

中国东南部的壳内低速层与康拉德面

胡德昭 恽玲舫 姜永基 王良书 徐鸣洁

(南京大学地球科学系)

中国东南部地壳内广泛存在康拉德面,其分布深度由内陆向沿海逐渐变浅。康氏面之上,花岗岩层底部可能存在有厚度为3—5km的低速层。古岛弧区(武夷山)尚未观测到低速层,滨海地区属过渡地壳,一般没有低速层。湖南省东部中生代裂谷型地壳,康氏面清楚,未发现低速层,康氏面与Moho深度都较小。

一、引言

中国东南部是指下扬子以南,武陵山、苗岭山系综合构造带以东的广阔区域。自元古代以来,区内不同地质时代的沟弧盆系复合构造体系发展演化,大陆不断增生,形成了现今的构造格局。该区深部地壳结构特征的研究有利于研究大陆边缘地质和区内矿产资源与能源的开发利用。本文利用我们参加观测的几次爆炸地震资料,对区内地壳结构和速度分布进行了对比,进一步探讨壳内低速层和康拉德面的分布与活动大陆边缘构造的形成和演化的关系。

本文研究的区域内几次爆炸地震的震源和测线分布情况如图1所示。

二、随县—永平测线地壳结构和速度分布

1979年12月至1981年4月在湖北随县万和店进行了炸药量分别为60t、160t和540t的三次爆破,其南东测线自随县延伸至江西铅山县永平。观测台为模拟记录流动地震仪,采用BPM标准时间台UT₁和UTC时间服务系统,用SY-2型石英钟计时。

资料整理中识别出的反射波震相主要有 P_2^0 , P_3^0 , P_4^0 , P_n^0 (脚标n对应Moho界面,下同),折射波震相主要有 P_1 , P_2 , P_4 , P_n (见图2)。假定地壳由水平层状均匀介质组成。反射波采用最小二乘法拟合计算界面深度和P波速度,换算出层速度之后再与折射波的结果进行综合,得出随县至黄梅段地壳结构模型如图3。

从所得结果中可以看出:1.平均地壳厚度(H_M)为34km;2.地壳P波平均速度(\bar{V}_P)为6.31km/s;3.地壳可分为五层;4.地壳中部深度为18.8—23.5km处存在低速层,P波速度为5.7km/s;5.低速层之下是速度为7.0km/s的下部地壳;6.由首次波得出上地幔顶部P波速度为8.17km/s。

