

文章编号: 0253-9985(2005)01-0099-05

双河油田陆架型扇三角洲的沉积机理及向上变粗层序的成因

张昌民, 尹太举, 张尚锋, 李少华, 谈卫东

(长江大学地球科学系, 湖北荆州 434023)

摘要: 双河油田核桃园组第三段扇三角洲具有陆架型扇三角洲的特点, 单层呈正韵律而总体呈现反旋回的地层层序。这种层序既不是典型的河道沉积(正粒序)也不是典型的河口坝沉积(反粒序), 它是在湖底坡降较缓的陆架型扇三角洲条件下, 由河道进入湖盆的轴向射流所形成的沉积体。轴向射流的水流能量和速度沿着轴向向前方和两侧逐步衰减, 所携带的沉积物的粒度随着水流能量的减弱而变细, 沉积物的厚度变薄, 逐步由水下分流河道演变成为一个坝状堆积物, 形成分流河口的河口坝沉积。河口坝前缘沉积物连片, 形成席状砂。河口坝实际上是河流入湖后形成的以河口坝为主的一系列微相组成的复合体, 主要包括坝核、坝侧缘、坝边缘、坝前缘、席状砂和坝间6个微相类型。河道的主流线或河道的位置发生迁移时, 导致砂坝垂向加高并产生横向迁移, 从而形成了丰富的地层层序样式。

关键词: 扇三角洲; 地层层序; 沉积模式; 过程响应机制; 双河油田

中图分类号: TE112.322

文献标识码: A

Sedimentary mechanism of shelf-type fan delta and genesis of coarsening upward sequence in Shuanghe oilfield

Zhang Changmin, Yin Taiju, Zhang Shangfeng, Li Shaohua, Dan Weidong

(Department of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou, Hubei)

Abstract: Fan deltas in the 3rd member of Hetaoyuan Formation in Shuanghe oilfield have the characteristics of shelf-type fan deltas, where the stratigraphic sequences, as a whole, are developed in anticyclic sequences, but the single layer appear to be in positive rhythm. This kind of sequences are neither typical fluvial deposits, nor typical river mouth bar deposits. They are deposited as a result of axial efflux from river channel to lake basin under the condition of shelf-type fan delta with mildly sloping lake floor. The energy and speed of axial efflux gradually decrease toward the axial direction and both sides, and the grain sizes of sediments decrease along with lowering of water flow energy, the deposits get thinner and evolve from subaqueous distributary channel deposits into distributary mouth bar deposits. The deposits in the leading edge of mouth bar spread out and become sheet sand. In fact, the river mouth bar is a complex composed mainly of river mouth bar, and 6 microfacies, including core, lateral margin, margin, front edge, sheet sand and interbar. The bars get higher vertically and migrate laterally when the main stream line or location of channel migrate, resulting in plenty of sequence patterns.

Key words: fan delta; stratigraphic sequence; mode of deposition; process response mechanism; Shuanghe oilfield

1 概况

双河油田位于泌阳凹陷西南部, 构造形态为由

西北向东南逐渐倾伏的不对称鼻状构造。含油气层段主要为下第三系核桃园组第三段。双河油田核桃园组第三段扇三角洲沉积具有规模大、沉积岩

基金项目: 湖北省教育厅重大项目(2000E0105)

第一作者简介: 张昌民, 男, 42岁, 教授, 沉积学与石油地质学

收稿日期: 2004-12-05

性较细,水下分流河道、河口砂坝和前缘席状砂发育等特点^[1,2],泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、中砂岩、砾状砂岩占70%以上,砾岩少于30%,沉积构造主要有水平、透镜状、脉状与波状层理,准同生变形构造(包括包卷层理、枕状构造、泄水构造、火焰状构造等),小型砂纹层理、大中型交错层、平行层理及块状层理等。这些特点既不同于吉尔伯特型(Gilbert)扇三角洲(图1),也不同于陆坡型扇三角洲,具有陆架型扇三角洲的特征^[3,4]。

