

苏北盆地古生界天然气勘探前景^{*}

饶丹^{1,2} 贾存善² 邱蕴玉² 肖清华²

(1. 成都理工大学能源学院 2. 中国石化勘探开发研究院无锡石油地质研究所)

饶丹等. 苏北盆地古生界天然气勘探前景. 天然气工业, 2006, 26(4): 1-4.

摘要 通过分析苏北盆地海相原型盆地改造史及海相烃源岩、海相油气演化史, 系统研究了盆地地腹现今海相层构造格局及地层展布状况, 认识到苏北盆地海相古生界有效烃源岩具有席片状分布、分割、重叠、不连续、晚期二次生烃、垂向远距离运移等特色, 并据此进一步对苏北盆地海相有效烃源岩进行评价, 指出由于苏北盆地具碎而小的特点及海相地层多遭改造的经历, 未来的气田发现规模将以中小型居多。

主题词 苏北盆地 海相 古生代 逆冲席片 二次生烃 勘探前景

苏北盆地盐城凹陷朱家墩海相为主混源气田的发现, 揭示了苏北盆地腹地存在古生界有效烃源供源的现实性^[1-2]。苏北古生界地层演化曾受特提斯域和太平洋域双重控制, 地史期构造格局及地层展布几经强烈改造已面目全非^[3]。笔者改变研究思路, 将古生界原型盆地的改造与现今上覆中、新生代残留盆地作为统一体对待, 分析苏北古生界原型盆地改造史及油气演化史, 系统研究现今古生界构造格局及地层展布状况, 然后综合评价其勘探前景。

一、古生界盆地油气演化史

(1) 加里东晚幕(D/S)改造强度略弱于中上扬子区。随地块南北两侧下古生界被动大陆边缘海盆地回返消亡, 在现今苏北盆地金湖、高邮、溱潼、白驹主体部位出现了一个呈NEE向西高东低的大型古隆起, 古隆起大部分剥露中志留统一上志留统下部。该古隆起成为加里东期下扬子南北两侧 $\epsilon_1 m$ 主力烃源岩油气运移的指向部位, 已为苏北盆地地腹迄今所发现该期Zb、 ϵ_{2+3} 、O₂、S₂₋₃诸层位储层沥青层所证实。

(2) 印支主幕(T₃/T₂)是下扬子海相中—古生界双向对冲逆冲推覆构造形变的奠基期。下扬子地块于晚三叠世发生楔入拼贴事件的初始沉积范家塘组—象山群(T₃—J₁₊₂), 西部收敛于山前的宿松、全椒一线, 发育冲积扇碎屑岩沉积, 向东北逐渐过渡为河湖相碎屑岩, 已普遍呈不整合叠覆于以震旦系底

与前震旦系变质岩顶为主要滑脱面、呈双向对冲逆冲推覆同斜褶皱的海相中—古生界之上, 受楔入体两侧边界条件及地块加里东晚幕NEE向大型古隆起古构造格局所控制。

(3) 燕山中幕(J₃—K₁/J₁₋₂)是下扬子地块海相层双向对冲逆冲推覆构造形变的增强与复杂化期。早中侏罗世末, 下扬子地块与华北板块、扬子板块由楔入拼贴转入强烈的陆—陆碰撞, 并叠加大规模的左旋走滑, 地块南北边缘分别插入华北板块与江南造山带之下, 北部鲁苏隆起及南部江南隆起发生大规模基底拆离, 其隆升剥蚀幅度达8~10 km, 地块内部受波及, 海相层上覆T₃—J₁₊₂前陆盆地沉积, 大部被剥蚀, 仅在局部地区残留。随着挤压强度的继续加大, 印支主幕形成的逆冲滑脱同斜褶皱进一步被压缩、推挤、剪切、残留的下、中侏罗统被卷入, 普遍发生了下古生界逆冲到上古生界之上, 上古生界逆冲到下三叠统之上的冲断推覆, 同斜逆冲席片成为逆冲推覆构造的主要形变样式, 并沿主滑脱面强烈上冲形成由Z—O或S—D地层组成的逆冲“前锋带”, 构成期后伸展盆地中“低凸”的基础, 不仅成为苏北盆地海相结构层泄压的“天窗部位”, 导致本期新形成油气藏及前期幸免于难的油气藏的强烈破坏, 已为迄今发现该期的J₁₋₂、P₂ l、T₁₊₂的储层沥青所证实。同时还肢解了盆地地腹全部的原生与次生的主力烃源岩的展布, 形成分割、缺失或重叠格局。

