

海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组典型砂体的特征分析

李军辉¹⁾, 卢双舫²⁾, 蒙启安¹⁾, 刘秋宏²⁾, 陈学海²⁾, 胡寿梅²⁾

1) 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆, 163712;

2) 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆, 163318

内容提要:根据岩芯、电测曲线、录井、分析化验、地震等资料,分析了呼和湖凹陷下白垩统南屯组沉积相类型、沉积特征以及分布规律。研究表明,南屯组发育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇和湖泊4种沉积相。扇三角洲主要分布在南一段的西北缓坡带和东南陡坡带,辫状河三角洲主要分布在南二段以及南一段的北部斜坡带,而在深湖一半深湖相中发育湖底扇。指出呼和湖凹陷南部沉积砂体为较有利的勘探区域,其中扇三角洲和辫状河三角洲前缘亚相带是油气聚集的重要相带。

关键词:呼和湖凹陷;南屯组;扇三角洲;辫状河三角洲;湖底扇

扇三角洲、辫状河三角洲和湖底扇是断陷盆地重要的油气储集砂体,也是今后油气勘探的重点对象。自Holmes(1965)提出“扇三角洲”以来,沉积学家对扇三角洲的研究取得了很大的进展(McPherson et al., 1987; 薛良清和 Galloway, 1991)。辫状河三角洲最早由 McPherson 等(1987)提出,直到20世纪末才被沉积学家广泛运用,日益受到重视(薛良清和 Galloway, 1991; Maill, 1988),但与扇三角洲相比,研究程度较低。湖底扇一词是由 Walker(1978)提出的海底扇模式演绎而来的,采用湖底扇这一名称,以反映我国中—新生代沉积中湖相水下扇发育的特色(赵澄林和刘孟慧, 1984),之后在国内也引起了广泛的关注(蔺连第等, 2005; 夏青松和田景春, 2007)。前人曾对扇三角洲、辫状河三角洲和湖底扇分别进行了大量的研究,然而对扇三角洲、辫状河三角洲与湖底扇之间的区别、识别标志系统研究的较少(张福顺, 2005; 赵国连等, 2005)。

海拉尔盆地呼和湖凹陷的沉积具有多物源、小物源、岩性变化快、岩石成分复杂等特点。目前呼和湖凹陷仍处于低勘探阶段,钻井稀少,但随着新钻井的增多、井控程度的加强以及新地震资料的获取,对其认识也有待深化。前人曾对呼和湖凹陷的烃源岩(卢双舫等, 1995; 杨子荣等, 2008)和热演化史(崔军平等, 2007)进行了较为详细的研究,但对呼和湖凹

陷沉积体系的研究几乎没有。因此,笔者根据岩芯、录井、测井和分析化验资料,结合地震等资料,运用沉积学基本原理和方法,对呼和湖凹陷下白垩统南屯组沉积相类型、沉积特征以及分布规律进行了研究,对该区油气藏的进一步勘探具有一定的理论和现实意义。

1 地质概况

呼和湖凹陷位于海拉尔盆地东南部,是海拉尔盆地的二级构造单元。它呈北东向展布,东与锡林贝尔凸起相邻,西与巴彦山隆起相接,北部与伊敏凹陷相连,向南延伸出国界与蒙古相连。可进一步划分为“三坡两洼一凸”的构造单元,即西北缓坡带、北部斜坡带、东南陡坡带、南部洼槽带、北部洼槽带和中央凸起带(图1)。凹陷面积为2500 km²,沉积岩最大埋深约4600 m。呼和湖凹陷经历了3期构造演化阶段,分别为早期伸展断陷阶段、中期热沉降断-坳阶段和晚期坳陷阶段(陈均亮等, 2007)。目前已有探井11口,除和3井外,其他井均见到了油气显示。白垩系为盆地主体沉积,从下至上划分为下白垩统铜钵庙组(K₁t)、南屯组(K₁n)、大磨拐河组(K₁d)、伊敏组(K₁y)及上白垩统青元岗组(K₂q)(崔军平等, 2007)。其中南屯组是主要目的层,按照岩石组合自下而上分为南屯组一段和南屯组二段(以下简称南一段、南二段)。南一段总体为深灰色

