

陆相湖盆致密油储集砂体成因及发育模式

——以鄂尔多斯盆地上三叠统长6油层组为例

田景春^{1,2}, 梁庆韶^{1,2}, 王峰^{1,2}, 余威^{1,2}

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:鄂尔多斯盆地上三叠统延长组6油层组(长6油层组)是盆地内致密油富集层段之一,致密油储集砂体特征及成因研究对于盆地内致密油的进一步勘探、开发具有重要的指导意义。以前人研究成果为基础,通过对华池—庆阳地区长6油层组岩心进行详细观察、分析,明确致密油储集砂体的类型及特征,深入分析长6油层组各种类型储集砂体之间的叠置关系。结果表明:鄂尔多斯盆地长6油层组致密油储集砂体主要包括4种类型,即三角洲前缘储集砂体、震积岩储集砂体、碎屑流沉积储集砂体和浊流沉积储集砂体;不同储集砂体类型在垂向上构成4种叠置关系类型,即震积岩储集砂体与三角洲前缘储集砂体叠置、震积岩储集砂体与碎屑流储集砂体叠置、碎屑流储集砂体与浊流储集砂体叠置以及震积岩储集砂体、碎屑流储集砂体与浊流储集砂体叠置。从三角洲前缘到湖盆中心,不同位置由于所处的古地貌背景和环境条件存在差异,导致不同成因类型砂体垂向相互叠置。通过对叠置关系进行分析,构建了基于区域沉积格局的长6油层组致密油储集砂体成因模式。

关键词:成因模式;储集砂体;致密油;长6油层组;上三叠统;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Genesis and development model of tight oil reservoir sand body in continental lacustrine basin: A case study on the Upper Triassic Chang 6 pay zone, Ordos Basin

Tian Jingchun^{1,2}, Liang Qingshao^{1,2}, Wang Feng^{1,2}, Yu Wei^{1,2}

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The pay zone in the 6th member of the Upper Triassic Yanchang Formation (Chang 6 pay zone) is one of the tight oil-rich intervals in the Ordos Basin. The study on the characteristics and genesis of tight oil reservoir sand bodies is of guiding significance to further exploration and development of tight oil in the basin. Apart from multiple previous research results, we make a thorough analysis of cores from the Chang 6 pay zone in Huachi-Qingyang area to clarify the types and characteristics of the tight oil reservoir sand bodies therein, and discuss in detail the superimposing reservoir sand bodies of diverse types in the pay zone. The results show that the tight oil reservoir sand bodies of the Chang 6 pay zone can be mainly grouped into four types: delta front, seismite, debris-flow, and turbidite types. Four kinds of superimposing relationship are formed vertically, including seismite type superimposing with delta front type, seismite type superimposing with debris-flow type, debris-flow type superimposing with turbidite type, and seismite/debris-flow types superimposing with turbidite type. From the delta front to the center of the lacustrine basin, we can find sand bodies of diverse genesis in vertical superimposition due to changes of palaeogeomorphic settings and environmental conditions, which serve for constructing a genetic model of the tight oil reservoir sand bodies in the Chang 6 pay zone based on the regional depositional pattern.

Key words: genetic model, reservoir sand body, tight oil, Chang 6 pay zone, Upper Triassic, Ordos Basin

收稿日期:2022-01-14;修订日期:2022-05-18。

第一作者简介:田景春(1963—),男,博士、教授,沉积岩石学与岩相古地理。E-mail: tjc@cdut.edu.cn。

通讯作者简介:梁庆韶(1991—),男,博士、副教授,事件沉积学。E-mail: liangqs@cdut.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05046-001)。

引用格式:田景春,梁庆韶,王峰,等.陆相湖盆致密油储集砂体成因及发育模式——以鄂尔多斯盆地上三叠统长6油层组为例[J].石油与天然气地质,2022,43(4):877-888. DOI:10.11743/ogg20220411.

Tian Jingchun, Liang Qingshao, Wang Feng, et al. Genesis and development model of tight oil reservoir sand body in continental lacustrine basin: A case study on the Upper Triassic Chang 6 pay zone, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43 (4): 877-888. DOI: 10.11743/ogg20220411.

作为非常规油气资源的致密油,已成为全世界各国油气资源领域研究、勘探、开发的重点和热点之一,是油气增储上产的“重点领域”与“亮点类型”。近年来,伴随着油气勘探开发的不断深入,中国已经在多个含油气盆地中的多个层位实现了致密油勘探开发的重大突破^[1]。鄂尔多斯盆地作为中国大型含油气盆地之一,油气资源总量达到 250×10^8 t。其中,延长组致密油资源丰富,初步预测总资源量约 30×10^8 t,占全国致密油总资源量的37.5%^[2]。在盆地内先后发现的储量规模超过10亿吨级的大油田,如西峰、姬塬、华庆和庆城油田等,其致密油勘探开发的主要层系均为长6(延长组6油层组)、长7和长8油层组^[3-5]。其中,位于鄂尔多斯盆地西南部的华池—庆阳地区长6油层组是盆地内致密油富集层段之一,其所蕴藏的致密油地质储量巨大、勘探前景良好,是长庆油田增储上产的重要接替层位。

不同学者在不同时期针对鄂尔多斯盆地延长组致密油储集砂体的成因认识存在差异,主要包括以下几个方面:基于浊流理论的浊积扇模式成因^[6];滑塌浊积扇与坡移浊积扇成因^[7];滑塌浊积岩成因^[8];厚层块状浊积岩砂体成因^[9];三角洲前缘砂体、震积岩砂体和浊积岩砂体共同成因^[10];砂质碎屑流沉积成因^[11-16];多成因重力流成因^[17-20]等。

本文充分利用鄂尔多斯盆地西南部钻及长6油层组的32口井的岩心资料,并基于前人关于致密油储集砂体的研究成果^[8,18,21-22],以华池—庆阳地区长6油层组致密油储集砂体为研究对象,对研究区内长6油层组中不同成因类型的致密油储集砂体特征进行了系统研究,深入分析了各类致密油储集砂体的叠置关系,进而建立了不同沉积环境下多种事件沉积成因的致密油储集砂体成因模式,为华池—庆阳地区长6油层组致密油的进一步勘探、开发提供储层预测依据,提升油气勘探的命中率。

1 地质背景

在晚三叠世延长组沉积期,鄂尔多斯盆地为一大型陆相拗陷型湖盆,并表现出持续沉降的特征^[23]。

该时期鄂尔多斯湖盆中主要沉积了一套厚度约为1 200 m的陆源碎屑岩,主要发育的沉积相类型包括河流、冲积扇和三角洲等^[10,24]。中国石油长庆油田分公司根据油气实际勘探的需要,将延长组自上而下划分为长1油层组—长10油层组。其中,长6油层组又可以按照岩性特征划分为3个亚油层组,即长6¹、长6²和长6³亚油层组(图1)。

长6油层组沉积期为鄂尔多斯湖盆萎缩期,该油层组的底部岩性以厚层块状砂岩夹薄层泥岩为特征,中、上部主要表现为深灰色泥岩与薄层粉—细砂岩互层沉积(图1)。已有研究成果认为鄂尔多斯盆地在长6油层组沉积期主要受到来自北东方向和南西方向的两个物源体系控制^[23-25],处于盆地西南部的华池—庆阳地区,其长6致密油储集砂体同样受到了这两个方向的沉积体系控制,形成了多成因致密油储集砂体类型(图2)。

2 砂体成因类型及特征

华池—庆阳地区长6油层组主要发育三角洲前缘砂体、地震事件成因砂体(震积岩)、碎屑流砂体、浊流砂体等多种致密油储集砂体类型(表1)。

2.1 三角洲前缘砂体

长6油层组在研究区内以三角洲沉积为主,包括辫状河三角洲前缘和曲流河三角洲前缘两种亚相类型^[10,24]。三角洲前缘亚相又可进一步划分为水下分流河道砂体和河口坝砂体^[26]。单期分流河道砂体以平行层理、板状或槽状交错层理的正粒序中砂岩、中—细砂岩特征为主,单期河口坝砂体以发育板状交错层理和平行层理的反粒序细砂岩为特征。这两种砂体类型相互叠置,共同构成了多期水下分流河道砂体叠置和多期河口坝砂体叠置(图3)。

