

文章编号: 1000-0550(2010)01-0033-09

龙门山甘溪组谢家湾段混积相和混积层序地层学特征

郑荣才 周刚 董霞 胡忠贵

(成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都 610059)

摘要 依据实测剖面资料和薄片鉴定结果,将龙门山下泥盆统甘溪组谢家湾段确定为以泥质为背景的 I 型混积类型和 II 型混积层序,其 I 型混积类型的形成机理包括间断式和原地式两种混积形式,以风暴流所致的间断式混积为主。相关的混积相可划分为混积滨岸、碎屑混积陆棚和碳酸盐混积陆棚三种混积相类型,以及①滨岸潮缘残积物 + 混积潮坪、②混积陆棚泥 + 远源风暴流、③混积陆棚泥 + 近源砂质风暴流、④混积陆棚泥 + 近源混积风暴流和生物滩与点礁四种混积微相类型的沉积组合。其 II 型混积层序可划分出 SMST、TST、EHST 和 LHST 四个沉积体系域,各体系域由不同的混积类型、混积序列和混积强度的准层序叠置而成,以 SMST 和 LHST 的原地式混积作用最强, TST 的间断式混积作用最弱,而 EHST 具有交替的间断式与原地式叠加混积作用。

关键词 龙门山 下泥盆统甘溪组谢家湾段 混积滨岸 碎屑混积陆棚 碳酸盐混积陆棚 混积层序

第一作者简介 郑荣才 男 1950 年出生 教授 博士生导师 沉积学和石油地质学 E-mail: rongcaizheng@sohu.com

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

硅质碎屑与碳酸盐碎屑的混合沉积作用(以下简称混积)是指硅质碎屑与碳酸盐碎屑在结构上的相互掺杂,或成分上相对较纯的硅质碎屑岩与较纯的碳酸盐岩旋回性薄互层,再或侧向彼此相互交叉的沉积作用^[1-3]。滨、浅海环境的混积作用是一种沉积机理非常特殊的地质现象,对混积作用的研究不仅具有理论意义^[4],而且有重要的应用价值:一方面,成分和结构相互混合的混积岩与单纯的碎屑岩或碳酸盐岩比较,其控制和影响因素更为复杂,对其研究有助于解释沉积环境的动力学、气候、物源、沉积(生产)速率、海平面变化及其相互之间的复杂关系,对研究滨、浅海古地理环境、沉积动力学条件、海平面变化和区域构造—沉积演化具有重要意义;另一方面,某些

特殊的混积岩和混积相往往是层控和沉积矿床的重要含矿段,如南岭地区泥盆系铅锌矿^[5,6]及鲕状赤铁矿层^[7,8]都主要出现在加里东期之后的下部陆源碎屑岩系向上部碳酸盐系过渡的混合沉积岩相带中。又如碎屑陆棚上的砂质碳酸盐建隆、斜坡和盆地细砂质钙屑浊积岩等混积过渡带也常是生、储、盖的良好控制相带,可形成良好的储集体,如珠江口盆地珠江组中优质的砂质生物碎屑灰岩储层属于混积陆棚浅滩相沉积。

1 地质概况

龙门山下泥盆统甘溪组谢家湾段剖面位于四川盆地西北部北川县桂溪乡甘溪村(图 1),该剖面属于

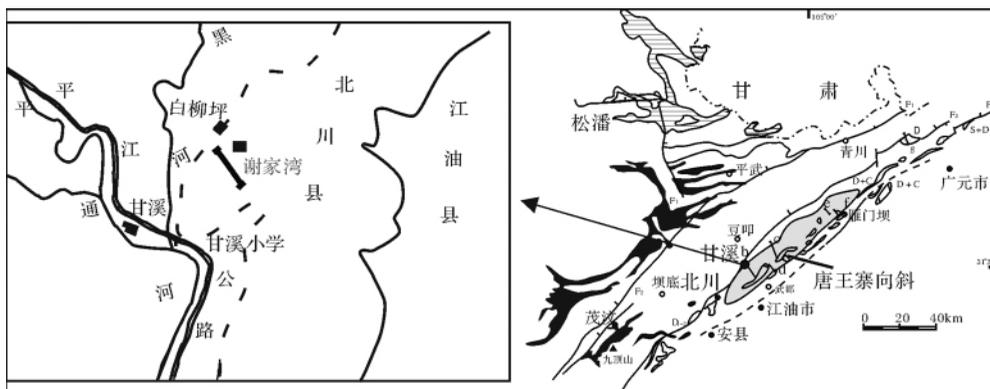


图 1 谢家湾段剖面位置图(据四川地质志 1:100 万地质图,1991 略简化)

Fig. 1 Location map of profile of Xiejiawan Member(From Sichuan geology map of 1:1000000,1991 simplified)

