中国西北地壳地震波速的三维图像研究

杨文采[1)],刘晓宇[2)],瞿辰[3)],石战结[1)]
1)浙江大学,杭州,310057;
2)中国地质大学(北京),北京,100083;
3)中国地质科学院地质研究所,北京,100037

内容提要:地震波速度的三维层析成像,是研究地壳上地幔三维结构和动力学作用的重要方法。笔者等研究中国西北部地震波速度的三维层析成像,表明研究区的岩石圈波速结构反映了显生宙多个老陆块拼合形成的构造模式。这些老陆块,包括塔里木、准噶尔、柴达木、吐哈、银根、腾格里和鄂尔多斯等,在岩石圈地幔上层都具有高速特征。三维层析成像还表明,印度次大陆对亚欧大陆碰撞的远程效应影响到天山山脉,塔里木盆地西部和土哈盆地抬升,但是形成的激烈变形主要作用在上—中地壳。结合地面重力和航磁的高精度数据综合研究,还可以对研究区拼合作用的特征和拼合早期的洋—陆转换带的遗存,提供准确的动力学作用类型的定位。

关键词:地震波速度;三维层析成像;中国西北部;动力学作用;陆块拼合

中国西北地区盆地与山脉连绵起伏,是重要的地质矿产和油气资源储存的地区。已经有学者对中国西北的岩石圈地震波速度进行了研究(Xu Yi et al., 2002;许志琴等,2011;瞿辰等,2011;Chen Min at al., 2015;杨文采等,2017,2018a,2018b),但是由于地域广大,国家公开的地震台站稀少,地壳成像的分辨率不够高。在中国西部设有412个地方地震台站,自从2008年以来地方地震台站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,笔者等开始收集西部地方地震台的观测数据,得到了过中国西部的百万条走时数据,进行中国西部地壳地震波速度的三维层析成像研究,发表了青藏高原地壳上地幔的研究成果(杨文采等,2019,2022;杨文采,2020a,2020b;杨文采和曾祥芝,2020;瞿辰等,2020)。笔者等继续报道中国西北的地震波速三维层析成像研究结果。

1 中国西北的地震层析成像

中国西北地震层析成像的研究区范围为75°~110°E,35°~46°N,中国地震局数字地震台网和地方地震台站位置表示为图1a中的三角形。在2008~2019年期间,接收到邻近地区的地震震源位置表示在图1b的黄色点族。在新疆、甘肃、四川、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,得到了过青藏高原同台同源的P波和S波的百万条走时数据,作为青藏高原地壳地震波速度三维层析成像研究的输入数据集(杨文采等,2019;杨文采,2020a,2020b;杨文采和曾祥芝,2020;瞿辰等,2020)。

由于震源定位可能有偏差,人工拾取走时也会产生误差,上述数据必须经过挑选,去掉观察误差与拾取走时误差大的数据。根据统计学中的离群分析方法,剔除了少量离群的数据,提高了反演结果的质量(刘晓宇等,2023a,2023b)。根据地震射线的分布,将模型空间划分成0.5°×0.5°×10 km的网格,各节点按IASPEI91模型赋予初始波速值,进行检测板分辨率试验。典型的试验的结果示于图1b。由此可见,深度从10 km到400 km的成像结果都能满足对青藏高原地壳和上地幔成像的要求。但是,在印度等中国国境以外的地区,由于地震测站少,成像结果分辨率比较低。

地震层析成像采用传统的射线追踪加线性化迭代方法。地震层析成像中既要压制数据误差对反演解估计的影响,又要尽量保证结果的分辨率,笔者等

注:本文为内蒙古自治区地质勘查基金资助项目(编号:#2017-YS02)的成果。
收稿日期:2024-07-30;改回日期:2024-08-10;网络首发:2024-08-20;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2024.08.021
作者简介:杨文采,男,1942年生,中国科学院院士,教授,博士生导师,主要从事地球动力学和应用地球物理学研究和教学;Email: yang007@zju.edu.cn。

