



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2401184

引用格式:杨志浩,姚宗全,汪勇,等.准噶尔盆地南缘大龙口剖面二叠系梧桐沟组沉积相剖析[J].科学技术与工程,2025,25(4):1338-1348.

Yang Zhihao, Yao Zongquan, Wang Yong, et al. Sedimentary phase analysis of the Permian Wutonggou Formation in the Dalongkou section of the southern Junggar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(4): 1338-1348.

天文学、地球科学

## 准噶尔盆地南缘大龙口剖面二叠系 梧桐沟组沉积相剖析

杨志浩<sup>1</sup>, 姚宗全<sup>2\*</sup>, 汪勇<sup>3</sup>, 黄钰<sup>2</sup>

(1. 中国石化胜利油田滨南采油厂, 滨州 256600; 2. 新疆大学地质与矿业工程学院, 乌鲁木齐 830047;  
3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司, 东营 257000)

**摘要** 为了理清上二叠统梧桐沟组沉积环境,以准噶尔盆地南缘大龙口剖面为例,通过分析岩性、岩相类型,岩相组合、解剖剖面砂体的空间展布规律。总结梧桐沟组3类8种能够表征成因砂体的砾、砂、泥岩相;基于岩相,进一步建立4种岩相组合类型,分别为河道内部、越岸决口扇、河漫滩砂体;通过对剖面岩相组合的分析,在梧桐沟组时期,发育点坝、决口扇、河漫滩沉积亚相,建立随着湖平面变化的曲流河沉积响应模式,并应用露头研究结果明确了地下储层沉积相与砂体展布。

**关键词** 梧桐沟组;点坝;曲流河;大龙口剖面;准噶尔盆地南缘

中图分类号 P512.31;

文献标志码 A

## Sedimentary Phase Analysis of the Permian Wutonggou Formation in the Dalongkou Section of the Southern Junggar Basin

YANG Zhi-hao<sup>1</sup>, YAO Zong-quan<sup>2\*</sup>, WANG Yong<sup>3</sup>, HUANG Yu<sup>2</sup>

(1. Sinopec Shengli Oilfield Binnan Oil Production Plant, Binzhou 256600, China;  
2. School of Geological and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China;  
3. Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying 257000, China)

**[Abstract]** In order to clarify the depositional environment of the Upper Permian Wutonggou Formation, the Dalongkou section at the southern margin of the Junggar Basin was taken as an example, and the following understanding was obtained by analyzing the lithology, lithofacies types, lithofacies assemblages, and spatial spreading laws of anatomical section sands. Three types of eight gravel, sand, and mudstone phases capable of characterizing diagenetic sands in the Wutonggou Formation were summarized. Based on the lithofacies, four lithofacies assemblage types were further established, representing the point bar, the cross-bank breakout fan, and the fluvial sands, respectively. Through the analysis of the lithofacies combination of the section, the sedimentary subfacies of point bar, crevasse splay, and floodplain in the period of Wutonggou Formation can be further identified, and the sedimentary response model of meandering river with the change of lake level was established. The sedimentary facies and sand body distribution of underground reservoirs were clarified by the results of outcrop research.

**[Keywords]** Wutonggou Formation; riparian; meandering fluvial; Dalongkou section; southern Junggar Basin

沉积相是进行储层预测的基础,储层物性与沉积相类型有紧密联系<sup>[1-2]</sup>,可降低砂体展布的不确定性<sup>[3-4]</sup>,准噶尔盆地二叠系含有多套物性较好的大型砂体,是重要的油气储集层段<sup>[5-6]</sup>。前人已对

其沉积环境进行过探讨,提出了多种不同的沉积相划分方案。有学者通过岩心观察与分析化验资料认为二叠系梧桐沟组发育浅湖相、半深湖相、河流相等多种沉积相<sup>[7-10]</sup>,也有学者认为二叠系梧桐沟

收稿日期:2024-02-23; 修订日期:2024-11-19

基金项目:国家自然科学基金(41902109)

第一作者:杨志浩(1990—),男,汉族,山东滨州人,硕士研究生。研究方向:油气田开发地质。E-mail:yangzhihaocugb@163.com。

\*通信作者:姚宗全(1989—),男,汉族,新疆乌鲁木齐人,博士,副教授,博士研究生导师。研究方向:沉积储层。E-mail:yzq@xju.edu.cn。

组在水进-水退背景下<sup>[10]</sup>,主要发育辫状河三角洲-湖泊沉积体系<sup>[11-14]</sup>,自物源向凹陷中心依次发育冲积扇相、辫状河三角洲相及浊流相<sup>[15-16]</sup>及湖底扇沉积为主<sup>[17-18]</sup>。陈春勇等<sup>[19]</sup>通过测井和地震资料,认为梧桐沟组以多个继承性的辫状河三角洲为主。梧桐沟组发育的扇三角洲是在冲积扇推进到稳定的湖泊环境后形成的<sup>[20]</sup>。针对各方资料来源与研究方法的不同,对其沉积背景与环境也有较大的差异。不同的方法均认识到冲积扇、三角洲以及深水沉积在该区的发育,但并未认识到河流相也在该区有所发育。

准噶尔盆地南缘大龙口剖面梧桐沟组发育多套大型连续分布砂体,可见不同规模的交错层理、植物茎干与双壳类化石<sup>[19]</sup>。为了进一步明确梧桐沟组沉积环境,从宏观(岩相)和微观(薄片)剖析梧桐沟组露头,确定大龙口剖面梧桐沟组发育曲流河沉积,并建立相应的砂体叠置关系与沉积模式,对于二叠系梧桐沟组河流相沉积体系在该区的成因与发育具有重要意义。通过精细刻画研究区的岩性特征以及沉积特征,分析沉积响应模式,对以往在此方面的认识欠缺进行补充,有利于进一步查明梧桐沟组的储层特征,为明确研究区有利储集砂体的分布预测提供了依据,并将为准噶尔盆地南缘下步油气勘探提供地质依据。

