Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

从地震波速的三维图像看上扬子岩石圈变化

刘晓宇[1)],杨文采[2)],瞿辰[3)]

1)中国地质大学(北京),北京,100083; 2)浙江大学,杭州,310057;
3)中国地质科学院地质研究所,北京,100037

内容提要:印度次大陆与亚洲大陆碰撞之后,印度板块俯冲到亚洲大陆之下。大陆碰撞和陆—陆俯冲不仅造成了青藏高原的地壳缩短和加厚,而且导致高原周围广大地域的地貌环境和深部结构发生巨大变化。是否有大量物质从高原下方蠕动向华南和华北?是否引起云贵高原隆升?笔者等利用高分辨率地震层析成像,对从高原下方物质蠕动与云贵高原隆起问题进行研究。地震层析成像表明,在印度次大陆与亚欧大陆碰撞和俯冲期间,有青藏高原的岩石圈物质受挤压向上扬子下方挤出,挤出发生在深度73~113 km的岩石圈地幔的中部,路线沿义敦—西昌—东川—安顺。青藏高原岩石圈地幔中部物质受挤压向上扬子下方挤出的后果之一,就是云贵高原的岩石圈体量增加和隆升。

关键词:动力学作用;中国西南部;地震波速度;三维层析成像;青藏高原;云贵高原; 高原隆升

中国西南地区的主要构造是上扬子克拉通,从地表地质来看,构造比较简单,只由四川盆地与云贵高原组成(图1a)。但是,上扬子不仅是重要的地质矿产和油气资源储存地区,而且处于青藏高原东沿,地质构造受印度次大陆对亚欧大陆碰撞影响,岩石圈构造复杂多变。前人的研究表明(Tapponnier et al., 1976; 肖序常等,1988;许志琴等,1992,2011),印度—亚洲大陆碰撞之后,板块之间汇聚收敛并未终止,印度板块仍以44~50 mm/a的速率往北东东推进,俯冲到亚洲大陆之下。大陆碰撞和陆—陆俯冲不仅造成了青藏高原的地壳缩短和加厚,而且导致高原周围广大地域的地貌环境及其深部结构发生巨大变化。

法国教授Tapponnier(1976, 1982)最早根据物理模拟,提出了大陆碰撞和俯冲的作用过程的一种模式(图2)。图2a表明,印度次大陆对亚欧大陆碰撞和俯冲,造成了华南和华北陆块分别向东南和东北方向运动,同时在东亚产生多组断裂带。图2b表明,印度次大陆对亚欧大陆碰撞和俯冲作用分3个阶段:第一阶段为碰撞初期,地壳变形主要涉及高原北部。第二阶段为碰撞后期,地壳变形扩展到高原东部。第三阶段为陆—陆俯冲期,地壳变形进一步扩展到华北东部和南海。地壳变形一定伴随岩石圈和热流圈的物质运动,会有大量物质从高原下方蠕动向华南与华北,云贵高原的隆起就可能是这种物质运动的结果。对Tapponnier提出的模式,有很多学者赞同(England and Molnar, 1997; Flesch et al., 2001;杨文采等,2014;Chen Min et al., 2015),但是,是否有大量物质从高原下方蠕动向华南与华北?是在高原下方什么深度蠕动到云贵高原下方?都需要更多的数据来证明。

大量物质的蠕动一定会在岩石圈产生刻痕,高分辨率地震层析成像可以分辨这些物质运动的刻痕,为地球动力学研究提供可靠的信息(Meissner et al., 1991,1998; Pakiser and Mooney, 1989)。笔者等利用高分辨率地震层析成像,对从高原下方物质蠕动与云贵高原隆起问题进行了研究。

1　上扬子地区地球物理调查概况

上扬子地区有前元古代的克拉通型结晶基底,

注:本文为中国科学院学部咨询评议资助项目(编号:2022-ZW11-A-0024)的成果。
收稿日期:2024-11-02;改回日期:2024-11-23;网络首发:2024-12-20;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2024.12.001
作者简介:刘晓宇,男,1991年生,博士研究生,主要从事地震层析成像算法研究; Email:nbysss@126.com。通讯作者: 杨文采, 男,1942年生,1984年在加拿大McGill大学取得地球物理学博士学位, 2005年当选中国科学院院士,现为浙江大学地球科学学院教授, 长期从事地球信息学和地球动力学研究,发表专著10本、论文300余篇; Email: yang007@zju.edu.cn。

