

文章编号:0253-9985(2013)01-0042-06

川西地区雷口坡组沉积与其顶部风化壳储层特征

唐宇

(中国石化西南油气田分公司,四川成都610000)

摘要:四川海域在印支晚拉丁末期隆升前,中三叠统雷口坡组主要为陆表海断续淹没的蒸发台地,台地整体呈东高西低的古地理格局,台内发育的次级隆凹是蒸发台地上泻湖、咸化盐湖的基底。雷三—雷四段沉积时期,咸化湖盆低凹处随东高西低格局的演化迁移到川中—川西的南充、成都一带;拉丁期末的“印支早期运动”使四川海域整体隆升,在雷口坡组顶部形成分布广泛的古风化壳。川西地区雷口坡组顶部古风化壳主要形成于雷四段的上部,风化壳主要经历了暴露溶蚀和深埋溶蚀两大阶段的成岩作用,在风化壳内形成与成岩作用密切相关的缝洞型储层。缝洞型储层发育与否是雷口坡组顶部成藏的主控因素之一。川科1井已在川西坳陷孝泉构造雷口坡组顶部获得天然气勘探重大突破。通过对风化壳成因及控制储层发育的主控因素分析,指出川西地区雷口坡组顶部的勘探潜力巨大。

关键词:风化壳;沉积特征;暴露溶蚀;深埋溶蚀;储层特征;勘探潜力;雷口坡组;川西地区

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Characterization of the sedimentation of the Leikoupo Formation and the weathering crust reservoirs at the top of the formation in the western Sichuan Basin

Tang Yu

(Southwest Oil and Gas Field Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610000, China)

Abstract: Before the uplifting in the late Ladinian age of the Indosinian, the Leikoupo Formation of the Middle Triassic in Sichuan Basin was an evaporite platform intermittently submerged by epicontinental sea. The overall paleogeographic pattern of the platform was high in the east and low in the west. The secondary uplifts and depressions developed in the platform acted as the basement for lagoon and salinized salt lake. The depocenter of the salt lake moved with the evolution of the paleogeographic pattern to areas along Chengdu and Nanchong in central and western Sichuan Basin during the deposition of the third and fourth members of the Formation. The Sichuan sea was uplifted as a whole due to the early Indosinian movement in late ladinian age, leading to the development of a wide-spreading paleo-weathering crust at the top of the Formation. In western Sichuan Basin, the crust is mainly located at the top of the fourth member. Exposed dissolution and deep burial dissolution led to the development of fractured-vuggy reservoirs within the crust. It is observed that the development of vuggy-fractured reservoirs is one of the major factors controlling hydrocarbon accumulation. A big breakthrough of gas exploration has been made with the well Chuanke-1 at the top of the Formation in the Xiaoquan structure of western Sichuan Basin. The analysis of the genesis of weathering crust and the main controlling factors for reservoir development shows that the top of the Formation is the potential exploration targets in western Sichuan Basin.

Key words: weathering crust, sedimentary characteristics, exposed erosion, deep burial dissolution, reservoir feature, exploration potential, Leikoupo Formation, western Sichuan Basin

收稿日期:2012-06-10;修订日期:2012-11-25。

作者简介:唐宇(1964—),男,硕士研究生、高级工程师,石油天然气勘探。

后,在卡尼-瑞替期又经历了多期强烈、高频动荡的水体进退旋回及复杂的海陆转换过程,因此风化壳在地表残积的粘土层难以保存,残积的粘土只可能在半风化层的渗流带或潜流带的溶蚀缝洞中有所残存。

3 影响风化壳型储层发育的主要因素

3.1 抬升暴露阶段

3.1.1 古地貌因素

在抬升暴露阶段,雷口坡组顶部碳酸盐岩暴露地表后,大气降水接触碳酸盐岩表面,一部分形成地表径流向低洼处流出,另一部分受重力影响,沿岩石裂缝及原生孔隙向下渗流,渗流对岩石发生溶蚀,形成渗流带;渗流向下流动过程中,还受地层产状、层间或层内横向孔缝的影响,流动方向发生变化,汇聚形成横向潜流,横向潜流发生溶蚀,形成潜流带,在渗流带和潜流带内,原生空隙或裂缝遭到溶蚀扩大,孔隙度增加,渗透性增大,形成连通性较好的孔、洞、缝系统。