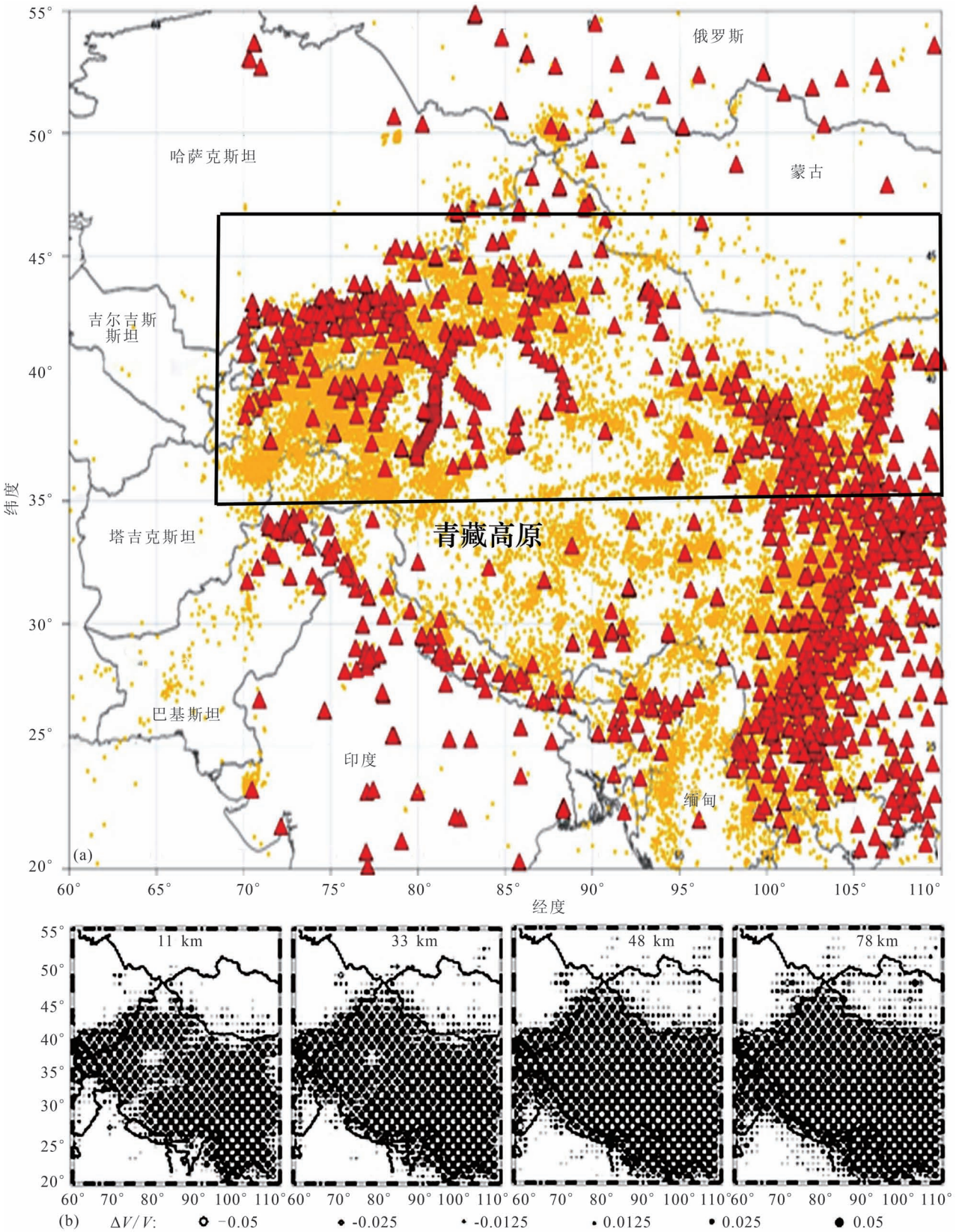

图 1 中国西部及邻区成像采用的地震观测台站和地震源分布平面图(a)(方框为本文的研究范围)以及层析成像方法检测板试验结果(b)(图中红色三角形为地方地震台网的台站位置,黄色圆圈为该区域 3 级以上地震位置)

Fig. 1 Position of the selected seismic stations and earthquakes in west China and neighboring areas used in the seismic tomography(a) and the seismic P-wave checkerboard for depths of 11 km, 33 km,48 km and 78 km (b)

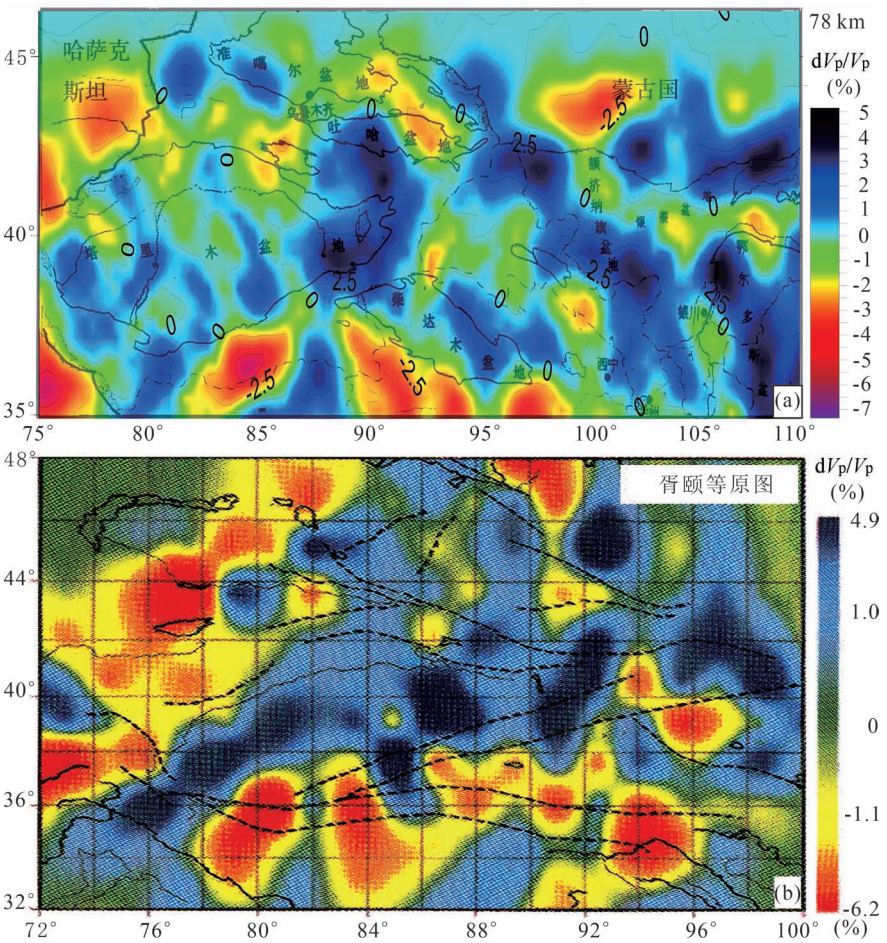

图 2 中国西北岩石圈地幔上层深度 78 km 地震波速扰动平面图(a)以及前人岩石圈地幔深度 72 km 成像结果(b)(Xu Yi et al., 2002)

