

文章编号: 1000-0550(2009) 06-1076-08

大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式¹

王 颖¹ 王晓州² 王英民³ 辛仁臣⁴ 赵志魁⁵

(1. 中国海洋石油(中国)有限公司北京研究中心勘探研究部 北京 100027; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083

3. 中国石油大学资源与信息学院 北京 102249; 4. 中国地质大学 海洋学院 北京 100083; 5. 中国石油吉林油田公司 吉林松原 434020)

摘 要 沉积盆地的坡折带是重力流发育的最有利场所, 湖盆发育有和陆坡特征相似的坡折带, 开展大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式及其分布规律的研究具有重要意义。松辽盆地的龙虎泡一大安阶地具有明显的坡折带特征, 且发育两级坡折。湖底扇是由沉积物重力流所搬运的沉积物在湖底堆积形成的沉积体, 松辽盆地南部湖底扇主要由滑坡、碎屑流、浊流搬运的碎屑堆积而成。以松辽盆地为例, 建立了短缓坡和长缓坡两种类型的重力流沉积模式, 两种模式的湖底扇和下切水道的形态和分布模式均存在明显不同。

关键词 坳陷湖盆 坡折带 松辽盆地 重力流 沉积模式

第一作者简介 王颖 女 1976 年出生 博士 石油地质 E-mail wangying8@cnoc.com.cn

中图分类号 P512 **文献标识码** A

对于重力流沉积体系在国内外的情况, 饶孟余^[1]做了系统的总结。提出 20 世纪 50 年代初浊流理论建立以来, 经过近 50 年的勘探历程, 从理论到实践均取得了巨大的进展。提出今后重力流的发展趋势是进一步加强沉积模式及其分布规律的研究; 同时要更加重视湖泊浊流沉积的研究。沉积盆地的坡折带是重力流发育的最有利场所, 前人对于陆坡对沉积物重力流的影响做了大量的研究。湖盆发育有和陆坡特征相似的坡折带, 国内学者对大型坳陷湖盆开展了探索性的研究^[2~9], 指出在大型坳陷湖盆中发育多级坡折带, 但依然没有建立坡折带背景下的重力流沉积模式。本次研究就以松辽盆地为例, 建立了大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式。

1 坳陷湖盆坡折带特征

松辽盆地处于中国东北部, 总面积逾 287 000 km², 呈北北东向展布, 是中国东部具断坳双重结构的中、新生代陆相大型沉积盆地, 松辽盆地构造层可划分为 6 个一级构造单元^[10], 研究区为松辽盆地南部西部斜坡区(图 1)。

从松辽盆地现今中浅层的构造特征、地层厚度特征及盆地的构造、沉积演化资料初步分析, 松辽盆地的龙虎泡一大安阶地具有明显的坡折带特征, 而且发育两级坡折^[11, 12]。在地震剖面上, 陡坡带的特征表现为同一地震反射层系的地震反射时间厚度急剧增

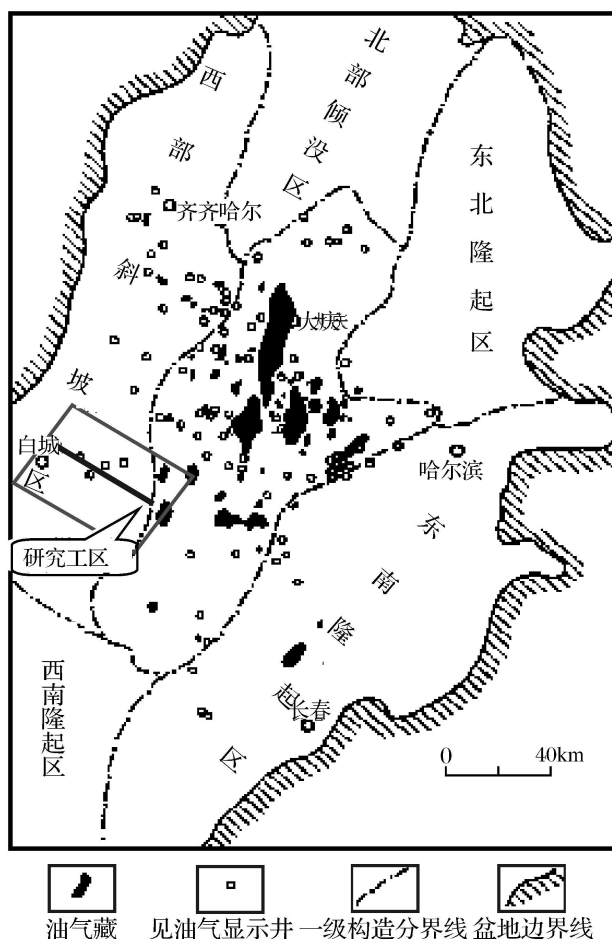


图 1 松辽盆地构造和油气藏分布示意图(据王骏, 1997)

Fig 1 Sketch map of structures and reservoirs

Songliao Basin (from Wang Jun 1997)

