

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

秦岭造山带地壳构造与楔入成山

袁学诚

(中国地质勘查技术院, 北京)



横穿秦岭的河南叶县至湖北南漳的反射地震剖面揭示, 秦岭造山带地壳由一系列由南向北楔入到中地壳的鳄鱼式构造所组成。南北秦岭的上地壳分别形成南秦岭和北秦岭推覆系。北秦岭推覆系是组成基底的地壳沿脆塑转换面拆离冲叠形成的一个推覆系, 可以分出栾川推覆体、瓦穴子推覆体、二郎坪推覆体及朱夏推覆体。南秦岭推覆系是由于上地壳向南逆冲而成的花瓣状逆冲推覆岩片, 可以分出陡岭推覆体、新野推覆体、枣阳推覆体、十堰推覆体和襄阳推覆体。古生代时, 扬子陆块向华北陆块的俯冲碰撞并没有使地形隆升成山。直至印支期秦岭-扬子陆块向华北陆块的中地壳楔进, 秦岭才快速隆升。楔入构造活动是秦岭造山带的成山模型。

关键词 秦岭造山带 地壳构造 楔入成山

在“七五”期间, 地质矿产部完成了自河南叶县的盐店, 经方城、南阳到邓州的反射地震剖面^[1]。剖面揭示了秦岭地壳构造的基本面貌, 引起地质学家们的极大兴趣。1993年2月, 在国家自然科学基金委员会召开的“秦岭反射地震、地震层析断面地质解释学术研讨会”上, 很多学者都指出, 剖面的南端终止于南秦岭的邓州, 没有穿过秦岭造山带与扬子陆块分界的房县—青峰—襄樊断裂, 因而未能得到秦岭造山带地壳构造的整体面貌。并希望能完成一条穿越整个造山带的反射地震剖面。

我们原计划保持叶县—邓州的剖面方向不变, 将剖面南延到保康。但由于从邓州到保康, 要跨过武当山的东延部分, 地形条件较差, 但该区正位于秦岭造山带与扬子陆块的分界线。为了穿越重要的构造单元, 只好将剖面绕道襄樊, 再沿公路到南漳的九集。地震记录表明^[2], 襄樊断裂在剖面上有极好的显示, 其它断裂也很清楚, 南延段的选线是成功的。

剖面的南延部分全长 103km, 仍由地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所和地质矿产部石油局第四石油物探大队联合施工。野外数据采集方法同叶县—邓县段^[1]。资料处理仍在德国 Friderician Karlsruhe 大学德国深部地震处理中心用处理叶县—邓州段同样处理流程处理。

为叙述方便起见, 我们将这条从河南叶县盐店到湖北南漳九集的剖面简称为叶南断面(图1)。叶南断面研究目的是要阐明秦岭地壳的细结构。除了反射地震外, 地壳细结构研究还综合应用了地震层析、大地电磁、地磁差分、大地热流、深源包体、气体测量、重力、磁测以及岩石电

注: 本文为国家自然科学基金(编号 49290100)和地质矿产部(编号 JK-75-06-02)联合资助项目。

本文 1996 年 11 月收到, 1997 年 2 月改回, 王毅编辑。

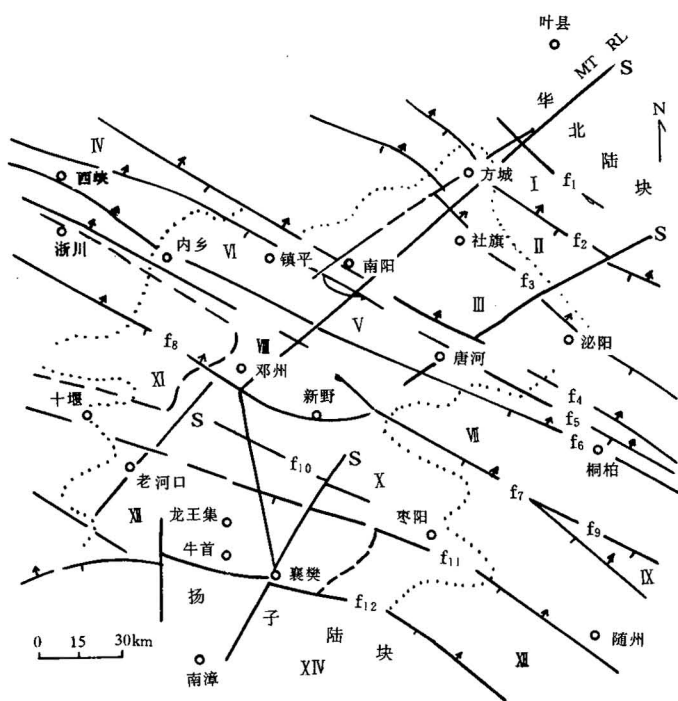


图 1 叶县—南漳反射地震剖面位置图

(地质底图据何明善, 谢迟初等, 略加补充)

