

文章编号: 0253-3782(2000)03-0257-06

中国大陆现今地壳水平运动^{*}

黄立人 王 敏

(中国天津 300180 中国地震局第一地形变监测中心)

摘要 在重新仔细处理了 1994 和 1996 年中国大陆地壳运动监测网两次 GPS 测量资料的基础上, 采用较为完善的块体相对运动和块体内变形叠加的变形模型和相应的分析方法, 研究了中国大陆现今地壳运动的运动学特征, 并定量计算和比较了主要活动构造块体边界带的活动性质和强度, 得到了一些新的认识.

关键词 GPS 测量 地壳水平运动 构造块体 中国大陆

中图分类号: P542 **文献标识码**: A

引言

1994 和 1996 年, 在国家攀登项目“现代地壳运动和地球动力学研究”的资助下, 对布设在中国大陆的地壳运动监测网进行了两次测量. 该网共有 22 个观测点, 分布在中国大陆的若干主要构造块体上. 两次测量中除南充站因在 1994~1996 年被破坏而重新选埋观测外, 其余 21 个站均为两次测量的重合点.

在仔细对两次 GPS 测量结果进行预处理后, 分析了两次测量得到的现今中国大陆的水平运动特征.

1 中国大陆地壳运动监测网的两次 GPS 测量

图 1 给出了“八五”期间布设的中国大陆现代地壳运动监测网. 该网由 23 个测站组成 (1996 年增设了海口站, 但无复测资料). 早在 1992 年就对网中的部分点 (位于中国西南

表 1 1994 年观测情况一览表

测站数	测站名	观测日期	观测时段	卫星截止 高度角/(°)	采样 间隔/s	接收机 型号	施测单位
15	长春、上海、北京、东胜、武汉、泉州、广州、贵阳、南充、虾拉坨、酒泉、西宁、格尔木、下关、乌鲁木齐	8 月 15~ 20 日	8:00~ 20:00	15	30	Leica200	中国地震局地震研究所、武汉测绘科技大学
10	温泉、喀什、和田、库尔勒、若羌、格尔木、下关、乌鲁木齐、酒泉、拉萨	8 月 28~ 9 月 2 日	8:00~ 20:00	15	30	Leica200	
1	狮泉河	8 月 28~ 9 月 1 日	8:00~ 20:00	15	30	Leica200	

^{*} 国家科委攀登项目和国家自然科学基金共同资助.

1999-05-27 收到初稿, 2000-02-28 收到修改稿, 2000-03-06 决定采用.

