

文章编号 1001-8166(2004)03-0387-06

欧亚大陆及西太平洋边缘海岩石圈结构

朱介寿,曹家敏,蔡学林,严忠琼
(成都理工大学 四川 成都 610059)

摘 要 根据欧亚大陆及西太平洋地区天然地震、人工地震及其他地质资料,采用多学科多手段进行综合反演,建立欧亚大陆及西太平洋边缘海岩石圈模型,对欧亚大陆及西太平洋边缘海岩石圈软流圈结构进行研究。探讨欧亚大陆及西太平洋边缘海板块结构及深部动力学问题。

关键词 欧亚大陆,西太平洋边缘海,岩石圈结构模型,地球深部动力学
中图分类号 P31 **文献标识码** A

0 引 言

欧亚大陆及其相邻的西太平洋边缘海有着世界上最复杂的地形地貌,这里现有全球面积最大的东欧平原和西西伯利亚平原,也有规模最大、时代最新的阿尔卑斯—扎格罗斯—喜马拉雅新生代造山带。全球地表最高点(珠穆朗玛峰 $8\ 848\ \text{m}$)及海底最低点(马尔亚纳海沟, $-11\ 020\ \text{m}$)都在这一区域内。欧亚板块是由多个块体及微板块拼合而成,内部结构复杂,岩石圈横向不均匀性显著,地壳厚度从数公里变化到 $70\sim 80\ \text{km}$,岩石圈厚度则从 $50\ \text{km}$ 变化到 $200\ \text{km}$ 以上。这里既有地球上最古老的前寒武纪地盾区,也有面积巨大的克拉通地台,这一地球上最大的大陆块,经历了漫长而复杂的地质演化,在新生代完成最后拼合,成为全球规模最大的岩石圈板块。全球 80% 的边缘海都集中于西太平洋,它有着全球规模最大最发育的沟弧盆体系(图 1)。

欧亚大陆中南部及西太平洋边缘海是晚古生代(约 $250\sim 220\ \text{Ma BP}$)以来由多个较小的板块或地块汇聚形成的。自中生代($150\ \text{Ma BP}$)以来,亚洲东部岩石圈拉张解体,上地幔软流圈物质上涌,火山岩浆活动强烈,这一大规模热事件引起巨大的构造

与岩浆活动,岩石圈由原来的 $150\sim 200\ \text{km}$ 减薄到 $50\sim 70\ \text{km}$,形成欧亚大陆东部大陆裂谷系。

古新世(约 $55\ \text{Ma BP}$)印度大陆与欧亚大陆的碰撞,引起青藏高原缩短($2\ 500\ \text{km}$)及隆升($5\ 000\ \text{m}$)。印度岩石圈板片的大规模俯冲与拆沉,在青藏高原以及中亚地区岩石圈叠加增厚,形成了现今地球上最高的青藏及帕米尔高原和喜马拉雅、兴都库什造山带,在地壳内由于大规模的楔入及层间滑脱,使地壳加厚并升温,发生部分熔融及流变。

在中新世(约 $15\sim 20\ \text{Ma BP}$)由于欧亚大陆受印度板块继续向北及北北东方向推挤,欧亚大陆向东运移,太平洋板块向西扩张俯冲,大陆东部岩石圈由扩张转为挤压,形成沟弧盆体系,在西太平洋出现一系列边缘海。

欧亚大陆西部是研究大陆构造演化的最理想地区,从斯堪的纳维亚半岛最古老的波罗的前寒武纪地盾到现代地中海活动区都非常发育。欧洲中部和北部通过乌拉尔造山带与亚洲大陆相联接,而南部则通过地中海、阿尔卑斯造山带与亚洲扎格罗斯造山带,喜马拉雅造山带相联系,构成全球最大最活跃的阿尔卑斯—喜马拉雅—缅甸—苏门答腊—印度尼西亚新构造活动带,地震及火山活动十分强烈。

收稿日期 2004-04-05,修回日期 2004-04-21.

* 基金项目 国家自然科学基金重点项目“中国及邻区地球内部各圈层三维结构及现代动力学研究”和“东亚西太平洋边缘海岩石圈软流圈细结构及深部过程研究”(编号 49734105,40234047),油气藏地质及开发工程国家重点实验室资助.