¹ 国家自然科学基金项目(批准号: 40272057)资助。

收稿日期: 2008-10-07 收修修改稿日期: 2008-12-02

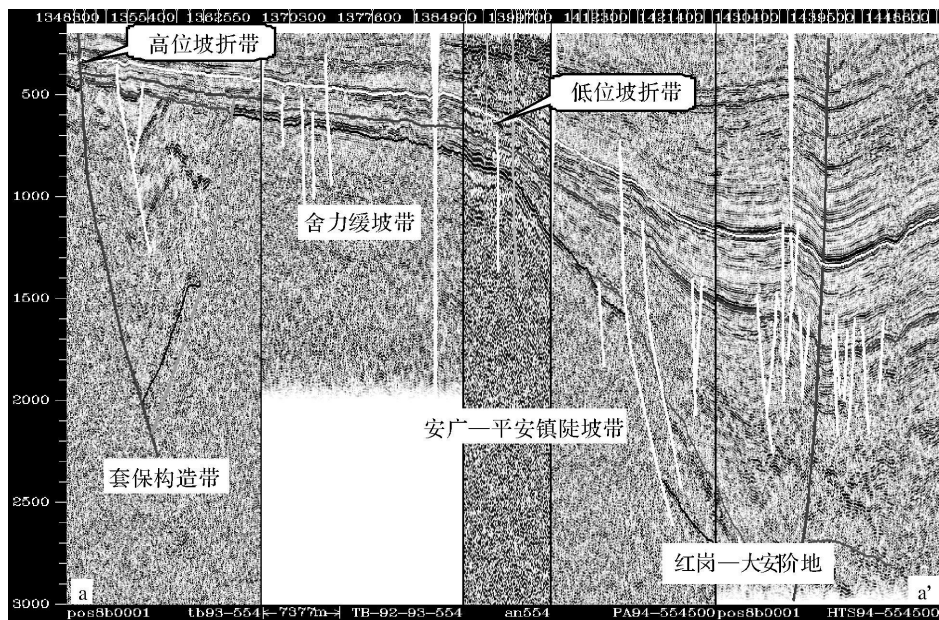


图 2 松南西部陡坡带在地震剖面上的特征 (套保—平安—海坨二维 554 测线, 位置见图 1)

Fig 2 The character of Songliao Western slope on Seismic section

大, 并有明显的上超和削截反射终止现象。由图 2 可见, 由西向东地震反射时间厚度显著增大, 地震反射同相轴由东向西上超的反射终止现象十分明显。

湖盆坡折带与陆坡既有相似性, 又有其独特的特征。

1.1 湖坡与陆坡的相似性

(1) 形态相似: 即具有上缓、中陡、下缓的特点。

(2) 坡度相似: 湖坡的坡度可达到 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$, 与一些较缓的陆坡相类似。

(3) 湖坡附近同样是地层超覆和削蚀特别发育的地区。

(4) 在某些湖盆坡折带, 特别是低位坡折带之下同样有低位域和深水重力流沉积, 坡折附近有下切谷。

(5) 湖坡背景下的层序地层模式与具陆坡背景下的层序地层模式有一定相似性。

1.2 湖盆坡折带与陆坡的差异

(1) 湖坡的高差较小, 一般为几十米到几百米, 而陆坡的高差一般为几百米甚至于上千米。

(2) 湖坡的宽度较小, 一般为几千米到几十千米, 而陆坡的宽度一般为几十千米, 甚至于达数百千米。

(3) 多数湖盆坡折的水深比较浅, 在水下部分一般为几十米, 上百米的少见, 有些甚至于出露于水面

之上。而陆架坡折往往达上百米, 甚至于可达数百米。

(4) 湖盆中多级坡折带的规模相似, 而海盆中陆坡规模远大于其它坡折, 从而在湖盆中多级坡折带对沉积和低位域发育的控制作用表现得更为复杂。

2 重力流成因沉积体系类型

湖底扇是由沉积物重力流所搬运的沉积物在湖底堆积形成的沉积体。沉积物重力流是盆地斜坡高部位先存的沉积物在一定触发条件下, 在自身重力作用下, 由斜坡高部位沿斜坡向斜坡低部位流动的塑性流体。根据沉积物重力流的流动特征和流体的支撑机理, 通常将沉积物重力流区分为蠕动 (creep)、垮塌 (slump)、滑坡 (slide)、颗粒流 (grain flow)、液化沉积物流 (liquified flow)、碎屑流 (debris flow)、浊流 (turbidity flow)。松辽盆地南部湖底扇主要由滑坡、碎屑流、浊流搬运的碎屑堆积而成, 其中碎屑流又可区分出砂质碎屑流和泥质碎屑流。砂岩储层主要为砂质碎屑流沉积物, 其次为滑坡堆积物。

2.1 滑坡堆积物

滑坡沉积物是在一定触发条件下, 在自身重力作用下, 斜坡高部位先存的沉积物沿斜坡以连续或不连续块体 (刚性固体) 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。

