

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2016.02.006

湖北宜昌地区中寒武统天河板组沉积相及其油气意义

曾雄伟,王传尚,刘 安,危 凯

ZENG Xiong-Wei, WANG Chuan-Shang, LIU An, WEI Kai

(中国地质调查局武汉地质调查中心, 武汉 430205)

(Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, China)

摘要:通过湖北宜昌凤凰坪剖面露头沉积相分析,认为天河板组主要为局限潮下夹开放潮下的沉积环境;此外,底部发育一套浅水陆棚相沉积,下部和顶部各发育一套潮坪相沉积。天河板组对应 2 个海进—海退序列,两者被天河板组下部的角砾状灰岩所分隔。结合宜地 2 井岩芯观察,认为天河板组天然气的形成部分与裂隙相关,但更重要的是与古岩溶储层有关。推测该天然气源于牛蹄塘组页岩气,但也不排除原油裂解的可能。

关键词:凤凰坪剖面;天河板组;角砾状灰岩;宜地 2 井;天然气;古岩溶

中图分类号:P534.41

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2016)02-142-07

Zeng X W, Wang C S, Liu A and Wei K. On the Sedimentary Facies of Middle Cambrian Tianheban Formation in Yichang, Hubei Province and its Hydrocarbon Significance. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2016, 32(2):142–148.

Abstract: Based on outcrop sedimentary facies analysis of Fenghuangping section, Yichang, Hubei, this paper argues that the Tianheban Formation mainly formed in restricted to open subtidal zone; in addition, shallow shelf facies at the bottom and tidal flat facies in the lower and top part were also developed. The Tianheban Formation correspond to two transgressive–regressive sequences, which are separated by the brecciated limestone in the lower part. According to the YD–2 well cores, it is considered that the natural gas accumulation of the Tianheban Formation in YD–2 well is partly related to the fracture, but it is more important to the palaeokarst reservoir. We concluded that the natural gas source in the Niutitang Formation shale gas, but the possible oil cracking could not be rule out.

Key words: Fenghuangping Section; Tianheban Formation; brecciated limestone; YD–2 well; natural gas; palaeokarst

宜地 2 井是中国地质调查局武汉地质调查中心于 2015 年组织实施的一口针对寒武系牛蹄塘组黑色页岩的地质调查井,钻遇天河板组下段角砾状灰岩时发现天然气并发生井喷;随后在牛蹄塘组获得极佳的气体显示,现场解析(燃烧法)结果超过 3.0 m³/t 的黑色页岩厚达 30 余米。宜地 2 井的重大发现,坚定了中扬子区寒武系页岩气勘探的信心。笔者等开展井位论证工作的过程中,新发现一条天

收稿日期:2016-04-22;修回日期:2016-06-01.

基金项目:中国地质调查局“湖北宜昌—保康地区页岩气基础地质调查(12120115005701)”项目资助。

第一作者:曾雄伟(1982—),男,工程师,主要从事地层学研究,E-mail:zxwyuehen@163.com.

河板组剖面——湖北宜昌凤凰坪剖面,地层出露清楚连续、沉积现象丰富。本文试图从露头沉积相分析入手,结合岩芯观察,浅析宜地 2 井天河板组天然气的形成机理。

1 地质背景

凤凰坪剖面和宜地 2 井所处的构造位置为黄陵背斜东南翼(图 1),又称“宜昌斜坡带”,该区由黄陵背斜、南部的天阳坪断裂、北部的雾渡河断裂和东部的通城河断裂所围限。天河板组为一套深灰色及灰色薄层泥质条带灰岩,夹鲕状灰岩、核形石灰岩和生屑灰岩,局部夹极少量的黄绿色页岩,风化后泥质条带常突出层面^[1]。天河板组主要产古杯化石和三叶虫化石,古杯化石如 *Archaeochyathus*、*Retecyathus*、*Protophretra* 等为主要的造礁生物,三叶虫如 *Palaeolenus*、*Redlichia*、*Megapalaeolenus* 等,此外还产少量腕足化石^[2-3];依据上述生物化石,天河板组应相当于寒武系第二统第四阶的中部。

