

鄂尔多斯盆地延长组深水块状砂岩“泥包砾” 结构成因机制

廖建波^{1,2}, 李相博², 赵惠周³, 张晓磊⁴, 李智勇², 完颜容², 王 菁²

(1. 西南石油大学地球科学与技术学院, 四川成都 610500; 2. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃兰州 730020;
3. 中国石油长庆油田分公司第十采油厂, 甘肃庆城 745100; 4. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710018)

摘要:通过元素地球化学分析、X-衍射全岩分析、岩石薄片分析等试验方法对鄂尔多斯盆地延长组块状砂岩中“泥包砾”结构成因机制进行研究。结果表明:该结构中泥质包壳层 Fe/Mn 值较低、MnO₂ 含量较高, Th/U 值较高、 δU 小于 1, Sr/Ba 值较低, 反映近岸、偏氧化及低古盐度的浅水地球化学特征, 和与其伴生的半深湖层状泥岩的沉积介质环境存在较大差异性;结构中内核的主要成分为砂质、泥质或白云石团块, 形成于滨浅湖或三角洲前缘环境;“泥包砾”结构非瞬态形成, 而是贯穿长 7—长 6₃ 期三角洲前缘砂泥岩软沉积物往深湖区块体搬运的全过程, 经历浅湖相团块形成、结构初始形成、岩性混合转移、最终停积定型 4 个阶段。

关键词:“泥包砾”结构; 延长组; 沉积环境; 地球化学; 深水沉积; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE 121.3 **文献标志码:**A

引用格式:廖建波, 李相博, 赵惠周, 等. 鄂尔多斯盆地延长组深水块状砂岩“泥包砾”结构成因机制[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(4):46-53.

LIAO Jianbo, LI Xiangbo, ZHAO Huizhou, et al. Genetic mechanism of mud-coated intraclasts within deep-water massive sandstone in Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(4):46-53.

Genetic mechanism of mud-coated intraclasts within deep-water massive sandstone in Yanchang Formation, Ordos Basin

LIAO Jianbo^{1,2}, LI Xiangbo², ZHAO Huizhou³, Zhang Xiaolei⁴,
LI Zhiyong², WANYAN Rong², WANG Jing²

(1. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
2. Northwest Branch, Research Institute of PetroChina Exploration & Development, Lanzhou 730020, China;
3. The Tenth Oil Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Qingcheng 745100, China;
4. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield Company,
Xi'an 710018, China)

Abstract: The genetic mechanism of mud-coated intraclasts within deep-water massive sandstone in Yanchang Formation of Ordos Basin was studied combining the test method of element geochemistry, XRD and rock thin section analysis. The findings of this study include the following: the Fe/Mn is low, the content of MnO₂ is high, Th/U is high, the δU is less than 1, and the Sr/Ba is low in the argillaceous cladding layer, reflecting the geochemistry characteristics of shallow water environment are nearshore, oxidation and low salinity. There is a large difference in depositional environment with the associated layered mudstone of the semi-deep lake. The main components of the core of the mud-coated intraclasts are sandy, muddy or dolomitic lump, which were formed in shore-shallow lake or delta front environment. The formation process of mud-coated intraclasts was long, in which the soft sandy or muddy sediments within the delta front were transported into deep lakes in

clumps from Chang7 to Chang6₃ period through four stages: lump formation of shallow lake facies, initial formation of structure, mixed transfer of lithology and eventually deposition setting.

Keywords: mud-coated intraclasts; Yanchang Formation; sedimentary environment; geochemistry; deep-water sedimentary; Ordos Basin

勘探实践证实,块状砂岩是陆相湖盆深水区最为主要的储集类型^[1],油气勘探意义重大。由于缺乏有效的证据,对深水块状砂岩的成因存在颇多争议,有学者认为是由块体流搬运形成的砂质碎屑流^[2-3],也有学者认为是高密度浊流^[4-5]或超高浓度密度流^[6],存在争议的原因是缺乏直接证据。以往人们主要通过沉积物的宏观特征,比如沉积构造、韵律、颜色等来判断砂体成因^[7-9],然而块状砂体的成因很难用这些特征来判别。近年来,有学者在野外露头中发现块状砂体中的“泥包砾”现象,通过地质露头沉积现象描述与成因推测,认为它是由水下碎屑流形成,并且是判断深水块体搬运的直接证据^[10]。但对“泥包砾”现象,一些学者认为是黏性碎屑流(泥石流)的产物,是由沉积物中的砾石或泥质团块在黏性泥石流介质搬运中,一边碰撞磨圆,一边不断附着一层泥质细粒沉积物或泥质浆体而形成^[11];另一些学者认为是冰川沉积产物,由于冰碛物分选极差,细颗粒(包含一定黏土)和较大的砾石团块紧密包裹在一起沉积形成^[12-13]。对于以上争议,仅由宏观结构特征判断“泥包砾”成因证据不足。笔者依据元素地球化学分析、X-射线衍射全岩矿物定量分析以及薄片偏光显微镜等系统试验分析对深水块状砂岩“泥包砾”结构形成机制进行研究。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地是中国第二大含油气盆地,盆地本部面积约为 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,上三叠统延长组为其主力含油层系,前人将延长组自下而上划分为10个油层组^[14],其中长10—长8期为湖盆初步形成期,长7期为湖盆最大拗陷扩张期,长6期为盆缘碎屑沉积物大规模推进充填期,在经历长4+5短期小规模湖泛之后湖盆逐渐消亡。长7—长6₃期在湖盆大范围发育三角洲沉积,沿着湖盆中心吴旗—富县—黄陵—合水—环县—定边一带广泛发育半深湖—深湖相沉积(图1,据李相博等^[10])。近年来,针对该区域勘探发现了数亿吨级储量规模,其主要储油砂体为深水块状砂岩^[15]。研究该套砂岩中的沉积构造具有重要的理论与现实意义。