2.2 地震事件成因砂体

地震事件成因砂体与坡折带重力成因砂体有明显不同^[10,27]。突发性地震事件所形成的砂体与地震发生过程(初震、强震、余震)关系密切^[28-30],其发育的典型

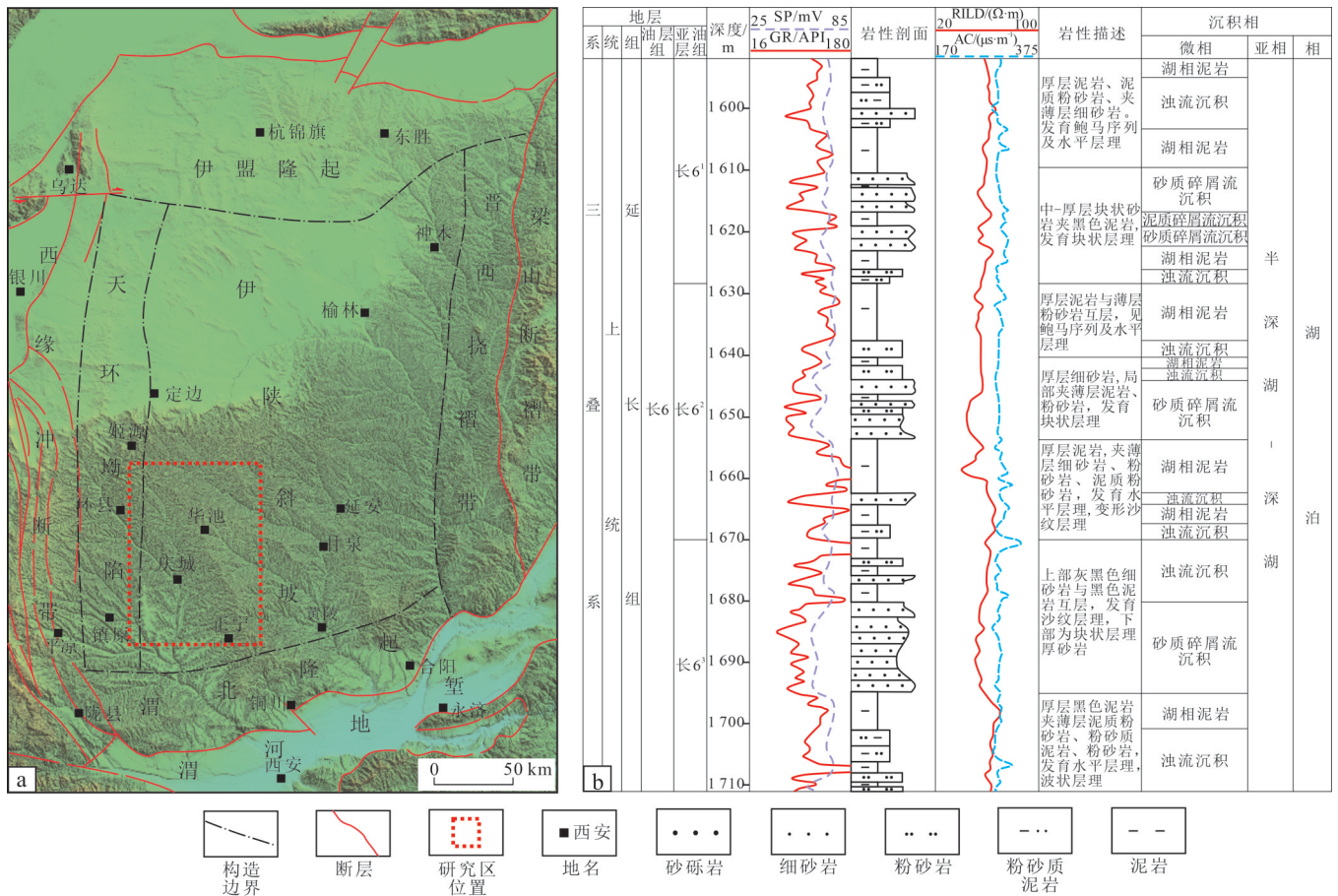


图1 鄂尔多斯盆地华池—庆阳地区地理位置(a)与延长组地层综合柱状图(b)

Fig. 1 Geographical location of Huachang-Qingyang area (a) and the stratigraphic column of the Yanchang Formation (b), Ordos Basin

沉积构造主要包括:①地震初期(初震期)形成的泥岩撕裂屑构造;②强震初期形成的微断裂构造;③地震强烈期(强震期)形成的滑塌变形构造;④地震初期或末期(余震期)形成的负荷构造或砂球、砂枕层^[31]。

长6油层组在研究区内主要发育由地震事件形成的震褶岩、震塌岩、微同沉积断裂、液化摆动构造、液化砂岩脉和液化卷曲变形等多种典型震积岩类型(图4)。其中,震塌岩和微同沉积断裂为硬岩层的破碎和断裂所形成,对应了地震强震期;而液化摆动构造、液化砂岩脉和液化卷曲变形等是由未固结的沉积层发生液化作用所形成,震褶岩则是由未固结岩层发生水塑性变形作用所形成,对应了地震初期或末期。

2.3 砂质碎屑流沉积砂体

华池—庆阳地区分布最广、含油性最好、储集性能最佳的砂体类型是砂质碎屑流沉积砂体^[11,14-15,32],其岩性主要为中-细砂岩,呈块状构造,分选性和磨圆度好,泥质杂基含量介于4.8%~10.0%,单层砂体厚度一般大于0.5 m^[33-34]。砂质碎屑流沉积砂体中常见呈

层状集中分布的泥岩撕裂屑,这些泥岩撕裂屑形状不规则且无定向性,大小不一,磨圆度较差(图5)。此外,砂质碎屑流沉积砂体中常见典型的“泥包砾”结构,这是确定砂体成因类型为砂质碎屑流沉积砂体的重要证据^[32]。

2.4 浊流沉积砂体

浊流沉积砂体在研究区长6油层组中广泛发育^[21,35],常见正粒序特征,且在底部可见多种底面构造类型,如槽模和沟模等^[36](图6)。研究区内的浊流沉积砂体类型主要为近源砂质浊积岩和远端细粒浊积岩^[37]。近源砂质浊积岩岩性一般为细砂岩和粉砂岩,岩相组合一般为一个或者多个向上变细的不完整鲍马序列组合,通常为鲍马序列组合中的ABC,CD,CDE和DE等,在其底面可见侵蚀接触,见沟模、槽模、重荷模等构造类型(图7)。远端细粒浊积岩岩性一般为粒度小于0.1 mm的细粒沉积岩(泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩及富有机质泥页岩等),岩相组合表现为块状砂岩和具递变纹层砂岩的相互叠置。

