

文章编号: 0253-2697(2014)02-219-14 DOI:10.7623/syxb201402002

四川盆地及邻区早侏罗世构造-沉积环境与原型盆地演化

李英强 何登发

(中国地质大学海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室 北京 100083)

摘要:下侏罗统是四川盆地原油勘探的主力层系,研究其构造-沉积环境与原型盆地演化可为油气勘探奠定重要基础。从周缘构造环境、盆地构造沉降、盆-山耦合作用等出发,结合沉积相研究,将盆地沉积充填演化与周缘造山带演化有机结合,重建了四川盆地及邻区早侏罗世各沉积期构造-沉积环境,并探讨了盆地性质及演化规律。早侏罗世四川盆地构造动力学环境经历了强、弱伸展的交替变化,构造沉降经历了快速→缓慢→稳定的变化特征。自流井组珍珠冲段沉积期为强伸展期,于晚三叠世的断陷—拗陷盆地之上开始稳定的拗陷盆地沉积;自流井组东岳庙段沉积期为弱伸展期,盆缘隆升和基底沉降减慢,促进了岩相和岩性都比较稳定的大规模湖相沉积;自流井组马鞍山段沉积期为强伸展期,盆-岭、盆-山构造耦合作用加强,促进了盆地西缘、北缘以粗碎屑为主的辫状河和大型扇体的发育;自流井组大安寨段沉积期为伸展作用最弱、造山带活动最稳定的时期,盆地整体的拗陷速率远大于陆源碎屑的堆积速率,导致了四川盆地早侏罗世最大湖盆的形成。早侏罗世四川盆地及邻区主体为陆内弱拉张环境下的大型克拉通内拗陷盆地,周缘造山、造陆的间歇性活动,湖盆或快或慢的沉降以及局部的古隆起、古拗陷控制着沉积中心整体向盆地北部及 NE 方向迁移,其演化过程对油气聚集产生了深远的影响。

关键词:构造-沉积环境;原型盆地;盆-山耦合;早侏罗世;自流井组;四川盆地

中图分类号:TE111.2

文献标识码:A

Evolution of tectonic-depositional environment and prototype basins of the Early Jurassic in Sichuan Basin and adjacent areas

Li Yingqiang He Dengfa

(Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Lower Jurassic is the main stratum for oil exploration in Sichuan Basin. Research on its tectonic-depositional environment and evolution of prototype basins lays an important foundation for oil and gas exploration. Based on the analysis of peripheral tectonic environment, tectonic subsidence and basin-mountain coupling process, and research of sedimentary facies, the tectonic-depositional environment of Early Jurassic in Sichuan Basin and adjacent areas is dynamically reconstructed by integrating the evolution of peripheral orogenic belts with sedimentary filling evolution, and then basin properties and evolution law are also explored. Tectonic dynamic conditions have experienced intense and weak extensional activities alternately in the Early Jurassic Sichuan Basin. The tectonic subsidence has undergone fast, slow and stable development period. The deposition stage of Zhenzhuchong Member, Ziliujing Formation is an intense extension period, during which a stable down-warped deposition began in the Late Triassic fault-depression basin. During the weak extension period of Dongyuemiao Member, Ziliujing Formation the uplift of basin edge and basement subsidence slowed down, thus promoting the large-scale deposition of lacustrine facies with relatively stable lithofacies and lithological characteristics. The deposition stage of Ma'anshan Member, Ziliujing Formation is another intense extension period. The enhanced basin-ridge and basin-mountain coupling accelerated the development of braided river and large fan body with coarse clastics in western and northern edges of Sichuan Basin. Moreover, the deposition stage of Da'anzhai Member, Ziliujing Formation is the weakest extension period, in which orogenic belts were not active; as a whole, basin depression rate was far greater than the accumulation rate of terrigenous clastics, and thus led to formation of the largest lake basin in the Early Jurassic Sichuan basin. It is considered that the Early Jurassic Sichuan Basin and adjacent areas is a large intracratonic depression basin under weak intracontinental extension. The depocenter moves northward and northeastward during the four deposition stages, which is controlled by the intermittent activities of peripheral orogenic and epeirogenic belts, slow and fast depression of lake basin, and local paleo-highs and paleo-depressions. This evolution process has a significant influence on oil and gas accumulation in Sichuan Basin.

Key words: tectonic-depositional environment; prototype basin; basin-mountain coupling; Early Jurassic; Ziliujing Formation; Sichuan Basin

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No. 40739906)和国家重大科技专项(2011ZX05008-001)资助。

第一作者:李英强,男,1987年2月生,2012年毕业于中国地质大学资源勘查工程专业,现为中国地质大学(北京)硕士研究生,主要从事沉积盆地构造特征研究。Email:yingqiangcugb@126.com

通信作者:何登发,男,1967年12月生,1989年毕业于西北大学地质学系,1995年获中国石油勘探开发研究院博士学位,现为中国地质大学(北京)教授、博士生导师,主要从事含油气盆地构造研究。Email:hedengfa282@263.net

中国南方上扬子地区经历了由三叠纪的汇聚挤压环境向早侏罗世—中侏罗世早期的弱拉张环境转变的特殊阶段,表现为四川盆地早侏罗世陆内的弱伸展拗陷,周缘强弱交替的挤压隆升。特殊的构造变革决定了早侏罗世特殊的盆地原型特征,同时也加深了四川盆地侏罗系致密油气勘探的复杂性。然而不容忽视的是对四川盆地侏罗系的油气勘探同样也存在着前所未有的机遇。一方面,侏罗系大面积、非常规致密油的聚集不受局部构造控制而受储层发育控制,含油范围大大超出构造圈闭范围^[1];另一方面,近年来国内对页岩气研究的大力投入,使下侏罗统湖相泥页岩逐渐成为陆相页岩气突破和建产的有利目标^[2];更重要的是,现今四川盆地的边界是以地貌特征划分的,由于当前对侏罗系的勘探范围基本集中在大川中、川西北和川东北地区,面积约 $6.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,而四川早侏罗世原型盆地的展布范围比现今范围大得多^[3],虽然经过后期改造调整,但理论上潜在的油气资源有利区域也应超出现今盆地范围。

Weeks 早在 20 世纪 50 年代就曾呼吁“要了解石油的产出,必须回到原始沉积盆地中去”^[4]。因此,弄清早侏罗世四川盆地各阶段主控应力方向、主物源方向、沉降中心与沉积中心的位置、古地理与构造-沉积环境等情况,并结合盆地内部的地层标识及边缘造山带的活动性,揭示该阶段原型盆地形成演化过程,对预测下侏罗统有利勘探区带具有重要的理论意义和勘探价值。

目前对四川早侏罗世原型盆地性质及演化阶段的

研究工作尚不成熟,不同学者的认识也不尽一致,如认为其属于陆内拗陷盆地^[5-8]、造山前陆盆地^[9-14]等。然而前人的研究很少将构造演化与沉积充填演化有机结合起来,或仅限于盆地内部局部小区块的研究,亦不够系统化和动态化。这必然会对早侏罗世构造-沉积环境与原型盆地演化的研究,以及对指导油气勘探造成极大的不便。以 100 余口钻测井及多个露头点资料为依据,从盆地与造山带相互作用出发,应用原型盆地分析方法^[7,15-17],结合沉积相研究,力图恢复四川盆地及邻区早侏罗世各沉积期构造-沉积环境,并探讨盆地性质及演化规律。

1 地质背景

研究区位于中国南方扬子地块西北部,包括以现今残存陆相地层边界为界的四川盆地及西缘的松潘—甘孜褶皱带、北缘的南秦岭造山带和东南缘的雪峰山褶皱带,总面积约 $35 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。侏罗系十分发育,除盆地北部下侏罗统为含煤地层外,其余各统均以红色地层为主,是东亚著名的红色盆地,分布面积 $8.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。下侏罗统岩相主要为浅湖—半深湖相紫红色及黄绿色泥(页)岩夹薄层石英细砂岩、粉砂岩、生物介壳灰岩或泥灰岩^[18],自下而上可划分为珍珠冲段、东岳庙段、马鞍山段及大安寨段(表 1);总厚度 300~400 m,总体分布特征具有西薄东厚、南薄北厚的特点。

四川陆相盆地演化始于晚三叠世晚期,其构造沉降与沉积物充填是扬子地块与松潘—甘孜褶皱带和秦岭造山带发生陆内汇聚作用的综合表现形式。中上扬

表 1 四川盆地及邻区下侏罗统分区对比

Table 1 Stratigraphic division and correlation of the Lower Jurassic in Sichuan Basin and adjacent areas

地层分区		龙门山分区				米仓山—大巴山分区		川西分区		川中分区		川东—黔中分区			川东南—黔北分区		黄陵分区				
系	统	龙门山后山带		龙门山前山带		米仓山—大巴山南缘		米仓山—大巴山北缘		川西拗陷(北)	川西南拗陷(成雅)	北段	南段	重庆	万县	叙水	酉阳	遵义	秭归	当阳	
		中北段	南段	中北段	南段																
侏罗系	中统																				
	巴柔阶																				
	阿伦阶																				
	175.6 Ma																				
	图阿尔阶																				
下统																					
普林斯巴赫阶																					
西涅缪尔阶																					
赫塘阶																					
199.6 Ma																					
三叠系	上统																				
	瑞替阶																				

子区于侏罗纪开始进入与新特提斯洋演化密切相关的时期,早侏罗世—中侏罗世早期(199.6~167.7Ma)为中上扬子地区的短暂陆内伸展阶段,从中侏罗世中晚期开始,上扬子地区由碰撞后伸展的陆内拗陷盆地转化为挤压构造背景下的山前前陆盆地,沉积古地理格局发生了翻天覆地的变化。

2 构造-沉积环境与原型盆地演化

2.1 周缘构造环境

造山带与沉积盆地是形成于统一的地球动力学系统之中的孪生体,它们在空间上相互依存、物质上相互补偿、演化上相互转化、动力上相互转换^[19]。影响早侏罗世四川盆地形成与演化的主要构造带为西部的松潘—甘孜褶皱带与龙门山冲断带、北部的秦岭造山带与米仓山—大巴山冲断带以及东南缘的雪峰山褶皱带。

