

# 活动断裂研究

## 理论与应用

《活动断裂研究》编委会  
中国地震局科技发展司

### 要目

张家口—渤海地震带及其两侧地壳上地幔构造与速度结构研究

我国大陆地壳块体运动的平均图像及动力学意义

海原断裂主要活动段的古地震与强震分布特征探讨

新疆独山子背斜的断裂扩展褶皱作用

滑动速率对断层稳定性及动态过程的影响

地震出版社



# 活 动 断 裂 研 究

理 论 与 应 用

**Research on Active Fault**

6

《活动断裂研究》编委会

中国地震局科技发展司

地 震 出 版 社

Seismological Press

1998

## 内 容 提 要

本书是《活动断裂研究》系列出版物的第六辑,主要反映近年来活动断裂与深浅孕震构造环境的研究成果,同时也包含了涉及我国大陆岩石圈变形与动力学问题的有关论文。利用活动断裂构造机制与量化活动度的研究结果来作未来强震危险地点与震级上限的预测亦是本书中的重要内容。

本书可供从事构造地质、地震地质、地球物理、工程地震及地震预测预报的科技人员及有关院校的师生参考。

### 活 动 断 裂 研 究 理 论 与 应 用 Research on Active Fault

6

《活动断裂研究》编委会

地质研究所科技发展司

责任编辑 张 辛

责任校对 庞娅萍

地质出版社 出版发行

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 9.375印张 240千字

1998年10月第一版 1998年10月第一次印刷

印数: 001—600

ISBN 7-5028-1565-1/P·954

(2008) 定价: 15.00元

## 《活动断裂研究》第二届编委会

顾问: 丁国瑜 邓起东

Advisors: Ding Guoyu Deng Qidong

主编: 汪一鹏

Chief Editor: Wang Yipeng

副主编: 张培震

Associate Chief Editor: Zhang Peizhen

委员: (以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 丁国瑜 | 马宗晋 | 马胜利 | 王椿镛 |
| 邓起东 | 卢演倬 | 刘百麓 | 江娃利 |
| 汪一鹏 | 吴卫民 | 吴宁远 | 杨主恩 |
| 李安然 | 张先康 | 张培震 | 洪汉净 |
| 闻学泽 | 徐锡伟 | 黄立人 | 程绍平 |
| 傅征祥 | 韩慕康 |     |     |

### Editorial Committee:

Ding Guoyu Ma Zongjin Ma Shengli Wang Chunyong  
Deng Qidong Lu Yanchou Liu Baichi Jiang Wali  
Wang Yipeng Wu Weimin Wu Ningyuan Yang Zhuen  
Li Anran Zhang Xiankang Zhang Peizhen Hong Hanjing  
Wen Xueze Xu Xiwei Huang Liren Cheng Shaoping  
Fu Zhengxiang Han Mukang

责任编辑: 张平

Executive Editor: Zhang Ping

编辑: 那燕

Editor: Na Yan

## 写在前面的话

《活动断裂研究》创办于“八五”期间,在国家地震局有关司、处和国家地震局地质研究所的大力支持下,在邓起东主编及第一届编委会的共同努力下,已出版了五册,发表活动构造及其在地震预测和工程地震中的应用研究方面的论文约100篇,成为地震科研成果的又一个新开辟的交流宣传园地。

面对“九五”地震科技工作的新形势、新任务,《活动断裂研究》将以新的面貌办下去。首先,要配合国家地震局95-04重点项目,拓宽报道面,除了及时反映95-04项目深浅孕震构造环境的研究成果以及未来强震危险地点与震级上限为主要目标的中长期地震预测成果外,还要适当报道国家自然科学基金、地震联合基金项目的有关成果;要活跃学术空气,鼓励不同观点的学术讨论,开辟学术交流园地。

要坚持出版物的“实、新、快”的已有特色,即材料充实、认识创新、报道要快。使本出版物特色鲜明,与地震界其他出版物有所分工,各有侧重。

根据工作的需要,成立了《活动断裂研究》第二届编委会,愿这一份出版物在全体编委和关心它的广大读者的热情支持下兴旺繁荣。

《活动断裂研究》编委会

1997年10月27日

## 重点文章提要

### 1. 张家口-渤海地震带及其两侧地壳上地幔构造与速度结构研究

利用二十余年在本区完成的十多条人工地震测深宽角度反射/折射剖面资料,对张家口-渤海地震带及其两侧地壳上地幔构造与速度结构进行了详细的研究。结果表明:在研究的区域内存在着数条延伸至莫霍面的地壳深断裂;存在两条明显地壳厚度变化带,它们在北京附近交汇,从而形成了复杂的构造格局。

### 2. 我国大陆地壳块体运动的平均图像及动力学意义

根据主要断裂活动速率,求出我国 14 个地壳块体的欧拉极和角速率;算出的地壳运动速度矢量图显示,我国大陆可能受到一种比地壳块体更大尺度的地幔运动的推动;计算的 6 个测点 7 条边的水平距离的变化可与 GPS 测量基线变化相比较。

### 3. 海原断裂主要活动段的古地震与强震分布特征探讨

通过在高湾子地点开挖三维探槽,以及对比断裂中、西段 8 个探槽揭露的古地震,确定了约距今 13615 年以来海原断裂的 14 次事件,其中有 3 次事件为多段联合破裂,其余事件为中、西两段分别单独破裂。西段事件的重复间隔  $1941a \pm 727a$ ,为长短间隔相间模式;中段中晚全新世事件密集,重复间隔  $951a \pm 409a$ ,也为长短间隔模式;多段联合破裂事件的间隔时间为  $5373a \pm 1046a$ 。

