

# 四川盆地上石炭统黄龙组沉积相分析

代龙<sup>1</sup>, 胡明毅<sup>2</sup>, 胡忠贵<sup>2</sup>, 王伟<sup>3</sup>

(1 中海石油(中国)有限公司湛江分公司; 2 长江大学地球科学学院)

(3 中海石油(中国)有限公司上海分公司)

**摘要** 根据四川盆地上石炭统黄龙组野外剖面和钻井岩心观察以及镜下岩石薄片鉴定分析,并结合岩性、古生物及测井等沉积相标志研究以及区域沉积背景和岩性组合特征,认为四川盆地黄龙组主要发育一套潮坪—陆棚沉积体系,其中潮坪体系主要发育碳酸盐岩潮坪相,陆棚体系以周缘受局限的海湾陆棚相为主。并进一步划分出4个亚相带和10个微相带。编制了黄龙组一段、二段和三段的沉积微相平面图,指出潮间坪浅滩、潮间藻砂坪、潮下坪浅滩、滨外浅滩微相为本研究区储层性能最有利的沉积相带。

**关键词** 四川盆地; 碳酸盐岩; 黄龙组; 沉积相; 储层评价

**中图分类号**: TE121.3<sup>\*1</sup> **文献标识码**: A

上石炭统黄龙组在四川盆地内部大面积缺失,它只主要分布于盆地的东北部以及西北缘的龙门山一带<sup>[1-2]</sup>,黄龙组沉积厚度多为20~60m,局部地区在80m以上(图1)。经过三十年的勘探开发,以上石炭统黄龙组为主要产层的盆地东部产量逐渐下降,而且目前已由构造油气藏为主的勘探转为了地层—岩性油气藏勘探阶段。因此,加强对天然气成藏有直接控制作用的沉积相研究,对本区黄龙组勘探领域的优选和增储上产具有十分重要的意义。

对于四川盆地上石炭统黄龙组沉积相的研究,前人提出了很多不同的观点:部分学者认为本区黄龙组的沉积为潮坪模式<sup>[3-4]</sup>,也有学者认为属潟湖—海湾模式<sup>[5]</sup>,还有学者则归属为蒸发台地—局限台地模式<sup>[6-7]</sup>。本文通过钻井岩心观察、薄片鉴定,结合岩石学、测井及地震资料的综合研究,认为本区黄龙组主要为套潮坪—浅海陆棚沉积,并编制了黄龙组一段、二段和三段的沉积微相平面图,以期为提高四川盆地黄龙组勘探开发效益提供更多的地质依据。

## 1 区域地质概况

四川盆地位于龙门山断裂以东及重庆市境内,北为米仓山,南为大凉山,西为龙门山,东以齐岳山为

界。以现今地层分布边界计算,盆地面积约18×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>。盆地内部现今构造被划分为川东南斜坡高陡构造区、川中平缓构造区和川西坳陷低陡构造区三个大的分区,盆地周缘地形具有西高东低、北陡南缓的特点<sup>[7-8]</sup>。

四川盆地的西部,上石炭统黄龙组主要出露于盆地西北缘的龙门山一带,它为一套较稳定的碳酸盐岩沉积。晚石炭世,四川盆地西北部持续遭受海侵,从东向西,由潮坪环境逐渐变为深水沉积环境,黄龙组的下部平行不整合于下石炭统总长沟组顶部的紫红色泥页岩之上,黄龙组的上部与上覆的上石炭统马平组含碳泥岩成平行不整合接触关系。四川盆地的东部,晚石炭世早期,由于海水大规模由北向南阶梯状侵进,川东地区出现向古陆超覆的碳酸盐岩地层;随后的云南运动使得川东地区再次隆升为陆,由于遭受风化剥蚀作用,形成了黄龙组顶部高低不平的古岩溶地貌和各种岩溶岩系。由于加里东运动的影响,除川东西部靠近鄂西的少数相对低洼部位残存下石炭统和州组部分地层之外,大部分地区仅残存上石炭统黄龙组,整个黄龙组地层不整合超覆于中志留统韩家店组的暗色泥页岩之上(表1)。

收稿日期: 2013-12-15; 改回日期: 2014-05-23

代龙: 1988年生,助理工程师,2014年7月长江大学毕业,获硕士学位,主要从事油气勘探研究工作。通信地址: 524057 广东省湛江市坡头区22号信箱; E-mail: dailonggood@163.com

