

文章编号: 1671-1505(2026)03-1037-18 DOI: 10.7605/gdxb.2026.045

鄂尔多斯盆地陇东地区延长组内部前积地层格架*

郭芪恒^{1,3} 徐振华^{2,3} 郭 雯¹ 高子杰^{2,3}
赵国玺¹ 刘海旭^{2,3} 刘明成^{2,3} 吴胜和^{2,3}

1 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710018

2 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

3 油气资源与工程全国重点实验室, 中国石油大学(北京), 北京 102249

摘要 鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩油资源具有巨大的开发潜力。目前, 湖盆中心区水平井多基于加积式地层格架设计, 砂体钻遇率低, 严重制约了页岩油的高效开发。以鄂尔多斯盆地陇东地区为例, 利用测井和地震资料重新厘定了进积式地层内部的划分方案, 建立了湖盆中心区统一的进积式等时地层格架。研究发现, 受印支期扬子—华北板块碰撞与卡尼期全球梅雨事件的综合影响, 延长组发育“加积—进积—加积”的三层结构样式。延长组原长 7—长 3₂ 地层内部可细分 16 个进积砂组, 向湖盆中心依次相向进积, 其中, 1—3 砂组呈低角度“S 型”前积充填, 4—6 砂组呈高角度“S 型”前积充填, 7—16 砂组为“斜交型”前积充填。研究成果将对湖盆中心区夹层型页岩油储集层的水平井部署与设计提供重要的地质支撑。

关键词 页岩层系 前积地层格架 地层充填样式 延长组 三叠系 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 郭芪恒, 男, 1994 年生, 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 工程师, 主要从事油气田开发地质研究。E-mail: guoqh_cq@petroChina.com.cn。

通讯作者简介 徐振华, 男, 1992 年生, 中国石油大学(北京)副教授、硕士生导师, 主要从事沉积数值模拟、储层表征与建模研究。E-mail: xuzhenhua@cup.edu.cn。

中图分类号: P539.2 文献标志码: A

Progradational stratigraphic framework within the Yanchang Formation
in Longdong area, Ordos BasinGUO Qiheng¹ XU Zhenhua^{2,3} GUO Wen¹ GAO Zijie^{2,3}
ZHAO Guoxi¹ LIU Haixu^{2,3} LIU Mingcheng^{2,3} WU Shenghe^{2,3}

1 Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China

2 College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

3 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

Abstract The Triassic Yanchang Formation shale oil resources in the Ordos Basin hold significant development potential. Currently, horizontal well designs in the central lacustrine basin, established on the aggradational stratigraphic framework, are plagued by low sandstone encounter rates, creating a

* 长庆油田重大科技专项“鄂尔多斯盆地页岩油渗流机理及有效开发关键技术”(编号: 2023DZZ04) 资助。[Financilly supported by the Changqing Oilfield Major Science and Technology Project: Percolation Mechanism of Shale Oil and Key Technologies for Effective Development in the Ordos Basin (No. 2023DZZ04)]

收稿日期: 2025-07-16 改回日期: 2025-09-14

critical bottleneck for efficient development of shale oil. Taking the Longdong area of the Ordos Basin as an example, the internal subdivision scheme of the progradational strata was redefined using well logging and seismic data, establishing a unified isochronous progradational stratigraphic framework for the central lacustrine basin. Research has shown that under the combined influence of the collision between the Yangtze and North China blocks during the Indosinian Orogeny and the Carnian Pluvial Episode, the Yanchang Formation exhibits a three-layer architectural style characterized by aggradation-progradation-aggradation stratigraphic architecture. The original Chang 7 to Chang 3₂ members can be subdivided into 16 progradational sand groups, which prograde sequentially toward the central lacustrine basin. Among these, groups 1-3 exhibit sigmoid progradational filling patterns with low angle, groups 4-6 exhibit sigmoid progradational filling patterns with high angle, while groups 7-16 exhibit oblique-tangential progradational filling patterns. These research findings will provide crucial geological support for the deployment and design of horizontal wells in interbedded shale oil reservoirs in the central lacustrine basin area.

Key words shale strata sequence, progradational stratigraphic framework, stratigraphic filling patterns, Yanchang Formation, Triassic, Ordos Basin

About the first author GUO Qiheng, born in 1994, is an engineer at Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing. He is mainly engaged in petroleum development geology. E-mail: guoqh_cq@petroChina.com.cn.

About the corresponding author XU Zhenhua, born in 1991, is an associate professor and master's supervisor of China University of Petroleum (Beijing). He is mainly engaged in sedimentary process simulation, reservoir characterization and modelling. E-mail: xuzhenhua@cup.edu.cn.

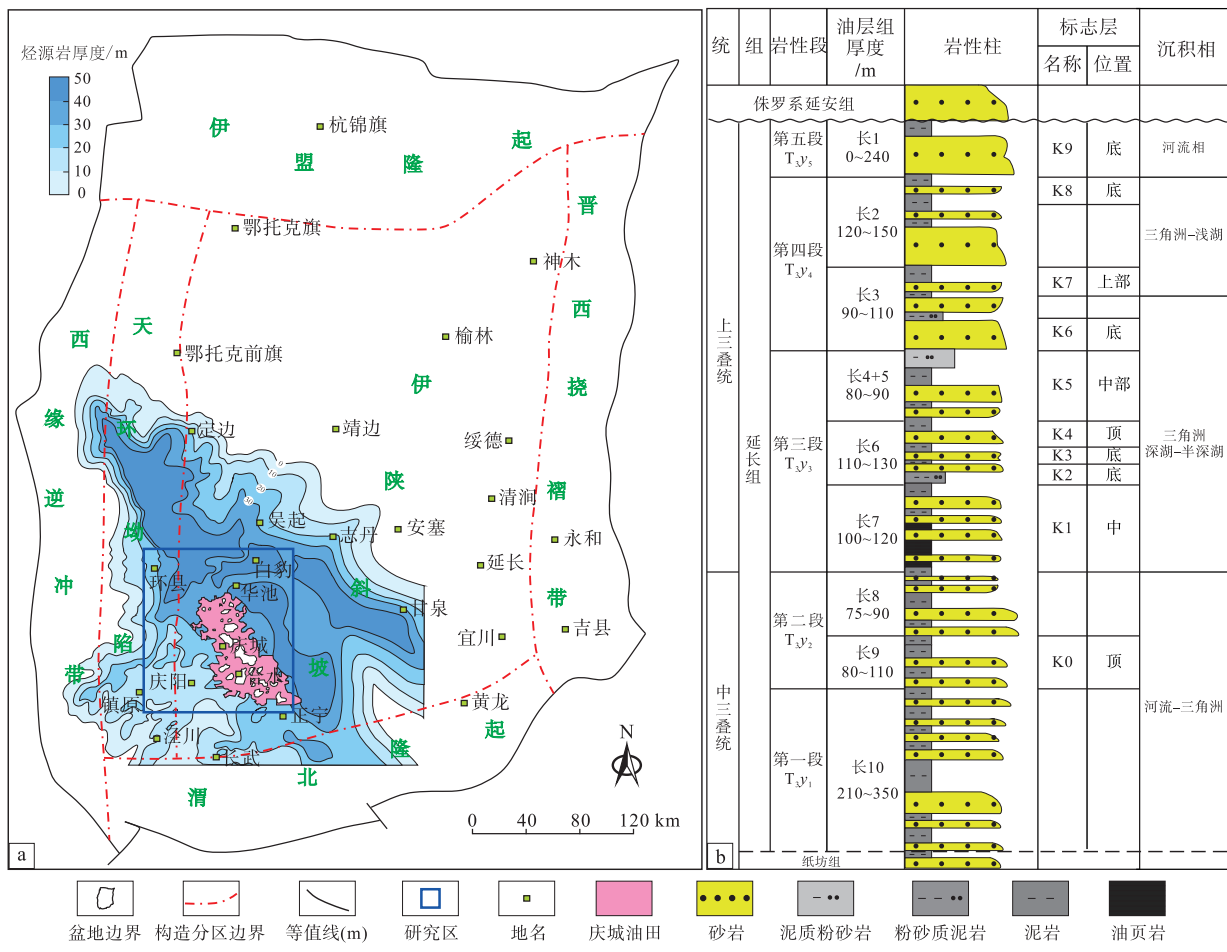
0 引言

鄂尔多斯盆地是中国最大的陆相中生代含油气盆地之一, 油气资源丰富(赵文智等, 2003; 王庭斌, 2005; 任纪舜等, 2006; 李玉喜等, 2009), 三叠系延长组是其主要的产油层系(刘友民和孔志平, 1984; 胡文瑞和何自新, 2001; 胡文瑞和翟光明, 2010; 付金华等, 2020; 付锁堂等, 2021)。随着近些年非常规油气理论体系及非常规油气藏开发技术的不断完善, 油田勘探开发的重心逐渐向非常规油气转移, 鄂尔多斯盆地已成为重要的页岩油勘探开发区(付金华等, 2023; 郭芪恒等, 2023; 赵文智等, 2023; 李潮流等, 2024)。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组自下而上可分为5个岩性段、10个油层组(从长1至长10)(卢一伦等, 1989; 杨俊杰等, 1992)。页岩油主要发育于延长组中部第三岩性段(长7油层组)页岩层系(付金华, 2020; 付锁堂, 2021)。长期以来, 地层对比主要基于钻井资料, 这套页岩层系内部的地层结构被认为是加积式(杨俊杰等, 1992; 倪新锋等, 2007; 郭彦如等, 2008; 刘自亮等, 2013), 地层对比基本为“平对”。按照这一地层

格架进行的页岩油勘探开发虽然取得了较大的进展, 但是出现了水平井油层钻遇率及产能差异大的问题, 从而影响了页岩油勘探开发效果(薛婷等, 2021; 惠潇等, 2024)。近年来, 有学者基于局部地区(如庆城北地区)的三维地震资料对延长组第三岩性段进行了地层结构分析, 认为该段地层为进积地层, 并建立了相应的等时地层格架(李一凡等, 2024; 刘明成等, 2024), 然而, 已有的研究范围仅涉及到深水湖盆的局部, 未能反映整个深水湖盆内的进积地层结构(如北东物源形成的进积地层)及地层充填特征, 不利于指导页岩油勘探开发的总体设计。

陇东地区处于鄂尔多斯盆地三叠系延长组第三岩性段形成时期的深湖范围(图1-a)。近年来, 该区开展了7500 km²的三维地震测量, 为全区统一的等时地层格架的建立提供了重要的资料基础。为此, 基于三维地震资料及大量的钻井资料, 对陇东地区延长组第三岩性段内部进行地层对比, 明确地层结构样式, 重新厘定进积式地层内部的划分方案, 并阐明湖盆内部地层充填样式。这一研究不仅对于拗陷湖盆古地理学及沉积学的理论发展有一定



a—盆地构造单元分布及研究区地理位置（图中等值线为长 7 油层组烃源岩厚度等值线，据付锁堂等，2020）；b—延长组地层综合柱状图
图 1 鄂尔多斯盆地庆城油田位置与地层综合柱状图

Fig. 1 Location and comprehensive stratigraphic column of Qingcheng Oilfield in Ordos Basin

