

构造活动影响下地质事件沉积序列

——以鄂尔多斯盆地延长组长7油层组为例

梁庆韶^{1,2)}, 田景春^{1,2)}, 王峰^{1,2)}, 余威^{1,2)}, 孟浩³⁾, 李建⁴⁾

1) 成都理工大学沉积地质研究院, 成都, 610059;

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

3) 中石油长庆油田开发事业部, 西安, 710000; 4) 成都理工大学地球科学学院, 成都, 610059

内容提要:中晚三叠世, 印支运动 I 幕导致秦岭隆升, 同期地震、火山活动频发, 在鄂尔多斯湖盆中保存了大量地质事件沉积层。为了认识构造活动影响下地质事件沉积序列, 探讨地质历史时期内各类地质事件的耦合关系, 从全新的角度认识大型坳陷湖盆的形成和演化过程, 笔者等以鄂尔多斯盆地内部及周缘的长7油层组野外露头及钻井岩心中发育的关键事件沉积层为研究对象, 对地震事件、浊流事件、火山事件、缺氧事件沉积特征和叠置关系进行研究。研究表明: 在长7期, 湖盆中多种事件沉积类型主要受控于中—晚三叠世秦岭造山运动, 构造活动引起湖盆沉降, 为事件沉积层的保存提供了条件; 火山事件喷发的火山灰降落在湖盆中形成凝灰岩层, 同时, 也为湖盆缺氧事件创造了条件; 沉积层因地震活动形成震积岩, 而地震活动又是诱发浊流事件发生的关键因素; 这些构造活动影响下的地质事件交替发生, 共同构成长7油层组内各类事件沉积层的相互叠置关系。

关键词:事件沉积; 沉积模式; 长7油层组; 鄂尔多斯盆地

构造运动导致的突发性地质事件贯穿 4.6 Ga 的地球演化历史中(沈树忠等, 2017), 因此, 在地球表层的沉积圈层中保存有大量与突发性地质事件相关的沉积产物, 这些地质事件沉积层与缓慢沉积的正常沉积层相互叠置, 反映了构造稳定期与构造活跃期相互交替的地质演化进程(吴晓娟等, 2021; Regard et al., 2021)。通过对正常沉积层中的事件沉积层垂向叠置序列的研究, 能够揭示在地质历史时期内区域构造活动的规律及时序关系。

中—晚三叠世延长组沉积期, 鄂尔多斯湖盆内沉积了一套典型的坳陷湖盆沉积, 且在地层中广泛发育多种地质事件沉积现象, 因此, 延长组是探究地质事件沉积序列的优质场所(赵俊兴等, 2008; 陈安清等, 2011; 庞军刚等, 2012; 刘璇等, 2014; 孙宁亮等, 2017; 袁珍等, 2019; 梁庆韶, 2020)。鄂尔多斯盆地延长组长7油层组中发育多种地质事件沉积响应, 主要有地震事件、浊流事件、火山事件和缺氧事件, 分别形成震积岩、浊积岩、凝灰岩和富有机质泥页岩(梁庆韶, 2020)。对于不同事件沉积, 大部分

学者都仅对单个地质事件沉积类型进行研究(夏青松, 2007; 赵俊兴等, 2008; 杨华等, 2013; 熊林芳等, 2015; 吕奇奇等, 2020; 朱如凯等, 2021; 袁伟等, 2022), 并未对各个事件沉积层之间的垂向叠置关系进行系统研究, 也未对各事件沉积层之间的内在关系进行探讨, 导致对构造活动影响下的地质事件沉积的叠置关系认识不够全面。

笔者等以鄂尔多斯盆地延长组长7油层组的四种地质事件沉积层为研究对象, 对其在钻井岩心和野外剖面上的叠置关系进行研究, 探讨构造活动影响下的长7地质事件沉积序列, 并构建事件沉积模式, 以新的视角进一步揭示鄂尔多斯盆地的演化历史, 为印支造山运动与盆地构造演化的关系提供依据。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地位于我国北部, 总面积可达 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国的第二大沉积盆地(杨华等, 2016)。盆地周缘被山脉包围, 东为太行山、吕梁山, 南为秦



注: 本文为国家十三五重大科技专项(编号: 2016ZX05046-001)的成果。

收稿日期: 2022-05-29; 改回日期: 2022-08-11; 网络首发: 2022-08-20; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.08.151

作者简介: 梁庆韶, 男, 1991年生, 博士, 副教授, 主要从事事件沉积学教学和科研工作; Email: liangqingshao@foxmail.com, liangqs@cdut.edu.cn。通讯作者: 田景春, 男, 1963年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积地质学教学和研究; Email: tjc@cdut.edu.cn。

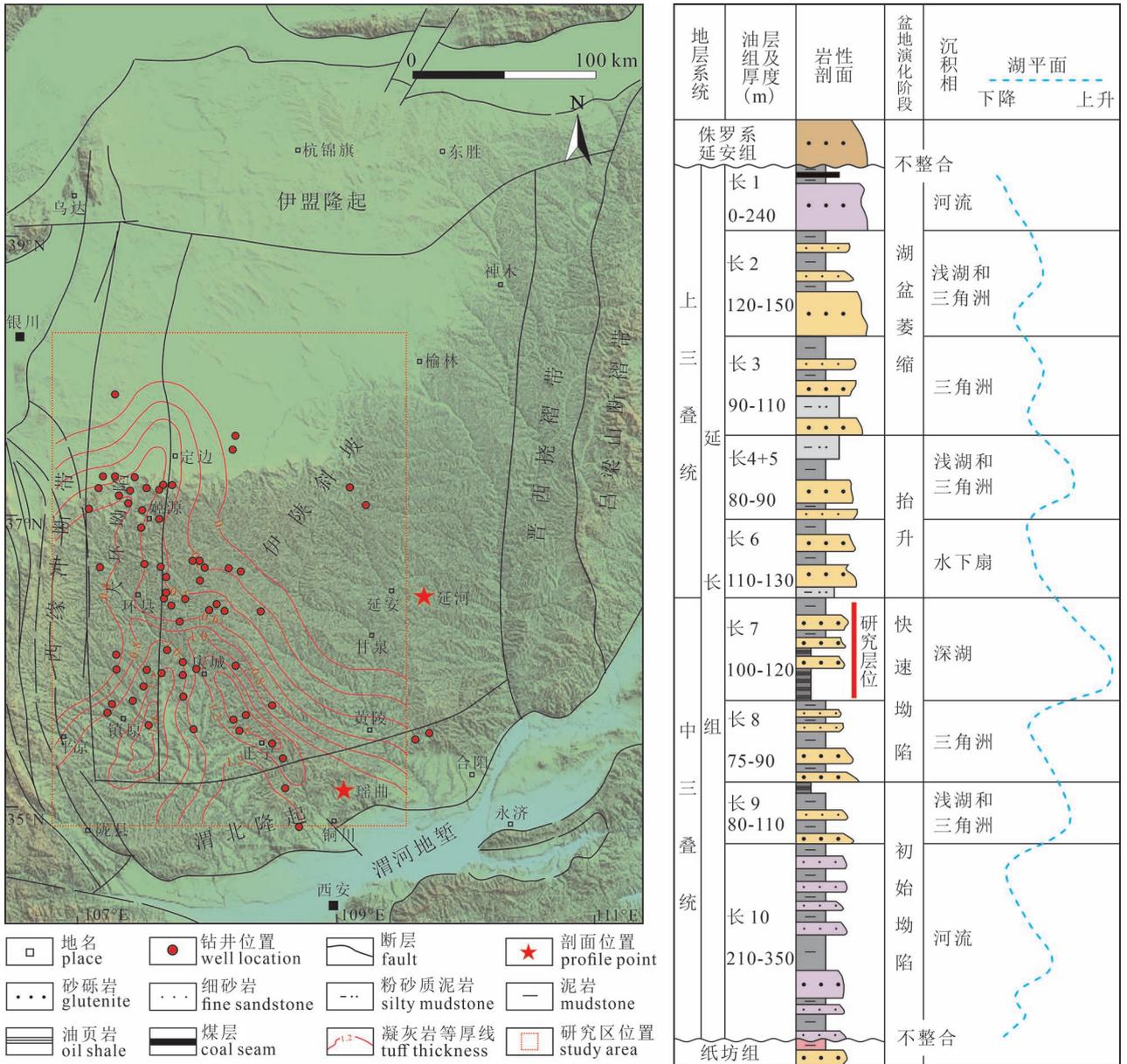


图1 研究区位置图与延长组地层综合柱状图(柱状图据杨华等,2010 修改)

Fig. 1 Location of the study area and the stratigraphic division of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin (histogram modified after Yang Hua et al. , 2010&)

表1 长7事件沉积类型、特征及分布

Table 1 Types and distribution characteristics of Chang 7 deposition event

事件类型	物质表现形式	主要类型或特征	平面分布特征	参考文献
地震事件	震积岩	按成因分为:①软沉积物液化变形; ②重力作用变形;③水塑性变形;④脆性变形等	盆地西南部至东北部逐渐减少	Montenat, 2007; 李洁等, 2010; 乔秀夫等, 2016; Tian Jingchun et al. , 2022
浊流事件	浊积岩	①鲍马序列; ②多期次叠置; ③底面构造; ④滑塌角砾	盆地东南部、西南部	庞军刚等, 2012; 杨仁超等, 2017; 梁庆韶, 2020
火山事件	凝灰岩	近火山口晶屑含量高, 碎屑大; 可分为: ①晶屑凝灰岩; ②玻屑凝灰岩; ③尘灰凝灰岩	盆地西南部至东北部逐渐变薄	张文正等, 2009; 袁珍等, 2019
缺氧事件	富有机质泥页岩	在油页岩和泥岩中还发现有星散状黄铁矿细晶, 在浊积岩中发现了菱铁矿结核	分布于深湖—半深湖沉积相区	张文正等, 2010; 熊林芳等, 2015; 杨华等, 2016