松潘—甘孜褶皱带(与龙门山冲断带)位于青藏高原东部,向东经龙门山冲断带过渡至四川盆地。晚三叠世,扬子西缘发生陆内汇聚作用,松潘—甘孜地区褶皱隆升,表现出与扬子地块的挤压耦合,而在整个早侏罗世,相对扬子地块的顺时针旋转,松潘—甘孜褶皱带以大规模 NE—SW 向挤压收缩为特征,这可能与华南、华北板块发生 SN 向碰撞导致秦岭造山带发生大

规模的 SN 向缩短和 EW 向伸展有关^[3,20]。

南秦岭造山带(与米仓山—大巴山冲断带)与扬子地块碰撞闭合的时间为晚三叠世的观点为大多数学者所认可^[21-23],早侏罗世为米仓山—大巴山冲断带低幅度活动期,挤压过程中应力的突然松弛可能是导致秦岭板块局部伸展垮塌的主要原因。

伴随着晚三叠世晚期古特提斯洋的关闭,早期处于水下的雪峰古隆起局部出露水面,并在早侏罗世演化成为剥蚀性隆起^[7]。

2.2 构造沉降与盆地演化阶段

盆地的沉降曲线是盆地的形成机制和类型演化研究的重要线索^[24]。北海盆地是典型的裂谷型盆地^[25-26],渤海湾盆地是典型的断陷型盆地^[27-29],它们的构造沉降曲线均表现为拉张断陷盆地,具有凹面向上的典型特点[图 1(a)和图 1(b)]。四川早侏罗世盆地沉降曲线表现出与前两者极强的相似性[图 1(c)],也验证了盆地所处的构造环境为伸展断陷环境。从沉降曲线可以看出,四川盆地大致经历了自流井组珍珠冲段(J_{1z})沉积期的快速沉降阶段、东岳庙段(J_{1d})沉积期的缓慢沉降阶段以及马鞍山段(J_{1m})—大安寨段(J_{1dn})沉积期的稳定沉降阶段。不同阶段的沉降过程反映了盆地构造运动学特征,同时也形成了不同的沉积学响应。

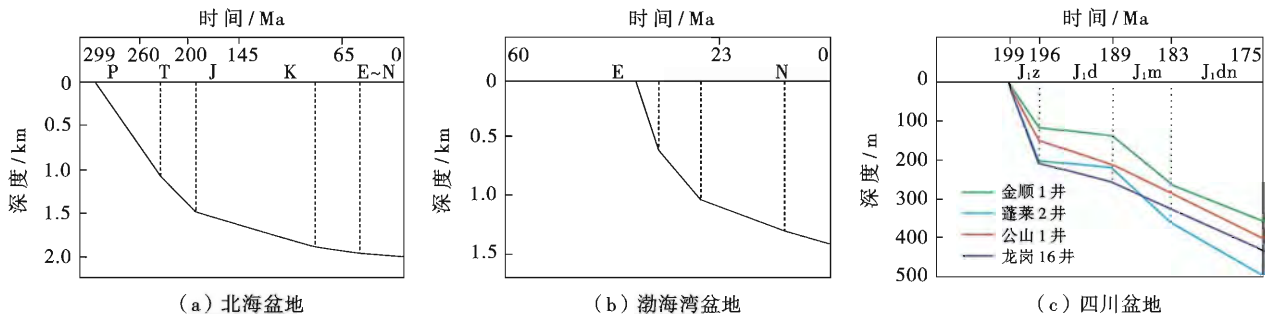


图 1 构造沉降曲线对比

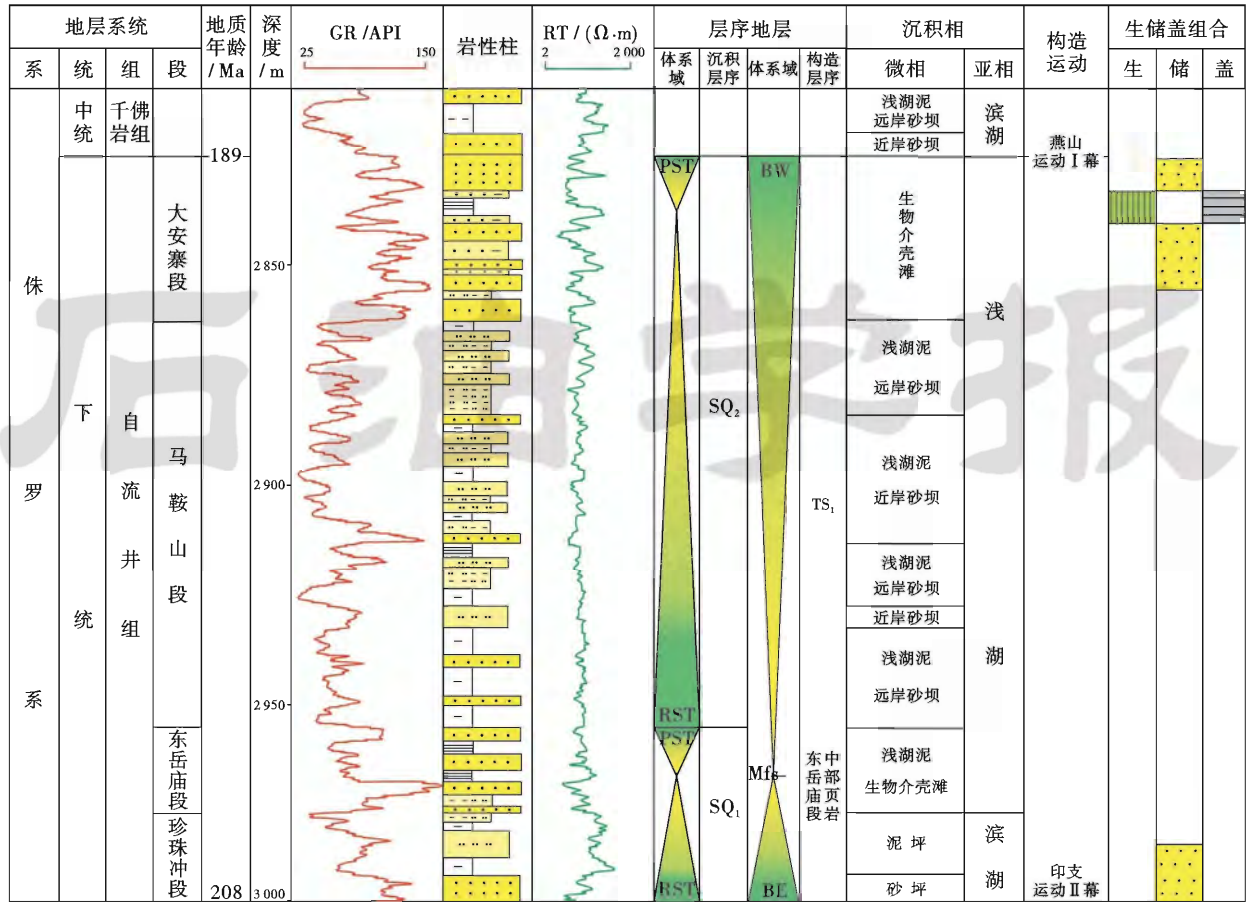
Fig. 1 Comparison among the tectonic subsidence curves

2.3 沉积充填及演化

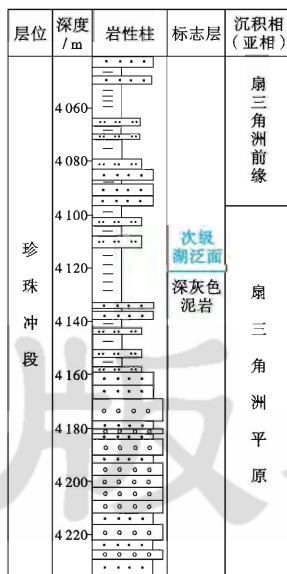
特殊的构造环境,控制着四川盆地早侏罗世的构造沉降和沉积充填。据以削蚀、削截为主的不整合面的变化,自流井组可划分为一个构造层序(TS₁)[图 2(a)],与超长基准面旋回相当;据岩性特征和纵向粒度变化,自流井组可划分为两个较明显的沉积层序(SQ₁, SQ₂)[图 2(a)],与长基准面旋回相当。珍珠冲段由黄灰、绿灰色中、细粒石英砂岩、粉砂岩及泥岩组成,仅上部出现紫红色泥岩;东岳庙段为灰、深灰色钙质粉砂岩夹介壳灰岩,富含双壳类化石,两段粒度总体由下向上变细,构成一个沉积旋回。马鞍山段由灰、灰绿色细砂岩、粉砂岩及泥岩组成,上部夹紫红色泥岩,底部以厚

约 4.5 m 的中、细粒长石石英砂岩与下伏东岳庙段分界;大安寨段为灰、深灰色钙质粉砂岩、泥岩及灰岩,富含双壳类化石,两段粒度亦呈现向上变细的特征,代表了另一个沉积旋回。

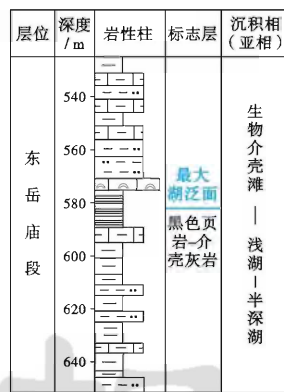
自晚三叠世以来,四川盆地开始以陆相沉积为主,早侏罗世主要发育河流、冲积扇、湖泊、扇三角洲和三角洲相,并可进一步识别出扇根、扇中、扇端、辫状河道、曲流河道、泛滥平原、滨湖、浅湖、半深湖、深湖以及扇三角洲平原、扇三角洲前缘、三角洲平原、三角洲前缘及前三角洲 15 种亚相和几十种微相(图 2)。其中盆地西部以扇三角洲相为主,中部以湖泊相为主,东部及东北部以三角洲相和河流相为主(图 3 和图 4)。



