

地方独立坐标系统的建立及其实现

张述清¹,李永云²

(1. 云南省地矿测绘院,云南 昆明 650218;2. 西南交通大学工程建设监理公司,四川 成都 610031)

摘 要:对建立地方独立坐标系统的原因、方法进行了分析,并借助于全球定位系统(GPS)的数据处理系统——TGO 来实现,提出了两种 GPS 网在地方独立坐标系中的平差方法,同时结合实例给予验证。根据文中的方法,很容易实现国家坐标系统与地方独立坐标系统、不同坐标系统间的互换。

关键词:独立坐标系统;GPS;数据处理;TGO;坐标转换

中图分类号:P226⁺.3;P228.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7949(2007)04-0022-03

Establishing and realization of local independent coordinate system

ZHANG Shu-qing¹,LI Yong-yun²

(1. Yunnan Surveying and Mapping Institute of Geology and Mineral Resources, Kunming 650218, China; 2. Southwest Jiaotong University Project Management Company, Chengdu 610031, China)

Abstract: This thesis analyses reasons and methods of establishing local independent coordinate system, it makes use of data processing system of GPS——TGO, and puts forward two adjustment methods of GPS nets in local independent coordinate system, and proves their feasibility by a instance. According to this paper, they are easy conversion to local independent coordinate system from national coordinate system and between different of coordinate systems.

Key words: independent coordinate system; GPS; data processing; TGO; coordinate transformation

1 地方独立坐标系的建立

1.1 我国的国家坐标系

目前,我国的国家坐标系统有 1954 年北京坐标系、1980 年西安大地坐标系、新 1954 年北京坐标系,它们都是参心坐标系。1954 年北京坐标系采用了克拉索夫斯基(Krassovsky)椭球体;1980 年西安大地坐标系的椭球参数采用 1975 年 IAG(国际大地测量和地球物理联合会)推荐值,定位和定向与 1954 年北京坐标系不相同;新 1954 年北京坐标系采用与 1954 年北京坐标系相同的参考椭球,其坐标系的定位和定向与 1980 年西安大地坐标系相同,是一种过渡坐标系统,主要作用在于避免因 1954 年北京坐标系、1980 年西安大地坐标系相应的椭球参数和定位不同而产生的大地控制点在 2 个坐标系中坐标值差异较大问题。

1.2 建立地方独立坐标系的原因

在城市测量或工程测量中,要求投影长度变形

不大于一定的值(如《工程测量规范》、《城市测量规范》为 2.5 cm/km)。然而,采用国家坐标系统在许多情况(高海拔地区、离中央子午线较远地方等)不能满足这一要求,这就要求建立地方独立坐标系。

建立地方独立坐标系的常规方法是以一个国家大地控制点和一条边的方位角作为起算数据,观测边长投影到某特定面(测区平均高程面、抵偿面)上。这一方法明显存在以下弊端:

- 1) 起算点坐标从国家坐标的参考椭球高斯成果直接搬至地方独立坐标系的投影面,这在理论上不严密,同时因起算点不同,整个网成果不同;
- 2) 与国家大地控制点不能严格转换,不利于资源共享;
- 3) 不能充分利用国家大地控制点提高网的精度,对于带状控制网(公路、输电线路等)尤为突出。

由此,应该建立一种既与国家坐标系有严密换算公式,又能保证投影变形在规定范围的地方独立坐标系统。

收稿日期:2007-05-22

作者简介:张述清(1965~),男,高级工程师。

1.3 建立地方独立坐标系的主要元素

1.3.1 中央子午线

中央子午线可以和国家坐标系标准带中央子午线重合,但当测区离标准带中央子午线较远时,可选取过测区中心点或过某点的经线作为中央子午线。

如果仅移动中央子午线能够解决投影变形,那么将起算点坐标进行换带就建立了地方独立坐标系。这就是许多测量规范所说的“投影于(新)1954年北京坐标系或1980年西安大地坐标系椭球面上的高斯正形投影任意带平面直角坐标系”。

1.3.2 投影面

若移动中央子午线不能解决投影变形,就要考虑选择适当的投影面。可选择测区的平均高程面,也可以选择抵偿高程面作为投影面。

1.3.3 地方坐标系参考椭球

通过对地方坐标系参考椭球几何元素、定位及定向的确定,使得椭球面与投影面拟合最好,这样投影变形可以减到最小,同时要求便于与国家坐标系进行换算。

1.4 地方独立坐标系的参考椭球确定

设国家坐标系的参考椭球为 E (长半径 a ,短半径 b ,扁率,第一偏心率 e ,第二偏心率 e'),地方独立坐标系的参考椭球为 E_1 (长半径 a_1 ,短半径 b_1 ,扁率 α_1 ,第一偏心率 e_1 ,第二偏心率 e'_1)。

