

文章编号: 0253-3782(2001)04-0370-10

地壳块体脉冲响应的时间反转效应研究^{*}

郑文衡 王 乘 陈湘鹏

(中国武汉 430074 华中科技大学土木工程学院工程计算与仿真研究所)

摘要 运用动态有限元方法, 对地壳块体脉冲响应的时间反转过程进行了仿真研究。结果表明, 分布在较长时段上的量值较小的变化载荷, 在一定的构造条件或边界条件下有可能累积成一个时间短、量值高的脉冲。这一过程在物理上表现为先头发出的波与后继发出的波发生了多次叠加或干涉。在这个认识基础上, 对孕震以及发震的机理提出了新的看法, 并就华北块体对渤海、黄海潮汐动态响应的仿真结果, 进一步作出理论上的解释。

关键词 动力学 仿真 时间反转 地震 脉冲响应

中图分类号: P315.3⁺1 **文献标识码:** A

引言

时间反转效应是一种通过人工设定边界条件和加载条件、在局部或特定时段内实现的某个动力学过程的逆过程, 看起来好像时间被反转了一样。这个效应最早在超声波研究中被提出并被巧妙地加以应用。虽然超声波的聚焦能产生惊人的物理效应, 但是在非均匀介质中, 波的聚焦很难实现。Fink 等人注意到, 非均匀系统对某一点的脉冲响应是一个混沌过程, 而它的逆过程就是人们所追求的聚焦过程。他们在水池及硅片上研究了超声波的时间反转规律(Fink, 1997; 1999)。其实验研究结果指出, 运用换能器阵列和信号记录设备的时间反转播放, 可以在不均匀介质或不规则边界条件下实现波能量在空间的聚焦, 进而又通过硅片上的超声波频段的瑞利波的时间反转研究, 证明了在线性混沌响应条件下, 只利用一个点而不是一个阵列, 就可以实现时间反转。但是, 这方面的研究仍局限在较小尺寸(10^{-3} m 到 10 m 量级)、较短时间(10^{-6} s)的超声波频段以及严格的线性(能量保守)系统。其他学者也论述了这方面的问题(Clouet, Fouque, 1997; Gallavotti, 1998; Ing, Fink, 1998)。本研究运用 3-D 非线性有限元动力学分析方法, 施加随时间变化的载荷, 研究地壳块体的时间反转特征, 得出其动力学响应, 了解了时间反转效应的特性(陈湘鹏等, 2001), 如: 叠加性(空间上多点的时间反转过程互不干扰, 时间上不同的两个时间反转过程互不影响); 普遍性(不一定要求严格的线性或保守条件); 全息性(只要截取某一段而不必整

* 国家自然科学基金(49834002)和华中理工大学科研基金(J151005)共同资助。
2000-08-26 收到初稿, 2001-06-11 收到最后修改稿并决定采用。

一个响应过程)等.

一次地震可看作震源处的脉冲激励. 因为地壳在构造上是复杂的, 在物理性质上是不均匀的, 所以这种脉冲激励在邻近和遥远处引起的地震波均不仅很复杂, 而且要持续很长的时间. 事实上, 反向的过程, 在地震孕育和触发机理中扮演了重要角色.

计算机上的数值仿真, 在屏蔽次要干扰、突出主要因素这种用意上与物理实验意义相同. 非线性动态有限元方法是数值仿真的强有力的手段, 它与已经广泛应用的有限元强度分析相比, 其优越之处在于所进行的不只是静力学而是动力学分析, 它不仅考虑了时间因子, 而且涉及到每个单元的加速度和惯性力. 面积力的传递伴随着应变的传递, 每个单元的惯性对这种传递都表现出阻抗作用, 因而应变的产生是需要时间的, 各部分达到新的平衡状态的时间有先后, 因此, 动态分析是本研究工作的主要特点.

1 三维动态有限元建模

为了突出主要矛盾, 排除次要因素, 模型要求物理上真实, 数学上简洁. 地壳在构造上的复杂性, 以及在材料性质上的不均匀性, 在物理上可以用“波的遍历特性”来表征. 由于众多尺度不等的构造边界的存在, 以及介质的不均匀性, 机械波在地壳中的传播要经历多次的反射、折射和绕射, 因此原则上从一点向任意方向发射的波, 只要时间足够长, 均可到达域内任意一点, 这种特性称为系统的遍历(ergodic)特性. 遍历特性是系统的内在特性: 具有遍历特性的系统, 即使没有波在其中传播, 仍然具有遍历特性.

