

BJ-54 坐标系与 WGS-84 坐标系 转换方法及精度分析

柳光魁¹, 王振禄², 赵永强², 杜明成²

(1. 大连海天测绘公司, 辽宁 瓦房店 116300; 2. 大连九成测绘信息有限公司, 辽宁 庄河 116400)

摘要:根据大连市 C 级 GPS 网中重合 1954 北京坐标系下的 25 个三角点成果, 采用三、七参数转换模型, 完成了我国 54 坐标系与世界 84 坐标系转换参数的计算与精度分析。

关键词:BJ-54 坐标系; WGS-84 坐标系; 转换模型; 转换参数; 精度分析

中图分类号:P226⁺.3

文献标识码:B

文章编号:1672-5867(2007)03-0167-02

The Conversion Method and Accuracy Analysis between BJ-54 and WGS-84 Coordinate System

LIU Guang-kui¹, WANG Zhen-lu², ZHAO Yong-qiang², DU Ming-cheng²

(1. Dalian Haitian Surveying and Mapping Company, Wafangdian 116300, China;

2. Dalian Jiucheng Surveying and Mapping Information CO., LTD., Zhuanghe 116400, China)

Abstract: Based on the results of 25 triangular control points in BJ-54 coordinate system which also within the GPS control network of order C of Dalian city, this paper accomplished the calculation and accuracy analysis from BJ-54 coordinate system to WGS-84 coordinate system using 3 parameters and 7 parameters conversion model.

Key words: BJ-54 coordinate system; WGS-84 coordinate system; conversion model; conversion parameter; accuracy analysis

0 引言

在 GPS 测量与应用中, 通常采用 GPS 接收机观测, 获得的是 WGS-84 地心坐标系坐标, 而我国测绘系统广泛采用的是 BJ-54 坐标系坐标, 两类坐标不仅坐标原点不一致, 而且相应的各坐标轴之间不平行, 所以在实际应用中, 必须进行坐标转换。本文所研究的 WGS-84 与 BJ-54 坐标之间的坐标转换问题, 是结合大连市 C 级 GPS 网测量而进行的。

1 参数与模型

WGS-84 大地坐标系的椭球参数为:

长半轴: $a = 6\,378\,137\text{ m} \pm 2\text{ m}$

地球引力常数 $C_m = 3\,986\,005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2 \pm 0.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$

地球角速度: $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11} \text{ rad/s} \pm 0.15 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$

协议地球扁率: $f_{84}^{-1} = 298.257\,223\,563$

BJ-54 坐标系的椭球参数为:

长半轴: $a_{54} = 6\,378\,245\text{ m}$

椭球扁率: $f_{54}^{-1} = 298.3$

第一偏心率:

平方 $e^2 = 2f - f^2 = 0.006\,934\,216\,229\,66$

转换采用具有明显几何意义的三参数(3 个平移量)和七参数(布尔沙公式, 顾及 3 个平移量、3 个欧拉角和 1 个尺度比)转换模型进行。

三参数转换模型:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{新}} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{旧}} \quad (1)$$

收稿日期: 2006-11-20

作者简介: 柳光魁(1968-), 男, 辽宁瓦房店人, 学士, 高级工程师, 1990年毕业于辽宁工程技术大学工程测量专业, 主要从事 GPS 测量与研究工作。

七参数转换模型:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{新}} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1 + K) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{旧}} + \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 0 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{旧}} \quad (2)$$

在(1)式、(2)式中,新为 1954 北京坐标系,旧为 WGS-84 坐标系。

2 坐标转换

在 WGS-84 坐标与 BJ-54 坐标的转换过程中,主要是先求出坐标转换参数。无论使用三参数或七参数方法,只有求出了转换参数,才能进行坐标转换。WGS-84 坐标与 BJ-54 坐标的转换,可用下列步骤实现:

- 1) 将两个坐标系的坐标都转为直角坐标;
- 2) 按所采用的转换方法(三参数或七参数)求解出转换参数;
- 3) 根据所求参数进行坐标转换;
- 4) 根据需要,将直角坐标再转为大地坐标。

直角坐标与大地坐标的互相转换,可以采用以下公式进行:

由大地坐标转换成直角坐标公式:

$$\left. \begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L \\ z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

