

关于国家高精度 GPS B 级网成果的使用问题

程传录, 郭春喜, 王小瑞

(国家测绘局大地测量数据处理中心, 西安 710054)

【摘 要】本文简要地介绍了国家高精度 GPS 网^[1]情况, 对 GPS B 级网与 2000 国家 GPS 大地控制网^[3]重合点的成果进行了比较与分析, 在 2000 国家大地坐标系下, 如何处理以 B 网成果为基准建立的 GPS C 级网或城市基础控制网成果问题进行了讨论, 提出了解决办法, 并进行了试算、分析和比较。

【关键词】国家高精度; GPS B 级网; 2000 国家 GPS 大地控制网

【中图分类号】P228

【文献标识码】A

【文章编号】1009-2307(2005)05-0031-03

1 概 述

由国家测绘局等单位于 1992 年合作完成了国家高精度 GPS A 级网(简称 A 级网), 参考框架与历元为 ITRF91 1992.58。1996 年又完成了 A 级网的复测, 其参考框架与历元为 ITRF93 1996.365, 同时在 1991~1995 年间在全国范围内布测了国家高精度 GPS B 级网(简称 B 级网), 其参考框架与历元为 ITRF93 1996.365, 其成果已于 1998 年公布在全国范围内使用。

在 2000~2003 年, 国家测绘局等单位将国家高精度 GPS A B 级网、全国 GPS 一二级网(简称一二级网)、全国 GPS 地壳运动监测网(简称地壳监测网)及中国地壳运动观测网络(简称网络工程)等高精度 GPS 控制网进行了统一平差处理, 建立了“2000 国家 GPS 大地控制网”, 其参考框架与历元为 ITRF97 2000.0。该项目已通过国家验收, 即将发布使用。

鉴于此情况, 如何处理和使用以 B 级网为基准建立的 GPS C 网或城市基础控制网成果, 使其能够与 2000 国家大地坐标系保持一致, 已经成为测绘部门关注的焦点问题, 本文就此问题进行讨论。

2 两种坐标成果的比较

2000 国家 GPS 大地控制网涵盖了原 B 级网, 故 B 级网点有两套成果。一套是原国家高精度 GPS B 级网成果(ITRF93 1996.365), 另一套是 2000 国家 GPS 大地控制网成果(ITRF97 2000.0), 这两套成果是不同的。

2.1 坐标成果的比较

2000 国家 GPS 大地控制网涵盖了目前国内精度最高的 GPS 网, 在平差时以国内及周边 GPS 跟踪站和网络工程基准点与基本点为控制, 起算点分布均匀、精度高。而 B 级网以 A 级网点为起算, 对全国范围来说起算点较少, 控制相对偏弱。从两套成果的比较表中看, 有些点的坐标分量差达到 2 个 dm, 也有的坐标分量完全一致, 总体上讲位置互差约 1.5dm。由此看来相对于 2000 国家 GPS 大地控制网而言, B 级网的个别区域有扭曲现象。

表 1 两套成果的比较

项目 \ 最值	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔP
最小值	-0.002m	0.000m	0.000m	0.043m
最大值	-0.267m	-0.185m	-0.253m	0.339m
平均值	-0.113m	-0.057m	-0.035m	0.139m

注: ΔX 、 ΔY 和 ΔZ 为坐标分量差, ΔP 为位置互差。

2.2 参考框架和参考历元不同

这两套所采用的参考框架和参考历元不同是不同的, GPS B 级网成果的参考框架是 ITRF93, 参考历元为 1996.365, 而 2000 国家 GPS 大地控制网成果的参考框架是 ITRF97, 参考历元为 2000.0。不同参考框架的原点、定向、尺度因子以及时间变化都不尽相同, 表 2 给出 ITRF88~ITRF97 的转换参数。我国地壳运动复杂, 有些地区年速率达 2~3cm, 而有些地区年速率不到 1cm, 所以不同的参考历元其结果是不同的。

3 国家高精度 GPS B 级网成果使用的转换方法

为了充分利用已建立的 GPS 网(以 B 级网为基准)成果资源, 更好地发挥它在国民经济发展中的作用, 需要解决与 2000 国家 GPS 大地控制网成果的一致性问题, 使已建立的 GPS 网成果与即将启动的 2000 国家大地坐标系保持一致。有三种方法可以解决, 第一种方法是通过公共点进行坐标转换; 第二种方法是更换起算点的坐标, 重新进行网平差处理; 第三种方法是通过参考框架和参考历元转换的办法, 将原成果转换为 2000 国家大地坐标系的成果。

