

文章编号:1671-8860(2007)11-0967-05

文献标志码:A

# 坐标基准维持与动态监测网数据处理

杨元喜<sup>1</sup> 张丽萍<sup>2,3</sup>

(1 西安测绘研究所,西安市雁塔路中段1号,710054)

(2 西安测绘信息技术总站,西安市西影路36号,710054)

(3 信息工程大学测绘学院,郑州市陇海中路66号,450052)

**摘要:**坐标基准的维持不仅要求有高精度的连续大地测量观测或定期复测,还要求采用合理的数据处理原则与方法。分析了不同平差方法对基准的影响,其中包括经典整体平差、序贯平差和自适应序贯平差。利用GPS监测网数据进行了计算与分析,结果表明,当个别点位发生异常移动或变形时,序贯平差会使坐标基准产生实际的扭曲,而自适应序贯平差则能有效控制异常点位对平差基准的影响,保证了坐标基准的可靠性和现势性。

**关键词:**基准;序贯平差;自适应序贯平差;自适应因子

**中图法分类号:**P207; P228.42

任何大地测量坐标基准除包括坐标系统的定义外,还应有相应的框架点的点位坐标(含精度)及相应的历元与之对应。同一定义下的坐标系可以由不同的框架点标定,同一坐标系下的框架点也可能有不同精度和不同历元的坐标。如美国建立的WGS84就分为WGS84(G730)和WGS84(G873)等,其中G表示GPS技术,而730和873代表GPS周,即该系列坐标框架分别由730周和873周的GPS观测数据确定<sup>[1]</sup>。国际地球参考框架(ITRF)也已生成了多个历元、多个精度的版本,如ITRF89、ITRF90、ITRF91、ITRF92、ITRF93、ITRF94、ITRF96、ITRF97、ITRF92000等全球参考框架<sup>[2]</sup>。中国也已建立了自己的大地测量基准,即2000大地坐标系(CGCS2000)<sup>[2-6]</sup>,它是一个定义明确的地心坐标系统,有2500多个GPS框架点(精度为3cm)和近5万个加密三角网点(精度为0.3m),历元为2000.0<sup>[3,4]</sup>。为了维持和更新中国大地坐标系统,必须建立永久跟踪站或高精度定期复测框架点,构成监测网。但是动态监测网数据处理的原则和方法的不同将导致不同的基准。因为大地测量基准一般由某些已知点组成,这些已知点称之为基准点。坐标基准的确定标志着坐标系统的确定。

实践中,根据大地测量数据处理方法的不同,相应的坐标基准可以分为强基准和弱基准。为使动态监测网平差结果对应地心坐标系,选择参考基准时,基准应由某些具有精确地心坐标的稳定点群标定,这些稳定点群应具有连续观测功能,并能提供可靠的坐标和位移。平差时,对这些跟踪站的坐标施加某种约束,可使动态监测网直接纳入到已经定义的参考框架下。选择的参考站不同,平差中对参考站坐标施加的约束不同,将产生不同的平差方法和不同的平差基准<sup>[7,8]</sup>。

## 1 经典平差及其基准

设观测方程为:

$$\mathbf{L} = \mathbf{AX} + \boldsymbol{\Delta} \quad (1)$$

式中,  $\mathbf{L}$  为观测值向量;  $\boldsymbol{\Delta}$  为观测误差向量;  $\mathbf{X}$  为待估参数向量;  $\mathbf{A}$  为设计矩阵, 并设观测向量的权矩阵为  $\mathbf{P}$ 。此外, 假设

$$E(\boldsymbol{\Delta}) = 0, D(\boldsymbol{\Delta}) = \boldsymbol{\Sigma}_{\boldsymbol{\Delta}} = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1} \quad (2)$$

相应的误差方程为:

$$\mathbf{V} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{X}} - \mathbf{l} \quad (3)$$

其中,  $\mathbf{l} = \mathbf{L} - \mathbf{AX}_0$ ;  $\mathbf{V}$  为观测残差向量;  $\mathbf{X}_0$  为未知参数的近似值向量;  $\hat{\mathbf{X}}$  为  $\mathbf{X}_0$  的改正数向量。

