

文章编号: 1000-0550(2010)01-0128-12

四川盆地寒武纪岩相古地理特征^①

张满郎 谢增业 李熙喆 谷江锐 杨威 刘满仓

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要 通过露头、岩心、钻测井资料分析建立典型沉积相序列,结合单因素分析综合作图,编制了四川盆地寒武纪各个时期的岩相古地理图件。盆地整体西高东低、西部发育陆源碎屑沉积,中东部以碳酸盐岩沉积为主。寒武纪包含两个半海侵—海退旋回:首次海侵发生在早寒武世筇竹寺期,形成巨厚的浅海陆棚相泥质烃源岩;首次海退发生在早寒武世沧浪铺期,陆源碎屑供给充足,发育三角洲和碎屑滨岸相沉积;第二次和第三次海侵发生在早寒武世龙王庙期与中晚寒武世洗象池期,为碳酸盐岩滩相储层发育的主要时期,在局限台地的地形较高部位发育砂砾屑滩和鲕粒滩,砂砾屑滩主要发育在盆地的中西部,鲕粒滩主要发育在盆地的中东部,在盆地西南部发育具有继承性的泻湖相沉积。

关键词 四川盆地 寒武纪 海相碳酸盐岩 单因素分析 沉积特征 岩相古地理

第一作者简介 张满郎 男 1963年出生 博士 副研究员 沉积储层及岩性油气藏 E-mail: zhangmanlang@163.com

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

0 引言

近年来,碳酸盐岩油气勘探越来越受到重视^[1~3],并在礁、滩相灰岩、白云岩储层中发现了大型油气藏^[4~11]。在四川盆地,陆续展开了针对震旦系、寒武系碳酸盐岩的天然气勘探,在乐山—龙女寺古隆起及其斜坡地区取得了较大的勘探进展^[12]。寒武系已有12口井钻遇天然气,平均产气量 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,显示了较好的勘探前景。

碳酸盐岩区油气勘探的关键问题是查明各个地质历史时期的岩相古地理分布特征,在这方面前人做了许多重要的工作^[13~19]。在进行岩相古地理编图时,通过单因素分析,进行定量岩相古地理重建提高了图件的准确程度^[20~21]。

四川盆地寒武系发育齐全,被划分为下寒武统(从下至上为筇竹寺组、沧浪铺组和龙王庙组)、中寒武统(高台组)和中上寒武统(洗象池群)。寒武系底界与震旦系灯影组为假整合接触,顶界与奥陶系为假整合(西部)或整合(盆地中、东部)接触,寒武系内部各组群间基本上为连续沉积。下寒武统中下部为碎屑岩沉积,下寒武统上部及中上寒武统为大套碳酸盐岩夹薄层陆源碎屑沉积,在横向上由北向南、由西向东砂岩夹层逐渐减少,碳酸盐岩相对增多,厚度增加。

区内有百余口钻井钻遇寒武系,但以寒武系为目

的层、寒武系钻井资料完整的探井较少,且探井分布不均匀,在威远、资阳含气构造探井密集,而盆地北部探井稀少。

本文通过露头、岩心和钻测井资料分析确定主要沉积微相类型,结合单因素分析、多因素综合作图,编制寒武纪各时期的岩相古地理图件。按照西南油气田的要求,分五个组(群)进行岩相古地理编图。

1 主要沉积相类型

寒武纪可划分为两个半海侵—海退旋回。最大海侵发生在早寒武世筇竹寺组沉积期,形成了一套巨厚的浅海陆棚相泥质烃源岩;随后发生大规模的海退,形成了沧浪铺组碎屑滨岸相和三角洲相沉积,发育障壁砂坝、分流河道、河口坝等潜在的砂岩储层;在早寒武世晚期发生第二次海侵,形成了龙王庙组局限台地相、开阔台地相沉积,发育台内鲕滩、砂屑滩等碳酸盐岩储层;中寒武世发生第二次海退,形成了高台组局限台地相沉积,砂泥坪、混合坪扩大,储层不甚发育;中晚寒武世发生第三次海侵,形成了洗象池群局限台地相沉积,与龙王庙组类似,为一个重要的砂砾屑滩、鲕滩等碳酸盐岩储层发育期。表1列出了寒武系各组(群)所发育的主要沉积相类型,图1包含了寒武系的几种典型沉积相序列。

^①中国石油天然气股份有限公司科技项目(编号:070104-2)资助。
收稿日期:2009-02-03;收修改稿日期:2009-04-19

表 1 四川盆地寒武系主要沉积相类型
Table 1 Main sedimentary facies of the Cambrian in Sichuan Basin

统	组(群)	旋回	沉积相	亚相(微相)	生储盖
中上寒武统	洗象池群	海侵	局限台地	与龙王庙组类似,发育大面积云坪、砂砾屑滩、鲕滩和云质泻湖	碳酸盐岩储层
中寒武统	高台组	海退	局限台地	砂泥坪、混合坪扩大,发育膏云质泻湖,砂屑滩和砂质滩坝	储层不甚发育
	龙王庙组	海侵	开阔台地 局限台地	滩间海;台内滩(鲕滩、生屑滩) 泻湖(膏质泻湖、膏云质泻湖);潮坪(潮道、碳酸盐潮坪、碎屑岩潮坪、混积潮坪),台内滩(鲕滩、砂屑滩、生屑滩)	碳酸盐岩储层
下寒武统	沧浪铺组	海退	三角洲 碎屑滨岸	三角洲前缘(水下分流河道、河口坝、远端砂坝、席状砂、分流间湾);前三角洲前滨;临滨(上临滨、下临滨、砂质滩坝);障壁岛(障壁坪、海岸沙丘、沙滩);泻湖(泥质泻湖)	潜在的砂岩储层
	筇竹寺组	海侵	浅海陆棚	内陆棚(砂泥质陆棚、滩坝、席状砂);外陆棚(泥质陆棚、浊积砂、碳酸盐岩质陆棚)	泥质烃源岩

