

川西地区龙门山前带侏罗系物源与沉积体系演化

邓莉¹,刘君龙²,钱玉贵¹,张世华¹,王天云³,于海跃⁴

[1. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院,四川成都610041; 2. 中国石化石油勘探开发研究院,北京100083; 3. 中国石油东方地球物理公司新兴物探开发处,河北涿州072751; 4. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京102249]

摘要:前陆盆地山前带近源体系是近几年沉积学领域的研究热点与难点。侏罗系沉积期,川西地区龙门山前带发育了一套近源粗粒沉积体系。笔者充分利用全区覆盖的三维连片地震数据、测录井、岩心及野外露头资料,分析了不同时期物源特征和沉积体系演化过程。研究结果表明:①侏罗系沉积期,龙门山前带共发育来自短轴和近长轴2个方向的5套物源体系;②下侏罗统主要发育冲积扇-曲流河三角洲-滨浅湖-半深湖沉积体系,中、上侏罗统主要发育冲积扇-辫状河三角洲-滨浅湖沉积体系;③龙门山前带可以划分3种沉积模式,分别为早侏罗世、中侏罗世和晚侏罗世沉积模式。通过研究,不仅能够为龙门山前带侏罗系致密砂岩气藏的勘探提供理论依据和数据支撑,而且可以完善对近源冲积体系粗粒储层的认识。

关键词:粗粒沉积;物源分析;沉积演化;山前带;川西地区

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Provenance and sedimentary system of the Jurassic successions in the front of Longmen Mountain in western Sichuan Basin

Deng Li¹, Liu Junlong², Qian Yuguai¹, Zhang Shihua¹, Wang Tianyun³, Yu Haiyue⁴

[1. Exploration and Development Research Institute, Southwest Oil and Gas Branch of SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China; 3. Xinxing Geophysical Prospecting Department, Southwest Geophysical Exploration Company of Bureau of Geophysics Prospecting Inc., PetroChina, Zhuozhou, Hebei 072751, China; 4. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: Proximal sedimentary system in foothill belt of foreland basin has become a hot and hard topic in sedimentology in recent years. During the Jurassic depositional period, a set of proximal coarse-grained sedimentary system was developed in the foothill belt of Longmen Mountain in the western Sichuan Basin. We analyzed the provenance features and sedimentary system evolution in different periods using an integrated dataset of seismic, well logging, core and outcrop data. The results show that: (1) during the Jurassic, there were 5 provenances in the minor axis and near-major axis directions in the foothill belt of Longmen Mountain; (2) in the Early Jurassic, alluvial fan-meandering river delta-shore-shallow lake-semi-deep lake system dominated this area, while in the Middle and Late Jurassic, alluvial fan-braided river delta-shore-shallow lake system were developed well here; (3) three types of sedimentary models can be identified in the foothill belt of Longmen Mountain, namely the Early, Middle, and Late Jurassic sedimentary models. This study can provide theoretical guidance and data support for the exploration of the tight sand gas reservoirs in the foothill belt of Longmen Mountain, and deepen our understanding of the proximal coarse-grained alluvial reservoirs.

Key words: coarse-grained deposit, provenance analysis, sedimentary evolution, foothill belt, western Sichuan Basin

四川盆地一直是我国天然气勘探的重点目标,而川西陆相致密砂岩储层则是其中最热点地区之一^[1-3]。近几年,随着勘探不断深入,多口钻井揭示,

龙门山前带侏罗系具有良好油气显示,是中石化西南油气分公司2017年勘探重点突破区带,对龙门山前带侏罗系进行整体评价是十分有必要的,物源和沉积体

收稿日期:2018-03-20;修订日期:2018-11-30。

第一作者简介:邓莉(1968—),女,高级工程师,石油地质。E-mail: dengli_xnyq@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05002-006);国家自然科学基金项目(41672098)。

系展布研究是开展后续工作的基础和关键。然而,由于该区靠近龙门山前带,物源与沉积体系展布复杂,制约了下一步勘探。因此,以高精度层序地层学理论为指导,借鉴川西坳陷内部较为成熟的勘探实践经验,开展龙门山前带侏罗系物源与沉积体系特征研究,具有重要的意义。

前人对前陆盆地山前带物源与沉积体系开展了大量研究,如库车前陆盆地、柴北缘前陆盆地、西加拿大前陆盆地和西班牙比利牛斯山脉前陆盆地等^[4-6],认为山前带主要以近源短轴物源为主。然而,前人对前陆盆地构造作用与物源、沉积体系之间耦合关系研究较少。侏罗系沉积期,研究区构造作用强烈^[7-9],发育了一套以冲积扇—辫状河三角洲为主的粗粒沉积体系^[10-14]。此次研究,以龙门山前带侏罗系为目的层,充分利用全区覆盖的三维连片地震数据、测录井、岩心及野外露头资料,主要研究目的是在高精度层序格架内部开展沉积相研究,阐明在区域构造演化背景下,龙门山前带近源冲积体系沉积演化过程。本文的研究不

仅能够为龙门山前带侏罗系致密砂岩气藏的勘探提供理论依据和数据支撑,而且可以通过分析山前带近源冲积体系的主控因素,建立其物源和沉积体系演化模式,完善对近源冲积体系粗粒储层的认识。

1 地质概况

川西前陆盆地位于四川盆地西北部(图1a),为晚三叠世印支运动的结果,是中国典型的前陆盆地之一。龙门山前带是本次研究的目标区(图1b),其范围北至安县,南至大邑,西至都江堰,东至彭州,勘探面积约为3 000 km²。截至目前,聚源—金马—鸭子河地区已满区三维覆盖,面积为1 438.271 km²,是本文研究的重点地区。

侏罗世地层沉积时期,川西坳陷由晚三叠世的周缘前陆盆地逐渐演化为一个再生前陆盆地^[15-16]。这一时期,由于扬子板块向羌塘地块和昆仑地块的双向俯冲作用^[17],川西前陆盆地先后经历了印支Ⅲ幕、燕

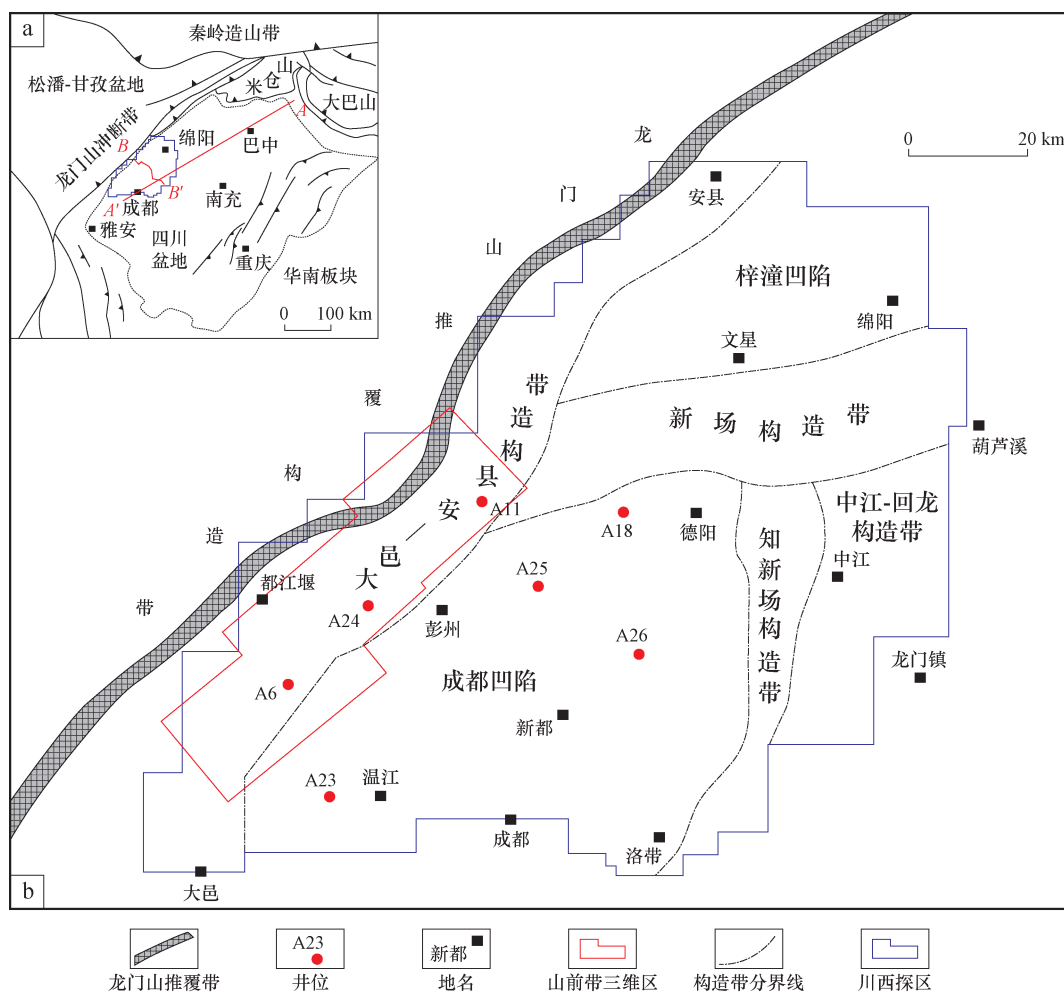


图1 川西地区龙门山前带地质简图

Fig. 1 Geological scheme of the foothill belt of Longmen Mountain in the western Sichuan Basin

