

洪浩尔舒特凹陷下白垩统近岸水下扇沉积特征^①

王星星^{1,2} 朱筱敏^{1,2} 张明君³ 潘 荣^{1,2} 吴陈冰洁^{1,2} 张久强⁴

(1.油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249; 2.中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249;
3.辽河油田勘探开发研究院 辽宁盘锦 124000; 4.中国石油华北油田分公司 河北任丘 062552)

摘 要 通过对岩芯、录井、测井及地震等资料的综合分析,明确了洪浩尔舒特凹陷陡坡带下白垩统近岸水下扇的沉积序列、展布特征、演化规律及扇体发育的控制因素。本区近岸水下扇可被划分为内扇、中扇及外扇三个亚相,主要发育具块状层理、递变层理的碎屑支撑中、细砾岩,具鲍马序列的浊积岩以及具滑塌构造的滑塌岩,另可见到震积岩。扇体自早白垩世阿尔善组沉积晚期开始发育,至腾一段时期规模达到最大且向北东迁移 3.5 km 左右;腾二段时期构造活动减弱,湖盆开始萎缩,扇体规模随之缩小,且至腾二段末期扇体逐渐向扇三角洲沉积过渡。近岸水下扇的沉积特征及其分布演化规律主要受控于该区多期强烈的构造活动和潮湿炎热的古气候因素。陡坡带发育的板式边界断层,断面陡峭平直、活动剧烈,为近岸水下扇的发育提供了有利的构造背景。

关键词 近岸水下扇 沉积特征 控制因素 下白垩统 洪浩尔舒特凹陷

第一作者简介 王星星 男 1991 年出生 硕士 层序地层学及储层地质学 E-mail: 312347272@163.com

通讯作者 朱筱敏 男 教授 E-mail: xmzhu@cup.edu.cn

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

0 引言

我国中生代陆相湖盆广泛发育,在东部地区以断陷湖盆为主。由于断陷湖盆陡坡带构造活动相对剧烈,且距物源较近,因而在陡坡带常常发育有一系列近物源、快速堆积的粗粒砂砾岩体沉积,主要为扇三角洲与近岸水下扇。许多学者对断陷湖盆陡坡带近岸水下扇砂体沉积特征进行了详细研究,认为近岸水下扇为发育于断陷陡坡带断层下降盘根部、邻近物源进入水体快速堆积、与深湖暗色泥岩互层的^[1]、以重力流流动机制为主的扇形粗碎屑岩体^[2]。近岸水下扇与扇三角洲在发展演化过程中常常相互过渡转化。扇三角洲沉积以牵引流为主,而近岸水下扇沉积则以重力流为主;其次,前者在钻井资料中具冲积扇和三角洲的相标志,后者则具有重力流相标志;此外,近岸水下扇没有岸上暴露标志,如紫红色泥岩^[3]。因而,二者的发育规模、展布规律及其所对应的储层均有所不同。

二连盆地阿北凹陷、乌里亚斯太凹陷等地区的近岸水下扇砂体中均发现丰富的油气资源^[4-5],而洪浩尔

舒特凹陷一直以来主要产油层为腾一段辫状河三角洲相,其近岸水下扇仅在中洼陡坡带获得工业油流^[6],而东洼一直未有明显突破,故本文通过 10 口取芯井岩芯、20 余口井测井资料和三维地震资料综合分析,对洪浩尔舒特凹陷东洼陡坡带近岸水下扇沉积特征、扇体展布、演化及其影响因素进行了研究,以期对该区下白垩统近岸水下扇未来勘探开发提供重要依据。

1 地质背景

洪浩尔舒特凹陷位于二连盆地南缘的乌尼特拗陷西南部,西北缘接苏尼特隆起,东南部与大兴安岭隆起区相接,是在海西褶皱基底上和燕山晚期拉张断陷构造运动作用下,形成的一个典型的以下白垩统为主的东南断、西北超的单断箕状凹陷(图 1)。凹陷总体走向呈北东向,东西长约 80 km,南北宽 10~18 km,凹陷总面积 1 100 km²^[6-7,13]。

凹陷沿长轴方向,即自西南向东北方向划分为西洼、中洼和东洼;沿短轴方向,即自东南向西北方向可以划分为南部陡坡带、中央洼陷带及北部缓坡带,地层由厚变薄。陡坡构造带自东向西主要分为海流特、

^①国家重大油气专项子课题(编号:2011ZX05009-002,2012ZX05001-002)、国家自然科学基金青年科学基金(批准号:41202107)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金(新教师类)(编号:20120007120004)与中国石油大学(北京)科研基金(编号:KYJJ2012-01-20)联合资助
收稿日期:2014-05-05;收修改稿日期:2014-08-18

巴尔、海北及洪20井鼻状构造带。本次研究区集中在其东洼的陡坡带和中央洼陷带,构造单元上处于海流特和努格达构造带上。

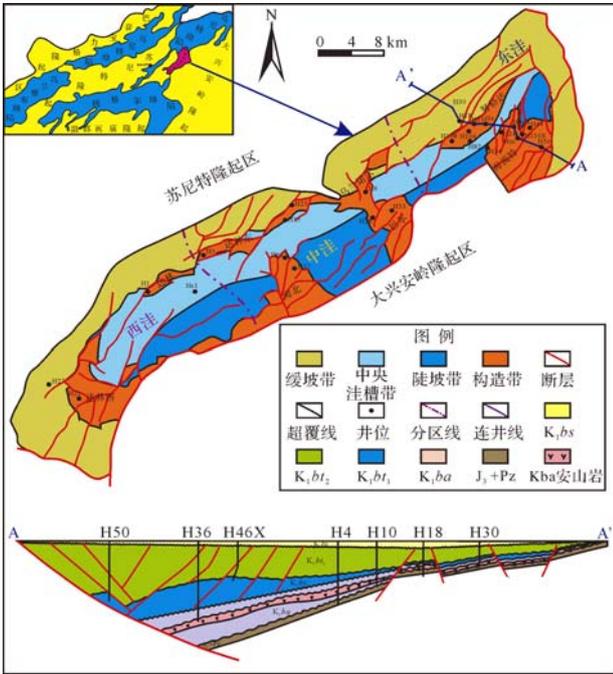


图1 洪浩尔舒特凹陷构造单元及东洼连井剖面图 (据文献[6-7,13]略有修改)

Fig.1 Tectonic units of the Honghaoershute Depression and the connecting-well profile in the eastern part of the depression (modified from references[6-7,13])

