

柴达木盆地九龙山地区中侏罗统湿地型辫状河三角洲沉积特征及油气勘探意义

王波¹,王艳清²,马进业¹,宫清顺²,朱军¹,朱超²,
李雅楠¹,王远飞¹,裴梓薇¹,张君¹,魏巍¹

1 中国石油青海油田公司; 2 中国石油杭州地质研究院

摘要 利用钻井岩心、测井、地震和实验测试等资料,对柴达木盆地九龙山地区中侏罗统沉积特征及成藏条件进行分析。结果表明:①九龙山地区中侏罗统发育潮湿气候下的陆相含煤沉积建造,属于湿地型辫状河三角洲沉积。②中侏罗统发育3类岩相组合:第1类是浅灰色、棕灰色泥岩与砂岩、含砾砂岩、砂砾岩和砾岩互层;第2类是煤层、深灰色碳质泥岩与砂岩、含砾砂岩和砾岩互层;第3类是深灰色碳质泥岩、油页岩和泥岩互层。3类岩相组合分别对应辫状河三角洲的上平原、下平原—前缘和湖相沉积。③中侏罗统沉积时期河道较频繁迁移,砂体在平面上呈辫状、网状和朵状分布,具有多期叠置、侧向变化较快的特征。研究认为中侏罗统辫状河三角洲下平原与前缘河道砂体的油气成藏条件优越,是九龙山地区常规油气勘探的重要领域,湖相油页岩是九龙山地区非常规油气勘探的潜在领域。

关键词 湿地型辫状河三角洲; 沉积特征; 中侏罗统; 九龙山地区; 柴达木盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

0 前言

中国西北地区中生代侏罗纪和白垩纪发育2种气候环境下形成的2类沉积建造:中下侏罗统为潮湿气候环境下的陆相含煤沉积建造,上侏罗统和白垩系则为干旱气候环境下的陆相红色沉积建造^[1-2]。邱争科等^[3]对准噶尔盆地中侏罗统八道湾组湿地扇三角洲沉积特征,全燕等^[4]对西湖凹陷T-H区平湖组—花港组湿地扇三角洲沉积,郭若舜等^[5]对辽河三角洲大凌河口口湿地沉积物晚更新世以来的矿物特征及其物源、气候意义作了分析,认为这些地区在较湿润的气候条件下发育湿地型扇体沉积。柴达木盆地中侏罗统发育一套含煤的陆相沉积建造,前人针对地层层序^[6]、构造变形特征^[7-9]、沉积特征及岩相古地理^[10-12]、储层特征^[13-17]和油气成藏特征^[18-21]等方面做了大量分析,认为中侏罗统为一套冲积扇—扇(辫状河)三角洲—湖相沉积体系,并发

育压实作用和溶蚀作用均较强的优质溶孔型储层,同时认为九龙山地区油页岩和碳质泥岩为优质烃源岩。随着勘探对象越来越复杂,已有的成果认识难以满足生产需要,例如:中侏罗统到底是扇三角洲还是辫状河三角洲沉积?含煤沉积建造是在什么环境形成的?沉积相类型怎么划分?这些问题亟需通过对沉积相类型、砂体发育规律、油气成藏特征等方面进行深化研究来回答。

本文利用岩心、实验测试分析、测井和地震等资料,分析九龙山地区中侏罗统的沉积相类型及砂体分布特征,指出中侏罗统为湿地型辫状河三角洲沉积,明确了沉积相与砂体发育规律,并进一步剖析了油气成藏的意义,研究成果为九龙山地区油气勘探部署提供了地质依据。

1 地质概况

柴达木盆地是印支运动以后发展起来的中、新

收稿日期:2023-07-10; 改回日期:2023-08-14

本文受中国石油科技重大专项“岩性地层油气藏成藏规律与关键技术研究”(编号:2021DJ0402)与“陆相深层超深层油气富集规律与勘探评价技术研究”(编号:2021DJ0202)联合资助

第一作者:王波,硕士,高级工程师,主要从事石油地质综合研究工作。通信地址:736202 甘肃省酒泉市敦煌市七里镇 青海油田公司勘探开发研究院;E-mail:wboqh@petrochina.com.cn

通信作者:王艳清,高级工程师,主要从事沉积储层研究。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号杭州地质研究院;E-mail:wangyq_hz@petrochina.com.cn

生代陆相含油气盆地,盆地被划分为3个次级构造单元,即北缘块断带、西部坳陷区和东部坳陷区。九龙山地区隶属于北缘块断带,位于柴达木盆地东北缘祁连山前带的中段,东部与东南部紧邻绿梁山(图1),为侏罗纪以来继承性发育的大型鼻状构造斜坡,勘探面积为1 800 km²。研究区的油气勘探始于二十世纪五六十年代,1958年发现了鱼卡油田,目前共有钻井13口。近几年钻探的龙2井在1 100 m埋深(中侏罗统)试油获得工业油流,多口井取心见到油浸、油斑和油迹显示,在九龙山地区龙5井—鱼33井附近的地面露头中见到大量油砂,同时钻探证实鱼卡地区中侏罗统发育优质烃源岩,岩性以碳质泥岩、暗色泥岩、煤层为主,顶部发育厚层稳定分布的油页岩,说明鱼卡—九龙山地区具备较好的烃源岩条件。九龙山地区勘探目的层为中侏罗统一上侏罗统,本次研究目的层为中侏罗统。

露头、钻井和地震资料揭示九龙山地区发育新生界古近系、中生界白垩系与侏罗系和基岩(图2)。

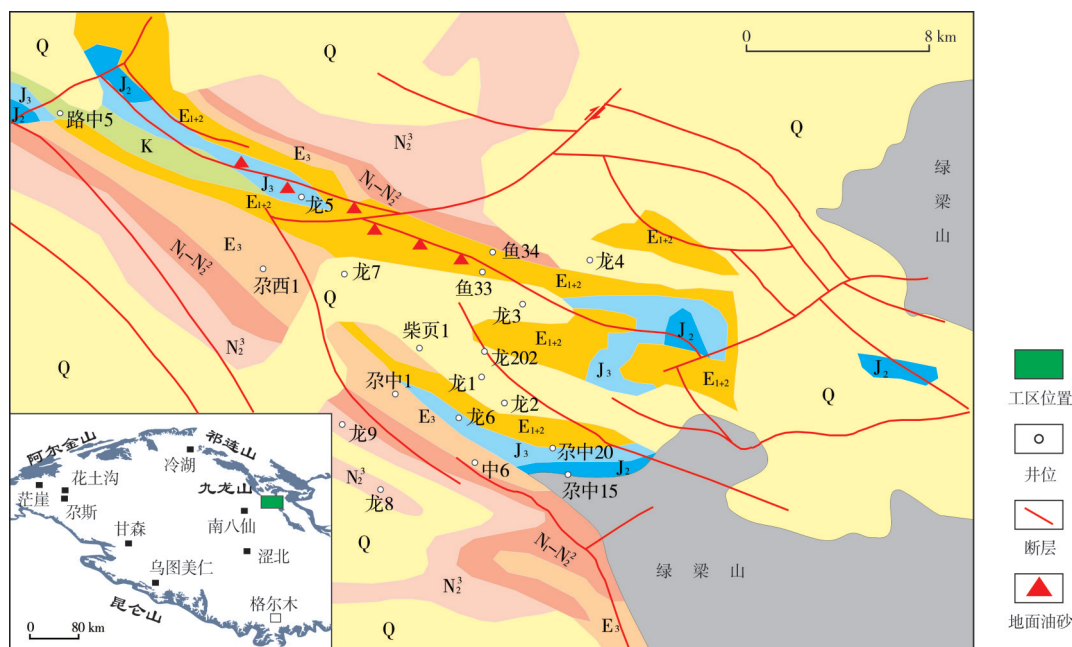
古近系包含下干柴沟组(E₃)和路乐河组(E₁₊₂)。下干柴沟组岩性以桔黄色、棕黄色、黄绿色泥质细砂岩和粉砂岩为主,夹棕黄色、棕红色砂质泥岩,底部夹紫红色与黄灰色砾岩和砾状砂岩,与下伏地层呈整合接触;路乐河组岩性以棕黄色泥岩和砂质泥

