

# 基于文献数据拾取的储层构型参数库构建方法及其实践

## ——以辫状河储层为例

张帅琳<sup>1</sup>, 刘远刚<sup>1\*</sup>, 李少华<sup>1,2</sup>, 于金彪<sup>3</sup>, 史敬华<sup>3</sup>, 张昌民<sup>1,2</sup>

1 长江大学地球科学学院, 武汉 430100

2 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100

3 中国石化胜利油田分公司, 东营 257000

\* 通信作者, liuygis@foxmail.com

收稿日期: 2024-07-18; 修回日期: 2024-10-25

国家自然科学基金(42172172, 42130813)、长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室开放基金资助项目(PI2023-04) 联合资助

**摘要** 储层构型参数库是储层地质知识库的重要组成部分, 可为储层地质研究和储层地质建模提供关键的定量约束参数。然而, 由于领域内术语和分类体系的不统一, 国内外学者研究关注的尺度范围存在差异, 以及文献数据的分散性, 建立一个统一的、全面的储层构型参数库面临诸多挑战。本文提出了一种基于文献数据拾取的储层构型参数库构建方法, 并以辫状河储层为例构建了一个储层构型参数库。首先设计了一个标准化的辫状河分类分级体系, 并建立了统一数据结构的数据表, 以支持多源数据的整合分析。随后采用数据拾取工具 WebPlotDigitizer, 提取专业文献中静态图表数据, 成功建立了一个包含 2589 组构型单元的辫状河储层构型参数库, 这一参数库不仅涵盖了辫流带、辫状河道、心滩、垂积体和落于曾等多种构型单元规模, 还提供了相关地质背景信息。通过该参数库, 本文对辫状河储层构型单元的几何特征进行了详细的统计分析。结果表明: (1) 对辫状河沉积采用统一的分类分级方案并规定储层构型参数库的表结构, 可将不同来源的数据整合在一起, 以便进行不同来源不同地质背景下的储层构型单元几何参数的对比分析, 实现对辫状河储层构型参数库的集中管理和应用; (2) 采用基于 WebPlotDigitizer 工具的文献数据拾取方法, 可将专业文献中静态的图表数字化, 为储层构型参数库的建立提供丰富的数据源; (3) 基于文献的数据拾取存在信息不完整和信息结构不统一的局限性, 因此有必要面向储层地质研究和储层建模等需要, 建立业界统一标准的储层构型参数库及其信息共享服务系统, 以解决地质知识语义异构、来源众多、结构多样、时空尺度跨度大等问题。本文的研究不仅为辫状河储层构型几何特征的类比研究提供了数据基础和技术手段, 还为其他类型储层(如三角洲和曲流河)的构型参数库建设提供了参考。

**关键词** 辫状河; 储层构型参数库; WebPlotDigitizer; 数据拾取; 定量表征

**中图分类号**: P618.13; TE122

引用格式: 张帅琳, 刘远刚, 李少华, 于金彪, 史敬华, 张昌民. 基于文献数据拾取的储层构型参数库构建方法及其实践——以辫状河储层为例. 石油科学通报, 2024, 09(06): 885-898

ZHANG Shuailin, LIU Yuangang, LI Shaohua, YU Jinbiao, SHI Jinghua, ZHANG Changmin. Method for constructing a reservoir architectural parameter database based on literature data collection and its practical application: A case study of braided river reservoirs. Petroleum Science Bulletin, 2024, 09(06): 885-898. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2024.06.068

# Method for constructing a reservoir architectural parameter database based on literature data collection and its practical application: A case study of braided river reservoirs

ZHANG Shuailin<sup>1</sup>, LIU Yuangang<sup>1</sup>, LI Shaohua<sup>1,2</sup>, YU Jinbiao<sup>3</sup>, SHI Jinghua<sup>3</sup>, ZHANG Changmin<sup>1,2</sup>

*1 School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China*

*2 Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan 430100, China*

*3 Shengli Oilfield Company of SINOPEC, Dongying 257000, China*

Received: 2024-07-18; Revised: 2024-10-25

**Abstract** A reservoir architectural parameter database (RAPDB) is an essential component of the reservoir geological knowledge base, providing critical quantitative constraint parameters for reservoir geological studies and reservoir geological modeling. However, due to the lack of uniformity in terminology and classification systems within the field, the differences in the scale of research focus between domestic and international scholars, and the scattered nature of literature data, constructing a unified and comprehensive reservoir architectural parameter database faces numerous challenges. This paper proposes a method for constructing a reservoir architectural parameter database based on literature data extraction and uses braided river reservoirs as a case study to construct such a database. First, a standardized classification and grading system for braided river reservoirs was designed, and a unified data structure was established to support the integration and analysis of multi-source data. Subsequently, the WebPlotDigitizer tool was employed to extract data from static figures and tables in professional literature, successfully building a braided river reservoir architectural parameter database consisting of 2,589 architectural elements. This parameter database not only includes the scale of various architectural elements such as braided belts, braided channels, bars, vertical accumulation bodies, and overbank deposits, but also provides relevant geological background information. Through this database, this paper conducts a detailed statistical analysis of the geometric characteristics of reservoir architectural elements in braided river reservoirs. The results indicate that: (1) Adopting a unified classification and grading scheme for braided river deposits and specifying the table structure of the reservoir architectural parameter database allows for the integration of data from different sources, enabling comparative analysis of geometric parameters of reservoir architectural elements from various geological backgrounds, and achieving centralized management and application of the braided river reservoir architectural parameter database; (2) The literature data extraction method using the WebPlotDigitizer tool can digitize static figures and tables in professional literature, providing a rich data source for building the RAPDB; (3) Literature-based data extraction has limitations of incomplete information and inconsistent information structure. Therefore, it is necessary to establish a unified standard RAPDB and its information sharing service system to meet the needs of reservoir geological studies and modeling, addressing issues such as semantic heterogeneity of geological knowledge, diverse sources, varied structures, and large spatiotemporal scale spans. This study not only provides a data foundation and technical means for analogous research on the geometric characteristics of braided river reservoir architecture but also offers a reference for the construction of architectural parameter databases for other types of reservoirs, such as deltas and meandering rivers.

**Keywords** braided river; reservoir architectural parameter database; WebPlotDigitizer; data extraction; quantitative characterization

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2024.06.068

## 0 引言

储层地质知识库是一个存储、整合和管理储层地质信息的数据库,包含了大量关于地质特征、储集性能和储层模型等方面的定性及定量知识<sup>[1-4]</sup>。其中储层构型参数库是对构型单元的尺寸、几何形态、空间分布等多方面特征的定量化描述,需综合利用现代沉积、

野外露头、密井网区和水槽模拟实验等不同来源的地质解剖资料,从不同角度和尺度对储层构型单元的规模形态进行刻画<sup>[5]</sup>。

大数据时代,国内外涌现了大量关于储层构型参数数据库的构建和研究工作。在国外,由英国PDS (Petrotechnical Data Systems)集团和利兹大学联合构建了FAKTS (Fluvial Architecture Knowledge Transfer System)

数据库,相关成果是河流相储层结构数据库的典型代表<sup>[6]</sup>,目前已经收录270个河流研究实例,共50544个沉积构型单元,其中包含了大量辫状河沉积储层的研究案例<sup>[7]</sup>。Castellor等利用大量地震资料,通过对现代和古代辫状河的比较,建立了辫状河体系的演化模型,从而解释了河流形态和尺寸变化的规律<sup>[8]</sup>。反观国内,相关研究仍然采用传统的以单个案例为研究对象的数据采集与组织方式,相关成果往往零散分布于相关发表文献中,尚未形成统一体系的数据管理平台。例如,宋子怡等人基于大量野外露头 and 密井网区资料,建立了孤东油田6区辫状河心滩的形态特征和沉积模式<sup>[9]</sup>;邢宝荣利用密井网测井、沉积和卫星照片等资料,建立大庆长恒油田喇萨区块葡一组地质知识库<sup>[10]</sup>;徐东齐测量9个典型不同沉积环境的辫状河建立知识库,并对苏里格气田辫状河储层进行指导<sup>[11]</sup>;任晓旭等通过对山西大同盆地侏罗系辫状河露头砂坝的定量表征,建立了不同级次的构型表征模式<sup>[12]</sup>。

已有的这些成果各自采用的术语体系不尽相同,特别是国内外学者对沉积相、沉积体系、构型级次的分类分级尚存在不同的见解,同时不同专业人员所发表的文献所关注的尺度范围也存在较大差异,导致难以将这些文献中的数据进行统一采编建库,进而使得相关成果对新的储层地质研究课题的适用性大打折扣。另一方面,在辫状河储层构型参数库的建立过程中,收集和整理构型要素几何数据是一项重要的任务,需要保证数据的质量和可靠性。大量相关研究成果广泛存在于文献和研究报告的各种静态图件中,信息零散,形式多样包括统计图表、地质柱状图、地质剖面图等形式,这些研究成果是对原始数据的高度概括。绝大部分国内文献中没有提供这些研究的原始数据,无法对研究成果进行二次利用。因此,有必要采用数据拾取手段从大量文献提供的静态图件中提取量化的参数数据集,构建统一结构的储层构型参数数据库。