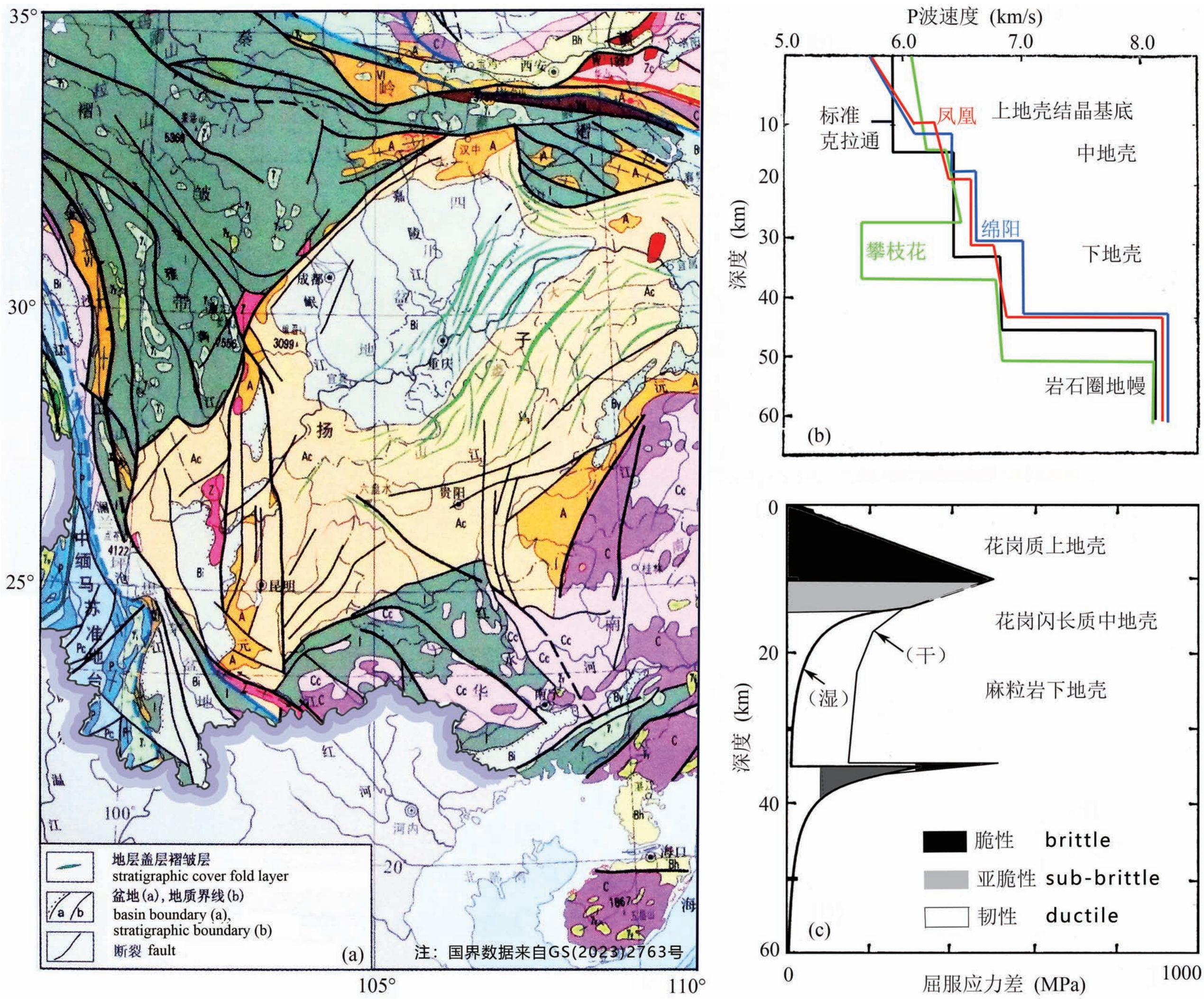

图 1 上扬子地区地质构造略图(a)(引自葛肖红等,2014)和研究区地壳地震波速随深度变化(b)以及大陆地壳的流变特性示意图(c)

Fig. 1 Geological and structural map of the upper Yangtze area(a)(From Ge Xiaohong et al., 2014&), variation of seismic velocity with depth(b) and rheology curve of the continental lithosphere(c)

上覆有古生代(Z_2—T_2)的海相沉积地层(程裕淇,1984)。受拉萨陆块和印度次大陆向北运动和与亚欧大陆碰撞的影响,中生代云贵地区开始上升为陆内褶皱变形,四川盆地也在白垩纪以后开始隆升并受剥蚀。1980 年以来,国土资源部、中国地震局和中国科学院等单位开始进行了大陆岩石圈地球物理调查,中国地质调查局在互连网上公布了大部分地震 GMT 剖面,据由此可计算出研究区地壳地震纵波速度随深度的变化(图 1b)。图 1b 中绵阳和攀枝花代表上扬子的波速变化,凤凰的红线代表中扬子,黑线代表加拿大地盾。如图可见,上扬子克拉通的地壳一般可分为 4 层。第一层为上地壳,主要由沉积岩与结晶基底组成,厚度为 10~16km, 波速 V_p 呈正梯度从 5.7 km/s 上升到 6.2 km/s。第二层为中地壳顶部,波速 V_p 呈正梯度从 6.3 km/s 上升到 6.4 km/s 左右,厚度为 7~10 km。第三层为中地壳下部,波速 V_p 上升到 6.6 km/s 左右,厚度为 12 km。在攀枝花等上扬子西部地震带下方此层变为低速层,波速 V_p 下降到 5.6 km/s 左右,反映了上扬子西部受印度次大陆的碰撞作用影响,发生了中下地壳变形。第四层为克拉通区下地壳,波速 V_p 呈从 6.7 km/s 到 7.0 km/s,厚度为 12~17 km。总厚度为 43~45 km。总体上看,扬子西部与华北西部地壳和加拿大地盾区都属于相似的类型。上扬子中地壳分两层,可能反映上扬子新生代遭受印度次大陆的碰撞作用影响。

地震波速 V_p 同时反映了岩石圈物质的强度和在高温高压环境下的流变性质(Kirby et al., 1987;杨文采,2009;Yang Wencai, 2014)。图 1c 为大陆岩石圈的流变学模型,可以看出大陆岩石圈在力学性质上随深度有剧烈变化:在上地壳表现为脆性与亚脆性的硬岩;在岩石圈地幔下方和软流圈所处的高温高压条件下,地幔岩石具备较强的流变性,成为软岩,黏滞系数比上地壳脆性岩石小 2~3 个级次。下地壳所处的温压条件使麻粒岩具备一定的流变性,即较小的黏滞系数,比上地壳脆性岩石小 1~2 个级次左右。因此,下地壳也称为第二软流圈。岩石的干湿度对流变性质也有明显影响。地壳和地幔干岩石的流变性弱,不易蠕动,湿岩石的流变性明显增强,容易蠕动。因此地壳和地幔岩石裂隙中热流体的存在大大降低了地震波速,从三维的地震波速图像可以指示新生代地壳和上地幔中的流体运动。