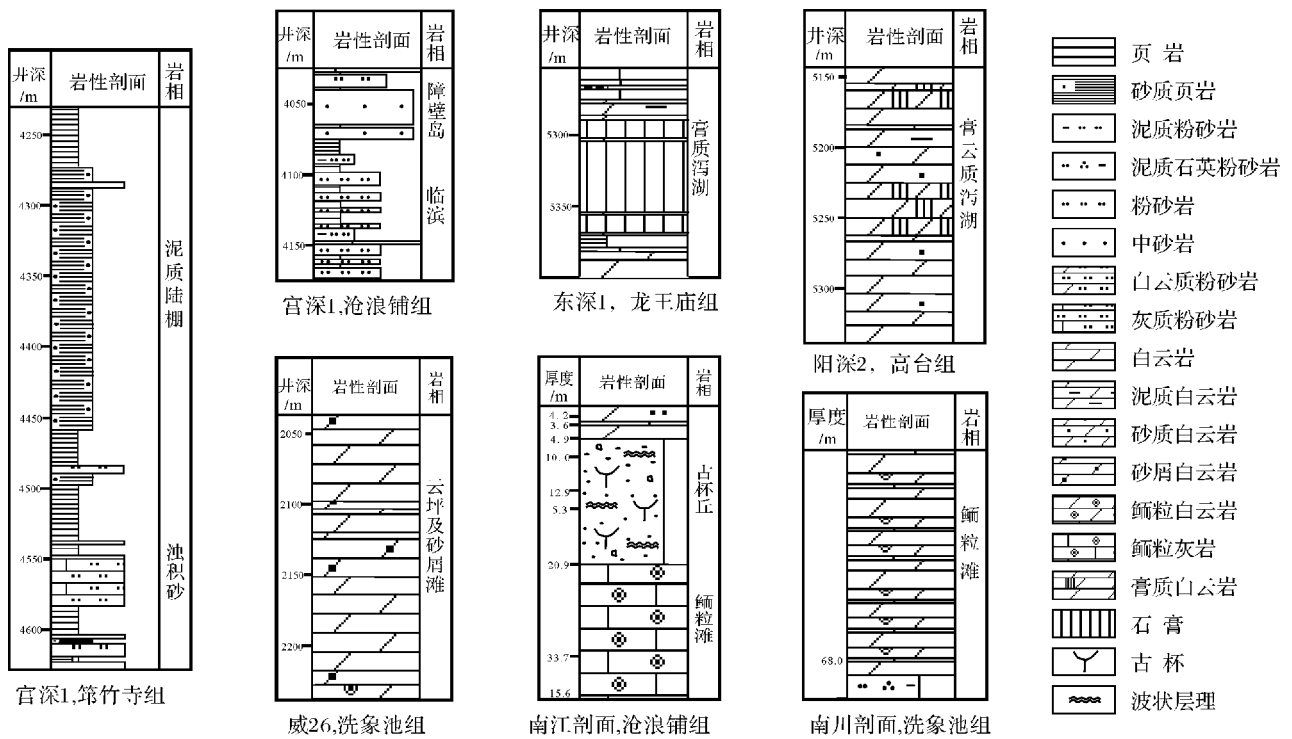


图 1 四川盆地寒武系的几种典型沉积相序列

Fig. 1 Typical sedimentary facies sequences of the Cambrian in Sichuan Basin

1.1 浅海陆棚相

浅海陆棚相主要发育于首次大规模海侵的筇竹寺组沉积期,在盆地东部及南部的沧浪铺组亦有发育。平面上位于滨岸相的向海方向,沉积物以暗色和颗粒细为特征,主要包括黑色、黑灰色页岩、砂质泥页岩、炭质页岩、夹粉砂岩、泥质粉砂岩、灰质粉砂岩等,连续厚度较大,一般为 200 ~ 400 m,发育水平层理、生物扰动构造,含小壳类、三叶虫等化石。

根据陆棚的水深和水动力条件,可划分出内陆棚和外陆棚两种亚相。内陆棚处于滨外浪基面之下至

风暴浪基面之上的浅海陆棚区,主要为砂泥质陆棚沉积,发育由砂质或颗粒沉积物组成的席状砂、滩坝砂体和低能的泥页岩沉积。外陆棚处于陆棚靠大陆斜坡一侧的风暴浪基面以下的浅海区,一般来说环境能量低,水体安静,沉积物以粒细、色深、水平层理发育为典型特征,可识别出泥质陆棚、碳酸盐岩质陆棚、浊积砂等沉积微相类型(图 1)。泥质陆棚的泥页岩中几乎不含砂,在宁 1 井、官深 1 井、威 15 井、威 5 井下寒武统筇竹寺组中广泛发育,以发育灰黑色炭质泥岩和页岩为典型特征。碳酸盐岩质陆棚主要发育于盆

地东部的筲竹寺组地层中,陆源碎屑影响较小,在外陆棚的静水环境中形成了泥质灰岩、泥晶灰岩、泥灰岩等较深水的碳酸盐沉积,但其中的局部地形高地也可发育碳酸盐岩浅滩沉积,如彭水太原剖面在钙质粉砂岩、粉砂质灰岩及泥质灰岩中夹30 m厚的鲕粒灰岩。

1.2 三角洲相与碎屑滨岸相

早寒武世沧浪铺组沉积期发生首次大规模海退,在盆地中西部发育三角洲相与碎屑滨岸相沉积。其中,三角洲相主要分布在盆地西北部边缘,在露头剖面及钻井岩心中主要观察到三角洲前缘相带的砂砾岩、砂岩夹泥岩沉积,发育明显的逆粒序,平面上由西向东砂岩粒度明显变细且砂岩含量逐渐降低,可识别出水下分流河道、河口坝、远端砂坝、席状砂、分流间湾等沉积微相类型。碎屑滨岸相包含前滨亚相、临滨亚相、障壁岛和泻湖亚相。前滨亚相的水体能量高,沉积物以砂质为主,由暗紫色、灰紫色、浅灰色、灰色中砂岩、细砂岩、云质砂岩等组成,砂岩较纯净,颗粒磨圆度和分选性也较好,成分成熟度和结构成熟度较高,发育冲流交错层理以及波痕、潜穴等沉积构造。临滨亚相位于前滨向海方向,水深增大,水体能量逐渐降低,沉积物主要由细砂、粉砂、泥质粉砂等组成,发育向上变浅、变粗沉积序列。障壁岛亚相的岩石类型主要为中—细粒砂岩,它由海滩、障壁坪、砂丘三部分组成。海滩位于障壁岛向海一侧,并向滨岸沉积过渡;障壁坪位于向泻湖一侧,为一宽缓的斜坡带;砂丘位于障壁岛顶部,是由海滩沉积经风浪的改造而形成。

1.3 局限台地相

局限台地相主要发育于龙王庙组、高台组和洗象池群。由于浅滩的遮拦作用,水体闭塞,循环不畅,水体能量总体不高,盐度略高。其岩石类型主要以浅灰—深灰褐色泥粉晶白云岩、砂质云岩及泥质云岩为主,夹砂屑、砾屑白云岩、鲕粒白云岩及膏质云岩。该相带生物化石种类非常单一,数量稀少,仅见个别被硅化的瓣鳃和棘皮类化石。根据岩石组合、沉积构造及地形变化,可以将局限台地相进一步划分为潮坪、泻湖和台内滩三个亚相。

(1) 潮坪亚相

潮坪亚相指地形平坦、随潮汐涨落而周期性淹没的环境,潮上带和潮间带是潮坪的主体。潮上带位于平均高潮面与最大风暴潮汐面之间,只有受风暴大潮的影响才会被海水淹没,属于低能环境。潮上带的沉

积物主要为浅灰—灰色、灰褐色的泥粉晶云岩、砂质云岩、含泥云岩及紫红色泥质云岩等,夹薄层风暴成因的颗粒岩。潮上带沉积构造类型丰富,水平层理发育,常见干裂、鸟眼孔隙、石膏假晶等暴露构造。潮间带位于平均高潮面与平均低潮面之间,水上与水下频繁交替,总体上是低能环境。潮间带的沉积物主要是灰色—深灰色粉晶云岩、细晶云岩,常有一些广盐性生物,其扰动强烈形成了一些爬迹、钻孔等构造。潮间带的另一个重要特征是水体能量较高的潮道发育,其沉积物较粗,主要为砾屑云岩、砂屑云岩、鲕粒云岩等颗粒岩,厚度一般为几米。潮道底面发育冲刷侵蚀面,向上粒度变细,具双向交错层理及大型槽状交错层。

按照其沉积物性质的不同可以划分为碳酸盐潮坪(云坪、灰坪、灰云坪、藻坪)、碎屑岩潮坪(泥坪、砂泥坪)、混积潮坪(砂云坪、膏云坪等)。

(2) 泻湖亚相

泻湖亚相纵向上主要发育于龙王庙组、高台组和洗象池群,平面上分布于盆地的南部及西南部,具有较强的继承性。由于障壁岛或浅滩的遮拦作用,泻湖与广海的水体循环受到限制,水体的含盐度不正常。泻湖亚相以静水沉积为主,岩石类型以灰色、灰褐色、深灰色泥粉晶云岩、含泥质条带泥晶云岩为主,局部发育石膏,常见水平层理、生物扰动构造及生物潜穴。根据其物质成分的不同,可以划分为泥质泻湖、云质泻湖、膏质泻湖、膏云质泻湖等多种沉积微相类型(图1)。

(3) 台内滩亚相

台内滩一般发育于台地上的海底高地,沉积水体能量较高,受潮汐和波浪作用的影响,以发育多种颗粒岩为典型特征。根据颗粒成分,可区分出鲕粒滩、砂屑滩、砂砾屑滩和生屑滩等微相类型(图1)。台内滩的岩石类型主要为浅灰色的砂屑云岩、砂砾屑云岩、鲕粒云岩、生屑云岩等,生物组合为棘皮类、瓣鳃类、介形虫等,发育交错层理、冲刷面、粒序层理等沉积构造。

