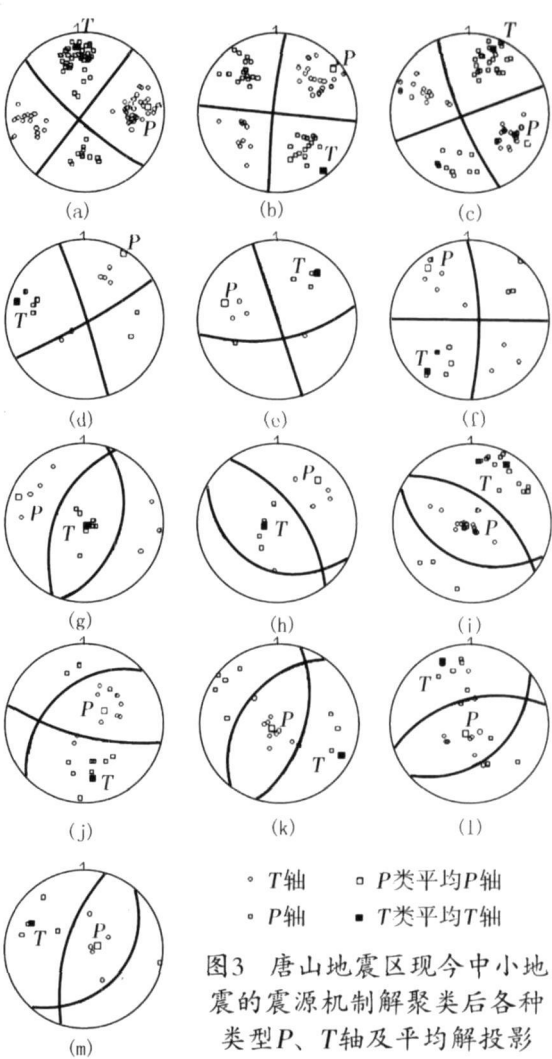


图3 唐山地震区现今中小地震的震源机制解聚类后各种类型P、T轴及平均解投影

表 1 各种类型平均解的应力轴取向

类型	P轴方位 / (°)	P轴倾角 / (°)	T轴方位 / (°)	T轴倾角 / (°)	N轴方位 / (°)	N轴倾角 / (°)	$\beta_1$ / (°)	数目
a	84	79	354	80	220	15	88	49
b	52	85	140	87	263	6	88	32
c	116	80	21	82	254	13	87	36
d	32	88	283	84	137	7	71	6
e	286	71	42	76	157	29	72	4
f	319	81	220	81	89	14	82	8
g	290	84	140	6	21	87	89	7
h	44	74	255	20	137	80	89	5
i	243	9	31	82	122	85	90	17
j	57	34	171	70	273	61	86	10
k	234	11	116	85	25	80	90	9
l	210	16	335	82	67	77	88	10
m	82	21	296	72	202	79	90	5

注:  $\beta_1$ 是平均解中 P-T 轴的夹角, 接近 90°最好。

现今的中小地震的震源机制显示, 约 40% 的地震受控于华北构造应力场的制约, 60% 的地震具有随机性, 也可能是表现了大震区应力的长期调整过程。受到制约的地震没有在某一断层上集中,

表明震区大体呈松弛的状态，没有积累很高的应变能，看来震区仍然处于衰减的过程中，并且这种复杂的震源构造和多样的破裂类型，决定了震区应力的调整过程是长期性的。

唐山震区中区地震条带的分布存在由 NNE到 NE方向的转折，因而可以进一步把中区分成 2个子区（唐山南、唐山北）；东区有 2个方向的条带

分布，即 NWW向和 NE向，从而也划分出 2个子区（滦县南、滦县北），这样就把全区分成 5个子区。将震源机制解归入各个子区，采用 Brillinger（1980）提出的方法，以 P-T轴作为初动符号，分别计算出各个区域震源机制的平均应力轴（表 2）。图 4 给出了精确定位的震中分布和分区，震源机制的平均应力轴投影也绘于相应的区域。