为了解决以上问题,本文以辫状河沉积为例,采用标准化的分类分级体系,设计统一数据结构的数据表,以支持进一步数据采编融合和综合分析应用。针对文献中图件数据的拾取问题,设计了基于WebPlotDigitizer的数据提取流程,开展了大量数据拾取与建库工作,为储层构型参数库的建立提供了丰富的数据源。这种方法的灵活性和普适性使其能在各类沉积环境及不同的储层特征中得到应用,包括但不限于河流相、湖相、海相等,有助于推动国内储层构型知识库的建立和共享应用。

## 1 储层构型参数库构建的方法与工具

### 1.1 辫状河储层构型参数库设计

#### 1.1.1 辫状河沉积的分类方案

辫状河沉积是一种复杂的河流沉积,其形态、尺寸和沉积特征可以在不同地理和地质条件下显著变化,前人通过深入研究不同类型辫状河的形态特征、沉积特征和演化过程,建立了多种地质模式。一般将辫状河分为砂质辫状河和砾质辫状河两类<sup>[13]</sup>,其中,砂质辫状河以砂质颗粒为主,形成辫状河心滩及河道,具有更细的颗粒尺寸,在我国多个盆地内均发现大规模的砂质辫状河,如鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地等<sup>[14]</sup>;而砾质辫状河则以砾石为主,辫状水道中央存在较粗的砾石<sup>[15]</sup>。于兴河基于Miall对河流沉积模式的分类,提出“远源砂质辫状河”和“近源砂质辫状河”的概念<sup>[16]</sup>。按照沉积环境的气候条件,可将辫状河划分为湿润型、亚湿润型、干旱型、半干旱型<sup>[17]</sup>。李少华等提出对辫状河储层构型单元的解剖分析需要综合多种来源的资料,可将辫状河构型研究的类比物来源划分为现代沉积、野外露头、密井网区和水槽模拟实验等四类<sup>[4]</sup>。

为了系统地整理和分析辫状河储层的构型参数,设计了一套针对辫状河沉积的分类方案。如图1,从多个维度对辫状河储层沉积构型研究目标进行分类。除了发育环境、岩性类型、气候类型、数据来源等分类方案外,也可按照地理位置、所属盆地、所属年代地层或岩石地层等方式进行辫状河沉积体的分类。

#### 1.1.2 辫状河构型单元的分级方案

辫状河储层构型参数库中以辫状河沉积构型单元作为储层结构定量表征的基本单元。Miall<sup>[13]</sup>(1996)提出的9级构型层次和吴胜和<sup>[18]</sup>等(2013)提出的12级构型层次是目前针对河流相构型界面划分最常用的分级方案。基于前者,毛平对辫状河内部不同级次的构型界面进行了划分<sup>[19]</sup>。然而,在前人的研究中,构型单元的表达存在一定的差异性。例如五级构型被称为单一河道<sup>[12]</sup>;四级构型称为心滩坝<sup>[20]</sup>、复合心滩、主水道<sup>[21]</sup>、辫状河道充填<sup>[12]</sup>、channel bar<sup>[22]</sup>以及braided channel<sup>[23]</sup>。

综合国内外学者的观点,我们将辫状河储层构型单元划分为五级沉积亚相层次(辫流带);四级沉积微相层次(主要包括心滩和辫状河道等)以及三级微相内部层次(主要包括心滩内部结构,如垂积体和落淤层等)。考虑到不同学者对同一概念的不同表达,我们建立了表1,同时绘制了辫状河构型要素模式图(见图

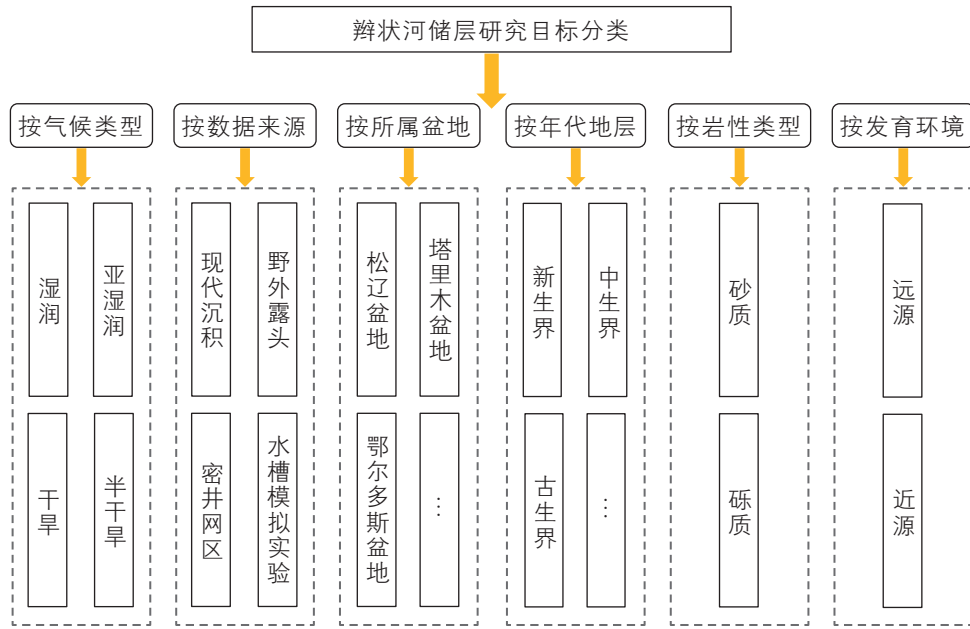


图 1 辫状河沉积分类方案

Fig. 1 Classification scheme of braided river sediments

2), 结合各构型单元的空间形态, 统一构型单元名称, 以确保储层构型参数库中名称的一致性。

如图 2 所示, 辫流带由多个单成因砂体垂向叠置与侧向拼合组合而成<sup>[24]</sup>; 辫状河道是辫状河中主要的微相单元之一, 形态上为顶平底凸状, 代表了河道发育的一个完整周期; 心滩砂体是辫状河储层中剩余油最富集的区域, 是五级构型单元辫流带内主要的构型单元之一, 位于辫状河道之间; 落淤层是心滩内部的细粒泥质夹层, 其物性上表现为低渗透层或不渗透层<sup>[25]</sup>。本文从文献中收集整理前人对辫状河各级各类构型单元的长度、宽度和厚度等几何规模参数, 构建储层构型参数库。在实际研究中, 我们专注于这些储层结构参数的定量刻画, 并不对其他构型单元进行深入研究。

1.1.3 辫状河储层构型参数库表结构设计

为了有效地存储和管理辫状河储层构型参数数据, 主要设计了两个数据表, 地质背景和元数据表(表 2)

表 1 辫状河储集层构型单元层次划分

Table 1 Hierarchy of braided river reservoir strata configuration units

河流类型	五级构型	四级构型	三级构型
辫状河	辫流带	辫状河道	垂积体
		心滩	落淤层
		/	/

和构型单元几何参数表(表 3)。两个数据表通过“储层案例 ID”关联, 表中设计的数据项以理想状态下的完整信息为准, 尽管实际数据收集过程中难以获取如此全面的信息, 但设计上保持数据的完整性是有必要的, 这可为进一步的数据统计分析提供更多可能, 同时也为后来者的数据采编提供参考标准。

其次数据标准化是构建储层构型参数库的关键步骤。从前人的文献中可获取的数据类型和格式各异, 为了有效的整合和管理这些数据, 需要将拾取的图表数据进行标准化, 并存储为规定的数据库文件。数据标准化主要分为数据的预处理, 数据分类和组织以及数据填充。

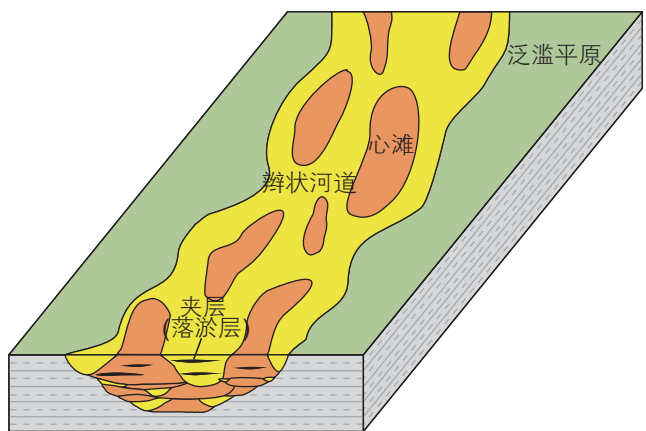


图 2 辫状河构型要素模式图(图片据文献<sup>[17]</sup>)

Fig. 2 Schematic diagram of braided river architectural elements(picture from reference<sup>[17]</sup>)



