

辽河西部凹陷欢喜岭地区沙河街组 沉积特征及其演化

时瑞坤¹, 陈世悦², 鄢继华², 李 聪², 张鹏飞³, 杨怀宇³

(1. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022; 2. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 东营 257061; 3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司 地质研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 在充分利用岩芯、录井、测井等相关资料的基础上, 总结辽河西部凹陷欢喜岭地区沙河街组的沉积相类型, 首次提出运用相对单因素综合作图法来绘制各沉积时期的沉积相平面图, 综合探讨了沙河街组的沉积特征及空间沉积演化规律。结果表明: 欢喜岭地区沙河街组主要发育扇三角洲相、湖底扇相、滨浅湖相和半深湖—深湖相 4 种沉积相类型; 扇三角洲砂体为欢喜岭地区主要的储集砂体, 在沙河街组沉积时期持续发育, 主要发育于盆地缓坡部位; 湖底扇主要发育在 SQ3 和 SQ4 沉积时期, 主要分布在广阔的半深湖—深湖环境内; 相对单因素综合作图法可以弥补传统的沉积相作图方法精度低的不足; 沙河街组的沉积相垂向演化的旋回性明显, 自下而上分为两个水进旋回, 分别为 SQ2~SQ5 沉积时期和 SQ6、SQ7 沉积时期; 每个水进旋回初期, 盆地构造活动相对较弱, 水体较浅, 扇三角洲沉积广泛发育, 湖底扇沉积规模较小; 每个水进旋回中后期, 盆地构造活动强度大, 湖盆水体加深, 扇三角洲规模减小, 而湖底扇沉积规模明显扩大, 形成非常有利的储集砂体, 在研究区广泛发育, 是研究区深层勘探的有利目标之一。

关键词: 沉积特征; 沉积演化; 扇三角洲; 湖底扇; 沙河街组; 欢喜岭地区; 辽河盆地

中图分类号: TE121.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)03-0275-07

Sedimentary Characteristics and Evolution of Shahejie Formation of Huanxiling Area in the West Depression, Liaohe Basin

SHI Rui-kun¹, CHEN Shi-yue², YAN Ji-hua², LI Cong², ZHANG Peng-fei³, YANG Huai-yu³

(1. Geophysical Research Institute, Shengli Oilfield Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Dongying 257022, Shandong, China; 2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China; 3. Geological Research Institute, Shengli Oilfield Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: Based on the data of core, drilling and logging, types of sedimentary facies of Shahejie Formation of Huanxiling Area in the west depression, Liaohe Basin were summarized; the relative single-factor comprehensive mapping method was firstly proposed to draw the plan of sedimentary facies in different sedimentary periods; sedimentary characteristics and evolution of Shahejie Formation were discussed. The results showed that there were 4 types of sedimentary facies, which included fan delta, sub-lacustrine fan, littoral-shallow lake and semi-deep and deep lakes, in Shahejie Formation of Huanxiling Area; fan delta sand body, which mainly developed in the gentle slope of the basin during the sedimentary period of Shahejie Formation, was the main reservoir sand body in Huanxiling Area; sub-lacustrine fan, which mainly distributed in the broad semi-deep and deep lakes environments, mainly developed during the sedimentary period of SQ3 and SQ4; compared with the traditional mapping method, the relative single-factor comprehensive mapping method could improve the precision significantly; cyclicity of vertical evolution of sedimentary facies in Shahejie Formation could be obviously divided into two transgressive cycles with the sedimentary periods of SQ2-SQ4 and the periods of SQ6 and SQ7, respectively; at the early stage of transgressive cycle, basin tectonic activity was relatively weak, and the depth of water was relatively shallow, so fan

收稿日期: 2010-10-15

基金项目: 中国石油天然气股份公司科技项目(07-01C-01-04)

作者简介: 时瑞坤(1985-),男,河南镇平人,助理工程师,理学硕士,从事油气勘探研究。E-mail: shirk_007@163.com

delta sedimentary widely developed, and sub-lacustrine fan sedimentary decreased; at the middle and late stages of transgressive cycle, basin tectonic activity was relatively strong, and the water deepened, so fan delta sedimentary decreased, and sub-lacustrine fan sedimentary increased significantly, and then the favorable reservoir sand body, which formed and developed widely, was one of the favorable reservoirs for the deep exploration in the west depression, Liaohe Basin.

