第 28 卷　第 5 期
2026 年　10 月

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

Vol. 28　No. 5
Oct.　2026

文章编号：1671-1505(2026)05-1722-17　　**DOI**:10.7605/gdlxb.2026.127

准噶尔盆地二叠系夏子街组全油气系统储集层沉积特征及模式*

孙　靖　何文军　王学勇　晏　奇　薛晶晶　郑孟林

中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院，新疆克拉玛依 834000

摘　要　为明确准噶尔盆地二叠系夏子街组全油气系统理论下的全序列储集层沉积特征及模式，利用 80 余口重点井录井、取心、测井、三维地震、薄片及分析化验等数据和资料，对其储集层的沉积相类型、基本特征、分布规律、演化特征及沉积模式等进行系统研究和分析。结果表明：准噶尔盆地二叠系夏子街组发育大型敞流湖盆，沉积体系为扇三角洲—湖泊体系和辫状河三角洲—湖泊体系，三角洲相发育平原、内前缘、外前缘和前三角洲等亚相，湖泊相以滨—浅湖亚相为主。不同期次亚相和微相垂向上相互叠置、切割，平面上叠置连片、广覆式分布，形成了 6 个扇三角洲群及 2 个辫状河三角洲群。各个亚相、微相紧密相邻，有序组合，连续分布，构成完整序列沉积体系，整体形成了水进进积型和水进退积型 2 类三角洲，扇三角洲以进积型为主，退积型为辅，辫状河三角洲以退积型为主。三角洲—湖泊沉积体系内砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩等各类不同粒度沉积岩均大规模发育，不同相带沉积不同粒度和类型储集层，形成了粗粒→中粒→细粒有序共生、连续分布的全序列储集层。夏子街组全序列储集层沉积特征及模式分析对准噶尔盆地及国内外含油气沉积盆地全序列储集层研究和全油气系统勘探开发具有参考价值。

关键词　全油气系统　沉积特征　沉积模式　夏子街组　准噶尔盆地

第一作者简介　孙靖，男，1982 年生，高级工程师，硕士，主要从事沉积储集层、非常规储集层、深层—超深层储集层及全油气系统研究工作。E-mail：sun19820804@sina.com。

中图分类号：P531　　**文献标志码**：A

Sedimentary characteristics and model of whole petroleum system reservoir of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

SUN Jing　HE Wenjun　WANG Xueyong　YAN Qi　XUE Jingjing　ZHENG Menglin

Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Xinjiang Karamay 834000, *China*

Abstract　In order to clarify the sedimentary characteristics and models of whole sequence reservoirs under whole petroleum system theory of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin, a systematic study and analysis was conducted using data and materials from over 80 key wells, including core logging, coring, logging, 3D seismic, thin section and analytical testing. The results show that the Xiazijie Formation developed a large open-flow lake basin, with sedimentary systems including fandelta-lake and

* 国家科技重大专项（编号：2025ZD1400300，2025ZD1402600）和中国石油天然气集团公司重大科技专项（编号：2023ZZ24-01）联合资助。[Co-funded by the National Science and Technology Major Project（Nos. 2025ZD1400300，2025ZD1402600）and the Major Science and Technology Projects of CNPC（No. 2023ZZ24-01）]

收稿日期：2025-12-01　　改回日期：2026-01-07

braided-delta-lake systems. Delta facies include subfacies such as plain, inner front, outer front, and prodelta, while lacustrine facies are predominantly coastal-shallow subfacies. Subfacies and microfacies of different phases are vertically stacked and cut, while horizontally overlapping and widely distributed, forming six fan-delta groups and two braided-delta groups. Each subfacies and microfacies are closely adjacent, orderly combined, and continuously distributed to form a complete sequence sedimentary system, forming two types of deltas: water progradation and retrogradation. Fan delta is mainly progradation type, supplemented by retrogradation type, and braided river delta is mainly retrogradation type. Within the delta-lake sedimentary system, various sedimentary rocks of different grain sizes, such as conglomerates, sandstones, siltstones, and mudstones, developed extensively. Different facies belts deposited reservoirs of varying grain sizes and types, forming a complete sequence of coarse→medium→fine-grained reservoirs in an orderly and continuous distribution. Sedimentary characteristics and model analysis of the whole sequence reservoir of Xiazijie Formation has reference value for the related research and exploration and development of the whole petroleun system in Junggar Basin and domestic and foreign oil and gas bearing sedimentary basins.

Key words　whole petroleum system, sedimentary characteristics, sedimentary model, Xiazijie Formation, Junggar Basin

About the first author　SUN Jing, born in 1982, is a senior engineer and a master. He is mainly engaged in sedimentary reservoirs, unconventional reservoirs, deep to ultra-deep reservoirs, and comprehensive oil and gas systems. E-mail: sun19820804@sina.com.

0　引言

随着中国含油气沉积盆地碎屑岩勘探领域延伸到源内勘探（邹才能等，2013；陶士振等，2016），储集层类型从砾岩、砂岩等拓展到粉砂岩、泥页岩等细粒沉积岩（张顺等，2016），油气藏类型从常规向非常规转变（邹才能等，2015），油气勘探已进入到全序列储集层、全类型油气藏新阶段（邹才能等，2014），全油气系统理论正式诞生（贾承造，2017），并在中国陆上及近海主要含油气盆地开展了勘探部署和钻探，取得了一系列突破和认识（支东明等，2021；彭光荣等，2022；姜福杰等，2023；张赫等，2023；刘国勇等，2024），正在成为油气地质基础理论研究的热点和勘探开发实践的重点。目前，全油气系统理论在盆地全油气系统形成条件及特征、成藏特征和模式、富集规律及分布模式、主控因素等多方面进行了系统研究，其基本原理、技术方法、主要模式及定量评价等也在逐步确立（庞雄奇等，2022；贾承造等，2024），基本明确主要内容和重点工作为全过程生排烃、全序列或全类型储集层、全过程成藏、全成因机制、全种类资源等方面。

近年来，准噶尔盆地在全油气系统理论指导下（支东明等，2021），率先在西部玛湖地区二叠系风城组和东部吉木萨尔地区二叠系芦草沟组发现和落实一系列油气藏（何文军等，2021，2022；支东明等，2023），并逐步向南部沙湾地区二叠系风城组和其他区块拓展，相关风险探井实现了勘探突破（唐勇等，2022；董雪梅等，2023）。目前勘探实践已经证实，盆地二叠系全油气系统油气藏具有常规油气藏—致密油气藏—页岩油气藏等有序聚集、有序分布和有序共生的基本特征，碎屑岩储集层具有砾岩—砂岩—粉砂岩—泥岩有序组合、连续分布特征，二叠系及全类型油气藏已经成为盆地油气勘探的重要新领域、新类型（宋永等，2024）。

全油气系统研究和分析中，全序列储集层分析是主要工作之一（庞雄奇等，2022；贾承造等，2024），而沉积环境、相带以及特征等是不同类型储集层发育的基础条件和控制因素（孙靖等，2022；王金艺等，2023），需优先进行系统研究和分析。盆地全油气系统层系除了已落实的风城组和芦草沟组，紧邻风城组的上覆地层夏子街组近年来在玛湖 28、玛湖 48、玛湖 52、金龙 51、金龙 55、达探 1、玛页 1、夏云 1、金砂 1、夏盐 27 及湾探 1

等多口重点井获得工业油气流，其储集层类型包括砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩等全序列储集层，形成了全类型油气藏。因此，需要强化夏子街组全油气系统沉积分析，但目前涉及到夏子街组沉积相的研究较少（杨帆等，2022；任海姣等，2023），主要是针对玛湖凹陷二叠系—三叠系沉积演化的整体研究和限制性湖盆扇三角洲沉积特征分析。总体上，针对准噶尔盆地夏子街组沉积研究，尤其是全油气系统理论指导下的沉积研究，尚未开展，亟须运用全油气系统理论开展全盆地夏子街组全油气系统沉积分析和研究。因此，本研究利用全盆地 80 余口夏子街组重点井的录井、取心、测井、薄片以及三维地震等各项数据和资料，对盆地西部夏子街组全序列储集层的沉积相类型、特征、分布规律、演化特征以及沉积模式等进行系统研究和分析，为深化盆地全油气系统勘探开发新领域提供基础支撑，也为国内外含油气沉积盆地全油气系统理论和全序列储集层沉积特征研究提供参考。

1 地质背景

准噶尔盆地位于中国西北部，面积约 13.6×10^4 km^2，是大型含油气沉积盆地之一（何登发，2022）（图 1）。盆地在 70 年的勘探开发历程中已有 30 余个油气田探明和建产，石油和天然气探明储量分别超过 30×10^8 t 和近 2000×10^8 m^3，目前在深层—超深层、致密油气、页岩油气和全类型油气等新领域持续发现和突破。

准噶尔盆地为古生代晚期—新生代大型多旋回复杂叠合盆地（何登发，2022），石炭纪开始形成，经历了海西、印支、燕山和喜马拉雅等多期大型构造运动，构造演化阶段相对复杂，包括石炭纪断陷—拗陷、早二叠世断陷、中二叠世—三叠纪拗陷、侏罗纪伸展断陷—压扭、白垩纪—古近纪陆内拗陷等阶段（何登发等，2018）。盆地整体发育乌伦古坳陷、西部隆起、陆梁隆起、中央坳陷、东部隆起及南缘冲断带共 6 个一级构造单元（图 1-a）以及乌夏断裂带、克百断裂带、玛湖凹陷、中拐凸起、沙湾凹陷、达巴松凸起、夏盐凸起、盆 1 井西凹陷、莫北凸起、莫索湾凸起、莫南凸起、石西凸起等 44 个二级构造单元。

