

文章编号:1009-3850(2019)01-0060-08

湖南保靖地区震旦系陡山沱组页岩气成藏地质条件分析

李 斌¹, 崔春兰¹, 张跃恒¹, 胡博文¹, 罗 群²

(1. 神华地质勘查有限责任公司, 北京 100022; 2. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

摘要:为评价湖南保靖地区震旦系陡山沱组页岩气勘探潜力,利用野外地质调查及页岩气井勘探成果资料,结合钻井岩心样品测试结果,研究了湖南保靖地区陡山沱组页岩储层发育的特征及其分布规律。湖南保靖震旦系陡山沱组发育被动大陆边缘浅水陆棚斜坡相灰色白云质灰岩、黑色碳质泥岩、黑色硅质岩、黑色硅质岩、深灰色泥晶灰岩、深灰色含钙碳质泥岩等。该页岩层分布稳定,厚度巨大(150~200m);有机碳含量较高(4.07%~10.25%),热演化程度较高(3.78%~4.97%),达到过成熟阶段;页岩孔隙度中等(0.19%~2.355%),渗透率极低(0.0005257~0.5910081 mD);脆性矿物含量较高(55.9%~84.5%),主要以石英、方解石、黄铁矿、斜长石为主;黏土矿物含量较低(16.5%~44.1%),以伊利石和伊蒙混层为主,经历了晚成岩作用阶段;储集空间主要有矿物溶蚀孔、有机质溶蚀孔、黄铁矿晶间孔、黏土矿物晶间孔、成岩解理缝及构造微裂缝等。综合研究分析认为,湖南保靖地区陡山沱组具有较好的页岩气成藏条件,可继续加大勘探力度。

关键词:页岩气;陡山沱组;成藏条件;沉积环境;储集空间;湖南保靖

中图分类号:P534.31;TE122

文献标识码:A

引言

近20年来,美国的页岩气商业开采取得巨大经济效益,改变了世界能源战略格局^[1]。近年来,我国在扬子海相地区加大力度进行页岩气勘探开发,在四川盆地及其周缘志留系龙马溪组取得了巨大突破,进行工业化商业开采,并建立了示范试验区^[2-4]。近期,中国地质调查局在湖北宜昌古隆起斜坡带鄂宜页1井调查中,发现寒武系牛蹄塘组具有稳定高产商业气流,且震旦系陡山沱组也有重要页岩气发现,重新引起了人们对寒武系牛蹄塘组及

震旦系陡山沱组页岩气研究的重视,拓宽了页岩气勘探思路。由于震旦系陡山沱组地层年代较老,埋藏深度较大,岩层变质作用较深,过去普遍认为其页岩气勘探的价值较低,渝东地区和湘鄂西地区还未针对该层进行过页岩气勘探研究。神华地质勘探有限责任公司2014年在开展保页2井的牛蹄塘组页岩气探井时,完钻深度达到了陡山沱组底部,取心时发现该岩层的黑色碳质泥岩与寒武系牛蹄塘组泥页岩具有相似的地质特征,该层也应该作为页岩气勘探目的层位重点进行研究。四川盆地与四川盆地东缘震旦系陡山沱组对应的同时期的地

收稿日期:2017-09-15; **改回日期:**2018-03-15

作者简介:李斌(1970—),男,博士研究生,高级工程师,主要从事页岩气地质学方面研究。E-mail:libin9600@sohu.com

通讯作者:罗群(1963—),博士,副教授。研究方向为非常规油气成藏与资源评价、盆地构造分析与油气成藏机理。E-mail:luoqun2002@263.net

基金项目:国家自然科学基金“云质岩致密油储层微米-纳米孔喉网络体系及其流体耦合流动机理与流动下限”(41372145)

层为灯影组,前人针对其岩石类型、储集层特征、成岩作用特征、烃源岩和成藏特征等方面做了大量的研究工作,但是多以四川盆地、扬子地台甚至中国南方为研究对象^[5-8],而对川东地区及湘鄂西地区具有针对性的研究还未有报道。本文对湘鄂西褶皱内的湖南保靖地区页岩气成藏地质条件及页岩气勘探开发及相关的地质问题,具有重要意义。

1 区域地质概况

湖南保靖页岩气区块大地构造上属于中扬子地区的东南部^[9],主体位于湘鄂西隔槽式冲断褶皱带内的桑植-石门复向斜内,东南以保靖-慈利断

裂带与雪峰隆起相接,西北以齐岳山断裂带与渝东隔挡式褶皱带相隔,北部延伸至大巴山断裂前黄陵背斜与宜昌背斜处,南部抵达滇黔桂交界区(图1)。湖南保靖页岩气区块主体位于湖南省保靖县,地质构造上是由3个北北东向的向斜和背斜组成的复合结构,背斜处出露寒武系娄山关组—奥陶系宝塔组,剥蚀严重,地形平缓,向斜区出露志留系—三叠系,地形崎岖,地层倾角较大。研究区东南部发育多条北北东-北东向逆冲断层,组成保靖-慈利断裂带,断裂带经历了多期次活动,造成了东南部出现多个地堑,地堑内地层平缓。