表 2 各个子区震源机制平均解的参数

子 区	P方位 / (°)	P仰角 / (°)	N方位 / (°)	N仰角 / (°)	T方位 / (°)	T仰角 / (°)	$\varphi$ / (°)
1区（滦县北）	91. 1	75. 6	263. 6	14. 3	354. 1	1. 8	0. 1
2区（滦县南）	249. 6	0. 2	340. 2	72. 2	159. 5	17. 8	0. 18
3区（唐山北）	80. 7	32. 4	260. 1	57. 6	350. 5	0. 3	0. 31
4区（唐山南）	249. 9	0. 5	152. 8	86	339. 9	4	0. 3
5区（宁河）	91. 1	43. 6	244. 5	43. 3	347. 7	13. 6	0. 39

注： $\varphi$  为矛盾比所占比例。

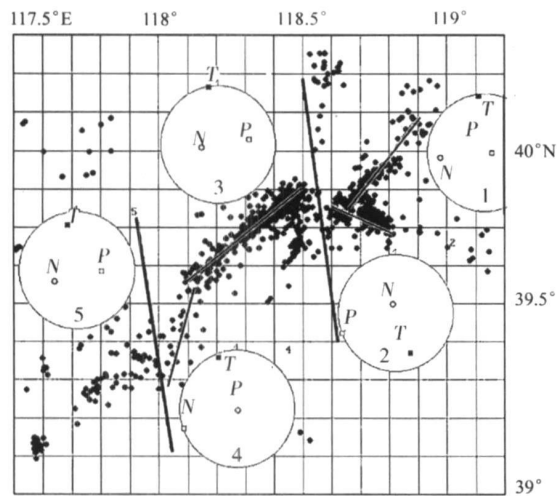


图 4 5 个子区平均震源机制解应力轴投影和震中分布

从图 4 和表 2 中可以看出，5 个子区的 T 轴非常稳定，而且接近水平，方位都是 NNW—SSE 向，中部的 3 个子区 P 轴基本一致，方位是 NEE—SWW 向，接近水平；但是位于震区两端的子区不同，P 轴方位都是 EW 向，北端的滦县 NE 子区的 P 轴直立，南端的宁河子区 P 轴是倾斜的。矛盾轴的比例  $\varphi$  大致出现由北到南递增的情况。

唐山主震自中区爆发，首先破裂的方向是 NNE—SSW 向（子区 4），图 4 中 4 号圈表示应力场作用下应当产生右旋走向滑动；随即过主震震中形成 NE—SW 走向的破裂面，并且仍然是右旋走向滑动，如 3 号圈所显示的应力轴的作用，主震破裂是 2 条不同走向的破裂面组合。东区的

NNW—SEE 向破裂面在应力场的作用下呈左旋走向滑动（2 号圈）；东区的 NNE—SSW 向地震条带位于主震断层的南东盘端部，主震断层右旋错动时必然对其产生很大的拉张作用（1 号圈），7.1 级余震的发震断层恰恰就是正断层。西区最早发生 6.2 级地震是 NW 向断层的左旋走向滑动，同年 11 月 15 日的 6.9 级地震错动方式相同，但是 1977 年 5 月 12 日 6.2 级地震的发震断层却是 NE 向的正断层，西区震源机制类型的不同与震中离散分布吻合。5 号圈给出的 P 轴为平均应力轴取向，P 轴倾斜表明既可以发生走向滑动也可以发生正断层错动，而且平均解的矛盾轴比例最高，这也证明了该区比较凌乱。

分区平均解的 T 轴和中部 3 个子区的 P 轴的取向与华北构造应力场一致，表明现今唐山震区仍然受到区域构造应力场的约束，这和 1976 年唐山大震序列爆发时相同。唐山主震是在区域构造应力场作用下发生的，强余震则是震源区调整的产物，主震北部的震源断层走向与华北构造应力场的最大剪切应力方向不一致，这可能是因为在应力场的作用下牵就先存断裂而发震。

另外，比较唐山震区现今中小地震的震源机制，其中正断层类型（9～13 类）所占的比例（图 5）自 2005 年以来明显增多。时间恰好与 2004 年 12 月 24 日的印尼 8.9 级巨震对应，这是否受到印尼巨震的影响？为什么是正断层类型地震增多？是否存在强大的拉张作用？这种拉张是如何远程

