

南黄海中古生界油气勘探及其关键难题

许红^{1,2}, 郭振轩^{1,2}, 魏凯^{1,2,3}, 张柏林^{1,2,4}, 李建委^{1,2,5}, 卢树参^{1,2,3}, 张海洋^{1,2,3}

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;
3 中国石油大学(华东), 青岛 266580; 4 中国地质大学(武汉), 武汉 4300745; 5 山东科技大学, 青岛 266510)

摘要:南黄海盆地油气勘探至今 53 年, 亟待突破工业油气发现关。关键的难题涉及中古生界各层系勘探前景及选区评价分析, 厘清盆地中古生界分布及构成、井震油气地质特征和勘探前景, 前陆期三叠系海相储层体系与侏罗系富生烃凹陷等等。公认下扬子上、下古生界发育多套优质烃源岩, 南黄海盆地中部隆起古生界历经多期复杂构造演化, 被认为具有重要前景。它的油气来源、成藏与保存值得深究, 是位于深部还是运移而来, 可能与四川盆地具有区别。指出关键需要实施多区带多领域多角度全方位勘探。

关键词:南黄海盆地; 中古生界; 油气勘探; 前陆期海相储层; 富生烃凹陷

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.05004

近些年来, 随着四川盆地油气田的不断发现, 人们对具有相似地质环境的南黄海地区中古生界开始寄予希望。但是, 印支运动以来的构造变动改造也许会导致中古生代原生油气藏破坏, 而且基于二次生烃理论所设计的钻探无锡 4-2-1 井失利, 让人们对此区的油气前景产生怀疑。黄海是我国四大海域中唯一未发现油气田的海域, 而南黄海盆地是我国海域含油气盆地中已知分布有古生界的唯一海区。自 1962 年开展地震调查以来, 南黄海的油气勘查工作已有 53 年的历史。从 1974 年钻第一口探井至今, 41 年总计完钻 26 口井, 但至今勘探工作尚未发现工业油气流。因此, 取得实质性突破的方向值得深究。

1 研究现状

1.1 新生界

中国石化苏北油田分公司和华东分公司在苏北盆地陆区钻井近万口, 发现了近百个小型油气田(图 1), 石油产出当量一直稳定增加, 2014 年是 200 万 t。苏北盆地已经在上古生界二叠系发现工业油流, 曾被誉为“中石化年度勘探十大进展”, 而且在 N4 井钻遇下古生界寒武奥陶系。南黄海盆地新生界盆地是陆上苏北盆地的延伸, 二者油气聚集成藏规律也具相似性, 形成油气聚集的规模小, 单位面积的资源量少^[1], 现有的钻探成果还表明了“南好北差”的特征。南黄海盆地油气勘探形势与苏北盆地形成鲜明对照: 1984 年, 在盆地南部偏西一个中古生代继承性发育凹陷钻探的 cz6-1-1 井曾获少量(2.5 t/d)油流; 1986 年, 在 zc1-2-1 井岩心中发现泥岩岩心裂缝中含轻质原油, 除此以外, 该海区至今尚未有其他油气显示和发现。在 2000 年以前, 新生界一直是南黄海盆地油气勘探主攻的目标。即使钻井, 南黄海海区也仅仅揭示到石炭系, 针对前石炭系深层的研究只能借鉴陆区或进行推测。

收稿日期: 2015-01-05

基金项目: 中国地质调查局项目(GZH201200510); 国家重点基础发展研究计划(2012CB956004); 国家自然科学基金(41106064, 49206061)

