

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.03.006

下扬子区下古生界油气有利勘探区带探讨

夏在连¹, 花彩霞¹, 刘计勇¹, 俞昊^{1,2}

1. 中国石油化工股份有限公司华东油气分公司, 南京 210036

2. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210023

摘要:下扬子区下古生界具有良好的油气地质条件, 具备形成大型油气藏的物质基础, 但一直未获得油气勘探的突破。本文通过地质、地球物理综合解释, 结合部分地质露头、钻井资料及上扬子勘探成果, 重点对下扬子区下古生界构造地质特征与油气地质条件等开展了综合分析研究。从构造沉积充填角度将下扬子区分为 4 个二级构造单元, 中部地区的无锡-黄山断隆带构造相对稳定, 分析认为其西北部的无锡-黄桥低褶带为油气勘探的有利区带, 具有形成下古生界弱改造型油气藏的勘探前景。

关键词:下扬子区; 下古生界; 勘探区带; 油气藏

中图分类号: P744.4 **文献标识码:** A

Favorable Lower Paleozoic exploration targets in the Lower Yangtze region

XIA Zailian¹, HUA Caixia¹, LIU Jiyong¹, YU Hao^{1,2}

1. East China Branch Company, SINOPEC, Nanjing 210036, China

2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China

Abstract: Favorable petroleum geological conditions are found existed in the Lower Paleozoic of the Lower Yangtze basin. Large oil-gas accumulations are expected. However, no breakthrough has been gained so far in oil and gas exploration in this region. In this paper, based on the integrated geological and geophysical interpretation, combined with some geological outcrop data and drilling data and taking the Upper Yangtze region as a reference, we made a comprehensive analysis of the Lower Yangtze basin, which includes the studies of tectonics and hydrocarbon geological conditions. The Lower Yangtze Basin is divided into four sub-units from sedimentary and structural point of view. Comprehensive evaluation suggests that the Wuxi-Huangqiao low fold belt, which is weakly deformed, is expected a favorable target for future exploration.

Key words: Lower Yangtze basin; Lower Paleozoic; exploration area; oil and gas reservoir

下扬子区隶属扬子准地台东部, 西邻涟黄大断裂, 东连南黄海, 北至鲁苏隆起, 南以华夏隆起为界, 范围包括陆上的江苏-皖南地区(含苏北盆地)和海域中的南黄海盆地。全区共发现油气显示 424 处, 具有良好的油气勘探前景^[1,2]。但历经 50 多年的勘探, 区内海相油气勘探迄今未获实质性突破。近几年, 在下扬子海相上组合晚期成藏理论的指导下, 下扬子区开展了选层、选带工作, 优选上组合(上古生界及中生界)作为重点勘探层系, 沿江中部复向斜带为重点区带, 开展地震攻关及目标钻探, 取得了黄桥地区上古生界龙潭组致密砂岩油藏的突破、句容地区印支-燕山不整合面上下的油藏突破^[3-6], 但下古生界受各项资料的限制, 勘探工作未取得实质

性的进展。

近几年, 中石油在上扬子区震旦系取得重大突破, 安岳气田磨溪区块主体构造龙王庙组探明天然气地质储量 $4403.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 有望获得超 1 万亿方三级储量的大气田^[7-9], 中石化也在上扬子区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^[10,11]。前人评价得出, 下扬子区下古生界油气资源量为 $34.3 \times 10^8 \text{ t}$, 占全区海相中、古生界总资源量的 86.62%, 天然气资源量初步预测达 $10260 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[12]。虽然印支运动对下扬子海盆沉积实体构造改造严重, 对油气藏有一定程度的破坏作用, 但由于下志留统高家边组巨厚泥岩的封闭覆盖, 保存条件优越, 下古生界仍具有较大的油气勘探潜力^[1]。

作者简介: 夏在连(1978—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事油气勘探部署研究, E-mail: xiazail781106@163.com

收稿日期: 2018-02-28; 改回日期: 2018-05-09. 蔡秋蓉编辑

因此,下扬子区下古生界勘探也应提上勘探日程,但盆地原型下的油气如何在多期构造改造后保存?有利勘探区带在哪里?是下古生界勘探工作面临的首要问题。

1 区域构造和沉积背景

下扬子区先后经历了古生代和中生代 4 次挤压运动和 3 次拉张构造运动^[13-15],受多重构造影响,该区形成了海相盆地和中生代前陆盆地叠合的改造型残留盆地^[16-19]。多期的构造运动不仅使早期形成的油气藏遭到改造和破坏,同时也制约了地震资料品质。其中以印支及早燕山运动影响最大,该时期以构造挤压、抬升剥蚀、支解残留为主要形式,影响着油气保存、有效烃源岩与有效成藏组合的发育^[1,2,6]。近两年,中石化华东油气分公司针对该区进行了新一轮的区域普查工作,实施 MT 测线 5 条,共 1636 点/km,针对下古生界地震攻关实施二维测线 600km,获得了下古生界连续反射波组(图 1),为开展构造区划提供了依据,并综合区域其他资料开展了有利构造及沉积单元评价。

下扬子区共经历了两大构造、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原生沉积和构造格架;印支—燕山构造运动造就了现今构造格架。

晋宁期-加里东期:依据目前资料进一步证实前

人认识,下扬子区发育江南、泰州—巢湖和马乌 3 条北东向同生断层,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^[20]。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 2)。盆地相区主要为泥岩、硅质岩发育区,古生物以发育浮游的球类子类的三叶虫为主,沉积速率大;台地相区为碳酸盐岩发育区,古生物发育以底栖一半游泳的三叶虫为主,沉积速率小。