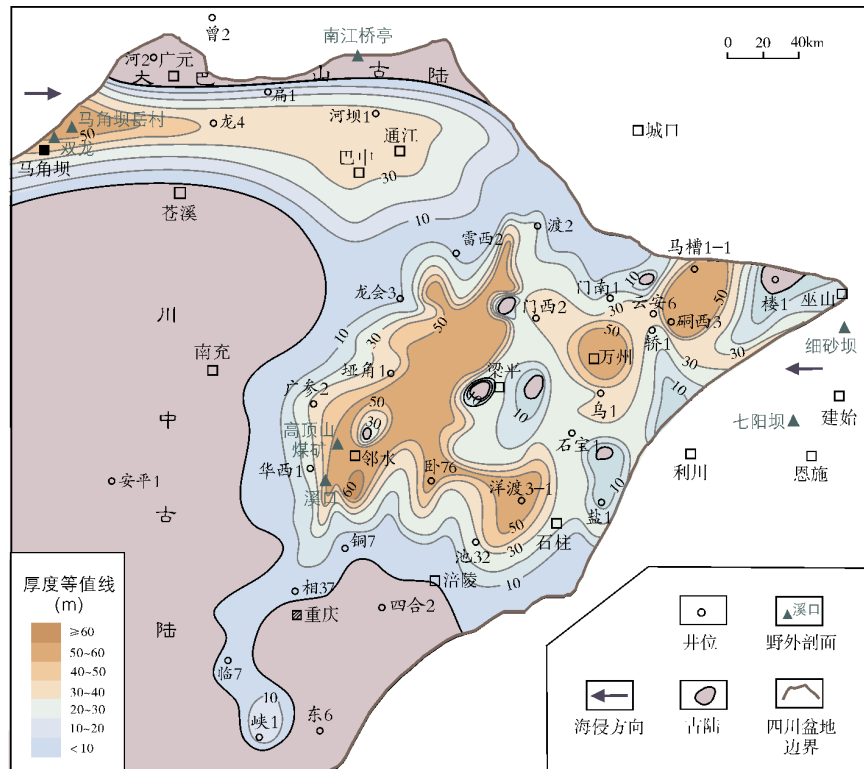


图1 四川盆地上石炭统黄龙组地层厚度图

表1 四川盆地石炭系地层划分表

地层	川西地区		川东—川中地区	渝东—鄂西地区	鄂西地区
	前龙门山	后龙门山			
下二叠统	梁山组		梁山组	梁山组	马鞍山组
上石炭统	马平组		黄龙组	黄龙组	船山组
	黄龙组				和州组
下石炭统	总长沟组	总长沟组	中志留统 韩家店组	中志留统 韩家店组	高骊山组
		马角坝组			金陵组
上泥盆统/ 中志留统	上泥盆统 黑岩窝组				上泥盆统 写经寺组

## 2 岩性特征

通过对研究区 10 口钻井取心段系统描述、本文 7 条野外剖面实测和 362 块薄片镜下鉴定,依据岩性、岩相和沉积演化特征<sup>[9-11]</sup>,将黄龙组由下而上划分为三个岩性段:黄龙组一段、黄龙组二段和黄龙组三段,各段的岩性具有不同的特征,相应地反映出不同的沉积环境(图 2)。碳酸盐岩沉积相受多种因素的影响,如地形坡度、水动力、气候、古构造、陆源碎屑的注入等<sup>[12-13]</sup>。

### 2.1 盆地东部的黄龙组

四川盆地东部黄龙组可分为三个岩性段(图2a),岩性自下而上由粉—细晶次生灰岩为主,逐渐过渡为微—粉晶白云岩、颗粒和晶粒白云岩为主,再至泥—微晶灰岩为主,各种岩性组合反映出了不同的沉积相类型<sup>[14-15]</sup>。

黄龙组一段 在研究区广泛分布,岩性特征在区域上具有一定的分带性。在各钻井剖面中主要岩性为深灰色或褐灰色去石膏化、去白云石化粉—细晶次生灰岩(图 3a, 3b)或次生灰质岩溶角砾岩、白

(a) 洋渡3-1井(川东)

(b) 马角坝岳村剖面(川西)

