

下扬子下古生界沉积相研究及有利区评价

柴方园

(中国石化华东油气分公司勘探开发研究院, 江苏 南京 210011)

摘要:在系统收集露头、钻井资料基础上,开展了下扬子下古生界沉积相研究及有利区带评价。研究认为下古烃源岩发育的有利相为盆地相、陆棚相,其中晚震旦世分布于皖南、常州—上海地区,早寒武世分布于滁州盐城及石台—安吉,德兴—桐庐地区,早—中奥陶世分布于无锡—南山地区,早志留世分布于无为—南京、宁国—长兴地区;下古储层发育有利相为台地边缘相、局限台地浅滩相,晚震旦世分布于无锡—宜兴—东至、无为—泰州地区,中上寒武统分布于无锡—宜兴—东至、宁镇—巢县地区,早奥陶世分布于泾县—无锡、巢湖—泰州地区;下古盖层发育有利相带主要为早寒武世、早志留世盆地、陆棚相。下扬子下古生界可形成两套常规成藏组合,一是以震旦—早寒武世泥岩为生油岩,以震旦纪灯影组白云岩为储层,以早寒武世荷塘组泥岩为盖层的生储盖组合;二是以早寒武世荷塘组泥岩为生油岩,以中上寒武—奥陶系灰岩、白云岩为储层,以志留系下统高家边组泥岩为盖层的生储盖组合。综合评价出如皋—射阳地区及望江—溧阳地区是下古生界气藏勘探有利区。

关键词:下扬子;下古生界;沉积相;有利区

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Study on Paleozoic sedimentary facies and favorable area evaluation in lower Yangtze basin

Chai Fangyuan

(Research Institution of Exploration and Development, East China Company, SINOPEC, Nanjing, Jiangsu 210011, China)

Abstract: Based on the systematic collection of outcrop and drilling data, we evaluated the sedimentary facies of the lower Yangtze and the favorable zone. According to the researches, we found that the basin facies and the continental shelf facies were the favorable facies for the development of the hydrocarbon source rocks. Thereinto, in the upper Sinian, they were distributed in Wannan and Changzhou-Shanghai; in the lower Cambrian, they were in Chuzhou, Yancheng, Shitai-Anji and Dexing-Tonglu; in the lower-middle Ordovician, they were in Wuxi-Nanshan; in the lower Silurian, they were in Wuwei-Nanjing and Ningguo-Changxing. The favorable facies of lower ancient reservoirs were the marginal facies of the platform and the shallow facies of the restricted platform. Thereinto, in the upper Sinian, they were distributed in Wuxi-Yixing-Dongzhi and Wuwei-Taizhou; in the middle and upper Cambrian, they were in Wuxi-Yixing-Dongzhi and Ningzhen-Chaoxian; in the lower Ordovician, they were in Jingxian-Wuxi and Chao-hu-Taizhou. The favorable facies of the lower Paleozoic mainly included the lower Cambrian, lower Silurian basin and continental shelf facies. Two sets of conventional reservoir assemblages could form in the lower Paleozoic of the lower Yangtze. One was taking the mud rocks in Sinian-lower Cambrian as the source rocks, the dolomite in Dengying formation of Sinian as the reservoir, and the mud rocks in Hetang formation of lower Cambrian as the source-reservoir-cap rock group of cap rocks. The other was taking the mud rocks in Hetang formation of lower Cambrian as the source rocks, the limestone and dolomite in middle-upper Cambria-Ordovician as the reservoir, and the mud rocks in Gaojiabian formation of lower Silurian as the source-reservoir-cap rock group of cap rocks. After the comprehensive assessment, Rugao-Sheyang area and Wangjiang-Liyang area were the favorable area for gas reservoir exploration in lower Paleozoic.

