

构造断阶与砂体预测:以沾化凹陷富林地区为例*

程日辉¹, 郑和荣², 林畅松¹

(1. 中国地质大学能源系, 北京 100083; 2. 胜利石油管理局地质科学研究院, 山东东营 257001)

摘要: 构造断阶带包括陡坡和缓坡断阶带。因地形差异, 陡坡和缓坡对砂体的控制作用存在明显不同。低水位期, 陡坡一侧发育冲积扇、扇三角洲; 缓坡一侧发育河流冲积平原、小型冲积扇或三角洲。湖进期, 陡坡一侧由岸向湖, 不同断阶上分别发育冲积扇或扇三角洲的近-中端, 中-远端, 在靠近深洼部位发育湖底浊积扇或其它重力流沉积体; 缓坡一侧, 则表现为前期沉积的砂体向物源方向的退积。高水位期, 因地形变缓断阶作用变小, 整体表现为三角洲向盆地的进积, 呈延长楔形或透镜状。另外, 断阶中断裂活动的先后次序和迁移方向, 对砂体的分布也有明显控制作用。运用这些规律, 可为在地震剖面上预测砂体提供有效约束。

关键词: 构造断阶; 砂体; 预测; 沾化凹陷

第一作者简介: 程日辉, 男, 36岁, 副教授(博士后), 煤、油气地质与勘探

中图分类号: P618.130.2 **文献标识码:** A

Dickey^[1]在1972年论及到:“我们经常用老方法在新区发现石油, 但很少用老方法在老区发现更多的石油。在过去的日子里我们曾考虑放弃石油, 然而如今我们唯有改变方法”。层序地层学^[2,3]和构造地层学^[4]等, 不仅成为研究盆地充填动力学的重要理论^[5], 亦成为寻找隐蔽圈闭的重要技术。

在年代地层格架中预测砂体形成与分布状态是确定隐蔽圈闭的重要方面; 然而陆相地层往往遇到与源于被动陆缘的层序模式不尽一致的情况。我国许多学者已普遍地认识到陆相层序的特殊性^[6~8], 并认为构造(作用)具控制意义, 因此构造-地层分析与层序地层分析结合成为盆地研究的主要趋势之一。本文以构造控制沉积的思想, 通过分析陆相盆地构造断阶样式来进行砂体预测。

1 构造断阶和构造断阶带

构造断阶是指盆地边缘因断块差异沉降所形成的沉积斜坡地形呈阶梯变化的一种构造样式(图1)。构造断阶具有下列特性: (1) 不仅发育在箕状盆地的缓坡边缘, 也可以发育在陡坡边缘(主控断

裂发育一侧); (2) 在盆地的斜坡上可以发育多个断阶, 组成构造断阶带; (3) 对沉积体具有特殊的控制作用(后述); (4) 构造坡折(带)是个三维概念, 理想条件下的构造断阶应该是平行于控制性断层或凸起呈带状分布。但因各级断层以及同一断层的不同地段断块活动的差异, 其分布并不很规则, 常常表现出某一区域发育, 尤其是第二和第三断阶更是如此。

构造断阶和构造断阶带的运用是基于地震反射剖面的解释, 因为由地震反射资料所反映出的地下地质信息是露头 and 钻井资料难以提供和识别的。

2 构造断阶带与砂质沉积体

砂质沉积体是指沉积盆地中砾、砂级沉积物组成的骨架沉积体(简称砂体)。在伸展盆地中, 犁式正断层几何学与盆地容纳空间和地层几何学的对应关系的研究, 已取得重大进展^[9,10], 然而在细节研究方面如构造形态如何影响沉积体的几何特征相对较为薄弱。由于与伸展作用相联的断块运动, 在断层面和上盘之间形成盆地的可容纳空间, 构造断阶(带)的存在使得可容纳空间几何学复杂化和具体化(与具体的断裂几何学相联系)。我们具体讨论断阶带与砂体发育及形态的关系。

