

The Current Situation of Fan Delta Sedimentary Research

Linghua Kong¹, Qianghan Feng^{2*}, Long Chen², Yanlin Shao¹, Zhonggui Hu¹

¹School of Geoscience, Yangtze University, Wuhan Hubei

²No. 3 Gas Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Wushen Banner Inner Mongolia

Email: *fqh_cq@petrochina.com.cn

Received: Dec. 10th, 2016; accepted: Feb. 11th, 2017; published: Jun. 15th, 2017

Abstract

With the increasingly deepening of the study in fan delta, the study of terminology, the mechanism of hydrodynamic force, sedimentary facies, litho facie sand sequence stratigraphic characteristics and sedimentary pattern in fan delta were introduced based on literature investigations. The fan delta classification included tectonic setting, source supply system, gradient, channel mouth processes and texture-genetic classification. Traction current and gravity flow were alternated in hydrodynamics of fan delta, paroxysmal water flow was severe. Gradient and the diameter of transported particle size were positively correlated which showed the significance of gradient. According to petrological characteristics, a fine partition is performed on lithologic facies; the matching relation between sedimentary facies and lithofacies is strengthened; the idea of source to sink is combined with geomorphology, sedimentology, and basin analysis to provide a holistic analysis of the dynamic process of erosion, transportation of the deposition of fan delta; therefore the precision of reservoir prediction is improved.

Keywords

Fan Delta, Lithofacies, Sedimentary Facies, Idea of Source to Sink

*通信作者。

扇三角洲沉积研究现状

孔令华¹, 冯强汉^{2*}, 陈 龙², 邵燕林¹, 胡忠贵¹

¹长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

²中石油长庆油田分公司第三采气厂, 内蒙古 乌审旗

作者简介: 孔令华(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积学方面的学习。

Email: fqh_cq@petrochina.com.cn

收稿日期: 2016年12月10日; 录用日期: 2017年2月11日; 发布日期: 2017年6月15日

摘 要

目前扇三角洲研究程度不断加深, 在文献调研基础上, 对扇三角洲术语体系, 水动力机制, 沉积相、岩石相及层序特征、沉积模式等方面的研究进展做了介绍。扇三角洲分类角度有构造背景、供源体系、坡降、河口作用、成因-结构等方面。以牵引流、重力流双重水动力机制为特征, 阵发性流水作用突出; 坡度和搬运颗粒粒径成正相关体现地形坡度的重要性。根据岩石学特征对岩石相进行精细划分, 加强沉积相和岩石相的联系和匹配关系; 源汇思想结合了地貌、沉积学、盆地分析, 对扇三角洲沉积物剥蚀、搬运和沉积的沉积动力学过程进行整体分析, 提高储层预测精度。

关键词

扇三角洲, 岩石相, 沉积相, 源汇思想

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 术语体系及分类

文献[1]根据位于英国 Lynton 的现代沉积, 首次将扇三角洲定义为进入水体的冲积扇, 扇三角洲储层的勘探潜力及其术语体系引起了众多学者的关注。文献[2] [3] [4]对扇三角洲的理解基本上围绕 Holmes 提出的定义; 文献[5] [6]在扇三角洲提出之后建议在三角洲分类中加入粒度作为分类依据。

文献[7]通过对现代海岸扇三角洲实例研究, 认为构造活动和扇三角洲发育密切相关, 总结出扇三角洲发育的构造环境为拖曳、边缘和碰撞海岸。

文献[8]以坡降大小和距离物源区远近, 将入湖三角洲划分为扇三角洲、裙边状三角洲、鸟足状三角洲, 其砂体形态、规模等既有差异又有过渡演变关系, 体现了高建设性相下坡降和距离物源远近是三角洲形态的主要控制因素。

文献[9]根据供源体系、地貌、沉积学、岩石学等特征将辫状河扇三角洲从扇三角洲类型中划分出来, 将其定义为辫状河体系流入到停滞水体中形成的富含砂和砾石的三角洲; 将扇三角洲和辫状河三角洲统称为粗碎屑三角洲, 与细粒(正常)三角洲相对应; 文献[10]认为只要是活动的冲积扇和水体发生相互作用并在水体界面附近形成了沉积体系就是扇三角洲, 并非总是进积的, 与有无构造陡坡、砂质、砾质无关,