Key words: lower Yangtze, lower Paleozoic, sedimentary facies, advantageous area

收稿日期:2018-07-17。

第一作者简介:柴方园(1988—),女,工程师,石油地质和油气勘探。

下扬子区是我国南方海相碳酸盐岩分布的重要地区之一,从晚震旦世至早三叠世长达亿年的海相沉积历史中,以碳酸盐岩为主的海相沉积面积达 $1.7\times 10^5\text{ km}^2$ 。全区共发现油气显示424处,具有良好的油气前景^[1-3]。但经过50多年的勘探,除在苏北新生界陆相地层及黄桥地区上古生界龙潭组获得工业油气流外,区内海相油气勘探迄今未获实质性突破。

近期上扬子地区在磨溪、高石梯龙王庙组、震旦系灯影组取得了重大突破,已探明安岳龙王庙组气田 $4.403\times 10^{12}\text{ m}^3$,有望获得超 $1.0\times 10^{13}\text{ m}^3$ 三级储量的大气田^[4-5],中石化获得北美之外的第一个页岩气商业发现——志留系焦石坝页岩气田。下扬子地区是否具备与上扬子下古生界相似的沉积条件,有利勘探区在哪,长期以来一直是地质学家关心的问题,在系统收集下扬子下古生界大量的露头、钻井资料,对下扬子下古生界沉积相进行系统分析基础上,利用成藏条件与沉积相的关系,对有利成藏相带进行了研究,对有利勘探区带进行了优选。

1 沉积背景

下扬子区经历了两大构造、沉积演化阶段:晋宁—加里东期北东向同生断层控制了下古生界沉积和构造格架,形成了两槽两台原型盆地格局。晋宁期—加里东期:发育江南、泰州—巢湖、马乌三条北东向同生断层,这三条同生断层控制了下古生界沉积和构造格架,形成了两槽两台原型盆地格局^[6-8],由北向南分别发育滁州—盐城盆地相区、南京—安庆台地相区、无锡—黄山盆地相区、余杭台地相区(图1),下扬子下古沉积就是在此盆地格局下沉积演化的。

2 沉积演化特征

晚震旦世灯影期以皖南为中心,发育盆地相的硅质岩,两侧的苏皖及浙西台地发育的以浅海台地及台地边缘相的砂—藻屑白云岩,各相带展布明显呈北东—南西向。自北向南依次可划分为滁州—金湖局限台地相、无为—泰州台地边缘滩相、皖南盆地相、常州—上海陆棚—斜坡相、杭州—开化台地边缘相、浙西台地相(图2)。

早寒武纪由于地壳拉张裂陷,受巢湖—泰州与贵池—常州两同沉积断层的影响,形成了两盆夹一

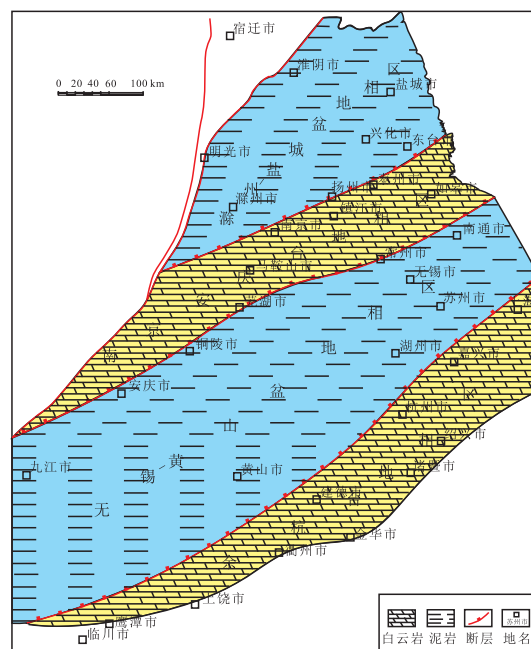


图1 下扬子震旦纪—中奥陶世沉积区划简图
Fig. 1 Geographic division of Sinian-middle Ordovician of lower Yangtze area

