

文章编号: 1001-6112(2009)02-0142-06

东秦岭—大别造山带及 两侧晚古生代构造环境与油气意义

黄泽光, 方成名, 杨 潇, 高长林

(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:通过对秦岭—大别造山带及两侧火山岩地球化学分析认为, 略阳庄科和大西洋中脊的岩石可归为一类, 其特征是 K_2O/SiO_2 比值低, TiO_2/SiO_2 比值高, 其 ΣREE 值低, 稀土模式平缓, 不富集轻稀土, 介于大陆和大洋拉斑玄武岩之间; 略阳三岔子、石泉两河和日本岛弧地区的岩石其特征是 K_2O/SiO_2 比值高, TiO_2/SiO_2 比值低, 其 ΣREE 值高, 稀土模式为陡右倾, 富轻稀土。综合研究认为晚古生代西秦岭(勉略—阿尼玛卿—索托湖—麻扎)为古特提斯大洋环境, 往东经镇巴—城口—青峰—襄樊—周家湾—广济为拗拉槽特征。同时期造山带南侧主要受古特提斯洋的影响处于海相沉积的伸展环境; 北侧处于隆起状态下的陆内拗陷沉积。南侧二叠系碳酸盐岩、泥页岩及煤系是主要烃源岩, 以生气为主; 北侧石炭—二叠系煤系地层是主力烃源岩, 晚燕山—喜山期二次生烃具有重要的油气意义。

关键词:地球化学特征; 火山岩; 构造环境; 盆地原型; 晚古生代; 油气远景; 东秦岭—大别造山带

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

LATE PALEOZOIC TECTONICS ENVIRONMENT AND HYDROCARBON SIGNIFICANCE OF EAST QINLING—DABIE OROGENIC BELT AND ITS BOTH SIDES

Huang Zeguang, Fang Chengming, Yang Xiao, Gao Changlin

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

Abstract: On the basis of geochemical analysis for volcanic rocks from East Qinling—Dabie Orogenic Belt and its both sides; Zhuangke of Lüeyang County and mid-Atlantic ridge can be classified as the same type of rocks characterized by low ratio of K_2O/SiO_2 , high ratio of TiO_2/SiO_2 , low value of ΣREE , with flat REE pattern and not enriched LREE, which are between the continental and the oceanic tholeiite. The rock characteristics from Sanchazi of Lüeyang County, Lianghe of Shiquan County and the Japanese island arc are high ratio of K_2O/SiO_2 , low ratio of TiO_2/SiO_2 , high value of ΣREE and richness of LREE, the REE distribution pattern showed steep right-dip. This paper considers that the environment of West Qinling Mountain (Mianlüe—Animaqing—Soto Lake—Mazha) is the Paleo-Tethys Ocean in the Late Paleozoic, the east area (passed by the Zhenba—Chengkou—Qingfeng—Xiangfan—Zhoujiawan—Guangji) is aulacogen sediments. The south side of Qinling—Dabie Orogenic Belt is mainly in the extended environment affected by Paleo-Tethys Ocean which main hydrocarbon source rocks are Permian carbonate, shale and coal, and enriched gas. While the north side is in a state of intracontinental depression accompanying the uplifting, and the Carboniferous—Permian coal-bearing strata are the main hydrocarbon source rocks, secondary hydrocarbon generation in Late Yanshanian—Himalayan has important significance for oil and gas accumulation.

Key words: geochemical characteristics; volcanic rock; tectonic environment; basin prototype; Late Paleozoic; hydrocarbon potential; East Qinling—Dabie Orogenic Belt

收稿日期: 2008-12-07; 修订日期: 2009-02-27。

作者简介: 黄泽光(1965—), 男, 博士后, 高级工程师, 从事盆地分析和油气地质勘探研究。E-mail: huangzg@pepris.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)。