2.1 陡坡边缘

箕状盆地主控断层一侧成为陡坡边缘。构造

* 本研究得到胜利石油管理局“九五”重大项目“济阳坳陷第三系构造、沉积和含油性”及博士后基金项目“渤海湾盆地沾化凹陷构造地层分析及古间断面研究”的资助

收稿日期: 1999-04-14

断阶带在此类型边缘上的发育通常有两种主要的情况,一是只发育一个斜坡带,上翘方向以主控断层与凸起相接,下倾方向过渡为深洼(图 1a);二是

两个或两个以上的斜坡带,即凸起和洼陷间存在一个或一个以上的台阶(图 1b, c)。

在第一种情况下犁式正断层的断距很大,其下

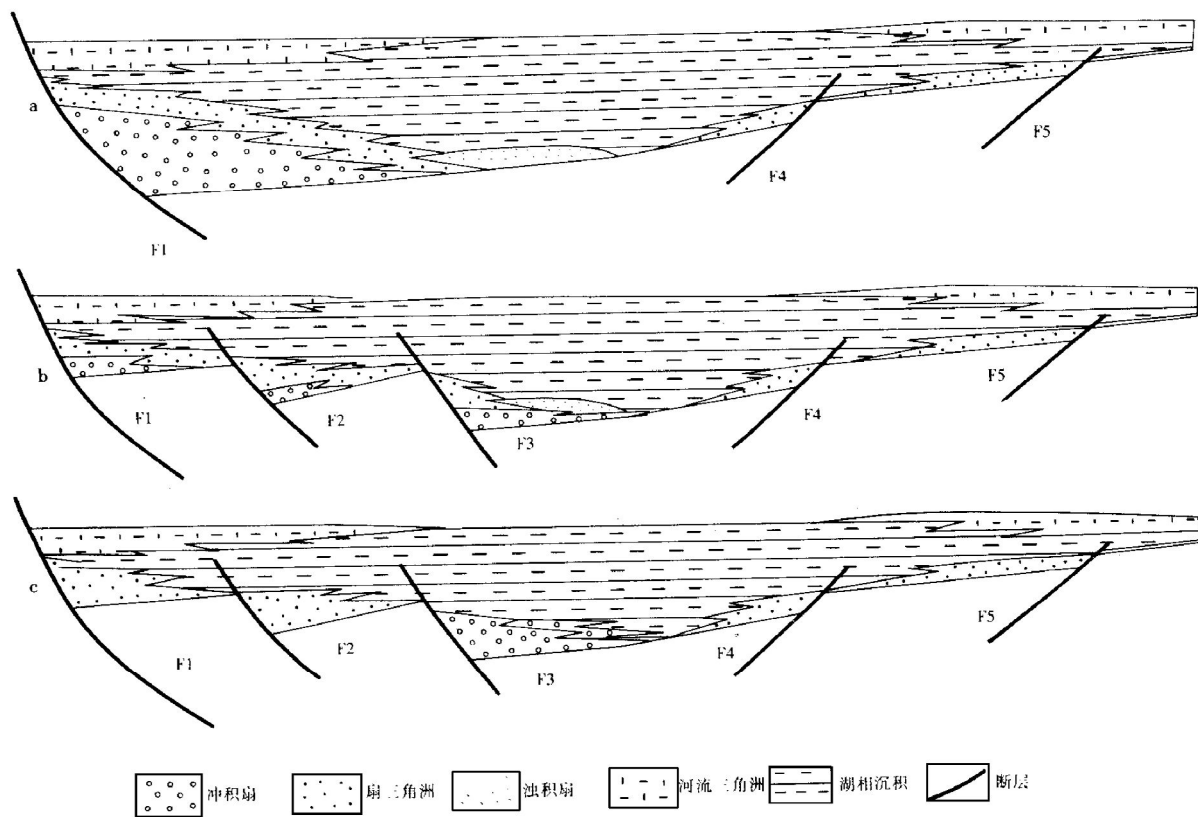


图1 一个层序过程中构造断阶带对扇沉积体的控制(示意图)

