

大别山黄石-六安反射地震剖面新的地质解释

徐树桐¹, 袁学诚², 吴维平¹, 刘贻灿³

XU Shu-tong¹, YUAN Xue-cheng², WU Wei-ping¹, LIU Yi-can³

1. 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083;

3. 中国科学技术大学地球和空间科学系, 安徽 合肥 230026

1. *Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China;*

2. *Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China;*

3. *Department of Earth and Space Science, China University of Science and Technology, Hefei 230026, Anhui, China*

摘要:在大别山黄石至六安反射地震剖面上有很多近水平的反射体,表明大别山中心部位的中、下地壳内也有近水平的分层性,反映有流变性和动力学方面的差异,与大型薄皮构造理论对岩石圈性质的认识一致,因而在其运动过程中应服从薄皮构造的运动规律。结合以往对大别山区划分的岩石-构造组合,在前人对此反射地震剖面所作的地质解释的基础上,对反射地震剖面作了较为详细的地质解释,并建立了大别山造山带在此剖面上的两维几何结构。剖面南部为造山过程中形成的背斜构造,地表15km深度内为由碰撞混杂岩组成的扬子与中-朝大陆之间的主动滑脱带。剖面中部为造山期后的侵入体。剖面北部为主滑脱带的根带(通常认为的缝合带),根带被中生代形成的晓天磨子潭断裂带切割。剖面最北端为变质复理石中略晚于主滑脱带的反向冲断带。推测下地壳的断开距离在扬子大陆俯冲时(三叠纪前)规模较大,然后逐渐缩小,直至保留到今天的规模。

关键词:大别山;反射地震剖面;地质解释

中图分类号:P631.4⁺25

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)01-0019-08

Xu S T, Yuan X C, Wu W P, Liu Y C. New geological interpretation of the seismic reflection profile from Huangshi to Liu'an across the Dabie Mountains, China. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(1):19-26

Abstract: There are many subhorizontal reflectors in the Huangshi-Liu'an migrated seismic reflection profile across the Dabie Mountains, which suggests that subhorizontal stratification also occurs in the middle and lower crust below the central part of the Dabie Mountains and shows the difference in rheology and kinematics. This agrees with the understanding of the nature of the lithosphere based on the concept of "thin skin tectonics". On the basis of the previous geological interpretation of this seismic reflection profile, combined with the classification of the petrologic-tectonic associations of the Dabie Mountains, a more detailed geological interpretation of this profile is made and a 2D geometric architecture of the Dabie orogen along the profile is established in the present paper. In the southern part of the profile, an antiform was formed in the orogenic process, and within 15 km below the surface there occurs the main detachment between the Yangtze block and Sino-Korean block, composed of collisional mélanges. The middle part of the profile is occupied by a post-orogenic intrusion. The northern part is the root zone of the main detachment, cut by the Xiaotian-Mozitan fault formed in the Mesozoic; it is commonly regarded as a suture between the two blocks. The northernmost part is the back thrust belt formed slightly later than the main detachment. It is inferred that the offset of the lower crust and Moho was large during the subduction of the Yangtze block before the Triassic and then was reduced to the present magnitude.

Key words: Dabie Mountains; seismic reflection profile; geological interpretation

收稿日期:2007-09-10;修订日期:2008-01-04

基金项目:国家“973”专项(编号:2003CB716500)、国家自然科学基金重大项目(编号:40399104)和国家自然科学基金项目(编号:40542012)资助。

作者简介:徐树桐(1929-),男,教授,从事大别山地质研究工作。E-mail:xushutong@126.com

大别山造山带是一个因大量出露柯石英^[1-2]和微粒金刚石^[3]而著名的碰撞造山带。该带与其他著名碰撞造山带的共同特点是具有薄皮构造的特征,不同之处是:①大部分岩石受到过超高压变质作用,很多地质学家在此进行了大量的研究工作,并获得了丰富的研究成果;②仰冲于超高压带之上的仰冲壳楔已完全被剥蚀,使其薄皮构造的特征不易被识别,也影响了对本区不同岩石-构造单位的判别,特别是对其中的碰撞混杂岩的判别,因而不能正确地建立整个造山带的几何结构。碰撞混杂岩的识别是造山带几何结构研究中的首要步骤,也是随后进行运动学分析的基础。分析任何造山带的几何结构时,首先必须正确地划分出岩石-构造组合(类似于以往文献中的大地构造单位)。所谓岩石-构造组合,是指能反映现代板块特定构造背景的岩石组合^[4],其中可以包括表壳岩和侵入岩。对于陆-陆碰撞的碰撞造山带的几何结构,Hsü^[5]将其概括为3个部分:仰冲壳楔(overriding crustal wedge)、碰撞混杂岩(collision mélange)和俯冲壳楔(underthrusting crustal wedge)。与俯冲海洋板块不同的是,在碰撞造山带中,向下俯冲的是大陆地壳,原来存在于2个大陆之间的海洋板块已经消减,往往只有镁铁-超镁铁质岩以孤立岩块的形式保存在碰撞混杂岩中^[5]。为了了解大别山的深部结构,2000—2001年在安徽省六安与湖北省黄石之间进行了横穿大别山的反射地震剖面研究。有些研究成果将大别山划分为合肥盆地、北淮阳推覆体(包括三叠纪缝合带、庐镇关和佛子岭群)、北大别地块、南大别地块4个地壳分区^[6-7]。南大别地块中包括超高压变质带和高压变质带。在大致相同的时期内,徐树桐等^[7-8]认为大别山内大面积出露的条带状片麻岩组合和云母斜长片麻岩组合都是构造混杂岩,并据此将大别山内的岩石划分为6个岩石构造组合,编制了大别山地质图,初步分析了大别山的几何结构。随后的研究成果指出,北大别的条带状片麻岩应为扬子大陆的下地壳^[9-10]。结合对大别山碰撞混杂岩的进一步论证^[8-11],以薄皮板块构造理论为依据,本文对横穿大别山的反射地震偏移剖面作出新的地质解释。由于要涉及形成机制的问题,所以在作几何结构解释的同时,也对有关的运动学问题作初步探讨,但不涉及莫霍面的演化,希望引起广泛的讨论。

