

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0227-08

海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组层序地层与沉积体系分析¹

刘秋宏 卢双舫 李军辉 陈学海 胡寿梅

(大庆石油学院地球科学学院 黑龙江大庆 163318)

摘要 以层序地层学理论为指导,充分利用岩心、测井、地震等资料,依据层序界面反射特征,建立了海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组层序地层格架,将南屯组划分为两个三级层序:层序 Sq1 相当于南屯组一段,层序 Sq2 相当于南屯组二段。每个层序发育完整,分别由低水位体系域、水进体系域和高水位体系域组成。针对研究区目的层段所划分层序发育的特点,在层序地层单元划分和对比基础上,对层序格架内的沉积相类型和沉积体系分布规律进行了研究,确定研究区主要发育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇、湖泊等沉积体系。Sq1 层序在凹陷北部发育辫状河三角洲沉积体系,而在南部发育扇三角洲沉积体系。Sq2 层序缓坡带发育辫状河三角洲沉积体系,陡坡带发育扇三角洲沉积体系,湖盆周围发育沼泽相。综合分析各层序沉积特征及演化规律,指出了呼和湖凹陷南部沉积砂体为较有利的勘探区域。

关键词 呼和湖凹陷 南屯组 沉积体系 沉积模式

第一作者简介 刘秋宏 女 1984 年出生 硕士研究生 沉积与储层 E-mail liuqihong981@126.com

中图分类号 P539.2 P512.2 文献标识码 A

呼和湖凹陷自勘探以来,先后进行过重磁、地震和钻探等勘探工作,积累了大量研究资料。目前勘探成果表明,呼和湖凹陷在南屯组发现低产油流。为了进一步系统研究,本文充分利用岩心、录井、测井、地震等资料,依据层序界面反射特征,建立了海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组层序地层格架,进而对沉积相类型和沉积体系分布规律进行研究,预测有利的沉积砂体分布,指出有利勘探目标。

1 研究区概况

呼和湖凹陷位于海拉尔盆地的东南部,是海拉尔盆地的二级构造单元,该凹陷总体上表现为东断西超的箕状凹陷,发育有南北两个次凹,北部次凹结构宽缓,构造相对简单;南部次凹结构较窄,构造复杂。面积为 2 500 km²(图 1)。呼和湖凹陷经历了三期构造演化阶段,分别为早期伸展断陷阶段、中期裂后热沉降阶段和晚期构造反转阶段^[1]。呼和湖凹陷可划分为将军庙构造带、辉索木构造带、阿萨力构造带、胡舒庙构造带和东巴彦滚构造带。具有“东西分带、南北分块”的特点。呼和湖凹陷地层以白垩系为主,自下而上划分为下白垩统铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组、伊敏组,上白垩统青元岗组。其中南屯组是最主要的层,其按照岩石组合自下而上分为南屯组一段和南

屯组二段。南屯组一段总体为深灰色泥岩、灰色粉砂岩和灰白色、杂色砂砾岩等互层,其中夹有灰色粗砂岩。南屯组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。

2 层序地层分析

层序级次划分实质就是对构造运动特征及不整合面级别的识别与划分^[2]。不同级别层序地层界面的识别是进行层序划分及建立层序地层格架的基础。层序界面的识别标志很多,但是这些识别标志中最可靠最易操作的识别标志是岩心岩相标志、测井标志、地震反射界面标志,另外古生物标志、地球化学指标也可以作为层序界面的辅助识别标志^[3]。本文充分利用岩心、测井、地震等资料,依据层序界面反射特征,将南屯组划分为 2 个三级层序。

2.1 层序界面特征

三级层序界面是具体体现盆地构造演化特征的分界面,其常与盆地内部的构造演化、沉积物供给、湖平面变化、气候特征及所形成的古地理环境等因素的变化转换联系在一起^[4]。呼和湖凹陷南屯组共发育两个三级层序,对应的层序界面分别为 SB1、SB2 和 SB3。

