

北淮阳构造带可燃天然气的发现 与合肥盆地油气远景分析

柳忠泉

中国石化股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院, 山东东营, 257015

内容提要:北淮阳构造带由一系列向北逆冲推覆的构造岩片组成,是建立大别山造山带和合肥盆地构造关系的纽带。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气源的通道断裂;推覆体之下的寒武系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_o ”、高 T_{max} 、低氯仿“A”的特点,已进入热演化的过成熟阶段;北淮阳型石炭系烃源岩有机质丰度高,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良好的勘探前景,因此下步勘探重心应从“中新生代盆地系统”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

合肥盆地是我国东部勘探程度较低的大型沉积盆地之一,从上世纪 50 年代至今,已完成了大量油气勘探工作,包括探井 7 口、 $8\text{ km} \times 8\text{ km} \sim 8\text{ km} \times 4\text{ km}$ 测网密度的二维数字地震、7 条电法大剖面及覆盖全区的重、磁力勘探和化探等(李丕龙等,2002)。许多单位和学者对合肥盆地都进行过研究,取得了大量的认识(赵宗举等,2001;贾红义等,2002;宋明水等,2002),主要是沿用我国东部盆地成功的勘探经验,工作重点以“中新生代盆地系统”为主,认为古近系定远组、下白垩统朱巷组及下侏罗统防虎山组的湖相暗色泥岩可能成为合肥盆地的烃源岩,但迄今尚无实质性的油气突破。从目前样品的分析结果(张勇等,2008)及综合研究表明,由于中新生代烃源岩的质量、分布、演化程度及后期改造作用等因素的影响,难以形成大规模的油气聚集。

造山带和盆地是大陆岩石圈中最基本的构造单位,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,本文通过对大别造山带北缘北淮阳逆冲推覆带构造特征和形成机制的系

统分析,结合合武铁路金寨区段区域性片(麻)岩隧道燃烧现象的系统分析,探讨该区的油气勘探前景。

1 北淮阳构造带的成因机制

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分为 5 个构造单元(徐树桐等,1992):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皱冲带,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-马庙剪切带及襄樊-广济断裂。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多次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(图 1)。