岭,西为六盘山、贺兰山,北为阴山一大青山,呈近矩形轮廓(杨华等,2016)。鄂尔多斯盆地内部平均海拔约为800~1800 m,可划分为6个一级构造单元,分别为:伊盟隆起、伊陕斜坡、天环凹陷、渭北隆起、晋西挠褶带和西缘冲断带。研究区位于鄂尔多斯盆地西南部,跨越伊陕斜坡、天环凹陷、西缘冲断带和渭北隆起4个次级构造单元,是盆地内地质事件沉积层的主要发育区(傅强等,2019)(图1)。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组呈现出连续沉积的特征,根据湖盆演化的特征,依据岩性、沉积旋回及

测井曲线特征将延长组划分为5段,自下而上分别为: T_{3y}^1 、 T_{3y}^2 、 T_{3y}^3 、 T_{3y}^4 、 T_{3y}^5 (李凤杰等,2006;李文厚等,2009;杨华等,2016),也有部分学者认为可将延长组划分为6段(李树同等,2009;李相博等,2010)。关于中—上三叠统的地层划分方案,仍存在一定争议,中石油长庆油田基于油气勘探生产的实际需求,在将延长组划分为5个段的基础上,结合测井曲线特征、沉积地层的旋回性和含油气性等特征,将其自上而下划分为长1至长10油层组(图1)。每个油层组又根据其旋回性和测井曲线特征



图2 长7油层组事件沉积类型的典型特征

Fig. 2 Typical characteristics of event sedimentary types of Chang 7 oil member

(a) 砂枕构造,长7,里301井,2355.10 m;(b) 液化砂岩脉,长7,宁33井,1624.10 m;(c) 阶梯状断层,长7,元474井,2260.70 m;(d) 鲍马序列,长7,宁105井,1509.90 m;(e) 沟模,长7,西62井,1837.70 m;(f) 黑色泥岩夹薄层凝灰岩,长7,庄255井,1797.50 m;(g) 晶屑凝灰岩,长7,里68井,2079.80 m(张文正等,2009);(h) “张家滩页岩”夹厚层凝灰岩,长7₃,瑶曲剖面;(i) 碳化植物茎干,长7,白442井,2181.20 m

(a) Sand pillow structure, Chang 7 oil member, Well Li 301, 2355.10 m; (b) Liquefied sandstone vein, Chang 7 oil member, Well Ning 33, 1624.10 m; (c) Step fault, Chang 7 oil member, Well Yuan 474, 2260.70 m; (d) Bauma sequence, Chang 7 oil member, Well Ning 105, 1509.90 m; (e) Groove cast, Chang 7 oil member, Well Xi 62, 1837.70 m; (f) Black shale with thin tuff, Chang 7 oil member, Well Zhuang 255, 1797.50 m; (g) Crystalline tuff, Chang 7 oil member, Well Li 68, 2079.80 m(Zhang Wenzheng et al., 2009); (h) Zhangjiatan shale with thick tuff, Chang 7₃, Yaoqu section; (i) Carbonized plant stem fossil, Chang 7 oil member, Well Bai 422, 2181.20 m

分别划分为2到3个小层,长7油层组内部自上而下依次划为长7₁、长7₂和长7₃3个小层。

2 长7事件沉积类型与特征

鄂尔多斯盆地在延长组沉积时期沉积环境为大型拗陷湖盆,长7期为整个延长组沉积期最大湖泛期,水深最深,湖盆面积也最大(武富礼等,2004;杨华等,2010;张晓辉等,2020)。盆地内长7油层组广泛发育多种事件沉积类型,是进行事件沉积研究、建立事件沉积序列、探究构造活动与地质事件沉积关系的良好层位(傅强等,2006;付金华等,2020;杨田等,2021)(表1)。

2.1 长7事件沉积类型

前人对鄂尔多斯盆地三叠系延长组已经开展过大量研究,在研究区内发现有多种事件沉积类型,主要包括:地震事件、浊流事件、火山事件和缺氧事件,这些事件分别形成震积岩、浊积岩、凝灰岩和富有机质泥页岩(赵俊兴等,2008;陈安清等,2011;孙宁亮等,2017;袁珍等,2019;梁庆韶,2020)。

2.2 长7事件沉积特征

2.2.1 地震事件

鄂尔多斯盆地长7油层组发育大量与古地震相关的变形构造,这些变形构造类型按照其成因性质可以分为4大类,分别为:①软沉积物液化变形;②重力作用变形;③水塑性变形;④脆性变形等(Montenat,2007;乔秀夫等,2016)(图2a,b,c)。

2.2.2 浊流事件

长7浊流事件形成的浊积岩具有多期叠置特征,正递变层理反映悬浮搬运和递变沉积的特点,常见鲍马序列,底部可见清晰的底模构造,存在岩性突变面(杨仁超等,2017;庞军刚等,2012;刘璇等,2014,梁庆韶,2020)(图2d,e)。

2.2.3 火山事件

长7火山事件产生的火山灰随风力搬运产生分异现象,在靠近火山喷口位置,凝灰岩有较高的晶屑成分,其碎屑粒径也较大。根据微观特征,将长7凝灰岩划分为3类:晶屑凝灰岩、玻屑凝灰岩和尘灰凝灰岩(张文正等,2009)(图2f,g)。

2.2.4 缺氧事件

在长7期,构造运动使盆地发生剧烈拗陷,在湖盆底部发生地区性的大型内陆湖盆缺氧事件(杨华等,2016)。形成灰黑色泥岩、黑色油页岩、灰黑色粉砂质泥岩等,同时,在油页岩和泥岩中还发现有星散状黄铁矿细晶,在浊积岩中发现了菱铁矿结核

(图2h,i)。

2.3 长7沉积事件平面分布特征

在盆地内部,4种事件沉积类型具有不同的平面分布特征,反映了长7期的沉积背景和构造背景。震积岩的类型与地震烈度之间存在着一定的联系(Rodriguez-Pascua et al., 2000),盆地西南部至东北部的震积岩特征,反映地震强度的逐渐减弱;浊积岩主要发育在盆地东南部;凝灰岩厚度由盆地西南部向东北部逐渐变薄;富有机质泥页岩则主要分布于深湖—半深湖沉积环境(图3)。

3 长7沉积事件垂向序列

在长7油层组内,不同的事件沉积层类型代表了不同的地质事件,这些事件沉积层在垂向上相互叠置、相互影响。

3.1 野外露头剖面多种事件沉积垂向序列

在鄂尔多斯盆地周缘的长7野外露头剖面中,发育有多种事件沉积类型。在研究区西南部靠近秦

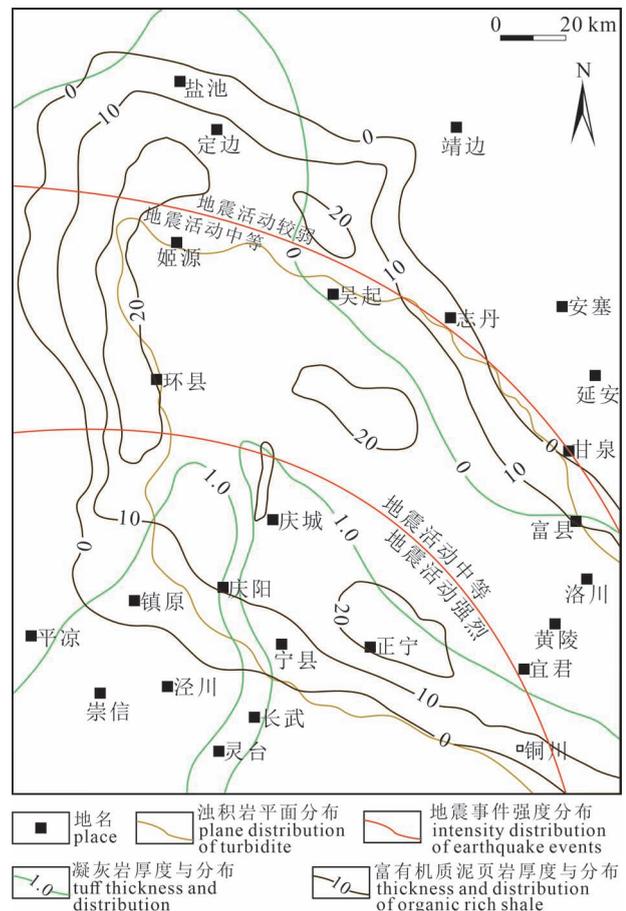


图3 长7油层组事件沉积平面分布特征

Fig. 3 Plane distribution characteristics of event sediments in Chang 7 oil member

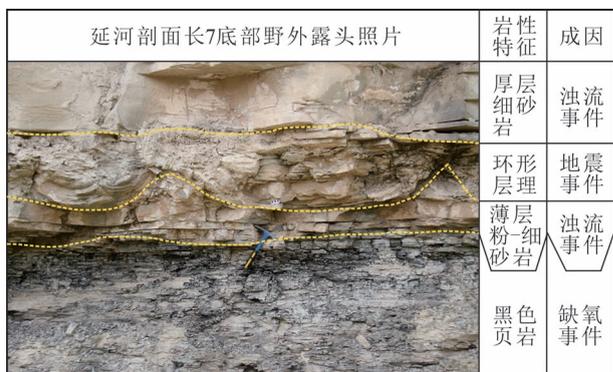


图4 延河剖面长7₃亚油层组多种事件沉积叠置关系

Fig. 4 Sedimentary superimposition of multiple events in Chang 7₃ of Yanhe section

