

济阳坳陷孤北潜山煤成气成藏过程分析

张善文¹, 张林晔², 李 政²

(1. 中国石化胜利油田分公司, 山东 东营 257001;

2. 胜利油田地质科学研究所, 山东 东营 257015)

摘要:根据气体组分、甲烷同系物碳同位素及轻烃参数, 确定济阳坳陷孤北潜山带煤成气源主要为石炭—二叠系煤系烃源岩, 中生界煤系烃源岩也具有一定的贡献, 煤成气主要分布于第二排山、第三排山北部远离孤北断层地区及第四排山。在煤成气源确认的基础上, 通过储集层流体包裹体均一温度及生烃动力学分析, 结合烃源岩的生烃—埋藏史, 认为该区石炭—二叠系煤系烃源岩经历了4次生烃过程, 燕山期和喜马拉雅期是主要生烃期, 中生界煤系烃源岩生烃期主要为喜马拉雅后期。该区煤成气藏可能有2种成因, 一是源自石炭—二叠系煤系烃源岩的原生气藏在喜马拉雅期被破坏后再次聚集而成; 二是喜马拉雅期埋藏较深的石炭—二叠系及中生界煤系烃源岩再次生烃形成, 其中第二种成因的煤成气是今后孤北潜山带天然气勘探的重点。

关键词:孤北潜山; 煤成气; 碳同位素; 生烃—埋藏史; 成藏过程

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2009)05-0670-08

0 引言

自20世纪80年代以来, 煤成气地质理论的形成和应用^[1-4]使中国天然气勘探获得了明显成效。至2005年底, 中国探明气层气总储量为 $4.95 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 其中煤成气为 $3.47 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国天然气总储量的70.07%^[5], 占大气田总储量的4/5^[6]。济阳坳陷孤北潜山带上古生界和中生界煤系地层分布范围广、厚度稳定^[7-8], 具备形成煤成气的物质基础, 并先后在该区发现义155井、渤93井煤成气藏^[9], 特别是2004年孤北古1井在石炭—二叠系测试获高产工业气流, 日产气量为 $117\,700 \text{ m}^3$, 展示了该区煤成气的较大勘探潜力。据资源评价结果^①, 孤北斜坡带仅石炭—二叠系煤成气资源量为 $351 \times 10^8 \text{ m}^3$, 但由于该区气源岩经多次构造抬升—沉降, 导致成藏机制复杂, 目前该带仅在渤93块、孤北古1块及义155块控制含气面积为 8.4 km^2 , 煤成气储量 $68 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[10-12]。本文以油气成藏地球化学与地质学成藏理论为指导, 利用定性—定量地球化

学分析方法和测试数据, 并结合油气成藏的实际地质条件综合分析, 确定煤成气成藏过程, 以期对认识该区煤成气成藏控制主要因素, 以及明确下一步勘探有利方向有所裨益。

1 煤成气藏基本特征

孤北潜山带位于济阳坳陷沾化凹陷的中部, 北以埕南—埕东断层与埕东凸起相连, 南以孤北断层与孤岛凸起相隔, 西以孤西断层与渤南洼陷相连, 向东缓坡过渡至孤北洼陷, 是受孤西断层控制形成的古生界潜山, 勘探面积约 200 km^2 。孤北潜山经历了印支期挤压逆断、燕山期拉张断陷、燕山—喜马拉雅早期挤压转拉张3个大的构造演化阶段而基本定型^[10-12], 主要发育北西向和南北向的2组断层, 受边界基底断裂和次级断层控制, 自西向东将孤北低潜山切割为4排山, 以第二排山最高, 层面构造具有中间高东西两翼低的鼻状构造特点(图1)。

根据孤北潜山带天然气气体组分、轻烃参数及甲烷同系物碳同位素值分析结果表明, 孤北潜山带

收稿日期: 2008-05-02; 修回日期: 2009-07-20.

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地南部精细勘探关键技术”(编号: 2008zx05006-003)资助.

第一作者 E-mail: skyzsw@slof.com.

①曹忠祥, 李剑, 李增学, 等. 济阳地区煤型气气源岩特征、资源预测及勘探目标评价. 胜利油田地质科学研究所, 2004.