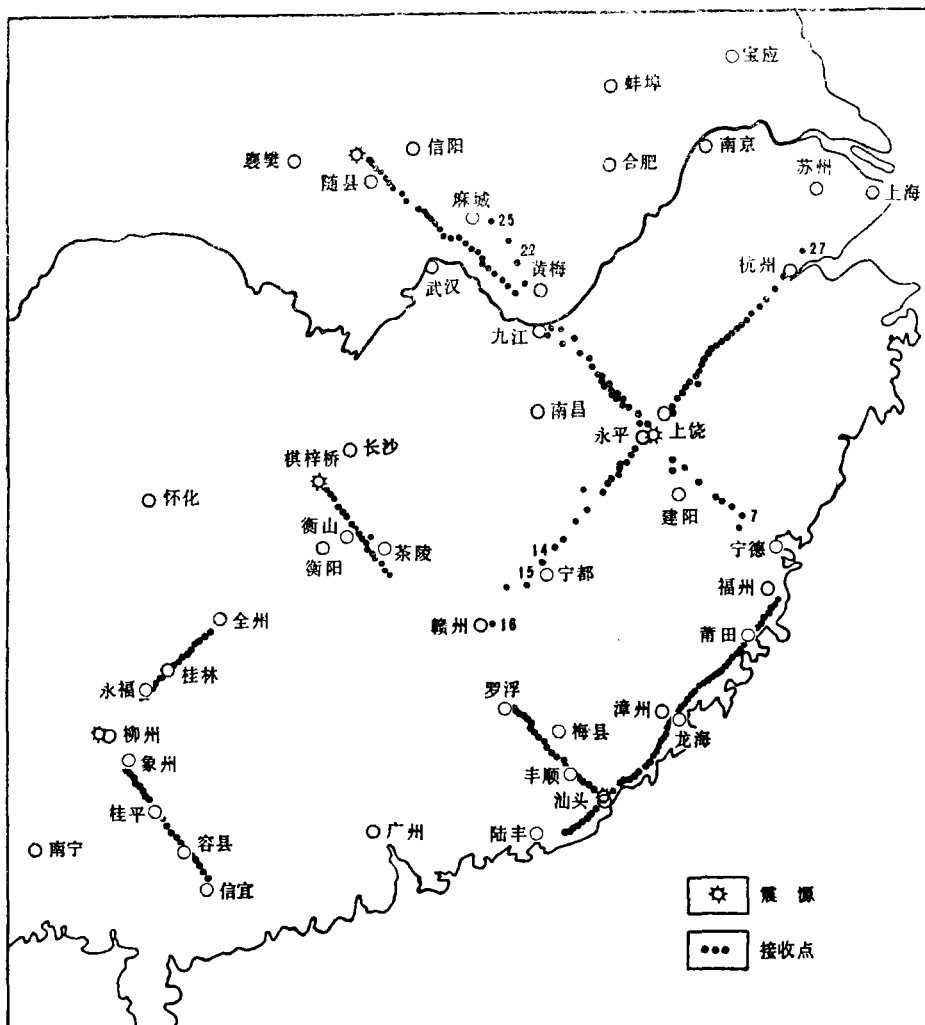


图1 研究区域内震源和接收点位置图

三、研究区内其它爆炸地震资料所得的结果

1. 1978年2月在江西永平铜矿进行了一次炸药量为985.7t的矿山爆破。地震观测以永平为中心，沿北东—南西、北西—南东方向布置近十字形测线。其中的北西测线自永平经九江至信阳横穿下扬子地区，和随县爆破南东测线基本重合。由北西测线得出的永平—黄梅段地壳结构模型如图4^①。由图可见：1) $H_M = 32.6\text{km}$ ；2) $\bar{V}_P = 6.28\text{km/s}$ ；3) 地壳分为四层；4) 在深度为23km附近存在较大速度梯度带，这个深度与随县爆破南东测线揭示的梯度带深度很接近。梯度带以下介质的P波速度为7.0km/s，与随县爆破南东测线所得结果一致。5) 由首波所得上地幔顶部P波速度为8.04km/s。

^① 国家地震局永平爆破联合观测组，1980，江西永平爆破观测和我国东南地区深部构造初步研究。

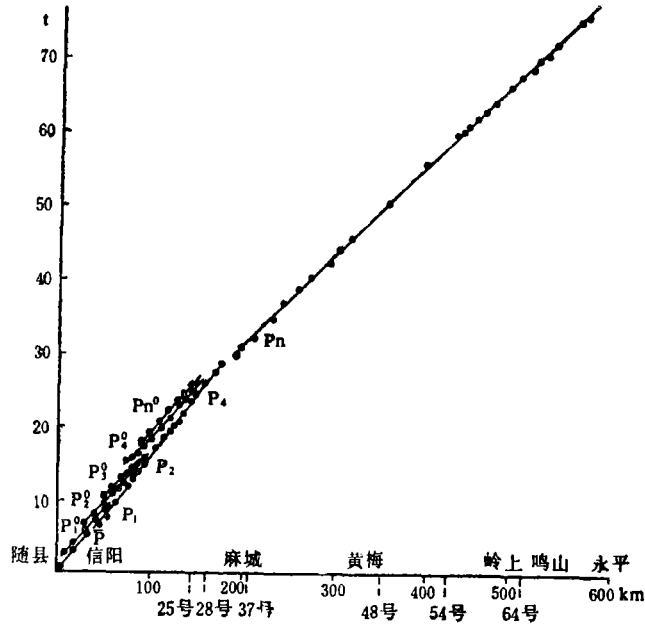


图2 随县—永平地震测深剖面及时距曲线图

由永平爆破四条测线得出的综合地壳结构模型如图5。速度梯度带的深度为21.4km，其下部介质的P波速度为6.8km/s。 $H_M = 32.5\text{km}$ ； $\bar{V}_P = 6.28\text{km/s}$ 。上地幔顶部P波速度为8.03km/s。

