

中国大陆莫霍界面深度图^{*}

曾融生 孙为国 毛桐恩
林中洋 胡鸿翔 陈光英

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘 要

过去十年在中国大陆上已进行了数万公里的深地震测深(DSS)剖面工作, 取得了许多地壳构造的结果. 我们根据这些材料, 绘制了中国大陆莫霍界面深度图. 在缺少 DSS 资料的地区, 我们采用了天然地震面波及其它资料.

根据莫霍界面深度图, 中国大陆可以分为 8 个地壳块体, 块体内部的莫霍深度变化不大, 不同块体之间, 莫霍深度有很大变化.

本文对影响中国大陆不同地壳块体的莫霍界面深度的某些因素, 进行了初步探讨, 它对研究地壳演化的过程有重要意义.

主题词 莫霍界面; 地壳结构; 深地震测深; 中国大陆

引 言

近年来国际岩石圈计划强调莫霍界面深度图的重要性. 欧洲和北美洲的莫霍界面深度图已经发表(Meissner *et al.*, 1987; Mooney and Braile, 1989; Белоусов и Куний, 1988), 得到不少重要结果.

过去有人编制过中国大陆的莫霍界面图(殷秀华, 1980; 冯锐, 1985), 但是他们根据的资料主要是布格重力异常. 近十年来地矿部、国家地震局、中国科学院等单位在中国大陆已进行了数万公里的深地震测深(DSS)剖面工作, 取得许多地壳构造的结果. 1990 年以前 DSS 剖面的位置如图 1 所示, 剖面上的数字表示编图参考资料序号.

DSS 所得的莫霍界面深度是最可靠的. 在中国大陆上, DSS 记录中一般都出现很强的莫霍界面广角反射波 P_mP , 由它所得的莫霍界面深度误差约为 ± 1 km. 如果 P_mP 的走时曲线足够长, 也可测定地壳的平均速度. 如果 DSS 剖面的接收长度超过 160 km, 通常出现 Pn 震相, 由它也可求得莫霍界面深度和地幔顶部速度. 地幔顶部常常出现薄层, 其厚度自一二百米至一二公里不等. 在此情况下, Pn 在高速薄层中通过, 它所反映的是高速薄层的速度, 比实际地幔顶部的速度要高.

* 地震科学联合基金会资助项目. 国家地震局地球物理研究所论著 95A0076.
1994 年 5 月 3 日收到初稿, 1995 年 4 月 6 日收到修改稿并决定采用.