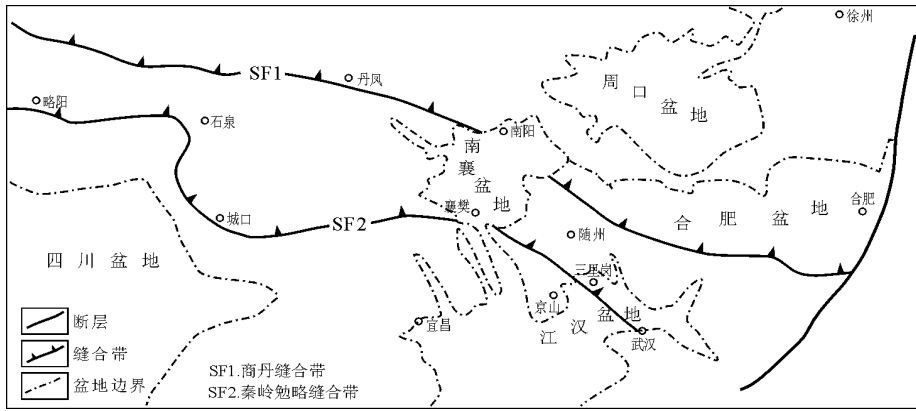


图 1 东秦岭—大别造山带及两侧构造示意

Fig. 1 Tectonic map of East Qinling-Dabie orogenic belt and its both sides

秦岭—大别造山带位于中国大陆中部,其南北分别为扬子地块和华北地块,大别造山带位于河南南阳盆地以东,东秦岭造山带为甘肃徽成盆地以东与河南南阳盆地以西之间(图 1)。目前,人们对于东秦岭—大别造山带早古生代构造环境的认识趋于一致,震旦纪—中奥陶世为裂谷—移离的古秦岭洋,两侧均为被动大陆边缘;晚奥陶世—志留纪为古秦岭洋消减俯冲阶段,南侧为被动大陆边缘,北侧转变为活动大陆边缘,形成沟—弧—一盆体系。而对晚古生代的构造环境存在不同的认识^[1~4],主要有大洋盆和坳拉槽观点。

1 晚古生代大地构造环境

1.1 地球化学特征及意义

石泉两河地区位于南秦岭与扬子地块的相接地带,属巴山弧型逆冲推覆构造带的转折部位,它是分隔秦岭微板块与扬子板块的重要分界线,实际为一宽 500~1 000 m 的狭窄的构造混杂带,总体呈北西—南东向狭长弧形展布。混杂带由 2 条主干逆冲推覆断裂所夹持,带内包含了不同时期、不同性质与不同变形特征的地层、岩体或构造岩块。

1.1.1 主量元素特征

取自东秦岭石泉两河地区火山岩中的岩石地球化学样品的主量元素化学分析结果表明:北部古活动大陆边缘火山岩的钙指数(CA)为 63.5,属钙碱性(图 2)。由 Rittmann 组合指数 σ 直方图中资料明显可见(图 3),本区火山岩主要为钙碱性,部分为钙性,总体上应为钙碱性。

由图 4 可知:略阳庄科(西秦岭)和大西洋中脊的岩石可归为一类,其特征是 K_2O/SiO_2 比值低, TiO_2/SiO_2 比值高,介于大陆和大洋拉斑玄武岩之

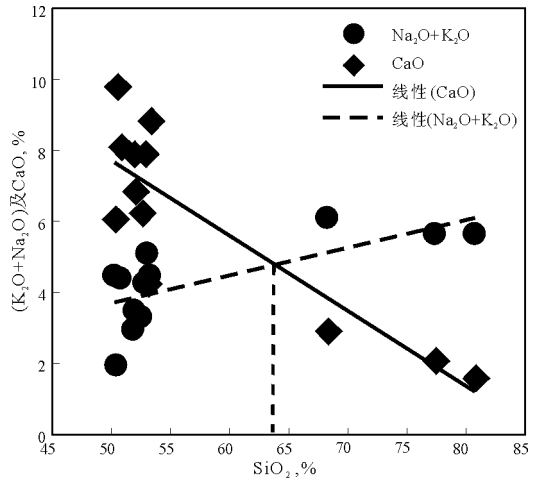


图 2 秦岭石泉两河地区火山岩 SiO_2 与 $(K_2O + Na_2O)$ 及 CaO 图解 Peacock 指数。

Fig. 2 SiO_2 and $(Na_2O + K_2O) - CaO$ diagram of volcanic rocks in Lianghe of Shiquan County, Qinling area

