

酒西盆地地下白垩统下沟组重力流 水下扇沉积

端木合顺 朱莲芳

(中国科学院兰州地质所)

摘要 重力流水下扇由四种岩相组成: 1.砾岩相, 属水下碎屑流沉积; 2.砾质泥岩相, 是多成因的; 3.砂岩相, 系高密度浊流沉积; 4.粉砂岩泥岩相, 为低密度浊流和正常湖泊沉积。细分为十五种亚相。岩相的空间配置关系表明水下扇是由突变性洪水事件(和地下水滑坡)—水下碎屑流—高密度浊流—低密度浊流的重力流系列形成。本文对重力流沉积从层序结构、沉积体形态、岩相变化和构造控制诸方面进行了探讨。

关键词 酒西盆地 下白垩统 重力流沉积事件 水下碎屑流 浊流 重力流 水下扇

第一作者简介 端木合顺 男 28岁 硕士 沉积学

一、前言

酒西盆地南为北祁连北缘逆掩断裂带, 北为阿尔金走滑断裂带。下沟组($K_1x_2^1$)沉积期, 盆地南部形成北东向的青西、石北和大红圈三个箕状凹陷, 北部则为东西向的赤金凹陷。重力流水下扇沉积发育在箕状凹陷的陡岸带。

本文以剖面调查为主, 对下沟组地层的重力流沉积从层序结构、沉积体形态、岩相变化和构造控制诸方面进行了观察分析, 着重研究了断陷湖盆的水下扇沉积作用机理和砂体展布特征。

二、层序结构与水动力分析

重力流以水下扇的岩相组合, 在红柳峡剖面 and 旱峡剖面不完全一致(图1), 其共同特点是粗碎屑岩层与湖相泥岩互层。其中可以按照“沉积特征—成因分类原则”划出四种岩相, 十五种亚相(图2), 各岩相、亚相的厘定力求具有独立的特征和成因机制, 但并不拘泥于某种固定程序。下文将分述砾岩、砾质泥岩、砂岩、粉砂/泥岩相和亚相特征与沉积机制(图3)。

(一) 砾岩相

1. 岩相特征:

重力流成因砾岩的碎屑成分以千枚岩、浅变质砂岩等成熟度极低的岩块为主。可分出4种亚相:

(1) 块状混杂砾岩 其结构特点是长柱状、扁平状砾石长轴无优选方位, 块状构造。产出于粗碎屑单元的底部, 向上可以相变为长形碎屑水平定向排列的层状砾岩相(图版1-1)。以粗—巨砾岩为主。

(2) **层状砾岩** 这是研究区发育最广的砾岩类型(图版1-1)。粒度最大可达 $40 \times 30 \times 10\text{cm}$,一般 $10 \sim 15\text{cm}$,较薄单元中,粒度较小,仅几毫米到1厘米扁平状、卵圆状砾级碎屑长轴水平定向排列是本岩相最大特征。砾级碎屑垂向上的粗细变化,使岩石呈层状。层内偶见递变层理。

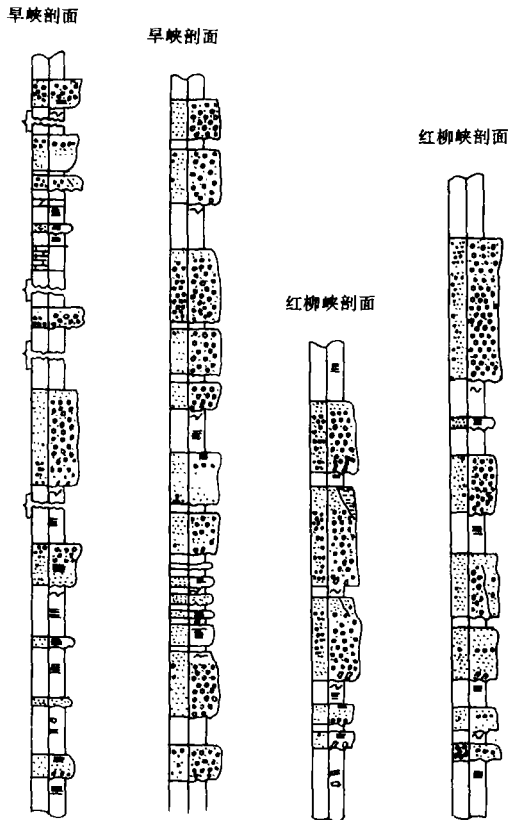


图1 重力流水下扇典型剖面图

Fig.1 Typical section of gravity-flow-submerged-fan in the studied area

(3) **A轴迭瓦状砾岩** 所谓“A轴迭瓦构造”,是指碎屑长轴(A轴)平行于水流方向,并向上游方向倾斜形成的迭瓦状碎屑排列。倾角多小于 10° 。粒度从细砾—粗砾均有。沉积体呈席状或透镜状,分布局限。透镜状层厚 $0.5 \sim 1\text{m}$,长 $5 \sim 8\text{m}$ 。

