

文章编号: 1000-0550(1999)04-0566-06

断陷湖盆陡坡带碎屑流 沉积单元的沉积序列和储集特征

——以东营凹陷永安地区为例

董冬

(胜利油田大明集团油气开发部 山东东营 257096)

摘要 碎屑流沉积是中国东部中、新生代陆相断陷湖盆陡坡带冲积扇砂砾岩扇体油气藏中最重要的油气储层。本文在济阳拗陷东营凹陷北部陡坡带永安冲积扇砂砾岩体大量岩心观察基础上, 论述了断陷湖盆陡坡带碎屑流沉积物的沉积特征, 提出了碎屑流沉积单元垂向序列的三种形式, 探讨了单期冲积扇层序完整序列模式和储集特征, 对陆相盆地冲积扇沉积学和冲积扇油藏研究具有一定理论和实践意义。

关键词 断陷湖盆 碎屑流 冲积扇 砂砾岩体 沉积单元 沉积模式 储层 储集特征

作者简介 董冬 男 1964年出生 博士研究生 沉积学

中图分类号 P618.130.2⁺1 **文献标识码** A

我国东部中、新生代陆相断陷湖盆的陡坡带往往发育一系列冲积扇砂砾岩体, 其含油气丰富, 通常构成重要的砂砾岩粗相带油气储集体。其主要为碎屑流沉积成因, 杂基支撑砾岩为主要沉积物和储层类型。由于这类沉积体近油源、圈闭好, 常形成丰富的油气聚集。

济阳拗陷东营凹陷是东部盆地地区一典型的断陷盆地, 其北部陡坡带下第三系地层中发育了一系列沿古凸起分布的冲积扇裙, 是近年来发现的重要含油气区域(图1)。但实践表明, 这类油气藏内部储层结构复杂, 侧向相变快, 要有效进行开发部署, 就必须进行以砂砾岩储层类型、成因与分布研究为主要内容的精细油藏描述, 其中, 碎屑流沉积单元的沉积序列及储集特征模式研究构成研究的主要内容。

本文以东营凹陷北部陡坡带冲积扇裙砂砾岩体中最典型的永安砾岩体油藏(图1)为例, 总结了断陷湖盆碎屑流沉积物的沉积特征, 提出了碎屑流沉积单元垂向发育的三种序列形式, 探讨了单期冲积扇层序完整序列模式和储集特征, 这不仅构成永安砂砾岩体油藏开发地质基础的重要内容, 而且对丰富和发展断陷湖盆冲积扇沉积学及储层研究也具有一定普遍意义。

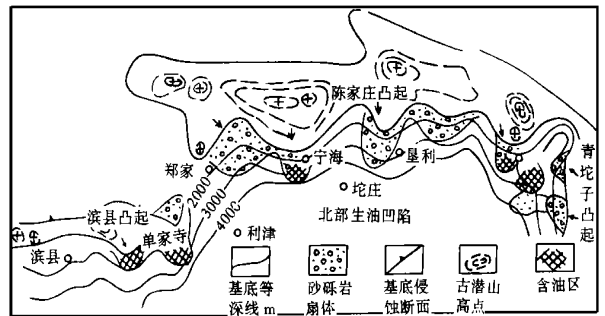


图1 东营凹陷北部陡坡带下第三系冲积扇砂砾岩体分布图(据杨申铨等1983修改)

Fig. 1 Distribution of alluvial fans along the steep slope zone of Dongying Depression, (modified from Yang Shenbiao *et al.*, 1983)

1 碎屑流沉积物沉积特征概述

碎屑流是重力流四种端元类型之一, 是最常见的沉积物重力流。其多由砂、砾、泥等风化碎屑物与洪水混合而成, 具极强的屈服应力和搬运能力。多发育于物理、化学风化作用较强、季节性洪水频繁发育的干旱一半干旱气候的山前地区。每期洪水携山上砂、砾、泥风化碎屑物沿山坡下冲、混合, 形成类似