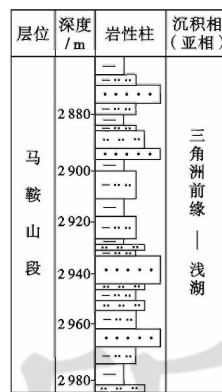
(a) 川合 100 井



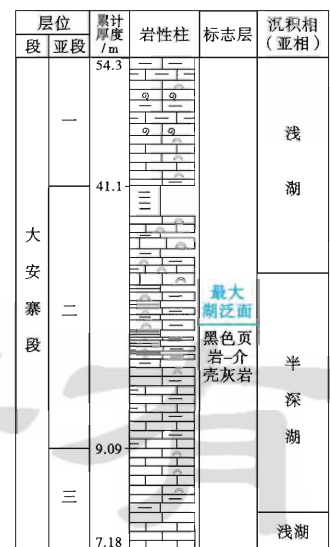
(b) 元坝 9 井



(c) 建 111 井



(d) 普陆 1 井



(e) 七里峡剖面

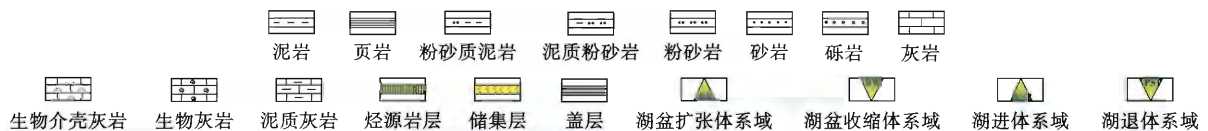


图 2 四川盆地下侏罗统自流井组几种典型沉积相剖面

Fig. 2 Typical profiles of sedimentary facies of the Lower Jurassic Ziliujing Formation in Sichuan Basin

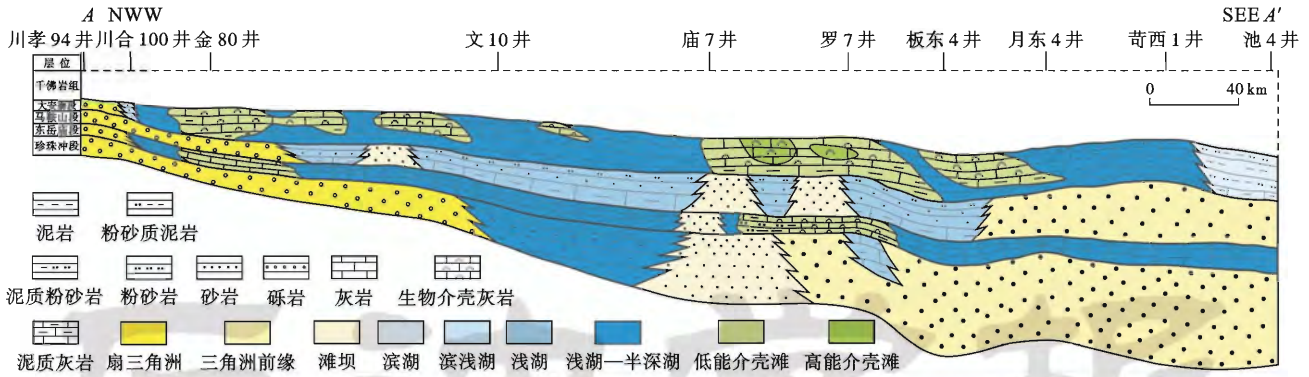


图 3 四川盆地早侏罗世 NW—SEE 向沉积相剖面(剖面位置见图 5)

Fig. 3 NW-SEE profile facies of the Early Jurassic in Sichuan Basin(location see Fig. 5)

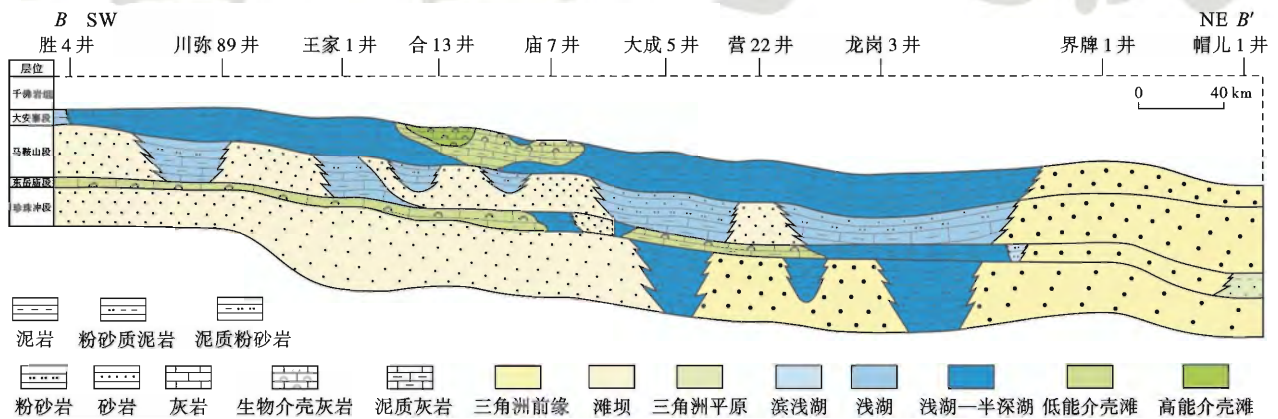


图 4 四川盆地早侏罗世 SW—NE 向沉积相剖面(剖面位置见图 5)

Fig. 4 SW-NE profile facies of the Early Jurassic in Sichuan Basin(location see Fig. 5)

2.3.1 自流井组珍珠冲段沉积期

该阶段处于湖盆扩张早期,盆地内发育众多并未完全沟通相连的小湖盆。扇三角洲沉积体系主要分布于盆地的近物源区,沿古隆起边缘山麓出山河口处断续发育,呈现纵向分层叠覆,横向复合似裙的特征(图 5),主要位于龙门山前缘,由近源至远源沉积物粒度整体变细,以元坝 9 井、元坝 16 井、龙 101 井和角 33 井揭示的沉积序列为代表。元坝 9 井下段主要为砾岩、砂砾岩互层,向上沉积物粒度变细,以砂岩、粉砂岩夹泥岩为主,为扇三角洲平原向扇三角洲前缘过渡的序列,钻井剖面显示的中部深灰色泥岩为典型的次级湖泛面[图 2(b)];元坝 16 井钻遇珍珠冲段杂色砂砾岩,为一套长石质岩屑砂岩[图 6(a)—图 6(c)],为扇三角洲平原亚相沉积;龙 101 井和角 33 井珍珠冲段岩心显示了清晰的波状层理及生物扰动构造[图 6(d)和图 6(e)],为扇三角洲前缘亚相沉积的典型特征。盆地西缘的河流具有河道砂的正韵律特点,下部发育大型斜层理、上部发育小型斜层理和水平层理,岩性上粒径变化快、粗碎屑岩远离山区所占比例迅速降低和矿物成熟度迅速升高,反映了短源河流和河床坡度比

降大等特点^[30],为辫状河沉积。让水 1 井、川孝 94 井钻遇珍珠冲段,主要为一套具有砂质基质的砂砾岩互层,整体具有下粗上细的正粒序变化特征,为近源辫状河—扇三角洲沉积。而据区域地质资料及前人的研究成果,盆地东部及外围区域主要为具远源搬运特点的曲流河—三角洲沉积体系,发育代表暴露氧化沉积环境的红色、紫红色为主的地层。受泸州水下古隆起的影响,以泸州为中心,于南充—遂宁—自贡—宜宾—筠连—习水—合川一带形成发育于浅湖相之上的滩坝。自贡井剖面可见透镜状坝砂,发育于滩坝边缘,沉积物主要来源于东部三角洲砂体,岩性为紫红色泥岩夹黄色细砂岩与蓝灰色粉砂岩透镜体[图 6(f)],反映了湖浪的双向冲洗作用,透镜体中发育高角度破裂[图 6(g)],顶、底界均可见风暴流作用形成的钵模构造[图 6(h)和图 6(i)]。

与晚三叠世相比,该阶段盆地沉积充填中心由川西向川北逐渐迁移,并初步形成 3 个沉积中心:通江—开县—万县沉积中心(最大沉积厚度大于 300 m),南充—潼南沉积中心(最大沉积厚度大于 200 m)和广安—重庆东部的沉积中心(最大沉积厚度大于 250 m)(图 5)。

