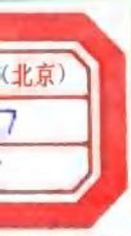




国家地震局综合观测队 编

地震综合观测与研究

地震出版社



地震综合观测与研究

国家地震局综合观测队 编

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本文集收录了国家地震局综合观测队 1991—1993 年期间精选的研究论文和报告。主要内容包括地震测量仪器的研制及其试验性能的研究,北京及邻近地区形变、重力、地磁等地球物理场特征的研究,以及遥感、地震学模式方面的研究等成果。

本文集可供从事地震观测、地震预报研究的工作者及有关大专院校师生参考。

地震综合观测与研究

国家地震局综合观测队 编

责任编辑:张嵩山 刘 玫

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 4.375 印张 118 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1131-1/P·686

(1524) 定价: 4.50 元

前 言

本文集是地震出版社 1992 年出版的《地球物理场动态观测与研究》一书的续集，汇集了国家地震局综合观测队近年来的主要研究成果。内容包括首都圈形变场、地球物理场的动态研究，综合流动观测技术的研究，震例总结以及其他一些科研成果。

研究监测区内形变场及地球物理场的演化过程及动态变化，是利用流动形变、重力、地磁手段进行地震趋势预测的基本途径。文集中收入了利用最新资料对首都圈近年应变场、断层活动性、重力场的研究成果。在观测技术方面，主要收入了 ME-3000 测距仪实现边频同测获得高精度水平形变资料的研究成果。震兆研究方面，收入了大同-阳高地震及唐山近期中强余震的地磁变化的论文。遥感用于地震预报是一项新的探索，该研究获得了岩石受压后电磁波辐射及温度随压力变化的重要成果，这对于地震预测研究、矿井及工程建筑的破裂的监测，具有重要的意义。此外，还收入了从认识论的角度对地震学研究进行思考的一些文章。

本文集可作为从事地震预报研究及有关地质、地球物理、大地测量方面的科技人员和有关大专院校师生参考。

编 者

1994.6

目 录

首都圈区域地应变场研究	车兆宏 等 (1)
首都圈断层活动性研究	车兆宏 (11)
南口-孙河断层活动性研究	车兆宏 (29)
ME-3000 短程精密测距	刘天海 等 (40)
ME-3000 测距仪的边频同测	刘天海 (49)
首都圈重力场动态变化分析	张 晶 (59)
重力与水库水位变化关系的 试验与研究	王志敏 (72)
大同-阳高震群的地磁短期异常 空间演变特征	马森林 等 (80)
唐山震区近期中强余震的 地磁变化	张振国 等 (88)
遥感用于地震预报的理论 及实验结果	邓明德 (99)
对地震学“反例”的几点思考	曲克敏 (109)
地震学模式的建构与重新建构	曲克敏 (118)

首都圈区域地应变场研究^①

车兆宏 赵承坤 刘天海

一、概 述

应用大地测量中三角测量或距离测量得到的测点之间长度变化量，可以计算应变场的有关参数。这些成果在地壳运动、孕震过程及应力场的研究中都有重要价值。

首都圈全面三角网及测距网资料较少，比较完整的、可以用于形变分析的有两期。第一期是 1966 年施测的一等三角网，最弱边中误差为 3.8×10^{-6} ；第二期资料是 1976—1980 年（中心年代为 1978 年）用 AGA-8 及 JCY-2 型激光测距仪施测的，用于分析研究的有 373 条边（东部一些地段由于唐山地震时地表破坏较明显，由此可能引起点位的移动，因此，我们没有采用与这些点有关的边的复测资料）（图 1），平差得到边长相对中误差为 2×10^{-6} 。这两期资料大致范围为北纬 $39^{\circ} 20' - 40^{\circ} 40'$ ，东经 $115^{\circ} 30' - 117^{\circ} 30'$ 。

对于这两期资料，曾有不少学者进行过分析研究。黄立人^②首先计算了由相邻测点构成的各三角形范围内的应变参数，绘制了应变分布图，指出，水平形变沿北东、北北东向主要断裂和构造带分布，一些带内有张压相间的分布特征。王若柏、黄立人^[1]曾用广义逆的方法对成果进行了平差处理，认为南口—孙河断层两侧应变有明显的差异，沿八宝山断层、夏垫断层、二十里长山断层分布有压应变条带。黄立人^[2]采用均匀介质模型，绘出了应变参数