1.4 开阔台地相

开阔台地相主要发育于第二次海侵的龙王庙组沉积期。由于水体较浅,水体循环良好,盐度正常,生物繁盛,主要发育浅灰色、灰色中—厚层状泥晶灰岩、鲕粒灰岩、泥质灰岩、砂屑生屑灰岩。可进一步划分为台内滩亚相和滩间海亚相(表1)。台内滩亚相一般发育在台地上的海底高地,沉积水体能量较高,受

潮汐和波浪作用影响,以发育多种颗粒岩为特征,发育砂屑、砾屑、鲕粒、尘屑等,可以划分出砂屑滩、砂砾屑滩、鲕粒滩、生屑滩等微相类型,生物组合为棘皮类、瓣鳃类、介形类等。滩间海亚相是开阔台地中台内滩之间的大面积低能地带,沉积物以灰色—深灰色、薄层—中层状泥晶灰岩为主,同时发育泥质灰岩、含泥灰岩、生屑泥晶灰岩等,发育水平层理,见有孔虫、双壳类、腹足类生物化石。

2 单因素分析与岩相古地理分布

2.1 单因素分析基本原则

在确定沉积微相类型以后,通过编制对比剖面来分析沉积相的分布格架及其变化趋势。但是,为了查明岩相古地理的平面分布还需对区内井点进行岩性统计和单因素分析。按5个地层组(群),依据露头测量、岩性描述、岩屑录井和测井解释成果进行岩性统计,编制单因素分析图件,包括地层厚度、砂岩含量、泥岩含量、碳酸盐岩含量、颗粒碳酸盐岩含量、准同生白云岩含量和石膏含量。

地层厚度分布反映古陆、物源方向及沉积中心的分布格局。盆地西缘的地层缺失区属于康滇古陆,在寒武纪,古陆的分布范围逐渐扩大。乐山—龙女寺古隆起沉积地层厚度较薄,向盆地东部、南部,地层厚度明显加厚,反映沉积古地形具有东高西低、北高南低的特点。

筇竹寺组广泛发育陆棚沉积,依据砂岩含量、暗色泥岩含量、碳酸盐岩含量可进一步划分为砂泥质陆棚、泥质陆棚和碳酸盐岩质陆棚。沧浪铺组主体为碎屑岩沉积,主要根据砂岩含量、粒度分布、岩性序列等来确定沉积相的类型及分布。

龙王庙组、高台组和洗象池群浅水碳酸盐岩含量大于50%,碳酸盐台地中发育潮坪、泻湖和颗粒滩,根据准同生白云岩含量、膏盐含量和颗粒碳酸盐岩含量进行沉积相划分^[20-21]。准同生白云岩含量50%以上为云坪,30%~50%为混合坪。在划分泻湖时,石膏含量30%以上为膏湖,20%~30%为膏质泻湖,10%~20%为含膏泻湖。碳酸盐岩颗粒含量30%以上为滩,20%~30%为准滩,10%~20%为雏滩,再根据颗粒类型又进一步划分为鲕粒滩、砂屑滩、砾屑滩等。

2.2 早寒武世筇竹寺期岩相古地理

雅安—成都以西(属康滇古陆)缺失筇竹寺组地层;乐山—龙女寺古隆起核部的安平1—女基井—

带,地层厚度为100~150 m;向川东、川南方向地层增厚至200~300 m;盆地南部地层最厚,窝深1—宫深1井区地层厚达400~450 m。

筇竹寺组岩性为灰色、深灰色粉砂质泥岩、粉砂岩夹细砂岩,深灰—灰黑色页岩、炭质页岩、泥晶灰岩夹球状泥灰岩结核。

筇竹寺组沉积期发生首次大规模海侵,沉积水体总体上较为安静。以陆源碎屑沉积为主,物源来自西部的康滇古陆,海侵来自东部及东南方向。该时期整体为陆棚相沉积:①威远—重庆以南为泥质陆棚沉积区,砂岩含量小于20%,碳酸盐岩含量小于30%,暗色泥岩含量大于50%,在宫深1、自深1井区厚层泥岩中夹浊积砂体(图1);②重庆—通江以东为碳酸盐—泥质陆棚,碳酸盐含量30%~40%,砂岩含量小于20%,泥岩含量40%~50%,在彭水—石柱一带发育准滩,灰岩鲕粒含量20%左右;③重庆—通江以西的盆地中西部为砂泥质陆棚沉积区,砂岩含量20%~30%,主要发育泥质砂岩、砂质泥岩、粉细砂岩,在资4井区,砂泥质陆棚中夹砂质滩坝(图2)。

2.3 早寒武世沧浪铺期岩相古地理

沧浪铺组可分为上、下两段。下段的下部为紫红色砂岩、粉砂岩及页岩;下段的上部为灰白色中—粗粒石英砂岩、含砾砂岩及细砾岩,含三叶虫等。上段的下部黄灰色页岩与薄层灰质细砂岩互层;上段的中上部为灰色泥质条带灰岩夹页岩及生物结晶灰岩,含三叶虫。沧浪铺组地层单因素统计结果及分布状况见表2、图3和图4。

从图3可以看出,沧浪铺组地层厚度为0~300 m,沉积中心位于盆地南部的古蔺一带和盆地西北部的剑阁一带。盆地西部的雅安地区地层缺失,乐山—龙女寺古隆起地层厚度为100~150 m,向盆地东南部逐渐增大至300 m左右。

根据岩性统计,盆地中西部为碎屑岩发育区,盆地东部碳酸盐岩含量增加(图4)。

盆地西北部资料点较少,据前人研究成果^[22],盆地西部的剑阁一带为三角洲沉积,发育细砾岩及含砾砂岩,向东依次发育中—粗粒砂岩、细砂岩和粉砂岩,由西向东砂岩粒度明显变细且砂岩含量逐渐降低。剑阁—广元一带砂岩含量高达80%,发育细砾岩、含砾砂岩及中—粗粒砂岩;成都—旺苍一带砂岩含量降至50%左右,主要发育中细粒砂岩;至自深1井—广参2井一带砂岩含量逐渐降至30%,主要发育细粒砂岩及粉砂岩(图4)。

