

川西地区中三叠统雷口坡组天然气勘探潜力

许国明¹ 宋晓波² 冯霞² 隆轲² 王琼仙² 石国山² 朱兰²

1.中国石化西南油气分公司 2.中国石化西南油气分公司勘探开发研究院

许国明等.川西地区中三叠统雷口坡组天然气勘探潜力.天然气工业,2013,33(8):8-14.

摘 要 四川盆地西部地区中三叠世雷口坡期蒸发岩盐湖盆主要分布在邛崃—成都—德阳一带,发育多套碳酸盐岩、石膏、硬石膏岩及盐岩的沉积旋回,油气勘探实践证实,蒸发岩沉积旋回与油气的生聚成藏关系密切。为分析该盆地雷口坡组的天然气勘探潜力,从气源分析、蒸发岩盆地生烃机理、盆地模拟研究 3 个方面,论证了川西地区雷口坡组局限—蒸发台地深水潟湖相沉积的富藻碳酸盐岩具有成为大中型气田主力烃源岩的有利条件,估算雷口坡组天然气的资源量介于 $9.839 \times 10^8 \sim 1.201 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。结合储层条件、成藏条件等的分析成果,认为雷口坡组发育台缘滩和台内滩裂缝—孔隙型储层,其顶部发育碳酸盐岩风化壳岩溶型优质储层;风化壳岩溶型储层的发育与雷口坡组在“暴露”“深埋”两大阶段中发生的后生成岩作用有关。结论认为:该区雷口坡组具有形成大中型气田的资源条件,在川西拗陷中央的新场构造带,龙门山前鸭子河隐伏构造带及成都、梓潼凹陷周缘斜坡区,雷口坡组天然气成藏条件优越,勘探潜力巨大。

关键词 四川盆地西部 中三叠世 蒸发岩沉积旋回 碳酸盐岩烃源岩 溶蚀作用 风化壳储层 成藏条件 天然气勘探潜力

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.08.002

Gas potential of the Middle Triassic Leikoupo Fm in the western Sichuan Basin

Xu Guoming¹, Song Xiaobo², Feng Xia², Long Ke², Wang Qiongqian², Shi Guoshan², Zhu Lan²

(1.Sinopec Southwest Branch, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2.Exploration and Development Research Institute of Sinopec Southwest Branch, Chengdu, Sichuan 610041, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 8, pp.8-14, 8/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: An evaporite lake basin was developed in an area along Qionglai-Chengdu-Deyang in the western Sichuan Basin during the Middle Triassic Leikoupo period, when multiple sedimentary cycles of carbonates, gypsum, anhydrite and halite were deposited. Petroleum exploration practices reveal that the evaporite cycles are closely related with the generation, migration and accumulation of hydrocarbons. In order to estimate the gas potential of the Leikoupo Fm in the study area, we analyzed the gas source, gas generation mechanism of the evaporite basin and basin modeling. It is believed that the alga-rich carbonates of the Leikoupo Fm deposited on a restricted evaporite platform in a deep lagoon of the western Sichuan Basin have the favorable conditions to become the major source rocks of moderate and large gas fields, and the gas resource volume of the Leikoupo Fm is estimated to be 0.983 - 1.201 TCM. Fractured-porous reservoirs of platform-margin shoal facies and intra-platform shoal facies occur in the Leikoupo Fm. Karstified carbonate reservoirs of weathering crust type are developed at the top of this formation due to epidiagenesis during the “exposure” and “deep burial” stages of this formation. It is concluded that the Leikoupo Fm in the study area has the conditions for the formation of moderate-to-large gas fields and the potential target areas include the Xinchang structural zone in central of western Sichuan Depression, Yazihe hidden structural zone at the piedmont of Longmenshan as well as the peripheral slope zones of Chengdu and Zitong sags.

Key words: Sichuan Basin, west, Middle Triassic, evaporite sedimentary cycle, carbonate hydrocarbon source rock, dissolution, weathering crust reservoir, hydrocarbon accumulation condition, exploration potential

基金项目:中国石化重点科研项目“川西地区石油地质综合研究与选区评价”(编号:YPH08095)。

作者简介:许国明,1963年生,高级工程师,博士;现从事油气勘探工作。地址:(610041)四川省成都市高新区(南区)吉泰路中国石化西南科研基地勘探开发研究院。E-mail:xgm6363@163.com

1 概况

四川盆地海域在三叠纪雷口坡期(T_2l)沉积时主要为陆表海断续淹没的蒸发台地,由于受周边造山带构造隆升、挤压的影响,尤其受东南面江南古陆的隆升、台内泸州—开江水下隆起形成的影响,该蒸发台地内形成次一级的隆凹,这些隆凹形成蒸发岩台地内潟湖、咸化盐湖的基底。川西地区中三叠世雷口坡晚期膏盐岩湖盆主要分布在邛崃—成都—德阳一带(图1),发育多套碳酸盐岩、石膏、硬石膏岩及盐岩的旋回沉积。

