

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2025.01.010

鄂西地区二叠系页岩气调查新发现及其勘探意义

李 海^{1,2,3}, 张保民^{1,2,3*}, 陈 林^{1,2,3}, 李旭兵^{1,2,3}, 王 杰⁴, 张小涛⁵, 秦维秉⁶

LI Hai^{1,2,3}, ZHANG Bao-Min^{1,2,3*}, CHEN Lin^{1,2,3}, LI Xu-Bing^{1,2,3},
WANG Jie⁴, ZHANG Xiao-Tao⁵, QIN Wei-Bing⁶

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质调查局南方复杂构造区页岩气研究中心, 湖北 武汉 430205; 3. 中国地质调查局南方复杂构造区页岩油气成藏理论与工程技术创新中心, 湖北 武汉 430205;
4. 中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 湖南 长沙 410600; 5. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;
6. 中国长江三峡集团有限公司流域枢纽运行管理中心, 湖北 宜昌 443133

1. Wuhan Center, China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Central South China), Wuhan 430205, Hubei, China;
2. Shale Gas Research Center in Complex Structural Area of South China, Wuhan 430205, Hubei, China; 3. Technology Innovation Center for Shale oil and Gas Accumulation Theory and Engineering in Southern Complex Structural Area, Wuhan 430205, Hubei, China; 4. Changsha General Survey of Natural Resources Center, China Geological Survey, Changsha 410600, Hunan, China;
5. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China; 6. River Basin Hub Operation Management Center, China Three Gorges Corporation, Yichang 443133, Hubei, China

摘要: 在对鄂西鹤峰地区油气退出区块资料复查、野外地质调查和综合研究的基础上, 优选鹤峰向斜部署实施了鄂鹤页 3 井, 通过现场解析、有机碳含量(TOC)、镜质体反射率(Ro)、X-衍射矿物含量分析等实验测试, 初步揭示了鄂西二叠系大隆组页岩气成藏地质条件。结果显示, 鄂西二叠系大隆组发育富有机质页岩, 优质页岩厚度大于 30 m, TOC 平均 6.38%, 有机质类型主要为 I 型, Ro 平均 2.14%, 具备较好的生烃物质条件。页岩中的矿物组分表现出高硅(石英平均含量 58.4%)、低钙(碳酸盐矿物平均含量 14.9%)特征, 脆性矿物含量平均 84.1%, 储层后期压裂改造条件较好。大隆组页岩现场解析含气量平均 1.38 m³/t, 下段 20.5 m 的有利含气页岩段平均 1.73 m³/t, 解析气中甲烷气体占比平均为 97.9%, 表明页岩含气性较好。鄂鹤页 3 井首次在鹤峰向斜获得二叠系页岩气的调查发现, 进一步向南拓展了鄂西二叠系大隆组页岩气有利区勘查范围。同时指示构造保存条件是页岩气成藏富集的主控因素, 复杂构造区内相对弱变形区能够形成有利的页岩气构造保存样式, 是区内下一步页岩气勘探的重点领域。

关键词: 鄂鹤页 3 井; 二叠系大隆组; 页岩气; 新发现; 鄂西鹤峰地区

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2025)-01-0126-10

Li H, Zhang B M, Chen L, Li X B, Wang J, Zhang X T and Qin W B. 2025. New Discoveries and Exploration Significance of Permian Shale Gas Investigation in the Hefeng Area, Western Hubei Province. *South China Geology*, 41(1): 126–135.

Abstract: Based on the review of oil and gas exit block data, field geological survey, and comprehensive research in the Hefeng area of western Hubei, the Hefeng syncline was carried out to implement well EH3. Through on-site desorption test as well as analysis of organic carbon content (TOC), vitrinite reflectance (Ro)

收稿日期: 2024-12-20; 修回日期: 2025-02-09

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20243461, DD202402006)、中国长江三峡集团有限公司科技计划项目(0799276)

第一作者: 李海(1988—), 男, 高级工程师, 从事页岩气地质调查与研究工作, E-mail: lihail@mail.cgs.gov.cn

通讯作者: 张保民(1983—), 男, 正高级工程师, 从事页岩气地质调查与研究工作, E-mail: zhangbaomin@mail.cgs.gov.cn

and X-ray diffraction mineral content, the geological conditions for shale gas accumulation in the Permian Dalong Formation were preliminarily revealed. The results showed that in the Permian Dalong Formation organic-rich shale was developed with average organic carbon content of 6.38%, the high-quality shale thickness over 30 m, and the main type of organic matter is type I, with average vitrinite reflectance (R_o) of 2.14%, indicating good material conditions for hydrocarbon generation. The minerals in shale are characterized by high silicon (quartz content average 58.4%) and low calcium (carbonate mineral content average 14.9%), with an average brittle mineral content of 84.1%. The reservoir has good conditions for later fracturing and transformation. The average gas content of the Dalong Formation shale on-site desorption tested is $1.38 \text{ m}^3/\text{t}$, and the favorable gas bearing shale section in the lower 20.5 m has an average of $1.73 \text{ m}^3/\text{t}$. The methane gas accounts for an average of 97.9% of the desorption gas, which indicating the Dalong formation shale has good gas bearing properties. The first time Permian shale gas survey in well EHY3 from the Hefeng syncline further expanded the favorable shale gas areas of the Permian Dalong Formation in western Hubei to the south. This discovery simultaneously indicated that structural preservation conditions are the main controlling factors for shale gas accumulation and enrichment, and the relatively weak deformation zones in the complex tectonic area can form favorable shale gas structural preservation styles, which indicates an important direction for shale gas exploration.