岩、棕红色含砾泥质粉砂岩、棕灰色砾状砂岩和砂砾岩为主,夹少量薄层细砂岩和细砾岩,与下伏地层呈不整合接触。

白垩系犬牙沟组(K₁)岩性整体较粗,以棕灰色、灰色砾状细砂岩和细砂岩为主,夹少量棕红色含砾泥质粉砂岩,与下伏地层呈不整合接触。

侏罗系只发育上侏罗统和中侏罗统,缺失下侏罗统。上侏罗统(J₃)可分为两个组:上部为采石岭组,地层厚度约为220 m,岩性为灰色粉砂岩、细砂岩与灰色泥岩薄互层;下部为红水沟组,地层厚度约为340 m,岩性较细,以棕褐色泥岩为主,夹少量棕褐色砂质泥岩、粉砂岩,与下伏地层呈整合接触。中侏罗统(J₂)为直接覆盖在基岩之上的大煤沟组,自上而下可进一步细分为七段—四段4个地层单元(图2):大煤沟组七段(厚度约为100 m),中上部为油页岩,厚10~20 m,下部为砂岩、粉砂岩及碳质泥岩;大煤沟组六段、五段(厚度约为210 m),岩性为灰白色细砂岩、砾状砂岩、砂砾岩与黑色碳质泥岩、煤层互层;大煤沟组四段(厚度约为260 m),岩性以砂砾岩、砾岩、含砾砂岩为主,少量为黑灰色碳质泥岩、泥岩,与下伏地层呈不整合接触。

研究区基岩岩性主要为灰绿色闪长岩,少量为变质岩。



注: J₂-中侏罗统; J₃-上侏罗统; K-白垩系; E₁₊₂-路乐河组; E₃-下干柴沟组; N₁-N₂-上干柴沟组-上油砂山组; N₃-狮子沟组; Q-第四系。

图1 柴达木盆地九龙山地区地质图及工区位置

Fig. 1 Location and geologic map of Jiulongshan area in Qaidam Basin

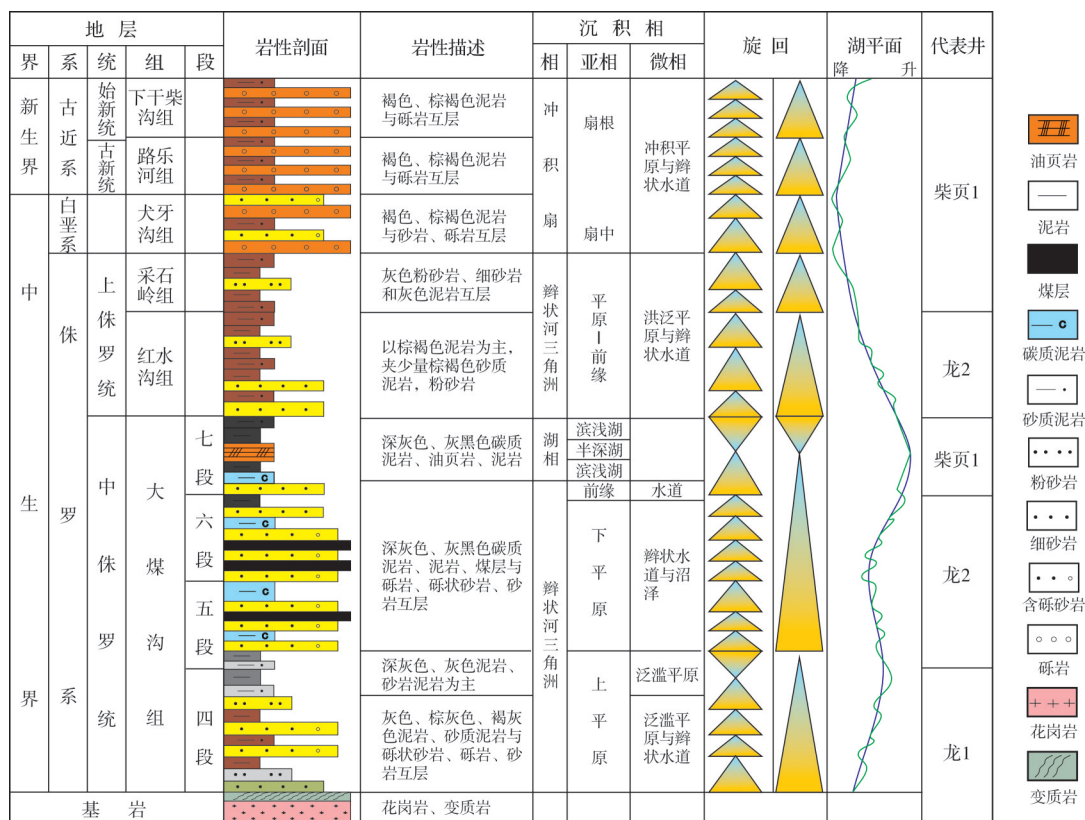


图2 柴达木盆地九龙山地区中生界地层柱状图

Fig. 2 Column of Mesozoic strata in Jiulongshan area, Qaidam Basin

2 沉积相类型与分布

根据野外露头、岩心、测井、地震等资料分析,认为九龙山地区中侏罗统发育湿地型辫状河三角洲—湖相沉积。

2.1 沉积环境特征

柴达木盆地的中生界(主要是侏罗系)分布很广,面积达 $6.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,埋深在6 000~12 000 m之间,为一套河—湖—沼泽含煤沉积,岩性为泥岩、砂质泥岩、砾岩及煤层,属于中亚煤成气聚集域的一部分。下侏罗统煤层分布不均匀,多数钻井没有钻遇煤层,但个别井煤层很厚;中侏罗统主要分布在冷湖—南八仙构造带以北,以碳质泥岩及煤层为主,中侏罗统煤层比下侏罗统发育。

2.1.1 古气候特征

沉积岩的岩石类型组合及其颜色可作为重建古气候的良好标志之一。柴北缘下侏罗统下部发育红绿间互的碎屑岩沉积,表明早侏罗世早期的古气候具有干旱、潮湿交替的特征;早侏罗世中、晚期