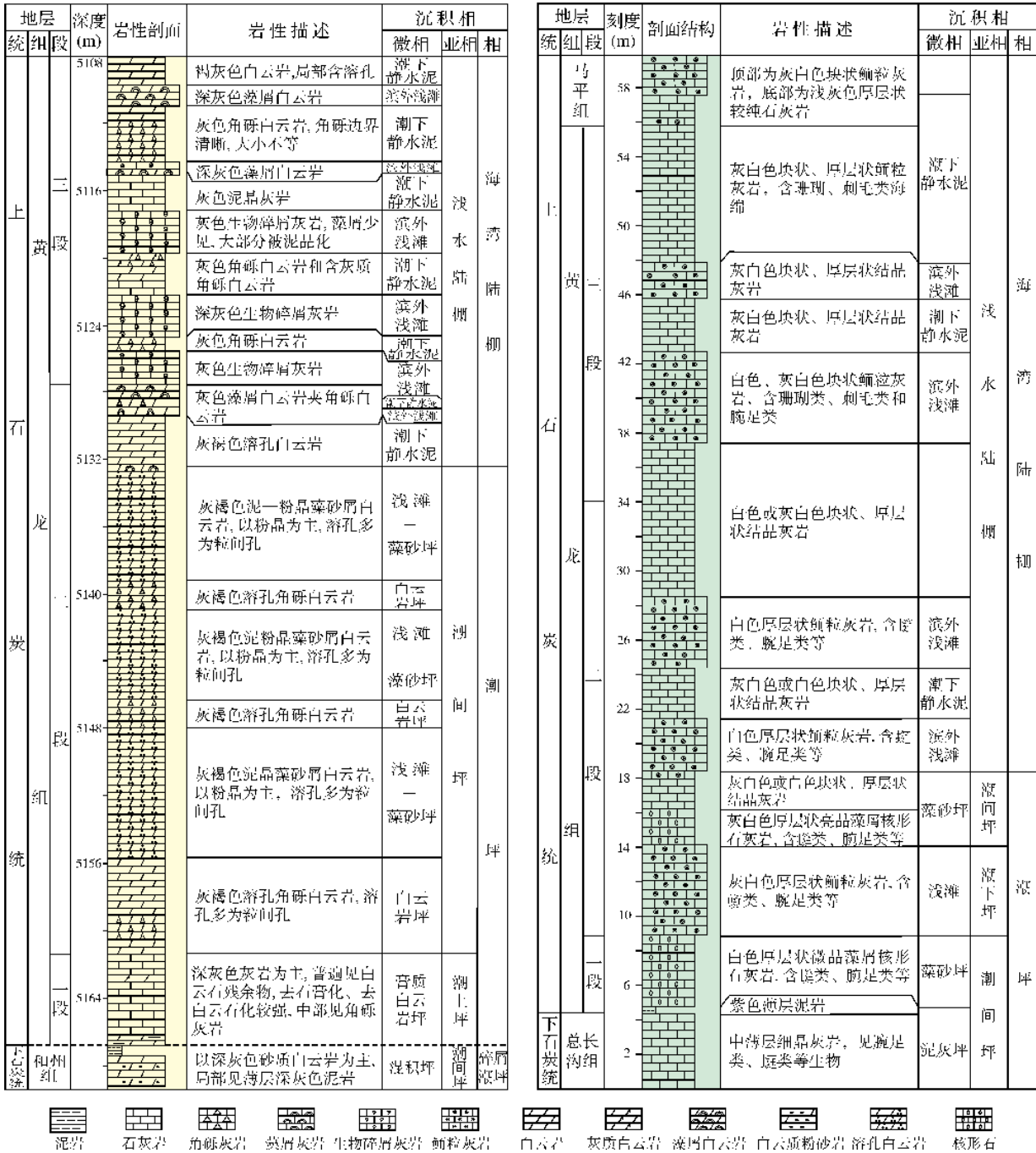


图2 四川盆地上石炭统黄龙组岩性沉积相综合柱状图

云质灰岩和灰质白云岩,盆地东部的野外剖面中主要为微—粉晶白云岩。反映其原始沉积环境为蒸发干旱的潮上坪膏坪,部分次生灰岩受岩溶作用影响可形成岩溶角砾岩。厚度一般为0~22m。

黄龙组二段 岩石类型主要以各类白云岩为

主,可细分为浅灰色、褐灰色微晶白云岩(图3c,3d)、粉—细晶白云岩、溶孔角砾白云岩等。颗粒白云岩可分为潮间藻砂坪相的颗粒白云岩、潮间浅滩相的颗粒白云岩,其中潮坪—潟湖相主要为藻屑藻迹白云岩、藻砂屑白云岩、砂屑白云岩(图3e)、球粒白云岩等,



潮间浅滩相主要为(含)生物碎屑白云岩、虫屑白云岩、藻砂屑白云岩等(图3f)。在粉—细晶白云岩和颗粒白云岩中往往发育丰富的溶蚀孔洞,为研究区石炭系最重要的储集岩类型。厚度一般为20~45 m。

黄龙组三段 在野外实测剖面中不完整,岩性主要为正常浅海陆棚相的泥—微晶(少量粉晶)灰岩

(图3g)、生物碎屑灰岩(图3h),偶含少量有孔虫、棘皮等生物碎屑,局部夹有生物碎屑灰岩和瘤状灰岩。晚石炭世晚期,由于受云南运动影响,黄龙组顶部部分地层受古表生期大气淡水溶蚀作用而转化为岩溶角砾岩,为研究区石炭系有利的储集岩类型。厚度一般为0~27 m。

