

秦岭陆内造山带岩石圈结构

袁学诚 李善芳 华九如

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要:重新处理和解释叶县—南漳反射地震剖面,并综合利用油气勘探地震剖面,地震层析、大地电磁测深、地热流、气体测量等地球物理和地球化学数据,得到秦岭造山带岩石圈构造模型。识别出秦岭地壳不同时代的重要构造:(1)加里东期华北克拉通向秦岭微板块的俯冲,并造成中上地壳内华北地壳和北秦岭地壳形成锯齿状楔入构造。(2)印支—燕山期扬子克拉通与秦岭微陆块的对冲走滑软碰撞,形成了以南阳地区为中心由一系列规模宏大的逆冲断层组成的负花状构造。(3)白垩纪后,由正副片麻岩交互成层的结晶基底形成的穹隆。(4)盖在结晶基底上的近透明浅变质元古宙地层形成的褶皱基底。白垩纪后,秦岭地区和中国东部其他地区一样,岩石圈地幔遭受到软流圈上升形成蘑菇云构造,岩石圈活化,严重影响构造演化过程。

关键词:秦岭;岩石圈;反射地震;气体测量;大地电磁;地热流

中图分类号:P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)01-0001-17

1 秦岭大别陆内造山带

秦岭是横贯中国中部,影响中国历史的一条重要山系,被誉为华夏文明的龙骨。

在地质上,它具有不同寻常的特点:

第一它是横贯中国的一条很长的山系的组成部分。这条很长的山系从阿尔金,经柴达木、祁连山、秦岭到大别山,然后被郅庐断裂错开,又出现在苏鲁(图 1)。总长 4000 km。殷鸿福^[1]将它称为“中央山系”。

虽然严格从造山带的角度来看整个山系不是统一的同时代的山脉,但从古地理角度来看,它们形成的宏观构造环境却大体相似。按照殷鸿福的研究结果,中央山系原是由不同时期位于中国中部沿东西向展布的的小洋盆和位于它们中间的微板块所组成。北部小洋盆在加里东末期关闭。南部小洋盆在中—晚二叠世关闭。但都没有造山。直到燕山期受到陆内挤压隆升。

第二是它构造演化的长期性。它从元古宙末就开始洋陆演化活动,一直延续到新生代。构造演化时

期的跨度是如此之大,以至于秦岭变形主幕的年代也是众说纷纭。黄汲清^[2]认为是华力西造山带;Mattauer^[3]认为是加里东期陆内俯冲的产物;Senger^[4-5]认为是早中生代两大陆碰撞的结果;许志琴^[6]认为北秦岭主造山期是加里东,叠置了华力西构造,中秦岭主造山期是华力西,叠置了印支构造,南秦岭主造山期是印支,叠置了燕山构造。

第三,中央山系是一条全球最长的超高压带。沿着中央山系陆续出露柯石英、金刚石等超高压带矿物。如此巨大的超高压变质岩带为全球罕见(图 2)。

第四,这条山系是一个陆内造山带,不同于一般的俯冲碰撞。它们在碰撞时,并没有隆升成为高山,隆升成为山系时,似乎并没有碰撞。它们是“碰撞不造山,造山不碰撞”^[7]。有的地质学家将这个山系的缓慢碰撞造山过程形象地比作是大船靠岸。

殷鸿福^[1]将中央造山带的这些碰撞特点概括为“非 Wilson 旋回”,他认为一个“Wilson 旋回”要经过“裂解→大洋形成→俯冲→对接(相撞)→造山”这样一系列过程。而“非 Wilson 旋回”则是要经过“裂

收稿日期:2007-10-26;改回日期:2007-11-20

基金项目:国土资源部专项计划项目(20010103)资助。

作者简介:袁学诚,男,1928 年生,教授级高级工程师,主要从事深部地球物理研究;E-mail:xcyuan@263.net.cn。

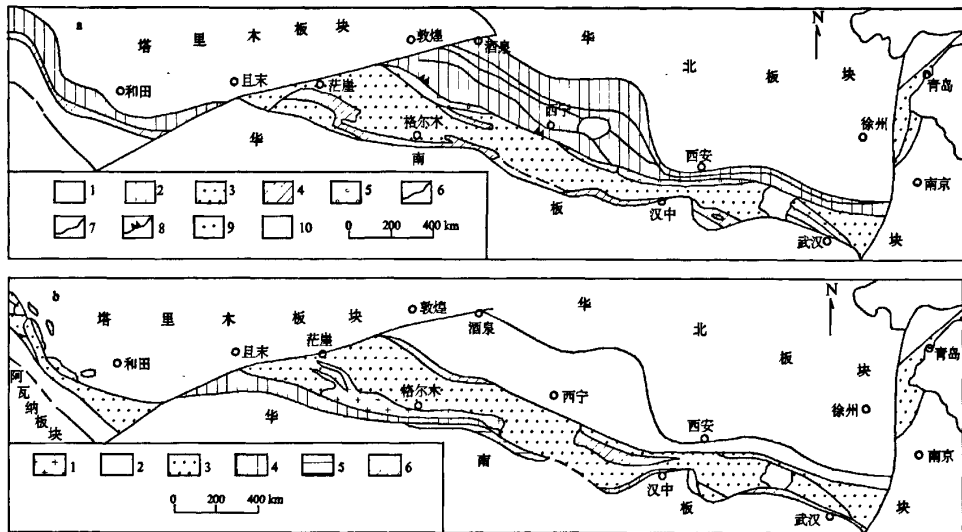


图1 中央造山带早、晚古生代构造古地理略图^[1]

a—早古生代构造古地理略图:1—毗邻板块;2—加里东期洋壳及岛弧;3—加里东期中间微板块;4—加里东期裂谷、裂陷槽;5—泥盆纪前陆带;6—中央造山带边界线;7—构造单元线;8—加里东期缝合带;9—蛇绿岩;10—蓝闪石片岩。

b—晚古生代构造古地理略图:1—海西期花岗岩;2—毗邻板块;3—海西期中间块体群;4—石炭纪洋壳;5—二叠纪洋壳;6—石炭—二叠纪裂陷、拗陷带;其他同图1—a

Fig.1 Early Paleozoic and Late Paleozoic palinspastic sketch map of the Central orogenic belt^[1]

a—Early Paleozoic palinspastic sketch map:1—Plate;2—Caledonian oceanic crust and island arc;3—Caledonian median microplate;4—Caledonian rift and aulacogen;5—Devonian foreland;6—Boundaries of the Central orogen;7—Tectonic unit;8—Caledonian suture;9—Ophiolite;10—Glaucophane schist;b—Late Paleozoic palinspastic sketch map:1—Hercynian granite;2—Plate;3—Hercynian median blocks;4—Carboniferous oceanic crust;5—Permian oceanic crust;6—Carboniferous—Permian rift and depression;other symbols same as 1—a

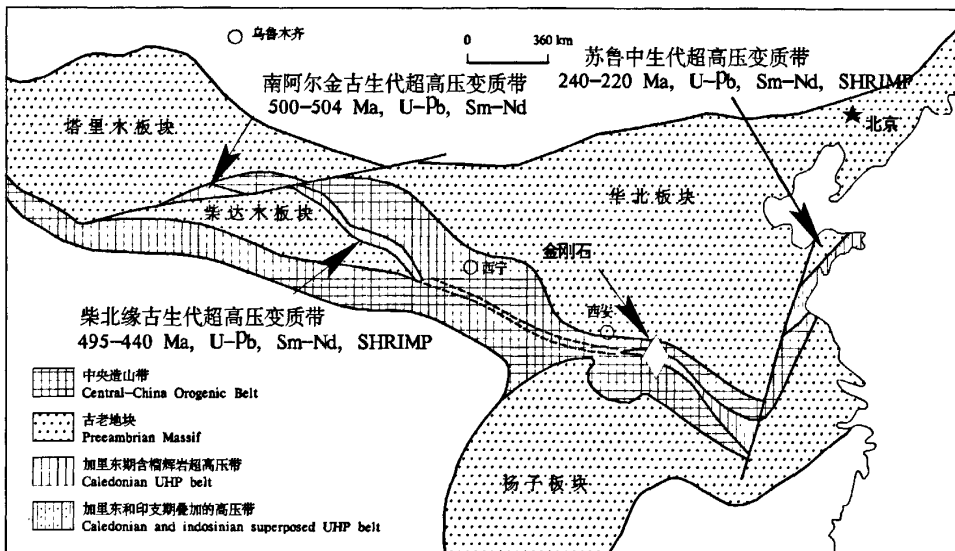


图2 秦岭—大别超高压变质带位置图^[7]

Fig.2 Location map of the Qinling-Dabie ultrahigh-pressure metamorphic belt^[7]

解→多岛洋形成→俯冲→软碰撞→多旋回造山”这样一系列过程。也就是说,非 Wilson 旋回的特点是在造洋阶段的多岛洋 (archipelagic ocean)、俯冲对接阶段的软碰撞 (soft collision) 和由此产生的多旋回 (multicyclcity) 造山。

第五,秦岭地区和中国东部其他地区一样,岩石圈

地幔在中生代及其以后遭受到由于软流圈物质的上升而发生的强烈变化,形成不稳定的蘑菇云地幔^[9-10]。

图 3 为穿过秦岭造山带和华北克拉通的地震层析剖面。高速块体(残存未遭破坏华北克拉通岩石圈地幔)与低速体(上升的软流圈物质)并存,成为特殊的极富流变的岩石圈地幔结构。