洪浩尔舒特凹陷下白垩统碎屑岩沉积与侏罗系火山岩地层不整合接触,下白垩统自下而上分别为阿尔善组、腾格尔组(分腾一段和腾二段)和赛汉塔拉组(图2)。受二连盆地区域构造演化控制,洪浩尔舒特凹陷的构造演化经历了断陷初始期、断陷发育期和断陷萎缩期三个发育阶段。断陷初始期,对应阿尔善时期,断陷处于快速沉降和快速充填阶段,粗碎屑沉积较厚,最大沉积厚度可达1600m。断陷发育期,对应腾格尔组沉积阶段,进一步划分为腾一段和腾二段,其中腾一段为裂陷的鼎盛阶段,水体较深,暗色泥岩发育,陡坡带发育大规模的水下砂砾岩,其沉积厚度为200~800m;腾二段早期发生短暂的剧烈沉降后,构造活动逐渐减弱趋于平静,形成稳定的湖相沉积,到其末期整体抬升遭受剥蚀,残余地层厚度为400~1200m。断陷萎缩期,即赛汉塔拉组沉积阶段,该时期边界断层基本停止活动,湖盆萎缩,转入以拗陷式沉积为主的阶段,后期遭受反转剥蚀,残余地层厚度为100~400m。

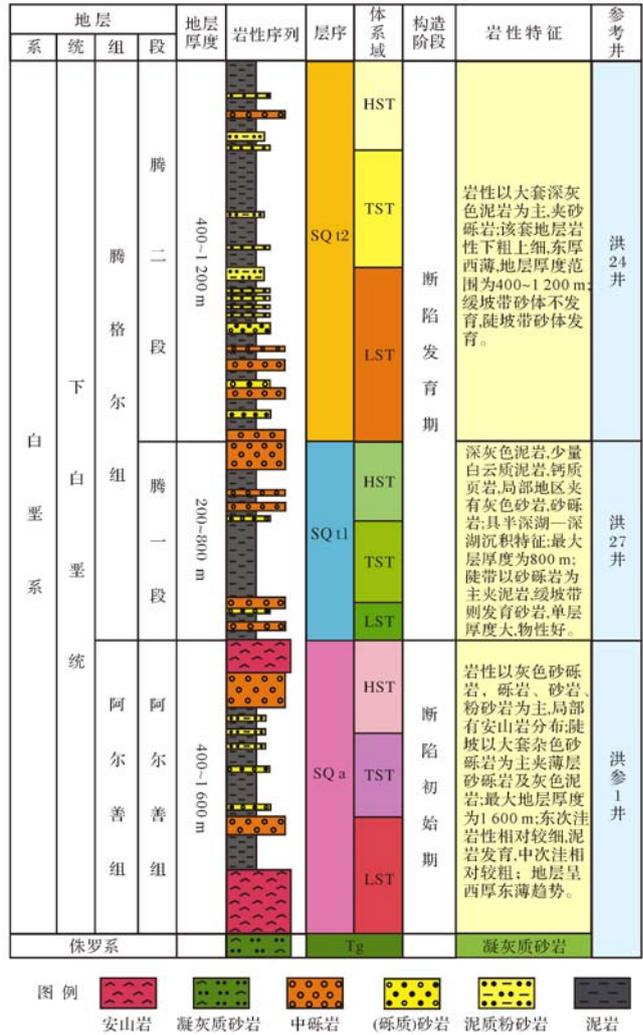


图2 洪浩尔舒特凹陷阿尔善组—腾格尔组综合柱状图

Fig.2 Comprehensive column of the Aershan Formation-Tengger Formation in Honghaoershute depression

2 沉积特征

通过对研究区岩芯、测井及地震资料的综合分析,依据国内外学者相关研究成果^[8-9],将研究区近岸水下扇分为内扇、中扇及外扇,其岩相、结构、测井相及地震相等方面各具特征。

2.1 岩相特征

10口取芯井岩芯观察发现,下白垩统岩石颜色主要表现为深灰色,且可见到介壳化石顺层分布(图3d,e),岩石类型主要包括暗色泥岩及与其相伴生的重力流沉积,另可见到震积岩。笔者参考 Walker 的重力流沉积类型分类方案^[9],自研究区东南陡坡带向西北湖盆中心,依次识别出杂基支撑砾岩、碎屑支撑砾岩、砾质砂岩、块状砂岩、滑塌岩以及经典浊积岩等6种重力流岩相类型(图4)。但震积岩的分布具

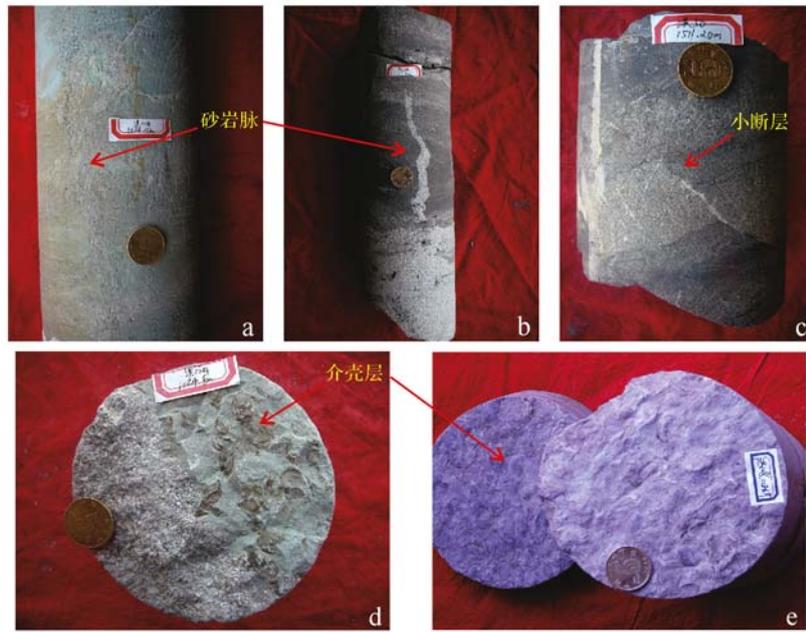


图3 洪浩尔舒特凹陷下白垩统震积岩和深湖泥岩岩芯照片

a.灰绿色泥岩中发育泄水构造,可见粉砂岩脉,H10井,1 074.15 m,阿尔善组;b.灰白色细砂岩上部发育黑色泥岩,泥岩中可见细砂岩脉,且与下覆砂岩层相连接,与下覆砂岩成分相似,H44井,1 190 m,腾一段;c.黑色泥岩夹细砂岩,可见小断层发育,H50,1 511.2 m,腾一段;d.灰绿色泥岩与中—细砂岩突变接触,灰绿色泥岩中可见介壳化石成层分布,H10井,1 024.8 m,阿尔善组;e.灰黑色泥岩中介壳类化石顺层分布,H108井,1 186.5 m,阿尔善组。

Fig.3 The core photos of the seismite and deep-lacustrine mud from Lower Cretaceous in the Honghaoershute depression



