

文章编号: 1009-3850(2013)04-0022-11

## 孙吴-嘉荫盆地白垩系淘淇河组水下重力流沉积特征

李健<sup>1</sup>, 张霞<sup>2</sup>, 刘招君<sup>3</sup>

(1. 有色金属华东地质勘查局, 江苏 南京 210007; 2. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210093; 3. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 本文根据露头、岩心、测井、薄片鉴定等资料, 对孙吴-嘉荫盆地白垩系淘淇河组水下重力流沉积特征进行了详细的研究, 认为淘淇河组水下重力流沉积规模大, 为湖底扇沉积, 其可进一步划分为内扇、中扇、外扇3种亚相以及主沟道、主沟道外、辫状沟道、辫状沟道间、远源浊积岩5种微相类型。内扇以水下泥石流沉积为主, 中扇以液化沉积物流和浊流沉积为主, 外扇发育浊积岩。根据地震剖面推断, 白垩系淘淇河组时期发生的断层活动是湖底扇沉积发育的主要原因。

关键词: 孙吴-嘉荫盆地; 白垩系; 水下重力流; 粒度分析  
中图分类号: P512.2 文献标识码: A

断陷湖盆凹陷中心广泛发育着多种类型的重力流沉积<sup>[1-2]</sup>。随着勘探程度的提高, 重力流成因的岩性油气藏正成为中国东部各油区重要的勘探目标。本次研究主要通过孙吴-嘉荫盆地沾河断陷嘉D1井淘淇河组岩心的观察分析, 野外露头及岩心样品的薄片鉴定, 岩心薄片的粒度分析, 并结合测井和地震等常规物性测试资料, 对孙吴-嘉荫盆地白垩系淘淇河组水下重力流沉积特征进行了综合分析和研究, 为该区进一步的油气地质勘探提供全新思路。

### 1 研究区地质特征

孙吴-嘉荫盆地位于松辽地块的北端, 东临佳木斯地块, 东部、南部为小兴安岭-张广才岭碰撞造山带, 西为大兴安岭褶皱带, 西南与松辽盆地相接, 向北过黑龙江延伸至俄罗斯, 是结雅布列亚盆地的南延部分, 处在佳木斯-沈阳岩石圈断裂与鹤岗-清津

岩石圈断裂之间, 形成三凹夹两凸的“W”型盆地构造格局<sup>[3]</sup>。接近断裂两侧的孙吴断陷和嘉荫断陷, 为规模相似的小型凹陷, 而中间的逊克-沾河断陷规模相对较大, 三者形成对称的格局(图1)。盆地内断裂发育, 其中北东向断裂为主控断裂。孙吴-嘉荫盆地内的沉积盖层主要为中、新生界, 是在前古生界或古生界变质岩及华力西期花岗岩基底之上沉积发育起来的<sup>[4]</sup>。充填序列自下而上为下白垩统宁远村组、淘淇河组, 上白垩统永安村组、太平林场组、鱼亮子组、富饶组, 以及古新统乌云组, 渐新统至上新统孙吴组<sup>[5]</sup>。下白垩统淘淇河组(K<sub>1t</sub>)沉积可以分为上、下两段, 上、下两段总厚1700余米。下段为灰、灰褐色砾岩夹含砾砂岩、粉砂岩、泥岩, 不整合于宁远村组之上; 上段为灰黄、土黄色及白色中-细粒砂岩, 夹粉砂岩和砾岩及层状凝灰岩和煤线, 粉砂岩中产丰富的植物化石。嘉D1井中发育下白垩统宁远村组、淘淇河组, 上白垩统永安村组、

收稿日期: 2012-10-08; 改回日期: 2013-02-26

作者简介: 李健(1983-), 男, 硕士研究生, 有色金属华东地质勘查局工程师, 主要从事矿产地质勘查工作及研究。  
E-mail: lijian220305@163.com

太平林场组以及渐新统至上新统孙吴组,最下部层位下白垩统宁远村组直接与下伏花岗岩呈角度不整合接触,且淘淇河组与上下层位均为不整合接触<sup>[6]</sup>。通过对嘉 D1 井岩心观察表明,整个淘淇河组中除少量半深湖-深湖沉积外,全部为湖底扇沉积<sup>[7]</sup>。

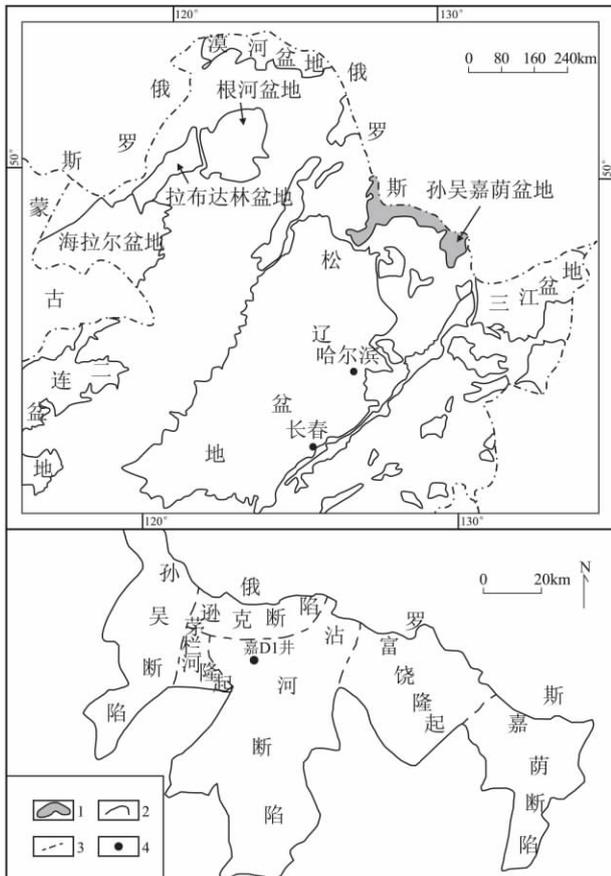


图1 孙吴-嘉荫盆地大地构造位置及构造单元分区图

1. 盆地位置; 2. 盆地边界; 3. 一级构造分区界限; 4. 嘉 D1 井

Fig.1 Tectonic setting and division of tectonic units in the Sunwu-Jiayin Basin

1 = basin extent; 2 = basin boundary; 3 = first-order tectonic boundary; 4 = JD1 well

## 2 水下重力流沉积相特征

逊克-沾河断陷中嘉 D1 井淘淇河组砂砾岩层的上、下围岩均为深湖-半深湖亚相的深灰色泥岩,泥岩性脆,极易破碎,水平层理发育,基本上处于风暴浪基面以下的较深水环境中。此外砂砾岩中反映重力流沉积的沉积构造非常发育,具有水下泥石流、液化沉积物流、浊流 3 种重力流沉积单元,因此将其划分为湖底扇沉积。湖底扇一词是由 Walker R G 等提出的海底扇模式<sup>[8]</sup>演绎而来的,指湖盆中以

沉积物重力流搬运方式堆积在深水区的粗碎屑扇形体。根据岩性、沉积构造、垂向组合、测井曲线特征,将湖底扇进一步划分为内扇、中扇、外扇 3 种亚相及主沟道、主沟道外、辫状沟道、沟道间、远源浊积岩 5 种微相类型。

