

川西北广旺地区飞仙关组沉积岩石学特征 及沉积环境分析

冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 庞艳君

(西南石油大学资源与环境学院, 四川成都, 610500)

摘要: 通过野外剖面、岩芯的观察和室内薄片的鉴定, 以成岩作用和沉积环境分析为主线, 分析了川西北广元至旺苍地区飞仙关组各种沉积岩的沉积成岩特征和所代表的不同沉积环境。认为广旺地区飞仙关组一段和三段的油气储层的主要岩性是鲕粒灰(云)岩, 其次是波状藻叠层白云岩和粉晶白云岩。分析了四种主要岩性的储集性能差异关系(颗粒云岩 > 波状藻叠层白云岩 > 颗粒灰岩 > 粉晶白云岩)及其原因, 并勾画出了颗粒灰(云)岩的富集分布区域。最后根据本区沉积岩石学、构造特征、飞一段至飞四段沉积环境演化过程的分析, 归纳总结出了川西北广旺地区飞仙关组的沉积环境模式图。

关键词: 川西北; 广旺地区; 飞仙关组; 沉积岩石学特征; 沉积环境

中图分类号: P588.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2007)02-0098-12

本课题的研究范围位于川西北油气矿探区的北部, 横跨广元、旺苍、南江、剑阁和江油等县市, 研究区东起梓潼向斜的西侧、南至剑阁的双女石、西到龙门山前缘、北抵米仓山, 面积约 6 000 km² (图 1)。从大地构造上看, 研究区位于上扬子地台的西北角; 属于四川盆地龙门山山前断褶构造带、米仓山台缘断褶带和川北平缓构造带之中。已发现的油

气藏和油气显示多数集中在下三叠统, 飞仙关组是重要的勘探目的层。

前人对四川盆地早三叠世飞仙关组岩石学特征和沉积环境研究的重点局限在川东北地区, 对川西北该套地层的研究尚处于早期阶段, 研究程度亦较低。地矿部地质综合研究大队等根据重矿物含量、结构组分和岩性在区域上的变化认为研究区处于其滨岸砂泥岩相夹碳酸盐岩相、浅海砂泥岩-碳酸盐岩相和浅海碳酸盐岩相的北部地区; 四川石油管理局等^[1]根据古构造、物源和岩性分布等特征认为川西北地区在飞一时位于江油潮间-潮下斜坡之上, 在飞二时处于江油-仁寿-高县滨岸砂泥坪的北部和广元-镇巴潮间-潮下斜坡、旺苍台盆之中; 李一平和王一刚等参考威尔逊碳酸盐相模式认为研究区位于台地相和广海陆棚相的北侧; 吴应林^[2]等按照各类岩性的厚度变化认为研究区位于潮坪、泻湖和开阔台地相带的北部。多数研究者将四川盆地乃至中国南方的早三叠世飞仙关组看成一台地-盆地环境中的产物^[3-5]。作者在前人研究基础上, 以研究区内飞仙关组的沉积岩特征和沉积环

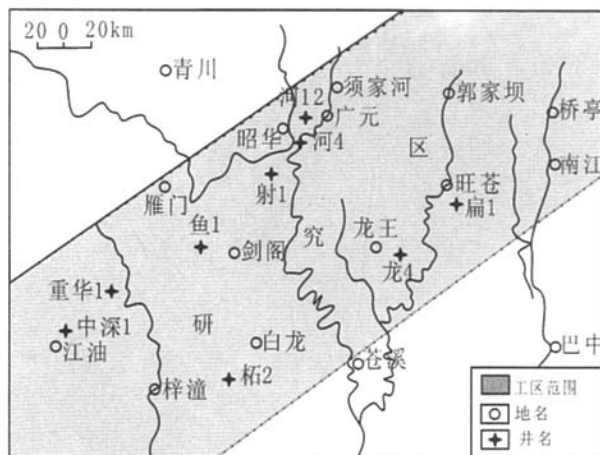


图 1 川西北广元-旺苍地区飞仙关组区域地质图

Fig.1 Geological map of Feixianguan Formation in Guangyuan-Wangcang district, northwestern Sichuan

收稿日期: 2007-01-15

责任编辑: 林晓辉

基金项目: 本文属于西南油气田分公司科技处下达的《川西北广旺地区飞仙关组成藏条件综合评价研究》子课题《川西北部地区飞仙关组沉积相研究》中的部分成果

作者简介: 冯仁蔚(1982-), 男, 汉族, 硕士研究生; 专业方向为沉积学及储层地质学研究; 地址: 四川省成都市新都区西南石油大学资源与环境学院; 电话: 028-89276715, E-mail: frwsupu@126.com。

境为目标,进一步研究了12条剖面、6口钻井取芯及1500余口岩石薄片观察、进行相应的岩矿测试,揭示出区内飞仙关组地层主要岩性在成岩、沉积环境中的各自特征,旨在为后期的储层综合评价提供可靠的地质资料。并且,由于飞仙关组在上扬子地台具有良好的可对比性,因此,这一认识可以应用到整个上扬子地块的川西北-川中-川东地区,这将有助于继续认识上扬子板块二叠纪的古地理特征和盆地构造演化,也对油气资源的预测和勘探提供了科学依据。

1 概述

川西北部广元-旺苍地区飞仙关组的古地理面貌呈现中西部为浅水混积台地、东部为深水槽盆的格局^[6]。中西部沉积了巨厚的多种浅水碳酸盐岩和少量碎屑岩,东部深水区则为泥晶灰岩-暗色页岩组合沉积,两者间由地形陡变的台地边缘-斜坡带沉积的重力流灰岩分开。本文着重剖析几种与储集性能相关的碳酸盐岩。

碳酸盐岩主要分布在飞一段和飞三段(图2),占其地层总厚度的60%~80%,由西至东、从北向南逐渐增加。飞一段的岩性多样,且多呈不等厚互层,其顶部的鲕粒云岩是区内形成储集层最好的岩性;飞三段岩性较稳定,以鲕粒灰岩占优势。白云岩分布范围及层位较窄,仅在龙门山前缘江油鱼洞梁-松花岭一带的飞一段-飞三段有相对较多的分布。碎屑岩以含灰页岩为主,多集中分布在飞二段和飞四段,占其地层的80%~90%,在龙门山前缘和广元-旺苍-南江一线的北部尤为发育,具有从西向东、由北至南逐渐减少。

2 碳酸盐岩沉积岩石学特征及沉积环境

2.1 碳酸盐岩颗粒类型特征及分布规律

2.1.1 颗粒类型

四川盆地西北部下三叠统飞仙关组碳酸盐岩中的颗粒类型多样,以鲕粒为主,其次是内碎屑、豆粒和核形石,生屑和球粒等较少。

鲕粒是区内研究储集层颗粒岩中最为常见和含量最为丰富的颗粒类型(图3-1)。其大小一般0.20~2 mm,在研究区内其粒径由西至东具有变

小的趋势,含量间于0~80%之间。

正常鲕:含量多,在10%~50%之间,常发育有密集而又清晰的同心圈层(图3-1),核心多被溶空,圈层色较暗,层数20~30层,核心因组分差异而阴极发光不一致;而圈层发光均一并与颗粒间的灰泥充填物基本一致,多为暗褐红色,表明其形成时的水化学条件基本一致。表皮鲕:含量少,在2%~5%之间,在10%~20%之间,其核心直径大于圈层厚度,形成时间较正常鲕短(图3-2)。单晶鲕、多晶鲕:分布较广,其内部分别由一个或多个亮晶方解石晶体组成(图3-3),常与周围圈层之间呈溶蚀不整合接触,内部方解石在阴极射线下发褐黄色光是鲕粒内部经溶解作用后埋藏被方解石充填的产物。复鲕:含量少,在1%~5%之间,核心由两个及两个以上相互粘连的鲕粒组成,鲕粒被溶蚀空后被两期亮晶方解石所充填(图3-4)。空心鲕:即负鲕,为一铸模孔(图3-5),孔直径为0.6~2.5 mm。在江油鱼洞梁剖面的飞一段和松花岭的飞三段的鲕粒云岩中较常见。鲕粒核心更容易在大气淡水、混合水或地层水的影响下被溶解,其由单晶或多晶方解石充填。