为了减小投影变形,要求地方独立坐标系的参考椭球 E_1 应与投影面重合最好,重合的方法不止一种,主要有椭球平移法、椭球膨胀法^[2],而椭球膨胀法原理简单、易于实现,用现有的一些测量数据处理软件即可完成。椭球膨胀法的基本原理是:改变国家坐标系的参考椭球 E 的长半径 a ,且扁率不变,使其椭球面与投影面拟合最好,形成地方独立坐标系的参考椭球 E_1 , E_1 的定位、定向与 E 一致。椭球 E 、 E_1 的参数有如下关系

$$a_1 = a + \Delta a, \alpha_1 = \alpha, e_1 = e, e'_1 = e'.$$

对于 Δa 值有不同的观点。若投影面的正常高为 $H_{\text{正常}}$,平均高程异常值为 ξ ,正高为 $H_{\text{正}}$ (海拔),平均大地水准面差距为 η ,则投影面的大地高 $H = H_{\text{正常}} + \xi = H_{\text{正}} + \eta$ 。

观点 1:投影面的大地高 H 直接表现为对椭球长半径的变化量,即 $\Delta a = H^{[1]}$ 。

观点 2:投影面的大地高 H 表现为对卯西圈曲率半径 N 的影响,即 $N = H$,则 $\Delta a = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} \cdot N = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} H^{[2]}$ (N 为测区卯西圈曲率半径变化量, B 为测区平均纬度)。文

献[3]认为 $\Delta a = \frac{a}{N} H$,由于 $a = N \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$,因此亦属于本观点。

观点 3:投影面的大地高 H 影响椭球的平均曲率半径,即 E_1 椭球的平均曲率半径 $R_1 = R + H$ (R 为 E 椭球的平均曲率半径)。则 $\Delta a = \frac{1 - e^2 \sin^2 B}{\sqrt{1 - e^2}} H^{[4,5,7]}$ 。文献[8]认为 $\Delta a = \sqrt{1 - e^2} (1 + e^2 \cos^2 B) H$,将 $e^2 = \frac{e'^2}{1 - e'^2}$ 代入可得 $\Delta a = \frac{1 - e^2 \sin^2 B}{\sqrt{1 - e^2}} H$,属于观点 3。

2 国家坐标系与地方独立坐标系的换算

2.1 换算方法

国家坐标系参考椭球 E 的长半径 a ,变化 Δa 到 a_1 后的 E_1 地方椭球,其某点的大地坐标将产生微小变化^[1,6-8]:

$$\begin{bmatrix} \Delta B \\ \Delta L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^2 \sin B \cos B}{(M + H) \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \\ 0 \end{bmatrix} \Delta a. \quad (1)$$

式中: M 为国家参考椭球子午圈曲率半径。由国家坐标系坐标向独立坐标系的转换步骤为:

- 1) 确定投影面的大地高 H ,计算地方参考椭球的长半径 a_1 (当然,不同的观点结果不同);
- 2) 由已知控制点在国家坐标系坐标的高斯平面坐标,根据高斯投影反算的方法求取其大地坐标 B, L ;
- 3) 根据式(1)计算 ΔB ,得到在地方独立坐标系中的大地坐标 $B_1 = B + \Delta B, L_1 = L$;
- 4) 用地方参考椭球的椭球参数,根据高斯投影正算公式计算地方高斯平面坐标。

同理,可将地方独立坐标转换为国家坐标。

2.2 应用 TGO 进行不同坐标系统的坐标换算

TGO (Trimble Geomatics Office) 是美国 Trimble 公司开发的对 GPS 数据进行管理和处理的综合系统,是在 GPSurvey 软件的基础上改进成一个整体的、全能的、纯 Windows 界面的测量数据处理软件。该系统具有功能强大、使用方便、自动化程度高、结果可靠等特点,同时该软件开放使用不需要加密码,因此,在测绘及其相关领域得到广泛应用。

TGO 可以实现任意坐标系间的坐标换算,本文以从国家 54 坐标系向地方独立坐标系的转换来说明。本算例来源于文献[8],已知 1954 年北京坐标(表 1 的第 2 列),投影到测区平均高程面 1 040.092 m 上,计算出地方独立坐标系的参考椭球