(4) **递变层迭瓦状砾岩** 该亚相以细—中砾岩为主,其特征是砾石碎屑纵向粒度递变形成递变层理的同时,还作A轴迭瓦状排列。

2.水动力分析

块状混杂砾岩是碎屑流沉积产物。水下滑坡可能改造未固结粗碎屑堆积的原始组构,大规模的水下滑坡还可以转变为水下碎屑流。碎屑流、滑塌作用都可能形成块状混杂砾岩。

层状砾岩则是流动性较大的水下碎屑流沉积。层内递变层理标志着碎屑流向浊流的初步演化。

A轴迭瓦构造是湍流与颗粒碰撞支撑的结果,也有人将其归之为砾质浊流沉积产物。另外,较厚的水下碎屑流沉积物停积在水下斜坡上之后,在外力作用下,可以整体向坡下缓慢滑动,沉积在更稳定的斜坡上。由于粗碎屑块体流在向坡下移动过程中,其内部产生剪切作用带。此作用使块体流粒度发生分异,形成局部迭瓦

构造,透镜状的迭瓦状砾岩就可能是这样形成的。

同时具有粒序层构造和迭瓦状构造的砾岩(亚相4)是碎屑悬浮在水道底之上的湍流中悬浮机制一部分可能是流体的紊动,一部分则可能是颗粒碰撞。

尽管沉积作用有时带有浊流、颗粒流性质,并受到水下滑坡改造,但砾岩相的主要沉积营力是水下碎屑流。砾岩相的纵向层序是:块状混杂砾岩—层状砾岩—(A轴迭瓦状砾岩—)递变层砾岩;相应水动力演化序列为:粘性碎屑流—稀性碎屑流—浊流、颗粒流。流动性渐趋变强。

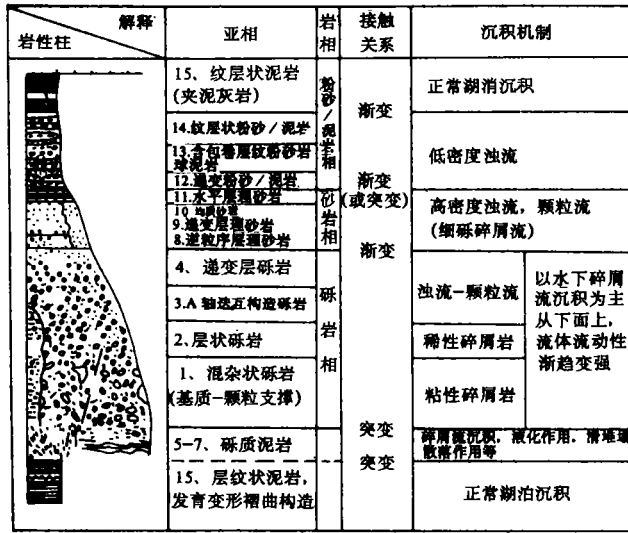


图 2 研究区重力流水下扇理想层序图

Fig.2 Ideal sequence section of submerged-fan

(二) 砾质泥岩相

1. 岩相特征:

研究区砾质泥岩分布广泛, 多与粗碎屑单元层关系密切。有以下三种亚相 (图 2):

(5) 塌积砾质泥岩 从图版 I, 2、图 2 可以看出, 同生变形褶曲构造和砾质泥岩共生。系滑塌堆积而成。

(6) 袋状砾质泥岩 发育在粗碎屑单元层之下的泥岩中, 呈袋状 (图版 I, 8)。是比重大的沉积物由于液化作用陷入未固结软泥层而成, 是一种泄水构造。

(7) 层状砾质泥岩 (图 2, 亚相 7) 可分为三个细层:

A: 含砾纹层状泥岩: 类似于冰海环境的含砾石纹层状泥岩, 泥岩纹层绕过砾石颗粒, 未遭破坏。可以是水下滑坡或岩岸崩解形成的砾级碎屑散落到湖底纹层泥表面形成的。

B: 混杂状砾质泥岩: 砾级颗粒为纹层状泥胶结, 但泥岩纹层不连续。剖面上表现为有明显外形的砾级碎屑与具柔性变形的纹层泥岩砾块呈混杂状, 是滑塌作用的产物。

C: 砂砾质泥岩: 剖面上表现为砾级碎屑凸出平摆在层面之上, 岩石含较多砂质, 横向上与灰绿色砂泥填质砾岩为相变关系。可能是水下碎屑沉积了主要粗碎屑之后, 剩余的含大量泥基质的碎屑流因其基质强度大, 能把其中的粗碎屑“拱”到水道之上, 沉积后形成本类砾质泥岩。

本亚相在地层中呈较稳定层状分布, 与上下岩层整合接触, 且密切共生。

综上所述, 本区砾质泥岩是多成因的, 有碎屑流沉积作用、液化作用、滑塌作用、散落作用等。

(三) 砂岩相:

1.岩相特征:

水下扇砂体发育相当数量的砂岩, 可达剖面的 20%以上, 多呈大小不同的透镜体群产出。可分出以下四种类型 (图 2)

(8) **逆粒序层理 (含砾) 砂岩** 既有石英岩屑杂砂岩, 也有净砂岩。逆粒序层理杂砂岩多位于碎屑流成因的砾岩层之上, 净砂岩则多位于浊积砂岩之上。研究区水下扇沉积的主要特征就是以成分成熟度极低的粗碎屑岩占绝对优势, 粘土杂基平均含量达 20%以上。但也有少量净砂岩, 净砂岩中并不都发育逆粒序层理。剖面上表现为下为灰黄色石英岩屑杂砂岩, 上为灰色石英岩屑净砂岩, 其单层厚度不超过 10cm。岩石为颗粒支撑, 无粘土杂基, 胶结物为泥晶方解石。石英碎屑占 35%, 不稳定岩屑达 65%。颗粒无挤压变形, 排列无序。

逆粒序层理常与粒序层理组成对称层偶。

(9) **递变层理 (含砾) 砂岩 (图版 I, 4)** 纵向上呈 (中砾) 细砾—粗砂—中砂递变, 岩性为杂砂岩类, 在红柳峡剖面 and 旱峡剖面均十分发育 (图 1)。不管是纵向上, 还是横向上, 均与水下碎屑流沉积砾岩呈相变关系。

(10) **薄—中层均质砂岩** 剖面上位于砾岩之上, 或单独组成粗碎屑单元层。其特征是没有发育任何形式的层理构造, 呈无分异均质状。横向上与递变层理砂岩为相变关系。

(11) **平行层理砂岩** 为中—粗砂岩, 碎屑成分以石英、千枚岩屑为主, 尚有少量长石、云母, 偶见重矿物颗粒。层理以粒度纵向变化和泥质含量不同显示出来

2.水动力分析

关于逆粒序层理的成因, Naylor 认为净砂岩内的逆序层理与颗粒流中分散压力有关, 由动力筛效应形成的。而杂砂岩中的逆粒序层理与基质粘土矿物的流变学特征有关。Hampton (1975) 认为碎屑流都有一个流核, 其中内剪切力小于基质强度。粘土矿物在变形过程中要损失其强度, 这是因为粘土颗粒之间的弱键断开了。作为碎屑流剪应力系统一部分的流核, 其中粘土基质剪切应变为零; 因而基质强度最大, 流体之下, 基质强度渐变小, 这样就形成了碎屑流基质强度的递变特征。这就是杂砂岩中逆粒序层理形成的力学基础。

粒序层砂岩与均质砂岩, 相当于鲍玛序列 A 段, 平行层理砂岩相当于 B 段。没有发育逆粒序层理的净砂岩类, 多与浊积和杂砂岩密切共生, 表明浊流沉积后期, 由于与周围水体产生物质交换, 粉砂、泥进入周围水体, 流体浊度降低, 而形成净砂岩。颗粒排列无序特征暗示着分散无力的存在 (Lowe, 1982)。

尽管砂岩相沉积机制带有碎屑流和颗粒流性质, 但总体来讲属于浊积岩组合。从研究区砂岩 CM 图 (图 3) 可以看出, CM 图形分为两部分, 除平行 C=M 基线的主轴部分外, 粗粒部分形成较宽的平行 C 轴的图形。这是典型的滑塌浊积岩 C-M 图型式。

