

文章编号: 0253-3782(2004)03-0256-05

# GPS 初步揭示的渭河盆地及边邻地区地壳水平运动特征<sup>\*</sup>

戴王强<sup>1, 2)</sup> 任 隽<sup>2)</sup> 赵小茂<sup>2)</sup>  
邵辉成<sup>2)</sup> 朱桂芝<sup>3)</sup>

1) 中国兰州 730000 中国地震局兰州地震研究所

2) 中国西安 710068 陕西省地震局

3) 中国西安 710054 中国地震局第二地形变监测中心

**摘要** 利用中国地壳运动观测网络工程 1999~2002 年渭河盆地及邻近地区 GPS 观测资料, 以及陕西省地震局 2001~2002 年的 GPS 观测资料, 研究了渭河盆地及周邻地区地壳运动速度场。结果表明, 渭河盆地及邻区的运动速率有明显的北东向条带状变化特征, 鄂尔多斯块体南缘呈整体不连续性逆时针旋转运动, 相对鄂尔多斯块体内部的榆林测点, 平均速率约为 5.7 mm/a; 渭河盆地中部的彬县—西安—蓝田一线, 两侧存在一个显著的左旋剪切带, 其北部区域与铜川—泾阳—临潼—渭南小震频发区有较好的对应关系。

**关键词** 鄂尔多斯块体南缘 渭河盆地 地壳运动 GPS 观测

**中图分类号:** P313.4    **文献标识码:** A

## 引言

GPS 观测结果提供高精度、大范围和准确实时的地壳运动定量数据, 使得在短时间内获取中国大陆现代地壳运动的速度场成为可能, 并能够用于检验已有的大陆构造变形模式。国内外学者已在利用 GPS 观测研究中国大陆地壳运动方面做了许多研究工作(江在森等, 2001; 王琪等, 2001; 张培震等, 2002), 取得了很多有意义的研究成果, 并发现渭河盆地向东南移动的迹象。但总的来看, 由于鄂尔多斯块体南缘, 尤其是渭河盆地 GPS 站点很稀, 上述结果还无法刻划出渭河盆地的地壳运动细节。

作为 GPS 观测技术的应用, 陕西省地震局于 2001 年建设完成了渭河盆地及其周边地区的 GPS 观测网, 并于 2001 年 9 月和 2002 年 9 月委托中国地震局第二地形变监测中心进行了两期观测。本研究利用该观测资料, 分析了渭河盆地及邻区的地壳运动和区域应变应力场特征, 以期为鄂尔多斯地壳动力学及地震活动性与预测研究等提供更有价值的证据。大部分利用 GPS 结果分析地应变场特征的研究多为大规模的形变研究, 由于测点分布不均匀以及单位面积内测点密度小、基线长等客观原因的影响, 不可避免地给研究结果带来偏差。本文重点研究渭河盆地及周边地区的地壳运动特征。该区单位面积测点密度相对较大, 基线短, 得到的地壳运动特征更加准确。这为细致地研究该区地球动力和地震危险性

\* 地震科学基金(104016)和陕西省地震科技基金项目(200208)共同资助。  
2003-01-20 收到初稿, 2003-07-21 收到修改稿, 2003-09-16 决定采用。

特征提供了较为理想的依据,也为以后大尺度区域的研究提供了更有价值的资料.

## 1 资料与数据处理

### 1.1 资料情况与 GPS 数据处理

本研究选用 1999 年资料为该区中国地壳运动网络的 17 个 GPS 测点的数据; 2001 和 2002 年资料点共 37 个, 其中的 13 个测点为陕西省地震局在网络工程点的基础上布设的 GPS 测点(表 1 中以 S 打头); 各站点观测时间长度不少于 72 小时.