2 煤成气气源岩确认

孤北低潜山带煤系烃源岩主要赋存于古生界的石炭—二叠系和中生界的中下侏罗统坊子组,岩性为灰、深灰色泥岩、灰黑色炭质泥岩及煤层,其中石炭—二叠系煤系烃源岩为海陆交互相沉积,烃源岩厚度为 50~336 m,煤层 3~21 层,单层最大厚度可达 11.5 m,累积厚度为 29 m;中生界煤系烃源岩为

陆相湖沼相沉积,烃源岩厚度约 100~300 m,煤层 3~11 层,累积厚度 3~19 m。通过对 200 多块岩石样品地球化学测试数据分析表明(表 2),2 套煤系烃源岩有机质丰度高,有机质类型以Ⅱ₂—Ⅲ型为主,R_o 值主要在 0.6%~2.0%之间,热演化处于成熟—高成熟阶段(表 2),局部层段样品受火成岩影响,R_o 值高于3.0%,均有部分样品达到中等—较好气源岩的标准。

表 2 孤北地区 2 套煤系烃源岩地球化学参数数据

层位	岩性	TOC(%)	S ₁ +S ₂ (mg/g _{岩石})	I _H (mg/g _{TOC})	有机质类型	R _o (%)	评价
侏罗系	泥岩	0.1~22.87	0.1~11.5	4.2~179.5	Ⅱ ₂ —Ⅲ型	0.6~1.3	差—中等
	煤	40.5~74.3	1.7~141.3	1.9~203.4			差—较好
石炭—二叠系	泥岩	0.1~22.87	0.1~15.9	4.76~180	Ⅱ ₂ —Ⅲ型	0.8~2.0	中等
	煤	41.3~81.7	4.4~117.7	6.1~222.6			中等—较好

根据碳同位素动力学研究煤成气 δ¹³C₁(‰)—R_o 值回归方程计算,孤北古 1 井、义 155 井天然气成熟度为 R_o=1.2%~1.8%,即处于成熟阶段后期至高成熟阶段,孤北潜山带 2 套煤系烃源岩均具备为孤北潜山带提供煤成气的物质基础。

长期以来,地球化学家利用天然气组分、轻烃和碳、氢以及惰性气体同位素等指标,对不同演化阶段不同成因的天然气进行划分,成功地区分了油型气与煤成气的差异^[13-16],但济阳坳陷中、古生界 2 套不同

古气候、不同生物群落、不同沉积环境煤系烃源岩所形成的煤成气进行详细、系统的研究并不多见,迄今尚未建立源自不同煤系烃源岩煤成气的划分依据和标准。本次笔者利用热模拟手段、自然演化剖面与已发现煤成气相结合,根据煤系烃源岩模拟气定性区分 2 套煤系烃源岩地球化学参数之间的差异,优选可用参数,然后利用自然演化的岩石吸附气与已发现煤成气藏的煤成气进行综合对比,区分了孤北地区中古生界煤成气地球化学参数之间的差异(图 2)。