和整个中侏罗世发育含煤沉积建造,而且泥岩颜色以深灰色、灰黑色为主,呈现还原色的特征,表明这个时期已演变为温暖、湿润气候;上侏罗统颜色皆为红色,并含有石膏等蒸发岩类,表明该沉积期古气候具有干燥炎热的特征。

早侏罗世植物群(孢粉组合)以北方型古老的松柏和苏铁粉为主,反映了大陆性的温带—亚热带潮湿气候特征。中侏罗世大煤沟组沉积期植物群为松科、拟苏铁粉、石松、拟桫欏孢粉组合,喜阴湿的蕨类孢子占有重要地位,说明该时期为大陆性暖湿气候;标志古气候的煤层、菱铁矿的出现,也说明当时的气候比较温暖和潮湿。晚侏罗世孢粉组合单调,适应干旱气候的克拉梭粉占绝对优势,表明气候开始趋于干旱。可以看出,岩石类型及其颜色、植物群类型均揭示了柴北缘中侏罗统沉积期为温暖湿润的古气候。

2.1.2 古水体特征

泥岩微量元素中的硼元素及氯离子含量的变化能较好地指示古水介质特征。柴北缘中下侏罗

统岩屑的氯离子含量小于 3 000 mg/kg,冷科 1 井平均为 983 mg/kg,鱼 33 井平均为 266 mg/kg,说明侏罗纪沉积水体处于淡水—微咸水之间。冷科 1 井 3 720~4 120 m(下侏罗统)泥岩硼含量为 $(21.6\sim 280.8)\times 10^{-6}$ 之间,利用 Couch^[22]提出的古盐度计算公式可算出侏罗纪沉积时的古盐度为 0.4‰~1‰,为淡水—微咸水环境。冷科 1 井 4 100 m 之下地层(下侏罗统)硼含量明显减少,此深度之下为煤系沉积,说明煤系沉积时期水体介质呈酸性。

2.1.3 古地貌特征

利用三维地震资料解释成果及区内钻井资料,对九龙山地区中侏罗世古地貌进行了恢复(图 3)。研究区整体上呈现出东高西低的特征,东南侧(尕中 20 井区以东地区)为古隆起区,西侧(尕西 1、龙 5 井区以西地区)为洼陷区,九龙山地区处于宽缓斜坡区。

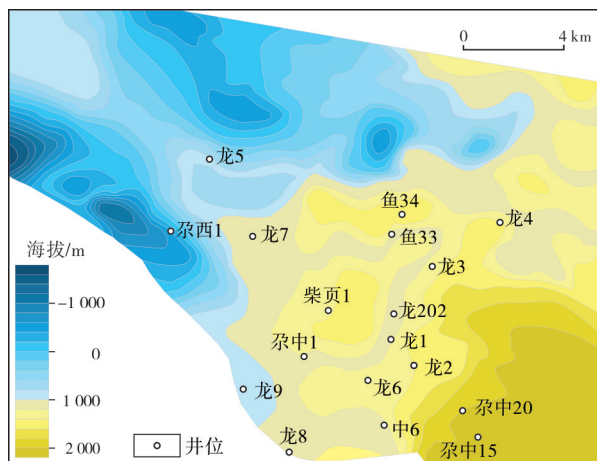


图3 柴达木盆地九龙山地区中侏罗世古地貌图

Fig. 3 Paleogeomorphic map of Middle Jurassic in Jiulongshan area, Qaidam Basin

综上所述,九龙山地区在中侏罗世处于温暖湿润古气候、酸性古水体,宽缓斜坡—洼陷古地貌的沉积环境。

2.2 沉积相类型及识别特征

沉积相是沉积环境及在该环境中形成的沉积岩(物)特征的综合,沉积相的划分应该依据自然地理条件或地貌特征及沉积物综合特征。根据对九龙山地区 8 口取心井 303.62 m 岩心的观察与描述,依据岩石类型、层理构造特征、岩相组合特征、粒度等特征,结合区域研究成果及沉积背景,确定九龙山地区中侏罗统为湿地型辫状河三角洲和湖相沉积。

2.2.1 岩心特征

中侏罗统主要有砾岩、砾状砂岩、中粗砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥(质)岩、碳质泥岩、页岩、油页岩、煤等岩石类型。砾岩成分复杂,分选中等—差,以次棱—次圆为主,杂基含量中等—低;砾石的粒径最大可达 13 cm,多数分布在 1~5 cm 之间;砾岩单层厚度最大可达 15 m,一般为 2~10 m。砾状砂岩多为含砾的不等粒砂岩,单层厚度最大可达 30 m,一般在 10~20 m 之间。细砂岩分选性较好,单层厚度最大可达 15 m,多数小于 10 m。岩心上砾岩、砂岩中比较常见的层理构造是冲刷构造及砾岩、泥砾岩的滞留沉积物(图 4a—4c),含砾砂岩、砂岩中常见高角度交错层理、低角度交错层理(图 4d—4g),粉细砂岩中偶见脉状层理(图 4h),砾岩、砂岩中常见砾屑、碳质纹层、煤线(图 4i)。泥(质)岩的颜色有褐色、棕灰色、灰色、灰黑色(图 4j—4k);煤层颜色为黑色,厚 1~10 m,多与砂岩、砾状砂岩互层,叠置发育(图 4l);油页岩颜色为褐黑色,最大的单层厚度可达 20 m,一般在 5~10 m 之间(图 4m)。

2.2.2 粒度特征

根据九龙山地区 6 口井的中侏罗统 80 多块粒度测试资料,编制了 C-M 图及粒度概率累积曲线图(图 5)。C-M 图由 OP、PQ、QR、RS 等 4 段构成(图 5a):OP 段代表以滚动搬运为主,M 值变动大,C 值变动小;PQ 段代表以悬浮搬运为主,少量的滚动搬运,M 值变动小,C 值变动大;QR 段代表以粒序递变悬浮为主(即沉积物按粒度大小和密度梯度成层分布);RS 段代表以均匀悬浮搬运为主,M 值变动大,C 值变动小。粒度概率累积曲线图有多段式(图 5b)、三段式(图 5c)和二段式(图 5d):多段式的岩性为含粉砂含砾不等粒砂岩,三段式的岩性为中砂—粗砂岩,二段式的岩性为细砂—粉砂岩。整体上,粒度 C-M 图和概率累积曲线图均表现出滚动、跳跃、悬浮组分,但以跳跃组分为主,反映出牵引流的搬运特征。

2.2.3 沉积相类型

根据柴达木盆地九龙山地区中侏罗统岩心观察,中侏罗统以河道砂体为主,岩心上可以划分出多期叠置型(图 6a—6e)和单期型(图 6f—6h)两类河道。多期叠置型又存在冲刷构造发育型(图 6b—6e)、递变粒序型(图 6a)两种类型,前者反映河道的冲刷改道,后者反映砂体垂向(或者侧向)加积特