图4 洪浩尔舒特凹陷下白垩统重力流沉积岩岩芯照片

a.碎屑支撑中砾岩,砾石分选磨圆中等,砾石之间为中粗砂岩支撑,H34井,1 032.4 m,腾一段;b.杂基支撑细砾岩,砾石分选较好,磨圆程度中等,砾石被灰黑色泥岩及粉砂质泥岩支撑,可见黄铁矿结核,H34井,1 958.4 m,阿尔善组;c.块状层理粗砂岩,向上突变为暗色泥岩,内部无粒度递变特征,显均质层理,H44井,1 185.9 m,腾一段;d.块状层理砾质粗砂岩,砾石磨圆中等,分选较差,砾石杂乱分布,略显递变性,H24井,1 594.90 m,腾一段;e.细砂岩与暗色泥岩互层,可见递变层理、平行层理,在垂向上自下而上依次可以见到鲍马序列的Ta, Tb, Te, Ta, Tb, Te段组合,属于经典浊积岩,H24井,730.25 m,腾二段;f.灰黄色泥岩与黑色泥质纹层发生揉皱变形,可见包卷层理,H4井,1 204.68 m,阿尔善组。

Fig.4 The core photos of the gravity sediments from Lower Cretaceous in the Honghaoershute depression

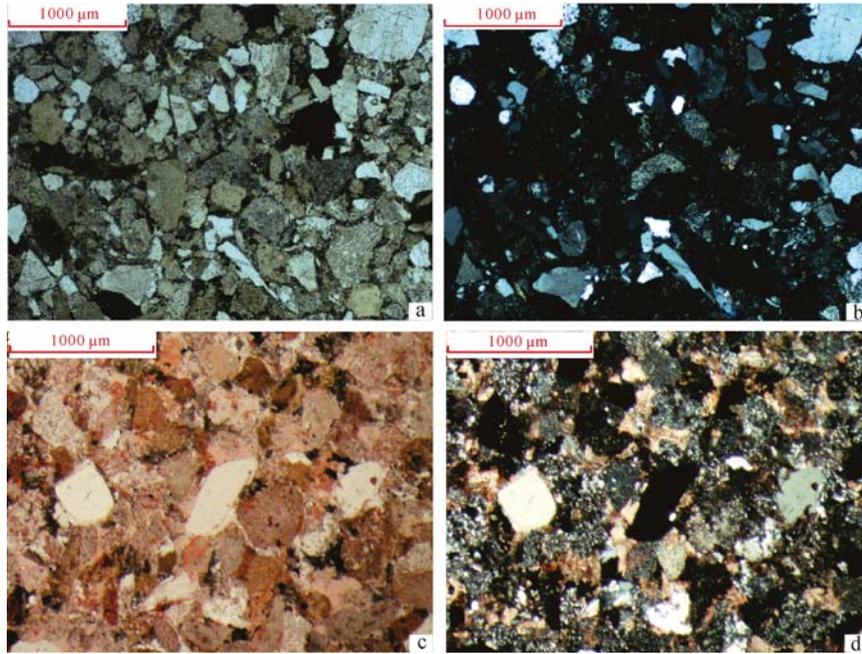


图5 洪浩尔舒特凹陷陡坡带下白垩统砂岩偏光显微特征

a、b.岩屑中砂岩,分选中等,磨圆度为棱角一次棱角状,颗粒之间可见黏土杂基,H36井,728.64 m,腾一段,a为(-)、b为(+);c、d.方解石胶结中砂岩,分选中等,磨圆度为次棱角状,可见大量的方解石胶结,H107井,1 172.91 m,阿尔善组,c为(-)、d为(+).

Fig.5 Microscope characteristics of the sandstone from the Lower Cretaceous in the abrupt slope of the Honghaoershute depression

一定随机性。

内扇主水道与中扇辫状水道靠近内扇部分主要发育碎屑支撑砾岩。如 H34 井腾一段,砂砾岩单层厚度较大,常大于 1 m,砾石分选较差,成分复杂,磨圆为次棱一次圆状(图 4a)。碎屑支撑砾岩多发育块状层理,正递变层理和反递变层理发育相对要少。H34 井阿尔善组,主要发育基质支撑砾岩主要发育在内扇主水道中,其中偶尔可见黄铁矿结核,在本区发育相对较少(图 4b)。

中扇辫状水道主要发育块状砂岩与砾质砂岩,以中—粗砂岩为主。研究区 H44 井腾一段发育块状砂岩(图 4c),整体呈均质块状构造,偶含少量砾石,砾石含量小于 5%。其中砾石成分复杂,可以见到外源砾石、泥砾、砂质碎屑团块以及混杂砾石^[10]。本文中的砾质砂岩特指砾石含量为 5%~30%之间^[10],砾质砂岩厚度相对较大,正递变与反递变层理均有发育,以前者为主(图 4d)。

经典浊积岩是指沉积物粒度较细(常为砂级)、具有不同段数的鲍马层序的浊积岩^[11]。研究区的经典浊积岩多表现为砂泥岩互层,砂泥岩比值为 50%~80%,厚度一般都小于 1 m,多集中于 50~60 cm。常常发育有众多的间断性正递变层理的中—细砂岩,可用鲍马序列 A 段来描述,向上有时可见平行层理、波

状层理、水平层理,构成不完整的鲍马序列。经典浊积岩在研究区主要发育在中扇辫状水道间,也可发育在中扇前缘及外扇,如 H24 井腾二段(图 4e)。其中在中扇辫状水道间和中扇前缘多发育鲍马序列的 A、B 段,而在外扇多发育鲍马序列的 C~E 序列。由于研究区构造活动频繁,滑塌岩也较为发育,可在外扇部分 H4 井地区见包卷层理、揉皱变形、小断层等与滑塌作用相关的沉积构造(图 4f)。

断陷盆地陡坡带的控盆边界断裂在其强烈活动时期常常发育震积岩^[12]。研究区在阿尔善组末期和腾二段早期陡坡带断裂活动剧烈,伴随有火山活动,必然会引发一些地震事件。通过岩芯观察,识别出一些典型的震积岩沉积构造标志,包括砂岩液化脉(图 3a、b)、微同沉积小断层等(图 3c)。研究区所见到震积岩在垂向上多与泥岩相伴生。

2.2 成分与结构特征

薄片资料和粒度资料可以从微观角度来研究近岸水下扇的沉积特征。本区下白垩统陡坡带的砂岩岩石类型主要为岩屑中—粗砂岩,石英平均含量为 24%,长石平均含量为 18%,岩屑平均含量为 58%,其中以火山岩岩屑为主,其绝对含量可达 50%(图 5)。自南东陡坡带以 H34、H60x 等为代表的内扇部位向北西方向 H10、H108 等为代表的扇体远端,岩相类型

逐渐由块状层理碎屑支撑砾岩变为具鲍马序列的浊流沉积,其岩屑、杂基含量逐渐减少,物性有所改善。

洪浩尔舒特凹陷在阿尔善组晚期到腾一段早期,东洼陡坡带的火山活动相对频繁^[13],可见到凝灰物质充填于孔隙当中,且多发生一定的蚀变,使得杂基含量增多,物性较差^[14-15]。