1.1 逆冲推覆构造形成期次划分

1.1.1 中晚三叠世逆冲推覆构造

在北淮阳构造带及合肥盆地发育了一系列逆冲断裂和逆冲岩片,由南向北有磨子潭-晓天断裂、信阳-

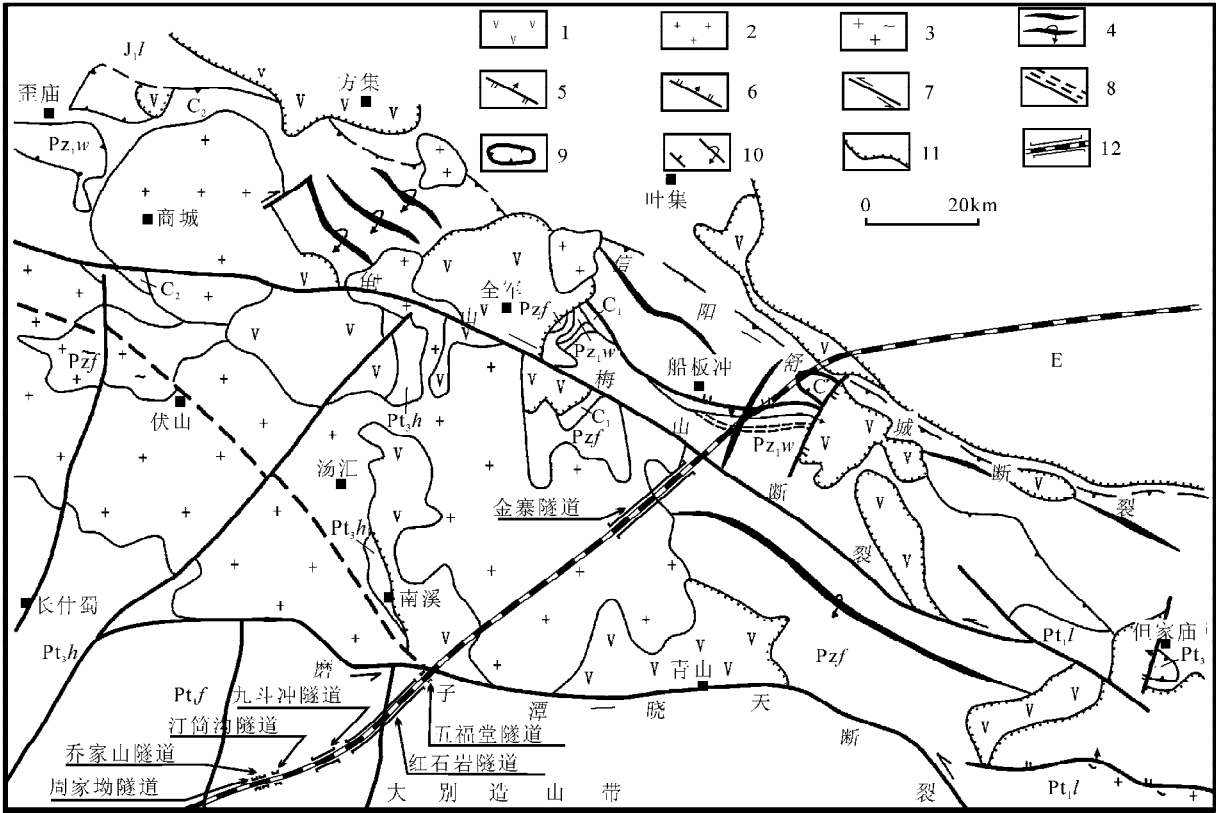


图 1 北淮阳构造带构造地质及合武铁路燃烧隧道位置图

Fig.1 Sketch showing the geologic structure of northern Huaiyang tectonic belt and the location of burned tunnels in Hewu railroad

1—早白垩世火山岩;2—燕山期侵入岩;3—花岗片麻岩;4—正常-倒转褶皱;5—逆冲断层;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—不整合线;12—铁路隧道

1—K₁ volcanic;2—Yanshanian period intrusion;3—granitics gneiss;4—normal-overtured folds;5—reverse faults;6—normal fault;
7—strike slip fault;8—deformation belt;9—klippe;10—normal-overtured occurrence;11—discordance line;12—railway tunneling

舒城断裂、六安断裂、肥中断裂和颍上-定远断裂等主干断裂,卷入冲断作用的最新地层为二叠系(赵宗举等,2000a),印支面之下形成了双重推覆构造和冲起构造(图 2)。在北部的淮南煤田南缘表现为由南向北的冲断作用,使太古宇五河群—上古生界老地层遭到比较强烈的冲断叠覆改造,形成叠瓦状构造样式。从区域上分析,该期构造的强度和规模有自东向西、自南向北逐渐减弱的趋势,并由冲断为主过渡到以褶皱构造为主,周口坳陷表现为一系列走向近东西向的复式褶皱构造,卷入褶皱的最新地层为中下三叠统;信阳盆地除北西西向的南、北边界断裂外,盆地内部很少有规模较大的印支期断裂,在信阳以西的毛集一带的毛集推覆体,卷入推覆构造的最新地层为含放射虫化石的中下三叠统,推覆体被燕山中—晚期的岩体侵入(郭华等,2002);在东秦岭地区,该期逆冲推覆构造以褶皱构造为主(孙晓猛等,2004)。

1.1.2 晚侏罗世逆冲推覆构造

逆冲推覆构造主要出现在东起舒城,经霍山、金寨,西至商城一线的北淮阳构造带,庐镇关群、苏家河群及佛子岭群等变质岩层推覆于石炭系之上,总体又构成逆冲推覆岩片推覆于侏罗系之上,但不同构造层次、不同部位和不同地段表现形式不同。处于逆冲推覆构造带的后缘庐镇关群及许湾组变质岩,表现为宽窄不等的韧性剪切带及与之相伴生的紧密同斜褶皱,韧性剪切带中发育强烈的糜棱面理和拉伸线理,糜棱面理倾向南东,拉伸线理产状为 150°/10°,其中紧密同斜褶皱的褶皱轴与拉伸线理一致,显示“A”型褶皱的几何学特征,S-C 组构、旋转碎斑等指示上覆岩层由南向北逆冲。处于逆冲推覆构造带南部的佛子岭群以发育层间拆离断层、断坪-断坡构造及伴生的同斜褶皱和牵引褶皱为特征;处于逆冲推覆构造带北部的佛子岭群主要发育叠瓦

