

四川盆地灯影组沉积相及演化规律

赵子豪^{1,2}, 李凌^{1,2}, 孟庆龙³, 金民东^{1,2}, 张谦^{1,2}

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(西南石油大学), 四川成都 610500; 2. 西南石油大学
地球科学与技术学院, 四川成都 610500; 3. 中国石油大港油田勘探开发研究院, 天津滨海新区 300280)

摘要:通过钻井资料、野外露头、录井、测井等资料的综合应用,系统识别出陆源碎屑滨岸、混积台地、碳酸盐岩台地、斜坡-盆地是四川盆地灯影组主要的沉积相类型。盆地内灯影组二段及四段主要以碳酸盐台地沉积为特征,可细分为碳酸盐潮坪、颗粒滩、灰泥丘、局限泻湖亚相。通过建立沉积模式表明,灯影组大致经历海侵-海退-海侵的沉积旋回,一段至二段为海侵阶段,三段为海退阶段,四段为海侵阶段。

关键词:沉积模式;沉积相;灯影组;四川盆地

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2016)04-0241-08

四川盆地震旦系灯影组蕴藏了我国迄今发现的最古老天然气藏^[1],具有独特而重要的研究意义,长久以来受到广泛关注。此前,在这一领域的研究主要集中在川南威远和资阳地区,2011年前后,在古隆起高石梯构造高部位部署的多口钻井于震旦系灯影组获高产工业气流,展示了该区域震旦系灯影组巨大的勘探潜力。因此,针对四川盆地震旦系灯影组开展沉积相类型、相序演化、时空展布的研究,可以为四川盆地震旦系灯影组有利勘探区带评价和下一步的风险勘探提供有利支撑,并可进一步丰富碳酸盐岩沉积学及岩溶储层地质学理论。

1 沉积相类型

四川盆地震旦系划分下统和上统,分别对应于陡山沱组和灯影组,灯影组进一步分为灯一、灯二、灯三和灯四4个岩性段。灯影组沉积期四川盆地积水体较浅,具有向东逐渐变开阔的趋势^[2]。本文通过对区域地质资料、钻井取心资料、测井资料和野外露头剖面沉积相标志的综合分析研究,认为四川盆地震旦系灯影组具有明显的连陆台地沉积特征,发育陆源碎屑滨岸、混积台地、碳酸盐台地、斜坡-盆地四大沉积相。

1.1 陆源碎屑滨岸相

陆源碎屑滨岸相位于正常浪基面及最高涨潮线

之间,处于海洋与陆地交汇处的海岸地带。在邻近古陆边缘的四川汉源、南江、西昌、盐边及云南曲靖、陆良等盆地边缘及外围,可见滨岸相的碎屑物,灯三段为发育的主要层位,进一步细分为前滨和临滨亚相。

1.1.1 前滨亚相

前滨亚相位于平均低潮线与平均高潮线之间,水体能量较强,沉积物主要由中-细砂岩、云质砂岩等组成,根据沉积物的成分和发育位置,可划分成砂质滨岸和内碎屑质滨岸微相。砂岩较纯净,颗粒分选和磨圆均较好,成分成熟度和结构成熟度也较高,常发育交错-冲洗层理、波痕、冲刷痕等沉积构造(图1),前滨亚相发育向上变浅、变粗的沉积序列。发育层位为陡山沱组和灯三段。

1.1.2 临滨亚相

临滨亚相位于平均低潮线至正常浪基面之间,完全位于水下,水体能量弱。沉积物主要由细-粉砂、泥质粉砂等组成,可划分出砂泥质滨岸、灰质滨岸和云质滨岸等微相,亦以发育向上变浅、变粗的沉积序列为特征,陡山沱组和灯三段最发育。

1.2 混积台地相

混积台地相发育的位置以及古地理背景都类似于碳酸盐台地相,但由于时常受到陆源碎屑的侵扰,故以发育陆源碎屑岩和碳酸盐岩的混合沉积为特征,既可表现为两者的不等厚互层,也可显示为陆源

收稿日期:2016-07-25

资助项目:中国石油科技创新基金研究项目“深层碳酸盐岩粒间孔型滩相储层的发育规律及预测模型研究(2015D-5006-0107)”