2.1982年12月，在广东汕头先后进行了两次人工爆炸，采用模拟磁带记录系统，其北

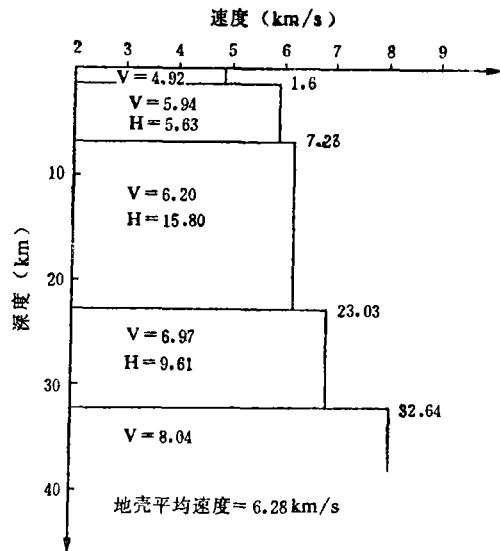
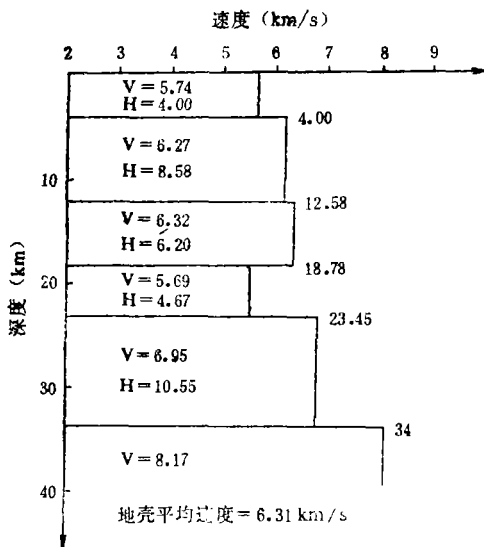


图3 随县—黄梅地区地壳结构和P波速度分布模型图 图4 永平—黄梅地区地壳结构和速度分布模型图

西测线由汕头经丰顺至罗浮。所得资料计算结果得出地壳结构横型如图6。相应的数据为：1)速度梯度在深度为22km处最大，其下部介质P波速度为6.9km/s；2)汕头 $H_M = 29.5$ km，罗浮 $H_M = 33$ km；3) $\bar{V}_P = 6.28$ km/s（汕头）；4)上地幔顶部P波速度为8.01km/s。