收稿日期: 2008-12-22; 收修稿日期: 2009-01-27

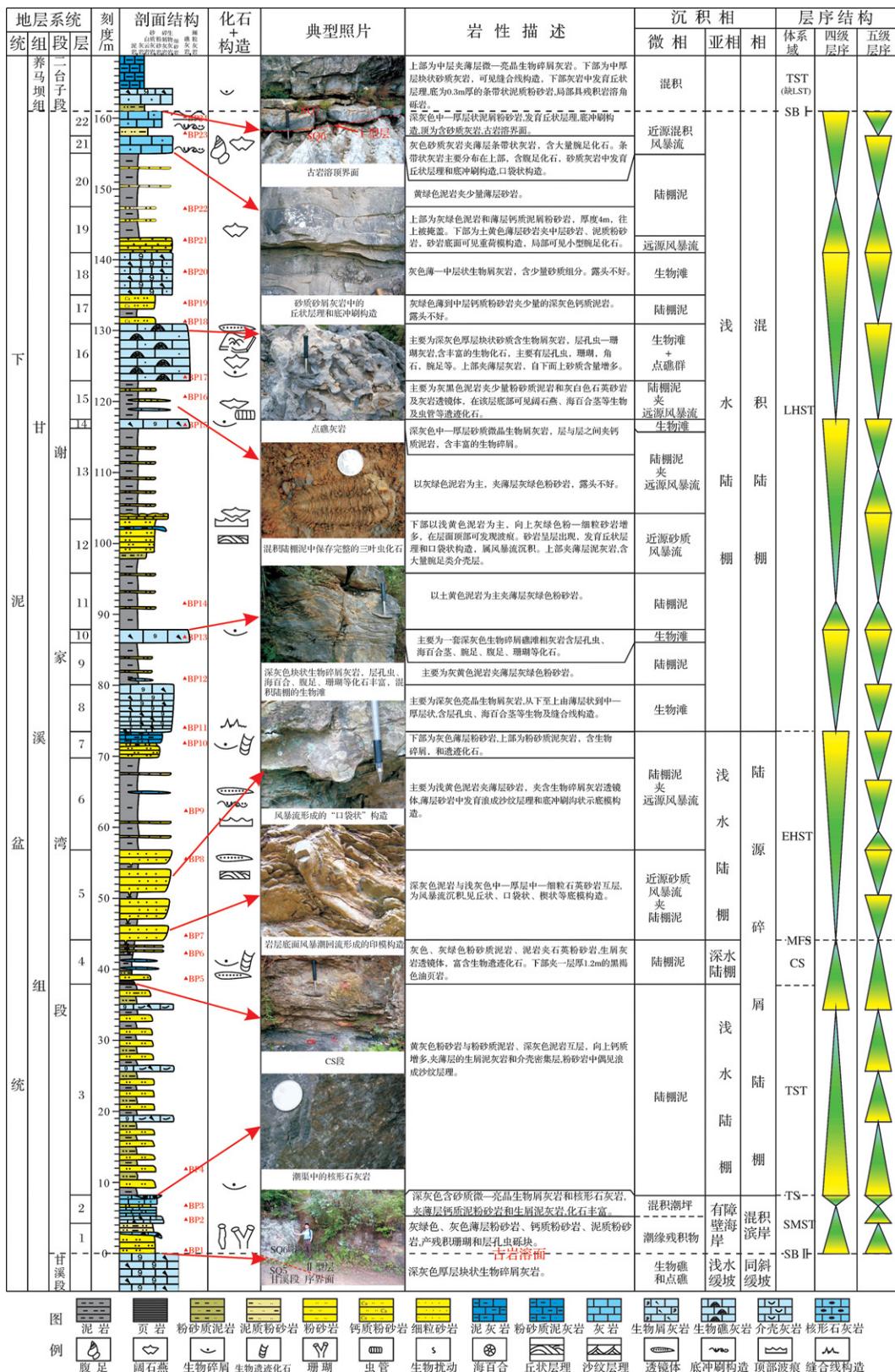


图2 龙门山甘溪地区下泥盆统甘溪组谢家湾段沉积相与层序地层综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of sedimentary facies and sequence stratigraphy, Xiejiaowan Member of Ganxi Formation, Lower Devonian, Ganxi region of Longmen Mountain

四川龙门山桂溪—沙窝子泥盆系国际标准剖面的重要组成部分^[9]。按龙门山泥盆系地层系统的分层标准,下泥盆统甘溪组自下而上划分为白柳坪段、甘溪段和谢家湾段。其中谢家湾段相当于侯鸿飞等实测北川县桂溪—沙窝子泥盆系剖面 B51—B67 层的谢家湾组,时代相当于 Emsian 阶晚期^[10]。龙门山地区早泥盆世的谢家湾段沉积期属于滨岸→陆棚环境^[11],为一发育和保存非常完整的混积滨岸→混积陆棚型沉积层序(图 2),层序的底部以含残积灰岩砾块的灰绿色泥质粉砂岩、泥岩与甘溪段顶部的灰岩分界,层序的顶部以古岩溶暴露面与养马坝组二台子段分界,总厚 161.1 m。根据岩性特征,本次研究将谢家湾段细分为 22 个小层,各小层连续出露,沉积构造发育,生物化石丰富,自下而上具有以灰岩与泥岩互层混积为主,经砂岩与泥岩互层夹灰岩混积为主,至灰岩夹泥岩、砂岩混积为主的岩性变化和混积层序地层学特征。

2 混积作用和混积相类型及沉积模式

在特定的沉积环境中由硅质碎屑与碳酸盐的混合沉积形成的沉积相类型称之为混积相,包括硅质碎屑与碳酸盐在结构上的相互掺杂,或者成分上纯的硅质碎屑岩与碳酸盐岩旋回性互层或侧向彼此相互交叉的沉积环境的产物^[1,3]。混积作用和混积相广泛地发育于不同地质时期,即从古至今十分常见,从陆到海、从浅水到深水都会出现^[1]。不同构造—沉积背景和不同级次的混积旋回中都可形成不同成因特征和混积比例的混积相类型,以及特征各异的混积物。在同一沉积体系中混积的硅质碎屑与碳酸盐在时空上可彼此间相互过渡和取代^[2]。由此可见,由

