

# 甘肃天祝现代地壳运动 GPS 监测网的 建立与第一期观测初步结果

郭守年 邹明吾 甘卫军

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

*Y. Gaudemer J. Ruegg G. King F. Metivier*

(巴黎地球物理研究所, 法国巴黎)

**摘要** 本文以 GPS 技术为基础, 在位于青藏高原北缘、古浪—海原断裂带的甘肃天祝一带布设了现代地壳运动监测网, 并完成了第一期观测。初步处理结果表明, GPS 测量具有高精度、高效率等特点, 可以成为监测现代地壳运动的最好方法之一。

**关键词:** 青藏高原 甘肃 现代地壳运动 全球定位系统

## 1 前言

现代地壳运动是地球科学中许多学科综合研究的重要领域, 是岩石圈研究的重要课题<sup>[1]</sup>。现代地壳运动是亿万年地质时期地壳运动的自然延伸, 是地球活动的一部分, 是地球内部和外部作用的结果, 是发生在不久的过去和现今可以直接察觉、可以用仪器观测的地壳运动。现代地壳运动的研究是人类社会生存和发展的实际需要所推动的, 随着现代科学技术的迅猛发展, 研究现代地壳运动的方法也越来越多, 例如地质学方法、地貌学方法等。大地测量学方法则是研究现代地壳运动的主要方法。空间大地测量学的发展, 部分解决了经典大地测量在实践中遇到的难题。现在, 甚长基线射电干涉测量(LVBI)、卫星激光测距(SLR)和全球定位系统(GPS)等空间测量技术应用于现代地壳运动的研究, 取得了不少令人信服的观测结果<sup>[2]</sup>。现有资料表明, 板块之间的运动速率为每年几十毫米, 新生代一些主要走滑断层的滑动速率为每年几毫米到几十毫米<sup>[3,4]</sup>。现代大地测量学的发展完全有可能监测到这样的数量级的现代地壳运动。

## 2 监测网的布设

测区位于甘肃天祝毛毛山断裂, 它西起天祝三个墩, 东至松山乡, 与老虎山断裂相接。它属于青藏高原北缘著名的昌马—祁连—海原断裂带的组成部分。该断裂带是一条强震活动带, 1920年海原 8.5 级、1927年古浪 8.0 级和 1932年昌马 7.6 级大震至今还留给人们深刻的印象。这些大震都与该断裂带的活动密切相关。1990年10月20日天祝—景泰发生了一次 6.2 级地震, 说明该断裂带仍在强烈地活动, 处于能量积累、释放、再积累的过程。有关资料表明<sup>[5]</sup>, 从伴生的玄武岩岩石化学分析结果看, 该断裂带的深度约为 130 km。第四纪以来,

该带为兼有倾向滑动的走滑性质的剪切断裂带。该带位于重力异常梯度带上，重力异常变化为  $-210 \sim -400 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2}$ ，梯度的最大变化为  $1.3 \sim 3.0 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2}/\text{km}$ 。因此，该带还很可能是莫霍界面的陡坡带。根据大地电磁探测结果<sup>[6]</sup>，该断裂带的南部和北部的岩石圈底面埋深有较大的差异。该断裂带还可以进一步划分为相对活动段和相对稳定段，毛毛山断裂属于相对活动段<sup>[7]</sup>。根据大比例尺地质填图研究，该段全新世以来活动迹象非常明显，其滑动速率约为  $5 \text{mm/a}$ 。所有这些浅层的和深部的，现今的和地质的资料表明，在该地区布设 GPS 监测网进行现代地壳运动的研究是很有意义的。因此，中法双方合作于 1994 年 7 月在该地区布设了 GPS 网，并进行了第一期观测。

该测区范围是东经  $102^{\circ} 40' \sim 103^{\circ} 20'$ 、北纬  $36^{\circ} 40' \sim 37^{\circ} 50'$ ，共布设 14 个 GPS 测点。由于各测点的监测作用不同，将整个网分为两部分，即大网和小网，点位分布见图 1 和图 2。

大网主要是监测区域性的地壳运动，而小网主要是以天祝盆地为监测对象，在盆地中央和边缘都布设了测点。为了确保测点位于断层两侧，地质人员和大地测量人员很好地配合，仔细地踏勘和判断。测点尽量选在基岩上，若无基岩可选，也可选在稳定的天然大石块上。个别测点表层黄土较厚，便采用水泥砂石现场浇灌，以保证标石的稳定和牢固。大网是沿垂直于断裂的方向布设的，最长的实测边为 112 km。平均边长为 49 km。小网在天祝盆地及周缘地区沿毛毛山断裂的两侧布设，边长较短，最短实测边长为 1 km，平均边长为 7.5 km。为了分析测点本身的稳定程度，在 GPS 测点附近几米到几十米的范围内，布设了 2~3 个辅助点，用经纬仪和测距仪进行联测，在以后的复测中可发现主点和辅点之间位置的局部变化。