① 大面积水平形变资料的处理得到黄立人的指导。

② 黄立人，北京地区的水平形变，北京市地震地质会战办公室，1980年7月。

的等值线图，认为北东向的断层在构造运动中起着主要的作用，北西向也有一定的反映，沿南口—孙河断层、二十里长山断层应变参数等值线比较密集，尚未见沿断层明显的剪应变的积累。

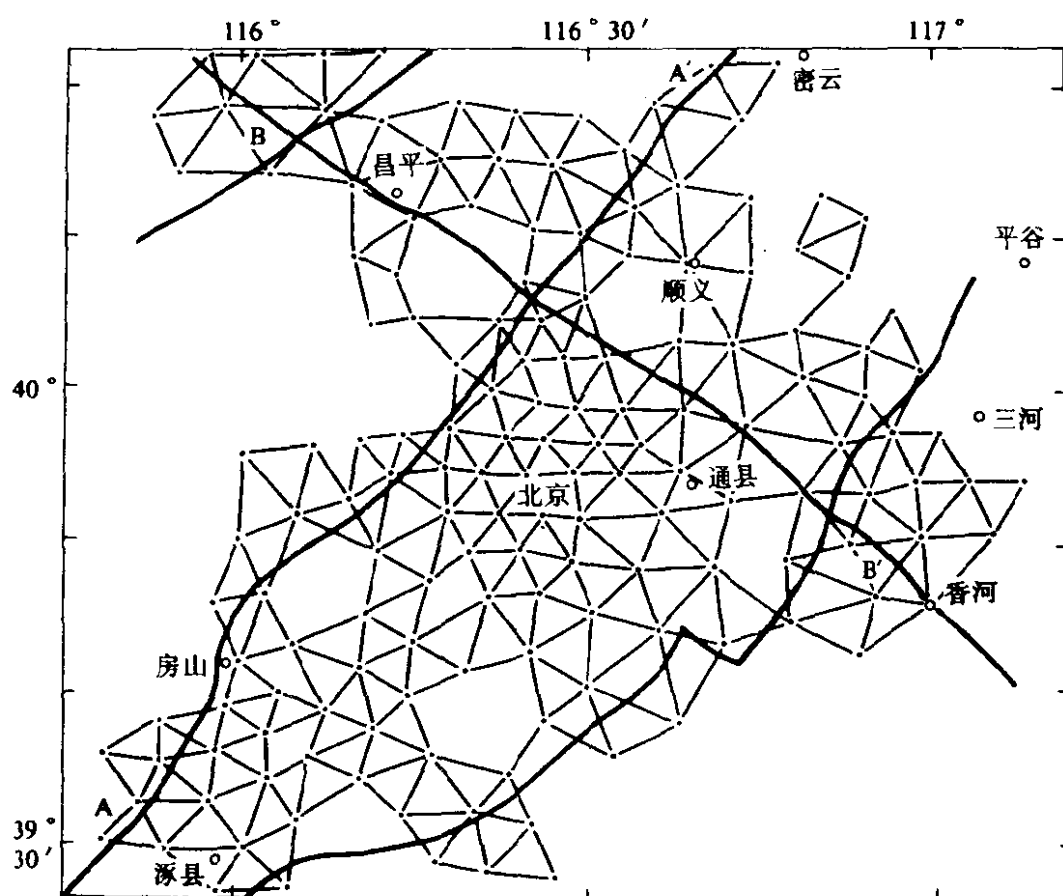


图1 水平大地形变复测网图 (1966—1978)

在我们的研究中，采用分块均匀弹性介质模型对上述资料进行处理，以期获得由断层划分的各块体内的平均区域应变积累情况。

1980年以后在首都圈未进行大范围的水平形变复测，为弥补这一缺陷，我们将1983年开始布设并定期观测至今的短边测距网资料进行分区应变场的计算，以探讨应变场的演化过程。这些测距网多数组成大地四边形，个别为三角形或大地四边形附加三角形的网形，边长用超高频测距仪ME-3000施测，边长1km左右，1985年实行边频同测后，精度得到提高，精度优于 1×10^{-6} 。