作者简介: 许红(1957—), 男, 研究员, 主要从事海域油气成藏与资源勘探评价方面的研究工作。E-mail: qdxhong@163.com

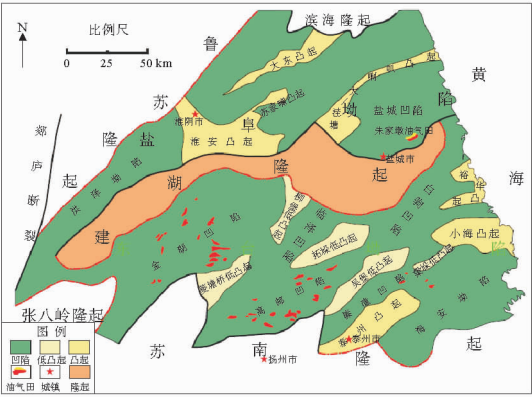


图 1 江苏油田勘探形势(资料来源于中石化)
Fig.1 Exploration map of Jiangsu Oilfield

1.2 陆相中生界

现已初步查明,陆相中生界在南黄海北部坳陷分布较广,包括有白垩系和侏罗系^[2,3],其中,多口钻井揭露白垩系,并在诸城 1-2-1 井的泰州组岩心中见泥岩裂缝油气显示。在 RC20-2-1 井钻遇 2 100 余米侏罗系,其中,超过 65% 为深灰黑色泥岩岩系。但在南黄海盆地南部,除苏北近岸极浅海地区以外,白垩系大都缺失或呈零星残留分布。

1.3 海相中生界

多口钻井在 N34° 以南海区揭示,分布较广泛。最新研究认为北部坳陷钻井揭示侏罗系以下存在海相三叠系^[4],对古生界如二叠系的展布及其沉积、构造的情况也已有所了解^[2](图 2),但针对其所钻的 2 口探井均告失利。对于前石炭系,目前无钻井揭露。自 2007 年以来,已经分别在南黄海盆地中部隆起和南部、西南部等多条地震测线上获得了深层(5 s 以上)的沉积层资料^[4](图 3),特别是最新已经采集到了 6~7 s 的深层信

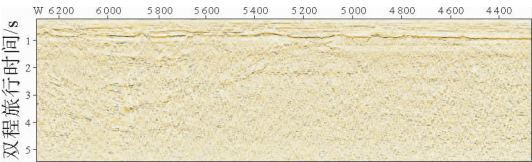


图 3 南黄海 07-3 线地震反射剖面
Fig.3 The reflection profile along seismic line 07-3 of the South Yellow Sea

息。南黄海盆地下古生界是地震资料解释的结果,各家的解释多有不同,所以,还存在许多认识上的不一致和不确定的因素,亟待实施钻探乃至参数井予以证实。

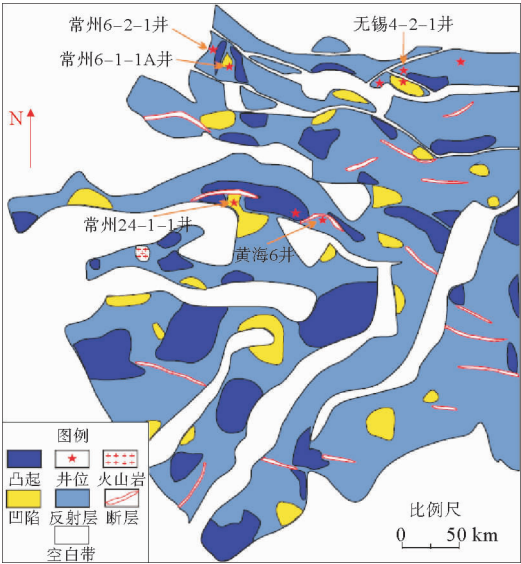


图 2 南黄海南部二叠系大隆组—龙潭组
顶界反射层构造
Fig.2 The structural map of the top of Permian
Dalong-Longtan Formation in the
southern South Yellow Sea

2 资料来源

本文研究的地震资料主要来源于青岛海洋地质研究所,钻井数据来源于中海石油上海分公司、中国石化苏北油田分公司和华东分公司以及公开性文献。采用了石油地质学和含油气盆地对比的技术方法;主要根据不同问题的研究程度和对前人在本区油气勘察的历程及成果进行了总结归纳;针对地震资料进行最新一轮解释;运用地质类比的方法评估海陆区上下古生界、中生界赋存及其演化成藏的特征,并对盆地油气前景进行了综合分析。

根据地质、地球物理和钻井所获得的研究资料提出,在志留系构造滑动面之下的下古生界(包括震旦系)原生气藏有可能尚有部分保存;次生气藏关键不在于缺乏烃源岩而是不知其烃来源,有关中生界二次生烃的问题研究多年和情况十分

复杂,不能简单对待;印支运动导致扬子—华北板块拼贴和陆陆碰撞,形成前陆盆地和富生烃凹陷,只有解决这些问题,才可能对于南黄海盆地油气勘探实现工业性油气流的突破性发现。