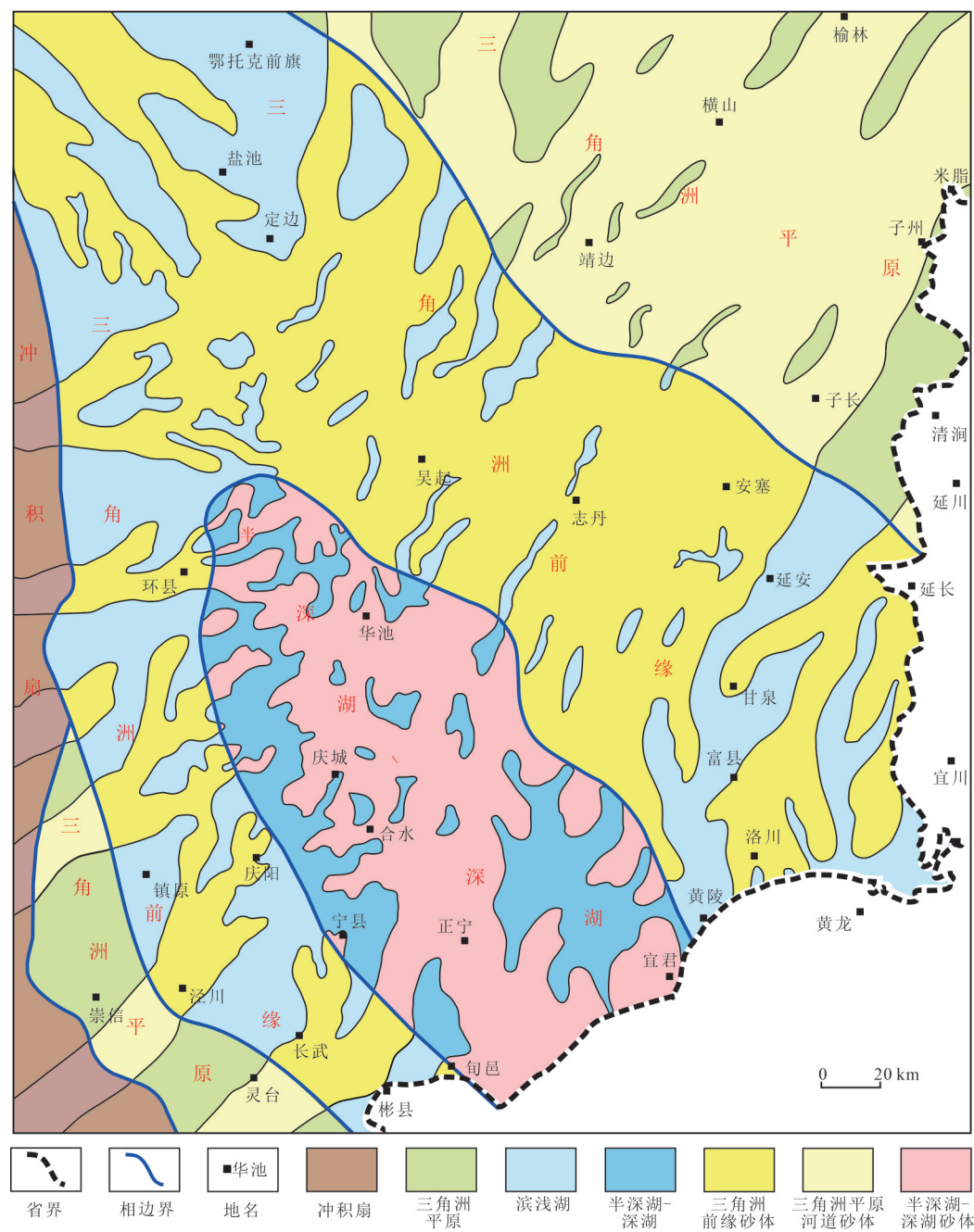


图2 鄂尔多斯盆地长6油层组沉积相平面展布

Fig. 2 Planar distribution of sedimentary facies of the Chang 6 pay zone, Ordos Basin

表1 鄂尔多斯盆地长6油层组致密油储集砂体类型及特征对比

Table 1 Comparison of the four types of tight oil reservoir sand bodies in genesis and characteristics in the Chang 6 pay zone, Ordos Basin

储集砂体类型	成因类型	主要特征
三角洲前缘砂体	辫状河三角洲前缘和曲流河三角洲前缘正常沉积	分流河道砂体、河口坝砂体相互叠置
地震事件成因砂体	由突发性地震事件所形成的砂体	发育地震事件沉积所特有的典型沉积构造,如泄水构造、环形构造等
砂质碎屑流沉积砂体	具有塑性流变性质和层流流动状态的沉积物重力流	常见呈层状集中分布的泥岩撕裂屑,泥岩撕裂屑形状不规则且无定向性,大小不一,磨圆度较差
浊流沉积砂体	近源砂质浊积岩和远端细粒浊积岩	近源砂质浊积岩通常为鲍马序列组合的ABC,CD,CDE和DE等,远端细粒浊积岩表现出块状或者递变纹层。

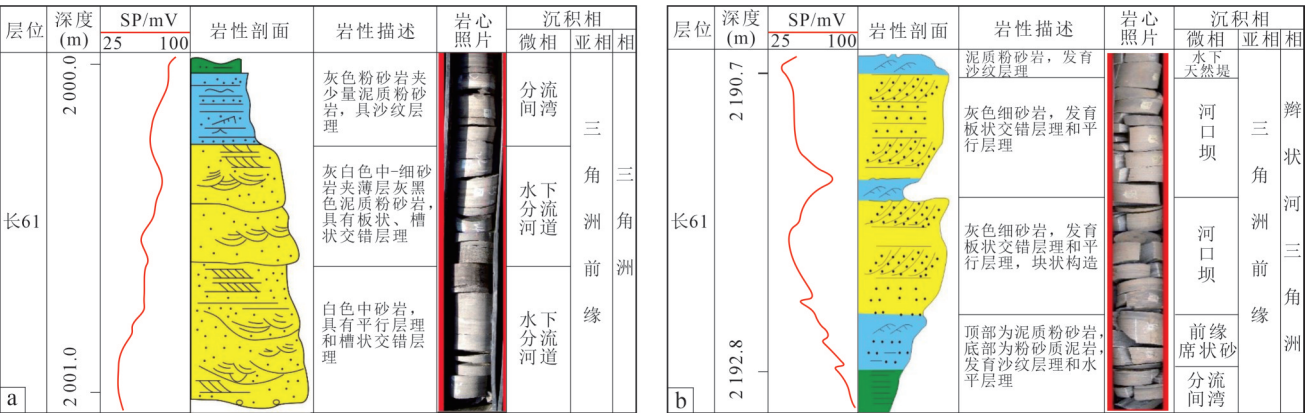


图3 华池—庆阳地区长6¹亚油层组三角洲前缘砂体剖面结构

Fig. 3 Lithological profile of the delta front sand bodies in the Chang6¹ pay zone, Huachi-Qingyang area

a. 水下分流通道,白244井; b. 河口坝,木22井

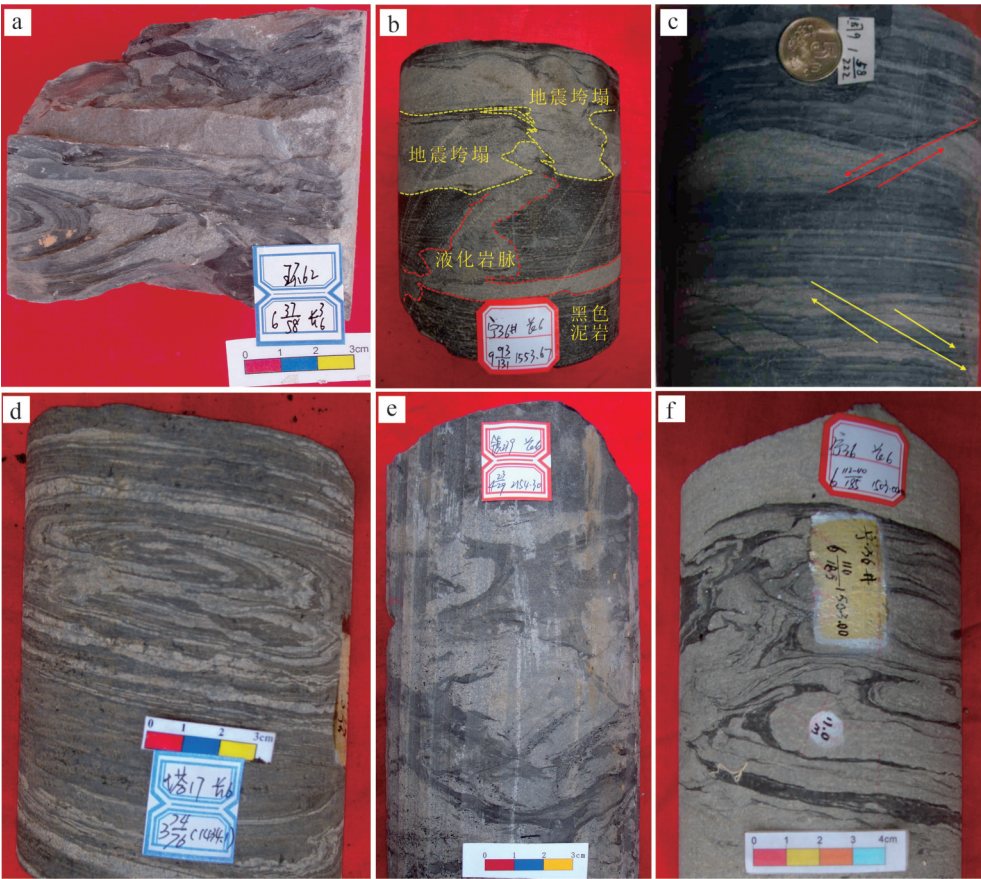


图4 华池—庆阳地区长6油层组不同钻井地震事件沉积特征(岩心照片)