### 1 地质概况与沉积背景

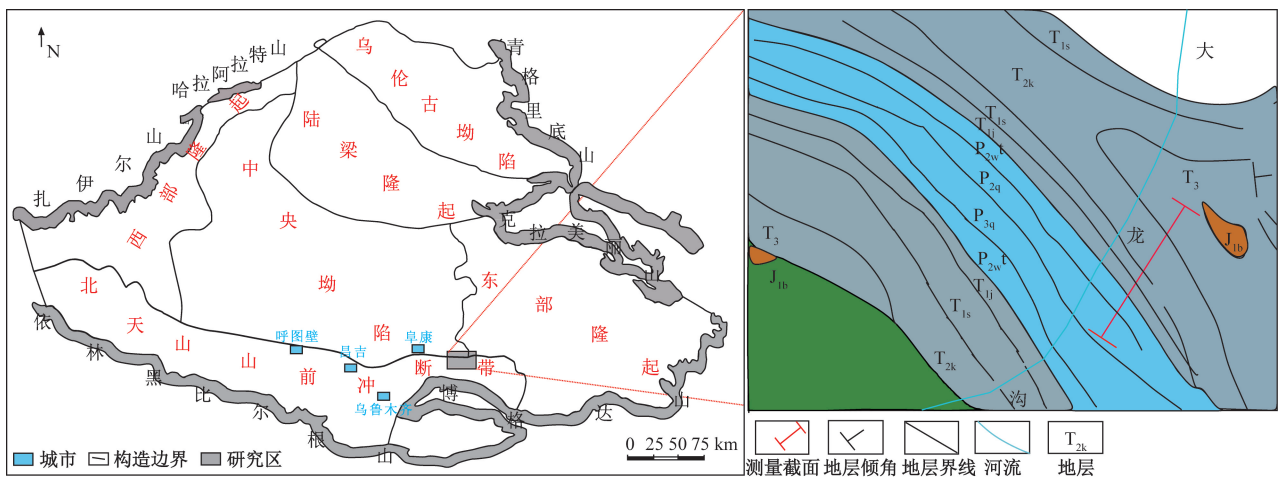
准噶尔盆地南缘构造为北天山的山前冲断带,其东起吉木萨尔水西沟,西至乌苏四棵树,东西长约500 km;南起连哈比尔尕山,北到盆地腹部昌吉凹陷,南北宽约40~90 km,总面积为3.0 ×

10<sup>4</sup> km<sup>2</sup><sup>[21]</sup>。大龙口剖面位于北天山山前冲断带东部吉木萨尔凹陷内,其南部为博格达山脉;在地理行政区域上,该剖面位于新疆维吾尔自治区东南部吉木萨尔市境内<sup>[22-23]</sup>。本次实测起点为(E88° 51' 35.28"、N43° 57' 17.05"),终点为(E88°34'49.53"、N43°56'58.88"),共分5段,测绳总长度133.12 m,累计实测梧桐沟组地层真厚度为108.23 m(图1)。

准噶尔盆地南缘构造较为复杂,主要包括西部3排背斜带、3排向斜带以及东部阜康断裂带、南缘西段的四棵树凹陷。二叠系地层主要发育在乌苏-石河子-乌鲁木齐-吉木萨尔一带,先后在准噶尔盆地南缘发现了独山子、柴窝堡、齐古等油气田,表现出巨大的油气勘探潜力<sup>[24-25]</sup>。准噶尔盆地下二叠统以变质岩和火成岩为主,伴随着盆地的整体拉伸,盆地在中二叠统发育广泛的巨厚油页岩,为盆地的主要生油层<sup>[25-27]</sup>。在晚二叠世时期,盆地拗陷湖盆特征愈发明显,盆地边缘发育河流相、三角洲相等沉积体系<sup>[28]</sup>。新生代强烈的构造作用迫使南缘巨厚地层抬升出露,加上北天山北麓诸多北向河流强烈的切割作用,促使该地区形成诸多良好露头剖面,大龙口剖面就是其中一个典型剖面<sup>[29]</sup>,如图1所示。

### 2 剖面概况

从大龙口地质剖面来看,中二叠统红雁池组和泉子街组整体以红色与灰绿色砂岩砂砾岩等粗粒沉积物为主,第四纪沉积物覆盖较为严重[图2(a)]。红雁池组总体上红褐色厚层块状砾岩为主,分选磨圆较差[图2(b)],说明搬运距离较近<sup>[30-31]</sup>。红褐色



P<sub>2w1</sub>为梧桐沟组; P<sub>3q</sub>为泉子街组三段; P<sub>2q</sub>为泉子街组二段; T<sub>2k</sub>为克拉玛依组; T<sub>1s</sub>为烧房沟组; T<sub>1j</sub>为非菜园子组; T<sub>3</sub>为上三叠统

图1 区域概况图

Fig. 1 Regional overview map



图2 大龙口剖面红雁池组和泉子街组地层概况与岩性特征

Fig. 2 Stratigraphic overview and lithologic characteristics of the Hongyanchi Formation and Quanzijie Formation in the Dalongkou section

泥岩中可见约 3 cm 厚的炭质纹层,为局部的还原环境所形成,有机质含量较为丰富<sup>[32]</sup>[图 2(c)]。泥岩颜色由下部红雁池组红褐色向上逐渐过渡为泉子街组灰绿色,表明海平面上升,由较强氧化环境过渡为还原环境<sup>[33]</sup>。上部的泉子街组灰绿色部分与红雁池组的岩性相近,出露不明显[图 2(d)]。砾石颗粒较红褐色地层的颗粒小,且灰绿色地层发育更多的砂岩[图 2(e)]。剖面上部大套的灰绿色泥岩中夹杂席状砂体,反映了较强的还原环境和较弱的水动力条件<sup>[34-35]</sup>[图 2(f)]。

剖面中,梧桐沟组地层真厚度为 108.23 m,共发育 6 套大型砂体,砂地比约为 0.25,整体呈现“泥包砂”的现象。各砂体组之间夹杂大套的灰黑色油页岩,灰黑色油页岩中局部碳化程度较高,发育薄层的煤线或者炭质泥岩。

梧桐沟组岩性主要为砂岩与泥岩,局部可见少量的砾岩和含砾砂岩。其中,砂岩局部沉积速率较快,经过后期的风化侵蚀,呈现“蜂窝状”[图 3(a)],蜂窝大小不一,介于 10 ~ 50 cm。砂体主要以顶平底凸为主[图 3(b)]。剖面中,各砂体之间常见相互叠置切割关系,反映出河道频繁迁移[图 3(c)]。梧桐沟组的泥岩常大套发育,并受第四纪沉积物的覆盖出露较差[图 3(d)]。泥岩主要以深灰色和灰黑色为主,局部的泥岩成熟度较高,演化成为炭质泥岩或者煤层。其煤层主要位于大型砂体的底部,厚度 3 ~ 5 cm[图 3(e)]。

剖面内可发育结核、铁质条带和动植物化石。结核较大,长约 15 cm,宽约 8 cm[图 3(f)],较为零散的发育于砂体的底部,局部砂砾岩中可发现条带状灰黄色的铁质条带[图 3(g)]。植物化石主要多为植物茎秆,夹杂于大型砂体的内部,为植物混入沉积物流体中沉积形成,因此植物茎干较为破碎,保存不完整,部分植物茎秆碳化成炭质泥岩[图 3(h)]。动物化石则以双壳类的贝壳为主,壳类双半对称性较好,保存较好且分布较为集中[图 3(i)],为水体逐渐变浅动物富集的证据。有些特殊沉积现象发现均为陆相典型的氧化特征,有效地辅助证明了梧桐沟组沉积时期准噶尔盆地南缘陆相沉积环境的证据<sup>[36]</sup>。

### 3 岩相类型与组合特征

通过精细的岩相划分与组合类型分析,明确其沉积环境<sup>[37-39]</sup>。

#### 3.1 岩相类型

按照岩相划分标准,对大龙口剖面砂岩岩性、沉积结构(粒度、分选、磨圆),沉积构造,砂体形态,粒序、砂体叠置规律进行精细刻画与解剖,明确其沉积成因。研究区梧桐沟组根据其沉积特征共包含 3 类 8 种砾、砂、泥岩相,如表 1 所示。