表 1 渭河盆地及邻近地区 GPS 网站点 ITRF2000 速率表

站点	$\lambda_E$ /(°)	$\varphi_N$ /(°)	$V_E$ /mm · a <sup>-1</sup>	$V_N$ /mm · a <sup>-1</sup>	$V_U$ /mm · a <sup>-1</sup>	$\sigma V_E$ /mm · a <sup>-1</sup>	$\sigma V_N$ /mm · a <sup>-1</sup>	$\sigma V_U$ /mm · a <sup>-1</sup>
D036	110.177	35.270	36.95	-5.24	-20.21	2.42	1.17	5.20
D058	109.822	38.285	26.70	-10.95	-6.42	2.65	1.40	5.90
D061	109.431	36.653	42.19	-8.18	-18.23	2.36	1.23	5.32
D064	109.824	35.588	42.47	-9.51	-10.92	2.39	1.19	5.25
D066	108.999	34.974	29.16	-12.83	-29.65	2.27	1.03	4.66
D068	109.626	34.989	29.97	-16.83	-27.45	2.29	1.15	5.23
D069	109.951	34.810	28.86	-11.80	-24.53	2.29	1.17	5.39
D070	109.706	34.460	26.94	-10.61	-20.03	2.42	1.18	5.27
D071	108.914	34.552	34.37	-12.12	-23.78	1.53	0.82	3.53
D072	108.233	34.496	32.86	-10.59	-27.50	2.40	1.20	5.43
D073	107.580	34.433	35.18	-11.69	-39.10	2.19	1.20	5.35
D074	107.379	34.472	38.46	-13.71	-27.94	1.91	1.08	4.69
D075	109.968	34.346	28.84	-13.48	-9.98	2.56	1.19	5.45
D077	108.194	34.302	35.58	-10.89	-28.63	2.31	1.20	5.37
D079	108.908	34.050	37.01	-13.88	-27.67	2.14	1.08	4.83
D080	108.157	34.110	33.29	-10.84	-23.19	2.06	1.08	4.76
D081	107.639	34.069	34.57	-14.24	-27.59	2.24	1.10	5.02
D082	107.294	34.088	33.94	-10.70	-26.01	2.14	1.09	4.81
G032	106.821	34.894	31.20	-7.36	-11.74	2.41	1.24	5.52
G038	107.144	34.427	35.21	-9.79	-23.76	2.11	1.10	4.94
G110	106.678	34.946	30.51	-10.92	-17.66	2.56	1.26	5.72
H001	106.509	33.915	34.74	-15.74	-21.40	2.68	1.26	5.72
H004	106.924	33.617	37.18	-11.34	-36.57	2.63	1.26	5.78
JB08	108.086	35.058	35.12	-15.44	-20.54	1.62	0.79	3.32
S001	106.562	34.730	33.75	-8.93	-16.83	2.70	1.27	5.71
S002	107.481	34.782	36.13	-11.92	-13.77	2.50	1.20	5.36
S003	107.892	34.423	36.93	-12.49	-27.36	2.56	1.22	5.45
S004	108.608	34.406	42.37	-16.74	-28.31	2.10	1.19	5.49
S005	108.775	33.849	31.81	-11.06	-20.76	2.27	1.08	4.81
S006	108.988	34.390	38.26	-16.70	-26.20	2.21	1.16	5.19
S007	109.284	34.125	45.43	-19.96	-23.89	2.39	1.17	5.33
S008	109.356	34.452	34.20	-13.40	-19.83	2.30	1.17	5.25
S009	109.176	34.784	30.90	-14.61	-24.94	2.24	1.14	5.17
S010	109.527	34.585	36.43	-9.90	-12.60	2.61	1.26	5.71
S011	110.080	34.578	28.21	-13.09	-16.82	1.87	0.88	3.81
S012	110.122	34.920	34.33	-12.25	-19.70	1.87	0.90	3.91
S013	110.520	35.556	23.98	-10.21	-10.95	2.60	1.18	5.29

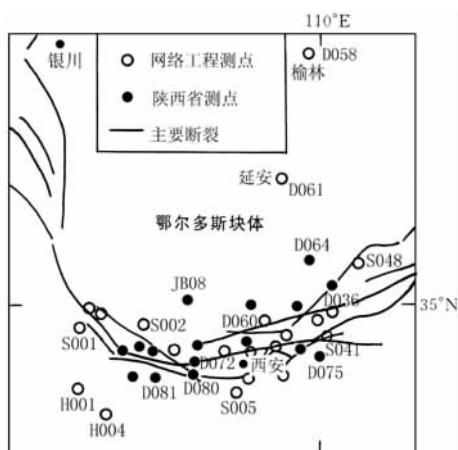


图 1 渭河盆地及邻区 GPS 站点分布图

果见表 1.