图4 柴达木盆地九龙山地区中侏罗统典型岩心照片

Fig. 4 Typical core photos of Middle Jurassic in Jiulongshan area, Qaidam Basin

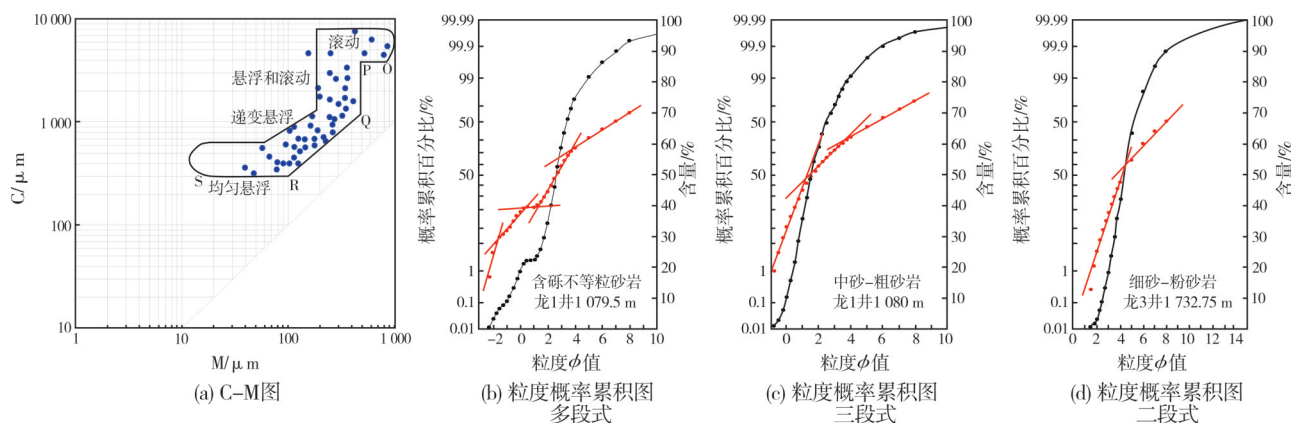


图5 柴达木盆地九龙山地区中侏罗统砂岩C-M图与粒度概率累积曲线

Fig. 5 C-M diagram and grain size probability cumulative curves of the Middle Jurassic sandstone in Jiulongshan area, Qaidam Basin

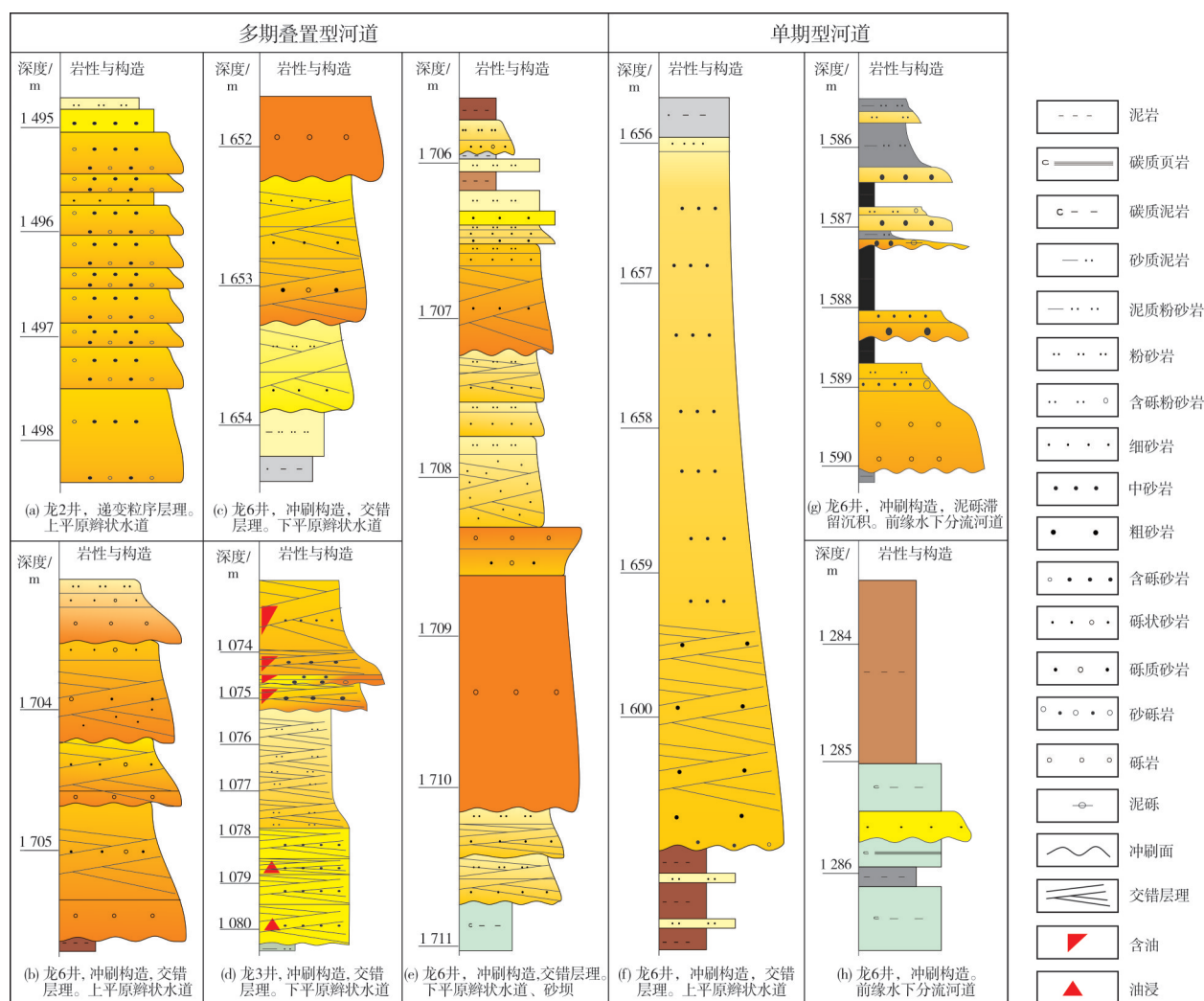


图6 柴达木盆地九龙山地区中侏罗统辫状水道典型叠置样式

Fig. 6 Typical overlay pattern of the Middle Jurassic braided channels in Jiulongshan area, Qaidam Basin

征。多期叠置型河道的二元结构基本上不发育,这种类型往往发育在主河道内,反映了河道的频繁侧向迁移及摆动的特征。单期型河道的二元结构发育较完整,河道底部发育滞留沉积及冲刷构造(图6f—6h),这种类型多分布于单一分支河道及废弃河道内。结合粒度分析结果,认为九龙山地区中侏罗统为辫状河三角洲沉积。

辫状河三角洲的概念最早由 McPherson(1987)提出,被定义为由辫状河体系(包括河流控制的潮湿气候冲积扇和冰水冲积扇)前积到停滞水体中形成的富含砂和砾石的三角洲^[23]。九龙山地区中侏罗统砂砾岩、砂岩与煤层互层分布,砂地比可达40%~60%,砂岩表现为多期叠置特征,大型交错层理发育。由于九龙山地区中侏罗世处于潮湿古气候环境,辫状水道砂体与煤层互层分布,河道砂体

