

文章编号: 0253-3782(2001)01-0001-10

利用 GPS 复测结果确定华北不同运动性质单元及活动方式^{*}

杨国华¹⁾ 韩月萍¹⁾ 张凤兰²⁾

1) 中国天津 300180 中国地震局第一地形变监测中心

2) 中国济南 250061 山东大学土建与水利工程学院

摘要 利用华北地区 1992, 1995 和 1996 年所施测的高精度 GPS 结果, 对华北地区内部同期不同运动性质的活动单元进行辨别, 确定了 4 个有明显差异运动的活动单元和 1 个过渡带, 它们分别是鄂尔多斯-阴山单元、燕山单元、晋冀鲁单元、胶辽鲁单元和燕—冀过渡带; 并给出了这一时期相邻单元间的相对运动, 具体为: ①鄂尔多斯-阴山单元与燕山单元之间不存在明显的压缩运动(量值为 0.4 ± 1.3 mm/a); ②晋冀鲁单元背离鄂尔多斯-阴山单元向东偏南 40° 的方向运动, 量值为 4.4 ± 1.0 mm/a; ③相对于燕—冀差异运动转换带, 燕山单元向西偏北 38° 方向运动, 量值为 2.4 ± 1.3 mm/a, 晋冀鲁单元向东偏南 35° 方向运动, 量值为 2.3 ± 0.9 mm/a; ④晋冀鲁单元相对于燕山单元向东偏南 37° 方向呈张拉型左旋运动, 量值为 4.7 ± 1.4 mm/a; ⑤位于晋冀鲁断块南部郅庐带附近的局部地区有偏离晋冀鲁单元的运动, 方向为南偏西 14° , 量值为 1.5 ± 1.1 mm/a; ⑥相对于晋冀鲁单元, 胶辽鲁单元有顺时针运动的趋势。其与燕山单元为邻的北端表现为张拉型右旋运动, 南端则表现压性运动。需要说明的是, 这里所给出的误差是根据单元内各点位移间的离散性得到的, 并不是由观测点位移误差计算求得的。分析结果还表明: ①山西带和燕—冀过渡带是体现华北内部相对运动格架及强弱的主要构造活动带, 其它构造活动带则为次一级的活动带; ②华北地区整体水平形变并非均匀连续; ③华北地区的动力模式可能为“地幔拖曳+边界耦合”。

关键词 GPS 测量 华北地区 活动单元 水平运动 变形机制

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A

引言

关于利用 GPS 资料研究华北地区的水平形变, 已经有一些学者做了一些研究, 如杨国华等(1998)利用 1992 和 1995 年资料以及黄立人和郭良迁(1998)利用 1995 和 1996 年资料, 初步分析了华北地区的水平运动, 但由于当时的数据处理方法不够完善, 所以得到的分析结果就显得不够精确, 分析问题的侧重面也有所不同; 沈正康在研究东亚地区水平形变时也对华北地区做了分析(Shen *et al.*, 2000), 但主要是整体性的。本研究是综合利用 1992, 1995 和 1996 年资料, 经较精确的处理而获得的联合解算结果(Shen *et al.*, 2000),

^{*} 国家重点基础研究发展计划“大陆强震机理与预测”项目(G1998040703)资助。
2000-04-17 收到初稿, 2000-11-27 收到最后修改稿并决定采用。

对华北地区内部不同运动性质的单元进行确认,并给出了各单元运动的定量描述;同时也对华北内部运动的主要活动构造及活动方式进行了初步判定和分析;并在此基础上,推测了华北地区的活动模式和变形机制。

1 GPS 数据的处理与选用

GPS 数据处理方法如何,直接影响着最终结果或研究结论。这也表明了 GPS 数据处理方法或手段还存在着某种不完善的地方。确切地说,我们现在看到这样一种现象,即不同的研究人员,尽管使用同一区域同期的流动测量资料,甚至用相同的计算软件,但最终得到的计算结果却不尽相同。到目前为止,人们对这一问题已认识到有两个方面的因素:①基线向量处理时,对卫星轨道约束程度、对测点约束程度及测点初始值精确程度的不同等均会直接造成最终计算结果的差异;②位移向量等参数的解算所用参考站的不同也会造成计算结果的差异。这里面又分两种情况:一种是由于参考站的误差所造成的差异;另一种是由于各种原因而导致参考站之间并非完全自恰而造成的差异。前者可使监测网产生畸变并导致位移中含有畸变信息(伪信息);而后者情况则更复杂些。若纯属参考基准不同而导致计算结果产生差异,则这种差异不会影响变形结果和相对位移结果;若参考站之间并非完全自恰,则会导致位移中含有伪信息。目前认为:判定解算结果优劣最基本的准则主要看数据处理过程中监测网形是否发生畸变,在不发生畸变的情况下使解算结果保持高精度者为优。但目前尚未看到严格而又具体的评判方法,一些学者正在着手研究这方面的问题(黄立人,2000)。