2　研究区的地震层析成像

地震层析成像的分辨率的提高取决于数据的数量和质量。在中国四川和云南设有许多地方地震台站,自从 2008 年以来地震台站的观测仪器实现了数字化,但是它们的数据没有统一整理公布。2014 年以来,笔者等开始收集地方地震台的观测数据,进行中国西部地壳地震波速度的三维层析成像研究,发表了一些西部地区地壳上地幔的研究成果(杨文采等,2019a,b,c,2020a,b,c,2022;瞿辰等,2020;刘晓宇等,2023a,2023b)。笔者等继续报道在上扬子地区的地震波速三维层析成像研究结果。

上扬子地区地震层析成像的研究区范围为 95°~110°E,24°~35°N,水平分辨率为 0.5°×0.5°,深度的分辨率为±5 km。成像同时利用了在 2008~2020 年期间中国地震局数字地震台网和地方地震台的观

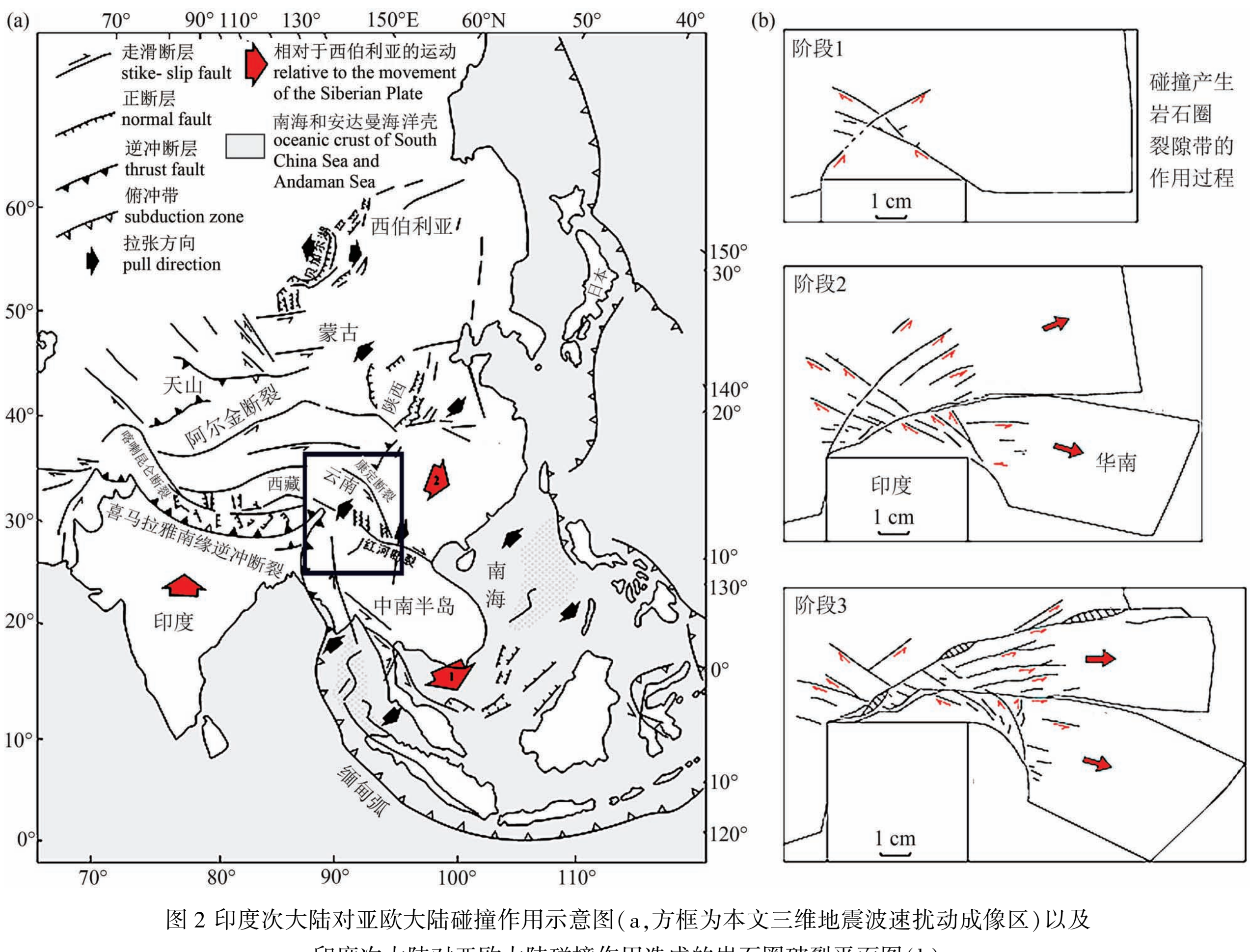

图 2 印度次大陆对亚欧大陆碰撞作用示意图(a,方框为本文三维地震波速扰动成像区)以及印度次大陆对亚欧大陆碰撞作用造成的岩石圈破裂平面图(b)

Fig. 2 The action of collision and subduction between the Indian Subcontinent and the Asian Continent(a) and the effect of collision and subduction(b)

测数据。在四川、甘肃、云南、西藏和青海等地方地震局和中国地震局地球物理研究所的协作和帮助下,我们得到了过研究区同台同源的 P 波和 S 波的几十万走时数据,作为岩石圈地震波速度三维层析成像研究的输入数据集。数据精选和反演成像和以前公布的论文(杨文采等,2019a,b,c,2020a,b,c,2022;刘晓宇等,2023a,2023b)相同,质量检查的结果也一样,在本文中不再重复描述。图 3、4、5 是这次地震波速度三维层析成像研究的部分成果。