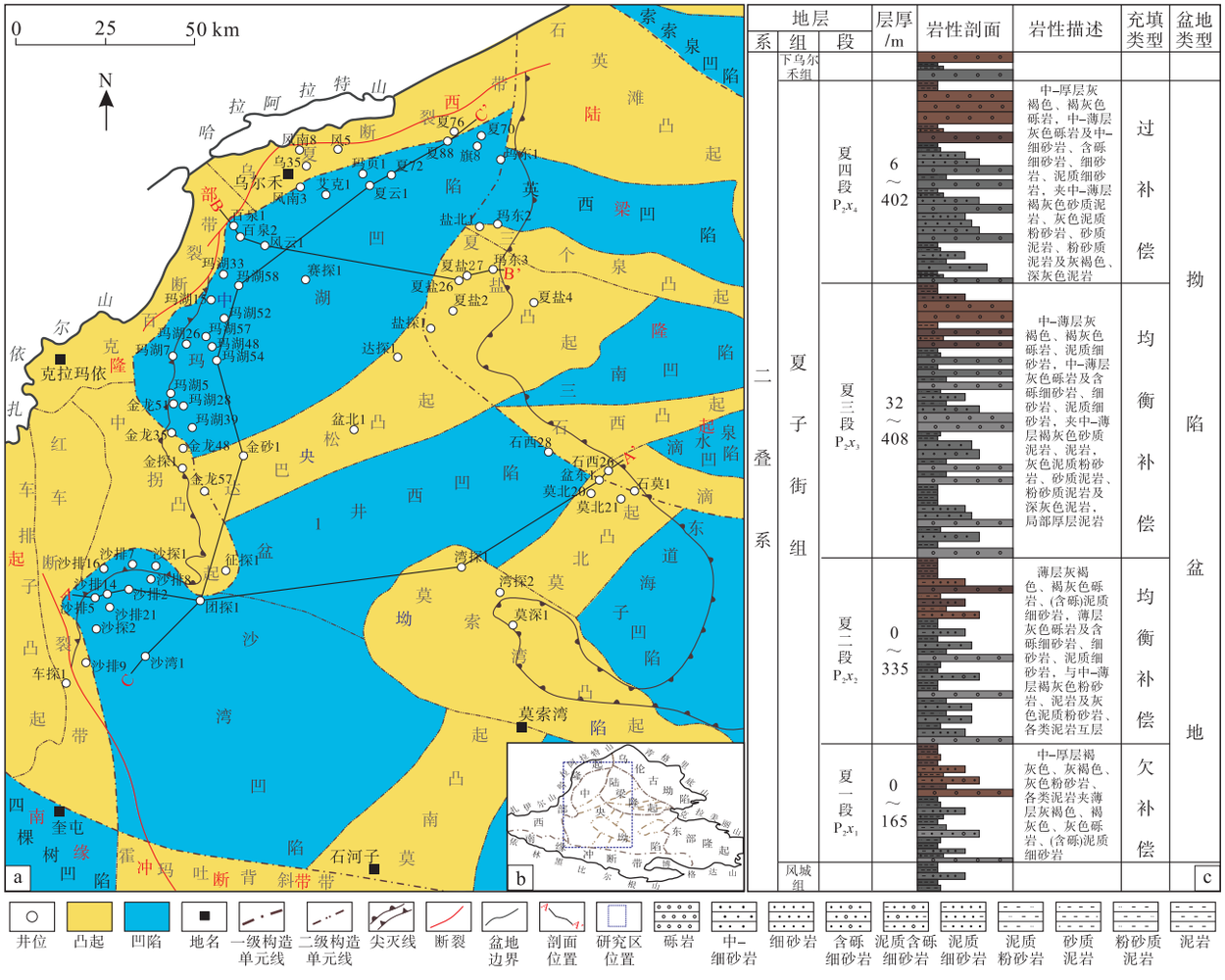
准噶尔盆地地层齐全，从古生界到新生界均有发育，从下至上分别为石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系以及古近系、新近系，其中，二叠系在盆地主体发育下二叠统佳木河组（P_1j）、风城组（P_1f），中二叠统夏子街组（P_2x）、下乌尔禾组（P_2w）以及上二叠统上乌尔禾组（P_3w），其中，夏子街组下伏地层为风城组，上覆地层为下乌尔禾组（图 1-c），为盆地全油气系统勘探新层系；其主要分布于盆地西部地区，包括多个断裂带、凸起和凹陷（图 1-a），北部以断裂为界，西侧以削蚀尖灭为主，中拐凸起上局部超覆尖灭，东侧以超覆尖灭为主，南部深入到南缘冲断带（图 1-b；图 2）。地层厚度介于 30~1300 m 之间，凹陷内厚度增大，向凸起斜坡区厚度减小。自下而上进一步可分为夏一段（P_2x_1）、夏二段（P_2x_2）、夏三段（P_2x_3）和夏四段（P_2x_4），不同段分布范围存在差异，从夏一段到夏四段分布范围逐步增大。烃源岩从石炭系到古近系均有发育，不同层系分布范围存在差异，其中二叠系烃源岩（陈建平等，2016）丰度高、生排烃量大、厚度大、分布广，为盆地主力烃源岩。

准噶尔盆地在夏子街组沉积时期，挤压活动减弱，断层发育减弱，为弱伸展坳陷盆地，西部的玛湖凹陷、沙湾凹陷和盆 1 井西凹陷在同一个坳陷内，该坳陷内部地层分布稳定，向高部位以超覆沉积为主，沉积上表现为大型敞流湖盆环境，为夏子街组提供了沉积可容空间（任海姣等，2023；殷树铮等，2024）。夏子街组沉积早期，西部受边界造山运动挤压影响发生抬升，供源能力强，在重力流和牵引流双重影响下形成了规模发育、延伸距离较远的扇三角洲相（任海姣等，2023），东部构造运动强度一般，从北向南供源能力减弱，北部形成短轴扇三角洲相，南部形成中—短轴辫状河三角洲相，湖盆内部以浅湖—半深湖相沉积为主。

2 沉积特征

2.1 沉积相特征

准噶尔盆地西部二叠系夏子街组物源区主要来自于盆地西部山系，具体为扎伊尔山—哈拉阿拉特山—德伦山山系，其次为南部的伊林黑比尔根山山系，石英滩、三个泉、夏盐、石西、莫北及莫索湾等盆内凸起正向构造单元作为内物源提供沉积物质（张志杰等，2023）。总体上，夏子街组沉积区距



a—准噶尔盆地构造单元分布；b—二叠系夏子街组分布范围；c—地层柱状图

图 1　准噶尔盆地二叠系夏子街组综合地质图及地层柱状图

Fig. 1　Stratipraphic, key wells plan and stratigraphic histogram of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

离盆地西缘物源区较近，地形高差相对较大，同时距离盆地凸起等内部物源区也较近。其母岩类型与西部地表露头区下石炭统包古图组和希贝库拉斯组具有相似性（任海姣等，2023）。

依据物源成分和远近，构造沉积演化背景特征，沉积岩基本物质成分、结构、构造和旋回变化特征以及沉积相带特征、分布规律等，明确夏子街组沉积体系主要为扇三角洲—湖泊体系（图 3；图 4），其次为辫状河三角洲—湖泊体系。扇三角洲相发育扇三角洲平原、扇三角洲内前缘、扇三角洲外前缘和前扇三角洲 4 个亚相，辫状河三角洲相同样发育辫状河三角洲平原、辫状河三角洲内前缘、辫状河三角洲外前缘和前辫状河三角洲 4 个亚相，湖泊相主要发育滨—浅湖和半深湖 2 个亚相。扇三角洲平原亚相主要由分流河道和分流河道间等微相构成，以分流河道微相为主体；内前缘亚相由水下分流河道、水下分流河道间和河口坝 3 个微相构成，河口坝发育程度较低；外前缘亚相主要由远沙坝和席状砂 2 个微相组成。辫状河三角洲平原由分流河道和分流河道间等微相构成，主要发育分流河道微相；内前缘和外前缘亚相构成的微相类型与扇三角洲相类似，沉积厚度、物质构成和粒度等存在差异。前扇三角洲和前辫状河三角洲亚相类似，分布范围均较窄，与湖泊相中浅湖—半深湖亚相沉积物和沉积微相构成基本一致，主要由滩坝和湖泥等微相构成。湖泊相中滨—浅湖亚相主要由滩坝和湖泥微相构成，半深湖亚相以细粒沉积为主，主要为湖泥微相（图 3；图 4）。

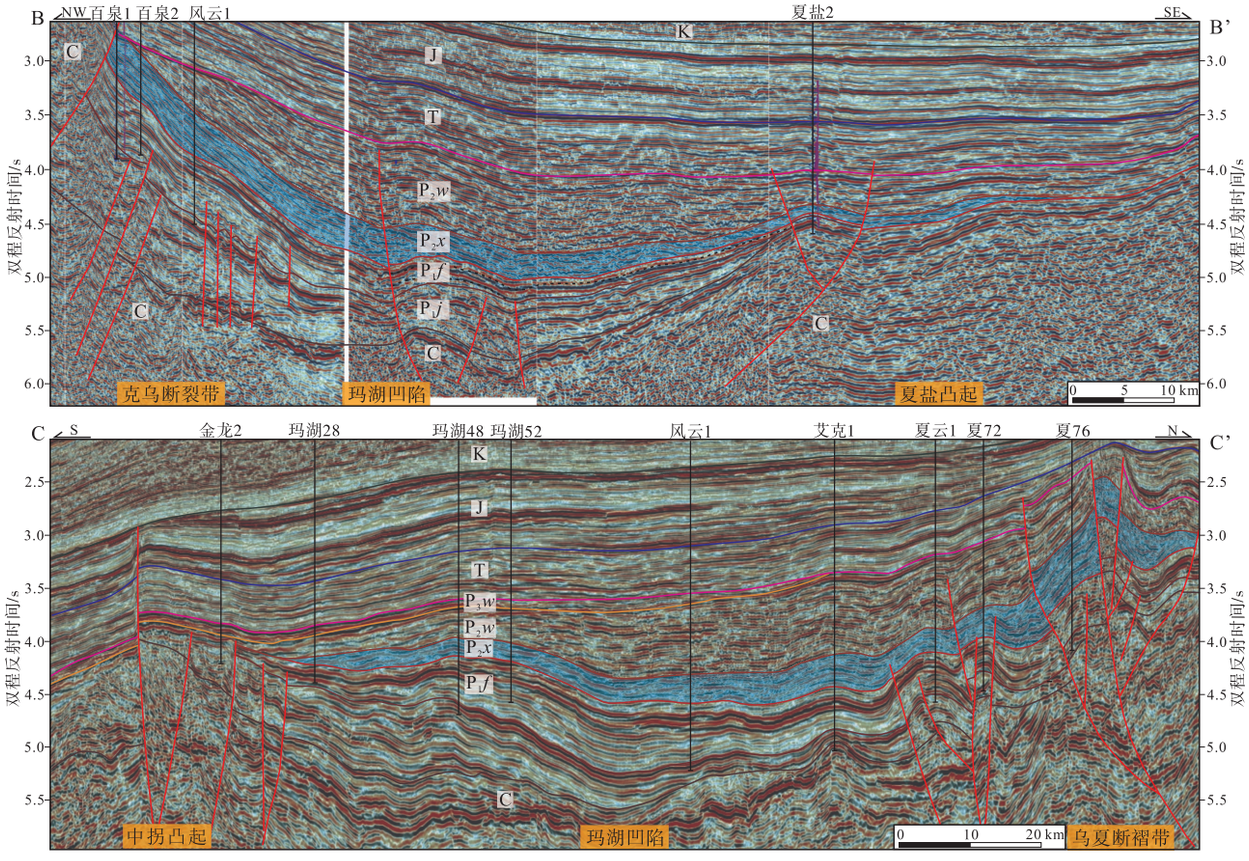


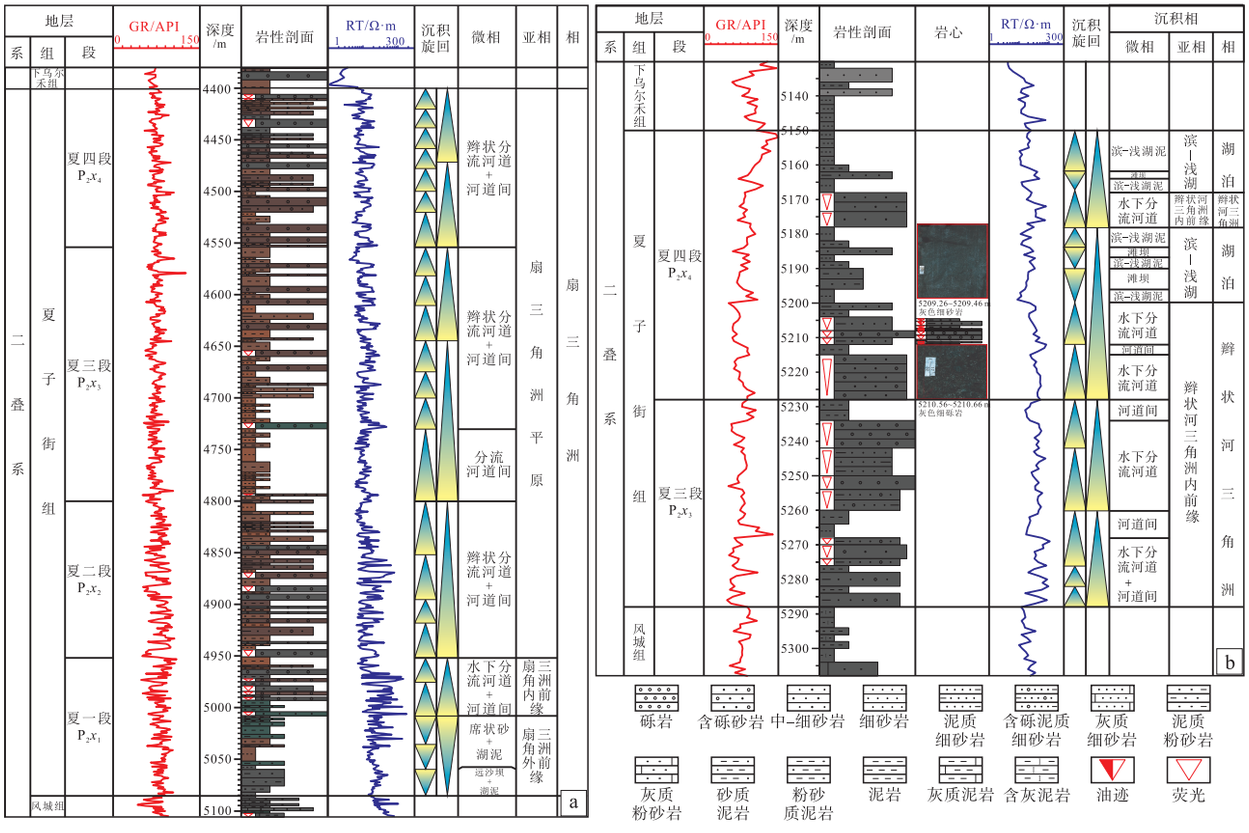
图 2 准噶尔盆地二叠系夏子街组地震地质解释剖面

Fig. 2 Seismic geological interpretation profiles of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