综上所述,笔者认为沈正康等所处理的华北地区 1992、1995 和 1996 年的 GPS 资料所得到的结果较为切实(Shen *et al.*, 2000),其基本处理过程为:用 GAMIT 软件算出每天松弛解、用 GLOBK 软件算出不同时间解所使用的公共参数(如卫星轨道等)和用 QOCA 软件求解我们所需要的运动参数等。对变形分析来说,这样一种处理过程目前被认为是较优的(详细过程可参考沈正康等的文章)。据此,本文以此为基础进行了进一步的处理。首先消除了华北地区整体运动,即刚性运动成分(平移分量和旋转分量),然后针对不同的问题做进一步地处理和分析。具体结果见表 1、图 1 和图 2。表 1 的结果是在沈正康等计算结果基础上,经过处理之后获得的;点运动的速度误差为 2.0~2.5 mm/a。这样的结果对单点分析来说,可靠性有些欠佳,但对众多点进行统计分析,完全有可能获得有价值的结果。此外,表中 1992 年的资料较少并非进行了舍取,而是 1992 年只有这么多资料。

2 华北地区不同运动单元及其活动量级

2.1 华北地区现代主要活动断块及活动背景

地质研究表明(丁国瑜,1991;马杏垣,1989;汪一鹏,邓起东,1980),华北地区内存在着不同运动性质或差异运动的断块,主要有鄂尔多斯、燕山、晋冀鲁和胶辽鲁断块等。它们的主要分界线为阴—燕活动构造带、山西活动构造带和郯庐活动构造等(下辽河—郯庐断裂带)。这些带的活动性质因走向而异,近南北走向的活动构造带为右旋,近东西走向的活动构造带为左旋。在中国大陆尺度下,华北地区内各块体运动的优势方向大体为北东及北东东向,量级为 1~4 mm/a。区内的鄂尔多斯块体的运动量级最大为 2~4 mm/a,山

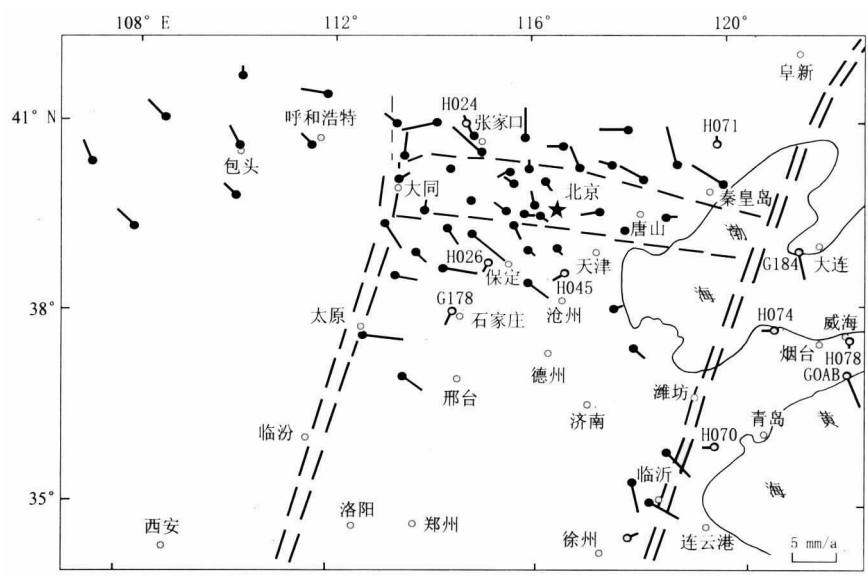


图 1 重心基准下华北各点水平运动速度(1992~1996 年)

