

文章编号: 1000-0550(2013)02-0291-11

# 远源缓坡型薄层细粒浊积岩沉积规律<sup>①</sup>

——以松南西斜坡大布苏地区青一段地层为例

赵宁<sup>1</sup> 黄江琴<sup>2</sup> 李栋明<sup>1</sup> 吴向红<sup>1</sup> 黄奇志<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院非洲研究所 北京 100083; 2. 澳实分析检测(上海)有限公司北京办事处 北京 100029)

**摘要** 以松南西斜坡大布苏地区青一段薄层细粒浊积岩地层为例,以高分辨率层序地层学和沉积学理论为指导,建立了五级层序的高精度等时地层格架,并用最大熵频谱分析进行验证。利用岩芯、测井和地震手段,总结了研究区浊积岩的沉积特征及与三角洲前缘沉积相的区别,通过单井、连井以及 RMS 振幅确定了坡折带的位置及浊积岩沉积分布规律,得出该区浊积岩属于三角洲前缘河口坝远源缓坡滑塌成因,为线物源、砂泥混合型。薄层细粒浊积岩沉积规律研究表明:①滑塌浊积体主要分布于基准面下降期,靠近层序界面,厚度较大,垂向上表现为叠加或与浊积水道呈互层,且向上厚度增大;②上升期浊积水道往往靠近层序界面,厚度较大,表现为“箱状”水道主体,下降期浊积水道靠近湖泛面,厚度较小,表现为“尖指状”水道侧翼;浊积水道随基准面上升厚度减薄,随基准面下降厚度增加;③浊积席状砂主要分布在较深水、最大湖泛面附近,厚度较薄,或表现为垂向上叠加,或与湖相泥岩、浊积水道侧翼及滑塌浊积体呈互层关系。勘探实践表明研究区薄层细粒浊积岩可以获得较高的油气产量。

**关键词** 松南西斜坡 薄层 细粒 浊积岩 沉积规律

**第一作者简介** 赵宁 男 1980年出生 工程师 沉积储层、层序地层学 E-mail: williams8021@petrochina.com.cn  
**中图分类号** P512.2 **文献标志码** A

近年来与深水浊积岩有关的各种油气藏引起了不少专家和学者们的关注,例如 Shanmugam G 在 2000—2006 年之间发表的一系列针对“鲍玛序列”浊积岩成因的论著<sup>[1-12]</sup>, Mulder T 在 2001—2003 年之间有关浊积岩层序划分的著作<sup>[13-17]</sup>,以及 Walker、Shanmugam & Moiola 以及 Reading & Richards 对浊积扇沉积模式的一系列讨论<sup>[18-22]</sup>。又如我国东营凹陷沙河街组<sup>[23]</sup>和鄂尔多斯盆地延长组<sup>[24]</sup>各种成因类型的浊积扇,大多集中在厚层粗粒的浊积扇或砂质碎屑流沉积。对于薄层细粒浊积岩,由于不能形成较大规模的常规油气藏,往往缺少足够的重视。松辽盆地南部西斜坡大布苏地区青一段地层中的浊积岩粒度细,厚度薄,储层均质性差,但北部大 56 井区青一段钻遇近 10 m 的油水同层,获日产油 100 m<sup>3</sup> 以上的高产油流,在浊积岩砂体的勘探上获得了重大突破,因此探讨此种类型的浊积岩成因和沉积规律具有重要的理论和实践意义。

本文以松南西斜坡大布苏地区青一段地层为例,针对薄层细粒浊积岩储层,以高分辨率层序地层学和沉积学理论为指导,利用岩芯、测井和地震响应,综合

浊积岩沉积特征、古地形、气候因素,建立了五级层序的高精度等时地层格架,半定量化研究了各种浊积岩砂体的沉积规律。

## 1 地质概况

工区位于松辽盆地南部,横跨松辽盆地西部斜坡与中央拗陷,展布面积约 1 400 km<sup>2</sup>,处于四大水系交汇前缘带(图 1),包括西北部白城水系(距离约 77.22 km)、西部通榆水系(距离约 45.40 km)、西南部保康水系(距离约 78.55 km)和东南部长春水系(距离约 57.83 km)。据前人对大布苏地区青山口组沉积研究表明,西南部通榆和保康三角洲展布面积合计约 5 000 km<sup>2</sup>,是研究区主要物源<sup>[25,26]</sup>,西北部白城三角洲近 1 000 km<sup>2</sup>,为次要物源,南部长岭三角洲近 2 100 km<sup>2</sup>,由于被中央凹陷带分隔,研究区内很少发育碎屑岩沉积。大布苏地区沉积经历了西部斜坡带和西南隆起带,搬运距离远,属于远缘物源。

工区大部分位于中央拗陷区,部分位于西部斜坡带,此种构造地形为浊积岩的形成提供了良好的地质背景。白垩系是松辽盆地的主要研究目的层,由下至

<sup>①</sup>国家科技重大专项(编号:2011ZX05032-002)资助  
收稿日期:2012-03-04;收修稿日期:2012-05-24

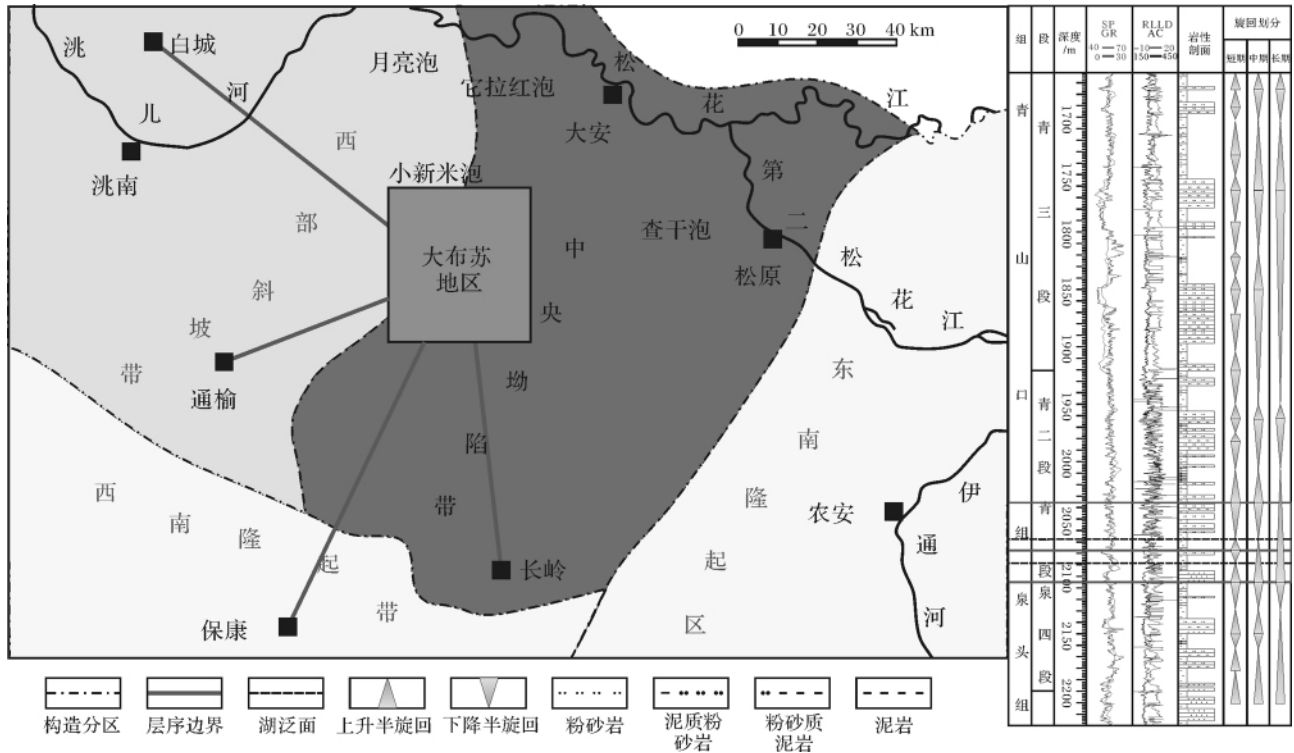


图 1 吉林大布苏地理位置及综合柱状图(注:图中线段表示物源与研究区搬运距离)