四川盆地雷口坡组顶部古风化壳主要发育3种岩溶地貌。在古隆起区为岩溶高地,古斜坡和坳陷方向则发育岩溶斜坡和岩溶洼地(图2)。不同岩溶地貌区,碳酸盐岩的溶蚀程度各异,储集性能与成藏组合也不相同。岩溶高地溶蚀孔洞发育,但封盖条件相对不足;岩溶高地边缘和斜坡区是有利的溶蚀孔洞发育带和储集成藏带;岩溶洼地地区孔洞多被充填、连通性差。在岩溶斜坡和古隆起区均发现工业油气藏,岩溶高地、岩溶斜坡和岩溶洼地3个单元,工业油气井钻遇率分别为20%,52.9%和3.7%^[1],岩溶高地主要分布在泸州古隆起和开江古隆起;川西地区除坳陷西缘处于岩溶洼地之外,大部分地区处于岩溶斜坡带上。目前已在岩溶高地和斜坡区带多口钻井揭露雷口坡组顶风化壳气层,如元坝12井、川科1井和新深1井等。

3.1.2 岩性因素

碳酸盐岩的可溶程度与岩石性质和结构有关,不同类型的碳酸盐岩决定了其自身的可溶性。研究表明,在埋深不大的条件下碳酸盐岩的溶解

性为:石灰岩>白云质灰岩>灰质白云岩>白云岩。在岩石致密程度相同或相近的情况下,岩石中方解石含量越高,溶解的程度越高,遭受溶蚀的程度越高,反之岩石的溶蚀程度不明显。川西地区雷口坡组岩性主要为灰质白云岩、白云质灰岩、泥微晶白云岩、粉-细晶白云岩与膏盐岩的互层,总体可溶性较好。如新场构造新深1井钻井揭示的雷口坡组顶部不整合面附近岩性主要为含灰质粉-细晶白云岩、白云质灰岩,晶间广泛发育多种类型孔隙,主要为晶间溶孔、溶洞及溶缝^[4-5](图3)。

3.1.3 古气候因素

古气候对风化壳岩溶的发育有着非常重要的影响,其中大气降水量和温度起到了至关重要的作用,碳酸盐岩的溶解作用和溶蚀作用与大气降水量成正相关关系。在降水量丰富和暖湿带,地表径流、渗流和地下潜流对碳酸盐岩的蚀变作用迅速,加速流体的循环,逐步形成一些岩溶地貌和岩溶标志物。四川盆地在印支期处于近南纬赤道附近,气候湿热,在长期的淋滤、溶蚀过程中,雷口坡组形成了多层溶洞、溶孔发育带。

3.2 深埋阶段

深埋阶段对雷口坡组顶部风化壳储层影响的主要因素有:深埋压实和构造断裂导致的变质作用和热液作用。

印支晚期小塘子组沉积开始,雷口坡组顶部碳酸盐岩风化壳随盆山转换进程,被陆相沉积物覆盖。随着上覆沉积物加厚,风化壳逐渐进入深埋压实为主的后生成岩作用阶段。一方面由于后期埋藏压实、充填、胶结作用,使暴露成岩阶段形成的孔缝洞空间遭到压实充填减少;另一方面,随着埋深加大,地温升高,随沉积物充填到早期各种缝孔洞中的海水、地层水及有机质热演化所产生的酸性流体等在新的环境下对碳酸盐岩又起到溶解作用,促使碳酸盐岩发生溶蚀,形成新的溶孔溶缝,对岩溶储层的最终形成起到建设性的作用。采集的新深1井雷四段3个包裹体样分析结果显示,溶蚀孔洞中方解石晶体中盐水包裹体均一温度在115~145℃,说明雷四段内发生溶蚀和方解石结晶的环境温度是较高的,按四川盆地每百米地温梯度3℃估算,此时雷口坡组应处在3000~4000m的埋深。