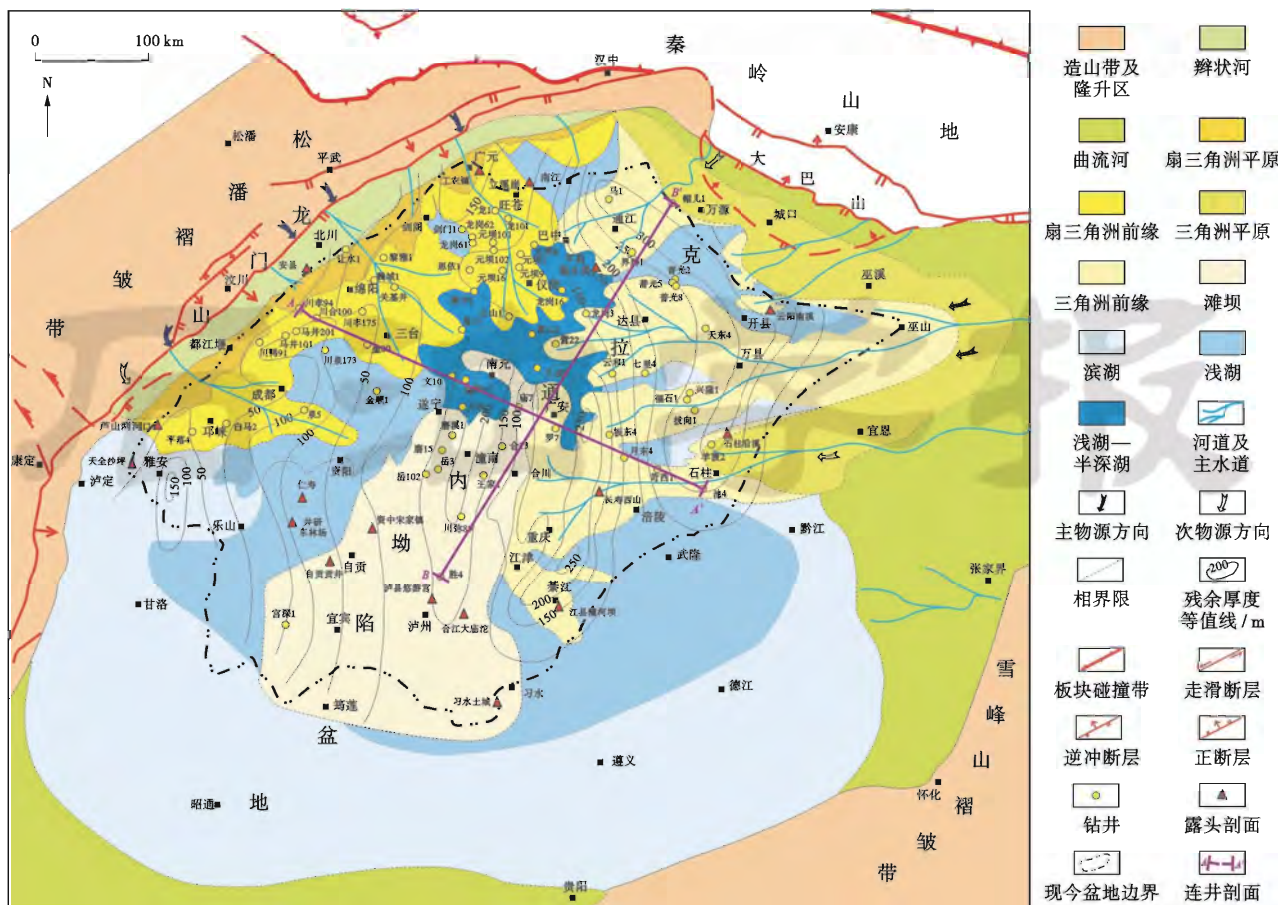


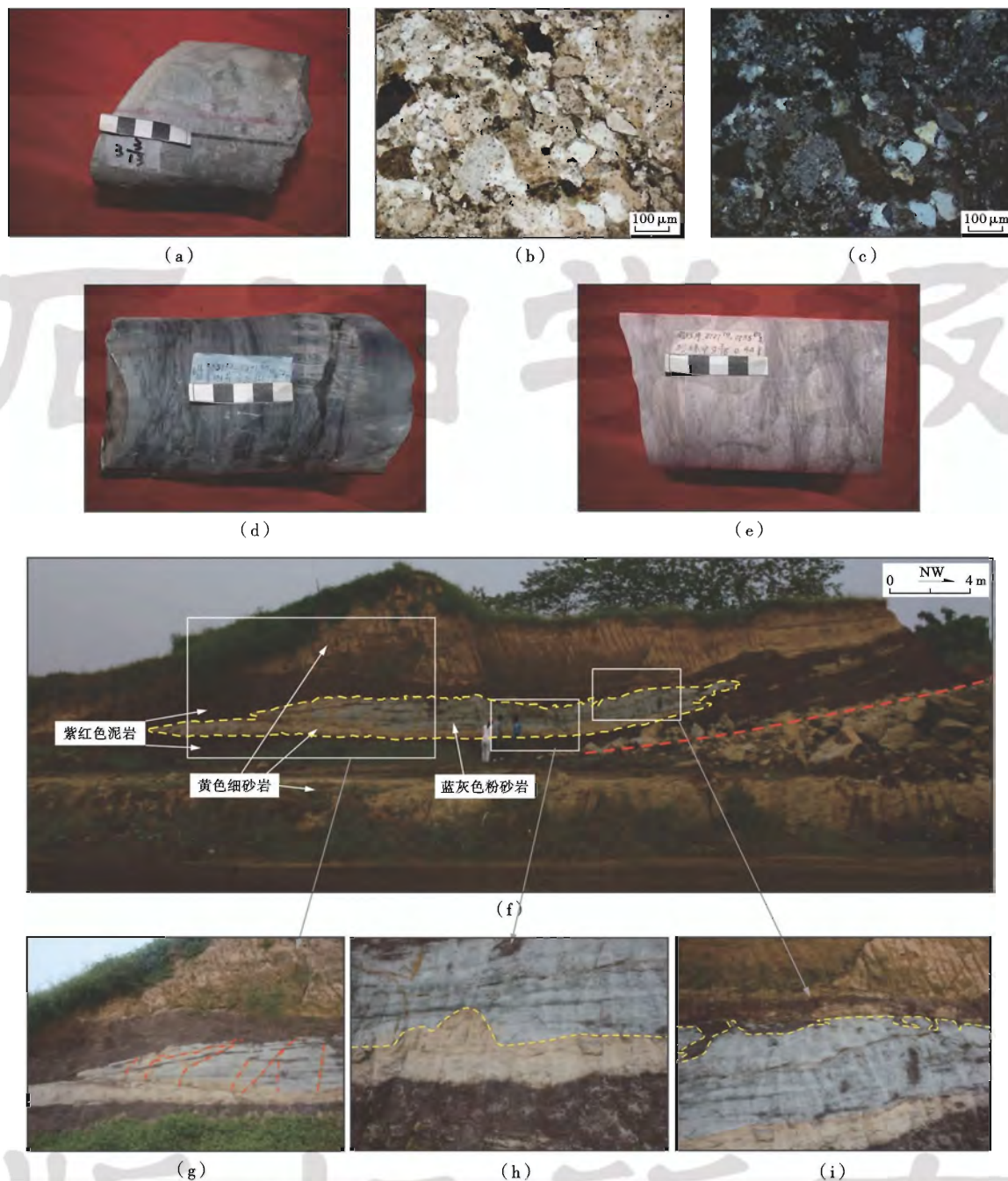
图5 四川盆地及邻区自流井组珍珠冲段沉积期构造-沉积环境

Fig. 5 Tectonic-depositional environment of Zhenzhuchong Member of Ziliujing Formation in Sichuan Basin and adjacent areas

2.3.2 自流井组东岳庙段沉积期

东岳庙段沉积期,盆地基底沉降速率变缓,周缘构造带活动也似乎出现了停息,由此造成了之前隔离分散的小湖盆完全沟通相连(图7)。形成一种典型的大型陆源碎屑浅水湖盆模式,即中部为浅湖一半深湖亚相,向外围过渡为滨浅湖和滨湖亚相,并且具有早期湖水加深,晚期湖底抬升、湖水逐渐变浅的特征。滨湖主要发育于盆地西缘及西北缘,反映地势相对较高,以天全沙坪剖面为代表,岩性为灰色砂岩夹多层棕红色薄层泥岩,揭示沉积物距水面近,时而出露、时而淹没,氧化作用较强;滨浅湖主要发育于外围的滇南、黔北、鄂西和湘西地区,水域面积广阔;而浅湖一半深湖亚相主要分布于盆地中心,面积相当于现今盆地面积的4/5,西抵剑阁—绵阳—成都,北达巴中—开县,东至万县—石柱—綦江,南到宜宾—习水,沉积了一套代表较强还原环境的灰黑、黑色泥页岩[图2(c)],具有分布广泛,层位稳定,横向延展性、连续性好的特点,是下侏罗统TS₁构造层序内的最大湖泛面。角33井钻遇了川中东岳庙段由滨浅湖至浅湖亚相的沉积序列,岩性由灰

色钙质粉砂岩[图8(a)]向上过渡为灰色介壳灰岩和灰色泥页岩[图8(b)];威远大湾村出露的东岳庙段顶部为浅湖亚相的灰色灰岩夹薄层泥页岩[图8(c)],也证实了晚期湖水相对变浅的事实。该期于盆地内部发育大面积低能生物介壳滩,其分布与珍珠冲段沉积期滩坝的展布有很大的相似性,主要分布于川中分区和重庆、叙永小区,大致沿广安—潼南—合川—自贡—江津—綦江—习水围限之中,以及绵阳—三台之间和资阳一带。其形成同样是受控于水下隆起高部位,但不同之处在于东岳庙段沉积期,主要为碳酸盐岩,而无或极少陆源碎屑物质供应,因此这种介壳滩实际上是一种碳酸盐岩滩坝。金80井、罗7井(图3)、胜4井、川弥89井、王家1井、合13井、大成5井和营22井(图4)等都钻遇了这套以介壳灰岩、泥灰岩为主的碳酸盐岩滩。此外,野外露头中也可见这种岩相沉积,自贡荣县长山镇筭子山剖面揭示了介壳滩岩性以灰色生物介壳灰岩为主,富含双壳类化石,经后期的溶蚀淋滤作用,发育大量小溶蚀孔洞[图8(d)],该套介壳灰岩具备良好的储集条件。



(a) 杂色砂砾岩, 砾石分选性差, 磨圆度较好, 粒径 5~20 mm, 为扇三角洲平原亚相(近岸水下扇)沉积, 元坝 16 井 4 034.5 m; (b) 和 (c) 长石质岩屑砂岩, 石英、长石、岩屑含量分别约为 50%、15%、30%, (b) 为单偏光, (c) 为正交偏光, 元坝 16 井 4 034.5 m; (d) 深褐灰色泥质粉砂岩至细砂岩, 微波状层理和生物扰动构造, 为扇三角洲前缘亚相沉积, 龙 101 井 3 331.2 m; (e) 灰色泥质粉砂岩, 变形波状层理、波状层理和生物扰动构造, 为扇三角洲前缘—浅湖亚相沉积, 角 33 井 2 630.75 m; (f) 紫红色泥岩夹黄色细砂岩与蓝灰色粉砂岩透镜体; (g) 透镜体中的高角度破裂现象; (h) 和 (i) 风暴流作用形成的钵模构造, 为滩坝沉积, 自贡井剖面。

图 6 四川盆地自流井组珍珠冲段典型岩相及岩石类型

Fig. 6 Typical lithofacies and rock types of Zhenzhuchong Member in Sichuan Basin

相对珍珠冲段沉积期, 该期盆地物源区河流沉积搬运作用较弱, 周缘的扇三角洲和三角洲沉积体系不太发育, 三角洲的展布规模和堆积厚度均较小, 反映了东岳庙段沉积期, 盆地及周缘构造相对稳定。与珍珠

冲段沉积期相比, 整个研究区内, 东岳庙段残余地层厚度整体较小且均匀, 厚 20~60 m。通江—开县以及万县—涪陵一带具有明显加厚的特点, 且水下古隆起(开江古隆起)起到了分隔沉积中心的作用。

