

鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组 浊流沉积及成因模式

卢龙飞^{1,2)} 史基安²⁾ 蔡进功¹⁾ 王金鹏²⁾ 赵欣²⁾ 王琪²⁾

1) 同济大学海洋与地球科学学院 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2) 中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000

摘要 鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组发育典型的浊流沉积体。本文通过对西峰油田延长统野外露头的观察和室内岩心的描述与分析, 根据钻井、测井资料, 识别出了层状浊积岩、浊流水道、辫状浊流水道、槽状充填浊积岩以及滑塌浊积岩等浊流微相。并基于浊流的两种形成机制(洪水+沉积物→浊流和滑塌沉积物+水→浊流)和沉积动力学原理在该区建立了陆相湖盆浊流沉积模式, 即洪水型浊流成因模式和滑塌型浊流成因模式, 在此基础上探讨了浊流沉积对构造环境的沉积响应, 认为构造背景在宏观上控制了浊积砂体的时空展布, 鄂尔多斯盆地该时期的前陆发展演化特征构筑了其浊流沉积地层层序的充填特色。

关键词 鄂尔多斯盆地 延长统 浊流沉积 成因模式

Triassic Turbidity Current Deposit and Genetic Model of Yanchang Formation of Xifeng Oilfield, Ordos Basin

LU Longfei^{1,2)} SHI Ji'an²⁾ CAI Jingong¹⁾ WANG Jinpeng²⁾ ZHAO Xin²⁾ WANG Qi²⁾

1) State Key Laboratory of Marine Geology, School of Ocean and Geology, Tongji University, Shanghai 200092;

2) The Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000

Abstract Triassic turbidity current deposits of Yanchang Formation well developed in the Xifeng oilfield, Ordos basin. According to the core, well-logging data and outcrop, efforts are made in this thesis to recognize turbidity current channel, pigtail turbidity current channel, layer turbidity current, trough turbidity current and slump turbidity current from strata. Based on the theory of sediment dynamics and mechanism of genetic of turbidity current, two kinds of genetic models of turbidity current are developed: the genetic model of flood turbidity current and the genetic model of slump turbidity current. Then the relationship between turbidity current deposits and tectonic condition is analyzed. This thesis puts forward suggestion that the tectonic setting controls the mode of space-time exhibition of turbidity current deposits.

Key words Ordos Basin Yanchang Formation turbidity current deposit genetic model

浊流沉积最先是在湖相地层中发现的, 然而在随后的研究中重点却转移到了深海环境, 因此在浊流理论发展的很长一段时间内湖相浊积岩并没有得到充分的重视。随着能源勘探和开发的不断深入, 研究重点开始回到陆相湖盆广泛发育的浊流沉积体系中来。在石油地质领域该体系是诸类油气储集体之一, 发现了越来越多的以湖相浊积砂体作储层的油气田(姜涛等, 2003), 因此湖相浊积岩作为储层具

有非常重要的意义。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积了大量浊积岩体, 已有学者对其进行了研究工作(李祯等, 1995; 李思田等, 1992; 李文厚等, 2001), 但就浊流沉积微相识别和成因模式而言, 还尚未涉足。本文在现有浊积岩研究的基础上, 就西峰油田三叠系延长组长6—长8段沉积微相、成因模式和对构造环境的沉积响应等方面作了有益的探讨。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地处于我国沉积盆地分布的中带,兼受其东滨太平洋构造域和其西南特提斯-喜马拉雅构造域运动的影响,是一个稳定沉降、拗陷迁移、扭动明显的多旋回沉积型克拉通类含油气叠合盆地(杨俊杰等,1996),自晚三叠世开始进入了内陆拗陷盆地发育阶段,具完整和典型的陆相碎屑岩沉积体系(张福礼等,1994)。研究区(西峰油田)构造上属于鄂尔多斯盆地陕北斜坡的西南部(图1)。该区三叠系延长组发育一套完整的湖相地层,按储油砂体的分布自上而下可分为长1—长10段,主力产油层为长6—长8段湖相砂岩(图2),其中长8为湖进期,长7达到最大湖泛面,长6湖面开始整体退缩。