Fig. 1 Geographical location and comprehensive geological column of Dabusu area, Jilin

上依次发育沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台子组和明水组,青山口组—嫩江组沉积时期,构造运动趋于减弱,断层活动极少,湖盆整体表现为稳定下沉,水体逐渐加深,湖面不断扩大,沉积地层展布范围扩大,超覆在下伏地层之上,盆地由断陷转为坳陷期<sup>[25 27 28]</sup>。

## 2 高精度层序地层划分

### 2.1 高分辨率层序地层划分

据研究区地震资料显示和前人研究成果<sup>[29 30]</sup>,研究区青一段地层厚度较薄,在 50~90 m 之间,一般为 70 多米,在地震剖面上仅为两根或三根同向轴。对于粒度只有细砂—粉砂,甚至是泥质粉砂级别的细粒沉积地层,其颗粒与泥质相同,具有较大的比表面积,吸收放射性元素的能力依然很强,自然伽马曲线分辨的精度往往有限,或因地层矿化度、离子类型异常而出现“反常”现象,即 GR 低值指示泥岩,都造成薄层细粒沉积地层的对比难度较大。因此仅仅依靠一种手段难以对研究区薄层地层进行精细划分和追踪,需综合多学科理论和方法。研究区青一段沉积处于三级层序下部,即基准面旋回上升期<sup>[32]</sup>,以厚层泥岩、粉砂岩为主,选取稳定沉积的厚层泥岩发育段,即

全区可进行对比的洪泛面、湖泛面或海泛面作为标志层<sup>[33]</sup>,为了对比方便,选取青二段下部靠近目标层段最大湖泛位置,岩性上表现为蓝灰色半深湖相泥岩或绿色油页岩,测井上表现为高伽马、低电位、高声波时差和低电阻率,地震上表现为强振幅、中频率,强连续性特征(图 2)。将标志层拉平,针对不同构造背景、沉积环境、井震信息和旋回变化将青一段地层精细划分为青一上亚段和青一下亚段,具体操作如下:

① 依据地震剖面上坡折带,将研究区分为不同的构造区块:坡折带上部、坡折带和坡折带下部;② 坡折带上部主要发育三角洲前缘等浅水沉积,沉积地层旋回性强,易于识别。青一段整体可划分为 1 个中期旋回,即四级层序,顶、底界面以具反旋回和正旋回特征、具冲刷面、粒度相对较粗的粉砂岩为界,其上升和下降半旋回转换面为最大湖泛泥岩处(图 3 中花 2—花 19 井)。依据测井曲线在纵向上变化特征,可进一步划分为 2 个短期旋回,即五级层序;③ 坡折带下部主要发育浊积岩等半深水沉积,沉积地层旋回性差,表现为厚层泥岩加薄层孤立分布的浊积砂体,电性变化不明显。此时应考虑物源方向,一般选取顺物源方向剖面砂体连续性较好,在平面上局部范围内能够追踪,确定层序顶底界面,以 2~3 m 炭质粉砂岩为

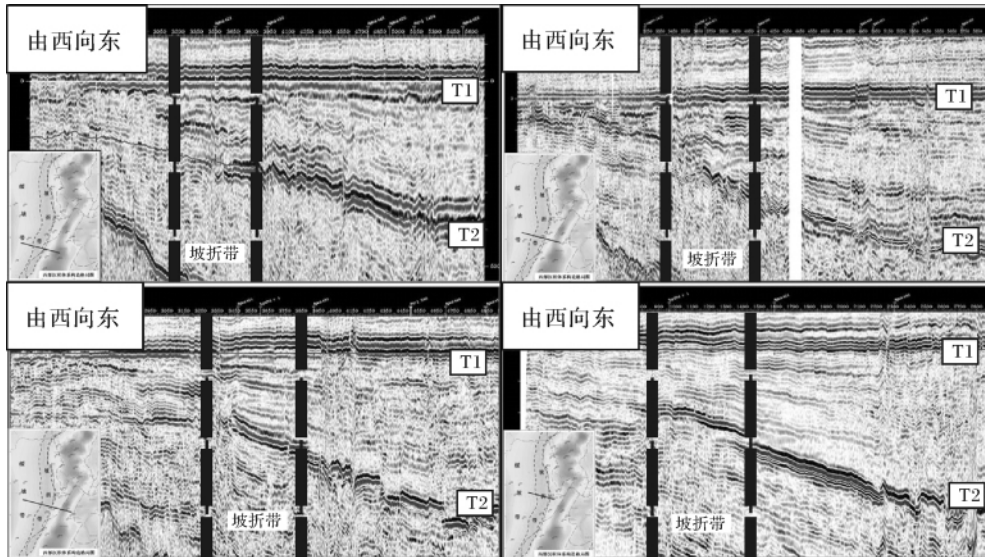


图 2 一级坡折带坡折与坡脚

Fig. 2 Break points and toes of the 1<sup>st</sup> grade slope break belts

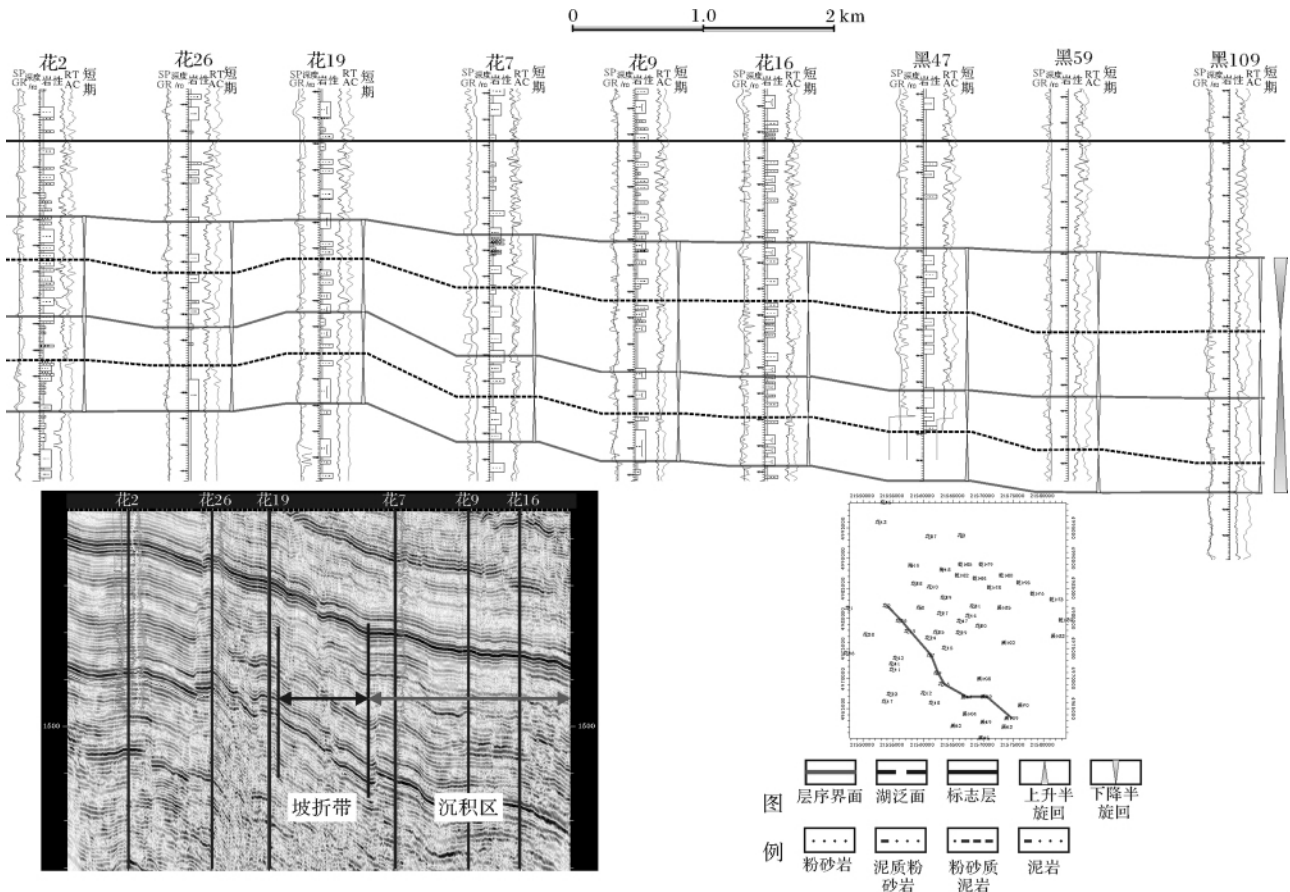


图 3 花 2—黑 109 层序地层对比剖面

Fig. 3 Correlation profile of sequence stratigraphy from Well Hua 2 to Well Hei 109