3 上扬子岩石圈中的高速体

在图 1c 中,克拉通上地壳结晶基底和上岩幔岩石属于高强度难流变的硬岩,如果它们比较干就具有比较高的波速。现在就来看看研究区高波速地带的分布。图 3 是研究区深度分别为 8 km 和 28 km 的地震波速扰动图像,对应上地壳结晶基底和中地壳。图 3a 表明,除了四川盆地北部以外,上扬子其它地区都是高波速,说明了上地壳结晶基底的克拉通性质。上扬子东南的思茅盆地也是高波速,说明了它属于印支克拉通上地壳的结晶基底。四川盆地北部出现低波速,与三叠纪华北与扬子陆块的碰撞有关。但是到了中地壳(图 3b),上扬子的西沿和昌都地块全部变为低波速,表明岩石破裂变形后流体涌入变湿,属于印度次大陆挤压影响。注意在中地壳,上扬子的西沿和昌都地块的低波速带并没有连通。

图 4 为研究区地震波速扰动图像,深度分别为 48 km、58 km、68 km 和 78 km。图 4a 的深度为 48 km,正是 Moho 面下方岩幔的顶部,即大陆克拉通岩石强度最大而流变性最小的深度(图 1c)。包括四川盆地北部在内,上扬子所有地区都是高波速,说明了其岩幔的克拉通性质。思茅盆地也是高波速,也说明了它属于印支克拉通的性质。到了 58 km 深度,上扬子岩幔高波速区的范围开始缩小,也属于正常,因为向下温度升高了。

然而,到了 68 km 深度(图 4c),情况发生了突变,上扬子岩幔高波速区的范围变得很小,只剩下四川盆地和位于昆明的小盆地。四川、昆明和思茅 3 个盆地下方的岩幔高波速向下一直延深到 150 km 深度(图 5d),可能表明它们是克拉通内部最强硬的陆核所在。

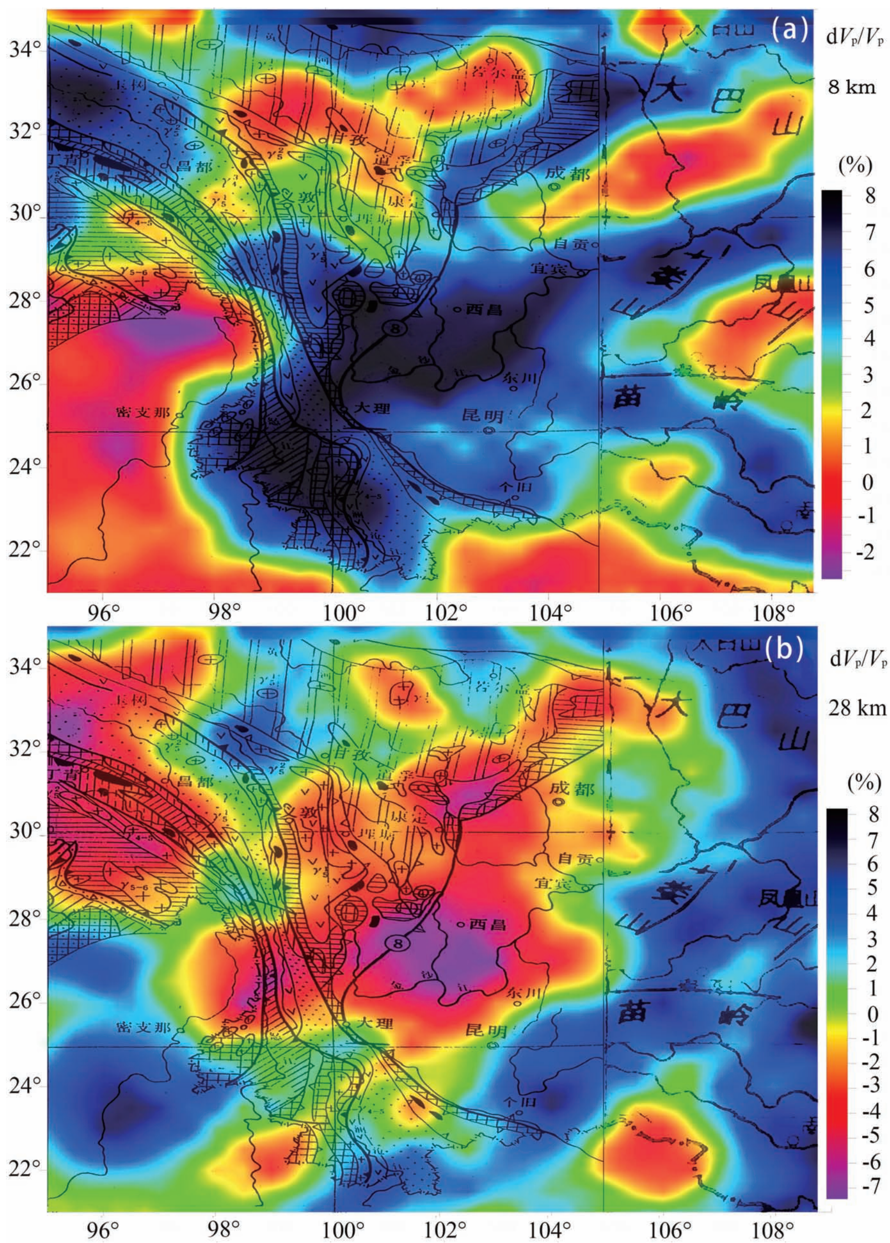

图 3 研究区地震波速扰动图像:深度分别为 8 km(a)和 28 km(b)

Fig. 3 Seismic velocity disturbance images in the research area: (a) depth 8 km; (b) depth 28 km