作者简介 朱介寿(1936-),男,江苏南京人,教授,博士生导师,主要从事理论地球物理学及勘探地球物理研究及教学工作.
E-mail: zhujies@cdut.edu.cn.

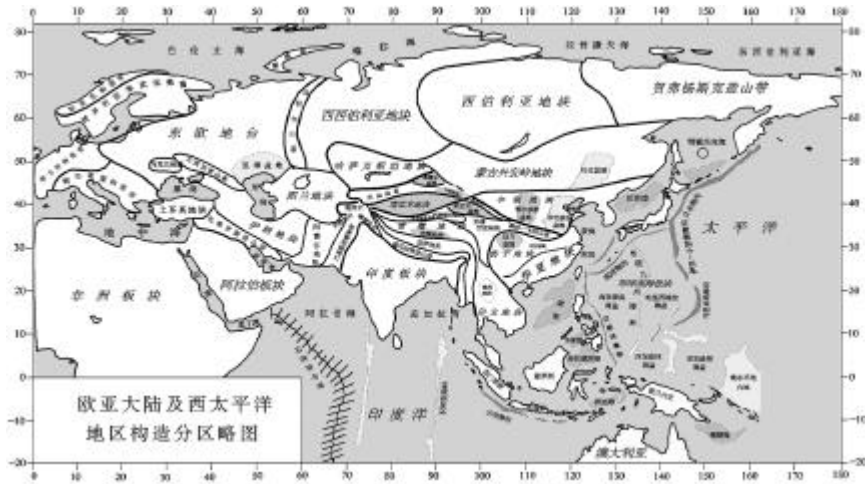


图 1 欧亚及西太平洋地区构造分区简图

Fig 1 The sketch tectonic map of Eurasian and west Pacific

以上是欧亚大陆及西太平洋边缘海岩石圈的基本构造格局。由于漫长的地质演化历史,有关板块构造特征都可以在这里得到研究。

1 岩石圈模型的建立

目前有关岩石圈结构的信息主要来源于地震波探测 特别是来自地震层析成像的研究。人工地震反射法或折射法虽然精确,但很难达到岩石圈底部。用地震体波对岩石圈成像,仅在海洋板块俯冲带可以获得较好的结果。对于上地幔数十以至数百公里横向不均匀性的研究,主要还是来自瑞利面波和勒夫面波的资料。这是因为面波在一定周期的传播速度(相速度或群速度)主要取决于地球上层弹性层的纵向厚度(即岩石圈的厚度),而不是取决于速度随深度的变化。因此,利用面波研究岩石圈板块的厚度及其横向变化,是目前最常用和最有效的手段。在过去 30 多年内,地球科学家致力于地球岩石圈/软流圈的研究已经取得了若干重要成果。其中特别是利用地震波对地球内部的三维层析成像建立的全球性或区域性的三维速度模型,对了解岩石圈/软流圈的横向变化,大陆造山带、裂谷或盆地及边缘海的地球深部结构及动力过程,分析板块俯冲带及碰撞带的相互作用,建立地幔对流模型均起了很大作用。

亚洲大陆有世界上最丰富多彩的地质构造单元,青藏高原是特提斯构造域发育最完整的一段,东部是研究太平洋板块对亚洲板块作用最好地段,具

有古亚洲构造域不同时期的大陆增生带。这种环境对研究岩石圈结构具有重要的典型意义。朱介寿等^[1,2]对东亚及西太平洋地区天然地震和人工地震进行了系统的研究,建立了这一地区的岩石圈三维结构。

欧洲地学断面 EGT^[3]计划的完成,为我们提供了一个探测地球岩石圈/软流圈的内部结构范例。EGT 进行了 6 个长度超过 1 500 km 的人工地震实验。其中 FENNOLORA 剖面具有足够的长度和丰富的内容,细致地描绘出了岩石圈下部结构。实际上,该剖面甚至可以填绘出上地幔至 450 km 深度的地质结构。近年来开展的欧洲大陆桥计划 EURO-BRIDGE^[6,7]对于研究北欧地盾和东欧地台岩石圈结构作出了重要贡献。