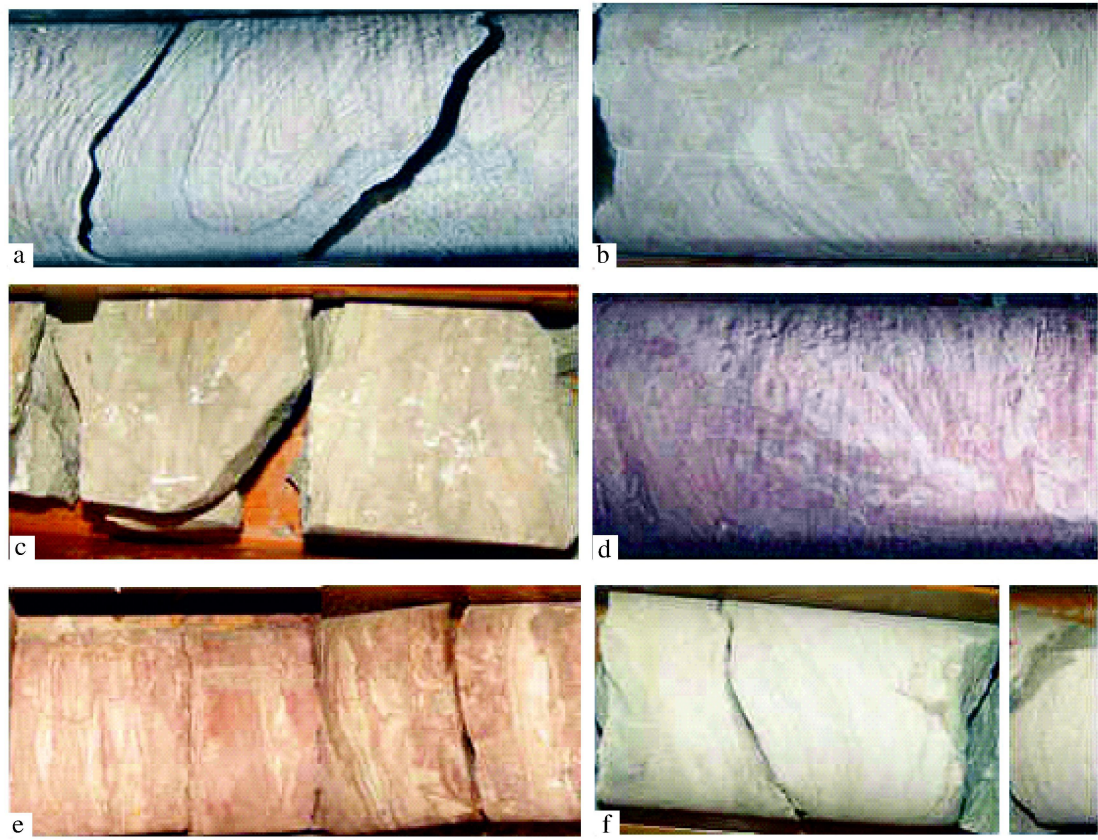


图 3 滑坡沉积物特征
a 具包卷层理的灰绿色泥质粉砂岩, b 滑动变形层理, c 深灰色泥质粉砂岩, 滑塌变形层理, 滑塌, d 具滑塌构造
的紫红色泥质粉砂岩。 e 紫红色泥质粉砂岩, 滑塌搅混构造, f 灰白色细砂岩, 侵蚀接触, 滑塌变形层理

Fig 3 The character of slide deposition

本区发育的滑坡沉积物的典型特征有 (图 3): ①包卷层理 (图 3-a); ④以拉断扭曲纹层为特征的滑塌变形层理 (图 3-b); ④滑动破裂碎块杂乱堆积, 长条状碎块的长轴杂乱排列 (图 3-c); ④泥质岩中杂乱排列的砂质碎块、砂质条带 (图 3-d); ④泥质岩中拉断的砂质薄层, 砂质薄层内可见纹层 (图 3-e); ④砂质碎块、泥质碎块、泥质基质混杂堆积 (图 3-e); ④底具侵蚀面, 内部具不规则高角度倾斜纹层的砂岩 (图 3-f)。

2.2 砂质碎屑流沉积

砂质碎屑流是一种以砂质为主, 可混杂有砾石 (陆源砾石、泥砾) 和泥质的塑性流体, 这种流体在自身重力作用下沿斜坡向下流动, 在斜坡下部的平坦地带由于重力和惯性力的减弱和消失发生沉积, 形成砂质碎屑流沉积体。

本区发育的砂质碎屑流具有如下特征 (图 4): ①具似火焰状构造、不规则的泥质纹层的砂岩 (图 4-a), 似火焰状构造的形成是砂质碎屑流流动过程中, 将下伏的泥质沉积层液化并挤入砂质碎屑流流体内,

随着砂质碎屑流的继续流动, 将泥质挤入物拉扁、拉断而成的, 泥质挤入物的倾斜方向能够反映砂质碎屑流的流动方向。④含泥砾砂岩, 在下伏的泥质沉积物中有陷落的砂质块体 (图 4-b), 这种特征反映了滑坡成因的泥质层和砂质层随着滑动距离的增加, 均逐渐稀释, 演变为塑性泥质碎屑流和砂质碎屑流, 并继续沿斜坡流动, 在进一步流动过程中, 由于砂质碎屑流密度大, 粘度小, 砂质碎屑流向伏泥质碎屑流陷落, 在泥质碎屑流中形成砂质碎屑流成因的砂质块体。④具垂直逃逸迹的含泥砾砂岩 (图 4-c), 砂岩中的垂直逃逸迹反映了砂质碎屑流携带的砂质沉积物快速堆积, 原来在平静湖底悠闲自在觅食或栖息的生物, 在砂质碎屑快速堆积时, 为避免被活埋, 选择了距离最短的垂直路径逃生, 就在砂质碎屑流沉积物中留下了垂直逃逸迹。④不均匀含泥质砂岩, 泥质含量较低的部位储集物性较好, 可含油, 在含油的情况下, 这种砂岩为油斑砂岩 (图 4-d)。④块状砂岩, 可含油 (图 4-e), 反映形成砂质碎屑流的原始沉积物为分选较好的砂, 并在