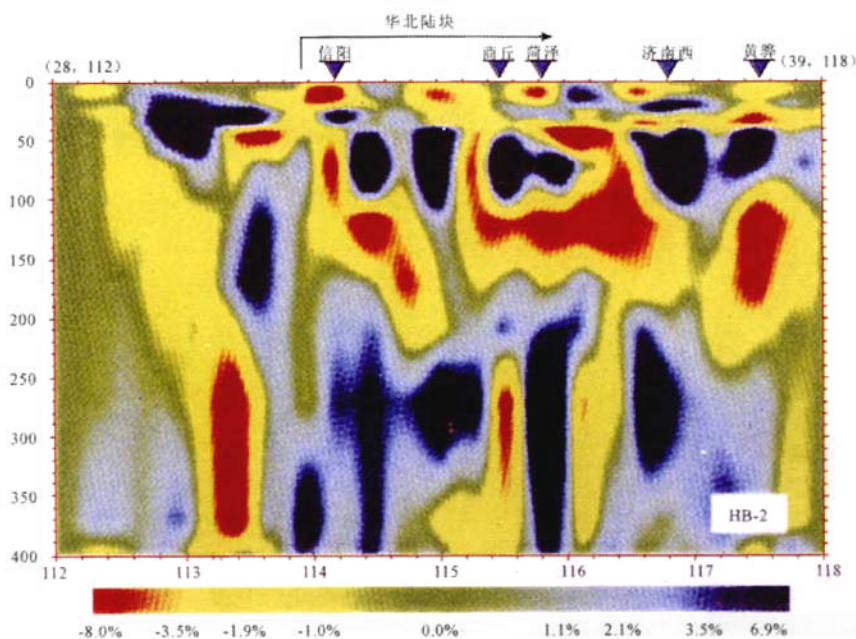


图 3 穿过秦岭和华北的地震层析剖面(徐佩芬,转引自肖庆辉^[11])

Fig.3 Seismotomographic cross-section across the Qinling orogen and North China block ^[11]

2 深反射地震剖面

“秦岭造山带岩石圈结构、演化与成矿背景”是国家自然科学基金委员会“八五”期间设置的一个重大项目,这个项目的一个重要特点是地质、地球物理和地球化学的协同作战,3 个学科紧密结合,进行从地表到深部,从结构到物质组成,以及构造演化的综合研究,探讨秦岭造山带的构造动力学特征。其中包括完成一条穿过整个秦岭造山带以反射地震为主体的多学科、多方法的岩石圈剖面。

断面选择在自河南叶县的盐店,经方城、南阳、邓州,然后折向东南,终止于湖北南漳。剖面观察包括反射地震^[13-14]、地震层析^[15]、大地电磁测深^[16]、地热流^[17]、深源包体^[18-19]、物性、气体测量^[20]和地磁差分测深等地

球物理-地球化学方法。由于从邓州到南漳的直线距离上,秦岭造山带与扬子克拉通的分界线位于卧龙岗附近,地形较差,为了避免在这个重要地段得不到好的结果,反射地震剖面绕道襄樊,在襄樊越过汉水,沿南襄夹道,到南漳的九集。其坐标位置见图 4。

整条反射地震分两段,在两个不同时期完成。第一阶段完成北部叶县—邓县段剖面(DQL-1),长 180.975 km。第二阶段完成邓县—南漳段剖面(DQL-2),长 102.97 km。两段剖面分别两次去德国 Karlsruhe 大学的德国深部地震处理中心处理。结果均已发表^[9-14]。两段剖面结果发表后,笔者又将两段剖面集中在一起,在原地质矿产部新星石油公司北京计算中心由唐文榜、刘来祥作了统一处理。统一处理采用与大别山反射剖面同样的处理程序,以便

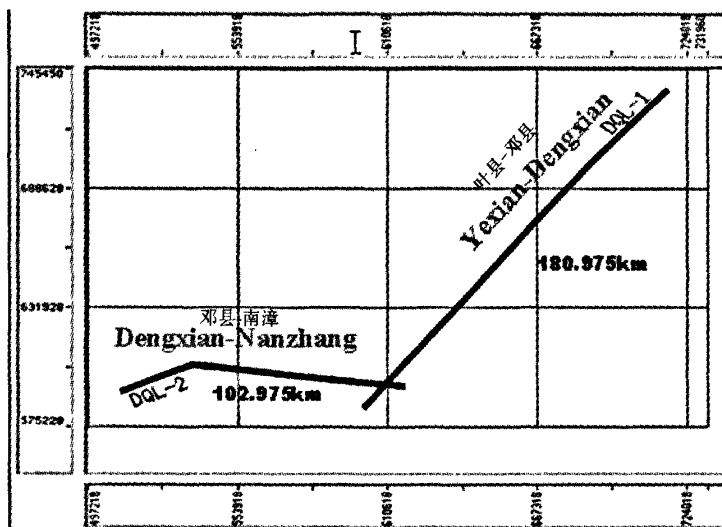


图 4 反射地震剖面坐标位置

Fig.4 Position of coordinates of the seismic reflection profile

于两个地区的研究对比。与在德国处理的方法相比,新一轮处理完善了南北两段剖面的连接并且特别注意提高对倾斜界面的可靠反射与折射。增加了DMO叠加和陡倾斜偏移。

并行机的DMO叠加模块基本原理基于Kirchhoff积分法。根据反射理论,由一个炮点激发,一个检波器接收到的一道记录上的每一时刻的振幅值是地下沿以炮点和检波点为焦点的椭圆面上某一点的反射。并行机的DMO叠加是将每一个地震道转换为一组(多道)零炮间距的道,这些道按网格(或叠加道)分布,于是,在同一网格点或叠加道位置上,不同炮间距的地震道就会产生许多零炮间距的道,这些道的采样值相加,就得到该位置叠加道的采样值。

Tensor软件中陡倾斜偏移(cfdmig)是一种高精度叠后有限差分偏移,可实现高达90°倾角准确归位成像处理。偏移速度由叠加速度经平滑处理得到,偏移时限定最大层速度为6500 km/s,延拓步长为24 ms。

经新一轮处理后得到的剖面质量有很大提高,并且纠正了两段分别处理形式上连接所引起的反射面畸变。

3 综合地球物理地球化学剖面穿过的岩群和断层简介(图5)

秦岭地区出露的断层鳞次栉比,以至于断层的

划分和它们的构造意义一直存在不同意见。秦岭地区的岩群是根据地表出露断层划分的,岩群之间的对比是一个长期的研究课题。

自北而南,剖面穿过下列岩群和构造单元。

在栾川断裂以北,剖面深入到华北克拉通。华北克拉通的基底岩系是太古界至古元古界的太华群片麻岩和登封群绿岩。在太华群登封群以及中元古代熊耳群火山岩上覆盖震旦纪以来稳定沉积盖层。

栾川断裂(2),或称黑沟—栾川—南召—乔端—方城—明港断裂,主断裂向NE倾斜,倾角约80°向深处变缓,成为推覆面。

从栾川断裂到瓦穴子断裂(3)之间地表出露中元古代宽坪群。主要为强烈变形,变质达角闪石—绿片岩相的基性火山岩、碎屑岩和大理岩,原岩来自太华群和秦岭群,具双源性,是扩张有限小洋盆和裂谷环境产物^[14]。其上不整合覆盖石炭二叠纪沉积岩,侵入其中的闪长岩的年龄为早志留纪。

瓦穴子断裂或称汤河—杜旗—黄冈断裂。断裂形成于早古生代初期,历经加里东、印支和燕山多次活动。地表断层面北倾。北侧的宽坪群和蟒岭花岗岩由北而南推覆在上三叠纪和二郎坪群上。

二郎坪群:瓦穴子断裂之南是由细碧角斑岩,枕状熔岩,中基性—中酸性火山碎屑岩等组成的二郎坪群。二郎坪群沉积不整合地覆盖在宽坪群上^[2]或秦

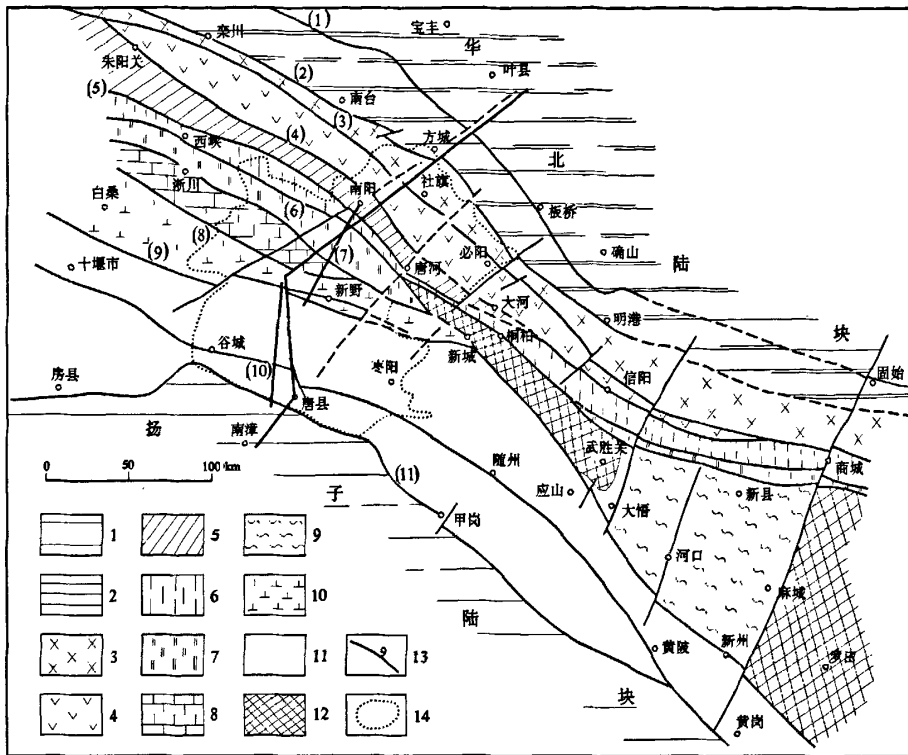


图5 东秦岭综合地球物理地球化学剖面位置及地质背景略图^[4]