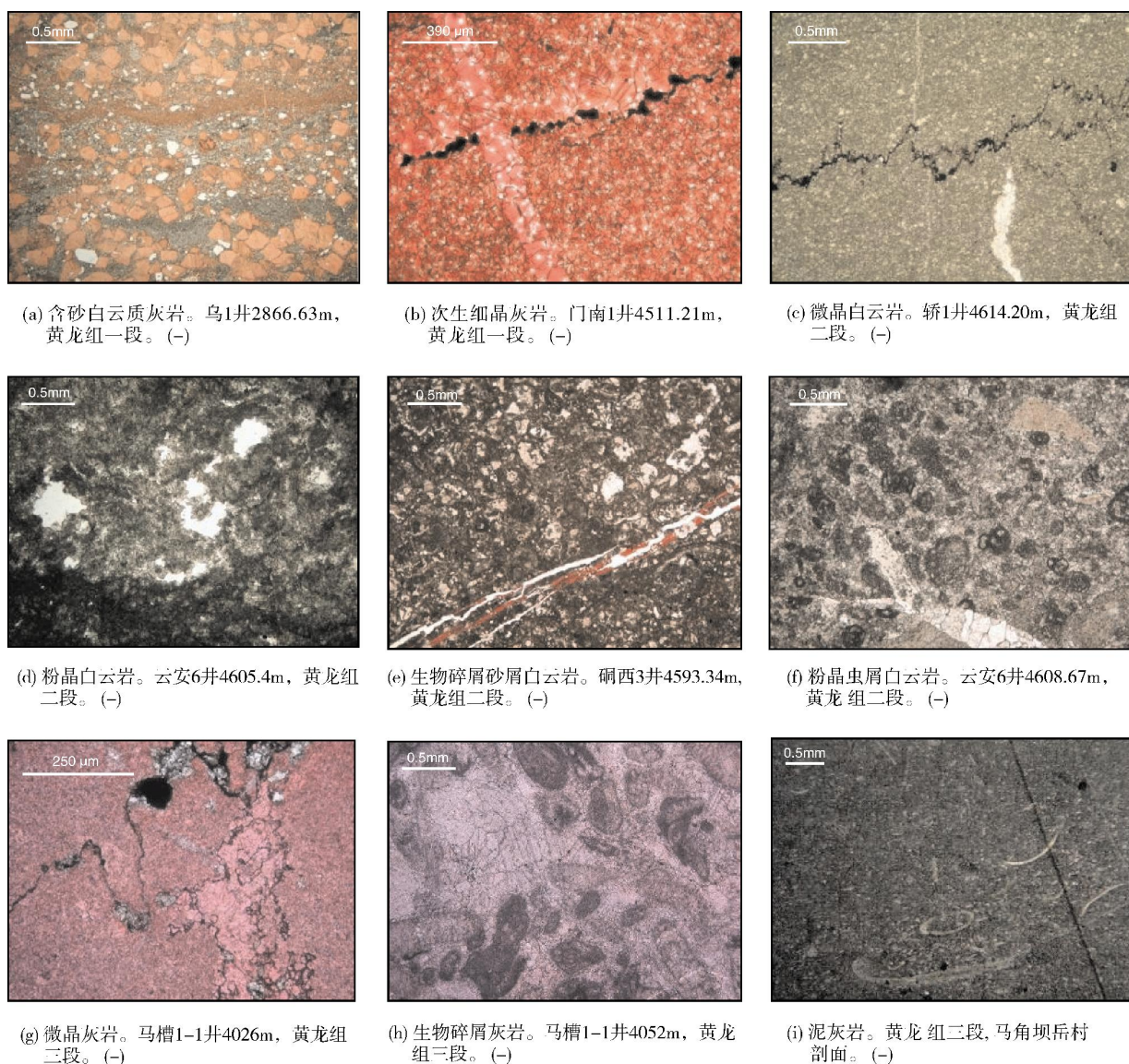


图3 四川盆地上石炭统黄龙组常见岩石类型显微照片

## 2.2 盆地西北部的黄龙组

川西北地区的黄龙组地层发育比较齐全,但厚度不大,由于岩性差别不明显而不容易划分。黄龙组自下而上也可分为一段、二段和三段(图2b)。

黄龙组一段 浅灰—灰白色厚层—块状生物碎屑灰岩,夹黄绿色泥岩,顶部可见冲刷面。见有蠕、腕足类、藻类和棘皮动物等化石。厚度一般为0~27m。

黄龙组二段 浅灰—灰白色厚层—块状生物碎屑灰岩,夹黄绿色泥岩,顶部可见冲刷面。含蠕、非蠕

有孔虫、藻类、腕足类和棘皮动物等化石。厚度一般为20~38 m。

黄龙组三段 主要为灰白色块状、厚层状鲕粒灰岩和灰色厚层含生物碎屑灰岩(图3i),局部可见较强的白云石化。产有孔虫、藻类、介形虫和腹足类等化石。厚度一般为15~30 m。

