

⑪ 325-329

志丹探区侏罗系—上三叠统沉积环境和沉积相[†]张佳琪 魏红红[✓] 王宏波

P618.130.2

(西北大学地质学系,西安,710069;第一作者23岁,女,硕士生)

摘要 通过野外地质剖面勘察、钻井取心观察与描述收集了大量的第一手资料,并在此基础上结合古生物化石、沉积韵律、沉积厚度及岩电组合等特征,对位于陕甘宁盆地东部斜坡带上的志丹探区进行了沉积相研究。通过沉积相类型的划分和沉积环境分析发现:湖相泥岩是良好的烃源岩;河道砂体、三角洲前缘和三角洲平原分流河道砂体是主要的储集体。

关键词 志丹探区;侏罗系—上三叠统;河流相;湖泊相;三角洲相;生储盖组合

分类号 P588.2

沉积环境,沉积相 储集层

志丹探区位于陕甘宁盆地东部斜坡带,东经 $108^{\circ}40' \sim 109^{\circ}05'$,北纬 $38^{\circ}36' \sim 36^{\circ}45'$,地跨陕西省吴旗县与志丹县境,面积约 390 km^2 ;侏罗系—上三叠统发育良好,为一套陆相沉积;晚三叠世时盆地沿东部斜坡发育了大型河流,形成注入湖泊的高建设性河控三角洲;印支运动以后,侏罗纪盆地进入稳定沉降阶段,发育了一套以河流相为主的陆源碎屑沉积。

1 岩石类型

志丹探区侏罗系—上三叠统发育齐全,分布广泛,为一套陆相沉积。岩石类型主要为陆源碎屑岩,包括砾岩、砂岩、粉砂岩、泥(页)岩及其过渡类型。内源沉积岩分布很少,仅有少量泥灰岩。

砾岩大多为棕红色、紫灰色、灰白色、杂色,一般呈厚层一块状产出。砾石成分主要为泥岩、板岩、凝灰岩、中酸性火山岩、粉砂岩等。砾石形状以次棱角—次圆状最为多见。砾岩大多为河流相堆积。

砂岩多为灰色、灰绿色、灰白色、浅黄色及肉红色,一般呈中—厚层状产出。常见的砂岩类型是石英砂岩及长石砂岩。碎屑成分中石英和长石含量较高,长石以钾长石占绝大多数,岩屑成分以泥岩、板岩为主,其余为凝灰岩、中酸性火山岩、粉砂岩及片岩等。碎屑颗粒呈棱角状—次棱角状,分选中等—好,颗粒支撑,胶结类型为孔隙式和接触式。填隙物一般为方解石、绿泥石和高岭石,其次为白云石、石英及黄铁矿等。砂岩主要发育在河道砂坝、湖泊及三角洲平原。

粉砂岩为深灰色、灰白色、灰绿色、浅灰色及黄绿色,薄—中层状产出,常见的类型有长石粉砂岩及石英长石粉砂岩,碎屑颗粒大都呈次棱角状,分选中等—好,填隙物一般为泥质或钙质。粉砂岩主要产于河道间、浅湖及前三角洲。

在志丹探区,泥岩多与砂岩、粉砂岩成互层状分布,常见有砂质泥岩、粉砂质泥岩、钙质泥(页)岩及碳质泥(页)岩,颜色多为深灰色、灰绿色、黑色及紫红色等,薄—中层状产出。泥岩主要发育于湖沼相。

湖相泥灰岩为灰紫色、灰黄色及杂色,薄—中层状产出,是一套分布稳定的湖泊沉积,也是区域上重要的标志层之一。

2 沉积相类型

志丹探区侏罗系—上三叠统沉积可以分为河流、湖泊和三角洲3个相,并可细分为辫状河、曲流河、

[†] 收稿日期:1998-01-08

交织河、浅湖、深湖、前三角洲、三角洲前缘和三角洲平原 8 个亚相。

2.1 河流相

本区的河流相沉积包括辫状河、曲流河和交织河 3 个亚相。

2.1.1 辫状河 河道宽而浅,河水流量变化大,垂向加积快,在河道中常常形成一系列河道砂坝^[1]。本区的辫状河沉积主要发育于中下侏罗统延安组下部和富县组,通常由砂岩、含砾砂岩和砾岩构成巨厚的层系,缺乏河道间细粒沉积夹层。砂、砾岩段的厚度在 10 m~100 m 之间,而泥岩段小于 10 m。砂、砾岩一般由一系列不完整的沉积旋回反复切割叠置而成,造成了垂向剖面上的粒序性不明显。底部往往具冲刷面,常见滞留沉积,多为含泥砾的不等粒砂砾岩。