1 大别山的地质概况

大别山位于中国东部,西连秦岭造山带,东端被郯-庐断裂带截割,处于中-朝与扬子大陆之间,是公认的碰撞型造山带,具有世界上最大的印支期(偶见有古生代)的超高压变质带。虽然覆盖整个大别山区的1:20万和1:5万地质填图工作早已完成,专题研究,特别是超高压变质的研究,也已进行了20余年,但是在对大别山的综合地质研究方面仍然有许多工作要做。对造山带几何结构的分析是研究中的薄弱环节之一。徐树桐等^[7-8]将大别山划分为8个构造岩石单位(图1)。它们分别是(由北向南):①后陆盆地(HB)。②变质复理石(MF)。③条带状片麻岩-超镁铁质岩带(UM)(东部)。该带最显著的特征是大小不等、性质各异的构造岩块包裹在一套经过广泛剪切作用的片麻岩基质中,两者为构造接触。片麻岩有3种,第一类以条带状片麻岩为主,其中常夹有大理岩;第二类为英云闪长质正片麻;第三类为二长花岗质片麻岩。岩块中镁铁-超镁铁质岩块最为醒目。片麻岩类岩块往往是片麻岩在受到强烈剪切后自碎而成的,由于与基质片麻岩的色调相近而不易辨别。此外还有大小不等的蛇纹石化的大理岩块。这类岩块大部分的直径只有数米至数十米,最大的直径超过2000 m,西部为苏家河混杂岩带(SH)。④榴辉岩带2(ECL₂),为云母斜长片麻岩-榴辉岩组合(后文简称榴辉岩组合),多处榴辉岩中都有柯石英产出。⑤榴辉岩带1(ECL₁),为英云闪长片麻岩-榴辉岩组合,榴辉岩中迄今未发现柯石英(后文与④共称榴辉岩组合)。⑥大别杂岩(DB),以花岗岩类片麻岩为主。⑦宿松群和张八岭群(SZ),为含磷岩系及云英片岩、千枚岩。⑧前陆带(FB)(图1)。在图1中,早于(包括)早三叠世的地层被卷入强烈的向南褶皱和冲断作用,并发育侏罗纪—第三纪的砂砾岩沉积盆地。这表明大陆俯冲作用在早三叠世末期已经停止并开始折返,与潜山-英山-新县榴辉岩带(图1中的ECL₂)中大多数榴辉岩具有230 Ma左右的峰期变质年龄^[12-14]的事实一致。在大别山内部的6个岩石-构造组合中,条带状片麻岩和2个榴辉岩组合都是变质的构造(碰撞)混杂岩(图1),是组成中-朝大陆与扬子大陆之间主滑脱带的岩石构造组合^[8,11]。