内碎屑 在区内含量较少,以砂屑(图3-6)为主,其粒径变化不大,一般0.1~2 mm,砂屑颗粒之间被亮晶方解石所胶结,孔隙度几乎为零。

生屑 是区内下三叠统飞仙关组较常见的颗粒组分之一(图3-7)。其含量一般0~30%,最高者可达65%左右。种类较简单,主要有瓣鳃类、腹足类。

核形石 仅在江油文胜剖面飞一段下部发育4~12 m,含量40%~75%,大小一般小于2 cm(图3-8),核心由富含蓝绿藻的泥晶灰岩组成,圈层发育不规则,由富藻的暗色纹层与富灰泥屑的纹层围绕核心呈不规则的环带生长;充填物多为灰泥基质,表明水动力条件并不是很强,属于低-中能核形石。

球粒 各个层段均有少量分布(图3-9),含量在10%~15%之间。粉砂级大小的颗粒,其分选、磨圆较好,色较暗,含有较多的有机质组分,多分布在台地内静浅水低能较还原环境之中。

2.1.2 分布规律

颗粒碳酸盐岩作为区内最重要的储集岩,最早出现在飞一段上部,主要为泥-亮晶鲕粒灰岩、鲕

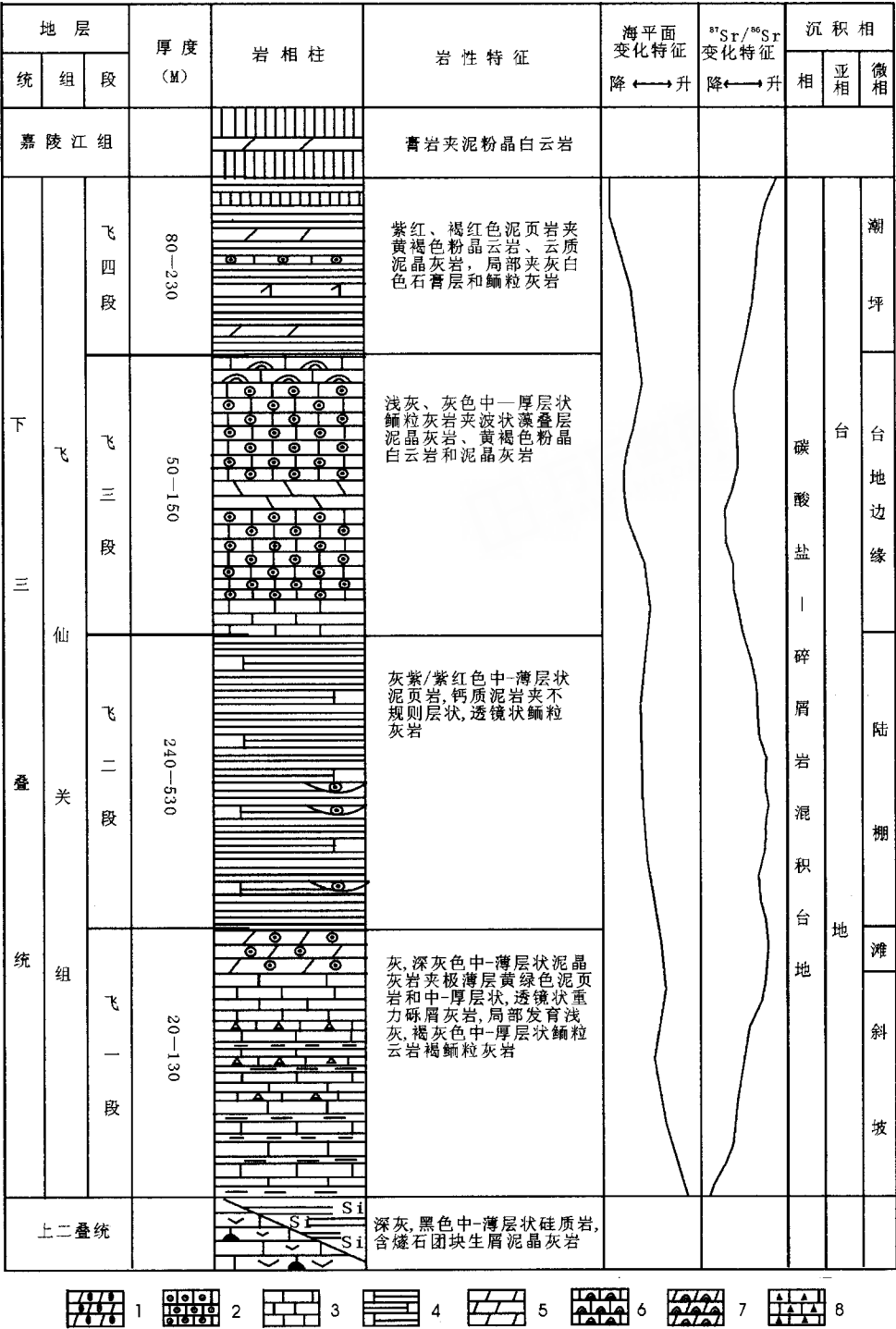


图 2 川西北广元 - 旺苍地区飞仙关组地层综合柱状图

Fig.2 Histogram of the Feixianguan Fm. in Guangyuan- Wangcang district, northwestern Sichuan

1. 鲕粒云岩; 2. 鲕粒灰岩; 3. 灰岩; 4. 含灰页岩; 5. 粉晶白云岩; 6. 波状藻叠层灰岩; 7. 波状藻叠层云岩; 8. 重力流砾屑灰岩

粒白云岩、其次为泥 - 亮晶砂屑灰岩和核形石灰岩等。沉积过程中逐渐向北向东扩展,到飞三期分布范围几乎富集在飞一段和飞三段整个开阔台地相区的较高能 - 高能滩体中。

其中飞一段只有一个颗粒岩富集区(图 4a),分布在北川通口 - 江油马鹿坝一带,厚度中心在文胜

- 鱼洞梁一带,可达 50 余米,岩性以鲕粒云岩为主,代表了高能滩体的沉积;飞三段则存在三个颗粒岩相对富集区和一个富集带(图 4b),三个颗粒岩富集区分别是北川通口 - 江油团山、河 12 井 - 射 1 井 - 龙 4 井 - 扁 1 井和大两会 - 南江 - 桥亭区,其厚度一般大于 40 m,最厚可达 70 余米,三者均为点滩沉