(4) 晚侏罗—早白垩世(J₃—K₁)火山岩盆地上

^{*} 本成果为中国石化集团公司科技项目(P00002)。

作者简介: 饶丹, 女, 1966年生, 高级工程师; 主要从事油气地质地球化学研究。地址: (214151) 江苏省无锡市 916 信箱。电话: (0510) 3206299。E-mail: raodan525@sina.com

叠改造期。晚侏罗—早白垩世下扬子地块构造应力场转为区域性水平挤压背景下的局部拉张,火山活动的应力场性质属挤压后的松弛,具弱拉张特点,表现为火山岩盆地分布具局限性、发育强度具不均匀性,主要是受切慢深断裂控制,导致断裂带两侧逆冲席片的错位,北盘逐级系统西移,表现为后期伸展盆地大量凸起与凹陷普遍错位。

(5)燕山晚幕(K_2/K_1)是下扬子地块对冲逆冲席片构造的最终定型期。早白垩世末,下扬子地块再次遭受区域性水平挤压,导致逆冲席片更加紧密,海相层的推挤更加剧烈。燕山晚幕后,库拉—太平洋板块的俯冲方向由先期的NNW向转向NW,构造应力场由先期的左旋走滑转向右旋拉分,下扬子地块构造应力场发生重大变革,开始了伸展盆地发育的历史。

(6)上白垩统(K_2)区域性伸展盆地上叠改造期。晚白垩世初,当下扬子地块区域构造应力场转向右旋拉分之初,与中国东部地区相同,曾遭受大面积的隆升剥蚀和夷平作用,表现为浦口组广泛超覆不整合于Z— K_1g 地层之上,其沉积特征总体属于干旱气候条件下的河湖相含膏盐红色碎屑岩沉积,分割不明显,岩性稳定。 K_2p 盆地性质具断控、广盆、浅湖、红盆特征。

(7)古新世(E_t-E_f)区域性水下断陷盆地及始新世(E_d-E_s)断陷盆地上叠改造期。晚白垩世发生的仪征运动,下扬子进入了强烈拉张快速沉降阶段,受NW向平移断层所控制,苏皖南分别发育北断南超、南断北超单断型凹陷;大量钻井资料证实, E_t-E_f 总体为广盆型河湖相沉积^[4],物源来自西北部张八岭—鲁苏隆起和西南部天长—扬州地区,控凹断裂对沉积厚度具控制作用,对沉积相控制不明显。

发生于古新世末的吴堡运动(E_d/E_f),大大的改变了苏北盆地古新世的沉积格局,主要表现在沿盆地中部的淮阴—兴化—荡参1井—牌参1井—海安NW向平移大断裂东西两侧发生了区域性断块升降和沿各凹陷低凸或凸起部位所发生局部性的断块升降,导致了苏北盆地下第三系东、西向和南北向的明显分异。

发生于距今40~23 Ma的喜山中幕三垛运动(N_y/E_s),是苏北盆地海相地层晚期成油气史上的一次重大事件,经历了印支—燕山剧烈形变改造,处开启环境而大部分已失效的海相原生、次生烃源岩,终于在4000~6500 m厚的 K_2-E 区域性盖层之下,进入“二次生烃”阶段,转化为有效烃源岩,下古

生界有效烃源岩(含储层沥青)进入高熟气—裂解气供气阶段,上古生界有效烃源岩恢复或进入凝析油、气—原油供油阶段,油气普遍具混源特征,三垛运动的性质以断块升降活动为主,为本期油气运聚提供了以垂向为主的运聚通道及聚集场所。然而运动高潮导致盆地各凹陷低凸部位局部性隆升剥蚀,为本期油气带来局部性破坏,已为迄今所发现广泛分布于低凸部位及盆地南北缘及盆地中部建湖隆起一批白垩系储层沥青,如,获5(K_2p^{3-4}),苏103、129、127(K_2p^1)和广泛分布于上述地区印支—燕山不整合面上下层位褐黑色重质油苗和天然气显示所证实。