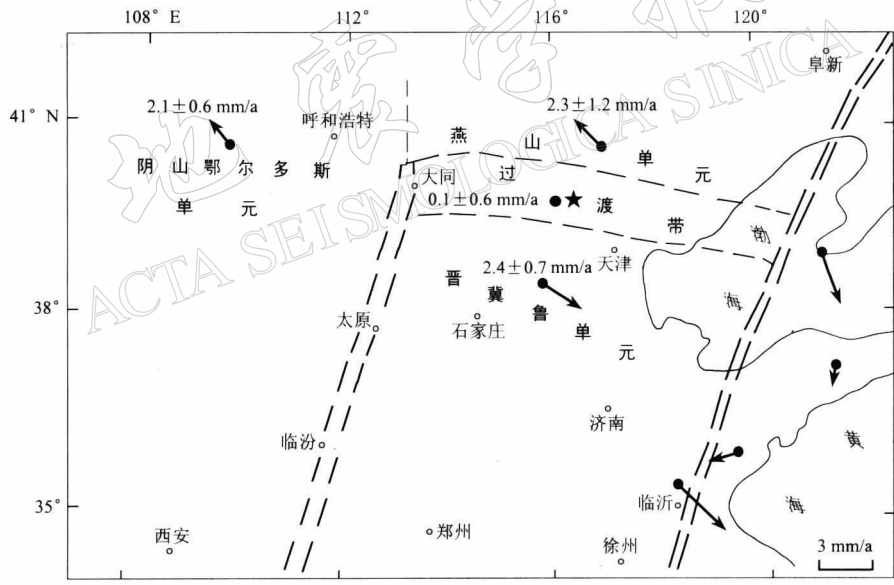


图 2 华北各单元水平运动速度(1992~1996 年)

西带以东的运动量级为 1~2 mm/a. 这是根据地壳形变演化至今的大时空尺度的平均结果. 从这样的结果中我们可大致了解华北地区整体运动概貌及区内各断块差异运动量值范围. 由于时空尺度的限制, 用地质等方法无法给出较详细的结果. 对于了解几年、几十年内的细化运动特征, 地质结果作为定量结果而加以应用是不恰当的, 但作为背景性结果仍然具有很好的参考价值. 这是因为地质结果属于甚长周期运动性质的结果, 而地壳短周期运动则是相当丰富和普遍的(杨国华等, 1994).

表 1 华北 GPS 测点及速率表(1992~1995~1996 年)

测点	λ_E	φ_N	东向速率 /mm·a ⁻¹	北向速率 /mm·a ⁻¹	点名	λ_E	φ_N	东向速率 /mm·a ⁻¹	北向速率 /mm·a ⁻¹
H001	107°03′	40°15′	-1.1	2.3	H039	116°00′	39°53′	-0.2	1.2
H002	108°00′	39°15′	-1.8	2.0	H040	116°02′	39°47′	0.9	0.5
H003	108°24′	41°01′	-1.6	1.9	H041	116°07′	39°36′	0.9	-0.5
H004	109°57′	41°45′	0.2	1.2	H043	116°14′	40°11′	1.1	-1.9
H005	109°57′	39°52′	-1.5	1.6	H044	116°28′	39°08′	0.6	-0.9
H006	110°02′	40°39′	-1.3	2.2	H045	116°35′	38°41′	-1.3	-0.5
H007	111°26′	40°45′	-1.3	0.7	H046	116°37′	40°43′	-1.8	0.3
H008	111°42′	41°30′	-2.8	0.5	H048	116°56′	40°26′	-1.1	2.2
H010	113°01′	39°30′	1.7	-2.8	H052	117°19′	39°40′	-2.0	-0.4
H011	113°10′	41°06′	-0.8	0.3	H053	117°34′	38°10′	0.9	0.0
H012	113°15′	38°42′	2.5	-0.6	H054	117°33′	40°28′	-1.3	0.1
H013	113°18′	40°13′	1.3	0.6	H055	117°47′	34°28′	1.1	0.7
H014	113°24′	40°38′	0.1	2.6	H056	117°51′	35°24′	0.7	-3.5
H015	113°39′	39°03′	1.1	-1.1	H057	117°51′	39°21′	0.5	0.1
H016	113°46′	39°46′	0.4	0.8	H058	117°54′	40°57′	-2.9	0.0
H017	113°59′	41°06′	-4.0	-0.8	H059	117°58′	37°28′	1.3	-1.1
H018	114°10′	38°50′	3.7	-0.6	H060	118°07′	39°43′	-1.0	-0.5
H019	114°13′	39°25′	1.5	-1.7	H061	118°11′	35°05′	3.3	-2.2
H020	114°17′	40°25′	0.0	0.4	H062	118°14′	40°11′	-2.8	1.3
H022	114°43′	39°54′	-0.4	-0.2	H064	118°28′	35°50′	2.2	-2.4
H023	114°44′	39°20′	4.0	-3.1	H066	118°42′	39°32′	1.2	0.3
H024	114°45′	40°52′	-0.4	-0.1	H068	118°54′	40°25′	-0.9	4.0
H025	114°55′	40°40′	-2.7	3.3	H070	119°23′	35°53′	-1.2	-0.6
H026	115°03′	38°54′	-0.3	-0.9	H071	119°46′	40°45′	-0.2	0.4
H027	115°24′	39°43′	-0.9	1.1	H072	119°49′	40°04′	-3.1	1.8
H028	115°28′	40°21′	-0.8	-0.5	H074	120°42′	37°47′	-1.5	0.0
H029	115°31′	40°12′	-0.8	0.6	H078	122°09′	37°23′	-0.1	-0.9
H030	115°36′	39°28′	0.9	-1.5	GOAB	122°03′	36°56′	1.5	-3.6
H032	115°49′	39°39′	1.9	-0.3	G151	114°55′	40°43′	-2.3	3.6
H034	115°50′	40°52′	0.1	3.4	G172	112°39′	37°42′	4.4	-0.4
H035	115°52′	38°35′	2.3	-1.8	G174	113°22′	37°04′	2.6	-1.3
H036	115°56′	39°02′	0.6	-0.4	G178	114°21′	38°02′	-0.8	-1.3
H037	115°56′	40°28′	0.2	-0.7	G184	121°14′	38°55′	1.1	-3.1