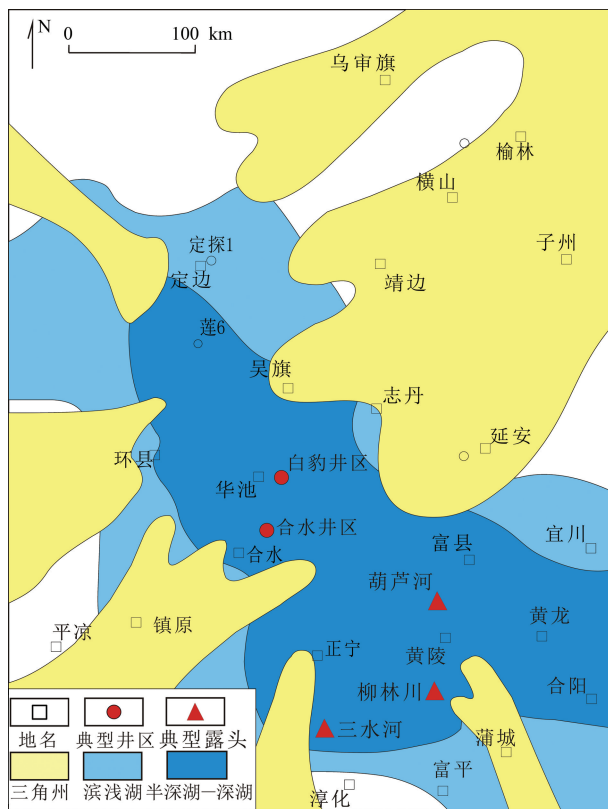


图1 鄂尔多斯盆地延长期湖泊—三角洲体系略图

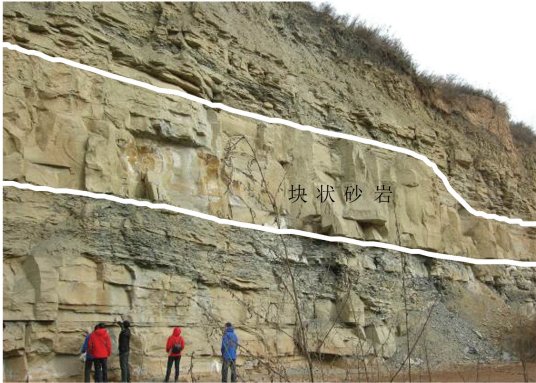
Fig.1 Sketch of lacustrine and delta system in Yanchang Formation, Ordos Basin

2 样品与试验方法

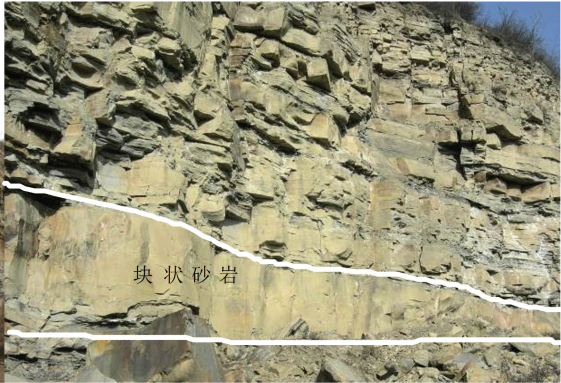
选取盆地南部出露较好、沉积现象较为丰富的旬邑县三水河、铜川县瑶曲镇柳林川剖面开展研究(图1)。其中山水河剖面长7段地层出露于旬邑县城东北部附近,岩性组合为多套灰黑色油页岩与厚层灰绿色—黄绿色块状细砂岩及薄层细粉砂岩间互组成(图2(a))。铜川瑶曲镇柳林川出露长6₃—长7段地层,底部为一套黄灰色块状含油细砂岩,向上单层砂岩厚度逐渐减薄,夹薄层深灰色泥页岩(图2(b))。两条剖面砂岩层底负载、槽模、沟模等沉积构造极为发育(图2(c)、(e)、(f))。块状砂岩单层厚度一般大于0.5 m,最大可达2~3 m(图2(a)、(b));砂岩内部结构较为均一,不发育层理构造,无明显粒度变化,常见漂浮状分布的长条状泥砾,其长轴方向略显定向性(图2(d));砂岩底面与半深湖