Key words: well EHY3; Permian Dalong Formation; shale gas; new discoveries; the Hefeng area in western Hubei

鄂西地区页岩气地质调查评价工作大致始于 2009 年, 经过近十五年的持续攻关和研究, 已成为南方复杂构造区页岩气勘查程度最高、成果最显著的区域之一(陈孝红等, 2017, 2018, 2022; 李浩涵等, 2017; 翟刚毅等, 2017, 2020; 张焱林等, 2019)。2020 年, 中石化江汉油田在建南红星地区实现了二叠系吴家坪组页岩气勘探重大突破, 确立了区内又一套页岩气主力勘探层系(雷丽和夏梅, 2022; 王鹏威等, 2022; 包汉勇等, 2023; 胡德高等, 2023)。近年来, 中国地质调查局、湖北省自然资源厅和湖北省地质局等地勘单位联合攻关鄂西地区二叠系页岩气, 逐步聚焦矿业权空白区内与吴家坪组同期异相的大隆组, 通过部署调查井和参数井钻探取得了多处页岩气调查重要发现, 证实二叠系页岩气资源潜力巨大(周向辉等, 2019; 翟常博, 2021; 宋腾等, 2023; 谢通等, 2024)。但由于针对二叠系页岩气调查工作起步较晚, 尚有部分区域缺少钻井控制, 整体地质评价程度不够充分, 无法有效圈定页岩气分布有利区带。

2023 年中国地质调查局武汉地质调查中心联合中国地质调查局长沙自然资源综合调查中

心, 在页岩气调查工作相对薄弱的鄂西鹤峰地区部署实施鄂鹤页 3 井, 主探二叠系大隆组页岩含气条件, 取得了调查新发现。本文通过对鄂鹤页 3 井目的层段岩心资料编录, 综合钻井、测井、录井和页岩气现场解析、岩石有机碳、X 射线衍射全岩矿物分析等测试资料, 分析了鹤峰地区二叠系页岩气成藏地质条件, 总结其调查发现的启示和地质意义, 并提出了下一步勘探部署建议, 以期具备相似地质条件区域的页岩气调查评价工作提供借鉴。

1 地质背景及油气勘查概况

鄂西鹤峰地区在大地构造位置上属于中扬子板块湘鄂西褶皱带, 由北向南涉及花果坪复向斜和宜都-鹤峰复背斜两个构造带单元, 构造形态总体呈现为北北东-北东向。根据区域构造演化、褶皱样式、断裂变形及其组合样式等特征, 可以进一步划分为金钱湾向斜、石灰窑背斜、陈家湾向斜、白佳-下坪背斜以及走马-五里背斜六个次级构造单元, 在平面上总体表现为北东向展布的三背斜、

三向斜间列分布的构造格局,除西北部的金钱湾向斜属于花果坪复向斜,其余五个次级构造单元均属于宜都-鹤峰复背斜带(图 1)。区内地层属扬子地层区之上扬子地层分区恩施-咸丰小区,地层出露齐全、连续,从元古代、古生代到中生代皆有不同程度分布,且主要呈北东向展布,其中震旦系-下古生界主要分布于走马-五里背斜核部及北西翼,中寒武统-下古生界在白佳-下坪背斜两翼也有较多出露,相邻向斜则主要出露晚古生界-中生界。区内页岩气目的层二叠系大隆组沉积形成于台盆相深水沉积环境,主要分布在陈家湾向斜和鹤峰向斜,富有机质页岩厚度为 30~40 m,页岩有机碳含量(TOC)普遍在 4.0% 以上,最高可达 16%,成熟度为 2.2%~2.5%,具有较好的产气潜力(王秀平等, 2019; 王登等, 2020)。

鄂西鹤峰地区的油气勘查工作始于 2013 年,华电湖北发电有限公司通过国土资源部组织的第二轮页岩气探矿权出让招标获得湖北鹤峰页岩气区块,系统地开展了页岩气野外调查、二维地震和

油气钻井工程,完成 1:5 万页岩气区块地质调查 2518 km²,二维地震测线 434.31 km /15 条,并在陈家湾向斜及周缘地区钻探实施鹤地 1 井、鹤页 1 井和鹤页 2 井(图 1),其中鹤地 1 井和鹤页 1 井在二叠系大隆组和孤峰组钻遇良好页岩气显示,但在矿业权到期后注销退出,之后区内页岩气勘查工作基本处于停滞状态。2023 年,湖北省地质局第二地质大队在鹤峰向斜东南翼部署页岩气地质调查井鹤地 4 井,但由于地下构造复杂目的层含气性较差。同年,中国地质调查局武汉地质调查中心通过对油气退出区块资料复查、野外地质调查和综合研究,认为鹤峰地区南部的鹤峰向斜与北部的陈家湾向斜具有类似的页岩气成藏地质条件,并且目的层页岩埋深更大,保存条件更好。因此,通过对鹤峰地区油气退出区块资料复查、野外地质调查和综合研究的基础上,在鹤峰向斜西北翼优选有利部位实施了页岩气参数井鄂鹤页 3 井(图 1 和图 2),实现了二叠系大隆组页岩气调查新发现。