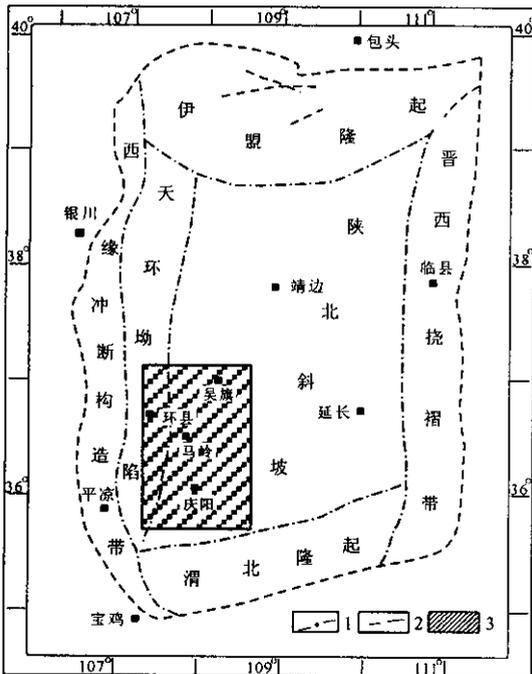


图1 鄂尔多斯盆地构造单元划分与研究区位置图

Fig. 1 Sketch map showing tectonic units and location of the study area in the Ordos basin

2 岩石学特征

2.1 岩性特征

研究区内浊流沉积地层以细砂岩、粉细砂岩、粉砂质泥岩、黑色泥岩、碳质泥岩和油页岩为主,也见中砂岩和粉砂岩。泥岩中间常夹有星散状黄铁矿细晶或结核以及鱼鳞片、植物叶片化石等,砂岩内则含

有灰黑色泥岩撕裂片、泥砾和碳化植物茎。

2.2 结构特征

概率累积频率曲线总体呈向上微凸形曲线,连成直线则为3~4段直线段,跳跃和悬浮总体(递变悬浮和均匀悬浮)之间有一很大的过渡带。这种特征反映了沉积物皆为整体悬浮搬运,当流体能量降低时悬浮负载便来不及分异而发生迅速堆积。

2.3 沉积构造特征

研究区内浊积岩体具有非常丰富的层理和构造,底部常发育有槽模、沟模和重荷模,向上依次为正递变层理或块状层理、波状层理、包卷层理(杂乱构造)(微细)平行层理以及碟形构造、泄水构造、盘状构造和火焰构造等特征性沉积构造现象。

3 浊积岩类型

Low(1978)首先提出了按流体流变学(流体对塑性体)特征和颗粒支撑机制对浊流沉积的划分方案,后又结合浊流中所含沉积物的粒度将其进一步划分为:砂质低密度浊流、砂质高密度浊流和砾质高密度浊流三种类型(Lowe,1982)。研究区内发育的浊积岩均属前两者,在空间上“镶嵌”在深湖—半深湖相泥岩中(图3)砾质高密度浊流未观察到,需要进一步的深入研究。

3.1 砂质高密度浊流沉积

本区砂质高密度浊积岩粒度相对较粗,主要由中—厚层状粗砂物质所组成,也有细砾、中砂、细砂和薄层的泥,泥砂层厚度比为1:3~1:8之间。以层面发育底冲刷构造、槽模、沟模、微型重荷模、滑塌变形层理和鲍马序列为特征。剖面中常见的序列有Tae、Tabe段,通过岩心观察则可见到Tabc、Tabd段。a段由细砂组成,为浊积岩正粒序层理,见底模构造;b段属平行层理段,不太发育;c段由粉砂岩组成,发育小型砂纹层理;d、e段一般难以区分,由灰色泥岩或粉砂质泥岩组成,发育水平或块状层理。滑塌及变形层理主要发育于a、b段的砂岩层中。

3.2 砂质低密度浊流沉积

本区砂质低密度浊积岩矿物成熟度较低,属岩屑砂岩、长石质岩屑砂岩及杂砂岩,主要是由细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩等组成韵律层,韵律层厚度变化较大。常见的浊流沉积序列有Tcde、Tbcde等,粉砂岩中常发育有小型砂纹层理,正粒序层理和底冲刷构造不发育或不明显。

