

八达岭及周缘地区壳幔结构与潜在震源探讨^{*}

任清芳 张成科 张先康 祝治平 唐周琼

(国家地震局地球物理勘探中心, 郑州 450003)

摘要 利用 Seis83 程序包, 对盐山-大兴-延庆剖面的大兴-延庆段人工地震测深资料进行了计算处理, 获得了八达岭及周缘地区地壳上地幔结构. 结果显示, 该区浅部断裂发育, 沉积层厚度差别大; 其深部构造在横向上存在着明显的不均匀性, 速度等值线起伏变化明显, 局部存在低速块体. 莫霍面由剖面东段的大兴向延庆方向倾斜, 大兴附近莫霍面的深度为 34.5 km, 居庸关附近为 38.5 km. 在延庆附近莫霍面存在一断裂.

关键词: 壳幔结构 潜在震源 人工地震 八达岭

1 引言

作者最近对盐山-大兴-延庆人工地震测深剖面西段 4 炮的记录资料进行了二维处理与计算, 并参与了 85-907-02-03-01 课题的综合解释工作, 获得了八达岭及周缘地区的壳幔结构. 本文介绍了主要研究结果并对潜在震源区进行了探讨.

2 研究区地质构造和地球物理场特征

2.1 地质构造特征

研究区位于近东西向燕山构造带与北东-北北东向的太行山构造带的结合部. 在前新生代该区主要经历了太古宙-早元古代、中-晚元古代、古生代和中生代四个构造发展阶段, 尤其是在中生代发生过强烈的构造变动^[1]. 该区地壳浅表断裂构造十分发育, 近东西向、北东东-北东向、北北东-近南北向和北西向或北西向西向断裂纵横交错, 断续展布, 既有正断层, 又有逆断层, 断面倾角较陡(图 1 和图 6a).

2.2 重磁场特征

研究区重力场总的变化趋势是由东南向西北重力异常值单调递减, 其变化范围在 $-25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 \sim -150 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间. 北东走向的大兴安岭-太行山巨型重力梯级带斜贯全区. 根据重力异常特征可以把研究区分为三部分, 即大兴安岭-太行山重力梯级带, 华北平原相对重力高异常区和延庆盆地负异常区. 航磁 ΔT 平面等值线在大兴附近偏低, 异常值为 -100 nT , 延庆附近为 0 nT , 南口附近分布着北东向中强度的正异常, 最大值约 550 nT .

3 测线位置与观测系统

^{*} 国家科委“八五”科技重点项目的一部分.

本文 1996 年 9 月 24 日收到.

第一作者简介: 任清芳, 女, 1949 年 4 月生, 工程师, 从事人工地震测深资料解释工作.

3.1 测线位置

盐山-大兴-延庆剖面(H-04)由山东省滨县里则乡大并河(桩号: -179.7 km, 东经 117° 50', 北纬 37° 17'), 经过盐山县、黄骅县、静海县、大兴县至河北省的赤城县瓦房沟(桩号: 296.3 km, 东经 115° 18' 北纬 41° 06'), 全长 476.0 km, 方位 333° 05'. 该剖面在 168.0 km 附近与宁河-北京-涿鹿剖面(H-06)相交, 在 196.0 km 附近与北京-怀来-丰镇剖面(H-20)相交, 在 205.0 km 附近与北京-张家口-化德剖面(II)相交.

3.2 观测系统

该剖面分别在 1977 年 8 月~10 月和 1979 年 10 月~11 月两期完成. 在 8 个爆炸点进行了 13 次吨级爆炸. 本文所用资料是该剖面西段 SP72.03N, SP100.00N, SP125.02N 和 SP205.02S 四炮的观测资料, 如图 2 所示.

4 震相特征

观测资料所反映的震相有连续波组 P_g 和 P_m 及断续波组 P_1, P_2, P_3 和 P_4 (图 3~图 5). P_g 波为地壳上部结晶基底的折射波, P_m 波为莫霍面反射波和地壳下部靠近莫霍面之上梯度带回折波, 二者在炮检距 150.0 km 处相衔接; P_1 波为上地壳中间层的反射波; P_2 波为上地壳底部的反射波; P_3 波为中地壳底部的反射波; P_4 波为下地壳中间层的反射波.

