文章编号: 1003-1375(2002)01-0001-09

北京地区区域性形变场与近期强震 危险性研究

谢觉民,杨国华,薄万举

(中国地震局第一地形变监测中心,天津 300180)

摘要:分析 1998~2000年期间水准和 GPS测量给出的北京地区区域性形变场的背景值及其 与定点断层形变观测值的关系。结果表明:(1)该地区的大面积垂直形变速率及速率梯度值在 华北地区的通常数值之下,也低于若干大地震前的相应异常特征值;(2)该区由 GPS方法显 示的大面积水平形变速率也属于较低水平;(3)定点观测的断层形变速率(垂直向和水平向) 与区域性的背景值相当;(4)根据大面积形变场的态势和断层形变异常水平,预计近期(1~3 年内)北京地区不会发生较强地震。

关键词: 形变场;强震危险性;北京地区; GPS

中图分类号: P315.72 文章标识码: A

0 引言

在地震预测研究中,大面积地壳形变场态势经常被引证为判断是否有强震危险性的 背景性依据 由于大面积形变复测周期很长,这种研究通常都是大空间尺度(如整个首都 圈乃至华北地区)和大时间跨度(例如 5~ 10年)的,而且一般都是定性的图像识别。如果 没有定点形变的支持而仅依赖大面积形变,对于某个局部地区(如北京地区)形变的时序 演变过程和定量分析往往难以深入和细化。

但以北京为中心的首都圈地区情况比较特殊 它既具有多年的大面积形变复测资料, 又有相当密集的定点形变监测资料,因而我们可以充分利用这一有利条件,分析大面积形 变和定点形变的相互关系,判断地形变前兆发展的阶段和所达到的程度。

本文利用北京地区近年来的水准和 GPS观测资料论证本区背景性形变的基本水平, 及其与断层形变异常的相互联系。参考历史震例,指出现阶段北京地区的大面积形变和断 层形变显示的形变速率仍处于较低水平,该区不存在发生较强地震的危险性。

1 北京地区的大面积垂直形变

最近 10年来首都圈共有 3期较全面的水准复测,分别完成于 1991~ 1992年、1997~ 1998年和 2000年。就总貌而言,首都圈垂直形变最显著的特征是以太行山山前断裂为界 的西部地区交错式的隆升和东部大幅度的、整体性的下沉。以往分析经验表明,较强地震

^{*} 收稿日期: 2001-06-20

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目《大陆强震机理与预测》(G199840700)资助

作者简介:谢觉民(1942-),男(汉族),广西柳州人,中国地震局第一地形变监测中心研究员,主要从事地壳形 变和地震预报研究.

一般发生在形变速率较高的隆起区,但北京地区恰好位于隆起和下沉区的分界线附近,其 孕震的必要条件和危险程度很难判定(图 1)为此,我们将图 1中北京附近的水准观测结 果另行单独处理,并与断裂分布对照(图 2),寻求其与断层形变的相互关系。



图 2 北京地区垂直形变速率图 (1998-2000)

在图 2中,形变速率的零值线大体沿山区平原交界展布,零值线以东为以顺义为中心的下沉区,形变速率为 – 5~ – 20mm/a;零值线以西是速率为 1~ 3mm/a的程度不等的上升区,上升区的形变速率大约比下沉区小一个数量级

对全国垂直形变图的研究指出: (1)以地壳垂直形变速率为指标,已经发现形变速率 高值带与强震分布具有密切的依赖关系^[1]; (2)我国大陆内部各区域的大面积形变强度 (速率)差异较大,很难给出一个普遍适用的划分危险区的统一标准,异常仅是相对其周围 地区和以往年代而言的; (3)尽管具有这种"相对性",在应用形变速率指标进行大形势研 究时,华北地区曾经划定过的各类危险区的形变速率均在 3~ 5mm /a 以上^[2]。