表 2 地质背景和元数据表

Table 2 Geological background and metadata table

字段名	字段类型或取值
储层案例 ID	varchar
案例名称	varchar
文献标题	text
作者	text
数据来源	现代沉积/野外露头/密井网区/水槽模拟实验
气候类型	湿润/亚湿润/半干旱/干旱
岩性	砂质/砾质
发育环境	远源/近源
地理位置	text
所属盆地	varchar
年代地层	varchar
拾取数据量	varchar

表 3 构型单元几何参数表

Table 3 Geometric parameters of configuration units

字段名	字段类型或取值
储层案例 ID	varchar
构型单元名称	辫流带/辫状河道/心滩/落淤层/垂积体
构型参数	
长度/m	float
宽度/m	float
厚度/m	float

(1)数据预处理：将拾取的数据统一度量单位，如将储层构型单元的规模参数单位统一为米，确保数据一致性。针对文献中对同类构型单元不同参数的定量描述，如何宇航<sup>[26]</sup>为探究辫状河心滩规模之间的线性相关关系，绘制心滩宽度与长度散点图以及心滩宽度与厚度散点图，需将拾取的宽度数据取其平均值，再与长度和厚度数据一一对应，以获得心滩更全面的定量描述。(拾取方法详见 2.2 节)。

(2)数据分类和组织：按照构型单元的分级分类方案，将辫状河道宽、心滩长、宽、厚等不同参数分别归类，便于后续数据管理和分析。

(3)数据填充：将处理后的数据按照表结构录入数据表中，填充相应字段的数值和字符。

### 1.2 基于 WebPlotDigitizer 构型参数拾取方法

为了更精确的研究辫状河构型单元的几何特征，国内外学者建立了储层地质知识库，并以图表的形式显示在文献中。为获取这些数据，本研究借

助 WebPlotDigitizer 工具，从已发布文献中提取相关图表数据，并将其整理为结构化的定量参数表，建立储层构型参数库。与 GetData 和 Graphixy 等工具相比，WebPlotDigitize 无需下载，可通过网址访问，而 GetData 仅支持 Windows 系统；此外，Webplotdigitizer 提供了中文界面选项，极大地提升了其在中文用户中的可用性和亲和力。更为重要的是，在数据拾取后，用户可以直接在软件中复现所提取的数据，这一功能便于验证结果，从而增强数据拾取的准确性与可靠性。

以辫状河储层为例，对辫状河规模进行定量描述需要确定一系列的参数，如辫流带宽度，心滩长度、宽度、厚度，辫状河道宽度、厚度等。大量文献中数据多以表格、散点图和综合柱状图的形式出现。对于以表格形式存在的数据，可直接使用 OCR 技术，将图像表格中的文本转化为可编辑的文本；若直接以附录 Excel 文件存在的原始数据无需进行数据格式转换，可直接录入数据表中。

针对散点图使用 WebPlotDigitizer 的坐标拾取功能。具体示例如图 3 所示，其中散点图描述我国东部松辽盆地北姚家组 P13 小层辫状河道长度(X轴)与宽度(Y轴)的线性相关关系<sup>[26]</sup>。首先在 WebPlotDigitizer 中打开图片，设置为“二维(X-Y)图”；其次用鼠标标定 X、Y 轴上两个已知值，并输入标定点的值；之后使用鼠标手动/自动提取散点图中每个点，可从左到右提取并用箭头键微调。

对于一维的剖面图件，需要先对构型界面级次进行划分，按照 5 级辫流带、4 级辫状河道和心滩、3 级垂积体和落淤层的顺序依次提取。可在 WebPlotDigitizer 中进行距离量算，首先标定已知距离的两个点，作为比例尺的两端点，并键入距离值；其次选择“测量”-“距离”，例如，图 4 为孤东油田七区西上段 29-J254 井的测井曲线柱状图，其中包含了不同构型级次的厚度参数<sup>[27]</sup>，图中先对四级构型单元辫状河道 1 和心滩 1 进行量算，厚度分别标定为 Dist0 和 Dist1，继续测量心滩 1 内三级构型单元落淤层 1 和落淤层 2，厚度分别标定为 Dist2 和 Dist3。

使用 WebPlotDigitizer 拾取数据时，影响数据质量有两个方面，第一是文献中图件的质量，如散点图中因原始数据值非常接近而重叠的数据点难以区分；第二是人为误差，即人工标注坐标轴和数据点时无法百分百还原原始数据点的位置。图 3 展示了自动提取数据点重绘的回归方程和人工拾取重绘的回归方程，与原始文献存在一些误差，但拟合公式和相关系数  $R^2$  与原始图表基本一致，证明数据具有较强的可靠性和准

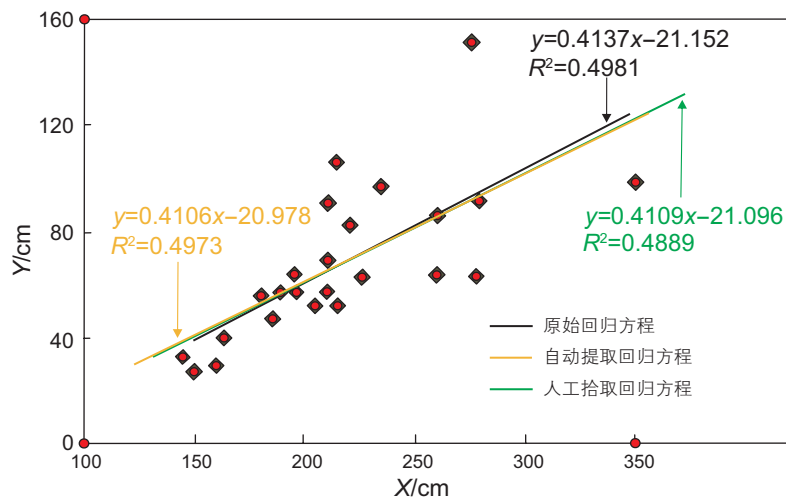


图 3 WebPlotDigitizer 中散点图定量参数提取方法 (图片据文献<sup>[26]</sup>)

Fig. 3 Quantitative parameter extraction method for scatter plots in WebPlotDigitizer (picture from reference<sup>[26]</sup>)

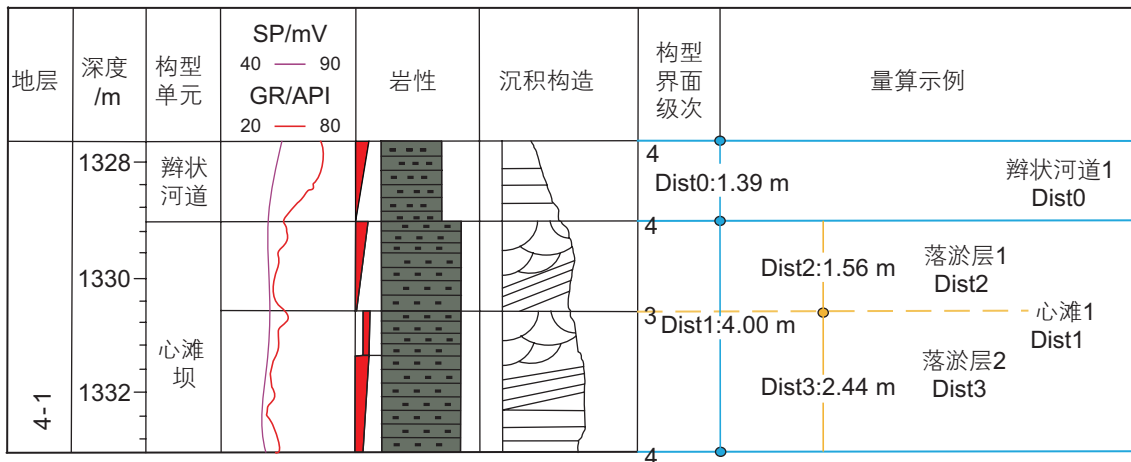


图 4 辫状河储层构型界面划分示例 (图片据文献<sup>[27]</sup>)

Fig. 4 Example of partition configuration interface (picture from reference<sup>[27]</sup>)

确性,可以保证储层构型参数库的数据质量。

## 2 辫状河储层构型参数库的构建与分析

### 2.1 辫状河储层构型文献资料收集与实例入库

本文共收集辫状河沉积类比案例 30 个,涉及辫流带数据记录 276 条,心滩数据记录 1467 条,辫状河道数据记录 709 条,以及三级构型单元落淤层和垂积体共收集数据记录 137 条,合计 2589 条。读者可通过 <https://doi.org/10.5281/zenodo.13984849> 下载得到更全面的地质信息和数据支持,为后续研究提供更广泛的视角。

正如 2.1.3 中所述,数据收集过程中存在地质背景信息不完整的局限性,本文选择了辫状河储层构型参数库中数据更全面的且可获取性较高的两方面,即气候类型和数据来源进行分类统计(见表 4)。

### 2.2 辫状河储层构型参数统计分析

#### 2.2.1 不分类综合统计

辫状河储层构型参数库中共收集辫流带宽度数据记录 275 例,统计结果表明辫流带的宽度介于 30~17 630 m 之间,平均宽度为 2805.66 m,超过 6430 m 的仅占 14.55%。对 584 例辫状河道宽度数据进行统计分析,发现其宽度处于 7~3607 m 之间,平均宽度约为 176.773 m,超过 407 m 的仅占 10.62%(图 5)。

