

松辽盆地嫩江组泥质三角洲沉积特征及沉积机理

王陆新^{1,2} 吴朝东^{1,†} 莫午零^{1,3} 张顺⁴

1. 北京大学石油与天然气研究中心, 北京 100871; 2. 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100812;
3. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 廊坊 065007; 4. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 大庆 163712;
† 通信作者, E-mail: cdwu@pku.edu.cn

摘要 通过对松辽盆地嫩江组岩芯资料、测井资料和地震资料处理和解释, 发现在松辽盆地大庆长垣地区嫩江组二、三段湖相泥岩层段中, 具有一定角度自东向西的前积结构, 地震剖面中底部同相轴表现为中强振幅、高连续反射、叠瓦状特征; 每个层序可分辨出 4~6 个主要由泥岩构成的前积层, 有的顶积层存在顶超现象, 延续性相对较差; 岩性组合中泥质组分含量高, 砂质组分含量低。经研究认为, 这种具有一定角度前积结构的富泥贫砂沉积是高悬浮载荷河流入湖而形成的泥质三角洲沉积。建立了嫩江组湖泊沉积环境中发育的泥质三角洲的沉积模式。

关键词 大庆长垣; 泥质三角洲; 沉积模式; 嫩江组; 地震相
中图分类号 P512

Sedimentary Characteristics and Identification of Muddy Deltaic in Nenjiang Formation of Songliao Basin

WANG Luxin^{1,2}, WU Chaodong^{1,†}, MO Wuling^{1,3}, ZHANG Shun⁴

1. The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution (MOE), Peking University, Beijing 100871; 2. Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang, PetroChina, Langfang 065007; 4. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Co. Ltd, PetroChina, Daqing 163712; † Corresponding author, E-mail: cdwu@pku.edu.cn

Abstract The Member 2, 3 of Nenjiang Formation in Songliao Basin was studied based on core, log and seismic data. The lineups in seismic profile have the feature of low angle extension, continuous reflection and imbricates distribution, and have low angle progradation structure from east to west. Each sequence can distinguish 4–6 foreset beds, top laminated subject to certain erosion, and the continuity is relatively poor in muddy delta segment. Compared with sedimentary characteristics of the classic delta-mode, the muddy delta has low content of sandy-component than normal delta. The results show that the argillaceous sediment with a low-angle foreset structure has muddy deltaic deposition characteristics, which comes from highly suspension load deposit near the end of subaqueous channel system. The muddy deltaic depositional model of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation was built.

Key words Daqing Changyuan; muddy delta; depositional model; Nenjiang Formation; seismic facies

泥质三角洲概念最早由 Richardson 等^[1]1989 年提出: 当河流携带的沉积物的沉积速度比盆地水流再造作用快时, 形成富含泥质的三角洲, 与富含砂质的三角洲相比, 泥质三角洲在河口砂坝和三角洲前缘中含有更多的粉砂岩和页岩。

目前对泥质三角洲的研究主要体现在泥质楔中。泥质楔是大陆边缘存在的有角度的沉积物, 形成于河流入海(湖)口附近的楔形泥质沉积体, 是中间较厚, 两侧逐渐减薄的楔形体^[2]。泥质楔构成泥质三角洲前积层, 为其沉积主体。国内外对泥质楔

都有所研究,例如山东半岛黄河三角洲外延形成 400 km² 的泥质楔沉积^[3]; 中国东海大陆架存在带状分布、以泥质为主的楔形沉积体^[4]; 这种泥质楔型沉积同样出现在亚得里亚海陆架上^[5]; 在墨西哥湾北部地震剖面中也发现以泥质为主的三角洲沉积层段^[6]。上述研究表明泥质三角洲广泛分布在现代和古代沉积记录中,但国内尚未见到地层记录中泥质三角洲的报道。本文通过对松辽盆地嫩江组岩芯资料、测井资料和地震资料的研究认为,嫩江组二、三段沉积具有泥质三角洲的沉积特征。

1 区域地质背景

松辽盆地具有同裂陷层序和拗陷层序两套沉积层序,其形成和发展分为 3 个主要阶段:晚侏罗世(135±5/5 Ma)开始的同裂陷阶段、早白垩世早期(108±3/1 Ma)开始的裂后热沉降阶段和晚白垩世中期(72±0.5 Ma)以后的大规模构造反转阶段^[7]。大庆长垣研究区位于松辽盆地北部(图 1),介于齐家古龙凹陷和三肇凹陷之间,呈南北向带状分布,由 7 个构造高点组成,为中央凹陷区次级构造单元。

大庆长垣嫩江组由 5 个层段组成,这 5 个层段构成一个完整的湖进—湖退旋回。嫩江组一段发生了基准面下降事件,齐家古龙凹陷和长垣隆起均为湖相沉积,湖区面积超过 12 万 km²,在深湖—半深湖背景下,三角洲主体逐渐向东北迁移。嫩江组二、三段沉积初期湖盆面积进一步扩大,仅在盆地北部发育小范围的滨浅湖相,后期盆地东部抬升,物源方向由南北向改为东西向,沉降中心逐渐自东向西迁移收缩。嫩江组四、五段沉积时期盆地东部快速抬升,沉积物快速向湖区推进,主要发育湖相和三角洲沉积。