¹ 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0345)基金资助。

收稿日期:2009-02-22 收修修改稿日期:2009-06-01

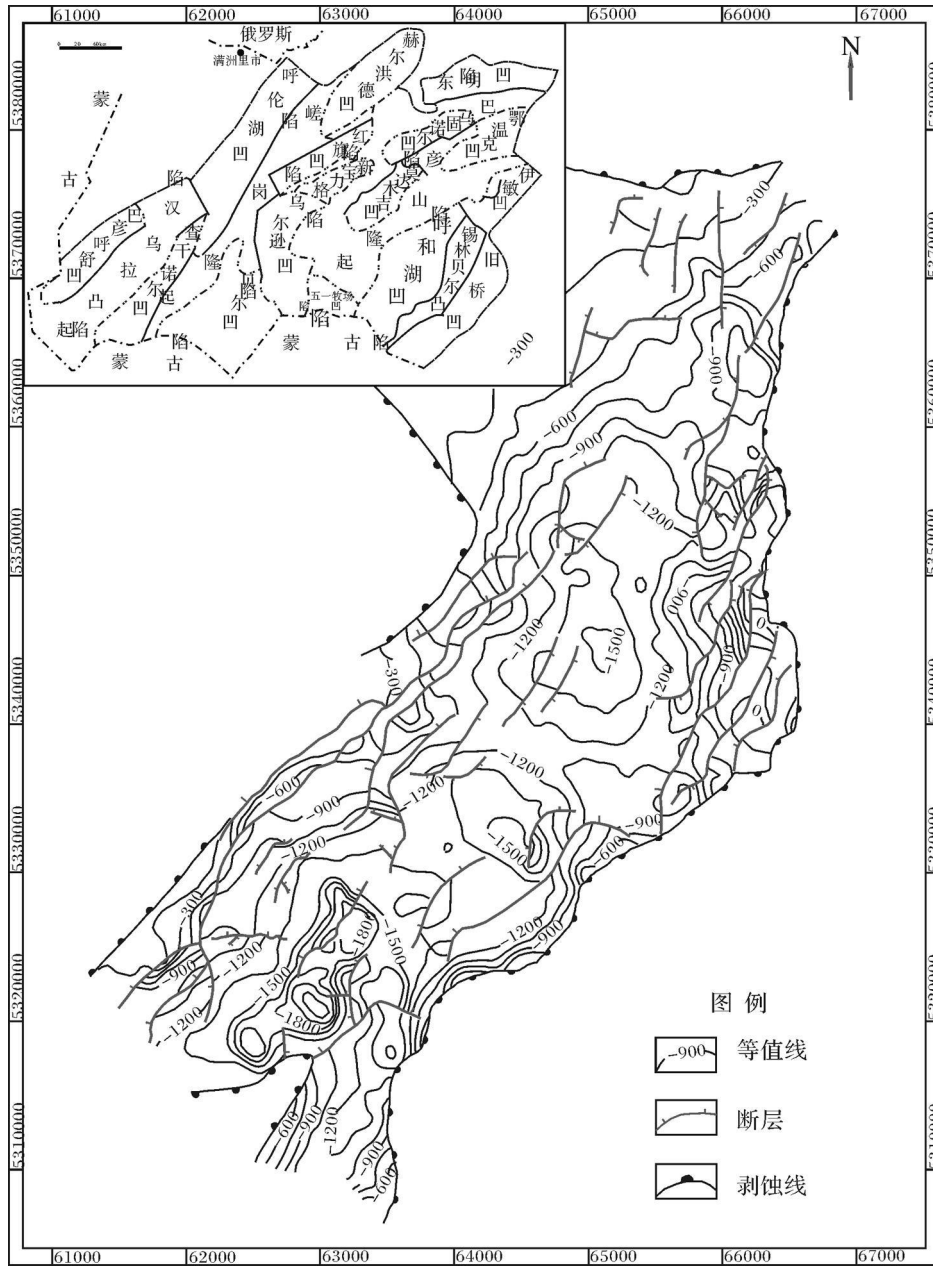


图 1 呼和湖凹陷地理位置及构造图

Fig 1 Geographical position and structural map of Huhuhu depression

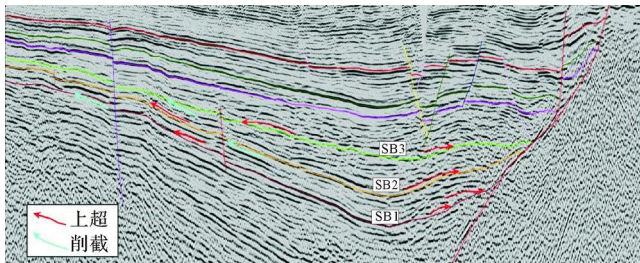


图 2 南屯组层序界面地震反射特征 (560测线)

Fig 2 Seismic reflection characteristics of sequence boundary in Nantun group (560 survey line)

SB1界面是铜钵庙组与南屯组的分界面,从地震剖面上看,在凹陷边部或隆起区,该反射层之下存在明显的削截现象(图 2),在凹陷内部该反射层之上表现为上超现象;在岩性上,界面上下岩性差异较大,大部分地层直接与铜钵庙组致密砂砾岩接触,局部地区为南屯组的砂砾岩直接覆盖于基底的火山岩之上(图 3a),这是因为该时期地表抬升至基准面之上发生侵蚀作用,所以以侵蚀面为界分隔上下地层;在电性上,分界面上下的自然电位、电阻率、自然伽马曲线

