第 28 卷 第 2 期
2026 年 4 月

古 地 理 学 报
JOURNAL OF PALAEOGEOGRAPHY (Chinese Edition)

Vol. 28 No. 2
Apr. 2026

文章编号：1671-1505(2026)02-0658-20 DOI:10.7605/gdlxb.2026.071

鄂尔多斯盆地横山气田太原组混积体系层序与源储配置规律*

蔡文杰[1,2] 谭秀成[1,2,3] 费肇磊[4] 刘 燕[5] 钟寿康[1,2]
杨琼警[6] 杨博伟[1,2] 熊 鹰[2] 肖 笛[2]

1 天然气地质四川省重点实验室，四川成都 610500
2 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室西南石油大学研究分室，四川成都 610500
3 西南石油大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室，四川成都 610500
4 中国石油川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院，四川成都 610051
5 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院，陕西西安 710018
6 中国石油长庆油田气田开发事业部，陕西西安 710018

摘 要 鄂尔多斯盆地中东部横山地区二叠系太原组以含煤系陆源碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积为特征，生烃及成储潜力巨大，但关于层序—沉积充填过程尚存争议，制约了对源储发育规律和配置关系的准确认识。本研究基于太原组最新的钻井取心及测井资料，系统梳理不同级别层序界面特征，通过精细的层序划分与对比，揭示太原组沉积充填规律及源储发育机制。结果表明：(1) 太原组发育 1 个二级层序、5 个三级层序 (SQ1-SQ5) 及多个四级层序，均为二分体系域结构，不发育低位体系域。其中，二级层序下部发育碎屑岩，中上部发育碳酸盐岩，三级层序顶部普遍发育煤层，SQ2-SQ4 为太原组石灰岩和颗粒滩发育的主要层段，SQ5 缺失程度较高，四级层序地层厚度小，最大海泛面位于斜道段内部；(2) 太原组地层存在“沉积中心迁移”、“填平补齐”和“顶削”的沉积充填过程，南部为石灰岩沉积中心，北部为碎屑岩沉积中心；(3) 太原组源储发育均受控于层序—沉积演化，表现为“三级层序控制煤系烃源岩发育，四级层序控制储集层纵向叠置分布”，横向上，颗粒滩集中发育在斜坡部位。研究认为，毛儿沟段和斜道段沉积期古地貌斜坡区是天然气勘探的有利区。

关键词 混合沉积 层序地层 海平面升降 沉积演化 太原组 横山气田 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 蔡文杰，男，2001 年生，硕士研究生，主要从事碳酸盐岩沉积学与储集层地质学研究。E-mail：CaiWenjie_01@163.com。

通讯作者简介 谭秀成，男，1970 年生，教授，主要从事碳酸盐岩沉积学与储集层地质学研究。E-mail：tanxiucheng70@163.com。

中图分类号：P531；P624 **文献标志码**：A

Sequence and source-reservoir configuration regularity of mixed sedimentary system of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

CAI Wenjie[1,2] TAN Xiucheng[1,2,3] FEI Zhaolei[4] LIU Yan[5] ZHONG Shoukang[1,2]

* 四川省自然科学基金创新群体项目（编号：2026NSFSCZY0062）资助。[Financially supported by Sichuan Province Natural Science Foundation (No. 2026NSFSCZY0062)]

收稿日期：2025-06-19 改回日期：2025-10-23

YANG Qiongjing[6]　YANG Bowei[1,2]　XIONG Ying[2]　XIAO Di[2]

1 *Sichuan Key Laboratory of Natural Gas Geology*, *Southwest Petroleum University*, *Chengdu* 610500, *China*

2 *Division of Key Laboratory of Carbonate Reservoirs*, *China National Petroleum Corporation*, *Southwest Petroleum University*, *Chengdu* 610500, *China*

3 *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation*, *Southwest Petroleum University*, *Chengdu* 610500, *China*

4 *Geological Exploration and Development Research Institute*, *CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited*, *Chengdu* 610051, *China*

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

6 *Gasfield Development Department*, *PetroChina Changqing Oilfield*, *Xi'an* 710018, *China*

Abstract　The Permian Taiyuan Formation in Hengshan area of the central and eastern Ordos Basin is characterized by mixed sedimentation of coal-bearing continental clastic rocks and carbonates, with significant hydrocarbon generation and reservoir formation potential. However, there are still disputes regarding the sequence-sedimentary filling process, which hinders an accurate understanding of the development laws and configuration relationships of source and reservoir. Based on the latest drilling core and well-logging data, this study systematically sorts out the characteristics of sequence boundaries at different levels and reveals the sedimentary filling laws and source-reservoir development mechanisms of the Taiyuan Formation through detailed sequence division and correlation. The results show that: (1) The Taiyuan Formation developed one second-order sequence, five third-order sequences (SQ1-SQ5), and multiple fourth-order sequences, all exhibiting a binary system tract structure with no lowstand system tract developed. Among them, the lower part of the second-order sequence is dominated by clastic rocks, while the middle and upper parts are dominated by carbonates. Coal seams are generally developed at the top of the third-order sequences. SQ2-SQ4 are the main intervals for the development of Taiyuan Formation limestones and grain shoals, and SQ5 has a relatively high degree of missing. The fourth-order sequence has a small thickness of strata. The maximum flooding surface is located within the Xiedao Section. (2) The stratigraphy of the Taiyuan Formation is characterized by the sedimentary filling process of "sedimentary center migration", "filling in" and "top cutting". The southern part of the study area is the limestone sedimentary center, and the northern part is the clastic rock sedimentary center. (3) The development of source and reservoir in the Taiyuan Formation is controlled by sequence-sedimentary evolution, which is manifested as "third-order sequences control the development of coal-bearing source rocks, and fourth-order sequences control the vertical superposition distribution of reservoirs". Horizontally, grain shoals are concentrated in the slope area. The study suggests that the Maoergou Section and Xiedao Section sedimentary periods in the paleogeomorphic slope area are favorable areas for natural gas exploration.

Key words　mixed sedimentation, sequence stratum, sea-level fluctuation, sedimentary evolution, Taiyuan Formation, Hengshan gas field, Ordos Basin

About the first author　CAI Wenjie, born in 2001, is a master degree candidate. He is mainly engaged in research of carbonate sedimentology and reservoir geology. E-mail: CaiWenjie_01@163.com.

About the corresponding author　TAN Xiucheng, born in 1970, is a professor. He is mainly engaged in the research of carbonate sedimentology and reservoir geology. E-mail: tanxiucheng70@163.com.

鄂尔多斯盆地是中国陆上三大海相碳酸盐岩盆地之一（付金华，2023），内部的碳酸盐岩蕴藏着丰富的天然气资源（董国栋等，2023）。近年来，基于对鄂尔多斯盆地二叠系太原组资料复查和勘探力度的加大，已发现 700 余口探井有活跃的气显示（付金华，2023），2021 年，长庆油田部署的风险勘探井 YT1H 井在太原组石灰岩中获超 50×10^4 m^3/d 高产工业气流（刘新社等，2023），横山气田预测储量超 2000×10^8 m^3（李诚等，2024），充分揭示了太原组石灰岩良好的勘探潜力。目前针对鄂尔多斯盆地太原组研究主要聚焦于沉积特征与沉积环境（郭英海等，1998；郭艳琴等，2019；黄有根等，2024）、储集层特征及成因机理（董国栋等，2023；王康乐等，2024；闫小雄等，2025）和油气成藏（付金华，2023；刘新社等，2023；席胜利等，2023）等方面，研究成果推动鄂尔多斯盆地石灰岩气藏勘探取得了很大的进展。然而，层序地层划分仍存在三级层序划分和低位体系域是否存在的争议，具体如下：（1）盆地东南部太原组划分为 1 个三级层序（于波，2016；于兴河等，2017；崔宏俊等，2023），不发育低位体系域；（2）将盆地东缘（沈玉林等，2009）和整个盆地（张满郎等，2009；李文厚等，2021）太原组划分为 4 个三级层序，其中沈玉林等（2009）认为盆地东缘发育低位体系域。综合对比上述划分方案的原理及差异，分析其主要原因为：盆地不同范围内该时期海平面升降和陆源碎屑输入存在差异，沉积相类型和沉积体系多样，沉积响应不同（盆地东南部，太原组碎屑岩仅在中段略有发育；而在盆地东缘，太原组上中下段均发育一定厚度的碎屑岩），内部层序界面识别不一致，导致对太原组的层序划分方案存在差别。

鉴于此，聚焦鄂尔多斯盆地中东部横山地区，依据丰富的岩心、薄片、测井资料等，在分析该时期沉积特征的基础上，结合对区域构造-沉积背景等资料的综合分析，将太原组层序界面识别与层序划分作为重点，提出该区域太原组层序划分方案，建立层序地层格架，结合相对海平面升降，揭示其沉积充填演化规律，并探究层序与源储配置之间的关系。研究成果有助于深化对鄂尔多斯盆地中东部太原组的地质认识，为该区太原组常规和非常规有序共生天然气勘探提供地质依据。

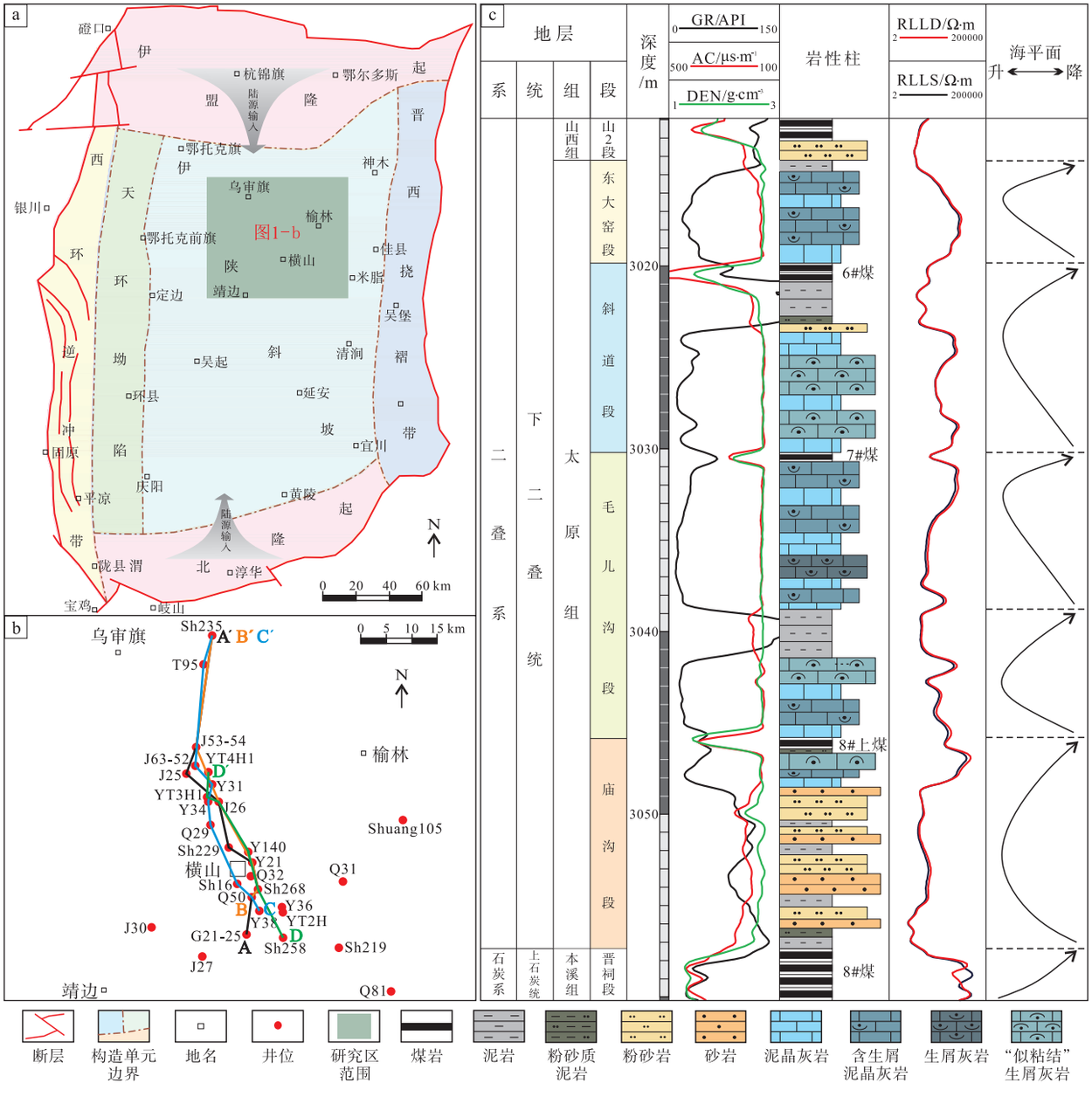
1 地质概况

鄂尔多斯盆地是 1 个稳定沉降、凹陷迁移、扭动明显的多旋回叠合盆地（杨华等，2006），构造位置隶属于华北板块的一部分（黄有根等，2024；闫小雄等，2025）。早二叠世太原组沉积时期，海水从盆地东、西两侧向盆地中部大规模侵入（郭艳琴等，2019），以中央古隆起为界的东西部海域局部地区海水连通，由于盆地西北部的隆升，盆地东南地区的相对坳陷区域接受到来自盆地北部注入的大量物源，形成陆表海潮坪相的碳酸盐岩与煤系碎屑岩地层混合沉积（董国栋等，2023）。研究区位于鄂尔多斯盆地中东部地区，南起靖边，东临米脂，北至乌审旗一带，靠近伊盟古陆，整体位于伊陕斜坡上（图 1-a），研究区太原组沉积时期北部以滨浅海三角洲陆源碎屑沉积为主，南部以海相碳酸盐台地沉积为主（董国栋等，2023；黄有根等，2024）。