湿扇和干扇都可形成扇三角洲。

文献[11][12]根据三角洲前缘沉积过程和状态将扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲作为三角洲沉积体系的连续谱系,拓展了三角洲分类的完整型和连续性;同时根据三角洲前缘沉积过程和状态建立了三端元分类,在扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲之下根据河流和海洋改造关系将三角洲细分为河控、浪控和潮控3种类型。

文献[13]提出根据深水、浅水(几十米)和4种供源体系,结合了摩擦、惯性和浮力三种河口作用,总结了12种三角洲类型,浅水三角洲中还包括三角洲前缘较陡的吉尔伯特型和Hjulström型,供源体系分别为:较陡的冲积扇、辫状河冲积体系、中等坡度相对稳定的河道、低坡度较稳定的河道。

文献[14]根据构造、物源、发育位置等,通过湖岸位置与砂体类型示意图,提出了靠扇型、靠山型扇三角洲的分类。

文献[15]考虑了扇三角洲的物源体系和沉积样式,将扇三角洲划分为前积型、退积型和加积型扇三角洲。

文献[16][17]将扇三角洲定义为以冲积扇为物源形成的近源砾石质三角洲,并坚持在结构-成因分类指导思想下,将三角洲分为粗粒和细粒两类,粗粒三角洲细分为扇三角洲、辫状河三角洲,细粒三角洲细分为河控、浪控、潮控三角洲。

2. 形成机制研究

2.1. 水动力条件

扇三角洲的水动力机制由重力流和牵引流共同作用、交替进行,同时不同程度受到海/湖浪作用,在灾变期的风暴型瞬时沉积事件中发育重力流,具有事件沉积阶段性的特点,在间灾变期以牵引流为主,也有学者认为是发生频率更大的季节性的洪泛事件期间发生重力流沉积作用。

很多学者都描述到重力流和牵引流共同作用,但是关于水动力的主导地位众说纷纭,如文献[18]在辽河扇三角洲研究中认为以牵引流为主,反映季节性洪泛事件的影响;文献[19]在库车坳陷扇三角洲研究中认为重力流沉积占主导地位;文献[20]在琼东南盆地研究中,根据构造、海平面变化、沉积特征识别出紧邻高地的靠山型和紧邻冲积扇的靠扇型,认为靠山型水动力以重力流为主,靠扇型水动力以牵引流为主。

2.2. 地形坡度

文献[21]经过沉积模拟试验,认为入湖坡度直接控制扇三角洲辫状河道的延伸,坡度不断变小时,扇三角洲由舌状向鸟足状演化,河道不稳定摆动的过程就是地形坡度和侵蚀、沉积作用达到平衡状态的表现。文献[22]进行的扇三角洲沉积实验中,入湖0~7 m坡度为50% (2.86°);文献[23]认为冲积扇坡度依赖于流量和粒径,搬运颗粒粒径越大形成的冲积扇坡度越大,反之亦然,搬运粒径和形成的坡度成正相关。

文献[24]对死海裂谷现代扇三角洲现代沉积观察测量,认为沉积坡角2.5°;文献[7]对Yallahs扇三角洲研究中其近岸地区平均坡角约5°,向海方向坡角变大,距岸线4000 m处坡角15°;文献[8]认为入湖三角洲分类中扇三角洲坡度为数十米/千米。

文献[25]通过对现代沉积Hazar湖岸扇三角洲研究认为,坡度主要受到盆地不对称下降即构造性质和活动的影 响,并认为坡度3°是发育扇三角洲和细粒河口坝的临界角度。

文献[26]对陆相断陷盆地研究总结出陡坡型、缓坡型扇三角洲,以重力流为主、牵引流为次的水动力条件;并从地震相估测陡坡缓坡的临界底形角度为10°。

文献[27]在东濮凹陷扇三角洲研究中,沙河街组三段发育扇三角洲,坡度 $2\sim 4^\circ$;文献[28]对玛湖凹陷扇三角洲群的地震资料解读认为古地貌陡缓坡临界角度 2° ,并结合物源体系划分出5类扇三角洲类型。