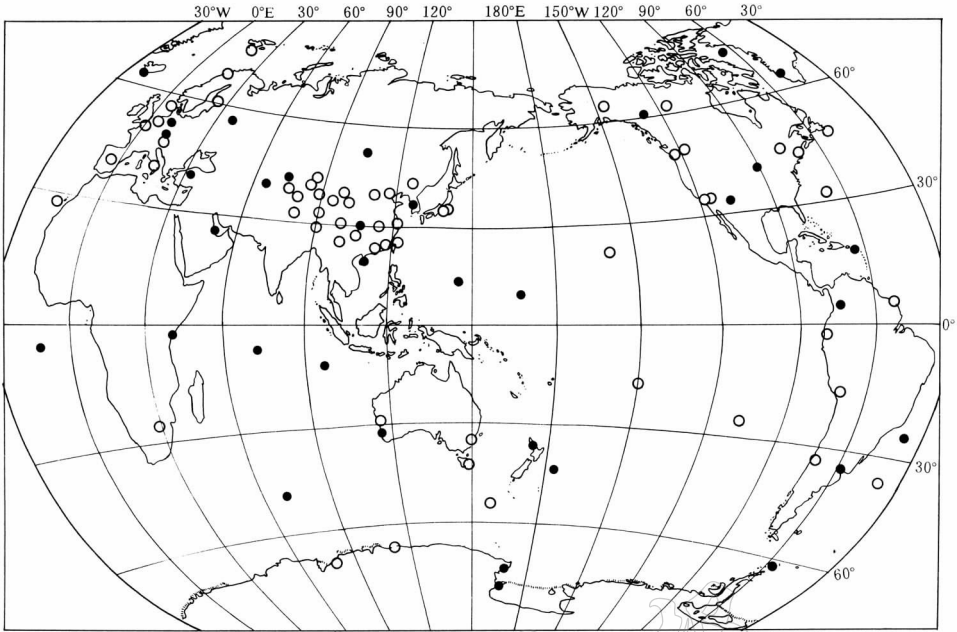


图 1 中国大陆现代地壳运动监测网及相关的全球站分布. ● GPS 测站, ○ 观测了两次 GPS 测站

表 2 1996 年观测情况一览表

测站数	测站名	观测日期	观测时段	卫星截止高度角/(°)	采样间隔/s	接收机型号	施测单位
9	温泉、格尔木*、西宁、酒泉、虾拉坨、下关、拉萨、若羌、南充(新)	7 月 25 日~ 8 月 1 日	8:00~ 20:00	15	30	Leica200	中国地震局地震研究所、中国地震局第一地形变监测中心、武汉测绘科技大学、上海天文台
5	喀什、和田、库尔勒、乌鲁木齐、东胜	7 月 25 日~ 8 月 1 日	8:00~ 20:00	15	30	Ashtech Z ₁₂	
1	北京	7 月 25 日~ 8 月 1 日	0:00~ 20:00	15	30	Ashtech Z ₁₂	
1	狮泉河	7 月 25 日	8:00~ 20:00	15	30	Ashtech Z ₁₂	
6	长春*、上海*、武汉*、贵阳、广州*、海口	7 月 25 日~ 8 月 1 日	8:00~ 20:00	15	30	Rogue8000	
1	泉州	7 月 30 日~ 8 月 1 日	8:00~ 20:00	15	30	Rogue8000	

* 表示 0:00~24:00 连续观测.

部)进行过一次 GPS 观测(黄立人等, 1997), 但该网的首次全面观测直到 1994 年 8~9 月才得以进行. 表 1, 2 分别给出了 1994 和 1996 年两次观测的基本情况.

2 资料的预处理及观测精度估计

资料的预处理按以下步骤进行:

(1) 对两期观测资料分别在 ITRF96 系统下求松弛解. 在每期资料处理时选用了较多的当时同步观测质量较好的国际 IGS 站的观测资料, 以保证中国大陆的这个地壳运动监测网与全球网有较强的联系. 1994 年采用了 46 个 IGS 站(连同中国大陆的 22 个站总计 68 个

站). 1996 年采用了 67 个 IGS 站(连同中国大陆的 23 个站总计 90 个站). 这两期所用的全球站中有 39 个站是共同的. 图 1 给出了这些全球站和中国大陆观测站的分布.

1994 年 68 个站松弛解的结果, 按自由网平差得到的基线边长精度的统计结果为

$$m_b = 2.17 \text{ mm} + 0.65 \text{ ppb} \times b$$

1996 年 90 个站松弛解的结果, 按自由网平差得到的基线边长精度的统计结果为

$$m_b = 2.20 \text{ mm} + 0.61 \text{ ppb} \times b$$

(2) 将自由网平差结果通过七参数转换符合到 IGS 站所确定的全球框架下, 并进而求出以长春站为参考点的中国大陆各观测点的位移矢量. 为此, 我们从两期资料处理用到的 39 个公共 IGS 站中, 选择了 6 个 IGS 站(选择的原则是这些站相对较靠近中国大陆、分布在中国大陆的四周、站速度较为稳定、速率误差较小)作为七参数转换的依据. 这 6 个站分别是: TROM、MADR、HART、YAR1、FAIR 和 AREQ. 利用 IERS 公布的这 6 个站在公元 1997 年元旦 0 时的坐标和站速度, 分别计算出它们在 1994 和 1996 年观测时的坐标, 利用七参数转换将两期观测结果归算到这 6 个 IGS 站所确定的全球框架下. 中国大陆的这些观测站的两期坐标差, 可看作是这些站在全球框架下的位移.

(3) 计算中国大陆内各观测站相对于长春站的位移, 得到了叠加在全球运动背景上的中国大陆内部的相对运动矢量(图 2).