相泥岩呈突变接触,接触面较为平直,可见负载构造现象,顶面常与具有正粒序变化的浊积岩(A 段)接触(图 2(a)、(b))。前人研究,这两条剖面中的厚层块状砂岩为半深湖—深湖相砂质碎屑流沉积,

“泥包砾”呈漂浮状分布在其中^[15](图 2(d))。“泥包砾”具有双层结构,由内层纺锤形或椭圆形团块和外层厚度不超过 3 cm 的泥质或粉砂质包壳层组成(图 3)。



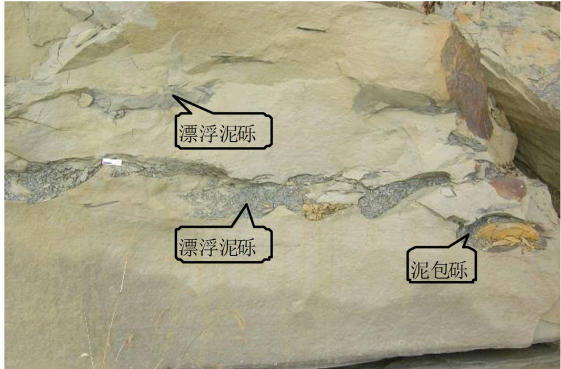
(a) 山水河剖面, 露头全景



(b) 柳林川剖面, 露头全景



(c) 山水河剖面, 砂岩底部的槽模构造



(d) 柳林川剖面, 厚层块状砂岩中的泥砾条带及泥包砾



(e) 柳林川剖面, 砂岩底部沟模构造



(f) 山水河剖面, 砂岩底部瘤状重荷模

图 2 研究露头及其沉积构造

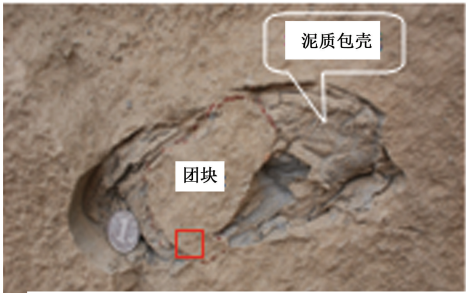
Fig. 2 Outcrop and sedimentary structure

该两条剖面因施工而导致岩石崩塌,从而出露新鲜“泥包砾”结构及层状泥岩,排除了蚀变、风化作用的影响,确保原始样品的可靠性;层状泥岩与“泥包砾”样品视块状单砂体厚度不同,间隔 0.5 ~ 3 m 不等,保持两类样品各自的独立性与代表性。在科学采集样品的基础上,系统开展岩石薄片、X-衍射、主微量元素地球化学分析等实验。

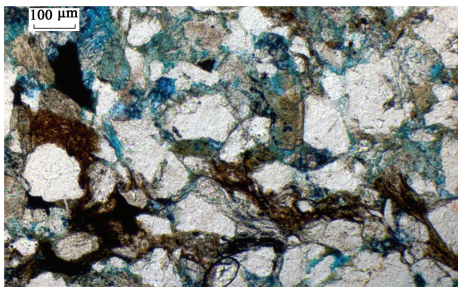
本次试验主量、微量元素测试由同济大学海洋地质国家重点实验室完成,采用 Thermo fisher IRIS Advantage 型电感耦合等离子光谱仪(ICP-OES)进行主量元素分析,Thermo fisher VG-X7 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)进行微量元素分析。试验中采取硝酸(HNO₃)与氢氟酸(HF)混合液去除岩样中的硅质和碳酸盐矿物;以 1×10⁻⁹ 的铼(Re)及

