

文章编号: 1009-3850(2009)01-0037-09

华北板块东南缘海相层系演化特征及油气远景

柳忠泉

(中国石化股份胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 在大别造山带内发现的可燃天然气和发生燃烧的隧道具有明显的区域性, 集中分布于磨子潭-晓天断裂以南的北大别杂岩带和信阳-舒城断裂附近的早石炭世变质石英片岩中, 磨子潭-晓天断裂和信阳-舒城断裂是连通深部的气源通道断裂; 推覆体之下的下寒武统凤台组 and 北淮阳型石炭系两套海相烃源岩是隧道可燃天然气的主力气源岩, 其中下寒武统凤台组属大陆边缘沉积, 其发育的海相泥质烃源岩具有高碳、高 R_o 、高 T_{max} 和低氯仿“A”的特点, 已进入热演化的过成熟阶段; 北淮阳型石炭系处于前陆盆地的沉积中心, 地层序列齐全, 其煤系源岩有机质丰度高, 以 III 型干酪根为主, 热演化程度很高, 大量的油气已经生成, 最重要的是研究其成烃过程与圈闭配套史的关系。大别造山带隧道可燃天然气的发现展示了合肥盆地区深部海相层系可能潜在良好的勘探前景。因此, 进一步勘探重心应从“中生代盆地系统”转移到“深部海相层系”, 以寻找“古生古储”或“古生新储”类型油气藏为主。

关键词: 隧道燃烧; 天然气; 海相层系; 烃源岩; 推覆体; 合肥盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

造山带和盆地是大陆岩石圈中最基本的构造单元, 它们在统一的构造框架和动力学体制下形成和演化, 都是地球深部作用在地壳浅部的表现, 其间存在密切的耦合关系。大别造山带和合肥盆地是中国中东部紧密相连的两个构造单元, 合肥盆地东以郯庐断裂为界与张八岭隆起相邻, 南抵大别造山带, 北以寿县-定远断裂与蚌埠隆起相接, 西北至长山隆起, 西南与信阳凹陷相通, 盆地总面积约 $2.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大别造山带夹持于华北和扬子板块之间, 其北麓为合肥盆地。根据岩石组成、变质变形特征及其形成的大地构造背景, 大别造山带从北到南可进一步分为北淮阳构造带、北大别杂岩带、超高压变质岩带、宿松构造带和前陆褶冲带 5 个次一级构造单元^[1] (图 1), 划分这 5 个构造单元的是磨子潭-晓天断裂、水吼-英山剪切带、太湖-马庙剪切带和襄樊-广济断裂。在华北和扬子板块之间的碰撞及其后的伸展过程中, 北淮阳构造带先后经过燕山早期、燕山

晚期两次逆冲推覆作用。北淮阳构造带在燕山早期总体表现为后缘滑脱-前缘推覆构造运动, 燕山晚期为区域挤压逆冲构造运动。强烈的逆冲推覆作用, 使庐镇关群与苏家河群、佛子岭群及石炭系呈不同的褶皱冲断岩片向北逆冲推覆, 构成东起舒城-庐镇关, 向西经霍山、金寨延至河南商城, 蜿蜒延伸达 200 余千米的逆冲推覆构造带。合武铁路金寨区段区域性片麻岩隧道燃烧现象充分说明了该区的油气远景, 笔者以此为基础, 分析华北板块东南缘海相层系古构造演化和烃源岩发育特征, 探讨合肥盆地油气勘探前景及下步的勘探思路。

1 片麻岩区隧道燃烧现象及组分分析

1.1 隧道施工中炮后燃烧情况

合武铁路为合肥至武汉的客运专线铁路, 设计时速为 200 km/h 预留提速 250 km/h 。位于北淮阳构造带和北大别杂岩带的金寨区段为低山区, 其间河

收稿日期: 2008-09-07 改回日期: 2008-12-22

作者简介: 柳忠泉 (1966-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事油气地质勘探综合研究工作。Tel: (0546) 8715571, 13954629000 E-mail: dkyl@spc.co

谷深切,相对高差最大达 500m,共设计施工了 17座隧道。自 2005年 10月 28日 ~2006年 1月 9日,红石岩、五福堂、九斗冲、周家坳、金寨、汀简沟和乔家山隧道在施工过程中先后发生了不同程度的气体燃烧现象(图 2 表 1),尤以长达 7857m 的红石岩隧道发

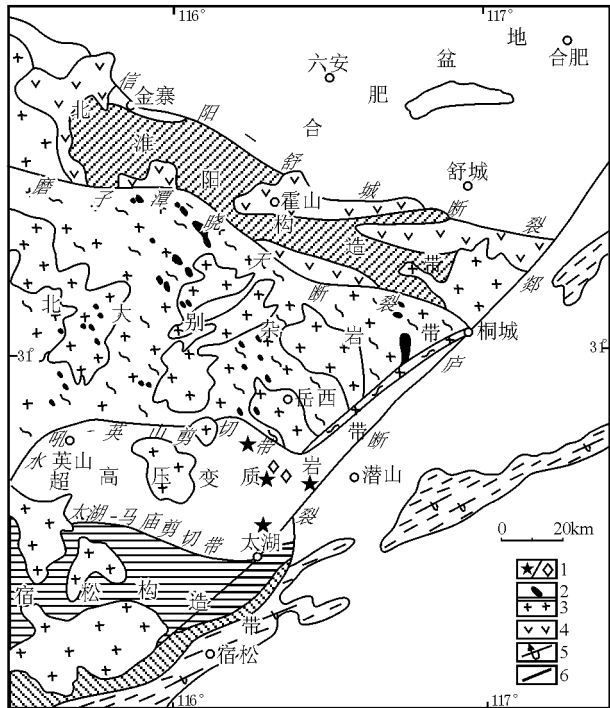


图 1 大别山造山带构造单元分布

1. 柯石英/金刚石; 2 (超) 镁铁质岩; 3 花岗岩; 4 安山岩; 5. 盖层褶皱冲带; 6 断层

Fig 1 Tectonic division of the Dabie orogenic belt
1= coesite/diamond 2= (ultra) mafic rock 3= granite 4= andesite 5= cover fold-thrust belt 6= fault