发育,缺少河口坝和席状砂,结合现代湿地沉积特征,将其定义为湿地型辫状河三角洲。根据岩相组合特征、沉积序列及演化特征,进一步识别出辫状河三角洲上平原、辫状河三角洲下平原及辫状河三角洲前缘3种亚相。

辫状河三角洲上平原亚相岩性主要为砾岩、含砾砂岩,夹薄层的泥岩,泥岩颜色为灰色与棕灰色、棕褐色,反映弱氧化环境,可以进一步识别出辫状水道、洪泛平原微相。辫状水道以多期叠置型河道(图6a,6b)为主,也发育有单期型河道(图6f)。

辫状河三角洲下平原亚相岩性主要为含砾砂岩、砂砾岩、砂岩,与灰色、深灰色、灰黑色的泥岩、碳质泥岩、煤层互层,砂岩与煤层频繁互层分布,可以进一步识别出辫状水道、沼泽、泛滥平原微相。沼泽主要发育煤层、碳质泥岩;泛滥平原主要发育

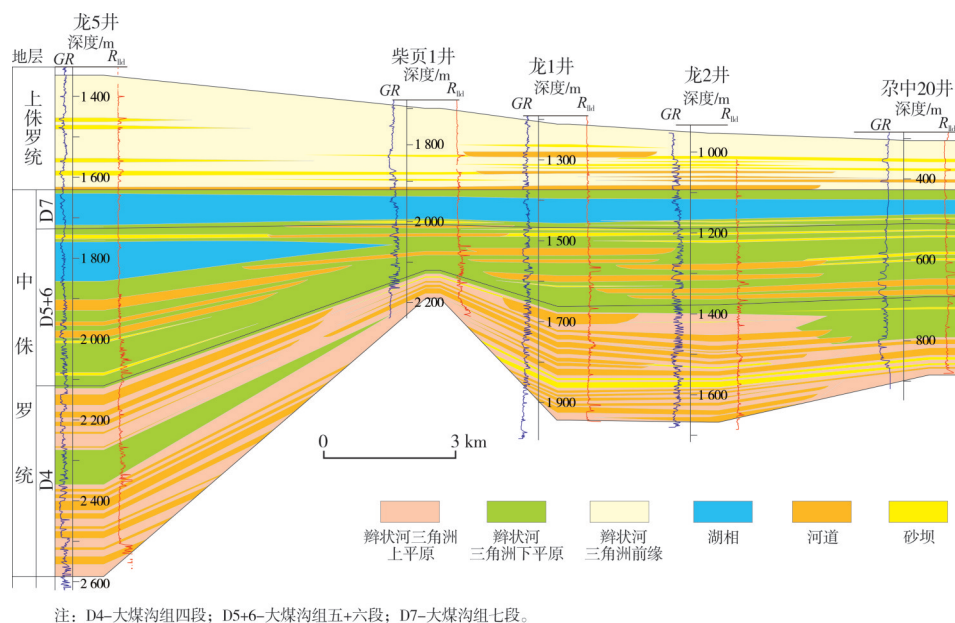
灰色泥岩、砂质泥岩;辫状水道岩心上常见冲刷面、滞留沉积和交错层理(图4),辫状水道以多期叠置型河道(图6c—6e)为主。

辫状河三角洲前缘亚相岩性主要为细砂岩、粉砂岩,泥岩颜色为灰色,主要为水下分流河道沉积,常见交错层理、波状交错层理及冲刷构造,河道以单期型(图6g,6h)为主。

2.3 沉积相分布特征

在上述岩心相、单井相研究的基础上,为了更

好地明确砂体分布,进行了区域连井对比剖面分析。以龙5井—柴页1井—龙1井—龙2井—尕中20井北西向连井对比剖面(图7)为例,可以看出中侏罗统大煤沟组四段(D4)以辫状河三角洲上平原沉积为主,未见煤层,砂体在龙1井、龙2井、尕中20井区连通性较好;中侏罗统大煤沟组五段+六段(D5+6)以辫状河三角洲下平原沉积为主,辫状河道与沼泽相煤层叠置发育,砂体连通性差;中侏罗统顶部的大煤沟组七段(D7)发育有湖相沉积,岩性为油页岩、碳质泥岩。



注: D4—大煤沟组四段; D5+6—大煤沟组五+六段; D7—大煤沟组七段。

图7 柴达木盆地九龙山地区连井对比沉积相剖面图(剖面位置见图8)

Fig. 7 Inter-well correlation section of sedimentary facies in Jiulongshan area, Qaidam Basin (location is shown in Fig. 8)

利用研究区内的钻井、地震属性及区域沉积背景资料,分析九龙山地区中侏罗统大煤沟组四段、五段、六段及七段的沉积相分布。以大煤沟组六段为例(图8),该沉积期研究区的物源来自东部,自东向西发育辫状河、辫状河三角洲上平原和下平原及前缘。工区东北部的龙4井大煤沟组六段岩性为棕褐色、灰色泥岩与砾岩、砂砾岩,未见到煤层,表明为辫状河三角洲上平原沉积。九龙山地区主体区内10口钻井揭示该段岩相组合为深灰色泥岩、碳质泥岩、煤层与砂岩、含砾砂岩互层,砂地比为40%~60%,相序特征表现为河道与沼泽,表明该区为辫状河三角洲下平原发育区,辫状水道呈网状分布。九龙山地区主体西侧的尕西1井钻遇的岩相组合为灰色、深灰色泥岩、碳质泥岩与细砂岩、粉砂岩,未见

煤层,砂地比小于40%,相序特征表现为水下分流河道与分流间湾,表明该区为辫状河三角洲前缘发育区。辫状河三角洲前缘的前端发育湖相沉积,岩相组合为深灰色、灰黑色泥岩、碳质泥岩。

2.4 沉积模式

湿地型辫状河三角洲与正常辫状河三角洲具有明显的区别。湿地型辫状河三角洲发育在温暖潮湿的古气候环境,古地形较为平坦,辫状河道砂体叠置发育,并与沼泽相的煤层、碳质泥岩互层分布(图2);而正常辫状河三角洲则可以发育在温暖潮湿或者干旱炎热的古气候环境中,辫状河道砂体叠置发育,且与湖相泥岩互层分布,但不发育沼泽相的煤层及碳质泥岩。利用研究区内钻井资料,结

