

文章编号:1000-0550(2014)06-1153-09

松辽盆地北部泉头组—嫩江组河流与湖泊 —三角洲相地震沉积学特征

魏巍^{1,3} 张顺² 张晨晨^{1,3} 吴朝东^{1,3}

(1.北京大学地球与空间科学学院 北京 100871;2.中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712;
3.北京大学石油与天然气研究中心 北京 100871)

摘要 通过在三维地震数据采集、处理及解释过程中应用和改善了多项技术来提高分辨率和成像效果,对松辽盆地北部泉头组—嫩江组大型河流及大型湖泊—三角洲相沉积砂体的空间形态、内部结构及相带展布进行了地震沉积学的研究,从而避免了传统研究手段所导致的地质体空间形态及相带展布主观臆断的不足。研究发现储集层主要是大型曲流河点坝砂体、进积型及退积型三角洲砂体及湖相区内的重力流砂体,认识到进积型三角洲具有典型的高角度朵状及鸟足状河控型特点,前缘相带窄小、平原相带宽阔、水下分流河道不发育,退积型三角洲具有低角度垂柳状湖控型特点,前缘相带宽阔、平原相带窄小、水下分流河道发育。同时在青山口组及嫩江组二、三段水退旋回发现了大规模滑塌扇、浊积扇,在姚家组及嫩江组一段水进旋回发现了大规模浊积水道,这不仅为松辽盆地北部油气勘探开辟了新领域,同时为非常规储层研究及寻找资源潜力指明了方向。

关键词 三角洲体系 重力流体系 河流体系 地震沉积学 松辽盆地

第一作者简介 魏巍 男 1988年出生 博士 陆相盆地油气沉积地质 E-mail: ww-anubis@163.com

中图分类号 P631 **文献标识码** A

0 引言

松辽盆地经过半个多世纪的系统研究及勘探开发实践,积累了丰富的资料及实际经验,在盆地演化、层序地层、油气成藏等方面取得了很多创新性成果,特别是近年来传统沉积地质学向地震沉积学发展方面取得了很大的进展^[1-6]。主要是应用 VisualVoxAt (VVA) 及 Landmark 地震解释软件,发挥振幅属性、分频体、相干体、甜心体等地层切片技术优势,在近 20 000 km² 三维地震基础上对河流、三角洲、湖泊等沉积地质体进行预测和精细刻画,对陆相河流、三角洲、重力流等沉积体系的类型、结构、规模等方面取得了创新性认识。本文通过总结松辽盆地多年来基础地质研究成果,力图对地震沉积学的发展及陆相含油气盆地勘探起到积极的促进和指导作用。

1 沉积环境

1.1 盆地概况

松辽盆地位于中国东北,面积 26×10^4 km²,属于中、新生代大型陆相拗型盆地,沉积盖层最大厚度超

过 10 000 m。划分 6 个一级构造单元,31 个二级构造单元(图 1)。盆地经历了早白垩世断陷、晚白垩世拗陷和晚白垩世末期四方台组到新生代的反转 3 个构造演化阶段,相应形成了断陷、拗陷和反转 3 套地层。断陷期地层主要分布在各断陷内的火山岩、砂砾岩、粗砂岩及泥岩夹煤系地层,由于各断陷分散,相互连通性较差,且规模差异较大,导致地层分布不均一。反转期地层主要由河流与浅水湖泊及三角洲形成,由于盆地晚期抬升及构造作用的不均衡性,导致这套地层厚度较小,具有西部厚东部薄的特点。拗陷期地层由泉头组、青山口组、姚家组及嫩江组的大型河流及三角洲砂岩与大型湖泊泥岩及油页岩交互叠置形成,整套地层厚度超过 3 000 m,此时各断陷连成一个完整的盆地,经历了嫩江组一段及青山口组一段两次湖泛期,沉积了盆地范围内广泛分布的油页岩,既是地层对比标准层和层序识别典型界面,又是优质烃源岩和良好盖层^[7,8](图 2,3)。