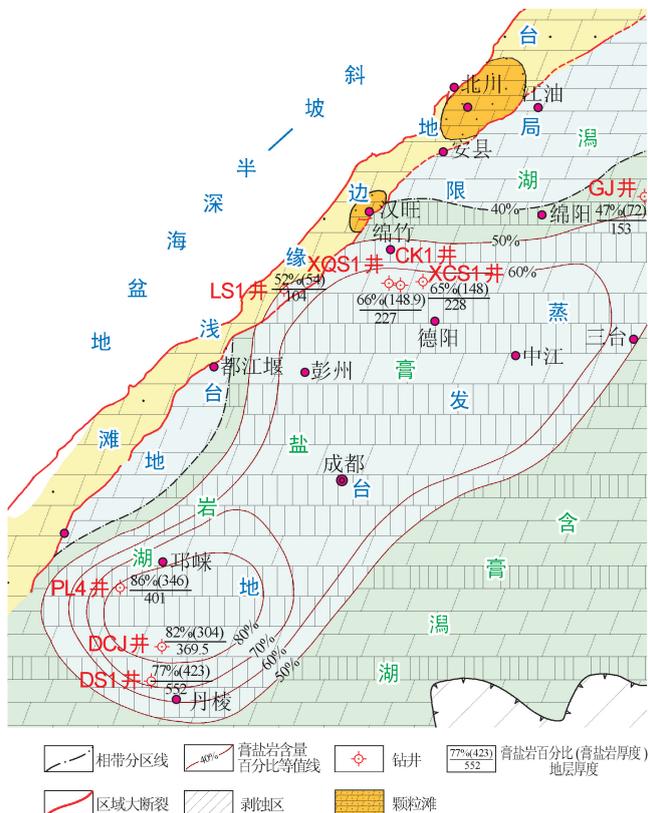


图1 雷口坡组四段下亚段沉积相图

油气勘探研究表明,蒸发岩沉积旋回与油气的生聚成藏具有密切的关系。据统计,目前世界上具工业价值的含油气盆地共计120多个,其中发育蒸发岩沉积旋回的盆地就有66个,约占盆地总数的55%^[1]。近期中国石油化工集团公司部署在川西坳陷新场构造带的CK1井和XCS1井在“雷口坡组顶部风化壳”(以下简称雷顶风化石)分别测试获得 $86.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流,且CK1井自2011年投产以来,气产量稳定超过 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,油压稳定在28 MPa左右,充分揭示川西地区 T_2l 蒸发盐盆地具有巨大的天然气勘探潜力。

2 雷口坡组勘探潜力分析

2.1 雷口坡组具有形成大中型气田的资源条件

川西海相地层油气资源条件优越,区域上的海相层系(下震旦统、下寒武统、中下泥盆统、二叠系、中下三叠统)均发育良好的烃源岩层,有机质丰度较高,有机质类型主要为偏腐泥混合型,初步估算川西地区古中生界海相层系天然气的总资源量达 $2.3747 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[2-3]。

但近期研究表明:川西地区 T_2l 局限—蒸发台地深水潟湖相沉积的富藻碳酸盐岩的生烃能力本身就具有成为“ T_2l 大中型气田”主力烃源岩的条件。主要依据有以下几点。

1)气源分析发现,川西坳陷 T_2l 顶部风化石气藏气源主要来自于 T_2l 潟湖相的“富藻碳酸盐岩烃源岩”;CK1井3个气样分析结果显示, T_2l 天然气中含 H_2S (H_2S 含量介于0.39%~0.68%),天然气碳同位素值有别于陆相上三叠统须家河组和侏罗系,表现出典型的油型气特征;同时,XCS1井 T_2l 顶部储层沥青与蒸发岩之下“富藻碳酸盐岩烃源岩”生物标记化合物特征表现出很高的相似性,均具有低孕甾烷、规则甾烷呈“V”形、三环萜烷含量小于五环萜烷、色谱呈双峰的特征(图2)。

2)蒸发岩盆地生烃机理研究表明^[1],在蒸发岩形成期(咸化期),注入蒸发岩盆地的生物体死亡后沉入水底,在底部咸水中由于氧浓度的减少制约了底栖生物群、食草动物和食腐动物的生长,只有蓝绿藻和厌氧微生物细菌可继续生存,因而藻类(尤其是蓝绿藻)及在湖盆底部弱氧化还原环境产生的大量腐殖泥相的有机质是蒸发环境中烃类的主要贡献者;蒸发岩分布区大地热流值相对较高,可以使烃源岩得到较大的热力作用,在较低的镜质体反射率情况下,就可达到与其他烃类相同的成熟度,使有机质较早、较快地生成油气,因此,蒸发环境有利于有机物质向烃类转化。与淡水、微咸水湖盆比较,蒸发岩盆地的烃源岩具有有机碳含量低、转化率高的地化特征,蒸发岩型的环境具有巨大的有机物质生产能力。川西地区早三叠世嘉陵江期—中三叠世雷口坡期台内广泛发育蒸发岩沉积旋回,多个旋回底—中部发育分布广、厚度大的黑灰色泥微晶或暗色含藻碳酸盐岩。如CK1井钻揭 T_2l 内发育大套暗色含藻灰岩、泥晶白云岩,厚达386 m,占 T_2l 总厚度的31%,在岩心和露头剖面岩石孔缝中见残余沥青遗迹;CK1井、XQS1井、回龙1井、LS1井等多口井及露头剖面统计结果表明,整个川西地区 T_2l 烃源岩累