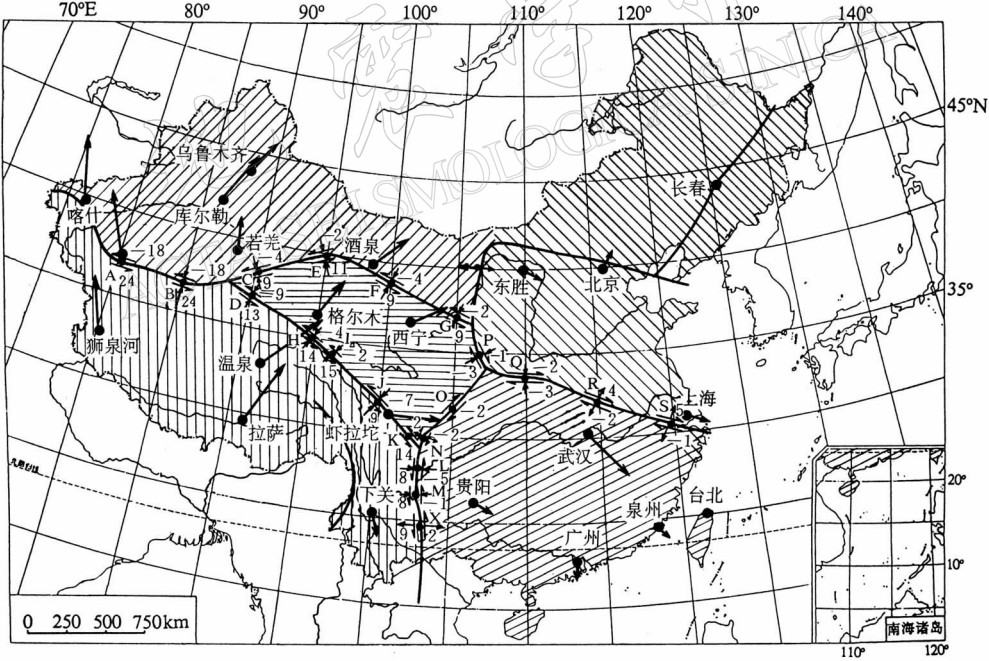


图 2 各观测点相对于长春站的位移观测值及边界带上的活动方式和活动量
I. 黑龙江亚板块和华北亚板块; II. 华南亚板块; III. 新疆亚板块; IV. 青藏亚板块 1; V. 青藏亚板块 2

3 中国大陆现今地壳运动模型及参数的确定

3.1 构造变形模型的确定

根据图 2 给出的各观测站之间的相对位移和这些观测点在主要活动构造块体(国家地

震局《中国岩石圈动力学图集》编委会, 1989; 《中国岩石圈动力学图集》编委会, 1991) 上的分布, 可以看出, 尽管中国大陆被分成 8 个主要活动块体, 但考虑到确定一个构造块体的运动和变形至少需要 3 个观测点, 以及某些活动块体在监测范围之外等因素, 因而只能在监测区内分出 5 个主要构造块体. 这些构造块体在图 2 中以罗马数字表示. 需要指出的是, 黄立人等(1997)曾将虾拉沱站判定为落在菱形块体内(在图 2 中, 属青藏亚板块 1). 这次经过有关人员实地调查, 此点位于鲜水河断裂带上北东一侧, 它应该落在青藏亚板块 2 内, 而且根据 1994 和 1996 年两次全面复测结果的分析来看, 将此点判定为落在青藏亚板块 2 内是恰当的. 此外, 由于对武汉站的归心改正存有疑问, 故后面的分析中未采用该站的资料.

根据上述情况, 本研究中我们采用了构造块体相对运动与各构造块体内部变形叠加的变形模型.

3.2 块体相对运动参数的确定

块体的相对运动是用欧拉向量表示的. 按照黄立人和马青(1998)所介绍的方法, 求得各块体间的转动向量和以块体 II (华南亚板块) 为参考块体的相对转动向量(表 3, 4).

表 3 各构造块体的欧拉转动向量(相对于华南亚板块)*

构造块体	转动向量 $\omega/10^{-3}\text{s}$	转动极坐标(地心纬度坐标系)	
		经度/(°)	纬度/(°)
I 黑龙江板块+华北亚板块	0.66 ± 2.03	$5.2\text{E}\pm0.57$	$44.2\text{N}\pm0.28$
II 华南亚板块	0.00	0.00	0.00
III 新疆亚板块	2.87 ± 2.11	$159.6\text{E}\pm0.05$	$40.5\text{S}\pm0.42$
IV 青藏亚板块 1	7.96 ± 2.32	$171.5\text{E}\pm0.02$	$26.0\text{S}\pm1.42$
V 青藏亚板块 2	4.27 ± 3.00	$163.5\text{E}\pm0.03$	$30.7\text{S}\pm0.90$

* 表中数据根据 1994~1996 年的总变化量计算得到.