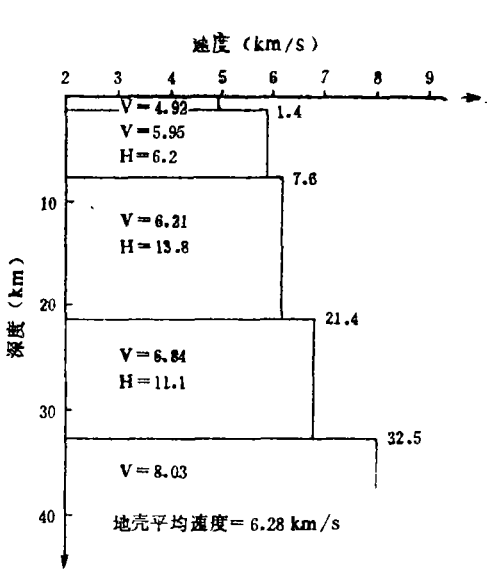


图5 永平爆破四条测线综合地壳结构和速度分布模型图

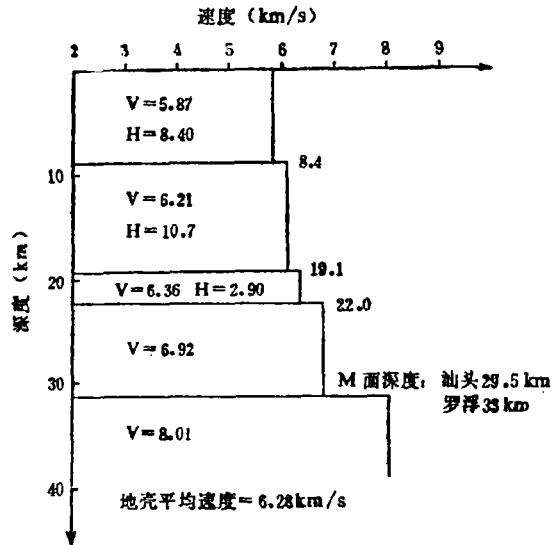


图6 汕头—罗浮地区地壳结构和速度分布模型图

1982年12月在福建诏安和龙海分别进行了三次人工爆炸，地震观测线基本上平行海岸线，沿北东、南西方向排列。所得资料计算结果，得出龙海至汕头段的地壳结构模型如图7。相应数据为：1)速度梯度在深度为22—23km处较大，其下部介质P波速度为7.0km/s；2) $H_M = 30$ km；3) $\bar{V}_P = 6.32$ km/s；4)上地幔顶部P波速度为8.14km/s。

3. 1982年6月湖南湘乡县棋梓桥进行了炸药量为89t的爆破，地震观测南东线自棋梓桥经衡山、茶陵至酃县。资料整理得出棋梓桥至酃县段地壳结构模型如图8。有关数据为1)地壳为三层结构；2) $H_M = 28.6$ km；3) $\bar{V}_P = 6.24$ km/s；4)上地幔顶部P波速度为7.86 km/s；5)速度梯度在深度为16.8km处最大，其下部介质P波速度为6.7km/s。

4. 滕吉文等人分析处理了安徽省马鞍山爆破和江苏省常熟爆破的地震观测资料，得到马鞍山—常熟和常熟—启东测线的地壳结构模型（滕吉文等，1985；黄一平等，1985），如图9、图10所示。两图反映出下部地壳的速度为6.8km/s，其上为6.0km/s的低速层，在低速层之上介质的速度为6.3km/s。但低速层的深度自西向东变浅，马鞍山东深度为17.5—21.5km，常熟西深度为15.5—18.5km，常熟—启东测线段深度为11.3—14.3km。