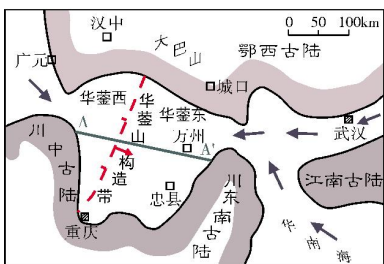
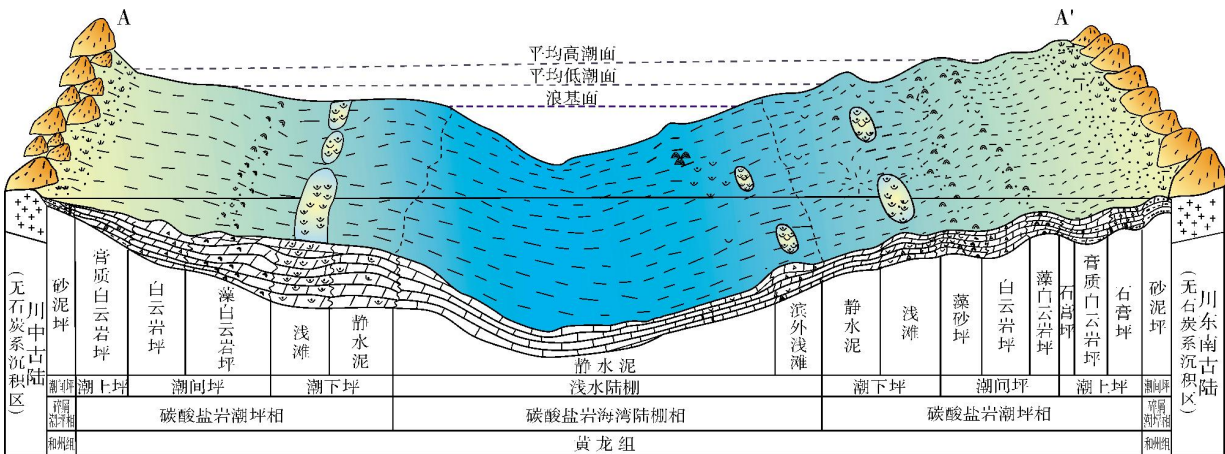
### 3 沉积相划分及沉积模式

通过对典型井岩心的观察描述、分析鉴定,结

合测井、录井、地震及邻区资料,对四川盆地重点探井的单井沉积相类型进行综合分析<sup>[16]</sup>,研究表明,四川盆地上石炭统黄龙组主要发育一套潮坪—陆棚沉积体系,其中潮坪体系主要发育碳酸盐岩潮坪相,陆棚以周缘受局限的海湾陆棚相为主。本文综合整个四川盆地黄龙期沉积由相对局限的海湾向正常开阔的浅海演化的规律,提出了潮坪—陆棚沉积相划分方案(表2),建立了四川盆地黄龙组沉积相模式(图4)。

表2 四川盆地上石炭统黄龙组沉积相划分简表

沉积相	亚相	微相	岩性特征	发育层位
碳酸盐岩潮坪	潮上坪	膏质白云岩坪	次生晶粒灰岩和石盐假晶次生灰质白云岩、含膏白云岩、泥晶—微晶白云岩及岩溶角砾岩	黄龙组一段
		白云岩坪	泥—微晶白云岩、次生灰岩	
	潮间坪	藻坪、藻砂坪、砂坪	溶孔状藻屑、藻迹白云岩、球粒白云岩	黄龙组二段
		膏质白云岩坪、白云质灰岩坪、灰质白云岩坪	粉晶白云岩、灰质白云岩、白云质灰岩	黄龙组一段、二段
		潟湖	石灰岩、粉晶白云岩/石灰岩、岩溶岩	黄龙组二段
		浅滩	厚层状生物碎屑、砂屑、藻屑白云岩及岩溶角砾岩、鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩	
	潮下坪	浅滩(潮下高能带)	厚层状生物碎屑、砂屑白云岩为主;鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩	黄龙组二段、三段
静水泥(潮下低能带)		泥晶灰岩、泥—微晶白云岩,局部岩溶角砾化		
碳酸盐岩海湾陆棚	浅水陆棚	滨外浅滩	生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、核形石灰岩	黄龙组二段、三段
		静水泥	泥晶—粉晶灰岩、含生物碎屑瘤状灰岩、晶粒白云岩	



石炭纪黄龙期古地理及剖面位置(据文献[5])

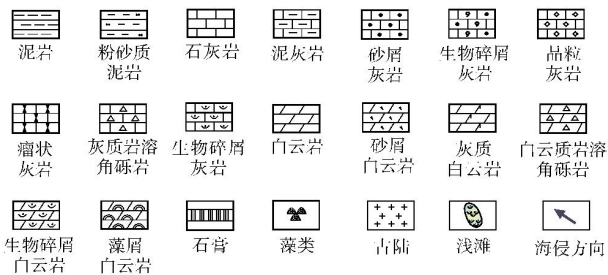


图4 四川盆地上石炭统黄龙组沉积模式图



### 3.1 潮坪相

潮坪相是具有周期性潮汐作用的非常平缓的海岸带,多发育在无强烈海浪作用的潟湖周围、海湾、障壁岛或沙坝后面。根据岩性及古生物特征,以潮汐作用为主要标志,可划分出潮上坪、潮间坪和潮下坪3个相带。

**潮上坪** 主要发育于气候炎热干旱和纯蒸发量很高的潮上带环境,具有海岸地势平坦、地下水很浅等特点。由膏坪、膏质白云岩坪和白云岩坪等微相组成。黄龙组沉积早期海侵规模比较小,仅限于在相对低凹且间歇有海水侵入的局部区域。因此,四川盆地东部黄龙组一段普遍发育潮上坪沉积环境。该沉积体系的岩性主要为粉—细晶次生灰岩(图3a,3b)和含膏质、含白云质次生灰岩等。