注:本文为国家“973”项目(编号2009CB219306)和教育部新世纪优秀人才支持计划(编号NCET-04-0345)资助成果。

收稿日期:2009-08-11;改回日期:2010-07-06;责任编辑:周健。

作者简介:李军辉,男,1981年生。博士,主要从事沉积、储层与油气成藏等方面的研究与工作。Email:lijunhui_li@163.com。

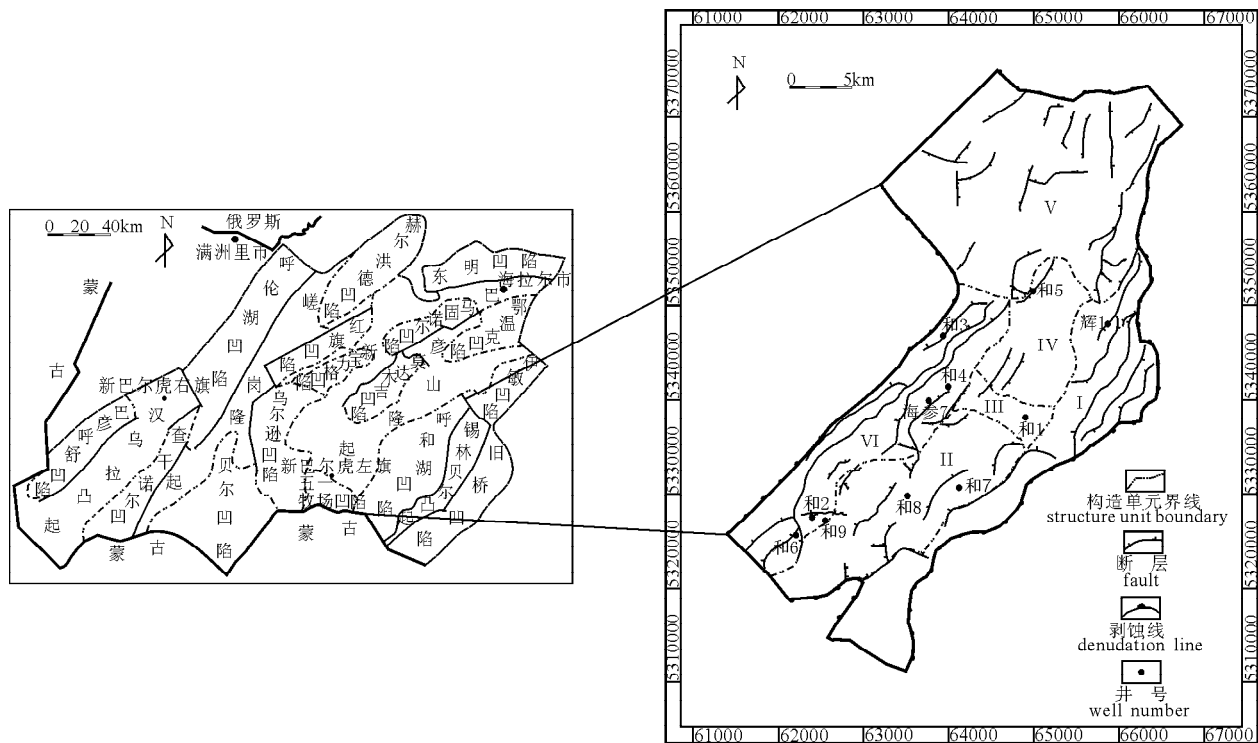


图1 研究区位置及构造单元划分图

Fig. 1 The plane position of study area and classification of structural units

I—东南陡坡带; II—南部洼槽带; III—中央凸起带; IV—北部洼槽带; V—北部斜坡带; VI—西北缓坡带

I—Southeast steep slope zone; II—southern depression zone; III—center salient zone; IV—northern depression zone;

V—northern slope zone; VI—northwest gentle slope zone

泥岩、灰色粉砂岩和灰白色、杂色砂砾岩等互层,并夹有灰色粗砂岩。南二段则主要为一套灰色粉砂岩和厚层深黑色泥岩,局部夹有灰色砾岩、灰白色细砂岩和黑色煤层。

2 沉积相类型及识别标志

本文主要以岩芯、测井、录井资料为主,以地震反射特征为辅,并结合区域构造演化等资料,确定海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组主要发育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇和湖泊等4种沉积相。

2.1 扇三角洲相

扇三角洲是一种由冲积扇直接推进到湖盆中形成的沉积体系,往往形成于凹陷短轴坡度较陡的地区,它是生长断层背景下普遍发育的一种粗粒沉积体系,它的沉积作用具有重力流与牵引流的双重机制。沉积物粒度粗,为砂砾岩与泥岩或泥岩夹煤层互层。在地震剖面上,地震反射同相轴呈楔形向湖盆方向收敛,而向陆地方向、断层根部反射较为杂乱,其亚相主要由扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲组成,扇三角洲主要分布在南一段的西北