铑(Rh)元素作内标,监测试验过程中仪器的稳定性;采取国标(GSR-5、GSR-6、GSD-9)及空白样品

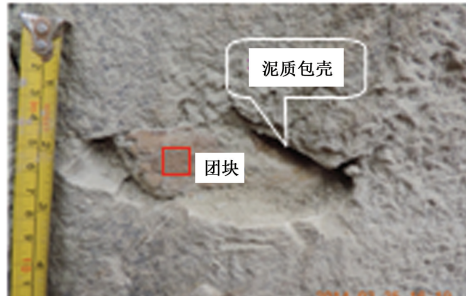
进行分析标定。主量、微量元素分析相对标准偏差(RSD%)分别小于1%及2%。



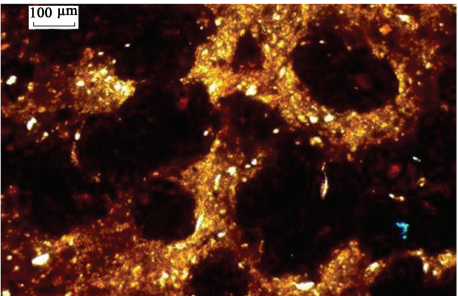
(a) 旬邑1, 三水河块状砂岩中的“泥包砾”结构



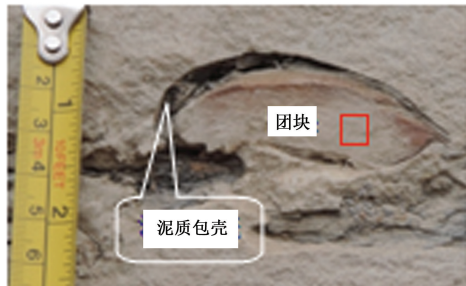
(b) 位置见(a), 细粒长石石英砂岩, 碎屑分布杂乱, 单偏光



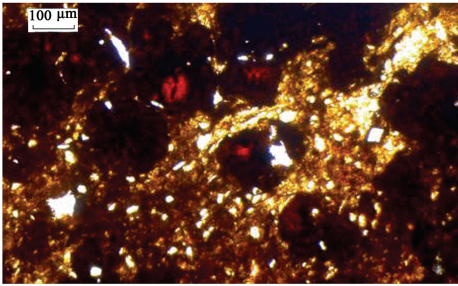
(c) 旬邑2, 三水河露头“泥包砾”结构



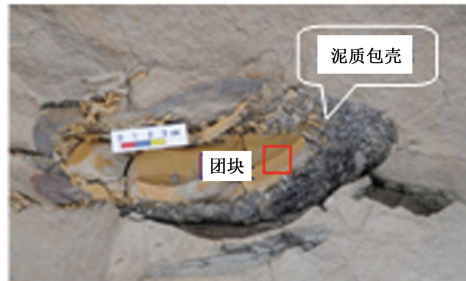
(d) 位置见(c), 褐铁矿化泥岩, 褐铁矿呈球粒状, 正交光



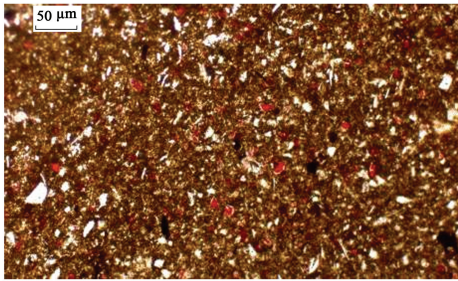
(e) 旬邑3, 三水河露头“泥包砾”结构



(f) 位置见(e), 褐铁矿化泥岩, 正交光



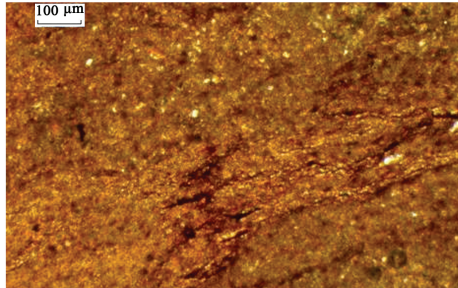
(g) 瑶曲1, 柳林川露头“泥包砾”结构



(h) 位置见(g), 泥岩, 含灰岩屑、石英等细粉砂, 正交光



(i) 瑶曲2, 柳林川露头“泥包砾”结构



(j) 位置见(i), 泥晶白云岩, 具不规则条带及微裂缝, 正交光

图 3 “泥包砾”结构特征及其内部团块薄片照片

Fig. 3 Photos of mud-coated structure and its inner block mass

X-射线衍射分析(XRD)在中国石油集团油藏描述重点实验室完成,仪器型号为荷兰 PANalytical(帕纳科)Empyrean(锐影)。利用荧光照射,确定岩样含油级别低于四级后(荧光四级以上需洗油处理),在球磨仪中将岩样研磨至粒径小于 40 μm ,称重约 2 g 后,采用背压法制成样片放入主机进行扫描,然后对 XRD 图谱中的主要衍射峰进行面积积分,从而确定了计算各种矿物相对百分含量。仪器测试条件:工作电压 40 kV,工作电流 40 mA,扫描速度 $2^\circ/\text{min}(2\theta)$,采样步宽 $0.02^\circ/\text{min}(2\theta)$,扫描范围 $5^\circ\sim 45^\circ(2\theta)$ 。数据分析采用 K 值法(基本冲洗法),分析结果满足行业标准。

表 1 泥质包壳层与层状泥岩样品主量、微量元素分析统计

Table 1 Analysis and statistic of major and trace elements within argillaceous cladding layer and layer mudstone