### 4. 新疆独山子背斜的断裂扩展褶皱作用

独山子背斜是早更新世末期开始形成的背斜构造。它的形成初期与传统的断裂扩展褶皱理论模型类似,后期演化为一个陡翼破裂的复杂断裂扩展背斜。距今 1.2~1.3 万年以来,控制背斜变形的主断裂已出露地表,但其变形机制仍然是断裂扩展机制。

### 5. 滑动速率对断层稳定性及动态过程的影响

通过理论分析和数值模拟方法,对正应力变化条件下的单自由度弹簧-滑块断层模型的稳定性、动态过程、应力降随速度的变化等问题进行了研究。理论分析表明,决定断层稳定性的临界刚度随滑动速率增加而减小,这意味着加载点速度的增加可能导致周期性粘滑向稳滑的转化,而加载点速度的减小可能导致稳滑向周期性粘滑的转化。数值模拟和实验结果均证实了动态的这种转变。

## 目 录

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 张家口—渤海地震带及其两侧地壳上地幔构造与速度结构研究 .....      | 张先康等 (1)  |
| 我国大陆地壳块体运动的平均图像及其动力学意义 .....           | 洪汉净等 (17) |
| 华北 GPS 网复测结果的初步分析 .....                | 黄立人等 (31) |
| 海原断裂主要活动段的古地震与强震分布特征探讨 .....           | 冉勇康等 (42) |
| 古地震挤压脊的探槽研究 .....                      | 刘百箴等 (56) |
| 新疆独山子背斜的断裂扩展褶皱作用 .....                 | 杨晓平等 (66) |
| 山西高原恒山和六棱山两北麓断裂的运动学基本特征及其地震危险性评估 ..... | 徐锡伟 (74)  |
| 冬青顶活动背斜的变形样式、变形幅度及形成机理 .....           | 侯康明等 (88) |
| 小江断裂带的分段研究 .....                       | 宋方敏等 (97) |
| 阿尔泰山西段活动断裂的初步研究 .....                  | 沈军等 (109) |
| 滑动速率对断层稳定性及动态过程的影响 .....               | 何昌荣 (121) |
| 青藏高原活动构造基本特征 .....                     | 汪一鹏 (135) |

# Contents

|                                                                                                                                        |                                              |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|
| Crust and Upper Mantle Structure of the Zhangjiakou – Bohai Sea Seismic Zone<br>.....                                                  | <b>Zhang Xiankang   Zhu Zhiping   et al.</b> | <b>(1)</b>   |
| Mean Velocity Field and Its Dynamic Implication of Continental<br>Crust – Block’s Motion in China .....                                | <b>Hong Hanjing   Wang Yipeng   et al.</b>   | <b>(17)</b>  |
| Preliminary Analysis of Remeasurement Data from GPS Monitoring<br>Network in North China .....                                         | <b>Huang Liren   Guo Liangqian et al.</b>    | <b>(31)</b>  |
| Paleo – and Strong Earthquakes on Major Active Segments along Haiyuan Fault<br>.....                                                   | <b>Ran Yongkang   Duan Ruitao et al.</b>     | <b>(42)</b>  |
| Study on the Trench of Paleoeearthquake in Compressive Ridge<br>.....                                                                  | <b>Liu Baichi   He Wengui et al.</b>         | <b>(56)</b>  |
| The Fault – Propagation Folding of The Dushanzi Anticline, Northern Tianshan, Xinjiang<br>.....                                        | <b>Yang Xiaoping   Deng Qidong</b>           | <b>(66)</b>  |
| Kinematic Features of the Northern Piedmont Faults of the Liulengshan and<br>Hengshan Ranges and Assesment of Their Seismic Risk ..... | <b>Xu Xiwei</b>                              | <b>(74)</b>  |
| Deformational Pattern, Rate and Forming Mechanism for Dongqingding Active Anticline<br>.....                                           | <b>Hou Kangming, Deng Qidong et al.</b>      | <b>(88)</b>  |
| Segmentation of the Xiaojiang Fault Zone .....                                                                                         | <b>Song Fangming, Wang Yipeng et al.</b>     | <b>(97)</b>  |
| Preliminary Study of Active Tectonics in the Western Altai Mountains<br>.....                                                          | <b>Shen Jun   Wang Yipeng et al.</b>         | <b>(109)</b> |
| Effect of the Loading Rate Variation to the Stability and Stress Drop in Fault Motion<br>.....                                         | <b>He Changrong</b>                          | <b>(121)</b> |
| Principal Features of the Active Tectonics in Qinghai – Xizang Plateau<br>.....                                                        | <b>Wang Yipeng</b>                           | <b>(135)</b> |



# 张家口—渤海地震带及其两侧 地壳上地幔构造与速度结构研究<sup>①</sup>

张先康 祝治平 张成科 盖玉杰 赵金仁 张建狮  
聂文英 任青芳 张文斌 阮虹 杨健 吴涛

(国家地震局地球物理勘探中心, 郑州, 450003)

## 一、引言

为了探测研究河北省、北京市、内蒙古自治区和山西省交界地区的地壳上地幔构造、速度与地震活动的相关性, 1992~1994 年在北纬  $39^{\circ}\sim 41^{\circ}$ , 东经  $114^{\circ}\sim 117^{\circ}$  的研究区内, 布设了 3 条宽角反射/折射剖面, 即北京—怀来—丰镇剖面(H-20)、繁峙—怀安—太仆寺旗剖面(H-21)和文安—蔚县—察右中旗剖面(H-22)。为研究地壳细结构, 1992 年在延怀盆地又完成了 YH-I 和 YH-II 二条深反射剖面。