作者简介:赵子豪(1992-),男,硕士研究生在读,主要从事油气地质勘探与沉积储层等方面的科研工作,E-mail:361758536@qq.com。

碎屑岩中含有一定数量的碳酸盐沉积物或碳酸盐岩中含有一定数量的陆源泥砂。混积台地相主要发育于灯三段,可划分出混积潮坪和局限泻湖两种亚相。

1.2.1 混积潮坪亚相

混积潮坪亚相发育于混积局限台地的向陆侧,沉积界面处于平均海平面附近,环境闭塞,海水含盐度较高,沉积动力以潮汐作用为主,能量一般不高。川西、川北地区灯三段以普遍发育紫色页岩作为标志,主要岩性为紫色、黄绿色页岩、粉砂岩、白云质粉砂岩等组成,夹海绿石砂岩或含砾砂岩^[3]。川中磨溪地区灯三段普遍发育粉砂岩、云质粉砂岩、砂质白云岩、泥质白云岩等(图2),其中砂岩(包括云质砂岩、泥质砂岩)厚度可达30 m。由于距古陆稍远,较川西地区粉砂质逐步减少,泥质和白云质成分增多。根据潮坪沉积物的成分和发育位置,可进一步划分出砂坪、云坪、泥坪、泥云坪等微相。

1.2.2 局限泻湖亚相

局限泻湖亚相根据沉积物成分的不同,可将其划分出泥质泻湖、云质泻湖、泥云质泻湖等微相类型。威远及以南以及川东地区,灯三段主要岩性为

深灰、蓝灰色泥岩夹白云岩、灰-深灰色泥云岩,属局限泻湖中相对浅水沉积区。磨溪-高石梯构造以西可能存在南北向展布的灰黑-深灰色碳质泥岩分布区(图3),有少量白云岩夹层,属局限泻湖中相对深水沉积区。

1.3 碳酸盐台地相

碳酸盐台地相原指地形平坦的浅水碳酸盐沉积环境,现指所有的浅水碳酸盐沉积环境。碳酸盐台地相主要发育于灯一、二段以及灯四段,包括了潮坪、局限-蒸发泻湖、颗粒滩、灰泥丘四种亚相,其中灰泥丘为最主要的储集亚相类型。

1.3.1 碳酸盐潮坪亚相

碳酸盐潮坪亚相与混积潮坪类似,发育于局限台地的向陆侧海岸带,沉积界面处于平均海平面附近,水体盐度变化大,水动力条件较弱,主要受到潮汐作用的控制。不同点在于受陆源碎屑影响小,微相发育以低能的泥坪、云泥坪、藻坪为主,常发育叠层石构造、鸟眼构造、交错层理等沉积构造。主要分布于川西南地区,或发育于丘滩体顶部,以发育向上变细的沉积序列为特征,单个沉积序列的厚度一般



图1 南江杨坝,陡山沱组,石英砂岩,发育冲洗交错层理
Fig.1 Nanjiang Yang ba,the Doushantuo formation, quartz sandstone,flush cross bedding



图2 南江杨坝,灯三段,砂质白云岩夹泥岩,发育平行层理
Fig.2 Nanjiang Yang ba,the third section of the Dengying formation,sandy dolomite mudstone,parallel bedding



图3 GK1井,灯三段,深灰色-灰黑色泥页岩,水平层理

Fig.3 Well GK1,The third section of the Dengying formation,Dark gray and gray black shale,Horizontal bedding

为几米。

1.3.2 局限-蒸发泻湖亚相

局限-蒸发泻湖亚相主要发育在灯一、灯二段。其位于局限台地内部较低洼地区,利用已有资料在局限台地中圈定出两个主要蒸发泻湖:其一为LL1井、WS1井所在地区,主要岩性为含膏白云岩、藻白云岩;其二为东南侧珙县、威信、古蔺等地为蒸发泻湖相。

