

# 四川盆地北部二叠系—三叠系沉积相与沉积演化

赵永庆<sup>1</sup>,熊治富<sup>1</sup>,刘雁婷<sup>1</sup>,季春辉<sup>1</sup>,邓金花<sup>1</sup>,谭钦银<sup>2</sup>,都占海<sup>3</sup>

1. 中国石化勘探南方分公司,成都 610041
2. 成都地质矿产研究所,成都 610081
3. 中国石油海外勘探开发公司伊拉克公司鲁迈拉项目部,盘锦 124010

**摘要** 通过钻井、露头、地震等资料分析,对四川盆地北部地区二三叠系沉积相进行详细研究,识别出碳酸盐岩台地、碳酸盐岩缓坡两大沉积体系,指出研究区二三叠系沉积具有典型的从碳酸盐岩缓坡演化为碳酸盐岩镶边台地沉积的演化过程,中二叠统栖霞组、茅口组及上二叠统吴家坪组发育碳酸盐岩缓坡沉积,上二叠统长兴组过渡为碳酸盐岩镶边台地,飞仙关组沉积末期全区演化为均一化台地。研究成果对本区油气勘探具有一定的参考价值。

**关键词** 四川盆地北部;沉积相;沉积演化

**中图分类号** TE121.3

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.06.007

## Sedimentary Facies and Evolution of the Permian and Triassic Strata in the North of Sichuan Basin

ZHAO Yongqing<sup>1</sup>, XIONG Zhifu<sup>1</sup>, LIU Yanting<sup>1</sup>, JI Chunhui<sup>1</sup>, DENG Jinhua<sup>1</sup>, TAN Qinyin<sup>2</sup>, DU Zhanhai<sup>3</sup>

1. Exploration Southern Company of Sinopec, Chengdu 610041, China
2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China
3. Rumaila Project Department of Iranian Company, Overseas Exploration and Development Company of PetroChina, Panjin 124010, China

**Abstract** The sedimentary facies of the permian and triassic strata in the north of Sichuan Basin is detailedly studied on the basis of sedimentary facies of single wells, seismic data as well as surface outcrop data. Two depositional systems are recognized, and they are carbonate platform and carbonate ramp. On the basis of depositional facies analysis and comprehensive consideration of paleogeography, sedimentary environment, the sedimentary evolution of permian and triassic strata is cleared. The process is from carbonate ramp to carbonate platform. The sedimentary system of lower Permian Qixia formation, Maokou formation and upper Permian Wujiaping formation are carbonate ramp, and the sedimentary system of changing formation is rimmed carbonate platform. Till the late Early Triassic Epoch, the north of the Sichuan basin evolved to uniform carbonate platform. The result may be a reference to the exploration of Sichuan Basin.

**Keywords** north of Sichuan Basin; sedimentary facies; sedimentary evolution

近年来围绕长兴—飞仙关组台缘礁滩开展的一系列勘探,相继发现了普光、元坝、龙岗等大型气田,揭示了四川盆地北部二叠系—三叠系具有良好的油气勘探前景。四川盆地北部深层海相碳酸盐岩二叠系—三叠系地层天然气勘探的突破,是由勘探观念转变决定的。在勘探观念上改变了以往以寻找构造圈闭为主的思想,提出了“以长兴组—飞仙

关组礁、滩孔隙型白云岩储层为主的构造—岩性复合型圈闭为勘探对象”的勘探新思路。在勘探部署上把台地沉积边部的台缘礁滩和台内滩沉积相带作为主要目标,实践证明这种勘探思路符合地质实际,数千亿立方米的天然气探明储量就是在这些相带内的构造—岩性复合型圈闭中发现的,天然气藏主要受沉积相和岩性的控制<sup>[1-6]</sup>。因此,四川盆地北部开展

收稿日期:2013-06-21;修回日期:2013-12-18

作者简介:赵永庆,高级工程师,研究方向为沉积学,电子信箱:yongqingz@126.com

引用格式:赵永庆,熊治富,刘雁婷,等.四川盆地北部二叠系—三叠系沉积相与沉积演化[J].科技导报,2014,32(6):45-53.

沉积相研究有其必要性,但前人对四川盆地北部二叠系—三叠系沉积相展布、沉积模式的研究,由于受到钻井、露头、地震资料少的限制,沉积相研究还存在许多矛盾。本文重点利用近期新增的钻井资料、露头、三维地震资料开展四川盆地北部二叠系—三叠系的沉积相展布及沉积演化研究,以对二叠系、三叠系沉积相展布取得新认识,有利于指导四川盆地北部天然气勘探。

### 1 沉积相类型及特征

根据 Wilson 和 Tocker 等<sup>[7]</sup>建立的海相碳酸盐岩沉积相模式,通过野外露头观测和测制,钻井资料及地震资料的综合研究,四川盆地北部二叠系—三叠系沉积具有典型的从碳酸盐岩缓坡演化为碳酸盐岩镶边台地沉积的演化过程,中二叠统栖霞组、茅口组及上二叠统吴家坪组发育碳酸盐岩缓坡沉积,到长兴组过渡为碳酸盐岩镶边台地,到飞仙关组沉积末期全区演化为均一化台地。

二三叠系沉积环境复杂,沉积相丰富,主要有缓坡、台地两大沉积体系。沉积相丰富,发育有外缓坡相、中缓坡相、内缓坡相、蒸发台地相、局限台地相、开阔台地相、台地边缘生物礁相、台地边缘浅滩相、台地前缘斜坡相及陆棚相 10 种类型的沉积相,见表 1。

表 1 沉积相划分  
Table 1 Sedimentary facies

体系	相	亚相
缓坡	内缓坡	—
	中缓坡	生屑滩
	外缓坡	—
镶边台地	蒸发台地	蒸发坪、蒸发湖泊、盐湖、浅滩
	局限台地	潮坪、泻湖、浅滩
	开阔台地	浅滩、滩间
	台地边缘浅滩	浅滩
盆地	台地边缘生物礁	—
	斜坡	—
	盆地	—