内扇粒度概率累计概率曲线主要表现为一条粗细截点不明显的上凸的弧形曲线或是斜率较小的单段式直线^[16],反映了分选极差、快速堆积的高密度流搬运方式。本区 H34 井 1 626.55~1 628.57 m 处具有典型的近岸水下扇内扇沉积特征,主要由具块状层理、砾石紊乱排列的碎屑支撑砾岩组成,在 1 627.78 m 处砾质砂岩处的粒度概率累计概率曲线粒度区间较宽为 0~5 φ,分选差、斜率低,倾斜度约为 25°(图 6a)。

中扇的粒度概率累计概率曲线的两段式特征较为显著,由跳跃总体和悬浮总体构成。其跳跃总体有时又可划分为斜率不同的两段。研究区 H44 井 1 179.90~1 182.40 m 主要由叠覆冲刷的具正递变层理的含砾砂岩组成,是典型的中扇辫状水道沉积,1 180.95 m 和 1 181.9 m 处的粒度概率累计曲线中跳跃总体含量较高,可达 55%~65%,悬浮总体含量为 15%~35%,粗细截点约为 2.5~3 φ,斜率较高,倾斜度约为 45°~70°(图 6b)。

外扇与中扇前缘相接,地形平坦,以深湖泥岩和

具有鲍马序列的经典浊积岩沉积特征,后者单层厚度多小于 0.5 m,砂岩的粒度累计概率曲线主要表现为两段式,跳跃总体含量相对较小,斜率较大。研究区 H108 井 1 191~1 192.98 m 处在厚层块状泥岩中发育多层具鲍马序列的粉细砂岩,是典型的外扇浊积岩沉积,1 191.83 m 和 1 192.28 m 分别为两期不同的浊积岩的递变层理的底部,其粒度累计概率曲线表明其粒径多大于 2 φ,跳跃总体含量为 25%~40%,悬浮总体含量为 30%~60%,斜率较大,倾斜度为 55°~70°(图 6c)。

2.3 地震反射特征

近岸水下扇常与边界断层相伴生,在边界断层的幕式活动作用下,近岸水下扇具有高能快速堆积的特点。根据地震反射波的外部反射形态、内部结构及连续性等特征,研究区近岸水下扇主要发育两种地震相类型,楔状杂乱反射地震相与中弱振幅丘形反射地震相。楔状地震相发育于顺物源方向地震测线上,沿陡坡带边界断层分布,内部反射结构杂乱、外部形态为楔形,且在其远端常与中—强振幅、连续平行或亚平行反射的湖相沉积相接。从内扇到外扇远端,地震相的变化特点表现为杂乱结构弱振幅块状相—断续变振幅充填相—较连续弱、中振幅相,相变速率较快。据 H34 井岩芯资料可知,1 484.28~1 487.47 m 发育块状层理中细砾岩,砾石杂乱排列,分选磨圆差,局部含薄层泥岩,垂向上表现为粗粒砂砾岩沉积之间夹粉

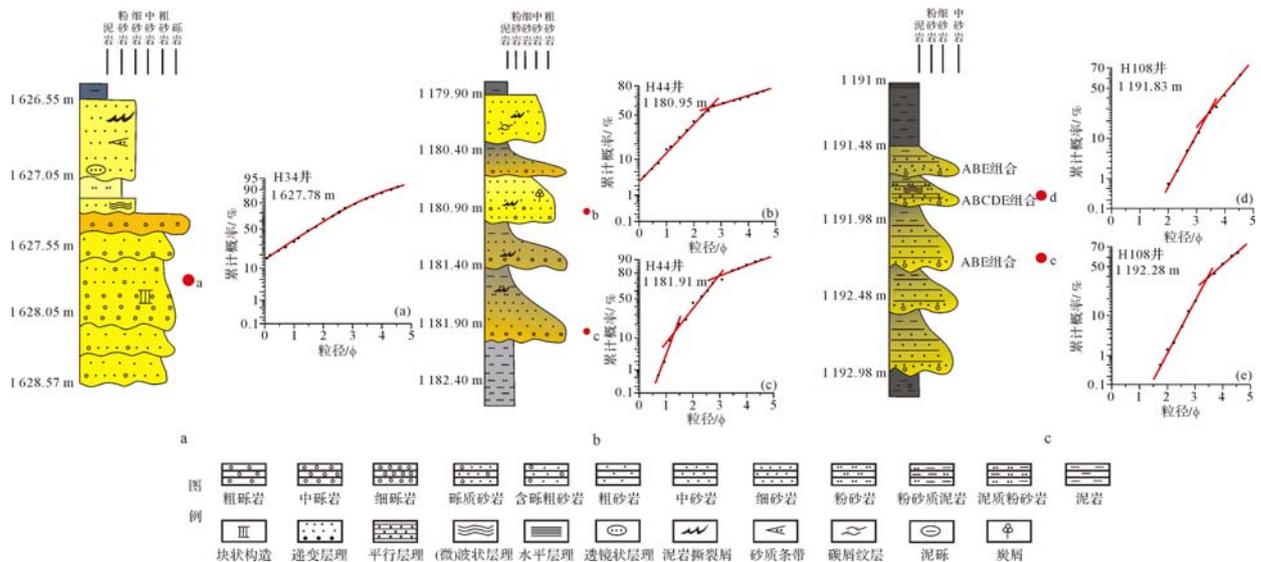


图6 洪浩尔舒特凹陷下白垩统近岸水下扇岩性序列和粒度概率累计曲线特征

a. H34 井,内扇主水道沉积序列和 1 627.8 m 处粒度概率累计曲线;b. H44 井,中扇辫状水道叠覆冲刷沉积序列和 1 180.95 m (b)、1 181.9 m (c) 处粒度概率累计曲线;c. H108 井,外扇沉积序列,发育鲍马序列的经典浊积岩,1 191.83 m (d)、1 192.28 m (e) 处粒度概率累计曲线。

Fig.6 Lithological sequence and the characteristics of the cumulative grain-size probability curves of the near-shore subaqueous fan from the Lower Cretaceous in the Honghaoershute depression

砂岩、泥岩沉积,表明其为典型的近岸水下扇中扇沉积特征;在相应的地震剖面上显示为断续变振幅充填地震相,与此同时,该期扇体靠近边界断层处的地震相则显示为杂乱的弱振幅块状相,进一步表明了粗碎屑物源快速堆积形成的近岸水下扇沉积(图7a)。

在垂直物源方向地震剖面上,近岸水下扇地震反射响应弱—中振幅丘状反射地震相。其外形呈中间厚两侧薄的丘形,且两侧被湖相沉积的中—强振幅同相轴上超;内部反射结构主要表现为杂乱反射,向外扇反射相位渐变整齐、振幅略为增强、同相轴较为连续。由于近岸水下扇辫状水道的不稳定性,发生间歇性的迁移,因而在垂向上可见到多期的丘状反射叠置(图7b),其间偶见强反射的湖相泥岩沉积特征。