在此之前的 1976~1984 年, 国家地震局地球物理勘探中心在京、津、唐、张地区及相邻地区开展了大规模的深地震测深工作, 其中有 7 条宽角反射/折射剖面通过或进入研究区, 这些剖面是: 乐亭—张家口剖面(H-05); 盐山—大兴—延庆剖面(H-04); 宁河—北京—涿鹿剖面(H-06); 石家庄—喀喇沁旗剖面(H-11); 海兴—阳原—丰镇剖面(Ⅲ); 北京—化德剖面(Ⅱ)和太原—宣化剖面(V)(图 1)。

我们对上述新布设的和前期完成的折射剖面进行了详细的对比解释。着重研究了张家口—渤海地震带及其两侧地壳上地幔构造与速度结构、壳内低速体(层)的分布范围、延伸至莫霍面的地壳深断裂带以及上地壳  $Q$  值的分布。

## 二、地质构造背景与地震活动

如图 2 所示, 研究区位于近东西向的燕山台褶带、北北东向的山西断隆与北北东向的华北断拗的接合部分, 地质构造极其复杂(孙武城等, 1992)。结晶基岩在燕山台褶带、山西断隆区广泛出露, 寒武—奥陶系主要分布在太行山区及其西侧, 侏罗系在京西和太行山区西侧及燕山地区(酸性喷出岩)分布较广, 白垩系局部分布在张家口—万全一带, 新生代盖层分布在各断陷盆地内。太行山区、燕山山区有众多的燕山期花岗岩类岩体分布, 新生代的玄武岩主要分布在本区西北部的汉诺坝和西南部的阳原、大同、丰镇、繁峙一带(马杏垣等, 1989)。三条主要构造带在研究区通过或交汇, 它们是: ①北西西向的张家口—渤海断裂带, 它是山西断隆带与燕山台褶带拼接带; ②北北东向的太行山山前断裂带北段, 它由一系列北北东向的断裂组成, 为太