加里东运动末期:下扬子板块受华夏古陆俯冲碰撞的影响加强,快速隆升转变为类前陆盆地。志留纪早期快速沉积了巨厚的碎屑岩地层,物源主要来自于华夏板块,表现为东南粗碎屑的前缘沉积、中部地区的陆棚相沉积及北部地区盆地相沉积。晚期该区小幅隆升进入短暂剥蚀期,缺失上志留与中下泥盆统沉积。

印支-燕山运动中期:此时期为挤压改造期,下扬子现今的复杂构造局面即由此期运动所决定。印支期,主要体现为扬子板块向华北板块俯冲碰撞,苏北发育由北向南逆冲基底式构造,受印支运动主导的递进变形,由北向南,呈紧闭冲断褶皱→宽缓滑脱褶皱,构造变形由强→弱。西北部志留系遭受剥蚀,下古生界油藏油气保存条件较差。早燕山期,华夏板块俯冲至扬子板块,南部发育一系列由南向北逆冲推覆构造样式。总体看,受此期构造运动影响,下扬子南北两侧、郟庐断裂处推覆挤压最为强烈,发育

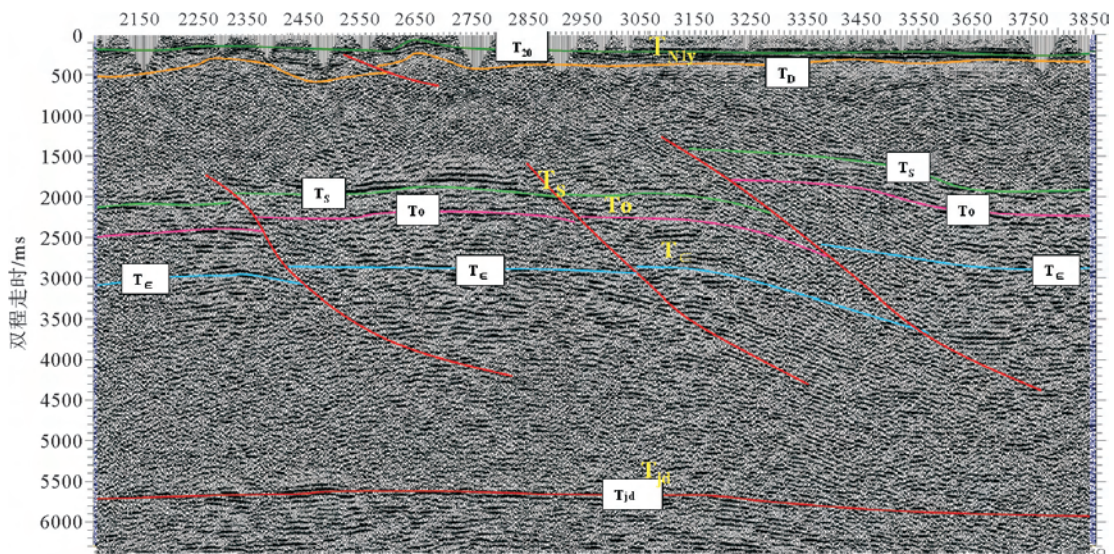


图 1 常州区块 2015CZ-NW4280(NW02)地震解释剖面
 5~6s(12000~15000m)反映基底的反射波组,初步认为南华系底界;2~3s(3500~6000m)反映震旦-奥陶系的反射波组;
 0.2~0.8s(200~1500m)反映上古生界的反射波组