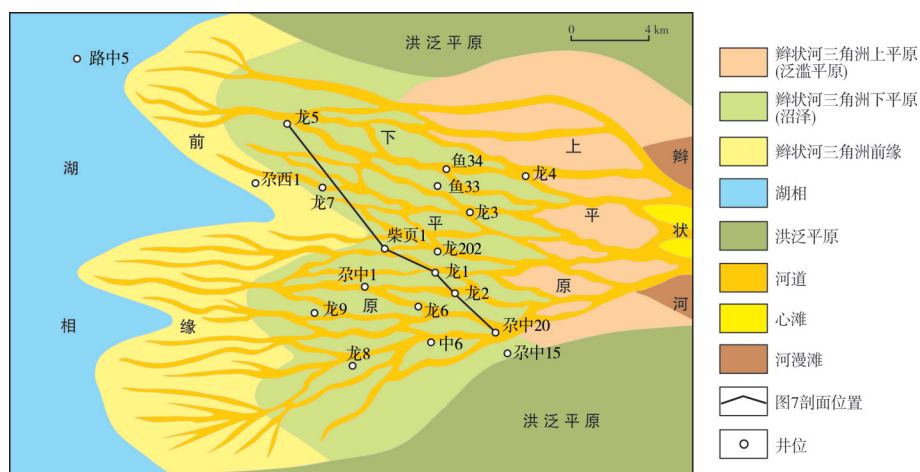


图8 柴达木盆地九龙山地区中侏罗统大煤沟组六段沉积相平面图

Fig. 8 Sedimentary plan of the Member 6 of the Middle Jurassic Dameigou Formation in Jiulongshan area, Qaidam Basin

合现代湿地三角洲的沉积特征,建立了湿地型辫状河三角洲沉积模式(图9)。山前带为冲积扇相沉积,岩性以角砾岩、砾岩及砂岩为主;向前则发育辫状河道相沉积,岩性为砂砾岩、含砾砂岩;在河流相末端河道分叉处发育辫状河三角洲相沉积,发育上平原、下平原及前缘3种亚相:上平原亚相的岩性为

棕灰色泥岩、棕褐色泥岩与砾状砂岩、含砾砂岩、砂砾岩,下平原亚相的岩性为灰色、深灰色泥岩、碳质泥岩、煤层与砾状砂岩、含砾砂岩、砂砾岩,前缘亚相的岩性为灰色、深灰色泥岩与砂岩;在辫状河三角洲末端发育湖相沉积,岩性为深灰色泥岩、油页岩、碳质泥岩。

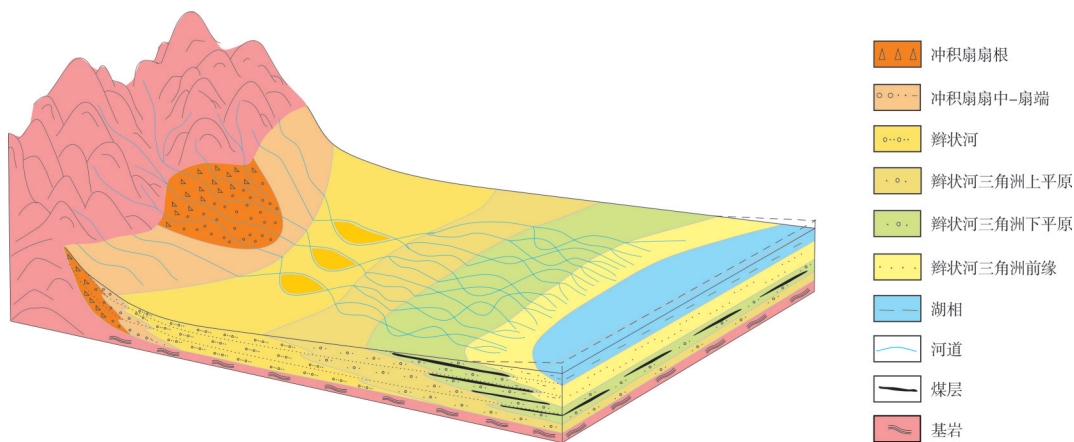


图9 湿地型辫状河三角洲沉积模式图

Fig. 9 Sedimentary model of wetland braided river delta

3 油气勘探意义

九龙山地区龙2井在中侏罗统获得工业油流,鱼33井及龙2井在上侏罗统也获得工业油流,龙5井中侏罗统油气显示较好,表明九龙山地区侏罗系油气成藏条件优越。根据九龙山地区侏罗系构造及油气分布特征建立了九龙山地区油气成藏模式(图10)。中侏罗统大煤沟组中上段是烃源岩发育层段,油源对比分析结果表明油气主要来源于中侏

罗统鱼卡凹陷,油气沿断裂及优质砂体复合输导运移,在九龙山地区的构造高部位形成构造油藏(如鱼33井区 J_3 油藏);而在斜坡区,油气沿着辫状水道砂体运移,在有利地区聚集形成源内岩性油气藏(如龙2井区 J_2 油藏),油气分布受砂体分布的影响,具有“一砂一藏”的油气成藏特征。结合砂体分布、断裂与构造特征、烃源岩分布、油气显示情况,预测了中侏罗统2个有利目标区(图11):龙5井区有利区目标针对辫状河三角洲前缘砂体,龙2井区有利

区目标针对辫状河三角洲下平原砂体,2个有利区累计面积为55 km²。

研究区有12口井钻遇中侏罗统顶部油页岩,油页岩厚度为5~20 m,在测井上表现为低伽马、高电阻

的特征,在地震剖面上呈波谷反射特征,连续性好,可横向追踪,反映出该套油页岩在平面上广泛分布的特点。因此,认为九龙山地区稳定分布的湖相油页岩是柴达木盆地页岩油勘探的重点领域(图11)。