样品类别	编号	$w(\text{Sr})/10^{-6}$	$w(\text{Ba})/10^{-6}$	$w(\text{Cu})/10^{-6}$	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(\text{Zn})/10^{-6}$	$w(\text{Ni})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/10^{-6}$	$w(\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Mn})/10^{-6}$	$w(\text{Fe})/10^{-6}$	Fe/Mn	Sr/Ba	Th/U
包壳泥	旬邑 1	126.65	408.61	135.14	38.52	132.84	68.54	16.48	3.12	738	189 980	257.38	0.31	5.29
	旬邑 2	135.70	415.67	38.68	37.28	80.70	97.45	19.60	3.87	812	46 130	56.83	0.33	5.06
	旬邑 3	149.28	380.11	23.25	18.51	53.26	32.91	16.19	3.54	3 599	52 500	14.59	0.39	4.57
	瑶曲 1	159.83	393.22	40.08	29.36	88.63	42.72	21.20	4.45	797	61 530	77.18	0.41	4.77
	瑶曲 2	200.12	404.85	43.69	46.68	97.15	59.36	19.23	4.06	1 493	50 120	33.56	0.49	4.73
层状泥岩	店 2 *	317.90	490.80	15.73	83.07	111.90	9.07	50.37	14.61				0.65	3.45
	正 9 *	165.30	394.80	68.54	39.42	77.28	34.80	15.86	11.59				0.42	1.37
	旺 8 *	342.00	1 268.00	53.37	39.80	117.50	54.64	12.00	3.98				0.27	3.02
	旬邑	214.02	369.77	57.95	44.62	34.07	17.04	18.86	13.66	3 982	40 103	10.07	0.58	1.38
	瑶曲	231.22	383.47	49.56	37.41	66.88	22.41	21.12	11.87	3 678	41 050	11.16	0.60	1.78

3.1.1 氧化-还原条件分析

U 为变价元素,在还原条件下为 +4 价,不溶于水介质,导致在沉积物中富集,而在氧化环境中,以易溶的 +6 价存在,导致 U 的流失;Th 只有 +4 价一种价态,且不易溶解,因此常用 Th/U 比值法判断沉积介质氧化还原状态^[16-17]。此外,自生铀含量($U-\text{Th}/3$)通常被视为古代沉积物的重要环境指标,吴朝东等^[18-19]利用自生铀和铀总量建立了 δU , $\delta U = 2U_{\text{total}}/(U_{\text{total}} + \text{Th}/3)$,若 $\delta U > 1$,表明缺氧环境, $\delta U < 1$,说明正常水体环境。

测试结果表明:泥质包壳层 $\delta U < 1$ 、Th/U 值分布在 4.6 ~ 5.3,下覆层状泥岩 $\delta U > 1$ 、Th/U 值在 1.4 ~ 3.4(图 4、表 1,其中 * 号层状泥岩数据见参考文献^[16]),泥质包壳显示偏氧化环境下 U 亏损的特征,反映形成于正常浅水氧化环境。

3.1.2 古盐度分析

Sr/Ba 元素比值法是计算古盐度的一种重要方法,与锶相比,钡的化合物溶解度较低,河流所携带的 Ba^{2+} 在与富含 SO_4^{2-} 相结合容易形成难溶的 BaSO_4 发生沉淀作用,因此 Ba 在近岸沉积物中富

选取新鲜岩石样品双面抛光至 0.03 mm 厚制作岩石薄片,用于薄片鉴定的偏光显微镜型号为蔡司(Zeiss)Axio Scope A1。

3 结果分析及讨论

3.1 泥质包壳层沉积环境

测试常量元素 Al、Ca、Mn、Fe、K、Na、P、Ti 共 8 项;微量元素 Sr、Ba、Cu、Pb、Zn、Ni、Th、U、Co、La 等 40 项,主要用于沉积环境分析的主微量元素含量见简表(表 1,表中 * 号层状泥岩数据见参考文献^[16])

集;Sr 的迁移能力较强,可迁移到较深水区^[17]。根据中国陆相盆地 Sr/Ba 研究,咸化湖泊沉积中 Sr/Ba 大于 1,淡水沉积中 Sr/Ba 小于 1(1.0 ~ 0.6 为半咸水相,小于 0.6 为微咸水相),Sr/Ba 值可以用来判别盐度^[17,20]。

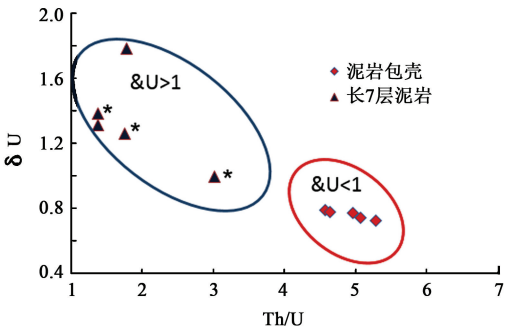


图 4 泥质包壳层与层状泥岩 δU 及 Th/U 比值投点图
Fig. 4 Scatter diagram of δU and Th/U ratio within argillaceous cladding layer and layer mudstone