嫩江组二、三段沉积时期盆地处于大型凹陷阶段,盆地地形平缓,坡脚小,构造环境稳定^[8]。嫩江组二、三段物源以一套火山岩为主,侵入岩、沉积岩及变质岩等对物源的贡献很小。火山岩自身抗风化能力很弱^[9],白垩纪时期气候多湿润,降雨量相对丰富,河流体系发育^[10],细粒物源供给是嫩江组湖盆边缘的沉积物偏细的原因之一。嫩江组二、三段处于稳定构造沉降和平缓开阔的沉积环境,河流携带以泥质为主的沉积物,自盆地边缘逐渐向盆地中心进积,在地震剖面中形成大型的前积层。

通常认为松辽盆地嫩江组二、三段是湖泊—三角洲相沉积,在盆地内广泛发育的嫩江组二段底部

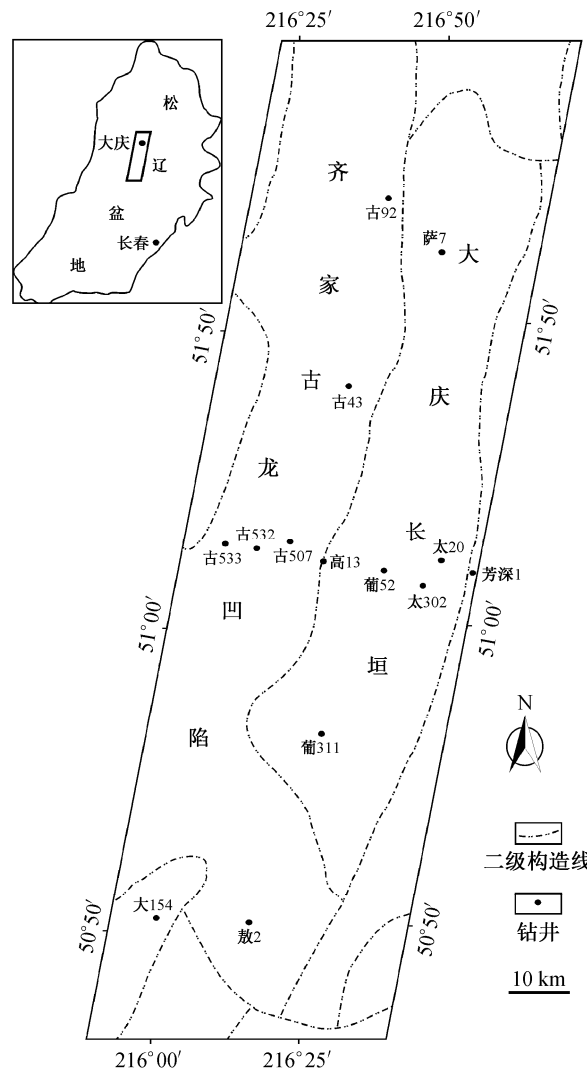


图 1 松辽盆地研究区分布及构造分区
Fig. 1 Study area of the Songliao Basin and the classification of structural zonation

油页岩是最大湖发育阶段的标志,油页岩之上的泥质层段多认为是湖泊沉积,向上为砂、泥岩互层的正常三角洲沉积,具东厚西薄特征^[11-12]。据区域标志层、生物化石、岩性组合和地震属性等特征,将嫩江组二、三段划分为沉积基准面下降的 5 个四级层序: Sq1, Sq2, Sq3, Sq4 和 Sq5 (图 2)。在大庆长垣地区, Sq3 和 Sq4 段是泥质三角洲的主要发育层段。