由直角坐标转换成大地坐标公式:

$$\left. \begin{aligned} L &= \arctan(Y/X) \\ B &= \arctan \left\{ Z(N + H) / [(X^2 + Y^2)^{1/2} (N(1 - e^2) + H)] \right\} \\ H &= Z / \sin B - N(1 - e^2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中, L 为大地经度, B 为大地纬度, H 为大地高程, $N = a / (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$, N 为该点的卯西圈曲率半径; $e^2 = (a^2 - b^2) / a^2$, a, e 分别为该大地坐标系对应椭球的长半轴和第一偏心率。

大连市 C 级 GPS 网由 75 个点组成,其中有 25 个点为原国家一等三角点,根据这 25 个点的分布情况和精度分析,选取了 B001, B004, B008, B010, 0003, 0002, HSL, YJG, TZS, ISBL, PDSH, B003 等 12 个点为重合点,分别使用三参数转换模型和七参数转换模型的布尔沙-沃尔夫(Bursa-wolf)模型求得转换参数。具体解算是利用 12 个具有两套空间坐标的重合点坐标,按同名点空间坐标的差值组成误差方程式和法方程式,解算得到转换参数。

经验算本网三参数转换的中误差为: $m_x =$

$\pm 0.305 \text{ m}, m_y = \pm 0.252 \text{ m}, m_h = \pm 0.206 \text{ m};$

七参数转换的中误差为: $m_x = \pm 0.293 \text{ m}, m_y = \pm 0.104 \text{ m}, m_h = \pm 0.179 \text{ m}。$

3 关于坐标转换方法的精度分析

大连市 C 级 GPS 网是在国家 2000 GPS 网基础上布设的。由 75 个点组成,采用美国生产的阿什泰克型双频接收机 8~15 台(套)观测。观测 2 个时段,每个时段长 4 h,净观测时间 8 h。观测基线 1 177 条,平均边长 28 km。在国家 2000 GPS 网点进行约束平差结果:平面坐标中误差为 $m_x = \pm 2.2 \text{ mm}, m_y = \pm 2.1 \text{ mm}, m_h = \pm 4.2 \text{ mm}$,应该说是一个精度很高的控制网。但是,利用三参数转换的平面网点点位中误差 $S = \pm 0.4 \text{ m}$,利用七参数转换的平面网点点位中误差 $S = \pm 0.3 \text{ m}$,转换误差较大。从三参数与七参数转换误差对比看,明显七参数的转换精度高于三参数的转换精度。

产生转换误差的主要原因有 3 个:

- 1) 大连地区一、二等大地网是在 20 世纪 50 年代施测的,由于地壳运动变化复杂,点位变化不尽相同;
- 2) 由于当时使用仪器、测量方法落后于现在,致使在大面积长距离传递中误差积累较大;
- 3) 因 1954 北京坐标系存在椭球参数误差较大、定位偏斜大、定向不明确及没有进行整体平差等缺点。

大连市 C 级 GPS 网覆盖面积为 17 000 km²,如果将全网分成 4 部分进行坐标转换,转换误差将缩小 2 倍,转换精度可达厘米级。

4 结束语

通过对 WGS-84 与 BJ-54 坐标转换算法的介绍,以及在空间转换模型中大地高对七参数和三参数转换结果影响的比较,我们可得出以下结论:

1) 由于受到我国参心大地高精度不高的影响,在完成参数计算中,重合点越多转换精度越好,边长越短转换精度越好。

2) GPS 测定点通过空间转换,可同时得到平面坐标和高程,通常在测区范围较大时使用。采用空间转换模型时,高程的精度对平面坐标的影响很小,且当测区范围较小时,空间转换模型的七参数中,旋转参数和尺度缩放参数与坐标平移参数具有较强的相关性,使得七参数与三参数转换模型的效果相差较大。

3) 鉴于工程施工中需要的是水准高而非大地高,建议使用水准高代替 54 坐标中的大地高,求得空间转换参数,从而可以使 GPS 测定的坐标直接转换为平面坐标和水准高。但应注意的是,空间转换模型是几何转换,GPS 点通过平移、旋转、缩放变换到 54 坐标系,公共点

(下转第 173 页)