依据古生物组合、岩石学特征及测井响应，太原组自下而上可进一步划分为庙沟段、毛儿沟段、斜道段和东大窑段 4 个亚段（付金华，2023）。庙沟段上覆于本溪组 8#煤层（测井曲线特征：低 GR、低 DEN、高 AC、高 RLLD、高 RLLS）之上，以碎屑岩沉积为主，中下部发育正粒序粉—细砂岩，中上部发育逆粒序粉—细砂岩和潮坪沉积的碳酸盐岩，顶部为黑色煤岩（8#上煤层）。毛儿沟段、斜道段的中下部是研究区范围内太原组碳酸盐岩发育的主要部位，向上过渡为泥岩、煤（毛儿沟段顶部为 7#煤层和斜道段顶部为 6#煤层）。东大窑段发育含生屑泥晶灰岩，顶部为泥岩。太原组沉积期古气候持续温暖潮湿，是重要的成煤期，上述各层段（除东大窑段外）顶部常发育 1 套单层厚度小的煤层（图 1-c）。太原组沉积期末发生区域性海退（李文厚等，2021），之上沉积山西组砂岩（测井曲线特征：中 GR、中 AC、高 DEN）和 5#煤层；受山西组山 2 段北岔沟砂岩冲刷作用影响，常造成太原组上部地层部分缺失（沈玉林等，2009），致使研究区东大窑段局部发育。

2 岩石学特征

太原组沉积期，鄂尔多斯盆地中东部在北部伊盟古陆和东西部海域连通形成的陆表海的共同作用



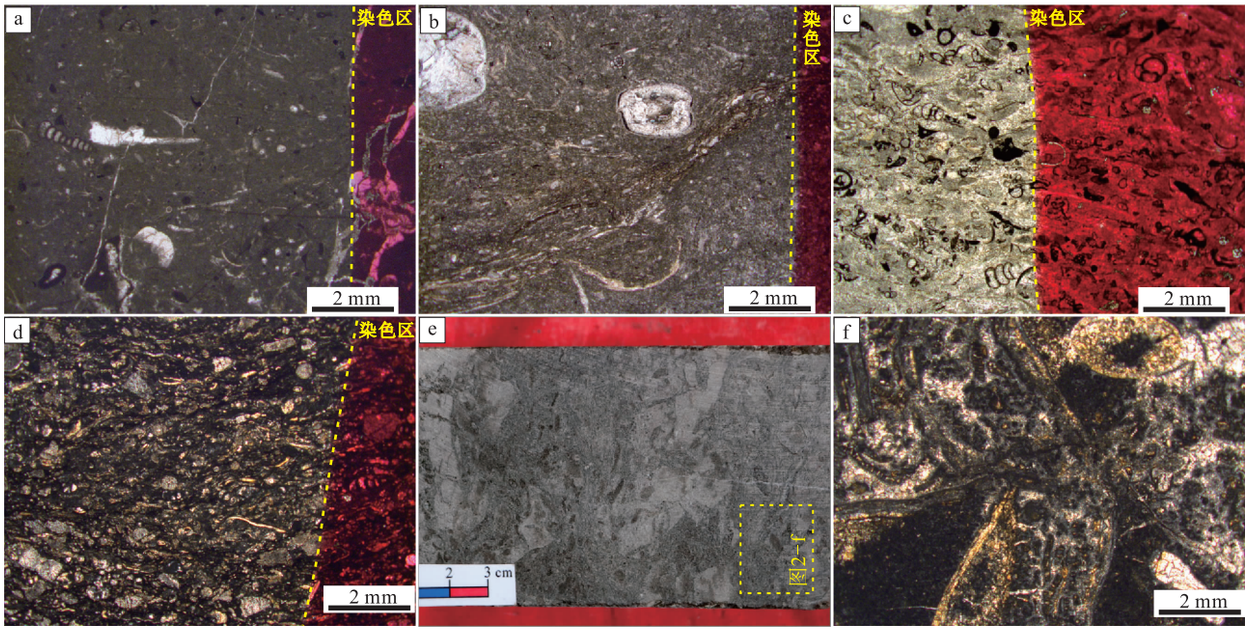
a—鄂尔多斯盆地构造单元分布（据王康乐等，2024；有修改）；b—研究区井位分布；c—太原组地层综合柱状图

图 1　鄂尔多斯盆地综合地质图

Fig. 1　Comprehensive geological map in Ordos Basin

下，形成了 1 套三角洲—碳酸盐岩台地混合沉积体系（台地过渡沉积体系）。

基于对区内 17 口太原组关键取心井岩心观察描述及 240 余件岩石薄片鉴定分析，系统梳理出海相碳酸盐岩—海陆过渡混积岩—陆源碎屑岩三大岩石类型，其中碳酸盐岩参考 Dunham（1962）的碳酸盐岩分类方案，根据颗粒和泥的相对含量和支撑类型等特征，在研究区太原组中识别出 4 种岩石类型：泥晶灰岩（图 2-a）、含生屑泥晶灰岩（图 2-b）、生屑灰岩（图 2-c，2-d）以及淡水泥晶化成因的“似粘结”生屑灰岩（图 2-e，2-f）；混积岩中识别出泥质灰岩/灰质泥岩（图 3-a，3-b），体现碳酸盐岩组分与陆源碎屑组分的混合，太原组地层混合沉积主要体现在碳酸盐岩与陆源碎屑岩和煤岩（图 3-c）垂向上高频率旋回交替；碎屑岩包括泥岩（图 3-d）、粉砂岩（图 3-e）和砂岩



a—泥晶灰岩，生屑呈悬浮状，单偏光，J27 井，3182.62 m，斜道段；b—含生屑泥晶灰岩，生物体腔被方解石充填、生屑强泥晶化而与灰泥基质界限模糊，单偏光，J27 井，3185.97 m，斜道段；c—生屑灰岩，见痕量白云石胶结与交代，生屑淡水泥晶化而发暗，单偏光，Shuang105 井，2728.53 m，斜道段；d—生屑灰岩（强烈岩溶改造），生屑强烈淡水泥晶化，其间为不溶残余和渗流物充填，单偏光，J30 井，3215.66 m，斜道段；e—“似粘结”生屑灰岩，具溶蚀花斑，J30 井，3199.84 m，斜道段；f—“似粘结”生屑灰岩，生屑及周缘胶结物因强烈泥晶化而界限模糊，呈黏结假象，单偏光，J30 井，3199.84 m，斜道段

图 2 鄂尔多斯盆地横山气田太原组海相沉积体系岩石宏微观特征

Fig. 2 Macro and micro characteristics of rocks in marine sedimentary system of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

（图 3-f）。一些岩性出现在旋回中多个位置，这些位置可能代表不同的沉积环境（Fielding，2021），如在前三角洲和潮上带均有泥岩发育（图 4）。

鄂尔多斯盆地晚古生代具多物源、相变快和沉积速率低的特点（郭英海等，1998）。根据实际岩心和薄片观察，将太原组划分为碳酸盐岩台地相和三角洲相，进一步识别出开阔浅海、颗粒滩、潮坪、三角洲平原和三角洲前缘亚相。由陆向海，陆源影响减小，依次为沼泽、泥坪、灰泥坪；研究区太原期气候温暖湿润、光照充足，东西部海域连通，水体循环好、含氧量高，大量繁殖生物和藻类（董国栋等，2023），为颗粒滩形成提供丰富的物质基础，颗粒滩多发育沉积于潮下厚薄转换带，纵向上，位于旋回中上部（图 4）；向海方向，浪基面之下为低能开阔浅海环境，沉积泥晶灰岩为主。

3 层序界面识别与层序地层格架

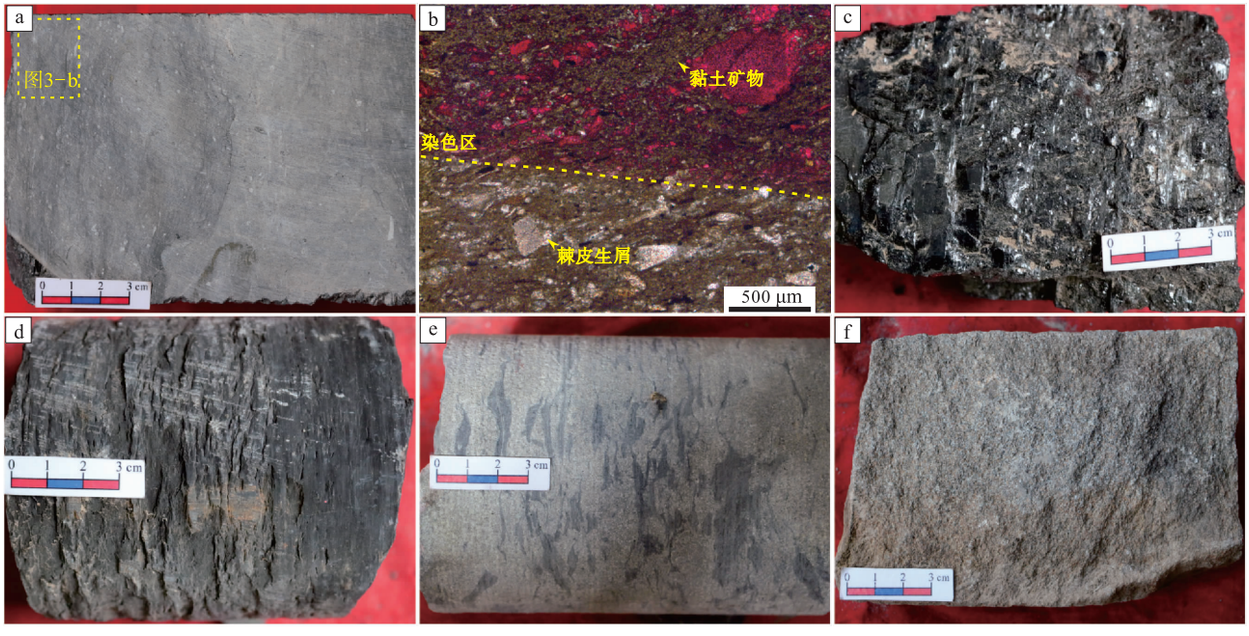
3.1 层序界面识别特征

层序界面识别是层序划分和建立层序地层格架的基础。碳酸盐岩地层中的层序界面级次多样、成因类型丰富，海陆过渡环境下混积体系的层序界面更是如此。在分析区域沉积-构造背景的基础上，以岩性及其组合关系、沉积旋回、沉积环境变化和测井资料等为依据，进行层序界面识别并总结界面上下岩电响应特征。

3.1.1 二级层序界面识别特征

二级层序界面大多由明显的相对海平面下降造成，并伴随着区域性的构造运动（何治亮等，2014）。鄂尔多斯盆地早二叠世太原组属于晚格舍尔期（Gzhelian）至早阿瑟尔期（Asselian），地层年限小于 10 Ma（沈树忠等，2019；申博恒等，2022），基于地层旋回的层次和级别（Vail *et al.*，1991；Emery *et al.*，1996）和前人对鄂尔多斯盆地区域沉积背景和构造分析的认识上，结合岩心、测井资料等，在研究区太原组识别出 1 个构造沉降转换面和 1 个区域不整合面，分别位于太原组底部和山西组底部。

构造沉降转换面：该界面是本溪组和太原组的



a—泥质灰岩，Q31 井，2895.61 m，东大窑段；b—泥质灰岩，单偏光，Q31 井，2895.61 m，东大窑段；c—煤岩，Q81 井，2747.80 m，斜道段；d—泥岩，Q81 井，2748.32 m，斜道段；e—含泥砾石英粉砂岩，Sh219 井，3013.02 m，毛儿沟段；f—中粒石英砂岩，Sh219 井，3016.24 m，毛儿沟段