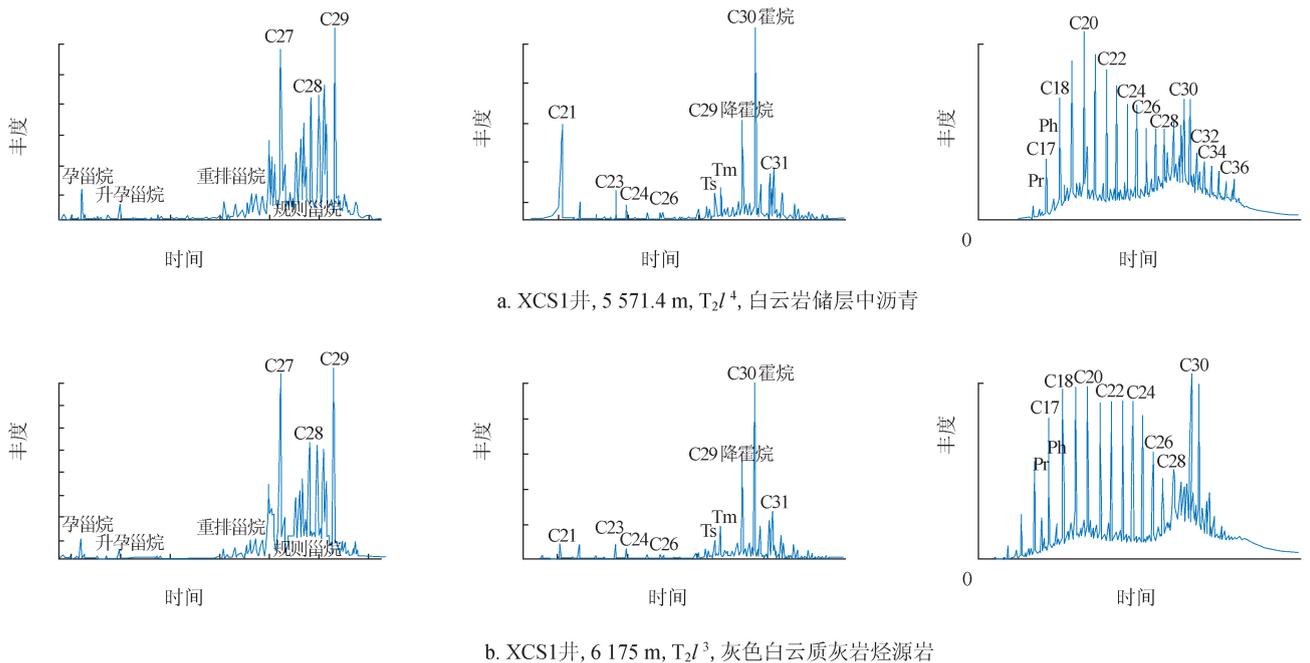


图 2 XCS1 井 T_2l_1 顶部储层沥青与 T_2l_3 烃源岩饱和烃图谱

计厚度介于 200~300 m; 有机地球化学分析结果表明, T_2l_1 碳酸盐烃源岩残余有机碳含量分布在 0.2%~0.4%, 已达到高演化碳酸盐岩有效烃源岩的评价标准 (大于等于 0.2%), 具有转化率 (平均达 24.7%) 高的特点, 是优质的烃源岩, 从生烃成藏的角度分析, 其具有典型的“烃源灶”特征。

3) 盆地模拟研究结果表明, 川西地区 T_2l_1 烃源岩到白垩纪末 (T_2l_1 成藏定型期) 生烃总量达到 $32.797 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 生烃强度介于 $18 \times 10^8 \sim 38 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 按照自源或近源高效运聚成藏模式, 排聚系数取值 3.0%~4.3%, 估算雷口坡组烃源岩生成的天然气资源量介于 $9.839 \times 10^8 \sim 1.201 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

因此, 就雷口坡组内及其顶部风化壳成藏而言, 川西地区 T_2l_1 具有形成大中型气田的近源条件。

2.2 雷口坡组发育台缘滩及台内滩相优质储层

川西雷口坡组发育“台缘滩”和“台内滩”相沉积, 滩相颗粒白云岩、石灰岩为后期形成溶蚀孔缝型储层提供了良好的基质条件^[4-9]。

雷三段沉积期是雷口坡期最广泛的一次海侵, 也是该区雷口坡期最重要的成滩期, 川西大部分地区处于潮间—潮下浅滩环境, 藻屑、砂屑白云岩发育, 泥质含量低 (小于 2%), 颗粒含量较高 (10%~35%)。川西雷三段台缘滩相发育的储层以中坝气田的 T_2l_3 气藏为代表, 该气藏位于川西坳陷西缘, 储层为台缘滩相的灰色细、粉晶藻砂屑白云岩^[10], 发育次生溶蚀孔隙