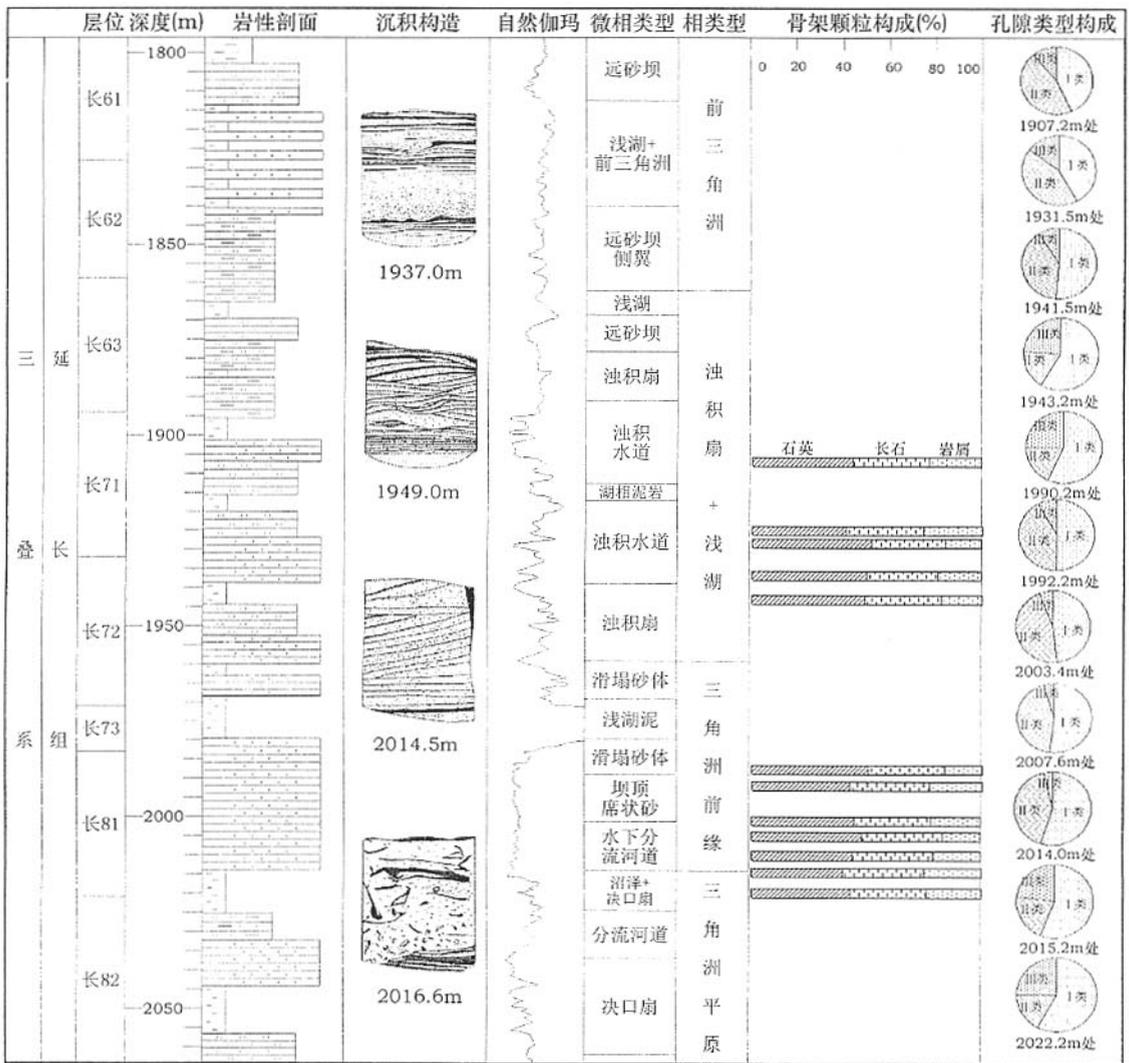


图 2 西峰油田三叠系延长组长 6—长 8 段综合柱状图(据史基安等 2003)

Fig. 1 Generalized stratigraphic column of Chang-6 Member to Chang-8 Member in Yanchang Formation of Triassic in Xifeng Oilfield

4 陆盆浊流沉积微相

陆相浊流沉积是指沉积物重力流在深湖、较深湖区以及近岸陡坡处(大陆斜坡和湖盆边缘)形成的碎屑岩沉积体(刘宪斌等,2003),即由冲积扇、扇三角洲或其他滨浅湖沉积物在外力作用下发生滑动或滑塌经再搬运和再沉积作用形成的。

吴崇筠等(1988)通过对现代和古代湖盆浊流沉积体系的综合研究,根据浊积砂体的分布位置划分出 6 种类型浊积体:① 陡岸的近岸(洪水)浊积扇;② 缓岸的带供水道远岸浊积扇;③ 近岸砂体前方的浊积扇或透镜体;④ 陡岸断槽浊积体;⑤ 中央席状浊积扇;⑥ 水下局部隆起的浊积体。赵