对垂直形变图的进一步研究是编绘了全国性的和区域性的垂直形变速率梯度图 结 果表明,(1)就全国性的梯度图而言,据对 1985~ 1994年的统计,中国大陆共发生的 22次 6.0级以上地震中,落入中、高梯度区及其附近的地震占 77%,可见大区域的形变梯度值 与地震分布存在很好的相关关系;(2)形变梯度值与计算时水准点的采样密度和观测周期 有关,区域性垂直形变速率梯度的分级标准可定为:0.23mm/a.km以下为低梯度区; 0.23~ 0.46mm/a.km为中梯度区;0.46mm/a.km以上为高梯度区^[3].按此标准,唐山地 震等强震与高、中级速率梯度区的分布有较好的空间对应关系。

图 2中的垂直形变速率均在 3mm /a以下。取若干条剖面计算不同方向上的垂直形变 速率梯度,得平均值为 0.05mm /a.km(上升区)和 – 0.38mm /a.km(下沉区) 其中上升 区的梯度值远低于上文给出的低梯度区(0.23mm /a.km)的标准;下沉区的梯度值虽然在 中梯度值区间内,但主要由非构造因素引起。此外,在图 2中,大多数形变等值线与断裂的 走向是近于正交而不是平行的,曲线走向平滑,这说明大面积形变并未显示北京周围的主 要断层有垂直分量的异常活动

2 北京地区的区域性水平形变

华北地区 GPS形变监测网始建于 1992年,至今总点数为 100个左右,于 1992 1995 1996和 1999年进行了全面复测。结合首都圈示范工程和地壳运动观测网络工程,2000年 对首都圈中部地区进行了局部性的 GPS复测,此次复测与 1999年共有 22个重合点,为 评价北京地区的水平形变态势提供了最新资料。

上述 22个 GPS点复测所得的水平位移 EW 分量和 SN分量列于表 1,图 3为各 GPS 点相对于重心基准的水平位移,其中除 A088 H027 A073等几个点变化较大外,其余绝 大多数点的运动速率均在误差范围(约为 3mm)之内。特别是南口山前断裂、延庆盆地北 缘断裂、紫荆关山前断裂和八宝山断裂等主要断裂两侧的水平形变都不明显。

表 $1 + \sum V_{e=} - 0.4$,接近于零 $\sum V_{n=} + 2.8$,数值也较小 (在误差范围之内),这说 明整个测区内未显示出可识别的东西向或南北向的张压性形变 此外,统计与断裂斜交的 13条短边和跨越全测区的 5条长边 (图 4)的变化,其结果列于表 2和表 3

如果北京地区几条主要断裂确实存在显著的水平形变,那么与断裂呈正斜交或反斜 交的 GPS短测边应分别出现伸长或缩短的不同变化。但在表 2中,13条短边的平均变化 量为 1.93mm,在边长计算误差范围(约为 4.2mm)之内,而且绝大部分为正值,这就说明 1999~2000年期间北京地区的主要断裂不存在以 GPS方法可能识别的水平形变 表 1

北京地区 GPS测点 1999~2000年位移分量 (mm)

点名	Ve	V n	点名	Ve	V n
A150	- 2.6	- 29	A 07 3	0. 4	- 7.7
A151	- 1.4	1. 7	A 088	7.3	- 7.7
A152	1.8	- 26	A 089	1. 1	1. 3
A153	- 2.3	1. 1	A 09 1	- 3.6	- 2.3
A154	- 0.4	1. 3	A 092	- 1.4	- 1.9
A155	0. 8	2. 5	A 098	2. 3	3. 3
A156	0. 1	2. 2	H049	- 0.4	2 0
A157	- 1.4	1. 9	H047	4. 3	2 5
A158	- 3.8	1. 2	H027	- 7.4	8 4
A159	- 0.4	- 29	H029	6. 2	- 0.9
A067	1. 3	1. 0	H042	- 0.9	1. 3



图 3 北京地区 GPS点的水平运动(1999~2000)