山Ⅰ幕、燕山Ⅱ幕和燕山Ⅲ幕4次较大规模的构造运动,进而导致了川西地区周围山脉龙门山、米仓山和大巴山的交替式隆升^[7-9,12]。基于造山带的构造活动特征,可以将川西前陆盆地的构造演化划分为3个阶段(图2,图3):早侏罗世米仓山再生前陆盆地阶段、中侏罗世大巴山再生前陆盆地阶段和晚侏罗世龙门山北段再生前陆盆地阶段。

早侏罗世米仓山再生前陆盆地阶段。早侏罗世,甘孜—阿坝印支造山带形成^[18],受板块之间的差异挤压应力的影响,前陆盆地的前缘拗陷由晚三叠世的龙门山前缘转移到米仓山前缘^[19],川西地区进入米仓山前陆盆地演化阶段,盆地内部以大面积的暗色湖相泥页岩沉积为主,指示了前陆盆地的欠补偿过程。

中侏罗世大巴山再生前陆盆地阶段。在中侏罗统沉积期,前陆盆地的前缘拗陷转移到大巴山,构造应力由近EW向转化为NE向^[7],川西地区进入大巴山前陆盆地演化阶段。受构造作用的影响,大量河湖相碎屑物质从周围高耸山脉向拗陷内部汇聚。

晚侏罗世龙门山北段—米仓山再生前陆盆地阶段。晚侏罗世,沉降中心由中侏罗世的大巴山前缘转移到龙门山北段和米仓山前缘,莲花口组(对应于蓬莱

镇组)在山前厚达千余米的砾岩发育表明龙门山北段发生了新的冲断活动^[20],龙门山北段逆冲推覆构造带又重新活动,使盆地格局发生转变,呈现NW深、SE浅的格局,川西拗陷进入龙门山北段—米仓山再生前陆盆地阶段。晚侏罗世末,受燕山运动Ⅲ幕的影响,使隆起区上侏罗世地层遭受剥蚀,以下白垩世苍溪组冲积扇砾岩强烈截切蓬莱镇组顶部湖相砂、泥岩地层为特征。

2 数据资料与研究方法

为了完成对侏罗世近源冲积体系物源与沉积演化特征的研究,本论文准备的基础数据主要包括三维连片地震数据体、测录井、岩心、野外露头和分析测试资料等。

截至目前,在研究区内部,三维地震数据体覆盖面积约为1 438 km²;此外,由于研究区勘探程度相对较低,钻井资料不多,共计45口;在所有钻井中,笔者共选取取心井9口,总心长约为126 m;侏罗系露头在研究区内出露较好,笔者共选取12个露头剖面进行重点踏勘。基于以上数据资料,笔者主要采取以下物源和沉积相研究方法。

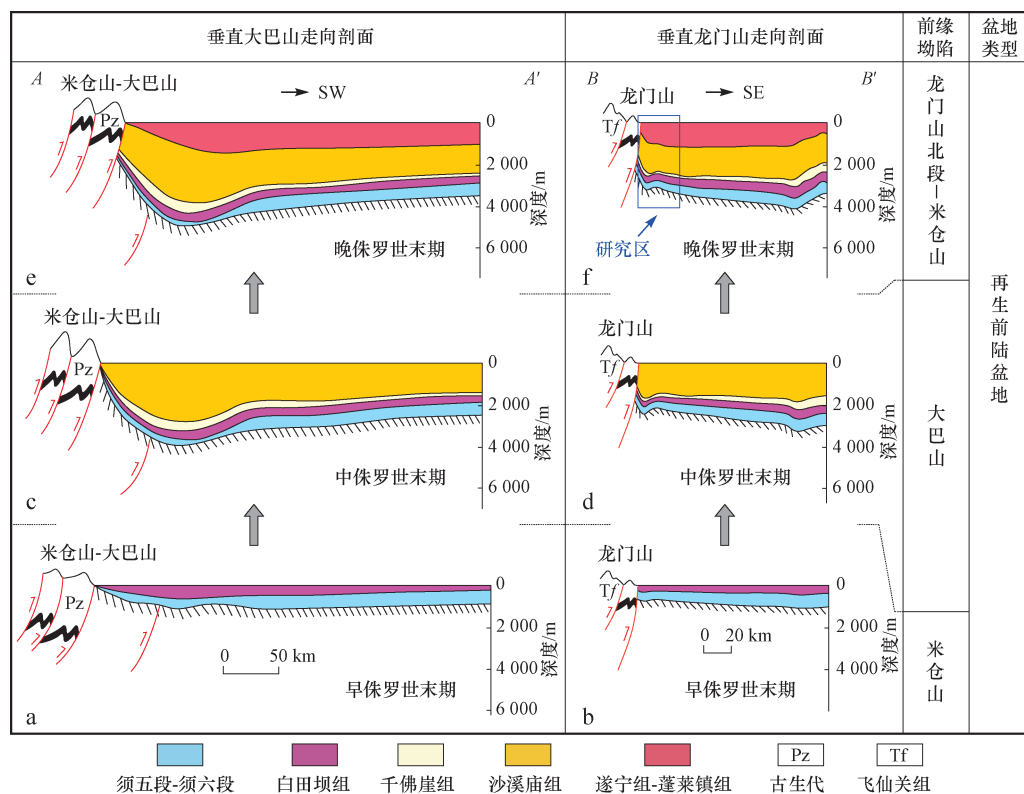


图2 川西地区侏罗世前陆盆地构造地层演化特征(剖面位置见图1)

Fig. 2 Tectono-stratigraphy evolution characteristics of the Jurassic foreland basin in western Sichuan Basin

(see Fig. 1 for the section location)