传递的? 这些问题都需要进一步的研究。

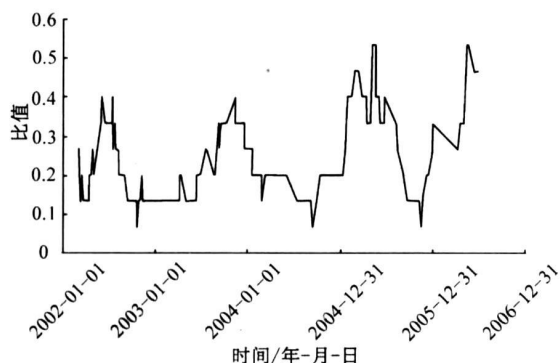


图 5 正断层类型地震占全部地震的比例(15点滑动平均)

### 3 结论

研究发震构造最基本的资料是震源机制和地震震源位置。震源机制只能给出 2 个节面的空间取向, 还需要利用大量地震空间分布来选择断层面。本文用这两种资料讨论了唐山序列的震源断层组合, 得到如下认识:

(1) 发生于唐山大地震震区之内的现今中小地震具有继承性活动的特征, 它们的震源位置可以勾画复杂的震源断层组合, 其震源机制可以显示震源区应力场的方向和状态。

(2) 华北地区的构造应力场非常稳定, 即便在唐山地震这样强烈的地震震源区内, 各个子区的应力轴仍然受到它的制约, 只是在震区的端部出现调整性差异。

(3) 大量中小地震是随机发生的, 震级不高, 震源体积很小, 但是它们从整体上反映出唐山大地震震区的震源断层在持续活动, 证实唐山地震区的震源断层并没有愈合, 难以聚积很大的能量, 由此推测该地区目前并不具备发生强震的条件。

(4) 利用数字化地震台网的高精度资料去研究已经发生大震的震源构造是一条可行的途径。

“十五”期间密集布设的数字化地震台网已投入运转, 使今后进一步分析历次大震震源构造的精细结构成为可能。

### 参考文献:

- 陈运泰, 黄立人, 林邦慧, 等. 1979 用大地测量资料反演的 1976 年唐山地震的位错模式 [J]. 地球物理学报, 22 (3): 3—19
- 刁桂苓, 胡新亮, 张骁, 等. 2007. 洪洞、临汾大震震源断层相互作用和地震趋势分析 [J]. 华北地震科学, 25 (2): 1—4
- 刁桂苓, 于利民, 李钦祖. 1992 震源机制解的系统聚类分析——以海城地震序列为例 [J]. 中国地震, 8 (3): 86—92
- 刁桂苓, 张四昌, 赵军, 等. 1999. 用现今小地震研究历史强震的震源断层——以 1830 年河北磁县 7 级地震为例 [J]. 地震地质, 21 (2): 121—126
- 国家地震局《一九七六年唐山地震》编写组. 1982 一九七六年唐山地震 [M]. 北京: 地震出版社, 5—7
- 胡新亮, 刁桂苓, 高景春, 等. 2002 山西洪洞、临汾历史大震区现今地震的重新定位 [J]. 华北地震科学, 20 (2): 10—15
- 胡新亮, 刁桂苓, 高景春, 等. 2002 用现今小震推断洪洞、临汾两次历史大震的震源断层 [J]. 中国地震, 18 (1): 76—85
- 嘉世旭, 张先康. 2005. 华北不同构造块体地壳结构及其对比研究 [J]. 地球物理学报, 48 (3): 611—620
- 李钦祖, 张之立, 靳雅敏, 等. 1980 唐山地震的震源机制 [J]. 地震地质, 2 (4): 61—69
- 梁尚鸿, 李幼铭, 束沛镒, 等. 1984. 利用区域地震台网、振幅比资料测定小震震源参数 [J]. 地球物理学报, 27 (3): 247—257
- 刘澜波, Zeback M D, 陈燕萍, 等. 1995. 美国新马德里地震带的震间应变积累 [J]. 地球物理学报, 38 (6): 757—766
- 王钟琦, 谢君斐, 石兆吉. 1983. 地震工程地质导论 [M]. 北京: 地震出版社, 48—53
- 于湘伟, 陈运泰, 王培德. 2003. 京津塘地区中上地壳三维 P 波速度结构 [J]. 地震学报, 25 (1): 1—14
- Wakhauser F, Ellsworth W L. 2000. A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward fault, California [J]. BSSA, 90 (6): 1353—1368
- Brillinger Udias D. 1980. A Probability model for regional focal mechanism solution [J]. BSSA, 70 (1): 149—170