Key words: sedimentary characteristic; sedimentary evolution; fan delta; sub-lacustrine fan; Shahejie Formation; Huanxiling Area; Liaohe Basin

0 引言

随着勘探技术的发展,辽河西部凹陷油气勘探的主攻方向逐渐由寻找构造油气藏为主向寻找构造、岩性油气藏并重的方向转化^[1-5]。近年来在岩性油气藏勘探方面取得了重要进展,先后在锦 307、锦 310、齐 233、欢 171 等井区发现了高产富集的岩性油气藏,这些钻探成果说明在辽河西部凹陷欢喜岭地区进行岩性油气藏勘探前景广阔。岩性油气藏成藏条件复杂,油藏类型多样,识别预测难度大,对沉积相研究的准确度和精度具有较高的要求。在沉积相研究方面,前人提出过一些有益的认识,分别对辽河西部凹陷沙河街组及其不同层段沉积特征进行了较为详细的研究^[6-12]。随着精细油气勘探的不断深入,对沉积相研究提出了更高的要求。因此,对该地区进行系统、精细的沉积相和沉积演化特征研究对岩性油气藏的勘探具有重要意义。

1 地质概况

辽河拗陷位于渤海湾盆地东北部,是在前中生代复杂基底上发育起来的大陆裂谷盆地。辽河西部凹陷是辽河拗陷最大的一个富含油气的凹陷,由北向南依次发育了牛心坨、台安、陈家、盘山、清水和鸳鸯沟等 6 个生油洼陷。辽河西部凹陷属于典型的箕状凹陷,凹陷内可分为斜坡带、中央隆起带、洼陷带、陡坡带 4 个不同的构造区带。研究区位于辽河西部凹陷中南段,面积约 400 km² (图 1),是辽河油田的重点探区之一,具有丰富的油气资源。

古近纪为辽河西部凹陷的主要发育期,其经历了地壳裂陷、断陷和拗陷 3 个演化阶段。古近系主要发育了沙河街组和东营组,其中目的层段沙河街组自下而上可以细分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段。综合分析岩芯、地震、测井及古生物等资料,采用高分辨率层序地层学理论及新方法^[13-18],参照袁波等将研究区沙河街组划分 6 个三级层序,其中 SQ2~SQ5 分别相当于沙四上亚段、沙三下亚段、沙三中亚段和沙三上亚段, SQ6 相当于沙二段和沙一段下部, SQ7 相

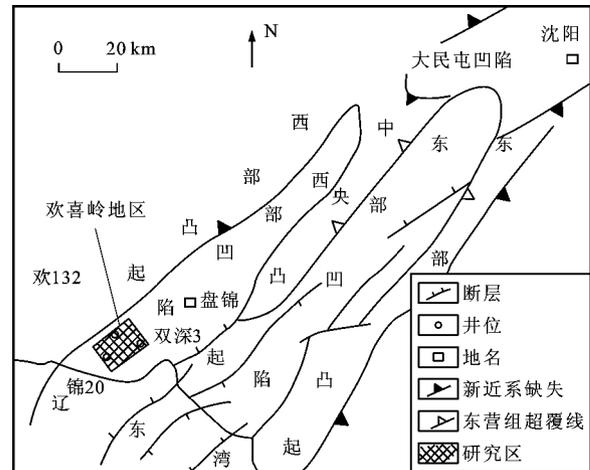


图 1 研究区构造位置

Fig. 1 Tectonic Location of Studied Area

当于沙一段中上部^[19]。层序地层划分方案见表 1。

表 1 欢喜岭地区沙河街组层序划分

Tab. 1 Sequence Stratigraphic Division of the Shahejie Formation in Huanxiling Area

地层				界面关系	体系域	三级层序
界	系	组	段			
新 生 界	古 近 系	沙 河 街 组	沙一段	局部削截	HST	SQ7
				上超	LST+TST	
			沙二段	局部削截	HST	SQ6
				上超	LST+TST	
			沙三段	局部削截	HST	SQ5
				上超	LST+TST	
				局部削截	HST	SQ4
				上超	LST+TST	
				局部削截	HST	SQ3
				上超	LST+TST	
			沙四段	局部削截	HST	SQ2
				上超	LST+TST	