混积作用形成的混积相类型在地层中是一种普遍现象,与相当的单纯硅质碎屑岩或碳酸盐岩的沉积相类型有一定的对应关系,但也有其特殊性,因此,混积作用和混积相的划分采用同时考虑环境因素和混积机理为原则的综合分类方案。

2.1 混积相划分

按 Mount 的混积岩划分方案^[1],混积岩类型包括以泥质为背景的混积 I 型和以粉—细砂或灰岩为背景的混积 II 型。混积方式包括陆源硅质碎屑与盆源碳酸盐旋回性薄互层的间断式混积,和两种不同来源的物质组分以不同比例掺合的原地式混积两种机理^[3]。滨、浅海环境中引起两类不同源沉积物的混积作用,主要与风暴流的异地搬运、掺合、沉积和原地对沉积物的颠选、掺合、改造作用有关。此两种混积方式的混积岩在龙门山地区的下泥盆统甘溪组和中泥盆统养马坝组、金宝石组普遍发育^[12,13],但以甘溪组谢家湾段的混积型沉积最为发育和最为典型。谢家湾段主体属于混积 I 型沉积,可细分为混积滨岸、砂质混积陆棚和碳酸盐质混积陆棚等混积相类型(表 1)。不同混积相类型具有不同的岩性组合和混积机理,泥质混积滨岸表现为钙泥质粉砂岩与含砂泥质颗粒灰岩互层,混积机理表现为强的间断式与原地式混积过程;砂质混积陆棚以泥、粉砂岩与风暴流沉积的粉—细砂岩互层组合为主,夹薄层泥灰岩和少量介壳灰岩透镜体,混积机理或表现为弱的间断式,或弱的间断式与原地式韵律交替的混积过程;碳酸盐质混积陆棚以生物屑灰岩、礁灰岩和砂质颗粒灰岩与泥、粉砂岩不等厚互层组合为主,混积机理表现为强的间断式与很强的原地式混积韵律交替的混积过程。

表 1 谢家湾段混积相划分、特征及其分布层位

Table 1 Classification feature and distribution horizon of diamictic facies, Xiejiawan Member

混积相	微相	沉积类型	混积机理	分布层位
碳酸盐混积陆棚	近源混积风暴流	粉—细粒砂质砂屑灰岩,夹薄层泥岩和泥质粉砂岩	交替发育的强的间断式与很强的原地式混积	12、21、22
	混积生物滩,点礁	中、厚层生物屑灰岩、层孔虫—珊瑚点礁灰岩,夹薄层泥岩和泥质粉砂岩		8、10、14、16、18
碎屑混积陆棚	近源砂质风暴流	粉—细粒砂岩夹薄层泥岩和泥质粉砂岩	弱的间断式和交替发育的	5、7
	混积陆棚泥	灰—深灰色薄层泥岩,泥质粉砂岩,夹薄层泥灰岩和介壳灰岩透镜体	弱的间断式与弱的原地式混积	3、6、9、11、13、15、17、19、20
	深水陆棚泥	暗色页岩夹劣质油页岩		4
混积滨岸	混积潮坪	砂质颗粒灰岩与钙泥质粉砂岩互层	强的间断式混积	2
	潮缘残积物	钙质粉砂质泥岩,含大量来自下伏地层的层孔虫—珊瑚礁灰岩砾块	强的原地式混积	1

注:表中各层位与图 2 对应

2.2 混积相特征

2.2.1 混积滨岸相

混积滨岸相发育于谢家湾段底部,属于有障壁海岸沉积体系,其最大特点为浑水陆源碎屑与清水碳酸盐交替和相互掺杂的混合沉积作用。可细分出潮缘残积物和混积潮坪2个微相类型。

(1) 潮缘残积微相

分布于谢家湾段1层,岩性以富含残积生物砾块的灰色、灰绿色薄层钙泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主。该套泥、粉砂岩沉积不整合覆盖在甘溪段顶部生物礁、滩相灰岩的古暴露面上,生物扰动和钻孔构造非常发育,含较多以蜂巢珊瑚和块状层孔虫为主的残积生物礁灰岩砾块,生物礁灰岩砾块成分与下伏甘溪段礁相灰岩相同,显示谢家湾段早期为一近潮缘带的低洼暴露环境,位置相对较高的甘溪段礁灰岩遭侵蚀破碎后形成的砾块被搬运到此低洼地带,与残积的或古陆搬运来的泥、粉砂沉积共同构成了具有较强原地混积作用的残积型混积岩,以含有下伏层礁灰岩砾块为显著特征。