2.2 华北地区器测期间活动单元的划分及其量级

为了更为简便有效地区分研究区域内可能存在不同运动性质(或差异性运动)的单元,我们在利用 GPS 计算结果的同时也参考了地质构造、地震活动性等研究结果. 这样可做到既利用运动的分群结果,又不失点位的属地原则,同时还可兼顾不同运动单元的边界. 具体做法可分 3 个步骤: 第一, 用统计检验的方法确定运动性质相近的点组; 第二, 依据“属地”原则, 从各个运动点组中删除哪些非同一“属地”的点; 第三, 根据地质构造、地震活动的分布和运动点组等确定不同运动单元和它们的边界. 在进行点组的统计检验时, 我们主要参照黄立人和马青(1999)的思路与方法. 各单元运动或相对运动的不确定程度是按中误差的 2 倍给出描述. 顺便说明一点, 这里称之为“单元”而不称之为“断块”, 是因为我们主要依据测量结果来归类. 这样, 就可能会出现某一单元含有一个以上的断块, 但它只表明

该单元内断块间在这一时期不存在明显的异性运动。

在实际计算中我们发现, 华北区内一些单元刚性或弹性状态并非理想, 这表明区内介质连续性较差及性质各异(如存在次一级的运动单元等)。据此, 最终所给出单元的整体运动是在删除性质上有明显差异的个别点的基础上, 计算其优势运动作为单元的整体运动。这就是说将点组统计检验的限值给予放宽(不完全取决测量误差)。这样, 可最大程度地利用各点所含的运动信息, 同时也可避免只用部分点的信息表征单元整体运动而可能导致的有偏倾向。此外, 尽管单元内还可能存在着次一级有差异运动的单元, 然而由于点密度不够理想的原因, 所以还不能很有效地加以辨别, 但这并不会对高一级单元的整体运动产生影响。

通过反复类比与分析, 我们最终划分了 4 个有差异运动的单元和 1 个差异运动转换带。它们分别是鄂尔多斯-阴山单元、燕山单元、晋冀鲁单元、胶辽鲁单元和燕-冀差异运动转换带。

(1) 鄂尔多斯-阴山单元。鄂尔多斯-阴山单元主要是指有 GPS 监测点的鄂尔多斯北部区域, 并跨入了阴山地区(这说明了阴山地区在此阶段和与其相连的鄂尔多斯断块间差异运动不明显)。尽管鄂尔多斯断块是一个相对完整的断块(地质结论等), 由于其南部没有测点, 所以我们对南部地区仍不敢妄言。该单元的东界为山西活动构造带。计算时我们发现, 这一阶段鄂尔多斯-阴山单元与燕山单元的整体运动性质极为相近, 但它们又有一定的不相容性(离散程度相差较大)。这里, 我们是根据后者来给出它们的划分及它们之间分界线。这两个单元的分界线大致位于山西带向北的延伸线上。鄂尔多斯-阴山单元在此期间相对与重心基准的运动速率为 $2.1 \pm 0.6 \text{ mm/a}$ (取用该单元所有的点进行计算), 运动方向为北西向。这里我们必须明确, 这样的结果只是器测期间的结果, 因为地质上的研究表明, 鄂尔多斯和阴山不属同一块体, 即彼此之间存在着差异运动, 但这样的结论是在大时空尺度条件下产生的, 所以我们在任何情况下都不能忽视结论所依赖的条件, 更不能随便地说此对彼错。