3.1 坐标转换

通过公共点进行坐标转换, 将以 B 级网为基准建立的 GPS 网成果转换为 2000 国家大地坐标系的成果, 使其成果保持一致。坐标转换采用布尔莎模型^[4]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -Z & Y \\ Z & 0 & -X \\ -Y & X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: 3 个平移参数 $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$, 3 个旋转参数 $[\omega_X \ \omega_Y \ \omega_Z]^T$ 和 1 个尺度因子 m 。在坐标转换时可采用强制的方法转换, 使公共点的坐标保持不变, 非公共点采用配置法计算其改正数, 计算方法为:

$$V' = \frac{\sum_{i=1}^n P_i V_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2)$$

其中: n 为公共点的个数, P 为权, 可以根据非公共点与公共点之间距离平方的倒数定权, V_i 为公共点的改正数。

我们利用该模型对 B 级网点的两套坐标成果的 812 个点进行了拟合计算, 求得了坐标转换参数。X 方向的平移

表 2 ITRF 参考框架的转换参数^[6]

ITRF	T ₁ (cm) V _{T1} (cm/y)	T ₂ (cm) V _{T2} (cm/y)	T ₃ (cm) V _{T3} (cm/y)	D(ppb) V _D (cm/y)	R ₁ (.001") V _{R1} (.001" /y)	R ₂ (.001") V _{R2} (.001" /y)	R ₃ (.001") V _{R3} (.001" /y)	EPOCH
ITRF97	0.67 0.00	0.61 -0.06	-1.85 -0.14	1.55 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.02	1997.0
ITRF96	0.67 0.00	0.61 -0.06	-1.85 -0.14	1.55 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	1997.0
ITRF94	0.67 0.00	0.61 -0.06	-1.85 -0.14	1.55 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.02	1997.0
ITRF93	1.27 -0.29	0.65 -0.02	-2.09 -0.06	1.95 0.01	-0.39 -0.11	0.80 -0.19	-1.14 0.07	1988.0
ITRF92	1.47 0.00	1.35 -0.06	-1.39 -0.14	0.75 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF91	2.67 0.00	2.75 -0.06	-1.99 -0.14	2.15 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF90	2.47 0.00	2.35 -0.06	-3.59 -0.14	2.45 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF89	2.97 0.00	4.75 -0.06	-7.39 -0.14	5.85 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF88	2.47 0.00	1.15 -0.06	-9.79 -0.14	8.95 0.01	0.10 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0

量约 15cm, Y 方向和 Z 方向的平移量约 5cm, X、Y 及 Z 轴的旋转角和尺度比很小, 可以忽略不计。

3.2 重新进行网平差

利用原基线处理结果, 经过粗差剔除和基线检验后, 使用 2000 国家大地控制网成果为起算坐标, 进行整体平差, 即可获得一套 2000 国家大地坐标系的坐标成果, 从而解决了与 2000 国家大地坐标系的一致性问题。

3.3 参考框架与参考历元转换

通过参考框架和参考历元转换的方法, 可以将原 B 级网成果 ITRF93 1996.365 转换为 2000 国家 GPS 大地控制网成果 ITRF97 2000.0。

3.3.1 将参考框架 ITRF93 转换为 ITRF97

由于章动和极移的影响, 引起了国际协定地极原点 CIO 的变化, 所以 ITRF 框架每年也都在发生变化。根据不同时间段可定义不同的 ITRF(如: ITRF93, ITRF96 等), 因此存在不同框架的转换问题。框架转换公式^[5]:

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_s & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D_s & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中: $[X_s Y_s Z_s]^T$ 为目标框架, $[X Y Z]^T$ 为原始框架, $[T_1 T_2 T_3]^T$ 为平移参数, D_s 尺度因子, $[R_1 R_2 R_3]^T$ 为旋转参数。

