

下扬子复杂构造区超高压含气层的发现及油气富集关键要素

李建青, 章诚诚, 黄正清, 方朝刚, 吴通, 邵威, 周道容, 滕龙, 王元俊, 黄宁
LI Jianqing, ZHANG Chengcheng, HUANG Zhengqing, FANG Chaogang, WU Tong, SHAO Wei,
ZHOU Daorong, TENG Long, WANG Yuanjun, HUANG Ning

中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016
Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

摘要:下扬子地区的构造复杂性使该地区油气勘探存在极大的难度和风险,如何在复杂构造区取得油气勘探突破是近年关注的焦点。2019年皖为页1井在下扬子无为凹陷三叠系周冲村组首次发现2套异常高压含天然气层,最高地层压力系数达1.9,取得下扬子油气调查的重大突破性进展,为下扬子油气勘探困局打开了一扇窗口。基于该超压含气层的新发现,综合研究表明,无为凹陷天然气富存得益于4个关键控制要素的有机组合:①深层稳定基底;②对冲过渡带原地体;③深水裂陷黑色页岩有利相带;④多套膏盐有利封盖等。为无为凹陷提供了稳定构造背景、良好构造保存、有利烃源岩及优质盖层等条件。上述地质要素同样有利于该凹陷二叠系页岩气富集,由此提出了构造复杂区三叠系常规天然气与二叠系页岩气一井双探的新思路。上述关键4个要素在下扬子区域上的配置关系显示,望江凹陷与无为凹陷具有相似的地质条件,是下一步油气勘探的首选有利区。

关键词:复杂构造区;超压含气层;油气富集要素;下扬子

中图分类号:P54;P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)04-0577-09

Li J Q, Zhang C C, Huang Z Q, Fang C G, Wu T, Shao W, Zhou D R, Teng L, Wang Y J, Huang N. Discovery of overpressure gas reservoirs in the complex structural area of the Lower Yangtze and its key elements of hydrocarbon enrichment. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(4): 577-585

Abstract: The complexity of the structure in the Lower Yangtze area makes it very difficult and risky to explore for oil and gas in this area. How to make a breakthrough in oil and gas exploration has been the focus of attention in recent years. In 2019, two sets of abnormal high-pressure natural gas layers were firstly discovered in the Triassic Zhouchongcun Formation in Wuwei depression of the Lower Yangtze. The pressure coefficient reached 1.9, which was the highest one in East China. This new discovery made a significant breakthrough in the oil and gas exploration and proved the good resource prospect in the lower Yangtze. The new discovery of the overpressure gas reservoir reveals four key control factors for natural gas enrichment in Wuwei depression, namely deep stable basement, intracontinental in-situ block, favorable facies zones of black shale, multiple layers of anhydrite, and favorable source rock and good capping conditions, which provide stable tectonic setting, good structural preservation, favorable source rock and good capping conditions for oil and gas. The above geological factors are also conducive to the Permian shale gas enrichment in Wuwei depression. Accordingly, a new idea of conjoint exploration of Triassic conventional natural gas and Permian shale gas in one well is put forward. Finally, the configuration of the above four key elements in the Lower Yangtze region suggests that Wangjiang depression shares similar geological

收稿日期:2020-07-21;修订日期:2020-10-24

资助项目:中国地质调查局项目《苏皖赣地区页岩油气战略选区调查》(编号:DD20190565)和《苏皖地区页岩气地质调查》(编号:DD20190083)

作者简介:李建青(1967-),男,博士,高级工程师,从事油气调查部署研究。E-mail:403364812@qq.com

conditions with Wuwei depression, which making it a next priority for oil and gas exploration.

Key words: complicated structure; overpressure natural gas; hydrocarbon enrichment control factor; Lower Yangtze

天然气是一种高效洁净环保的优质能源资源,已成为当今油气工业最有潜力、最现实且进展最快的勘探领域^[1-2]。天然气包括常规天然气和非常规天然气2种类型,目前在中国上扬子四川盆地及周缘地区海相地层中,这2种天然气资源均已实现大规模商业性开发,为缓解国内能源供给压力、改善能源供给结构、推动经济快速发展发挥了巨大作用^[3-5]。上扬子地区勘探和开发取得的成功极大地带动和加快了其他地区的勘探步伐。资源评价表明,扬子地块油气资源潜力巨大^[6],下扬子地区与上扬子地区同属扬子地块,但目前并未取得类似的勘探成效。

下扬子地区位于扬子地块东北缘,介于大别—苏鲁造山带与江绍断裂之间,整体上呈南西较窄、北东开阔的喇叭形地带(图1),范围包括长江下游被郯庐断裂带和江绍断裂限制的大片区域。自古生代以来,经历了加里东期、海西期—印支期、燕山期—喜马拉雅期重大地质构造事件的影响,遭受挤压、推覆、隆升、剥蚀、走滑、伸展、岩浆侵入等多种

地质作用,总体具有构造复杂、变形强烈、岩浆活动剧烈等多旋回叠合、多期次改造的地质特征^[8-10]。针对下扬子构造复杂区,地矿部门、油气公司、地调单位等陆续开展了大量的研究、评价和勘探工作,取得了一些重要的油气发现,如2015年港地1井二叠系“三气一油”钻探发现^[11]等,证实下扬子地区海相地层具备发育页岩油气和常规油气的地质条件^[12]。但是,已有的油气发现并未形成针对复杂构造区清晰的地质认识和明确的勘探思路,使后续勘探效果仍不理想,迄今尚未取得实质性突破。