注: HST—高位体系域; TST—海侵体系域; LST—低位体系域; 据文献^[19]修改。

2 沉积相类型

通过对岩芯、录井、测井及粒度等相关资料的综合分析,辽河西部凹陷欢喜岭地区沙河街组主要发育扇三角洲、湖底扇、滨浅湖和半深湖—深湖相 4 种沉积相类型(表 2)。

表 2 欢喜岭地区沙河街组沉积相类型及特征

Tab. 2 Types and Characteristics of the Sedimentary Microfacies of Shahejie Formation in Huanxiling Area

相	亚相	微相	岩性特征	沉积构造	测井响应
扇三角洲	前缘	水下分流河道	厚层状砂砾岩、含砾砂岩	具冲刷面,发育交错、平行层理	中高幅齿化钟形、箱型
		分流河道间	暗色泥岩	水平层理发育	低幅齿化
		河口坝	粉细砂岩、含砾细砂岩	交错层理	高幅弱齿化漏斗形负异常
		席状砂	薄层状细砂岩,与暗色泥岩互层	水平层理及小型沙纹层理	中低幅齿化漏斗形负异常
	前扇三角洲	深灰色泥岩夹薄层粉—细砂岩	水平层理发育	低幅弱齿化	
滨浅湖		棕色粉砂质泥岩,泥质粉砂岩 暗棕、棕色泥岩等	水平层理及小型沙纹层理	中低幅钟形、箱型负异常	
深湖—半深湖		灰、深灰色泥岩	水平层理发育	低幅近平直	
湖底扇	内扇	砂砾岩、块状砂岩与暗色泥岩	冲刷—充填构造水平层理	中高幅齿化钟形、箱型	
	中扇	辫状沟道	砂岩和砾岩,以砂岩为主。砂砾岩 中常见泥砾、泥质条带	具冲刷面,块状层理、 递变层理和平行层理	中—高幅箱形、齿化 箱形到钟形曲线
		辫状沟道间	粉砂岩、细砂岩与暗色泥岩互层	滑塌变形构造	中低幅

2.1 扇三角洲

扇三角洲相在各时期均有不同程度的发育,主要发育于盆地缓坡部位。欢喜岭地区整体以扇三角洲前缘亚相沉积为主,扇三角洲平原亚相基本不发育。扇三角洲前缘亚相包括水下分流河道微相、河口砂坝、远砂坝、河道间等微相(图 2)。扇三角洲岩

石类型多样,从细砾岩到泥岩均有出现。细砾岩砾石以次圆状—次棱角状为主,分选较差,砂岩以长石砂岩、岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主。其中水下分流河道的粒度概率累积曲线多样,除了反映重力沉积特征的一段式、多段式和反映典型河流沉积的两段式、三段式外,还有复杂两段式和三段式,反映能