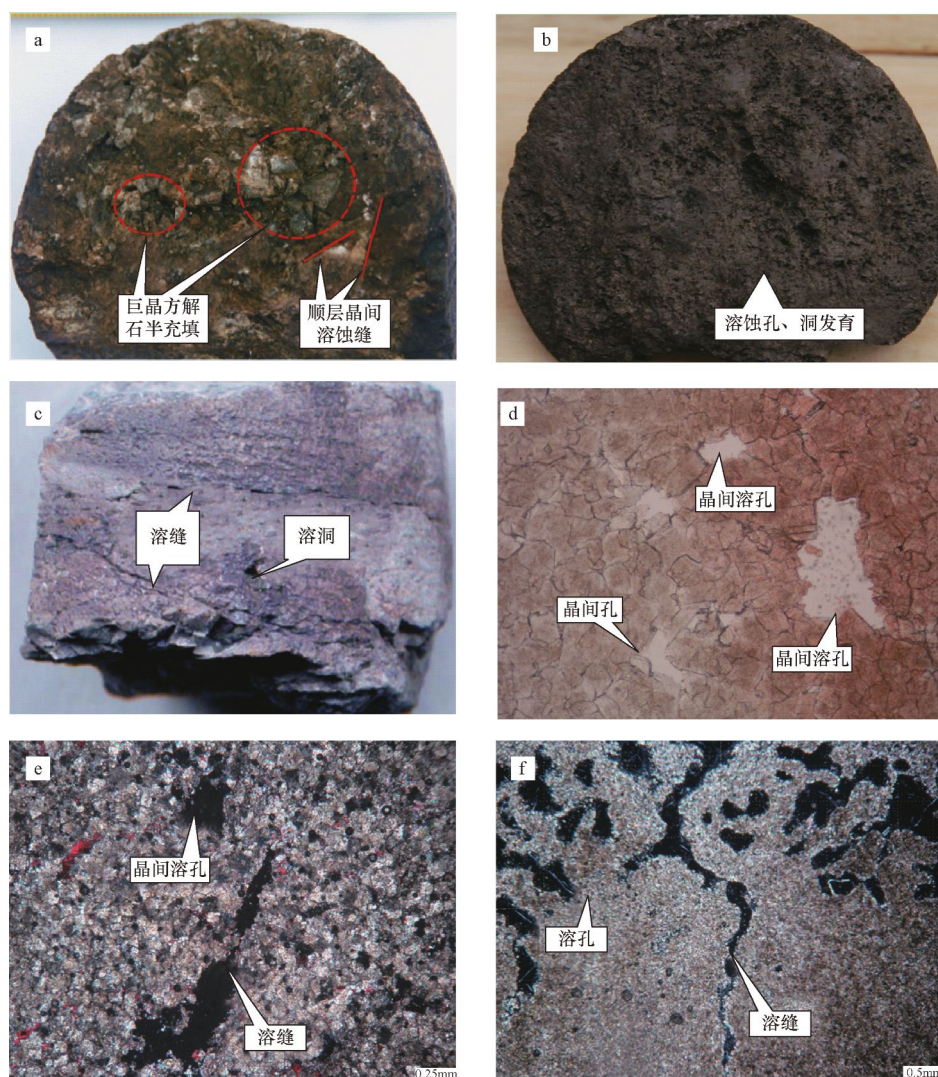


图3 川西地区新深1井岩溶特征

Fig. 3 Karst characteristics of the Well Xinshen-1 in the western Sichuan Basin

a. 新深1井, 第一回次, 5 525.62 ~ 5 525.90 m, 灰色含砂屑微晶灰岩, 岩心沿水平缝断开, 巨晶方解石半充填, 溶缝发育; b. 新深1井, 第四回次, 5 600.00 ~ 5 605.00 m, 微粉晶白云岩, 溶蚀孔、洞呈蜂窝状分布; c. 新深1井, 第四回次, 5 569.84 ~ 5 667.88 m, 含藻凝块微晶藻白云岩, 发育平缝及溶蚀孔洞, 局部方解石充填; d. 川科1井, 5 743.00 ~ 5 744.00 m, 含晶间孔粉-细晶白云岩; e. 新深1井, 5 575.00 m, 粉晶白云岩, 晶间溶孔发育; f. 孝深1井, 5 720.50 m, 溶孔泥微晶白云岩, 晶间溶孔扩大孔, 局部富集呈层状分布

除深埋压溶作用外, 该阶段川西地区还经历多期次强烈挤压, 形成多期次的裂缝体系。雷口坡组顶部风化层形成深埋条件下的孔洞缝体系。其与早期孔洞缝体系的发育程度、深埋压溶、后期构造裂隙、地下热液等多种深埋条件下发生的后生成岩作用密切相关, 具有非选择性溶蚀、岩溶类型多样的特点。

现川西坳陷雷口坡组顶部埋深已超过5 000 m, 较大的隐伏构造带有坳陷中央近东西向新场构造带、龙门山推覆带前缘鸭河子构造带、坳陷东坡南北向构造带, 这些构造带形成演化经历不同, 断裂

体系、埋深压实、地下流体体系不同, 但都先后经历了抬升暴露溶蚀和深埋压溶双重成岩作用, 可以推论在这些构造带上雷口坡组顶部发育的古风化壳岩溶孔缝洞型储层是相当复杂的, 只有研究清楚控制这类储层发育的主控因素, 才能准确预测储层。