选取参数库中 1164 组心滩的长度与宽度做回归分析,定量描述心滩规模参数及其关系。如图 6 所示,可以看出辫状河心滩的长度与宽度成强相关, $R^2=0.9194$ ,回归方程为 $y=0.3565x^{1.023}$ ,其中, $x$ 为心滩长度, $y$ 为心滩宽度。

分别统计辫状河沉积的三级构型单元垂积体和落淤

表 4 辫状河案例目录

Table 4 Catalogue of braided river case studies

储层案例ID	案例名称	作者	数据来源	气候类型
1	Feshie 河	Castelltort S(2018) <sup>[8]</sup>	现代沉积	湿润
2	Yukon reach 辫状河	Castelltort S(2018) <sup>[8]</sup>	现代沉积	湿润
3	新西兰东、中、北部	任晓旭(2020) <sup>[27]</sup>	现代沉积	湿润
4	加拿大 Yukon 河	任晓旭(2020) <sup>[27]</sup>	现代沉积	湿润
5	孟加拉 Jamuna 河	任晓旭(2020) <sup>[27]</sup>	现代沉积	亚湿润
6	孟加拉 Jamuna 河	徐中波等(2016) <sup>[20]</sup>	现代沉积	亚湿润
7	典型分汉型、游荡型	孔令运(2016) <sup>[28]</sup>	现代沉积	亚湿润
8	苏里格气田类比案例	徐东齐等(2018) <sup>[11]</sup>	现代沉积	干旱
9	现代辫状河沉积砂体展布	翟羽佳等(2022) <sup>[29]</sup>	现代沉积	干旱
10	现代辫状河沉积构型单元	赵忠军等(2017) <sup>[21]</sup>	现代沉积	干旱
11	典型砂质辫状河平面测量	窦梦娇(2022) <sup>[22]</sup>	现代沉积	干旱
12	辫状河现代	张江晖(2019) <sup>[30]</sup>	现代沉积	半干旱
13	大庆长恒模拟实验	何宇航等(2012) <sup>[26]</sup>	水槽模拟实验	半干旱
14	大牛地气田石盒子组水槽模拟实验	窦梦娇(2022) <sup>[22]</sup>	水槽模拟实验	干旱
15	孤东油田七区西馆陶组模拟实验	李杨阳(2018) <sup>[31]</sup>	水槽模拟实验	亚湿润
16	孤东油田七区西馆上	任晓旭(2020) <sup>[27]</sup>	密井网区	亚湿润
17	孤东油田七区西馆	孔令运(2016) <sup>[28]</sup>	密井网区	亚湿润
18	孤东油田六区	宋子怡等(2019) <sup>[9]</sup>	密井网区	亚湿润
19	渤海地区 P 油田	肖袁(2019) <sup>[32]</sup>	密井网区	亚湿润
20	大庆油田萨中 PI3	牛博等(2015) <sup>[15]</sup>	密井网区	半干旱
21	松辽盆地姚家组 PI3	牛博(2021) <sup>[5]</sup>	密井网区	半干旱
22	大庆长恒喇嘛区 PUI3	邢宝荣(2014) <sup>[10]</sup>	密井网区	半干旱
23	大庆萨北开发区 PI3	王锐(2016) <sup>[33]</sup>	密井网区	半干旱
24	喇嘛油田 PI2	张江晖(2019) <sup>[30]</sup>	密井网区	半干旱
25	山西柳林	金振奎等(2014) <sup>[34]</sup>	野外露头	亚湿润
26	西班牙中南部比利牛斯	Labourdette R 等(2007) <sup>[23]</sup>	野外露头	半干旱
27	山西大同砂体测量	任晓旭(2020) <sup>[27]</sup>	野外露头	干旱
28	摩洛哥	Fabuel-Perez I 等(2009) <sup>[35]</sup>	野外露头	干旱
29	府谷天生桥	翟羽佳等(2022) <sup>[29]</sup>	野外露头	干旱
30	大牛地气田石盒子组 H1 段	窦梦娇(2022) <sup>[22]</sup>	野外露头	干旱

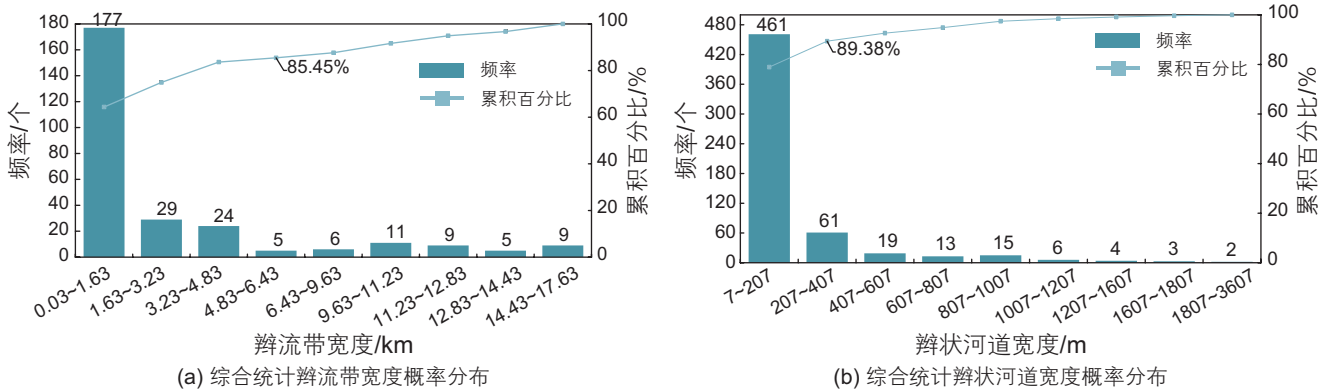


图 5 不同构型单元宽度的概率分布

Fig. 5 Probability distribution of different configuration unit widths

层的宽厚比，并作频率直方图和累积概率曲线(图 7)。共统计垂积体宽厚比 54 组，其平均值为 140，主要介于 20-300 之间，仅有 18.52% 的垂积体宽厚比大于 220；共统计落淤层宽厚比 83 组，其平均值为 309，主要介

于 15~1215 之间，仅有 9.64% 的落淤层宽厚比超过 735。

2.2.2 按气候类型分类统计

在储层构型参数库中筛选不同气候类型的案例，对辫流带宽度按照气候分类统计如图 8，湿润气候下辫流

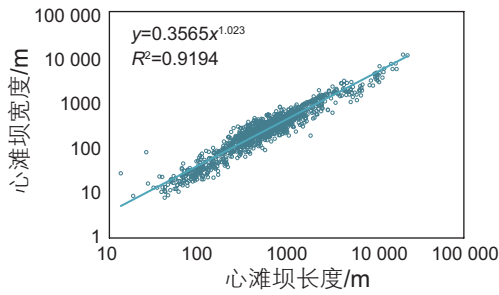
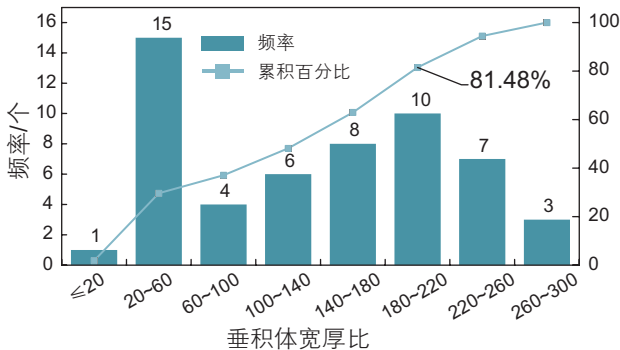


图 6 心滩长度与宽度的相关性

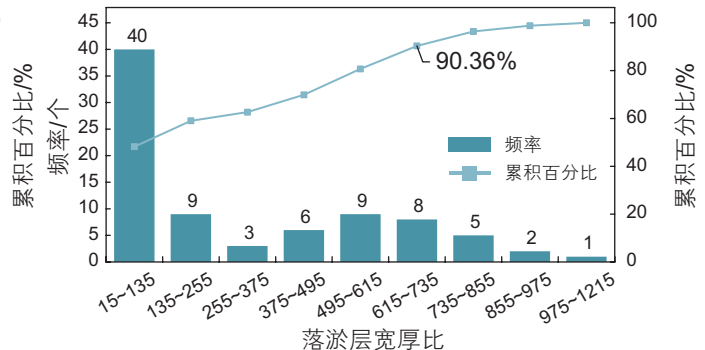
Fig. 6 The correlation between bar length and width

带宽度在 220~5260 m 之间, 平均宽度为 1672 m, 大于 3820 m 的仅占 11.36%; 亚湿润气候下辫流带宽度介于 40~15 520m 之间, 平均宽度为 4134 m, 只有 19.74% 的辫流带宽度超过 8640 m; 在干旱气候下辫流带宽度在 34~16 752 m 之间, 平均宽度为 2476 m, 仅有 15.48% 的辫流带宽度超过 3892 m。参数库中收录的半干旱气候下案例中, 并未测量辫流带的宽度, 故此处未统计。