基于上述认识, 特意采用均匀、各向同性、无裂隙的岩石材料建立一个具有遍历特性的模型, 其遍历性通过特定的边界来实现. 模型是一块长 $L=1447\text{ km}$ 、宽 $W=800\text{ km}$ 、厚 $T=35\text{ km}$ 的岩石板; 其密度为 3400 kg/m^3 、杨氏模量为 $8.0 \times 10^{10}\text{ Pa}$ 、泊松比 0.25, 这些参数均按岩石性质给出; 模型周边固定, 由于重量和支反力是互相平衡的静态载荷, 对动态过程无影响, 因此不加重力. 为保证遍历性, 其长、厚不是整数, 因而保证了长、宽、厚不是整倍数关系, 同时还将其中两边做成弧形, 而另两边不正交(图 1). 其中 A 点的单元号为 1 294, B 点为 1 366.

2 动力学原理

本研究的数值模拟采用拉格朗日坐标系. 动态有限元原理如下: 对某一瞬时 t , 具有总体积 V 、内作用面 S_m 、位移边界 S_u 和外力边界 S_T 的相互作用系统, 应满足虚功原理

$$\int_V \rho \ddot{x} \delta x_i dV + \int_V \sigma_{ij} \delta x_{i,j} dV - \int_V \rho \bar{F}_i \delta x_i dV - \int_{S_T} \bar{T}_i \delta x_i dS = 0 \quad (1)$$

式中, ρ 是密度; $x_i (i=1, 2, 3)$ 是位置坐标; \ddot{x}_i 是加速度; δx_i 和 $\delta x_{i,j}$ 分别是虚功以及其导数的增量; \bar{F}_i 和 \bar{T}_i 是体积力和面积力, 波吸收边界的阻尼项, 包括在外力边界 S_T 上的面积力 \bar{T}_i 当中.

将体积离散化为 n 个单元. 为了保持四面体单元的抗畸变能力, 同时又使计算精度得到保证, 在 4 节点四面体单元的基础上, 建立 8 节点六面体超级单元. 每个单元的节点数为 8, 位置坐标 $x_i (i=1, 2, 3)$ 可用形函数 $N_j (j=1, 2, \dots, m)$ 与节点位置 x_i^j 的插值表示为

$$x_i = \sum_{j=1}^8 N_j (\xi, \eta, \zeta) x_i^j (t) \quad (2)$$

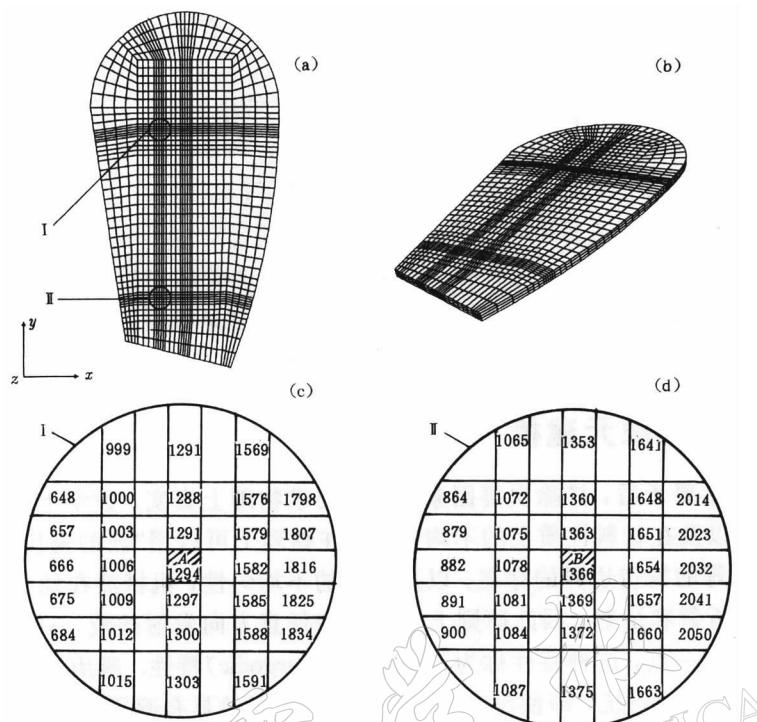


图 1 三维动态有限元模型

(a) 三维有限元模型(俯视图); (b) 三维有限元模型(立体图);
 (c) A 点及其附近单元; (d) B 点及其附近单元;