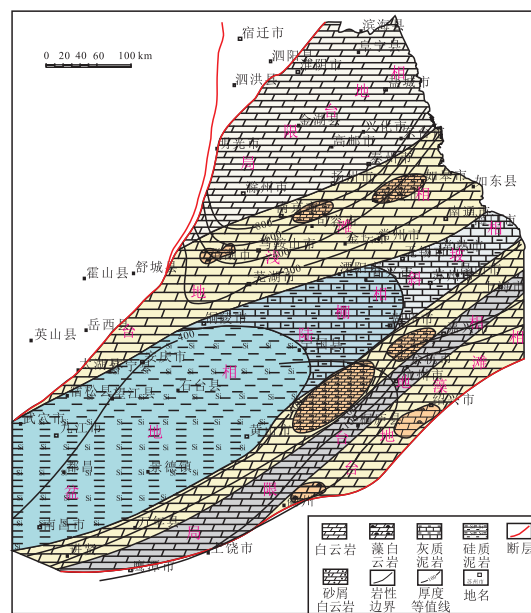


图2 晚震旦系灯影组沉积相
Fig. 2 Sedimentary facies in upper Sinian

台的构造格局,两断裂所限的地带相对抬升形成稳定的克拉通台地,在此两断裂相背的滁州—盐城,石台—安吉地区地壳下沉,在盆地南部、北部分别发育了2个拗拉槽,形成深水陆棚盆地。在此构造格局的影响下,导致下扬子早寒武世沉积发生分异,形成了盆地相、陆棚相、斜坡相、台地边缘相、局限台地相5种沉积相类型^[9](图3)。

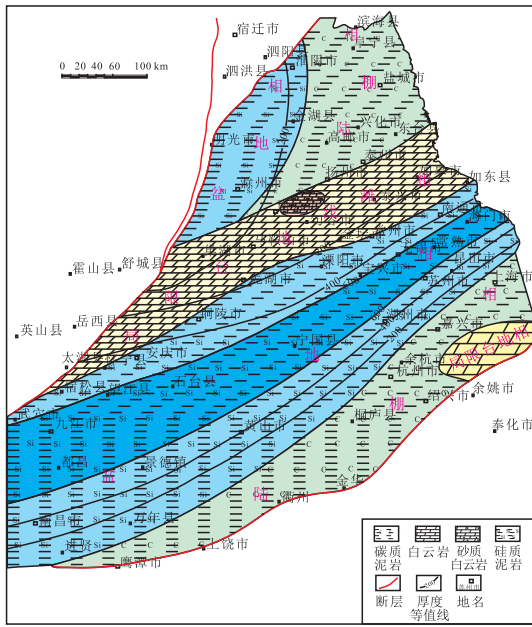


图3 早寒武世沉积相

Fig. 3 Sedimentary facies in lower Cambrian

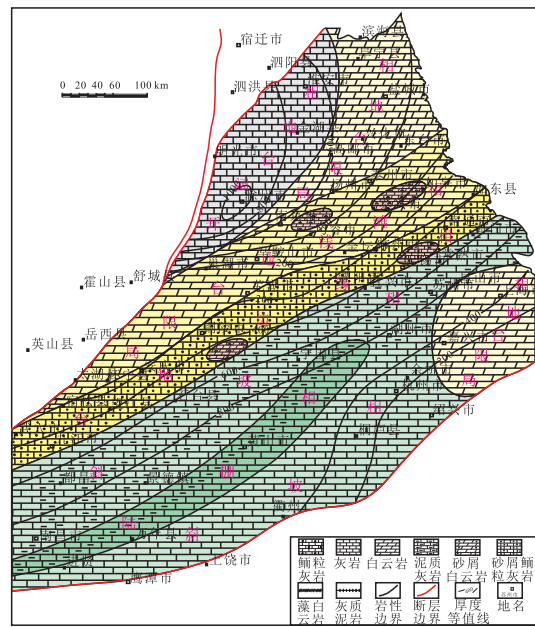


图4 晚寒武世沉积相

Fig. 4 Sedimentary facies in upper Cambrian

中寒武世在早寒武世海侵高峰之后,海水略有退却,除皖南、浙西部分地区为深色泥岩,仍保持了盆地相外,早寒武世盆地相区大部分转变为陆棚环境,以杨柳岗组的薄层灰岩与云质页岩互层为代表,而台地面貌与早寒武世相似。