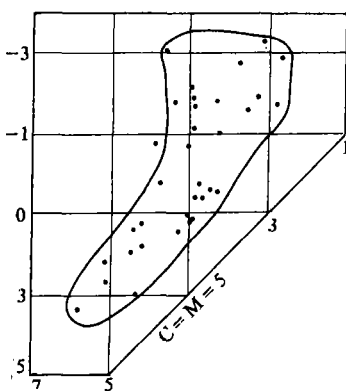


图 3 旱峡剖面 $K_1X_3^{1-2}$ 浊积砂岩 CM 图

Fig.3 C-M map of turbidity sandstone in Hanxia Section

(四) 粉砂 / 泥岩相

1.岩相特征:

(2) 递变粉砂 / 泥岩: 多与砂质浊积岩成渐变关

系, 或单独组成粉砂质薄层。层内粉砂质与泥质成纹层状构造。粉砂纹层含极少量砂级颗粒, 呈粒度递变, 另外, 泥质纹层也呈粒度递变, 递变纹层由小于 0.03mm 的极细粉砂和泥级颗粒组成, 以极细粉砂含量的变化显示出粒度递变性。

显微粒序层理是由衰减泥质流形成的

(13) 含粉砂假结核、变形纹层(包卷层理)及透镜状薄层的泥岩: 宏观上粉砂质与泥质呈斑杂状, 显示似球形风化。易剥落的泥岩风化后, 粉砂质含量高的部位凸出呈球状。多位于泥岩单元层的下部。其内部结构如图 2。

(14) 纹层状粉砂/泥岩: 粉砂—泥呈 1—3mm 厚的纹层状瓦层, 无粒度递变性。砂体厚几厘米至 0.4 厘米不等。粉砂岩纹层中含少量砂级颗粒, 见有微冲刷构造。

由粉砂—泥组成纹层状构造, 可能与突变性重力流事件引起的湖泊水体悬浮载荷成分变化有关。微冲刷构造暗示着微弱底流改造, 说明其沉积环境接近重力流事件造成的高能区。

(15) 低页状泥岩: 深灰—灰黑色新鲜面呈低负状构造, 系正常湖泊沉积。

2. 成因讨论

以上描述的粉砂/泥岩具细粒浊积岩特征。D.A.V.Stow (1980) 把细粒浊积岩划分为几个亚段, 编号依次为 T_0 — T_8 , 合计可以相当于鲍玛层序的 C、D、E 段。值得注意的是 Stow 把深水泥岩 (E) 段作了进一步划分, 区分为递变泥与非递变泥。文中亚相 13 为递变粉砂/泥岩, 亚相 14、亚相 15 为非递变粉砂/泥岩。另外粉砂质泥岩中尚见有由大量沉积物在重力流作用下快速堆积, 粗细粒沉积物来不及彻底分异形成的“似斑状组构”(图版 I, 6), 以及水下滑坡, 液化作用在泥岩层内形成的同生褶曲构造(图版 I, 7)。因此, 笔者认为粉砂/泥岩是低密度浊流和正常湖泊沉积。

三、小型断陷盆地水下重力流演化规律

在水下扇岩相特征与岩相空间关系分析基础上, 本文提出小型断陷盆地重力流演化模式(图 4), 分为四个阶段:

1. 搬运作用 (图 4A) 阵发性洪水携带的泥、砂、砾碎屑从箕状断陷盆地的陡岸直接进入湖形成水下碎屑流, 它们在向坡下流动时, 其前锋受到逆向剪切作用, 发生混合作用, 形成浊流。另外水下滑坡亦可形成水下碎屑流浊流。

2. 水下碎屑流沉积 (图 4B) 碎屑流进入湖底斜坡后, 随着坡度变小, 以及底摩擦等因素影响, 使碎屑流内剪切力小于碎屑流基质强度, 随之停积。

3. 高密度浊流沉积 (图 4C) 从图 5B 可以看出, 碎屑流混合作用形成的浊流, 在其形成和流动过程中因密度不同而分异成头、体、尾三部分, 其中头、体二部分携带的碎屑以砂、细砾为主属高密度浊流。尾部携带碎屑以粉、砂为主属低密度浊流。高密度浊流沉积岩相。