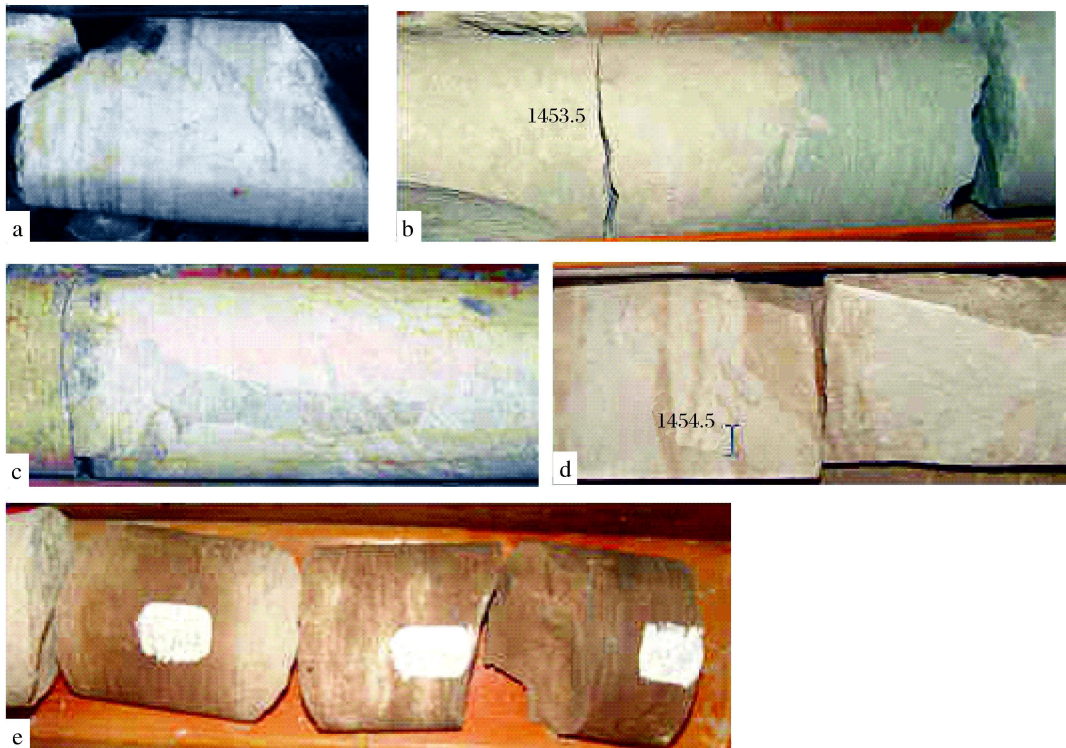


图 4 砂质碎屑流特征

a 含倾斜泥砾, 具变形构造的灰绿色泥质粉砂岩, b 灰白色细砂岩, 底冲刷, 含泥砾, c 灰白色含泥砾细砂岩, 具垂直逃逸迹, d 灰白色细砂岩, 油斑含泥砾。 e 油浸细砂岩, 块状

Fig 4 The character of sandy debris flow

碎屑流的流动过程中很少有泥质混入。

2 3 泥质碎屑流沉积

泥质碎屑流是一种以泥质为主, 可混杂有砂质颗粒或砂质团块的塑性流体, 这种流体在自身重力作用下沿斜坡向下流动, 在斜坡下部的平坦地带由于重力和惯性力的减弱和消失发生沉积, 形成泥质碎屑流沉积体。

本区发育的泥质碎屑流具有以下特征 (图 5): ①以刚性砂块分布于泥岩中形成含砂岩块的泥岩, 砂块棱角分明, 主要为中细粒砂 (图 5-a), 由于泥质碎屑流中, 中细粒砂质部分的抗剪强度约为泥质部分的 6 ~ 12 倍, 因此在碎屑流流动过程砂质部分表现为刚性。④含不规则砂质团块的粉砂质泥岩 (图 5-b), 其中的砂质团块具有较高的泥质含量, 在碎屑流流动过程中, 砂质部分表现为一定的塑性, 从而在泥质碎屑流中形成不规则的砂质团块。④含不规则泥砾、砂质团块的粉砂质泥岩 (图 5-c)。⑤具多种形态砂质斑块的粉砂质泥岩 (图 5-d)。⑥具多种形态砂质斑块的粉砂质泥岩 (图 5-e), 砂质斑块主要为粉砂或泥质粉砂, 表现为较强的塑性变形。⑦含分散砂质颗粒的泥岩。