湖底扇的内扇亚相由主沟道和主沟道外两个微相组成,其相互叠置组成一个正旋回。主沟道是一个欠补偿的下切谷,主要由水下泥石流组成(图 3a) 颗粒流和液化沉积物流少见。主沟道外是由重力流作用时期溢出主沟道的细粒沉积物组成,由于经常遭到后期重力流和波浪作用的破坏不易保存<sup>[9]</sup>。

中扇亚相位于内扇以外,外扇以内,常形成叠覆扇叶状体,是由重力流流出补给水道和主水道后散开,快速堆积形成,是湖底扇最活跃的地区,辫状沟道极为发育<sup>[1]</sup>。受地形的控制,沿地势低洼或盆地最低轴线流动,形成不规则的扇体。中扇可进一步划分为辫状沟道及沟道间两个微相。湖底扇中扇的重力流沉积类型包括颗粒流、液化沉积物流及浊流 3 种类型,其中浊流沉积最为发育。辫状沟道是中扇的主体,沟道间与辫状沟道共生或互层出现,主要是溢出辫状沟道的浊流沉积。

中扇之外的比较低平部分是外扇,与正常湖泊相邻,外扇亚相基本上无水道,沉积物分布宽阔而层薄,呈薄层状夹于半深湖和深湖相的细粒沉积物中,主要为浊积岩 BCDE、CDE、DE 段的典型远源浊积岩序列<sup>[10]</sup>。

## 3 岩相特征

### 3.1 内扇亚相

根据嘉 D1 井岩心观察,主沟道微相沉积以杂基支撑的复成分砾岩、砂砾岩,颗粒支撑的砾岩、砂砾岩沉积为主,颜色多为灰色、灰白色。杂基支撑的砾岩、砂砾岩、砂岩中常见大的漂砾,这是水下泥石流最重要和最具有鉴别意义的特征。砾石成分多样,以石英岩、变质岩、石英、长石为主,砾石最大砾径为 60mm,最小砾径 2mm,平均砾径 3~5mm。岩石分选极差,棱角状到次棱角状。底部均发育冲刷充填构造(图 3b),层理类型主要为递变层理和块状层理。

薄片鉴定结果表明,内扇沉积岩石的成分成熟度及结构成熟度极低。成分统计结果显示,岩石碎屑主要由石英、长石、岩屑、及少量的黑云母组成,石英含量在 14%~29% 之间,平均为 22%,有单晶

石英和多晶石英两种类型,以单晶石英为主(表1)。石英在单偏光下为无色,正交偏光镜下由于薄片较厚,除一部分为一级灰白干涉色以外,大部分为一级黄白干涉色。长石含量在8%~63%之间,平均为14%,有钾长石和斜长石两种类型,钾长石因为高岭土化在单偏光镜下表面不干净,为土黄色,有时发黑,有正长石和微斜长石两种类型,微斜长石有格子状双晶,斜长石大部分已经绢云母。岩屑含量10%~78%,平均63%,主要表现为花岗岩、流纹

岩、安山岩、凝灰岩及少量变质岩岩屑。花岗岩岩屑在镜下可见明显的花岗结构,流纹岩岩屑可见斑状结构和球粒结构,安山岩岩屑可见明显的安山结构,凝灰岩岩屑,单偏光镜下为黄色,透光性好,正交偏光镜下为隐晶质结构。岩屑与长石的比值高达4.46,杂基含量在30%~45%之间。岩石分选差,颗粒粒级大小混杂,粒级范围广,0.06~2mm之间均有发育,磨圆棱角状到次棱角状,主要岩性为岩屑杂砂岩(图2、4a、4b、4c、4d)。

表1 嘉D1井淘淇河组湖底扇砂岩成分统计表

Table 1 Statistics of the sublacustrine fan sandstone compositions from the Taoqihe Formation in the JD1 well

| 亚相 | 样品号          | 石英     |         | 长石     |         | 岩屑     |         | 岩屑/长石 |      |
|----|--------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|-------|------|
|    |              | 含量 (%) | 平均值 (%) | 含量 (%) | 平均值 (%) | 含量 (%) | 平均值 (%) | 比值    | 平均   |
| 内扇 | Z33          | 21     | 22      | 14     | 22      | 65     | 63      | 4.60  | 4.46 |
|    | Z27          | 14     |         | 8      |         | 78     |         | 9.75  |      |
|    | JD1-43-1(A4) | 20     |         | 10     |         | 60     |         | 6.00  |      |
|    | Z28          | 29     |         | 20     |         | 51     |         | 2.55  |      |
|    | BL6-1        | 27     |         | 63     |         | 10     |         | 0.16  |      |
|    | Z61          | 25     |         | 16     |         | 59     |         | 3.69  |      |
| 中扇 | Z23          | 36     | 29      | 16     | 24      | 48     | 48      | 3.00  | 2.20 |
|    | Z20          | 23     |         | 20     |         | 57     |         | 2.85  |      |
|    | Z34          | 25     |         | 23     |         | 52     |         | 2.30  |      |
|    | Z12          | 32     |         | 24     |         | 44     |         | 1.83  |      |
|    | BL29-1       | 27     |         | 36     |         | 37     |         | 1.03  |      |
| 外扇 | Z8           | 42     | 31      | 18     | 32      | 40     | 38      | 2.20  | 1.25 |
|    | Z10          | 29     |         | 25     |         | 46     |         | 1.84  |      |
|    | Z6           | 26     |         | 35     |         | 39     |         | 1.11  |      |
|    | Z32          | 26     |         | 48     |         | 26     |         | 0.54  |      |
|    | Z13          | 44     |         | 36     |         | 20     |         | 0.56  |      |

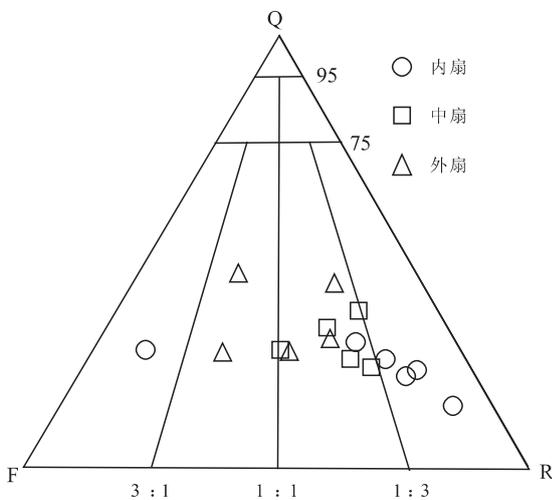


图2 嘉D1井淘淇河组湖底扇砂岩分类

Fig.2 Classification of the sublacustrine fan sandstones from the Taoqihe Formation in the JD1 well

○ Inner fan; □ Middle fan; △ Outer fan

主沟道外微相沉积主要表现为深灰色、浅灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、深灰色砾质粉砂岩、含砾粉砂岩(图3c)、含砾泥岩,偶见薄层浅灰色细砂岩。沉积构造主要表现为块状层理和变形层理(图3d),偶见平行层理和水平层理。岩石薄片特征表现为含粗砂的粉砂岩(图4e),粗砂级颗粒含量占20%,成分主要由花岗岩岩屑(图4f),条纹长石及少量的石英组成。颗粒粒径在0.15~2.5mm之间,但以0.5~2mm之间为主,粉砂级颗粒占80%,成分主要为长石和石英。粗砂级颗粒成分复杂,大小混杂,磨圆棱角状到次棱角状,这些均是主沟道外水下泥石流沉积的重要特征。

