

青藏高原板块形变模型与 地壳运动监测网设计*

许才军 李金文 晁定波

(武汉测绘科技大学, 地球科学与测量工程学院, 武汉市珞喻路 39 号, 430070)

摘 要 根据板块运动理论, 运用空间大地测量方法, 建立了监测板块变动的实用数学模型, 提出了建立青藏高原地壳运动大地测量监测网的初步方案。

关键词 板块运动, 板块形变模型, 青藏高原地壳运动监测

分类号 P228; P221; P542

1 板块运动模型

研究表明, 板块内各种构造运动和岩浆活动导致板块存在着不可忽视的形变, 尤其是内陆子板块、岛弧后侧的边缘盆地及新生的尚未完全冷却的大洋板块部分, 不能视为绝对的刚体^[1,2,3]。文献[4]还在单位球上导出了如下数学模型:

$$\dot{\underline{x}} = \dot{\underline{x}}^{(M)} + \dot{\underline{x}}^{(D)} = \underline{\Omega} \times \underline{x} + \underline{C} \times \underline{x} \quad (1)$$

其中, $\underline{x} = (\cos\varphi\cos\lambda \quad \cos\varphi\sin\lambda \quad \sin\varphi)^T$, “ \cdot ”表示对时间的导数, (φ, λ) 为板块上任一点 P 的经纬度,

$$\underline{\Omega} = \omega \underline{E}^* = \omega \begin{bmatrix} \cos\Phi^* \cos\Lambda^* \\ \cos\Phi^* \sin\Lambda^* \\ \sin\Phi^* \end{bmatrix}, \underline{C} = \frac{\psi}{\sin\psi} \underline{D} \times \underline{x}, \underline{D} = \gamma \underline{E} = \gamma \begin{bmatrix} \cos\Phi \cos\Lambda \\ \cos\Phi \sin\Lambda \\ \sin\Phi \end{bmatrix}$$

ω 为板块旋转速率, \underline{E}^* 为旋转方向矢量, (Φ^*, Λ^*) 为板块旋转极的球面坐标, $(\omega, \Phi^*, \Lambda^*)$ 为运动参数, γ 为均匀变形率, (Φ, Λ) 为板块变形中心球面坐标, (γ, Φ, Λ) 为变形参数, ψ 为变形中心位置矢量 \underline{E} 与 P 点的位置矢量 \underline{x} 之间的球面角距, $\dot{\underline{x}}^{(M)}$ 、 $\dot{\underline{x}}^{(D)}$ 、 $\underline{\Omega}$ 、 \underline{C} 、 \underline{D} 分别称板块任一 P 点的运动速度、变形速度、板块旋转运动矢量、板块任一点 P 的变形矢量和板块中心均匀变形矢量。

笔者认为, 文献[4]给出的模型理论上是可行的, 但它给出的观测值有些不必要, 而且有些观测值也不易得到, 模型在实用上并不方便。根据文献[4]的思想, 结合现代空间测量技术, 完全可借助大地测量方法, 推导一种实用模型, 用来确定板块运动情况。为方便起见, 笔者先定义板块的旋转运动和板块内部的变形运动的合运动为板块变动, 描述板块变动的参数为变动参数。

遵照传统习惯, 仍然采用板块运动的方向和速率描述板块运动, 运动方向用球坐标系的方位角 α 表示, 定义类似于大地方位角。根据球面三角关系, 可得:

收稿日期, 1993-12-13. 许才军, 男, 30 岁, 讲师, 现从事地球动力学研究。

* 国家测绘局科技发展基金和国家“八五”重点科技攻关资助项目。

$$\alpha = 90^\circ - \arctg\left[\frac{\cos \frac{\varphi - \Phi^*}{2}}{\sin \frac{\varphi + \Phi^*}{2}} \operatorname{ctg} \frac{\lambda - \Lambda^*}{2}\right] - \arctg\left[\frac{\sin \frac{\varphi - \Phi^*}{2}}{\cos \frac{\varphi + \Phi^*}{2}} \operatorname{ctg} \frac{\lambda - \Lambda^*}{2}\right] \quad (2)$$

鉴于 VLBI、GPS 可以以 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 的精度观测长基线的距离变化,而 SLR 可以以 $\pm 1\text{cm}$ 的精度确定点的绝对位置,所以考虑选定点的经纬度变化率及两点间距离变化率作为实用观测测量来确定板块变动参数的观测方程是可行的。

2 板块变动的实用数学模型

设 $\varphi_i^k, \lambda_i^k, S_{ij}^{kl}$ 分别表示第 k 个板块上 i 点的纬度、经度以及第 k 和第 l 两板块上第 i 和第 j 点的距离(弦长)。每个板块有 6 个独立的变动参数,第 k 个板块的 6 个变动参数为 $\omega^k, \Phi^k, \Lambda^k, \gamma^k, \Phi^k, \Lambda^k, k=1, 2, \dots, n, l=1, 2, \dots, n$ 。用矩阵形式表示为:

$$\text{观测向量 } L = (\varphi_i^k \quad \lambda_i^k \quad S_{ij}^{kl})^T$$

$$\text{参数向量 } Y = (\omega^k \quad \Phi^k \quad \Lambda^k \quad \gamma^k \quad \Phi^k \quad \Lambda^k)^T, \quad k, l=1, 2, \dots, n$$

由于描述一个板块的变动状态有 6 个独立的参数,故确定一个板块变动状态的必要观测量是 6 个。若仅考虑用点的绝对位置 (φ, λ) 的变化率来确定,最少需要 3 个位于同一板块独立监测点的经纬度变化率;若用距离变化率来确定,则至少有 3 条跨越 2 板块的不相关的距离变化率来确定板块运动参数 $(\omega, \Phi^k, \Lambda^k)$,这些参数实际上是指板块旋转运动参数。板块旋转运动是指一板块相对于另一板块或球面上某一点的旋转运动^[3]。确定一对邻接板块的相对运动,即是确定它们的旋转极地理坐标和旋转角速度,而板块的变形参数 (γ, Φ, Λ) 还需至少 3 条板内独立的距离变化率来确定。通常,可以同时考虑 2 类观测值来确定板块变动参数。考虑到点坐标与两点距离的相关关系,用 2 类观测值来确定一个板块变动参数,仍至少需要同一板块上 3 个独立监测点来保证。实际上,为监测板块变动情况,笔者认为可布设一高精度空间大地测量监测网。该监测网需跨越两个板块,每个板块至少有 3 个独立监测点,跨越两板块的独立基线边必须超过 3 条,观测测量个数要大于板块变动参数的个数。在此情况下,采用最小二乘原理由观测向量确定变动参数的估值。

设由观测值组成的误差方程为:

$$V = A\delta\hat{Y} + l, P \quad (3)$$

$$\text{则} \quad \delta\hat{Y} = (A^T P A)^+ A^T P l \quad (4)$$

$$\hat{Y} = Y_0 + \delta\hat{Y} \quad (5)$$

其中 P 为观测向量权矩阵, Y_0 为参数向量近似值, \hat{Y} 为参数向量最小二乘估值。下面建立 2 类观测值的误差方程式。

1) 经纬度变化率误差方程式

板块上任一点经纬度变化率可表示为^[4]:

$$\dot{\varphi} = -(\bar{x}_\lambda, \bar{\Omega} + \bar{C}) \quad (6)$$

$$\cos\varphi \cdot \dot{\lambda} = (\bar{x}_\varphi, \bar{\Omega} + \bar{C}) \quad (7)$$

上式中 $(*, *)$ 表示两向量标积, $\bar{x}_\varphi, \bar{x}_\lambda$ 分别表示 \bar{x} 对 φ 和 λ 求偏导数,即相应方向的切矢量, $\bar{x}_\lambda = \bar{x}_\lambda / \cos\varphi$ 。

由(6)式在 $\bar{\Omega}$ 和 \bar{C} 的近似值 $\bar{\Omega}_0, \bar{C}_0$ 处即 Y_0 处作台劳级数展开,略去二次以上高阶项可得:

$$\begin{aligned}
\dot{\varphi}_i + v_{\varphi_i} = & -(\bar{x}_{\lambda_i}^k, \underline{\Omega}_0^k + \underline{C}_0^k) - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \omega^k} |_{r_0^k}) \delta \omega^k - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Phi^{**k}} |_{r_0^k}) \\
& - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Lambda^{**k}} |_{r_0^k}) \delta \Lambda^{**k} - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \gamma^k} |_{r_0^k}) \delta \gamma^k \\
& - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Phi^k} |_{r_0^k}) \delta \Phi^k - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Lambda^k} |_{r_0^k}) \delta \Lambda^k
\end{aligned} \quad (8)$$

又

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \omega^k} |_{r_0^k} &= \frac{\partial \underline{\Omega}^k}{\partial \omega^k} |_{r_0^k} = \frac{\underline{\Omega}_0^k}{\omega_0^k}, \quad \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Phi^{**k}} |_{r_0^k} = \frac{\partial \underline{\Omega}^k}{\partial \Phi^{**k}} |_{r_0^k} = \underline{\Omega}_{\Phi_0^k}^*, \\
\frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Lambda^{**k}} |_{r_0^k} &= \frac{\partial \underline{\Omega}^k}{\partial \Lambda^{**k}} |_{r_0^k} = \underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^*
\end{aligned} \quad (9a)$$

其中, $\underline{\Omega}_{\Phi_0^k}^* = \underline{\Omega}^k(\Phi_0^k + \frac{\pi}{2}, \Lambda_0^k)$, $\underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^* = \underline{\Omega}^k(\Phi_0^k, \Lambda_0^k + \frac{\pi}{2})$ 分别为 $\underline{\Omega}^k$ 对 Φ^{**k} 和 Λ^{**k} 的偏导数在 (Φ_0^k, Λ_0^k) 的值。而

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \gamma^k} |_{r_0^k} &= \frac{\partial \underline{C}^k}{\partial \gamma^k} |_{r_0^k} = \frac{\psi_i^k}{\gamma_0^k \sin \psi_i^k} (D_0^k \times \underline{x}_i^k), \quad \frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Phi^k} |_{r_0^k} = \frac{\partial \underline{C}^k}{\partial \Phi^k} |_{r_0^k} = \frac{\psi_i^k}{\sin \psi_i^k} (D_{\Phi_0^k}^k \times \underline{x}_i^k), \\
\frac{\partial(\underline{\Omega}^k + \underline{C}^k)}{\partial \Lambda^k} |_{r_0^k} &= \frac{\partial \underline{C}^k}{\partial \Lambda^k} |_{r_0^k} = \frac{\psi_i^k}{\sin \psi_i^k} (D_{\Lambda_0^k}^k \times \underline{x}_i^k)
\end{aligned} \quad (9b)$$

其中, $D_{\Phi_0^k}^k = D^k(\Phi_0^k + \frac{\pi}{2}, \Lambda_0^k)$, $D_{\Lambda_0^k}^k = D^k(\Phi_0^k, \Lambda_0^k + \frac{\pi}{2})$ 分别为 D^k 对 Φ 和 Λ 的偏导数在 (Φ_0^k, Λ_0^k) 处的值。

将(9)式代入(8)式整理化简可得:

$$\begin{aligned}
v_{\varphi_i} = & -(\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{\underline{\Omega}_0^k}{\omega_0^k}) \delta \omega^k - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \underline{\Omega}_{\Phi_0^k}^*) \delta \Phi^{**k} - (\bar{x}_{\lambda_i}^k, \underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^*) \delta \Lambda^{**k} \\
& - \frac{\psi_i^k}{\sin \psi_i^k} [(\bar{x}_{\varphi_i}^k, \frac{D_0^k}{\gamma_0^k}) \delta \gamma^k + (\bar{x}_{\varphi_i}^k, D_{\Phi_0^k}^k) \delta \Phi^k + (\bar{x}_{\varphi_i}^k, D_{\Lambda_0^k}^k) \delta \Lambda^k] + L_{\varphi_i}^k
\end{aligned} \quad (10)$$

同理,可推得:

$$\begin{aligned}
v_{\lambda_i}^k &= \frac{v'_{\lambda_i}^k}{\cos \varphi_i^k} \\
v_{\lambda_i}^k = & (\bar{x}_{\varphi_i}^k, \frac{\underline{\Omega}_0^k}{\omega_0^k}) \delta \omega^k + (\bar{x}_{\varphi_i}^k, \underline{\Omega}_{\Phi_0^k}^*) \delta \Phi^{**k} + (\bar{x}_{\varphi_i}^k, \underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^*) \delta \Lambda^{**k} \\
& - \frac{\psi_i^k}{\sin \psi_i^k} [(\bar{x}_{\lambda_i}^k, \frac{D_0^k}{\gamma_0^k}) \delta \gamma^k + (\bar{x}_{\lambda_i}^k, D_{\Phi_0^k}^k) \delta \Phi^k + (\bar{x}_{\lambda_i}^k, D_{\Lambda_0^k}^k) \delta \Lambda^k] + L'_{\lambda_i}^k
\end{aligned} \quad (11)$$

其中 ψ_i^k 为第 k 个板块中心变形矢量 \underline{D}^k 与第 i 点位置矢量球面角距,其它各量有如下形式:

$$\begin{aligned}
\underline{x}_i^k &= R(\cos \varphi_i^k \cos \lambda_i^k \quad \cos \varphi_i^k \sin \lambda_i^k \quad \sin \varphi_i^k)^T \\
\underline{\Omega}_0^k &= R \omega_0^k (\cos \Phi_0^{*k} \cos \Lambda_0^{*k} \quad \cos \Phi_0^{*k} \sin \Lambda_0^{*k} \quad \sin \Phi_0^{*k})^T \\
D_0^k &= R \gamma_0^k (\cos \Phi_0^k \cos \Lambda_0^k \quad \cos \Phi_0^k \sin \Lambda_0^k \quad \sin \Phi_0^k)^T \\
\underline{\Omega}_{\Phi_0^k}^* &= R \omega_0^k (-\sin \Phi_0^{*k} \cos \Lambda_0^{*k} \quad -\sin \Phi_0^{*k} \sin \Lambda_0^{*k} \quad \cos \Phi_0^{*k})^T \\
\underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^* &= R \omega_0^k (-\cos \Phi_0^{*k} \sin \Lambda_0^{*k} \quad \cos \Phi_0^{*k} \cos \Lambda_0^{*k} \quad 0)^T
\end{aligned} \quad (12a)$$

$$\begin{aligned}
\underline{D}_{\phi_0}^k &= R\gamma_0^k(-\sin\Phi_0^k\cos\Lambda_0^k & -\sin\Phi_0^k\sin\Lambda_0^k & \cos\Phi_0^k)^T \\
\underline{D}_{\Lambda_0}^k &= R\gamma_0^k(-\cos\Phi_0^k\sin\Lambda_0^k & \cos\Phi_0^k\cos\Lambda_0^k & 0)^T \\
\underline{x}_{\varphi_i}^k &= R(-\sin\varphi_i^k\cos\lambda_i^k & -\sin\varphi_i^k\sin\lambda_i^k & \cos\varphi_i^k)^T \\
\underline{x}_{\lambda_i}^k &= \frac{R}{\cos\varphi_i^k}(-\cos\varphi_i^k\sin\lambda_i^k & \cos\varphi_i^k\cos\lambda_i^k & 0)^T \\
L'_{\lambda_i^k} &= (\underline{x}_{\varphi_i}^k, \underline{\Omega}_0^k) - (\underline{x}_{\lambda_i}^k, \underline{D}_0^k) \frac{\psi_i^k}{\sin\psi_i^k} - \cos\varphi_i^k\lambda_i^k \\
L_{\varphi_i^k} &= -(\underline{x}_{\lambda_i}^k, \underline{\Omega}_0^k) - \frac{\psi_i^k}{\sin\psi_i^k}(\underline{x}_{\varphi_i}^k, \underline{D}_0^k) - \varphi_i^k
\end{aligned} \tag{12b}$$

式中 R 表示地球平均半径。

2) 空间距离(弦长)变化率误差方程式

设跨越两板块 k, l 的任 2 点 i, j 点间的空间距离(弦长)变化率用 \dot{S}_{ij}^k 表示^[4], 则 \dot{S}_{ij}^k 可写为:

$$\dot{S}_{ij}^k = \frac{1}{S_{ij}^k}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^k, \underline{\Omega}^k + \underline{C}^l - \underline{\Omega}^k - \underline{C}^k) \tag{13}$$

其中 $(*, *, *)$ 表示三矢量混积。将(13)式在 $y_0^k = (\omega_0^k, \Phi_0^{*k}, \Lambda_0^{*k}, \gamma_0^k, \Phi_0^k, \Lambda_0^k)$ 和 $y_0^l = (\omega_0^l, \Phi_0^{*l}, \Lambda_0^{*l}, \gamma_0^l, \Phi_0^l, \Lambda_0^l)$ 处作台劳级数展开并略去二次以上高阶项, 得:

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{ij}^k + v_{S_{ij}^k}^k &= f_1\delta\omega^k + f_2\delta\Phi^{*k} + f_3\delta\Lambda^{*k} + f_4\delta\gamma^k + f_5\delta\Phi^k + f_6\delta\Lambda^k + f_7\delta\omega^l \\
&\quad + f_8\delta\Phi^{*l} + f_9\delta\Lambda^{*l} + f_{10}\delta\gamma^l + f_{11}\delta\Phi^l + f_{12}\delta\Lambda^l + f_0
\end{aligned} \tag{14}$$

其中,

$$\left\{ \begin{aligned}
f_0 &= \frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_0^l + \underline{C}_0^l - \underline{\Omega}_0^k - \underline{C}_0^k) \\
f_1 &= \frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \frac{\partial(\underline{\Omega}^l + \underline{C}^l - \underline{\Omega}^k - \underline{C}^k)}{\partial\omega^k} |_{r_0^k, r_0^l}) \\
&= \frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \frac{\partial(-\underline{\Omega}^k)}{\partial\omega^k} |_{r_0^k}) = -\frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \frac{\underline{\Omega}_0^k}{\omega_0^k}) \\
f_2 &= -\frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_{\Phi_0^k}^k) \\
f_3 &= -\frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^k), f_4 = -\frac{1}{S_{ij}^0} \frac{\psi_i^k}{\gamma_0^k \sin\psi_i^k}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_{\Lambda_0^k}^k) \\
f_5 &= -\frac{1}{S_{ij}^0} \frac{\psi_i^k}{\sin\psi_i^k}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{D}_{\Phi_0^k}^k \times \underline{x}_i^k), f_6 = -\frac{1}{S_{ij}^0} \frac{\psi_i^k}{\sin\psi_i^k}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{D}_{\Lambda_0^k}^k \times \underline{x}_i^k) \\
f_7 &= \frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_0^l/\omega_0^l), f_8 = \frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_{\Phi_0^l}^l) \\
f_9 &= \frac{1}{S_{ij}^0}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{\Omega}_{\Lambda_0^l}^l), f_{10} = \frac{\psi_j^l}{S_{ij}^0 \sin\psi_j^l}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{D}_0^l \times \underline{x}_j^l) \\
f_{11} &= \frac{\psi_j^l}{S_{ij}^0 \sin\psi_j^l}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{D}_{\Phi_0^l}^l \times \underline{x}_j^l), f_{12} = \frac{\psi_j^l}{S_{ij}^0 \sin\psi_j^l}(\underline{x}_i^k, \underline{x}_j^l, \underline{D}_{\Lambda_0^l}^l \times \underline{x}_j^l)
\end{aligned} \right. \tag{15}$$

由此得距离变化率误差方程式为:

$$\begin{aligned}
v_{S_{ij}^k}^k &= f_1\delta\omega^k + f_2\delta\Phi^{*k} + f_3\delta\Lambda^{*k} + f_4\delta\gamma^k + f_5\delta\Phi^k + f_6\delta\Lambda^k \\
&\quad + f_7\delta\omega^l + f_8\delta\Phi^{*l} + f_9\delta\Lambda^{*l} + f_{10}\delta\gamma^l + f_{11}\delta\Phi^l + f_{12}\delta\Lambda^l + L_{S_{ij}^k}^k
\end{aligned} \tag{16}$$

当 $k=l$ 时, 有:

$$v_{\delta_{ij}}^t = f_1\delta\omega^t + f_2\delta\Phi^{**} + f_3\delta\Lambda^{**} + f_4\delta\gamma^t + f_5\delta\Phi^t + f_6\delta\Delta^t + L_{\delta_{ij}}^t \tag{17}$$

式中, $f_i (i=1,2,\cdots,6)$ 与 (15) 式中的 f_i 形式类似, 仅将 x_j^t 变成 x_j^t 即可。 $L_{\delta_{ij}}^t = -\frac{1}{S_{ij}^0} (\underline{x}_i^t, \underline{x}_j^t, \underline{\Omega}_0^t + C_0^t) - \delta_{ij}^t$, (17) 式表示同一板块上两不同点之间的距离变化率误差方程式。

需要指出的是, 板块变动参数近似值可根据地质或地球物理资料等先验信息确定; 观测值权阵可根据观测仪器类型、观测方法等来确定, 同时亦可采用方差分量估计方法确定几类观测值权之比。

3 青藏高原地壳运动监测网设计方案

笔者综合考虑各方面的因素, 即构造背景、板块变动模型及 GPS 网的可靠性、可行性, 设计了如图 1 所示的 GPS 地壳运动监测网。青藏高原地壳运动 GPS 监测网共由 20 个监测点组成, 分别位于敦煌、酒泉、西宁、格尔木、望崖镇、玛多、松潘、甘孜、成都、二道沟、昌都、双湖、基市、拉竹龙、泉水沟、狮泉河、聂拉木、拉萨、亚东、狮安工。该网以 4 个微板块作为 4 个独立的板块单元, 每个微板块上有 5 个分布合理的独立监测点 (大于必要监测点个数)。1~5 号点位于 I 微板块上, 6~10 号点位于 II 微板块上, 11~15 号点位于 III 微板块上, 16~20 号点位于 IV 微板块上。多数边跨越 2 个微板块, 且每个监测点确保至少有 3 条边长相近的独立基线联结。所选点交通方便, 便于实测。

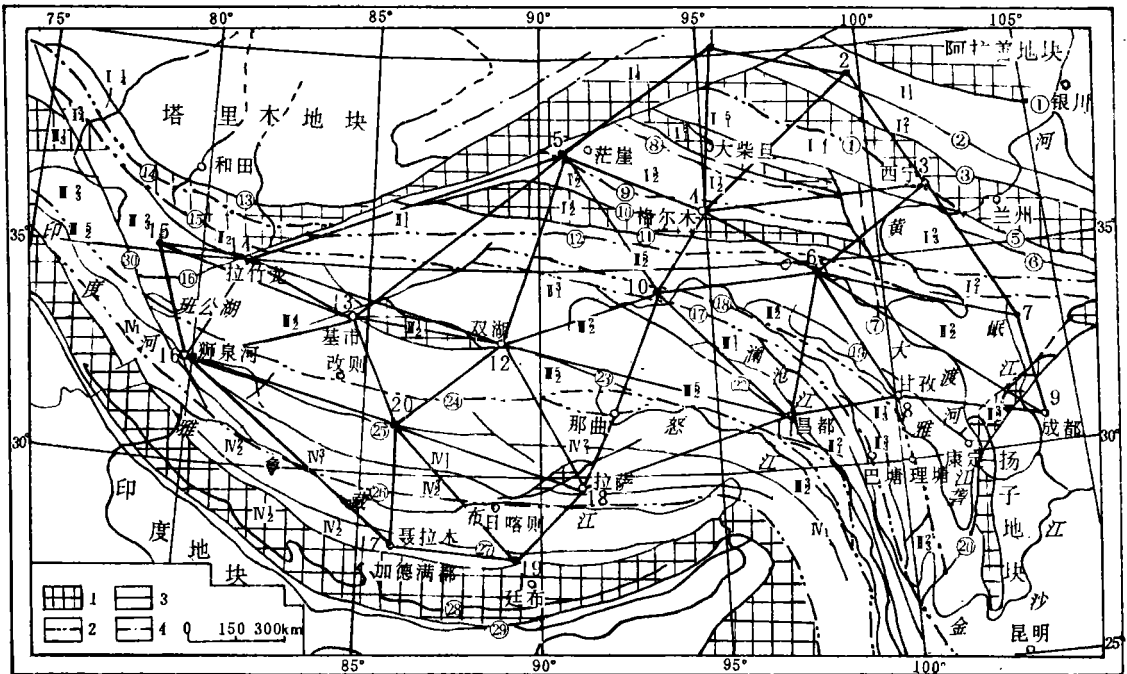


图 1 青藏高原地壳运动 GPS 监测网

注: 1-前寒武系结晶及褶皱基底; 2-板块消减带或深断裂; 3-主要断裂或构造单元界线及编号; 4-隐伏断裂。

I-秦祁昆微板块; II-可可西里-巴颜喀拉微板块; III-喀喇崑崙-三江微板块; IV-喜马拉雅-冈底斯微板块。其中, I_a 中 a 代表 I 微板块的二级构造单元 (板片), b 代表 I 微板块的三级构造单元。其余符号含义类推。

参 考 文 献

1 张青松. 现代青藏高原上升速度问题. 科学通报, 1991(7): 529~531

2 Armijo R, Tappormier P. Quaternary Extension in Southern Tibet: Field Observations and Tectonic Implicaionic. J Geophys Res, 1986(91): 801~873

3 金性春. 板块构造学基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1984.

4 Lichtenegger H, Sünkel H. A Contribution to the Kinematics of Plate Tectonics. Bull. Geod. , 1987(61): 281~289

5 刘增乾. 青藏高原大地构造与形成演化. 北京: 地质出版社, 1990.

6 单国政. GPS 网优化设计: [学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学地球科学与测量工程学院, 1993

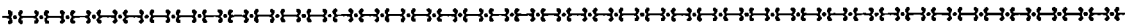
The Application of Plate Movement-deformation
Model to Monitoring the Diastrophism of Qinghai-Xizang Plateau

Xu Caijun Li Jinwen Chao Dingbo

(Institute of Earth Science and Survey Engineering, WTUSM, Luoyu Road 39, Wuhan, China, 430070)

Abstract Based on the theory of plate kinematics and the method of space geodesy, a practicable mathematic model for monitoring of plate variation with movement and deformation is established in this paper. Also the background of tectonic setting of Qinghai-Xizang plateau is analyzed, and then a primary scheme of geodetic monitoring network for detecting the diastrophism of Qinghai-Xizang Plateau is put forward.

Key words plate kinematics; plate movement-deformation model; monitoring of diastrophism in the Qinghai-Xizang plateau.



武汉测绘科技大学出版社部分新书信息

书 名	定价	书 名	定价
现代大地测量控制网的优化设计	4. 90	专家系统原理与设计	9. 80
测量控制网的优化设计	4. 30	IBM-PC 微机汇编语言及接口技术	6. 10
工程测量程序设计方法	4. 50	静电复印技术基础与应用	5. 40
实用天文测量学	3. 50	锁相与频率合成技术	5. 90
地球重力场模型理论	3. 00	计算机设备故障维修 135 例	3. 50
监测网理论与应变分析方法	3. 10	前沿英语	5. 40
PC-E500 程序设计	19. 60	英语相似词语辨析词典	15. 00(精)
飞越黑洞—谈天说地话宇宙	3. 50	外资企业法概论	5. 00(估)
多四季论—探索宇宙王国的奥秘	2. 95	婴幼儿养育大全	12. 00(估)
地理课外活动手册	2. 40	学生成语词典	5. 40

以上图书武汉测绘科技大学出版社有售。办理邮购加收邮费 15%。