通过泥质包壳与下覆层状泥岩 Sr/Ba 比值参数判断沉积期盐度相对高低(图 5、表 1,其中 * 号层状泥岩数据见参考文献^[16]),结果表明,泥质包壳 Sr/Ba 较低,除个别样品外,其值小于 0.4,下覆层状

泥岩 Sr/Ba 较高,显示泥质包壳形成于相对低盐度的水介质条件。

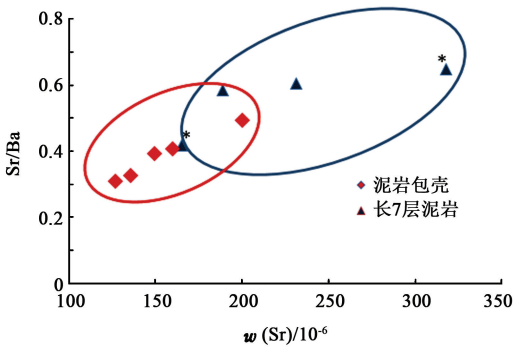


图 5 泥质包壳层与层状泥岩 Sr 含量及 Sr/Ba 比值投点图
Fig.5 Scatter diagram of Sr content and Sr/Ba ratio within argillaceous cladding layer and layer mudstone

3.1.3 离岸距离(古水深)分析

前人根据元素分散与聚集的地球化学习性研究得出,Fe 多在离岸近的地区聚集,Mn 相对在离岸远的地区聚集,Fe/Mn 比值从浅湖到深湖降低^[17,21],并且 MnO₂ 含量可用于划分湖泊的次级亚相^[22]。Fe/Mn 比值与 MnO₂ 含量可以作为判断离岸距离与沉积物相对古水深的重要量化指标。

泥质包壳层 Fe/Mn>15、w(MnO₂)≤0.5%(个别样品除外);层状泥岩 Fe/Mn<15、w(MnO₂)≥0.5%(图 6、图中*层状泥岩数据见参考文献^[22]),

表 1),泥质包壳层具有相对高 Fe/Mn 值及低 MnO₂ 含量,说明泥岩包壳层形成于近岸相对浅水沉积环境。

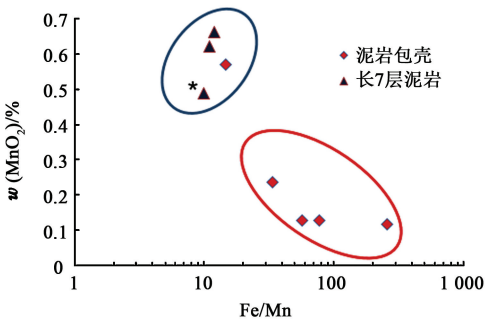


图 6 泥质包壳层与层状泥岩 MnO₂ 含量及 Fe/Mn 比值投点图
Fig.6 Scatter diagram of MnO₂ and Fe/Mn ratio within argillaceous cladding layer and layer mudstone

Fig.6 Scatter diagram of MnO₂ and Fe/Mn ratio within argillaceous cladding layer and layer mudstone

3.2 “泥包砾”结构团块成因

3.2.1 团块成分分析

通过薄片鉴定分析,旬邑 1 号团块成分为细粒长石石英砂岩(图 3(b)),其成分与围岩块状砂岩类似。其他团块粒度较细,采取岩石薄片与 X-衍射全岩分析综合鉴定(表 2),旬邑 2、3 号团块为褐铁矿化泥岩(图 3(d)、(f)),瑶曲 1 号为泥岩(图 3(h)),瑶曲 2 号为泥晶白云岩岩(图 3(j))。综上,“泥包砾”团块成分主要为砂质、泥质、白云质。

表 2 团块成分 X 射线衍射全岩分析统计

Table 2 Whole rock analysis and statistic of X-ray diffraction for block mass composition

样号	矿物含量/%											
	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	黄铁矿	赤铁矿	方沸石	硬石膏	普通辉石	铁白云石
旬邑 1	62.8	4.7	9.2	1.1	9.3							12.9
旬邑 2	41.9	0.7	0.7	3.5				13.5				39.7
旬邑 3	27.9	3.7	3.0	0.4		1.7		10.5		1.4	4	47.4
瑶曲 1	14.7	0.5	1.7	9.7	11.7			5.5				56.2
瑶曲 2	8.4	0.2	1.2	7.5	52.0		3.6	4.5				22.7

3.2.2 团块成因

在滨浅湖环境或三角洲前缘亚相的泥质沉积物中,会存在少量泥质、白云质或铁质团块,这在陆相湖盆沉积中是一个普遍现象^[23]。乔秀夫等^[24]对于湖相泥岩中的砂质团块来源做过详细研究,认为与古地震作用有关。在三角洲前缘砂泥岩交互地层中,由于快速的堆积作用,泥岩处于欠压实塑性可流动状态,上覆砂岩层会形成底负载构造,在瑶曲、旬邑露头剖面中重荷模构造是一个极其普遍的沉积现象(图 2(f)),这些重荷负载体在遇到地震、重力滑动等外力触发时极易脱离砂岩层形成球枕构造。铜川瑶曲、旬