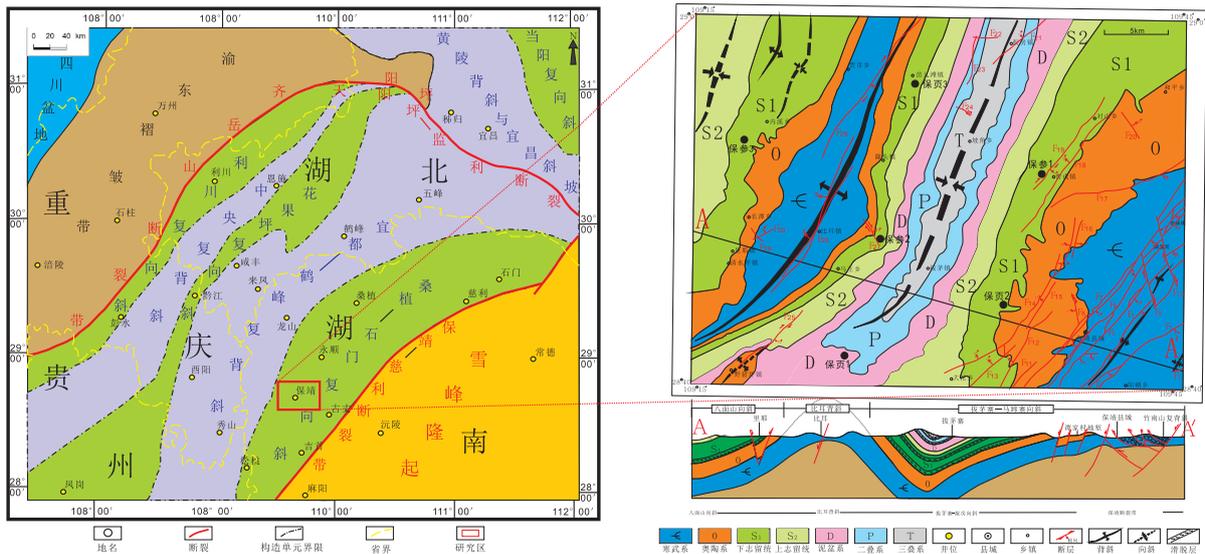


图1 湖南保靖地区区域地质图

Fig.1 Tectonic setting and schematic geological map of the Baoping region, Hunan

湘鄂西隔槽式冲断褶皱带位于扬子板块与华夏板块两大地质单元的结合部的中扬子地区,先后经历了晋宁运动、加里东运动、海西运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等多期构造运动,形成现今的复杂山区地形^[10]。晋宁运动以后,研究区作为扬子板块的组成部分,基底基本固结,并开始接受盖层沉积^[11]。南华纪时,在新元古代中期Rodinia超大陆裂解的基础上,扬子板块与华夏板块裂离,中扬子地区开始接受沉积^[12]。震旦纪南沱冰期后,中扬子东南部大陆拉张加剧,华南海盆初步形成,冰川消融,海平面上升,发生海侵,中扬子东南部发展为西北高、东南低的被动大陆边缘浅海陆棚环境,沉积了广泛分布的震旦系碳酸盐岩、黑色页岩^[9,13]。早寒武世早期,华南海盆持续扩张,海平

面快速上升,中扬子东南部形成了还原环境,沉积了下寒武统牛蹄塘组厚层黑色炭质页岩,为页岩气的生成提供了物质基础^[14]。早寒武中晚期,华南海盆扩张减缓,中扬子地区发展为开阔的碳酸盐岩台地。早、中奥陶世,华南海盆缩减,中扬子地区海平面下降,由过去的开阔台地环境转化为局限碳酸盐岩台地^[15]。志留纪时,华南海壳俯冲消减,洋盆消亡,华夏板块与扬子板块对接碰撞,雪峰构造带隆起,湘鄂西地区所在的中扬子地区形成了前陆盆地,沉积了厚层的复理石沉积建造^[10,16-18]。

2 地层特征及沉积相

根据保页2井钻井地质资料,湘西北保靖地区震旦系陡山沱组地层厚度为200m以上,底部未钻

探(图2),与下伏地层接触不明,与上覆留茶坡组为整合接触。其分段岩性特征自下向上为:

1. 未取心,岩屑观察为灰绿色泥岩,底部未见底。 1m
2. 未取心,岩屑观察为灰白色白云质灰岩。 25m
3. 未取心,岩屑观察为黑色碳质泥岩。 5m
4. 未取心,岩屑观察为灰色白云质灰岩。 3m
5. 未取心,岩屑观察为黑色碳质泥岩。 8m
6. 未取心,岩屑观察为黑色硅质泥岩与黑色碳质泥岩互层。 55.34m
7. 灰黑色硅质灰岩夹白云质灰岩,裂缝极其发育,多为高角度或垂直层面分布,被方解石充填。在硅质灰岩中见硅质岩透镜体,大小 $2 \times 0.3\text{cm}$,顺层定向分布。硅质灰岩垂直方向可见压溶缝合线。 1.82m
8. 黑色硅质岩,岩石致密、坚硬。发育水平及高角度裂缝,被方解石脉充填。硅质岩中夹有灰质白云岩条带。 2.46m
9. 黑色硅质岩,高角度裂缝发育,被方解石充填。沿层面见锰结核分布,结核大小 $1 \times 1\text{cm}$ 。 1.22m
10. 黑色硅质泥岩,致密块状构造,高角度裂缝发育,被方解石充填。 4.6m
11. 黑色碳质泥岩,岩石破碎严重,裂缝极其发育,多以高角度为主,被方解石充填。黄铁矿微细纹层发育较多,但较上伏地层明显减少。 3.35m
12. 黑色含碳粉砂质泥岩,致密块状构造。高角度裂缝发育,被方解石充填。黄铁矿微细粉末纹层发育,但较上部地层明显减少。 0.93m
13. 黑色碳质泥岩,发育黄铁矿纹层,纹层间隔 $1 \sim 2\text{mm}$,连续分布。局部发育高角度裂缝,被方解石充填。入水实验后见微细气泡沿着裂缝处释放。 5.97m
14. 灰黑色含钙泥质粉砂岩,黄铁矿纹层发育。 0.45m
15. 黑色碳质泥岩,黄铁矿纹层发育,黄铁矿纹层沿全岩层间隔 $1 \sim 2\text{mm}$,个别 $4 \sim 6\text{mm}$,连续性极佳。 1.1m
16. 灰黑色泥晶灰岩,裂缝发育。 0.2m
17. 黑色碳质泥岩,致密块状构造。黄铁矿纹层极其发育,纹层间隔 $1 \sim 2\text{mm}$,个别 $4 \sim 6\text{mm}$,连续性极佳。裂缝不发育,岩石沿层面开裂,显示薄层状。 1.32m
18. 黑色碳质泥岩,岩石破碎,由于断层作用形成多组裂缝,被方解石充填。 1.85m
19. 黑色硅质泥岩,致密块状构造。垂直层面劈开断面处呈棱角状。黄铁矿纹层局部发育,向下黄铁矿纹层逐步减少,顺层面发育菊花状碳酸钙,底部夹 13cm 的泥灰岩,发育水平纹层。 4.64m
20. 黑色碳质泥岩,致密块状构造,局部发育黄铁矿粉末纹层,顺岩石层面发育菊花状碳酸钙。 4.75m
21. 黑色碳质泥岩,岩石破碎,高角度裂缝发育,被方解石充填。黄铁矿纹层及黄铁矿晶体簇发育,黄铁矿晶体簇大小 $2 \times 3\text{cm}$ 或 $10 \times 12\text{cm}$ 不等,平行层面分布,顺层面发育大量菊花状碳酸钙。 3.19m
22. 黑色硅质泥岩,致密块状构造,岩石坚硬、密度大,黄铁矿不发育,裂缝不发育。 0.59m
23. 黑色碳质泥岩,岩石破碎严重,可见断层角砾岩,发育网状裂缝,被方解石充填。 1.47m
24. 黑色碳质泥岩,致密块状构造。黄铁矿粉末纹层发育,向下逐渐减少到消失。高角度裂缝发育,被方解石充填,沿层面发育菊花状碳酸钙。 4.97m
25. 灰黑色含碳泥晶灰岩,发育纹层状构造,高角度裂缝发育,被方解石充填。 0.6m
26. 灰黑色碳质泥岩,致密块状构造,层面上发育黄铁矿结合体及粉末纹层,黄铁矿结合体大小 $2 \times 5\text{cm}$ 。 1.74m
27. 黑色硅质泥岩,致密块状构造。发育黄铁矿透镜体 $15 \times 5\text{cm}$, $2 \times 4\text{cm}$,黄铁矿粉末条带极其发育,向下纹层增多,多以 $1 \sim 2\text{mm}$ 间隔分布。 9.27m
28. 灰黑色泥晶灰岩,发育黄铁矿粉末颗粒,岩石致密、坚硬,比重大。 0.48m
29. 黑色含钙碳质泥岩,发育少量黄铁矿纹层,向下纹层比例增加。岩石致密,块状构造,发育高角度裂缝,被方解石充填。 4.48m
30. 灰黑色泥晶灰岩与含钙碳质泥岩互层。泥岩与灰岩比例为 $3:1$,共有3个准层序,向上泥岩比例增加。在灰岩中发育水平层理、槽状层理、楔状层理、槽状层理等,底部为高角度板状层理,向上为水平层理。灰岩中见高角度裂缝,被方解石充填。 0.56m
31. 黑色含钙碳质泥岩,致密块状构造。泥岩中发育顺层黄铁矿,但较稀少,裂缝不发育,向下黄铁矿纹层增加。 0.84m
32. 灰黑色泥晶灰岩与含钙硅质泥岩互层。由硅质泥岩-泥晶灰岩组成12个准层序,硅质泥岩与泥晶灰岩以 $1:1$ 等比例互层,灰岩中见水平层理,岩石致密,裂缝不发育。 1.81m
33. 黑色泥晶灰岩,块状构造,裂缝较发育,见压溶缝合线。 1.11m
34. 黑色含钙碳质泥岩夹泥晶灰岩,岩石致密、坚硬,裂缝不发育。 3.6m
35. 深灰色含钙质泥岩,裂缝极其发育,有垂直、高角度裂缝,被方解石脉充填。 0.36m
36. 黑色含钙碳质泥岩夹薄层灰岩,见板状层理、平行层理。 1.1m
37. 黑色含钙碳质泥岩,裂缝极其发育。发育水平纹层及垂直层面高角度裂缝,被方解石充填。 0.53m
38. 黑色含钙碳质泥岩,致密块状构造,沿层理发育黄铁矿粉末圈层,裂缝不发育。 1.23m
39. 灰黑色灰岩,岩石致密,块状构造,发育高角度裂缝。 0.47m
40. 黑色含钙碳质泥岩,见黄铁矿透镜体,致密块状构造,裂缝不发育。 1.24m
41. 深灰色泥晶灰岩夹含钙碳质泥岩,裂缝不发育。 1.18m
42. 深灰色灰岩,局部夹黑色含钙硅质泥岩。灰岩中发育槽状、板状、平行层理,发育高角度裂缝,被方解石充填。 1.14m
43. 灰黑色泥晶灰岩与黑色含钙硅质泥岩互层,灰岩与硅质岩比例从下向上从 $3:1$ 减少到 $2:1$ 再到 $1:1$,向下准层序厚度增大,灰岩中发育平行层理。 2.18m
44. 灰色泥晶灰岩,发育楔状、透镜状层理,见高角度裂缝,被方解石充填。 1.89m
45. 黑色含钙硅质岩,致密块状构造,无裂缝,发育水平层理。 0.75m
46. 灰黑色灰岩,致密块状构造,裂缝发育。 0.68m
47. 黑色含钙硅质岩,岩石致密、坚硬,块状构造,裂缝不发育。 0.4m
48. 黑色含钙碳质泥岩夹灰色薄层泥晶灰岩。 0.54m
49. 灰色薄层泥晶灰岩,局部夹黑色碳质条带,发育高角度裂缝,被方解石充填。 0.97m
50. 黑色含钙碳质泥岩,局部夹薄层泥晶灰岩,见平行层理、槽状层