Fig. 4 Sedimentary characteristics of seismites in cores from different wells in the Chang 6 pay zone in Huachi-Qingyang area (core images)

a. 震褶岩,埋深2 489.00 m,环62井; b. 震塌岩,埋深1 553.67 m,宁36井; c. 两组相反方向的微同沉积断层,埋深1 679.00 m,固9井; d. 液化摆动构造,埋深1 434.10 m,塔17井; e. 液化砂岩脉,埋深2 154.30 m,镇279井; f. 液化卷曲变形,埋深1 503.00 m,宁36井

3 砂体叠置关系

研究区长6油层组发育多种类型的砂体,其垂向叠置特征对于认识不同砂体的成因关系意义重大。通

过对研究区大量钻井进行岩心观察,可以看出长6油层组致密油储集砂体具有以下叠置特征。

3.1 三角洲前缘砂体与震积岩砂体叠置

在研究区,这种砂体叠置特征主要表现为正常沉

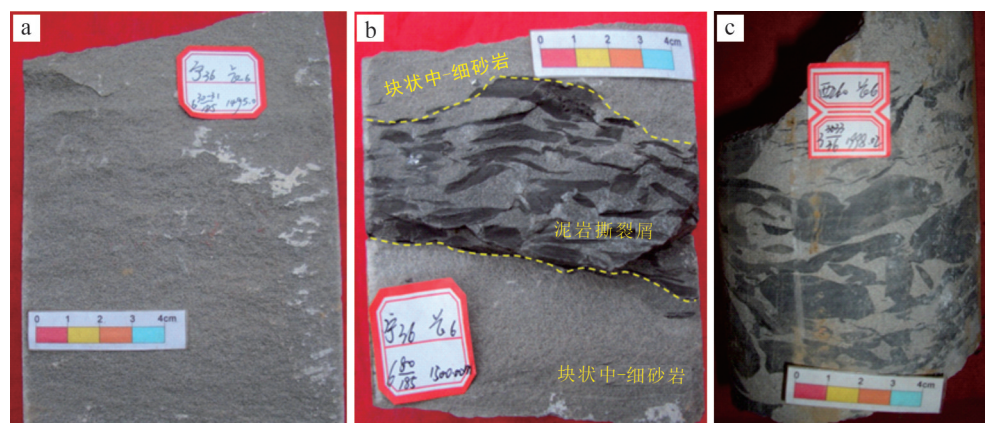


图5 华池—庆阳地区长6油层组砂质碎屑流沉积特征(岩心照片)

Fig. 5 Images showing the characteristics of the sandy debris-flow deposits in the Chang 6 pay zone in Huachi-Qingyang area (core images)

a. 块状中-细砂岩,埋深1 495.00 m,宁36井; b. 泥岩撕裂屑,埋深1 500.00 m,宁36井; c. 泥岩撕裂屑,埋深1 998.02 m,西206井

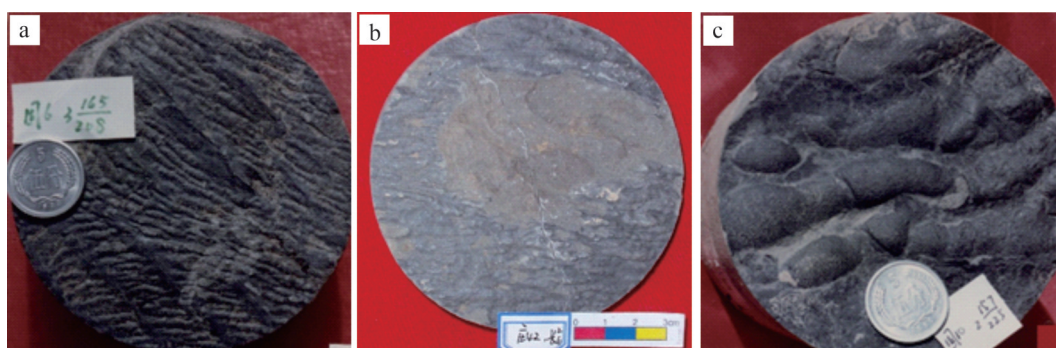


图6 华池—庆阳地区长6²油层组浊积砂体底部的底模构造(岩心照片)

Fig. 6 Images showing the mold structure at the bottom of turbidite sand bodies in the Chang 6² pay zone in Huachi-Qingyang area (core images)

a. 沟模,埋深1 678.80 m,固6井; b. 槽模,埋深1 768.40 m,庄42井;
c. 重荷模,埋深1 675.60 m,固10井

积的三角洲前缘砂体与地震事件形成的具有液化变形构造的震积岩砂体之间的叠置(图8)。这类震积岩砂体通常是由地震发生期的三角洲前缘砂体发生液化而形成;在地震平静期,正常沉积的三角洲前缘砂体沉积在震积岩砂体之上;地震发生期与地震平静期交替发生,就形成了三角洲前缘砂体与震积岩砂体在垂向上相互叠置的现象。

3.2 震积岩砂体与碎屑流沉积砂体叠置

古地震发生时,不仅会形成具有液化变形构造的震积岩砂体,还会在湖盆底部发育碎屑流,形成碎屑流沉积砂体。在研究区内的长6油层组沉积演化过程中,当地震事件和其导致的碎屑流事件同时发生时,就形成了震积岩砂体与碎屑流沉积砂体的叠置,这两种事件沉积砂体类型在垂向上相互叠置、在平面上密切共生(图9a)。

3.3 碎屑流砂体与浊流事件成因砂体叠置

古地震事件所诱发的碎屑流会顺着湖盆坡度逐渐向湖盆中心流动,伴随流动进程,碎屑流在半深湖—深湖地区逐渐演化为浊流沉积^[37-38]。在半深湖—深湖沉积环境主要发育浊流事件成因砂体,而在滨浅湖区域则以发育碎屑流砂体为主,而在坡折带区域不仅广泛发育浊积砂体,也发育有与地震事件相关的碎屑流砂体,这些区域在垂向上形成了碎屑流砂体与浊积砂体的叠置现象(图9b)。在研究区内,长6油层组在宁县、庆阳、合水和固城川地区,主要发育碎屑流砂体与浊流事件成因砂体叠置。