3 地质类比

地质类比的结果认为,在印支运动以前,本区的石油地质条件与四川盆地相似;在印支运动以后与四川盆地有很大差别,主要包括燕山运动和喜山运动的影响,特别是太平洋构造系的改造和破坏。最新的地质调查和榴辉岩系高温高压变质岩系及磷灰石—锆石裂变径迹研究的成果表明,扬子—华北两大板块陆陆碰撞完成拼贴以后,在千里岩岛一线形成高山,在南黄海北部形成前渊及盆地,即证实了南黄海前陆盆地形成年代和分

布特征的问题^[6]。后期南黄海盆地遭受燕山—喜山多期构造运动叠加改造的程度和影响极其强烈,下扬子区尤其在南黄海可形成新的盆地,也导致沉积地层抬升遭受剥蚀,最新计算厚度可达数千千米,导致大量原生油藏破坏殆尽,油气资源保存的状况变差。但同时形成侏罗系盆地,而唯一揭示侏罗系的 RC20-2-1 井非参数井,钻井位置较高,钻获侏罗系地层岩性较粗,生烃指标尚不具备但不可能很好。由于该井区钻遇的沉积地层厚度还不到凹陷深部侏罗系沉积厚度的一半(图 4),所以其深层生烃能力值得期待。此外,解释侏罗系下覆发育海相中生界,相当于在南部拗陷包括在常 35-2-1、W5-ST1 等多井区钻遇的大套碳酸盐岩储层体系,推测中部隆起也有发育,是值得重视的等同于普光—元坝—龙岗碳酸盐岩储层的海相沉积体系,有与生储层匹配成藏的可能。

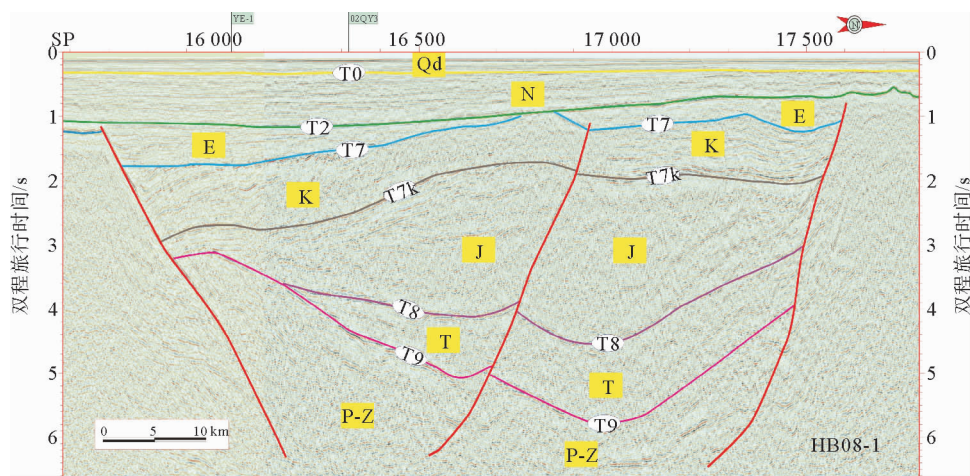


图 4 南黄海盆地侏罗系井震解释剖面

Fig. 4 The Jurassic interpreted well-to-seismic profile of the South Yellow Sea Basin

4 南黄海盆地海相中古生界的井震发现

根据几口位于北部拗陷揭示白垩系钻井的钻探证实具有油气的生成和运移过程。但地震区域性解释和成图结果表明白垩系有利生烃相带狭窄,如从诸 1-2-1 井到诸 7-2-1 井的较大岩相变化以及东部韩国所钻几口井白垩系都以深灰色泰州组为主,缺乏更像样的烃源岩^[3];而且多见白垩系与上覆呈角度不整合关系,所以形成很大规模油

气聚集的机率不高。结合其在苏北对油气资源的贡献,可以认为在海区它的油气成藏状况很可能与新生界相当,不值得对其报大的希望。至于侏罗系,其展布规律和沉积特征已经具有新的认知,其油气潜力值得期待。

4.1 南黄海盆地上古生界

因受后期(印支运动以后)的改造剧烈,上二叠统及上覆地层曾遭剥蚀多有残缺^[2](图 2),已失去作为区域盖层的价值。但二叠系灰岩可既为烃源岩也为储集岩;能够像苏北盆地一样保存小