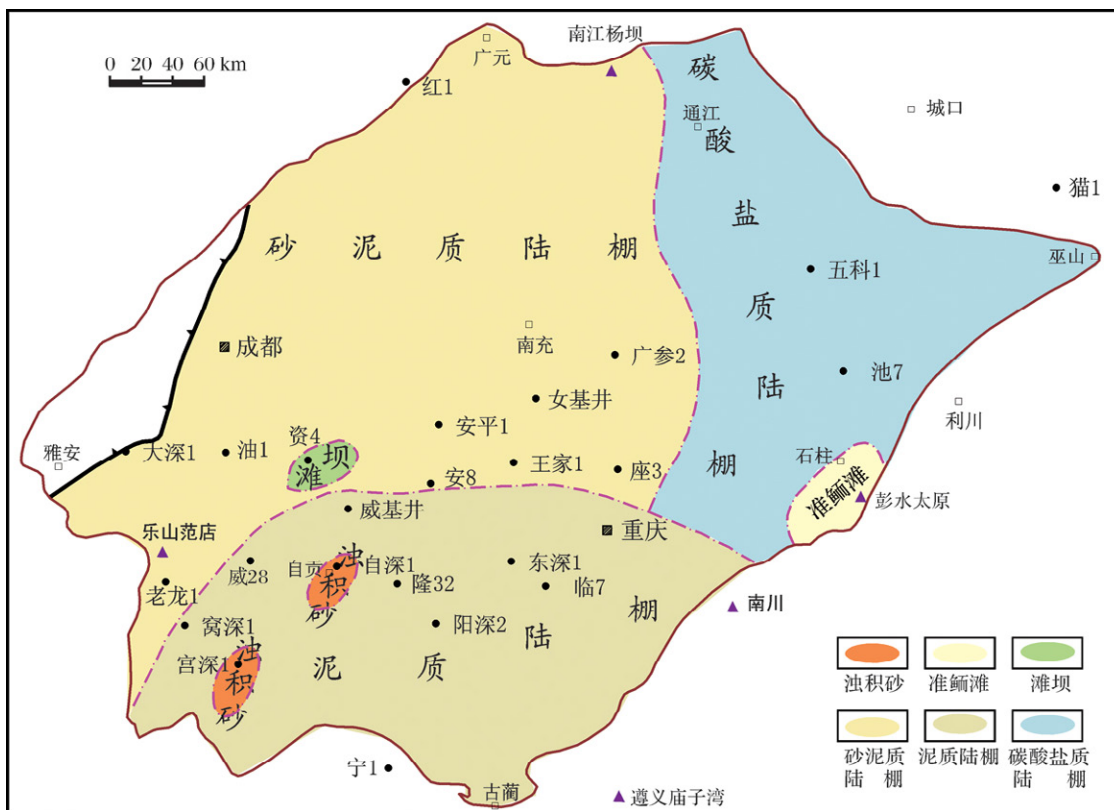


图2 早寒武世筇竹寺期岩相古地理(首次海侵)

Fig. 2 Lithofacies paleogeography of Qiongzhusi period of the Early Cambrian in Sichuan Basin

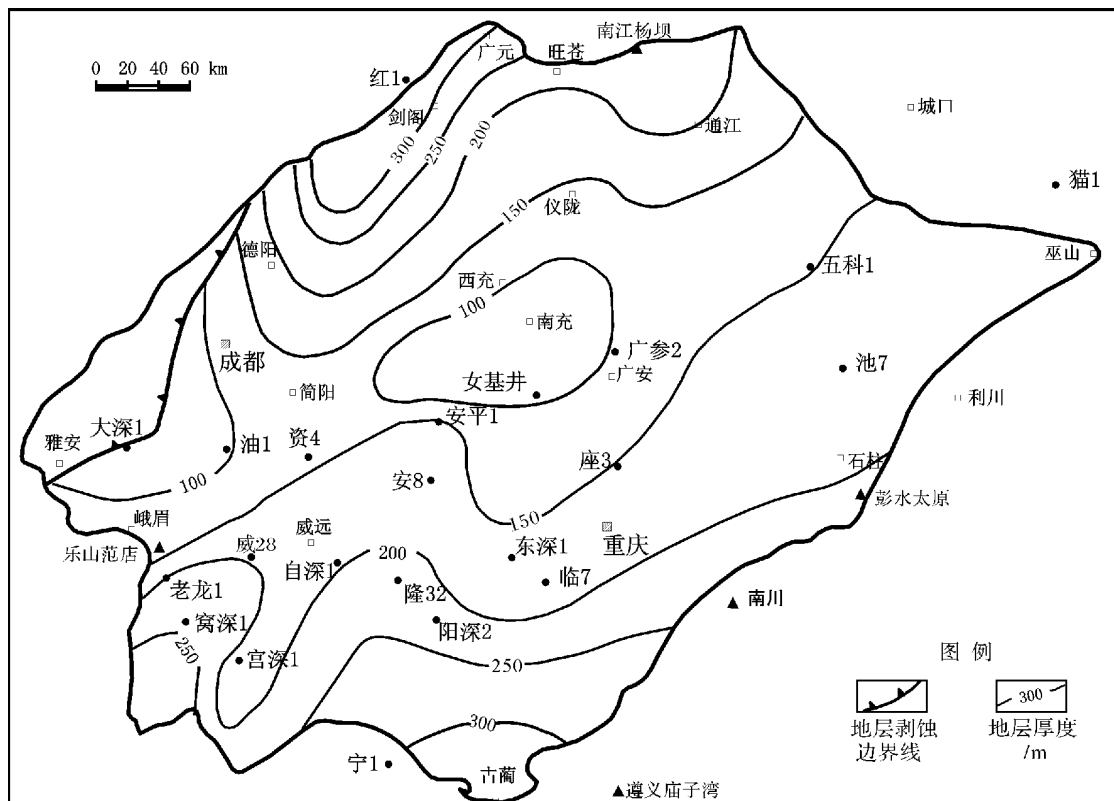


图3 沧浪铺组地层厚度分布图

Fig. 3 Strata thickness distribution of Canglangpu Formation

表 2 沧浪铺组部分井点及露头的单因素统计数据

Table 2 Single factor statistics of Canglangpu Formation based on drills and outcrops

井点	地层厚度/m	砂岩含量/%	碳酸盐岩含量/%	颗粒碳	准同生	石膏
				酸盐岩含量/%	白云岩含量/%	含量/%
南江杨坝	284	37	39	34	2	0
彭水太原	210	4	40	30	0	0
遵义庙子湾	268	18	22	6	0	0
五科 1	140	6	40	0	0	0
自深 1	189	32	24	5	0	0
窝深 1	227	20	22	0	0	0
官深 1	170	32	1	0	0	0
乐山范店	134	36	0	0	0	0
油 1	>30	40	0	0	0	0
汉 1	>60	20	0	0	0	0
宁 1	290	19	0	0	0	0
安平 1	148	37	16	3	0	0
女基井	86	34	14	0	14	0
高科 1	162	32	14	0	0	0
威 5	138	42	4	0	0	0
威 28	182	35	8	0	8	0
威 37	190	34	10	0	10	0
威 52	180	38	0	0	0	0
威水 2	154	39	0	0	0	0
威 78	156	38	9	0	9	0
威寒 104	>72	34	5	0	0	0
威寒 1	>120	33	0	0	0	0
威寒 101	>62	35	3	0	3	0
威寒 105	>40	35	0	0	0	0
资 1	100	40	0	0	0	0
资 2	147	35	4	0	0	0
资 4	120	38	0	0	0	0

沧浪铺组的碳酸盐岩主要为灰岩,仅在威远、川中的个别钻井中见薄层白云岩,膏盐岩不发育。泥岩是该组地层的重要组成部分,泥岩含量一般大于 50%,其变化趋势与砂岩含量相反,以盆地东南部泥岩含量最高。在重庆以东的盆地东部地区,碳酸盐岩含量达 30%~40%。石柱—彭水地区、南江—通江地区颗粒碳酸盐含量达 30%~34%。

沧浪铺组沉积期发生首次大规模海退,西部有丰富的陆源碎屑供应,岩相古地理分布可归纳为(图 5):①西部的成都—德阳—剑阁—广元一带发育三角洲沉积,从盆地西部边缘至成都一带砂岩含量由 80%降至 50%,依次发育砂砾岩、粗—中粒砂岩及粉细砂岩,见逆粒序,发育三角洲水下分流河道、河口坝及远端砂坝沉积;②峨眉山—简阳—西充—仪陇地区发育前滨亚相砂泥质沉积,砂岩含量 30%~40%;③威远—广安地区发育临滨亚相沉积,砂岩含量 20%~30%,碳酸盐岩含量小于 30%,在官深 1、自深 1、资 4 等井区发育障壁岛砂岩(图 1),女基井一带发育砂质滩坝沉积;④西南部的窝深 1 井区发育泥质、灰泥质泻湖沉积,为障壁岛所围限,砂岩含量 20%,

碳酸盐岩含量 22%,泥岩含量 58%(表 2);⑤盆地南部(隆昌—重庆以南地区)为砂泥质陆棚,砂岩含量 20%左右,泥质含量 50%~60%;⑥重庆—广安—旺苍以东为碳酸盐岩质陆棚,碳酸盐岩含量 30%~40%,砂岩含量小于 20%,在彭水地区发育灰岩鲕粒滩,颗粒含量 30%,南江地区发育灰岩鲕粒滩及古杯丘(图 1、图 5)。