晚寒武世继承了中寒武世的海退趋势,陆棚区逐步缩小,台地区逐步扩大。皖南、浙西的陆棚相华严寺组、西阳山组,生物仍以漂浮和游泳型三叶虫为主,岩性为灰质泥岩夹页岩,苏皖台地相区的观音台组为中及厚层状白云岩。滁县一带转化为台地相的泥质条带灰岩、灰岩及白云质灰岩(图4)。

早奥陶世为早古生代的第二次海侵高峰,出现以谭家桥组、宁国组(皖南)为代表的水平层理发育的笔石相泥页岩。沿皖南东至、石台、泾县一线北西侧,继承了晚寒武世的台地面貌,发育以底栖型介壳相碳酸盐沉积,在石台、泾县发育台地边缘相(图5)。

中奥陶世的海水进退程式,出现了较特殊的情况。皖南、浙西显示海退的迹象,即早奥陶世的盆地相在砚瓦山期发生海退,转变为陆棚相,沉积了泥质条带;而苏皖台地则从中奥陶世早期(庙坡期)却显示了较早奥陶世海水加深的海进迹象,到晚期出现大型游泳型为主的头足类为主的宝塔组。

晚奥陶世早期继承了中奥陶世的沉积面貌。但全区表现为短暂海退。岩性亦差异不大,为泥质灰

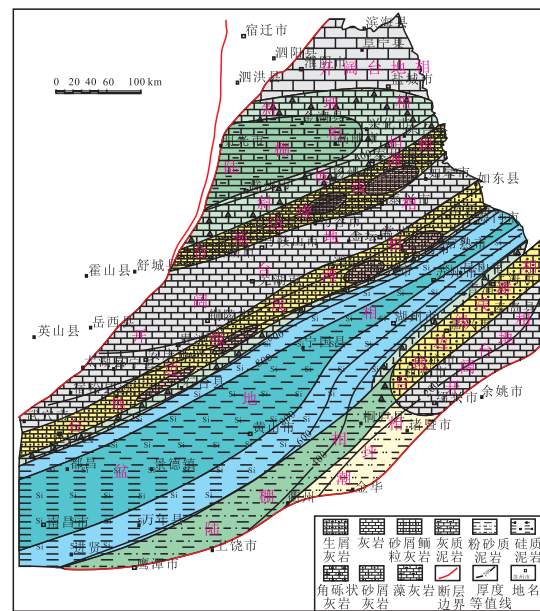


图5 下扬子区早奥陶世沉积相

Fig. 5 Sedimentary facies in lower Ordovician of lower Yangtze area

岩、瘤状泥灰岩。然而进入晚期(五峰期),全区经历早古生代的第三次海侵高峰。苏皖地区海水普遍加深,发育以五峰组为代表的硅质、碳质页岩,漂浮型的笔石生物群极为繁盛。浙西、皖南在晚期,地壳活动增加,快速堆积,强烈沉降,形成以浙西于潜组、皖南新岭组为代表的盆地浊流沉积。浊流的物源来自

南侧,很可能意味着华夏峰隆起已明显抬升。

早志留世初华夏古陆的西界大大向西扩展,直抵肖山、江山一线。因而浙西、皖南出现大规模海退,以致志留纪的地貌呈现向北西倾斜的形态,由东向西北方向依次出现后滨、前滨、临滨相,最后向陆棚相、盆地相过渡(图6),纵向亦呈现由细变粗的海退沉积序列,乃至发展到晚志留世的晚期。