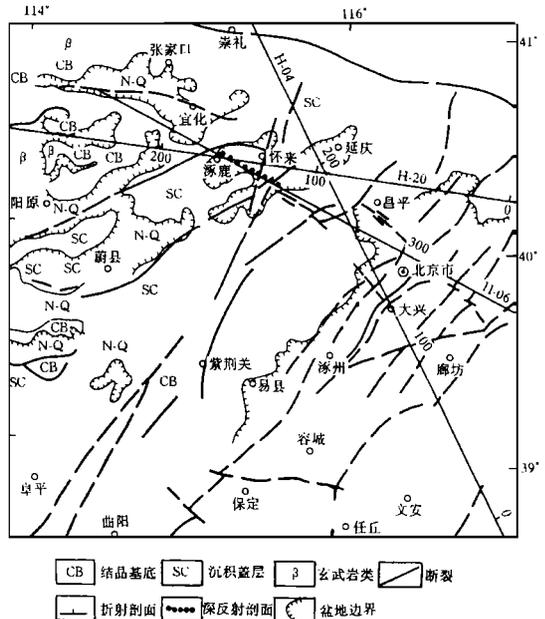


图 1 地质构造和测线位置图

Fig. 1 Distribution of geological tectonics and observed profiles.

4.1 P_g 波

除了 SP100.00N 炮点外, 其余各炮近炮点 (30.0 km 以内) 均未布设接收点. 受地壳表层复杂地质构造的影响, P_g 波的追踪区间和波形特征差异较大. 对于 SP72.03N 和 SP125.02N 两炮, 在距炮点 110.0~120.0 km 范围内各测点可连续追踪到 P_g 波, 其能量较强 (图 3, 图 5). SP100.00N 炮的记录截面显示 P_g 波的可追踪距离为 85.0 km 左右, 其能量也较强. SP205.02S 炮近炮点记录资料不完整, P_g 波追踪距离不能确定.

P_g 波的视速度随炮检距的增加而增大, 近炮点为 2.20 km/s 左右, 终点为 5.90~6.19 km/s. 视速度大小的变化主要受覆盖层厚度及界面上下倾斜影响.

4.2 P_1 波, P_2 波和 P_3 波

三类波仅在 SP125.02N 炮点可辨认. P_1 波清晰可辨, 其能量强, 在距炮点约 80.0 km 处其走时与 P_g 波接近, 平均速度为 5.80 km/s; P_2 波能量较 P_1 波弱, 在距炮点 120.0 km 左右可追踪到, 平均速度为 5.90 km/s; P_3 波在距炮点 100.0 km 左右可追踪到, 其能量与 P_2 波相当, 平均速度为 6.00 km/s 左右.

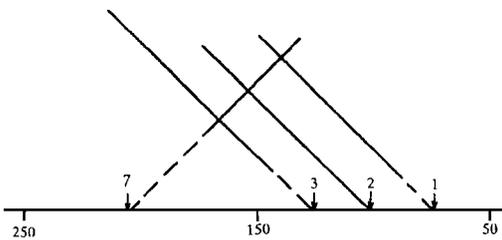


图 2 H-04 剖面观测系统图

Fig. 2 Observation system on profile H-04.