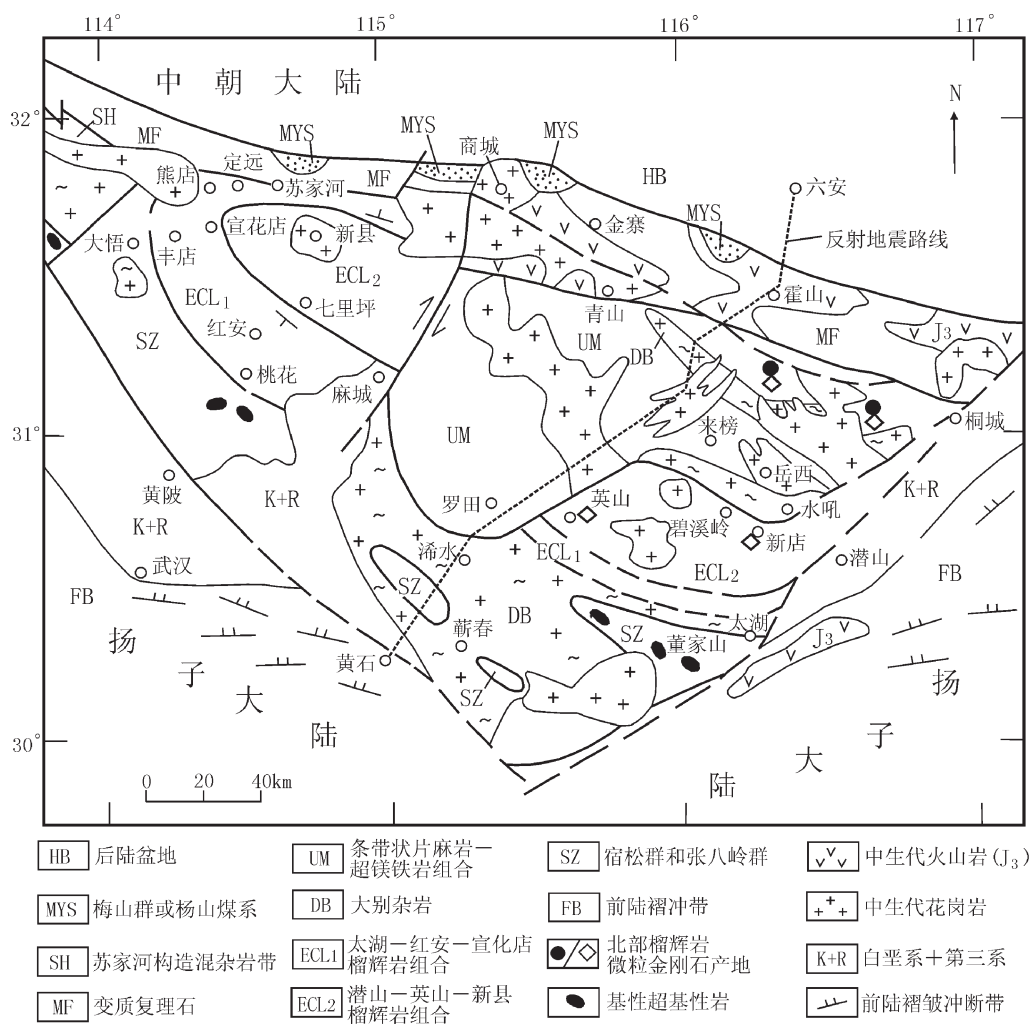


图1 大别山地质略图

Fig. 1 Geologic sketch map of the Dabie Mountains

2 反射地震剖面的地质解释

2.1 反射地震剖面的第一次地质解释

第一次地质解释根据当时流行的意见^[6],将大别山分为合肥盆地、北淮阳推覆体(包括三叠纪缝合带、庐镇关和佛子岭群)、北大别地块、南大别地块4个地壳分区,根据反射地震偏移剖面,对深部的一级构造轮廓作了地质解释,并对一些基本事实赋予了地质含义,例如,①北大别地块的深部数十个密集的低频震幅反射段,代表剪切作用造成的面理和糜棱岩带,岩性以片麻岩为主;②南大别为推覆体,上地壳的7~8s深度内为南大别穹隆;③中部为巨大的花岗岩体(图2-b)。这些解释仍然是本文解释中的主

要内容。不过,随着资料的积累和认识的深入,对于原来解释中一些不确定的问题也可作一些较为详细的和更为明确的解释(图2-c)。

2.2 反射地震剖面新的地质解释

在反射地震剖面调查的同时,笔者对地震剖面沿线的地表地质进行了详细的观测。在相关理论的指导下,根据观察到的地质现象,结合以往的研究成果,对反射地震剖面作了较详细的解释。由于涉及几何结构的形成机制的问题,在进行几何结构解释的同时也涉及运动学的某些内容。