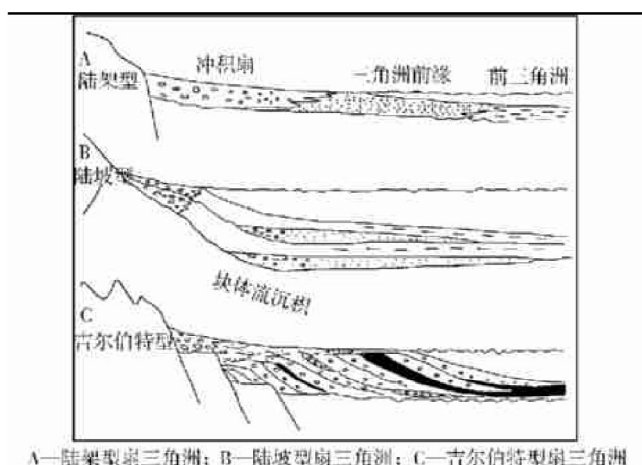


图1 3类主要扇三角洲的理想剖面^[3]

Fig. 1 Ideal profiles of three main types of fair delta

水下分流河道-河口坝复合体系是陆架型扇三角洲沉积的主体相带,也是储层发育的主要相带^[5~8],在这一体系中经常发育有单层呈正韵律而总体呈现反旋回的层序特征,这种层序既不是河道沉积(正粒序)也不是河口坝沉积(反粒序)的

典型层序,而且长期以来并没有引起人们的重视。

本文在详细的岩心观察基础上,运用沉积学原理对扇三角洲中的向上变粗层序的成因进行了分析,这一研究有助于更加深入地了解陆架型扇三角洲的沉积机理,对预测储层分布具有重要意义。

2 向上变粗序列的特征

为了说明向上变粗层序的特征,我们选择双检6井⑤油组井深1488.00 m到1518.00 m(图2)和IV油组井深1714.9 m到1744.21 m(图3)两段进行分析。这两段基本上为连续取心,第一段(井深1488.00 m到1518.00 m)自下而上按岩性差异可分为19层,岩性有深灰-灰褐色泥岩、灰色粉砂岩、细砂岩、含砾砂岩及砾岩,总体呈现多个正反韵律层序特点,夹层较少。第二段夹层较多,按岩性差异分为55层,由深灰色水平纹理泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩、含砾砂岩、砾状砂岩及砾岩组成多个正反韵律。

图2表明,泥岩基本上都是灰色到灰黑色显示深水还原环境的特征,岩性接触界面平直,几乎无侵蚀作用的痕迹,粉砂岩中见有变形构造。砂岩内部没有明显的沉积界面,但是由水洗现象可以显现出层面和粒度变化,每一段都呈现出略微向上变细的特点。砾岩到含砾粗砂岩段内部一般由3~5个向上变细的部分组成,每个向上变细序列底部一般为砾岩,向上变为砾状砂岩和砂岩,局部序列底部砾石直径和岩性具有向上变粗特征。从图3可以看出,本段的向上变粗特征比图2更

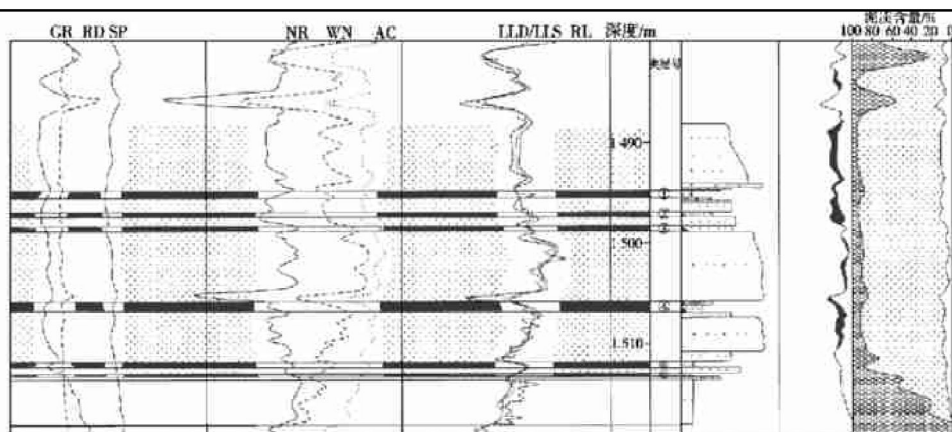


图2 双检6井⑤油组取心井段沉积层序及岩电标定

Fig. 2 Sedimentary sequences and lithologic-electric discrimination of reservoir group ⑤ in coring interval of Shuangjian 6 well

