

# GPS Observation of Main Active Faults in Yinchuan Basin

Jing Wang, Dingjun Wei, Nan Ma, Mengya Li

Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia  
Email: whuwangjing@163.com

Received: Aug. 30<sup>th</sup>, 2019; accepted: Sep. 13<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 20<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Based on the existing GPS observation data and some mobile GPS stations and observations in some key tectonic locations, the slip rates of the main active faults in Yinchuan Basin are inverted by defnode program, and the main active faults in Yinchuan Basin are analyzed by GPS cross-fault velocity profile and strain analysis. The results show that the trans-fault velocity profile and trans-fault strain rate show that the vertical velocity of the four faults is less than that of the parallel faults; in the section area, the four faults are dextral strike-slip movement, of which the dextral strike-slip rate of the Yellow River fault is the largest; the eastern foot of Helan fault and Luhua fault are the largest. While the Yinchuan Pingluo Hidden Fault and the Yellow River Fault are extruded, the velocity of the two sides of the Yellow River Fault perpendicular to the fault is the same, but the compression strain value is larger, and there may be blockade. The inversion results of fault slip velocity show that the strike-slip velocity of the four faults is higher than that of dip-slip velocity, but the difference is not significant.

## Keywords

GPS, Active Faults, Yinchuan Basin

---

# 银川盆地主要活动断裂的GPS观测研究

王 静, 卫定军, 马 楠, 李蒙亚

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川  
Email: whuwangjing@163.com

收稿日期: 2019年8月30日; 录用日期: 2019年9月13日; 发布日期: 2019年9月20日

---

## 摘 要

本文以已有的GPS观测资料为主, 并在一些关键的构造部位进行适量的流动GPS建站和观测, 在此基础上, 利用defnode程序反演了银川盆地各主要活动断裂的滑动速率, 并结合GPS跨断层速度剖面与应变分

析银川盆地主要活动断裂的地壳形变特征。结果表明：四条断层垂直于断层的运动速率均小于平行于断层的运动速率；在剖面区域，四条断层均为右旋走滑运动，其中，黄河断裂的右旋走滑速率最大；贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂拉张，而银川平罗隐伏断裂、黄河断裂挤压，其中黄河断裂两侧垂直于断层的速率相当，但挤压应变变量值较大，可能存在闭锁。断层滑动速率反演结果表明：四条断层的走滑运动速率均大于倾滑运动速率，但相差不大。

## 关键词

GPS, 活动断裂, 银川盆地

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

银川盆地地处块体交汇部位，构造活动强烈，历史地震频发，区内展布着贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川 - 平罗隐伏断裂、黄河断裂四条平行断裂。

地震的孕育、发生及地震灾害的影响程度和断层活动密切相关，研究主要活动断裂的地壳运动与形变特征，对进行中长期强震危险性预测具有重要意义。在过去的十余年间，随着中国地壳运动观测网络和中国大陆构造环境监测网络等项目的实施，基于 GPS 资料，学者们已在中国大陆一些活动断裂开展了研究[1] [2] [3] [4] [5]。如渭河盆地[1]、青藏高原东北缘的海原断裂和香山 - 天景山断裂[2] [3]、喜马拉雅东构造结的雅鲁藏布江断裂、嘉黎断裂等[4]、川滇的鲜水河、龙门山、小江断裂带、红河断裂[5]。但有关银川盆地要断裂的地壳形变和运动特征均由地质方法获得。学者已对四条断裂的几何展布、活动年代、活动分段、活动方式、古地震等有了比较详细的了解，而且对这些断裂的滑动速率也有了一定认识[6]-[16]。本文以已有的 GPS 观测资料为主，并在一些关键的构造部位进行适量的流动 GPS 建站和观测，在此基础上，defnode 程序反演确定银川盆地各主要活动断裂的滑动速率，并结合 GPS 跨断层速度剖面与应变分析银川盆地主要活动断裂的地壳形变特征。