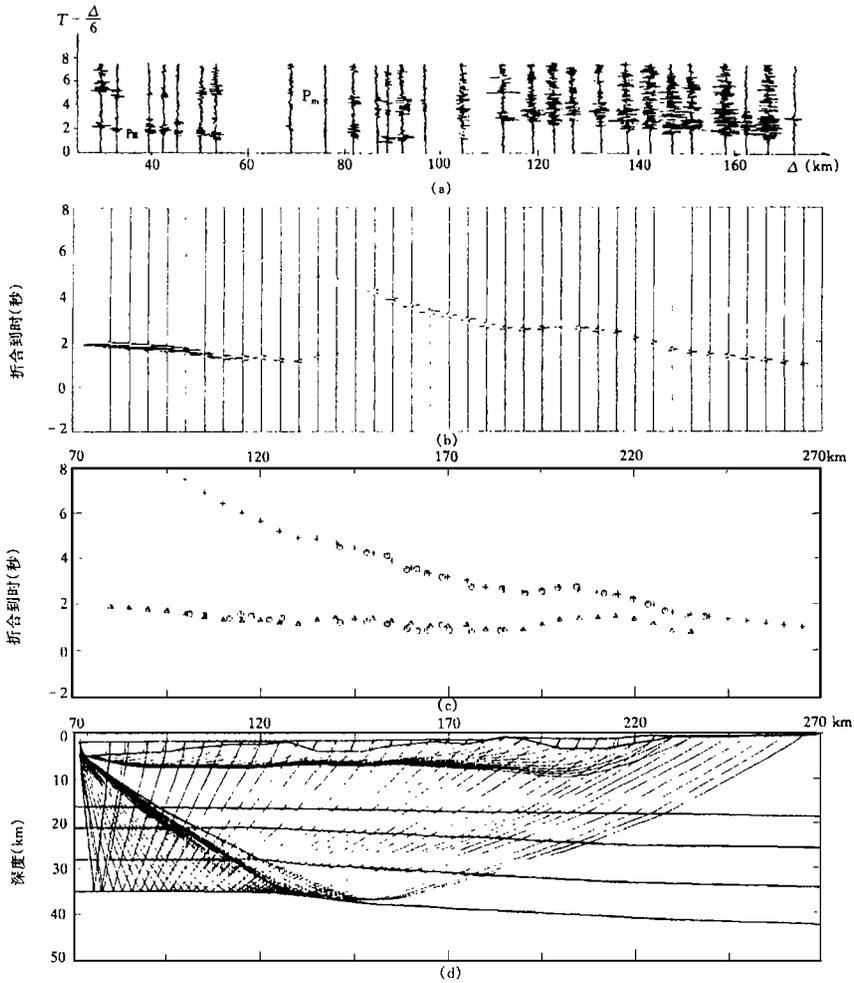


图 3 H-04 剖面永清 72.03 炮点记录

Fig. 3 Records of Yongqing 72.03 shot of profile H-04.

(a) 记录截面; (b) 合成地震图; (c) 走时拟合; (d) 射线追踪

4.3 P₄ 波

P₄ 波在 SP100.00N, SP125.02N 和 SP205.02S 三炮记录中均可辨认(图 4, 图 5). 对于 SP100.00N 炮, P₄ 波追踪段为 99.0 ~ 119.0 km; SP125.02N 炮的 P₄ 波追踪段为 35.0 ~ 125.0 km; SP205.02S 炮的 P₄ 波追踪段为 100.0 ~ 140.0 km. 该波能量较 P₂, P₃ 波强, 但比 P_m 波弱, 平均速度为 6.10 km/s 左右.

4.4 P_m 波

P_m 波为本区最优势的波组. 它以能量强, 周期大, 多相位, 追踪距离远为基本特征(图 3, 图 4, 图 5). 该波一般在距炮点 70.0 km 左右即可辨认, 距炮点最远的观测点也能追踪到 P_m 波. P_m 波在该剖面上另一突出的特点是在其后有 2~3 组强震相, 在位于延怀盆地内的观测点的记录中尤为明显, 这说明该剖面所通过地区的莫霍面不是一个尖锐的面, 而是一个壳幔过渡带²¹.