界 依据电性曲线 判断最大湖泛面和短期基准面旋回 其旋回界限与地形相一致( 图 2 花 9—黑 109

井); ④ 坡折带区段内 地层变化较快, 一般上部薄, 下部地层厚, 且上下砂体纵向旋回性变化极大, 甚至

相反(图2花19井至花7井之间)。

### 3 浊积岩沉积特征及沉积模式

#### 3.1 浊积相类型

研究区沉积相类型包括三角洲前缘亚相沉积(水下分流河道、分流河道间、河口坝和席状砂)、湖相沉积(滨浅湖和半深湖)和浊积岩沉积。前人对研究区三角洲前缘沉积和湖相沉积已经做过相关研究<sup>[31-37]</sup> 本文着重讨论浊积岩沉积。

早在1979年纳丁<sup>[33]</sup> 等对沉积重力流进行了分类,并认为从岩崩、滑坡、块体流到流体流,在力学性质上均可构成弹性、塑性、黏性块体运动过程的连续统一体。赵澄林<sup>[34]</sup> 分别从物源、形成机制、组构和形态四个方面对沉积物重力流进行了详细分类。按其沉积环境可分为陆上重力流(如冲积扇等)、过渡型重力流(如扇三角洲)和水下重力流(如各种湖底和海底重力流沉积)。广义的浊流是水下重力流。狭义的浊流是水下重力流的一种特殊形式,是一种由湖水或海水和大量细粒、呈自悬浮、以湍流机制支撑的砂泥物质相混合,在水体底部(浪基面以下的较深水区)运动的密度流。据浊积岩泥质含量和砂体展布形态将研究区远缘沉积浊积砂体分为3类:

##### (1) 滑塌浊积体(slumps)

此种沉积是在一定外界触发条件(如地震作用)及自身重力作用(如压实沉陷作用)下,斜坡高部位先存的沉积物沿斜坡以连续或不连续块体形式向斜坡底部滑动,在斜坡下部平缓地带堆积形成的沉积体,平面上呈扇状、团块状或不规则形状。该类型的浊积体分为两种,一种为与物源相连的滑塌,另一种是与物源相离的滑塌<sup>[38]</sup>,其中与物源相连的滑塌分布较广,平面上呈扇状、舌状或狭长不规则状,砂质含量较高,粒度相对较粗;与物源相离的滑塌分布相对狭窄,平面上呈长条状或带状,砂质含量较低,粒度较细。

研究区主要表现为与物源相离的远缘滑塌,其特征如下:①岩性以相对较粗的蓝灰色、灰色及灰绿色细砂—粉砂为主,夹暗色泥质薄层,偶尔可见炭质夹层;②据王英民<sup>[35]</sup> 研究,其典型层理包括:包卷层理、以拉断扭曲纹层为特征的滑塌变形层理、滑动破裂碎块杂乱堆积,长条状碎块的长轴杂乱排列、泥质岩中杂乱排列的砂质碎块、砂质条带、泥质岩中拉断的砂质薄层,砂质薄层内可见纹层、砂质碎块、泥质碎块、泥质基质混杂堆积、底部具侵蚀面,内部具不规则高角度倾斜纹层;③测井曲线上呈反旋回特征,即GR、

SP和AC呈漏斗形,R25呈钟形;④地震剖面上表现为弱振幅,连续性差的蠕虫状反射;⑤厚度变化较大,在2.4~9m之间。

##### (2) 浊积水道(turbidite channels)

此沉积是在一定外界触发条件(如地震作用)或自身重力作用(如压实沉陷成因)下,来自陆源三角洲前缘斜坡带的砂体不断堆积,沿着一条主沟道(水动力较弱)或多条沟道(水动力较强)向湖盆或海盆中心移动,形成的条带状浊积岩沉积,剖面上表现为凹槽状、条带状。

研究区浊积水道沉积特征主要表现为:①岩性主要为粉细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩;②发育泥岩撕裂片、枕状构造、负荷模、液化构造等;③层理类型包括块状层理、变形层理和波状层理(图4A);④粒度概率累积曲线呈两段式,与三角洲前缘水下分流河道相比,悬浮总体所占比例明显偏大,一般为30%~40%左右(图4B),C-M图上明显处于浊流沉积区域,且偏于浅水浊流区域(图4C);⑤测井曲线上GR、SP和AC呈钟形或块状箱型,R25呈漏斗形或箱型,底突变式,顶渐变式(图4A);⑥地震剖面上表现为弱振幅,连续性差的蠕虫状、丘状反射;⑦纵向上常具向上变细的正旋回或复合正旋回特征;⑧单层厚度变化不一,大多为2~5m,厚度变化较大,在2.3~7m之间。

##### (3) 浊积席状砂(turbidite sand sheets)

此类沉积是在一定外界条件(如波浪、湖流等)或自身重力作用(如压实沉陷成因)下,来自陆源三角洲前缘斜坡带的砂体在波浪向岸边拍打作用下,在其前端附近形成砂泥混合(液化现象)沉积,或由于压实沉陷作用而在浊积水道远端形成的舌状、席状或椭圆状细粒砂泥质混合沉积,此种沉积往往粒度较细,厚度较薄,展布面积较广。该沉积微相可与滨浅湖沉积中的沙滩对比,但所不同的是泥质含量更高,且纵向上砂体的连续性较差;与三角洲前缘席状砂成因类似,均为主干砂体向远端延伸的细粒沉积物,区别在浊积席状砂粒度更细,且纵向上与泥岩组合,表现为孤立的薄层砂体;而后者纵向上往往表现为砂泥互层,呈现出各种沉积微相砂体的接替。

研究区浊积席状砂的沉积特征主要表现为:①岩性多为粉砂岩、泥质粉砂岩,并向泥岩过渡;②层理类型包括变形层理及波状层理,发育搅混构造;③测井曲线上GR、SP、AC和R25表现为明显的薄层指状特征(图4A);④地震剖面上表现为弱振幅,连续性差