2 泥质三角洲沉积特征

泥质三角洲与其他入湖三角洲相比,虽然总体上有很多相似之处,但在具体特征上仍有较大差异,如岩性组合、沉积构造、成因机理和沉积相展布等。

2.1 岩性组合与电测井曲线特征

泥质三角洲沉积前期,即 Sq1 和 Sq2 段,主要

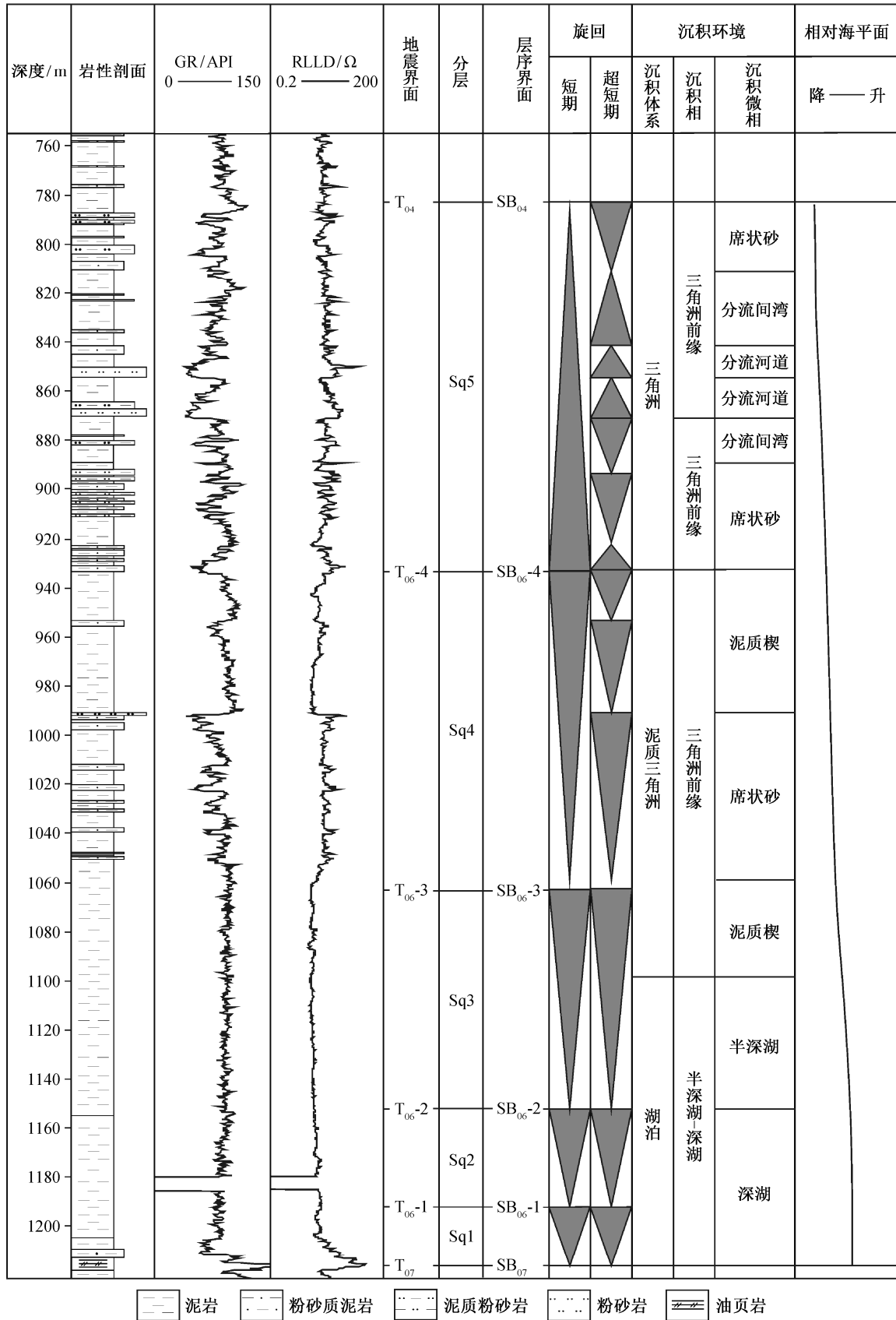


图 2 松辽盆地嫩江组二、三段地层综合柱状图(古 43 井)

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation (Well Gu-43)

由黑色含介形虫泥岩或生物灰岩组成,地层厚度在 25~120 m 之间,具东厚西薄特点,指示东部物源特征。在泥质三角洲沉积的 Sq3 段末期和 Sq4 段,由薄层粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和厚层泥岩构成;砂岩主要由石英、长石和少量岩屑组成,分选较好,磨圆度中等到差,胶结类型多为基底胶结或镶嵌胶结;自然电位或自然伽玛测井曲线以平直的泥质基线为主,可见弱齿化、漏斗形和指状,为泥岩段薄层砂岩的反应。泥质三角洲沉积后期 Sq5 段主要由泥岩、粉砂岩和细砂岩组成,为正常三角洲沉积。

砂岩的粒度特征是搬运能力的度量尺度,是推断沉积方式的良好标志。López 等^[13]曾对三角洲的粒度分布特征做详细研究,总结了不同沉积相的粒度特征和成因。对齐家古龙凹陷内泥质三角洲前缘的粉砂岩薄片做粒度分析,粒径在 0.5~2.5 mm 之间,平均 0.14 mm,接近颗粒悬浮的上限 0.1 mm;粒度概率累计曲线呈三段式,平均值为 2.75,标准偏差为 0.59,沉积物粒度概率频率曲线呈单峰式,根据文献[14]中公式算得峰态值为 0.95,属中等峰态。粒度特征表明样品分选较好,主要由悬浮组分和跳跃搬运组分构成,占沉积物总体的 90%,属低密度流型悬浮沉积。

2.2 沉积构造与沉积相类型

嫩江组二、三段早期为深湖-半深湖相泥岩,具有水平层理和细水平纹层,在黑色泥岩中可见植物碎屑(图 3(a)),常见介形虫、叶肢介生物化石(图 3(b)),保存完好。叶肢介只有在水位和溶盐量变化都不大的稳定条件才会大量出现,表明泥质三角洲形成之前沉积环境比较稳定,湖泊水动力不强,对沉积物改造作用有限。

在嫩江组二、三段中期沉积基准面逐渐下降,湖底水道沉积作用加强,早期湖泊相渐变为泥质三角洲相,主要为前缘泥质楔形的沉积体构成,含有一定的陆源粉砂。泥质三角洲前缘席状砂岩厚度薄,为粉砂岩或泥质粉砂岩,发育中小型槽状交错层理及浪成沙纹层理。常见液化变形的包卷层理、上叠沙纹层理和生物扰动构造等,局部可见植物碎片,表明泥质三角洲沉积时受水下河道牵引流影响,沉积物特别是悬浮细粒沉积物不断供给。

嫩江组二、三段后期,湖平面继续降低,转变为正常三角沉积,三角洲前缘分流河道砂岩中可见

波状层理和生物遗迹(图 3(c)和(d)),分流间湾泥岩夹杂灰色或深灰色介形虫层,具有水平层理、垂直或倾斜的生物钻孔、生物扰动构造,反映水体浅、水动力较弱的沉积环境。