河道沉积主要由厚层状灰白色含砾不等粒砂岩组成,局部为灰白色砾岩或细粒砂岩。河道复合砂体形态在剖面上呈上平下凸的透镜体,充填于宽约 25 km~75 km,深达 200 m 谷底起伏强的大型河谷中。从垂向上看,砂体由多个旋回反复叠置而成,每个旋回都具有由下而上由粗变细的趋势,并依次发育粒序层理或槽状交错层理以及一些沙纹交错层理。

泛滥平原沉积不发育,仅在河道间沉积了薄的深灰色和灰绿色泥岩。

2.1.2 曲流河 本区的曲流河沉积主要发育在中侏罗统直罗组和延安组上部。沉积层序中正粒序明显,具二元结构,下部结构为河道砂坝沉积,以侧向加积为主,上部结构为河漫滩沉积,以垂向加积为主,二者沉积厚度之比接近 1(图 1)。

河道砂岩一般为灰色细砂岩和粉砂岩,砂体厚 8 m~15 m,最厚可达 30 m,基底具冲刷面。冲刷面起伏强烈,正粒序明显。砂体在横剖面上呈上平下凸的透镜体,侧向延伸数公里,四周均为泥质岩所包围。

河漫滩沉积主要为灰绿色泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩夹粉砂岩,偶夹有薄层细砂岩。

2.1.3 交织河 其突出特征是泛滥盆地十分发育,天然堤之外往往发育大片漫滩沼泽、河漫湖及决口扇等沉积。它们与河道的砂体沉积厚度之比大多在 2~4 之间。本区交织河十分发育,在上三叠统延长组的上部、中侏罗统延安组的中下部、直罗组的上部和上侏罗统安定组的下部均有沉积。

河道砂体主要为灰色细砂岩或灰白色中细砂岩,在纵向上常常是不完整旋回的反复叠置,厚度一般在 3 m 左右,厚者可达 10 m。砂体基底具冲刷面和滞留沉积,内部常见槽状交错层理。在野外露头区砂体一般呈近于对称的下凸透镜体,横向延伸仅数百米,侧向上往往被河漫滩等河道间细粒沉积物所包围。

河道间沉积包括河漫滩、决口扇、天然堤和漫滩沼泽等。主要为砂质泥岩和泥质粉砂岩夹粉砂岩,常含植物茎叶和根迹。粉细砂岩中常见沙纹交错层理、包卷层理及水平层理。

2.2 湖泊相

在地质历史时期,湖泊相沉积是一种比较重要的类型,在我国各中生代大型盆地中都广泛发育。它可以截留河流搬运的大量沉积物,形成巨厚的沉积。陆源碎屑湖泊通常由滨湖亚相、浅湖亚相和较深湖亚相组成。本区侏罗系只发育有浅湖和深湖沉积,而缺乏滨湖沉积。

2.2.1 浅湖亚相 湖水位于枯水期的湖面以下,浪基面之上的浅水地带。该带的水动力条件较强,故沉积物的成分成熟度和结构成熟度较高。由于湖底氧气充足,并有河水提供养料,因而底栖生物发育。岩性主要为粉砂岩与粉砂质泥岩互层,有时夹有泥灰岩薄层。砂岩的粒度均匀,分选较好,波状层理、压扁层理、透镜状层理、波状交错层理、水平层理和砂泥互层层理均可出现,还可见到小型波痕、垂直或斜交虫孔等构造。

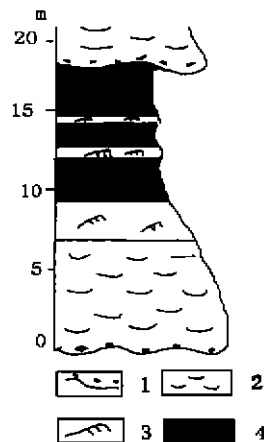


图 1 曲流河沉积相序图(据 Z26 井长 2)

Fig. 1 Generalized Facies Sequence of the Meandering Fluvial Deposits

1 基底冲刷面和滞流沉积 2 槽状交错层砂岩 3 沙纹交错层理砂岩 4 泥岩夹粉砂岩

本区上侏罗统安定组上部的浅湖沉积主要为深灰色泥岩和砂质泥岩,顶部为杂色泥灰岩。岩层中水平层理发育,波状层理可见。野外剖面可见鱼类、瓣鳃类、腹足类、叶肢介、介形虫及螺类化石。