(针孔状) 和微裂缝, 储层横向稳定, 厚度约为 80 m, 上覆直接盖层为 T_2l_4 致密白云岩, 区域盖层为上三叠统和侏罗系中的泥质岩, 气藏储量近百亿立方米, 滩相储层主要孔隙类型是粒间 (溶) 孔、粒内 (溶) 孔和藻内溶孔、晶间溶孔、沿微细缝合线发育的溶蚀扩大缝, 孔隙度平均值为 4.38%。中坝地区雷口坡期处于台地边缘, 印支晚期雷口坡组遭抬升剥蚀时相对处于构造低部位, 上覆还有雷四段, 成岩分析认为: 雷三段储层形成的主控因素主要是: “滩相+深埋溶蚀”。

雷口坡组台内滩相气藏以川中的磨溪气田雷一段气藏为代表, 储层为一套台内浅滩相粒屑灰岩及粉晶白云岩储层, 溶孔发育, 粒屑含量超过 50%。储集空间主要为粒内、粒间溶孔和白云石晶间孔, 形成储层的主控因素也主要是“滩相+深埋溶蚀”。近期施工的 CK1 井在 T_2l_3 也钻揭多层台内滩相藻砂屑白云岩及粉晶白云岩储层, 孔隙类型与中坝气田类似, 只是储层厚度相对较薄 (5~20 m), 但其多层叠置的特点, 岩心孔隙度介于 1.35%~4.05%, 平均为 2.24%, 渗透率介于 0.003~15.011 mD、平均为 1.512 mD, 较中坝台缘滩相储层物性稍差。总体上, 雷三段台缘滩储层优于台内滩储层。

台内滩微相沉积粗结构的藻屑、砂屑白云岩, 原生孔隙发育, 雷口坡组沉积时, 四川盆地干旱和潮湿气候频繁交替, 颗粒灰岩沉积后气候变得干旱, 使原生孔隙受胶结作用的影响小; 深埋溶蚀作用 (硫酸盐热化学还

原作用、热液作用等)产生了大量溶蚀孔隙,形成好的白云岩储层。

2.3 雷口坡组顶部发育碳酸盐岩风化壳岩溶型优质储层

2.3.1 雷口坡组顶部古地貌及风化壳储层特征

拉丁期末的“印支早期运动”使四川盆地海域整体隆升,海平面下降,中三叠统雷口坡组大面积暴露出地表,成岩环境转为以风化、大气淡水作用为主的表生成岩作用环境,形成 T_2l 顶部古风化壳。川西地区印支早期抬升幅度相对较小,暴露时间较短,风化剥蚀主要涉及 T_2l^4 (图3)。

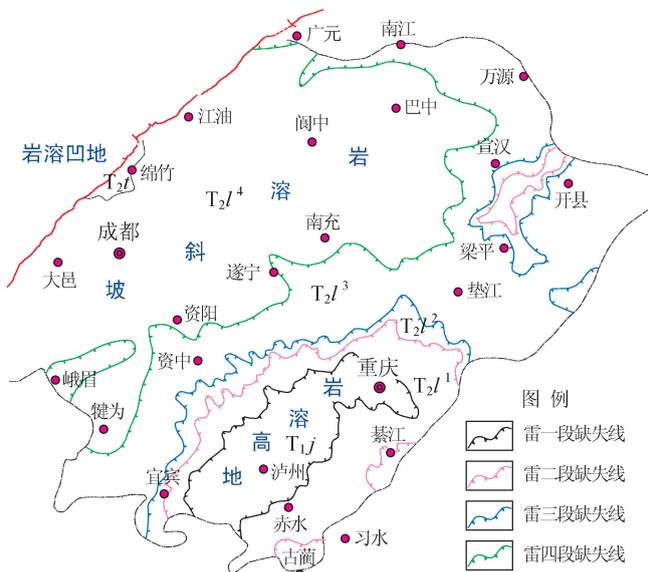


图3 四川盆地晚三叠世沉积前古地质简图

从岩性组合上 T_2l^4 可进一步分为上、中、下3个亚段:①上亚段(白云岩段)主要以局限台地云坪相、台内滩相为主,在川西中段大部分地区均有分布,残留厚度介于0~110 m,由西向东遭剥蚀减薄尖灭;②中亚段(白云岩与膏岩互层段)主要以膏云坪相沉积为主,在川西大部分地区保留较完整,仅川西东南部部分缺失,厚度为60~120 m;③下亚段(膏岩段)主要为蒸发台地含膏泻湖相沉积,在川西地区保留完整,厚度为110~250 m。 T_2l 顶部古风化壳厚度平均在50~80 m,局部风化剥蚀严重区风化壳厚度可达100 m。通过对川西地区钻揭顶部风化壳的XCS1井、XQS1井、CK1井岩心、岩屑进行地球化学分析及详细薄片鉴定,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;发育多种类型的孔隙,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,形成与裂缝相关的扩大溶孔及串珠状溶蚀孔缝储集体;储层累计厚度