缓坡带和东南陡坡带。

2.1.1 扇三角洲平原亚相

扇三角洲平原亚相为扇三角洲的陆上部分,主要发育分流河道和分流间湾两种微相。分流河道岩性主要为灰白色砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩和细砂岩,内部无层理,成分成熟度低,分选、磨圆差。粒度概率曲线以斜率较低的两段式为主,滚动总体含量约为75%,跳跃总体含量约为25%,其交截点在 $0 \sim 1\Phi$,而且粒度区间较宽,表现为能量高的滚动总体经搬运沉积后,细粒跳跃组分充填于滚动组分的颗粒间,反映了重力流携带沉积物入湖受水流作用影响能量降低,水流动荡,重力流并向牵引流转化的水动力特征。垂向上表现为粒度向上变细的正旋回,电阻率曲线和伽马测井曲线主要呈齿化箱形和齿化钟形两种形态。分流间湾主要以灰绿色泥岩和灰色粉砂岩为主,电阻率曲线呈低辐指状(图2)。

2.1.2 扇三角洲前缘亚相

本区扇三角洲前缘亚相粒度较其平原亚相细一些,颜色以灰色、深灰色为主,砂质含量明显增加,分选较平原好,层理类型和含有机物丰富,底部冲刷明

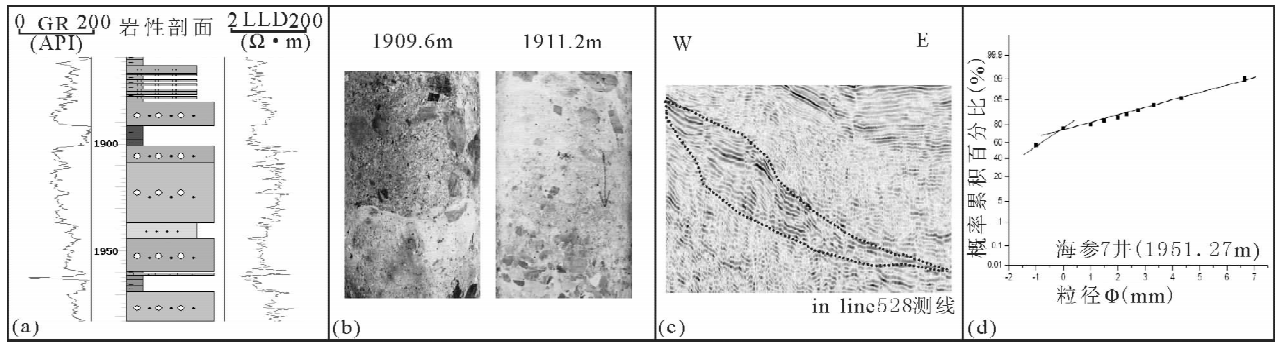


图 2 呼和湖凹陷扇三角洲平原亚相识别标志(海参 7 井)

Fig. 2 Identification mark of fan delta plain in Huhehu depression

(a)—沉积序列;(b)—岩芯照片;(c)—地震反射特征;(d)—粒度概率曲线

(a)—The sedimentary sequence;(b)—the cores photos;(c)—the seismic reflection characteristics;
(d)—the grain size probability curve

显。其内主要发育水下分流河道、水下分流间湾、席状砂 3 个微相,河口坝不发育,可能与水下分流河道能量较大和经常改道有关。

水下分流河道是陆上辫状河道的水下延伸,是最主要的微相类型。沉积物以砂砾岩、砂岩为主,较陆上分选好,层理类型和含有有机质丰富,底部冲刷明显。粒度概率曲线以二段式为主,跳跃和悬浮总体交截点在 $1.8 \sim 2.5\Phi$,悬浮总体约 $30\% \sim 40\%$,反映分选较差,牵引流和重力流两种机制并存,正韵律水下分流河道沉积特征明显,电阻率曲线主要为齿化箱形和钟形,并以箱形为主。

水下分流间湾位于水下分流河道之间相对凹陷的地区,与湖水相通,它是洪水期水道漫溢或决口形成的沉积。主要由灰色泥岩组成,偶夹薄层泥质粉砂岩。水平层理较发育,垂向上常被分流河道冲刷。

席状砂分布于水下分流河道入湖末端,它是受湖浪改造形成的薄层砂体。岩性为灰色粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩,具反韵律。自然电位曲线响应为漏斗形或指形。

