

# 深水沉积研究进展及在鄂尔多斯盆地中的应用

樊晓芳<sup>1</sup> 钟建华<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院 山东 青岛 266555; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所 广东 广州 510640)

**摘要:** 深水沉积研究为当前沉积学研究热点,通过文献调研,分析深水沉积研究进展,并总结了当前深水沉积理论在鄂尔多斯盆地中的应用情况。浊流理论建立以来60余年里,深水沉积研究取得长足进展。砂质碎屑流的提出,标志着深水沉积研究进入一个新的阶段。国内学者将深水沉积理论引入,应用在国内陆相盆地中。调研结果表明鄂尔多斯盆地中深水沉积在奥陶系和三叠系两个时期有发现:奥陶系在盆地西南缘发现大规模重力流和牵引流沉积;三叠系延长组在盆地东、南、西缘及湖盆中心发现重力流沉积。砂质碎屑流在陆相湖盆中可能普遍存在,以砂质碎屑流砂体为主的湖盆中心沉积砂体会成为有利的勘探领域。

**关键词:** 深水沉积; 砂质碎屑流; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.114 文献标志码: A 文章编号: 1003-0506(2016)07-0152-05

## Progress of research on deep water deposition and their applications in Ordos Basin

Fan Xiaofang<sup>1</sup> Zhong Jianhua<sup>1,2</sup>

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Deep-water sediments study has become research hotspot in recent years. This paper mainly analyzed the process of deep-water sediments study and summarizes the applications of this theory in Ordos basin through literature research. The theory of turbidity has been established more than 60 years and during this period the study of deep-water sediments has made considerable progress and it steps in a new stage with the arise of sandy debris flow, which domestic scholars have applied in inland basin. The results of the survey show that deep-water sediments in Ordos Basin developed during Ordovician and Triassic periods. Massive gravity flow and traction current deposits were discovered in Ordovician system and gravity flow deposits were found in Yanchang Formation of the eastern, southern and western margin of the basin and lake-basin center in Triassic system. Sandy debris flow may be widespread in terrigenous lake basin and sedimentary sand bodies in lake-basin center may become the favorable exploration fields.

**Keywords:** deep water deposition; sandy debris flow; Ordos Basin

## 0 引言

深水沉积为当前国际沉积学研究热点,但“我们对于深水环境下沉积作用和砂分布的理解仍很粗浅”<sup>[1]</sup>。从20世纪50年代浊流的发现及其理论的建立开始,到砂质碎屑流的提出,深水沉积研究的道路仍将不断探索。国外油气田勘探和开发已进入深水领域,实践证实,深水区蕴藏丰富的油气资源<sup>[2]</sup>。研究发现,深水重力流和深水牵引流成因的

砂岩是良好的油气储集层<sup>[3]</sup>。中国地质学家将深水沉积研究引入,并在国内陆相湖盆广泛应用<sup>[4-6]</sup>,其中在珠江口盆地、渤海湾盆地东营、南堡油漆(油气)区及鄂尔多斯盆地均取得重要突破。尤其在鄂尔多斯盆地深湖沉积环境油气勘探中取得良好效果<sup>[7-8]</sup>。深水沉积理论中的深湖相模式指导鄂尔多斯盆地华庆地区发现了 $5 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8$  t级大油田<sup>[9]</sup>,对鄂尔多斯盆地的深水沉积研究已成为盆地油气可持续性开发的重点。

收稿日期: 2016-03-30; 责任编辑: 秦爱新 DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2016.07.036

作者简介: 樊晓芳(1989—)女,山东青岛人,硕士研究生,研究方向为沉积学与层序地层学。

引用格式: 樊晓芳,钟建华.深水沉积研究进展及在鄂尔多斯盆地中的应用[J].中州煤炭,2016(7):152-156.

Fan Xiaofang, Zhong Jianhua. Progress of research on deep water deposition and their applications in Ordos Basin [J]. Zhongzhou Coal, 2016 (7): 152-156.