(2) 燕山单元。燕山尽管其优势位移与鄂尔多斯-阴山单元相当一致, 但这一单元的单元位移之间较之发散, 从方向到大小都体现了这一点。另外在统计分析时也表现为不太相容。顾及到相邻的晋冀鲁单元的运动特征, 我们觉得燕山地区作为一个单元来处理更恰当一些。该单元运动速率为 $2.3 \pm 1.2 \text{ mm/a}$, 运动方向为北西向。位于该单元的 H24 和 H71 号点因离散性较大而被剔除。

(3) 燕-冀差异运动转换带。聚类结果表明, 在燕山单元与其相邻的晋冀鲁单元之间存在一个很明显的差异运动过渡条带, 方向成东西向展布, 位置大约接近 40°N , 起止为山西带至渤海, 带宽约 70 km, 相对运动几乎为零($0.1 \pm 0.6 \text{ mm/a}$, 取用了该条带的全部点)。

(4) 晋冀鲁单元。位于燕-冀差异运动转换带南面的晋冀鲁单元的优势运动明显与上述不同。其相对运动方向为南东东, 相对运动速率为 $2.4 \pm 0.7 \text{ mm/a}$ 。该单元西以山西带为界, 东大体延伸至辽东邻庐带, 但南部边界不清晰(由于资料覆盖范围的限制)。需要说明的是, 离散性最大的 3 个点(G178, H45 和 H26)没有参加该块体优势运动的计算。此外, 由图 1 可知, 位于该单元西南部辽东邻庐带附近几个点的运动特征与本单元西部的运动特征存在一定的差异性(从运动量值到运动方向), 所以这里我们暂把这几个点作另类处理, 也没有让它们参加本单元的优势位移计算。这个局域的优势运动速率为 $3.2 \pm 1.7 \text{ mm/a}$

(剔除了 H055 号点), 其方向为南南东. 从构造上讲, 该局域应附属于晋冀鲁断块. 在后面的讨论中我们再进行综合分析.

(5) 胶辽鲁单元. 该单元虽与晋冀鲁单元相邻, 但运动特征仍有较明显的差别, 把胶辽鲁地区看成一个完整的单元也比较勉强, 这是因为该地区点少且各点运动的一致性不太好. 依据水准测量所显示“北降南升”的相对结果, 这里也给出分段的位移结果以便于后面的讨论. 北段以 G184 点为代表的运动结果, 其速率为 3.3 mm/a , 方向为南南东; 中段以 GOAB、H078 和 H074 的集成结果为代表, 其优势运动速率为 1.1 mm/a , 方向为南南西; 南段以 H070 点为代表, 其运动速率为 1.5 mm/a , 方向近西向. 从整体上看, 有顺时针旋转运动的迹象. 若将 3 段合成计算, 则该单元整体优势运动速率为 1.4 mm/a , 其方向为南南东.

3 华北地区运动特征及其变形初步分析

3.1 地壳水平运动的边界条件

地质、地球物理和应力场等研究结果表明(陈连旺等, 1999; 臧绍先, 宁杰远, 1996; 张东宁, 许忠淮, 1999), 华北地区主要受来自于: ①印度板块向北碰撞导致的中国北部地区向东西两个方向推挤, 从而对华北施加向东运动的影响, 但量值不太大; ②太平洋板块向西北俯冲, 但很大程度上消减在日本和琉球群岛的弧带上, 对华北向东的运动主要起阻碍和遏制作用; ③欧亚板块在中国大陆有“西压东张”的活动行为, 具体到华北北缘则表现张性运动; ④华北南部的华南地区存在量级较弱背离华北的运动. 宏观结果展示出: 华北地区地壳水平向边界条件受压的方向为近东西向、受拉的方向为近南北向. 然而, 华北地区的 GPS 监测结果却发现, 华北地区整体以张性为主, 尤其在东南-西北方向上更为突出. 这是一个很重要的现象, 因为这很可能表明, 华北的地壳运动并非只受周边地壳运动的控制.

3.2 相邻单元间的相对运动及单元内部变形特征

前面我们虽然给出了在重心基准下各单元整体优势运动的大小和方向, 但对于分析相邻单元间的相对运动及其机制仍觉得不太直观或不太方便, 故有必要给出进一步的结果和讨论.

