

四川盆地西部下侏罗统珍珠冲段沉积体系特征及控制作用

夏建港¹, 李琦^{2,3}, 陈贺贺^{2,3}, 朱珍君^{2,3}, 郭莉^{2,3}, 张利红¹, 赵牛斌¹

(1. 中国石化中原油田分公司物探研究院, 河南濮阳 457001; 2. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083; 3. 极地地质与海洋矿产教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:四川盆地西部(川西)珍珠冲段纵向紧邻须家河组生烃中心, 为非常规致密油气勘探的潜力层系。根据露头、岩心、钻测井及二维地震等资料, 恢复珍珠冲段古地貌, 明确沉积体系类型、展布特征, 分析古地貌对沉积体系的控制作用。结果表明: 川西珍珠冲段沉积期整体为西高东低的古地貌格局, 具有古沟谷、古斜坡及古残丘3种古地貌单元。川西北部、中部和南部沉积体系类型差异明显, 其中, 川西北部龙门山构造活动强烈、物源供给充足, 发育以砾石为主的扇三角洲沉积; 川西中部龙门山构造活动减弱, 发育近源的冲积扇—辫状河三角洲沉积; 川西南部龙门山处于构造活动相对宁静期, 发育以细砂岩为主的曲流河三角洲沉积; 湖泊沉积体系广泛分布于川西、川北坳陷带。古地貌控制沉积物可容空间, 影响沉积物堆积部位, 决定四川盆地西部珍珠冲段沉积体系类型及展布特征。该结果为四川盆地陆相致密气勘探提供指导。

关键词:沉积体系; 古地貌; 控制作用; 珍珠冲段; 下侏罗统; 四川盆地西部

中图分类号: P618.13; TE122.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-4107(2025)03-0001-13

0 引言

随四川盆地油气勘探不断深入, 非常规致密油气成为研究热点^[1-2]。四川盆地西部(川西)下侏罗统处于须家河组烃源岩的生烃中心, 烃源条件最为有利^[3]。川西致密气勘探开发在中侏罗统沙溪庙组获得较大突破, 探明地质储量为 $2.2 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 年产气量超过 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1], 其特征是源储未直接接触, 属于断层沟通的跨层远距离运聚的致密气藏^[4]。川西下侏罗统珍珠冲段紧邻须家河组生烃中心, 通源断裂发育, 属于陆相致密气的新层系、新类型, 是风险勘探的重要领域, 显示巨大的油气勘探潜力^[5-6]。

人们对四川盆地西部下侏罗统沉积期的构造运动和沉积演化开展研究, 在盆地不同区域建立沉积格架。何江等^[7]、徐昌海^[8]、江文剑等^[9]认为川西北珍珠冲段发育冲积扇—扇三角洲沉积体系, 沉积体系展布受水流强弱和距物源区远近控制; 赵霞飞等^[10]、何逢阳^[11]分析野外露头、古生物及地震资料, 认为川中珍珠冲段构造运动和缓平稳, 物源供给充足, 发育三角洲—湖泊沉积体系; 李英强等^[12]、刘君龙等^[13]、朱志军等^[14]分析早侏罗世四川盆地的沉积演化模式, 指出东部珍珠冲段属于远源搬运的曲流河—三角洲沉积体系。四川盆地珍珠冲段以三角洲和湖泊沉积为主, 沉积体系受物源和古水系控制。对川西珍珠冲段沉积体系展布规律缺乏整体认识, 对川西中部沉积体系存在分歧, 对川西古地貌分布格局研究较少^[15-16]。

根据露头、岩心、钻测井及二维地震资料, 恢复川西珍珠冲段古地貌; 利用单井、连井沉积相分析, 结合地层厚度、砂体厚度和砂地比分布特征, 刻画沉积体系展布范围, 明确川西珍珠冲段沉积体系类型、展布特征, 分析古地貌对沉积体系的控制作用, 为四川盆地侏罗系致密气勘探提供地质依据。

1 区域地质概况

四川盆地处于古扬子板块的西北缘, 是一个经过多次构造运动的多旋回叠合盆地^[17]。研究区位于四

收稿日期: 2024-04-24; 编辑: 刘丽丽

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技项目(P23202); 中国石油化工股份有限公司科技项目(P24005); 中国石化中原油田科技项目(2023BY03)

作者简介: 夏建港(1997—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事石油地质学方面的研究。

川盆地西部,受扬子板块俯冲及龙门山推覆带共同作用的影响,西邻龙门山断褶带,东至华蓥山断裂带,北与米仓山隆起和大巴山断褶带相邻,南接峨眉瓦山块断带,包括川西坳陷带、川北坳陷带与川中隆起带 3 个构造单元,面积约为 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$ (见图 1(a))。晚三叠世,在印支运动晚幕强大的挤压构造环境下,川西须家河组不断隆升并遭受风化剥蚀。早侏罗世,龙门山逆冲推覆活动减弱,川西前陆湖盆进一步扩展,在秦岭造山带、松潘—甘孜造山带等共同影响下,米仓山—大巴山进一步抬升并形成四川盆地“西陡北缓”的古构造格局,盆地沉积沉降中心位于川西北部^[18-21]。珍珠冲段沉积期继承晚三叠世湿热气候^[22],整体处于湖进体系域,发育以紫红色泥岩为主的三角洲—湖泊沉积,地层西厚东薄、北厚南薄,呈“楔状”分布在须家河组之上(见图 1(b))。

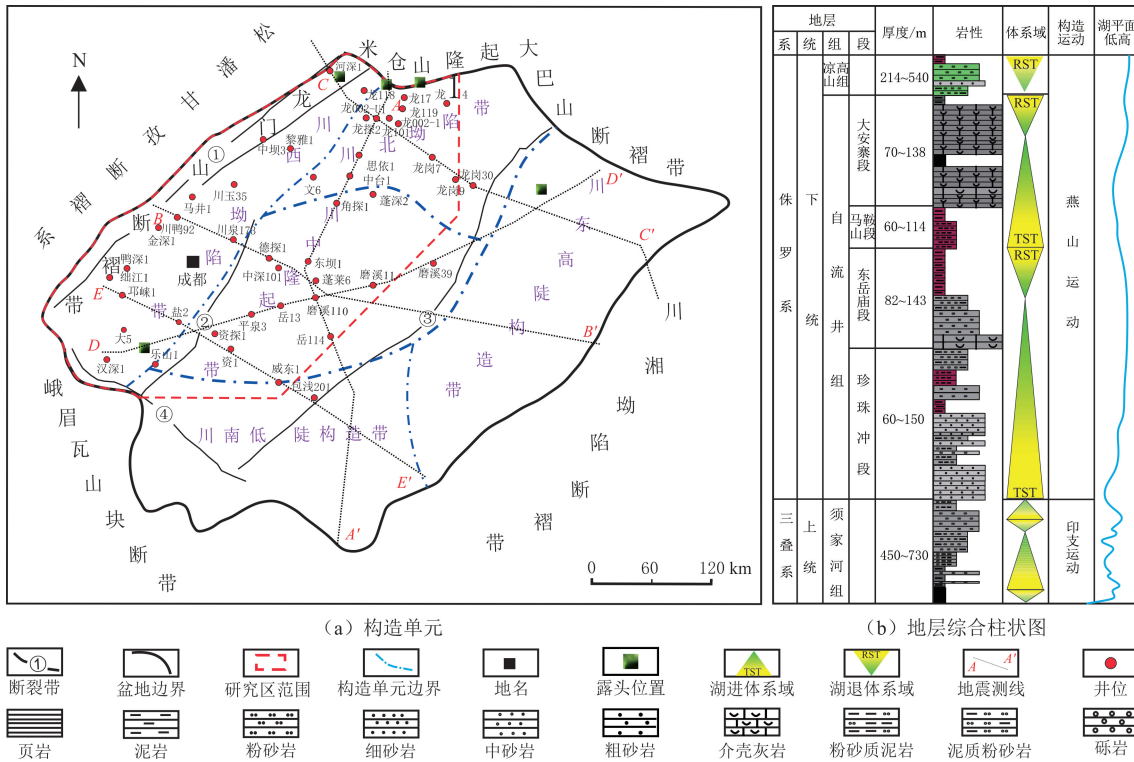


图 1 四川盆地西部构造单元及自流井组地层综合柱状图
 Fig. 1 Tectonic regionalization and comprehensive stratigraphic column of Ziliujing Formation in Western Sichuan Basin

