

文章编号: 1001-6112(2009)02-0148-06

东秦岭洛南—栾川断裂带的形成和演化

陆永德

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:通过对洛南—栾川断裂构造特征的考察、地球物理特征的研究及其演化史分析,认为该断裂是一条长期发育的、位于华北地块与秦岭造山带之间的岩石圈大断裂。在新元古代—中奥陶世,其控制了洛南—栾川、云架山—二郎坪裂陷盆地的发育;志留纪末期—泥盆纪初,断裂由南向北逆冲推覆;晚古生代,断裂处于不活动状态;中三叠世末—早白垩世早期,造山带逆冲系前锋不断向北推进;晚白垩世,北秦岭地区处于右旋走滑背景,沿洛南—栾川断裂形成拉分盆地。

关键词:拉分盆地;裂陷盆地;逆冲推覆构造;洛南—栾川断裂;东秦岭

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

FORMATION AND EVOLUTION OF THE LUONAN—LUANCHUAN FAULT BELT IN THE EAST QINLING REGION

Lu Yongde

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: On basis of investigation of the structural characteristic, study of geophysical behavior and analysis of evolution history of the Luonan—Luanchuan fault belt, it was considered that the fault was long lasting lithosphere fault between the North China Plate and the northern Qinling orogenic belt. It controled development of the Luonan—Luanchuan and Yunjiashan—Erlangping fault basins during the Proterozoic to the Early Ordovician. The fault was thrust from south to north during the Silurian to the Devonian, and it was not active in the Late Paleozoic. The front zone of the orogenic belt was continuously advanced toward to the north during the Middle Triassic to the Early Cretaceous. The pull apart basins were developed along the Luonan—Luanchuan fault belt under background of right slip movement in the northern Qinling area during the Late Cretaceous.

Key words: pull apart basin; nappe structure; fault basin; Luonan—Luanchuan fault; the East Qinling

洛南—栾川断裂带是东秦岭造山带中一条重要的断裂带(图1)^[1~8],呈北西西—近东西向展布,向西延伸至宝鸡,向东穿越南襄盆地延伸至桐柏—大别造山带北缘,绵延上千公里,与南侧商丹断裂共同组成北秦岭构造带南北界线。长期以来,学者们对洛南—栾川断裂带的性质存在较大的分歧,有3类不同的认识,分别是:(1)南倾逆冲断裂;(2)北倾逆冲断裂;(3)左行走滑断裂。作者通过野外实地考察和研究认为,洛南—栾川断裂是一条发育时间长、各期性质有很大差别的断裂带。该断裂带长期以来对两侧构造—沉积具有控制作用。断裂带早期为张性断层,控制了早期被动大陆边缘及

弧后盆地的发育;中期为压性,发生由南向北的逆冲推覆,总体反映现今地表构造面貌;晚期为剪切走滑特征,控制走滑拉张断陷盆地的演化。

1 洛南—栾川断裂带构造地质特征

1.1 洛南—栾川断裂带南侧构造地质特征

商丹断裂带以北,洛南—栾川断裂带以南的北秦岭造山带由5个由北向南的推覆岩片组成,自北而南可分为陶湾变形带、宽坪变形带、北岛弧混杂岩带、秦岭杂岩穹隆带及南岛弧混杂岩带。各岩片间为逆冲断裂或左行走滑断裂及其伴生的中生代红盆所分隔^[9]。洛南—栾川断裂以南,陶湾、横