- 理。由碳质泥岩—泥晶灰岩组成多个准层序。 2.82m
51. 灰色块状泥晶灰岩, 裂缝发育。 0.51m
52. 黑色含钙碳质泥岩, 局部见黄铁矿透镜体。 0.52m
53. 灰色块状泥晶灰岩, 垂直层面裂缝发育, 被方解石充填, 垂直层面发育压溶缝合线。 0.96m
54. 黑色含钙碳质泥岩, 致密块状构造, 裂缝不发育, 顺层发育黄铁矿脉体。 0.92m
55. 灰色块状泥晶灰岩, 发育多组垂直层面裂缝。 0.09m
56. 黑色含钙碳质泥岩, 裂缝不发育。 0.21m
57. 黑色含钙泥晶灰岩, 夹碳质泥岩条带。垂直层面发育缝合线构造, 发育高角度裂缝, 裂缝被方解石充填。 0.37m
58. 黑色含钙碳质泥岩。 0.29m
59. 灰色泥晶灰岩, 块状构造, 垂直层面裂缝发育, 被方解石充填。 0.28m
60. 黑色含钙碳质泥岩, 致密块状构造, 无裂缝。 0.56m
61. 灰色泥晶灰岩与黑色含钙碳质泥岩互层, 灰岩中见板状、槽状、平行层理, 见黄铁矿脉状条带。 2.1m
62. 灰色泥晶灰岩, 致密块状构造。垂直层面发育高角度裂缝, 被方解石充填。 0.68m
63. 黑色含钙碳质泥岩, 致密块状构造, 局部含黄铁矿晶体颗粒。 0.38m
64. 灰色泥晶灰岩, 自下向上发育板状层理、透镜状层理、槽状层理、羽状层理、平行层理。平行层面上可见黄铁矿粉末组成的水平层理。 0.28m
65. 黑色含钙碳质泥岩, 致密块状构造, 裂缝不发育, 沿着层面分布黄铁矿脉体。 1.62m
66. 灰黑色含钙质粉砂岩夹灰白色泥晶灰岩、含钙碳质泥岩, 灰岩比例较上覆地层明显减少。灰岩中可见板状层理、槽状层理、爬升层理。 1.27m