### 3.2 中扇亚相

本研究区中扇辫状沟道微相沉积主要发育液化沉积物流、浊流两种沉积单元类型。液化沉积物

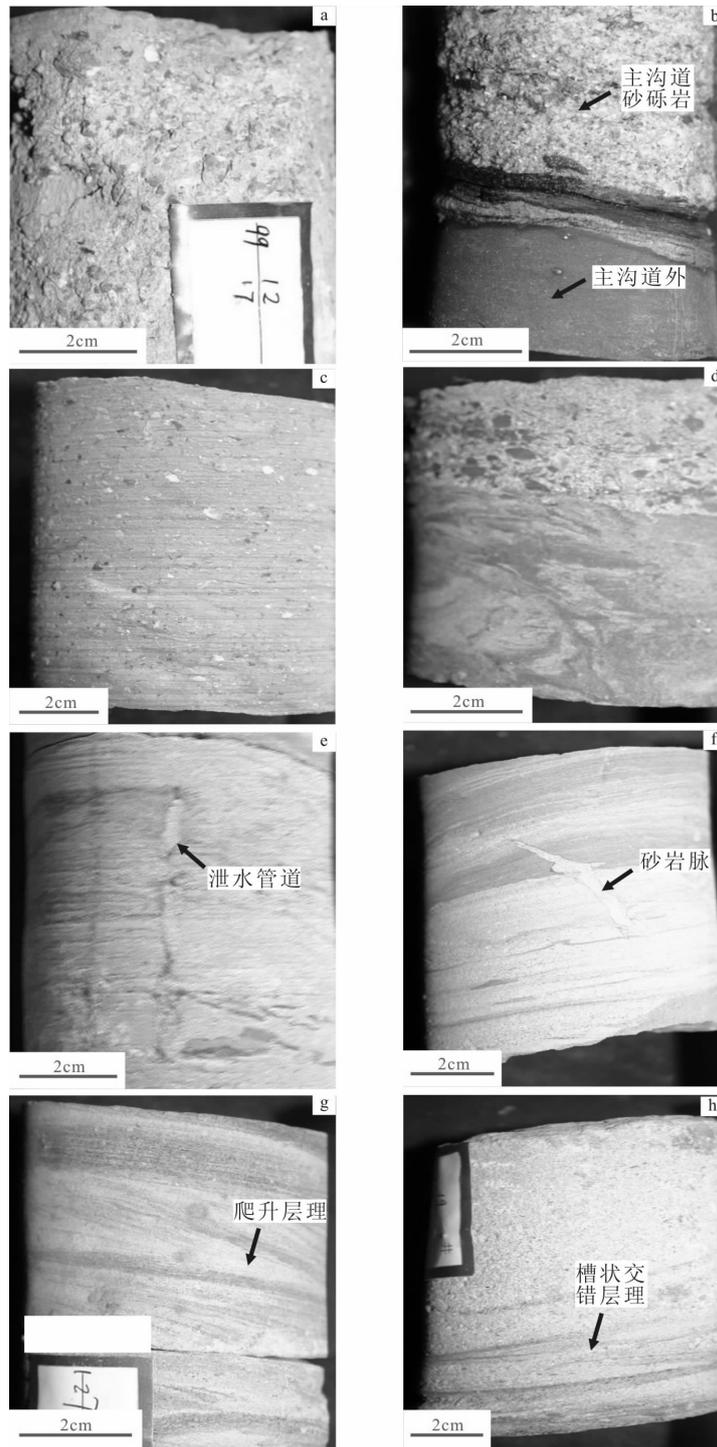


图 3 嘉 D1 井典型岩心照片

a. 主沟道水下泥石流沉积; b. 主沟道冲刷面; c. 主沟道外含砾粉砂岩; d. 主沟道外变形层理; e. 泄水管道变形构造( 688.7m); f. 砂岩脉构造; g. 浊积岩 C 段; h. 浊积岩 B 段槽状交错层理

Fig. 3 Representative cores from the JD1 well

a. Main channel subaqueous debris flow deposits; b. Main channel scour surface; c. Outer main channel pebbly siltstones; d. Outer main channel deformational beddings ; e. Deformational structures in a sluiceway ( 688.7 m); f. Sandstone vein structures; g. C section of turbidites; h. Trough cross-beddings in B section of turbidites