图 3　鄂尔多斯盆地横山气田太原组混积体系与陆相沉积体系岩石宏微观特征

Fig. 3　Macro and micro characteristics of rocks in the mixed sedimentary system and continental sedimentary system of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

分界面，其形成主要受海西运动第三幕的影响，晚石炭世末，古构造格局由南隆北倾转为北隆南倾（席胜利等，2009；刘桂珍等，2021）；该界面同时作为 1 个海侵方向转换面（沈玉林等，2009），海水由晚石炭世自东及东北方向侵入转变为早二叠世自南及东南方向侵入（郭英海等，1998）。以 J26 井（图 5-a）和 Q81 井（图 5-b）为例，界面之下为本溪组顶部 8#煤层，GR 和 DEN 曲线呈现低值，AC、RLLD 和 RLLS 曲线为高值；界面上发育太原组庙沟段碎屑岩，GR 和 DEN 曲线值增大，AC、RLLD 和 RLLS 曲线值减小。

区域不整合面：该界面为山西组与太原组的分界面，山西组底部沉积的河道砂体（北岔沟砂岩）下切常造成太原组顶部东大窑段地层缺失（沈玉林等，2009），导致研究区部分区域太原组与山西组呈不整合接触，河道不发育（或下切作用弱）地区见海陆交互作用形成的海相沉积夹层（崔宏俊等，2023），其可作为与该区域不整合界面相对应的层序界面。该分界面还表现为 1 个区域性海退面（沈玉林等，2009；张满郎等，2009）和岩性岩相转换面，与冈瓦纳冰川发育促使全球性海退有关（申博恒等，2022），古地理格局由太原组晚期陆表海碳酸盐岩台地转变为山西组三角洲环境。以研究区内均缺少东大窑段地层的 J26 井（图 5-a）和 J27 井（图 5-c）为例，J26 井该界面之下为斜道段顶部暴露溶蚀成因的岩溶角砾岩，角砾间见泥质充填，GR 值偏高，$\delta^{13}C$曲线向低值漂移，$\delta^{18}O$向高值漂移，指示相对海平面下降；界面之上为山 2 段底部的泥质粉砂岩，其内部见黄铁矿（图 6-a），GR 曲线呈钟形，AC 曲线呈中—低值，DEN 呈高值，RLLD 和 RLLS 曲线均为低值。J27 井该界面之下为太原组斜道段顶部的高位晚期的石灰岩和泥岩夹煤层，泥岩夹煤层在 GR 曲线呈现齿状，AC 曲线呈现高值尖峰，DEN 呈现低值；界面之上海水南撤，发育山 2 段砂岩，测井曲线表征为：GR 曲线近箱形、中—高密度、中—低声波、深电阻率和浅电阻率曲线值存在明显减小现象。

上述 2 个界面不仅是二级层序界面的响应，将鄂尔多斯盆地中东部横山地区太原组划分为 1 个二级层序，同时构成三级层序界面。

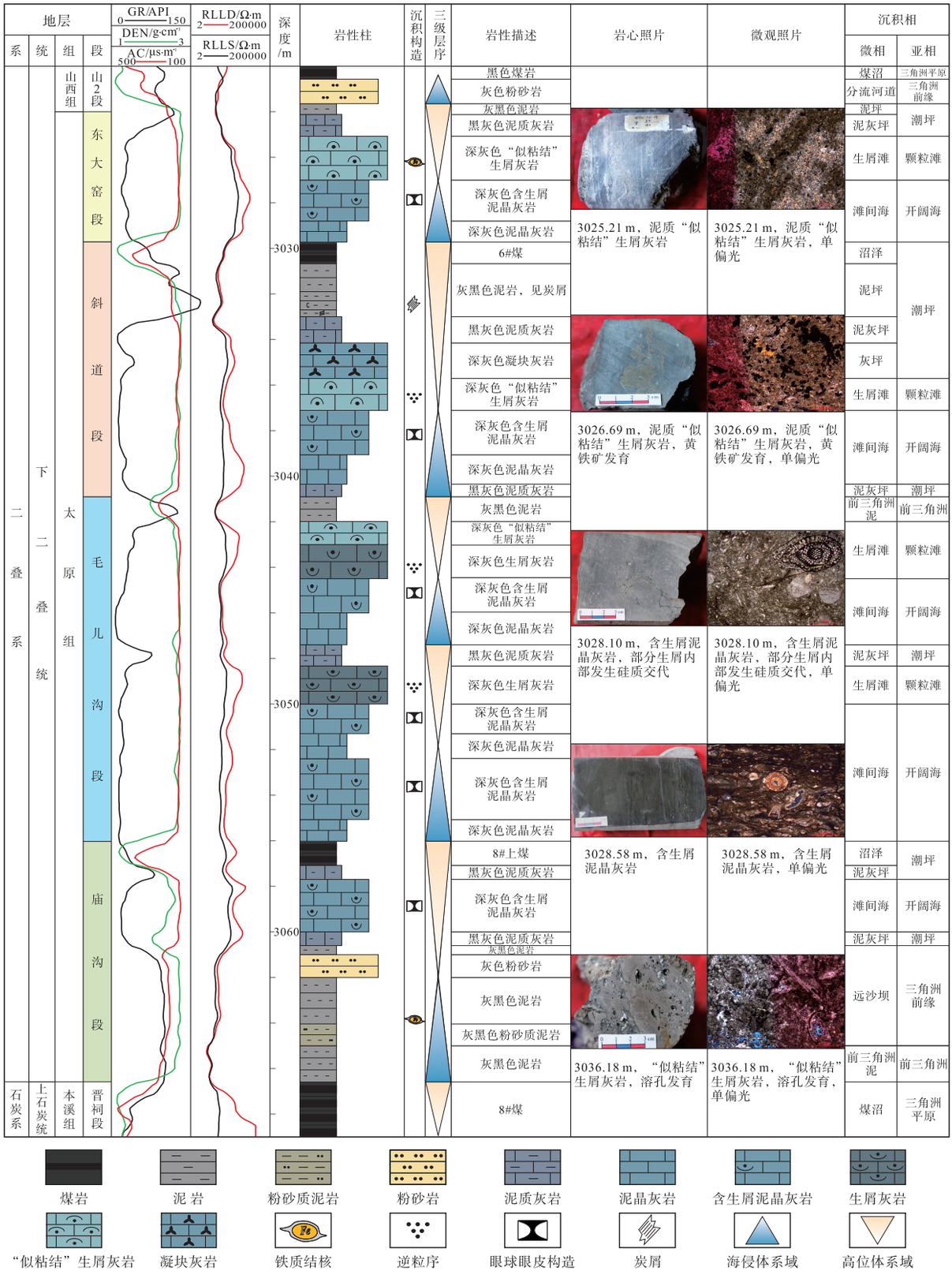


图 4 鄂尔多斯盆地横山气田 Y36 井沉积综合柱状图

Fig. 4 Comprehensive sedimentary columnar chart of Well Y36 in Hengshan gas field, Ordos Basin