2 剖面描述

凤凰坪剖面地处湖北省宜昌市土城乡凤凰坪,位于宜地 2 井北北西方向约 10 km。天河板组地层

呈南东倾斜的单斜构造,沉积构造丰富(图 2),出露良好。

- 上覆地层:寒武系黔东统石龙洞组
20. 浅灰色中层—厚层状粉晶白云岩,溶蚀孔洞较发育
- 整合———
- 天河板组72.3 m
19. 底部 0.3 m 为灰色薄层状(2~3 cm)鲕粒灰岩;下部 1.9 m 为灰—深灰色厚层状泥质条带泥晶灰岩;中部 1.1 m 为灰色薄层状泥质条带灰岩;上部 0.4 m 为浅灰色中层状白云质粉晶灰岩,发育花斑状构造3.7 m
18. 下部 1.2 m 为浅灰色中层状(30 cm)白云质粉晶灰岩;上部 1.6 m 为浅灰色薄层(3~4 cm)夹中层(8~10 cm)白云质粉晶灰岩,水平层理发育2.8 m
17. 灰色厚层状白云质条带粉晶灰岩,双向交错层理发育1.3 m
16. 灰色—深灰色薄层状白云质条带粉晶灰岩,距底 1.4 m 夹 20 cm 厚鲕粒灰岩;顶部单层厚度有增加趋势,一般 6~15 cm5.5 m
15. 底部 25 cm 为深灰色中层状鲕粒灰岩,其顶见 4 cm 厚直立生长的的古杯生物层;向上为深灰色核形石灰岩2.3 m
14. 灰色薄层(2~3 cm)泥质条带灰岩,距底 10 m 见一层薄层透镜状含生物碎屑泥晶灰岩,水平遗迹化石发育11.5 m
13. 灰色薄层(1~2 cm)生物碎屑泥晶灰岩,向上生屑

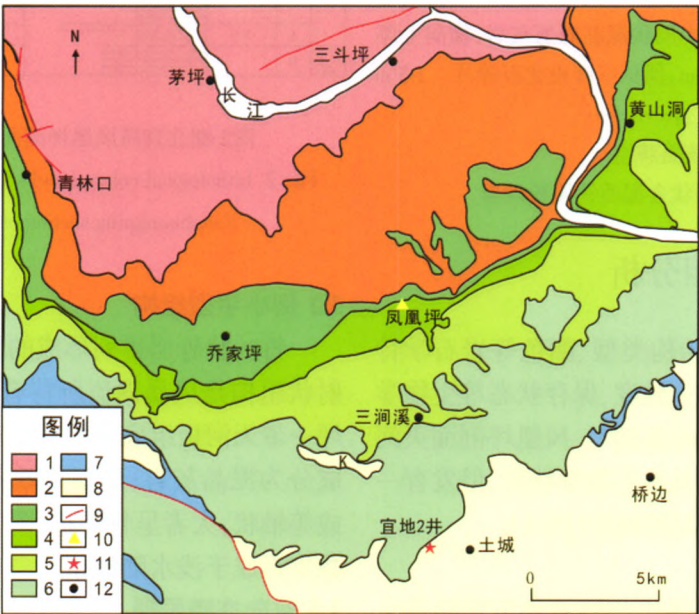


图1 黄陵背斜南翼地质简图及剖面、钻井位置图

Fig. 1 Simplified geological map of the south Huangling anticline and locations of the studied section and well

1.黄陵花岗岩;2.南华系和震旦系;3.牛蹄塘组和石牌组;4.天河板组和石龙洞组;5.覃家庙组;6.娄山关组;7.奥陶系;8.白垩系;9.断层;10.剖面;11.钻井;12.地名。