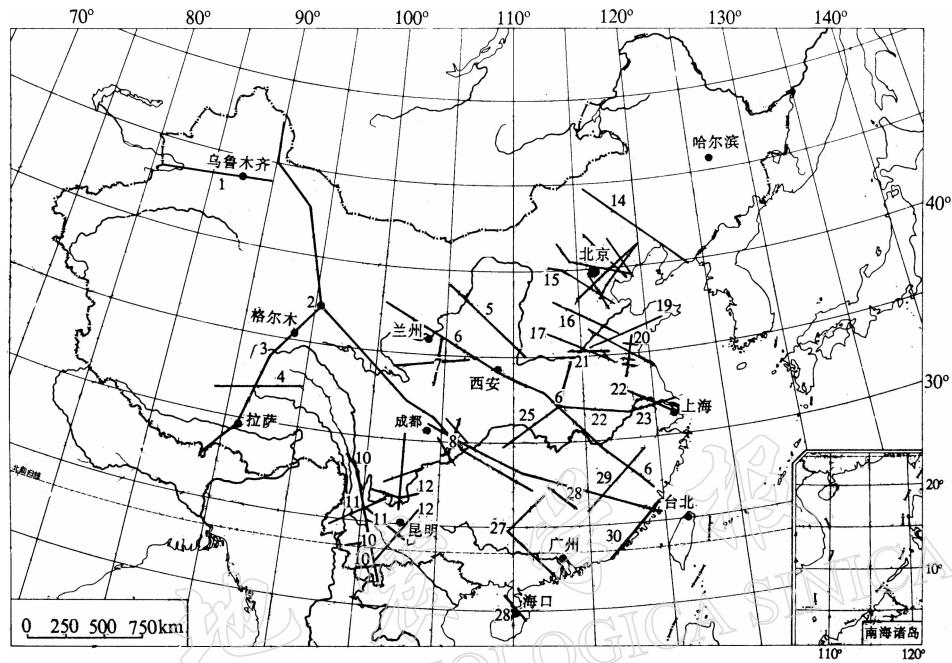


图 1 DSS 剖面位置

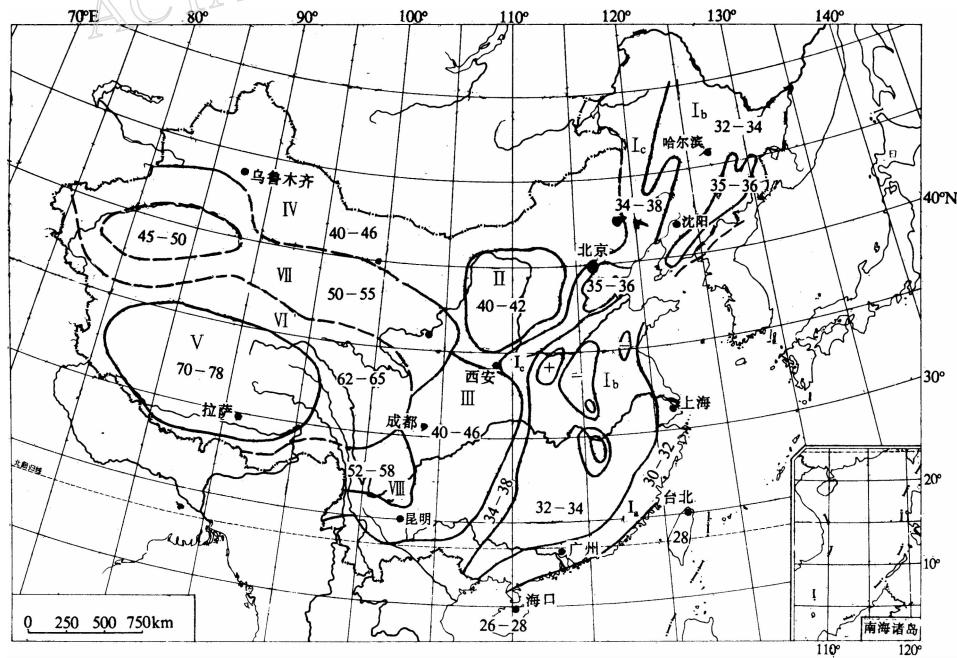


图 2 中国大陆莫霍界面深度图

DSS 所得地壳内部的分层是有争议的. 因为除了 P_mP 外, DSS 剖面的续至震相通常

不能在长距离中连续对比,不同炮点和地段的震相更不容易对比。地壳内部可能不存在完整的连续界面。

我们主要根据 1990 年以前的 DSS 结果编制中国大陆莫霍深度图(如图 2 所示)。西部地区参考了面波和其它地球物理资料。本图不用等值线,而用分区的办法,这样更容易和大的地质构造体相比较。

1 中国大陆内部的地壳块体

根据莫霍界面深度图,中国大陆可分为 8 个地壳块体,块体内部莫霍深度的变化不大,而不同块体之间,莫霍深度变化很大。

在中国地质构造中,中朝地台、扬子地台以及塔里木是 3 个最古老地台。中朝地台在中元古代早期(1.7×10^9 年前)固结,扬子地台及塔里木在晚元古代(7×10^8 年前)固结。根据最新古地磁资料,扬子地台在侏罗纪时和中朝地台相碰撞(马醒华、扬振宇,1993),秦岭是碰撞的产物。华南褶皱系及东南沿海褶皱系可能是外来地体,分别在加里东和华力西期间与扬子地台粘连在一起。

按照莫霍深度划分的块体其边界与地质构造边界不尽相同。中朝地台以及扬子地台的东部(图 2 中 I)其莫霍深度多为 32—34 km,形成一个地壳块体,我们称它为块体 I。中朝地台的西部称为块体 II,扬子地台西部称为块体 III。

1.1 块体 I

块体 I 包括华北平原和华南平原的东部,块体中央部份的莫霍深度为 32—34 km(图 2 中 I a)。华北平原与华南平原的分界不明显。秦岭的莫霍界面深度亦为 34 km 左右,没有东西走向的“山根”存在。块体内部有些莫霍凹陷和隆起,分别以—和+表示。较显著的凹陷如松辽盆地、华北盆地和江汉盆地,凹陷最大幅度为 3 km 左右。块体的西部北自太行山开始,南边至雪峰山为过渡带(图 2 中 I c),莫霍深度为 34—38 km,自东向西逐渐增大。