2.3 地震剖面与平面展布特征

通过区域连井对比、地震剖面追踪等方法,对嫩江组二、三段地震剖面及层序格架剖面进行划分。通过代表最大湖泛面的 T₀₇ 同相轴拉平地震剖面(图 4),在泥质三角洲发育层段内追踪地震强轴。底部层段同相轴前积角度不大,呈小角度叠瓦状前积,表现为中强振幅、连续反射;向上同相轴变为连续性相对好,可识别出一定角度延伸叠加的前积层。在地震剖面中可以分辨出 4~6 个主要的前积层,底积层和顶积层相对不发育,其中顶积层有的同相轴具有尖灭、不连续特征,可能是由于过路沉积作用产生的顶超现象。

对嫩江组二、三段 230 余口井各层段的砂/地比精细统计表明: Sq2 层序砂体厚度一般不超过 1 m,砂/地比值小于 1% (图 5(a)),以泥质沉积为主; Sq3 层序砂体厚度增大到 1~3 m,砂/地比值多小于 0.08 (图 5(b)),呈南北向带状分布于大庆长垣东部,泥质三角洲发育期; Sq4 层序厚度为 90~130 m,砂体厚度逐渐增加到 10~20 m,最大厚度超过 30 m,砂/地比值在 0.04~0.15 之间(图 5(c)),呈南北向条带状分布; Sq5 层序厚度最大,为 100~170 m,砂体厚度 35~70 m,砂/地比值在 0.2~0.4 之间,为富含砂质的三角洲沉积,主要分布在齐家古龙凹陷的南部(图 5(d))。在 Sq4 层序中,砂体进积次数少、厚度薄,当砂/地比值达到 0.025~0.04 时,即可识别出泥质三角洲的形态和轮廓,可将砂/地比值 0.04 定为泥质三角洲与湖泊沉积的识别界限。从砂/地比值的平面分布看,在泥质三角洲区域内,低砂/地比值区分布的范围最广,表明三角洲前缘相较发育,泥质三角洲间湾和边缘含砂量较少,砂岩横向连续性差,在盆地内三角洲自东向西延伸 10~25 km (图 5(b)和(c))。泥质三角洲通常多期相互叠置,不同期次没有明显界限,与湖泊相平缓相接。

大庆长垣地区嫩江组二、三段沉积物总体上以泥质、粉砂等细粒沉积物为主,向上砂体含量逐渐增加。整体上砂岩含量低,砂层薄,粒度细,主要为粉砂岩和泥质粉砂岩,粗砂岩不发育。在地震剖面中,同相轴具一定角度倾斜延伸,指示大型前积层



(a) 大 154 井嫩江组半深湖黑色泥岩(1604.5 m); (b) 葡 311 井嫩江组叶肢介生物化石(470.1 m); (c) 大 154 井嫩江组粉砂岩波状层理(1128 m); (d) 放 2 井嫩江组粉砂岩生物遗迹(1159 m)

图 3 嫩江组二、三段岩芯及沉积构造特征

Fig. 3 Core and sedimentary structure characteristics of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation

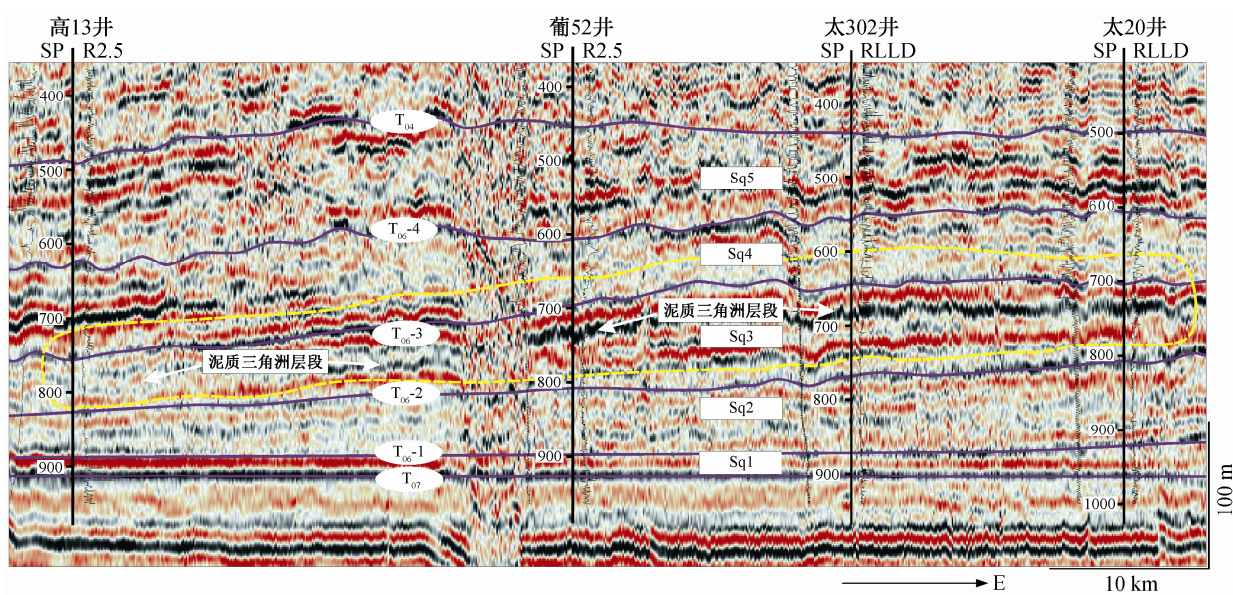


图 4 嫩江组二、三段地震剖面及层序格架剖面

Fig. 4 Seismic profile and sequence framework of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation

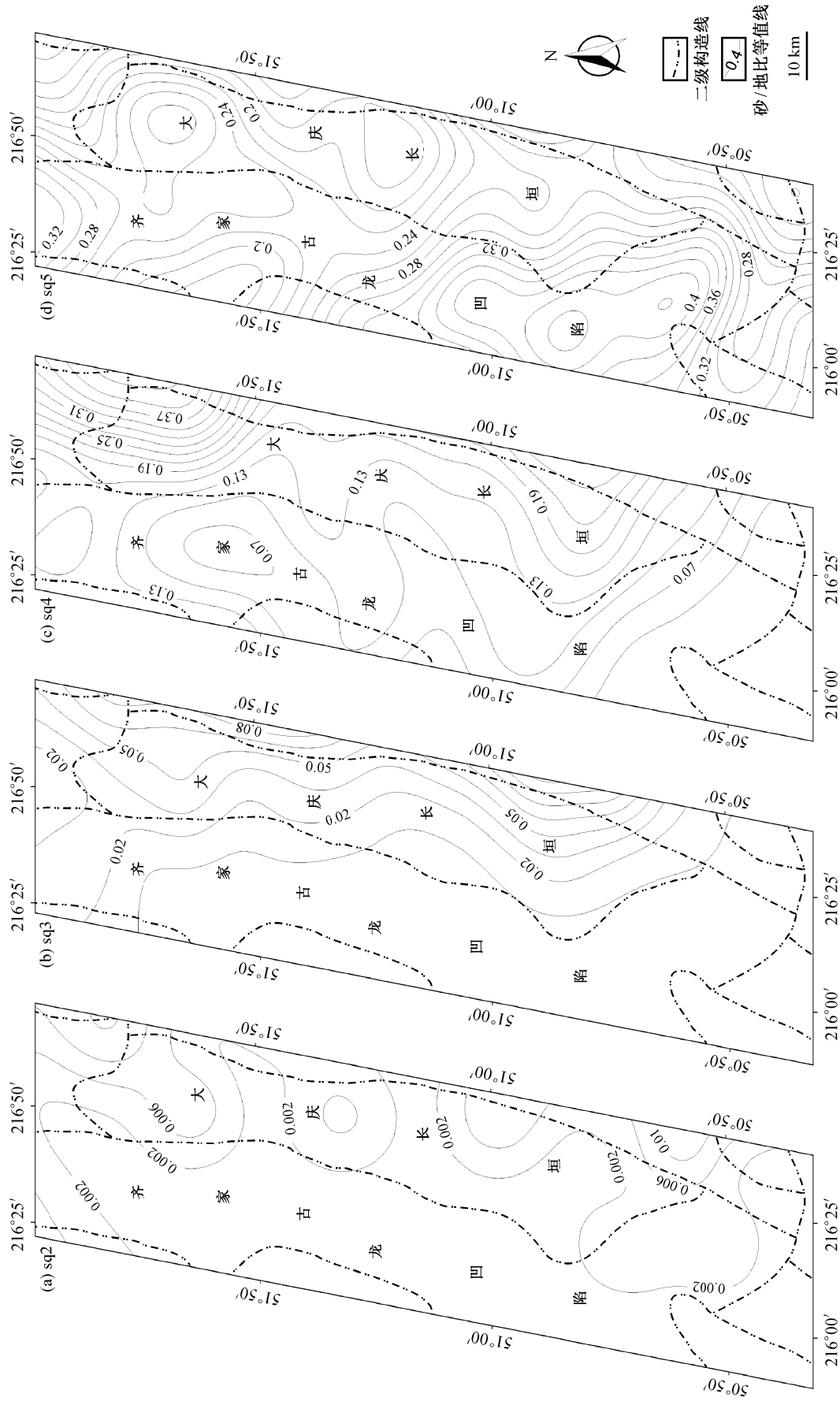


图 5 嫩江组二、三段 2~5 层序砂/地比等值线
Fig. 5 The 2-5 sequence sand ratio of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation

发育。前积层一般发育于三角洲相带之中,湖相成因泥岩通常具有厚度均匀的披覆沉积特征,在层序中没有明显的增厚、收敛尖灭或削蚀特征,因此在大庆长垣地区大量泥质沉积物反映的并非传统认为的深湖-半深湖或三角洲沉积,而是在构造、物源等因素影响下的泥质三角洲沉积(河流入海(湖)处半深湖-滨浅湖背景下形成的具有一定角度前积结构的富泥贫砂沉积称为泥质三角洲沉积)。

3 泥质三角洲沉积机理

3.1 沉积机理讨论

松辽盆地嫩江组二、三段沉积时期处于构造稳定的凹陷阶段,为湖泊向三角洲沉积体系转变期,嫩江组二段底部广泛发育的油页岩是最大湖发育阶段的标志,同时也预示湖退阶段的开始,泥质三角洲和正常三角洲发育在此次湖退沉积序列中。