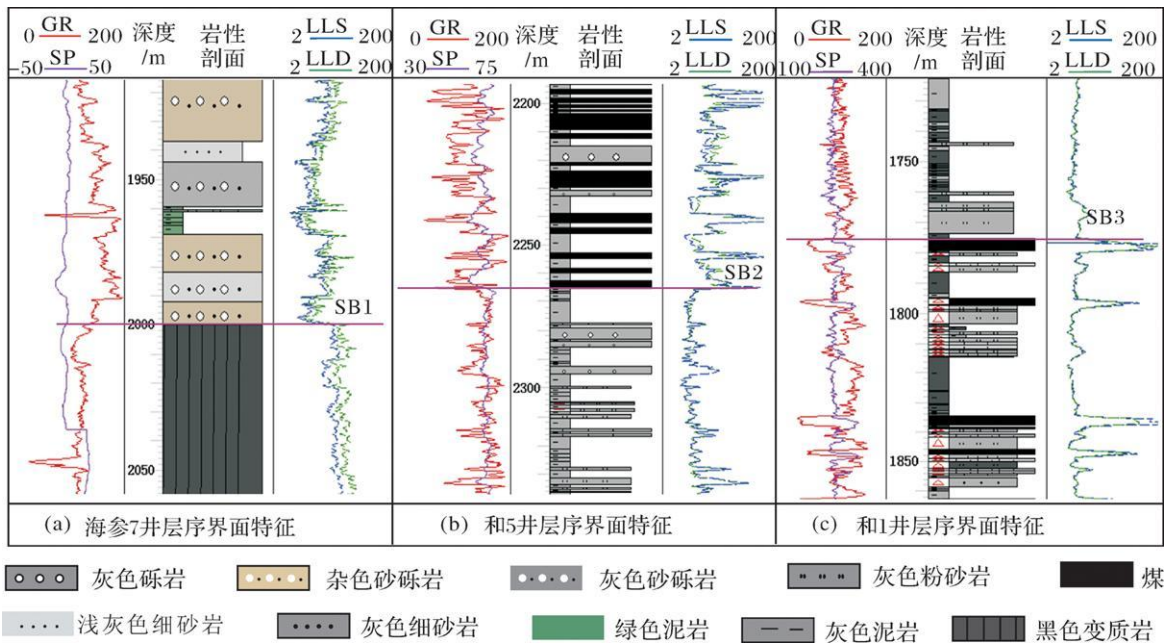


图 3 层序界面特征

Fig 3 Sequence boundary features

均出现突变接触。曲线形态表现为: 界面以上自然伽马值较高, 呈钟形摆动, 自然电位曲线较平缓; 界面以下自然伽马为锯齿形, 较界面之上明显变小, 自然电位曲线呈箱形, 有增大趋势。

SB2界面为南屯组一段与南屯组二段的分界面, 该界面以区域性分布等时性煤层、煤线和植物化石为标志, 反映可容纳空间减小(图 3b)。从地震剖面上来看, 该界面反射层表现为低频、中振幅弱连续反射, 存在局部不整合面, 界面之上有明显上超现象(图 2)。在岩性上, 界面上部主要为灰色和黑色厚层泥岩、黑色厚层煤、并夹有灰色粉砂岩。界面下部主要为薄层灰色砂砾岩、灰色泥岩和黑色煤夹层。这些煤是由植物遗体堆积层埋在地下后, 经长时间生物化学作用和物理化学作用形成。南屯组煤岩有机质富含脂类, 属于富氢煤, 具有良好的生烃能力。在电性上, 界面以上电测曲线表现为低幅齿化钟形或箱形, 界面下部自然电位呈中幅钟形或低幅马鞍形, 电阻率曲线呈中幅指状, 与上部界限清楚。

SB3界面为南屯组二段与大磨拐河组一段的分界面, 该界面也是以区域性分布等时性强的煤层、煤线和植物化石为标志(图 3c)。南屯组末期构造改造作用标志着伸展断陷盆地的结束, 盆地进入裂后热沉降阶段^[2]。它是盆地内构造背景以断陷作用为主向拗陷作用为主转换的一个构造作用转换面。在地震剖面

上, 该界面反射层为一频率较低连续性较好的反射同相轴, 反射波组特征明显, 一般为单一强相位, 局部为两个相位, 与上覆地层呈上超不整合或平行不整合接触。在岩性上, 界面上部为厚层泥岩和泥质粉砂, 界面下部为灰色泥岩与灰色粉砂岩, 夹有厚层煤。南屯组二段煤岩镜质组含量比较高, R_o 介于 0.6% ~ 1% 之间, 属于长焰煤—气煤阶段, 这种类型的煤可做为很好的烃源岩。在电性上, 界面上部电测曲线为低幅齿化钟形或箱形, 界面下部自然电位为中幅钟形或低幅马鞍形, 电阻率曲线为中幅指状。

2.2 体系域界面特征

体系域为同期沉积体系的组合, 是构成层序的基本单位。体系域界面主要为初始湖泛面和最大湖泛面。初始湖泛面和最大湖泛面均为强的连续反射同相轴, 前者为整合反射关系, 后者为下超面, 它们在地震剖面上表现为强振幅、连续、低频反射同相轴。各体系域的基准面变化决定各层序内沉积体系的构成和时空配置^[5]。