2.1.3 前扇三角洲亚相

前扇三角洲沉积发育在扇三角洲离岸最远端,物源供给很难直接到达该区,主要为悬浮静水沉积物,岩性以灰、深灰、灰黑色泥岩和粉砂质泥岩为主。可见水平层理和块状层理、偶见透镜状层理,测井曲线呈低幅齿状。

2.2 辫状河三角洲相

辫状河三角洲是指发育在断陷盆地缓坡一侧,由辫状河进积到滨浅湖而形成的浅水型三角洲,与扇三角洲同属粗粒三角洲 (McPherson et al., 1987)。以牵引流沉积为主,发育冲刷充填构造、交

错层理、平行层理以及透镜状层理。

呼和湖凹陷辫状河三角洲主要分布在南二段以及南一段的北部斜坡带,总体岩性较扇三角洲细,由平原、前缘和前三角洲 3 个部分组成。辫状河三角洲的鉴别标志为入湖的是辫状河。辫状河三角洲的地震反射形态与扇三角洲不同,总体呈雁行式,其内部前积反射特征最为明显。

2.2.1 辫状河三角洲平原亚相

辫状河三角洲平原亚相主要由浅色含砾砂岩、砂质砾岩和中细砂岩、黑色泥岩和中厚煤层组成,常见冲刷面构造、平行层理以及大一中型槽状交错层理,辫状河三角洲平原主要由辫状河道、越岸沉积组成。

辫状河道以杂色砂砾岩为主,电测曲线表现为较高的电阻率值,伽马值较低,其曲线形态为高幅箱状,粒度概率曲线以三段式为主,滚动总体约占 50% ,跳跃总体约占 30% ,悬浮总体约占 20% ,各直线段均较陡,说明分选程度较好。跳跃总体与悬浮总体的交截点在 $2.0 \sim 3.0\Phi$,反映搬运介质的扰动强度较低,说明辫状河三角洲的水动力条件较扇三角洲弱,沉积物粒度总体也比扇三角洲细。

越岸沉积是洪水期,水体漫越河道,在河道两侧形成一些积水洼地,其内部接受细粒物质沉积。越岸沉积常发育煤层,电测曲线表现为高电阻率,低伽玛,曲线多呈箱状(图 3)。

2.2.2 辫状河三角洲前缘亚相

辫状河三角洲前缘亚相为辫状河三角洲沉积的主体,是发育程度最好、相带最宽的沉积单元,可划分出水下分流河道、水下分流间湾、河口坝和远砂坝 4 种微相。

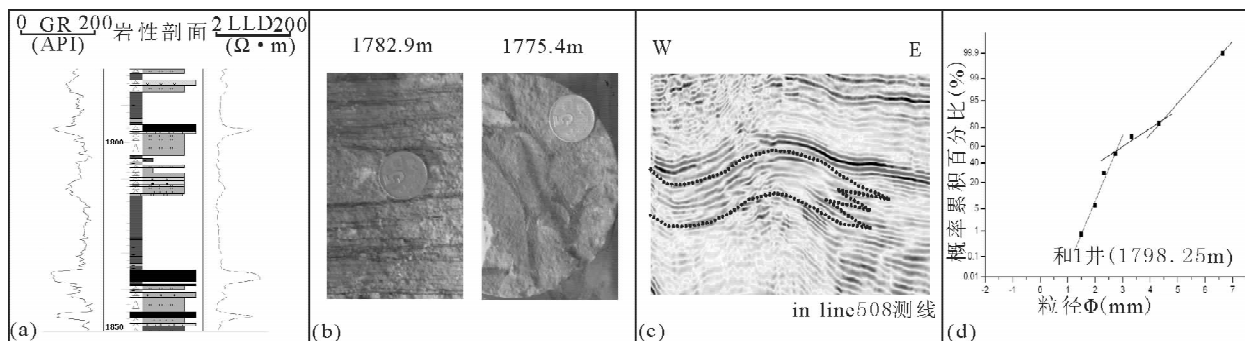


图3 呼和湖凹陷辫状河三角洲平原亚相识别标志(和1井)

Fig. 3 Identification mark of braid delta plain in Huhehu depression

(a)—沉积序列;(b)—岩芯照片;(c)—地震反射特征;(d)—粒度概率曲线

(a)—The sedimentary sequence;(b)—the cores photos;(c)—the seismic reflection characteristics;

(d)—the grain size probability curve

水下分流河道岩性与辫状河道相似,但岩性细些,颜色以灰色、浅灰色为主,岩性以砾状砂岩、粉细砂岩为主,发育块状层理、槽状交错层理、波状层理、变形层理,同时冲刷面、侵蚀面较常见,偶尔含有泥砾。粒度概率累积曲线为二段或三段式,以跳跃总体为主。测井曲线为中高幅齿化钟形或箱形。