若在动态监测网平差中,对选取的参考站坐标作固定约束,则最小二乘原则为:

$$\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V} = \min \quad (4)$$

参数向量的最小二乘解为:

$$\begin{aligned} \delta \hat{\mathbf{X}} &= (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \\ \hat{\mathbf{X}} &= \mathbf{X}_0 + \delta \hat{\mathbf{X}} \end{aligned} \quad (5)$$

由于在平差过程中,参考点坐标未作改正,于是参考点坐标误差将无条件地带到后续的动态监测平差结果中。若参考点的坐标精度很高,这种约束所带来的坐标系统定义的不精确可以忽略不计。在参考点坐标的约束下,所获得的动态监测网平差结果的坐标基准可认为未发生变化。这类固定某些参考点坐标的平差方法所对应的基准称为强基准。

采用强基准平差的理由是:这些点具有绝对的高精度,当基准点固定后,所有其他观测点的系统误差和较大的偶然误差都将受到基准点的控制而不能被转移。其弱点是:基准点的所有误差都将无条件地加入未固定点的点位坐标估计值中,而且基准点将不从任何高精度观测信息中受益,即坐标基准不能得到更新,框架点坐标精度也得不到提高。对于动态监测网,如永久跟踪站,一般不宜采用强基准平差,因为如果将所有跟踪站坐标均固定,则后续的观测资料将失去意义。

## 2 序贯平差及其基准

顾及某些参考点的坐标先验信息的平差称为参数加权平差或序贯平差,该平差方法已被广泛应用于动态大地监测网平差中。实际上,先验信息的应用一方面可以提供动态监测网平差的参考基准;另一方面,增加新的高精度观测信息也将提高参考基准的精度。

顾及参数先验信息一般是将高精度的参数估计值作为先验值,将相应的参数协方差矩阵的逆作为参数向量的权矩阵,这种序贯平差的基准意义明晰。设参数先验值向量和协方差矩阵分别为:

$$E(\mathbf{X}) = \mu_{\mathbf{X}}, D(\mathbf{X}) = \boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{X}} = \sigma^2 \mathbf{P}_{\mathbf{X}}^{-1} \quad (6)$$

并设  $\mu_{\mathbf{X}}$  和  $\boldsymbol{\Delta}$  不相关,即  $\boldsymbol{\Sigma}_{\mu_{\mathbf{X}} \boldsymbol{\Delta}} = 0$ 。对于序贯平差,可设  $\mathbf{X}$  的近似值为  $\mathbf{X}_0 = \mu_{\mathbf{X}}$ ,则参数估值为  $\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{X}_0 + \mathbf{V}_{\mathbf{X}}$ 。

目标函数为:

$$\Omega = \mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V} + \mathbf{V}_{\mathbf{X}}^T \mathbf{P}_{\mathbf{X}} \mathbf{V}_{\mathbf{X}} = \min \quad (7)$$

由此可推得参数估值向量为:

$$\hat{\mathbf{X}}_p = \mathbf{X}_0 + (\mathbf{N} + \mathbf{P}_{\mathbf{X}})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} (\mathbf{L} - \mathbf{A} \mathbf{X}_0) \quad (8)$$

其中,  $\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ 。式(8)中的  $\hat{\mathbf{X}}_p$  也可写成下列形式:

$$\hat{\mathbf{X}}_p = (\mathbf{N} + \mathbf{P}_{\mathbf{X}})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{L} + \mathbf{P}_{\mathbf{X}} \mathbf{X}_0) \quad (9)$$

式(9)表明参数估值是观测向量  $\mathbf{L}$  与参数近似值向量  $\mathbf{X}_0$  的加权平均值。

实际上,式(9)等价于将求解  $\mathbf{X}_0$  的观测向量  $\mathbf{L}_0$  及其相应的权矩阵与新观测向量  $\mathbf{L}$  一起进行平差,即要求

$$\mathbf{V}_0^T \mathbf{P}_0 \mathbf{V}_0 + \mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V} = \min \quad (10)$$