#### 1.1 碳酸盐岩缓坡沉积体系

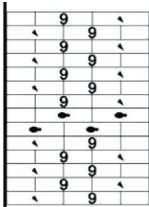
缓坡型碳酸盐台地识别出内缓坡相、中缓坡相及外缓坡相共 3 种沉积相类型。

##### 1.1.1 中缓坡相

中缓坡相带位于正常浪基面以上,平均海平面以下的区域,偶尔出露海面<sup>[8]</sup>,受波浪作用影响大,水体较浅且能量相对较高,主要发育生屑滩沉积。中缓坡向陆一侧过渡为滨岸沼泽,向海一侧渐变为外缓坡。该相带主要分布在研究区的栖霞组二段及茅口组二段及三段地层中(表 2),其沉积物主要为亮晶砂屑灰岩、亮晶生屑灰岩,以及被不同程度白云石化的生屑灰岩。含有大量的窄盐度生物碎屑,如腕

足、苔鲜虫、海百合、海胆、蜓、有孔虫和海绵碎片等,腹足和瓣鳃也很丰富。

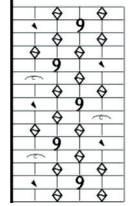
表 2 广元朝天剖面栖霞组生屑滩亚相特征  
Table 2 Sedimentary characteristics of bioclast beach facies of Qixia formation in Guanyuanchaotian

岩性剖面	岩石颜色	岩性描述	古生物	亚相	沉积相
	灰色	中厚—厚层亮晶生屑灰岩,中部含燧石条带	新希瓦格蜓、腕足、海百合、有孔虫、藻类	生屑滩	中缓坡

##### 1.1.2 外缓坡相

相对于中缓坡相而言,外缓坡相沉积水深较大,是位于平均浪基面至最大风暴浪基面之间的海底<sup>[8]</sup>。该环境除间歇性受到风暴的影响外,总体水体较深、能量较低。主要形成了大套深灰、灰黑色中—厚层状的泥晶石灰岩和(含)生屑泥晶灰岩,生物化石及碎屑相对丰富(表 3),其典型标志为砾屑灰岩沉积及滑塌变形构造。

表 3 旺苍王家沟剖面茅口组外缓坡相特征  
Table 3 Sedimentary characteristics of outer ramp facies of Maokou formation in Wangcangwangjiagou

岩性剖面	岩石颜色	岩性描述	古生物	沉积相
	灰色 灰黑色	深灰—黑灰色泥晶石灰岩,(含)生屑泥晶灰岩,灰岩呈瘤状,夹灰褐色薄层泥质条带	腕足、海百合、有孔虫	外缓坡

##### 1.1.3 内缓坡相

在台地内部向陆一侧,主要为内缓坡相区<sup>[8]</sup>,其上除发育大量台内滩沉积外,局部还出现了台盆亚相沉积。其特点是,沉积水深相对大于中缓坡相沉积,水体安静,沉积面积大,为盐度基本正常、水循环良好的浅海沉积环境,适合各类生物生长。其上除发育大量台内滩沉积外,局部还出现了台盆亚相沉积。沉积物主要由泥晶灰岩、生屑灰岩组成。

1) 台内滩亚相。台内滩属于内缓坡(台地)内部发育的水下隆起。其特征是沉积水体相对较浅,水体能量相对较强,多沉积厚层块状堆积的较粗粒沉积物。川东南地区 LS1 井、FS1 井及 DS1 井茅口组均见台内滩沉积,发育中—厚层状的浅灰色亮晶生屑灰岩、砂屑灰岩。川西地区 DS1 井、H1 井、Y1 井,

川中地区 GC2 井、MS1 井及潼 4 井岩心岩性见灰色泥晶生屑砂屑灰岩、泥亮晶生屑砂屑灰岩。

2) 台洼亚相。台洼属于台地内部发育的洼地,本次研究发现的台盆位于内缓坡内部。其沉积水深相对较深,水体安静,主要发育水平层理,常见泥晶灰岩、钙质泥岩沉积。

### 1.2 碳酸盐岩台地沉积体系

碳酸盐台地识别出蒸发台地相、局限台地相、开阔台地相、台地边缘生物礁相、台地边缘浅滩相、台地前缘斜坡相、陆棚相共 7 种沉积相类型。

#### 1.2.1 蒸发台地相

蒸发台地相是指局限台地向陆一侧的沉积区域,主要位于潮上带,由于蒸发作用强,海水盐度高,以沉积石膏及白云岩为主<sup>[9]</sup>。沉积物为泥晶白云岩、藻纹层白云岩、含膏白云岩及硬石膏岩等。发育潮汐层理及藻纹层等沉积构造,藻纹层常向上突起而形成帐篷构造。由于受风暴影响,蒸发坪中还常见风暴沉积,可细分为蒸发坪、蒸发湖泊、盐湖及浅滩等亚相。主要分布于三叠系飞仙关组四段及黑池梁—普光台地飞二段。

#### 1.2.2 局限台地相

局限台地是指障壁岛后向陆一侧十分平缓的海岸地带和浅水盆地,沉积环境闭塞,水动能量极低,海水盐度和氧化条件变化大<sup>[9]</sup>。岩性以灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩及泥质岩为主。各种潮汐层理如透镜状层理、脉状层理及波状层理丰富,可细分为潮坪、泻湖及浅滩等亚相。主要分布于飞一一二段,少数分布于飞仙关组三一四段。

1) 潮坪亚相。位于潮间—潮上地带。沉积物以灰岩及白云质灰岩为主,少量灰质白云岩及泥质岩。发育潮汐层理、藻纹层、鸟眼、窗孔和帐篷等沉积构造。

南江桥亭,飞仙关组二段主要由潮坪相组成,岩性为红棕色钙质页岩夹灰色灰岩薄层或条带,发育水平层理、沙纹层理和透镜状层理,为潮上沉积环境,其中灰岩薄层或条带可能为风暴或大潮沉积,风暴把潮下物质带到潮上而形成。旺苍立溪岩飞仙关组四段为潮上沉积。岩性为红棕色钙质页岩、泥质白云岩夹灰色灰岩薄层或条带。发育水平层理、沙纹层理、透镜状层理及风暴沉积。灰色灰岩与红棕色钙质页岩、泥质白云岩组成多个向上变浅沉积序列。

2) 泻湖亚相。局限台地中的潮下部分。沉积物粒度细,以泥晶灰岩及泥灰岩为主,少量白云质灰岩。受风暴影响,泻湖中常发育风暴沉积,风暴沉积物显示出条带状构造及正粒序层理,正粒序层理一般 4~7 cm 厚,底部具冲刷面。发育水平层理、沙纹层理。与潮坪相沉积最大的区别是,沉积物以灰色为背景。飞仙关组一、三段。岩性为浅灰至深灰色薄—中厚层状泥晶灰岩、含砂屑灰岩、泥灰岩、白云质灰岩夹灰色中厚层状砾屑灰岩。