—深灰-灰褐色泥岩; ④—灰色粉砂质泥岩; ~—深灰色水平层理泥岩

GR—自然伽马; RD—井径曲线; SP—自然电位; NR—中子伽马; WN—井壁中子; AC—声波时差; LLD/LLS—深/浅测像; RL—微测像

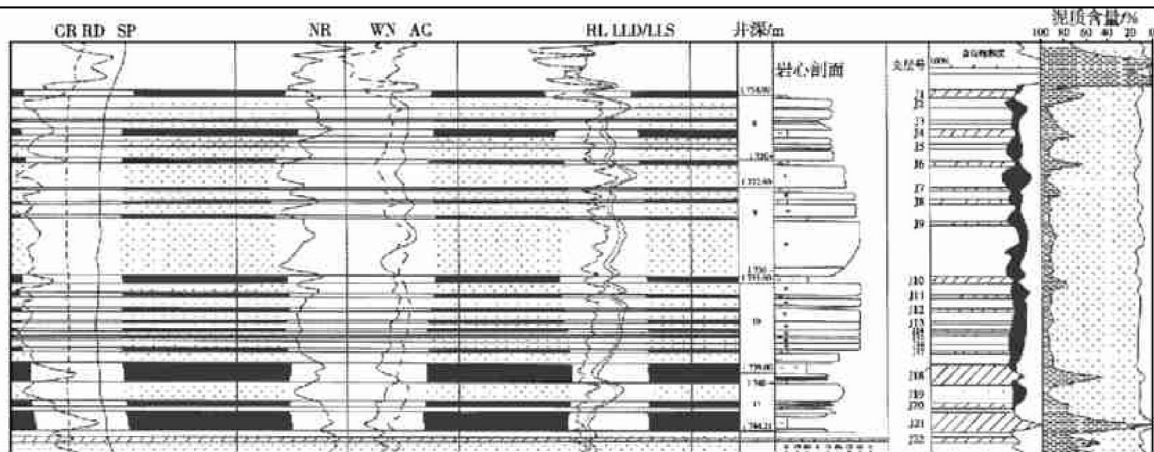


图3 双检6井⑤油组取心井段沉积层序及岩电标定图

Fig. 3 Sedimentary sequences and lithologic-electric discrimination of reservoir group ⑤ in coring interval of Shuangjian 6 well

j1—深灰色泥岩; j2~ j7—深灰-灰褐色泥岩; j8~ j17—灰色粉砂质泥岩; j18~ j22—深灰色泥岩

GR—自然伽马; RD—井径曲线; SP—自然电位; NR—中子灰度; WN—井壁中子; AC—声波时差; RL—微测像; LLD/LLS—深/浅测像

加明显,不仅表现在各层之间,而且砂砾岩层的层内也表现出向上变粗的特点。由泥岩-粉砂质泥岩-泥质粉砂岩-粉砂岩-细砂岩-粉砂岩-泥质粉砂岩-粉砂质泥岩-最终到泥岩,这样由细到粗再由粗到细的变化十分常见,此外还可见由泥岩-粉砂质泥岩(泥质粉砂岩)-粉砂岩-细砂岩-砾状砂岩和砾岩-细砂岩-粉砂岩-泥质粉砂岩-粉砂质泥岩的沉积序列。厚层砂砾岩内部向上变粗的特征表明其内部为各岩性渐变序列的底部砾石直径向上增大或变粗。

3 沉积机理

三角洲上的陆上分流河道前进到静止的水体后,有3种沉积方式^[9,10]:(1)当河水密度与盆地水体密度相近时,二者充分混合,河水中携带的沉积物迅速沉积,形成的河口叶状体宽而短小;(2)当河水密度较大时,河流注入水体沿盆地底部运动,由于河流的惯性力,形成的三角洲轴线稍长;(3)当河水密度小于盆地水体密度时,它就以浮力支持的表面射流或羽状流方式进入盆地,三角洲宽广而且延伸很长。对于第一类等密度流,稳定的水下分流河道存在的可能性较小,对于第二种稳定的水下分流河道延伸可能较远,墩于第3种情况,稳定的分流河道延伸也不会非常遥远,但是由于垂向落淤造成的线状河道踪迹会延续较长。