低位体系域界面位于反映退积正旋回钟形自然电位曲线的底部。本区低位体系域由下向上粒度变细, 砂岩厚度明显变薄, 泥岩含量增加, 表现为正旋回主要发育扇三角洲沉积体系(图 4)。

水进体系域介于初始湖泛面与最大湖泛面之间, 以退积式准层序组为主, 此时湖平面上升速率大于沉

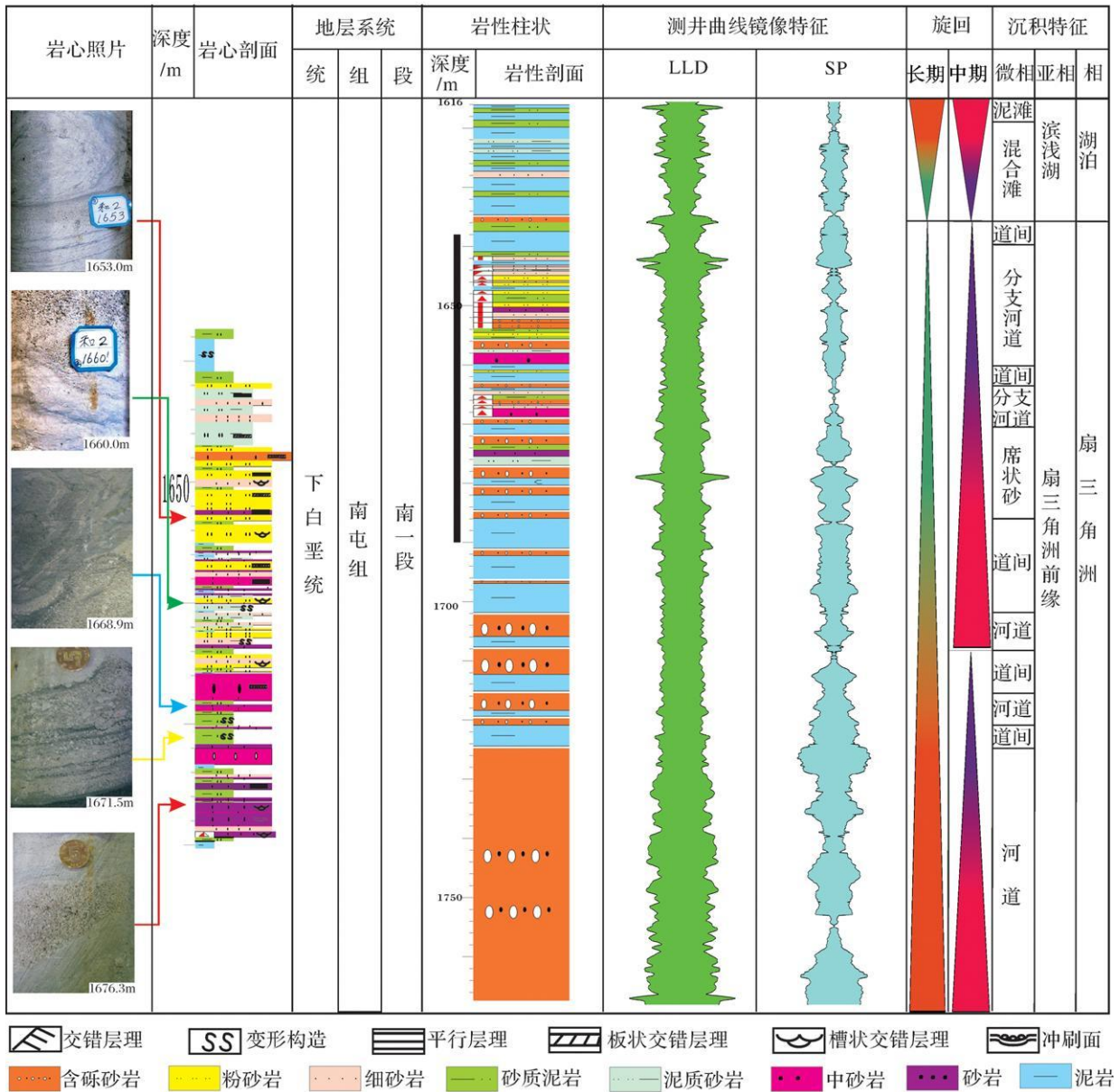


图 4 体系域界面特征

Fig 4 System tract boundary features

积物的供应速率,形成“饥饿”盆地,因此研究区水进体系域主要发育暗色泥岩,沉积类型主要为深湖一半深湖、滨浅湖、扇三角洲体系(图 4)。

高水位体系域多以进积式准层序组为主,是湖平面从慢速上升到慢速下降的过程,常发育顶界顶超和削蚀。本区高位体系域界面位于反映进积的反旋回自然电位的顶部,整体表现为反旋回。高位体系域由下向上粒度变化不大,泥质含量减少,自然电位曲线总体幅值变化不大,以滨浅湖发育为特征,在其亚环境中发育泥滩、混合滩体系。