Fig.1 The interpreted seismic profile of 2015CZ-NW4280(NW02) in Changzhou block

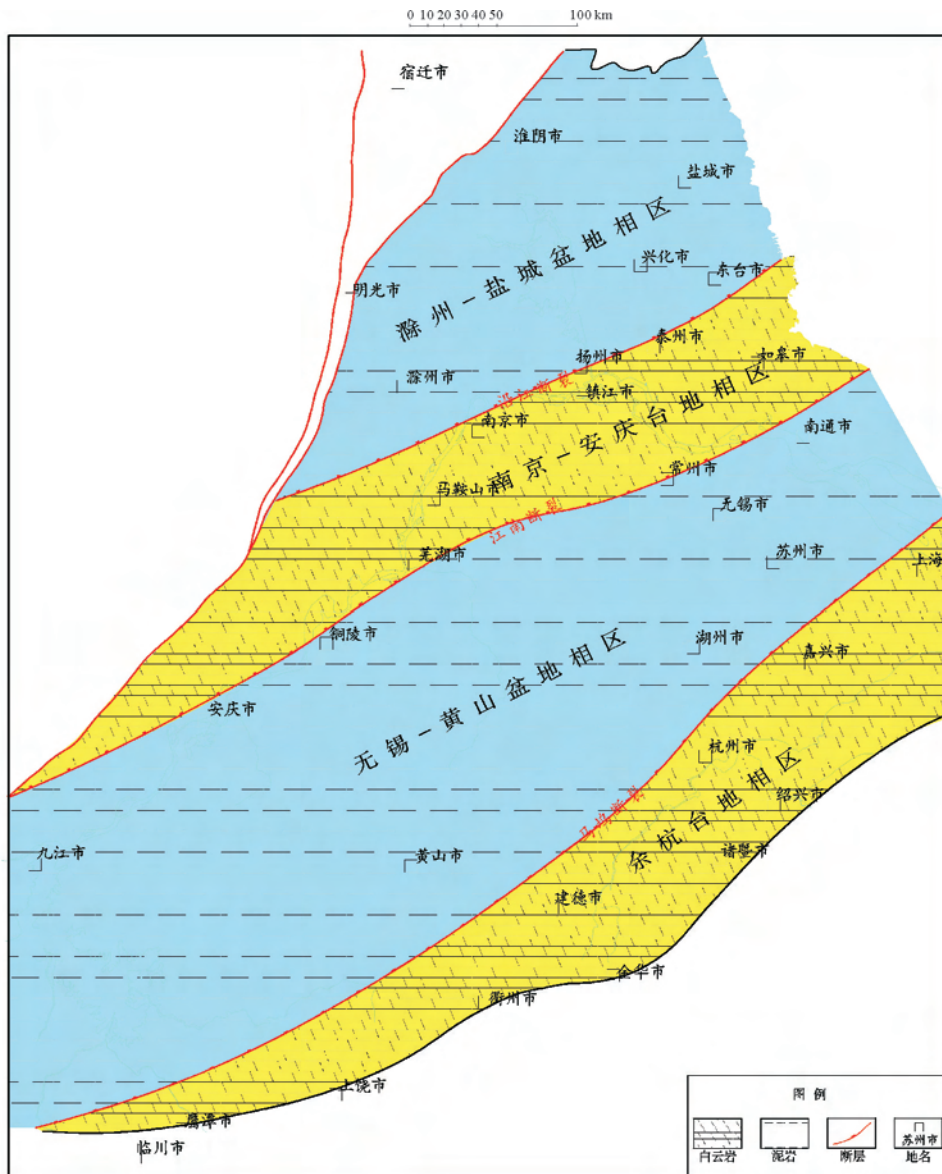


图 2 下扬子震旦纪-中奥陶世沉积区划简图 (据文献[19])

Fig.2 Sinian to Middle Ordovician depositional areas of Lower Yangtze basin

一系列冲断构造,下古生界卷入褶皱,抬升剥蚀量在4000m以上,志留系遭受剥蚀,保存条件差。而中部地区受构造应力相对弱,构造相对稳定,主要发育薄皮构造,以志留系为滑脱层,形成双重结构:下古生界宽缓褶皱、上古生界褶皱冲断。

晚燕山至喜山期:本区应力场发生重大转折的时期,表现为沿原有逆冲断层走滑反转。下扬子构造趋于稳定,整体进入补偿沉降阶段。其中,苏北地区沉降最大,形成现今苏北陆相盆地。中部、南部地区沉降相对较小,仅接受局部中、新生界沉积覆盖。

2 有利勘探区带评价

依据物探、露头资料,从沉积、构造角度将下扬

子分为4个二级构造单元,由北向南依次为苏北冲断带、南京-安庆断褶带、无锡-黄山断隆带及余杭冲断带(图3)。

苏北冲断带:早古生代为裂陷盆地相-陆棚相发育区;海西期平稳沉积上古生界;印支-早燕山期强烈逆冲挤压,发育基底构造,下古生界普遍卷入形变,西北部志留系及其以上地层遭受剥蚀;晚燕山-喜山期构造强烈反转,发育新生界断陷盆地,埋深达4000~8000m。

南京-安庆断褶带:江南-茅山断裂带以西,早古生代为台地相沉积;海西期平稳沉积上古生界;印支-早燕山期,受大别影响,挤压应力集中,发育基底构造;晚燕山-喜山期走滑、反转,发育火山岩,局部发育中、新生界凹陷。

无锡-黄山断隆带:早古生代受江南、马乌断裂影响,发育盆地相,北部为台地边缘相沉积;海西期平稳沉积上古生界;印支-早燕山期,挤压变形较弱,隆升幅度 3700m,志留系保存完好,下古生界构造宽缓,上古生界为凹凸相间格局,局部残留;晚燕山-喜山期后构造运动弱。其中该带以泾县-湖州走滑断裂为界,西南部遭受强挤压隆升幅度大,形成江南隆起,剥蚀超过 5000m,出露 Z-O,保存差。东北部形变弱、隆升幅度小,形成无锡-黄桥低褶带,剥蚀在 1700~3300m。志留系以泥岩为主的地层,厚度

2000~25000m,后期晚燕山、喜山构造运动弱,对早期油气藏的影响小,保存相对有利。

余杭冲断带:马乌裂陷以东,早古生代为台地相沉积;海西期平稳沉积上古生界;印支-早燕山期,遭受强挤压剥蚀,晚燕山-喜山期走滑、反转,沉积中生界,后期隆升,局部残留中生界凹陷。

无锡-黄山断隆带具有 3 层结构:基底稳定、下古生界宽缓褶皱、上古生界褶皱冲断(图 1),其中的无锡-黄桥低褶带评价最有利。一是基底稳定,具有构造稳定、后期构造改造弱、隆升幅度小且下古生界