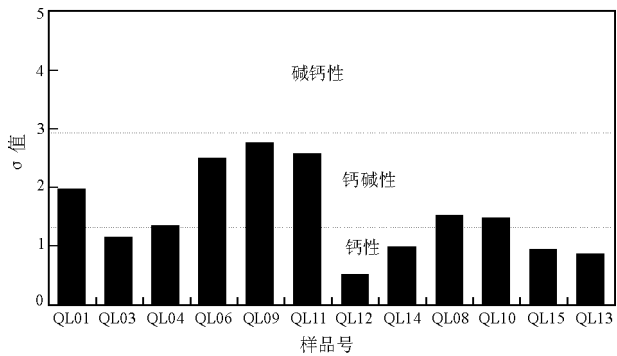


图 3 秦岭石泉两河火山岩 Rittmann 组合指数 σ 直方图 Fig. 3 Histogram of Rittmann index σ of volcanic rocks in Lianghe of Shiquan County, Qinling area

间;石泉两河、略阳三岔子和日本岛弧地区的岩石可归为一类,其特征是 K_2O/SiO_2 比值高, TiO_2/SiO_2 比值低。

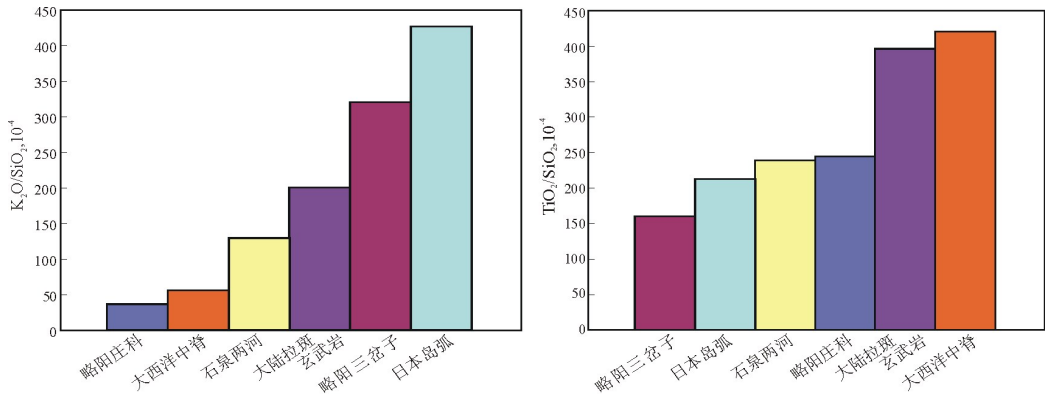


图 4 秦岭石泉两河和略阳地区与大西洋中脊、日本岛弧地区基性熔岩 K₂O/SiO₂ 及 TiO₂/SiO₂ 对比

Fig. 4 K₂O/SiO₂ and TiO₂/SiO₂ of the basic lavas comparison between Lianghe of Shiquan County—Lüeyang area and mid-Atlantic ridge and Japan Island Arc area

1.1.2 微量元素特征

图 5 为石泉两河和略阳三岔子、庄科地区的基性火山岩的微量元素 MORB 标准化图^[5]。由图 5 可知,两河和略阳三岔子地区基性火山岩与火山弧基性火山岩的 MORB 标准化分配型式相似,表现为 K,Rb,Ba 较富集,与略阳庄科地区有一些差别。

1.1.3 稀土元素特征

图 6 为石泉两河和略阳三岔子、庄科地区火山熔岩稀土元素球粒陨石标准化组成模式,由图中可见两类情况:1)石泉两河与略阳三岔子的变质基性火山岩(与岛弧型火山岩类似)具相似的稀土元素地球化学特征,其∑REE 值高,稀土模式为陡右倾,富轻稀土;2)略阳庄科的变质基性火山岩与大洋拉斑玄武岩具相似的稀土元素地球化学特征,其∑REE 值低,稀土模式平缓,不富集轻稀土。