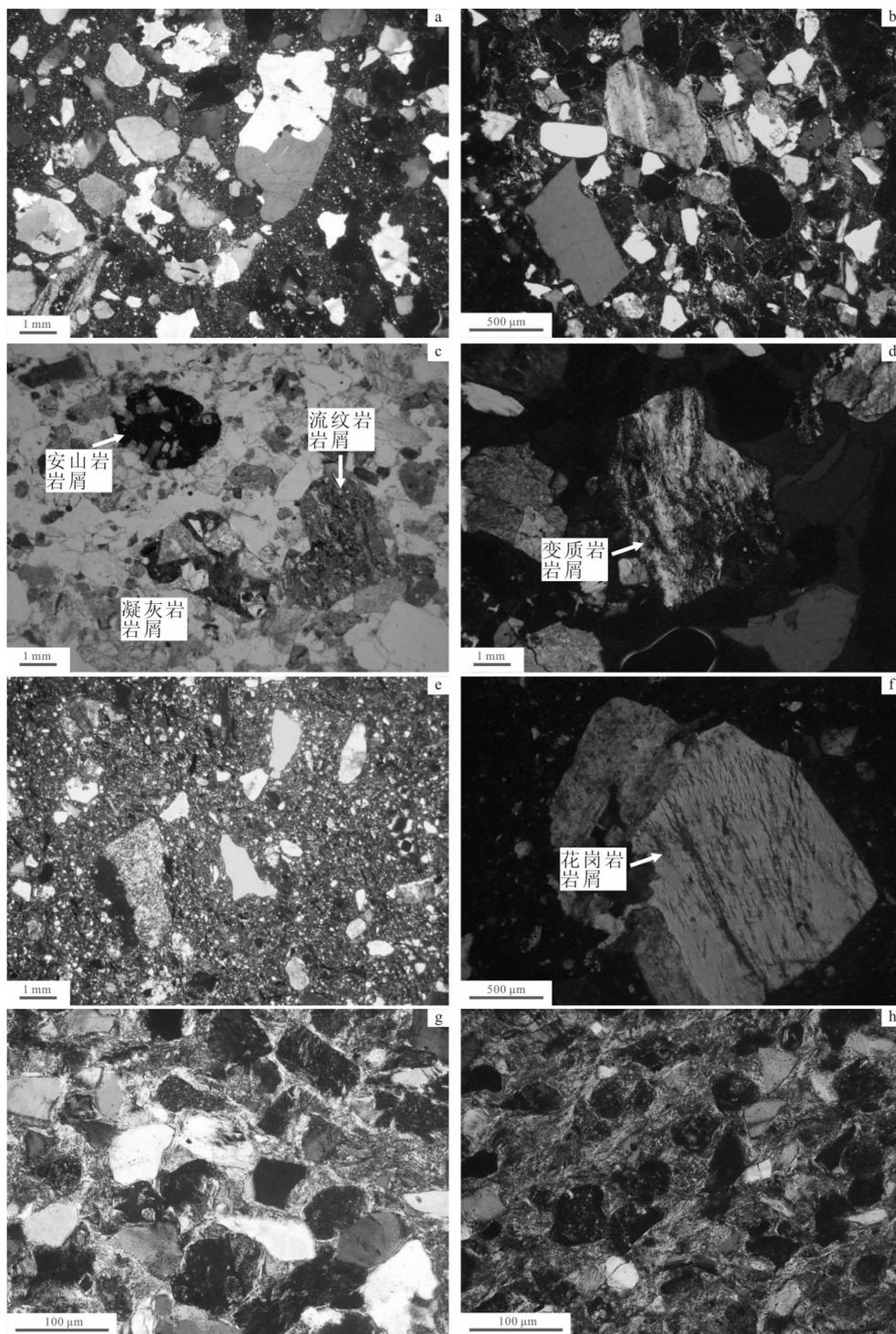


图4 嘉D1井典型岩心镜下照片

a. 杂基支撑的含砾粗砂岩; b. 杂基支撑的粗砂岩; c. 花岗岩、流纹岩、凝灰岩岩屑; d. 变质岩岩屑; e. 含粗砂粉砂岩; f. 花岗岩岩屑; g. 长石岩屑粗砂岩; h. 细粒长石岩屑杂砂岩

Fig. 4 Photomicrographs of representative cores from the JD1 well

a. Matrix-supported gravel-bearing coarse-grained sandstone; b. Matrix-supported coarse-grained sandstone; c. Cuttings of granite, rhyolite and tuff; d. Cuttings of metamorphic rocks; e. Coarse sand-bearing siltstone; f. Cuttings of granite; g. Coarse-grained feldspathic sandstone; h. Fine-grained feldspathic greywacke

流沉积粒度较细,岩石类型主要为灰色长石岩屑细砂岩及粗粒粉砂岩,发育变形层理、包卷层理、泄水管道(图 3e)、砂岩脉(图 3f)、盘碟状构造、砂球构造;浊流在辫状沟道沉积中最常见,常表现为 A 段或 AB 段叠置出现,这主要是由于辫状沟道不稳定,先期沉积的细粒物质被冲刷掉或者是由于水动力强,没有细粒的物质沉积,或为 ABC、BC、AC 段沉积,这主要是由于多次重力流作用的原因。岩石类型表现为灰白色、浅灰色含砾粗砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩。内部发育块状层理、递变层理、平行层理、小型槽状交错层理、波纹层理和爬升层理(图 3g)。浊流岩 B 段槽状交错层理(图 3h)的出现表明重力流辫状沟道沉积末期沉积物密度减小,水体流速降低,重力流沉积体制开始向牵引流沉积体制转换<sup>[11]</sup>。

辫状沟道沉积的镜下鉴定结果表明,岩石成分成熟度很低,为长石岩屑杂砂岩(表 1,图 2)。岩石碎屑主要由石英、长石、岩屑组成,各碎屑的特征基本上与内扇相同,所不同的是岩屑类型种花岗岩岩屑不再常见,以流纹岩和安山岩岩屑为主。石英含量在 23%~36% 之间,平均 29%,长石含量在 16%~36% 之间,平均 24%,岩屑含量在 37%~57% 之间,平均 48%。从表 1 中可以很明显的看到,与内扇相比石英和长石的含量有所提高,岩屑的含量明显的减少。杂基的含量与内扇相比,含量也明显下降,为 15%~20% 之间。岩石结构成熟度有所提高,分选中等,磨圆为次棱角状-次圆状,颗粒支撑,孔隙式胶结,颗粒之间以点-线接触为主(图 4g)。

辫状沟道间微相沉积物粒度细,厚度薄,表现为深灰色细砂质粉砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,极少量的细砂岩沉积,发育不完整的鲍玛序列(CDE、DE 段)。发育水平层理、波纹层理、变形层理、滑塌构造、生物扰动构造,含有碳屑及植物茎干化石。

### 3.3 外扇亚相

淘淇河组湖底扇外扇岩石类型为灰色、黄绿色薄层细砂岩、粉砂质细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩,偶见中粗砂岩。砂岩分选较好,次棱角状,泥质胶结,主要发育平行层理、沙纹层理、变形层理、生物扰动构造。镜下鉴定表明岩石的成分成熟度很低,岩石类型仍然以长石岩屑砂岩为主,碎屑仍然是由石英、长石、岩屑组成,不过与内扇和中扇相比,岩屑的含量明显减少,石英和长石的含量相应地增加,并且钾长石/斜长石明显比内扇及中扇高,而且

岩石矿物颗粒的粒度明显减小,以细砂岩沉积为主(表 1,图 2)。这些特点均能很好地说明湖底扇外扇沉积时,水下重力流沉积物的密度及流速是最低的。但杂基的含量却比中扇高,在 25%~35% 之间,这主要是由于重力流沉积物沉积末期水流密度和流速显著降低,悬浮组分含量增加,外扇沉积向半深湖-深湖泥岩沉积过渡造成的(图 4h)。

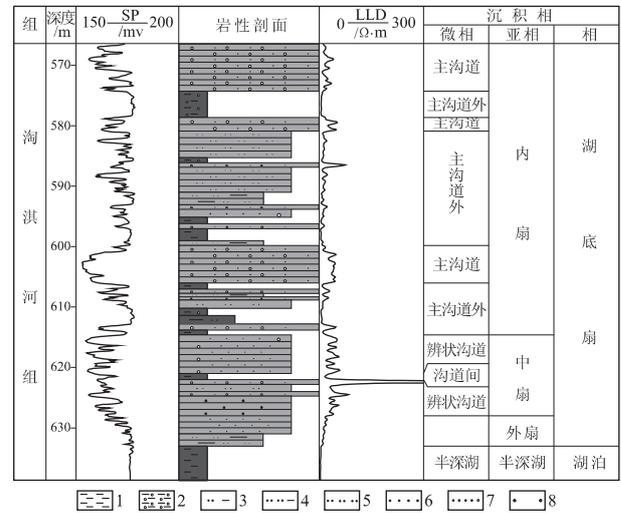


图 5 嘉 D1 井淘淇河组湖底扇测井曲线特征

1. 泥岩; 2. 含砾泥岩; 3. 粉砂质泥岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 粉砂岩; 6. 细砂岩; 7. 含砾细砂岩; 8. 粗砂岩

Fig. 5 Well logs for the sublacustrine fan sandstones from the Taoqihe Formation in the JD1 well

1 = mudstone; 2 = gravel-bearing mudstone; 3 = silty mudstone; 4 = muddy siltstone; 5 = siltstone; 6 = fine-grained sandstone; 7 = gravel-bearing fine-grained sandstone; 8 = coarse-grained sandstone

## 4 测井相

内扇主河道测井曲线特征主要表现为低幅强齿化的箱型及指型,少部分为高幅齿化箱型。箱型顶底突变,指型顶底渐变,幅变组合表现为加速进积式,形态组合为箱型和指型组合形式,内扇主河道外测井曲线特征主要表现为中低幅齿化指型和线型加积式组合(图 5)。湖底扇的中扇辫状沟道沉积物分选较内扇变好,杂基含量有所降低,所以测井曲线幅度较内扇反而增大,总体表现为高幅齿化箱型-指型进积式组合(图 5)。外扇测井曲线形态表现为低幅微齿化线型和指型,齿中线水平到上倾、平行(图 5)。