岭的铜川瑶曲剖面和研究区东北部的延安延河剖面,事件沉积层表现出不同的叠置特征。

3.1.1 延安延河剖面

延安延河长7剖面位于在延安市延长县东约15 km的延河岸边(36°31'12.8"N, 110°10'38.0"E),长7底部标志层“张家滩页岩”在此命名。在“张家滩页岩”之上,发育了一套由浊流事件引发而形成的薄层粉—细砂岩浊积岩层,在其上部为一套由地震事件诱发所形成的“环形层理”震积岩层,顶部为厚层细砂岩的浊积岩层,这些事件沉积层共同构成了“黑色页岩—薄层粉细浊积砂岩—震积岩—厚层细粒浊积砂岩”的垂向叠置序列,反映了在长7早期,盆地内发育“缺氧事件—浊流事件—地震事件—浊流事件”的垂向序列(图4)。由于该剖面位于研究区的东北部,远离秦岭造山带,在野外剖面上的富有机质泥页岩层中少见火山事件形成的凝灰岩火山灰沉积,此外,据Rodríguez-Pascua等(2000)的研究成果,震积岩中的“环形层理”代表了较低的地震烈度(5级),说明延安延河剖面距离震中较远。

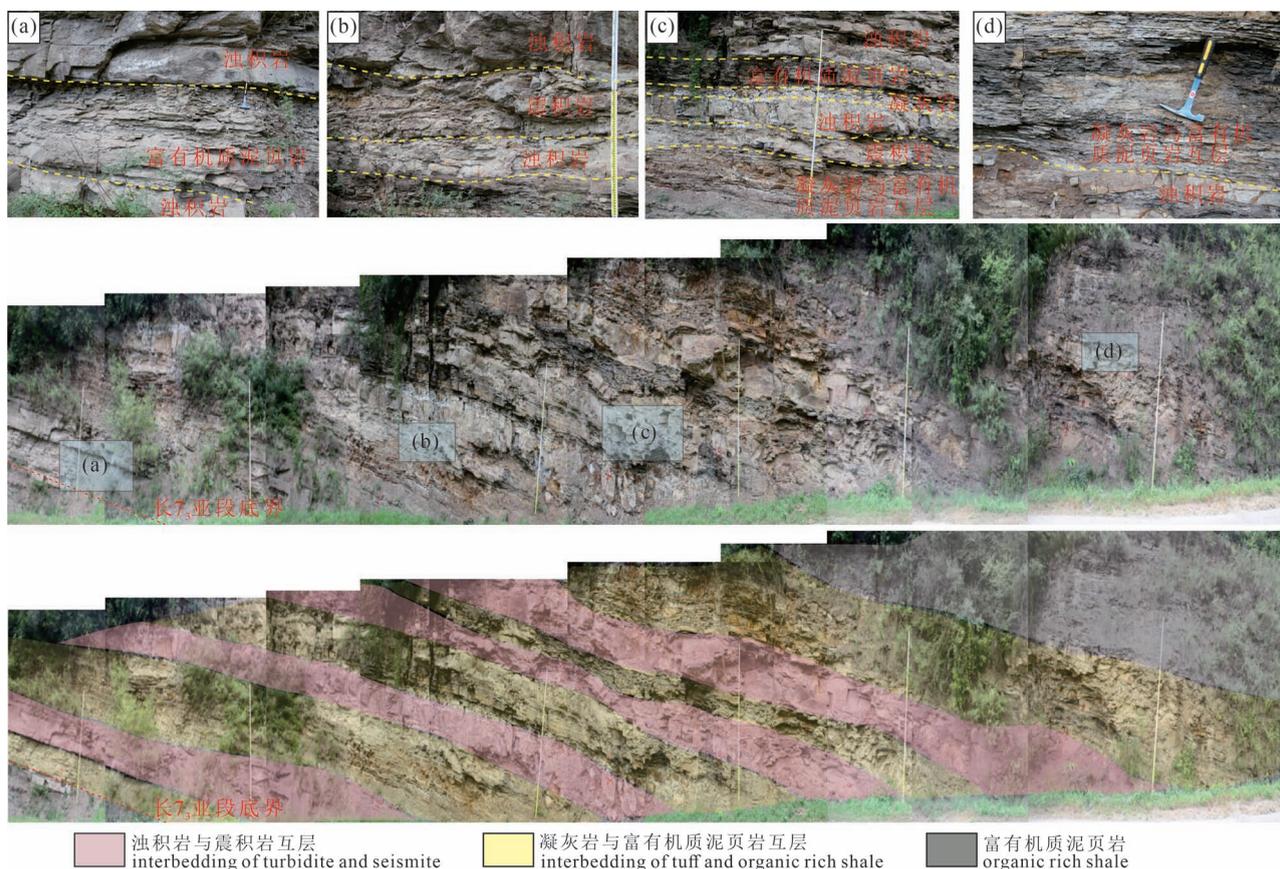


图5 鄂尔多斯盆地南部瑶曲剖面长7₃亚油层组多种事件沉积叠置关系:(a) 浊积岩夹富有机质泥页岩层;

(b) 浊积岩与震积岩互层;(c) 多事件成因类型沉积岩叠置关系;(d) 黑色页岩夹薄层凝灰岩

Fig. 5 Sedimentary superimposition of multiple events in Chang 7₃ of Yaoqu section, southern Ordos Basin: (a) Turbidite with rich organic shale; (b) Turbidite with seismite interbedding; (c) Superimposed relationship of sedimentary rocks of multi event genetic types; (d) Black shale with thin tuff

3.1.2 铜川瑶曲剖面

铜川瑶曲剖面位于陕西省铜川市耀州区的瑶曲镇,其中,长 7_3 亚油层组位于衣食村($35^{\circ}11'36.0''N, 108^{\circ}50'47.8''E$)、长 7_2 亚油层组位于背阴村($35^{\circ}11'31.5''N, 108^{\circ}52'50.3''E$)、长 7_1 亚油层组位于瑶曲村($35^{\circ}11'31.5''N, 108^{\circ}52'50.3''E$)。该剖面在长 7_3 底部的富有机质泥页岩层系中发育了多期由火山事件所形成的凝灰岩层,每期凝灰岩层都反映了一期火山事件,靠近凝灰岩层的泥页岩颜色越深,说明火山灰促进了富有机质泥页岩的形成。在铜川瑶曲长7剖面的底部共发现了五套代表较强烈火山事件所形成的凝灰岩层系,均与富有机质泥页岩互层发育,说明缺氧事件与火山事件的产生有紧密的联系;在凝灰岩层与薄层富有机质泥页岩发育层段的上部,通常发育有典型鲍马序列的浊积岩,说明在火山事件与缺氧事件发生的同时,也发生了浊流事件;同时,在浊积岩层中也发现了大量的软沉积变形构造,代表了同期所发生的地震事件。这些事件沉积层共同构成了“凝灰岩—富有机质泥页岩—鲍马序列浊积岩—震积岩”的垂向叠置序列,代表了“火山事件—缺氧事件—浊流事件—地震事件”的垂向序列(图5)。

瑶曲剖面的长 7_3 底部与延河剖面相比,可见大量的厚层、中层、薄层、以及纹层状凝灰岩层,且该剖面中发现的泄水构造、负载构造等软沉积变形构造类型,代表了该时期在该地区较强的地震烈度,说明该剖面更靠近火山口和震中,该时期的构造活动活跃带可能就存在于盆地西南缘。

3.1.3 事件沉积叠置关系

通过对铜川瑶曲长7剖面的详细观测,对其中发育的事件沉积层进行详细记录,建立了研究区4类事件沉积岩层的垂向发育序列(图6)。活跃的沉积事件贯穿了整个长7沉积期,在长 7_3 亚油层组,主要发育富有机质泥页岩和凝灰岩,说明该时期主要发生缺氧事件和火山事件;在长 7_2 和长 7_1 亚油层组,主要发育鲍马序列浊积砂体,说明该时期主要发生浊流事件;震积岩主要发育于长 7_3 亚油层组底部、长 7_2 和长 7_1 亚油层组每期浊流事件的底部,说明在火山事件发生的同时,也产生了地震事件,而地震事件还可能触发浊流事件。