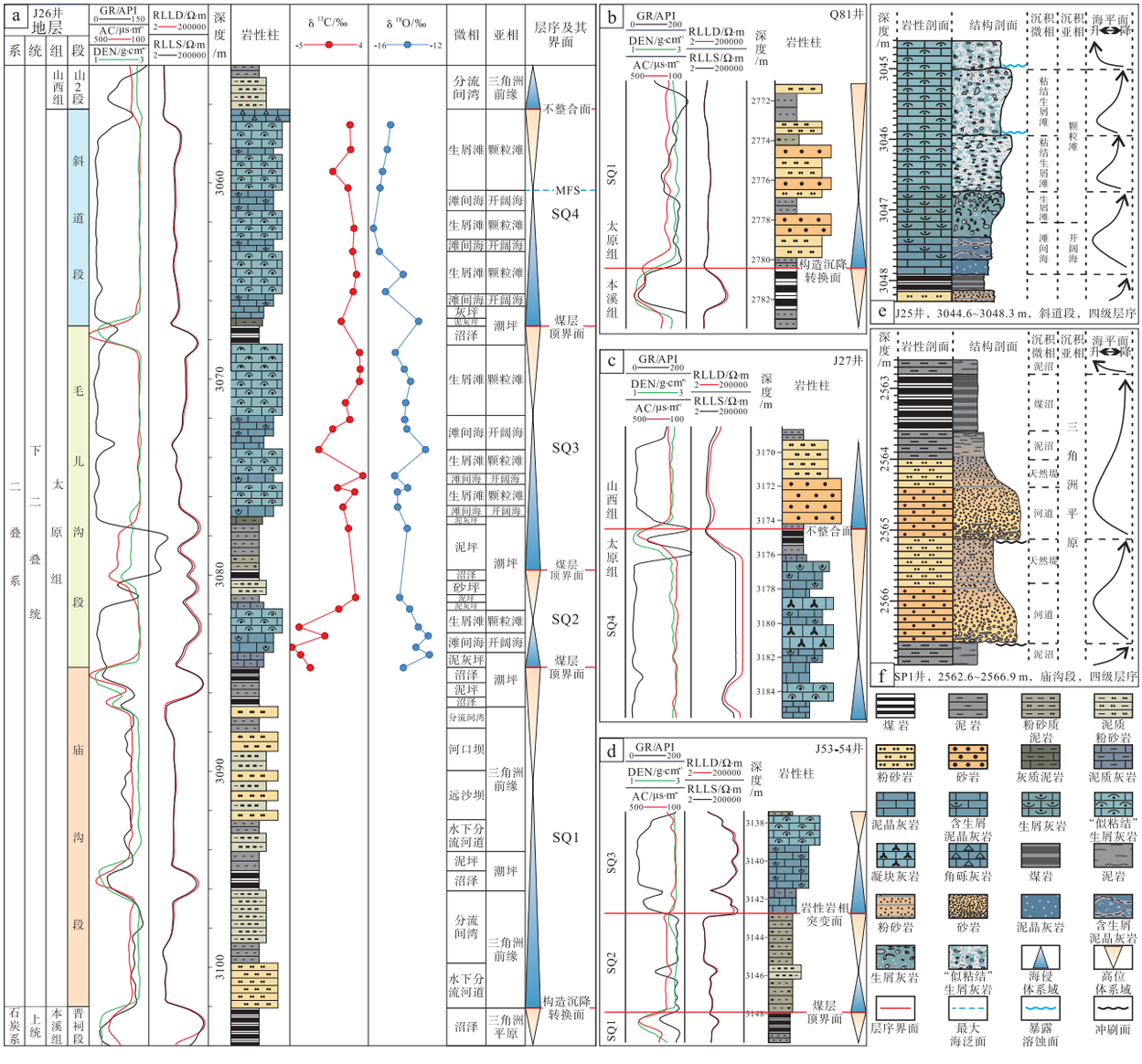


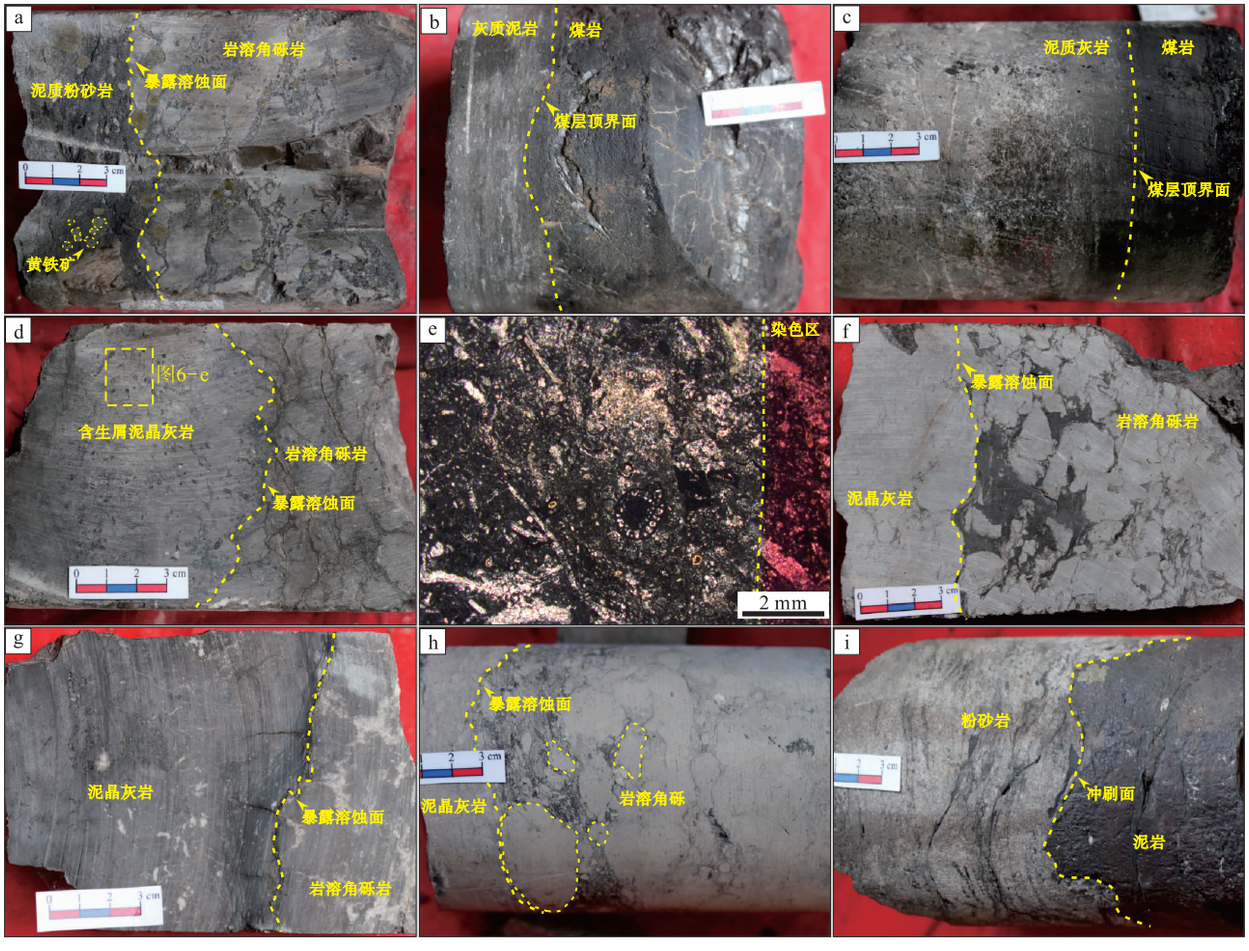
图 5　鄂尔多斯盆地横山气田太原组层序界面特征

Fig. 5　Characteristics of sequence boundaries of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

3.1.2　三级层序界面识别特征

基于岩石学宏微观特征、测井曲线和地球化学数据分析，除了与二级层序界面相同的区域不整合面和构造沉降转换面之外，在鄂尔多斯盆地横山气田太原组内部还识别出三级层序界面的另外 2 种物质表现形式：煤层顶界面和岩性岩相突变面。

煤层顶界面：太原组沉积期作为鄂尔多斯盆地重要的成煤期，其内部发育的 8#上煤、7#煤和 6#煤共 3 套煤层（付金华，2023）在研究区稳定广泛分布，这些煤层常位于沉积旋回的上部，代表海退晚期，沼泽化的产物，其顶界面可作为层序界面（张满郎等，2009），研究区煤层顶界面上普遍发育灰质泥岩/泥质灰岩（图 5-a；图 6-b，6-c），代表新的海侵—海退旋回的开始。如 J26 井内部一煤层顶界面（斜道段与毛儿沟段分界面），界面之下为海退末期伴随陆源输入的沼泽环境中沉积的煤岩，GR 曲线呈现中—低值，具低密度、高声波时差和高电阻率的测井曲线尖峰，界面之上为海侵初期的灰质泥岩（图 6-b），GR 值变小，其余测井曲线响应特征与构造沉降转换面处相似。碳同位素曲线$\delta^{13}C$值在层序界面之下向低值漂移、在界面之上（海泛面附近）向高值漂移（指示相对海平面上



a—泥质粉砂岩，岩溶角砾岩，暴露溶蚀面，J26 井，3056.30 m，斜道段顶部；b—灰质泥岩，煤岩，煤层顶界面，J26 井，3067.30 m，斜道段；c—泥质灰岩，煤岩，煤层顶界面，Q32 井，3234.96 m，毛儿沟段；d—含生屑泥晶灰岩，岩溶角砾岩，暴露溶蚀面，J25 井，3037.95 m，斜道段；e—含生屑泥晶灰岩，J25 井，3037.98 m，斜道段，单偏光；f—泥晶灰岩，岩溶角砾岩，暴露溶蚀面，L134 井，4021.00 m，斜道段；g—泥晶灰岩，岩溶角砾岩，暴露面，Y47 井，2715.32 m，东大窑段；h—泥晶灰岩，岩溶角砾岩，暴露面，SP1 井，2541.75 m，斜道段；i—粉砂岩，泥岩，冲刷面，Y60 井，2354.85 m，东大窑段

图 6 鄂尔多斯盆地横山气田太原组层序界面附近岩石学特征

Fig. 6 Petrological characteristics of rocks near the sequence boundary of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

升），氧同位素曲线 $\delta^{18}O$ 值则与之相反（图 5-a）。J53-54 井中一煤层顶界面附近各测井曲线均呈现一定的尖峰特征，界面之上岩性为潮坪环境的碎屑岩类（图 5-d）。

岩性岩相突变面：太原组为碳酸盐岩台地—三角洲混合沉积，内部岩性岩相变化快速。以 J53-54 井（图 5-d）为例，界面之下为潮间带粉砂质泥岩，GR 曲线为高值，AC 曲线呈中—低值，其余测井曲线呈现低值；界面之上为混积体系的泥晶灰岩和泥质灰岩，GR 和 AC 曲线值减小，DEN、RLLD 和 RLLS 测井曲线值增大。

3.1.3 四级层序界面识别特征

四级层序地层单元是建立高精度层序地层单元的基本地层单位。四级层序界面的形成与三级层序内部受控于偏心率变化引起的短期海平面升降（0.1~1 Ma）有关（丁梦等，2024），对应主要海泛面和次级海泛面（何治亮等，2014），一般不存在不整合或明显的沉积间断现象（武重阳等，2018）。本次研究在识别太原组三级层序界面的基础上，根据测井、岩心和岩石薄片等资料综合分析，发现并总结出横山气田太原组四级层序界面的 4 种物质表现形式，包括：岩性岩相转换面

（图 5-d）、煤层顶界面（图 6-b，6-c）、短期暴露溶蚀面（图 5-e；图 6-d，6-f 至 6-h）和一般规模的水流冲刷面（图 5-f；图 6-i），其中岩性岩相转换面常表现为陆相沉积的泥岩或煤岩向混积岩或海相石灰岩的过渡。除构成三级层序界面外，煤层顶界面还可表现为三级层序内部发育的较薄的煤层，与区域沼泽化有关，其在小区域内具有等时性，其上为海相石灰岩或混积岩，指示了相对海平面短暂下降后的再次上升变化，与上述岩性岩相转换面特征大同小异。短期暴露溶蚀面与相对海平面多次短暂下降之后遭受大气淡水淋滤改造有关，研究区太原组岩溶作用发育的频率较高，可在多层段重复出现且强度存在差异，与之相关的沉积产物多为岩溶角砾岩和泥晶化“似粘结”颗粒灰岩，暴露面之上常沉积海侵初期的（含生屑）泥晶灰岩（图 6-d 至 6-h）。研究区内一般规模的水流冲刷面主要表现为三角洲环境中河道砂体的冲刷构造，主要发育在陆源碎屑沉积优势区。上述 4 种四级层序界面，在成因上均与海平面升降变化有关。

3.2　层序划分

通过对区域构造资料、岩性组合、沉积环境和测井曲线特征等综合分析，在鄂尔多斯盆地横山气田太原组识别出 2 个二级层序界面及 4 个三级层序界面，共划分出 1 个二级层序（SSQ）及其内部 5 个三级层序（SQ1-SQ5），其中 SSQ 相对应于整个太原组，SQ1 对应于庙沟段，SQ2 和 SQ3 对应于毛儿沟段，SQ4 和 SQ5 分别对应于斜道段和东大窑段（图 7）。并基于岩性组合关系，结合冲刷面、暴露溶蚀面等界面识别出若干四级层序，以期在对鄂尔多斯盆地中东部横山地区太原组层序精细化研究工作中提供地质依据。

SQ1 层序底界为构造沉降转换面，界面之下为本溪组 8#煤层，之上发育三角洲碎屑岩沉积，总体向上变细，内部多见冲刷面，顶部发育 1 套分布广泛的煤层（8#上煤）；SQ2 层序底部为 1 套泥质灰岩，代表海进—海退旋回的开始，内部以开阔海环境的含生屑泥晶灰岩为主，顶部为 1 套煤层；SQ3 层序以底部的泥质灰岩开始 1 个新的旋回，后期海平面下降，经暴露溶蚀发育角砾灰岩，顶部发育的煤层（7#煤）为区域沼泽化的产物；SQ4 层序内部石灰岩沉积厚度大于 SQ2 和 SQ3，顶部发育煤层（6#煤）；SQ5 层序内部沉积石灰岩为主，顶部为 1 套高位晚期潮坪沉积的泥岩，顶界为与区域不整合面对应的冲刷面（图 7）。各层序均由海侵体系域（TST）和高位体系域（HST）构成，不发育低位体系域，均反映了沉积水体由浅变深再变浅的过程，SQ2 至 SQ5 自下而上岩性差异较小，其内部四级层序中，成因上与海平面升降有关的界面与界面之间限定的层序地层厚度较小，体现了海平面升降变化频率较高，且层序末期普遍仍处于海相环境，陆源输入影响小，界面附近碎屑岩弱发育。

3.3　层序地层格架

鄂尔多斯盆地横山气田太原组是 1 个完整的二级层序，将太原组与山西组分界面拉平，选取近南北向层序地层格架对比剖面作为代表，基于对该剖面各单井进行精细层序地层划分与对比，建立了太原组内部三级层序地层格架（图 8），明确其空间展布特征，为层序格架内太原组沉积充填演化的研究奠定基础。

二级层序 SSQ 在研究区南部层序厚度相对较厚，在研究区中部横山地区的 Sh268 井区和 Y21 井区分布最厚，由于北部地区地层遭受剥蚀，SSQ 地层发育不全，厚度较薄。三级层序 SQ1 覆于本溪组煤岩之上，在研究区南部 Q50 井区、Sh268 井区发育碳酸盐岩，向北转换为碎屑岩沉积，南北厚度变化较均匀。SQ2 内部广泛发育灰岩，在北部 J53-54 井区、Sh235 井区沉积碎屑岩，地层厚度和碳酸盐岩厚度均向北递减。SQ3 与 SQ2 南北展布特征相近，但地层厚度和石灰岩发育情况均优于 SQ2。SQ4 具厚度大、变化均匀，碳酸盐岩发育广、碎屑岩沉积少的特点，是太原组石灰岩的优势发育层段，其内部石灰岩沉积范围大于 SQ2 和 SQ3 石灰岩沉积范围。SQ5 属于二级层序 SSQ 的高位体系域晚期，其层序地层厚度小，以碳酸盐岩沉积为主，由于山 2 段北岔沟砂岩下切，剥蚀严重，在研究区北部缺失程度最高。在研究区南部 G21-25、Q50、Sh268 和 Y21 井区，SSQ 发育且保留较完整的 5 个三级层序（图 8）。总体上，研究区由南向北石灰岩沉积范围收缩、厚度减薄。SQ1 至 SQ4 时期，各层序高位体系域晚期普遍发育厚度较薄（普遍小于 0.5 m）但分布范围广的煤层，多套煤层累计厚度较大。