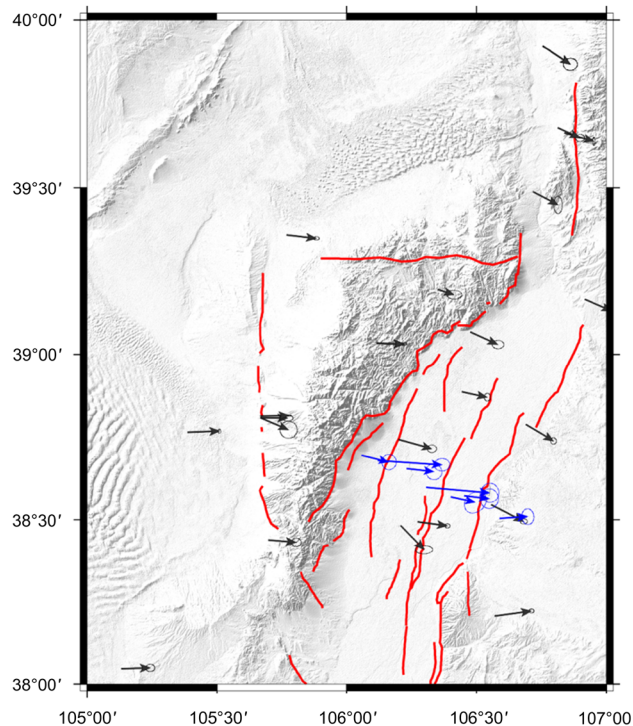
## 2. GPS 站点新建与观测

### 2.1. 站点新建

本项目研究区内，“中国地壳运动观测网络”、“中国大陆构造环境观测网络”先后建立了 2 个 GPS 连续观测站和 15 个流动观测站，其中流动观测站每两年复测一次。为了能够更精细地研究银川盆地主要断裂带的现今地壳形变情况，反演较为可靠的断层滑动速率。本课题在银川盆地布设了 7 个 GPS 流动观测点，构成一个平均点距 21 千米的密集型 GPS 观测网(图 1)。站点堪选主要考虑了两方面因素：1) 站点跨过银川盆地主要活动断裂—贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川 - 平罗隐伏断裂和黄河断裂，在每两条断裂之间布设了两个站点，在黄河断裂以东布设了一个站点，使得新布设的站点最大限度的与已有站点的互相补充，使其在空间分布和站点密度上能够较好的控制银川盆地的主要活动断裂。2) 站点满足《中国地壳运动观测技术规程》、《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T\_18314-2009)区域站的选点要求 7 个站点的布设亦遵循《中国地壳运动观测技术规程》、《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T\_18314-2009)的要求，采用钢筋混凝土灌制，标石地下部分挖深至冻土层以下，规格为  $1.2 \times 1.2 \times 1.2 \text{ m}^3$ ；地上部分高度在 0.5~1 m 之间，长、宽与地下部分相同，规格为  $1.2 \times 1.2 \text{ m}^2$ ，所有标石埋设强制对中装置。



将新建站点速度场转换到欧亚框架下，并与由中国地震局地震研究所获取的 1998~2018 年欧亚框架下速度场合并(图 3)。如图 3 所示 7 个新建站点的速度整体上与研究区其他站点的速度方向一致，但速率值较大，其中 NZ04、NZ06 两个站点与周围站点速率值相差较大，在下一步分析中予以剔除。



**Figure 3.** Velocity field map of Yinchuan Basin (in which the black arrow is the velocity field from 1998 to 2018 obtained by seismological research Institute of China seismological bureau)

**图 3.** 银川盆地速度场图(其中黑色箭头为由中国地震局地震研究所获取的 1998~2018 年速度场)

### 3. 银川盆地主要活动断裂地壳变形分析

#### 3.1. 断裂滑动速率分析

本课题采用 `defnode` 程序进行滑动速率反演。以贺兰山西麓断裂、贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川-平罗隐伏断裂、黄河断裂为界将银川盆地划分四个块体。根据我局承担的《银川市活动断裂探测》项目、《鄂尔多斯块体西缘断裂带基本活动特征和孕震分析》的最新研究成果，进行断层结构设置。断层结果设置如下：四条断裂各设置 4 条等深线，贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川平罗隐伏断裂、黄河断裂每条等深线上分别有 8 个、6 个、4 个、4 个节点，断层倾角分别  $68^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $66^\circ$ 、 $67^\circ$ 。在实际反演中，设置断层闭锁程度随深度单调递减，并通过调整 GPS 速度场误差权重  $f$  因子获得最佳  $X_n^2$ ，最终  $X_n^2$  为 1.126。