1981年10月广西柳州进行了炸药量为98t的采矿松动爆破，北东向观测线自柳州经桂林至全州。由于炸药量较大，采用远炮点接收。资料解释结果只取得有关深部的数

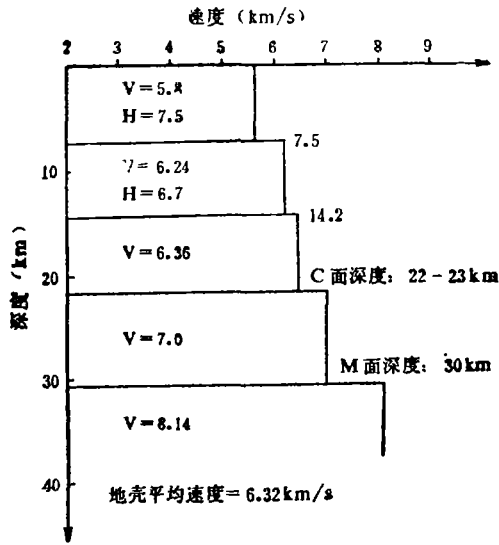


图7 龙海—汕头地区地壳结构模型图

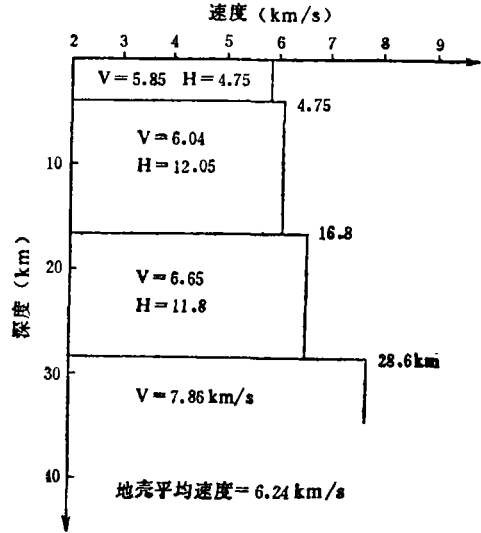


图8 棋梓桥—鄞县地区地壳结构模型图

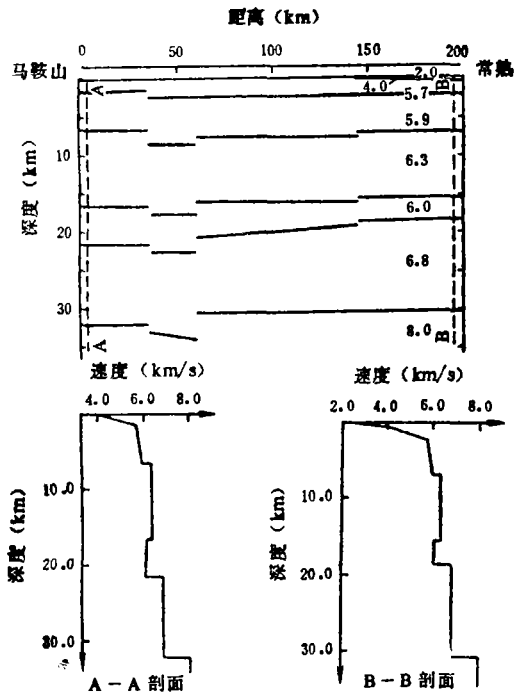


图9 马鞍山—常熟段地壳结构模型图
(引自滕吉文等)

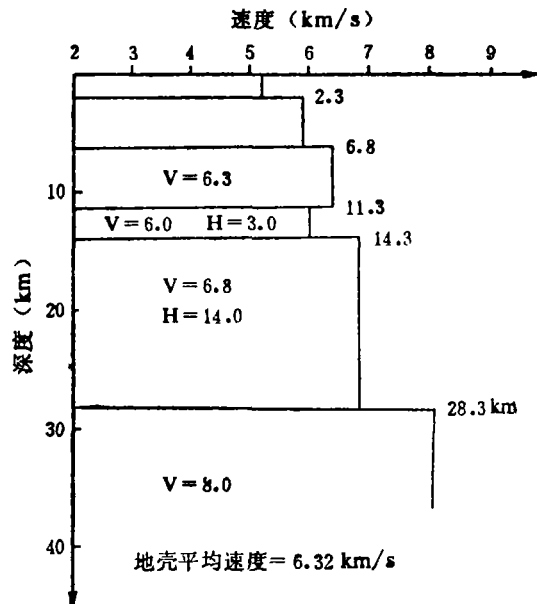


图10 常熟—启东测线地壳结构模型图
(引自滕吉文等)

据: 1) $H_M = 31.5\text{km}$; 2) $\overline{V_P} = 6.29\text{km/s}$; 3) 上地幔顶部P波速度为 8.14km/s 。

此次爆破的南东测线自柳州经桂平、容县至广东信宜。资料整理得到有关数据为:

1) $H_M = 31.6\text{km}$; 2) $\overline{V_P} = 6.29\text{km/s}$; 3) 上地幔顶部P波速度为 8.09km/s 。

四、关于壳内低速层与康拉德面的讨论

地震方法研究不同构造地区地壳结构模式, 一般都是研究波速随深度的变化或速度梯度随深度的变化。这些变化不仅反映了不同深度地层在岩石学特性上的差异, 也反映了岩石物理状态的差异。