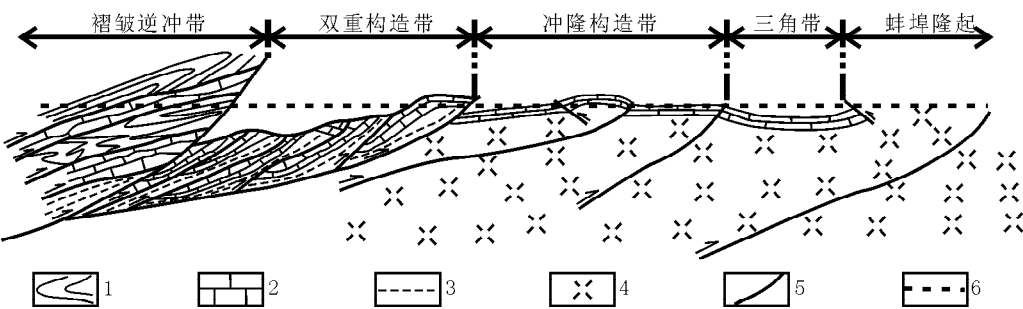


图 2 北淮阳构造带及合肥盆地印支期推覆构造模式(据曹高社等,2003 修改)

Fig. 2 Indosinian overthrust pattern in northern huaiyang tectonic belt and Hefei basin (modified from Cao et al., 2003)

1—佛子岭群;2—古生界;3—新元古界;4—古元古界—太古宇;5—断裂;6—剥蚀面

1—Foziling Group;2—Paleozoic;3—Upper Proterozoic;4—Lower Proterozoic;5—faults;6—exposure level

状逆冲断层及与伴生的紧闭同斜褶皱。石炭系主要形成斜歪-倒转褶皱,褶皱的倒转翼伴生有小型逆冲断层,构成叠瓦状逆冲断层带。在逆冲推覆构造带的前缘,庐镇关群及佛子岭群、歪庙组大理岩与石炭纪地层之间层层叠覆,总体构成一个大的外来岩席向北推覆于侏罗纪地层之上。

1.1.3 早白垩世末期逆冲推覆构造

在北淮阳地区表现为前古生代地层被推到下白垩统白大坂组之上,在晓天盆地附近,磨子潭-晓天断裂由正断层转变为冲断层,北大别杂岩逆冲推覆于晓天盆地的湖相灰、深灰色粉砂质页岩之上,盆地边缘相地层被北大别杂岩所覆盖,断裂至深部变缓,近于水平,形成犁式断面,断面南倾(刘文灿等,1999)。在合肥盆地表现为该期断裂继承了燕山早期逆冲推覆构造并叠加其上,切穿下白垩统,被上白垩统角度不整合覆盖(刘少峰等,2001)。在周口坳陷叶鲁-娄提断裂与其南部的确山断裂之间分别发育一条宽达数十千米的大型逆冲构造带,逆冲断裂南倾,呈叠瓦状组合,向深部收敛归并于基底滑脱面(孙自明等,1999)。地球物理资料显示大别造山带的中地壳之下有一低速层存在,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(Xu et al., 2001)。许湾-庐镇关剪切带由韧性滑脱转变为脆性逆冲,使苏家河群许湾组逆冲在石炭系之上。

1.1.4 古近纪末期逆冲构造

本期逆冲作用规模相对较小,潼关-鲁山-阜阳-淮南逆冲推覆带重新活动,使新元古代地层逆冲于古近系陈宅沟组和蟒川组之上(左景勋等,1995)。在周口坳陷该期断层主要有新桥凹陷南缘的蔡沟-曹窑逆断层、舞阳凹陷北缘的讲武逆断层和射桥、项城-沈丘逆断层(孙自明等,1999)等。在东大别地区,磷灰石裂变径迹研究结果反映古近纪时晓天-磨