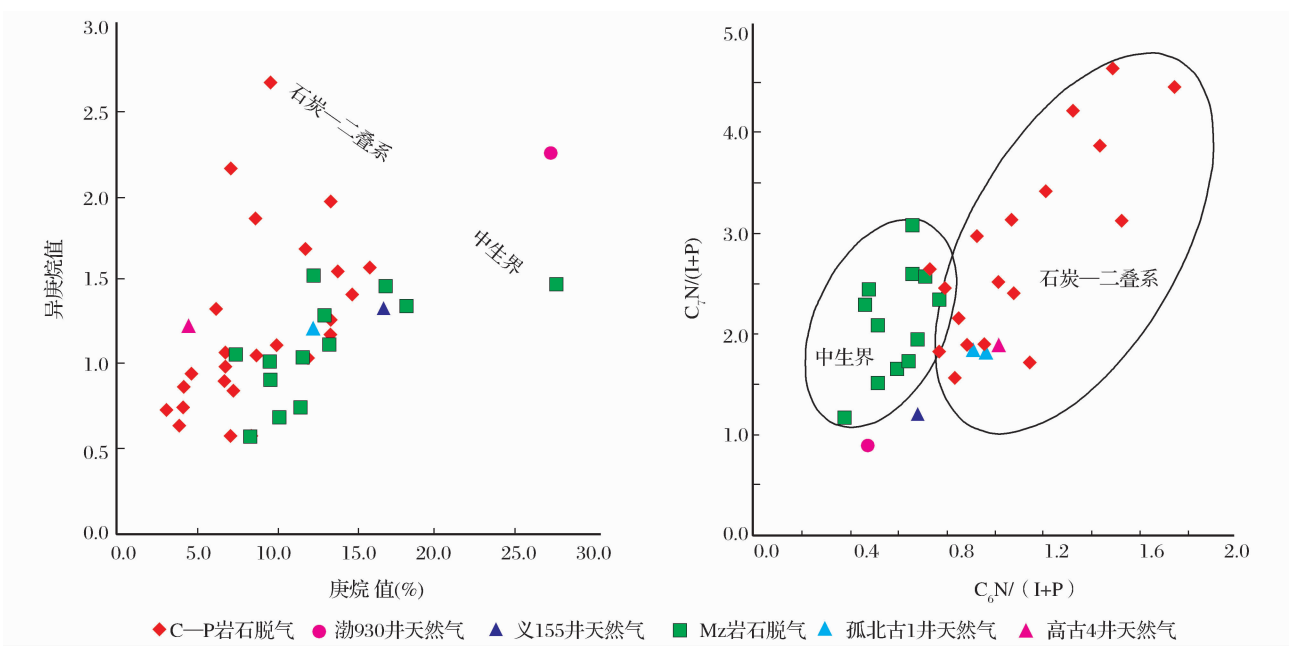


图 2 孤北潜山带中古煤成气轻烃判别

N 环烷烃;I 异构烷烃;P 正构烷烃; $C_6N/(I+P) = \frac{\text{甲基环戊烷} + \text{环己烷}}{\text{2-甲基戊烷} + \text{3-甲基戊烷} + \text{正己烷}}$;
 $C_7N/(I+P) = \frac{\text{甲基环己烷} + 1,1\text{-二甲基环戊烷} + \text{顺}1,3\text{-二甲基环戊烷} + \text{反}1,3\text{-二甲基环戊烷} + \text{反}1,2\text{-二四甲基环戊烷}}{\text{2-甲基己烷} + \text{3-甲基己烷} + \text{正庚烷}}$

由图 2 可见,石炭—二叠系和中生界 2 套煤系烃源岩的轻烃参数 $C_6N/(I+P)-C_7N/(I+P)$ 、庚烷值—异庚烷值的分布区间具有一定差异,石炭—二叠系的 $C_6N/(I+P)$ 值、 $C_7N/(I+P)$ 值一般高于中生界,中生界煤系烃源岩生成气 $C_7N/(I+P)$ 值小于 3, $C_6N/(I+P)$ 值低于 0.9;石炭—二叠系煤成气庚烷值与异庚烷值的分布区间与中生界不同,其中石炭—二叠系煤成气庚烷值小于 17%,对比结果表明孤北古 1 井、义 155 井天然气主要源自石炭—二叠系煤系烃源岩,渤 930 井天然气应该有中生界煤系生成气的贡献。

3 烃源岩生烃演化与构造运动的时空匹配

孤北潜山带煤系烃源岩自形成以来,经历了复杂的构造演化历史,沉积史分析揭示了石炭—二叠系煤系烃源岩在经历了海西—印支期之后与中生界煤系烃源岩共同经历了燕山期和喜马拉雅期埋藏—隆升旋回的交替演化,构造运动决定了煤系地层作为烃源岩的生烃演化过程。

古生代,整个华北地台为稳定克拉通内部沉降型盆地^[17-18],石炭系埋藏深度逐渐增大,二叠纪早期,华北地台开始从海洋环境转向陆相沉积,此阶段由于盆地沉降速度及埋藏深度均较小,石炭—二叠系烃源岩的生烃过程一直处于停滞状态。自印支期开始,由于太平洋板块与印度洋板块对中国大陆的相互作用,在中国东部造成不同程度的局部张裂环境,本区再次沉降,三叠系原始沉积厚度变化为 1 200~2 000 m^[19],石炭—二叠系烃源岩埋深 3 000 m。晚三叠世的印支运动在本区表现为北东—南西向挤压褶皱运动,使该区形成了一系列的北西走向逆冲断层(孤西断裂),古生界褶皱变形,造成地壳挤压抬升,下、中三叠统被剥蚀。根据利用 IES 软件模拟的孤北地区中生界煤系烃源岩生烃—埋藏史曲线可以看出(图 3),此时石炭—二叠系含煤地层 R_o 值为 0.5%~0.7% 左右,即第一次抬升时的 R_o 值为 0.6% 左右,烃源岩刚进入生烃门限,开始初次生烃,但随后的地壳抬升使生烃作用停滞,尚未进入大量生烃阶段。