由此认为,该区经过晚石炭世—早二叠世短暂

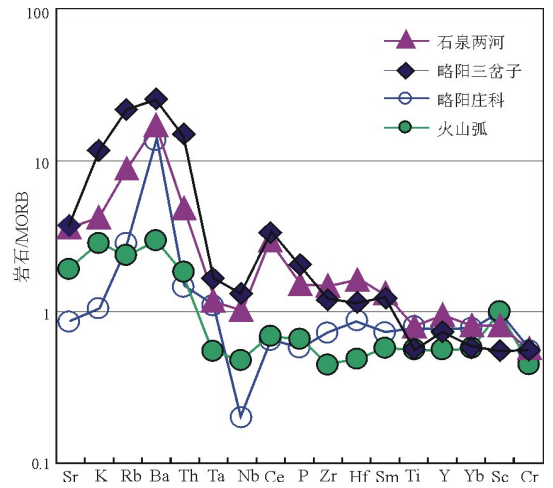


图 5 秦岭石泉两河与略阳三岔子、庄科基性火山岩微量元素 MORB 标准化图

Fig. 5 MORB-normalized trace element diagrams of basic volcanic rocks in Lianghe of Shiquan County and Sanchazi—Zhuangke of Lüeyang County, Qinling area

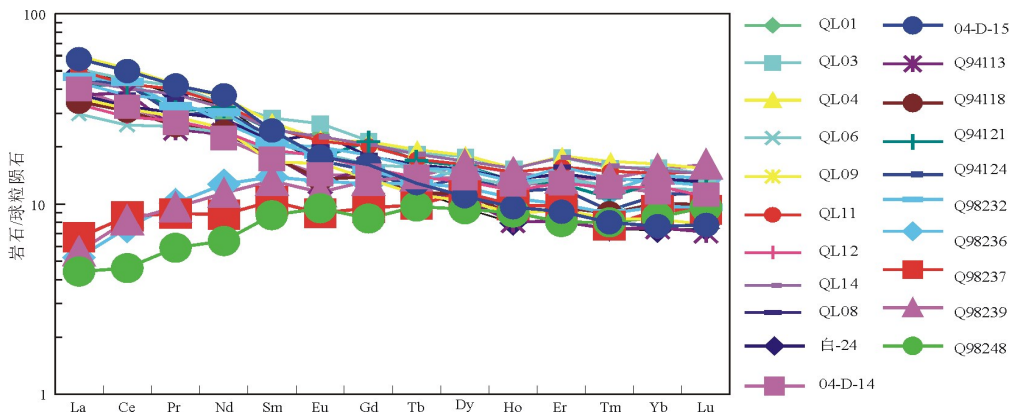


图 6 秦岭石泉两河与略阳三岔子、庄科火山岩稀土元素球粒陨石标准化组成模式

样品说明:两河地区玄武岩:QL01,QL03,QL04,QL06,QL09,QL11,QL12,QL14,QL08;
三岔子岩片火山岩:白-24,04-D-14,04-D-14,Q94113,Q94118,Q94121,Q94124,Q98232;
庄科岩片火山岩:Q98236,Q98237,Q98239,Q98248

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns of volcanic rocks in Lianghe of Shiquan County and Sanchazi—Zhuangke of Lüeyang County, Qinling area

平稳沉降以后,随着古特提斯扩张,其北支洋盆向东伸入南秦岭地区。已有资料表明,阿尼玛卿及其以西具有洋盆性质,西秦岭多处发现超镁铁质岩块,两侧有大规模的滑塌堆积,可见扩张亦有相当规模;东秦岭虽亦发育同生滑塌堆积,但规模要小得多,主要表现为快速强烈的拗陷式沉降。可以认为南秦岭是特提斯伸入陆块内的一支拗拉槽。有人据古地磁资料,推测南北陆块间有 1 000 km 的间隔,设定南秦岭是一个小洋盆。吉让寿等^[6]通过南秦岭印支—早燕山期褶皱构造、逆冲构造和有限应变标志体特征的研究分析,估算出南秦岭造山带该时间内构造缩短量为 918.8 km。这一数值与古地磁资料反映的 1 000 km 如此接近,所以根本无需设定一个洋盆,应是一拗拉槽。