由于短边测距网均布设在断层两侧，进行应变计算时必须舍

弃受断层蠕动影响大的成果。研究认为，断层蠕动引起的断层两侧点位变化，在距断层近的地方相对位移比较大，而远离断层时，由于受周围地块的牵制，相对变化量即迅速衰减。由于短边测距测线比较长，因此，一般认为，其变化量的主要成分是应变的变化。为慎重起见，我们还对两种情况进行了分析：其一，与测网附近基线观测成果进行对比。由于基线比较短，所获得的观测结果主要反映的是断层的蠕动，若基线有比较大的变化，即断层有蠕动，那么，布设于附近的短边测距网的成果，免不了要受断层蠕动的影响；其二，进行时序分析。若变化量主要集中于雨季前后，这一变化可能是由于降雨对断层的润滑作用，使断层产生明显蠕动所造成的。在这两种情况下，测距成果可能会含有断层蠕动的明显影响。根据这些原则，我们在分区计算时没有采用晓幼营测网的资料。这是因为，这一测网的主要变化是在雨量比较集中的 1987 年上下半年之间出现的，同一时间段内，这一测网附近监测同一断层的大灰厂测点 48m 长的基线也有较大变

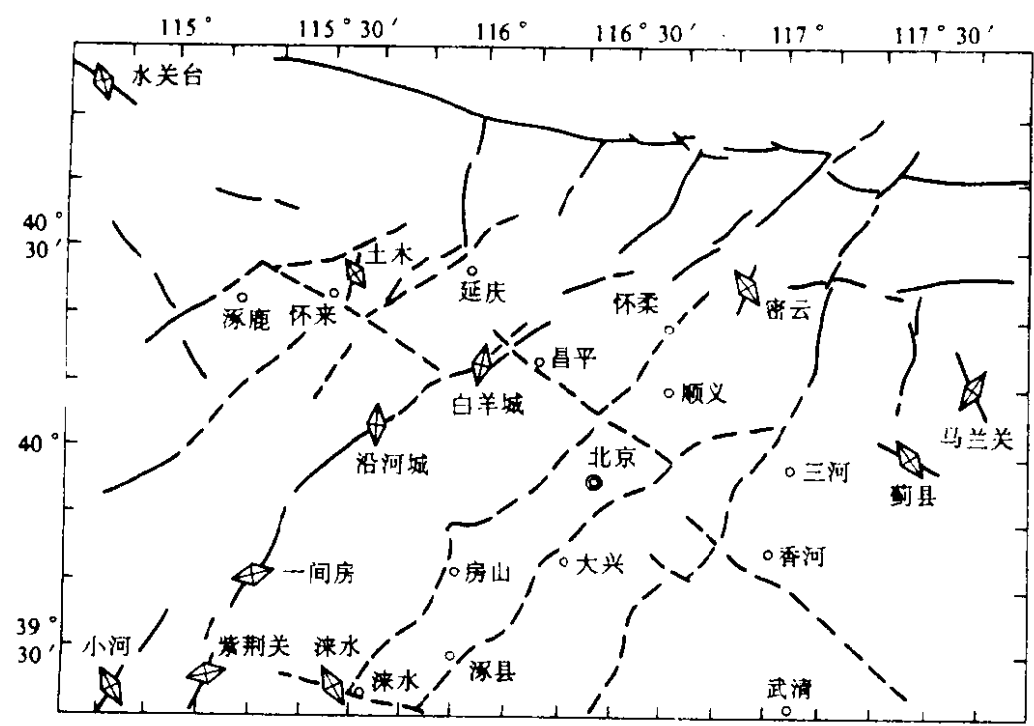


图 2 计算区域应变场的短边测距网分布图

化。其他测网看不出明显的受断层蠕动的影晌。此外，对存在较大干扰的布设于土层上的测点资料也没有采用，全部采用测量标志设置于基岩上的测网。依据上述原则，使用的短边测距网总计有 11 处，68 条边（图 2）。计算前，我们使用室内外仪器标定结果对成果进行了统一归算，以消除可能的系统性差异。

二、区域应变场的分析计算

已有研究认为，大震震源体的范围一般约为数百平方公里，因此，应了解这种尺度上应变的变化情况。我们在垂直形变资料分析中曾发现，存在一些以主要断层划分的各个相对独立又相互联系的块体，这些块体的垂直运动各有自身的特征。因此，以主要断层为界，分别计算各个区域的平均应变场，这些区域的范围可以包容可能的孕震区。由于在这样大的范围内有多达几十条边的线应变，应用最小二乘法解算出的应变参数的精度将会得到提高。这是我们使用分块均匀弹性介质模型的出发点。这时我们是将各个块体看成是各向同性的无限薄的均匀弹性平面。

分区界线选取首都圈现今活动强烈的几条主干断层，包括三组北东向断层及北西向的南口-孙河断层，这三组北东向断层为：南口山前断层、八宝山-黄庄-高丽营断层、礼贤-夏垫-镇罗营断层。