子潭断裂可能重新发生逆冲活动(吴玺虹等,2002)。在合肥盆地中也分布一些规模较小的冲断断层,造成中—新生界的逆冲抬升和剥蚀。

1.2 地球动力学背景分析

北淮阳构造带的逆冲构造与大别山的隆升密切相关,大别造山带主要经历了晋宁期后裂解成盆、印支期伸展会聚和燕山期热隆抬升三大演化阶段(汤加富等,2003)。有关的大别-苏鲁造山带高压(HP)—超高压(UHP)变质岩的同位素年龄数据主要集中在三叠纪(240~210 Ma),表明扬子与华北板块的碰撞会聚发生在中—晚三叠世(孙晓猛,2004)。三维地震P波速度层析成像显示出扬子板块俯冲于华北板块之下,并在170~200 km的深度发生断离(徐佩芬等,1999)、拆沉去根和地幔上涌(董树文等,1998),断离和拆沉去根造成HP—UHP变质岩折返、大别山强烈隆升、造山带内广泛的岩浆活动(Cong, 1996)和逆冲推覆、滑覆作用。由于扬子和华北两板块相向旋转汇聚运动和由东向西呈剪刀式穿时碰撞,以及陆内俯冲作用(马醒华等,1993;张国伟等,1995;Lee et al., 1997;肖文交等,2000),使得位于东部的大别造山带区段,板块碰撞和陆内俯冲时间早,造成逆冲推覆作用形成早、强度大。

古地磁研究表明南北陆块的持续会聚与陆内俯冲作用可延续到中侏罗世(林金录,1987),许湾-庐镇关剪切带南侧的大别山由于扬子陆块基底的持续俯冲、堆叠进一步隆起,其上扬子陆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。

印支期逆冲作用与HP—UHP变质岩快中速折返阶段(240~180 Ma)(从柏林等,1999)的早期相对

应,在大别山核部中深层发生向北西或北北西方向透入性韧性逆冲推覆或斜冲,浅表层形成向造山带两侧的背冲或逆冲推覆(王国灿等,1998)。燕山早期,由于大别山北麓刚性岩石圈强烈压陷挠曲,形成前陆盆地带,盆地中堆积了中—上侏罗统巨厚的磨拉石建造,同时沿造山带方向断裂活动和大量岩浆岩上侵,引发大别山核部强烈隆升(150~120 Ma),在造山带北麓及其盆地中形成指向北的大规模逆冲推覆构造,北淮阳燕山早期逆冲推覆作用最为强烈。燕山晚期,造山带核部因碰撞后的伸展作用及巨量花岗岩侵位而差异隆起,同时由于郯庐断裂的左行平移(朱光等,2002),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(Xu et al., 2001),造山带南、北边缘指向山前盆地的滑覆逆冲扩展。因此北淮阳构造带中生代逆冲推覆构造是在多种地球动力学背景下形成的,两板块自东向西呈剪刀式穿时会聚运动是造成同期次断裂在不同区域内规模和强度明显不同并

具有由东向西由早到晚穿时迁移特征的原因。

古近纪末期逆冲推覆作用的规模强度都不如中生代,该时期正是印度大陆开始向欧亚大陆陆内俯冲时期,因此,该期逆冲推覆作用机制与印度板块向欧亚板块碰撞的远程效应有关。

2 片麻岩区隧道燃烧现象及组分分析

2.1 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 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,其间河谷深切,相对高差最大达 500 m,共设计施工了 17 座隧道。自 2005 年 10 月 28 日至 2006 年 1 月 9 日,红石岩、五福堂、九斗冲、周家坳、金寨、汀筒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 7857 m 的红石岩隧道发生多次燃烧。

表 1 合武铁路隧道可燃气体燃烧情况一览表							
Table 1 Table of Burned phenomena from combustible gas in the tunnels of Hewu railroad							
时间	隧道	燃烧面积(m ²)	持续时间(min)	气味	燃烧位置	火焰熄灭后 瓦斯浓度(%)	燃烧次数
2005.10.28	红石岩	0.5~1.0	3~5	无刺鼻	碴堆	未检测出	20
2005.12.10	红石岩	炮后通风 10 min,火焰 1 m 高	7~8		碴堆	0.43	
2006.1.19	红石岩				碴堆		
2005.12.23	汀筒沟	1.0 小面积	12~15	刺激性		0.1~0.2 未检测出	4
	五福堂						
2006.1.3	周家坳		不详		碴堆		1
2006.1.5	九斗冲		不详		碴堆		3
2006.1.19	乔家山				掌子面		1
2006.1.9	金寨						2

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 22 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 min 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 11~15 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(尹士清,2006),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 22 km,其中隧道总长度大于 10 km,燃烧部位以元古宇片麻岩为主;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。

2.2 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、硫及硫化合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析,也可以排除磷、硫及硫化合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(余雷等,2006)。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 min 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。

在红石岩隧道出口(DK188+995.5、DK188+993.5、DK189+092.5)处,采集气样 4 袋,渣块 2.5 kg(DK189+092.5)。在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。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 1906.7×10^{-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。