2 古地貌格局

陆相湖盆稳定沉降阶段,地层厚度可以反映沉积盆地的古地貌特征^[23-24]。珍珠冲段沉积期为印支运动晚幕构造抬升结束的快速沉降阶段^[12],利用残余厚度法可以大致恢复沉积期前的古地貌。对研究区 188 口钻遇珍珠冲段井进行系统分层,获取地层厚度,利用盆地级二维地震测线,建立 5 条珍珠冲段层序地层格架(见图 1(a)),获得珍珠冲段残余厚度及古地貌分布格局。珍珠冲段顶拉平地地震剖面显示,界面之上珍珠冲段局部上超,界面以下须家河组削截界面明显(见图 2(a-b)),反映珍珠冲段沉积期整体为湖盆扩张期,古隆起分布广泛。川西地层厚度显示,珍珠冲段厚度变化大,整体呈东厚西薄、北厚南薄的分布特征。研究区东北部西 68、龙 119 井地区沉积厚度最大,大致呈 N—S 向展布,为古沟谷地貌;研究区中部黎雅 1、丰谷 1、川泉 173 及金深 1 井一线呈 NW—SE 向倾斜,地层厚度相对较薄且厚度变化大,可划分为古斜坡地貌;西南部邛崃 1、邑深 1 井为古残丘地貌,表现为古斜坡之上局部隆起,地层厚度薄且变化快。整体上,川西珍珠冲段古地貌呈西高东低的分布格局(见图 2(c))。

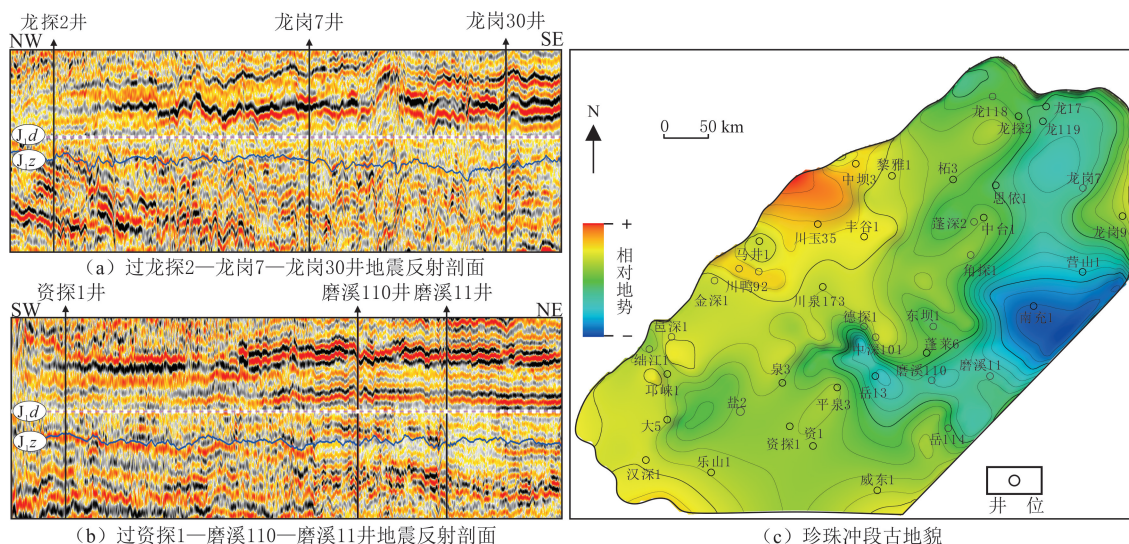


图2 川西珍珠冲段古地貌分布格局

Fig. 2 Paleogeomorphology distribution pattern of J_1z in Western Sichuan Basin

3 沉积体系类型

早侏罗世,龙门山持续向东南逆冲推覆,在强大的挤压挠曲作用下,龙门山—米仓山山前不断沉降而形成川西—川北拗陷带,此时沉积沉降中心位于川西北部^[18]。盆地西部和北部属于逆冲推覆和遭受剥蚀的中—高山区,为川西前陆盆地提供大量陆源粗碎屑物质,在盆缘发育多套短轴和近长轴的物源体系^[25]。根据岩心、钻测井及地震资料,研究区识别冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖泊5种沉积体系。

3.1 冲积扇

珍珠冲段沉积期,龙门山在印支运动晚幕的构造背景下不断推覆造山,龙门山—米仓山—大巴山间歇性急流携带大量粗碎屑物质在山前快速堆积而形成冲积扇相,地震反射表现为高振幅、连续性差、内部杂乱反射特征,外形呈楔状或透镜状(见图3)。南江三江露头显示珍珠冲段沉积物以块状砾石层为主,砾间充填泥质及砂,成分成熟度与结构成熟度低,分选差(见图4(a))。剑阁金子山剖面显示,沉积物以杂色砾岩夹灰色泥岩为主,砾石含量和粒径减小,由于长期暴露于地表而遭受不同程度的氧化作用,缺少还原性的暗色沉积物(见图4(b))。岷江1井见厚层砾岩段,GR曲线呈低幅齿状箱形、中高幅齿状钟形,指示扇根沉积亚相。金深1井珍珠冲段砾岩厚度减薄,见砂砾岩与泥岩互层,GR曲线呈低幅齿状箱形、齿状钟形叠置,为扇中—扇端亚相。

3.2 扇三角洲

晚三叠世—早侏罗世,受龙门山“幕”式推覆和米仓山造山活动的影响,盆地西北部靠近龙门山与大巴山物源区,龙门山南东向和米仓山南西向河流向盆缘拗陷输送大量粗碎屑沉积物,在陡坡带直接入湖而形成裙带状扇三角洲,由盆缘向盆地方向分布扇三角洲平原和扇三角洲前缘亚相。

3.2.1 扇三角洲平原

扇三角洲平原特征多为近物源的辫状河沉积^[26]。珍珠冲段沉积期,受构造挤压影响,川西北部盆地坡度大,沉积物可容空间小,扇三角洲平原发育范围受限。地震剖面显示为中—弱振幅、中频低连续特征,见弱斜交前积结构(见图3)。广元工农镇剖面显示,珍珠冲段具有厚层砾石支撑结构,见叠瓦状构造、板状交错层理(见图4(c)),指示陡坡环境下形成的扇三角洲平原沉积。龙001-U1井取心岩性以灰色石英质砾岩为主,砾间常充填小砾石或砂岩,磨圆中等较好,结构成熟度高,向上渐变为灰色中—细砂岩,呈递变正粒序;低幅齿状箱形GR曲线识别为辫状河道沉积微相,指状、尖刺状GR曲线指示漫滩沼泽微相。