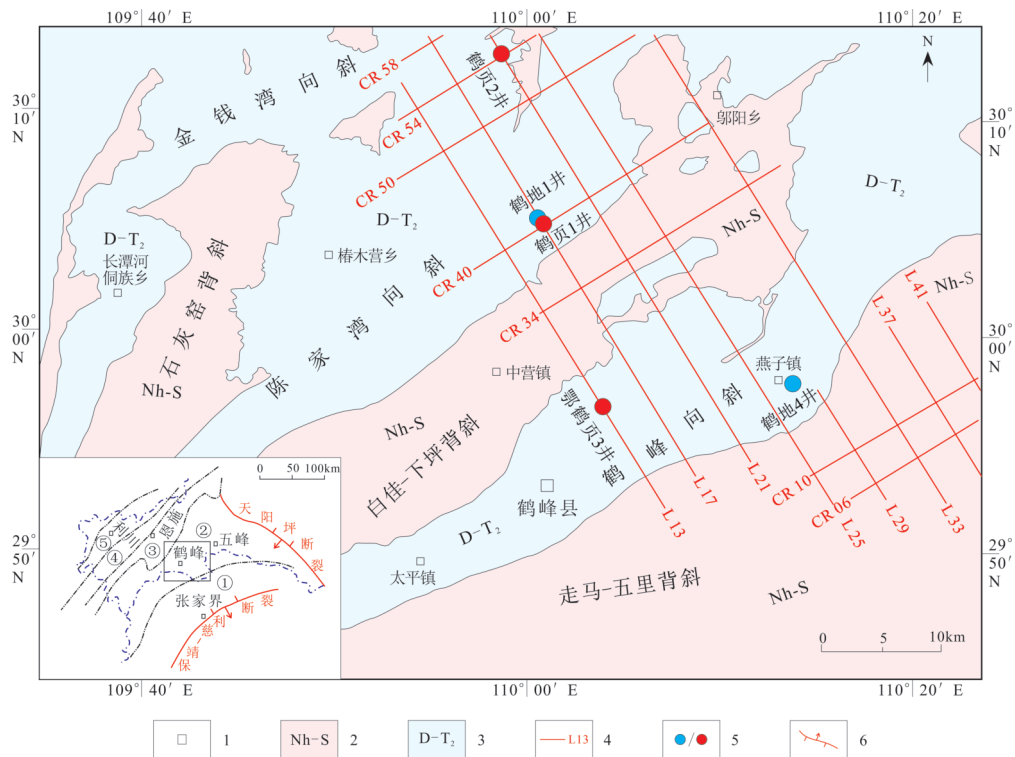


图 1 鄂西鹤峰地区构造纲要及勘探程度图

Fig. 1 Simplified tectonic and exploration degree map of the Hefeng area, western Hubei province

- 1.地名;2.南华系-志留系;3.泥盆系-中三叠统;4.二维地震测线;5.调查井/参数井;6.断裂。
- ①桑植-石门复向斜;②宜都-鹤峰复背斜;③花果坪复向斜;④中央复背斜;⑤利川复背斜

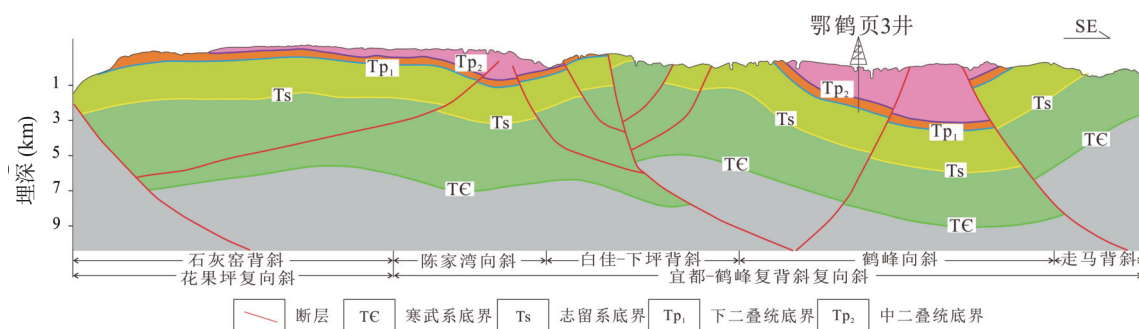


图 2 过鄂鹤页 3 井 L13 地震测线解释剖面图

Fig. 2 The interpretation profile of L13 seismic line through well EHY3

2 样品采集与测试

基于鄂鹤页 3 井二叠系大隆组钻井岩心,采集了 142 块样品开展了页岩气现场解析、有机碳含量(TOC)、镜质体反射率(Ro)、X-衍射矿物含量分析等实验测试。其中,TOC 在自然资源部中南矿产资源监督检测中心完成,其他测试项目均由国家地质实验测试中心完成。

页岩气现场解析采用国家地质实验测试中心自行研制的 HXJX-Ⅲ型仪器完成,将从现场井筒内取出的岩心迅速清洗干净后放入解析罐内,封好盖子放入加热箱内,将解析罐上的快速接头和自动计量装置上的对应管子迅速连接。设定加热时间、温度程序,随着温度的升高解析罐中的气体会通过接头排出并通过自动计量装置,经过数据换算最终计算出岩石中解析出来的气体体积。

有机碳含量(TOC)测试采用美国 LECO 公司生产的 CS230 碳硫仪,首先称取 50 mg 左右已经研磨好的样品粉末加入透水坩埚中,用浓度 5% 的盐酸浸泡,并在 80℃ 条件下加热 8 小时,然后用纯水清洗 10 次直至清除残余的盐酸,最后在 65℃ 条件下烘干样品。在烘干的盛有样品的瓷坩埚中加入铁屑、钨粒助熔剂,并将其置于仪器中进行测定,依据高温下生成的 CO₂ 峰面积计算有机碳含量。

镜质体反射率(Ro)测试是将采集的块状岩心样品经颚式破碎机轻微破碎后过筛,选取 10 ~ 20 目(2 ~ 0.9 mm)之间的颗粒,用环氧树脂胶合成直径约 1 cm 的圆柱形块样,经研磨和抛光形成一个包含有众多细小岩石颗粒的光亮表面。在徕

卡 DM4500P 偏光显微镜下,采用 50 倍物镜进行测定油浸条件下的镜质体随机反射率值,找不到镜质体的则测定沥青的反射率值,然后通过经验公式换算得到镜质体反射率值。

X-衍射矿物含量分析采用德国 Bruker 公司生产的 D2 PHASER 型 X 射线衍射仪,将已经研磨至 300 目左右的页岩粉末样品置于分光器(测角仪)中心,进行 X 射线照射并从 2°扫描至 70°,通过检测并记录 X 射线的强度获得衍射谱图,采用 TOPAS 软件对页岩矿物组分进行半定量分析。