根据 GAMIT 基线解结果文件所做的基线重复率, 300 km 以内边长的基线重复率大都小于 3 mm; 除几十千米长的短边外, 其相对基线重复率也均具有  $10^{-8} \sim 10^{-9}$  的量级, 故观测精度是可靠的.

## 1.2 参考点选取

为地质分析方便起见, 我们将所有区域站运动速率都统一换算为相对榆林区域站(D058)和彬县基本站(JB08)两点的速率. 之所以选取榆林站作为区域相对运动参考点, 主要由于鄂尔多斯块体是我国较稳定的块体之一, 其内部变形和地震活动均较弱. 从实际得出的 GPS 速度结果也可看出榆林参考点选取是合理的. 它可以清楚地反映渭河盆地的整体运动特征; 而选取彬县基本站作为相对运动参考点, 则可以更明显地看出渭河盆地内部点的相对运动情况.

## 2 GPS 速度场特征分析

图 2~4 分别给出了渭河盆地及邻区相对于榆林测点(D058)和彬县测点(JB08)的 GPS 水平运动矢量图. 可以看出, 渭河盆地及邻区现今地壳水平运动具有以下特征:

1) 图 2 给出 17 个站点, 是以榆林点(D058)为参考点做出的 1999 年 7 月 ~ 2002 年 9 月的运动速率, 可看出渭河盆地中西部 GPS 站点以 SEE 和 SE 向水平运动为主, 东部站点以 SSE 向运动为主, 东侧则向 E 和 NE 向运动, 其中延安、黄龙、韩城一带站点则以向 E 运动为主. 渭河盆地的水平运动呈 NE 向条带状变化特征.

2) 图 3 给出 37 个站点, 是以榆林点(D058)为参考点做出的 2001 年 9 月 ~ 2002 年 9 月的运动速率. 由于测点增多, 可更明显地看出相对于榆林点(D058), 渭河盆地西部的 GPS 点以 SEE 运动为主, 水平速率约为 7 mm/a; 渭河盆地中部测点以 SE 运动为主, 速率明显增大, 尤其是彬县—西安—蓝田一线两侧, 个别点水平速率达到 10 mm/a 以上; 渭河盆地东部 GPS 点运动以 SSE 为主, 个别点甚至为近南北向运动, 运动速率明显变小, 水平速率约为 4 mm/a; 靠近临汾盆地的 GPS 点以向 E 和 NE 运动为主, 水平速率又增大约 7 mm/a. 鄂尔多斯块体南缘及渭河盆地有整体不连续性逆时针旋转运动的特征, 渭河盆地

GPS 数据处理采用 GAMIT 单日松弛解处理方法. 其中数据筛选和周跳剔除利用的是 GAMIT 软件中的 AUTCLN 模块; 星历采用的是 IGS sp3 精密星历, 卫星轨道约束为  $10^{-8}$ ; IGS 站选用的是中国大陆及周边地区 WUHN 等 13 个 IGS 跟踪站的资料 (King, 2000). 在 GAMIT 单日解数据处理得到 2001 年 9 月和 2002 年 9 月两期的  $H$  结果文件之后, 利用 GLOBK 软件统一整体平差计算各站点水平运动速率. 为保障区域 GPS 网相对变形精度, 在 GLOBK 软件处理平差计算时, 对 IGS 站均给予  $0.25 \sim 0.5 \text{ mm/a}$  的站点速率分量松弛约束, 由此得到 ITRF2000 基准下的站点速率. 其数据结