生多次燃烧。

2005年 10月 19日,红石岩隧道(里程 DK181+373~DK189+230)出口工区开始进洞施工,按上下台阶法开挖,2005年 10月 28日 2时,在掌子面爆破后的碴堆间隙发现燃烧的火焰,此时施工里程约 DK189+219,距隧道口约 11 m,火焰为淡蓝色,燃烧面积直径约 0.5~1.0 m,燃烧 3~5 分钟后熄灭,洞内无异常气味。2005年 12月 10日挖至 DK189+100 里程(距隧道口约 130 m)时,碴堆再次发生燃烧现象。由此施工单位(合武铁路安徽有限公司)加强了监测,2005年 12月 11日~15日期间,现场未检测到瓦斯;12月 15日下午施工放炮后瓦斯检测浓度达到 0.7%,未出现燃烧现象;12月 17日,在隧道出口检测到炮后最大瓦斯浓度达到 1.09%,未出现燃烧现象。红石岩隧道岩性以浅红色二长片麻岩为主,据不完全统计该隧道在施工过程中共发生了 20 余次燃烧。

出现可燃气体的隧道范围为 DK150+000~DK203+000,铁路里程为 53 km^[2],该区间共有 17 座隧道,燃烧的 7 座隧道中有 6 座连续分布在磨子潭-晓天断裂以南的北大别杂岩带,6 座隧道总跨度为 22 km,其中隧道总长度大于 10 km,燃烧部位以元古代片麻岩为主;仅磨子潭-晓天断裂以南的金寨隧道在早石炭世变质石英片岩中发生燃烧。

1.2 气体组分分析

红石岩等 6 座隧道燃烧火焰呈蓝色或蓝红色,燃烧前后无异常刺鼻气味,从燃烧火焰和燃烧后的气味判断气体中不含硫化氢、二氧化硫组分,或这类气体含量极低。从磷、硫及硫化物等固体矿物燃烧产生的火焰颜色及燃烧后有刺鼻气味的角度分

表 1 合武铁路隧道可燃气体燃烧情况一览表

Table 1 Summary of the burning phenomena of the combustible gas in the tunnels of the HefeiWuhan railway

时间	隧道	燃烧面积 /m ²	持续时间 /s	气味	燃烧位置	火焰熄灭后 瓦斯浓度 /%	燃烧次数
10.28	红石岩	0.5~1.0	3~5	无刺鼻	碴堆	未检测出	20
12.10	红石岩	—	—	—	碴堆	—	
1.19	红石岩	炮后通风 10 分钟,火焰 1 m 高	7~8	—	碴堆	0.43	
	汀简沟	—	—	—	—	—	4
12.23	五福堂	—	12~15	—	掌子面	—	1
1.3	周家坳	—	不详	—	碴堆	—	1
1.5	九斗冲	—	不详	—	碴堆	—	3
1.19	乔家山	1.0	—	—	掌子面	0.1~0.2	1
1.9	金寨	小面积	—	刺激性	—	未检测出	2

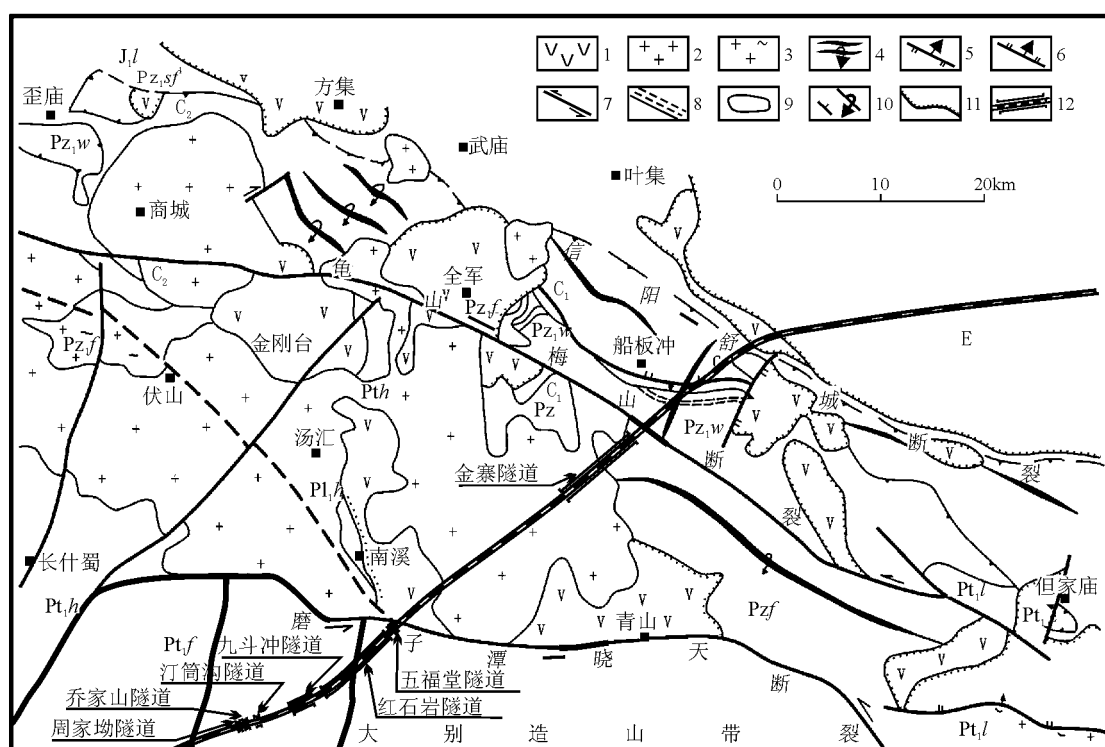


图 2 北淮阳构造带地质构造及合武铁路燃烧隧道位置

1. 火山岩 (K_1); 2 燕山期侵入岩; 3. 花岗岩片麻岩; 4 正常 倒转褶皱; 5. 冲断层; 6 正断层; 7 平移断层; 8. 强变形带; 9 飞来峰; 10 正常 倒转产状; 11. 不整合界线; 12 铁路隧道