其中形函数 N_i 定义为

$$N_i = \frac{(1 + \xi_i)(1 + \eta_i)(1 + \zeta_i)}{8} \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (3)$$

式中, ξ, η, ζ 是单元局部坐标; t 是时间变量. 于是离散后的虚功原理可用矩阵表达为

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \int_{V_i} \rho \mathbf{N}^T \mathbf{N} \mathbf{a} dV + \int_{V_i} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dV - \int_{V_i} \rho \mathbf{N}^T \bar{\mathbf{F}} dV - \int_{S_{T_i}} \mathbf{N}^T \bar{\mathbf{T}} dS \right\} = 0 \quad (4)$$

式中, \mathbf{N} 是单元形函数 N_i 的集合矩阵; \mathbf{a} 是节点加速度矢量, 与加速度 \ddot{x}_i 的关系为 $\ddot{x}_i = \mathbf{N} \mathbf{a}$; \mathbf{B} 是变形协调矩阵, 定义为 $\mathbf{B} = D^T \mathbf{N}$, D 是矩阵算子, 定义为

$$D = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$\boldsymbol{\sigma}$ 是应力矢量, $\bar{\mathbf{F}}$ 与 $\bar{\mathbf{T}}$ 分别是给定单元的体积力与面积力载荷矢量.

时间反转过程就是将上述原理的 t 用 $-t$ 替换, 同样适用于动力学仿真.

3 模拟结果与分析

3.1 仿真再现阵列的时间反转

在 A 点 1 294 号单元上施加一个时间为 0.1 s、峰值为 5 Pa 的压强作为输入载荷, 载荷随时间变化的规律为半个正弦波。进行动态有限元显式计算, 输出模型中所有各点的应力、应变、位移等物理场随时间变化的数据。从中提出应力张量的球张量分量数据(即压力)加以分析。压力波以一定的速度向外传播, 碰到边界后在模型中来回反射形成很复杂的响应图景。将边界单元上时长为 T 秒的压力随时间变化曲线提出, 并将这些曲线在时间上逆转过来, 在各个边界单元上按逆转的响应曲线加上压力荷载, 每个边界单元发出一列波, 这些波在空间上叠加或干涉的结果, 到时间 T 时, A 点就出现一个时间轴上很尖锐、空间上聚焦的压力脉冲。

3.2 单个点的时间反转效应

由于所有从 A 点发出的波射线都要经过 B 点, 按理只要在 B 点所在的单元进行时间反转加载, 也可以在 A 点重现一个聚焦的脉冲。由于我们不可能取无限长时间的响应曲线, 所以将 1 366 单元(B 点)的自由表面设成波吸收边界。该面吸收能量的结果, 使整个系统的波振荡衰减, 因而可以截取有限时间的响应来进行时间反转研究。

不再一一提取整个边界阵列上每个单元的时间历程, 只需取出 B 点为时 200 s 的响应曲线图 2a。再将此曲线逆转, 作为载荷曲线定义在输入文件中。在 B 点(1 366 单元)上加载 200 s。图 2b 是 B 点的时间反转加载曲线。为了说明时间反转效应是一种可以在较宽松的条件下实现的普遍现象, 加载幅度乘子可以不是 1, 此处的幅度乘子是 100×10^6 。与实验有所不同的是, 我们可以仔细地观察、分析时间反转过程, 甚至可以逐个时间步地观察与分析。