众所周知, 康拉德面(Conrad surface or Conrad discontinuity)是指地壳内花岗岩与玄武岩的分界面, 这个面并不是全球各地区都存在。它的存在与否, 与研究区的地壳结构及其形成和演化的历史密切相关。根据高温高压实验, 花岗岩中纵波传播速度在地表为 5.2km/s , 在 10km 深处为 6.2km/s , 在 30km 深度上不超过 6.3km/s (姚伯初等, 1985)。而玄武岩岩层在地壳内的纵波速度一般为 $6.4—6.7\text{km/s}$, 当它含有较高成份超基性岩时则可达 $6.8—7.2\text{km/s}$ (N. I. Pavlenkov, 1977)。根据这些参考值, 结合观测地区地震波各震相的走时关系、强度比以及速度梯度随深度的变化, 则可以研究地壳内部分层情况, 判断康拉德面(以下简称康氏面)和低速层是否存在。

为讨论方便, 将前述观测计算的结果列于后表。

1. 随县爆破南东线资料揭示的随县至黄梅地区的地壳结构和速度分布, 可以作为下扬子地区地壳结构模式的代表。下扬子其它地区地壳分层的速度与界面深度等参数虽与随县—黄梅地区有数量上的差别, 但其基本组构形态是类似的。由图3及有关数据可以看出, 上部地壳由浅至深速度逐渐增大。在 10km 深度上下, P波速度为 $6.2—6.3\text{km/s}$, 是花岗岩所具有的速度值。在深度为 $18.8—23.4\text{km}$ 的区间内是低速层, P波速度只有 5.7km/s 。低速层的底部是一个速度值跃增的间断层, 速度由 5.7km/s 增高到 7.0km/s , 这个数值与含超基性岩较多的玄武岩的波速相符, 因此, 我们认为这个界面就是康拉德面。对应这个界面的反射波震相 P_1^0 幅度大, 易于追踪对比, 说明该界面是强反射面, 界面上、下侧介质的波阻抗有很大差别。

图4、图5反映的康氏面深度与图3情况很接近, 但显示出由西向东变浅的趋势。永平—黄梅段及永平地区下地壳的速度值为 $7.0—6.8\text{km/s}$, 和随县—黄梅段的值也十分接近, 说明下部地壳的组分和物理状态基本相似。图4、图5虽没有表现出康氏面之上的低速层, 但不能说明低速层不存在, 据分析这可能与永平爆破的观测精度和台站布置密度不够有关, 致使与低速层上顶面相对应的反射波震相难以识别和追踪。图9、图10反映马鞍山、常熟、启东下部地壳的P波速度为 6.8km/s , 与前述地区很接近, 并且在康氏面之上具有低速层。

由表中数据可以看出下扬子不同区域地壳结构模式的横向差异: 1) 地壳厚度自西向东变薄; 2) 上地幔顶部P波速度自西向东变小(由 8.17km/s 变到 8.0km/s); 3) 低速层的

表：各测线地震观测数据和计算结果

参 数 地 区	地壳厚度 H _M (km)	下地壳 深度 H _c (km)	下地壳 相对厚度 (H _M -H _c)	上地壳 速度 (km/s)	C面上下 侧速度差 (km/s)	低速层 深度 (km)	低速层 速度 (km/s)	地壳P波 平均速度 (km/s)	上地幔顶部 P波速度 (km/s)
			H _M						
随县—黄梅	34	23.45	31%	6.95	1.26	18.78— 23.45	5.69	6.31	8.17
永平—黄梅	32.64	23.03	29%	6.97	0.77			6.28	8.04
永平四线综合	32.5	21.4	34%	6.84	0.63			6.28	8.03
马鞍山东	32	21.5	33%	6.8	0.8	17.5— 21.5	6.0	6.18	8.0
常熟西	31	18.5	40%	6.8	0.8	15.5— 18.5	6.0	6.18	8.0
常熟—启东	28.3	14.3	49%	6.8	0.8	11.3— 14.3	6.0	6.32	8.0
汕头地区	29.5	22.0	25%	6.92	0.56			6.28	8.01
龙海—汕头	30	22—23	25%	7.0	0.64			6.32	8.14
棋梓桥—鄞县	28.6	16.8	41%	6.65	0.61			6.24	7.86
柳州—全州	31.5							6.29	8.14
柳州—信宜	31.6							6.29	8.09