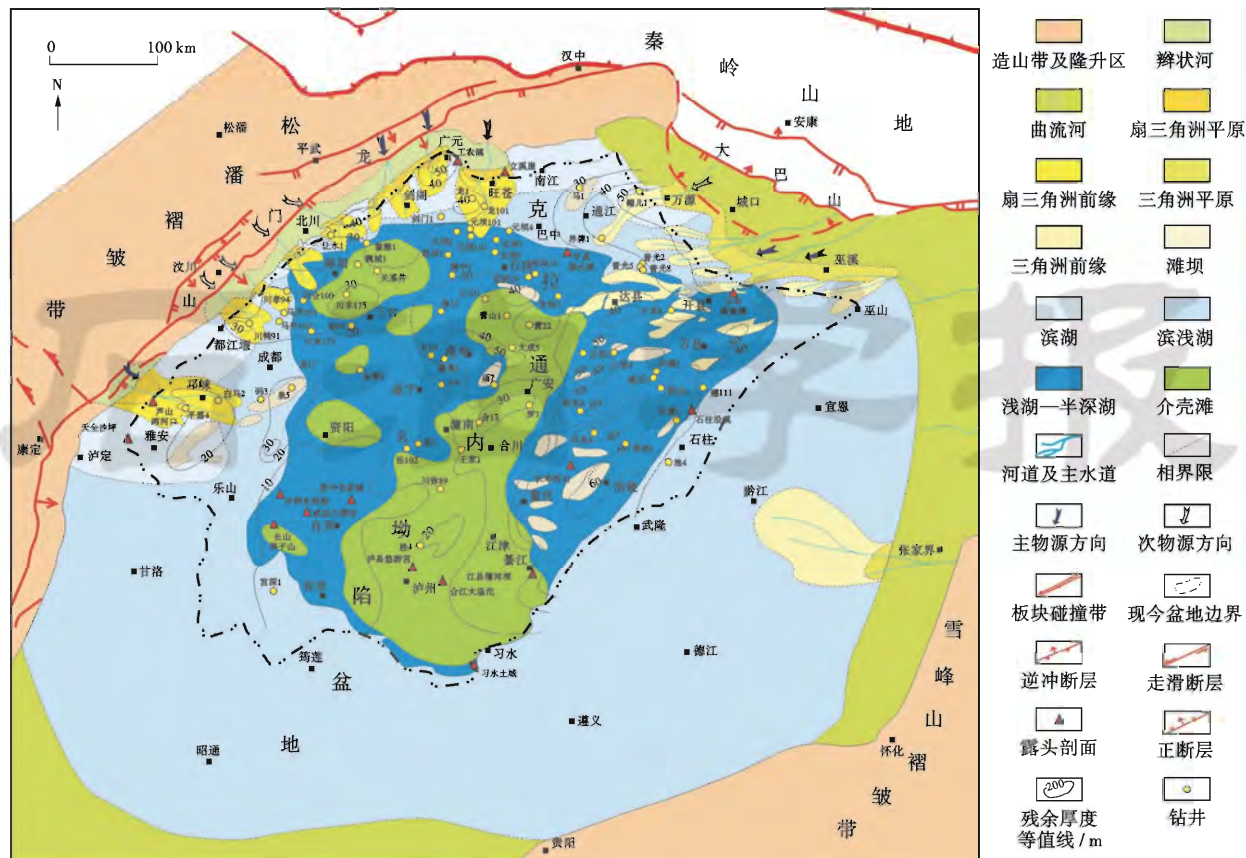


图7 四川盆地及邻区自流井组东岳庙段沉积期构造-沉积环境

Fig. 7 Tectonic-depositional environment of Dongyuemiao Member of Ziliujing Formation in Sichuan Basin and adjacent areas

2.3.3 自流井组马鞍山段沉积期

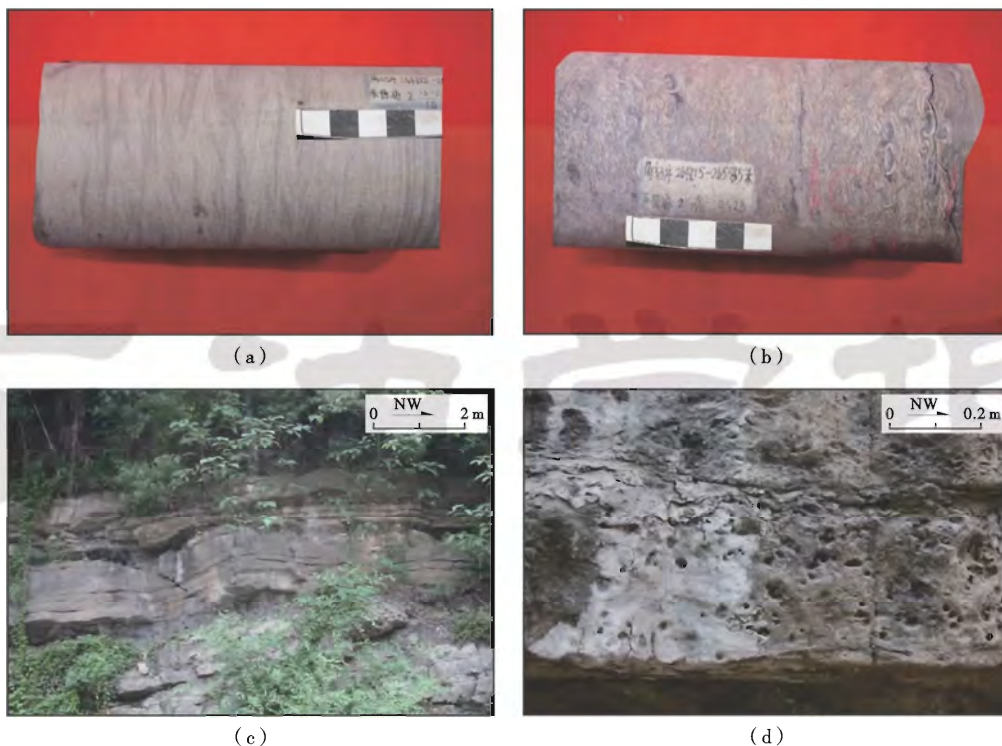
马鞍山段沉积期,伴随区域伸展作用变强,四川盆地进入快速稳定的沉降阶段。区域内大量剖面均揭示出具浅湖亚相的沉积特征,而滇南、黔北一带虽然地层难以分段,但整体粗碎屑成分较多,且距岸较近,因此仍将其区划为滨湖亚相。早期,来自盆地边缘的陆源碎屑物质供应充足,形成的扇三角洲规模巨大,且厚度具有由北向南逐渐减薄的特点(图9),以粗碎屑沉积为主,如川西南地区的水口镇南堡乡剖面可见明显的灰黄色砂、砾岩分界[图10(a)],砂岩为岩屑质长石砂岩[图10(b)和图10(c)],反映了当时龙门山构造运动强烈、地形起伏变化大的特点。与东岳庙段沉积期相比,盆地东北缘则转变为弯曲度小、坡降大的辫状河道沉积,以底负载搬运式携带大量沉积物于入湖端形成辫状河三角洲,反映了该期大巴山逆冲推覆构造活动变得强烈。普陆1井钻遇的马鞍山段厚约100 m,岩性主要为粗砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及泥岩的交互层[图2(d)],帽儿1井、界牌1井钻遇的马鞍山段均与之具有相似的序列。晚期,陆源碎屑物质供应依然充足,伴随着湖平面的升降变动,以及受局部古构造

的影响,浅湖盆中发育大量与珍珠冲段沉积期具有极其相似特征的滩坝,与之相比其分布更加分散,几乎遍及全盆(图9)。威远县新场镇石牛湾剖面揭示其岩性以紫红色泥岩与青灰色粉砂岩的频繁互层为特征[图10(d)],粉砂岩为岩屑砂岩[图10(e)和图10(f)],指示了由母岩迅速剥蚀、堆积于古隆起附近的坳陷区而成,反映该地区环境能量较高,且持续氧化—弱还原的沉积环境。

马鞍山段地层在区域上稳定性较差,厚50~200 m,主体为浅湖亚相沉积,岩性以紫红色泥岩为主,夹少量灰绿、黄绿色粉砂岩、细砂岩,泥岩颜色可相变为灰黑、灰绿等,含淡水双壳类、叶肢介、介形类、植物、孢粉及丰富的蜀龙动物群化石^[18]。沉积物性质的变化,及富含的水生、陆生动植物化石,均反映了马鞍山段沉积期四川湖盆构造-沉积环境经历了暴露氧化—深水还原的短期旋回过程。马鞍山段沉积充填受局部古构造控制明显,沉积中心位于开江古隆起以南,泸州古隆起以东的涪陵—綦江—习水一带(图9)。

2.3.4 自流井组大安寨段沉积期

大安寨段沉积期盆地构造沉降速率较大,湖平面



(a)灰色钙质粉砂岩,发育小型交错层理,为滨浅湖亚相沉积,角 33 井 2652.0 m;(b)灰褐色介壳灰岩和灰色泥页岩,为浅湖亚相沉积,角 33 井 2647.4 m;(c)灰色灰岩夹薄层泥页岩,为浅湖亚相沉积,威远大湾村剖面;(d)灰色生物介壳灰岩,小溶蚀孔洞发育,为介壳滩沉积,长山镇箕子山剖面。