1.3.3 颗粒滩亚相

颗粒滩亚相发育于碳酸盐台地的边缘、内部或滨外。主要沉积物为内碎屑、鲕粒、核形石等,可划分出砂屑滩、核形石滩、鲕滩、砾屑滩等微相,时常发育交错层理。

灯影组单纯的砂屑云岩、鲕粒云岩较少,颗粒滩大多具藻粘结结构,为藻粘结砂屑云岩,其发育与灰泥丘相关,构成丘滩复合体。前人对四川盆地南部志留系灰泥丘的研究认为:与灰泥丘有关的储层发育于发生白云石化的丘顶藻纹层白云岩以及丘翼的颗粒灰岩中,颗粒碳酸盐岩的发育往往与灰泥丘相关,出现于丘坪和丘翼环境^[4]。由于区内磨溪-高石梯钻孔取心系统性较差,难以准确刻画灰泥丘与颗

粒滩的关系。但从微观特征来看,区内的颗粒滩多为具藻粘结结构的砂屑云岩或藻粘结团块云岩(图4 a、b),在单偏光下鉴定为砂屑云岩,粉细晶云岩,而阴极发光特征却表明原岩组构为藻粘结团块云岩或藻粘结砂屑云岩(图4c),表明颗粒滩的发育与微生物密切相关。杨坝剖面的精细观察也表明,颗粒滩的发育往往与灰泥丘密切相关,可以丘基或丘坪的形式出现。

1.3.4 灰泥丘亚相

灰泥丘主要是由微生物,或者以微生物为主并有其它多门类生物参与建造的,是一种主要由灰泥组成具有穹形特征的碳酸盐岩建隆^[5,6]。通过对野外剖面、钻井岩心及薄片的观察,发现四川盆地灯影组具有大量的灰泥丘分布。该区多期灰泥丘呈明显正地貌特征^[7]。研究发现四川盆地震旦系灯影组灰泥丘的主要建造者为盆内震旦系灰泥丘的微生物、宏观藻类及微古植物等,构成灰泥丘的颗粒主要为凝块石、藻叠层、核形石及粘结岩等,岩石类型主要有藻粘结凝块云岩、藻粘结骨架云岩,以及与藻粘结凝块云岩共生的波状-柱状藻叠层云岩等。在四川盆地灯