Panza 等对长周期地震仪上群速度和相速度得到的瑞利波进行了反演分析,欧洲大陆岩石圈厚度可从数十公里变到逾 200 km。下部岩石圈 S 波速度值介于 4.2 ~4.8 km/s 之间,一般为 4.4 km/s 到 4.5 km/s,而软流圈的 S 波速度大都位于 4.2 ~4.4 km/s 之间。Du 等^[4]发表欧洲三维地震模型,给出欧洲地区莫霍界面及岩石圈厚度图^[5]。

为了系统地研究欧亚大陆及西太平洋的岩石圈结构,本文进行了以下研究工作:

(1) 人工地震测深剖面研究。对欧亚及西太平洋地区 108 条总长 78 048 km 的地学断面人工地震测深剖面和单一人工地震测深剖面地壳及上地幔顶

部结构基本数据进行了系统采集。结合地震—重力反演等资料和数据,获得中国及邻近地区 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ($60^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$, $10^{\circ} \text{S} \sim 60^{\circ} \text{N}$) 网格结点 3 590 个地壳基本数据,编制出中国及邻近陆海精细地壳厚度图。进一步获得 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ($0^{\circ} \sim 180^{\circ} \text{E}$, $10^{\circ} \text{S} \sim 84^{\circ} \text{N}$) 网络结点 3 524 个地壳基本数据,在此基础上,初步建立起亚欧及西太平洋地区 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 地壳三维速度结构模型,编制出该区地壳厚度(莫霍界面深度图)和地壳平均速度(V_p)分布图。

(2) 天然地震面波层析成像研究。通过对亚欧及西太平洋地区($10^{\circ} \sim 170^{\circ} \text{E}$, $10^{\circ} \text{S} \sim 80^{\circ} \text{N}$)天然地震面波层析成像^[1,9-13],对 V_s 速度结构进行三维反演,建立了该区从 0 ~ 430 km 不同深度 V_s 速度分布图,这项研究为研究亚欧及西太平洋地区岩石圈、软流圈结构及动力学提供了重要依据。