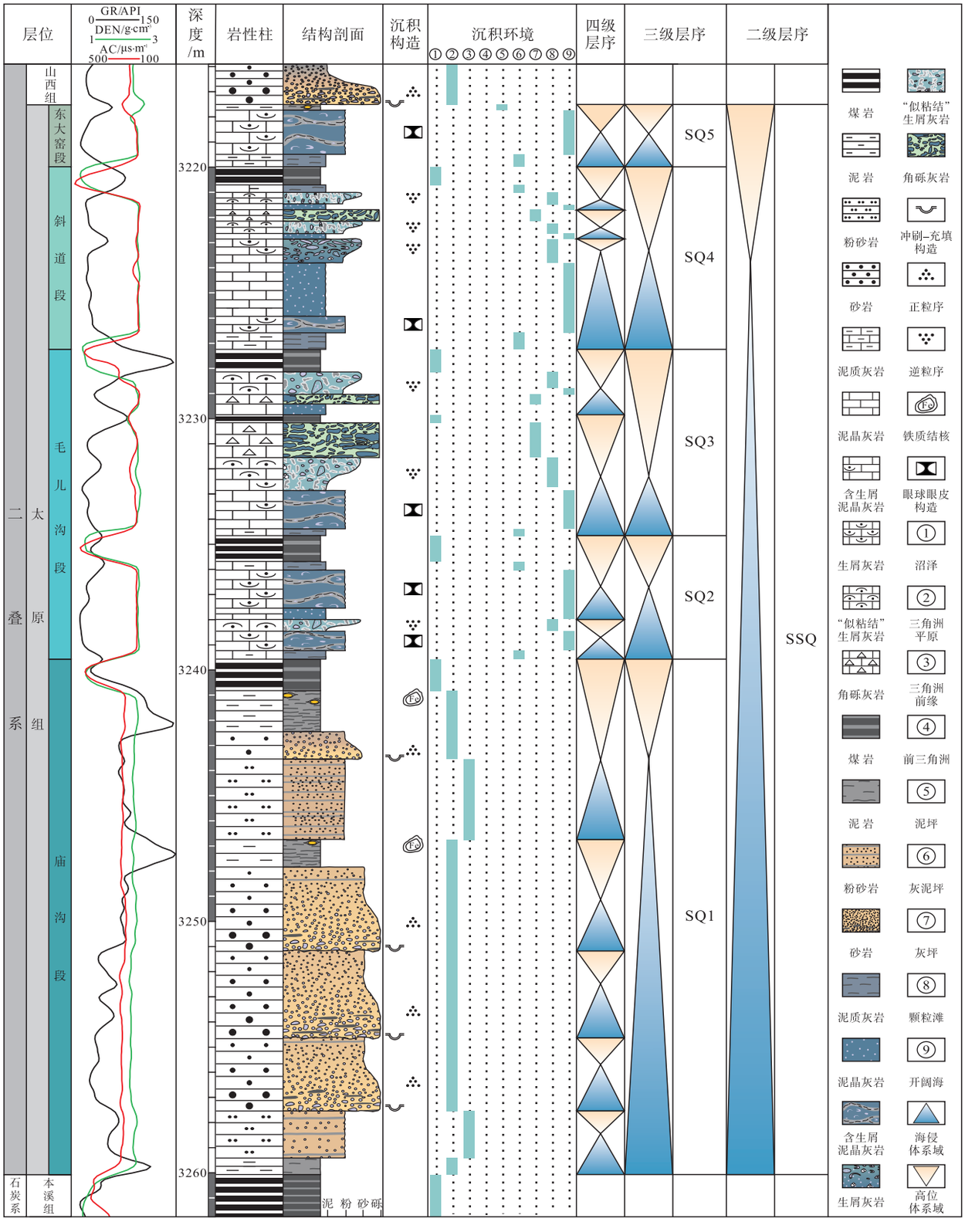


图 7 鄂尔多斯盆地横山气田 Q32 井太原组层序地层综合柱状图

Fig. 7 Comprehensive sequence stratigraphic columnar chart of the Taiyuan Formation of Well Q32 in Hengshan gas field, Ordos Basin

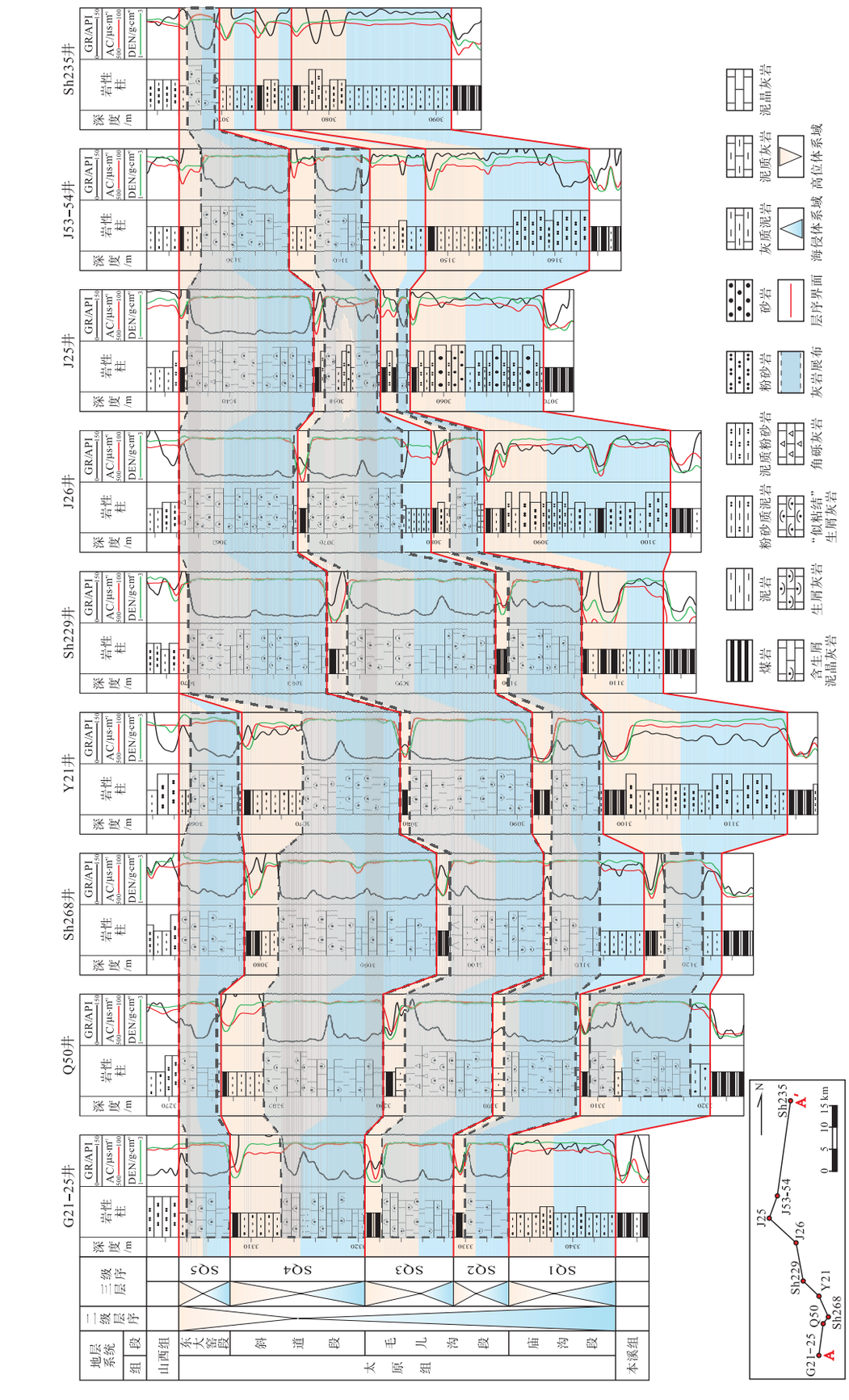


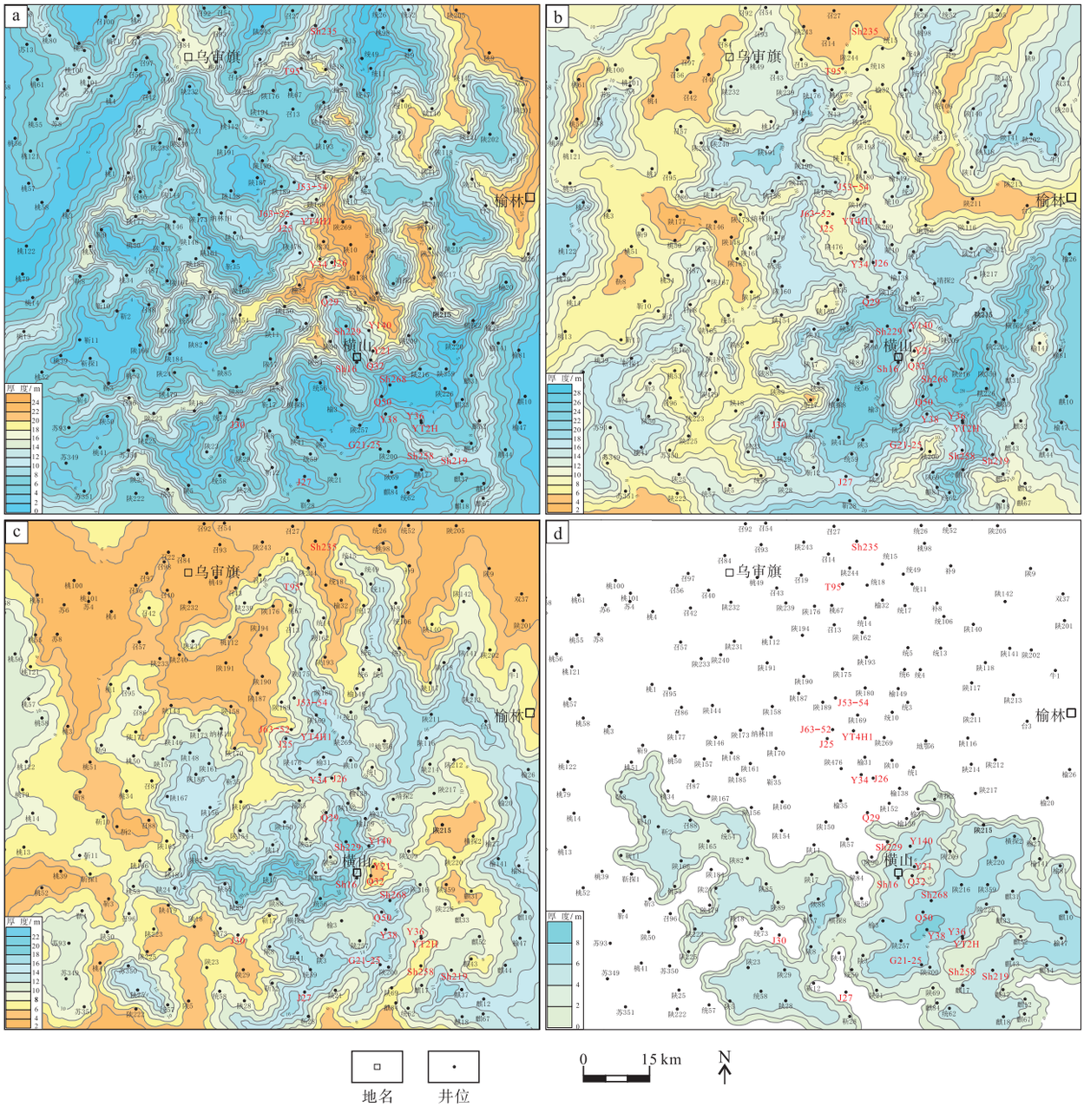
图 8　鄂尔多斯盆地横山气田太原组层序地层格架

Fig. 8　Sequence stratigraphic framework of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

4 沉积充填规律

4.1 石灰岩展布规律

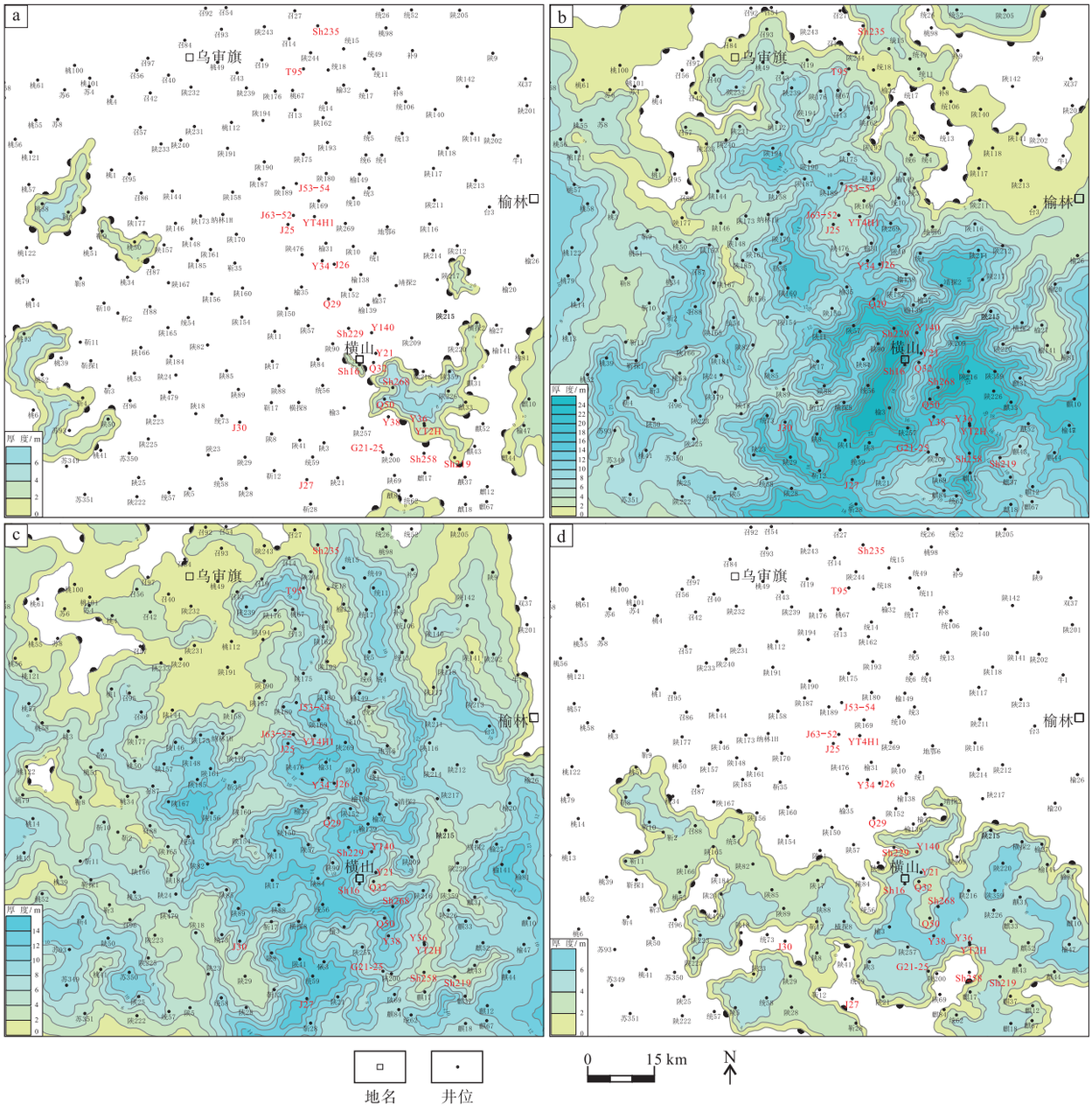
太原期，盆地中东部古构造格局为北隆南倾，海水自南及东南方向侵入，整体呈现出相对快速海侵、缓慢海退的特征，海域向北扩张，同时受北部陆源输入影响，整体表现为海陆过渡环境。庙沟段（SQ1）发育碎屑岩为主，石灰岩呈点状零星分布，主要沉积于横山气田横山东南侧地层薄值区（图 9-a；图 10-a）；对比庙沟段（SQ1），毛儿沟段（SQ2、SQ3）石灰岩沉积范围与厚度增大，石灰岩厚值区发育在横山井区，沿北—北西侧乌审旗地区呈片状展布（图 9-b；图 10-b）；对比整个毛儿沟段（SQ2、SQ3），斜道段（SQ4）石灰岩厚度减小，但沉积范围持续增大，石灰岩厚值区在横山地区呈片状展布，向北西、北—北西、北等方向呈带