收稿日期: 2008-11-21; 修订日期: 2009-02-12。

作者简介: 陆永德(1965—),男,工程师,从事盆地分析和构造地质研究工作。E-mail: Luyd@mail.wuxisuo.com。

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价项目(XQ-2007-02)。

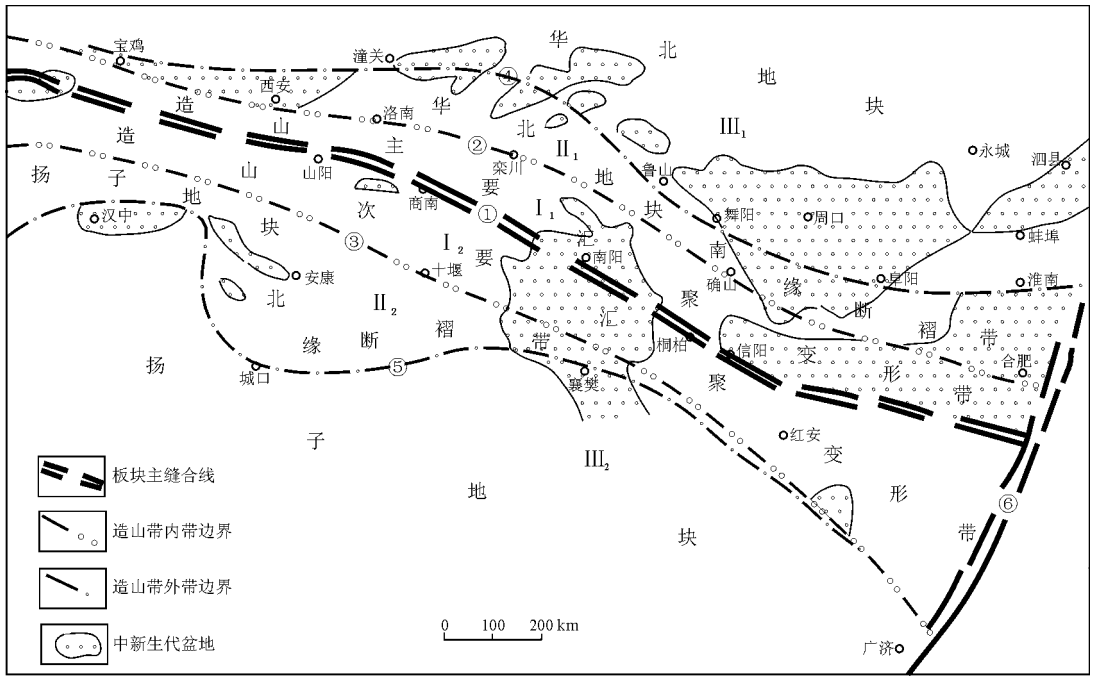


图 1 秦岭—大别陆内造山带构造单元划分^[8]

- ①商县—信阳—霍山断裂;②洛南—栾川断裂;③十堰—随县—广济断裂;
- ④潼关—鲁山—淮南断裂;⑤城口—襄樊—广济断裂;⑥郟城—庐江断裂
- I. 内带(会聚变形带): I₁ 为北亚带(主要会聚变形带), I₂ 为南亚带(次要会聚变形带);
- II. 外带(过渡变形带): II₁ 为华北地块南缘断褶带, II₂ 为扬子地块北缘断褶带;
- III. 稳定地块: III₁ 为华北地块, III₂ 为扬子地块

Fig. 1 Structural division of intracontinental orogenic belt in the Qinling-Dabie area

涧、磨沟口一带陶湾群薄层黑云母大理岩及云母石英大理岩由北向南逆掩在宽坪群黑云母大理岩之上,滑脱层糜棱岩化并且发生强烈的韧—脆性变形,面理北倾,倾角 30°~57°;推覆体常呈飞来峰或构造楔等产出,宋传中等认为推覆距离大于 10 km^[1]。伏牛山地区这种由北向南的推覆构造更为发育,主要表现为栾川群变质的火山—碎屑岩系逆掩在上白垩统红色砂岩和宽坪群片麻岩之上,栾川群呈飞来峰碎裂岩化及糜棱岩化,滑脱层强烈柔皱,构造透镜体、石香肠发育,面理北倾,倾角 55°~65°^[1]。

1.2 洛南—栾川断裂带北侧构造地质特征

洛南—栾川断裂以北属于华北克拉通范畴,早古生代地层广泛发育,地层出露完整。从克拉通内部向边缘,由北向南地层逐步加厚,主要沉积了一套陆缘海碳酸盐岩为主,夹砂、页岩组成的细碎屑岩的沉积组合,其沉积类型、变形—变质程度与南侧北秦岭构造带完全不同,为 2 种构造体制下的产物。冷水、三川一带出露浅变质—未变质震旦—奥陶系地层,宽坪群为一套云母、石英片岩;三道撞组为碳质、钙质泥岩;三川组为泥质板岩;中上寒武统为灰岩,而陶湾群为一套中酸性火山岩。在这些地层中张性构造普遍发

育,构造形变简单,属于华北地块南缘太华群基底之上的被动陆缘盖层沉积^[3]。

1.3 洛南—栾川断裂带主体构造地质特征

洛南—栾川断裂带主体部位表现为由南而北的推覆构造。洛南石门以北,中元古界高山河群石英砂岩逆冲至熊耳群杂岩或官道口群白云岩之上,前锋带形变强烈,滑脱面糜棱岩化,小构造分析指示为由南向北的逆冲推覆。洛南石门以南,新元古界青白口系石北沟组、罗圈组强烈片理化和韧性剪切流变;陶湾群韧性剪切推覆到寒武系之上;中寒武统鲕状灰岩鲕粒韧性剪切呈“骨针状”等。经区域资料对比、地层切割关系分析及小构造测量,指示加里东运动在北秦岭地区表现为由南向北的逆冲推覆^[3]。在栾川县三川乡大红村南至庙底村北发育数个由陶湾群绿片岩组成的由南向北的逆冲岩片(图 2)。岩片前端绿片岩形变强烈,发育一系列平卧褶皱、鞘褶皱、尖棱褶皱、倒转褶皱等无根褶皱(图 3)。在每个岩片中清晰反映出从前端至末端即由北向南形变强度由强趋弱直至无形变的特点,褶皱轴面产状及形变强度的变化均指示断面南倾、由南向北的挤压推覆。滑脱面层碎裂岩化、糜棱岩化。而原地层系陶湾群中酸性火山岩没有发