泥质三角洲的形成可能与湖底水道有关,在大庆长垣地区内嫩江组一段已发现大型湖底水道系统(CNSD系统),呈不断分叉树状,其延伸直线距离最高可达71 km。湖底水道形成的动力机制可能为地表河流直接入湖^[15-16]。由于挟沙河水密度总是大于湖水,湖水顶托作用力小,因此河流入湖后仍可保持较高的流速沿湖底流动,河流仍以河道的形式沿湖底延伸,以水下河道沉积为主,河口坝相对不发育,细粒沉积物多沉积在湖底水道及分支水道末端,湖泊能量小,对沉积物破坏及改造作用有限,最终形成这种富泥贫砂的泥质三角洲。

细粒的物源供给也是泥质三角洲形成的重要因素之一。嫩江组二、三段时期,随着盆地东部物源区的抬升^[17],火山岩风化的细粒物质进入河流,形成高载荷、低密度的河流,类似于现今黄河内搬运的细粒沉积物^[3]。入湖后搬运物中的悬浮组分和部分跳跃组分并没有立即沉积,而是沿着湖底水道进入盆地腹部半深湖-浅湖中,并沉积于湖底分支水道的末端,形成前积结构的泥质层段,夹有少量陆源碎屑,构成泥质三角洲主体。在剖面上,泥质三角洲前缘的分流河道、河口砂坝和席状砂的砂岩规模都比较小,厚度薄,难以区分,常多期叠置、连片带状分布。

随着盆地东部的继续抬升和三角洲的不断进积,河流搬运能力逐渐增大,三角洲含砂量逐渐增多,并向正常三角洲过渡。当沉积物粒度继续增大时,进入湖泊后搬运距离减小,最后形成正常的三

角洲沉积(图6)。

3.2 沉积特征对比

泥质三角洲与其他三角洲沉积机理有明显区别(表1)。泥质三角洲主要发育于网状河水系,沉积物颗粒更细,以低密度悬浮沉积为主。浅水湖泊三角洲主要发育于曲流河水系,沉积物颗粒较细,地形坡度较小,喷流机制为似等密度流,水体密度较大,以河流和湖浪作用为主,砂/地比为0.0593~0.353,平均0.212^[18]。吉尔伯特型三角洲具有明显转折的三层结构,可以概括为具有陡、短、粗的特点^[19],其形态受水下分流河道控制,受湖浪、湖岸流的共同作用^[20-21]。泥质三角洲三层结构没有明显转折,其形态主要受水下分流河道控制,沉积于相对稳定的环境中,湖浪作用相对不强。此外,泥质三角洲的形态还可能与潮汐改造作用有关。

大庆长垣地区泥质三角洲形成于持续、稳定的构造背景中,形成于湖底小型水道及分支河道末端,以低密度流悬浮沉积为主,沉积物颗粒较正常三角洲细,以泥质岩类为主,夹有薄层透镜状泥质粉砂岩或粉砂质泥岩。泥质三角洲层序角度一般小于1°,顶积层、前积层和底积层之间平缓过渡,前积层厚度较大,是沉积速率最高区(图7),构成泥质三角洲沉积的主体,通常形成泥质楔。在大庆长垣地区嫩江组二、三段沉积时期,泥质三角洲形态同时受到湖岸流等因素改造^[22-23],平面上呈南北向带状分布(图5)。本研究以平面砂/地比特征为基础,建立了嫩江组泥质三角洲沉积模式(图7)。

4 结论

泥质三角洲的出现,说明盆地边缘低能量进积背景中地震前积反射结构具有砂质和泥质两种可能性。通过总结浅湖-半深湖背景下的泥质三角洲特征,可以概括如下结论。

1) 松辽盆地嫩江组二、三段沉积时段处于大型拗陷期,细粒的物源供给为泥质三角洲形成提供了必要条件和物质基础。泥质三角洲主要形成于水下网状河末端,是低密度流型悬浮沉积,三角洲前缘亚相最发育。泥质三角洲向湖延伸可达10~25 km,常多期相互叠置,沿湖盆边界呈带状分布,不同期次之间没有明显界限。