的运动矢量呈较明显的 NE 向条带状变化特征。这与根据断层活动和古地磁资料做出的结果基本相符(Xiang *et al*, 1993; Xu *et al*, 1994)。相对于鄂尔多斯块体内部的榆林测点(D058), 1999~2002 年的平均速率约为 5.7 mm/a。

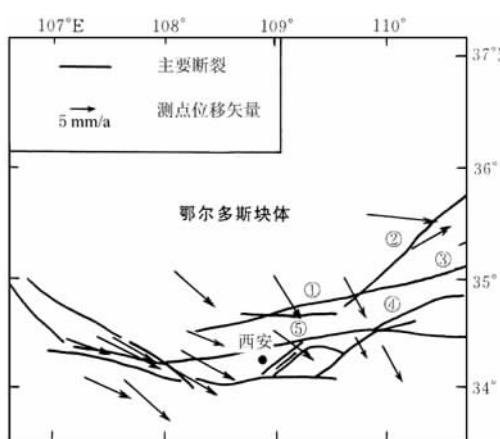


图 2 渭河盆地及邻区 GPS 站点运动矢量图  
(相对榆林点 D058, 1999 年 7 月~2002 年 9 月)

- ① 口镇-关山;
- ② 韩城;
- ③ 临猗;
- ④ 华山山前;
- ⑤ 渭河

值得注意的是, S013 站点向西运动刚好与该区其它测点(D036、S012 和 D064)的主要方向相反, 似乎有应力集中区迹象。由于仅有这一点资料, 再无其它证据, 所以尚需进一步的观测和证实。

3) 图 4 是以彬县点(JB08)为参考点做出的 2001 年 9 月~2002 年 9 月的运动速率。由于彬县测点位于渭河盆地内部, 所以从该图可以更容易看出渭河盆地内部各测点的速率变化情况。渭河盆地中部的彬县—西安—蓝田一线泾灞断裂附近站点 SE 向运动速度明显比两侧大, 并且在其两侧存在一个左旋剪切带(东侧)和右旋剪切带。值得注意的是, 其东侧形成的 NW 向左旋剪切带属剪切应力集中区, 而铜川—泾阳—临潼—渭南这一 NW 向小震条带恰好发育于该左旋剪切带的北部。更为重要的是陕西境内在经历了较长时间的地震相对平静期后, 发生了近年来(1998 年 1 月 5 日)震级最大的泾阳 4.8 级地震(图 4 中空心圆所示), 就在该剪切带附近。这说明该区的强剪切变形集中区可能与 4.8 级地震后效有关, 与地震发生有着较好的对应关系。泾灞断裂有可能是控制该渭河盆地中部地震活动的主要因素, 应改变人们长期以来对该断裂重视不足的思想。但在该区西侧同样存在一个剪应力较高的区, 地震发

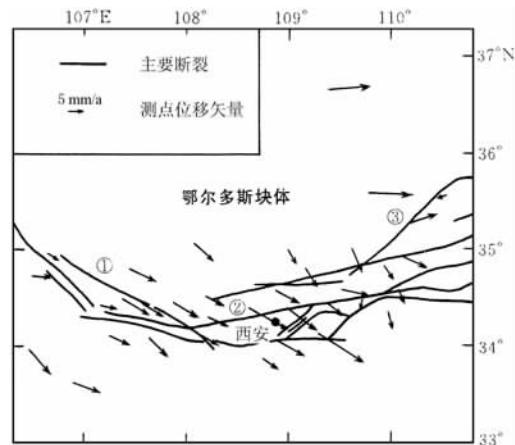


图 3 渭河盆地及邻区 GPS 站点运动矢量图  
(相对榆树点 D058, 2001 年 9 月~2002 年 9 月)