2.4 早寒武世龙王庙期岩相古地理

龙王庙组地层厚度为 0~500 m,总体西薄东厚、北薄南厚,沉积中心位于盆地的南部。雅安—成都一带地层缺失,盆地西北部地层厚度一般小于 100 m,乐山—龙女寺古隆起地层厚度 100~200 m,向东南方向增加至 300~500 m(图 6)。

该组地层主要以灰色、深灰色泥质、砂质白云岩为主,局部夹鲕粒云岩、膏质云岩等,向下陆源碎屑含量有所增加。从岩性统计来看,该组地层主要为碳酸盐岩及碳酸盐岩—碎屑岩混合沉积,砂岩含量一般小于 10%,个别 10%~20%。选取准同生的泥晶白云岩、颗粒碳酸盐岩和石膏含量作单因素分析(表 3、图 7)。

表 3 龙王庙组部分井点及露头的单因素统计数据

Table 3 Single factor statistics of Longwangmiao Formation based on drills and outcrops

井点	地层厚度砂岩含量		碳酸盐	颗粒碳	准同生	石膏
	/m	%	岩含量/%	酸盐岩含量/%	白云岩含量/%	含量/%
南江杨坝	55	13	68	30	50	0
彭水太原	188	0	95	42	29	0
南川	>150	0	90	18	20	0
遵义庙子湾	332	7	70	12	30	0
五科 1	80	5	92	0	22	0
自深 1	152	0	80	0	61	20
窝深 1	338	10	65	0	55	22
官深 1	266	0	78	0	48	20
乐山范店	123	12	80	25	68	0
宁 1	470	4	82	2	34	8
安平 1	57	21	60	42	60	0
女基井	60	13	65	40	60	0
高科 1	90	0	85	42	65	0
威 5	92	15	85	34	85	0
威 28	180	11	89	28	79	0
威 37	96	12	83	40	74	0
威 52	135	15	83	30	83	0
威水 2	108	13	75	28	68	0
威 78	104	4	95	20	80	0
威寒 103	80	15	85	30	76	0
威寒 104	102	6	87	19	87	0
威寒 1	90	0	90	30	90	0
威寒 101	82	5	90	39	90	0
威寒 105	94	16	80	26	80	0
资 1	55	0	62	20	50	0
资 2	82	0	64	21	64	0
资 4	70	20	55	30	55	0
东深 1	>160	0	32	0	19	46
阳深 2	>130	0	60	0	40	42
座 3	>216	8	60	20	28	29

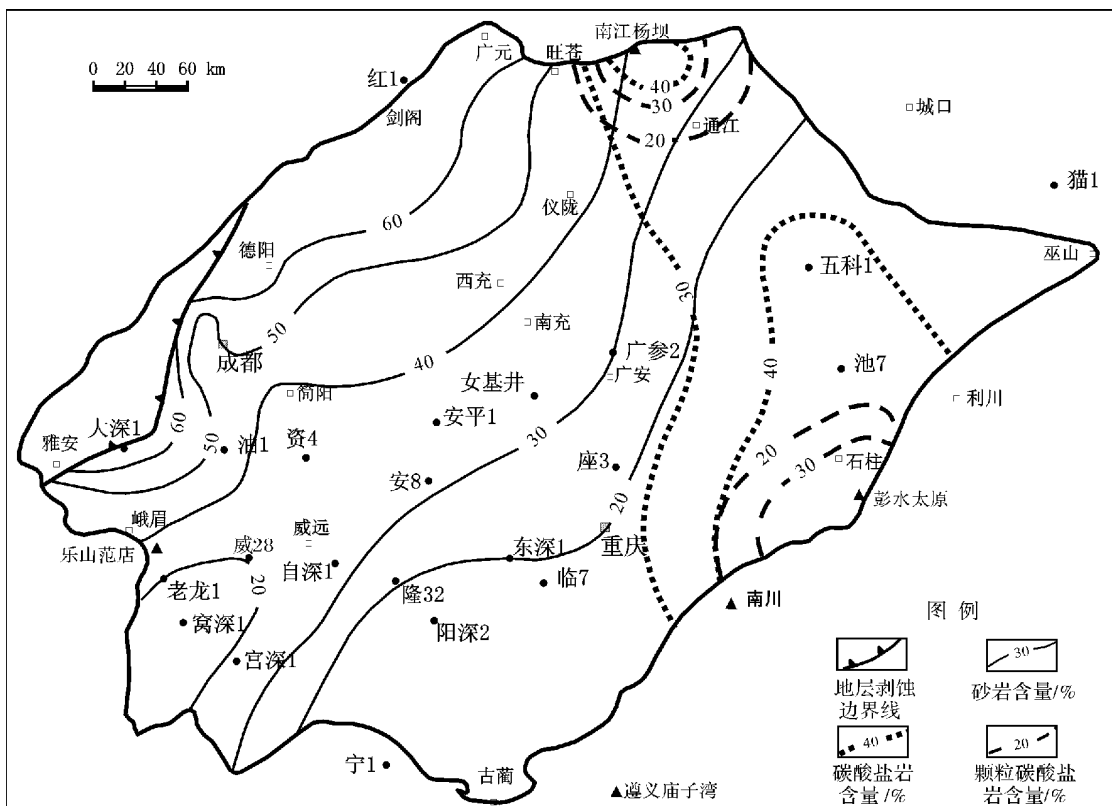


图4 沧浪铺组单因素分析图

Fig. 4 Single factor analysis of Canglangpu Formation

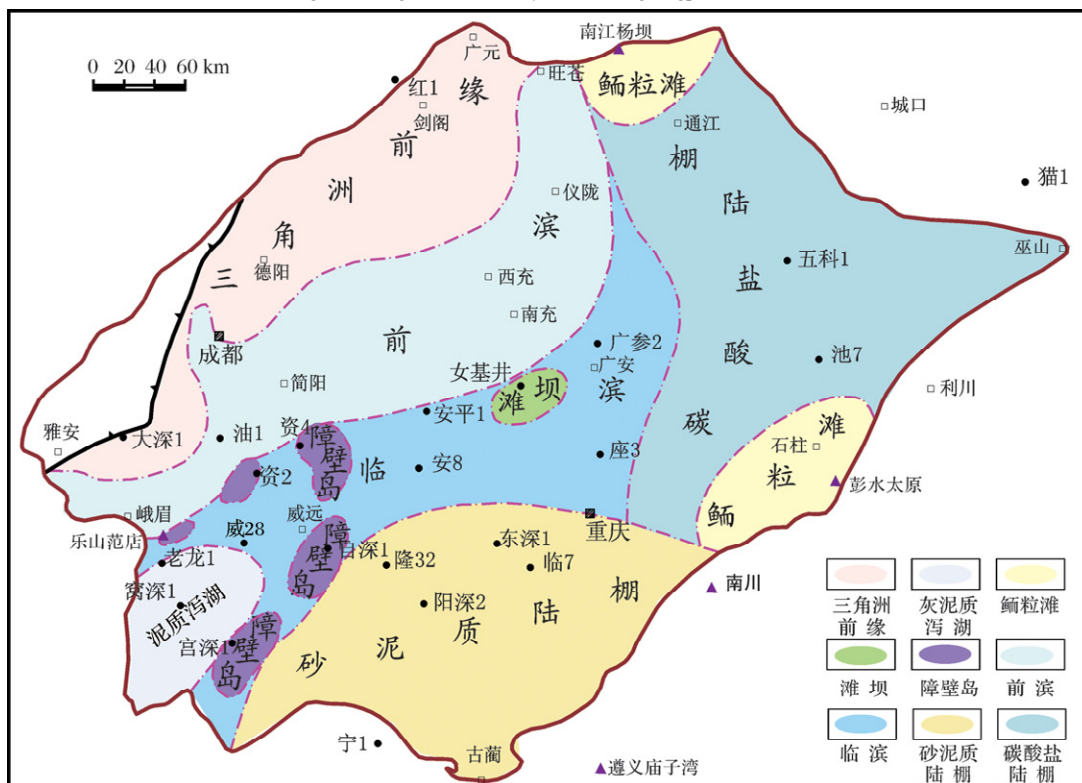


图5 早寒武世沧浪铺期岩相古地理(首次海退)