2.2.1 地质解释的理论根据

(1) 薄皮板块构造理论

薄皮板块理论^[15]是本文地质解释的理论基础。

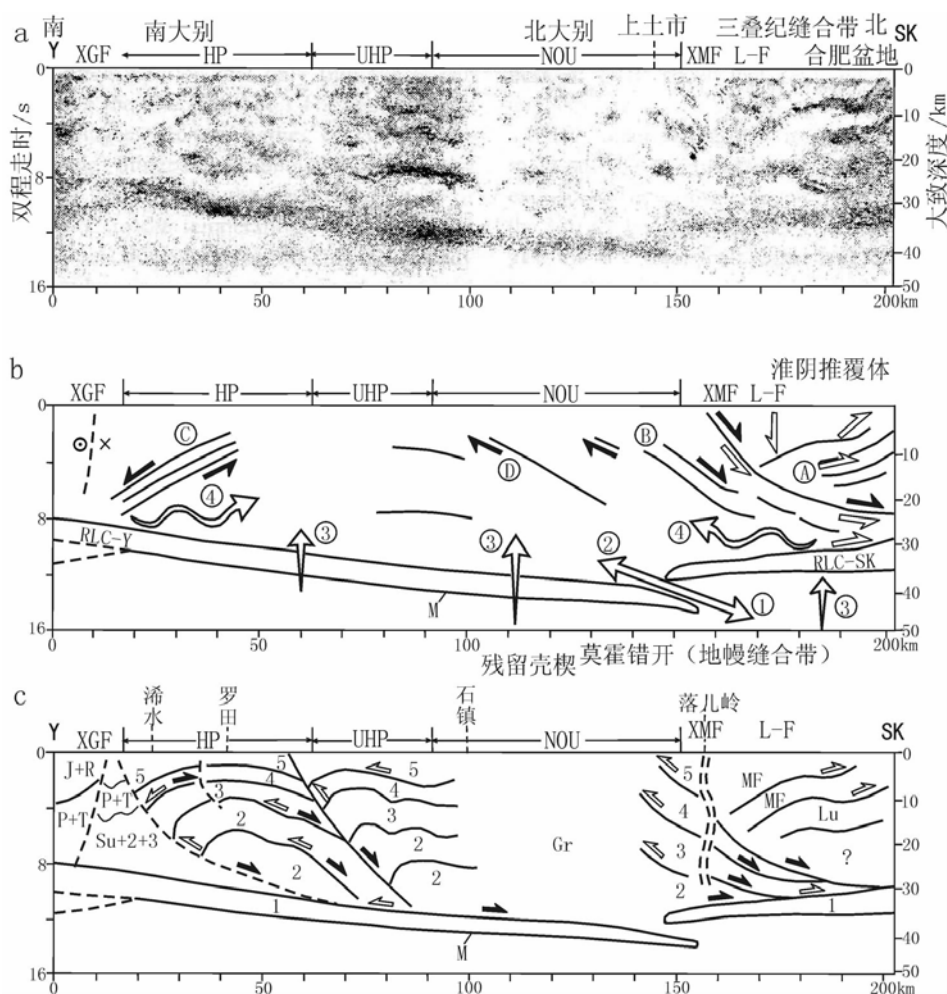


图2 大别山黄石至六安偏移反射地震剖面(a,b根据参考文献[3],c为本文的解释;剖面位置见图1)

Fig. 2 Seismic reflection profile from Huangshi to Liu'an in the Dabie Mountains

a—反射地震偏移剖面,比例尺按6.7km/s的速度(无垂向夸大),用4s AGC时变窗口滤波器作显示处理,0~8s取8~12~35~45Hz,8~16s取5~8~25~35Hz。b—反射面线划图,强调主要反射构造(虚线表示更大的推测性)地质解释剖面:L-F—卢镇关和佛子岭群;XGF—襄樊—广济断裂带;XMF—晓天—磨子潭断裂带;HP—高压变质带;UHP—超高压变质带;NOU—北大别片麻岩;RLC-Y—扬子大陆反射下地壳;RLC-SK—中-朝大陆反射下地壳;半空心箭头表示断层或剪切带俯冲时的运动方向;半实心箭头表示断层或剪切带折返时的晚期运动方向;数字①~④表示物质运移的顺序;①~④表示明显的倾斜反射。c—本文根据反射地震偏移剖面所作的地质解释剖面;半空心箭头表示造山期沿剪切带的运动方向;半实心箭头表示造山期后应力松弛阶段沿剪切带的运动方向;1—下地壳(条带状片麻岩);2—中地壳(英云闪长片麻岩);3—上地壳(二长花岗岩片麻岩及副变质岩);4—榴辉岩组合;5—条带状片麻岩组合;MF—变质复理石;Gr—中生代花岗岩;M—莫霍面。Lu—卢镇关群;J+R—侏罗系+第三系;P+T—古生界+三叠系;Su—宿松群;SK—中朝大陆;Y—扬子大陆。详细解释见正文

薄皮板块构造观点认为,整个岩石圈大致是一个层状系统,这个系统的不同深度在压力、温度、成分等方面有明显的不同,而侧向的变化很小。在较小的规模上,岩性强度也有水平分层的性质。在强度水平分层的系统中涉及软弱层变形的侧向运动,必然比卷入所有层的垂向运动更容易发生。总的来说,薄皮构

造是反映近水平分层变形组分的构造,滑脱带是最重要的薄皮构造要素。根据薄皮构造,2个大陆板块之间的碰撞界面受到地壳分层性的控制,都是低角度的巨大的逆掩断层,主断面(或带)的倾角有时只有2~4°,涉及的岩石不但有层状的表壳岩,也有深部的变质基底^[15]。这种缓倾的巨大断层带是由众多次

级剪切带和各种不同性质、大小各异的岩块组成的岩石-构造组合(或单位)。经过反射地震调查证实的阿巴拉契亚造山带(图3-a)是薄皮构造的经典实例。在综合各著名碰撞造山带的特征之后,Hsü^[5]提出了有代表性的薄皮板块构造模式(图3-b)。

(2) 岩石构造单位的划分

反射地震调查的目的是了解深部的几何结构。了解几何结构的前提条件是必须将研究地区的地质体按形成背景作进一步的划分,分成不同的岩石构造组合(或大地构造单位)^[1]。就碰撞造山带而言,主滑脱带及组成滑脱带的碰撞混杂岩是诸多岩石构造组合中最重要的成员,是划分不同大陆的标志性单位。本文采用徐树桐等划分的岩石构造组合(见第1章和图1),同时认为北部条带状片麻岩组合、中部的2个榴辉岩组合都是碰撞造成的构造混杂岩^[8,11]。

(3) 洋壳消减与大陆碰撞的关系

通常认为2个不同大陆之间必然有一个海洋板块存在。当海洋板块向某一方向俯冲并完全消减之后,两侧的大陆开始碰撞,由洋壳俯冲形成的岩石构造组合有可能在碰撞过程中以类似于角流的方式开始折返^[16],因此它们是首先折返到上地壳或地表的组合。就大别山的情况而言,也必然有洋壳的存在,但折返却与“角流”模式不同。对此笔者将另作讨论。扬子大陆与中-朝大陆自中奥陶世到早石炭世期间的地质差异及佛子岭群的复理石沉积表明两者之间