介于60~80 m,储层类型主要为裂缝—孔隙型,平均孔隙度为5.9%,平均渗透率为2.54 mD。

2.3.2 风化壳储层的形成与“暴露”和“深埋”成岩作用有关

该风化壳岩溶型储层的发育与川西 T_2l 经历的“暴露”和“深埋”两大阶段发生的后生成岩作用有关。

抬升暴露阶段: T_2l 顶部碳酸盐岩暴露地表后,大气降水接触碳酸盐岩表面,在表层形成渗流带和潜流带,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。风化壳孔缝洞系统的发育与地形地貌有关^[11-15],岩溶高地一般发育在古地貌高带,古斜坡和坳陷则发育岩溶斜坡和岩溶洼地,喀斯特化的溶蚀缝洞带主要发育于在岩溶高地和岩溶斜坡。但相对而言,岩溶斜坡最有利于溶蚀孔缝洞发育和后期成藏保存;岩溶洼地,孔洞多被充填、连通性差。据统计,在风化壳的岩溶高地、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%^[16]。四川盆地雷口坡组顶部(以下简称“雷顶”)岩溶高地主要分布在泸州古隆起和开江古隆起一带,川西岩溶洼地主要分布于大川—都江堰—安县一线以西,其余大部分地区处于岩溶斜坡带上(图3);目前已在岩溶高地和斜坡区有多口钻井钻揭雷顶风化壳气藏,如元坝12井、CK1井、XCS1井等。碳酸盐岩风化壳岩溶储层的形成还与碳酸盐岩的可溶程度、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,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,易溶解的程度越高。川西坳陷中段雷口坡组上亚段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,大部分含灰质成分和结晶较粗,总体可溶性较好,XCS1井钻揭的雷顶不整合面的岩性就主要为含灰质粉—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。古气候对岩溶作用的强度也有非常重要的影响,在降水量丰富和温暖潮湿的地区,地表径流、渗流和地下潜流对地表碳酸盐岩的蚀变作用强烈,渗流层和潜流层的影响深度和空间规模都较大。四川盆地在拉丁期末处于南纬低纬度带,气候湿热,表生溶蚀作用较强。总体上,抬升暴露阶段的溶蚀为 T_2l 顶部在后期深埋过程中进一步溶蚀改造奠定了基础。

深埋阶段:印支晚期川西西缘龙门山造山带隆升推覆、盆山转换,山前发育须家河组前陆盆地,“雷顶风

化壳”演变为前陆盆地基底,被陆相沉积物覆盖,随着上覆陆相沉积地层加厚,风化壳逐渐进入深埋压实为主的后生成岩作用阶段,此阶段,一方面由于深埋压实,充填、胶结作用使表生溶蚀形成的孔缝洞空间减少;但另一方面,随着埋深加大,地温升高,随沉积物充填到早期孔缝洞中的海水、地层水及有机质热演化所产生的酸性流体等又会对压实“残余”的孔缝洞产生溶解作用,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^[17-18]。XCS1 井雷四段风化壳岩心包裹体样分析结果显示,溶蚀孔洞中方解石晶体内的盐水包裹体均一温度介于 115~145 °C,说明发生溶蚀和方解石结晶的环境温度较高,按四川盆地地温梯度 3 °C/100 m 估算,此时雷顶应处在 3 000~4 000 m 的埋深。

2.3.3 裂缝是改善风化壳储层储集性能的重要因素

伴随印支中晚期以来龙门山造山带的隆升推覆、多期次由西向东强烈挤压,使川西地区雷顶风化壳层还受到了构造裂缝及由构造形变而产生的热液流动等因素的影响,重新形成在深埋条件下的“孔缝洞体系”。目前,在川西坳陷中部,用三维地震曲率法预测出在雷顶风化面上明显发育一组 NE 走向、宽约 20 km、长约 75 km、裂缝密度达 22.33 条/km² 的网状裂缝带,裂缝向上延伸到小塘子组,向下延伸到雷四中下亚段,平面主要集中在文星、玉泉、新场、马井一线(图 4)。分析认为这组裂缝带主要形成于印支晚期构造运动,裂缝带发育与构造形变及层内膏盐岩的塑性揉皱有关,其可能对雷顶风化壳岩溶储层发育及沟通下伏层内烃源起着十分重要的作用,CK1 井和 XCS1 井发现的风化壳气藏都位于裂缝发育带内。