2.1.1 三角洲平原

三角洲平原亚相是三角洲相的水上部分，距离物源区相对较近，准噶尔盆地夏子街组主要发育扇三角洲平原，其次为辫状河三角洲平原，一般沿尖灭线附近分布。扇三角洲平原沉积过程受重力流和牵引流作用双重控制，近物源区为重力流作用控制，随着离物源区距离增大开始出现牵引流影响，但总体以重力流为主，辫状河三角洲平原以牵引流作用为主。其沉积物粒度相对较粗，主要由中砾岩、中—细砾岩、细砾岩等砾岩和含砾粗砂岩等粗粒沉积岩构成(图 3-a；图 4-a 至 4-d)，其次为薄层的粉砂岩、泥质砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩等细粒沉积岩，辫状河三角洲平原岩石粒度比扇三角洲平原粒度细，砾岩一般只发育细砾岩，其余岩石类型相似。沉积岩粒度构成及其厚度随距离物源区远近发生规则变化，近物源区以各类大套厚层、中厚层砾岩、粗砂岩为主，偶尔发育薄层细粒沉积岩，扇三角洲平原粗粒沉积岩体积分数可达到 70%～85%以上；随着距离物源区距离增大，逐渐向三角洲前缘过渡，粗粒沉积岩厚度减小，细粒沉积岩厚度增大，形成粗粒沉积岩与细粒沉积岩互层沉积，粗粒沉积岩体积分数下降至 50%～60%(图 3-a)，辫状河三角洲体积分数低一些，一般为 30%～50%。砾岩砾石结构成熟度相对较低，块状构造为主，发育各类粒序递变层理，砂岩也以块状构造为主，同时发育各类层理构造；岩石以褐、灰褐、褐灰等氧化色为主，沉积环境为氧化环境，辫状河三角洲平原局部发育灰色砾岩、砂岩。三角洲平原主要由（辫状）分流河道和分流河道间 2 种微相构成(图 3-a)。

扇三角洲平原分流河道由细砾岩、中砾岩、中—细砾岩、粗砾岩以及含砾砂岩等粗粒沉积岩构成，以细砾岩、中—细砾岩为主，其次为含砾砂岩，粗砾岩局部发育(图 4-a 至 4-d)，辫状河三角洲平原分流河道以细砾岩、含砾砂岩为主，粒度比扇三角洲平原的细一些。砾石以次棱角—次圆状



a—夏云 1 井；b—石西 26 井

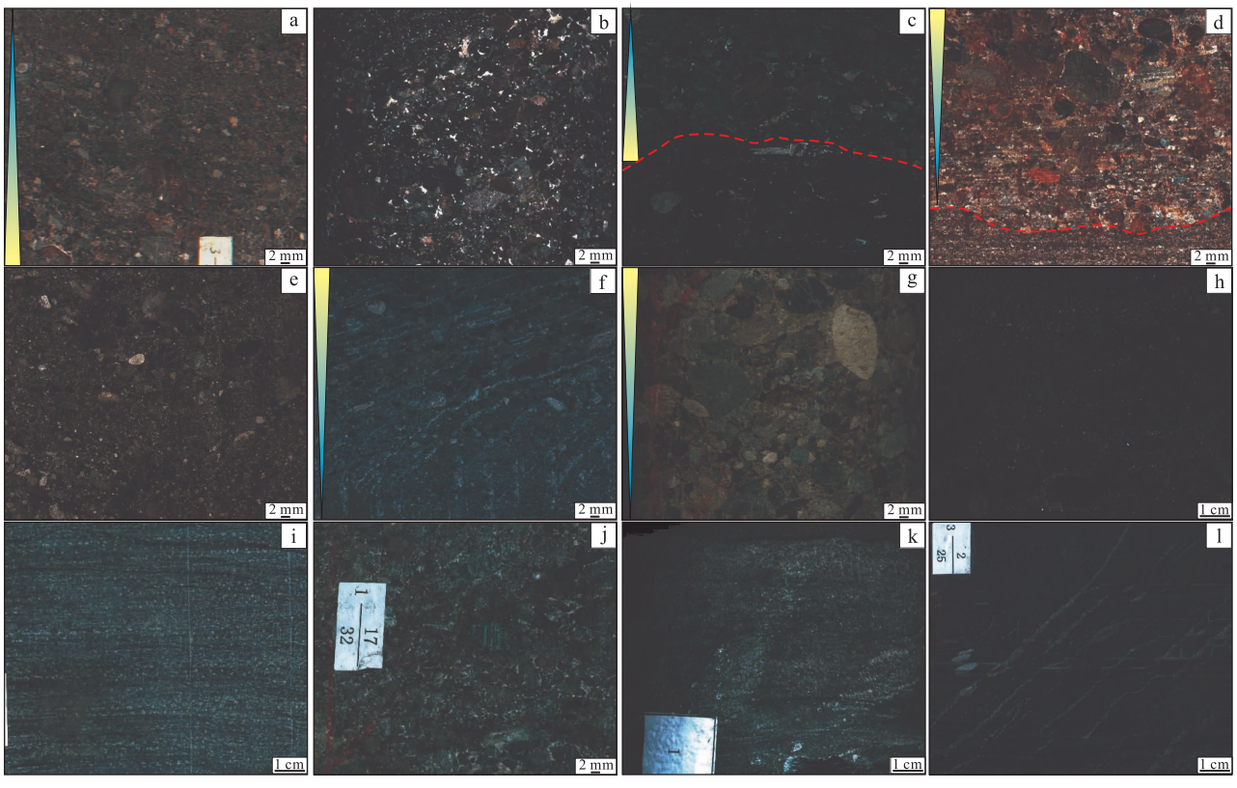
图 3　准噶尔盆地二叠系夏子街组沉积相综合柱状图

Fig. 3　Comprehensive histogram of sedimentary facies of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

为主，分选差—一般，砾岩泥质含量较低。砾岩和砂岩均以块状构造为主，同时普遍发育正粒序、逆粒序以及复合粒序等各类重力流成因的粒序递变层理，砂岩中发育各类牵引流成因交错层理，砾岩与砂岩常见突变接触(图 4-a 至 4-d)。分流河道间为分流河道之间的水动力较弱的地带，水流冲刷作用弱，水体相对安静，以细粒沉积物为主，主要由泥质砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩以及含砾泥岩、含砾泥质粉砂岩等细粒沉积岩构成，局部发育薄层砾岩、砂岩(图 3-a)。辫状分流河道自然电位曲线（SP）和地层电阻率曲线（RT）组合一般为弱齿化的钟形或近箱形，以向上粒度变细的正韵律为主，齿化现象随着距离物源区距离增大逐渐明显，幅度逐渐增大。垂向上，一般多期河道砂体相互叠置，相互切割，由分流河道间细粒沉积物分隔，不同期河道测井曲线突变接触。分流河道间自然电位曲线（SP）和地层电阻率曲线（RT）齿化现象普遍发育，但一般齿化幅度弱于辫状分流河道(图 3-a)。

2.1.2　三角洲内前缘

三角洲内前缘亚相整体上是三角洲相的水下部分，夏子街组主要发育扇三角洲内前缘，其次为辫状河三角洲内前缘。三角洲内前缘是三角洲平原向湖泊内的延伸部分，二者在剖面和平面上紧密相邻，靠近平原部分沉积物粒度和组成具有相似之处，扇三角洲内前缘受重力流和牵引流共同影响，而辫状河三角洲内前缘主要受牵引流影响。扇三角洲内前缘随着向湖泊内延伸，重力流作用影响变小，逐步变为牵引流作用为主。沉积岩类型和粒度分布广泛，既有中砾岩、中—细砾岩、细砾岩、含砾粗砂岩等粗粒沉积岩，也有中砂岩、中—细砂岩等中粒沉积岩，还发育粉—细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等细粒沉积岩(图 3)。扇三角洲内前缘总体上以粗粒和中粒沉积岩为主(图 3-a；图 4-e 至 4-i)，且接近扇三角洲平原部



a—风南 3 井，3180.45~3180.55 m，褐灰色细砾岩，正粒序递变层理；b—玛湖 7 井，3901.72~3901.82 m，灰褐色块状细砾岩；c—沙探 2 井，5721.32~5721.42 m，褐灰色细砾岩与褐色含砾砂岩突变接触，砾岩正粒序递变层理；d—玛东 3 井，4411.01~4411.11 m，褐色中—细砾岩和粗砂岩突变接触，砾岩逆粒序递变层理；e—艾克 1 井，4063.16~4063.26 m，褐灰色块状细砾岩；f—玛湖 39 井，5091.06~5091.26 m，灰色细砾岩，正粒序递变层理；g—金龙 57 井，5086.07~5086.17 m，灰色中—细砾岩，逆粒序递变层理；h—玛湖 52 井，5036.06~5036.16 m，灰色粗砂岩；i—玛湖 54 井，4864.36~4864.46 m，灰色泥质粉砂岩，砂纹层理；j—石西 26 井，5210.56~5210.66 m，灰色块状细砾岩；k—莫北 20 井，5403.00~5403.10 m，灰色块状中—细砂岩；l—盆东 1 井，5261.49~5261.59 m，灰色细砂岩，波状层理

图 4 准噶尔盆地二叠系夏子街组典型岩心照片

Fig. 4 Typical core photos of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

分沉积岩粒度粗、厚度大，以中厚层、中层为主，砾岩、砂岩体积分数可达 40%~70%，最高可达 80%，向湖泊方向粒度逐渐变细、减薄，砂岩体积分数逐渐降为 20%~40%；辫状河三角洲内前缘粒度相对细一些，粗粒沉积岩以细砾岩、含砾粗砂岩为主，其余岩石类型与扇三角洲内前缘类似(图 3-b；图 4-j 至 4-l)。粗粒沉积岩砾石磨圆性和分选性稍好于扇三角洲平原，粗粒、中粒和细粒等各类储集层结构成熟度进一步提升。内前缘主要沉积环境为还原环境，因此岩石颜色主要为灰色，绿灰色、灰绿色等还原色亦有发育，扇三角洲内前缘靠近扇三角洲平原部分发育褐灰色、杂色等氧化—还原混合色。沉积构造以块状构造、重力流成因粒序递变层理构造以及各类牵引流成因层理为主，不同类岩石构造类型存在差异(图 4-e 至 4-l)。内前缘主要由水下分流河道、水下分流河道间及河口坝微相构成，河口坝发育相对较少(图 3)。