我们首先计算了由上述断层划分成的六个区域的平均应变场，然后计算由南口-孙河断层分成的南北两个区域、由八宝山-黄庄-高丽营断层分成的东西两个区域和全区的应变场。

从分区应变场分析（图 3、表 1）中，我们发现两个区域有明显的应变积累（数值超出计算得到的中误差的两倍）：一个是南口-孙河断层以北、南口山前断层以东、黄庄-高丽营断层以西所包括的区域，主压应变为 7.1×10^{-6} ，最大剪应变为 5.0×10^{-6} ，主压应变方向为北东 56.7° ；另一个是南口山前断层以

表 1 区域应变场计算结果

区域编号	三角点数	$\varepsilon_1 (\times 10^{-6})$ 主张应变	$m_{\varepsilon_1} (\times 10^{-6})$ ε_1 精度	$\varepsilon_2 (\times 10^{-6})$ 主压应变	$m_{\varepsilon_2} (\times 10^{-6})$ δ_2 精度
I	12	-2.15	3.23	-7.10	3.13
II	24	0.01	8.39	-8.08	8.37
III	21	0.54	3.06	-2.46	2.85
IV	66	-2.70	2.39	-4.30	2.39
V	20	-2.16	5.27	-7.07	5.64
VI	7	1.85	7.00	-6.44	7.21
I+III+IV	44	-1.86	2.66	-2.31	2.44
II+IV+V	112	-3.49	3.66	-5.97	3.67
I+II+V ₁ +VI ₁	50	-2.52	6.02	-5.07	6.14
III+IV+V ₂ +VI ₂	101	-1.88	2.44	-3.98	2.43
全 区	157	-2.85	3.7 $\pm$	-2.58	3.7 $\pm$

区域编号	$R_{\max} (\times 10^{-6})$ 最大剪应变	$m_{R_{\max}} (\times 10^{-6})$ $R_{\max}$ 精度	$\alpha_{\varepsilon_1} (^{\circ})$ ε_1 方位角	$m_{\alpha_{\varepsilon_1}} (^{\circ})$ α_{ε_1} 精度
I	4.95	2.05	146.7	11.5
II	8.10	4.19	95.3	14.3
III	3.00	2.06	99.2	19.4
IV	1.60	0.86	73.4	15.2
V	4.90	3.13	92.0	18.1
VI	8.29	3.93	28.9	13.2
I+III+IV	0.45	1.23	135.5	79.4
II+IV+V	2.48	1.06	87.2	12.2
I+II+V ₁ +VI ₁	2.55	2.05	103.1	24.2
III+IV+V ₂ +VI ₂	2.10	0.77	67.3	10.6
全 区	0.73	5.2 $\pm$	11.8	

西，最大剪应变达 8.3×10^{-6} 。其他各区解算得到的应变值均未超出极限误差（中误差的两倍），不能确认存在有明显的应变积累。由于在 1966—1978 年期间经历了 1976 年 7 月 28 日唐山大地震及 1967 年 7 月 28 日怀来大海坨山 5.4 级地震，因此，上述变化包含了这两次地震引起的局部应力调整的部分。但上面指出的两个应变集中区，在我们分析首都圈应变场中仍有一定的价值。需要着重指出的是，前一区域主压应变方向与众多研究所得到的华北地区主应力方向为北东东向的结论是一致的^[3]。