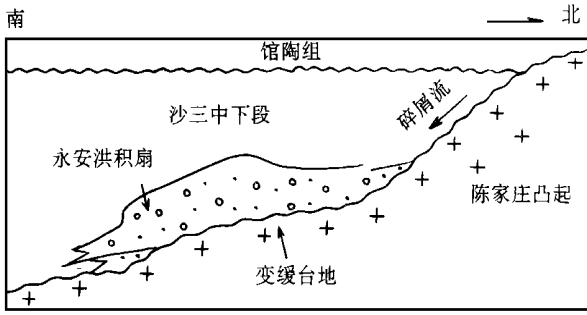


图 2 永安冲积扇砂砾岩体形成机理示意图
(据东营凹陷南北向 637.7 地震测线)

Fig. 2 A sketch map showing the formation of Yong'an alluvial fan (based on seismic line No. 637.7, DY Basin)

悬凝质的碎屑流,并在山前突然变缓的开阔台地上快速泄水、沉积,形成洪期最重要的砂砾泥混杂沉积体(图 2)。多期洪期碎屑流沉积物的叠合便构成冲积扇沉积主体。

永安砂砾岩体发育于干旱一半干旱的始新世沙四时期,此期东营凹陷为封闭的低水位咸水内陆断陷湖盆。陡坡带以断层为界与山麓凸起直接相邻,季节性洪期碎屑流沉积物十分发育,形成厚达 400 余米的透镜状水上一水下复合成因的冲积扇体。研究表明,该区碎屑流沉积物与典型碎屑流沉积物特征相近,具有下列基本特征:

- (1) 杂基支撑砾岩岩相为主,成分复杂,分选和磨圆度极差,具漂砾(图 3);
- (2) 杂基支撑结构,砾石长轴随机分布(直立、斜立等);
- (3) 块状构造,底部具强侵蚀面、火焰状构造和

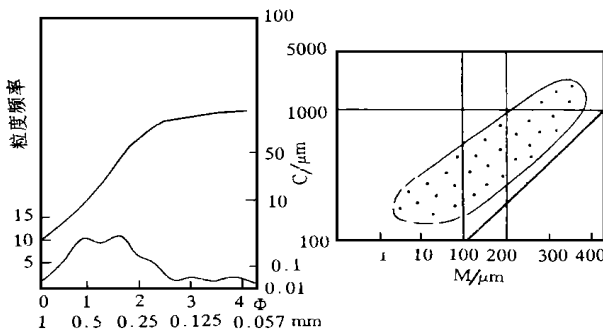


图 3 典型碎屑流沉积物的粒度特征
(永 1—5 井 2210~2280m)。

Fig. 3 Typical grain-size probability and C-M diagrams of debris flow deposit (Well Y1-5, 2210-2280 m)

变形层理等各种重荷构造。

2 碎屑流沉积单元垂向序列形式

碎屑流沉积单元即指单期碎屑流沉积而成的单体,厚度一般 0.5~10 m,平面一般呈舌形。不同部位沉积机理和垂向序列略有差异。钻井资料中可识别出下列三种形式:

2.1 粒度正递变序列

典型发育于扇根部位,沉积单元剖面为底部具凸凹不平的强侵蚀面的杂基支撑砾岩(包括砾石和杂基物),粒度向上渐细,系由碎屑流搬运强度渐弱、物源供给渐少、渐细或一定的重力分异作用形成。粒度向上变细可呈均匀递变特征,也可在整体向上变细的背景上由几个次级韵律(可能由碎屑流发育过程的脉动性造成)构成(图 4)。

2.2 粒度非递变序列

多发育于扇根主水道区。单期剖面上杂基支撑砾岩岩性特征均一,无粒度变化,底部具凸凹明显的强侵蚀面,顶部具或不具侵蚀面(图 5)。前者属前

厚度 (m)	剖面	粒度正递变型式	成分	结构	构造
小于 0.5m 大于 10m		均匀正递变 非递变 正递变背景 均匀正递变	复成分砾岩	分选磨圆差 杂基支撑结构	块状构造 重荷构造 侵蚀底面