1—华北陆块;2—扬子陆块;3—中元古界宽坪群;4—下古生界二郎坪群;5—古元古界秦岭群;6—上古生界刘岭群;7—中元古界陡岭群;8—古生界碳酸盐岩、页岩;9—古元古界红安群;10—中新元古界武当群、耀岭河群;11—中元古界武当群、随县群;12—新太古界大别群、桐柏群;13—主要断裂及编号;14—南阳盆地边界。断裂名称:(1)—马超营断裂;(2)—栾川断裂;(3)—瓦穴子断裂;(4)—朱夏断裂;(5)—商丹断裂;(6)—山阳断裂;(7)—浙川断裂;(8)—应山断裂;(9)—新野断裂;(10)—公路断裂;(11)—襄樊断裂

Fig.5 Location of the geophysical-geochemical profile in the East Qinling and its tectonic setting^[14]

1—North China block;2—Yangtze block;3—Mesoproterozoic Kuanping Group;4—Lower Paleozoic Erlangping Group;5—Paleoproterozoic Qinling Group;6—Upper Paleozoic Liuling Group;7—Neoproterozoic Douling Group;8—Paleozoic carbonate rocks;9—Paleoproterozoic Hong'an Group;10—Meso- and Neoproterozoic Wudang Group;11—Mesoproterozoic Wudang and Suixian Groups;12—Neoproterozoic Dabie and Tongbai Groups;13—Faults and number;14—Boundary of Nanyang basin:(1)—Machaoying fault;(2)—Luanchuan fault;(3)—Waxuezi fault;(4)—Zhuxia fault;(5)—Shangdan fault;(6)—Shanyang fault;(7)—Xichuan fault;(8)—Yingshan fault;(9)—Xinye fault;(10)—Gonglu fault;(11)—Xiangfan fault

岭群上^[4],在岩群中含有的化石可以确定它们是奥陶纪—志留纪的沉积。与大洋中脊标志性岩群相比,它缺少超镁铁质岩、橄榄岩、辉长岩和席状岩墙等。因此,它不太可能是大洋中脊,极可能代表一个古生代小洋盆。这一岩群的南界是朱夏断裂(f4)。

朱夏断裂或称朱阳关—军马河—南阳—大河—信阳断裂。断裂总体向NNE倾斜,倾角较陡。沿断裂发育有加里东、海西和燕山期中酸性侵入岩,还有元古宙基性、超基性火山岩。并且,沿断裂还发育上三叠统一下侏罗统和白垩系—古近系狭长盆地。

在二郎坪群之南是秦岭群。秦岭群是秦岭造山

带的核部变质杂岩。在秦岭单元北部边缘的榴辉岩透镜体中发现柯石英。到底秦岭群属于中朝还是扬子存在争议。张国伟等^[4]认为秦岭群的下岩段可以和华北克拉通对比。但根据秦岭群中的中基性火山岩的岩石地球化学研究,认为它们与华北地块属性差异很大,而与扬子地块接近^[14]。Huang等^[24]认为秦岭群的下岩段可以和陡岭群和武当群对比,上岩段则可以和宽坪群对比。

秦岭群的南界是商丹断裂(f5)。商丹断裂主断裂面向SW倾斜,倾角70~80°。许多地质学家认为商丹断裂是南秦岭与北秦岭的分界线,也是华北与

扬子陆块等两大块的缝合带。

从商丹断裂向南到山阳断裂(f6)之间(根据反射地震推断,可能到新野断裂,见下)沉积的是中泥盆统原岩为复理石的巨厚岩群。它们的层位在二郎坪群上。这套岩群在陕西称为刘岭群,在河南称为信阳群,在安徽称为佛子岭群。

山阳断裂又称西峡—内乡断裂,或西峡—内乡—桐柏—商城断裂。断层前期是逆断层,后期转变为正断层。耿树方认为,在此断裂两侧沉积特征、沉积物来源、微量元素特征和沉积基底均不相同,并认为此断层应是华北与扬子的最后碰撞带。

从山阳断裂向南到新野断裂(f7)是元古界陡岭群。陡岭群是一套以变质沉积碎屑岩为主的岩系,夹少量变质火山岩及其他岩石,形成于大陆边缘,形成年龄约2.0 Ga。张寿广等认为陡岭群可以和秦岭群对比。郝杰^[24]等认为,陡岭群可以和黄陵地区的扬子基底对比。

新野断裂为中新生代的断裂,为北倾铲形正断层,上陡下缓。断裂倾角在深度小于5 km时,约为30°,5 km以下变缓到10°左右。它原来应该也是逆冲断层,后期转变成正断层。

新野断裂向南到十堰断裂(f8)为中元古界随县群(与武当群的中上部相当,见下)和耀岭河群。耀岭河群(豫西毛堂群中的马头山组与它相当)为沉积火山岩系。

十堰断裂又称公路断裂,主断面北倾,倾角30°~50°。

十堰断裂与襄樊断裂(f11)之间主要由古元古界武当群所组成。武当群(随县群)为一套以酸性火山岩为主组成的火山—沉积岩。这套元古宙火山沉积岩系直接逆掩在扬子地台的古生代地层上。襄阳断裂始于印支期,完成于晚侏罗世燕山运动,到喜山期仍活动强烈。

襄樊断裂(f11)以南则是扬子克拉通。扬子克拉通比华北克拉通年轻,具双重基底,太古宇—古元古界结晶基底及中—新元古界浅变质基底,震旦纪以后为稳定沉积。

4 重新处理后的深反射地震剖面的重新解释

经过重新处理后,得到的深反射地震剖面见图6。图6中上图是叠加剖面,下图是偏移剖面。除了个别地方有细节上的差别外,在反映秦岭地壳的构造

格架上,两种处理得到的剖面是一致的。

深反射地震剖面的解释见图7。图7中上图是描绘在偏移剖面上的重要反射面,下图是提取重要反射面,加上地质解释后得到的剖面构造图。

从重新处理后得到的秦岭反射地震剖面(图6~7)上可以识别出4类特征和性质不同的反射图像。

第一类反射图像出现在华北克拉通与秦岭微板块的分界线栾川断裂以北。这一类反射图像的特征是在不同的深度上,北倾反射面与南倾反射面交替出现。体现出陆壳俯冲带的特点。反射图像显示,华北克拉通与秦岭微板块会聚时,华北的下地壳向南俯冲,而上地壳则向秦岭微大陆逆冲。华北地壳和北秦岭地壳形成锯齿状楔入构造。碰撞俯冲的时期应当是加里东。

第二类反射图像位于栾川断裂与襄樊断裂之间。扬子克拉通与秦岭微陆块在这里发生对冲走滑碰撞,从而形成了以南阳地区为中心由一系列规模宏大的逆冲断层组成的负花状构造。印支期碰撞开始时,碰撞带处在挤压环境中,同时在碰撞带产生右旋压扭性断层,形成了正花状构造。到燕山期时,压性环境转而成为拉张环境,沿着碰撞带发生区域性右旋走滑。原先形成的正断层转而成为逆断层。成为当今的负花状构造。同时,花岗岩岩浆大量活动,侵位到其两侧的地壳中。北秦岭上隆^[25]。在这个负花状构造中,有3条逆冲断层清晰地穿透整个地壳。这3条逆冲壳断层在地表分别是瓦穴子断裂、新野断裂和襄樊断裂。

第三类反射图像出现在襄樊断裂以北的中下地壳内,它们的特征是反射薄层与透明薄层相间出现。这种反射薄层与透明薄层相间出现的中下地壳整体形成了一个穹状构造。只有在山阳断裂与朱夏断裂之间是一个例外,代替这样特征的中下地壳是一个倒三角形透明体,它们应是俯冲杂岩。根据在苏北的大陆科学深钻结果与反射地震震相的对比研究,正片麻岩具有透明的特征,而副片麻岩上则有强反射。因此,可以说,形成这一类反射薄层与透明薄层相间出现的反射图像是由正副片麻岩交互成层的结晶基底。

第四类反射图像也出现在襄樊断裂以北的整条剖面上,包括所有结晶基底以上沉积盖层以下的地壳。其特征是具有弱反射到透明的反射面貌。它代表秦岭地区的浅变质元古宙地层。虽然从南到北,在不同的地段元古宙有不同的岩性和不同的命名。如武