2.2.2 深湖亚相 该区深湖相发育于延长组中下部,其岩性主要为深灰色—灰黑色泥岩、页岩夹粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和薄—中厚层状粉细砂岩。泥质岩石质地纯净,具纸状水平纹层,含鱼鳞化石。粉砂岩、细砂岩与深水泥岩呈互层,或互为夹层产出。砂岩集中段通常为薄—中层状粉砂岩夹泥岩的频繁的韵律层。粉细砂岩通常显示粒序性,底界具槽模和冲刷模。自然电位曲线呈弱起伏状,伽玛值较低,曲线呈箱状,可能是由浊流作用形成的。因此,该区是一套湖相黑色泥页岩、油页岩夹典型浊积岩的深水岩系。

2.3 三角洲相

本区的三角洲是在河流推进到堆积有巨厚深湖泥岩及低密度浊积岩的深盆地背景上发育起来的。其突出的特征是具有厚而完整的进积序列,骨架砂体呈厚豆荚状,可以同密西西比三角洲相对比^[2](图2),主要发育于上三叠统延长组的上部。

2.3.1 前三角洲相 主要为深灰色泥岩和粉砂质泥岩夹灰色粉细砂岩及油页岩。粉细砂岩厚1 m~3 m,与泥岩成频繁互层。据野外露头和岩心资料,泥质岩质地较纯,水平纹层发育,含鱼鳞化石。粉细砂岩通常显示粒序性,底界截然,表明可能是浊流周期性注入的结果。

2.3.2 三角洲前缘 主要为灰色细砂岩及粉砂岩夹灰色粉砂质泥岩及灰黑色泥岩,由下到上是一个向上变粗的反沉积旋回,具有厚而完整的进积序列。三角洲前缘下部为灰黑、深灰色泥岩、粉砂质泥岩夹灰色粉细砂岩,相当于末端坝沉积。粉砂岩发育沙纹交错层理,并与泥岩构成压扁层理、波状层理、透镜状层理和包卷层理,错断及角砾化也十分发育。三角洲前缘中上部为灰色粉细砂岩夹灰黑色泥岩薄层,砂体厚度较大,一般超过15 m,电测曲线上反映为明显的反粒序,应属河口坝沉积。三角洲前缘顶部为灰色厚层细砂岩,正粒序,底部具冲刷面,并含滞留沉积,岩层中发育大型槽状交错层理,为水下分流河道沉积。

2.3.3 三角洲平原 主要为灰色、灰褐色细砂岩与灰黑色泥岩、深灰色砂质泥岩不等厚互层状产出。河道间沉积主要为灰色粉砂质泥岩与粉砂岩的不等厚互层夹黑色泥岩和中层状粉细砂岩。泥质岩中富含碳化植物碎片和枝叶化石。粉细砂岩具旋回性,粒序性清楚,局部具沙纹交错层、水平纹层及包卷纹层,植物根迹发育,单旋回厚度仅数十厘米,叠加厚度可达3 m。细砂岩发育大型板状和槽状交错层理,底部具冲刷面,含扁平泥砾。砂质泥岩具水平层理。

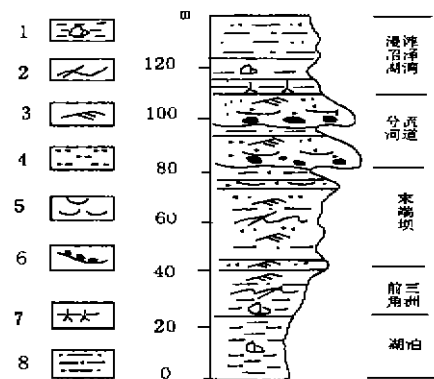


图2 湖相三角洲相序图(据Z26井长6)

Fig. 2 Lacustrine Delta Facies Sequence

1 含化石的泥岩 2 波状交错层理

3 沙纹交错层理 4 粉砂岩

5 槽状交错层理 6 冲刷面和滞留沉积

7 植物根 8 砂质泥岩

3 沉积环境的演变及生储盖组合

3.1 沉积环境的演变

志丹探区从晚三叠世开始气候转向温暖潮湿,形成广阔的湖泊环境^[3]。该区延长组的长6至长1是以张家滩页岩为标志的最大湖进之后,因河流的注入逐渐为沉积物充填而形成的一套水退型河流—湖泊沉积体系,以志丹—甘泉—宜川一线为界,北部为平坦台地,南侧以明显的斜坡向盆地倾没^[2]。这一背景始终控制着长6至长1的沉积环境的发育与演化。