### 3 第一期观测及初步处理结果

我们于 1994 年 7 月 17 日至 30 日使用三台美国 Ashtech 生产的 Z-12 型 GPS 接收机进行野外

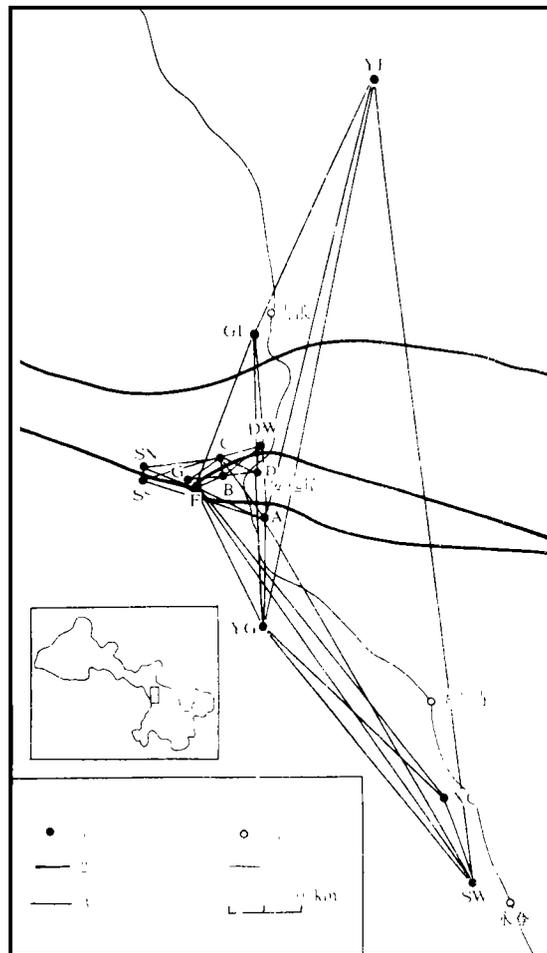


图 1 甘肃天祝现代地壳运动 (GPS 监测) 网点布局  
 1 GPS 测点 2 断层 3 GPS 实测边 4 城镇 5 公路  
 Fig. 1 Distribution of GPS measuring points for the recent crustal movement in Tianshu region, Gansu Province.

观测。该仪器是双频大地型接收机,其静态差分定位的标称精度为 $(5+D \times 1 \text{ ppm})\text{mm}$ ,基线解算软件是厂方提供的 GPPS 软件。

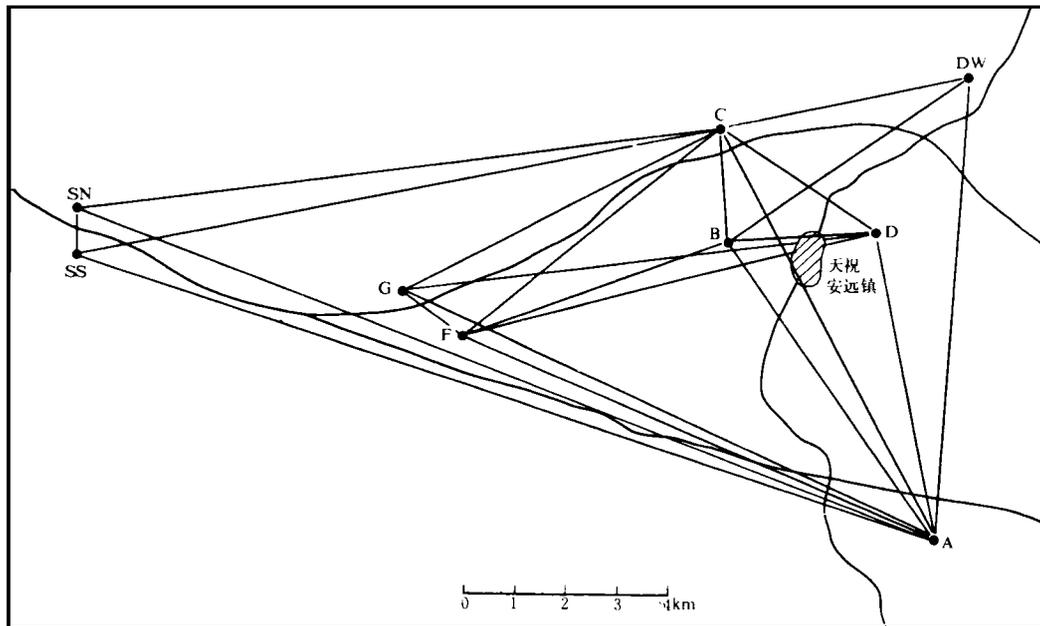


图 2 甘肃天祝现代地壳运动 GPS 监测网布局(图例同图 1)

Fig. 2 Distribution of GPS measuring points of the recent crustal movement in Tianzhu region, Gansu.