含量增加 1.4 m

12. 灰绿色薄层状粉砂岩, 夹大量透镜状核形石灰岩; 水平遗迹化石、波痕构造发育(指示古流向为 300° 方向) 2.5 m

11. 灰色中—厚层状核形石灰岩, 夹大量丘状古杯构筑的小点礁 5 m

10. 由 4 个灰色中层状砾屑鲕粒灰岩(A)→灰色薄—中层泥质条带灰岩(B)基本层序组成 3.7 m

9. 灰色薄层状(3~5 cm)泥质条带灰岩 1.1 m

8. 下部为深灰色厚层亮晶鲕粒灰岩, 上部为深灰色厚层核形石灰岩; 夹大量断续的黄色泥质条带 3.0 m

7. 下部为灰色中层状粉晶灰岩, 上部为灰色中层状含生物碎屑泥晶灰岩 10.3 m

6. 浅灰色厚层状粉晶灰岩, 双向交错层理发育 3.6 m

5. 灰色厚层岩溶角砾岩, 横向上可见最大厚度为 2.7 m, 帐篷构造发育 2.0 m

4. 灰色厚层状粉晶灰岩, 双向交错层理发育 2.0 m

3. 下部 1.4 m 为灰色薄层状泥质条带灰岩, 夹 3 层薄层砾屑灰岩, 丘状层理发育; 上部 1.7 m 为灰色厚层含生物碎屑泥晶灰岩, 横向上最薄为 30 cm, 生屑含量向上减少 3.1 m

2. 由 2 个灰色薄层(2~3 cm)泥质条带灰岩(A)→灰色中层状砾屑灰岩(B)基本层序组成, 自下而上 A 分别厚 4.8 m、0.7 m, B 分别厚 0.2 m、0.3 m; 泥质条带灰岩丘状层理发育, 见大量水平遗迹化石(直径 3~6 mm); 砾屑灰岩发育倒“小”字型构造, 偶见原地岩石破碎的岩块(大小 30×50 cm) 6.0 m

1. 灰色薄层(1~3 cm)泥质条带灰岩, 发育不明显的丘状层理; 顶部 15 cm 为灰色中层状泥晶砾屑灰岩, 横向上厚度不稳定, 向两侧减薄为 5 cm, 偶见三叶虫化石碎片 1.5 m

———整合———

下伏地层: 寒武系黔东统石牌组

0. 灰绿色—灰色极薄层状含泥质钙质粉砂岩

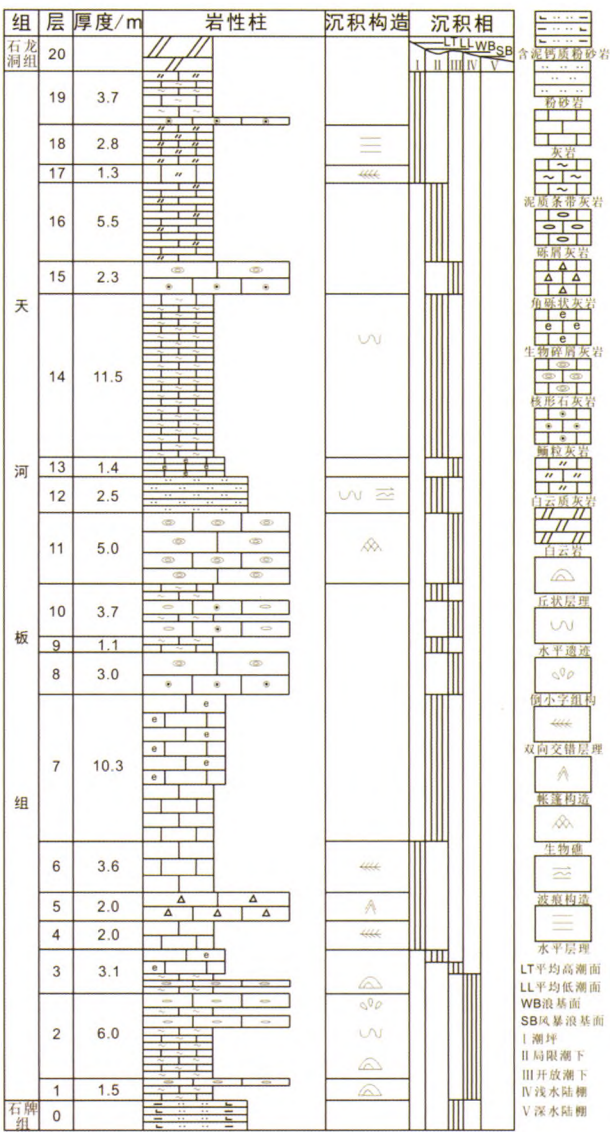


图2 湖北宜昌凤凰坪剖面岩性柱及沉积相

Fig. 2 Lithological column and sedimentary environment in Fenghuangping section of Yichang, Hubei