3) 砂(生)屑滩亚相。局限台地环境中的局部高能带。沉积时能量高,岩性以亮晶砂屑灰岩、亮晶生屑灰岩及亮晶鲕粒灰岩为主。其规模小,多以夹层出现,夹于潮坪与泻湖

沉积物中。

### 1.2.3 开阔台地相

指位于台地边缘礁滩与局限台地之间的广阔海域<sup>[9]</sup>。常高于正常浪基面,水循环良好,水深几米~几十米,该环境能量中等偏高,盐度正常,比较适合于生物生长,以沉积泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩及生屑泥晶灰岩为主,少量亮晶生屑灰岩、亮晶鲕粒灰岩及亮晶砂屑灰岩,一般缺乏白云岩。可划分为浅滩及滩间 2 个亚相。长兴组及飞仙关组均发育, XHC1 井、JZ1 井及 ZY1 井长兴组钻遇开阔台地,在南江—黑池梁地区及镇巴地区飞三段大面积分布开阔台地,多口钻井及露头剖面见飞三段浅滩,主要发育在飞三段中下部。

1) 浅滩。浅滩亚相为开阔台地环境中的浅水高能地带,沉积时能量较高,包括飞三段的鲕粒(砂屑)滩和长兴期的生屑滩,岩性以亮晶砂屑灰岩、亮晶生物碎屑灰岩和亮晶鲕粒灰岩,以及相对应的各类颗粒云灰岩为主。生屑滩以沉积亮晶生屑灰岩为主,少量亮晶砂屑灰岩,粒间颗粒支撑,亮晶胶结。鲕粒滩以沉积亮晶鲕粒灰岩为主,少量亮晶砂屑灰岩,粒间颗粒支撑,亮晶胶结。鲕粒滩电性上自然伽马值为低值,平均约为 15 API,曲线平直,曲线形态呈微齿状,无轴伽马与自然伽马的匹配性较好;地震剖面上,中频、强振幅、中好连续性、亚平行反射结构。

2) 滩间。滩间亚相处于相对较深水的灰泥坪沉积区,沉积环境能量低,沉积物粒度细,岩性以泥—微晶灰岩为主,夹少量砂屑灰岩、藻团粒灰岩,发育少量水平层理及生物钻孔等沉积构造。从钻探情况来看飞一一飞二及长兴组早期发育大量滩间沉积。纵向上,浅滩与滩间沉积物多为韵律互层,构成向上变浅(深)沉积序列。电性上自然伽马值相对较低,在 15~41 API 左右(图 1),平均约为 21 API,曲线变化平缓,局部呈指形及微齿状,无轴伽马与自然伽马的匹配性较好;电阻率中值,在 47~1800 Ω·m 左右,平均约为 132 Ω·m,曲线形态成指形及齿状,地层成层性较好,表现出明显的薄互层特征;地震剖面上,中高频、中弱振幅、中好连续性、平行亚平行反射结构。

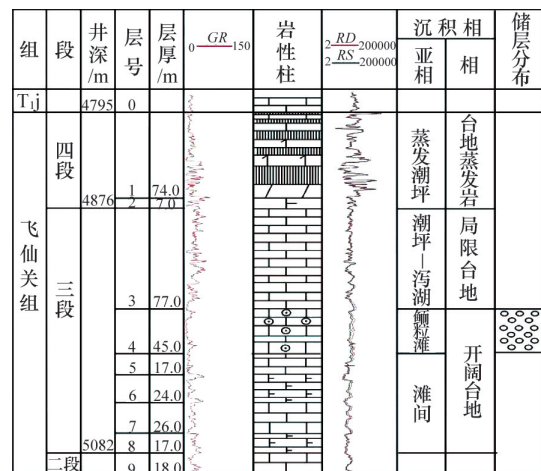


图 1 HB1 井飞三段开阔台地相沉积特征

Fig. 1 Sedimentary characteristics of open platform facies of Feixianguan formation of HB1

### 1.2.4 台地边缘浅滩相

台地边缘生物礁相位于台地与斜坡之间的转换带<sup>[9]</sup>,也是浅水沉积和深水沉积之间的变换带,地势高,海水浅,是水动力能量较高的沉积环境,主要发育于长兴组及飞一一二段。地表飞仙关组浅滩出露分布在南江东坎塘子、泥地坪—椒树塘及镇巴红渔、盘龙洞地区。岩性为浅灰色、灰色厚层状、块状亮晶鲕粒灰岩、亮晶鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩、亮晶砂屑白云岩、溶孔鲕粒灰岩、砂屑白云岩、含灰含鲕粒粉晶白云岩及豆粒白云岩等(图7),通江稿子坪剖面,飞一段发育台地边缘浅滩相沉积,岩性为浅灰、灰白色中厚层—块状溶孔残余鲕粒白云岩,白云岩厚度大于200 m。坎塘子剖面飞一段鲕滩相白云岩发育,下部鲕滩厚47.22 m,上部鲕滩厚39.43 m,溶蚀孔洞较发育,成不规则状,方解石半充填。红渔剖面飞一段下部发育大套厚层18.76 m鲕粒白云岩,7.46 m鲕粒云质灰岩,溶蚀孔洞发育,是良好的储集相带。

### 1.2.5 台地边缘生物礁相

台地边缘生物礁相位于台地与斜坡之间的转换带<sup>[9]</sup>,也是浅水沉积和深水沉积之间的变换带,水动力能量较高的沉积环境,岩性以海绵障积礁灰岩、海绵骨架礁灰岩及骨架海绵礁白云岩、颗粒灰岩、生屑灰岩为主,台地边缘生物礁相发育于长兴组,发育有台地边缘礁基亚相、礁核亚相、礁盖亚相,地震剖面上,具有明显的“底平顶凸”丘状外形、内部空白或杂乱反射结构、两翼同相轴中断、上超。

元坝—通南巴地区,生物礁分布于通江铁厂河林场—椒树塘、坎塘子、元坝井区及龙岗等地;宣汉—达县地区,生物礁分布于毛坝、普光等地。“鄂西陆棚”西部及南部地区,生物礁分布于宣汉盘龙洞、开县红花、利川见天坝、湖南辰溪及湖南慈利等地区。岩性为障积海绵礁灰岩、障积海绵礁白云岩、骨架海绵礁灰岩及骨架海绵礁白云岩等。由海绵障积岩、海绵骨架岩及海绵黏结岩等亚相组成。