按照气候类型对辫状河道宽度分类统计(图 9)。其中湿润气候下辫状河道宽度有 90.91% 介于



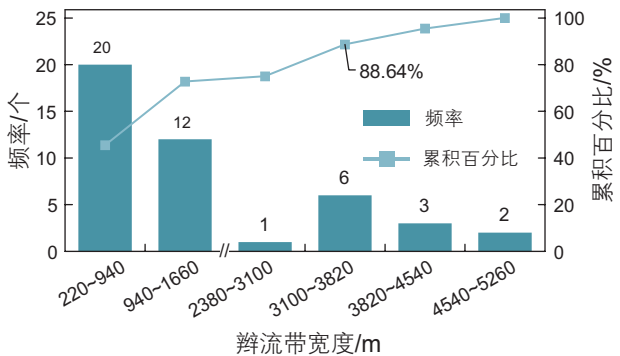
(a) 综合统计垂积体宽厚比概率分布



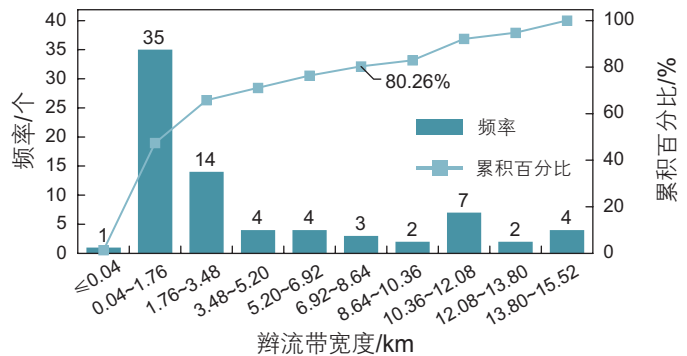
(b) 综合统计落淤层宽厚比概率分布

图 7 不同构型单元宽厚比概率分布

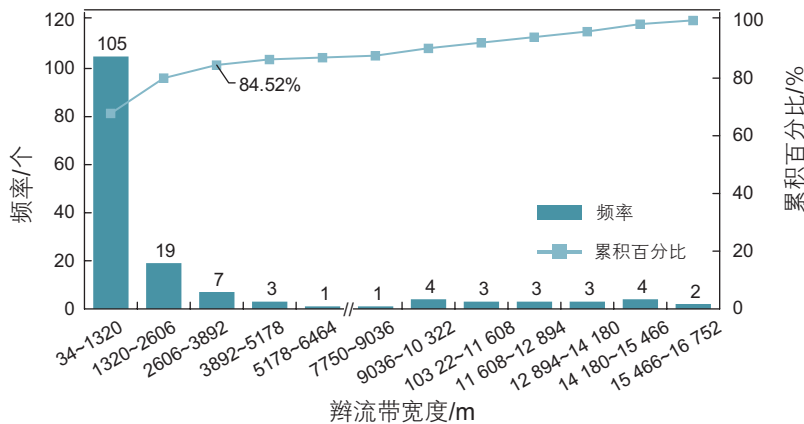
Fig. 7 Probability distribution of different configuration unit width-to-thickness ratio



(a) 湿润气候条件下



(b) 亚湿润气候条件下



(c) 干旱气候条件下

图 8 不同气候类型下辫流带宽度概率分布

Fig. 8 Probability distribution of braided belt width under different climate types



18~298 m之间, 平均宽度为 108 m; 亚湿润气候下的辫状河道宽度大多为 25~875 m之间, 平均宽度为 400 m, 仅有 12.9%的辫状河道宽度超过 875 m; 半干旱气候下辫状河道宽度有 84.93%介于 15~225 m之间, 其平均宽度为 127 m; 干旱气候下辫状河道宽度基本

介于 7~407 m之间, 平均宽度为 141 m, 仅有 9.3%的辫状河道宽度大于 407 m。

对心滩的长度与宽度做回归分析, 探究其相关关系。如图 10 可知, 不同气候下心滩的长度与宽度仍然是强相关的。湿润气候共统计 4 个案例, 294

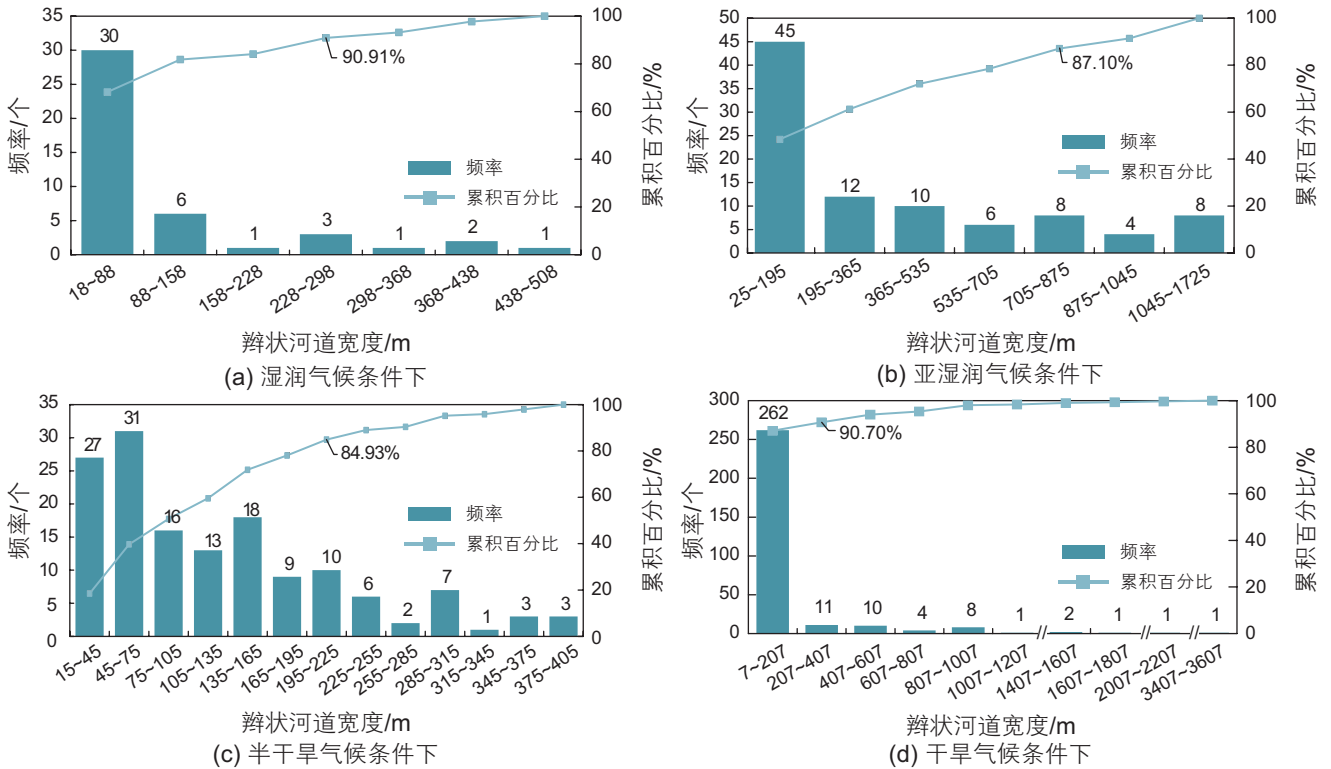


图 9 不同气候类型下辫状河道宽度概率分布

Fig. 9 Probability distribution of braided channel width under different climate types

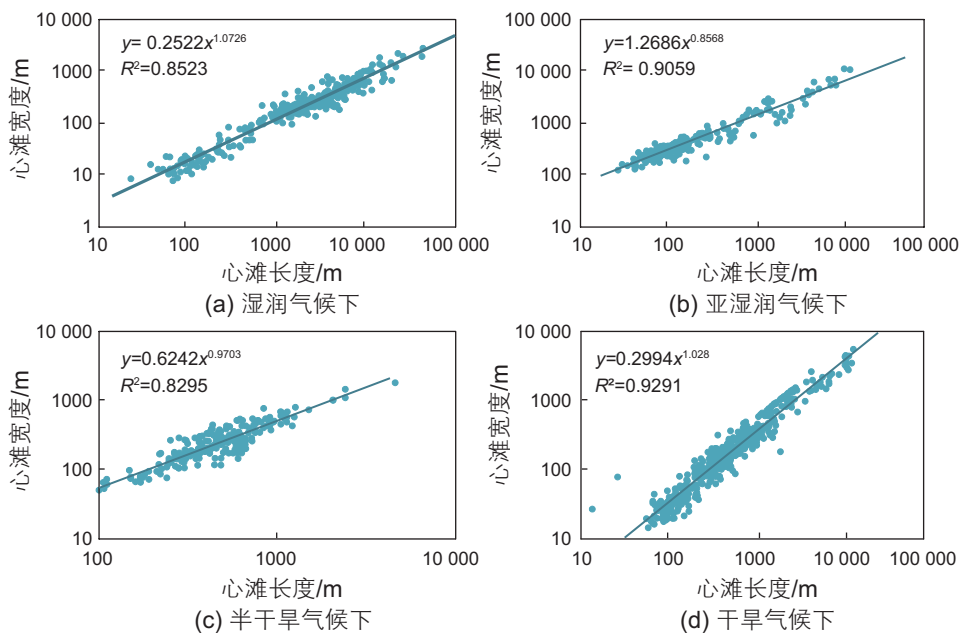


图 10 不同气候类型下心滩长度与宽度相关性

Fig. 10 The correlation between bar length and width under different climate types