Fig. 2 The seismic P-wave velocity disturbance images in depth 78 km of west China (a), comparing with that in depth 72 km computed by Xu Yi et al., 2002(b)

将逐次迭代阻尼 LSQR 算法应用于地震层析成像(杨文采,1997;瞿辰等,2013),迭代的次数达到 200 次。对比表明,此次计算的结果成像结果的分辨率明显提高。

2　岩石圈地幔和下地壳的地震波速扰动

中国西北地区地形起伏较大,盆地和山脉交替出现,有的构造学家认为属于古亚洲洋南缘的天山—兴安构造带(程裕淇,1984),有的构造学家认为属于中亚克拉通主板块(陈志明,2017)。从地球动力学的角度看(Avouac and Tapponnier, 1993; England and Molnar, 1997; Jahn, 2004),中国西北是一个显生宙动力学作用频繁的地区,先有古亚洲洋闭合和陆块的拼合(杨文采等,2014),后有印度与亚欧大陆碰撞挤压造成的远程效应作用。只有通过岩石圈三维结构的分析,才有可能了解显生宙动力学作用过程。

亚欧大陆不是一个刚性的板块,而是多个老陆块的拼合体(杨文采,2023)。老陆块指在前古生代就已经形成大陆核的岩石圈,它们与大洋岩石圈、洋—陆转换带岩石圈和软流圈一起,组成了地壳的浅地幔动力学系统(杨文采,2021a,2021b,2023,2024)。陈志明(2017)等学者已经提出过“超壳”、“全壳”和“浅壳”构造的板内层次结构的观念,大陆岩石圈的动力学作用的确有作用深度范围不同的区别,需要应用地震波速层析成像数据来仔细分析。文章中所指的老陆块主要指超壳和全壳的前古生代陆块,因为浅壳的陆块拼合作用留下的刻痕可能很微弱,看不出来。

图 2a 为研究区岩石圈地幔上层地震波速扰动平面图,对应深度 78km;反映岩石圈地幔中部的波速属性。从前人的成像结果可见(图 2b),两图的地震波速扰动模式是一样的,而图 2a 的分辨率明显提高了。天山山脉、昆仑山脉和阿尔泰山脉下方岩石圈地幔表现为低速,塔里木、西准噶尔、柴达木、吐哈、阿拉善、鄂尔多斯等老陆块岩石圈地幔都有高速特征,这些陆块边缘有中低波速地带分开,表明中国西部的岩石圈地幔是由多个老陆块拼合形成的(杨文采等,2014)。

图 3c 为研究区岩石圈地幔上层地震波速扰动平面图,深度 68 km。与深度 78 km 的波速扰动平面图(图 2a)相比可见,塔里木、西准噶尔、柴达木、吐哈、阿拉善、鄂尔多斯等老陆块岩石圈地幔上层都有高速特征,但是高速体面积缩小了。阿拉善高速体分裂为银根(Yg)和腾格里(Tr)两个高速体。在敦煌盆地与酒泉盆地开始有低速特征。据此可以认以为,大陆内的陆块可以分为大、中、小 3 个类别,其中的小陆块的底可能没有达到岩石圈地幔上层。再