Fig. 1 Fault terrace controlled depositional fans during the evolution of a sequence (sketch map)

a—单一断层控制的断阶; b—多断层控制的断阶(同时活动或依次向盆地活动); c—多断层控制的断阶(依次向陆活动)

降盘接受沉积,上升盘可能成为直接的物源区,遭受剥蚀,并通过斜坡带与深洼相连接(图 1a)。沾化凹陷的断层在原始地表的倾角多为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$,在深处逐渐变缓。粗沉积物在陡坡带上快速堆积,形成楔形沉积体。此类沉积体在低位期和湖进期均发育。低位期这种沉积体为冲积扇,向盆内过渡为扇前洪泛平原沉积或浅湖沉积,在盆地中心部位可能有透镜状河道砂体;湖进期这种沉积体为冲积扇-扇三角洲,向盆内过渡为半深湖泥质沉积。总之陡坡带的砂体在低位和湖进期以楔形体与其它类型的细粒沉积呈指状交互,相带比缓坡较窄。高位期物源区与盆地的高差相对减少,加之前期沉积物充填,使斜坡带变缓,在碎屑供给充足的条件下,发育辫状三角洲,呈延长的楔状和透镜状砂体。

第二种情况下沉积斜坡上发育一系列的同向犁式正断层(图 1b, c),有两种类型:(1)系列断层同时活动;(2)系列断层依次活动。

在系列断层同时活动的背景下(图 1b),断层 1

之上的凸起成为主要的物源区,提供碎屑沉积物。第一、第二断阶带通常为沉积物通道,仅在坡地根部残存由粗粒构成的小型楔形体。第三断阶或深洼中的砂质沉积物,亦呈楔形体,规模比上一台阶可大可小。在低位期第三断阶发育冲积扇和扇三角洲,上部台阶发育冲积扇和下切谷。在湖进期第三断阶或深洼中发育楔形扇三角洲砂体(远端)和湖底浊积扇体(呈透镜状),以及其它的水下重力流沉积体;第二断阶主要发育扇三角洲(中-远端);第一坡折带发育冲积扇和扇三角洲(近-中端),并发育水下河道,沉积物被直接运到深洼。

在系列断层依次活动的背景下,构造样式又可分为前进式和后退式。前进式的砂体发育与系列断层同时活动的情况基本近似,这里主要讨论后退式(图 1c)。断层 3 的首先活动导致冲积扇在盆地深处沉积,以楔形体与扇前洪泛沉积或浅湖沉积呈指状相变。断层 2 的活动与湖进相联系,在第二断阶形成了冲积扇-扇三角洲砂体,以楔形体呈指状

与湖相泥岩相变。断层1的活动与最大湖进相联,在第一断阶带形成冲积扇-扇三角洲砂体,亦以楔形体呈指状与湖相泥岩相变。各断层下降盘的扇体皆为湖相泥岩所覆盖。

高位期第二种情况与第一种情况相似,表现为延长的透镜状砂体发育。

2.2 缓坡边缘

箕状盆地非主控断层一侧为缓坡边缘,其形成与主控断层拉伸活动上盘的滚动变形相联系^[9]。在这个缓坡上往往发育一系列反向(与主断层)调节或次生正断层,与陡坡带断层相比断距较小,构造断阶的影响相对减小。然而在断距达到一定程度引起地形变化显著的情况下,亦可形成构造断阶(带)。低位期坡折以上发育河流冲积平原沉积,坡折之下形成小型冲积扇体或辫状三角洲砂体,呈楔形或透镜状。湖进期上述相应的砂体均向物源方向后退,在斜坡带和盆地深处往往可形成浊积扇和其它水下重力流沉积体。高水位期三角洲向盆地进积,呈延长楔形或透镜状。