3 天河板组沉积相分析

岩石的沉积构造、结构类型、颜色等岩石学特征, 生物的种类、丰度和分异度、保存状态等生物学特征都是沉积环境分析的基础^[4]。凤凰坪剖面天河板组除古杯发育外缺乏其他生物学特征, 但发育一些具有特定指相意义的沉积构造(图 3)。

3.1 丘状交错层理

丘状交错层理是风暴沉积特有的沉积构造^[5], 在凤凰坪一带主要见于天河板组底部。丘状交错层理规模小, 呈扇形收敛, 波高 2~3 cm, 波长与波高的比值 2:1(图 3A)。丘状交错层理一般形成于正常浪基面与风暴浪基面之间的浅水陆棚相。

3.2 倒小字型组构

竹叶状砾屑排列形成的倒小字型、菊花状等放射状组构是风暴涡流所特有的沉积构造^[6], 在凤凰坪一带天河板组底部的砾屑灰岩中均有发育。砾屑成分为泥晶灰岩; 形态与砾径有关, 小者为椭圆形或等轴状, 大者呈竹叶状(图 3B)。倒小字型组构多数也形成于浅水陆棚相。

3.3 双向交错层理

双向交错层理是在周期性的双向水流作用下形成的, 因其两个相邻纹层组中的前积纹层倾向相反、形似羽毛故又称为羽状交错层理。凤凰坪剖面的双向交错层理见于天河板组下部的厚层粉晶灰