① 国家科委“八五”科技重点项目, 国家地震局地球物理勘探中心论著编号: RCEG95016.1。

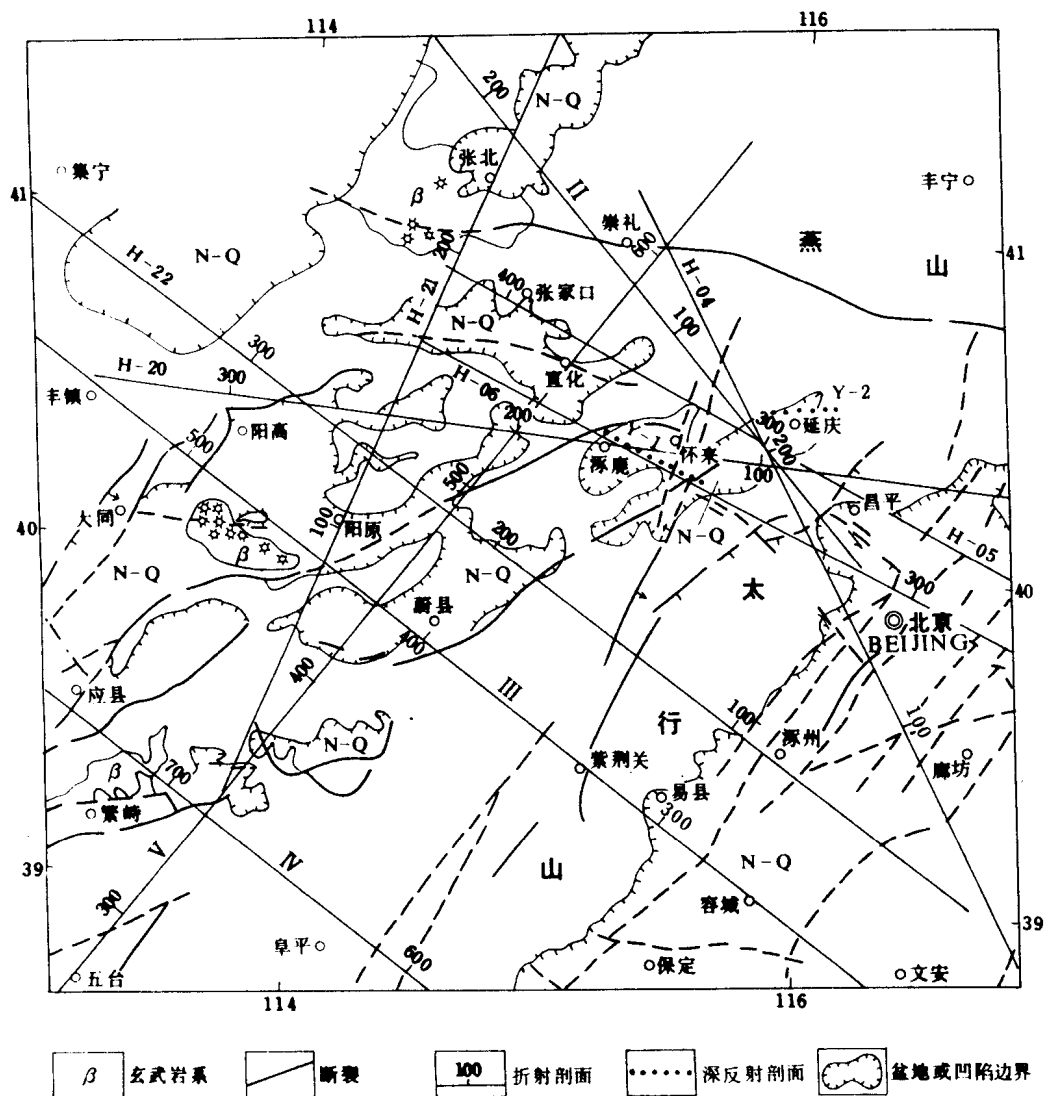


图1 深地震测深剖面位置图

Fig.1 Map of deep seismic sounding profiles position

行山隆起与华北平原新生代裂谷系的分异带;③新生代以来形成和不断发展的山西断裂带,它由一系列地堑和分割它们的横向隆起所组成,主体构造线方向为北北东、北东向,其北东段进入研究区内。

研究区是我国东部重要地震活动区之一,北西西向的张家口—渤海地震带是研究区内主要地震活动带,它与北北东向的山西地震带在本区穿过或交汇。有历史记载以来,本区共发生8.0级地震1次,7.0级地震3次,6.0~6.9级地震10次,5.0~5.9级地震24次。1989年大同6.1级地震位于本区西缘,5级以下地震在本区时有发生。这些地震多集中分布在山间盆

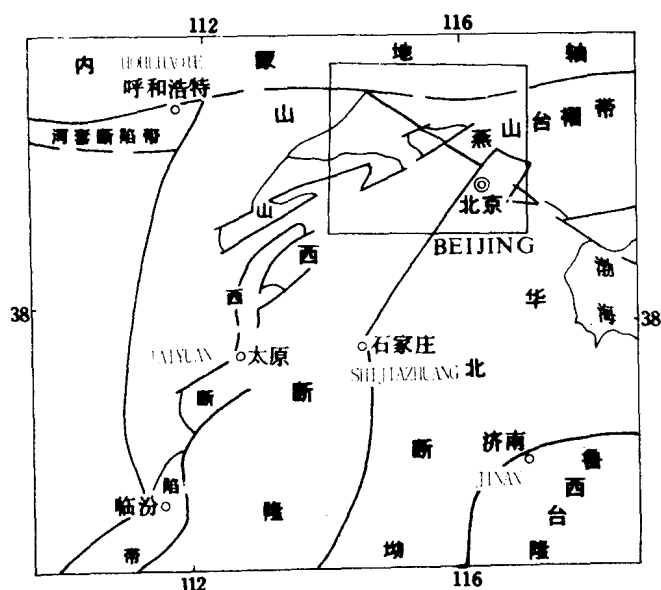


图2 地质构造背景示意图

Fig.2 Diagram of geological structure background

地内部和山区与平原的交接带,其震源深度集中在 5.0~20.0km 的范围内(张志刚等,1989)。

### 三、地壳及上地幔顶部基本震相

图 3 示出了对比的 6 组震相,它们分别定名为:上地壳上部回折波  $P_g$ ;上地壳内的反射波  $P_1$  和反射波  $P_2$ ;下地壳顶面的反射波  $P_3$ ;下地壳内的反射波  $P_4$ ;莫霍面反射波  $P_M$  以及穿透到上地幔顶部的折射波  $P_n$ 。 $P_g$ 、 $P_M$ 、 $P_n$  三组震相在全区可进行连续对比。地壳中间层的震相常常表现为不连续或不明显,仅在局部的地段显示出强振幅,反映了地壳结构的小区域特征。

图 3(a)为Ⅲ剖面容城炮(262km)西支记录,它由冀中拗陷向北西方向穿过太行山隆起和 大同盆地;图 3(b)为 H-20 剖面顺义炮(14km)的记录,观测点由燕山山前地带向西通过八达岭、延怀盆地、天镇-阳高盆地,穿过张家口-渤海地震带;图 3(c)为 H-21 剖面繁峙炮(11km)的记录,观测点由山西断隆的五台山北侧向北北东方向穿过大同震区、张家口-渤海地震带西缘,延伸至内蒙地轴。

#### 1. $P_g$ 波

作为初至波,在太行山以东的平原区内追踪距离一般约为 70.0km;在山西高原和内蒙高原的追踪距离约 120.0km。视速度一般由近炮点的 2.00km/s 随炮检距的增大而迅速增大到 5.00km/s,至终点处约为 6.20km/s,反映了上地壳 P 波速度随深度而增大的特征。

