

鄂尔多斯盆地志靖安塞地区长9油层组沉积相及其沉积演化特征

张三^{1,2}, 杨博³, 李廷艳^{1,2}, 王慧玲^{1,2}, 张振红^{1,2}, 汪伶俐^{1,2}

ZHANG San^{1,2}, YANG Bo³, LI Tingyan^{1,2}, WANG Huiling^{1,2}, ZHANG Zhenhong^{1,2}, WANG Lingli^{1,2}

1. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018;
2. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710018;
3. 中国石油长庆油田分公司第十一采油厂, 甘肃 庆阳 745000

1. *Nation Engineering Laboratory of Exploration and Development of Low-permeability Oil and Gas Field, Xi'an 710018, Shaanxi, China;*
2. *Research Institute of Exploration and Development, Petrochina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, Shaanxi, China;*
3. *No.11 Oil Recovery Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Qingyang 745000, Gansu, China*

摘要:志靖安塞地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中部。以钻井取心观察为基础,结合砂岩厚度、砂地比、自生绿泥石分布、古生物化石分布等因素,对长9油层组2个层段沉积相空间展布特征及沉积演化规律进行研究。结果表明,长9油层组发育一套三角洲-湖泊沉积,北部主要发育三角洲前缘沉积,在南部发育浅湖沉积。长9₂沉积期,湖盆范围较小,长9₁沉积期湖盆初始扩张,湖岸线向北推进,湖域面积增大。从长9₂沉积期到长9₁沉积期,研究区经历了沉积水体由浅变深的过程,并在长9₁顶部发育一套具有生烃潜力的高阻泥岩。三角洲前缘水下分流河道砂体是较有利的储集砂体。

关键词:沉积相;长9油层组;延长组;志靖—安塞地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:P618.13 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2015)10-1964-07

Zhang S, Yang B, Li T Y, Wang H L, Zhang Z H, Wang L L. Sedimentary facies and evolution of Chang 9 oil formation in Yanchang Formation, Zhijing-Ansai area, Ordos Basin. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(10):1964-1970

Abstract: Zhijing-Ansai area is located in the middle of Shanbei slope of the Ordos Basin. Based on detailed observations of well core, sandstone thickness, sandstone strata thickness ratio, authigenic chlorite development characteristics, and paleontological characteristics, the authors studied the distribution regularity of sedimentary facies and the sedimentary evolution. The results show that a suite of meandering fluvial deltas-lacustrine sediments were developed in the study area. The delta front deposits were mainly developed in the northern part of the study area, whereas shallow lake sediments were developed in the southern part of the study area. The size of the lake basin in Chang 9₂ oil formation was smaller than that in Chang 9₁ oil formation. During the depositional period of Chang 9₁ oil formation, the lacustrine basin began to expand, and lake shoreline moved to the land, with the expansion of the lake area. From Chang 9₂ oil formation to Chang 9₁ oil formation, the water depth changed from shallow to deep, and then a set of high resistance mudstones with hydrocarbon-generating potential were deposited, and the deltaic front subaqueous distributary channel sand bodies became high quality reservoirs.

Key words: sedimentary facies; Chang 9 oil formation; Yanchang Formation; Zhijing-Ansai area; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地是一个大型多旋回克拉通盆地,具有构造简单、地层平缓的特点,其演化经历了湖盆形成、发展与消亡3个过程。三叠系延长组

为其主要含油层位。前人将延长组自上而下划分为长1—长10共10个油层组^[1]。研究区志靖—安塞地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中西部地区,

收稿日期:2015-01-15;修订日期:2015-09-12

资助项目:中国石油天然气股份公司重大科技专项(编号:2011E-2602)

作者简介:张三(1982-),男,硕士,工程师,从事油气藏综合地质研究。E-mail: zs123_cq@petrochina.com.cn

北起靖边,南至永宁,东抵安塞,西达吴起(图1)。

沉积相的类型及展布控制有利储层的分布,因此开展沉积相研究对储层预测具有较强的可靠性和实用性。以往油气勘探主要集中在长8油层组以上,对长9油层组的沉积特征认识尚处于初期阶段。前人研究表明,延长组长9期发生了沉积盆地第一次较大规模的湖侵,规模及影响仅次于长7期湖侵。研究区延长组主要受东北物源的影响,发育三角洲相和湖泊相沉积^[2-3]。本次在前人研究的基础上,利用研究区200余口井的钻井资料,通过砂岩厚度、砂地比、自生绿泥石分布、古生物化石分布等因素进行分析,采用优势相的作图方法,绘制延长组长9₁和长9₂期沉积相图及砂厚图,并结合前人成果,对其演化规律进行研究,为研究区进一步油气勘探提供依据。