图 4 单期碎屑流沉积物的粒度正递变序列

Fig. 4 The fining-upward-type sequence of the debris flow sedimentary unit in Yong'an fan

厚度 (m)	剖面	粒度正递变型式	成分	结构	构造
小于 0.5m 大于 10m		严格非递变 非递变背景上 多个次级递变	复成分砾岩	分选磨圆差 杂基支撑结构	块状构造 重荷构造 顶、底侵蚀面

图 5 单期碎屑流沉积物的粒度非递变序列

Fig. 5 The nongraded-type sequence of the debris flow sedimentary unit in Yong'an fan

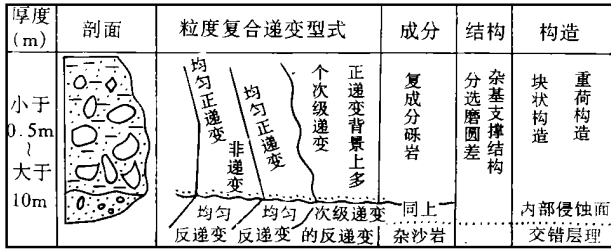


图6 单期碎屑流沉积物的粒度复合递变序列

Fig. 6 The composite-typed-sequence of the debris flow sedimentary unit in Yong-an fan

期正递变序列顶部被后期碎屑流侵蚀形成,后者是在物源充足的条件下短期碎屑流快速堆积且后期碎屑流改造形成。

2.3 粒度复合递变序列

多发育于扇中区,由正递变序列底部附一反递变序列组成,由下向上呈细—粗—细韵律,砾状砂岩(杂基支撑砾岩—砾状砂岩)(图6)。底部反韵律段通常很薄,只有几至几十厘米,对应于洪水来临前短暂的、强度渐大的牵引流辫状河道沉积。严格地说,每个碎屑流单元底部都应出现该反韵律段,但由于其通常较薄且极易被随后而至的大规模碎屑流部分或全部侵蚀,故实际剖面中很少见到,在地貌极平缓的扇区,这种序列可偶然保存下来。

上述序列型式复杂组合,构成冲积扇剖面主体结构。不同序列型式的识别不仅可方便地用于碎屑流成因分析,而且利于扇体部位和平面相带识别。

3 单期碎屑流完整的序列模式

一般地,洪水期冲积扇上以碎屑流沉积为主,而在此后的间洪期内,扇上相继发育辫状河道及道间沉积。因此,一个完整的冲积扇地层单元通常由前述两种沉积物复合而成。

在中期冲积扇岩心剖面研究基础上,结合碎屑流发育前后流态机制的演变,总结出单期洪积扇的剖面完整序列应由下列三大段(三元结构?)、五小层沉积物顺序构成(图7),由下向上依次为:

3.1 下部砂质—细砾质反递变段

对应洪水期碎屑流来临以前水动力不断加大,从强牵引流(砂质)递进到低密度碎屑流(细砾质)演化过程的反递变沉积层序。厚度一般较小,取决于该过程的快慢和随后碎屑流的侵蚀能力。按流态机制又可分为两小段:

- 1) 底部牵引流—强牵引流砂质反递变段①

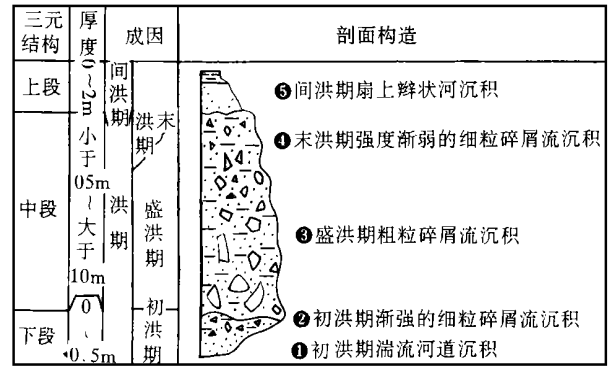


图7 洪积扇沉积单元完整序列结构模式

Fig. 7 The complete sequence of an alluvial fan unit, consisted of a thin coarsening-upward interval (lower) and a thick fining-upward interval (upper)