式中,  $\mathbf{V}_0$  为  $\mathbf{L}_0$  的残差向量;  $\mathbf{P}_0$  为  $\mathbf{L}_0$  的权矩阵。

显然,由式(7)进行的平差,其基准已由

$$\mathbf{V}_0^T \mathbf{P}_0 \mathbf{V}_0 = \min \quad (11)$$

的第一步平差所选定的基准确定。而式(11)与式(7)组成的两步平差与按式(10)进行的统一平差等价。

为了保持大地测量基准的连续性、稳定性和可靠性,动态监测网平差一般应将高精度且稳定的连续跟踪站坐标按其协方差阵的逆进行加权,这样既可使动态监测网不致产生大的扭曲变形,精度得到控制,又可使我国框架点坐标纳入到 ITRF 参考框架中。由于我国已建立高精度的地心坐标系,采用了全球分布的 IGS 站作为控制,且由于这些 IGS 站长年不间断观测,已获得这些站点的精确地心坐标和协方差矩阵,精度达 mm 级,于是在 IGS 站点坐标及协方差矩阵的控制下,可使我国动态监测网平差坐标与 IGS 站同属于一个地心坐标系。实际上,中国 2000GPS 大地控制网采用的正是以式(10)为原则的平差方法,并采用了 ITRF97 的坐标作为控制,于是,中国 2000GPS 大地控制网所对应的基准与 ITRF97 一致<sup>[3]</sup>。

如果序贯平差时仅选择部分已平差点作为框架点,则相应的参考点的坐标  $\mathbf{X}_0$  和协方差矩阵  $\boldsymbol{\Sigma}_0$  可设为先验信息,相应的先验权矩阵为  $\mathbf{P}_0 = \sigma_0^2 \boldsymbol{\Sigma}_0^{-1}$ ,其他动态监测网点的观测向量为  $\mathbf{L}_k$ ,相应的权矩阵为  $\mathbf{P}_k$ ,相应的误差方程为:

$$\mathbf{V}_k = [\mathbf{A}_0 \quad \mathbf{A}_k] \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{X}}_0 \\ \hat{\mathbf{X}}_k \end{bmatrix} - \mathbf{L}_k \quad (12)$$

式中,  $\mathbf{X}_k$  为动态监测网在  $t_k$  时刻的点位坐标向量,无先验信息。将  $\mathbf{X}_0$  看成是虚拟观测向量  $\mathbf{L}_0$ ,即  $\mathbf{L}_0 = \mathbf{X}_0$ ,则误差方程(12)扩展为:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_0 \\ \mathbf{V}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & 0 \\ \mathbf{A}_0 & \mathbf{A}_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{X}}_0 \\ \hat{\mathbf{X}}_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{L}_0 \\ \mathbf{L}_k \end{bmatrix} \quad (13)$$

其参数向量最小二乘估值为:

$$\hat{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{X}}_0 \\ \hat{\mathbf{X}}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_{00} + \mathbf{P}_0 & \mathbf{N}_{0k} \\ \mathbf{N}_{k0} & \mathbf{N}_{kk} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_0 + \mathbf{P}_0 \mathbf{L}_0 \\ \mathbf{U}_k \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中,  $\mathbf{N}_{00} = \mathbf{A}_0^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_0$ ,  $\mathbf{N}_{0k} = \mathbf{A}_0^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k = \mathbf{N}_{k0}^T$ ,  $\mathbf{N}_{kk} = \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k$ ,  $\mathbf{U}_0 = \mathbf{A}_0^T \mathbf{P}_k \mathbf{L}_k$ ,  $\mathbf{U}_k = \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{L}_k$ 。