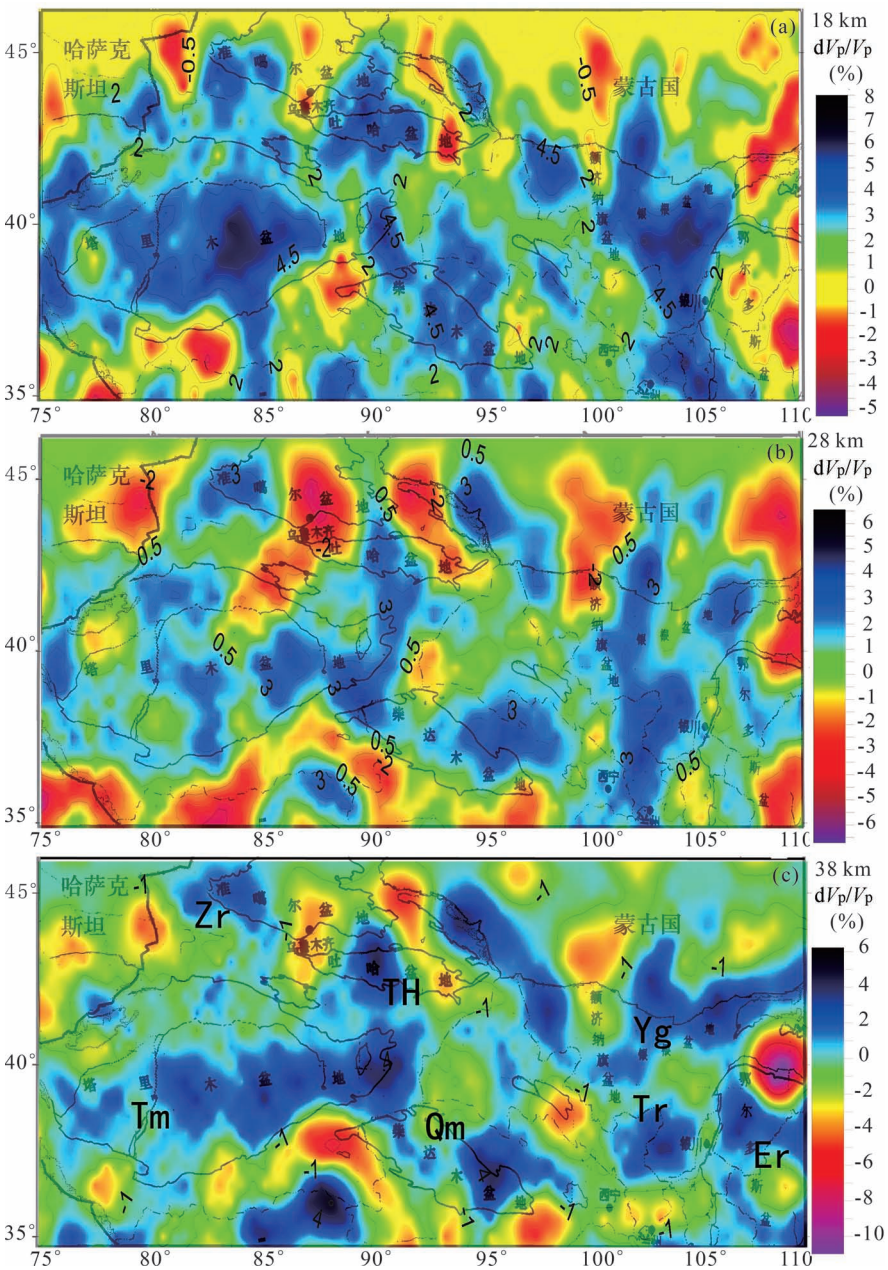

图 3 中国西北下地壳深度 48 km(a);岩石圈地幔顶部深度 58 km(b);岩石圈地幔上层深度 68 km(c)地震波速扰动平面图[大陆块名称:塔里木(Tm)、西准噶尔(Zr)、柴达木(Qm)、吐哈(TH)、银根(Yg)、腾格里(Tr)和鄂尔多斯(Er)]

Fig. 3 The seismic P-wave velocity disturbance images depth in 48 km (a), depth in 58 km (b), depth of 68 km (c) of northwest China [The old landmasses include Tarim (Tm), Jungar(Zr), Qaidam(Qm), Tuha(TH), Yingen(Yg), Tengger(Tr) and Ordos (Er)]

向上看,深度 58 km 的波速扰动平面图见图 3b,反映岩石圈地幔顶部的波速结构。准噶尔盆地东部与伊犁河盆地都成为低速体,同样反映位于小陆块的根部的岩石圈地幔顶部有破碎岩区,经受过强烈的挤压变形。

研究区深度 48 km 地震波速扰动的平面图 3a,反映 Moho 面上下的波速结构。研究区内的造山带地壳增厚,还处于下地壳,表现为低波速。而老克拉通陆块地壳没有增厚,依然位于岩石圈地幔顶层,表现为高波速。因此,塔里木、西准噶尔、柴达木、吐哈、银根、腾格里和鄂尔多斯等老陆块都具有高速特征。

3 中国西北地壳的地震波速扰动

研究区中下地壳地震波速扰动平面图示于图 4c,祁连山脉、天山山脉和贺兰山脉显示低速异常,塔里木和阿拉善显示为高速异常。明显的变化发生在吐哈盆地和北山,前者由高速变为低速,后者由低速变为高速。下地壳岩石随温度升高黏度增加,出现了从天山到吐哈盆地的流体活动带,和从祁连山到贺兰山的流体活动带。这两个活动带并没有连通,在肃北地区分隔开。在深度 28km 的波速扰动平面图上(图 4b),由于温度比较低,结晶基底岩石致密,塔里木、阿拉善和肃北地区的高速异常链接在一起了,阿尔金山脉成为它们与青藏高原分隔的低速分界。

研究区上地壳地震波速扰动平面图示于图 4a,波速扰动的模式完全改变。从天山山脉到河西走廊,低速异常联成一片,显示出印度次大陆对亚欧大陆碰撞的远程效应,形成的上地壳激烈变形(Avouac et al., 2001; Flesch et al., 2001)。这次远程效应不仅使天山山脉大幅度抬升和变形,也影响到塔里木盆地西部和土哈盆地抬升。

