

我国几个大地震地区地壳与上地幔 顶部结构关系的初步分析

魏斯禹 滕吉文

(中国科学院地球物理研究所)

摘 要

本文根据我国境内及邻近地区地壳结构的分布特征,特别是近年来我国发生的几个大地震所处的深部地壳构造背景,讨论了地震孕育与发生的可能构造模式。

结果表明,近代地震活动地带均为地壳厚度急剧变化的地带和地壳构造的转折交汇部位。在深部构造上又为上地幔顶部局部的隆起地区及邻近隆起地带的边缘或斜坡上。此外,地震发生的深部部位与重力场、磁力场的高梯度变化以及地壳中的低电阻层、低速层和高速层的分布密切相关。

这种与地震有关的深部构造背景与地球物理场特征,是今后地震预报和地震成因研究必须十分重视的。

一、引 言

众所周知,地壳和上地幔的结构及性质与地震的孕育和发展密切相关。因此,应对地震活动地带以及临近地区的地壳结构及其不均匀性,内部物质运移及地球物理场进行系统的研究。通过极震区与临近地区地壳结构的研究与对比,找出规律性的关系,这对研究地震预报和地震成因有着极为重要的意义。

二、我国几个大地震发生地区的地壳与上地幔的深部构造背景

地壳厚度变化较大的地方往往是地震强烈活动地带和地热活动较强烈的地带。从大的轮廓来看,地震活动带、界的位置也是大地构造单元的边界。这就说明,地震的孕育与发生是与地幔物质运动有关的。为此,结合近年来我国发生的几个大地震较为详细地分析。

1. 1966年3月22日邢台7.2级地震的深部地壳与上地幔的构造背景

邢台地震发生以后,为了探讨极震区地壳深部的特殊构造背景,布设了一条由河北省元

氏到山东济南市郊长约270公里的剖面〔6〕，得到了该区地壳与上地幔（a）结构与速度分布图（图1）。由图可见，在极震区及其两侧宽约60—70公里地段内，上地幔局部隆起，而后向西平缓下降，造成了太行山东麓山前地区结晶物质相对增厚和莫霍界面相对加深。这一地带重力 Δg 值相对于东侧地区更低，这均说明了上地幔物质是运动的。

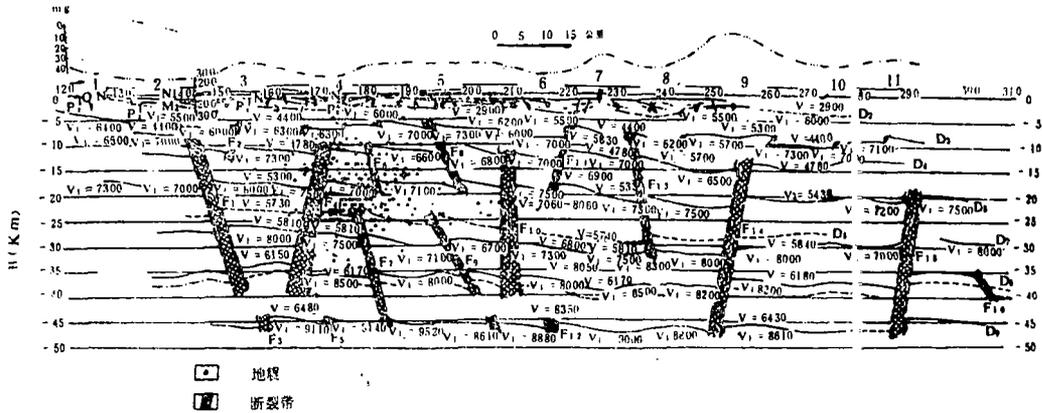


图1 华北平原中部地区地壳构造综合界面图
Fig. 1 Composite sketch of the structure of crust for North China plain.