1.2 大型河流相沉积特征

松辽盆地大型河流相沉积主要发育在下白垩统拗陷阶段初期的泉头组,厚度 1 084~1 800 m,总体呈

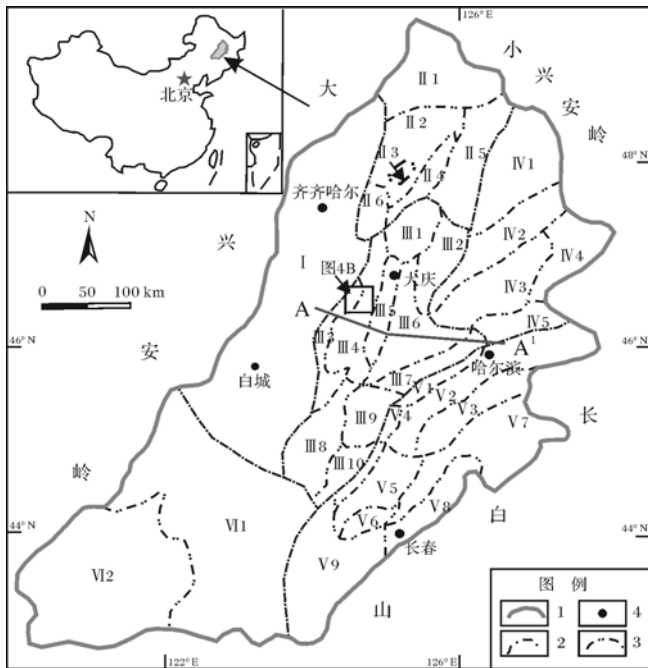


图1 松辽盆地构造单元分布图

1.盆地边界;2.盆地一级构造边界;3.盆地二级构造边界;4.城市
 I.西部斜坡;II.北部倾没区;III.中央凹陷区;IV.东北隆起区;V.东南隆起区;VI.西南隆起区;II 1. 恫江阶地;II 2. 依安凹陷;II 3. 三兴背斜;II 4. 克山依龙背斜带;II 5. 乾元背斜带;II 6. 乌裕尔凹陷;III 1. 黑鱼泡凹陷;III 2. 明水阶地;III 3. 龙虎泡—大安阶地;III 4. 齐家—古龙凹陷;III 5. 大庆长垣;III 6. 三肇凹陷;III 7. 朝阳沟阶地;III 8. 长岭凹陷;III 9. 扶余隆起;III 10. 双坨子阶地;IV 1. 海伦隆起;IV 2. 绥棱背斜;IV 3. 绥化凹陷;IV 4. 庆安隆起;IV 5. 呼兰隆起;V 1. 长春岭背斜带;V 2. 滨县—王府凹陷;V 3. 青山口隆起;V 4. 登娄库背斜带;V 5. 钓鱼台隆起带;V 6. 杨大城子背斜带;V 7. 榆树—德惠凹陷;V 8. 九台阶地;V 9. 德惠—梨树凹陷;VI 1. 伽马吐隆起;VI 2. 开鲁凹陷

Fig.1 The locations of tectonic units in Songliao Basin

向上变细的水进沉积旋回^[9]。泉头组沉积初期,逐渐形成了统一的稳定拗陷盆地,但沉积范围仍局限于中央拗陷区内,具多沉降中心特点,沉降、沉积作用受基底断裂影响。泉头组一段古中央隆起对东西部沉降区仍有分割作用,但沉积范围有所扩大,自盆地边缘向中心,依次出现冲积扇—冲积平原—零星分布的浅水湖泊,冲积平原相为主要相带,以曲流河沉积为主,泉头组二段盆地局部出现小范围的较深水湖相沉积。泉头组三、四段进入湖盆整体拗陷时期,最大厚度600 m,主要发育辫状河、曲流河、浅水三角洲及浅水及较深水湖泊四种沉积相类型,其中以曲流河和浅水三角洲沉积相最为发育,主要砂体类型为河道砂体。泉头组四段沉积末期在中央拗陷内形成统一的湖泊水体,盆地边缘发育的辫状河向盆内汇集,依次

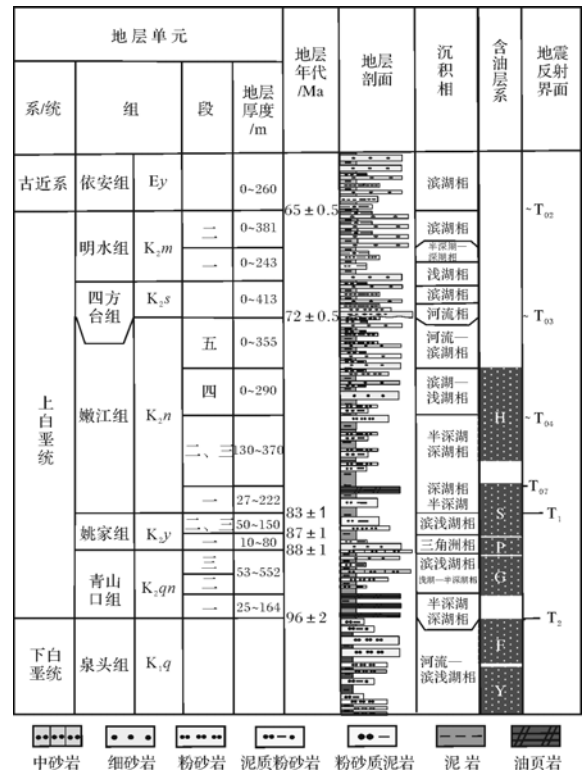


图2 松辽盆地拗陷层地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the depression strata in Songliao Basin

演化成曲流河、网状河、浅水三角洲及湖泊(图2、图3A)。

1.3 大型湖泊—三角洲相沉积特征

松辽盆地大型湖泊三角洲沉积主要发育在上白垩统青山口组、姚家组及嫩江组,青山口组是沉积基准面从最高到缓慢下降过程中沉积的一套地层,厚度一般为250~550 m。青山口组一段湖泊最大(图3B),面积约68 000 km²,主要在中央拗陷区沉积了深湖至半深湖相的暗色泥岩及油页岩,厚度一般为50~130 m,局部最大厚度达到150 m,在盆地周边发育三角洲复合体环绕湖相区呈半环状分布。青山口组二、三段处于沉积基准面下降后期,厚度100~450 m,中央拗陷区平均厚度超过200 m,湖区面积大幅度缩小,不到青山口组一段最大时的三分之一。此时西北部湖泊消失,形成了一个约400 km²的湖湾,西部扇三角洲沉积规模没有明显变化,西南部的三角洲向湖区推进了约50 km,成为盆地南部高台子油层油藏集中分布区,北部大庆一带的三角洲向湖区推进了约60 km(图3C)。青山口组整套地层湖相泥岩最大厚度可达550 m,主要分布在三肇凹陷,在中央拗陷区