a—庙沟段；b—毛儿沟段；c—斜道段；d—东大窑段

图 9 鄂尔多斯盆地横山气田太原组各层段地层厚度平面分布

Fig. 9 Planar distribution map of stratum thickness of each layer section of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin



a—庙沟段；b—毛儿沟段；c—斜道段；d—东大窑段

图 10　鄂尔多斯盆地横山气田太原组各层段石灰岩厚度平面分布

Fig. 10　Planar distribution map of limestone thickness of each layer section of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

状延伸，石灰岩厚值区与地层厚值区耦合关系好（图 9-c；图 10-c）；与斜道段相比，东大窑段（SQ5）石灰岩厚度与沉积范围急剧缩减，仅在研究区南部近东西向带状—片状展布，石灰岩厚值区在横山地区呈点状分布（图 9-d；图 10-d）。总体上，研究区太原组石灰岩呈现南厚北薄，东北侧地层厚、石灰岩薄，沉积碎屑岩为主。

4.2　海平面变化对沉积充填过程的控制

通过分析横山气田内近南北向剖面层序地层格架内石灰岩的相对沉积范围差异（图 8）与各层段石灰岩的沉积展布规律以及石灰岩和地层的耦合关系（图 9；图 10），重建太原组的海平面升降变化曲线（图 11），研究显示：三级层序 SQ1 至 SQ4，

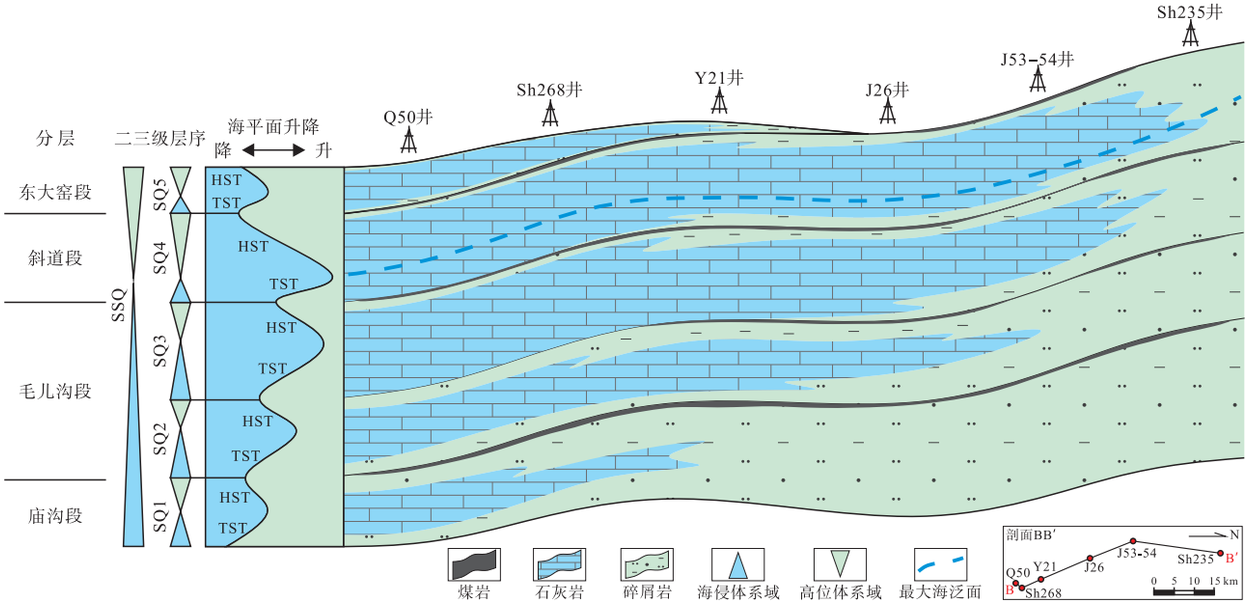


图 11 鄂尔多斯盆地横山气田太原组石灰岩沉积范围与相对海平面升降

Fig. 11 Sedimentary range of limestone and relative sea-level rise and fall of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

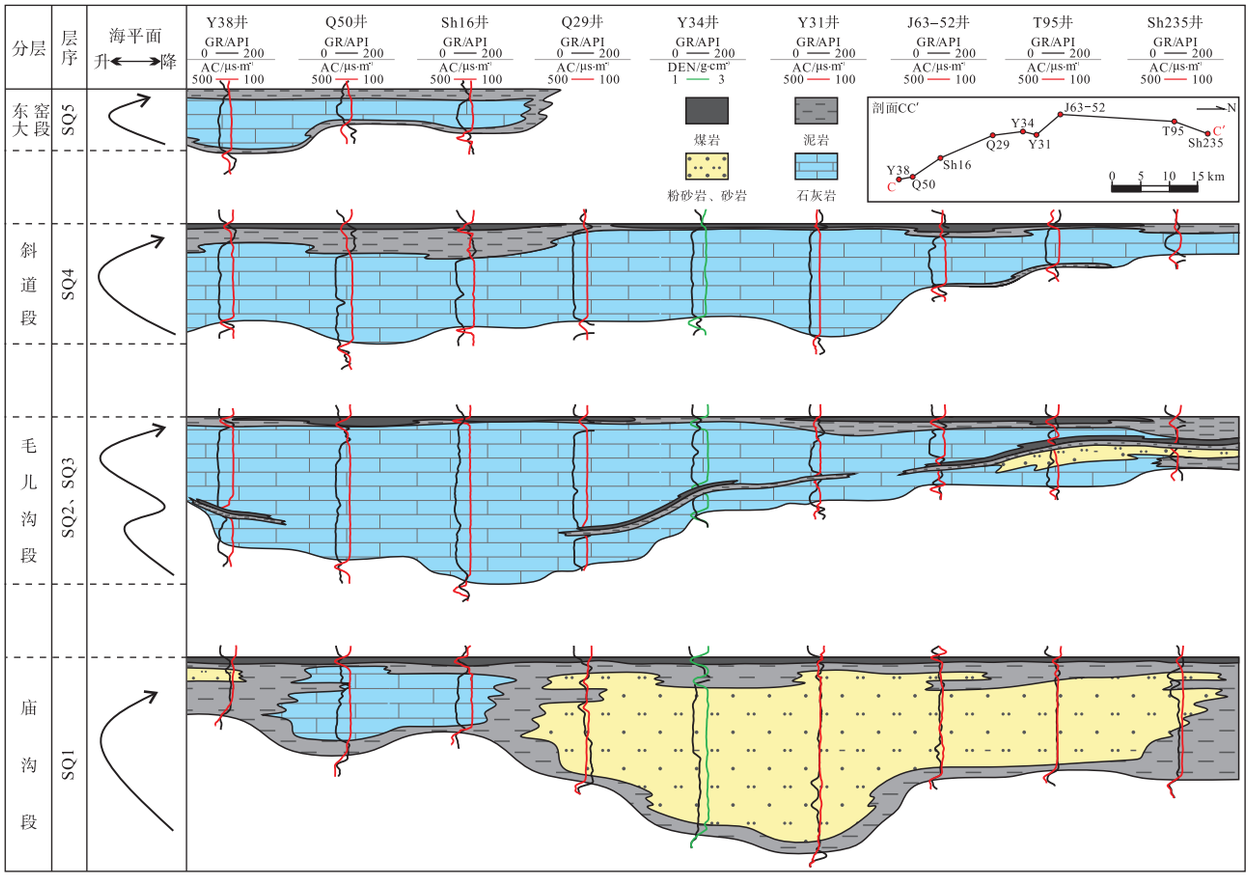


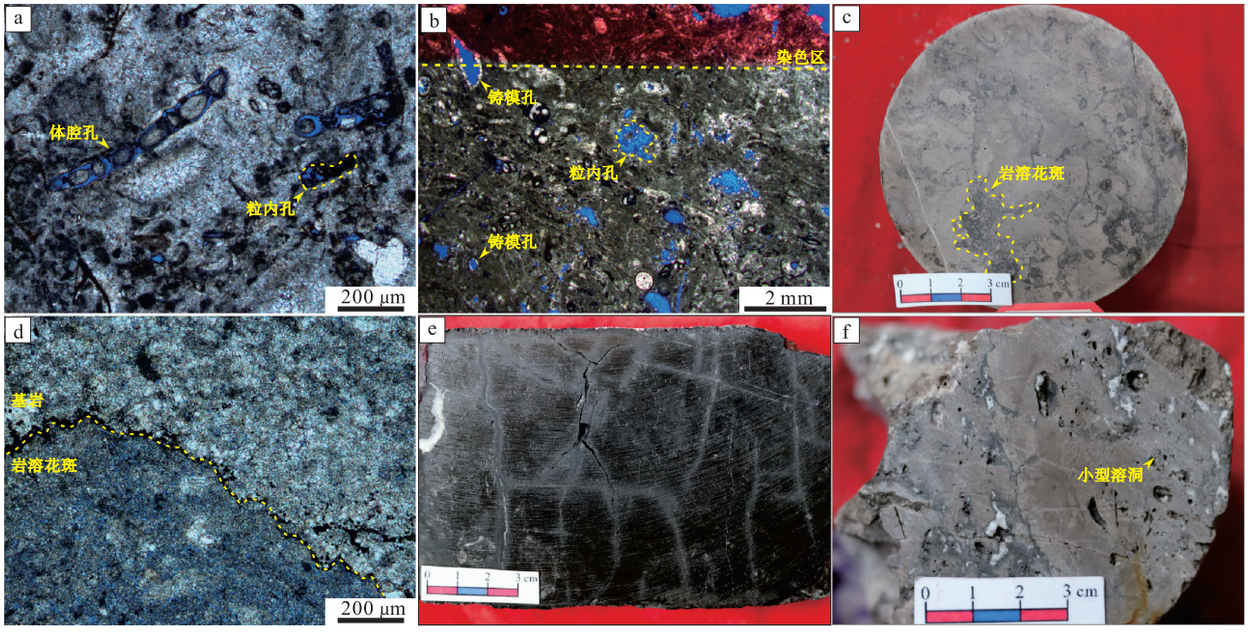
图 12 鄂尔多斯盆地横山气田太原组沉积充填演化模式

Fig. 12 Evolution pattern diagram of sedimentary filling of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