另外，华北地区热流值可达1.9H.F.U〔21〕左右，即比一般正常地区的热流值要高。说明该区地下深部可能存在着热物质活动。

综上所述，由于上地幔内部物质的运动，在一些特殊地区造成局部隆起，使该区上部固态物质受力而向两侧伸张。在这个缓慢的过程中，热应变能不断聚集，待达到临界状态时，地壳中受力最大处的介质急剧发生局部水平错动，应变能释放，地震发生，同时地表物质局部陷落。极震区内的复杂断裂系统和介质的疏松破碎带则又构成了应变能的释放通道。

2. 1975年2月4日辽宁海城7.3级地震的深部地壳构造背景

辽宁省铁岭—辽阳—营口一带有一北东向上地幔隆起带（图2），向西南延伸入海，地壳厚度平均为33—34公里。在此隆地带的东侧，即沈阳—海城—营口一带地壳变薄，平均为30公里左右。上地幔在此呈一北东向的狭窄隆起带，隆起带东南坡较陡，西北坡较缓。隆起带东部千山一带地壳最厚达38公里，西部坡度较缓，在盘山一带地壳厚度为34公里，而在锦州、朝阳一带地壳厚度为35—36公里。海城地震就发生在中部隆起带较陡的东南坡上。这里又为重力异常的梯度带（图3）。

地形变测量表明，地震后地表下沉，且整个沉降区的长轴近呈东西向，与水平形变区相符合。

此外，海城大地震之前，远震P波走时残差有异常变化。在海城地震台附近的地壳与上地幔中曾出现P波速度下降的区域。

从而可见，极震区的地表下沉、上地幔隆起与地震发生密切相关。

3. 北京、天津、唐山和张家口地区地震发生的深部地壳结构背景

这一地区中央较为平坦，地壳厚度为34—36公里。东侧更为平坦，等厚度线走向近于东西，地壳厚度为34—35公里。向北地壳逐渐加厚，在喇叭沟门、兴隆、承德一带则逐渐加深到37—38公里。等厚度线走向近于东西。昌平以东走向北东的等厚度线梯度较大。西部地区

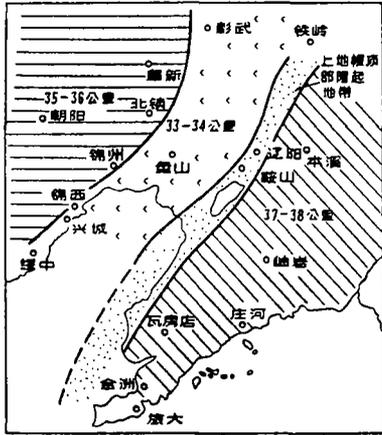


图 2 辽宁省南部地区地壳厚度分布略图
Fig. 2 Crustal thickness of Southern part of Liaoning Province.

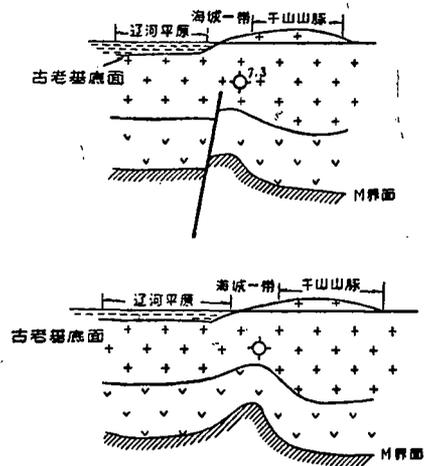


图 3 辽宁南部地区地壳构造与1975年7.3级大地震的关系示意图
Fig. 3 The sketch of the relationship between the great earthquake of South Liaoning Province (1975) and the background of the crustal structure.

地壳急剧加厚到39—40公里^[11]。从而说明，北京以东地区地壳厚度变化相对缓慢，地壳逐渐变薄，向西则增大，而且梯度也较大，在怀来—延庆和胡家营—平谷一带均为地壳厚度变化较大的地带。

还应当指出的是，北京地区地壳和上地幔P波速度存在明显的横向差异^[11]，东南部P波速度比J—B模型低12—14%，上地壳P波速度比J—B模型低8—9%。而且低速区边界向东南倾斜。1679年三河—平谷大地震和1976年唐山大地震震源都正好在此低速区的边界附近。

4. 川滇地区地壳深部构造与地震

川滇地区是我国华北地区和西藏高原之间地壳厚度变化的过渡地带（图4）。由震源机制所得的主压应力轴向亦是多变的（图5），但却垂直于莫霍界面梯度带，这在上地幔顶部隆起地带尤为突出。永胜、大理、下关、东川、嵩明、康定、炉定等地均为莫霍界面深度变化的梯度带和上地幔顶部隆起的边缘。这些地区均为历史现今地震十分活跃的地区。1515年永胜8级、1536年四川西昌北部7.7级等地震以及1970年通海7.7级地震、1973年炉霍7.9级地震、1974年永善7.1级地震、1976年松潘7.2级地震均发生在这种部位。