1 沉积相类型及特征

在对研究区40余口钻井取心资料详细观察的基础上,结合岩石学特征、沉积构造、古生物特征、钻井测井相分析、分析化验等,确定研究区长9油层组发育三角洲-湖泊相沉积。三角洲相主要为三角洲前缘亚相,湖泊沉积相主要为浅湖亚相。

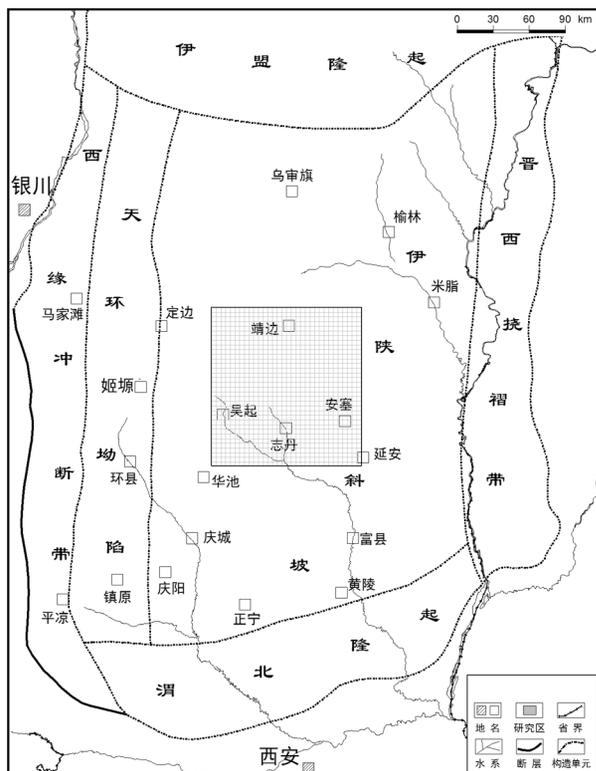


图1 研究区构造位置

Fig. 1 Tectonic location of the study area

1.1 三角洲相

前人研究表明,延长组沉积时盆地水体较浅,坡度较缓,水下坡折带坡度较小,盆地东北部的碎屑物由志丹地区的浅水湖盆边缘向湖盆中心进积,形成缓坡形三角洲^[4-7]。

三角洲沉积体系在研究区发育的亚相主要为三角洲前缘亚相,这是三角洲沉积的主体部分,是三角洲分流河道进入湖盆内的水下沉积,由水下分流河道、分流间湾、席状砂等微相组成。

研究区长9期三角洲前缘沉积主要发育在沉积条件相对稳定的北部地区,可进一步识别出水下分流河道、分流间湾和席状砂3种微相(图2)。其中,水下分流河道主要为浅灰色、灰绿色中-细砂岩,发育平行层理、板状交错层理和沙纹交错层理(图版I-a、b、c),底部见冲刷面(图版I-d)。分流间湾沉积环境相对闭塞,水动力条件弱,沉积物由灰色、深灰色、黑色的细碎屑物质和泥质组成,

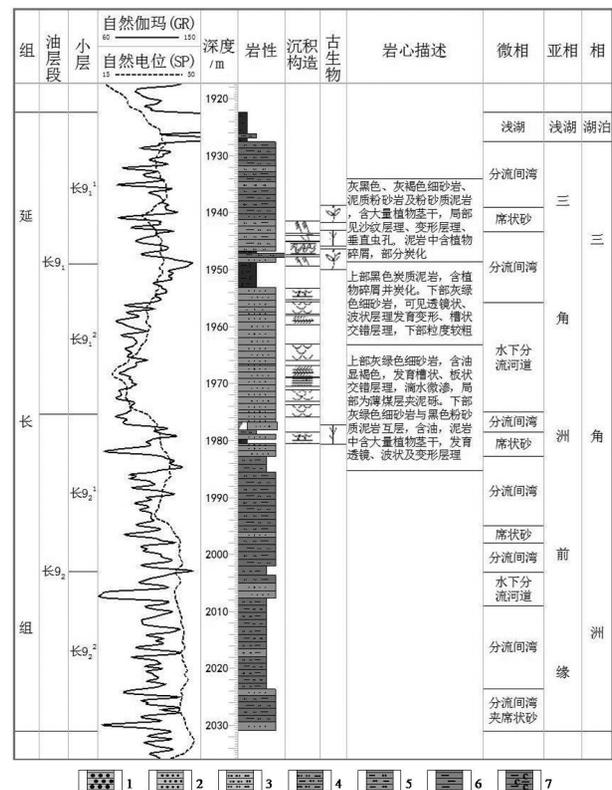


图2 G135井长9油层组沉积相综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of sedimentary facies of Chang 9 interval in Yangchang Formation of Well G135