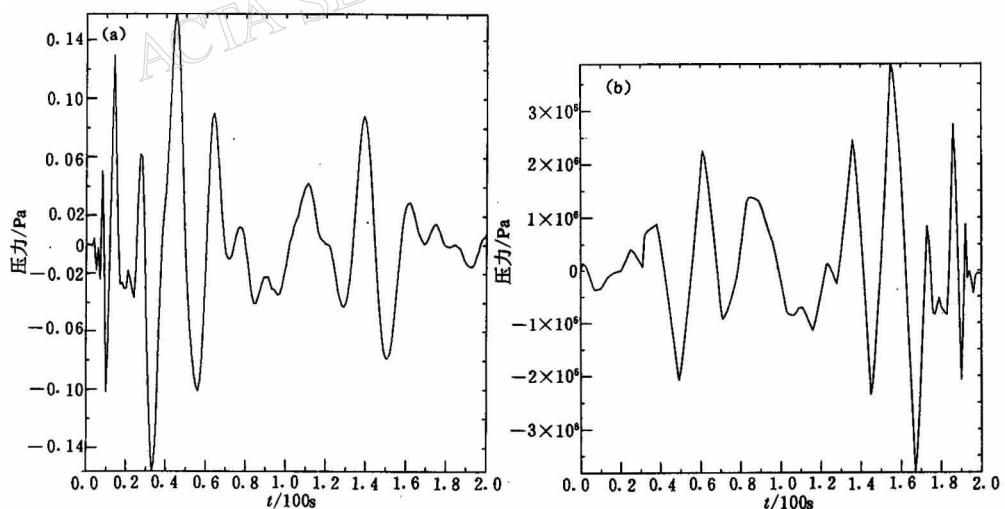


图 2 单个点的时间反转加载

(a) B 点的脉冲响应; (b) B 点(1 366 单元)的时间反转加载曲线

从后处理得到的反映物理场变化的动画中, 观察压力等值色标图的演化, 看出 B 点不断发出的压力波。波在系统内来回振荡, 波能量储存在整个空间中, 当 $T=200$ s 时, A 点

出现一个聚焦的高压力区(图3a). 从图3b可看出A点压力自始至终的变化, 在T接近200 s时, 重现了一个尖锐的峰.

进一步研究表明, A点和B点的选取具有任意性. 在此不再赘述.

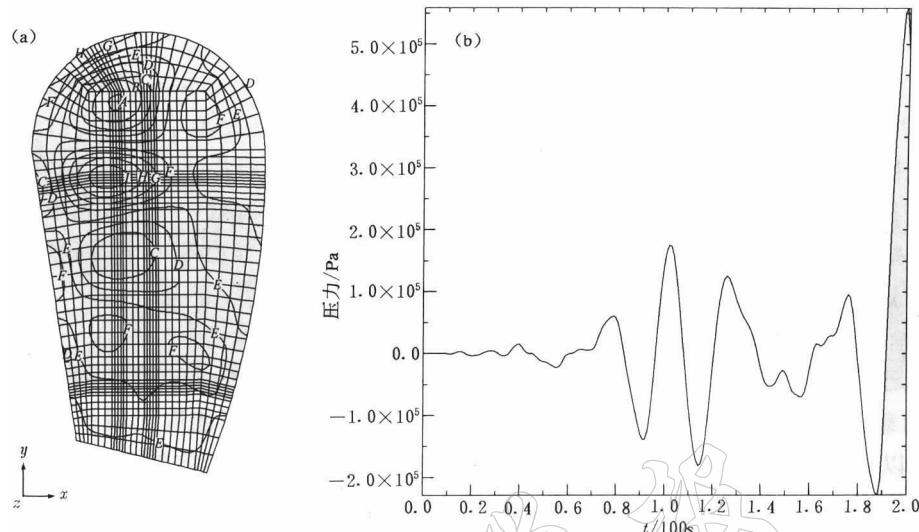


图3 单个点的时间反转效应

(a) 时间反转加载200 s后的压力空间分布, $A = -4.29 \times 10^5$ Pa, $B = -3.22 \times 10^5$ Pa, $C = -2.14 \times 10^5$ Pa, $D = -1.07 \times 10^5$ Pa, $E = 2.48 \times 10^2$ Pa, $F = 1.08 \times 10^5$ Pa, $G = 2.15 \times 10^3$ Pa, $H = 3.22 \times 10^5$ Pa, $I = 4.29 \times 10^5$ Pa;
 (b) A点(1294单元)逆转过程的时间历程

