

动态大地测量的平差基准

刘大杰¹ 冯延明²

(1 同济大学测量与国土信息工程系, 上海市四平路 1239 号 200092)

(2 澳大利亚昆士兰理工大学卫星系统合作研究中心)

摘要: 从平差基准的基本概念出发, 说明动态大地测量的平差基准的意义和基准的数量, 讨论动态高程系统的转换关系, 建立等价于原观测值的坐标差与速率差的观测方程及基准方程, 并通过分析说明, 四维大地测量平差必须恰当地选取平差基准, 才能得到具有参考价值的结果。

关键词: 四维动态大地测量; 平差; 基准; 基准方程

中图法分类号: P228; P223

应用各种地面和空间高精度大地测量手段

(如 GPS、SLR、VLBI、精密水准等) 测定地面点之间或地面点与空间星体之间的相对的、动态的关系, 并分析和研究地面点位的运动或形变状况, 是动态大地测量的基本任务。许多研究表明^[1~3], 参考系的选取对动态大地测量与地壳形变等领域研究都是十分重要的。国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)一直非常重视参考系的问题, 建立国际地面参考框架 ITRF 的目的也是为了有一个全球性动态大地测量基准。

在应用动态大地测量的平差结果来描述地面点或某个地区的地壳运动状况或形变状况时, 应该说明所采用的基准。然而, 在实际问题中, 往往容易忽略观测数据及其平差结果与平差基准的密切关系, 也容易忽略基准对平差结果的影响。

1 动态测量系统及其转换

n 维 ($n=1, \dots, 4$) 几何空间的基准可归纳为^[5]: 尺度基准 $d_1 = C_n^0 = 1$; 位置基准 $d_2 = C_n^1 = n$; 方位(定向)基准 $d_3 = C_n^2 = n(n-1)/2$; 其基准数 $d = d_1 + d_2 + d_3$ 。

在动态大地测量中, 动态水准网(高程网)是由高程与时间构成的二维大地控制网(基准数 $d_g = 4$); 动态平面网是由平面坐标与时间构成的三维大地控制网(基准数 $d_p = 7$); 而动态空间网是由三维坐标与时间构成的四维大地控制网(基准

数 $d_k = 11$)。

不同的基准对应着不同的坐标系, 不同坐标系统的转换参数也就是不同基准之间的差异。因此, 不同基准之间的关系可以通过坐标系统的转换关系来讨论。

1.1 动态高程系统及其转换

设 (x, t) 和 (ξ, τ) 是两个动态高程系统, 以纵轴表示 x 或 ξ , 横轴表示时间 t 或 τ , 因为 t (或 τ) 的性质与 x (或 ξ) 不同, 应认为 t 轴平行于 τ 轴。为统一横轴与纵轴的量纲, 设 λ, u 是速率, 用 ut 和 $\lambda\tau$ 代替 t 和 τ , 则对于点 P_i , 有如下转换关系:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \lambda\tau_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ ut_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} T_x \\ uT_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \epsilon \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ ut_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $\delta\mu$ 是尺度参数; T_x, T_u 是平移参数; ϵ 是定向参数, 它表示两个系统纵轴(或横轴)之间的微小夹角, 也是点 P_i 在两个系统中位置向量方位角的差异。

取 $\lambda = u(1 + \delta\mu)$, 并记 $T_t = T_u/(1 + \delta\mu)$, 则 $\tau_i = T_t + t_i$ (2)

记 $x_u = \epsilon u$, 将式(1)中的 ξ_i 写为:

$$\xi_i = T_x + x_i(1 + \delta\mu) + x_u t_i \quad (3)$$

即可用速率参数 x_u 代替 ϵ 。由式(2)、式(3)可得两个系统速率之间的关系为:

$$\xi_i = x_i(1 + \delta\mu) + x_u \quad (4)$$

这就是说, 两个动态高程系统的转换参数是 T_x 、 T_t 、 $\delta\mu$ 和 x_u , 也可以说, 它们是动态高程系

统的基准参数。

1.2 动态平面系统及其转换

设 (x, y, t) 和 (ξ, η, τ) 是两个动态平面系统, 以纵轴表示 x 或 ξ , 横轴表示 y 或 η , 以第三轴表示 t 或 τ , 也应认为 t 轴平行于 τ 轴。设 λ, u 是速率, 用 ut 和 $\lambda\tau$ 代替 t 和 τ 。对于点 P_i , 其转换关系为:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \eta_i \\ \lambda\tau_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ ut_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ uT_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\epsilon & \epsilon_1 \\ \epsilon & 0 & \epsilon_2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ ut_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