(1) 块状层理砾岩相(Gm)。块状层理砾岩相通常由中—厚层状砾岩组成,砾石通常分选较差,磨圆较好,为底部滞留沉积。砾石最大的粒径约 5 cm,

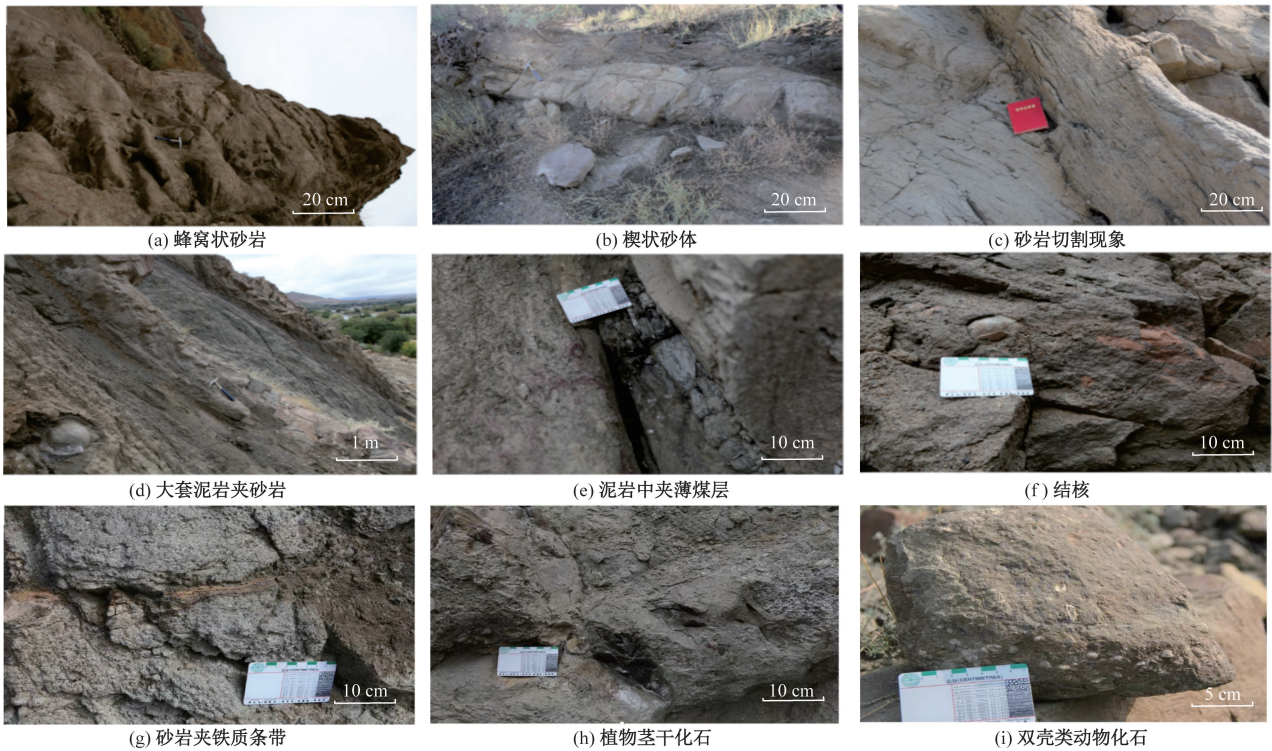


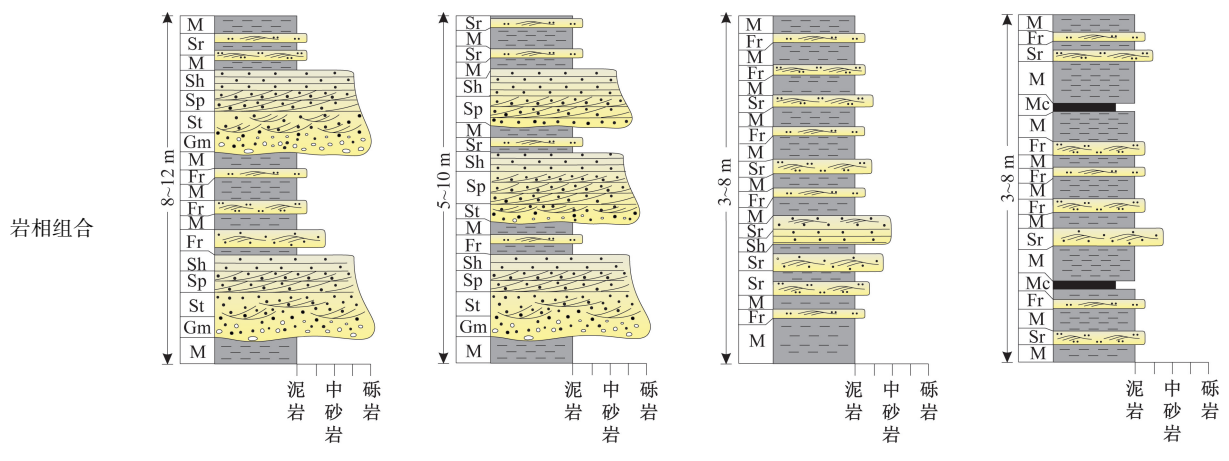
图 3 大龙口剖面梧桐沟组岩性特征与典型特殊现象

Fig. 3 Lithological characteristics and typical special phenomena of the Wutongou Formation in the Dalongkou section

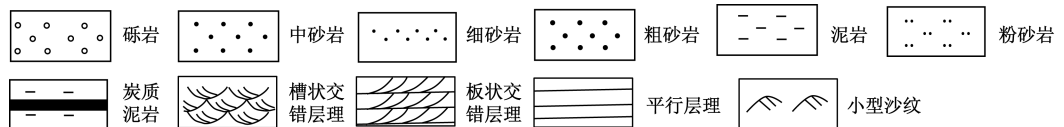
表 1 大龙口剖面梧桐沟组岩相组合类型

Table 1 Lithologic assemblage type of the Wutongou Formation in Dalongkou section

特征类型	组合类型一	组合类型二	组合类型三	组合类型四
发育位置	河道内部	河道点坝	越岸决口扇	越岸河漫滩
岩性	砾岩、砂岩	砂岩、少量砾岩	粉细砂岩、泥岩	粉细砂岩、泥岩
岩相类型	Gm、St、Sp、Sh、Fr、M	St、Sp、Sh、Sr、Fr、M	Sh、Sr、Fr、M	Sr、Fr、M、Mc
层砂岩厚度/m	5 ~ 8	2 ~ 4	0.4 ~ 0.8	0.2 ~ 0.5



图例



最小粒径约 0.2 cm, 整体呈块状层理。该岩相属于冲刷面之上高能、快速的滞留产物, 常发育于河道底部。

(2) 槽状交错层理砂岩相 (St)。该岩相主要由分选磨圆较好的中粗砂岩组成, 发育小型的槽状交错层理, 局部可见同心槽状交错层理, 纹层面明显, 局部风化严重。该岩相是高能、快速的牵引流侵蚀、迁移并充填所形成, 常发育于河道内部下切侵蚀过程中。