3.4 震积岩砂体、碎屑流砂体、浊流砂体之间的叠置

在研究区内,除了三角洲前缘砂体与震积岩砂体、震积岩砂体与碎屑流沉积砂体、碎屑流砂体与浊流事

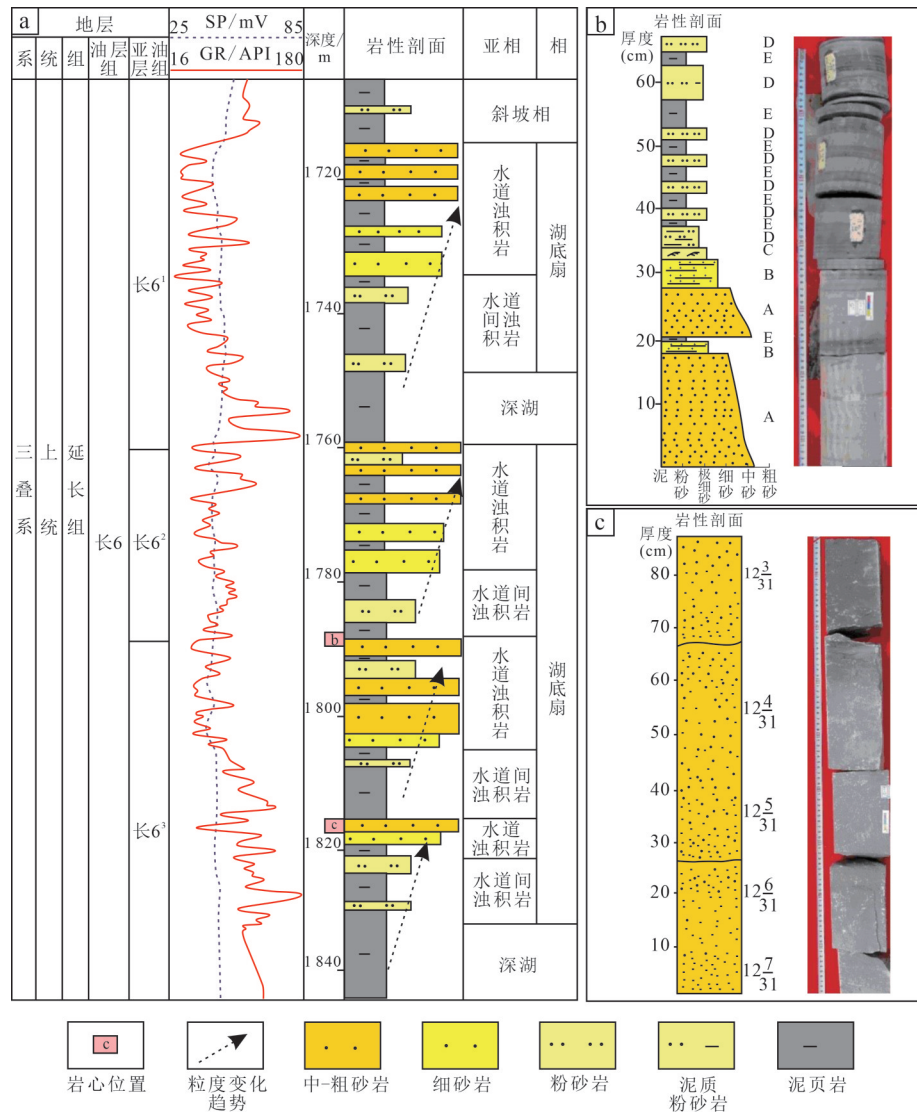


图7 华池—庆阳地区庄42井长6油层组浊积扇沉积序列

Fig. 7 Sedimentary sequence of turbidite fans in the Chang 6 pay zone in Well Zhuang 42 in Huachi-Qingyang area

a. 地层综合柱状图; b. 鲍马序列,埋深1 787.20~1 788.40 m; c. 单一粒级递变序列浊积岩,埋深1 816.10~1 817.00 m

件成因砂体这些两种类型砂体之间发生叠置之外,在相关钻井岩心中还可以看到震积岩砂体、碎屑流砂体以及浊流事件成因砂体之间相互叠置的现象。这种现象反映了在半深湖-深湖区域,不仅发育碎屑流砂体和浊流砂体,而且地震事件也可以在其中发生震动变形作用,产生震积岩砂体(图9b)。

4 不同砂体之间成因关系及发育模式

4.1 不同砂体之间成因关系

在长6油层组沉积期,湖盆处于收缩期,周围的三角洲不断向盆内进积,搬运来了大量的陆源碎屑物质,此时研究区内的华池地区处于东北三角洲前缘部位,

庆阳地区处于西南三角洲前缘位置。周期性突发的地震事件会导致三角洲前缘不稳定的前缘朵叶体发生坍塌,形成液化变形的震积岩砂体,震积岩最上部在重力作用下,转化为碎屑流进一步搬运,形成碎屑流沉积砂体;碎屑流进一步向前推进转化为浊流,进而形成浊积砂体(图9)。当地震事件再次发生时,上述变化会重复发生,导致不同地区、不同沉积相带、不同成因类型的储集砂体在垂向上相互叠置,在平面上密切共生(图10,图11)。

4.2 不同成因砂体发育模式

由前文可以看出,长6油层组沉积时期华池—庆阳地区三角洲前缘不规则的朵叶体是其他事件沉积砂体发育的物质基础,突发性的地震事件是震积岩砂体

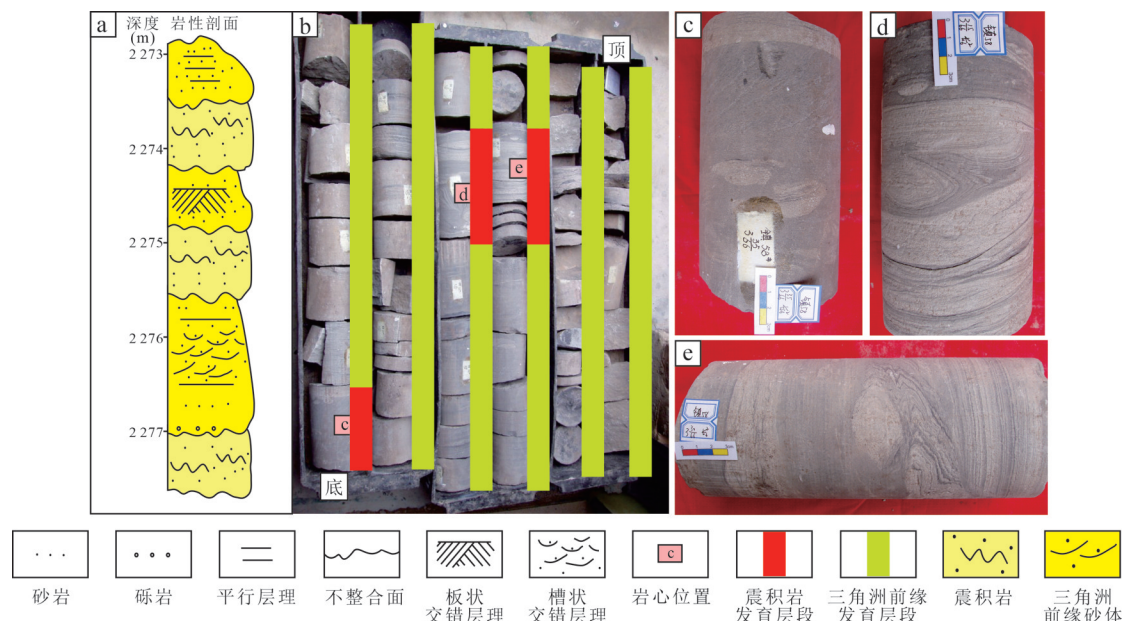


图8 华池—庆阳地区镇58井长6²亚油层组三角洲前缘水下分流河道砂体与震积岩砂体叠置特征

Fig. 8 Superimposition characteristics of delta front underwater distributary channel sand bodies and seismite sand bodies of the Chang 6² pay zone in Well Zhen 58, Huachi-Qingyang area

a. 岩心素描图; b. 整盒岩心照片解释与典型照片位置; c. 褶皱层(液化卷曲变形), 埋深2 277.03 m; d. 褶皱层(液化卷曲变形), 埋深2 274.92 m; e. 褶皱层(液化卷曲变形), 埋深2 273.65 m

