

## 震后区域测绘基准的建立与数据处理方法\*

尧笃熙,杨富均,陈达玉

(四川地质测绘院,四川 成都 610017)

**摘要:**在分析地震灾区测绘基准位移变化的基础上,结合某市 GPS 控制网的实例,探讨了地震后区域测绘基准的快速建立以及数据处理方法,为灾区测绘基准的恢复提供参考。

**关键词:**地震;测绘基准;GPS 控制网;数据处理

**中图分类号:** TU 435;P 208.4

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1007-9394(2009)01-0023-03

## Rebuilding the Surveying and Mapping Datum in Earthquake Disaster Area

YAO Du-xi, YANG Fu-jun, CHEN Da-yu

(Sichuan Institute of Surveying & Mapping of Geology, Chengdu Sichuan 610017, China)

**Abstract:** In order to provide the reference for rebuilding the surveying datum in disaster area, the displacements of surveying datum in Wenchuan earthquake are analyzed via the GPS control network in Deyang city and the method of rebuilding the surveying datum after the earthquake is discussed.

**Key words:** earthquake; surveying datum; GPS control network; data processing

### 0 引言

5.12 汶川大地震发生后,龙门山断裂带西侧块体向东偏南运动,位移达 20~70 cm;东侧块体向西偏北运动,位移达 20~238 cm。东侧块体下沉达 30~70 cm。陕西南部区域向西北方向运动,最大位移量达 4 cm;甘肃陇南区域向东北运动,最大位移量达 5 cm。青藏高原珠峰地区的监测点向西偏南运动,水平和垂直方向位移量均为 2~3 cm(国家测绘局、中国地震局,2008 年)。

作为测绘基准的测量控制点,必然会随着板块的运动而发生相应的位移,有的测量标志甚至被破坏。为了保证灾后重建、国土资源调查等各项建设的顺利实施,必须尽快建立或恢复区域测绘基准。

本文将在分析某市部分 GPS 点地震前后位移变化的基础上,探讨灾区区域测绘基准建立或恢复的基本思路及数据处理方法。

### 1 汶川地震对区域测绘基准的影响

以 DY 市为例,该市区距地震中心约 90 km,部分地区正处于龙门山断裂带附近。为了解地震对该市测绘基准的影响,对辖区内的部分 GPS 点进行了检测,各 GPS 点观测时间不小于 6 h, GPS 点位分布,见图 1。

为了获取精密的 WGS-84 坐标,数据处理联合了该地区附

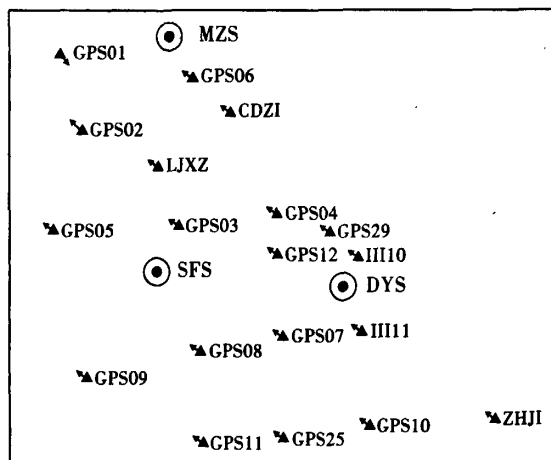


图 1 GPS 监测点分布示意图

Fig. 1 GPS monitoring points distribution sketch map

近的连续运行基准站(GORS, Continuous Operation Reference Stations)观测数据(如 ZHJI、DUYJ 等),采用精密星历和高精度分析软件(GAMIT/GLOBK 软件)进行基线解算和网平差,最后输出结果为 ITRF2000 框架下的三维坐标(与地震前的起算数据和参考历元一致)。