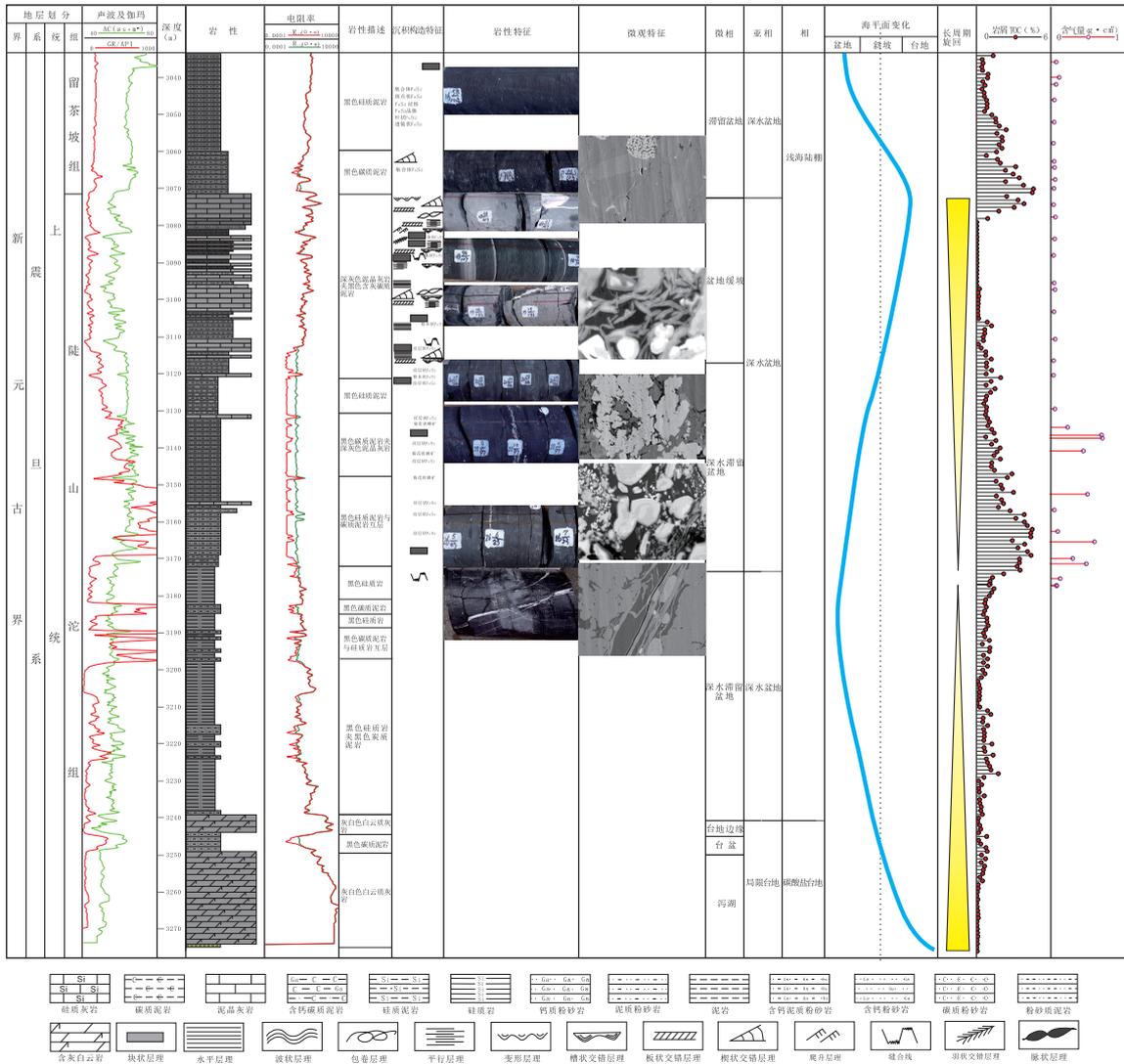


图2 保页2井陡山沱组地层综合柱状图

Fig. 2 Composite stratigraphic column through the BY-2 well in the Sinian Doushantuo Formation

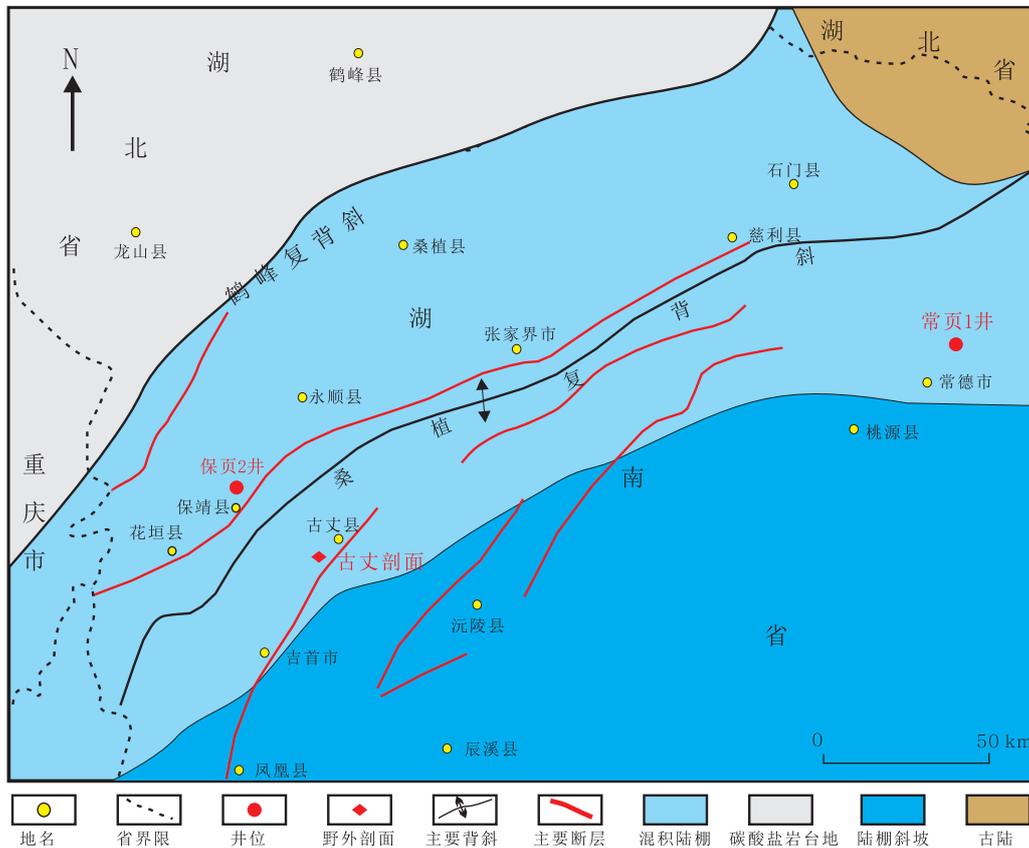


图3 湘西地区震旦系陡山沱组沉积时期沉积相平面图

Fig. 3 Planar distribution of the sedimentary facies during the deposition of the Sinian Doushantuo Formation in western Hunan