1.2 构造环境分析

从湖北随州南三里岗经周家湾到京山三阳间,长约 100 km,宽约 5~10 km 的范围内形成一条由多条断裂为骨架、包括众多不同属性构造岩块及变质玄武岩、辉绿岩、辉长岩的断裂构造混杂带。该构造混杂带正好位于秦岭—大别微板块的东段南部边缘和扬子板块的北部边缘,它将秦岭—大别地层区和扬子地层区严格分开。断裂构造混杂带以北为秦岭—大别造山带中随县群变质火山岩和上覆的 Z—S 变质火山沉积岩系,而南侧则属扬子克拉通地块大洪山群变质基底和典型扬子型 Z—T 未变质的盖层。周家湾地区火山岩就位于断裂构造混杂带内。

湖北三里岗地区主要发育两类岩体,一类为辉长岩、辉绿岩;第二类为二长花岗岩,野外观察二长花岗岩中见辉长岩(辉绿岩)俘虏体,表明二长花岗岩形成时代晚于辉长岩(辉绿岩)。该区到目前为止未发现代表洋壳物质的超基性岩——橄榄岩。

石玉若、张宗清等^[7,8]认为:三里岗二长花岗岩 12 个全岩样品的 Rb—Sr 等时线年龄为(422±53)(2σ) Ma;周家湾辉绿(长)岩 Rb—Sr 同位素年龄为(435±49)(2σ) Ma。表明该岩体是加里东事件的产物,而不是形成于海西末—印支期。

该区不发育晚古生代层状硅质岩沉积,中二叠统栖霞组含燧石结核灰岩类同于扬子区岩性特征。配套的层状硅质岩是鉴别蛇绿岩套的重要指标之一。

野外观察湖北随州辉绿(长)岩(如浪河、前进地区)与三里岗辉绿(长)岩类似,表明两处岩体属于同一构造单元,而不是分属两个构造单元。

根据以上分析,该区不发育晚古生代超基性岩、层状硅质岩,也就是说不发育蛇绿岩套的配套

组合。因此周家湾地区晚古生代不发育大洋构造环境。

2 盆地原型及油气意义

东秦岭—大别及两侧晚古生代盆地原型序列分为 3 个阶段:1)泥盆纪—早石炭世;2)晚石炭世—早二叠世;3)中二叠世—中三叠世。其分别控制了不同时期烃源岩的展布。

2.1 盆地原型特征

2.1.1 泥盆纪—早石炭世

秦岭—大别区随着志留纪末扬子和华北两大板块陆陆碰撞,秦岭洋消失,南秦岭结束被动大陆边缘发育历史,在北秦岭褶皱带和扬子克拉通之间的南秦岭及以东地带形成前陆盆地,如杨山—草凉驿煤系的一套磨拉石含煤建造。同时在秦岭南缘和扬子地块北缘之间处于伸展环境,古特提斯洋北支经阿尼玛卿进入勉略,形成勉略洋^[9~11]。海水沿裂谷向东到达陕西高川。

扬子北部在早泥盆世除广元西南有沉积外,其余地区均为古陆剥蚀区。中泥盆世晚期南侧海侵向北扩大越过江南古陆到达湘西北,晚泥盆世继续向北东扩大并到达下扬子巢宁地区。差异沉降主要在中泥盆世—早石炭世,但沉降幅度不大,一般 300~500 m,研究区内沉积中心在江汉一带。石炭纪,原先与华南海相连的通道关闭,该拗陷呈东西向展布的条状,海水由当时的古太平洋沿下扬子侵入本区。江南古陆和鄂北古陆成为该拗陷的物源区。拗陷内石炭系地层厚度较薄,岩相稳定,以极浅陆表海相沉积为主。