2.4 沉积序列

研究区近岸水下扇自阿尔善晚期开始发育,随着构造活动的不断增强,发育了近岸水下扇进积序列;至腾二段时期,本区构造活动开始逐渐减弱,近岸水下扇的发育规模随之减小,转变为退积序列。自下而上依次发育为外扇—中扇—内扇—中扇—外扇沉积,相应的主要岩相类型自下而上依次为经典浊积岩—

块状砂岩、砾质砂岩—杂基支撑砾岩、碎屑支撑砾岩—块状砂岩、砾质砂岩—经典浊积岩。在垂向上总体构成一个自下而上由进积序列到退积序列的复合旋回。

近岸水下扇的发育受周期性的洪水作用影响较大。在洪水期时,较强的水动力携带大量砂、砾、泥混合物进入湖盆发生快速卸载,首先在边界断层根部形成混杂的、厚层、块状层理砂砾岩内扇沉积(图6a),在测井曲线主要表现为具有齿化的箱形特征(图8a);在中扇沉积区,较强水动力冲蚀下伏沉积物形成分叉的中扇辫状水道^[16],主要发育有具有叠覆冲刷的、正递变层理的砾质砂岩、块状砂岩。由于辫状水道的迁移,使得其间往往发育有辫状水道间粉砂岩、泥岩夹层,构成了多期叠置正旋回沉积(图8b),测井曲线上对应复合钟形形态(图8b);高密度的碎屑流主要在内扇与中扇区卸载沉积,到达中扇前缘和外扇区时,洪水水动力较弱,其只能携带低密度的砂泥沉积物形成具鲍马序列的经典浊积岩沉积,厚度相对较小,其间往往夹有间洪期的泥岩沉积(图8c),在测井曲线上表现为指状形态,且中扇前缘的曲线幅度

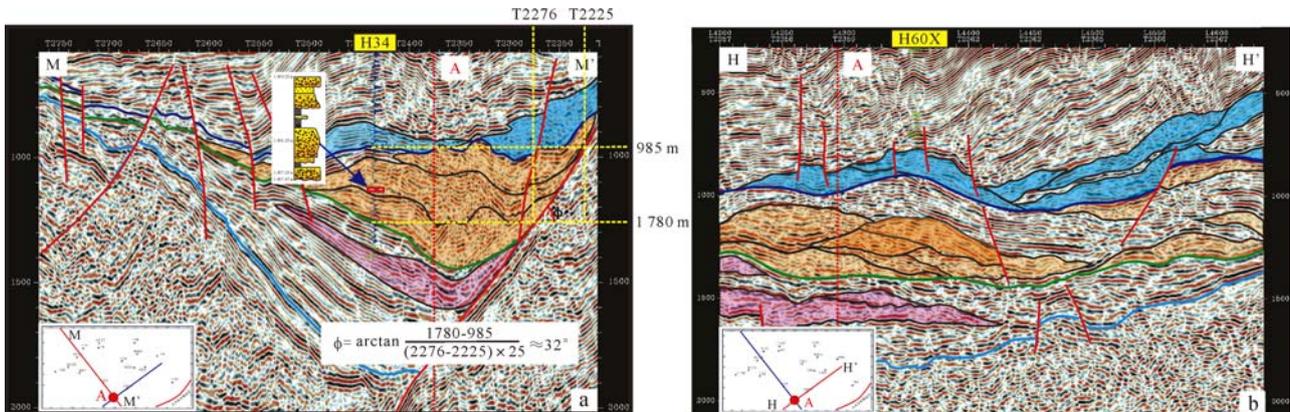


图7 洪浩尔舒特凹陷下白垩统楔状杂乱反射地震相(Line4290(a))和丘形反射地震相(Trace2375(b))

Fig.7 Wedge-shaped, disordered seismic facies (Line4290(a)) and the mound seismic facies (Trace2375(b)) of the Lower Cretaceous in the Honghaoershute depression

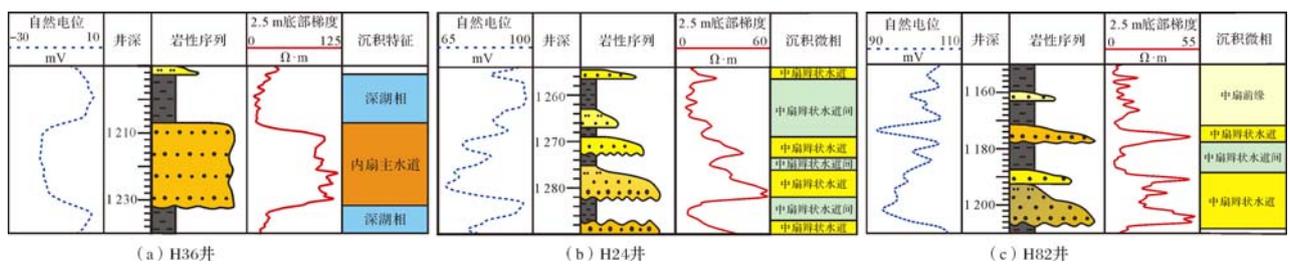


图8 洪浩尔舒特凹陷下白垩统近岸水下扇测井曲线特征

Fig.8 The characteristics of the well-logging curves of the nearshore subaqueous fan of the Lower Cretaceous in the Honghaoershute depression

大于外扇的幅度(图8c)。此外,由于洪水期的水动力较强,间洪期的泥岩沉积常常被侵蚀,使得不同期正韵律间的泥岩沉积厚度较小,有时甚至缺失。

3 近岸水下扇展布和演化规律

研究区近岸水下扇东南方向紧邻大兴安岭隆起,且边界断裂构造活动剧烈,为近岸水下扇发育提供了充足的物源。研究区探井砂砾岩厚度、砂地比数据以及无井区地震资料和物源分析结果均表明,近岸水下扇为下白垩统最主要的沉积类型,但扇体在不同时期,其展布规律有所差异。

由于阿尔善组晚期是洪浩尔舒特凹陷的断陷发展初期,尽管断裂活动和火山作用强烈^[13],沉积物供给充足,但该时期湖水面积较小、水体较浅,近岸水下扇分布面积并不大,约为20 km²(图9a),部分层段可见红色泥岩,因而阿尔善晚期属于扇三角洲与近岸水下扇间互沉积。

腾一段时期为湖盆扩张深陷阶段,东洼陡坡带的海流特断层强烈翘倾,使得陡坡带快速沉降,发育有厚层的暗色泥岩,表明较深湖区分布面积广泛。凹陷在快速沉降作用下,湖盆水体上升,指示了腾一段时期降水充足,频繁的洪水作用使得近岸水下扇较为发育。该时期的近岸水下扇延伸较远,最远可达7 km