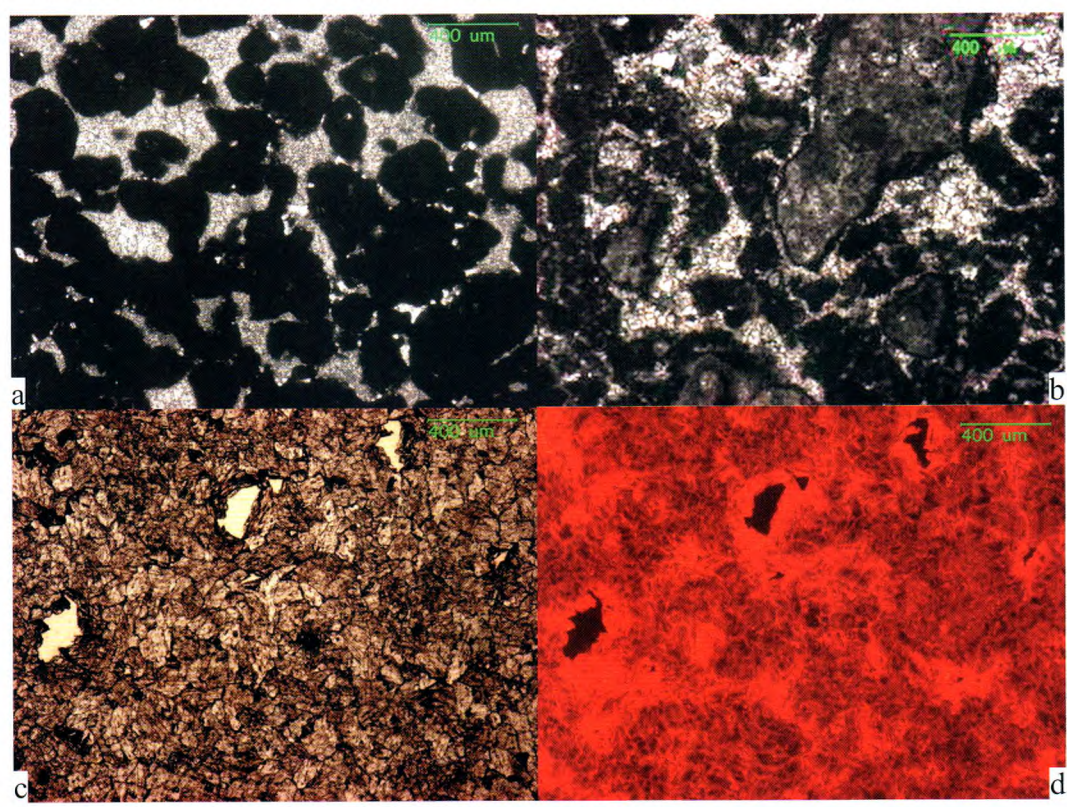


图4 砂屑云岩的微观特征

Fig.4 The microscopic characteristics of the dolarenite

a.Z6井,3773.5m,灯2,藻粘结砂屑云岩; b.习水润南,灯2,藻粘结团块云岩;
c.南江杨坝,灯4,单偏光下为细晶云岩(左),阴极发光下为藻粘结团块云岩(右)

影组中,斑马状构造与层状晶洞构造比较普遍。野外和岩心观察发现,该区震旦系灯影组的灰泥丘发育规模不大,单个旋回厚度多小于2 m,但是灰泥丘的发育频率却极高,在灯二段和灯四段频繁出现。

1.4 斜坡-盆地相

斜坡-盆地相位于碳酸盐台地边缘向海一侧的深水区,主要分布于盆地东南部及东北部地区。其沉积物来自于相邻碳酸盐台地的碎屑物质。主要由薄层状的碳酸盐岩组成,可夹少量粘土质及硅质夹层,具韵律层理,有滑塌现象。

2 沉积相演化规律

2.1 基于“成像资料+自然伽玛”的沉积相识别方法

由于区内灯影组厚度大,取芯资料有限,利用测、录井资料进行沉积相的解释与划分是沉积相研究的关键,从而进一步通过单井剖面沉积相分析研究沉积相纵向演化规律,并指导有利储集相预测。研究中对取心段通过总结不同相类型的岩性、地球物理响应及成像测井影像特征,建立了基于“成像资料+自然伽玛”的相识别模版,其关键在于取芯段岩心的精细描述与测井响应特征的准确标定。主要有四个步骤(图5):

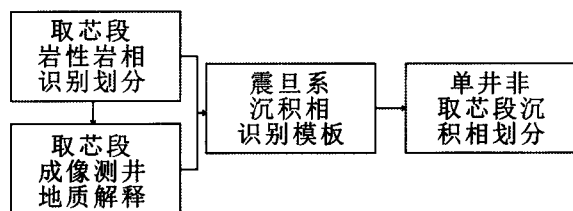


图5 灯影组有利储集相识别流程图

Fig.5 The Dengying formation of favorable reservoir facies identification chart

(1) 取芯段岩性及相的准确识别

通过对岩芯的详细观察描述,明确岩石类型、沉积构造等标志特征,确定沉积相类型。

(2) 取芯段测井资料的精细地质解释

通过取芯段沉积相识别和划分,标定测井,建立不同相类的测井响应特征,包括曲线形态和成像测井影像特征(图6)。

(3) 建立震旦系沉积相识别模版

综合不同相类的岩石学特征、曲线形态和成像测井影像特征建立综合识别模版,其包含有岩性、沉积构造、测井幅值、曲线形态、成像影响背景色调、形态等综合地质信息(图7、图8)。

(4) 非取芯段沉积相的识别与划分

利用已有的各种地质信息和综合识别模版,开展非取芯段沉积相的识别与划分。由于单一资料解释的不唯一性,需要多种资料的综合分析,在资料的选取上也存在优先顺序。

通过以上方法研究发现,藻丘和砂屑滩是四川盆地灯影组最主要的储集相类型,研究中通过取芯段的印证,在有成像测井资料时,优先使用成像测井资料可以直观判别出藻丘相的凝块云岩和潮坪相的砂质云岩、云质砂岩这两类。而藻丘相的叠层云岩和台内滩以及泻湖相的成像影像特征类似,难以区分,需要配合“GR”曲线来区分叠层云岩及台内滩与泻湖相^[8,9],进而实现有利储集相“丘、滩相”的识别。