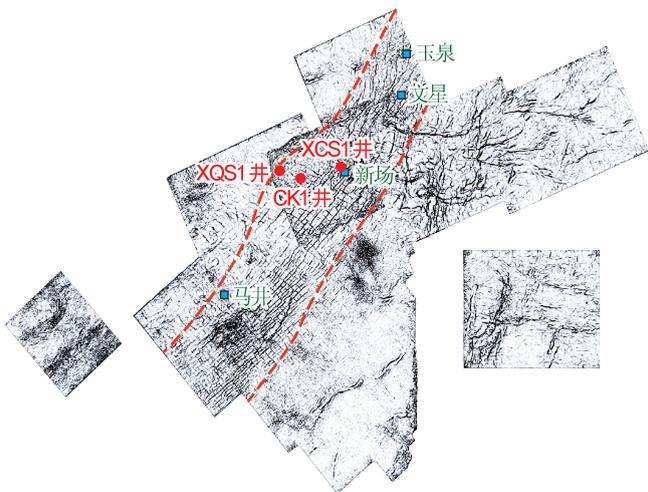


图 4 川西坳陷中部雷口坡组顶部裂缝分布图

2.3.4 风化壳储层具有明显的“蚯蚓”状波阻抗特征

在川西坳陷高分辨地震剖面上,雷顶风化壳岩溶层主要表现为一段复相位,复相位的宽窄、振幅的强弱都随风化壳层厚度变化而出现相位的分叉与合并。因此,高分辨的地震剖面波形分析是预测不整合面展布的有效手段之一;另外,高分辨地震反演提取的波阻抗参数对风化壳岩溶储层更为敏感,川西地区雷四段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,阻抗值域变化大,横向体现出“透镜”状、“蚯蚓”状,纵向上在高分辨的正演剖面上局部可见“串珠”状的变化特点,利用这一特点,采用有井约束的波阻抗反演方法可有效预测风化壳储层发育区。川西中段区域二维高分辨地震波阻抗正演剖面揭示,雷顶不整合面下“相对低阻抗”层“由东向西”广泛发育,厚度介于 5~70 m,总体表现为中部厚、两边薄的展布特征。

2.4 雷口坡组综合成藏条件好

川西坳陷海相层系上覆巨厚的陆相碎屑岩,侏罗系—白垩系砂泥岩互层厚度为 600~1 800 m,可构成海相层系良好的区域性盖层;直接超覆于雷顶之上的马鞍塘组—小塘子组海湾相泥岩、粉砂质泥岩、碳质页岩,厚度介于 50~350 m,可构成“雷顶风化壳气藏”良好的直接盖层;雷口坡组内层状展布的膏岩、白云质膏岩累计厚度介于 50~450 m,可构成“雷口坡组内滩相结晶白云岩气藏”良好的直接盖层。另外,川西坳陷区通天断裂不发育,CK1 井钻揭的雷口坡组地层水主要为 CaCl₂ 型,说明川西坳陷雷口坡组保存条件总体较好。

川西地区经历多期构造运动的影响,在海相层系内形成了多个不整合面和断裂体系。对于雷口坡组而言,印支中期在雷顶形成的不整合面可成为川西地区区域上远源输导的运移通道,不整合面上广泛发育的风化壳缝洞体系,可构成沟通下伏或侧向近源烃源岩的通道。通过对 CK1 井钻揭的“雷顶风化壳气藏”的解剖表明:该气藏缝洞系统所含天然气气源主要来自下伏坳陷内雷口坡组内烃源岩层系。因此,川西地区雷口坡组天然气运移条件较好。

地震资料解释发现在川西坳陷的新场构造带、鸭子河隐伏构造带、坳陷东斜坡构造带内雷口坡组构造层还发育众多次级构造和层圈闭,构造圈闭条件较好;另外,地震预测川西坳陷雷顶风化壳有利储层发育区面积达 4 000 km²,远大于现今雷顶局部构造圈闭面积的总和。因此雷顶风化壳还具有存在岩性圈闭气藏的可能。

盆地模拟方法对川西地区雷口坡组成藏演化研究表明,从印支晚期始,二叠系和中下三叠统的烃源岩就进入生油排烃门限,至燕山晚期,油气转化,川西坳陷东坡构造带、新场构造带、山前隐伏构造带基本形成(图5),油气在有利的构造和斜坡部位,圈源匹配成藏;燕山晚期至喜马拉雅期,由于龙门山构造带的持续隆升推覆,川西地区再遭到多期次强烈的构造挤压,构造格局进一步被改变,还有部分古气藏被调整或破坏,古气藏逸散及P/T烃源岩持续生成的天然气在新形成的复合圈闭中再次聚集成藏。