2019年中国地质调查局南京地质调查中心联合多个单位和部门共同攻关,在系统梳理和分析前人工作和研究成果的基础上,结合最新物探、钻井和地质调查取得的认识,调整了勘探部署,实施钻探了“皖为页1井(WWY1井)”,在下扬子无为凹陷中三叠统首次发现2套异常高压含天然气层,地层压力系数为华东地区之最,取得了下扬子地区油气调查的突破性进展。WWY1井超高压含气层的发现为几十年来长江下游油气勘探困局打开了一

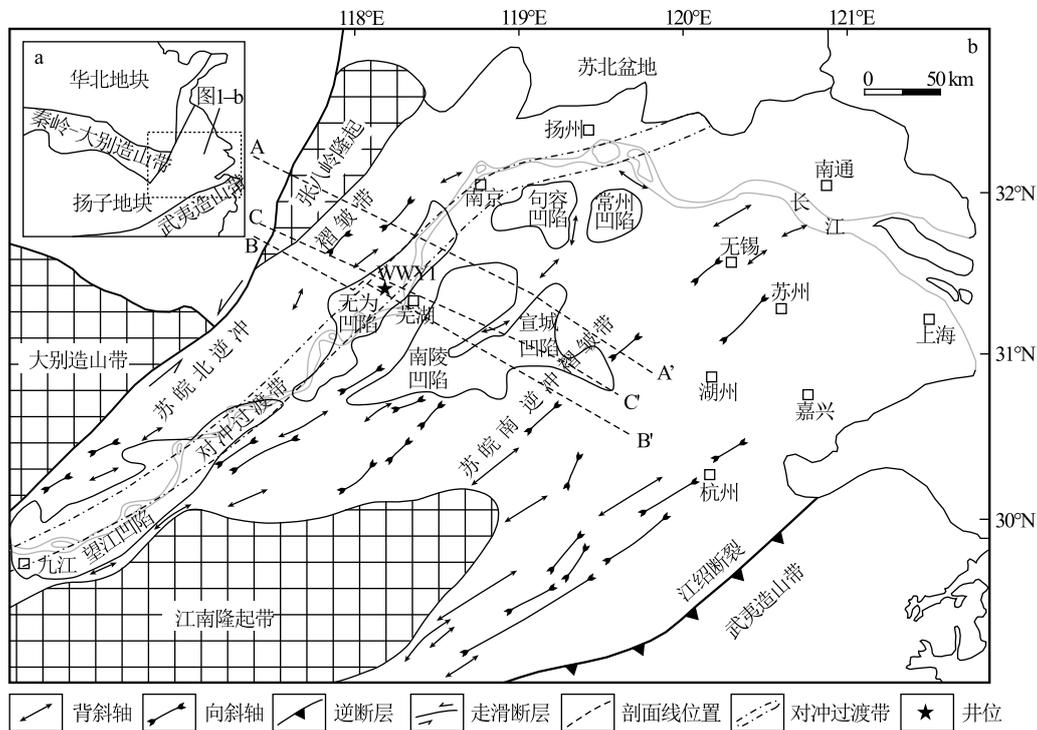


图1 下扬子地区位置及构造纲要图(据参考文献[7]修改)

Fig. 1 Location and structural outline of the Lower Yangtze region

扇窗口,因此通过该新发现查明本区油气富集关键控制因素至关重要,对指导下一步油气勘探和部署具有重大意义。本文将以 WWY1 井钻探发现为基础,从多个方面探讨和总结下扬子复杂构造区油气成藏的关键要素,并利用这些成藏关键要素在区域上的配置关系,提出长江下游地区油气勘探的新思路 and 有利勘探方向。

1 无为凹陷超高压含气层特征

WWY1 井位于下扬子无为凹陷(图 1),井深 2398 m,依次钻遇第四系、新近系、古近系、白垩系及三叠系,完钻层位为中三叠统周冲村组。该井首次在中三叠统周冲村组膏盐层下部白云岩中发现 2 套异常高压含气层(图 2)。其中第一套石膏地层(厚约 202 m)以下 2174.0~2183.0 m 井段钻遇含气白云岩储层(共 9 m),地层压力系数为 1.3,气测全烃 0.026% 升高至 3.27%,后效全烃最高达 6.57%,甲烷含量 99%,含硫化氢($20 \times 10^{-6} \sim 268 \times 10^{-6}$),并发生井涌,槽面上涨 1 cm,见约 10% 针尖状、鱼籽状气泡外返,测井解释平均孔隙度为 3.5%、平均渗透率为 0.38 mD。第二套石膏地层(厚 101 m)下部井深 2346~2350.6 m 钻遇含气白云岩储层(共 4.6 m)时发生井涌,全烃 0.010% 升高至 9.473%,甲烷 0.009% 升高至 8.8147%,伴随硫化氢升高(最高 80×10^{-6}),测井解释平均孔隙度为 3.9%、平均渗透率为 0.33 mD,根据泥浆比重测算地层压力系数达 1.9,压力系数为苏浙赣地区油气钻井之最。区域钻井资料对比显示周冲村组第三套石膏层并未揭穿,其下伏南陵湖组顶部为孔隙-裂隙型白云岩、灰岩储层,其含气性特征有待下一步工作证实。