型原生油气藏,形成曙光、建南式大型气藏几无可能。

4.2 南黄海盆地地下古生界

下古生界原生油气藏仍有可能部分保存,依据如下:①在下扬子区存在志留系膏盐系沉积,是下古生界油气的区域盖层也是重要的逆冲构造运动作用面的滑脱层。在其之下的寒武、奥陶、志留系地层,陆区二维地震资料解释构造平缓,分布稳定,破坏较少^[5](图 5);②海区的一些地震剖面(如 05-2、07-3、XQ09-2 等)的局部位置,也显示深层存在平缓稳定沉积反射层(图 3、6),并且这些

反射层表现为局部隆起的特征;③苏北有少数钻井存在古近系封存水(兴参 1 井的寒武系、苏 103 井的寒武系、N9 井的三叠系、盐 1 井的白垩系)^[6],表明有些地方原始封闭环境尚存;④浙江余杭泰山古油藏的发现表明,下扬子陆区的下古生界和震旦系有受控于古隆起的大规模油气聚集过程^[7];⑤在最新苏北—南黄海中部隆起构造格架对比图上可见,海域古生界分布厚度大,更为稳定,存在古地层高一古圈闭可能(图 7)。推测在本区新生代张性断层规模较小的隆起区(如中部隆起),形成威远、五百梯、建南、高思梯式大型气藏或有可能。

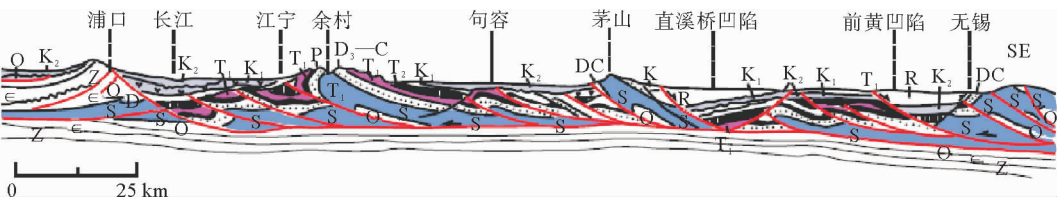


图 5 下扬子区滁州—无锡构造横剖面示意图

Fig. 5 The structural cross section of Chuzhou-Wuxi in Lower Yangtze Area

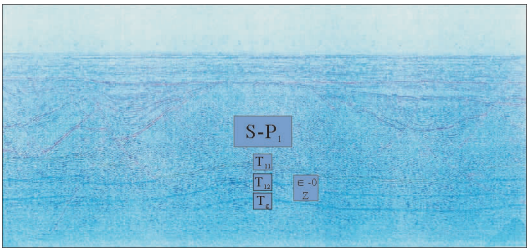


图 6 南黄海 NT05-2 线地震反射剖面

Fig. 6 The seismic reflection profile along line NT05-2 of the South Yellow Sea

4.3 海相中古生界二次生烃与晚期成藏

晚期成藏情况复杂,决定于油源和保存状态。通过在苏北盆地采集重要参数井样品进行磷灰石裂变径迹测试分析^[8],近年利用苏北磷灰石裂变径迹结果开展南黄海盆地唯一见油井 CZ6-1-1 井的数值模拟分析^[9],并完成南黄海盆地钻井珍贵样品的铅石裂变径迹(ZFT)和磷灰石裂变径迹(AFT)、铅石和磷灰石(U—Th)/He(ZHe)测试和分析,笔者对于下扬子区构造热演化及二次生烃的特征产生深层次思考,认识到海区南黄海盆地油气地质条件复杂性不输陆区,具有二次生烃

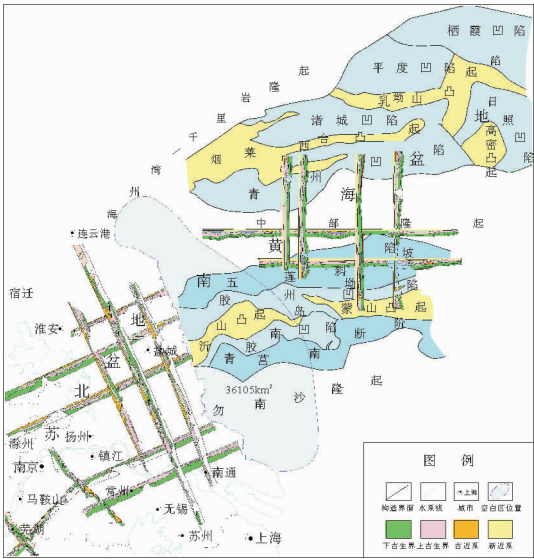


图 7 苏北—南黄海构造格架对比

Fig. 7 Comparison of tectonic framework between the North Jiangsu and the South Yellow Sea