4. 低密度浊流沉积 (图 4D) 与高密度浊流沉积无明确界限形成细粒浊积岩组合。

一次重力流事件全部结束后, 沉积作用就以正常湖泊沉积为主了。各沉积阶段形成的岩相、亚相及它们之间的空间配置如图 5D。

四、重力流水下扇沉积环境模式

根据该区水下扇剖面结构、岩相、古水动力、砂体几何形态、区域构造及古地理、古气

候特征, 本文提出重力水下扇沉积环境模式如图 5。

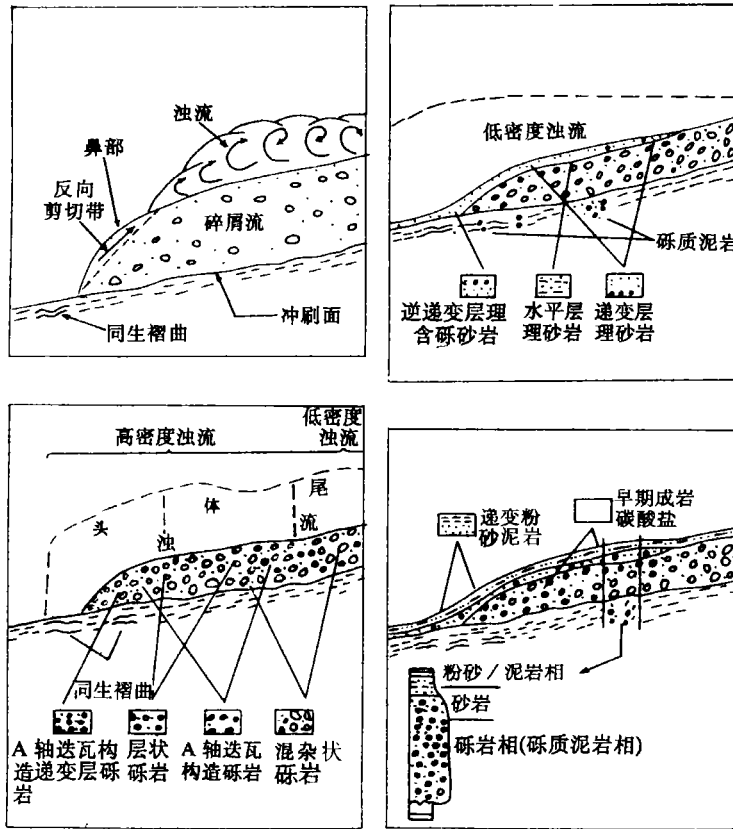


图 4 小型断陷盆地水下重力流演化模式图

Fig.4 Schematic diagram showing the interrelation among submerged subaqueous gravity flows in small scale fault-sidence basin

模式讨论:

(一) 灾变性重力流事件的强度和规模:

就单一扇体而言, 如研究区石北凹陷南部下沟组地层中发育的 601 水下扇, 面积达 25 平方公里, 厚度约 200m^①。但就一个粗碎屑单元来说其厚度一般不超过 3m 以 1~2m 居多 (图 1)。较厚的粗碎屑层多是复合层组, 即其中包括了几个砾—沙 (—泥) 旋回, 因而而不是一次重力流事件形成的。1875 年瑞士苏黎世湖畔滑坡事件中⁽¹⁰⁾, 体积近 100.000m³ 的卵石、砂、灰泥从近岸地区下滑入湖, 在湖底形成的重力流堆积仅 3m。因此可以得出结论: 下沟组沉积期频繁的重力流事件当不会超过这个规模。当时该区活跃的同沉积断裂运动和湿