2.2 震旦系沉积相纵向叠置与演化

通过对高石梯-磨溪地区取芯井的观察以及单井剖面沉积相纵向演化分析认为,研究区灯影组大致经历了海侵-海退-海侵的沉积旋回,整体表现为海侵。沉积环境由碳酸盐台地-混积台地-碳酸盐台地的变化(图7、图8)。

(1) 灯一段至灯二段海侵阶段

研究区除NZ井钻穿灯一段外,各井均未钻穿灯一段。从NZ井的资料观察发现,NZ井灯一段沉积一套厚约55m的泥粉晶云岩、硅质云岩、砂屑云岩,显示了灯一段时期整体为水体较深的碳酸盐台地沉积环境。进入灯二时期,根据GS6井和MX10井已钻至的深度,该段以发育灰色藻凝块云岩、藻叠层云岩、砂屑云岩、丘前角砾云岩、泥晶云岩为主,藻类发育,以灰泥丘亚相、颗粒滩亚相、泻湖亚相以及潮坪亚相为特征。

(2) 灯三段海退阶段

GS6井的灯三段厚度52.5 m,发育泥质云岩、泥晶云岩,主要为局限泻湖亚相沉积;MX10井对应井段为5 410~5 447.5 m,厚度37.5 m,发育砂质云岩、泥岩、硅质岩,以混积潮坪亚相为特征。

(3) 灯四段海侵阶段

GS6井灯四段厚度305.5 m,岩性以藻凝块云岩、砂屑云岩、角砾云岩、藻纹层云岩为主,发育泻湖、颗粒滩、灰泥丘、丘滩复合体亚相。MX10井厚度315 m,主要为碳酸盐潮坪、颗粒滩、丘滩复合体、灰泥丘、泻湖亚相,岩性以泥晶云岩、砂屑云岩、藻凝块云岩为主。

通过沉积相纵向研究分析认为:

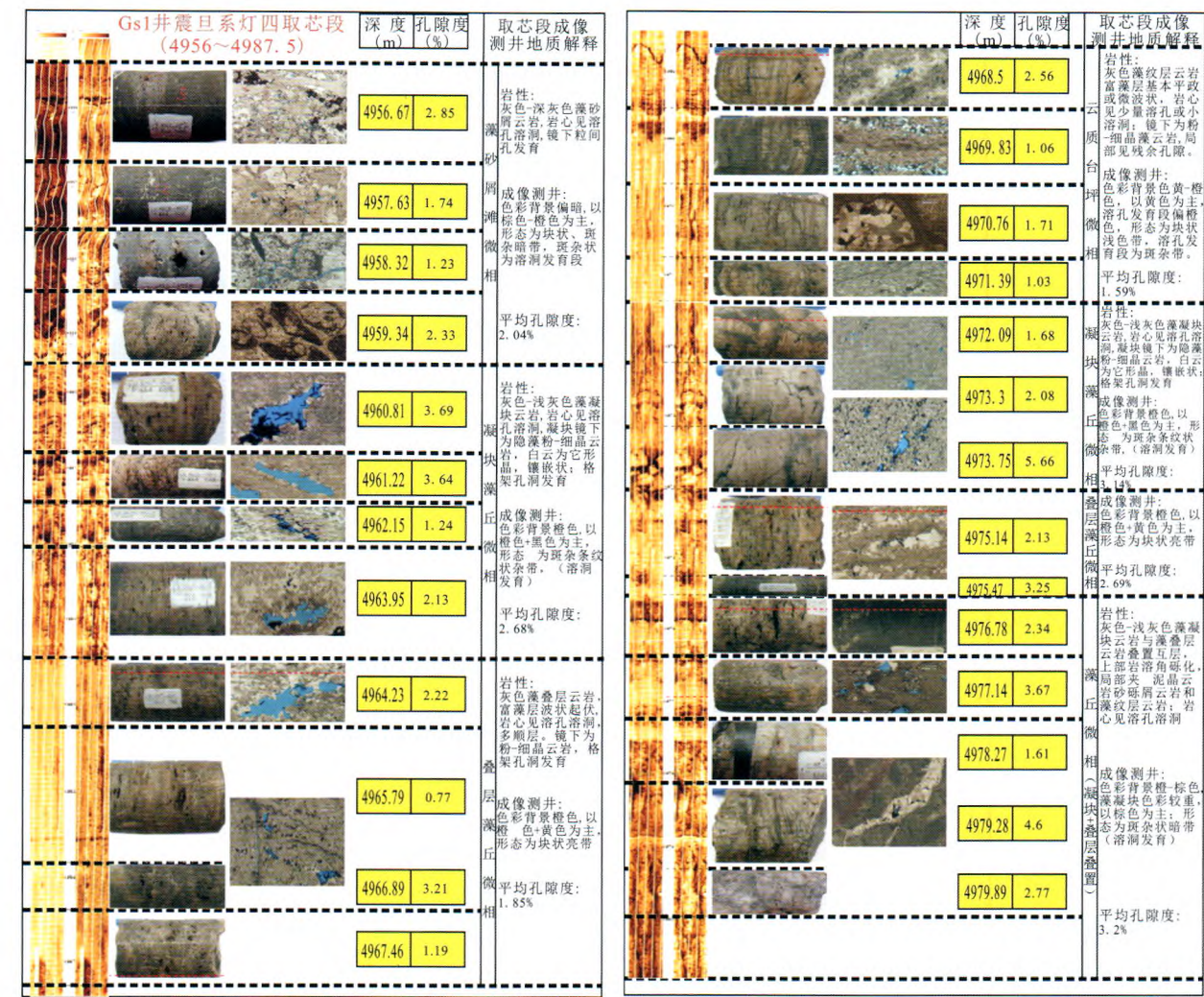


图6 GS1井灯四取芯段成像测井地质解释图

Fig.6 Well GS1 core section of the fourth Dengying formation

Imaging logging geological interpretation chart

(1) 灰泥丘亚相、丘滩复合体亚相、颗粒滩亚相主要发育在灯二、灯四段时期,灯一段也可发育颗粒滩,但分布含量较少。从曲线和取芯情况来看,高石梯-磨溪地区灯一段时期水体较深,缺乏高能的环境,因此颗粒岩沉积较少,并且藻类稀少,致使灰泥丘和丘滩复合体不发育。灯二段和灯四段时期,海水较浅,蓝绿细菌以及微古生物繁盛,灰泥丘和丘滩复合体在纵向上发育稳定,具有相互叠置的特征。

(2) 灯二段和灯四段时期具有相似的沉积特征,但灯四段各亚相带叠置频率高于灯二段,但单个亚相带厚度小于灯二段。较之灯二段为海侵的高潮期不同,灯四段为海退之后的缓慢海侵阶段,海平面频繁振荡,沉积环境快速变化,造成各亚相带纵向上频繁叠置,且厚度不大。

(3) 灯四段时期由于微古地貌的分异,与灯二段

时期相比,研究区普遍发育局限-蒸发泻湖亚相,灯四段时期水体较浅,加上灰泥丘、丘滩复合体、砂屑滩等丘型建隆沉积物的快速堆积,沉积微古地貌产生分异,在上述亚相之间的相对低洼地区形成局限泻湖-蒸发泻湖亚相。

(4) 灯三段时期,研究区受到古陆陆源碎屑的影响,磨溪-高石梯地区发育混积台地相。灯二段末期,受桐湾一幕的影响,海水减退,部分地区暴露于大气之中,加之西北方古陆陆源碎屑的充足供给,在该区除GS6井为局限泻湖亚相外均为混积潮坪亚相。