2 油气富集关键要素分析

下扬子无为凹陷超压含气层的发现表明,该地区具备有利的油气富集条件,综合分析可知,其油气富集明显受多种要素联合控制。

2.1 深层基底稳定

前人研究认为下扬子地块基底构成复杂,区域上具“一盖多底”的地壳结构特征,即从震旦纪之后全区形成了统一的沉积盖层,分布较稳定,大范围具有可对比性,而其下伏基底却不尽相同^[13]。在统一沉积盖层之下,不同地区基底在岩石组合、地层序列、变质程度、构造环境等方面存在很大差异。

根据这些特征,区域上可进一步划分出 4 种不同的基底沉积建造类型,自南而北为中元古代火山-沉积复理石基底、新太古代—中元古代古陆核基底、中元古代碳酸盐岩基底和中—新元古代裂隙建造基底。区域中生代侵入岩中长石铅同位素组成与 Nd 同位素模式年龄研究及区域航磁信息分析也得出了类似的结论^[14-15],总体而言,下扬子地块并不是由一个统一的基底组成,而是由若干个新太古代—古元古代和中元古代变质基底的次级地块所构成。

下扬子最新的地壳深部地震资料显示,不同地块的基底呈现出不同程度的变形和断裂特征(图 3-a),大致以长江为界,南北均发育基底卷入式大型逆冲、叠瓦、褶皱和推覆构造,而介于两者之间的沿江地区基底总体呈均一空白反射,未见明显构造变形,表现出稳定基底的特征^[16-17]。基底的这种结构差异很可能与不同基底自身岩石性质差异导致刚性程度存在差异有关。MT 视电阻率二维连续介质反演剖面亦显示该地区基底总体相对高阻的特征,与两侧深部电性明显不同(图 3-b)。在后期区域构造演化过程中,构造应力使偏软弱的基底发生强烈的变形或断裂,而刚性强的基底基本没有大的变化。刚性基底的存在能对上覆沉积盖层在受应力作用时起到一定抗挤压作用,使上部盖层产生有限的构造变形和破坏改造,从而有利于保存沉积地层的连续性和完整性。

2.2 有利构造带——原地体

下扬子地区的构造条件一直是该地区油气勘探关注和争论的焦点^[8-9, 18-20],复杂的构造特征给油气勘探带来了极大的挑战,因此在复杂构造区寻找有利于油气保存的相对稳定构造带是决定该地区油气能否获得突破的关键要素之一。

研究认为,下扬子区中生代以来的构造演化对盆地的地层结构和构造样式产生了深远的影响,其中影响最强烈的是印支期—早燕山期构造运动^[7, 10]。由于扬子板块与华北板块的拼合导致北部的逆冲推覆构造系统向南运动,同时由于江南隆起带的板内造山作用导致南部的逆冲推覆构造系统向北运动^[7, 10],形成 2 套南北对冲的逆冲推覆构造体系,并在逆冲推覆交接部位形成沿江(长江)对冲过渡带(图 4),又称对冲向斜带^[9]。印支期—早燕山期构造运动确定了下扬子区整体的构造格局,虽