取 $\lambda = u(1 + \delta\mu)$, 并设 $T_t = T_u(1 + \delta\mu)$, 则

$$\tau_i = T_t + t_i \quad (6)$$

记 $x_u = \epsilon_1 u$, $y_u = \epsilon_2 u$, 将式(5)中的 ξ_i, η_i 写为:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \eta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} 0 & -\epsilon \\ \epsilon & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_i x_u \\ t_i y_u \end{bmatrix} \quad (7)$$

即用速率参数 x_u, y_u 代替 ϵ_1, ϵ_2 , 且可得:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \eta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\epsilon \\ \epsilon & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

这就是说, 两个动态平面系统的转换参数是 $T_x, T_y, T_t, \delta\mu$ 和 ϵ, x_u, y_u , 它们也是动态平面系统的基准参数。

1.3 动态空间网的基准及其转换

将动态高程系统和动态平面系统的转换关系推广到动态空间系统, 即四维空间系统。设 (x, y, z, t) 和 (ξ, η, ζ, τ) 是两个四维空间系统, 以第4轴表示 t 或 τ , 且认为 t 轴平行于 τ 轴。设 λ, u 是速率, 用 ut 和 $\lambda\tau$ 代替 t 和 τ 。对于点 P_i , 其转换关系为:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \eta_i \\ \zeta_i \\ \lambda\tau_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ ut_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ uT_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\epsilon_z & \epsilon_y & \epsilon_1 \\ \epsilon_z & 0 & -\epsilon_x & \epsilon_2 \\ -\epsilon_y & \epsilon_z & 0 & \epsilon_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ ut_i \end{bmatrix} \quad (9)$$

同样取 $\lambda = u(1 + \delta\mu)$, 并设 $T_t = T_u(1 + \delta\mu)$, 且记 $x_u = \epsilon_1 u$, $y_u = \epsilon_2 u$, $z_u = \epsilon_3 u$ 。将式(9)写为:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \eta_i \\ \zeta_i \\ \lambda\tau_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ ut_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ uT_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -y_i & z_i \\ y_i & 0 & -x_i \\ x_i & x_i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} t_i \quad (10)$$

$$\tau_i = T_t + t_i$$

也可得:

$$\begin{bmatrix} \xi_i \\ \eta_i \\ \zeta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} (1 + \delta\mu) + \begin{bmatrix} 0 & z_i & -y_i \\ -z_i & 0 & x_i \\ y_i & -x_i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} \quad (11)$$

所以, 两个四维空间系统的转换参数是 $T_x, T_y, T_z, T_t, \delta\mu$ 和 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, x_u, y_u, z_u$ 。也可以说, 它们是四维空间系统的基准参数。

如果两个四维系统的时间系统 t 和 τ 相同 (即设 $T_t = 0$), 则四维空间系统的基准参数还有 10 个; 而动态高程系统和动态平面系统的基准参数分别为 3 个和 6 个。

2 四维空间控制网的等价观测值和基准方程

四维空间控制网的观测值包含 GPS、VLBI、SLR 等多种类型, 一般是根据给定一组基准数据, 由观测值平差得到空间点在给定基准下的坐标差或坐标、速率差或速率以及它们相应的精度 (方差阵); 这些具有一定精度的四维坐标差或坐标、速率差或速率, 也可以看作是一组观测值参与以后的平差处理, 其结果与直接用原观测值平差等价。在将它们作为等价观测值参与以后的平差处理时, 应该考虑其基准, 而不应随意改变。

需要注意的是, 通过 GPS、VLBI 等观测值的平差得到的具有一定精度的四维坐标和速率, 实际上也是相对于给定基准下的各点与位置基准点的坐标差和速率差。如图 1 所示, 若 $A_1 \sim A_5$ 的坐标和速率是在 O_1 基准下得到的, 它们的坐标和速率实际上也是相对于 O_1 的坐标差和速率差; 而 $B_1 \sim B_5$ 的坐标和速率是在 O_2 基准下得到的, 它们的坐标和速率实际上也是相对于 O_2 的坐标差和速率差。

考虑到这些具有一定精度的四维坐标差或坐标、速率差或速率, 作为观测值与原观测值的等价

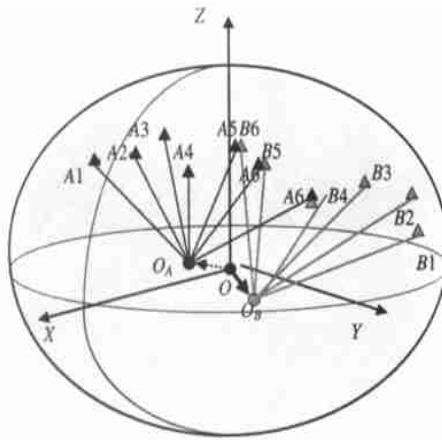


图 1 不同基准下的点

Fig. 1 Points Under the Different Datum

性。在讨论基准问题时, 均以它们作为观测值。同

$$\begin{bmatrix} \Delta \xi_{ki} \\ \Delta \eta_{ki} \\ \Delta \zeta_{ki} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_i \\ \hat{\delta y}_i \\ \hat{\delta z}_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_k \\ \hat{\delta y}_k \\ \hat{\delta z}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_{ki}^0 \\ \Delta y_{ki}^0 \\ \Delta z_{ki}^0 \end{bmatrix} \delta t + \Delta t \begin{bmatrix} \delta x_k \\ \delta y_k \\ \delta z_k \end{bmatrix} - \Delta t \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} - \Delta t \begin{bmatrix} 0 & \Delta z_{ki}^0 & -\Delta y_{ki}^0 \\ -\Delta z_{ki}^0 & 0 & \Delta x_{ki}^0 \\ \Delta y_{ki}^0 & -\Delta x_{ki}^0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_k \\ \hat{\delta y}_k \\ \hat{\delta z}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \xi_{ki}^0 \\ \Delta \eta_{ki}^0 \\ \Delta \zeta_{ki}^0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

速率差观测值($\Delta \xi_i$, $\Delta \eta_i$, $\Delta \zeta_i$)的观测方程为:

$$\begin{bmatrix} \Delta \xi_i \\ \Delta \eta_i \\ \Delta \zeta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{ki}^0 \\ \Delta y_{ki}^0 \\ \Delta z_{ki}^0 \end{bmatrix} \delta t + \Delta t \begin{bmatrix} \delta x_k \\ \delta y_k \\ \delta z_k \end{bmatrix} - \Delta t \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \Delta z_{ki}^0 & -\Delta y_{ki}^0 \\ -\Delta z_{ki}^0 & 0 & \Delta x_{ki}^0 \\ \Delta y_{ki}^0 & -\Delta x_{ki}^0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_k \\ \hat{\delta y}_k \\ \hat{\delta z}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \xi_{ki}^0 \\ \Delta \eta_{ki}^0 \\ \Delta \zeta_{ki}^0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

相对于某一基准下 i 点的坐标或速率观测值, 实际上是它相对于位置基准点的坐标差或速率差, 将式(12)、式(13)中的 k 点的 $(-\hat{\delta x}_k, -\hat{\delta y}_k, -\hat{\delta z}_k)$ 和 $(-\delta x_k, -\delta y_k, -\delta z_k)$ 看作平移参数和速率参数, 就是 i 点的坐标或速率观测值的观测方程。

由观测方程式(12)、式(13)可以建立一个四维空间大地测量网的误差方程为:

$$V = A \delta X - L \quad (14)$$

式中, L 、 V 表示观测值和改正值; δX 包含全部点的坐标、速率及基准参数构成的未知参数, A 是其系数矩阵, 为一秩亏矩阵。当 δX 中不包含时间基准参数时, 其秩亏数 $d=10$, 即等于基准数。

为了求解未知参数 δX , 必须选定一组基准, 也就是应在选定的基准下求解。求解时, 可以利用基准数据消除 δX 中的 10 个参数, 使系数矩阵 A 变成满秩矩阵, 然后按照最小二乘估计求解。但这样求解往往容易忽略基准的意义, 或者使基准不明确, 因此, 有必要采用下面的求解方法。

因为基准数据都与未知参数 δX 存在一定的

时, 还认为各种其他因素都已在求定这些值时予以考虑。因此, 以在不同的平差基准下得到的这种具有一定精度的四维坐标差或坐标、速率差或速率作为观测值, 选定一个统一的平差基准, 确定原有的基准与统一基准间的关系, 并确定在统一平差基准下各个地面点的四维坐标与速率。

设给定时间系统 $T_t=0$ 且没有历元(时间)误差, 选取所有点在历元 T_0 的空间坐标的微小改正值($\hat{\delta x}_i$, $\hat{\delta y}_i$, $\hat{\delta z}_i$)和速率改正值($\delta \dot{x}_i$, $\delta \dot{y}_i$, $\delta \dot{z}_i$)及每一组观测值的 10 个基准参数 δT_{xk} , δT_{yk} , δT_{zk} , $\delta \xi_k$, $\delta \eta_k$, $\delta \zeta_k$ 作为未知参数, 则由式(10)、(11)可得相对于某一基准下在 T_k 时刻的坐标差观测值($\Delta \xi_{ki}$, $\Delta \eta_{ki}$, $\Delta \zeta_{ki}$)的观测方程为:

$$\begin{bmatrix} \Delta \xi_{ki} \\ \Delta \eta_{ki} \\ \Delta \zeta_{ki} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_i \\ \hat{\delta y}_i \\ \hat{\delta z}_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_k \\ \hat{\delta y}_k \\ \hat{\delta z}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_{ki}^0 \\ \Delta y_{ki}^0 \\ \Delta z_{ki}^0 \end{bmatrix} \delta t + \Delta t \begin{bmatrix} \delta x_k \\ \delta y_k \\ \delta z_k \end{bmatrix} - \Delta t \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} - \Delta t \begin{bmatrix} 0 & \Delta z_{ki}^0 & -\Delta y_{ki}^0 \\ -\Delta z_{ki}^0 & 0 & \Delta x_{ki}^0 \\ \Delta y_{ki}^0 & -\Delta x_{ki}^0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\delta x}_k \\ \hat{\delta y}_k \\ \hat{\delta z}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \xi_{ki}^0 \\ \Delta \eta_{ki}^0 \\ \Delta \zeta_{ki}^0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

函数关系, 这就可以对每一个基准数据建立一个方程。例如, 选取第一组观测数据的基准作为统一的基准, 可建立以下方程:

$$\begin{aligned} \delta T_{x1} &= 0, \delta T_{y1} = 0, \delta T_{z1} = 0, \delta \mu_{k1} = 0 \\ \delta \xi_{x1} &= 0, \delta \eta_{y1} = 0, \delta \zeta_{z1} = 0 \\ \delta x_{u1} &= 0, \delta y_{u1} = 0, \delta z_{u1} = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

将选定的统一基准表示为一般的矩阵形式:

$$G_k^T \delta X_k + W_k = 0 \quad (16)$$

上式通常称为基准方程。它的系数矩阵 G_k^T 应该是一个行满秩的矩阵, 它的秩应等于基准数, 即当不包含时间基准参数时, $R(G_k^T) = d = 10$ 。

由式(14)、式(16)按最小二乘估计求解, 可得⁴:

$$\begin{aligned} \delta X(k) &= (A^T P A + G_k G_k^T)^{-1} (A^T P L + G_k W_k) = Q_k (A^T P L + G_k W_k) \\ Q_k &= Q_k A^T P A Q_k = Q_k - G (G_k^T G)^{-1} (G^T G_k)^{-1} G^T \end{aligned} \quad (17)$$

式中, G 是满足 $AG=0$ 的矩阵。

3 算 例

取两组分别经过平差处理得到的历元 T_1 、 T_2 的三维坐标与速率以及它们的方差阵数据, 两组数据中共有 10 个点, 其中有 7 个公共点。它们分布在纬度 $36^\circ \sim 70^\circ$ 、经度 $7^\circ \sim 24^\circ$ 范围中。

两组坐标与速率数据应看作是相对于各自位置基准点的坐标差和速率差, 采用以下几种方案计算: ①以第 1 组数据的基准作为统一处理的基准; ②以第 2 组数据的基准作为统一处理的基准; ③以第 1 组数据的位置与速率基准、第 2 组数据的尺度与定向基准作为统一处理的基准; ④以重心基准作为统一处理的基准(即秩亏解); ⑤认为两组数据的基准相同。

表 1 各种方案的 $\delta X^T \delta X$ 及 σ 、 $tr(Q)$
Tab. 1 $\delta X^T \delta X$ and σ , $tr(Q)$ of All Kinds of Projects

方案	$\delta X^T \delta X$		$V^T P V$	σ	$tr(Q)$	
	含基准参数	不含基准参数			含基准参数	不含基准参数
①	0.059 7	0.003 02			35.134	27.146
②	0.064 5	0.007 78			34.738	26.749
③	0.637 6	0.580 9	0.028 6	0.033 2	113.057	105.070
④	0.030 0	0.001 63			25.706	21.461
⑤			0.076 5	0.046 1	25.785	