3 沉积模式分析

通过上述研究,结合野外剖面、钻井岩芯、灯影组沉积相特征及沉积相的展布研究,认为灯影组沉积模式如下。

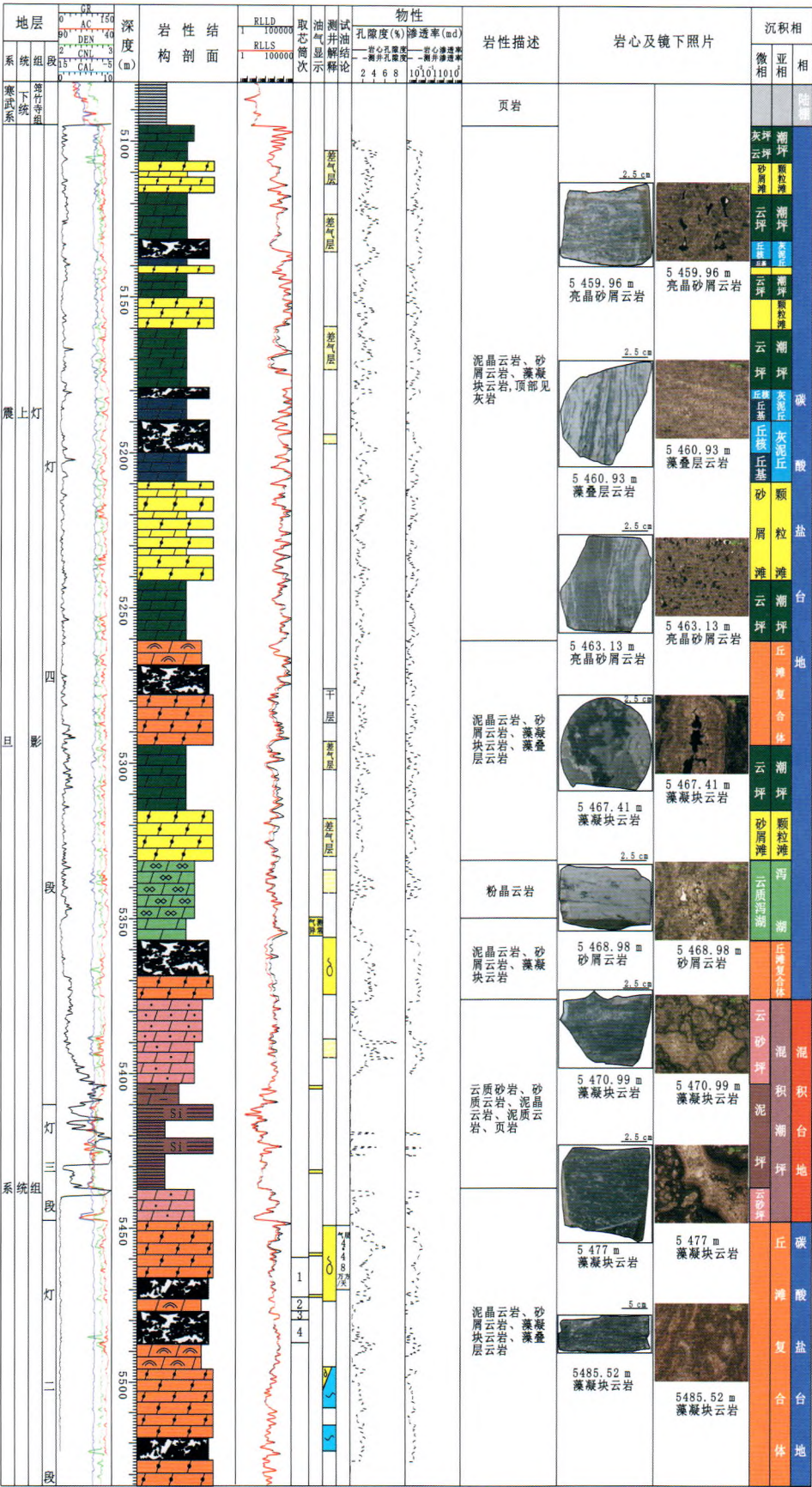


图8 MX10井沉积相综合柱状图

Fig.8 Well MX10 The sedimentary facies of the synthetic histogram

酸盐台地沉积为特征,进一步可分为碳酸盐潮坪、颗粒滩、灰泥丘、局限泻湖亚环境。

(2)灯影组大致经历海侵-海退-海侵的沉积旋回,灯一段至灯二段为海侵阶段,灯三段为海退阶段,灯四段海侵阶段,整体表现为海侵。沉积环境由碳酸盐台地-混积台地-碳酸盐台地的变化。

参考文献:

[1] 陈文正. 再论四川盆地威远震旦系气藏的气源[J]. 天然气工业, 1992, 12(6): 28-32.

[2] 洪海涛, 谢继容, 吴国平, 等. 四川盆地震旦系天然气勘探潜力分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(11): 37-40.

[3] 罗惠麟, 蒋志文, 何廷贵. 川滇地区震旦系-寒武系界线[J]. 地质科学, 1982 (02): 215-219.