Fig. 5 Lithofacies paleogeography of Canglangpu period of the Early Cambrian in Sichuan Basin

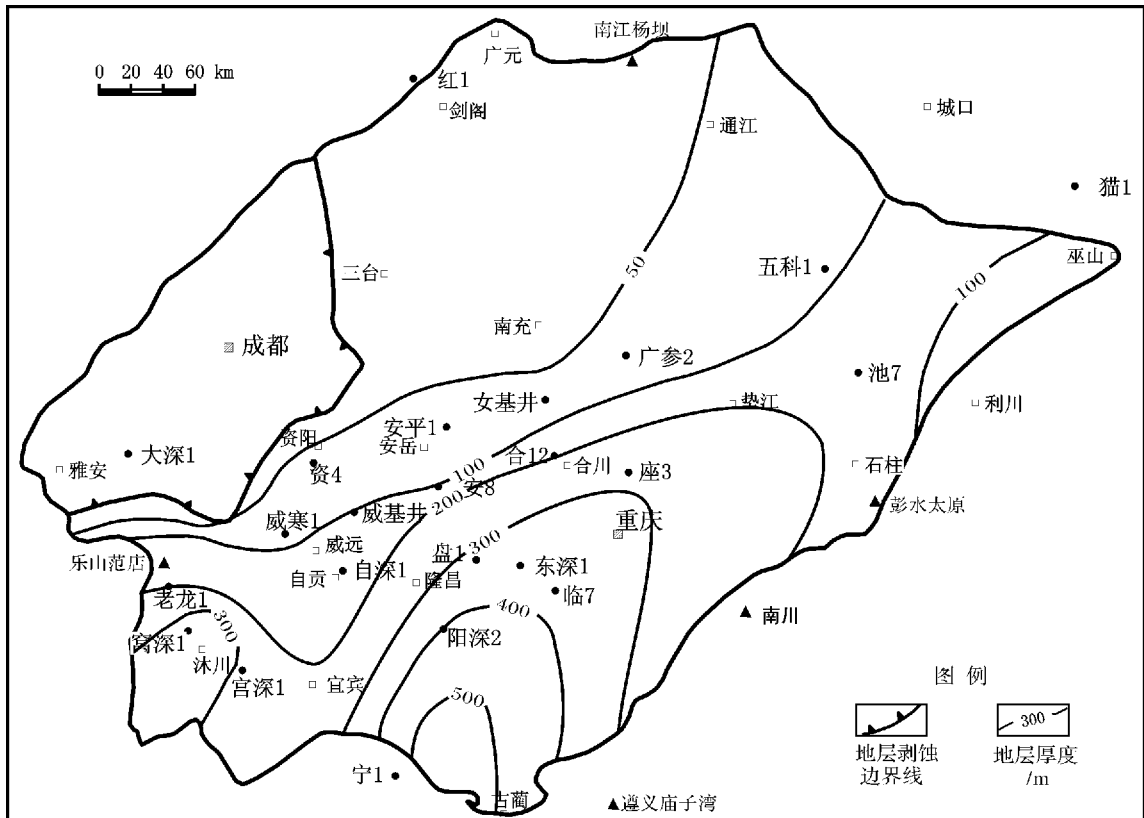


图 6 龙王庙组地层厚度分布图

Fig. 6 Strata thickness distribution of Longwangmiao Formation

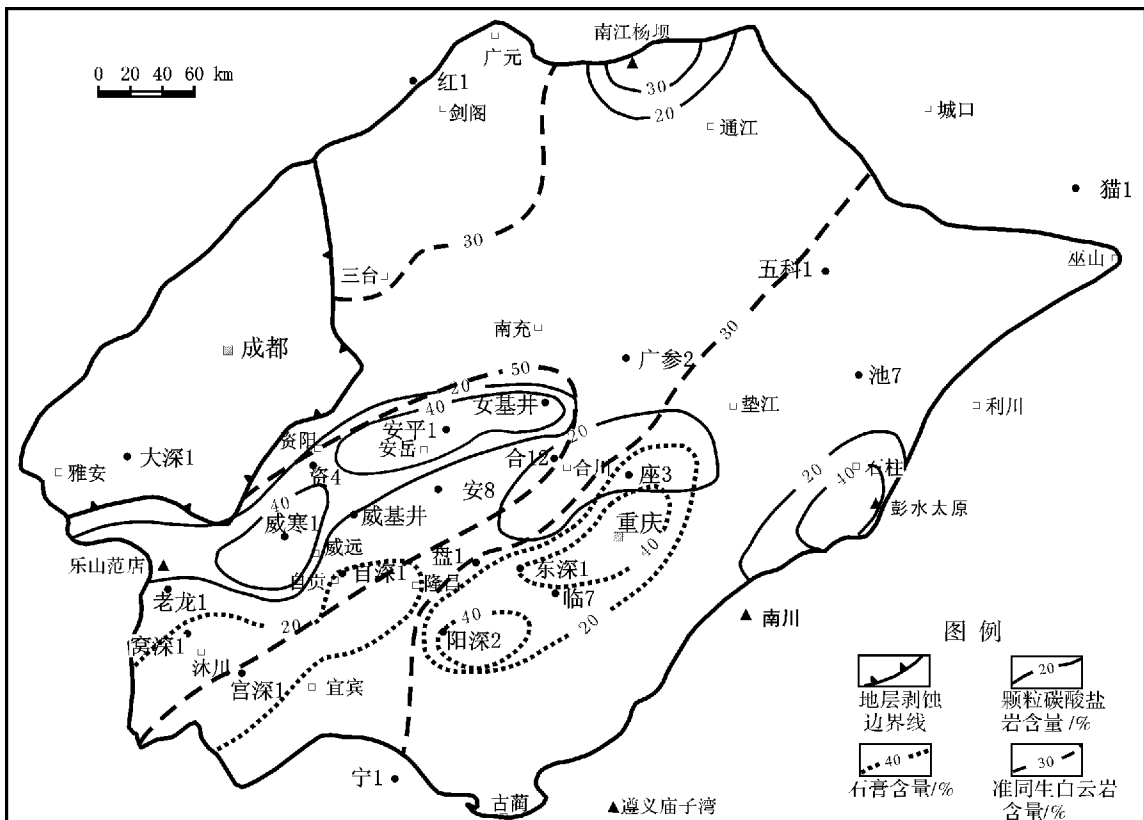


图 7 龙王庙组单因素分析图

Fig. 7 Single factor analysis of Longwangmiao Formation

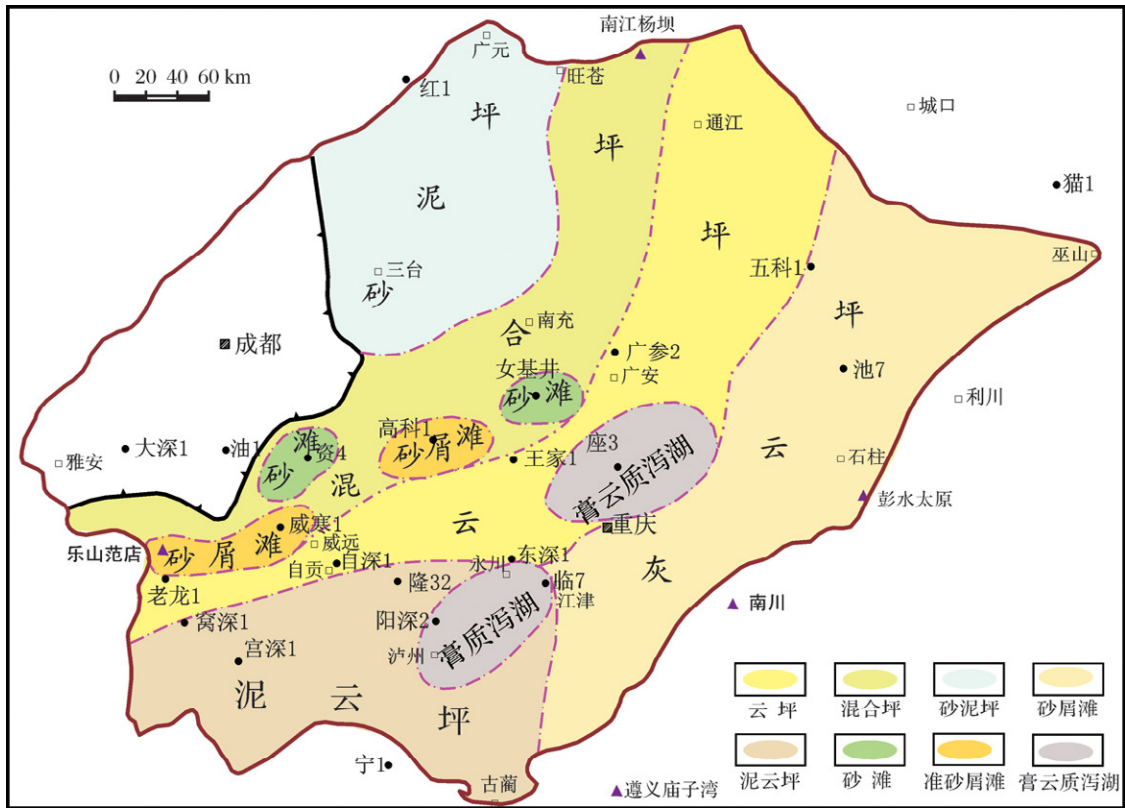


图 9 中寒武世高台期岩相古地理(第二次海退)

Fig. 9 Lithofacies paleogeography of Gaotai period of the Middle Cambrian in Sichuan Basin

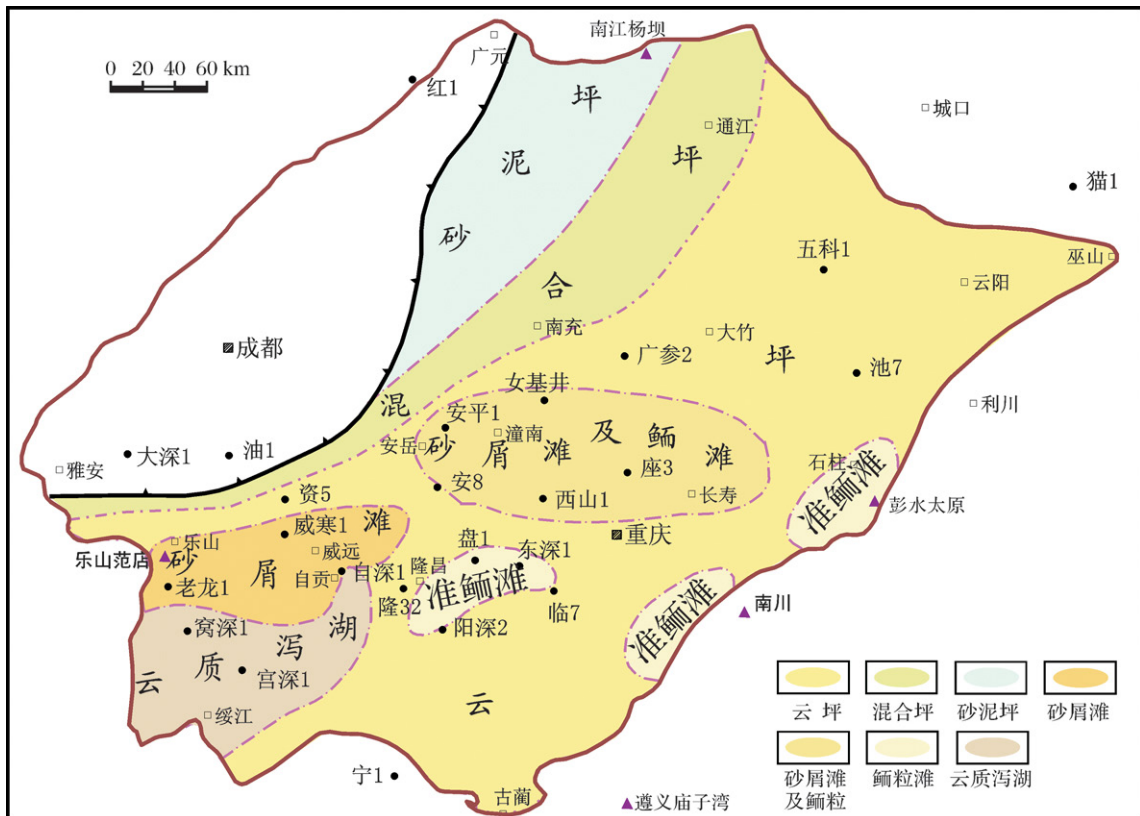


图 10 中晚寒武世洗象池期岩相古地理(第三次海侵)

Fig. 10 Lithofacies paleogeography of Xixiangchi period of the Late Cambrian in Sichuan Basin

2.6 中晚寒武世洗象池期岩相古地理

洗象池群沉积期发生了第三次海侵,主要发育大套碳酸盐岩沉积,岩性以浅灰、灰色、深灰色泥粉晶白云岩为主,夹薄层的粉砂岩、云质砂岩和砂砾屑白云岩,在泥粉晶云岩中见黑色泥质条纹及石膏斑块,局部富含燧石,底部发育鲕粒云岩及砂砾屑白云岩。