澄林等(1992)则根据成因相组成将浊积砂体划分为:① 浊流河道充填以及伴生的天然堤和溢岸沉积;② 浊积朵状体;③ 辫状浊积体;④ 滑动、滑塌碎屑流的块状、朵状和舌状体;⑤ 轴向重力流水道中充填的带状砂体;⑥ 深湖泥质披盖。

本文根据所研究湖盆浊流沉积的实际特点并结合以上分类,依据钻井、测井资料,识别出了层状浊积岩、浊流水道、辫状浊流水道和充填浊积岩以及滑塌浊积岩五种主要类型的浊积微相。现分述如下:

浊流水道出现在盆地斜坡地带,可延伸到断层的根部。在基准面下降期,浊流水道是作为输送重力流沉积物的通道,在上升期,沉积物得以保存而形成浊流水道,总体形态呈舌状或带状。水道沉积底

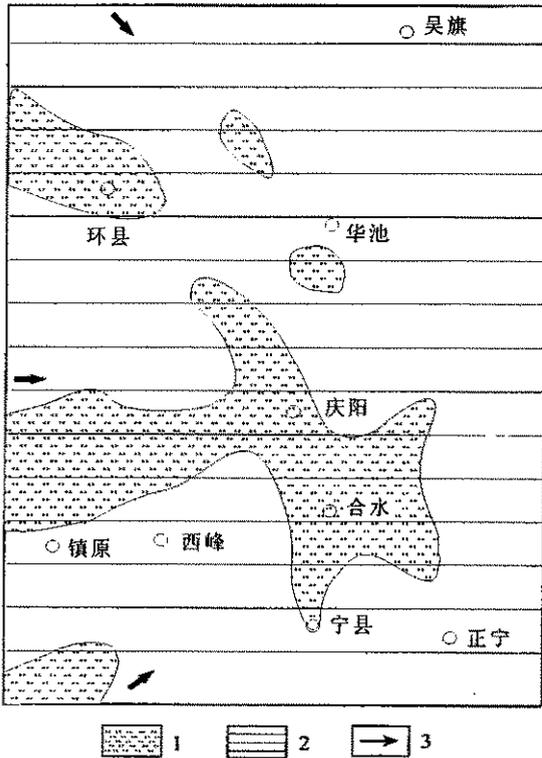


图3 研究区浊流沉积略图

Fig. 3 Sketch map of turbidity current deposits

界面为与下伏泥岩的突变面,其上砂砾岩具块状结构或向上变细的沉积序列。向上变细的水道砂岩底部可见泥砾或泥质撕裂片及负载构造,顶部渐变为砂泥互层,发育递变层理或波状层理(图4a)。测井曲线上表现为顶、底突变的块状特征(邓宏文等,2002)。

辫状浊流水道多发育在浊积扇扇中位置。其沉积特征与浊流水道类似,但由于多期重力流作用的发生,形成浊流水道的多期叠置结构,每期内部韵律清楚。测井曲线上表现为顶、底突变的锯齿化箱形特征(图4b)。

层状浊积岩多发育在浊积扇的扇缘或浊流水道间位置,与较深水湖相的暗色泥岩、粉砂质泥岩频繁交互,测井曲线上多呈齿形特征(图4c)。

槽状浊积岩多发育在三角洲前缘缓坡带的水下坡折带或具有沿湖岸分布的狭长形的低洼段槽的位置。重力流在进入盆地流经这些地貌单元时,因能量突然减弱而迅速沉积,使得“凹槽”得以充填,多次充填作用的叠加形成充填浊积岩相。充填浊积岩砂砾岩粒度粗(图4d),沉积厚度大,呈块状混杂结构,

局部见变形层理,沉积韵律不很清楚(邓宏文等,2002)。

滑塌浊积体为快速堆积的三角洲前缘沉积物在重力作用下发生滑动、崩塌,最终在深水斜坡处形成的扇状及透镜状沉积体。在岩心中可辨识出两类滑塌沉积。一类是厚度较大可看到明显变形特征及冲刷泥砾的无水道毯状近源滑塌浊流沉积体,泥砾呈灰色,是高能浊流在内扇的水道口外形成的。另一类为位于大套深灰色泥岩中间的薄粉砂层,粉砂岩多呈透镜状(图4e),主要是堆积在扇缘部位的碎屑物由于坡度较陡,在自身的重力作用下直接滑移至半深湖、深湖中形成的。