发洪初期,扇上辫状河道水动力不断加强,直至中粗砂级碎屑开始部分地呈悬浮搬运状态。对应这一过程,砂质沉积物逐渐变粗,相应出现波状、平行、槽状等交错层理序列,并在最后呈现重力流沉积的某些影象特征,如粗粒碎屑长轴直立等。粒度概率图可由“两段式”演变为“多段式”。

2) 下部低密度碎屑流细砾质反递变层②

是低密度碎屑流来临前的低密度碎屑流沉积,通常由细砾质杂基支撑砾岩组成,呈反递变特征,具典型的“多段式”粒度概率特征。

上述两层一般厚度小于几十厘米,取决于相应流态的持续时间。若随后而来的高密度碎屑流侵蚀能力较强,即使沉积也不容易保存。

3.2 中部砾质碎屑流正递变沉积段(砾质)

该段是大规模高密度碎屑流充分发育期沉积段,通常由杂基支撑砾岩为主。厚度大,常达几米至十几米,构成单期扇剖面的主体。根据流态机制和沉积物特征,又可细分为两部分:

1) 中下部粗粒碎屑流正递变段③

是低密度碎屑流发育期的主体沉积,由相对粗的块状杂基支撑砾岩为主,厚度占单元厚度的一半以上。具不明显的粒度正递变或无递变。砾石长轴杂乱分布,底部具大中型冲刷面。

2) 上部细粒碎屑流正递变段④

是碎屑流发育末期强度及搬运能力渐弱、物源供给渐少、渐细而演化成的低密度碎屑流沉积段,为渐细的杂基支撑细砾质至粗砂质,粒度概率图多段式。厚度几十厘米至2米,取决于晚期低密度碎屑流持续时间及物源碎屑丰度等。

3.3 上部间洪期扇上正常辫状河砂质沉积段⑤

洪期碎屑流过后,间洪期扇上主要发育辫状河

砂泥质沉积。由于扇上辫状河道近源、水动力强度大,故沉积物多以较粗的杂砂岩为主。湖侵期,该带上覆湖相泥岩或被湖相泥岩所代替。

该带厚度常为几十厘米,取决于间洪期持续长度、辫状河沉积速率及后期碎屑流发育模式及侵蚀能力等。

综上所述,理想的单期冲积扇垂向层序由上、中、下三大段、五小段组成,具不典型的“三元结构”特征。实际上,由于碎屑流沉积、侵蚀的复杂性,上述完整序列在冲积扇剖面中极少存在,而多以不完整序列例 ①②③④ ②③④ ②③等序列出现。尽管如此,完整序列的认识仍至关重要,因为它能揭示山前洪积扇上洪期—间洪期流体发育机制、演变规律及其沉积特征,对实际剖面的研究具模式指导意义。

4 完整序列的储集特征

认识完整序列的储集特征对洪积扇油层的开采具重要意义。

对完整序列各沉积段进行了储集性能分析。分析表明,完整序列的底部段即第 ①段和顶部第 ⑤段砂岩因分选较好而储集性能最好:平均有效孔隙度 12%~20%,空气平行渗透率 $50 \times 10^{-3} \sim 80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,且相对均质;下部 ②小段和上部 ④小段岩性、物性均有较大变化;序列中部的第 ③段即杂基支撑砾岩段虽厚度较大,但由于分选差、泥质含量高而物性较差、非均质性较强,平均孔隙度 6%~15%,空

剖面序列	实测物性			物性趋势	开发对策
	样品数	Φ (%)	$K 10^{-3} \mu\text{m}^2$		
⑤	10	15~20	18~83	变好	防水窜
④	54	6~15	0.1~80	变好	粗粒支撑剂压裂改造
③				差	
②	5	13~20	15~83	变好	防水窜
①				变好	

图 8 冲积扇单元完整序列的储集特征

Fig. 8 The reservoir characteristic model of a complete alluvial fan unit

气平行渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \sim 80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,完整序列的顶、底部物性较好而中间主体段物性较差。因此,冲积扇油层的注水开发应注意控制油层顶底水进和中部剩余油的形成。