Fig. 2 Sketch showing the geological structures in the North Huaiyang structural belt and the location of the burned tunnels within the Hefei-Wuhan railway

1= Early Cretaceous volcanic rock 2= Yanshanian intrusive rock 3= granite gneiss 4= normal/inverted fold 5= thrust fault
6= normal fault 7= strike-slip fault 8= highly deformed zone 9= klippe 10= normal/inverted occurrence 11= unconformity
12= railway tunnel

析,也可以排除磷、硫及硫化物等固体矿物为燃烧物。为查明隧道燃烧原因,消除安全隐患,施工单位分别对红石岩隧道出口和九斗冲隧道进口的岩石碴块吸附气体及放炮前后气体进行采样分析^[3]。岩石碴块采用塑料桶封装后快速运回实验室,先用注射器直接抽取塑料桶中气体,然后取碴块装入样品罐后放进恒温箱,稳定20分钟后采集解吸气样,用气相色谱仪分析其组分。气体样品直接在室温下用气相色谱仪分析其组分。

1. 红石岩隧道

在红石岩隧道出口 (DK188+995.5 DK188+993.5, DK189+092.5) 处, 采集气样 4 袋, 碴块 2.5 kg (DK189+092.5), 上述样品均是在放炮后无燃烧的情况下采集的, 反映了炮后的真实组分含量。经分析气体组分较复杂, 包括甲烷、乙烷、丙烷、乙烯和一氧化碳等, 其中甲烷最高含量达到 1103.1×10^{-6} (表 2), 一氧化碳含量也比较高, 这与常规煤系

地层的瓦斯组分有一定差别,燃烧气体主要为烃类气体。

2 九斗冲隧道

于隧道顶部 4 个钻孔中取炮前气体样品, 炮后取气样 2 袋, 碴块 2 0 kg 该次炮后无燃烧。分析结果与红石岩隧道相似, 其中炮后气样甲烷最高含量达到 1906.7×10^{-6} (表 2)。

2 气源分析及可能的烃源岩层位

2.1 气体储集空间分析

片(麻)岩隧道出现可燃气现象是极其罕见的,因片(麻)岩本身不具备生成可燃气条件,通过资料收集和现场观察,发现着火点位置均为构造裂隙较发育的破碎带,破碎带岩石呈碎块状,岩块上构造错动和褶皱强烈,裂隙中有明显的未充填孔洞,局部含有黄铁矿,而岩石较完整地段均未出现炮后燃烧现象,说明破碎带中的裂隙空间是可燃气的主

表 2 隧道内气样和渣块解吸气样分析结果
Table 2 Analytical results of desorption gas from gas samples in the tunnels

隧道名称	取样位置	样品类型	组分含量 / $\times 10^{-6}$
红石岩	DK189+092.5(炮后)	塑料桶中气样	CH ₄ 为 9.0
		渣块解吸气样 (90℃)	CH ₄ 为 9.4, CO为 10.9
		渣块解吸气样 (150℃)	CH ₄ 为 12.8, CO为 7.8
	DK188+995.5	炮后气体样品	CH ₄ 为 652.5, CO为 455.0, C ₂ H ₆ 为 11.0, C ₂ H ₄ 为 9.3
	DK188+993.5	炮后气体样品	CH ₄ 为 1103.1, CO为 325.3, C ₂ H ₆ 为 14.0, C ₂ H ₄ 为 18.5
	DK188+092.5	炮后气体样品	CH ₄ 为 91.0, CO为 35.9
九斗冲	DK190+685.8(炮后)	塑料桶中气样	CH ₄ 为 3.9, CO为 5.8
		渣块解吸气样 (90℃)	CH ₄ 为 4.4, CO为 40.2
		渣块解吸气样 (150℃)	CH ₄ 为 6.3, CO为 109.98
	DK190+685.8	炮前气体样品	CH ₄ 为 3.2
		炮后气体样品	CH ₄ 为 1906.7, CO为 3373.9, C ₂ H ₆ 为 72.3, C ₂ H ₄ 为 87.1

要储集空间。

2.2 气源分析

天然气的各组分结构简单,分子、密度、粘度和吸附能力均较小,故具有运移快、易溶解、易扩散和易挥发的特点。扩散主要有两种:浓度扩散和温度扩散。在开放系统中,气体从高浓度向低浓度扩散运动;从温度高处向温度低处扩散运动。因此,对于赋存于地下岩层中的天然气而言,扩散制约了天然气长期保存,相对上覆地层,气体浓度和温度通常都是高的,无论它的盖层如何好,气体都向上扩散运移,使气体不断减少。特别是在近地表的状态下(燃烧部位破碎带往往都是通达地表的,处于半开启或开启状态),若无气源继续供给,上述隧道天然气现今是难以保存的。

从合武铁路隧道燃烧情况分析,可燃气体仅发生在局部构造裂隙破碎带,有一定局限性,但从整个发生燃烧里程跨度来看,存在明显的区域性。发现天然气和发生燃烧的隧道均处于磨子潭-晓天断裂和信阳-舒城断裂附近。

