

中国大陆主要成矿域地壳上地幔结构

Structures of Crust and Upper Mantle in China

彭 聪

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

Peng Cong

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

摘 要 汇集中国大陆天然地震层析资料,给出中国大陆及其邻近海域地壳厚度、岩石圈厚度和岩石圈地幔厚度及速度结构。中国大陆地壳厚度东薄西厚,自东向西呈 3 个台阶。以南北带为界,中国大陆岩石圈划分为东西两个基本单元。西部和东部的华南岩石圈厚。东部的东北、华北和邻近海域岩石圈薄。以南北带为界,中国大陆岩石圈地幔划分为东西两个基本单元。西部和东部的华南为高速厚幔区。东部的东北、华北和邻近海域为低速薄幔区。

关键词 成矿域 地壳 岩石圈 岩石圈地幔 厚度 地震波速度 中国大陆及邻近海域

对于地表之下地质情况的了解,除了钻孔和一些来自地球深部捕虏体提供的矿物信息之外,主要是地球物理测量获得的信息。它包括重力、磁力、地震、大地电磁、大地热流等测量方法。对上地幔的了解主要靠天然地震层析成像给出其速度结构。根据速度结构分析,又可以获得地壳、岩石圈的厚度变化。目前天然地震是探测地球内部上地幔结构的最经济方法。目前利用天然地震层析成像方法已经获得中国大陆深达上千公里的地壳上地幔速度结构图像。

地壳上地幔包括地壳、岩石圈地幔和软流圈。岩石圈地幔位于岩石圈底部,是在称之为软流圈的上地幔塑性层圈之上的高速、高密度的刚性层圈。岩石圈地幔的增厚与减薄影响到地壳的地质活动,包括地震与火山,地壳的抬升与沉降。软流圈上部的速度低于岩石圈地幔。在运动学上,板块的汇聚作用、挤入作用、弧后扩张作用,以及造山环带的收缩作用之间的相互联系可能只有通过相关的软流圈来实现。位于俯冲岩石圈板片之上的软流圈呈蘑菇状,其流变学和密度差异所产生的力在浅部能够驱使山脉的运动。

中国大陆主要成矿域地壳上地幔三维速度结构研究是成矿系列与地球物理研究的首次结合。汇集了天然地震资料(安昌强等,1993;陈国英等,1991;陈立华等,1992;宋仲和等,1991,1992;庄真等,1992),给出中国大陆主要成矿域地壳上地幔三维速度分层结构模型,根据各层的厚度和地震波速度差异,揭示出主要成矿域地壳上地幔速度结构的主要特征和勾绘出主要框架。

本论文将给出中国大陆及其邻近海域地壳厚度、岩石圈厚度和岩石圈地幔厚度及速度结构。随着新研究资料的不断增加和解释水平的不断提高,本项研究在我以前的研究工作基础上(彭聪等,2000)有了很大的创新,地球物理与大地构造及成矿作用研究更密切地结合,使地球物理解释结果更趋合理。因本研究工作为地球物理和成矿系列研究的首次合作,故以中国大陆主要成矿域为单元简述,给出成矿系列的深部地球物理背景。

1 中国大陆主要成矿域地壳厚度

中国大陆地域广阔,横跨古亚洲、特提斯和滨西太平洋 3 大成矿域,中国大陆内部又有秦-祁-昆和前寒武纪成矿域叠加之上,地壳结构复杂。近 2 亿年间的大陆演化史可以按岩石圈板块相互作用的框架得到确立。大陆演化的地球动力学过程不仅发生在整个岩石圈尺度,它深达上地幔内部数百公里。地震资料显示了各大成矿域地壳上地幔构造的现今赋存状态。

中国大陆地壳厚度变化很大,东薄西厚,变化范围在 30~70 km 之间。大致分 3 个台阶。第一个台阶地壳最薄,位于大兴安岭-太行山重力梯级带以东地区,包括古亚洲成矿域和滨西太平洋成矿域在大兴安岭-太行山重力梯级带以东的地区。地壳厚度 30 km 左右,为世界地壳平均值。第二个台阶,位于大兴安岭-太行山重力梯级带和青藏高原周边重力梯级带之间,包括古亚洲成矿域和滨西太平洋成矿域在大兴安岭-太行山重力梯级带以西地区,地壳厚度 40~50 km。第三个台阶为世界屋脊青藏高原,对应整个特提斯成矿域,地壳厚度大于 70 km,具有中国大陆东部地壳厚度的双倍。中国大陆邻近海域地壳厚度 20~30 km。中国大陆北面邻近的蒙古国地壳厚度 36~48 km。