利用上述成果,建立了欧亚大陆及西太平洋地区地壳厚度及岩石圈厚度数据库,给出了地壳厚度图(图 2)及岩石圈厚度图(图 3)。

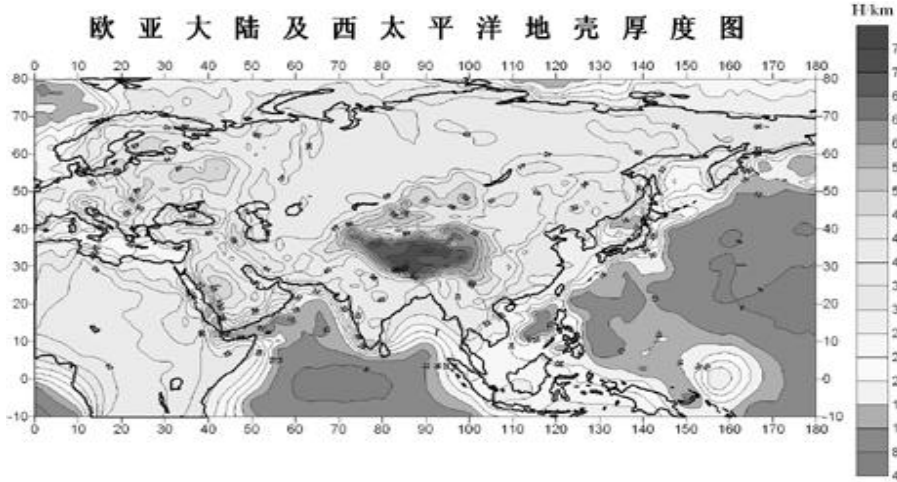


图 2 欧亚大陆及西太平洋地区地壳厚度图

Fig 2 The crustal thickness of Eurasia and west Pacific area

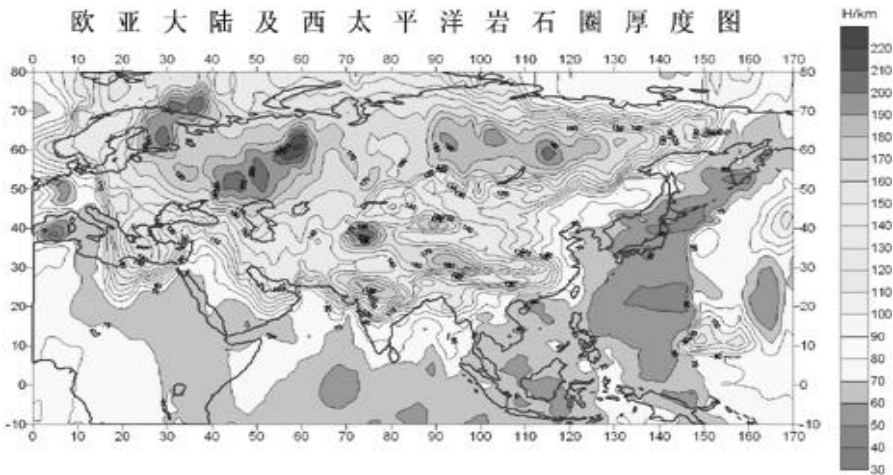


图 3 欧亚大陆及西太平洋地区岩石圈厚度图

Fig 3 The lithospheric thickness of Eurasia and west Pacific area

2 地壳及岩石圈结构特征

由地壳厚度图及岩石圈厚度分布图可以看出, 无论地壳及岩石圈在大陆地区均较海洋地区厚。由此可以由岩石圈厚度图勾画出海陆边界, 一般说来, 地壳厚的地区岩石圈也较厚。但二者关系复杂, 并无明显的相关性。

欧亚大陆岩石圈最厚的地区分布于北部几个巨大古老的地质及地台, 即波罗的地质(200~210 km) 东欧地台(190~200 km) 西伯利亚地台(180~190 km) 西西伯利亚地台(160~170 km), 这些都是地球上前寒武纪形成的最主要的古老陆块, 在以后的地质年代里作为整体在地球表面漂移, 岩石圈内部无强烈的构造变形。

欧亚大陆岩石圈另一较厚区域是东亚及中亚地区, 这是由于印度板块快速向北漂移, 与欧亚大陆发生陆陆碰撞, 造成以塔里木地块、扬子地块、拉萨地块、印度北部地块以及准噶尔地块、吐哈及阿拉善等地块强烈挤压拼合, 形成中亚及东亚岩石圈增厚区, 其厚度为 140~190 km。岩石圈增厚带还出现于地

中海东部的爱琴海一带, 这里是非洲板块与欧亚板块发生碰撞部位, 厚度达 150 km。

岩石圈的减薄区主要位于大陆边缘及裂谷区, 特别是西太平洋一系列边缘海, 红海亚丁湾等。东亚的华北及华南也是岩石圈减薄区。欧亚的华力西构造带, 阿尔卑斯构造带西部, 及地中海西部也属于岩石圈减薄区。

欧亚大陆的地壳厚度分布则是另外一种格式, 其最厚部分与新生代大陆块体碰撞变形有密切关系。欧亚大陆地壳增厚与印度板块和欧亚大陆碰撞有密切关系, 地壳最厚处以青藏高原为中心, 向中亚以及兴蒙地块、贝加尔地区、东北亚延长的三角地带范围内, 其最深处可达 76~80 km, 边缘区可达 40~44 km。

地壳另一增厚区为欧洲地区(包括波罗的地质、东欧地台)。南亚及阿拉伯板块, 厚度为 44~50 km 左右。而西伯利亚及西西伯利亚地台地壳平均厚度为 36~40 km, 且在大面积内厚度无变化。地壳减薄区出现于西太平洋边缘海及裂谷区, 厚度仅数公里到十余公里。