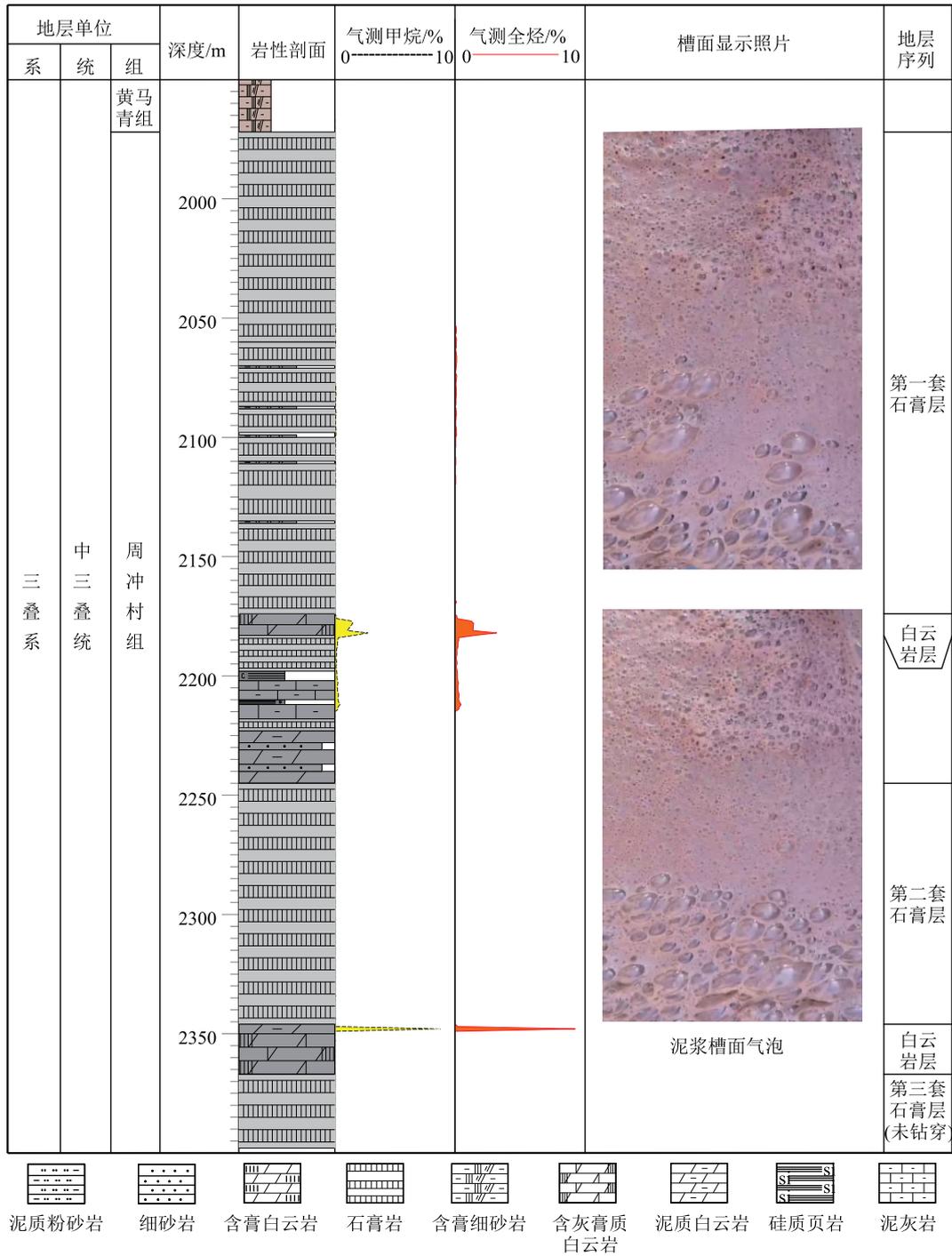


图2 无为凹陷皖为页1井中三叠统周冲村组油气显示

Fig. 2 Oil and gas revealed in the Middle Triassic Zhouchongcun Formation of Well WWY 1, Wuwei depression

然之后又经历了晚侏罗世—早白垩世走滑拉分和晚白垩世以来拉张断陷2期较大的构造叠加改造作用,但是南北对冲推覆构造样式仍是下扬子现今残留盆地地层结构的典型特征。

下扬子对冲过渡带的形成是下扬子陆内构造变形的重要产物,其发育与下部深层稳定基底有重要关联,是挤压作用过程中深层基底对上覆盆地沉积盖层起保护作用的地质响应。下扬子对冲过渡

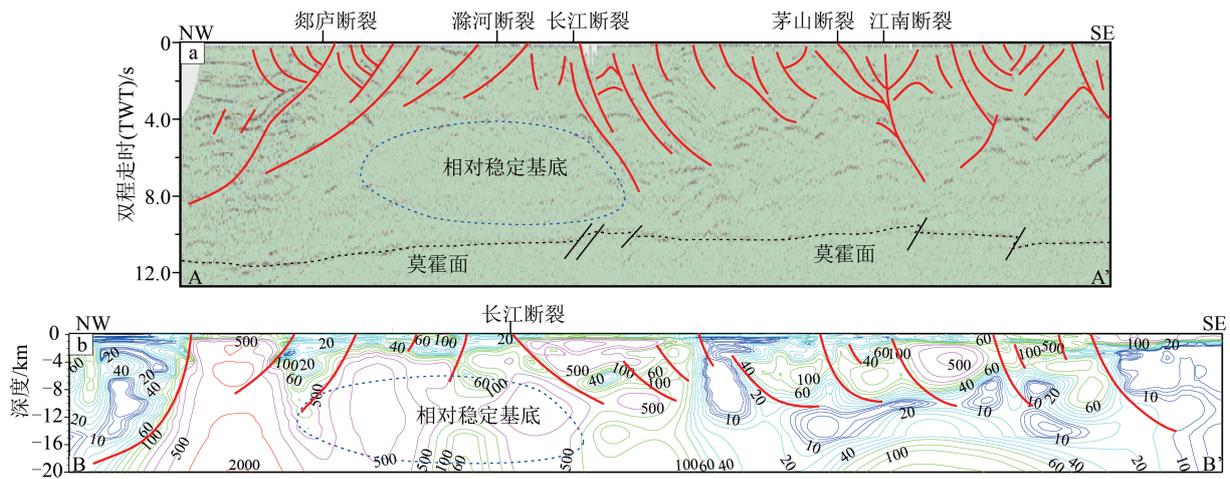


图 3 下扬子深部地震剖面解释(a,据参考文献[16]修改,剖面位置见图1)和 MT 视电阻率二维连续介质反演剖面解释(b,剖面位置见图1)
 Fig. 3 Interpreted seismic section for the deep seismic profile(a) and MT apparent resistivity continuous media inversion section across the Lower Yangtze region(b)