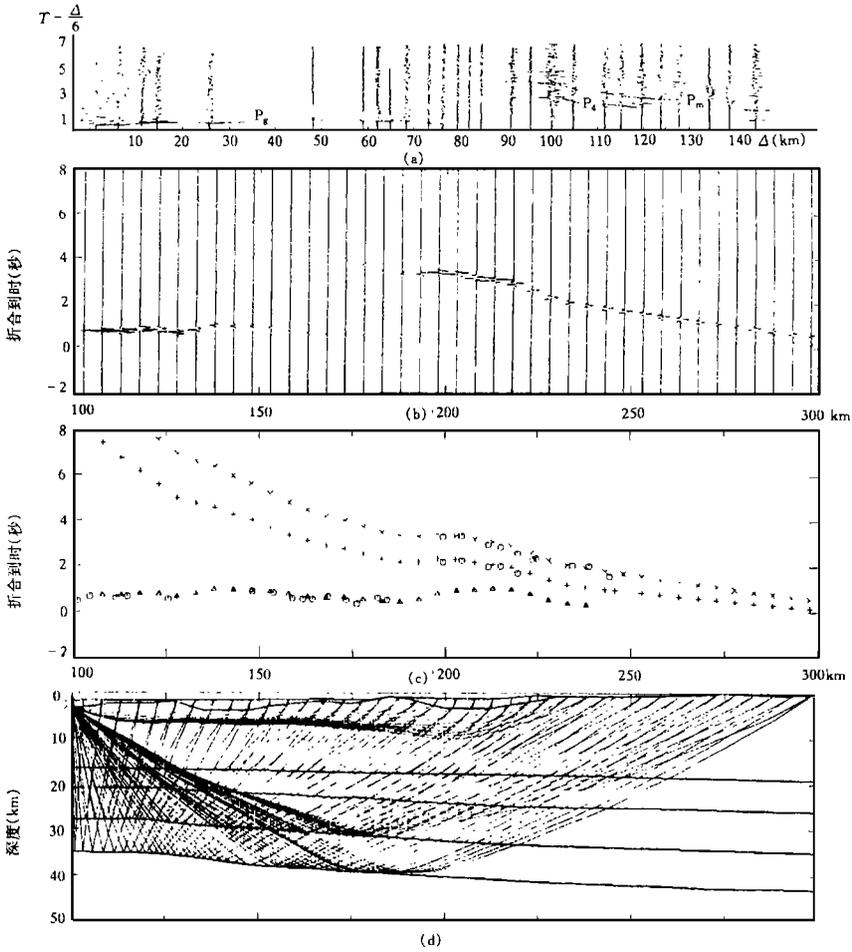


图 4 H-04 剖面紫各庄 100.00 炮点记录

Fig. 4 Records of Daxing 100.00 shot of profile H-04.

(a) 记录截面; (b) 合成地震图; (c) 走时拟合; (d) 射线追踪

5 地壳基本结构

图 6b 给出了研究区地壳速度结构, 从纵向上看该区地壳大致可分为上、中、下三层。

5.1 上地壳

它是由二个速度间断面, 一组正速度梯度层和局部负梯度层组成. 其顶面(地表)速度在沉积层较厚的盆地区为 2.20 km/s 左右, 在沉积层较薄与基岩出露区为 2.80~3.20 km/s. 在 140.0~175.0 km 桩号附近存在着 C₁ 不连续面, 其上部存在一速度为 5.80 km/s 的低速块体, 这一低速块体的存在依据为, 125.02 炮点记录在 P_g 波后有一组可连续对比, 能量强的波组, 这一波组在其它炮点记录中都不明显. C₁ 界面的速度跳跃差为 0.38 km/s 左右. C₂ 面上部为一弱梯度层, 在 200.0~230.0 km 范围内有一速度为 6.00 km/s 的低速体. 上地壳的底部速度为 6.17~6.20 km/s, 层厚度为 15.0 km 左右(图 6b).

5.2 中地壳

它是由一个速度间断面(C₃), 一组匀速层和弱的梯度层组成. 层厚度在大兴附近为 5.0

km 左右, 往西呈逐渐加厚趋势, 到居庸关附近层厚达 6.0 km 左右. C_3 面的速度跳跃差为 0.20 km/s. 中地壳底部速度为 6.33 km/s.