华北南部泥盆纪—早石炭世,随着碰撞加强,陆壳挤压缩短,对接带产生陆—陆叠覆造山,为隆起剥蚀区。

2.1.2 晚石炭世—早二叠世

由于古特提斯的扩张,勉略洋盆的发育,海水入侵至达县、广元、剑阁与龙门山相连,并且与华南海也相连通。晚石炭世早期,鄂西一带为局限台地相白云质灰岩夹灰岩,含鲕、腕足、有孔虫和珊瑚,京山一带最厚,达 86~118 m;川东地区为角砾状白云岩、灰岩夹鲕状灰岩、砂岩,厚 43 m,石膏层、鸟眼构造、干裂等浅水标志丰富,属潮坪环境;龙门山区为灰白色厚层—块状致密灰岩、生物碎屑灰岩和泥灰岩,厚 19~131 m,为浅海环境;西乡高川—镇巴兴隆场为浅灰色厚层灰岩、白云岩、白云质灰岩,局部夹泥岩和粉砂岩薄层,厚 20~156 m,属开阔台地相沉积。

晚石炭世晚期—早二叠世海退,鄂西地区成为相对闭塞、盐度偏高的浅水环境,出现大量球粒灰岩和生物碎屑灰岩,厚 0.8~2.6 m,表现出浅滩化趋势。川东一带出现潮坪和潟湖环境;龙门山区为灰白色厚层灰岩夹白云岩,偶具豆状或鲕状结构,为浅水陆棚;西乡高川—镇巴兴隆场为灰色中厚层灰岩夹薄层粉砂岩、泥岩,含蜷和腕足,属浅水台地相沉积。

随着西伯利亚陆块和古中国陆块之间的古中亚洋在早石炭世俯冲、碰撞形成兴蒙造山带,同时在华北陆块北部由于岩石圈引张和上地幔隆起,形成天山—内蒙草原—吉黑窄洋—裂谷系,而北秦岭向北挤压形成逆冲断裂带,其前陆华北南部接受沉积,发育湖沼相煤系地层沉积。

2.1.3 中二叠世—中三叠世

在古特提斯进一步向东的扩张作用下,中二叠世—中三叠世南秦岭再次裂陷下沉,发育陆内坳拉槽(高长林,1997)。扬子西缘(川西、滇西)出现北西走向的张裂大陆边缘,东南缘早三叠世出现北东向展布的浊积盆地群(朱宏发,1991),代表特提斯扩张的加强。

扬子克拉通北部中晚二叠世发育深水硅质岩沉积的槽台环境,如城口—广济断裂南侧万源、巫溪、神农架北部、京山延至下扬子区,并与呈北东向展布的裂谷相连接,裂谷与浅海台地之间或以断层为界或以硅质岩和灰岩相变带作为过渡,深水相中含放射虫、菊石及海绵骨针。早、中三叠世的沉降使扬子克拉通北部台内断陷盆地转化为坳陷盆地,沉积陆棚相钙泥质岩。大冶组为中厚层状灰岩夹泥页岩和钙质泥岩,含菊石,具微水平层理,至镇巴一带含较多白云岩,并见海绿石碎屑颗粒,厚 41 m,同样含菊石和双壳类;嘉陵江组岩性主要包括泥质灰岩、灰岩、泥质白云岩、白云岩夹膏溶角砾岩,鄂西一带厚 579~1 257 m,镇巴一带厚 430~820 m。早三叠世坳陷盆地总体处于陆棚缓坡环境。川中台地上由于强烈蒸发作用,形成蒸发岩潟湖,发育萨布哈沉积。

中三叠世由于江南古陆隆升,盆地开始收缩充填,盆地中堆积紫红色粉砂岩、粉砂质泥岩、页岩和灰岩、泥灰岩、白云质灰岩。江南古陆北缘出现潮控三角洲,宁强、广元一带发育碳酸盐台地,川中台地内部沉积石盐、硬石膏。晚期江南古陆继续扩大,盆地进一步收缩,陆棚相仅局限于川东—鄂西,由红色碎屑岩、泥质岩组成的滨岸相不断扩展,充填于鄂中及下扬子区,川中台地发育盐湖沉积,石