的促进作用，而且对页岩油气的勘探开发具有较大的指导作用。

1 研究区概况

鄂尔多斯盆地位于中国东部构造域与西部构造域的结合部位，是中国第二大沉积盆地，也是中国重要的含油气盆地（赵文智等，2003；王庭斌，2005；任纪舜等，2006；李玉喜等，2009）。盆地呈南北向延伸的矩形，内部可划分为北部伊盟隆起、西缘逆冲带、西部天环坳陷、南部渭北隆起、东部晋西挠褶带和中部伊陕斜坡 6 个一级构造单元（杨俊杰等，1992；赵红格，2003），盆地面积约为 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ （图 1-a）。研究区位于鄂尔多斯盆地陇东地区，位于伊陕斜坡西南部，面积约 $1.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

鄂尔多斯盆地发育自元古界长城系到新生界第

四系，其中三叠系延长组厚约 1000 m，底部与中三叠统纸坊组呈假整合接触，顶部受到不同程度的剥蚀，与下侏罗统延安组或富县组呈不整合接触（图 1-b）（卢一伦等，1989；杨俊杰等，1992）。在延长组内部可识别出 5 个岩性段和 10 个油层组（图 1-b）（卢一伦等，1989；杨俊杰等，1992）。自下而上，第一段（ T_3y_1 ）对应长 10 油层组，在孢粉组合上属于 *Todisporites-Cycloverrutriletes pres-selensis*（托第蕨孢属—瘤面三缝孢属）组合带，岩性主要为灰绿色厚层块状中、粗长石砂岩夹深灰色及暗紫色泥岩；第二段（ T_3y_2 ）对应长 8 和长 9 油层组，在孢粉组合上与第一段相似，岩性主要为深灰色、灰黑色泥岩与浅灰绿色、褐灰色中、细砂岩互层，在长 9 中上部发育一套黑色泥页岩，称“李家畔页岩”；第三段（ T_3y_3 ）对应长 4+5 至长 7 油层组，在孢粉组合上属于 *Duplexisporites-Chordas-*

porites (旋脊孢属—单脊双囊粉属) 组合带, 岩性主要为深灰色、灰黑色泥、页岩与灰色、灰绿色粉砂岩互层, 底部发育 1 套油页岩、泥岩夹薄层凝灰岩, 称“张家滩页岩”, 其中长 7 油层组为延长组页岩层系, 是主要的烃源岩层; 第四段 (T_{3y4}) 对应长 2 和长 3 油层组, 在孢粉组合上属于 *Kraeuselisporites-Protohaploxylinus* (稀饰环孢属—单束多肋粉属) 组合带, 岩性主要为灰绿色中、细砂岩夹灰色、深灰色泥岩、黑褐色碳质泥岩; 第五段 (T_{3y5}) 对应长 1 油层组, 在孢粉组合上相比其他岩性段, *Aratrisporites* (离层单缝孢) 占比变大, 在盆地东部露头的泥岩中可见介形虫、鱼类、节肢动物化石等, 岩性主要为深灰色泥、页岩夹煤层, 局部为厚层灰色粉—细砂岩(图 1-b) (卢一伦等, 1989; 杨俊杰等, 1992)。

鄂尔多斯盆地从早古生代到新生代总共经历了 4 个演化阶段: 早古生代早期 (加里东运动—海西运动早期) 的海相沉积阶段; 晚古生代—中三叠世 (海西运动中期—印支运动早期) 的海陆过渡相沉积阶段; 晚三叠世—早白垩世 (印支运动晚期—燕山运动中期) 的内陆拗陷湖盆沉积阶段; 新生代 (燕山运动晚期—喜山运动) 的陆相沉积阶段 (刘池洋等, 2006; 刘联群等, 2010; 邓秀芹等, 2013)。在中晚三叠世, 扬子板块向北俯冲引发秦岭造山带强烈隆升, 形成了东北缓、西南陡的差异地貌特征 (刘联群等, 2010; 邓秀芹等, 2013)。在延长组沉积时期, 气候温暖湿润, 湖盆持续扩张, 在长 8 末—长 7 早期湖盆范围达到鼎盛, 后续湖盆充填直至消亡 (杨俊杰等, 1992; 付金华等, 2005; 李凤杰等, 2006), 处于盆地深湖范围的陇东地区发育南西与北东 2 大物源供给下的大量深水重力流沉积 (武富礼等, 2004; 郭艳琴等, 2006; 李凤杰等, 2006; 付金华等, 2013; 林森虎等, 2017)。这些重力流砂体与盆地内部富有机质泥页岩交互发育, 形成了自生自储的成藏组合, 具有巨大的勘探开发潜力 (贾承造等, 2012; 邹才能等, 2013; 杨华等, 2017)。

2 资料和方法

2.1 研究资料

整个陇东地区资料丰富, 具有大量测井及地震

资料, 为后续建立陇东地区地层格架并明确湖盆中心区地层充填样式提供了资料基础。

1) 钻井资料。全区共有 4000 余口探评井 (预探井和评价井)、平均井距约为 2 km, 各井的自然伽马 (GR)、自然电位 (SP)、声波时差 (AC)、密度 (DEN)、电阻率 (RT) 等曲线齐全。

2) 地震资料。研究资料主要包括陇东地区最新采集处理的 7400 km² 的三维地震资料, 能够基本覆盖整个湖盆中心区 (图 2)。其中, 庆城地区三维地震延长组主频 35~40 Hz, 频宽 10~65 Hz; 其他地区三维地震延长组主频 30~35 Hz, 频宽 8~60 Hz (图 3)。二维地震资料累计长度约为 6800 km, 覆盖陇东全区, 在局部缺少三维地震资料的地区可利用二维地震开展研究 (图 2), 延长组主频 28~32 Hz。整体上, 目的层平均层速度 3600~3800 m/s, 地震垂向分辨率为 28~34 m, 地震反射同相轴较清晰、连续性较好。

2.2 研究方法

目前, 陇东地区延长组内部现有的加积式地层格架主要是依据测井资料建立的 (杨俊杰等, 1992; 倪新锋等, 2007; 郭彦如等, 2008; 刘自亮等, 2013), 而新采集的地震资料表明在研究区的页岩层系存在明显的前积现象与现有的地层格架不符 (李慧琼等, 2014; 冯雪等, 2021; 惠潇等, 2024; 李一凡等, 2024; 刘明成等, 2024)。因此, 需要利用陇东地区的高品质三维地震资料, 进行井震标定并明确全区地层结构样式, 重新厘定前积段内部地层划分方案, 对全区探平井开展地层对比工作, 从而重构延长组内部统一的等时地层格架。

2.2.1 井震标定

首先, 采用 180° 相位、35 Hz 主频的雷克子波制作合成地震记录 (图 4), 并对地震覆盖区域的 2000 余口探评井进行精细的井震标定。以环县地区 L344 井为例, 其合成地震记录与井旁地震道具有高度一致性, 标定效果较好 (图 4), 主要体现在以下 2 个方面: 长 7 底部的最大湖泛面“张家滩页岩” (标志层 K1), 全区稳定且厚度介于 5~25 m 之间, 由于上下岩性的明显差异顶底界面阻抗差异大 (图 4), 在地震上表现为极强振幅的波峰反射, 同相轴连续性极好, 为本次研究井震标定的重要识别界面; 研究区泥岩层段在测井曲线中表现为高伽

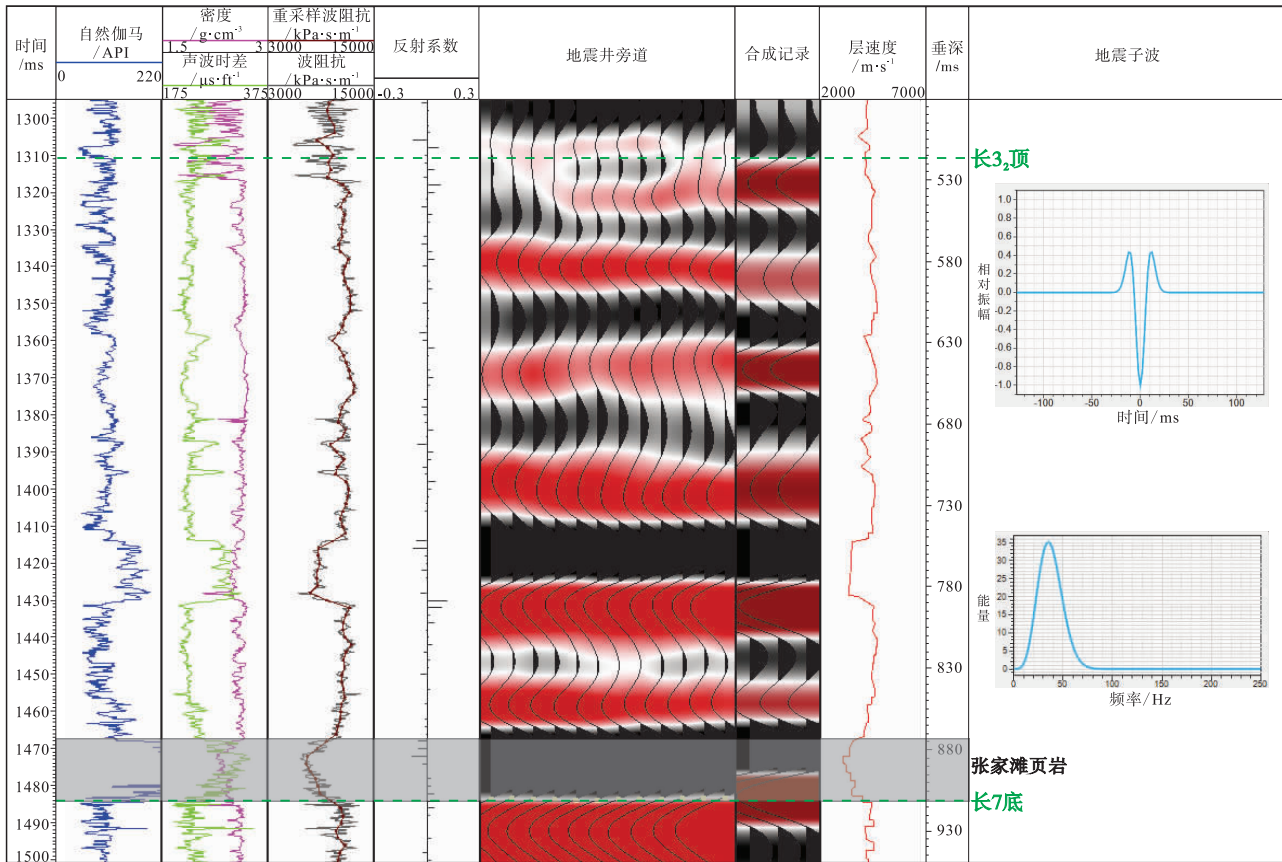


图 4 鄂尔多斯盆地陇东地区 L344 井地震合成记录

Fig. 4 Synthetic seismogram of Well L344 in Longdong area, Ordos Basin

分，从而确定延长组内部的地层划分方案。

2.2.3 等时地层格架的重构

最终，基于确定的地层划分方案，通过陇东地区 300 余条过井地震剖面，在井震协同约束下对全区 4000 余口探评井进行地层对比，重构并建立了湖盆中心区统一的地层格架，为明确湖盆中心区的地层充填样式打下基础。

3 前积地层格架特征

3.1 延长组地层结构样式

从贯穿全区的顺物源三维地震剖面与连井剖面(图 6)可以明显看出，延长组与下伏纸坊组呈平行不整合接触(SLSB1 界面)，与上覆侏罗系呈角度不整合接触(SLSB2 界面)。在延长组内部，自下而上表现为“加积—进积—加积”的 3 层地层结构样式，加积与进积地层在地震同相轴上表现出 2 类不同的反射结构(图 6)：长 10—长 8 和长 3₁—