2 4 浊流沉积

常见的浊流沉积为鲍玛序列 (Bouma 1962) 的 BCD 和 CD 组合 (图 5-f)。具有平行层理或交错层理的中细砂岩 (B 段) 往往厚度较薄, 一般不超过 20 cm, 以具有波纹层理和变形层理的粉、细砂岩 (C 段) 和砂质泥岩 (D 段) 为主, 当 B 段不发育时, 则为 CD 组合。与典型的鲍玛序列相比, 缺少粗尾粒序层 (A 段), 这是由于浊流是由从三角洲前缘或滨浅湖滑塌而来的碎屑流演化而成, 原三角洲前缘或滨浅湖的堆积物本身缺少砾石及粗砂等沉积物, 加上碎屑流演化为浊流的过程中, 部分粗碎屑的堆积, 导致在浊流沉积序列中缺少 A 段, 甚至 B 段。

3 坳陷湖盆坡折带重力流沉积模式

湖盆坡折带具有其独特的沉积模式。松辽盆地坡折带的发育坡度较缓, 北部大于南部, 因此, 可以划分为两种类型: 短缓坡和长缓坡两类。针对这两种类型的坡折带, 本次研究通过沉积物理模拟实验^[13], 并结合钻测井和地震资料综合分析, 分别建立了这两种坡折带的沉积模式 (图 6)。

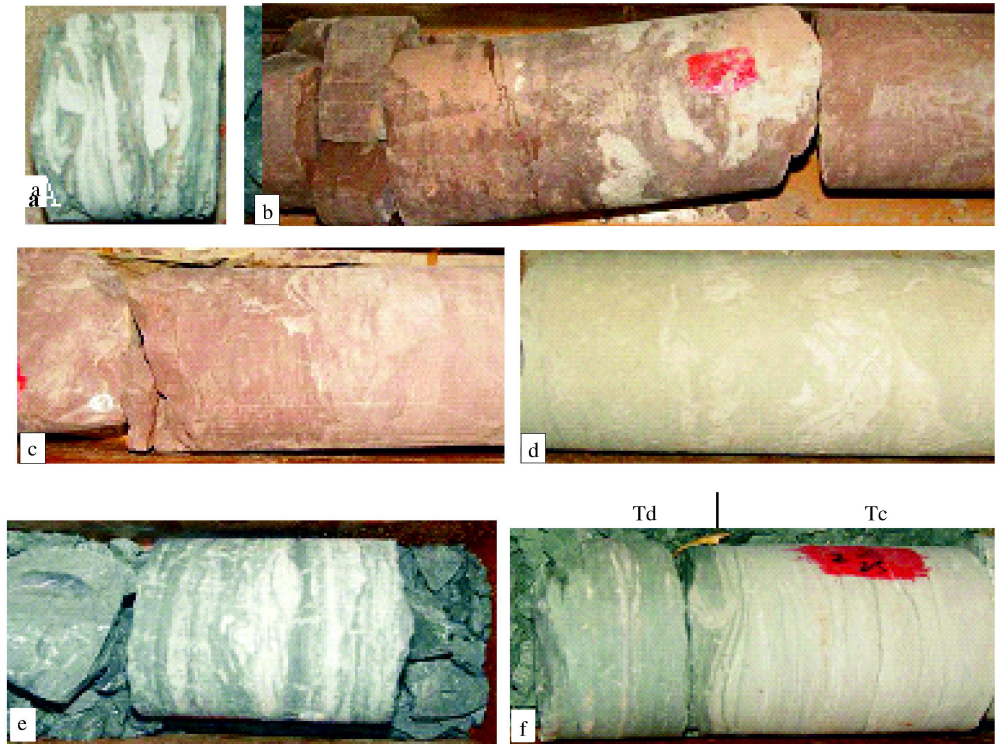


图 5 泥质碎屑流和浊流沉积物特征

- a 灰绿色泥质粉砂岩, 含不规则砂块; b 紫红粉砂质泥岩, 含不规则砂质团块;
c 紫红色泥质粉砂岩, 具不规则泥质、砂质团块; d 灰绿色泥质粉砂岩, 含泥砾、杂砂质团块;
e 灰黑色粉砂质泥岩, 包裹不规则砂质团块, 含双壳化石; f 浊流沉积的 CD 组

Fig 5 The sediment character of muddy debris flow and turbidity flow

短缓坡相对于长缓坡而言, 形成重力流所需要的坡度较大, 沉积物先在坡折附近堆积 (图 6-c), 当沉积物堆积达到一定高度后, 即坡折带的高差达到一定值后, 才有可能发生砂质碎屑流, 碎屑流沿着斜坡滑动, 在坡脚和坡脚以下的位置, 形成一般规模较小, 厚度较大的湖底扇沉积, 而且, 在坡脚位置的湖底扇在规模上往往大于远离坡脚位置的湖底扇, 这就由于砂质碎屑流头部突然停止造成的, 并多呈串珠状分布于厚层泥岩之中 (图 6-a), 是岩性油气藏聚集的良好场所。短缓坡的斜坡比较短, 不易于形成下切水道, 只有在坡度比较大时才能形成, 而且形成的下切水道不典型, 喇叭状形态不明显 (图 7-b), 但是, 有时下切水道不仅发育在坡折带上, 可穿越坡脚向盆地延伸一段距离, 而顶部可一直延伸至坡折附近 (图 6-a), 同时, 自斜坡到坡角, 下切水道的深度基本相当 (图 7-a), 在剖面上呈“U”字形 (图 6-c)。