3.2 钻井岩心多种事件沉积垂向序列

在鄂尔多斯盆地有多口贯穿延长组长7油层组的取心钻井,在钻井岩心上也可以观察到多种事件成因的沉积层垂向叠置的现象。

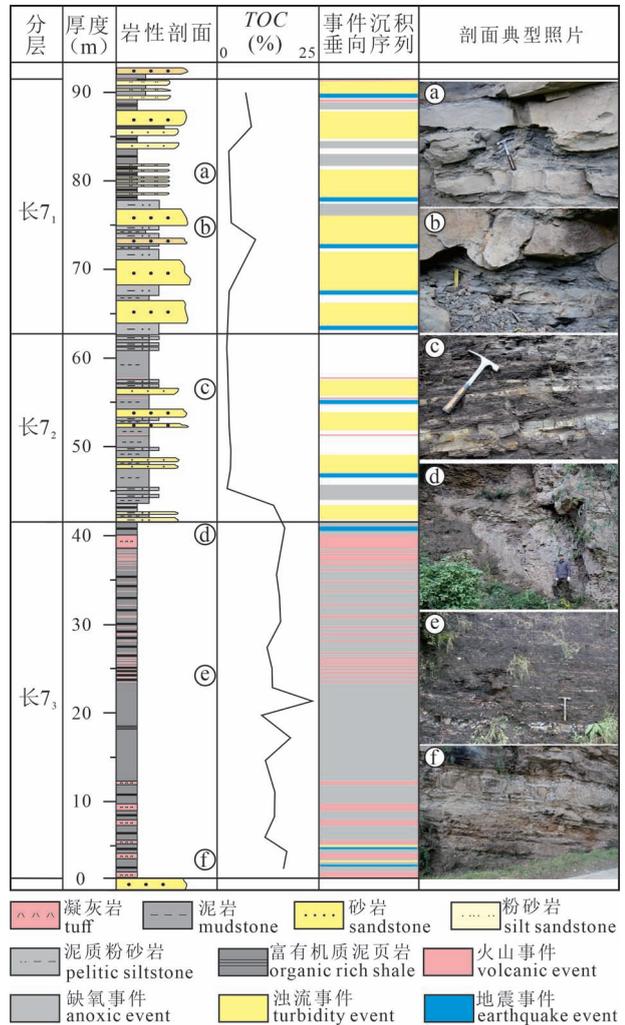


图6 鄂尔多斯盆地瑶曲长7剖面事件沉积垂向发育特征
Fig. 6 Vertical development characteristics of event deposits in Yaoqu Chang 7 section, Ordos Basin

3.2.1 宁33井事件沉积叠置关系

在宁33井中,发育有地震事件所形成的震积岩变形构造(图7a)、液化砂岩脉(图7e)、粉砂岩泥火焰构造(图7f);浊流事件形成的鲍马序列浊积岩(图7b)和底面槽模构造(图7c);缺氧事件形成的富有机质泥页岩(图7d)。这些事件沉积层在钻井岩心上表现为垂向叠置,构成“地震事件—缺氧事件—浊流事件—地震事件”的叠置关系(图7)。

3.2.2 里285井事件沉积叠置关系

在里285井中,发育有地震事件形成的砂泥互层泥火焰构造(图8a)、变形构造(图8b)、变形砂纹层理(图8c)、平卧褶皱(图8d)、波状起伏纹层(图8e),在砂纹变形层理中还含有凝灰岩夹层(图8e)。此外,在取心井段中还发育有浊流事件形成的浊积岩,显示出地震事件与浊流事件、火山事件相伴生的

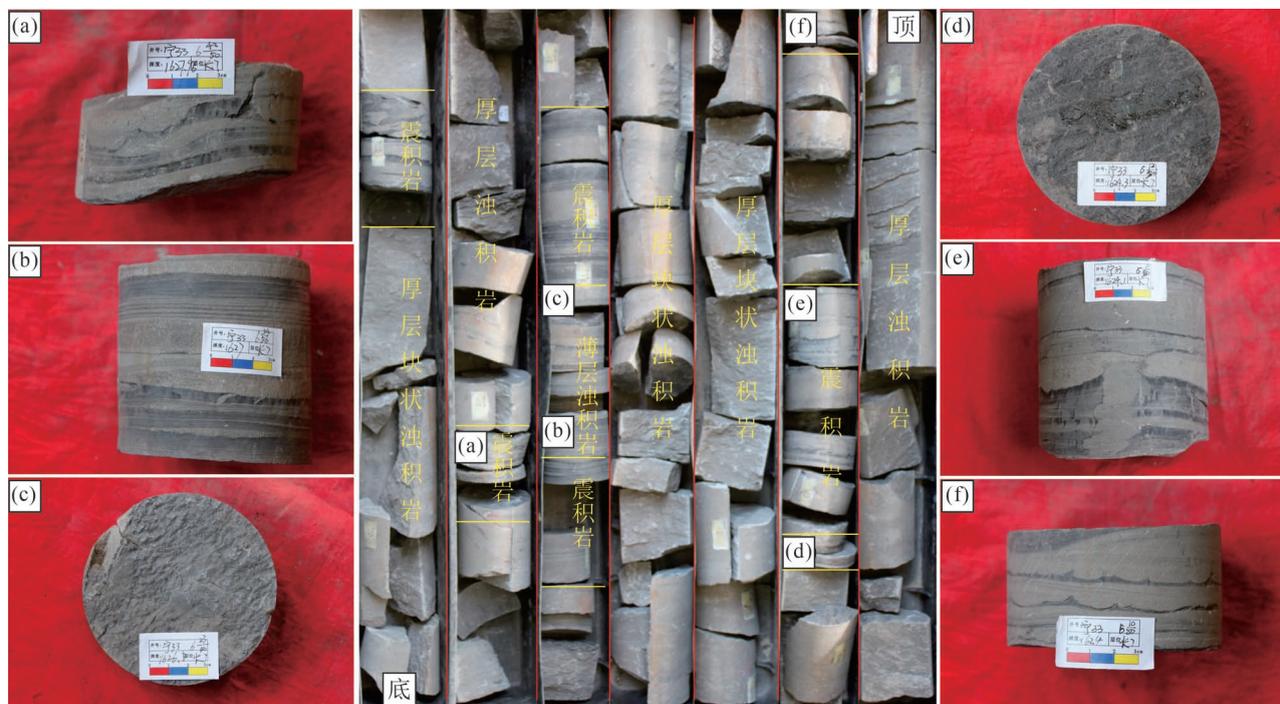


图7 宁33井长7事件沉积叠置特征

Fig. 7 Sedimentary superimposition characteristics of Chang 7 events in Well Ning 33

(a) 震积岩变形构造, 宁33井, 长7, 1627.96 m; (b) 浊积岩砂泥互层鲍马序列, 宁33井, 长7, 1627.00 m; (c) 浊积岩底部槽模构造, 宁33井, 长7, 1626.30 m; (d) 黑色页岩底部炭屑, 宁33井, 长7, 1624.30 m; (e) 液化砂岩脉, 宁33井, 长7, 1624.1 m; (f) 粉砂岩泥火焰构造, 宁33井, 长7, 1624.00 m

(a) Deformation structure of the seismite, Well Ning 33, Chang 7, 1627.96 m; (b) Bauma sequence in a sandstone mud interbedded turbidite, Well Ning33, Chang 7, 1627.00 m; (c) Trough structure at the bottom of turbidite, Well Ning 33, Chang 7, 1626.30 m; (d) Carbon chips at the bottom of black shale, Well Ning33, Chang 7, 1624.30 m; (e) Liquefying sandstone vein, Well Ning33, Chang 7, 1624.1 m; (f) Siltstone mud flame structure, Well Ning33, Chang 7, 1624.00 m

现象。这些事件沉积层呈现出垂向叠置的现象, 构成“浊流事件—火山事件—浊流事件—地震事件—浊流事件—缺氧事件”的垂向叠置关系(图8)。

3.3 连井剖面上长7多种事件沉积对比

在鄂尔多斯盆地长7野外剖面、钻井岩心事件沉积层叠置特征分析的基础上, 选取研究区北西—南东向的7口钻井及瑶曲长7剖面, 进行连井事件沉积层对比, 用来解析沉积事件的垂向发育序列和横向分布特征(图9)。

结合钻井岩心上震积岩的发育特征和类型, 由事件沉积垂向序列连井对比, 可以看出研究区内长7油层组受地震强度的影响由南西向北东逐渐递减, 且震积岩在平面上的分布范围也与研究区内长7沉积时期湖盆的深湖—半深湖范围一致(杨华等, 2010, 2016)。在长7₃沉积时期, 湖盆面积最大, 深湖—半深湖环境的碎屑物质供应量较少, 浊积岩零星分布在深湖地区; 在长7₂沉积时期, 随着湖平面

的降低, 深湖—半深湖区域面积减小, 陆源碎屑物质供给增加, 与长7₃亚油层组的浊积砂体相比, 单砂体规模相对增大, 但是在湖盆内分布范围减小; 在长7₁沉积时期, 湖平面持续降低, 陆源碎屑物质供给持续增加, 深湖—半深湖区域面积达到了整个长7沉积时期最小, 导致了长7₁浊积砂体呈现出大规模连片分布、分布范围较小的特征。在长7沉积时期, 火山事件形成的凝灰岩层在湖盆内分布面积较广, 单层厚度在研究区内由南西向北东减薄, 凝灰岩层在整个长7油层组均有发育, 可作为地层划分的标志层, 分布范围在长7₃最大, 长7₂、长7₁逐渐减小, 表明火山事件规模逐渐减小; 富有机质泥页岩主要发育在长7₃亚油层组, 且TOC的含量与凝灰岩层的距离密切相关, 距离越近则TOC越高, 泥页岩颜色越深, 在火山事件和缺氧事件的共同作用, 在鄂尔多斯盆地长7油层组底部发育盆地内广泛分布的“张家滩页岩”标志层(图9)。