石灰岩沉积范围不断向北侧地貌高地扩张、厚度减薄，该阶段为二级层序 SSQ 内的持续海侵过程；海侵体系域（TST）中晚期，随着海平面不断升高，可容纳空间的增长速率高于陆源碎屑沉积速率（刘桂珍等，2021），此时，研究区混合沉积范围持续扩大，除开阔海环境中的（含生屑）泥晶灰岩之外，还可见潮坪环境的灰质泥岩。研究区太原组斜道段（SQ4）石灰岩沉积厚度和范围均优于毛儿沟段第二层（SQ3）石灰岩（图 8），说明 SQ4 时期海侵范围大于 SQ3，最大海泛面在 SQ4 内部（图 11）。SQ4 初期，持续海侵，石灰岩沉积范围达到最大，SQ4 中晚期至 SQ5 沉积期为海退过程，石灰岩沉积范围向南侧地貌洼地收缩，直至海退结束。

4.3　沉积充填模式

鄂尔多斯盆地整体构造沉降幅度不大，主要是相对海平面的升降变化和沉积期地貌决定沉积充填差异。以海平面升降规律为指导，结合地层厚度近似反演沉积期地貌高低（谭秀成等，2025），建立横山气田太原组沉积充填演化模式（图 12），SSQ 海侵体系域初期，庙沟段（SQ1）海平面总体处于较低的水平，研究区总体以三角洲沉积体系为主导，沉积碎屑岩，仅南部部分地貌洼地较深水区沉积碳酸盐岩；毛儿沟段（SQ2、SQ3）持续海侵，海侵范围不断扩大，海水存在小幅度振荡，沉积环境向海相碳酸盐岩台地转变，且沉积中心向南部地貌洼地迁移，沉积海相碳酸盐岩为主，高位期海平面下降，颗粒滩发育，高位体系域末期，顶部煤层稳定发育，具一定填平补齐作用；至斜道段（SQ4）初期达到最大海泛，开阔海沉积范围达到最大，转而海退，发育大量颗粒滩；SSQ 高位体系域晚期，持续海退，深水区变浅水区，发育以潮坪沉积体系为主的东大窑段（SQ5），石灰岩沉积范围减小，集中发育在南部地貌洼地，随后结束海相沉积，开始沉积山西组砂岩，并对研究区北部太原组顶部东大窑段地层造成一定程度的剥蚀，呈现“顶削”的地层充填过程。各阶段海侵时间及规模不同导致其内部石灰岩厚度存在差异，毛儿沟段和斜道段石灰岩沉积较稳定。受沉积期地貌和海平面升降影响，研究区南部横山地区为太原组石灰岩沉



a—“似粘结”生屑灰岩，见体腔孔和粒内孔，单偏光，蓝色铸体，T54-1 井，3116.15 m，斜道段；b—“似粘结”生屑灰岩，溶蚀作用发育，见铸模孔和粒内孔，单偏光，蓝色铸体，Y36 井，3035.68 m，斜道段；c—“似粘结”生屑灰岩，岩溶花斑内暗色渗流粉砂充填，亮面见少量孔隙，J79-10 井，3226.30 m，斜道段；d—“似粘结”生屑灰岩，岩溶花斑内部发育大量晶间孔，单偏光，蓝色铸体，J79-10 井，3227.19 m，斜道段；e—含生屑泥晶灰岩，网状裂缝发育，J25 井，3190.61 m，毛儿沟段；f—生屑灰岩，强烈岩溶改造，见小型溶洞，Y36 井，3035.37 m，斜道段

图 13　鄂尔多斯盆地横山气田太原组石灰岩储集空间类型

Fig. 13　The types of reservoir spaces of the Taiyuan Formation limestone in Hengshan gas field, Ordos Basin

积中心，研究区北部为太原组碎屑岩沉积中心。

5 源储发育规律及形成机制

鄂尔多斯盆地上石炭统—下二叠统煤系烃源岩是构成盆地天然气资源基础的重要气源之一（何登发等，2010），太原组煤系烃源岩与石灰岩具典型的“三明治”成藏模式（席胜利等，2023）。烃源岩方面，太原组底部与厚度大、分布范围广的本溪组 8#煤层整合接触，内部沉积了 8#上煤、7#煤、6#煤和多套暗色泥岩，均发育在层序界面处，顶部与山西组 5#煤邻近，具备天然气生成的丰富物质基础；煤系烃源岩初期在地貌高部位富集，随着层序界面处海水的大范围退却，整体呈现出广覆式分布的特征。储集层方面，斜道段和毛儿沟段等厚层石灰岩（厚度 5～30 m）是重要的储集层，已有研究表明，研究区太原组主要发育滩控岩溶型石灰岩储集层（董国栋等，2023；李诚等，2024），主要储集空间类型为岩溶优化改造而形成的次生孔隙，原生孔隙较少（曹晋璐等，2022；董国栋等，2023；王康乐等，2024；闫小雄等，2025）。研究区太原组石灰岩主要储集空间类型包括：体腔孔（图 13-a）、铸模孔（图 13-b）、粒内孔（图 13-a，13-b）、岩溶花斑内部大量发育的晶间孔（图 13-c，13-d）、发育频率较高的网状裂缝（图 13-e）和早成岩期岩溶溶蚀而成的小型溶洞（发育频率较低）（图 13-f）。太原组整体上存在多套广覆式分布的煤系烃源岩与厚层石灰岩储集层垂向叠置、源储共生的源储配置关系，具体表现为毛儿沟段和

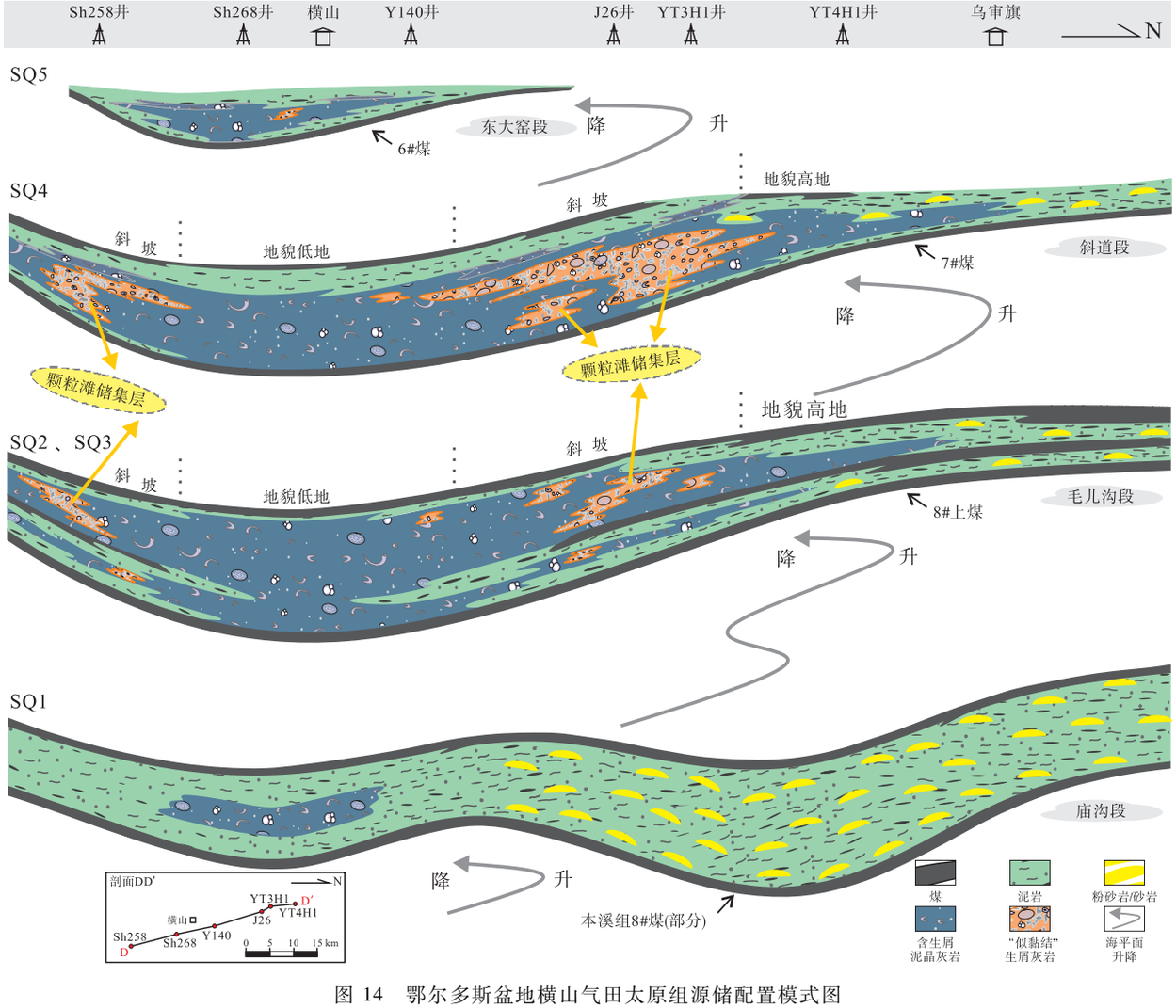


图 14 鄂尔多斯盆地横山气田太原组源储配置模式图

Fig. 14 Pattern diagram of source-reservoir configuration of the Taiyuan Formation in Hengshan gas field, Ordos Basin

斜道段颗粒滩储集层分别与 8#上煤和 7#煤呈“下生上储”型源储配置关系，同时分别与 7#煤和 6#煤呈“上生下储”型源储配置关系。

太原组内部多套煤层常发育于三级层序顶部（图 14），高位体系域晚期海平面下降导致水体变浅，北部大量的陆源物质输入并淤积成沼泽沉积煤层，下一次海侵开始阶段，泥炭逐渐被水体淹没，成煤沼泽消失，导致煤层结束沉积，三级层序控制着煤层的纵横向分布。颗粒滩具良好的储集条件，在经历岩溶作用改造后储集性能进一步提升，研究区内的颗粒滩及岩溶作用及其相关产物多位于四级层序海退阶段，与持续时间短、高频率的海平面升降变化有关，SQ3 和 SQ4 为太原组主要的成滩期，滩体集中发育于地貌高地向地貌低地过渡的斜坡部位，随着相对海平面下降，颗粒滩向海方向迁移叠置（图 14）。综合太原组层序地层格架内煤系烃源岩和灰岩储集层的成因与分布特征，总结出“三级层序控制煤系烃源岩发育，四级层序控制储集层纵向叠置分布”的源储发育机制，认为太原组毛儿沟段和斜道段的沉积期斜坡部位可作为勘探部署的重点区带。

6　结论

1）鄂尔多斯盆地中东部太原组发育海相碳酸盐岩、混积岩及陆源碎屑岩 3 大类，北部发育滨浅海三角洲，南部以海相碳酸盐岩台地沉积为主，可划分为 1 个二级层序、5 个三级层序（SQ1-SQ5）及多个四级层序，均为二分体系域结构，不发育低位体系域，其中，二级层序下部发育碎屑岩，中上部发育碳酸盐岩，煤层普遍发育于三级层序顶部，SQ2-SQ4 以灰岩为主，SQ5 地层存在不同程度的削蚀。

2）太原组层序—沉积充填过程受沉积期古地貌和海平面变化共同控制，内部存在“沉积中心迁移”、“填平补齐”和“顶削”的充填过程，南部横山地区为碳酸盐岩沉积中心，北部乌审旗地区为碎屑岩沉积中心。

3）太原组源储发育均受控于层序—沉积演化，垂向上表现为“三级层序控制煤系烃源岩发育，四级层序控制储集层纵向叠置分布”，在横向上，颗粒滩沿斜坡向海方向迁移叠置，据此认为毛儿沟段和斜道段沉积期古地貌斜坡区可作为天然气勘探的有利区。

参考文献（References）

曹晋璐，刘之的，何福文，刘晓鹏，邓卫斌. 2022. 鄂尔多斯盆地中东部太原组灰岩成藏地质条件分析. 石油地质与工程，36(2)：41-47，53. [Cao J L，Liu Z D，He F W，Liu X P，Deng W B. 2022. Analysis of limestone reservoir forming geological conditions of Taiyuan Formation in central and eastern Ordos Basin. Petroleum Geology and Engineering，36(2)：41-47，53]

崔宏俊，雷燕云，曹雄伟，魏灿灿，李鹏程，付金伟，胡震，王博涵. 2023. 鄂尔多斯盆地延安地区本溪组—太原组地层及其沉积演化特征. 西安石油大学学报（自然科学版），38(3)：19-26. [Cui H J，Lei Y Y，Cao X W，Wei C C，Li P C，Fu J W，Hu Z，Wang B H. 2023. High resolution sequence stratigraphy and sedimentary evolution characteristics of Benxi Formation-Taiyuan Formation in Yan'an area，Ordos Basin. Journal of Xi'an Shiyou University（Natural Science Edition），38(3)：19-26]