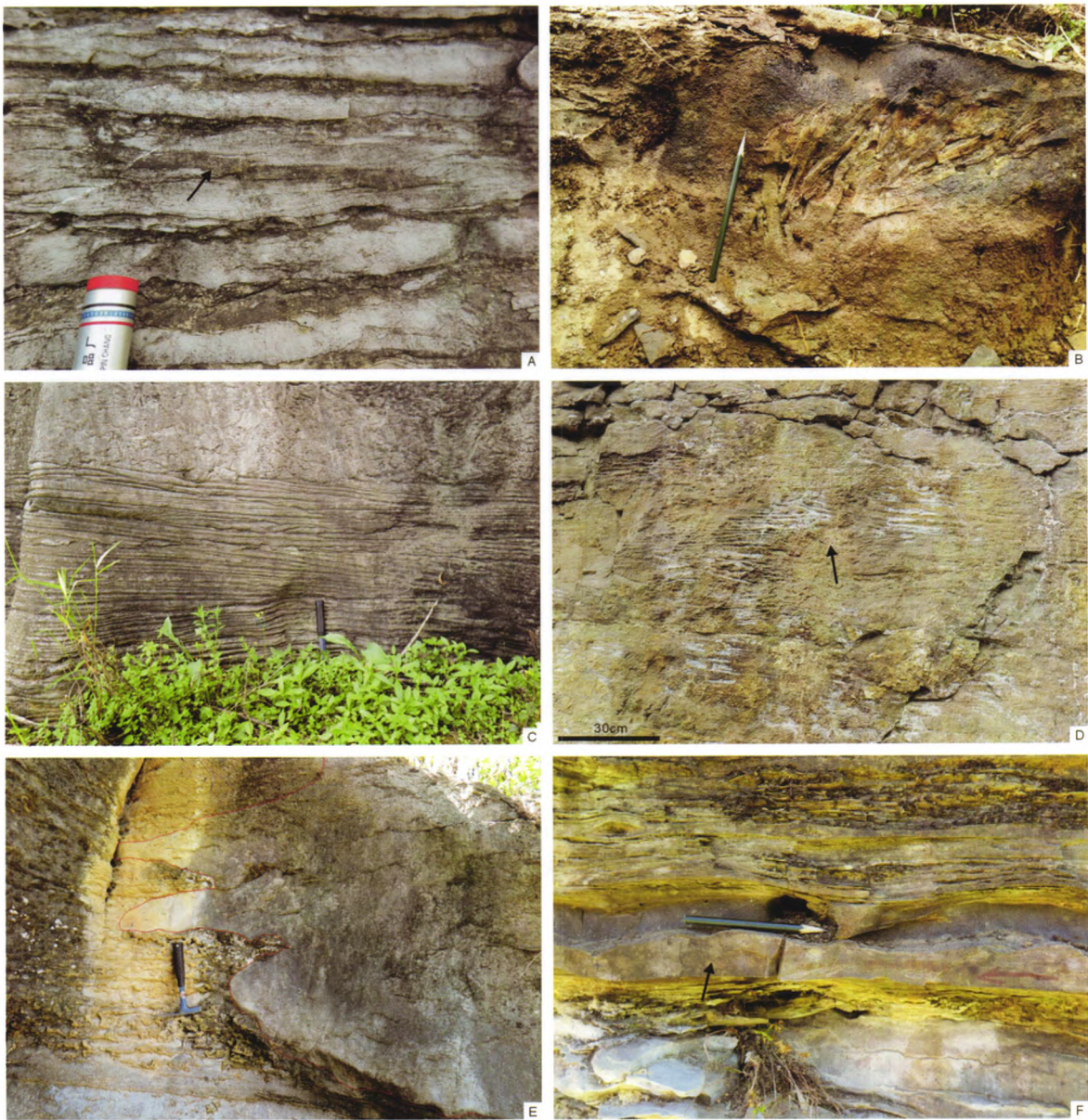


图3 宜昌凤凰坪天河板组沉积构造。
Fig. 3 Sedimentary structures in the Tianheban Formation of Fenghuangping Section
A.丘状层理;B.倒小字型组构;C.双向交错层理;D.帐篷构造;E.生物礁;F.波痕构造.

岩及近顶部的厚层白云质灰岩中(图 3C),一般认为发育于潮坪环境。

3.4 帐篷构造

帐篷构造是一种碳酸盐潮坪环境形成的脊型背斜构造。凤凰坪一带的帐篷构造发育于天河板组下部的角砾状灰岩层顶部(图 3D);一般认为是碳酸盐沉积后水体变浅至暴露环境时,地表中地下水涌和岩层发生固结膨胀变形所致。

3.5 生物礁

生物礁是由固着生物所建造的本质上是原地

沉积的碳酸盐建造^[7]。凤凰坪一带的生物礁与宜昌其他地区^[2]一样,造礁生物主要是古杯。古杯礁发育于天河板组中部,长 1~6 m,高 0.3~1.2m,呈凸状岩隆(图 3E),是在核形石滩基底上建筑起来的点礁,应指示水体动荡的开放潮下环境。

3.6 波痕构造

在凤凰坪剖面生物礁层位之上首次发现了一套局限潮下带(滩后泻湖相)的灰绿色粉砂岩,粉砂岩层面发育典型的流水波痕构造(图 3F);波痕呈不对称状,波谷与波峰均圆滑,陡坡倾向指示的古



图4 天河板组裂隙及角砾状灰岩——岩芯与露头的对比

Fig. 4 Correlation of crack and brecciform limestone from the Tianheban Formation occurred in the core and outcrop