3 沉积体系

呼和湖凹陷沉积充填演化经历了早期伸展断陷阶段、中期热沉降阶段和晚期构造反转阶段。本文主要依据岩心和测井资料,结合地震反射特征、区域构造演化和其它辅助资料,确定呼和湖凹陷南屯组发育的沉积体系类型有:扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇、湖泊等沉积体系。

3.1 扇三角洲

扇三角洲是指从邻近山地直接推进到稳定水体中的冲积扇(Holmes, 1965)。往往发育在凹陷边缘

同沉积断裂附近。国内外许多学者认为, 扇三角洲沉积属于陡地形、近物源背景下快速沉积的粗碎屑岩^[6-8]。呼和湖凹陷扇三角洲可划分为扇三角洲平原亚相和扇三角洲前缘亚相。在 seismic 剖面上顺水流方向表现为同相轴呈楔形向湖盆收敛, 垂直水流方向呈丘形。电测曲线表现为低幅箱形和齿状钟形, 扇三角洲岩性主要以砂砾岩为主, 粒度较粗, 分选较差。扇三角洲在呼和湖凹陷南屯组一段尤其发育。

1) 扇三角洲平原亚相

扇三角洲平原亚相是湖平面以上部分, 常发育在湖泊萎缩期, 主要发育分流河道和分流间湾。分流河道主要以灰色粗砂岩和砂砾岩为主, 多呈向上变细的正韵律, 常发育板状、槽状交错层理, 平行层理以及块状层理。电测曲线常为圣诞树形或齿化钟形。分流河道间位于水下分流河道之间相对低洼的地区, 它是洪水期水道漫溢或决口形成的沉积, 主要发育暗色泥岩和灰色粉砂岩为主, 具有小型层理、滑塌及变形构造, 电测曲线表现为指状, 起伏小, 幅值低。地震反射特征表现为楔形(图 5)。

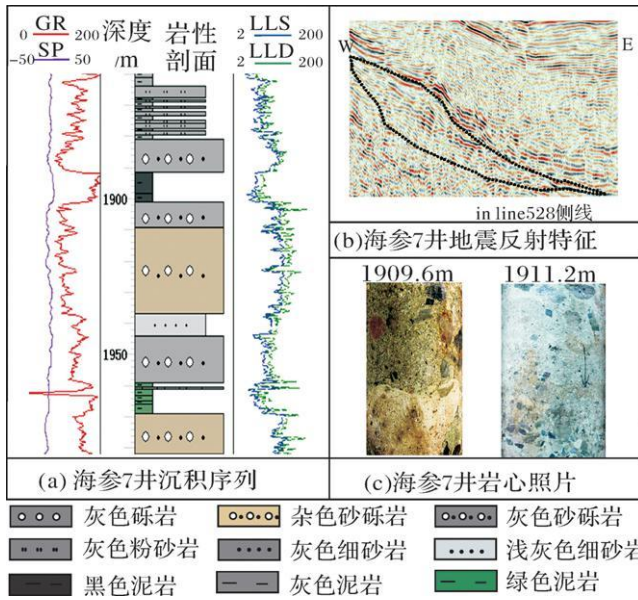


图 5 呼和湖凹陷扇三角洲平原识别标志

Fig 5 Identification mark of fan delta plain in Huhuhu depression

2) 扇三角洲前缘亚相

南屯组扇三角洲前缘亚相发育水下分流河道、分流河道间和前缘席状砂。水下分流河道由含砾砂岩和砂岩构成, 常发育小型交错层理, 垂直剖面上呈透镜状。分流间湾处于分流河道两侧, 由粉砂细砂和泥岩组成。席状砂岩性较细, 成熟度较高。

3.2 辫状河三角洲

辫状河三角洲体系指由辫状河直接入湖形成的三角洲, 其动力机制主要为牵引流^[4]。辫状河三角洲鉴别标志为入湖的辫状分支河道^[9]。辫状河三角洲主要发育在呼和湖凹陷南屯组二段缓坡带。

1) 辫状河三角洲平原亚相

南屯组辫状河三角洲平原亚相包括辫状河道沉积、废弃河道充填沉积和越岸沉积。辫状河道沉积以河道砂坝侧向迁移加积而形成的沉积物为主, 本区表现为灰色砂砾岩。废弃河道呈透镜状, 岩性表现为灰白色砂砾岩、灰白色粗砂岩和黑色泥岩, 充填物从下向上粒度明显变细。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, 常发育煤层。南屯组辫状河三角洲平原亚相电测曲线表现为高电阻率、低伽马, 曲线多呈箱状(图 6)。