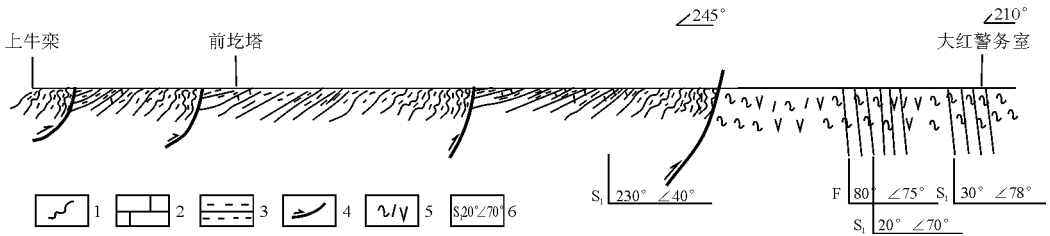


图 2 河南省栾川县三川乡大红村南陶湾群片岩逆冲推覆构造剖面

1. 塑性形变; 2. 钙质片岩; 3. 泥质片岩; 4. 断层及方向; 5. 中酸性火山岩; 6. 产状

Fig. 2 A cross section showing Taowan Group nappe structure in Sanchuan area of Luanchuan County, Henan Province

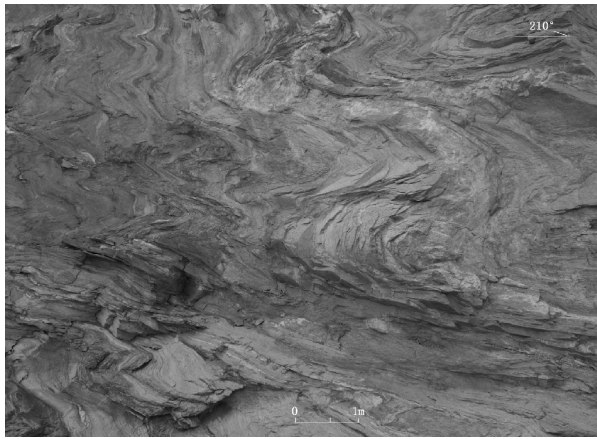


图 3 河南省栾川县三川乡大红村南 200 m 陶湾群灰绿色绿片岩塑性形变

Fig. 3 Plastic deformation of Taowan Group greenschist in Sanchuan area, Luanchuan County, Henan Province

育挤压形变,且发育张性构造,反映断裂带两侧构造属性的不同。

2 洛南—栾川断裂带地球物理特征

在洛南—栾川断裂以南和商丹断裂以北之间,由北向南的挤压推覆及洛南—栾川断裂由南向北的挤压推覆,共同组成了北秦岭构造带“花式”构造

的两翼,其转折部位位于卢氏—栾川一线。这种构造样式,在深部也有很好的反映。据洛阳—石堰综合物探剖面资料显示,在豫西熊耳山南坡存在梯度带,在西安南侧有一个无震相反射低阻带,反映中、下地壳向南俯冲,上地壳向北仰冲特征^[3]。据罗敷—牛车河、宜都—桐柏—正阳地质—地球物理综合解释剖面及东秦岭大地电磁测深剖面,北秦岭造山带北部岩石圈内各高导层总体南倾,断面南向北冲;造山带南部,高导层北倾,断面北向南冲;北秦岭造山带具扇形结构特征。具体表现为洛南—栾川一线北侧有一个从 50 km 深向南下插至 200 km 深的岩石圈高阻体,形成扇形体的北部,其上为呈现一系列被南倾断裂分开的块体,有深 50 km 的幔内高导层分布。郧县—房县地区与桐柏断裂—襄樊—广济断裂间出现由南向北倾斜插入秦岭之下的软流圈顶界面,形成扇形体的南部,其上有幔内高导层与中地壳高导层;南北部之间,为幔内高导层组成的扇形体的中心部位^[9]。在上地壳,洛南—栾川断裂带表现为电性层突变带和波速层差异带,其结构指示南倾北冲、上陡下缓,呈犁式收敛于壳内 5~10 km 低速(元古界)和低阻(壳内滑脱)层段^[7](图 4,5)。