冬	4	北京地区	GPS边长变化(1999~	2000)
---	---	------	----------	-------	-------

表 2

北京地区跨断层 GPS测边水平形变(短边)

测边	所跨断层	变化量 (mm)	相对变化(10 ⁻⁷)
A091- A092	通县南苑断裂	2. 22	1. 259
A092- A156	通县南苑断裂	4. 24	3. 453
A156- A098	通县南苑断裂	2. 38	0. 852
A159- A158	黄庄高丽营断裂	2. 97	5. 390
A158- A157	黄庄高丽营断裂	2. 48	2. 985
A157- A155	黄庄高丽营断裂	0.06	0. 130
А155- Н042	黄庄高丽营断裂	0. 07	0. 262
H042- A089	黄庄高丽营断裂	1. 24	1. 635
A067- A152	南口孙河断裂	- 1. 64	- 1. 615
A152- A154	南口孙河断裂	2.00	2. 196
A154- A151	南口孙河断裂	0. 28	0. 377
A151- A150	南口孙河断裂	- 4. 71	- 6 471
A151- A153	南口孙河断裂	0. 82	1. 281
平均变化量		1. 93	2. 147

表 3	北京地区跨断层 GPS测边水平	形变(长边)	
测边	跨越主要断层	变化量 (mm)	相对变化(10 ⁷)
H029– H049	南口山前断裂、黄庄高丽营断裂、 通县南苑断裂	- 7.12	- 0 636
H027- H047	通县南苑断裂、大兴断裂	12. 63	1. 140
А150- Н049	南口山前断裂、黄庄高丽营断裂、 通县南苑断裂	- 1.20	- 0 172
H049- A091	通县南苑断裂	4. 73	0. 709
A150- A091	南口山前断裂、黄庄高丽营断裂	- 0.53	- 0.075
平均变化量		5. 24	0. 546

如果北京地区确实存在整体性的水平形变倾向,那么长测边的变化应有所反映表 3 中几条长边的平均变化值为 5.24mm,略超过误差范围,但那些大体上为东西向的长测边 变化有正有负,而南北向测边变化又很小,不能说明本区存在明显的东西向或南北向张压 性形变。

短边和长边的平均相对变化分别为 2. 14⁷ 10⁻⁷和 0. 54⁶ 10⁻⁷,尽管由于边长较短 可能导致相对误差较大,以上仍为较小值 一般认为岩石破裂的临界应变强度为 10⁻⁴;但 引起断裂重新活动导致地震所必须的应变值则彼此可能差异很大,有关文献估计为 10⁻⁴ 或 10⁻⁵,而正常情况下应变积累的平均速率为 2~ 3× 10⁻⁷/a^[4],因此表 3的相对变化大大 小于孕震断裂活动的临界值,而表 2的相对变化也仅为正常情况下每年应变的积累值。

3 断层形变异常及其与大面积形变的关系

在首都圈约 70项断层形变中,每年都有 20% 左右的资料呈现各种形式的异常状态, 那些跨年度且持续至今的大幅度变化尤其令人关注,在本文分析的大面积形变时间跨度 内(1998~2000),主要的趋势性变化见表 4和表 5

6

首都圈断层垂直形变速率(水准)

序号	测线名	时间段	年速率 (mm /a)	速率梯度 (mm /a. km)
1	大灰厂直交	1992. 1- 2000. 12	1. 85	77.10
2	大灰厂斜交	1992. 1- 2000. 12	1.89	39.45
3	桃山 1- 3	1998. 1- 2000. 12	1. 56	3.19
4	燕家台西南	1997. 1- 2000. 12	0. 15	6.35
5	紫荆关 2- 3	1997. 1- 2001. 1	0. 47	2.33
6	八宝山垂直	1987. 1- 2000. 12	0. 22	9.25
7	八宝山斜交	1987. 1- 1999. 12	0. 39	8.15
8	试验场 1- 10	1993. 1- 2000. 12	0. 01	0.01
9	试验场 13- 22	1993. 1- 2000. 12	0. 03	0.05
10	上万直交	1986. 1-2000. 10	0. 02	0.85
11	上万斜交	1995. 1- 2000. 10	0. 22	9.21
12	芦家井 4- 2	1987. 1- 1994. 4	1. 52	2.34
13	芦家井 5- 4	1987. 1- 1994. 4	0.56	1.40
平均变(七量 (不含 1 2 8 9列)		0. 57	4. 78