观测中主要技术要求如下:

- (1)采用双频差分静态定位方式;
- (2)每个测站至少两次独立设站,每次设站至少有一个时段(3 个小时)的有效记录;
- (3)采用光学对中器对中,误差应不大于 1mm;
- (4)天线严格置平,天线上的箭头指向地磁北极,偏差不大于 5°;
- (5)天线高由观测人员在测前测后分别量取。每次量取天线边缘相距 120° 的 3 个点至标石中心的斜距,量至毫米的精度;
- (6)卫星高度角大于等于 15°,数据采样间隔为 30 秒;
- (7)每小时测定干湿气温(读到 0.1°C)和气压(读至 0.1 mb),并记录电瓶电压和位精度降低率 PDOP 的数值,供分析资料时使用。

在资料处理中,选择位于网的中部、观测条件良好、观测时段多的 A 点作为基线解算的起算点和网平差的固定参考点。现在先用广播星历进行解算,待有了精密星历后再进一步解算。网平差在世界大地坐标系 WGS84 中进行,不进行坐标转换和投影,以免引入新的误差。

初步处理结果的精度统计如表 1、2、3 所示。

## 4 结论

- (1)GPS 监测地壳运动的效率高。由于测点之间不要求互相通视,不需要造觇标,选点

非常方便。1993 年以来，GPS 的 24 颗卫星已全部升空，GPS 接收机可全天候工作。这次仅用十几天的时间就完成了地面大地测量要 4~5 个月才能完成的工作量。

表 1 重复观测基线的精度

基线项目	A-B	A-DW	A-YF	D-F	F-G
边长 1(m)	6,994.2850	9,213.6149	60,144.4342	7,630.7676	1,093.3957
边长 2(m)	6,994.2878	9,213.6035	60,144.4383	7,630.7718	1,093.3941
边长较差(mm)	2.8	11.4	4.1	4.2	1.6
相对较差(ppm)	0.40	1.24	0.07	0.55	1.46

重复基线平均相对较差为 0.73 ppm

表 2 同步环精度统计

全长相对闭合差 $\Delta f/\Sigma s$	区间(ppm)	0.0~0.15~0.30~0.50~0.70			
	同步环个数	6	4	3	1
百分比	(%)	46	31	15	8

表 3 异步环精度统计

全长相对闭合差 $\Delta f/\Sigma s$	区间(ppm)	0.0~0.5~1.0~2.0~3.0~4.0				
	异步环个数	12	8	9	7	2
百分比	(%)	32	21	24	18	5

(2)GPS 测量的精度高。在使用广播星历的情况下，达到 1 ppm 的相对精度是有把握的。如果使用精密星历计算，测量结果的精度相应地还可以提高。

(3)现代地壳运动是一项长期的研究课题，本次观测仅仅是第一次观测。根据中法双方商定，1996 年将进行第二次观测。那时就会有该地区现今地壳运动的初步结果，可为区域性的地球动力学研究和地震预报提供地壳运动的最新信息。

(本文 1995 年 3 月 31 日收到)

参考文献

- 1 刘光勋. 现代地壳运动的有关问题. 现代地壳运动. 北京:地震出版社,1988.
- 2 国家自然科学基金委员会. 自然科学学科发展战略调研报告大地测量学. 北京:科学出版社,1994. 33-67.
- 3 沈镜祥,等. 空间大地测量学. 北京:中国地质大学出版社,1990. 1-13.
- 4 丁国瑜. 全新世断层活动的不均匀性. 中国地震,1990,6(1): 1-9.
- 5 侯珍清,等. 天祝—景泰 6.2 级地震的地震地质背景. 天祝—景泰 6.2 级地震. 北京:地震出版社,1993. 138-144.

- 6 国家地震局兰州地震研究所大地电磁测深组. 河西走廊及其附近地区的大地电磁测深. 勘探地球物理专辑第二辑电磁测深. 北京: 地质出版社, 1987. 138—144.
- 7 Y. Gaudemer, et al. Partition of crustal slip between linked, active faults in the eastern Qilianshan, and evidence for a major seismic gap, the "Tianzhu gap", on western Haiyuan fault, Gansu (China). *J. Geophys. Res.*, 1994.

**ESTABLISHMENT OF GPS NETWORK FOR MONITORING RECENT  
CRUSTAL MOTION IN TIANZHU AREA, GANSU AND INITIAL  
RESULTS OF THE FIRST OBSERVATION**

Guo Shounian, Zou Mingwu and Gan Weijun

*(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000)*

*Y. Gaudemer, J. Ruegg, G. King and F. Metivier*

*(Geophysical Institute of Paris, France)*

**Abstract**

In this paper, the establishment and the first observation of the Tianzhu GPS monitoring network which is situated in the north margin of the Qinghai-Xizang plateau and overlaps the Gulang-Haiyuan active fault zone are introduced. The initial processing results show that GPS may become one of the best methods to research recent crustal movement because of its high precision and efficiency.

**Key words:** Qinghai-Xizang plateau, Gansu, Recent crustal movement, GPS