由于这类平差未固定任何参考点, 故平差后网点坐标相对于弱基准。弱基准平差将所有已知点坐标均作为具有先验信息的随机量, 点位坐标均按其已知的协方差矩阵进行加权, 平差后, 已知点坐标将获得改正数, 故其基准有所弱化。但如果参加平差的观测信息可靠, 则基准点会从平差中受益, 尤其是当基准点观测精度不高时, 更能通过联合平差得到改善。反之, 若基准点精度很高, 但参加平差的其他观测值精度偏低, 甚至有系统误差时, 可能会降低基准点的可靠性, 从而也降低坐标基准的物理意义和统计精度。

### 3 自适应平差及其基准

为了削弱参数先验信息异常对参数估值的影响, 使平差结果能更真实地反映现时的状态, 可以采用自适应序贯平差法<sup>[9-13]</sup>。由于参数先验信息所含异常大小的量级不同, 可以采用逐点自适应因子调节法和各坐标分量自适应因子调节法进行自适应序贯平差。

与单因子自适应滤波相似, 多因子自适应序贯平差的原则为<sup>[11]</sup>:

$$\Omega = \mathbf{V}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{V}_k + (\hat{\mathbf{X}}_k - \hat{\mathbf{X}}_{k-1})^T \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \mathbf{P}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}} \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \cdot (\hat{\mathbf{X}}_k - \hat{\mathbf{X}}_{k-1}) = \min \quad (15)$$

其中,  $\boldsymbol{\alpha}_k$  为对角矩阵; 元素  $\alpha_{k_i}$  为自适应因子<sup>[11]</sup>。相应的自适应序贯平差解为:

$$\hat{\mathbf{X}}_k = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k + \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \mathbf{P}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}} \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}})^{-1} (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{L}_k + \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \mathbf{P}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}} \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \hat{\mathbf{X}}_{k-1}) \quad (16)$$

若令

$$\bar{\mathbf{P}}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}} = \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \mathbf{P}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}} \boldsymbol{\alpha}_k^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

则解为:

$$\hat{\mathbf{X}}_k = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k + \bar{\mathbf{P}}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}})^{-1} (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{L}_k + \bar{\mathbf{P}}_{\hat{\mathbf{X}}_{k-1}} \hat{\mathbf{X}}_{k-1}) \quad (18)$$

若按点取自适应因子, 则  $\alpha_{k_i}$  可以取为<sup>[9,11]</sup>:

$$\alpha_{k_i} = \begin{cases} 1, & |\Delta \hat{\mathbf{X}}_{k_i}| \leq c \\ \frac{c}{|\Delta \hat{\mathbf{X}}_{k_i}|}, & |\Delta \hat{\mathbf{X}}_{k_i}| > c \end{cases} \quad (19)$$

式中,  $c$  为常数, 可取  $c = 1.0$ <sup>[13]</sup>;  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $i$  代表点号,  $m$  代表点数;  $\Delta \hat{\mathbf{X}}_{k_i}$  为点位参数向量不符值统计量, 且

$$\Delta \hat{\mathbf{X}}_{k_i} = \frac{\|\tilde{\mathbf{X}}_{k_i} - \hat{\mathbf{X}}_{(k-1)_i}\|}{\sqrt{\text{tr}(\boldsymbol{\Sigma}_{\hat{\mathbf{X}}_{(k-1)_i}})}} \quad (20)$$

式中,  $\tilde{\mathbf{X}}_{k-1}$  为  $t_{k-1}$  时刻的点位参数平差值向量, 协方差矩阵为  $\boldsymbol{\Sigma}_{\tilde{\mathbf{X}}_{k-1}}$ ;  $\tilde{\mathbf{X}}_k$  为由  $t_k$  时刻观测向量  $\mathbf{L}_k$  单独估计的点位参数估值向量。

若对每个坐标分量施加自适应因子进行调节, 则可将  $\alpha_{k_i}$  写成  $\text{diag}(\alpha_{x_{k_i}}, \alpha_{y_{k_i}}, \alpha_{z_{k_i}})$ , 其中,

$$\alpha_{x_{k_i}} = \frac{|\tilde{x}_{k_i} - \hat{x}_{(k-1)_i}|}{\sigma_{\hat{x}_{(k-1)_i}}} \quad (21)$$