67. 灰黑色泥晶灰岩。底部发育高角度裂缝,裂缝多被方解石充填,向上裂缝消失。灰岩中发育平行层理、板状层理、槽状层理、高角度斜层理。灰岩局部夹黑色含碳钙质粉砂岩,灰岩与粉砂岩之间见明显的冲刷面。 1.76m

68. 灰色中薄层泥晶灰岩夹黑色含钙碳质泥岩。泥晶灰岩中发育高角度裂缝,被方解石脉充填。泥晶灰岩中发育滑塌变形层理、楔状层理、变形层理,向下碳质泥岩逐步减少。岩层中发育15个单元泥岩-顶单元灰岩准层序,向上准层序厚度增加,底单元厚度减小。黑色含钙碳质泥岩发育板状层理、透镜状层理。 6.54m

由地层序列来看,湖南保靖震旦系陡山沱组底部以白云质灰岩、灰质白云岩、碳质泥岩为主,以碎屑岩与碳酸盐岩混积型浅海陆棚相为主,下部以碳质泥岩、硅质泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩等碎屑岩为主,为碎屑岩浅海陆棚相,上部则以碳质泥岩、硅质泥岩、泥晶灰岩为主,为碎屑岩与碳酸盐岩混积型浅海陆棚相。湖南保靖震旦系总体为碎屑岩与碳酸盐岩混积型浅海陆棚相(图3)。

3 有机地球化学特征

多数盆地的研究表明,页岩气的含量与有机质

丰度有良好的正相关关系。保页2井地化测试结果显示,震旦系陡山沱组有机质丰度较高(4.07%~10.25%),中部地层有机质丰度高,从下向上有机质丰度逐渐降低(图2)。

保页1井中实测震旦系陡山沱组成熟度为3.78%~4.97%,平均为4.52%,处于过成熟阶段,中部地层Ro值最高,向上、向下Ro值逐渐减小(图2)。根据邻区热演化史和生烃史研究对比,震旦系陡山沱组页岩在泥盆纪经历生气高峰,之后进入晚期干气阶段,具备形成页岩气藏的条件。

4 储层特征

4.1 矿物特征

根据保页2井探井岩心及野外地质剖面测试可知,湖南保靖震旦系陡山沱组脆性矿物含量较高(55.9%~83.5%),向下脆性矿物的含量有增加的趋势。其脆性矿物的成份主要为石英(70%~85%)、钾长石(3%~5.5%)、黄铁矿(8.2%~

9.5%)、方解石(3.1%~6.2%)、钾长石(0.4%~0.8%)。黏土矿物以伊利石(47%~68%)、绿泥石(14%~25%)、伊蒙混层(5%~10%)、绿蒙混层(2%~4%)为主。说明湖南保靖寒武系牛蹄塘组已经历了晚成岩作用阶段,其原生孔隙较少,而次生孔隙增多。

4.2 物性特征

据保页1井震旦系陡山沱组物性测试分析可知,页岩孔隙度中等(0.19~2.355%),从上向下有减小的趋势;渗透率极低(0.0005257~0.5910081 mD),从上向下有减小的趋势。其满足页岩气开发的下限(1.0×10^{-4} mD)。

4.3 储集空间特征

湖南保靖地区震旦系陡山沱组主要发育溶蚀

孔、基质晶间孔、有机质孔、微裂缝4种储集空间类型。

溶蚀孔指泥页岩中碎屑颗粒内部、矿物晶体表面及其边缘由于溶蚀作用形成的次生孔隙。溶蚀孔隙可以进一步分为:矿物边缘溶蚀孔(图4C)、矿物晶面溶蚀孔(图4A)。扫描电镜下观察到矿物晶面溶蚀孔隙呈不规则似椭圆状,长轴直径0.2~0.5 μm ;而矿物边缘溶蚀孔多呈缝隙状或三角形孔隙状,宽0.01~0.1 μm ,长2~5 μm 。

基质晶间孔主要为黏土矿物层间孔或矿物晶体间孔隙(以黄铁矿为主)两类。陡山沱组黑色泥页岩中黄铁矿极其发育,镜下多呈草莓状集体出现,晶粒间存在大量孔隙,直径为0.1~0.3 μm ,其连通性较好,是重要的页岩气储集空间。黏土矿物