组数据, 回归方程为 $y=0.2522x^{1.0726}$ , 皮尔逊相关系数为 $R^2=0.8523$ ; 亚湿润气候下构型参数共统计 214 组, 其 $R^2=0.9059$ , 回归方程 $y=1.2686x^{0.8568}$ ; 半干旱气候下构型参数也统计 214 组, 其 $R^2=0.8295$ , 回归方程 $y=0.6242x^{0.9703}$ ; 干旱气候下共统计 442 组, 其 $R^2=0.9291$ , 回归方程 $y=0.2994x^{1.028}$ 。

### 2.2.3 按数据来源分类统计

对参数库中 30 个案例(表 4)按照数据来源分为现代沉积、密井网区、水槽模拟实验和野外露头。首先对心滩的长度与宽度做回归分析, 分析从不同途径获取的心滩长度与宽度的相关性强弱。如图 11a 现代沉积案例的心滩长度与宽度呈强相关( $R^2=0.9187$ ), 其回归方程为 $y=0.3421x^{1.0182}$ ; 图 11b 和 c 分别为水槽模拟实验及密井网区获取的心滩长度与宽度散点图, 其相关性也较强, 相关系数分别为 0.7172 和 0.6909。参数库中拾取的野外露头案例中并无心滩的长度数据, 因此对心滩的宽度与厚度关系进行分析, 如图 11d 所示, 其相关性较差, 这可能是由于野外露头剖面上一些构型单元并未完全暴露或被广泛侵蚀, 造成构型参数测量的误差较大<sup>[36]</sup>。值得注意的是, 心滩规模部分达到万米尺度, 究其原因得知, 超过万米尺度的基本存在于现代沉积中, 此类构型单元测量多辅以遥感影像, 其测量心滩为复合心滩的规模<sup>[20-22]</sup>。

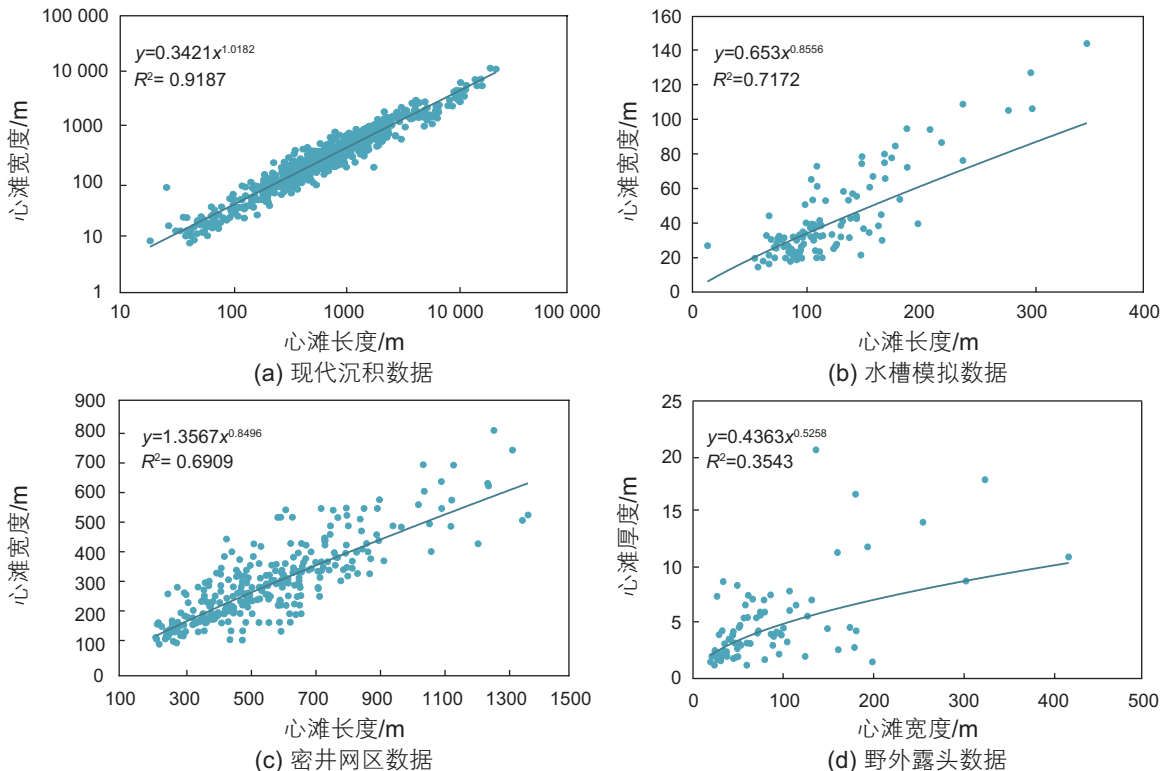


图 11 不同数据来源的心滩规模相关性

Fig. 11 The correlation of bar scale from different data sources

依据数据来源不同将拾取的三级构型单元垂积体和落淤层的宽厚比分类统计, 图 12a 从密井网区中获取的垂积体宽厚比介于 90~300, 平均宽厚比为 192.74, 仅有 17.14% 的垂积体宽厚比超过 240; 图 12b 描述野外露头中拾取的垂积体宽厚比, 其平均宽厚比为 42.92, 垂积体宽厚比介于 20~70, 仅有 15.79% 的垂积体宽厚比大于 60; 图 12c 拾取了密井网区中落淤层的宽度及厚度, 其宽厚比介于 35~1235, 平均宽厚比为 385.47, 其中有 89.06% 的落淤层宽厚比位于 35~785; 图 12d 统计了野外露头中获取落淤层宽厚比的概率分布, 其宽厚比介于 16~142, 平均值为 51.69, 仅有 15.79% 的落淤层宽厚比超过 79。

## 3 讨论

构建储层构型参数库是一个多层次的复杂过程, 在数据收集、数据入库、数据分析的过程中, 面临了一系列挑战和问题, 这些问题均对参数库的完整性和可用性存在一定的影响。

1) 案例地质背景信息的缺失。为了方便分类检索, 对不同环境中的构型单元对比分析, 需要在原始文献中提取辫状河沉积的地质背景信息, 如沉积环境、构造条件、所属盆地、年代地层和岩石地层等, 但由于