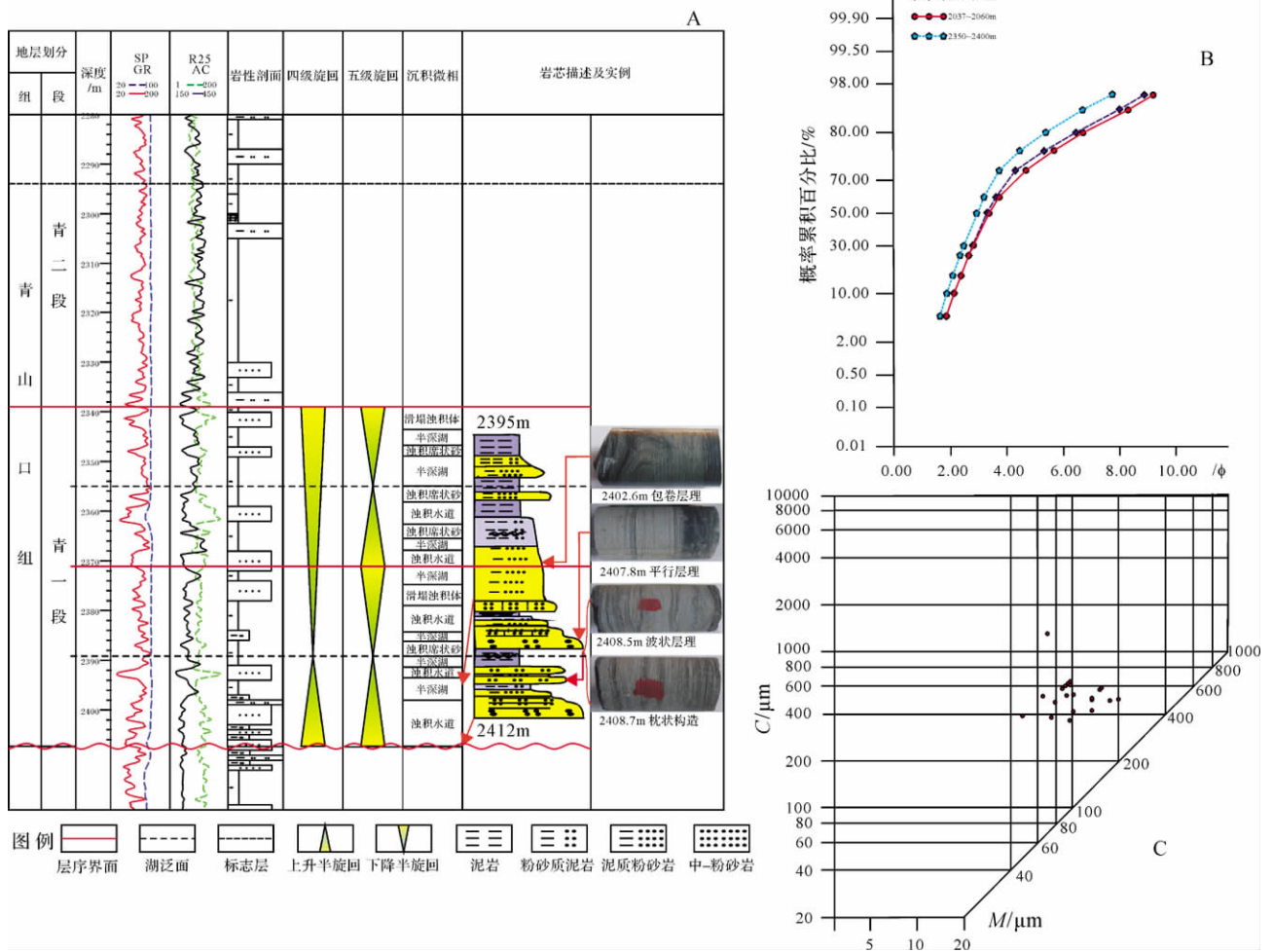


图 4 花 30 井典型浊积岩岩芯沉积特征

Fig. 4 Sedimentary characteristics of typical turbidite cores in Well Hua 30

的蠕虫状反射,但往往因其层薄,不易识别;⑤纵向上表现为多期叠置现象,旋回性不明显;⑥单层厚度较薄,大多小于 1 m,累计厚度在 1.5 ~ 4.3 m 之间。

### 3.2 浊积岩分布

浊积岩的形成和展布与古地形密切相关<sup>[39]</sup>,对此 Zulfiqar A Reza 采用 ModDRE 方法,依据地貌和地层来模拟深水浊积砂体沉积规律<sup>[40]</sup>,Pyrz M J 利用地质统计方法归纳出各种浊积砂体的三维展布规律,并与河流相对比<sup>[41]</sup>。根据对浊积岩的形成和分布的影响以及水槽试验成果(图 5),笔者将坡折带划分为两级:一级坡折是指三角洲前缘沉积与滑塌浊积体之间的滑坡,位于较浅水处,规模相对较大,坡度较陡,影响浊积岩的形成及类型;二级坡折是指浊积岩沉积内部的地形起伏,位于较深水处,规模较小,坡度极缓,影响浊积岩的分布及厚度。该区标志层以蓝灰

色半深湖相泥岩或绿色油页岩为主,测井上表现为高伽马、低电位、高声波时差和低电阻率,地震上表现为强振幅、中频率,强连续性特征(图 6),将该区标志层拉平,针对研究区浊积岩,分别沿顺物源和垂直物源方向选取两条剖面:

顺物源剖面西北—东南向(图 6)砂体连续性较好,西北主要为三角洲前缘沉积,地震剖面上地形坡度较明显,沉积略向南倾斜,物源主要来自西北方向,沉积微相主要以水下分流河道和前缘席状砂为主,砂体连续性较好,基准面上升期水下分流河道发育,表现为河道垂向叠加,河道厚度在 3 ~ 4 m 之间,下降期以薄层席状砂为主,夹少量河口坝,砂体厚度较薄,多在 2 ~ 3 m 之间。剖面上可见明显的三角洲前缘进退旋回,如青一下亚段基准面下降期,花 19 与花 7 井之间河口坝穿过坡折带在较深水处沉积,而在青一上亚



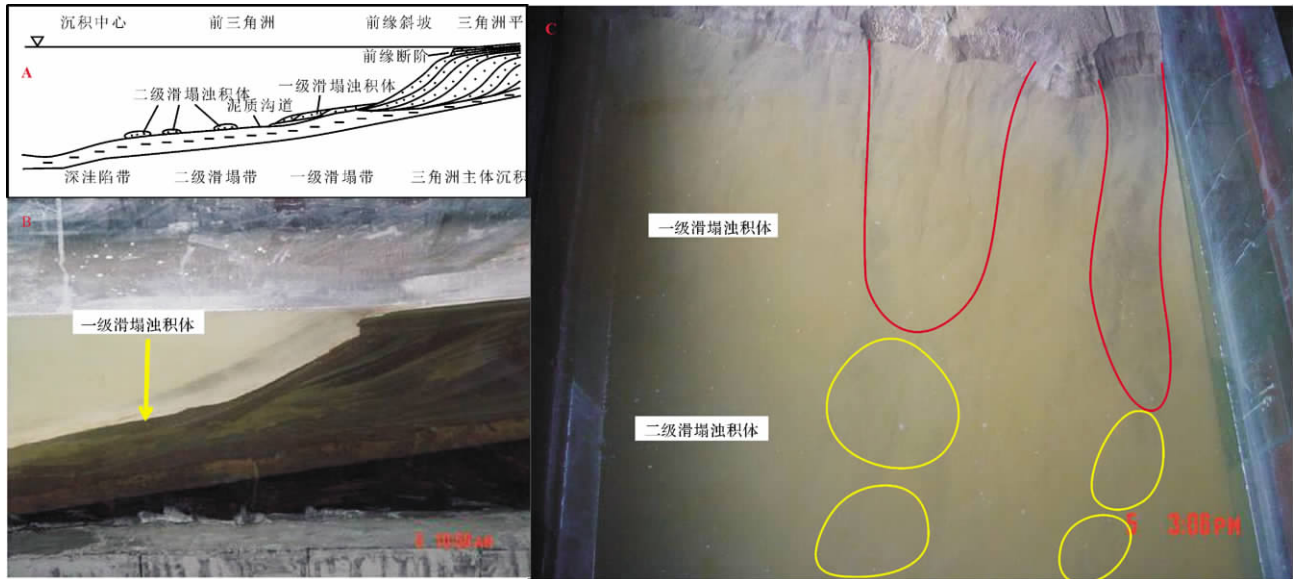


图5 浊积岩水槽试验(注:实验来自中国石油大学(北京),初始坡度为 $8^\circ$ )

Fig. 5 Flume experiments and conceptual model of turbidites (Notes: this experiment has been done in China University of Petroleum, Beijing, and initial gradient is  $8^\circ$ )