水下分流河道微相是三角洲平原分流河道的向湖泊内沉积的延伸部分，岩石颜色与分流河道存在差异，是内前缘亚相中有效储集层最为发育的主体沉积微相(图 3)。岩石类型主要为灰色、绿灰色以及褐灰色各类砾岩、含砾砂岩和砂岩，岩石类型多样，粒度相对较粗且变化大，辫状河三角洲内前缘水下分流河道岩石粒度比扇三角洲的要细一些；向湖泊方向延伸逐渐形成砾岩→含砾砂岩→砂岩沉积序列，粒度逐渐变细，反映了扇三角洲内前缘水下分流河道由重力流和牵引流作用双重影响到牵引流作用主导影响的沉积过程以及辫状河三角洲内前缘水下分流河道牵引流作用由强变弱的作用过程。砾岩中砾石仍以次棱角—次圆状为主，分选一般—中

等，次圆状比例高于辫状分流河道，分选性也好于辫状分流河道，泥质含量进一步降低，结构成熟度和成分成熟度进一步提升。沉积构造多样，粗粒砾岩和含砾粗砂岩中块状构造和各类粒序递变层理构造发育，中粒砂岩块状构造发育，同时发育各类交错层理和平行层理，细粒砂岩中发育砂纹层理，见炭屑碎片发育(图 4-e 至 4-l)。垂向上常见多期河道砾岩、砂岩叠置沉积；单期河道砾岩、砂岩以正韵律沉积为主，不同期次河道之间为突变接触(图 3)。水下分流河道间垂向上主要发育于不同期次水下分流河道砾岩、砂岩之间，平面上主要位于水下分流河道侧翼或者不同期内前缘扇体朵叶体之间。其沉积岩粒度相对较细，以灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等细粒沉积为主，局部发育薄层粉—细砂岩(图 3)。沉积构造比较发育，粉砂岩、泥质粉砂岩中常发育小型砂纹层理、交错层理，泥岩中发育水平层理。河口坝一般位于水下分流河道前端，剖面上与其紧邻。岩石类型主要为灰色中砂岩、细砂岩和粉—细砂岩，沉积构造以块状构造和各类层理构造为主。由于受多种类型水动力改造和破坏，其发育范围和规模较小，发育频度较低。水下分流河道自然电位曲线（SP）和地层电阻率曲线（RT）组合与分流河道类似，常见为弱齿化的钟形或近箱形，以向上粒度变细的正韵律为主，齿化程度稍强；水下分流河道间测井曲线一般齿化程度中等—较强，近钟形或漏斗形等均有发育(图 3)。

2.1.3　三角洲外前缘

三角洲外前缘亚相是三角洲前缘的重要组成部分，一般位于内前缘亚相前方，与内前缘亚相形成连续沉积序列，且进一步向浅湖、半深湖延伸。夏子街组三角洲前缘主要发育扇三角洲外前缘，其次为辫状河三角洲外前缘，其沉积特征和构造主要受控于牵引流作用，与内前缘亚相存在一定差异，尤其是扇三角洲内前缘和外前缘亚相。与外前缘亚相相比，由于沉积水深进一步增大，水动力条件进一步减弱，造成岩石粒度进一步变细，类型以灰色细砂岩、含泥砂岩等中粒沉积岩和灰色、深灰色粉—细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩以及粉砂质泥岩等细粒沉积岩为主(图 3-a；图 4)。沉积构造发育程度一般弱于内前缘亚相，除块状构造外，以各种类型的小型砂纹、波状层理及平行层理、水平层理为主。由于沉积环境为中等—强还原环境，岩石颜色以灰色和深灰色为主。岩石厚度以中—薄层、薄层为主，含砂率进一步下降，介于 10%～20%之间，最大可达到 30%左右。外前缘亚相主要由远沙坝和席状砂微相构成(图 3-a)。

远沙坝微相主要为内前缘亚相水下分流河道或河口坝砂体在向浅湖延伸时受到湖浪冲洗改造作用发生迁移和再沉积在外前缘形成的砂体（邹志文等，2021)。岩石类型以灰色细砂岩、粉—细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩等为主，粒度相对较细，厚度较薄(图 3-a；图 4)。沉积构造除块状构造外，常见小型波状层理或砂纹层理和平行层理发育。自然电位曲线（SP）和地层电阻率曲线（RT）组合一般中等—较强齿化、中等—高频度的漏斗形或指形，整体为反韵律沉积(图 3-a)。席状砂微相是远沙坝、水下分流河道以及河口坝等进一步经过湖浪冲刷、淘洗、再沉积等改造作用广泛发育于外前缘亚相前端的薄层、面状分布砂体，向浅湖—半深湖方向逐渐减薄。不同期次席状砂体间常发育薄层、中—薄层灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩，形成砂泥互层沉积。岩石粒度也是以细粒沉积岩为主，类型与远沙坝类似。沉积构造以砂纹层理、水平层理等各类小型层理为主。测井曲线为较强—强齿化、高频度特征，组合一般为漏斗形或指形，整体呈反韵律(图 3-a)。

2.1.4　滨—浅湖

滨—浅湖亚相为三角洲内前缘和外前缘亚相提供了沉积场所和可容空间，并与其在垂向上形成互层状混合沉积序列，尤其是湖相粉砂质泥岩、泥岩等细粒沉积岩为水下分流河道间提供了物质来源，湖相泥岩还可作为远沙坝、席状砂等微相的隔夹层泥岩(图 3)。滨—浅湖亚相主要发育滩坝和湖泥 2 个微相。滩坝主要是三角洲内前缘水下分流河道或河口坝，或者部分外前缘远沙坝等砂岩经过湖浪改造作用形成“滩”、“坝”状复合沉积体，一般位于外前缘侧翼或者正前方的滨—浅湖中。岩石类型与内前缘和外前缘相似，主要为灰色粉—细砂岩、粉砂岩等细粒沉积岩，部分发育灰色细砂岩、含砾细砂岩等中粒沉积岩。构造类型以层理构造为主，波状交错层理或砂纹层理发育。测井曲线为中等—较强齿化特征，组合一般也为漏斗形或宽幅近对称指形，整体为反韵律沉积(图 3-b)。一般斜交或

近平行岸线分布，大小规模不等。湖泥微相以较强—强还原泥岩为主，主要为灰色、深灰色粉砂质泥岩、泥岩，部分发育砂质泥岩，与内前缘和外前缘砂体呈互层沉积。

2.1.5 前三角洲和半深湖

前三角洲亚相一般位于三角洲外前缘前方的半深湖区，半深湖为其提供了沉积场所和可容空间。由于半深湖沉积水深相对较大，水体相对安静，处于较强—强还原环境，故前三角洲亚相沉积物粒度细，岩石颜色灰暗。因此，其岩石类型以深灰色、灰黑色粉砂质泥岩、泥岩为主，局部发育薄层灰色、深灰色粉砂岩、泥质粉砂岩，与半深湖亚相细粒沉积岩相似，区分难度大。前三角洲亚相和半深湖亚相细粒沉积岩一般以块状构造为主，其他构造主要为水平层理构造。

2.2 沉积相分布规律及特征

三角洲相和湖泊相各类沉积岩在垂向上相互叠置、相互切割沉积，在平面上紧密相邻、连续分布，形成了粗粒—中粒—细粒沉积岩的扇三角洲—湖泊或者辫状河三角洲—湖泊沉积体系，体系内砾岩→含砾砂岩→砂岩→粉砂岩→泥岩等各种粒度沉积岩连续分布、有序共生，构成了盆地西部由盆缘到盆内由粗变细的全序列沉积岩。垂向上，多期扇三角洲平原辫状河河道、扇三角洲内前缘水下分流河道以及辫状河三角洲内前缘水下分流河道砾岩、砂岩等粗粒和中粒沉积岩相互叠置，相互切割，侧向连通，向滨—浅湖内延伸一定距离后尖灭，不同期砂体间夹分流河道间或水下分流河道间细粒沉积岩，形成互层沉积。随着向湖泊内沉积，单砂体厚度减薄，形成块状厚层、中厚层→块状中层、中薄层→指状薄层沉积序列，分流河道间细粒沉积岩厚度逐渐增大，形成薄层→中薄层、中层→中厚层、厚层沉积序列(图 3至图 7)。

扇三角洲平原砾岩、砂岩单砂体一般厚度为 5~30 m，平均 10~15 m，累积厚度为 60~550 m，平均达到 235 m 左右；扇三角洲内前缘砾岩、砂岩单砂体厚度一般为 5~20 m，平均 10 m 左右，累积厚度可达 50~410 m，平均达到 175 m 左右。辫状河三角洲内前缘砾岩、砂岩单砂体厚度一般为 5~20 m，平均 10 m 左右，与扇三角洲相当；砂体累积厚度一般为 20~100 m，平均为 65 m 左右。扇三角洲外前缘及辫状河三角洲外前缘远沙坝和席状砂单砂体厚度较薄，一般为 5~10 m，平均 7~8 m 左右，且远沙坝厚于席状砂，累积厚度一般 20~40 m，平均 25 m 左右。前扇三角洲和前辫状河三角洲以泥岩、粉砂质泥岩等细粒沉积为主，与半深湖相细粒沉积混合沉积，形成连续分布、有序共生的全序列沉积岩。另外，夏子街组不同层段扇三角洲、辫状河三角洲各个亚相和微相沉积规律存在差异，尤其是扇三角洲平原分流河道、扇三角洲内前缘水下分流河道以及辫状河三角洲内前缘水下分流河道砾岩、砂岩等不同类型沉积岩厚度、沉积特征存在差异。其中，夏一段（P_2x_1）单砂体厚度薄，期次少，累积厚度较小；夏二段（P_2x_2）单砂体厚度增大，期次增加，累积厚度增大；夏三段（P_2x_3）单砂体厚度总体进一步增加，期次与夏二段相当或略多，累积厚度进一步增加；夏四段（P_2x_4）与夏三段相比，单砂体厚度减小，期次相当或略少，累积厚度减小，与夏二段相当，但其辫状河三角洲内前缘水下分流河道发育程度要强于夏二段(图 5；图 6；图 7)。

夏子街组沉积时期，从南向北依次发育沙湾、盆 1 井西和玛湖 3 个凹陷区，其余地区为斜坡区或凸起区，为沉积物提供沉积可容空间。夏一段分布范围局限，分为沙湾凹陷南部和盆 1 井西—玛湖凹陷区两部分，彼此由凸起尖灭带分隔，相互独立；从夏二段开始，地层厚度开始增大，沙湾—盆 1 井西—玛湖连片分布，3 个凹陷区作为沉降和沉积中心不断接受沉积，从夏二段到夏四段地层分布范围总体逐渐增大，不同层段的 3 个凹陷在分布范围、深度和形状等方面存在差异，沙湾凹陷区总体范围最广、深度最大(图 8)。

沉积物来源主要为西部和西北部山系，东北部内物源体系供源能力也较强，西部、北部和东北部以扇三角洲相沉积为主；东南部内物源弱于东北部，故以辫状河三角洲相沉积为主。因此，粗粒沉积为主的扇三角洲平原和粗粒—中粒沉积为主的扇三角洲内前缘在平面上主要分布于西部、北部和东北部，粗粒—中粒沉积为主辫状河三角洲内前缘主要发育于东南部，而辫状河三角洲平原分布比较窄，发育相对局限。扇三角洲平原—内前缘—外前缘主要发育于玛湖凹陷周缘西部、北部和东部的斜坡区及凹陷内部，其次分布于沙湾凹陷、盆 1 井西凹陷的西部斜坡区及凹陷内部，辫状河三角洲平原