(3) 板状交错层理砂岩相 (Sp)。多以磨圆、分选中等的中砂岩为主。板状交错层理粒度较小, 且纹层夹角较小, 收敛速度较慢, 反映了当时沉积时期河道搬运能力与侧向迁移能力均较弱。该岩相为牵引流侧向加积所形成, 常发育于河道内部侧向改道过程中。

(4) 平行层理砂岩相 (Sh)。由分选、磨圆较好的中—细砂岩组成, 纹层面明显且密集, 为水浅流急条件下的高流态产物, 常见于河道边部。

(5) 流水沙纹粉砂岩相 (Fr)。主要由分选、磨圆较好的细砂岩或粉砂岩组成, 发育流水沙纹, 属于悬浮状态的沉积物在水流不断供给条件下沉积形成的, 常常发育于河道两侧的漫溢沉积。

(6) 水平层理粉砂岩相 (Fl)。由纹层状细粒沉积物组成, 纹层面可见灰黑色煤层或炭质泥岩, 纹层面间距为 0.1 ~ 0.4 cm; 该岩相属于低能、稳定的水动力条件下悬浮沉积卸载形成的产物, 常发育于牛轭湖、洪泛平原等环境。

(7) 块状层理泥岩相 (M)。通常由厚层状且无纹理的泥岩组成, 为静水低能环境下, 细粒沉积物悬浮充填或披覆沉积的产物。在废弃河道中可为透镜状, 河道之上为厚层的板状。

(8) 炭质泥岩相 (Mc)。泥岩中夹杂炭质碎屑, 常见于大型砂体的底部, 厚度 5 ~ 15 cm; 局部碳化呈煤层或煤线, 属于温暖潮湿气候下河道之间的小型泥沼沉积。

### 3.2 岩相组合类型

岩相组合特征不但可以精准地表明垂向沉积序列, 也是沉积环境判断的重要手段<sup>[40-42]</sup>。根据露头剖面的实际观察结果, 识别出准噶尔盆地南缘大龙口剖面梧桐沟组发育 4 种典型的岩相组合类型 (表 1)。

#### 3.2.1 组合类型 1: Gm→St→Sp→Sh→M→Fl→M

该岩相组合类型具有明显向上变细的粒度和结构特征, 底部为砾石滞留沉积, 厚度不大, 由于水动力条件与搬运距离的差异, 砾石常表现为分选、磨圆均较差。向上逐渐过渡为槽状交错层理砂岩

相 (St) 和板状交错层理砂岩相 (Sp), 后逐渐发育高流态的平行层理砂岩相 (Sh), 反映了点坝砂体的侧向迁移、加积和较高的水动力条件。垂向上整体表现为曲流河的二元结构, 为曲流河的河道沉积。两期组合类型之间多为曲流河的泛滥平原, 多表现为块状层理泥岩相 (M) 和流水沙纹粉砂岩相 (Fr), 反映了两期河道沉积之间低能的泛滥环境。

#### 3.2.2 组合类型 2: St→Sp→Sh→Fr→M

底部发育槽状交错层理砂岩相 (St), 沉积构造规模较小, 侧向迁移能力较弱, 局部可见少量砾石或定向排列。向上发育大型的板状交错层理和平行层理, 反映了其较强的加积作用。该垂向序列有明显向上变细的正粒序, 大型的板状交错层理和平行层理主要反映了曲流河点坝的加积作用。多期点坝之间常夹杂小型的侧积层泥岩和薄层的流水沙纹砂岩相, 反映了多期点坝侧向迁移过程。该组合类型与类型一较为相近, 但其粒度与沉积构造的规模明显变小, 且底部滞留沉积较薄或几乎不发育。

#### 3.2.3 组合类型 3: Sh→Sr→Fl→M

该岩相组合类型总体以细粒沉积为主, 平行层理砂岩相 (Sh)、薄层状的水平层理粉砂岩相 (Fl) 和块状泥岩相组成。总体表现为薄层的砂岩与厚层的泥岩的间互, 局部的平行层理和流水沙纹的发育为决口扇体沉积, 但总体为低能稳定的天然堤与决口扇沉积环境。

#### 3.2.4 组合类型 4: Sr→Fl→M→Mc

水平层理粉砂岩 (Fl) 与块状泥岩相 (M) 互层, 整体粒度偏细, 泥岩以灰黑色为主, 单层粉砂岩厚度较薄, 厚度一般在 20 ~ 50 cm。且受泥岩和第四纪覆盖物的影响, 出露不明显。

块状泥岩相 (M) 的顶部局部碳化成炭质泥岩或薄煤层 (Mc), 厚度一般在 20 ~ 30 cm, 并常位于大型砂体的底部, 为温暖潮湿的沼泽环境所形成。此种组合类型为曲流河泛滥平原典型垂向序列。

## 4 剖面沉积特征

针对 4 种典型沉积序列, 分析其沉积作用与沉积条件, 进而剖析该地层组的沉积相类型与沉积亚相特征。在沉积成因的基础上, 分析 5 套大型砂体的形成特征与成因演化, 进而分析曲流河砂体的叠置规律。

剖面整体的层序为两期大型正旋回的叠加, 即从单期河道向点坝砂体的过渡和后期多套砂体的冲刷叠置。该期次的变化在剖面上主要体现在单层砂体的厚度逐渐减薄, 灰黑色泥岩的厚度不断增加, 沉积构造的规模也相应减弱 (图 4)。