曾经有过大洋板块的存在。推测太湖-红安榴辉岩带是先期折返并被条带状片麻岩逆掩的、由俯冲洋壳形成的岩石构造组合,徐树桐等称之为“碰撞混杂岩”的“云母斜长片麻岩-榴辉岩组合”(图1中的ECL₁)。这个组合在西部的洋壳成因已被证实^[17-18],而东部的洋壳成因证据还有待进一步补充。在其他的组合中,也许还有类似于图3-a国王带中的零星的洋壳碎块有待发现。

2.2.2 大别山反射地震剖面反映的重要事实及其地质解释

(1) 数十个层状反射体的存在

反射体的存在说明即使在深部或造山带的核心部位的地壳中也有明显的分层性,因此应适用于薄皮板块构造理论。袁学诚等^[6]将反射体解释为断层和剪切带是完全正确的。反射体在剖面的石镇与祝家铺之间为透明体,在地质上是巨大的天堂寨花岗岩体分布区(图2)。本文同样认为这些反射体是剪切面(带)。除去应力分布因素外,这些剪切面可能受化学成分和物理性质不同的岩性层的影响或控制。

(2) 剖面南部

从反射层的分布及其相互关系来看,南部罗田穹隆的几何形态更像是在推覆运动过程中形成的双冲构造(duplex)或双冲式背斜,即先期近水平的剪切带在由北向南逆冲的过程中发展起来的双冲式

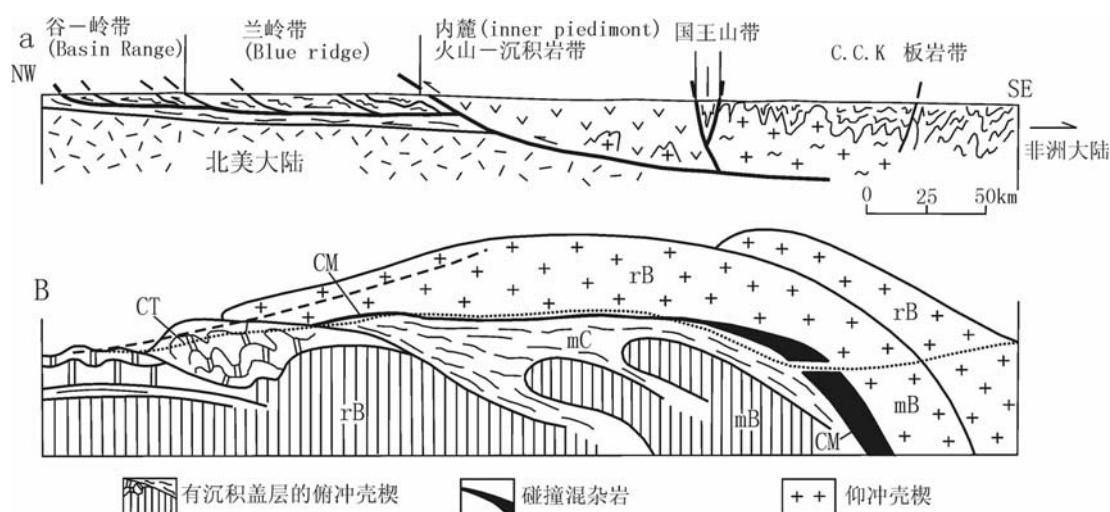


图3 碰撞造山带的薄皮构造

Fig. 3 Thin-skin tectonics of the collisional orogen

a—阿巴拉契亚造山带^[1],粗线表示主滑脱带,C.C.K.为Carlotte, Carolina, Kiokee的缩写;b—碰撞造山带的薄皮构造模式^[4]

背斜,这与加拿大落基山的情况和模式类似^[19-20],大别山的变形形态面是近水平的剪切带而不是地层。如果将地表已被剥蚀部分考虑在内,则可能是堆叠式的背斜(形)(stacked imbricate antiform)^[20]。浠水以南的冲断层是这个系统中的前缘断层,倾角向深部变缓,最终归并到下地壳附近的底板冲断(floor thrust)带中。笔者未选择“变质核杂岩”的模式来解释罗田穹隆,是因为通常所说的变质核杂岩分布在美国阿巴拉契亚造山带和科的勒拉造山带^[21]的前陆带内,由核部强烈变形变质的深成岩、上覆相对未变形的表壳岩和二者之间的滑脱面组成,其形成通常与地壳伸展和受热有关,而罗田地区的深部下地壳完整,看不出有地幔热影响本区的通道,也未见反映岩浆岩的透明部分。此外核心部位的黄土岭片麻岩是副变质岩^[22],不是变质的深成岩。以任何关于“变质核杂岩”的特征和定义^[23-24]来衡量,罗田穹隆都不像变质核杂岩。这个地区岩石构造组合的划分是以反射地震剖面并结合图1中岩石构造组合的分布为依据的。例如地质图(图1)上地震剖面的路线全部在条带状片麻岩组合区,在反射地震偏移剖面(图2-a)上,地表5~10 km的深度内是一个连续不断的反射体,因此这个部位的地质体和反射体应对应的(图4)。根据前人的资料,条带状片麻岩为扬子大陆的下地壳^[9,25],地表的条带状片麻岩-超镁铁质岩组合是以条带状片麻岩为基质形成的碰撞混杂岩组合,组成双冲构造的顶板冲断层带(图4)。在地质图(图1)上,地震剖面路线以东和以西的榴辉岩组合在本区被截断,推测被逆掩于条带状片麻岩之下。在碰撞混杂岩