水下分流间湾沉积位于水下辫状分流河道两侧,主要由泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩组成,总体构成泥厚砂薄的特征。常见水平层理、块状层理及波状层理。

河口砂坝位于水下分流河道前缘及侧缘,垂向上岩性自下而上为泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩,呈下细上粗的反韵律或复合韵律。发育块状层理、槽状、板状、楔状交错层理、平行层理、波状层理、滑塌变形层理及搅混构造。电测曲线多呈漏斗形,伽玛曲线多呈指状。

远砂坝位于河口坝的末梢,厚度变薄,岩性主要由粉砂岩和泥质粉砂岩组成,垂向上仍具反韵律。发育波状交错层理、脉状层理、透镜状层理,搅混、生物扰动构造等。分选、磨圆较好。测井曲线为小幅度漏斗形或指形。

2.2.3 辫状河前三三角洲亚相

辫状河前三三角洲亚相位于辫状河三角洲前缘带向湖的较深水区,由辫状河前三三角洲泥和浊流沉积组成。辫状河前三三角洲泥由灰绿色、深灰色及灰黑色泥岩、粉砂岩构成,常为粉砂岩与泥岩互层,水平层理较发育。测井曲线呈低幅值的齿化曲线。

2.3 湖底扇相

湖底扇系重力流携带大量碎屑物在深湖区快速堆积形成的扇状砂岩体,常呈巨大的透镜状夹于暗

色泥岩中(Walker, 1978),具有一定规模和较广阔的深水沉积区,湖底具有足够的坡角,在湖盆陡岸或缓岸均可形成湖底扇沉积体系。岩性为夹于半深湖相暗色泥岩中的粗碎屑沉积,具下粗上细的正韵律和鲍玛序列,发育递变层理、包卷层理、波状交错层理等,粒度概率曲线与辫状河三角洲和扇三角洲的牵引流以及重力流机制的曲线特征明显不同,湖底扇的粒度概率曲线为圆滑无截点或截点不明显的近似直线型或弧线型曲线,反映在沉积过程中有半悬浮状态呈跳跃式碎屑颗粒的加入,分选较差、粒度较小。电阻率曲线为齿状高阻,底部突变,顶部渐变。呼和湖凹陷湖底扇主要分布在深湖和半深湖相中,湖底扇地震反射结构为中—高振幅、不连续—较连续,呈丘状外形特征(图4)。

2.4 扇三角洲、辫状河三角洲与湖底扇相的沉积特征、识别标志

扇三角洲、辫状河三角洲与湖底扇的沉积特征、识别标志主要在以下几个主要方面:

(1)供源不同:扇三角洲是由冲积扇直接推进到湖盆中形成的沉积体系;辫状河三角洲是由辫状河入湖形成的三角洲;湖底扇是由重力流携带大量碎屑物在深湖区快速堆积形成的扇状砂岩体。

(2)发育部位不同:扇三角洲往往形成于凹陷短轴坡度较陡的地区;辫状河三角洲则发育在有宽阔冲积平原的缓坡地带;湖底扇发育在具有一定规模和较广阔的深水沉积区,湖底具有足够的坡角。

(3)沉积特征不同:扇三角洲具有沉积物重力流与牵引流双重成因的性质,概率粒度曲线以两段式为主,颗粒混杂,分选差;辫状河三角洲为牵引流性质的沉积,概率粒度曲线呈牵引流的三段式,相对沉

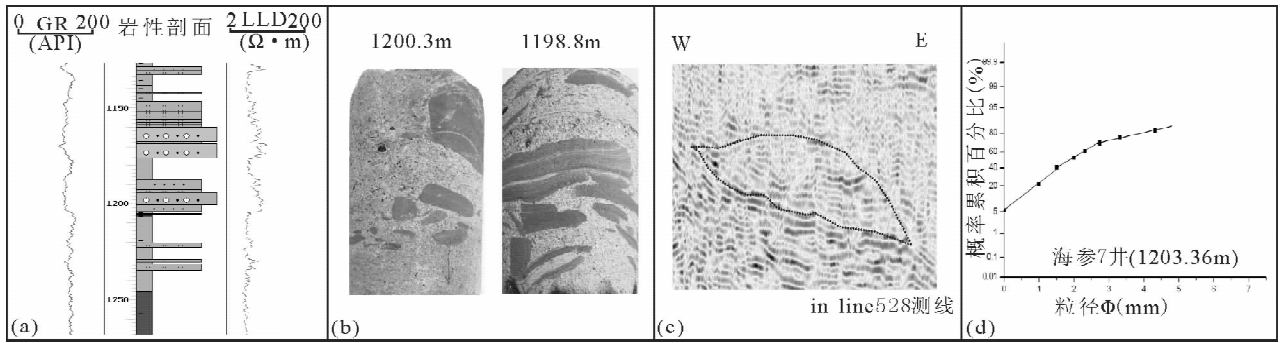


图 4 呼和湖凹陷湖底扇相识别标志(海参 7 井)