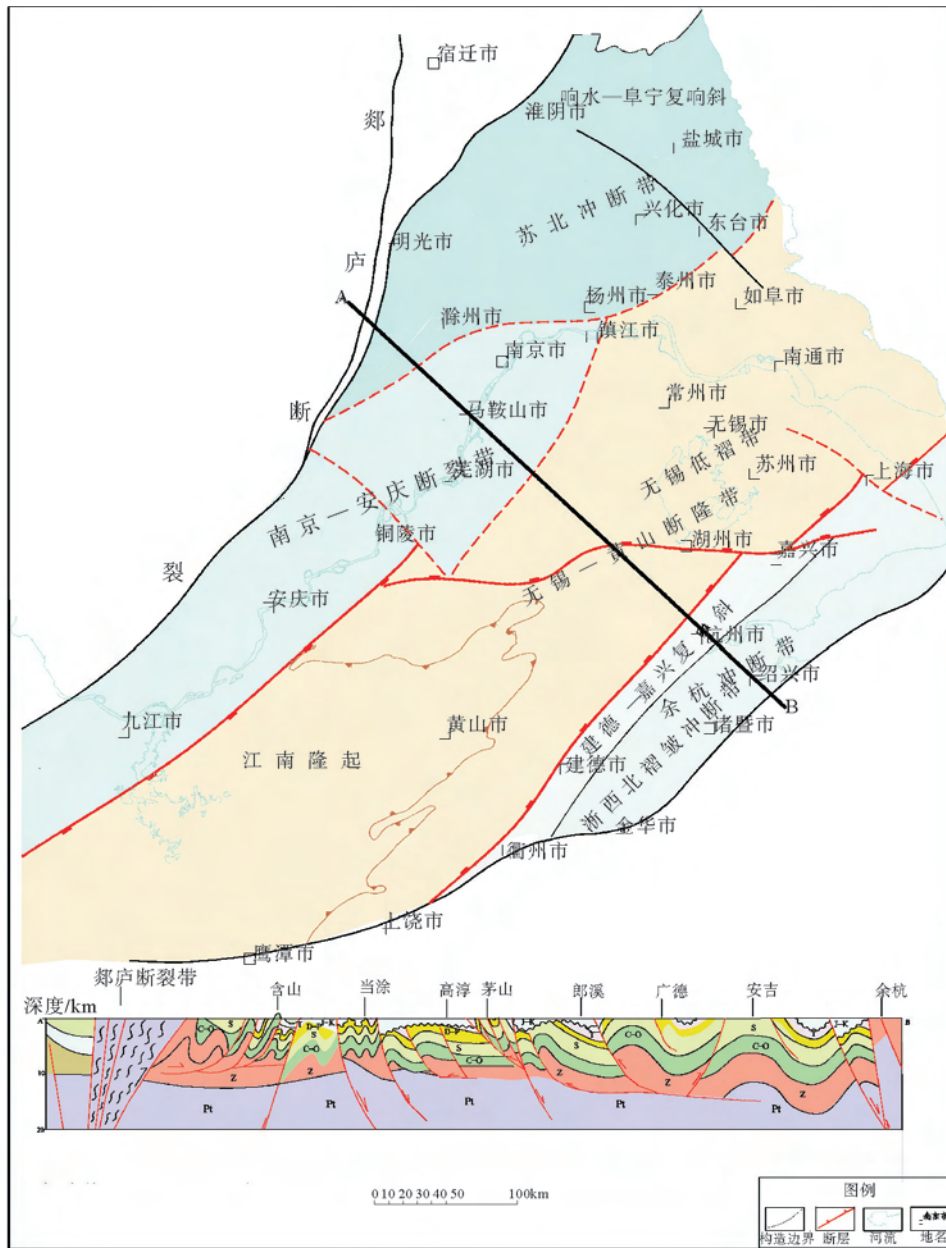


图 3 下扬子区构造区划图

Fig.3 Tectonic map of Lower Yangtze basin

上部志留系保存完整的特点,二是晚燕山-喜山期构造运动亦较微弱,其对早期形成的古生代油气藏的改造破坏作用较小。

3 下古生界油气成藏条件

晋宁期后下扬子全区处于陆缘海环境,板块边缘的拉张裂隙,泰州-巢湖、江南、马乌3条同生断裂控制早古生代两盆两台的沉积格局,盆地烃源岩发育,台地及台地边缘储层发育。

3.1 烃源岩特征

震旦纪陡山沱组时期,南部黄山-宁国一带、北部滁州-盱眙一带为盆地相泥岩及硅质岩沉积,厚100~300m,TOC为1.8%~3.2%, R_o 为2.2%~4%,为良好烃源岩。

早寒武世荷塘组时期,为下古生界最大海进期,南、北盆地及陆棚区是烃源岩有利区。其烃源厚度普遍大于100m,最大可达300m,TOC值普遍大于2%, R_o 为2%~5%,为一套优秀的区域性烃原层系,同时也是下扬子下古生界最主要的供烃层系。

奥陶纪时期,全区维持寒武纪沉积特征,整体海平面上升,盆地缩小,台地进一步扩大。无锡-宁国一带为盆地相碳质-硅泥岩,盆地两侧分别发育台地边缘相及斜坡相。其中盆地相发育宁国组一胡乐组硅质炭质泥岩,总厚度为150~300m、TOC普遍分布在0.58%~3.35%, R_o 为2%~3.5%。

志留纪时期,高家边组陆棚及盆地是烃源和盖层的有利分布区。高家边组砂泥岩500~2500m,其中暗色泥岩厚50~150m。TOC为1%~2%, R_o 为2%~2.5%。主要发育在中部地区,受后期构造影响,残留分布面积43201km²。