东南滨海地区的莫霍深度略小(图 2 中 I a),为 30—32 km。福建滨海地区的莫霍深度只有 30 km,台湾的莫霍深度为 28 km,海南岛为 26—28 km。

1.2 块体 II

块体 II 包括鄂尔多斯和汾渭河谷。东起太行山,西至银川-固原断裂带,北以燕山为界,南以西安-安阳为界。莫霍界面深度为 40—42 km。块体 II 与华北盆地同属中朝地台,而莫霍深度却有很大差别。

鄂尔多斯地台与汾渭河谷的莫霍深度无明显差异。

1.3 块体 III

块体 III 的莫霍深度为 40—46 km。东以鄂湘黔(慈利-大良-保镇)断裂为界,北与秦岭的南缘相接。它的西部边界是很特殊的。很多人认为,龙门山的重力强梯度表明地壳厚度自东向西急剧增大,但是 DSS 结果表明,龙门山和秦岭一样,没有“山根”。地壳厚度在阿坝-马尔康以西才骤然加大。所以取块体 III 的西部边界为北自阿坝-马尔康开始,向南为小江断裂。由于楚雄-下关以南的莫霍深度亦为 40—46 km,所以也包括在此块体内。块体 III 的莫霍界面深度为 52—58 km,明显比块体 II 大。澜沧江以南地区的莫霍

界面深度减小至 36—38 km, 所以不包括在块体Ⅲ中.

1.4 块体Ⅳ

此块体内没有 DSS 资料, 只能参考面波资料以及前苏联所制的欧亚莫霍深度图, 块体Ⅳ的莫霍深度为 40—46 km.

1.5 块体Ⅴ

块体Ⅴ位于青藏高原的主体, 其莫霍界面深度为 70—78 km, 它是大陆中最厚的地壳. 块体的边界主要根据地壳面波层析成像的结果(曾融生等, 1992). 块体Ⅴ北以班公—怒江缝合带为界, 南部延伸至雅鲁藏布以南, 东边约以林芝断裂的延线为界, 西边达到和田一带. 块体Ⅴ的范围与海拔 5 000 m 的高度范围以及布格重力异常 $\Delta g = -500 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的等值线均很相似(曾融生等, 1992).

1.6 块体Ⅵ

块体Ⅵ为西藏外缘地区, 其东界为阿坝、康定一线, 北部边界为昆仑山脉. 甘孜褶皱带, 理塘褶皱带以及三江褶皱带北段均包括在此块体内. 其莫霍面深度为 62—65 km.

1.7 块体Ⅶ

块体Ⅶ包括塔里木盆地、准噶尔盆地以及柴达木盆地等广阔领域. 整个块体的莫霍界面深度相当均匀, 除塔里木中央部份外, 莫霍界面深度均为 50—55 km.

1.8 块体Ⅷ

块体Ⅷ与攀西地区相当, 为扬子地台的一部分, 但是它的构造与扬子地台其它部分很不相同. DSS 结果表明, 它是一个厚度相当均匀的块体, 莫霍界面深度为 52—58 km. 攀西块体的地震活动性很强烈, 其深部构造和演化与扬子地台其它部分有明显差异.

2 影响莫霍深度的因素

影响莫霍深度的因素是很复杂的, 本文仅对其中的某些问题进行探讨.

2.1 西藏高原的莫霍深度

年青的高原, 其莫霍深度通常都很大, 如西藏高原, 阿尔卑斯皆是这样.

西藏高原是大陆中莫霍深度最大的地区. 自 50 百万年以来, 印度次大陆一直向北移动. 西藏高原的隆起以及地壳的增厚肯定是由于大陆碰撞以后, 印度地壳物质向西藏挤入引起的, 但是其详细过程尚未有定论. 根据近来沉积学及地质年代学的研究, 高原隆起与地壳增厚的速度随地区与年代而不同, 因此这种过程相当复杂.

西藏外围地区及攀西块体地壳的增厚(图 2 中的Ⅵ, Ⅷ), 可能也是受到大陆碰撞的影响.