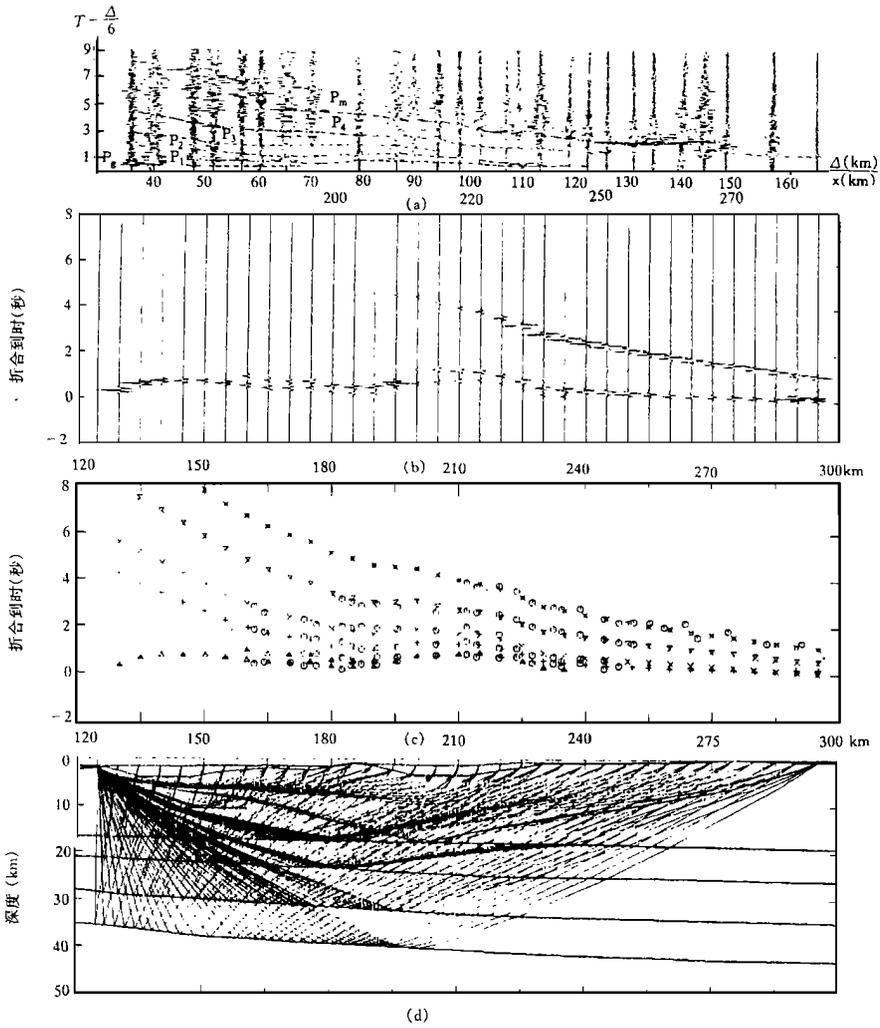


图 5 H-04 剖面鹤堡 125.02 炮点记录

Fig. 5 Records of Efa 125.02 shot of profile H-04.

(a) 记录截面; (b) 合成地震图; (c) 走时拟合; (d) 射线追踪

5.3 下地壳与莫霍界面

下地壳是由正负速度梯度层和两个速度间断面(C_4 和莫霍面)组成. C_4 面之上为一匀速层, 其速度为 6.50 km/s. G_4 面的速度跳跃差为 0.20 km/s. C_4 面与莫霍面之间有一低速层, 其速度为 6.60 km/s. 靠近莫霍面之上为一正的强速度梯度层, 速度梯度为 0.30 s^{-1} 左右. 莫霍界面速度跳跃差为 1.00 km/s 左右. 下地壳厚度为 12.5 ~ 16.0 km, 在大兴附近偏薄, 在延庆盆地偏厚.

5.4 莫霍界面基本形态

研究区上地幔顶部莫霍界面的基本形态变化的总趋势是从大兴向延庆方向倾斜, 八达岭附近为一莫霍界面斜坡带. 在大兴附近莫霍面的深度为 34.5 km, 居庸关附近为 38.5 km, 延

庆附近为 40.0 km. 在居庸关与延庆之间 200.0 km 桩号附近存在一莫霍界面断裂, 这一断裂的存在主要是根据通过该断裂的深反射资料与北京-丰镇剖面资料所确定的. 在本剖面上, 大兴 125.02 炮点记录截面上反映该断裂的 P_m 波组 ($\Delta=145.0$ km 附近) 走时跃变, 波形紊乱. 对应断裂的中上部地壳存在有不连续低速块体, 地表有火成岩体出露. 推断该深断裂是岩浆的侵入和喷出活动的通道.

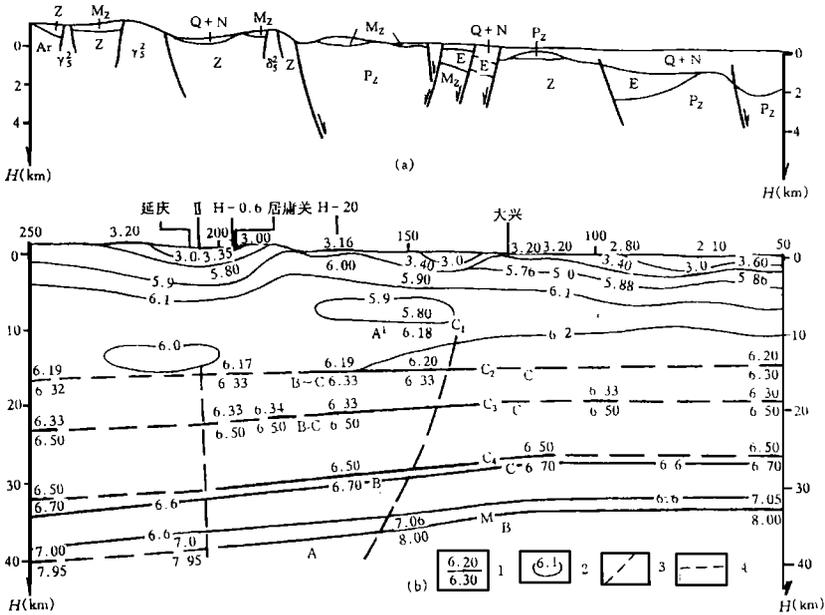


图 6 盐山-大兴-延庆剖面壳幔二维速度结构与深部构造图

Fig. 6 Geological section along profile H-04(a) and two-dimensional velocity structure (b).