Fig. 1 The layout of seismic reflection of the Yexian—Nanzhang profile

f_1 —鲁山断裂; f_2 —栾川—方城断裂; f_3 —瓦穴子断裂; f_4 —朱夏断裂; f_5 —商丹断裂; f_6 —西峡断裂; f_7 —槐树营—黄龙寨断裂; f_8 —新野断裂; f_9 —刘加湾断裂; f_{10} —枣阳断裂; f_{11} —十堰断裂; f_{12} —襄阳断裂; I—华北陆块南缘; II—宽坪群(Pt_2k); III—二郎坪群(Pt_3er); IV—秦岭群(Pt_1q); V—丹凤群(Pt_3df); VI—刘岭群(Dl); VII—陡岭群(Pt_1d); VIII—毛堂群(Pt_2m); IX—红安群(Pt_1hn); X—随县群(Pt_2s); 耀岭河群(Pt_2yl); XI—古生界沉积区; XII—武当群(Pt_1w); XIII—下古生界沉积区; XIV—扬子陆块; S—反射地震测线; 虚线为南阳盆地上第三系沉积边界

f_1 —Lushan fault; f_2 —Luanchuan—Fangcheng fault; f_3 —Waxuezi fault; f_4 —Zhuxia fault; f_5 —Shangdan fault; f_6 —Xixia fault; f_7 —Huaishuying—Huanglongzhai fault; f_8 —Xinye fault; f_9 —Liujiawan fault; f_{10} —Zaoyang fault; f_{11} —Shiyan fault; f_{12} —Xingyang fault; I—The southern margin of North China craton; II—Kuanping Group (Pt_2k); III—Erlangping Group (Pt_3er); IV—Qinling Group (Pt_1q); V—Danfeng Group (Pt_3df); VI—Liuling Group (Dl); VII—Douling Group (Pt_1d); VIII—Maotang Group (Pt_2m); IX—Hong'an Group (Pt_1hn); X—Suixian Group (Pt_2s), Yaolinghe Group (Pt_2yl); XI—sedimentary region of Paleozoic erathem; XII—Wudang Group (Pt_1w); XIII—sedimentary region of lower Paleozoic erathem; XIV—Yangtze craton; S—location of seismic reflection profile; dotted line is boundary of upper Tertiary of Nanyang basin

性的高温高压测定等方法。主要研究成果已综合在秦岭造山带地球物理岩石圈断面图上^[2]。

本文据反射地震剖面, 论述了南北秦岭地壳在动力变形中性质回异, 进而提出秦岭是陆壳沿软化带楔入成山的陆内造山带。这种类型的成山活动, 对我国许多山链形成具有普遍意义。

1 深地震反射揭示的秦岭地壳构造

根据深反射地震断面可将秦岭地壳构造大致分为 5 个部分(图 2)

1.1 华北陆块

通常认为栾川断裂是华北陆块与秦岭造山带的分界线。在栾川断裂与鲁山断裂之间是一套低变质变形的华北克拉通地层。有人把这个地段称为华北克拉通南缘构造带。我们从深反射地震特点出发, 将已变质变形的南缘带划归秦岭造山带, 而将鲁山断裂以北, 未曾变质变形的稳定地区作为华北陆块。华北陆块的基底岩系为太古宙—早元古代深变质片麻岩, 其上覆盖中元古代以来稳定沉积盖层。在反射地震剖面上华北地壳呈现稀疏平缓反射波组。

1.2 扬子陆块

在襄阳断裂以南的地区是扬子陆块。扬子陆块的下地壳向北延伸, 直达商丹断

裂。扬子陆块具双重基底,其固结时间比华北陆块晚,具太古宙一早元古代结晶基底及很厚的中晚元古代浅变质基底,古生代以后为稳定沉积。中三叠纪以后变为陆相沉积。在反射地震剖面上,扬子地壳也呈现为稀疏平缓的反射波组。