(2) 混积潮坪微相

发育于谢家湾段2层,岩性为中、厚层状砂质微

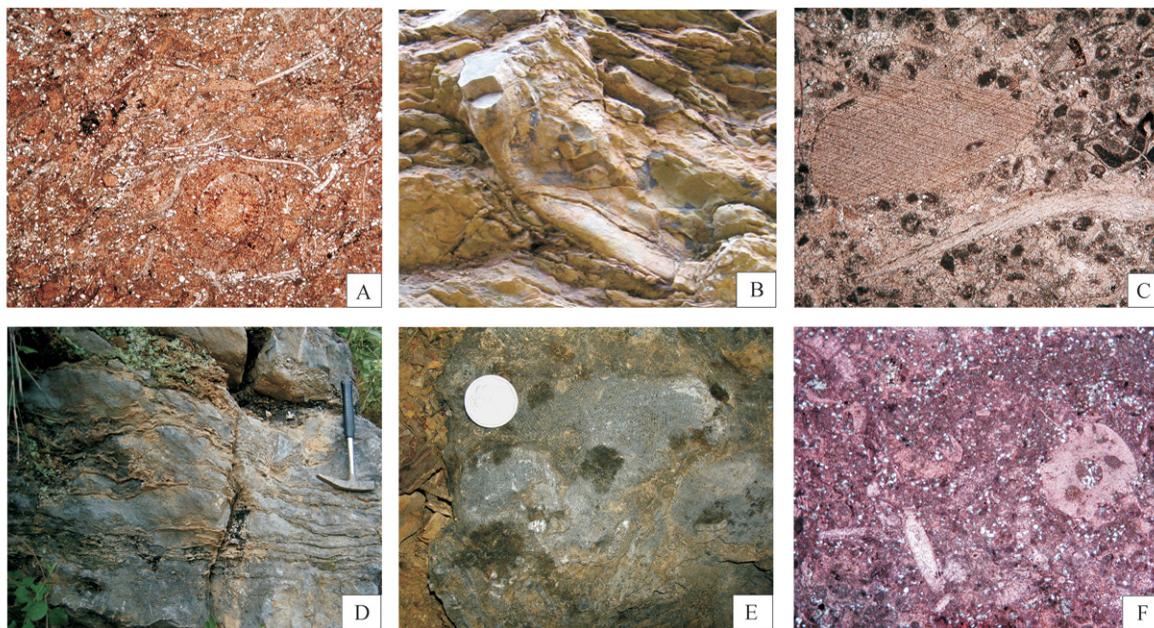
晶生物屑灰岩、砂质生物屑微晶灰岩(图3A)与钙泥质粉砂岩和粉砂质泥岩不等厚互层,产介形虫、腕足、三叶虫、海百合和双壳类化石丰富。上部夹含砂质微晶核形石灰岩透镜体,代表混积潮坪中的潮道沉积。由陆源碎屑岩与碳酸盐岩交替互层表现出较强的间断式混积作用,但也伴有陆源碎屑与碳酸盐相互掺合的原地式混积作用。

2.2.2 碎屑混积陆棚相

此类型于谢家湾段下部广泛发育,砂、泥岩与灰岩之比为11:1,可划分出混积陆棚泥、深水陆棚泥、近源砂质风暴流和远源混积风暴流4个微相。

(1) 混积陆棚泥微相

此微相广泛发育于谢家湾段下部的3层至7层,也是混积I型的沉积背景。岩性为薄层黄灰色粉砂岩与粉砂质泥岩、深灰色泥岩互层,夹薄层泥灰岩和透镜状介壳灰岩,具水平层理和浪成沙纹层理,以蛇形迹和动藻迹为主的各种遗迹化石非常发育。产丰富和完整的腕足类、双壳类、三叶虫和直角石等底栖生物化石,腕足和双壳类常密集堆积成介壳灰岩透镜体,成因与底浪对介壳的聚集作用有关^[14],但因水较深能量较低而仅具有弱的间断式混积作用,未能形成



A. 砂质微晶生物屑灰岩,石英粉砂含量为18%~20%,生物扰动和钻孔构造发育。1层,混积潮坪,单偏光,对角线长4 mm; B. 浅灰色粉—细粒石英砂岩底面的大型沟模构造,断面呈上宽下窄的“高跟鞋”状,近源砂质风暴流沉积。5层; C. 含砂质微晶球粒生物屑灰岩,照片中为海百合、腕足、介形虫和粪球粒,近源混积风暴流沉积。22层; D. 深灰色块状生物碎屑灰岩,层孔虫、海百合、腹足、珊瑚等化石丰富,混积陆棚中的生物滩。10层; E. 深灰色块状层孔虫—珊瑚礁灰岩,层孔虫、珊瑚化石丰富,保持原地生长生态特征,陆棚中的生物滩。16层; F. 充填在造礁生物体之间的含砂质微晶生物屑灰岩。16层,单偏光,对角线长4 mm

图3 谢家湾段常见的混积岩类型

Fig. 3 Frequent types of hybrid rocks of Xiejiaowan Member

连续的灰岩沉积。

(2) 深水陆棚泥微相

此微相发育于 4 层,岩性为较纯的薄层暗色泥岩、粉砂质泥岩夹黑褐色劣质油页岩组合,有机质含量高。与混积陆棚泥相比较,此类陆棚水体更深,环境也更为宁静和低能,但混积作用不发育。

(3) 近源砂质风暴流微相

此微相主要发育于 5 层,岩性以灰白色薄—中层细粒石英砂岩为主,夹薄层泥岩。砂岩底部偶含泥砾和介壳,发育浪成波痕和风暴潮冲刷形成的大型沟模构造(图 3-B),沟模断面呈上宽下窄的鞋跟状,或呈宽、高近于相等的口袋状,其古流向测量结果为近于一致的南东→北西向,与龙门山泥盆纪古海岸近于垂直^[11]。剖面上,由底冲刷、粒序层、浪成沙纹层和水平层组成风暴流层序。由一次风暴流形成的近积小砂体呈规模不大的透镜状,而由多期风暴流形成的小砂体连续叠置可形成厚砂体(图 4-A1),如 5 层底部 3 m 厚的厚砂体,由 18 个被冲刷面分割的、厚 6~24 cm 的小砂体连续叠加组成,显示风暴流对异地砂质组分有很强的搬运和聚集作用。此类风暴流沉积主要发育在靠陆的正常浅海环境中,由于缺乏钙质组分来源,仅在风暴潮作用间歇期出现弱的间断式混积作用。