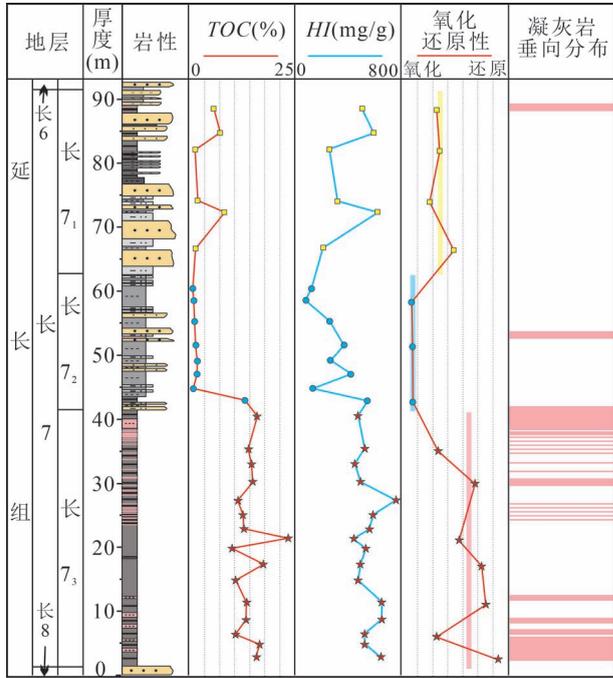


图10 火山事件凝灰岩与缺氧事件富含有机质泥页岩叠置关系,长7,瑶曲剖面(据梁庆韶,2020修改)

Fig. 10 Superimposition relationship between tuff formed by volcanic event and organic rich shale formed by anoxic event, Chang 7, Yaoqu Section (modified after Liang Qingshao, 2020)

4 讨论

4.1 火山事件与缺氧事件的关系

鄂尔多斯盆地长7油层组的沉积时期经历了245~220 Ma的华南板块与华北板块的主要碰撞时代(Li Shuguang et al., 1989; 刘贻灿等, 2000)和245~221 Ma的大别山超高压变质时代(Zhang Hongfei et al., 2001)。这两个主要的地质事件导致印支运动I幕时期的秦岭造山运动,使火山活动频发,湖盆也发生了沉降,湖盆水体变深。在西南古季风的影响下,研究区西南部强烈火山活动所产生的火山灰随风沉降到湖盆底部,形成凝灰岩层,因此,长7沉积期所形成的火山事件凝灰岩与湖盆底部缺氧事件富含有机质泥页岩的形成时间与平面分布范围相一致,具有良好的对应关系(刘群等, 2018; 袁伟等, 2019)(图3)。

从瑶曲长7野外剖面的泥页岩TOC纵向变化特征可以看出:长7₃亚油层组的富含有机质泥页岩TOC明显比长7₂、长7₁亚油层组高,且长7₃亚油层组凝灰岩也最为发育,说明该时期湖盆底部的缺氧

事件与同期发生的火山事件密切相关。通过对单井及野外剖面富有机质泥页岩TOC含量的分析,可以看出富有机质泥页岩层距凝灰岩层的距离越近,则TOC含量越高(图10)。

此外,正8井的有机地球化学测试结果显示(表2),长7纹层状凝灰岩中的有机质含量(TOC)较高且热解氢指数(HI)高于富有机质泥页岩,说明纹层状凝灰岩是由火山事件火山灰降落形成的,其中的有机质与泥页岩中有机质为同一来源。因此,长7沉积时期的火山活动导致了地质条件、气候条件发生改变,也改变了湖盆初级生产力和有机质的保存环境,是形成该时期富有机质泥页岩层段的主要原因(张文正等, 2009)。

4.2 地震事件与浊流事件的关系

浊流事件的形成一般需具备4个条件,分别是:足够的水深、充足的物源、足够的坡度角(3°~5°)、一定的触发因素(任战利等, 2014)。长7期处于印支运动I幕,受构造抬升作用影响,盆地周缘为湖盆提供了充足的物源供给,湖盆边缘的坡折带为浊流事件的发生提供了古斜坡背景(袁珍等, 2019)。此外,在长7浊积岩中,发现有大量与地震相关的原地软沉积变形构造类型,如液化砂岩脉等,是长7地震活动频发的有一个佐证(图11)。

长7沉积期,由于地震事件频繁发生,造成三角洲前缘砂体松散坍塌,坍塌砂体受重力作用形成浊积扇,发生浊流事件,形成浊积岩;由于地震活动的影响,未固结的沉积物质发生原地液化、流化、水塑性变形作用,形成震积岩;浊积岩和震积岩共同构成了长7浊流事件浊积岩和地震事件震积岩的叠置。

4.3 缺氧事件与浊流事件构成良好生储配置关系

在长7期,随着研究区西南缘构造抬升,带来了大量的碎屑物质,火山活动使火山灰落入湖盆水体,

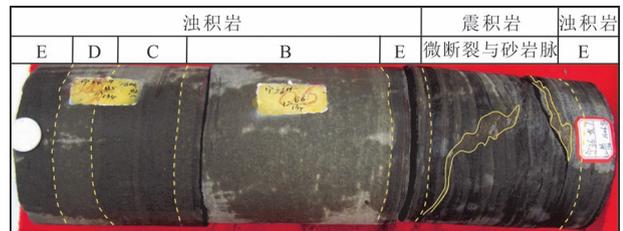


图11 浊流事件浊积岩与地震事件震积岩叠置关系,长7,1606.92 m,宁36井

Fig. 11 Superimposition relationship between turbidite formed by turbidite event and seismite formed by seismic event, Chang 7, 1606.92 m, Well Ning 36

表 2 长 7 富有机质泥页岩与其中的纹层状凝灰岩有机地球化学参数

Table 2 Organic geochemical parameters for Chang 7 shale and laminated tuff interlayer

样品	TOC(%) 范围值 均值	S ₁ (mg/g) 范围值 均值	S ₂ (mg/g) 范围值 均值	HI(mg/g) 范围值 均值	数据来源
长 7 富有机质 泥页岩	24.29~31.92 27.13	8.06~10.38 8.84	80.73~122.34 100.92	332.36~395.71 370.45	长 7 油层组,正 8 井, 张文正等,2009
长 7 纹层状 凝灰岩	5.02~8.21 6.38	4.59~9.68 6.41	24.34~33.48 28.16	407.8~484.86 447.67	

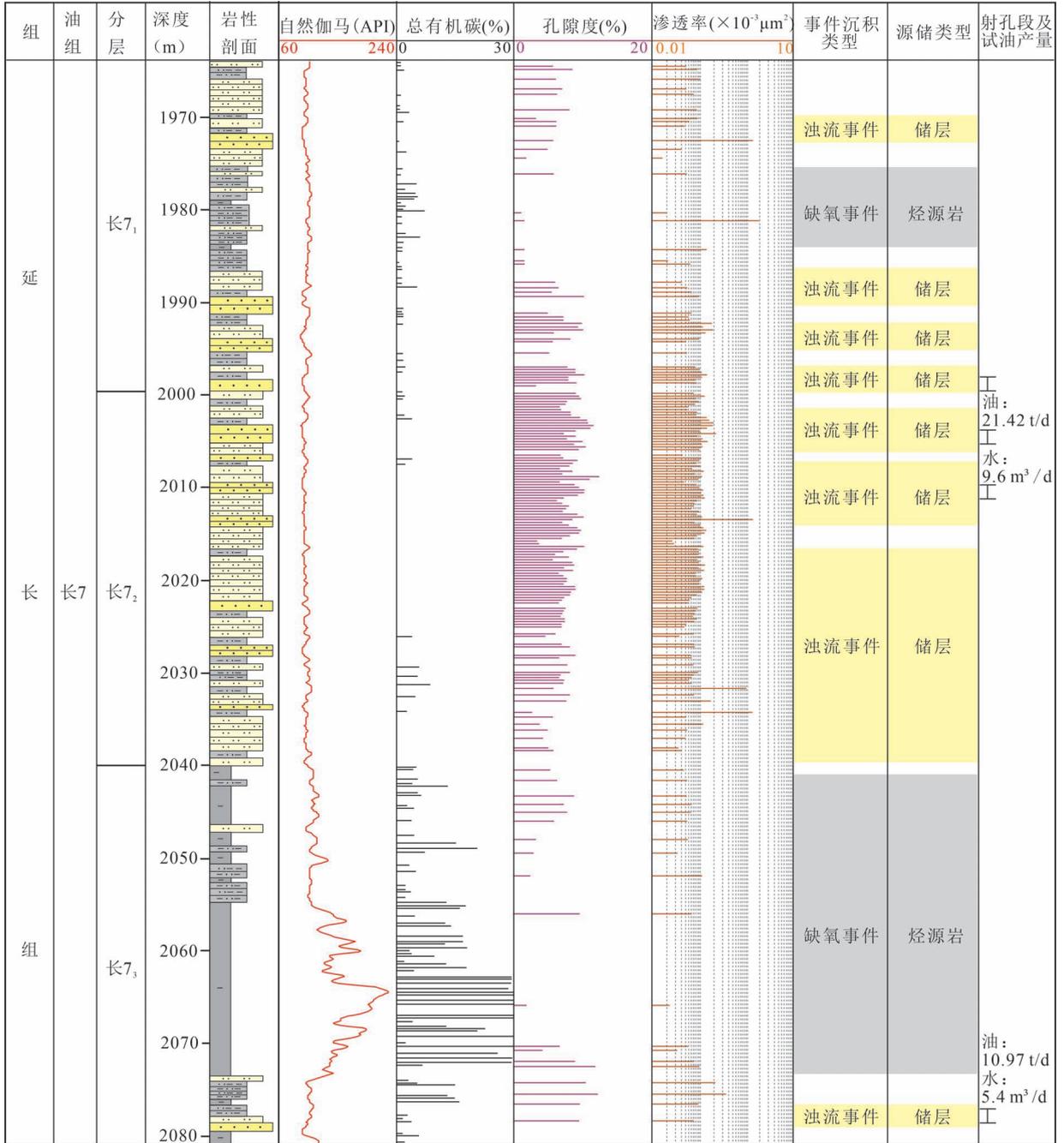


图 12 缺氧事件富有机质泥页岩与浊流事件浊积岩构成“下生上储”配置关系,长 7,城 96 井

Fig. 12 Organic rich shale formed by anoxic event and turbidite formed by turbidite event constitute the configuration relationship of “Lower source rock and Upper reservoir”, Chang 7, Well Cheng 96