该时期的岩相古地理分布特征可归纳为(图10):①盆地西北部为砂泥坪沉积,准同生白云岩含量小于30%;②通江—南充一带为混合坪沉积,准同生白云岩含量30%~50%;③威远—广安以东的广大地区为云坪,准同生白云岩含量大于50%;④西南部的自贡—绥江地区为云质泻湖沉积,主要发育泥晶云岩、泥质云岩,并含少量石膏(10%左右);⑤在威远地区、安岳—潼南—长寿地区发育砂屑滩及鲕滩沉积,颗粒碳酸盐岩含量30%左右;在彭水、南川、盘1井区发育准滩,鲕粒含量20%左右。

3 岩相古地理演化

综上所述,四川盆地寒武纪岩相古地理演化具有以下特点:

①寒武纪四川盆地整体西高东低、北高南低,东部—东南部水体较深,以碳酸盐岩沉积为主,西部靠近物源剥蚀区,发育陆源碎屑沉积,中部过渡带为碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积。

②寒武纪经历了两个半海侵—海退旋回,海侵发生在筇竹寺期、龙王庙期和洗象池期,海退发生在沧浪铺期和高台期。

③岩相古地理格局具有一定的继承性。碳酸盐岩台内滩储层主要发育在威远地区、安岳—潼南—合川—长寿地区、彭水—南川地区和南江地区。泻湖主要发育在盆地西南部的隆昌—沐川地区和中南部的泸州—江津—重庆地区,龙王庙组、高台组泻湖的面积最大,并且该时期泻湖的膏盐含量较高。

④就烃源岩和储层的形成时期而言:筇竹寺期为烃源岩形成期,主要发育泥质陆棚、碳酸盐岩质陆棚和砂泥质陆棚沉积;碳酸盐岩台内滩储层在洗象池期和龙王庙期最为发育,盆地中西部以砂屑滩白云岩为主,盆地东部以鲕粒滩白云岩和鲕粒滩灰岩为主;碎屑岩储层仅发育于沧浪铺期,盆地西部发育三角洲水下分流河道、河口坝及滩坝微相中粗粒—中细粒砂岩沉积。

参考文献(References)

1 白国平. 世界碳酸盐岩大油气田分布特征[J]. 古地理学报, 2006, 8

(1): 241-250 [Bai Guoping. Distribution patterns of giant carbonate field in the world [J]. Journal of Paleogeography, 2006, 8(1): 241-250]