上表中芦家井水准已经停测,但它与相邻测线具有可比性。 图 5为表 4 表 5各项变化的典型图像。 在表 4中,大灰厂的垂直形变速率及梯度明显偏大,而试验场的则明显偏小,它们可能较多地反映了干扰性的影响,不属于可靠的构造性断层形变,未参与统计平均值。从表 4可以看出,首都圈近几年变化较大而又可能被视为中期异常的垂直形变的年速率约为 0.57mm/a,垂直形变速率梯度平均值为 4.78mm/a.km



图 5 首都圈主要的断层形变中期异常

表 4的断层形变年速率值低于图 2所示的北京地区垂直形变速率背景值。但断层形 变的速率梯度值已超过高梯度区下限 (0.46mm/a.km)的 10倍以上,更是达到了图 2背 景性梯度值的数十倍。出现这种巨大的反差是因为跨断层形变监测的测线都很短 (大多数 为几十米,少数为百米以上),这种"高梯度"是短距离测线和密集观测的结果,其测值仅反 映断层两侧的局部特征而不代表较大空间尺度的垂直形变速率梯度。

形变测量给出的"梯度"和"应变"都是与空间尺度有关的相对量,因此定点形变与大

7

面积形变之间的矛盾是屡见不鲜的。断层形变监测当然可能反映构造信息,而且按照"多 点应力场"的理论^[5],地震前兆也很有可能突出地显现在能反映应力集中的某些"敏感点" 上,这些点上的信息很可能比背景性的信息更强。既然现阶段北京地区大面积形变和断层 形变显示的垂直形变速率值都较低,可以认为本区仍处于地震危险性较低的状态。

表 5是近几年来北京地区各跨断层测点中水平形变变化较大的 9项,表中显示的断层形变年速率值大大低于表 2和表 3中北京地区水平形变背景值,但相对变化(应变量)则是后者的约 70倍甚至更大。与垂直形变的情况相似,形变监测覆盖的空间尺度越小,水平形变的相对变化值就越大,在判断某一地区地震的危险性时,我们显然应该着眼于与强震可能具有的大面积形变前兆范围大体相同的空间的形变状态,并与以往的震例相比较

表 5

首都圈断层水平形变速率(基线)

序号	测线名	时间段	年速率 (mm/a)	水平应变 (10-5)
1	燕家台西南基线	1994. 1- 2000. 12	0. 42	1. 75
2	张家台垂直基线	1987. 1- 2000. 12	0. 15	0. 62
3	大灰厂斜交基线	1990. 1- 1995. 12	0. 92	1. 92
4	大灰厂斜交基线	1996. 1- 2001. 1	1.86	3. 88
5	大灰厂垂直基线	1992. 1- 2000. 12	0. 77	3. 21
6	八宝山垂直基线	1992. 1- 2000. 10	0. 04	0.18
7	八宝山斜交基线	1992. 1- 1999. 7	0. 49	1. 02
8	上万垂直基线	1995. 1- 2000. 10	0. 21	0.86
9	上万斜交基线	1993. 1- 2000. 10	0. 02	0.06
	平均变化量		0. 54	1. 50

4 讨论和结论

关于一次较大地震(6级以上)之前地壳形变前兆展布范围可能具有的空间尺度,有关研究成果和某些学者曾经给出过一些地震震级*M*与地形变前兆区半径(R或L)之间的经验关系式:

1 g R = 0.51 M - 2.27	(檀原毅)
1gL= 0.50M- 1.8	(茂木清夫)
1gL= 0. 48 <i>M</i> − 1. 57	(原西南烈度队)
1 g R = 0.26 M - 0.04	(大地形变方法攻关组)

如对于一个 M= 5.5级的地震,按上式计算分别得到 R(或 L)为 3.4km 8.9km 11.8km和 24.5km 若采用我国震例总结得出的经验公式,一次 5.5级地震之前大地形变 前兆的展布范围为 50km左右,而 6级地震为 66km左右 关于形变前兆持续时间与震级 的关系式也有多种统计结果,按大地形变学科攻关组推荐的公式 $1_{\rm g}$ T= 0.41M+ 0.04推 算,5.5级地震的形变前兆显示时间为 197天,6级地震为 316天

图 3和图 4的 GPS监测网的尺度约为 70 100km,观测周期为一年,显示的应变量 为 0.546 10⁻⁷或 2.147 10⁻⁷,大体上相当于正常情况下应变积累的平均年速率;图 2 的垂直形变测区的尺度约为 90 100km,其垂直形变速率约为 1~3mm/a,而北京地区断 层形变异常的速率约为 0.57mm /a,均低于华北地区若干 6级以上地震前可能具有的垂 直形变速率 因此,从地震前形变前兆展布区半径 孕震断裂长度 前兆区的广域性和前兆 显示时间等不同方面来考虑,我们推测至少在 1~3年内北京地区仍处于强震危险性较低 的时期。

近年来形成的"渐进式"分析预报思路不仅应指预测空间的逼近和时间过程的推进, 也具有应用监测能力不同的手段显示不同阶段、不同形态前兆的含义。大地测量方法更侧 重于对 6级以上地震作中长期的或大区域、大形势的判定。本文的研究表明,首都圈中部 (北京地区)近年来的垂直形变和水平形变仍处于较低水平的状态,低于西部地区和华北 地区的一般正常值。尽管多年来断层形变反复出现异常,但断层形变显示的速率并未超出 其背景形变值。定点形变的相对变化量虽然很突出,但并不具有能反映大面积形变激化的 特征。因此我们认为北京地区近年内仍处于地震活动强度较低的阶段

参考文献:

- [1] 应绍奋,张祖胜,耿士昌,等.中国大陆垂直向现代地壳运动基本特征[J].中国地震, 1988, 4(4): 1-8.
- [2] 张祖胜.应用大地形变测量资料估计我国大陆地区近几十年的地震趋势[C].中国地震大形势研究,北京:地震出版社,1990,50-65.
- [3] 张祖胜,杨国华,薄万举.地壳垂直形变速率梯度、断层形变速率变化与强震危险区研究[J].大地形变测量, 1996, 12(4): 2-20.
- [4] 佐藤裕.日本现代地壳运动与长期地震预报 [C].现代地壳运动,北京:地震出版社,1983,219-228.
- [5] 马宗晋. 华北地壳的多 (应力集中) 点应力场与地震 [J]. 地震地质, 1980, 2(1): 39-47.

Study on the regional deformation field and strong earthquake risk of Beijing Area in the near future

XIE Jue-min, YANG Guo-hua, BO Wan-ju

(First Crustal Deformation Monitoring Center, CSB, Tianjin 300180, China)

Abstract the background value of regional deformation field observed with leveling and GPS as well as its relationship with the faults deformation value given by fixed observation stations from 1998 to 2000 in Beijing area are analyzed. The study indicates: (1) The vertical deformation rates and its gradient in this area are lower than the normal value of North China area and the corresponding value before some strong earthquakes; (2) The horizontal deformation rates given by GPS measurements are also at a lower level in this area; (3) The fault deformation rates (vertical and horizontal) at fixed observation sites are equal to the regional background value; (4) Based on the state of large-scale deformation field and the level of fault deformation anomalies mentioned above, there will be no stronger earthquake in the area in future 1- 3 years.

Key words deformation field; strong earthquake risk; Beijing area; GPS