河流与盆地水体接合的地区为河口地区,河口的宽阔程度也影响到河口以外沉积物的分

布^[11]。若河口狭窄,水流流线集中,水下分流河道延伸较远,若河口宽广,则河道水流流线分散,能量分散,河水很快与盆地水体混合,水下分流河道不发育。

扇三角洲一般是由宽而浅的辫状河入湖形成的。这一特征决定其水下分流河道不发育,河道水流密度与湖盆水体密度差别不大,造成等密度轴向射流特征,因此,扇三角洲的河口以外地区难以发育典型的水下分流河道。正因为如此,扇三角洲不可能形成一般细粒曲流河三角洲那样众多的典型水下分流河道,同样,暴露在水面的拦门砂一类的河口坝就不会存在,扇三角洲河口以外的堆积必然有其特点。

在确认扇三角洲河口为等密度轴向射流条件下,我们提出扇三角洲河口外地区沉积模式(图4),该模式包括如下内容。

河道进入湖盆形成轴向射流,但由于受惯性力的影响,水流的能量和速度沿着轴向比沿着横向的能量高、速度大、延伸远。

④水流所携带的沉积物粒度随着水流能量的减弱而变细,即沿着轴向由近端向远端变细,垂直轴向从轴线中心向两侧变细。

④河道在河口处保持一定的下切作用,故最近端的沉积物堆积较薄,向远端增厚,到达一定程度后,由于水流能量和挟沙能力减弱,沉积物再次变薄。

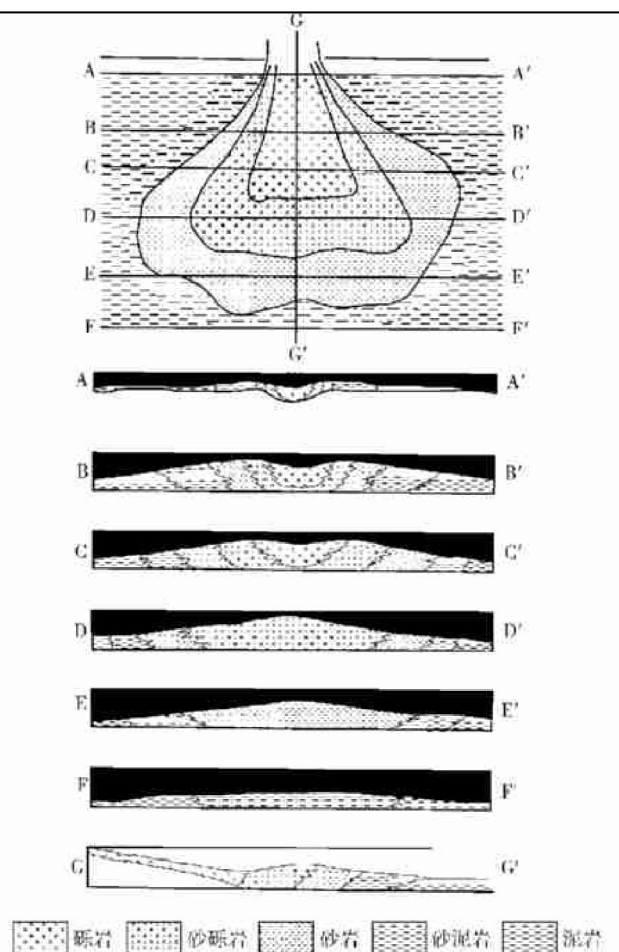


图4 扇三角洲河口外地区沉积模式

Fig. 4 Depositional model of far delta off the river mouth

垂直轴线方向具有相似的特征,即近轴线沉积厚,远离轴线部位沉积薄。

这种中间厚、两边薄的特征形成了一个凸起的坝状堆积物,这就是扇三角洲分流河口的河口坝沉积。

河口坝的前缘沉积物连片,形成席状砂。

4 垂向层序的形成机理与模式

假定随着河流不断向湖盆供应沉积物,河口坝不断向上增高,向前方和侧向推移,则必然形成一个反粒序沉积旋回,即原来的前缘沉积物被坝核沉积物覆盖,而粗粒沉积物的分布范围要小于边缘沉积物的分布范围。在沉积间歇期,形成泥质披覆,泥质来自湖泊水体中的悬移质的垂向加积,由于河道水流的存在,泥质只能在坝前缘和两侧沉积,也可能由于河流完全干涸而覆盖了整个砂坝顶面。由此造成了泥质夹层既可能与粉砂岩,也可能与细砂岩,中砂岩甚至与砾岩相接触,这种接触关系在岩心中随处可见。