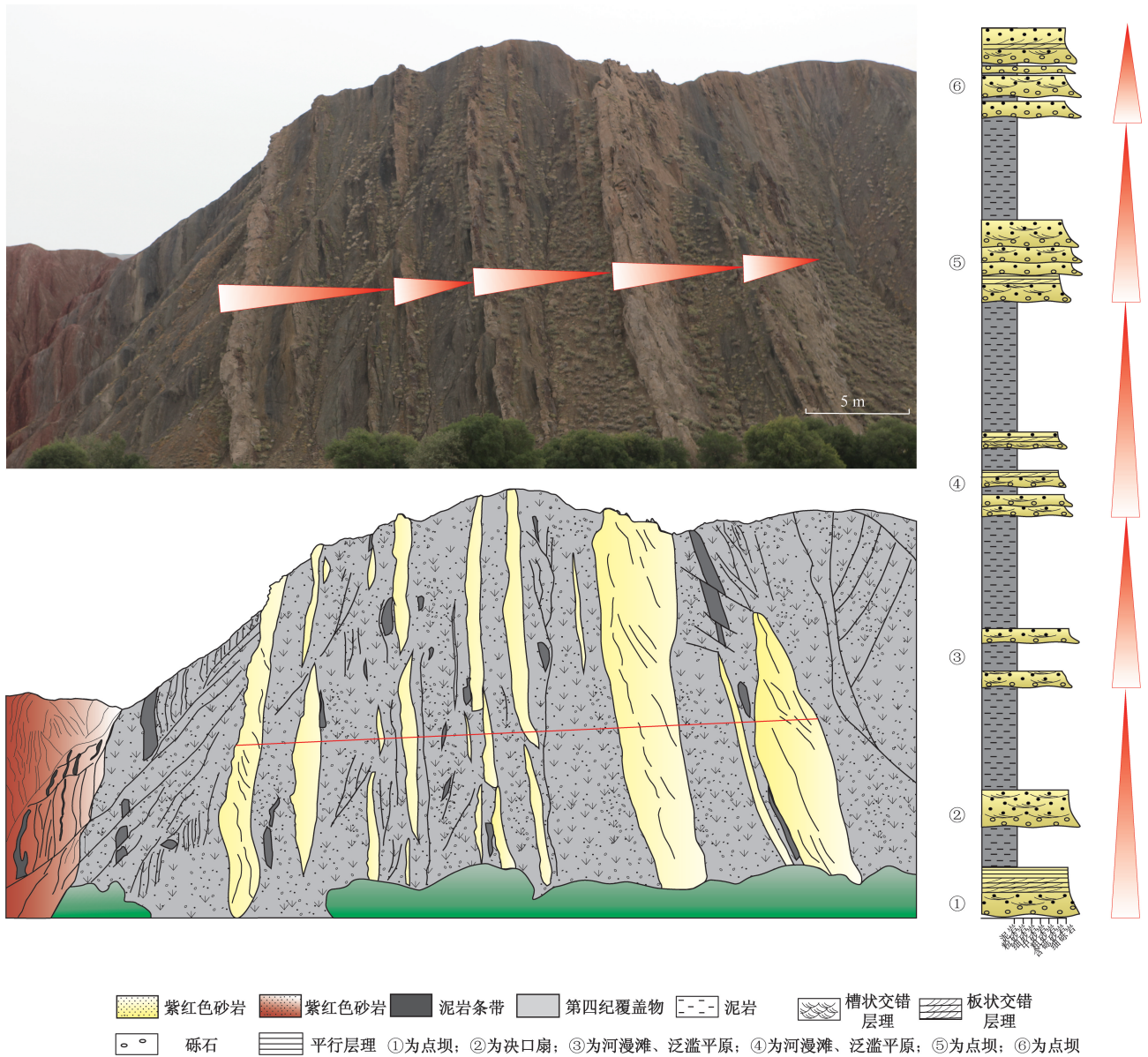


图4 梧桐沟组剖面构型分析  
Fig. 4 Analysis of the architecture of the Wutonggou Formation section

剖面整体“泥包砂”特征明显,6套大型砂体中以底部和上部的两套砂体发育最为完整。底部一号砂体为单层长条状,底部可见明显的冲刷面和滞留砾石沉积,并发育明显的植物茎干和双壳类化石,通过沉积序列判定为单期的曲流点坝沉积,该套砂体宽度为3 m,长度为35 m,长宽比为11.6;向上发育的2号砂体规模明显减少,为典型的长条状,宽度为1~3 m,厚度约2 m,冲刷面特征不明显,同期沉积中河道砂体数目增多,为点坝的侧向加积所组成的决口扇。剖面中部的第3、4套单砂体的纵向高度一般小于2 m,但可以延伸至整个剖面,局部的长宽比大于30。各个砂体之间有明显的泥质沉积,单期砂体之间可连通也可被泛滥平原所断开的河漫滩砂。中上部的第5、6套大型砂体均

为大型点坝砂体,沉积规模较大,冲刷面明显,厚度约为6 m,长度延伸整个剖面(图4)。

该剖面自底部河道砂体起,其物源供给较为强烈,冲刷面特征明显,形成的砂体厚度与宽度均较大。向上物源供给逐步减少,河道砂体规模开始明显减小,此时该剖面处砂体成因主要为曲流河砂体的点坝体沉积,剖面河道砂体整体表现为单坝式形态,而各个点坝之间发育不同规模的泥质沉积为泥岩夹层[图5(a)、图5(b)]。在泛滥平原沉积中,除了大套的泥岩发育外,还发育不同规模的决口扇夹杂于大套的黑色泥岩之中,厚度约2 m,长度均大于10 m,为典型的长条状,冲刷特征不明显[图5(c)、图5(d)]。在剖面的上部两期河道砂体的冲刷发育[图5(e)、图5(f)],说明充足的物源持续供给

致使河道砂体大规模发育,强烈的下切作用使得前一期河道沉积部分被后期沉积所冲刷侵蚀。而大套砂体之间的泥岩层段中,也存在少量的决口扇和席状砂体沉积。

### 5 沉积模式

综合分析大龙口剖面梧桐沟组的岩性特征、岩相类型、岩相组合垂向叠置关系及典型剖面砂体分布规律,认为大龙口剖面梧桐沟组主要为一套曲流河沉积环境产物。在湖平面上期,砂体以孤立型

为主,当湖平面下降时,发育拼接型砂体,当湖平面进一步下降时,砂体以切叠型为主<sup>[43]</sup>(图6)。

### 6 露头对地下储层的指导

研究区主要发育曲流河沉积。剖面整体呈现“泥包砂”的特点,局部可见少量的砾岩和含砾砂岩,大套的泥岩发育,泥砂互层构造较为多见。受到河道控制的影响,在垂向上,多发育切叠型和拼接型。河道砂体大规模发育,曲流点坝沉积长度可达35 m(图7)。



图5 大龙口剖面梧桐沟组砂体形态与沉积解释

Fig. 5 Morphology and sedimentary interpretation of the Wutonggou Formation sand body in the Dalongkou profile