生物礁的基底(礁基)岩性为浅灰色中—薄层状含泥灰岩、含生屑灰岩,自然伽马值起伏较大,无轴伽马曲线平直,电阻率表现为相对低值。礁核亚相岩性为灰白、浅灰灰色厚层块状海绵黏结岩和海绵障积岩,造礁生物主要为串管海绵,次要为苔藓虫,附礁生物有腕足、腹足、海百合及蜓,礁体中发育大量藻黏结结构,藻围绕海绵生长,将单个海绵个体连接为整体,岩性相对致密;电性上,礁核亚相自然伽马值为低—极低值,在10~15 API左右,曲线平直且变化平缓,无轴伽马与自然伽马的匹配性较好,电阻率极高值,多已达限幅,在能谱曲线中,铀、钍、钾变化不大数值中低,铀值平均约为 $1.8 \times 10^{-6}$ ,钍值平均约为 $1.2 \times 10^{-6}$ ,钾值平均约为0.3%。地层微电阻率扫描成像(formation microscanner image, FMI)测井静态图像为亮白色到黄褐色,静态和动态图上图像为亮白色,块状特征明显,层理不发育,在局部段发育有薄层溶蚀孔隙发育段。

礁盖亚相位于生物礁上部,岩性为灰至灰白色亮晶生

屑白云岩,为生屑滩沉积,是台地边缘礁滩相储层发育的有利相带。电性上自然伽马值为中—低值,在10~44 API左右,曲线微有起伏变化平缓,曲线形态呈指状及微齿状,无轴伽马与自然伽马的匹配性较好;电阻率相对低值,其值的大小与储层孔隙发育程度及流体性质有关;在能谱曲线中,铀、钍、钾变化不大且数值中低,铀值平均约为 $1.9 \times 10^{-6}$ ,钍值平均约为 $2.1 \times 10^{-6}$ ,钾值平均约为0.4%;FMI成像测井静态图像为亮白色到棕黑色,局部受溶蚀影响为棕黑色;动态图像显示为块状层理,溶蚀孔洞发育,局部有高角度裂缝发育。

### 1.2.6 台地边缘斜坡相

位于碳酸盐岩台地向海倾斜的斜坡上,从正常浪底面延伸到风暴浪底以上<sup>[9]</sup>,斜坡是陆棚相至台地边缘高能带之间的部分,其基底呈一角度向盆地倾斜,斜坡的沉积物来源于浅海和生物,主要有面流和远洋沉积作用、重力流沉积作用,以及各种底流的沉积,沉积黏结岩、塌积岩、礁屑灰岩、生物屑灰岩。地震剖面上,台地前缘斜坡相表现为低频、单轴强振幅、连续性好、向台地上超。主要发育于长兴组及飞一一二段。M1井长兴—飞仙关组钻井上有揭示,陈家滩、星子山露头剖面上飞仙关组发育斜坡相。元坝、毛坝等飞一一二段发育斜坡相,岩性为深灰色瘤状灰岩、薄层条带状灰岩与泥晶灰岩互层。

### 1.2.7 陆棚相

指从台地前缘到盆地之间,具体位于风暴浪底以下,氧化界面以上或附近相带<sup>[9]</sup>,间歇风暴可影响海底,海水深几十到几百米,水动力能量弱,地势较为平坦,发育水平层理及对称—不对称波痕,发育风暴沉积。主要发育在jx1井、HB1井、M1井(图2)及陈家滩、星子山、明通井露头一带。根据沉积物组合及沉积构造特征等又可划分为浅水陆棚和深水陆棚:浅水陆棚是指向陆一侧与滨岸接壤的浅水区域。长兴组、飞仙关组浅水陆棚沉积物岩性以深灰色含泥灰岩、深灰色灰岩为

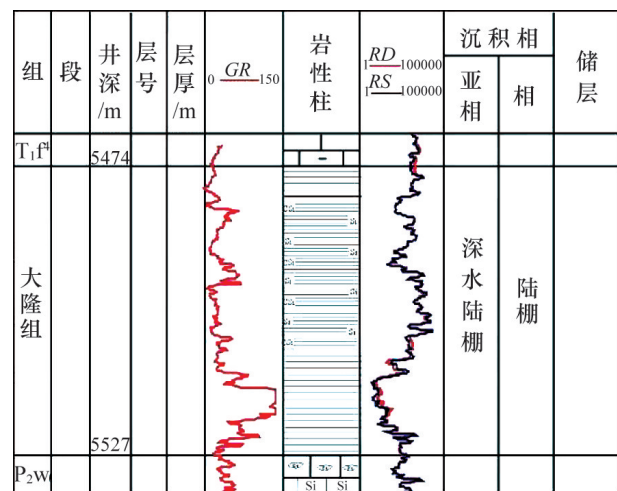


图2 M1井大隆组陆棚相沉积特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of continental shelf facies of Dalong formation of M1

主。发育水平层理及对称—不对称波痕,以发育风暴沉积为特征。深水陆棚位于浅水陆棚外侧的深水域。长兴组(大隆组)发育深水陆棚沉积,岩性为深灰—灰色中薄层状微晶灰岩、页岩、碳质页岩、硅质泥岩及硅质灰岩。发育水平层理及沙纹层理。陆棚沉积物总体构成向上变浅沉积序列,自下而上由深水陆棚向浅水陆棚演化。

通过以上对各种相带沉积特征分析认为,台地边缘生物礁、台地边缘暴露浅滩及台地边缘浅滩等3类环境为高能带,沉积时水体浅,能量高,以沉积亮晶胶结的颗粒岩及生物礁骨架岩为主,容易形成优质储层。

### 2 沉积平面分布特征

在大量的野外地质调查,岩心观察,地震资料分析的基础上,编制了四川盆地北部沉积相平面分布图,在成图过程中采用了以下的方法和步骤:1)以钻井取心井段观察描述为基础,结合测井曲线进行单井沉积相分析,并根据沉积相横向变化选择连井沉积相对比剖面;2)通过对二三维地震资料解释和分析,划分二叠系地震相类型,明确不同沉积相对应的地震相特征,对不同的地震相进行平面追踪,绘制不同地震相(沉积相)平面分布图,同时考虑四川盆地的古地理及古构造格局,构造对沉积的控制作用,由点到线,由线到面绘制二叠系沉积相平面分布图。