段基准面上升期,多层前缘席状砂沉积向上逐渐减薄。图中可见坡折带之下浊积岩主要来源于三角洲前缘河口坝滑塌成因。此剖面靠近研究区沉积中心,沉积微相类型以远缘浊积水道和浊积席状砂为主,浊积岩粒度较细,多为细—粉砂级别,砂体连续性较好,上升期浊积水道较为发育,厚度在3~5 m之间,下降期泥岩夹层增多,薄层浊积席状砂主要发育于湖泛面或上升至下降的转换面附近,厚度较薄,为1~2 m。

垂直物源剖面西南—东北向(图7)砂体连续性较差,将标志层拉平恢复当时沉积时后沉积剖面显示地形起伏较大,可见多个物源,主要来自西北和西南方向,沉积微相类型包括水下分流河道和河口坝,砂体连续性较好,河口坝较发育,厚度在4~6 m之间,以及少量前缘席状砂,厚度较薄,多为1~2 m。剖面上可见三个不同方向的物源以及三角洲前缘的进退旋回。此剖面可见两个较明显的一级坡折带,分别位于花28—花26井之间和花8—花10井之间,以浊积砂泥复合体为主,厚度多为3~5 m,浊积砂体连续性差。基准面上升期浊积水道较为发育,厚度在3~5 m之间,基准面下降期泥岩夹层增多,薄层浊积席状砂主要发育于湖泛面上升至下降的转换面附近,厚度较薄,为1~2 m。

综上所述,滑塌浊积体主要分布于基准面下降期,靠近层序界面,厚度较大,垂向上表现为叠加或与浊积水道呈互层,且向上厚度增大;②上升期浊积水

道往往靠近层序界面,厚度较大,表现为“箱状”水道主体,下降期浊积水道靠近湖泛面,厚度较小,表现为“尖指状”水道侧翼;浊积水道随基准面上升厚度减薄,随基准面下降厚度增加;③浊积席状砂主要分布在较深水、最大湖泛面附近,厚度较薄,或表现为垂向上叠加,或与湖相泥岩、浊积水道侧翼及滑塌浊积体呈互层关系。

在地层厚度、砂体厚度及砂地比分析的基础上,对研究区部分地区提取地震属性,研究表明RMS对坡折带位置的确定及薄层砂体的识别具有较高的精度。在此基础上,综合剖面相研究,研究区青一段浊积岩主要分布在中部、东部和南部地区,三角洲前缘沉积主要分布在西部、北部和西南部地区,滑塌浊积体呈椭圆状、团块状或不规则块状分布,砂体长轴与物源方向平行,主要分布于基准面下降期(图8A),尤其在青一上亚段下降期,花7井显示厚度达到10 m(图7),而在上升期较薄或不发育;浊积水道主要呈弯曲长条状或椭圆状分布于浊积席状砂之中,砂体长轴与物源方向平行,且基准面上升期较下降期发育(图8),花26井青一下亚段上升期厚度近12 m;浊积席状砂呈分散面状或席状分布,展布面积受物源供应及基准面升降影响(图8)。

#### 4 浊积岩沉积模式

研究区浊积岩沉积总体表现为以下特征:①松南

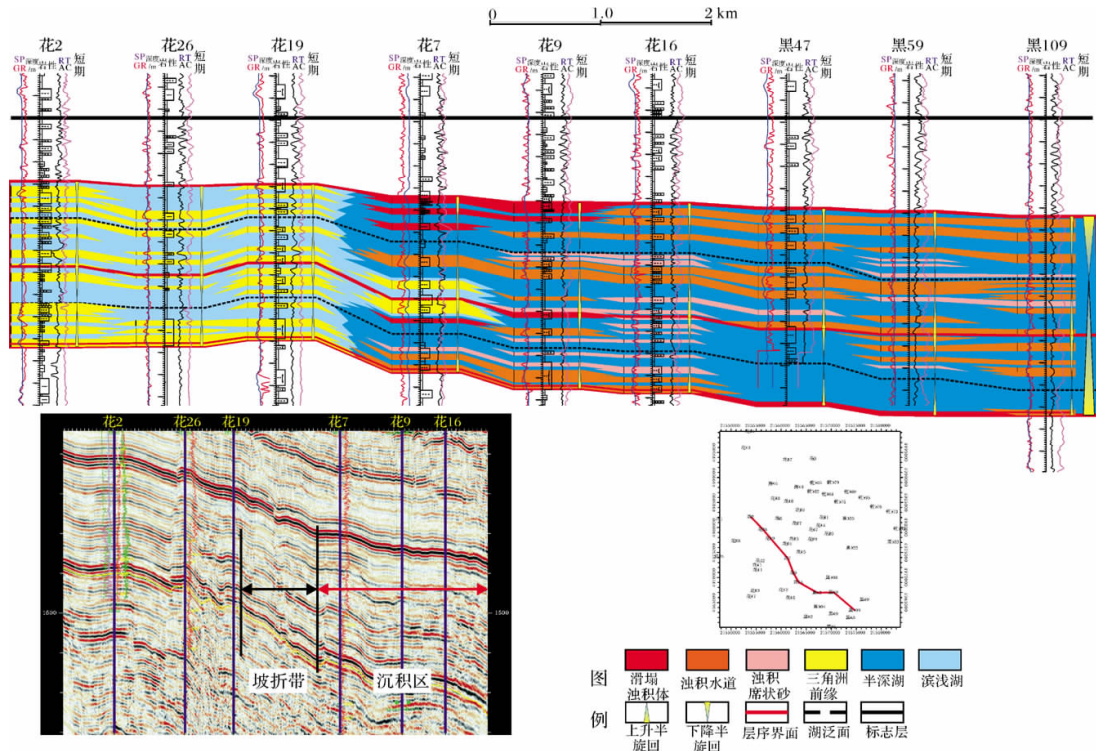


图 6 吉林大布苏地区青一段花 2—黑 109 井沉积相连并对比剖面 (说明: 图中花 7 井显示三角洲前缘沉积进退旋回特征, 研究区青一段处于长期基准面上升阶段, 早期物源供给较强, 尤其是基准面下降期厚层河口坝发育直接冲过坡折带进入深水区域, 晚期表现为较薄层水下分流河道, 向上逐渐消失至深水浊积岩)

Fig. 6 Sedimentary correlation profile from Well Hua 2 to Well Hei 109 of the 1st member of Qingshankou Formation in Dabusu area, Jilin