为了将地壳厚度和成矿域直接对比,中国大陆主要成矿域地壳厚度以成矿域为单元简述如下(中国大陆主要成矿域地壳速度结构将以论文形式发表在明年的《矿床地质》上)。

(1) 古亚洲成矿域地壳厚度。古亚洲成矿域由 7 个成矿省组成。每个成矿省又分为数个 级成矿区(带)。成矿省之间地壳厚度和速度结构存在很大差异,但是成矿省内几个 级成矿区的地壳厚度和速度结构比较相近(图 1)。

吉黑成矿省地壳厚度是 32~38 km。兴安岭成矿省地壳厚度在 35~40 km 之间变化。东天山-北山成矿省、阿尔泰成矿省和北疆成矿省地壳厚度 48~50 km。西天山成矿省为双层地壳结构,地壳厚度 50~58 km。西昆仑成矿省为 3 层地壳结构,地壳厚度 58~71 km。

(2) 秦-祁-昆成矿域地壳厚度。秦-祁-昆成矿域由 3 个成矿省组成,贯穿中国大陆东西部。地壳厚度东薄西厚。秦岭-大别成矿省地壳厚度 34~36 km。祁连成矿省地壳厚度 62~73 km。东昆仑成矿省的拉鸡山成矿带紧挨着祁连成矿省,地壳结构和它相近,地壳厚度 70 km。柴达木成矿区和东昆仑成矿带的下地壳减薄使整个地壳变薄,地壳厚度 52~54 km。

(3) 特提斯成矿域地壳厚度。位于青藏高原的特提斯成矿域以巨厚的地壳为特征。地壳厚度达到了 60~84 km。地壳明显分成东北部和西南部两种结构。东北部包括三江成矿省、松潘-甘孜成矿省和藏北成矿省的措勤-念青唐古拉山成矿带。西南部包括藏北成矿省的冈底斯山、斑公错、雅鲁藏布江上游成矿带和藏南成矿省。三江成矿省地壳厚度 60 km。松潘-甘孜成矿省和藏北成矿省的措勤-念青唐古拉山成矿带地壳厚度 63~79 km。藏北成矿省的冈底斯山、尼玛-斑公错、雅鲁藏布江上游等 3 个成矿带和藏南成矿省地壳结构比较复杂,地壳厚度 73~84 km。

(4) 滨西太平洋成矿域地壳厚度。滨西太平洋成矿域覆盖了整个中国东部九个成矿省。

靠近滨西太平洋成矿域西缘的华北陆块西段、龙门山-神农架、扬子地台西缘等 3 个成矿区(带)地壳厚度 48~55 km。东部各成矿省地壳厚度减薄为 30 km 左右。

(5) 前寒武纪成矿域地壳厚度。前寒武纪成矿域除了塔里木准地台和阿拉善成矿区外,其余部分和滨西太平洋成矿域的华北地台北缘、华北准地台、下扬子、上扬子、华南成矿省和秦岭-大别成矿省的柴达木成矿区重叠。阿拉善成矿区地壳厚度为 55 km。

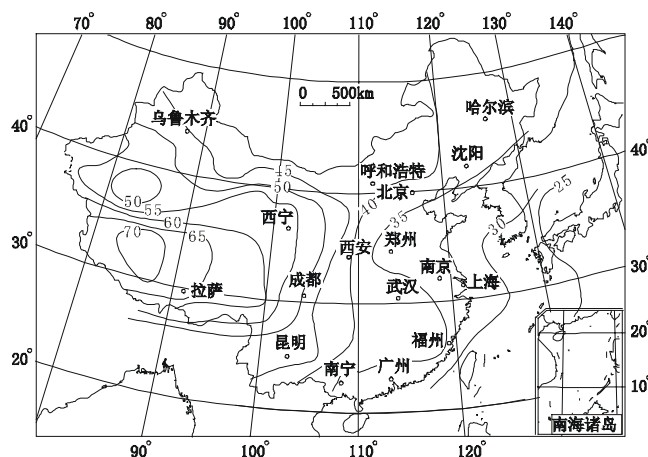


图 1 中国大陆及其邻近海域地壳厚度图

(单位: km, 由剪切波 V_s 得出)

2 中国大陆及其邻近海域岩石圈厚度

中国大陆岩石圈大致可以分为 9 个主要单元,包括东北、华北、扬子、华南、阿尔泰、准噶尔、天山、塔里木、青藏高原。它们彼此相互运动,其相互作用和变形作用主要发生在各板块的周边。根据对地震面波的分析,给出中国大陆及其邻近海域岩石圈等厚度图(图 2)。该图显示出中国大陆及其邻近海域岩石圈厚度变化相当大。

以南北带为界,中国大陆岩石圈大致可划分为东西两个基本单元。中国西部具有厚的岩石圈,达到 90~125 km。中国东部岩石圈又可以分为 3 个区域。包括东北、华北和华南,其岩石圈厚度分别为 80~90、70 和 80~110 km。南北带为岩石圈厚度减薄带,仅为 70 km。中国东部邻近海域岩石圈厚度比大陆薄,为 50~60 km。