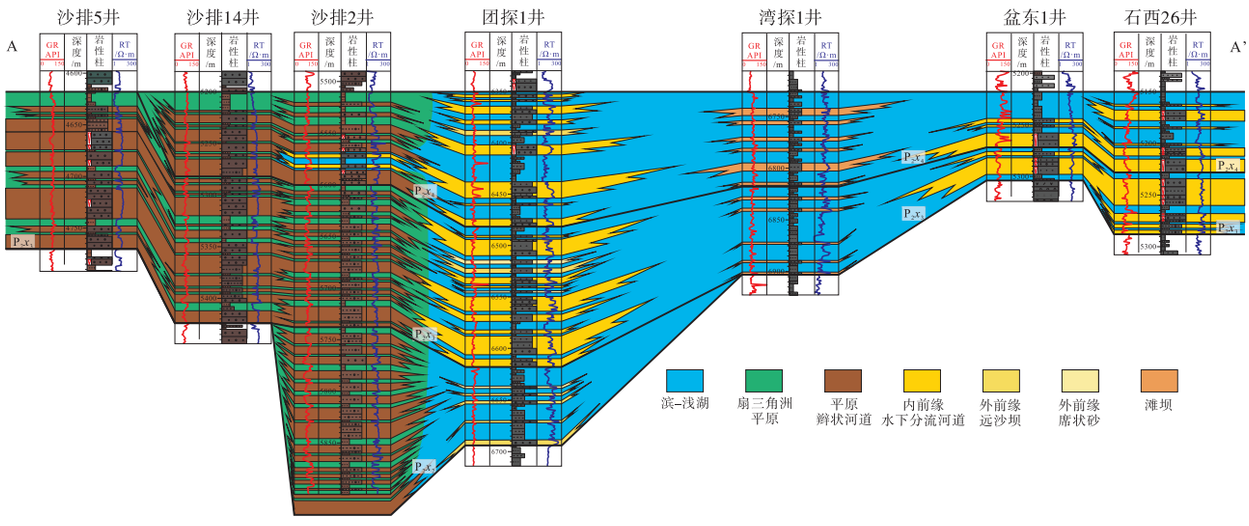


图 5　准噶尔盆地二叠系夏子街组沉积相对比剖面（沙排 5—沙排 14—沙排 2—团探 1—湾探 1—盆东 1—石西 26）

Fig. 5　Comparison profile of sedimentary facies of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin (SP5-SP14-SP2-TT1-WT1-PD1-SX26)

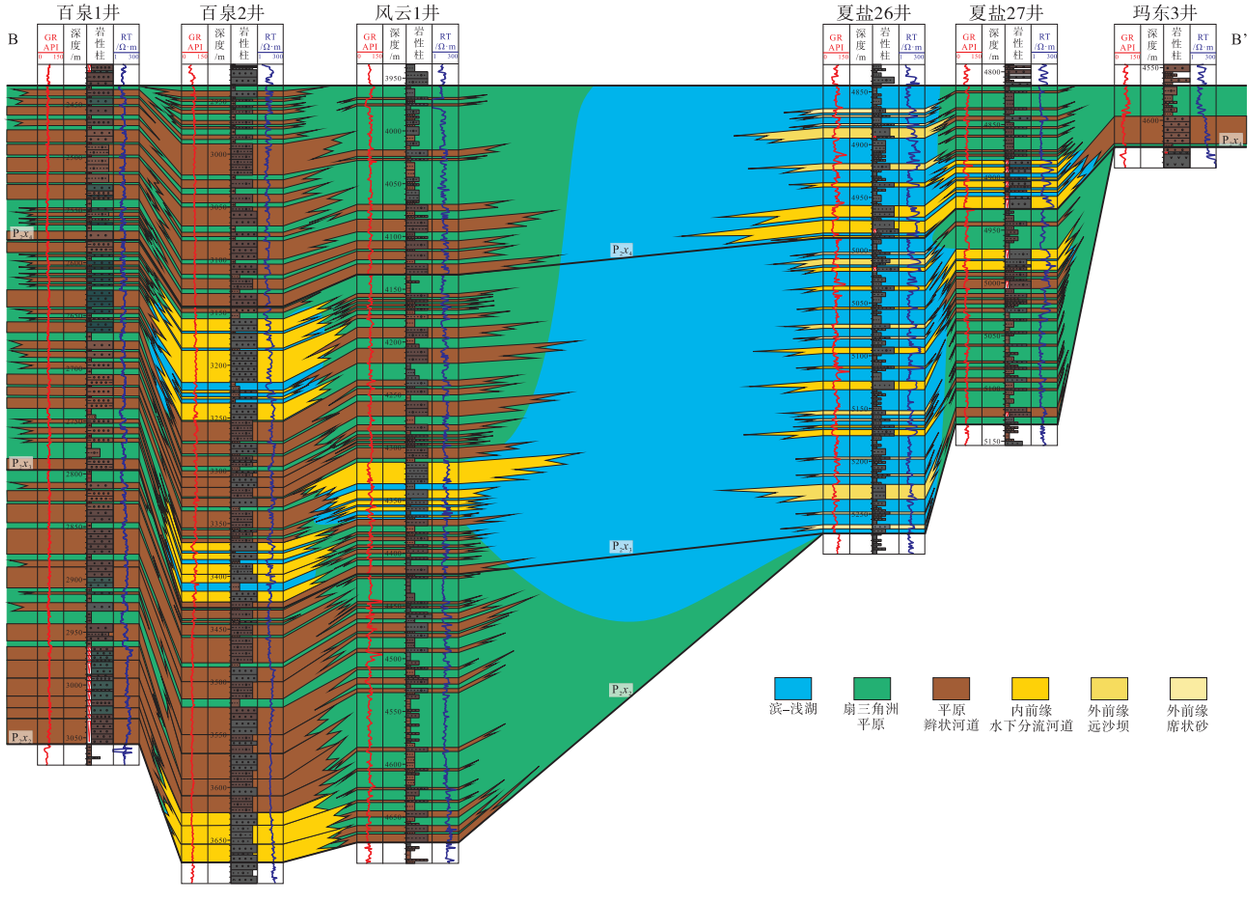


图 6　准噶尔盆地二叠系夏子街组沉积相对比剖面（百泉 1-百泉 2-风云 1-夏盐 26-夏盐 27-玛东 3）

Fig. 6　Comparison profile of sedimentary facies of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin (BQ1-BQ2-FY1-XY26-XY27-MD3)

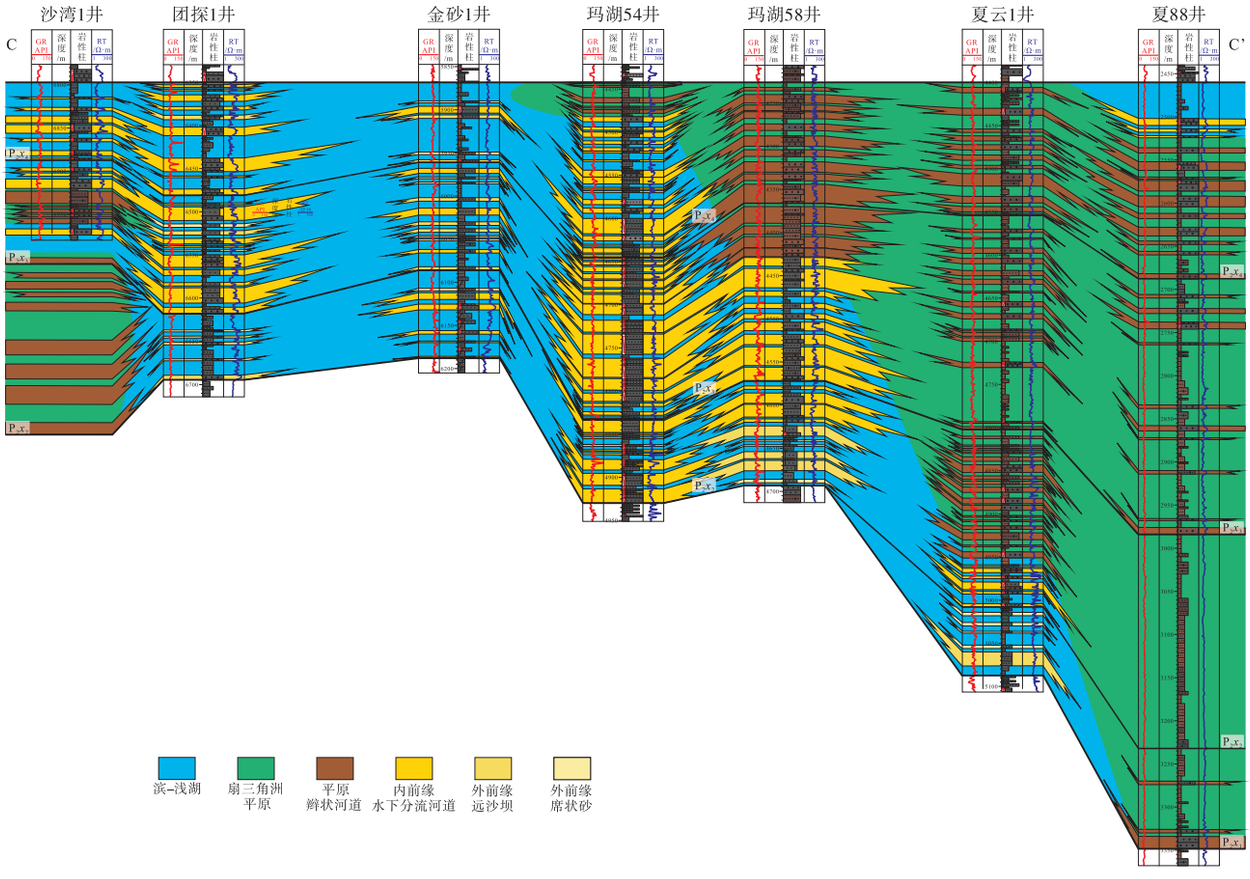
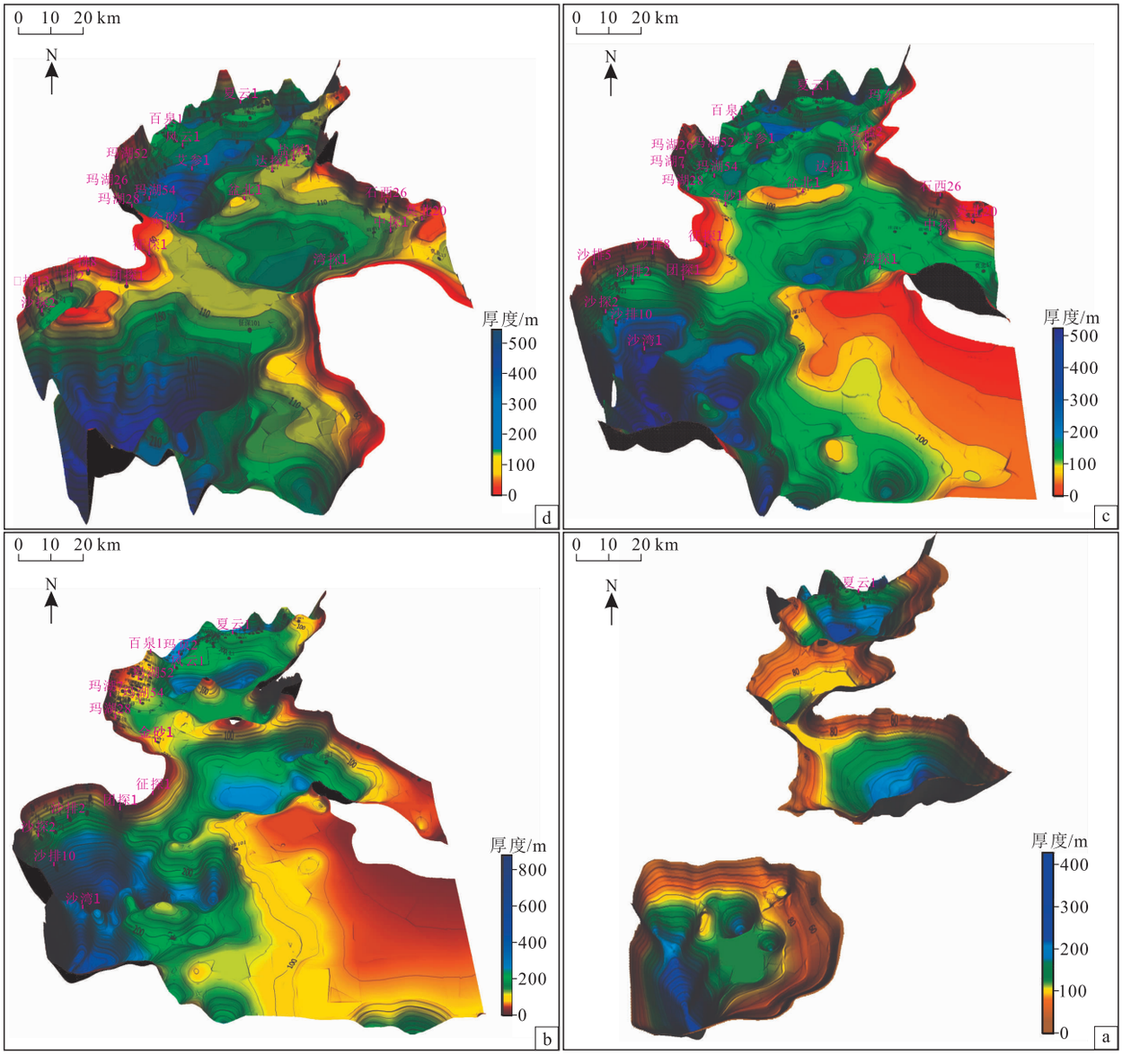