1—中砂岩;2—细砂岩;3—粉砂岩;4—泥质粉砂岩; 5—粉砂质泥岩;6—泥岩;7—炭质泥岩

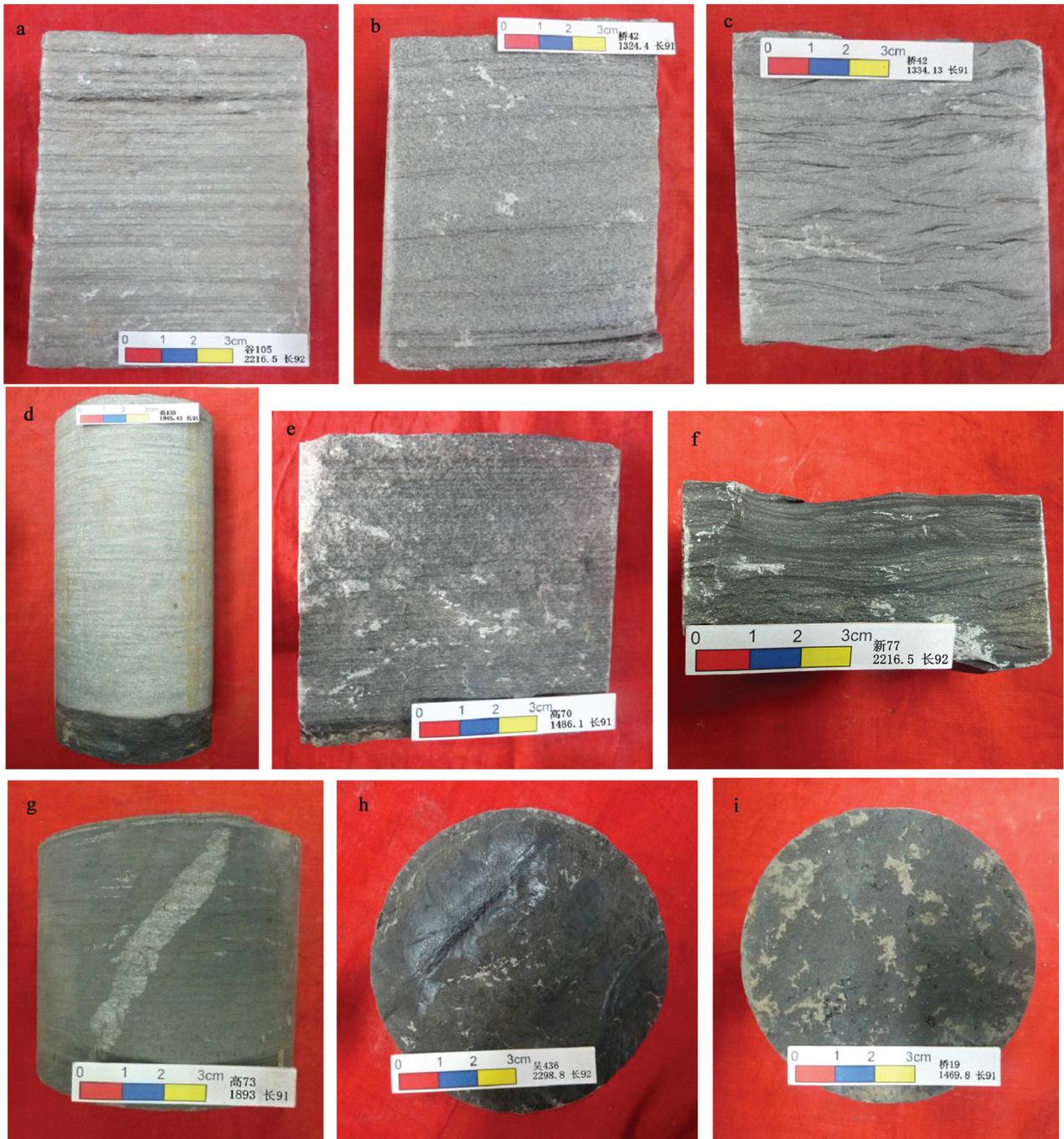
主要为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩的互层, 偶见夹细砂岩和粉砂岩的条带或透镜体, 多发育水平层理、透镜状层理、沙纹交错层理(图版 I -d, e), 见植物叶片、植物茎干化石及茎干印模。席状砂是水下分流河道或河口坝砂岩经波浪改造而成的,