[4] 赵文智, 杨晓萍, Kershaw S. 四川盆地南部志留系碳酸盐泥丘储层发育特征[J]. 地质学报, 2006, 85 (10): 1615.

[5] 王建坡, 李越, 张园园, 等. 新疆巴楚晚奥陶世礁丘中的蓝菌群落[J]. 微体古生物学报, 2009, 26(2): 139-147.

[6] 张廷山, 沈昭国, 兰光志, 等. 四川盆地早古生代灰泥丘中的微生物及其造岩和成丘作用[J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 243-247.

[7] 李凌, 谭秀成, 曾伟, 等. 四川盆地震旦系灯影组灰泥丘发育特征及储集意义[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(6): 666-672.

[8] 冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 等.

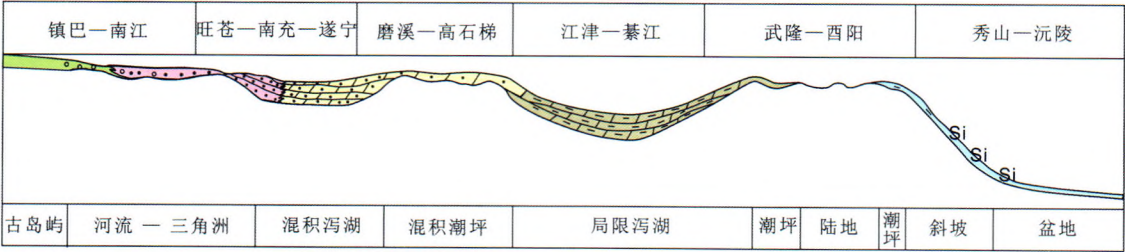


图9 四川盆地震旦系灯一、二及灯四段时期沉积模式图
Fig.9 Sinian Dengying formation sedimentary model diagram, Sichuan basin

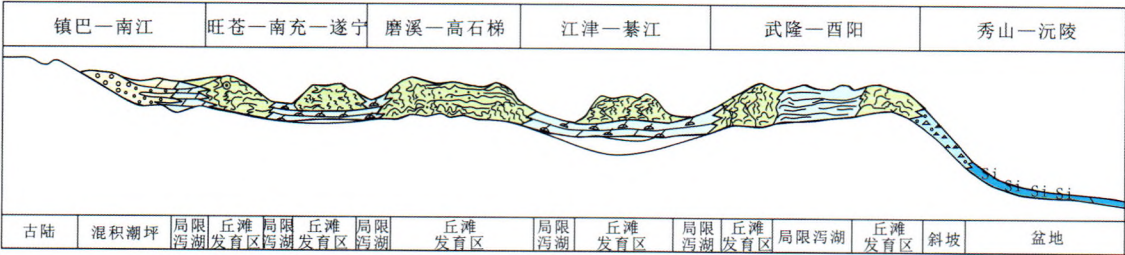


图10 四川盆地震旦系灯三段时期沉积模式图
Fig.10 Sinian Dengying formation sedimentary model diagram, Sichuan basin

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[J].地质调查与研究,2007,30(2):98-109.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

Sedimentary facies and evolution in Dengying formation of Sichuan basin

Zhao Zi-hao^{1,2}, LI Ling^{1,2}, Meng Qing-long³, JIN Min-dong^{1,2}, ZHANG Qian^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation(China University of Southwest Petroleum), Chengdu 610500, China; 2.School of Geosciences and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 3.Exploration&Development Research institute of Dagang oil field, Tianjin, 300280, China)

Abstract: Through a comprehensive analysis and systematically identification of drilling, logging and core, clastic shore, mixed clastic- carbonate platform, carbonate platform and slope- basin are the major types of sedimentary facies in Dengying Formation of Sichuan basin. The carbonate platform is the major type of sedimentary facie in Deng 2 Member and Deng 4 Member. It can be divided into 4 sub-facies: carbonate tidal flat, grain shoal, plaster mound and restricted lagoon. Through the establishment of sedimentary patterns suggested that transgressive-regressive-transgressive sedimentary cycle in Dengying Formation: Deng 1 Member and Deng 2 Member are the transgressive stages, Deng 3 Member are the regressive stage, Deng 4 Member is the regressive stage.

Key words: sedimentary pattern; sedimentary facies; Dengying formation; Sichuan basin