组合中,榴辉岩组合的基质主要为云母斜长片麻岩等副变质岩和英云闪长岩类正片麻岩。未卷入混杂岩的这类岩石仍然处在其原来的中上地壳位置,被逆掩于碰撞混杂岩组合之下。这个穹隆南翼倾角较大、北翼较缓及南翼显示的北倾剪切带都表明早期有向南的逆冲运动。根据现场及薄片的研究结果,在大别山的碰撞混杂岩组合中的同一剪切带内,有早期(榴辉岩相阶段)向南逆冲的矢量,也有后期向北伸展的矢量^[5]。即逆冲之后还有一个反向的伸展运动,这种现象也见于美国西部的造山带^[21],也符合于应力松弛阶段各种矢量都作反向改变的普遍规律。应力松弛阶段同时也造成东西方向的缩短,并叠加于罗田背斜之上,最终形成穹隆。剖面最南缘向北倾的前缘冲断层之南的中、新生代沉积是有地表地质调查依据的。

(3)剖面中部

石镇与上土市之间为地震剖面的中部。地震偏移剖面的这个范围内是大面积的透明体。在地质图上这里是巨大的天堂寨花岗岩岩基分布区,东邻为司空山和团岭花岗岩等白垩纪岩体。天堂寨岩体中可见到条带状片麻岩的捕虏体,司空山岩体中有榴辉岩捕虏体^①。笔者据此将这里解释为花岗岩分布区。王强等^[26]认为,天堂寨花岗岩为增厚(>40 km)的下地壳熔融形成的,热源可能是同期底侵的镁铁质-超镁铁质岩浆,这与张宏飞等^[9]的观点一致。马昌前等^[27]认为是幔源岩浆与地壳混染的共同产物。岩体的侵入,使碰撞混杂岩组合被破坏成南北2部分(图2-c,图4)。按照大部分作者的意见,天堂寨花岗

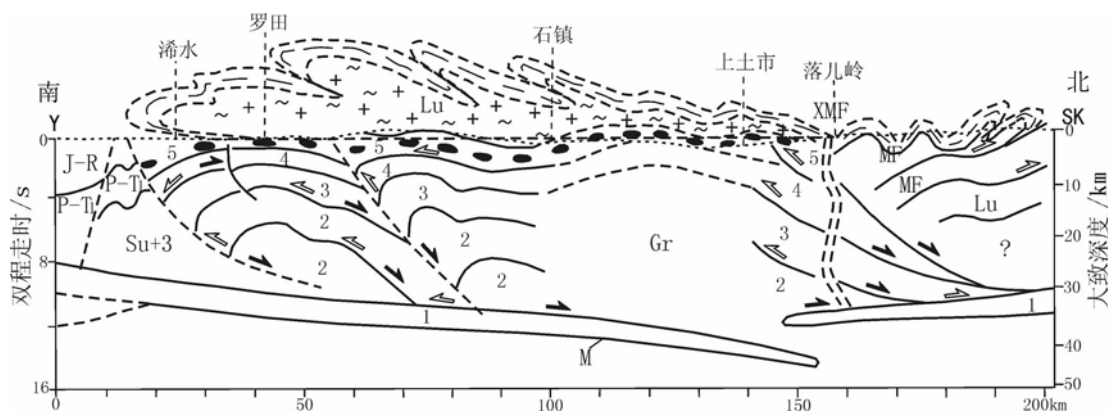


图4 大别山黄石-六安地质剖面重建图

Fig. 4 Reconstructed geological section of Huangshi-Liu'an in the Dabie Mountains

.....地形线;椭圆形实心黑点表示混杂岩;其余符号同图2,解释见正文

岩与下地壳的熔融或混染有关,都需要来自地幔的热源。但是在反射地震剖面上的下地壳断开部位,即壳、幔物质交换的通道在天堂寨岩体以北,且宽度不足5 km。如同袁学诚等^[6]所说,这样宽度的通道是否能够让如此规模的陆壳俯冲入地幔,形成超高压岩石,然后再由此通道折返到现今的位置,是值得怀疑的。同样,如此狭窄的通道能否为如此规模的岩体提供足够的幔源物质和热源也是值得怀疑的,况且通道并不在岩体的正下方。实际上,三叠纪的俯冲—折返期,甚至白垩纪岩体侵位的时期,形成的壳幔交换通道不可能延续至今。最可能的情况是,在陆壳俯冲和折返时,或最多在天堂岩体侵位时(~ 125 Ma),这个通道要大得多,然后,由于地壳缩短而变小乃至超覆,直至今日的规模。笔者推测,这种南北向的缩短也是中—朝和扬子大陆相对近水平运动,而不单纯是垂直运动造成的。因为南北的下地壳之间有近10 km的超覆(overlap)。这种现象只有在2个地质体受到近水平压力而缩短的情况下才会发生。但是我们不知道这个通道的最初规模,以透明体的宽度衡量,也许在剖面上最初的宽度为50~60 km。