在三角洲前缘呈薄层席状展布, 岩性主要为细砂岩及粉砂岩, 发育波状及小型交错层理。

1.2 湖泊相

长9沉积期, 研究区局部发育湖泊相沉积, 主要为浅湖亚相(图2), 分布范围在研究区南部志丹—永

图版 I Plate I



a. 平行层理, 长9₂, 2216.5m, 谷105井; b. 板状交错层理, 长9₁, 1324.4m, 桥42井; c. 槽状交错层理, 长9₁, 1334.1m, 谷105井; d. 冲刷面, 长9₁, 1945.4m, 高135井; e. 水平层理, 长9₁, 1486.1m, 高70井; f. 沙纹层理, 长9₂, 2216.5m, 新77井; g. 斜虫孔, 长9₁, 1893.0m, 高73井; h. 植物碎屑, 长9₂, 2298.8m, 吴436井; i. 鱼鳞、介形虫, 长9₁, 1469.8m, 桥19井

宁地区。沉积物主要发育中-厚层状的粉-细砂岩与砂质泥岩互层,或为深灰色-灰黑色的粉砂质泥页岩,局部夹薄层状粉-细砂岩。泥岩中常含斜虫孔和炭化的植物叶片化石(图版 I-g,h),泥岩中偶见零星动物化石。长 9_1 期是长 9 油层组晚期湖侵的鼎盛期,典型代表为李家畔页岩,岩性主要为深灰色-灰黑色泥页岩、泥岩、粉砂质泥岩夹炭质泥岩,水平层理发育,可见介形虫和少量方鳞鱼鳞片化石(图版 I-i)。

2 沉积相空间展布特征

2.1 确定湖岸线

通过收集能反映古水深和古环境的岩石矿物、沉积构造、古生物、自生矿物等相标志^[8],参考砂地比数值及长 9_1 顶部高阻泥岩的分布范围,确定研究区长 9 期湖盆浅湖的湖岸线位置。鄂尔多斯盆地长 9 期盆地西、南部边缘断裂活动加剧^[9],湖盆快速下沉,湖盆面积迅速增大,形成西南陡、东北缓,总体向东南开口的不对称湖盆^[10]。研究区长 9_2 期湖岸线位于吴起-楼坊坪-纸坊-志丹一带。长 9_1 期与长 9_2 期具有较好的继承性,湖盆面积有所扩大,并在长 9 晚期沉积了一套优质的烃源岩——李家畔页岩。

2.1.1 自生绿泥石分布图

绿泥石形成需要同沉积的富铁沉积物。在三角洲前缘沉积环境中,沉积物风化搬运中暗色矿物水化析出的铁,在河口沙坝、远沙坝等沉积环境中因沉积盆地电解质的加入形成含铁沉积物。这种含铁沉积物成为成岩过程中绿泥石衬边重要的铁来源。在鄂尔多斯盆地,砂岩中绿泥石衬边发育的地区通常是三角洲前缘沉积发育区^[11]。因此可以通过自生绿泥石的分布范围来辅助判断研究区沉积相平面展布特征。

研究区自生绿泥石主要以绿泥石衬边形式发育,根据研究区 40 余口取心井的薄片及扫描电镜分析,统计绿泥石发育情况,绘制长 9 油层组绿泥石分布图。长 9_2 与长 9_1 分布规律基本相似(图 3)。

从图 3 可以看出,研究区绿泥石分布与砂体分布基本一致,在吴仓堡-楼坊坪-义正-永宁-高桥-志丹-纸坊一带,自生绿泥石不发育,结合砂厚等值线图及岩心观察认为该区水体较北部变深。在白豹-吴堡及纸坊-志丹-招安北部地区