图 8 四川盆地自流井组东岳庙段典型岩相及岩石类型

Fig. 8 Typical lithofacies and rock types of Dongyuemiao Member in Sichuan Basin

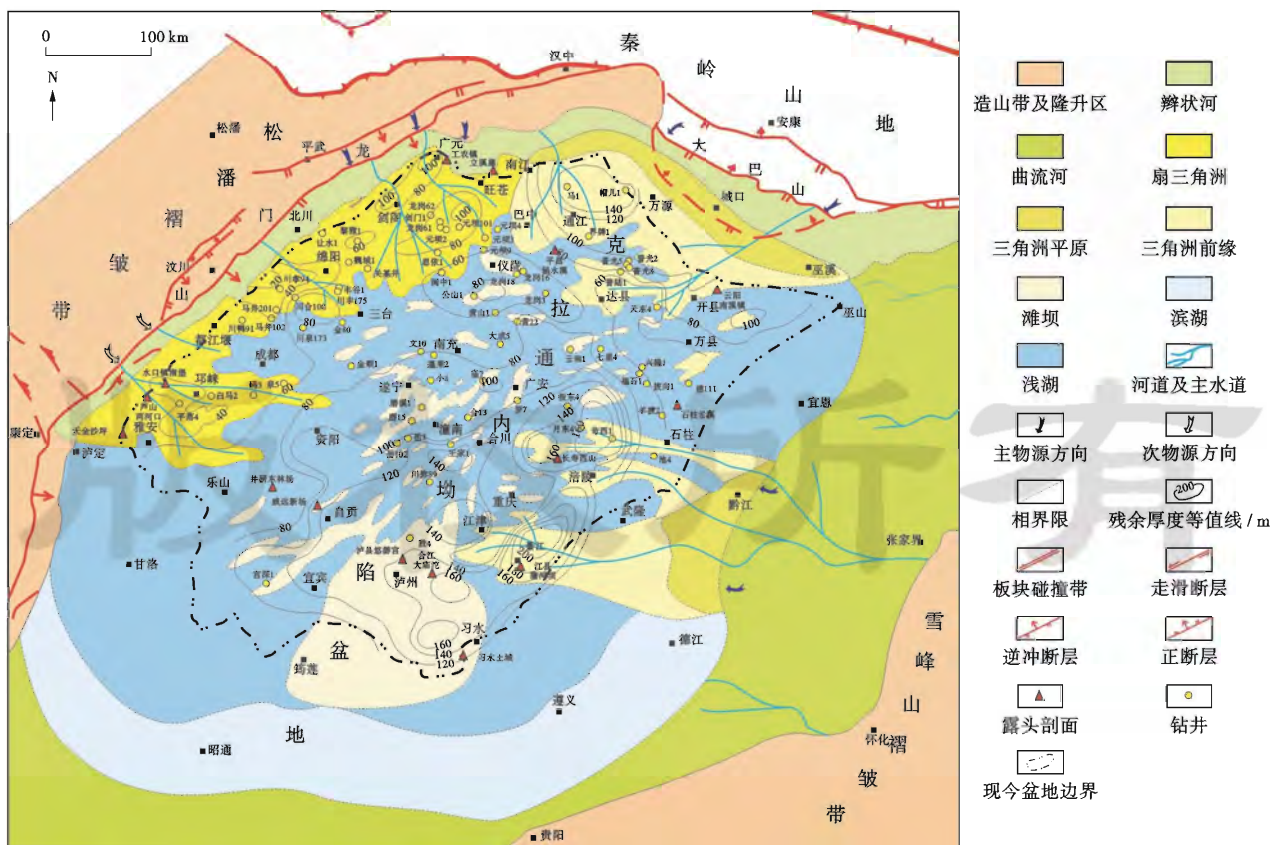
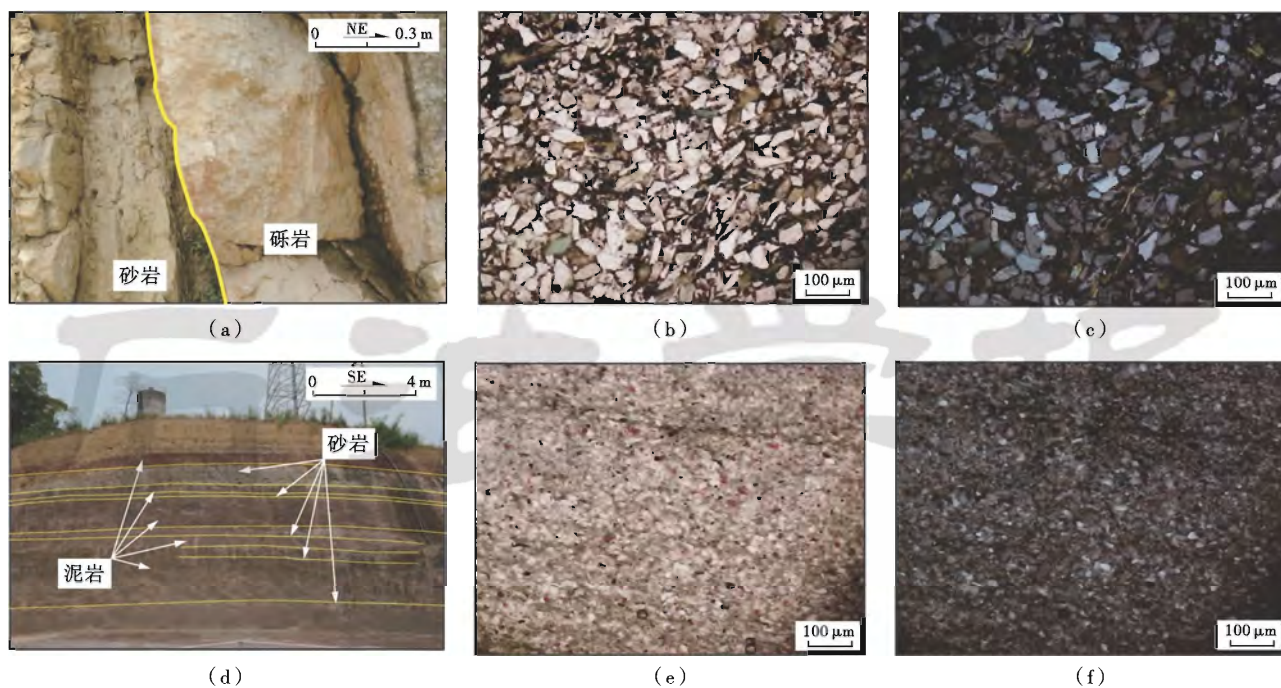


图 9 四川盆地及邻区自流井组马鞍山段沉积期构造-沉积环境

Fig. 9 Tectonic-depositional environment of Ma'anshan Member of Ziliujing Formation in Sichuan Basin and adjacent areas



(a)灰黄色砂岩与砾岩分界,砾岩砾石分选性差,直径0.1~5.0 cm,次棱角至次圆状,为扇三角洲相沉积,邛崃市水口镇南堡乡剖面;(b)和(c)岩屑质长石砂岩,颗粒支撑,石英、长石、岩屑含量分别约为50%、40%、10%,(b)为单偏光,(c)为正交偏光,邛崃市水口镇南堡乡剖面;(d)紫红色泥岩与青灰色粉砂岩的频繁互层,砂层多但厚度较薄,呈反粒序,为滩坝沉积,威远县新场镇石牛湾剖面;(e)和(f)岩屑砂岩,杂基支撑,石英、长石、岩屑含量分别约为40%、10%、50%,(e)为单偏光,(f)为正交偏光,威远县新场镇石牛湾剖面。

图10 四川盆地自流井组马鞍山段典型岩相及岩石类型

Fig. 10 Typical lithofacies and rock types of Ma'anshan Member in Sichuan Basin

随气候变化具有一定的升降。盆地西部及西北部扇三角洲规模明显变小,入湖陆源碎屑沉积物供给速率较小且不稳定。大安寨段发育了早侏罗世四川最大的淡水湖盆,平面上大致以仪陇—达县—重庆一带为沉积中心,向四周相带呈现不对称的环带状分布,北窄南宽(图11);纵向上随构造沉降由高速—低速—平静,形成了一套上下完整的由侵蚀—不整合面所界定的具粗—细—粗层序结构的湖水进退沉积旋回^[31]。浅湖—半深湖亚相沉积的代表是宣汉七里峡剖面揭示的黑色页岩与介壳灰岩互层,作为SQ₂沉积层序最大湖泛标志层[图2(e)],湖盆中心位于仪陇—达县一带,生油条件较好,如元坝、普光等地,而远离湖盆中心地带,钻探结果显示生油岩不发育或发育较差,如营山、合川等地。这种浅湖—半深湖沉积环境中,入湖碎屑较少,湖水清澈,生物繁茂,发育大面积低能和高能介壳滩(生物碎屑浅滩),主要分布于川中、川北地区。元坝地区多口井钻遇的大安寨段均具有良好的气显示,代表井有元坝2井、元坝10井、元坝101井和元坝102井等,这些井的储层岩性均以介壳灰岩为主,揭示介壳滩存在非均—性溶蚀作用,有利于油气聚集。例如元坝10

井,岩性为厚层块状或薄—中层状不等厚介壳或介屑灰岩,夹薄层状或条带状黑色页岩、泥灰岩,介壳或介屑灰岩中的淡水双壳类化石丰度可达60%~80%,个别可达90%以上,但属种单一,填隙物主要由灰泥与陆源黏土混合物组成,局部为亮晶方解石胶结[图12(a)—图12(c)],总体显示介壳滩沉积环境具有中等至较高的能量条件。

大安寨段沉积厚度变化与相带变化基本一致,反映了大安寨段的沉降中心和沉积中心是吻合的。大安寨段沉积期属于盆地收缩体系域晚期,经历了湖进湖退旋回的转变,大湖盆呈环带状向中心收缩,而水域面积却相对扩大,成为该阶段的典型特征。湖盆边界西抵北川—都江堰—泸定,北达广元—南江—万源,东至巫山—宜恩—黔江—德江,南到滇黔北部,成为四川早侏罗世最大的湖盆。

2.4 原型盆地性质及演化

2.4.1 原型盆地性质

从晚三叠世晚期(须家河组四段沉积期)开始,受燕山运动影响,龙门山及松潘—甘孜高原大面积隆升造陆^[10],秦岭板块局部伸展垮塌^[32],而四川盆地表现

为大范围沉降,形成了主体为陆内弱拉张环境下的大型克拉通内坳陷盆地。这种陆内弱拉张环境实际上也可看作是挤压应力松弛阶段的伸展环境,但这种于俯冲挤压旋回间的应力松弛派生的张力所形成的断陷盆地与真正拉张应力场下的断陷盆地是不同的。不同之处在于这种盆地的形成除了受地壳的水平运动影响之

外,地壳的垂向运动,即地壳的均衡调整作用也是必不可少的^[33]。早侏罗世四川盆地内部以稳定沉积为主,构造变动微弱,而周缘造山、造陆运动导致的差异升降也影响着盆地的形成演化。因此将四川早侏罗世原型盆地归为克拉通内坳陷盆地是合理的,并且其形成机制可归结为水平和垂向上两种地壳运动的结合。