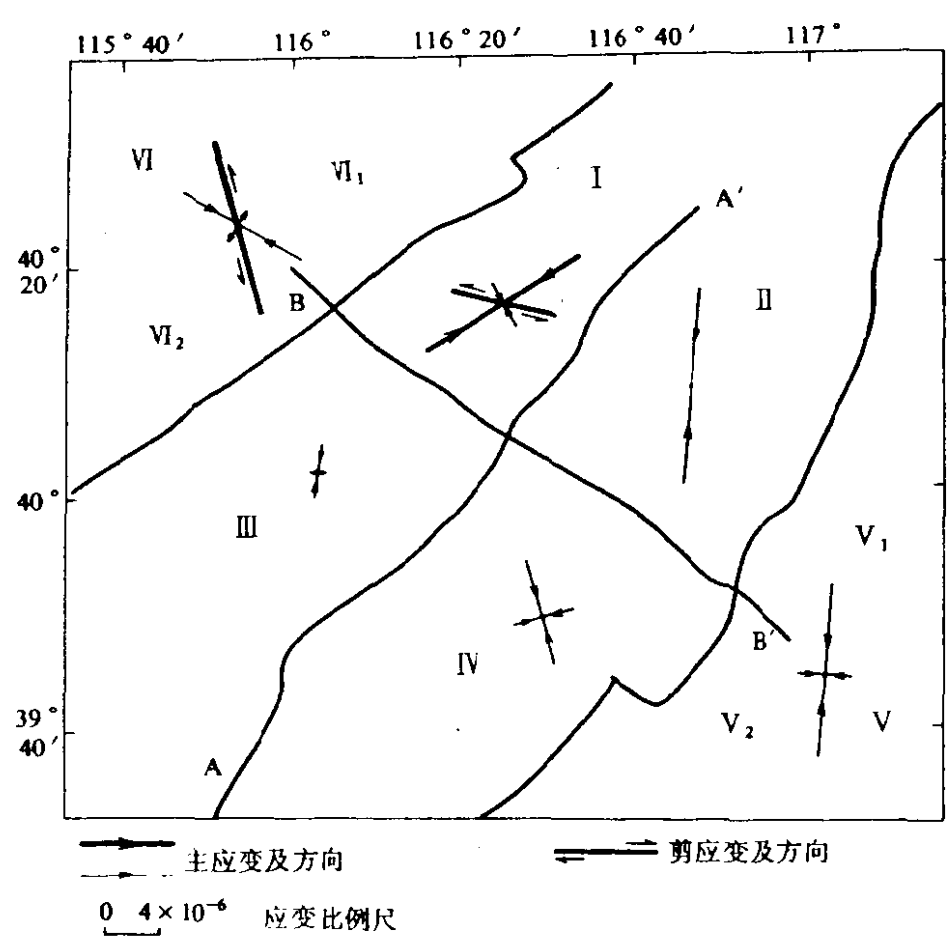


图 3 区域应变场分布图 (1966—1978)

粗线为应变值超出极限误差；细线为应变值未超出极限误差

从全区应变场看，在 1966—1978 年间无显著应变积累，略

呈压性（这可能与长度基准的选取有关），在东区及南区有微弱的剪应变积累，幅值 2×10^{-6} 左右（图 4）。

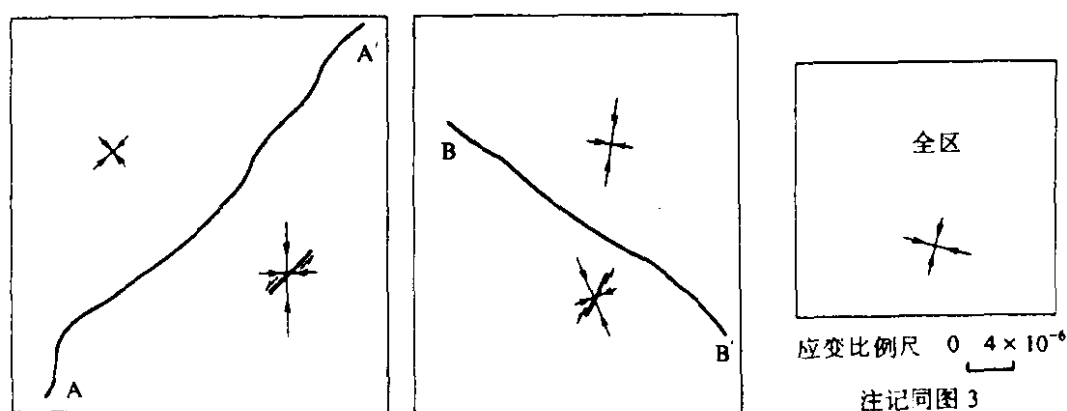


图 4 区域及全区应变场图（1966—1978）

对短边测距网，以八宝山—黄庄—高丽营断层为界分为京东、京西区。京西区计有 8 个测网（水关台、土木、白羊城、沿河城、一间房、小河、紫荆关、涞水），50 条边；京东区有 3 个测网（密云、蓟县、马兰关），18 条边。计算结果表明（图 5），京西区应变波动大，近年应变积累显著，面膨胀已达 5×10^{-6} ；在 1988 年 7 月 23 日阳原 5.0 级、1989 年 10 月 19 日大同 6.1 级地震前应变曲线均有上升，并在此后的下降过程中发震。震前京西区主压应变方向（对于均匀连续介质，主压应变方向与主应力方向一致），在 1987 年上半年之前平均稳定在北东 72° 左右（解算精度平均值为 18.2° ），在这两次地震之前，都出现主应力方向顺时针方向的偏转，主应力方向发生扰动（图 6）。大同地震发生后，京西区应变值在稍有下降后又继续上升，应力场仍处于继续加强之中；京东区应变曲线平缓，剪应变有缓慢增长的趋势，幅度接近 2×10^{-6} ，这与 1966—1978 年的两期大面积水平形变资料计算得到的东区剪应变有增长趋势一致，但幅值不大。