## 5 粒度分析

5.1 内扇亚相

从直方图、频率曲线图上可以看到,主沟道中颗粒粒度分布不均匀,大小混杂,粒径跨度大,分选差,频率曲线表现为单峰或多峰,正偏态(图6)。参数计算表明,沉积物多数分选较差,正偏态,总体符合主沟道沉积特点,只有部分样品分选中等,负偏态,分析其原因可能与主沟道重力流沉积晚期颗粒密度降低,水动力条件减弱有关,可能主沟道沉积晚期流体特征与中扇相近(表2)。使用判别函数  $Y$  (河流:浊流) =  $0.7215Mz - 0.4030\sigma_1^2 + 6.7322SK1 + 5.2927K_c$  进行判别,判别结果为浊流,湖底扇内扇主沟道概率累积曲线有两种类型:近于一段式和上拱三段式(图6)。

概率累积曲线的斜率很低(0.5左右),近于一段式中沉积物基本上由递变悬浮组分组成,粗组分

的斜率在0.49~0.77之间,平均为0.6,细组分的斜率在0.28~0.82之间,平均0.46,粗组分的分选比细组分的分选好。总体来看,湖底扇内扇主沟道的概率累积曲线特征表明沉积物分选很差,递变悬浮总体和均匀悬浮总体斜率均很低(0.5左右),并且递变悬浮总体比均匀悬浮总体斜率大。这一现象很好地明了重力流沉积物下沉时,沉积物体内的分选情况。重力分异对较重的颗粒比较轻的颗粒更有效,粗颗粒沉积后,细粒沉积物仍混在残留的重力流中,结果使粗粒沉积物比细粒沉积物分选好,同时细截点  $2.2\phi$ ,也表明水动力很强,上拱三段式中递变悬浮总体和均匀悬浮总体不易区分(混合总体的出现)也表明水体极其扰动,动荡不定,这些均是内扇主沟道重力流沉积的重要特征<sup>[12]</sup>。

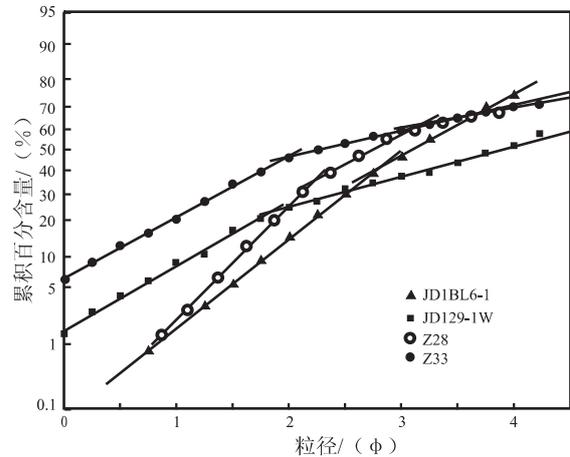
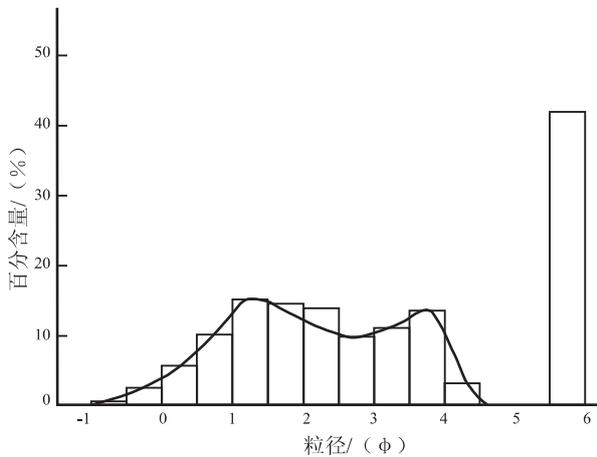


图6 内扇砂岩直方图-频率曲线图和概率累积曲线图

Fig. 6 Histogram-frequency curve (left) and probability cumulative curves (right) for the inner fan sandstones

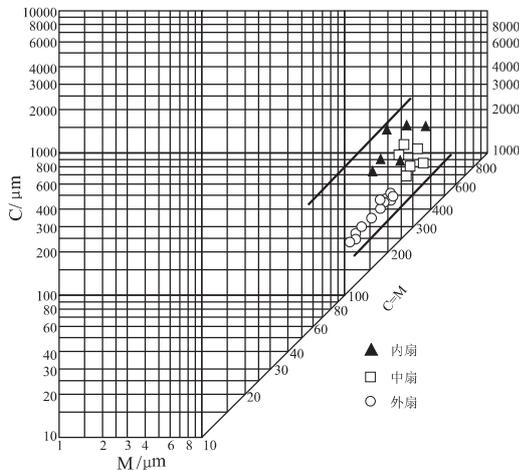


图7 湖底扇砂岩 C-M 图

Fig. 7 C-M patterns for the sublacustrine fan sandstones

▲ Inner fan; □ Middle fan; ○ Outer fan

C-M 图中内扇样品分布大体与  $C = M$  基线平行,递变悬浮最大粒径  $C_s \approx 1.5mm$ ,表明主沟道沉积时水动力很强,C、M 值变化较大,占据 C-M 图的上部,点群平均线与  $C = M$  基线的水平距离  $I_m$  值为  $0.32\phi$ ,距离相当大,表明内扇主沟道沉积的分选很差(图7)。

5.2 中扇亚相

直方图、频率曲线图粒度分布区间较窄,介于内扇与外扇之间,颗粒最大粒径小于内扇,单峰明显,这是重力流沉积在中扇时密度变小,水动力条件已经变弱的具体表现(图8)。

参数计算也表明平均粒度为  $(2.3118 + 1.6272 + 1.8650) / 3 = 1.9367$ ,比主沟道小,分选基本上中等,也比内扇主沟道好,大部分正偏态,少部分为负偏态(表2)。

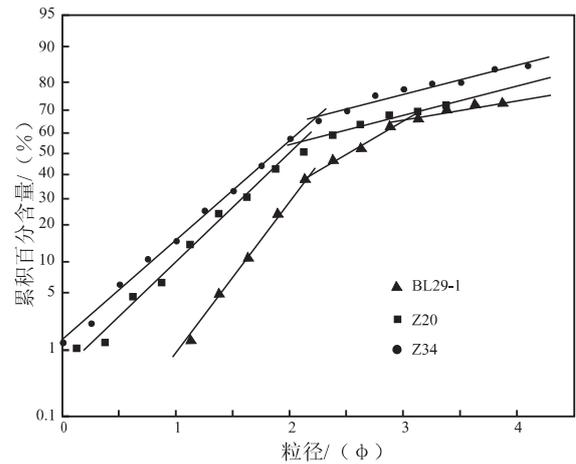
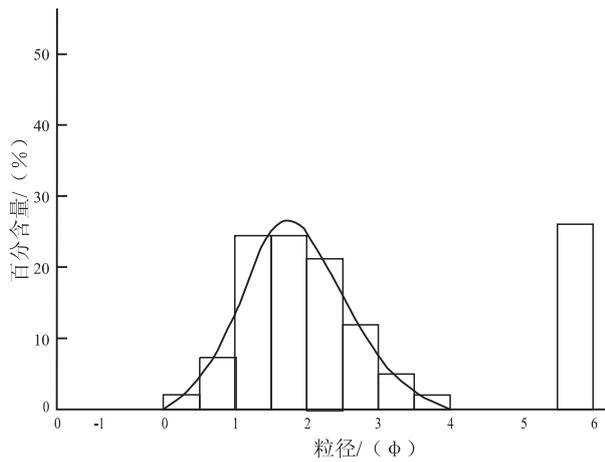