1.3 秦岭造山带

在鲁山断裂稍南的中地壳处,反射波组倾角发生明显变化,在深度约19km处,反射波组分为上下两组,上面一组北倾,下面一组南倾,形成嘴向北的鳄鱼式构造。下面一组向南倾的反射面 T_3 是华北陆块向南的俯冲带,它应是秦岭造山带深部的北部边界。

对秦岭造山带的南界有不同的认识。在秦岭造山带岩石圈地球物理断面图中^[2],根据商丹断裂南北反射特点截然不同的情况,将商丹断裂作为秦岭地壳的南界。在这里我们以地壳的俯冲为主要出发点,将最南的俯冲面 T_8 作为秦岭地壳的南界。

秦岭地壳是一个宽约100km,低倾角向南俯冲的带。在秦岭下地壳及上地幔顶部,有多个向南俯冲的界面,大致相平行,这种特点显示,在造山运动的后期,总的会聚方式是华北陆块向扬子陆块俯冲。整个秦岭地壳成为一个宽阔的接合带。

1.4 北秦岭推覆系

从鲁山断裂到朱夏断裂为一系列推覆体。形成北秦岭推覆系。推覆系的底部推覆面在鲁山断裂处深约19km,到朱夏断裂处变浅,约5—6km。

IV₁ 为栾川推覆体 主体由华北陆块的基底岩石太华群和登封群组成,其上覆盖了中元古代大陆裂谷双峰式熊耳群火山岩系,浅海相碳酸盐岩及砂页岩,及晚元古代大陆斜坡相沉积的陶湾群。

IV₂ 为瓦穴子推覆体 主体由中元古代宽坪群组成。宽坪群原岩形成于华北陆块南缘弧后扩张海盆中,主要为基性火山沉积岩系。推覆体呈狭长条带状分布,长达600km,宽不超过数十公里。

IV₃ 为二郎坪推覆体 由细碧角斑岩、枕状熔岩、中基性—中酸性火山碎屑岩、放射虫硅质岩、碳酸盐岩及复理石等组成。是在海洋环境中生成的岩系,过去认为形成于早古生代,根据最近年龄测定结果,二郎坪群至少部分形成于晚元古代。

IV₄ 朱夏推覆体 可能由秦岭群和二郎坪群等岩系所组成。是一个在更深层位的推覆体。

1.5 南秦岭推覆系

主推覆面 T_6 (MST)位于中地壳。过襄阳断裂后继续南延到江汉盆地。我们根据地表出露岩系,将襄阳断裂 f_{12} 作为南秦岭推覆系的南界。但在襄阳断裂以南的中地壳内,主推覆面仍可清晰地追踪,在襄阳断裂以南还应存在隐伏的秦岭前陆推覆构造。南秦岭推覆系内可划分出5个推覆体。

V₁ 陡岭推覆体 主要由早元古代陡岭群组成。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2.0Ga。根据张寿广等研究(国家自然科学基金委秦岭“八五”重大项目年会上报告),陡岭群可以和秦岭群对比。在陡岭群上覆盖有中泥盆世刘岭群。

V₂ 新野推覆体 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5km时,约为30°,5km以下变缓到10°左右。它原应为逆冲断层,后期转变成正断层,并成为南阳盆地的南界。推覆体的近地表岩系为中元古代毛堂群,是海相火山沉积岩。