①王昌桂、张印斋 (1982) 酒西盆地隐蔽油藏类型及预测

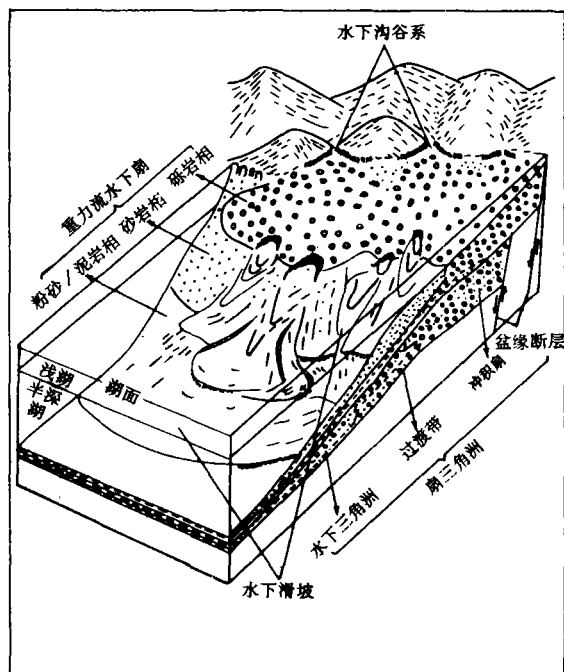


图5 小型断陷盆地重力流水下扇沉积环境模式图

Fig.5 Sedimentary environment model for the submerged-fan

热的亚热带气候, 为重力流沉积事件的发生提供了条件。

(二) 古构造与古地貌对岩相的控制作用

早峡剖面位于青西凹陷的南缘, 而青西凹陷是受生长断层控制的箕状凹陷, 水下扇发育在凹陷的陡岸一侧, 红柳峡凹陷则为阿尔金深断裂带内的小型盆地。因而其古地貌条件均为地形陡峭, 差异运动强烈。构造上的快速沉降与沉积物补给少这两个因素相结合, 就形成非补偿性盆地。在其陡岩带, 陡峭的岩岸使湖盆地边缘具有较大的坡度。泛滥洪水期, 沉积物经水道, 沟谷带直接入湖, 形成高速度底流, 在湖底形成粗碎屑沉积。显然, 受生长断层控制的湖盆, 湖底坡度较陡, 初次停积的粗碎屑沉积物受断层活动和后期洪水事件的影响, 易产生水下滑坡。滑坡碎屑在滑动过程中由于重塑作用和水的混入, 可以转化为水下碎屑流、浊流。因此, 研究区浊积岩在 CM 图上表现为典型的屑塌浊积岩型。

(三) 环境纵向演化

随着盆地的快速沉降, 扇三角洲可以转化为水下扇沉积。凹陷陡坡初期发育的扇三角洲, 稍后即转化为水下扇环境, 这是因为下沟组开始以后, 酒西盆地南部的青西、石北和大红圈三个北东向的箕状凹陷和北部的“赤金凹陷”进一步下沉, 使盆地内湖面进一步扩大, $K_1x_2^1$ 初期发育的扇三角洲沉积体, 逐渐被湖水淹没, 其后粗碎屑直接入湖, 无水上沉积发生。有趣的是, 该区下沟组底部广泛发育的红色粗碎屑建造, 以碎屑流沉积占绝对优势, 几

无正常河流沉积发育。红色粗碎屑建造构成了扇三角洲的水上部分。应该说明,红柳峡地区下沟组地层无扇三角洲沉积,这是其与别的同生凹陷的最大区别。

(四) 水下扇沉积的鉴别标志

水下扇沉积在剖面上表现为湖相泥岩与粗碎屑岩瓦层,从近源到远源,粗碎屑岩单元的組合依次为砾岩—砾岩+砂岩+粉砂质岩—砂岩+粉砂质岩—粉砂质岩。其鉴定标志见表1。

表1 重力流水下扇沉积鉴定特征
Table 1 Identified feature of the submerged-fan sediments

沉粉特征	砾岩相(砾质泥岩)	砂岩相	粉砂/泥岩相
盆地性质	非补偿断陷盆地		
岩性 碎屑组分	砾岩、砾质泥岩 不稳定岩屑为主	杂砂岩为主 千枚岩、石英、盆内泥屑	泥岩、粉砂质泥岩 石英、粘土矿物
滑塌作用 用证据	塌积砾质泥岩、混杂 砾岩(?)“液化袋”	C-M 图为滑塌型 浊积岩型	同生变形构造
砂体形态	透镜状、舌状	透镜状	水平层状
剖面结构	典型水下碎屑流序列, 从下而上流动性渐强	主要由鲍玛序 A、B 段组成	卵粒浊积岩序列
相序特征	砂、砾岩夹于湖、泥岩之间,与上下层源积关系不能用瓦尔特相律解释		
粒度特征	概率累积曲线为平 缓的断折线	概率累积曲线斜率 低,三个总体分异不明显	
控制因素	同生断裂活动,气候事件		

结 论

综上所述,重力流水下扇具有以下特征:

1.水下扇沉积可分为四种岩相、十五种亚相,砾岩相以水下碎屑流沉积为主;砂岩相为滑塌型浊积岩;粉砂/泥岩相具细粒浊积岩特征。

2.发育丰富的滑塌沉积和滑塌沉积构造。

3.重力流沉积事件遵循以下水动力演化规律:灾变性洪水事件(或水下滑坡)—水下碎屑流—高密度浊流—低密度浊流—正常湖泊沉积。

4.古地貌条件为地形陡峻,差异运动强烈,滑塌堆积在扇体中占较大比例。

论文撰写过程中,中国科学院地质研究所陈其英研究员,陈昌明副研究员曾予指导,谨致谢意。

收稿日期:1988年1月20日

参 考 文 献

- (1) 何起祥等1984, 湖泊相浊积岩的主要特征及其地质意义 沉积学报第2卷第4期。
- (2) 李思田等1985, 阜新盆地晚中生代沙海组浊流沉积相的空间关系 地质学报第59卷第1期。
- (3) 陈淑珠1985, 济阳坳陷下第三系碎屑岩微观相标志 沉积学报第3卷第2期
- (4) Bagnold R.A.1954, Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian under shear Proc.Boy.Soc.London, Ser.A, V.225, p.49-63
- (5) Lowe D.R.1983, Sediment gravity flows: II depositional model with special reference to the deposits of high density turbidity currents J.Sediment.Petrol.V.52 No.1
- (6) Gloppe T.G.and Steel R.1981, The deposits, internal structure and geometry in six alluvial fan-fan: delta bodies (Devonian-Norway), a study in the significance of bedding sequence in conglomerates Soc.Econ.Paleontol., Spec.Publ. 31, p.49-69
- (7) Hampton M. A. 1975, Competence of fine-grained debris flows J. Sediment. Petrol., 45, p.834-844
- (8) Naylor M.a.1980, The origin of inverse grading in muddy debris flow deposits--A review J.Sediment.Petrol. V.50 No.4
- (9) Hampton M.A 1972, The role of subaqueous debris flow in generating turbidity current J.Sediment.Petrol., V.42, p.775-793
- (10) Postma, G.1982 Water escape structure in the context of a depositional model of a mass flow dominated conglomeratic fan-delta Sedimentology V.29, p.91-103
- (11) Walker R.G 1975, Generalized facies models for resedimented conglomerates of turbidites association Bull.Geol.Soc.Am., 86, p.735-787
- (12) Stow D. A. V. and Shanmugan G. 1980, Sequence of structure in fine grained turbidites comparison of recent deep-sea ancient flysh sediment Sedimentology 30, p.374-399