研究区上地壳表层深度 8 km 地震波速扰动见图 5b,它反映了低速的深层盆地的分布。塔里木盆

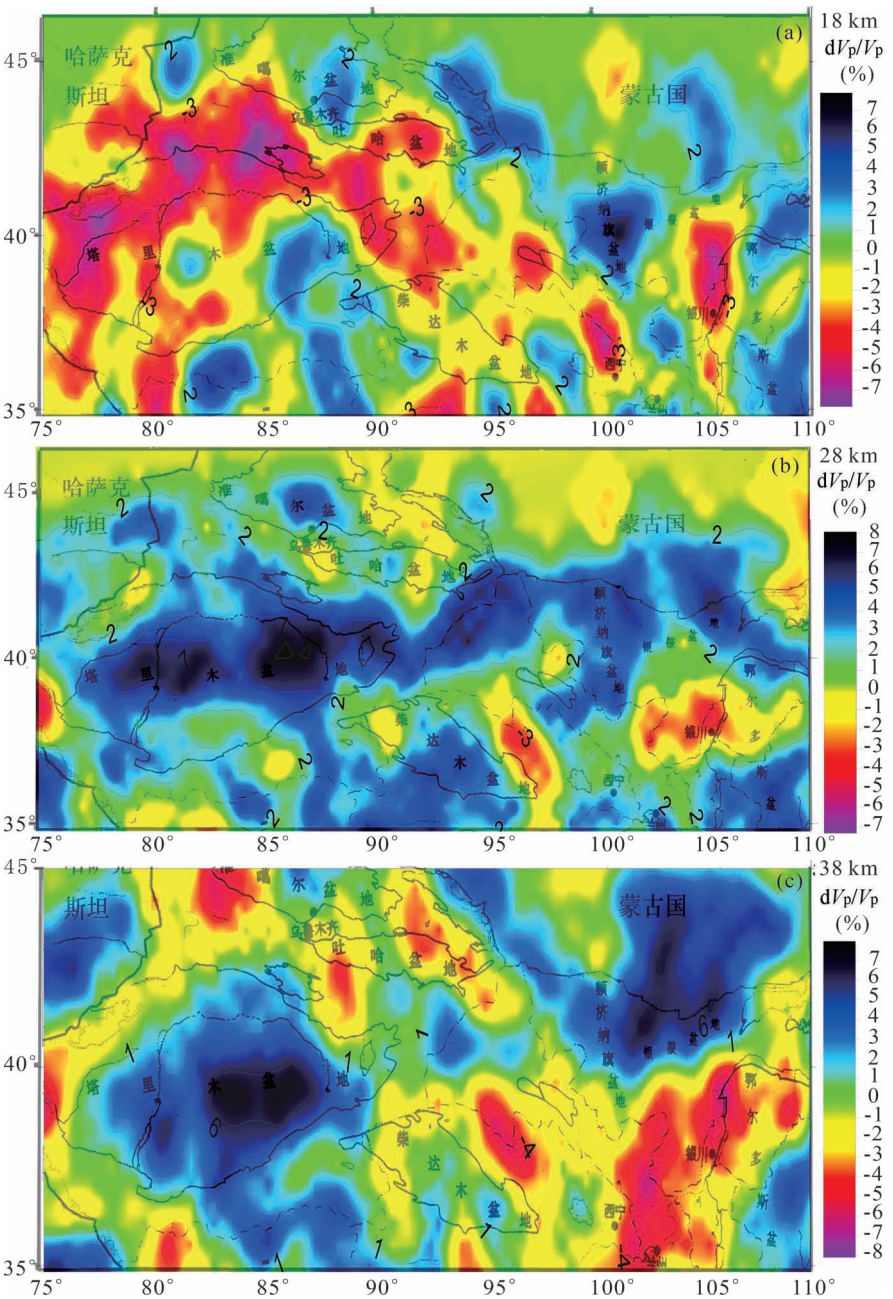

图 4 中国西北上中地壳地震波速扰动平面图:(a)深度 18 km,(b)深度 28 km,(c)深度 38 km

Fig. 4 The seismic P-wave velocity disturbance images of northwest China: (a) depth in 18 km; (b) depth in 28 km; (c) depth of 38 km

地的底部可达 13 km,因此大部分区域在此深度依然是波速低的沉积层。其他沉积盆地,如准噶尔、柴达木和银根盆地,低速区域缩小,因为 8 km 已经接近了沉积盆地的底部。与此相反的是,天山山脉西段和祁连山都变为高速,反映它们在此深度的岩石已经是片麻岩等变质的结晶基底。

地震波速扰动结果要和重力、航磁资料对比,才能加深对地壳构造的认知(杨文采等,2019b,2021b;杨文采和曾祥芝,2020)。对比研究区的航空磁测(图 5a)可见,上地壳表层地震波速扰动的负异常主要反映深沉积盆地的范围,对结晶基底属性反映的信息有限。航磁正负交合的强异常反映克拉通结晶基底属性,而包含串珠状小正异常的负异常带反映年轻的构造和岩浆活动带。对比研究区的布格重力异常(图 5c)可见,正异常反映高密度的克拉通结晶基底属性,而负异常反映显生宙的造山带。综合上述信息,可以更加全面了解研究区的地壳构造。

4　大陆块拼合作用的地壳刻痕

从以上速扰动成像结果的分析可知,以岩石圈地幔顶部高波速为特征(图 3c),中国西北地区是由老的大陆块拼合作用形成的,其中老陆块包括:塔里木(Tm)、西准噶尔(Zr)、柴达木(Qm)、吐哈(TH)、银根(Yg)、腾格里(Tr)和鄂尔多斯(Er)。这些老陆块在下地壳和岩石圈地幔为低波速地带分开,它们对应地面的天山山脉、昆仑山脉、阿尔金山脉和阿尔泰山脉,地壳中这种低速带代表了老陆块的拼合带,它们有地壳增厚和折皱断裂的特征。

研究区还有一些小陆块,如敦煌盆地与酒泉盆地,它们属于洋—转换作用阶段卷入的小陆块,它们的岩石圈地幔上层表现为低速特征。在深度 58km 的波速扰动平面图(图 3b),准噶尔盆地东部与伊犁河盆地都成为低速体,同样反映位于老陆块的根部的岩石圈地幔顶部有破碎岩区,经受过强烈的挤压变形和有流体侵入,使波速降低。大多数老陆块的基底紧密坚实,在洋—转换作用和陆块拼合作用过程中不容易