图8 中扇砂岩直方图-频率曲线图和概率累积曲线图

Fig.8 Histogram-frequency curve ( ( left) and probability cumulative curves ( right) for the middle fan sandstones

概率累积曲线也有两种类型: 两段式和三段式 (图8)。两段式由递变悬浮总体和均匀悬浮总体两部分组成; 而三段式除了上述两部分之外, 还包括一混合组分。两段式递变悬浮组分含量为 45% ~ 55%, 平均 50.78%, 斜率为 0.9 ~ 0.96, 平均 0.93, 均匀悬浮组分含量为 14.6% ~ 19%, 平均为 16.8%。斜率为 0.24 ~ 0.26 之间, 平均 0.25, 细截点在 2.2φ ~ 2.24φ 之间, 平均 2.22φ。三段式递变悬浮组分含量为 39%, 斜率 1.37; 混合组分 28%, 斜率 0.59; 均匀悬浮组分 5.6%, 斜率 0.17。总体来看, 辫状沟道的概率累积曲线中递变悬浮组分明显地增加, 且曲线斜率明显增大, 细截点向后移, 这些特点均表明中扇辫状沟道沉积时重力流的密度及流速已大大地降低, 比内扇主沟道小的多, 所以沉积物分选比内扇主沟道好。

C-M 图中样品点基本集中在中上部, C 与 M 值

变化不大, 颗粒点群平均线与 C-M 基线的距离  $I_m = 0.94\phi$ , 最大 C 值为 1.15mm, 比内扇小的多, 这些特征也表明中扇沉积时重力流的密度及水动力条件比内扇弱(图7)。

### 5.3 外扇亚相

直方图和频率曲线图表现为沉积物粒级范围窄, 最大粒径值较小, 单峰很明显, 表明沉积物的分选较好(图9), 粒度参数计算也表明这一点(表2), 粒径平均值( $M_z$ )的平均值为  $(2.2299 + 1.9787 + 3.0403 + 2.4227) / 4 = 2.4179\phi$ , 比内扇和中扇的平均粒径都小。

粒度概率曲线也有两种类型, 两段式和三段式(图9)。只是递变悬浮组分含量更多, 各组分斜率更大, 平均递变悬浮组分 60%, 斜率 1.22, 均匀悬浮组分含量 13%, 斜率 0.21, 细截点为 2.75φ。三段式中递变悬浮组分为 17.2% ~ 21.15%, 平均 19.2%,

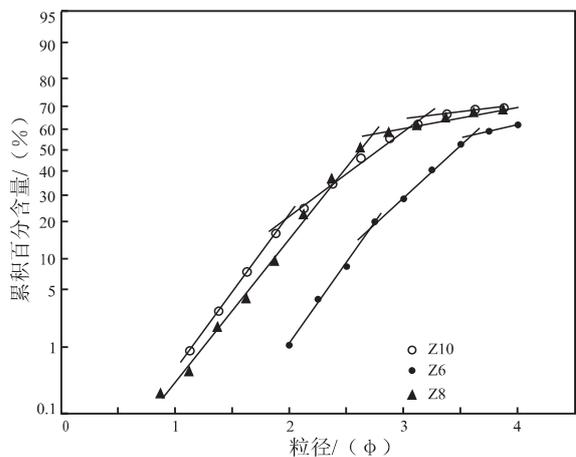
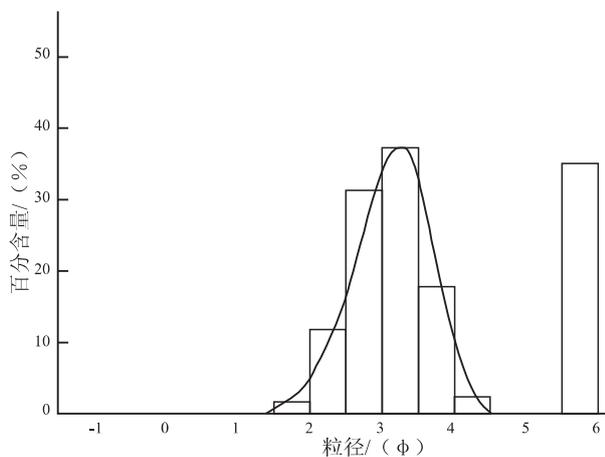


图9 外扇砂岩直方图-频率曲线图和概率累积曲线图

Fig.9 Histogram-frequency curve ( ( left) and probability cumulative curves ( right) for the outer fan sandstones

斜率为 1.38 ~ 1.44 ,平均为 1.41; 混合组分含量为 39.5% ~ 34.2% ,平均为 36.9% 斜率 0.78 ~ 0.81 ,平均为 0.8; 均匀悬浮组分含量为 4.5% ~ 4.7% ,平均为 4.6 斜率分别为 0.1 ~ 0.21 ,平均为 0.16 细截点分别为 3.5 $\phi$  ~ 3.6 $\phi$  ,平均为 3.55 $\phi$ 。

总体来看 ,与内扇和中扇相比递变悬浮组分含量明显增加 ,各组分斜率明显增大 ,细截点有规律地向后移。说明从内扇主沟道到外扇 ,水体密度逐

渐减小 ,水流速度逐渐变慢的变化过程。C-M 图中 ,外扇样品点平均分布线线与 C-M 基线的水平距离  $l_m = 1.81\phi$  ,与内扇和中扇相比 ,距离近 ,分选好 ,最大 C 值 0.51mm ,比内扇和中扇小也能很好地说明了这一点(图 7) 。可见淘淇河组湖底扇沉积从内扇到外扇岩石的成分成熟度和结构成熟度是逐渐提高的 ,这一特点在以上的各种分析中均被很好的体现出来。

表 2 嘉 D1 井淘淇河组湖底扇砂岩粒度分析参数

Table 2 Grain-size parameters for the sublacustrine fan sandstones from the Taoqihe Formation in the JD1 well

| 组    | 亚相     | 样品号      | Mz<br>(平均值) | $\sigma$<br>(偏差) | SK1<br>(偏度) | Kg<br>(尖度) | Y    | 判别结果 |
|------|--------|----------|-------------|------------------|-------------|------------|------|------|
| 淘淇河组 | 内扇     | BL6-1    | 2.65        | 0.81             | -0.06       | 0.9        | 5.98 | 浊流   |
|      |        | Z33      | 1.57        | 1.23             | 0.1         | 1.02       | 6.62 | 浊流   |
|      |        | JD129-1W | 2.42        | 1.26             | -0.01       | 0.79       | 5.24 | 浊流   |
|      |        | Z28      | 2.09        | 0.7              | 0.13        | 0.92       | 7.09 | 浊流   |
| 中扇   | BL29-1 | 2.31     | 0.61        | 0.13             | 1           | 7.68       | 浊流   |      |
|      | Z34    | 1.63     | 0.76        | -0.01            | 1.11        | 6.76       | 浊流   |      |
|      | Z20    | 1.87     | 0.71        | 0.15             | 1.07        | 7.78       | 浊流   |      |
| 外扇   | Z10    | 2.42     | 0.58        | 0.04             | 0.96        | 6.95       | 浊流   |      |
|      | Z8     | 2.23     | 0.55        | 0.12             | 1.31        | 9.27       | 浊流   |      |
|      | Z6     | 3.04     | 0.51        | -0.07            | 0.94        | 6.64       | 浊流   |      |