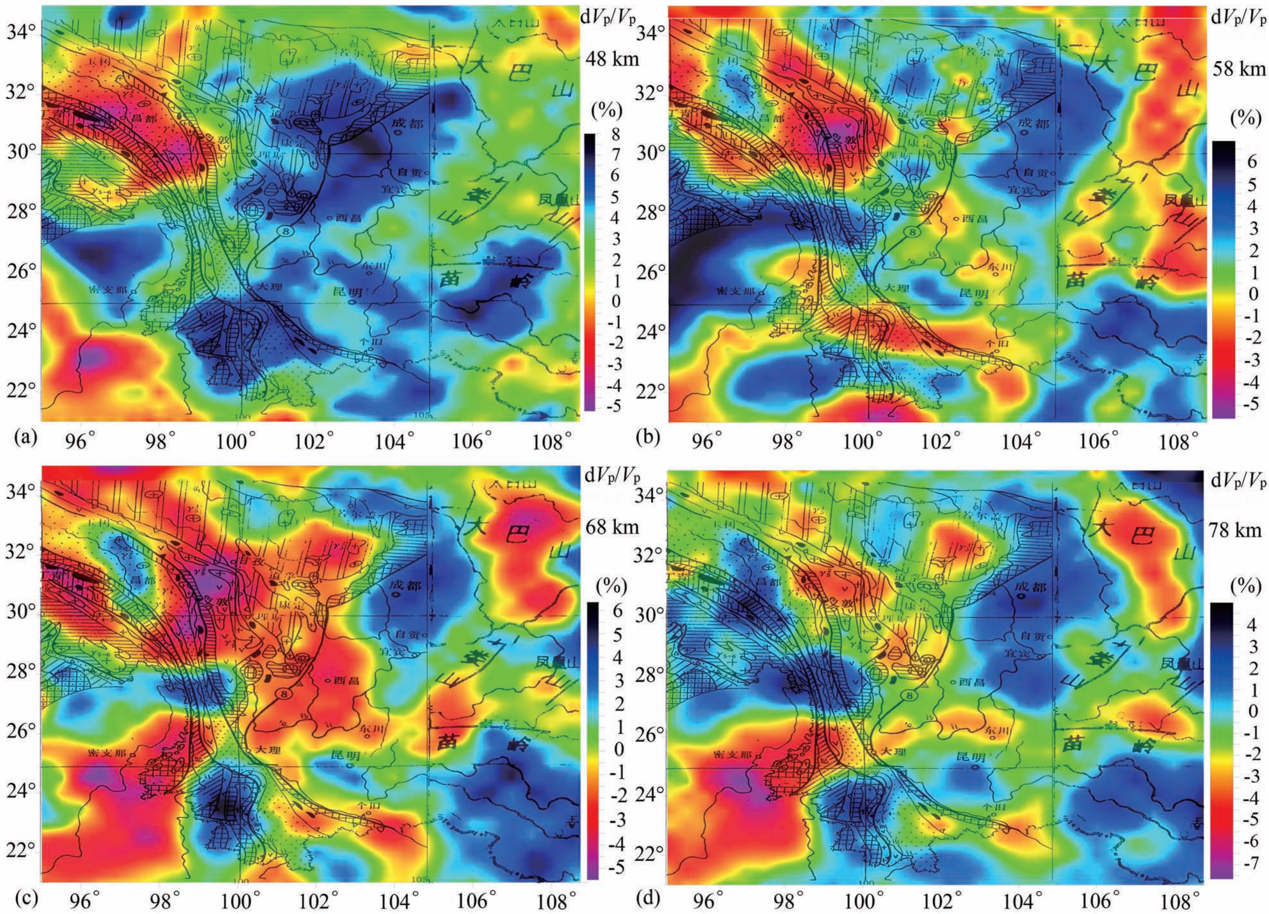

图 4 研究区地震波速扰动图像:深度分别为 48 km(a)、58 km(b)、68 km(c)和 78 km(d)

Fig. 4 Seismic velocity disturbance images in the research area: (a) depth 48 km; (b) depth 58 km; depth 68 km; (d) depth 78 km

与此不同的是,上扬子外沿的昌都和义敦地块,在岩石圈地幔的波速随深度变化很大。它们在 58~68km 深度还是低速体,在 78km 开始转变为高速,以下一直是高速(图 4、图 5)。昌都和义敦地块属于羌塘陆块的东端,波速随深度变化大反映了它们是经过强烈变形和流体活动的克拉通性质地体。

4 上扬子岩石圈热流体的运动

现在就来看看研究区低波速异常的分布,它们大概率地反映了岩石圈变形和热流体活动。从图 3b 可见,研究区中地壳地震低波速异常发育,上扬子的西沿和昌都地块全部为低波速,但是,昌都低波速带与青藏高原低波速带是连通的(图 6),而上扬子的西沿低波速带和昌都巴塘地块的低波速带并没有连通。这说明大陆碰撞期间在中地壳没有青藏高原向上扬子挤出(杨文采,2016)。

到深度 48 km 的 Moho 面下方岩幔顶部(图 4a),昌都地块转变低波速带,流变性增强。在 58 km 深度(图 4b),昌都、义敦地块和上扬子西沿低波速地区扩大。到深度 68 km 昌都义敦地块和上扬子西沿低波速地区完全连通在一起(图 4c)。在深度 78 km,昌都地块转变为高速,义敦地块和上扬子西沿低波速地区依然连通在一起。只是到了 120 km 以下,义敦地块才转变为高速为主(图 5)。因为低波速异常大概率地反映了岩石圈内热流体活动,地震层析成像表明,在印度次大陆与亚欧大陆碰撞和俯冲期间,有青藏高原的岩石圈物质受挤压向上扬子下方挤出,挤出发生在深度 73~113 km 的岩石圈地幔的中部,路线沿义敦—西昌—东川—安顺(图 5a—c)。青藏高原岩石圈地幔中部物质受挤压向上扬子下方挤出的后果之一,就是云贵高原岩石圈体量的增加和隆升。由上述讨论可见,云贵高原的隆