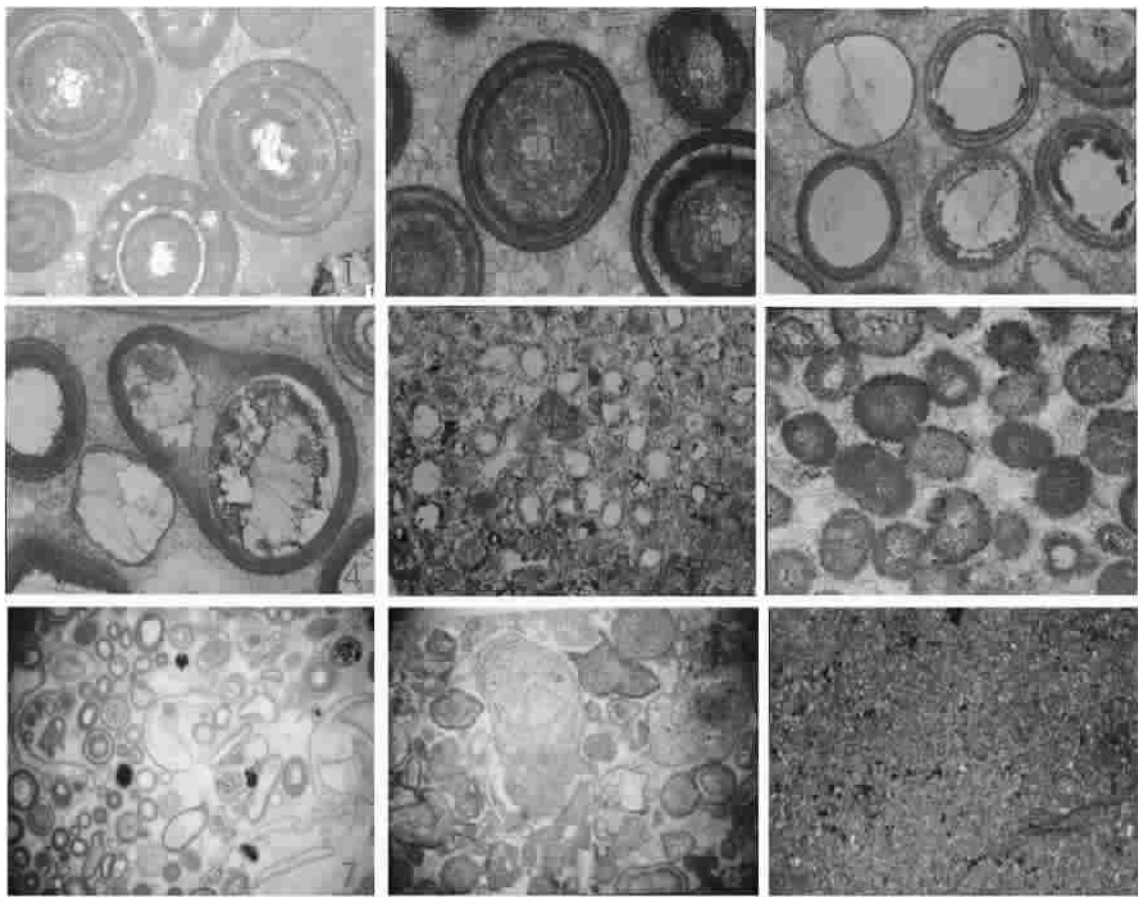


图 3 川西北广元 - 旺苍地区飞仙关组主要颗粒类型显微照片

Fig.3 Pphotomicrograph of the main granules of the Feixianguan Fm. in Guangyuan- Wangcang district, northwestern Sichuan

1.正常鲕;2.表皮鲕;3.单晶鲕;4.复鲕;5.负鲕;6.砂屑;7.瓣腮和腹足;8.核形石;9.球粒

积;一个颗粒岩富集带是广元车家坝 - 永宁铺 - 南江南一线与明月峡 - 河 12 井 - 鹿渡 - 扬坝一线之间的狭长地带,其颗粒岩厚度一般大于 30 m,代表台地边缘高能滩体。这些滩体经过后期的成岩作用改造后均可形成良好的储层,另外,未富集或很少分布颗粒岩的高能地区的原因,笔者认为这个问题可用孤立点滩和台地边缘的迁移来解释。在适宜的构造和气候条件下,台地边缘会迅速的加积和推进,结果产生“厚此薄彼”的现象^[7]。

2.2 主要石灰岩特征及沉积环境

2.2.1 颗粒灰岩

该灰岩是区内最重要的碳酸盐岩, 颗粒含量一般 60% ~ 75%, 多呈颗粒支撑。颗粒类型较多,以鲕粒最为发育,占该类岩石的 90%以上,其次是内碎屑和核形石,生物(屑)较少;主要分布在广元 - 旺苍 - 南江一带飞三段和江油鱼洞梁 - 团山一带

的飞一 - 飞三段的,中、厚层至块状,发育槽状、板状、双向及潮汐层理,冲刷侵蚀面常见;在龙门山前缘一带的飞一 - 飞二段中厚度变化较大,呈透镜状,常与下伏紫红色泥岩、灰岩以冲刷侵蚀突变接触,与上覆地层岩性突变或渐变接触。亮晶颗粒灰岩形成于区内水动力条件较强的沉积环境之中,如台地边缘、台内局部地貌高地(台内点滩)和潮汐沟道等,较强的水能有利于灰泥基质的带出和后来亮晶胶结物的沉淀。

亮晶颗粒灰岩在成岩过程中受到多重成岩作用的影响。胶结作用期次一般有 2 ~ 3 期,第一期同生 - 准同生期以马牙状环边方解石胶结常见,阴极射线不发光或发暗褐色光,第二期浅埋藏期胶结多为粉 - 细晶方解石,发黄褐色光,第三期中 - 深埋藏期是粗 - 巨粒单晶方解石或石膏,发亮橙黄色光(图 5-2)。三期胶接后使孔隙度降低 90%以上。此

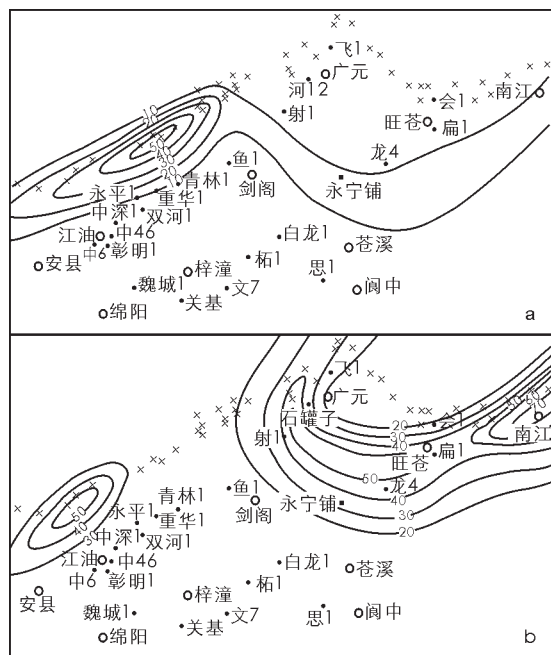


图4 川西北广元-旺苍地区颗粒岩等厚图

Fig.4 Isopach map of the granule rock of the Feixianguan Fm. in Guangyuan-Wangcang district, northwestern Sichuan

a. 飞仙关组一段; b. 飞仙关组三段

外, 浅埋藏期的机械压实作用使颗粒破碎和紧密镶嵌接触, 中-深埋藏期的化学压溶作用则产生了锯齿状缝合线(图5-6)切割了颗粒内部或边缘, 形成了可供腐蚀性地层水和油气运移的通道, 在一定程度上扩大溶蚀孔隙和提高储层的渗透率, 为后期油气运移提供了通道; 充填作用也是对颗粒灰岩的极大破坏, 方解石充填了前期的晶间溶孔(图5-1)、小溶洞和构造期形成的高角度裂缝(图5-3), 常减少次生孔隙的50%~100%, 这三种破坏性成岩作用使颗粒灰岩储层的孔隙度降低95%以上。而在某些区域受胶结充填作用影响较小而溶蚀作用较强烈的区域, 则可形成孔隙度极高的铸模孔灰岩储层(图5-4), 孔隙度可达30%~50%以上; 溶解作用具有旋回性: 孔隙被反复的溶蚀-充填-溶蚀(图5-5)。此外, 一部分亮晶颗粒灰岩会发生云化作用而转化为颗粒白云岩或粉晶白云岩。综合看来, 颗粒灰岩的孔隙度平均在8%~20%之间, 渗透率一般 $(0.5 \sim 8) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右。具有较好的物性和储集性(图6)。

2.2.2 其他灰岩

泥晶灰岩 在本区飞仙关组各段广泛分布, 一般形成于水体较安静的还原沉积环境, 在开阔台

地、局限台地、陆棚、斜坡带以及较深水盆地地区均有分布。灰、深灰色, 中-薄层状层为主。水平纹理相当发育, 层面可见水平虫迹以及生物扰动构造, 局部有滑动变形构造。泥晶灰岩中仅发育一定量的溶孔-网状缝(图5-8), 在被后期油气运移后的沥青残余物所完全充填, 孔隙度极低($< 0.3\%$), 可形成差储层或非储层。