长 1 地层段，地层结构样式为(近等厚)加积式，地震同相轴上表现为平行—亚平行状反射结构；在原 7—长 3₂ 地层段，地层结构样式为进积式，地震波峰同相轴(反映连续、稳定的泥岩层)呈明显的“S 型”和“斜交型”的前积反射结构，由南西、北东向湖盆中心(庆城、合水地区)相向倾斜，并具有明显的下超现象，该段地层发育于环县—庆城—合水以及白豹—华池地区。

延长组原长 7—长 3₂ 地层内部，垂向上地层的结构样式同样存在差别。自南西、北东两侧顺物源向湖盆中心，在垂向上地层开始呈“加积—弱进积近等厚”的特征；向湖盆方向过渡，地层的前积角度不断变大，呈“进积—不等厚”的特征；在同相轴相向交汇的湖盆中心附近，地层重新转变为加积的结构样式(图 6)。总体上，地层厚度顺物源方向自南西向北东，呈“薄—厚—薄—厚—薄”的变化趋势(图 6)，反映了自南西、北东向湖盆中心地层整体呈逐层依次进积的特征。

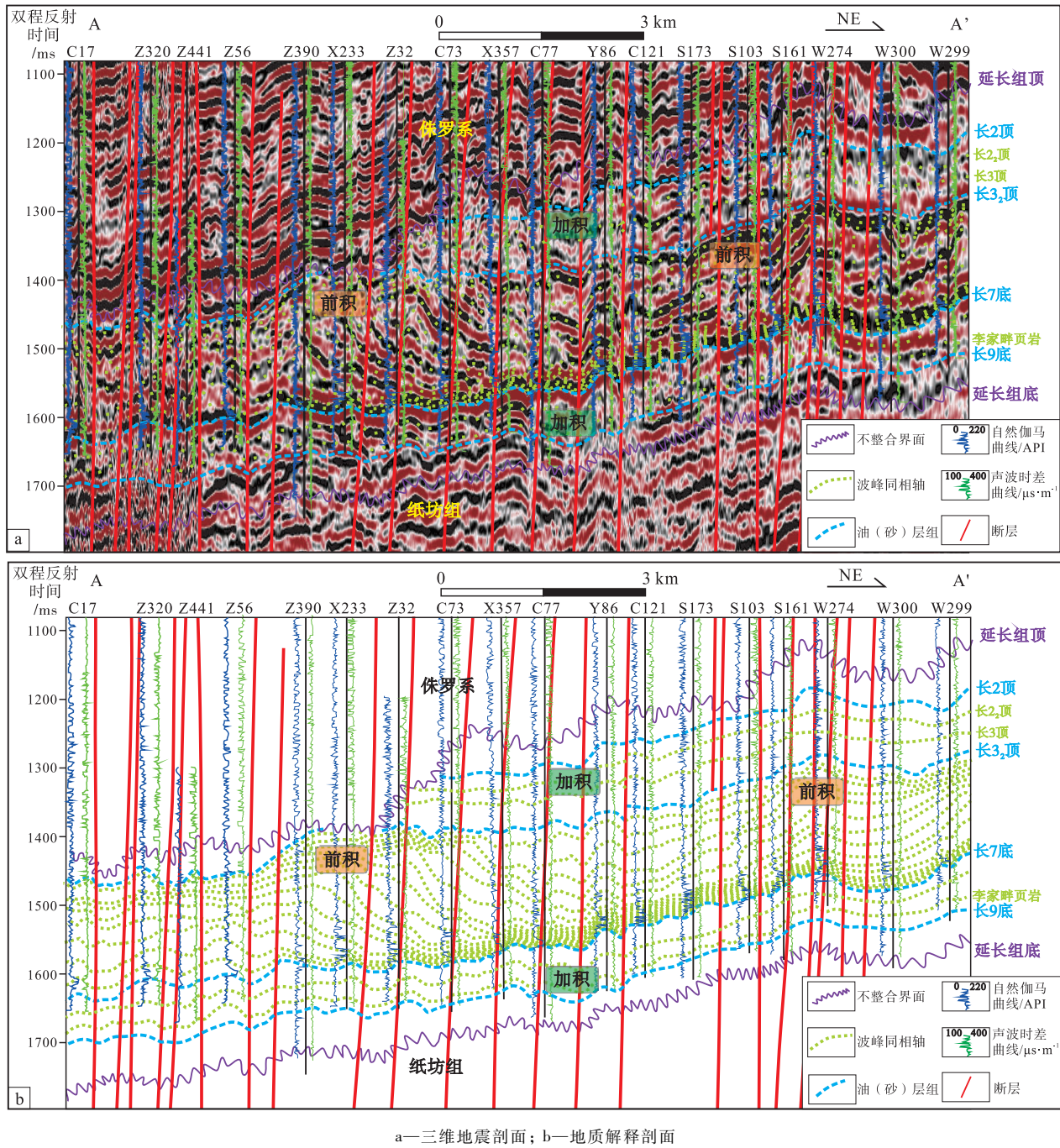


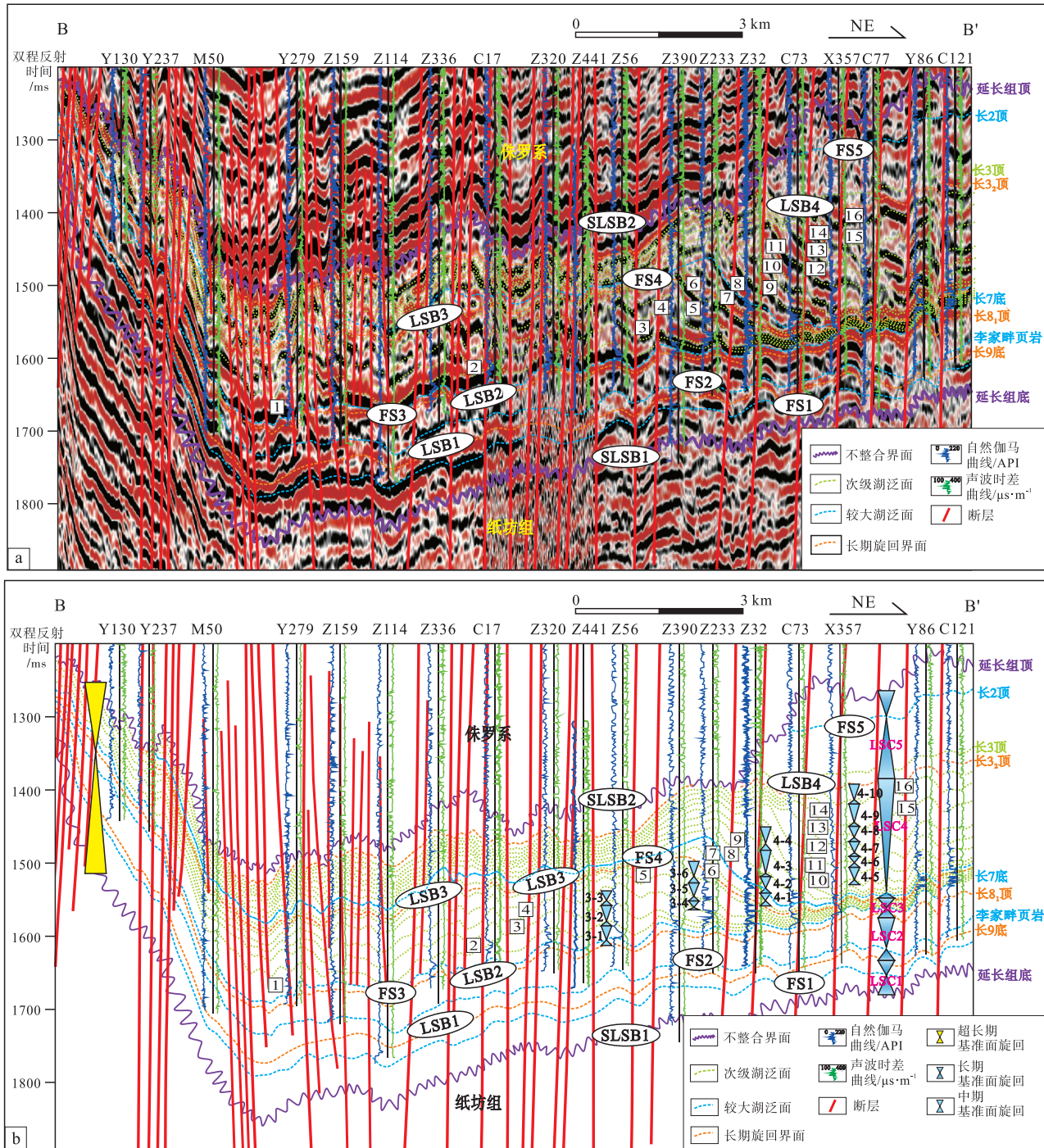
图 5 鄂尔多斯盆地陇东庆城—华池地区地震剖面 (剖面位置见图 2)

Fig. 5 Seismic profile in the Qingcheng-Huachi region of Longdong area, Ordos Basin (profile location is shown in Fig. 2)

3.2 前积段内部层序及地层划分方案

有学者研究认为, 延长组内部可划分为 5 个三级层序 (张凤奎等, 2008; 刘自亮等, 2013; 刘明成等, 2024)。作者沿用该观点并进一步分析, 发现在地震剖面中可识别出 5 个连续强振幅的波峰反射同相轴 (FS1~FS5) 对应高自然伽马的泥岩层,

其中 FS1 为长 10 油层组上部的初始湖泛面; FS2 为长 9 中部全区广泛分布的湖泛泥岩层, 即“李家畔页岩”; FS3 为前文述及的原长 7 底部“张家滩页岩”; FS4 为第三岩性段内部“S 型”和“斜交型”的前积地层之间的转换面, 为一个倾角较大的倾斜界面; FS5 为长 2 油层组顶面, 仅在靠近湖盆中心的地层剥蚀程度较弱的地区可见 (图 6)。与