永安砂砾岩体油藏的研究表明,完整序列中部碎屑流成因的杂基支撑砾岩油层虽物性较差,但分布广、油层厚,地层剖面厚度比例占 80%左右,单井油层厚度常达 50~100 余米,压裂、酸化后可获 10~60 吨/日高产,是洪积扇油藏的主力油层。

永安洪积扇砂砾岩油藏是由数十个 0.5~15 m 不等的完整或不完整碎屑流沉积单元与湖相泥岩层叠置而成的,故剖面上具有低渗背景上的高、低渗间互特征,这大大增加了开发难度。深入研究单元特征并据此指导开发层系划分是高效开发这类油藏的关键。

5 结论

通过本项研究,初步得出下列结论:

(1)含油气丰富的东部中、新生代陆相断陷湖盆陡坡带冲积扇砂砾岩扇体(裙)主要以碎屑流沉积为主,碎屑流单元是其基本地层组构要素;

(2)岩心资料中,东营凹陷北部陡坡带沙四段永安砂砾岩扇体中的碎屑流沉积单元可识别出三种垂向序列形式,它们是:①粒度正递变,②粒度非递变和③粒度复合递变;

(3)理想的单期冲积扇垂向层序由上、中、下三大段、五小段(或岩相带)组成,具不典型的“三元结构”特征。它们是:①下部砂质—细砾质反递变段,又可分出:①底部牵引流—强牵引流砂质反递变段和②下部低密度碎屑流细砾质反递变段等两个岩相带;②中部砾质碎屑流正递变沉积段,由③中下部粗粒碎屑流正递变段和④上部细粒碎屑流正递变段等两段构成;③上部间洪期扇上正常辫状河砂质沉积段⑤;

(4)理想的单期冲积扇单元剖面中,底部带和顶部带虽厚度较薄但孔隙度和渗透率较高且均质性较好,是冲积扇中最好的油气储层;中部的第③带但孔隙度和渗透率较低且均质性最差但厚度较大,构成冲积扇体油藏中最重要的油气层;中下部的②段和中上部的④段介于二者之间并有较大变化。洪积扇油层的注水开发应注意油层顶、底水进和中部剩余油的控制。

(5)冲积扇砂砾岩体油藏油气丰富但剖面上高低渗层复杂交互,具较大开发难度。本研究关于“碎屑流单元序列模式”和“带状储集性能模式”方面的探索可有助于这类油藏的精细描述和高效开发。

(6)不同碎屑流单元在平面上的分布规律及模

式性有待深入研究。

鸣谢: 研究过程中蒙胜利石油管理局杨申镛、胡连安、项希勇等高级工程师指导和帮助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

1 裴悻楠, 薛叔浩, 应风祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工

业出版社, 1997. 226~249

2 杨申镛. 东营凹陷下第三系水下冲积扇地层型油藏[J]. 石油与天然气地质, 1983(1): 45~52

3 吴崇筠. 对国外浊流沉积和扇三角洲沉积研究的评述[A]. 见: 中国石油学会石油地质委员会编译, 国外浊积岩和扇三角洲沉积[C]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 1~19

4 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 石油工业出版社, 1993. 77~84

5 孙镇成, 杨藩, 张枝焕等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 179~215

On Vertical Sequence and Reservoir Characteristics of Alluvial Debris Flow Sedimentary Unit in Fault Basins, Eastern China ——Based on a case study of Yong-an alluvial fan, Dongying Basin

DONG Dong

(Dept. of Researvoir. Development. Dynamic Group Co., Ltd., Dongying Shandong 257096)

Abstract

Debris flow sedimentary strata consisted of mixed deposits of sands and conglomerates are the most significant oil and gas reservoir in alluvial fans developed along the steep-slope in Mesozoic-Cenozoic Fault Basins, Eastern China.