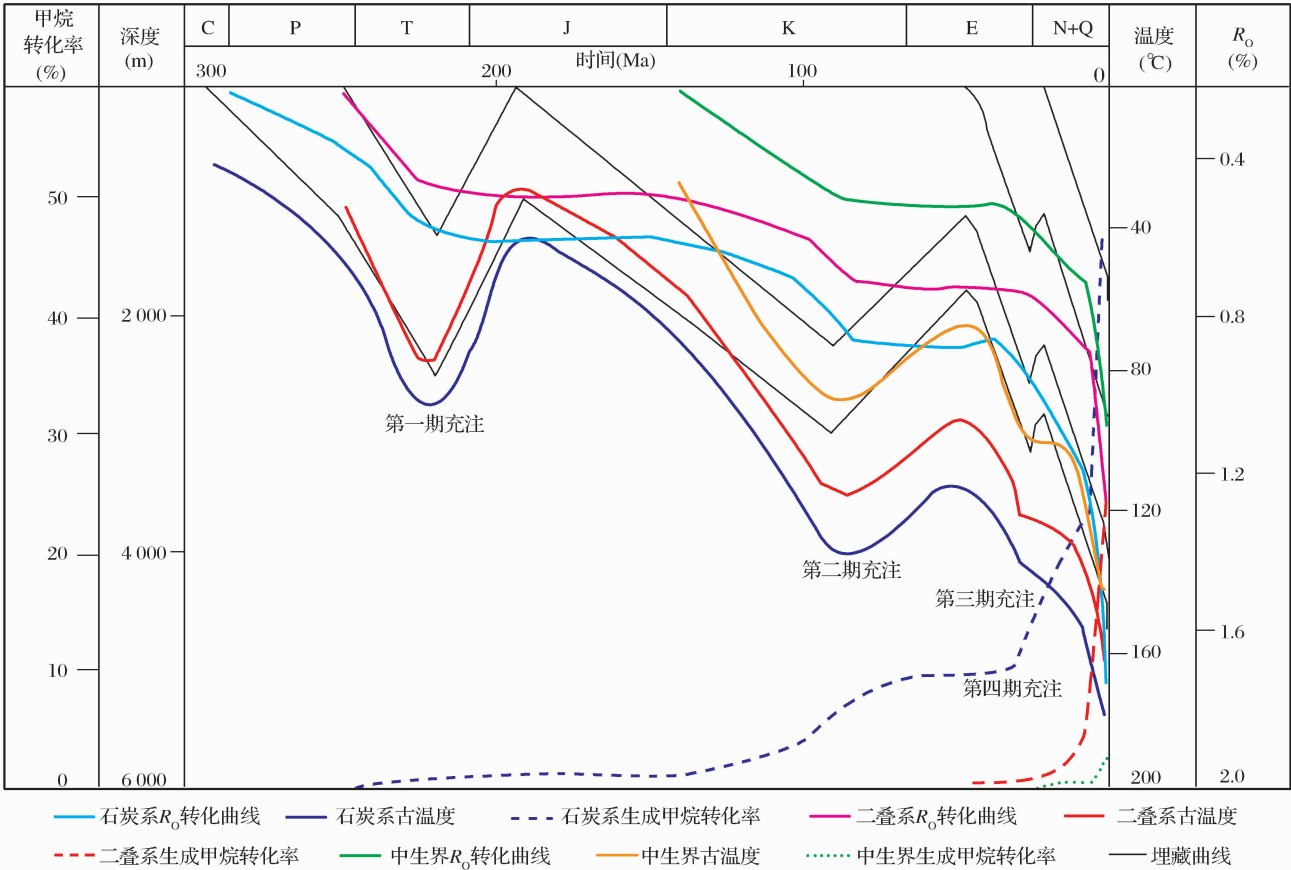


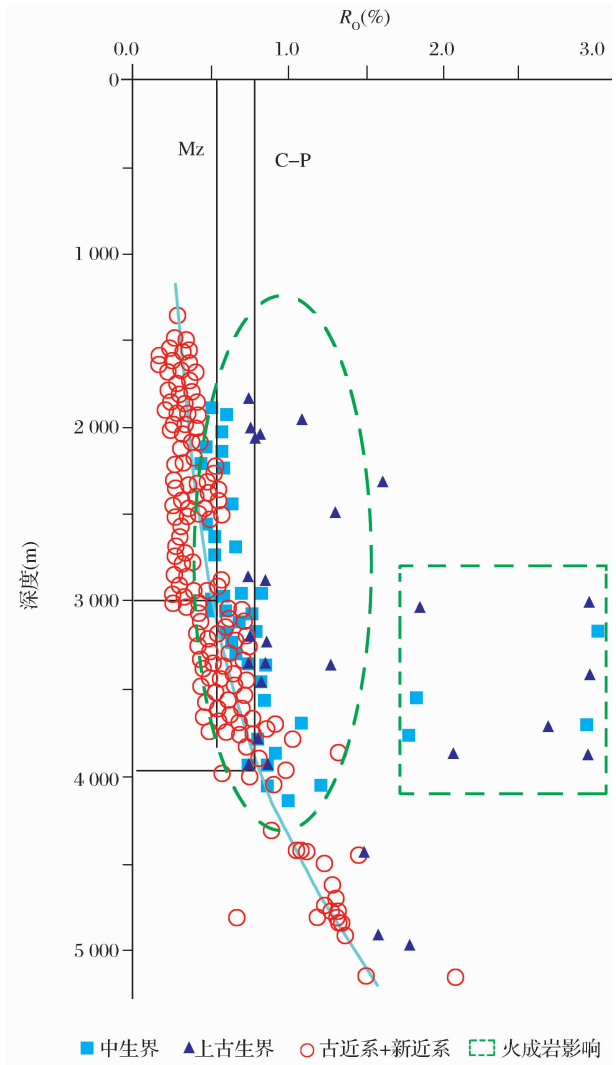
图 3 孤北潜山中古生界煤系烃源岩生烃—埋藏史

燕山期,郯庐断裂带呈现正断层兼右行走滑,早、中侏罗世济阳拗陷区经历了一个较长时期的截

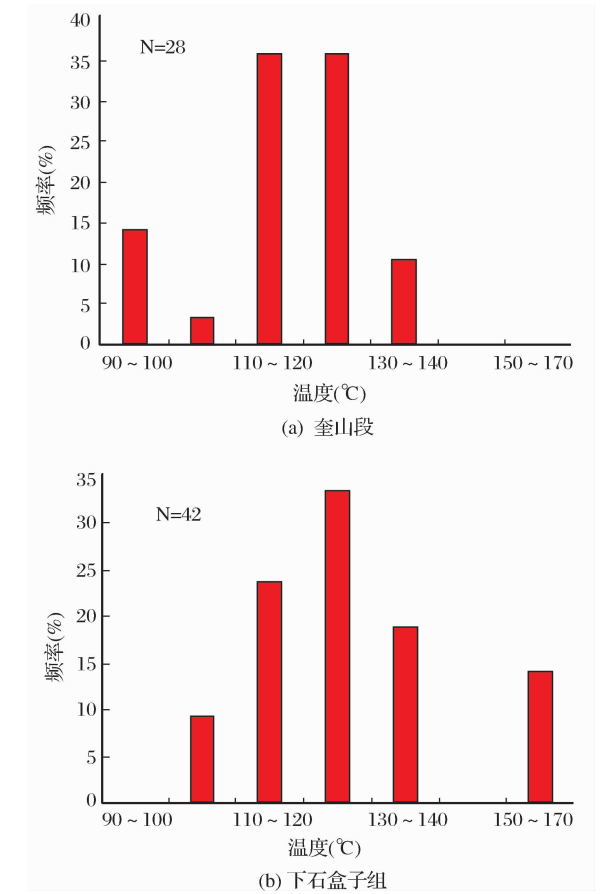
凸填凹、填平补齐的过程,晚三叠世挤压逆冲断层和褶皱所造成的研究区地势高低起伏,此时被剥蚀

均夷,石炭—二叠系烃源岩埋深加大。晚侏罗世—白垩纪,研究区进入裂谷型充填沉积阶段,石炭—二叠系烃源岩最大埋深可达 2 500~3 000 m,除了埋深因素外,燕山期岩浆、火山及其派生的高温热液对流、变质作用,导致古地温梯度、古地表温度值均明显加大^[20-21],使石炭—二叠系烃源岩再次成熟生烃, R_o 值在 0.7%~0.9% 左右,而中生界煤系烃源岩此时镜质体反射率(R_o)仅为 0.5% 左右,尚未进入生烃阶段(图 3)。

晚白垩世,构造环境由拉张逐渐向挤压转化,导致本区隆升,地层遭受剥蚀,生烃过程再次停滞。从孤北潜山带中生界和上古生界岩石样品镜质体反射率与深度的关系图中,清晰的反应二者在浅部位的 R_o 值均高于古近系岩石样品,而二者在同一深度具有相同的 R_o 值(图 4),表明这些地区石炭—二叠系和中生界煤系烃源岩经过了相同的生烃演化过程。