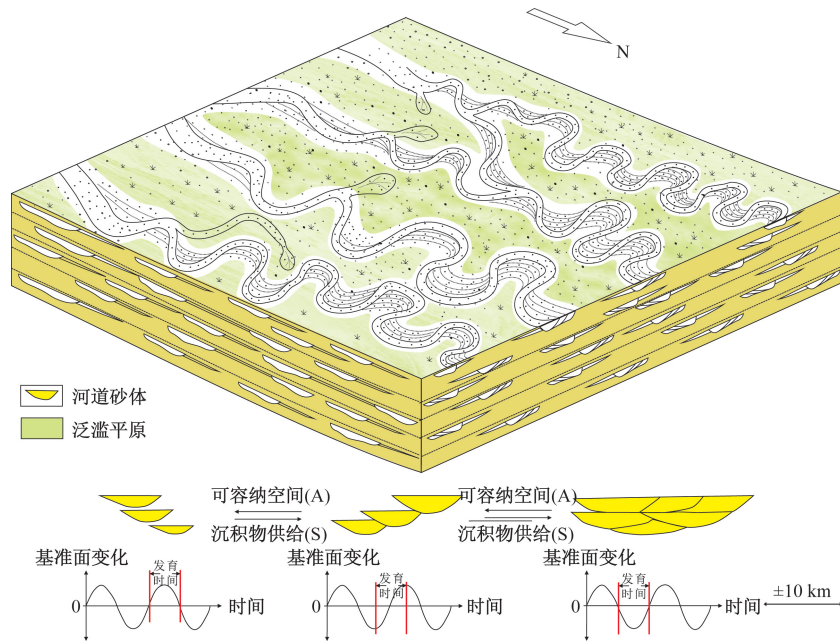
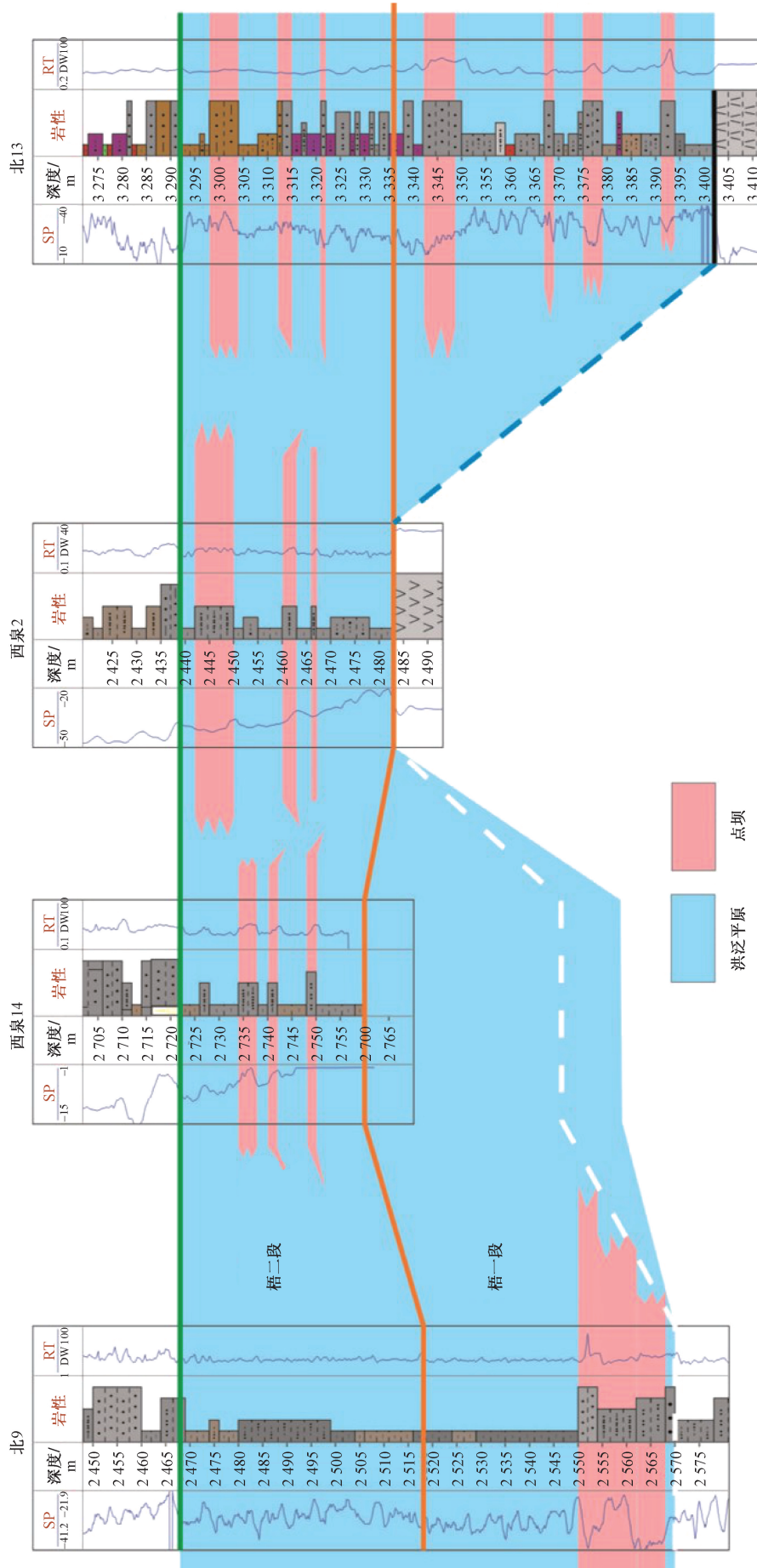


图6 大龙口剖面梧桐沟组沉积模式

Fig. 6 Sedimentary pattern of the Wutonggou Formation in Dalongkou section



SP为自然电位, 单位: mV; RT为地层真电阻率; 单位: Ω·m

图7 梧桐沟组沉积相横向展布图  
Fig.7 Horizontal distribution map of sedimentary facies of Wutonggou Formation

## 7 结论

(1)根据砂岩岩性、沉积结构,沉积构造,砂体形态,粒序,砂体叠置规律,梧桐沟组发育3类8种砾、砂、泥岩相,分别为块状层理砾岩相(Gm)、槽状交错层理砂岩相(St)、板状交错层理砂岩相(Sp)、平行层理砂岩相(Sh)、流水沙纹粉砂岩相(Fr)、水平层理粉砂岩相(Fl)、块状层理泥岩相(M)、炭质泥岩相(Mc)。

(2)梧桐沟组发育4种典型的岩相组合类型,组合类型一:Gm→St→Sp→Sh→M→Fl→M,组合类型二:St→Sp→Sh→Fr→M,组合类型三:Sh→Sr→Fl→M,组合类型四:Sr→Fl→M→Mc。

(3)分析了大龙口剖面发育的5套大型砂体的形成特征与成因演化,第1套为点坝砂,第2套为决口扇砂,第3、4套为河漫砂,第5、6套为点坝砂。

### 参 考 文 献

[1] 刘昊琳,卢志远,李胜,等. MH1井区二叠系下乌尔禾组沉积微相及有利储层预测[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(18): 7650-7660.  
Liu Haolin, Lu Zhiyuan, Li Sheng, et al. Sedimentary microfacies and favorable reservoir prediction of Lower Urho Formation of Permian in MH1 well area[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(18): 7650-7660.

[2] 刘慧,陈培,吴冬,等. 四川盆地高石梯-磨溪地区栖霞组沉积模式研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(16): 6760-6774.  
Liu Hui, Chen Pei, Wu Dong, et al. Study on sedimentary model of Qixia Formation in Gaoshiti-Moxi area, Sichuan Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(16): 6760-6774.

[3] 王羽君,靳亚勤,郭金兰. 构造-沉积耦合格架下深层砂体展布及储层特征——以东濮凹陷古近系沙三段中亚段为例[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(5): 1912-1922.  
Wang Yujun, Jin Yaqin, Guo Jinlan. Deep sand body distribution and reservoir characteristics under the tectonic-sedimentary coupling framework: taking the middle section of the third member of the Paleogene Shahejie Formation in Dongpu Sag as an example[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(5): 1912-1922.

[4] Yao Z, Yang F, Jianatayi D, et al. Application of multi-attribute matching technology based on geological models for sedimentary facies: a case study of the 3rd member in the Lower Jurassic Badaowan Formation, Hongshanzui area, Junggar Basin, China[J]. Petroleum Science, 2022, 19(1): 116-127.