扇体经由一定坡度入湖是重要的定量认识,但坡度并非单独作用,而是和沉积环境、气候、构造活动共同发生,坡度对扇三角洲展布、规模的重要性还有待研究,另外指的是地形坡度还是形成沉积物之后表面的坡度还有待深入研究。

3. 关于沉积相划分

3.1. 岩石相

扇三角洲沉积分布范围相对较小,水动力条件复杂,相带划分因地区而异;其岩性较粗,多杂基支撑,孔隙结构有双模态、复模态等,砂体连续性差,非均质严重,同时岩性多样,常见岩性突变。为了加深其岩石相和沉积相的匹配关系,区分相似沉积微相的岩石相特征,进一步掌握沉积特征,故主要选取玛北百口泉组扇三角洲对岩石相深入研究并举例如表1。

Table 1. Examples of lithofacies division

表 1. 岩石相划分实例

研究学者	扇体	岩石相划分依据	岩相类型
Chough, S. K., Hwang, L. G. [29] [30]	Ulleung Back-arc 盆地 西南缘中新世 Doumsan 复合扇三角洲	主要依据沉积物的粒度和主要沉积构造(厚度、分选等)	颗粒或者杂基支撑的混杂堆积角砾岩、砾岩; 递变层理砾岩等 14 种岩石相
于兴河[31]		据粒度、磨圆、分选、支撑方式等结构特征	泥质支撑漂浮砾岩相、砂质支撑漂浮砾岩相、砾石质支撑漂浮砾岩相等 9 种岩石相
张顺存等[32]	准噶尔盆地玛北地区 百口泉组扇三角洲	据岩心、薄片、测录井资料和沉积特征划分岩石相,进一步划分出岩性相	辫状河道砂砾岩相、水下主河道砾岩相、水下河道砂砾岩相等 11 种岩性相
张昌民等[33]		据沉积构造、颜色、粒度和支撑方式 4 种主要属性在内的 13 种属性	将 6591 块岩心划分为砾质岩岩相、砂质岩岩相、泥质岩岩相 3 类共 227 种岩石相类型

3.2. 沉积相

W. NEMEC 认为 Holmes 定义中将冲积扇及入水部分都看作扇三角洲是不当的,目前多数学者将扇三角洲平原和冲积扇分开,类似于正常三角洲划分方法将其划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘、前扇三角洲。

扇三角洲平原和冲积扇相接触且联系紧密,沉积特征类似于冲积扇,文献[11] [12]认为平原相由冲积扇组成,文献[19] [22]认为在岩石记录上、沉积实验中区分冲积扇和扇三角洲平原困难。

平原亚相由重力流、筛积舌状体、片流和改道频繁的辫状河道沉积物组成,重力流以碎屑流为主,类似冲积扇沉积;岩性较粗,分选磨圆较差,砂砾岩成分、结构成熟度低,具有近源、快速堆积特点;扇三角洲前缘,也称过渡带,可见水下分流河道、水下重力流沉积,重力流沉积主要为碎屑流;岩性上对平原相有继承性,砂砾岩泥质含量相比平原亚相或有所降低;季节性灾变事件使河口坝发育差甚至不发育[19];前三三角洲与浅湖/海相紧邻,岩性以粉砂岩、泥岩等沉积为主,可见砂泥互层。

文献[21]认为冲积扇扇缘或者其本身都是扇三角洲的一部分;扇三角洲前缘在非洪水期间形成广布的

薄层粉砂和泥层,易受到冲刷、切割;前扇三角洲以悬浮物质为主,240 h 实验结束后沉积厚度仅 2.1 cm。

文献[34]白音查干凹陷北部陡坡带发育的扇三角洲,层位阿尔善组二段、腾格尔组和都红木组,显示较陡坡度之下平原亚相特征不明显,扇三角洲前缘亚相是其主体。

限于岩性复杂、类型多样,亚相之间划分的界限没有准确、统一的结论;文献[16]类比正常三角洲,使用海平面、正常浪基面将扇三角洲平原、扇三角洲前缘、前扇三角洲分开;目前研究中各亚相缺少可操作性的准确界限;文献[35] [36]将平均低水位、正常浪基面作为界限,并认为三角洲体系中水下分流河道和水下天然堤不存在,而是湖平面的快速上升将之前湖平面较低时发育的河道淹没。