磨子潭-晓天断裂是北淮阳构造带的南缘断裂,其走向近东西,向北突出呈弧形,地表向北倾,深部向南倾,是一条经多期活动规模较大的断裂。该断裂叠加在印支晚期角闪岩相剪切带之上,这条剪切带在河南的西段称为汴湾剪切带,出露宽达5 km,剪切带由强烈糜棱岩化的斜长角闪岩、大理岩和花岗质片麻岩等组成,含有强烈退变的榴辉岩^[4],形成于角闪岩相变质条件下。该剪切带向东可延伸到舒城-庐镇关,在磨子潭以北、晓天以南沿线,出露有斜

长角闪质和花岗岩质糜棱岩,剪切带中面理总体缓倾向北,拉伸线理倾向北北西。随着大别山核部的抬升,该剪切带到燕山早期转变为绿片岩相糜棱岩,其糜棱面理围绕大别山穹窿旋转,拉伸线理倾向北北西和北北东,剪切带下伏北大别杂岩中的剪切条带指示上覆岩层向北滑脱。到燕山晚期,磨子潭-晓天断裂叠加在汴湾-庐镇关剪切带之上,表现为北侧断陷高角度正断层。早白垩世末该断裂转化为冲断层,北大别杂岩在地表逆冲于晓天盆地边缘之上,地震层析资料表明华北板块基底已俯冲于扬子陆块中地壳之下^[5],断裂最后经过左行平移作用改造,形成近东西的陡立断层破碎带。

信阳-舒城断裂是北淮阳构造带的北缘断裂,该断裂在区域上近东西向展布,被北东向平移断层切割成数段,总体呈向北凸出的弧形逆冲推覆构造。该断裂由一系列断面南倾、产状一致的叠瓦状冲断层组成,断裂南侧不同构造层次、不同时代地层组成的构造岩片向北逆冲于侏罗纪三尖铺组之上,在金寨船板冲地区佛子岭群逆冲在侏罗纪三尖铺组之上,在商城歪庙地区可见石炭系逆冲在中上侏罗统之上(图3)。在信阳-舒城断裂发育位置有一系列线性磁异常带及串珠状异常带,为火山岩分布的反映。在航磁向上延拓异常图中,该断裂带显示更清楚,它与北侧的负异常带有较明显的反差,也不同于大别山隆起的强磁异常,它是盆地与大别造山带的一个过渡地带。

从以上分析可见,磨子潭-晓天断裂和信阳-舒城断裂都是活动时间长、切割层位深的深大断裂,隧

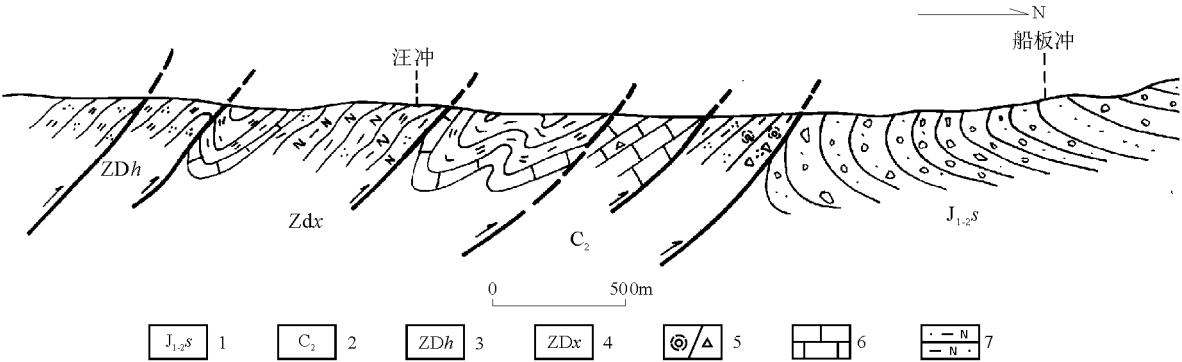


图 3 金寨县船板冲构造剖面

1. 下中侏罗统三尖铺组; 2 中石炭统; 3. 黄龙岗 (岩) 组; 4. 仙人冲 (岩) 组; 5 硅化 / 角砾岩化; 6 大理岩; 7 片 (麻) 岩

Fig 3 Structural section across Chuanbancong Jinzhai Anhui

1 = Lower— Middle Jurassic Sanjianpu Formation, 2 = Middle Carboniferous, 3 = Huanglonggang Formation (Complex); 4 = Xianrenchong Formation (Complex); 5 = silicification/brecciation, 6 = marble, 7 = schist (Gneiss)

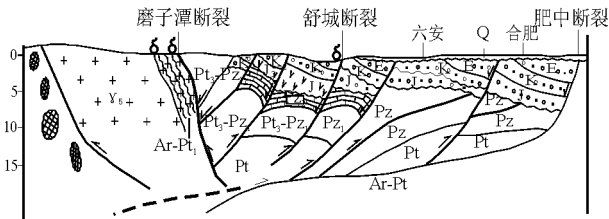


图 4 合武铁路安徽段地质剖面及隧道可燃天然气源分析

Fig 4 Sketch showing the geological profile through the Anhui segment of the HefeiWuhan railway and the sources of the combustible gas in the tunnels

道岩石本身不具备生成可燃天然气的条件, 考虑到天然气以垂向运移为主的特性, 隧道可燃天然气只能来源于其深部, 因此, 两深大断裂是连通深部的气源通道断裂 (图 4)。