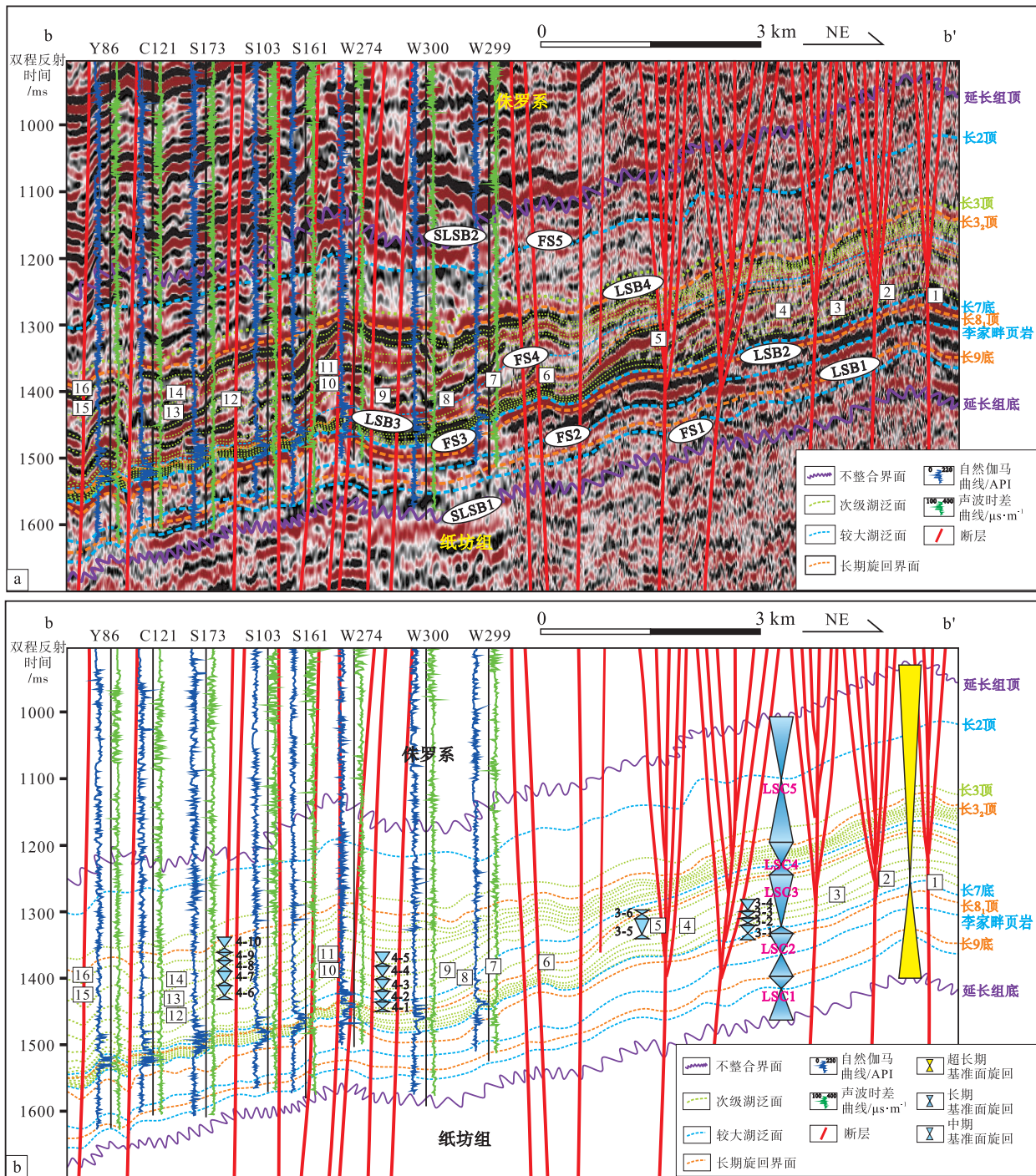
a—三维地震剖面；b—a图的地质解释。图中中期基准面旋回 MSC3-1~MSC4-10 的标注简化为 3-1~4-10

图 6 鄂尔多斯盆地湖盆中心区西南部层序地震解释（剖面位置见图 2）

Fig. 6 Seismic interpretation profile for the southwestern area of central lacustrine basin in the Ordos Basin (profile location is shown in Fig. 2)

5 个连续强振幅的波峰反射同相轴对应的 4 个连续强振幅的波谷反射同相轴 (LSB1~LSB4)，为基准面旋回之间的砂岩层，据此可将延长组内部细分为 5 个长期基准面旋回 (LSC1~LSC5)，对应 5 个三

级层序(图 6)。其中，LSC1、LSC2、LSC5 地层结构均呈加积式，而 LSC3 和 LSC4 为进积式(图 6；图 7)。在原长 7 段底部发育的“张家滩页岩”(FS3) 在研究区范围内广泛且稳定沉积，是整个



a—三维地震剖面；b—a 图的地质解释。图中中期基准面旋回 MSC3-1~MSC4-10 的标注简化为 3-1~4-10

图 7 鄂尔多斯盆地湖盆中心区东北部层序地震解释（剖面位置见图 2）

Fig. 7 Seismic interpretation profile for the northeastern area of central lacustrine basin in the Ordos Basin (profile location is shown in Fig. 2)

延长组内部的最大湖泛面；长 3₂ 顶 (LSB4) 为前积段与上覆加积段的分界面，即湖盆演化过程中关键的转换界面(图 6；图 7)。

在原长 7—长 3₂ 地层范围内，在南西部和北

东存在 1 条强波谷反射同相轴 (LSB3) 为 LSC3 与 LSC4 的界面，界面之下的地层 (LSC3) 为典型的“S 型”前积反射结构，前积层向湖盆中心相向缓倾，最终下超逐渐收敛至长 7 底部；界面之上的地

层 (LSC4) 为“斜交型”前积反射结构, 前积层向上厚度迅速减薄收敛至长₃顶面, 向下呈较高角度下超, 最终逐渐收敛至前积层与 LSB3 界面近平行(图 6)。

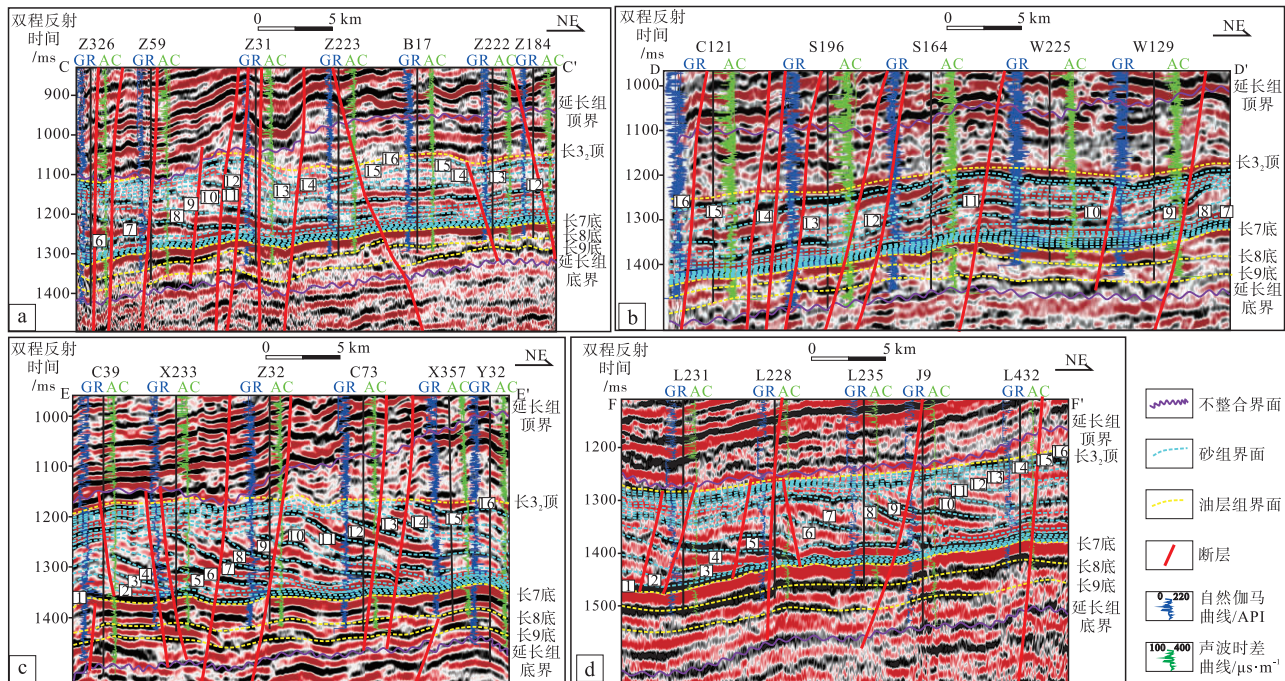
前文已述, 基于井震标定, 连续的强波峰反射同相轴, 反映了较稳定的高自然伽马湖泛泥岩层(图 4; 图 5)。在 LSC3 和 LSC4 长期基准面旋回内部, 依据地震中较为连续的强振幅波峰同相轴及测井曲线中的高 GR 段分别识别了 5 个和 9 个湖泛面(图 6 中绿色和蓝色虚线), 将 LSC3 内部分隔出 6 个中期基准面旋回 (MSC3-1 至 MSC3-6), 将 LSC4 内部分隔出 10 个中期基准面旋回 (MSC4-1 至 MSC4-10) (图 7)。每个中期基准面旋回对应一个砂组, 据此将延长组内部细分 1—16 砂组, 其中原长 7 底为 1 砂组底面, 原长₃顶为 16 砂组顶面, 内部 15 条地震波峰反射同相轴依次代表 1—15 砂组的顶面(图 6)。

3.3 地层充填特征

基于上述的层序地层划分方案, 延长组第三岩性段 (T₃y₃) 仍属于 2 个三级层序 (LSC3、LSC4), 但对内部的层序地层进行了调整, 其充填

样式由传统的逐层近等厚加积充填变为北东—南西向湖盆中心依次相向前积—不等厚充填(图 6; 图 7)。通过对陇东地区井震联合剖面(图 8) 及连井剖面(图 9) 中的定量参数统计分析, 发现整个陇东地区延长组第三岩性段不同沉积时期的地层充填特征存在差异: 1—3 砂组呈低角度“S 型”前积, 顶部加积层厚度与前积层厚度的比值大于 0.3 且前积倾角 (16 砂组顶拉平后目标层前积段底面与水平面的夹角) 小于 0.15°; 4—6 砂组转变为高角度“S 型”前积, 顶部加积层厚度与前积层厚度的比值大于 0.3 且前积倾角大于 0.15°; 最后 7—16 砂组转变为“斜交型”前积, 顶部加积层厚度与前积层厚度的比值小于 0.3, 前积倾角先变大后变小(图 8; 图 9)。不同区域, 地层前积倾角同样存在着差异: 陇东南部的合水地区(图 8-a) 以及北东部的南梁地区(图 8-b), 地层前积倾角较小, 低于西南部的庆城地区(图 8-c) 以及环县地区(图 8-d)。