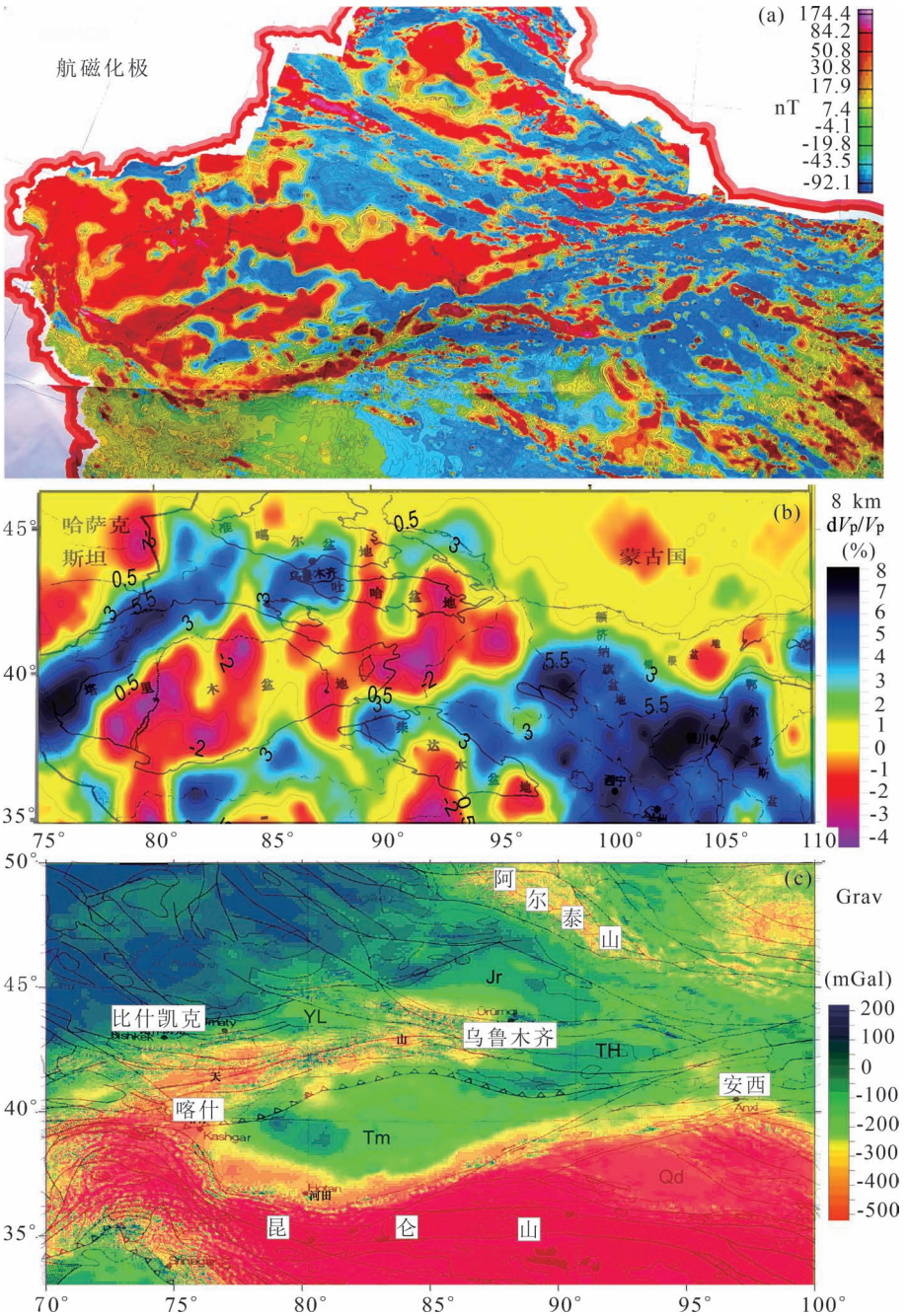

图 5 中国西北上地壳表层地震波速扰动(b)与航磁异常(a)和布格重力异常(c)的比较

Fig. 5 The aeromagnetic anomaly map of northwest China (a), the seismic P-wave velocity disturbance images, depth in 8 km. depth in 58 km (b), the Bouguer gravity anomaly map of northwest China (c)

破碎。由于它们密度比较大,容易下沉而成为盆地,这些都是中国西北部盆山构造形成的起因。

现今区域的物理属性变化反映的不仅是老陆块的存在和位置,还反映老陆块碰撞拼合的动力学作用特征。不过,动力学作用特征要有更加精细的数据才能揭示。以内蒙古中西部为例(杨文采等,2023),布格重力剩余异常与航磁化极异常示于图 6。由图可见,华北克拉通与锡林浩特陆块之间的拼合带为位场激烈变化的阴山山脉一带,华北克拉通与银根陆块之间的拼合带为狼山,华北克拉通与腾格里陆块的拼合带为贺兰山。在银根与腾格里陆块之间的拼合带为雅布赖山。在银根与腾格里陆块之西,重力和磁场的变化平稳,反映了拼合早期的洋—陆转换带的遗存,而最西部的北山隆起的低密度异常反映了古亚洲洋闭合时激烈破碎变形的构造结。

5 结论

地震波速度的三维层析成像,是研究地壳上地幔三维结构和动力学作用的重要方法。中国西北部地震波速度的三维层析成像表明,研究区的岩石圈波速结构反映了显生宙多个老陆块拼合形成的构造模式。这些老陆块包括塔里木、准噶尔、柴达木、吐哈、银根、腾格里和鄂尔多斯等,在岩石圈地幔上层都具有高速特征。三维层析成像还表明,印度次大陆对亚欧大陆碰撞的远程效应影响到天山山脉、塔里木盆地西部和土哈盆地抬升,但是形成的激烈变形主要作用在上中地壳。结合地面重力和航磁的高精度数据综合研究,还可以对研究区拼合作用的特征和拼合早期的洋—陆转换带的遗存,提供准确的动力学作用类型的定位。

致谢:衷心感谢中国地震局有关单位的数据支持!