#### 2.1 早二叠世栖霞组沉积相平面分布

二叠系沉积前,四川盆地具有中西部高,东西两侧低,西陡、东缓地貌特征;二叠系沉积时期高部位演化水下隆起,控制二叠纪碳酸盐岩沉积<sup>[10]</sup>。

栖霞沉积期,四川盆地二叠系栖霞组—茅口组地层的沉积模式为两种,镶边台地模式及缓坡型碳酸盐台地。四川盆地西部—西北部受龙门山大断裂控制<sup>[11]</sup>,发育镶边台地,进一步可以划分出台地(内缓坡)、台缘、斜坡及盆地。四川盆地川东北地区主要发育缓坡型碳酸盐台地,进一步可以划分出中缓坡相、外缓坡相、台地(内缓坡)相(图3)。

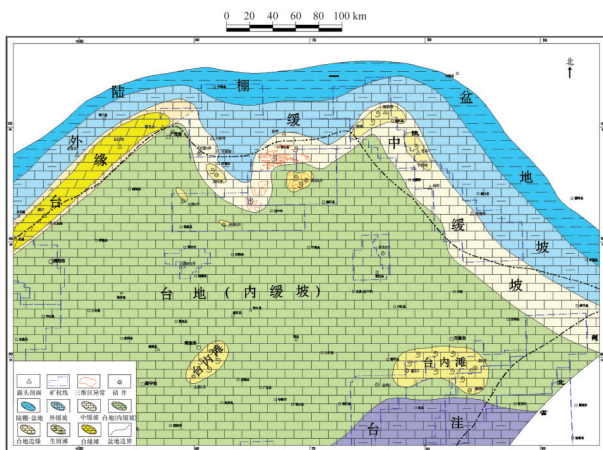


图3 栖霞组沉积相平面展布

Fig. 3 Sedimentary facies map of Qixia formation

#### 2.2 早二叠世茅口组沉积相平面分布

与栖霞组沉积期相比,茅口组沉积环境整体变化不大,在栖霞组沉积的基础上继承性地发育镶边台地及缓坡型碳酸盐岩台地。

#### 2.3 晚二叠世吴家坪组沉积相平面展布

四川盆地上二叠统吴家坪岩石类型多样,本区有两种不同的类型,即龙潭组海陆过渡相碎屑岩以及吴家坪组海相灰岩。

早二叠世末—晚二叠世初,受东吴运动影响,四川盆地出露水面之上,遭受剥蚀<sup>[12]</sup>;造成二叠系上下统之间呈现不整合接触,吴家坪组和下伏的茅口组呈现平行不整合接触;与上覆的长兴组呈现整合接触。伴随着强烈的拉张作用,导致了盆地西南部玄武岩喷发,成为四川盆地主要陆源区。伴随着海水不断沿北东向南西方向入侵,盆地东北部地区海水变得开阔,沉积环境向清水环境转变,形成了海相、陆相并存的格局(图4)。

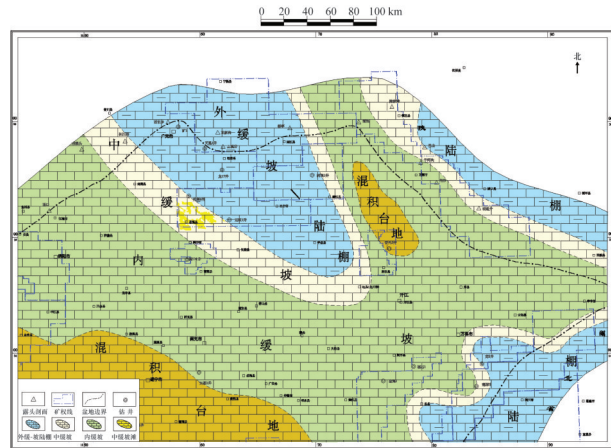


图4 吴家坪组沉积相平面展布

Fig. 4 Sedimentary facies map of Wujiaping formation

#### 2.4 晚二叠世长兴组沉积相平面分布

长兴期,四川盆地北部古地理格局西高东低,从西向东依次发育开阔台地、台洼、台洼边缘、台地边缘礁滩、台地边缘斜坡及陆棚等沉积相单元(图5)。

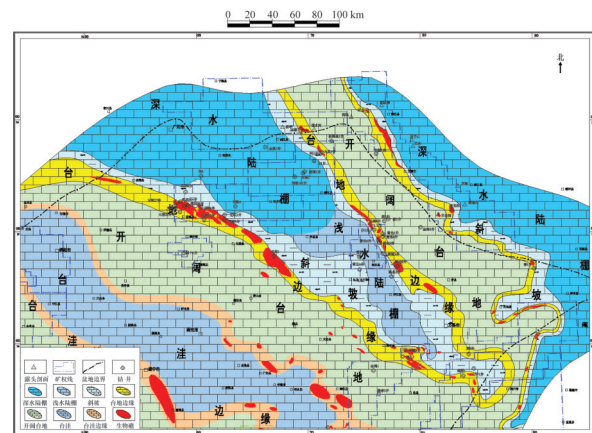


图5 长兴组沉积相平面展布

Fig.5 Sedimentary facies map of Changxing formation

台地边缘礁滩相沿“广旺—梁平开江陆棚”、“鄂西陆棚”、“湘桂陆棚”及中部台盆周边,蜿蜒分布于苍溪元坝、梁平门井,兴隆场、万县安云14井、宣汉普光6井、椒树塘、镇巴红渔、盘龙洞、利川见天坝、咸丰、湖南慈利及辰溪等地,由断续分布的生物礁及生物碎屑滩构成。相带宽通常为几千米,宽处十几千米,长数百千米。生物礁厚度变化较大,几十米居多,厚者可达一百多米。生物礁岩性主要为海绵礁灰岩及海绵礁白云岩,浅滩岩性为浅灰、灰白色厚块状生屑灰岩及残余生屑白云岩。礁白云岩及礁顶残余生屑白云岩储层物性很好,因此,台地边缘礁滩是形成优质储层最重要的相带<sup>[13]</sup>。

### 2.5 早三叠世飞仙关组沉积相展布

印度早期飞一一二段沉积时,中上扬子区古地理面貌基本继承了长期格局,地势西高东低。区内发育局限台地、开阔台地、台地边缘浅滩、台地边缘斜坡及陆棚等沉积相单元(图6)。