(4) 远源混积风暴流微相

该微相位于水深更大的风暴浪基面附近,相对于近源风暴流有更远的延伸距离,并以其砂体粒度明显变细和厚度减薄显示其远积特征。通常由灰绿色薄层泥岩夹灰色粉砂岩(图 4-B1)和薄层泥岩夹泥灰岩和透镜状生物碎屑灰岩(图 4-B2)组成远源风暴流层序,发育有小型沟模和浪成波痕、浪成沙纹层理,动藻迹与蛇形迹等遗迹化石丰富。此微相以弱的间断式和原地式交替混积作用为主。

2.2.3 碳酸盐混积陆棚相

碳酸盐混积陆棚发育于谢家湾段 8 层~22 层,

也是谢家湾段最发育的混积相类型,砂、泥岩与灰岩之比为 2:1,可细分出近源混积风暴流、混积生物滩和点礁等微相类型。

(1) 近源混积风暴流微相

近源混积风暴流沉积微相不同程度地发育在 12 层、21 层和 22 层中,与近源砂质风暴流相似,也以广泛发育丘状层理、浪成波痕和口袋状底冲刷构造为主要特点。自下而上由含生物屑薄层粉—细粒砂岩逐渐过渡为中、厚层砂质砂屑灰岩(图 3-C)或砂质生物屑灰岩组成混积风暴流层序(图 4-A2),以风暴流对异地砂、泥质组分和原地碳酸盐组分都有很强搬运改造为主要特征,不难确定此微相发育在远陆的较浅水陆棚环境,在风暴潮作用期具有强烈的间断式与原地式交替混积作用。

(2) 混积生物滩和点礁微相

主要发育在谢家湾段 8 层、10 层、14 层、16 层和 18 层,岩性主要为灰色含砂质厚层块状微—亮晶生物屑灰岩(图 3-D)、层孔虫—珊瑚礁灰岩(图 3-E)和砂质微晶生物碎屑灰岩(图 3-F),夹薄层状泥岩、泥灰岩、粉砂岩和泥质粉砂岩(图 4-C)。灰岩中产有丰富的层孔虫、海百合、苔藓虫、三叶虫、腕足、腹足和珊瑚等化石,以海百合、层孔虫和珊瑚最为丰富。在局部呈透镜状夹层产出的层孔虫—珊瑚灰岩,系发育在生物滩中的小规模点礁,造礁的层孔虫和珊瑚多呈块状和厚板状,显示此微相类型的沉积环境能量较高,具有强烈的间断式与弱的原地式交替混积作用。

2.3 混积相模式

综合上述混积相和微相特征,提出谢家湾段混积滨岸—混积陆棚沉积模式(图 5),自陆向海归纳出 4 种具有不同混积机理和强度的微相组合类型:①潮缘残积物+混积潮坪微相组合;②混积陆棚泥+近源砂质风暴流微相组合;③混积陆棚泥+远源砂质风暴流微相组合;④混积陆棚泥+近源钙屑混积风暴流或混积生物滩、点礁微相组合。

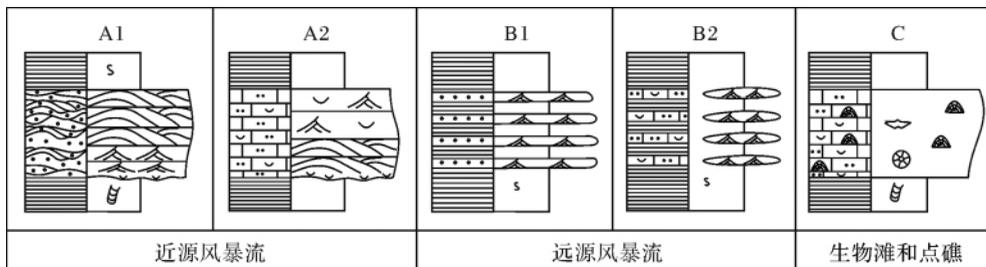


图 4 谢家湾浅水混积陆棚剖面结构(图例同图 2)

Fig. 4 Profile texture of hybrid shallow continental shelf of Xiejiawan Member(Figure 2 with Legend)

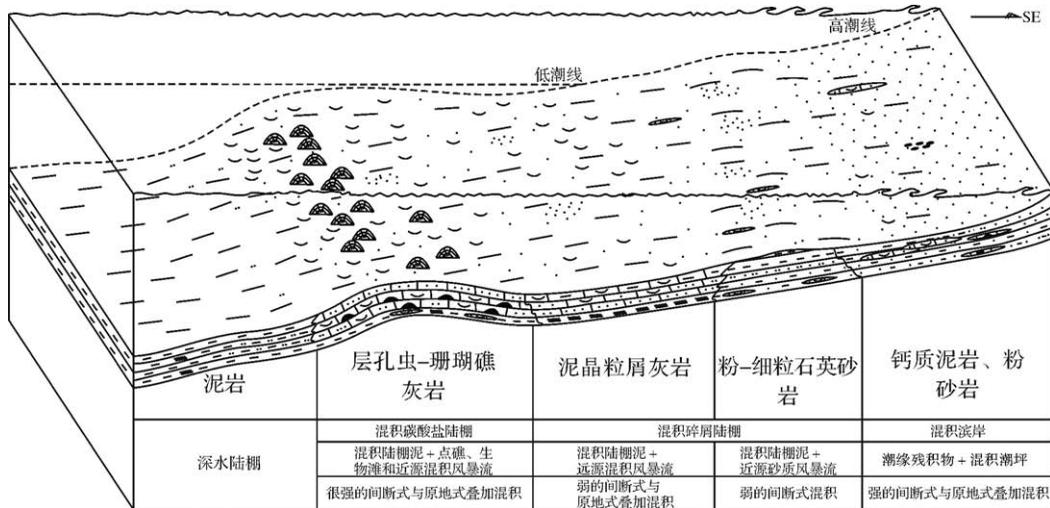


图5 谢家湾段混积滨岸—混积陆棚沉积模式图

Fig. 5 Depositional model of hybrid shore-hybrid shelf in Xiejiaowan fragment Member