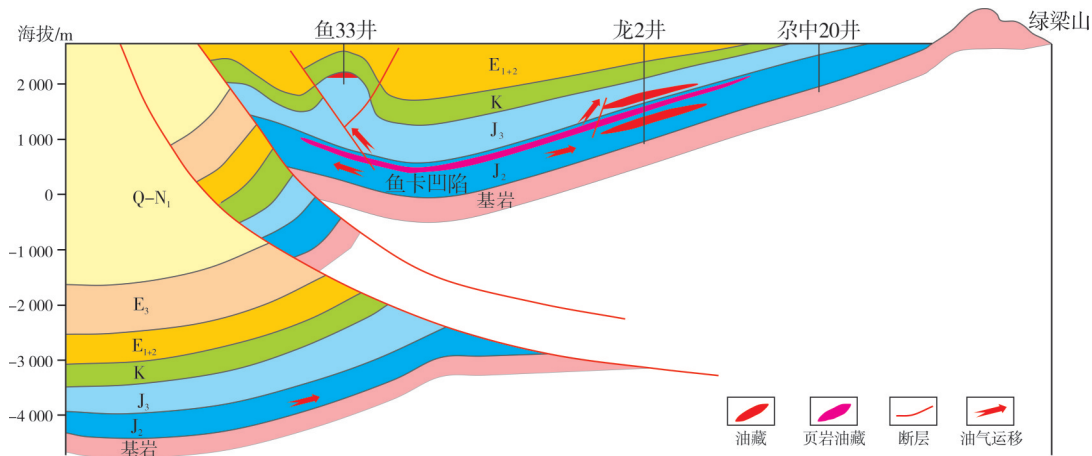


图10 柴达木盆地九龙山地区油气成藏模式图

Fig. 10 Oil and gas accumulation pattern in Jiulongshan area, Qaidam Basin

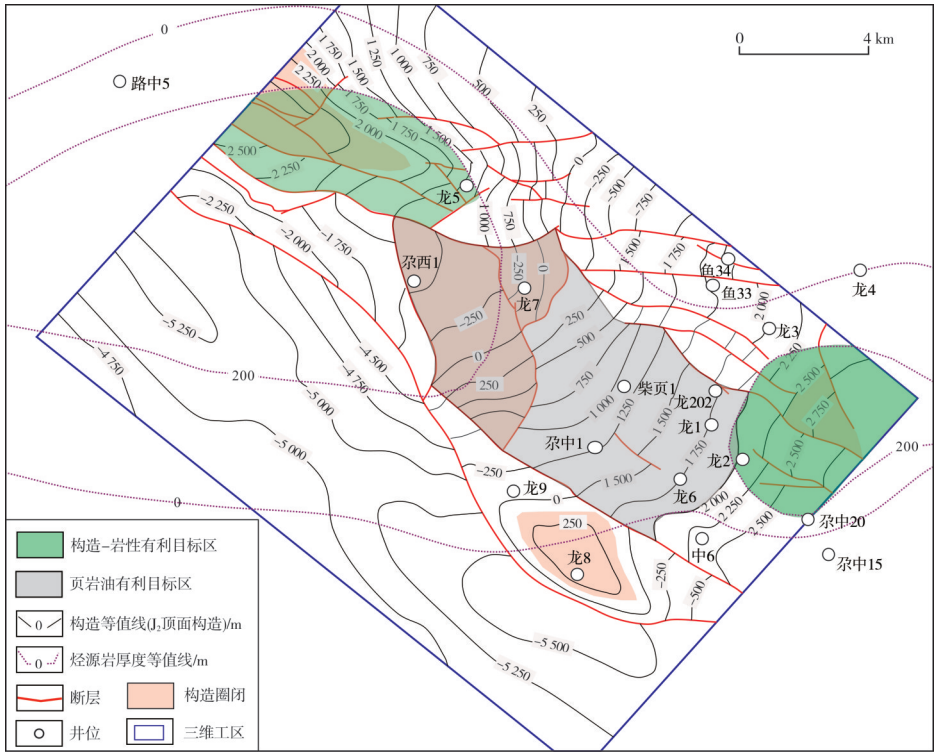


图11 九龙山地区中侏罗统大煤沟组有利目标区

Fig. 11 Favorable target area of the Middle Jurassic Dameigou Formation in Jiulongshan area, Qaidam Basin

4 结 论

九龙山地区中侏罗统形成于温暖湿润的古气候环境,为湿地型辫状河三角洲—湖相沉积,发育3

类岩相组合:第1类是浅灰色、棕灰色泥岩与砂岩、含砾砂岩、砂砾岩和砾岩互层,第2类是煤层、深灰色碳质泥岩与砂岩、含砾砂岩和砾岩互层,第3类是深灰色碳质泥岩、油页岩和泥岩。3类岩相组合分

别对应辫状河三角洲的上平原、下平原—前缘和湖相沉积。中侏罗统沉积时期河道因较频繁迁移,砂体在平面上呈辫状、网状和朵状分布,具有多期叠置、侧向变化较快的特征。

湿地型辫状河三角洲下平原及前缘发育优质河道砂岩储集体,具有源内、近源“一砂一藏”的岩性油藏成藏特征,预测有利勘探目标区面积55 km²。九龙山地区中侏罗统油页岩条件优越,是柴达木盆地页岩油勘探的重点领域。

参考文献

- [1] 钟筱春,赵传本,杨时中,等.中国北方侏罗系(Ⅱ)古环境与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.
ZHONG Xiaochun, ZHAO Chuanben, YANG Shizhong, et al. Jurassic (Ⅱ) paleoenvironment and oil and gas in northern China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [2] 黄迪颖.中国侏罗纪综合地层和时间框架[J].中国科学(地球科学), 2019, 49(1): 227–256.
HUANG Diying. Jurassic integrative stratigraphy and time-scale of China [J]. Scientia sinica (terrae), 2019, 49(1): 227–256.
- [3] 邱争科,王辉,李婷,等.准噶尔盆地八道湾组湿地扇三角洲沉积特征[J].西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(5): 47–58.
QIU Zhengke, WANG Hui, LI Ting, et al. Humid fan-delta sedimentation characteristics in the Badaowan Formation in the Northwestern Junggar Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University (science & technology edition), 2018, 40(5): 47–58.
- [4] 全燕,傅恒,高雁飞.西湖凹陷T-H区平湖—花港组湿地扇三角洲沉积研究[J].天然气技术与经济, 2015, 9(6): 13–16.
TONG Yan, FU Heng, GAO Yanfei. Humid fan deltaic depositional system of Pinghu-Huagang Formations, T-H area, Xihu Sag [J]. Natural gas technology and economy, 2015, 9(6): 13–16.
- [5] 郭若舜,何磊,叶思源,等.辽河三角洲大凌河河口湿地沉积物晚更新世以来的矿物特征及其物源、气候意义[J].现代地质, 2020, 34(1): 154–165.
GUO Ruoshun, HE Lei, YE Siyuan, et al. Mineral characteristics, provenance and climatic significance of wetland sediments from Dalinghe River estuary in Liaohe delta since Late Pleistocene [J]. Geoscience, 2020, 34(1): 154–165.
- [6] 岳天祥.青海省冷湖—鱼卡地区中侏罗统含煤地层特征分析[J].中国煤炭地质, 2011, 23(12): 18–20, 29.
YUE Tianxiang. Middle Jurassic Series coal-bearing strata characteristic analysis in Lenghu-Iq area, Qinghai Province [J]. Coal geology of China, 2011, 23(12): 18–20, 29.
- [7] 曾春林,姜波,彭德华,等.柴北缘鱼卡断陷构造变形特征及变形环境[J].中国煤炭地质, 2008, 20(10): 28–30.
ZENG Chunlin, JIANG Bo, PENG Dehua, et al. Deformation characteristics and environment of Iq Fault Depression in northern margin of Qaidam Basin [J]. Coal geology of China, 2008, 20(10): 28–30.
- [8] 陈思远,张永庶,吴磊,等.柴达木盆地北缘鱼卡—九龙山地区新生代构造变形特征[J].石油勘探与开发, 2020, 47(1): 110–119.
CHEN Siyuan, ZHANG Yongshu, WU Lei, et al. Cenozoic structural deformation in the Yuqia-Jiulongshan region, northern Qaidam Basin, China [J]. Petroleum exploration and development, 2020, 47(1): 110–119.
- [9] 姚宏鑫,王宗秀,朱随洲,等.柴达木盆地北缘侏罗系沉积层序的构造演化响应[J].西北地质, 2017, 50(2): 16–27.
YAO Hongxin, WANG Zongxiu, ZHU Suizhou, et al. The Jurassic fossil-rich clastic sequence and structural response in North of Qaidam Basin [J]. Northwestern geology, 2017, 50(2): 16–27.
- [10] 刘欣,朱世发,杜建军,等.柴北缘西段侏罗系沉积特征[J].古地理学报, 2017, 19(4): 595–608.
LIU Xin, ZHU Shifa, DU Jianjun, et al. Sedimentary characteristics of the Jurassic in western north margin of Qaidam Basin [J]. Journal of palaeogeography, 2017, 19(4): 595–608.
- [11] 白悦悦,刘招君,孙平昌,等.柴北缘鱼卡地区中侏罗统石门沟组沉积相特征研究[J].矿产勘查, 2020, 11(7): 1321–1333.
BAI Yueyue, LIU Zhaojun, SUN Pingchang, et al. Sedimentary facies characteristics in Middle Jurassic Shimengou Formation, Yuqia area, North Qaidam Basin [J]. Mineral exploration, 2020, 11(7): 1321–1333.
- [12] 岳鹏升,王平,郁东良,等.柴达木盆地北缘下中侏罗统沉积特征及其石油地质意义[J].海洋地质前沿, 2011, 27(11): 38–44.
YUE Pengsheng, WANG Ping, YU Dongliang, et al. Depositional characteristics of the Early and Middle Jurassic on the northern margin of the Qaidam Basin and their implications for petroleum geology [J]. Marine geology frontiers, 2011, 27(11): 38–44.
- [13] 王猛,杨永恒,王晔桐,等.青海柴达木盆地北缘构造带九龙山地区侏罗系储层特征[J].沉积与特提斯地质, 2019, 39(2): 94–102.
WANG Meng, YANG Yongheng, WANG Yetong, et al. The Jurassic clastic reservoirs in the Jiulongshan area, northern Qaidam Basin, Qinghai [J]. Sedimentary geology and Tethyan geology, 2019, 39(2): 94–102.
- [14] 陈登钱,龙安林,赵国忠,等.柴达木盆地九龙山地区侏罗系储层特征研究[J].青海石油, 2014, 32(2): 20–27.
CHEN Dengqian, LONG Anlin, ZHAO Guozhong, et al. Jurassic reservoir characteristics in Jiulongshan area, Qaidam Basin [J]. Qinghai petroleum, 2014, 32(2): 20–27.
- [15] 吴志雄,张永庶,邹开真,等.柴北缘鱼卡—九龙山地区侏罗系储层特征分析[J].岩性油气藏, 2013, 25(1): 63–68.
WU Zhixiong, ZHANG Yongshu, ZOU Kaizhen, et al. Reservoir characteristics of Jurassic in Yuka-Jiulongshan area, northern margin of Qaidam Basin [J]. Lithologic reservoirs, 2013, 25(1): 63–68.
- [16] 张杰,夏维民,徐丽,等.柴北缘九龙山地区侏罗系致密砂岩储层成因分析[J].天然气地球科学, 2014, 25(增刊1): 71–78.
ZHANG Jie, XIA Weimin, XU Li, et al. Genesis of Jurassic tight sandstone reservoirs of Jiulongshan region in the north-