3 页岩气调查新发现

鄂鹤页 3 井位于湖北省恩施土家族苗族自治州鹤峰县容美镇观音坡村,是鹤峰向斜内第一口页岩气参数井,设计井深 2300 m。2023 年 12 月 13 日开钻,2024 年 3 月 31 日完钻,完钻井深 2326.0 m,由上往下依次钻遇三叠系嘉陵江组、大冶组,二叠系大隆组、下窑组、孤峰组、茅口组、栖霞组、梁山组,石炭系黄龙组以及上泥盆统-下石炭统写经寺组。钻井揭示二叠系大隆组页岩气保存条件较好,钻遇连续分布厚度超过 30 m 的含气页岩层段,实现了二叠系页岩气调查新发现(图 3)。

3.1 页岩厚度及岩性特征

鄂鹤页 3 井在井深 1740.95 ~ 1807.51 m 进行了连续取心作业,根据岩心资料及电测曲线特征判断,在深度 1748.71 ~ 1797.32 m 钻遇二叠系大隆组,厚度 48.61 m,上覆地层为三叠系大冶组,下伏地层为二叠系下窑组,均呈整合接触关系。依据岩性组合特征,大隆组纵向上可分为上下两

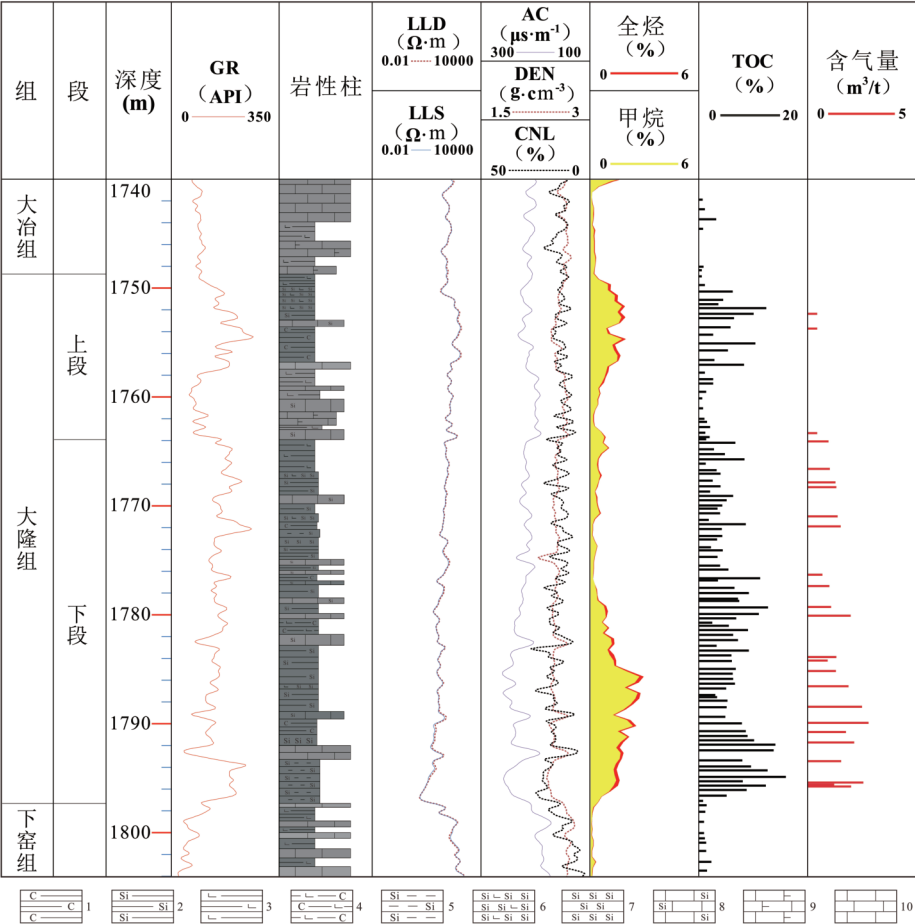


图3 鄂鹤页3井上二叠统大隆组综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive histogram of Upper Permian Dalong Formation of well EHY3

1.碳质页岩;2.硅质页岩;3.钙质页岩;4.含钙碳质页岩;5.硅质泥岩;6.含钙硅质岩;7.硅质岩;8.硅质灰岩;9.含泥灰岩;10.灰岩

段,上段井深 1748.71 ~ 1763.92 m,厚度 15.21 m,岩性为灰黑色钙质页岩与深灰色中-薄层状硅质灰岩、含泥灰岩互层,局部见薄层-极薄层状的凝灰岩夹层,页岩中钙质纹层发育,见水平层理;下段井深 1763.92 ~ 1797.32 m,厚度 33.4 m,岩性为黑色碳质页岩、含钙质碳质页岩、硅质页岩夹深灰色中-薄层状含碳硅质灰岩,页岩含碳较高、污手明显,层面上可见星点状、结核状黄铁矿。测井数据统计显示,大隆组上段地层的自然伽马值 (GR) 为 57.8 ~ 263.0 API, 平均值 132.5 API;大隆组下段地层的自然伽马值 (GR) 为 41.0 ~ 257.6 API, 平均值 153.1 API, 为富有机质页岩层段(图 3)。

3.2 页岩有机地化特征

页岩的有机地化特征是影响其自身生烃能力的重要因素,主要通过总有机碳含量(TOC)、有机

质类型和有机质热演化程度(Ro)三个参数进行表征和评价。国内首个实现商业开发的涪陵页岩气田勘探实践证明,主力产气页岩层具有高 TOC、有利的有机质类型以及适中的热演化程度等特征,优质页岩发育是页岩气富集高产的基础(郭旭升, 2014)。