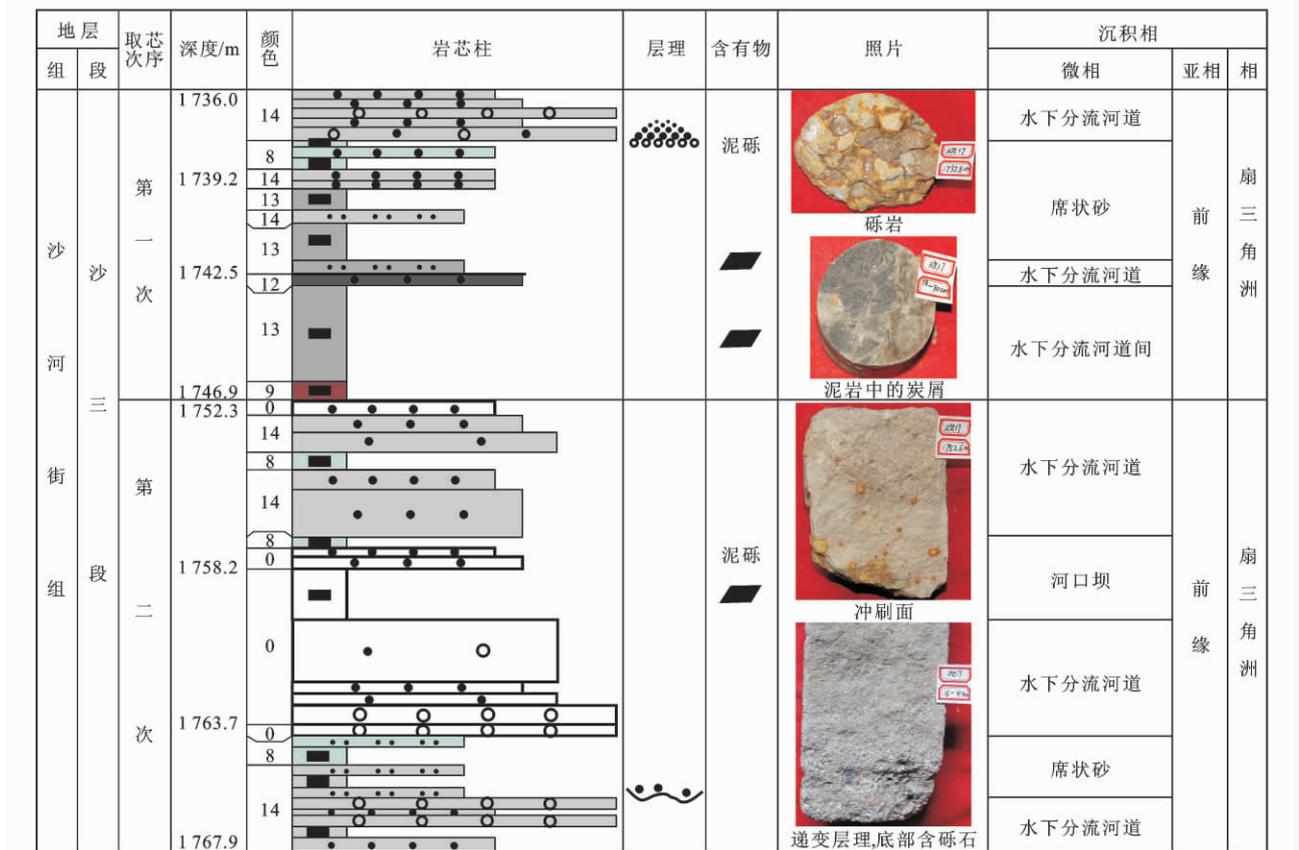


图 2 欢喜岭地区欢 17 井沙河街组扇三角洲沉积特征

Fig. 2 Sedimentary Characteristics of Fan Delta of Shahejie Formation in Well Huan17 of Huanxiling Area

量高、迁移快的扇三角洲水下辫状河道所携带沉积物同时受湖浪、湖流等多向、多组水流影响的特征。河口坝粒度概率累积曲线主要为两段式、三段式，“低斜三段”式反映湖水能量相对较低的河口区沉积物的快速堆积；“高斜多跳一悬”式是枯（平）水期辫状河入湖河口坝沉积物典型的粒度特点；“高斜一跳一悬夹过渡”式，反映其沉积于河口区中等能量的动荡水流环境。

2.2 湖底扇

湖底扇相在沙三段(SQ3~SQ5)大量发育,其中尤以沙三中亚段(SQ4)最为发育。由岩芯观察可知,研究区双深3井(沙三上亚段)、齐62井(沙三中亚段)、齐135井(沙三中亚段)等取芯井在沙三段都识别出了湖底扇沉积。其岩性为中粗砂岩或含砾砂岩、细砾岩。砂砾岩为具有明显重力流特征的杂基支撑砾岩、颗粒支撑砾岩、块状砂岩、

卵石砂岩、叠覆递变砂砾岩、滑塌岩等。砂岩、砾岩与暗色泥岩、页岩伴生。湖底扇粒度概率分布曲线主要为上拱弧形式和“一跳一悬加过渡式”两种,前者是本区深水重力流沉积中最常见的类型,主要见于典型油积岩块状砂岩层和粒序递变砂砾岩中;后者滚动总体不发育,跳跃和悬浮物质间存在较明显的递变悬浮,反映了能量不稳定的重力流后期能量衰减并向牵引流转化的特点。研究区湖底扇中扇亚相最为发育,岩芯观察可识别出辫状沟道和沟道间微相(图3)。其沉积物主要为灰色、深灰色粉砂岩、细砂岩、中砂岩以及砂砾岩等,具块状层理、平行层理、递变层理、包卷层理、滑塌变形构造、砂球构造、冲刷面等沉积构造,多呈透镜状分布于深湖—半深湖相暗色泥岩之中。整体表现为下粗上细正粒序沉积的特点。湖底扇相沉积特征详见表2。