鄂尔多斯-阴山单元与燕山单元之间似乎存在着微弱的压缩运动, 压缩方向基本上是东西向, 量值为 $0.4 \pm 1.3 \text{ mm/a}$; 但在统计意义上并不显著.

晋冀鲁单元背离鄂尔多斯-阴山单元向东偏南 40° 的方向运动, 量值较显著, 为 $4.4 \pm 1.0 \text{ mm/a}$.

相对于燕一冀差异运动转换带, 燕山单元向西偏北 38° 方向运动, 量值为 $2.4 \pm 1.3 \text{ mm/a}$; 晋冀鲁单元向东偏南 35° 方向运动, 量值为 $2.3 \pm 0.9 \text{ mm/a}$.

晋冀鲁单元相对于燕山单元向东偏南 37° 方向呈张拉型左旋运动, 量值也较为突出, 为 $4.7 \pm 1.4 \text{ mm/a}$.

位于晋冀鲁断块南部郅庐带附近的局部地区有偏离晋冀鲁单元的运动, 方向为南偏西 14° , 量值为 $1.5 \pm 1.1 \text{ mm/a}$.

相对于晋冀鲁单元, 胶辽鲁单元有向西并与之呈挤压型运动态势; 但其北端则与燕山单元为邻, 它们两者之间明显地表现为张拉型右旋运动.

各单元(带)内部的变形特征为: 华北西部以山西带为界的鄂尔多斯-阴山单元形变最

小, 是一个刚性较好的块体; 燕山及其以北地区各点运动的离散性较强, 但该离散没有明显的规律性; 晋冀鲁单元整体以面收缩为主, 有由西向东运动量值减小的趋势, 至郯庐带附近其运动方向也发生了改变; 胶辽鲁单元各点运动的一致性不理想, 并伴有顺时针旋转的运动分量; 燕—冀过渡带各点的运动呈随机性分布, 且量值较小。

3.3 变形分析

(1) 鄂尔多斯-阴山单元. 鄂尔多斯-阴山单元内部变形较小, 这反映了该单元介质的连续、完整和刚性状态较好. 这一结果与地质分析结果是一致的。

(2) 燕山单元. 燕山单元的优势运动尽管显而易见, 但在其优势运动的背景下, 各观测点的运动却存在着一定的差异, 不仅仅体现在大小上, 在方向上也有较显著的偏差. 这样的结果对连续介质来说可以认为介质发生了形变; 此外, 由于形变的不均匀和无序性, 可进一步认定该单元的介质是各向异性的, 但异性的程度似乎高的有些不真实(由位移结果分析). 徐杰等(1998)的研究结果表明: 燕山构造带是由 20 多条具有一定规模、彼此互不连通的断层组成. 该带的地震分布也比较离散. 这说明该带及其周围介质的连续性较差. 也就是说, 该单元(南缘)介质被若干不同规模构造断裂所切割, 当在同一个应力场的作用下, 次级各单元的位移由于每个单元的运动和其内部的变形而产生较大的差异. 这可能是导致上述 GPS 结果的主要原因. 这就是说, 导致形变的原因除与应力场的状况有关外, 介质条件是一个非常重要的因素, 尤其在同一应力场进行不同空间形变分析时, 要给予充分地注意. 顺便说明一点, 正是基于上述理由, 我们在进行聚类时放宽了限值. 若只以观测误差作为准则而不考虑上述情况, 则会舍去更多的点, 从而导致信息的损失, 降低整体位移的可靠程度. 另一方面, 由于测点位于地表, 除观测误差和介质条件外, 还可能存在其它方面的干扰因素, 并导致个别点产生奇异行为, 所以这方面的成分也应该考虑。

(3) 燕—冀过渡带. 与燕山单元为邻的燕—冀过渡带情况与我们先前认识是存在差别的(或许没有认识到). 首先是过渡带本身的存在; 其次是它们的运动特点不论从整体还是从各点来看, 都与其南北相邻的两个单元明显不同, 主要表现在点的运动数值不仅偏小, 而且杂乱无章. 上述情况的形成, 可能有如下原因: ①在燕山单元与晋冀鲁单元之间没有形成一条通透的断裂, 而是由一些互不相通、走向各异、断断续续的较小断裂系统组成. 当南北相邻的两个单元存在性质截然不同的运动时, 它们交界在一定时空范围内可能会表现出具体有“粘连带随”或“模糊不清”的运动状态, 即有时可辨别出南北单元的界面, 有时则难以分清并形成具有一定宽度的过渡空间; ②在陆内断裂界面并非是“刀切豆腐”的模式, 它的主要表现形式可能就是一个宽达数公里至数十公里的带, 而不是一步之遥, 更不是非彼即此. 事实上, 这一区带的构造展布较其它区域更复杂些。