对大隆组按照 50 cm 等间距进行了系统采样,96 件样品的 TOC 测试结果为 0.61% ~ 15.96%, 平均值 5.78%, 表明鹤峰地区二叠系大隆组有机质丰度较高。纵向上大隆组 TOC 整体呈现出下高上低的分布特征,大隆组上段(1748.71~1763.92 m)页岩的 TOC 为 0.61% ~ 12.39%, 平均值 4.03%;大隆组下段(1763.92~1797.32 m)页岩的 TOC 为 0.83% ~ 15.96%, 平均值 6.38%。大隆组中页岩 TOC 大于 2.0% 的连续分布在 1763.92~1795.56 m 之间,厚度为 31.64 m,其中 1776.8 ~ 1797.3 m 为

优质页岩段,厚度 20.5 m, TOC 平均值高达 7.38%, 其中 TOC 值在 4.0% 以上的样品占比超过 80% (图 3)。大隆组页岩干酪根组分镜检结果显示,腐泥组含量为 92.0%~97.0%,平均值 93.0%;壳质组含量为 3.0%~8.0%,平均值 6.0%;未见镜质组和惰质组。干酪根类型指数(TI 值)为 95.0~98.5,平均值为 96.55,指示有机质类型主要为 I 型干酪根,属于有利的有机质类型。7 块页岩样品的沥青反射率(Rb)测定值为 2.53%~2.87%,通过经验公式换算(丰国秀和陈盛吉, 1988)得到镜质体反射率(Ro)为 2.04%~2.27%,平均值为 2.14%,表明大隆组页岩处于过成熟演化的早期阶段,但仍具备较好的生气潜力。

3.3 页岩矿物组成

页岩矿物组成是储层研究的基础,由于受物源输入、沉积环境及成岩演化等多重因素的控制,页岩矿物组成表现出复杂的非均质性,这种非均质特性对裂缝发育、气体的吸附能力以及岩石力学性质都具有重要影响,尤其与页岩组分密切相关的储层脆性评价,是后期压裂参数与工程工艺选择的有效依据(Li Q et al., 2013; 吉利明等, 2014; 崔春兰等, 2019)。

根据大隆组岩性特征和 TOC 采样分析结果,针对 TOC 含量大于 2.0% 且页岩连续分布的 1763.92~1795.56 m 深度段的典型岩心样品进行了矿物 X 衍射实验分析。结果表明,页岩中的矿物组分以石英、碳酸盐和黏土矿物为主,长石和黄铁

矿含量较低,普遍都在 10% 以下。纵向上随埋深的增加,石英矿物含量先降低后升高,碳酸盐矿物含量则先升高后降低,黏土矿物含量变化规律不明显。页岩中的石英矿物含量为 32.3%~79.8%,平均 58.4%;碳酸盐矿物含量为 0.3%~35.0%,平均 14.9%;黏土矿物含量为 5.9%~30.2%,平均值为 15.9%(图 4a)。参考南方复杂构造区页岩脆性评价的基础上(陈吉等, 2013),本文选取石英、碳酸盐矿物、长石、黄铁矿作为脆性矿物来计算页岩脆性指数,结果显示大隆组页岩脆性指数为 74.7%~91.7%,平均 84.1%,有利于后期储层压裂改造。此外,通过将硅质矿物(石英+长石)、碳酸盐矿物和黏土矿物含量进行归一化数据处理,依照“三端元”岩石三角图划分了页岩的岩相类型,除 1 个样品为混合页岩,其余大隆组页岩均为硅质页岩相(图 4b),与重庆焦石坝地区已经成功实现商业开发的五峰组-龙马溪组(吴蓝字等, 2016)主力页岩产层类型相同,属于页岩气勘探开发中的优势岩相类型。

3.4 页岩含气性

鄂鹤页 3 井在泥浆密度 1.16 cm³/g 的条件下对大隆组钻进取心,气测录井全烃值为 0.12%~3.82%,岩心浸水试验可见密集气泡呈线状和串珠状持续溢出,局部微裂隙面可见 0.3~0.5 mm 大小的气泡,肉眼可辨识(图 5)。本次选择了 26 件岩心样品开展了页岩气现场解析试验,结果显示大隆组页岩含气量为 0.34~2.8 m³/t,平均 1.38 m³/t;

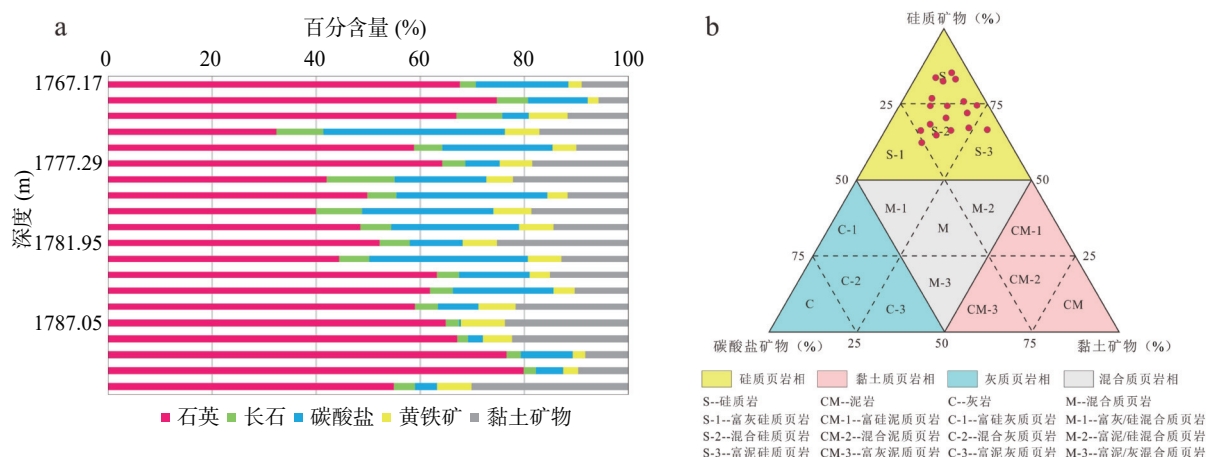


图 4 鄂鹤页 3 井大隆组页岩矿物组分含量图 (a) 及岩相类型划分图 (b)