由磨子潭 晓天断裂和信阳 舒城断裂所夹持的北淮阳构造带是一经历多期逆冲推覆作用的山前冲断带, 浅部推覆体地质结构复杂, 深部推覆体之下应存在正常序列地层, 因此, 从区域地层展布和原型盆地发育特点等方面分析, 由磨子潭 晓天断裂和信阳 舒城断裂沟通的烃源岩可能有两套, 一套是下寒武统凤台组烃源岩, 另一套是北淮阳型石炭系烃源岩。

3 华北板块东南缘古生代原型盆地

合肥中新生代盆地经历了基底形成、类前陆、断陷、构造反转等阶段的演化, 基底变形和盆地发育受到大别造山带的控制。在盆地断陷阶段, 合肥盆地处于环太平洋构造体制的控制之下, 但大别造山带

仍表现出明显的控制作用和良好的构造耦合关系。根据地质、地球物理和同位素年代学资料, 可重塑大别造山带和合肥盆地的构造演化史。

3.1 克拉通 被动大陆边缘盆地阶段 (Z-Q)

从晚元古代开始, 大致以栾川 确山 固始 肥中 断裂为界, 其北为稳定克拉通的构造 沉积环境; 其南则因北秦岭裂谷^[6~8]的继续发展, 逐渐变成比较成熟的被动大陆边缘盆地^[9]; 合肥盆地西缘四十里长山地区出露的震旦系、寒武系和奥陶系, 特别是下寒武统凤台组低位斜坡崩水下重力流砾屑灰岩厚达 100 余米, 是其北部的淮南、凤台地区凤台组砾屑灰岩厚度的两倍以上, 且与丘状层理砂质灰岩互层, 说明四十里长山地区的风台组已经属于较深水的陆棚斜坡环境下的产物。其上部发育了一套厚约 150 余米的灰绿色 灰黑色页岩和碳质页岩, 大致相当于淮南地区猴家山组底部的含磷矿层页岩 (15 ~ 25 m), 风台组顶部页岩也含磷矿结核及锰、碳、铀, 属典型的最大海泛面凝缩段沉积。在猴家山组见到了上斜坡环境下发育的同生变形层理条带状泥晶灰岩及下斜坡环境钙屑浊积岩。上述地质现象充分说明了四十里长山地区的风台组、猴家山组是华北被动大陆边缘盆地的沉积代表。

北淮阳地区新元古界一下古生界的佛子岭群为一套绿片岩系, 其原岩自下而上有变火山 碎屑岩、变基性 中酸性火山岩、碳酸盐岩层、含碳质泥质岩层、硅质岩和粉砂岩, 具韵律结构的变粉砂岩 钙泥质岩层, 总体可划分为火山 沉积建造和复理石建造两大旋回, 同属裂谷型海槽盆地相沉积。与西部处于同一构造变质构造带的信阳群、商城群和苏家河

群等可以对比。

3.2 克拉通(弧后)前陆盆地阶段(D_3-T_1)

早古生代晚期,华北板块沿六安断裂一线向大别弧下俯冲,至晚古生代早期,弧陆碰撞,北淮阳弧后盆地褶皱造山,佛子岭岩群遭受强烈变质变形。在佛子岭岩群潘家岭岩组和诸佛庵岩组分别获得铷-锶法全岩等时线年龄值为 $314 \sim 334 \text{ Ma}^{[10]}$,以及梅山群与佛子岭岩群呈角度不整合接触等事实^[11],都表明弧陆碰撞发生在晚古生代早期。弧陆碰撞拼合伴随地壳增厚并引起前陆岩石圈发生挠曲,在弧后形成前陆盆地。盆地早期主要分布在北淮阳地区,并逐渐向北推进,至晚石炭世才扩展至淮南地区,共同接受上石炭统一二叠系沉积。

从盆地南缘河南商城、固始至安徽金寨一带出露的石炭系来看,下石炭统主要为一套滨海相近滨砾质河流相沉积,中石炭统以近海砾质河流、淡化潟湖及混合坪沉积为主,上石炭统为沼泽浅海台地相沉积,总体为一套近源含煤磨拉石建造^[12]。在杨山组(G_3)砾岩中发现了志留系灰岩砾石^[13],商城地区见到梅山群与佛子岭岩群呈不整合接触,说明北淮阳构造带从晚泥盆世开始隆升成陆,并向弧后前陆盆地提供物源,使石炭系直接叠覆在早古生代海相复理石之上,因而从层序建造来看,石炭系具有前陆盆地沉积充填特征。另外,从盆地北缘淮南地区出露的上石炭统一二叠系来看,为稳定地台型近海三角洲潮坪含煤碎屑岩建造,从当时海盆向南开口^[14]及物源来自其北部的华北地台看,应属华北大陆南边缘海的北部海岸沉积;据钻井揭示和地震资料解释结果,典型华北型煤系地层主要分布于肥中断裂以北地区,且厚度稳定;肥中断裂以南逐渐增厚,与盆地南缘的前陆型石炭系一二叠系相接,说明在该时期桐柏-大别山以北地区(包括北淮阳、合肥盆地及周口盆地)为统一的盆地。推测早石炭世该盆地北界可能仅达六安断裂,中石炭世北移至肥中断裂附近,地层由南向北超覆,这与南缘石炭系发育齐全而北缘仅发育上石炭统的事实是吻合的。

3.3 中生代盆地发育阶段

前陆褶冲带的形成时间及超高压变质岩的同位素测年表明,南北陆块在二叠纪末—三叠纪初碰撞^[15],前陆带的褶皱冲断变形、合肥盆地基底的向北逆冲构造就此形成。

古地磁研究表明南北板块的持续汇聚与陆内俯冲作用可延续到中侏罗世^[16],浒湾-庐镇关剪切带南侧的大别山由于扬子板块基底的持续俯冲进一步

隆起,其上扬子板块的庐镇关群和佛子岭群变质岩层向北滑脱、扩展并在其前缘形成褶皱冲断带,超高压变质岩在底板冲断层和顶板正断层的双重作用下快速折返。大别山腹地早白垩世火山岩的存在表明,侏罗纪末超高压变质岩已折返至地表。此时在华北板块南缘形成前陆盆地,开始接受侏罗纪沉积。