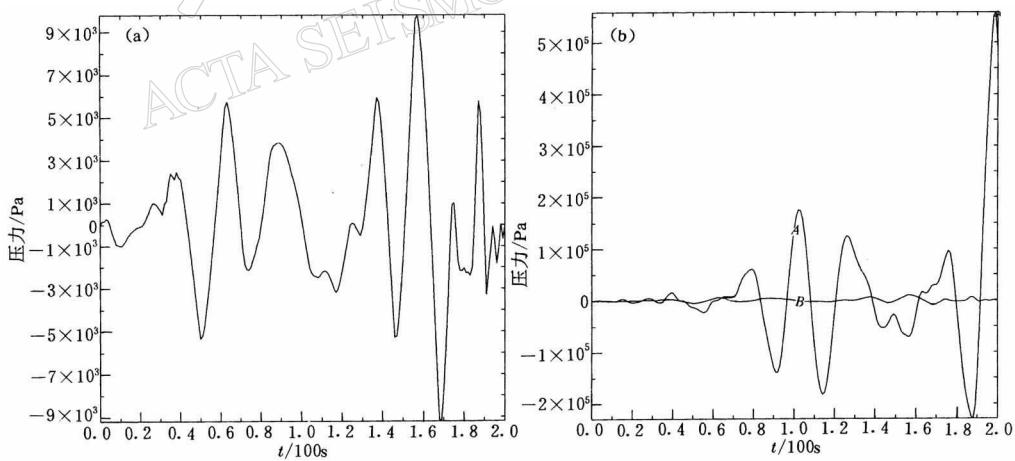


图4 展示A点周围的时间反转响应远比A点要小
 (a) 1336单元的时间反转历程; (b) 1294单元和1336单元的时间反转历程

因为200 s以后的信息被截断, 一方面使图3a中重建的聚焦高压力区较原来加载的面大, 同时在A点以外的地方, 应力不能恢复到0, 反而有几个另外的较小或反相的聚焦点; 另一方面又使图3b中A点再现的峰比原始的脉冲宽. 这种能量在时空上的弥散, 加上波吸收边界的能量耗散, 重建的峰可能比B点加载的最大值还小. 但是这不会淹没时间反转

效应, 因为 A 点周围的时间反转响应远比 A 点要小(图 4). 图 4a 展示了聚焦区边缘上的一点(单元号为 1 336)的时间历程. 其最大响应值比 A 点的峰值小两个数量级, 将这两个单元时间历程放在同一个坐标标尺下, 可以看得很清楚, 1 336 的时间历程曲线(曲线 B)几乎是一条水平直线(图 4b).

为了进一步探讨时间反转过程在时间上的全息性, 模拟研究了 800 s 的逆转过程, 以及聚焦点附近的某点(1 336 单元)的时间反转历程. 它们也同样表现出上述 200 s 的逆转过程的特征(图 5). 800 s 的时间反转聚焦点的峰值, 比 200 s 的情形几乎大一个数量级; 而 A 点与邻区相比, 仍是高两个数量级.

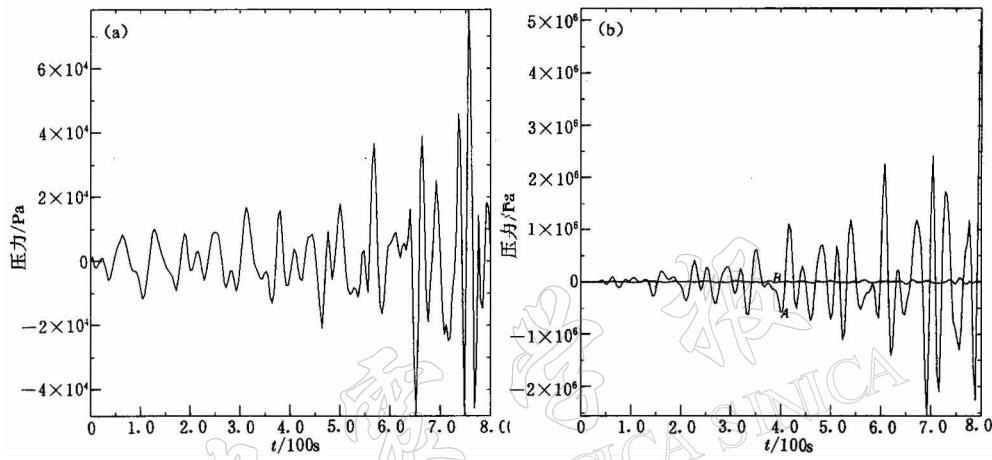


图 5 800 s 的时间反转过程

(a) 1 336 单元; (b) 1 294 单元和 1 336 单元(曲线 A 和曲线 B)

3.3 结果分析

以上研究表明, 原始脉冲的重建, 完全属于时间反转效应, 不但在空间上定点、而且在时间上定时; 时间反转过程中任意一个微小时段的加载, 都是在原始脉冲激励点重建一个脉冲, 时间反转加载时间越长, 各微小时段的效应在空间和时间上都精确叠加在一起. 因而时间反转加载过程越长, 重建脉冲在时间上越尖锐, 在空间上越集中. 图 6 展示了在逆转时间加长(800 s)的情况下, 在 A 点聚焦点更小的情形.

分析研究表明: 量值小的在空间上分布不规则的一系列激励源, 或者是一个在时间上起伏不规则的持续激励源, 在边界不规则(介质不均匀, 或构造极其复杂)的条件下, 有可能在某点激起一个能量在时空上都很集中的冲击.