Fig. 4 Shale mineral composition map (a) and lithofacies types division map (b) in the Dalong Formation of Well EHY3

其中下段地层(1763.92 ~ 1797.32 m)的含气量基本在 0.5 m³/t 以上,尤其是 1777.27~1795.77 m(厚度 20.5 m),为有利含气页岩段,含气量为 0.92 ~ 2.8 m³/t,平均 1.73 m³/t。通过对 12 件样品的解析

气组分(表 1)分析发现,解析气中甲烷气体含量占比为 97.45% ~ 98.62%,平均值高达 97.90%,而氮气的平均含量仅占比 0.23%,表明页岩总体含气性较好。

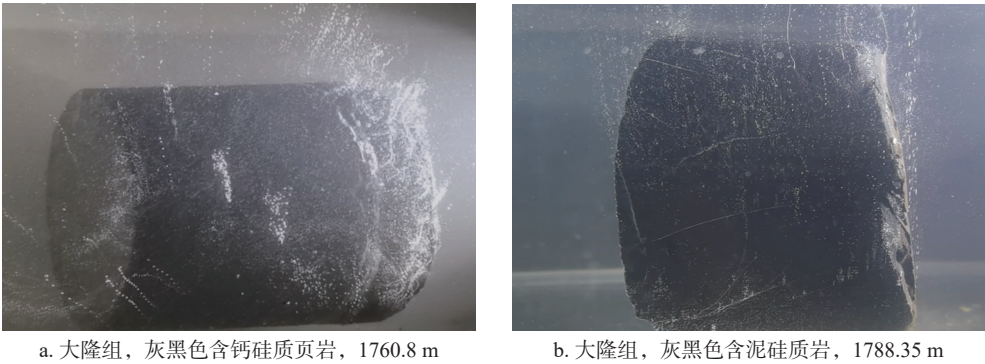


图 5 鄂鹤页 3 井大隆组岩心现场水浸试验

Fig. 5 The on-site water immersion test of Dalong Formation core of well EHY3

a.大隆组,灰黑色含钙硅质页岩,1760.8 m b.大隆组,灰黑色含泥硅质岩,1788.35 m

表 1 鄂鹤页 3 井大隆组现场解析气体组分检测数据

Table 1 On-site desorption gas composition detection datas in Dalong Formation of well EHY3

组分	样号	井深(m)	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂	He	H ₂
体积分数 (%)	QY-08	1771.64	97.73	1.31	0.01	0.56	0.33	0.03	0.03
	QY-09	1771.1	98.6	1.01	0.01	0.22	0.14	0.02	/
	QY-10	1770.3	97.88	1.18	0.02	0.12	0.78	0.02	/
	QY-12	1790.64	97.61	0.98	0.02	1.15	0.17	0.06	0.01
	QY-13	1789.9	97.6	1.1	0.02	1.12	0.15	/	0.01
	QY-14	1788.5	98.27	0.97	0.02	0.63	0.03	0.08	/
	QY-15	1787.2	98.62	1.02	/	0.09	0.27	/	/
	QY-16	1785.6	97.45	1.08	0.02	1.07	0.29	0.08	0.01
	QY-17	1784.5	97.66	1.32	0.02	0.81	0.17	0.01	0.01
	QY-18	1794.1	97.86	1.01	0.02	0.9	0.13	0.07	0.01
	QY-19	1792.65	97.69	1.17	0.02	0.99	0.12	0.01	/
	QY-20	1795	97.98	1.18	0.01	0.68	0.13	0.01	0.01

注:“/”代表未检出。

4 调查新发现的地质意义及勘探启示

4.1 进一步向南拓展了鄂西二叠系大隆组页岩气有利区勘查范围

鄂西地区以往的二叠系调查评价工作多集中在花果坪复向斜及周缘地区,并且向斜构造中的多口钻井在大隆组钻获高含气页岩,证实花果坪复向斜是页岩气勘查有利区带(王亿等, 2023; 谢通等, 2024)。鄂鹤页 3 井所处的鹤峰向斜是鄂西地区最南部的一个残留向斜构造,面积近 560 km²,

前期野外调查评价证实区内二叠系大隆组具备一定的页岩气成藏地质条件,但一直未能取得页岩气调查发现。此次鄂鹤页 3 井在二叠系大隆组获得页岩气调查发现,首次证实了鹤峰向斜大隆组具备页岩气富集条件,进一步向南拓展了鄂西地区二叠系页岩气有利区勘查范围,有助于整体评价和认识鄂西地区二叠系页岩气资源潜力。

4.2 复杂构造区内相对弱变形区是页岩气勘探的重点领域

鄂西地区从加里东期开始经历了多期构造改

造,尤其是从燕山期开始,受由南东向北西方向的构造挤压作用,区内构造变形强烈,地层普遍发生抬升,页岩气生烃和保存条件受到明显影响。近年来,鄂西地区二叠系页岩气调查发现在平面上表现出明显的非均一性,初步证实复杂构造区内不同构造单元的构造改造强度差异是控制页岩气成藏富集的关键因素(宋腾等, 2023; 居宇龙等, 2024; 李世臻等, 2024);尤其是花果坪复向斜北侧的七里坪向斜和红岩寺向斜形态开阔,地层抬升剥蚀程度较低,构造保存条件较好,多口钻井在二叠系探获高含气页岩层。鄂鹤页 3 井在鹤峰向斜