长缓坡形成重力流所需要的坡度相对于短缓坡

小, 这是由于高差和坡度对于形成重力流互补的原因。长缓坡的高差往往比较大, 沉积物在长缓坡的坡折附近已经拥有较大的势能, 利于砂质碎屑流的形成, 由于坡度较缓, 碎屑流在斜坡处即可以堆积, 形成面积大而厚度薄的湖底扇, 沿着斜坡向下, 湖底扇分布的面积较广, 但是厚度不大 (图 6-b 图 6-d)。长缓坡下切水道的形成, 往往靠近坡折带下部下切水道比较宽, 向坡折带顶部逐渐变窄, 平面上具有喇叭状形态 (图 8-b); 而且, 斜坡带下部下切水道切割比较深, 向斜坡带顶部切割深度逐渐变小 (图 8-a), 横剖面具有“V”形特征 (图 6-d); 如果坡折带上存在几条下切水道时, 下切水道之间一般都是独立的, 不会象平原河流那样经常发生交汇与分叉, 其主要原因在于下切水道是由水流和碎屑流滑动共同作用形成的, 在低位域条件下, 碎屑流只能由坡顶向坡底滑动而难以改变方向, 因此, 在下切水道内和下切水道的前方是寻找湖底扇的有利地区 (图 6-b)。