(8)中、上新世(N_y)坳陷型盆地上叠改造期。23 Ma喜山中幕运动后,苏北盆地由强烈断陷转入相对稳定的坳陷型盆地发育阶段,其沉积特征属广盆型浅湖—河流相沉积,沉积厚度1000~2000 m,西薄东厚,除金湖、涟—阜凹陷外,其余主凹陷的深凹部位均在1000 m以上,最厚为海安凹陷可达1994 m(安24井),中、上新世(N_y)盆地的叠覆,进一步促进了苏北盆地海相烃源岩的“二次生烃”普遍以产出天然气为主要相态的演化进程。

发生于距今10~5 Ma的喜山晚幕东台运动,是苏北盆地海相晚期成气史上又一次重要事件,盐城朱家墩气田、黄桥含烃 CO_2 气田、及苏南句容 P_2-T_1q 残留轻质油气流均由此期形成。

二、古生界有效烃源岩评价

(1)“晚期二次生烃”是苏北盆地现今海相古生界有效烃源岩的特色之一。系指苏北盆地各地史成藏期多套一次生烃的主力烃源岩(ϵ_1m 、 S_1g^1 、 P_1)及各成藏期形成的众多油气藏,因遭形变、氧化、改造后失效或残留,但未达死亡终极者,被重新埋藏并超过地史期最大埋藏深度,再次进入生烃或热裂解供烃,恢复其供源的有效性。

(2)“分割、重叠、不连续性且被局限于逆冲席片”是苏北盆地现今海相古生界有效烃源岩的特色之二。苏北盆地海相原型盆地几经多次剧烈形变改造已面目全非^[5],而代之以逆冲推覆席片为其主要形变样式,导致烃源岩的原始展布状态或被分割、或被重叠,各席片间为主逆冲断裂所阻隔,大大的影响了其供源范围及连续性。

(3)“被局限于 K_2-E 埋藏深度大于5000 m的深凹区”是苏北盆地现今海相古生界有效烃源岩的特色之三。据迄今获得的苏北盆地海相古生界主力

烃源岩现今反射率数据统计及苏北盆地代表性深凹带海相层埋藏史图(图 1),由图可见,加里东成藏期主力烃源岩 $\epsilon_1 m$ 的最大埋藏深度可达 3500 m,加里东晚幕隆升高潮时,剥露中志留统,使其埋深回升至 3200 m 左右;印支成藏期主力烃源岩 $S_1 g^1$ 最大埋深达 3200 m,下伏非主力烃源岩 $\epsilon_1 m$ 最大埋深达 5000 m,印支主幕的形变、隆升剥蚀改造,使 $S_1 g^1$ 与 $\epsilon_1 m$ 埋深分别回升至 0~2800 m 和 2200~3800 m; J_{1-2} 前陆盆地的叠覆,使早燕山成藏期的新主力烃源

岩 $P_1 q$ 进入生烃门限供烃,并使加里东、印支两期的主力烃源岩 $S_1 g^1$ 、 $\epsilon_1 m$ 超过其地史最大埋深恢复其供烃能力,但为时不久, J_{1+2} 遭大面积剥蚀,紧接燕山中幕形变改造及隆升剥蚀又使上述海相地史期烃源岩($P_1 q$ 、 $S_1 g$ 、 $\epsilon_1 m$)的埋深普遍回升至 0~4500 m 深度,丧失供烃能力,直至 K_2 — E 伸展盆地的叠覆,才使上述地史期的原生烃源岩及次生烃源岩超过地史最大埋深 5000 m,进入“二次生烃”阶段,成为喜山成藏期的有效烃源岩。