取得页岩气调查发现,表明鹤峰向斜北西翼的构造变形程度较弱,具备一定的页岩气构造保存条件;而向斜南东侧受鹤峰-龙山区域性大断裂的影响,构造变形强烈,地层倾角明显变陡(图 2),区内已实施完钻的鹤地 4 井含气性明显变差,表明鹤峰向斜南翼受后期构造改造强度较大,指示即使在同一构造单元内页岩气保存条件也存在较大差异。结合区域二叠系钻井页岩含气显示情况,认为鄂西复杂构造区内的残留向斜弱变形是形成有利的页岩气构造保存样式,该区域是下一步页岩气勘探的重点领域(图 6)。

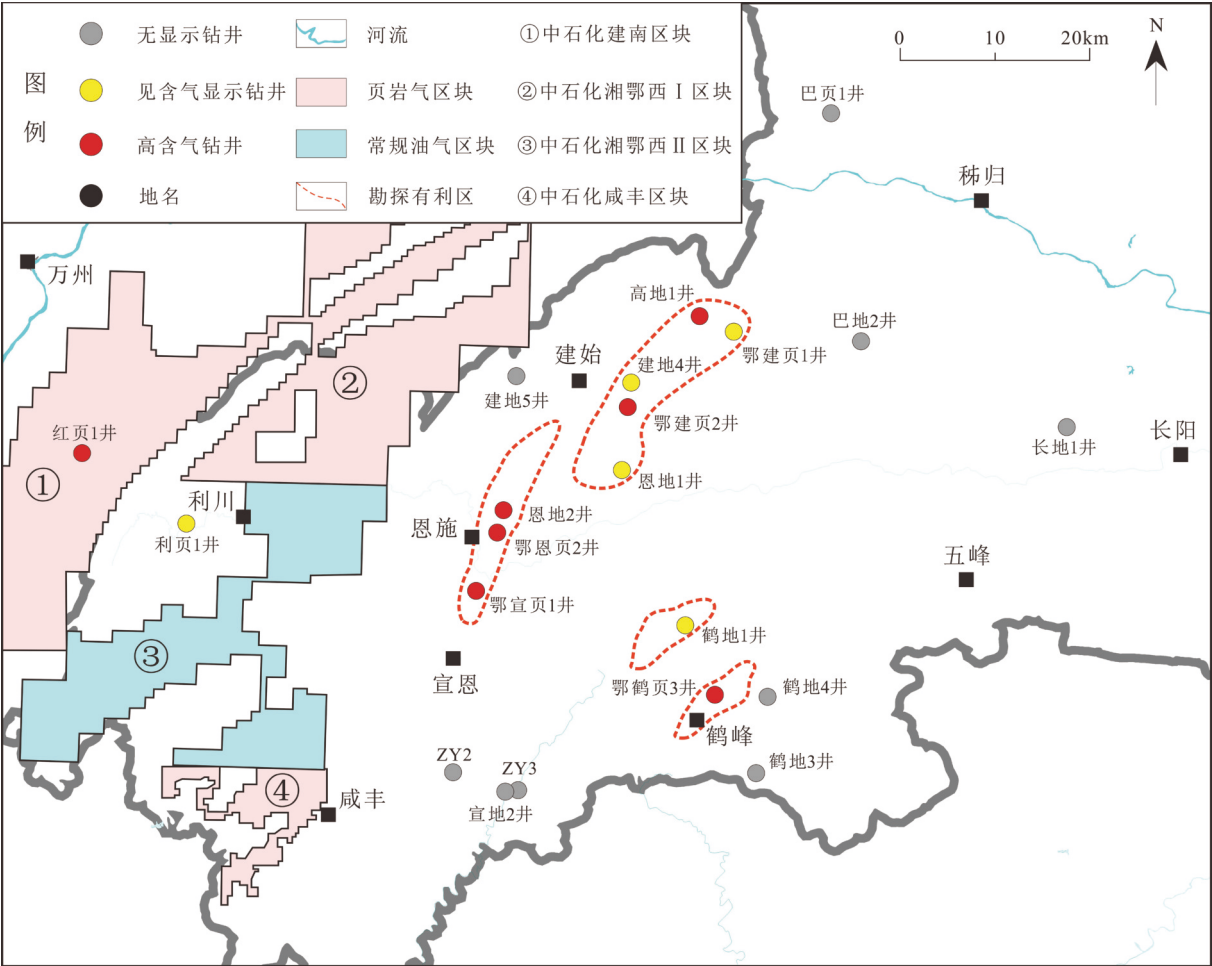


图 6 鄂西地区二叠系页岩气勘探重点有利区带

Fig. 6 Favorable exploration zones for Permian shale gas in western Hubei province

5 结论

(1)鄂鹤页 3 井钻探揭示鹤峰向斜二叠系大隆组发育台盆深水相页岩,优质页岩主要分布在

大隆组下段,厚度大于 30 m,岩性以黑色碳质页岩、含钙质碳质页岩、硅质页岩为主,有机碳含量平均 6.38%,有机质类型主要为 I 型,热演化程度 (Ro)平均 2.14%,页岩矿物组成表现出“高硅低

钙”特征,脆性矿物含量平均 84.1%,是区内有利的页岩气勘查层系。

(2)鄂鹤页 3 井大隆组现场解析含气量平均 1.38 m³/t,下段 20.5 m 的有利含气页岩段平均 1.73 m³/t,解析气中甲烷气体占比平均 97.9%,首次在鹤峰向斜获得二叠系页岩气调查新发现,证实区内具备页岩气成藏富集条件,进一步向南拓展了鄂西二叠系大隆组页岩气有利区勘查范围。

(3)鄂西地区二叠系大隆组具有较好的页岩气勘探前景,是区内页岩气资源接替的重要层系;区域钻井揭示的页岩含气性差异表明构造保存条件是页岩气富集成藏的主控因素,复杂构造区内相对弱变形区能够形成有利的页岩气构造保存样式,是下一步页岩气勘探的重点领域。

参考文献:

- 包汉勇,赵帅,梁榜,周林,刘皓天.2023.川东红星地区二叠系吴家坪组页岩气富集高产主控因素与勘探启示[J].中国石油勘探,28(1):71-82.
- 陈吉,肖贤明.2013.南方古生界 3 套富有机质页岩矿物组成与脆性分析[J].煤炭学报,38(5):822-826.
- 陈孝红,李海,苗凤彬,罗胜元.2022.中扬子古隆起周缘寒武系页岩气赋存方式与富集机理[J].华南地质,38(3):394-407.
- 陈孝红,王传尚,刘安,罗胜元,李海,危凯.2017.湖北宜昌地区寒武系水井沱组探获页岩气[J].中国地质,44(1):188-189.
- 陈孝红,张保民,张国涛,陈林,张森,李培军.2018.湖北宜昌地区奥陶系五峰组—志留系龙马溪组页岩气高产工业气流[J].中国地质,45(1):199-200.
- 崔春兰,董振国,吴德山.2019.湖南保靖区块龙马溪组岩石力学特征及可压性评价[J].天然气地球科学,30(5):626-634.
- 丰国秀,陈盛吉.1988.岩石中沥青反射率与镜质体反射率之间的关系[J].天然气工业,(3):20-25+7.
- 郭旭升.2014.涪陵页岩气田焦石坝区块富集机理与勘探技术[M].北京:科学出版社.
- 胡德高,周林,包汉勇,刘皓天,刘超,孟志勇,赵帅,王建.2023.川东红星地区 HY1 井二叠系页岩气勘探突破及意义[J].石油学报,44(2):241-252.
- 吉利明,邱军利,宋之光,夏燕青.2014.黏土岩孔隙内表面积对甲烷吸附能力的影响[J].地球化学,43(3):238-244.
- 居宇龙,万俊,李乐,温雅茹,张焱林,郝云飞.2024.复杂构造区大隆组页岩裂缝特征及对含气性的影响——以鄂西鹤峰地区为例[J].资源环境与工程,38(5):506-515.
- 雷丽,夏梅.2022.江汉油田在湖北红星地区二叠系页岩气勘探获得重大突破 红星,点亮页岩气大发现[J].中国石油石化,(4):52-53.
- 李浩涵,宋腾,陈科,林拓,金春爽,孟凡洋,王鹏,张焱林.2017.鄂西地区(秭地 2 井)震旦纪地层发现页岩气[J].中国地质,44(4):812-813.
- 李世臻,周志,李飞,沈斌,徐秋晨,宋腾,张小涛,杨晓光,胡才志,王超,魏思宇.2024.鄂西—渝东地区上二叠统大隆组页岩气富集条件与勘探有利区[J].天然气工业,44(5):1-15.
- 宋腾,李世臻,张焱林,包汉勇,刘皓天,徐秋晨,李浩涵,王昱,王亿,谢通.2023.鄂西地区上二叠统海相页岩气富集条件差异与控制因素——以红星区块吴家坪组二段和恩施地区大隆组为例[J].天然气地球科学,34(8):1425-1441.
- 王登,余江浩,陈威,周向辉,张焱林,许露露,周豹,冷双梁,黄佳琪.2020.鄂西鹤峰地区上二叠统大隆组页岩储层特征及资源潜力[J].华南地质,36(1):9-18.
- 王鹏威,刘忠宝,李雄,刘皓天,周林,肖雄,王濡岳,李鹏.2022.川东红星地区上二叠统吴家坪组页岩发育特征及其页岩气富集意义[J].石油与天然气地质,43(5):1102-1114.
- 王秀平,牟传龙,肖朝晖,李红英,陈尧,郑斌嵩,王启宇.2019.湖北鹤峰地区二叠系大隆组页岩气储层特征及评价[J].海相油气地质,24(1):51-62.
- 王亿,罗凡,谢通,任志军,文剑航,段轲,温雅茹.2023.鄂恩地 1 井大隆组中浅层页岩气发现及其地质意义[J].资源环境与工程,37(1):42-49.
- 吴蓝宇,胡东风,陆永潮,刘若冰,刘晓峰.2016.四川盆地涪陵气田五峰组—龙马溪组页岩优势岩相[J].石油勘探与开发,43(2):189-197.
- 谢通,陈威,潘诗洋,石万忠,王亿,张焱林,段轲,任志军.2024.鄂西地区二叠系大隆组含气页岩岩相类型及储层特征[J].吉林大学学报(地球科学版),54(4):1154-1176.
- 翟常博,牟传龙,梁薇,郑斌嵩,咎博文.2021.鄂西地区二叠系孤峰组—大隆组沉积演化及其页岩气地质意义[J].矿物岩石,41(4):114-124.
- 翟刚毅,包书景,王玉芳,陈科,王胜建,周志,宋腾,李浩

- 涵.2017.古隆起边缘成藏模式与湖北宜昌页岩气重大发现[J].地球学报,38(4):441-447.
- 翟刚毅,王玉芳,刘国恒,陆永潮,何生,周志,李娟,张云泉.2020.鄂西地区震旦系—寒武系页岩气成藏模式[J].地质力学学报,26(5):696-713.
- 张焱林,段轲,刘早学,金春爽,陈科,罗凡.2019.鄂西下寒武统牛蹄塘组页岩特征及页岩气富集主控因素[J].石油实验地质,41(5):691-698.
- 周向辉,许露露,温雅茹,刘早学,陈程,罗凡.2019.鄂西建始-长阳地区上二叠统大隆组储层特征及沉积环境[J].华南地质与矿产,35(2):244-253.
- Li Q H, Chen M, Jin Y, Zhou Y, Wang F P, Zhang R X. 2013. Rock mechanical properties of shale gas reservoir and their influences on hydraulic fracture[C]. Challenging Technology and Economic Limits to Meet the Global Energy Demand, IPTC 2013 Beijing.