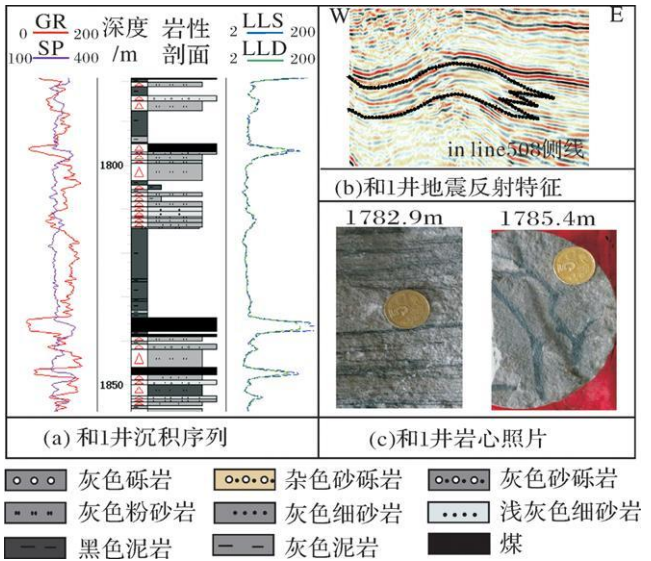


图 6 呼和湖凹陷辫状河三角洲平原识别标志

Fig 6 Identification mark of braided delta plain in Huhuhu depression

2) 辫状河三角洲前缘亚相

南屯组辫状河三角洲前缘亚相包括水下分流河道沉积、分流河道间沉积和河口砂坝。水下分流河道是平原亚相中辫状河道入湖后在水下延续部分, 沉积物以灰白色砂砾岩为主。分流河道间沉积岩性较细, 常为深灰色泥岩, 可见大小不等的透镜体发育在河道砂体中。河口砂坝位于水下分流河道前缘及侧缘, 粒度从下向上由细变粗, 自然电位曲线多呈钟形, 伽马曲线多呈指状。

3.3 沼泽相

沼泽相主要发育在湖盆周围。在地表常温、常压下,由堆积在停滞水体中的植物遗体经泥炭化作用或腐泥化作用,转变成泥炭或腐泥。由于凹陷基底下降,泥炭或腐泥被埋藏,后经成岩作用转变成褐煤。当温度和压力达到一定数值后,再经变质作用转变成烟煤至无烟煤。沼泽相是大量植物生长和埋藏并最终沼泽化过程的体现,是南屯组二段的一个突出特点。

3.4 滨浅湖相

滨浅湖相是指最高水面以下与浪基面之上的浅水沉积。南屯组滨浅湖相尤其发育,岩性主要以深灰色泥岩和深灰色粉砂岩为主,常发育波状层理和水平层理。伽马测井曲线呈齿状,电阻率曲线变化幅度不大。在 seismic 剖面上显示为弱振幅、中连续反射特征。水体虽浅但始终处于水下,发育滩坝砂体,是本区不可忽视的良好储集层。

3.5 深湖一半深湖相

深湖一半深湖主要形成于浪基面以下,沉积物受湖流和风暴浪的作用,处于弱还原环境环境至还原环境^[10]。南屯组是深湖一半深湖相较于发育的一个层段,深湖一半深湖面积大,但彼此分隔,互不连通。岩性特征表现为粒度细,颜色深,有机质含量高。

4 沉积体系演化模式

4.1 Sq1层序(南一段)沉积演化模式

南屯组一段处于伸展断陷期,受北东东向断裂及近南北断裂控制,地壳不断沉降,从地震和测井资料看,充分体现地形高差大、多物源、多水系的地貌特征。Sq1层序低位体系域(图7a)形成于南屯组一段沉积初期,湖泊水域面积较小,扇三角洲全区发育,局部见湖底扇和滨湖砂坝。之后为区内第一次大规模的水进期,物源主要来自东西两侧隆起区。水进域(图7b),其隆起剥蚀区范围较大,其水域面积较低位域有所扩大,滨浅湖与深湖一半深湖面积均变大,沉积体系南部以扇三角洲为主,北部以辫状河三角洲为主,局部深湖相中发育湖底扇。高位体系域(图7c),湖面面积继续增大,南部发育扇三角洲,北部发育辫状河三角洲,湖底扇与滨湖砂坝发育。从图中可以看出,边界断层与扇体具有良好的匹配关系。一般认为在次级伴生断裂发育的情况下,形成台阶式地形,扇体靠近断层部位容易遭受剥蚀,致使扇根部位变薄,扇端向湖内伸进^[11]。从整体相模式来看,凹陷南部主要发育扇三角洲平原和前缘,北部主要发育辫状河