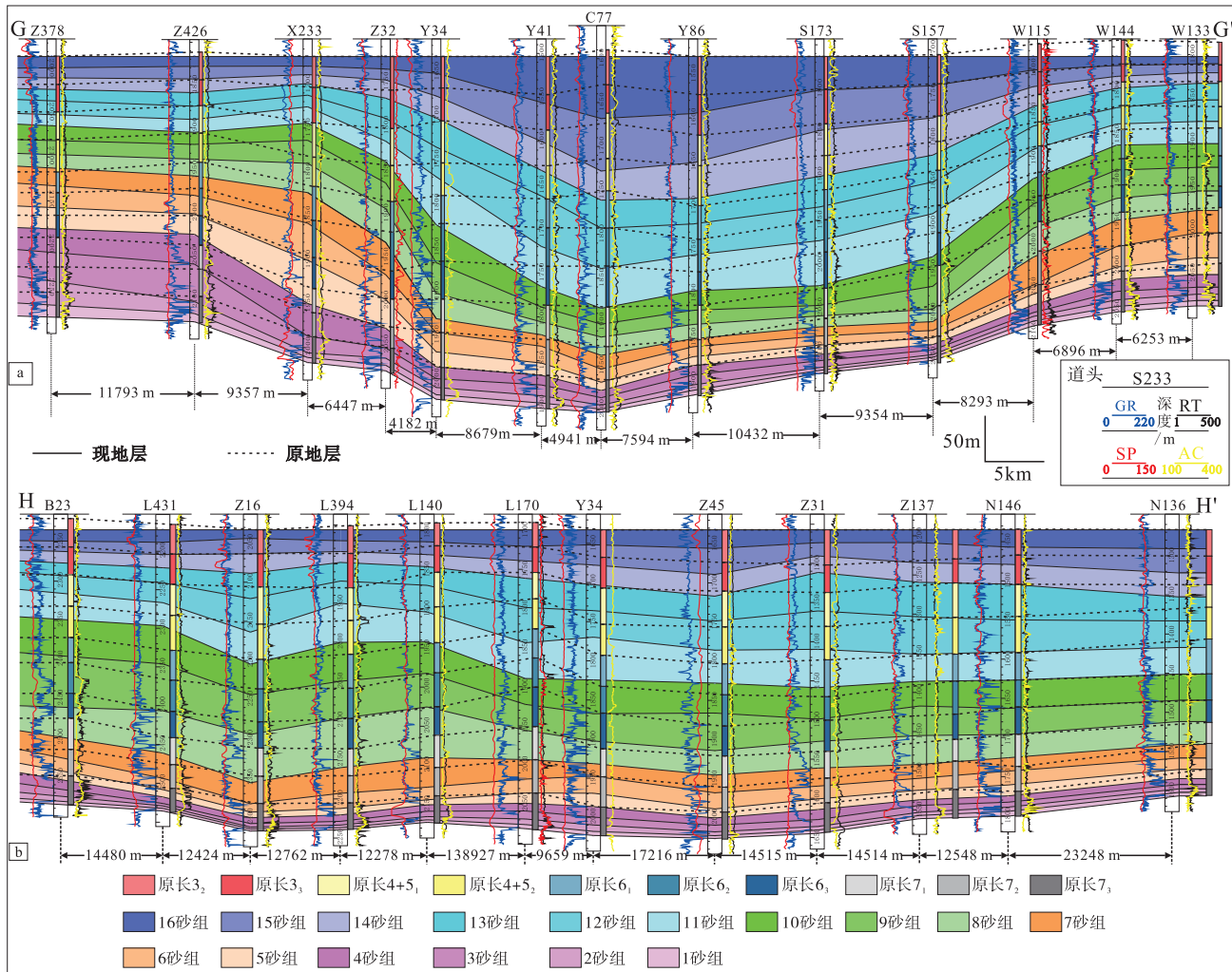
在顺物源方向的剖面中, 各砂组及小层呈现相向进积特征。陇东地区南西部, 顺源方向上 1—3 砂组地层厚度逐渐减小; 4—10 砂组地层厚度先增大后减小, 减薄趋势幅度逐渐减小(图 6; 图 7)。



a—陇东南部合水地区 (剖面位置见图 2 中 C-C'); b—陇东北部南梁 (剖面位置见图 2 中 D-D');
c—陇西南部庆城 (剖面位置见图 2 中 E-E'); d—陇西北部环县 (剖面位置见图 2 中 F-F')

图 8 鄂尔多斯盆地湖盆中心区不同位置的地震解释剖面

Fig. 8 Seismic interpretation profiles in different areas of central lacustrine basin in Ordos Basin



a—顺物源剖面（剖面位置见图 2 中 G-G'）；b—垂直物源剖面（剖面位置见图 2 中 H-H'）

图 9 鄂尔多斯盆地陇东地区地层对比井剖面图

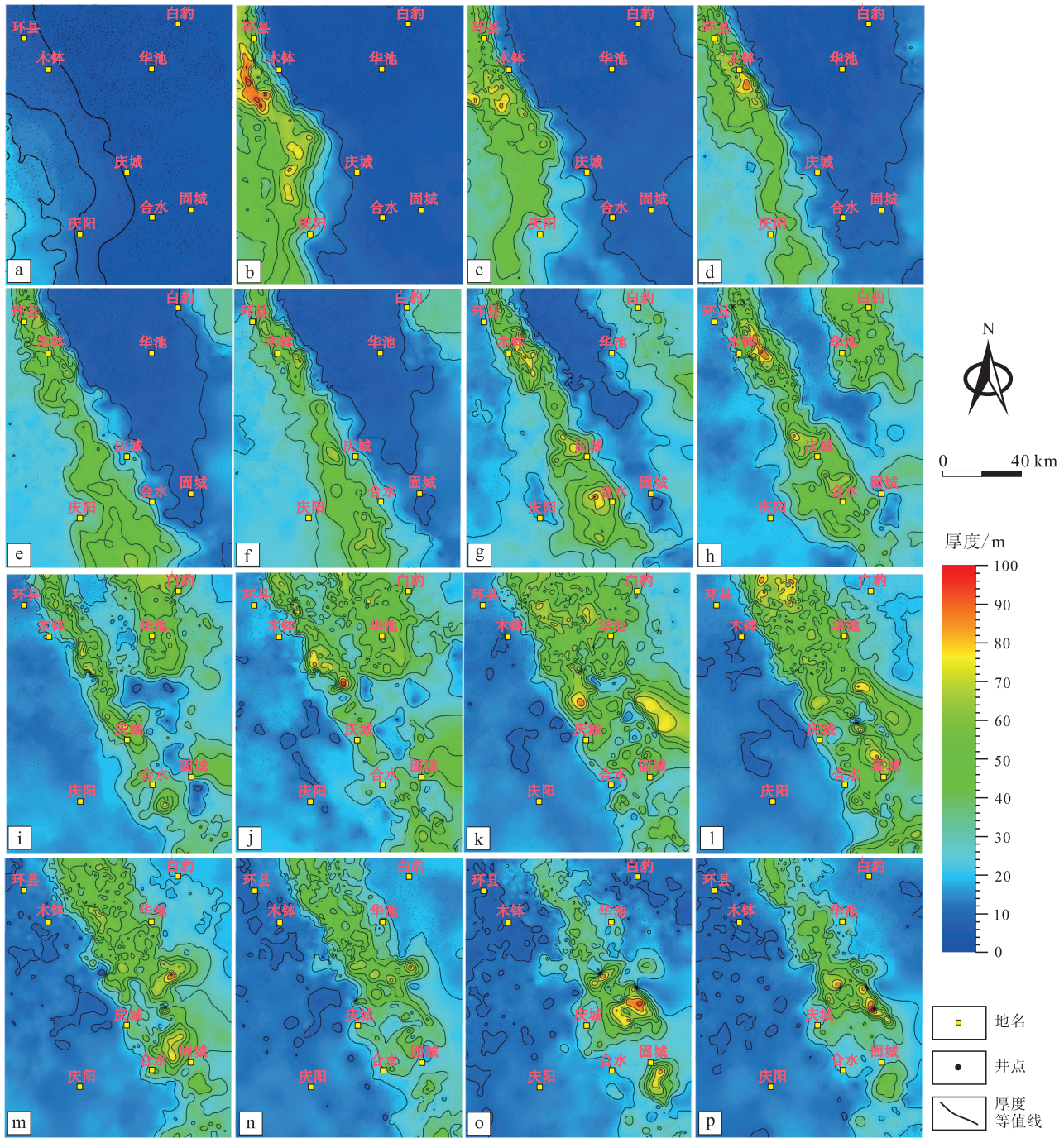
Fig. 9 Well sections of stratigraphic correlation of Longdong area in Ordos Basin

陇东地区北东部，1—3 砂组已下超，地层厚度较薄；顺源方向（南西向），4—6 砂组地层厚度逐渐减小；7—10 砂组地层厚度先增大后减小(图 6；图 7)。在整个陇东地区，11—16 砂组地层厚度均呈现由湖盆边缘向中心方向增大的趋势(图 9-a)。在垂直物源剖面中 16 个砂组的地层均呈近等厚横向延伸的特征(图 9-b)。

平面上，不同砂组的地层厚度存在明显的差异。其中，1 砂组仅分布在南西部，地层厚度由南西向北东逐渐减薄，可减薄至 3 m 以下(图 10-a)；2—6 砂组在平面上仅有 1 个厚度中心区，位于研究区南西部，而在北东部厚度整体较小(图 10-b 至 10-f)；7—10 砂组在平面上有 2 个厚度中心区，分别位于研究区南西部和北东部，南西部厚度中心

区宽度小于北东部，厚度中心区之间基本不相接(图 10-g, 10-h, 10-i)；11—16 砂组在平面上再次仅有 1 个厚度中心区，位于研究区中部，而在南西及北东两侧地层厚度较薄(图 10-m 至 10-p)。各砂组地层厚度高值区均沿北西—南东向展布，自下而上，厚度高值区从南西及北东分别向湖盆中心方向迁移，反映了地层从南西及北东湖盆两侧分别向中心依次进积的演变过程(图 10)。

基于上述分析可知，陇东地区延长组第三岩性段内部发育进积式地层格架，地层充填样式有低角度“S 型”前积充填、高角度“S 型”前积充填和“斜交型”前积充填的 3 类地层充填样式(图 11)。其中，在 LSC3 初期的 1—3 砂组为低角度“S 型”前积充填样式(图 11-a)；在 LSC3 中后期的 4—6



a—1 砂组; b—2 砂组; c—3 砂组; d—4 砂组; e—5 砂组; f—6 砂组; g—7 砂组; h—8 砂组; i—9 砂组; j—10 砂组;
k—11 砂组; l—12 砂组; m—13 砂组; n—14 砂组; o—15 砂组; p—16 砂组

图 10 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组各个砂组地层厚度平面分布

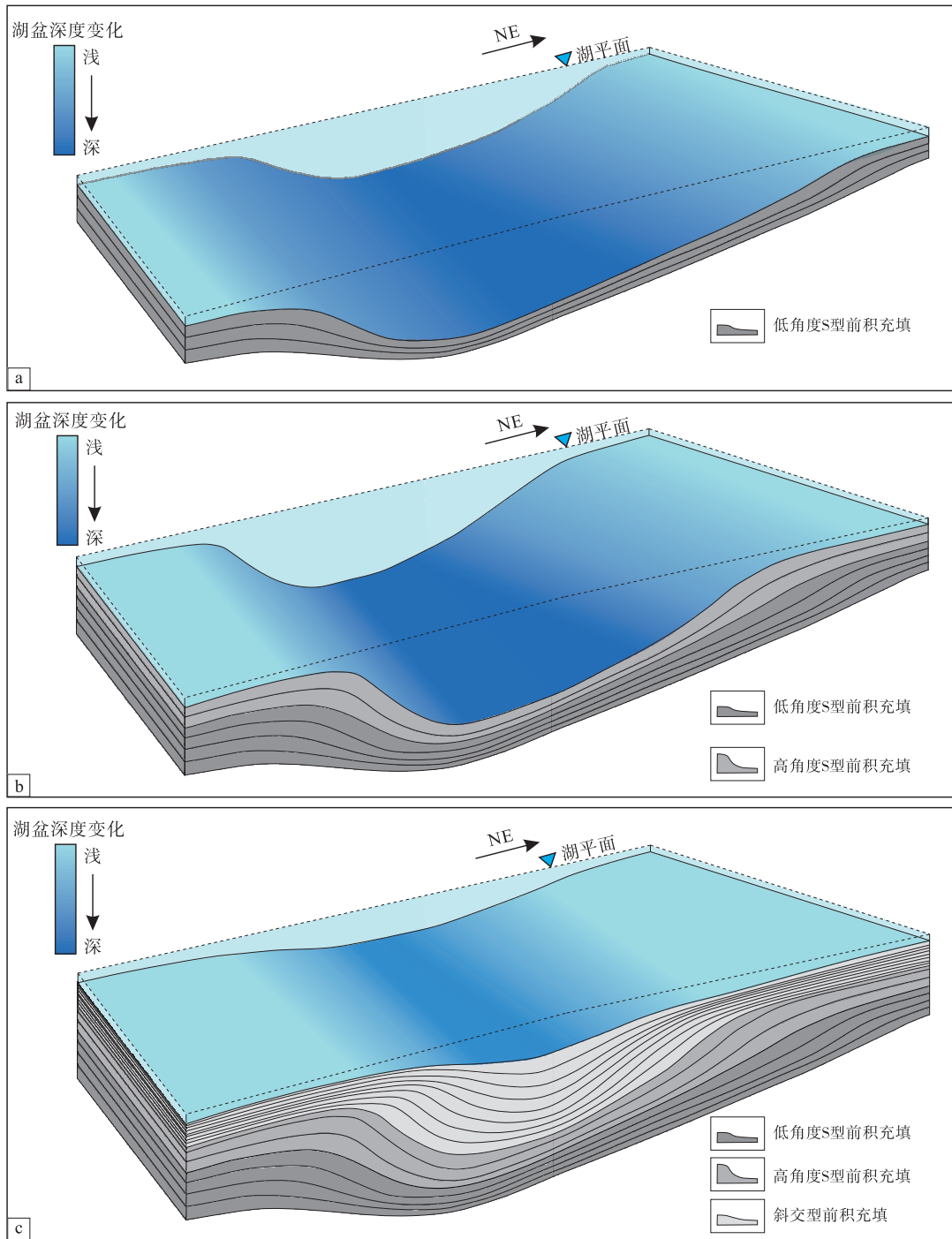
Fig. 10 Plane distribution of stratigraphic thickness for different interval of the Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin

砂组地层依次进积, 逐渐转变为高角度“S型”前积充填样式(图 11-b); 在 LSC4 时期的 7—16 砂组, 地层逐步转变为“斜交型”前积充填样式, 进积程度减弱, 前积倾角也随之逐渐变小(图 11-c)。

4 讨论

4.1 前积地层划分方案与传统地层划分方案的比较分析

前人基于岩心及测井曲线, 通过井上的岩性及



a—低角度“S型”前积充填样式；b—高角度“S型”前积充填样式；c—“斜交型”前积充填样式

图 11 鄂尔多斯盆地湖盆中心区前积充填样式

Fig. 11 Progradational stratigraphic filling patterns of central lacustrine basin in Ordos Basin

电性特征，在延长组内部共识别出 10 个标志层，即 K0—K9 (图 1)。自下而上，分别为 K0 (长 9 油层组中上部“李家畔页岩”)、K1 (原长 7 油层组底部“张家滩页岩”)、K2 (原长 6 底部发育薄层凝灰岩)、K3 (原长 6₃ 顶部暗色泥岩层)、K4

(原长 6 顶部暗色泥岩层)、K5 (原长 4+5₂ 油层组顶部暗色泥岩层)、K6 (原长 3 底部暗色泥岩层)、K7 (原长 3 顶部暗色泥岩层)、K8 (长 2 中上部灰绿色泥岩层)、K9 (长 1 底部碳质泥岩层) (杨华, 2004; Zou *et al.*, 2010; 杨华等, 2012)。

通过井震联合对比,发现延长组下部的第一、第二岩性段以及上部的第四、第五岩性段为“加积—近等厚”的地层结构样式,其内部的K0、K7、K8、K9标志层在 seismic 上对应连续的强波峰反射(图5;图12),仍可作为全区延长组对比的重要标志层。对于呈进积式地层结构的第三岩性段而言,原长7底部的黑色页岩层K1(“张家滩页岩”)对应连续的极强波峰反射,仍可作为全区重要的标志层;但在其他时期形成湖泛泥岩层在陇东大部分地区均为向湖盆中心倾斜的,说明K2—K6仅在陇东局部的湖棚浅水区可作为区域性标志层,不能作为全区地层对比的标志层(图12)。

通过顺物源的井震剖面发现,前积地层格架下的等时地层划分方案与传统的分层方案会存在明显的差异(图9-a;图12)。在靠近湖盆中心的合水—庆城地区、环县—木钵地区以及华池地区的前积特征明显,与重新厘定的地层划分方案对应关系差(图9-a;图12)。对于远离湖盆中心的演武—镇原地区以及白豹地区地层前积幅度较小,虽原长6和原长7地层对应关系较差,但原长4+5—原长 3_2 的地层与重新厘定的地层划分方案具有较好的对应关系(图9-a;图12)。其中,在白豹地区,原长4+5地层大致对应10—13砂组,原长 3_3 和原长 3_2

地层大致对应14—16砂组;在演武—镇原地区,原长4+5地层大致对应6—10砂组,原长 3_3 和原长 3_2 地层大致对应11—16砂组(图9-a;图12)。

4.2 前积地层格架的形成机制

在晚三叠世印支运动影响下,扬子板块与华北板块发生碰撞,导致盆地基底发生大幅度的沉降,盆地西南部的秦岭山前形成湖盆深陷区(刘池洋等,2000,2006,2020;赵文智等,2006)。在该时期,全球发生了1次气候突变事件(卡尼期的梅雨事件),近100万年持续发生强降雨,致使气候从干旱转变为湿润(邓秀芹等,2013;Ogg,2015;赵向东等,2019;李相博等,2023),湖平面迅速上升,从而在湖盆深陷区形成了相对欠补偿的深水环境。同时,伴随着鄂尔多斯盆地南部的秦岭造山带快速向上隆升,在盆地的南西方向的秦岭造山带开始与北部阴山山系一起向湖盆中心持续供源(张国伟等,2002;沈玉林等,2006;王建强等,2010;邱欣卫和刘池洋,2014),盆缘活跃的构造运动导致物源区的沉积物被源源不断地输送至盆地内部并发生集中沉积,有利于三角洲持续向湖盆推进,从而在第三岩性段(原长7—原长 3_2)沉积时期,形成了南西、北东双物源持续供给的沉积

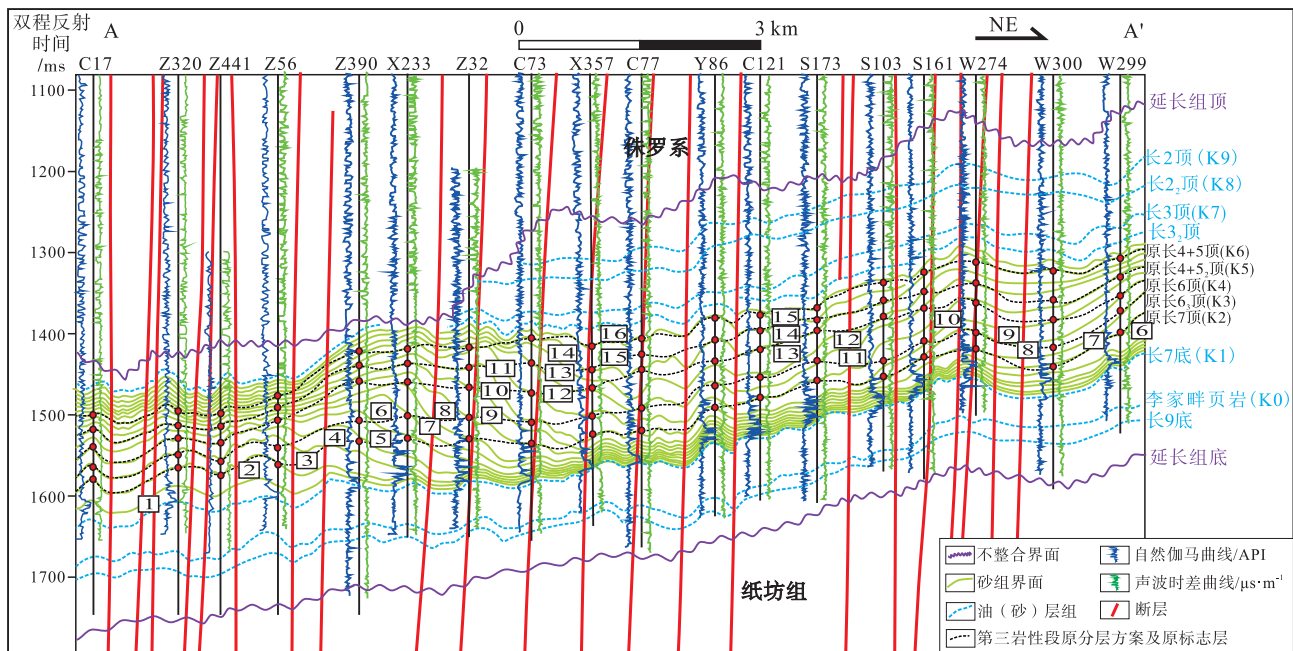


图12 湖盆中心区前积地层划分方案与传统地层划分方案的比较(剖面位置见图2)

Fig. 12 A comparison between the progradational stratigraphic division scheme and the traditional stratigraphic division scheme in the central lacustrine basin (Section location is shown in Fig. 2)

体系，为湖盆深水区持续形成多期大规模的重力流沉积提供了充足物质基础，最终形成垂向上依次向湖中心进积的地层分布样式。

在 LSC3 初期（1—3 砂组），由于湖盆仍处于持续沉降、扩张的阶段（刘池洋等，2000，2006；赵文智等，2006），A/S（可容空间的增长速率与沉积物供给速率的比值）较大，无论在浅水区还是在湖盆中心区都存在足够的可容空间，供给沉积物主要在浅水区集中沉降，向湖盆推进的距离相对有限，重力流沉积未达到湖盆中心区，因此，湖盆中心区呈低角度“S 型”前积充填（图 11-a）；在 LSC3 中后期（4—6 砂组），湖盆构造活动基本稳定，沉积物持续向湖盆输送，浅水区的可容空间逐渐减小，沉积物推进至湖盆中心区，导致该区域地层前积角度增大，形成高角度“S 型”前积地层充填样式（图 11-b）；在 LSC4 时期（7—16 砂组），随着卡尼期末期梅雨强度的减弱，气候逐渐从半湿润转变为半干旱，湖平面下降，浅水区的可容空间变得更小，沉积物更容易向湖盆中心区搬运、沉积，湖盆中心区地层充填样式表现为“斜交型”前积，此时，湖盆开始逐渐被填平、萎缩，自下而上地层前积倾角也随之逐渐变小（图 11-c），最终，湖盆基本完全被充填、消亡。

总体上，陇东地区原长 7—原长 3₂ 前积格架的形成原因主要包括以下 3 个方面：（1）在沉积初期的板块运动，导致鄂尔多斯盆地基底发生大幅度的沉降，形成深陷湖盆，是前积格架形成的先决条件；（2）卡尼阶的梅雨事件，导致气候条件从干旱转变为温暖湿润，湖平面迅速上升，在该时期形成了深水环境，是前积格架形成的基础条件；（3）在晚三叠世印支运动影响下，鄂尔多斯盆地南部的秦岭造山带快速向上隆升，湖盆的南西方向形成了持续的强物源供给，是前积格架形成的重要影响因素。