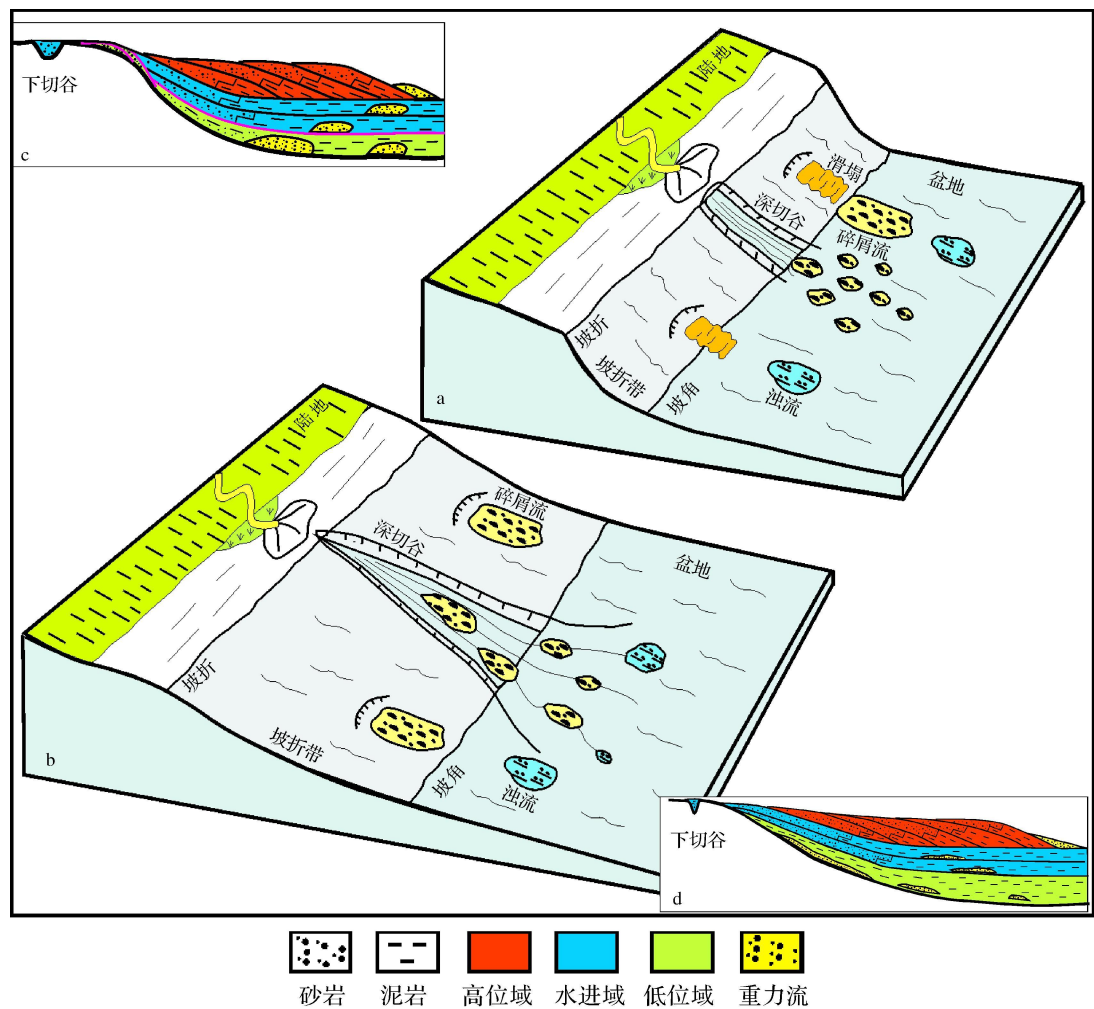


图 6 拗陷湖盆重力流沉积模式

α 短缓坡沉积模式, b 长缓坡沉积模式, c 短缓坡沉积模式剖面图, d 长缓坡沉积模式剖面图

Fig 6 The depositional model of gravity flow in downwarped lake basins

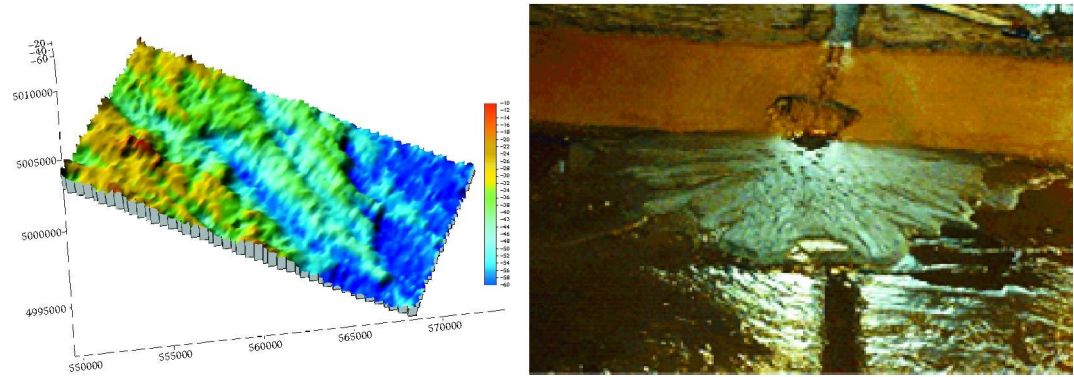


图 7 短缓坡下切水道特征

α 松辽盆地海坨子地区青山口组上部厚度立体图, b 短缓坡模拟实验下切水道特征

Fig 7 The downcutting channel character of short gentle slope

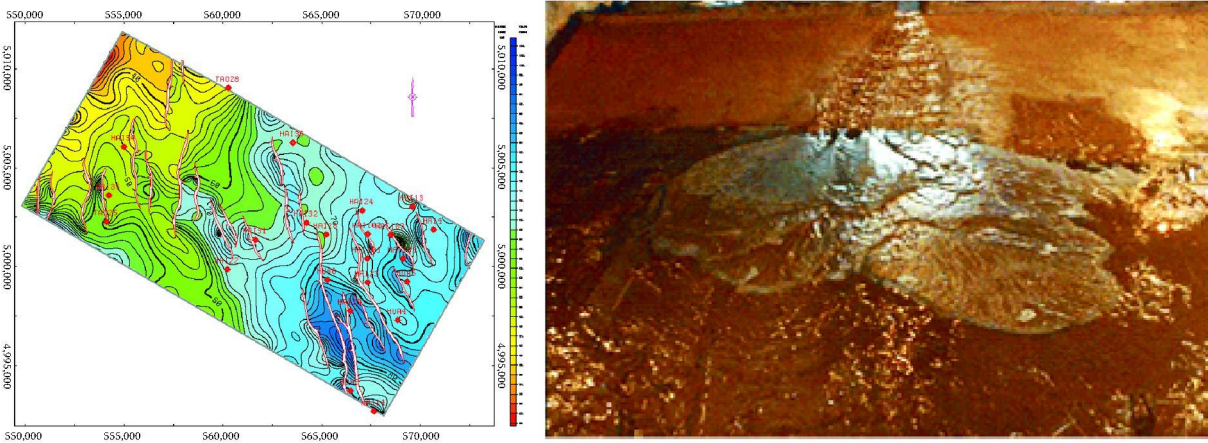


图 8 长缓坡下切水道特征
a 松辽盆地海坨子地区青山口组上部厚度图, b 长缓坡模拟实验下切水道特征
Fig 8 The down cutting channel character of long gentle slope

4 结论

(1) 湖盆坡折带即与陆坡有相似性, 又有其独特的特征。具有上缓、中陡、下缓多级发育的特点, 坡度可达到 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$, 同样是地层超覆和削蚀特别发育的地区, 存在低位域和深水重力流沉积, 坡折附近有下切谷。但发育规模小, 湖盆坡折的水深也明显小于陆坡, 因此, 尤其独特的沉积特征。

(2) 湖底扇是由沉积物重力流所搬运的沉积物在湖底堆积形成的沉积体, 松辽盆地南部湖底扇主要由滑坡、碎屑流、浊流搬运的碎屑堆积而成。砂岩储层主要为砂质碎屑流沉积物, 其次为滑坡堆积物。

(3) 建立了短缓坡和长缓坡两种类型的重力流沉积模式。短缓坡相对于长缓坡而言, 形成重力流所需要的坡度较大, 在坡脚和坡脚以下的位置, 形成一般规模较小, 厚度较大的湖底扇沉积, 只有在坡度比较大时才易形成下切水道, 自斜坡到坡角, 下切水道的深度基本相当, 在剖面上呈“U”字形。长缓坡常形成面积大而厚度薄的湖底扇, 长缓坡下切水道平面上具有喇叭状形态横剖面具有“V”形特征, 下切水道之间一般都是独立的。