表 2 合武铁路隧道内气样和碴块解吸气样分析结果			
Table 2 The result of desorption gas come from gas sample in tunnel of Hewu railroad			
隧道名称	取样位置	样品类型	组分含量($\times10^{-6}$)
红石岩	DK189+092.5 (炮后)	塑料桶中气样	CH ₄ :9.0
		碴块解吸气样(90℃)	CH ₄ :9.4,CO:10.9
		碴块解吸气样(150℃)	CH ₄ :12.8,CO:7.8
	DK188+995.5 DK188+993.5 DK188+092.5	炮后气体样品 炮后气体样品 炮后气体样品	CH ₄ :652.5,CO:455.0,C ₂ H ₆ :11.0,C ₂ H ₄ :9.3 CH ₄ :1103.1,CO:325.3,C ₂ H ₆ :14.0,C ₂ H ₄ :18.5 CH ₄ :91.0,CO:35.9
九斗冲	DK190+685.8 (炮后)	塑料桶中气样	CH ₄ :3.9,CO:5.8
		碴块解吸气样(90℃)	CH ₄ :4.4,CO:40.2
		碴块解吸气样(150℃)	CH ₄ :6.3,CO:109.98
	DK190+685.8	炮前气体样品 炮后气体样品	CH ₄ :3.2 CH ₄ :1906.7,CO:3373.9,C ₂ H ₆ :72.3,C ₂ H ₄ :87.1

注:中国矿业大学分析测试中心测试。

3 气源分析及可能的烃源岩层位

3.1 气体储集空间分析

片麻岩隧道出现可燃气的现象是极其罕见的,因片麻岩本身不具备生成可燃气的条件,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,说明破碎带中的裂隙空间是可燃气的主要储集空间。

3.2 气源分析

天然气的各组分结构简单,分子、密度、粘度和吸附能力都较小,故具有运移快、易溶解、易扩散和易挥发的特点。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,无论盖层如何好,气体都向上扩散运移,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(Harker et al.,2000),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隆旋转,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-晓天断裂叠加在浒湾-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(Xu et al., 2001),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。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。

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,隧道岩石本身不具备

生成可燃天然气的条件,考虑到天然气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 3)。

3.3 深部烃源岩特征

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,可能的烃源岩有两套,一套是寒武系凤台组烃源岩,另一套是北淮阳型石炭系烃源岩。

3.3.1 寒武系凤台组烃源岩的地化特征

从新元古代开始,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的继续发展,逐渐变成比较成熟的被动大陆边缘盆地(张国伟等,1988;周进高等,1999)。合肥盆地西缘四十里长山地区出露的震旦系、寒武系及奥陶系,特别是下寒武统凤台组低位斜坡扇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 2 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)。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

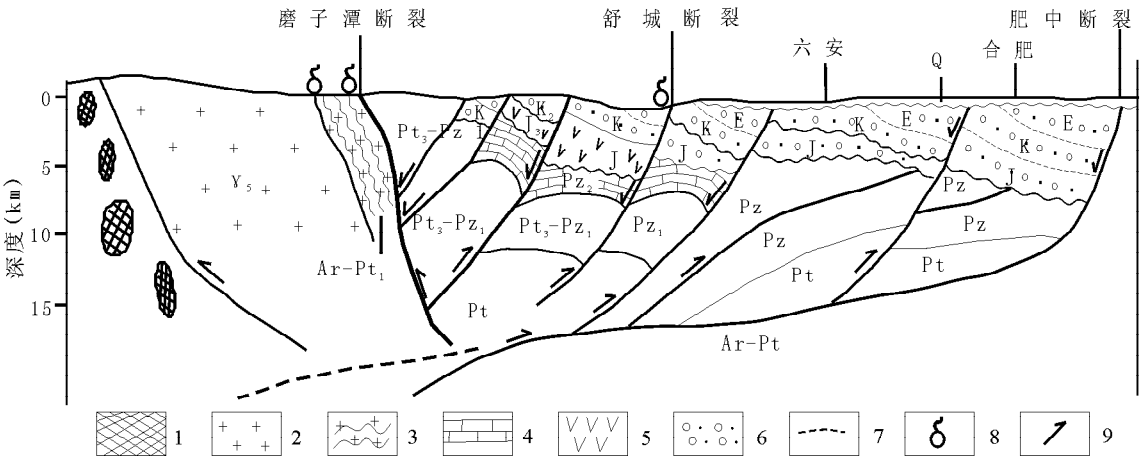


图 3 合武铁路安徽段地质剖面及隧道可燃天然气气源分析图
Fig. 3 Sketch showing the geological profile of Anhui segment in Hewu railroad and the analysis of gas source of combustible gas