文献调研表明,自20世纪90年代在鄂尔多斯大型坳陷盆地的东缘、南缘和西缘发现深水砂岩<sup>[10]</sup>,另外三叠系在湖盆中心也发现厚层深水沉积砂岩<sup>[11-12]</sup>。对盆地中深水沉积研究的内容和过程值得其他盆地借鉴,发现问题需要更深入的研究。

### 1 深水沉积研究进展

1948年,Kuenen提出海底峡谷可能由高密度流侵蚀形成,1950年与Migliorini提出粒序层理由浊流形成。1962年Bouma提出了浊积岩序列和鲍马序列<sup>[13]</sup>。20世纪50—70年代是重力流沉积模式的建立时期,不断有学者提出新的深水沉积模式,其中有影响力的为鲍马序列与约克综合扇模式。Walker把现代扇模式和古代海底扇的相概念结合起来,提出综合扇模式,由于其预测能力在油气勘探上受到重视。随着人们对深水沉积认识的深入,有学者质疑鲍马序列和扇模式,并指出现代和古代扇系统比想像的要复杂<sup>[14]</sup>。Shanmugam提出的砂质碎屑流概念及实验具有深远意义,砂质碎屑流模式是对鲍马序列与相关扇模式的重要补充,标志着深水沉积研究进入了一个新阶段(图1)。

随着深水研究的深入,根据沉积物支撑机制对重力流进行了分类:颗粒流、沉积物液化流、碎屑流与浊流。有学者将这4种重力流沉积物统称为浊积岩,事实上浊积岩只是浊流沉积产物<sup>[15]</sup>(图2)。

前人还对重力流沉积体系划分做了较多卓有成效的研究工作,但关于重力流沉积体系划分方案内外尚无统一的认识。目前合理划分方案主要有扇型重力流沉积体系、槽型重力流沉积体系、沟道型(非扇型)重力流沉积体系、非水道型重力流沉积体4种,各种划分方案的亚相、微相见表1<sup>[16]</sup>。

除重力流外,底流也是重要的深海搬运沉积方式,4种常见的底流分别为温盐流、风力驱动底流、深海潮汐及斜压流,牵引构造用来区分这4种底流形成的再改造砂体。内波和内潮汐引起的斜压流再改造砂体的特征仍需深入研究。仅通过地震剖面与地质体形态无法识别块体搬运和底流再改造砂体类型,牵引构造是唯一可靠的底流再改造砂体的识别标志,所以岩心和露头观察是唯一能鉴别其沉积相特征的方法。

深海环境中的沉积过程与沉积物非常复杂(图3),因此,很多易混淆的术语及相关机理仍需要不断探索<sup>[17]</sup>。国内外学者除了对深水沉积一些概念、沉积

体系、模式进行研究,也对深水沉积的成因展开了分析、研究方法进行了探索。研究表明,地震、火山、洪水和海啸是触发重力流或块体流、块体搬运形成的重要动力条件。地震成因、富含滑动块体、滑塌变形的沉积称为震积岩。