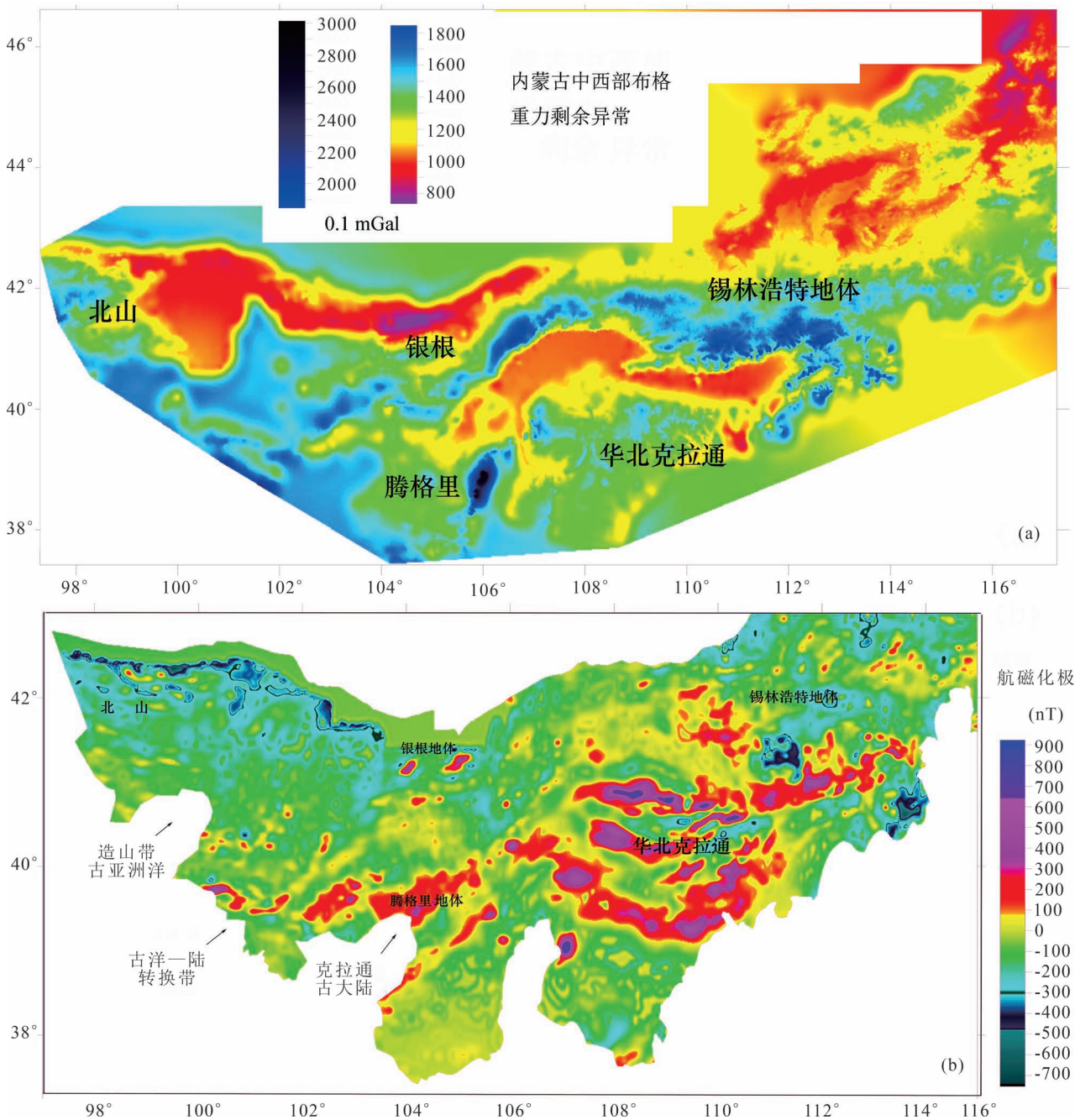

图 6 内蒙古中西部布格重力剩余异常(a)与航磁化极异常(b)的对比

Fig. 6 The Bouguer gravity anomaly map of the West Inner Mongolia region (a) and the aeromagnetic anomaly map of the same area (b)

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)

陈志明. 2017. 板块构造与地貌形迹:亚欧与太平洋造貌构造响应(套装上下册). 北京: 测绘出版社.

程裕淇. 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1~517.

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.

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.

瞿辰, 杨文采, 于常青. 2013. 塔里木盆地地震波速扰动及泊松比成像. 地学前缘, 20(5): 196~206.

瞿辰, 刘晓宇, 于常青, 胥颐, 杨文采. 2020. 青藏高原 S 波和泊松比的层析成像. 地球物理学报, 63(10): 3640~3652.