表 1 欧亚大陆及西太平洋地区地壳厚度及岩石圈厚度统计表

Table 1 Tables of thickness of crust and lithosphere in Eurasia and west Pacific

| 构造单元名称 | 地壳厚度 (km) | 岩石圈厚度 (km) | 构造单元名称 | 地壳厚度 (km) | 岩石圈厚度 (km) |
|----------|--------------|---------------|---------|--------------|---------------|
| 西伯利亚地块 | 40 | 185 | 南海 | 19 | 64 |
| 贺弗杨斯克造山带 | 34 | 100 | 苏禄海 | 20 | 65 |
| 西西伯利亚地块 | 38 | 162 | 苏拉威西海 | 20 | 67 |
| 哈萨克斯坦地块 | 42 | 160 | 班达海 | 18 | 72 |
| 印度板块北部 | 39 | 170 | 菲律宾海板块 | 12 | 55 |
| 印度板块南部 | 40 | 120 | 西太平洋板块 | 8 | 100 |
| 塔里木地块 | 48 | 186 | 翁东瓜哇台地 | 28 | 110 |
| 青藏地块 | 64 | 164 | 东加洛林海盆 | 16 | 80 |
| 青藏地块东北部 | 60 | 140 | 西加洛林海盆 | 12 | 55 |
| 青藏地块东部 | 64 | 170 | 东欧地块 | 50 | 200 |
| 青藏地块中部 | 68 | 166 | 波罗的地质 | 50 | 210 |
| 青藏地块西部 | 62 | 182 | 华力西构造带 | 40 | 100 |
| 华北地块西部 | 42 | 112 | 阿尔卑斯构造带 | 24 | 130 |
| 华北地块东部 | 32 | 73 | 地中海西部 | 24 | 80 |
| 兴蒙地块中部 | 48 | 140 | 地中海东部 | 28 | 160 |
| 兴蒙地块西部 | 47 | 127 | 图兰地块 | 40 | 160 |
| 兴蒙地块东部 | 35 | 98 | 里海盆地 | 36 | 160 |
| 上扬子地块 | 45 | 180 | 伊朗地块 | 44 | 146 |
| 下扬子地块 | 32 | 90 | 土耳其地块 | 40 | 120 |
| 华夏地块 | 32 | 80 | 阿拉伯板块 | 50 | 80 |
| 印支地块北部 | 40 | 115 | 阿拉伯海 | 12 | 70 |
| 印支地块南部 | 33 | 74 | 红海亚丁湾 | 12 | 70 |
| 安达曼海 | 31 | 78 | 孟加拉湾 | 20 | 80 |
| 鄂霍次克海 | 20 | 65 | 印度洋 | 10 | 60 |
| 库页岛 | 32 | 65 | 东西伯利亚海 | 20 | 70 |
| 日本海 | 16 | 57 | 拉普捷夫海 | 24 | 80 |
| 日本列岛 | 30 | 60 | 喀拉海 | 30 | 140 |

欧亚大陆北沿的边缘海,基本是大陆向北极海延伸的大陆架部分,因此与该区域大陆岩石圈结构特征一致。如巴伦支海是波罗的前寒武纪地盾向海域的延伸,岩石圈厚度达160 km以上。喀拉海是西西伯利亚地块向海域的延伸,厚度达140 km。而拉普捷夫海及东西伯利亚海则是岩石圈减薄的贺弗杨斯克褶皱带向北极海的延伸部分,厚度为70~80 km。

3 结论

综上所述,欧亚大陆及西太平洋地区岩石圈是由多个块体拼合而成,因此呈现出多种结构型式。就岩石圈和地壳厚度而言,可分为以下几个特征区:

(1) 欧亚大陆北部,大约在45°N以北区域。主要由前寒武纪地盾及地台组成,如波罗的地盾、东欧地台、西西伯利亚地台、西伯利亚地台等。这一区域主要属地球早期形成的劳亚古陆部分,岩石圈巨厚,地壳厚度变化很小,在构造上长期处于稳定状态。

(2) 欧亚大陆中部及南部地区,45°N以南部分。这里多是古生代及中生代以来众多较小的克拉通块体(哈萨克斯坦地块、图兰地块、土耳其地块、伊朗地块、阿富汗地块、塔里木地块、中朝地块、扬子地块、青藏地块、印支地块等)与褶皱山系组成的复杂岩石圈结构体系,岩石圈及地壳厚度横向变化大。其中特别是新生代印度板块与欧亚大陆的陆陆碰撞,形成了全球地壳最厚的青藏高原。