表 4 构造块体内各观测点上的“水平”应变*

观测点	所属块体	东西向线应变 ($\times 10^{-8}$)	南北向线应变 ($\times 10^{-8}$)	剪切应变 ($\times 10^{-8}$)
长春	I	-0.41 ± 0.85	0.07 ± 0.91	1.22 ± 1.25
北京	I	-0.03 ± 1.88	0.02 ± 0.99	1.54 ± 1.81
东胜	I	-0.22 ± 1.70	-0.02 ± 1.28	1.62 ± 1.85
上海	I	0.89 ± 1.98	-0.01 ± 2.55	0.29 ± 2.00
泉州	II	0.26	0.14	0.41
贵阳	II	-0.09	-0.01	0.75
广州	II	0.11	0.16	0.53
乌鲁木齐	III	0.20 ± 1.73	0.20 ± 1.56	-1.22 ± 1.81
库尔勒	III	0.20 ± 3.06	0.05 ± 3.35	-1.42 ± 3.79
酒泉	III	0.01 ± 1.35	0.37 ± 2.42	-1.76 ± 2.91
若羌	III	-0.06 ± 3.04	0.15 ± 3.04	-1.59 ± 3.44
喀什	III	-0.11 ± 2.70	-0.16 ± 4.19	-1.33 ± 4.07
和田	III	0.27 ± 2.68	-0.14 ± 2.62	-1.38 ± 3.46
温泉	IV	-4.36 ± 6.25	0.77 ± 4.39	-2.21 ± 6.91
拉萨	IV	-2.72 ± 6.78	1.52 ± 4.50	-3.92 ± 6.46
狮泉河	IV	-1.35 ± 13.66	1.05 ± 35.79	-5.99 ± 28.37
下关	IV	-4.26 ± 2.99	2.02 ± 3.76	-5.18 ± 4.81
西宁**	V	0.17	0.49	-1.95
格尔木**	V	-1.20	0.31	-2.41
虾拉沱**	V	-2.09	0.18	-1.76

* 表中的应变变量根据 1994~1996 年的总变化量计算得到;

** 表示无误差计算(因为同一块体内仅 3 个观测点, 故无法估算应变参数的精度)

3.3 块体内应变参数的确定

为了确定各构造块体内部的变形，我们用位于同一构造块体内各观测点间的位移变化，计算了各观测点上的应变参数，并将它们归算为球面上站坐标系下的应变(黄立人，王敏，1999)。在求每一个观测点上的应变时，一个构造块体被看作是连续均匀弹性体。计算中，位移观测值是以该点到计算点的距离的倒数加权的。表 4 给出了各观测点在南北和东西方向的线应变以及反映这两个方向夹角(90°)变化的剪切应变。

3.4 边界带的活动方式和活动量

我们还根据求得构造块体的转动向量，计算了位于两个构造块体交界处的边界断裂上的点的相对运动(或“潜在”的相对运动)，并把它们投影在断层走向和垂直走向上，得到这些边界断裂的活动方式。这些计算点所处的位置绘于图 2 中，以 A, B, …等字母表示，并在相应的地方用箭头表示断层活动方式，旁边注记的数字以 mm/a 为单位，表示了这种活动量的大小。表 5 则给出了数值结果。

4 中国大陆现今地壳运动的主要特征

根据上述结果，可以看出中国大陆现今地壳运动具有以下特点：

(1) 中国大陆的现今地壳运动以构造块体间的相对运动为主要特点。以南北带为界，西部构造块体的运动比东部强烈。其中，又以青藏亚板块 1(块体)的运动最为强烈。

(2) 中国大陆的主要构造块体具有较好的刚性。从表 4 给出的各构造块体内部的应变参数计算结果来看，块体内部的应变在统计上都不显著。这表明，在现有的测量精度下，从大尺度来说，各构造块体可以近似地看作是一个刚体。这从另一方面也对我们采用空间对地观测技术测定大尺度地壳变形提出了更高的要求。以目前的精度水平看，对于监测大尺度应变能力不能估计过高。

(3) 从边界活动来看，中国大陆西部的主要构造块体的边界断裂带活动，明显地以左旋压性为主要特征；而东部边界带则由于活动性较弱，以及受观测精度的影响，边界带活动方式的规律性不强。