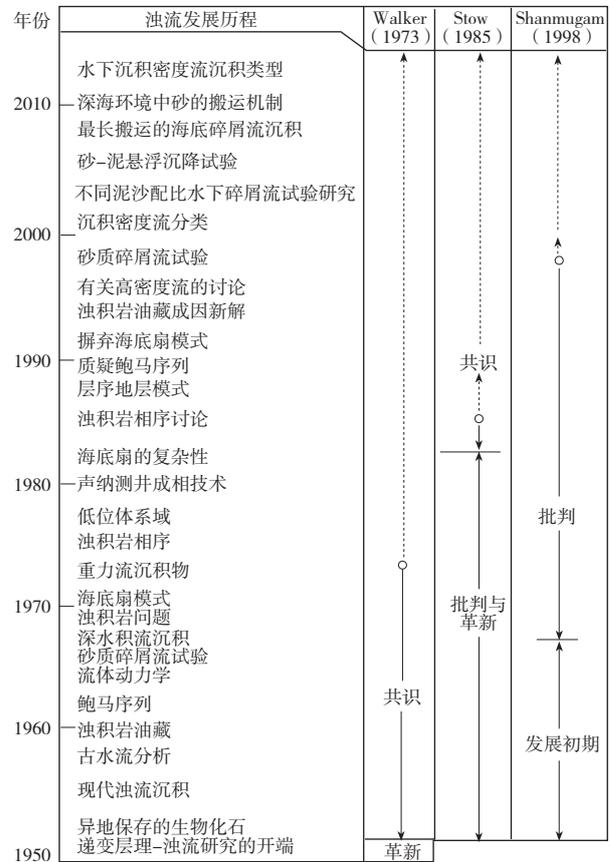


图1 深水理论发展

Fig. 1 Development of deep-water theories

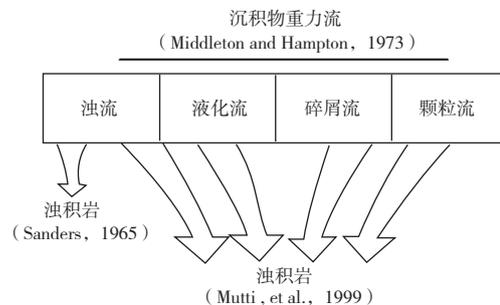


图2 Sanders(1965)和Mutti等(1999)对浊积岩的不同定义

Fig. 2 The different definition of the term "turbidites" from Sanders(1965) and Mutti et al. (1999)

由于深水沉积难以借助实验有效模拟,也难以

从露头 and 地震上直接判断。近期多国学者陆续开始采用高精度地貌采集和流体探测传感器对当前活动的海底峡谷中的重力流过程进行监测,这可能为海底重力流真实的搬运和沉积过程研究带来新的曙光<sup>[18]</sup>;对深水区细粒沉积的研究除了常规的岩矿分析、地球化学分析外,纳米技术将是今后重要的研究方法<sup>[19]</sup>;研究中还可以引入海洋物理学的理论和方法,为深水沉积研究提供更有利的支持。

表1 重力流沉积体系划分方案

Tab. 1 Division plan of gravity flow depositional system

沉积体系(相)	亚相	微相
扇形重力流沉积体系	内扇、中扇、外扇	滑塌沉积、辫状水道、漫溢沉积、原地沉积
槽型重力流沉积体系	水道、水道侧缘	辫状沙坝、边滩、侧缘漫溢沉积、原地沉积
沟道型(非扇形)重力流沉积体系	水坝、堤岸、前段朵叶	滑塌沉积、砂质碎屑流沉积、浊流沉积、原地沉积
非水道型重力流沉积体系	上斜坡、中斜坡、下斜坡	滑塌沉积、砂质碎屑流沉积、泥质碎屑流沉积、浊流沉积、原地沉积

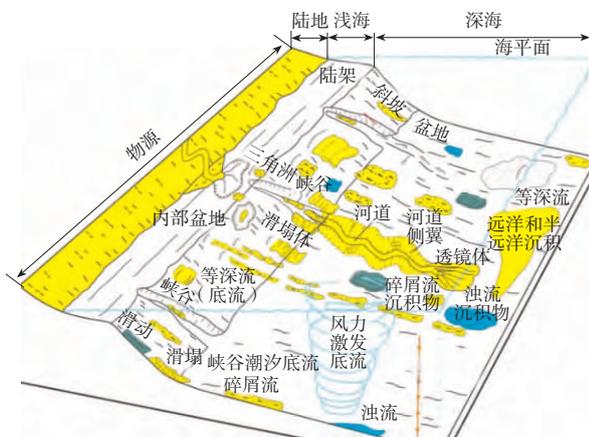


图3 深海陆架斜坡坡折带沉积体系示意  
Fig. 3 Schematic diagram of sedimentary system on shelf-slope break of deep-marine