优质烃源岩可达 200 m,是松辽盆地拗陷层主力生油层^[8]。姚家组是沉积基准面下降到逐渐上升过程中沉积的一套地层,具多物源、多沉积体系特点^[10,11],

厚度 17~218 m,中央拗陷区平均厚度在 150 m,盆地边缘较薄,一般在 30~80 m,整体呈中间厚边部薄的分布特征。姚家组一段在盆地大部分地区与下伏地

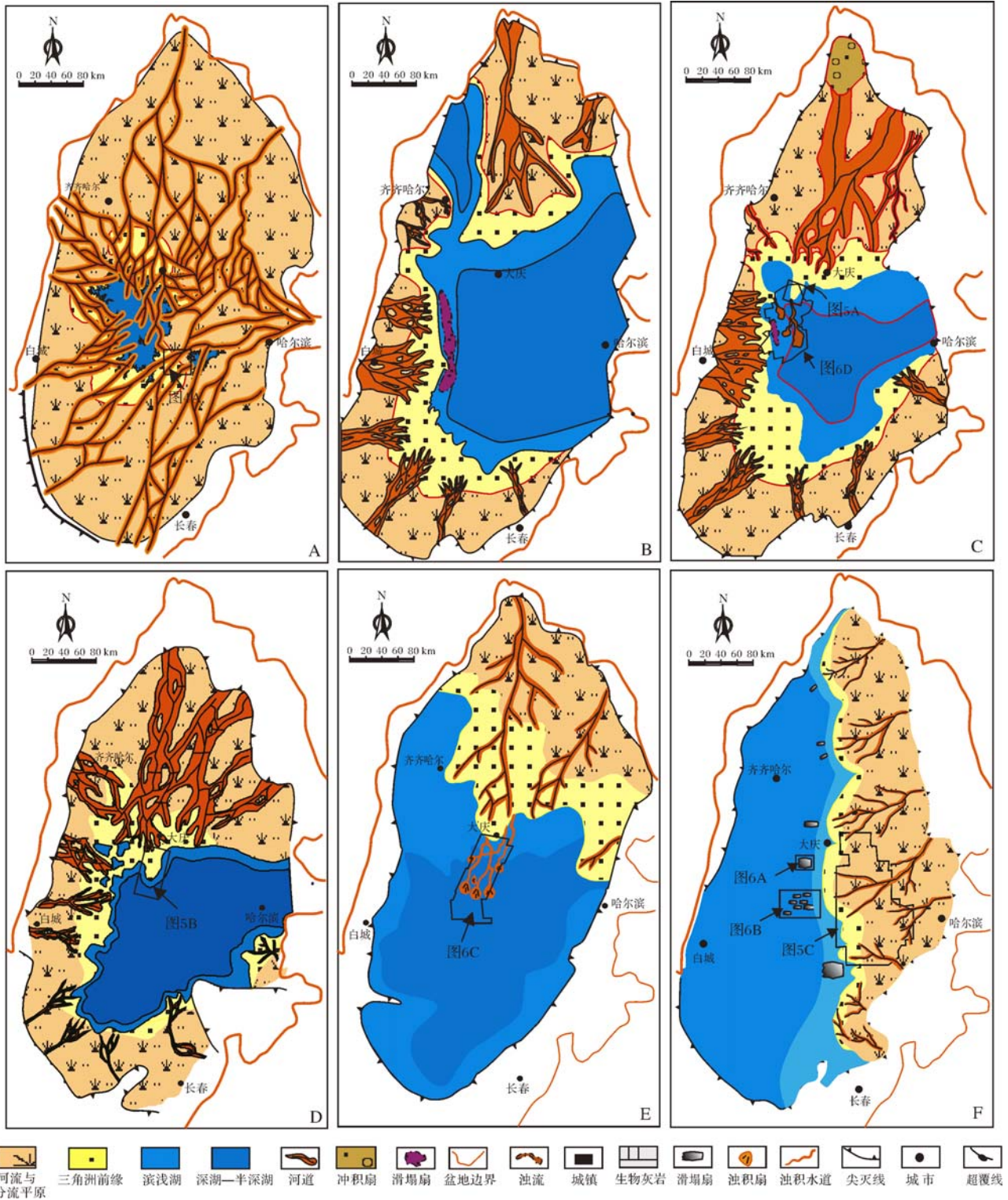


图 3 松辽盆地拗陷层沉积相图

A. 泉头组 4 段; B. 青山口组 1 段; C. 青山口组 2 段; D. 姚家组 2+3 段; E. 嫩江组 1 段; F. 嫩江组 2 段

Fig.3 Sedimentary facies diagram of the depression strata in Songliao Basin

层呈不整合接触,仅在盆地中心部位为整合接触。地层厚度在中央拗陷区为40~80 m,平均约为65 m,在周边地区厚度一般10~30 m。湖区分布面积远远小于下伏的青山口组,最小时面积不足10 000 km²,来自北部沿大庆向南发育的大型三角洲延伸长度超过200 km,最大宽度近150 km。姚家组二、三段厚度一般50~200 m,平均在130 m,此时盆地处于水进期,各三角洲沉积体系不同程度后退,西部与姚家组一段相比湖岸线后退了20~40 km,南部后退了30 km,东部后退了60 km,规模也减小了很多,北部岸线后退约70 km。整体上姚家组二、三段与姚家组一段具有相似的环带状分布特征,但相比三角洲相带变窄,湖相区扩大一倍以上,出现了深湖区(图3D)。

嫩江组沉积于拗陷阶段晚期,具有基准面升降过程形成的水进—水退旋回特征,地层厚度279~1 294 m^[12]。嫩江组一段沉积时期,湖盆继承了姚家组后期基准面快速上升的趋势,湖水迅速扩张并近乎覆盖全盆地,只发育北部水系,但相对于姚家组二、三段三角洲向后退却了60~80 km(图3E),这是松辽盆地继青山口组一段之后发生的第二次大规模湖侵^[13~15]。嫩江组二、三段沉积时期,由于盆地东部开始抬升,导致沉积范围自东向西逐渐减小,沉降中心逐渐向西迁移并收缩,使地层分布和湖区呈现南北延伸的狭长状,物源方向由原来的南北向改为东西向,由于沉积物快速向湖区推进,形成高角度进积型三角洲(图3F)。嫩江组四、五段沉积时期,在现今盆地范围内湖泊几乎消失,只在南部及北部局部地区出现滨浅湖及零星分布的浅水湖泊,沉积相主要以滨浅湖三