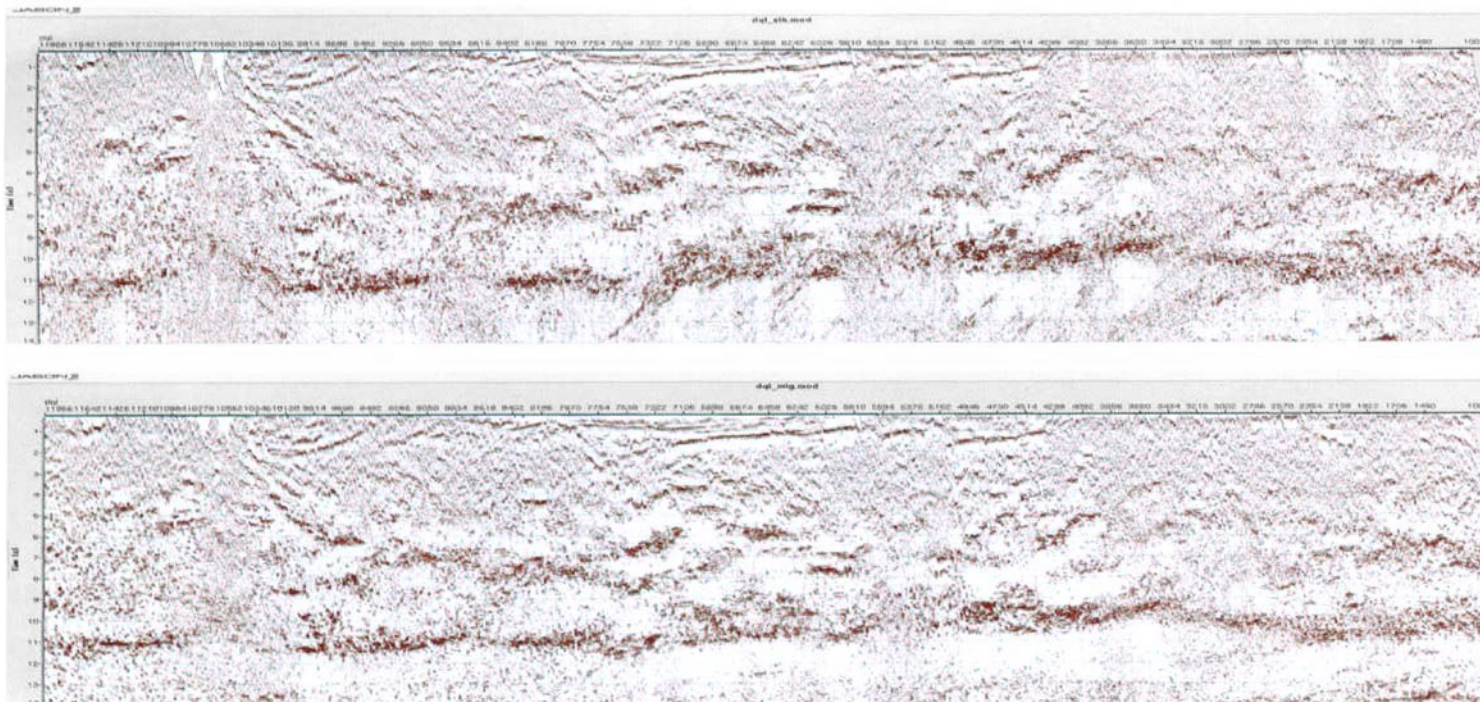


图6 叶县—南漳反射地震剖面(上图为叠加剖面,下图为偏移剖面)

Fig. 6 Seismic reflection cross section from Yexian to the Nanzhang
(Top: stacking profile; bottom: migration profile)

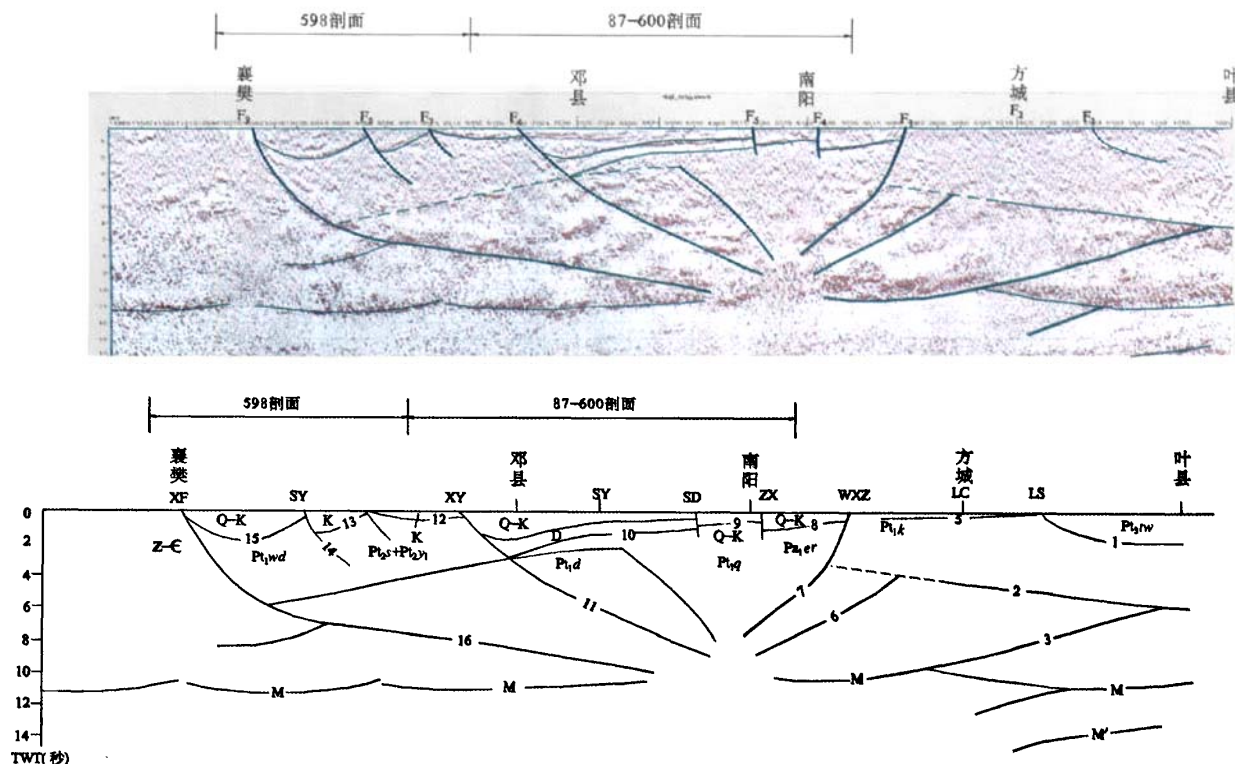


图7 叶县—南漳反射地震剖面解释剖面

地表主要断层:MCY—马超营断裂;LC—栾川断裂;WXZ—瓦穴子断裂;ZX—朱夏断裂;SD—商丹断裂;SY—山阳断裂;XY—新野断裂;SY—十堰断裂;XF—襄樊断裂;隐伏界面:1—马超营推覆断层;2—华北克拉通中地壳内反射面;3—华北克拉通下地壳俯冲带;4—华北克拉通上地幔顶部俯冲带;5— P_{10} 罗圈组底界;6—栾川推覆断层;7—瓦穴子断层;8,9— J_3-K_1 地层底界;10—Q—D 地层底界;11—新野推覆断层;12,13—白垩纪地层底界;14—十堰推覆断层;15—Q—K 沉积地层底界;16—襄樊推覆断层;地层: P_{10} —陶湾群; P_{11} —宽坪群; P_{12} —二郎坪群; P_{13} —秦岭群;D—泥盆纪沉积; P_{14} —陡岭群; P_{15} —随县群; P_{16} —耀岭河群; P_{17} —武当群

Fig.7 Interpretation cross section of the seismic reflection profile from Yexian to Nanzhang.

Major faults on surface:MCY—Machaoyn fault;LC—Luanchuan fault;WXZ—Waxuezi fault;ZX—Zhuxia fault;SD—Shangdan fault;SY—Shanyang fault;XY—Xinye fault;SY—Shiyan fault;XF—Xiangfang fault. Hidden boundaries:1—Machaoyn overthrust;2—Reflector in the mid-crust of the North China craton;3—Subduction zone in the lower crust of the North China craton;4—subduction zone in the top of the upper mantle of the North China craton;5—Lower boundary of the Neoproterozoic Luoquan Group;6—Luanchuan overthrust;7—Waxuezi fault;8,9—Lower boundaries of Late Jurassic—Early Cretaceous strata;10—Lower boundary of Quaternary—Devonian strata;11—Xinye overthrust;12,13—Lower boundary of Cretaceous strata;14—Shiyan overthrust;15—Lower boundary of Quaternary—Cretaceous sedimentary deposits;16—Xiangfan overthrust. Strata: P_{10} —Taowan Group; P_{11} —Kuanping Group; P_{12} —Erlangping Group; P_{13} —Qinling Group;D—Devonian sediments; P_{14} —Douling Group; P_{15} —Suixian Group; P_{16} —Yaolinghe Group; P_{17} —Wudang Group

当群、随县群、耀岭河群、毛堂群、秦岭群、陡岭群……。但在反射地震剖面上,从宏观上来看,它们都具有相似的反射地震面貌。

也许有人会问,地球物理所反映的是当今地壳的状态,为什么会同时得到加里东、印支和新生代构造运动的图像?地球物理反映的图像应该是地壳经某一时期的构造运动后未被破坏保存下来的构造图像。在秦岭地区加里东俯冲构造,在经历印支期构造运动后仍能部分保存,说明三叠纪软碰撞是一个缓慢的渐进的过程,对已和华北克拉通增生在一起的秦岭微板块的改造并不强烈,它主要产生不对称的向南推覆。

为了得到沉积盖层及其下伏基底的可靠构造显示,笔者争取到与南阳油田和江汉油田的合作,重新整理了与深反射地震剖面邻近的石油勘探反射地震 87-600 及 598 号剖面。它们和深反射剖面形成一个完整可靠的地壳剖面(图 5、图 7)。

南襄 87-600 号剖面位于朱夏断裂与新野断裂间的南阳盆地内。由于喜山运动期地壳抬升遭受剥蚀,在古近系与新近系的分界面处形成新近系底砾岩,它与致密的古近系直接接触。形成一个波组 T₁,此波组反射面近于水平,可连续追踪,且具有双相位特征。在深反射剖面上也有清晰的反映。古近纪与新近纪之间的喜山运动发生在 2.46 Ma。此后,秦岭地区便未遭受显著的构造运动。古近纪核桃园组底部也有一个反射波组 T₇,有 2~3 个相位,尚可连续追踪。古近纪与白垩纪成整合接触,它们的分界面的反

射波组 T₁₀,有 2~3 个相位,振幅中强,能连续追踪。白垩纪与前白垩纪地层间不整合面是一个印支—燕山期运动造成的侵蚀面,这个侵蚀面的反射波 T₁₁起伏不平,有 1~2 个相位,振幅很强,连续性好。这一个波组在深反射剖面中也可以清晰地追踪到。

87-600 号剖面得到的前中生代基底构造面貌与深地震反射得到结果一致。但在深度值上 87-600 号剖面有钻井及测井资料作控制,要比深地震反射得到的准确得多。图 8 是以南 1 井测井速度为准进行构绘的 600 号剖面深度剖面^[24]。

在剖面桩号 126000~130000 间,埋深 1100~2200 m 处,87-600 号剖面显示有一组弱反射,其反射特点与下伏刘岭群杂乱反射不同,而与位于测线之西的西峡处分布的透镜状丹凤群相当。