2.2 前古生代地台的莫霍深度

古生代以前的地台, 其莫霍深度一般随年龄的增大而增厚. 中元古代以前的地台和地盾, 其莫霍深度大于 40 km(Meissner *et al.*, 1987). 中朝地台及扬子地台的西部(图 2 中的Ⅱ和Ⅲ)属于此种类型. 中朝地台的东部以及扬子地台的东部(图 2 中的Ⅰ), 莫霍的深度减小, 可能有其它的原因. 根据地震体波层析成像及地震探测(刘福田, 1986; 朱露培, 1990; 曾融生, 1991; Zeng, *et al.*, 1995), 在华北盆地的某些地区, 地幔顶部的高温

物质向地壳侵入, 它使地壳的温度增高, 从而可能导致莫霍深度减小, 扬子地台的滨海部份, 可能原来属于海洋大陆块体, 后来和大陆粘连, 海洋大陆的地壳厚度一般比较小.

2.3 无“山根”的山脉地带

秦岭以及龙门山均没有“山根”. 可以设想, 原来的“山根”已被重新改造. 秦岭地区的负布格重力异常可以用地壳中存在低密度物质来解释(根据周国藩的工作).

2.4 攀西的莫霍界面深度

有些地质学家认为, 攀西地区属于裂谷型构造. 裂谷型构造的地壳一般变薄, 但是攀西构造带的莫霍深度为 52—58 km, 它比川滇地区约大 10 km. 青藏高原物质的东流可能解释攀西构造带地壳增厚的原因(Zeng *et al.*, 1955).

参 考 文 献

- 冯锐, 1985, 中国地壳厚度及上地幔密度分布(三维重力反演结果). 地震学报, 7, 143—157.
- 刘福田、曲克信、吴华、李强、刘建华、胡戈, 1986. 华北地区的地震层析成像. 地球物理学报, 29, 424—449.
- 马醒华、杨振宇, 1993. 中国三大地块的碰撞并合与古欧亚大陆的重建. 地球物理学报, 36, 476—488.
- 曾融生、朱露培、何正勤、丁志峰、孙为国, 1991. 华北盆地的震源模式兼论强震以及盆地的成因. 地球物理学报, 34, 288—301.
- 曾融生、朱介寿、周兵、丁志峰, 何正勤、朱露培、骆循、孙为国, 1992. 西藏高原及其东部邻区的三维地震波速度结构与大陆碰撞模型. 地震学报, 14, 增刊, 523—533.
- 朱露培、曾融生、刘福田, 1990. 京津唐地区地壳上地幔三维 P 波速度结构. 地球物理学报, 33, 267—277.
- 殷秀华、史志宏、刘占坡、张玉梅, 1990. 中国大陆区域重力场的基本特征. 地震地质, 2, 4, 69—75.
- Белоусов, В. В., Куний, Н. Я., 1988. *Карта Рельефа Поверхности Мантии Евразии*. Министерства Геологии СССР.
- Meissner, R., Werer, T. and Fluck, E. R., 1987. The Moho in Europe-implication for crustal development. *Annales Geophys.*, 87(04B), 357—364.
- Mooney, W. D. and Braile, L. W., 1989. The seismic structure of the continental crust and upper mantle of North America. in *The Geology of North America*, Vol. A, *The Geology of North America-An overview*, 39—52. The Geological Society of America,
- Zeng, R. S., Wang, C. H., Zhang, D. N., 1995. On the dynamics of the extensional basin, submitted to *Pure Appl. Geophys.*, 145(No ¾).
- Zeng, R. S., Ding, Z. F., Wu. Q. J., 1995. A review on the lithospheric structures in Tibetan plateau and constraints for dynamics, submitted to *Pure Appl. Geophys.* 145(No ¾).

编图参考资料

- 1 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 新疆伊犁爆破. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 243—244. 地震出版社, 北京.
- 2 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 青海柴达木东盆地地壳构造. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 238—241. 地震出版社, 北京.
- 3 吴功建, 青藏高原亚东—格尔木地学断面. 地质学报, 4, 285—296.
- 4 崔作舟, 1990. 青藏高原地壳—上地幔速度结构和深部构造特征及其形成与演化.
- 5 孙武城, 1989. 郑州—银川剖面西段(运城—定边—阿拉善旗段).
- 6 林中洋、胡鸿翔等, 1989. 中国国际大断面 V 断面. 宁德(福建)—门源(青海)大剖面、随县—安阳剖面.
- 7 国家地震局兰州地震研究所, 1989. 天水地震区人工地震测深(8609)工程资料解释研究报告.
- 8 中国矿产部、地质科学研究院等, 1989. 阿尔泰—台湾剖面.
- 9 崔作舟, 1987. 攀西地区的深部地壳结构与构造. 地球物理学报, 30, 566—580.