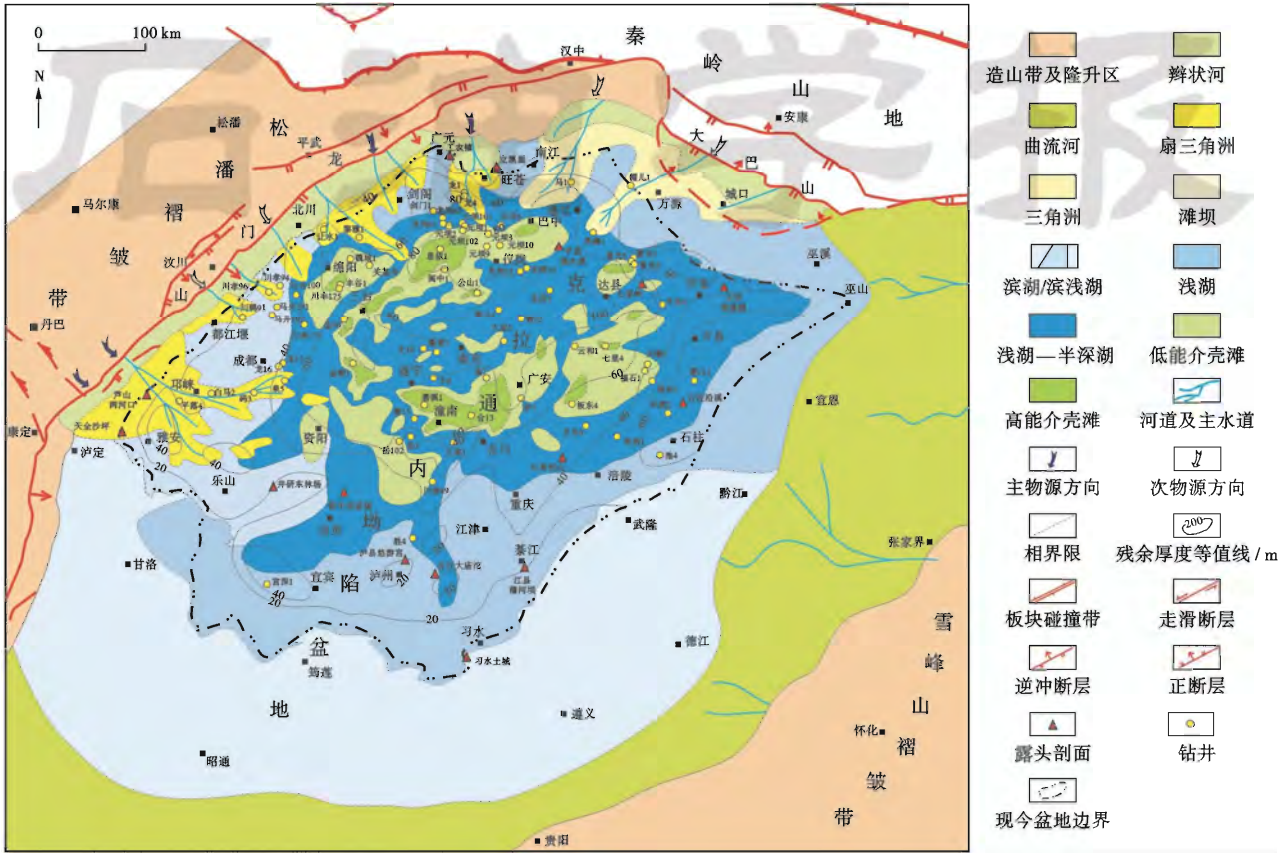
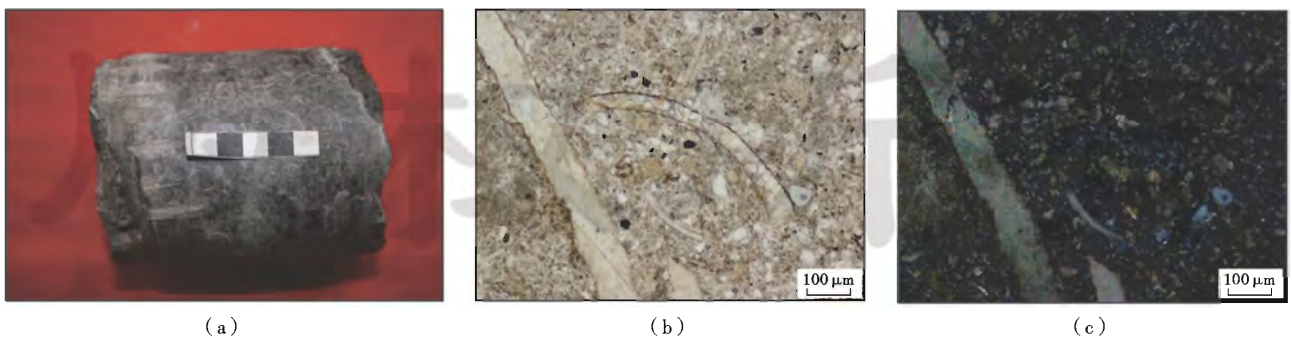


图 11 四川盆地及邻区自流井组大安寨段沉积期构造-沉积环境

Fig. 11 Tectonic-depositional environment of Da'anzhai Member of Ziliujing Formation in Sichuan Basin and adjacent areas



(a)深灰色介壳灰岩,介壳密集杂乱堆积但介壳形态清晰可见,以单瓣为主,为高能介壳滩沉积,元坝 10 井 3965.5 m;(b)和(c)粉砂质介壳灰岩,粒屑主要为陆源粉砂和生物碎屑、含量约 60%,填隙物为泥晶方解石、含量约 40%,(b)为单偏光,(c)为正交偏光,元坝 10 井 3965.5 m。

图 12 四川盆地自流井组大安寨段典型岩相及岩石类型

Fig. 12 Typical lithofacies and rock types of Da'anzhai Member in Sichuan Basin

2.4.2 原型盆地演化

基于四川盆地早侏罗世各阶段周缘构造环境、盆地构造沉降和沉积充填情况分析,认为早侏罗世四川盆地构造动力学环境经历了强、弱伸展的交替变化,构造沉降经历了快速→缓慢→稳定的运动学特征。以四川盆地与松潘—甘孜褶皱带、四川盆地与南秦岭造山带的耦合关系及充填演化为例,其构造-沉积环境演化具有以下明显特征:

(1) 珍珠冲段沉积期为强伸展期,盆地快速沉降,川西地区于晚三叠世断陷—坳陷盆地之上开始稳定的坳陷盆地沉积[图 13(a)],川北坳陷实际为残存坳陷,宏观的伸展拉张不足以改变早期逆冲推覆格局,剖面上表现为山前盆地的河流、湖泊相进积的垂向序列[图 13(b)]。

(2) 东岳庙段沉积期伸展作用减弱,盆地缓慢沉

降,表现为盆地沉降及周缘构造活动相对稳定,物质供应缓慢,由此促使了岩相和岩性都比较稳定的大规模湖相沉积[图 13(a),图 13(b)]。

(3) 马鞍山段沉积期为另一强伸展期,盆地稳定沉降,松潘—甘孜高原隆升活动复苏,与四川盆地的盆岭构造耦合作用强烈,促进了盆地西缘以粗碎屑为主的辫状河和扇三角洲的大规模发育[图 13(a)],伸展作用导致盆地北缘局部冲断体的滑塌,马鞍山段沉积于冲断体之上,并形成与中三叠统的不整合接触面[图 13(b)]。

(4) 大安寨段沉积期为早侏罗世中上扬子地区伸展作用最弱的时期,盆地周缘的造陆、造山运动似乎出现了停息,盆地保持稳定沉降,而来自源区的物质供给欠缺,造成盆地整体的坳陷速率远大于陆源碎屑的堆积速率,最终导致了四川早侏罗世最大湖盆的形成[图 13(a)和图 13(b)]。

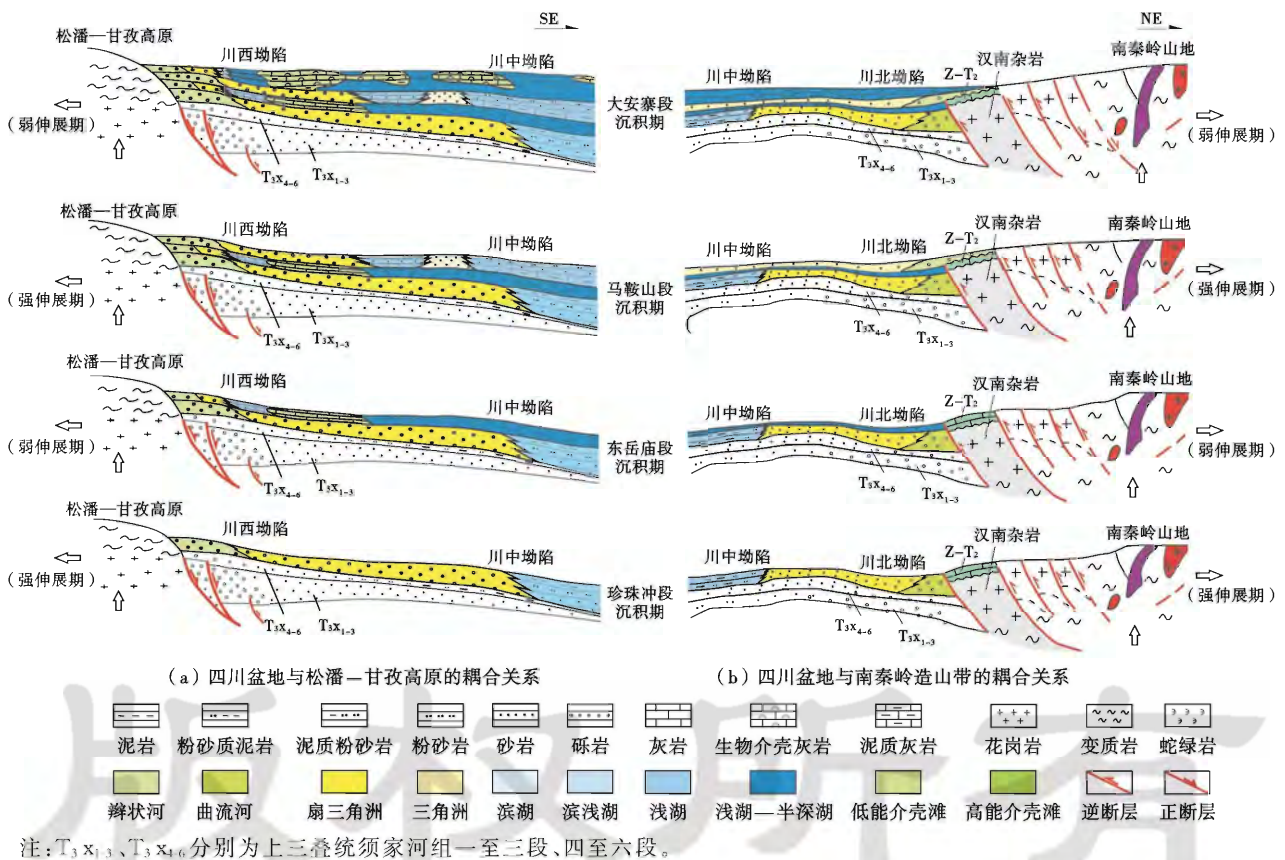


图 13 早侏罗世四川盆地与松潘—甘孜高原及南秦岭造山带的耦合关系与盆地充填演化

Fig. 13 Coupling relationships between Sichuan Basin and Songpan-Garze Plateau (left), Sichuan Basin and Southern Qinling orogenic belt (right) and evolution of basin filling in Early Jurassic