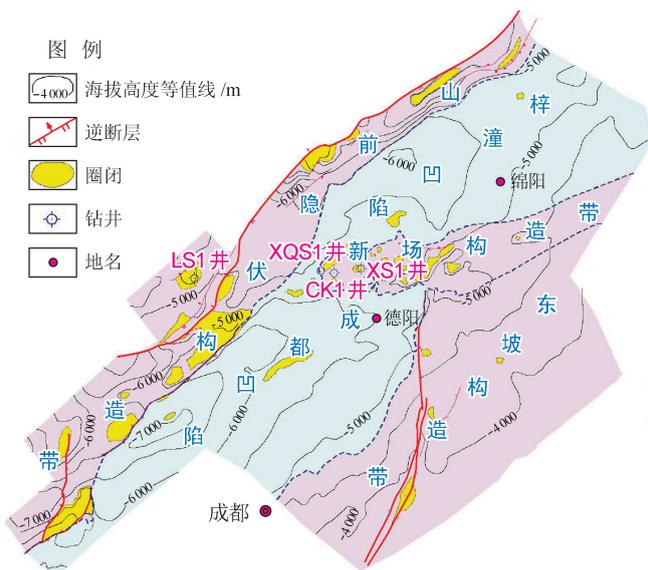


图5 川西坳陷中部雷顶构造带分布图

综上所述,川西地区雷口坡组综合成藏条件良好,具有形成规模海相气田的条件。

3 有利区带及勘探部署建议

川西坳陷不同构造带成藏主控因素不同:龙门山构造带“通天”断裂发育,构造被严重破坏,圈闭的保存条件是成藏的主控因素;山前隐伏构造带处于龙门山推覆构造带前缘(图5),构造挤压和隆升幅度相对较小,构造形态相对完整,但该构造带西翼普遍发育“通天”断层,断层是否具备封堵性是圈闭能否成藏的关键。龙门山地表露头揭示,印支早—中期沿现今龙门山构造带一线发育台地边缘滩相沉积,山前隐伏构造带是否处于 T_{1-2} 台缘滩相区范围、是否发育礁滩相储层,以及 T_2l 顶古风化壳储层在隐伏构造带是否发育等都有待探索。因此,现今川西坳陷内龙门山前隐伏构造带是探索早中三叠统“台缘滩相构造+岩性圈闭”的有利区带。

川西坳陷中部—川西坳陷东坡构造带除目前在

场构造带已发现的“雷顶风化壳岩溶气藏”外,在雷口坡组内多套“白云岩—膏盐岩沉积旋回”中广泛发育连片叠置的滩相结晶白云岩储层也可能形成大、中规模的“台内滩相近源气藏”,优质的 T_{1-2} 台内滩相储层及 T_2l 顶古风化壳储层应是成藏的关键因素,新场构造带、成都和梓潼凹陷周围斜坡区是探索早中三叠统“台内滩相构造+岩性圈闭、雷顶风化壳岩溶型构造+岩性圈闭”的有利区带。

综上所述,建议在川西坳陷的上述有利区带优选勘探目标,部署针对雷口坡组的探井,争取在山前、凹陷周围斜坡区也有所突破,为“十三五”在川西海相层系展开油气勘探做好先导性准备。

4 结论

川西地区雷口坡组具有形成大中型气田的近源物质基础,具有发育优质储层的条件,在龙门山前隐伏构造带、坳陷中央新场构造带、成都凹陷及梓潼凹陷周围缘斜坡区,雷顶发育古风化壳岩溶型优质储层,成藏条件优越,目标众多,勘探潜力巨大。只要坚定信心,精心研究,加强勘探,克服储层预测等难题,相信在川西地区雷口坡组可以找到大中型的天然气田。

致谢:成文中得到了周康老专家和《天然气工业》冉隆辉主编的指导,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 李勇,钟建华,温志峰,等.蒸发岩与油气生成、保存的关系[J].沉积学报,2006,24(4):596-606.
LI Yong, ZHONG Jianhua, WEN Zhifeng, et al. Study on the relationship between evaporite and hydrocarbon generation[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 596-606.
- [2] 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].成都:中国石化西南油气分公司,2010.
YANG Keming, XU Guoming, LIU Shirong, et al. Comprehensive petroleum geological research and target evaluation in west Sichuan Basin[R]. Chengdu: Sinopec Southwest Branch, 2010.
- [3] 许国明.川西地区古中生界海相油气地质条件研究[D].成都:成都理工大学沉积地质研究院,2010.
XU Guoming. Study on petroleum geology conditions of Early Mesozoic in west Sichuan Basin[D]. Chengdu: Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, 2010.
- [4] 曾德铭,王兴志,石新,等.四川盆地西北部中三叠统雷口坡组滩体及储集性[J].沉积学报,2010,28(1):42-49.