$\alpha_{y_{k_i}}, \alpha_{z_{k_i}}$  类同  $\alpha_{x_{k_i}}$ 。

自适应序贯平差能合理平衡参数先验信息与观测信息的权比, 对参数先验信息异常所产生的影响具有较强的控制能力, 从而得到可靠的参数估值。

为了求得较可靠的自适应因子, 在观测样本较丰富的情况下, 应先求点位坐标参数的抗差最小二乘解  $\tilde{\mathbf{X}}_k$ , 即

$$\tilde{\mathbf{X}}_k = (\mathbf{A}_k^T \bar{\mathbf{P}}_k \mathbf{A}_k)^{-1} \mathbf{A}_k^T \bar{\mathbf{P}}_k \mathbf{L}_k \quad (22)$$

式中,  $\bar{\mathbf{P}}_k$  为观测样本  $\mathbf{L}_k$  的等价权矩阵, 可以由多种权函数确定<sup>[14]</sup>。在观测样本的抗差解的基础上, 采用自适应因子控制参数向量的先验值异常的影响。如此, 上述自适应序贯平差可称为抗差自适应序贯平差。

抗差自适应序贯平差采用自适应因子控制参数先验异常的影响, 由于自适应因子  $\alpha_k \leq 1$ , 故基准将会产生微小变化; 但当个别先验坐标出现异常时, 通过自适应因子可以控制个别异常框架点对坐标基准的扭曲, 而且其后续的平差遵循大多数框架点和大多数可靠观测所标定的基准, 这类基准可称为自适应基准。

### 4 计算与分析

算例采用某地区 GPS 监测网的两期观测数据。该监测网中, 第一期有 180 条基线、17 个点 (其中 3 个已知点); 第二期有 238 条基线、23 个点。将 3 个已知点坐标固定, 两期观测数据进行整体平差, 其结果作为参考值。第一期最小二乘平差后, 选 5、8、12、17 四个点分别加入不同量级的位移量, 作为点位坐标异常的先验信息, 其各点的  $(x, y, z)$  分量分别加入  $(-0.2 \text{ m}, -0.3 \text{ m}, 0.1 \text{ m})$ 、 $(0.3 \text{ m}, -0.4 \text{ m}, 0.2 \text{ m})$ 、 $(-0.08 \text{ m}, -0.06 \text{ m}, 0.07 \text{ m})$ 、 $(0.07 \text{ m}, -0.06 \text{ m}, 0.08 \text{ m})$  的误差。采用下列 4 种平差方案进行计算: ① 固定基准的整体平差; ② 固定基准的最小二乘序贯平差; ③ 第一期点位有异常情况下的最小二乘序贯平差; ④ 第一期点位有异常情况下的自适应序

贯平差。计算结果见表1、表2和图1。表1中,  $\bar{m}_x$ 、 $\bar{m}_y$ 、 $\bar{m}_z$  分别表示  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标分量的平均中误差;  $\bar{m}$  表示点位平均中误差;  $\bar{m}_x = \sqrt{\sum_1^{23} m_{x_i}^2 / 23}$ ,  $\bar{m}_y = \sqrt{\sum_1^{23} m_{y_i}^2 / 23}$ ,  $\bar{m}_z = \sqrt{\sum_1^{23} m_{z_i}^2 / 23}$ ,  $\bar{m} = \sqrt{\sum_1^{23} (m_{x_i}^2 + m_{y_i}^2 + m_{z_i}^2) / 23}$ 。表2中,  $RMS_x$ 、 $RMS_y$ 、 $RMS_z$  分别表示方案③和④相对于方案①的  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  分量的均方根误差;  $RMS_p$  表示点位的均方根误差。