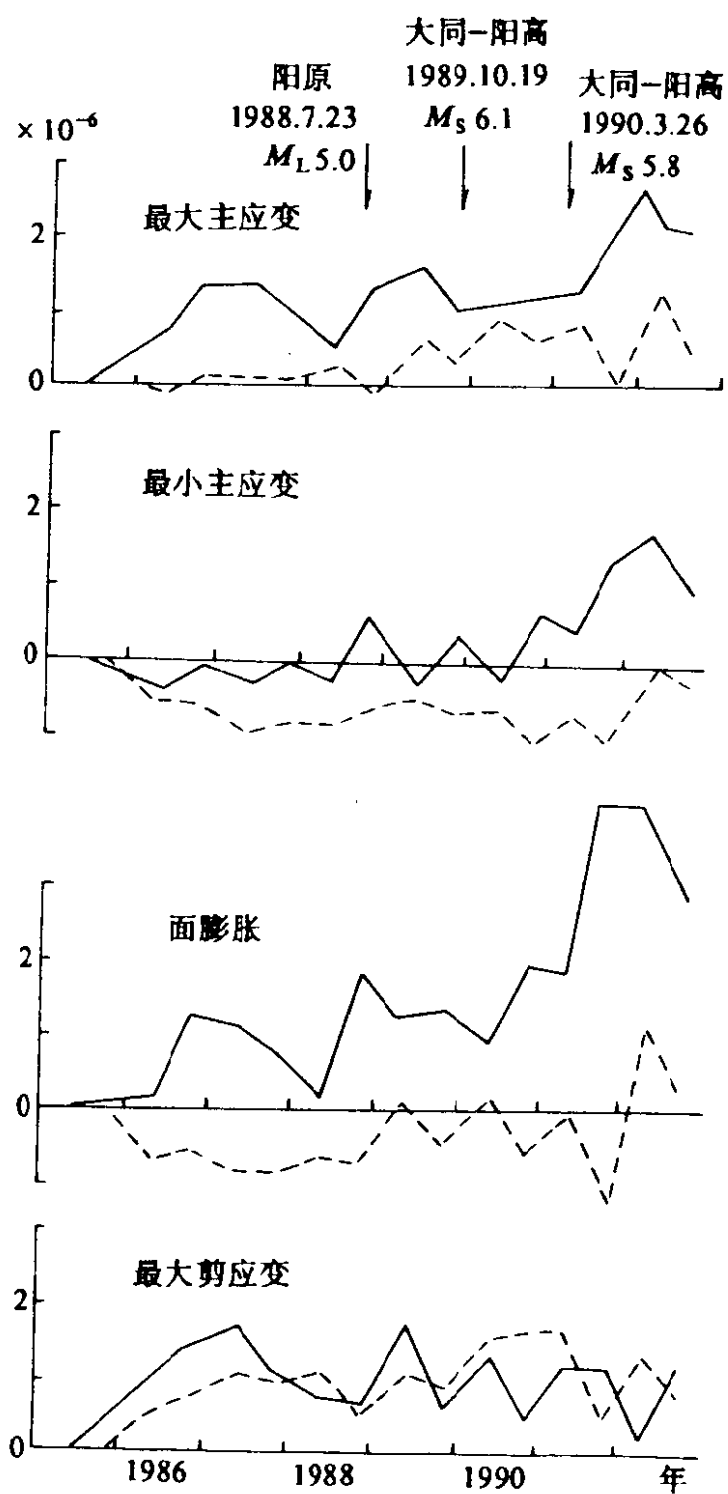


图 5 京西、京东测网区域应变图

实线为京西区；虚线为京东区

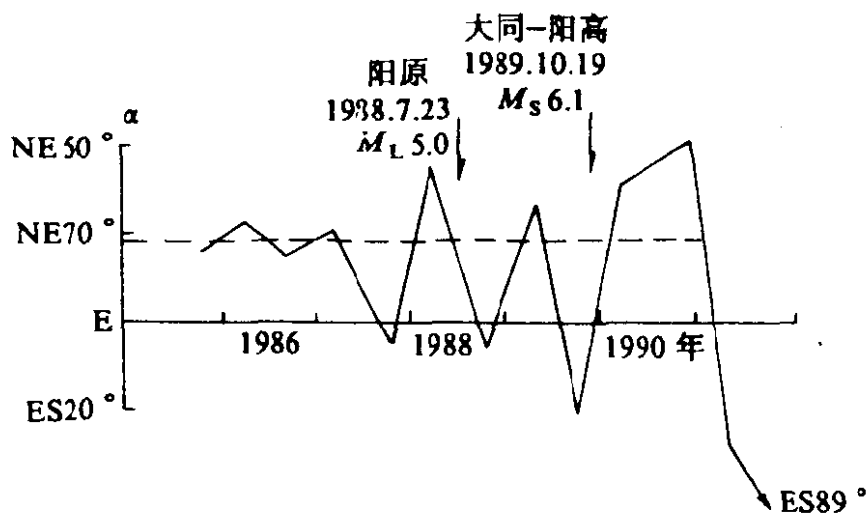


图 6 京西区域最小主应变方向动态变化图

三、应力场分析及结论

上述两期大面积水平形变资料与近年短边测距资料的应变分析得到的结果基本上一致，大面积水平形变表明，存在显著应变的两个区域，处于短边测距计算得到的应变波动大、并持续积累的京西区，说明在首都圈北部及西北部有应变积累。

区域应变场在南口-孙河断层以北、南口山前断层以东、黄庄-高丽营断层以西显示主压应变方向为 56.7° ，京西区在 1987 年上半年以前各期主压应变均在 72° 附近，这与华北地区主应力方向一致。这一结果表明，目前首都圈处于活跃时段的地壳运动，是在华北北东东向区域应力场加强的过程中发生的，首都圈现今应力场受华北应力场的支配。

现今地应变场显示的应力集中地段，与我们分析断层活动性时指出的应力集中地段（黄庄-高丽营断层北端、南口山前断层北端及延怀一带）一致^[4]。在应力加强的过程中曾发生两次大同地震，但并未缓解这一地区应力场的加强过程，因此，对于上面所指出的应力集中地段近年的地震危险性应予以足够的重视。

参考文献

- [1] 王若柏、黄立人, 北京地区的水平形变及其构造意义, 地震地质, Vol.6, No.4, 1984.
- [2] 宋惠珍、黄立人、华祥文, 地应力场综合研究, pp.120—246, 石油出版社, 1990.