- 10 林中洋、胡鸿翔, 1989. 滇西 86—87 工程资料处理总结报告. 国家地震局地球物理研究所.
- 11 胡鸿翔, 1986. 滇西地区地壳结构的爆破研究. 地球物理学报, **29**, 133—143.
- 12 熊绍柏, 1986. 攀西构造带南部地壳与上地幔结构的爆炸研究. 地球物理学报, **29**, 235—244.
- 13 颜其中, 1985. 云南省思茅—马龙剖面的地壳结构(英文). 地震研究, **8**, 249—280.
- 14 卢造勋, 1988. 爆破地震研究辽南地震地壳与上地幔结构的初步结果. 中国大陆深部构造的研究与进展, 114—128. 地质出版社, 北京.
- 15 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 海兴—雄县—阳原—丰镇剖面. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 74—103. 地震出版社, 北京.
- 16 滕吉文等, 1975. 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, **18**, 196—207.
- 17 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 菏泽—林县—长治剖面. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 333—340. 地震出版社, 北京.
- 18 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 连云港—临沂—泗水剖面. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 243—244. 地震出版社, 北京.
- 19 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 黑旺爆破观测. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 340—343. 地震出版社, 北京.
- 20 张碧秀, 山东南部宿迁—高桥测深研究.
- 21 李学清, 1989. 用人工地震资料确定林县—平邑剖面的二维速度结构. 国家地震局地球物理研究所硕士毕业论文.
- 22 江苏省地震局深部构造组, 1986. 下杨子地区 HQ-13 测线人工地震测深成果报告.
- 23 滕吉文, 1989. 中国东部马鞍山地带地壳与上地幔结构及郯庐构造带南段的某些特征. 地球物理学报, **32**, 648—659.
- 24 郑晔, 1989. 随县—马鞍山地带地壳与上地幔结构及郯庐构造带南段的某些特征. 地球物理学报, **32**, 648—659.
- 25 胡鸿翔, 1988. 豫、鄂、陕地区地壳构造的差异. 中国大陆深部构造的研究与进展, 180—191. 地质出版社, 北京.
- 26 李运祓, 1988. 棋梓桥爆破地震观测及其初步结果. 中国大陆深部构造的研究与进展, 192—204. 地质出版社, 北京.
- 27 章惠芳, 1988. 广西柳州爆破观测和桂东地区地壳结构. 中国大陆深部构造的研究与进展, 246—266. 地质出版社, 北京.
- 28 林中洋, 1988. 雷琼地区地壳结构研究的初步结果. 海南岛北部地震研究文集, 127—139. 地震出版社, 北京.
- 29 国家地震局永平爆破联合观测小组, 1988. 永平爆破与我国东南地区深构造的初步研究. 中国大陆深部构造的研究与进展, 140—153. 地质出版社, 北京.
- 30 廖其林, 1988. 泉州—汕头地区地壳及上地幔速度结构的初步研究. 中国大陆深部构造的研究与进展, 227—235. 地质出版社, 北京.
- 31 卢造勋, 1983. 东北地区的深部构造与地震. 长春地质学院学报, **1**, 113—121.
- 32 陈步云, 1988. 对华中、华东地区莫霍界面形状的初步研究. 中国大陆深部构造的研究与进展. 地质出版社, 北京.
- 33 王周元, 1989. 南北地震带北段上地幔地震波速度构造成像——3. 应用和结果. 利用地震资料进行兰州地区莫氏面成像. 兰州地震研究与内部文献.
- 34 国家地震局地球物理勘探大队, 1989. 京津唐地震预报试验场地壳深部探测研究成果, 北京.
- 35 国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986. 甘肃及邻近地区的地壳厚度. 中国地壳上地幔地球物理探测成果, 247—250. 地震出版社, 北京.
- 36 廖其林, 1989. 华南 M 面分布图,