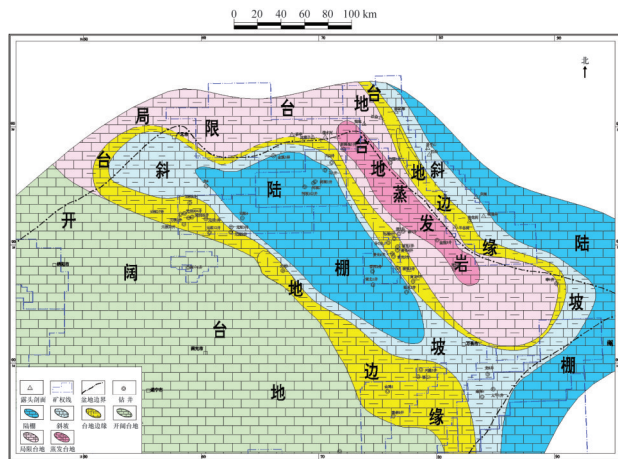


图6 飞二段沉积相平面展布  
Fig.6 Sedimentary facies map of lower Feixianguan formation

区内发育两个台地边缘,一个分布于“广旺—开江梁平陆棚”以西一带,元坝2井、龙岗1井井区,呈北西—南东向带状展布,相带宽10 km左右。由于水体较深,蒸发作用一般,海水盐度正常,岩性为浅灰色鲕粒灰岩。鲕粒灰岩储层物性一般至较好,元坝及河坝地区已经取得一定的油气突破,局部如石柱横梁煤矿等地,鲕粒灰岩溶孔丰富,储积条件较好,因此,该相带也是形成储层的重要地区。一个分布于“广旺—开江梁平陆棚”东部及“鄂西陆棚”西部,范围比较局限,过椒树塘—泥地坪地表剖面、PG5井及盘龙洞、红渔,呈狭长带状蜿蜒于台地边缘,呈“V”字型展布,北边开口,相带宽一般小于10 km。由于水体浅,蒸发作用强烈,海水盐度高,沉积物岩性以浅灰、灰白色鲕粒白云岩为主,有少量砂屑白云岩。鲕粒白云岩储层物性很好,该相带是形成优质储层的重要区域,在宣汉普光地区已经取得重大油气突破<sup>[14]</sup>。

通过印度期早期填平补齐作用<sup>[15]</sup>,沉积盆地整体变浅,

四川盆地北部演变为以碳酸盐岩台地为主的沉积格局,但西高东低地势仍然维持,自西向东依次发育混积台地、开阔台地等沉积相。

通过印度早中期沉积的填平补齐作用,沉积盆地整体水体已经很浅,但仍保持西高东低古地理格局。在川东北地区主要为局限台地沉积。

### 3 沉积相演化

四川盆地北部经过加里东运动的挤压、隆升并遭受了泥盆纪、石炭纪漫长的剥蚀之后,于栖霞期之初,四川盆地北部出现强烈的拉张,在其拉张的作用下,海水首度侵入四川盆地北部,形成了二叠纪早期大规模的海侵<sup>[16]</sup>。受前期古隆起的影响,四川盆地北部逐渐向北倾伏,依次发育有内缓坡(台地)、中缓坡、外缓坡和盆地相。其中,中缓坡为高能带,是储层主要的发育相带。茅口组与吴家坪组基本继承了栖霞组的古地理面貌特点发展与演化,但水体在逐渐加深,相界线大幅南移,反应了下二叠统至吴家坪组是一个逐渐海侵沉积演化的过程,说明该区处于一个持续拉张、以稳定持续沉降为主的演化阶段。

晚二叠世四川盆地北部由于受峨眉地裂运动的影响<sup>[17]</sup>,台内演化为梁平—开江陆棚,为礁滩相储集层的发育提供了条件,开江—梁平陆棚和鄂西陆棚是台地边缘礁滩相带发育的主要场所,是四川盆地大型天然气田的主要聚集带。

四川盆地北部川东北地区长兴期—印度期发育两个陆棚,西部为开江—梁平陆棚,东部为鄂西陆棚,两陆棚在很多方面都很相似,以沉积大隆组硅质岩为主,陆棚周边台地边缘都发育生物礁。然而,两陆棚在形成时间、形成方式及生物礁特征等方面存在较大差别。西部开江—梁平陆棚形成于吴家坪期,长兴期—印度期陆棚格局达到高峰,印度末期陆棚消失。东部鄂西陆棚形成于长兴期,印度期得到进一步发展,印度末期消失(图7)。

吴家坪期川东北地区又展现出中部低、两边高的沉积格局。中部广元、旺苍及元坝东部地区吴家坪组为浅水陆棚沉积,厚30~50 m左右,岩性为灰色薄中层泥晶灰岩。西部元坝以西及江油一带为缓坡沉积,沉积物岩性为灰色中厚层状泥晶生屑灰岩夹浅灰色亮晶生屑灰岩。东部的大巴山前缘地区,如凉桥、清水、陈家滩、观音镇、鱼渡、官渡梨树沟、巴山等地,吴家坪组为缓坡沉积,岩性为浅灰色生屑泥晶灰岩、灰白色亮晶生屑灰岩,局部如鱼渡、巴山等地吴家坪组顶部发育珊瑚礁灰岩。

长兴期开江—梁平陆棚在吴家坪期浅水陆棚基础上进一步下沉,成为深水陆棚,陆棚格局达到顶峰,大隆组岩性为黑色薄层硅质岩夹页岩。陆棚两侧发育台地边缘礁滩,陆棚西侧元坝地区台地边缘斜坡范围较宽,坡度缓;陆棚东侧普光地区印度台地边缘斜坡范围狭窄,坡度陡。随着沉积物快速充填,于印度末期全部填平补齐,陆棚全部消失。