邑山水河出露地层为长 7—长 6₃ 期沉积,正是晚三叠世震积岩发育与地震作用活动的高潮期^[25],在三角洲前缘泥质沉积物中较易形成各类砂泥质团块。

3.3 “泥包砾”结构成因机制

“泥包砾”结构的泥岩包壳层和与其伴生的半深湖层状泥岩的地球化学对比分析结果表明,泥岩包壳层具有低盐度、偏氧化条件等特征,为近岸浅水沉积环境产物。通过“泥包砾”结构内核成分分析,主要为泥质、砂质团块,在三角洲前缘及滨浅湖地区普遍发育。因此含有“泥包砾”结构的块状砂岩与其相伴生层状泥岩沉积环境差别迥异,这种块状砂

体是明显的“外来”沉积。

研究表明,长7沉积期鄂尔多斯盆地进入板块碰撞拼接、幕式构造运动最强烈的时期,盆地南部事件沉积频发,地层中凝灰岩和震积岩在纵向上频繁互层;进入长6—长4+5沉积期,构造活动的强度和频率逐渐降低,湖盆开始重新进入稳定沉降期^[26]。由此说明,长7—长6早期是古地震等地质事件最为活跃时期。受此影响,并伴随该时期三角洲的快速推进,在三角洲前缘砂泥岩软沉积物向深湖区做二次搬运的过程中形成了块状砂体中特有的“泥包砾”结构。“泥包砾”形成主要经历了如下4个阶段:①三角洲前缘半固结软泥层中砂质、泥质或白云质团块形成阶段;②三角洲前缘斜坡区砂泥岩互层在重力、古地震等触发下失稳滑动,受剪切力作用软泥层中团块发生滚动并附着泥质黏土,“泥包砾结构”初始形成阶段;③砂泥岩互层在向深湖区滑动中不断发生岩性混合,“泥包砾”结构从泥质层卷入块体流砂质层的转移阶段;④随着湖水的加深,坡度降低,重力流搬运能量削减殆尽,最终停积在半深湖、深湖床底的定型阶段。

4 结 论

(1)“泥包砾”双层结构中的泥质包壳层具有浅水元素地球化学特征,内核形成于滨浅湖区或三角洲前缘环境,含有“泥包砾”结构的块状砂岩与其相伴生层状泥岩沉积环境差别迥异,是一种典型的异地沉积产物。

(2)三角洲前缘半固结软泥层中砂质、泥质或白云质团块在碎屑流搬运过程中发生滚动附着泥质形成初始“泥包砾”结构,随着碎屑流中砂泥层不断混合,“泥包砾”结构卷入砂岩层中,并停积在深水平原之上,最终形成了这种赋存于深水块状砂岩中特殊的“泥包砾”结构。

参考文献:

- [1] 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. Genetic mechanism and distribution of sandy debris flows in terrestrial lacustrine basin[J]. Acta Sedimentary Sinica,2009,27(6):1065-1075.
- [2] SHANMUGAM G. New perspectives on deep-water sandstones: implications[J]. Petroleum Exploration and Development,2013,40(3):316-322.
- [3] 李相博,王菁,廖建波,等. 陆相盆地深水沉积中的块体搬运作用与搬运机理研究:以鄂尔多斯盆地延长组为例[J]. 天然气地球科学,2015,26(4):625-633.
- LI Xiangbo,WANG Jing,LIAO Jianbo,et al. The mechanism of transport process of deep-water sedimentation in lacustrine basin: a case study of deep-water sandstone in Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience,2015,26(4):625-633.
- [4] STOW D A V,JOHANSSON M. Deep-water massive sands: nature, origin and hydrocarbon implications[J]. Marine and Petroleum Geology,2000,17(2):145-174.
- [5] TALLING P J,MASSON D G,SUMNER F J,et al. Subaqueous sediment density flows: depositional processes and deposit types[J]. Sedimentology,2012,59(7):1937-2003.
- [6] MULDER T,ALEXANDER J. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits [J]. Sedimentology,2001,48(2):269-299.
- [7] 苏妮娜,金振奎,宋璠,等. 柴达木盆地古近系沉积相研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(3):1-9.
- SU Nina,JIN Zhenkui,SONG Fan,et al. Sedimentary facies of the Paleogene in Qaidam Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2014,38(3):1-9.
- [8] 袁静. 惠民凹陷古近系风暴沉积研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(4):1-6.
- YUAN Jing. Study of tempestite sedimentary of Paleogene in Huimin depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2006,30(4):1-6.
- [9] 商晓飞,侯加根,董越,等. 板桥凹陷同沉积断层主控的滩坝砂体沉积机制与分布样式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(6):32-39.
- SHANG Xiaofei,HOU Jiagen,DONG Yue,et al. Sedimentary mechanism and distribution pattern of beach-bar sandbodies mainly dominated by contemporaneous faults in Banqiao Sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2014,38(6):32-39.
- [10] 李相博,刘化清,张忠义,等. 深水块状砂岩碎屑流成因的直接证据:“泥包砾”结构:以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组研究为例[J]. 沉积学报,2014,32(4):611-622.
- LI Xiangbo,LIU Huaqing,ZHANG Zhongyi,et al. “Argillaceous parcel” structure: a direct evidence of debris flow origin of deep-water massive sandstone of Yanchang Formation, Upper Triassic, the Ordos Basin [J]. Acta Sedimentary Sinica,2014,32(4):611-622.
- [11] LOWE D R. Sediment gravity flows: II, depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents[J]. Journal of Sedimentary Research,1982,