(4) 晋冀鲁单元. 该单元各点同样存在着一定的不相容性, 理由同对燕山单元的分析一样, 但还有一些差别. 除个别点外, 它们的运动方向差异较小. 这可能与次级构造带的走向有关(在介质性质大致相同下). 与燕山单元(测区范围内)和燕—冀过渡带相比, 本单元构造带的走向一致性较好些, 因此运动方向的同步性相应也会好一些. 此外, 由西向东不仅有数值变小的趋势, 方向也有逐渐向南转变的趋势. 这反映了该单元形变具有一定的有序性, 同时也表明了单元的运动在东界受阻, 并伴有向南推挤的运动, 因而导致了东西向缩短, 且整体呈面收缩为主的状况。

(5) 胶辽鲁单元. 该单元尽管每个点都有向南的运动分量, 但在东西分量上平均结果

远小于晋冀鲁单元向东的分量,这意味着该单元对向东运动起着阻碍作用。另外,该单元由北向南的运动是主体运动,但南端并非是一个自由边界,所以,由于推挤也可能产生各点在东西分量上的差异。如果是这样,本单元出现不太大的东西分量差异似乎是顺理成章了;但由于点少,这一推测的可靠程度有些偏低。其它单元中各点或多或少也包含了类似性质的运动成分。

以上我们分析了导致各单元形变的可能因素,那么各单元的整体运动又是如何产生的?这是人们非常关心的一个大问题。前面我们指出了华北地区地壳水平向运动的边界条件。从这个边界条件来看,华北地区存在南北向以张性为主的机制。实际观测结果表明,华北内部整体上也是呈拉张的特点,二者是相辅相成的。然而,华北地区东西向边界条件为压性,而实际观测结果表明,华北地区内部整体上也处于张性状态之中,这是一个矛盾。笔者认为,这个现象的出现并非是资料或数据方面存在什么问题,而是我们只考虑周边地壳活动作用而没有顾及深部物质活动的作用。这就是说,华北地区除了受周边地壳活动方式的控制外,还受来自于地壳以下深部物质活动的控制,甚至可能还很显著。它的作用不但抵消了周边地壳活动对华北的影响,而且在数值上还有余量。进一步分析则不难发现,华北东西向伸展并不是随着空间尺度的增加而增加,它的伸展只体现在一狭窄的条带上。除此之外的空间不但几乎看不到东西向伸展的迹象,而且相反,均处于收缩的状态中。由此我们认为,这一条带是导致华北现今运动格局驱动力所在的主要部位,即山西构造活动带。同样,尽管华北地区周边地壳呈南北拉张态势,但华北内部南北向的拉张并不一定是由它们的拖拉作用所致。因为华北内部南北向的拉张也不随着空间尺度的增加而增加,同样主要体现在另一狭窄的条带上。笔者更倾向于深部物质有序活动的结果,因为地壳南北运动不论是界内还是界外,毕竟是被动性运动。所以我们认为,华北地区南北分量的拉伸,主要是由于晋—冀过渡带的活动所致。当然,也不能排除两个方面因素的共同作用,至少说南北方向的界外张拉,对界内南北活动的制约在减少。

综上所述,我们获得以下看法:当前控制华北现今运动格局是近南北向的山西活动构造带和近东西向的燕—冀差异运动过渡带。前者侧重于东西分量的控制,后者则侧重于南北分量的控制。胶辽鲁单元起着阻碍向东运动的作用。华北地区的地壳水平形变整体上并不是均匀连续的。

4 讨论

华北地区的活动并非独立存在,它还受大环境活动的控制。正如我们所了解地震活动性具有周期性的强与弱一样,地壳运动也必然有相应的表现或表现形式。具体地说,由于大环境的变化,华北地区不同时期的活动状态,并不完全一致。垂直形变场的研究已经表征了这一点。另一方面,本研究的结果也只反映器测时段华北地区的运动形态,在没有弄清运动的强弱过程之前,则不能在时间轴上随便延伸(至少要慎重)。

参 考 文 献

- 丁国瑜主编. 1991. 中国岩石圈动力学概论[M]. 北京:地震出版社, 492~502
- 陈连旺, 陆远忠, 张杰, 等. 1999. 华北地区三维构造应力场[J]. 地震学报, 21(2): 140~149
- 黄立人, 郭良迁. 1998. 华北北部 GPS 观测 (1995~1996) 及其结果解释[J]. 地震地质, 20(4): 12~19