从浊积相垂向和侧向分布上的递变速度可看出浊流规模不是特别大、发育周期较短,但叠置频率高,是在构造作用控制下沉积变化的结果。

5 陆盆浊流成因模式

通过对现代浊流沉积作用的研究发现现代湖泊中存在两种浊流形成机制:洪水+沉积物→浊流和滑塌沉积物+水→浊流(许靖华,1980)。基于上述机制和沉积动力学原理,笔者等对研究区浊流沉积微相的成因进行了研究总结,认为在该区存在洪水型与滑塌型两种浊流成因模式。

5.1 洪水型浊流成因模式

该模式与洪水+沉积物→浊流的形成机制相对应(见图5)。在这种情况下洪水是主动的,它的动能很大,可以搬动小砾石,从而形成砾岩和砂岩的浊流沉积物。当山洪暴发时,近源山间洪水携带大量的风化剥蚀和垮塌的陆源碎屑物质在坡降较大的地区直接倾入湖盆,能冲刷侵蚀湖底形成水下河道,同时发生卸载(张荫等,1999),形成杂乱分布的砾、粗砂岩相浊积岩。随着水流继续向前流动,湖盆坡度变缓,洪水水流开始分散,但仍能冲蚀下伏沉积物成分叉的辫状水道,快速堆积了块状和递变层理的砂砾岩相浊积岩。随着搬运距离的继续增加,洪水水流的能量逐渐损失,不再具备冲蚀湖底形成水道的水流强度,含有大量悬浮物质的强搅动洪水水流经悬浮沉降后形成反映低密度浊流沉积的具似鲍马序列的浊积岩。此时基本无水下河道形成,地形趋于平缓,并向湖盆方向逐渐过渡为湖相暗色泥岩沉积。研究区内发育的浊流沉积多属于此种模式,属陡岸的近岸(洪水)浊积扇。