3 结论

(1) 在早侏罗世主体为伸展的构造动力学环境下,四川盆地经历了自流井组珍珠冲段沉积期的快速沉降阶段,自流井组东岳庙段沉积期的缓慢沉降阶段,

以及自流井组马鞍山段—大安寨段沉积期的稳定沉降阶段。

(2) 4 个阶段构造动力学环境经历了强、弱伸展的交替变化,自流井组珍珠冲段沉积期为强伸展期,于晚三叠世的断陷—坳陷盆地之上开始稳定的坳陷盆地

沉积;自流井组东岳庙段沉积期为弱伸展期,表现为盆地沉降及周缘构造活动相对稳定的时期,形成了岩相和岩性都比较稳定的大规模湖相沉积;自流井组马鞍山段沉积期为强伸展期,盆-岭、盆-山构造耦合作用的加强促进了盆地西缘、北缘以粗碎屑为主的辫状河和大规模扇体的发育;自流井组大安寨段沉积期为早侏罗世伸展作用及造山带活动最弱的时期,盆地整体的拗陷速率远大于陆源碎屑的堆积速率,导致了四川早侏罗世最大湖盆的形成。

(3) 龙门山及松潘—甘孜高原大面积隆升造陆,秦岭板块局部伸展垮塌的同时,四川盆地表现为大范围沉降,形成主体为陆内弱拉张环境下的克拉通内拗陷盆地。同时周缘造山、造陆的间歇性活动、湖盆或快或慢的沉降和局部的古构造控制着沉积中心由盆地西部向北及北东方向迁移。

致谢 中国石油西南油气田公司、中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司为研究提供了大量珍贵资料和协助,在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] 梁狄刚,冉隆辉,戴弹申,等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识[J]. 石油学报,2011,32(1):8-17.
Liang Digang, Ran Longhui, Dai Danshen, et al. A re-recognition of the prospecting potential of Jurassic large-area and non-conventional oils in the central-northern Sichuan Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 32(1): 8-17.
- [2] 何发岐,朱彤. 陆相页岩气突破和建产的有利目标——以四川盆地地下侏罗统为例[J]. 石油实验地质,2012,34(3):246-251.
He Faqi, Zhu Tong. Favorable targets of breakthrough and built-up of shale gas in continental facies in Lower Jurassic, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(3): 246-251.
- [3] 张岳桥,董树文,李建华,等. 中生代多向挤压构造作用与四川盆地的形成和改造[J]. 中国地质,2011,38(2):233-250.
Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Li Jianhua, et al. Mesozoic multi-directional compressional tectonics and formation-reformation of Sichuan Basin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 233-250.
- [4] Weeks L G. Factors of sedimentary basin development that control oil occurrence[J]. *AAPG Bulletin*, 1952, 36(11): 2071-2124.
- [5] 邓康龄. 四川盆地形成演化与油气勘探领域[J]. 天然气工业, 1992, 12(5): 7-12.
Deng Kangling. Formation and evolution of Sichuan Basin and domains for oil and gas exploration[J]. *Natural Gas Industry*, 1992, 12(5): 7-12.
- [6] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996:113-134.
Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui, et al. Formation and evolution of the Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 113-134.
- [7] 何登发,李德生,张国伟,等. 四川多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 地质科学,2011,46(3):589-606.
He Dengfa, Li Desheng, Zhang Guowei, et al. Formation and evolution of multi-cycle superposed Sichuan Basin, China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2011, 46(3): 589-606.
- [8] 李忠权,应丹琳,李洪奎,等. 川西盆地演化及盆地叠合特征研究[J]. 岩石学报,2011,27(8):2362-2370.
Li Zhongquan, Ying Danlin, Li Hongkui, et al. Evolution of the western Sichuan Basin and its superimposed characteristics, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(8): 2362-2370.
- [9] 罗志立,赵锡奎,刘树根,等. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化[M]. 成都:成都科技大学出版社,1994.
Luo Zhili, Zhao Xikui, Liu Shugen, et al. Uplift of Longmen Mountain orogenic belt and the formation and evolution of Sichuan Basin[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1994.
- [10] Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan, et al. The uplift of the Longmenshan thrust belt and subsidence of the west Sichuan foreland basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 9(1): 16-26.
- [11] 许效松,刘宝珺,赵玉光,等. 上扬子西缘二叠纪—三叠纪层序地层与盆地转换耦合[M]. 北京:地质出版社,1997:1-124.
Xu Xiaosong, Liu Baojun, Zhao Yuguang, et al. Sequence stratigraphy and basin mountain transformation during Permian to Triassic in the Upper Yangtze area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 1-124.
- [12] 汪泽成. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京:地质出版社,2002:76-110.
Wang Zecheng. Tectonic sequence and natural gas exploration in Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 76-110.
- [13] 戴少武. 中扬子及邻区层序地层与原型盆地演化[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):229-235.
Dai Shaowu. Stratigraphic sequences in the middle Yangtze & adjacent region and evolution of prototype basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(3): 229-235.
- [14] 陈竹新,贾东,魏国齐,等. 川西前陆盆地中—新生代沉积迁移与构造转换[J]. 中国地质,2008,35(3):472-481.
Chen Zhuxin, Jia Dong, Wei Guoqi, et al. Meso-Cenozoic sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan foreland basin[J]. *Geology in China*, 2008, 35(3): 472-481.
- [15] 何登发,贾承造,童晓光,等. 叠合盆地概念辨析[J]. 石油勘探与开发,2004,31(1):1-7.
He Dengfa, Jia Chengzao, Tong Xiaoguang, et al. Discussion and analysis of superimposed sedimentary basins[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(1): 1-7.
- [16] 何登发,赵文智. 中国西北地区沉积盆地动力学演化与含油气系统旋回[M]. 北京:石油工业出版社,1999:1-181.
He Dengfa, Zhao Wenzhi. Dynamic evolution and petroleum system cycle of sedimentary basins in northwest China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 1-181.
- [17] 何登发,贾承造,李德生,等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演

- 化[J]. 石油天然气地质, 2005, 26(1): 64-77.
- He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-77.
- [18] 辜学达, 刘啸虎. 四川省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 177-191.
- Gu Xueda, Liu Xiaohu. Lithostratigraphic of Sichuan[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 177-191.
- [19] 刘树根, 李智武, 刘顺, 等. 大巴山前陆盆地—冲断带的形成演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-248.
- Liu Shugen, Li Zhiwu, Liu Shun, et al. Evolution of Dabashan foreland basin-thrust belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-248.
- [20] 王二七, 孟庆任. 对龙门山中生代和新生代构造演化的讨论[J]. 中国科学: D辑, 2008, 38(10): 1221-1233.
- Wang Erqi, Meng Qingren. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Longmenshan fault belt[J]. Science in China: Series D, 2009, 52(5): 579-592.
- [21] Meng Qingren, Zhang Guowei. Timing of collision of the North and South China blocks: controversy and reconciliation[J]. Geology, 1999, 27(2): 123-126.
- [22] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学: D辑, 2003, 33(12): 1121-1135.
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, et al. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Science in China: Series D, 2004, 47(4): 300-316.
- [23] 肖安成, 魏国齐, 沈中延, 等. 扬子地块与南秦岭造山带的盆山系统与构造耦合[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 601-611.
- Xiao Ancheng, Wei Guoqi, Shen Zhongyan, et al. Basin-mountain system and tectonic coupling between Yangtze block and South Qinling orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 601-611.
- [24] 刘伊克, 常旭. 四川盆地埋藏沉降史模拟[J]. 地球物理学报, 2003, 46(2): 333-338.
- Liu Yike, Chang Xu. Modeling of burial and subsidence history in Sichuan Basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(2): 333-338.
- [25] Gabrielsen R H, Odinsen T, Grunnalcite I. Structuring of the Northern Viking Graben and the More Basin: the influence of basement structural grain and the particular role of the More-Trondelag Fault Complex[J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16(5): 443-465.
- [26] Fossen H, Hesthammer J, Skeie Johansen E, et al. Structural geology of the Huldra Field, northern North Sea: a major tilted fault block at the eastern edge of the Horda Platform[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(10): 1105-1118.
- [27] 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质和构造特征[J]. 石油学报, 1980, 1(1): 7-20.
- Li Desheng. Geology and structural characteristics of Bohai Bay, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1980, 1(1): 7-20.
- [28] 赵重远. 渤海湾盆地的构造格局及其演化[J]. 石油学报, 1984, 5(1): 1-18.
- Zhao Zhongyuan. Structural pattern and evolution of Bohaiwan Basin, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1984, 5(1): 1-18.
- [29] 程燕君, 吴智平, 李伟, 等. 渤海湾盆地青东凹陷古近纪烃源岩热演化史研究[J]. 高校地质学报, 2013, 19(1): 141-147.
- Cheng Yanjun, Wu Zhiping, Li Wei, et al. Thermal history of paleogene source rocks in the Qingdong Sag, Bohai Bay Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 141-147.
- [30] 邓康龄, 王信. 四川盆地西部侏罗纪沉积相及油气分布[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 90-94.
- Deng Kangling, Wang Xin. The Jurassic sedimentary facies and oil-gas distribution in western Sichuan Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(3): 90-94.
- [31] 胡全, 郑荣才, 熊应明. 四川盆地下侏罗统大安寨组层序分析[J]. 天然气工业, 2000, 20(3): 34-37.
- Hu Zongquan, Zheng Rongcai, Xiong Yingming. Sequence analysis of Daanzhai Formation of Lower Jurassic in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(3): 34-37.
- [32] Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Neubauer F, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41(3): 213-237.
- [33] 靳久强, 赵文智, 薛良清, 等. 中国西北地区侏罗纪原型盆地与演化特征[J]. 地质论评, 1999, 45(1): 92-104.
- Jin Jiuqiang, Zhao Wenzhi, Xue Liangqing, et al. Proto-types and evolution of Jurassic basins in NW China[J]. Geological Review, 1999, 45(1): 92-104.

(收稿日期 2013-09-07 改回日期 2013-11-29 责任编辑 熊英)