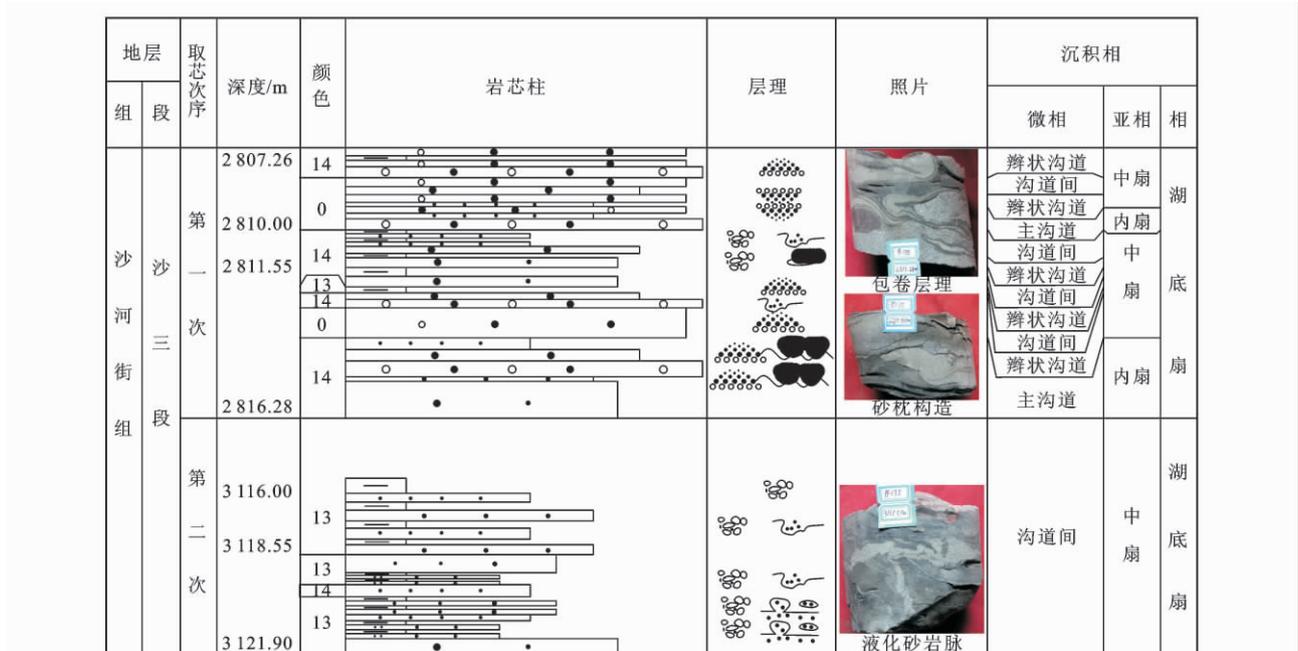


图3 欢喜岭地区齐135井沙河街组湖底扇沉积特征

Fig. 3 Sedimentary Characteristics of Sub-lacustrine Fan of Shahejie Formation in Well Qi135 of Huanxiling Area

2.3 滨浅湖

滨浅湖位于湖盆边缘至浪基面以上的地带,水体深度不大或周期性暴露地表,水动力条件复杂,沉积物受波浪和湖流作用的影响较强。岩石类型主要为大套灰绿色、浅灰色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层或透镜状粉、细砂岩。层理类型多以水平、波状层理为主,见季节性的韵律层理和块状层理,水动力强度较大的滨湖区有小型交错层理。生物化石和生物钻孔发育,以薄壳的腹足、瓣鳃类、双壳类等底栖生物为主,亦出现介形虫和鱼类等化石以及植物的根、叶、