其他地区也有类似情况，如由山西高原向华北平原过渡地区，在深部上地幔顶部有一突变的阶梯，这里也是地震活动地带。

另外，山东地区从公元前70年至1977年，发生 $M_s \geq 6$ 级地震13次，都分布在上地幔顶部隆起的部位或边缘斜坡上，并与断裂活动密切相关。

在银川至平罗一带也存在北北东向的上地幔导电层顶面的隆起区，这里也恰好是1939年8.0级地震发生的部位。

据以上各次地震产生的深部背景可见，地震多在上地幔顶部局部变化地区发生，有的就

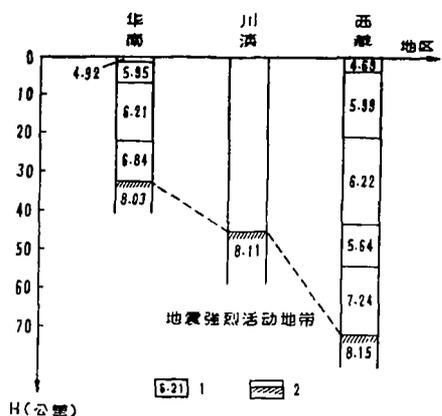


图4 由东向西地壳厚度变化带柱状图

1.表示速度 2.莫霍界面位置

Fig. 4 Columns of crustal thickness in east—west direction.

发生在上地幔隆起的顶部，有的则发生在上地幔顶部隆起的斜坡上以及地壳岩层的异常变化地带。然而震源深度却主要集中在10—20公里之间，即多集中于花岗岩层或花岗岩层与玄武岩层之间的过渡地带的刚性介质中。其原因是与地表地质构造和大断层面滑动方向及角度有关。对上地幔来讲则与上地幔顶部热应力的作用方向有关。当下面作用于地壳介质的热应力为正向（垂直）时，则地震便会发生在上地幔顶部隆起的正上方，于是断层为正向断层，如邢台地震便属于这种类型（图6）。如果地幔下面作用于地壳介质的热应力方向与法线成一角度，这时地幔顶部隆起的正上方并不一定是应力最集中的地方，而在它的斜坡上应力可能最为集中，如海城、唐山地震区（图6）。在莫霍界面的深度突变的地区，差异值越大，一般地震活动愈高。

地壳应力导致地震发生，这是指应力的动力场。深部地壳介质在动力场作用下，其力值也会发生正负变化，它们对岩石的作用与影响近似于金属在荷载正负交替作用下产生的“疲劳”现象。因此在物理面上最先遭到破坏，所以地震沿地壳中不同物理性质介

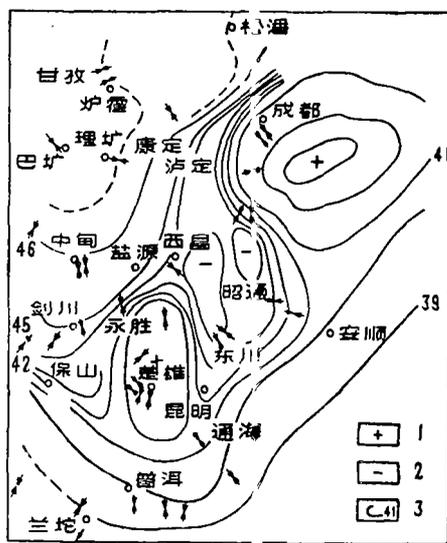


图5 川滇地带M界面等深线与地震主要压应力轴的分布示意图

1.莫霍界面隆起区 2.莫霍界面下陷区 3.地壳等厚线

Fig. 5 The isobathy line of M—discontinuity and distributions of axis of main compressing stress of earthquakes in the Sichuan—Yunnan Province.

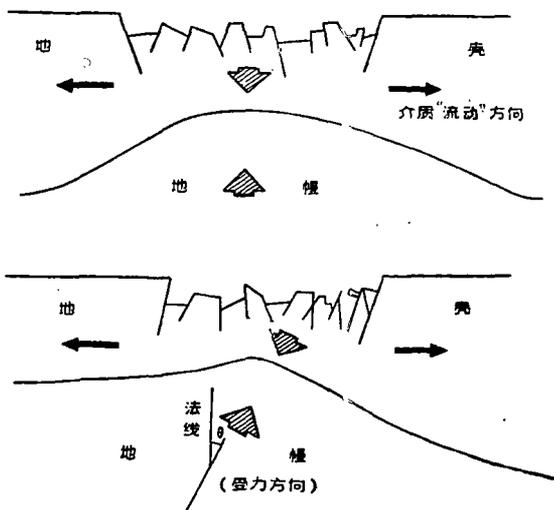


图6 地震发生与上地幔隆起及其受力模式示意图

1.作用力方向 2.地壳物质运移方向

Fig. 6 The sketch of mechanical model the relationship between the occurrences of earthquakes and the uplift of the upper mantle.