同时,为便于比较地震前后 GPS 点的水平位移,将 GPS 点地震前后的地心坐标(B,L)在相同的参数下进行高斯投影(中央子午线约为104°),获取高斯平面坐标(X,Y),然后进行高斯坐标比较。其中: $\Delta X = X_{后} - X_{前}$ , $\Delta Y = Y_{后} - Y_{前}$ , $\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ , $A = \arctan(\Delta Y/\Delta X)$ 。

19个GPS点地震前后的坐标变化,见表1。监测的结果表明,该地区存在大小不同、方向各异的水平位移,其中,最大水平位移量达到85cm(GPS02,靠近断裂带),最小为6cm(ZHJI);除GPS01向南偏东方向移动外,其余GPS点的位移方向为西偏北,且方位角变化范围为292.3°~304.8°,其变化范围约为12°。距离地震中心90km多之外的DY市城区绝对位移约18cm(III10)。

表1 GPS监测点位移表  
Tab. 1 GPS monitoring points replacement table

点名	B/(°)	L/(°)	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta S/m$	位移方向 A/(°)	距地震 中心距 离/km
GPS01	31.326 6	104.020 3	-0.519	0.323	0.611	148.11	69.93
GPS02	31.252 6	104.051 7	0.326	-0.783	0.848	292.63	68.36
CDZI	31.168 6	104.140 7	0.203	-0.484	0.525	292.76	85.91
LJXZ	31.172 7	104.274 4	0.248	-0.588	0.638	292.84	72.97
GPS03	31.154 2	104.009 6	0.186	-0.426	0.465	293.59	73.60
GPS04	31.306 7	104.192 8	0.125	-0.283	0.309	293.76	86.19
GPS125	31.070 2	104.305 3	0.116	-0.255	0.281	294.43	85.81
GPS29	31.053 1	104.174 2	0.095	-0.207	0.228	294.67	93.13
GPS05	31.000 2	104.026 5	0.300	-0.651	0.717	294.76	61.31
GPS06	31.000 3	104.400 5	0.285	-0.600	0.664	295.38	83.65
III10	30.966 9	104.184 9	0.081	-0.170	0.188	295.45	97.30
GPS07	31.142 2	104.276 2	0.092	-0.183	0.204	296.74	87.14
GPS08	30.975 4	104.291 9	0.143	-0.266	0.302	298.29	74.66
III11	31.155 6	104.354 9	0.077	-0.137	0.158	299.33	94.20
GPS09	31.141 0	104.403 2	0.216	-0.349	0.410	301.78	60.46
GPS10	31.068 5	104.376 6	0.066	-0.101	0.120	303.28	95.58
GPS25	31.285 6	104.235 3	0.090	-0.136	0.163	303.49	85.76
GPS11	31.235 9	104.108 0	0.128	-0.192	0.230	303.63	75.16
ZHJI	31.003 8	104.540 8	0.035	-0.050	0.061	304.84	109.43

2 测绘基准建立的基本思路

区域测绘基准的建立需确定的主要内容包括:起算数据;长度变形的处理;独立坐标系的转换等。其中起算数据的选择和独立坐标系统的转换在地震灾区测绘基准的建立与恢复中尤为重要。

2.1 国家坐标系下起算数据的确定

1954北京坐标系和1980西安坐标系下起算数据的确定方法:

1)选择2~3个GPS点连续观测6h以上,联合测区附近基准站或IGS站数据,采用精密星历进行数据处理,获取高精度的三维WGS-84坐标或2000国家大地坐标;

2)以高精度的三维坐标为起算数据,采用随机软件进行三维约束平差,获取GPS点的三维坐标;

3)进行三维坐标转换,获取各GPS点的1954北京坐标、1980西安坐标或2000国家大地坐标。

2.2 城市独立坐标系数据处理的方法

《工程测量规范》和《城市测量规范》都规定测量控制网平面坐标系选择时必须顾及边长投影变形的影响,要求通过选择适当的平面坐标系使每公里边长投影变形 $\leq 2.5$ cm。为使边长投影变形值达到这一要求,城市测绘基准的建立一般均进行了技术上的处理,或改变高斯投影中央子午线,或改变投影面高度来建立城市独立坐标系,同时,为便于坐标转换又与国家坐标系相联系。