3 中国大陆及其邻近海域岩石圈地幔厚度及速度结构

地壳下方的岩石圈地幔(图 3)是岩石圈中最坚硬的部分,是地幔上方的地震高速带,平均密度为 3.30 g/cm^3 ,强度大粘度也大,因而也是岩石圈板块的主要应力导向带。岩石圈地

幔厚度的变化可反映出构造的活动性及发展过程。在碰撞阶段,岩石圈会聚加厚。加厚的岩石圈地幔(岩石圈根)呈向下的拉力,在地壳上层形成挤压应力。岩石圈根的特征是具有相对高的地震波速度、高密度和低的温度。年轻的火山岩区与岩石圈地幔减薄有关。但增厚的岩石圈根并不稳定,在碰撞后期会与上覆岩石圈分离,沉入地幔,使岩石圈减薄,并诱发壳/幔、岩石圈/软流圈物质相互作用。

岩石圈地幔具有较高的剪切波速度,在中国大陆及其邻近海域,一般在 $4.20 \sim 4.70 \text{ km/s}$ 之间变化。岩石圈地幔比下面的软流圈更为刚性,并且随着所涉及的应力大小以及随我们考虑的时间尺度和空间范围而改变。地震剪切波速度给我们提供了关于中国大陆岩石圈地幔的弹性,特别是它的厚度和刚性方面的特征。岩石圈地幔的厚度越薄或刚性越小因而越柔软,它经历的变形作用将会越强。

中国大陆岩石圈地幔和邻近海域岩石圈地幔具有明显的差别。邻近海域岩石圈地幔厚度 $20 \sim 30 \text{ km}$,波速为 $4.20 \sim 4.40 \text{ km/s}$ 。中国大陆内部岩石圈地幔厚度 $20 \sim 70 \text{ km}$,波速为 $4.20 \sim 4.70 \text{ km/s}$ 。两者之间的界线大致在琉球群岛一线。

根据岩石圈地幔剪切波三维速度结构的整体性和速度差异,以南北带为界,中国大陆岩石圈地幔大致可划分为东西两个区域。中国西部包括特提斯成矿域和前寒武纪塔里木盆地叠加其上的古亚洲成矿域西部成矿省,属于高速厚幔区,波速为 $4.40 \sim 4.70 \text{ km/s}$,岩石圈地幔厚度为 $50 \sim 70 \text{ km}$ 。中国东部为滨西太平洋成矿域,古亚洲、前寒武纪和秦祁昆等成矿域的东部成矿省叠加其上。岩石圈地幔更为复杂。吉黑成矿省和兴安成矿省岩石圈地幔厚度为 $40 \sim 50 \text{ km}$;兴安成矿省波速较高,为 $4.30 \sim 4.70 \text{ km/s}$;吉黑成矿省波速较低,为 $4.20 \sim 4.40 \text{ km/s}$ 。华北地台北缘和华北准地台成矿省岩石圈地幔厚度较薄,为 $30 \sim 40 \text{ km}$,波速为 $4.20 \sim 4.50 \text{ km/s}$ 。秦祁昆等成矿域的东部成矿省岩石圈地幔厚度 $40 \sim 50 \text{ km}$,波速为 $4.30 \sim 4.40 \text{ km/s}$ 。上、下扬子成矿省岩石圈地幔厚度较大,为 $40 \sim 70 \text{ km}$;波速为 $4.30 \sim 4.60 \text{ km/s}$ 。华南和东南沿海成矿省岩石圈地幔厚度 $30 \sim 60 \text{ km}$,波速较高为 $4.30 \sim 4.70 \text{ km/s}$ 。南北带(东经 102° 附近)为低速薄幔带,厚度为 $20 \sim 40 \text{ km}$,波速为 $4.30 \sim 4.50 \text{ km/s}$ 。

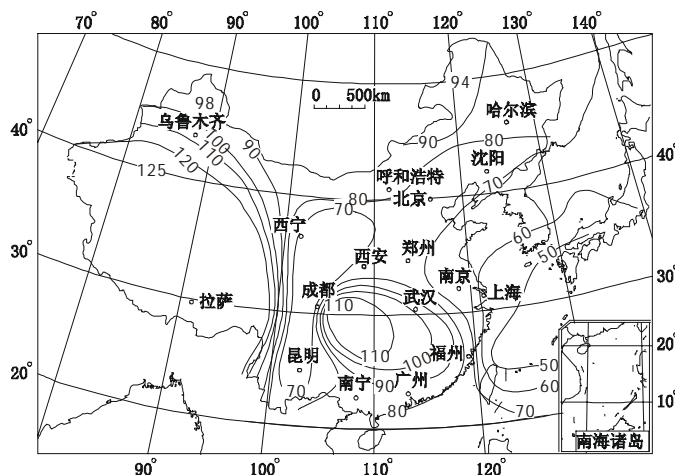


图 2 中国大陆及其邻近海域岩石圈厚度图

(单位: km, 由剪切波 V_s 得出)