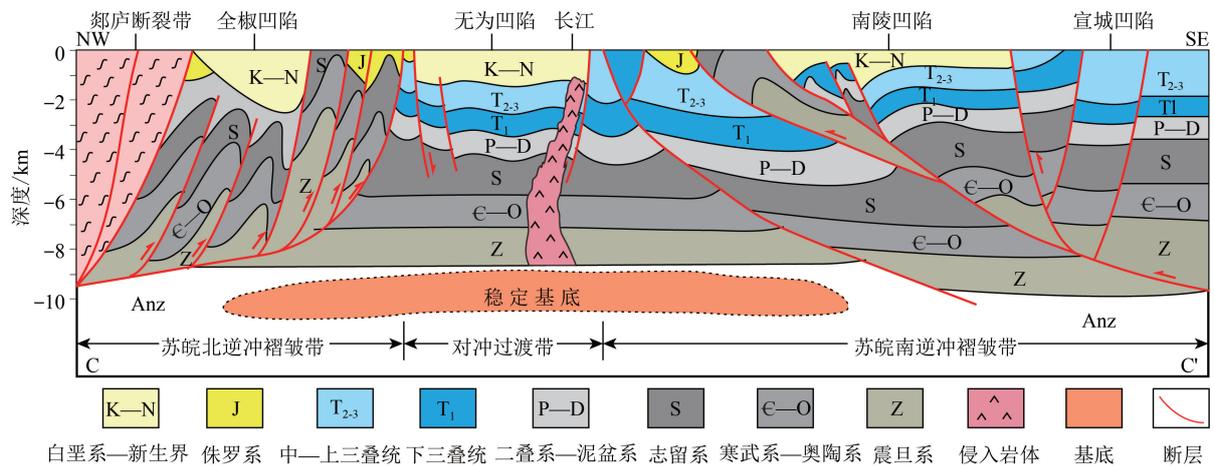


图 4 下扬子对冲过渡带构造剖面(剖面位置见图1)
 Fig. 4 Structural section showing the thrust-nappe system in the Lower Yangtze region

带从安徽望江经无为一直延伸到江苏南京和泰州一带,总体呈 NE 向,宽度在 20~40 km 之间(图 1)。和南北逆冲推覆体构造不同,对冲过渡带是原地体,没有明显构造位移,构造相对简单和稳定,同时也是复向斜和三角构造的发育区,是挤压区烃类富集的有力构造部位。WWY1 井部署在无为沿江对冲过渡带之上,构造运动对该地区中古生界的破坏作用较弱,因此为地下异常高压烃类流体的形成提供了有利的构造保存条件。

2.3 有利烃源岩相带

下扬子地区先后经历晚震旦世—晚奥陶世被动大陆边缘盆地、奥陶纪末—早石炭世前陆盆地、中石炭世—早三叠世被动大陆边缘盆地 3 个海相盆地演化阶段,沉积了包括寒武系、志留系、二叠系在内的多套海相、海陆过渡相泥页岩层系^[21-28]。不同时期的暗色泥页岩层系不仅可作为有利的烃源岩,经排烃、运移在源岩外富集成藏,同时具有良好的自生自储非常规天然气勘探潜力,构成下扬子不同

远景区勘探和评价的目的层系。

在无为凹陷远景区,前期的油气钻探和露头区油苗有机地球化学分析表明,二叠系孤峰组和大隆组是该地区的主力烃源岩层。无为凹陷徽页1井揭示,大隆组、孤峰组主要发育黑色硅质岩、硅质页岩夹炭质泥岩,总体厚度分别达71 m和75 m,岩石污手,有机碳含量高(4%~9%),热演化程度在过成熟以上(1.5%~2.6%)^[29],岩石脆性好,微裂缝较发育,岩心浸水实验发现有大量气泡溢出^[30],表现出优质的烃源岩特征。在凹陷西北缘马家山三叠系露头发现的油苗,经油源对比,确定其源岩可能为二叠系大隆组和孤峰组泥页岩。

无为地区二叠系大隆组和孤峰组发育有利的烃源岩,与其同沉积期所处的沉积相带息息相关。研究表明,在孤峰组和大隆组沉积时期,下扬子地区相对海平面总体处于高位,除部分地区为水下低隆,包括无为地区在内的皖沿江一带整体发育盆地相—深水陆棚相沉积(图5),有利于有机质的富集与保存。在无为地区这2套地层中硅质含量普遍偏高且地层整体偏厚,表明无为地区很可能为下扬子被

动大陆边缘背景下拉张作用形成的局部裂陷,伴有水下火山热液活动,向海底提供大量的硅质来源和营养物质,提高了古生产力。此外,这种局部裂陷水体深度较大,水流不畅,更易形成缺氧滞流的沉积环境,十分有利于优质烃源岩的生成。

2.4 优质封盖条件

WWY1井揭示,中三叠统周冲村组2套异常高压含气层上部均为纯石膏层,第一套膏岩厚度达202 m,第二套膏岩厚度为101 m。该石膏层具有良好的封盖能力,是下扬子地区重要的区域性盖层,广泛分布在安徽安庆、无为—含山、江苏宁—镇、常州—金坛、苏北黄桥等地区(图6)。其中,除在常州—金坛地区膏盐层独立分布于推覆带内外,其他地区均分布在沿江对冲过渡带及其相邻的推覆带上。膏岩主要呈环带状展布,在无为地区累计厚度普遍大于100 m,明显高于其他地区,厚度最大达到790 m,已形成优质石膏盐矿床被开发利用。