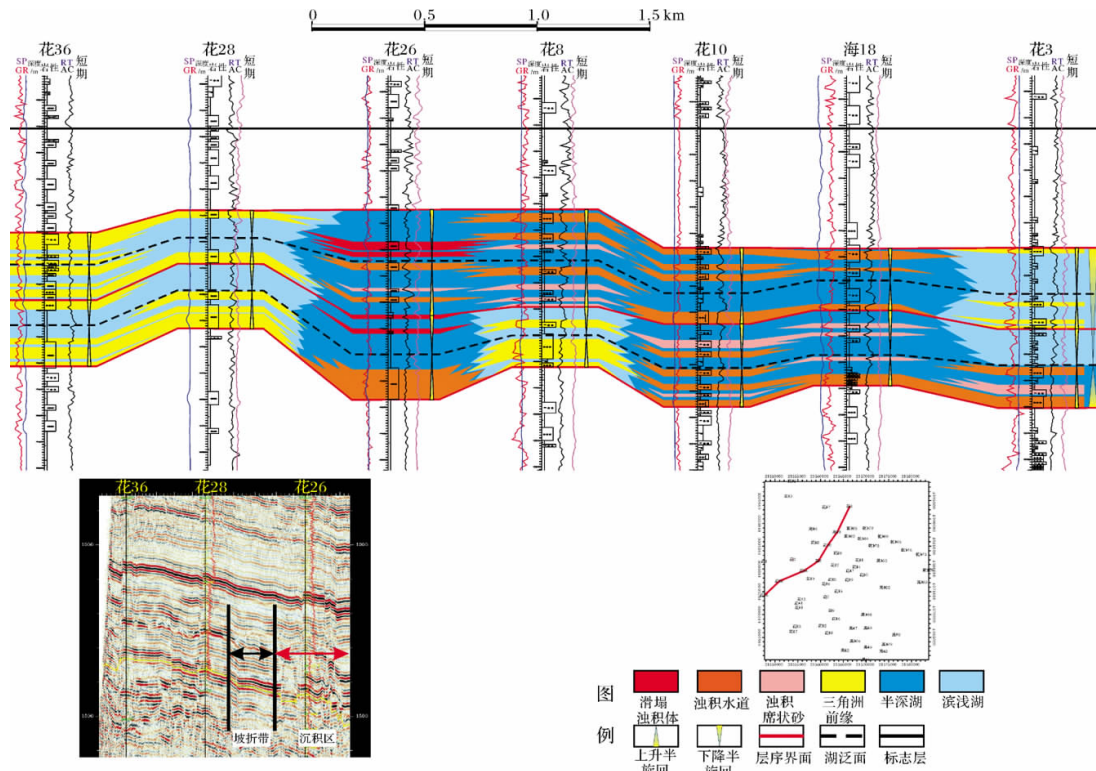


图 7 吉林大布苏地区青一段花 36—花 3 井沉积相连并对比剖面

Fig. 7 Sedimentary correlation profile from Well Hua 36 to Well Hei 3 of the 1st member of Qingshankou Formation in Dabusu area, Jilin



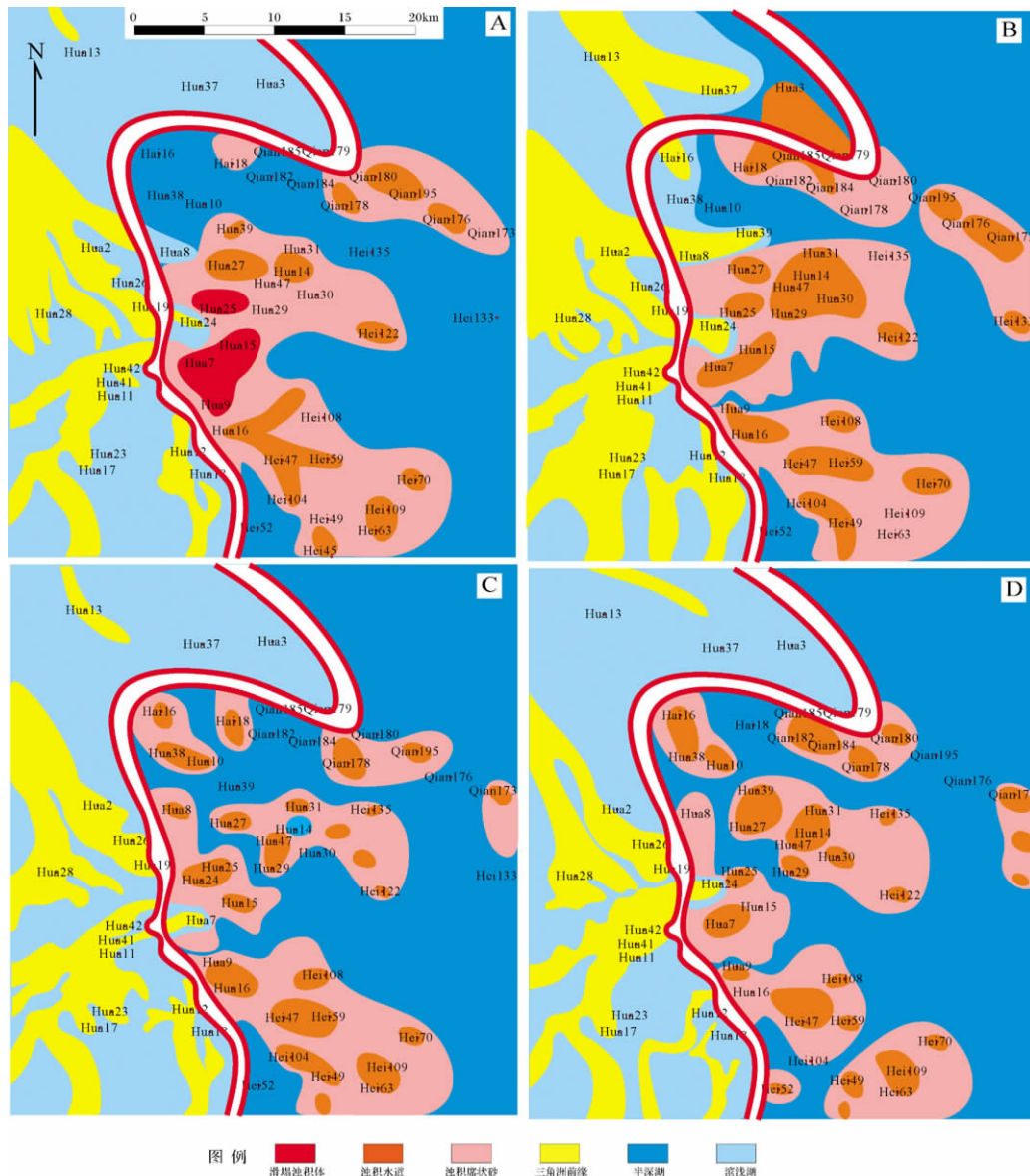


图 8 松南西斜坡大布苏地区青一段各旋回沉积微相平面展布(注:图中白色为坡折带位置)  
 A. 青一上亚段下降半旋回; B. 青一上亚段上升半旋回; C. 青一下亚段下降半旋回; D. 青一下亚段上升半旋回

Fig. 8 Micro-sedimentary facies distribution of the 1st member of Qingshankou cycles  
 in Dabusu area of west slope , south Songliao basin

西斜坡局部地形起伏变化,但总体表现为一西高东倾的缓坡地形,研究表明坡度在 $1^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 之间<sup>[42]</sup>;②该区沉积物距离物源较远<sup>[26]</sup>;③青一段沉积时期古水深较浅,平均在 $30 \sim 35$  m之间<sup>[44]</sup>;④沉积物粒度较细,以粉砂、泥质粉砂、细砂和厚层泥岩互层为主;⑤浊积岩分布具有较明显的分带性,在坡折带以下呈不连续的团块状分布;⑥青一段沉积时期构造稳定,断层极少,沉积地层平面展布稳定;⑦研究区厚层浊积岩的形成与下降期河口坝滑塌有关。综合以上6点特征,研究区青一段浊积岩属于三角洲前缘河口坝滑塌成

因的远缘浅水缓坡型浊积岩。据粒度和物源类型,该区青一段浊积岩属于线物源、砂泥混合型浊积岩模式(图9)。在研究区北部坡折带之下,吉林油田研究院项目组部署了大56井,在青一段钻遇8 m的油水同层,试油结果获日产近 $120 \text{ m}^3$ 的高产油流,在浊积砂体的勘探上获得了重大突破。