喜马拉雅期,受郯庐断裂带右旋走滑构造运动的影响,在区域扭张应力的作用下,形成了一系列北东向、近东西向拉张断层,孤北断层、埕南—埕东断层均是这一时期的产物。这些断层的相向切割使孤北低潜山前古近系整体下沉,接受厚约 800~1 500 m 的古近系沉积,上古生界气源岩埋深约 3 000~4 500 m, R_o 值在 0.8%~1.1% 之间,较深部位的石炭—二叠系烃源岩再次生烃,中生界煤系烃源岩埋深 3 000 m 左右,进入生烃阶段, R_o 值大致在 0.6%~0.7% 之间。始新世末的东营运动使渤海湾盆地整体抬升,经历了约 10 Ma 的风化剥蚀,石炭—二叠系和中生界煤系烃源岩生烃停止。到新近纪,研究区进入了拗陷阶段,基本连续沉积了 2 000 m 以上的馆陶组、明化镇组和第四系,巨大的沉降沉积使石炭—二叠系气源岩埋深均大于 3 500 m,最深达 5 600 m, R_o 值在 1.3%~1.9% 之间,发生再次生烃;此时中生界埋深可达 3 000~4 500 m, R_o 值可达 1.0%~1.3% 左右,也发生再次生烃。



根据上述分析,石炭—二叠煤系烃源岩经历了 4 次生烃过程,其中晚侏罗世—早白垩世和新生代的 2 次生烃作用比较重要,而中生界主要经历了喜

马拉雅期的2次生烃作用。从孤北地区不同层位镜质体反射率随深度变化的关系可以看出石炭—二叠系烃源岩与古近系烃源岩在3 900~4 000 m之间变化规律达到一致(图4),由此推测石炭—二叠系煤系烃源岩喜马拉雅期再次生烃的门限深度在4 000 m以上,而中生界在3 000~3 100 m之间到达二次生烃门限。从平面上看,孤北潜山煤系烃源岩主要有利生气区位于北部地区。