3.2 储层特征

从区域沉积相研究来看,东深1井主要的储层有3套,一是震旦系灯影组风化壳、滩相白云岩储层,二是晚寒武世观音台组台地边缘滩相储层,三是奥陶世台地边缘礁滩相储层。

震旦系灯影组,岩性主要为砂屑藻屑白云岩,局部见泥质灰岩、泥质云岩,厚度为200~300m,平均孔隙度2.92%。震旦系灯影组储层由于普遍遭受抬升暴露,在不整合面附近容易遭受溶蚀,提高储层的孔隙度。颗粒白云岩粒间孔、粒内孔颗粒形状呈不规则状,填隙物中,或颗粒内为溶解作用造成,晶间孔呈棱角状,为藻礁各类填隙物中重结晶和

溶解形成。

晚寒武世观音台组在无锡-常州地区处于台地边缘滩相沉积,岩性主要为灰色厚层-块状砂屑粉晶灰岩、砾屑灰岩、藻屑灰岩、核形石、鲕粒粉晶灰岩(或白云岩),生物粉晶灰岩。厚度为400~600m,平均孔隙度2.96%。

下奥陶统仑山组、红花园组在无锡-常州地区为台地边缘礁滩相沉积,岩性主要为一套浅灰色生屑灰岩、白云岩、灰质白云岩。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;仑山组下段为浅灰色、灰白色厚层白云岩,白云质灰岩,厚度大约220m;上段为浅灰色、灰白色厚层灰岩夹云灰岩;红花园组为灰色砂屑灰岩、鲕粒灰岩及结晶灰岩,厚度约70~200m。根据邻区昆3井,下奥陶统物性测试平均孔隙度为1.6%,其中白云岩的孔隙度、渗透率较好,主要是成岩白云石晶间孔隙,最高孔隙度5.54%,渗透率0.42%~15.21%。

3.3 盖层特征

发育下寒武统泥岩、高家边组泥岩两套区域性盖层。其中志留系高家边组砂泥岩厚500~2500m,分布在中部地区,为最重要的一套盖层。通过岩心、露头资料的分析。志留系泥页岩盖层总体上表现为低孔、低渗特征,除少数几个存在明显可观察到裂缝的样品之外,孔隙度为0.61%~10.86%,平均3.03%±2.3%;密度为2.44~2.77cm³/g,平均(2.67±0.06)cm³/g;渗透率为0.005~0.5mD,平均(0.05±0.1)mD。突破压力差异性很大。突破压力大于20MPa的样品数占46%,介于5~10MPa的样品数占21%,小于5MPa的样品数占33%,其中大于5MPa的占67%。也就是说,从突破压力这个参数看,下扬子中部地区志留系泥页岩盖层总体上封闭性较好,具有封闭天然气的的能力。

4 下古生界有利成藏区带探讨

通过对下古生界构造沉积背景分析得出,无锡-黄桥低褶带可能具有2套烃源岩、3套储层和2套盖层。

无锡-黄桥低褶带处于早寒武世南部盆地相区,早寒武世荷塘组下部为灰黑色、黑色薄层炭质硅质岩夹炭质页岩,呈不等厚状互层,上部以灰黑色、黑色薄一中薄层炭质页岩、页岩及碳质硅质页岩、碳质硅质泥岩为主,顶部为深灰色微晶灰岩和暗色泥岩

互层。烃源岩厚度为 100~200m, TOC 值为 4%~6%, R_o 为 2.5%~3%^[21,22], 是下扬子区下古生界最主要的供烃层系, 邻近的昆 2 井、上海宝山县 4 号钻孔资料揭示该套岩性以灰黑色、黑色炭质页岩为主, 间夹钙质页岩, 厚度为 80~156m。志留纪时期, 该带处于高家边组陆棚相分布区。高家边组砂泥岩厚 500~2500m, 其中暗色泥岩厚约 100m, TOC 为 1%~2%, R_o 为 2%~2.5%^[23-25], 后期受印支-燕山构造运动的影响, 抬升剥蚀, 残留分布面积 43201km²。

通过区域沉积相研究分析, 无锡-黄桥低褶带主要发育 3 套储层: 一是震旦系灯影组风化壳、滩相白云岩储层, 二是晚寒武世观音台组台地边缘滩相储层, 三是奥陶世台地边缘礁滩相储层。露头资料显示碳酸盐岩基质孔渗差, 平均孔隙度 <3%, 渗透率 <1%, 可见溶蚀现象。

无锡-黄桥低褶带主要发育下寒武统泥岩、高家边组泥岩两套区域性盖层。综合分析该区生储盖条件, 下古生界可划分为 2 套常规油气成藏组合: 一套是以下寒武统、震旦系的泥页岩为烃源岩, 震旦系灯影组风化壳、滩相白云岩, 下寒武统荷塘组泥岩为盖层的油气成藏组合; 第二套由下寒武统荷塘组及奥陶系泥岩为烃源岩, 奥陶系灰岩、白云岩作为储层, 下志留统高家边组泥岩为盖层的油气成藏组合(图 4)。