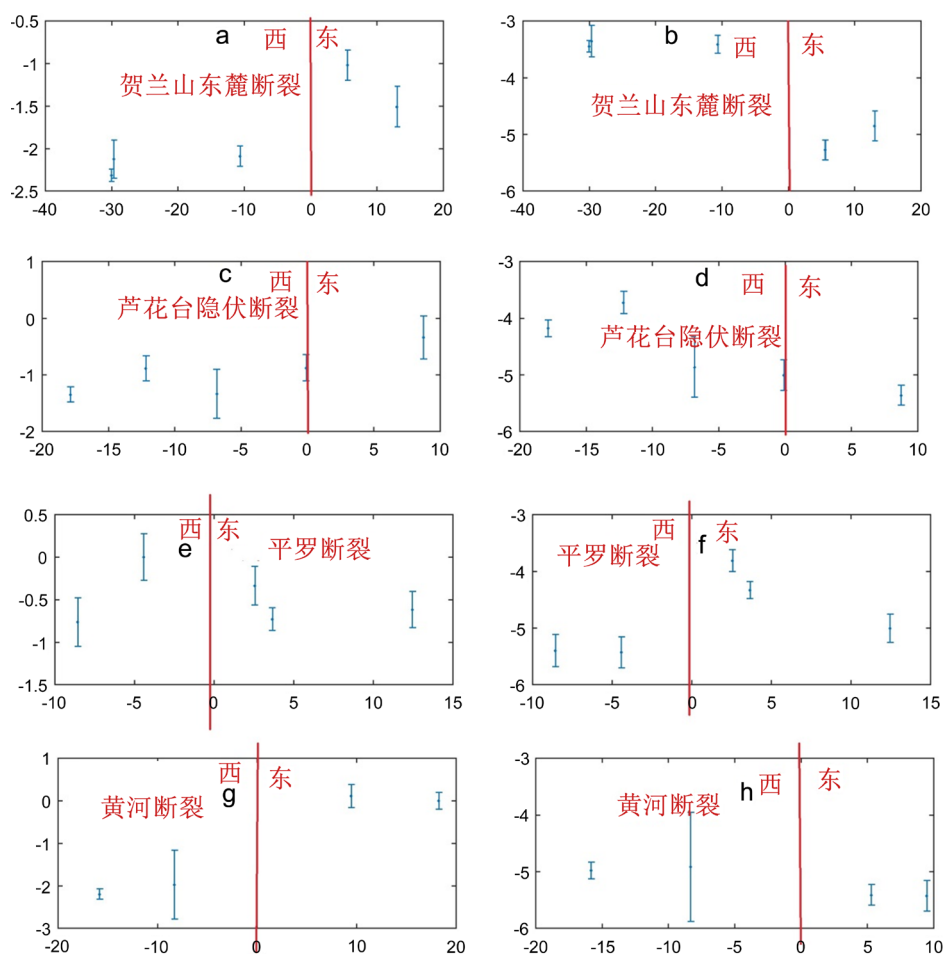
表 1 给出了四条断裂的走滑及倾滑速率。从表中可以看出，四条断层中，走滑速率及倾滑速率最大为贺兰山东麓断裂、最小为黄河断裂，整体均较小，揭示出四条断层的活动均较弱。地质研究结果表明，贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川平罗隐伏断裂、黄河断裂的滑动速率分别为  $2.1 \text{ mm/a}$ 、 $0.18 \text{ mm/a}$ 、 $0.14 \text{ mm/a}$ 、 $0.04 \text{ mm/a}$  (国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系项目组, 1988; 雷启云等, 2011、2008、2014)。除贺兰山东麓断裂外，其他三条断裂地质结果与本课题 GPS 反演结果量级相当，贺兰山东麓断裂地质结果较本课题反演结果大。四条断裂的走滑速率均大于倾滑速率，但相差不大。

**Table 1.** Slip rate of main active faults in Yinchuan Basin  
**表 1.** 银川盆地主要活动断裂滑动速率

断层	走滑速率	倾滑速率
贺兰山东麓断裂	0.6915	-0.28025
芦花台隐伏断裂	0.4603	0.3135
银川平罗隐伏断裂	0.4583	0.32065
黄河断裂	0.076	0.021

### 3.2. 跨断层速度剖面与应变分析

为了分析进一步贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川平罗隐伏断裂和黄河断裂的断层运动及变形情况，本课题进一步计算了断层两侧平行于断层的速率和垂直与断层的速率(图 4)，以及跨断层应变单元的东向西、北东向、南北向和面应变率(表 2)。



**Figure 4.** Cross-fault profiles (a, c, e and g are the parallel and fault velocities of the eastern foot of Helan Mountain, Luhuatai Hidden Fault, Yinchuan Pingluo Fault, Yellow River Fault, b, d, f and h are the vertical rates of the eastern foot of Helan Mountain, Luhuatai Hidden Fault, Yinchuan Pingluo Fault and Yellow River Fault)