3.2.2 扇三角洲前缘

扇三角洲前缘砂岩粒度较扇三角洲平原的细,以较陡的前积相为特征,是扇三角洲沉积的主体^[27]。

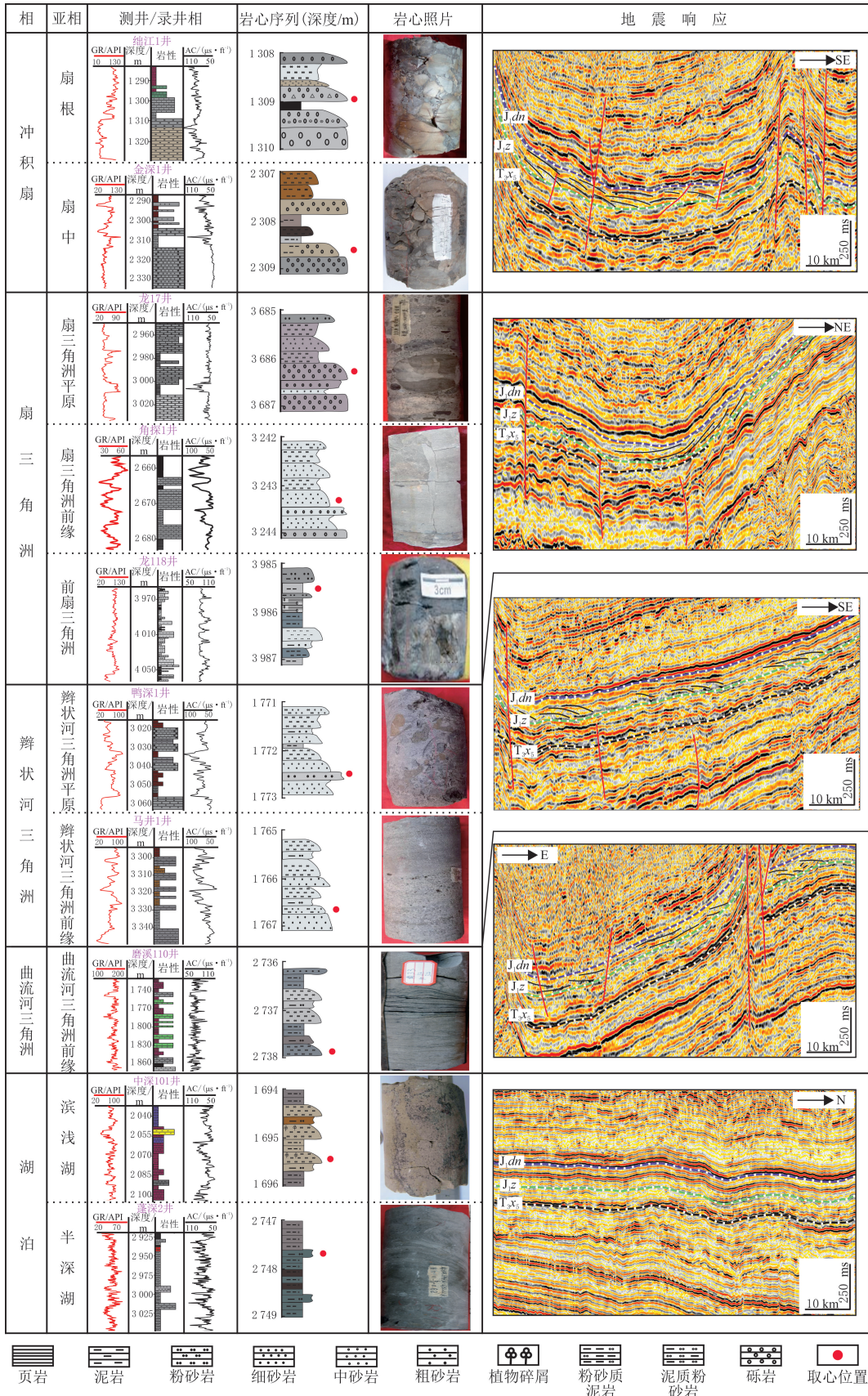
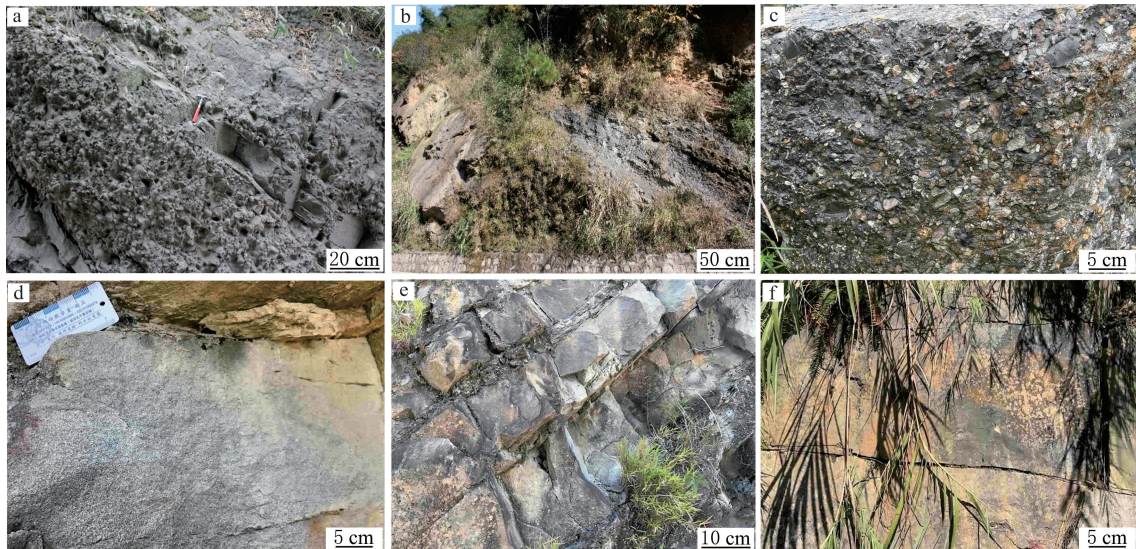


图3 川西珍珠冲段测井相、岩心相及地震相特征
 Fig. 3 Characteristics of logging facies, core facies and seismic facies of J_{1z} in Western Sichuan Basin

研究区扇三角洲前缘地震反射为切线斜交型前积结构,为中频低连续特征,向盆地内部前积厚度增加。龙110井取心为杂色砾岩夹泥岩,指示由二次搬运或滑塌形成的重力流沉积。龙002-1井取心以厚层砂砾岩为主,底部常见冲刷面及滞留沉积的含砾砂岩,具有向上变细的正韵律叠置特征,河流二元结构明显,板状交错层理、块状层理发育,GR曲线呈低幅钟形或箱形,指示水下分流河道沉积。龙101钻井揭示,珍珠冲段发育暗色细粉砂岩和泥岩互层,可见水平层理、沙纹层理和透镜状层理,常见虫孔等生物扰动构造,GR曲线呈中—高幅指状或尖刺状,属于水下分流河道间沉积。通江何家坡剖面显示,沉积物以灰色中—细岩屑砂岩为主(见图4(d)),分选较好,偶见由水深变化形成的泥质夹层(见图4(e))。文6井资料揭示,珍珠冲段发育平行层理和波浪改造作用下形成的波状纹层,偶见中小型交错层理,无明显的冲刷构造和粒序特征,GR曲线呈中—高幅齿状漏斗形,为河口坝沉积微相。



(a) 块状砾石层,砾间充填泥质及砂,南江三江剖面; (b) 杂色砾岩夹灰色泥岩,剑阁金子山剖面; (c) 杂色砾岩,叠瓦状构造,广元工农镇剖面; (d) 灰色岩屑石英砂岩,通江何家坡剖面; (e) 中—细砂岩夹薄层泥岩,通江何家坡剖面; (f) 石英砂岩,块状层理,峨眉荷叶湾剖面

图4 川西珍珠冲段露头剖面照片

Fig. 4 Field outcrop photos of J_{1z} in Western Sichuan Basin

3.2.3 前扇三角洲

前扇三角洲主要位于滨浅湖沉积的河口前方,受湖浪改造强烈。龙118井取心显示,珍珠冲段岩性见巨砾岩、中—细砂岩及暗色泥岩,泥岩中见钙质胶结(见图3)。岩心相表明,九龙山地区存在扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲完整序列。龙14井珍珠冲段取心见灰黑色泥岩,发育湖泊季节性纹层,GR曲线形态较为平直,呈低幅齿状、夹指形曲线,为前扇三角洲沉积。