盐、钾盐、硬石膏和白云岩普遍发育。

华北南部在北部反转造山和南部北秦岭—桐柏—大别隆起的挤压作用下,发育陆相碎屑岩坳陷盆地沉积。

2.2 油气意义

2.2.1 南侧晚古生代油气

中、下二叠统碳酸盐岩烃源岩主要分布于广元—城口—京山一线以南的坳陷—断陷盆地中,呈北西—南东向展布,烃源岩厚度一般分布 100~200 m。与早、中二叠世利川—石柱裂陷盆地相对应,该区碳酸盐岩烃源岩最为发育,其最厚可达 600 余 m。

中、下二叠统泥质烃源岩并不发育,主要分布于湘鄂西区及四川盆地南东部,厚度较薄,一般为 10~20 m。

上二叠统发育了两类烃源岩,其一是泥硅质岩烃源岩(大隆组、吴家坪组),主要分布于断陷内,但其厚度较薄,一般仅数十米;另一类烃源岩是泥质碳酸盐岩(长兴组),分布于断陷或边缘盆地与浅海台地之间的过渡带,分布宽度不大,烃源岩厚度较中、下二叠统的要薄得多。

二叠系碳酸盐岩烃源岩有机质丰度较泥质烃源岩低,一般在 0.3%~1.0%之间,多属较好的烃源岩。局部地区个别层段较高(最高可达 2.0%以上),属最好的烃源岩。如上扬子区四川盆地北缘下二叠统碳酸盐岩有机碳含量为 0.4%~1.0%^[12],中扬子区为 0.21%~2.6%。泥质烃源岩虽然厚度较薄,但其有机质丰度较高,一般大于 1.0%,属好—最好的烃源岩。如鄂西渝东区,泥质烃源岩有机碳含量一般分布 1.0%~4.0%之间,最高达 5.0%以上,通江诺水河剖面泥质烃源岩有机碳含量为 0.2%~5.7%,平均为 2.47%^[13]。

二叠系烃源岩生源组合面貌复杂多变,其既有以低等浮游生物为主的生源组合层段,又有不仅低等浮游生物输入占有显著的比例,而且还有大量陆生高等植物输入的混合型生源输入组合面貌,还有少量样品生源输入以陆生高等植物为主(梁山煤系、龙潭煤系)。因此,干酪根类型指数(TI)变化范围较大,既有 $TI < 0$ 的 III 型干酪根,又有 $0 < TI < 80$ 的 II₁、II₂ 型干酪根,还有 $TI > 80$ 的 I 型干酪根。从各类型干酪根出现的频率看,二叠系烃源岩干酪根类型主体为 II₁, 次为 I 型。干酪根碳同位素分布于 -24‰~-29‰, 氯仿沥青“A”饱和烃正构烷烃构成曲线可分为 4 类特征,同样反映二叠系烃源岩干酪根类型复杂多变,且主体以混合型为主。

二叠系烃源岩演化程度差异较大, R_o 从1.0%至4.0%, 但总体而言, R_o 一般大于2.0%, 主体处于过成熟演化阶段, 仅在江汉平原覆盖区北缘有机质演化程度相对较低, 烃源岩处于生油高峰晚期至高成熟晚期演化阶段。因此从烃源岩演化程度而言, 油气结构仍以天然气为主。

2.2.2 北侧晚古生代油气

石炭—二叠系主要发育在周口盆地鹿邑、倪丘集等凹陷及合肥盆地北缘的淮南地区, 其次为谭庄—沈丘凹陷、襄城凹陷和舞阳凹陷中^[14~17]。煤是石炭—二叠系的主力烃源岩。周口盆地石炭—二叠系总厚约1 000~1 500 m, 其中煤系地层厚约800~950 m, 煤层厚约30~49 m, 含煤系数约3.8%~4.2%, 比华北地区煤层厚一些, 具有厚度变化小、岩性岩相稳定、煤层厚且分布连续的特征。南11井煤样(含碳质泥岩)有机碳含量在6.92%~71.86%之间, 平均34.7%, 有机质类型属 II_2 型, R_o 值为0.69%~0.88%, 平均为0.82%, 正处于油窗阶段; 在热演化过程中, 虽然已生成和排放了一部分烃, 但仍有高达15~219 mg/g的剩余生烃潜量。如果有二次生烃条件, 地温较高能重新激活煤的生烃作用, 那么这部分剩余的生烃潜量仍可生成可观的油和气, 特别是天然气。合肥盆地北缘石炭、二叠系厚度1 274~1 800 m, 一般厚度900~1 300 m, 其中暗色泥岩厚417~542 m, 含煤38~50层, 厚度31~42 m, 平均39 m。煤的有机碳含量61.2%~63.1%, 平均62%, 氯仿沥青“A”含量一般为1.795%~3.34%, 总烃含量 $(4\ 023\sim7\ 033)\times 10^{-6}$ 。合深4井显示有机质为III型特征, 在合深4井2 306~2 501 m井段的二叠系岩屑样, R_o 在0.65%~1.014%之间, T_{max} 小于450 °C, 处于成熟阶段^[14]。