角洲及河流为主,分布面积不足 5×10^3 km²,在盆地周边分布大面积剥蚀区。

2 河流沉积体系地震沉积学特征

松辽盆地拗陷层河流沉积体系主要分布在泉头组及嫩江组四段以上地层,特别在泉头组四段,由于沉积基准面快速上升,形成浅水三角洲沉积环境,储层砂体薄、含泥量高,导致物性较差,形成低渗透砂泥薄互储层为主的岩性油藏,因此,利用三维地震寻找物性好的河道砂体并进行精细刻画是油气勘探的关键技术。但由于泉头组埋藏深,一般超过2 000 m,同时由于受上覆青山口组厚度超过3 00 m的湖相泥岩地层屏蔽作用,导致储层预测误差较大,针对这一难题在地震沉积学研究中在数据采集、处理及解释过程中应用和改善了多项技术来提高分辨率和成像效果,比如应用炮域和检波域分步反褶积技术,拓宽了有效频带,采取了非对称走时叠前时间偏移技术,提高了复杂介质条件下的地震波成像精度,使河流点坝砂体得到了清晰成像。通过上述多项技术应用使点坝砂体在砂岩厚度、规模、空间形态及位置有了准确的认识(图4A),钻探符合率达100%,近几年在朝阳沟、长春岭、大庆长垣及三肇凹陷等地区利用地震沉积学分析技术对河道砂体进行准确识别,发现了超过 3×10^8 t石油控制储量。

在河流相地震沉积学研究中通过对现代河流松花江中段大型曲流河点坝相结构的解剖及嫩江组河流沉积体系点坝地震相精细刻画(图4B),确定了点坝内部结构与水流方向之间的因果关系,并根据这

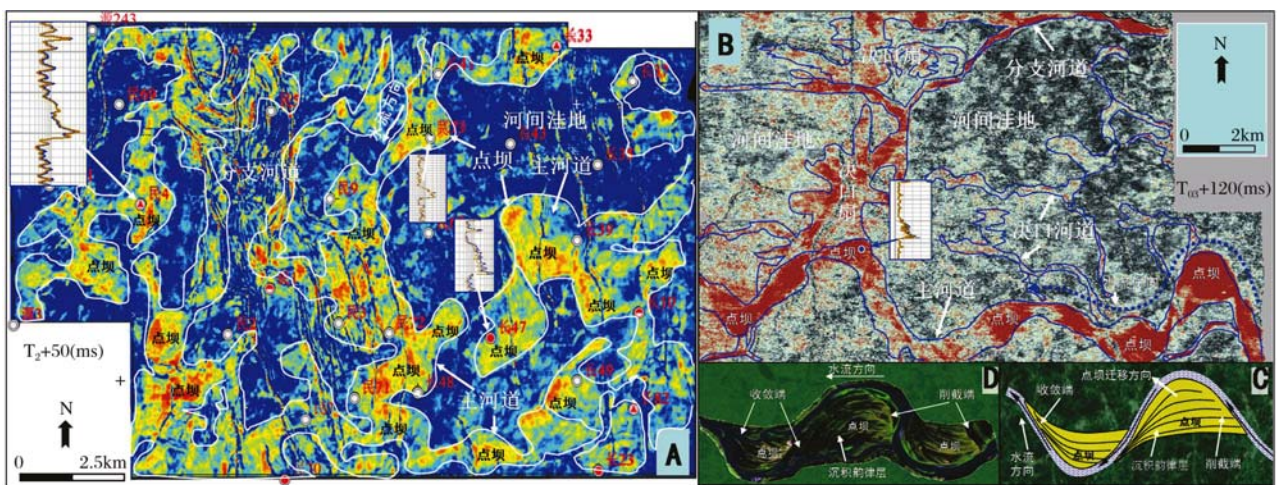


图4 松辽盆地北部河流相三维地震沿层切片

A.泉头组4段振幅沿层平面显示,位置见图3A; B.嫩江组四段频率沿层平面显示,位置见图1; C.点坝模式图; D.松花江中段点坝航拍图片。

Fig.4 3D seismic attribute stratigraphic slice of fluvial facies in North Songliao Basin

些特点判断古水流方向,从而为沉积环境恢复提供了可靠依据。在来水方向上点坝沉积韵律层与流水线相交汇,具有被水流削截的特征,在去水的方向上点坝呈锐角状,而且沉积韵律层与流水线相切,具有向流水线收敛的特征。河流的这些特点是由河流的动力学及点坝结构所决定的,一般曲流河点坝都分布在凸岸,但点坝迎水端是处于被侵蚀的凹岸末端,随着河流曲率增加凹岸向点坝迎水端迁移并使其遭受侵蚀,从而形成削截的结构特征。点坝的去水端是处于加积凸岸末端,随着河流曲率增加这一端随着水流方向增长并向凸岸方向迁移,由此形成向着水流方向收敛的锐角结构(图 4B~D)。由此建立了判别古水流方向的点坝地震相几何结构模型,通过此方法恢复了嫩江组上部地层的古河道水流方向,同时为河流相地震沉积学研究提供了一种新方法。

3 三角洲沉积体系地震沉积学特征

松辽盆地坳陷层三角洲沉积体系主要发育在青山口组、姚家组及嫩江组。嫩江组一段与姚家组二、三段处于基准面上升的湖进旋回,形成了退积型层序,以退积型三角洲沉积为特征。青山口组及嫩江组二、三段处于基准面下降的湖退旋回,形成了进积型层