[5] 何登发,陈新发,张义杰,等. 准噶尔盆地油气富集规律[J]. 石油学报, 2004(3): 1-10.  
He Dengfa, Chen Xinfu, Zhang Yijie, et al. Laws of oil and gas enrichment in Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004(3): 1-10.

[6] Li J, Zhang S, Jin J, et al. Genesis and geological significance of permian oilfield water in the western periphery of the Mahu Sag, Junggar Basin, China[J]. Minerals, 2023, 13(8): 840-850.

[7] 康志宏. 准噶尔盆地古生代沉积演化特征[J]. 地质力学学报,

2011, 17(2): 158-174.  
Kang Zhihong. Paleozoic sedimentary evolution characteristics in Junggar Basin[J]. Journal of Geomechanics, 2011, 17(2): 158-174.

[8] 姚宗全. 吉木萨尔凹陷梧桐沟组成藏主控因素研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2015.  
Yao Zongquan. Study on the main controlling factors of Wutonggou formation reservoir in Jimsar sag[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2015.

[9] Arenas C, Millan H, Pardo G, et al. Ebro Basin continental sedimentation associated with late compressional Pyrenean tectonics (north-eastern Iberia): controls on basin margin fans and fluvial systems[J]. Basin Research, 2001, 13(1): 65-89.

[10] Zhao R, Zhang J, Zhou C, et al. Tectonic evolution of Tianshan-Bogda-Kelameili Mountains, clastic wedge basin infill and chronostratigraphic divisions in the source-to-sink systems of Permian-Jurassic, southern Junggar Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2020, 114: 104200.

[11] 王韬,李婷,郭文建,等. 沉积正演模拟在准噶尔盆地吉木萨尔凹陷东斜坡二叠系梧桐沟组中的应用[J]. 特种油气藏, 2021, 28(1): 34-41.  
Wang Tao, Li Ting, Guo Wenjian, et al. Application of sedimentary forward modeling in the Permian Wutonggou Formation in the eastern slope of Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2021, 28(1): 34-41.

[12] 但顺华,陈春勇,向辉,等. 吉木萨尔凹陷二叠系梧桐沟组沉积演化规律[J]. 新疆石油天然气, 2018, 14(2): 17-22.  
Dan Shunhua, Chen Chunyong, Xiang Hui, et al. Sedimentary evolution of the Permian Wutonggou Formation in the Jimsar Sag [J]. Xinjiang Oil and Gas, 2018, 14(2): 17-22.

[13] 谭强,张小红,岳红星,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷北部二叠系梧桐沟组沉积模式研究[J]. 新疆石油天然气, 2018, 14(4): 1-7.  
Tan Qiang, Zhang Xiaohong, Yue Hongxing, et al. Sedimentary model of Permian Wutonggou Formation in northern Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Xinjiang Oil and Gas, 2018, 14(4): 1-7.

[14] 鲁智帅,谢庆宾,张津宁,等. 新疆博格达山北缘二叠纪-晚期构造运动的沉积响应[J]. 地质论评, 2024, 70(1): 102-122.  
Lu Zhishuai, Xie Qingbin, Zhang Jinning, et al. Sedimentary response of the Middle-Late Permian tectonic movement in the northern margin of the Bogda Mountains, Xinjiang[J]. Geological Review, 2024, 70(1): 102-122.

[15] 德勒恰提,王威,王利,等. 粒度分析在吉木萨尔凹陷梧桐沟组沉积相研究中的应用[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2012, 29(2): 142-149.  
Deleqiat, Wang Wei, Wang Li, et al. Application of grain size analysis in sedimentary facies study of Wutonggou Formation in Jimsar Sag[J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 2012, 29(2): 142-149.

[16] Walker R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans models for exploration for stratigraphic traps[J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(6): 239-263.

[17] 德勒恰提·加娜塔依,张明玉,陈春勇,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷东部二叠系梧桐沟组湖底扇沉积特征及展布[J]. 石油学报, 2015, 36(6): 688-698.