3 混积层序地层学特征

3.1 层序界面特征

在龙门山泥盆系层序地层划分方案中^[10],谢家湾段被划分为早泥盆世的第6个Ⅲ级层序。该层序为一完整的区域性海侵—海退旋回,跨时1.0 Ma,于华南地区,乃至全球都有很好的可对比性^[15]。层序底界面为Ⅱ型层序界面,该界面也是一个由古岩溶暴露面折向广泛区域性海侵的转换面,界面之下为甘溪段顶部的礁、滩相灰岩,其上依次覆盖陆架边缘体系域、海侵体系域和早期及晚期高位体系域,各体系域由1~4个四级,或2~8个五级层序叠加组成,层序顶界面也为古岩溶界面。

3.2 准层序结构类型

3.2.1 碎屑混积陆棚准层序结构类型

谢家湾段广泛发育的混积陆棚准层序相当于五级层序(图2),其结构样式有对称型和向上变深非对称型2种基本类型,对称型准层序具备由粗变细复变粗的近源砂质风暴流→陆棚泥→远源风暴流的弱间断式与原地式叠加混积序列(图6-A),厚度近10 m。向上变深非对称型准层序,由介壳灰岩透镜体→远源混积风暴流→陆棚泥组成由粗变细的弱间断式混积序列(图6-B),厚度仅数米。在沉积演化序列中,由数个准层序叠加而成的准层序组相当四级层序,厚度为十数米至数十米,其中向上变深非对称型准层序叠加样式,反映风暴浪相对较弱和海平面持续快速上升的海侵过程;对称型准层序叠加样式,反映海平面相

对稳定,但间歇风暴浪作用频繁和强烈的缓慢海退过程。

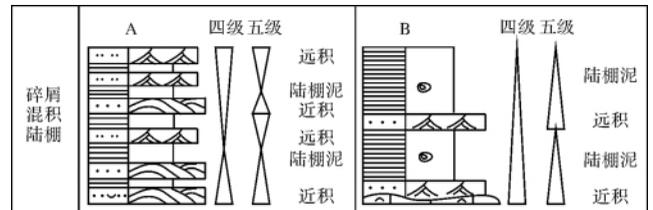


图6 碎屑混积陆棚准层序沉积序列和结构类型示意图

(图例同图2)

Fig. 6 Sketch of sedimentary para-sequence of meta-sequence of hybrid clastic shelf and structure types(Figure 2 with Legend)

3.2.2 碳酸盐混积陆棚准层序结构类型

碳酸盐混积陆棚准层序广泛发育于8层至22层(图2),相当于五级层序,可识别出4种具有不同沉积序列和结构样式的准层序:①深水陆棚泥→砂质生物屑浅滩,具有向上变浅非对称型结构(图7-A);②近源混积风暴流→远源混积风暴流→深水陆棚泥(或灰泥),相序中近源混积风暴流砂体发育丘状层理、浪成沙纹层理和底冲刷构造,具有向上变深非对称型结构(图7-B);③深水陆棚泥(或灰泥)→远源混积风暴流→砂质生物屑浅滩,相序中砂质生物屑浅滩发育粒序层理、丘状层理、浪成沙纹层理和底冲刷构造,具有向上变浅非对称型结构(图7-C);④深水陆棚泥(或灰泥)→生物屑浅滩和点礁,具有最特征的向上变浅非对称型结构(图7-D)。由上述数个向上变深非对称型和对称型准层序叠加组成的间

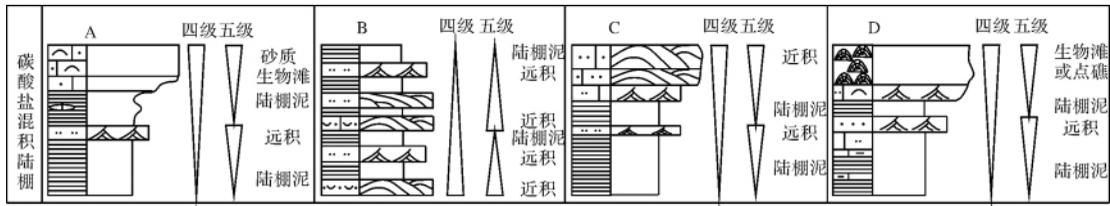


图 7 碳酸盐混积陆棚准层序沉积序列和结构类型示意图(图例同图 2)

Fig. 7 Sketch of sedimentary para-sequence of meta-sequence of hybrid carbonate shelf and structural types(Figure 2 with Legend)

断式与原地式交替发育的混积序列,相当于四级层序,厚度为十数米至数十米,反映风暴浪活跃,海平面升、降频繁,但很缓慢的脉动式海退过程。

3.3 体系域特征

3.3.1 陆架边缘体系域

陆架边缘体系域(SMST)发育于 1~2 层,属于混积型有障壁海岸沉积环境,厚 8.0 m。由 2 个准层序叠加而成(图 2),其中下部准层序为一个向上变深和非对称的较强原地式混积型准层序,由含层孔虫或珊瑚礁灰岩砾块的残积泥岩组成,上部为对称的强间断式与原地式叠加混积型准层序,由中层状钙质泥岩、粉砂岩与砂质生物屑灰岩、砂质砂屑微晶灰岩互层组成,顶部夹有透镜状砂质微晶核形石灰岩,自下而上由生物碎屑含量增多的沉积序列,组成在海平面缓慢上升过程中向陆上超,向盆地推进的弱进积和强混积过程。