4 雷口坡组顶部古风化壳储层特征

4.1 岩石学特征及孔缝洞特点

通过对川西地区新深1井、孝深1井(图3f)

和川科1井(图3d)钻井岩心、岩屑薄片鉴定,雷口坡组顶部风化壳储层岩性主要为含灰质微-细晶白云岩及粒屑白云质灰岩;广泛发育多种类型空隙,包括粒间溶孔、晶间溶孔、溶洞及溶缝,溶蚀缝洞普遍沿构造缝、缝合线和其他各种类型的裂缝发育,形成裂缝的扩大溶孔及串珠状溶蚀孔缝储集体^[6]。如新深1井在井深5 525 m附近岩心破碎,雷口坡组顶部不整合面上溶蚀缝洞发育,部分被巨晶淡水方解石半充填(图3a),这一特征与元坝12井相似。在不整合面之下同样发育多套古岩溶孔洞层,溶蚀不具组构选择性,孔洞分布也不具方向性。根据新深1井薄片及岩心观察及统计,在距雷口坡组顶部80 m范围内,溶蚀孔洞缝发育(图3e)如井深5 600~5 606 m取心段,岩心溶蚀孔、洞多呈蜂窝状分布(图3b,3c)。洞密度195.7~314.3个/m,形状为近圆形,大小2 mm×2 mm~3 mm×4 mm,部分被方解石充填;溶孔普遍可见,孔径0.1~1.0 mm,最大1.8 mm,部分溶孔被方解石充填。裂缝也较常见,密度17~26条/m,缝长40~160 mm,缝宽0.2~1.2 mm,为中缝。这种孔隙特征几乎是所有碳酸盐岩风化壳岩溶型油气藏储层的共性^[7-8]。钻井已证实,川西地区雷四段上部的粉-细晶白云岩、粒屑白云质灰岩是风化壳岩溶层内发育的优质储层。

4.2 风化壳地震波形及波阻抗特征

川西坳陷三叠系海相碳酸盐与陆相碎屑岩之间的分界在地震剖面上表现为一正强反射相位,该反射面是一穿时界面,在新场构造新深1井以西,该面削蚀天井山组和马鞍山组,向东渐次削蚀