- Deleqiati Ganatayi, Zhang Mingyu, Chen Chunyong, et al. Sedimentary characteristics and distribution of sublacustrine fan of Permian Wutonggou Formation in the eastern part of Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. *Petroleum Journal*, 2015, 36(6): 688-698.
- [18] 王永超. 吐哈盆地台北凹陷二叠系梧桐沟组沉积相研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2020.  
Wang Yongchao. Study on sedimentary facies of Permian Wutonggou Formation in Taibei Sag, Turpan-Hami Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2020.
- [19] 陈春勇, 谭强, 张金凤, 等. 吉木萨尔凹陷二叠系梧桐沟组一段沉积演化规律[J]. *新疆石油地质*, 2018, 14(2): 17-22, 27, 2.  
Chen Chunyong, Tan Qiang, Zhang Jinfeng, et al. The sedimentary evolution of the first member of the Permian Wutonggou Formation in the Jimsar Sag[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2018, 14(2): 17-22, 27, 2.
- [20] 彭舒琪, 钟洁, 王丽滢, 等. DQ3 井区二叠系上统梧桐沟组一段油藏控制因素及规模分析[J]. *煤炭技术*, 2021, 40(3): 54-57.  
Peng Shuqi, Zhong Jie, Wang Liying, et al. Analysis of reservoir control factors and scale of the first member of the Permian Wutonggou Formation in DQ3 well area[J]. *Coal Technology*, 2021, 40(3): 54-57.
- [21] 郭华军, 司学强, 袁波, 等. 准噶尔盆地南缘中段超深层相对优质砂岩储层发育特征及主控因素[J]. *海相油气地质*, 2022, 27(3): 313-324.  
Guo Huajun, Si Xueqiang, Yuan Bo, et al. Development characteristics and main controlling factors of ultra-deep relatively high-quality sandstone reservoirs in the middle section of the southern margin of Junggar Basin[J]. *Marine Petroleum Geology*, 2022, 27(3): 313-324.
- [22] 鲁智帅. 新疆博格达山北缘沉积-构造特征及演化研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2023.  
Lu Zhishuai. Research on the sedimentary structural characteristics and evolution of the northern edge of Bogda Mountain in Xinjiang[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2023.
- [23] 王越, 张关龙, 王圣柱, 等. 博格达山东北缘上二叠统沉积特征与沉积演化模式[J]. *沉积学报*, 2019, 37(3): 579-588.  
Wang Yue, Zhang Guanlong, Wang Shengzhu, et al. Sedimentary characteristics and sedimentary evolution model of the Upper Permian in the northern margin of Bogda Shandong[J]. *Sedimentary Journal*, 2019, 37(3): 579-588.
- [24] 杨志浩, 李胜利, 于兴河, 等. 准噶尔盆地南缘中二叠统芦草沟组富砂型湖泊深水扇沉积特征及其相模式[J]. *古地理学报*, 2018, 20(6): 989-1000.  
Yang Zhihao, Li Shengli, Yu Xinghe, et al. Sedimentary characteristics and facies model of deep-water fan of sand-rich lake in the Middle Permian Lucaogou Formation in the southern margin of Junggar Basin[J]. *Paleogeography*, 2018, 20(6): 989-1000.
- [25] 孙自明, 何治亮, 牟泽辉. 准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J]. *石油与天然气地质*, 2004(2): 216-221.  
Sun Ziming, He Zhiliang, Mou Zehui. Structural features and favorable exploration direction of southern margin of Junggar Basin[J]. *Petroleum and Natural Gas Geology*, 2004(2): 216-221.
- [26] 赵永强, 宋振响, 王斌, 等. 准噶尔盆地油气资源潜力与中国石化常规-非常规油气一体化勘探策略[J]. *石油实验地质*, 2023, 45(5): 872-881.  
Zhao Yongqiang, Song Zhenxiang, Wang Bin, et al. Oil and gas resource potential in Junggar Basin and Sinopec's integrated exploration strategy for conventional and unconventional oil and gas[J]. *Petroleum Experimental Geology*, 2023, 45(5): 872-881.
- [27] 柳忠泉, 赵乐强, 曾治平, 等. 准噶尔盆地阜康断裂带二叠系芦草沟组页岩油成藏条件[J]. *岩性油气藏*, 2023, 35(3): 126-137.  
Liu Zhongquan, Zhao Leqiang, Zeng Zhiping, et al. Shale oil accumulation conditions of Permian Lucaogou Formation in Fukang fault zone, Junggar Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2023, 35(3): 126-137.
- [28] 唐勇, 王智强, 庞燕青, 等. 准噶尔盆地西部坳陷二叠系下乌尔禾组烃源岩生烃潜力评价[J]. *岩性油气藏*, 2023, 35(4): 16-28.  
Tang Yong, Wang Zhiqiang, Pang Yanqing, et al. Evaluation of hydrocarbon generation potential of Permian Lower Wuerhe Formation source rocks in the western depression of Junggar Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2023, 35(4): 16-28.
- [29] 史燕青. 准噶尔盆地东南缘中二叠世-早三叠世构造-古地理演化研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2020.  
Shi Yanqing. Study on the tectonic-paleogeographic evolution of the Middle Permian-Early Triassic in the southeastern margin of Junggar Basin[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2020.
- [30] 谢晓军, 刘丽芳, 唐武, 等. 中国湖底扇研究现状与建议[J]. *中国海上油气*, 2024, 36(1): 71-83.  
Xie Xiaojun, Liu Lifang, Tang Wu, et al. Research status and suggestions on sublacustrine fans in China[J]. *Offshore Oil and Gas in China*, 2024, 36(1): 71-83.
- [31] Li Z, Yu X, Chen Q, et al. Quantitative tracing of provenance for modern eolian sands with various grain size fractions in the Ulan Buh Desert, northwestern China[J]. *Catena (Giessen)*, 2022, 217: 106487.
- [32] 钟厚财, 朱俊梅, 林煜, 等. 玛湖凹陷三叠系百口泉组地层再认识与勘探潜力分析[J]. *特种油气藏*, 2024, 31(2): 28-36.  
Zhong Houcai, Zhu Junmei, Lin Yu, et al. Re-recognition and exploration potential analysis of Triassic Baikouquan Formation in Mahu Sag[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2024, 31(2): 28-36.
- [33] 王宏波, 张雷, 曹茜, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系盒8段河流扇沉积模式及勘探意义[J]. *岩性油气藏*, 2024, 36(3): 117-126.  
Wang Hongbo, Zhang Lei, Cao Qian, et al. Fluvial fan sedimentary model and exploration significance of Permian He 8 member in Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2024, 36(3): 117-126.
- [34] 郭慧敏, 王峻, 曾广平, 等. 南鄯阳盆地东部乐平组老山段沉积环境及油气地质意义[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2023, 50(6): 690-705.  
Guo Huimin, Wang Jun, Zeng Guangping, et al. Sedimentary environment and petroleum geological significance of Laoshan Member of Leping Formation in eastern south Poyang Basin[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition)*, 2023, 50(6): 690-705.
- [35] Li W, Xu H, Yang J, et al. Different depositional models of wave-dominated shoreface deposits: an integrated process-oriented

- analysis(“Donghe sandstones” in Tarim Basin, China)[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2023, 153: 106288.
- [36] 杨志浩. 准噶尔盆地南缘中上二叠统芦草沟组-梧桐沟组沉积特征与砂体叠置关系[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- Yang Zhihao. Sedimentary characteristics and sand body superposition relationship between the Middle and Upper Permian Lucaogou Formation-Wutonggou Formation in the southern margin of Junggar Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2016.
- [37] 蔡振忠, 徐帆, 杨果, 等. 塔里木盆地地下寒武统玉尔吐斯组沉积特征及有机质富集模式[J]. *现代地质*, 2024, 38(5): 1258-1269.
- Cai Zhenzhong, Xu Fan, Yang Guo, et al. Sedimentary characteristics and organic matter enrichment model of the Lower Cambrian Yuertusi Formation in the Tarim Basin[J]. *Modern Geology*, 2024, 38(5): 1258-1269.
- [38] Wu S, Chen L, Xiong M, et al. Depositional conditions of shale lithofacies during the Late Ordovician-Early Silurian in the Upper Yangtze area, SW China: responses to sea-level changes[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2024, 161: 106696.
- [39] Meng J, Jiang Z, Yang Y, et al. Soft-sediment deformation structures in a lacustrine depositional context: an example from the Eocene Dongying Depression in the Bohai Bay Basin, east China[J]. *Sedimentary Geology*, 2021, 426: 106039.
- [40] Fan D, Tu J, Shang S, et al. Characteristics of tidal-bore deposits and facies associations in the Qiantang Estuary, China[J]. *Marine Geology*, 2014, 348: 1-14.
- [41] 刘惠民, 王勇, 杨永红, 等. 东营凹陷细粒混积岩发育环境及其岩相组合: 以沙四上亚段泥岩细粒沉积为例[J]. *地球科学*, 2020, 45(10): 3543-3555.
- Liu Huimin, Wang Yong, Yang Yonghong, et al. The development environment and lithofacies assemblage of fine-grained mixed rocks in Dongying Sag: a case study of fine-grained shale deposits in the upper fourth member of Shahejie Formation[J]. *Earth Science*, 2020, 45(10): 3543-3555.
- [42] 林中凯, 张少龙, 李传华, 等. 湖相页岩油地层岩相组合类型划分及其油气勘探意义——以博兴洼陷沙河街组为例[J]. *油气藏评价与开发*, 2023, 13(1): 39-51.
- Lin Zhongkai, Zhang Shaolong, Li Chuanhua, et al. Classification of lithofacies assemblages in lacustrine shale oil strata and its significance for oil and gas exploration: taking the Shahejie Formation in Boxing Subsag as an example[J]. *Oil and Gas Reservoir Evaluation and Development*, 2023, 13(1): 39-51.
- [43] Yao Z, Li S, Yu X, et al. Effects of the interaction of tectonics, eustasy, climate, and minerals on the sedimentary evolution of early-middle Jurassic in the Hongshanzui region in Junggar Basin[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2021, 196: 107967.