V₃ 枣阳推覆体 它的近地表岩系为中—晚元古代跃岭河群和随县群。跃岭河群是以细

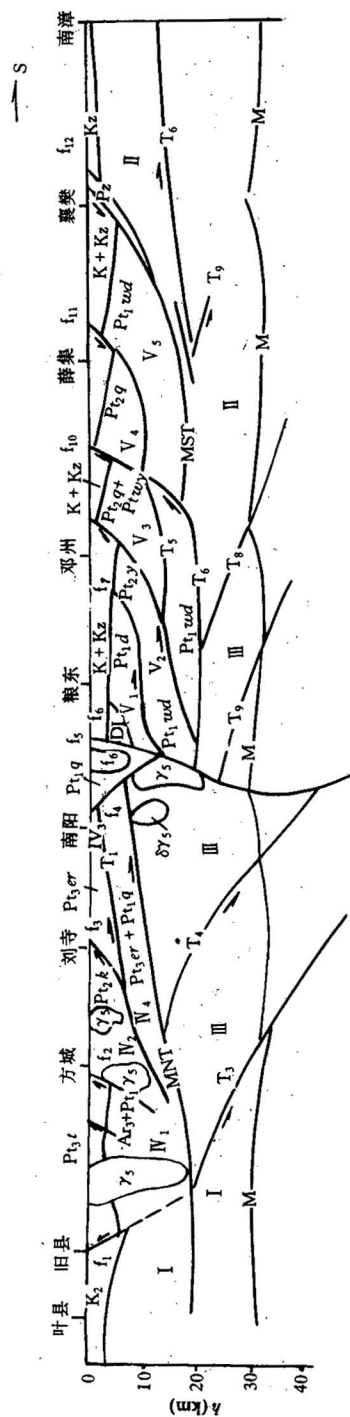


图 2 秦岭地壳构造图

Fig. 2 Crustal tectonics of Qinling

I—华北地壳; II—扬子地壳; III—秦岭地壳; IV—北秦岭推覆体; V—南秦岭推覆体; V₁—陡岭推覆体; V₂—新野推覆体; V₃—襄阳推覆体; V₄—十堰推覆体; V₅—襄阳推覆体; Kz—新生代; K—白垩系; DL—刘岭群; Pt_{3er}—陶湾群; Pt_{3f}—宽坪群; Pt_{2s}—随县群; Pt_{2y}—卧岭河群; Pt_{2m}—毛堂群; Pt_{1d}—陡岭群; Pt_{1w}—武当群; Pt_{1q}—秦岭群; Ar₃+Pt₁—太华群及登封群; γ₃—加里东花岗岩; γ₅—印支及燕山期花岗岩;

当群; Pt_{1q}—秦岭群; Ar₃+Pt₁—太华群及登封群; γ₃—加里东花岗岩; γ₅—印支及燕山期花岗岩;

δγ₅—印支及燕山期闪长花岗岩; M—莫氏面。f₁至f₁₂—断层, 命名同图 1。
I—North China crust; II—Yangtze crust; III—Qinling crust; IV—North Qinling nappe series; V—South Qinling nappe series; V₁—Douling nappe; V₂—Xinye nappe; V₃—Zaoyang nappe; V₄—Erlangping nappe; V₅—Xiangyang nappe; Kz—Cenozoic; K—Cretaceous; DL—Liuling Group; Pt_{3er}—Erlangping Group; Pt_{3f}—Taowan Group; Pt_{2s}—Shuixian Group; Pt_{2y}—Yaolinghe Group; Pt_{2m}—Maotang Group; Pt_{1d}—Douling Group; Pt_{1w}—Wudang Group; Pt_{1q}—Qinling Group; Ar₃+Pt₁—Taihua Group and Dengfeng Group; γ₃—Caledonian granite; γ₅—Indosinian—Yanshan granite;

δγ₅—Indosinian—Yanshan granodiorite; M—Moho; f₁—f₁₂—faults; name of faults refer to Fig. 1

碧岩为主的海相火山沉积岩。在跃岭河群中可见到武当群和随县群砾石,显然它晚于武当群和随县群,形成于裂陷槽中。随县群由片岩、千板岩组成,其原岩为复理石。它与其上覆跃岭河群为断层接触关系。

V₄ 十堰推覆体 十堰断裂又称公路断裂,主断面北倾,倾角 30°—50°,推覆体主要由中元古代随县群组成。

V₅ 襄阳推覆体 主要由中元古代武当群和随县群所组成。武当群为一套以酸性火山岩为主组成的火山-沉积岩。直接逆掩在扬子陆块的古生代地层上。根据地表地质,襄阳断裂始于印支期,完成于晚侏罗纪燕山运动,到喜马拉雅期仍活动强烈。

2 南北秦岭两类不同性质的逆冲推覆

R. D. Hatcher 将山链内褶皱带的结晶岩逆冲岩片分为两类^[3]。一类称为 C 型,是组成基底的地壳整体沿热软化的脆塑转换带(DBT)拆离形成脆性岩板,由陆—陆或陆—弧碰撞的 A 型俯冲所造成。此类逆冲岩片的范围与位移均极大,往往形成冲叠构造,使地形上拱。逆冲岩片的底界面摩擦系数低而其内摩擦系数则高。