2) 泥质三角洲具有富泥贫砂特征,砂/地比在0.04~0.15之间,最低可到0.025。在岩性上以泥质

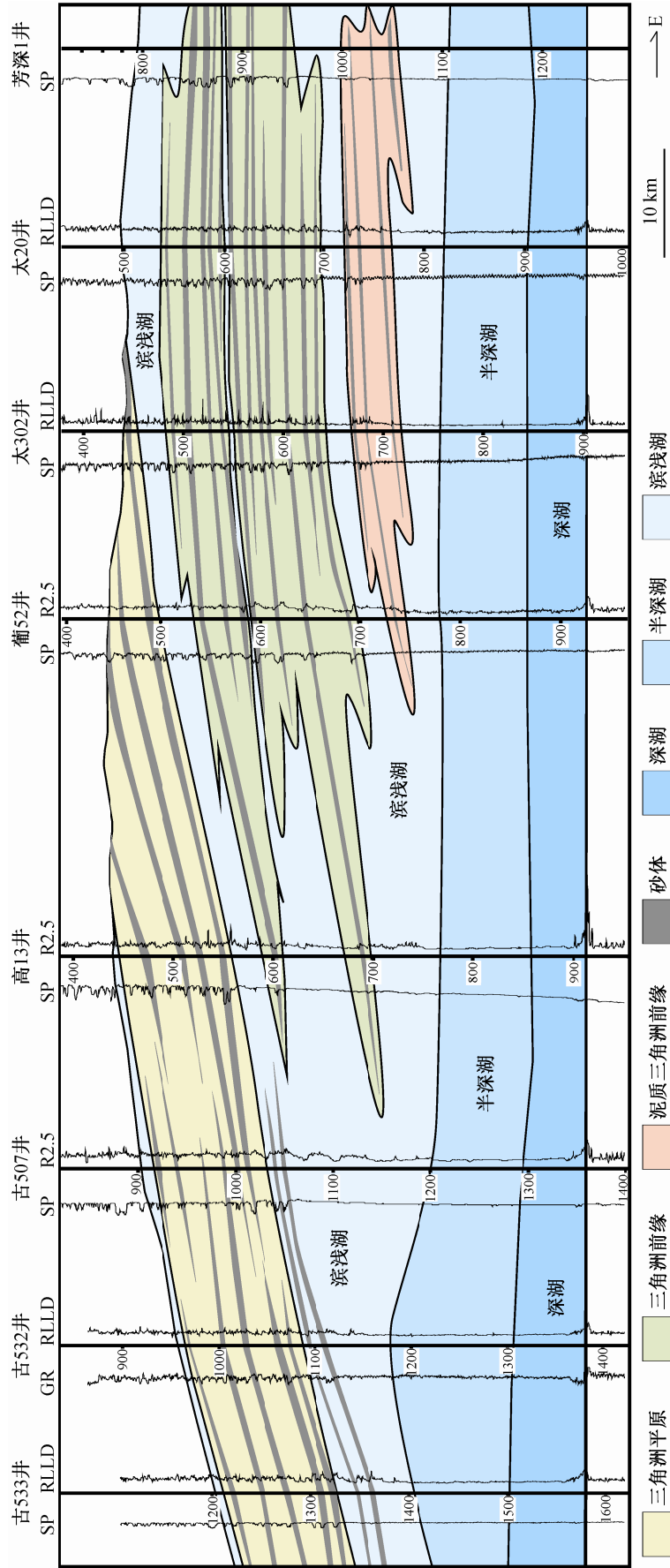


图 6 嫩江组二、三段沉积相剖面
 Fig. 6 Sedimentary facies profile of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation

表 1 浅水湖泊三角洲与泥质三角洲沉积特征对比
Table 1 Comparison of shallow lake delta and muddy deltaic characteristics

沉积特征	浅水湖泊三角洲	泥质三角洲
喷流机制	似等密度流或高密度流型，轴状喷流或平面喷流	低密度流型悬浮沉积，以平面喷流为主
分流河道	多为水下弯曲分流河道	湖底多分枝的顺直分流河道
格架定向	与沉积斜坡倾向平行，三角洲平原发育，多呈扇形分布	与斜坡走向平行，常连片带状分布，三角洲平原不发育，以三角洲前缘相为主
主要沉积物	砂质至混合质，砂/地比值在 0.0593~0.353 之间	以泥质岩类为主，夹薄层粉砂岩，砂/地比值在 0.04~0.15 之间
层序特征	前积层进积角度可以达到 10°~25°	前积层发育，进积角度一般小于 1°
沉积背景	滨浅湖	浅湖—半深湖、大陆架

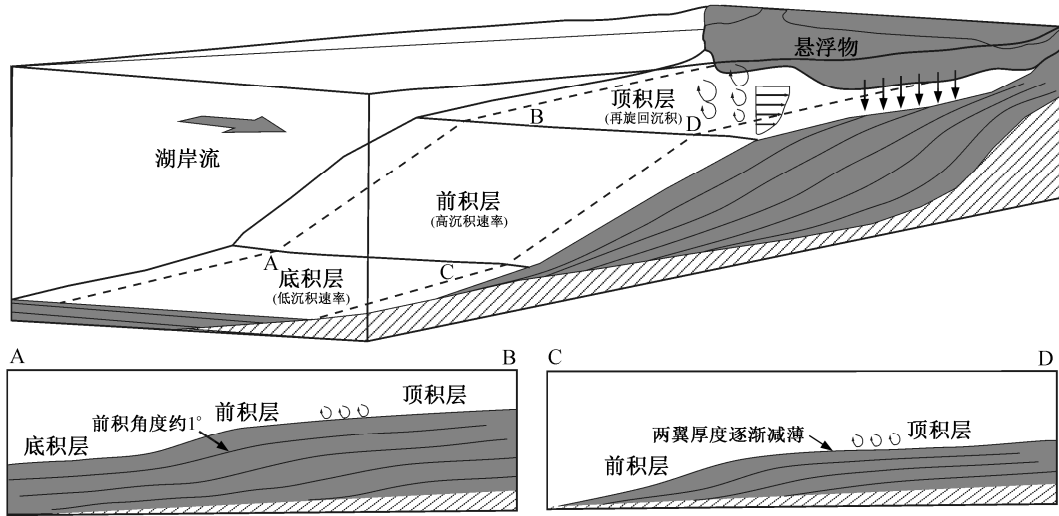


图 7 嫩江组二、三段泥质三角洲沉积模式

Fig. 7 Muddy deltaic depositional model of the Member 2, 3 of Nenjiang Formation

岩类为主(砂/地比可达 0.8~0.95)，区别于正常三角洲沉积。泥质三角洲发育层段在 seismic 剖面中具有前积特征，前积的角度一般为 1° 左右。同相轴具有一定角度延伸叠加，前积层广泛发育，沉积厚度大，构成泥质三角洲沉积主体。泥质三角洲模式对三角洲储集层预测有所启示，靠近湖相源岩层段，中—薄层砂岩分布面积广，三角洲前缘席状砂是有利储层。由于泥岩封闭，横向连续性不稳定。