(4) 边界带的活动强度也清楚地表明，中国大陆西部的地壳运动明显强于东部。活动

表 5 构造块体边界带的活动量与活动性质

计算点	水平错动量 * /mm · a ⁻¹	拉张或挤压量 ** /mm · a ⁻¹	反映断层 活动性质
A	+24	-18	左旋、挤压
B	+24	-18	左旋、挤压
C	+9	-4	左旋、挤压
D	+13	-9	左旋、挤压
E	+11	-2	左旋、微挤压
F	+9	-4	左旋、挤压
G	+9	-2	左旋、微挤压
H	+14	-4	左旋、挤压
I	+15	-2	左旋、微挤压
J	+9	-7	左旋、挤压
K	+14	0	左旋
L	+8	-5	左旋、挤压
M	+8	-1	左旋、微挤压
N	-2	2	张性、微右旋
O	-2	0	微右旋
P	-3	-1	右旋、微挤压
Q	-3	-2	右旋、微挤压
R	-2	4	右旋、拉张
S	-1	5	右旋、拉张
T	0	1	微拉张
X	+9	2	左旋、微拉张

* +号表示左旋，-号表示右旋；

** +号表示拉张，-号表示挤压

最为强烈的边界带是新疆亚板块与青藏亚板块 1 之间的西昆仑断裂及阿尔金断裂西段, 相对左旋错动速率达 20 mm/a; 其次是青藏亚板块 1 与 2 之间的昆仑山断裂和鲜水河断裂, 左旋错动速率达 15 mm/a; 再其次是青藏亚板块 1 与华南亚板块间的安宁河、则木河、小江断裂和海原断裂, 活动速率约为 10 mm/a; 而青藏亚板块 2 与华南亚板块间的龙门山断裂及华南亚板块与华北亚板块之间的边界活动较弱, 不足 10 mm/a; 华北亚板块与新疆亚板块之间的鄂尔多斯西缘断裂活动则相当微弱, 不足 5 mm/a. 上述边界带的活动态势与最近几年中国大陆 7 级以上强震活动分布有着较好的对应关系. 这表明了对于强震活动的地点预测研究, 空间对地观测能够提供有价值的结果.

5 结论

本文仅根据攀登计划的两次 GPS 测量结果, 分析了中国大陆现今地壳运动的运动学特征. 从大尺度来说, 中国大陆的水平运动以主要构造块体间的相对运动为主, 而且西部明显强于东部. 块体内部的应变不显著. 块体间的相对运动在边界带上产生局部变形或应变积累, 这对于未来强震的地点预测具有重要意义.

参 考 文 献

- 黄立人, 马青. 1998. 构造块体在球面上的运动参数的确定[J]. 地壳形变与地震, 18(3): 19~25
- 黄立人, 马青, 朱文耀, 等. 1997. 高精度 GPS 测量得到的中国西南地区构造块体运动模型的初步结果[J]. 地震学报, 19(1): 22~28
- 黄立人, 王敏. 1999. 构造块体的相对运动和应变[J]. 地壳形变与地震, 19(2): 17~26
- 国家地震局《中国岩石圈动力学图集》编委会编. 1989. 中国岩石圈动力学地图集[J]. 北京: 中国地图出版社, 20~21
- 《中国岩石圈动力学图集》编委会编. 1991. 中国岩石圈动力学概论[M]. 北京: 地震出版社, 144~153
- 周硕愚, 张跃刚. 1998. 依据 GPS 数据建立中国大陆板内块体运动模型的初步研究[J]. 地震学报, 20(4): 347~355

RECENT CRUSTAL HORIZONTAL MOVEMENT IN CHINESE MAINLAND

Huang Liren Wang Min

(First Land Deformation Monitoring Center, China Seismological Bureau, Tianjin 300180, China)

Abstract According to the results of careful re-processing of data obtained from two GPS survey campaigns of crustal movement monitoring network in Chinese mainland carried out in 1994 and 1996, the crustal horizontal movement characteristics in Chinese mainland are studied in the paper. In the analysis, a relatively consummate deformation model in which the deformation is described by the relative movement between the tectonic blocks with interior strain and the corresponding analysis method are used. The magnitude of movement along the boundary zones between the tectonic blocks is calculated. And the characters and intensities of movement between the main boundary zones are compared.

Key words GPS survey crustal horizontal movement tectonic block Chinese mainland