由于地震引起的水平位移具有非均匀性的特点,如在较大范围内实施坐标系统的统一转换,必然会使控制网扭曲变形,其精度也大为降低。从表1的结果可以发现,在局部范围内(如几十平方公里)其位移又具有某种相似性(如表1的III10、III11和GPS07等),但断裂带两边除外(如GPS01、GPS02)。因此,对局部区域的城市独立坐标系可以采用一定的数学方法进行坐标转换,坐标转换时应优先顾及建成区或发达地区,在不降低控制网精度的前提下,保持历史资料的延续性。城市独立坐标系转换的方法如下:

1)联测建成区内分布均匀、稳定性良好的原有城市控制点(以下简称为公共点);

2)按照城市原有的坐标转换参数(包括参考椭球、中央子午线、投影面高度)进行高斯投影,获取公共点的高斯投影坐标;

3)进行公共点稳定性分析,剔除精度较差的公共点;

4)根据选择的公共点的二维坐标进行相似变换,获取新的城市坐标;

5)根据新城市坐标,在2000国家大地坐标或WGS-84坐标系下,拟合城市坐标系新的投影转换参数<sup>[4]</sup>。其中,中央子午线需精确到0.000 01",高程投影面(GPS大地高)需精确到0.01m。

3 实例分析

为满足DY市城镇地籍测量等项目建设的需要,地震后该市布设了三等GPS网,全网共有GPS点22个,包括3个四川省地震灾区GNSS连续运行基准站(ZHJG、MZHU、HGAN)、3个国家二等三角点(马家梁子、茶店子和狮子山)和5个城市已有控制点,GPS观测网,见图2。

GPS网共组成47个三边闭合环,相对环闭合差最大为 $9.6 \times 10^{-6} \cdot D$ ,最小为 $0.03 \times 10^{-6} \cdot D$ ,平均相对闭合差为 $1.3 \times 10^{-6} \cdot D$ 。

三维无约束平差后,最弱边相对中误差为 $7.15 \times 10^{-6} \cdot D$ (1/140 000, $S=1\ 360.968$ m)。

国家坐标的起算数据为3个基准站的WGS-84坐标,并通过坐标转换获取了GPS点的1954北京坐标和1980西安坐标。

对马家梁子、茶店子和狮子山3个国家点坐标进行了比较,地震后1954北京坐标最大较差约为0.5m,1980西安坐标最大

较差约为 0.7 m,详细结果,见表 2。

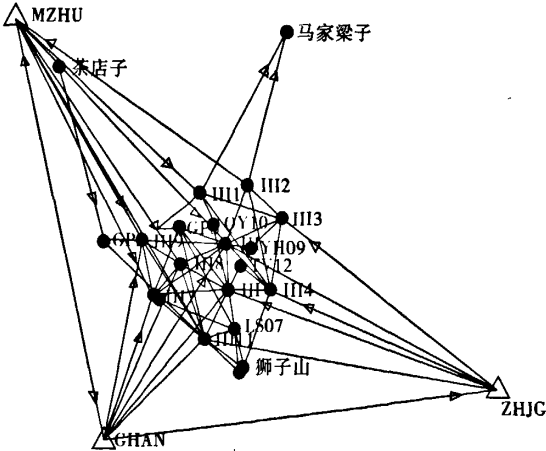


图 2 GPS 观测网示意图  
Fig. 2 GPS observation network sketch map

表 2 地震前后国家坐标变化表  
Tab. 2 The national coordinate changing table before the earthquake and after the earthquake

点 名	1954 北京坐标		1980 西安坐标	
	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$
茶店子	0.066	-0.461	0.222	-0.694
马家梁子	0.029	-0.236	0.092	-0.403
狮子山	0.028	0.053	-0.046	-0.137