晚侏罗世末—早白垩世燕山运动是中国东部构造的大变革,以大规模的构造岩浆作用为特征。大别山核部变质岩、北淮阳构造带及合肥盆地普遍有偏碱性碱性火山岩覆盖。稍后大别山核部因碰撞后的伸展作用及巨量花岗岩侵位而差异隆起,大部分火山岩因后期抬升而剥蚀。浒湾-庐镇关剪切带北侧进一步拗陷,接受黑石渡组等相当层位的火山-碎屑岩沉积。早白垩世末期,由于郯庐断裂的左行平移^[17],郯庐断裂西侧的华北板块的基底向南俯冲到扬子板块基底之下^[18-19],磨子潭-晓天断裂南侧的北大别杂岩逆冲到晓天盆地黑石渡组之上,并导致合肥盆地萎缩,大别山进一步抬升。

晚白垩世—古近纪,中国东部总体受伸展构造所控制,以发育盆岭构造为特征。大别山因重力均衡作用而进一步抬升,四周断陷;在区域伸展作用下,合肥盆地的边界断层转变为正断层,合肥盆地成为断陷盆地。盆地中的早期冲断层重新活动为北断南超的同生正断层,在这些同生正断层的南侧形成几个沉降中心。新近纪以来,在区域挤压背景下,合肥盆地进入构造反转阶段,盆地抬升剥蚀,结束盆地沉积。

4 深部海相烃源岩特征

4.1 下寒武统凤台组烃源岩的地化特征

目前合肥盆地内没有探井揭示该套烃源岩,露头在合肥盆地西部吴集断层上升盘的四十里长山附近出露较完整,其中发育的海相泥质烃源岩(厚 $50 \sim 80 \text{ m}$)是一套较好的烃源岩^[20]。

1. 有机质丰度

该套烃源岩有机碳含量高,一般均在 1.5% 以上($0.28\% \sim 13.46\%$,平均为 6.46%)。但氯仿沥青“A”含量为 $(16 \sim 59) \times 10^{-6}$,平均为 39×10^{-6} ,生烃潜量($S_1 + S_2$ 在 $0.02 \sim 0.05$ 之间)较低。烃源岩与扬子、塔里木板块相同层位烃源岩的有机质丰度具有相似性,说明这套烃源岩所处的时空环境对烃源岩的发育极为有利。寒武纪早期是地史中生物大发展的重要时期,低等藻类的繁盛是高分子有机碳丰度的基础;同时它处于裂离构造环境下的被动大陆边

缘向裂隙槽一侧,较闭塞的环境形成强还原条件,对有机质的保存十分有利^[21]。该套烃源岩演化程度较高是造成可溶有机质含量和生烃潜量降低的主要原因。

2 有机质类型

全岩光片分析表明,显微组分中主要是贫氢次生组分,镜质体仅有无结构镜质体,且含量较高。寒武纪时不存在高等植物,海洋中仅有藻、菌类发育,因此生物成因的镜质组是不可能存在的,推测本区发现的镜质体是经受了高度构造演化和热演化形成的。从其组成上看该样品属Ⅱ₂型或Ⅱ型干酪根。

烷烃色谱判断其母质类型以低等水生生物为主,同时也有陆源植物混入。烷烃气质分析,在191萘烷图中,样品的C₃₀丰度占绝对优势,降藿烷C₂₉含量也较高(图5),据此推测其物源以水生生物为主,同时有陆源植物的混入。此外,三环二萜烷较低,说明其干酪根可能属于Ⅱ型。在217甾烷图中,具有C₂₇>C₂₉>C₂₈的特点,C₂₇/C₂₉为1.3,也说明其物源是以水生生物为主,并有陆源植物的混入。

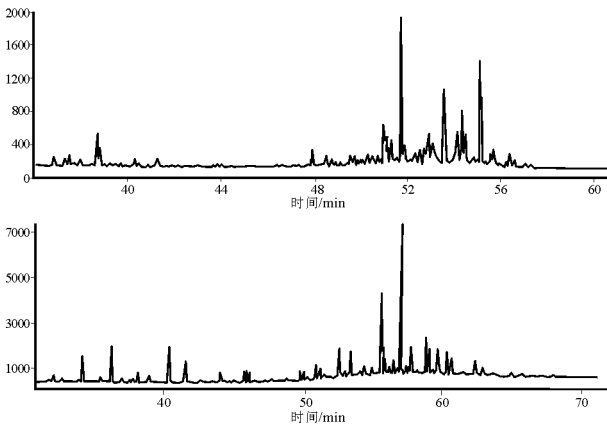


图5 合肥盆地西缘四十里长山下寒武统凤台组样品甾烷(上)、萜烷(下)图
Fig.5 Chromatograms of sterane (upper) and terpane (lower) in the samples from the Lower Cambrian Fengtai Formation in the Sishili Mountains on the western margin of the Hefei Basin

3 有机质的成熟度

笔者所测定的是沥青质体反射率,不能直接用来判别岩石的成熟度,经换算后的镜质体反射率一般均在2.0%~3.5%之间,表明凤台组烃源岩处过成熟阶段早期。最高热解峰温(T_{max})为500~600℃,反映不同位置的样品成熟度有一定的差异,但总体上已进入过成熟阶段早期乃至晚期,与我国寒武系底部海相泥质烃源岩演化程度相近。