序,以进积型三角洲沉积为特征。传统上在勘探阶段只是利用探井及二维地震资料做沉积相恢复,由于这两项资料只是在点和线上做工作,缺少面和体的信息,同时由于探井井距一般大于 5 km,所以在对三角洲空间形态、内部结构及相带展布认识上难免有人为主观因素的干扰,导致对沉积体系的恢复与实际存在一定差别,从而对勘探钻井部署产生误导。目前松辽盆地北部部署了大量的三维地震,整个中央凹陷区都被三维地震覆盖,因此,地震沉积学研究主要是利用三维地震信息,采取振幅、分频、相干体等技术做地层沿层属性切片及立体显示对三角洲形态及结构进行精细刻画。通过研究发现退积型三角洲具有典型的湖控型特点,从图 5B 中可以看到湖控型三角洲特点是发育大量水下分流河道,河道细长而清晰、分支较少、弯度低,多呈垂柳枝状,以近似平行的方向呈低角度延伸到浅湖区,河道砂体厚度一般不超过 5 m,发育大面积薄层席状砂。测井及岩芯揭示这种类型的三角洲前缘相带宽阔、平原相带窄小(图 5B,E)。

进积型三角洲具有典型的鸟足状及朵状形态(图 5A,C),河道形态明显粗大、分支较多,呈扇状展开。通过测井及地震剖面解释分析,发现这类三角洲具有前缘相带窄小、平原相带宽阔、水下分流河道

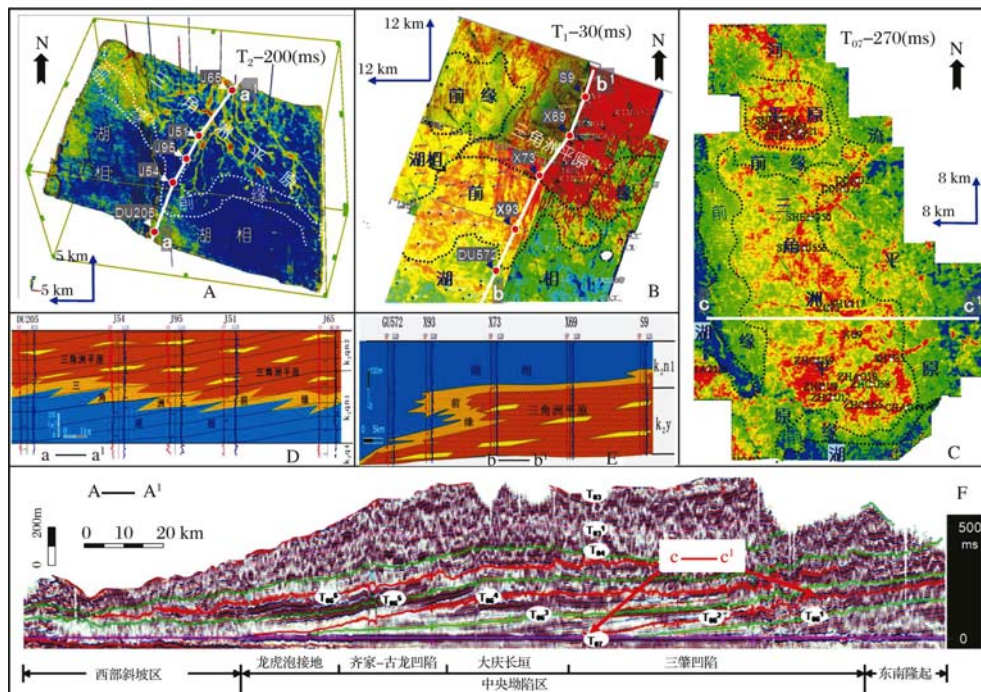


图 5 松辽盆地北部不同类型三角洲相三维地震沿层切片

A.青山口组 2 段相干体沿层立体显示,位置见图 3C;B.姚家组 2+3 段振幅沿层平面显示,位置见图 3D;
C.嫩江组 2 段振幅沿层平面显示,位置见图 3F;F.嫩江组地震剖面,位置见图 1。

Fig.5 3D seismic attribute stratigraphic slice of different types of delta in North Songliao Basin

不发育的河控型特点,河道砂体厚度一般 3~15 m。利用地震及测井剖面做地层原始产状恢复,发现退积型湖控三角洲其前缘迎水面以低角度为特征,倾角不超过 0.3°(图 5E),而进积型河控三角洲其前缘迎水面以高角度为特征,倾角大于 2.5°(图 5D,F)。这是由于进积型三角洲是在青山口组及嫩江组基准面下降过程中形成的,大面积暴露的地表提供了丰富的物源,同时湖盆收缩使沉积体向湖区迅速推进,从而形成河控型鸟足状或朵状三角洲,其前缘由于快速堆积导致迎水面坡度大,形成狭小的条带,而平原相带分布广阔。退积型三角洲是在姚家组二、三段基准面上升过程中形成的,由于湖盆的不断扩大导致剥蚀区缩小,使物源供给不足,同时湖水作用增强导致沉积体向后退却的同时将先期沉积改造,形成平缓宽广的前缘相带,同时发育大量的水下分流河道。因此,利用三维地震属性分析技术不仅可以对大型三角洲进行准确分类,同时还可以对其规模及内部结构进行精细描述,为油气成藏及分布规律研究提供有力的支撑。