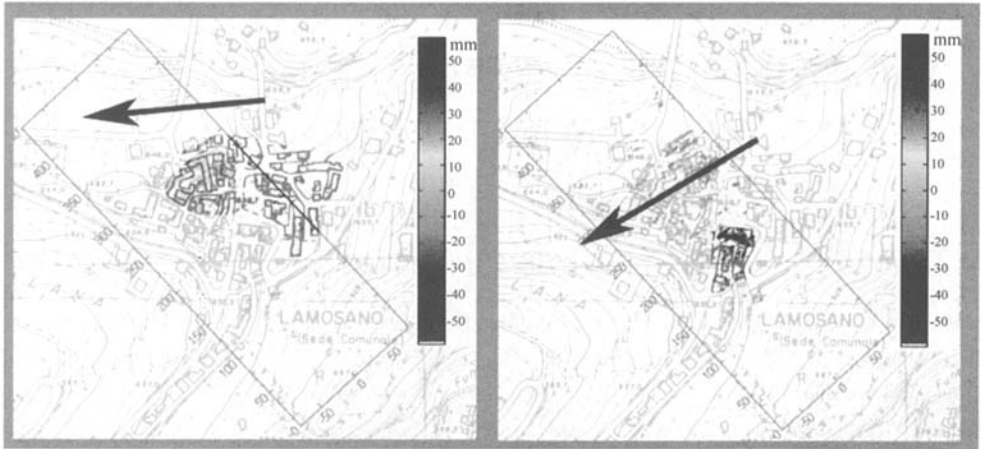


图3 InSAR 和 LIDAR 对意大利阿尔卑斯山同一地区相同时间段扫描后得到的变形量

Fig.3 The distortion of the same area of Alps in Italy respectively acquired by LIDAR and InSAR technique scanning at the same time

4 结束语

机载 LIDAR, InSAR 等系统能全天候、高精度、高密度、快速和低成本地获取地面 3 维数字数据, 具有广泛的应用前景。十多年前 GPS 曾对大地测量产生革命性影响, 今天 LIDAR, InSAR 系统似乎正在对普通测量 (包括摄影测量) 产生革命性的影响。这些新技术必将在我国今后的工程建设中发挥不可估量的作用, 把我国的工程建设提高到一个新的水平。

参考文献:

- [1] 李清泉, 李必军, 陈静. 激光雷达测量技术及其应用研究 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 387-392.
- [2] 刘经南, 张小红, 李征航. 影响机载激光扫描测高精度的系统误差分析 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2002, 27(2): 111-117.
- [3] Carnec C, King C, Massonnet D. Measurement of land su-

bsidence by means of differential SAR interferometry [A]. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence [C]. The Hague, The Netherlands, 1995. 139-148.

- [4] Massonnet D, Holzer T, Vadon H. Land subsidence caused by the East Mesa geothermal field, California, observed using SAR interferometry [J]. Geophysical Research Letters, 1997, 23(19): 2 677-2 680.
- [5] Achache J, Fruneau B, Delacourt C. Applicability of SAR interferometry for operational monitoring of landslides [A]. In: Proceedings of the Second ERS Applications Workshop [C]. London, 1995. 165-168.
- [6] Fruneau B, Delacourt C, Achache J. Observation and modeling of the Saint - Etienne - de - Tin landslide using SAR interferometry [EB/OL]. FRINGE 96, 1996, <http://www.geo.unizh.ch/rsl/fringe96/papers>.

[责任编辑:王丽欣]

(上接第 168 页)

要分布均匀。用水准高代替大地高时, 尽管转换模型对高程并不敏感, 转换出来的平面坐标不会受较大的影响, 但大地水准面的不规则性将体现在高程转换残差中, 在大地水准面复杂的地区转换出来的水准高精度较低。实际应用时可以通过拟合模型, 对高程转换残差进行拟合, 在转换出来的高程上加一个修正量以获得精确的水准高。

参考文献:

- [1] 周忠谟. 地面网与卫星网之间转换的数学模型 [M]. 北

京: 测绘出版社, 1984.

- [2] 郭春喜, 马林波, 张骥, 等. 西安 80 坐标系与 WGS-84 坐标系转换模型的确定 [J]. 东北测绘, 2002, 25(4): 34-36.
- [3] 熊介. 椭圆大地测量学 [M]. 北京: 解放军测绘出版社, 1988.

[责任编辑:王丽欣]