但是,当河道的主流线或河道的位置发生迁移时,砂坝的垂向生长并不是沿着垂向轴线不断增高的,而是伴随着侧向迁移而增高。我们假设了3种砂坝迁移加积方式,在每种模式给出了3次砂坝迁移加积事件,并假设每个事件结束后形成不同的泥质披覆,分析在这一过程中所形成的沉积层序。

第一种模式(图5A),泥质披覆覆盖了砂坝的整个顶面。在砂坝体中心砂岩比例高,形成砂岩集中发育段,在砂坝两侧,整体粒度变细形成细粒席状砂,在砂坝以外形成泥质沉积物。总体上呈现反韵律的特征,每个砾岩段顶面都可保存泥岩。

第二种模式(图5B),泥质披覆仅分布在砂坝两侧一定范围,未延伸到坝顶部。随着砂坝的迁移,砾岩层叠加,但彼此之间并没有出现泥质夹层,泥质夹层仅分布在砂坝两侧,细砂岩、粉砂岩段泥质夹层众多,砾岩、粗砂岩中泥质夹层少。

第三种模式(图5C),泥质夹层仅分布在砂坝两侧极小范围内。连续砂岩段很厚,特别是在砂坝中部很厚的砂层中未见有夹层,砂层之间相互接触,泥质夹层仅与粉砂岩形成互层,构成席状砂。

上述3种模式既有相同点又有不同点。相同点如下:(1)总体上的反旋回,即沉积物自下而上总体上变粗;(2)各砂层段内部的粒序为正旋回,因为它们各自代表一次水流由强到弱的变化过程,没有这一过程,就没有沉积作用;(3)靠近轴线部位总是砂砾岩集中发育段,由中心到两侧,总体粒度变细,砂砾质含量减少,泥质含量增加,泥岩单层厚度和层数增加;(4)由于砂坝迁移的不对称特征,造成砂坝中心两侧层序的不对称特性。3种模式不同之处表现为随着泥质披覆范围的扩大,砂砾岩中的隔层数增加,砂砾层之间连通性变差,非均质程度增加,而且由于泥质层的缺失或增加造成层内对比的难度增大。

应用上述模式可以很好地解决岩心观察所面临的问题,包括:(1)正粒序和反旋回的地层层序;(2)厚层的砂砾岩层发育,有时为连续沉积,中间无夹层,有时有夹层;(3)粒级的缺失,如砾岩直接与泥岩接触等。