无为地区中三叠统周冲村组巨厚膏岩的存在为下伏地层超高压的形成提供了非常有利的封盖条件,且三叠系膏岩作为优质区域盖层在上扬子地区常规

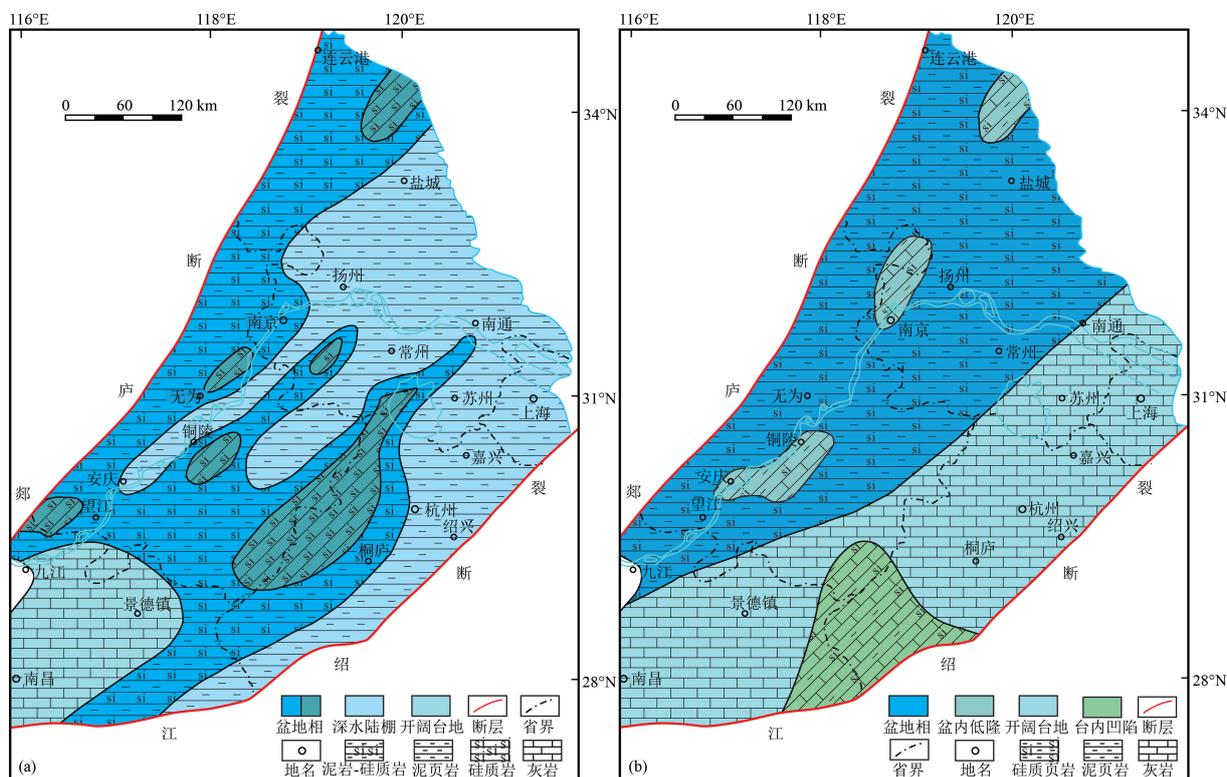


图5 下扬子地区二叠系孤峰组(a)、大隆组(b)岩相古地理图(据参考文献[21,31]修改)

Fig. 5 Lithofacies paleogeographic map of the Permian Gufeng Formation(a) and Dalong Formation(b) in the Lower Yangtze region