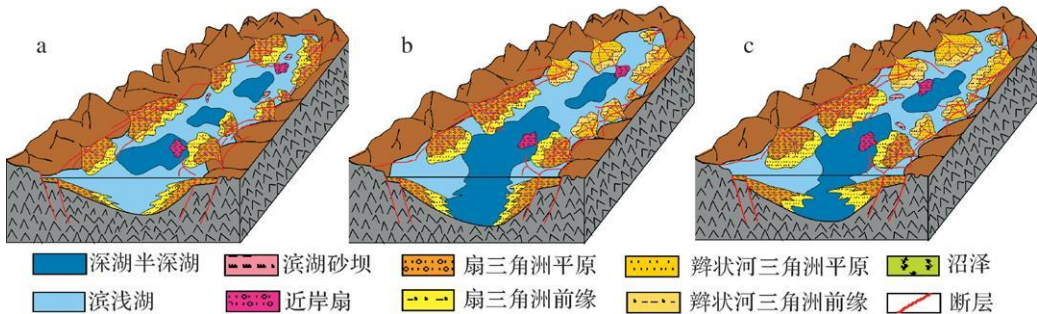


图7 呼和湖地区 Sq1层序沉积模式(a 低位域、b 水进域、c 高位域)

Fig 7 Sq1 sequence stratigraphic model in Huhuhu (a LST, b TST, c HST)

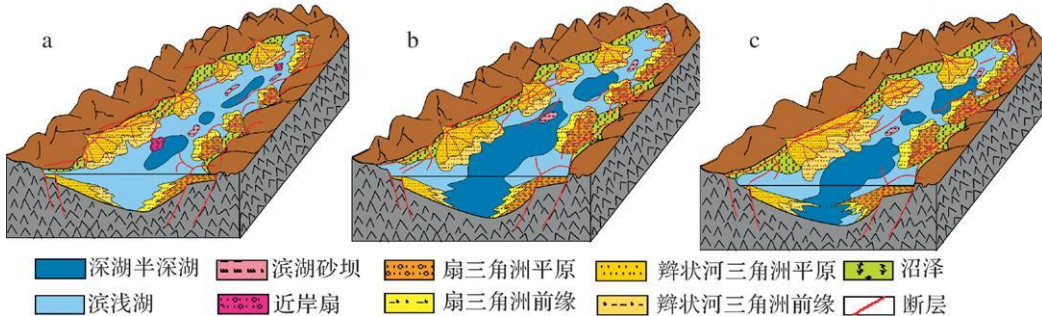


图8 呼和湖地区 Sq2层序沉积模式(a 低位域、b 水进域、c 高位域)

Fig 8 Sq2 sequence stratigraphic model in Huhuhu (a LST, b TST, c HST)

三角洲平原和前缘, 局部地区发育湖底扇与滨湖砂坝。由于临近凹陷生油中心, 油源充足, 三角洲砂体又具有良好的储层物性, 并且南一段上覆地层有大段泥岩做为盖层, 已有探井在呼和湖凹陷南部该层位见良好的油气显示, 可见 Sq1 层序南部沉积砂体为较有利的勘探区域。

4.2 Sq2 层序沉积演化模式

南屯组二段前期仍然处于伸展断陷期。南屯组二段末期, 由于受到北西—南东向挤压作用, 南屯组顶面形成了广泛的大型构造不整合界面, 呼和湖凹陷南屯组末期出现普遍的反转构造, 形成了众多的规模大小不一的构造隆起带。南屯组二段湖泊水域面积较南屯组一段水域面积大, 仍以滨浅湖亚相为主。低位体系域(图 8a)缓坡带发育辫状河三角洲, 陡坡带发育扇三角洲, 湖内发育滨湖砂坝和湖底扇。水进体系域(图 8b), 深湖一半深湖面积明显扩大, 但仍互相分割, 缓坡带发育辫状河三角洲, 陡坡带发育扇三角洲, 该时期尤为发育沼泽相。高位体系域(图 8c), 仍然在缓坡带发育辫状河三角洲, 陡坡带发育扇三角洲, 但扇体面积明显加大, 沼泽相也非常发育, 可见湖底扇和滨湖砂坝。从总体沉积模式来看, 南屯组二段缓坡带主要发育辫状河三角洲沉积体系, 陡坡带主要发育扇三角洲沉积体系。

5 结论

以层序地层学理论为指导, 充分利用岩心、录井、测井、地震等资料, 依据层序界面反射特征, 将呼和湖凹陷南屯组划分为 2 个三级层序。在层序格架的基础上对南屯组沉积体系进行分析, 其中 Sq1 层序北部主要发育辫状河三角洲体系, 南部主要发育扇三角洲体系; Sq2 层序陡坡地区发育扇三角洲体系, 缓坡地区发育辫状河三角洲体系, 湖盆周围沼泽相尤其发育。综合分析各层序沉积特征及演化规律, 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 (References)