5 讨论

扇三角洲的河口坝不是普通的坝状砂体,它

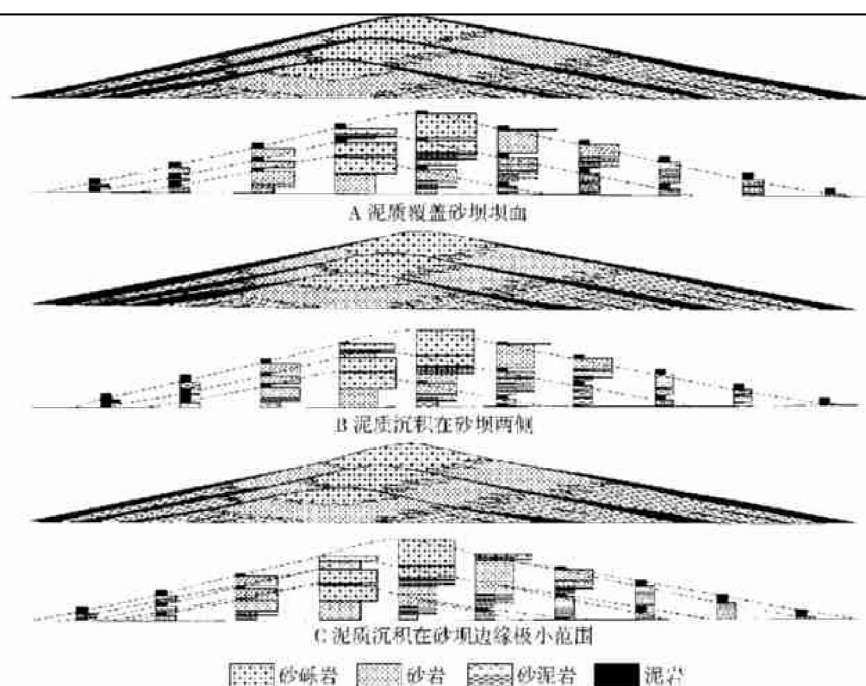


图5 河口坝的3种加积方式及形成的地层层序

Fig. 5 Three aggradation modes and stratigraphic sequences of river mouth bar

实际上是河流入湖后所形成的一系列微相的组合。所以,我们提出河口坝复合砂体概念—并将之定义为扇三角洲辫状分流河道进入盆地水体后在河口附近形成的以河口坝为主的一系列微相的组合,它主要包括坝核、坝侧缘、坝边缘、坝前缘、席状砂和坝间6个微相类型。坝核粒度最粗,是河流主流线影响的轴线部位,以砾岩、砾状砂岩和粗砂岩为特征,一般形成块状层理、平行层理,偶而可见大型交错层和底部侵蚀面。坝侧缘分布在坝核的两侧,岩性以中砂岩和细砂岩为主,少量粗砂岩和粉砂岩,一般以平行层理、小型低角度沙纹层理为特征,难以看到侵蚀面一类的构造。砂岩中可见破碎泥片等物质,岩石分选较好。坝边缘粒度最细,发育粉砂、泥质粉砂和粉砂质泥岩,以漫流和垂向加积为主,洪泛事件形成的悬移质在此发育,有可能形成一些小型沙纹、波状、脉状、透镜状层理和变形构造。坝前缘类似于坝侧缘,席状砂沉积类似于坝边缘沉积。坝间是两个砂坝复合体的交互部位,一般以泥质沉积为标志。

河口坝复合体垂直于轴向可分为坝核、核侧缘、坝边缘和坝间,平行于轴向可分为坝核、核前缘和席状砂。在河口坝复合砂体层理不太发育的条件下,岩石粒度是区分它们的重要标志,因此,在地下对比和相分析中,重点是准确地划分岩性。

在判别是否河口坝复合体时,主要把握以下原则:(1)三角洲沉积相带的界线和湖岸线的位置;(2)反旋回的地层层序;(3)岩性段内的正韵律;(4)交错层理不发育,以平行层理为主;(5)水下泥岩标志和化石。

致谢:感谢河南油田研究院对研究工作的资助和支持,感谢李联伍总经理、樊中海副总经理、原副总地质师宋振宇教授级高级工程师等专家给予本项研究工作的指导和关心。

参 考 文 献

- 1 裴泽楠,薛叔浩,应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京:石油工业出版社, 1997. 309~ 329
- 2 陈程,孙义梅. 油田开发后期扇三角洲前缘微相分析与应用[J]. 现代地质, 2000, 15(1): 88~ 93
Chen Cheng, Sun Yimei. Microfacies analysis of fan delta front and its application in Shuanghe oilfield [J]. Geoscience, 2000, 15(1): 88~ 93
- 3 Francesco M, Alblinna C. Evolution and types of fan delta systems in some major tectonic settings [A]. In : Nemec W, Steel R J. Fan deltas: sedimentology and tectonic settings [C]. London: Blackie and Son Ltd, 1988. 103~ 123
- 4 William A W, Frank G E. 扇三角洲的沉积学和构造背景——Yallaha 扇三角洲 [A]. 吴崇筠,译. 中国石油学会石油地质委员会编. 国外浊积岩和扇三角洲研究 [C]. 北京:石油工业出版社, 1986. 255~ 274

(下转第113页)