**潮间坪** 位于平均高潮面和平均低潮面之间的地带,由藻砂坪、白云岩坪、潟湖和浅滩等微相组成,以微—亮晶颗粒白云岩、灰质白云岩和微—粉晶白云岩为主,局部夹砂砾屑白云岩(图3e),亦可见显示间歇暴露干化作用的干裂角砾状白云岩。底部冲刷、干裂构造非常发育,特别是由潮汐控制的沉积带性更加清楚和完整,且上部更为频繁地夹有膏(盐)假晶白云岩和破碎角砾状白云岩,显示受障壁滩保护的沉积高地周缘或古陆边缘的潮坪具有更为宽阔和平坦的沉积地貌,以及水循环受限、盐度变异和暴露指数偏高的环境特征。

**潮下坪** 剖面上,潮下坪位于潮坪相沉积体系的下部,平面上,它处于沉积高地外侧或近古陆的边缘,处于海湾陆棚的低潮线与浪基面之间。潮下坪进一步可分为潮下低能带的静水泥和潮下高能带的浅滩微相。浅滩微相的水体循环良好,沉积物以各种生物骨粒或碎屑、内碎屑、鲕粒等颗粒组分为主。

### 3.2 海湾陆棚相

海湾陆棚相主要在黄龙组二段和三段发育,由于研究区的古地理背景仍为一相对局限的海湾,故又将此相称为海湾陆棚沉积体系,主要由浅水陆棚亚相组成。

**浅水陆棚亚相** 浅水陆棚亚相可进一步划分为潮下静水泥和滨外浅滩两个微相。潮下静水泥以微晶灰岩为主,其次为块状微—粉晶白云岩。滨外浅滩岩性主要为生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、核形石灰岩和珊瑚礁灰岩,这一相带是储层发育的有利沉积相带。

## 4 沉积微相平面展布

本文在单井沉积相、剖面沉积相分析的基础上,分别统计了各地层单元的地层厚度、颗粒岩厚度、角砾岩厚度以及整个黄龙组残余厚度等基础数据资料,并以黄龙组各岩性段为编图单元,结合区域构造背景及演化特征,分别编制了黄龙组一段、二段和三段的沉积微相图(编图方法参见文献[17]),精细地描述了各岩性段的沉积微相平面展布特征。本文认为海水来自东、西两个方向,四川盆地以近南北向的华蓥山构造带为界被分割成各自独立的潮坪—陆棚相沉积环境(图5)。

### 4.1 黄龙组一段沉积微相空间展布

由于研究区总体上为一相对局限的海湾环境,在西部和南部靠近古陆边缘的华西1井、池32井一带蒸发作用尤为强烈,发育膏质白云岩坪为主,地层最厚为22m。盆内大部分地区以发育向沉积高地和古陆上超的潮上坪沉积体系为主,主要发育潮上坪膏质白云岩坪、潮间坪膏质白云岩坪微相(图5a),由于岩性致密,一般不利于储层发育。

### 4.2 黄龙组二段沉积微相空间展布

研究区总体上处于淹没状态,相对黄龙组一段沉积期,水体明显变深,区域上以沉积准同生和后生成因的泥—微晶白云岩、颗粒白云岩和晶粒白云岩为主。黄龙组二段地层厚度变化不大,普遍在21.5~42.5m。区内沉积微相主要有潮间坪浅滩、潮下坪浅滩、潮间坪藻砂坪、潮间坪灰质白云岩坪、潮间坪潟湖(图5b)。其中,潮间坪灰质白云岩坪和潮间坪潟湖主要发育于研究区东西两侧,分布范围较广,岩性较为致密,一般不利于储层发育,常成为储层间隔层。滩相沉积在该时期发育最广,这是最有利于储层发育的沉积微相,主要分布于研究区中部,包括潮间坪藻砂坪、潮间坪浅滩、潮下坪浅滩、滨外浅滩等微相。

### 4.3 黄龙组三段沉积微相空间展布

四川盆地石炭系黄龙组三段厚度差异比较大,变化范围在2~27m之间。该段在本区主要发育潮下坪浅滩、静水泥和滨外浅滩微相(图5c)。潮下高能带的浅滩微相、滨外浅滩微相的分布面积较黄龙组二段缩小,它们亦是本区有利于储层发育的沉积微相。静水泥微相因岩性较致密而不太有利于储层发育。