4. 研究方法

4.1. 层序地层学研究

运用高分辨率层序地层学对我国断陷湖盆扇三角洲的研究,应用层序地层学对不同级次旋回界面、类型的对比划分,在扇三角洲岩性复杂多变、非均质强的情况下对内部沉积单元的刻画、解析有着基础性指导意义。

扇三角洲发育生长的全过程在一个中期旋回时间内,也就是准层序组的形成时间[37]。文献[27]等对东濮凹陷扇三角洲模式展开研究,根据地震上的削截、顶超或上超、岩性突变识别出长期旋回,再用岩心、测井等资料识别中期旋回,短期旋回根据岩性界面接触关系识别;扇体垂向、平行方向采取由低频到高频的等时对比原则;研究认为沙河街组三段中亚段第 4~8 砂组划分为 1 个长期基准面旋回,细分为 6 个中期基准面旋回,发育 3 中短期旋回;砂体发育受中期旋回控制,物性与基准面变化有一定规律。

4.2. 源汇思想

文献[38] [39]根据渤海勘探实践提出的陆相复杂断陷盆地的源-汇(Source to Sink)时空耦合控砂原理,将湖盆外的物源体系、输砂体系和湖盆体系作为一个整体-源汇系统来研究,划分出显性、隐蔽性两种源汇体系,总结 7 种富砂源汇体系,其中渤海勘探实践已证明,处于构造活动强烈的断裂交界处的盆缘断裂墙角式源-汇体系往往是大型扇三角洲发育的地方,据该方法渤海古近系砂体预测成功率由 40%提高到 80%。

文献[40]对 Muglad 盆地 Fula 凹陷的研究认为“源、汇”分别对应层序地层学中的 S、A,源汇系统控制扇体的类型和沉积特征;源是汇的原因,汇是源的表现,源体现在扇体规模,汇体现在代表搬运距离的沉积物成熟度上;结合构造背景,通过对物源、搬运通道的分析,预测断陷湖盆陡坡扇三角洲有利储层分布。

文献[41]中观测到铁矿尾矿排向南北狭长分布 Wabush 湖的南端,排放量约 2×10^7 t/a,高密度流体入湖形成前积型扇三角洲,“源-汇”系统长度 15km,认为盆地的沉积中心受顶积层上流体、地貌、河道的影响;当顶积层出现“汇”-水下通道时,河道导流致使近端沉积物的减少、远端沉积物的增加和湖岸线退却,同时湖岸线变得稳固。

源于大气污染研究中的“源-汇”在地球科学中将地貌学、沉积学、盆地动态分析等地质学科交汇融合,对剥蚀、搬运、堆积整个沉积物形成过程从动力学角度联系起来,对沉积体系分析、储层预测有重要意义,预期在沉积盆地的沉积相、层序方面的深入研究将会取得更大的进展。

4.3. 沉积模拟方法

文献[22] [42]通过水槽实验对扇三角洲发育及演化进行研究,主要条件为入湖坡度、流量、沉积物组成、水平面等。认为突发性洪水流对扇三角洲的形成起到了决定性作用,入湖坡度直接控制辫状河道的

延伸距离；流量变化率越大，展宽和伸长更加显著；粗粒扇分布局限但是厚度较大；在模拟自然过程中水流由小变大再变小，上游至下游同期沉积物由细变粗再变细；水面下降有助于扇三角洲的生长和发育向上变粗的特征。

文献[43]对滦平盆地扇三角洲露头进行储层构型的沉积模拟，已知沉积相变差函数即砂体的宽/厚参数，使用多种计算机模拟算法对扇三角洲沉积体系进行岩石相预测，根据模型结果认为序贯指示所生成的模型能够较好地忠实于原始数据的分布，基本可以恢复露头的原模型。