热力学第二定律指出, 混沌性脉冲响应不能当场被逆转. 但随机力在自然界处处存在. 可以推测这样的过程是广泛存在的: 外界的随机力, 长时间大面积地作用于具有波的遍历特性的系统, 激发混沌性脉冲响应的逆过程, 即形成一个(或多个)巨大的、短暂的、集中于小范围的冲击.

设想利用在地震发生时在任意地点安装的地震仪接收到地震图在原地进行时间反转加载, 则可以在震源再现一个脉冲. 由于全息性, 只截取很小的一段地震图, 也具有同样效应. 由于该地震仪是安装在任意地点的, 而地震图的截取也带有任意性. 由此可以推测, 在某一点, 众多的随机力当中的某一段可能恰好再现这个脉冲, 而在同一时刻, 在覆盖全

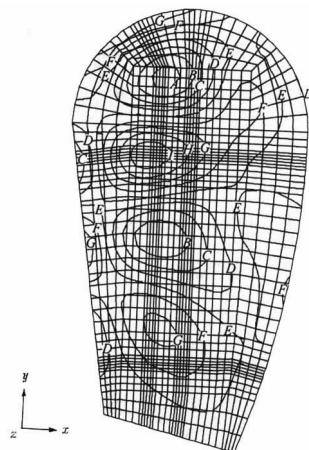


图 6 800 s 时间反转模拟结果

$$\begin{aligned}
 A &= -4.55 \times 10^6 \text{ Pa}, B = -3.41 \times 10^6 \text{ Pa}, C = -2.28 \times 10^6 \text{ Pa}, \\
 D &= -1.14 \times 10^6 \text{ Pa}, E = -2.19 \times 10^3 \text{ Pa}, F = 1.14 \times 10^6 \text{ Pa}, \\
 G &= 2.27 \times 10^6 \text{ Pa}, H = 3.41 \times 10^6 \text{ Pa}, I = 4.55 \times 10^6 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

4.1 网格模型

选取 $100^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ 范围内的地壳体作为研究区域, 地球半径取 6 371 km, 地壳厚度取 35 km, 考虑到利用地理坐标中经纬度较为方便, 整个有限元分析在球坐标系下进行. 模型采用三维单元, 单元网格采用 8 节点块单元, 单元特征长度 20 km 左右. 由于地壳厚度与单元特征长度同数量级, 考虑到单元划分的优化问题, 在深度方向取两层单元, 这样, 就兼顾了单元划分的优化和有限单元分析的维数. 使模拟结果反映出应力随深度的变化(图 7).

4.2 载荷条件

为更好地符合实际情况, 重力方向近似取为所取范围地表中点处的内法线方向, 重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$. 潮汐力采用海洋水位变化的水压力来模拟, 海洋深度为 200 m 量级, 与地壳厚度(35 km)相比很小, 水对海岸的侧向压力在单元上只是一个极小的集中力. 侧向载荷与对所在海域的海底的正压力相比很小, 因此只计所在海域的海底的正压力. 渤海海底地壳厚度也取 35 km, 对 200 m 深的渤海而言, 海底和华北地壳是一块巨大的在一角受海洋水压的弹性体. 静水

球的无限个点上, 总有许多点的随机力恰好再现这个脉冲. 因此, 与过去的认识不同, 地壳内的应力, 除了重力的静态围压以外, 构造应力并不是恒久不变的, 而是此起彼伏、不断变化的. 地震也许就是通过这种动态的应力场孕育并触发的. 最近我们在对青藏高原的隆升过程进行动态模拟的过程中发现^①, 虽然只加载一个逐步变大的确定性载荷, 由局部断裂引起的随机扰动, 确实使整个研究区的应力呈现出此起彼伏、不断变化的图景.

4 华北地壳对渤海潮汐动态响应的进一步解释

为了探讨动力学仿真分析与地震学综合研究的有效途径, 我们做了地壳块体应力场动力学演变过程仿真的初步研究. 研究了华北及邻区的地壳块体在渤海以及黄海的海潮载荷作用下的动态响应(何振等, 2000). 模型和模拟过程简述如下.