枝干等化石碎片。

2.4 半深湖—深湖

半深湖—深湖相在沙三段沉积时期最为发育,主要发育在欢喜岭下台阶及近洼陷带,以棕褐色、深灰色泥岩及灰质泥岩沉积为主,偶夹薄层状、透镜体状的粉、细砂岩等,可见黄铁矿结核。泥质岩类发育水平层理、块状层理,与粉砂岩、细砂岩间常为冲刷接触。化石较丰富,浮游生物为主,保存较好,底栖生物不发育。深湖相位于盆中水体最深部位,水体安静,地处缺氧的还原环境,沉积物粒度细、颜色深、

有机质含量高,发育水平层理。

3 沉积相平面展布特征及演化

3.1 相对单因素综合作图法

单因素综合作图法是根据岩芯观察和泥岩颜色、砂岩、砂砾岩资料统计,初步确定沉积相类型,以取芯并段和全井段沉积相分析为立足点,以连井沉积相分析为桥梁,以颜色分区图、砂砾岩含量、砂岩含量等值线图为依据,由点到线,由线到面,定量编制不同时期的沉积体系平面分布图,进而查明有利砂体的展布位置。这种方法是采用各种因素独立分析,根据分析结果综合作图。这样的方法在大的区域研究上是切实可行的,但在油田小区块精细研究时,就显得研究精度不够。本区主要发育扇三角洲沉积,仅仅利用砂岩厚度图及砂岩含量图只能划分到亚相,这种精度的沉积相研究不能够满足当前勘探与开发的需要。因此,笔者提出了相对单因素综合作图法来绘制各沉积时期的沉积相平面图。相对单因素综合作图法主要采用各粒级砂岩的相对含量来刻画沉积微相的平面展布特征,可以弥补传统的

沉积相作图方法精度低的不足。在研究中反复提取粗砂/砂、粉细砂/砂、泥砂/砂、砂/地等相对单因素,编制沉积相图,结果显示能更好地反映水下分流河道、水下分流河道间、河口坝、席状砂等微相的展布特征,显著提高了研究精度。相对单因素在单因素的基础上更加前进一步,单因素是能独立反映某地区、某地质时期、某层段沉积环境某些特征的因素。单因素相对值则更进一步突出各单因素中隐含的有用信息,为沉积微相研究提供了强有力的证据。

3.2 沉积相平面展布特征

在层序格架内,采用相对单因素综合作图法,综合利用研究区 194 口单井资料,在岩芯观察分析和单井相分析的基础上,结合地震、测井等资料,编制了沙河街组各个三级层序的沉积相平面分布图(图 4)。

SQ2(沙四上亚段)沉积时期,湖盆水体相对较浅,砂砾岩沉积厚度不大,扇体主要分布在欢 14 井区—千 10 井区、欢 629 井区及锦 82 井区,连片分布。其他地区砂体厚度均较小,且在平面上均成条带状展布;该时期物源主要来自欢喜岭地区。来自齐家的物源经过齐 135 井区进入洼陷区。SQ2 沉