图 7 准噶尔盆地二叠系夏子街组沉积相对比剖面（沙湾 1—团探 1—金砂 1—玛湖 54—玛湖 58—夏云 1—夏 88）

Fig. 7 Comparison profile of sedimentary facies of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin (SW1-TT1-JS1-MH54-MH58-XY1—X88)

—内前缘—外前缘主要分布于夏盐凸起、石西凸起、盆 1 井西凹陷北部、莫北凸起、莫索湾凸起及莫南凸起斜坡区。平面上，夏子街组沉积时期形成了玛湖北部（夏 76—丰探 1—夏云 1—乌 35—风南 5—艾克 1 井附近）、玛湖西部（玛页 2—百泉 2—风云 1—玛湖 33—玛湖 57—艾参 1—赛探 1 井附近）、玛湖南部（玛湖 26—玛湖 54—玛湖 5—玛湖 39—金龙 48—金砂 1 井附近）、玛湖东部（夏 70—玛东 1—玛东 2—玛东 3—夏盐 2—盐探 1—盆北 1 井附近）、沙湾西部（沙排 8—沙排 21—沙探 2—沙排 9—沙湾 1—团探 1 井附近）和中拐东部（征探 1 井附近）6 大扇三角洲群以及夏盐—石西—莫北（盆北 1—石西 28—石西 26—莫北 20—石莫 1 井附近）、莫索湾—莫南（湾探 1 井周缘）2 个辫状河三角洲群，各三角洲相不同层段的发育特征、分布范围等存在差异，但整体连续分布、有序共生、稳定发育(图 9)。

不同层段扇三角洲、辫状河三角洲各个亚相和微相沉积规律在平面上存在差异，主要体现在延伸长度、沉积范围和展布形态等方面。整体上，除了西北部、北部和西南部车探 1 井区附近受断裂影响沉积范围基本稳定外，从夏一段（P_2x_1）到夏四段（P_2x_4）湖盆水体整体范围不断扩大，形成水进沉积序列。夏一段（P_2x_1）分布范围最小，北部发育扇三角洲相，南部发育辫状河三角洲相，除了北部靠近断裂的夏 76—丰探 1—夏 72—风南 4—乌 35—艾克 1 井区附近扇三角洲复合沉积体外，其他的扇三角洲和辫状河三角洲均以单朵叶体形态为主，延伸范围一般—中等，平面分布面积一般。夏二段（P_2x_2）湖盆范围增大明显，沉积范围急剧增大，扇三角洲相大规模发育，范围广，西部、北部和东北部广泛发育，6 大扇三角洲群开始形成，尤其是玛湖北部、玛湖西部、玛湖南部和沙湾

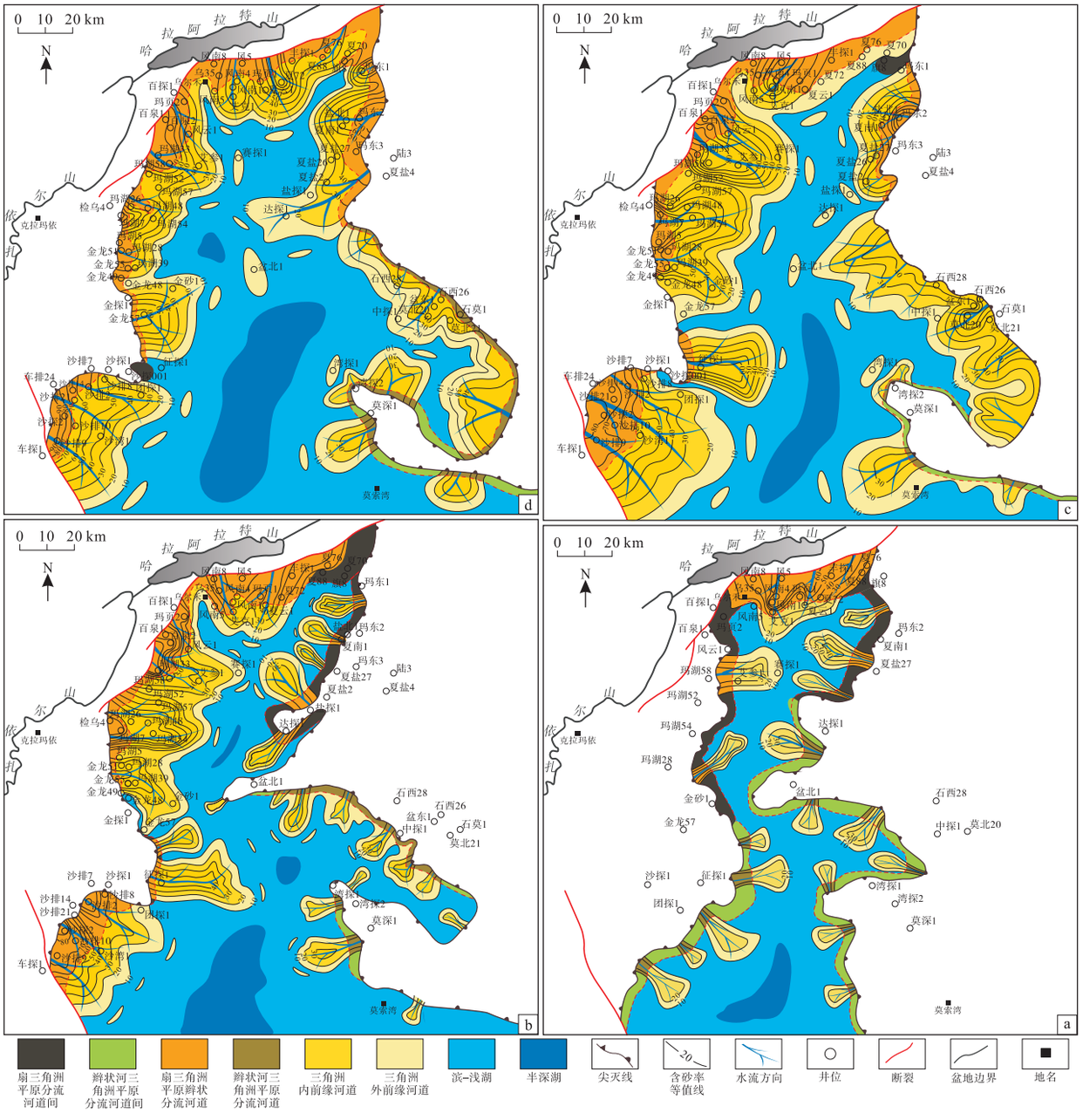


a—夏一段；b—夏二段；c—夏三段；d—夏四段

图 8　准噶尔盆地二叠系夏子街组残余古地貌

Fig. 8　Residual palaeogeomorphology of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

西部 4 大扇三角洲群，平面延伸距离可到 15～40 km，各个前缘朵叶体、多期砂体相互叠置，连片、广覆式分布，分布范围可达数百至上千平方千米；玛湖东部和中拐东部 2 个扇三角洲群延伸长度和分布范围相对小一些，且以单朵叶体沉积为主；东南部的辫状河三角洲相仍以单朵叶体沉积为主，延伸长度一般，分布范围较小。夏三段（P_2x_3）湖盆范围进一步增大，主要扇三角洲群继续向湖内推进沉积，尤其是中拐东部和玛湖东部 2 个扇三角洲群，已整体连片沉积，延伸长度和分布范围进一步增大，延伸长度可以达到 20～60 km，分布范围超过 1000 km^2，东南部的辫状河三角洲相也广泛发育，叠置连片分布，延伸长度可达到 10～30 km，是夏子街组沉积范围最大的时期。夏四段（P_2x_4）与夏三段相比，湖盆面积在东部略有增加，主要扇三角洲群和辫状河三角洲群沉积范围减小，延伸长度缩短，但不同沉积朵叶体相互叠置、连片广覆式分布的基本特征没有改变（图 9）。



a—夏一段，b—夏二段，c—夏三段，d—夏四段

图 9 准噶尔盆地二叠系夏子街组沉积相平面展布及演化

Fig. 9 Distribution and evolution map of sedimentary facies of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

3 沉积模式

准噶尔盆地西部夏子街组沉积时期，周缘物源区与汇水区的古地貌特征控制着沉积岩的组合和分布特征。该区在克百断裂带下盘、沙湾凹陷西斜坡及玛湖—盆 1 井西东北斜坡等不同区块发育差异化的源渠汇沉积地貌条件，致使沉积物源供给能力、沉积相带展布存在较大差异。克百断裂带为夏子街组沉积期的陡崖式沉积边界，存在窄短扇三角洲平原、较长扇三角洲前缘沉积；中拐凸起和车排子凸起之间的沙湾西斜坡存在山坳陡坡，西部山区的物源沿山坳向盆地内倾泻沉积，形成山坳上倾方向砾石混杂、填隙物泥质含量高的扇三角洲平原和内前缘沉积，向凹陷内过渡为扇三角洲外前缘沉积，局

部发育辫状河三角洲沉积；玛湖凹陷—盆 1 井西凹陷的东北坡为陆梁隆起的低山物源区与凹陷呈缓坡过渡，沉积岩从物源区到凹陷区虽然也表现为由粗到细的沉积岩石组合，但整体较西部细，沉积相带窄而短，分布范围小于克百断裂带下盘和沙湾凹陷西斜坡。盆地凹陷区以滨—浅湖为主，半深湖发育范围较小，深湖不发育，水深较浅—一般。根据夏子街组纵向沉积与横向展布特征(图 5；图 6；图 7)，从最早沉积的夏一段（P_2x_1）到夏二段（P_2x_2）湖盆面积急剧增大，再到夏三段（P_2x_3）和夏四段（P_2x_4）湖盆面积和分布范围持续增大(图 9)。总体上，夏子街组沉积时期湖盆面积不断增大，分布范围不断扩大，形成水进型沉积序列(图 10)。其中，西部物源区和北部物源区沉积物供给充足，供给量大，从下到上，从夏一段（P_2x_1）到夏四段（P_2x_4）整体形成了进积型扇三角洲；东部内物源区沉积物供给量中等—一般，形成了退积型三角洲沉积，其中，北部供给量稍强，形成了退积型扇三角洲，南部供给能力稍弱，形成了退积型辫状河三角洲。