- 2 金之钧, 庞雄奇, 吕修祥. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探[J]. 勘探家, 1998, 3(4): 66-68 [Jin Zhijun, Pang Xiongqi, Lu Xiuxiang. Oil and gas exploration in carbonates in China [J]. Petroleum Explorationist, 1998, 3(4): 66-68]
- 3 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地质前缘, 2005, 12(3): 15-22 [Jin Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 15-22]
- 4 马永生, 牟传龙, 郭彤楼, 等. 四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J]. 地质前缘, 2005, 12(3): 179-185 [Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Tonglu, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of Changxing Formation in northeastern Sichuan Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 179-185]
- 5 马永生, 牟传龙, 郭彤楼, 等. 四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J]. 矿物岩石, 2005, 25(4): 73-79 [Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Tonglu, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of Feixianguan Formation in northeastern Sichuan Basin [J]. Journal of Mineral and Petrology, 2005, 25(4): 73-79]
- 6 冉隆辉, 陈更生, 徐仁芬. 中国海相油气田勘探实例—四川盆地罗家寨大型气田的发现和探明[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 43-47 [Ran Longhui, Chen Gengsheng, Xu Renfen. Discovery and exploration of Luojiazhai Gas Field, Sichuan Basin: an example of exploration of marine oil-gas field in China [J]. Marine Petroleum Geology, 2005, 10(1): 43-47]
- 7 冉隆辉, 陈更生, 张健, 等. 四川盆地东北部飞仙关组鲕滩储层分布研究与勘探潜力分析[J]. 中国石油勘探, 2002, 7(1): 46-55 [Ran Longhui, Chen Gengsheng, Zhang Jian, et al. The study of Feixianguan oolitic beach reservoir distribution and analysis of exploration potential on Northeast of Sichuan Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2002, 7(1): 46-55]
- 8 张涛, 闫相宾, 王恕一, 等. 塔河油田奥陶系一间房组礁滩相溶蚀孔隙型储层特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 462-466 [Zhang Tao, Yan Xiangbin, Wang Shuyi, et al. Characteristics and genesis of reef-bank facies reservoirs with dissolution pores in Ordovician Yijianfang Formation in Tahe Oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 462-466]
- 9 黎平, 陈景山, 王振宇. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层形成控制因素及储层类型研究[J]. 天然气勘探开发, 2003, 26(1): 37-42 [Li Ping, Chen Jingshan, Wang Zhenyu. Controlling factors and reservoir types of the carbonate reservoir of Ordovician in central Tarim Basin [J]. Gas Exploration and Development, 2003, 26(1): 37-42]
- 10 马永生, 郭彤楼, 付孝悦, 等. 中国南方海相石油地质特征及勘探潜力[J]. 海相油气地质, 2002, 7(3): 19-27 [Ma Yongsheng, Guo Tonglu, Fu Xiaoyue, et al. Petroleum geology of marine sequences and exploration potential in South China [J]. Marine Petroleum Geology, 2002, 7(3): 19-27]
- 11 冉隆辉, 谢姚祥, 王兰生. 从四川盆地解读中国南方海相碳酸盐岩油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 89-94 [Ran Long-

- hui, Xie Yaoxiang, Wang Lansheng. Understanding exploration of marine carbonate reservoirs in South China through Sichuan Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(3): 289-294]
- 12 冉隆辉, 谢姚祥, 戴弹申. 四川盆地东南部寒武系含气前景新认识 [J]. *天然气工业*, 2008, 28(5): 5-9 [Ran Longhui, Xie Yaoxiang, Dai Tanshen. New knowledge of gas-bearing potential in Cambrian System of Southeast Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2008, 28(5): 5-9]
- 13 刘宝瑀, 许效松. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪—三叠纪) [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-239 [Liu Baojun, Xu Xiaosong. Atlas of Lithofacies and Paleogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-239]
- 14 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理 [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 1-221 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies and Paleogeography of the Cambrian and Ordovician in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 1-221]
- 15 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理 [J]. *古地理学报*, 2001, 3(1): 1-4 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of Cambrian in South China [J]. *Journal of Paleogeography*, 2001, 3(1): 1-4]
- 16 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国早寒武世岩相古地理 [J]. *古地理学报*, 2002, 4(1): 1-12 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of the Early Cambrian in China [J]. *Journal of Paleogeography*, 2002, 4(1): 1-12]
- 17 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国中寒武世岩相古地理 [J]. *古地理学报*, 2002, 4(2): 1-11 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of the Middle Cambrian in China [J]. *Journal of Paleogeography*, 2002, 4(2): 1-11]
- 18 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国晚寒武世岩相古地理 [J]. *古地理学报*, 2002, 4(3): 1-10 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of the Late Cambrian in China [J]. *Journal of Paleogeography*, 2002, 4(3): 1-10]
- 19 李忠雄, 陆永潮, 王剑, 等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉积特征及岩相古地理 [J]. *古地理学报*, 2004, 6(2): 151-162 [Li Zhongxiong, Lu Yongchao, Wang Jian, et al. Sedimentary characteristics and lithofacies paleogeography of the Late Sinian and Early Cambrian in middle Yangtze region [J]. *Journal of Paleogeography*, 2004, 6(2): 151-162]
- 20 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法——定量岩相古地理重建 [J]. *古地理学报*, 2004, 6(1): 3-49 [Feng Zengzhao. Single factor analysis and multifactor comprehensive mapping——reconstruction of quantitative lithofacies paleogeography [J]. *Journal of Paleogeography*, 2004, 6(1): 3-49]
- 21 冯增昭. 从定量岩相古地理学谈华南地区海相地层油气勘探 [J]. *古地理学报*, 2005, 7(1): 1-11 [Feng Zengzhao. Discussion on petroleum exploration of marine strata in South China from quantitative lithofacies paleogeography [J]. *Journal of Paleogeography*, 2005, 7(1): 1-11]
- 22 宋文海, 熊荣国, 李谔, 等. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起东部奥陶寒武震旦系储层及圈闭评价 [R]. 成都: 四川石油管理局地质勘探开发研究院, 1993: 1-85 [Song Wenhai, Xiong Rongguo, Li Er, et al. Appraisal of reservoirs and traps of Ordovician, Cambrian and Sinian system in east Leshan-Longnvshi palaeo-uplift in Sichuan Basin [R]. Chengdu: Institute of Geological Exploration & Development, Sichuan Petroleum Management Bureau, 1993: 1-85]

Characteristics of Lithofacies Paleogeography of Cambrian in Sichuan Basin

ZHANG Man-lang XIE Zeng-ye LI Xi-zhe GU Jiang-ruo YANG Wei LIU Man-cang

(Langfang Branch of PetroChina Exploration and Development Research Institute, Langfang Hebei 065007)

Abstract Typical sedimentary facies are identified through integrated studies of outcrops, cores, well logging data, and combined with single factor analysis and comprehensive mapping, lithofacies paleogeography of each period of Cambrian in Sichuan Basin is determined. Depositional topography is higher in the west of the basin than in the east. Land source clastic rocks are mainly deposited in west basin and carbonate sediments are developed in the central-east of the basin. There exist two and a half transgression-regression circles in the Cambrian in Sichuan Basin. The first transgression took place in Qiongzhusi period of the early Cambrian, hydrocarbon source rocks are deposited in shallow continental shelf. The first regression took place in Changlangpu period of the early Cambrian, land source clastic supply is sufficient and delta, clastic shoreland sedimentary facies are developed. Bank facies carbonate reservoirs are mainly deposited in Longwangmiao period of the early Cambrian (the second transgression) and Xixiangchi period of the middle-late Cambrian (the third transgression), in the higher topography of the restricted platform psammitic bank and oolitic beach carbonates are deposited, with the psammitic bank mainly developed in the central-west basin and oolitic beach mainly developed in central-east basin, and in the west-south of the basin there exist inherited lagoon sediments.

Key words Sichuan Basin; Cambrian; marine carbonates; single factor analysis; sedimentary characteristics; lithofacies paleogeography