1—变质岩;2—花岗岩;3—花岗片麻岩;4—碳酸盐岩;5—安山岩;6—砂砾岩;7—推测断层;8—隧道燃烧点;9—断层运动方向
1—Metamorphic rocks;2—granite;3—granitics gneiss;4—carbonate rock;5—volcanic;
6—sand-conglomerate;7—speculation faults;8—tunnel burning point ;9—direction of faults

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。

寒武系风台组在四十里长山附近出露较完整，其中发育的海相泥质烃源岩(厚度 50~80 m)是一套较好的烃源岩。有机碳含量一般均在 1.5% 以上(0.28%~13.46%，平均 6.46%)。但氯仿沥青“A”含量($16\times10^{-6}\sim59\times10^{-6}$ ，平均 39×10^{-6})及生烃潜量(“ S_1+S_2 ”在 0.02~0.05 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其有利(曹高社等，2002)。

全岩光片分析表明，显微组分中主要是贫氢次生组分，镜质组仅有无结构镜质体，且含量较高，推测本区发现的镜质组是经受了高热演化程度形成的，干酪根属 II₂ 或 III 型。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。烷烃色质分析，在 191 萘烷图中，样品的 C₃₀ 丰度占绝对优势，降藿烷 C₂₉ 含量也不低(图 4)，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。

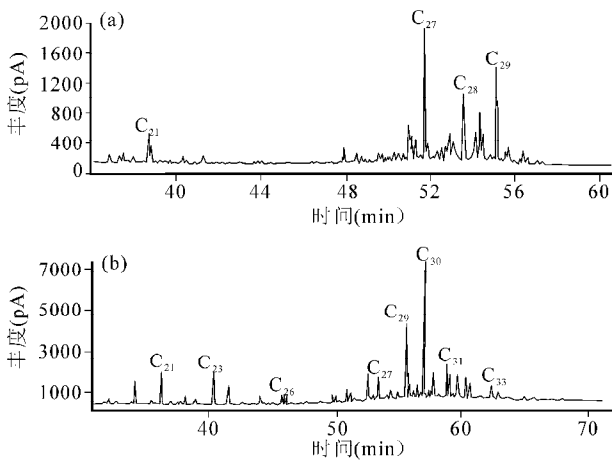


图 4 合肥盆地西缘四十里长山下寒武统风台组样品甾烷(a)、萜烷(b)图

Fig. 4 Sketch showing steranes (upper) and terpanes (under) feature of the Lower Cambrian Fengtai Formation samples at the Sishili mountain in the western margin of Hefei Basin

镜质组反射率一般均在 2.0%~3.5% 之间，表明风台组烃源岩处过成熟阶段早期。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。

3.3.2 大别山北缘型石炭系烃源岩地化特征

从盆地南缘商城、固始至金寨一带出露的石炭系来看，总体为一套近源含煤磨拉石建造(赵宗举等，2000b)，而淮南地区出露的上石炭统一二叠系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(范国清，1991)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；因此典型华北型煤系地层主要分布于肥中断裂以北，肥中断裂以南逐渐增厚，说明石炭纪一二叠纪时期桐柏—大别山以北地区为统一的盆地。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。

在商城—固始地区出露的北淮阳型石炭系厚度大于 5000 m，其中暗色泥岩厚达 500 m，煤层厚 20~40 m，暗色泥岩主要发育在下统花园墙组(C_{1h})、杨山组(C_{1y})，中统胡油坊组(C_{2h})，上统杨小庄组(C_{3y})，煤层主要发育在杨山组和杨小庄组(马文璞，1991)。

煤岩有机碳含量一般在 50.6%~70.2%，平均 66.0%；碳质泥岩有机碳含量 1.68%~9.47%，泥岩 1.54%~2.64%。无论是石炭系的泥岩还是煤层，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 0.1 mg/g 左右，杨山组稍高，可达 2 mg/g 左右。