**图 4.** 跨断层剖面图(a、c、e、g 分别为贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川平罗断裂、黄河断裂平行与断层的速率，b、d、f、h 分别为贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂、银川平罗断裂、黄河断裂垂直于断层的速率)

**Table 2.** Strain rate across fault  
**表 2.** 跨断层应变率

断层	$Ee \times 10^{-8}$	$Nen \times 10^{-8}$	$Ns \times 10^{-8}$	$area\_strain \times 10^{-8}$
贺兰山断裂	1.244	-2.866	4.677	5.921
芦花台断裂	1.835	3.462	6.694	8.529
银川平罗断裂	-8.807	1.921	-1.249	-10.06
黄河断裂	-15.32	-19.14	1.348	-13.97

贺兰山东麓断裂垂直于断层的运动速率大于平行于断层的运动速率；平行于断层运动方向，断层两侧均向 SN 向运动，且西侧运动速率大于东侧，东侧相对于西侧向 SN 向运动，但运动速率较小，在 0.5~1 mm/a 之间，显示贺兰山东麓断裂以微弱的速率呈右旋走滑运动；垂直于断层运动方向，断裂两侧均向 SW 向运动，西侧运动速率小于东侧，呈拉张运动，拉张速率在 2 mm/a 左右(图 4(a)、图 4(b))。跨贺兰山东麓断裂的 EW 向、NS 向、面应变均为拉张，拉张量分别为  $1.244 \times 10^{-8}$ 、 $4.667 \times 10^{-8}$ 、 $5.921 \times 10^{-8}$ ，EW 向、面应变拉张与垂直于断层方向速率运动分析结果一致；沿断层方向的 NE 向挤压，挤压速率为  $-2.866 \times 10^{-8}$ 。

芦花台隐伏断裂垂直于断层的运动速率大于平行于断层的速率；平行于断层运动方向，断层两侧 SN 向运动，且西侧运动速率大于东侧，东侧相对于西侧向 SN 向运动，但运动速率较小，在 0.5-1mm/a 之间，显示芦花台隐伏断裂与贺兰山东麓断裂运动性质相同，以微弱的速率呈右旋走滑运动；垂直于断层运动方向，断裂两侧均向 SW 向运动，西侧运动速率小于东侧，呈拉张运动；自西向东，断层西侧运动速率逐渐增大，拉张速率逐渐减小，有存在闭锁的可能(图 4(c)、图 4(d))。跨断层应变率显示 EW 向、NE 向、NS 向、面应变率均为拉张，拉张量分别为  $1.835 \times 10^{-8}$ 、 $3.462 \times 10^{-8}$ 、 $6.694 \times 10^{-8}$ 、 $8.529 \times 10^{-8}$ ，其中 EW 向、面应变拉张，与垂直于断层速率的分析结果一致。

银川平罗隐伏断裂垂直于断层运动速率大于平行于断层运动速率；平行于断层运动方向，断层两侧均向 SN 向运动，距断层最近的两个点，断层西侧速率小于东侧，在 0.5mm/a 左右，显示银川平罗断裂与贺兰山东麓断裂运动性质相同，以微弱的速率呈右旋走滑运动；垂直于断层运动方向，断裂两侧均向 SW 向运动，西侧运动速率大于东侧，呈挤压运动，挤压运动速率在 2 mm/a 左右(图 4(e)、图 4(f))。跨银川平罗隐伏断裂的应变率显示 EW、NS、面应变均为挤压，挤压量分别为  $8.807 \times 10^{-8}$ 、 $1.249 \times 10^{-8}$ 、 $10.06 \times 10^{-8}$ ，其中，EW 向、面应变挤压，与垂直与断层运动速率的分析结果一致。

黄河断裂垂直于断层的运动速率大于平行于断层的运动速率；平行于断层运动方向，断层西侧向 SN 向运动，而东侧向 NS 向运动，运动速率 3 mm/a 左右，显示黄河断裂以较大的速率呈右旋走滑运动；垂直于断层运动方向，断裂两侧均向 SW 向运动，两侧运动速率相当(图 4(g)、图 4(h))。跨银川隐伏断裂的应变率显示 EW、NE、面应变均为挤压，挤压量分别为  $-15.32 \times 10^{-8}$ 、 $-19.13 \times 10^{-8}$ 、 $-13.97 \times 10^{-8}$ ，挤压量相对较大，而断层两侧垂直于断层的运动速率相当，表明黄河断裂可能存在闭锁。