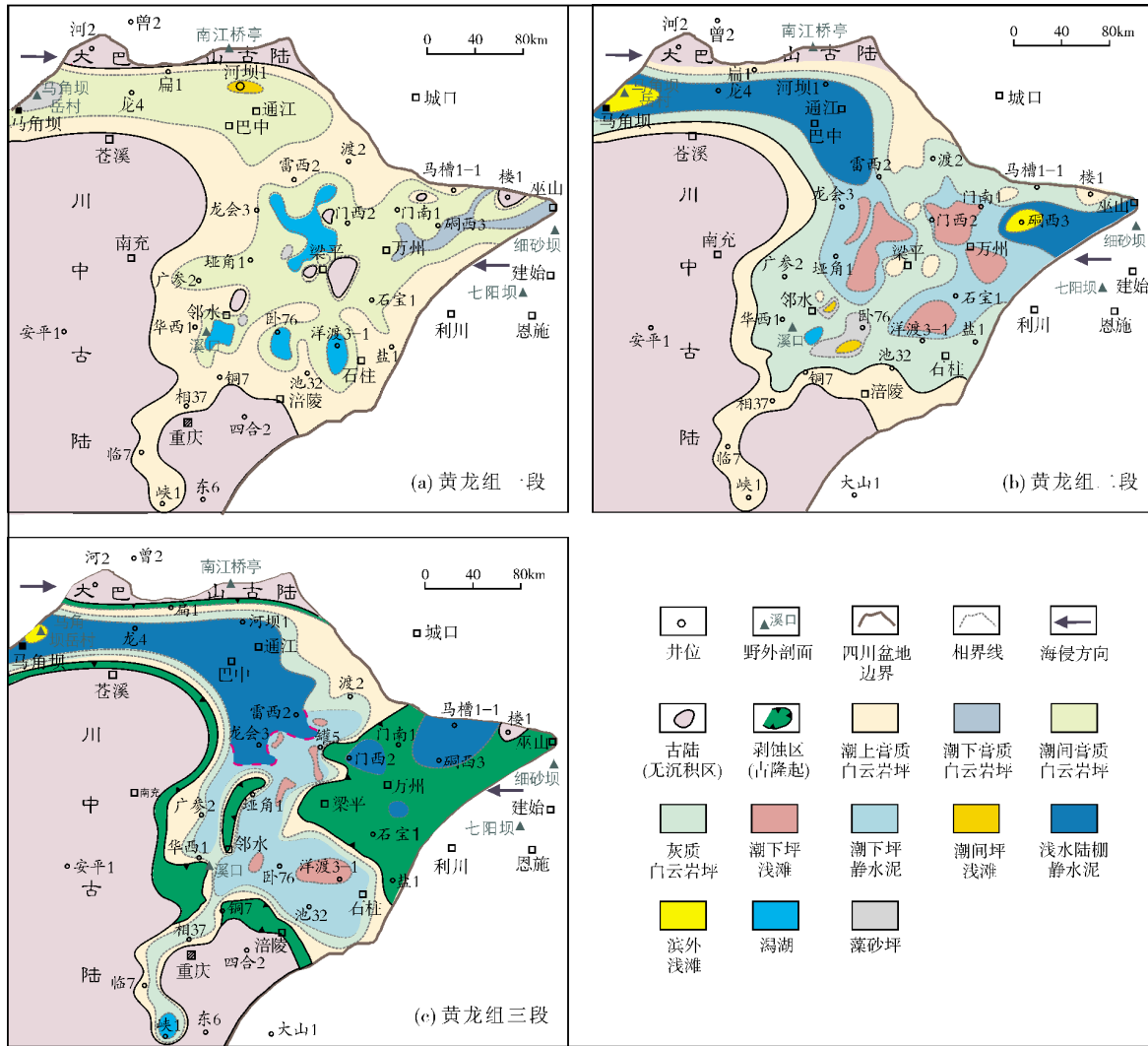


图5 四川盆地上石炭统黄龙组沉积相平面图

### 5 有利沉积相带评价

根据前人对四川盆地石炭系多年的研究成果,以及对本区岩心、薄片、测井解释等资料的综合分

析,认为黄龙组二段的储层物性最好,储层最为发育,而黄龙组一段和三段的岩性致密,储层相对不发育。本文以黄龙组二段为例,统计了不同沉积微相的物性特征(表 3)。

表 3 四川盆地黄龙组二段不同沉积微相物性参数统计

沉积微相	孔隙度(%)			渗透率( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )		
	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值	样品数
潮间坪浅滩	1.12~19.6	6.17	67	0.001~23	3.78	45
潮下坪浅滩	1.5~12.2	5.02	50	0.01~24.1	3.72	48
滨外浅滩	0.4~13.5	3.67	61	0.001~27.2	5.7	35
藻砂坪	0.8~10.2	3.32	47	0.01~12.5	0.87	24
潟湖	0.3~12.5	2.73	26	0.01~21	1.61	23
潮下静水泥	0.1~8.44	2.86	38	0.0001~21.4	0.86	28

在纵向上,黄龙组二段主要发育的沉积微相,分别是潮间坪浅滩、潮下坪浅滩、滨外浅滩、藻砂坪、潟湖和灰质白云岩坪。研究区内黄龙组取心井各段岩石类型的孔隙度分析表明,潮间坪浅滩、潮下坪浅滩、滨外浅滩、藻砂坪四类沉积微相具有较好的储集性能。在平面上,浅滩相分布最广,且该相带物性最好,因此,可优选该相带分布区为四川盆地石炭系碳酸盐岩孔隙性储层的主要勘探领域。