- [3] 李钦祖, 华北地壳应力场的基本特征, 地球物理学报, Vol.23, No.4, 1980.
- [4] 车兆宏, 首都圈断层活动性研究, 华北地震科学, Vol.11, No.2, 1993.

首都圈断层活动性研究

车兆宏^①

一、概 述

大地测量在地震预测及研究中占有重要的地位,对长期积累的复测资料进行分析,可以判定地壳活动的演化过程,研究应力场的分布及演变,是地震趋势预测的重要依据。

对首都圈大地形变曾有两次较系统的研究。一次是 1978—1980 年期间开展的北京市地震地质会战^②,研究认为,北京地区地壳活动总体呈继承性运动,并受北东及北西向构造控制,以北东向构造活动为主。第二次研究由黄立人等于 1989 年完成^[1],这次研究采用了新的数据处理方法,从垂直形变、水平形变、断层活动性等方面,对唐京怀地区的资料进行了全面研究。研究认为,各组断层活动强度按北东、北西、东西向依次减弱,南口—孙河断层是一条重要的地质分界线,并给出了主要断层活动的有关统计参数。此外,还有不少专题研究成果。

本文分析研究首都圈跨断层大地测量资料,其中有 19 处短边测距网,10 处基线、水准共同观测的测点(以下简称基线水准测点),18 处水准测点,共 47 处(观测时间过短或干扰严重、已停测多年的测点未予采用)(图 1、表 1)。水准测量精度每公里为 0.3mm 左右,基线测量精度为 2×10^{-6} 左右。这两种手段一般一月复测 1 次或几次。短边测距使用 ME-3000 测距仪