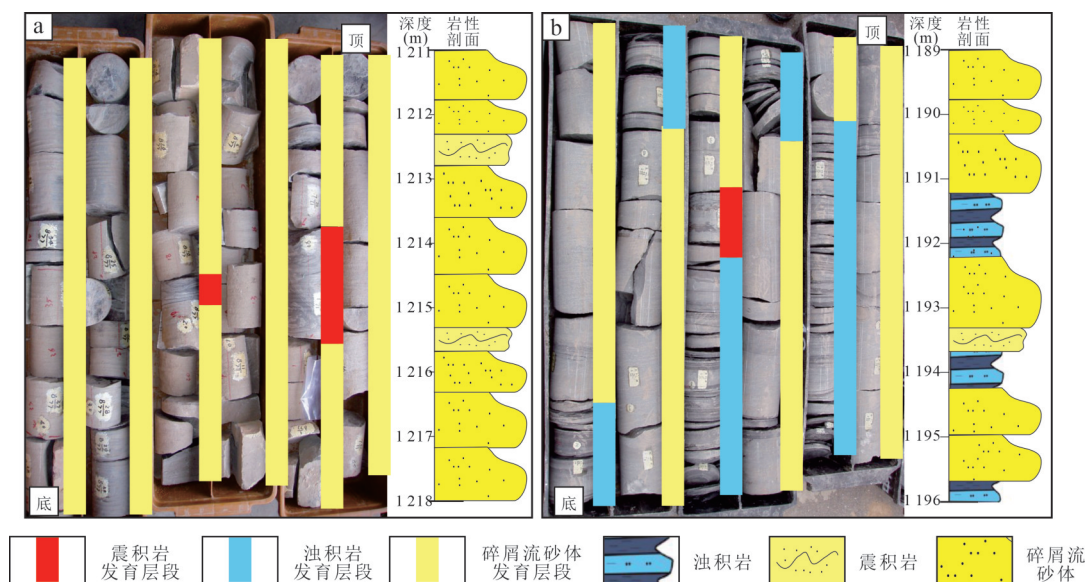


图9 华池—庆阳地区长6³亚油层组致密油储集砂体在钻井岩心上的叠置关系

Fig. 9 Superimposition characteristics of sand bodies in cores from the Chang 6³ tight oil pay zone in Huachi-Qingyang area

a. 震积岩砂体与砂屑碎屑流砂体叠置, 样品7-63/71—8-39/77, 木11井, 埋深1 211~1 218 m; b. 碎屑流砂体与浊流砂体叠置, 夹有小段震积岩砂体, 样品6-52/119—6-83/119, 庄42井, 埋深1 189~1 196 m

发育的直接原因,也是碎屑流沉积砂体和浊流沉积砂体发育的关键诱因。从三角洲前缘到湖盆中心,由于不同位置所处的古地貌背景和环境条件不同,导致了不同成因类型砂体的垂向相互叠置。据此,在区域沉积格局的基础上,构建了华池—庆阳地区长6油层组致密油储集砂体时-空发育模式(图12)。

5 结论

1) 鄂尔多斯盆地华池—庆阳地区三叠系长6油层组沉积演化过程中发育了多类型致密油储集砂体,主要包括:三角洲前缘砂体、地震事件成因砂体(震积

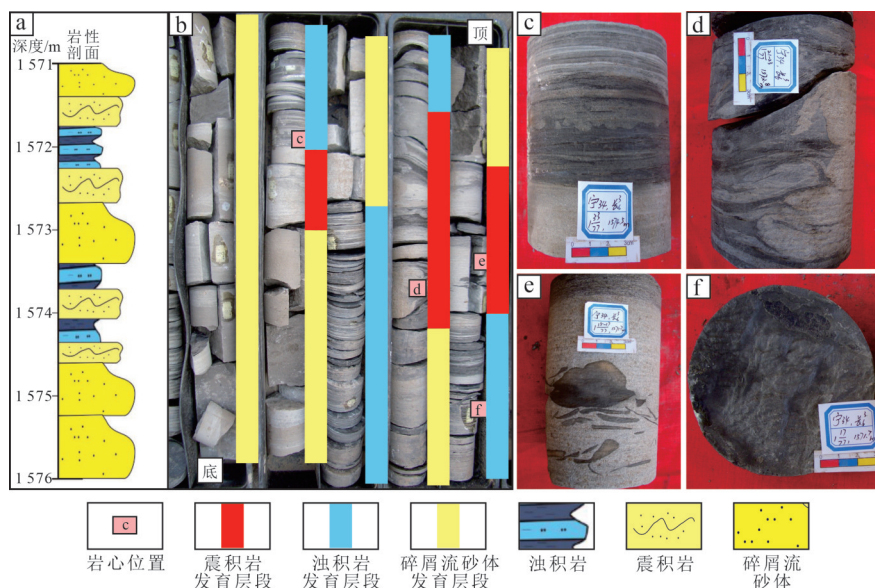


图10 华池—庆阳地区宁34井长 6^3 亚油层组震积岩砂体、碎屑流砂体、浊积砂体岩心照片及相互叠置剖面结构

Fig. 10 Core pictures showing sand bodies of seismite, debris-flow and turbidite types, and profile showing their superimposition in the Chang 6^3 pay zone in Well Ning 34, Huachi-Qingyang area

- a. 岩心素描图; b. 整盒岩心照片解释与典型照片位置; c. 底模构造与鲍马序列, 埋深1 574.30 m; d. 褶皱层(液化卷曲变形), 埋深1 572.80 m; e. 震塌岩, 埋深1 571.70 m; f. 浊积岩底模构造, 埋深1 571.90 m

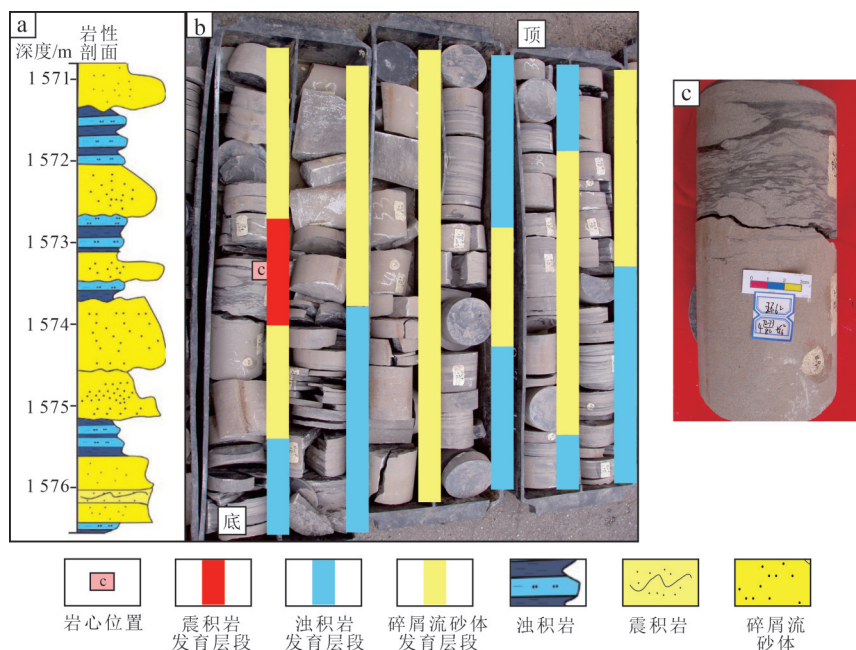


图11 华池—庆阳地区环62井长 6^3 亚油层组震积岩与浊积砂体岩心照片及互层剖面结构

Fig. 11 Core pictures showing sand bodies of seismite and turbidite types and profile showing their alternation in the Chang 6^3 pay zone in Well Huan 62, Huachi-Qingyang area

- a. 岩心素描图; b. 整盒岩心照片解释与典型照片位置; c. 震塌岩及液化变形构造, 埋深1 575.50 m

岩)、砂质碎屑流沉积砂体和浊流沉积砂体。

2) 长6油层组致密油储集砂体具有4种叠置组合: 三角洲前缘砂体与震积岩砂体叠置、震积岩砂体与碎屑流沉积砂体叠置、碎屑流砂体与浊流事件成因砂体叠置, 以及震积岩砂体、碎屑流砂体、浊流砂体的

叠置。

3) 从三角洲前缘到湖盆中心, 古地貌及环境条件的差异导致不同成因类型砂体在垂向上相互叠置, 具体表现为: 地震事件导致三角洲前缘砂体垮塌, 部分在原地堆积形成震积岩砂体, 部分沿湖底向前搬运转化