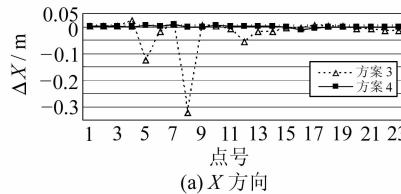
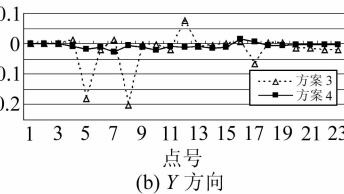
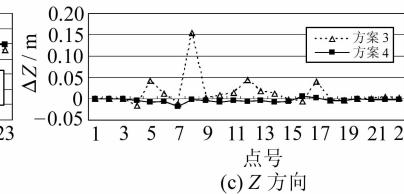
(a)  $X$  方向(b)  $Y$  方向(c)  $Z$  方向

图1 位置误差图

Fig. 1 Errors of Position Components

分析计算结果可以看出:①在基准不变的情况下,整体平差和最小二乘序贯平差的结果完全一致,但序贯平差计算简单,且节省计算机内存。②从图1可以看出,如果先期平差的个别点位发生异常移动或变形,若仍进行最小二乘序贯平差(强基准平差),尽管基准意义明晰,但平差基准产生了实际的扭曲。③自适应序贯平差能有效地控制先期平差的个别点位异常移动或变形的影响,自适应因子很好地调节了个别先验坐标异常的影响,平差后,点位坐标具有现势性。

## 5 结语

1) 如果先期的监测网采用经典最小二乘平差,而且将所有监测网点平差值作为固定值,则后续平差对应强基准,即后续网平差完全附合于已有的框架点。这种平差除受先期网基准点单点定位的影响外,还加入了其他监测网点误差的影响,容易使监测网产生局部变形。但如果先期网点坐标精度高,则强制符合平差能使监测网系统误差、粗差和偶然误差的积累得到有效控制。

2) 监测网平差时顾及先期网平差后的协方差矩阵,进行参数加权平差或序贯平差,则相应的平差基准对应弱基准,因为它等价于将所有观测一起进行整体平差。但如果先期平差的个别点位发生异常移动或变形,则这类参数加权平差会使平差基准产生实际的扭曲。

表1 不同方案计算结果精度比较/m

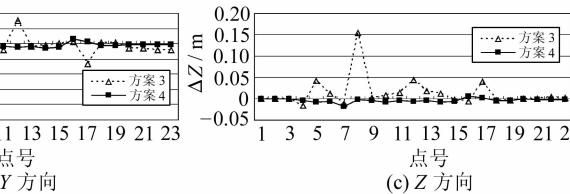
Tab. 1 Accuracy Comparison of Different Schemes

计算方案	$\bar{m}_x$	$\bar{m}_y$	$\bar{m}_z$	$\bar{m}$
①	0.003 0	0.003 0	0.005 6	0.007 0
②	0.003 0	0.003 0	0.005 6	0.007 0
③	0.013 9	0.013 7	0.025 8	0.032 3
④	0.003 7	0.003 6	0.005 7	0.007 7

表2 不同方案均方根误差比较/m

Tab. 2 Comparison of RMS for Different Schemes

计算方案	$RMS_x$	$RMS_y$	$RMS_z$	$RMS_p$
③	0.074 286	0.060 946	0.036 345	0.102 732
④	0.003 666	0.011 049	0.005 929	0.013 065



3) 在序贯平差的基础上再引入自适应因子调节个别先验坐标异常的影响,进行所谓的自适应序贯平差,则相应的坐标基准对应为自适应基准,而且是控制了个别异常点影响的坐标基准。这类平差相当于先将个别异常框架点剔除或控制其影响,再将所有观测一起进行联合平差,于是其平差基准与先期定义的平差基准一致,且异常框架点坐标数据的误差影响将得到控制。

## 参 考 文 献

- [1] Stephen M, James A S, Randall W S, et al. A Refinement to the World Geodetic System 1984 Reference Frame[C]. ION GPS-97, Kansas City, Missouri, 1997
- [2] 陈俊勇. 国际地球参考框架2000(ITRF2000)的定义及其参数[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(9): 753-756, 761
- [3] 陈俊勇, 杨元喜, 王敏, 等. 2000国家大地控制网的构建和它的技术进步[J]. 测绘学报, 2007, 36(1): 1-8
- [4] 魏子卿. 我国大地坐标系的换代问题[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(2): 138-143
- [5] 魏子卿. 关于2000中国大地坐标系的建议[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 1-4
- [6] 杨元喜. 中国大地坐标系建设主要进展[J]. 测绘通报, 2005(1): 6-9
- [7] 杨元喜, 郭春喜, 刘念, 等. 绝对重力与相对重力混合平差的基准及质量控制[J]. 测绘工程, 2001, 10(2): 11-14, 19