## 4. 结论与讨论

### 4.1. 结论

跨断层速度剖面和跨断层应变率的结果表明：四条断层垂直于断层的运动速率均小于平行于断层的运动速率；在剖面区域，四条断层均为右旋走滑运动，其中，黄河断裂的右旋走滑速率最大；贺兰山东麓断裂、芦花台隐伏断裂拉张，而银川平罗隐伏断裂、黄河断裂挤压，其中黄河断裂两侧垂直于断层的速率相当，但挤压应变值较大，可能存在闭锁。断层滑动速率反演结果表明：四条断层的走滑运动速率均大于倾滑运动速率，但相差不大。

## 4.2. 讨论

本课题在银川盆地建立了 7 个流动观测站点, 对认识银川盆地四条活动断裂的地壳运动与变形具有重要意义。但由于仅有两期观测, 且 7 个站点均为土层观测墩, 加之银川盆地受人类活动影响较大, 7 个流动站点的观测值不是很稳定, 未来还需增加观测期数, 以提高数据的可靠性。

本课题在银川盆地中部建立了 7 个流动观测站点, 但其北部、南北站点仍然较为稀疏, 给断层滑动速率、闭锁程度等的反演带来了一定的困难, 未来还需进一步在银川盆地增加站点, 以期在银川盆地四条活动断裂的研究提供数据基础。

## 参考文献

- [1] 戴王强, 王庆良, 冯希杰, 等. 用 GPS 资料分析渭河盆地及邻近地区地壳运动特征[J]. 地震, 2003, 23(4): 32-36.
- [2] 甘卫军, 程朋根, 周德敏, 等. 青藏高原东北缘主要活动断裂带 GPS 加密观测及结果分析[J]. 地震地质, 2005, 27(2): 177-187.
- [3] 李煜航, 崔笃信, 郝明. 利用 GPS 数据反演青藏高原东北缘主要活动断裂滑动速率[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2015(10): 1767-1780.
- [4] 唐方头, 宋键, 曹忠权, 等. 最新 GPS 数据揭示的东构造结周边主要断裂带的运动特征[J]. 地球物理学报, 2010, 53(9): 2119-2128.
- [5] 唐文清, 刘宇平, 陈智梁, 等. 基于 GPS 技术的活动断裂监测——以鲜水河、龙门山断裂为例[J]. 山地学报, 2007, 25(1): 103-107.
- [6] 柴炽章, 廖玉华, 张文孝, 等. 灵武断裂晚第四纪古地震及其破裂特征[J]. 地震地质, 2001, 23(1): 15-23.
- [7] 柴炽章, 孟广魁, 杜鹏, 等. 隐伏活动断层的多层次综合探测——以银川隐伏活动断层为例[J]. 地震地质, 2006, 28(4): 536-546.
- [8] 柴炽章. 银川市活动断层探测与地震危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [9] 邓起东, 汪一鹏, 廖玉华, 等. 断层崖崩积楔及贺兰山山前断裂全新世活动历史[J]. 科学通报, 1984, 45(9): 650-655.
- [10] 杜鹏, 柴炽章, 廖玉华, 等. 贺兰山东麓断裂南段套门沟-榆树沟段全新世活动与古地震[J]. 地震地质, 2009, 31(2): 256-264.
- [11] 方盛明, 赵成彬, 柴炽章, 等. 银川断陷盆地地壳结构与构造的地震学证据[J]. 地球物理学报, 2009, 52(7): 1768-1775.
- [12] 雷启云, 柴炽章, 孟广魁, 等. 银川隐伏断层钻孔联合剖面探测[J]. 地震地质, 2008, 30(1): 250-263.
- [13] 雷启云, 柴炽章, 杜鹏, 等. 基于钻探的芦花台隐伏断层晚第四纪活动特征[J]. 地震地质, 2011, 33(3): 602-614.
- [14] 雷启云, 柴炽章, 郑文俊, 等. 钻探揭示的黄河断裂北段活动性和滑动速率[J]. 地震地质, 2014, 36(2): 464-477.
- [15] 廖玉华, 柴炽章, 张文孝, 等. 灵武断裂晚第四纪活动特征及位移速率[J]. 中国地震, 2000, 16(2): 158-165.
- [16] 廖玉华, 潘祖寿. 宁夏红果子沟长城错动新知[J]. 地震地质, 1982, 4(2): 77-79.