4.3 前积地层格架对油气勘探开发的意义

现阶段，鄂尔多斯盆地庆城油田延长组已投入开发的页岩油资源主要为夹层型页岩油，主要以水平井开发为主，在庆城油田已取得较好的开发效果（付金华等，2020；付锁堂等，2020）。然而，在开发过程中也暴露出水平井砂体钻遇率与产能差异大的问题（薛婷等，2021；惠潇等，2024）。通过近些年的研究，发现在前积地层格架下，陇东中部

的庆城地区延长组第三岩性段发育的深水重力流砂体呈进积叠置样式，其形成的油层同样为进积式叠置，与传统加积格架下的砂体分布特征及油藏组合特征存在明显的差异（惠潇等，2022，2024；刘明成等，2024），与原有的注采对应关系不符（惠潇等，2022，2024）。

在延长组第三岩性段沉积时期（图 9-a；图 10），陇东地区全区（包括庆城地区）均为湖盆中心区，在该时期形成的地层均具有明显的前积特征，原长 7—原长 3₂ 的“加积式”地层格架在前积特征明显的部位存在穿时现象。综合前人在庆城地区开展的砂体及油层分布研究成果（惠潇等，2022，2024；刘明成等，2024），认为整个陇东地区与其中部的庆城地区相似，看似在传统加积地层格架下的同一层之间相邻并发育的砂体在横向上是连通的，但实际却属于 2 套地层，从而导致沿这套砂体下钻的水平井会钻遇多套泥质隔夹层，出现砂体钻遇率低的问题，影响后期的高效开发。因此，基于新建立的“进积式”等时地层格架，可以更准确地预测砂体空间分布特征，为后续精细水平井开发部署及井轨迹设计方案提供地质依据，进而有效提高水平井砂体钻遇率，达到预期的生产开发目标，为鄂尔多斯盆地夹层型页岩油的高效开发提供必要的地质基础。

5 结论

1) 在鄂尔多斯盆地湖盆中心区，延长组具有“加积—进积—加积”的 3 层地层结构样式。延长组原长 7—原长 3₂ 地层可划分 16 个四级层序（对应 16 个砂组），向湖盆中心相向进积，其中，1—3 砂组呈低角度“S 型”前积充填，4—6 砂组呈高角度“S 型”前积充填，7—16 砂组为“斜交型”前积充填。在湖盆南西部位，进积地层坡度较陡，而北东部位的进积地层坡度较缓。

2) 原有的“加积式”地层格架为 1 套穿时岩性地层，与“进积式”等时地层格架具有一定的对应关系。在白豹地区，原长 4+5 油组与新方案的 10—13 砂组大致对应，原长 3₃ 和原长 3₂ 砂组与 14—16 砂组大致对应；在演武—镇原地区，原长 4+5 油组与新方案的 6—10 砂组大致对应，原长 3₃ 和原长 3₂ 砂组与 11—16 砂组大致对应。

3) “进积式”等时地层格架的形成受到印支

期扬子—华北板块碰撞、卡尼阶的全球梅雨事件的综合影响。印支期扬子—华北板块碰撞一方面导致基底大幅度沉降形成湖盆深陷区,另一方面形成持续供给的物源区;卡尼阶的全球梅雨事件则导致湖平面迅速上升,形成深水拗陷湖盆环境。受到沉积作用的影响,地层充填样式由低角度“S型”逐渐演化为高角度“S型”与斜交型。

参考文献 (References)

- 邓秀芹,罗安湘,张忠义,刘鑫. 2013. 秦岭造山带与鄂尔多斯盆地印支期构造事件年代学对比. 沉积学报,31(6): 939-953. [Deng X Q, Luo A X, Zhang Z Y, Liu X. 2013. Geochronological comparison on indosinian tectonic events between Qinling Orogeny and Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*,31(6): 939-953]
- 冯雪,高胜利,刘永涛,王秀珍. 2021. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组三角洲前缘前积结构特征. 岩性油气藏,33(6): 48-58. [Feng X, Gao S L, Liu Y T, Wang X Z. 2021. Characteristics of delta front progradation structure of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin. *Lithologic Reservoirs*,33(6): 48-58]
- 付金华,郭正权,邓秀芹. 2005. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义. 古地理学报,7(1): 34-44. [Fu J H, Guo Z Q, Deng X Q. 2005. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*,7(1): 34-44]
- 付金华,邓秀芹,楚美娟,张海峰,李世祥. 2013. 鄂尔多斯盆地延长组深水岩相发育特征及其石油地质意义. 沉积学报,31(5): 928-938. [Fu J H, Deng X Q, Chu M J, Zhang H F, Li S X. 2013. Features of deepwater lithofacies, Yanchang Formation in Ordos Basin and its petroleum significance. *Acta Sedimentologica Sinica*,31(5): 928-938]
- 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. [Fu J H, Li S X, Niu X B, Deng X Q, Zhou X P. 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]
- 付金华,赵会涛,董国栋. 2023. 鄂尔多斯盆地新领域油气勘探发现与前景展望. 天然气地球科学,34(8): 1289-1304. [Fu J H, Zhao H T, Dong G D. 2023. Discovery and prospect of oil and gas exploration in new areas of Ordos Basin. *Natural Gas Geoscience*,34(8): 1289-1304]
- 付锁堂,付金华,牛小兵,李士祥,吴志宇,周新平,刘江艳. 2020. 庆城油田成藏条件及勘探开发关键技术. 石油学报,41(7): 777-795. [Fu S T, Fu J H, Niu X B, Li S X, Wu Z Y, Zhou X P, Liu J Y. 2020. Accumulation conditions and key exploration and development technologies in Qingcheng Oilfield. *Acta Petrolei Sinica*,41(7): 777-795]
- 付锁堂,金之钧,付金华. 2021. 鄂尔多斯盆地延长组7段从致密油到页岩油认识的转变及勘探开发意义. 石油学报,42(5): 561-569. [Fu S T, Jin Z J, Fu J H. 2021. Transformation of understanding from tight oil to shale oil in the Member 7 of Yanchang Formation in Ordos Basin and its significance of exploration and development. *Acta Petrolei Sinica*,42(5): 561-569]
- 郭芪恒,李士祥,金振奎. 2023. 鄂尔多斯盆地延长组长7₃亚段页岩油特征及勘探方向. 石油勘探与开发,50(4): 767-781. [Guo Q H, Li S X, Jin Z K. 2023. Characteristics and exploration targets of Chang 7 shale oil in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*,50(4): 767-781]
- 郭彦如,刘化清,李相博,完颜容,郑希民. 2008. 大型拗陷湖盆层序地层格架的研究方法体系:以鄂尔多斯盆地中生界延长组为例. 沉积学报,26(3): 384-391. [Guo Y R, Liu H Q, Li X B, Wanyan R, Zheng X M. 2008. Method system on studying sequence stratigraphic framework of large sagged lacustrine basin: a case study from Mesozoic Yanchang Fm, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*,26(3): 384-391]
- 郭艳琴,李文厚,胡友洲,庞日轩,张宝平. 2006. 陇东地区上三叠统延长组早中期物源分析与沉积体系. 煤田地质与勘探,34(1): 1-4. [Guo Y Q, Li W H, Hu Y Z, Pang R X, Zhang B P. 2006. Source analysis and depositional systems of Upper Triassic early and mid-term Yanchang Formation in Longdong area. *Coal Geology & Exploration*,34(1): 1-4]
- 胡文瑞,何自新. 2001. 鄂尔多斯盆地油气勘探大发展启示. 中国石油勘探,6(4): 1-4. [Hu W R, He Z X. 2001. Revelation of the great development of oil and gas exploration in Ordos Basin. *China Petroleum Exploration*,6(4): 1-4]
- 胡文瑞,翟光明. 2010. 鄂尔多斯盆地油气勘探开发的实践与可持续发展. 中国工程科学,12(5): 64-72. [Hu W R, Zhai G M. 2010. Practice and sustainable development of oil and nature gas exploration and development in Ordos Basin. *Strategic Study of CAE*,12(5): 64-72]
- 惠潇,侯云超,喻建,龙盛芳,郭懿萱,刘永涛,张杰. 2022. 大型陆相拗陷湖盆深湖区前积型地震地层特征及砂体分布规律:以鄂尔多斯盆地陇东地区延长组中段为例. 沉积学报,40(3): 1553-1567. [Hui X, Hou Y C, Yu J, Long S F, Guo Y X, Liu Y T, Zhang J. 2022. Progradational seismic strata features and distribution of sandstone in the deep-water area of a large-scale lacustrine depression basin: a case study of the middle Yanchang Formation in Longdong, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*,40(3): 787-800]
- 惠潇,侯云超,陈修,龙盛芳,喻建,赵俊峰,刘永涛. 2024. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组层序地层再认识及地质意义. 沉积学报,42(5): 1553-1567. [Hui X, Hou Y C, Chen X, Long S F, Yu J, Zhao J F, Liu Y T. 2024. New insight into sequence stratigraphy and its geological significance in the Yanchang Formation, Longdong Area, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*,42(5): 1553-1567]
- 贾承造,邹才能,李建忠,李登华,郑民. 2012. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景. 石油学报,33(3): 343-350. [Jia C Z, Zou C N, Li J Z, Li D H, Zheng M. 2012. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China. *Acta Petrolei Sinica*,33(3): 343-350]
- 李潮流,王长胜,张文静. 2024. 陆相湖盆夹层型页岩油甜点分级测