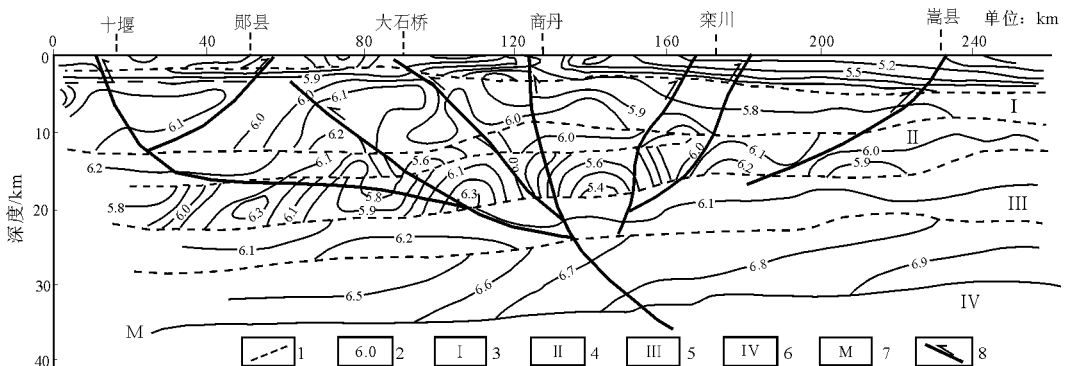


图 4 过东秦岭造山带 QB-1 二维速度结构地质解释剖面

1. 速度界面; 2. 纵波速度(km/s); 3. 上地壳; 4. 中地壳; 5. 下地壳; 6. 上地幔; 7. 莫霍面; 8. 主要断裂

Fig. 4 An interpreted geological and structural cross section of 2-D seismic speed data for line QB-1 cross the eastern Qinling orogenic belt

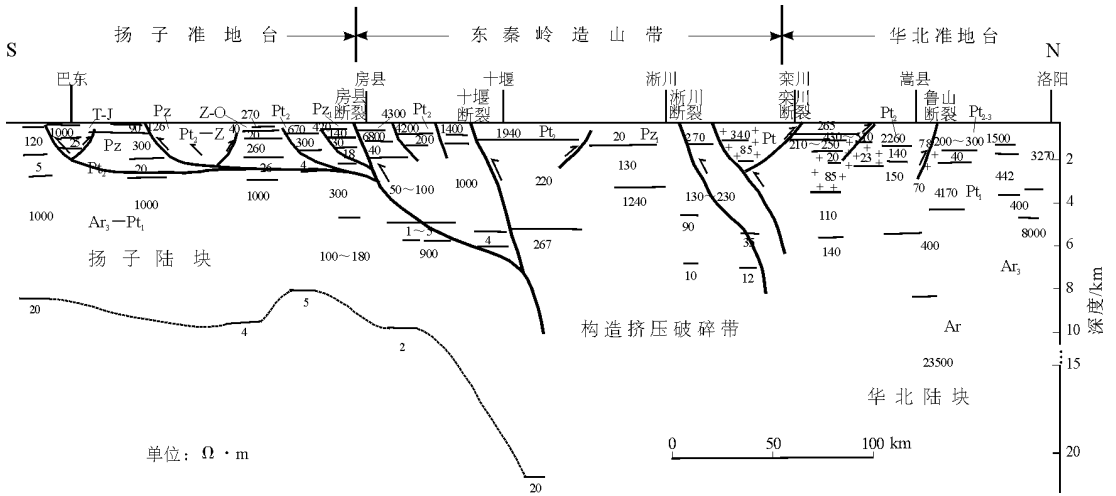


图 5 巴东—洛阳大地电磁测深地质解释剖面

图中“+”代表侵入岩

Fig. 5 An interpreted geological section of magnetotelluric sounding data from Badong to Luoyang

3 洛南—栾川断裂带的形成与演化

3.1 洛南—栾川断裂带形成初期

中、新元古代—早古生代早期,随着原特提斯的发育,古秦岭洋逐步打开(图6),华北陆块南缘处

于伸展环境,发育一系列张性断层^[10]。在北秦岭,广泛出露的由变质程度达角闪岩相的片麻岩、大理岩及斜长角闪岩组成的秦岭岩群,其岩石地球化学具有双峰式特征,形成于大陆裂谷或被动大陆边缘裂陷盆地,表明此时处于张性环境^[11]。残存的丹凤