波状藻叠层石灰岩 本区广元-旺苍-南江一带的飞三段局部和其它井段中有少量分布(图5-7)。富含陆源泥时显褐灰色, 贫泥时为灰色, 一般呈波状、微波状。叠层石“亮层”单层厚0.1~1 cm, 主要由富含灰泥和细粉屑的碳酸盐组成; “暗层”单层厚0.05~0.3 cm, 颜色暗淡, 常由蓝绿藻粘结或粘连灰泥构成。一般形成于潮上带和潮间带上部, 反映了水体的变浅, 能量的减弱。孔隙发育很低平均在0.3%~2%之间, 渗透率一般 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右。具有较差的物性和储集性, 叠层石灰岩由于其特定的形成环境, 很容易遭同生-准同生白云岩化而变为叠层石白云岩。分布在江油鱼洞梁剖面的飞一段中的叠层石白云岩和扁1井飞四段的叠层石石灰岩中含有石膏就证明了这一点。

芝麻点灰岩 在区内江油鱼洞梁和旺苍鹿渡等野外剖面中有少量分布(图5-12)。多为生物潜穴或生物扰动形成, 分布在低能静浅水的开阔台地环境中。浅灰、灰白色, 中-薄层状, 由芝麻点与基质两部分组成。宏观上, 芝麻点较基质深, 前者多为深灰色, 呈芝麻点状、不规则斑点状悬浮于灰白色基质中, 近于顺层分布, 宽多为1~3 mm, 长度稍大; 微观上, 芝麻点色较基质浅, 由相对较纯的细粉晶和泥晶方解石组成, 多与基质呈突变接触, 并切过纹层, 基质色深, 含较多的粘土泥和少量黄铁矿。岩性较为致密, 孔隙度(0.3%~0.8%)和渗透率 $(0.01 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2)$ 均低, 无储层性质(图6)。

风暴灰岩 在本区飞仙关组, 风暴流主要发育于局限台地和开阔台地的细粒沉积物中。多以透镜状、薄层状夹于灰色泥晶灰岩中(图5-11), 单层厚一般小于20 cm。颗粒含量小于35%, 主要由生屑、细片状砂屑和少量鲕粒组成, 颗粒之间见少量(2%)次生残余孔, 但连通性极差(渗透率 $0.005 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。

重力流灰岩 本区广元-旺苍-南江一带的飞一段的半深海斜坡环境中普遍发育(图5-10),

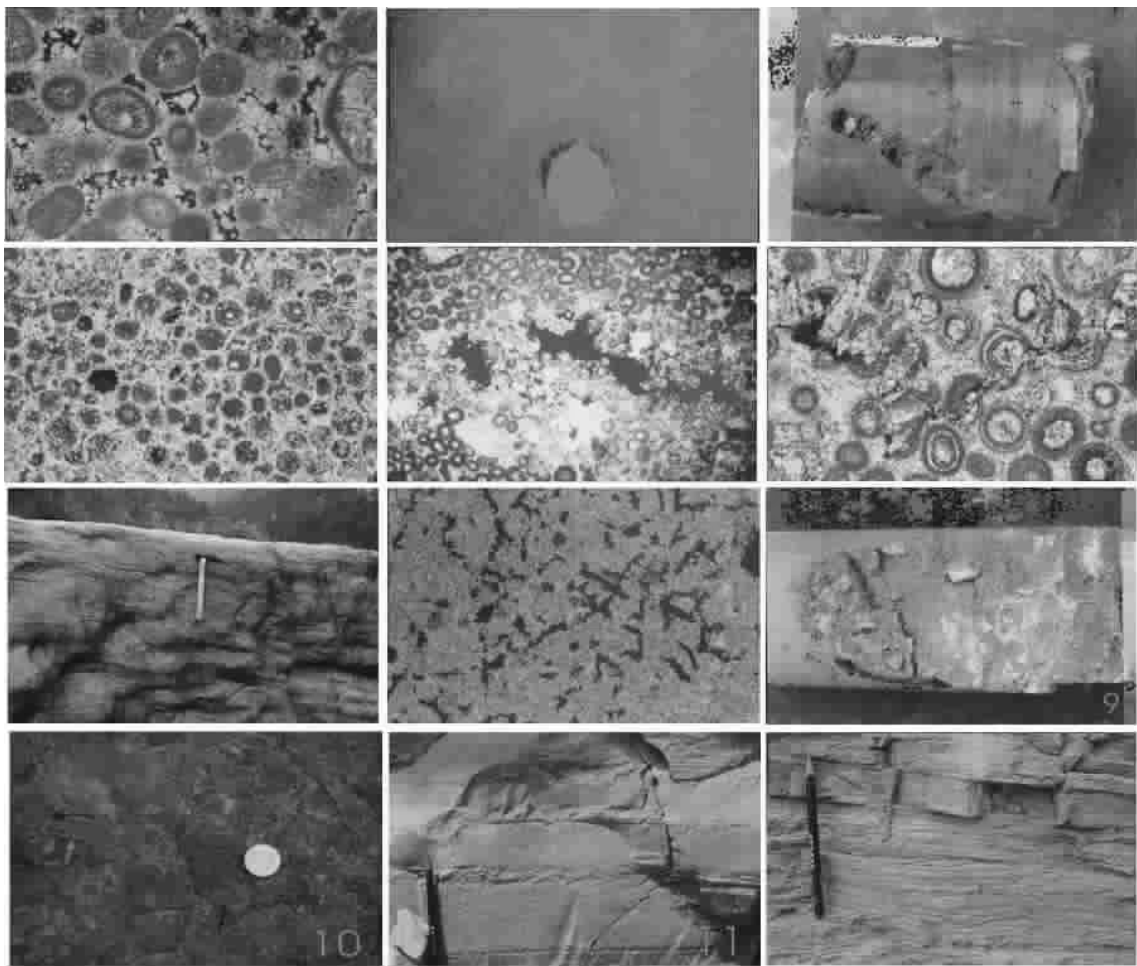


图 5 川西北广元 – 旺苍地区飞仙关组主要灰岩微观 – 宏观照片

Fig.5 Microcosmic and macroscopic photos of the main limestone of Feixianguan Fm. in Guangyuan– Wangcang district, northwestern Sichuan

- 1.亮晶鲕粒灰岩中的晶间溶孔; 2.亮晶鲕粒灰岩的阴极发光; 3.鲕粒灰岩中的裂缝被亮晶方解石全充填; 4.鲕粒灰岩中的蜂窝状铸模孔,少量被沥青充填; 5.溶洞被亮晶方解石和渗流粉砂全充填后再次被溶解; 6.沿缝合线分布的溶孔
7.藻叠层泥晶灰岩; 8.泥晶灰岩中的网状缝被沥青全充填; 9.高角度裂缝局部溶蚀扩大被两期亮晶方解石半充填;
10.重力流成因的砾屑灰岩; 11.泥晶灰岩夹薄层风暴较粗颗粒岩沉积; 12.芝麻点灰岩

常以不规则中 – 厚层状、透镜状夹于泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩中,单层厚 0.2 ~ 5 m 不等,颜色较围岩浅。其砾屑含量 40% ~ 80%,大小一般小于 8 cm,常呈板片状、不规则状,断续状,局部弯曲而成小挠曲,残留有早期滑塌痕迹,表明重力流作用发生时岩石尚未完全固结,显示出一定程度的塑性;砾间几乎无孔隙,被灰泥全充填。下部颗粒间以点或缝合线接触为主、中部为基质支撑、上部几乎无颗粒,其底部与下伏地层之间侵蚀突变接触。区内重力流灰岩几乎不具备储集性能(图 6)。