- 1 地震界面及速度值(km/s); 2 速度等值线(km/s);
- 3 推测延伸至 M 面的断裂; 4 推断界面;
- A 强反射段; B 弱反射段; C 模糊不清反射段;
- II, H-06, H-20 为地震剖面; C₁, C₂, C₃, C₄ 为壳内界面

6 结论与潜在震源区探讨

大兴-延庆段深地震测深研究剖面揭示了八达岭及其周缘地区的地壳结构呈现强烈的非均匀性. 其中地壳顶部和上地壳底部局部地区存在低速块体; 地壳厚度由东南段的大兴向西北延庆方向逐渐加厚; 八达岭附近是地壳厚度的陡变带, 其所对应的深部重力异常值则是由东南向西北呈单调递减^[3]; 该地区存在有高角度延伸至莫霍面的深大断裂.

研究区 P_m 波组特征与华北平原区相比存在着明显的差异. P_m 波之后有 2~3 组强震相, 这反映了研究区具有壳幔过渡带特征.

与华北平原区研究结果不同的是, 对应延怀盆地的莫霍界面不呈凸起形态, 而是由八达岭向延怀盆地呈逐渐加深趋势.

前人的研究表明, 地震的发生与地壳厚度的变异、中上地壳低速块体的存在、莫氏界面的局部隆起和深大断裂的存在有着密切的关系^[4]. 由此可以认为, 八达岭及周缘地区为潜在震源区, 尤其对延庆盆地与八达岭的交界地区应予以充分重视.

参考文献

- 1 郑炳华, 徐杰, 方仲景. 首都岩石圈前新生代地质构造图. 见: 高文学, 马瑾主编. 首都圈地震地质环境与地震灾害. 北京: 地震出版社, 1994. 6.
- 2 张先康, 王椿镛, 刘国栋, 等. 延庆-怀来地区地壳细结构——利用深地震反射剖面. 地球物理学报, 1996, 39(3): 356 ~ 364.
- 3 殷秀华, 刘占波, 刘铁胜. 首都圈布格重力异常图. 见: 高文学, 马瑾主编. 首都圈地震地质环境与地震灾害. 北京: 地震出版社, 1994. 54.
- 4 张成科, 赵金仁, 任清芳, 等. 豫北及其外围地区地壳上地幔结构研究. 地震地质, 1994, 16(3): 243 ~ 254.

DISCUSSION ON STRUCTURE OF CRUST AND UPPER MANTLE AND POTENTIAL FOCAL REGION IN BADALING AND ITS NEIGHBORHOOD

REN Qingfang ZHANG Chengke ZHANG Xiankang ZHU Zhiping TANG Zhouqiong
(*Geophysical Prospection Center, SSB, Zhengzhou 450003*)

Abstract

The Seis83 programs were used in order to calculate the DSS data of Daxing-Yanqing section in Yanshan-Daxing-Yanqing profile. The structure of crust and upper mantle was obtained in Badaling and its neighborhood. The result shows that in the region, faults well developed and there is much difference in thickness of deposition layer in the shallow crust, crust structure is heterogeneous in crosswise and undulate changes of crust interface and velocity isopleth are obvious in depths, low velocity blocks exist in the partial crust. The depth of Moho discontinuity in Daxing is about 34.5 km and that in Juyongguan is about 38.5 km. A fault of Moho exists in vicinity of Yanqing.

Key words: Crust-mantle structure, Potential focus, Man-made earthquake, Badaling

(上接 55 页)

CHARACTERISTICS OF STRONG GROUND MOTIONS IN EPICENTRAL REGION OF THE 1995 Osaka-Kōbe EARTHQUAKE, JAPAN

LUO Qifeng

(*Institute of Structural Theory, Tongji University, Shanghai 200092*)

NA Xiangqian

(*Department of Civil Engineering, Qinghua University, Beijing 100084*)

Abstract

The characteristics of the strong ground motion of the 1995 Osaka-Kōbe earthquake ($M7.2$), Japan was analyzed in this paper. The results show that the peak values of horizontal acceleration in epicentral region are about 600 ~ 800 gal, the peak value of vertical acceleration is above 300 gal, the duration of the strong ground motion is about 10 ~ 15 seconds and the predominant periods is distributed from 0.2 to 2 second. The results of spectrum analysis also show that the amplitude of Fourier spectrum or response spectrum is larger than other records in a wide frequency band.

Key words: Japan, Ground motion, Spectrum, Osaka-Kōbe earthquake, Peak value of acceleration