4.2 大别山北缘型石炭系烃源岩地化特征

合肥盆地南缘的金寨地区存在浅变质岩露头,在盆地西南缘的河南省商城固始地区出露的石炭系层位较全,累积厚大于5000m,其中暗色泥岩厚达500m,煤层厚20~40m,暗色泥岩主要发育在下石炭统花园墙组(C_{1h})、杨山组(C_{1y})和胡油坊组(C_{1h}),上石炭统杨小庄组(C_{2y}),煤层主要发育在下统杨山组(C_{1y})和上统杨小庄组(C_{2y})^[22-23]。

1. 有机质丰度

下石炭统杨山组是梅山群的主要含煤层系。煤层有机碳含量一般为50.6%~70.2%,平均为66.0%,且层位从老到新,其有机碳含量逐渐降低,反映成煤条件逐渐变差;碳质泥岩有机碳含量为1.68%~9.47%,泥岩为1.54%~2.64%。三种类型的烃源岩有机碳含量均较高,其它层位泥岩有机碳含量0.55%~18.47%,也都达到烃源岩标准。无论是梅山群的泥岩还是煤层,其氯仿沥青“A”含量一般都小于0.01%;最高为0.0362%,总烃含量一般小于100×10⁻⁶,最高320.8×10⁻⁶生烃潜量S₁+S₂一般为0.1mg/g左右,杨山组稍高,可达2mg/g左右。

所以梅山群有机质具有三低一高的特点,即高有机碳、低氯仿沥青“A”、低总烃、低生烃潜量的特征,显示煤系烃源岩的特点。

2 有机质类型

梅山群干酪根显微组分以镜质组为主,含量在53.5%~89.5%之间;惰质组为10.5%~39.8%;壳质组分含量仅为0~6.7%。干酪根碳同位素δ³C在-19.89‰~-24.27‰均显示Ⅲ型干酪根的特点。

从氯仿沥青“A”正构烷烃组成分析,主峰碳一般为C₁₆和C₁₇,杨山组煤系可见C₂₇,C₂₁/C₂₁₊在1.7~21.22之间变化,其中杨山组的比值可低至0.3显示低碳优势,杨山组以上层位由于热演化程度高,引起高碳数向低碳数逆转所致。

从恢复的煤岩原始降解潜力来看,一般DO<10%;泥岩也不高,均显示Ⅲ型干酪根的特点,仅胡油坊组个别样品DO值达45.9%,有Ⅱ型干酪根的特征。生物标志物中的饱和烃甾烷组成,暗色泥岩为C₂₉>C₂₇>C₂₈,而煤岩为C₂₉>C₂₈>C₂₇,甾烷C₂₇/(C₂₇+C₂₈+C₂₉)的值为0.22~0.26说明有机质以陆生高等植物为主,γ蜡烷与C₃₁藿烷的比为0.45以下,反映水体不太深,盐度也不算太高。

3 有机质成熟度

梅山群煤和泥岩的镜质体反射率在2.35%~

4.37%之间,平均为3.44%,均处于过成熟阶段。萘类组成上藿烷 $C_{31}22S/(22S+22R)$ 值为0.56~0.60,已达到平衡,这也是高演化程度的反映。可能与大别山冲断作用所形成的区域动力变质作用有关。

从样品高碳、高“R”、低氯仿“A”的特点可以看出,两套烃源岩都已进入热演化的过熟阶段。勘探实践表明,来自高演化程度的烃源岩也能够形成大型天然气藏。如卡塔尔“North”气田,源岩为下志留统泥灰岩,以Ⅱ型干酪根为主,TOC含量为2%~3%,目前已达干气成熟阶段,生成的天然气沿斜坡向西部的卡塔尔隆起顶部运移,在良好的盖层的保护下,形成巨型天然气藏。四川盆地地下古生界烃源岩总体演化程度较高,下寒武统R₀达3%~4.5%,四川盆地丰富的天然气气源主要来自海相烃源岩,多为油型裂解气成因。威远气田的主要气源岩为灯影组之上的下寒武统^[24],其在有效圈闭体积内充满度已达到100%,表明威远气田气源充足,供补大于扩散的动态平衡保证了威远中型天然气田规模。可见,热演化程度高也可以形成大气区。

因此对于本区的海相烃源岩,不管目前演化程度多高,只要在地史上曾经生成过油气,那么,在相对稳定的构造环境中,这种油气就可能保存下来,就可作为有效烃源岩或有效烃源。最重要的是研究其成烃过程与圈闭配套史的关系。

5 结 论

(1)合武铁路出现可燃气隧道范围为DK150+000~DK203+000,铁路里程为53 km,该区间共有17座隧道,其中燃烧的7座隧道中有6座连续分布在磨子潭-晓天断裂以南的北大别杂岩带,6座隧道总跨度22 km,其中隧道长度超过10 km,燃烧部位以元古代片麻岩为主;仅磨子潭-晓天断裂以南的金寨隧道在早石炭世变质石英片岩中发生燃烧。从整个发生燃烧里程跨度来看,存在明显的区域性。

(2)天然气的各组分结构简单,分子、密度、粘度和吸附能力都较小,故具有运移快、易溶解、易扩散和易挥发的特点,特别是在近地表的状态下,若无气源继续供给,本区隧道天然气现今是难以保存的,磨子潭-晓天断裂和信阳-舒城断裂是连通深部的气源通道断裂。

(3)从地质条件分析,区内发育的下寒武统凤台组和北淮阳型石炭系两套海相烃源岩,是隧道可燃天然气的主力气源岩,其中下寒武统凤台组烃源

岩具有高碳、高“R”,高T_{max}、低氯仿“A”的特点,已进入热演化的过熟阶段;石炭系梅山群烃源岩有机质丰度高,以Ⅱ型干酪根为主,热演化程度很高,大量的油气已经生成,最重要的是研究其成烃过程与圈闭配套史的关系。