- 黄立人, 马青. 1999. GPS 测站所处构造位置的统计检验[J]. 地壳形变与地震, **19**(4): 27~31
- 黄立人. 2001. GPS 观测结果变形分析的参考框架及其合理性[J]. 测绘学报, 待发表
- 马杏垣主编. 1989. 中国岩石圈动力学地图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 21
- 汪一鹏, 邓起东. 1980. 华北地区断块区新生代、现代地质构造特征[A]. 华北断块区的形成与发展[M]. 北京: 科学出版社, 192~205
- 徐杰, 宋长青, 楚全芝. 1998. 张家口—蓬莱断裂带地震构造特征的初步探讨[J]. 地震地质, **20**(2): 146~153
- 杨国华, 李延兴, 薄万举, 等. 1998. GPS 用于区域地壳运动及地震危险区判定的初步研究[J]. 中国地震, **14**(1): 40~46
- 杨国华, 王若柏, 孙汉荣, 等. 1994. 中国大陆现今地壳垂直运动概貌及其地球动力学的某些特征[J]. 测绘学报, **23**(3): 184~189
- 臧绍先, 宁杰远. 1996. 西太平洋俯冲带的研究及其动力学意义[J]. 地球物理学报, **39**(2): 188~202
- 张东宁, 许忠淮. 1999. 中国大陆岩石层动力学数值模型的边界条件[J]. 地震学报, **21**(2): 133~139
- Shen Zhengkang, Zhao Chengkun, Li Yanxing, *et al.* 2000. Contemporary crustal deformation in east Asia constrained by global positioning system measurements[J]. *J Geophys Res*, **105**: 5 721~5 734

DETERMINATION OF ACTIVE UNITS WITH DIFFERENT KINEMATIC PROPERTY AND THEIR ACTIVITY PATTERN IN NORTH CHINA BASED ON THE DATA FROM GPS REMEASUREMENTS

Yang Guohua¹⁾ Han Yueping¹⁾ Zhang Fenglan²⁾

1) First Crustal Deformation Monitoring Center, China Seismological Bureau, Tianjin 300180, China

2) Institute of Civil Engineer and Irrigation Works, Shandong University, Ji'nan 250061, China

Abstract: Based on the high-accuracy data obtained from the GPS measurements carried out in 1992, 1995 and 1996, the isochronous active units with different kinematic property inside the North China area have been distinguished, 4 active units and 1 transition zone with distinct differential movement have been determined. They are Ordos-Yinshan unit, Yanshan unit, Shanxi-Hebei-Shandong unit, Shandong-Liaoning unit and Yanshan-Hebei transition zone. The relative movements among the neighboring units in this period have been given. ① The compressive movement between Ordos - Yinshan unit and Yanshan unit is not obvious with an amount of 0.4 ± 1.3 mm/a. ② Shanxi-Hebei-Shandong unit moves $E40^{\circ}S$ off the Ordos-Yinshan unit and the magnitude is 4.4 ± 1.0 mm/a. ③ Relative to the Yanshan-Hebei transition zone of differential movement, Yanshan unit shifts westwards 38° by north with a value of 2.4 ± 1.3 mm/a and Shanxi-Hebei-Shandong unit moves eastward 35° by south with an amount of 2.3 ± 0.9 mm/a. ④ Shanxi-Hebei-Shandong unit has a tensional left lateral movement of 4.7 ± 1.4 mm/a in the direction of east 37° by south relative to Yanshan unit. ⑤ Some area near Tanlu belt which is located in the southern part of Shanxi-Hebei-Shandong block has a southward movement 14° by west with a magnitude of 1.5 ± 1.1 mm/a off the Shanxi-Hebei-Shandong unit. ⑥ Relative to Shanxi-Hebei-Shandong unit, Shandong-Liaoning unit has a trend of clockwise movement

with a tensional right-lateral motion at the north end which neighbors Yanshan unit and a compressive motion at the south end. It should be noted that the errors given in the paper are obtained based on the divergence among the displacements of the sites in the unit, rather than the value calculated from the displacement error of the sites. The analyzed results indicate that: ① Shanxi tectonic zone and Yanshan-Hebei transition zone are the major tectonic active zones to show the frame and magnitude of interior relative movement in North China area, and others are the secondary tectonic active zones; ② The complete horizontal deformation in the North China area is not homogeneous nor successive; ③ The kinetic model of North China area might be "mantle dragging plus boundary coupling".

Key words: GPS measurement; North China area; active unit; horizontal movement; deformation mechanism

地 震 学 报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA