

青藏高原山地系统动力学数值模拟研究

毕思文

(中国科学院遥感信息科学开放研究实验室, 北京 100101)

摘 要: 青藏高原山地系统地壳巨厚, 约为正常地壳厚度的两倍, 由于第四纪以来高原的急剧隆升而成为全球构造研究的热点。根据山地系统岩石圈运动的主要因素—构造带和断裂带, 本文将青藏高原山地系统的地壳演变简化成一个平面问题和一个典型剖面问题的力学模型, 应用变形体模拟构造带, 采用摩擦模型模拟断裂带, 并根据周边位移情况给出边界条件。应用 ABAQUS 有限元分析软件和位移加载, 变成了青藏高原山地系统岩石圈应力—位移场的数值模拟分析, 给出了应力和位移的分布规律。结果与青藏高原震源机制解 P 轴方位及地应力测量主应力方位吻合较好, 由此分析和推断青藏高原山地系统地壳运动演变的历史和现状。

关键词: 青藏高原; 山地系统; 数值模拟; 应力; 位移

中图分类号: P55

文献标识码: A

1 青藏高原山地系统动力学原型概述¹⁾

青藏高原地处印度板块和欧亚板块相互作用地带的前沿, 平均海拔 4 500 m 左右, 面积达 300 万 km², 是全球最高、最大和最年轻的高原, 其地壳厚度相当于正常地壳厚度的两倍。在过去二三百百万年间, 估计

平均每年大约上升 50 mm, 由于隆起原因众说纷纭, 故一直为科学界所瞩目。喜马拉雅运动是地质史上最近时期的一次强烈的地壳运动, 也是中—新生代以来亚洲最重大的地质事件。其间不但形成了喜马拉雅山系和青藏高原整体隆升, 而且影响着整个中国和东亚以致全球。该期构造运动至今仍在继续(图 1)。

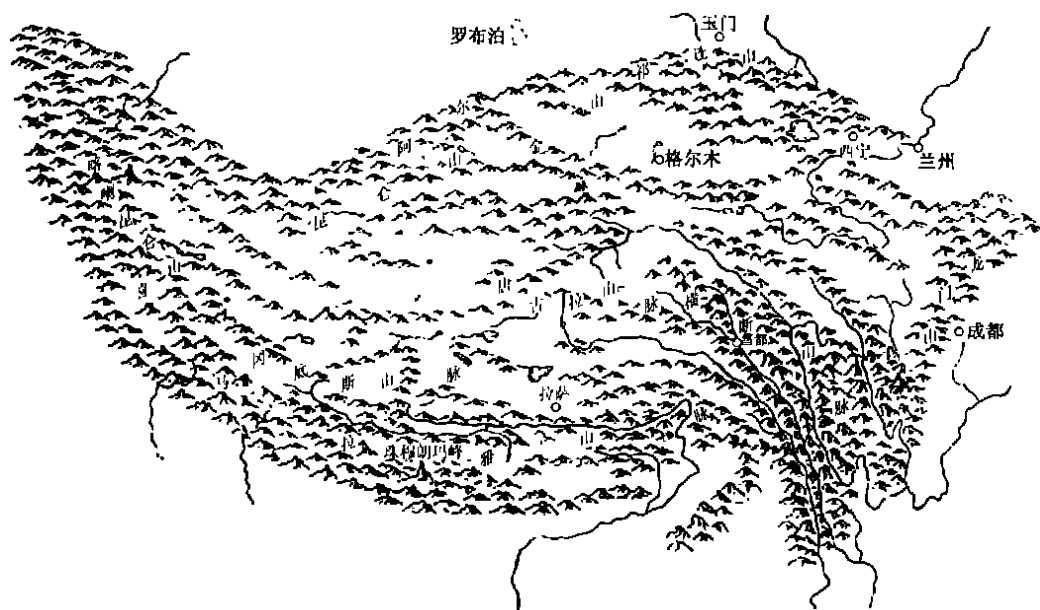


图 1 青藏高原山地系统原型图

Fig. 1 The Prototype of Mountain System in Tibet Plateau

收稿日期: 2001-07-06。

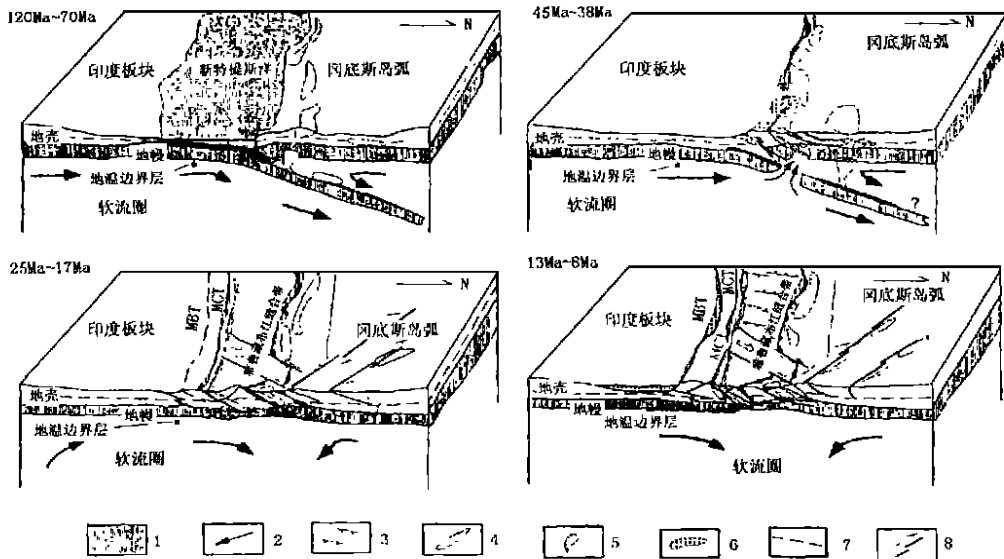
基金项目: 中国博士后科学基金一等资助。

作者简介: 毕思文(1956—), 男, 山东济南人, 博士后, 研究员, 构造地质学、固体力学专业, 主要从事青藏高原构造地质与区域地质、地球系统力学与数值模拟研究。

¹⁾ 毕思文, 青藏高原大陆碰撞各圈层统一相互作用研究, 博士后研究报告, 清华大学力学系, 1999 年 12 月。

青藏高原山地系统岩石圈具有明显的圈层性,根据地震波速度大致可划分为四层,由上下依次为:上地壳、中地壳、下地壳和岩石圈地幔。上地壳:层厚 15 km~30 km,推测由元古界结晶基底组成。其上为显生宙沉积盖层,层厚 0 km~20 km。沉积盖层和结晶基底起伏变化很大。上地壳底部存在一个低速高导层,在整个青藏高原连续分布,且有明显起

伏。中地壳:层厚 30 km~40 km,由花岗质片麻岩组成,往下逐渐过渡为闪长质片麻岩。中地壳底部存在有层厚约 4 km 的低速高导层。下地壳:推测由麻粒岩和榴辉岩组成。岩石圈地幔:推测由一些超镁铁岩组成。岩石圈厚度为 90 km~104 km。莫霍面和岩石圈—软流层界面具有明显起伏(图 2)^[1~4]。



1: 新特提斯洋; 2: 软流圈地幔对流型式; 3: 张性裂谷; 4: 壳源同构造岩浆岩;
5: 岛弧型岩浆岩; 6: 磨拉石建造; 7: 壳内滑脱面; 8: 大型走滑带

图 2 青藏高原碰撞变形的时空演化

Fig. 2 The Evolution Time and Space of Collision Shape in Tibet Plateau

依据古地磁资料,早第三纪时期,昆仑山地区已接近目前的纬度即 37°N 左右,而喜马拉雅山尚在 4°N ,它们相距 $3\,600\text{ km}$ ^[1~4]。目前,喜马拉雅山的纬度约为 27°N ,与昆仑山相距仅 $1\,000\text{ km}\sim 1\,200\text{ km}$,昆仑山与喜马拉雅山脉之间的地壳缩短了 $2\,400\text{ km}\sim 2\,600\text{ km}$ 。可以清晰地认识到,青藏高原隆升和缩短的物理—力学机制,最根本的原因在于印度板块和欧亚板块的碰撞导致了水平方向强大的挤压力系作用和由此所产生的派生要素共同作用的结果。

青藏高原地壳南北薄中间厚,以及空间几何状态的不对称表明,高原一方面受到由南向北运动主动挤压力的作用,同时也受到来自北面的欧亚板块的被动阻力和来自塔里木地块向南的挤压作用,在这两面双向强烈应力作用下才使得青藏高原快速抬升。地壳厚度横向分布的不均匀性,如柴达木盆地

地壳厚度为 52 km,沱沱河地带为 65 km,藏北为 70 km,藏南雅鲁藏布江南侧为 75 km 并向南翘起,喜马拉雅地带为 55 km~65 km,恒河平原为 40 km,由于深大断裂的切割,在高原地壳内部地壳厚度也是不均匀的。这种地壳两端厚、中间薄,南缘断裂北倾,北缘断裂南倾,以及地震震源面也具这一形态等,充分说明两大陆板块碰撞和强大挤压力作用形态,而且也说明双向挤压及北部作用力系强度远小于南部的格局。

2 由震源机制解确定应力场

青藏高原是地震活动频度较高,震级较大的地区。 $85^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 和 $25^{\circ}\text{E}\sim 40^{\circ}\text{E}$ 之间内部高原地震以浅震为主,深度多 $> 1.0\text{ km}$ 。在高原 $30^{\circ}\text{E}\sim 36^{\circ}\text{E}$ 之间有深地震发生,最大深度约 120 km。从纬度上

看, 深地震($< 50\text{ km}$)主要发生在 $89^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{E}$ 之间。前人对青藏高原进行了震源机制研究, 并得到了震源机制解。

由此可以看出, 在高原北缘由西向东主压应力方向北北东向逐渐变为北东向, 到祁连山断裂的东部变为北东东向, 从南到北主压力由近南北向变为北北东到北东向。这种应力场反映了阿尔金山断裂和祁连山断裂为左旋的特征。

整个高原内部不同地区、不同深度具有不同的底层断层活动特点。断层的类型决定于应力状态, 根据产生断裂的莫尔库仑条件, 按主应力的相对大小有: (1)压应力作用下的逆断层; (2)切应力作用下的走滑断层; (3)拉应力作用下的正断层。从平面展布看, 在南部地震断层的性质主要为水平挤压性逆断层, 在中部冈底斯构造带地区主要为伸展正断层应力状态, 在北部主要为走滑断层应力状态。从深度看, 挤压性断层应力状态主要分布在 10 km 以下。伸展正断层应力状态主要分布在 10 km 以上。地震反映的正断层活动伸展拉伸方向主要为北西西向。

由震源机制解可以归纳出青藏高原及北缘现代构造应力场的主要特征, 将其分为低喜马拉雅区、青藏区和柴达木—祁连区等三个区:

1. 低喜马拉雅区, 该区位于主前锋冲断裂和中央冲断裂之间。构造应力场的特征是: 最大主压应力 σ_1 水平, 也就是该区处于南北挤压应力状态。

2. 青藏区, 该区位于中央冲断裂与西金乌兰—金沙江断裂之间。构造应力场的特征是: 最大主压应力 σ_1 直立, 藏南地区处于南北与东西拉伸应力状态, 藏北地区处于南北挤压与东西拉伸应力状态。

3. 柴达木—祁连区, 该区位于西金乌兰—金沙江断裂与阿尔金断裂与北祁连冲断裂之间。构造应力场的特征是 σ_2 近于直立, 也就是本区处于以走滑为主的应力状态, 向北挤压的成份有所增加。

为了对整个青藏高原的应力—应变状态和特征有一个总体的认识, 在对青藏高原山地系统动力学模型^[5]和上述研究的基础上, 在考虑了青藏高原山地系统岩石圈结构和断裂分布的基础上, 本文选取了典型的平面问题和剖面问题的力学模型。平面力学模型南到印度板块与欧亚板块的相互作用地带, 北至天山以北, 西到新德里一线, 东至四川盆地一线。平面力学模型可以给出青藏高原岩石圈应力场

的分布, 可以解释各个断裂带的受力状况和走滑趋势, 可以给出岩石圈的位移趋势。剖面力学模型南为印度板块的恒河平原, 北为格尔木, 底界为软流层。剖面问题可以从深度方向反映岩石圈各圈层的应力分布情况, 其位移场可以解释整个青藏高原的隆升。求解地史时期应变的积累量。

3 平面力学模型

平面问题求解范围(图 3)东西方向从 $77^{\circ}\text{E} \sim 106^{\circ}\text{E}$, 跨度达 $2\ 300\text{ km}$; 南北向从 $24^{\circ}\text{N} \sim 44^{\circ}\text{N}$, 跨度 $2\ 000\text{ km}$ 。确定边界条件时, 由于西部边界东西向位移相对较小, 因此, 约束该边界大部分区段的的东西向位移; 考虑到实际的位移状况, 放松西部边界南部一小段的位移。北部边界几百万年以来位移相对南边几乎为零, 因此固定该边界的南北位移。同样根据实际情况, 也需要放松北部边界东部一小段的位移。南面与印度板块相接的弧形边界, 根据实际位移演变的历史, 取北北东方向的位移, 数值为 5 mm/a 。由于从测量中得到的横断山地区应力相对较小, 故放松该区段的边界。东北角的鄂尔多斯地块取东南方向的位移, 数值为南边位移的 $1/5$, 即 1 mm/a , 东南边的扬子地块取向东的位移, 为了和实际情况吻合, 固定角点的南北向位移。

4 剖面力学模型

在剖面力学模型问题中(图 4), 与平面问题一样, 用变形体及变形体之间的接触模拟实际问题。区分研究剖面内的上地壳、中地壳、下地壳和岩石圈地幔。各层的力系参数如表 1 所示。

表 1 岩石圈各层的物理力学参数

Table. 1 Material Parameters of each Structural Layer

层 位	弹性模量 (E) /MPa	泊松比 (ν)	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
上地壳	3 3000	0.25	2.6
中地壳	40 000	0.27	2.8
下地壳	43 000	0.29	3.0
岩石圈地幔	53 000	0.35	3.3
软流层	10 000	0.28	2.5

剖面问题的边界条件与平面问题相对应, 南面施加一个向北的大小为 0.5 mm/a 的水平向位移, 水平方向约束; 北边固定南北水平向位移; 底部为垂直方向约束。

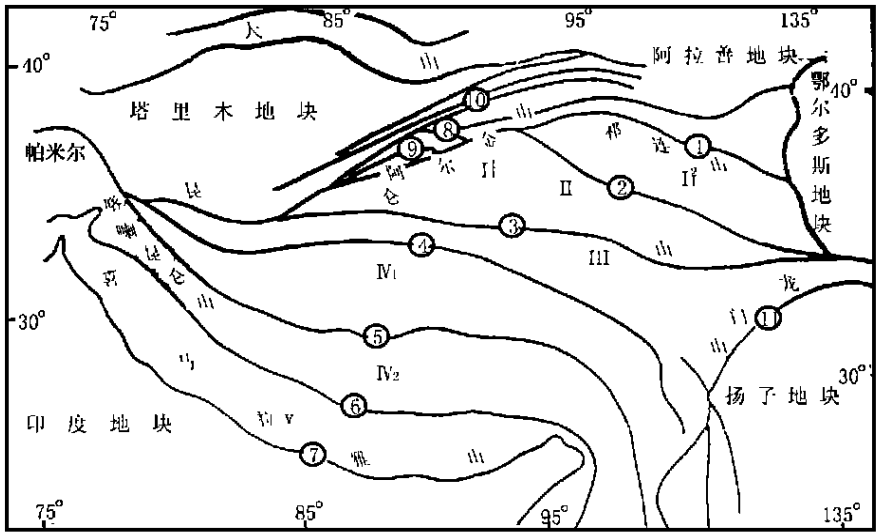


图 3 青藏高原及邻区构造单元示意图

Fig. 3 Diagrammatic Sketch of Structure Elements for Tibet Plateau and its Surrounding Regions

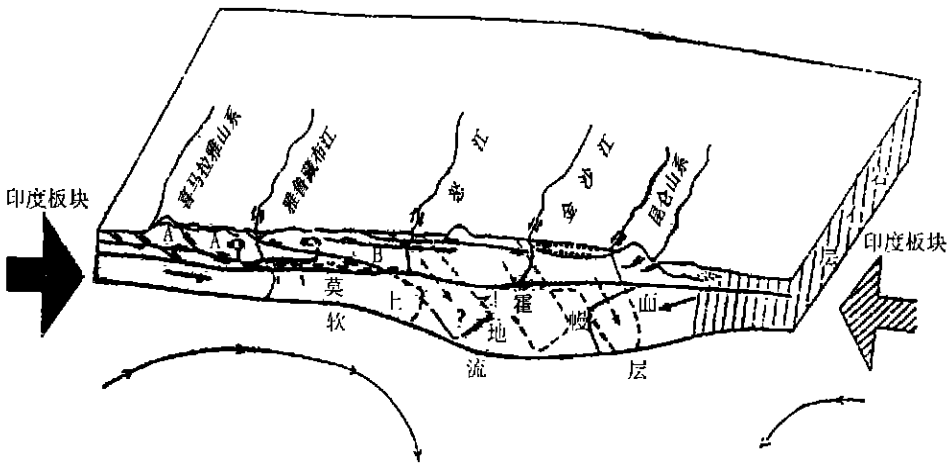


图 4 青藏高原典型剖面构造示意图

Fig. 4 Diagrammatic Sketch of the Section Plane for Tibet Plateau

5 算法分析

5.1 求解非线性问题的显式方法和隐式方法

非线性动力学问题的求解方法通常分为两大类: 显式和隐式方法。相应的, 作为有限元分析程序的 ABAQUS, 也分别提供了显式算法和隐式算法。

显式算法, 在得到 $t + \Delta t$ 时刻的动力学参数时, 完全依赖于已知时刻 t 的值。在应力分析中通常采用中心差分法。中心差分法是条件稳定的算法。其稳定性依赖于时间步长。

隐式算法, 在得到时刻的动力学参数时不仅仅

依赖于已知时刻 t 的值, 还依赖于 $t + \Delta t$ 时刻的值。这样消除了对时间步长的控制, 同时, 又不得不求解非线性方程。这种算法在模型较大而非线性方程不易求解时用起来很不经济。

显式动态分析程序 (ABAQUS /Explicit) 对于求解广泛的、各种各样的非线性固体和结构力学是一个非常有用的工具。显式和隐式方法 (ABAQUS /Standard) 的不同特征为:

显式方法需要一个只依赖于模型的最高自然频率而与载荷类型及持续时间无关的微小时间增量。一般步数较多, 但每步所花费的时间是比较小的。

隐式方法并没有增量时间步长的限制, 增量的大小通常参考精度和收敛情况来决定。通常隐式模型所用的增量步数要比显式模型小几个量级, 然而, 由于在每个步长中必须求解一整套平衡方程, 或者求矩阵的逆阵, 所以隐式方法的每一步骤的成本都比显式方法高得多。

接触问题和其它一些极度非连续事件在显式方法中很容易表达清楚, 并且能够一个结点一个结点地进行求解而不必迭代。这样, 既解决了问题, 又保证了较高的效率。

5.2 选择显式方法 (ABAQUS /Explicit)

鉴于本问题存在大量的接触问题, 我们选择显式方法。尽管该问题更准确的说是一个准静态问题, 而 ABAQUS Explicit 设计的初衷是用来模拟惯性发挥主导作用的高速冲击问题, 但这并不矛盾。显式求解方法证明其对求解静态问题也很有价值——ABAQUS /Explicit 对于某些类型的静态问题的求解比 ABAQUS Standard 更容易。相对于隐式方程而言, 显式方程的优点之一是它处理复杂的接触问题很方便。优点之二是求解花费的时间在显式程序中与问题的自由度成正比; 而在应用波前求解器的隐式程序中, 求解所花的时间与波前的平方成正比, 求解时间随着问题的规模会迅速扩大。当问题规模比较大时, 显式求解更体现出其优越性。

下面是显式动力学方法的运算法则, 对于每一个结点的自由度进行计算:

(1) 动力平衡方程

$$\ddot{u}_t = M^{-1} (P_{(t)} - I_{(t)}) \tag{1}$$

(2) 对时间显式积分, 利用对时间扣心差分计算速度和位移

$$\dot{u}_{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \frac{(\Delta t + \Delta t + \Delta t_{(t)})}{2} \ddot{u}_{(t)} \tag{2}$$

$$u_{(t+\Delta t)} = u|(t) + \Delta t|(t + \Delta t) \dot{u}_{(t+\frac{\Delta t}{2})} \tag{3}$$

(3) 单元计算

然后, 根据应变速率 ϵ , 计算单元应变增量 $d\epsilon$ 。根据本构关系计算应力

$$\sigma_{(t+\Delta t)} = f(\sigma_{(t)}, d\epsilon) \tag{4}$$

和汇聚结点内力 $I_{(t+\Delta t)}$ 。

(4) 设置 $t + \Delta t$ 为 t , 回到步骤 1。

本文采用三结点三角形单元。为了适应各种几何形状的需要, ABAQUS 采用等参单元。

5.3 接触问题

当两个接触表面之间分开的距离成为间隙。当

两个表面之间的间隙变为零就应用了接触约束。当接触应力变为零或负值时, 两表面分开, 且约束移去。

这种表面相互作用的行为成为“硬”接触。当接触条件从“开”(正的间隙)到“闭”(间隙为零)时, 接触应力发生剧烈的变化, 有时使得完成模拟非常困难。

在考虑摩擦的接触问题中, 粘结或滑移两种状态间的不连续导致了收敛问题。而模拟一个理想(库仑)的摩擦行为可能是非常困难的; 因此, ABAQUS 采用了一个允许“弹性滑动”的罚摩擦公式。这样, 收敛速度快得多, 节省了计算资源。在大多数情况下, 罚摩擦公式工作得很好。在模型中包括了摩擦, 就是在待求解的系统方程中增加了不对称项。如果摩擦系数 $\mu < 0.3$, 这些项的大小和影响非常小并且是规则的, 对称解法效果很好。对于较大的摩擦系数, 采用不对称解法, 才能改进收敛速率。

ABAQUS /Explicit 中对接触的定义分为两部分: 定义接触面和定义接触面之间的相互作用。对本问题, 应用平衡主控—从属接触算法。这样比单纯主控—从属接触算法费资源, 但它最大程度的减少了接触物体间的相互侵入, 从而, 提供了更为接近实际情况的结果。

5.4 时间增量

本课题使用的 ABAQUS /Explicit 采用中心差分法。这个方法是条件稳定的, 稳定极限通过系统的最小特征值来表达

$$\Delta t \leq \frac{2}{\omega_{\max}} \tag{5}$$

式中 ω_{\max} 为最高单元频率。

ABAQUS /Explicit 完全自动地设定时间增量。通过一种算法来保守地估计最高单元频率。一种近似的稳定极限通常写为膨胀波跨越所有单元的最短时间

$$\Delta t \leq \frac{L_{\min}}{c_d} \tag{6}$$

式中 L_{\min} 是网格中最小单元尺寸, 而 c_d 为膨胀波速度, 其表达式为

$$c_d = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \tag{7}$$

式(7)中 ρ 为材料密度, λ 、 μ 为拉梅常数。用杨氏模量 E 和泊松比 ν 来表示波速为

$$c_d = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{2-3\nu}{(1-3\nu)(1-\nu^2)}} \tag{8}$$

代回, 可以得到本问题的时间步长。

5.5 计算结果与分析

笔者采用了三结点三角形平面应变单元和大型

计算有限元分析程序的 ABAQUS 软件,在精度要求范围内可以反映岩石圈的应力场分布情况和位移趋势。

1. 根据青藏高原岩石圈应力场计算的结果,由西向东应力场由北北东向逐渐过渡为北东向。这种应力场的特征与阿尔金、祁连山断裂带的左旋走滑特点一致,与天山、塔里木盆地的挤压性构造也是一致的。由图 5 可以推断,阿尔金、祁连山断裂带都具有走滑特征,但阿尔金断裂走滑特点更明显,而祁连山断裂受更明显的挤压逆冲作用。应力场模拟计算的结果与震源机制解^[6~10]、地应力测量结果^[11,12]、断裂擦痕统计资料和断裂带的活动方式基本一致^[13~16];

2. 从位移等值线图 6 整体上看,青藏高原向北东方向位移,且由南向北,由西向东位移量逐渐减少。南部位移量为北部位移量的 5 倍。这种位移使区内主要断裂带,特别是阿尔金和祁连山断裂产生左旋滑动;

3. 从位移矢量图 7 可以看出位移的总体方向

和局部左旋的特征;

4. 根据剖面问题应力场计算结果的 MISES 应力等值线图 8。由于剖面内断层、低速层的存在,介质的性质很不均匀。因而应力分布也是极不均匀的。岩石圈地幔层的应力远远大于位于它上方的上、中、下地壳和下面的软流层的。这可以从各圈层的物理—力学性质差异来解释;

5. 从剖面应力场的应力矢量图 9 看到,有较小的铅直应力,这是因为介质不均匀和泊松效应;

6. 根据位移等值线图 10,位移的总体趋势是南边大;北面小。各层位移大小有明显差别,表现为各层之间的滑动;

7. 从位移矢量图 11 不难看出,在交界面上的很多点处引出两个矢量。这不矛盾,它们分别体现的是交界面两边的块体相对错动位移情况。注意表层部分,从南到北位移均有铅直分量,并且是向上的,这验证了青藏高原的隆升。隆升的程度也是南北明显,而中间相对较弱,这也与前面提到过的“地壳两端厚、中间薄”相吻合。