在桩号 100000 处南 1 井在钻穿晚白垩世晚期—古近纪地层后,于井深 2786.0~2914.2 m 处遇绿泥石绢云母片岩,绢云母石英片岩等岩层(未穿)。其岩性明显不同于陡岭群、随县群、毛堂群,而可与刘岭群对比。据许志琴等^[25]研究,刘岭群曾遭受不同程度的热变质作用,变质程度由南向北增高。从矿物及岩石组合特征来看,南 1 井所遇变质岩系应属刘岭群的低绿片岩相变质岩系。

如这一事实得到进一步肯定,则说明刘岭群沿水平滑脱面向南推覆在陡岭群上,且叠置于毛堂群之上,经后期剥蚀,成为飞来峰,存在于南阳盆地的南部。

另一种解释:鉴于在深反射剖面上,在新野断层

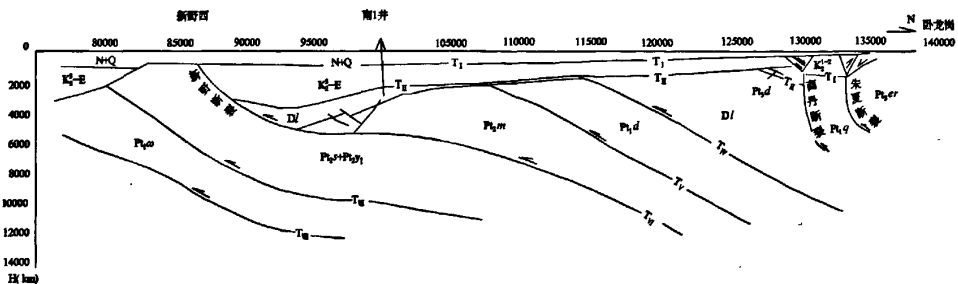


图 8 南襄盆地 87-600 反射地震深度剖面图^[24]

H+Q—新近系与第四系;K₂-E—上白垩统上部与古近系;K₂—上白垩统中下部;Pt_{1,q}—秦岭群;Pt_{2,er}—二郎坪群;Pt_{3,d}—丹凤群;DL—刘岭群;Pt_{4,d}—陡岭群;Pt_{5,m}—毛堂群;Pt_{6,s}—随县群;Pt_{7,y}—耀岭河群;Pt_{8,w}—武当群

Fig. 8 Interpretation cross-section of seismic reflection profile No. 87-600 across the Nanxiang basin^[24]

H+Q—Neogene and Quaternary;K₂-E—upper part of the Upper Cretaceous and Paleogene;K₂—mid-lower Upper Cretaceous;Pt_{1,q}—Qinling Group;Pt_{2,er}—Erlangping Group;Pt_{3,d}—Danfeng Group;DL—Liuling Group;Pt_{4,d}—Douling Group;Pt_{5,m}—Maotang Group;Pt_{6,s}—Suixian Group;Pt_{7,y}—Yaolinghe Group;Pt_{8,w}—Wudang Group

与商丹断裂之间,在地表以下第二个反射面下有一个连续性很好的透明层,如果它的北部在桩号 115000 和 125000 之间为刘岭群,并且在南 1 井下,也可能是刘岭群,那么,有理由推测在新野断层与商丹断层间的剖面上极可能都存在刘岭群。

新野断裂在 seismic 剖面上反映为一组束状强反射同相轴带,同相轴微具弧形,一直延伸到该地震剖面的勘探极限深度(约 14 km)。

深部气源的重要标志。 R_n 异常主要分布在山阳断裂以北地区。它说明山阳断裂以北的地区地壳内发育各种花岗岩体。 R_n 异常对应隐伏花岗岩体。

CH_4 是石油天然气、煤层气的直接指标,也是深成气源和地表生物成因气源的标志。 CO_2 的高含量区是石油天然气和碳酸岩发育的指示,其局部异常多与断裂构造有关。壤中气 CH_4 和 CO_2 异常主要分布在杨子克拉通的北缘,少量分布在华北克拉通

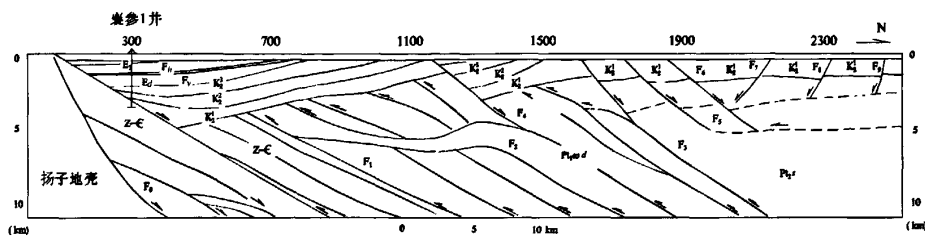


图 9 邓襄 598 反射地震解释剖面^[27]

Fig.9 Interpretation cross-section of seismic reflection profile No.598 across the Dengxiang basin (reprinted from ^[27])

邓襄 598 反射地震解释剖面见图 9^[27]。

谢迟初^[27]等将 598 剖面上邓县向南的推覆体称为南秦岭前缘推覆体。相应的推覆面称为南秦岭前缘推覆面。南秦岭前缘推覆体又可以分为 3 个部分,南秦岭推覆面和逆冲断层 F1 之间为其前锋部位(图 9)。南秦岭推覆面的地表即襄樊断裂,断裂早期为逆冲断裂,中生代后,转换为正断层,断距达 5000 m,断层面光滑。剖面南端 301 桩号处的襄参 1 井在钻穿白垩系后,钻遇寒武系和震旦系。

在逆冲断层 F1 与 F3 之间为前缘推覆体的中部。逆冲断层 F2 横贯其中,将其分为上下两部分。

逆冲断层 F3 以北是前缘推覆体的后部,反射变得稀疏。

因此,虽然南秦岭地表分布有许多断层,其中最重要的应是新野断裂和襄樊断裂。在此两断层北缘形成了两个在剖面上最深的盆地,即新野盆地与邓襄盆地。

沿深反射地震剖面,还布置了土壤中 Hg(简示为 Hg 气)、 R_n 、 CO_2 及 CH_4 等气体测量和土壤样品的 Hg(简示为 Hg 土)(图 10)、Cu、Pb、Zn、Ni、Cr 和 Co 等金属含量(图 11),和采集气溶胶测定 Au^[21]。

R_n 是酸性岩类的指标,同时也是来源于地壳

的南缘。前者可能与油气藏有关,后者主要与碳酸盐岩层和煤系地层有关。

断裂带常有汞蒸气异常。汞和汞的绝大多数化合物对温度和压力的变化极为灵敏,是记录地质热事件的重要标志。根据 Hg 土和 Hg 气异常的空间分布特征和在其他地区的汞异常资料,宽度大于 10 km 的异常一般为由多种地质因素引起的复合异常,而宽度窄小的异常往往由断裂控制。

最明显的 Hg \pm 异常出现在商丹断裂、山阳断裂、新野断裂北及襄阳断裂上。与浅层和深层反射地震推测的断层位置结果一致。

Cr、Co、Ni 是各类超镁铁质岩的特征微量元素组分。它们的化学性质较稳定,受各类地质事件的影响较小,是壳幔物质交换的重要标志之一。可藉它们的不同组分和比值推断岩石类型和成因类型。Cu、Pb、Zn 是重要的矿质组分,是成矿活动的重要标志。

Cr 异常分布在商丹断裂与朱夏断裂与襄樊断裂之间。意味着这些地区有来源于深部的物质。

Cu、Pb、Zn、Ni、Co 均明显富集在宽坪群与二郎坪群上,说明宽坪群与二郎坪群是 Cu、Pb、Zn、Ni、Co 的矿源层,可能是寻找铜多金属矿的有利地段。

5 秦岭造山带构造演化

秦岭造山带的构造演化虽然是众说纷纭^[1,3,6,12,14,25,28-29,31-35]。但大都从板块构造学说出发,认为秦岭造山带的形成是华北克拉通与扬子克拉通等两个板块的裂解、会聚与俯冲碰撞的结果。并多数认为是扬子克拉通裂解分裂出秦岭微陆块,继而扬子