干酪根显微组分以镜质组为主，含量在 53.5%~89.5%；惰质组在 10.5%~39.8%；壳质组仅为 0%~6.7%。干酪根碳同位素 δ¹³C 在 -19.89‰~-24.27‰，均显示 III 型干酪根的特点。

镜质组反射率在 2.35%~4.37% 之间，平均 3.44%，均处于过成熟阶段。萜类组成上藿烷 C₃₁ 22S/(22S+22R) 比值为 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_o”、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 I 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 R_o 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(戴少武,2004),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。

4 结论

(1)北淮阳构造带先后经历了中晚三叠世、早侏罗世、早白垩世末、古近纪末期 4 次逆冲推覆作用,其中中生代逆冲推覆构造是在扬子、华北两板块碰撞,陆内俯冲断离,HP—UHP 变质岩折返,山脉迁移隆升和伸展坍塌的地球动力学背景下形成的,两板块自东向西呈剪刀差式穿时会聚运动是造成同期次断裂在不同区域内规模和强度明显不同并具有由东向西由早到晚穿时迁移特征的原因。古近纪末期逆冲推覆作用规模强度较小,与印度板块向欧亚板块碰撞的远程效应有关。

(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。从地质条件分析,区内发育的寒武系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_o ”、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。

(3)“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“中新生代盆地系统”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

- 曹高社,宋明水,刘德良,等.2002.合肥盆地寒武系底部烃源岩沉积环境和地球化学特征.石油实验地质,24(3):273~278.
- 曹高社,李学田,刘德良,等.2003.合肥盆地与北淮阳构造带印支期推覆构造及其油气意义.石油与天然气地质,24(2):116~122.
- 从柏林,王清晨.1999.大别山—苏鲁超高压变质带研究的最新进展.科学通报,44(11):1127~1141.
- 戴少武.2004.中国南方油气晚期成藏勘探实践及讨论.天然气工业,24(1):7~9.
- 董树文,吴宣志,高锐,等.1998.大别造山带地壳速度结构与动力学.地球物理学报,41(3):349~360.
- 范国清.1991.华北石炭纪海侵活动规律.中国区域地质,39(4):349~355.
- 郭华,吴正文,柴育成,等.2002.大别造山带中生代逆冲推覆构造系统.现代地质,16(2):121~129.
- 贾红义,吕希学,李云平,等.2002.合肥盆地重力场特征.石油实验地质,24(3):232~242.
- 李丕龙,李学田,娄剑青,等.2002.合肥盆地油气勘探现状及对策.石油实验地质,24(3):195~199.
- 林金录.1987.华南板块地极移动曲线及其地质意义.地质科学,22(4):306~309.
- 刘少峰,刘文灿,戴少武,等.2001.合肥盆地沉积物物源分析及其对盆缘山带逆冲剥露过程的限制.地质学报,75(2):200~210.
- 刘文灿,王果胜.1999.北淮阳地区中生代逆冲推覆构造.现代地质,13(2):143~148.
- 马文璞.1991.大别山北麓的石炭系及其大地构造意义.地质学报,65(1):17~25.
- 马醒华,杨振宇.1993.中国三大板块的碰撞拼合与古欧亚大陆的重建.地球物理学报,36(4):476~486.
- 宋明水,江来利,李学田,等.2002.大别山造山带对合肥盆地的构造控制及油气勘探建议.石油实验地质,24(3):209~215.
- 孙晓猛,吴根耀,郝福江,等.2004.秦岭—大别造山带北部中新生代逆冲推覆构造期次及时空迁移规律.地质科学,39(1):63~70.
- 孙自明,熊保贤.1999.周口凹陷的逆冲推覆构造特征.石油勘探与开发,26(3):22~24.
- 汤加富,周存亭,侯明金,等.2003.大别山及邻区地质构造特征与形成演化.北京:地质出版社,198~234.
- 吴玺虹,刘顺生,Jonckheere R,等.2002.东大别地区磷灰石裂变径迹年龄的构造意义初析.地质科学,37(3):343~349.
- 肖文交,周姚秀,杨振宇,等.2000.大别—郯庐—苏鲁造山带复合旋转拼贴作用.地球科学进展,15(2):147~153.
- 徐佩芬,孙若昧,刘福田,等.1999.扬子板块俯冲、断离的地震层析成像证据.科学通报,44(15):1658~1661.
- 徐树桐,江来利,刘贻灿,等.1992.大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程.地质学报,66(1):1~14.
- 尹士清.2006.对合武铁路片(麻)岩隧道施工中发生气体燃烧的分析评价.资源环境与工程,20(3):271~275.
- 余雷,焦苍.2006.大别山区客运专线铁路隧道瓦斯涌出机理及施工

对策. 施工技术, 35(增刊): 57~60.