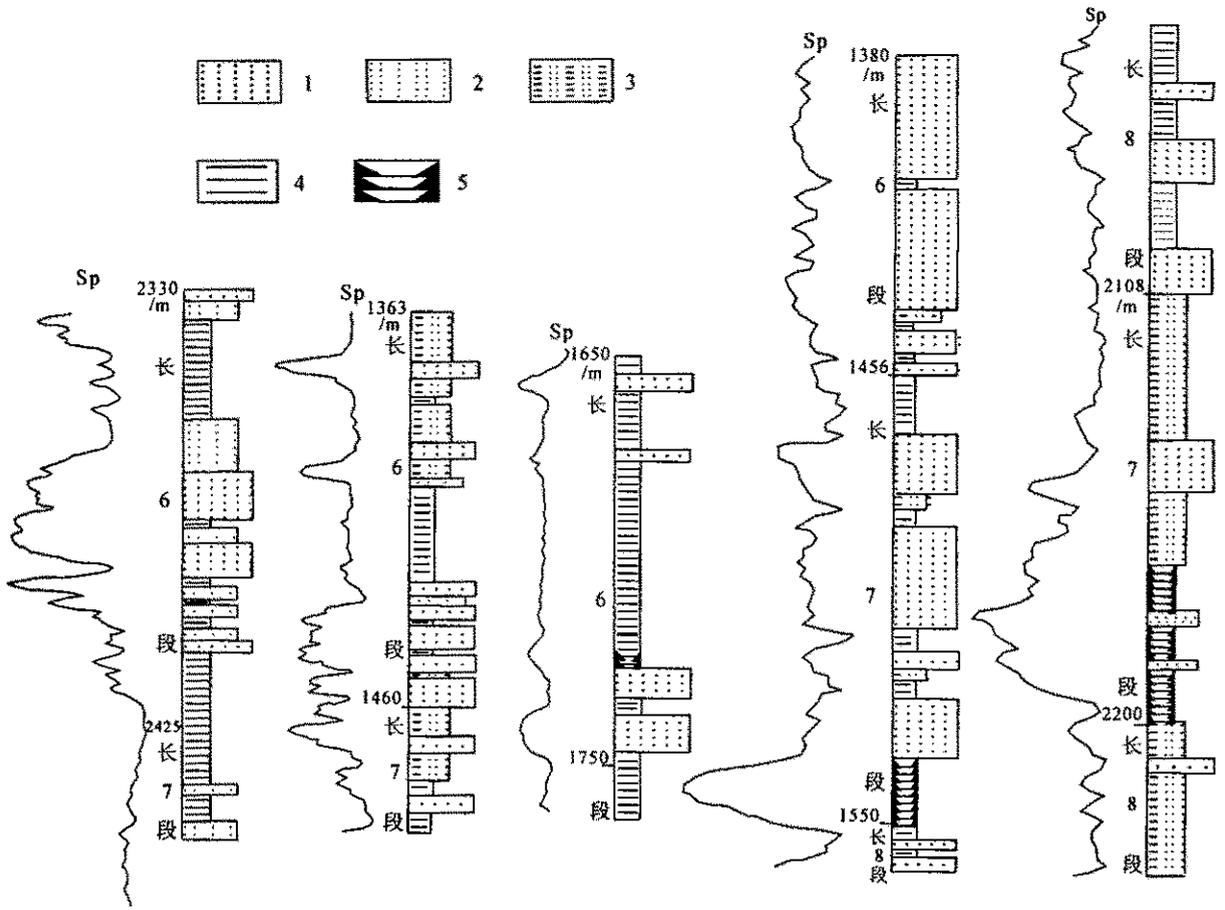


图 4 浊积微相沉积序列与测井特征

Fig. 4 Vertical sequences of the petrologic associations in individual sedimentary microfacies

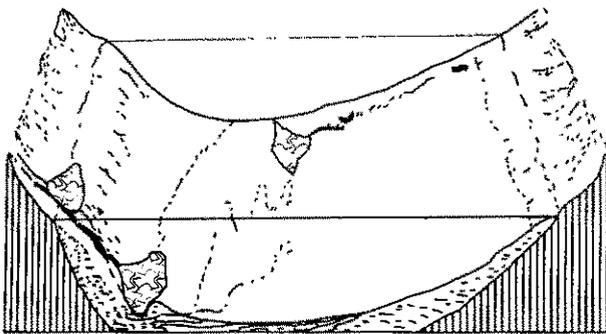


图 5 洪水型浊流成因模式

Fig. 5 The genetic model of flood turbidity current

5.2 滑塌型浊流沉积成因模式

该模式与滑塌沉积物+水→浊流的形成机制相对应。在深水环境中,重力作用的滑塌沉积物加水就可转变为砂质浊流。在湖盆斜坡带,三角洲前缘

堆积体在阵发性因素作用下导致重力不稳,开始沿底床向下滑动,随后出现滑塌。滑塌体具有强侵蚀能力,可侵蚀湖盆底床,将泥质物质一起带走。这种滑塌沉积物加水就转变为砂质浊流(Shanmugam et al., 1991)。浊流沿狭窄盆地轴向不断向前延伸,最终在深水斜坡处或凹槽处沉积下来,形成滑塌浊流沉积体。(见图 6)。在研究区西侧和西南部边缘多发育此类成因模式的浊积岩,近岸的陡坡明显控制了它们的分布。

5.3 浊流的形成和发育条件

从上述模式可见,研究区浊积岩的形成和发育具备以下因素:

(1) 古地理、古气候因素:鄂尔多斯盆地上三叠世气候属干旱或半干旱类型,盆地沉积区与西缘老山物源区存在较大高差,母岩的风化剥蚀作用较强,物源供应充足,有利于与湖水存在密度差的季节