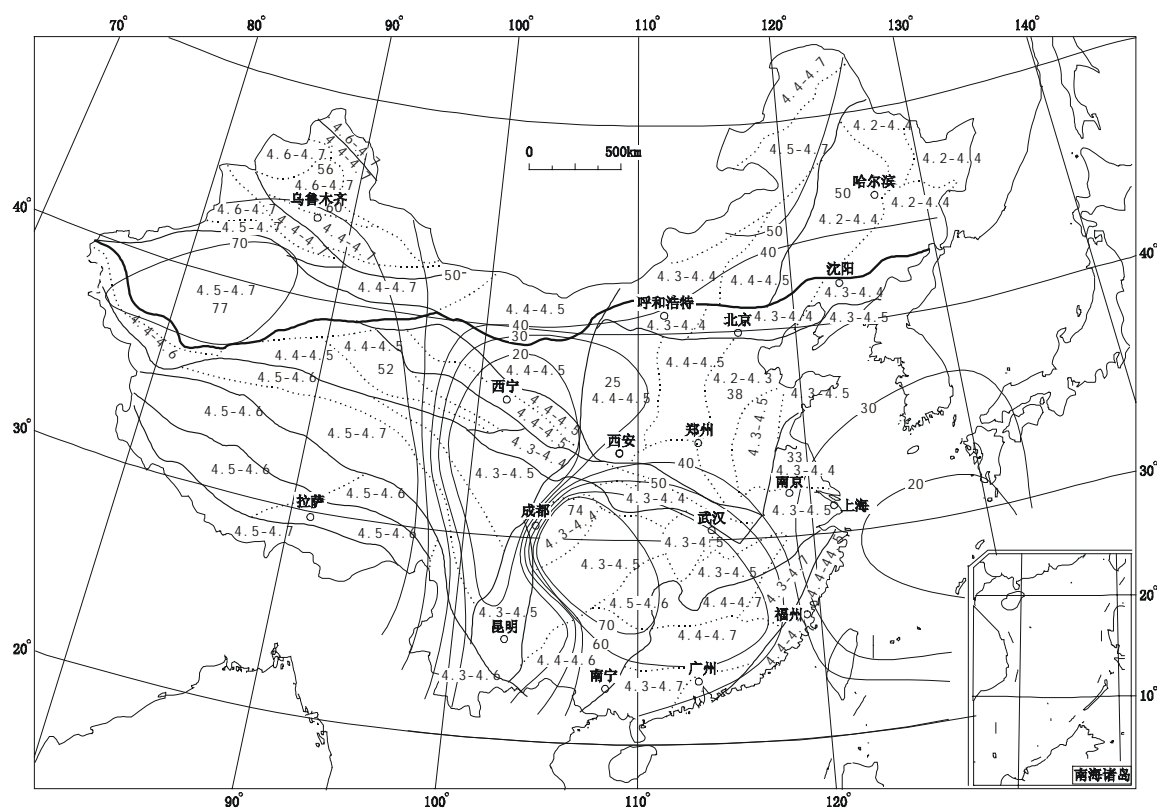


图 3 中国大陆及其邻近海域岩石圈地幔厚度及剪切波速度分布图

(厚度单位: km, 速度单位: km/s, 由剪切波 V_s 得出)

参 考 文 献

- 安昌强, 宋仲和, 陈国英, 等. 1993. 中国西北地区剪切波三维速度结构. 地球物理学报, 36 (3), 317 ~ 325.
- 陈国英, 宋仲和, 安昌强, 等. 1991. 华北地区三维地壳上地幔结构. 地球物理学报, 34 (2), 172 ~ 181.
- 陈立华, 宋仲和, 安昌强, 等. 1992. 中国南北带地壳上地幔三维面波速度结构和各向异性. 地球物理学报, 35 (5): 574 ~ 583.
- 彭聪, 高锐. 2000. 中国大陆及邻近海域岩石圈/软流圈结构横向变化研究. 北京: 地震出版社.
- 宋仲和, 安昌强, 陈国英, 等. 1991. 中国西部三维速度结构及其各向异性. 地球物理学报, 34 (6): 694 ~ 707.
- 宋仲和, 陈国英, 安昌强, 等. 1992. 中国东部及其相邻海域 S 波三维速度结构. 地球物理学报, 35 (3): 316 ~ 330.
- 庄真, 傅竹武, 吕梓龄, 等. 1992. 青藏高原及邻近地区地壳与上地幔剪切波三维速度结构. 地球物理学报, 35 (6): 694 ~ 709.