Fig. 4 Identification mark of sublacustrine fan in Huhehu depression

(a)—沉积序列;(b)—岩芯照片;(c)—地震反射特征;(d)—粒度概率曲线

(a)—The sedimentary sequence;(b)—the cores photos;(c)—the seismic reflection characteristics;
(d)—the grain size probability curve

积物的粒度细小,分选也较好;湖底扇具有重力流机制,粒度概率曲线为圆滑无截点或截点不明显的弧线型曲线,反映在沉积过程中有半悬浮状态呈跳跃式碎屑颗粒的加入,分选较差,粒度较小。

(4)地震反射形态不同:扇三角洲在地震剖面上呈楔形前积地震反射特征;辫状河三角洲在地震剖面上呈雁行式地震反射特征;湖底扇地震反射结构呈中一高振幅、不连续一较连续,丘状外形特征。

3 沉积体系的平面展布

南屯组沉积时期处于呼和湖凹陷伸展断陷末期,其地质结构决定了古地貌格局,从而控制着沉积体系的宏观展布。以古地形等沉积背景分析为基础,利用地层等厚图、砂岩等厚图以及砂岩百分含量等值线图,并结合沉积相分析,绘制了各段的沉积相平面图。

由南一段和南二段的砂岩百分含量等值线图,可知南屯组物源方向具有继承性,以从四周向中央汇聚为特征,其中缓坡、陡坡为强物源方向(图 5、图 6)。地层沉积特征整体上是中间厚四周薄,洼槽中心厚度最大。而南二段地层的分布范围和沉积厚度都较南一段增大,沉降中心有向南转移的趋势,沉积厚度达到 260 m。砂体主要分布在凹陷的边部,而且呈相对孤立状,与扇三角洲、辫状河三角洲入湖位置相对应,砂岩厚度与砂岩百分比趋势相似。

3.1 南一段沉积体系平面展布

南一段处于伸展断陷期,受北东东向断裂及近南北断裂控制,地壳发生沉降,并伴随着更强烈的拉伸,使湖泊变深变大,沉积相主要为扇三角洲、辫状河三角洲和湖底扇体系,并沉积了一套以黑色泥岩

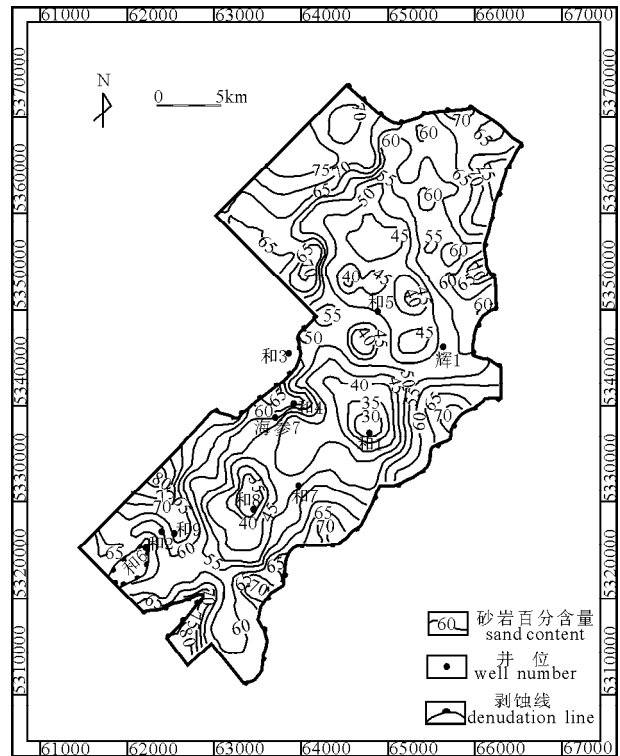


图 5 呼和湖凹陷南一段砂岩百分含量图

Fig. 5 Sandstone percentage content graph of the 1st Member of Nantun Formation in Huhehu depression