总之,从浊流到砂质密度流概念的提出发展到成因、沉积体系、模式、研究方法的研究,深水沉积研究经历了漫长的过程。深水沉积仍将是沉积学的研究热点,各种理论需要不断完善、更新。

## 2 应用分析

### 2.1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地构造轮廓总体呈东翼陡窄的南北向矩形盆地,面积  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。可划分为陕北斜坡、天环向斜、伊蒙隆起、中央古隆起、晋西挠折带、渭北隆起六大一级构造单元(图4)。早古生代寒武

系—奥陶系为裂谷活动主要时期,中奥陶系是裂谷扩展最宽、裂谷幅度最大的阶段,发育一套复理石建造。中奥陶系后,加里东运动使裂谷逐渐消失,隆升为陆,大部分地区缺失晚奥陶世沉积。鄂尔多斯南缘拗陷带是鄂尔多斯台坳南侧向秦岭地槽倾斜的边缘凹陷,早奥陶世晚期至晚奥陶世是凹陷下陷的高峰期。鄂尔多斯盆地延长组的沉积具有多源性,整个延长组的发展历史中有较好的继承性。一是盆地周缘存在多个古陆,包括北部的阴山古陆、西北缘的阿拉善古陆、南部的祁连—秦岭古陆及西南的陇西古陆等,它们都是盆地碎屑沉积物的主要来源<sup>[20]</sup>。

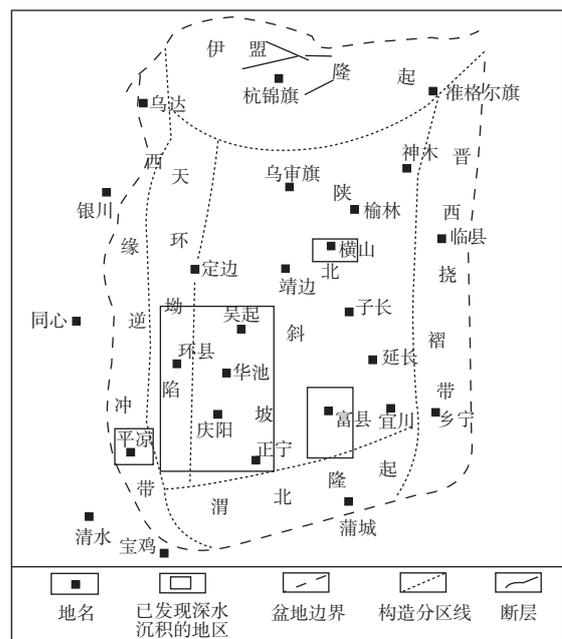


图4 鄂尔多斯盆地构造区划分及深水沉积已研究地区  
Fig. 4 Division of structure zone in Ordos Basin and researched areas of deep-water deposition

### 2.2 深水沉积研究的应用

鄂尔多斯盆地中自西向东在平凉地区、陇东地区、华庆地区、横山县、富县—洛川—黄陵一带、渭北地区均发现深水沉积(图4)。

盆地西南缘奥陶系时期平凉地区发现内潮汐沉积、等深流沉积,并进行了以下研究:据内潮汐沉积特征分析,认为是水道内潮汐沉积模式;对等深岩类型、层序、岩丘地貌进行论述<sup>[21-22]</sup>。

盆地南缘研究内容主要有深水沉积岩石的特征、沉积体系、相模式及深水沉积与油气层的关系。

湖盆中心的陇东、华庆地区对深水沉积的特征和模式进行了分析<sup>[23-24]</sup>。邹才能等在鄂尔多斯盆

地沉积中心建立的深湖相沉积模式对陆相湖盆中部寻找岩性、非常规油气有重大意义。该模式将砂质碎屑流概念应用到盆地上三叠系延长组油藏成因解释中<sup>[25-26]</sup>(图5)。盆地深湖斜坡带及其下部以砂质碎屑流沉积物为主,湖盆中心为浊流沉积。