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. 1997. 地球物理反演的理论与方法. 北京: 地质出版社: 1~273.
杨文采, 徐纪人, 程振炎, 侯遵泽. 2005. 苏鲁大别造山带地球物理与壳幔作用. 北京: 地质出版社.
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, 瞿辰, 侯遵泽, 颜苹, 于常青. 2017. 中国大陆克拉通地体地壳密度结构特征. 地质论评, 63(4): 843~853.
杨文采, 邱隆君, 于常青, 侯遵泽. 2018a. 塔里木盆地西南部的三维密度扰动成像. 地质论评, 64(1): 1~10.
杨文采, 于常青, 杨午阳. 2018b. 从地壳密度结构看中国大陆深层油气盆地的分布. 地质论评, 64(6): 1315~1323.
杨文采. 2019. 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, 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. 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. 2022a. 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.
杨文采, 苏美霞, 杨波, 吴艳君, 王勤燕, 郭广飞, 刘书钰, 孟晓玲, 陈勐韬, 施源, 彭中. 2022b. 内蒙古高原岩石圈构造研究. 地质学报, 96(5): 1599~1607.
杨文采. 2023. 东亚地壳上地幔三维属性成像图册. 北京: 地质出版社.
杨文采, 陈召曦, 石战结. 2023. 蒙古高原的地壳和上地幔构造概况. 地学前缘, 30(4): 218~228.
杨文采. 2024. 地球动力学. 北京: 地质出版社.
Avouac J P, Tapponnier P. 1993. Kinematic model of active deformation in central Asia. Geophysical Research Letters, 20(10): 895~898.
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 Zhiming. 2017&. Plate tectonics and geomorphic traces. Beijing: Sinomap Press.
Cheng Yuqi. 1994#. Introduction to regional geology in China. Beijing: Geological Publishing House: 1~517.
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.
Jahn B M. 2004. The central Asia orogenic belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic. In Malpas J et al (eds): Aspects of the tectonic evolution of China. Geological Society, London, Special Pub., 226: 73~100.
Liu Xiaoyu, Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Qu Chen, Yu Changqing. 2023a&. Crustal fluid layer of Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau revealed by 3-D imaging methods. Geological Review, 69(5): 1661~1668.
Liu Xiaoyu, Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Qu Chen, Yu Changqing. 2023b&. Attributes and evolution of the eastern massif in the Qinghai Tibetan Plateau. Earth Science Frontiers, 30(3): 233~241.
Qu Chen, Yang Wencai, Yu Changqing. 2013&. Seismic velocity tomography and Poisson's ratio imaging in Tarim Basin. Earth Science Frontiers, 20(5): 196~206.
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.
Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua, Chen Hui. 2002. Crust and upper mantle structure beneath Western China from P wave travel time tomography. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 107(B10): 2220. doi:10.1029/2001JB000402
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. 1997#. Theory and method of geophysical inversion. Beijing: Geological Publishing House: 1~273.
Yang Wencai, Xu Jiren, Cheng Zhenyan, Hou Zunze. 2005#. Geophysics and crust—mantle interaction of Sulu Dabie Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House.
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, Qu Chen, Hou Zunze, Yan Ping, Yu Changqing. 2017&. Crustal density structures of craton terrains in continent of China. Geological Review, 63(4): 843~853.
Yang Wencai, Qiu Longjun, Yu Changqing, Hou Zunze. 2018a&. Three dimensional density perturbation imaging of the southwestern Tarim Basin. Geological Review, 64(1): 1~10.
Yang Wencai, Yu Changqing, Yang Wuyang. 2018b&. Distribution of deep oil/gas sedimentary basins of China. Geological Review, 64(6): 1315~1323.
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, Zeng Xiangzhi. 2020&. Continental dynamics with cognition of Earth matter movement. Geological Review, 66(1): 1~12.
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. 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, Su Meixia, Yang Bo, Wu Yanjun, Wang Qinyan, Guo Guangfei, Liu Shuyu, Meng Xiaoling, Chen Mengtao, Shi Yuan, Peng Zhong. 2022b&. Geophysical study on lithospheric structures of Inner Mongolia Plateau. Acta Geologica Sinica, 96(5): 1599~1607.

Yang Wencai, Liu Xiaoyu, Chen Zhaoxi, Jiang Jinsheng. 2022a&. Asthenosphere mass movement in Qinghai—Tibetan Plateau revealed by high-resolution seismic tomography. Earth Science, 47(10): 3491~3500.

Yang Wencai. 2023&. Three dimensional attribute images of the crust and upper-mantle in East Asia. Beijing: Geological Publishing House

Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Shi Zhanjie. 2023&. Overview of the crustal and upper-mantle structures of the Mongolian Plateau. Earth Science Frontiers, 30(4): 218~228.

Yang Wencai. 2024&. Geodynamics. Beijing: Geological Publishing House.

Three-dimensional imaging of seismic wave velocity in the earth's crust of northwest China

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

1) *Zhejiang University*, *Hangzhou*, 310057

2) *China Geology University*(*Beijing*), *Beijing*, 100083

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

Abstract: Three-dimensional tomography of seismic wave velocity is an important method to study the three-dimensional structure and dynamics of the mantle and crust. In this paper, we study the three-dimensional tomography of seismic wave velocity in northwest China, and show that the lithospheric wave velocity structure in the study area reflecs the tectonic pattern formed by the combination of multiple land-mass amalgamation in the Phanerozoic. These old landmasses include Tarim, Jungar, Qaidam, Tuha, Yingen, Tengger and Ordos, all of which have high-velocity characteristics in the upper layer of the lithospheric mantle. Three-dimensional tomography also shows that the long-range effects of the India subcontinent's collision with Eurasia affected the uplift of the Tienshan Mountain, the western Tarim Basin and the Tuha Basin, but the intense deformation formed mainly acted on the upper and middle crust. Based on the characteristics of the combination in the study area and combined with the high-precision data of ground gravity and aeromagnetics, it can also provide accurate positioning of the Phanerozoic dynamical actions the remains, and of the early ocean—continent transition zones.

Keywords: seismic wave velocity; three-dimensional tomography; Northwest China; dynamics; land mass amalgamation

Acknowledgements: Financially supported by Geological Survey Fund of Inner Mongolia Autonomous Region (No. #2017-YS02)

First author: YANG Wencai, a professor of College of Geosciences in Zhejiang University, research and teaching on Earth imaging and geodynamics. He completed Ph. D. from McGill University in Canada in 1984, and became an academician of Chinese Academy of Science since 2005; Email: yang007@zju.edu.cn

Manuscript received on: 2024-07-30; Accepted on: 2024-08-10; Published online on: 2024-08-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2024.08.021　　**Edited by**: LIU Zhiqiang