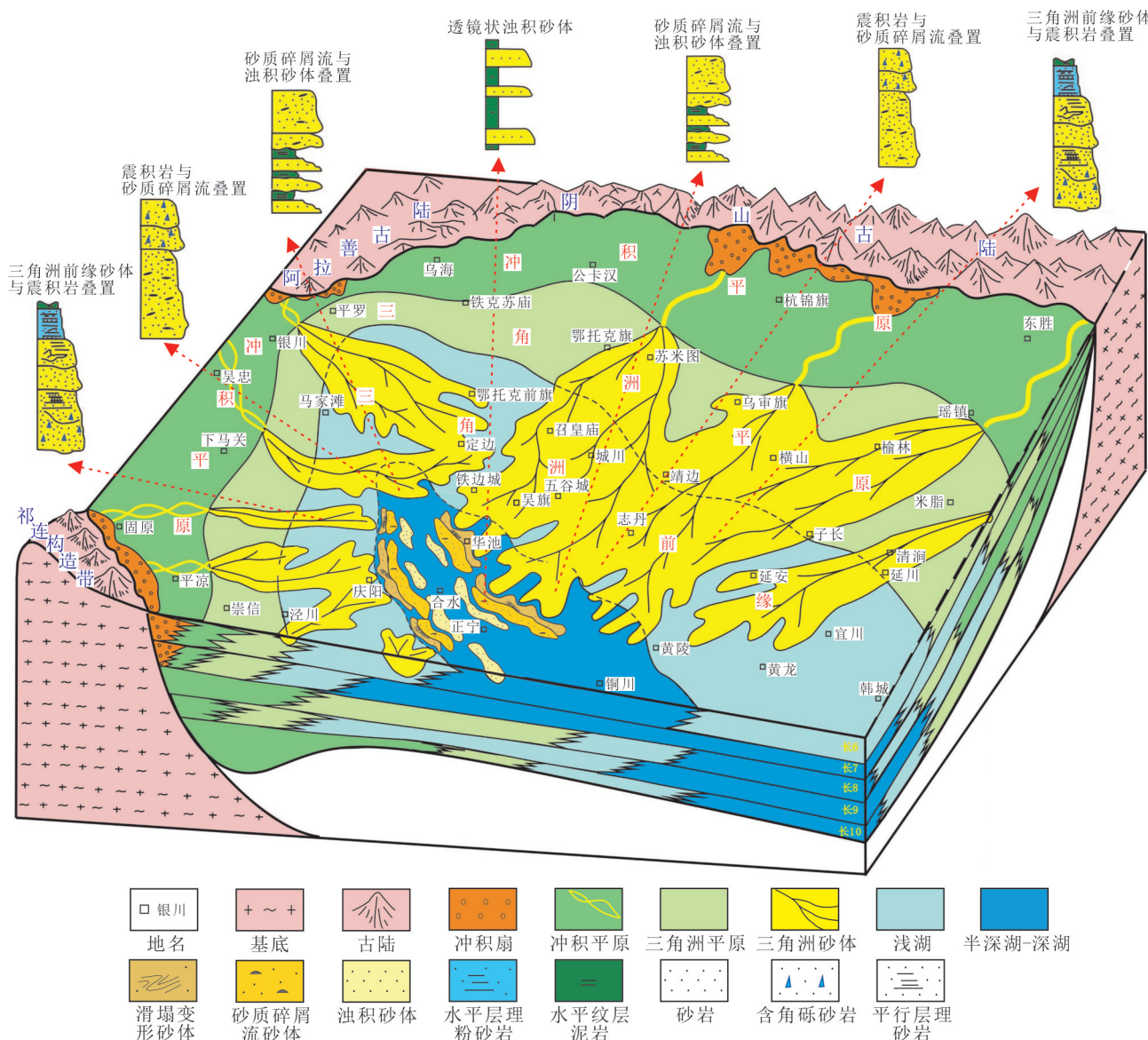


图12 鄂尔多斯盆地长6油层组沉积模式

Fig. 12 Depositional model of Chang 6 pay zone in the Ordos Basin

为碎屑流并形成碎屑流砂体,进一步搬运的碎屑流转化为浊流并形成浊积砂体。

参 考 文 献

- [1] Jia C Z, Zheng M, Zhang Y F. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39 (4): 139-146.
- [2] 付金华, 董国栋, 周新平, 等. 鄂尔多斯盆地油气地质研究进展与勘探技术[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(3): 19-40.
Fu Jinhua, Dong Guodong, Zhou Xinping, et al. Research progress of petroleum geology and exploration technology in Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(3): 19-40.
- [3] 杨华, 刘自亮, 朱筱敏, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘上三叠统延长组物源与沉积体系特征[J]. 地学前缘, 2013, 20 (2): 10-18.
Yang Hua, Liu Ziliang, Zhu Xiaomin, et al. Provenance and depositional systems of the Upper Triassic Yanchang Formation in the southwestern Ordos Basin, China [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 10-18.
- [4] 付锁堂, 姚泾利, 李士祥, 等. 鄂尔多斯盆地中生界延长组陆相页岩油富集特征与资源潜力[J]. 石油实验地质, 2020, 42 (5): 698-710.
Fu Suotang, Yao Jingli, Li Shixiang, et al. Enrichment characteristics and resource potential of continental shale oil in Mesozoic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 698-710.
- [5] 张才利, 刘新社, 杨亚娟, 等. 鄂尔多斯盆地长庆油田油气勘探历程与启示[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(3): 253-263.
Zhang Caili, Liu Xinshe, Yang Yajuan, et al. Petroleum exploration history and enlightenment of Changqing Oilfield in Ordos Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(3): 253-263.
- [6] 郑荣才, 文华国, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地白豹地区长6油层组湖底滑塌浊积扇沉积特征及其研究意义[J]. 成都理工大