表 3 孙吴-嘉荫盆地与松辽盆地地层及构造演化对比表<sup>[13]</sup>

Table 3 Comparison of stratigraphic and tectonic evolution in the Sunwu-Jiayin and Songliao Basins (after Liu Zhaojun et al., 2002)

| 松辽盆地           |                  | 孙吴嘉荫盆地           | 构造阶段              |         |
|----------------|------------------|------------------|-------------------|---------|
| 系              | 统                | 组                | 组                 |         |
| 白垩系            | 上统               | 明水组 ( $K_2m$ )   | 鱼亮子组 ( $K_2yl$ )  | 裂谷萎缩阶段  |
|                |                  | 四方台组 ( $K_2s$ )  |                   |         |
|                |                  | 嫩江组 ( $K_2n$ )   | 太平林场组 ( $K_2tp$ ) | 上部拗陷阶段  |
|                |                  | 姚家组 ( $K_2y$ )   | 永安村组 ( $K_2yn$ )  |         |
|                |                  | 青山口组 ( $K_2qn$ ) | 缺失                | 下部拗陷阶段  |
| 泉头组 ( $K_1q$ ) |                  |                  |                   |         |
| 下统             | 登娄库组 ( $K_1d$ )  | 淘淇河组 ( $K_1t$ )  | 断拗转换阶段            | 同裂谷沉降阶段 |
|                | 营城组 ( $K_1y$ )   | 宁远村组 ( $K_1n$ )  | 上部断陷阶段            |         |
|                | 沙河子组 ( $K_1sh$ ) |                  | 下部断陷阶段            |         |
|                | 火石岭组 ( $K_1h$ )  |                  | 初始断陷阶段            |         |

## 6 水下重力流成因

孙吴-嘉荫盆地是一个具有断陷和拗陷双重结构特点的中-新生代盆地<sup>[14]</sup> ,其形成和演化与临近的松辽盆地颇为相似 ,在白垩系大致经历了断陷、抬升、拗陷和萎缩四个主要构造演化阶段 ,形成了下断上拗的双层结构类型(表 3 ,图 10)。

孙吴-嘉荫盆地在淘淇河组时期处于断、拗转化

阶段 ,该时期湖盆面积小 ,湖水深 ,地形高差大 ,气候干旱 ,物源近 ,同生断层发育。如在过沾河断陷 JD1 井南北向地震剖面 ,解释出一系列北西向或近东西向正断层 ,表明淘淇河组沉积时期断层强烈活动(图 11) 。在断层作用的诱导下 ,物源区的沉积物很容易滑塌到深水区 ,并在深水区内保存下来 ,形成湖底扇和半深湖-深湖相沉积体系<sup>[15]</sup>。