4 湖相重力流沉积体系地震沉积学特征

嫩江组及青山口组发育大面积湖相沉积,以往勘

探重点都集中在大型三角洲上,传统的地质观念一直认为在湖相区多为泥岩地层,以生烃及封盖功能为主^[7,8],因此,不论是研究还是钻探工作量都缺乏投入。随着三维地震覆盖规模的不断扩大及解释技术的不断进步,在这两套湖相地层中发现了新的储集层。主要是应用三维地震广义 S 变换、振幅属性、分频体、相干体沿层切片技术发现了大规模的重力流沉积体系,包括浊积水道、浊积扇及滑塌扇等。嫩江组一段湖进旋回形成的退积型湖控三角洲前缘发育大型重力流浊积水道及浊积扇(图 6C),三维地震精细刻画出水道最大直线延伸距离超过 70 km,最大宽度 600 m,通过 2 口取芯井岩芯分析以富砂为主,浊积扇形成于水道末端,规模较小,以泥质沉积为主。嫩江组二、三段湖退旋回形成的进积型河控三角洲,在其前缘由于迎水面角度大在斜坡处发生滑塌,形成一系列滑塌扇体(图 3F、图 6A,B)。滑塌扇主要分布在中央凹陷区的大庆长垣及三肇凹陷南部,呈南北向分布,各扇体规模差异虽然较大,但地震属性均刻画出具有挤压波纹的特征,这说明扇体是以块体的形式移动,在图 6A 上还可看到扇体前端具有放射状沟道,这是由于扇体在滑动中其前端与水体混合发生了液化,液

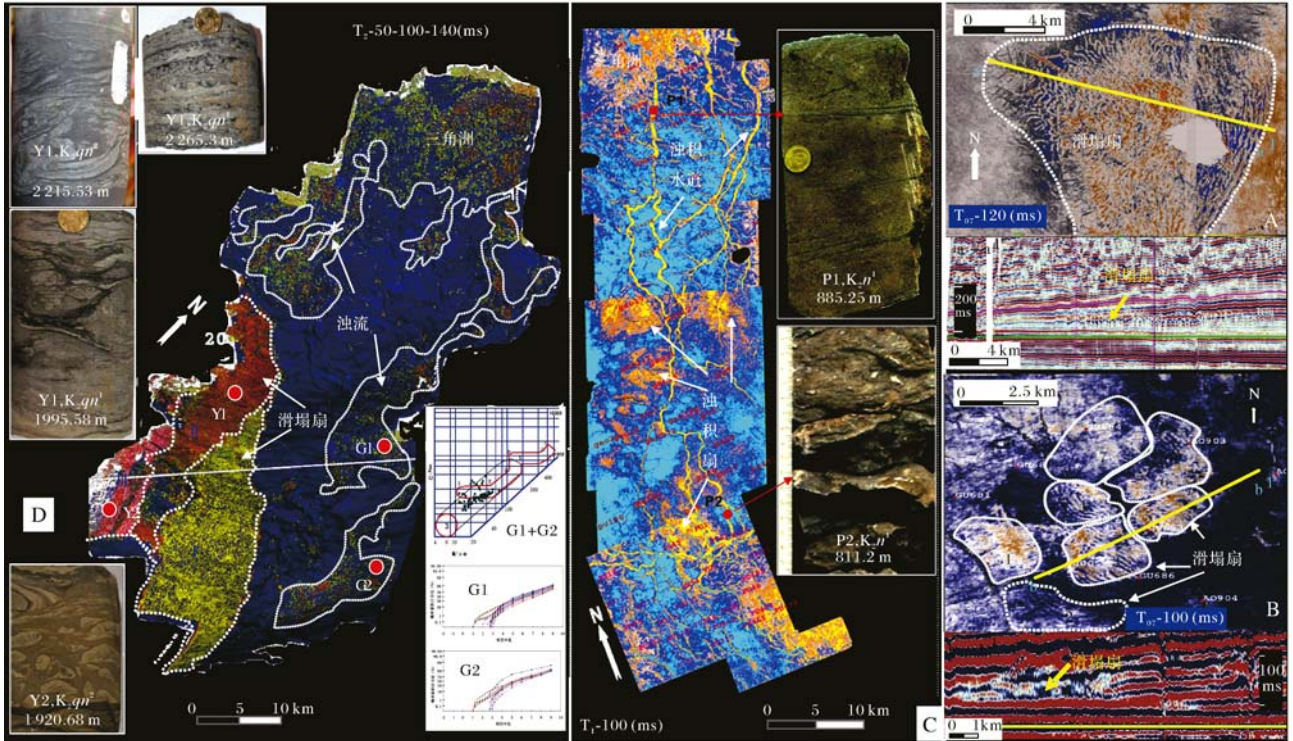


图 6 松辽盆地北部不同类型重力流三维地震沿层切片

A,B.嫩江组 2 段振幅沿层平面显示,位置见图 3F;C.嫩江组 1 段广义 S 变换处理后的振幅沿层平面显示,位置见图 3E;D.青山口组分频叠加立体显示,位置见图 3C。

Fig.6 3D seismic attribute stratigraphic slice of different types of gravity flow in North Songliao Basin