- 侯艳平, 朱德丰, 任延广, 等. 贝尔凹陷构造演化及其对沉积和油气的控制作用 [J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(3): 300-307 [Hou Yanping, Zhu Defeng, Ren Yanguang *et al.* tectonic evolution and its controlling on sedimentation and hydrocarbon accumulation in Beir depression [J]. *Geotectonica et Metallogenia* 2008, 32(3): 300-307]
- 张成, 魏魁生. 乌尔逊凹陷南部层序地层特征及成藏条件 [J]. 石油学报, 2005, 26(2): 47-52 [Zhang Cheng, Wei Kuisheng. Sequence characteristics and reservoir formation condition in the southern Wuexun Depression [J]. *Acta Petroli Sinica* 2005, 26(2): 47-52]
- 苗顺德, 李秋芬, 欧阳诚. 黄骅拗陷古近系层序地层格架特征及模式研究 [J]. 中国地质, 2008, 35(2): 256-263 [Miao Shunde, Li Qiufen, Ou Yangcheng. Paleogene sequence stratigraphic framework and model in the Huanghua depression [J]. *Geology in China* 2008, 35(2): 256-263]
- 李德江, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 辽东湾拗陷古近系沙河街组层序地层分析 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 669-676 [Li Dejiang, Zhu Xiaomin, Dong Yanglei *et al.* Sequence stratigraphy and depositional system of Paleogene Shahejie Formation in Liaodong bay depression [J]. *Petroleum Exploration and Development* 2007, 34(6): 669-676]
- 李军辉, 卢双舫, 柳成志, 等. 贝尔凹陷西斜坡南屯组层序特征及其油气成藏模式研究 [J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 306-311 [Li Junhui, Lu Shuangfang, Liu Chengzhi *et al.* Sequence characteristics and hydrocarbon accumulating model research of Nantun Formation in Bei slope of Beier sags [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2009, 27(2): 306-311]
- 邵龙义, 罗文林, 顾家裕, 等. 塔里木盆地古近系层序地层研究 [J]. 古地理学报, 2007, 9(3): 283-292 [Shao Longyi, Luo Wenlin, Gu Jiayu. A basin-wide sequence stratigraphic analysis of the Paleogene in Tarim Basin [J]. *Journal of Paleogeography* 2007, 9(3): 283-292]
- Veevers S J, Thomas A T, Tumer P. Fan-delta sedimentation in the Silurian Coralliferous Formation of SW Wales: implications for the structure of the southern margin of the Welsh Basin [J]. *Geological Magazine*, 2007, 144(2): 319-331
- Falk P D, Dosey R J. Rapid development of gravelly high-density turbidity currents in marine Gilbert-type fan deltas, Loreto Basin, Baja California Sur, Mexico [J]. *Sedimentology*, 1998, 45(2): 331-349
- 岳信东, 林春明, 李艳丽, 等. 二连盆地白音查干凹陷白垩统腾格组沉积相 [J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 593-601 [Yue Xindong, Lin Chunming, Li Yanli *et al.* Sedimentary facies in the Early Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan Depression, Erlan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2008, 26(4): 593-601]
- 林春明, 宋宁, 牟荣, 等. 江苏盐阜拗陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化 [J]. 沉积学报, 2003, 19(4): 553-555 [Lin Chunming, Song Ning, Mu Rong *et al.* Sedimentary facies and evolution of Late Cretaceous in the Yanfu Depression from Jiangsu Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2003, 19(4): 553-559]
- 刘新颖, 邓宏文, 王红亮, 等. 印尼 Sunda 盆地裂陷期层序地层与沉积充填特征 [J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 280-289 [Liu Xinying, Deng Hongwen, Wang Hongliang *et al.* Sequence and depositional characteristics in Syn-rift stage, Sunda Basin, Indonesia [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2009, 27(2): 280-289]

Sequence Stratigraphy and Sedimentary System Analysis of Nantun Group in Huhehu Depression in Hailaer Basin

LU Qiu-hong LU Shang-fang LI Jun-hui CHEN Xue-hai HU Shou-mei

(Daqing Petroleum Institute Earth Science College Daqing Heilongjiang 163318)

Abstract Based on the theory of sequence stratigraphy, sequence stratigraphy framework of Nantun group in Huhehu Depression is established in this paper by comprehensively research of cores, logging data and seismic data. Nantun group in Huhehu Depression is divided into 2 3rd-order sequences. SQ1 sequence is equal to the first stage of Nantun group, and SQ2 is equal to the second stage of Nantun group. Neither sequences develops completely, which is composed of low stand system, transgressive system tract and high stand system. According to the characteristics of divide sequence development of target strata in researched area, and based on the division and comparison of sequence formation unit, this paper studies on sedimentary types and system, determined that fan delta, braided river delta, sub-lacustrine lake and so on are very development. SQ1 sequence mainly develops braided river delta in the north of basin, and fan delta in the south of basin. SQ1 sequence mainly develops braided river delta in gentle slope belt, and fan delta in steep slope in local area. Compared with SQ1 sequence, SQ2 develops swamp facies. Comprehensive analysis of sedimentary characteristics and evolution law, this paper points out that sedimentary sand bodies in the south of Huhehu Depression is the favourable exploring area.

Key words Huhehu Depression, Nantun group, sedimentary system, sedimentary model