本区在长6至长1期间经过4次明显的环境变化。第1次是长6期三角洲建设的高潮期;第2次是长4+5期区内大范围的沼泽平原化,早期以三角洲平原最为发育;第3次是长4+5晚期至长2期区内因地形、物源供给的变化,自北而南发育辫状河—曲流河—交织河;第4次是长1期区内再度大规模沼

泽平原化。

侏罗系是在印支运动之后,因地壳强烈抬升而遭受不同程度的剥蚀,在不整合面上发育了一套河流沉积。由于当时陕甘宁盆地西部隆升幅度较大,致使主要河流大都为自西向东流动^[4]。初期,河流以巨大的侵蚀能力冲刷下伏地层,从而形成宽度达十公里乃至百余公里的巨大河谷。在延安组的延 10 至延 9 底部,发育了巨厚层的砂岩、砂砾岩,且彼此切割叠置成巨厚层;泥质沉积不发育,砂/泥比大于 10,为典型辫状河的沉积特征。从延 9 至延 4 期,本区开始发育交织河、泛滥盆地等沉积,细粒沉积物成为主体沉积,河道砂体一般在 2 m 左右,最厚也不过 10 m。延 3 至直罗组上部,本区发育曲流河沉积,直罗组顶部至安定组下部又一次出现交织河沉积。到了安定组上部,则发育了咸化的湖泊沉积,形成了厚达 20 m 的泥灰岩地层。

本区上三叠统和侏罗系由 3 个次级构造旋回制约的沉积体系组成,显示出典型的多旋回性发育特征。第 1 个旋回由延长组组成,反映了大型内陆拗陷沉积盆地由形成、扩展至萎缩、消亡的过程;第 2 个旋回由富县组和延安组组成,辫状河的广泛发育构成了沉积的主体;第 3 个旋回由直罗组和安定组组成,辫状河—一曲流河—交织河—湖泊发育,沉积物由粗逐渐变细。第 2,3 个旋回则反映了大型内陆拗陷沉积盆地的又一次形成、发展乃至消亡的过程。每个旋回的内部,又由于不均衡构造运动的影响,则生成次一级的沉积旋回,常造成纵向上岩性、岩相的多变性。这种多变性亦是陆相沉积的一个主要特点。

3.2 生储盖组合

陕北地区的中侏罗统延安组—上三叠统延长组的油气聚集受生油拗陷与沉积相带的强烈控制,在志丹探区延长组和延安组中形成了一系列旋回沉积。一般说来,深湖相泥岩是本区的主力烃源岩,而交织河河道间的河漫湖与湖沼相的暗色泥岩也是较好的烃源岩;河流沉积的河道砂岩和三角洲前缘砂体以及三角洲平原分流河道是良好的储层;河道间细粒沉积和三角洲平原为盖层。这种砂、泥岩重复叠置的旋回沉积,构成了该区多套生储盖组合。

3.2.1 湖相是有利的生油相带 本区在上三叠统延长组长 7 中后期大规模湖进后,在西南部沉积了大面积的深湖相黑色泥岩;交织河、曲流河和滨浅湖过渡地带的河漫湖、湖湾及沼泽环境的暗色泥岩也十分发育。上述暗色泥岩构成了良好的烃源岩。当时区内内地形平坦,水体安静,淡水生物大量繁殖,温湿的气候利于陆地植物的生长,生物的发育为湖相的沉积提供了丰富的有机质来源。经后期埋藏和成岩变化,这套黑色页岩具备了有机质丰度高,母质类型好,成熟度较高的特点,平均有机碳含量 1.56%,烃含量 773.3×10^{-6} ,烃碳转化率为 4.96%,为好—较好的烃源岩,且已达到成熟期。在侏罗系—上三叠统暗色泥岩中,以长 7 油层组的有机质含量最高,成油母质最好,为腐殖—腐泥型。其他各油层组都不同程度的有油气显示。

3.2.2 河道和三角洲是主要的储集相带 本区中侏罗统延 8—上三叠统长 4+5 是河流、三角洲平原及三角洲前缘沉积体系的产物,可作为储集层的岩石主要为砂岩。其中延 10—延 11 油层组为辫状河沉积,砂体厚度大,质地较纯净,主要为石英质;砂岩百分数高,孔隙度平均为 12.6%,渗透率平均为 $8.86 \times 10^3 \mu\text{m}^2$,是良好的储层。但由于本区的辫状河沉积缺乏泥质夹层,不易形成遮挡和圈闭。延 9—延 11 油层组是一套曲流河沉积,砂体主要为细粒长石砂岩,粒间孔隙较发育,物性较好,砂体厚度一般在 8 m~15 m。由于其河道砂体常被河道间泥质岩包围,因此,虽然砂体的规模相对较小,但常可形成有利的储集体。延 9—长 2 油层组主要是一套交织河沉积,河道砂体数量较多,但规模小,厚度一般在 4 m~10 m,侧向延伸仅数百米,因其四周被泥岩封闭,也可形成有利的储集体。长 3—长 4+5 油层组属于三角洲平原沉积,其中的分流河道砂岩粒度以细粒为主,常有厚 10 m~15 m 的较大砂体,次生孔隙较为发育,物性条件较好。由于这些砂体靠近烃源岩,也可形成有效的圈闭。