- 52(1):279-297.
- [12] 贺明静,孙根年,宋咏梅. 陕西西安翠华山地质景观遗迹成因探析[J]. 干旱区地理,2005,28(2):145-149.
- HE Mingjing, SUN Gennian, SONG Yongmei. Study on the formation causes of the geologic landscape relics in the Cuihuashan Mountain National Geo-Park in Xi'an city, Shanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2005, 28(2):145-149.
- [13] 李四光. 华北平原西北边缘地区的冰碛和冰水沉积[C]//中国第四纪冰川遗迹研究文集. 北京:科学出版社,1964:1-13.
- [14] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [15] 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.
- [16] 张才利,高阿龙,刘哲,等. 鄂尔多斯盆地长7油层组沉积水体及古气候特征研究[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4):582-586.
- ZHANG Caili, GAO Along, LIU Zhe, et al. Study of character on sedimentary water and palaeoclimate for Chang7 Oil Layer in Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(4):582-586.
- [17] 邓宏文,钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1993.
- [18] 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等. 缺氧环境及地球化学判识标志的探讨:以鄂尔多斯盆地为例[J]. 沉积学报, 2004, 22(2):365-372.
- TONGER, LIU Wenhui, XU Yongchang, et al. The discussion on Anoxic environments and its geochemical identifying indices, in the Ordos Basin as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2):365-372.
- [19] 吴朝东,杨承运,陈其英. 湘西黑色岩系地球化学特征和成因意义[J]. 岩石矿物学杂志,1999,18(1):26-39.
- WU Chaodong, YANG Chengyun, CHEN Qiyang. The origin and geochemical characteristics of black shales in western Hunan[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1999, 18(1):26-39.
- [20] 郑荣才,柳梅青. 鄂尔多斯盆地长6油层组古盐度研究[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):20-25.
- ZHENG Rongcai, LIU Meiqing. Study on palaeosalinity of Chang-6 oil reservoir set in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1):20-25.
- [21] 熊小辉,肖加飞. 沉积环境的地球化学示踪[J]. 地球与环境,2011,39(3):405-409.
- XIONG Xiaohui, XIAO Jiafei. Geochemical indicators of sedimentary environments-a summary[J]. Earth and Environment, 2011, 39(3):405-409.
- [22] 张新建,范迎风,张剑君,等. 富县探区延长组微量元素特征及地质意义[J]. 新疆石油地质,2004,25(5):483-485.
- ZHANG Xinjian, FAN Yingfeng, ZHANG Jianjun, et al. Microelement and geologic significance of Yanchang Formation in Fuxian area, Ordos Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(5):483-485.
- [23] 王昌勇,郑荣才,高博禹,等. 珠江口盆地荔湾井区珠江组深水扇沉积特征[J]. 中国地质,2010,37(6):1628-1637.
- WANG Changyong, ZHEN Rongcai, GAO Boyu, et al. Deep-water fan sedimentary characteristics of Zhujiang Formation in Liwan area of Zhujiang River Mouth Basin[J]. Geology in China, 2010, 37(6):1628-1637.
- [24] 乔秀夫,郭宪璞,李海兵,等. 龙门山晚三叠世软沉积物变形与印支期构造运动[J]. 地质学报,2012,86(1):132-156.
- QIAO Xiufu, GUO Xianpu, LI Haibing, et al. Soft-sediment deformation in the Late Triassic and the Indosinian Tectonic Movement in Longmenshan[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(1):132-156.
- [25] 李洁,陈洪德,林良彪,等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组古地震效应及其地质启迪[J]. 地质评论,2010,56(4):480-489.
- LI Jie, CHEN Hongde, LIN Liangbiao, et al. Effect of ancient earthquake and its geological significance of Upper Triassic Yanchang Formation in southeast Ordos Basin[J]. Geological Review, 2010, 56(4):480-489.
- [26] 王峰,田景春,范立勇,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积充填演化及其对印支构造运动的响应[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(6):882-889.
- WANG Feng, TIAN Jingchun, FAN Liyong, et al. Evolution of sedimentary fillings in Triassic Yanchang Formation and its response to Indosinian Movement in Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(6):882-889.

(编辑 徐会永)