为主的湖相沉积,成为呼和湖凹陷优质烃源岩。

由于南屯组一段沉积时为凹陷内第一次区域性水进期,形成深湖一半深湖亚环境,但相互分割,连通性不够强烈,扇三角洲体系主要发育在西北缓坡带和东南陡坡带,北部斜坡带主要发育辫状河三角洲体系,深湖一半深湖亚环境主要发育于洼槽沉降中心部位,在局部滨浅湖亚环境发育少量砂坝砂体。扇三角洲前缘砂体由于储层物性较好,邻近生油凹

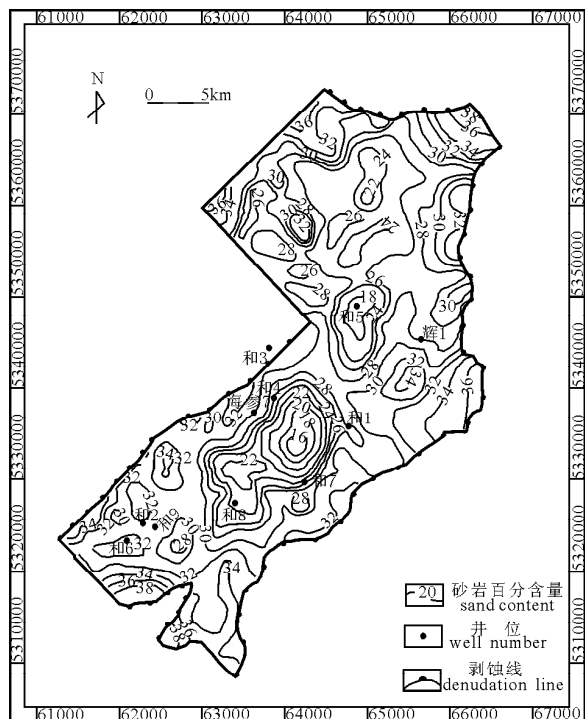


图6 呼和湖凹陷南二段砂岩百分含量图

Fig. 6 Sandstone percentage content graph of the 2nd Member of Nantun Formation in Huhehu depression

陷中心,具有充足的油源,且南部已有探井在该层见油气显示,因而该时期扇三角洲前缘砂体应是较为有利的勘探区域(图7)。

3.2 南二段沉积体系平面展布

南二段沉积时期,断裂持续活动,水体加深,湖泊面积进一步扩大,盆地边缘快速上超,物源区后退,沉积物粒度相对变细,湖盆周围主要发育辫状河三角洲沉积体系,洼槽带发育湖底扇体系,半深湖亚环境主要发育于洼槽沉降中心部位,在局部滨浅湖亚环境发育少量砂坝砂体。同时由于具多旋回、震荡性沉降的特点,湖盆周围沼泽相比较发育。由于该期辫状河三角洲前缘砂体储层物性较好,临近烃源岩,并且南二段上覆地层有大段的泥岩做为盖层,从而构成了良好的生、储、盖组合,因而该时期沉积体系也应为有利的勘探区域(图8)。

4 结论

本文根据岩芯、电测曲线、录井、分析化验、地震等资料,确定海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组主要发

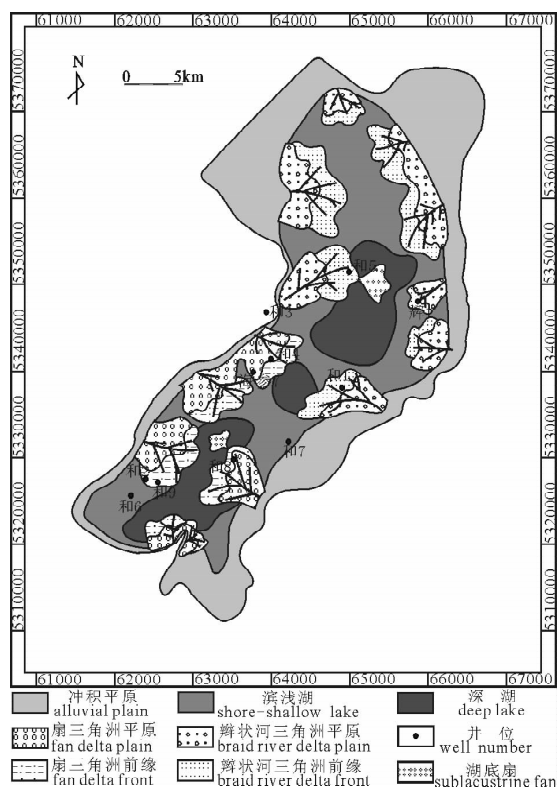


图7 呼和湖凹陷南一段沉积相图

Fig. 7 Sedimentary facies graph of the 1st Member of Nantun Formation in Huhehu depression