### 5 结论

(1) 以各种地质、测井和地震资料为依据,研究区浊积岩沉积可分为滑塌浊积体、浊积水道和浊积席



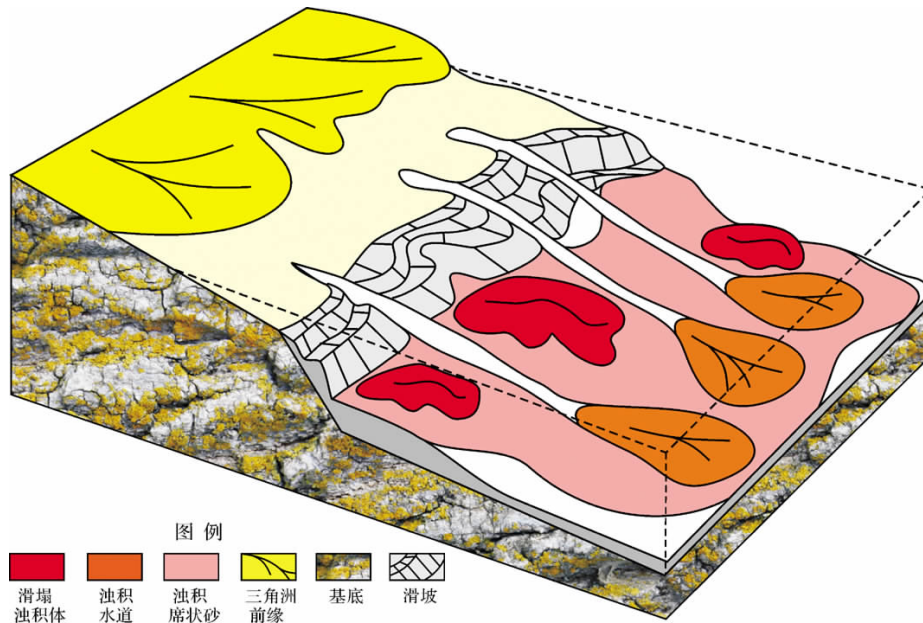


图9 线物源、砂泥混合型浊积岩沉积模式

Fig. 9 Sedimentary model of linear source and sand/mud rich type turbidite

状砂三种微相: ①滑塌浊积体表现为粉砂—细砂、厚度超过 3 m、“漏斗状”测井响应特征,主要位于基准面下降期,垂向上和横向上连续性较差,分布较为独立; ②浊积水道表现为细砂—粉砂、厚度为 2~5 m、“钟型”测井响应特征,基准面上升期厚度较大,表现为水道主体,基准面下降期厚度较小,表现为水道侧翼,垂向上和横向上连续性较好; ③浊积席状砂表现为粉砂、厚度大多小于 1 m,“指状”测井响应特征,分布较为广泛,垂向上和横向上连续性好,表现为多期叠加。

(2) RMS 属性能较好地识别薄层细粒砂体,综合单井相、连井相确定了研究区坡折带的位置,浊积岩平面分布表明: ①滑塌浊积体呈椭圆状、团块状或不规则块状分布,砂体长轴与物源方向平行; ②浊积水道主要呈弯曲长条状或椭圆状分布于浊积席状砂之中,砂体长轴与物源方向平行; ③浊积席状砂呈分散面状或席状分布,展布面积受物源供应及基准面升降影响。

(3) 通过垂向上、横向上以及平面上浊积岩沉积规律研究,确定松南西斜坡薄层细粒浊积岩与三角洲前缘河口坝滑塌有关,属于远缘缓坡、线物源、砂泥混合类型。

#### 参考文献(References)

1 Shanmugam G, Jonn E. Sandders and the turbidite controversy [C]// Friedman G M ed. Conference on the History of Geologic Pioneers New

York: Rensselaer Center of Applied Geology, Troy, 2000: 19-20  
 2 Shanmugam G. 50 Years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 285-342  
 3 Shanmugam G. A preliminary experimental study of turbidite fan deposits discussion [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(5): 838-841  
 4 Shanmugam G. Deep-water Processes and Facies Models: Implications for Sandstone Petroleum Reservoirs [M]. New York: Elsevier, 2006: 473  
 5 Shanmugam G. Ten turbidite myths [J]. Earth-Science Reviews, 2002, 58: 311-341  
 6 Shanmugam G. Deep-marine sediments [C]. Access Science McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology. Uniform Resource Locator (URL), 2002  
 7 Shanmugam G. Deep-marine tidal bottom currents and their reworked sands in modern and ancient submarine canyons [J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20: 471-491  
 8 Shanmugam G. Discussion on Mulder, *et al.* Inversely graded turbidite sequences in the deep Mediterranean. A record of deposits from flood-generated turbidity currents? [J]. Geo-Marine Letters, 2002, 22: 108-111  
 9 Shanmugam G. Modern deep-water environments: implications for sandstone petroleum reservoirs [C]// Promoting excellence in exploration for more oil and gas, Technical Session: Sedimentology and depositional modeling with special reference to deep-water basins. Khajuraho, India: Proceedings of the 2nd APG (Association of Petroleum Geologists) Conference and Exhibition, 2004, 14  
 10 Shanmugam, G. The tsunamite problem [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76(6): 1240-1260  
 11 Shanmugam G. Deep-water processes and turbidite facies models: a

- paradigm shift [C] // Swamy S N, Kapoor P N, eds. Stratigraphic Challenges and Paradigm Shift in Hydrocarbon Exploration with Special References to Frontier Basins, Mussoorie, India, Proceedings of the 1<sup>st</sup> APG( Association of Petroleum Geologists) Conference and Exhibition, Vol. 1, 2002: 155-162
- 12 Shanmugam G, Submarine Canyon. Access Science McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology. Uniform Resource Locator (URL): [http://www.accessscience.com/Encyclopedia/6/66/Est\\_664300\\_frameset.html?doi](http://www.accessscience.com/Encyclopedia/6/66/Est_664300_frameset.html?doi) (accessed February 21, 2005), 2002
- 13 Mulder T, Alexander J. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits [J]. *Sedimentology*, 2001, 48: 269-299
- 14 Mulder T, Migeon S, Savoye B, et al. Reply to discussion by Shanmugam on Mulder et al. (2001, *Geo-Marine Letters*, 21, 86-93) Inversely graded turbidite sequences in the deep Mediterranean: A record of deposits from flood-generated turbidity currents? [J]. *Geo-Marine Letters*, 2002, 22: 112-120
- 15 Mulder T, Migeon S, Savoye B, et al. Inversely graded turbidite sequences in the deep Mediterranean. A record of deposits from flood-generated turbidity currents? [J] *Geo-Marine Letters*, 2001, 21: 86-93
- 16 Mulder T, Syvitski J P M, Migeon S, et al. Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20: 861-882
- 17 Mulder T, Weber O, Anschutz P, et al. A few months-old storm-generated turbidite deposited in the Capbreton Canyon ( Bay of Biscay, SW France) [J]. *Geo-Marine Letters*, 2001, 21: 149-156
- 18 Walker R G. Deep-water sandstones facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps [J]. *AAPG Bulletin*, 1978, 62: 932-966
- 19 Shanmugam G, Moiola R J. Submarine fans: characteristics, models, classification, and reservoir potential [J]. *Eath-Science Reviews*, 1988, 24(6): 383-428
- 20 Reading H G, M Richards. Turbidite systems in deepwater basin margins classified by grain size and feeder system [J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 78: 792-822
- 21 Reading H G. Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy [M]. Oxford: Blackwell Science, 1996: 688
- 22 Reading H G, Collinson J D. Clastic coasts [C] // Reading H G. Sedimentary Environments: Processes, Facies, and Stratigraphy. Oxford: Blackwell Science, 1996: 154-231
- 23 刘玉忠. 东营凹陷沙三段浊积岩油藏形成机制 [J]. *油气地质与采收率*, 2008, 15(2): 16-19 [Liu Yuzhong. Formation mechanism of turbidite reservoirs in Sha3 member of Shahejie Formation, Dongying Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2008, 15(2): 16-19]
- 24 赵俊兴, 李凤杰, 申晓莉, 等. 鄂尔多斯盆地南部长6和长7油层浊流事件的沉积特征及发育模式 [J]. *石油学报*, 2008, 29(3): 389-394 [Zhao Junxing, Li Fengjie, Shen Xiaoli, et al. Sedimentary characteristics and development pattern of turbidity event of Chang 6 and Chang 7 oil reservoirs in the southern Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(3): 389-394]
- 25 杨会东, 王书平, 马玉天, 等. 高精度层序地层技术在松辽盆地南部隐蔽油藏勘探中的应用 [J]. *石油学报*, 2005, 26(3): 40-43 [Yang Huidong, Wang Shuping, Ma Yutian, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy to exploration of subtle reservoir in the southern Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(3): 40-43]
- 26 柏涛. 多物源示踪研究——以松辽盆地南部青山口期及姚家期为例 [D]. 吉林: 吉林大学, 2005 [Bo Tao. The implication of basin for several provenances: Take the south of Songliao basin during Qingshankou term and Yaojia term as an example [D]. Jilin: Jilin University, 2005]
- 27 蔡希源, 陈章明, 王玉华, 等. 松辽两江地区石油地质特征分析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 35-56 [Cai Xiyuan, Chen Zhangming, Wang Yuhua, et al. Petroleum Geological Characteristics Analysis of Two River Areas in Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 35-36]
- 28 侯读杰, 黄清华, 黄福堂, 等. 松辽盆地海侵地层的分子地球化学特征 [J]. *石油学报*, 1999, 20(2): 30-34 [Hou Dujie, Huang Qinghua, Huang Futang, et al. The characteristics of molecular geochemistry of marine transgression strata in Songliao basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(2): 30-34]
- 29 邹才能, 薛叔浩, 赵文智, 等. 松辽盆地南部白垩系泉头组—嫩江组沉积层序特征与地层-岩性油气藏形成条件 [J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(2): 14-17 [Zou Caineng, Xue Shuhao, Zhao Wenzhi, et al. Depositional sequences and forming conditions of the Cretaceous stratigraphic-lithologic reservoirs in the Quantou-Nengjiang Formations, South Songliao Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(2): 14-17]
- 30 刘鸿友, 沈安江, 王艳清, 等. 松辽盆地南部泉头组—嫩江组层序地层与油气藏成因成藏组合 [J]. *吉林大学学报*, 2003, 33(4): 469-473 [Liu Hongyou, Shen Anjiang, Wang Yanqing, et al. Study on sequence stratigraphy and genesis assemblages forming oil and gas from Quantou Fm. to Nenjiang Fm. in the southern Songliao basin [J]. *Journal of Jilin University*, 2003, 33(4): 469-473]
- 31 张永旺, 曾濞辉, 邓宏文, 等. 松南海坨子—大布苏地区泉四段—姚家组层序地层研究 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(5): 737-743 [Zhang Yongwang, Zeng Jianhui, Deng Hongwen, et al. Study on sequence stratigraphy in Member 4 of Quantou Formation to Yaojia Formation of Haituozi-Dabusu Area in the southern Songliao Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(3): 737-743]
- 32 渠永宏, 廖远慧, 赵利华. 高分辨率层序地层学在断陷盆地中的应用——以海拉尔盆地贝尔断陷为例 [J]. *石油学报*, 2006, 27(增刊): 31-37 [Qu Yonghong, Liao Yuanhui, Zhao Lihua. Application of high-resolution sequence stratigraphy in rift basin: Taking Beier fault-depression of Hailaer Basin as an example [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(Suppl): 31-37]
- 33 Nardin T R, Hein F J, Gorsline D S, et al. A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems [C] // Doyle L J, Pilkey O H, eds. *Geology of Continental slopes*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special