A.岩芯中的高角度裂缝;B.岩芯中的角砾状灰岩;C.露头上的裂缝;D.露头上的角砾状灰岩

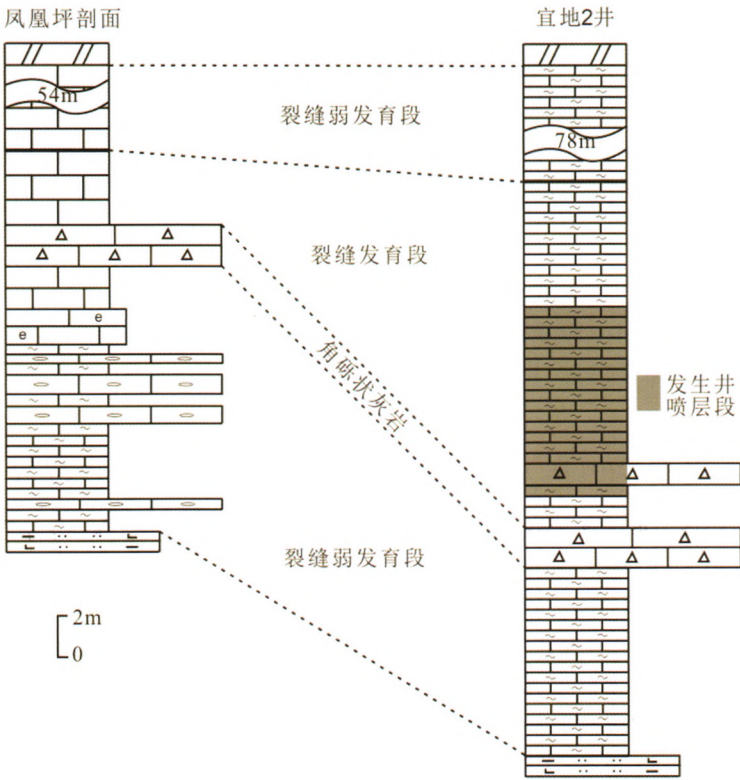


图5 凤凰坪剖面和宜地2井天河板组对比图

Fig. 5 Correlation of the Tianheban Formation occurred in Fenghuangping section and YD-2 well

流向为 300°方向。

依据上述发育的沉积构造特征分析,可知天河板组主要为局限潮下夹开放潮下沉积的沉积环境,底部为一套浅水陆棚相沉积,下部和顶部各发育一套潮坪相沉积;天河板组对应 2 个海进—海退旋回,两者为指示暴露环境的厚层角砾状灰岩所分隔(图 2)。而前人的沉积相、层序地层分析认为天河板组仅有一个海进—海退序列^[8-9],究其原因是没有识别出天河板组底部的角砾状灰岩所致。

4 天河板组下部角砾状灰岩的发现对宜地 2 井天然气显示的启示

宜地 2 井是中国地质调查局武汉地质调查中心在黄陵背斜南翼部署的一口地质调查井(图 1),采用机械岩芯钻探进行全井段取芯,目的是为了获取寒武系牛蹄塘组黑色页岩的有机碳含量、成熟度、含气性等评价参数。该井于 2015 年 7 月 7 日开钻,8 月 23 日钻遇井段 1336.77 m ~ 1345.77 m 天河板组下部的角砾状灰岩时发现天然气并发生井喷,井喷强度时强时弱,呈脉冲式;压井成功后现场点火成功,火焰高达 2 ~ 3 m;气体组分检测显示气体成分主要为甲烷,另有极少量乙烷。该含气层段岩芯中方解石脉充填的高角度裂缝极为发育,因此多数专家认为宜地 2 井天河板组的天然气属于裂缝型气。

笔者基于宜地 2 井岩芯观测及其以北约 10 km 凤凰坪剖面的实测,认为天河板组天然气显示虽然

与裂缝相关,但更重要的是与古岩溶储层有关,理由如下:(1)露头上角砾状灰岩距天河板组底界 12.6 m,岩芯中角砾状灰岩距天河板组底界 9.1 m,两者层位一致且厚度都在 2 m 左右,代表了同一层位的产物;(2)岩芯中裂缝发育层段(图 4A)恰好位于角砾状灰岩(图 4B)之上,露头上裂缝发育层段(图 4C)也仅见于角砾状灰岩(图 4D)之上,裂缝发育段在地表与井下完全可以对比(图 5);(3)露头与钻井中的裂缝发育层段仅限于自角砾状灰岩向上一定厚度的特定范围内,其上覆及下伏岩层裂隙明显弱发育(图 5);(4)岩芯中部分裂隙被方解石脉充填,方解石脉中见围岩角砾,暗示裂隙应为早期成岩作用的产物;(5)露头上角砾状灰岩顶部发育帐篷构造(图 3D),横向上亦见岩溶漏斗发育,是暴露环境的典型标志,表明裂隙与形成角砾状灰岩时岩石发生固结破裂变形相关。

基于以上分析及牛蹄塘组良好的气体显示,笔者对宜地 2 井天然气的形成作出如下推测(图 6):牛蹄塘组黑色页岩中的游离气受下伏岩家河组硅质灰岩“底板”作用的封闭,沿着地层中的微裂隙向上运移,富集在天河板组下部的古岩溶储层中;由于岩石裂隙以垂向为主,气体横向散失比重不大,加上天河板组中上部裂隙不甚发育的泥质条带泥晶灰岩“顶板”的封堵,因此在天河板组下部角砾状灰岩及其附近裂隙发育层段形成天然气层。一旦地层平衡被打破,更多的气体就会向应力释放点聚集,这或许解释了宜地 2 井出现“脉冲式”井喷的现象。另外,不能忽视的一个事实是岩芯中普遍见沥青物质,暗示地质历史上曾经有古油藏存在,因此