为水体提供了大量营养物质,加上当时温暖湿润的气候特征,造成湖盆表层浮游生物勃发,为盆地内有机质的富集提供了基础(张文正等,2009,2010)。而长7期较深的水体环境,也在湖盆底部的深湖—半深湖地区形成了大型内陆湖盆缺氧事件(付金华等,2018)。长7期有利的地质条件、温度条件、生物条件和长7₃沉积期较深的水深导致湖盆底部缺氧,为有机质的保存创造了条件,形成了研究区中生界最重要的烃源岩层系——张家滩页岩(杨华等,2016)。

作用下,火山灰沉入湖底形成凝灰岩层,导致凝灰岩在平面上呈现出由南西向北东厚度逐渐减薄的特征;同时,构造运动也导致了地震的发生,产生的地震波使湖盆内饱含水分的砂泥互层产生塑性变形、流化变形、液化变形作用,形成震积岩(乔秀夫等,2007;Montenat et al.,2007);地震产生的震动,又为湖盆内浊流的产生提供了驱动力,促使浊流事件的发生(Shanmugam,2000);伴随着地震振动、火山喷发、湖盆沉降,在长7期的湖盆底部,由于水深较深,导致水体循环不畅,由于火山灰沉入水体,使湖盆内

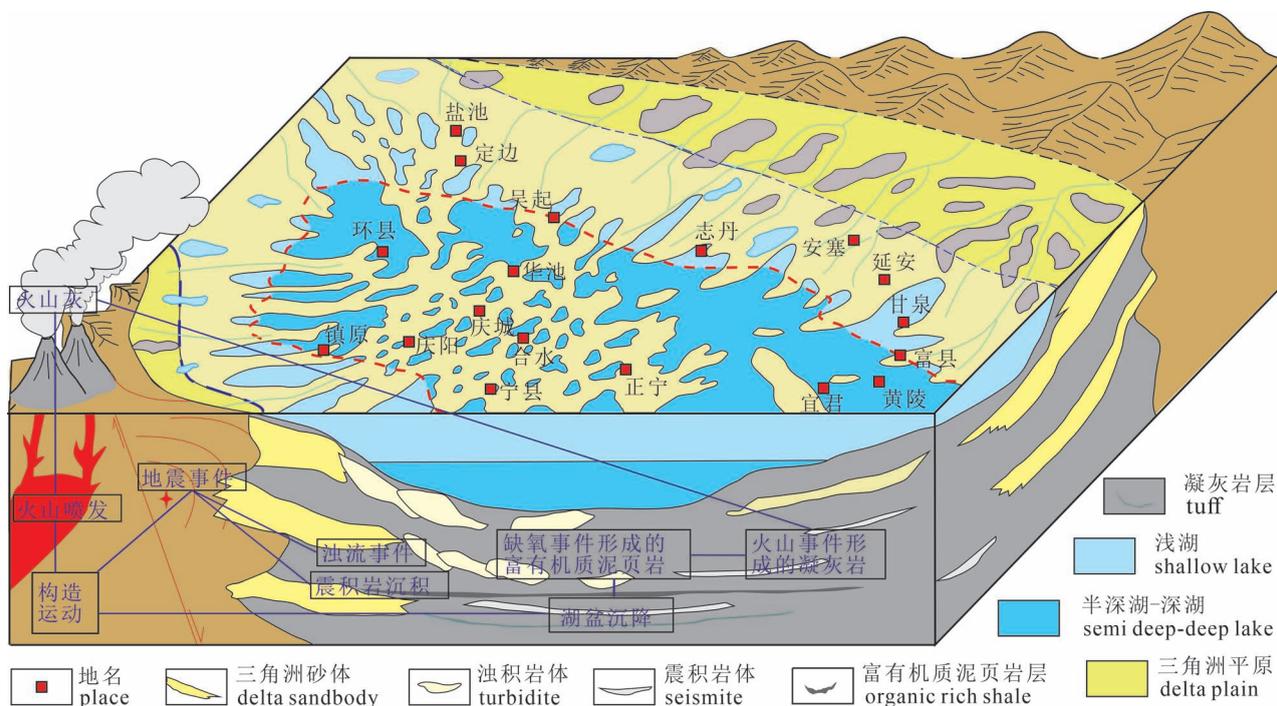


图 13 长 7 事件沉积模式图

Fig. 13 Sedimentary model of Chang 7 events

在长7₂、长7₁沉积期,研究区内主要发育浊流事件,浊流事件所形成的浊积岩形成了良好的致密油储层(李相博等,2010;杨华等,2016)。因此,长7₃亚油层组缺氧事件形成的“张家滩页岩”与长7₂、长7₁亚油层组浊流事件形成的大规模浊积砂岩储层,共同形成了长7致密油良好的“下生上储”配置关系(图12)。

4.4 事件沉积模式

延长组长7沉积期发生的沉积事件主要受中—晚三叠世印支I幕秦岭造山运动的控制,华南板块与华北板块发生碰撞,导致秦岭造山带发生火山喷发事件,火山口喷发出的火山灰受西南古季风的影响(Carroll et al.,2010),向北东方向搬运,在重力

水体透光性变差、氧气含量变低,导致了湖盆底部形成缺氧环境,利于有机质的保存并形成了富有机质泥页岩(张文正等,2009,2010)。湖盆沉降为事件沉积层的保存提供了条件,在构造活动、物源供给和古气候联合控制下,形成了长7事件沉积层垂向上相互叠置、平面上呈相带分布的特征(图13)。

5 结论

(1)通过对鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7油层组的野外剖面 and 钻井岩心进行详细解析,表明在长7期,盆地主要发生地震事件、浊流事件、火山事件和缺氧事件,物质表现分别为震积岩、浊积岩、凝灰岩和富有机质泥页岩;这些事件沉积响应整体呈

现出由盆地西南部向东北部逐渐减弱的趋势,表明长7期的秦岭造山活动主要发生在盆地西南部。

(2)在盆地周缘长7野外剖面和内部钻井岩心上,可观察到多种不同地质事件沉积叠置类型,构成“地震事件—缺氧事件—浊流事件”、“火山事件—浊流事件—地震事件缺氧事件”等叠置现象;结合连井剖面上长7多种事件沉积对比,震积岩主要分布在深湖—半深湖环境,浊积岩在长7₁期连片分布、范围较小,凝灰岩层在湖盆内分布面积较广,在火山事件和缺氧事件共同作用下,盆地内广泛分布“张家滩页岩”。

(3)长7多种事件沉积的沉积序列受构造运动的控制,秦岭隆升引起湖盆沉降,为事件沉积层的保存提供条件;火山灰沉降形成凝灰岩层,为缺氧环境的产生创造条件;地震事件形成震积岩,也是浊流事件的主要触发机制;火山事件和缺氧事件主要发育在长7₃亚段,浊流事件主要发育在长7₁亚段,地震事件在整个长7油层组均有发育,富有机质泥页岩和浊积岩构成了良好的“下生上储”配置关系。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈安清, 陈洪德, 侯明才, 楼章华, 徐胜林, 李洁, 苏中堂. 2011. 鄂尔多斯盆地中一晚三叠世事件沉积对印支运动 I 幕的指示. 地质学报, 85 (10): 1681~1690.
- 付金华, 李士祥, 徐黎明, 牛小兵. 2018. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7段古沉积环境恢复及意义. 石油勘探与开发, 45(6): 936~946.
- 付金华, 李士祥, 牛小兵, 邓秀芹, 周新平. 2020. 鄂尔多斯盆地三叠系长7段页岩油地质特征与勘探实践. 石油勘探与开发, 47(5): 870~883.
- 傅强, 李璟, 邓秀琴, 赵世杰, 庞锦莲, 孟鹏飞. 2019. 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. 岩性油气藏, 31(1): 20~29.
- 傅强, 李益. 2006. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长8—长7油层组高分辨率层序地层格架及其地质意义. 现代地质, 4: 579~584.
- 李凤杰, 王多云, 张庆龙, 徐旭辉. 2006. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组沉积相特征与层序地层分析. 沉积学报, 4: 549~554.
- 李洁, 陈洪德, 林彪彪, 赵俊兴, 陈安清, 朱志军, 彭传利, 张成弓, 陈彦庆. 2010. 鄂尔多斯盆地东南部延长组古地震效应及其地质启示. 地质论评, 56(4): 480~489.
- 李树同, 王多云, 陶辉飞, 王彬, 何善斌, 栾琴, 朱晓燕. 2009. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组湖水分布特征及演化规律. 沉积学报, 27(1): 41~47.
- 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 肖丽, 王若谷. 2009. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积体系及岩相古地理演化. 西北大学学报(自然科学版), 39(3): 501~506.
- 李相博, 刘化清, 陈启林, 完颜容, 魏立花, 冯明, 廖建波, 马玉虎. 2010. 大型坳陷湖盆沉积坡折带特征及其对砂体与油气的控制