绿泥石衬边发育,表明该区域处于水下沉积环境,判断为三角洲前缘沉积。

2.1.2 古生物化石分布图

不同的古生物化石组合可以反映不同的沉积环境。在研究区发现的古生物化石主要有植物茎干、植物叶片、介形虫、鱼鳞等,并且垂直虫孔、植物叶片及碎屑化石几乎在全区皆有发育,指示浅水沉积环境,同时在研究区北部 Y68 井和东南部 Q19 井长 9 油层组顶部岩心中发现介形虫化石;在志丹地区,即研究区东南部,发现零星鱼鳞化石,但并未见到典型深湖沉积标志。由此可知,研究区在长 9 期已发展为水下环境,且由北向南水体逐渐变深,但并未达到深湖环境。

2.2 沉积相及砂体空间展布特征

研究区延长组长 9 油层组的沉积相特征以三角洲与滨浅湖相为主。三角洲骨架相为三角洲前缘水下分河道微相。各沉积相在平面上基本呈带状展布,砂体的发育情况基本受控于沉积相的展布特征。研究区长 9 期主要发育东北向的曲流河三角洲前缘砂体。本次研究的目的是长 9 油层组及长 9_2 、长 9_1 两个油层段。同时,为了精细刻画长 9_2 、长 9_1 两个油层段的沉积演化特征,笔者进一步对长 9 油层组细分的长 9_1^1 、长 9_1^2 、长 9_1^3 和长 9_1^4 四个小层进行精细研究。

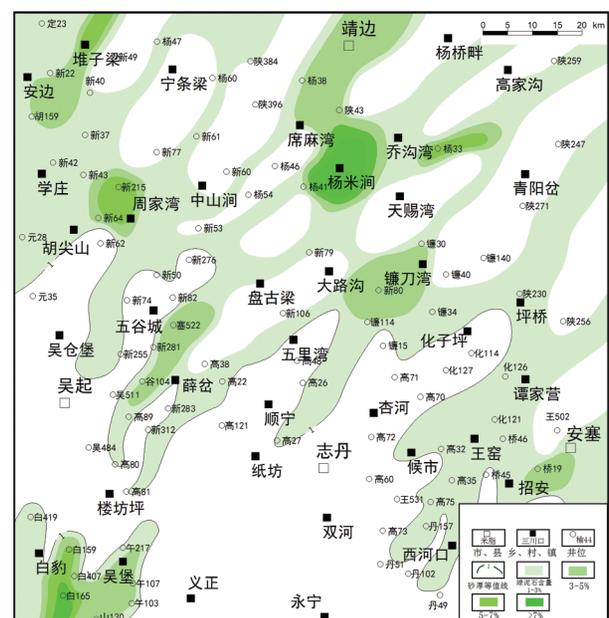


图 3 长 9 油层组绿泥石膜分布图

Fig.3 Distribution map of chlorite development in Chang 9 interval of Yanchang Formation

2.2.1 砂岩等厚图

根据研究区内200余口井的砂岩厚度资料,结合物源供给方向,绘制出长 9_1^1 、长 9_2^1 、长 9_2^2 和长 9_2^3 四个小层及长 9_2 、长 9_1 两个油层段的砂岩等厚图(图4)。从图4可以看出,长 9_2 期砂体总体呈北东—南西向展布,整体表现出北部砂体与西南砂体向研究区中下部汇聚的形态。西北部砂体整体较厚,厚度主要分布在15~40m之间,反映该区主要为河道发育的近源沉积。砂体沿S377-L271-L140井区、S259-Y33-X80井区、Y38-S396-X60井区、X49-X40-H159井区呈连片状发育;其余地区呈条带状展布,砂体厚度主要分布在5~20m,研究区中下部吴仓堡—楼坊坪—纸坊—双河一带砂厚值小于5m,砂体发育较差(图4-a),反映该区距离物源供给区较远,沉积物供给能力较西北部弱。同时,研究区中下部志丹—纸坊地区砂体不发育,反映该区远离物源供给区,为浅湖相泥质沉积。

长 9_1 期砂体展布与长 9_2 期具有较好的继承性,但西北部砂体厚度较 9_2 期减薄,主要为10~25m,其余地区砂体厚度主要分布在5~15m之间(图4-b)。其中长 9_1^1 砂体最不发育,砂体厚度大部分为2.5~7.5m,局部地区为12.5m。砂体总体呈北东—南西向条带状展布,仅在以下几个井区呈连片状发