长兴期西部开江—梁平陆棚形成同时,东部鄂西地区基

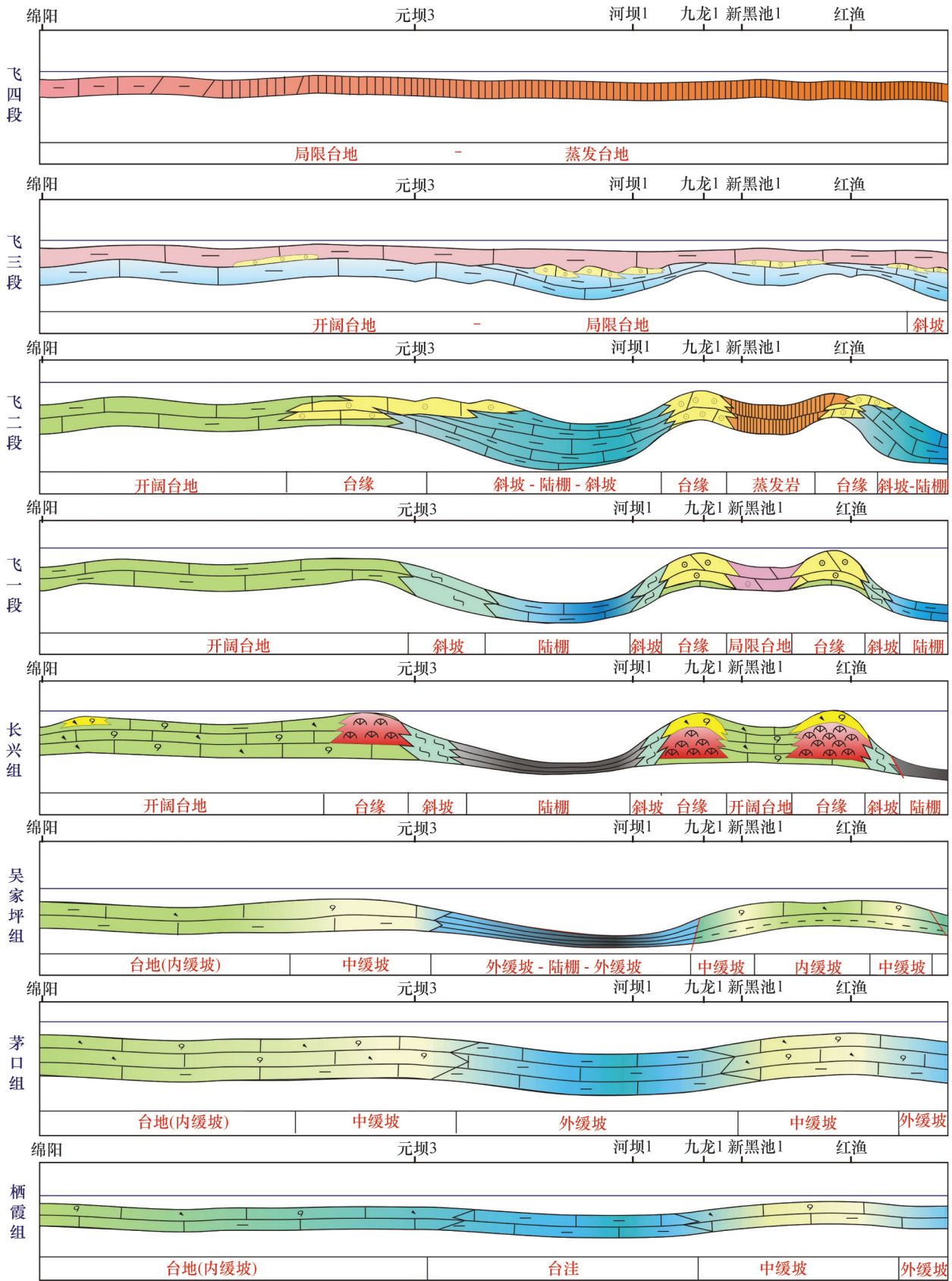


图7 川东北地区栖霞组—飞四段沉积演化

Fig. 7 Sedimentary evolution of Permian-triassic in north of Sichuan Basin

底整体快速下沉成为陆棚,沉积大隆组黑色泥岩、硅质岩。台地边缘斜坡范围狭窄,坡度陡,岩性为砾屑灰岩,台缘生物礁规模大,表现为镶边碳酸盐台地模式。

由于陆棚形成方式不同,两陆棚台地边缘生物礁特征具有较大差别。因开江—梁平陆棚是基底挠曲形成的,陆棚形成时必然导致台地边缘小幅下沉,只有当台地边缘达到浪基面附近后才开始形成生物礁,因此,陆棚西侧元坝地区生物礁形成时间较晚,多数形成于长兴中晚期;普光地区生物礁形成时间较早一点,多数形成于长兴组早中期。露头剖面或钻井皆有显示。而鄂西陆棚是基底沿同生断裂断陷形成,陆棚形成时没有对台地边缘造成多大影响,因此,生物礁自长兴早期就开始发育。露头剖面显示,无论利川见天坝、开县红花、宣汉盘龙洞,还是红渔,生物礁自长兴组下部开始发育<sup>[18]</sup>。

#### 4 结论

1) 根据 Wilson 和 Tocker 等建立的海相碳酸盐岩沉积相模式,通过野外露头观测和测制,钻井资料及地震资料的综合研究,四川盆地北部二三叠系沉积具有典型的从碳酸盐岩缓坡演化为碳酸盐岩镶边台地沉积的演化过程,二三叠系沉积环境复杂,沉积相丰富,主要有缓坡、台地两大沉积体系。沉积相丰富,发育有外缓坡相、中缓坡相、内缓坡相、蒸发台地相、局限台地相、开阔台地相、台地边缘生物礁相、台地边缘浅滩相、台地前缘斜坡相、陆棚相 10 种类型沉积相。

2) 在大量野外地质调查,岩心观察,地震资料分析的基础上,开展了单井沉积相,连井剖面沉积相图编制,同时考虑四川盆地的古地理及古构造格局,构造对沉积的控制作用,由点到线,由线到面绘制了二三叠系沉积相平面图。

3) 四川盆地北部川东北地区长兴期—印度期发育两个陆棚,西部为开江—梁平陆棚,东部为鄂西陆棚,两陆棚在很多方面都很相似,以沉积大隆组硅质岩为主,陆棚周边台地边缘都发育生物礁。然而,两陆棚在形成时间、形成方式及生物礁特征等方面存在较大差别。西部开江—梁平陆棚形成于吴家坪期,长兴期—印度期陆棚格局达到高峰,印度末期陆棚消失。东部鄂西陆棚形成于长兴期,印度期得到进一步发展,印度末期消失。

#### 参考文献(References)

[1] 陈洪德, 郭彤楼, 侯明才, 等. 中上扬子叠合盆地沉积充填过程与物质分布规律[M]. 北京: 科学出版社, 2012.  
Chen Hongde, Guo Tonglou, Hou Mingcai, et al. The process of deposition and filling and the distribution law of the superimposed basin in upper and middle Yangze platform[M]. Beijing: Science Press, 2012.