#### 2. $P_1$ 波

它是来自 10.0km 左右深度  $C_1$  界面上的反射波。就工作区而言,它是一组极不稳定和不

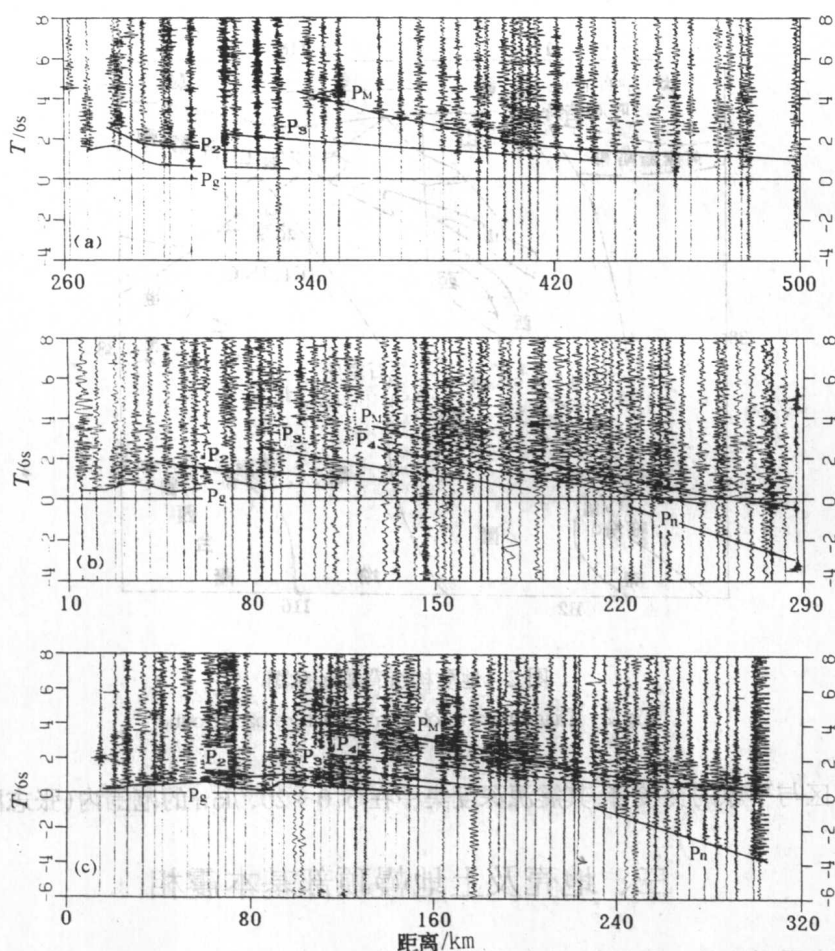


图3 典型记录截面图

Fig.3 Typical recording section

(a)Ⅲ剖面容城262km炮记录截面图;(b)H-20剖面顺义14km

炮记录截面图;(c)H-21剖面繁峙11km炮记录截面图

能连续对比的震相,只具有局部的意义。以强振幅为特征的  $P_1$  波仅出现在 V 剖面五台山以南地段、Ⅲ剖面 and H-04 剖面的太行山以东地段以及 H-21 和Ⅱ剖面相交处的张北附近。然而,在工作区的大部分剖面上,常因追踪地段较短或不连续而不能可靠对比。

### 3. $P_2$ 波

它是来自 15.0~18.0km 深度  $C_2$  界面上的反射波。其能量变化较大,基本上可以连续追踪。它一般出现在距炮点 40.0~120.0km 区间内。在延怀盆地和太行山山前地带的局部地段记录到非常清楚的  $P_2$  波,如 H-06 剖面深井 152 炮记录和Ⅲ剖面容城 262 炮点西支记录图上的  $P_2$  波的振幅与  $P_g$  波振幅比达 3:1。

### 4. $P_3$ 波

它是来自 22.0~26.0km 深度  $C_3$  界面上的下地壳顶面的反射波。它与  $P_2$  波具有类似的

特征,一般出现在距炮点 50.0~120.0km 的区间内。明显的  $P_3$  波出现在 H-22 剖面新城炮(47.0km 桩号)和Ⅲ剖面容城炮(262.0km 桩号)西支的记录截面上。

#### 5. $P_4$ 波

它是来自 26.0~35.0km 深度  $C_4$  界面上的下地壳内的一组反射波,通常出现在距炮点 50.0~130.0km 的区间内。其能量变化较大,在 H-21 剖面阳原-怀安段能量较强,仅次于  $P_M$  波,在其他剖面上能量较弱。

#### 6. $P_M$ 波

以强振幅为特征的  $P_M$  波在工作区内其波形和振幅具有较大的变化。通常情况下,在华北平原区  $P_M$  波距炮点 70.0km 左右即可辨认,85.0km 左右能量最强;在西部山区由于 M 面的加深, $P_M$  波一般在距炮点 110.0km 左右才能可靠辨认,135.0km 左右振幅达极值,而后随炮检距的增加而衰减,可追踪至 300.0km 左右。在研究区内,太行山山前断裂以东的华北坳陷区内  $P_M$  波的强振幅特征突出,波形简单;在太行山隆起的局部地段(Ⅲ剖面和 H-22 剖面太行山山前断裂以西至紫荆关断裂的下方)以及 H-20 剖面的涿鹿至深井之间, $P_M$  波也有类似的特征。

#### 7. $P_n$ 波

该波大致在距炮点 190.0km 之后进入初至区,可追踪到 300.0km 以远。振幅变化较大,在 H-21 剖面, H-22 剖面,Ⅲ剖面, V 剖面均记录到清晰的  $P_n$  波。但Ⅱ剖面和 H-20 剖面的大部分地段  $P_n$  波却很弱,以致对比困难。该波的视速度一般为 7.90~8.00km/s,局部地段(如 H-22 剖面的太行山隆起区)视速度可达 8.50km/s。

### 四、地壳和上地幔顶部速度结构与构造

图 4、图 5 分别示出了 H-20、H-21、H-22 三条剖面的二维速度结构和研究区  $C_2$ 、 $C_3$  及 M 面等深度图。在工作区,上下地壳的划分参照了延庆-怀来地区深反射剖面资料(张先康等,1996)。在此基础上,上部地壳又细分为三层结构,下部为二层结构。