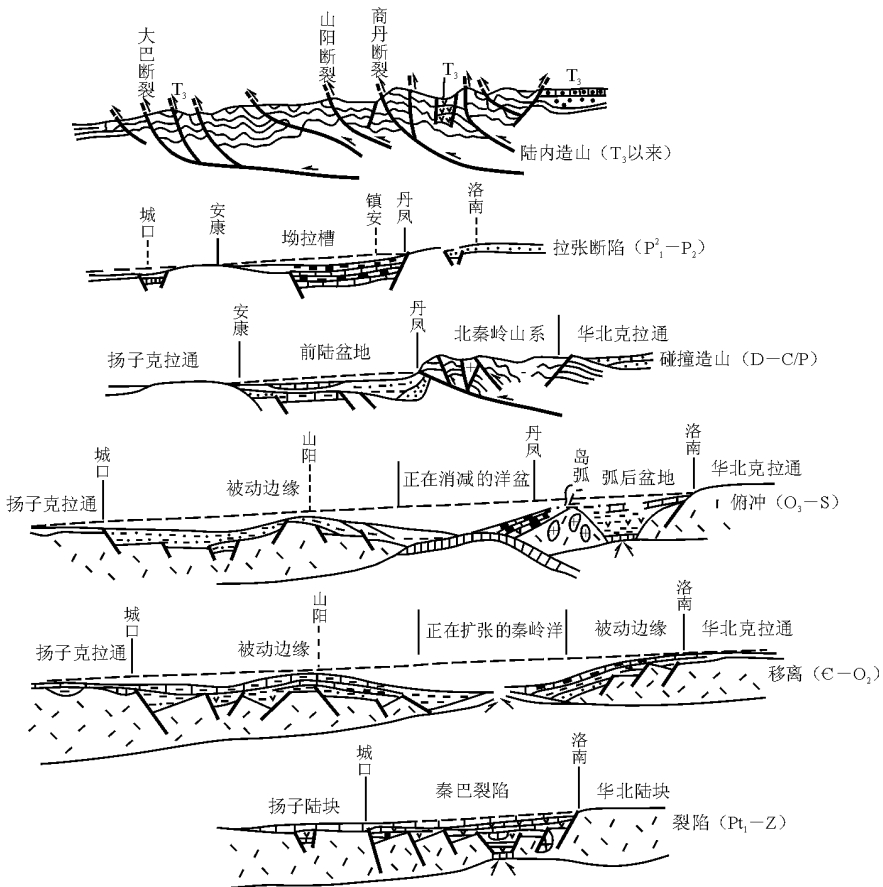


图 6 扬子—秦岭—华北构造演化模式^[12]

Fig. 6 Tectonic evolution model of Yangtze—Qinling—North China

蛇绿岩、含放射虫硅质岩和洋岛、岛弧型火山岩构成的构造混杂岩,表明商丹带一个已消失的洋盆的存在;蛇绿岩残片 1 250~983 Ma, 447~357 Ma 两组同位素年龄,证明洋盆扩张始于中、新元古代^[9,13]。众多资料显示洛南—栾川断裂是华北克拉通与南部被动边缘的地质界线,其性质为向洋倾斜的张性正断层^[7]。洛南—栾川断裂及其以南的数条同向断裂组成了蚕垒相间的构造面貌,控制了洛南—栾川、云架山—二郎坪等中、新元古代—早古生代早期裂陷盆地的发育^[7]。这种格局一直延续至中奥陶世。

3.2 洛南—栾川断裂带主形期

中晚奥陶世,北秦岭古洋盆沿商丹带开始向华北地块俯冲消减,华北陆块主体整体隆起,华北南缘被动边缘转化为主动边缘^[14]。北秦岭俯冲型花岗岩(444 Ma, U—Pb)的分布,华北地块中奥陶世后的大范围抬升,以及商丹带岛弧型火山岩(413 Ma, Sm—Nd)的证实,共同证明北秦岭在 O₂—S 已转入板块的俯冲收敛期^[9]。在俯冲前缘形成火山弧。黑河丹凤群安山岩的发现,表明华北陆块南缘北秦岭存在大规模的古生代岛弧^[15]。从丹凤岩群中解体出的吊庄变石英闪长岩体,具 I 型与 M 型花岗岩类特征,其源于壳幔混合区,为基性岩浆分异演化而来,地球化学特征表明属岛弧型,形成于活动大陆边缘的岛弧构造环境^[16]。在火山弧向陆一侧发生弧后张裂,形成沟—弧—盆体系。弧后盆地的进一步发育形成弧后小洋盆。二郎坪群蛇绿岩及含放射虫硅质岩,证实弧后小洋盆的存在^[13]。洛南—栾川断裂作为弧后盆地的北部边界,与华北克拉通相分隔。此时洛南—栾川断裂仍表现为南倾张性正断层,切割很深,可能切穿了整个地壳,这一点可从陶湾群中酸性火山岩发育得到一点启示。