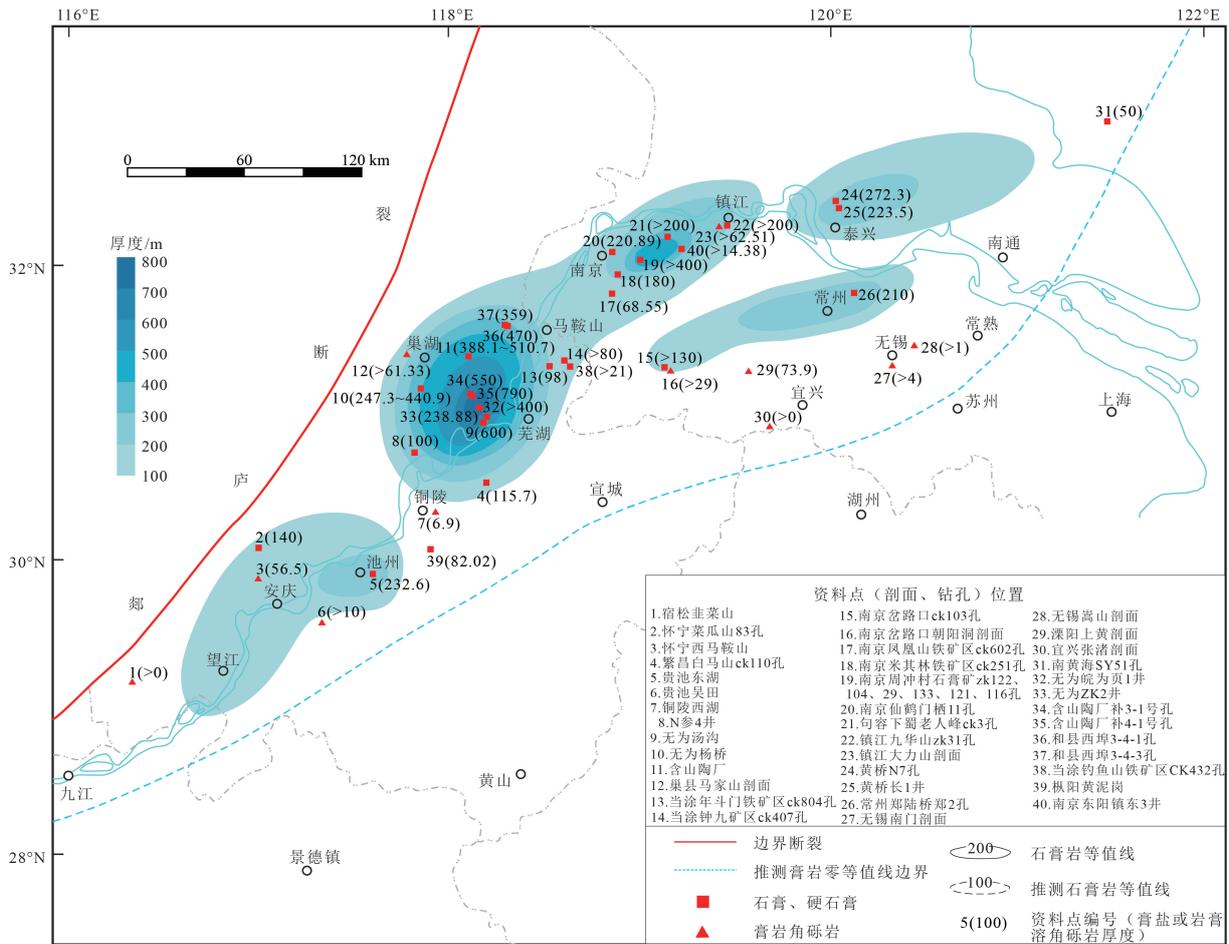


图 6 下扬子地区三叠系周冲村组石膏岩厚度等值线图

Fig. 6 Thickness contour map of the gypsum layer in the Triassic Zhouchongcun Formation of the Lower Yangtze region

天然气勘探中也已得到印证^[32]。此外,根据上扬子地区的经验,几米厚的石膏层下即可形成气藏。

3 油气勘探新思路与有利勘探方向

本次研究表明,下扬子无为凹陷沿江地区深层稳定基底提供的稳定构造背景、对冲过渡带原地体提供的良好构造保存条件、二叠系深水裂陷页岩沉积相带提供的优质烃源岩及中三叠统周冲村组多套厚层石膏提供的区域有利封盖是促进研究区三叠系超压常规天然气富集的四大关键要素。除常规天然气外,古生界二叠系大隆组与孤峰组页岩气也是近年下扬子地区重要的勘探目标和最可能实现突破的非常规资源。与常规天然气藏相比,页岩气吸附性赋存的特点决定了其对上覆盖层要求偏

低,以自生自储方式赋存在页岩地层中,但页岩保存是否连续完整、页岩有机质丰度高低等条件对页岩气资源量影响较大。因此,上述油气富集关键地质要素发育区同样适合于页岩气的勘探,也是二叠系页岩气富集有利区。基于以上 2 种类型天然气富集在无为地区空间叠合性高的特征,为扩大油气勘探效益,提出了下扬子无为凹陷三叠系常规天然气和二叠系页岩气“一井双探”的新思路,并按此思路于 2020 年在无为凹陷部署了皖为页 2 井。

从四大关键要素在下扬子区域上的配置关系看,皖沿江地区的望江凹陷与无为凹陷总体具有相似的地质条件,具体表现为:①构造位置上,同处沿江对冲过渡带,有相同的深层基底,构造保存条件相似;②两者二叠系大隆组、孤峰组均为深水

盆地相页岩沉积相带,页岩有机质丰度高,在望江凹陷孤峰组的 TOC(总有机碳)最高达 8.69%;③安庆—望江地区三叠系周冲村组膏盐层厚度在 10~200 m 之间,具备有利的封盖条件。此外,望江凹陷比无为凹陷面积更大,且周缘露头区已发现有多处油气苗显示,表明该凹陷资源丰富,具有良好的勘探潜力,是下一步常规油气和页岩气勘探的首选有利区。

4 结 论

(1)下扬子 WWY1 井首次在无为凹陷中三叠统周冲村组膏盐层下部白云岩储层中发现 2 套异常高压含天然气层,最高地层压力系数达 1.9,属华东地区之最,该新发现表明无为凹陷具备有利的天然气富集条件。

(2)深层稳定基底、对冲过渡带原地体、深水裂隙优质烃源岩相带及多套膏岩有利封盖是该地区超压常规天然气富集的关键控制要素。

(3)无为地区的地质条件有利于二叠系大隆组、孤峰组页岩气的富集,由此提出下扬子无为凹陷三叠系常规天然气和二叠系页岩气“一井双探”的新思路。

(4)油气富集关键要素区域配置关系表明,下扬子沿江地区望江凹陷具有与无为凹陷相似的地质条件,具有良好的勘探潜力,是下一步油气勘探的首选有利区。

致谢:中国地质调查局长江下游(安徽)页岩气调查科技攻坚指挥部领导和专家对皖为页 1 井在部署和钻探过程中给予支持和帮助,南京地质调查中心能源地质室其他同事对文章的最终成稿起了重要作用,在此一并表示感谢。

参考文献

[1] 贾承造,郑民,张永峰.中国非常规油气资源与勘探开发前景[J].石油勘探与开发,2012,39(2): 129-136.

[2] 邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12): 26-39.

[3] 邹才能,杨智,崔景伟,等.页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J].石油勘探与开发,2013,40(1): 14-26.

[4] 董大忠,邹才能,李建忠,等.页岩气资源潜力与勘探开发前景[J].地质通报,2011,30(Z1): 324-336.

[5] 张金川,边瑞康,荆铁亚,等.页岩气理论研究的基础意义[J].地质通报,2011,30(Z1): 318-323.

[6] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(6): 136-140.

[7] 李海滨,贾东,武龙,等.下扬子地区中—新生代的挤压变形与伸展改造及其油气勘探意义[J].岩石学报,2011,27(3): 770-778.

[8] 朱光,徐嘉炜,刘国生,等.下扬子地区前陆变形构造格局及其动力学机制[J].中国区域地质,1999,18(1): 73-79.

[9] 姚柏平,陆红,郭念发.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.