育:S377-S230-H117井区、S319-A123井区和A28-X22井区。

2.2.2 沉积相空间展布特征

通过对砂体厚度、砂/地比值的统计,采用优势相编图法编制长9油层组2个油层段及其4个小层的沉积相图。沉积相图反映一定时间跨度内,不同位置砂体的垂向叠置效应的影响范围,即该时间段内发育的河道砂体总的侧向迁移活动范围,不代表单个砂体的宽度,仅说明优势相出现的频率。

受物源的影响,长 9_2 期研究区北部大面积发育三角洲前缘沉积,西南部发育小面积三角洲前缘沉积。水下分流河道整体呈北东—南西向条带状展布。在三角洲前缘沉积相带内,以砂质沉积为主的水下分流河道与以泥质沉积为主的分流间湾纵横交错,在研究区北部发育多条水下分流河道,长 9_2 期浅湖面积较小,主要分布在吴仓堡—楼坊坪—双河一带,呈喇叭状向东南方向开口(图5-a)。

长 9_2^2 时期,研究区北部大面积发育三角洲前缘沉积,西南部发育小面积三角洲前缘沉积。水下分流河道整体呈北东—南西向条带状展布,河道发育均匀,宽6~10km。长 9_2^1 期沉积相的发育和长 9_2^2 时期基本类似,但是范围和规模局部发生变化,砂体的厚度和宽度减小。水下分流河道整体呈北东—南西