志留纪末期—泥盆纪初,加里东运动使北秦岭洋及弧后小洋盆相继闭合,发生弧—陆和陆—陆碰撞,导致以秦岭杂岩、二郎坪蛇绿混杂岩及宽坪群杂岩等组成的火山弧—弧后盆地地层岩片沿着商丹断裂及洛南—栾川断裂等一系列近东西向展布的断裂向北向南相向逆冲推覆、褶皱,构造岩侵位,北秦岭造山带形成。此时洛南—栾川断裂转化为南倾的逆冲断层,形成向北逆冲构造的北界。北秦岭商丹断裂带与朱夏断裂带之间的峡河岩群中广泛发育岛弧型(I 型)和碰撞型(S 型)花岗岩体,以大型岩基或小型岩株产出,呈北西西—南东东向线状分布,与区域构造线展布一致。岛弧型花岗岩

类,以灰池子岩体为代表,其同位素年龄为 382 Ma (Rb—Sr), 457 Ma (U—Pb), 437 Ma (Pb—Pb), 属 I 型花岗岩,成岩物质为壳幔混合源,形成于岛弧环境,与碰撞造山带密切相关;碰撞型花岗岩类,如西峡安吉坪岩体(452 Ma, Rb—Sr)、漂池岩体(411 Ma, K—Ar) 和丹凤枣园岩体(361 Ma, 382 Ma, U—Pb)、王家庄岩体(403 Ma, U—Pb)等,以黑云母二长花岗岩为主,多具似斑状结构,普遍发育片麻状构造,糜棱岩化强烈,与区域斜向碰撞导致的走滑剪切作用密切相关。结合近年来在秦岭北侧发现的加里东期高压—超高压变质榴辉岩、柯石英榴辉岩,表明晚加里东—早海西期北秦岭主体属于陆内(壳)斜向俯冲—碰撞造山阶段^[17]。花岗岩体在空间分布上具有明显的分极性,南侧以岛弧型为主,北侧以碰撞型为主,暗示自南而北的俯冲碰撞^[18]。

3.3 洛南—栾川断裂带改造期

晚古生代,随着古特提斯洋扩张,形成华北克拉通拗陷盆地及南秦岭拗拉槽,但北秦岭造山带处于隆升剥蚀状态,作为北秦岭造山带北界的洛南—栾川断裂处于不活动状态。

中三叠世末,在印支运动北北西向—近南北向挤压应力作用下,华北克拉通大面积隆升,南秦岭拗拉槽自东向西闭合,华北、扬子陆块完全焊合在一起,形成北秦岭仰冲山系和南秦岭褶皱系。在北秦岭地区发育印支期(270~195 Ma)碰撞型花岗岩类,它与该时期地壳的进一步叠置增厚、陆—陆碰撞作用引起的地壳深部物质部分熔融密切相关,代表着陆内碰撞造山作用的完成^[17,19,20]。

随着扬子陆壳不断向华北地块下插,北秦岭造山带逆冲系前锋不断向北推进,在商丹断裂及洛南—栾川断裂间形成栾川—南召晚三叠世类前陆盆地,接受太子庙组和太子山组沉积^[7],这一过程一直延续至侏罗纪—早白垩世早期。燕山期西峡地区的二郎坪花岗岩(152~150 Ma)地球化学资料表明属造山后环境,是陆内地壳伸展、隆升作用的产物^[17]。构造形变测量表明,洛南—栾川断裂在该期逆冲过程中伴有明显的左行走滑运动,至早白垩世时,这种走滑作用可能成为其主要活动方式^[7]。

晚白垩世开始,以双峰式火山岩喷发及碱性花岗岩侵入为标志,中国东部进入了太平洋构造域演化阶段,构造背景由挤压转换为拉张。此时整个北秦岭构造带处于右旋走滑拉分状态,沿洛南—栾川断裂形成晚白垩世走滑拉分盆地,洛南—栾川断裂

表现为拉张兼走滑特征,控制了南侧晚白垩世—古近纪走滑拉分盆地的沉积演化。

4 动力学机制

区域构造分析表明,从新元古代开始,华北地块南缘处于伸展背景,随古秦岭洋的形成,其两侧发育被动陆缘。华北地块南缘发育一组北西西向或南倾或北倾的正断层,组成台阶状、断块与深凹相间的裂陷盆地的边界。洛南—栾川断裂作为其北界与华北克拉通坳陷盆地相分隔,控制了两侧盆地性质及沉积类型。