3.2.3 河道间沉积和岩性致密带是储层的有利遮挡 本区延长组长 1—长 4+5 及延安组延 9—延 6 油层组主要是三角洲平原的悬移质河流。其中河道泛滥盆地相的泥质沉积在数量上往往占绝对优势,可以形成较厚的连续沉积和广大的分布面积,在区域上可以连成片,因此是阻止油气向上运移和油气聚集的良好盖层,同时还可在侧向上对河道砂岩透镜体起到封挡的作用。此外,砂体本身的局部胶结致密带,也可以成为储层的有利遮挡。

参 考 文 献

- 1 李文厚,柳益群,袁明生等.吐鲁番—哈密盆地第三系沉积环境和沉积相.西北大学学报(自然科学版),1999,22(增刊):78~80
- 2 梅志超,林晋炎.湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征.沉积学报,1991,9(4):6~8
- 3 李克勤.陕甘宁盆地晚三叠世河流、三角洲、湖泊沉积模式与油气的关系.见:中国石油学会石油地质委员会编.碎屑岩沉积相研究.北京:石油工业出版社,1988
- 4 田在艺,张庆春.中国含油气盆地岩相古地理与油气.北京:地质出版社,1997

责任编辑 张银玲

Sedimentary Environment and Facies of the Jurassic to Upper Triassic in the Zhidan Exploration Area

Zhang Jiaqi Wei Honghong Wang Hongbo

(Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an)

Abstract The Zhidan exploration area is situated in the east shelving of the Shaan-Gan-Ning basin. Numerous firsthand information was gathered through examining the geological field cross-section, and the drilling core was obtained and described, and on the basis of which a study is made on the sedimentary facies in combination with the characters of the fossil, the sedimentary rhythm and thickness and the rock-electrics assemblages ect. Through the division of the sedimentary facies and the analysis of the sedimentary environment, it was found that mudstones of deep-lake are good hydrocarbon source rocks, and river channel, delta-front and delta plain distributary channel sand bodies are good reservoirs.

Key words Zhidan exploration area; Jurassic to Upper Triassic; river facies; lake facies; delta facies; source-reservoir-cap rock assemblages

· 学术动态 ·

耀县黄土高原乡村生态经济综合开发研究通过评审

由陕西省科委组织、陕西省农业发展办公室主持,我校有关专家主要承担的“黄土高原乡村生态经济综合开发研究——耀县生态经济县规划和建设研究”项目评审会于1998年6月3日在耀县花园饭店举行。陕西省政府秘书长黄广文、陕西省科委副主任茹明定、陕西省农业发展办公室总农艺师李续中、铜川市副市长曹玉过、我校党委副书记朱开平以及省政府有关职能部门,我校科研处的负责同志和有关专家等40余人参加了会议。会议一致认为该项目组完成的23项生态工程规划设计任务和组织实施的8项生态工程项目建设,规划设计方案体现了生态与经济的紧密结合,具有较强的科学性、先进性、实用性和可操作性,取得了明显效益。现已完成的10个领域共计28项生态经济综合开发实用技术研究,尤其是农区生态经济系统结构与功能关系研究、“双千田”种植模式和配套技术研究、旱地立体种植模式和配套技术研究、药用植物资源开发和利用研究,良种引进和区域试验研究,农作物秸秆的综合利用研究等均取得了重大进展,收到了十分显著的经济和生态效益。

另外,项目在耀县3个生态经济带建设的4个试验示范基地,在软科学和实用技术方面开展了一系列调查和试验研究工作,较好地发挥了试验示范作用,带动了基地附近乃至耀县生态经济建设。其中,特别是下高塬农业试验示范基地在时空多维结构上对生物种群进行了科学的配置,将植物、动物、微生物有机地组合在农业生态经济系统的结构内,形成了多种群、多层次、多模式、高效、稳定的生态经济系统,在黄土高原农业县具有普遍的推广价值。

(薛 鲍)