- 学学报(自然科学版), 2006, 33(6): 566-575.
- Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Han Yonglin, et al. Discovery and significance of sublacustrine slump turbidite fans in Chang 6 oil-bearing formation of Baibao region in Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2006, 33(6): 566-575.
- [7] 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, 2007, 37(S1): 39-48.
- Chen Quanhong, Li Wenhui, Gao Yongxiang, et al. Significance of deep lake sedimentation and hydrocarbon accumulation in Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin [J]. Scientia Sinica, 2007, 37(S1): 39-48.
- [8] 傅强, 吕苗苗, 刘永斗, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世湖盆沉积岩发育特征及地质意义[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 186-192.
- Fu Qiang, Lv Miaomiao, Liu Yongdou, et al. Developmental characteristics of turbidite and its implication on petroleum geology in Late-Triassic Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(2): 186-192.
- [9] 夏青松, 田景春. 鄂尔多斯盆地西南部上三叠统长6油层组湖底扇特征[J]. 古地理论, 2007, 9(1): 33-43.
- Xia Qingsong, Tian Jingchun. Sedimentary characteristics of sublacustrine fan of the Interval 6 of Yanchang Formation of Upper Triassic in southwestern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(1): 33-43.
- [10] 田景春, 隆昊, 苏楠, 等. 鄂尔多斯盆地白豹-华池地区长6-3厚层块状砂岩成因[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37(4): 359-365.
- Tian Jingchun, Long Hao, Su Nan, et al. Genesis of Chang 6-3 sandstone of Upper Triassic Yanchang Formation in Baibao-Huachi area of Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37(4): 359-365.
- [11] 陈飞, 胡光义, 孙立春, 等. 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组砂质碎屑流沉积特征及其油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2012, 30(6): 1042-1052.
- Chen Fei, Hu Guangyi, Sun Lichun, et al. Sedimentary characteristics and the significance of petroleum exploration of sandy debris flows of Yanchang Formation of the Upper Triassic, Fuxian Area, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(6): 1042-1052.
- [12] 付锁堂, 邓秀芹, 庞锦莲. 晚三叠世鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心厚层砂体特征及形成机制分析[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1081-1089.
- Fu Suotang, Deng Xiuqin, Pang Jinlian, et al. Characteristics and mechanism of thick sandbody of Yanchang Formation at the centre of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(6): 1081-1089.
- [13] 李相博, 刘化清, 完颜容, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组砂质碎屑流储集体的首次发现[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 19-21.
- Li Xiangbo, Liu Huaqing, Wanyan Rong, et al. First discovery of the sandy debris flow from the Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(4): 19-21.
- [14] 李相博, 付金华, 陈启林, 等. 砂质碎屑流概念及其在鄂尔多斯盆地延长组深水沉积研究中的应用[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 286-294.
- Li Xiangbo, Fu Jinhua, Chen Qilin, et al. The concept of sandy debris flow and its application in the Yanchang Formation deep water sedimentation of the Ordos Basin [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(3): 286-294.
- [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. Genetic mechanism and distribution of sandy debris flows in terrestrial lacustrine basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(6): 1065-1075.
- [16] 何发岐, 齐荣, 王付斌, 等. 鄂尔多斯盆地南部三叠系延长组沟谷体系构造成因[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(5): 1056-1062.
- He Faqi, Qi Rong, Wang Fubin, et al. Tectonic genesis of Triassic Yanchang Formation valley systems, southern Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(5): 1056-1062.
- [17] 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]. 地学前缘, 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.
- [18] 孙宁亮, 钟建华, 王书宝, 等. 鄂尔多斯盆地南部三叠系延长组深水重力流沉积特征及其石油地质意义[J]. 古地理论, 2017, 19(2): 299-314.
- Sun Ningliang, Zhong Jianhua, Wang Shubao, et al. Sedimentary characteristics and petroleum geologic significance of deep-water gravity flow of the Triassic Yanchang Formation in southern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2017, 19(2): 299-314.
- [19] 范柏江, 师良, 杨杰, 等. 鄂尔多斯盆地中部湖相有机质沉积环境特征[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(3): 648-657.
- Fan Bojiang, Shi Liang, Yang Jie, et al. Sedimentary environment of lacustrine organic matter in the central Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(3): 648-657.
- [20] 李进步, 王继平, 王龙, 等. 古地貌恢复及其对三角洲前缘沉积砂体的控制作用——以鄂尔多斯盆地庆阳气田二叠系山西组 1^3 亚段为例[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(5): 1136-1145.
- Li Jinbu, Wang Jiping, Wang Long, et al. Paleogeomorphologic restoration and its controlling effect on deposition of delta-front sand bodies: A case study of Shan 1^3 sub-member of the Permian Shanxi Formation, Qingyang gas field, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(5): 1136-1145.
- [21] 刘芬, 朱筱敏, 李洋, 等. 鄂尔多斯盆地西南部延长组重力流沉积特征及相模式[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(5): 577-588.
- Liu Fen, Zhu Xiaomin, Li Yang, et al. Sedimentary characteristics and facies model of gravity flow deposits of Late Triassic Yanchang Formation in southwestern Ordos Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(5): 577-588.
- [22] 庞军刚, 常梁杰, 国吉安, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组相水道-朵状体浊积扇沉积模式[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2022, 52(1): 144-158.
- Pang Jungang, Chang Liangjie, Guo Jihan, et al. Depositional model of deep lacustrine sediment gravity flow deposits with well developed channels and lobes in Yanchang Formation, southern Or-

- dos Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2022, 52(1): 144–158.
- [23] 杨华, 李士祥, 刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J]. 石油学报, 2013, 34(1): 1–11.
Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 1–11.
- [24] 罗静兰, 李忠兴, 史成恩, 等. 鄂尔多斯盆地西南部上三叠统延长组长8、长6油层组的沉积体系与物源方向[J]. 地质通报, 2008, 27(1): 101–111.
Luo Jinglan, Li Zhongyi, Shi Cheng'en, et al. Depositional system and provenance of Chang 8 and Chang 6 oil members in Yanchang Formation, Upper Triassic, southwest Ordos Basin [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(1): 101–111.
- [25] 李文厚, 刘溪, 张倩, 等. 鄂尔多斯盆地中晚三叠世延长长期沉积演化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2019, 49(4): 605–621.
Li Wenhao, Liu Xi, Zhang Qian, et al. Deposition evolution of Middle-Late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2019, 49(4): 605–621.
- [26] 刘翰林, 邱振, 徐黎明, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组浅水三角洲砂体特征及厚层砂体成因[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(1): 106–117.
Liu Hanlin, Qiu Zhen, Xu Limin, et al. Distribution of shallow water delta sand bodies and the genesis of thick layer sand bodies of the Triassic Yanchang Formation, Longdong Area, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(1): 106–117.
- [27] Liang Q S, Tian J C, Wang F, et al. Soft-sediment deformation structures and sand body architecture in the Chang 6 oil member of the Upper Triassic Yanchang Formation, Southwestern Ordos Basin, China [J]. Earth Sciences Research Journal, 2019, 23(2): 119–126.
- [28] 李元昊, 刘池洋, 王秀娟. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 772–779.
Li Yuanhao, Liu Chiyang, Wang Xiujuan, et al. Discovery and significance of seismites in Late Tertiary Yanchang Formation of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 772–779.
- [29] 田媛, 钟建华, 王书宝, 等. 鄂尔多斯盆地富县探区三叠系延长组震积岩及其地质意义[J]. 古地理学报, 2015, 17(4): 541–552.
Tian Yuan, Zhong Jianhua, Wang Shubao, et al. Seismites and their geological significances of the Triassic Yanchang Formation in Fuxian exploration area, Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2015, 17(4): 541–552.
- [30] Tian J C, Liang Q S, Wang F, et al. Sedimentary records of seismic events in a lacustrine basin of continental depression: A case study of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin, Northern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2022, 228: 105128.
- [31] Rodriguez-Pascua M A, Calvo J P, Vicente G D, et al. Soft-sediment deformation structure interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene [J]. Sedimentary Geology, 2000, 135: 117–135.
- [32] 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 Sedimentologica Sinica, 2014, 32(4): 611–622.
- [33] 袁珍, 李文厚, 范萌萌, 等. 深水块状砂岩沉积特征及其成因机制探讨: 以鄂尔多斯盆地东南缘上三叠统长6油层组为例[J]. 地质科技情报, 2011, 30(4): 43–49.
Yuan Zhen, Li Wenhao, Fan Mengmeng, et al. Genetic mechanism and sedimentary features of deep eater massive sandstone: A case study of the Upper Triassic sandstones of Chang 6 Formation in the southeast of Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(4): 43–49.
- [34] 冉逸轩, 周翔. 鄂尔多斯盆地西南部延长组6段重力流沉积特征及其油气地质意义[J]. 沉积学报, 2020, 38(3): 571–579.
Ran Yixuan, Zhou Xiang. Sedimentary characteristics and petroleum geological significance of the Chang6 gravity flow in the Southwest Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2020, 38(3): 571–579.
- [35] 刘芬, 朱筱敏, 梁建设, 等. 鄂尔多斯盆地延长组深水重力流岩相发育特征及其储集性[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(6): 46–55.
Liu Fen, Zhu Xiaomin, Liang Jianshe, et al. Lithofacies characteristics of gravity flow deposits and their impacts on reservoir quality in the Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2020, 36(6): 46–55.
- [36] 傅强, 李璟, 邓秀琴, 等. 沉积事件对深水沉积过程的影响——以鄂尔多斯盆地华庆地区长6油层组为例[J]. 岩性油气藏, 2019, 31(1): 20–29.
Fu Qiang, Li Jing, Deng Xiuqin, et al. Influence of sedimentary events on deep water sedimentation process: A case of Chang 6 reservoir in Huaqing area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(1): 20–29.
- [37] 李智勇, 徐云泽, 邓静, 等. 陆相湖泊深水砂质碎屑流与浊流的微观沉积特征及区分方法——以鄂尔多斯盆地延长组长7段为例[J]. 石油实验地质, 2021, 43(3): 415–423.
Li Zhiyong, Xu Yunze, Deng Jing, et al. Microscale sedimentary characteristics and distinguishing methods for deep-water sandy debris flow and turbidity flow in continental lakes: A case study of seventh member of Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(3): 415–423.
- [38] 李相博, 陈启林, 刘化清, 等. 鄂尔多斯盆地延长组3种沉积物重力流及其含油气性[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 16–21.
Li Xiangbo, Chen Qilin, Liu Huaqing, et al. Three types of sediment gravity flows and their petroliferous features of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3): 16–21.