4 煤成气成藏过程分析

确定油气成藏时期的方法较多,目前应用烃类流体包裹体资料分析油气成藏时间和成藏条件是石油地质学和地球化学的一个重要发展方向,在油气成藏过程和流体注入时间研究中,有机包裹体分析已经成为不可缺少的资料^[22-24]。

孤北潜山带二叠系石英砂岩中有机包裹体主要分布在石英颗粒内溶蚀缝和溶蚀孔隙中,石英次生加大边中能见到有机包裹体,但个体很小,数量较少。有机包裹体以气—水两相为主,其次是气—液两相。由孤北地区石炭—二叠系砂岩的烃类包裹体均一温度频率分布图(图5)可以看出,上二叠统砂岩储层中有机包裹体均一温度基本上分布在90~100℃、106~140℃和150~170℃以上3个温度段,且不同储层中流体包裹体均一温度主峰不同,上部奎山段存在90~100℃和106~140℃两期,而下部的下石盒子组储集层中存在106~140℃和150~170℃两期,表明2套储集层煤成气的成藏过程具有一定差异,将包裹体均一温度分布与烃源岩生烃—埋藏结合可看出(图3),这3个温度段和对应的镜质组反射率值与研究区印支期、燕山期和喜马拉雅期4次主要生烃期的古地温和源岩达到的有机质成熟度是相对应的。其中第一期(90~100℃)对应的镜质组反射率(R_o)为0.6%~0.7%,主要发生于印支期末期;第二期(100~140℃)对应的镜质组反射率(R_o)为0.8%~1.2%,对应于2个不同时期的油气充注:燕山期末期及始新世末期的东营运动;第三期(150~170℃)对应的镜质组反射率(R_o)为1.3%~2.0%,主要发生于新近纪之后。孤北潜山探井二叠系砂岩样品中的包裹体均一测温反映的3期油气包裹体分别表明在印支期、燕山期和喜马拉雅期晚期均有过油气运移。

孤北潜山带经历了印支期挤压逆断、燕山期拉张断陷、燕山期—喜马拉雅早期挤压转拉张3个大的构造演化阶段而基本定型。根据孤北潜山带石

炭—二叠系及中生界煤系烃源岩的生烃—埋藏史分析,在空间上迭置交叉、在时间上连续发展有4次油气充注(图3)。

第一次油气充注为印支期末期,石炭—二叠系烃源岩进入生烃演化阶段,据生烃动力学计算石炭—二叠系有机质成熟度 R_o 值仅为0.60%,古地温为91~97℃,有机质甲烷的转化率仅为1.16%~1.45%,流体包裹体测试显示该期存在90~100℃均一温度,表明在石炭—二叠系存在其自身生成的早期油气的运聚成藏过程,此时由于地壳抬升导致盆地内地层压力的降低是油气从烃源岩中排出的主要因素,但由于后期构造运动改造,可能发生大量散失,形成工业性气藏的可能性较小。

第二期油气充注在白垩纪末,石炭—二叠系煤系烃源岩有机质成熟度 R_o 值仅为0.7%~0.9%,有机质甲烷的转化率仅为7.73%~9.78%,古地温在102~138℃左右,对应于储层流体包裹体均一化温度的第二期(100~140℃);而中生界煤系烃源岩有机质成熟度 R_o 值仅为0.51%,有机质甲烷的转化率不到1%,古地温最高为88℃。本时期,地壳的抬升,使盆地内地层压力降低,打破原有油气藏及源岩吸附烃的压力平衡,源自石炭—二叠系烃源岩的成熟油气由高势区向低势区运移至二叠系砂岩中,上二叠统的杂色泥岩为盖层,石炭—二叠系地层生、排、运、圈在时空上构成了一个完整的含油气系统,形成石炭—二叠系地层中自生自储式油气藏,尽管这类油气藏目前没能发现,但理论上是存在的,虽然后期构造运动的改造和后期油气运聚的叠加掩盖,证实属于该类油气藏的可能性小,但从中给出一个很重要的依据,即石炭—二叠系的确已经生烃并可形成油气聚集。

第三期油气充注高峰在古近纪,构造断裂活动较强烈,石炭—二叠系埋深较大,石炭—二叠系煤系烃源岩有机质成熟度 R_o 值为0.83%~1.12%,古地温在123~143℃之间,有机质甲烷的转化率由7.73%~9.78%升高到21.05%~21.46%,已具备大量排烃的条件;而中生界煤系烃源岩有机质成熟度 R_o 值在0.6%~0.7%之间,有机质生成甲烷转化率为1%,古地温在100~104℃之间,排烃能力较弱。此时,通过构造运动形成的断层开启,主要源自石炭—二叠系煤系烃源岩的煤成气通过断层运移至邻近储层聚集成藏,且有可能进入新生代聚集成藏,从而形成自生自储和下生上储的油气藏,对应于储层流体包裹体均一化温度的第二期(100~140℃)。