3.3.2 海侵体系域(包括凝缩段)

海侵体系域(TST)发育于 3~4 层,属于浅水—深水陆棚相沉积,厚 37.0 m。由 4 个向上变深和非对称的弱间断式混积型准层序叠加而成,其中发育于第 3 层的 3 个准层序属于弱混积的浅水陆棚泥沉积(图 2),由黄灰色粉砂岩、深灰色泥岩和泥灰岩薄互层组成,生物化石丰富,保存完好,局部形成介壳灰岩透镜体。相当于 4 层的准层序属于非混积的深水陆棚泥沉积,由暗色页岩夹粉砂质泥岩和黑褐色劣质油页岩组成,具凝缩段性质。由此 4 个非对称型准层序的叠加,构成了早、中期以近积为主、晚期以远积为主的连续加深和弱混积的退积过程。

3.3.3 早期高位体系域

早期高位体系域(EHST)发育于 5~7 层,属于浅水混积碎屑陆棚沉积环境,厚 29.0 m。由 3 个向上变浅的非对称的和 1 个对称的弱混积型准层序叠加组成(图 2)。其中 3 个向上变浅的非对称的弱混积型准层序,都由下部混积陆棚泥,上部近源砂质风暴流沉积的粉—细粒石英砂岩组成,砂岩的底部往往含

有少量介壳。对称的弱混积准层序则由混积陆棚泥岩夹远源风暴流远积的薄层粉砂岩与泥岩互层组成。由此 4 个准层序的叠加,构成了海平面持续保持稳定的弱混积的加积过程。

3.3.4 晚期高位体系域

晚期高位体系域(LHST)发育于 8~22 层,属于以碳酸盐岩为主的浅水混积陆棚相沉积,厚度较大,为 87 m。由 5 个向上变浅的非对称型和 3 个对称型混积准层序组成(图 2),具有强间断式与原地式混积作用交替发育的特点,微相类型较丰富,特点为:中、下部(8~18 层)以混积陆棚泥为背景,发育有 5 层生物碎屑滩和层孔虫—珊瑚点礁相灰岩,所组成的 5 个混积陆棚泥→生物滩+点礁组合都具有向上变浅的非对称准层序结构,生物滩和点礁灰岩中含大量腕足类、海百合、腹足类、角石和三叶虫等附礁生物;上部(19~22 层)仍以混积陆棚泥为背景,但以间歇夹有含钙屑的近源陆屑混积风暴流沉积为显著特征,反映近积风暴流特征的口袋状底冲刷构造和丘状层理、浪成交错层理极其发育。其顶界面为古表生期暴露溶蚀面,由微型溶芽、溶沟及充填微型溶沟的岩溶角砾岩所组成。

4 结论

通过以上剖面描述,得出如下几点认识:

(1) 谢家湾段为典型的混积滨岸—混积陆棚相沉积,可划分为:混积滨岸、碎屑混积陆棚、碳酸盐混积陆棚 3 种混积相类型,以及包括潮缘残积物、混积潮坪、混积陆棚泥、远源风暴流、近源砂质风暴流、近源混积风暴流和生物滩及点礁等混积微相类型及 5 种混积微相组合。

(2) 混积机理与潮汐流、风暴流和水深关系密切,包括原地式和间断式两种混积方式,一般较浅水的混积滨岸和碳酸盐质混积陆棚具有很强的间断式与原地式交替混积作用,较深水的碎屑混积陆棚以弱间断式混积作用为主,而深水的泥质陆棚混积作用

很弱或不发育。

(3) 砂质混积陆棚中可划分出向上变浅复变深的对称型和向上变深的非对称型 2 种弱间断式混积准层序,而在碳酸盐质混积陆棚中可划分为一种向上变深的非对称型弱间断式混积准层序,3 种向上变浅的非对称型强间断式与原地式交替发育的混积准层序。

(4) 谢家湾段属于非常特殊的 II 型混积层序,可划分为 4 个混积体系域,各体系域由不同的混积类型、混积序列和混积强度的准层序叠置而成,以 SMST 和 LHST 的原地式混积作用最强,TST 的间断式混积作用最弱,而 EHST 具有交替的间断式与原地式叠加混积作用。

致谢 本项目野外研究过程中得到了石和教授、李祥辉教授及刘文均教授的鼎力帮助,在此表示感谢!

参考文献(References)