2.3.白云岩特征及沉积环境

2.3.1 颗粒白云岩

该白云岩是本区主要的储集岩之一。在龙门山前缘江油鱼洞梁剖面的飞一段和松花岭剖面的飞二、飞三段地层中常见,中 – 厚层块状,局部为透镜状,其余井段偶见。颗粒主要为鲕粒,少量砂屑。

颗粒白云岩是由颗粒灰岩在混合水云化作用下交代发展而来的。两期胶结作用,第一期为马牙状或柱纤状白云石,第二期是粒状或连晶状方解石。从江油鱼洞梁剖面飞一段白云岩储层段的系统同位素分析来看(图 7),滩体顶部(上部)的碳、氧同位素值比下部的明显偏负,氧碳同位素值呈低负 – 中负值, $\delta^{18}\text{O}$ 一般为 $-5.84\text{‰} \sim -2.62\text{‰}$ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 一般为 $-3.03\text{‰} \sim 1.95\text{‰}$ (PDB),呈低负值,表明上

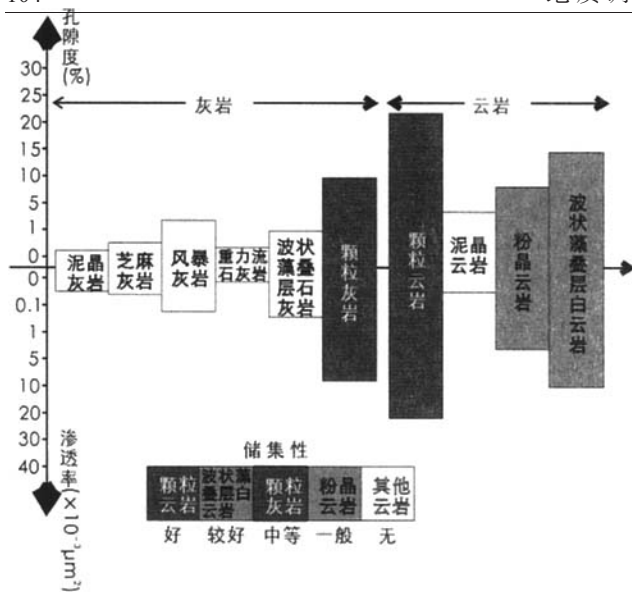


图6 川西北广旺地区飞仙关组主要岩石物性对比图

Fig. 6 Physical property correlation of main rocks in the Feixianguan Fm., Guangyuan-Wangcang

部受到大气淡水的成岩改造明显,向下有逐渐减弱的趋势。

阴极射线下,鲕粒和第一期白云石胶结物发光基本一致,为暗褐黄色光;第二期粒状方解石发光强,一般呈红褐色,第三期连晶方解石不发光。这表明该类白云岩的云化作用在第一期胶结物形成后不久发生,推测是在同生-准同生期,由大气淡水和混合水成因所至;第三期连晶方解石是中-深埋藏环境下的产物。

但与颗粒灰岩重大差异的是其受到过自浅埋藏期开始的三期溶解作用: 第一期为准同生期的混合水云化伴生的溶解作用, 第二期为中-深埋藏期的腐蚀性流体溶蚀作用, 第三期为后期构造裂缝活动时期的溶蚀扩大作用, 三期溶解作用发育大量的粒间孔、铸模孔、粒内溶孔、晶间孔和晶间溶孔(图8-2、3、4), 面孔率一般10%~20%。造就了区内研究储层段中最好的一类→孔隙性颗粒(鲕粒)白云岩储层。其特征是连片较好, 厚度大, 白云石化程度高, 孔隙度高达15.68%~27.78%, 渗透率一般 $(2 \sim 30) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 表现出极好的物性。

为何颗粒云岩的物性要好于颗粒灰岩? 一是因为云化程度高达85%以上形成较多次生孔隙; 二是因为后者受到胶结作用强度和周期长, 且与压实、充填作用一起极大的抵消了后期溶解作用的正面效应。

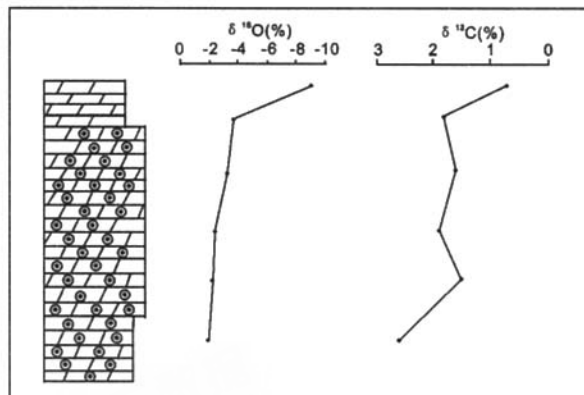


图7 江油鱼洞梁剖面飞一段白云岩储层段的系统同位素分析

Fig.7 Isotope analysis of the dolomite oil reservoir in the Feiyiduan of the Yudongliang, Jiangyou section

2.3.2 其他白云岩

波状藻叠层云岩 形成于浅水潮坪环境中, 原岩(藻叠层灰岩)经过同生-准同生期大气淡水淋滤和混合水云化改造而成。仅见于鱼洞梁剖面飞一段的局部, 厚度很薄仅为3~10 m。宏观上为褐灰、灰色, 中-厚层状, 波纹层理发育。层序上位于滩相颗粒白云岩之上, 横向分布不稳。其中具较多未充填-全充填的鸟眼孔(图8-7); 其碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}$ 一般为1.41‰~2.67‰(PDB), 呈低正值; 氧同位素值 $\delta^{18}\text{O}$ 一般为-2.37‰~-2.52‰(PDB), 呈低负值。由于受到大气淡水的淋滤风化, 藻叠层白云岩的次生溶孔发育, 常见较多顺纹层方向的鸟眼孔、溶孔、溶缝、溶洞和少量颗粒铸模孔, 被方解石和沥青半充填, 面孔率一般10%~20%, 孔隙度大多为10%~15%, 渗透率一般为 $(5 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 是较好的生物礁储集层, 生物礁往往形成储量大, 产量高的岩性油气藏, 是区内较重要的储集岩之一^[8](图6)。

泥晶白云岩 呈浅灰、黄褐色, 中-薄层状, 厚度较为稳定。主要由小于0.003 mm的泥晶白云岩组成, 大小不均, 含量一般65%~90%, 白云石以它形为主, 当泥质或灰质含量超过50%时, 则向白云质泥岩和白云质灰岩等过渡; 白云石大多阴极发光弱-中等, 一般呈暗黄褐、红褐色, 泥质不发光。层序上, 层状泥晶白云石常与云质泥晶灰岩和含膏质泥

晶灰岩不等厚互层产出。这表明,该类白云岩的形成与低能局限台地环境有着密切的联系,推测是回流渗透白云化成因。泥晶白云岩虽有较多的晶间微孔(孔隙度约2%~9%),但其连通性较差(渗透率约 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),孔隙常被机械渗流粉砂(图8-5)充填,多为无效孔隙,因此其储集性能差(图6)。

粉晶白云岩 本区粉晶白云岩有两种成因,一种是由原岩(泥晶灰岩)在浅埋藏期中受应变重结晶而形成,占30%~50%,如藻泥粉晶白云岩(图8-1);另一种是原岩(颗粒灰岩)在海底时期遭受一期混合水云化和在浅埋藏到中深埋藏的二期埋藏云化的作用形成,仅保留原岩颗粒的幻影,占20%~40%(图8-9)。