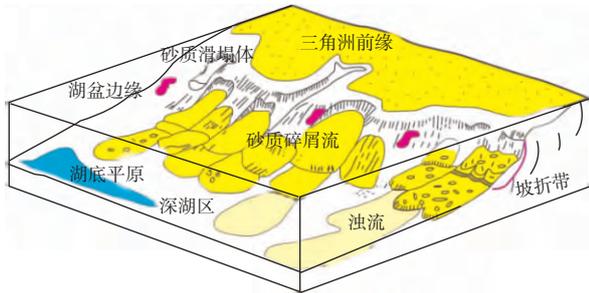


图5 鄂尔多斯盆地砂质碎屑流沉积模式

Fig. 5 Depositional model of sandy debris flow in Ordos Basin

该模式指导鄂尔多斯盆地华庆地区发现了大量石油,对松辽、渤海湾盆地乃至世界范围内类似深水湖盆的油气勘探具有重要借鉴意义。砂质碎屑流在陆相湖盆中可能普遍存在,以砂质碎屑流砂体为主的湖盆中心沉积砂体会成为有利的勘探领域。

李祯等提出在盆地东缘横山县的郑寨沟、庙沟至子洲县的新窑上村有浊积岩的露头分布,并分析了岩石特征、成因、发现的意义。

总的看来,研究较多的是盆地南缘(富县—洛川—黄陵一带、渭北地区)和湖盆中心(陇东地区)三叠系延安组的长6和长7油层组。也有研究表明吴起地区长9油层组有浊积岩。这些地区通过不同的方法对深水沉积进行了研究:分析沉积形成的条件;通过岩矿、地球化学等方法分析深水沉积岩石岩性;预测纳米技术将成为重要的研究方法;建立深水重力流空间分布模式;分析深水砂岩与油层分布的关系等。

### 3 结论

(1) 随深水沉积学的发展,关于深水沉积的争议仍会持续,新问题、新观点、新术语还会不断出现。国内深水研究中,浊积岩占主导地位,砂质碎屑流引入陆相湖盆解释深水重力流是一个新的观点与认识。但不能否定一切,一些传统模式和术语在不同地质条件下油气勘探研究中仍有实际应用价值。