湖盆背景下的扇三角洲及辫状河三角洲各个亚相、微相垂向上相互叠置、相互切割，平面上同期、不同期亚相、微相叠置连片广覆式分布，紧密相邻，有序组合，顺物源区沿湖盆岸线向湖内沉积推进，共同构成了扇三角洲—湖泊沉积体系和辫状河三角洲—湖泊沉积体系。总体上，扇三角洲和辫状河三角洲均属于盆大水浅的三角洲沉积，扇三角洲以进积型为主，退积型为辅，辫状河三角洲以退积型为主，三角洲—湖泊沉积体系内粗粒、中粒和细粒沉积岩均大规模发育，形成了粗粒→中粒→细粒有序共生、连续分布的全序列储集层(图 11)。

4　油气意义

准噶尔盆地西部玛湖地区二叠系风城组和东部吉木萨尔地区二叠系芦草沟组已经发现和落实了发育全油气系统型油气藏，具备常规—致密—页岩油气藏等有序聚集、分布和共生的基本条件和特征，碎屑岩储集层具有砾岩—砂岩—粉砂岩、泥岩有序组合、连续分布特征，形成了粗粒→中粒→细粒全序列储集层。作为风城组紧密相邻的上覆地层，夏子街组具有天然良好的全油气系统成藏条件，且目前实钻多口重点井已经证实夏子街组发育全序列储集层(图 11)，其中，砾岩等粗粒储集层平均孔隙度和渗透率分别为 6.43% 和 0.20×10^{-3} μm²，砂岩等中粒储集层平均孔隙度和渗透率分别为 5.11% 和 0.03×10^{-3} μm²，粉—细砂岩、粉砂岩等细粒储集层平均孔隙度和渗透率为 4.98% 和 0.02 ×

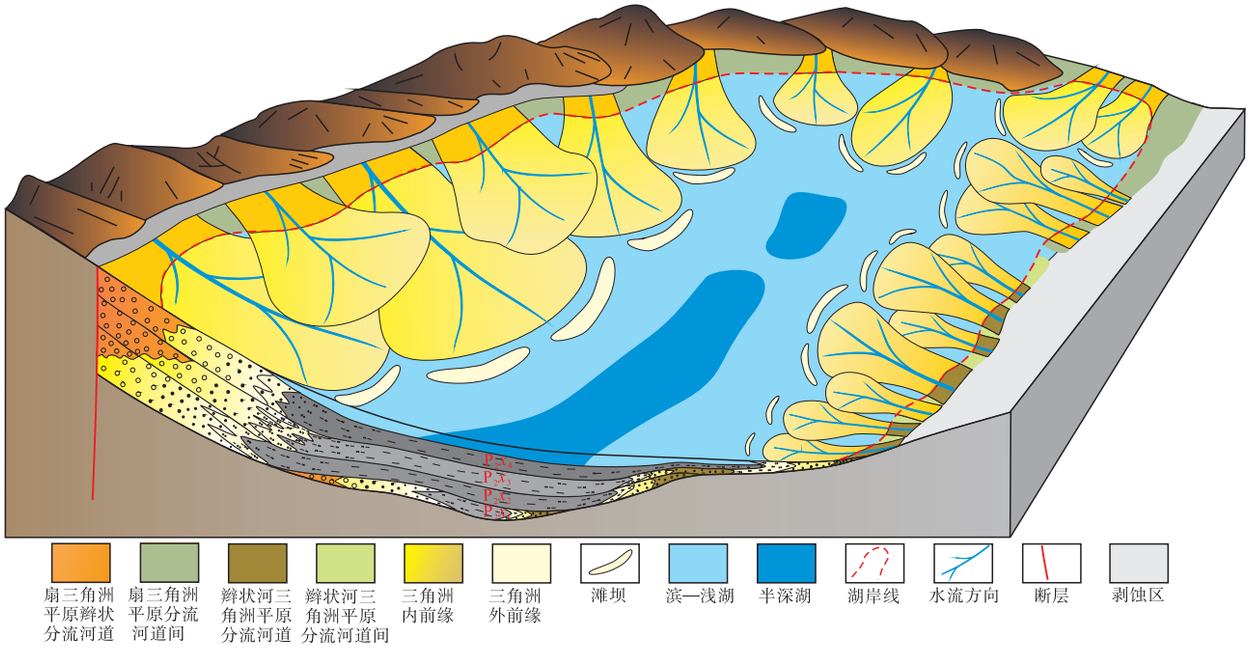


图 10　准噶尔盆地二叠系夏子街组沉积相模式

Fig. 10　Sedimentary facies model of the Permian Xiazijie Formation in Junggar Basin

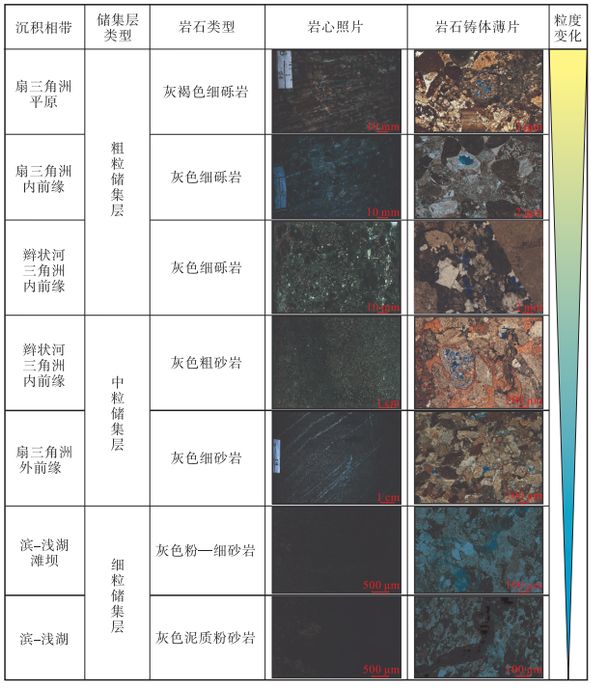


图 11 准噶尔盆地夏子街组全序列储集层岩石类型特征

Fig. 11 Characteristics of rock types in whole sequence reservoir of the Xiazijie Formation in Junggar Basin

10^{-3} μm^2，粉砂质泥岩和泥岩等细粒储集层平均孔隙度和渗透率一般在 3% 和 0.01×10^{-3} μm^2 以下。全序列储集层是全油气系统的关键组成部分，是各类油气藏聚集的载体，而沉积相又是各类储集层发育的载体和空间，决定了各类储集层的基础质量和分布规律。夏子街组不同类型的沉积亚相、微相发育不同类型储集层，为不同类型油气藏提供聚集空间，其中，三角洲平原（辫状）分流河道以及内前缘水下分流河道砾岩、砂岩可作为常规油气藏储集体，三角洲平原（辫状）分流河道和内前缘的水下分流河道砾岩和砂岩、外前缘远沙坝、席状砂的砂岩、粉砂岩以及滨—浅湖滩坝的细砂岩、粉—细砂岩可作为致密油气藏储集体，而滨—浅湖、前扇三角洲及半深湖的各类粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩是页岩油藏和页岩气藏的主要储集层。

5 结论

1）准噶尔盆地夏子街组发育盆大水浅型湖盆，沉积体系类型为三角洲—湖泊体系，三角洲主要发育扇三角洲和辫状河三角洲 2 种类型，三角洲相主要发育平原、内前缘、外前缘和前三角洲等亚相，湖泊相以滨—浅湖为主。不同亚相和微相紧密相邻、有序组合，不同相带沉积不同粒度和类型的储集层，其内各类砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩均规模发育，形成了粗粒→中粒→细粒沉积岩有序共生、连续分布的全序列储集层，为全油气系统提供了基础储集条件，实钻已经证实不同粒度储集层中发育常规—致密—页岩等不同类型油气藏。

2）准噶尔盆地夏子街组扇三角洲、辫状河三角洲不同期次亚相和微相垂向上相互叠置、切割，平面上同期、不同期亚相、微相叠置连片、广覆式分布，形成了玛湖西部、玛湖北部、玛湖南部、玛湖东部、沙湾西部和中拐东部等 6 个扇三角洲群以及夏盐—石西—莫北、莫索湾—莫南等 2 个辫状河三角洲群，延伸远，面积大。平面上，不同层段扇三角洲、辫状河三角洲各个亚相和微相沉积在延伸长度、沉积范围和展布形态等方面存在差异，从夏一段到夏四段湖盆水体逐渐扩大，形成水进型沉积序列；各个亚相、微相紧密相邻，有序组合，连续分布，形成完整序列沉积体系。

3）准噶尔盆地夏子街组扇三角洲—湖泊和辫状河三角洲—湖泊沉积体系在构造演化、物源供给、湖平面变化和气候变化等多重因素影响和控制下，整体形成了水进进积型和水进退积型 2 类三角洲，其中，西部和北部扇三角洲为水进进积型三角洲，东北部扇三角洲为水进退积型三角洲，东南部辫状河三角洲为水进退积型三角洲。总体上，扇三角洲以进积型为主，退积型为辅，辫状河三角洲以退积型为主，三角洲—湖泊沉积体系内砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩等各类沉积岩均大规模发育，形成了粗粒—中粒—细粒有序共生、连续分布的全序列储集层。

参考文献(References)

陈建平，王绪龙，邓春萍，梁狄刚，张越迁，赵喆，倪云燕，支东明，杨海波. 2016. 准噶尔盆地烃源岩与原油地球化学特征. 地质学报，90(1)：37-67. [Chen J P，Wang X L，Deng C P，Liang D G，Zhang Y Q，Zhao Z，Ni Y Y，Zhi D M，Yang H B. 2016. Geochemical features of source rocks and crude oil in the Junggar Basin，northwest China. Acta Geologica Sinica，90(1)：37-67]

董雪梅，李静，胡婷婷，李静，吴晨骁，张洁，陈亮. 2023. 准噶尔盆地沙湾凹陷二叠系风城组油气地质特征、成藏模式及上超削蚀带勘探实践. 石油学报，44(3)：420-432. [Dong X M，Li J，Hu T

T, Li J, Wu C X, Zhang J, Chen L. 2023. Hydrocarbon geological characteristics and accumulation model of Permian Fengcheng Formation, and exploration practice of onlap-truncation belt in Shawan sag, Junggar Basin. Acta Petrolei Sinica, 44(3): 420-432]

何登发. 2022. 中国多旋回叠合沉积盆地的形成演化、地质结构与油气分布规律. 地学前缘, 29(6): 24-59. [He D F. 2022. Multi-cycle superimposed sedimentary basins in China: formation, evolution, geologic framework and hydro-carbon occurrence. Earth Science Frontiers, 29(6): 24-59]

何登发, 张磊, 吴松涛, 李涤, 甄宇. 2018. 准噶尔盆地构造演化阶段及其特征. 石油与天然气地质, 39(5): 845-861. [He D F, Zhang L, Wu S T, Li D, Zhen Y. 2018. Tectonic evolution stages and features of the Junggar Basin. Oil & Gas Geology, 39(5): 845-861]

何文军, 钱永新, 赵毅, 李娜, 赵辛楣, 刘国良, 苗刚. 2021. 玛湖凹陷风城组全油气系统勘探启示. 新疆石油地质, 42(6): 641-655. [He W J, Qian Y X, Zhao Y, Li N, Zhao X M, Liu G L, Miao G. 2021. Exploration implications of total petroleum system in Fengcheng Formation, Mahu sag, Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 42(6): 641-655]

何文军, 宋永, 汤诗棋, 尤新才, 白雨, 赵毅. 2022. 玛湖凹陷二叠系风城组全油气系统成藏机理. 新疆石油地质, 43(6): 663-673. [He W J, Song Y, Tang S Q, You X C, Bai Y, Zhao Y. 2022. Hydrocarbon accumulation mechanism of total petroleum system in Permian Fengcheng Formation, Mahu sag. Xinjiang Petroleum Geology, 43(6): 663-673]

贾承造. 2017. 论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义. 石油勘探与开发, 44(1): 1-11. [Jia C Z. 2017. Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geological theory. Petroleum Exploration and Development, 44(1): 1-11]