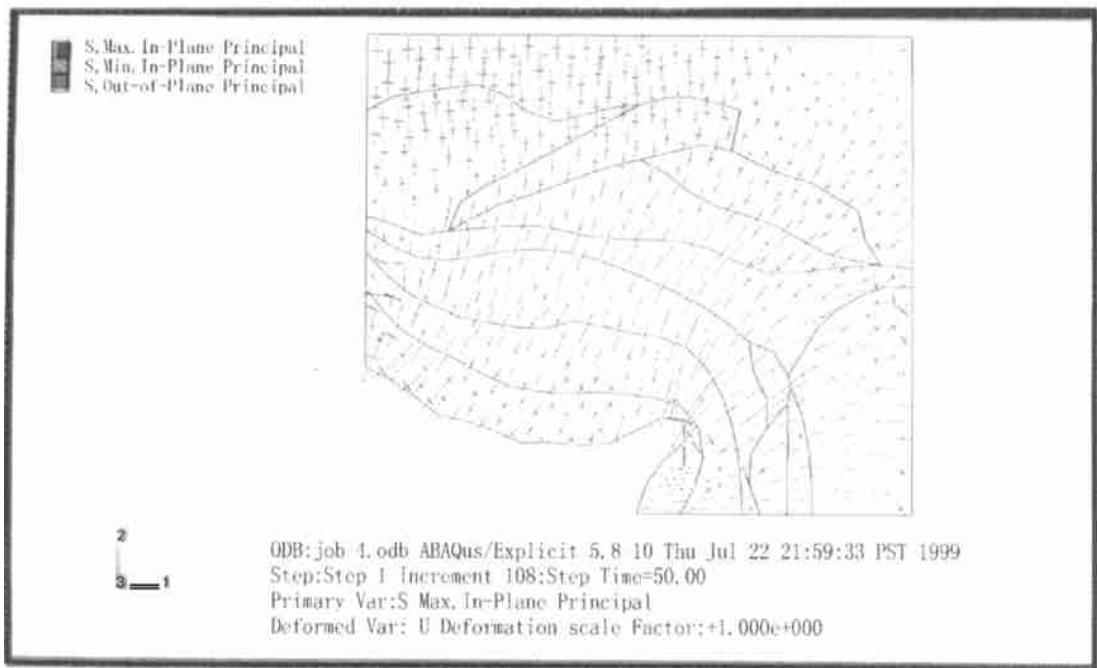


图 5 青藏高原岩石圈应力场计算结果图

Fig. 5 Plane Stress Field Distribution for Lithosphere of Tibet Plateau

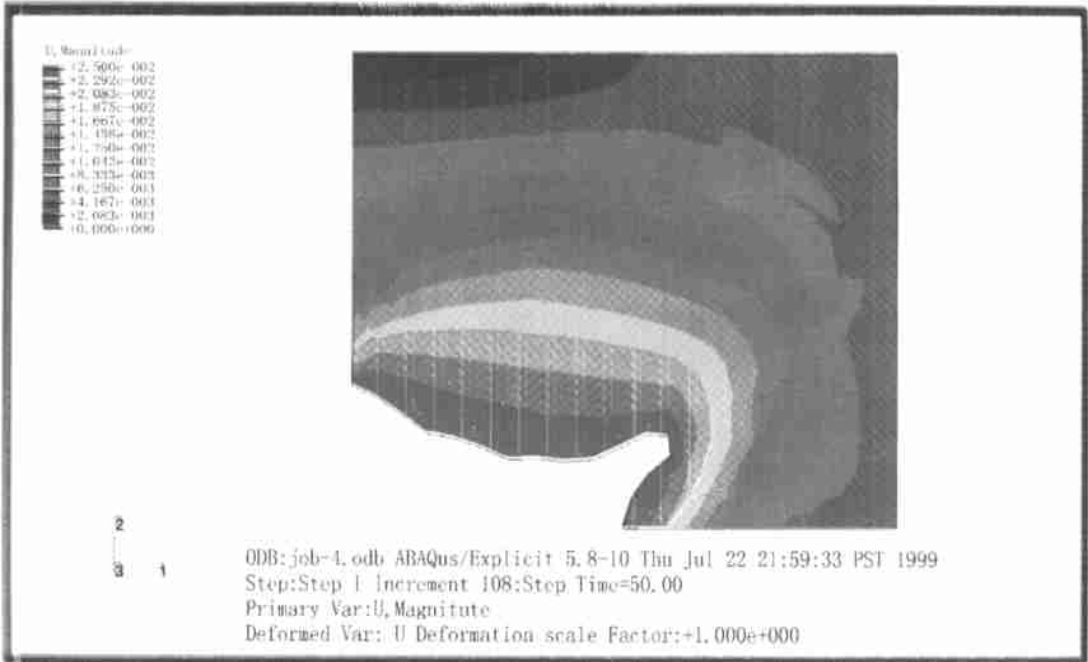


图 6 青藏高原岩石圈位移等值线图

Fig. 6 The Contour Plot of the Displacement for Plane Model

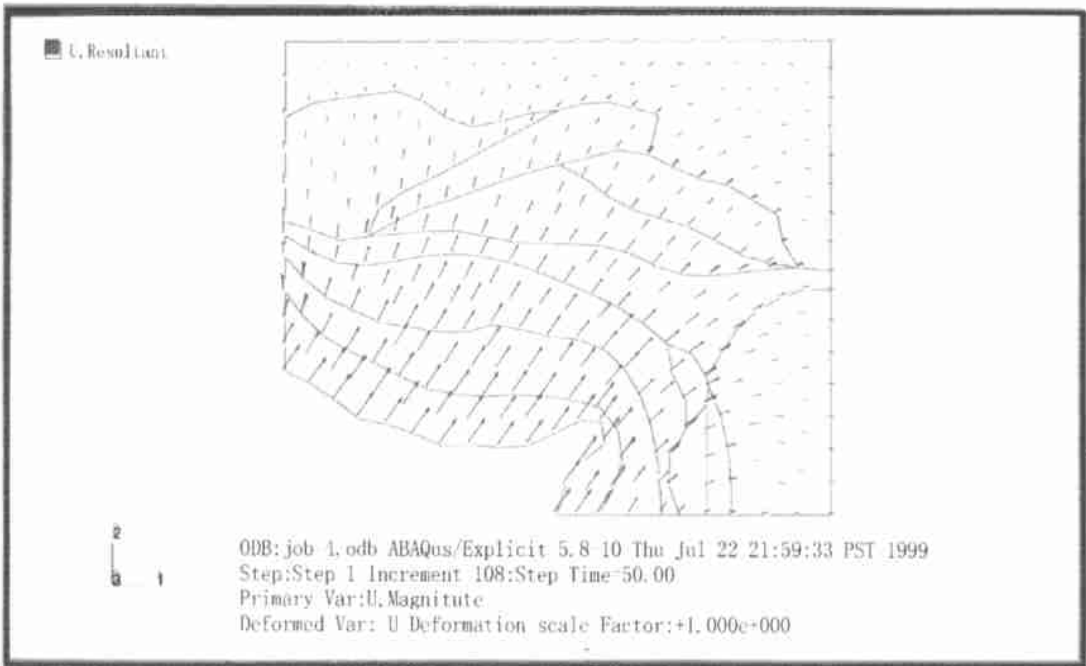


图 7 青藏高原岩石圈位移矢量图

Fig. 7 The Displacement Vector Plot of Plane Model

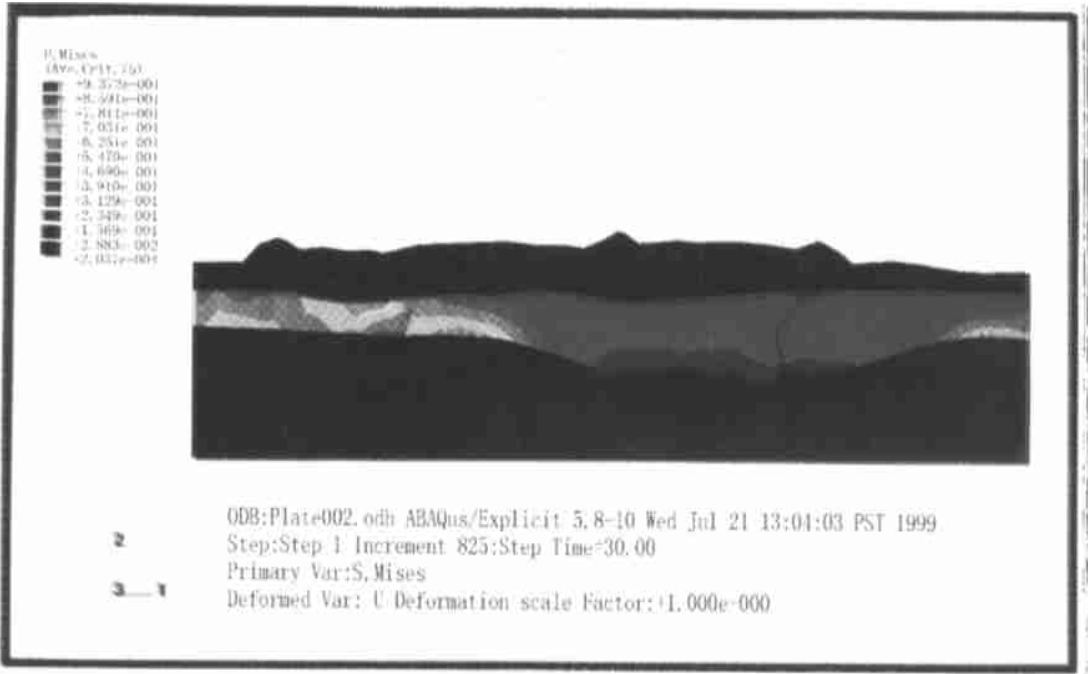


图 8 剖面问题 MISES 应力等值线图

Fig. 8 A Contour Plot of Mises Stress for the Section Plane Model

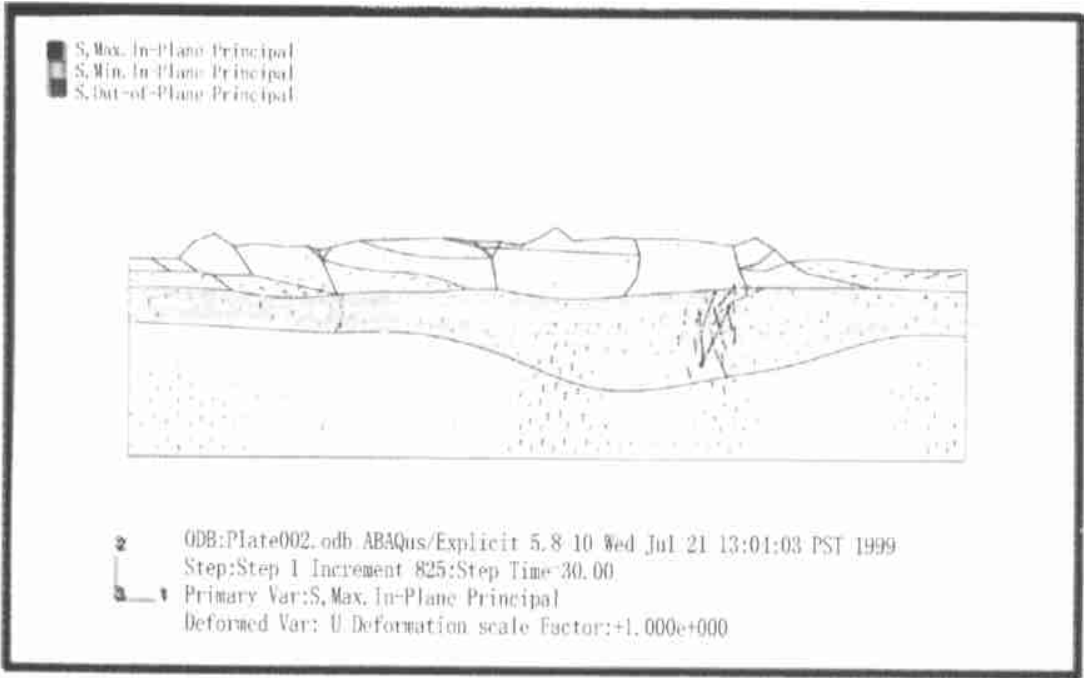


图 9 剖面问题应力问题矢量图

Fig. 9 A Vector Plot of the Stress Field for the Section Plane Model

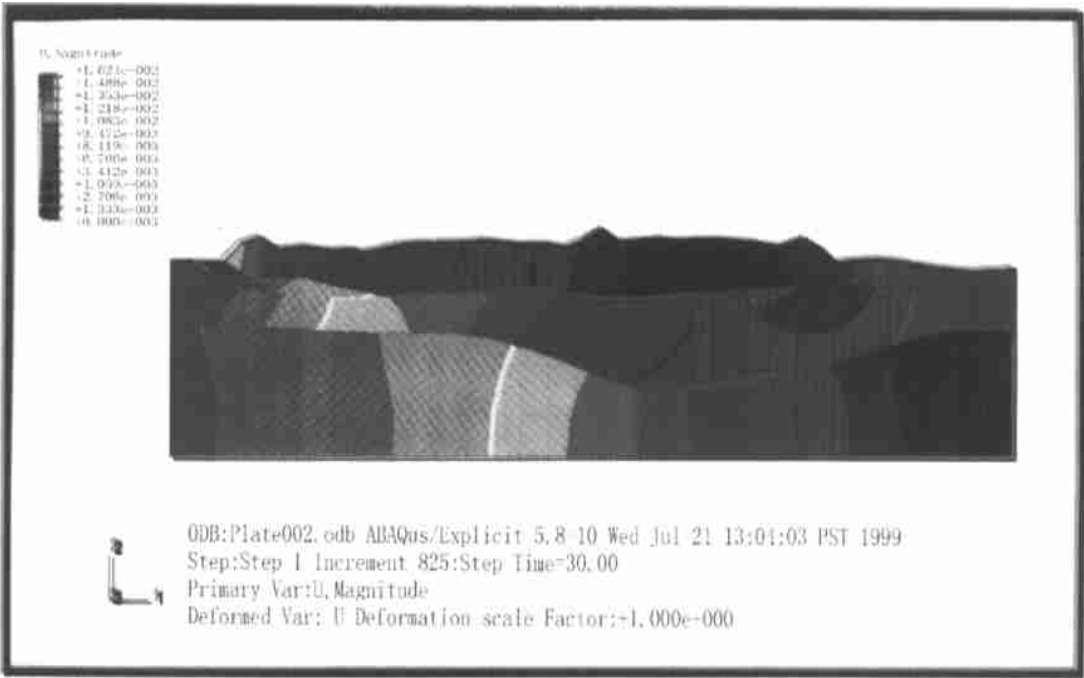


图 10 剖面问题位移等值线图

Fig. 10 A Contour Plot of Displacement for the Section Plane Model

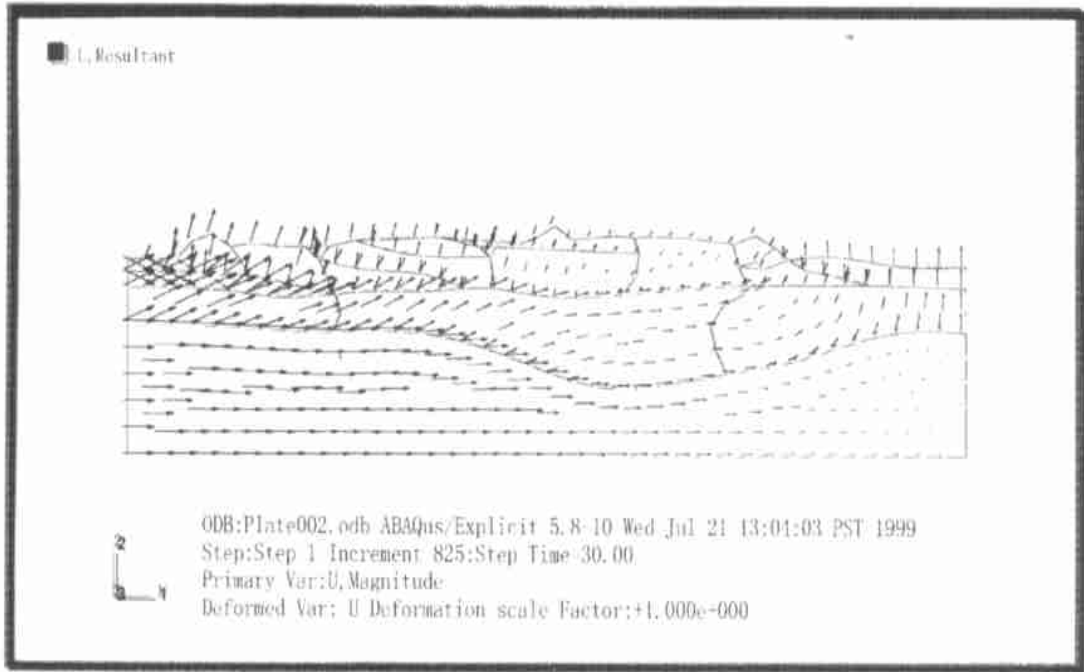


图 11 剖面问题位移矢量图

Fig. 11 A Displacement Vector Plot for the Section Plane Model

6 结语

本文以统一构造理论、地球系统力学和现代力学为理论基础,从地球系统科学的研究思路,对青藏高原山地系统隆起各圈层统一相互作用的力学模型和数值模拟进行了探索和研究。工作是初步的,还有不足之处,如:在边界条件上,采取的建模方式是沿纵深方向上采用一致的边界条件,这与实际情况有一定出入;然而,其影响是局部的。今后,可以根据实际构型建模,有利于边界条件的逼近性。在材料模型上,本文只讨论了弹性模型,可以进一步考虑岩石的弹塑性和粘性本构关系。文中用二维模型模拟,三个方向因素的影响,即三维模型模拟也做了部分工作。今后还需要进一步深入研究,这也是本人正在进行的工作。

致谢:崔鹏、陈自生二研究员审阅全文并对本文的发表给予经费资助,谨致谢意。

参考文献:

- [1] 毕思文. 地球系统科学与可持续发展(III)—统一构造理论中的表层构造系统[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(6): 83~92.
- [2] 毕思文, 何国琦, 李继亮, 等. 地球系统科学与可持续发展(IV)—统一构造理论中的青藏高原大地构造特征与地质过程[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(9): 83~92.

- [3] 滕吉文, 等. 青藏高原整体隆升与地壳缩短增厚的物理—力学机制研究(上)[J]. 高校地质学报, 1996(2): 121~133.
- [4] 滕吉文, 等. 青藏高原整体隆升与地壳缩短增厚的物理—力学机制研究(下)[J]. 高校地质学报, 1996(2): 121~133.
- [5] 毕思文. 青藏高原山地系统动力学模型研究[J]. 山地学报, 2001, 19(3): 1~8.
- [6] 张东宁, 许忠淮. 青藏高原南部正断层地震活动的可能机制[J]. 地震学报, 1995, 17(2): 188~195.
- [7] 阎荣举, 张四昌, 晏凤桐, 等. 我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨[J]. 地球物理学报, 1977, 20(2): 96~98.
- [8] 谢富仁, 张世民, 奚素芹, 等. 青藏高原北、东边缘等四纪构造应力场演化特征[J]. 地震学报, 1999, 21(5): 502~510.
- [9] 谢富仁, 刘光勋. 阿尔金断裂带中段区域新构造应力场分析[J]. 中国地震, 1989, 5(3): 26~36.
- [10] 谢富仁, 祝景忠, 梁海庆. 我国西南地区现代构造应力场基本特征[J]. 地震学报, 1993, 15(4): 407~417.
- [11] 李方全, 刘光勋. 我国现今应力状态及有关问题[J]. 地震学报, 1986, 8(2): 156~171.
- [12] 许忠淮, 汪素云, 黄雨蕊, 等. 由多个小震推断的青甘和川滇地区地壳应力场的方向特征[J]. 地球物理学报, 1987, 30(5): 476~486.
- [13] 许忠淮, 汪素云, 黄雨蕊, 等. 由大量的地震资料推断的我国大陆构造应力场[J]. 地球物理学报, 1989, 32(6): 636~647.
- [14] 崔作舟, 等. 青藏高原地壳结构构造及其与地震的关系[J]. 中国地质科学院院报, 1987, 21: 215~226.
- [15] 张东宁, 许忠淮. 中国大陆岩石层动力学数值模型的边界条件[J]. 地震学报, 1999, 21(2): 133~139.
- [16] 周硕愚, 张跃则, 丁国瑜, 等. 依据GIS数据建立中国大崇板内块体现时运动模型的初步研究[J]. 地震学报, 1998, 20(4): 347~355.

Study on Dynamic Numerical Simulation of Mountain System in Tibet Plateau

BI Si-wen

(Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101 China)

Abstract: Tibet plateau in mountain system is becoming one of the focuses of global technique research, because of its marvelous thick, which is twice of the normal thickness of Mountain System in lithosphere, and its rapid raise from the Forth Epoch. By using a finite element analysis software ABAQUS, the numeric analysis has been carried out and presented in this paper for the lithosphere stress field. It is the first time to use the displacement loading in the simulation of Tibet Plateau. During the analysis, the deformed elements are used to simulate the structure band, and friction mechanism is used to model the fracture band. The boundary conditions are given according to the boundary displacements around the Plateau. The stress and displacement distributions are obtained for the geological evolution of the plateau, which are consistent with P axial orientations of the seismic origin mechanism and the measured principle stress orientations. The analysis is also given for the dynamic lithosphere evolution of Mountain System in Tibet Plateau.

Key words: Tibet Plateau; mountain system; numerical simulation; stress; displacement