特别是距今 25 Ma 前后,古近纪东营运动末期,盆地在挤压的构造背景下,地壳再次抬升,盆地内压力减小,使石炭—二叠系烃源岩二次生成的大量成熟—高过熟的油气以及古油气藏由于构造运动的破坏而排出的油气经有利的运移通道(断层或不整合面)由高势区向低势区运移,进入相邻储集层的圈闭,形成煤成气藏。生、排、运、圈在时空上形成第二个完整的含油气系统。

第四期油气充注为馆陶组沉积以后,北部地区石炭—二叠系埋深较大,地温升高,石炭—二叠系有机质现今成熟度 R_o 值为 1.81%,处于高演化阶段后期,最高地温在 178℃ 左右,有机质甲烷的转化率仅为 31.67%~48.03%,对应于储层流体包裹体均一化温度的第三期(150~170℃);中生界煤系烃源岩有机质成熟度在 1.0%~1.3% 之间,进入成熟后期,有机质生成甲烷转化率为 1%,古地温为 130~150℃,有机质生成甲烷转化率为 15%,也具备了生成一定量烃类的条件。此时,石炭—二叠系和中生界煤系烃源岩可叠合生成大量煤成气,而埕南断层、埕东断层、孤北断层的适时停止活动,疏导系统趋于消亡,难以运移至中、浅层成藏,下古生界顶部风化壳作为良好的油气运移通道和储集空间,加上油气固有的易流动性及构造运动的复杂性,使石炭—二叠系煤系烃源岩和下古生界碳酸盐岩生成的油气之间的运移、扩散和渗透成为可能,从而近距离聚集在二叠系砂岩储层和深层奥陶系顶面风化壳之中,形成气藏。此期为孤北潜山带主要的成藏时期。

综上所述,孤北地区煤成气具备多次成藏的条件,石炭—二叠系煤系烃源岩生排烃时间和地壳的构造运动是煤成气成藏的主控因素。从石炭—二叠系和中生界煤系烃源岩的埋藏史及生烃史来看,石炭—二叠系煤系烃源岩在印支期表征成熟度的参数 R_o 值为 0.6%~0.8%,不具备生成孤北潜山带成熟度 R_o 值为 1.2%~1.8% 的煤成气,只有在中生代燕山期之后才具备生成条件,而中生界煤系烃源岩仅在馆陶组沉积以后才具备生成此成熟度的煤成气。因此,孤北潜山带煤成气藏可能有 2 种成因,一是喜马拉雅期被破坏的气藏再次聚集形成的气藏;二是由北部埋藏深度大于 4 000 m 范围内的石炭—二叠系和中生界煤系烃源岩在新近系再次生烃运移至孤北古 1 井、义 155 井圈闭中形成的气藏。国内外勘探实践表明,主生气期越晚,主生气期与主成藏期匹配越好,越具有成藏后优良的保存条件^[25]。孤

北潜山带煤成气于馆陶时期开始大量生成,在这以后的地史时期,构造活动微弱,天然气沿断层垂向运移受到很大限制,同时受砂体尖灭和断层的遮挡作用,使得天然气容易在生烃中心附近的圈闭中富集,即具有近源富集的特点,而目前所发现的煤成气井也均分布在煤成气有利气源区,今后煤成气勘探的重点也应该放在孤北潜山带北部地区。

5 结论

(1)孤北潜山带煤成气藏主要分布于第二排山、第三排山北部远离孤北断层地区及第四排山,在第二排山、第三排山南部靠近孤北断层地区主要为油型气与煤成气的混合气,煤成气源主要为石炭—二叠系煤系烃源岩,中生界煤系烃源岩也具有一定的贡献。

(2)石炭—二叠系煤系烃源岩经历了 4 次生烃过程,燕山期和喜马拉雅期是主要生烃期,中生界煤系烃源岩生烃期主要为喜马拉雅期。

(3)孤北潜山带煤成气藏有 2 种成因,一是原生气藏在喜马拉雅期被破坏后再次聚集而成;二是喜马拉雅期埋藏较深的石炭—二叠系及中生界煤系烃源岩再次生烃形成,其中第二种成因的煤成气是目前孤北潜山带天然气勘探的重点。

参考文献:

- [1] 戴金星,秦胜飞,陶士振,等. 中国天然气工业发展趋势和天然气地质学理论重要进展[J]. 天然气地球科学, 2005, 1(2): 127-142.
- [2] 戴金星,戚厚发,王少昌,等. 我国煤系的气油地球化学特征[M]//煤成气藏形成条件及资源评价. 北京:石油工业出版社, 2001.
- [3] 宋岩,赵文智,夏新宇. 论我国天然气勘探方向的转移[J]. 天然气工业, 2000, 20(2): 327.
- [4] 戴金星,宋岩,张厚福. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京:科学出版社, 1997.
- [5] 戴金星,邹才能,陶士振,等. 中国大气田形成条件和主控因素[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(4): 473-484.
- [6] 戴金星. 中国煤成气潜在区[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 641-646.
- [7] 桑树勋,陈世悦,刘焕杰. 华北晚古生代成煤环境与成煤样式多样性研究[J]. 地质科学, 2001, 36(2): 212-220.
- [8] 陈世悦,徐凤银,刘焕杰. 华北晚古生代层序地层与聚煤规律[M]. 东营:石油大学出版社, 2000: 132-136.
- [9] 尹长河,陈洁,孙锡文,等. 渤海洼陷孤西深洼带的煤成气[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 42-44.
- [10] 闵敏,郑油路,万丛礼,等. 沾化凹陷孤北潜山带煤成气成藏

规律研究[J]. 钻采工艺, 2006, 29(2): 118-120.

[11] 李红梅. 孤北斜坡带煤成气成藏条件分析[J]. 天然气工业, 2006, 26(2): 23-25.

[12] 彭传圣. 济阳拗陷孤北低潜山煤成气成藏条件及特征[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(4): 670-676.

[13] Schoeu M. Genetic characterization of natural gases [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(12): 2225-2238.

[14] 戴金星,裴锡古,戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.

[15] 徐永昌. 天然气成因理论及应用[M]. 北京:科学出版社, 1994.

[16] 张林晔. 济阳拗陷天然气的判识标志[J]. 石油实验地质, 1991, 13(4): 355-368.

[17] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营:石油大学出版社, 1992:5-9,122-127.

[18] 张渝昌,张荷,孙肇才,等. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京:南京大学出版社. 1997:61-63.

[19] 朱炎铭,秦勇,范炳恒,等. 渤海湾盆地三叠系沉积厚度恢复及其意义[J]. 中国矿业大学学报, 2001,30(2):195-200.

[20] 李万胜. 华北晚古生代煤层变质成因探讨[J]. 中国煤田地质, 1996,8(3):18-25.

[21] 杨绪充. 济阳拗陷中新生代古地温分析[J]. 石油大学学报:自然科学版,1988,12(3):23-33.

[22] 覃建雄. 矿物流体包裹体研究在油气资源评价和油气勘探远景的应用[J]. 地质科技情报,1993,12(1):47-52.

[23] 柳少波,顾家裕. 包裹体在石油地质中的应用与问题讨论[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):326-341.

[24] 黄志龙,燕烈灿,冷胜荣. 吐哈盆地鄯善油田侏罗系储集层流体包裹体特征及成藏过程[J]. 中国海上油气:地质,1999,13(6):416-420.

[25] 王庭斌. 中国大中型气田分布的地质特征及主控因素[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):1-6.

Analysis of Accumulation Process of Coal-Formed Gas
in Gubei Buried Hill of Jiyang Depression

ZHANG Shan-wen¹, ZHANG Lin-ye², LI Zheng²

(1. Shengli Oil field Branch Company, China Petroleum & Chemical Corp., Dongying 257001, China;

2. Geology Scientific Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying 257015, China)

Abstract: According to the compositions, carbon homolog isotope and light hydrocarbon parameters of natural gas in the Gubei buried-hill of Jiyang depression, we conclude that the coal-formed gases are mainly from Carboniferous-Permian coal measures as the source rock, and the Mesozoic coal measures do some part of contribution. Furthermore, the coal-formed gases are mainly preserved in the fourth row of buried-hills, as well as the north of second and third rows of buried-hills which are far away from the Gubei-fault. After identification of the coal-formed gases' source, homogenization temperature of the fluid inclusion, as well as hydrocarbon generation kinetics, history of hydrocarbon generation and sedimentation of the source rocks, the conclusion is that there are four periods in hydrocarbon generation of Carboniferous-Permian source rocks, among which the Yanshan period and Xishan period are the main periods, and the late Xishan period is the main period for the Mesozoic hydrocarbon source rocks. Also, there are two types of coal-formed gas pools in this area, one is the secondary gas pool formed after the primary pool of Carboniferous-Permian system, which is destroyed during the Xishan period, the other is that after the secondary hydrocarbon generation of the deep Carboniferous-Permian and Mesozoic coal measure source rocks in the later Tertiary period, among which the second type will be favorable in the natural gas exploration in this area.

Key words: Gubei buried hill; Coal-formed gas; Carbon isotope; Hydrocarbon-generation and sedimentation; Accumulation process.