3.3.2 将参考历元 1996.365 转换为 2000.0

在 ITRF 框架固定的前提下, 控制点在不同历元下对应的坐标也是不同的, 为了实际应用或研究的需要, 需要将同一框架下不同参考历元的坐标转换为同一参考历元下的坐标成果, 转换公式^[5]如下:

$$\begin{bmatrix} X_{t_2} \\ Y_{t_2} \\ Z_{t_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{t_1} \\ Y_{t_1} \\ Z_{t_1} \end{bmatrix} + (t_2 - t_1) \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: t_1 为原始参考历元, t_2 为目标参考历元, $[V_X V_Y V_Z]^T$ 为控制点的速率。

3.4 算例

某 GPS 控制网由 93 个点组成(图 1), 其中重合 B 级网点 4 个, 分别使用三种方法进行了计算。方法一是利用 4

个重合点按照(1)和(2)式进行计算; 方法二是固定 4 个 B 级网点进行平差; 方法三是按照(3)和(4)式进行计算。以方法 2 为基准进行比较, 比较结果详见图 2 和图 3。

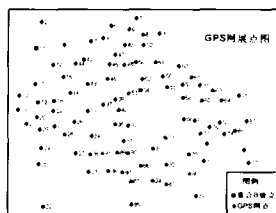


图 1 GPS 网展点图

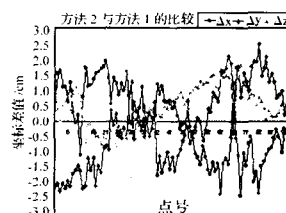


图 2 方法 2 与方法 1 的差值比较统计图

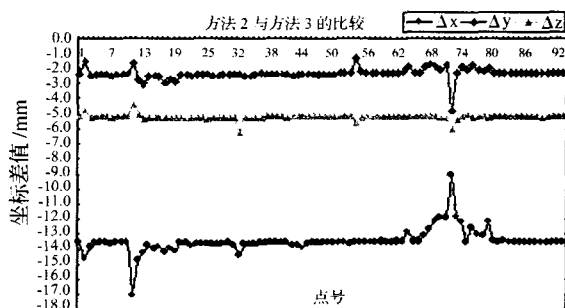


图 3 方法 2 与方法 3 的差值比较统计图

由图 2 可知, 坐标转换与重新平差的结果最大差值不超过 2.5cm, 方法一和方法二均可以满足工程控制需要。由图 3 可知, 方法三明显存在系统误差, 呈现出坐标平移现象, 其主要原因是没有精确的速度场数据而引起的。

4 结束语

通过上述三种方法即可解决原 B 级网成果或以 B 级网为基准建立的 GPS C 网(或城市基础控制网)成果与 2000 国家 GPS 大地控制成果不一致的问题。

1) 在方法三中, 参考框架之间的转换参数可以通过有
(下转第 35 页)

海拔高度下降, 冰体体积同样正在减少。科学家们希望将质量平衡分为长期变化的趋势(即质量的长期变化)和其它短时变化, 如年际变化等。ICESAT/GLAS 将通过测定表面高程的变化来测定南极洲的冰原变化。

测定南极洲和格陵兰地区冰原的体积(或质量)的长期变化, 并以较高的精度估算由这些变化引起的全球海平面的变化, 以较高的时间和空间的分辨率测定表面高程的季节和年际, 用于确定长期的变化趋势和给出对这些趋势的合理解释。ICESAT 的目的还有精确测定这些冰原和表面冰层的高程并描述它们的表面特征(如表面粗糙度等)。

ICESAT 在陆地上的主要应用是用于测定全球的陆地地形, 作为地形图和数值高程模型的参考基准。ICESAT 可测定分辨率为 100m 的陆地高程, 精度约为 10m。利用 ICESAT 的重复观测数据, 可望测定有限区域内地形的米级年变化。由 ICESAT 数据确定高纬度地区的 DEM 模型, 完成对陆地地形和植被的采集, 而由重复观测则可确定表面高的变化。对由 ICESAT 数据确定的 DEM, 即使在高纬度地区, ICESAT 可有很多的应用。

ICESAT 大气科学研究中的应用主要是云层和气溶胶的测量。ICESAT 卫星上的 GLAS 对云层和气溶胶的测量可用于确定辐射力, 并确定由云层和气溶胶引起的大气热变化率的垂直向分量。