5. 典型扇三角洲模式

沉积模式概括了典型沉积体系的特点，对沉积环境、沉积特征、水动力等做了理想化的概括总结，反映了沉积体系时间空间上的变化规律，体系化的沉积模式有助于扇三角洲的整体研究，对具体工作起到指导性作用。

5.1. 海岸扇三角洲模式

文献[44]根据 Yallahs、Alaska、Pennsylvanian、Colorado 等海相扇三角洲研究实例总结出斜坡型(slope-type)、陆架型(shelf-type)和吉尔伯特型(gilbert-type) 3 种沉积模式用于识别。

斜坡型扇三角洲，以 Yallahs 扇三角洲为例，地形上的坡折将其划分为 3 部分：近端、过渡带、远端，划分为 6 个微相。近端沉积紧邻冲积扇；远端沉积发育水平层理，叠瓦状砾岩和砾质砂岩，较少发育辫状水流成因的交错层理，砾质砂岩；受海浪作用强烈的过渡带发育分选良好的砾岩和砂岩。斜坡沉积包含海相泥和杂基支撑的砾岩，常见坍塌构造；斜坡常见碎屑流、泥石流、液化流等。

陆架型扇三角洲由于没有坡折阻碍、截断进而可以进积到更远的距离。以阿拉斯加 Cooper River 扇三角洲为例，河流在入海处地形突降，携带大量粗碎屑沉积物快速卸载到海浪、潮汐作用强烈的广海陆棚进而形成进积的、楔形扇三角洲，粗碎屑由辫状河道输入，砾石分选差，见叠瓦状分布在近端；砂、泥输送至较远的平原；潮道潟湖体系作为沉积物向海输送通道；沿岸流将砂、泥携带至离岸较远的前三角洲，分选较好；发育向上变粗粒序。

Gilbert 型多在湖盆发育，被认为是湖相扇三角洲的经典模式；以发育底积层、顶积层和前积层为特点，其中前积层砾石高角度前积，主要发育杂基支撑砾岩、砾质砂岩、砂岩；垂向层序向上明显变粗，多发育在构造活动的盆地边缘、短轴陡坡。

5.2. 断陷盆地模式

文献[45]对我国大量断陷湖盆扇三角洲研究后提出 3 种沉积模式——水进型、水退型和吉尔伯特(Gilbert)型。

湖盆水进阶段形成的水进型扇三角洲在岩性、沉积特征和冲积扇相似，划分为扇根、扇中、扇端。扇根砾岩、砂砾岩分选差，具叠瓦状构造，阵发性水动力发育大型交错层理；扇中是主体部分，划分为辫状河道、河道间、扇中前缘；河道发育砂砾岩、砾岩，具有底冲刷、块状、平行、交错层理，砂体厚度较大；扇端部分进入半深湖，以泥岩、薄层砂岩为主。

水退型多发育于断陷湖盆短轴陡坡，以向湖盆进积、发育向上变粗反韵律为特点，划分为扇三角洲平原、前缘、前扇三角洲。平原上辫状河道、阵发水流发育砾岩、砂砾岩，分选较差；前缘为砂体主要发育部位，水下辫状河道、砂坝等，多发育层理构造；前扇三角洲进入深湖，以薄层、砂岩泥岩为主。

所述 Gilbert 型和前文类似。

上述模式在地层叠置上都为进积型，文献[46]对准噶尔盆地陆内拗陷阶段的玛湖凹陷百口泉组扇三角

洲的研究,受多级坡折控制,物源来自于北东、北部断裂带,平面上划分为平原、前缘、前三三角洲3个亚相和11个微相,经扇三角洲内部成因沉积单元的刻画,总结出湖侵退积型扇三角洲。