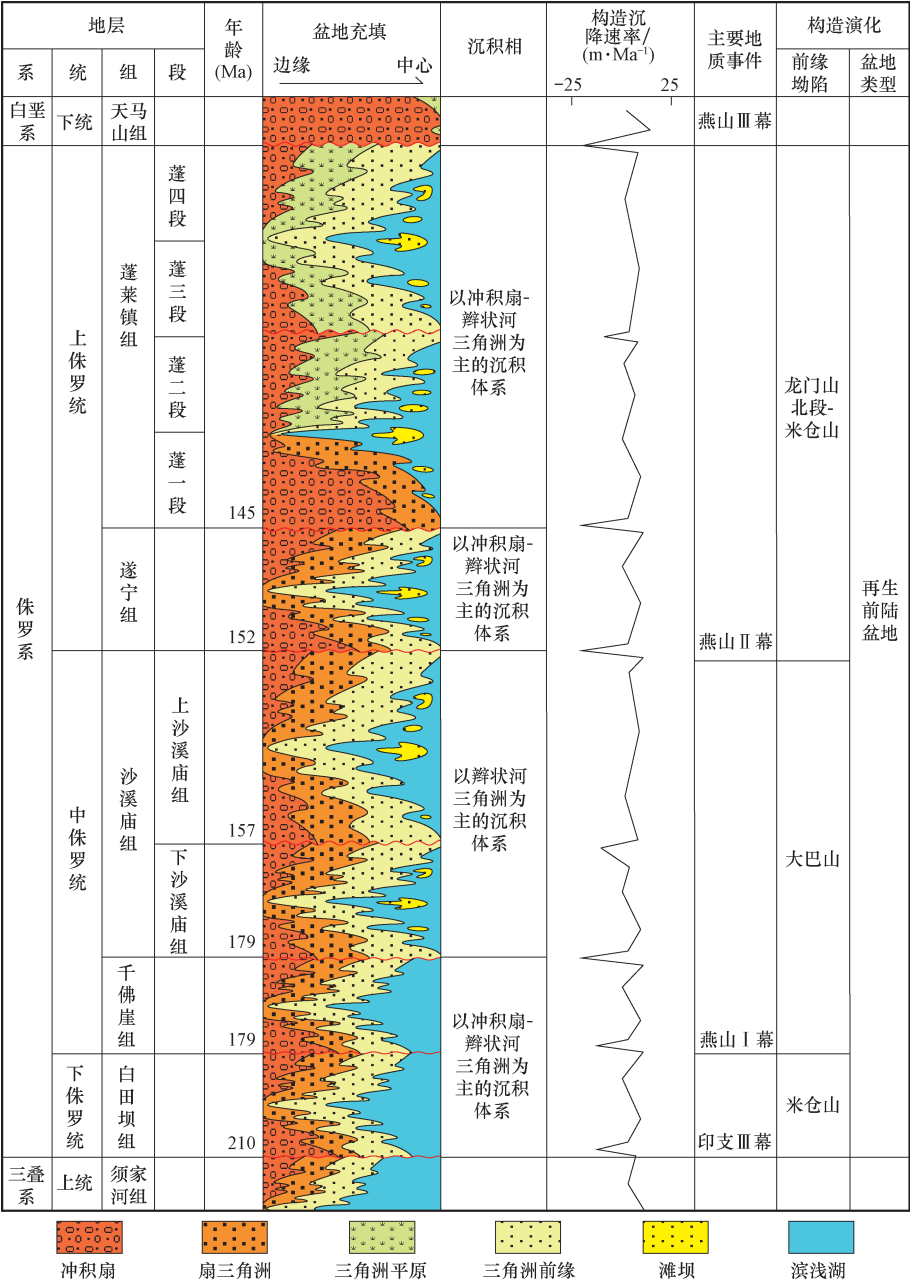


图 3 川西地区侏罗系沉积特征柱状图

Fig. 3 Column showing the Jurassic sedimentary characteristics in the western Sichuan Basin

2.1 碎屑组分法

陆相盆地碎屑组分是进行源区构造运动和沉积过程研究的直接证据,可以在一定程度反映母岩区性质。一般地,在进行碎屑组分分析过程中,有以下 3 种主要的方法^[21-23]:① 砾石成分分析法:同一个物源区,在野外露头出露和相邻井区钻井揭示的砾岩成分具有相似性;② 石英、长石和岩屑(QFR)三端元组分分析法:随着沉积物搬运距离的增加,岩石中的稳定矿物(石英)逐渐增加,而不稳定矿物(长石和岩屑)由于遭受溶蚀等作用的影响,逐渐减少;Q/(F+R)为成分成熟

度指数,是这个方法中重要的参数;③ 沉积岩、岩浆岩和变质岩三端元岩屑组分析:不同的母岩区,其岩性组合是不同的,因此可以通过特定的岩屑成分及含量与母岩区进行类比,进而判断物源方向。

前人对研究碎屑组分已经开展了一部分的工作^[24-25],然而由于资料的不断完善,亟需对一些空白区开展进一步的研究工作。笔者在前人工作基础上,重点应用 QFR 三端元组分分析法,补充井位约为 30 口,对研究区侏罗系不同物源体系进行半定量分析。另外,笔者也整理了前人三端元岩屑组分析的数据,对研究区碎屑组分分析结果进行验证。

2.2 砂地比展布法

在进行地下地层沉积相与物源分析过程中,砂地比(砂岩厚度与地层总厚度的比值)是一个十分重要的参考指标^[22]。一般,在未遭受大规模构造抬升剥蚀的盆地,从母岩区向沉积中心方向,随着沉积相带的分异,砂地比值逐渐减小。研究区在地理位置上远离前陆盆地逆冲推覆构造带,在构造上比较稳定,未遭受强烈剥蚀作用,因此可以用砂地比值进行物源分析。

本文通过对研究区钻穿目的层的45口钻井进行统计,分别对侏罗系不同组段进行砂地比展布图的绘制。由于录井过程中可能存在人为因素的误差,因此,本文利用GR测井数据对录井资料进行校正,然后再进行砂地比统计,在一定程度上增加了此方法的可信度。

2.3 其他方法

除了以上所述的一些常规物源分析方法外,还可以通过重矿、微量元素和古地貌等方法进行物源体系展布研究^[26-27]。由于前人应用这些方法在研究区开展了大量详实的工作,因此本论文主要通过参考前人研究成果,对研究区物源体系展布予以证实,仅针对重

矿和古水流等方面进行数据补充。

3 物源与沉积特征

笔者综合考虑前人对研究区侏罗系物源体系展布的认识,重点应用碎屑组分和砂地比分析等手段,对研究区侏罗系沉积期物源体系进行了系统研究,重新厘定了物源体系数量,讨论了在区域构造背景下,物源体系的展布特征及时空变迁。

3.1 物源体系数量厘定

通过野外露头踏勘和岩心精细描述,本文对侏罗系沉积期龙门山前带周缘砾石进行了研究,并绘制了中侏罗统沙溪庙组和上侏罗统蓬莱镇组砾石的平面展布范围图(图4)。

在沙溪庙组共落实了2个主要砾岩发育区(图4a,图5),分别为龙门山中段和龙门山南段。通过对砾石成分统计分析发现,2个物源的砾岩组合有明显不同,龙门山中段物源以变质岩砾石为主,而龙门山南段物源以灰岩砾为主。

在蓬莱镇组共落实了4个主要砾岩发育区(图4b,图6),分别为龙门山中段2个、龙门山南段和

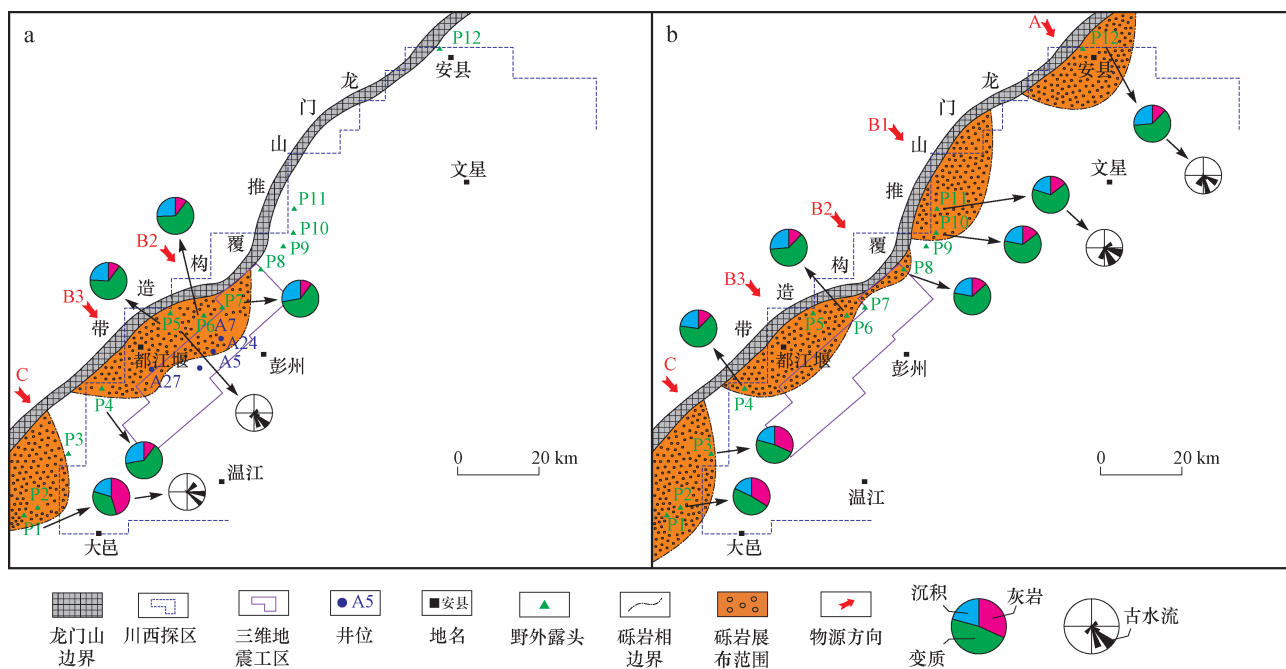


图4 川西地区龙门山前带侏罗系砾岩平面分布

Fig. 4 Map showing distribution of the Jurassic conglomerates in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin

a. 沙溪庙组; b. 蓬莱镇组

A. 龙门山北段江油物源; B1. 龙门山中段汉旺物源; B2. 龙门山中段小鱼洞物源; B3. 龙门山中段都江堰物源; C. 龙门山南段宝兴、雾中山物源; P1. 大邑斜源镇剖面; P2. 大邑青龙村剖面; P3. 崇州文井江镇剖面; P4. 都江堰青城山剖面; P5. 都江堰向峨乡剖面; P6. 彭州磁峰镇剖面; P7. 彭州丹景山剖面; P8. 彭州葛仙山剖面; P9. 什邡旗山村剖面; P10. 什邡李冰陵剖面; P11. 绵竹广济镇剖面; P12. 绵阳安昌镇剖面