长半径 $a_1 = 6\,379\,285.636\text{ m}$ (观点 3)。

表 1 1954 年北京坐标转换为地方独立坐标

| 点号 | 1954 年北京坐标 | | 地方独立坐标 | |
|----|-------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| | 高斯平面坐标 (中央子午线为 111°) | 大地坐标 | 大地坐标 | 高斯平面坐标 (中央子午线为 110°35'14") |
| | x/y | B/L | B/L | x/y |
| 1 | 4 498 373.219 | 40°37'06.092 03 | 40°37'06.203 72 | 4 499 009.917 |
| | 461 073.604 | 110°32'23.952 27 | 110°32'23.952 27 | 496 002.282 |
| 2 | 4 496 523.557 | 40°36'07.275 04 | 40°36'07.386 72 | 4 497 195.049 |
| | 468 546.401 | 110°37'42.192 96 | 110°37'42.192 96 | 503 484.774 |
| 3 | 4 490 657.200 | 40°32'57.159 54 | 40°32'57.271 19 | 4 491 329.910 |
| | 468 982.190 | 110°38'01.765 11 | 110°38'01.765 11 | 503 948.119 |

1) 根据文献[9]的方法在 TGO 中建立国家 54 坐标系统(命名 BJ111,中央子午线为 111°)及地方独立坐标系(命名 DF110,中央子午线为 110°35'14");

2) 建立一个项目,坐标系统为 BJ111,应用“插入点”功能,将所有点的国家高斯平面坐标输入;

3) 改变坐标系统为 DF110,点取“网格”或“地方”,即为参考椭球长半径 $a_1 = 6\,379\,285.636\text{ m}$ 、中央子午线为 110°35'14"的地方独立坐标系中点的高斯平面坐标或大地坐标(表 1 的第 4、5 列)。

3 在 TGO 中实现地方独立坐标系的建立和 GPS 网平差

3.1 在 TGO 中建立地方独立坐标系

确定地方独立坐标系参考椭球元素后,根据文献[9]的方法在 TGO 建立地方独立坐标系统。用该方法建立的坐标系统,其参考椭球的定位、定向与国家坐标系统一致。

3.2 平差 GPS 网求取未知点在地方独立坐标系中的坐标

在 TGO 中,建立了地方独立坐标系便可应用平差功能进行 GPS 网平差。

实例:某城市四等控制网,余家屯、太和山、石油处是三角起算点,1954 年北京坐标系($L = 105^\circ$)成果见表 2。因投影变形超过 2.5 cm/km ,建立该城市的独立坐标系($L = 103^\circ47'$,投影面高程为 $1\,880\text{ m}$,测区平均纬度 $B_0 = 25^\circ34'$,大地水准面差距 $\sigma = 35\text{ m}$)。

1) 投影面的大地高 $H = H_{\text{正}} + \sigma = 1\,915\text{ m}$,地方参考椭球的长半径 $a_1 = 6\,378\,245 + 1\,915 = 6\,380\,160\text{ m}$ (观点 1)。

表 2 起算点坐标

| 点名 | 1954 年北京坐标系($L = 105^\circ$) | | 地方独立坐标系 | |
|-----|--------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| | X | Y | X | Y |
| 太和山 | 2 828 304.780 | 378 533.520 | 2 828 606.045 | 500 805.134 |
| 石油处 | 2 824 134.790 | 380 124.150 | 2 824 450.287 | 502 434.071 |
| 余家屯 | 2 818 390.860 | 383 166.420 | 2 818 733.668 | 505 529.110 |

2) 约束平差求取待定点坐标的方法有两种。

方法一:按照上述方法求得已知点在独立坐标系中的坐标见表 2。平差基准选择地方独立坐标系,已知点用换算到地方坐标系的成果进行平差。

方法二:在 1954 年北京坐标系下,直接进行约束平差,然后改变项目属性中的坐标系统到地方独立坐标系。

两种平差方法的结果基本一致,坐标差值 $X_{\text{最大}} = 2\text{ mm}$, $Y_{\text{最大}} = 1\text{ mm}$;点位中误差较差最大为 1 mm 。

4 结束语

建立地方独立坐标系统在控制测量工作中是一件很平常的事情。然而常规的方法存在文中所分析的弊端,建立一个与国家坐标系统有严密换算关系的地方独立坐标系统又苦于难以实现,虽然有的测绘同行编制了这方面的计算机软件,但并非需要测绘工作者都能拥有该软件,更为不便的是该类软件独立存在而不能与当今控制测量的主要手段——GPS 测量有机结合。笔者根据测量界流行的共享 GPS 数据处理系统——TGO 来解决了该问题,相信该办法将给需要建立地方独立坐标系统的测绘同仁有益的帮助和启迪。

(下转第 29 页)