晶粒以褐灰、浅灰和黄灰色的粉晶为主,大小为0.003~0.03 mm的白云石组成,含量60%~95%,自形-半自形为主,局部它形,部分晶体具雾心亮边结构;灰质组分1%~35%,多分布于自形白云石晶粒之间。阴极发光较强,多为褐黄色,灰质组分发光弱;氧同位素值明显偏负,为-8.88‰(PDB);碳同位素呈低负值,为-0.76‰(PDB)。从其产状来看,多位于滩体的上部,与下伏颗粒白云岩渐变过渡,向下云质减少、灰质增加,表明粉晶白云岩的交代过程由上至下发生。粉晶白云岩是区内研究层段重要的储集岩之一,中见较多的溶缝,晶间孔、晶间溶孔(图8-8),孔隙度一般为5%~25%,孔隙局部被方解石或沥青半-微充填,渗透率中等约 $(0.1 \sim 2.2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图6)。

3 碎屑岩及其沉积环境

3.1 泥页岩

浅色含灰质泥页岩 在研究层段中最为发育,与灰岩共生,主要集中在龙门山前缘和广元-旺苍-南江一带的飞二段和飞四段中,褐红、紫红和褐黄色,水平层理发育,鸟眼、变形和干裂构造常见,含少量完整瓣鳃类化石。沉积环境是海洋环境的浅水区。

暗色泥页岩 仅在飞一段和飞四段中有少量分布,以黄绿、暗绿、深灰色为主,中-极薄层状。飞一段多为暗绿和黄绿,飞四段中多为黄绿和深灰色,中-厚层块状,水平层理。沉积环境代表海洋环境的深水区。

3.2 粉砂岩

主要分布于北川擂古、通口剖面的飞二、飞三和飞四段中。一般呈灰紫、红紫色,中-薄层状、透镜状。岩石中除粉砂为主外,普遍含泥质和灰质等组分,阴极射线下,石英和泥质不发光或弱发光,灰质发暗褐色光。其中可含较多的粒间孔,面孔率一般2%~5%。本区研究层段的碎屑岩,由西至东粒级有逐渐减小的趋势,这说明离物源(龙门山岛链)的距离逐渐增加。

4 飞仙关组地层特征和沉积环境演化

晚二叠世末全球海平面上升到最高点^[9], $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 呈最小值在0.707 04~0.707 05之间;而之后整个飞仙关时期是一个持续海水向西南方向退出且沉积基底差异沉降减弱的过程, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 也相应的逐渐升高。沉积盆地的环境逐渐发生变化,海槽区逐渐被充填,台地范围在后期明显扩大^[10]。在平面上分布具非均值性。

4.1 飞一段

飞一时的沉积环境基本继承了早期长兴期的广阔的碳酸盐台地环境沉积格局,龙门山断裂西侧和广元-旺苍-南江一线的北部处于水体较深的海槽(盆地)之中,由西南至北东和由西至东水深逐渐增加。飞一段厚20~130 m,北部和南部薄、中间厚,存在两个较为明显的沉降中心,一个是北川擂古以北-广元葛底坝、大木垭一线的西北部(即川西海槽),另一个是广元余家沟、燕子峡一线的北东部地区(广元-旺苍海槽向北东方向迁移的结果),其地层厚度一般小于60 m(图9a)。

在广元-旺苍-南江一带属于深水沉积环境, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 在0.707 04~0.707 09之间。岩性为灰、深灰色薄-中层状泥晶灰岩为主,夹极薄层黄绿色泥页岩和数层不规则中-厚层状和透镜状砾屑灰岩;在北川通口-江油松花岭、鱼洞梁和广元张公岭、河12井、射1井-旺苍鹿渡、扁1井、大两会一带的厚度最大,一般是100~140 m。北川通口-江油松花岭、鱼洞梁一带主要由一套浅灰、褐灰色鲕粒灰岩、鲕粒云岩构成,说明该带应是一高能的浅水环境的台地边缘,其带状分布的颗粒岩可能与川西海槽台地边缘有关;而广元张公岭、河12井、射1

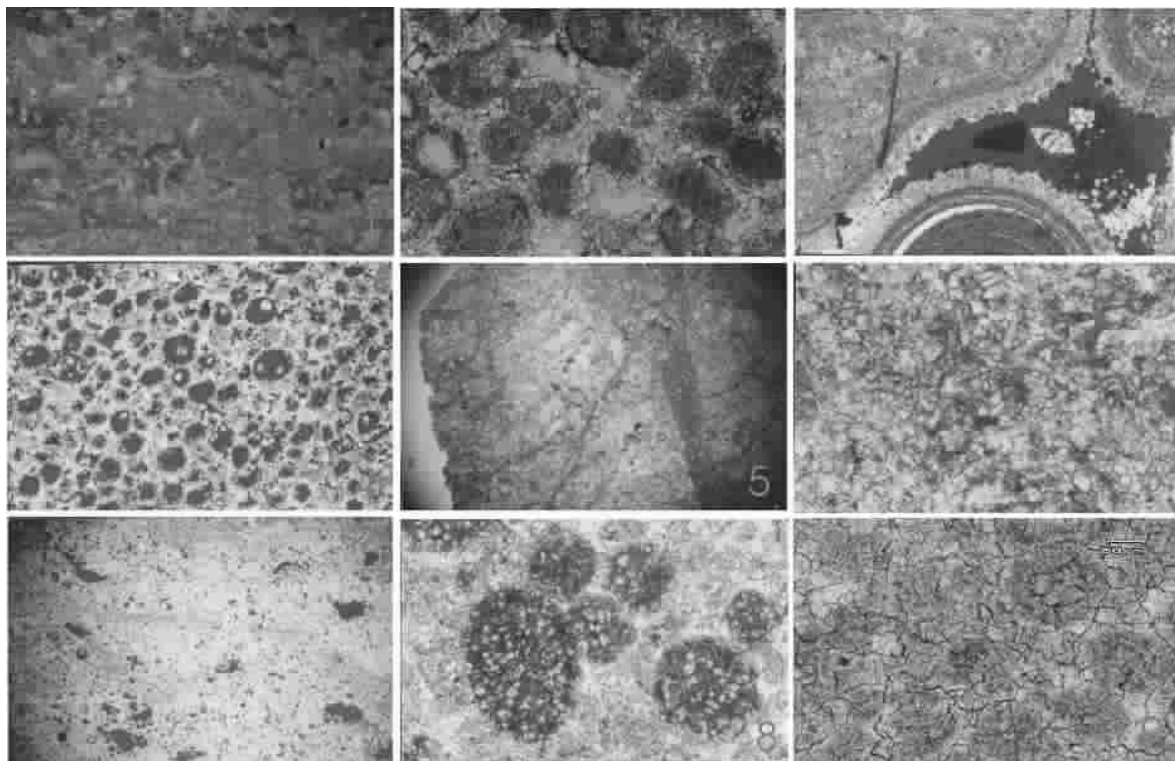


图 8 川西北广元 - 旺苍地区飞仙关组主要白云岩微观照片

Fig.8 microcosmic photo of main dolomite of the Feixianguan Formation in Guangyuan - Wangcang in northwestern Sichuan

1.藻泥粉晶白云岩;2.灰质亮晶鲕粒白云岩;3.亮晶鲕粒云岩中的残余粒间孔和粒间溶孔;4.鲕粒云岩中的大量铸模孔和粒间溶孔;5.泥晶白云岩中的近垂直溶缝被机械渗流粉砂全充填;6.粉晶白云岩中的晶间孔和晶间溶孔;7.藻叠层云岩中的鸟眼孔和粒内溶孔;8.鲕粒内部粉晶白云岩晶间溶孔;9.具残余幻影结构的粉晶白云岩

井 - 旺苍鹿渡、扁 1 井、大两会一带由暗色的泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩夹薄层泥页岩夹中 - 厚层状重力流砾屑灰岩组成,表明此带是一陆棚 - 斜坡沉积,厚度较大的原因可能与发育较多的重力流沉积有关;区内中南部是台地内低能较浅水环境中的沉积产物,主要由灰、褐灰色泥晶灰岩夹薄层黄褐色泥岩组成。