的过程和能力。是源岩再次生烃还是像普光气田侏罗系油源一样是二次演化供烃,值得深入追踪研究。多口钻井如 W4-2-1 井的失利也说明寄希望于二次生烃成藏的勘探风险很大^[10]。这是因

为:并非有二次埋藏的地方就一定有二次生烃,只有当二次埋藏的深度(地温)超过一次埋藏的最大深度一叠加厚度(亦即达到最高温度)以后,有机质才可能继续演化转化成烃。其次,没有二次埋藏而有局部构造热事件比如火山—岩浆活动的地方,也可能有二次生烃。研究表明,本区最高古热流发生在中生代末期。新生代是相对低热流期^[11]。显然只有新生界覆盖的地方,需要更大的埋深才有希望出现二次生烃。相比之下,既有新生界又有白垩系广泛发育的地区,可能对形成这种油气藏较为有利。如陆区苏北盆地朱家墩、在苏北近岸地区的发现,但这些发现其规模和潜力对于南黄海海域意义不大,上下古生界多套生烃层系的有效二次生烃过程对于中古生界才具有实际晚期成藏的意义。

5 南黄海盆地中生界前陆盆地体系的独特沉积环境和沉积体系

(1)多井揭示三叠系灰岩,是发育赋存台地礁滩相碳酸盐岩沉积体系证据

包括 CZ35-2-1 井、W5-ST1 井在内,目前有多口井揭示海相三叠系。通过 06-5—W5-ST1 和 QY10 线—CZ35-2-1 井震联合解释,发现该套碳酸盐岩沉积地层呈典型鼻状透镜体反射特征(图

8),该井震解释的特征影像的此种特征与当年的 W5-ST1—79P19 井具有一定差距;除了位置不同的关系以外,还至少说明三叠系碳酸盐岩台地礁滩相的大规模发育,这与该井钻探失败未获发现无关,原因在其成藏被多种因素包括烃源因素所制约。但证实了台地边缘碳酸盐岩—生物礁体系的存在和普遍发育的。通过编制三叠纪沉积相图分析区域性碳酸盐岩储层体系的分布及其层序,其意义在于对于部署实施普光—元坝型储层体系深层次的评价及勘查提供借鉴。

(2)钻井揭示巨厚深灰黑色侏罗系,是富生烃凹陷深湖相沉积体系的标志

中国近海从渤海到南海北部诸盆地,总计发现 12 个富生烃凹陷,所有油气发现无一不是围绕它们及其运移范围进行分布。南黄海盆地虽然独特于中国海域所有含油气盆地,但它同样遵循富生烃凹陷控制大油气田形成的规律:依富生烃凹陷赋存分布范围面积厚度决定油气聚集及规模,依时代环境演化变迁决定油气藏位置和原发性性质。类比分析结果指向 S1 井的发现和对于多单位多条地震剖面解释的综合认识。该井钻遇 1 000 余米暗色泥岩侏罗系,地震资料解释确定这口井所在东北凹侏罗系分布面积超过 3 000 km²,上、中、下侏罗统沉积厚度之和可达 11 400 m^[12],属于大型湖泊相沉积及形成富生烃凹陷。