[10] 梅廉夫,戴少武,沈传波,等.中、下扬子区中、新生代陆内对冲带的形成及解体[J].地质科技情报,2008,27(4): 1-7.

[11] 石刚,徐振宇,郑红军,等.下扬子地区“三气一油”钻探发现及成藏地质条件——以皖南港地 1 井钻探发现为例[J].地质通报,2019,38(9): 1564-1570.

[12] 潘继平,乔德武,李世臻,等.下扬子地区古生界页岩气地质条件与勘探前景[J].地质通报,2011,30(Z1): 337-343.

[13] 常印佛,黄德志,董树文.论中—下扬子一盖多底格局与演化[J].火山地质与矿产,1996,17(1/2): 1-15.

[14] 丁燕云,李占奎.基于航磁信息分析下扬子区及华南区基底性质[J].物探与化探,2009,33(5): 493-496.

[15] 王文斌,李文达,范洪源.长江中下游地区变质基底及地壳形成时间[J].火山地质与矿产,1996,(Z2): 42-50.

[16] Lü Q, Shi D, Liu Z, et al. Crustal structure and geodynamics of the Middle and Lower reaches of Yangtze metallogenic belt and neighboring areas: Insights from deep seismic reflection profiling[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 704-716.

[17] 吕庆田,刘振东,董树文,等.“长江深断裂带”的构造性质: 深地震反射证据[J].地球物理学报,2015,58(12): 4344-4359.

[18] 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): 133-142.

[19] 张涛,尹宏伟,贾东,等.下扬子区构造变形特征与页岩气保存条件[J].煤炭学报,2013,38(5): 883-889.

[20] 张鹏辉,梁杰,陈建文,等.中国叠合盆地深部海相地层油气保存条件剖析[J].海洋地质前沿,2019,35(1): 1-11.

[21] 马永生,陈洪德,王国力,等.中国南方层序地层与古地理[M].北京: 科学出版社,2009.

[22] 徐曦,杨凤丽,赵文芳.下扬子区海相中、古生界上油气成藏组合特征分析[J].海洋石油,2011,31(4): 48-53.

[23] 邵威,黄正清,李建青,等.浙西南—赣东北地区寒武系荷塘组页岩气成藏地质条件及有利区带优选[J].中国地质,2020. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20200914.1802.002.html>

[24] 殷启春,方朝刚,郑红军,等.下扬子地区奥陶纪页岩气地质条件及远景区优选[J].华东地质,2020,41(1): 70-78.

[25] 方朝刚,黄正清,滕龙,等.下扬子地区晚奥陶世凯迪期—早志留世世丹期岩相古地理及其油气地质意义[J].中国地质,2020,47(1): 144-160.

[26] 李琪琪,徐尚,陈科,等.下扬子区上二叠统页岩气成藏条件分析[J].中国地质, 2020. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20200429.1018.004.html>

[27] 郑红军,周道容,殷启春,等.下扬子页岩气地质调查新进展及突破难点思考[J].地质力学学报,2020,26(6): 852-871.

[28] 施俊法.21 世纪前 20 年世界地质工作重大事件、重大成果与未来 30 年中国地质工作发展的思考[J].地质通报,2020,39(12): 2044-2057.

[29] 钱劲,陈雨菡.芜湖地区二叠系页岩气成藏地质条件[J].化学工程与装备,2018,(7): 113-115.

[30] 宋腾,陈科,林拓,等.下扬子苏皖南地区上二叠统页岩油气地质条件研究[J].中国地质调查,2019,6(2): 18-25.

[31] 胡文瑄,贾东,姚素平,等.下扬子地区古生界石油地质条件及勘探潜力[M].北京:科学出版社,2016.

[32] 金之钧,龙胜祥,周雁,等.中国南方膏盐岩分布特征[J].石油与天然气地质,2006,27(5): 571-583.



《地质通报》第 40 卷第 5 期要目预告

黄淮海平原晚新生代重大地质事件研究综述	闫纪元等
甘肃红石山地区泥盆纪—石炭纪有限洋盆重建与蛇绿混杂岩深部结构	方维莹等
燕山期变质作用——以苏鲁造山带乳山(含榴)斜长角闪岩锆石-榍石年代学为例	田忠华等
藏东衣珠兴拉地区超基性岩岩石地球化学特征及 Pb-Nd-Sr 同位素特征	于涛等
内蒙古扎兰屯地区印支期二长花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及构造意义	刘文斌等
近百年来长江水下三角洲高分辨率洪水沉积记录及其控制机理	韦璐等
渤海湾西北岸 MIS3 阶段以来的海侵特征	黄猛等
南昌市中心城区地下空间开发地质适宜性评价	蒋杰等
西藏尼玛盆地东部油气显示带的发现及其地质意义	李英烈等
西藏雄村 I 号矿体三维地质建模与深部可视化应用	黄超等
应用奇异值分解(SVD)技术提取滇东南 Sn-W 多金属矿化航磁异常	朱旭等
黔东南盘石—盘信地区铅锌矿床 Rb-Sr 等时线年龄与流体包裹体特征及其地质意义	谢小峰等
森林—沼泽浅覆盖区地质填图技术方法探索试验——以黑龙江 1:5 万望峰公社幅为例	王东明等
城市建筑地基基础占用空间遥地耦合探测技术方法	李宏钊等
琼中黎母山—湾岭地区土壤重金属元素分布特征及生态风险评价	高健翁等