左右,面积约为60 km²,纵向上具有沉积厚度大、岩性较粗等特点,砂地比值可达0.8以上,H34井腾一段剖面中粗碎屑岩厚度比例可达70%左右。但该时期扇体向东有所偏移,约为3.5 km,在H36井、H50井处开始发育扇体(图9b)。

腾二段早期边界断层剧烈活动,湖盆扩张,在陡坡带再次发育近岸水下扇沉积,但由于腾二段早期的构造活动持续时间短,扇体规模较腾一段有所减小,延伸距离变短,砂砾岩厚度小于400 m,砂地比值最高为0.6(图9c)。此外,由于腾二段构造活动逐渐减弱,加之凹陷近岸水下扇的沉积充填使得沉积坡度不断变缓,使得腾二段末期,陡坡带沉积逐渐向扇三角洲转变。

4 近岸水下扇控制因素

4.1 构造因素

构造运动的多期性、复杂性是二连盆地也是洪浩尔舒特凹陷的重要地质特征。对研究区陡坡带近岸水下扇的发育起控制作用的构造运动主要有三期。阿尔善晚期,该地区东南边界陡坡带断层发生强烈断裂并伴随有一定的火山喷发^[13],使得东洼陡坡带沉积物快速堆积,形成近岸水下扇沉积,但由于处于断陷早期,湖盆面积较小,该时期的扇体发育规模并不

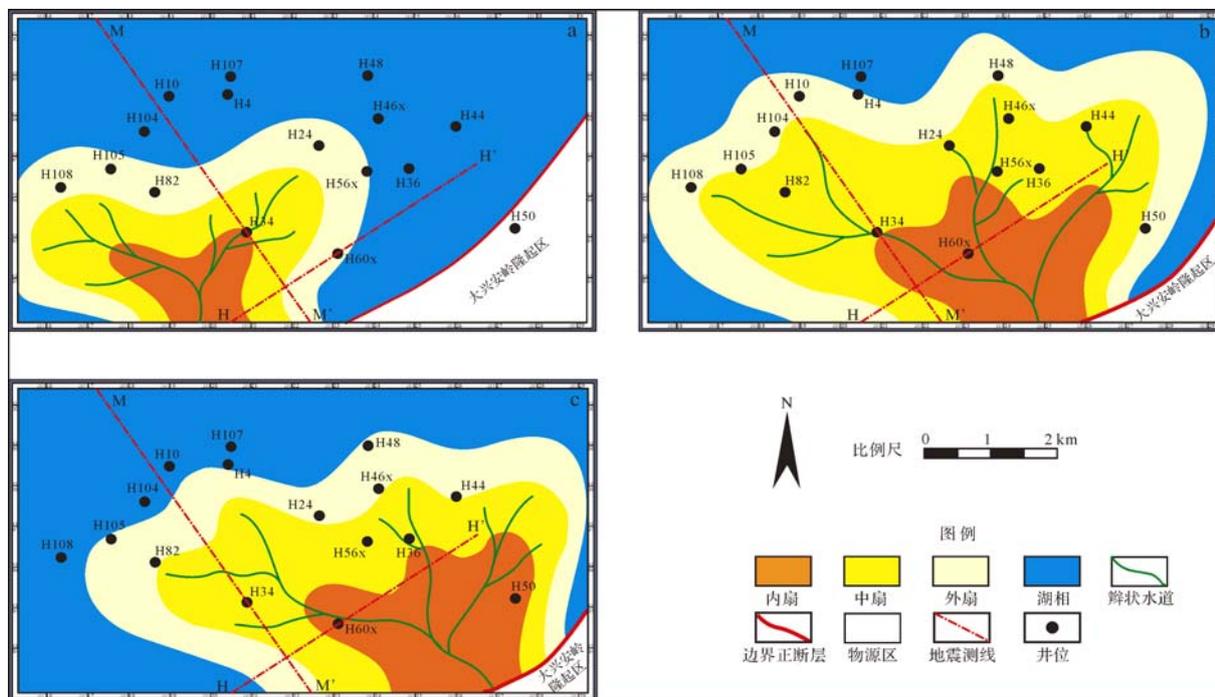


图9 洪浩尔舒特凹陷东洼下白垩统不同时期沉积相平面分布图

a.阿尔善晚期沉积相平面图;b.腾一段沉积相平面图;c.腾二段沉积相平面图 MM'—地震测线;Line4290HH'—地震测线 Trace2375(图7所示)

Fig.9 The sedimentary facies maps during different periods of Lower Cretaceous in the east part of the Honghaoershute depression

大;腾一段时期,断裂翘倾运动使早期断陷继续扩张、深陷,发生大规模湖侵,水体加深^[17],形成山高水深的沉积构造环境,构成近岸水下扇大规模发育时期;腾二段早期东南边界断层再次剧烈活动,整个凹陷再次水进,再一次促进了近岸水下扇的发育,但该期活动持续时间较短,之后断陷作用逐渐减弱,与此同时,早期近岸水下扇的进积作用,使得沉积坡度逐渐变缓,因而,在相对较弱的构造作用和相对较缓的古沉积坡度的共同控制下,扇体规模逐渐变小并到晚期开始转变为扇三角洲沉积。

陡坡带的构造样式及其活动规律对砂体类型、规模及其展布具有控制作用^[18]。根据断裂带的几何学特征,本区边界断裂属于板式断裂。板式断裂的断面陡峭而平直,断层活动强烈,研究区边界断层断距大于2 km,沉降中心位于断层根部,多发育近岸水下扇沉积和洪积扇沉积^[19]。研究区板式断裂的坡度较大,其现今坡度约为32°(图7a),且沉积中心位于断层根部,因而沉积物在到达出山口位置后直接进入湖盆发生快速堆积,在内扇部位垂向叠置厚度较大、分选磨圆较差,杂基含量较高,使得其物性较差。

4.2 气候因素

对于陆相湖盆,湖平面对气候的响应较为敏感,从而控制湖盆沉积所发育的相类型、特征、规模及其演化。推测古气候的方法主要有岩石地层所含的自生矿物、古生物、生物分异度、孢粉类型、岩石类型及颜色^[20]。研究表明^[17],阿尔善末期火山强烈喷发,孢粉化石种属较为单一,双气囊花粉占突出地位,蕨类植物孢子较少,表明当时温暖炎热的山地气候;腾一段时期的孢粉化石仍然以裸子植物的古型松柏类为主,但较阿尔善时期其种属增多,含量增高,分布较为广泛,仍反映了当时温暖炎热的亚热带、热带气候环境;腾二段时期蕨类植物偏多,自下而上而上含量逐渐增高,而古型松柏属、苏铁、银杏等植物则响应减少,反映了温暖炎热并向湿热过渡的热带、亚热带气候环境。此外,二连盆地下白垩统自西南向东北方向,气候由干旱炎热向相对湿热的热带、亚热带环境变化,洪浩尔舒特位于盆地的东北部位,因而早白垩世气候相对潮湿炎热,充沛的降雨使得季节性的洪水携带物源区沉积物直接入湖快速堆积,形成近岸水下扇。