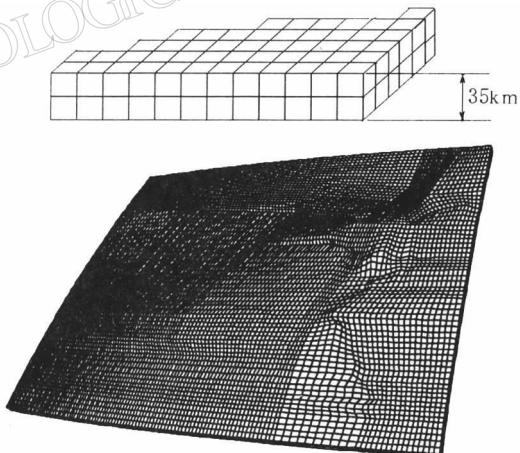


图 7 华北及渤海地壳的有限元网格

^① 杨红心, 郑文衡, 张秋文, 等. 2001. 青藏高原隆升过程的动态有限元数值模拟.

压与岩石自重相比可忽略, 动态水压力近似取为

$$P = \rho_s g A_s \sin\left(2\pi \frac{t}{T_s}\right) \quad (6)$$

其中, ρ_s 为海水密度, 取 $1\ 030\ \text{kg/m}^3$; g 为重力加速度; A_s 为海水水位变化幅度, 取 $0.35\ \text{m}$; T_s 为海水涨落周期, 取一天即 $3600 \times 24\ \text{s}$; t 为时间变量, $t \in [0, T_s]$.

4.3 材料参数

为简化计算, 将主要断裂的影响考虑为断层带. 华北地区断层带宽度选择: 张渤带为 $60\ \text{km}$, 郯庐带为 $80\ \text{km}$, 山西带为 $60\ \text{km}$. 对研究区内的地壳块体, 非断层带和断层带分别按两种不同材料处理. 考虑到本研究是初步研究, 而且潮汐对地壳应力的作用不太可能使材料发生破坏, 因而材料暂时取为不可破坏弹性材料. 非断层带材料参数取泊松比 ν 为 0.25 , 密度取 $2\ 700\ \text{kg/m}^3$, 杨氏模量 E 取 $0.85 \times 10^{11}\ \text{N/m}^2$. 断层带材料参数取泊松比 ν 为 0.23 , 密度取 $2\ 500\ \text{kg/m}^3$, 杨氏模量 E 取 $0.70 \times 10^{11}\ \text{N/m}^2$.

4.4 边界条件

取地壳外表面为自由面. 由于所取地壳块体属于地球的一小部分, 实际上当潮汐力作用后, 应力波将向四周及地球内部传播, 所以将地壳的内表面以及四周侧面的应力边界条件定为波吸收边界. 这种边界条件从边界点的震动看, 是临界阻尼; 从波的传播角度看, 相当于将边界均匀延拓到无穷远, 即为无反射边界.

4.5 模拟结果

通过动态模拟, 得出如下结果(图 8):

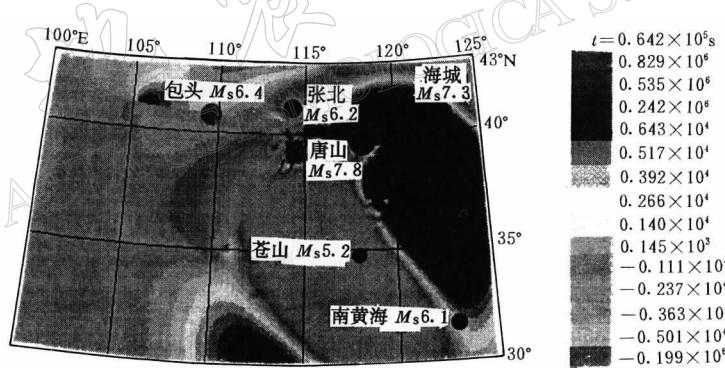


图 8 华北地壳对渤海潮汐动态响应(模拟动画输出结果中的一帧)

- 1) 海潮的动态载荷引起的应力以波的形式向内陆传播, 由于存在波吸收(阻尼), 应力波的幅度随时间有明显衰减; 但是, 与静力学的圣维南效应迥然不同, 波的振幅随距离的衰减不明显, 传播距离远.
- 2) 应力波在碰到断层带后变得极其复杂.
- 3) 经历一个周期的加、卸载后, 系统中的应力此起彼伏, 不能立即恢复到 0, 即不能像静态加卸载那样立即回复原状.
- 4) 在断层带与邻近的普通地壳交界面两侧, 应力随时间的变化有相位突变; 近地幔与近地面的不同位置, 应力-时间曲线有相位关联.
- 5) 虽然模拟的应力或载荷小到根本不能引起地震, 但近期发生的包头、苍山、张北、