雷四、雷三段。该界面反射相位之下,在高分辨剖面上还可以隐约见一弱振幅窄相位反射,其间为负弱反射复相位,合成记录标定该复相位是雷口坡组顶部风化壳溶蚀带的反映(图4)。因此,可依据高分辨的地震剖面波形分析揭示不整合面的概貌。另外,雷四上部的风化壳岩溶层整体表现为高阻抗背景下的相对低阻抗展布特征,横向变化大,间夹“透镜”状、“蚯蚓”状和“溶洞”状的高阻抗薄层,因此可用波阻抗反演剖面来刻画古岩溶面和预测岩溶储层发育的有利区带。

4.3 风化壳电性特征

由于古风化壳溶蚀缝洞内可能残留古风化形成的粘土,钻遇古风化壳岩溶缝洞层段时自然伽马(GR)曲线值会出现偏离平均值的高值波动,这对应于电阻率偏离平均值的低值波动。川西地区雷口坡组四段上部主要为白云岩,岩性较单一,因此在雷口坡组顶部风化壳附近电测曲线会发生明显变化。一般具有相对低电阻率,深(RD)、浅(RS)侧向电阻率出现明显的幅度差,相对高自然伽马,声波时差值增大,密度值降低,补偿中子值增大等特征^[9]。本区川科1井和新深1井测井资料分析表明,雷口坡组顶不整合面亦主要表现为低电阻率、相对高自然伽马。如川科1井井深5 652 m附近电阻率由3 488 $\Omega \cdot m$ 下降到629 $\Omega \cdot m$,自然伽马值由39.5 API上升到49.1 API;新深1井在深度5 525 m RD值由255 $\Omega \cdot m$ 下降到45 $\Omega \cdot m$,自然伽马由66 API上升到116 API;在5 542~5 548(6 m厚),5 587~5 592(5 m厚)及5 600~5 605 m(5 m厚)等井段可以识别出相似的特征。

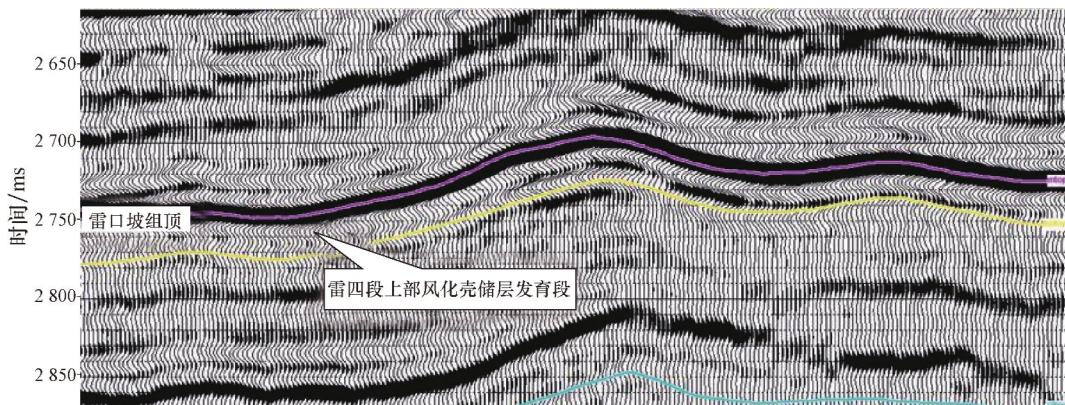


图4 川西地区雷口坡组顶地震反射波特征剖面

Fig. 4 Seismic reflection profile of the top Leikoupo Formation in the western Sichuan Basin