## 6 结 论

(1)四川盆地上石炭统黄龙组主要发育一套潮坪—陆棚沉积体系,其中潮坪体系主要发育碳酸盐岩潮坪相,陆棚体系以周缘受局限的海湾陆棚相为主。进一步划分出 4 种亚相和 10 种微相类型。

(2)黄龙组一段主要发育潮上坪膏质白云岩坪和潮间坪膏质白云岩坪,储集层发育较差;黄龙组二段主要发育潮间坪浅滩、藻砂坪、灰质白云岩坪、潟湖和潮下坪浅滩,频繁的海侵与海退形成了良好储集层;黄龙组三段主要以潮下坪浅滩和静水泥为主,发育一定的储集体。

(3)潮间坪浅滩、潮下坪浅滩、滨外浅滩和潮间藻砂坪四类沉积微相,在研究区黄龙组二段沉积时期分布范围最广,储集物性最好,为四川盆地黄龙组最有利的储集层。

### 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: 卷十[M]. 北京:石油工业出版社,1989.

- [2] 赵文智,沈安江,胡素云,等. 中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征[J]. 石油勘探与开发,2012,39(1):1-12.
- [3] 陈宗清. 川东中石炭世黄龙期沉积相及其与油气的关系[J]. 沉积学报,1985,3(1):71-81.
- [4] 李伟,张志杰,党录瑞. 四川盆地东部上石炭统黄龙组沉积体系及其演化[J]. 石油勘探与开发,2011,38(4):400-408.
- [5] 方少仙,侯方浩,李凌,等. 四川华蓥山以西石炭系黄龙组沉积环境的再认识[J]. 海相油气地质,2000,5(1/2):158-166.
- [6] 郑荣才,陈洪德. 川东黄龙组古岩溶储层微量和稀土元素地球化学特征[J]. 成都理工学院学报,1997,24(1):1-7.
- [7] 陈浩如,郑荣才,文华国,等. 川东地区黄龙组层序-岩相古地理特征[J]. 地质学报,2011,85(2):246-255.
- [8] 文华国,郑荣才,沈忠民. 四川盆地东部黄龙组碳酸盐岩储层沉积-成岩系统[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2011,36(1):111-121.
- [9] 朱智鹏,黄勇,汪洋. 四川盆地东部石炭系黄龙组岩溶砾碳酸盐岩特征[J]. 天然气工业,2013,33(5):40-45.
- [10] 廖卓庭,王向东,王伟,等. 龙门山的石炭系[J]. 地层学杂志,2010,34(4):349-360.
- [11] 胡忠贵,郑荣才,文华国,等. 渝东—鄂西地区黄龙组层序-岩相古地理研究[J]. 沉积学报,2010,24(6):1369-1378.
- [12] 胡明毅,魏国齐,胡忠贵,等. 四川盆地中二叠统栖霞组层序-岩相古地理[J]. 古地理学报,2010,12(5):515-526.
- [13] 张成富,徐国盛,龚德瑜. 川东大天池气田龙门区块石炭系黄龙组沉积相研究[J]. 物探化探计算技术,2010,32(4):371-379.
- [14] 惠博,伊海生,陈三运,等. 龙门山马角坝地区石炭纪沉积相和层序地层研究[J]. 断块油气田,2009,16(6):9-12.
- [15] 周永生,郑荣才,汪丽彬,等. 渝东北双家坝气田黄龙组沉积微相分析[J]. 中国地质,2013,40(2):508-515.
- [16] 徐锦龙,洪天求,贾志海. 川西北马角坝地区石炭纪碳酸盐岩微相及沉积环境分析[J]. 地层学杂志,2011,35(4):385-392.
- [17] 胡明毅,胡忠贵,魏国齐,等. 四川盆地茅口组层序岩相古地理特征及储集层预测[J]. 石油勘探与开发,2012,39(1):45-55.

编辑:黄革萍

## Analysis of Sedimentary Facies of Upper Carboniferous Huanglong Formation in Sichuan Basin

Dai Long, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, Wang Wei

**Abstract:** It is shown that tidal flat facies and shelf facies sedimentary systems develop in Upper Carboniferous Huanglong Formation in Sichuan Basin. The tidal flat system commonly consists of carbonate tidal flat facies and the shelf facies mainly of periphery-limited gulf shelf facies. On the basis of analyzing sedimentary facies marks and single wells, the researched Huanglong strata are divided into four subfacies and ten microfacie and the Huanglong Member-1, Member-2 and Member-3 maps of sedimentary micro-facies plane-distribution are compiled. It is indicated that the most favorable microfacies for prospective are intertide flat shallow shoal, intertidal algae sand flat, subtidal flat shoal and offshore shallow shoal sediments.

**Key words:** Carbonate rock; Upper Carboniferous; Huanglong Formation; Sedimentary facies; Reservoir assessment; Sichuan Basin

**Dai Long:** Assistant Geology Engineer. Add: Zhanjiang Branch Company of CNOOC Ltd., Mail Box 22, Potou, Zhanjiang, Guangdong, 524057, China