志留纪末随着加里东运动的强烈抬升,海水最终从全区退出,结束了本区早古生代的海相沉积历史。

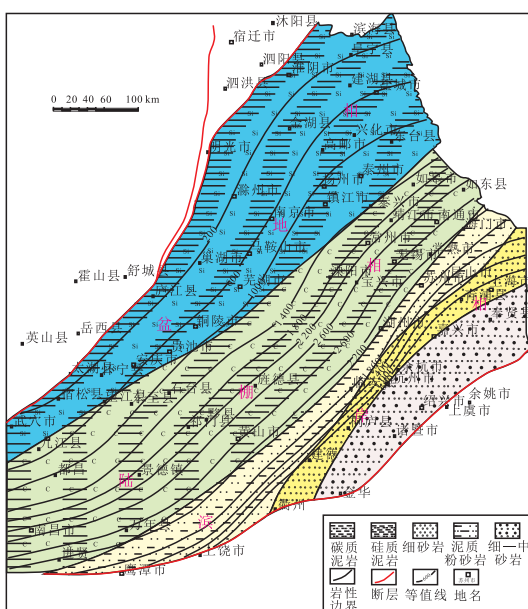


图6 下扬子区早志留世沉积相
Fig. 6 Sedimentary facies in lower Silurian of lower Yangtze area

3 有利成藏相带

从下扬子下古沉积演化来看,下扬子在早古生代经历了早寒武世、早奥陶世、晚奥陶—早志留世三次海浸及期间的多次海退过程,在海水不断升降过程中形成了有利烃源岩、储层及盖层的沉积相带。

3.1 有利烃源岩沉积相带

早寒武世、早志留世盆地、陆棚相分布区为下古最有利烃源岩沉积相带,其次为震旦世灯影组及早—中奥陶世盆地及陆棚相分布区。

1) 早寒武世盆地—陆棚相区

滁州—盐城盆地相:暗色泥页岩厚度在50~

250 m,其中来安—天长—高邮一带地区最厚,在200 m以上,向两侧逐渐减薄,南京幕府山剖面下寒武统下部为黑色碳质页岩与硅质页岩互层夹薄层硅质岩,厚108.9 m,N参1井黑灰色碳质页岩、灰质页岩厚44 m,苏121井钻遇荷塘组368 m,暗色泥页岩厚124 m,N2井荷塘组厚119.21 m,暗色泥页岩厚71 m。

安吉—石台地区盆地相:暗色泥页岩厚度在300~700 m,其中以东至—石台—太平—宁国一带最厚,向两侧逐渐减薄。东至县花山南沈家山剖面暗色泥页岩厚度625 m,石台丁香剖面岩性主要为黑色硅质页岩、碳质页岩及石煤,厚度641 m。

德兴—桐庐地区暗色泥页岩主要分布于开化—淳安—桐庐以北地区,厚度大于200 m。底本—临安一带最厚,一般大于300 m;常山—建德一带分布较薄,一般为100~200 m;东南兰溪—诸暨一带最薄,一般小于50 m,且大部分缺失^[10-11]。

2) 早志留系盆地相区

无为—南京盆地相区:主要包括安庆、贵池、巢湖、宁镇及苏北等广大区域,厚度小于1 000 m。该区高家边组上部为黄绿色、灰黄色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩,局部夹含砾含磷泥质粉砂岩。生物化石丰富,主要有笔石、三叶虫、下部为深灰色、灰黑色、黄绿色碳质泥岩、硅质泥岩,水平纹层发育,富含笔石。

宁国—长兴陆棚相区:主要分布于族德、宁国、安吉、长兴一带,厚度大,一般在2 000 m左右。该区安吉组为黄绿色、灰黑色泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹薄层粉砂岩和粉细砂岩,泥岩中水平层纹极为发育,富含笔石、三叶虫、腕足类、海百合茎、苔鲜虫等生物化石。