① 参加本项工作及资料处理的有刘天海、戴良焕、巩日沐、张鹤等。

② 北京市地震地质会战第五专题组,北京地区地壳形变,北京市地震地质会战办公室,1980 年 7 月。

进行观测，精度优于 1×10^{-6} ，一年观测 1—2 次。

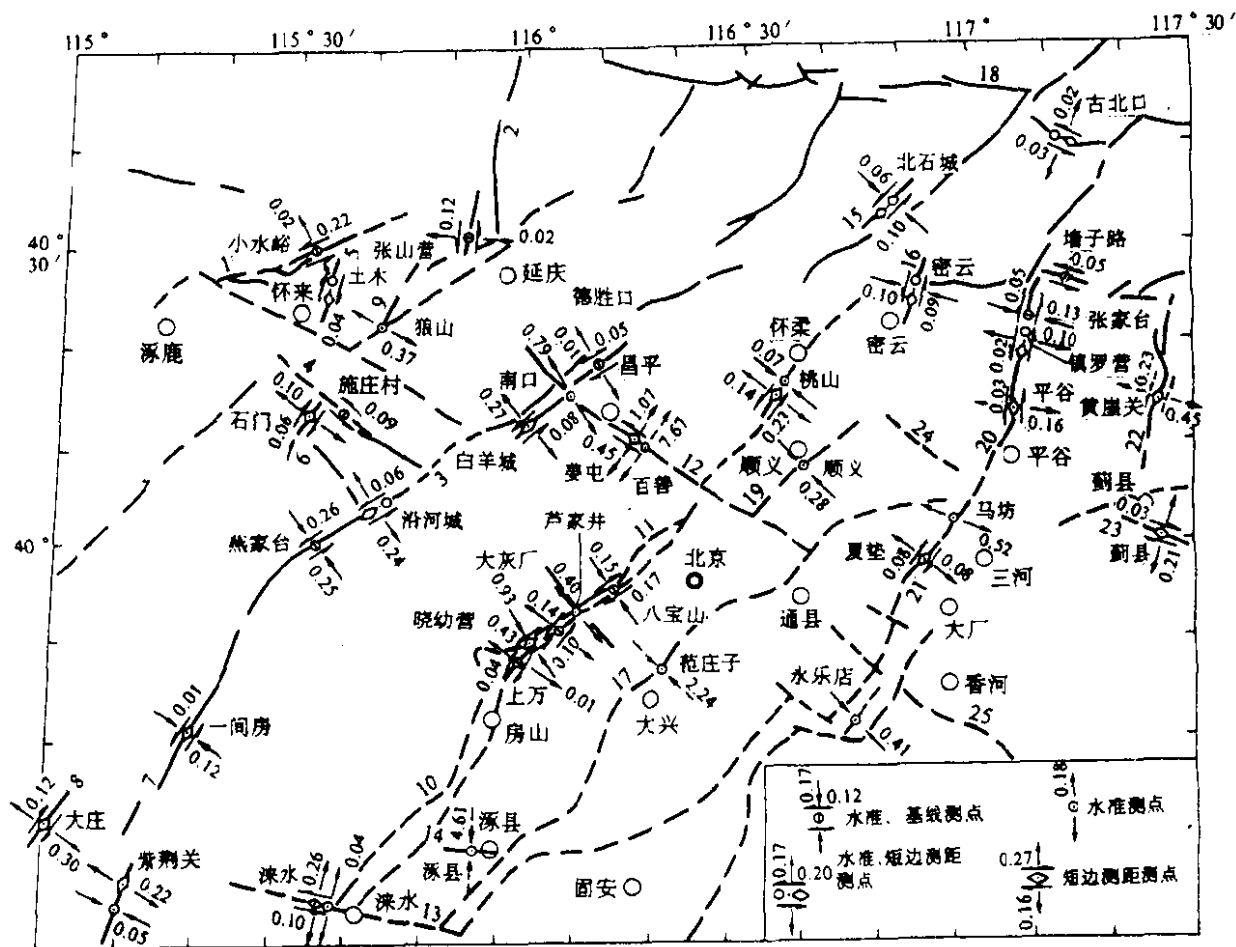


图 1 首都圈断层活动监测点分布及断层活动综合图

箭头为运动方向，数字为平均年速率，单位 mm/a ；

测点位置以圆点表示，运动方向以虚线表示者为 D 类测点

断层活动具有粘滑、蠕滑和旷动等各种不同特性。对于蠕滑段，即称之为“调整单元”，这些部位断层粘结较弱，蠕滑过程中不断释放能量，并伴有中小地震；对粘滑段，称之为“闭锁单元”，断层面粘结牢固，断层两侧可以积累较大能量，这些部位可能会发生强烈地震；旷动则作为一种反复错动的形态，这几种不同特性的断层活动，都可以分解为垂直运动和水平运动两部分，水平运动又可分解为沿断层走向的扭动量与垂直于断层面的张压