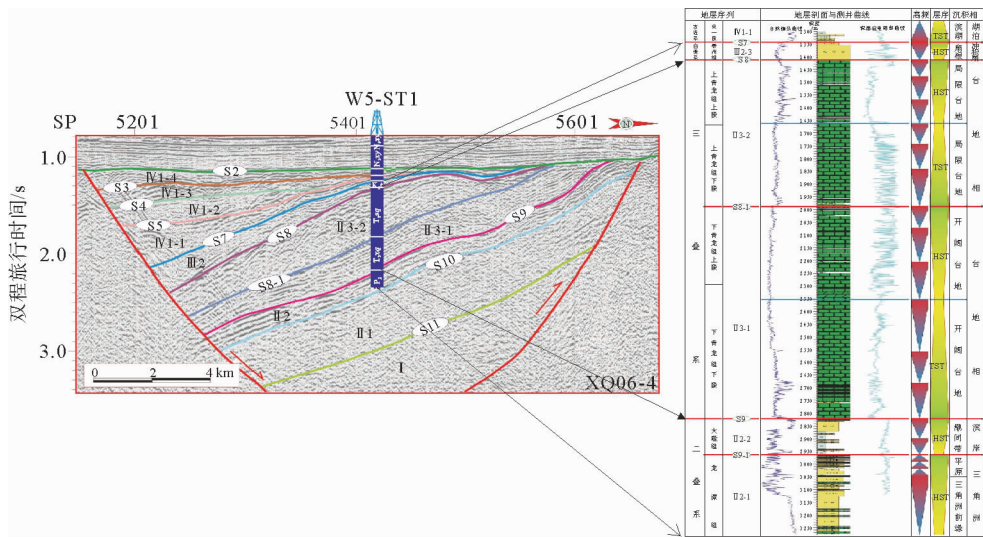


图 8 WS 井-X 线三叠系青龙组碳酸盐台地井震沉积层序对比解释剖面

Fig. 8 The interpreted well-to-seismic profile along Well WS-line X for sedimentary sequence of Triassic carbonate platform in Qinglong Formation

基于全球65%油气资源来自侏罗系的事实,来自南黄海盆地侏罗系的这些井震发现值得重视,有利于实现该区域的油气勘探突破。

6 结论与建议

南黄海盆地油气勘探突破的关键难题在于对古生界各层系勘探前景及选区评价分析。厘清盆地中古生界分布及构成、井震油气地质特征和勘探前景、前陆期三叠系海相储层体系与侏罗系富生烃凹陷是值得重视的几个难题。公认下扬子区上下古生界发育多套优质烃源岩,南黄海盆地中部隆起古生界被认为具有重要前景,这里历经多期复杂构造演化,烃源岩的层系和位置值得深究,位于深部还是通过两翼运移而来,可能与四川盆地具有区别。为突破勘探难题,提出以下建议:

(1)提高改进地震勘探技术(包括采集和处理),加密关键海区的部署和实施面元超过 $12.5\text{ m}\times 12.5\text{ m}$ 的三维地震勘探。尽早获得深部(古生界)可靠和丰富地质信息,揭示古生界内幕构造。

(2)选择有“代表性”的层系及领域实施多领域多角度勘探,完成参数井钻探,开展地震—地质联合解释。这里所谓的“代表性”指:①公认地震资料较好,6 000 m以上反射层序可靠,并可横向追踪相当距离,发育富生烃凹陷^[13,14];②在相当大的范围内尚无钻井揭露的下古生界;③目前各家的解释多有不同,坚持服众;④既能照顾到构造圈闭又要注重岩性圈闭主要是碳酸盐岩礁滩相储层体系;⑤海相碳酸盐岩是重要候选;⑥任何时代古潜山;⑦凹中隆区域的构造圈闭。

(3)增加非地震勘探方法。油气微生物技术勘探是首选,是完成选择性目标敲定和含油气性验证最为重要最先行的评价技术体系,可为主要依托关键技术。大地电磁协助地震探测深层地质结构;重视包括遥感针对浅层油气藏的勘查,如在苏北近岸极浅海地区,补充协助地震勘查资料寻找中—新生代(包括朱家墩式)的油气藏,以期在海区尽快打开局面。

(4)综合研究应强调以油气地质为中心的综合研究,实现三结合:地质与物探相结合,各种不同物探方法相结合以及定性与定量、正演与反演

相结合。以期能尽量排除一些多解性,使研究成果能更接近客观实际;地球物理资料正反演处理和烃类检测系列特征处理注意避免陷入纯物探资料解释的数学数字游戏之中。

(5)重视提高深井测试技术。这是一开始需要有所了解和重视的方面。文献记载朱家墩气田是在1998—1999年苏北油田对朱家墩背斜上的老井完成复查和重新试油后才获得工业气流发现的,还有很多相关的实例和发现与此相当。进一步说明“成败决定于细节”;因为深井钻探与测试工艺的缺陷和漏洞足以造成人们与油气田发现的失之交臂。与陆上相比,海上的钻井更是珍贵和稀缺,问题将更显突出。为保证油气勘探的成功,必需把握好油气勘探的每一道关,尤其最后的一关也将是最为重要的一关。