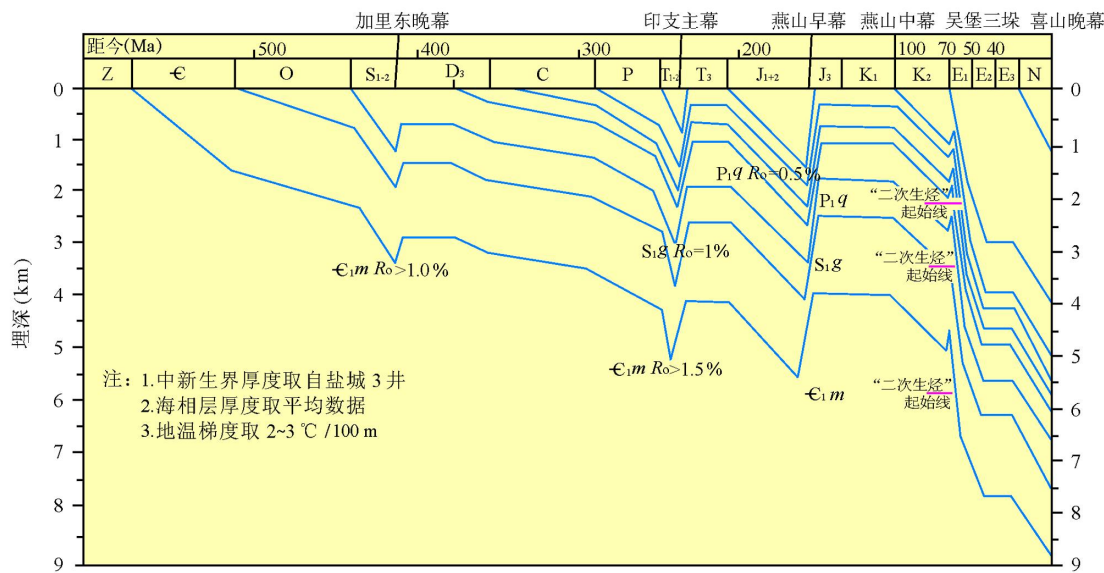


图 1 苏北盆地盐城凹陷深凹带海相层埋藏史

(4) 以“穿切海相层及印支—燕山面的控凹深断裂”所控制的垂向远距运移供烃是苏北盆地现今海相有效烃源岩(区)的特色之四。

据盐城朱家墩气田及黄桥 CO₂ 含烃气田的成藏特征分析,其天然气运移的通道主要沿喜山期活化、具多期活动特点的控凹深断裂及其网络系统进行,以垂向运移为主,辅以有条件(与主断裂连通)的侧向运移(指不整合面及孔隙型储层),在海相层形变改造最终定型于同斜逆冲席片的条件下,海相烃源岩“二次生烃”供烃范围一般不跨越各主逆冲席,因此在平面上多具近源特征,在垂向上因有多套烃源岩(含储层沥青等次生烃源岩)供烃,故多具混源特征。

综合上述 4 点,把苏北盆地现今海相古生界有效烃源岩(区)的分布、有效烃源岩的丰度、潜力、成熟度各项参数及其评价综述于下。

I₁ 区块:盐城南洋次凹深凹带,属已知区,朱家墩气田即位于此。

印支—燕山面现今埋深大于 5000 m 的有效供烃面积为 190 km²。有效烃源岩层位有 $P_1 q$ 暗色含泥质灰岩、 $S_1 g^1$ 和 $\epsilon_1 m$ 黑色泥岩,原生型烃源岩有机质丰度^[6](C%)分别为 0.3~0.4、1.13、1.09~3.3,现今生烃潜量($S_1 + S_2$)分别为 0.06、1.13、2.46 mg/g(碳),有机质类型分别为 II₁ 型与 I 型,热演化程度 R_o 分别为小于 1.5%、1.8%~2.0%、2.4%~3.0%;累计有效烃源岩厚度 130~280 m。

I₂ 区块:溱潼凹陷深凹带,属半已知区,苏 115 井 E_d 海陆混源凝析油流分布于此区。

印支—燕山面 T_g^0 现今埋深大于 5000 m 的有效供烃面积为 350 km²、有效烃源岩层位有 $P_1 q$ 暗色含泥质灰岩、 $S_1 g^1$ 黑色泥岩、 $\epsilon_1 m$ 黑色泥岩,其有机质丰度(C%)分别为 0.25~0.4、1.2~1.3 及 2.26;现今生烃潜量($S_1 + S_2$)分别为 0.06、1.13、2.46 mg/g(碳);有机质类型分别为 II₁ 与 I 型,成熟度 R_o 分别达 1.2%~1.8%、大于 1.6%、2.5%,累计有效烃源岩厚度 130~180 m。

除此,据本凹陷东侧高断阶带 S111(J_1s)、苏 103、127、129(K_2p^1)、苏 145(P_2l)三个层位的含沥青砂岩、苏 146(P_1q)、苏 121(ϵ_1m)两个层位的含沥青灰岩、含沥青白云岩,皆属各地史成藏期所聚集的古油藏被氧化改造呈沥青残留,其储层有机质含量($C\%$)均超过非储层背景值数倍甚至一个数量级,可达 1.64~4.73,展示了深凹带有可能存在有储层沥青形式的次生烃源,在 K_2 —E 沉积厚度的叠覆增温下,亦可成为海相气源的供应者。