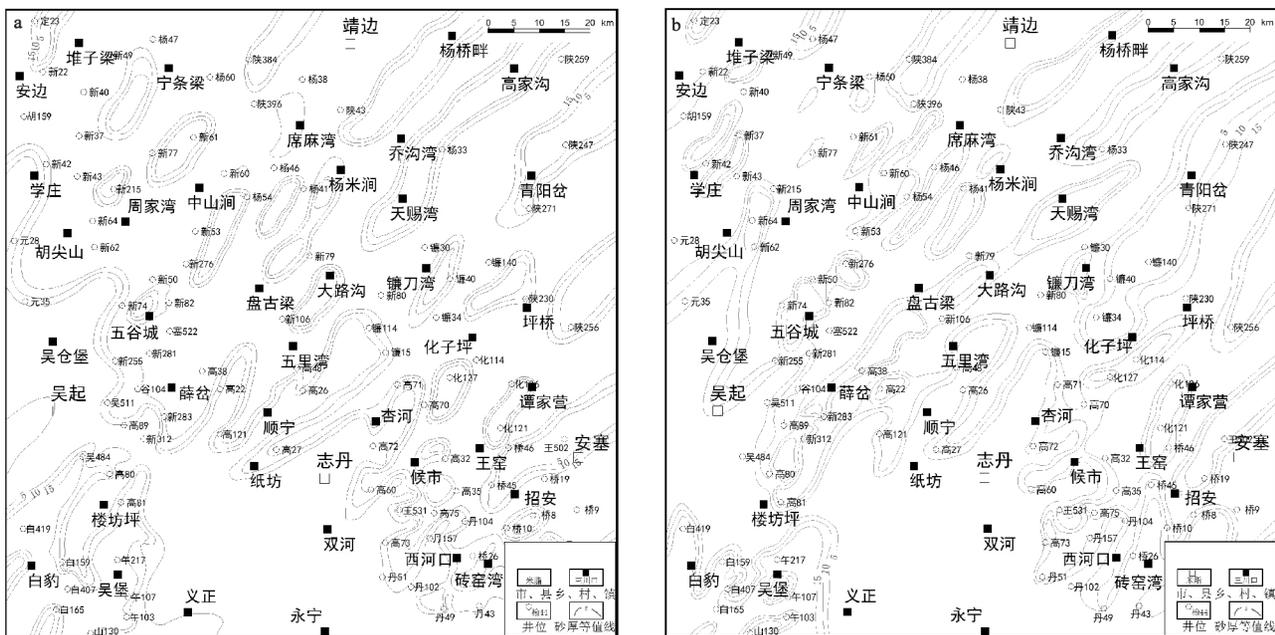


图4 长9油层组砂岩等厚图

Fig.4 Isoline map of sandstone of Chang 9 interval of Yanchang Formation

a—长 9_2 砂岩等厚图;b—长 9_1 砂岩等厚图

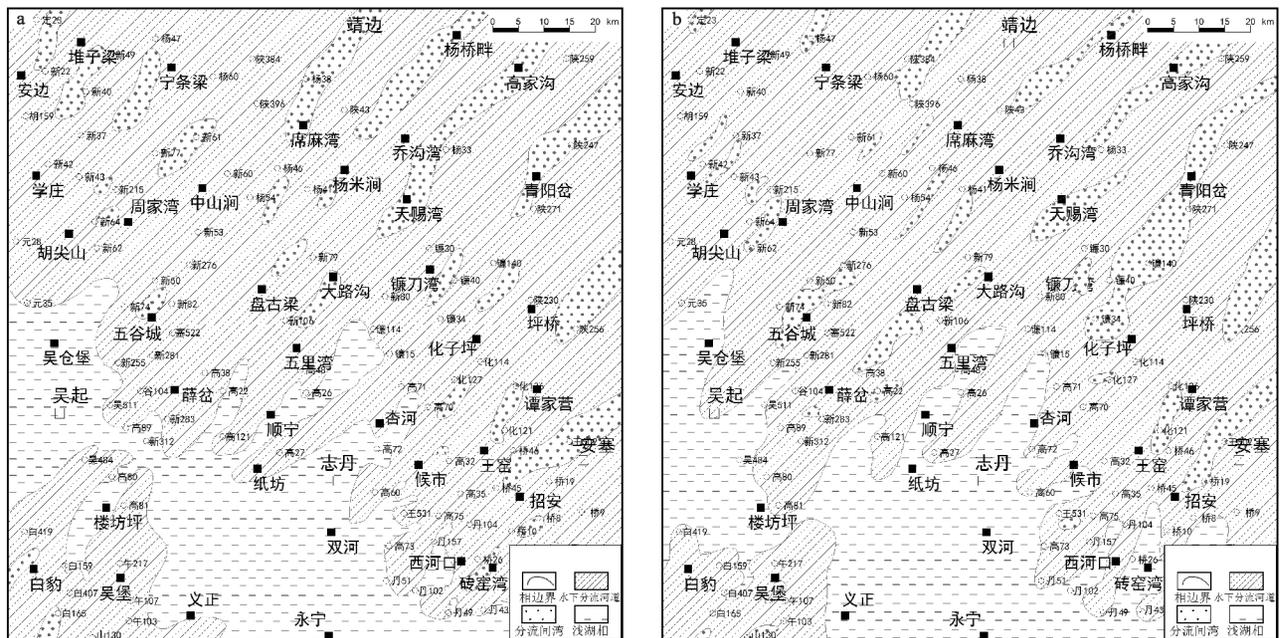


图 5 长 9 油层组沉积相平面展布图

Fig.5 Distribution map of sedimentary facies of Chang 9

interval of Yanchang Formation

a—长 9₁ 沉积相图; b—长 9₂ 沉积相图

向条带状展布。分流间湾面积增大,在研究区北部发育多条水下分流河道。

长 9₁ 期基本继承了长 9₂ 期的沉积格局,但该时期发生了盆地沉降和较大规模的湖侵,湖区面积扩大,湖水加深,浅湖沉积范围有所扩张。北部地区仍以三角洲前缘沉积为主,浅湖的范围在吴仓堡—吴起—吴堡—张渠—志丹—砖窑湾一带,并呈喇叭状向东南方向开口(图 5-b)。

长 9₂ 期沉积相的发育比前期变化较大,水下分流河道整体呈北东—南西向条带状展布,分流间湾的范围和规模都比前期扩大不少,河道进一步萎缩。东北部河道较长 9₁ 期变窄,宽 5~7.5 km。西北部水下分流河道较发育。长 9₁ 期沉积相比较前期变化明显,发生了盆地沉降和较大规模的湖侵,湖区面积扩大,湖水加深,浅湖沉积范围有所扩张,局部范围发育半深湖沉积,半深湖主要分布在双楼—西河口。水下分流河道整体呈北东—南西向条带状展布。

3 沉积体系演化

沉积体系的发育与沉积环境和湖盆的演化过程密切相关^[12]。研究区位于鄂尔多斯盆地中部,长 9

期研究区北部为三角洲前缘沉积,河道分布稳定,延伸远;南部李家畔页岩沉积区发育浅湖沉积。长 9₂ 期和长 9₁ 期的沉积具有明显的继承性和延续性。与长 9₂ 期相比,长 9₁ 期湖盆初始扩张达到最大,湖岸线向北部移动,浅湖范围增大,主要分布在吴起—志丹—永宁一带。