6. 研究趋势

目前扇三角洲研究的术语体系基本完善,分类应当更加实用。沉积动力学、沉积模拟等将为扇三角洲水动力条件提供定量研究条件,使扇三角洲研究更加深入。地形坡度和颗粒粒径的关系显示了在地层记录中恢复精确古地貌地形重要性,应更加注意与构造背景、气候条件的结合;沉积相划分界限应简明、具有可操作性,综合分析扇三角洲沉积相、岩石相演化过程,复杂岩相分布下重视岩石相和沉积相的匹配关系,为储层预测打好基础。源汇思想结合了地貌、沉积学、盆地分析,对物源来源、搬运通道及可容空间整体上展开研究,源汇体系今后将产生更重要的作用。沉积模拟利于对扇三角洲形成、演化、水动力条件等方面的直观、定量认识,计算机沉积模拟也有巨大的研究潜力。随着研究深入,扇三角洲沉积模式固然千变万化,侧重角度多样,注重将沉积模式进行体系化整理、全面认识沉积模式。

参考文献 (References)

- [1] Holmes, A. (1965) Principles of Physical Geology. Revised Edition. Thomas Nelson and Sons, London, 553-554.
- [2] McGowen, J.H. (1971) Gum Hollow Fan Delta, Nueces Bay, Texas. Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin, Austin, Report of Investigation 69, 91.
- [3] Galloway, W.E. and Hobday, D.K. (1983) Terrigenous Clastic Depositional Systems. Springer-Verlag, New York, 40-42. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0170-7>
- [4] Erxleben, A.W. (1975) Depositional systems in Canyon Group (Pennsylvanian System), North-Central Texas. Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin, Austin, 82, 76.
- [5] Fisher, W.L., Brown Jr., L.F., Scott, A.J., et al. (1969) Delta Systems in the Exploration for Oil and Gas. Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin, Austin, 101-102.
- [6] Galloway, W.E. (1975) Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional System. Houston Geological Society, Houston, 87-98.
- [7] Wescott, W.A. and Ethridge, F.G. (1980) Fan-Delta Sedimentology and Tectonic Setting—Yallahs Fan Delta, South-east Jamaica. *Aapg Bulletin*, **64**, 374-399.
- [8] 裘亦楠, 肖敬修, 薛培华. 湖盆三角洲分类的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1982, 9(1): 1-11.
- [9] McPherson, J.G., Shanmugam, G. and Muiola, R.J. (1987) Fan-Deltas and Braid Deltas: Varieties of Coarse-Grained Deltas. *Geological Society of America Bulletin*, **99**, 331-340. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1987\)99<331:FABDVO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1987)99<331:FABDVO>2.0.CO;2)
- [10] Nemecek, W. and Steel, R.J. (1988) Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings. Blackie and Son, Glasgow, 14-22.
- [11] Galloway, W.E. (1976) Sediments and Stratigraphic Framework of the Copper River Fan-Delta, Alaska. *Journal of Sedimentary Research*, **46**, 726-737.
- [12] 薛良清, Galloway, W.E. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类[J]. 地质学报, 1991, 65(2): 141-153.
- [13] Postma, G. (1990) Depositional Architecture and Facies of River and Fan Deltas: A Synthesis. *Coarse-Grained Deltas*, **10**, 13-27. <https://doi.org/10.1002/9781444303858.ch2>
- [14] 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 56-57.
- [15] 焦养泉, 周海民, 庄新国, 等. 扇三角洲沉积体系及其与油气聚集关系[J]. 沉积学报, 1998, 16(1): 70-75.
- [16] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 第2版. 北京: 石油工业出版社, 2008: 379-380.
- [17] 于兴河, 李胜利, 李顺利. 三角洲沉积的结构——成因分类与编图方法[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 782-797.
- [18] 盛和宜. 粒度分析在扇三角洲分类中的应用[J]. 石油实验地质, 1993, 15(2): 185-191.
- [19] 李维锋, 高振中, 彭德堂, 等. 库车坳陷中生界三种类型三角洲的比较研究[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 430-434.
- [20] 陈景山, 唐青松, 代宗仰, 等. 特征不同的两种扇三角洲相识别与对比[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(4): 1-6, 185.