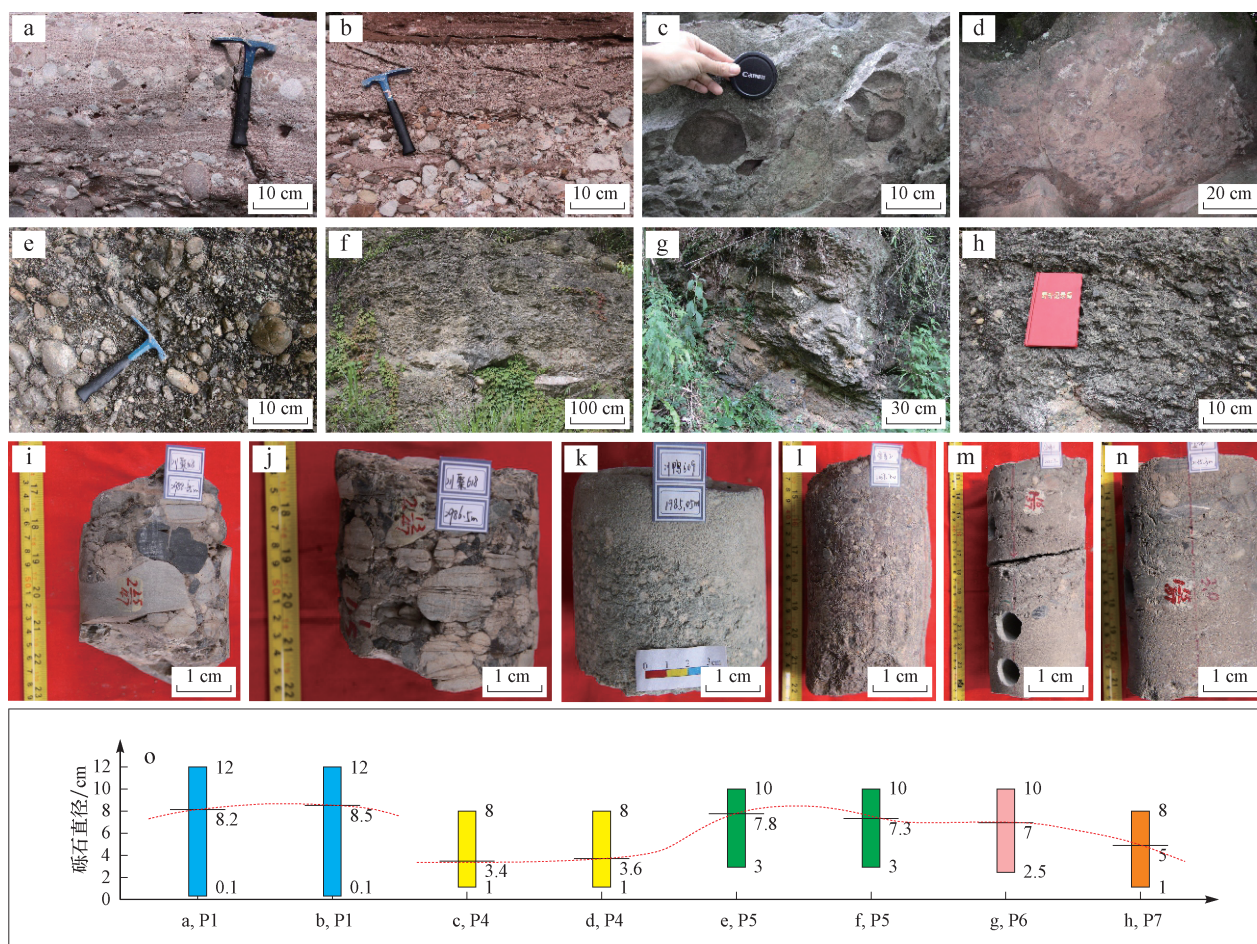


图5 川西地区龙门山前带沙溪庙组野外露头与岩心典型露头照片(剖面与井位位置见图4a)

Fig. 5 Photos showing the outcrop and representative cores of the Shaximiao Formation in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin (see Fig. 4 afor the locations of sections and wells)

a, b. 砾石成分以灰岩砾为主, 粒径在0.1~12 cm, 磨圆中等, 分选中等-差, 厚层, 片流+牵引流, 位置见图4a中P1; c, d. 砾石成分主要为硅质, 粒径在1~8 cm, 磨圆好, 分选中等, 薄层, 位置见图4a中P4; e, f. 砾石成分主要为硅质, 灰质<10%, 粒径在3~10 cm, 磨圆中等, 分选较差, 厚层, 位置见图4a中P5; g. 砾石成分主要为硅质, 粒径在2.5~10 cm, 磨圆中等, 分选中等-差, 薄-中层, 位置见图4a中P6; h. 砾石成分主要为硅质, 粒径在1~8 cm, 磨圆较好, 分选中等, 薄-中层, 位置见图4 P7; i, j. 砾石成分主要为硅质, 分选较差, 磨圆中等-好, 砾石直径为0.2~6 cm, 图4 a A27井, 2 988.65 m(i), 2 986.5 m(j); k. 砾石成分为火成岩和变质岩, 磨圆和分选均较好, 砾石直径为0.2~1 cm, 图4a中A24井, 埋深1 985.05 m; l. 砾石成分为火成岩和变质岩, 分选较好, 磨圆较差, 砾石直径为0.2~1 cm, 图4a中A5井, 埋深2 289.70 m; m, n. 砾石成分主要为硅质, 分选中等, 磨圆中等-好, 砾石直径为0.3~1.2 cm, 图4a中A7井, 埋深2 135.70 m(m), 2 135.30 m(n); o. a-h的砾石直径分布特征

龙门山北段。通过对砾石成分统计分析发现, 4个物源的砾岩组合有明显不同, 此外, 砾岩发育程度自南向北逐渐增强。

综上分析, 侏罗系沉积期, 山前带的物源区主要有5个(图4), 分别为龙门山北段江油一带(A)、龙门山中段汉旺(B1)、小鱼洞(B2)、都江堰(B3)一带和龙门山南段宝兴、雾中山一带(C)。

3.2 沉积体系特征

在明确侏罗系沉积不同时期物源体系数量基础上, 本文总结了龙门山前带早侏罗世、中侏罗世和晚侏罗世沉积体系特征。

3.2.1 早侏罗世

这一时期, 川西前陆盆地的前渊坳陷位于米仓山山前, 而龙门山主体为次要构造挤压区^[25]。川西地区的气候继承了晚三叠世的温暖、潮湿的特征^[19], 发育了一个湖域面积较大的半深水湖盆。

在这样的构造与沉积背景下, 研究区共发育短轴和近长轴2个方向的4套物源体系^[11, 28](图7a)。以白田坝组沉积时期为例, 发育1套近长轴方向的物源体系, 主要来自龙门山北段江油一带; 发育3套短轴方向的物源体系, 分别来自于龙门山中段小鱼洞一带、龙门山中段都江堰一带、龙门山南段宝兴及雾中山一