丁梦，樊太亮，吴俊，李煜，李晨晨，吕凯迪. 2024. 塔里木盆地塔河油田 T738 井区一间房组高精度层序地层格架内沉积微相特征. 现代地质，38(5)：1270-1290. [Ding M，Fan T L，Wu J，Li Y，Li C C，Lü K D. 2024. Sedimentary microfacies in a high-precision sequence stratigraphic framework of the Yijianfang Formation in the T738 well area of the Tahe Oilfield，Tarim Basin. Geoscience，38(5)：1270-1290]

董国栋，刘新社，裴文超，付勋勋，曾旭，张道锋，赵小会. 2023. 鄂尔多斯盆地二叠系太原组致密灰岩储层特征及主控因素. 天然气地球科学，34(6)：1018-1027. [Dong G D，Liu X S，Pei W C，Fu X X，Zeng X，Zhang D F，Zhao X H. 2023. Characteristics and main controlling factors of tight limestone reservoir in Taiyuan Formation of Ordos Basin. Natural Gas Geoscience，34(6)：1018-1027]

付金华. 2023. 鄂尔多斯盆地太原组致密灰岩天然气成藏地质特征与勘探潜力. 地学前缘，30(1)：20-29. [Fu J H. 2023. Accumulation characteristics and exploration potential of tight limestone gas in the Taiyuan Formation of the Ordos Basin. Earth Science Frontiers，30(1)：20-29]

郭艳琴，李文厚，郭彬程，张倩，陈强，王若谷，刘溪，马瑶，李智超，张梦婷，李百强. 2019. 鄂尔多斯盆地沉积体系与古地理演化. 古地理学报，21(2)：293-320. [Guo Y Q，Li W H，Guo B C，Zhang Q，Chen Q，Wang R G，Liu X，Ma Y，Li Z C，Zhang M T，Li B Q. 2019. Sedimentary systems and palaeogeography evolution of Ordos Basin. Journal of Palaeogeography（Chinese Edition），21(2)：293-320]

郭英海，刘焕杰，权彪，汪泽成，钱凯. 1998. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化. 沉积学报，16(3)：44-51. [Guo Y H，Liu H J，Quan B，Wang Z C，Qian K. 1998. Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution in Ordos region. Acta Sedimentologica Sinica，16(3)：44-51]

何登发，李德生，童晓光. 2010. 中国多旋回叠合盆地立体勘探论. 石油学报，31(5)：695-709. [He D F，Li D S，Tong X G. 2010.

Stereoscopic exploration model for multi-cycle superimposed basins in China. Acta Petrolei Sinica,31(5): 695-709]

何治亮,高志前,张军涛,丁茜,焦存礼. 2014. 层序界面类型及其对优质碳酸盐岩储层形成与分布的控制. 石油与天然气地质,35(6): 853-859. [He Z L,Gao Z Q,Zhang J T,Ding Q,Jiao C L. 2014. Types of sequence boundaries and their control over formation and distribution of quality carbonate reservoirs. Oil & Gas Geology,35(6): 853-859]

黄有根,许杰,郑小鹏,刘燕,钟寿康,李琳,张道锋,谭秀成. 2024. 鄂尔多斯盆地中东部下二叠统太原组灰岩沉积特征与沉积模式. 古地理学报,26(4): 911-925. [Huang Y G,Xu J,Zheng X P,Liu Y,Zhong S K,Li L,Zhang D F,Tan X C. 2024. Sedimentary characteristics and sedimentary models of the Lower Permian Taiyuan Formation limestone in mid-eastern Ordos Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),26(4): 911-925]

李诚,张道锋,郑小鹏,刘燕,胡薇薇,魏金阳,石林辉. 2024. 鄂尔多斯盆地横山气田下二叠统太原组灰岩储层形成机理及展布规律. 海相油气地质,29(3): 257-268. [Li C,Zhang D F,Zheng X P,Liu Y,Hu W W,Wei J Y,Shi L H. 2024. Genesis and distribution patterns of limestone reservoirs of the Lower Permian Taiyuan Formation in Hengshan gas field,Ordos Basin. Marine Origin Petroleum Geology,29(3): 257-268]

李文厚,张倩,李克永,陈强,郭艳琴,马瑶,冯娟萍,张道锋. 2021. 鄂尔多斯盆地及周缘地区晚古生代沉积演化. 古地理学报,23(1): 39-52. [Li W H,Zhang Q,Li K Y,Chen Q,Guo Y Q,Ma Y,Feng J P,Zhang D F. 2021. Sedimentary evolution of the Late Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),23(1): 39-52]

刘桂珍,高伟,尉加盛,唐文. 2021. 混积层系沉积、层序特征: 以鄂尔多斯盆地高桥地区本溪组为例. 天然气地球科学,32(3): 382-392. [Liu G Z,Gao W,Wei J S,Tang W. 2021. Sedimentary characteristics and sequence stratigraphy in a mixed silicilastic-carbonate depositional system: case study of Benxi Formation in Gaoqiao area,Ordos Basin. Natural Gas Geoscience,32(3): 382-392]

刘新社,张涛,黄道军,董国栋,王康乐,付勋勋,赵小会,卢子兴,于洲,荆雪媛,张君莹. 2023. 鄂尔多斯盆地中东部太原组石灰岩天然气勘探新突破及勘探方向. 天然气工业,43(5): 1-11. [Liu X S,Zhang T,Huang D J,Dong G D,Wang K L,Fu X X,Zhao X H,Lu Z X,Yu Z,Jing X Y,Zhang J Y. 2023. New breakthrough in and direction of natural gas exploration in Taiyuan Formation limestone in the central and eastern Ordos Basin. Natural Gas Industry,43(5): 1-11]

申博恒,沈树忠,吴琼,张水昌,张斌,王向东,侯章帅,袁东勋,张以春,刘锋,刘俊,张华,史宇坤,王军,冯卓. 2022. 华北板块石炭纪—二叠纪地层时间框架. 中国科学: 地球科学,52(7): 1181-1212. [Shen B H,Shen S Z,Wu Q,Zhang S C,Zhang B,Wang X D,Hou Z S,Yuan D X,Zhang Y C,Liu F,Liu J,Zhang H,Shi Y K,Wang J,Feng Z. 2022. Time frame of Carboniferous-Permian strata in North China plate. Scientia Sinica(Terrae),52(7): 1181-1212]

沈树忠,张华,张以春,袁东勋,陈波,何卫红,牟林,林巍,王文倩,陈军,吴琼,曹长群,王玥,王向东. 2019. 中国二叠纪综合地层和时间框架. 中国科学(地球科学),49(1): 160-193. [Shen S Z,Zhang H,Zhang Y C,Yuan D X,Chen B,He W H,(Mou/mu)L,Lin W,Wang W Q,Chen J,Wu Q,Cao C Q,Wang Y,Wang X D. 2019. Permian comprehensive strata and time frame in China. Scientia Sinica(Terrae),49(1): 160-193]

沈玉林,郭英海,李壮福,魏新善,贾志刚. 2009. 鄂尔多斯盆地东缘本溪组—太原组层序地层特征. 地球学报,30(2): 187-193. [Shen Y L,Guo Y H,Li Z F,Wei X S,Jia Z G. 2009. Sequence stratigraphy of Benxi-Taiyuan Formation in eastern Ordos Basin. Acta Geoscientica Sinica,30(2): 187-193]

谭秀成,何如意,杨文杰,罗冰,师江波,张连进,李明隆,唐宇欣,肖笛,乔占峰. 2025. 四川盆地武胜—潼南地区中二叠统茅口组二段下亚段白云岩薄储层成因及分布模式. 石油勘探与开发,52(1): 112-127. [Tan X C,He R Y,Yang W J,Luo B,Shi J B,Zhang L J,Li M L,Tang Y X,Xiao D,Qiao Z F. 2025. Origin and distribution model of thin dolomite reservoirs in the lower sub-member of Mao 2 Member of Middle Permian Maokou Formation in Wusheng-Tongnan area,Sichuan Basin,SW China. Petroleum Exploration and Development,52(1): 112-127]

王康乐,钟寿康,赵伟波,许杰,陈娟萍,卢子兴,李琳,高星,谭秀成. 2024. 鄂尔多斯盆地太原组灰岩成岩演化及控储作用. 成都理工大学学报(自然科学版),51(5): 772-786. [Wang K L,Zhong S K,Zhao W B,Xu J,Chen J P,Lu Z X,Li L,Gao X,Tan X C. 2024. Impact of diagenetic on evolution of reservoirs of Taiyuan Formation limestone in Ordos Basin. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition),51(5): 772-786]

武重阳,于炳松,王红军,阮壮,程传捷,郭同翠,张良杰,程木伟. 2018. 阿姆河右岸 B 区中部卡洛夫—牛津阶高精度层序地层划分及层序发育模式. 现代地质,32(5): 924-937. [Wu C Y,Yu B S,Wang H J,Ruan Z,Cheng C J,Guo T C,Zhang L J,Cheng M W. 2018. High-resolution stratigraphic division and formation model of the Callovian-Oxfordian sequences in the central part of block B in the right bank of Amu Darya Basin,Turkmenistan. Geoscience,32(5): 924-937]

席胜利,李文厚,刘新社,郭英海. 2009. 鄂尔多斯盆地神木地区下二叠统太原组浅水三角洲沉积特征. 古地理学报,11(2): 187-194. [Xi S L,Li W H,Liu X S,Guo Y H. 2009. Sedimentary characteristics of shallow water delta of the Lower Permian Taiyuan Formation in Shenmu area,Ordos Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),11(2): 187-194]

席胜利,刘新社,任军峰,刘刚,张才利,惠潇,赵伟波,王红伟,井向辉,董国栋,魏嘉怡,李涵. 2023. 鄂尔多斯盆地风险勘探领域油气成藏认识新进展与勘探潜力. 中国石油勘探,28(3): 34-48. [Xi S L,Liu X S,Ren J F,Liu G,Zhang C L,Hui X,Zhao W B,Wang H W,Jing X H,Dong G D,Wei J Y,Li H. 2023. New understanding of hydrocarbon accumulation and exploration potential in risk exploration field in Ordos Basin. China Petroleum Exploration,28(3): 34-48]

闫小雄，钟寿康，裴文超，许杰，谭秀成. 2025. 鄂尔多斯盆地太原组灰岩早成岩期多级次岩溶特征及控储机制. 天然气地球科学，36(2)：257-270. [Yan X X，Zhong S K，Pei W C，Xu J，Tan X C. 2025. Multi-stage karst characteristics and reservoir control of early diagenetic limestone in the Taiyuan Formation，Ordos Basin. Natural Gas Geoscience，36(2)：257-270]

杨华，席胜利，魏新善，李振宏. 2006. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集. 中国石油勘探，11(1)：17-24，6. [Yang H，Xi S L，Wei X S，Li Z H. 2006. Evolution and natural gas enrichment of multicycle superimposed basin in Ordos Basin. China Petroleum Exploration，11(1)：17-24，6]

于波. 2016. 鄂尔多斯东南部上古生界层序地层特征. 西北地质，49(1)：92-100. [Yu B. 2016. Characteristic of Upper Paleozoic sequence stratigraphy in east-southern Ordos Basin. Northwestern Geology，49(1)：92-100]

于兴河，王香增，王念喜，单新，周进松，韩小琴，李亚龙，杜永慧，赵晨帆. 2017. 鄂尔多斯盆地东南部上古生界层序地层格架及含气砂体沉积演化特征. 古地理学报，19(6)：935-954. [Yu X H，Wang X Z，Wang N X，Shan X，Zhou J S，Han X Q，Li Y L，Du Y H，Zhao C F. 2017. Sequence stratigraphic framework and sedimentary evolution characteristics of gas-bearing sandbody in the Upper Paleozoic in southeastern Ordos Basin. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)，19(6)：935-954]

张满郎，李熙喆，谷江锐，谢武仁. 2009. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层划分及演化. 沉积学报，27(2)：289-298. [Zhang M L，Li X Z，Gu J R，Xie W R. 2009. Sequence division and evolution of Upper Paleozoic in the Ordos Basin. Acta Sedimentologica Sinica，27(2)：289-298]

Dunham R J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In：Ham W E(ed). American Association of Petroleum Geologists Memoir，1：108-121.

Emery D，Myers K J. 1996. Sequence Stratigraphy. Malden：Blackwell Science.

Fielding C R. 2021. Late Palaeozoic cyclothems：a review of their stratigraphy and sedimentology. Earth-Science Reviews，217：103612.

Vail P R，Audemard F，Bowman S A. 1991. The stratigraphic signatures of tectonics，eustasy and sedimentation：an overview. In：Eisele G，Rieken W，Seilacher A(eds). Cycles and Events in Stratigraphy. Berlin：Springer-Verlag，617-659.

（责任编辑　王绍华）