另一类他称为 F 型逆冲岩片,是与褶皱有关的花瓣状逆冲岩片,形成于脆塑转换带中或其下。它是由于扰曲流动褶皱中背形构造与向形构造的共同翼弱化所形成。F 逆冲岩片由 A 型或 B 型俯冲造成。岩片中摩擦系数低,受塑性流动所控制。

北秦岭推覆系应属 C 型逆冲岩片。中地壳内的 MNT 主推覆面是脆塑转换带。推覆系是一个被推覆的脆性岩板。

岩块的脆性变形服从线性摩擦破裂原则,应力差:

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = C\rho gz(1 - \lambda)$$

其中: ρ 为上覆岩石的密度; g 为重力加速度; z 为上覆岩层厚度; λ 为孔隙流体因子; C 为参数,决定于断层类型。

质言之,一个脆性岩板的强度主要受控于压力,在外力作用下,主要是在其岩板内部产生断裂。C 型逆冲岩片常使地形上拱,这也可以解释为什么秦岭的峻岭都沿北秦岭分布。南秦岭推覆系应属 F 型逆冲岩片。推覆系是由于脆塑转换面下的物质的塑性流动所形成。

岩块的塑性变形服从 Weertman 蠕变方程,或称为流动律。

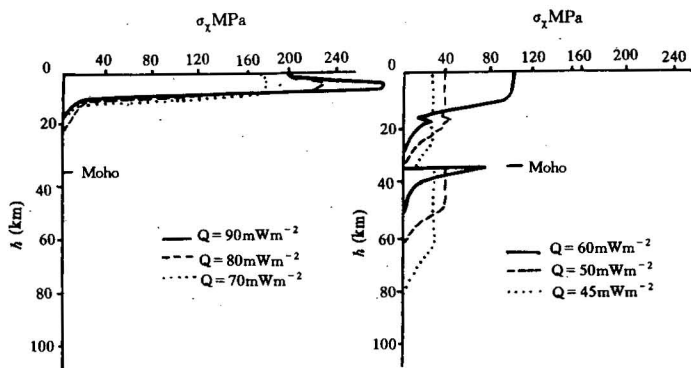


图3 对岩石圈施加 $-1.882 \times 10^{12} \text{Nm}^{-1}$ 的压力,在 1Ma 后,对于不同热流值岩石圈的应力-深度关系
(据 N. J. Kuszniir)

Fig. 3 Stress-depth plots at 1Ma after application of compressional forces of $-1.882 \times 10^{12} \text{Nm}^{-1}$ to lithosphere with various geothermal gradients
(after N. J. Kuszniir)

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \exp\left(-\frac{H}{RT}\right)$$

其中: $\dot{\epsilon}$ 为应变速率(或蠕变率); $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$ 为应变差; R 为气体常数; T 为温度; H 为激活焓; A, n 为决定于岩石类型性质的常数。

从方程可以知道, 决定塑性变形的主要是温度, 或热状态。

图 3 为对岩石圈施加 $1.882 \times 10^{12} \text{Nm}^{-1}$ 的压力, 在 1Ma 后, 对于不同热流值岩石圈的应力-深度关系^[4]。低热流值时, 应力可达岩石圈的较深处, 且无应力放大发生, 随着热流值的增大, 应力在塑性变形中释放得越来越多, 逐步集中到岩石圈的上部, 且有很高的应力放大作用。

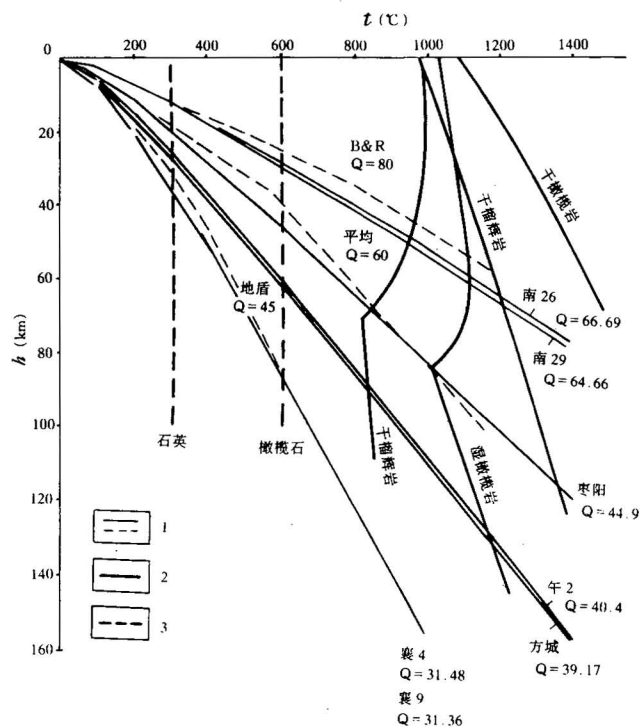


图 4 东秦岭地温曲线

Fig. 4 Geothermal gradient curves in East Qinling

1—地温曲线; 2—熔融曲线; 3—产生显著应变率临界温度

1—Geothermal gradient curves; 2—melting curves; 3—critical temperatures required to produce significant strain rates in quartz and olivine