(3) 亚洲东缘及西太平洋边缘海,这是中生代以来发生张裂的巨型裂谷系,在新生代以来由于西太平洋板块向西挤压俯冲,这一巨型裂谷系已停止张裂并转为闭合。其岩石圈大大减薄,仅数十公里。

(4) 欧亚大陆以北的北极海,这里是的大陆架是大陆向北延伸部分,其岩石圈结构特征与相邻近的大陆是一致的。

参考文献(References):

[1] Zhu Jieshou(朱介寿), Cao Jianin(曹家敏), Cai Xuelin(蔡学林), et al. High resolution surface wave tomography in east Asia

and west Pacific marginal sea[J]. Chinese Journal of Geophysics(地球物理学报), 2002, 45(5): 679-698(in Chinese).

- [2] Zhu Jieshou(朱介寿), Cao Jianin(曹家敏), Cai Xuelin(蔡学林), et al. Study for three-dimensional structure of earth interior and geodynamics in China and adjacent land and sea region[J]. Advance in Earth Sciences(地球科学进展), 2003, 18(4): 497-503(in Chinese).
- [3] Blundell D, Freeman R, Mueller St, eds. The European Geotraverse[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 275.
- [4] Du Z J, Michélini A G, Panza F. EURD: A regionalized 3-D seismological model of Europe[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1998, 105: 31-62.
- [5] Egorkin A V. Velocity structure, composition and discrimination of crustal provinces in the former Soviet Union[J]. Tectonophysics, 1998, 289: 395-404.
- [6] EUROBRIDGE Seismic Working Group. Seismic velocity structure across the Fennoscandia-Sarmatia suture of the East European Craton beneath the EUROBRIDGE profile through Lithuania and Belarus[J]. Tectonophysics, 1999, 314: 193-217.
- [7] EUROBRIDGE Seismic Working Group. EUROBRIDGE 95: deep seismic profiling within the East European Craton[J]. Tectonophysics, 2001, 339: 153-175.
- [8] Friedrich W. The S-velocity structure of the East Asian mantle from inversion of shear and surface waveforms[J]. Geophysical Journal of International, 2003, 153: 88-102.
- [9] Huang Z, Su W Y, Peng Y Zheng, et al. Rayleigh wave tomography of China and adjacent regions[J]. Journal of Geophysics Research, 2003, 108(B2): 2 073-2 089.
- [10] Morozova E A, Morozova I B, Smithson SB, et al. Lithospheric boundaries and upper mantle heterogeneity beneath Russian Eurasia: Evidence from the DSS profile QUARTZ[J]. Tectonophysics, 2000, 329: 333-344.
- [11] Ritzwoller M H, Levshin A L. Eurasian surface wave tomography: group velocities[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 103(B3): 4 839-4 878.
- [12] Ritzwoller M H, Bam in M P, Villasenor A, et al. Engdahl Pn and Sn tomography across Eurasia to improve regionalseismic event locations[J]. Tectonophysics, 2003, 358(1-4): 39-55.
- [13] Yanovskaya T B, Kozhevnikov V M. 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2003, 138: 263-278.

THE STRUCTURE OF LITHOSPHERE IN EURASIA AND WEST PACIFIC

ZHU Jie-shou ,CAO Ja-m in ,CAI Xue-lin ,YAN Zhong-qiong

(Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 ,China)

Abstract We collected the seismological and explosion seismic data and other geosciences data in Eurasia and west Pacific regions for inverting the three-dimensional structures lithosphere model with multi-discipline researches and various inversion methods. The three-dimensional lithosphere model and database in the area have been built and providing a reference model for applied in individual geosciences fields. It aimed to discover the structure of lithosphere and asthenosphere. A detail discussion have been made for the structure and interaction of lithospheric blocks , especially for the deep dynamic processes of collision of lithosphere in Eurasia and west Pacific.

Key words :Eurasia ; West Pacific magional sea ; Lithospheric structure model ; Deep dynamic processes of lithosphere.