(2) 鄂尔多斯盆地西南缘奥陶系,东、南缘三叠

系延长组,湖盆中心三叠系发现深水沉积。

(3) 在鄂尔多斯盆地建立的深湖相沉积模式对国内,甚至世界范围内类似深水湖盆油气勘探有重要借鉴意义。

(4) 对鄂尔多斯盆地内深水沉积已研究的地区进行归总,为以后深入研究提供依据。

### 参考文献(References):

- [1] Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm(1950s-1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective [J]. *Marine and Petroleum Geology* 2000(17): 285-342.
- [2] 邓强. 深水沉积研究综述及未来方向[J]. *西安科技大学学报*, 2014, 34(1): 26-32.  
Deng Qiang. Research review and future direction of deep-water sedimentation [J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology* 2014, 34(1): 26-32.
- [3] 何幼斌,高振中,罗顺社,等. 等深流沉积的特征及其鉴别标志[J]. *江汉石油学院学报*, 1998, 20(4): 1-6.  
He Youbin, Gao Zhenzhong, Luo Shunshu, et al. Features of contourites and their discrimination [J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 1998, 20(4): 1-6.
- [4] 王颖,王晓州,王英民,等. 大型拗陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式[J]. *沉积学报* 2009, 27(6): 1076-1083.  
Wang Ying, Wang Xiaozhou, Wang Yingmin, et al. Model of gravity flow in slope beaks of large-type down wrapped lake Basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2009, 27(6): 1076-1083.
- [5] 鲜本忠,万锦峰,姜在兴,等. 断陷湖盆洼陷带重力流沉积特征与模式:以南堡凹陷东部东营组为例[J]. *地质前缘*, 2012, 19(1): 121-135.  
Xian Benzong, Wan Jinfeng, Jiang Zaixing, et al. Sedimentary characteristics and model of gravity flow deposition in the depressed belt of rift lacustrine Basin: A case study from Dongying formation in Nanpu depression [J]. *Earth Science Frontiers* 2012, 19(1): 121-135.
- [6] 李林,曲永强,孟庆任,等. 重力流沉积:理论与野外识别[J]. *沉积学报* 2011, 29(4): 677-688.  
Li Lin, Qu Yongqiang, Meng Qingren, et al. Gravity flow: The theoretical research and field identification [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2011, 29(4): 677-688.
- [7] 陈全红,李文厚,郭艳琴,等. 鄂尔多斯盆地南部延长组浊积岩体系及油气勘探意义[J]. *地质学报* 2006, 80(5): 656-663.  
Chen Quanhong, Li Wenhou, Guo Yanqin, et al. Turbidity systems and oil exploration significance of Yanchang formation in the southern Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 656-663.
- [8] 陈全红,李文厚,高永祥,等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深湖沉积与油气聚集意义[J]. *中国科学: D辑*, 2007, 37(增刊1): 39-48.  
Chen Quanhong, Li Wenhou, Gao Yongxiang, et al. Deep lake deposition and oil accumulation significance of Yanchang formation in