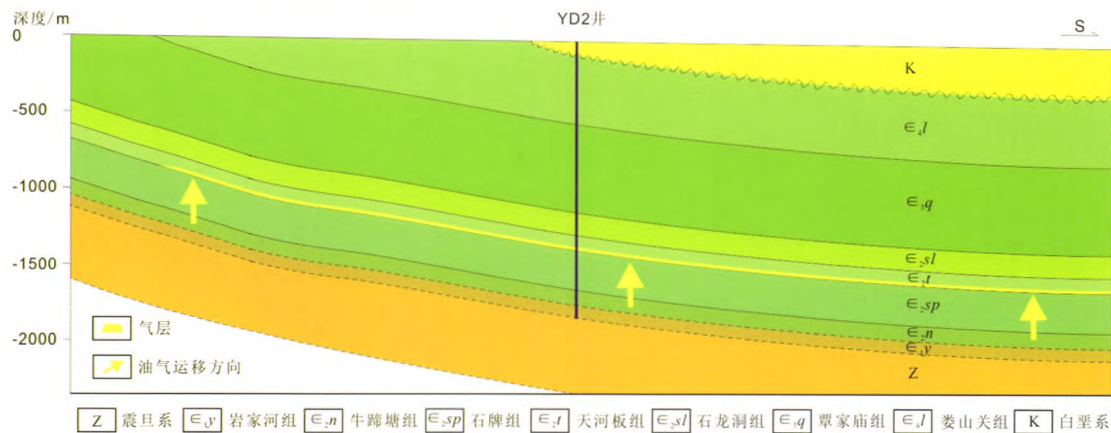


图6 宜地2井天然气分布示意图

Fig. 6 Diagram of the natural gas distribution of YD-2 well

宜地 2 井的天然气也不排除原油裂解形成的可能。

5 结论

(1) 湖北宜昌凤凰坪剖面沉积相分析表明,天河板组沉积时主要为局限潮下夹开放潮下的沉积环境,底部发育一套浅水陆棚相沉积,下部和顶部各发育一套潮坪相沉积;天河板组对应 2 个海进—海退旋回,为下部的厚层角砾状灰岩所分隔。

(2) 天河板组下部角砾状灰岩的发现,暗示宜地 2 井天然气的形成一部分与裂缝有关,但更为重要的是古岩溶储层有关。因此摸清区域上这一层角砾状灰岩的分布范围,是探明宜地 2 井天然气层的关键。

参考文献:

- [1] 湖北省地质局三峡地层研究组. 峡东地区震旦纪至二叠纪地层古生物[M].北京:地质出版社,1978,25-43.
- [2] 张俊明,袁克兴.湖北宜昌王家坪下寒武统天河板组古杯礁丘及其成岩作用[J].地质科学,1994,29:236-245.
- [3] 陈公信,金经纬.湖北省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996:73-79.
- [4] 曾雄伟,程龙,王建坡,危凯,杨梅.黔西南贞丰中上三叠统竹杆坡组地球化学特征及其环境意义[J].地质科技情报,2014,33(6):33-38.
- [5] 赵灿,曾雄伟,李旭兵,邹金来,周鹏,危凯,张华.峡东地区埃迪卡拉统灯影组石板滩段沉积环境探讨[J].中国地质,2013,4(4):1129-1139.
- [6] 曾雄伟,杜远生,张哲,李珊珊,欧阳凯.广西桂林地区中、上泥盆统风暴岩沉积特征及其地质意义[J].地质科技情报,2007,26(6):42-46.
- [7] Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: Concepts and categories [J].Earth-Science Reviews,2002,58:163-231.
- [8] 王幼惠,郭成贤,翟永红.宜昌地区下寒武统沉积环境分析[J].江汉石油学院学报,1991,13(3):15-22.
- [9] 周雁,陈洪德,王成善,金之钧,汤良杰,王正元,梁西文.中扬子区寒武纪层序地层研究[J].沉积与特提斯地质,2003,23(3):65-72.