- [21] 张春生. 碎屑岩沉积模拟技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 134-135.
- [22] 张春生, 刘忠保, 施冬, 等. 扇三角洲形成过程及演变规律[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 521-526, 655.
- [23] 张春生. 冲积体系及三角洲物理模拟研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 成都理工学院, 2001.
- [24] Sneh, A. (1979) Late Pleistocene Fan-Deltas along the Dead Sea Rift. *Journal of Sedimentary Research*, **49**, 541-552.
- [25] Dunne, L.A. and Hempton, M.R. (2010) Deltaic Sedimentation in the Lake Hazar Pull-Apart Basin, South-Eastern Turkey. *Sedimentology*, **31**, 401-412. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1984.tb00868.x>
- [26] 吴胜和, 熊琦华, 龚姚进, 等. 陡坡型和缓坡型扇三角洲及其油气储层意义[J]. 石油学报, 1994, 15(s1): 52-59.
- [27] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 212-220.
- [28] 唐勇, 徐洋, 瞿建华, 等. 玛湖凹陷百口泉组扇三角洲群特征及分布[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(6): 628-635.
- [29] Chough, S.K., Hwang, I.G. and Choe, M.Y. (1990) The Miocene Doumsan Fan-Delta, Southeast Korea; A Composite Fan-Delta System in Back-Arc Margin. *Journal of Sedimentary Research*, **60**, 445-455.
- [30] Hwang, I.G., Chough, S.K. and Hong, S.W. (1995) Controls and Evolution of Fan Delta Systems in the Miocenepohang Basin, Se Korea. *Sedimentary Geology*, **98**, 147-179. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00031-3](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00031-3)
- [31] 于兴河, 瞿建华, 谭程鹏, 等. 玛湖凹陷百口泉组扇三角洲砾岩岩相及成因模式[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(6): 619-627.
- [32] 张顺存, 邹妞妞, 史基安, 等. 准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组沉积模式[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 640-650.
- [33] 张昌民, 王绪龙, 朱锐, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷百口泉组岩石相划分[J]. 新疆石油地质, 2016, 37(5): 606-614.
- [34] 张福顺. 白音查干凹陷扇三角洲与辫状河三角洲沉积[J]. 地球学报, 2005, 26(6): 553-556.
- [35] 金振奎, 高白水, 李桂仔, 等. 三角洲沉积模式存在的问题与讨论[J]. 古地理学报, 2014, 16(5): 569-580.
- [36] 金振奎, 何苗. 三角洲沉积模式的新认识[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(5): 443-446.
- [37] 赵俊青, 纪友亮, 夏斌, 等. 扇三角洲沉积体系高精度层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 302-309.
- [38] 夏庆龙. 渤海油田近 10 年地质认识创新与油气勘探发现[J]. 中国海上油气, 2016, 28(3): 1-9.
- [39] 徐长贵. 陆相断陷盆地源 - 汇时空耦合控砂原理: 基本思想、概念体系及控砂模式[J]. 中国海上油气, 2013, 25(4): 1-11.
- [40] 吴冬, 朱筱敏, 刘常妮, 等. “源 - 汇”体系主导下的断陷湖盆陡坡带扇三角洲发育模式探讨: 以苏丹 Muglad 盆地 Fula 凹陷为例[J]. 高校地质学报, 2015, 21(4): 653-663.
- [41] Turmel, D., Parker, G. and Locat, J. (2016) Evolution of an Anthropogenic Source to Sink System: Wabush Lake. *Earth-Science Reviews*, **153**, 175-191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.008>
- [42] 程立华, 陈世悦, 吴胜和, 等. 断陷盆地陡坡带扇三角洲模拟及沉积动力学分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(4): 33-38.
- [43] 贾爱林, 陈亮, 穆龙新, 等. 扇三角洲露头区沉积模拟研究[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 107-110, 133.
- [44] Ethridge, F.G. and Wescott, W.A. (1984) Tectonic Setting, Recognition and Hydrocarbon Reservoir Potential of Fan-Delta Deposits. *Sedimentology of Gravels and Conglomerates-Memori*, **10**, 217-235.
- [45] 张金亮, 王宝清. 我国含油气湖盆扇三角洲相模式[J]. 地质论评, 1996, 42(S1): 147-152.
- [46] 邹妞妞, 史基安, 张大权, 等. 准噶尔盆地西北缘玛北地区百口泉组扇三角洲沉积模式[J]. 沉积学报, 2015, 33(3): 607-615.

[编辑] 宋换新

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org