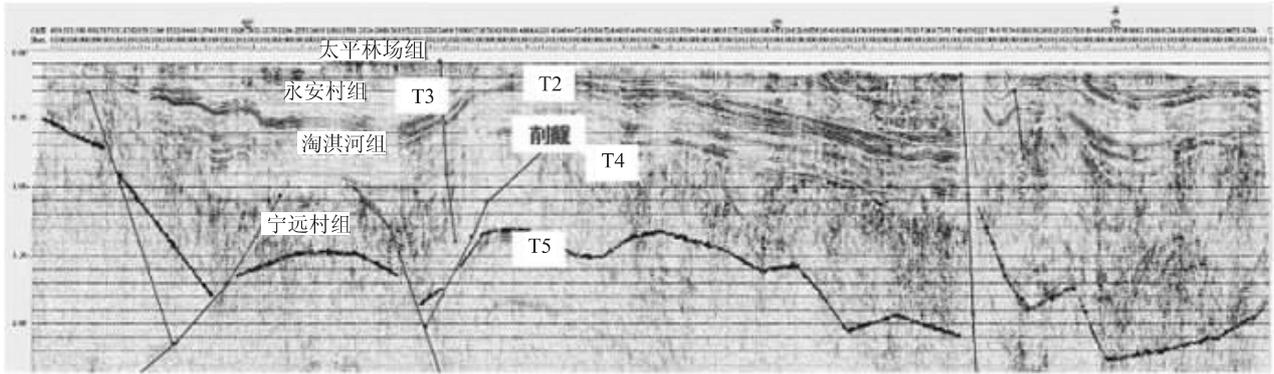


图 10 孙吴-嘉荫盆地 ZH1 线地震剖面图

Fig. 10 Seismic profile along the ZH1 line in the Sunwu-Jiayin Basin

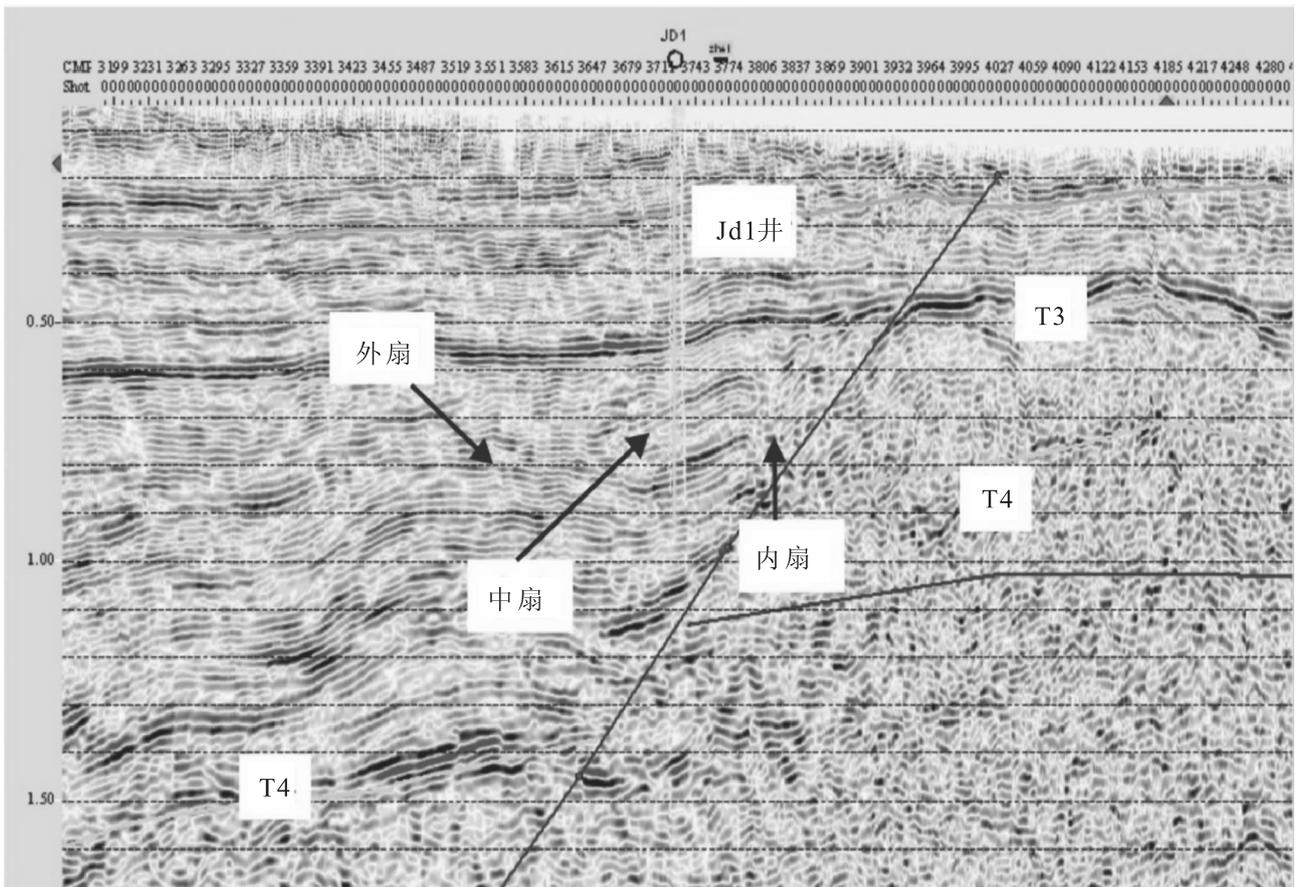


图 11 沾河断陷 ZH4-1 线地震剖面<sup>[7]</sup>

Fig. 11 Seismic profile along the ZH4-1 line in the Zhanhe fault ( after Zhang Lei et al. ,2009)

JD1 井位于沾河向斜中,沾河向斜位于沾河断陷东部构造带的中南部,是断陷的主体部分,沾河断陷为东断西超的箕状断陷,沾河向斜西侧、东南侧、北侧都有大的控坳同生断层。其中北侧同生控坳断层离 JD1 井最近,地震剖面解释表明其断开全部层位,最大断距 970m,延伸长度大于 35km,为 JD1 淘淇河组沉积时期影响最大的同沉积断层(图 11)。因此当该同沉积断层的一侧快速下降沉积

时,来自上伸盘一侧的沉积物(即北面的沉积物)来不及分选和磨圆直接入湖形成碎屑沉积,而且这个时期湖盆面积小,湖水深,属于滞水的半深湖-深湖环境,沉积物容易被保存下来形成湖底扇沉积。同时在图 11 地震剖面的 T3 和 T4 层序内部可见到中强振幅、中低连续的前积反射结构,透镜状反射外形。通过以上分析,推断淘淇河组时期断层活动是 JD1 井淘淇河组湖底扇沉积发育的主要原因。

## 7 结论

(1) 孙吴-嘉荫盆地白垩系淘淇河组水下重力流沉积规模大,发育水下泥石流、液化沉积物流、浊流三种沉积类型单元,为湖底扇沉积。

(2) 淘淇河组湖底扇水下重力流沉积可进一步划分为内扇、中扇、外扇 3 种亚相以及主沟道、主沟道外、辫状沟道、辫状沟道外、远源浊积岩 5 种微相类型。内扇以水下泥石流沉积为主,中扇以液化沉积物流和近源浊流沉积为主,外扇发育远源浊积岩。并且从内扇到外扇湖底扇沉积在成分、结构、构造、概率累积曲线、C-M 图上呈规律性变化。

(3) 白垩系淘淇河组时期发生的断层活动是湖底扇沉积发育的主要原因。

### 参考文献:

- [1] 王良忱,张金亮. 沉积环境和沉积相[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 苏朝光,刘怀山,王树华,等. 深水浊积扇成藏地质条件及地震描述技术[J]. 天然气工业,2008,28(4):33-36.
- [3] 杨建国,吴河勇,王洪伟,等. 黑龙江北部孙吴-嘉荫盆地构造特征、演化及石油地质条件[J]. 地质科学,2009,44(2):679-691.
- [4] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993.354-601.

- [5] 郑玉龙,刘文龙,乔秀云. 黑龙江孙吴-嘉荫盆地白垩纪孢粉组合及地层划分[J]. 地层学杂志,2005,29(4):342-347.
- [6] 蒲秀刚,周立宏,周建生,等. 歧口凹陷沙-上亚段东营组沉积体系[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(1):45-50.
- [7] 张雷,刘招君,杨婷,等. 孙吴-嘉荫盆地淘淇河组湖底扇沉积特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2009,31(3):57-62.
- [8] WALKER R G. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin,1978,62(6):932-966.
- [9] 何镜宇,孟详化. 沉积岩和沉积相模式及建造[M]. 地质出版社,1987.269-298.
- [10] 姜在兴,等. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003.300-321.
- [11] 刘招君. 湖泊水下扇沉积特征及影响因素-以伊通盆地莫里青断陷双阳组为例[J]. 沉积学报,2003,21(1):148-153.
- [12] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 地质出版社,1976.55-65.
- [13] 刘招君,董清水,王嗣敏,等. 陆相层序地层学导论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2002.68-130.
- [14] 张雷,刘招君,和钟铎,等. 孙吴-嘉荫盆地白垩系淘淇河组-太平林场组砂岩主量元素的地球化学特征[J]. 沉积与特提斯地质,2008,28(2):100-106.
- [15] 李果营,钟建华,饶孟余,等. 东辛地区沙三段滑塌浊积扇沉积特征及控制因素[J]. 特种油气藏,2005,12(6):25-29.

## Depositional characteristics of the subaqueous gravity flow deposits from the Cretaceous Taoqihe Formation in the Sunwu-Jiayin Basin, Heilongjiang

LI Jian<sup>1</sup>, ZHANG Xia<sup>2</sup>, LIU Zhao-jun<sup>3</sup>

(1. East China Mineral Exploration and Development Bureau, Nanjing 210007, Jiangsu, China; 2. State Key Laboratory for the Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210093, Jiangsu, China; 3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changcun 130061, Jilin, China)

**Abstract:** The present paper gives a detailed description of the depositional characteristics of the subaqueous gravity flow deposits from the Cretaceous Taoqihe Formation in the Sunwu-Jiayin Basin, Heilongjiang on the basis of outcrops, cores, well logs and thin section examination. The subaqueous gravity flow deposits from the Cretaceous Taoqihe Formation are interpreted as the sublacustrine fan deposits widespread in the study area, and may be subdivided into three sedimentary subfacies including the inner fan, middle fan and outer fan subfacies, and five sedimentary microfacies including the main channel, outer main channel, braided channel, braided interchannel and distal turbidite microfacies. The inner fan is blanketed by the subaqueous debris flow deposits; the middle fan is composed of the liquefied flow deposits and turbidity deposits, and the outer fan is dominated by turbidites. It is inferred from the seismic profiles that the faulting operating during the deposition of the Taoqihe Formation during the Cretaceous should be responsible for the formation and development of the sublacustrine fan deposits.

**Key words:** Sunwu-Jiayin Basin; Cretaceous; subaqueous gravity flow; grain size analysis