埋藏深度和厚度自西向东逐渐变浅、变薄；4)自西向东下部地壳的相对厚度增大先是由大(随县、黄梅地区为31%，启东地区达49%)；5)地壳P波平均速度，显示出由西向东变小、到近海地区又变大的变化规律。以上这些横向差异的变化规律，反映了中国东南部活动大陆边缘洋壳向陆壳转化，陆壳阶段性地逐步增厚、成熟(Martin H.P. Bott, 1982; 郭令智等, 1983)这种演化过程的深部地壳结构的格局(I.P. Kosminskaya et al., 1979)。

2. 图6、图7分别展示了闽粤近海地区垂直和平行海岸线方向所观测到的地壳结构和速度分布。可以看出地壳可分为四层，速度随深度呈递增形式，没有低速层。速度为6.9—7.0km/s的下地壳的埋深为22—23km(即康氏面深度)。康氏面上、下侧速度差小于随县及黄梅等地区(见表)，呈现出滨海地区物质演化、分异不够成熟的过渡型地壳的特点。对比图6、图7，也可以看出两者在康氏面附近速度梯度的差别：龙海至汕头地区速度梯度比较稳定，而较靠内陆的汕头至罗浮地区速度梯度在由第二层过渡到第四层时取较大的值。这意味着由沿海向内陆过渡的过程中，康氏面上、下侧物质的分异、演化更趋成熟，康氏面作为花岗岩和玄武岩分界面的面貌更为清晰。

地壳P波平均速度在汕头—龙海靠海岸地区达到了6.32km/s，与常熟—启东地区的数值相同，取较高值，再一次显示出滨海地区过渡型地壳中玄武岩含量较高的特点。

3. 图8所示湖南棋梓桥—鄞县地壳结构模型指出地壳分为三层。下部地壳P波速度为6.65km/s，表明是玄武岩层；其上是速度为6.04km/s的花岗岩层。康氏面清楚，没有低速层。该区Moho深度只有28.6km，上地幔顶部P波速度只有7.86km/s，相应地康氏面埋深也浅，这几点使得棋梓桥—茶陵—鄞县地区的地壳结构成为独具一格的形式，这

就是大陆裂谷的地壳结构模式 (I.P.Kosminkaya et al., 1979)。

4. 柳州爆破由于只有远炮点接收的资料,故不能求得壳内速度分布曲线。但由表中所列P波平均速度(6.29km/s)和上地幔顶部P波速度(8.09—8.14km/s)可以看出,两条侧线所经地区的地壳已经摆脱了过渡型地壳的特点,但还没有达到随县—黄梅段地壳所具有的成熟度。因为其P波平均速度已小于过渡型地壳,地壳厚度(31.5km)也大于海岸带过渡型地壳,而上地幔顶部P波速度却略低于随县、黄梅地区。

另外需要指出的一点是,永平爆破南西测线(由永平经南丰到宁都)的观测结果,指明该区地壳总体上呈现为双层结构,上层P波速度为6.0—6.2km/s(花岗岩层速度),下层为6.6—6.8km/s(玄武岩速度)。康氏面清楚,没有发现低速层。永平—宁都测线位于加里东古岛弧(武夷山)地区,因此,这种双层结构模式可以作为中国东南部古岛弧深部地壳结构的特征。

五、结 语

1. 中国东南部地壳广泛存在康拉德面,该面之下P波速度一般为6.8—7.0km/s,说明下部地壳由超基性岩含量较高的玄武岩组成。康氏面深度自西向东逐步变浅。

2. 康氏面之上是P波速度为6.0—6.3km/s的花岗岩。对于演化较成熟的内陆地壳,花岗岩层的底部可能存在厚度为3—5km的低速层,下扬子地区就是存在这种低速层的地区。在古岛弧区(武夷山)地壳呈双层结构,迄今还没有发现低速层。

3. 滨海地区地壳P波平均速度较大,对应下部地壳相对厚度较大或地壳中超基性玄武岩含量较高。滨海过渡型地壳速度梯度随深度变化不大,层与层间速度差别较小,一般没有低速层,因而反映出地壳演化、物质分异不充分的特色。在这些地区识别康氏面有时会有困难。