5 沉积模式

洪浩尔舒特凹陷的近岸水下扇紧邻东南边界断

层发育,其沉积特征与展布模式受边界断层的控制。由于研究区构造活动的多期性,陡坡带扇体的发育也具有多期性且每一期的扇体规模、沉积特征及展布规律均有所不同。但每一期扇体均可以识别出内扇、中扇及外扇三个亚相。

季节性的洪水携带大量砂、砾、泥混杂物通过陆上供给水道直接进入湖盆,在靠近边界断层根部发生快速卸载,形成近岸水下扇的内扇沉积,在内扇主水道中主要发育具块状层理、砾石紊乱排列的碎屑支撑砾岩和杂基支撑砾岩,而在内扇主水道侧缘多发育漫溢作用形成的经典浊积岩,但由于内扇多期冲刷,内扇经典浊积岩难以保存;内扇主水道进入中扇地区后发生分叉形成辫状水道,使得中扇部位发育具有叠覆冲刷的正递变层理的辫状水道砾质砂岩、块状砂岩,以及辫状水道间泥岩、粉砂岩沉积;到达中扇前缘部位,由于碎屑流能量减弱,重力流类型逐渐转变为以浊流为主^[21],发育具鲍马序列的细粒经典浊积岩沉积且主要发育鲍马序列的A、B段;外扇地区主要发育粒度更细的经典浊积岩,多发育鲍马序列的C~E序列,岩性主要为薄层粉砂岩、泥质粉砂岩以及泥岩。此外,由于沉积物在未固结时,在强烈的构造活动作用下极易发生滑塌,可在扇体的远端形成滑塌扇,主要发育具包卷层理等滑塌变形构造的滑塌岩,其粒度较中扇前缘沉积物粒度更粗,多为中粗砂岩、含砾粗砂岩(图10)。由于中扇和外扇的砂砾岩杂基含量相对较少,储层物性较好,可作为近岸水下扇的有利储层。

6 结论

(1) 洪浩尔舒特凹陷陡坡带近岸水下扇在岩性、结构、构造、测井及地震剖面中都显示典型的重力流沉积特征以及大量的滑塌岩和震积岩。

(2) 洪浩尔舒特凹陷陡坡带近岸水下扇总体上表现为一个自下而上由进积序列到退积序列的复合旋回。自下而上依次发育为外扇—中扇—内扇—中扇—外扇沉积,相应的主要岩相类型依次为经典浊积岩、块状砂岩、砾质砂岩、杂基支撑砾岩、碎屑支撑砾岩、块状砂岩、砾质砂岩、经典浊积岩。

(3) 洪浩尔舒特凹陷陡坡带不同时期所形成的近岸水下扇在空间位置上有所不同,表现为两大扇体。与阿尔善组晚期发育的扇体相比,腾一段时期扇体规模更大,且扇体的平面位置向北东扩大;腾二段时期扇体具有继承性,但持续时间短,规模减小,并随

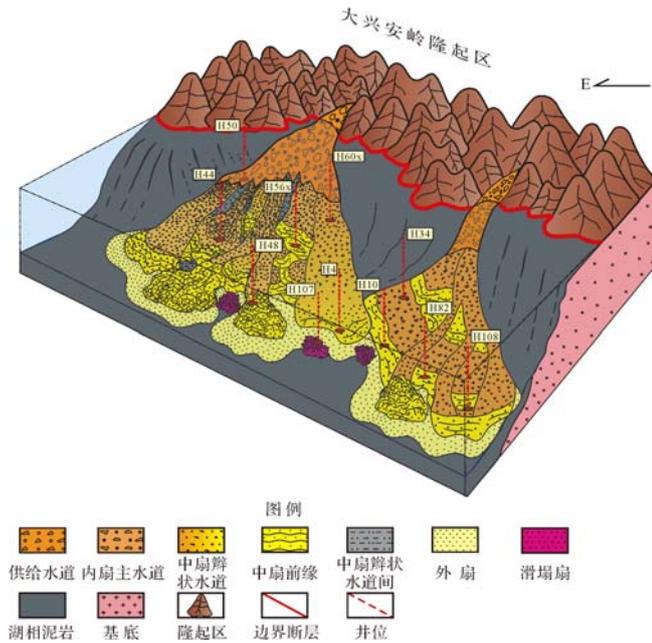


图10 洪浩尔舒特东洼近岸水下扇沉积模式图

Fig.10 The sedimentary model of the nearshore subaqueous fan in the eastern Honghaoershute depression

着沉积充填使得沉积坡度减小,近岸水下扇开始向扇三角洲沉积转变。

(4) 洪浩尔舒特凹陷陡坡带近岸水下扇的发育主要受古构造和古气候的影响。构造活动的多期性及陡坡带的板式边界断层为本区近岸水下扇的发育提供了良好的构造背景;洪浩尔舒特凹陷潮湿炎热、山高谷深的古沉积环境下季节性洪水较为频繁,有利于近岸水下扇的发育。

参考文献 (References)