参考文献 (References)

1 饶孟余, 钟建华, 赵志根, 等. 浊流沉积研究综述和展望 [J]. 煤田地质与勘探, 2004 32(6): 1-4 [Rao Mengyu, Zhong Jianhua, Zhao Zhigen, et al. Overview and prospect on study of turbidity deposits [J]. Coal Geology & Exploration 2004 32(6): 1-4]

2 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式 [J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 387-392 [Xin Renchen,

Cai Xiyuan, Wang Yingmin. Depositional model of low stand and characteristics of sequence boundary in deep-water lake Songliao depression basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 387-392]

3 辛仁臣, 王英民. 松辽盆地北部青山口—姚家组西部坡折带成因及演化 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004 29(5): 621-624 [Xin Renchen, Wang Yingmin. Origin and evolution of west slope breaks of Qingshankou-Yaojia Formation in Northern Songliao Basin [J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 621-624]

4 王英民, 刘豪, 李立诚, 等. 准噶尔大型拗陷湖盆坡折带的类型和分布特征 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 27(6): 683-687 [Wang Yingmin, Liu Hao, Li Licheng. Types and distribution characteristics of slope breaks of large-type down-warped lake basins [J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6): 683-687]

5 刘豪, 王英民, 王媛, 等. 大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义—以准噶尔盆地西北缘侏罗纪拗陷湖盆为例 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 95-102 [Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Study on slope breaks in large down-warped lake basins and its significance: A case study from Jurassic lake in northwestern Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 95-102]

6 刘豪, 王英民, 王媛. 拗陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制 [J]. 石油学报, 2004 25(2): 30-35 [Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on a tectonic traps in downwarped lake basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 25(2): 30-35]

7 刘豪, 王英民. 准噶尔盆地拗陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(4): 422-427 [Liu Hao, Wang Yingmin. Significance of slope break zones in downwarped lake basins to exploration of non-structural traps in Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004 25(4): 422-427]

8 王英民, 金武弟, 刘书会, 等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 199-203

- [Wang Ying in Jin Wudi, Liu Shuhui *et al*. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 199-203]
- 9 张善文, 王英民, 李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 5-7 [Zhang Shanwen, Wang Yingmin, Li Qun. Searching subtle traps using the theory of slope break[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 5-7]
 - 10 高瑞祺, 蔡希源, 等. 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: 181-212, 246-294 [Gao Ruiqi, Cai Xiyuan *et al*. *The Formation Condition and Distribution Regulation of Oil Field in Songliao Basin*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1977: 181-212, 246-294]
 - 11 王颖, 王英民, 赵志魁, 等. 松辽盆地南部泉头组四段一姚家组西部坡折带的成因及演化[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(3): 33-36 [Wang Ying, Wang Yingmin, Zhao Zhikui. Origin and evolution of the west slope belt in Member 4 of Quntou Formation to Yaojia Formation, South Songliao Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(3): 33-36]
 - 12 王颖, 王英民, 王晓洲, 等. 松辽盆地西部坡折带的成因演化及其对地层分布的控制作用[J]. *沉积学报*, 2006, 23(3): 498-506 [Wang Ying, Wang Yingmin, Wang Xiaozhou. The origin and evolution of slope break belt and its effect on stratigraphy distribution in large down-warped lake basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 23(3): 498-506]
 - 13 刘忠保, 龚文平, 张春生, 等. 坡折带上深切谷的形成及发育沉积模式试验研究[J]. *石油天然气学报: 江汉石油学院学报*, 2006, 28(6): 32-34 [Liu Zhongbao, Gong Wenping, Zhang Chunsheng. The simulation experimental study of down incised valley depositional mode[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(6): 32-34]

Depositional Model of Gravity Flow of Slope in Large Down Warped Lake Basins

WANG Ying¹ WANG Xiao-zhou² WANG Ying-min³
X N Ren-chen⁴ ZHAO Zhikui⁵

(1. China National Offshore Oil Corporation Research Center, Beijing 100027;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083;

3. Institute of Resource and Information, China Petroleum University, Beijing 102249;

4. School of Marine Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083;

5. The Jilin Oil-field Field, the Corporation of Petroleum, Songyuan Jilin 138001)

Abstract Slope break belt is the most favorable setting for gravity flow development. Slope break belt can be developed in Lake basins and has the similar characteristics with one in continental slopes. Therefore, the study on depositional model and distribution regularity of gravity flow of slope breaks in large down warped lake basins is of important significance. The characteristic of slope break belt in Longhupao-Daan terrace of Songliao Basin is distinctive, and it is a two-level slope break. Sublacustrine fan is formed by sediment that carried by gravity flow. The sublacustrine fan of the south Songliao basin consists chiefly of elastics carried by landslide debris-flow and turbidity current. Taking slope break of Songliao basin as an illustration, the paper elaborated depositional models of gravity flow in short gradual slope and long gradual slope setting. This study has shown that there are distinctly different features between two type models, especially the shape and distribution pattern of sublacustrine fan and incised waterway.

Key words down warped lake basins, slope, Songliao Basin, gravity flow, depositional model