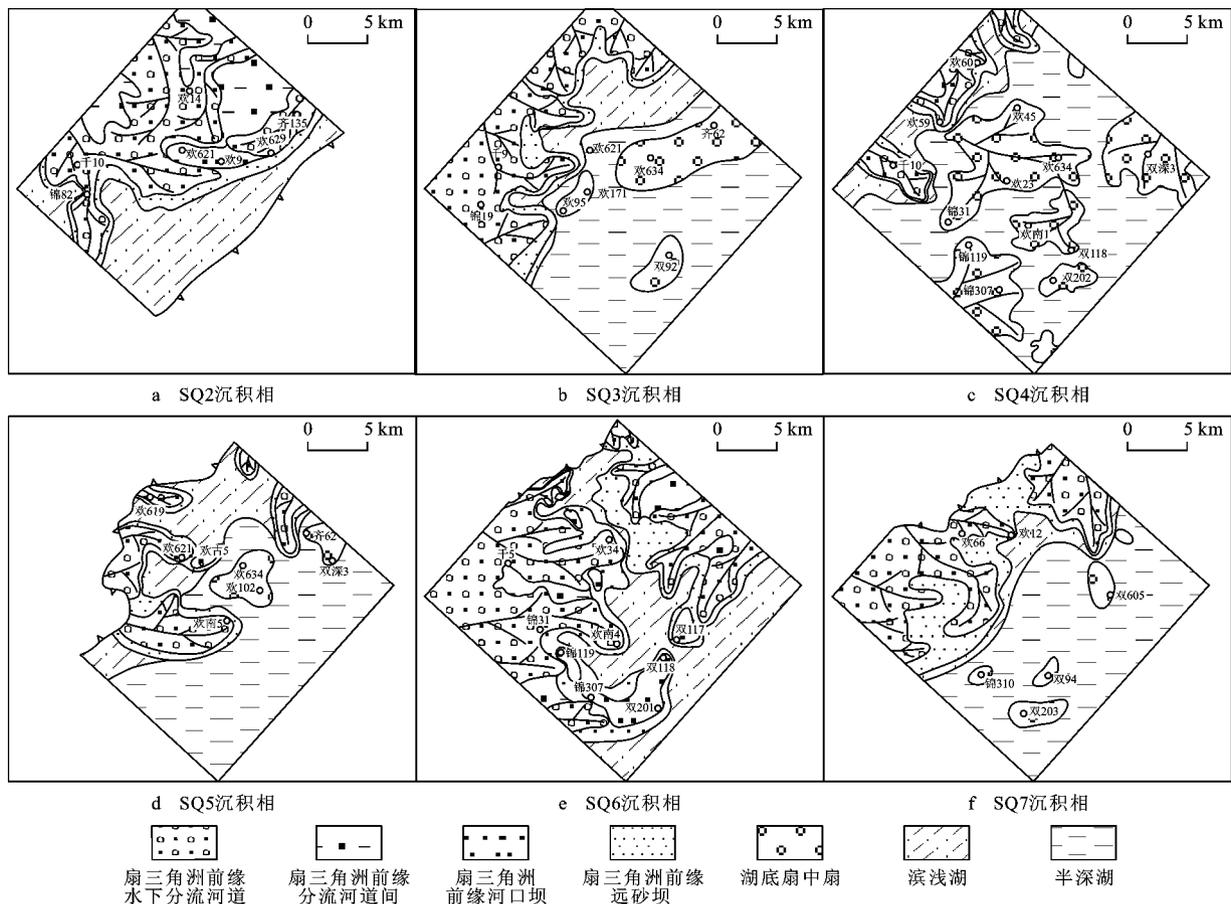


图 4 欢喜岭地区沙河街组沉积相

Fig. 4 Sedimentary Facies of Shahejie Formation in Huanxiling Area

积时期水体较浅,且古地形隆洼相间,在低洼处主要为扇三角洲前缘水下分流河道沉积。由于水道改道频繁,导致水下分流河道分布范围较大,在欢 9 井及欢 621 井区主要发育粒度较细的粉砂岩和细砂岩,主要为扇三角洲前缘的河口坝沉积,在向洼陷方向主要是经水流改造形成的呈条带状的席状砂沉积。砂体主要集中分布在欢喜岭地区和齐家地区,鸳鸯沟地区主要为滨浅湖环境(图 4a)。

SQ3 沉积时期,湖盆范围逐渐增大,水体深度逐渐增加,构造活动加强,扇三角洲主要在西八千和欢喜岭地区发育,扇体规模较大,连片分布。河口坝相主要在西八千和欢喜岭地区水下分流河道前端发育。湖底扇相也有发育,在齐欢下台阶北部地区,由于水体较深,物源距沉积区较远,形成的湖底扇沉积主要发育在欢 634 井—齐 62 井区,规模较大;在双 92 井区也有一定规模的湖底扇砂体发育。在研究区中部,湖底扇主要发育在欢 95 井—欢 171 井区,规模相对较小,为河道前端滑塌形成(图 4b)。

SQ4 沉积时期是湖盆构造活动最强烈阶段,湖盆范围最广,湖底扇砂体最为发育。由于西八千地区物源供应不足,扇三角洲水下分流河道仅在千 10 井区有小范围发育,但在锦 31 井区、锦 119 井—锦 307 井区发育湖底扇相。在欢喜岭地区,靠近斜坡区的欢 59 井和欢 60 井区发育规模不大的扇三角洲;由于构造活动强烈,欢喜岭下台阶地区扇三角洲前缘砂体易滑塌形成湖底沉积砂体。该期湖底扇砂体规模较大,主要发育在欢 45 井—欢 23 井—欢 634 井区,向洼陷区一直延伸至欢南 1 井—双 118 井区、双 202 井区。斜坡区来自齐家的物源在研究区西北角有小范围发育。双深 3 井区滑塌形成的浊积扇砂体规模相对较小(图 4c)。