中奥陶世,随古特提斯的打开,推动古秦岭洋沿商丹断裂向华北地块俯冲消减。华北地块南缘被动大陆边缘转化为主动大陆边缘,由张性环境转化为压性环境。随着俯冲的深入,特别是古秦岭洋脊进入华北地块深部而引发的拆沉作用^[21],导致异常地幔上涌,其上部地壳处于张裂环境,伴随岩浆活动形成弧后盆地。华北南缘北秦岭地区,秦岭群和宽坪群组成双列岛弧,二者间的二郎坪群蛇绿岩组成震旦纪—奥陶纪弧后盆地,宽坪群以北的陶湾群张裂环境下的碱性岩及滑塌和浊流沉积组成大陆边缘裂陷海盆,构成具有沟—弧—盆体系的活动大陆边缘^[9]。此构造格局类似于现今西太平洋的沟—弧—盆体系。弧后盆地的进一步拉张形成弧后小洋盆,与现今的日本海和冲绳海槽类似。而作为弧后盆地北部边界的洛南—栾川断裂经短暂的挤压后伴随岩浆活动进一步张裂。

随古秦岭洋壳的俯冲消亡,发生弧—陆、陆—陆碰撞,使华北地块普遍隆升。此时北秦岭地区处于挤压背景,其岩体特征证明了这一点:(1)岩体的展布及内部的片麻理与区域构造线一致;(2)岩体的变形组构为压扁型;(3)岩体就位机制为强力就位;(4)岩体侵位模式为不对称中心气球膨胀,并伴有侧向流动;(5)岩体侵位中心自西向东迁移;(6)峡河岩群整体向西斜向抬升;(7)岩体形成于岛弧环境或活动大陆边缘^[17]。沿商丹断裂及洛南—栾川断裂,早期弧后盆地构造反转,向两侧挤榨推覆,褶皱隆升造山,形成北秦岭“花式”构造。特提斯构造域与太平洋构造域共同作用下的印支运动使这种“花式”构造得到加强,并受左旋走滑作用的改造而变得丰富多彩。

晚白垩世,随太平洋构造域的演化,北秦岭地区处于右旋走滑背景,沿洛南—栾川断裂形成拉分盆地,接受晚白垩世沉积。

5 结论

综上所述,洛南—栾川断裂带作为北秦岭构造带的北界,长期控制着两侧盆地的性质和沉积。新元古代—中奥陶世作为华北地块南缘被动大陆边缘与克拉通的界线,控制了南侧洛南—栾川、云架山—二郎坪裂陷盆地与北侧华北克拉通坳陷的沉积,断裂表现为南倾正断层;中奥陶世—志留纪早期,洛南—栾川断裂带南缘发育弧后盆地,而其北缘普遍隆升,断裂性质为南倾正断层;志留纪末期—泥盆纪初的加里东运动最后一幕,使古秦岭洋彻底关闭,沿商丹断裂带、洛南—栾川断裂带向两侧逆冲推覆,形成了北秦岭造山带的雏形,此时洛南—栾川断裂带表现为由南向北的推覆构造;晚古生代,洛南—栾川断裂带总体处于不活动状态;中三叠世末—早白垩世早期的印支运动及早燕山运动,北秦岭造山带以逆冲系形式不断向北推进,洛南—栾川断裂带作为逆冲带前锋处于南倾挤压背景;晚白垩世,受太平洋挤压方向的改变,北秦岭地区处于右旋走滑环境,沿商丹断裂带、洛南—栾川断裂带等一系列近东西向断裂带形成走滑拉分盆地。

致谢:本文在写作过程中得到了范小林高级工程师、高长林教授级高级工程师的大力支持,特此致谢!

参考文献:

- 1 宋传中,张国伟. 伏牛山推覆构造特征及其动力学控制[J]. 地质论评,1999,45(5):492~497
- 2 杨志华. 秦岭造山带南北向构造及有关问题的讨论[J]. 地质论评,1997,43(1):10~15
- 3 马志和,李海平,计文化. 华北地块南缘向北的薄皮推覆构造及北秦岭加里东造山作用[J]. 陕西地质,1996,14(1):14~19
- 4 徐汉林,赵宗举,杨以宁等. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. 地球学报,2003,24(1):27~33
- 5 周鼎武,张成立. 论北秦岭加里东期造山作用[J]. 西北大学学报(自然科学版),1994,24(3):245~249
- 6 杨志华,李勇,邓亚婷. 秦岭造山带结构与演化若干问题的再认识[J]. 高校地质学报,1999,5(2):121~134
- 7 刘光祥,黄泽光,高长林等. 中国东部中央造山带两侧盆地与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2007
- 8 黄泽光,高长林. 秦岭—大别造山带北侧盆地序列及油气前景[J]. 石油实验地质,2007,29(1):25~31
- 9 马力,陈焕疆,甘克文等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004
- 10 周小进,杨帆. 中国南方新元古代—早古生代构造演化与盆地原型分析[J]. 石油实验地质,2007,29(5):446~451