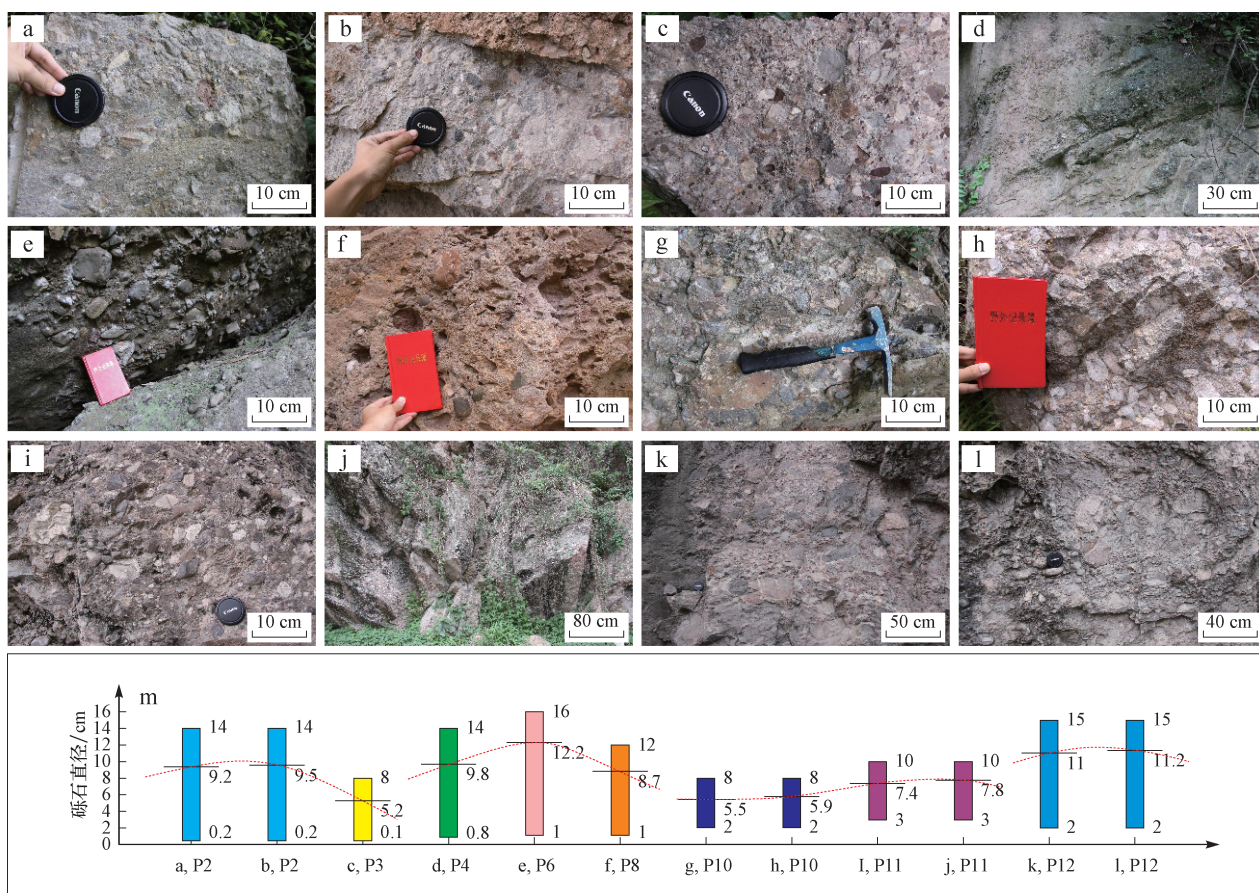


图6 川西地区龙门山前带蓬莱镇组野外露头与岩心典型露头照片(剖面位置见图4b)

Fig. 6 Photos showing the outcrop and representative cores of the Penglaizhen Formation in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin (see Fig. 4 b for the section location)

a, b. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 0.2 ~ 14 cm, 磨圆好, 分选中等, 中-厚层, 片流, 位置见图 4P2; c. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 0.1 ~ 8 cm, 磨圆好, 分选中等, 中-厚层, 位置见图 4b 中 P3; d. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 0.8 ~ 14 cm, 磨圆中等, 分选中等, 薄层, 位置见图 4b 中 P4; e. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 1 ~ 16 cm, 磨圆中等, 分选中等, 薄层, 底砾岩, 位置见图 4b 中 P6; f. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 1 ~ 12 cm, 磨圆中等, 分选中等, 薄层, 底砾岩, 位置见图 4b 中 P8; g, h. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 2 ~ 8 cm, 磨圆好, 分选中等, 中层, 位置见图 4b 中 P10; i, j. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 3 ~ 10 cm, 磨圆较好, 分选较好, 厚层, 位置见图 4b 中 P11; k, l. 砾石成分主要为硅质, 粒径在 2 ~ 15 cm, 磨圆中等, 分选差, 厚层, 位置见图 4b 中 P12; m. a-l 的砾石直径分布特征

带。此外, 根据研究区钻遇白田坝组的 11 口井的 215 个薄片分析统计(图 7a), 龙门山前带白田坝组砂岩主要以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和石英砂岩为主。沿短轴方向的来自龙门山中段小鱼洞一带的物源体系, 从 A28 井向 A10 井、A12 井和 A11 井方向, 矿物成分成熟度呈递增的趋势; 沿短轴方向的来自龙门山南段宝兴及雾中山的物源体系, 从 A3 井向 A1 井、A4 井方向, 矿物成分成熟度呈递增的趋势。

这一时期, 研究区沉积了白田坝组, 发育冲积扇-辫状河三角洲-滨浅湖沉积体系(图 7b)。冲积扇发育在大邑以西地区; 辫状河三角洲平原相带主要分布在大邑-都江堰-安县一带, 砂岩厚度普遍大于 90 m, 砂地比大于 0.5; 辫状河三角洲前缘相带相对较窄, 其面积共约为 1 000 km², 主要分布在温江-彭州-文星一

带, 呈条带状平行龙门山分布, 砂岩厚度为 50 ~ 90 m, 砂地比为 0.2 ~ 0.5; 研究区东部主要发育滨浅湖沉积, 而在马井、郫县、鸭子河等地区, 局部发育滩坝沉积。

3.2.2 中侏罗世

中侏罗世, 受板块挤压应力的影响, 川西前陆盆地的前渊拗陷发生迁移, 由米仓山转移到大巴山山前, 龙门山主体构造活动不强烈。由于秦岭造山带的隆升, 导致研究区的气候以炎热、干旱为特征^[7,29]。

这一时期, 前陆盆地前渊拗陷在大巴山前缘, 研究区主要发育短轴方向的物源体系^[11,28](图 8a)。以沙溪庙组沉积时期为例, 共发育 5 套短轴方向的物源体系, 分别来自于龙门山北段江油一带、龙门山中段汉旺一带、小鱼洞一带、龙门山中段都江堰一带、龙门山南

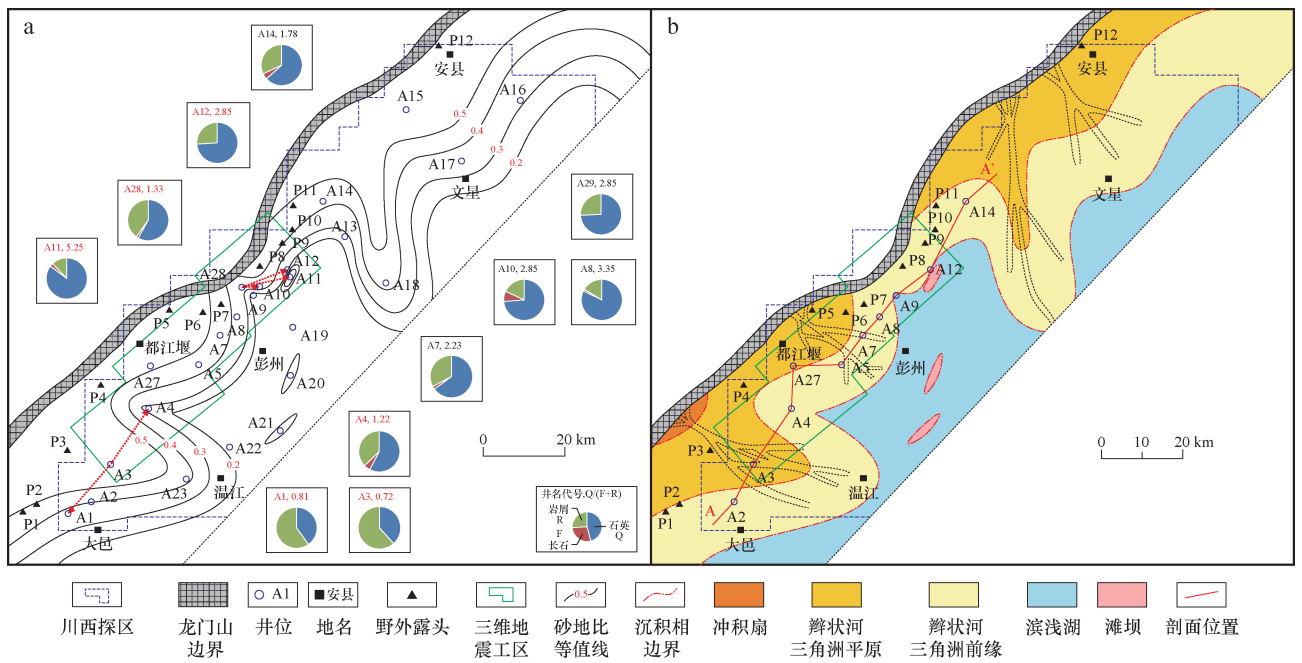


图7 川西地区龙门山前带下侏罗统白田坝组物源与沉积相特征

Fig. 7 Provenance and sedimentary facies characters of the Lower Jurassic Baitianba Formation in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin

a. 白田坝组物源综合分析; b. 白田坝组沉积相

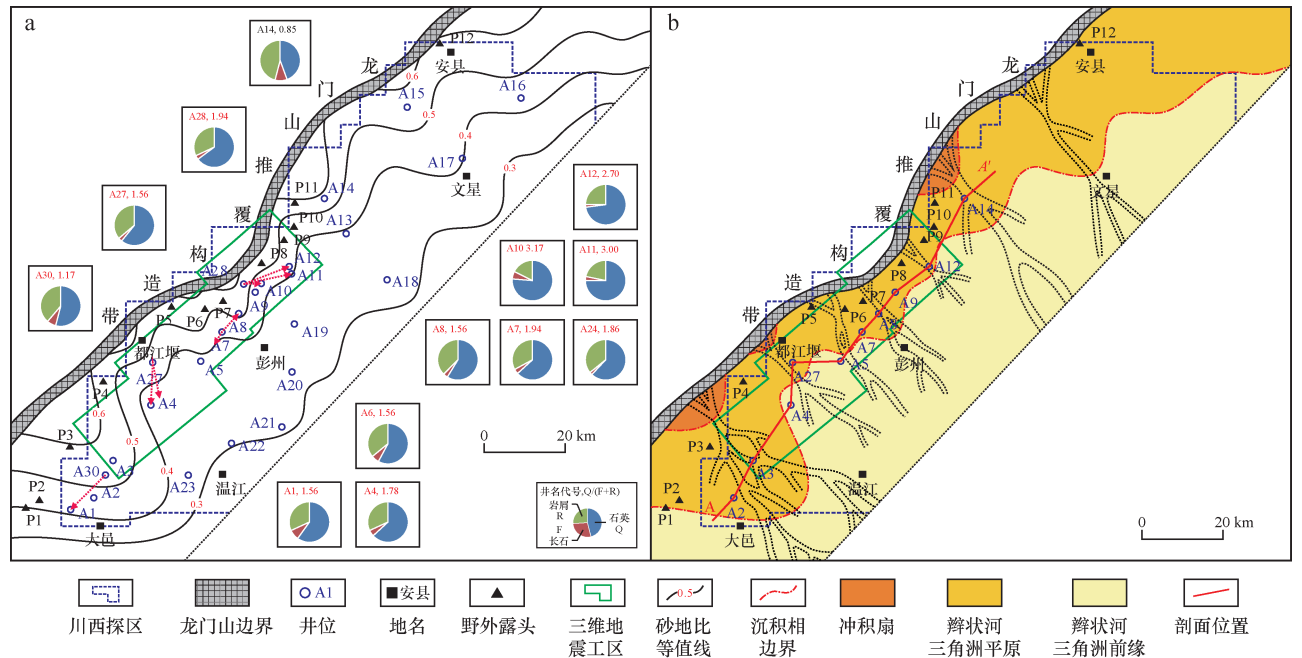


图8 川西地区龙门山前带中侏罗统沙溪庙组物源与沉积相特征

Fig. 8 Provenance and sedimentary facies characters of the Middle Jurassic Shaximiao Formation in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin

a. 沙溪庙组物源综合分析; b. 沙溪庙组沉积相

段宝兴及雾中山一带。此外,根据研究区钻遇沙溪庙组的13口井的842个薄片分析统计(图8a),龙门山前带沙溪庙组砂岩主要以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和石英砂岩为主。由龙门山北段、中段向南东方向,砂岩类型逐渐由岩屑砂岩过渡为岩屑石英砂岩和石英砂岩。沿短轴方向的来自龙门山中段小鱼洞一带的物源体系,从A28井向A10井、A12井、A11井方向,矿物成分成熟度呈递增的趋势,从A8井向A7井、A24井方

向,矿物成分成熟度呈递增的趋势;沿短轴方向的来自龙门山中段都江堰一带的物源体系,从A27井向A6井、A4井方向,矿物成分成熟度呈递增的趋势;沿短轴方向的来自龙门山南段宝兴及雾中山的物源体系,从A3井向A1井方向,矿物成分成熟度呈递增的趋势。

由龙门山至盆地内部,沙溪庙组发育冲积扇—辫状河三角洲—湖泊沉积体系。但相对于早侏罗世,由于气候逐渐炎热干旱,湖平面下降,湖盆面积整体萎缩,在研究区内仅发育冲积扇和辫状河三角洲沉积(图8b)。这一时期,冲积扇相带分布范围进一步增大;辫状河三角洲平原相带主要分布在大邑—金马—鸭子河—安县一带,砂岩厚度普遍大于250 m,砂地比大于0.4;辫状河三角洲前缘相带主要分布在温江—马井—德阳—绵阳一带,在研究区范围内,砂岩厚度小于250 m,砂地比小于0.4。

3.2.3 晚侏罗世

这一时期,龙门山北段再次隆升,川西前陆盆地的前渊拗陷由大巴山转移到龙门山北段山前,相比于早侏罗世和中侏罗世,龙门山中段构造活动变强,山前冲积扇范围有增大的趋势。这一时期的气候继承了中侏罗世炎热、干旱的气候^[29],湖盆中心位于盆地西南方向,湖域面积较小。

在这样的构造与沉积背景下,研究区共发育短轴

和近长轴2个方向的5套物源体系^[11,28](图9a),其中,短轴方向物源体系为主。以蓬莱镇组沉积时期为例,发育1套近长轴方向的物源体系,主要来自龙门山北段江油一带;发育4套短轴方向的物源体系,分别来自于龙门山中段汉旺一带、小鱼洞一带、龙门山中段都江堰一带、龙门山南段宝兴及雾中山一带。根据研究区钻遇蓬莱镇组的12口井的336个薄片分析统计(图9a),龙门山前带蓬莱镇组砂岩石英含量相对较低,岩屑含量相对较高,主要以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩为主。沿短轴方向的来自龙门山中段小鱼洞一带的物源体系,从A10井向A12井、A11井方向,矿物成分成熟度呈递增的趋势;沿短轴方向的来自龙门山中段都江堰一带的物源体系,从A7井向A24井、A5井、A4井方向,矿物成分成熟度呈递增的趋势;沿短轴方向的来自龙门山南段宝兴及雾中山的物源体系,从A2井向A1井、A3井方向,矿物成分成熟度呈递增的趋势。

这一时期,近长轴方向的龙门山北段物源再次出现,形成短轴方向的龙门山中段和近长轴方向的龙门山北段物源共存的格局。在研究区内,主要发育冲积扇和辫状河三角洲沉积相(图9b,图10)。相对于早—中侏罗世,蓬莱镇组沉积时期的冲积扇最为发育,面积可达800 km²,砂岩厚度大于700 m,砂地比大于0.6,主要分布在崇州—鸭子河—安县一带,且连片发

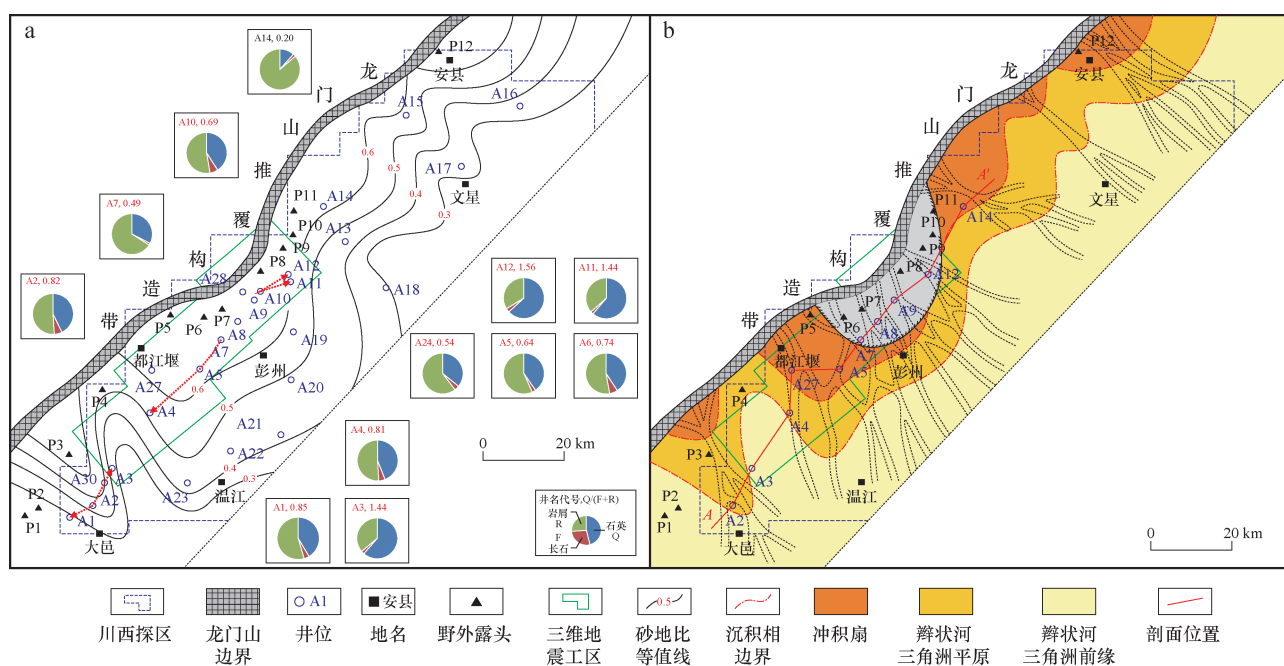


图9 川西地区龙门山前带上侏罗统蓬莱镇组物源与沉积相特征

Fig. 9 Provenance and sedimentary facies characters of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin
a. 蓬莱镇组物源综合分析; b. 蓬莱镇组沉积相