4 结 语

1) 四维空间大地测量的平差计算都是在一个给定的基准下进行的, 其平差结果(包括空间点的四维坐标 X 、 Y 、 Z 、 T 和速率 X 、 Y 、 Z) 都是相对于这一基准下的结果。

2) 空间点的四维坐标、速率和它们的形变量均与基准有关, 或者说, 都是相对于某一组基准的; 在不同的基准下平差会得到不同的结果。

3) 空间点的点位精度(误差椭球)以及它们的坐标、速率的方差矩阵都是相对于一定基准的相对精度。

4) 四维大地测量平差必须恰当地选取平差基准, 才能得到具有参考价值的结果。实用上应明确每组观测数据的基准, 并根据具体问题的性质与目的来恰当地选取统一的平差基准。同时, 还需要采用有效的方法对各组数据的基准和所选取的基准进行检验和分析。

计算中认为各点的历元无误差, 因此, 每种方案可列出 10 个基准方程。假定所取定的初始坐标和初始速率是以前的历元 T_0 时的坐标和速率, 则统一处理的结果可以认为是在相应基准下各点的位移量。

表 1 是 5 种方案所得到的范数 $\delta X^T \delta X$ 、 $V^T P V$ 、验后单位权中误差 σ (验前取 0.01m) 及协因数矩阵的迹 $tr(Q)$ 。各种方案的范数不同, 也表明各种方案得到的位移量不同。因不同基准下平差的 $V^T P V$ 与单位权方差 σ^2 是不变量, 所以表中第 2、3 列方案① ~ ④ 的 $V^T P V$ 与 σ 都相等, 其值比方案⑤ 小。 $tr(Q)$ 及 $\delta X^T \delta X$ 以方案④ 最小, 这是重心基准的性质决定的, 方案③ 的值最大; 方案①、② 较接近; 方案⑤ 比方案①、② 大。

表 1 各种方案的 $\delta X^T \delta X$ 及 σ 、 $tr(Q)$

Tab. 1 $\delta X^T \delta X$ and σ , $tr(Q)$ of All Kinds of Projects

致谢: 感谢澳大利亚“昆士兰理工大学访问学者计划”的资助, 以及“卫星系统合作研究中心”对本项目的支持。

参 考 文 献

- 1 陈俊勇. 地面参照系的现代定向理论和地球自转运动. 北京: 测绘出版社, 1991
- 2 叶叔华, 黄 城. 天文地球动力学. 山东: 山东科技出版社, 2000
- 3 黄立人. GPS 观测结果变形分析的参考框架及其合理性. 测绘学报, 2001(1): 16 ~ 20
- 4 崔希璋, 於宗伟, 陶本藻 等. 广义测量平差. 北京: 测绘出版社, 1992
- 5 Schaffrin B. Ober die Verwendung Stochastischer Vorinformation in Freien Netzen. Symposium der FIG Kommissionen 5/6 Graaz, Österreich, 1984

第一作者简介: 刘大杰, 教授, 博士生导师。现主要从事测量数据处理理论和方法的研究。

(下转第 109 页)

major payloads of gravity exploring satellite. Based on the fundamental principle of gravity measurements, we derive the necessary satellite altitude, the accuracy requirements to be satisfied for the payloads, and the functional relationship between the highest resolution to be able to recover and the accuracies of the corresponding gravity field parameters. Finally, the authors calculate the indexes of the major measuring payloads of CHAMP, GRACE and GOCE satellites.

Key words: gravity exploring satellite; satellite to satellite tracking; payload

About the first author: JIANG Weiping, associate professor, Ph. D. His major research directions include space geodesy and geodynamics. His typical achievements are global mean sea surface WHU2000 derived from multi satellite altimeter data; the crustal movement and deformation of Qingzang Plateau using GPS; the establishment of GPS C-order network and the determination of high resolution quasi-geoid in Jiangsu province; etc.

E mail: wpjiang@wtusm.edu.cn

(上接第 72 页)

Adjustment Datum for Dynamic Geodesy

LIU Dajie¹ FENG Yanming²

(1 Department of Surveying and Geoinformatics Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai, China 200092)

(2 Cooperative Research Centre for Satellite Systems, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia)

Abstract: The datum transformation relationship between the dynamic height network and dynamic plane control network is introduced in this paper. And in turn, the dynamic space network, i.e. the transformation relationship for 4-dimension geodetic datum, is also discussed.

Key words: four-dimensional dynamic geodesy; adjustment; datum; fiducial equation

About the first author: LIU Dajie, professor, Ph. D supervisor. His major researches include theories and methodologies of surveying data processing.