- 1 吴崇筠. 湖盆砂体类型[J]. 沉积学报, 1986, 4(4): 1-27. [Wu Chongyun. Sandbodies in lake basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(4): 1-27.]
- 2 曾洪流, 张万选, 张厚福. 廊固凹陷沙三段主要沉积体的地震相和沉积相特征[J]. 石油学报, 1988, 9(2): 12-18. [Zeng Hongliu, Zhang Wanxuan, Zhang Houfu. Seismic and depositional characteristics of major sedimentary bodies in 3rd section of Shahejie Formation Longgu depression[J]. Acta Petrologica Sinica, 1988, 9(2): 12-18.]
- 3 张萌, 田景春. “近岸水下扇”的命名、特征及其储集性[J]. 岩相古地理, 1999, 19(4): 42-52. [Zhang Meng, Tian Jingchun. The nomenclature, sedimentary characteristics and reservoir potential of nearshore subaqueous fans[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1999, 19(4): 42-52.]
- 4 梁官忠, 谭建财, 魏莉, 等. 内蒙古二连盆地阿北凹陷下白垩统近岸水下扇沉积特征[J]. 古地理学报, 2013, 15(1): 31-42. [Liang Guanzhong, Tan Jiancai, Wei Li, et al. Sedimentary characteristics of nearshore subaqueous fans of the Lower Cretaceous in Abei sag of Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 15(1): 31-42.]
- 5 Lin Changsong, Eriksson K, Li Sitian et al. Sequence architecture, depositional systems, and controls on development of lacustrine basin fills in part of the Erlian Basin, Northeast China[J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(11): 2017-2043.
- 6 崔俊峰, 陈骥, 杨桂茹, 等. 洪浩尔舒特凹陷海北构造油气成藏条件分析[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2013, 10(16): 8-11. [Cui Junfeng, Chen Ji, Yang Guiru, et al. Analysis of reservoir-forming conditions of Haibe structure in Honghaoershute depression[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2013, 10(16): 8-11.]
- 7 董艳蕾, 武锦程, 边树涛. 洪浩尔舒特凹陷海流特构造群成藏条件分析[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2000, 15(4): 25-27. [Dong Yanlei, Wu Jincheng, Bian Shutao. Reservoir forming condition of Hailiute structures in Honghaoershute sag[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Natural Science Edition, 2000, 15(4): 25-27.]
- 8 赵澄林, 刘孟慧. 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用[J]. 华东石油学院学报, 1984(4): 323-334. [Zhao Chenglin, Liu Menghui. Facies model of the sublake-fan and its application to oil and gas exploration[J]. Journal of the East China Petroleum Institute, 1984, (4): 323-334.]
- 9 Walker R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans; models for exploration for stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(6): 932-966.
- 10 鲜本忠, 万锦峰, 董艳蕾, 等. 湖相深水块状砂岩特征、成因及发育模式——以南堡凹陷东营组为例[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3287-3299. [Xian Benzong, Wan Jinfeng, Dong Yanlei, et al. Sedimentary characteristics, origin and model of lacustrine deep-water massive sandstone: An example from Dongying Formation in Nanpu depression[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3287-3299.]
- 11 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 4版. 北京: 石油工业出版社, 2008: 378-379. [Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology[M]. 4th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 378-379.]
- 12 陈世悦, 袁文芳, 鄢继华. 济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及其意义[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 377-384. [Chen Shiyue, Yuan Wenfang, Yan Jihua. Discovery and significance of earthquake event deposits of Early Tertiary in the Jiyang depression[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3): 377-384.]
- 13 季汉成, 杨德相, 高先志, 等. 二连盆地洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩特征及储层控制因素分析[J]. 地质学报, 2012, 86(8): 1227-1240. [Ji Hancheng, Yang Dexing, Gao Xianzhi, et al. Characteristic of Mesozoic volcanic rock and analysis of reservoir controlling factors in the Honghaoershute sag of Erlian Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(8): 1227-1240.]
- 14 Zhu Shifa, Zhu Xiaomin, Wang Xulong, et al. Zeolite diagenesis and its control on petroleum reservoir quality of Permian in northwestern margin of Junggar Basin, China[J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55(3): 386-396.
- 15 Zhu Shifa, Zhu Xiaomin, Niu Huapeng, et al. Genetic mechanism of

- dolomitization in Fengcheng Formation in the Wu-Xia area of Junggar Basin, China[J]. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 2012, 86(2): 447-461.
- 16 朱筱敏,查明,张卫海,等. 陆西凹陷上侏罗统近岸水下扇沉积特征[J]. *石油大学学报:自然科学版*, 1994, 19(1): 1-6. [Zhu Xiaomin, Zha Ming, Sun Weihai, et al. Sedimentary features of Upper Jurassic nearshore subaqueous fan in Luxi depression[J]. *Journal of the University of Petroleum: Natural Science Edition*, 1994, 19(1): 1-6.]
- 17 祝玉衡,张文朝. 二连盆地下白垩统沉积相及含油性[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 15, 38-39. [Zhu Yuheng, Zhang Wenchao. *Sedimentary Facies and Petroliferous Features of the Lower Cretaceous in Erlian Basin*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 15, 38-39.]
- 18 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探, 卷一, 陆相断陷盆地构造演化与构造样式[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 74-80. [Li Pilong. *Petroleum Geology and Exploration of Continental Fault Basin, Vol 1, Tectonic Evolution and Tectonic Patterns of Continental Fault Basin*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 74-80.]
- 19 鲜本忠,王永诗,周廷全,等. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩体分布规律及控制因素——以渤海湾盆地济阳拗陷车镇凹陷为例[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(4): 429-436. [Xian Benzong, Wang Yongshi, Zhou Tingquan, et al. Distribution and controlling factors of glutenite bodies in the actic region of a rift basin: An example from Chezhen sag, Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(4): 429-436.]
- 20 杨景林. 准噶尔盆地白垩纪轮藻植物群及相关的生物地层和层序地层研究[D]. 南京: 中国科学院南京地质古生物研究所, 2003: 72-108. [Yang Jinglin. *On the Cretaceous charphytes, biostratigraphy and sequence stratigraphy of Junggar Basin, Xinjiang, China*[D]. Nanjing: Nanjing Institute of Geology and Paleontology, Chinese Academy of Science, 2003: 72-108.]
- 21 李存磊,任伟伟,唐明明,等. 流体性质转换机制在重力流沉积体系分析中应用初探[J]. *地质论评*, 2012, 58(2): 285-296. [Li Cunlei, Ren Weiwei, Tang Mingming, et al. Preliminary study on gravity flow depositional system based on fluid properties conversion theory [J]. *Geological Review*, 2012, 58(2): 285-296.]

Sedimentary Characteristics of Near-shore Subaqueous Fans of the Lower Cretaceous in the Honghaoershute Depression

WANG XingXing^{1,2} ZHU XiaoMin^{1,2} ZHANG MingJun³ PAN Rong^{1,2}
WU CHEN BingJie^{1,2} ZHANG JiuQiang⁴

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting (China University of Petroleum), Beijing 102249;

2. College of Natural Source and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oilfield, Panjin, Liaoning 124000;

4. Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552)

Abstract: The sedimentary characteristics, distribution characteristics, evolution laws and the controlling factors of the development of the Lower Cretaceous near-shore subaqueous fan, located in the steep slope of the Eastern Honghaoershute depression, were defined clearly based on the integrated information including cores, well-logging, logging and seismic data. The results show that three kinds of sub-facies, including upper fan, mid-fan and lower fan, can be identified in the nearshore subaqueous fan in the study area, the glutenite deposition is the most important deposition, including massive or grading middle-fine clast-supported conglomerate, turbidite bearing Bouma Sequence and slumps with slump structures. Besides, we also can find some seismite deposition. In the study area, the subaqueous fan began to develop from the upper part of the Aershan Formation, and it became the largest and shifted towards the north-east at the lower part of Tengger Formation by 3.5 km, however, the scale of the fan in the upper part of the Tengger Formation began to reduce with the weak of the tectonic activities and the shrink age of the basin and then the subaqueous fan became gradually changing into fan-delta deposition. The sedimentary characteristics, distribution and evolution laws were controlled by the multiple-staged tectonic activities and the palaeo-climates, which was hot and humid. The plate type boundary fault which is steep and active provides the favorable tectonic setting for the development of the near-shore subaqueous fans in the steep slope.

Key words: near-shore subaqueous fan; sedimentary characteristics; controlling factors; Lower Cretaceous; Honghaoershute depression