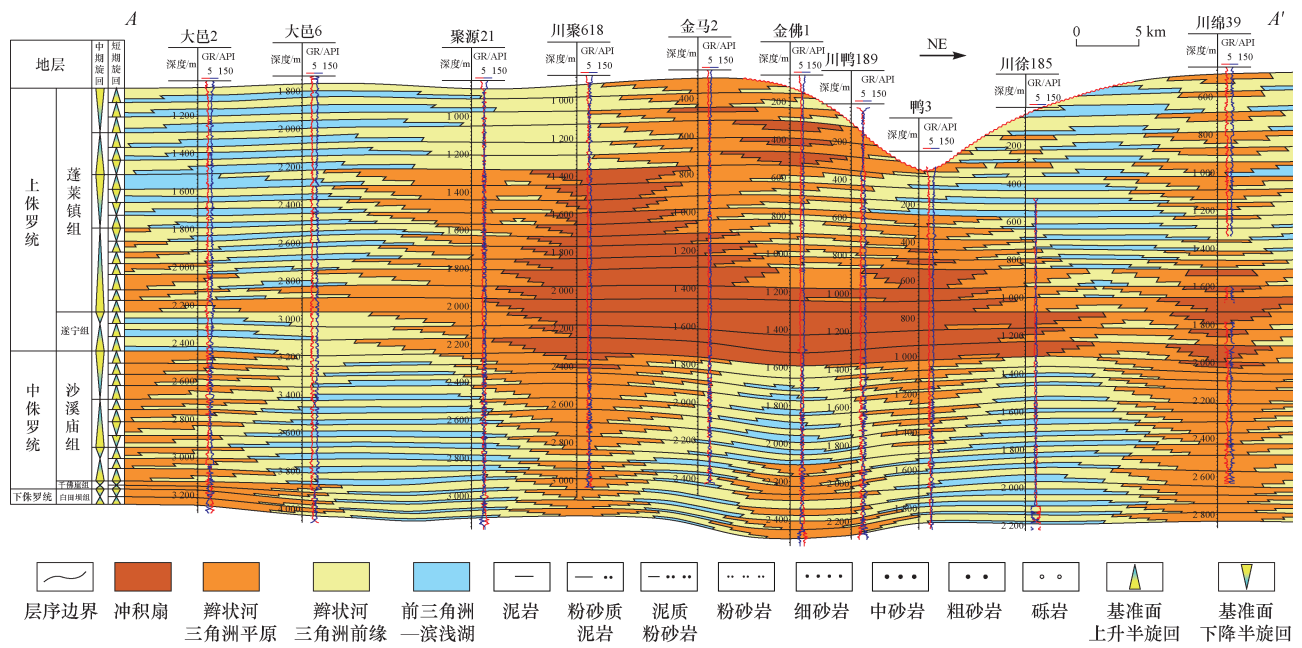


图10 地点过 A2—A4—A7—A12—A14 井沉积相剖面(剖面位置见图7—图9)
Fig. 10 Sedimentary facies section crossing Well A2, A4, A7, A12 and A14 (see Fig. 7, 8, and 9 for the section location)

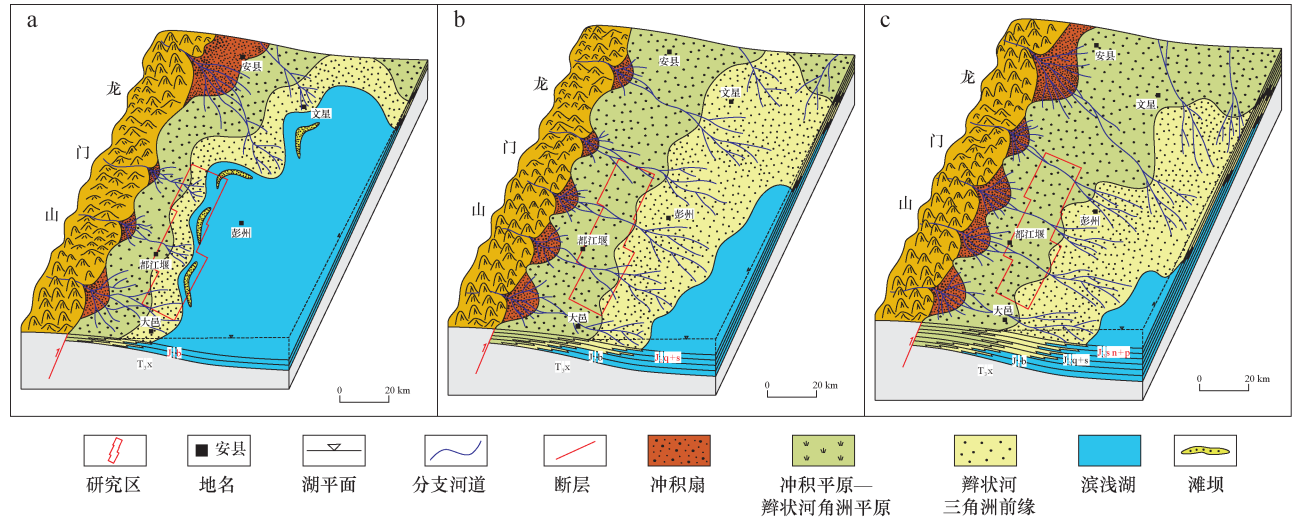


图11 川西地区龙门山前带侏罗系沉积模式
Fig. 11 Depositional models of the Jurassic successions in the foothill belt of Longmen Mountain, western Sichuan Basin
a. 早侏罗世; b. 中侏罗世; c. 晚侏罗世

育; 辫状河三角洲平原相对较窄, 主要分布在大邑—彭州一带, 呈条带状平行龙门山分布, 砂岩厚度为 500 ~ 700 m, 砂地比为 0.4 ~ 0.6; 辫状河三角洲前缘相带主要分布崇州—马井—绵阳一带, 面积约为 1 200 km²。

4 沉积演化模式

伴随着前陆盆地的幕式构造抬升作用, 物源和沉积体系不断发生变迁^[7]。在龙门山前带侏罗系, 由于其地质背景的特殊性, 可以进一步划分为 3 个沉积模

式(图 11), 分别为早侏罗世、中侏罗世和晚侏罗世沉积模式。

在早侏罗世(图 11a), 川西前陆盆地的前渊坳陷位于米仓山山前, 龙门山主体为次要构造挤压区, 山前带共发育短轴和近长轴 2 个方向的物源; 中侏罗世(图 11b), 川西前陆盆地的前渊坳陷发生迁移, 由米仓山转移到大巴山山前, 龙门山主体构造活动不强烈, 研究区主要发育短轴方向的物源体系; 晚侏罗世(图 11c), 龙门山北段再次隆升, 川西前陆盆地的前渊坳陷由大巴山转移到龙门山北段山前, 相比于早侏罗

世和中侏罗世,龙门山中段构造活动变强,山前冲积扇范围有增大的趋势,研究区共发育短轴和近长轴2个方向的5套物源体系。

5 结论

1) 侏罗系沉积期,龙门山前带共发育来自短轴和近长轴2个方向的5套物源体系,分别为短轴方向的龙门山中段汉旺一带、小鱼洞一带、都江堰一带和龙门山南段宝兴、雾中山一带,近长轴方向的龙门山北段江油一带。

2) 在沙溪庙组沉积期,以短轴方向物源体系为主;在蓬莱镇组沉积期,短轴方向物源体系为主,与近长轴方向物源体系共同研究区供源。

3) 下侏罗统主要发育冲积扇-曲流河三角洲-滨浅湖-半深湖沉积体系;中、上侏罗统主要发育冲积扇-辫状河三角洲-滨浅湖沉积体系。基于此认识,龙门山前带可以划分3种沉积模式,分别为早侏罗世、中侏罗世和晚侏罗世沉积模式。