3) 震旦世灯影组盆地—陆棚相区

皖南盆地相:位于安庆、芜湖一线之东南,淳安余家、安吉一线北西。本相区的皮园村组以黑色、灰黑色中厚层硅质岩为主,间夹钙质、泥质硅质岩、局部夹黑色页岩,厚度为200~400 m,其中暗色泥岩厚度为100~300 m,TOC为1.8%~3.2%, R_o 为2.2%~4%。

常州—上海陆棚相:在盆地相区北东延伸带上,浙西安吉、临安区昌化一带的西峰寺组中、上段,为灰、灰黑色页岩、泥质灰岩、泥晶灰岩、灰质白云岩、硅质岩,富含有机质、黄铁矿,至安吉与宁国之间相变为

硅质岩,水平层理发育,具有陆棚相特征。

4) 早奥陶世盆地相区

无锡—南山盆地相区:以皖南祁门—太平—宁国—广德与浙西淳安—临安、安吉地区最为发育。该地区谭家桥组为黄绿色泥岩,蓝灰色钙质页岩,下段夹深灰色具水平层纹的泥灰岩、瘤状泥灰岩。上部(宁国组)为灰绿—黄绿色、暗灰色页岩、含粉砂质页岩、硅质页岩、含碳质页岩。下部发育网格笔石及三叶虫,厚度为570~930 m,其中碳质、硅质泥岩厚度为50~200 m, TOC为1%~2%, R_0 为2%~3.5%。本区以水平微细层理发育及漂浮—游泳型的笔石、三叶虫生物群为主要特征,沉积物普遍色较暗。

3.2 有利储层沉积相带

1) 震旦系

杭州—开化台地边缘浅滩相:该相带位于浙西开化—淳安—桐庐—杭州一线,呈窄长条带状分布,在杭州余杭一带。本区西峰寺组中、上段主要为一套内碎屑白云岩及白云质砂岩。白云岩为灰白、灰色砂屑、砾屑结构的白云岩,砂屑、藻屑丰富。砂屑白云岩与细—中粒白云质砂岩为互层状。沉积构造以水平层理、斜层理为主,尚可见到水下冲刷构造。该相带的沉积中心在临安、淳安一带,沉积厚度可达到600 m左右,为高能环境下形成的砂屑滩。

无为—泰州台地边缘滩相:位于金湖、滁县、庐江一线东南及安庆—芜湖—溧阳之间的广大地区。南缘巢湖汤山—句容茅山及泰州一侧,发育了纹层状藻白云岩及核形石白云岩。在江浦南京一带厚度达849 m,上段以含硅质条带白云岩为主,下段以藻白云岩、硅质条纹白云岩为主。藻白云岩由层纹状藻白云岩、核形石藻白云岩、海绵状藻白云岩、砂屑或藻屑亮晶白云岩等组成。本相带属于潮间—潮下局限台地的中—低能环境,间歇性高能,以发育各类砂屑、藻屑白云岩及局部发育核形石等浅滩相为特征。

2) 中上寒武统

无锡—宜兴—东至台地边缘相:本区主要为灰黑—灰色厚层、块状砂屑粉晶灰岩、砾屑灰岩、藻屑灰岩、核形岩、鲕粒粉晶灰岩(或云岩),生物粉晶灰岩及细晶白云岩,生物主要为底栖型三叶虫、藻类、腕足类、棘皮类等,厚539~832 m。

宁镇—巢县局限台地浅滩相:岩性主要为浅灰

色粉晶白云岩,灰—浅灰色淀晶砂、砾屑云岩,淀晶砂屑云岩,粉晶砂屑云岩,藻绵层细粉晶云岩等。发育斜层理、楔形交错层理、波状层理、藻绵层等构造,厚132~502 m。

3) 早奥陶世

泾县—无锡台地边缘浅滩相:台地边缘礁滩相分布在泾县郭峰、石台皂角树、贵池大岭、百安方村一线,往西南一直延伸到德安葛峰一带,往东北延伸到溧阳、无锡、南通一带,呈北东向延展。