上古生界勘探程度相对较低, 油气显示主要集中在周口盆地鹿邑、倪丘集凹陷。其中, 周参7.9, 周13.16和襄5等井试获少量天然气, 南12井获得4.86 t/d的商业油流。经南12井油源对比, 确认东秦岭—大别造山带北侧盆地发育上古生界有效烃源岩, 具有好的油气远景^[14]。

3 结论

1) 晚古生代西秦岭(勉略—阿尼玛卿—索托

湖—麻扎)为古特提斯大洋环境, 往东经镇巴—城口—青峰—襄樊—周家湾—广济为坳拉槽特征。

2) 晚古生代秦岭—大别造山带南侧主要受古特提斯洋的影响处于海相沉积的伸展环境; 北侧处于隆起状态下的陆内坳陷沉积。

3) 南侧二叠系碳酸盐岩、泥页岩及煤系是主要烃源岩, 以生气为主; 北侧石炭—二叠系煤系地层是主力烃源岩, 晚燕山—喜山期二次生烃具有重要的油气意义。

参考文献:

- 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 85~93
- 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
- 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. 1~219
- 高长林, 秦德余, 吉让寿等. 东秦岭俯冲消减古洋壳的地球化学鉴定[J]. 石油实验地质, 1990, 12(2): 135~145
- 李曙光, 侯振辉, 杨永成等. 南秦岭勉略构造带三岔子古岩浆弧的地球化学特征及形成时代[J]. 中国科学, 2003, 33(12): 1163~1173
- 吉让寿, 秦德余, 高长林等. 东秦岭造山带与盆地[M]. 西安: 西安地图出版社, 1997. 1~197
- 石玉若, 张宗清, 刘敦一等. 湖北省随州三里岗地区二长花岗岩 Rb—Sr, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄[J]. 地球学报, 2005, 26(1): 17~20
- 石玉若, 张宗清, 刘敦一等. 湖北省随州杨家棚地区辉长岩 Rb—Sr同位素年龄[J]. 地球学报, 2005, 26(6): 521~524
- 高山. 华北与扬子板块志留—泥盆纪对接的沉积地球化学证据[J]. 中国科学(B辑), 1991, 21(6): 645~751
- 王宗起, 王涛, 闫臻等. 秦岭晚古生代弧前增生的背驮型盆地体系[J]. 地质通报, 2002, 21(8-9): 456~464
- 胡健民, 孟庆任, 白武明等. 南秦岭构造带中一晚古生代伸展构造作用[J]. 地质通报, 2002, 21(8-9): 471~478
- 腾格尔, 秦建中, 付小东等. 川西北地区海相油气成藏物质基础[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 478~483
- 秦建中, 付小东, 腾格尔. 川东北宣汉—达县地区三叠—志留系海相优质烃源层评价[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 367~374
- 刘志武, 周立发, 何明喜. 周口坳陷石炭—二叠系油气成藏条件与富集控制因素[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(5): 13~16
- 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
- 王荣新, 赵刚, 邓世英. 南华北上古生界烃源岩有机地球化学特征[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 484~488
- 刘敬强, 高小洁, 朱全胜等. 淮阳坳陷石炭—二叠系成藏条件与勘探方向选择[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 37~39

(编辑 徐文明)