参 考 文 献

- [1] 张庄,叶素娟,杨克明,等. 川西坳陷陆相脉冲式波动“二元”层序特征研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(3): 303-310.
Zhang Zhuang, Ye Sujuan, Yang Keming, et al. LST and T-HST featured by impulse in continental sequences in the Western Sichuan Depression[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2016, 38(3): 303-310.
- [2] 叶素娟,朱宏权,李嵘,等. 天然气运移有机-无机地球化学示踪指标——以四川盆地川西坳陷侏罗系气藏为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(4): 549-560.
Ye Sujuan, Zhu Hongquan, Li Rong, et al. Tracing natural gas migration by integrating organic and inorganic geochemical data: A case study of the Jurassic gas fields in western Sichuan Basin, SW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(4): 549-560.
- [3] 曾焱,黎华继,周文雅,等. 川西坳陷东坡中江气田沙溪庙组复杂“窄”河道致密砂岩气藏高产富集规律[J]. 天然气勘探与开发, 2017, 40(4): 1-8.
Zeng Yan, Li Huaji, Zhou Wenya, et al. High-yield enrichment laws of Shaximiao Formation tight sandstone gas reservoir of complex “narrow” channel in Zhongjiang Gas Field, in the eastern slope of West Sichuan Depression[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2017, 40(4): 1-8.
- [4] Catuneanu O. Retroarc foreland systems——evolution through time [J]. Journal of African Earth Sciences, 2004, 38(3): 225-242.
- [5] 高志勇,冯佳睿,李小陪,等. 天山南北前陆盆地冲断带沉积砂体对构造逆冲作用响应动力学[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 248-256.
Gao Zhiyong, Feng Jiarui, Li Xiaopei, et al. Kinetics of sedimentary process response to thrusting in the thrust belts of foreland basins in southern and northern Tianshan [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 248-256.
- [6] Buckley R A, Plint A G, Henderson O A, et al. Ramp sedimentation across a middle Albian, Arctic embayment: Influence of subsidence, eustasy and sediment supply on stratal architecture and facies distribution, Lower Cretaceous, Western Canada Foreland Basin [J]. Sedimentology, 2016, 63(3): 699-742.
- [7] 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 for eland basin [J]. Geology in China, 2008, 35(3): 472-481.
- [8] 李智武,刘树根,陈洪德,等. 龙门山冲断带分段-分带性构造格局及其差异变形特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(4): 440-454.
Li Zhiwu, Liu Shugen, Chen Hongde, et al. Structural segmentation and zonation and differential deformation across and along the Longmen thrust belt, West Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2008, 35(4): 440-454.
- [9] 孙东,刘树根,邓宾,等. 米仓山与龙门山接合部叠加褶皱特征及构造演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(2): 156-168.
Sun Dong, Liu Shugen, Deng Bin, et al. Superposed fold characteristics and structural evolution in the junction area of Longmenshan Mountains and Micangshan Mountains in the southwest of China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011, 38(2): 156-168.
- [10] 钱利军. 川西北地区中、下侏罗统物质分布规律与沉积充填过程 [D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
Qian Lijun. Regulation of sedimentary distribution and sedimentary filling process during Middle and Lower Jurassic in Western and Northern Sichuan, China [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [11] 叶素娟,李嵘,张庄. 川西坳陷中段上侏罗统蓬莱镇组物源及沉积体系研究[J]. 沉积学报, 2014, 32(5): 930-940.
Ye Sujuan, Li Rong, Zhang Zhuang. Provenance analysis and depositional system of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the Middle Part of Western Sichuan, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(5): 930-940.
- [12] 刘君龙,纪友亮,张克银,等. 川西前陆盆地侏罗系沉积体系变迁及演化模式[J]. 石油学报, 2016, 37(6): 743-756.
Liu Junlong, Ji Youliang, Zhang Keyin, et al. Jurassic sedimentary system transition in Western Sichuan Foreland Basin and its evolution model [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(6): 743-756.
- [13] 刘君龙,杨克明,纪友亮,等. 川西坳陷上侏罗统浅水漫湖沉积特征与砂体叠置模式[J]. 古地理学报, 2015, 17(4): 503-516.
Liu Junlong, Yang Keming, Ji Youliang, et al. Sedimentary characteristics and sandbody superposed patterns of flood-overlake deposits in the condition of high frequency lake-level change—A case study of

- Penglaizhen formation in the middle part of western Sichuan depression[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2015, 17(4): 503–516.
- [14] 刘君龙, 孙冬胜, 纪友亮, 等. 川西晚侏罗世前陆盆地浅水三角洲砂体分布特征与叠置模式[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(6): 1164–1178.
- Liu Junlong, Sun Dongsheng, Ji Youliang, et al. Distribution characteristics and its superimposed patterns of the late Jurassic shallow water deltaic sandbody in the Western Sichuan Depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(6): 1164–1178.
- [15] 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3–4): 59–68.
- Liu Hefu. Classification of foreland basins and fold thrust style[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3–4): 59–68.
- [16] 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: 地球科学)*, 2008, 38(10): 1221–1233.
- Wang Erqi, Meng Qingren. Discussion of the Longmen Mountain evolution in Mesozoic-Cenozoic[J]. *Science in China*, 2008, 38(10): 1221–1231.
- [17] 郑荣才, 朱如凯, 翟文亮, 等. 川西类前陆盆地晚三叠世须家河期构造演化及层序充填样式[J]. *中国地质*, 2008, 35(2): 246–255.
- Zheng Rongcai, Zhu Rukai, Zhai Wenliang, et al. Tectonic evolution and sequence filling patterns in the western Sichuan foreland-like basin in the Upper Triassic Xujiahean period[J]. *Geology in China*, 2008, 35(2): 246–255.
- [18] 安红艳, 时志强, 张慧娟, 等. 川西拗陷中段中侏罗统沙溪庙组储层砂岩物源分析[J]. *四川地质学报*, 2011, 31(1): 29–33.
- An Hongyan, Shi Zhiqiang, Zhang Huijuan, et al. On material source of sandstone reservoir of the Middle Jurassic Shaximiao Formation in West Sichuan Depression[J]. *Journal of Sichuan Geology*, 2011, 31(1): 29–33.
- [19] 李英强, 何登发. 四川盆地及邻区早侏罗世构造-沉积环境与原型盆地演化[J]. *石油学报*, 2014, 35(2): 219–232.
- Li Yingqiang, He Dengfa. Evolution of tectonic-depositional environment and prototype basins of the Early Jurassic in Sichuan Basin and adjacent areas[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 35(2): 219–232.
- [20] 李智武, 刘树根, 林杰, 等. 川西拗陷构造格局及其成因机制[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 36(6): 645–653.
- Li Zhiwu, Liu Shugen, Lin Jie, et al. Structural configuration and its genetic mechanism of the West Sichuan depression in China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2009, 36(6): 645–653.
- [21] 朱志军, 陈洪德. 川东南地区志留系小河坝组砂岩特征及物源分析[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(6): 1590–1600.
- Zhu Zhijun, Chen Hongde. Sandstone characteristics and provenance analysis of sandstone in Silurian Xiaheba Formation in Southeastern Sichuan Province, China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(6): 1590–1600.
- [22] 钟玮, 蒲秀刚, 何幼斌, 等. 渤海湾盆地黄骅坳陷南地区古近系孔店组二段物源分析[J]. *古地理学报*, 2012, 14(6): 707–718.
- Zhong Wei, Pu Xiugang, He Youbin, et al. Provenance of the Member 2 of Paleogene Kongdian Formation in Kongnan area, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(6): 707–718.
- [23] 马收先, 孟庆任, 曲永强. 轻矿物物源分析研究进展[J]. *岩石学报*, 2014, 30(2): 597–608.
- Ma Shouxian, Meng Qingren, Qu Yongqiang. Development on provenance analysis of light minerals[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2): 597–608.
- [24] 叶茂才, 易智强, 李剑波. 川西拗陷蓬莱镇组沉积体系时空配置规律[J]. *成都理工学院学报*, 2000, 27(1): 57–62.
- Ye Maocai, Yi Zhiqiang, Li Jianbo. Distribution rule of sedimentary system of the upper Jurassic Penglaizhen formation, in west Sichuan sag[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2000, 27(1): 57–62.
- [25] 钱利军, 陈洪德, 时志强, 等. 川西拗陷中段蓬莱镇组物源及沉积相展布特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2013, 40(1): 15–24.
- Qian Lijun, Chen Hongde, Shi Zhiqiang, et al. Provenance and sedimentary facies evolution of Penglaizhen Formation in the middle part of West Sichuan depression[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2013, 40(1): 15–24.
- [26] 杨仁超, 李进步, 樊爱萍, 等. 陆源沉积岩物源分析研究进展与发展趋势[J]. *沉积学报*, 2013, 31(1): 99–107.
- Yang Renchao, Li Jinbu, Fan Aiping, et al. Research progress and development tendency of provenance analysis on terrigenous sedimentary rocks[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(1): 99–107.
- [27] 张新毅, 魏玉帅, 王成善, 等. 藏南仲巴地区早白垩世日朗组物源分析及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2015, 31(1): 273–283.
- Zhang Xinyi, Wei Yushuai, Wang Chengshan, et al. Provenance analysis and its tectonic significance of Early Cretaceous Rilang Formation in Zhongba area, southern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(1): 273–283.
- [28] 李得立. 川西前陆盆地侏罗纪沉积体系发育分布特征及差异性[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- Li Deli. The distribution characteristic and difference of sedimentary system of Jurassic in the western Sichuan foreland Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.
- [29] 徐胜林, 侯明才, 林良彪, 等. 川西前陆盆地侏罗纪构造层序地层格架内沉积充填特征[J]. *岩石学报*, 2011, 27(8): 2327–2338.
- Xu Shenglin, Hou Mingcai, Lin Liangbiao, et al. Depositional characteristics within tectonic sequence of Jurassic, western Sichuan foreland basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(8): 2327–2338.