化流形成了冲蚀沟道。在图 6B 上发育着 7 个相互接触或分离的扇体,扇体的波纹走向不同是由于滑动过程中发生过旋转,这也说明这类扇体是远离母体的,滑动距离较远。

盆地西部青山口组湖相区通过三维地震属性分析发现了片状浊流沉积体系,该体系地震剖面上因特征不明显不易被发现,在钻井上由于探井距离一般大于 5 km,很难在空间上形成连续立体的图像,因此,多年来一直没有被认识到,但通过三维地震刻画清晰成像了浊积体的空间展布形态(图 6D)。该浊积体系以窄小长条状片流与三角洲及片状浊积扇体相连,并通过 G1 和 G2 的岩芯粒度分析得以认证(图 6D),岩芯和测井分析储层以泥质粉砂岩及粉砂质泥岩为主,属于非常规储层,目前通过水平井钻探,这套储层得到了有效开发,单井压裂初期原油产量达到了 70 吨,取得了良好的效果。在图 6D 上还可看到西部发育着三套储层(图 6 I, II, III),原来的认识是三角洲相砂体,但从图片上并没有发现水道,而且这三套储层前部边缘与湖相区存在明显的分界,因此,对其三角洲成因提出了质疑,通过钻遇这三套储层的 2 口钻井 Y1 和 Y2 取芯具有大量的球枕及变形构造认为属于滑塌扇成因。从沉积环境上分析,这三套储层位于青山口组沉积基准面上升期,由于进积型三角洲迎水面的高角度导致其前缘砂体发生重力滑塌,滑塌体在前缘坡折处堆积形成沿着坡折走向延伸的条带,因此,储层都具有南北走向的特点,并与湖相地层形成明显的边界,三套储层由下向上规模依次减小, I 面积 400 km²,宽度 2~15 km,延伸长度 45 km,厚度 7~20 m; II 面积 280 km²,宽度 1.5~8 km,延伸长度 40 km,厚度 8~20 m; III 面积 90 km²,宽度 1.3~8 km,延伸长度 20 km,厚度 14~22 m,这种变化特点是受物源的供给能力及三角洲主体摆动控制。储层物性介于三角洲和片状浊流之间,属于低渗透储层,但从地震解释图片上看储层砂体之间没有明显的边界,连通性较好,基于这种认识为指导,在勘探开发中采取水平井与直井相结合的方式获得了较好的效果。

5 地震解释方法适用性分析

在研究中所举实例取得了良好的效果,但是针对不同沉积类型地层所采用的地震解释方法有所区别。广义 S 变换是 S 变换的推广,在地震高分辨处理中得到了广泛的应用^[16],松辽盆地嫩江组一段重力流水道发育在湖相泥岩中,水道及末端扇体泥质含量高,

规模小,厚度薄,采用广义 S 变换进行拓频处理,对识别这类薄互层尤为有效(图 6C)。相干体是三维地震数据体经过相干处理而得到新数据体,利用地震信号相干值变化来描述地层、岩性等横向非均质性,进而判断地质体在空间上的结构、形态、规模特征,一般在构造领域用来刻画断层及裂缝^[17],但在松辽盆地青山口组地震沉积学研究中,对三角洲细小水道的结构及形态刻画也具有较好效果(图 5A)。分频解释技术已经越来越多的应用到沉积相及储层预测中,成为地震解释的一种常规技术手段^[18,19],它是沿着目的储层或固定时窗对地震反射成分中各种频率成分对应的调谐能量进行识别成像。在松辽盆地青山口组地震沉积学研究中,这种方法对滑塌扇及片状浊流具有极好的适用性,不仅提高薄储层识别能力,还更客观反映地质体外形(图 6D)。振幅解释技术对砂体宏观分布识别比较适合,有利于宏观相带的划分,因此,适合于大型河流及大型三角洲的刻画,(图 4A、图 5B,C、图 6A,B)。

6 结论

松辽盆地北部地震沉积学研究主要是针对坳陷层泉头组—嫩江组大型河流及大型湖泊—三角洲沉积体系,通过三维地震数据采集、处理及解释方面大量研究工作,对不同地质体形态、规模、类型及结构等要素进行了精细刻画与描述。研究发现进积型三角洲具有高角度朵状及鸟足状形态、前缘相带窄小、平原相带宽阔、水下分流河道不发育的河控型特点;退积型三角洲具有低角度垂柳状形态、前缘相带宽阔、平原相带窄小、水下分流河道发育的湖控型特点。同时在传统研究较薄弱的湖相区发现了滑塌扇、浊积扇、浊积水道等大规模重力流沉积体系,为油气勘探开辟了新的领域。通过点坝地震相结构解剖,确定了古水流方向,为河流相沉积环境正确恢复提供了一种科学依据。因此,地震沉积学研究在松辽盆地北部取得了较好的成效,成为了油气勘探领域一项关键技术。

参考文献(References)

- 董春梅,张宪国,林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术[J]. 沉积学报,2006,24(5):698-705 [Dong Chunmei, Zhang Xianguo, Lin Chengyan. Conception, method and technology of the seismic sedimentology[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(5): 698-705]
- 曾洪流. 地震沉积学在中国回顾和展望[J]. 沉积学报,2011,29(3):417-427 [Zeng Hongliu. Seismic sedimentology in China: A re-