3.3 辫状河三角洲

珍珠冲段沉积期,龙门山属于次要构造挤压区^[18],盆地西缘山麓距湖岸近,辫状河沉积体快速搬运至湖盆而形成辫状河三角洲,是川西主要沉积类型^[25,26]。川西河流坡比降大,由盆缘向盆地方向粗碎屑物质占比迅速减少,整体反韵律叠置显著,分支河道发育,偶见河口砂坝,研究区辫状河三角洲以辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘亚相为主。

3.3.1 辫状河三角洲平原

辫状河三角洲平原主要发育于龙门山前缘,地震同相轴为中频低连续性特征,振幅较弱,具有典型S型、斜交型前积特征(见图3),指示低能环境下沉积物快速沉降。大5井自流井组取心见薄层细砾岩段,砾石杂乱排列,为辫状河三角洲平原沉积。鸭深1井显示,珍珠冲段岩性为厚层砂砾岩,厚度为17~30 m,泥页岩不发育,属于近源粗粒沉积物,为辫状河道沉积。GR曲线呈多个中—低幅钟形叠置,为辫状河道与越岸沉积交互的沉积环境。

3.3.2 辫状河三角洲前缘

辫状河三角洲前缘是三角洲沉积的水下部分,主体为水下分流河道沉积^[29]。研究区辫状河三角洲沉积地震反射特征为中频低连续的叠瓦状前积。新深1井珍珠冲段岩心见深灰色泥岩夹小砾岩,砾石磨圆较好,层理不发育,指示辫状河三角洲前缘重力流沉积。马井1井揭示,珍珠冲段岩性以灰色中—细砂岩夹泥岩为主,低幅齿状箱形GR曲线指示水下分流河道沉积,中—高幅漏斗形、低幅齿状GR曲线指示河口坝与水下分流河道间沉积。

3.4 曲流河三角洲

曲流河三角洲主要发育于构造稳定、水体较浅、整体缓慢沉降的沉积环境,河道侧向迁移频繁,主要分布于研究区南部,以前缘亚相为主^[28,30],地震同相轴为平行、亚平行和中振幅、高频率的叠瓦状前积,外形呈楔状或席状(见图3)。峨眉荷叶湾露头显示,珍珠冲段岩性为灰色石英岩屑砂岩,成分成熟度与结构成熟度高(见图4(f)),发育块状层理,属于浅水环境下三角洲前缘远端沉积物。磨溪110井揭示,珍珠冲段常见红色、灰绿色粉—细砂岩和泥岩组合,多呈正粒序,GR曲线呈多个中—低幅齿状钟形叠置,反映水下分流河道沉积微相。岳114井珍珠冲段底部岩性以灰绿色细砂岩、粉砂岩为主,GR曲线为中—高幅齿状漏斗形,为河口坝沉积微相。

3.5 湖泊

湖泊沉积体系广泛发育于珍珠冲段,主要为滨浅湖和半深湖亚相。地震剖面呈中—弱振幅、高频率、连续亚平行反射结构(见图3)。角33井取心为灰黑色泥岩,见水平层理、波状层理和变形层理,层理面上富集炭屑。中深101井等揭示,珍珠冲段岩性总体为大套泥岩、泥质粉砂岩与薄层粉砂岩,偶见薄层滩坝砂岩,GR曲线表现为低幅齿状,齿中线水平,反映水动力与沉积速率、物源供给相对稳定的沉积特征。根据浪基面、枯水面和洪水面位置,以及研究区钻井珍珠冲段岩屑统计数据,将研究区湖泊相划分为半深湖和滨浅湖亚相,大致沿三台—南充一线为界,南部珍珠冲段岩性纵向上表现为大段紫红色、灰绿色泥岩夹薄层粉砂岩,反映间歇性的氧化沉积环境,属于滨浅湖沉积;北部珍珠冲段岩性主要为一套成熟度较高的灰黑色泥页岩夹粉砂岩,反映偏还原的沉积环境,属于半深湖沉积。

4 沉积体系展布特征

沉积体系展布受构造运动、湖平面变化、物源供给等因素限制。利用露头、岩心、钻测井及地震资料,基于沉积相剖面、地层厚度、砂体厚度和砂地比分布特征,刻画川西珍珠冲段沉积体系平面展布特征,编制川西下侏罗统珍珠冲段沉积体系展布图。

4.1 砂体平面展布特征

砂体展布及砂地比特征反映沉积盆地砂体运移规律,是分析盆地沉积充填的重要依据^[31]。利用GR、AC等测井曲线数据对录井岩屑进行二次校正。珍珠冲段沉积期,川西砂岩厚度整体在30 m以上,自东北向西南向逐渐降低。区域内砂岩最大厚度出现在东部简阳—西充—旺苍一带,为60 m;西部成都—德阳—绵阳一带砂岩厚度较薄,整体在25 m以下,局部低值中心出现在安县—绵阳一带,砂岩厚度低于10 m(见图5(a))。研究区砂地比显示,珍珠冲段砂地比在0.3~0.6之间,龙门山、米仓山前缘出现多个局部高值区,砂地比在0.5以上,砂体极为发育。南充—西充一带砂地比低于0.3,砂体发育较差(见图5(b))。整体上,珍珠冲段沉积期砂体主要呈北西—南东向和北东—南西向展布,北西向砂体规模大于北东向的,砂地比与砂体展布特征基本一致,反映龙门山—米仓山前缘旺苍、剑阁、德阳、雅安一带存在多个物源通道。

4.2 沉积体系纵向演化特征

印支运动晚期,川西前陆盆地经历构造抬升和短暂剥蚀,盆地基底再次沉降^[30],在三叠系须家河组风化剥蚀面基础上由湖侵形成珍珠冲段。珍珠冲段沉积早期,湖平面缓慢上升,盆地内部存在多个互不连通的小洼陷(见图2),川西北部龙17井主要发育扇三角平原沉积,南东向水深增加,过渡为扇三角洲前缘沉积(见图6(a-b))。川西中部角探1、蓬莱6井附近距盆缘较远且水体变浅,沉积物粒径变细,辫状河三角洲前缘沉积发育。珍珠冲段沉积晚期,湖平面不断上升,盆内小洼陷完全沟通相连,沉积体系继承性发育,