[2] 马永生, 傅强, 郭彤楼. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 455-460.  
Ma Yongsheng, Fu Qiang, Guo Tonglou. Pool forming pattern and

process of the upper permian-lower Triassic, the Puguang gas field northeast Sichuan Basin, China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5): 455-460.

[3] 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 达县—宣汉地区长兴组—飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 182-192.  
Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, et al. Reef-bank features of Permian Changxing formation and triassic Feixiangguan formation in the Daxian Xuanhan Area, Sichuan Province, South China and constraint for the reservoir of the natural gas[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(1): 182-192.

[4] 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 Tonglou, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of Feixiangguan formation in northeastern Sichuan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2005, 25(4): 73-79.

[5] 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.  
Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. China southern sequence stratigraphy and paleogeography[M]. Beijing: Science Press, 2009.

[6] 王一刚, 张静, 杨雨, 等. 四川盆地东部上二叠统长兴组生物礁气藏形成机理[J]. 海相油气地质, 2000, 5(1/2): 145-152.  
Wang Yigang, Zhang Jing, Yang Yu, et al. Eastern Sichuan Basin upper Permian Changxing Formation reef gas reservoir formation mechanism[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(1/2): 145-152.

[7] 王一刚, 文应初, 洪海涛, 等. 川东北三叠系飞仙关组深层鲕滩气藏勘探目标[J]. 天然气工业, 2004(12): 5-9.  
Wang Yigang, Wen Yingchu, Hong Haitao, et al. Exploration target of the deepoolitic beach gas reservoir of the Triassic system Feixiangguan formation in northeast part of Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2004(12): 5-9.

[8] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985.  
Liu Baojun, Zeng Yunfu, Lithofacies paleogeography basis and methods [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.

[9] 张运波. 四川盆地中二叠统层序地层及沉积模式[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.  
Zhang Yunbo. Sequence stratigraphy and depositional models of the middle Permian in Sichuan Basin[M]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.

[10] 曾允孚, 夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1986.  
Zeng Yunfu, Xia Wenjie. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986.

[11] 宋章强, 王兴志, 曾德铭. 川西北二叠纪栖霞期沉积相及其与油气的关系[J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(6): 20-24.  
Song Zhangqiang, Wang Xingzhi, Zeng Deming. Sedimentary facis and its relativly with petrol elm-gas at Chihisia age of permian in the northwest of Sichuan[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(6) :20-24.

[12] 吴联钱, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 四川盆地中二叠统层序地层学研究[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(6): 10-13.  
Wu Lianqian, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, et al. Study on the middle Permian sequence stratigraphy of Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology



- and Engineering, 2010, 24(6): 10-13.
- [13] 陈洪德, 田景春, 刘文均, 等. 中国南方海相震旦系-中三叠统层序划分与对比[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(4): 355-379.  
Chen Hongde, Tian Jingchun, Liu Wenjun, et al. Division and correlation of the sequences of marine sinian system to middle Triassic series in the south of china[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(4): 355-379.
- [14] 郭彤楼. 川东北地区台地边缘礁、滩气藏沉积与储层特征[J]. 地学前缘, 2011, 18(4): 202-211.  
Guo Tonglou. The characteristics of sediments and reservoir of reef-beach gas fields in carbonate platform margin, northeast Sichuan Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(4): 202-211.
- [15] 郭彤楼. 川东北元坝地区长兴组-飞仙关组台地边缘层序地层及其对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 387-394.  
Guo Tonglou. Sequence strata of the platform edge in the Changxing and Feixianguan formations in the Yuanba Area, northeastern Sichuan Basin and their control on reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 387-394.
- [16] 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 关于开江-梁平海槽的认识[J]. 石油与天然气地质 2006, 27(3): 326-330.  
Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, et al. A discussion on Kaijiang-Liangping ocean trough[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 326-330.
- [17] 李霞, 胡明毅, 李士祥. 龙门山-米苍山前缘二叠系碳酸盐缓坡沉积[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(1): 36-37.  
Li Xia, Hu Mingyi, Li Shixiang. Carbonate ramp deposition in front of Longmen-Micang mountain in Permian[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(1): 36-37.
- [18] 罗志立, 金以钟, 宋夔玉, 等. 试论上扬子地台的峨眉地裂运动[J]. 地质评论, 1988, 34(1): 11-23.  
Luo Zhili, Jin Yizhong, Song Kuiyu, et al. On Emei taphrogenesis of the upper Yangtze platform[J]. Geological Review, 1988, 34(1): 11-23.
- [19] 黄福喜. 中上扬子克拉通盆地沉积层序充填过程与演化模式[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.  
Huang Fuxi. Filling process and evolutionary model of sedimentary sequence in middle-upper Yangtze Cratonic Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.

(责任编辑 吴晓丽)

## ·学术动态·



中国科学技术协会

## 《科技导报》参与评选的 2013年度“中国科学十大进展”揭晓

2014年2月19日,科学技术部基础研究管理中心揭晓2013年度“中国科学十大进展”:①中国科学家积极应对新发H7N9禽流感病毒取得重要进展;②在磁性拓扑绝缘体中观测到量子反常霍尔效应;③利用原子力显微镜直接观测到分子间氢键;④北京谱仪Ⅲ观测到一种包含至少4个夸克的带电粒子;⑤小麦A基因组和D基因组草图绘制完成;⑥利用小分子化合物将小鼠体细胞诱导转化为多能干细胞;⑦合成出超硬纳米双晶立方氮化硼;⑧研发出一种兼具大弹性应变、低模量和高强度的相变金属纳米复合材料;⑨基于等离激元增强拉曼散射实现单分子化学成像;⑩发现星形胶质细胞多巴胺D2受体通过 $\alpha$ B晶状体球蛋白抑制神经炎症。

年度“中国科学十大进展”评选活动始创于2005年,最初由科技部基础研究管理中心和科技导报社共同举办,曾命名为“中国基础研究十大新闻”,评选程序分为推荐、初评、函评、发布4个环节。《科技导报》已连续9年参与评选“中国科学十大进展”活动。

2013年度“中国科学十大进展”评选活动由科技部基础研究管理中心会同《科技导报》编辑部、《中国科学院院刊》编辑部、《中国科学基金》编辑部、《科学通报》编辑部、《中国基础科学》编辑部共同举办。《科技导报》等5家学术期刊共推荐224项进展,评审专家委员会据此评选出30项候选进展,然后请中国科学院院士、中国工程院院士、“973计划”顾问组和咨询组专家、“973计划”项目首席科学家、国家重点实验室主任等专家函评投票选出最终的“中国科学十大进展”。