3 砂体预测

构造断阶与砂体预测的研究是在地震反射剖面上进行的,并通过钻井资料证实或校正。构造断阶的意义在于为地震相的沉积解释提供约束。

3.1 几种主要砂体的地震反射特征

根据沾化凹陷三维地震反射资料,可以识别以

下与砂质沉积有关的特征性地震相,并进行了可能的沉积相解释。

斜交前积相: 前积同相轴具有明显的下超和上超终止现象,连续性较好,中-强振幅,常呈透镜状,可解释为三角洲相。

楔形杂乱相: 外形呈楔形,由不连续、不规则的发射结构组成,内部缺少有序排列的波阻抗界面,可解释为冲积扇相或水下重力流沉积相。

楔形(杂乱)前积相: 外形呈楔形,也呈透镜状;内部不连续,呈杂乱状,但总体具有向前积斜坡倾斜的趋势,可解释为扇三角洲相。

斜交杂乱前积相: 外形呈楔形或呈透镜状,由斜交前积和杂乱前积交替组成,一般杂乱反射位于近物源一侧,可解释为扇三角洲或辫状河三角洲相。

3.2 实例

沾化凹陷是第三纪渤海湾盆地济阳坳陷的一部分。由于断层的分割作用,沾化凹陷又可进一步分成若干次级洼陷,富林洼陷便是其中之一。在地震剖面构造-地层解释的基础上,根据地震反射特征的差异性以构造断阶带为约束,在层序地层格架中进行砂体预测。解释的地层为沙河街组三段上部层序,盆地构造样式为箕状半地堑的一部分,缓坡带由两条同沉积断层所形成的两个构造断阶带构成(图2)。低位期在第一断阶带上发育扇三角洲的中-近端,在第二断阶带直至凹陷中部发育扇

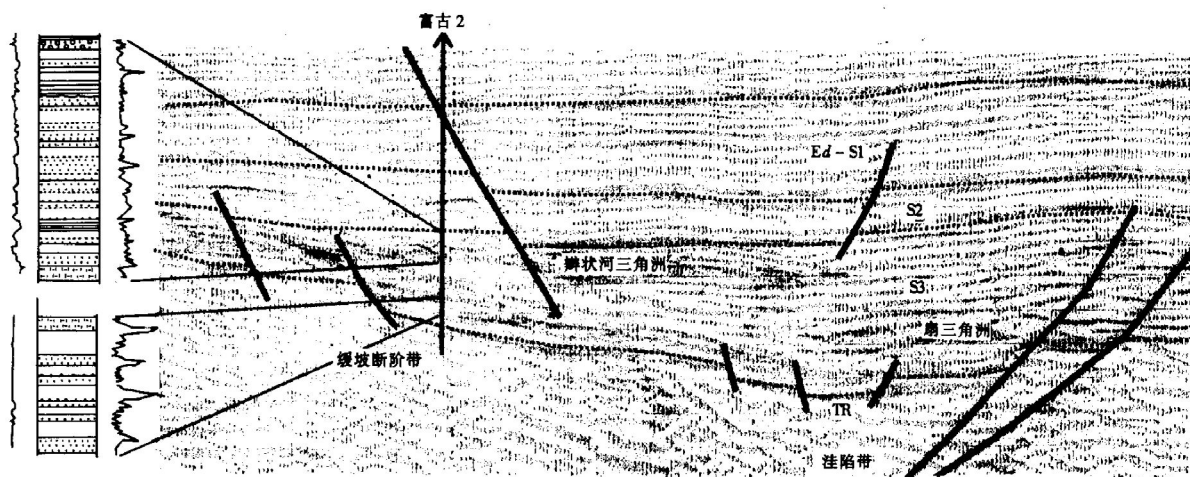


图2 富林地区 135.8 剖面沙河街组三段上部扇体发育特征

Fig. 2 evolution characteristics of depositional fans from 135.8 section of upper Sha3 Member in Fulin area