南黄海、唐山地震等，均分布在应力梯度大的位置或在应力随时间变化剧烈的地方。

研究表明，这种时间反转效应具有全息性和稳健性。其全息性表现为：只要截取某一时段的响应曲线，加以反转，就可以重现原始脉冲；而稳健性表现为：将这种响应曲线进行富里叶展开后，取其各个低阶的正弦和余弦分量进行时间反转，也能重现原始脉冲。

上述结果 5 所呈现出的巧合，可能与潮汐加载曲线为正弦曲线有关。因为地壳对上述 5 次地震的响应曲线的某一部分的富里叶展开式，肯定都包含正弦分量。由此可以推测，断层带对这种动态应力分布的影响本质上不是静力学的应力集中，而可能是波的时间反转效应。

5 讨论与结论

通过动力学仿真分析，得到如下结论：

1) 随时随地到处存在着的随机力，如海洋潮汐、大风、气压变化、断层相互作用、微小地震等等，由于地壳具有波的遍历特性，使得其中的构造应力呈现出此起彼伏、不断变化的图景。与过去的认识不同，地震的孕育和触发也许包含了动力学的原因，而不完全是静力学的。

2) 断层带的主要作用不是静力学的应力集中，而是造成了地壳的混沌性响应特征。它的外部表现是波的遍历特性。这种特征不仅使地壳对脉冲作出混沌响应，而且有可能在地壳中的某个局部或某一时段引起其逆过程，因而在时空上都分散的、持续不断的、大范围的微小扰动，有可能聚集(聚积)为一个在空间上集中，在某一瞬间很强烈的激励。

一般地讲，具有遍历特性的系统的脉冲响应是混沌结果。所谓混沌，就是貌似随机性的表现。因此，我们关心这样一个问题：虽然混沌和随机性是两码事，但只就时间反转而言，如果用一系列真正的随机力代替混沌响应，是否也存在重建确定性集中冲击的可能性呢。

可以设想，在地震台站运用一个有效的激励力源，按时间反转后的地震图进行动态激励，可能在震源区诱发地震。通过这种诱发，可以使某些地震危险区提前发生地震，因而可使地震震级减小，将大震化解为多次的小地震，从而减轻或消除灾害。因此，建立与真实地壳块体更符合的模型，进行触发地震的动态有限元数值模拟，或者进行这类实验，都是将来的研究内容。

感谢华中科技大学杨文兵副教授、王朝军讲师分别在计算技巧以及软、硬件维护方面所做的工作。

参 考 文 献

- 陈湘鹏, 郑文衡, 王乘. 2001. 含内边界非均匀材料三维 FEM 模型的时间反转仿真研究[J]. 地壳形变与地震, 21(2): 7~21
- 何振, 王乘, 牛安福, 等. 2000. 地壳块体应力场动力学演变过程仿真的初步研究[J]. 地壳形变与地震, 20(1): 1~7
- Clouet J F, Fouque J P. 1997. A time-reversal method for an acoustical pulse propagating in randomly layered media[J]. *Wave Motion*, 25: 361~368
- Fink M. 1999. Time reversal voice effect[J]. *Scientific American*, 281(5): 91~97
- Fink M. 1997. Time-reversed acoustics[J]. *Physics Today*, 50(3): 34~40

- Gallavotti G. 1998. Breakdown and regeneration of time reversal symmetry in nonequilibrium statistical mechanics[J]. *Physica D*, **112**: 250~257
- Ing R K, Fink M. 1998. Self-focusing and time recompress of Lamb waves using a time reversal mirror[J]. *Ultrasonics*, **36**(1~5): 179~186

THE TIME REVERSAL EFFECT OF THE IMPULSE RESPONSE OF CRUST

Zheng Wenheng Wang Cheng Chen Xiangpeng

(Engineering Computation and Simulation Institute, Huazhong University of
Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, the time reversal processes of impulse response of crust are simulated by means of a dynamical finite element method (DFEM). The results indicate that a small undulating load during a long period may cause a focused brevity impact in a chaos-response system. The physical principle for this phenomenon is that the wave interferes or multiples superposition. Based on this knowledge, a new view toward the mechanism for preparing and triggering an earthquake is proposed. Finally, an interpretation of crust response to the sea tides is given.

Key words: time reversal; impulse response; earthquake; dynamics; simulation