SQ5 沉积时期,近物源区大部分地层由于构造抬升遭受剥蚀。现今残留地层中,西八千地区的扇三角洲前缘砂体规模较大,从研究区西部边界近东西向延伸至欢南 5 井区。欢喜岭地区砂砾岩体发育程度较低,主要分布在欢 619 井区和欢 621 井区。来自欢喜岭和西八千地区的扇三角洲前缘滑塌浊积砂体主要发育在欢 634 井—欢 102 井区;齐家地区扇三角洲砂体和湖底扇砂体均发育较局限,扇三角洲砂体呈近南北向条带状展布。湖底扇相小规模发育在齐 62 井—双深 3 井区(图 4d)。

SQ6 沉积时期,物源主要来自西八千和齐家南北两个方向,扇体非常发育。由于该期水体较浅,砂体进积幅度很大,西八千地区尤为显著。西八千地

区扇体延伸很远,锦 31 井区的砂体延伸至欢南 4 井区,千 5 井区的砂体延伸至欢 34 井区。在西八千地区河口坝砂体非常发育,规模较大的河口坝砂体发育在锦 307 井—双 201 井—双 118 井区,规模稍小的分布在各水下分流河道前端。齐家地区扇三角洲砂体主要发育在研究区东北部,在双 117 井区主要发育河口坝砂体,该区发育大片席状砂体。在研究区中部近北西向一带主要为滨浅湖相泥岩发育,将西八千和齐家两大扇体明显的分割开来(图 4e)。

SQ7 沉积时期,砂体主要发育在研究区的上台阶地区,主要发育扇三角洲—湖底扇相沉积。在西八千斜坡区,扇三角洲分布范围大,扇体连片分布,各河道延伸长短不一。欢喜岭地区砂体相对不发育,其扇体主要经欢 66 井区进入至欢 12 井区。在齐家地区,扇体在上台阶地区连片分布,其河道前端砂体滑塌至双 605 井区形成湖底扇相,在锦 310 井区、双 94 井区及双 203 井区均有小范围的湖底扇砂体发育,可能为西八千扇体前端砂体滑塌形成(图 4f)。

3.3 沉积相垂向演化

沙四段沉积时期,辽河盆地处于拉张裂陷阶段。SQ1(沙四下亚段)在研究区不发育。SQ2 沉积时期,湖盆向南扩张,沉积中心位于欢喜岭下台阶地区。研究区此时水体仍较浅,山区冲积扇携带大量粗碎屑物质沿短轴方向入湖,发育了以砂砾岩为主的扇三角洲沉积体系。沙四段沉积时期总体上是一个湖侵的过程(图 5)。

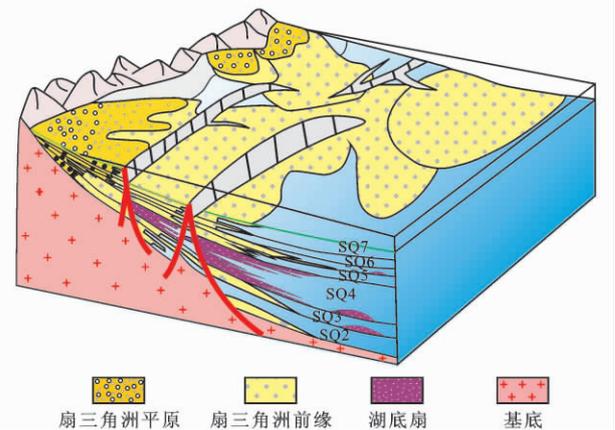


图 5 欢喜岭地区沙河街组沉积充填模式

Fig. 5 Depositional Filling Pattern of Shahejie Formation in Huanxingling Area

沙三段沉积时期是盆地断裂活动最强烈的时期,盆地发育进入大幅度剧烈深陷阶段。由于凹陷东部边界断层的强烈活动,形成了东陡西缓的箕状凹陷。研究区 SQ3 沉积时期继承了沙四段的沉积体系,仍