三角洲的中-远端,地震相为楔形前积相。这一套砂体总体呈长楔形,其上覆盖着水进期的泥质沉积,地震相为平行或亚平行。水进期的泥质沉积不

断超覆达到第一断阶带之上的凸起边缘。高位期,第一断阶的作用已不明显,而第二断阶仍对砂体的发育有一定的控制作用,表现在上盘与下盘砂体厚

度有明显变化。高位期的辫状河三角洲砂体呈长透镜状,地震相为斜交前积相。富古2井所揭示的信息验证了根据地震剖面运用构造坡折和构造坡折带进行的砂体预测,上部砂体以砂为主,下部以砂砾为主。

本文的研究目的旨在利用地震反射剖面来预测砂质沉积体的赋存状态,而非各种砂体的详细沉积学分析,砂体是否存在需实践的检验。

本项研究得到胜利石油管理局九五重大项目及博士后基金的资助,特此感谢油田和学校同仁的支持。

参 考 文 献

- 1 Dickey P A. Geology of field of West Siberian Lowland[J]. AAPG Bull, 1972, 56(3): 454~ 471
- 2 Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation: using sequence stratigraphy, part I: Seismic stratigraphy interpretation procedure[A]. In: Bally A W, ed. Atlas of seismic Stratigraphy. AAPG Studies in Geology, 1987, 27: 1~ 10
- 3 Posamentier H W, Weimer W P. Siliciclastic sequence stratigraphy and petroleum geology— where to form here[J]. AAPG Bull, 1993, 77(5): 731~ 742
- 4 Cohen A S. Tectono-stratigraphic model for sedimentation in Lake Tanganyika Africa[A]. In: Katz B J, ed. Lacustrine basin exploration— case studies and modern analogues. AAPG Mem, 1991, 50: 137~ 150
- 5 李思田. 沉积盆地的动力学分析——盆地研究领域的主要趋向[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 1~ 8
- 6 李思田, 李贞, 林畅松. 含煤地层中层序地层分析中的若干问题[J]. 煤田地质与勘探, 1993, 21(4): 1~ 8
- 7 徐怀大. 如何推动我国层序地层学的迅速发展[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 103~ 113
- 8 林畅松, 李思田, 任建业. 断陷湖盆层序研究和计算机模拟——以二连盆地乌里雅斯断陷为例[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 124~ 132
- 9 Dula W F Jr. Geometric models of listric normal faults and rollover folds[J]. AAPG Bull, 1991, 75(10): 1 609~ 1 625
- 10 Shaw H, Hock S C, Sitohong E P. Extensional fault-bend folding and synrift deposition, an example from the central Sumatra Basin, Indonesia[J]. AAPG Bull, 1997, 81(3): 367~ 379

STRUCTURAL FAULT TERRACE AND SAND-BODY PREDICTION: AN EXAMPLE FROM FULIN AREA, ZHANHUA SAG

Cheng Rihui¹, Zheng Herong², Lin Changsong¹)

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. Geological Research Institute, Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong)

Abstract: Structural fault terrace zone incloses steep and gentle slopes. The control of the both kinds of slopes on sand-bodies are different due to topography. During lowstand, alluvial fan, fan delta developed on steep slope while fluvial plain, small alluvial fan and fan delta developed on gentle slope. During progression period, fan head, midfan and far end of alluvial fan or fan delta developed on different fault terraces, turbidite fan and gravity flow deposits developed on deep depressed position, while retrogradation of predepositional sandbodies developed on the gentle slope. During high stand, wedge and lense shaped deposits of delta progradation developed on the whole area. Besides, fault activities and their migration directions also influenced the distribution of sandbodies. These regularities could be used to predict sandbodies on seismic profile.

Key Words: structural fault terrace; sandbody; prediction; Zhanhua Sag