- ern Qaidam Basin [J]. *Natural gas geoscience*, 2014, 25(S1): 71–78.
- [17] 李浩涵, 任收麦, 郭天旭, 等. 柴达木盆地鱼卡凹陷侏罗系泥页岩地球化学特征及储集条件: 以柴页1井为例[J]. *地质通报*, 2016, 35(2): 250–259.
- LI Haohan, REN Shoumai, GUO Tianxu, et al. Organic geochemistry characteristics and reservoir conditions of Jurassic shale in Yuqia Depression of northern Qaidam Basin: a case study of Chaiye-1 well [J]. *Geological bulletin of China*, 2016, 35(2): 250–259.
- [18] 孙波, 王金铎, 王大华, 等. 柴北缘东段中—新生代构造演化及其对油气的控制作用[J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(3): 351–360.
- SUN Bo, WANG Jinduo, WANG Dahua, et al. Mesozoic–Cenozoic structural evolution and its control over oil and gas in the eastern section of the northern margin of the Qaidam Basin [J]. *China petroleum exploration*, 2019, 24(3): 351–360.
- [19] 付锁堂. 柴达木盆地油气勘探潜在领域[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(5): 1–10.
- FU Suotang. Potential oil and gas exploration areas in Qaidam Basin [J]. *China petroleum exploration*, 2016, 21(5): 1–10.
- [20] 李潍莲, 刘震, 徐樟有, 等. 柴达木盆地油气藏特征分析及对油气勘探的意义[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(1): 18–24, 34.
- LI Weilian, LIU Zhen, XU Zhangyou, et al. Analysis on reservoir characteristics of Qaidam Basin and its significance to petroleum exploration [J]. *Oil & gas geology*, 2007, 28(1): 18–24, 34.
- [21] 党玉琪, 熊继辉, 刘震, 等. 柴达木盆地油气成藏的主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(6): 614–619.
- DANG Yuqi, XIONG Jihui, LIU Zhen, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation in Qaidam Basin [J]. *Oil & gas geology*, 2004, 25(6): 614–619.
- [22] COUCH E L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data [J]. *AAPG bulletin*, 1971, 55(10): 1829–1837.
- [23] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- JIANG Zaixing. *Sedimentology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.

编辑:黄革萍

Sedimentary characteristics of the Middle Jurassic wetland braided river delta in Jiulongshan area, Qaidam Basin and its significance for oil and gas exploration

WANG Bo, WANG Yanqing, MA Jinye, GONG Qingshun, ZHU Jun, ZHU Chao, LI Yanan, WANG Yuanfei, PEI Ziwei, ZHANG Jun, WEI Wei

Abstract: The exploration of the Jurassic oil and gas system in the Qaidam Basin has led to the discovery of Dongping, Niudong, and Kuntayi bedrock gas fields, as well as Niudong and Lenghu Jurassic oil fields. Currently, there is an urgent need to expand the exploration field of the Jurassic and search for replacement zones. The sedimentary characteristics and reservoir formation conditions of the Middle Jurassic in Jiulongshan area are analyzed by using drilling cores, logging, seismic, and experimental data. The results indicate that: (1) The Middle Jurassic in Jiulongshan area developed continental coal bearing sedimentary formations in a humid climate, belonging to the wetland braided river delta deposits. (2) Three types of lithofacies associations are developed in the Middle Jurassic. The first is interbedding of light grey and brown grey mudstone and sandstone, pebbly sandstone, glutenite and conglomerate; the second is interbedding of coal seam, dark grey carbonaceous mudstone and sandstone, pebbly sandstone and conglomerate; and the third is interbedding of dark grey carbonaceous mudstone, oil shale and mudstone. The three types of lithofacies associations correspond to the upper plain, lower plain to front, and lacustrine deposits of the braided river delta, respectively. (3) The distribution of Middle Jurassic sand bodies are characterized by multiple overlapping periods, rapid lateral changes, and frequent migration of river channels that result in braided, network, and flower shaped features on the plane. It is suggested that the channel sand bodies of lower plain and front in the braided river delta of the Middle Jurassic have excellent oil and gas accumulation conditions, which are important areas for conventional oil and gas exploration in the Jiulongshan area. The lacustrine oil shale is a potential area for unconventional oil exploration in this area.

Key words: wetland braided river delta; sedimentary characteristics; favorable target area; Middle Jurassic; Jiulongshan area; Qaidam Basin

WANG Bo, First author: MSc, Senior Engineer, mainly engaged in comprehensive research on petroleum geology. Add: Exploration and Development Research Institute, Qili Town, Dunhuang, Jiuquan, Gansu 736202, China

WANG Yanqing, Corresponding author: Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China