(4) 剖面北部

剖面北部是最复杂而又有争议的地段,争议最大的问题是2个大陆碰撞的缝合带在哪里。本文同意袁学诚等^[6]关于“莫霍面和下地壳错开的地方就是三叠纪时期的缝合带位置”的意见,但需要补充一点:这个缝合带在形成以后,相对于中—朝大陆下地壳北移了10~20 km,或者最好说中—朝大陆下地壳相对于缝合带的地表位置南移了10~20 km。因为如前所说,莫霍面和下地壳错开在其形成后有强烈的缩短。晓天—磨子潭断裂带在反射地震剖面上是宽约1 km的透明体(图2-a,图4),其中有晚侏罗世—早白垩世的侵入岩、脉岩和火山沉积岩,组成断裂的断层岩是碎裂岩和角砾岩,表明断裂带是在晚侏罗世至早白垩世期间接近地表形成的。碎裂岩和角砾岩的母岩为糜棱岩,表明断裂带起码在浅部与早期剪切带叠加。根据Sr-Nd-Pb的同位素成分,北部碰撞混杂岩中的条带状片麻岩与扬子大陆下地壳相同^[9,25]。据此推测,北部的条带状片麻岩—超镁铁质岩石组合是以条带状片麻岩(扬子大陆下地壳)为主要基质,与其他类型的片麻岩基质、不同背景的岩块混杂而成的碰撞混杂岩。它可能是在陆壳强烈俯冲阶段从母体断离并俯冲进入地幔、折返阶段受到

挤压力和浮力的双重影响向浅部折返的下地壳;折返过程中形成褶皱和冲断层,并最终冲断到现今的位置;然后在北部地区受到强烈的混合岩化作用。混合岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄指示混合岩化的时代为 $126 \text{ Ma} \pm 5 \text{ Ma}$ ^[28]。这表明碰撞混杂岩和变质复理石在早白垩世晚期可能还处在下地壳错开的上方,并受到地幔热源的影响。因此下地壳的向南移动应在126 Ma之后。根据莫霍面的超覆和地表3个碰撞混杂岩组合逐次地向南超覆推测,大别山在其碰撞造山的全过程中及岩石圈的重组过程中,继承了缩短变形的体制。造山过程中和造山期后出现过的伸展体系不起主导作用。

(5) 关于三叠纪缝合带

本文认为,所谓三叠纪缝合带就是大别山的碰撞造山缝合带,组成缝合带的岩石是碰撞混杂岩组合,其总体产状平缓,根带的地表位置在落儿岭附近,倾角较大,人们通常只将根带作为缝合带。根带地表出露的岩石为条带状片麻岩、英云闪长质片麻岩、二长花岗片麻岩和相应成分的糜棱岩。前2类片麻岩中含有大量构造背景不同的构造岩块。在反射地震剖面图上,是倾向北的叠瓦状冲断层带,冲断层带向北延伸,中部被后期的晓天—磨子潭断裂切割,向深部归并入中—朝大陆下地壳附近的滑脱带内。佛子岭群和庐镇关群本身构成一个复式向形或向南、北2个方向推覆的突起构造(pop-up structure)^[29]。向北冲断层应当是造山过程中的反向冲断层带,许多造山带都有这种情况,实验模拟也可得出类似的结果。地表出露的碰撞混杂岩是缝合带的薄皮部分,分布范围虽广,但厚度不会很大,推测不超过15 km,是整个双冲构造中的顶板冲断层带。落儿岭附近则是碰撞混杂岩的根带,根带向深部归并入底板冲断层带(图4)。这种格局完全符合大型薄皮构造的规律。

3 结 论

(1) 反射地震剖面中的众多层状反射体表明,大别山深度变质的核心地带也具有薄皮构造的性质,因此变形也应服从大型薄皮构造的规律,在造山作用过程中以近水平方向的运动为主。

(2) 大别山核心的罗田穹隆是早期南北向缩短形成的双冲式背形,受到造山后期应力松弛阶段的東西向缩短叠加而形成的构造穹隆,不大可能是“变质核杂岩”。

(3) 扬子与中-朝大陆碰撞的缝合带是以条带状片麻岩组合和榴辉岩组合为代表的碰撞混杂岩带, 地表大面积出露的是其薄皮部分, 面积较大但厚度可能很薄(15 km), 根部为落儿岭附近的条带状混杂岩组合。

(4) 下地壳和莫霍面的错开, 自三叠纪以后因强烈缩短而变小, 直到变为目前的规模。

致谢: 常印佛院士、季寿元教授对本文提出了修改建议, 陆益群工程师为本文作图, 在此一并致谢。

参考文献:

- [1] Okay A I, Xu S, Sengor A M C. Coesite from the Dabie Shan eclogite, central China[J]. *Eur. J. Mineral.*, 1989, 1: 595-598.
- [2] Wang X, Liou J, Mao H. Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains in central China[J]. *Geology*, 1989, 17: 1085-1088.
- [3] Xu S, Okay A I, Ji S, et al. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting[J]. *Science*, 1992, 256: 80-82.
- [4] Condie. Plate tectonics and crustal evolution (third edition) [M]. Pergamon Press, 1989: 476.
- [5] Hsü K J. Thin-skinned plate tectonic model for collision-type orogenesis[J]. *Science in China*, 1981, 24(1): 100-110.
- [6] Yuan Xue-cheng, Simon L K, Teng Wen-bong, et al. Crustal structure and exhumation of the Dabie Shan ultrahigh pressure orogen, eastern China, from seismic reflectivity profiling [J]. *Geology*, 2003, 31: 435-438.
- [7] 《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》编写组. 大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 210.
- [8] 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等. 大别山造山带的构造几何学和运动学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002: 133.
- [9] Zhang H, Gao S, Zhong Z, et al. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Cretaceous granitoids: constraints on tectonic framework and crustal structure of the Dabieshan ultrahigh-pressure metamorphic belt, China[J]. *Geochemical Geology*, 2002, 186: 281-199.
- [10] 李曙光, 黄方, 周红英, 等. 大别山双河超高压变质岩及北部片麻岩的U-Pb同位素组成——对超高压岩石折返机制的制约[J]. *科学通报*, 2001, 31: 977-984.
- [11] Xu Shutong, Liu Yican, Wu Weiping. A paradox: The ultramafic rock belt (UMRB) as a metamorphic tectonic mélange in northern Dabie Mountains eastern central China[C]//Ueli Briegel, Wenjiao Xiao. Paradox in Geology. The Netherlands, Elsevier Science B V, 2001: 323-342.
- [12] Li S, Jagoutz E, Chen Y, et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotope chronology of ultrahigh-pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, central China [J]. *GCA*, 2000, 64: 1077-1093.
- [13] Liu X C, Jahn B M, Liu D, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of a metagabbro and eclogites from western Dabieshan (Hong'an Block), China, and its tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 2004, 394: 171-192.
- [14] Liu D Y, Jian P, Kröner A, et al. Dating of prograde metamorphic events deciphered from episodic zircon growth in rocks of the Dabie-Sulu UHP complex, China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 250: 650-666.
- [15] Seeber L. Large scale thin-skin tectonics[J]. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 1983, 21(6): 1528-1538.
- [16] Cowan D S, Silling R M. A dynamic model of accretion at trench and its implications for the tectonic evolution of subduction complex[J]. *J. Geophys. Res.*, 1978, 83: 5389-5396.
- [17] 简平, 杨巍然, 李志昌, 等. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩: 同位素年代学证据[J]. *地质学报*, 1997, 71(2): 133-140.
- [18] 李曙光, Jagoutz E, 肖益林, 等. 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学: I. Sm-Nd同位素体系[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26: 249-257.
- [19] Tompson R I. The nature and significance of large "blind" thrusts within the northern Rocky Mountains of Canada[C]//McClay Price N J. Thrust and Nappe Tectonics. Published for The Geological Society of London by Blackwell Scientific Publications Oxford London Edinburgh Boston Moelbourne, 1981: 539.
- [20] Ramsay J G, Huber M I. The techniques of modern geology, volume 2, folds and fractures[M]. Academic Press INC, (London) LTD, 1987: 700.
- [21] Coney P J, Jones D L, Monger J W H. Cordilleran suspect terrans [J]. *Nature*, 1980, 288: 329-333.
- [22] Ma C, Ehlers C, Xu C, et al. The roots of the Dabieshan ultrahigh pressure metamorphic terrane: constraints from geochemistry and Nd-Sr isotope systems[J]. *Precambrian Research*, 2000, 102: 279-301.
- [23] Davis G A, 郑亚东. 变质核杂岩的定义、类型及构造背景[J]. *地质通报*, 2002, 21(4/5): 185-192.
- [24] 宋鸿林. 关于变质核杂岩构造特征的几个问题[J]. *地质通报*, 2002, 21(4/5): 193-197.
- [25] Bryant D L, Ayers J C, Gao S, et al. Geochemical, age, and isotopic constraints on the location of the Sino-Korean/Yangtze Suture and evolution of the Northern Dabie Complex, east central China [J]. *GSA Bulletin*, 2004, 116(5/6): 698-717.
- [26] 王强, 许继峰, 赵振华, 等. 大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩类的成因及动力学意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 551-564.
- [27] 马昌前, 扬坤光, 许长海, 等. 大别山中生代钾质岩浆作用与超高压变质地体的剥露机制[J]. *岩石学报*, 1999, 15(3): 379-395.
- [28] Liu Y, Li S, Xu S. Zircon SHRIMP U-Pb dating for gneisses in northern Dabie high T/P zone, central China: implications for decoupling within subducted continental crust [J]. *Lithos*, 2007, 96: 170-185.
- [29] 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等. 大别山的构造格局和演化[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 174.
- ① 安徽省地质矿产局. 杨柳湾镇幅(1:5万)地质调查报告及地质图. 2005.