- Mount J F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments [J]. *Geology*, 1984, 12: 432-435
- Budd D A, Harris P M, eds. Carbonate-Siliciclastic Mixtures [M]. SEPM, Tulsa, Oklahoma, 1990: 272
- 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论 [J]. *古地理学报*, 2001, 3(3): 63-66 [Sha Qing'an. Discussion on mixing deposit and hybrid rock [J]. *Journal of Palaeogeography* 2001, 3(3): 63-66]
- 张锦泉,叶红专. 论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积 [J]. *成都地质学院学报*, 1989, 16(2): 87-92 [Zhang Jinqian, Ye Hongzhan. A study on carbonate and siliciclastic mixed sediments [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1989, 16(2): 87-92]
- 曾允孚,张锦泉,刘文均,等. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用 [C]//中国南方岩相古地理丛书. 北京:地质出版社, 1993 [Zeng Yunfu, Zhang Jinqian, Liu Wenjun, et al. China Southern Devonian Lithofacies Paleogeography and Mineralization [C]// Series Books of Lithofacies Paleogeography in South China. Beijing: Geological Publishing House, 1993]
- 曾允孚,沈德麒,张锦泉,等. 南岭泥盆系层控矿床 [M]. 北京:地质出版社, 1987: 62-116 [Zeng Yunfu, Sheng Deqi, Zhang Jinqian, et al. Devonian Strata-bound Deposits in Nanling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 62-116]
- 廖士范,魏梁鸿,刘成德,等. 中国泥盆纪鲕状赤铁矿沉积环境、成因 [J]. *沉积学报*, 1993, 11(1): 93-101 [Liao Shifan, Wei Lianghong, Liu Chengde. Sedimentary environments and origin of the Devonian oolitic ironstones in China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(1): 93-101]
- 周家云,郑荣才,张裕书,等. 华南泥盆纪古地理环境对宁乡式铁矿床时空分布、矿石特征的制约 [J]. *地质科技情报*, 2009, 28(1): 93-98 [Zhou Jiayun, Zheng Rongcai, Zhang Yushu. Constraints of South China Devonian Ningxiang palaeogeograph on the temporal and spatial distribution of iron ore deposits and their characteristics [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(1): 93-98]
- 侯鸿飞,王士涛,等. 中国的泥盆系—中国地层 [M]. 北京:地质出版社, 1988: 1-348 [Hou Hongfei, Wang Shitao, et al. Devonian of China—China Stratigraphy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-348]
- 刘文均,陈源仁,郑荣才,等. 四川龙门山泥盆系(II)层序地层 [M]. 成都:成都科技大学出版社, 1996: 1-11 [Liu Wenjun, Chen Yuanren, Zheng Rongcai, et al. Sichuan Devonian in Longmen Mountain (II) Sequence Stratigraphy [M]. Chengdu: Chengdu Science and Technology University Press, 1996: 1-11]
- 刘文均,郑荣才,李祥辉. 龙门山泥盆纪沉积盆地的古地理和古构造重建 [J]. *地质学报*, 1999, 73(2): 109-119 [Liu Wenjun, Zheng Rongcai, Li Xianghui. Reconstruction of palaeogeography and palaeotectonics of a Devonian sedimentary basin in the Longmen Mountain Area, Sichuan [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(2): 109-119]
- 李祥辉,刘文均,郑荣才. 龙门山地区泥盆纪碳酸盐与硅质碎屑的混积相与混积机理 [J]. *岩相古地理*, 1997, 17(3): 339-344 [Li Xianghui, Liu Wenjun, Zheng Rongcai. Hybrid Facies and mechanism for the formation of the mixed Devonian carbonate siliciclastic sediments in the Longmen Mountain Area, Sichuan [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1997, 17(3): 1-10]
- 李祥辉,曾允孚. 扬子西缘泥盆纪碳酸盐与陆源碎屑的混积层序和层序混积模式 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(3): 339-344 [Li Xianghui, Zeng Yunfu. Sequence stratigraphy of mixed carbonate and siliciclastic sediments in Devonian along the western margin of Yangtze Plate [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(3): 339-344]
- 陈源仁. 介壳岩的形成和生物埋藏反馈作用 [J]. *矿物岩石*, 1990, 10(2): 42-52 [Chen Yuanren. Genesis of coquinoïd rocks and taphonomic feedback [J]. *Minerals and Rocks*, 1990, 10(2): 42-52]
- 郑荣才,刘文均. 龙门山泥盆纪层序地层的碳、锶同位素效应 [J]. *地质论评*, 1997, 43(3): 264-272 [Zheng Rongcai, Liu Wenjun. Carbon and strontium isotopic effects of the Devonian sequence in the Longmen Mountains Area [J]. *Geological Review*, 1997, 43(3): 264-272]

The Characteristics of Hybrid Facies and Hybrid Sequence of Xiejiawan Member of Ganxi Formation in the Longmenshan Area

ZHENG Rong-cai ZHOU Gang HU Zhong-gui DONG Xia

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract Based on the data of cross sections and observation of thin sections, the Xiejiawan Member of Ganxi Formation, Lower Devonian in the Longmenshan is considered to be generated from hybrid type I sediments dominative of shelf shales. Its genetic mechanisms include the major intermittent mixing mode, which is resulted from the storm flow, and the autochthonous mixing mode. The sedimentary facies of the Xiejiawan Member can be divided into following microfacies, hybrid shore, hybrid clastic shelf, hybrid carbonate shelf, shore peritidal residual + hybrid tidal flat, hybrid shelf shale + distal storm flow, hybrid continental shelf shale intercalated with proximal sandy storm flow, hybrid shelf shale intercalated with proximal sandy hybrid storm flow, and hybrid shelf shale intercalated with organic bank and point reef. Meanwhile, the Xiejiawan Member is characteristic of type II hybrid sequence and can be classified into 4 depositional system tracts of SMST, TST, EHST and LHST. Each system tract is superimposed by subsequences of different sedimentary sequences, textural styles and hybrid intensity. Among the all above mentioned sedimentary tracts, the SMST and LHST are of the most intensive intermittent mixing and autochthonous mixing, the intermittent mixing of TST is the weakest one, and the EHST is of weak intermittent mixing and autochthonous mixing.

Key words Longmenshan Mountain, Xiejiawan Member of Ganxi Formation, Lower Devonian, hybrid shore, hybrid clastic shelf, hybrid carbonate shelf, hybrid sequence