张国伟, 孙勇, 于在平. 1988. 北秦岭古活动大陆边缘. 见: 张国伟主编. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安: 西北大学出版社, 48~56.

张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 1995. 秦岭造山带的结构构造. 中国科学(B辑), 25(9): 994~1003.

张勇, 曹雪晴, 任凤楼, 等. 2008. 合肥盆地烃源岩有机质热演化历史分析. 沉积学报, 26(1): 168~177.

赵宗举, 杨树锋, 陈汉林, 等. 2000a. 合肥盆地基底的构造属性. 地质科学, 35(3): 288~296.

赵宗举, 杨树锋, 陈汉林, 等. 2000b. 河南商城—固始地区石炭系沉积环境及其构造意义. 地质论评, 46(4): 407~416.

赵宗举, 李大成, 朱炎, 等. 2001. 合肥盆地构造演化及油气系统分析. 石油勘探与开发, 28(4): 8~13.

左景勋, 王令全, 黄超勇. 1995. 汝阳南部逆冲推覆构造的地质特征. 河南地质, 13(2): 120~125.

周进高, 赵宗举, 邓红婴. 1999. 合肥盆地构造演化及其含油气性分

析. 地质学报, 73(1): 15~23.

朱光, 牛漫兰, 刘国生, 等. 2002. 郑庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件. 地质学报, 76(3): 325~334.

Cong Bolin. 1996. Ultrahigh-Pressure metamorphic Rocks in the Dabieshan-Sulu Region of China. Beijing: Science Press, London: Kluwer Academic Publishers, 224.

Harker B R, Ratschbaer L, Webb L et al. 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic—Early Jurassic tectonic unroofing. Journal of Geophysical Research, 105(6): 13339~13364.

Lee Y S, Nishimura S, Min K D. 1997. Paleomagnetotectonics of East Asia in the Proto-Tethys ocean. Tectonophysics, 270: 157~166.

Xu P, Liu F, Wang Q. et al. 2001. Slab-like velocity anomaly in the uppermost mantle beneath the Dabie-Sulu orogen. Geophysical Research Letters, 28(9): 1847~1850.

Discovery of the Combustible Gas in the Beihuaiyang Tectonic Belt
and Analysis of Oil-Gas Potential in the Hefei Basin

LIU Zhongquan

Geological Scientific Research Institute, SLOF, SINOPEC, Dongying, Shandong, 257015

Abstract

The Beihuaiyang tectonic belt is composed of a series of north-striking thrust slices, and links the Dabieshan orogenic belt and the Hefei Basin together. Combustible gas and burned tunnels founded in Dabie orogenic belt have distinct regional nature, and most of them distributed in complex zone of the north Dabie orogenic belt which located in the south of Mozitan-Xiaotian fault and the gneiss from the Lower Carboniferous which is close to the Xinyang-Shucheng fault. These two faults provide source passage which is connected to deeper reserivor. The Cambrian Fengtai Formation under thrust nappes and the Carboniferous system of North Huaiyang Formation, which are both marine deposits, are the main gas source rocks of tunnel combustible gas. The Lower Cambrian Fengtai Formation has been in an over mature stage of thermal evolution with the characteristics of high C, high "R_o", high T_{max} and low chloroform "A"; The Carboniferous hydrocarbon source rocks of North Huaiyang type have a high abundance of organic matter while kerogen is dominated by Type III, there has been abundant hydrocarbon generated, thereby the most important thing is to study the correlation between its process of hydrocarbon generation and the correlated trap history. Combustible gas was found in the tunnel of the Dabie orogenic belt, it demonstrated that the deep marine sequence stratigraphy in Hefei basin had a good exploration prospects, so the next step should transfer the focus of exploration from "Meso-Cenozoic basin system" to "deep marine sequence stratigraphy", to find the main type of oil and gas reservoirs "Paleozoic source Paleozoic reservoir "or" Paleozoic source Cenozoic reservoir ".

Key words: tunnel-burnnt; gas; marine sequence stratigraphy; hydrocarbon source rocks; thrust nappe; Hefei Basin