- ① 岐山-马召;
- ② 渭河;
- ③ 韩城

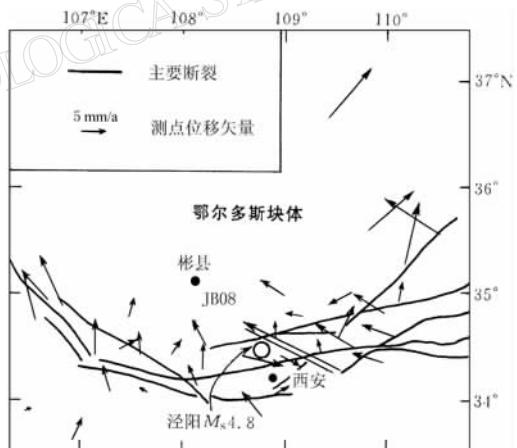


图 4 渭河盆地及邻区 GPS 站点运动矢量图  
(相对彬县点 JB08, 2001 年 9 月~2002 年 9 月)

生却相对较少。关于其机制尚需进一步研究。

### 3 结论

渭河盆地中西部以 SE 向水平运动为主, 东部站点以 SSE 向运动为主, 测区东侧则以向 E 运动为主, 鄂尔多斯块体南缘及渭河盆地似有整体不连续逆时针旋转运动的特征。相对于鄂尔多斯块体内部的榆林点, 该区地壳运动的平均速率约为  $5.7 \text{ mm/a}$ 。渭河盆地中部的彬县—西安—蓝田一线运动速率较大, 存在一个显著的左旋剪切带。该左旋剪切带与泾阳—临潼—渭南小震密集带有较好的对应关系。由于该区所测期次较少, 尚有待于进一步的观测和资料积累。

本研究得到了陕西省地震局牛志仁研究员和中国地震局第二监测中心王庆良研究员的指导, 在此深表谢意。

### 参 考 文 献

- 江在森, 张希, 崔笃信, 等. 2001. 青藏块体东北缘近期水平运动与变形[J]. 地球物理学报, 44(5): 636~644  
 王琪, 张培震, 牛之俊, 等. 2001. 中国大陆现今地壳运动和构造变形[J]. 中国科学, D辑, 31(7): 529~535  
 张培震, 王琪, 马宗晋, 等. 2002. 青藏高原现今构造变形特征与速度场[J]. 地学前缘, 9(2): 442~449  
 King B. 2000. GAMIT Releases 9.92~9.95 and GLOBK Releases 5.09~5.10[M]. Massachusetts Institute of Technology  
 Xiang Hongfa, Guo Shunmin, Chen Zhitai, et al. 1993. Rotational movement of the Qilianblock and the regional time-space distribution of earthquakes[A]. In: Xiang Hongfa. Comparison Studying of Active Faults on China-France Cooperation[C]. Beijing: Seismological Press, 84~93  
 Xu Xiwei, Cheng Guoliang, Ma Xingyuan, et al. 1994. Rotation model and dynamics of blocks in north China and its adjacent areas[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 19(2): 129~138

## CHARACTERISTICS OF HORIZONTAL CRUSTAL MOVEMENT IN WEIHE BASIN AND ADJACENT ZONES BY GPS OBSERVATION

Dai Wangqiang<sup>1,2)</sup> Ren Jun<sup>2)</sup> Zhao Xiaomao<sup>2)</sup> Shao Xuicheng<sup>2)</sup> Zhu Guizhi<sup>3)</sup>

1) Seismological Institute of Lanzhou, Lanzhou 730000, China

2) Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China

3) Second Center For Crustal Deformation Monitoring, China Earthquake Administration, Xi'an 710054, China

**Abstract:** Based on the GPS data provided by CMONOC during 1999~2002 and observed by Seismological Bureau of Shaanxi Province during 2001~2002, we have obtained the crustal movement velocity field in Weihe basin and adjacent regions. The results show that the motion velocity in Weihe basin and adjacent zones is characterized by distinct NE-directional stripped variation. The south border of Ordos block seems to show an incontinuous anticlockwise rotation on the whole with an average velocity of about  $5.7 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  relative to Yulin site on the Ordos block. There is a left-lateral shear belt on both sides of Binxian—Xi'an—Lantian zone in the central Weihe basin, and its northern area has a better corresponding relationship with the dense zone of small earthquakes in Tongchuan—Jingyang—Lintong—Weinan.

**Key words:** south border of Ordos block; Weihe basin; crustal movement; GPS measurement