泾县、石台地区岩性为一套浅灰、灰白色白云岩,灰质白云岩、灰岩。结晶粗大,大量发育砂屑、鲕粒及角砾状结构、生物屑结构,呈巨厚层—块状产出,不显层理。生物为腕足类、头足类、棘皮类(海百合茎)及三叶虫,多破碎。石台中学下奥陶统仑山组:厚度数10~400 m,以灰色泥晶灰岩为主,有强烈的白云岩化,石台杏溪村叠层石生物礁叠层石水平层状生长,灰岩与暗色造礁藻类呈薄间互层产出;自山脚向上,礁体厚度大于10 m,沉积厚度大;宜兴方桥阳山剖面方桥组(对应仑山组、红花园组)下部为斜坡相砾屑灰岩,上部为浅滩相生屑灰岩;建新剖面红花园组的生物礁高数10 cm至数米高,侧向可延伸20多米,生物礁底部及侧面为亮晶生屑灰岩,生物礁造礁生物主要为瓶筐虫和海绵虫。石台电视塔剖面红花园组叠层石礁,礁体高12~16 m,规模约200 m²。

本相带在两河口期及红花园期,碳酸盐砂屑及生物碎屑异常丰富,水体能量高、沉积速率及沉积厚度均较大,总厚度达800~1400 m。此外,仑山组的白云岩具结晶粗大的白云岩化特征、本带为典型的台地边缘高能环境下的砂屑滩,属台地边缘浅滩相。

巢湖—泰州台地边缘相:南京仑山—汤山一带仑山组、红花园组、大湾组、红花园组岩性为生屑灰岩、鲕粒灰岩及藻灰岩为主,厚度在200~300 m,黄桥N4井仑山组为白云质灰岩、灰质白云岩,上部的红花园组及大湾组见大量的生屑灰岩以及藻灰岩。

3.3 有利盖层沉积相带

早寒武世、早志留世盆地、陆棚相分布区即是下古最有利烃源岩沉积相带,同时也是下古生界最有利的区域盖层沉积区。其中志留系高家边组砂泥岩厚500~2500 m,分布在中部地区,为最重要的一套盖层。其次早寒武世盆地、陆棚相泥岩可作为下伏

震旦系灯影组的良好区域性盖层。

4 有利勘探区优选

从下古沉积相演化及有利成藏沉积相带来看,下扬子下古具有四套烃源岩、三套储层、两套盖层,可形成两套常规成藏组合、两个页岩气层:1)生(早寒武、震旦泥岩)+储(震旦纪灯影组白云岩)+盖(早寒武荷塘组泥岩);2)生(早寒武荷塘组泥岩和奥陶泥岩)+储(中上寒武系、奥陶系灰岩、白云岩)+盖(志留系下统高家边组泥岩)。

在有利烃源岩、储层、盖层发育沉积相带配置基础上,进行了有利勘探区的优选(图7)。

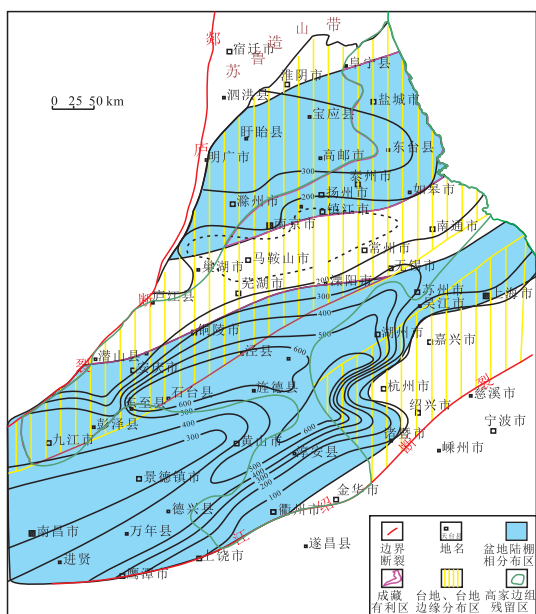


图7 下扬子下古生界综合评价图

Fig. 7 Comprehensive evaluation of lower palaeozoic era them of lower Yangtze area