致谢 衷心感谢大庆油田公司勘探开发研究院提供资料，并感谢该院张顺老师和有关人员给予的建议与支持。

参考文献

[1] Richardson J G, Sangree J B, Sneider R M. Mud-rich deltas. *Journal of Petroleum Technology*, 1989, 41(4): 334-335

[2] 孙钊奇, 栾锡武. 泥质楔的形态及形成演化过程分析 // 中国地球物理学会第二十七届年会论文集. 长沙, 2011: 950

[3] Liu J P, Milliman J D, Gao S, et al. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea. *Marine Geology*, 2004, 209: 45-67

[4] Xu K H, Li A C, Liu J P, et al. Provenance, structure, and formation of the mud wedge along inner continental shelf of the East China Sea: a synthesis of the Yangtze dispersal system. *Marine Geology*, 2012, 291: 176-191

[5] Ridente D, Trincardi F. Pleistocene "muddy" forced-regression deposits on the Adriatic shelf: a comparison with prodelta deposits of the late Holocene highstand mud wedge. *Marine Geology*, 2005, 222: 213-233

[6] Morse J W, Gledhill D K, Sell K S, et al. Pyritization

- of iron in sediments from the continental slope of the Northern Gulf of Mexico. *Aquatic Geochemistry*, 2002, 8(1): 3–13
- [7] Feng Zhiqiang, Jia Chengzao, Xie Xinong, et al. Tectonostratigraphic units and stratigraphic sequences of the nonmarine Songliao Basin. *Basin Research*, 2010, 22(1): 79–95
- [8] 林春明, 冯志强, 张顺, 等. 松辽盆地北部白垩纪超层序特征. *古地理学报*, 2007, 9(6): 619–634
- [9] 彭国亮, 吴朝东, 张顺, 等. 松辽盆地北部上白垩统嫩江组二、三段物源分析. *北京大学学报: 自然科学版*, 2010, 46(4): 555–562
- [10] Wang Chengshan, Feng Zhiqiang, Zhang Laiming, et al. Cretaceous paleogeography and paleoclimate and the setting of SK1 borehole sites in Songliao Basin, northeast China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2013, 385: 17–30
- [11] Scott R W, Wan X Q, Wang C S, et al. Late Cretaceous chronostratigraphy (Turonian-Maastrichtian): SK1 core Songliao Basin, China. *Geoscience Frontiers*, 2012, 3(4): 357–367
- [12] 彭国亮, 莫午零, 吴朝东. 松辽盆地北部上白垩统嫩江组物源及古流向分析. *石油实验地质*, 2012, 34(1): 40–46
- [13] López P C, Cuevas J L, Guerrero E R. 3D modelling of grain size distribution in Quaternary deltaic deposits (Llobregat Delta, NE Spain). *Geologica Acta*, 2007, 5(3): 231–244
- [14] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 1957, 27(1): 3–26
- [15] 侯艳平, 冯志强, 张顺. 松辽盆地嫩江组大型陆相坳陷湖盆湖底水道的发现及其石油地质意义. *地质学报*, 2006, 80(8): 1226–1232
- [16] 莫午零, 吴朝东, 张顺. 松辽盆地齐家-古龙凹陷上白垩统嫩江组沉积相地震成像. *古地理学报*, 2010, 12(4): 399–408
- [17] 任国选, 郭峰, 陈世悦. 松辽盆地滨北地区白垩系泉头组-嫩江组沉积特征. *大庆石油地质与开发*, 2007, 26(01): 40–44
- [18] 胡忠贵, 胡明毅, 胡九珍, 等. 潜江凹陷东部地区新沟咀组下段浅水三角洲沉积模式. *中国地质*, 2011, 38(5): 1263–1273
- [19] Breda A, Mellere D, Massari F. Facies and processes in a Gilbert-delta-filled incised valley (Pliocene of Ventimiglia, NW Italy). *Sedimentary Geology*, 2007, 200(1): 31–55
- [20] Colella A, Boer P L. Sedimentology of a marine intermontane Pleistocene Gilbert-type fan-delta complex in the Crati Basin, Calabria, southern Italy. *Sedimentology*, 1987, 34(4): 721–736
- [21] 薛允传, 贾建军, 高抒. 山东月湖的沉积物分布特征及搬运趋势. *地理研究*, 2002, 21(6): 707–714
- [22] Lemons D R, Chan M A. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine-grained lacustrine deltas along the eastern margin of late Pleistocene Lake Bonneville, northern Utah and southern Idaho. *AAPG bulletin*, 1999, 83(4): 635–665
- [23] 柳成志, 辛仁臣, 王刚. 松辽盆地北部头台地区扶余油层浅水湖泊三角洲沉积特征. *大庆石油学院学报*, 1998, 22(1): 70–72