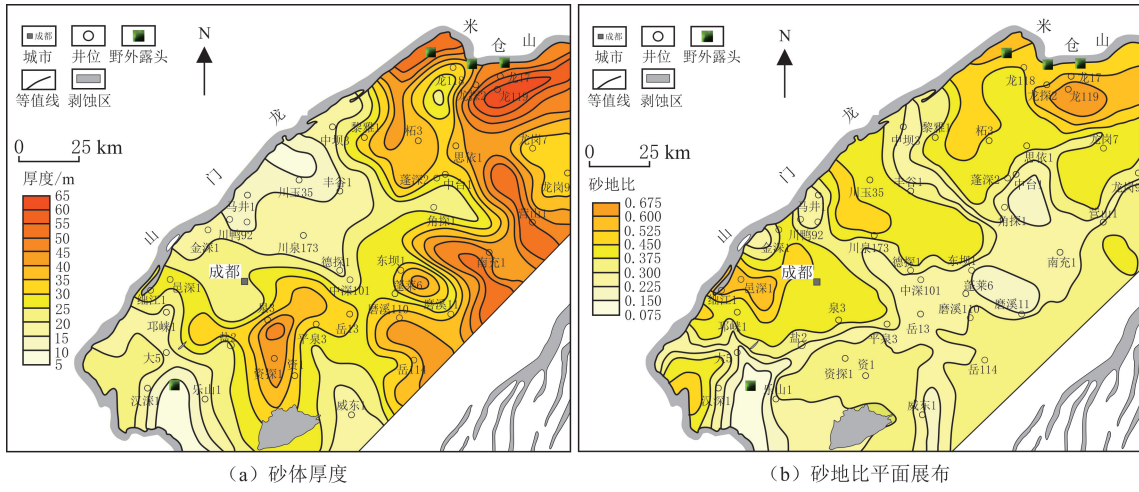
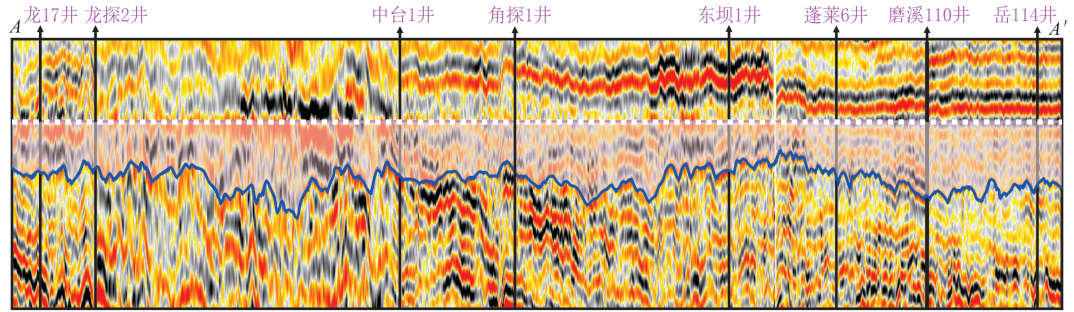
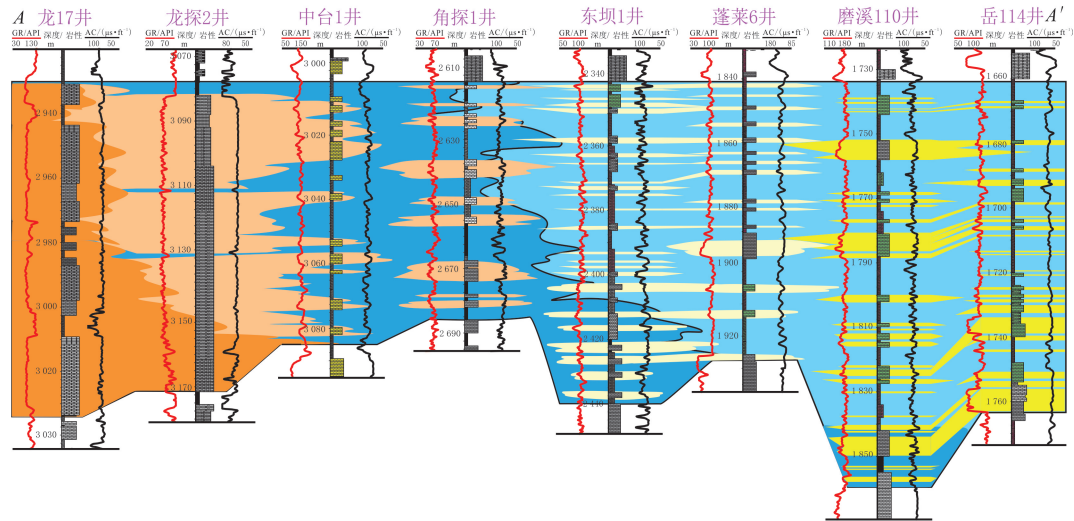


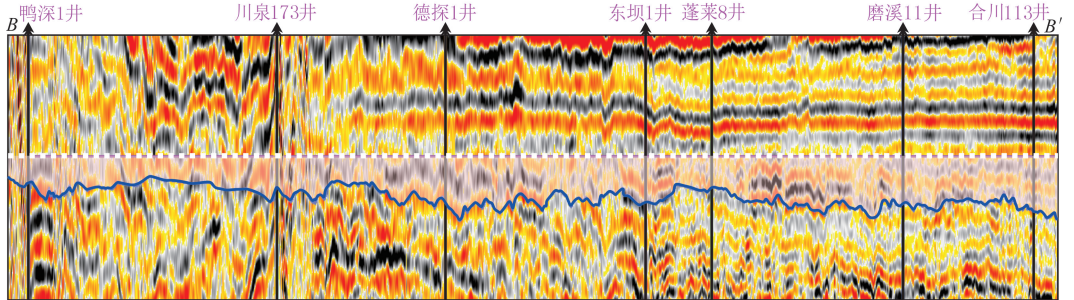
图 5 川西珍珠冲段砂体厚度及砂地比平面展布
Fig. 5 Sandstone thickness and plane of sand-to-ground ratio of J_{1z} in Western Sichuan Basin



(a) NE-SW 向地震连井剖面



(b) NE-SW 向沉积相连井剖面



(c) NW-SE 向地震连井剖面

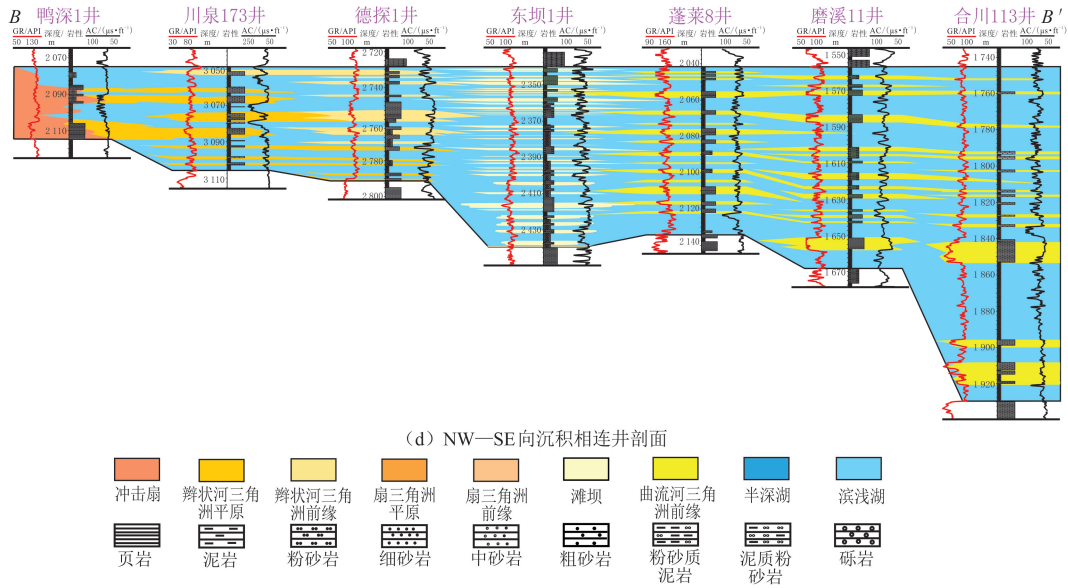


图 6 川西珍珠冲段地震连井剖面及沉积相连井剖面(剖面位置见图 1(a))
 Fig. 6 Seismic profile and corresponding sedimentary correlation profile of J_1z in Western Sichuan Basin (the profile position is shown in fig. 1)

三角洲规模增大,单砂体厚度减薄,泥质含量逐渐增加。川西北部龙探 2 井显示物源不断后退过渡为扇三角洲前缘沉积,川西中部东坝 1、蓬莱 6 井演化为滨浅湖环境下的滩坝沉积(见图 6(c-d))。川西南部物源供给及湖平面相对稳定,发育稳定的曲流河三角洲沉积。

4.3 沉积体系空间展布

侏罗系川西前陆盆地是与龙门山冲段推覆构造带相匹配的陆相沉积盆地,龙门山冲断推覆构造带是前陆盆地主要物源区^[32]。川西珍珠冲段主要是在湖平面不断上升的沉积背景下发育的三角洲—湖泊沉积体系。中台 1 井及西北部地势较低处发育规模较大的扇三角洲沉积,灰色巨砾岩、小砾岩发育,扇三角洲平原发育相对局限,主要分布于剑阁—旺苍—南江一线,以砾石沉积为主;扇三角洲前缘朵叶可延伸至角探 1—川 49—川付 69 井一带,沉积物粒径变细,以中—细砂岩为主(见图 7(a))。湖平面上升对地势较高处绵阳—德阳一带影响较小,冲积扇位于川西中部龙门山前缘,未受湖泊影响,分布范围局限,发育于灌口 003-5—川鸭 92—川鸭 35 井一带,沉积物以杂色砾岩、泥岩为主,向盆内过渡为辫状河三角洲平原亚相,岩性以紫红色、灰绿色细砂岩或泥岩为主,砂体发育范围受限,厚度较大,物源供给充足,可延伸至邛崃 1—川泉 173 井一线;辫状河三角洲前缘朵叶可延伸至简阳—中江—射洪一带,岩性多为紫红色、灰绿色中—细砂岩(见图 7(b))。曲流河三角洲位于川西南部,发育范围广,前端朵叶可延伸至乐山—永川—遂宁一带,沉积物以浅色细粉砂岩为主(见图 7(c-d))。湖泊沉积在研究区广泛发育,沉积物以灰黑色、紫红色泥岩为主,根据沉积特征差异可区分为滨浅湖与半深湖,大致以南充—广安界,北部为半深湖,南部发育滨浅湖(见图 7-8)。