4.2 飞二段

飞二时,四川盆地的气候条件由早期的温暖潮湿型转变为干燥炎热型。同时,川西北地区海平面快速下降使 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 上升到 0.707 12 ~ 0.707 18 之间。由东南向西北方向,陆源碎屑物明显增多、变粗,物源区可能位于龙门山断裂的西侧。此物源区的形成可能与龙门山断裂的重新活跃有关,即该断裂西侧由早期的下降过程,在飞二时上升出露水面成为龙门山岛链。

飞二段厚 240 ~ 530 m(图 9b),该段厚度由西北向东北向逐渐变厚。由西北向安县、江油、鱼 1 井

和射 1 井逐渐变厚,向西南方向又逐渐变薄。其西北部的北川擂古 - 江油鱼洞梁一带由一套紫红、褐红色泥页岩、泥质粉砂岩夹透镜状、不规则状鲕粒灰岩构成,是靠近古陆的碎屑岩潮坪沉积环境;而广元余家沟、河 12 井 - 旺苍鹿渡、大两会 - 南江桥亭一带则是由厚度巨大的褐红、紫红、黄绿色钙质泥岩、泥质泥晶灰岩夹薄层风暴岩沉积构成,无任何浅水标志,处于较深水的低能补偿盆地环境之中;关基井 - 射 1 井 - 龙 4 井 - 扁 1 井一线及东南部常有灰、浅灰和紫红色的泥晶灰岩夹薄层泥页岩组成,其中可见到较多的生物扰动,表明该区水体循环良好、深度不大,有利于碳酸盐的形成与部分软体生物的发育,推测为一台地内环境。

4.3 飞三段

飞三初期,在飞仙关期这一大的海退背景下,区内伴随有一次较为明显的次级海平面(四级)快速上升, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 从 0.707 15 ~ 0.707 17 反弹回 0.707 08 ~ 0.707 11 之间,使得龙门山岛链(物源

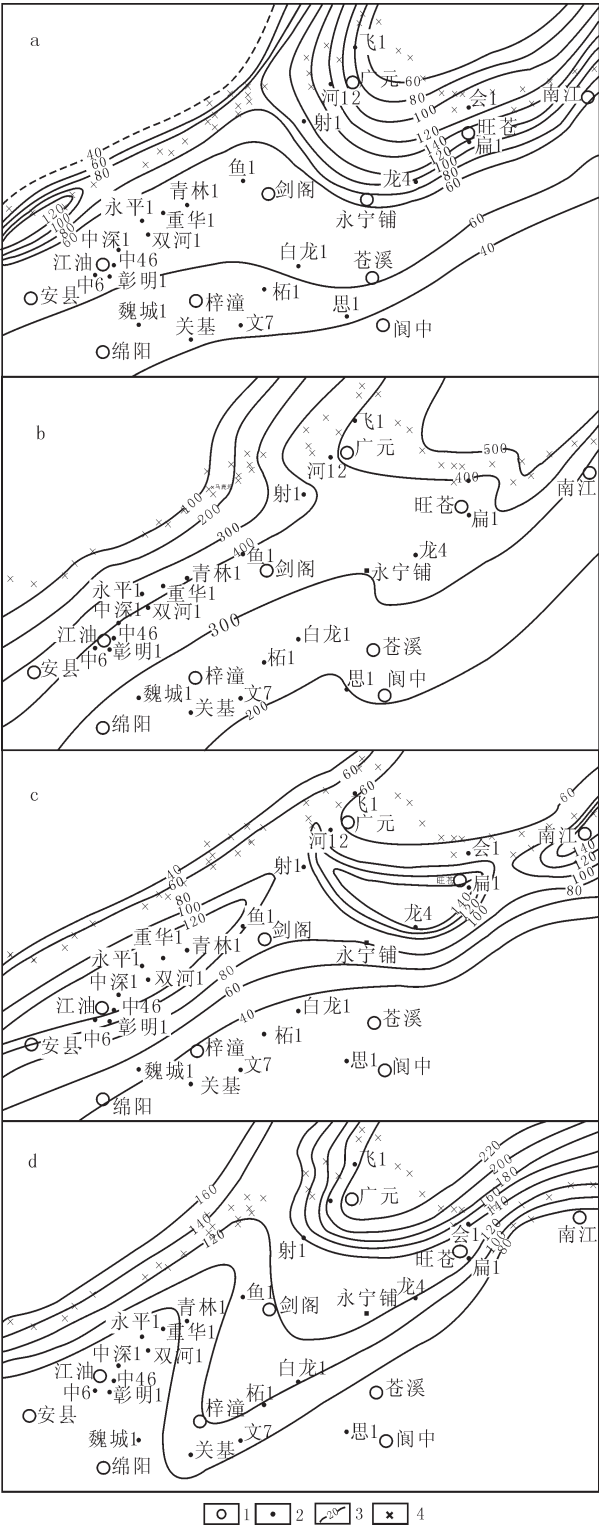


图 9 川西北广元 - 旺苍地区飞仙关组地层等厚图
Fig.9 Stratum sopach of the Feixianguan Fm. of Guangyuan- Wangcang in northwestern Sichuan
1.城市; 2.市名; 3.等值线; 4.剖面位置
a. 飞仙关组一段; b. 飞仙关组二段;
c. 飞仙关组三段; d. 飞仙关组四段

区)范围飞缩小,物源供应量减少,区内大部分地区堆积了一套以碳酸盐岩为主的沉积。随后,海平面又开始下降, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 再次回升到 0.707 1 9 ~ 0.707 23 之间,沉积相带向海退方向迁移。在龙门山岛链前缘一带为碎屑岩潮坪砂泥岩夹潮汐沟道的鲕粒灰岩沉积区。

飞三段厚 50 ~ 150 m(图 9c),岩性特征突出,表现以鲕粒灰岩为主或夹有一定厚度的鲕粒灰岩,易于将其与飞二段和飞四段区分开。存在三个厚度明显较大的区块。第一个是江油 - 永平 1 井 - 鱼 1 井一带,一般大于 100 m,厚度中心在永平 1 井附近,厚达 140 m 左右,主要由大套褐灰色泥粉晶灰岩组成,在上部夹数层褐灰色鲕粒灰岩和生物灰岩,说明主要是一套浅水低能沉积体,推测属于一台地内沉积速度较快的洼地。其余二个分别位于射 1 井 - 旺苍 - 扁 1 井 - 龙 4 井一带和大两会 - 桥亭一带,厚度一般大于 100 m,均由浅灰色大套鲕粒灰岩夹泥晶灰岩、藻叠层灰岩和泥质灰岩组成,颗粒岩层厚、色浅、亮晶胶结和发育大量浪成交错层理,为一典型的台地边缘高能滩相沉积区。

存在一个较明显的沉降中心,该中心位于广元麻柳、王家沟 - 南江桥亭一线的北部,其沉积厚度一般小于 40 m,主要由灰、深灰色含泥泥晶灰岩构成,是一深水低能盆地环境中的产物。该盆地是早期广元 - 旺苍盆地(海槽)随海平面的下降,继续向东北方向迁移的结果。

飞三段的鲕粒灰岩具有明显的穿时性,具有障壁性质的台缘颗粒滩在沉积过程中表现出随台地沉积向深水区逐渐扩大而穿时抬升的特点,如射 1 井飞三段鲕粒灰岩分布在中部,杨坝鲕粒灰岩分布在上部。

4.4 飞四段

飞四时,龙门山岛链再次发生较强幅度的抬升,物源供应充足,较高的沉积速率是区内古地貌达到填平补齐;同时,海平面下降到该次海平面升降的低点, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 上升到最大值为 0.707 35 ~ 0.707 41 之间,研究区的大部分地区位于海平面附近的碎屑潮坪环境之中,局部洼地处于局限台地环境。

飞四段厚 80 ~ 230 m(图 9d),北厚南薄。由西南向西北和北东方向,地层厚度逐渐变大。在西部北川的擂古一带极发育碎屑岩,由紫红、灰紫色砂质泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩构成,夹少量砂质灰