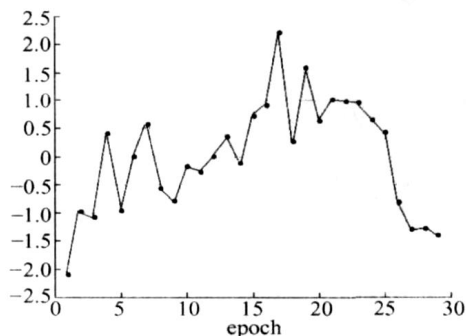


图8 伪距相位组合法 LC-PC 残差分布

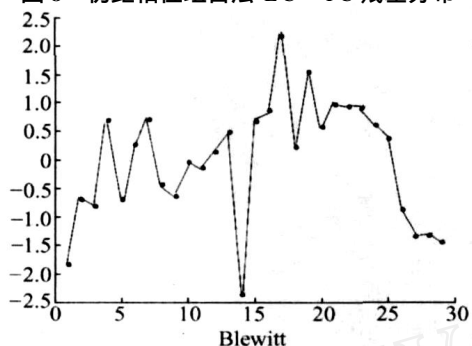


图9 Blewitt 法 LC-PC 残差分布

从 LC-PC 残差分布图可知,两者的 LC-PC 残差值均在 0 左右波动,可证明上述两种方法周跳处理有效,修复成功。

3 结论

对于采样率为 1 s 的动态数据,双频观测值双差法、伪距载相组合法 Blewitt 组合均可达到 3~5 周左右的水平。

双频观测值双差法直接反映了双频载波相位观测值受电离层延迟的变化,可以准确探测周跳的位

置,其缺点在于无法判断周跳究竟是发生在 L_1 还是 L_2 载波上,不能计算各载波上发生的周跳。

伪距载相组合法对于 N_1 和 N_2 分别为 9 和 7 的整数倍,及 N_1 和 N_2 相等的情况下无法探测。它依赖于伪距测量精度,如果进一步提高伪距测量精度,使 N_1, N_2 能确定到一周以内的水平,则可以唯一确定周跳。

Blewitt 组合可以唯一确定各个载波上的周跳,实验结果表明,该方法是组合法中周跳处理最合理、最“干净”的方法。

参考文献

- [1] 韩绍伟. GPS 组合观测值理论及应用[J]. 测绘学报, 1995, 24(2): 8-13.
- [2] 王永澄, 黄建宇. GPS 载波相位测量的一种应用[J]. 数据采集与处理, 1998, 13(4).
- [3] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] GEOFFREY BLEWITT. An Automatic Editing Algorithm for GPS Data[J]. Geophysical Research Letters, 1999, 17(3): 199-202.
- [5] 郑作亚, 程宗颐, 黄斌, 等. 对 Blewitt 周跳探测与修复方法的改进[J]. 天文学报, 2005, 46(2): 216-224.
- [6] 刘经南, 叶世榕. GPS 非差相位精密单点定位技术探讨[J]. 武汉大学学报: 信息科学报, 2002, 27(3): 234-240.
- [7] 李征航, 黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [8] 刘根友, 朱才连, 任超. GPS 相位与伪距联合实时定位算法[J]. 测绘通报, 2001(10): 10-11.
- [9] 王仁谦, 朱建军. 利用双频载波相位观测值求差的方法探测与修复周跳[J]. 测绘通报, 2004(6): 9-11.

[责任编辑: 刘文霞]

(上接第 24 页)

参考文献

- [1] 刘大杰, 施一民, 过静琨. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996.
- [2] 李征航, 黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [3] 中华人民共和国交通部. JTJ/T 066-98 公路全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [4] 牛卓立, 赖昌意. 建立区域坐标系问题的讨论[J]. 测绘工程, 1998, 7(4): 13-16.
- [5] 鲍建宽. 高斯平面坐标换算到测区平均高程面上的方法

- [J]. 测绘工程, 1997, 6(3): 46-49.
- [6] 施一民. 建立区域坐标系问题的我见[J]. 测绘工程, 2000, 9(1): 38-41.
- [7] 邱云峰, 倪津. 不同投影归算面间的坐标换算[J]. 测绘通报, 2001(9): 12-13.
- [8] 冯林刚. GPS 测量控制网纳入独立坐标系的方法[J]. 地矿测绘, 2000(3): 6-8.
- [9] 张述清. 全球定位系统的数据处理系统——TGO 功能扩展应用[J]. 测绘通报, 2006(10): 36-38.
- [10] 施一民, 李健, 周拥军, 等. 地方独立坐标系的性质与区域性椭球面的确定[J]. 测绘通报, 2001(9): 4-5.

[责任编辑: 刘文霞]