明显。

图 2 显示南秦岭的上部地壳是一个顶部向南的不完整背形构造, 下部地壳是一个顶部向南的向形构造。MST 是其共同翼的弱化带。在地表的巴山弧形构造是由于塑性流动产生的花瓣构造。

图 4 是在东秦岭断面上不同地区测得的地温曲线。同时标示了在盆岭省测得的地温曲线及全球平均地温曲线(平均)与地盾区测得的曲线(地盾), 以供比较。在南阳测得的地温曲线(南 26, 南 29)与盆岭省测得的地温曲线接近, 但在深度小于 30km 范围内, 盆岭省地温曲线的梯度较小。枣阳测得的地温曲线与全球平均地温曲线(平均)接近, 但大约深 40km 以上, 平均地温曲线梯度较枣阳测得的地温曲线梯度为小, 而深度大于 40km 以后则梯度较大。在襄阳测得的地温曲线(襄 4, 襄 9)也相似。通过这种对比认为, 在秦岭地区的地温曲线, 地壳内的温度梯度较小, 而到上地幔内则变大。

将秦岭地区测得热流值与图 3 作对比, 可以大致看出, 在南阳、枣阳地区地壳的中部和下地壳内出现低应力和高粘滞度区域, 在这些区域可以发生拆离面; 而在方城舞阳地区, 以及襄阳地区在地壳内存在低应力和高粘滞度区域的迹像已不

3 秦岭造山带的楔入成山

造山一词可有不同的理解。本文将 orogeny 称为造山,而将 mountain building 称为成山。本文所指的楔入成山是讨论秦岭造山带的隆升变形过程。

地表地质有证据说明,在早古生代时,秦岭地区出现洋盆及板块体制。中、晚古生代时,秦岭洋沿商丹断裂一带向北俯冲消减(图 5a)。地球化学还从另一个侧面提供了重要的深部证据。根据地球化学对侵入在秦岭群中的翠华山,宝鸡花岗岩,和侵入在宽坪群中的蟒岭 I 型碰撞花岗岩的研究,其 Pb 同位素的组成与北秦岭晚元古代—早古生代花岗岩类长石 Pb 同位素组成有明显差别,前者贫放射成因 Pb 低 μ 。后者富放射成因 Pb 且高 μ 。但这几个岩体与南秦岭古生代—早中生代花岗岩质岩石同位素组成一致。这不仅指示北秦岭晚古生代花岗岩源于南秦岭的中下地壳,同时说明,在晚古生代,南北秦岭已经拼合。翠华山、宝鸡及蟒岭等岩体的 Sr 同位素初始比值也与南秦岭晚古生代—早中生代花岗岩类的 Sr 同位素初始比值相近,进一步说明北秦岭花岗岩的源区是南秦岭的中下地壳^[5]。

扬子陆块向华北陆块的俯冲碰撞并没有使地形隆升成山。作为加里东造山运动重要证据之一的泥盆系“底砾岩”,经重新工作,证明是一套弧前沉积,而不是磨拉石建造。晚志留世—早泥盆世大面积沉积的缺失经大量工作,证明是造陆运动,而不是成山运动。

直至向华北上地幔俯冲的秦岭—扬子陆壳受到的阻力愈来愈大,终于停止俯冲,转而向着阻力较小的近水平方向楔进,将华北地壳劈成上下两半(图 5b),华北的下地壳转而向南俯冲,其上地壳则向南冲叠推覆,秦岭这才拔地而起。

楔入发生在中地壳。是柔性的秦岭地壳向着刚性的华北中地壳楔进,扬子地壳向秦岭地壳楔进。不论是华北陆块还是扬子陆块,在深约 20km 处,都可以发现一个明显的、连续的反射面。在扬子壳内的这个反射面一直向北延伸,到达商丹断裂(图 2)。它是一个富含流体的壳内弱化带。楔入就沿这个弱化带发生。