- [8] 隋立芬,徐杨斌.高精度GPS复测网的形变基准解释[J].测绘学院学报,2001,18(2):86-89
- [9] 吴生武.自适应序贯抗差估计[J].测绘通报,2006,1:1-4
- [10] 隋立芬,刘雁雨,王威.自适应序贯平差及其应用[J].武汉大学学报·信息科学版,2007,32(1):51-54
- [11] 杨元喜.自适应动态导航定位[M].北京:测绘出版社,2006
- [12] Yang Yuanxi, He Haibo, Xu Guochang. A New Adaptively Robust Filtering for Kinematic Geodetic
- Positioning [J]. Journal of Geodesy, 2001, 75 (2): 109-116
- [13] Yang Yuanxi, Gao Weiguang. An Optimal Adaptive Kalman Filter [J]. Journal of Geodesy, 2006, 80: 177-183
- [14] 杨元喜.抗差估计理论及其应用[M].北京:八一出版社,1993

第一作者简介:杨元喜,教授,博士,博士生导师。现主要从事动态大地测量研究。

E-mail:yuanxi@pub.xaonline.com

## Maintenance of Coordinate Datum and Data Processing of Dynamic Monitoring Network

YANG Yuanxi<sup>1</sup> ZHANG Liping<sup>2,3</sup>

(1) Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Yanta Road, Xi'an 710054, China)

(2) Xi'an Information Division of Surveying and Mapping, 36 Xiyi Road, Xi'an 710054, China)

(3) Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** Renew and maintain of the geodetic coordinate system need not only the continuous monitoring or repeated measuring, but also the reasonable data processing principle and method. The influences of different adjustment methods, including classical adjustment, sequential adjustment and adaptive sequential adjustment, on the datum or the coordinate system are analyzed, a GPS monitoring network is employed to analyze the datum changes due to applying the different adjustment principles. It is shown that sequential adjustment will distort the datum when some of the prior positions have significant deformation. The adaptive sequential adjustment, however, controls the influences of the outliers existing the prior coordinates, thus keeps the datum reliable and reflecting the present position.

**Key words:** datum; sequential adjustment;adaptive sequential adjustment;adaptive factor

**About the first author:** YANG Yuanxi, professor, Ph. D, Ph. D supervisor. His research orientation is kinematic geodesy and geodetic data processing.

E-mail: yuanxi@pub.xaonline.com

### 欢迎订阅 2008 年《武汉大学学报·信息科学版》

《武汉大学学报·信息科学版》即原《武汉测绘科技大学学报》,是以测绘为主的专业学术期刊。其办刊宗旨是:立足测绘科学前沿,面向国际测量界,通过发表具有创新性和重大研究价值的测绘理论成果,展示中国测绘研究的最高水平,引导测绘学术研究的方向。本刊为中国中文核心期刊, EI 刊源期刊。是国家优秀科技期刊和中国高校精品科技期刊,并获中国国家期刊奖,入选中国期刊方阵。

本刊主要栏目有院士论坛、学术论文、科技新闻等,内容涉及摄影测量与遥感、大地测量与物理大地测量、工程测量、地图学、图形图像学、地球动力学、地理信息系统、全球定位系统等。收录本刊论文的著名国际检索机构包括 EI、CAS、PCK 等,其中 EI 收录率达 100%,其影响因子长期名列中国高校学报前列。本刊读者对象为测绘及相关专业的科研人员、教师、研究生等。

本刊为月刊,国内外公开发行,邮发代号 38-317,国外代号 MO1555。A4 开本,96 面,定价 8 元/册,每月 5 日出版。漏订的读者可以与编辑部联系补订。