克拉通向北俯冲。在扬子克拉通向北俯冲的驱动下,北秦岭与华北克拉通之间的小洋盆在加里东期闭合,北秦岭与南秦岭之间的小洋盆在印支期闭合,最终形成秦岭造山带。

经典板块构造理论基本上以岩石圈板块的侧向运动,包括裂解、伸展、碰撞、消减等解释所有的地质构造,它往往不能解释大陆地质演化中常常遇到的

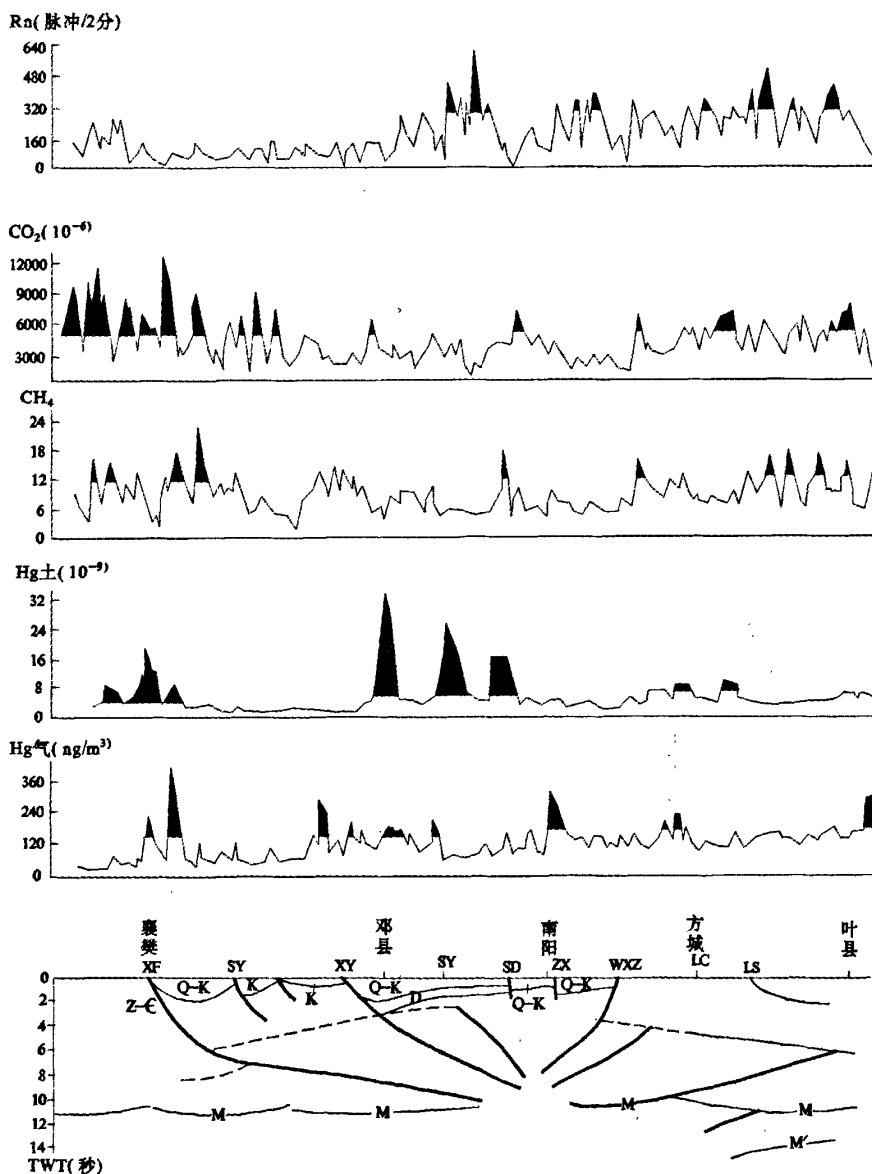


图 10 沿叶县—南漳剖面气体异常分布^[24](图中代号同图 7)

Fig.10 Gas anomalies along the Yexian-Nanzhang profile^[24]

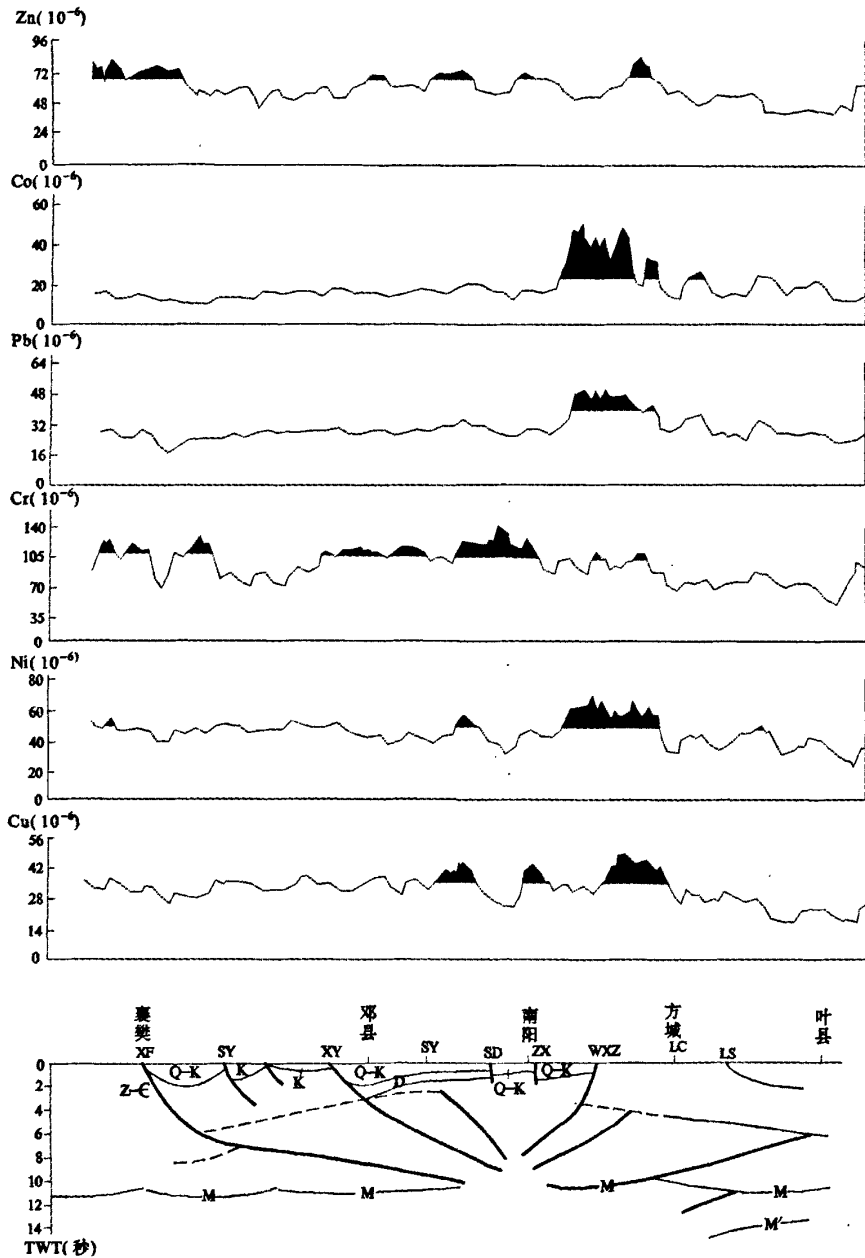


图 11 沿叶县—南漳剖面金属含量异常分布^[24](图中代号同图 7)
Fig.11 Metallometric anomalies along the Yexian-Nanzhang profile^[24]

多旋回和大尺度抬升和凹陷，特别是在远离板块边界的大陆内部^[24]。Platt 指出，板块构造理论中的碰撞造山模式和非碰撞造山模式都有问题。碰撞造山模式不能设想在大陆碰撞的地方出现造山作用，而非

碰撞造山模式则无法解释连续的消减为什么会产生不连续的造山运动。

经典的板块构造理论也不能解释秦岭造山带的软碰撞。美国自然科学基金委员会 2002 年 Denfer 工

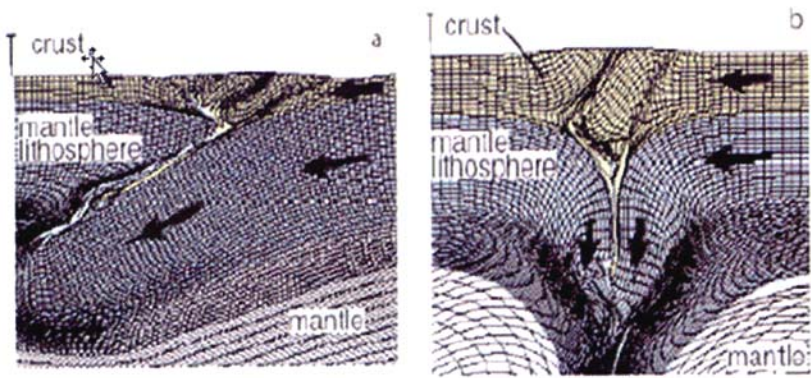


图 12 与陆陆碰撞有关的地幔回流方式的数字模型^[37]

a—大陆岩石圈地幔以板块形式俯冲;b—流体状,幕式水滴状脉冲对称回流,变形网格示应变,箭头示速度

Fig.12 Numerical models illustrating different modes of mantle return flow associated with continent-continent collision

a-The continental lithospheric mantle was subducted in a plate-like fashion;b-Fluid-like, symmetrical return flow with episodic drip-like pulses
Deformed tracking mesh shows accumulated strain and arrows are relative velocity vectors^[37]

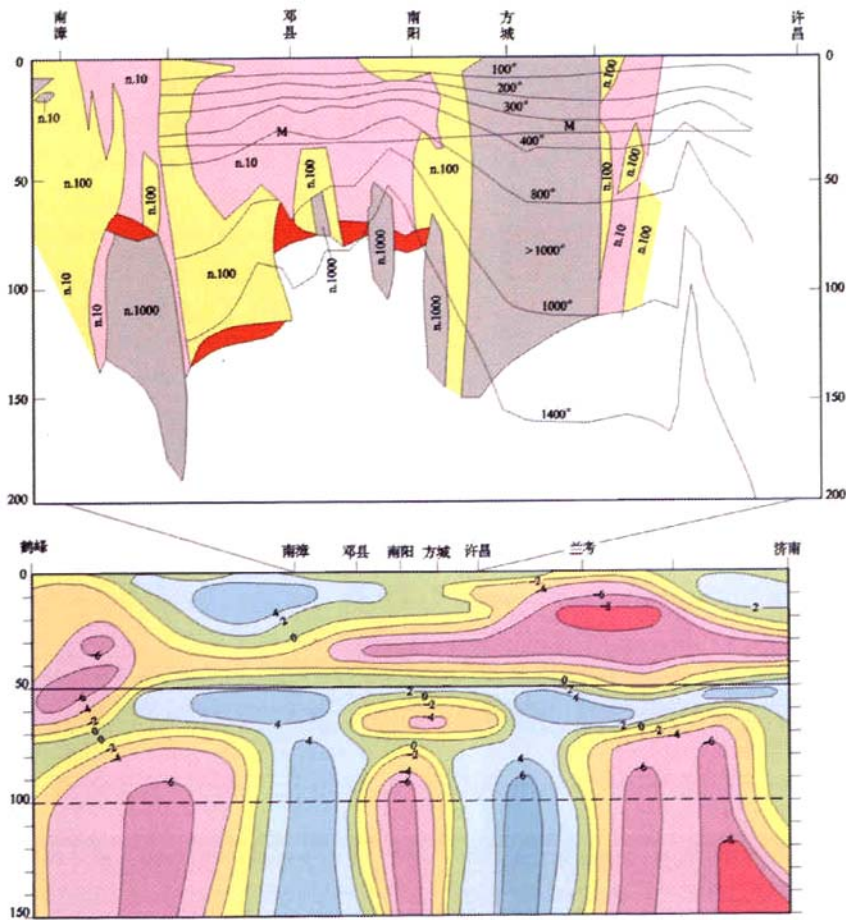


图 13 叶县—南漳剖面的 P 波地震层析、大地电磁和地热能测量结果

Fig.13 P-wave seismotomographic, magnetotelluric and heat flow cross-section along the Yexian-Nanzhang profile