秦岭造山带前中三叠世的地层发生普遍的变质变形,且具相同或相似的特征和样式。晚三叠世—白垩纪有磨拉石相沉积。楔入成山作用发生的时代当为中三叠世末期^[6]。沙河湾奥兰环斑花岗岩(195—213Ma)的出现意味着秦岭造山过程的完成^[7]。

南北秦岭在楔入造山过程中的表现不同。北秦岭是沿热软化的脆塑转换带拆离形成的脆性岩板冲叠而成的推覆系,形成峻峭的山体。南秦岭是由于扬子下地壳向北塑性流动楔入运动中,上地壳向南逆冲形成的推覆系,构造岩片中摩擦系数低,难于形成高山。

到燕山期,使秦岭楔入成山的外部应力消失,秦岭造山带开始垮塌,出现拉张(图 5c)。南秦岭上地壳沿中地壳滑脱面向南滑脱,原来的逆冲断层转化成为正断层。在反射地震剖面上,可以明显地看到南深北浅的新生代箕状盆地。可以识别出 4 个箕状盆地,分别位于 f_5 — f_8 , f_8 — f_{10} , f_{10} — f_{11} , f_{11} — f_{12} 之间。

在解释造山期后过程时,很自然地会联系到山根。秦岭没有山根。很自然会使人想到这可能是在拆沉作用下去掉了山根,使山链失去均衡,从而产生伸展垮塌。但秦岭地区的莫氏面深度虽与华北、扬子地区的莫氏面深度相差无几,但重力已达均衡^[8]。如果再注意到整个中国东部的莫氏面深度,不论地表是什么地貌,都在 31—35km 左右^[8],未免要对造山期后的动力作进一步考虑。从叶南断面的地震层析图来看^[2],上地幔速度很不均匀,在方城与龙王集之间,在上地幔顶部有一个盆状低速体,这个低速体最大可能是地壳物质冲入地幔所造成。显然,秦岭

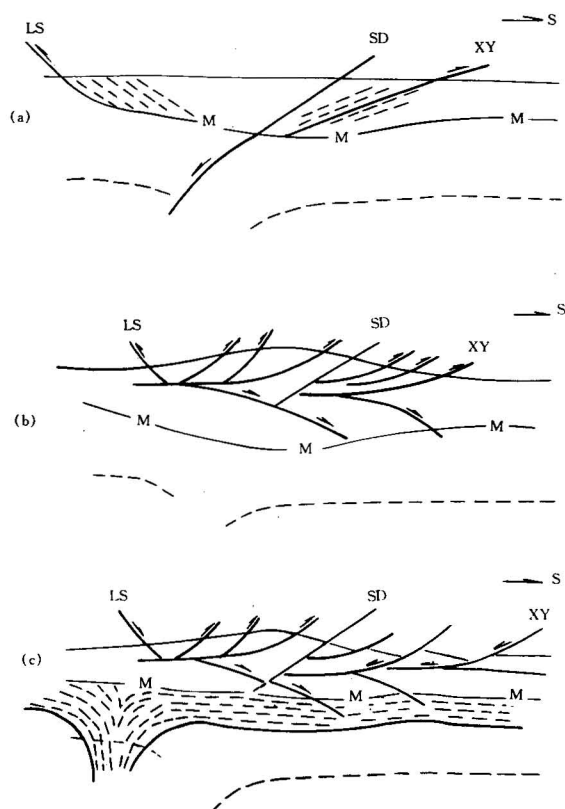


图 5 秦岭造山带的构造演化

Fig. 5 Tectonic evolution of the Qinling orogeny

a—加里东—海西期:秦岭—扬子向华北俯冲;b—印支期:秦岭造山带楔入成山;c—燕山期:秦岭造山带成山期后,上地幔拉张,地幔物质上涌,秦岭伸展垮塌;LS—栾川断裂;SD—商丹断裂;XY—襄阳断裂;M—莫氏面

a—Caledonian—Hercynian period: Qinling—Yangtze block subducted under North China block; b—Indosinian period: Qinling Mountain was built by crustal wedge action; c—Yanshan period: upper mantle split, extensional collapse of the Qinling orogen; LS—luanchuan fault;