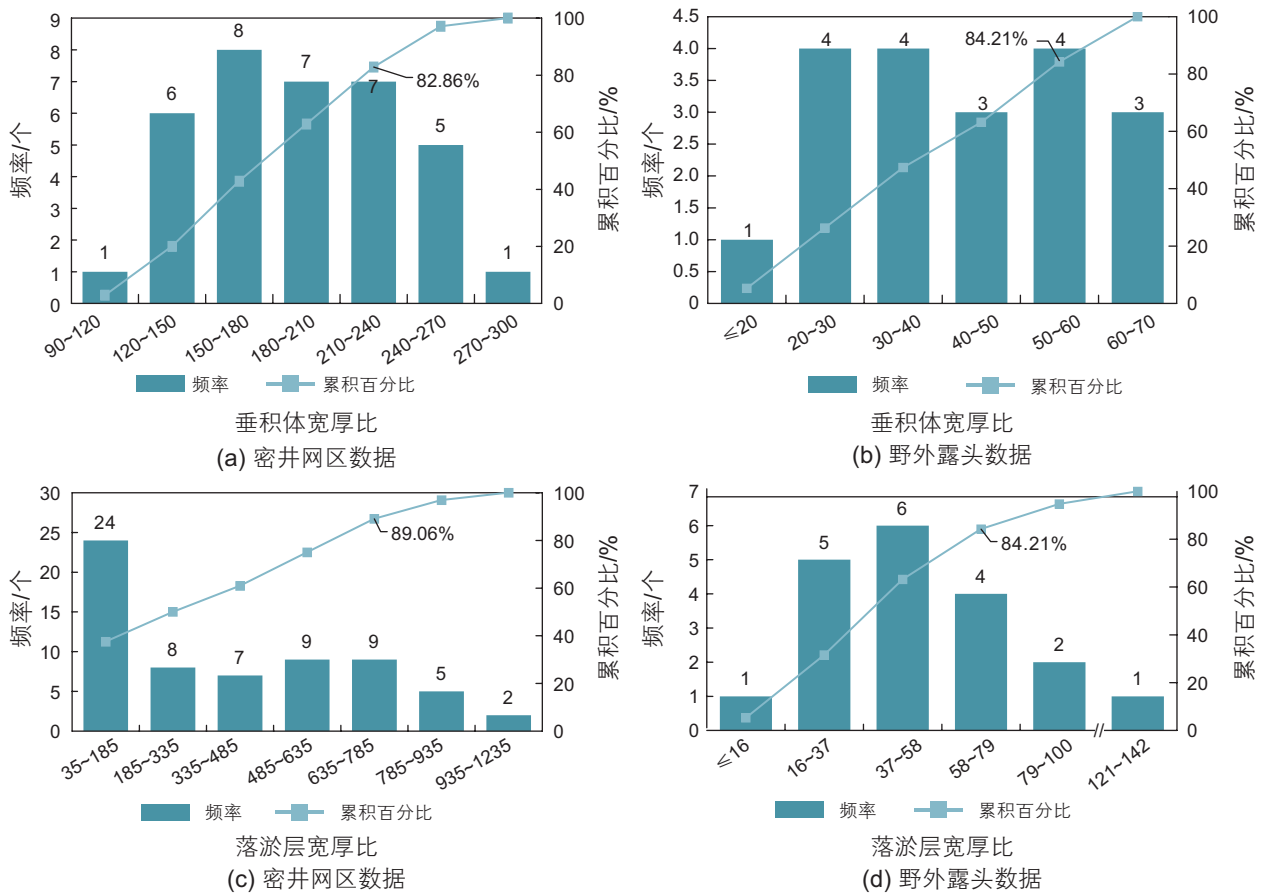


图 12 不同数据来源的三级构型单元宽厚比概率分布

Fig. 12 Probability distribution of width-to-thickness ratio of the 3rd-order configuration units from different data sources

大多数文献重点关注沉积体内部结构和规模的研究，对研究区沉积环境地质背景信息的记录并不完全，这导致了储层构型参数库的地质背景信息不够完整，进而影响了后续的分类统计分析。研究仅按照气候类型和数据来源对储层构型参数进行了分类统计分析。

2) 构型单元实体信息的不完善。在现有文献中，虽然可以从散点图、数据表格中提取单个构型单元的定量参数，但却缺乏单元之间嵌套关系和接触关系的完整记录，因此无法进一步分析相关构型单元之间构型参数的关联分析。

3) 重复数据的甄别与融合。在文献研究中，我们发现一些重复案例和数据重叠的情况，即不同作者研究同一个研究区或同一地层。例如案例 16 和 17 (表 4) 均对孤东油田七区西馆辫状河进行研究，但数据存在差异。下一步还需要进一步考虑不同文献研究相同目标区情况下的数据融合问题。

#### 4 结论

本文提出了一种基于 WebPlotDigitizer 进行图表数

据拾取从而构建储层构型参数库的方法，并以辫状河沉积为例构建了储层构型参数库。该方法不仅为辫状河储层构型几何特征的类比研究提供了技术手段与数据基础，还突出了建立储层构型参数库的意义。这一尝试为储层研究提供了新的途径和可能性，该方法具有很强的可迁移性，同样适用于其他类型的河流相储层，如三角洲、曲流河中。主要结论与认识如下：

1) WebPlotDigitizer 拾取数据具有操作简便，高效快速的优势。通过收集和融合现有文献中的图表数据，建立了包含 2589 组构型单元的辫状河储层构型参数库，涵盖了不同气候类型和数据来源的类比案例。该数据库记录了辫流带、辫状河道、心滩、落淤层和垂积体等不同构型单元的规模参数，实现了基于文献数据拾取的储层构型单元几何特征的定量表征。

2) 对 1164 组辫状河心滩长度与宽度的统计分析表明，心滩的长度和宽度之间具有较强的相关性。总体上，心滩长宽呈现出一定的规律性，尽管在不同气候条件和数据来源下，其经验公式有所差异，但长度和宽度仍表现出自适应性。

3) 本研究对辫流带和辫状河道的宽度、垂积体和

落淤层的宽厚比进行了统计分析。结果表明,不同气候类型和数据来源下,这些构型单元的规模存在显著差异。例如,在对 584 例辫状河道宽度的统计中,其值介于 7~3607 m 之间,平均为 176.77 m,然而分类统计半干旱气候下的辫状河道平均宽度缩小至 127 m。这表明,在储层建模时,应充分考虑沉积环境和气候类型等的差异,选择与目标工区更贴合的类比案例,以提高建模的准确性。

4) 尽管本文储层构型参数库的设计考虑了地质背景信息、构型单元实体及其关系信息,但由于受限于原始文献信息本身的完整性,本文提出的

WebPlotDigitizer 拾取方法存在一定的局限性。未来的研究将聚焦于河流相油气藏的建模需求,针对地质知识语义异构、来源众多、结构多样、时空尺度跨度大等问题,多维度构建河流相储层地质知识体系,并设计储层地质知识空间数据库,以搭建一个统一规范的储层构型参数共享服务平台。

#### 数据获取

本文研究所基于的数据及数据拾取模板可从以下链接获取: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13984849>

## 参考文献

- [1] 贾爱林, 何东博, 何文祥, 等. 应用露头知识库进行油田井间储层预测[J]. 石油学报, 2003, 24(6): 51-53+58. [JIA A L, HE D B, HE W X, et al. Application of outcrop geological knowledge database to prediction of inter-well reservoir in oilfield[J]. Editorial office of ACTA PETROLEI SINICA, 2003, 24(6): 51-53+58.]
- [2] 张昌民, 张祥辉, 王庆, 等. 分支河流体系沉积学工作框架与流程[J]. 岩性油气藏, 2024, 36(1): 1-13. [ZHANG C M, ZHANG X H, WANG Q, et al. Research framework for distributive fluvial system[J]. Lithologic Reservoirs, 2024, 36(1): 1-13.]
- [3] 尹太举, 张昌民, 樊中海, 等. 双河油田井下地质知识库的建立[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(6): 95-99. [YIN T J, ZHANG C M, FAN Z H, et al. Founding subsurface geological data bank for Shuanghe oil field[J]. Petroleum Exploration & Development, 1997, 24(6): 95-99.]
- [4] 窦梦皎, 李少华, 王欢. 地质知识库约束下的辫状河储层层次化多点地质统计学建模方法及应用[C]//罗强. 第 33 届全国天然气学术年会(2023)论文集(01 地质勘探). 南宁: 中国石油学会天然气专业委员会, 2023: 953-966. [DOU M J, LI S H, WANG H. Hierarchical multi point geostatistical modeling method for braided river reservoir under the constraint of geological knowledge base and its application [C]//LUO Q. The 33rd National Natural Gas Academic Annual Conference (2023) Proceedings (01 Geological Exploration). Nanning: Natural Gas Professional Committee of China Petroleum Institute, 2023: 953-966.]
- [5] 牛博. 密井网区精细沉积模式与地质知识库构建及砂体预测[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2023. [NIU B. Fine sedimentary pattern, geological knowledge database and sand body prediction in dense well area: A case study of Sapu oil layer of Yaojia Formation in the northern Songliao Basin[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2023.]
- [6] COLOMBERA L, MOUNTNEY P, MCCAFFREY D. A quantitative approach to fluvial facies models: Methods and example results[J]. Sedimentology, 2013, 60(6): 1526-1558.
- [7] 蒋璟鑫, 李超, 胡修棉. 沉积学数据库建设与沉积大数据科学研究进展: 以 Macrostrat 数据库为例[J]. 高校地质学报, 2020, 26(1): 27-43. [JIANG J X, LI C, HU X M. Advances on sedimentary database building and related research: Macrostrat as an example[J]. Geological Journal of China Universities, 2020, 26(1): 27-43.]
- [8] CASTELLTORT S. Empirical relationship between river slope and the elongation of bars in braided rivers: A potential tool for paleoslope analysis from subsurface data[J]. Marine and Petroleum Geology, 2018, 96: 544-550.
- [9] 宋子怡, 陈德坡, 邱隆伟, 等. 孤东油田六区馆上段远源砂质辫状河心滩构型分析[J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(2): 68-75. [SONG Z Y, CHEN D P, QIU L W, et al. Architecture of braid bars of distal sandy river in the upper section of Guantao Formation, No.6 Block of Gudong Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(2): 68-75.]
- [10] 邢宝荣. 辫状河储层地质知识库构建方法——以大庆长垣油田喇萨区块萨一组储层为例[J]. 东北石油大学学报, 2014, 38(6): 46-53. [XING B R. Establishment of the braided river reservoir geology bank and its application: Daqing Changyuan oilfield La-Sa piece of Pu1 as an example[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014, 38(6):46-53.]
- [11] 徐东齐, 孙致学, 任宇飞, 等. 基于地质知识库的辫状河致密储层地质建模[J]. 断块油气田, 2018, 25(1): 57-61. [XU D Q, SUN Z X, REN Y F, et al. Geological modeling of braided river tight reservoir based on geological knowledge database[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2018, 25(1): 57-61.]
- [12] 任晓旭, 侯加根, 刘钰铭, 等. 砂质辫状河不同级次构型表征及其界面控制下的岩性分布模式——以山西大同盆地侏罗系辫状河露头为例[J]. 石油科学通报, 2018, 3(3): 245-261. [REN X X, HOU J G, LIU Y M, et al. Architectural characterization and a distribution model of lithology near the boundary surfaces of different orders in a sandy braided river: A case study from the Jurassic