作会议发表的白皮书^[7]中提出,板块构造理论不适合大陆地质,因为大陆内部是非刚性的。与板块理论的前提不符。并指出陆陆碰撞有关的地幔回流方式有两种极端情况,一种极端情况是大陆地幔强度很大,这时,碰撞就以板块俯冲形式出现(图 12-a)。另一种极端情况,岩石圈地幔极具流体性质,回流则具对称或非对称幕式水滴状对冲形式(图 12-b)。

从叶县—南阳—南漳反射地震剖面中,可以看到,这两种情况秦岭造山带都有。晚古生代华北克拉通与秦岭微板块之间的早古生代秦岭小洋盆闭合时,秦岭微板块是早古生代秦岭洋中的一个岛屿,华北克拉通的地幔强度大,会聚是以华北向秦岭俯冲的方式完成的,反射地震剖面中的第一类图像很好的描述了这个过程。

在晚古生代时,南北秦岭之间曾拉开为石炭二叠纪洋和裂陷槽^[4]。这意味着在南北秦岭之间软流圈上升。但在陆间发生的非 Wilson 旋回,上升的软流圈不可能将其两侧的大陆送入海沟,只可能将它们推向两侧,形成小洋盆或裂陷槽。

在三叠纪时,这个晚古生代小洋盆消减闭合,由于扬子克拉通地幔与已增生在华北克拉通上的秦岭地幔强度均较低,它们的碰撞是以幕式水滴状对冲方式实现的。地表所见到的是软碰撞,第二类图像描述了这一过程。

小洋盆闭合后,秦岭地区岩石圈地幔又遭受到上升软流圈的改造,成为当今中国东部广泛发育的蘑菇云地幔^[9-10]的一部分。蘑菇云地幔不但在震层析剖面上有清晰的显示。从沿叶县—南漳剖面上的大地电磁结果和地热流数据中,也能得到证明。

图 13 下图为沿叶县—南漳地震层析(数据来自刘建华^[9]),地震层析显示,在许昌以北的地壳内,存在一个大范围的低速区,这正好是华北裂谷分布的地区。扬子为高速区,而秦岭则为高速到低速低过渡区。与华北裂谷相对应,在它下面的岩石圈地幔中出现一个强烈的低速带,它是上升软流圈的反映。在南阳下也有一个低速带,它是三叠纪碰撞带。

在大地电磁剖面^[10](对等电阻率线的勾画作了修改)上,蓝色高阻块体是在岩石圈地幔受到蘑菇云地幔改造过程中未被改造的残存地幔块体。最明显的残存地幔块体就位于北秦岭下。其他在襄樊逆冲断层下深约 70 km 处的岩石圈地幔内也有一个较大的残存地幔块体。在南阳—邓县下深约 50 km 处

有零星残存块体。

从大地电磁剖面还可以看到,在鲁山断裂以北,整个岩石圈呈现为低阻,平均电阻率仅 $150 \Omega \cdot \text{m}$,磁异常图上为负异常。鲁山断裂以南岩石圈电阻率猛增至数千欧姆米或更大,速度也急剧增大,磁异常图上出现强异常。鲁山断裂可能是岩石圈地幔是否已经演化为蘑菇云构造的一个分界点。

地热流测量分布在许昌—襄樊沿断面的一个带内,实测稳态测温钻孔 68 个,图 13 中展示了叶县—南漳的地热流剖面^[10]。通常认为,当地幔温度达到 1300°C 时,地幔局部熔融,所以可以将地热流剖面中 1300°C 的等温线作为岩石圈地幔的底界。用这样的办法来确定岩石圈厚度在别的地区是可行的,但在中国东部蘑菇云地幔发育地区不行。在蘑菇云岩石圈地幔发育地区,不是像主张拆层构造所说的那样,岩石圈底部都已下沉消失在软流圈中,代之以上升的软流圈。而是岩石圈地幔被上升软流圈所改造,成为上升软流圈与残留地幔并存的新生地幔^[9]。它的平均速度下降,平均温度上升。地热流剖面上等温线上隆的地区并不代表岩石圈减薄,而只是代表蘑菇云强烈发育的部位。从地热流剖面上可以看到,蘑菇云发育的地区是南阳到邓县以南,这一段地区正好也是低阻层分布地区,同时,也是结晶基底穹隆上隆地区。结晶基底穹隆上隆之所以会与地热发生联系,是因为高热流使地壳的塑性程度增加,在外力的作用容易发生形变。秦岭地区在古近纪发生 NNE-SSW 压缩,地壳缩短,缩短最强烈的地区就是地热流高的地区,从而造成结晶基底的隆升。

6 结 论

(1) 加里东期,华北克拉通向秦岭微板块俯冲,早古生代洋关闭,中上地壳内华北地壳和北秦岭地壳形成锯齿状楔入构造。

(2) 印支—燕山期,扬子克拉通与秦岭微陆块的对冲走滑软碰撞,形成了以南阳地区为中心由栾川断裂、瓦穴子断裂、朱夏断裂、新野断裂、十堰断裂和襄樊断裂等一系列规模宏大的逆冲断层组成的负花状构造。

(3) 中生代,形成由正副片麻岩交互成层的结晶基底形成的热穹隆。

(4) 秦岭地区有很厚的近透明浅变质元古宙地层形成的褶皱基底。

(5)白垩纪后,秦岭地区和中国东部其他地区一样,岩石圈地幔遭受到软流圈上升形成蘑菇云构造,岩石圈活化,严重影响构造演化过程。

7 后 记

我们深切悼念我们的好伙伴左愚、伍宗华同志,并永远记得徐明才、唐文榜、陈焕疆、刘福田、刘建华、李立、赵子言、金昕、左愚、刘寿彭、路凤香、杨辟元、伍宗华、金仰芬和他们的组员们和我们一起在秦岭度过的漫长而愉快的日子。我们取得的任何成果都是和项目组的所有成员共同努力分不开的。

参考文献(References):

- [1] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1998, 23(5): 3-8.
- Yin Hongfu, Zhang Kexing. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(5): 3-8(in Chinese with English abstract).
- [2] Huang T K. On major tectonics forms of China [M]. Geological Memoirs of National Geological Survey of China, Ser.A(20), 1945.
- [3] Mattauer M, Matte Ph, Malavieille, et al. Tectonics of Qinling belt, build-up and evolution of Eastern Asia[J]. Nature, 1985, 317: 496-500.
- [4] Sengor AMC. East Asia tectonic collage[J]. Nature, 1985, 18: 16-17.
- [5] Sengor AMC. The Tethyside orogenic system: An introduction[C]// Sengor AMC (ed.). Tectonic Evolution of the Tethyan Regions. Istanbul Technical University Faculty of Mines, 1989.
- [6] 许志琴, 卢一伦, 汤跃庆, 等. 东秦岭复合山链的形成、变形、演化及板块动力学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988.
- Xu Zhiqin, Lu Yilun, Tang Yueqing, et al. Formation, Deformation, Evolution and Plate Dynamics of the East Qinling Mountain Chain [M]. Beijing: Environmental Science Publishing House, 1988(in Chinese).
- [7] 杨经绥, 许志琴, 裴先治, 等. 秦岭发现金刚石: 横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别[J]. 地质学报, 2002, 76(4): 484-495.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Pei Xianzhi, et al. Discovery of diamond in North Qinling: Evidence for a giant UHPM belt across central China and recognition of Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze Plates [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (4): 484-495 (in Chinese with English abstract).
- [8] 白文吉, 周美付, 胡旭峰, 等. 华北地块岩石圈构造演化与镁铁-超镁铁杂岩及矿化特征[M]. 北京: 地震出版社, 1993: 294.
- Bai Wenji, Zhou Meifu, Hu Xuefeng, et al. Lithospheric Tectonic Evolution and Characteristics of Mafic-Ultramafic Complexes and Mineralization [M]. Beijing: Seismological Press, 1993, 294 (in Chinese).
- [9] 袁学诚. 秦岭岩石圈速度结构与蘑菇云构造[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 209-215.
- Yuan Xuecheng. Velocity structure of the Qinling lithosphere and mushroom cloud model[J]. Science in China (Ser.D), 1996, 26(3): 209-215(in Chinese).
- [10] 袁学诚. 再论岩石圈地幔蘑菇云构造及其深部成因[J]. 中国地质, 2007, 34(5): 737-758.
- Yuan Xuecheng. The Low Velocity Lithospheric Mantle of Eastern Mushroom structure of the lithospheric mantle and its genesis at depth: revisited [J]. Geology in China, 2007, 34 (5): 737-758 (in Chinese with English abstract).
- [11] 肖庆辉, 丘瑞照, 伍光英, 等. 中国东部中生代软流层上涌造山作用[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 730-749.
- Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Wu Guangying, et al. Mesozoic ashenospheric upwelling orogeny in eastern China [J]. Geology in China, 2006, 33(4): 730-749(in Chinese with English abstract).
- [12] 游振东, 索书田, 韩郁菁, 等. 秦岭造山带核部变质杂岩的基本特征与东秦岭大陆地壳的构成[C]//叶连俊主编. 秦岭造山带学术讨论会论文集. 西安: 西北大学出版社, 1991: 1-14.
- You Zhendong, Suo Shutian, Han Yujing, et al. The major characteristics of the metamorphic complex of the Qinling orogenic belt and their implication of the construction of the eastern Qinling continental crust [C]// Ye Lianjun (ed.). A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling Orogenic Belt. Xi'an: Northwest University Press, 1991: 1-14.
- [13] 袁学诚, 徐明才, 唐文榜, 等. 东秦岭地壳反射地震剖面[J]. 地球物理学报, 1994, 37(6): 749-758.
- Yuan Xuecheng, Xu Mingcai, Tang Wenbang, et al. Eastern Qinling seismic reflection profiling [J]. Chinese Journal of Geophysics (Acta Geophysica Sinica), 1994, 38(2): 203-212.
- [14] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 855.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001: 855(in Chinese).
- [15] 刘建华, 刘福田, 孙若味, 等. 秦岭-大别山造山带及其南北缘地震层析成像[J]. 地球物理学报, 1995, 38(1): 46-54.
- Liu Jianhua, Liu Futian; Sun Ruomei, et al. Seismic tomography beneath the Qinling-Dabie orogenic belts and both the northern and southern fringes [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1995, 38 (1): 46-54(in Chinese with English abstract).
- [16] 李立, 杨辟元, 殷波, 等. 东秦岭岩石层的地电模型[J]. 地球物理学报, 1998, 4(2): 189-196.
- Li Li, Yang Piyuan, Duan Bo, et al. The lithospheric geoelectric model of East Qinling [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998, 4 (2): 189-196(in Chinese with English abstract).
- [17] 金昕, 任光辉, 曾建华, 等. 东秦岭造山带岩石圈结构及断面模型[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(增刊): 13-22.
- Jin Xin, Ren Guanghui, Zeng Jianhua et al. Lithospheric structure