Based on a case study of cores through Yong-an alluvial fan, Dongying Basin, the lithological characteristics of debris flow deposits were firstly generalized, which are (1) conglomerate with a complex component, a poor degree of sorting and a very poor roundness; (2) a typical matrix-support-texture with the gravel-axis directed randomly; (3) the common gravity structures as the massive, the fiamme and the deformation bedding ect., the common bottom surface consisted of well-developed erosion surface.

Three types of vertical sequence of debris flow sedimentary unit were recognized and modeled, and they are (1) the fining-upward sequence mainly developed in the upper fan area, with the fining-upward either gradually or in a multicycle way; (2) the nongraded sequence typically formed in the main channels in the upper-fan facies and (3) the composite graded sequences combined with a lower coarsening-upward interval and an upper fining-upward interval and, this type of sequence is hardly well-developed due to the strong erosion in the alluvial fan area.

Based on the studies above, a complete sequence model of alluvial fan unit was suggested. This complete unit was composed of three intervals, that is (1) the lower coarsening-upward sand-fine gravel interval which was deposited in the first debris-forming-stage, (2) the thick middle-upper fining-upward interval that was formed in the typical debris-developing-stage and (3) the upper sandy interval deposited in the water-channels during the past-flood time. Furthermore, the lower interval can be recognized into two subintervals named ① sandy part formed in normal tractive current channels before flood and ② the fine gravel part deposited in the low dense debris at the first stage of flood; the middle-upper interval can also be divided into two subintervals, that is ③ the thick middle-lower coarse conglomerate as a result of normal debris; ④ the fine conglomerate corresponding to the late stage of a flood; the upper interval is right the subinterval ⑤. Because of the strong erosion process, the complete sequence of ①②③④⑤, were not common in strata record, contrastly, the sequences like ①②③④ ②③④ ②③ ect. were very common. Understanding the sequence model would be of significance to sedimentological and reservoir studies of alluvial fan in lacustrine basins. In order to understand the permeability

ty structure of a complete-debris-unit in profile, a corresponding reservoir characteristic model was finally established based on a number of core-permeability-test in lab, and the test showed that the thin subintervals ① and ⑤ be well-permeable, the ③ was relative poor, and the ②④ have a great range. So, the high reminding oil should tend to be formed in a debris reservoir unit.

Key words fault basin debris flow alluvial fan sand-conglomerate body sedimentary unit sedimentary pattern reservoir reservoir characteristics

学会消息

中国地质学会沉积地质专业委员会新一届委员名单, 经中国地质学会第 36 届理事会第 9 次常务理事会议审议通过。现通报如下:

主任:	孙 枢							
副主任:	刘宝珺	傅家谟	裘亦楠	李任伟				
秘书长:	李 忠							
委员:	于兴河	王东坡	王先彬	王多云	王忠城	王 剑	王苏民	关 平
	孙 枢	刘宝珺	刘焕杰	冯增昭	李任伟	李 忠	李育慈	李思田
	宋天锐	陈先沛	陈洪德	陈海泓	陈景山	陈戴生	罗 平	祝新友
	周志澄	周建民	林畅松	高文学	高 抒	高振中	黄志诚	黄第藩
	秦蕴珊	彭平安	傅家谟	裘亦楠	薛叔浩			

中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会新一届委员名单, 经中国矿物岩石地球化学学会第 5 届理事会第 1 次会议审议通过。现通报如下:

主任:	孙 枢							
副主任:	刘宝珺	傅家谟	裘亦楠	李任伟				
秘书长:	李任伟(兼)	李 忠						
委员:	于兴河	王东坡	王先彬	王多云	王忠城	王 剑	王苏民	关 平
	孙 枢	刘宝珺	刘焕杰	冯增昭	李任伟	李 忠	李育慈	李思田
	宋天锐	陈先沛	陈洪德	陈海泓	陈景山	陈戴生	罗 平	祝新友
	周志澄	周建民	林畅松	高文学	高 抒	高振中	黄志诚	黄第藩
	秦蕴珊	彭平安	傅家谟	裘亦楠	薛叔浩			

中国地质学会沉积地质专业委员会
中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会
一九九九年九月十三日

(李忠供稿)