- Publication, 1979, 27: 61-73
- 34 赵澄林, 刘孟慧. 内蒙阿南凹陷中生代储层沉积特征和地质模式[J]. 石油大学学报, 1991, 15(2): 10-19 [Zhao Chenglin, Liu Menghui. Sedimentary characterization and geological model of Mesozoic A Nan depression in Inner Mongolia[J]. Journal of Petroleum University, 1991, 15(2): 10-19]
- 35 王英民. 松南西部坡折带非构造圈闭阶段汇报[R]. 2005 [Wang Yingmin. Stage reports in non-structural traps of west slope in southern Songliao basin[Internal Reports in CNPC]. 2005]
- 36 李顺明. 相控旋回高精度成因地层对比方法及应用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(1): 22-25 [Li Shunming. Method and application of high resolution genetic stratigraphic correlation of facies controlled cycle [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(1): 22-25]
- 37 沈安江. 松辽盆地南部白垩纪层序地层与岩性地层油气藏勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 25-33 [Shen Anjiang. Sequence Stratigraphy and Lithologic Stratigraphic Reservoir Exploration in Cretaceous Southern Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 25-33]
- 38 Lorena Moscardelli, Lesli Wood. New classification system for mass transport complexes in offshore Trinidad[J]. Basin Research, 2008, 20: 73-98
- 39 王颖. 大型拗陷湖盆坡折带对沉积和岩性地层圈闭的控制作用[D]. 北京: 中国石油大学, 2005 [Wang Ying. The controlling of slope belt on sediment and lithological and stratigraphic traps in large-scale down warped lacustrine basins: a case study in the south of Songliao Basin [D]. Beijing: China University of Petroleum, 2005]
- 40 Zulfiquar A Reza, Matthew J Pranter, Paul Weimer. ModDRE: A program to model deepwater-reservoir elements using geomorphic and stratigraphic constraints [J]. Computers & Geosciences, 2006, 32: 1205-1220
- 41 Pyrcz M J, Boisvert J B, Deutsch C V. A library of training images for fluvial and deepwater reservoirs and associated code [J]. Computers & Geosciences, 2008, 34: 542-560
- 42 卫平生, 王建功, 潘树新, 等. 河口坝、沿岸坝的形成及成藏机制——以松辽盆地西、南部沉积体系为例 [J]. 新疆石油地质, 2004, 25(6): 592-595 [Wei Pingsheng, Wang Jianguo, Pan Shuxin, et al. Formation of the mouth bar and lakeshore bar and their petroleum accumulation: An example of southern and western depositional systems in Songliao basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(6): 592-595]
- 43 张世奇, 任延广. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究 [J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(3): 1-5 [Zhang Shiqi, Ren Yanguang. The study of base level changes of the Songliao basin in Mesozoic [J]. Journal of Chang an University: Earth Science Edition. 2003, 25(3): 1-5]

## Sedimentary Laws of Thin-layer, Fine-grain Turbidites of Distant-gentle Slope: A case from the 1st member of Qingshankou Formation in Dabusu area of west slope, south Songliao basin

ZHAO Ning<sup>1</sup> HUANG Jiang-qin<sup>2</sup> LI Dong-ming<sup>1</sup> WU Xiao-hong<sup>1</sup> HUANG Qi-Zhi<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development Africa Department, Beijing 100083;

2. Beijing Agency, Australian Laboratory Service CALS, Beijing 100029)

**Abstract:** Based on the study of high-resolution sequence stratigraphy and sedimentology, isochronic stratigraphy framework of high accuracy in fifth-level has been established, and tested by the analysis of maximum entropy spectrum, a case study of the 1st member of Qingshankou formation in Dabusu area of west slope, south Songliao basin. Using cores, logging and seismic responses, sedimentary characteristics and differences with delta front deposits were concluded. With the analysis of single wells, connective wells and RMS, the position of slope break belt and distribution law of turbidite deposits were verified. The turbidite deposits in this area belong to the origin of distant-mild slope slumping of mouth bars in delta front subfacies, and were also attributed to linear-source and mud-sand rich type. The sedimentary law of thin-layer, fine-grain turbidites certificated that ①slumps were mostly located in the falling period of base-level cycles, near the sequence boundary, thick thickness, superimposed or interlayered with turbidite channels vertically, and thickening upwards. ②turbidite channels were usually near the sequence boundary, thick thickness, and conducted as mainbodies of boxing logs in the rising period. But turbidite channels were usually near the flooding surface, thin thickness, conducted as flanks of aciculate-finger logs in the falling period of base-level cycle. The thickness of turbidite channels was thinner with the rising of base level, and was thicker with the falling of base level. ③turbidite sand sheets were mainly distributed in deeper and near maximum flooding surfaces, thin thickness, superimposed or interlayered with lacustrine muds, turbidite channel flanks or slumps vertically. Exploration practices indicated that high-oil reserves can be found in thin-layer, fine-grain turbidites of this area.

**Key words:** west slope of south Songliao basin; thin-layer; fine-grain; turbidites; sedimentary rules