图8 呼和湖凹陷南二段沉积相图

Fig. 8 Sedimentary facies graph of the 2nd Member of Nantun Formation in Huhehu depression

育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇和湖泊 4 种沉积相。扇三角洲主要分布在南一段的西北缓坡带和东南陡坡带,辫状河三角洲主要分布在南二段以及南一段的北部斜坡带,湖底扇主要分布在深湖和半深湖相中。综合研究和油气勘探实践已表明,扇三角洲和辫状河三角洲前缘亚相带是油气聚集的重要相带,最后指出呼和湖凹陷南部沉积砂体为较有利的勘探区域。

参 考 文 献

- 陈均亮,吴河勇,朱德丰,等. 2007. 海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景. 地质科学, 42(1):147~159.
- 崔军平,任战利,肖晖. 2007. 海拉尔盆地呼和湖凹陷热演化史与油气关系. 中国地质, 34(5):522~527.
- 蔺连第,朗艳,金蕙,等. 2005. 二连盆地乌里雅斯太凹陷早白垩世湖底扇. 石油勘探与开发, 32(3):27~32.
- 卢双舫,刘晓艳,曲佳燕,等. 1995. 海拉尔盆地呼和湖凹陷烃源岩原始生烃潜力和原始有机碳的恢复. 大庆石油学院, 19(3):31~33.
- 夏青松,田景春. 2007. 鄂尔多斯盆地西南部上三叠统长 6 油层组湖

- 底扇特征. 古地理学报, 9(1):33~43.
- 薛良清, Galloway W E. 1991. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类. 地质学报, 25(2):23~29.
- 杨子荣,张艳飞,姚远. 2008. 海拉尔盆地呼和湖凹陷煤层气资源潜力分析. 煤田地质与勘探, 36(2):15~18.
- 张福顺. 2005. 白音查干凹陷扇三角洲与辫状河三角洲沉积. 地球学报, 26(6):553~556.
- 赵澄林,刘孟慧. 1984. 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用. 石油大学学报(自然科学版), (4):1~10.
- 赵国连,赵澄林,叶连俊. 2005. 渤海湾盆地“四扇一沟”沉积体系及其油气意义. 地质力学学报, 11(3):245~257.
- Holmes A. 1965. Principles of Physical Geology. London, Edinburgh: Thomas Nelson and Sons Ltd., 730.
- Maill A D. 1988. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: lesson from outcrop studies. AAPG Bulletin, 72(6):682~697.
- McPherson J G, Shanmugam G, Moiola R J. 1987. Fan-deltas and braid-deltas: varieties of coarse-grained deltas. Geological Society of America Bulletin, 99(3): 331~340.
- Walker R G. 1978. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: dets for exploration for stratigraphic traps. AAPG Bull., 62:932~966.

Typical Sand Characteristics of Nantun Formation in the Huhehu Depression in the Hailaer Basin

LI Junhui¹⁾, LU Shuangfang²⁾, MENG Qi'an¹⁾, LIU QiuHong²⁾, CHEN Xuehai²⁾, HU Shoumei²⁾

1) Research Institute of Exploration Development, Daqing, Heilongjiang, 163712;

2) Geoscience Institute of Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang, 163318

Abstract

Sedimentary facies types, sedimentary characteristics and distribution law of the Nantun Formation of the Lower Cretacic in the Huhehu depression are analyzed based on the core, well log curve, analysis assay, seismic and so on. The research indicates that the Nantun Formation developed fan delta, braided river delta, sublacustrine fan and lacustrine fan. This paper expounds in detail sedimentary characteristics and identification mark of fan delta, braided river delta and sublacustrine fan in cause, source supply, development position, sedimentary characteristics and seismic reflection characteristic. Fan delta is distributed mainly in the northwestern gentle slope zone and southeastern steep slope zone of the 1st Member of Nantun Formation; braided river delta in the 2nd Member of Nantun Formation and in the northern slope zone of Nanyi section; sublacustrine fan developed in deep lake-half deep lake facies. This paper points out that southern sedimentary sand of the Huhehu depression is the favorable exploration region, in which fan delta and braided river delta front subphase zone is the important hydrocarbon accumulation.

Key words: Huhehu depression; Nantun Formation; fan delta; braided river delta; sublacustrine fan