GRAVITY-FLOW-SUBMERGED-FAN DEPOSITS OF LOWER CRATACEOUS XIAGOU FORMATION, JIUXI BASIN, GANSU

DuanMu Heshun Zhou lian Fang

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

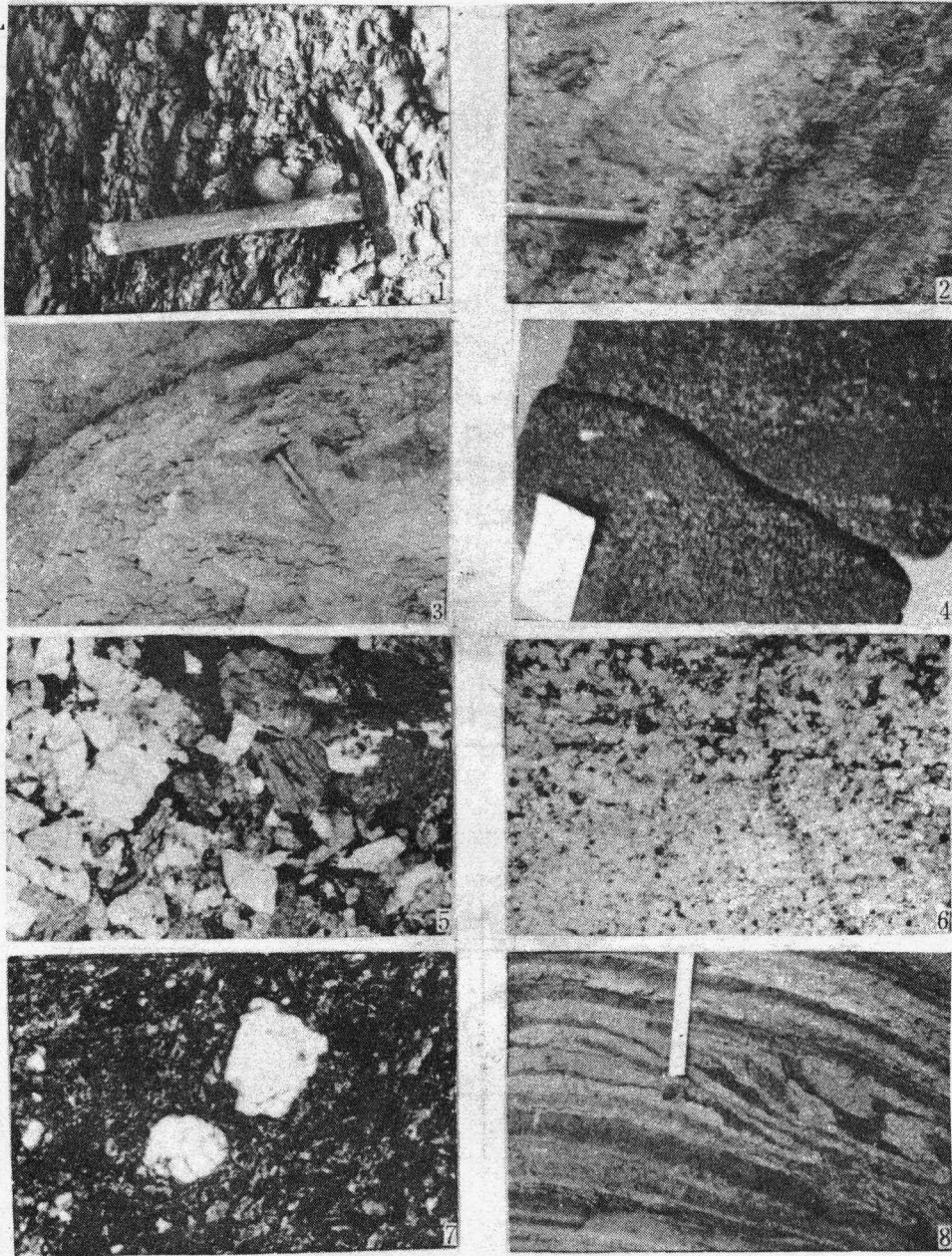
The strata of Lower Crataceous Xiagou Formation, Jiuxi basin, were deposited in the fault subsidence of nomarine. The sedimentation of gravity-flow-submerged-fan is studied in this paper.

The authors defined the fan-shaped bodies of sand conglomerates interlayer with lacustrine mudstone and not changed to the river deposits, as gravity-flow-submerged-fan according to the investigating more than one hundred layers of sandy gravel rock and eighty-four pieces of thin section. The submerged-fan consist of four lithofacies (conglomerate facies, conglomeratic mudstone facies, sandstone facies and

silt / mudstone), including fifteen sublithofacies.

The analysis of lithofacies show that conglomerate facies were mainly deposited by subaqueous debris flow, sandston facies by high-density turbidite and silt / mudstone by low-density turbidity currents and lacustrine sedimentation. Conglomeratic mudstone facies is polygenetic, that is, a genetic spectrum was not formed by them. Having analyzed spacial relationship of lithofacies for the genesis, it is proposed that the events of catastrophic flood (subaqueous llandslip), high-density turbidity currents and low-density turbidity currents are the genetic sequence of hydraulic development in the little sized fault-sidence basin. It is discussed that the spacial relationship of lithofacies, control factor of tectonic and the environment evolution in the sedimentary context model of the gravity-flow-submerged-fan at last.

To make the sedimentological study of suberged-fan is favourable for developing auto-genetic and auto-stored oil-reservoir.



1. 水下扇砾岩相。下为混杂砾岩相, 向上渐变为长形碎屑定向排列 $K_1x_2^{1-1}$ 红柳峡
2. 砾岩层下的同生褶曲构造, 与砾质泥岩共生。 $K_1x_2^{1-1}$ 红柳峡
3. “袋状”砾质泥岩 $K_1x_2^{1-1}$ 旱峡
4. 递变层理构造 $K_1x_2^{1-1}$ 红柳峡
5. 石英岩屑净砂岩, 方介石胶结 (已染色)
6. 显微递变层理 (递变粉砂/泥岩) $-N1.6 \times 7$ $-N2.5 \times 7$
7. 粉砂质泥岩中的“似斑状结构” $+N10 \times 7$
8. 泥岩层内的同生褶皱构造 $K_1x_2^{1-2}$ 红柳峡