5 古地貌对沉积体系的控制作用

古地貌对沉积盆地源—汇系统、沉积物可容空间及湖平面变化具有重要影响,控制沉积体系类型与平面展布特征^[33-36]。晚三叠世,在印支运动晚幕强大的挤压构造环境下,龙门山迅速隆升,由挤压挠曲沉降作用形成川西前陆盆地,沉降中心位于川西中部^[18],受构造背景、变形强度等影响,在川西北、川西中、川西南部呈分段变形的特征^[37-38]。早侏罗世,川西前陆盆地总体呈北低南高、东低西高的古地貌格局。在盆地西部龙门山和北部大巴山持续逆冲、推覆影响下,沉积沉降中心不断向北迁移^[39-42]。珍珠冲段沉积期延续晚三叠世的湿热气候^[22],湖平面不断上升,沉积体系不断退积。结合古地貌分布格局,对砂体厚度、砂地比与沉积体系展布特征进行叠合分析,建立研究区珍珠冲段沉积模式(见图 9)。珍珠冲段沉积期,沉

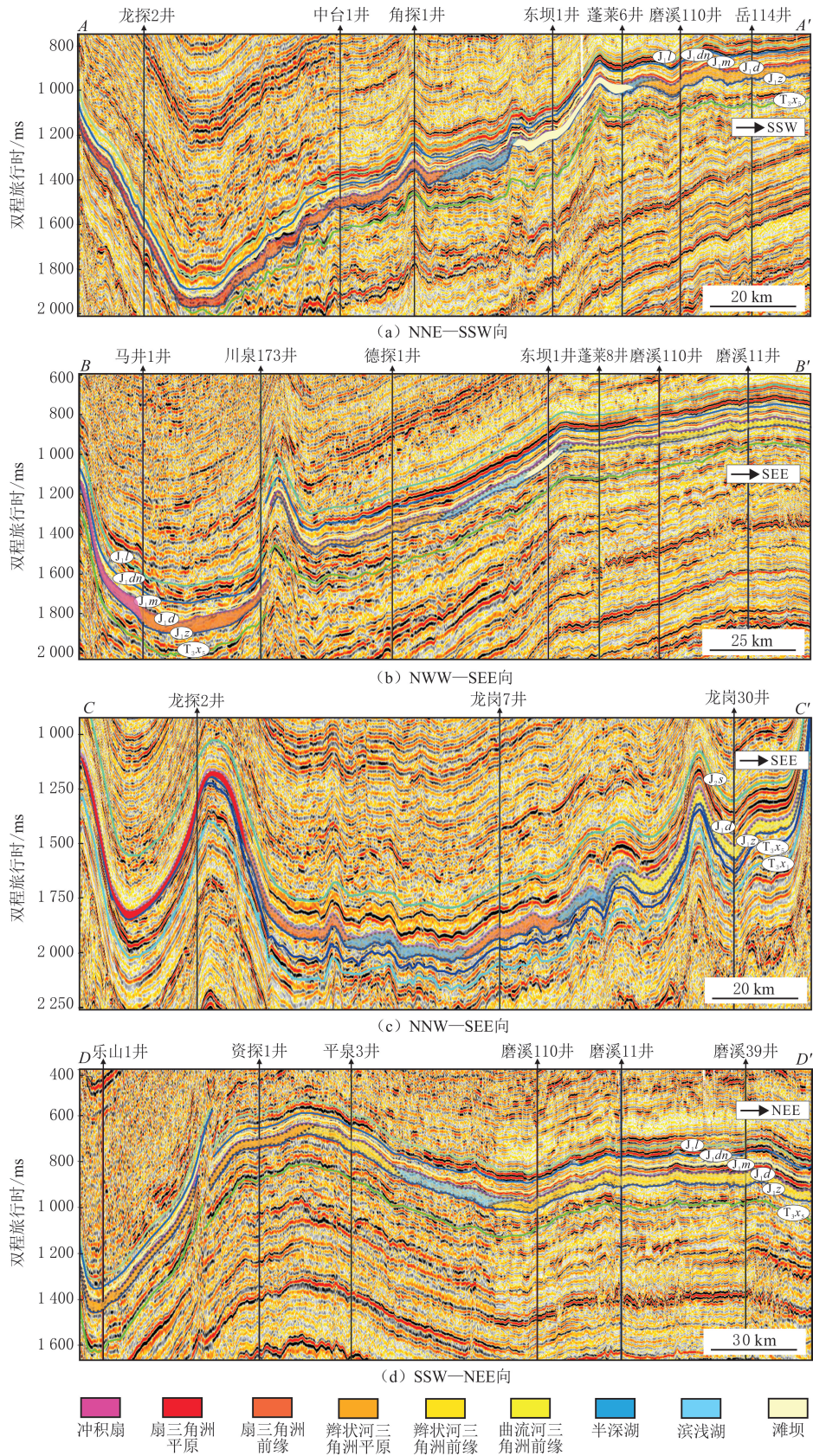


图 7 川西珍珠冲段地震连井剖面解释及沉积体系展布

Fig. 7 Seismic profile interpretation of correlation well panels and depositional systems distribution of J_1z in Western Sichuan Basin

积体系类型及展布主要受古沟谷、古斜坡和古残丘控制 3 类地貌单元控制。川西北部物源供给充足,古沟谷可容纳空间大,沉积物快速充填,主要为扇三角洲相砾砂岩与粗砂岩,受古沟谷侧向遮挡与湖平面波动的影响,三角洲朵叶呈 NW—SE 和 N—S 向展布,多期次叠置发育。川西中部 NW—SE 向物源受继承性古隆起影响,可容空间小,分流河道受阻后侧向迁移频繁,砂体厚度整体较薄,砂地比位于中—高值区,沉积物以冲积扇—辫状河三角洲含砾砂岩、中粗砂岩为主。古残丘零星分布于川西南部,整体地势平缓,表现为过渡沉积,沉积物主要为细砂岩和滨浅湖泥,单砂体厚度薄且呈连片分布,受东南部分支水系的影响,曲流河三角洲分布范围较大。