质的分界面上最易发生。

地壳底部隆起、拗陷以及其他构造形态是由于上地幔中物质的体积膨胀与收缩作用而形成的。地幔物质体积的扩大与缩小则是由热动力条件和地球动力的变化引起的。当然也是与物质在高温、高压条件下的多形转变、相变、电子转换及化学过程相联系。另外，物质的重力分异作用会引起深部物质上升，地幔物质的相变也会引起体积膨胀，不论是那一种力的作用，都会产生垂直方向的应力分量，并且作用在地壳底面（M界面），使地壳底面上隆。地幔中热物质上涌可能是地震发生的最为主要的原因。基于此，假定在地幔深处有一个均匀膨胀的球体^[18-20]，依照弹性空间中膨胀球体所产生的应力和位移的关系，设在半无限空间埋藏着一个半径为a，膨胀强度为A的球体，从球中心到半无限介质的界面的距离为C，通过这一膨胀球体中心O₁（O，O，C）的x轴和y轴在半无限体界面上（即水平面EF），于是在半无限体内这个膨胀球体外边的任意点P（x，y，z）的位移矢量^[18]应写为以下的表达式：

$$\vec{U} = \frac{4\pi A a^3}{3} \left\{ \frac{R}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)R_2}{R_2^3} - \frac{6Z(Z+C)R_2}{R_2^3} - \frac{2K[(3-4\nu)(Z+C)-Z]}{R_2^3} \right\}$$

式中 ν 为泊松比， \vec{K} 为沿Z轴的单位矢量。

依上式求得P（x，y，z）点的应力分量^[29]，并按地面位移推算其附加应力。显然，地幔隆起主要在地壳中产生切向正应力和张应力，故可导致地壳介质的断层剪切破坏，发生浅源地震。事实证明，在地震过程中，地表断层错动是以水平错动为主的。所以上地幔顶部的局部隆起和地壳厚度的急剧变化地带是大地震孕育与发生的深部构造背景。

三、结 论

1. 上地幔顶部局部隆起地带和地壳厚度强烈变化地区与地震的孕育与发生密切相关。

2. 造成局部隆起原因的物理机制是由于地壳上地幔结构及物质组成的不均匀性与上地幔热物质的上涌，由于热应力作用在地壳介质上而使上地幔顶部隆起，在地壳介质受力向两侧移动时便会产生张性断裂。

3. 在研究大陆板内地震、块体运动与地震带、界的划分时，必须详细地研究区域性和特殊部位的深部地壳结构和其物理场特征，以资确定一个大地震发生的深部构造背景与一个大地震发生后在其周围易受影响的地区的深部构造特征。

（本文1983年5月3日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕滕吉文等，青藏高原当雄—亚东地带地壳结构和速度分布的爆炸地震研究，地球物理学报，Vol.24，No.1，1981.
- 〔2〕马宗晋，地震预报，现代科学技术简介，1978.
- 〔3〕滕吉文、阚荣举等，柴达木东盆地的基岩首波和反射波，地球物理学报，Vol.16，No.3，1973.