#### 1. 上部地壳及界面构造

包括沉积盖层、结晶基岩至  $C_3$  界面,总厚度 20.0~30.0km,由华北平原区向西部的山西高原和北部的燕山山区加厚。上部地壳由四个不同的速度梯度层组成:第一层主要为新生代低速盖层,在研究区东部,新生代沉积厚度在冀中凹陷厚达 1000~5000m,在研究区西部和北部的山间盆地新生代沉积厚度一般为数百米,局部达 2000m,速度一般为 2.00~3.50km/s;第二层为古生代盖层以下至  $P_g$  波射线穿透的最大深度(8.0km 左右),速度一般为 5.00~6.10km/s;第三层(中地壳上部)速度一般为 6.10~6.20km/s,但在太行山山前地带、山西断裂带和张家口-渤海断裂带,该层速度的纵向与横向的非均匀性十分强烈,并常伴有不连续的低速体出现,其中以冀中盆地的容城附近、延庆-怀来盆地、大同盆地下方的低速体最为明显,在这里,速度一般较正常值降低了 2%~3%; $C_2$ ~ $C_3$  界面之间的第四层(中地壳的下部)是一个比较稳定的层位,除了在Ⅲ剖面的太行山山前断裂和紫荆关断裂之间和Ⅳ、V 剖面的五台山区及其东侧的下方速度有局部的逆转外,基本上为一弱速度梯度层,其速度值为 6.30~6.49 km/s,层厚度一般为 6.0~10.0km。