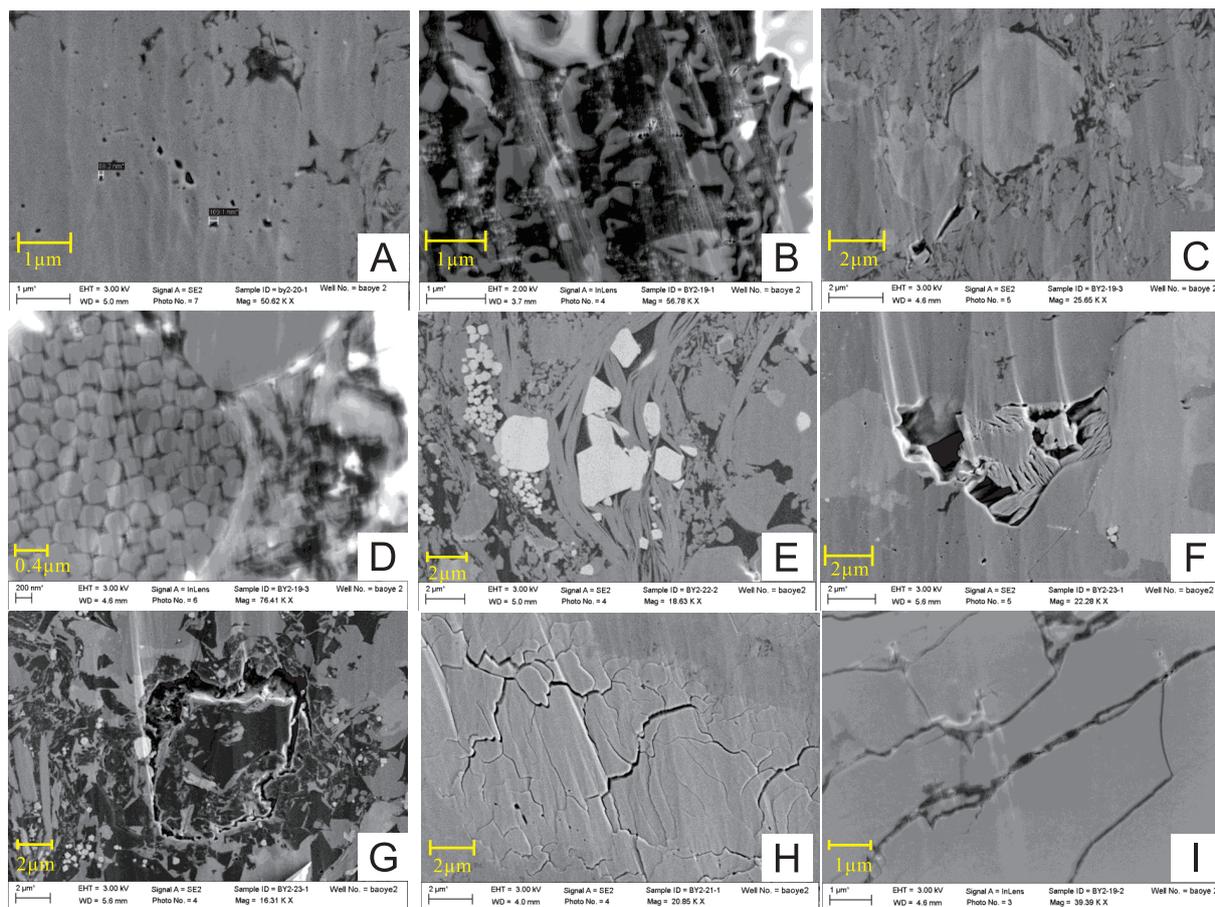


图4 保页2井震旦系陡山沱组页岩存储空间类型

A. 石英晶面溶蚀孔; B. 有机质溶蚀孔; C. 石英边缘溶蚀孔; D. 黄铁矿晶间孔; E. 伊利石晶间孔; F. 岩屑粒间孔; G. 石英边缘溶蚀缝; H. 方解石溶解缝; I. 构造微裂缝

Fig. 4 Reservoir space types in the Sinian Doushantuo Formation shales through the BY-2 well

层间孔以伊利石片状晶体之间的层间孔隙为主,形态为缝隙型,长度 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ (图4F),或以伊利石片状收缩形成的孔隙为主,呈不规则矩形,大小 $1 \times 1 \mu\text{m}$ (图4F),部分为伊利石片状晶体与黄铁矿晶体之间排列形成的孔隙,呈缝隙状,长度 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ (图4E)。

有机质孔指有机质内部原生孔隙或有机质生烃后内部残余的次生孔隙或溶蚀孔隙。有机质在成岩矿物间主要呈浸染状分布,局部呈条带状或呈云层状,形成的原生孔隙一般较大,直径 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 。在研究区由于成岩作用较强,酸性物质的溶蚀作用强烈,常在有机质内部形成筛状孔隙(图4B),直径 $0.01 \sim 0.08 \mu\text{m}$ 。有机质孔隙发育较多,且储集能力较强,也是重要的页岩气储集空间。

微裂缝按其成因可分为成岩缝和构造缝。成岩缝是在成岩过程中形成的岩屑颗粒、矿物晶体、黏土矿物、有机质等内部或边缘形成的微裂缝,研究区发现方解石重结晶形成的解理峰,宽 $0.01 \sim 0.05 \mu\text{m}$,长 $2 \sim 6 \mu\text{m}$ (图4H),以及石英晶体结晶形成的收缩缝,呈环形分布,宽 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$,酸性有机质在其周缘溶解侵染。该种裂缝连同性较好,储集空间较大,但研究区发育较少。构造缝是因构造作用形成的裂缝,一般为定向性排列,且规模较大,常以多组相关裂缝共生排列存在。构造性裂缝是页岩储层中最重要的一类储集空间,也是页岩气运移的渗流通道(图4I)。研究区构造型裂缝发育较多,且裂缝的密度较大,为页岩气的富集提供成藏的外部条件。

6 结论

(1)湖南保靖震旦系陡山沱组形成于被动大陆边缘浅海混积陆棚沉积环境,发育厚层黑色碳质泥页岩,为页岩气的生成提供了物质条件。

(2)陆山沱组页岩分布稳定,厚度大,有机质丰度较高,成熟度较高,脆性矿物含量较高,具备页岩气生成的基本条件。

(3)湖南保靖地区震旦系陡山沱组页岩气最重要的储集空间为溶蚀孔隙、黄铁矿晶间孔隙、有机质孔隙和微裂缝4种类型。

(4)构造型裂缝不仅是重要的储集空间,也是孔隙连通性的重要途径。震旦系陡山沱组中部厚

层碳质泥页岩裂缝极其发育,可针对该段地层加大勘探力度。

参考文献:

- [1] 张廷山,彭志,杨巍,等. 美国页岩油研究对我国的启示[J]. 岩性油气藏,2015,27(3):1-10.
- [2] 王志刚. 涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J]. 石油与天然气地质,2015,36(1):1-6.
- [3] 蒲泊伶,蒋有录,王毅,等. 四川盆地志留统龙马溪组页岩气成藏条件及有利地区分析[J]. 石油学报,2010,31(2):225-230.
- [4] 李斌. 湖南保靖地区龙马溪组页岩气成藏条件分析[J]. 特种油气藏,2016,23(5):12-17.
- [5] 李聪,陈世悦,张鹏飞,等. 雪峰陆内多期复合造山带震旦—三叠纪沉积演化特征[J]. 中国地质,2012,38(1):43-49.
- [6] 李忠雄,陆永潮,王剑,等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉积特征及岩相古地理[J]. 古地理学报,2004,6(2):151-162.
- [7] 刘新民,付宜兴,郭战峰. 中扬子地区南华纪以来盆地演化与油气响应特征[J]. 石油实验地质,2009,31(2):160-165.
- [8] 李艳霞,李净红. 中扬子区上震旦统一志留系页岩气勘探远景[J]. 新疆石油地质,2010,31(6):659-663.
- [9] 李斌,罗群,胡博文,等. 湘西地区叠加型前陆盆地沉积环境演化模式研究[J]. 中国石油勘探,2016,21(6):81-90.
- [10] 李斌,胡博文,石小虎,等. 湘西地区志留纪沉积体系及典型前陆盆地的形成模式研究[J]. 地学前缘,2015,22(6):167-176.
- [11] 汪建国,陈代钊,王清晨,等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世转折期台—盆演化及烃源岩形成机理[J]. 地质学报,2007,81(8):1102-1108.
- [12] 汪新伟,沃玉进,张荣强. 扬子克拉通南华纪—早古生代的构造—沉积旋回[J]. 现代地质,2008,22(4):525-533.
- [13] 陈世悦,李聪,张鹏飞,等. 江南—雪峰地区加里东期和印支期不整合分布规律[J]. 中国地质,2011,38(5):1212-1219.
- [14] 王必金,包汉勇,郭战峰,等. 湘鄂西区寒武系层序划分及其对油气勘探的意义[J]. 石油实验地质,2013,35(4):372-377.
- [15] 杨威,谢武仁,魏国齐,等. 四川盆地寒武纪—奥陶纪层序岩相古地理、有利储层展布与勘探区带[J]. 石油学报,2012,33(S2):21-33.
- [16] 张美玲,李建明,郭战峰,等. 涪陵焦石坝地区五峰组—龙马溪组富有机质泥页岩层序地层与沉积相研究[J]. 长江大学学报(本科版),2015,12(11):11-21.
- [17] 戴少武. 中扬子及邻区层序地层与原型盆地演化[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):229-235.
- [18] 郭英海,李壮福,李大华,等. 四川地区早志留世岩相古地理[J]. 古地理学报,2004,6(1):20-29.

The shale gas accumulation in the Sinian Doushantuo Formation in the Baojing region, Hunan

LI Bin¹, CUI Chunlan¹, ZHANG Yueheng¹, HU Bowen¹, LUO Qun²

(1. *Shenhua Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 100022, China*; 2. *China University of Petroleum, Beijing 100049, China*)

Abstract: The development and distribution of the shale reservoirs in the Sinian Doushantuo Formation in the Baojing region, Hunan are examined on the basis of field geological investigation and analytical results of core samples so as to evaluate the exploration potential of the shale gas in the Doushantuo Formation, where there developed grey dolomitic limestone, black carbonaceous mudstone, black siliceous rocks, dark grey micritic limestone and dark grey calcium-bearing carbonaceous mudstone of the passive continental margin shallow shelf-slope facies. These shale reservoirs have tremendous thickness (150-200 m), higher organic carbon contents (4.07%-10.25%), and higher maturity (3.78%-4.97%), moderate porosity (0.19%-2.355%) and extremely low permeability (0.0005257-0.5910081 mD). The contents of the brittle minerals in the shale reservoirs are relatively higher, varying from 55.9% to 84.5%, and consist dominantly of quartz, calcite, pyrite and plagioclase, while the contents of the clay minerals are relatively lower, ranging from 16.5% to 44.1%, and mainly composed of illite, chlorite, mixed illite-montmorillonite beds and chlorite-montmorillonite beds, suggesting that the Sinian Doushantuo Formation went through the late diagenetic stages. The reservoir spaces include solution openings, organic matter solution openings, intercrystalline pores in pyrite and clay minerals, diagenetic cleavage cracks and structural microfractures. It is concluded from the results of research cited above that the Doushantuo Formation in the Baojing region is of favourable geological conditions for the shale gas accumulation, and thus may have the potential for further exploration in this region.

Key words: shale gas; Doushantuo Formation; accumulation; sedimentary environment; reservoir space; Baojing in Hunan