- [4] 滕吉文等, 柴达木东盆地的深层反射波和地壳结构, 地球物理学报, Vol.16, No. 2, 1974.
- [5] Тресков.А.А, Резуьмамы определекии шосуноми земной коры по наблюденияне над удасенияни землемрясенияи, Бюе.Сов.по сейснологий, Ан.СССР., Ио.6, 1957.
- [6] 滕吉文等、华北平原中部地区深部构造背景及邢台地震(一), 地球物理学报, Vol. 17, No.4, 1974.
- [7] 滕吉文、王国正等, 华北平原中部地区深部构造背景及邢台地震(二), 地球物理学报, Vol.18, No.3, 1975.
- [8] 王谦身、刘元龙等, 辽南地区地壳构造轮廓, 地球物理学报, Vol.19, No.3, 1976.
- [9] 卢造勋, 东北地区地壳结构特征与地震分布, 地震地质, Vol.1, No.2, 1979.
- [10] 国家地震局地震测量队, 海城7.3级地震的地形变, 地球物理学报, Vol.20, No.4, 1977.
- [11] 滕吉文、姚虹、周海南, 北京、天津、唐山和张家口地区的地壳结构, 地球物理学报, Vol.22, No.2, 1979.
- [12] 金安蜀、刘福田, 北京地区地壳和上地幔的横向P波速度结构, 地球物理学报, Vol. 23, No.2, 1980.
- [13] 国家地震局兰州地震大队电磁测深组, 中国南北地震带北段地壳和上地幔的电性特征, 地球物理学报, Vol.19, No.1, 1976.
- [14] 邵学钟、张家茹等, 京津唐地区地震转换波测深结果, 地震地质, Vol.2, No.2, 1980.
- [15] Резулитаты комлетного исследования земной коры в Югославии, строение земной коры и верхней мантии по данньи сейсмического следованияи, 1977.
- [16] Toshi sada et al, Explosion seismology: I Crust structure of Hoshu Japan the crust and upper mantle of the apanese Area, Part 1. Geophysics earthquake Research Institute University of Tokyo, 1972.
- [17] Anderson, E.M., The dynamics of formation conesheets ring—dykes and caldrion—subideeces, Proceedings of the royal society of edinburgh, Vol.LVI, 1935—36.
- [18] Phillips, W.J., The dynamic emplacement of conesheets, Tectonophysics, Vol.24, 68—84, 1974.
- [19] Mindlin, R.D., Thermoelastic stross in the semilafinite solid, J. Appl.Phys, Vol.21, 1950.
- [20] 中国科学院地质研究所地热组, 地热研究论文集, 科学出版社, 1978.
- [21] Perrier, Guy., Lia structure des alpes occidentales deduite des domiees geophysiques, Edogalgeological helvetial, Vol.73, No.2, 1980.
- [22] Alpine Explosion seismology Grup, Report, H.Mller, A Lithospheric

seismic profile along the axis of the Alps 1915, *Pageoph*, Vol.114, 1976.

- [23] First Strasbury meeting, The journal of the european union of Geosciences, Spring 1981.
- [24] Hirn, A. et al., A long range seismic profile in the western mediterranean basin: structure of the upper mantle, *Ann. Geophys.* t33, fasc 3, 373—384, 1977.
- [25] Gallart, J. et al, The eastern pyrenean domain: lateral variations at crust—mantle level, *Ann. Geophys.* t36, fasc 2, 141—158, 1980.
- [26] Explosion seismology group, Level seismic reconnaissance of the structure of the pyrenees, *Ann. Geophys.*, t36, fasc 2, 135—140, 1980.
- [27] Modiano, T., Seismotectonique des pyrenees occidentales etude detaillee du contenu spectral des ondes de volume dans la region focale, 1980.
- [28] 丁文镜, 地幔快速隆起对构造地震的触发作用, *西北地震学报*, Vol. 4, No 2, 1982.
- [29] 刘国栋等, 京津唐渤和周围地区地壳上地幔电性结构及其与地震活动性的关系, *地球物理学报*, Vol. 26, No 2, 1983,

THE PRELIMINARY STUDY OF THE RELATION BETWEEN
CRUST AND TOP STRUCTURE OF UPPER MANTLE IN
SEVERAL LARGE EARTHQUAKE AREAS IN CHINA

Wei Siyu Teng Jiwen

(*Institute of Geophysics, Academia Sinica*)

Abstract

Based on the crust structure in China and its vicinity areas, especially background of deep crust structure where some large earthquakes took place in recent years, this paper discusses the possible structure model for the occurrence of earthquakes.

The results show that all modern seismicity occurred in the places where the thickness of crust changed rapidly or the structure twisted. Moreover, in these areas shocks would exist on the slopes or fringes of lifting parts of top upper mantle and other lifting areas nearby. In these spots the stress easily accumulates and breaks take place frequently.

This is the deep structure background of occurrence of earthquakes. Furthermore, the areas where deep earthquakes take place are closely related to the high gradient variation of gravity field, magnetic field, and to low resistance layers, low and high velocity layers.

This kind of relation between earthquakes and deep geological structure as well as features of geophysical fields must be envisaged in the earthquakes prediction and in searching for their origin.