# Focal Mechanism Analysis of the Recent Earthquakes in Tangshan Seismic Region of M7.6 in 1976

ZHANG Hong-zhi<sup>1</sup>, DIAO Gui-lin<sup>2</sup>, CHEN Qi-fu<sup>1</sup>  
HU Xin-lan<sup>2</sup>, WANG Xiao-shan<sup>2</sup>, ZHANG Yao-gang<sup>2</sup>

- (1. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)  
(2. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)  
(3. Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China)

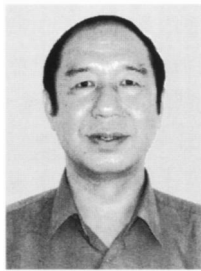
## Abstract

Based on the records recorded by Digital Seismic Network in Capital Area, 1998 accurate relocating results for the mid-small earthquake occurred in Tangshan seismic region in 1976 are obtained with Double Difference Method. According to the characteristics, the seismic region can be divided into 3 sub-regions. The southern part of middle region with NNE strike, where the M7.8 main shock located, and turns to NE strike in the northern part. The eastern part shows a T shape where the Luanxian M7.1 earthquake located. There is no preponderant strike in the western part, where the M6.9 earthquake located. 198 focal mechanisms are obtained by inversion, and the direction of mean stress axis is given respectively for the 5 divided sub-regions. The focal structure of Tangshan earthquake series is discussed with hypocenter locations.

**Key words:** Tangshan earthquake, focal structure, accurate locating, focal mechanism, long term activity of earthquake



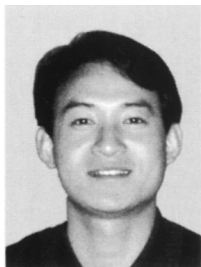
**杨国华** 中国地震局第一监测中心研究员。1982年毕业于武汉测绘学院大地测量系。现主要从事地震预测、地壳动力学及GPS应用技术研究。



**张宏志** 中国地震局地球物理所副研究员。1978年毕业于北京大学地球物理系。主要从事数字地震观测资料处理、参数测定及相关研究工作。



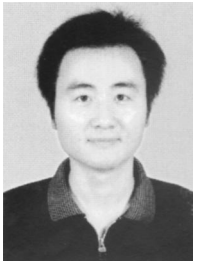
**杨清湖** 台湾省屏东县消防局防灾企划课课长。1989年毕业于警官学校消防系,2006年9月起在屏东科技大学土木工程系攻读硕士学位。主要从事消防与灾害防救企划工作。



**王志勇** 山东科技大学讲师。2001年毕业于山东科技大学测量工程专业,获学士学位;2007年毕业于山东科技大学摄影测量与遥感专业,获博士学位。主要从事微波遥感、InSAR及D-InSAR数据处理、摄影测量与遥感等方面的研究工作。



**傅再扬** 福建省地震局信息网络与应急指挥中心工程师。1996年毕业于防灾技术高等专科学校地球物理专业,2003年取得福州大学计算机科学与技术专业本科学历。主要从事地震应急指挥中心技术系统管理与维护工作。



**蔡辉腾** 福建省地震局,工程师。2006年毕业于重庆大学土木工程学院防灾减灾工程与防护工程专业,获硕士学位。主要从事地震工程和结构抗震等方面的研究工作。



**刘仕锦** 四川省地震局康定地震中心站工程师。1991年毕业于北京地震技术专科学校(现为防灾技术学院)。主要从事地震分析预报研究和科技档案管理工作。



**徐云马** 中国地震局第二监测中心工程师。1998年毕业于长安大学测量工程系。现主要从事重力和地形变研究工作。