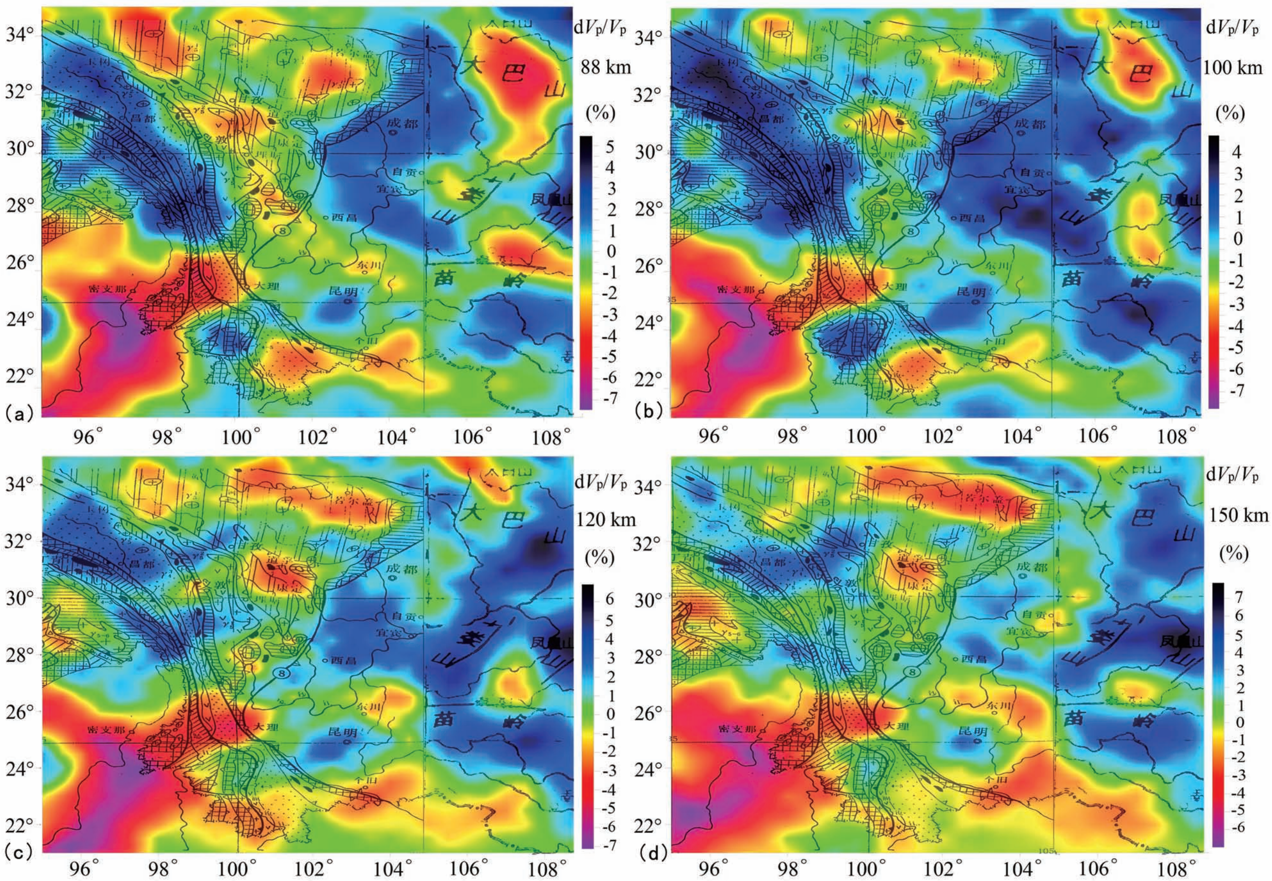

图 5 研究区地震波速扰动图像:深度分别为 88 km(a)、100 km(b)、120 km(c)和 150 km(d)

Fig. 5 Seismic velocity disturbance images in the research area: (a) depth 88 km; (b) depth 100 km; (c) depth 120 km; (d) depth 150 km

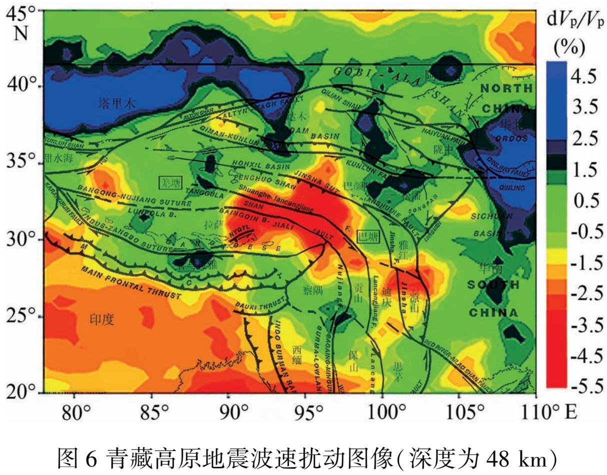

图 6 青藏高原地震波速扰动图像(深度为 48 km)

Fig. 6 The seismic velocity disturbance image of the whole Qinghai—Xizang(Tibet) Plateau (depth 48 km)

升并不是岩石圈全部的隆升,而是岩石圈地幔中部以上地层的隆升,幅度有限。

5 结论

印度次大陆与亚洲大陆碰撞之后,印度板块俯冲到亚洲大陆之下。大陆碰撞和陆—陆俯冲不仅造成了青藏高原的地壳缩短和加厚(莫宣学和潘桂棠,2006),而且导致高原周围广大地域的地貌环境与深部结构发生巨大变化。是否有大量物质从高原下方蠕动向华南?它是否为引起云贵高原隆升的根源?笔者等利用高分辨率地震层析成像,对从高原下方物质蠕动与云贵高原隆起问题进行研究。地震层析成像表明,在印度次大陆与亚欧大陆碰撞和俯冲期间,有青藏高原的岩石圈物质受挤压向上扬子下方挤出,挤出发生在深度 73~113km 的岩石圈地幔中部,路线沿义敦—西昌—东川—安顺。青藏高原岩石圈地幔中部物质受挤压向上扬子下方挤出的后果之一,就是云贵高原岩石圈体量的增加和隆升。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

程裕淇. 1984. 中国区域地质学. 北京: 地质出版社.

葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 袁四化. 2014. 中国东部中—新生代大陆构造的形成与演化. 中国地质, 41(1): 19~38.

刘晓宇, 杨文采, 陈召曦, 瞿辰, 于常青. 2023b. 青藏高原东部地块的属性与演化. 地学前缘, 30(3): 233~241.

刘晓宇, 杨文采, 陈召曦, 瞿辰, 于长青. 2023a. 三维成像揭示的青藏高原地壳流体层分布. 地质论评, 69(5): 1661~1668.

莫宣学, 潘桂棠. 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造—岩浆事件的约束. 地学前缘, 13(6): 43~51.

瞿辰, 刘晓宇, 于常青, 胥颐, 杨文采. 2020. 青藏高原S波速度和泊松比的层析成像. 地球物理学报, 63(10): 3640~3653.

肖序常, 李廷栋, 李光岑, 等. 1988. 喜马拉雅岩石圈构造演化总论. 北京: 地质出版社.

许志琴, 崔军文. 1992. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社: 1~190.

许志琴, 杨经绥, 李海兵, 嵇少丞, 张泽明, 刘焰. 2011. 印度—亚洲碰撞大地构造. 地质学报, 85(1): 1~33.

杨文采. 2009. 东亚古特提斯域大地构造物理学. 北京: 石油工业出版社: 1~443.

杨文采, 于常青. 2014. 从地壳上地幔构造看大陆碰撞作用(下). 地质论评, 60(3): 486~502.

杨文采, 陈召曦, 侯遵泽, 孟小红. 2016. 从卫星重力资料看中国及邻区地壳密度结构. 地质学报, 90(9): 2167~2175.

杨文采, 瞿辰, 任浩然, 黄连捷, 胥颐, 于常青. 2019a. 青藏高原地壳地震纵波速度的层析成像. 地质论评, 65(1): 2~14.

杨文采, 瞿辰, 任浩然, 黄联捷, 胥颐, 于常青, 刘晓宇. 2019b. 青藏高原软流圈与特提斯洋板块俯冲. 地质论评, 65(3): 521~532.

杨文采. 2019c. 岩石圈—软流圈物质循环促进大陆增生的新方式. 地质论评, 65(5): 1039~1053.

杨文采. 2020a. 浅地幔系统的组成和属性相态. 地质论评, 66(2): 263~275.

杨文采. 2020b. 浅地幔系统的动力学作用. 地质论评, 66(3): 521~532.

杨文采, 曾祥芝. 2020. 认知地球物质运动的大陆动力学方法. 地质论评, 66(1): 1~12.

杨文采. 2021a. 谈固体地球动力学系统的自组织. 地质论评, 67(3): 571~577.

杨文采. 2021b. 中国大陆密度和地震波速扰动异常的年龄属性研究. 地质学报, 95(1): 227~237.

杨文采, 刘晓宇, 陈召曦, 江金生. 2022. 从高分辨率地震层析成像看青藏高原软流圈的物质运动. 地球科学, 47(10): 3491~3500.

Chen Min, Niu Fenglin, Liu Qinya, Tromp J, Zheng Xiufen. 2015. Multiparameter adjoint tomography of the crust and upper mantle beneath East Asia: 1. model construction and comparisons. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 120(3): 1762~1786.

Chen Yuqi. 1984#. An Introduction to Chinese Regional Geolohy. Beijing: Geological Publishing House.

England P, Molnar P. 1997. Active deformation of Asia: From kinematics to dynamics. Science, 278(5338): 647~650.

Flesch L M, Haines A J, Holt W E. 2001. Dynamics of the India—Eurasia collision zone. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 106(B8): 16435~16460.

Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, Yuan Sihua. 2014&. The formation and evolution of the Mesozoic—Cenozoic continental tectonics in eastern China. Geology in China, 41(1): 19~38.

Kirby S H, Kronenberg A K. 1987. Rheology of the lithosphere: Selected topics. Reviews of Geophysics, 25(6): 1219~1244.

Liu Xiaoyu, Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Qu Chen, Yu Changqing. 2023a&. Attributes and evolution of the eastern massif in the Qinghai Tibetan Plateau. Earth Science Frontiers, 30(3): 233~241.

Liu Xiaoyu, Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Qu Chen, Yu Changqing. 2023b&. Crustal fluid layer of Qinghai—Xizang (Tibet) plateau revealed by 3-D imaging methods. Geological Review, 69(5): 1661~1668.

Meissner R, Mooney W. 1998. Weakness of the lower continental crust: A condition for delamination, uplift, and escape. Tectonophysics, 296(1~2): 47~60.

Meissner R, Wever T, Sadowiak P. 1991. Continental collisions and seismic signature. Geophysical Journal International, 105(1): 15~23.

Mo Xuanxue, Pan Guitang. 2006&. From the Tethys to the formation of the Qinghai—Tibet Plateau: Constrained by tectono—magmatic events. Earth Science Frontiers, 13(6): 43~51.

PakiserLC, Mooney WD, eds. 1989. Geophysical framework of the continental United States. Geological Society of America.