- 作用——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例. 沉积学报, 28(4): 717~729.
- 梁庆韶. 2020. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7事件沉积特征及其耦合关系. 导师: 田景春. 成都: 成都理工大学博士学位论文: 1~145.
- 刘群, 袁选俊, 林森虎, 郭浩, 成大伟. 2018. 湖相泥岩、页岩的沉积环境和特征对比——以鄂尔多斯盆地延长组7段为例. 石油与天然气地质, 39(3): 531~540.
- 刘贻灿, 李曙光, 徐树桐, 李惠民, 江来利, 陈冠宝, 吴维平, 苏文. 2000. 大别山北部榴辉岩和英云闪长质片麻岩锆石 U—Pb 年龄及多期变质增生. 高校地质学报, 6(3): 417~423.
- 刘璇, 桂小军, 丁晓琪, 张哨楠. 2014. 鄂尔多斯盆地南部晚三叠世事件沉积—秦岭造山耦合分析. 东北石油大学学报, 38(4): 59~66+9.
- 吕奇奇, 罗顺社, 李梦杰, 官玉龙, 张建坤. 2020. 深水碎屑流与浊流混合事件层沉积特征及分布——以鄂尔多斯盆地西南长7油层组为例. 东北石油大学学报, 44(2): 69~78.
- 庞军刚, 国吉安, 宋立军, 李文厚. 2012. 鄂尔多斯盆地延长组坳陷湖盆事件沉积记录. 沉积与特提斯地质, 32(1): 32~37.
- 乔秀夫, 李海兵, 苏德辰. 2007. 软沉积物变形构造—地震与古地震记录. 北京: 地质出版社: 1~263.
- 乔秀夫, 姜枚, 李海兵, 郭宪璞, 苏德辰, 许乐红. 2016. 龙门山中—新生界软沉积物变形及构造演化. 地学前缘, 23(6): 80~106.
- 任战利, 李文厚, 梁宇, 吴晓青, 于强, 任龙, 王维. 2014. 鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素. 石油与天然气地质, 35(2): 190~198.
- 沈树忠, 张华. 2017. 什么引起五次生物大灭绝? 科学通报, 62(11): 1119~1135.
- 孙宁亮, 钟建华, 王书宝, 刘绍光, 倪良田, 曲俊利, 郝冰, 刘闯. 2017. 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. 古地学期刊, 19(2): 299~314.
- 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 席胜利. 2004. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化. 古地学期刊, 6(3): 307~315.
- 吴晓娟, 秦四清, 薛雷, 张珂, 陈斌然, 翟梦阳. 2021. 孕震构造块体与相应地震区划分方法. 地质论评, 67(2): 325~338.
- 夏青松, 田景春. 2007. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组震积岩的发现及地质意义. 沉积学报, 25(2): 246~252.
- 熊林芳, 刘池阳, 邱欣卫, 杜芳鹏. 2015. 鄂尔多斯盆地晚三叠世构造活动及对优质烃源岩发育的影响. 地质科技情报, 34(2): 109~114.
- 杨华, 牛小兵, 徐黎明, 冯胜斌, 尤源, 梁晓伟, 王芳, 张丹丹. 2016. 鄂尔多斯盆地三叠系长7段页岩油勘探潜力. 石油勘探与开发, 43(4): 511~520.
- 杨华, 窦伟坦, 刘显阳, 张才利. 2010. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7沉积相分析. 沉积学报, 28(2): 254~263.
- 杨华, 邓秀芹. 2013. 构造事件对鄂尔多斯盆地延长组深水砂岩沉积的影响. 石油勘探与开发, 40(5): 513~520.
- 杨仁超, 尹伟, 樊爱萍, 韩作振, van Loon A J. 2017. 鄂尔多斯盆地南部三叠系延长组湖相重力流沉积细粒岩及其油气地质意义. 古地学期刊, 19(5): 791~806.
- 杨田, 操应长, 田景春, 牛小兵, 李士祥, 周新平, 金杰华, 张倚安. 2021. 陆相湖盆深水重力流混合事件层沉积及沉积学意义. 地质学报, 95(12): 3842~3857.
- 袁伟, 柳广弟, 徐黎明, 牛小兵. 2019. 鄂尔多斯盆地延长组7段有机质富集主控因素. 石油与天然气地质, 40(2): 326~334.
- 袁伟, 柳广弟, 袁红旗. 2022. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长7富有机质页岩中藻类化石的发现及地质意义. 地质论评, 68(3): 2022062024.