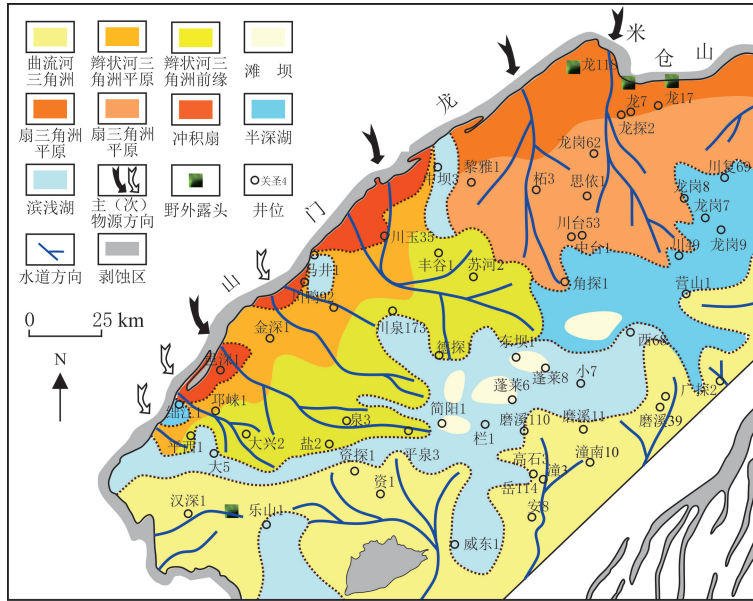


图 8 川西珍珠冲段沉积相平面展布

Fig. 8 Distribution of depositional systems of the J_1z in Western Sichuan Basin

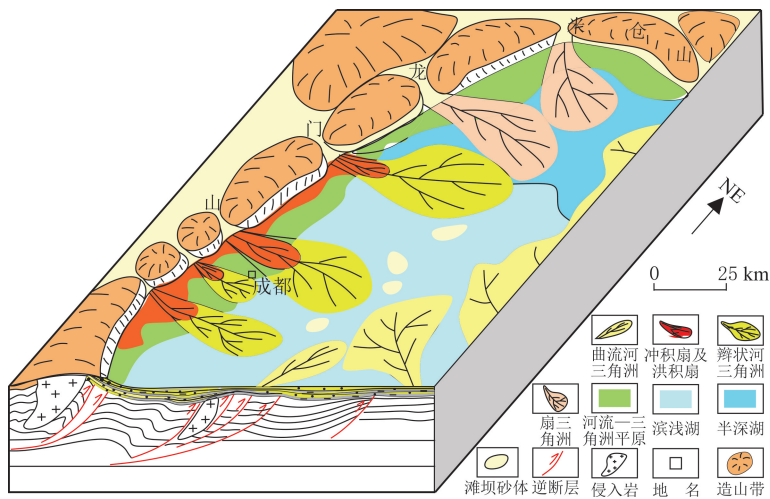


图 9 川西珍珠冲段沉积模式

Fig. 9 Depositional model of the J_1z in Western Sichuan Basin

6 结论

(1) 四川盆地西部珍珠冲段整体呈西高东低、南高北低的古构造格局,发育古沟谷、古斜坡及古残丘 3 种古地貌单元,西北部为陡坡区,南部为缓坡区,地势最低处位于川西北部。

(2) 研究区发育冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖泊 5 种沉积体系。沉积体系的展

布与区域构造活动、古地貌格局和湖平面变化密切相关。扇三角洲主要分布于川西北部,冲积扇—辫状河三角洲位于川西中部,曲流河三角洲主要发育于川西南部,湖泊沉积体系在研究区广泛分布。

(3)研究区早侏罗世处于古构造转换期,古地貌是控制川西珍珠冲段沉积模式和充填特征的重要因素。受继承性古地貌影响,川西北部地势低洼处发育厚层连片砂砾岩,川西南部地势平缓处砂体相对分散,沉积物以砂泥薄互层为主。

参考文献(References):

- [1] 文龙,罗冰,王小娟,等.四川盆地陆相致密油气勘探新领域及资源潜力[J].石油学报,2025,46(1):77-88.
WEN Long, LUO Bing, WANG Xiaojuan, et al. New exploration fields and resource potential of continental tight oil and gas in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2025,46(1):77-88.
- [2] 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 Tanshen, 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 Petrolei Sinica, 2011,32(1):8-17.
- [3] 孙龙德,邹才能,贾爱林,等.中国致密油气发展特征与方向[J].石油勘探与开发,2019,46(6):1015-1026.
SUN Longde, ZOU Caineng, JIA Ailin, et al. Development characteristics and orientation of tight oil and gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019,46(6):1015-1026.
- [4] 刘忠群,徐士林,刘君龙,等.四川盆地川西坳陷深层致密砂岩气藏富集规律[J].天然气工业,2020,40(2):31-40.
LIU Zhongqun, XU Shilin, LIU Junlong, et al. Enrichment laws of deep tight sandstone gas reservoirs in the Western Sichuan Depression, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2020,40(2):31-40.
- [5] 廖群山,胡华,林建平,等.四川盆地川中侏罗系致密储层石油勘探前景[J].石油与天然气地质,2011,32(6):815-822.
LIAO Qunshan, HU Hua, LIN Jianping, et al. Petroleum exploration prospect of the Jurassic tight reservoirs in Central Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011,32(6):815-822.
- [6] 曹正林,张本健,杨荣军,等.川西地区上三叠统须家河组全油气系统成藏模式新认识[J].天然气工业,2023,43(11):40-53.
CAO Zhenglin, ZHANG Benjian, YANG Rongjun, et al. New understanding of hydrocarbon accumulation model in whole petroleum system of the Upper Trassic Xujiahe Formation in the Western Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2023,43(11):40-53.
- [7] 何江,胡欣,张本健,等.四川盆地西北部下侏罗统白田坝组沉积体系[J].石油实验地质,2013,35(5):515-522.
HE Jiang, HU Xin, ZHANG Benjian, et al. Depositional system of Lower Jurassic Baitianba Formation in Northwestern Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013,35(5):515-522.
- [8] 徐昌海.四川盆地北部地区珍珠冲段砂砾岩沉积体系及有利储层预测[D].成都:西南石油大学,2012:37-53.
XU Changhai. Sand conglomerate sedimentary system and favorable reservoir prediction in the Zhenzhuchong Member of Northern Sichuan Basin[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012:37-53.
- [9] 江文剑,侯明才,马华灵,等.川西北九龙山地区下侏罗统自流井组珍珠冲段沉积相研究[J].地质力学学报,2014,20(1):48-60.
JIANG Wenjian, HOU Mingcai, MA Hualing, et al. Research on sedimentary facies of the Zhenzhuchong Segment in the Lower Jurassic Ziliujing Formation in Jiulongshan Region, Northwest Sichuan Basin[J]. Journal of Geomechanics, 2014,20(1):48-60.
- [10] 赵霞飞,龚昌明,张闻林,等.川中东北部须家河组与珍珠冲段地层划分[J].沉积学报,2011,29(4):631-643.
ZHAO Xiafei, GONG Changming, ZHANG Wenlin, et al. Stratigraphic division between Xujiahe Formation and Zhenzhuchong Member in the NE part of Central Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011,29(4):631-643.
- [11] 何逢阳.川中地区须家河组与珍珠冲段地层沉积特征与划分对比研究[D].成都:成都理工大学,2010:63-77.
HE Fengyang. Comparative study on the sedimentary features and stratigraphic correlation of Xujiahe Formation and Zhenzhuchong Member strata in middle of Sichuan Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010:63-77.
- [12] 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 Petrolei Sinica, 2014,35(2):219-232.
- [13] 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 and evolution model in Western Sichuan Foreland Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016,37(6):743-756.
- [14] 朱志军,陈洪德,胡晓强,等.川西前陆盆地侏罗纪层序地层格架、沉积体系配置及演化[J].沉积学报,2010,28(3):451-461.
ZHU Zhijun, CHEN Hongde, HU Xiaoliang, et al. Framework of sequence stratigraphy, sedimentary system and evolution of Jurassic in Western Sichuan Foreland Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010,28(3):451-461.
- [15] 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 superimposition pattern of the Late Jurassic shallow water deltic sand body in the foreland basin of Western Sichuan Depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2018,39(6):1164-1178.
- [16] 王永栋, 碧宏, 谢小平, 等. 四川盆地陆相三叠系与侏罗系[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010:1.
- WANG Yongdong, FU Bihong, XIE Xiaoping, et al. The terrestrial Triassic and Jurassic in the Sichuan Basin[M]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010:1.
- [17] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1992:10-29.
- TONG Chongguang. Structural evolution and hydrocarbon accumulation in Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992:10-29.
- [18] 李智武, 宋天慧, 王自剑, 等. 川西—龙门山盆山系统走向差异演化的变形、隆升和沉积记录及关键构造变革期讨论[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2021,48(3):257-282.
- LI Zhiwu, SONG Tianhui, WANG Zijian, et al. Strike variation evolution of the basin-mountain system in Western Sichuan Longmenshan as recorded by deformation, exhumation and deposition and discussion on the period of key structural transformation[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2021,48(3):257-282.
- [19] 吴鑫涛, 刘丽, 葛家旺, 等. 川中地区沙二段古地貌对河道砂体发育的控制作用[J]. 特种油气藏, 2024,31(6):57-66.
- WU Xintao, LIU Li, GE Jiawang, et al. Paleogeomorphology control of $J_2s_1^2$ in the Central Sichuan Basin on the development of channel sand bodies[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2024,31(6):57-66.
- [20] 冯潇飞, 赵晓明, 张喜, 等. 川中地区中侏罗世早期天文驱动下的湖平面波动及沉积物分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2024,45(5):1368-1382.
- FENG Xiaofei, ZHAO Xiaoming, ZHANG Xi, et al. Astronomically forced lake-level fluctuation and sediment distribution patterns during the Early Middle Jurassic, Central Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2024,45(5):1368-1382.
- [21] HU Yong, XIAO Juan, HE Wenxiang, et al. Application of high frequency lake level change in the prediction of tight sandstone thin reservoir by sedimentary simulation[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2021,128:105049.
- [22] 邓胜徽, 卢远征, 赵怡, 等. 中国侏罗纪古气候分区与演变[J]. 地学前缘, 2017,24(1):106-142.
- DENG Shenghui, LU Yuanzheng, ZHAO Yi, et al. The Jurassic palaeoclimate regionalization and evolution of China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2017,24(1):106-142.
- [23] 郭荣涛, 林东升, 张忠民, 等. 下刚果盆地晚渐新世—中新世挤压带盐构造地貌特征及其对重力流沉积的控制作用[J]. 东北石油大学学报, 2025,49(1):18-32.
- GUO Rongtao, LIN Dongsheng, ZHANG Zhongmin, et al. Geomorphology characteristics of salt structures and their controlling effects of gravity flow deposits in the contraction belt from Late Oligocene to Miocene in the Lower Congo Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2025,49(1):18-32.
- [24] PERRIER R, QUILBIER J. Thickness changes in sedimentary layers during compaction history[J]. *AAPG Bulletin*, 1974,58(3):507-520.
- [25] 邓莉, 刘君龙, 钱玉贵, 等. 川西地区龙门山前带侏罗系物源与沉积体系演化[J]. 石油与天然气地质, 2019,40(2):380-391.
- DENG Li, LIU Junlong, QIAN Yugui, et al. Provenance and sedimentary system of the Jurassic successions in the front of Longmen Mountain in Western Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019,40(2):380-391.
- [26] 孟昊, 钟大康, 李超, 等. 渤海湾盆地渤中坳陷渤中 25-1 油田古近系沙河街组沙二段沉积相及演化[J]. 古地理学报, 2016,18(2):12.
- MENG Hao, ZHONG Dakang, LI Chao, et al. Sedimentary facies and evolution of the member 2 of Paleogene Shahejie Formation of BZ25-1 Oilfield in Bozhong Depression, Bohai Bay Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2016,18(2):12.
- [27] 林畅松. 沉积盆地分析原理与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2016:104-132.
- LIN Changsong. Sedimentary basin analysis principle and application[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016:104-132.
- [28] 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, 2013:74-96.
- 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, 2013:74-96.
- [29] 王欣, 陈龙, 虞聪, 等. 渝西地区须家河组辫状河三角洲沉积特征及演化模式[J]. 东北石油大学学报, 2024,48(6):81-97.
- WANG Xin, CHEN Long, TUO Cong, et al. Sedimentary characteristics and evolution of braided river delta of the Xujiahe Formation in Western Chongqing Area[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2024,48(6):81-97.
- [30] 李胡蝶, 王昌勇, 李楠, 等. 四川盆地东部中—下侏罗统沉积体系及其演化特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2023,50(3):279-293.
- LI Hudie, WANG Changyong, LI Nan, et al. The Middle-Lower Jurassic sedimentary system and its evolution characteristics in the Eastern Sichuan Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2023,50(3):279-293.