通过烃源岩、储层、盖层及有利构造区带综合分析, 评价出下扬子区中部地区为有利勘探区带, 其中无锡-黄桥低褶带为 I 类区, 面积 21789km², 资源量 9842×10⁸m³(图 5)。虽然无锡-黄桥低褶带在印支-早燕山期, 遭受构造隆升剥蚀, 剥蚀量 1700~3300m, 但志留系广泛分布, 后期构造运动弱, 气藏受调整后得以保存, 为改造型气藏发育区。加里东末期, 寒武系烃源中心成熟, 生成油气向两侧运移, 形成油藏。受后期印支、燕山、喜山多期构造运动的影响, 南部余杭冲断带构造抬升剥蚀, 剥蚀量约为 6500m, 已出露奥陶-震旦系, 气藏遭受破坏, 主要为残留沥青。通过解剖泰山古气藏, 推测南部暴露剥蚀沥青带资源量达 (15~20)×10⁸t 油当量。而无锡-黄桥低褶带处于北部油气运移指向区, 虽有调整, 但仍有保存。根据地震攻关成果, 在该区带, 初步评价出一系列有利构造, 面积 557km²。

5 讨论

本文依据现有资料对下古生界有利勘探区带进行探讨, 但由于下扬子区勘探程度低且不均衡, 针对下古生界勘探工作更少; 地震攻关虽取得重大进展, 但仅获得志留系顶部地震波组, 同时缺乏区域性剖面, 难以开展进一步的区带评价工作, 构造稳定带的划分还有进一步优化的空间。油气成藏条件的评价主要依靠露头资料, 无锡-黄桥低褶带下古生界露头较少, 邻区露头位置较远, 沉积相为趋势预测结果, 对于生、储、盖的评价有待于通过钻井验证。

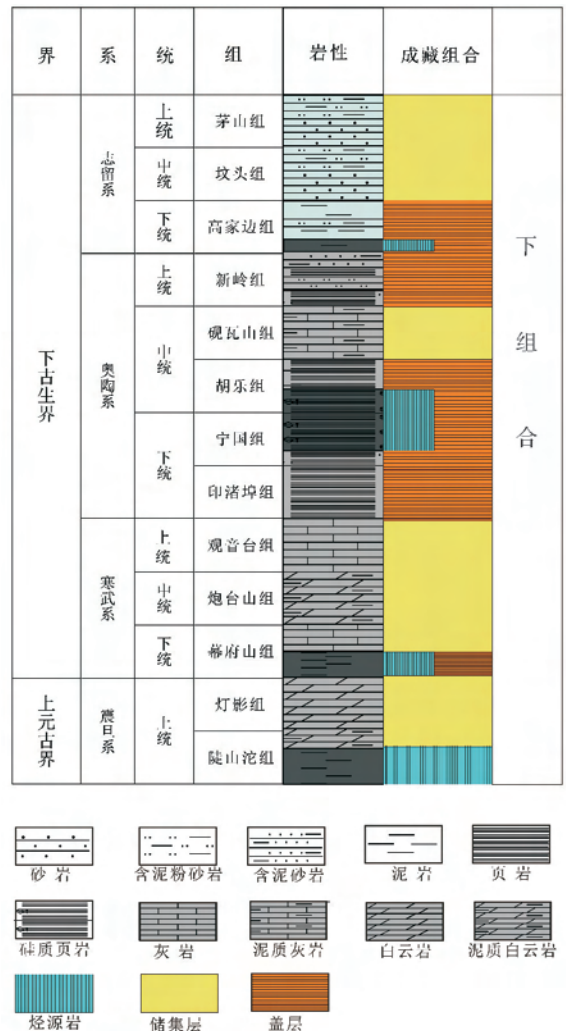


图 4 下扬子区下古生界生储盖组合图
Fig.4 Source-reservoir-seal assemblages of Lower Paleozoic in Lower Yangtze Basin