- 袁珍,李文厚,杨喜彦,张倩. 2019. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组事件沉积及其地质意义. 西北大学学报(自然科学版), 49(3): 406~416.
- 张文正,杨华,彭平安,杨奕华,张辉,石小虎. 2009. 晚三叠世火山活动对鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩发育的影响. 地球化学, 38(6): 573~582.
- 张文正,杨华,解丽琴,杨奕华. 2010. 湖底热水活动及其对优质烃源岩发育的影响——以鄂尔多斯盆地长7烃源岩为例. 石油勘探与开发, 37(4): 424~429.
- 张晓辉,冯顺彦,梁晓伟,冯胜斌,毛振华,任继胜,陈韶华. 2020. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组长7段沉积微相及沉积演化特征. 地质学报, 94(3): 957~967.
- 赵俊兴,陈洪德,付锁堂,李凤杰,陈义才,罗媛. 2008. 鄂尔多斯盆地南部延长组中几个重要事件沉积及其油气聚集关系. 矿物岩石, 28(3): 90~95.
- 朱如凯,崔景伟,罗忠,李森,毛治国,蕙克来,苏玲. 2021. 鄂尔多斯盆地中上三叠统延长组长7段碳酸盐结核成因讨论. 地质学报, 95(11): 3442~3454.
- Carroll A R, Gtaham S A, Smith M E. 2010. Walled sedimentary basins of China. *Basin Research*, 22: 17~32.
- Chen Anqing, Chen Hongde, Hou Mingcai, Lou Zhanghua, Xu Shenglin, Li Jie, Shu Zhongtang. 2011. The Middle—Late Triassic event sediments in Ordos Basin; Indicators for episode I of the Indosinian Movement. *Acta Geologica Sinica*, 85(10): 1681~1690.
- Fu Jinhua, Li Shixiang, Niu Xiaobing, Deng Xiuqin, Zhou Xinping. 2020. Geological characteristics and exploration of shale oil in Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 47(5): 870~883.
- Fu Jinhua, Li Shixiang, Xu Liming, Niu Xiaobing. 2018. Paleo-sedimentary environmental restoration and its significance of Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 45(6): 936~946.
- Fu Qiang, Li Yi. 2006. The high-resolution sequence stratigraphy framework and its geological significance of Triassic Yanchang Formation Ch8—Ch7, Ordos Basin. *Geoscience*, 20(4): 579~584.
- Hacker R B, Ratschbacher L, Webb L. 1998. U—Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 161: 215~230.
- Li Fengjie, Wang Duoyun, Zhang Qinglong, Xu Xuhui. 2006. Sedimentary facies characteristic and sequence stratigraphy analysis of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(4): 549~554.
- Li Jie, Chen Hongde, Lin Liangbiao, Zhao Junxing, Chen Anqing, Zhu Zhijun, Peng Chuanli, Zhang Chenggong, Chen Yanqing. 2010. Effect of ancient earthquake and its geological significance of Upper Triassic Yanchang Formation in southeast Ordos Basin. *Geological Review*, 56(4): 480~489.
- Li Shuguang, Hart S R, Zheng Shuanggen, Liu Deliang, Zhang Guowei, Guo Anlin. 1989. Timing of collision between the North and South China blocks: Sm—Nd isotopic age evidence. *Science in China (Series D)*, 32: 1391~1400.
- Li Shutong, Wang Duoyun, Tao Xiaofei, Wang Bin, He Shanbin, Luan Qin, Zhu Xiaoyao. 2009. The lake distribution and evolution law of the Ordos Basin, in Triassic Yanchang Period. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(1): 41~47.
- Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, Xiao Li, Wang Ruogu. 2009. Depositional system and paleogeographic evolution of the late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 39(3): 501~506.
- Li Xiangbo, Liu Huaqing, Chen Qilin, Wangyan Rong, Wei Lihua, Feng Ming, Liao Jianbo, Ma Yuhu. 2010. Characteristics of slope break belt in large depression Lacustrine basin and its controlling effect on sandbody and petroleum: Taking the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin as an example. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(4): 717~729.
- Liang Qingshao. 2020. Characteristics of event deposition and coupling relationship in the Chang 7 oil member of Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin. Instructor; Tian Jingchun. Chengdu: Chengdu University of Technology for doctor degree, 1~145.
- Liu Qun, Yuan Xuanjun, Lin Senhu, Guo Hao, Cheng Dawei. 2018. Depositional environment and characteristic comparison between lacustrine mudstone and shale: A case study from the chang 7 Member of the Yanchang Formation, Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 39(3): 531~540.
- Liu Xuan, Gui Xiaojun, Ding Xiaoqi, Zhang Shaonan. 2014. Coupling research of event deposition and Qinling orogenesis of late Triassic, South Ordos basin. *Journal of Northeast Petroleum University*, 38(4): 59~66.
- Liu Yican, Li Shuguang, Xu Shutong, Li Huimin, Jiang Laili, Chen Guanbao, Wu Weiping, Su Wen. 2000. U—Pb zircon ages of the eclogite and tonalitic gneiss from the Northern Dabie Mountains, China and Multi-Overgrowths of metamorphic zircons. *Geological Journal of China Universities*, 6(3): 417~423.
- Lü Qiqi, Luo Shunshu, Li Mengjie, Guan Yulong, Zhang Jiankun. 2020. Sedimentary characteristics and distribution of deep-water hybrid event beds comprising debris and turbidites: a case study of Chang7 Oil Formation in the southwest of Ordos Basin. *Journal of Northeast Petroleum University*, 44(2): 69~78.
- Montenat C, Barrier P, d'Estevou P O, Hibsich C. 2007. Seismites: An attempt at critical analysis and classification. *Sedimentary Geology*, 196: 5~30.
- Pang Jungang, Guo Ji'an, Song Lijun, Li Wenhou. 2012. The event deposits from the Yanchangian lacustrine basin in the Ordos Basin. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(1): 32~37.
- Qiao Xiufu, Li Haibing, Su Dechen. 2007. Soft Sediment Deformation Structures Earthquake and Ancient Earthquake Records. 1st ed. Beijing: Geological Publishing House: 1~263.
- Qiao Xiufu, Jiang Mei, Li Haibing, Guo Xianpu, Su Dechen, Xu Lehong. 2016. Soft sediment deformation structures and their implications for tectonic evolution from Mesozoic to Cenozoic in the Longmen Shan. *Earth Science Frontiers*, 23(6): 80~106.
- Ren Zhanli, Li Wenhou, Liang Yu, Wu Xiaoqing, Yu Qiang, Ren Long, Wang Wei. 2014. Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 35(2): 190~198.
- Regard V, Martinod J, Saillard M, Carretier S, Leannid L, Héral G, Audin L, Podoja K. 2021. Late Miocene—Quaternary forearc uplift in southern Peru: new insights from 10Be dates and rocky coastal sequences. *Journal of South American Earth Sciences*, 109: 103261.
- Rodríguez-Pascua M A, Calvo J P, Vicente G D, Gómez-Gras D. 2000. 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. *Sedimentary Geology*, 135: 117~135.
- Shanmugam, G. 2000. 50 years of the turbidite paradigm (1950s - 1990s): deep - water processes and facies models - a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 17 (2): 285~342.
- Shen Shuzhong, Zhang Hua. 2017&. What caused mass extinctions?. *Chinese Science Bulletin*, 62(11): 1119~1135.
- Sun Ningliang, Zhong Jianhua, Wang Shubao, Liu Shaoguang, Ni Liangtian, Qu Junli, Hao Bing, Liu Chuang. 2017&. Sedimentary characteristics and petroleum geologic significance of deep - water gravity flow of the Triassic Yanchang Formation in southern Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 19(2): 299~314.
- Tian Jingchun, Liang Qingshao, Wang Feng, Li Jian, Yu Wei, Chen Weizhen. 2022. 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. *Journal of Asian Earth Sciences*, 228: 105128.
- Wu Fuli, Li Wenhou, Li Yuhong, Xi Shengli. 2004&. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography*, 6(3): 307~315.
- Wu Xiaowa, Qin Siqing, Xue Lei, Zhang Ke, Chen Hongran, Zhai Mengyang. 2021&. Partition method of seismogenic tectonic block and its corresponding seismic zone. *Geological Review*, 67(2): 325~338.
- Xia Qingsong, Tian Jingchun. 2007&. Characteristics and geological significance of seismites of the Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(1): 246~252.
- Xiong Linfang, Liu Chiyang, Qiu Xinwei, Du Fangpeng. 2015&. Tectonic activity of Late Triassic in Ordos Basin and its effect on the formation of high quality source rocks. *Geological Science and Technology Information*, 34(2): 109~114.
- Yang Hua, Dou Weitan, Liu Xianyang, Zhang Caili. 2010&. Analysis on sedimentary facies of member 7 in Yanchang Formation of Triassic in Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(2): 254~263.
- Yang Hua, Deng Xiuqin. 2013&. Deposition of Yanchang Formation deep-water sandstone under the control of tectonic events, Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 40(5): 513~520.
- Yang Hua, Niu Xiaobing, Xu Liming, Feng Shengbin, You Yuan, Liang Xiaowei, Wang Fang, Zhang Dandan. 2016&. Exploration potential of shale oil in Chang 7 Member, Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 43(4): 511~520.
- Yang Renchao, Yin Wei, Fan Aiping, Han Zuozhen, van Loon A J. 2017&. Fine-grained, lacustrine gravity-flow deposits and their hydrocarbon significance in the Triassic Yanchang Formation in southern Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography*, 19(5): 791~806.
- Yang Tian, Cao Yingchang, Tian Jingchun, Niu Xiaobing, Li Shixiang, Zhou Xiping, Jin Jiehua, Zhang Yi'an. 2021&. Deposition of deep-water gravity-flow hybrid event beds in lacustrine basins and their sedimentological significance. *Acta Geologica Sinica*, 95(12): 3842~3857.
- Yuan Wei, Liu Guangdi, Xu Liming, Niu Xiaobing. 2019&. Main controlling factors for organic matter enrichment in Chang 7 member of the Yanchang Formation, Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 40(2): 326~334.
- Yuan Wei, Liu Guangdi, Yuan Hongqi. 2022&. Discovery of algal fossils in the Chang - 7 organic - rich shale of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin and its geological significance. *Geological Review*, 68(3): 2022062024.
- Yuan Zhen, Li Wenhou, Yang Xiyan, Zhang Qian. 2019&. Research on event deposits and its geologic significance of Yanchang Formation in Ordos Basin. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 49(3): 406~416.
- Zhang Hongfei, Zhong Zengqiu., Gao Shan, Zhang Benren, Li Huiming. 2021. U - Pb zircon age of the foliated garnet-bearing granites in western Dabie Mountains, Central China. *Chinese Science Bulletin*, 46 (19): 1657~1660.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Peng Ping'an, Yang Yihua, Zhang Hui, Shi Xiaohu. 2009&. The Influence of Late Triassic volcanism on the development of Chang 7 high grade hydrocarbon source rock in Ordos Basin. *Geochimica*, 38(6): 573~582.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Xie Liqin, Yang Yihua. 2010&. Lake-bottom hydrothermal activities and their influences on the high-quality source rock development; A case from Chang 7 source rocks in Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 37(4): 424~429.
- Zhang Xiaohui, Feng Shunyan, Liang Xiaowei, Feng Shengbin, Mao Zhenhua, Ren Jisheng, Chen Shaohua. 2020&. Sedimentary microfacies identification and inferred evolution of the Chang 7 Member of Yanchang Formation in the Longdong area, Ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 94(3): 957~967.
- Zhao Junxing, Chen Hongde, Fu Suotang, Li Fengjie, Chen Yicai, Luo Yuan. 2008&. Discussion on some important depositional events and their relationship with hydrocarbon accumulation of Yanchang Formation in south Ordos Basin. *Mineralogy and Petrology*, 28(3): 90~95.
- Zhu Rukai, Cui Jingwei, Luo Zhong, Li Sen, Mao Zhiguo, Xi Kelai, Su Ling. 2021&. A discussion on the genesis of carbonate concretions in the Chang 7 Member of the Middle - Upper Triassic Yanchang Formation of Ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 95 (11): 3442~3454.

Sedimentary sequence of geological events under the influence of tectonic activities

—A case from Chang 7 oil member of Yanchang Formation in Ordos Basin

LIANG Qingshao^{1,2)}, TIAN Jingchun^{1,2)}, WANG Feng^{1,2)}, MENG Hao³⁾, YU Wei^{1,2)}, LI Jian⁴⁾

1) *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059;*

2) *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059;*

3) *Development Division, Changqing Oilfield, PetroChina, Xi'an, 710000;*

4) *College of Geoscience, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059*

Objectives: In the Middle – Late Triassic, the first episode of Indosinian Orogeny led to the uplift of the Qinling Mountain. In the same period, earthquakes and volcanic activities occurred frequently. A large number of geological event sedimentary layers were preserved in the Ordos Basin. In order to understand the sedimentary sequence of geological events under the influence of tectonic activities, explore the coupling relationship of various geological events in the geological history, and understand the formation and evolution process of large depression lake basin from a new perspective.

Methods: Based on the Chang 7 oil member as the research object, and analyzes the sedimentary characteristics of seismites, turbidites, tuffs and organic rich shale corresponding to seismic events, turbidity events, volcanic events and anoxic events and studied their superimposed relationships.

Results: In the Chang-7 period, various event sedimentary sequences in the lake basin were controlled by the Qinling orogeny in the Middle – Late Triassic. The subsidence of the lake basin caused by tectonic activities provided conditions for the preservation of event sedimentary layers. Volcanic eruption volcanic ash formed tuffaceous strata, which created conditions for anoxic events in the lake basin. Seismic events formed seismites and led to turbidity current events.

Conclusions: The alternation of these geological events constitutes the result of the superposition of various event sedimentary layers in Chang 7 oil member.

Keywords: sedimentary event; sedimentary model; Chang 7 oil member; Ordos Basin

Acknowledgements: This work was supported by the National Research Council of Science and Technology Major Project of Ministry of Science and Technology of China (No. 2016ZX05046005-001)

First author: LIANG Qingshao, male, born in 1991, Ph. D., associate professor, mainly engaged in event sedimentology; Email: liangqingshao@foxmail.com, liangqs@cdut.edu.cn

Corresponding author: TIAN Jingchun, male, born in 1963, Ph. D., professor, doctor tutor, main engaged in sedimentary geology; Email: tjc@cdut.edu.cn

Manuscript received on: 2022-05-29; Accepted on: 2022-08-11; Network published on: 2022-08-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2022. 08. 151

Edited by: LIU Zhiqiang