4. 湘东中、新生代裂谷型地壳中康氏面清楚,没有发现低速层。Moho深度较小,上地幔顶部P波速度偏小,这是裂谷型地壳的特征。

本文是在郭令智、施央申教授的鼓励与指导下完成的,在此表示感谢。

(收稿日期:1988年6月6日)

参 考 文 献

- [1] 滕吉文、孙克忠等, 1985, 中国东部马鞍山—常熟—启东地带地壳与上地幔结构和速度分布的爆炸地震研究, 地球物理学报, 第28卷, 第2期, 155—168页。
- [2] 黄一平、滕吉文, 1985, τ 法反演与地壳结构研究, 地球物理学报, 第28卷, 第1期, 26—39页。
- [3] 姚伯初、何廉声, 1985, 南海北部大陆边缘下的异常上地幔, 海洋地质与第四纪地质, 第5卷, 第2期, 65—72页。
- [4] N.I. Pavlenkova, 1979, Generalized geophysical model and dynamic properties of the

continental crust, *Tectonophysics*, Vol.59 (1979), No.4. P.381—390.

[5] Martin H.P. Bott, 1982, *The interior of the earth: its structure, constitution and evolution* (second edition), P.44—49.

[6] 郭令智、施央申、马瑞士, 1983, 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化, *地质学报*, 第57卷(1983), 第1期, 11—19页.

[7] I.P. Kosminskaya and N.I. Pavlenkova, 1979, Seismic models of inner parts of the EURO-ASIAN continent and its margins, *Tectonophysics*, Vol.59 (1979), P.307—320.

ON THE LOW VELOCITY LAYER AND CONRAD SURFACE WITHIN THE CRUST OF SOUTHERN PARTS OF CHINA

Hu Dezhao Yun Lingling Jiang Yongji
Wang Liangshu Xu Mingjie

(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Abstract

Analogies are drawn between the models of crustal structure and velocity distribution on the basis of explosion seismological data of the southern parts of China. Further, the distributions of low velocity layer and Conrad surface (or Conrad discontinuity) within the crust, which are relative to the formation and evolution of tectonics of active continental margins, are discussed.

(1) Conrad surface exists extensively in the crust of southern China. The velocity of the longitudinal waves under Conrad surface is about 6.8—7.0 km/s. Hence, it makes known that medium under Conrad surface consists of basalt, and probably contains a high proportion of ultrabasic rocks. The depth of Conrad surface is 23.4 km in Shui county and Huangmei county, Hubei province, and becomes gradually into shallow from the inner parts of Continent to the Coast in Qidony County Jiangsu Province and in Shantou, Guangdong Provinces, it is 14.3 km and 22 km respectively.

(2) The layer of granite with velocities of 6.0—6.3 km/s overlies on

Conrad surface. In the bottom of granite layer, there is probably a low velocity layer with thickness of 3—5km. Such as Lower Yangzi area is thus the district in which low velocity layer is possessed. Existence of low velocity layer makes Conrad surface into strong reflective surface because of higher contrast of wave impedences between low velocity layer and basalt layer. The crust of paleoisland-arc (Wuyi Mountain) expresses to be two layers, nowadays we have not received information about low velocity layer yet.

(3) In coast area the average P velocity of crust is about 6.32km/s, which is higher than one of other areas, hence it is considered to be corresponding to big relative thickness of basalt layer or a high proportion of ultrabasic rocks in the crust. This is the first characteristic of transitional crustal structure. The second is the thin crustal thickness, little velocity gradient with depth, low contrast of velocity from layer to layer and lacks low velocity layer generally. For the reasons above, there is the feature which expresses no fullness of crustal evolution and differentiation. Sometimes is difficult to distinguish Conrad surface in these areas.

(4) In the area of the eastern parts of Hunan Province, there is the crust of the type with rift valley during Mesozoic-Cenozoic. In which the Conrad surface is clear, and low velocity layer is lack. The depths of Conrad surface and Moho are shallow (16.8km and 28.6km respectively), and the P velocity on the top of mantle is merely 7.86km/s as well.