同时,地震前后的长度变化(以茶店子和狮子山为例)为:54 系统绝对变化  $\Delta S$  为 0.22 m,相对变化约为  $9.8 \times 10^{-6} \cdot D$ ;80 系统绝对变化  $\Delta S$  为 0.53 m,相对变化约为  $16.5 \times 10^{-6} \cdot D$ ;坐标方位角的变化分别为  $2.0''$  和  $2.6''$ 。两者之间较差之差的异常可能与它们的系统精度有关。

同样,按照前文所述方法对该市城市独立坐标进行了坐标转换,坐标转换后的结果比较,见表 3。同时,在 WGS-84 坐标系下拟合了投影参数。坐标转换后公共点 X、Y 坐标残差均小于 3.0 cm。这样,在保证了控制网精度的前提下,实现了该市测绘基准的恢复与建设,且兼顾了建成区历史资料的延续性。

表 3 公共点坐标变化  
Tab. 3 The common points' coordinate changes

点 名	$\Delta X_{\text{独立}}/m$	$\Delta Y_{\text{独立}}/m$
LS07	-0.003 0	0.013 2
QY10	-0.015 0	-0.013 8
YH09	-0.017 0	0.010 5
SZ05	0.006 6	0.021 7
DH06	0.028 7	-0.019 1

根据转换后新的城市坐标拟合该地区的投影参数,变化如下:

中央子午线变化约为:  $\Delta l = 36.1''$ ,引起方位角变化约为  $18''$ ;

投影高程面变化约为:  $\Delta h = 16.6 \text{ m}$ ,引起长度变形约为  $2.5 \times 10^{-6} \cdot D_0$ 。

根据 5 个公共点新的城市坐标进行二位约束平差结果,与根据 WGS-84 坐标直接投影计算的城市坐标较差为: X、Y 坐标较差分别介于  $[-7.8 \text{ mm}, +5.5 \text{ mm}]$  和  $[-12.2 \text{ mm}, +9.3 \text{ mm}]$  之间,平均较差分别为 0.8 mm 和 1.6 mm,统计结果见图 3。这说明投影参数具有较高的精度,可以在网络 RTK 系统下直接进行投影计算。

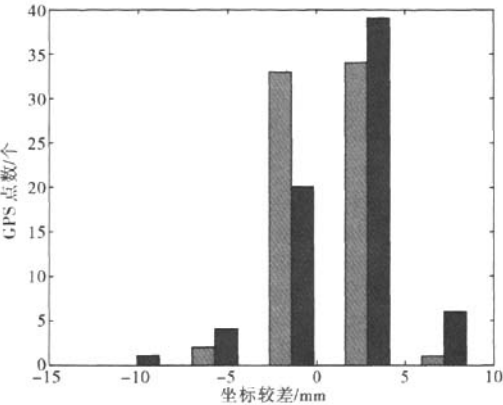


图 3 二维坐标较差统计直方图  
Fig. 3 The 2D coordinates comparison error statistical histogram

4 结束语

5.12 汶川大地震引起的区域测绘基准的变化具有大小不同、方向各异的特点。有必要对区域内的已有控制网点进行全面或部分复测,并在详细分析位移变化的基础上,实现建成区或重点城镇范围内的坐标转换,在不降低控制网的精度的前提下,保证历史资料的延续性。

[参 考 文 献]

[1] 孔祥元,等.大地测量学基础[M].武汉:武汉大学出版社,2005.  
[2] 于立国,等.GPS 技术在高等级城市控制网中的应用[J].测绘通报,2005,(9):26~29.  
[3] 李春华,张瑛,罗贤茂,黄丁发.城市控制网改造中的关键问题[J].测绘科学,2008,(1):77~79.  
[4] 王传江,等.城市独立坐标系下似中央子午线的确定[J].铁道勘察,2005,31(5):13~15.

作者简介:尧笃熙(1957~),男,四川富顺人,高级工程师,现主要从事测绘方面的工作。