5 结论

油气勘探成果证明:世界大型油气盆地均发育有碳酸盐岩古风化壳含油气储层(体)。据统计,其中有20%~30%与区域不整合面有关^[7]。雷口坡组顶部风化壳在川西地区展布面积大,地震预测有利区带的面积就有5 100 km²,目前钻揭与风化壳溶蚀相关的裂缝-孔隙型储层累计厚度就达60~80 m,储层类型主要为裂缝-孔隙型,实验平均孔隙度5.9%,平均渗透率 $2.54 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (据新深1井),物性较好。在孝泉构造上川科1井雷口坡组顶部已获突破,测试获产能 $86.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[10-11]。新场构造上新深1井也见良好显示,正待测试。成藏条件分析认为在川西坳陷除了大新场构造带外,龙门山推覆带前缘的鸭河子构造带、坳陷东坡的南北向构造带雷口坡组顶部也发育古风化壳岩溶型储层,成藏条件优越,目标众多,勘探潜力巨大。

参 考 文 献

- [1] 杨克明,许国明,刘诗荣,等. 川西地区石油地质综合研究与选区评价[R]. 2010.
Yang Keming, Xu Guoming, Liu Shirong, et al. Comprehensive petroleum geology study and target zone evaluation in West Sichuan basin[R]. 2010.
- [2] 陈莉琼,沈昭国,侯方浩,等. 四川盆地三叠纪蒸发岩盆地形成环境及白云岩储层[J]. 石油实验地质, 2010, 32, (4): 335-341.
Chen Liqiong, Shen Zhaoguo, Hou Fanghao, et al. Formation environment of Triassic evaporate rock basin and dolostone reservoirs in the Sichuan basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 33(1): 335-341.
- [3] 罗小龙,汤良杰,谢大庆,等. 塔里木盆地雅克拉断凸中生界底界不整合及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 30-36.
Luo Xiaolong, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Mesozoic bottom boundary unconformity and its significance for hydrocarbon exploration in the Yakela faulted uplift, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 30-36.
- [4] 陈琪,胡文瑄,李庆,等. 川东北盘龙洞长兴组-飞仙关组白云岩化特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 84-93.
Chen Qi, Hu Wenxuan, Li Qing, et al. Characteristics and genesis of dolomitization in Changxing and Feixianguan Formations in Panlongdong, northeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 84-93.
- [5] 张俊,蔡镭璐,向雷,等. 川东北地区飞仙关组成岩晚期白云石溶解作用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 599-606.
Zhang Jun, Cai Liulu, Xiang Lei, et al. Late diagenetic dissolution of dolomites in the Feixianguan Formation, northeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 599-606.
- [6] 王瑞,朱筱敏,陈烨菲,等. 滨里海盆地肯基亚克地区中、下石炭统碳酸盐岩储层特征与成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 225-235.
Wang Rui, Zhu Xiaomin, Chen Yefei, et al. Diagenesis and reservoir characteristics of the Lower-Middle Carboniferous carbonates in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 225-235.
- [7] 许效松,杜佰伟. 碳酸盐岩地区风化壳岩溶储层[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(3): 1-6.
Xu Xiaosong, Du Baiwei. The palaeoweathering crust-type karst reservoir rocks in carbonate rocks[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2005, 25(3): 1-6.
- [8] 杨俊,姜振学,向才富,等. 塔里木盆地塔中83—塔中16井区碳酸盐岩油气特征及其成因机理[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 101-110.
Yang Jun, Jiang Zhenxue, Xiang Caifu, et al. Carbonate reservoir characteristics and their genetic mechanisms in Tazhong 83-Tazhong16 wellblock, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 101-110.
- [9] 漆立新,云露. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 1-12.
Qi Lixin, Yun Lu. Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 1-12.
- [10] 许国明,刘诗荣,宋晓波,等. 川西坳陷孝新合丰构造带井位论证报告[R]. 2010.
Xu Guoming, Liu Shirong, Song Xiaobo, et al. Well location demonstration report on Xiaoquan-Xinchang-Hexingchang-Fenggu tectonic belt in west Sichuan depression[R]. 2010.
- [11] 熊歆睿,王洪辉,周波,等. 古城油田B区核三段主力油层储层特征研究[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(6): 9-11.
Xiong Xinrui, et al. Reservoir characteristics of the major oil bed of third member of Hetaoyuan formation in B area of Gucheng oilfield[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(6): 9-11.

(编辑 高岩)