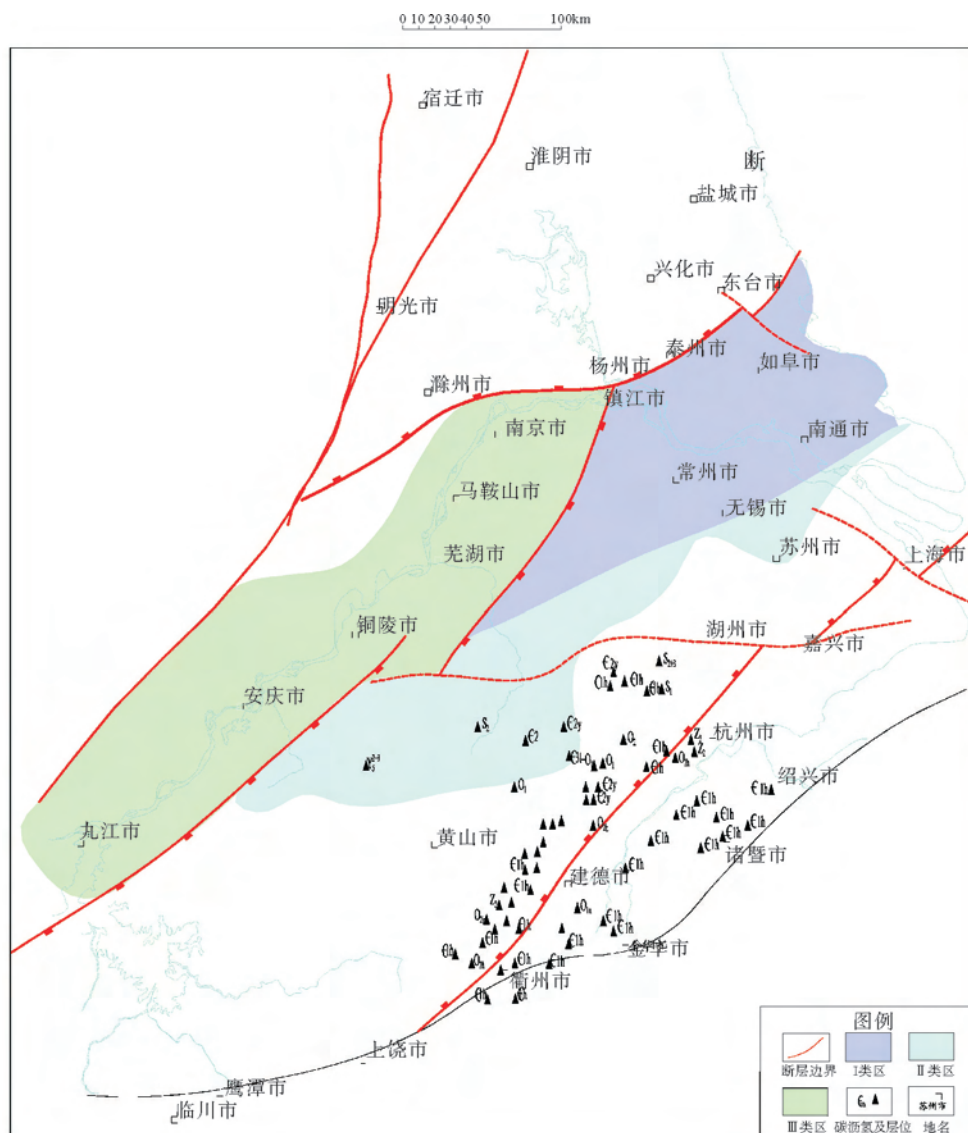


图5 下扬子下古生界有利区带综合评价图

Fig.5 The integrated evaluation of the Lower Paleozoic favorable exploration area in Lower Yangtze basin

参考文献 (References)

- [1] 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. [YU Kai, GUO Nianfa, Evaluation on the geologic conditions of the Lower Paleozoic hydrocarbon in Lower Yangtze area[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(1): 41-46.]
- [2] 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. [ZHANG Huai, ZHOU Liqing, LI Jianqing, Hydrocarbon exploration potential analysis of the lower marine formation assemblage in the Lower Yangtze region[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(1): 15-20.]
- [3] 李建青, 蒲仁海. 江苏黄桥地区龙潭组沉积相与有利储层预测[J]. 石油实验地质, 2012, 34(4): 395-399. [LI Jianqing, PU Renhai. Sedimentary characteristics and favorable reservoir prediction of Longtan Formation in Huangqiao area, Jiangsu Province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(4): 395-399.]
- [4] 李建青, 夏在连, 史海英. 下扬子黄桥地区龙潭组流体包裹体特征与油气成藏期次[J]. 石油实验地质, 2013, 35(2): 196-200. [LI Jianqing, XIA Zailian, SHI Haiying. Characteristics of fluid inclusions and timing of hydrocarbon accumulation in Longtan reservoirs in Huangqiao region, Lower Yangtze basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 196-200.]
- [5] 夏在连. 下扬子黄桥地区上古生界油气成藏研究[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 505-508. [XIA Zailian. Petroleum accumulation in Upper Paleozoic, Huangqiao region, Lower Yangtze basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 505-508.]
- [6] 罗开平, 黄泽光, 吕俊祥等. 下扬子区海相盆地改造与成藏关键要素 [J]. 石油实验地质, 2016, 38(6): 713-719. [LUO