贾承造, 庞雄奇, 宋岩. 2024. 全油气系统理论基本原理. 石油勘探与开发, 51(4): 679-691. [Jia C Z, Pang X Q, Song Y. 2024. Basic principles of the whole petroleum system. Petroleum Exploration and Development, 51(4): 679-691]

姜福杰, 郭婧, 庞雄奇, 陈迪, 王建伟, 汪英勋, 李亚茜, 陈雪, 郭婷玮, 房舟, 王晓昊, 齐振国, 文嘉豪. 2023. 渤海湾盆地南堡凹陷全油气系统 3 类油气资源联合评价. 石油学报, 44(9): 1472-1486. [Jiang F J, Guo J, Pang X Q, Chen D, Wang J W, Wang Y X, Li Y X, Chen X, Guo T W, Fang Z, Wang X H, Qi Z G, Wen J H. 2023. Joint evaluation of three types of oil-gas resources in whole petroleum system of Nanpu sag, Bohai Bay Basin. Acta Petrolei Sinica, 44(9): 1472-1486]

刘国勇, 吴松涛, 伍坤宇, 沈月, 雷刚, 张斌, 邢浩婷, 张庆辉, 李国欣. 2024. 柴达木盆地西部坳陷古近系全油气系统特征与油气成藏模式. 石油勘探与开发, 51(5): 951-961. [Liu G Y, Wu S T, Wu K Y, Shen Y, Lei G, Zhang B, Xing H T, Zhang Q H, Li G X. 2024. Characteristics and hydrocarbon accumulation model of Paleogene whole petroleum system in Western Depression of Qaidam Basin, NW China. Petroleum Exploration and Development, 51(5): 951-961]

庞雄奇, 贾承造, 宋岩, 陈君青, 施砍园, 庞磚, 姜林, 姜福杰, 陈冬霞, 庞宏, 胡涛, 张思玉, 孙耀玺. 2022. 全油气系统定量评价: 方法原理与实际应用. 石油学报, 43(6): 727-759. [Pang X Q, Jia C Z, Song Y, Chen J Q, Shi K Y, Pang B, Jiang L, Jiang F J, Chen D X, Pang H, Hu T, Zhang S Y, Sun Y X. 2022. Quantitative evaluation of whole petroleum system: principle and application. Acta Petrolei Sinica, 43(6): 727-759]

彭光荣, 庞雄奇, 徐帜, 骆佳瑞, 于飒, 李洪博, 胡涛, 汪成, 刘阳. 2022. 珠江口盆地陆丰南地区古近系全油气系统特征与油气藏有序分布. 地球科学, 47(7): 2494-2508. [Peng G R, Pang X Q, Xu Z, Luo J R, Yu S, Li H B, Hu T, Wang C, Liu Y. 2022. Characteristics of Paleogene whole petroleum system and orderly distribution of oil and gas reservoirs in south Lufeng Depression, Pearl River Mouth Basin. Earth Science, 47(7): 2494-2508]

任海姣, 郑孟林, 韩杨, 吴海生, 王韬, 常秋生, 李永军, 段丰浩, 王霞田, 张磊, 陈洪, 郭文建, 霍进杰. 2023. 准噶尔盆地玛湖凹陷二叠系—三叠系构造层序格架与沉积叠合演化. 地球科学与环境学报, 45(3): 663-679. [Ren H J, Zheng M L, Han Y, Wu H S, Wang T, Chang Q S, Li Y J, Duan F H, Wang X T, Zhang L, Chen H, Guo W J, Huo J J. 2023. Structural sequence framework and sedimentary superimposed evolution of Permian-Triassic in Mahu sag of Junggar Basin, China. Journal of Earth Sciences and Environment, 45(3): 663-679]

宋永, 唐勇, 何文军, 龚德瑜, 晏奇, 陈楠, 单祥, 刘超威, 刘刚, 秦志军, 阿布力米提·依明, 尤新才, 任海姣, 白雨, 高岗. 2024. 准噶尔盆地油气勘探新领域、新类型及勘探潜力. 石油学报, 45(1): 52-68. [Song Y, Tang Y, He W J, Gong D Y, Yan Q, Chen G, Shan X, Liu C W, Liu G, Qin Z J, Ablmt Y M, You X C, Ren H J, Bai Y, Gao G. 2024. New fields, new types and exploration potentials of oil-gas exploration in Junggar Basin. Acta Petrolei Sinica, 45(1): 52-68]

孙靖, 郭旭光, 尤新才, 卞保力, 薛晶晶, 常秋生. 2022. 准噶尔盆地深层—超深层致密碎屑岩储层特征及有效储层成因. 地质学报, 96(7): 2532-2546. [Sun J, Guo X G, You X C, Bian B L, Xue J J, Chang Q S. 2022. Characteristics and effective reservoir genesis of deep to ultra-deep tight clastic reservoir of Junggar Basin, NW China. Acta Geologica Sinica, 96(7): 2532-2546]

唐勇, 雷德文, 曹剑, 刘寅, 黄立良, 李卉. 2022. 准噶尔盆地二叠系全油气系统与源内天然气勘探新领域. 新疆石油地质, 43(6): 654-662. [Tang Y, Lei D W, Cao J, Liu Y, Huang L L, Li H. 2022. Total petroleum system and inner-source natural gas exploration in Permian strata of Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 43(6): 654-662]

陶士振, 袁选俊, 侯连华, 朱如凯, 杨帆, 李昌伟, 王岚, 张国生, 李欣, 王颖, 孙国欣, 卫延召. 2016. 中国岩性油气藏区带类型、地质特征与勘探领域. 石油勘探与开发, 43(6): 863-872, 939. [Tao S Z, Yuan X J, Hou L H, Zhu R K, Yang F, Li C W, Wang L, Zhang G S, Li X, Wang Y, Sun G X, Wei Y Z. 2016. Play types, geologic characteristics and exploration domains of lithological reservoirs in China. Petroleum Exploration and Development, 43(6): 863-872,

939]

王金艺,金振奎,王昕尧,任奕霖,程浩,焦盼盼. 2023. 陆相细粒岩储层质量的控制因素:以四川盆地下侏罗统为例. 沉积学报,41(2):646-659. [Wang J Y,Jin Z K,Wang X Y,Ren Y L,Cheng H,Jiao P P. 2023. Factors influencing reservoir quality in nonmarine fine-grained rocks:a case study of the Lower Jurassic in the Sichuan Basin. Acta Sedimentologica Sinica,41(2):646-659]

杨帆,卞保力,刘慧颖,姚宗全,尤新才,刘海磊,卫延召. 2022. 玛湖凹陷二叠系夏子街组限制性湖盆扇三角洲沉积特征. 岩性油气藏,34(5):63-72. [Yang F,Bian B L,Liu H Y,Yao Z Q,You X C,Liu H L,Wei Y Z. 2022. Sedimentary characteristics of fan delta in restricted lacustrine basin of Permian Xiazijie Formation in Mahu sag. Lithologic Reservoirs,34(5):63-72]

殷树铮,郭文建,李新宁,周志超,刘文辉,焦立新,何登发. 2024. 准噶尔盆地西部坳陷带二叠系构造—地层层序与盆地演化. 古地理学报,26(1):132-149. [Yin S Z,Guo W J,Li X N,Zhou Z C,Liu W H,Jiao L X,He D F. 2024. Tectono-stratigraphic sequence and basin evolution in West Depression of Junggar Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),26(1):132-149]

张赫,王小军,贾承造,李军辉,蒙启安,姜林,王永卓,白雪峰,郑强. 2023. 松辽盆地北部中浅层全油气系统特征与油气成藏聚集模式. 石油勘探与开发,50(4):683-694. [Zhang H,Wang X J,Jia C Z,Li J H,Meng Q A,Jiang L,Wang Y Z,Bai X F,Zheng Q. 2023. Total petroleum system and hydrocarbon accumulation model in shallow and medium strata in northern Songliao Basin,NW China. Petroleum Exploration and Development,50(4):683-694]

张顺,陈世悦,蒲秀刚,王永诗,谭明友. 2016. 断陷湖盆细粒沉积岩岩相类型及储层特征:以东营凹陷沙河街组和沧东凹陷孔店组为例. 中国矿业大学学报,45(3):568-581. [Zhang S,Chen S Y,Pu X G,Wang Y S,Tan M Y. 2016. Lithofacies types and reservoir characteristics of fine-grained sedimentary rocks in Paleogene,southern Bohai fault-depressed lacustrine basin. Journal of China University of Mining & Technology,45(3):568-581]

张志杰,周川闽,袁选俊,曹正林,陈星渝,万力,成大伟. 2023. 准噶尔盆地二叠系源-汇系统与古地理重建. 地质学报,97(9):3006-3023. [Zhang Z J,Zhou C M,Yuan X J,Cao Z L,Chen X Y,Wan L,Cheng D W. 2023. Source-to-sink system and palaeogeographic reconstruction of Permian in the Junggar Basin,northwestern China. Acta Geologica Sinica,97(9):3006-3023]

支东明,唐勇,何文军,郭旭光,郑孟林,黄立良. 2021. 准噶尔盆地玛湖凹陷风城组常规—非常规油气有序共生与全油气系统成藏模式. 石油勘探与开发,48(1):38-51. [Zhi D M,Tang Y,He W J,Guo X G,Zheng M L,Huang L L. 2021. Orderly coexistence and accumulation models of conventional and unconventional hydrocarbons in Lower Permian Fengcheng Formation,Mahu sag,Junggar Basin. Petroleum Exploration and Development,48(1):38-51]

支东明,李建忠,杨帆,康积伦,张伟,马强,陶林本. 2023. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系全油气系统地质特征与勘探开发实践. 中国石油勘探,28(4):14-23. [Zhi D M,Li J Z,Yang F,Kang J L,Zhang W,Ma Q,Tao L B. 2023. Geological characteristics and exploration and development practice of the Permian full oil and gas system in Jimsar sag,Junggar Basin. China Petroleum Exploration,28(4):14-23]

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]

邹才能,杨智,张国生,侯连华,朱如凯,陶士振,袁选俊,董大忠,王玉满,郭秋麟,王岚,毕海滨,李登华,武娜. 2014. 常规—非常规油气"有序聚集"理论认识及实践意义. 石油勘探与开发,41(1):14-25,27,26. [Zou C N,Yang Z,Zhang G S,Hou L H,Zhu R K,Tao S Z,Yuan X J,Dong D Z,Wang Y M,Guo Q L,Wang L,Bi H B,Li D H,Wu N. 2014. Conventional and unconventional petroleum "orderly accumulation":concept and practical significance. Petroleum Exploration and Development,41(1):14-25,27,26]

邹才能,杨智,朱如凯,张国生,侯连华,吴松涛,陶士振,袁选俊,董大忠,王玉满,王岚,黄金亮,王淑芳. 2015. 中国非常规油气勘探开发与理论技术进展. 地质学报,89(6):979-1007. [Zou C N,Yang Z,Zhu R K,Zhang G S,Hou L H,Wu S T,Tao S Z,Yuan X J,Dong D Z,Wang Y M,Wang L,Huang J L,Wang S F. 2015. Progress in China's unconventional oil & gas exploration and development and theoretical technologies. Acta Geologica Sinica,89(6):979-1007]

邹志文,郭华军,牛志杰,徐洋,单祥,李亚哲,沈金龙. 2021. 河控型扇三角洲沉积特征及控制因素:以准噶尔盆地玛湖凹陷上乌尔禾组为例. 古地理学报,23(4):756-770. [Zou Z W,Guo H J,Niu Z J,Xu Y,Shan X,Li Y Z,Shen J L. 2021. Sedimentary characteristics and controlling factors of river-dominated fan delta:a case study from the Upper Urho Formation in Mahu sag of Junggar Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),23(4):756-770]

(责任编辑 王绍华)