- and transect model of the East Qinling orogen [J]. *Science in China (Series D)*, 1966, 26 (suppl.):13-22 (in Chinese).
- [18] 路凤香, 郑建平, 李伍平, 等. 中国东部显生宙地幔演化的主要样式:“蘑菇云”模型[J]. *地学前缘*, 2000, 7(1):97-107.
- Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Li Wuping, et al. The main evolution pattern of Phanerozoic mantle in eastern China [J]. *Earth Science Frontier*, 2000, 7(1):97-107(in Chinese with English abstract).
- [19] 路凤香, 王春阳, 郑建平, 等. 秦岭北界岩石圈组成与结构—河南明港深源捕虏体研究[J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 3(1):1-9.
- Lu Fengxiang, Wang Chunyang, Zheng Jianping, et al. Lithospheric composition and structure beneath northern margin of the Qinling orogenic belt—on deep-seated xenoliths in Minggang region of Henan Province [J]. *Science in China (ser. D)*, 2003, 3 (1):1-9(in Chinese).
- [20] 伍宗华, 金仰芬, 郭英杰, 等. 地气测量在叶县—邓县—南漳地学断面研究中的应用[J]. *岩石学报*, 1995, 11(3):333-342.
- Wu Zonghua, Jin Yangfen, Guo Yingjie, et al. A study of application of geogas survey in Yexian—Dengxian—Nanzhang geoscience profile [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11 (3):333-342(in Chinese with English abstract).
- [21] 地质矿产部河南省地矿局. 区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989.
- BGMR, Henan Province. *Regional Geology of Henan Province* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1989.
- [22] Huang W, Wu Z W. Evolution of the Qinling orogenic belt[J]. *Tectonics*, 1992, 11:371-380.
- [23] Zhang G, Yu Z, Sun Y, et al. The major suture zone of the Qinling orogenic belt[J]. *I. Southeast Asian Sci*, 1989, 3:63-76.
- [24] Hao J, Li Y, Li X, et al. Douling fossil island arc and Wudangshan back-arc basin in East Qinling, central China and their tectonic significance[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 3(3):265-275.
- [25] Lothar R, Bradley R H, Andrew C, et al. Tectonics of the Qinling (Central China):tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history[J]. *Tectonophysics*, 2003, 366:1-53.
- [26] 刘绍龙, 薛玉瑞, 陈焕江, 南襄 87-600 号剖面[C]//袁学诚主编. 秦岭造山带岩石圈地球物理断面图. 北京:科学出版社, 1996.
- Liu Shaolong, Xue Yurui, Chen Huanjiang, Nanxiang 87-600 seismic profile[C]//Yuan Xuecheng (ed.). *Geophysical Lithospheric Section of Qinling Orogenic Belt* Beijing: Science Press, 1996 (in Chinese).
- [27] 谢迟初, 张有江, 陈焕江. 邓襄 598 号地震剖面 [C]//袁学诚主编. 秦岭造山带岩石圈地球物理断面图. 北京:科学出版社, 1996.
- Xie Chichu, Zhang Youjiang, Chen Huanjiang, Dengxiang 598 seismic profile [C]//Yuan Xuecheng (ed.). *Geophysical Lithospheric Section of Qinling Orogenic Belt* Beijing: Science Press, 1996 (in Chinese).
- [28] 李春昱. 板块构造与多旋回构造运动[J]. *地质学报*, 1979, 53(4):305-315.
- Li Cunyu. Plate tectonic and polycyclic orogenesis[J]. *Acta Geological Sinica*, 1979, 53(4):305-315 (in Chinese with English abstract).
- [29] 王鸿祯, 徐成彦, 周正国. 东秦岭古海城两侧大陆边缘的构造发展[J]. *地质学报*, 1982, 56(3):270-279.
- Wang Hongzhen, Xu Chengyan, Zhou Zhengguo. Tectonic development of the continental margins on both sides of the palaeo-Qinling marine realm [J]. *Acta Geological Sinica*, 1982, 56 (3):270-279 (in Chinese with English abstract).
- [30] 杨森楠. 秦岭古生代陆间裂谷系的演化[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1985, 10(3):53-62.
- Yang Sennan. The evolution of Qinling intercontinental rift system in Paleozoic [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1985, 10(3):53-62(in Chinese with English abstract).
- [31] 杨志华, 王北颖. 抽拉—逆冲岩片构造——秦岭造山带的新模式[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1993, 18(5):565-575.
- Yang Zhihua, Wang Beiyang. Drawing-thrusting sheet tectonics—A new model for Qinling orogenic belt [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1993, 18 (5):565-575 (in Chinese with English abstract).
- [32] 任纪舜, 张正坤, 牛宝贵, 等. 论秦岭造山带[C]//叶连俊主编. 秦岭造山带学术讨论会论文选集. 西安:西北大学出版社, 1991:99-110.
- Ren Jishun, Zhang Zhengkun, Niu Baogui, et al. On the Qinling Orogenic Belt [C]// Ye Lianjun (ed.). *A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling Orogenic Belt*. Xi'an: Northwest University Press, 1991, 99-110 (in Chinese).
- [33] 胡受奚, 等. 华北与华南古板块拼合带地质和找矿[M]. 南京:南京大学出版社, 1989.
- Hu Shouxi, et al. *Geology of the Amalgamation Belt of the North China and South China Paleoplates and Ore Search* [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1989(in Chinese).
- [34] 赵宗溥. 试论陆内型造山作用——以秦岭—大别山造山带为例[J]. *地质科学*, 1995, 30(1):19-28.
- Zhao Zongpu. An intracontinental-type orogeny—Evidence from Qinling—Dabie Orogenic Belt, China [J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 1995, 30(1):19-28(in Chinese with English abstract).
- [35] 吴正文, 柴育成, 黄万夫, 等. 秦岭造山带的推覆构造格局[C]//叶连俊主编. 秦岭造山带学术讨论会论文选集. 西安:西北大学出版社, 1991:111-120.
- Wu Zhengwen, Chai Yucheng, Huangwanfu, et al. Tectonic framework of the Qinling Mountain Belt Xi'an: Northwest University Press [C]//Ye Lianjun (ed.). *A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling Orogenic Belt*. Xi'an: Northwest University Press, 1991:111-120(in Chinese).
- [36] David Pratt. Plate Tectonics: A Paradigm Under Threat [J]. *Journal of Scientific Exploration*, 2000, 14(3):307-352.
- [37] NSF. New Departures in Structural Geology and Tectonic [EB/OL]. <http://www.pangea.stanford.edu/~dpollard/NSF/>, 2002.

Lithospheric structure of the Qinling intracontinental orogen

YUAN Xue-cheng, LI Shan-fang, HUA Jiu-ru

(Center of Research and Development, Chinese Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: The authors have constructed a new lithospheric structural model of the Qinling orogen by reprocessing and reinterpreting the seismic reflection profile from Yexian to Nanzhang and integrating and using the geophysical and geochemical data from seismic profiles for petroleum exploration, magnetotelluric sounding, heat flow and gasometry. The following major structures of varying ages have been recognized for the crust under the Qinling orogen: (1) crocodile structure formed by subduction of the North China craton beneath the Qinling microplate in the Caledonian period; (2) negative flower structure composed of a number of huge thrust faults centering around the Nanyang area formed by ramping-up, strike-slip motion and soft collision of the Yangtze craton and Qinling microplate during the Indosinian-Yanshan; (3) a dome of crystalline basement consisting of alternating orthogneiss and paragneiss formed after the Cretaceous; and (4) folded basement formed by nearly transparent Proterozoic low-grade metamorphic strata, overlying the crystalline basement. After the Cretaceous, as was the case with other areas in eastern China, a mushroom cloud-shaped structure was formed in the lithospheric mantle under the Qinling area due to the uplift of the asthenosphere and the lithosphere was reactivated, thus seriously affecting the tectonic evolution.

Key words: Qinling; lithosphere; seismic reflection profiling; gasometry; magnetotelluric sounding; heat flow

About the first author: YUAN Xue-cheng, male, born in 1928, senior engineer, mainly engages in deep geophysical research; E-mail: xcyuan@263.net.cn.