- Kaiping, HUANG Zeguang, LU Junxiang, et al. Marine basin reformations and accumulation factors in Lower Yangtze region [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016, 38(6): 713-719.]
- [7] 魏国齐,杜金虎,徐春春,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. [WEI Guoqi, DU Jinhu, XU Chunchun, et al. Characteristics and accumulation modes of large gas reservoirs in Sinian-Cambrian of Gaoshiti-Moxi region, Sichuan basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*,2015,36(1):1-4.]
- [8] 魏国齐,杨威,杜金虎,等.四川盆地高石梯—磨溪古隆起构造特征及对特大型气田形成的控制作用[J].*石油勘探与开发*,2015,42(3):257-265. [WEI Guoqi, YANG Wei, DU Jinhu, et al. Tectonic features of Gaoshiti-Moxi paleo-uplift and its controls on the formation of a giant gas field, Sichuan basin, SW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(3):257-265.]
- [9] 魏国齐,谢增业,宋家荣,等.四川盆地川中古隆起震旦系—寒武系天然气特征及成因[J].*石油勘探与开发*,2015,42(6):702-710. [WEI Guoqi, XIE Zengye, SONG Jiarong, et al. Features and origin of natural gas in the Sinian-Cambrian of central Sichuan paleo-uplift, Sichuan basin, SW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015,42(6):702-710.]
- [10] 郭彤楼,张汉荣.四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J].*石油勘探与开发*,2014,41(1):28-35. [GUO Tonglou, ZHANG Hanrong. Formation and enrichment mode of Jiaoshiba shale gas field, Sichuan basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*,2014,41(1):28-35.]
- [11] 郭彤楼,刘若冰.复杂构造区高演化程度海相页岩气勘探突破的启示——以四川盆地东部盆缘JY1井为例[J].*天然气地球科学*,2013(4):643-651. [GUO Tonglou, LIU Ruobing. Implications from marine shale gas exploration breakthrough in complicated structural area at high thermal stage: taking Longmaxi Formation in Well JY1 as an example [J]. *Natural Gas Geoscience*,2013(4):643-651.]
- [12] 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. [YU Kai, GUO Nianfa. Evaluation on the geologic conditions of the Lower Paleozoic hydrocarbon in Lower Yangtze area [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(1):41-46.]
- [13] 郭令智,施央申,孙岩,等.下扬子区前陆盆地逆冲推覆构造的研究[J].*南京大学学报*,1988,24(2):2-8. [GUO Lingzhi, SHI Yangshen, SUN Yan, et al. A study on Thrust-Nappe structure of foreland basin in Lower Yangzi area [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, 1988, 24(2):2-8.]
- [14] 张永鸿.下扬子区构造演化中的黄桥转换事件与中、古生界油气勘探方向[J].*石油与天然气地质*,1991,12(4):439-438. [ZHANG Yonghong. Huangqiao transform event in tectonic evolution of Lower Yangtze region and the Meso-Paleozoic hydrocarbon exploration target. [J]. *Oil & Gas Geology*, 1991, 12(4):439-438.]
- [15] 郭念发.下扬子盆地与区域地质构造演化特征及油气成藏分析[J].*浙江地质*,1996,12(2):19-27. [GUO Nianfa. Evolutionary ground of basin and regional structure in Lower Yangtze area [J]. *Geology of Zhejiang*, 1996, 12(2):19-27.]
- [16] 周荔青,张淮.中国海相残留盆地油气成藏系统特征[J].*石油实验地质*,2002,24(6):483-488. [ZHOU Liqing, ZHANG Huai. Characteristics of hydrocarbon pool forming systems in the marine residual basins of China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2002, 24(6):483-488.]
- [17] 叶舟,梁兴,马力,等.下扬子独立地块海相残留盆地油气勘探方向探讨[J].*地质科学*,2006,41(3):523-548. [YE Zhou, LIANG Xing, MA Li, et al. An approach to exploration direction of oil-gas in the marine residual basins of independent Lower Yangtze block [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(3):523-548.]
- [18] 杨方之,闫吉柱,苏树按,等.下扬子地区海相盆地演化及油气勘探选区评价[J].*江苏地质*,2001,25(3):134-141. [YANG Fangzhi, YAN Jizhu, SU Shu'an, et al. Evolution of marine basins and exploration direction estimation of oil and gas in Lower Yangtze areas [J]. *Jiangsu Geology*, 2001, 25(3):134-141.]
- [19] 庞玉茂,张训华,肖国林,等.上下扬子构造演化及叠合盆地油气地质条件对比[J].*海洋地质与第四纪地质*,2016,36(1):133-139. [PANG Yumao, ZHANG Xunhua, XIAO Guolin, et al. Comparative study of tectonic evolution and petroleum geological conditions of typical superimposed basins in Upper and Lower Yangtze block [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2016, 36(1):133-139.]
- [20] 黄钟瑾,沈修志,黄志诚.下扬子区同生断裂的发育特征与油气关系的研究[R].*南京大学*,1987. [HUANG Zhongjin, SHEN Xiuzhi, HUANG Zhicheng. Study on the developmental characteristics of early Paleozoic syngenetic fractures in Lower Yangtze area [R]. *Nanjing University*, 1987.]
- [21] 张银国,陈清华,陈建文,等.下扬子海相中—古生界烃源岩发育的控制因素[J].*海洋地质前沿*,2015,32(1):7-11. [ZHANG Yinguo, CHEN Qinghua, CHEN Jianwen, et al. Controlling factors on the Mesozoic-Paleozoic marine source rocks in the Lower Yangtze platform [J]. *Marine Geology Frontiers*. 2015,32(1):7-11.]
- [22] 王文娟,窦振亚,陈建文,等.下扬子陆域海相古—中生界烃源岩控制因素及其对南黄海盆地的启示[J].*海洋地质与第四纪地质*,2017,37(3):138-144. [WANG Wenjuan, DOU Zhenya, CHEN Jianwen, et al. Marine Paleo-Mesozoic hydrocarbon source rocks on land of the Lower Yangtze platform and their implications for oil and gas exploration in the South Yellow Sea basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017,37(3):138-144.]
- [23] 贾东,胡文瑄,姚素平.江苏省下志留统黑色页岩浅井钻探及其页岩气潜力分析[J].*高校地质学报*,2016(1):127-137. [JIA Dong, HU Wenxuan, YAO Suping. Shallow borehole drilling of the Lower Silurian black shale in Jiangsu Province and the shale gas potential analysis [J]. *Geological Journal of China Universities*,2016, 25(3):134-141.]
- [24] 樊隽轩,Michael J, MELCHIN.华南奥陶—志留系龙马溪组

- 黑色笔石页岩的生物地层学 [J]. 中国科学 D 辑, 2012(1): 130-139. [FAN Junxuan, Michael J, MELCHIN. Biostratigraphy and geography of the Ordovician-silurian Longmaxi black shale in South China[J]. Sci China (Earth Sci), 2012 (1):130-139.]
- [25] 龚建明, 陈建文, 孙晶, 等. 下扬子高家边组烃源岩展布及其对南黄海盆地的启示[J]. 海洋地质前沿. 2015, 32(1):44-46. [GONG Jianming, CHEN Jianwen, SUN Jing, et al. Distribution of source rocks of the Gaojiabian formation in the Lower Yangtze areas and its implication for the South Yellow Sea basin [J]. Marine Geology Frontiers. 2015, 32(1):44-46.]