山、驻马店、霍邱等地下寒武统东坡组/雨台山组已发现台缘斜坡相含磷泥质烃源岩,有机质丰度高、干酪根类型好,但热演化程度高,表明华北南缘下寒武统具有较好的天然气资源潜力。

2)青白口系边缘坳陷盆地发育潜在烃源岩。青白口纪华北地块西南部晋豫陕坳陷和东南部徐淮坳陷,与华北北缘燕辽坳陷类似,发育大套暗色泥页岩,有机质丰度中等,干酪根类型好,但热演化程度很高,初步评价为潜在烃源岩,推测具有一定的天然气资源潜力。

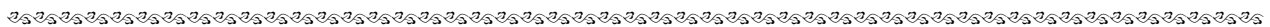
3)华北南缘新元古界—下古生界油气勘探程度很低,油气地质问题突出。华北南缘具有良好的储盖配置关系,预测具有一定的天然气资源潜力,是华北地区值得深入探索的海相新层系和新领域。

参考文献:

1 戴金星,刘德良,曹高社. 华北陆块南部下寒武统海相泥质烃源岩的发现对天然气勘探的意义[J]. 地质论评,2003,49(3): 322~329
 2 戴金星. 华北盆地南缘寒武系烃源岩[M]. 北京:石油工业出版社,2005
 3 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版

社,1989
 4 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989
 5 汪啸风,陈孝红. 中国各时代地层划分与对比[M]. 北京:地质出版社,2005
 6 秦建中,刘宝泉,国建英等. 关于碳酸盐烃源岩的评价标准[J]. 石油实验地质,2004,26(3):281~285
 7 陈安定. 海相“有效烃源岩”定义及丰度下限问题讨论[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):23~25
 8 秦建中,刘宝泉,郑伦举等. 海相碳酸盐岩排烃下限值研究[J]. 石油实验地质,2007,29(4):391~396
 9 陈践发,张水昌,孙省利等. 海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主要影响因素[J]. 地质学报,2006,80(3):467~472
 10 郝石生,王飞宇,高岗等. 下古生界高过成熟烃源岩特征和评价[J]. 勘探家,1996,1(2):25~32
 11 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京:南京大学出版社,1997. 333~355
 12 熊永强,耿安松,张海祖等. 油型气的形成机理及其源岩生烃潜力恢复[J]. 天然气工业,2004,24(2):11~13
 13 王传刚,胡宗全,许化政等. 叠合盆地老烃源岩系油气勘探前景评价方法[J]. 石油学报,2008,29(1):10~22
 14 刘小平,孙冬胜,吴欣松. 古岩溶地貌及其对岩溶储层的控制[J]. 石油实验地质,2007,29(3):265~268
 15 付晓飞,宋岩,吕延防等. 塔里木盆地库车坳陷膏盐质盖层特征与天然气保存[J]. 石油实验地质,2006,28(1):25~29

(编辑 叶德燎)



(上接第 153 页)

11 王洋,裴先治. 北秦岭基底杂岩中变质基性岩的性质及其构造背景研究[J]. 西安工程学院学报,1999,21(1):27~30
 12 吉让寿,秦德余,高长林等. 东秦岭造山带与盆地[M]. 西安地图出版社,1997
 13 崔智林,华洪,宋庆. 晚奥陶世北秦岭弧后盆地放射虫组合[J]. 地质学报,2000,74(3):254~258
 14 张正伟,张中山. 华北古大陆南缘构造格架与成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报,2008,27(3):276~288
 15 孙卫东,李曙光,肖益林等. 北秦岭黑河丹凤群岛弧火山岩建造的发现及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学,1995,9(3): 227~236
 16 裴先治,李厚民,李国光. 北秦岭商丹地区变形中酸性侵入岩

体特征及成因类型[J]. 西北地质,1995,16(4):20~25
 17 裴先治,王涛,李伍平等. 北秦岭商丹地区构造岩浆演化特征[J]. 西北地质,1995,16(4):13~19
 18 裴先治,张维吉,王涛等. 北秦岭造山带的地质特征及其构造演化[J]. 西北地质,1995,16(4):8~12
 19 徐宏节,黄泽光. 南华北中南部中生代盆地演化与油气成藏分析[J]. 石油实验地质,2007,29(6):541~544
 20 安作相,马纪. 华北克拉通分割与华北平原上古生界含气问题[J]. 油气地质与采收率,2001,8(5):22~26
 21 邓晋福. 中国大陆根—柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京:地质出版社,1996

(编辑 叶德燎)