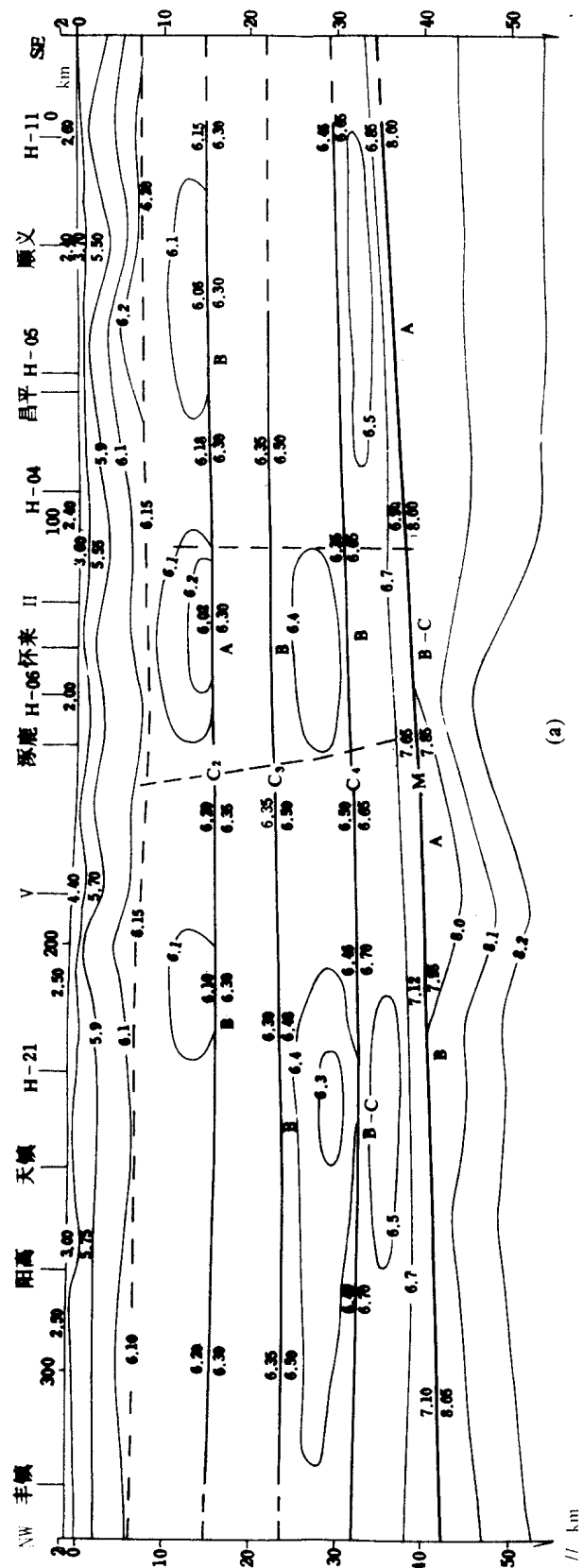


图 4(a) 北京 - 怀来 - 丰镇剖面二维壳幔速度结构与深部构造图

Fig. 4(a) 2-D crust - mantle velocity structure and deep structure

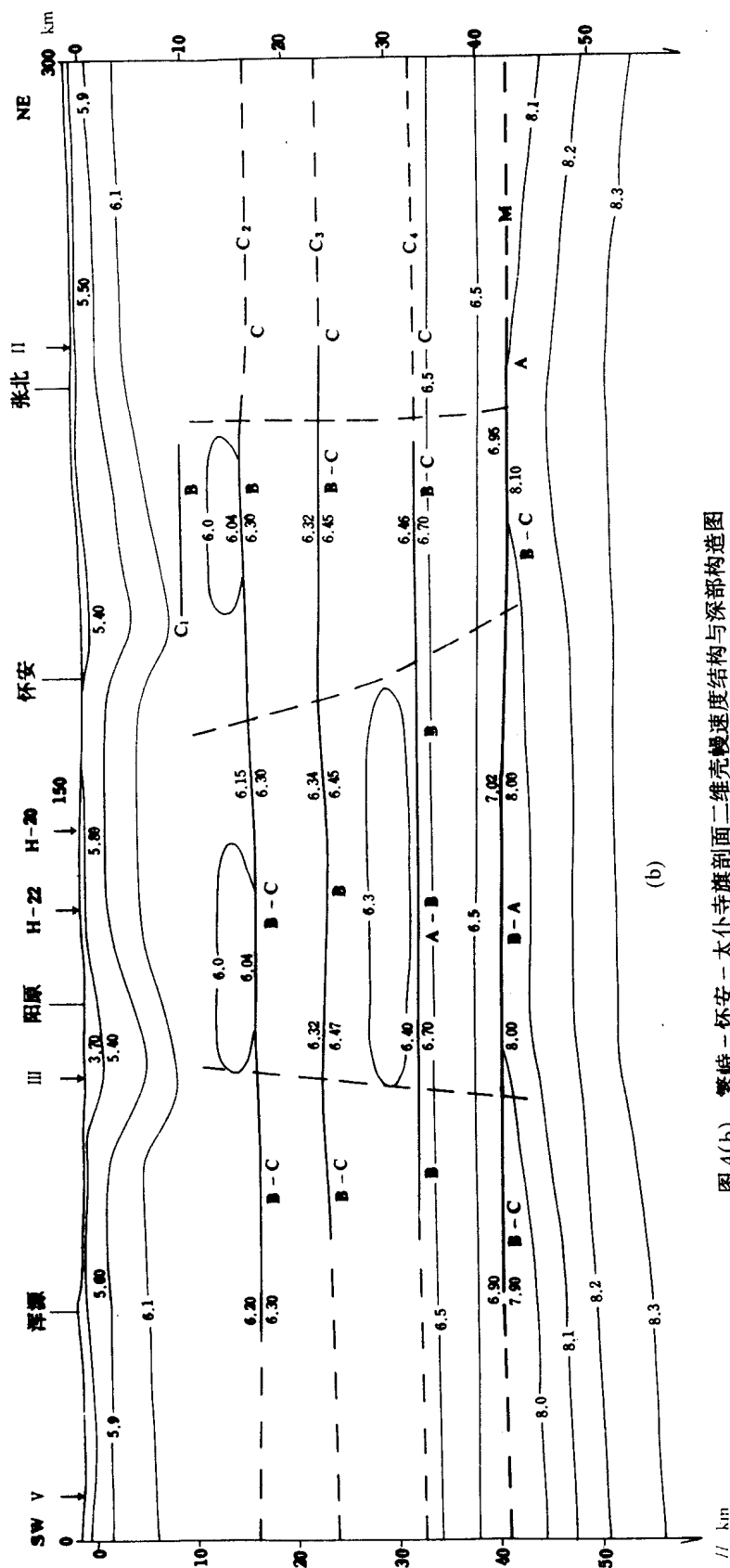
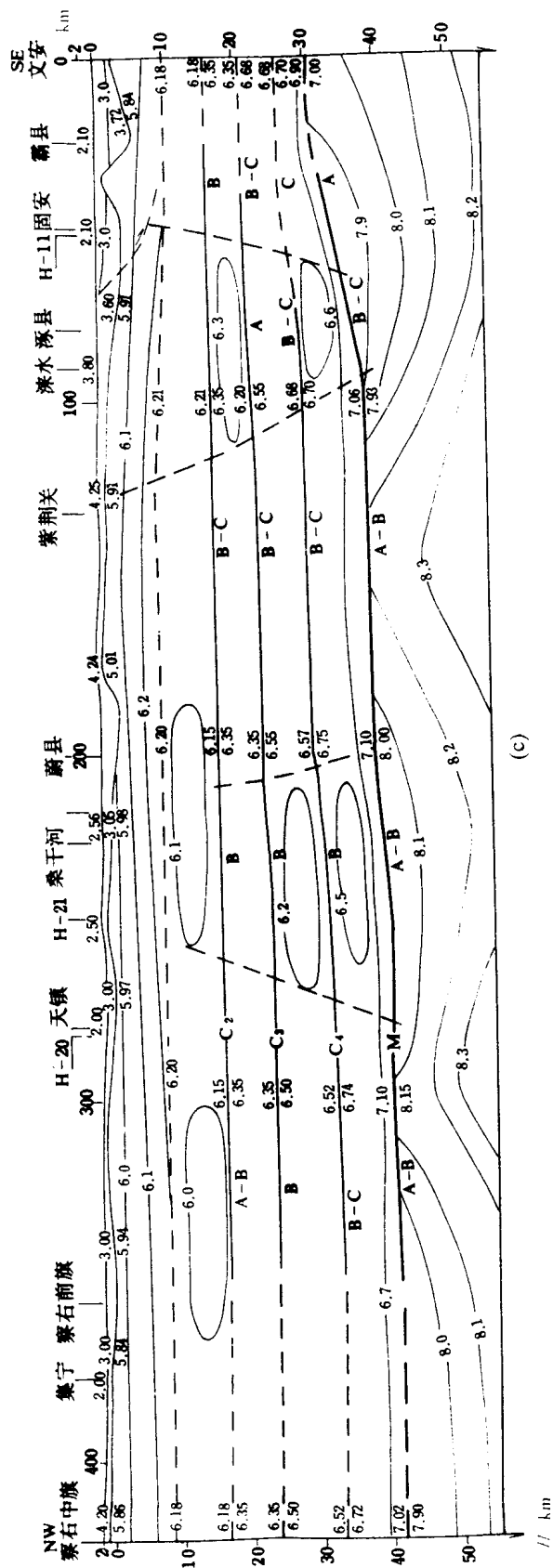