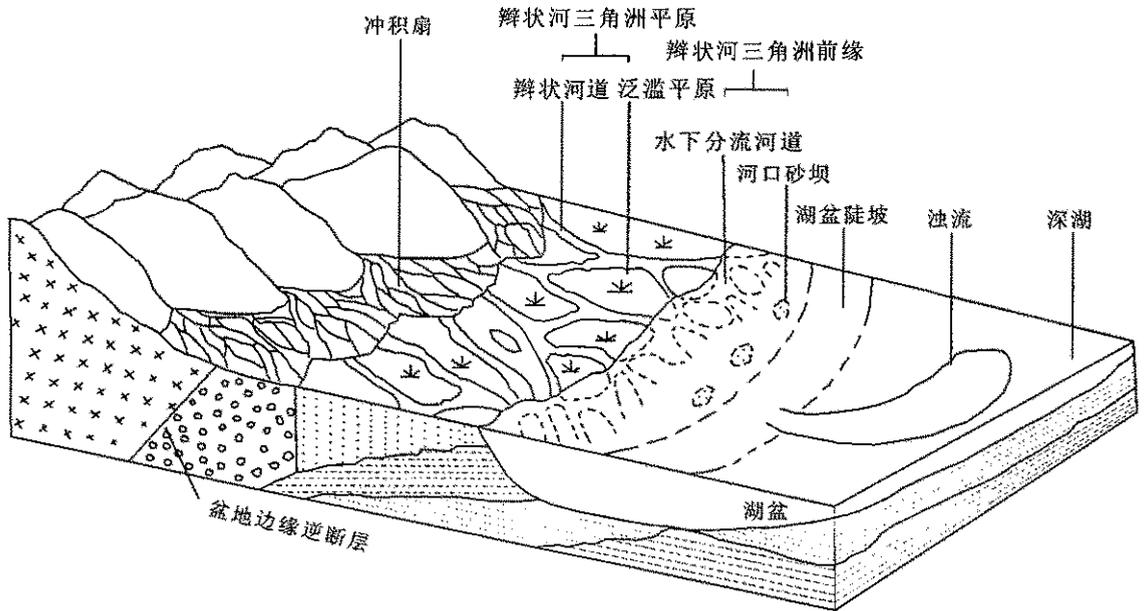


图6 滑塌型浊流成因模式

Fig. 6 The genetic model of slump turbidity current

性洪水的产生,从而形成浊流。

(2) 古湖平面变化因素:足够的水深是湖相浊流沉积形成以及后期避免冲刷破坏的必要条件。浊流沉积在水动的环境中通常会被改造甚至遭受破坏,因此发育及保存浊流沉积的条件是静水环境,一般是在深水中。研究区浊流主要集中在湖泛期的长8和长7两段,长6较少。长8和长7期湖平面较高,深湖相和半深湖相面积不断扩大,在近岸陡坡带甚至也形成了具深水环境的局部洼陷,为浊流的发育和保存提供了有利的条件。

(3) 突发性事件因素:洪水及可能的风暴等阵发性触发机制与间接诱发的沉积物滑塌是研究区浊流形成的主要原因。除洪水引发的浊流直接进入湖盆外,其余多为湖盆边缘斜坡带沉积物积累到一定厚度,再经这些突发事件引起沉积物的滑动或滑塌。

(4) 古湖盆底床形态因素:一定的湖盆底床坡度可以造成沉积物不稳定,从而易被触发向下作块体滑动。而底床的微地貌形态则在一定程度上影响了浊积岩的分布、结构特征及后期的沉积演化过程,本区滑塌浊积体岩性上的多样性和差异性就是受其控制的结果。

6 浊积沉积对前陆构造作用的响应

鄂尔多斯盆地晚三叠世从构造属性讲属(类)前

陆盆地,西缘为逆冲-推覆造山带。每一幕次的挤压逆冲均会导致相应的前缘沉降及沉积充填,造山带的挤压逆冲动力直接控制了盆地的沉积响应(特别是盆地的轴部和活动边缘地带)。在这种挤压背景下,鄂尔多斯盆地的沉积演化与毗邻的陆内逆冲推覆造山带的构造演化之间存在着极其密切的关系。

该盆地的发展演化按照前陆盆地的特点可分为三个阶段。第一个阶段为盆地挠曲变形阶段,此时期为湖盆雏形形成阶段,湖水较浅,沉积物可容纳空间相对较小,浊流沉积不大发育或经后期改造而未能得到保存。第2个阶段为逆冲负载释放-塑性变形阶段,表现为塑性变形。此时期鄂尔多斯盆地基底快速下降,造成了较大的沉积物可容纳空间,具有双方向物源特点,浊流沉积广泛发育。在该阶段早期,基准面较低,发育向上变粗的进积型沉积层序,洪水型浊流发育广泛,并伴有滑塌浊流沉积,是盆地西缘逆冲-推覆作用强烈活动时期的沉积响应。在该阶段晚期,随着挤压推覆作用的减弱,推覆造山区与盆地沉积区的地势差异减小,湖盆范围继续向西扩大,原来的进积型沉积层序变成退积型沉积层序,洪水型浊流相对减弱,滑塌型浊流则有所加强。这种退积型构造层序代表了推覆作用间歇期(稳定期)的沉积响应。第3个阶段为下一幕次逆冲