- sandy braided-river outcrops in the Datong Basin, Shanxi Province[J]. *Petroleum Science Bulletin*, 2018, 3(3): 245–261.]
- [13] 郭颖, 冯文杰, 李少华, 等. 砂质辫状河中河滩和河心滩沉积构型: 基于沉积演化过程的精细解析[J]. *地球科学进展*, 2024, 39(04): 405–418. [GUO Y, FENG W J, LI S H, et al. Sedimentary architecture between compound middle bars and side bars: Insights from a numerical model of sandy braided rivers[J]. *Advances in Earth Science*, 2024, 39(4): 405–418.]
- [14] 冯文杰, 曹荆楚, 张昌民, 等. 砂质辫状河沉积演化机制与沉积构型模式——量化水槽沉积模拟实验研究[J/OL]. [2024-07-16]. *沉积学报*, 1–19. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2024.068>. [FENG W J, CAO J C, ZHANG C M, et al. Sedimentary evolution mechanisms and architecture models of sandy braided rivers: A study based on quantitative flume experiments[J/OL]. [2024-07-16]. *Acta Sedimentologica Sinica*, <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2024.068>.]
- [15] 牛博, 高兴军, 赵应成, 等. 古辫状河心滩坝内部构型表征与建模——以大庆油田萨中密井网区为例[J]. *石油学报*, 2015, 36(1): 89–100. [NIU B, GAO X J, ZHAO Y C, et al. Architecture characterization and modeling of channel bar in paleo-braided river: a case study of dense well pattern area of Sazhong in Daqing oilfield[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(1): 89–100.]
- [16] 于兴河, 李顺利, 孙洪伟. 碎屑岩沉积从源到汇的“物-坡”耦合效应[J]. *古地理学报*, 2022, 24(06): 1037–1057. [YU X H, LI S L, SUN H W. Coupling effect of “mass-slope” from source to sink in clastic rock deposition[J]. *Journal of Palaeogeography(Chinese Edition)*, 2022, 24(06): 1037–1057.]
- [17] 乔雨朋, 邱隆伟, 邵先杰, 等. 辫状河储层构型表征研究进展[J]. *油气地质与采收率*, 2017, 24(6): 34–42. [QIAO Y P, QIU L W, SHAO X J, et al. Research progress on characterization of braided river reservoir architecture[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(6): 34–42.]
- [18] 吴胜和, 纪友亮, 岳大力, 等. 碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J]. *高校地质学报*, 2013, 19(1): 12–22. [WU S H, JI Y L, YUE D L, et al. Discussion on hierarchical scheme of architectural units in clastic deposits[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2013, 19(1): 12–22.]
- [19] 毛平. 砂质辫状河储集层构型表征研究现状及展望[J]. *新疆石油地质*, 2018, 39(4): 492–500. [MAO P. The status and prospects of research on characterization for sandy braided-river reservoir architecture[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2018, 39(4): 492–500.]
- [20] 徐中波, 申春生, 陈玉琨, 等. 砂质辫状河储层构型表征及其对剩余油的控制——以渤海海域P油田为例[J]. *沉积学报*, 2016, 34(2): 375–385. [XU Z B, SHEN C S, CHEN Y K, et al. Architecture characterization for sandy braided river reservoir and controlling factors of remaining oil distribution: A case study of Poilfield (Neogene), Bohai offshore, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2016, 34(2): 375–385.]
- [21] 赵忠军, 李进步, 马志欣, 等. 苏36–11提高采收率试验区辫状河储集层构型单元定量表征[J]. *新疆石油地质*, 2017, 38(01): 55–61. [ZHAO Z J, LI J B, MA Z X, et al. Quantitative characterization of architecture units for braided river reservoir in Su36–11 EOR test area[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2017, 38(01): 55–61.]
- [22] DOU M J, LI S H, LEI T, et al. Reservoir modeling of braided river reservoirs based on geological knowledge database: A case study of P1x Formation of the Daniudi gas field, Ordos Basin, China. [J]. *Lithosphere*, 2022, (Special 13): 6913641.
- [23] LABOURDETTE R, JONES R. Characterization of fluvial architectural elements using a three-dimensional outcrop data set: Escanilla braided system, South-Central Pyrenees, Spain[J]. *Geosphere*, 2007, 3(6): 422–434.
- [24] 邹拓, 王永凯, 田昀, 等. 单一辫流带内部构型单元解析[J]. *录井工程*, 2019, 30(2): 116–121. [ZOU T, WANG Y K, TIAN Y, et al. Analysis of internal architecture unit of single braided flow zone[J]. *Mud Logging Engineering*, 2019, 30(2): 116–121.]
- [25] 吴小军, 苏海斌, 张士杰, 等. 砂砾质辫状河储层构型解剖及层次建模——以新疆油田重32井区齐古组油藏为例[J]. *沉积学报*, 2020, 38(5): 933–945. [WU X J, SU H B, ZHANG S J, et al. Architecture anatomy and hierarchical modeling of sand-gravel braided river reservoirs: A case study of Zhong32 wells area, Qigu Formation reservoir, Fengceng oilfield[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2020, 38(5): 933–945.]
- [26] 何宇航, 宋保全, 张春生. 大庆长垣辫状河砂体物理模拟实验研究与认识[J]. *地学前缘*, 2012, 19(02): 41–48. [HE Y H, SONG B Q, ZHANG C S. A study of braided river sand deposit in Changyuan, Daqing through physical simulation experiments[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(2): 41–48.]
- [27] 任晓旭. 砂质辫状河构型界面附近岩性和物性分布模式研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2022. [REN X X. Lithology and physical property distribution patterns of sandy braided river near architectural bounding surfaces[D]. Beijing: China University of Petroleum-Beijing, 2022.]
- [28] 孔令运. 孤东油田七区西馆上段辫状河储层构型研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2018. [KONG L Y. Reservoir architecture research of braided river in Guantao Upper Formation of West 7th block, Gudong Oilfield[D]. Beijing: China University of Petroleum-Beijing, 2018.]
- [29] 翟羽佳, 马君霞, 马旭, 等. 基于辫状河储层特征控制的地震反演砂体刻画——以苏里格气田盒8下段为例[J]. *沉积学报*, 2024, 42(5): 1711–1722. [ZHAI Y J, MA J X, MA X, et al. Sand body description from seismic inversion based on the control of braided river reservoir characteristics: Taking the lower of H8 Formation in Sulige gas field as an example[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2024, 42(5): 1711–1722.]

- [30] 张江晖. 喇嘛甸油田PI2 辫状河储层建筑结构及三维模型研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2021. [ZHANG J H. Study on reservoir architecture and 3D model of the PI2 braided river reservoir in Lamadian oilfield[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2021.]
- [31] 李杨阳. 辫状河水槽模拟实验及储层地质知识库的设计[D]. 武汉: 长江大学, 2018. [LI Y Y. The braided river flume simulation experiment and the design of reservoir geological knowledge base[D]. Wuhan: Yangtze University, 2018.]
- [32] 肖袁. 渤海地区P 油田L80 油组辫状河储层砂体构型及剩余油研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2020. [XIAO Y. Study on the sand body configuration and remaining oil of the braided river reservoir of the L80 oil formation in the P oilfield in the Bohai area[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2020.]
- [33] 王锐. 辫状河厚砂体内部夹层的识别及分布特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2016, 35(3): 83–87. [WANG R. Identification and distribution characteristics of the internal interbeds in the thick sandbodies of the braided river[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(3): 83–87.]
- [34] 金振奎, 杨有星, 尚建林, 等. 辫状河砂体构型及定量参数研究——以阜康、柳林和延安地区辫状河露头为例[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(3): 311–317. [JIN Z K, YANG Y X, SHANG J L, et al. Sandbody architecture and quantitative parameters of single channel sandbodies of braided river: Cases from outcrops of braided river in Fukang, Liulin and Yanan areas[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(3): 311–317.]
- [35] FABUEL P, IVAN, DAVID H, et al. A new approach for outcrop characterization and geostatistical analysis of a low-sinuosity fluvial-dominated succession using digital outcrop models: Upper Triassic Oukaimeden Sandstone Formation, central High Atlas, Morocco[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(6): 795–827.
- [36] 宋子怡. 孤东油田六区馆上段辫状河储层构型研究与建模[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2021. [SONG Z Y. Architecture and modeling of braided river reservoir in the Upper Guantao Formation, Block 6 of Gudong oilfield[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2021.]

(编辑 付娟娟)

**第一作者:** 张帅琳(1998年—), 硕士研究生, 主要从事储层地质知识库等方面研究, 1075154607@qq.com。

**通信作者:** 刘远刚(1982年—), 博士, 副教授, 从事地学信息智能处理与可视化、储层地质知识库等方面研究, liuygis@foxmail.com。