Qu Chen, Liu Xiaoyu, Yu Changqing, Xu Yi, Yang Wencai. 2020#. S wave velocity and Poisson′s ratio tomography of the Tibetan Plateau. Chinese Journal of Geophysics, 63(10): 3640~3652

Tapponnier P, Molnar P. 1976. Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. Nature, 264(5584): 319~324.

Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, Armijo R, Cobbold P. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. Geology, 10(12): 611.

Xiao Xuchang, Li Tingdong, Li Guangcen, et al. 1988. On the tectonic evolution of Himalayan lithosphere. Beijing: Geological Publishing House.

Xu Zhiqin, Cui Junwen. 1992#. Orogenic Processes of the Songpan Ganze Orogenic Belt of China. Beijing: Geological Publishing House: 1~190.

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, Ji Shaocheng, Zhang Zeming, Liu Yan. 2011&. On the tectonics of the India—Asia collision. Acta Geologica Sinica, 85(1): 1~33.

Yang Wencai. 2009 #. Tectonophysics of Paleo-Tethyan. Beijing: Petroleum Industry Press: 1~443.

Yang Wencai. 2014. Reflection seismology: Theory, data processing and interpretation. Waltham (USA): Elsevier.

Yang Wencai, Yu Changqing. 2014&. Continental collision process reveled by worldwide comparison of crust and upper mantle structures(Ⅱ). Geological Review, 60(3): 486~502.

Yang Wencai, Cheng Zhaoxi , Hou Zunze, Men Xiaohuong. 2016&. Crustal density structures around Chinese continent by inversion of satellite gravity data. Acta Geologica Sinica, 90(9): 2167~2175.

Yang Wencai. 2019&. A new mode for continental accretion induced by interaction between the lithosphere and asthenosphere. Geological Review, 65(5): 1039~1053.

Yang Wencai, Qu Chen, Ren Haoran, Huang Lianjie, Xu Yi, Yu Changqing. 2019a&. Crustal P-wave seismic tomography of the Qinghai—Xizang(Tibetan) plateau. Geological Review, 65(1): 2~14.

Yang Wencai, Qu Chen, Ren Haoran, Huang Lianjie, Xu Yi, Yu Changqing, Liu Xiaoyu. 2019b&. The asthenosphere of the

Qinghai—Xizang (Tibetan) plateau and subduction of the Tethys Ocean. Geological Review, 65(3): 521~532.
Yang Wencai. 2020a. On composition, attributes and phases of the shallow-mantle system. Geological Review, 66(2):263~275.
Yang Wencai. 2020b&. On dynamic processes of the shallow-mantle system. Geological Review, 66(3): 521~532.
Yang Wencai, Zeng Xiangzhi. 2020&. Continental dynamics with cognition of Earth matter movement. Geological Review, 66(1): 1~12.
Yang Wencai. 2021a&. Learning the spirit of scientist from dialectic principles. Geological Review, 67(3): 571~577.
Yang Wencai. 2021b&. Correlation of density and seismic velocity anomalies with different tectonic events in the Chinese continent. Acta Geologica Sinica, 95(1): 227~237.
Yang Wencai, Liu Xiaoyu, Chen Zhaoxi, Jiang Jinsheng. 2022&. Asthenosphere mass movement in Qinghai—Tibetan Plateau revealed by high-resolution seismic tomography. Earth Science, 47(10): 3491~3500.

Viewing the lithosphere of upper Yangtze Craton based on three-dimensional images of seismic wave velocity

LIU Xiaoyu [1], YANG Wencai [2], QU Chen [3]

1) *China University of Geosciences (Beijing), Beijing*, 100083;

2) *Zhejiang University, Hangzhou*, 310057;

3) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

Abstract: After the collision between the Indian Subcontinent and the Asian Continent, the Indian Subcontinent is subducting below the Asian Continent. The continental collision and land-to-land subduction not only caused the crust of the Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau being shortened and thickened, but also led to significant changes in the geomorphological environment and deep structures of the vast area around the plateau. Is there a large amount of material wriggling from below the plateau to South China Craton and/or North China Craton? Does it cause the uplift of the Yunnan—Guizhou Plateau? In this paper, high-resolution seismic tomography is used to study the creep of materials from below the plateau and the uplift of the Yunnan—Guizhou Plateau. Seismic tomography shows that during the collision and subduction between the Indian Subcontinent and the Eurasian Continent, the lithospheric material of the Qinghai—Xizang Plateau was extruded under the upper Yangtze Craton, and the extrusion occurred in the middle of the lithospheric mantle at a depth of 73~113 km, along the route of Yidun—Xichang—Dongchuan—Anshun. One of the consequences of the extrusion of material from the central lithospheric mantle of the Qinghai—Xizang Plateau is the increase of the lithospheric volume, and causing uplift of the Yunnan—Guizhou Plateau.

Keywords: dynamics; southwest China; seismic wave velocity; three-dimensional tomography; Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau; Yunnan—Guizhou Plaeau; plateau uplift

Acknowledgements: This paper is financially supported by the Consultation and Evaluation Project of the Faculty of Chinese Academy of Sciences (No. 2022-ZW11-A-0024)

First author: LIU Xiaoyu, male, born in 1991, a Ph. D. student on geophysics in China University of Geosciences (Beijing), has published several papers on seismic tomography during 2019~2023; Email: nbysss@126. com

Corresponding author: YANG Wencai, male, born in 1942, a professor of College of Geosciences in Zhejiang University, researches and teaches on Earth imaging and geodynamics, has completed Ph. D. from McGill University in Canada in 1984, and become an academician of Chinese Academy of Science since 2005; Email: yang007@zju. edu. cn

Manuscript received on: 2024-11-02; Accepted on: 2024-11-23; Published online on: 2024-12-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2024. 12. 001 **Edited by**: LIU Zhiqiang