- 井评价方法研究:以鄂尔多斯盆地陕北吴起地区延长组长7段为例. 中国石油勘探, 29(4): 156-165. [Li C L, Wang C S, Zhang W J. 2024. Logging evaluation method for sweet spots classification of the interlayered type shale oil in continental lake basin: a case study of the seventh member of Yanchang Formation in Wuqi area in Ordos Basin. *China Petroleum Exploration*, 29(4): 156-165]
- 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, 24(4): 549-554. [Li F J, Wang D Y, Zhang Q L, Xu X H. 2006. Sedimentary facies characteristic and sequence stratigraphy analysis of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(4): 549-554]
- 李慧琼, 蒲仁海, 王大兴, 赵玉华, 张杰, 赵德勇. 2014. 鄂尔多斯盆地延长组地震前积反射的地质意义. 石油地球物理勘探, 49(5): 985-996, 823. [Li H Q, Pu R H, Wang D X, Zhao Y H, Zhang J, Zhao D Y. 2014. Progradational reflection from lacustrine Yanchang Formation in Ordos Basin, China. *Oil Geophysical Prospecting*, 49(5): 985-996, 823]
- 李相博, 朱如凯, 惠潇, 苏明军, 邱振, 黄军平, 张艳, 王菁, 刘化清, 李士祥, 李树同, 杨占龙, 郭精义. 2023. 晚三叠世卡尼期梅雨事件(CPE)在陆相盆地中的沉积学响应:以鄂尔多斯盆地延长组为例. 沉积学报, 41(2): 511-526. [Li X B, Zhu R K, Hui X, Su M J, Qiu Z, Huang J P, Zhang Y, Wang J, Liu H Q, Li S X, Li S T, Yang Z L, Guo J Y. 2023. Sedimentological response of a lacustrine basin to the Late Triassic Carnian Pluvial Episode (CPE): case study from the Yanchang Formation, Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 41(2): 511-526]
- 李一凡, 郭懿萱, 姚泾利. 2024. 鄂尔多斯盆地西南部三叠系延长组划分与对比关系再认识. 沉积学报, 42(4): 1297-1308. [Li Y F, Guo Y X, Yao J L. 2024. Reconsideration of division and correlation of the Yanchang Formation in the Southwestern Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 42(4): 1297-1308]
- 李玉喜, 张道勇, 朱杰. 2009. 中国油气储量、产量增长趋势影响因素分析. 地球学报, 30(6): 855-867. [Li Y X, Zhang D Y, Zhu J. 2009. Factors that affect the increasing trends of China's oil and gas reserves and products. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(6): 855-867]
- 林森虎, 汪梦诗, 袁选俊. 2017. 大型坳陷湖盆定量沉积相编图新方法:以鄂尔多斯盆地中部长7油层组为例. 岩性油气藏, 29(3): 10-17. [Lin S H, Wang M S, Yuan X J. 2007. A new quantitative method of sedimentary facies mapping of large lacustrine depression: a case from Chang 7 reservoir in central Ordos Basin. *Lithologic Reservoirs*, 29(3): 10-17]
- 刘池洋, 赵重远, 杨兴科. 2000. 活动性强、深部作用活跃:中国沉积盆地的两个重要特点. 石油与天然气地质, 21(1): 1-6, 23. [Liu C Y, Zhao Z Y, Yang X K. 2000. Strong activity and active deep action: two important features of Chinese sedimentary basins. *Oil & Gas Geology*, 21(1): 1-6, 23]
- 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 岳乐平, 赵俊峰, 王建强. 2006. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应. 地质学报, 80(5): 617-638. [Liu C Y, Zhao H G, Gui X J, Yue L P, Zhao J F, Wang J Q. 2006. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 617-638]
- 刘池洋, 王建强, 邱欣卫, 张东东, 赵俊峰, 赵红格, 邓煜. 2020. 鄂尔多斯盆地延长期富烃坳陷形成的动力学环境与构造属性. 岩石学报, 36(6): 1913-1930. [Liu C Y, Wang J Q, Qiu X W, Zhang D D, Zhao J F, Zhao H G, Deng Y. 2020. Geodynamic environment and tectonic attributes of the hydrocarbon-rich sag in Yanchang Period of Middle-Late Triassic, Ordos Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 36(6): 1913-1930]
- 刘联群, 李勇, 康立明, 李彪, 邹宏. 2010. 鄂尔多斯盆地晚三叠世最大泛泥岩分布特征. 西北大学学报(自然科学版), 40(5): 866-871. [Liu L Q, Li Y, Kang L M, Li B, Zou H. 2010. Mudstone distribution features of maximum flooding time in Late Triassic in Ordos Basin. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 40(5): 866-871]
- 刘明成, 吴胜和, 万晓龙, 李桢, 樊建民, 陈朝晖, 王梓洋, 刘海旭. 2024. 鄂尔多斯盆地庆城油田延长组页岩系层序地层与沉积相特征. 古地理学报, 26(4): 779-795. [Liu M C, Wu S H, Wan X L, Li Z, Fan J M, Chen Z H, Wang Z F, Liu H X. 2024. Sequence stratigraphy and sedimentary facies characteristics of the shale strata of Yanchang Formation in Qingcheng Oilfield, Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 26(4): 779-795]
- 刘友民, 孔志平. 1984. 鄂尔多斯盆地西缘逆冲带油气远景展望. 石油勘探与开发, 11(1): 33-40. [Liu Y M, Kong Z P. 1984. A prospect of oil and gas in the overthrust belt on western border of Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 11(1): 33-40]
- 刘自亮, 朱筱敏, 廖纪佳, 陈杰. 2013. 鄂尔多斯盆地西南缘上三叠统延长组层序地层学与砂体成因研究. 地学前缘, 20(2): 1-9. [Liu Z L, Zhu X M, Liao J J, Chen J. 2013. Sequence stratigraphy and genesis of sand bodies of the Upper Triassic Yanchang Formation in the southwestern margin of Ordos Basin. *Earth Science Frontiers*, 20(2): 1-9]
- 卢一伦, 韩湘涛, 李陶然. 1989. 陕西省区域地质志. 北京:地质出版社, 196-215. [Lu Y L, Han X T, Li T R. 1989. *Regional Geology of Shaanxi Province*. Beijing: Geology Press, 196-215]
- 倪新锋, 陈洪德, 韦东晓. 2007. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层格架与油气勘探. 中国地质, 34(1): 73-80. [Ni X F, Chen H D, Wei D X. 2007. Sequence stratigraphic framework of the Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin and petroleum exploration. *Geology in China*, 34(1): 73-80]
- 邱欣卫, 刘池洋. 2014. 鄂尔多斯盆地延长期湖盆充填类型与优质烃源岩的发育. 地球学报, 35(1): 101-110. [Qiu X W, Liu C Y. 2014. Lake-basin filling types and development of high quality hydrocarbon source rocks in Ordos Basin in Late Triassic Yanchang Period. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(1): 101-110]
- 任纪舜, 邓平, 肖黎薇. 2006. 中国与世界主要含油气区大地构造比较分析. 地质学报, 80(10): 1491-1500, 1643-1644. [Ren J S, Deng P, Xiao L W. 2006. Petroliferous provinces in China and the world: a comparison from tectonic point of view. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1491-1500, 1643-1644]
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福. 2006. 鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系山西组及下石盒子组盒八段沉积相. 古地理学报, 8(1): 53-62. [Shen Y L, Guo Y H, Li Z F. 2006. Sedimentary facies of the

- Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation of Permian in Suligemiao area, Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 8(1): 53-62]
- 王建强, 刘池洋, 闫建萍, 赵红格, 高飞, 刘超. 2010. 鄂尔多斯盆地南部渭北隆起发育时限及其演化. *兰州大学学报(自然科学版)*, 46(4): 22-29. [Wang J Q, Liu C Y, Yan J P, Zhao H G, Gao F, Liu C. 2010. Development time and evolution characteristics of Wei-bei uplift in the south of Ordos Basin. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences Edition)*, 46(4): 22-29]
- 王庭斌. 2005. 中国大中型气田分布的地质特征及主控因素. *石油勘探与开发*, 32(4): 1-8. [Wang T B. 2005. Distribution of large-middle sized gas fields in China: geological characteristics and key controlling factors. *Petroleum Exploration and Development*, 32(4): 1-8]
- 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. *古地理学报*, 6(3): 307-315. [Wu F L, Li W H, Li Y H, Xi S L. 2004. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 6(3): 307-315]
- 薛婷, 黄天镜, 成良丙, 麻书玮, 时建超. 2021. 鄂尔多斯盆地庆城油田页岩油水平井产能主控因素及开发对策优化. *天然气地球科学*, 32(12): 1880-1888. [Xu T, Huang T J, Cheng L B, Ma S W, Shi J C. 2021. Dominating factors on shale oil horizontal well productivity and development strategies optimization in Qingcheng Oil-field, Ordos Basin. *Natural Gas Geoscience*, 32(12): 1880-1888]
- 杨华. 2004. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系及含油性研究. 成都理工大学博士学位论文, 7-10. [Yang H. 2004. Deposition system and oil accumulation research of Yanchang Formation in Triassic, Ordos Basin. Doctoral dissertation of Chengdu University of Technology, 7-10]
- 杨华, 付金华, 何海清, 刘显阳, 张忠义, 邓秀芹. 2012. 鄂尔多斯华庆地区低渗透岩性大油区形成与分布. *石油勘探与开发*, 39(6): 641-648. [Yang H, Fu J H, He H Q, Liu X Y, Zhang Z Y, Deng X Q. 2012. Formation and distribution of large low-permeability lithologic oil regions in Huaqing, Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 39(6): 641-648]
- 杨华, 梁晓伟, 牛小兵, 冯胜斌, 尤源. 2017. 陆相致密油形成地质条件及富集主控因素: 以鄂尔多斯盆地三叠系延长组7段为例. *石油勘探与开发*, 44(1): 12-20. [Yang H, Liang X W, Niu X B, Feng S B, You Y. 2017. Geological conditions for continental tight oil formation and the main controlling factors for the enrichment: a case of Chang 7 Member, Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 44(1): 12-20]
- 杨俊杰, 李克勤, 张东生, 张世富, 刘世安. 1992. 中国石油地质志·长庆油田. 北京: 石油工业出版社, 47-51. [Yang J J, Li K Q, Zhang D S, Zhang S F, Liu S A. 1992. *Petroleum Geology of China·Changqing Oil Field*. Beijing: Petroleum Industry Press, 47-51]
- 张凤奎, 张忠义, 张林. 2008. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层特征新认识. *地层学杂志*, 32(1): 99-105. [Zhang F K, Zhang Z Y, Zhang L. 2008. New sequence stratigraphic observations of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin. *Journal of Stratigraphy*, 32(1): 99-105]
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 2002. 关于中国大陆动力学与造山带研究的几点思考. *中国地质*, 29(1): 7-13. [Zhang G W, Dong Y P, Yao A P. 2002. Some thoughts on the study of continental dynamics and orogenic belts. *Geology in China*, 29(1): 7-13]
- 赵红格. 2003. 鄂尔多斯盆地西部构造特征及演化. 西北大学博士学位论文: 109-120. [Zhao H G. 2003. Structural characteristics and the evolution in western Ordos Basin. Doctoral dissertation of Northwest University: 109-120]
- 赵文智, 胡素云, 汪泽成. 2003. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用. *石油勘探与开发*, 30(5): 1-5. [Zhao W Z, Hu S Y, Wang Z C. 2003. Key role of basement fault control on oil accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 30(5): 1-5]
- 赵文智, 王新民, 郭彦如, 刘化清, 白云来. 2006. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世原型盆地恢复及其改造演化. *石油勘探与开发*, 30(1): 6-13. [Zhao W Z, Wang X M, Guo Y R, Liu H Q, Bai Y L. 2006. Restoration and tectonic reworking of the Late Triassic basin in western Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 33(1): 6-13]
- 赵文智, 朱如凯, 刘伟. 2023. 中国陆相页岩油勘探理论与技术进展. *石油科学通报*, 8(4): 373-390. [Zhao W Z, Zhu R K, Liu W. 2023. Advances in theory and technology of non-marine shale oil exploration in China. *Petroleum Science Bulletin*, 8(4): 373-390]
- 赵向东, 薛乃华, 王博, 张海春. 2019. 三叠纪卡尼期湿润幕事件研究进展. *地层学杂志*, 43(3): 306-314. [Zhao X D, Xue N H, Wang B, Zhang H C. 2019. Carnian (Late Triassic) pluvial episode: current status and future challenges. *Journal of Stratigraphy*, 43(3): 306-314]
- 邹才能, 杨智, 崔景伟, 朱如凯, 侯连华, 陶士振, 袁选俊, 吴松涛, 林森虎, 王岚, 白斌, 姚泾利. 2013. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策. *石油勘探与开发*, 40(1): 14-26. [Zou C N, Yang Z, Cui J W, Zhu R K, Hou L H, Tao S Z, Yuan X J, Wu S T, Lin S H, Wang L, Bai B, Yao J L. 2013. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China. *Petroleum Exploration and Development*, 40(1): 14-26]
- Ogg J G. 2015. The mysterious Mid-Carnian "Wet Intermezzo" global event. *Journal of Earth Science*, 26(2): 181-191.
- Zou C N, Zhang X Y, Luo P, Wang L, Luo Z, Liu L H. 2010. Shallow-lacustrine sand-rich deltaic depositional cycles and sequence stratigraphy of the Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, China. *Basin Research*, 22: 108-125.

(责任编辑 郑秀娟)