图 4(b) 繁峙-怀安-太仆寺旗剖面二维壳幔速度结构与深部构造图

Fig.4(b) 2-D crust-mantle velocity structure and deep structure



7.02 地震界面及速度值 (km/s); 6.2 速度等值线 (km/s); 推断层延伸至 M 面的断裂; --- 推断层; C<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>3</sub> C<sub>4</sub> 壳内界面; M 莫霍界面; A 强反射段; B 弱反射段; C 模糊不清反射段; H-20 H-21 V H-11 地震剖面

图 4(c) 文安 - 蔚县 - 察右中旗剖面二维幔速度结构与深部构造图

Fig. 4(c) 2-D crust - mantle velocity structure and deep structure



对 H-22、H-20 和 H-21 剖面的上地壳进行了  $Q$  值的计算,它是根据  $P_g$  波的走时及振幅特征按照 WKBJ 的方法计算的。上地壳的  $Q$  值可分为四层,第一层:105~186;第二层:200~350;第三层:650~950;第四层:830~1250。总的来看, $Q$  值随深度的突变与速度突变一致; $Q$  值随深度的增加其梯度逐渐减小;山西断隆和燕山、阴山构造带  $Q$  值明显大于华北坳陷区; $Q$  值最低的区域位于延怀盆地和冀中坳陷,这与较厚的新生代低速盖层和复杂的基底构造有关; $Q$  值最高的地段位于丰镇和张北及其以北,在这里有较大范围的玄武岩出露。

由图 5(a)所示, $C_2$  界面有两个上隆区分别位于唐山(12.0km)和易县-涿县一带(14.0~16.0km),在它们之间由张家口经北京至天津明显地存在一个北西向的厚度变化带。在该带以北, $C_2$  的深度由唐山附近向北西方向的燕山山区逐渐加深至 17.0km。 $C_2$  面深度最大的区域位于张家口至大同北西侧的集宁一带达 20.0km。大同、天镇、涿鹿、蔚县、涞源一带  $C_2$  界面的深度变化不大,其深度为 16.0~17.0km。在燕山褶皱带与山西断隆的拼接带,即张家口-渤海断裂带西段的延庆-怀来盆地、张家口-宣化盆地  $C_2$  界面的深度上隆了 1.0~2.0km。

图 5(b)是工作区下地壳顶面  $C_3$  界面等深度图,也是上部地壳的等厚度图。由图可见,上地壳的厚度在唐山最浅为 19.0km,向北西方向的燕山地区逐渐加深至 23.0~25.0km;北京西侧的  $C_3$  界面下凹区相对  $C_2$  界面下凹区的范围有所缩小,而易县向西的涞源方向上部地壳厚度由 22.0km 迅速加厚至 28.0km,至五台山地区最厚达 30.0km;张家口、宣化、怀来、北京、涿县、蔚县、大同、天镇之间上部地壳的厚度在 22.0~24.0km 之间变化,且存在着局部的起伏。

在研究区中部,北西西向的张家口-渤海构造带仍较清楚,但它已不是一条平直的线性构造带。在该断裂北东侧的燕山地区,下地壳顶面的构造与  $C_2$  界面的构造没有显著差异;在张家口-渤海地震带的西南侧的北太行山地区,下地壳顶面为北西西向, $C_2$  界面比较平缓,而在北太行山以东的平原区下,地壳顶面向西南倾斜, $C_2$  界面则向北东倾斜。这说明,至少在张家口-渤海构造带之西南的广泛地域内,上部地壳和下部地壳之间是相对解耦的。

### 3. 下部地壳及莫霍面构造

在  $C_3$  和 M 面之间的下部地壳,厚度由研究区东南部的冀中平原区 11.0km 左右,向北西方向的太行山、燕山山区加厚至 14.0~17.0km。由于存在  $C_4$  界面,它又可分为两层:在大多数剖面段上,下部地壳上部为一弱的正速度梯度层,层速度一般为 6.45~6.57km/s;在大同盆地、延怀盆地、阳原-蔚县盆地,显示出局部的负速度梯度,速度降低为 6.30~6.40km/s。层厚度为 5.0~11.0km,由平原区向太行山山区和燕山山区加厚。

下部地壳下部为强速度梯度层,它与延怀盆地深反射剖面双程走时 8.5s 的反射叠层相当,可视为壳幔过渡带,层速度 6.80~7.20km/s。该层纵向和横向的速度非均匀性明显,其上部常表现为弱的正速度梯度或强的负速度梯度(如延怀盆地、阳高-天镇盆地、大同盆地和太行山山前地带),而下部在靠近 M 面 3.0~4.0km 的厚度内速度梯度迅速增强。层厚度 5.0~9.5km,由冀中平原向太行山和燕山山区加厚。

M 面的构造形态如图 5(c)所示,莫霍面的埋深总的趋势由华北平原区的 33.0km 左右分别向燕山山区和太行山区加深至 42.0km。在这个背景上,存在着两个明显的莫霍面厚度变化带,它们在北京地区交汇,从而形成了复杂的构造格局。

非常醒目的宽约 80km 的沿太行山脉走向展布的东浅西深的地壳厚度变异带在北京-延怀一带受张家口-渤海构造带的影响,发生严重扭曲,而后穿后燕山山脉向北东方向延伸,