岩,可能具较多的浅水及暴露标志;最靠近陆源区的陆源碎屑的颗粒在所见到的剖面中最粗。厚度最大的区块是广元清风峡、麻柳、鱼洞河、燕子峡一带及北东部地区,一般超过 220 m,由一大套紫红、褐红色泥页岩构成,并见到大量浅水暴露标志,说明该区的沉积深度较快,由早期的盆地环境快速演化成飞四时的浅水潮坪环境。在关基井-旺苍大两会-南江一线及以南地区的厚度最小,一般小于 80 m,多由黄褐、浅灰色泥晶灰岩夹泥页岩和泥粉晶白云岩组成,局部夹中-薄层状石膏层,表明该区是一局限的台地内环境。

5 沉积环境模式

综合 Wilson 提出的综合碳酸盐标准相带模式^[11]和 Armstrong 提出的碎屑岩-碳酸盐岩混合沉积的混积台地模式,在区内飞仙关组沉积岩石学和沉积环境研究的基础上,结合区域地质特征,并按相带展布规律,提出川西北广旺地区飞仙关组的沉积环境模式图(图 10)。

早三叠世飞仙关期川西-川西北地区得沉积近北东向展布。在区内形成了一套陆源和碳酸盐混积的地层,形成的环境基本处于一浅水的混积台地-盆地环境。由陆向海方向依次出现以下沉积环境:(1)滨岸冲积平原;(2)浅水的混积台地可进一步分为:①碎屑潮坪;②低能受限台地夹较高能台内点滩;③低能开阔台地夹较高能台内点滩;④近台地边缘一侧的碳酸盐潮坪;⑤具障壁性质的台地边缘滩;(3)较深水陆棚;(4)斜坡;(5)盆地。这种混积的成因主要是由于海平面的变化。沉积物的供给,海水的温

度和水体的清澈程度决定的,当水体相对较深,较清澈,较温暖,沉积物供给较少时,形成碳酸盐岩沉积;反之形成碎屑岩沉积^[12,13]。

6 结论

(1)综上所述,颗粒岩(鲕粒灰(云)岩),粉晶白云岩,波状藻叠层云岩构成了川西北广旺地区飞仙关组储层(飞一段和飞四段)最主要的岩性。鲕粒灰(云)岩中的大量晶间溶孔、粒间粒内溶孔;粉晶白云岩中的晶间孔和次生溶孔,波状藻叠层云岩中未被充填的鸟眼孔、溶孔、溶缝、溶洞和少量颗粒铸模孔,构成了飞仙关组储层的主要储集空间。四种主要岩性的储集性能差异关系:颗粒云岩>波状藻叠层白云岩>颗粒灰岩>粉晶白云岩。虽然颗粒灰岩在分布和厚度远大于颗粒云岩,但后者物性要优于前者。

(2)颗粒岩的分布具有规律性,飞一段存在一个富集区,飞三段具有三个相对富集区和一个主要富集区。厚度均大于 30 m,分布在不同环境下的点滩,台地边缘滩等高能滩相带。

(3)飞一期到飞四期沉积环境的演化,是一个海平面持续下降的过程,沉积环境的多样化是由构造运动、气候、温度等因素综合叠加,相互影响和制约的结果。本文将川西北广旺地区飞仙关组划分为滨岸-混积台地-深水槽盆沉积体系,同时建立了该区的沉积环境模式图,为更详尽的了解川西北地区乃至整个四川盆地下三叠统地层的沉积环境(相)提供了依据,为下一步的油气勘探奠定了基础,为进一步储层评价提供了地质基础资料。

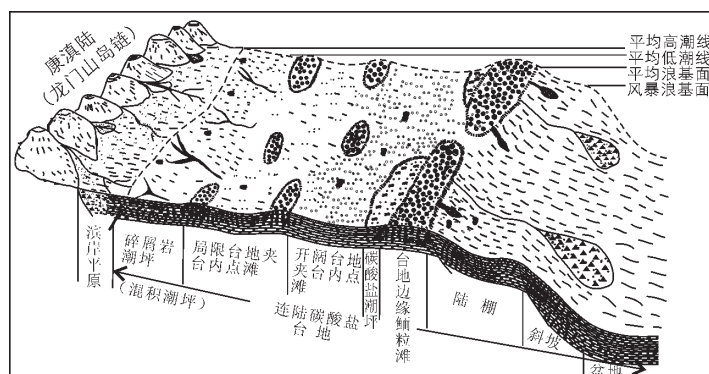


图 10 川西北广元-旺苍地区飞仙关组沉积环境模式图

Fig.10 Modal shape of depositional environment of the Feixianguan Fm. in Guangyuan-Wangcang, northwestern Sichuan

参考文献

- [1] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志 [M]. 北京:石油工业出版社,1989,(10):158-234.
- [2] 吴应林. 上扬子台地早、中三叠世岩相古地理及沉积矿产的环境的控制 [M]. 重庆:重庆出版社,1989,(10):237-257.
- [3] 王英华. 中、下扬子区海相碳酸盐成岩作用研究[M]. 科学技术文献出版社,1991,58-67.
- [4] 刘宝□. 沉积成岩作用[M].北京:科学出版社,1992,36-41.
- [5] 冯增昭. 中国南方早中三叠世岩相古地理[M].北京:石油工业出版社:1997,121-142.
- [6] 高志前,王惠民,樊太亮等. 塔里木盆地寒武-奥陶系沉积相沉积体系及其组合序列[J].新疆石油天然气,2005,1(1):30-35.
- [7] 李春峰,张雄华,蔡雄飞. 赣西北上寒武统西阳山组碳酸盐岩岩石学特征及沉积环境分析 [J]. 沉积学报,2005,23(1):41-48.
- [8] 温志峰,钟建华,郭泽清等. 柴西地区第三纪叠层石岩石学特点与油 k4 气储集特征[J]. 石油勘探与开发,2004,31(3):49-53.
- [9] 黄思静,石和,张萌. 上扬子石炭-二叠纪海相碳酸盐的锶同位素演化与全球海平面变化 [J]. 沉积学报,2001,19(4):481-487.
- [10] 王一刚,张静,刘兴刚. 四川盆地东北部下三叠统飞仙关组碳酸盐蒸发台地沉积[J].古地理学报,2005,7(3):357-371.
- [11] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003,407-410.
- [12] 蒋凌志,顾家裕. 塔里木盆地麦盖提斜坡石炭系碳酸盐岩和碎屑岩交替沉积的沉积环境分析 [J]. 石油实验地质,2002,24(1):41-47.
- [13] 王恕一,黄继文,蒋小琼. 塔里木盆地上奥陶统沉积及古地理特征[J]. 石油实验地质,2006,28(3):236-248.

Characteristic of Sedimentary Petrography and Depositing Environment of the Feixianguan Fm. in Guangyuan-Wangcang Southwestern Sichuan Province

FENG Ren-wei, WANG Xing-zhi, ZHANG Fan, PANG Yan-jun
(Southwest Petroleum University, Chengdu 610500 China)

Abstract: Based on observing the geological sections, drilling cores and identifying the thin slices, the authors studied the characteristic of sedimentary rocks and depositional environment of the Feixianguan Fm. in Guangyuan-Wangcang area, northwestern Sichuan Province. It is suggested that the lithologic character oil/gas reservoir of the Feixianguan Formation 1 and 3 in Guangyuan-Wangcang district, southwestern Sichuan are mainly oolite limestone and dolomite, secondly, are sinuational algae stack dolomite rock and crystal powder dolomite rocks. And the oil-bearing condition of the four main kinds of rocks is granule dolomite rock > sinuational algae stack dolomite rock > granule limestone rock > crystal powder dolomite rock. They sum up the modal shape of depositional environment of this region.

Key words: southwest part of Sichuan Province; Guangyuan-Wangcang district; sedimentary rock; depositional environment