4 结论

(1) 志靖—安塞地区延长组长 9 油层组发育三角洲—湖泊沉积体系,主要为三角洲前缘和浅湖 2 种亚相。三角洲前缘水下分流河道砂体是最有利的储集砂体。

(2) 长 9₂ 和长 9₁ 沉积相平面展布具有一定的继承性。三角洲前缘亚相以水下分流河道、分流间湾和席状砂 3 种微相为主。在三角洲前缘沉积相带内,以砂质沉积为主的水下分流河道与以泥质沉积为主的分流间湾纵横交错,在研究区北部发育多条水下分流河道。湖泊相主要为浅湖亚相,浅湖的范围在吴仓堡—吴起—吴堡—张渠—志丹—砖窑湾一带。

(3) 研究区长 9 油层组的沉积相演化具有一定的继承性和延续性。长 9₁ 期为湖盆扩张初始阶

段, 相较于 9₂ 期湖岸线向北部推进, 水体由浅变深, 并沉积一套优质烃源岩——李家畔页岩。

致谢:长庆油田分公司勘探开发研究院与低渗透油气田勘探开发国家工程实验室提供了大量基础资料和分析化验数据, 成文过程中得到西北大学李文厚教授的热忱指导, 在此一并表示感谢。

参考文献

[1] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.

[2] 宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系[J]. 古地理学报, 2002, 3(4): 57-66.

[3] 魏斌, 魏红红, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2003, 33(4): 447-450.

[4] 石玉江, 庞军刚, 郭艳琴, 等. 志丹地区延长组三角洲的识别特征及演化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(2): 264-268.

[5] 田景春, 陈高武, 窦伟坦, 等. 湖泊三角洲前缘砂体成因组合形式和分布规律——以鄂尔多斯盆地姬塬白豹地区三叠系延长组为例[J]. 成都理工大学学报, 2004, 31(6): 636-640.

[6] 梅志超, 林晋炎. 湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征[J]. 沉积学报, 1991, 9(4): 1-8.

[7] 王峰, 王多云, 高明书, 等. 陕甘宁盆地姬塬地区三叠系延长组三角洲前缘的微相组合及特征[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 218-224.

[8] 陈全红, 李文厚, 高永祥, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深湖沉积与油气聚集意义[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(增刊1): 39-48.

[9] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.

[10] 朱静, 朱亚军, 辛红刚, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 9 油层组沉积特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2013, 43(1): 93-100.

[11] 付金华, 李士祥, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长 9 油层组沉积相及其演化[J]. 古地理学报, 2012, 14(3): 269-284.

[12] 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315.

《地质通报》第34卷第11期要目预告

采矿废渣颗粒粒径对矿渣型泥石流起动的控制作用	
——以小秦岭金矿区为例	徐友宁等
小秦岭金矿区“7.23”矿渣型泥石流成灾模式	徐友宁等
基于抗灾能力的矿渣型泥石流风险评价方法探讨	
——以小秦岭金矿区为例	陈华清等
小秦岭金矿区土壤重金属生物有效性影响因素	张开军等
小秦岭金矿区碾头岔矿渣型泥石流特征值计算	张江华等
某金矿区浅层地下水重金属及氰化物污染评价	乔冈等
矿山遥感编图中的高分辨率遥感数据选择与比例尺计算方法	何芳等
基于形态学分析铅锌矿不同功能区土壤重金属的分布特征及污染评价	郭世鸿等
基于生物可利用性发展土壤重金属潜在生态风险 Hakanson 指数评价法	
——以小秦岭金矿区农田土壤为例	卢聪等
土壤重金属累积作用指示因子的筛选方法	
——灰色关联度与数理统计法	付义临等
干旱区植被盖度增加对降水入渗补给地下水的影响: 试验研究与数值模拟	尹立河等
利用土壤温度估算土壤有效热导系数和水流量	黄金廷等
柴达木盆地河流渗漏率及渗漏量	张戈等
蒸发过程中水体稳定同位素富集与空气湿度关系探讨	马洪云等
基于风险评价的黄土滑坡分类及特征	唐亚明等
基于连续介质模型的滑坡启动机理数值模拟试验	于国强等
基于斜坡单元与信息量法结合的宝塔区黄土滑坡易发性评价	薛强等
秦岭山区南秦河流域崩滑地质灾害的发育特征及主控因素	黄玉华等
冻融条件下浅层黄土中温度及水分空间变化的相关性	曾磊等
基于遥感图像分割和形态学的黄土滑坡后壁自动提取方法	李政国等
陕西胥家村黄土滑坡风险定量分析	张成航等