SD—Shangdan fault; XY—Xianyang fault; M—Moho

岭造山带的成山模型。

地区的均衡面不应在莫氏面深度处,而在更深的上地幔中。这个问题在这里我们不再作进一步讨论,在对秦岭及其毗邻地区岩石圈三维构造的研究中,我们对此作了初步解释,认为山根的丢失,连同华北某些地区岩石圈的减薄是由于上地幔的非均匀化的结果^[9]。

4 结论

综上所述,我们认为:

(1)以商丹断裂为界,秦岭可分为南北两部分。北秦岭的上地壳是组成基底的地壳沿脆塑转换面拆离冲叠形成的一个推覆系。可以分出栾川推覆体、瓦穴子推覆体、二郎坪推覆体、及朱夏推覆体。南秦岭的上地壳是由于下地壳向北塑性流动,上地壳向南逆冲而成的花瓣状逆冲推覆岩片。可以分出陡岭推覆体、新野推覆体、枣阳推覆体、十堰推覆体、和襄阳推覆体。

(2)南北秦岭及其毗连的华北、扬子陆块下地壳及上地幔内反射界面主要向南倾斜,显示出华北向秦岭俯冲,秦岭向扬子俯冲。因此,地壳构造格架在总体上形成一系列由南往北楔入到中地壳的鲕鱼式构造。

(3)古生代时,扬子陆块向华北陆块的俯冲碰撞并没有使地形隆升成山。直至印支期秦岭—扬子陆块向华北陆块的中地壳楔进,秦岭才隆升。楔入造山是秦岭造山带的成山模型。

参 考 文 献

- 1 袁学诚,徐明才,唐文榜等. 东秦岭地壳反射地震剖面. 地球物理学报, 1994, 37(6): 749—758.
- 2 袁学诚,左 愚. 秦岭造山带地球物理岩石圈断面. 北京: 科学出版社, 1996.
- 3 Hatcher R D, Hooper R J. Evolution of crystalline thrust sheets in the internal parts of mountain chains, in Thrust Tectonics. 1992.
- 4 Kusznir N J, Park R C. Continental lithosphere strength: the critical role of lower crust deformation, in The Nature of the lower Continental Crust. 1989. 79—93.
- 5 张宏飞, 张本仁, 赵志丹, 骆庭川. 东秦岭商丹构造带陆壳俯冲碰撞. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 231—236.

- 6 张国伟,孟庆任,于在平,孙勇,周鼎武,郭安林. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征,中国科学(D辑),1996,26(3):193—200.
- 7 卢欣祥,董有,常秋岭等. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及其动力学意义,中国科学(D辑),1996,26(3):244—248.
- 8 袁学诚. 中国地球物理图集. 北京:地质出版社,1996.
- 9 袁学诚. 秦岭岩石圈速度结构与蘑菇云构造模型. 中国科学(D辑),1996,26(3):209—215.

THE CRUSTAL STRUCTURE OF THE QINLING OROGEN AND WEDGING MOUNTAIN BUILDING

Yuan Xuecheng

(Chinese Academy of Geos exploration, Beijing)

Abstract

The seismic reflection profile from Yexian of Henan across the Qinling Mountains to Nanzhang of Hubei shows that the crust of the Qinling orogen is composed of multiple crocodile-shaped structures wedging from south to north into the mid-crust. Two nappe systems, the South Qinling and North Qinling, may be recognized. The North Qinling nappe system was formed by decoupling, thrusting and stacking of upper crustal sheets of the North Qinling along a brittle-ductile transition zone. It is composed of the Luanchuan nappe, Waxuezi nappe, Erlangping nappe and Zhuxia nappe. The South Qinling nappe system resulted from south-vergent thrusting of the upper crust of the South Qinling. It comprises the Douling nappe, Xingye nappe, Zaoyang nappe, Shiyan nappe and Xiangyang nappe. The subduction of the Yangtze block towards the North China block during the Paleozoic had not caused the land in Qinling to be uplifted and become mountains. It was only when the Qinling-Yangtze block wedged into the mid-crust of North China in the Indosinian that Qinling was uplifted rapidly and became mountains. So Wedging was the mechanism for mountain building in the Qinling orogen.

Key words: Qinling orogen, crustal structure, wedging mountain building

作者简介

袁学诚,生于1928年。1952年毕业于清华大学物理系。长期从事矿产勘探及深部地球物理研究工作,现为中国地质勘查技术院高级工程师。通讯地址:北京海淀区学院路31号,邮政编码:100083。