负载-挠曲变形阶段,从而构成一个完整的逆冲推覆旋回。一幕次的逆冲推覆旋回均有在其控制作用下发育的一套浊流沉积地层与其相对应。

由此可见,构造背景在宏观上控制着浊积砂体的时空展布,鄂尔多斯盆地该时期的前陆发展演化过程构筑了其浊流沉积地层层序的充填特色。

参考文献

- 邓宏文, Cross T A, 王红亮. 2002. 高分辨率层序地层学——原理及应用. 北京:地质出版社, 79~90.
- 姜涛, 解习农. 2003. 细粒浊积体研究现状与展望. 地球学报, 24(3): 289~292.
- 李思田等. 1992. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层学及沉积体系分析 [M]. 北京:地质出版社, 62~105.
- 李文厚, 邵磊, 魏红红, 韩永林, 杨阳, 冀晓琳, 等. 2001. 西北地区湖相浊流沉积. 西北大学学报(自然科学版), 21(1): 57~61.
- 李祯, 温显瑞, 周慧堂, 等. 1995. 鄂尔多斯盆地东缘中生代延长组浊流沉积的发现与意义. 现代地质, 9(1): 99~107.
- 刘宪斌, 万晓樵, 林金逞, 等. 2003. 陆相浊流沉积体系与油气. 地球学报, 24(1): 61~66.
- 史基安, 王金鹏, 王琪, 等. 2003. 鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组长6—8段储层砂岩成岩作用研究. 沉积学报, 21(3): 2003, 373~380.
- 吴崇筠, 李纯菊, 刘国华, 等. 1988. 断陷盆地中的浊积岩[A]. 见: 中国石油学会石油地质委员会, 主编. 碎屑岩沉积相研究[C]. 北京:石油工业出版社, 1~37.
- 杨俊杰. 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京:石油工业出版社, 1~21.
- 张福礼, 黄舜兴, 杨昌贵, 等. 1994. 鄂尔多斯盆地天然气地质. 北京:地质出版社, 33~51.
- 张荫, 田景春. 1999. “近岸水下扇”的命名、特征及其储集性. 岩相古地理, 19(4): 42~52.
- 赵澄林, 刘孟慧, 纪友亮. 1992. 东濮凹陷下第三系碎屑岩沉积体系与成岩作用. 北京:石油工业出版社, 35~72.

References

- Deng Hongwen, Cross T A, Wang Hongliang, et al. 2002. The Theory and Application of High-resolution Sequence Stratigraphy. Beijing: Geological Publishing House, 79~90 (in Chinese).
- Jiang Tao, Xie Xinong. 2003. Present condition and prospects of research fine-grained turbidite systems. Acta Geoscientia Sinica, 24

(3): 289~292 (in Chinese).

- Li Sitian, et al. 1992. The Analyse of Sequence Stratigraphy and Deposit System in Northeastern Area of the Ordos Basin. Beijing: Geological Publishing House, 62~105 (in Chinese).
- Li Wenhui, Shao Lei, Wei Honghong, Han Yonglin. 2001. Turbidity current deposits of lake facies in Northwestern. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 21(1): 57~61 (in Chinese).
- Li Zhen, Wen Xianrui, Zhou Huitang, et al. 1995. The Significance of Turbidity Current Deposits of Mesozoic Yanchang Formation in Eastern Area, Ordos Basin. Geoscience, 9(1): 99~107 (in Chinese).
- Liu Xian-bin, Wan Xiaoqiao, Lin Jincheng. 2003. Continental Turbidity Deposition System and Hydrocarbon. Acta Geoscientia Sinica, 24(1): 61~66 (in Chinese).
- Lowe D R. 1978. Sediment gravity flows. Jour. Sediment. Petrol., 52(1): 279~297.
- Lowe D R. 1982. Sediment gravity flows: II. depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. Jour. Sediment. Petrol., 52(1): 279~297.
- Shanmugam G, Moiola R J. 1991. Types of submarine fan lobes: models and implications. AAPG, 75(1): 156~179.
- Shi Ji'an, Wang Jinpeng, Wang Qi, et al. 2003. Reservoir sandstone diagenesis of Member 6 to 8 in Yanchang Formation (Triassic), Xifeng Oilfield, Ordos Basin. Acta Sedimentologica Sinica 21(3): 373~380 (in Chinese).
- Wu Chongyun, Li Chunju, et al. 1988. Turbidity in faulted subidence-lake basin. In: Petroleum Geology Institute of Chinese Petroleum Society, ed. Study of Clastic Sedimentary Facies. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~37 (in Chinese).
- Yang Junjie. 2002. Tectonic evolution and oil gas distribution in the basin of Ordos. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~21 (in Chinese).
- Zhang Fuli, Huang Shunxing, Yang Changgui, et al. 1994. Natural Gas Geology of the Ordos Basin. Beijing: Geological Publishing House, 33~51 (in Chinese).
- Zhang Yin, Tian Jingchun. 1999. The nomenclature, sedimentary characteristics and reservoir potential of nearshore subaqueous fans. Lithofacies Archaic Geography, 19(4): 42~52.
- Zhao Chenlin, Liu Menghui, Ji Youliang. 1992. Clastic Rock Sediment System and Diagenism Eogene in Dongpu Sag. Beijing: Petroleum Industry Press, 35~72 (in Chinese).