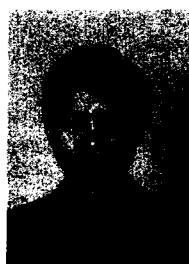
地球的大气层是一个复杂的变幻莫测的动力系统。由于我们对大气状态全球观测的局限, 我们对短期天气的预报及长期气候的预报也受到影响。而气候主要受云层的垂直结构和水平覆盖的影响, 因为它们会影响到热辐射速率的垂直分布。对表面及云层内热辐射进行模拟时, 云层的高度, 大小以及厚度为其中的主要因素。而云层通常为多层结构, 并具有不同的空间尺度。卫星上的辐射计可以很准确的测定云层的顶部, 但上层的云层将影响辐射计分辨云层的多层结构以及云层的垂直分布。将被动遥感技术与 LiDAR(Light Detection and Ranging)和雷达相结合可以更高的精度测定云层的特征以便于气候变化的研究。气候模型显示温室效应将使全球气候变暖。但主要由人类活动而引起的气溶胶含量的增加则会引起全球气候变暖。气溶胶通过对太阳辐射的吸收和散射改变云层的颗粒结构和密度, 从而改变影响云层对太阳光压, 散射和吸收特征。

通过直接观测云层和气溶胶参数的垂直结构和量级对确定大气层辐射平衡尤为重要, 但由现有的或计划中的被动式传感器很难或几乎不可能测定, 而 GLAS 通过直接观

测云层和气溶胶参数的垂直结构, 可用于确定辐射力并确定由云层和气溶胶引起的大气热变化率的垂直向分量。ICESAT/GLAS 卫星将为我们更好的研究地球的变化提供许多有价值的观测数据。

参考文献

- [1] Bae S and B Schutz: Precision Attitude and Laser Pointing Determination (PAD) [Z]. GLAS ATBD Version 2.1, October 2002.
- [2] Nerem R S, et al. Improved determination of global mean sea level variations using TOPEX/POSEIDON altimeter data [J]. Geophys, Res Lett, 1997: 1331-1334.
- [3] Brenner A, J Zwally, C Bentley, B Csatho, D Harding, M Hofton, B Minster, L Roberts, J Saba, R Thomas, D Yi. Derivation of Range and Range Distributions from Laser Pulse Waveform Analysis for Surface Elevations, Roughness, Slope, and Vegetation Heights [Z]. GLAS ATBD, 2000 (7).
- [4] GLAS Instrument Team. Geoscience Laser Altimeter System Preliminary Design Review [Z]. NASA Goddard Space Flight Center, 1998, (1): 12-14.
- [5] GLAS Science Team. Geoscience Laser Altimeter System GLAS Science Requirements Document [Z]. Center for Space Research, University of Texas at Austin, 1997, 10.
- [6] Herring T and K Quinn. Atmospheric Delay Correction to GLAS Laser Altimeter Ranges [Z]. GLAS ATBD, 1999 (2).
- [7] McCarthy D. (ed.), IERS Conventions (1996), International Earth Rotation Service Technical Note 21, Observatoire de Paris, July 1996.



作者简介: 文汉江(1966-), 男, 湖北天门人, 博士, 研究员, 主要从事物理大地测量及卫星测高等方面的研究工作。
E-mail: wenhj@casm.ac.cn

(上接第 32 页)

关资料得到, 但计算比较繁琐, 而控制点的速率一般不容易得到, 这是因为我国地壳运动复杂, 还没有一个真正能够反映我国地壳运动的速度场;

2) 在方法二中, 需要有原始基线解算结果, 重新整体平差即可;

3) 在方法一中, 只通过坐标相似变换即可。

方法一和方法二的结果基本一致, 对结果没有什么影响, 为实际使用方便起见, 建议采用方法一。

参考文献

- [1] 陈士银, 程传录. 国家高精度 GPS(B 级)网数据处理简介 [J]. 测绘科技通讯, 1998, 89-91.
- [2] 程传录, 等. 基于跟踪站模式下的 GPS 技术应用 [J]. 测绘科学, 2003, 28 (9).
- [3] 总参测绘局, 国家测绘局中国地震局. 2000 国家 GPS 大地控制网数据处理报告 [R]. 2003, 10.

- [4] 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, 09.
- [5] IERS Technical IERS Conventions (1996), D. McCarthy, editor, Observatoire de Paris; 1 July 1996.
- [6] The International Terrestrial Reference Frame ITRF [EB/OL]. ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP



作者简介: 程传录(1965-), 男, 陕西商洛人, 高级工程师, 主要从事大地测量数据处理与研究工作。
E-mail: cl_cheng@163.com