- Ordos Basin[J]. Science in China: Series D, 2007, 37( S1): 39-48.
- [9] Shanmugam G. 深水砂体成因研究新进展[J]. 石油勘探与开发 2013, 40(3): 294-301.  
Shanmugam G. New perspectives on deep-water sandstones implications [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 294-301.
- [10] 李祯, 温显端, 周慧堂, 等. 鄂尔多斯盆地东缘中生代延长组浊流沉积的发现与意义[J]. 现代地质, 1995, 9(1): 99-109.  
Li Zhen, Wen Xianduan, Zhou Huitang, et al. Foundation and significance of turbidity of Yanchang formation in the western edge Ordos Basin [J]. Geoscience, 1995, 9(1): 99-109.
- [11] 程党性, 姚宜同, 王克, 等. 鄂尔多斯盆地长6油层组深水沉积特征与致密油藏分布[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(10): 16-21.  
Cheng Dangxing, Yao Yitong, Wang Ke, et al. Sedimentary characteristics of deep water and tight reservoir distribution of Chang 6 formation in Ordos Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(10): 16-21.
- [12] 龙礼文, 李相博, 刘广林, 等. 鄂尔多斯盆地延长组深水砂岩储层岩石学特征及地质意义[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(4): 634-640.  
Long Liwen, Li Xiangbo, Liu Guanglin, et al. Reservoir petrology and geological significance of deep water sandstone of Chang 6 formation in Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(4): 634-640.
- [13] 庞雄, 陈长民, 朱明, 等. 深水沉积研究前缘问题[J]. 地质论评, 2007, 53(1): 36-43.  
Pang Xiong, Chen Changmin, Zhu Ming, et al. Frontier problems of deep water deposition [J]. Geological Review, 2007, 53(1): 36-43.
- [14] WALKER R G. Turbidites and submarine fans [C]//WALKER R G, JAMES N P. Facies models: response to sea level change. Geological Association of Canada, 1992: 239-263.
- [15] 邹才能, 赵政璋, 杨华, 等. 陆相湖盆深水砂质碎屑流成因机制与分布特征: 以鄂尔多斯盆地为例[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1065-1075.  
Zou Caineng, Zhao Zhengzhang, Yang Hua, et al. Petrogenesis mechanism and distributional features of sandy debris in terrestrial lake Basin: Taking Yanchang formation in Ordos Basin as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(6): 1065-1075.
- [16] 付金华, 罗顺社, 牛小兵, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长7段沟道型重力流沉积特征研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2015, 34(1): 29-37.  
Fu Jinhua, Luo Shunshu, Niu Xiaobing, et al. Sedimentary characteristics of channel type gravity flow of the member 7 of Yanchang formation in the Longdong area in Ordos Basin [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2015, 34(1): 29-37.
- [17] 胡孝林, 刘新颖, 刘琼, 等. 深水沉积研究进展及前缘问题[J]. 中国海上油气, 2015, 27(1): 10-18.  
Hu Xiaolin, Liu Xinying, Liu Qiong, et al. Advances in research on deep water deposition and their frontier problems [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(1): 10-18.
- [18] 鲜本忠, 朱筱敏, 岳大力, 等. 沉积学研究热点与进展: 第19届国际沉积学大会综述[J]. 古地理学报, 2014, 16(6): 816-826.  
Xian Benzong, Zhu Xiaomin, Yue Dali, et al. Current hot topics and advances of sedimentology: A summary from 19th International sedimentological congress [J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 16(6): 816-826.
- [19] 庞军刚, 李赛, 杨友运, 等. 湖盆深水区细粒沉积成因研究进展: 以鄂尔多斯盆地延长组为例[J]. 石油实验地质, 2014, 36(6): 706-711.  
Pang Jungang, Li Sai, Yang Youyun, et al. Study progress of origin of fine-grained sedimentary rocks in deep-water area of lacustrine Basin: Taking Yanchang formation in Ordos Basin as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(6): 706-711.
- [20] 赵俊兴, 李凤杰, 申晓莉, 等. 鄂尔多斯盆地南部长6和长7油层组浊流事件的沉积特征及发育模式[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 389-394.  
Zhao Junxing, Li Fengjie, Shen Xiaoli, et al. Sedimentary characteristics and development pattern of turbidity event of Chang 6 and Chang 7 oil reservoirs in the southern Ordos Basin [J]. Acta Petroleologica Sinica, 2008, 29(3): 389-394.
- [21] 刘成鑫, 高振中, 纪友亮, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘奥陶系深水牵引流沉积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2): 31-36.  
Liu Chengxin, Gao Zhenzhong, Ji Youliang, et al. Ordovician in the southwestern Ordos Basin is deep-water tractive current deposit [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2005, 25(2): 31-36.
- [22] 高振中, 彭德堂. 鄂尔多斯盆地南缘铁瓦殿剖面发现大规模重力流沉积[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(4): 18-24.  
Gao Zhenzhong, Peng Detang. Gravity flow deposition is found on Tiwadian profile in southern Ordos Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(4): 18-24.
- [23] 邓秀芹, 李文厚, 李士祥, 等. 鄂尔多斯盆地华庆油田延长组长6油层组深水沉积组合特征[J]. 地质科学, 2010, 45(3): 745-756.  
Deng Xiuqin, Li Wenhou, Li Shixiang, et al. The plays characters of sedimentary in deep-water area of Chang 6 formation in Ordos Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2010, 45(3): 745-756.
- [24] 廖纪佳, 朱筱敏, 邓秀芹, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组重力流沉积特征及其模式[J]. 地质前缘, 2013, 20(2): 29-39.  
Liao Jijia, Zhu Xiaomin, Deng Xiuqin, et al. Sedimentary characteristics and model of gravity flow in triassic Yanchang formation of Longdong area in Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 29-39.
- [25] Li Xiangbo, Chen Qilin, Liu Huaqing, et al. Features of sandy debris flows of the Yanchang formation in the Ordos Basin and its oil and gas exploration significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(5): 1187-1202.
- [26] Zou Caineng, Wang Lan, Li Ying, et al. Deep-lacustrine transformation of sandy debrites into turbidites, Upper Triassic, Central China [J]. Sedimentary Geology, 2012(265/266): 143-155.