(4)“有效烃源岩”一直是制约合肥盆地勘探的瓶颈问题,大别山隧道可燃天然气的发现展示了合肥盆地深部海相层系良好的勘探前景,因此下步勘探重心应从“中生代盆地系统”转移到“深部海相层系”,以寻找“古生古储”或“古生新储”类型油气藏为主。

参考文献:

- [1] 徐树桐,江来利,刘贻灿,等.大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程[J].地质学报,1994,66(1):1-14.
- [2] 刘国惠,张寿广,游振东,等.秦岭造山带主要变质岩群及变质演化[M].北京:地质出版社,1993:68-85.
- [3] 张国伟,孙勇,于在平.北秦岭古活动大陆边缘[A].秦岭造山带的形成及其演化[C].西安:西北大学出版社,1988:b:48-56.
- [4] 胡受奚,林潜龙,陈泽铭,等.华北与华南板块拼合带地质和成矿(以东秦岭桐柏为例)[M].南京:南京大学出版社,1988.
- [5] 周进高,赵宗举,邓红婴.合肥盆地构造演化及其含油性分析[J].地质学报,1999,73(1):15-23.
- [6] 赵宗举,杨树锋,陈汉林,等.河南商城-固始地区石炭系沉积环境及其构造意义[J].地质论评,2000,46(4):407-416.
- [7] 马宝林,张兆忠.大别山东段双变质带特征和古构造演化[J].地震地质,1988,10(2):19-28.
- [8] 赵宗举,杨树锋,周进高,等.合肥盆地逆掩冲断带地质-地球物理综合解释及其大地构造属性[J].成都理工学院学报,2000,27(2):151-157.
- [9] 陆光森.河南商城胡油坊组中Protonocaria属的发现及其重要意义[J].合肥工业大学学报,1987,9:35-38.
- [10] 范国清.华北石炭纪海侵活动规律[J].中国区域地质,1991,39(4):349-355.
- [11] 李曙光,李惠民,陈移之,等.大别山-苏鲁地体超高压变质年代学—II、锆石-U-Pb同位素体系[J].中国科学(D辑),1997,27(3):200-206.
- [12] 林金录.华南板地极移动曲线及其地质意义[J].地质科学,1987,22(4):306-309.
- [13] 朱光,徐嘉伟,孙世群.郯庐断裂带平移时代的同位素年龄证据[J].地质论评,1995,41(5):452-455.
- [14] 徐佩芬,孙若昧,刘福田,等.扬子板块俯冲、断离的地震层析成像证据[J].科学通报(简报),1999,44(15):1658-1661.
- [15] 江来利,刘贻灿,吴维平,等.大别山超高压变质岩的变形历史及折返过程[J].地质科学,1999,34(4):432-441.
- [16] 尹士清.对合武铁路片(麻)岩隧道施工中发生气体燃烧的分析评价[J].资源环境与工程,2006,20(3):271-275.
- [17] 余雷,焦苍.大别山区客运专线铁路隧道瓦斯涌出机理及施

[18] HARKER B R, RATSCHBAER L, WEBB L et al. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic—Early Jurassic tectonic unroofing[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(6): 13339—13364

[19] XU P, LU F, WANG Q et al. Sub-like velocity anomaly in the uppermost mantle beneath the Dabie-Sulu orogen[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(9): 1847—1850

[20] 刘德良, 曹高社, 谈迎. 华北盆地南缘发现寒武系烃源岩及油显示[J]. 石油学报, 2000, 25(5): 封 2

[21] 曹高社, 宋明水, 刘德良, 等. 合肥盆地寒武系底部烃源岩沉积环境和地球化学特征[J]. 石油实验地质, 2002, 24(3): 273—278

[22] 马文璞. 大别山北麓的石炭系及其大地构造意义[J]. 地质学报, 1991, 65(1): 17—25

[23] 李日俊, 胡世玲, 金福全, 等. 杨山晚古生代沉积盆地成因类型及其与桐柏—大别造山带关系的探讨[J]. 地质科学, 1997, 32(1): 19—25

[24] 戴少武. 中国南方油气晚期成藏勘探实践及讨论[J]. 天然气工业, 2004, 24(1): 7—9

Evolution and hydrocarbon potential of the marine strata on the southeastern margin of the North China plate

LIU Zhong quan

(Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oil Field Company, SINOPEC, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: The combustible gas and burned tunnels founded in the Dabie orogenic belt are concentrated to the North Dabie complex zone south of the Mozitan-Xiaotian fault and the Early Carboniferous metamorphosed quartz schist close to the Xinyang-Shucheng fault. The two faults have provided gas source pathways which are connected to deeper reservoir rocks. The Lower Cambrian Fengtai Formation below thrust nappes and the North Huaiyang Carboniferous strata, both of which occur as the marine source rocks, are considered as the main gas source rocks of the tunnel combustible gas. The Lower Cambrian Fengtai Formation consists of the continental marginal deposits in which the marine muddy source rocks have been in an oversaturation stage of thermal evolution characterized by high carbon, high R_o , high T_{max} and lower chloroform-bitumen "A". The North Huaiyang Carboniferous source rocks have high abundances of organic matter with the III-type kerogen and high thermal maturation, resulting in the generation of abundant hydrocarbons. The discovery of the tunnel combustible gas indicates that the deep-seated marine strata in the Hefei Basin may be highly prospective for oil and gas resources. The future exploration should be carried out from the Mesozoic and Cenozoic basin systems to the deep-seated marine strata, with the emphasis on the "Palaeozoic source rocks and Palaeozoic reservoir rocks" or "Palaeozoic source rocks and Cenozoic reservoir rocks".

Key words: tunnel burning; natural gas; marine strata; source rock; thrust nappe; Hefei Basin