致谢:本文得到了中海石油有限公司(中国)上海分公司、中国石化华东分公司和江苏油田分公司的大力支持,参考了大量未公开发表的资料。龚再升教授、李思田教授和蔡乾忠研究员为本工作提供了大力支持和帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 钱基. 苏北盆地油气田的形成与分布——与渤海盆地的比较[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 12-17.
- [2] 戴春山, 李刚, 蔡峰, 等. 黄海前第三系及油气勘探方向[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 225-231.
- [3] 陈盛吉, 万茂霞, 杜敏. 川中地区侏罗系油气源对比及烃源条件研究[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(2): 11-14, 42.
- [4] 张海敏, 陈建文, 李刚, 等. 地震调查在南黄海崂山隆起的发现及其石油地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(3): 107-113.
- [5] 孙肇才. 板内形变与晚期成藏[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [6] 马力. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [7] 郭彤楼. 下扬子地区中古生界叠加改造特征与多源多期成藏[J]. 石油实验地质, 2004, 26(4): 319-323.
- [8] 许红, 戴靖, 蔡乾忠, 等. 苏北—南黄海盆地裂变径迹与中生代烃源岩受热演化[J]. 原子能科学技术, 2008, 42(7): 665-668.
- [9] 闫桂京, 许红, 杨艳秋. 苏北—南黄海盆地构造热演化特征及其油气地质意义[J]. 天然气工业, 2014, 34(5): 49-56.
- [10] 傅宁, 刘英丽, 熊斌辉, 等. CZ35-2-1井古生界烃源岩地球化学参数异常分析[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 7(2): 93-98.

[11] 杨树春,胡圣标,蔡东升,等. 南黄海南部盆地地温特征及地热构造演化[J]. 科学通报,2003,48(14):1 564-1 569.

[12] 高顺莉,周祖翼. 南黄海盆地东北凹侏罗纪地层的发现及其分布特征[J]. 高校地质学报,2014,20(2):286-293.

[13] 汪泽成,邹才能,陶士振,等. 大巴山前陆盆地形成及演化与油气勘探潜力分析[J]. 石油学报,2004,25(6):23-28.

[14] 龚再升. 南黄海及邻域沉积盆地油气勘探与研究[C]//南黄海盆地油气地质特征和勘探会议集. 2013.

KEY PROBLEMS IN OIL AND GAS EXPLORATION
FOR THE MESO-PALEOZOIC IN THE SOUTH YELLOW SEA

XU Hong^{1,2}, GUO Zhenxuan^{1,2}, WEI Kai^{1,2,3}, ZHANG Bolin^{1,2,4},
LI Jianwei^{1,2,5}, LU Shushen^{1,2,3}, ZHANG Haiyang^{1,2,3}

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 3 China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 4 China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 5 Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: During the past 52 years, no commercial oil and gas have been discovered in the Southern Yellow Sea Basin. As far as the Meso-Paleozoic is concerned, the key problems remain with the evaluation and selection of the exploration targets, the delineation of the distribution of the Paleozoic, the clarification of the distribution and formation of Meso-Paleozoic basins, and the understanding of characteristics of well-to-seismic geology. As to the Mesozoic, it needs to understand more about the foreland period of the Triassic marine reservoir system and the Jurassic hydrocarbon-rich depression. It is widely believed that there are several sets of high quality source rocks in the upper and lower Paleozoic of the Lower Yangtze Region. On the central uplift of the South Yellow Sea Basin, the Paleozoic is believed a significant prospect, where multiphase of complex tectonic movement prevailed. It is worthy to make further study on the sources of oil and gas. It is probably that oil and gas are coming from the deeper part, which is quite different with the cases in the Sichuan basin. Therefore, it is critical to carry out comprehensive exploration from the viewpoint of multiple zones and multiple angles.

Key words: South Yellow Sea Basin; Meso-Paleozoic; oil and gas exploration; foreland period marine reservoir; hydrocarbon-rich depression