评价出有利区两个:如皋—射阳地区及望江—溧阳地区。其中,望江—青阳有利区烃源岩为晚震旦、早寒武盆地、陆棚相暗色泥岩,厚度为400~800 m,储层为中上寒武、奥陶系台地边缘浅滩相生屑灰岩、鲕粒灰岩及藻灰岩,厚度为200~400 m,盖层为志留系高家边组泥岩,厚度为1 000~1 400 m;大丰—东台有利区烃源岩早寒武盆地相泥岩,厚度为200~300 m,储层为震旦系灯影组白云岩,厚度为800~900 m,晚寒武白云岩,厚度为400~600 m,盖层为早寒武幕府山组泥岩、高家边组泥岩。

5 结论

1) 下扬子区在江南、泰州—巢湖、马乌三条北东向同生断层控制下形成了两槽两台原型盆地格局,伴随着早寒武世、早奥陶世、晚奥陶—早志留世三次海浸及期间的多次海退过程,形成了早寒武世、早志留世、晚震旦世及早—中奥陶世盆地、陆棚相四套烃源岩沉积相带及震旦系无锡—宜兴—东至台地边缘相、无为—泰州台地边缘滩相,中上寒武统无锡—宜兴—东至台地边缘相、宁镇—巢县局限台地浅滩相,早奥陶世泾县—无锡台地边缘浅滩相、巢湖—泰州台地边缘相三套储层沉积相带及早寒武世、早志留世盆地、陆棚相两套区域性盖层。

2) 下扬子下古生界可形成两套常规油气成藏组合:生(早寒武、震旦泥岩)+储(震旦纪灯影组白云岩)+盖(早寒武荷塘组泥岩);生(早寒武荷塘组泥岩和奥陶泥岩)+储(中上寒武系、奥陶系灰岩、白云岩)+盖(志留系下统高家边组泥岩)。两个成藏有利区,其中如皋—射阳地区及望江—溧阳地区是下古生界气藏勘探有利区。

参考文献

- [1] 马永生. 中国海相油气勘探[M]. 北京:地质出版社,2007:153-154.
- [2] 王根海. 中国南方海相地层油气勘探现状及建议[J]. 石油学报,2009,21(5):1-6.
- [3] 李晋超,马永生,张大江,等. 中国海相油气勘探若干重大科学问题[J]. 石油勘探与开发,1998,25(5):1-2.
- [4] 魏国齐,徐春春,邹才能,等. 四川盆地高石梯—磨溪地区震旦系—寒武系大型气藏特征与聚集模式[J]. 石油学报,2015,36(1):1-4.
- [5] 陈焕疆,邱之俊. 中扬子区与上、下扬子区油气地质条件的对比分析[J]. 石油实验地质,1988,10(4):305-314.
- [6] 俞凯,郭念发. 下扬子区下古生界油气地质条件评价[J]. 石油实验地质,2001,23(1):41-46.
- [7] 张淮,周荔青,李建青. 下扬子地区海相下组合油气勘探潜力分析[J]. 石油实验地质,2006,28(1):15-20.
- [8] 施泽进,黄钟瑾,陈伟. 下扬子区同生断裂形成和演化模拟[J]. 石油实验地质,1993,15(1):21-27.
- [9] 安徽省地质矿产局区域地质调查队. 安徽省地层志寒武系分层[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1988:5-9.
- [10] 陈洁,朱炎铭,李伍,等. 皖南地区荷塘组页岩气成藏条件及有利区预测[J]. 新疆石油地质,2013,33(4):420-423.
- [11] 章伟. 浙西地区下寒武统荷塘组页岩气地质条件及含气性研究[D]. 北京:中国地质大学,2014.

(编辑 黄颖)