- ZENG Deming, WANG Xingzhi, SHI Xin, et al. Characteristic and reservoir property of the Leikoupo Formation of Middle Triassic in northwestern Sichuan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(1): 42-49.
- [5] 曾德铭, 王兴志, 张帆, 等. 四川盆地西北部中三叠统雷口坡组储层研究[J]. *古地学期刊*, 2007, 9(3): 253-266.
- ZENG Deming, WANG Xingzhi, ZHANG Fan, et al. Study on reservoir of the Leikoupo Formation of Middle Triassic in northwestern Sichuan Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(3): 253-266.
- [6] 辛勇光, 郑兴平, 周进高, 等. 四川盆地中西部地区雷口坡组三³亚段储层特征及其分布[J]. *天然气工业*, 2013, 33(3): 5-9.
- XIN Yongguang, ZHENG Xingping, ZHOU Jingao, et al. Characteristics and distribution of reservoirs in the Lei₃³ of the Leikoupo Formation in the western central Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(3): 5-9.
- [7] 魏钦廉, 王起琮, 肖玲. 鄂尔多斯盆地富县地区马五段古岩溶储层地震预测[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2011, 26(4): 8-11.
- WEI Qinlian, WANG Qicong, XIAO Ling. Prediction of paleokarst reservoirs in the fifth member of the Ordovician Majiagou Formation in Fu County area, Ordos Basin, using seismic attribute analysis[J]. *Journal of Xi'an Shiyu University: Natural Science Edition*, 2011, 26(4): 8-11.
- [8] 朱萌, 王兴志, 张帆, 等. 四川盆地中坝气田雷口坡组储层成岩作用与孔隙演化[J]. *世界地质*, 2011, 30(2): 238-243.
- ZHU Meng, WANG Xingzhi, ZHANG Fan, et al. Reservoir diagenesis and porosity evolution of Leikoupo Formation in Zhongba gas field of Sichuan Basin[J]. *Global Geology*, 2011, 30(2): 238-243.
- [9] 周进高, 辛勇光, 谷明峰, 等. 四川盆地中三叠统雷口坡组天然气勘探方向[J]. *天然气工业*, 2010, 30(12): 16-19.
- ZHOU Jingao, XIN Yongguang, GU Mingfeng, et al. Direction of gas exploration in the Middle Triassic Leikoupo Formation of the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(12): 16-19.
- [10] 何鲤, 廖光伦, 戚斌, 等. 中坝气田雷三气藏分析及有利相带预测[J]. *天然气勘探与开发*, 2002, 25(4): 19-26.
- HE Li, LIAO Guanlun, QI Bin, et al. Favorable reservoir facies tract prediction and analyses of Leisan Gas Reservoir in Zhongba[J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2002, 25(4): 19-26.
- [11] 兰光志, 江同文, 张廷山, 等. 碳酸盐岩古岩溶储层模式及其特征[J]. *天然气工业*, 1996, 16(6): 13-17.
- LAN Guangzhi, JIANG Tongwen, ZHANG Tingshan, et al. Carbonate rock palaeokarst reservoir mode and its characteristics[J]. *Natural Gas Industry*, 1996, 16(6): 13-17.
- [12] 张丽娟, 马青, 范秋海, 等. 塔里木盆地哈6区块奥陶系碳酸盐岩古岩溶储层特征识别及地质建模[J]. *中国石油勘探*, 2012, 17(2): 1-7.
- ZHANG Lijuan, MA Qing, FAN Qiuhai, et al. Palaeokarst reservoir recognition and geology modeling of Ordovician carbonate of block Ha 6 in Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2012, 17(2): 1-7.
- [13] 康志宏. 塔河碳酸盐岩油藏岩溶古地貌研究[J]. *新疆石油地质*, 2006, 27(5): 522-525.
- KANG Zhihong. The karst palaeogeomorphology of carbonate reservoir in Tahe Oilfield[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2006, 27(5): 522-525.
- [14] 郑多明, 李志华, 赵宽志, 等. 塔里木油田奥陶系碳酸盐岩缝洞储层的定量地震描述[J]. *中国石油勘探*, 2011, 16(5/6): 57-62.
- ZHENG Duoming, LI Zhihua, ZHAO Kuanzhi, et al. Quantitative seismic characterization of Ordovician fracture-cavity carbonate reservoirs in Tarim Oilfield[J]. *China Petroleum Exploration*, 2011, 16(5/6): 57-62.
- [15] 张奇, 文龙, 徐亮, 等. 四川盆地二、三叠系碳酸盐岩大气田类型及其成藏规律[J]. *天然气工业*, 2012, 32(1): 33-38.
- ZHANG Qi, WEN Long, XU Liang, et al. Types and gas accumulation patterns of large Permian and Triassic carbonate gas reservoirs in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(1): 33-38.
- [16] 许效松, 杜佰伟. 碳酸盐岩地区古风化壳岩溶储层[J]. *沉积与特提斯地质*, 2005, 25(3): 1-6.
- XU Xiaosong, DU Baiwei. The paleoweathering crust-type karst reservoir rocks in carbonate rocks[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2005, 25(3): 1-6.
- [17] 宋晓波, 王琼仙, 隆轲, 等. 川西地区中三叠统雷口坡组古岩溶储层特征及发育主控因素[J]. *海相油气地质*, 2013, 18(2): 8-14.
- SONG Xiaobo, WANG Qiongxi, LONG Ke, et al. Characteristics and main controlling factors of Middle Triassic Leikoupo paleokarst reservoirs in western Sichuan Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2013, 18(2): 8-14.
- [18] 惠宽洋. 塔巴庙地区奥陶系风化壳马五⁵亚段储层特征[J]. *天然气工业*, 2005, 25(11): 25-26.
- HUI Kuanyang. Reservoir characteristics of M₅⁵ member of Ordovician weathering crust in Tabamia area[J]. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(11): 25-26.