- 1999, 20(1): 46–48
- 7 Ren Zhanli, Wang Shicheng, Zhao Zhongyuan. Determination of palaeotemperature and palaeogeothermal gradient in Qinshui basin[J]. Progress in Natural Science, 2000, 10(4): 232–238
 - 8 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
 - 9 任战利. 沁水盆地沁参1井大地热流值确定[J]. 地质科学, 1998, 32(2): 251–254
Ren Zhanli. Determination of the geothermal heat flow of well Qincan No. 1 in Qinshui basin[J]. Chinese Journal of Geology, 1998, 32(2): 251–254
 - 10 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗绿岩体中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(1): 35–40
Chen Yanjing, Guo Guangjun, Li Xin. Geodynamic background of Mesozoic golden ore formation in granitic-greenstone terrain on North China craton[J]. Science in China(series D), 1998, 28(1): 35–40
 - 11 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到的启示[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 289–299
Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, et al. Geodynamic background of broad ore formation in scale on Mesozoic in North China and adjacent region: guidance from accurate measurements of metallic ores ages[J]. Science in China(series D), 2003, 33(4): 289–299
 - 12 罗照华, 邓晋福, 李王文, 等. 太行山构造岩浆带 K-Ar 法同位素年龄分析[J]. 现代地质, 1996, 10(3): 344–349
Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Li Yuwen, et al. Interpretation of K-Ar ages of Taihang tectonomagmatic belt[J]. Geoscience, 1996, 10(3): 344–349
 - 13 Naeser N D, Naeser C W, McCullon T H. The application of fission track dating to the depositional and thermal history of rock in sedimentary basins[A]. In: Naeser N D, McCullon T H. Thermal history of sedimentary basins: methods and case history[C]. Beijing: Springer-Verlag, 1989. 157–180
 - 14 Fitzgerald P G, Gleadow A J W. Fission track geochronology, tectonics and structure of the Transantarctic mountains in Northern Victoria Land[J]. Antarctica Chem Geol, 1988, 73: 169–198
 - 15 Brandon M T, Vance J A. Fission track ages of detrital zircons: implications for the tectonic evolution of the Cenozoic Olympic subduction complex[J]. Am J Sci, 1992, 292: 565–636
 - 16 Hurford A J. Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps, south central Switzerland, and an age of vertical movement on the Insubric fault line[J]. J Contrib Min Petrol, 1986, 92: 413–427
 - 17 任战利, 赵重远. 中生代晚期中国北方沉积盆地古地热梯度及对比[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 1–4
Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan. Palaeogeothermal gradient and comparison of sedimentary basins on Mesozoic in the north China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(6): 1–4
 - 18 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 33–37
Ren Zhanli. Comparison of thermal evolution history in sedimentary basins in the north China[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 33–37
 - 19 刘池洋, 赵重远, 杨新科, 等. 活动性强、深部作用活跃——中国沉积盆地的两个重要特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 1–6
Liu Chiyang, Zhao Zhongyuan, Yang Xingke, et al. Strong activity and active deep action: two important features of Chinese sedimentary basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 1–2
 - 20 李吉钧, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆生的时代、幅度和形式的探讨[J]. 中国科学(D辑), 1979, 9(6): 608–616
Li Jijun, Wen Shixuan, Qingsong, et al. Explorations on times, scopes and forms of Qinghai-Xizang plateau uplift[J]. Science in China(series D), 1979, 9(6): 608–616
-
- (上接第103页)
- 5 王寿庆. 扇三角洲模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
 - 6 夏长淮, 张春生, 周海彬, 等. 濮阳凹陷白庙气田沙河街组三段下亚段扇三角洲沉积模拟研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 218–223
Xia Changhuai, Zhang Chunsheng, Zhou Haibin, et al. Study on sedimentary simulation of fan delta in lower submember E_{3s} of Baimiao gasfield in Puyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 218–223
 - 7 杨剑萍, 赵卫卫, 姜在兴. 沾化凹陷孤北油田古近系沙三段扇三角洲沉积特征及油气储层意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 157–161
Yang Jianping, Zhao Weiwei, Jiang Zaixing. Sedimentary characteristic and reservoir significance of Eocene E_{3s} fan delta in Gubei oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 157–161
 - 8 李文厚, 赵文智. 酒东盆地营尔凹陷的扇三角洲[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 300–304
Li Wenhou, Zhao Wenzhi. Fan delta in Ying'er sag, Jiudong basin [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 300–304
 - 9 刘宝琛. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980
 - 10 钱宁, 张仁. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987
 - 11 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系两类三角洲沉积机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 68–71
He Yizhong, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Discussion on sedimentation mechanism of two kind deltas from Permian-Carboniferous of central Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 68–71