- [31] HUBERT J F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones[J]. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, 1962,32(3):440-450.
- [32] 刘树根,杨荣军,吴熙纯,等. 四川盆地西部晚三叠世海相碳酸盐岩—碎屑岩的转换过程[J]. *石油与天然气地质*, 2009,30(5):556-565.
LIU Shugen, YANG Rongjun, WU Xichun, et al. The Late Triassic transition from marine carbonate rock to clastics in the Western Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009,30(5):556-565.
- [33] 厚刚福,王力宝,宋兵,等. 坳陷湖盆古地貌对沉积体系的控制作用:以准噶尔盆地中部侏罗系三工河组二段一砂组为例[J]. *地质学报*, 2022,96(7):2519-2531.
HOU Gangfu, WANG Libao, SONG Bing, et al. Analysing the controlling effect of palaeogeomorphology on sedimentary systems: a case study of the Jurassic Sangonghe Formation in the Central Junggar Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022,96(7):2519-2531.
- [34] LI Shunli, YU Xinghe, TAN Chengpeng, et al. Jurassic sedimentary evolution of Southern Junggar Basin: implication for palaeoclimate changes in Northern Xinjiang Uygur Autonomous Region, China[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2014,3(2):145-161.
- [35] 高云峰,范廷恩,蔡文涛,等. 尼日尔三角洲盆地中新统深水浊流沉积体系演化特征及主控因素[J]. *东北石油大学学报*, 2024,48(5):1-16.
GAO Yunfeng, FAN Tingen, CAI Wentao, et al. Evolution characteristics and main controlling factors of deepwater turbidite system in the Miocene of the Niger Delta Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2024,48(5):1-16.
- [36] 杨志力,李丽,吴佳男,等. 西沙海域晚中新世深水水道发育特征及主控因素[J]. *东北石油大学学报*, 2023,47(4):29-38.
YANG Zhili, LI Li, WU Jianan, et al. Development characteristics and controlling factors of Late Miocene deepwater channels in Xisha Area[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2023,47(4):29-38.
- [37] 李智武,刘树根,林杰,等. 川西坳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(Science & Technology Edition)*, 2009,36(6):645-653.
- [38] 金文正,汤良杰,杨克明,等. 川西龙门山褶皱冲断带分带性变形特征[J]. *地质学报*, 2007,81(8):1072-1080.
JIN Wenzheng, TANG Liangjie, YANG Keming, et al. Deformation and zonation of the Longmenshan fold and thrust zone in the Western Sichuan Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007,81(8):1072-1080.
- [39] 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(Science & Technology Edition)*, 2008,35(4):440-454.
- [40] MENG Q R, WANG E, HU J M. Mesozoic sedimentary evolution of Northwest Sichuan Basin: implications for continued clockwise rotation of the South China Block[J]. *Geologic Society of American Bulletin*, 2005,117(3):396-410.
- [41] 张美,任新成,商丰凯,等. 准噶尔盆地齐古组浅水河控三角洲沉积特征及模式探讨[J]. *特种油气藏*, 2024,31(6):67-76.
ZHANG Mei, REN Xincheng, SHANG Fengkai, et al. Sedimentary characteristics and models of shallow-water river-dominated delta in Qigu Formation, Junggar Basin[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2024,31(6):67-76.
- [42] 吴文娟,戴建文,王华,等. 珠江口盆地深水气田储层差异及主控因素[J]. *非常规油气*, 2024,11(5):52-59.
WU Wenjuan, DAI Jianwen, WANG Hua, et al. Reservoir property differences and main controlling factors in deep-water gas field, Pearl River Mouth Basin[J]. *Unconventional Oil & Gas*, 2024,11(5):52-59.
- [43] 文龙,罗冰,王小娟,等. 四川盆地陆相致密油气勘探新领域及资源潜力[J]. *石油学报*, 2025,46(1):77-88.
WEN Long, LUO Bing, WANG Xiaojuan, et al. New exploration fields and resource potential of continental tight oil and gas in Sichuan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2025,46(1):77-88.