- view[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 9(3): 417-427]
- 3 凌云. 地震数据采集、处理、解释一体化实践与探索[M]. 北京:石油工业出版社, 2007: 210-287 [Ling Yun. *Seismic Data Acquisition, Processing and Interpretation Integrated Practice and Exploration* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 210-287]
 - 4 朱筱敏, 刘长利, 张义娜, 等. 地震沉积学在陆相湖盆三角洲砂体预测中的应用[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 915-922 [Zhu Xiaomin, Liu Changli, Zhang Yina, *et al.* On seismic sedimentology of lacustrine deltaic depositional systems[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 915-922]
 - 5 董艳蕾, 朱筱敏, 曾洪流. 黄骅坳陷歧南凹陷古近系沙一层序地震沉积学研究[J]. *沉积学报*, 2008, 26(2): 234-241 [Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Zeng Hongliu. Seismic sedimentology study on Shayi Sequence in Qinan sag, Huanghua depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(2): 234-241]
 - 6 杨仁超, 李进步, 樊爱萍, 等. 陆源沉积岩物源分析研究进展与发展趋势[J]. *沉积学报*, 2013, 31(1): 99-108 [Yang Renchao, Li Jinbu, Fan Aiping, *et al.* Research progress and development tendency of provenance analysis on terrigenous sedimentary rocks[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(1): 99-108]
 - 7 侯启军, 冯志强, 冯子辉, 等. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 2009: 129-194 [Hou Qijun, Feng Zhiqiang, Feng Zihui, *et al.* *Terrestrial Petroleum Geology of Songliao Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 129-194]
 - 8 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社, 1997: 1-5 [Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. *Oil and Gas Fields Formation Conditions and Distribution Law in the Songliao Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-5]
 - 9 张顺, 崔坤宁, 张晨晨, 等. 松辽盆地泉头组三、四段河流相储层岩性油藏控制因素及分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(3): 411-420 [Zhang Shun, Cui Kunning, Zhang Chenchen, *et al.* Controlling factors and distribution patterns of lithologic pools in the fluvial facies of the 3rd and 4th members of the Quantou Formation in the Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(3): 411-420]
 - 10 宋鹰, 任建业, 阳怀忠, 等. 松辽盆地北部姚家组底界面特征及其动力学背景[J]. *石油学报*, 2010, 31(2): 187-196 [Song Ying, Ren Jianye, Yang Huaizong, *et al.* Characteristics and dynamic background of bottom boundary in Yaojia Formation of the northern Songliao Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 31(2): 187-196]
 - 11 高瑞祺. 松辽盆地白垩纪陆相沉积特征[J]. *地质学报*, 1980(1): 9-26 [Gao Ruiqi. Cretaceous continental sedimentary characteristics of the Songliao Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1980(1): 9-26]
 - 12 王东坡. 松辽盆地沉积建造与海平面升降[M]. 北京:地质出版社, 1993: 16-150 [Wang Dongpo. *Sedimentary Construction and Sea Level Eustatic of the Songliao Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 16-150]
 - 13 冯志强, 张顺, 解习农, 等. 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[J]. *地质学报*, 2006, 80(8): 1226-1231 [Feng Zhiqiang, Zhang Shun, Xie Xinong, *et al.* Discovery of a large-scale lacustrine subaqueous channel in the Nenjiang Formation of the Songliao Basin and its implication on petroleum geology [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(8): 1226-1231]
 - 14 Feng Z Q, Zhang S, Timothy A, *et al.* Lacustrine turbidite channels and fans in the Mesozoic Songliao Basin, China[J]. *Basin Research*, 2010, 22(1): 96-107
 - 15 Feng Zhiqiang, Jia Chengzao, Xie Xinong, *et al.* Tectono stratigraphic units and stratigraphic sequences of the nonmarine Songliao Basin, northeast China[J]. *Basin Research*, 2010, 22(1): 79-95
 - 16 高静怀, 陈文超, 李幼铭, 等. 广义 S 变换与薄互层地震响应分析[J]. *地球物理学报*, 2003, 46(4): 526-532 [Gao Jinghui, Chen Wenchao, Li Youming, *et al.* Generalized transform and seismic response analysis of thin interbeds [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2003, 46(4): 526-532]
 - 17 王西文, 杨孔庆, 周立宏, 等. 基于小波变换的地震相干体算法研究[J]. *地球物理学报*, 2002, 45(6): 847-852 [Wang Xiwen, Yang Kongqing, Zhou Lihong, *et al.* Methods of calculating coherence cube on the basis of wavelet transform[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2002, 45(6): 847-852]
 - 18 刘喜武, 宁俊瑞, 刘培体, 等. 地震时频分析与分频解释及频谱分解技术在地震沉积学与储层成像中的应用[J]. *地球物理学进展*, 2009, 24(5): 1679-1688 [Liu Xiwu, Ning Junrui, Liu Peiti, *et al.* Seismic time-frequency analysis for frequency decomposition with applications to seismic sedimentology and reservoir imaging[J]. *Progress in Geophysics*, 2009, 24(5): 1679-1688]
 - 19 姜秀娣, 翁斌, 刘亚茹, 等. 分频混色技术在高精度地震解释中的应用[J]. *地球物理学进展*, 2013, 28(2): 882-888 [Jiang Xiudi, Weng Bin, Liu Yaru, *et al.* Application of spectral decomposition RGB plotting technique for spectral components in high accuracy seismic interpretation[J]. *Progress in Geophysics*, 2013, 28(2): 882-888]

Seismic Sedimentology Characteristics of Lacustrine–Delta Facies of Quantou–Nenjiang Formations in North Songliao Basin

WEI Wei^{1,3} ZHANG Shun² ZHANG Chen-chen^{1,3} WU Chao-dong^{1,3}

(1. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing City, China, Beijing 100871;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Daqing Oil Field Company, Daqing, Heilongjiang 163712;

3. Institute of Oil & Gas, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: The Quantou–Nenjiang Formations of Songliao Basin belong to the depression period, developed large fluvial facies in Quantou Formation, but developed large lacustrine-delta deposition in Qingshankou, Yaojia and Nenjiang Formations. The reservoir strata are mainly point bar sand body, progradational and retrogradational delta sand body and the gravity flow sand body of lacustrine facies. The traditional work of exploration just focused on 2D seismic data by point-line research method, so there may be some mistakes in understanding spatial form, the interior structure and the distribution of the sand bodies. By the enlargement of the cover area and the improvement of the acquisition accuracy in 3D seismic works, the Seismic Sedimentology is widespread used in North Songliao Basin. With fine depicting of the geologic bodies, we found that the progradational delta has the typical bird foot shape controlled by the high angle fluvial facies, narrow in the delta front, but wide in the delta plain, without underwater distributary channels developed. The retrogradational delta has the weeping willow shape controlled by the low angle lacustrine facies, wide in the delta front, but narrow in the delta plain, developed the underwater distributary channels. And we found large slump fan and turbidite fan in Qingshankou Formation and group 2-3 of Nenjiang Formation. Also, we found large turbidite channel in Yaojia Formation and group 1 of Nenjiang Formation. This study will cover the shortage of the traditional research techniques and refresh the new field of the exploration in North Songliao Basin.

Key words: delta system; gravity flow system; fluvial facies system; seismic sedimentology; Songliao Basin