I₃ 区块:高邮凹陷深凹带,属半已知区,永 7 井 Ed 海陆混源凝析油及周 3 井海相干气分布区。

印支—燕山面现今埋深大于 5000 m 的有效供烃面积为 775 km²。有效烃源岩的层位有 P_1q 、 S_1g 、 ϵ_1m ,其有机碳百分含量分别为 0.25~0.4、1.2~1.3、2.26,现今生烃潜量分别为 0.06、1.13、2.46 mg/g(碳),有机质类型分别为 II₁ 与 I 型,成熟度 R_o 分别为 1.23%~1.84%、大于 1.59%、2.53%,累计有效烃源岩厚度 140~280 m。

据凹陷东侧断阶部位获 5 井所发现的 K_2p^{3-4} 含沥青砂岩及凹陷加里东、印支期所处 NE 向大型古隆起部位,在 ϵ_{2+3} 、 O_{1-2} 、 C_{2+3} 、 D_3 、 P_1 等储集性能较好的台地相碳酸盐岩,地史成藏期不乏有油气聚集过程,已发现真 51、许古 1、古参 1、获 4 井 O、 P_1 等多层位有机碳含量异常现象,推测也可能有储层沥青分布成为晚期成藏气源的供应层位。

I₄ 区块:金湖汜水次凹深凹带。

印支—燕山面现今埋深大于 5000 m 的有效供烃面积为 400 km²,有效烃源岩的层位有 P_1q 、 S_1g^1 、 ϵ_1m ,其有机碳含量($C\%$)分别为 0.30、1.2~1.3、5.3;现今生烃潜量 S_1+S_2 分别为 0.06、1.13 与 2.46 mg/g(碳),母质类型分别为 II₁、I 型,成熟度 R_o 分别为大于 1.3%、大于 1.6% 和 2.5%~3.49%,累计有效烃源岩厚度 130~280 m。

I₅ 区块:海安富安次凹深凹带,属半已知区,安 6 井海相干气显示分布于此区。

印支—燕山面现今埋深大于 5000 m 的有效供烃面积为 148 km²。有效烃源岩的层位有 P_2 — P_1q 、 P_1g 、 S_1g^1 、 ϵ_1m ,其有机碳含量分别为 1.77%~

6.32%、0.25%~0.37%、1.7%~2.1%、3.03%,现今生烃潜量 S_1+S_2 分别为 5.1~24.4、0.06、1.13 和 2.46 mg/g(碳),母质类型分别为 II—III、II₁、I 型,成熟度 R_o 分别为 0.95%、1.2%、1.46%~1.76%、2.0%~3.0%,累计有效烃源岩厚度 130~250 m。

评价级别为 II₁—II₆ 的凹陷深凹带,有盐城新洋次凹深凹带,金湖三河、汭涧次凹深凹带,海安曲塘、孙家洼、张灶次凹深凹带,白驹、时堰次凹深凹带共 8 个;与 I 级深凹带相比,它们的有效供烃面积一般均小于 100 km² 或有效烃源岩层位因地史的隆升剥蚀只剩下 ϵ_1m 一个层位,大大的影响了晚期有效的供烃丰度和规模。

三、结 论

苏北盆地古生界以找气为主,勘探新方向如下。

(1)避开凸起与斜坡,主攻主凹陷深凹带。

(2)勘探目的层层位,以寻找古生新储、古生中储为重点。

(3)找寻和研究连通海相烃源断裂的特征及其分布规律,未来的气田发现规模将以中小型居多。

参 考 文 献

- [1] 侯建国,陈安定,肖秋生,等.盐城天然气藏地质特征及其勘探意义[J].石油实验地质,2001,23(2):183-189.
- [2] 陈安定,王文军,岳克功,等.盐城朱家墩气田气源及发现意义[J].石油勘探与开发,2001,28(6):45-49.
- [3] 陈红,龚洪春,杨友胜,等.下扬子区海相油气成藏特征[J].江苏地质,2003,27(3):148-151.
- [4] 翟光明,等.中国石油地质志(卷八,苏浙皖闽油气区)[M].北京:石油工业出版社,1992.
- [5] 姚柏平,陆红,郭念发,等.论下扬子地区多期构造格局叠加及其油气地质意义[J].石油勘探与开发,1999,26(4):10-13.
- [6] 郭念发,郑绍贵.苏北盆地天然气成藏特征及选区评价[J].天然气工业,1999,19(3):6-14.

(收稿日期 2005-09-19 编辑 黄君权)