

徐家围子断阶带对火山岩体和沉积相带的控制*

程日辉¹, 王璞琨¹, 刘万洙¹, 单玄龙¹, 陈树民²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061; 2. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712)

摘要: 徐家围子断陷在晚侏罗世—早白垩世期间从断陷边缘至断陷中心形成一系列的断阶带, 控制断阶带形成的同沉积断层也分割了凸起带、斜坡带和凹陷带等次级盆地单元。徐家围子断陷的次级构造单元在断陷北部和南部存在差别。北部区由东、西两个半地堑组成, 而南部区由3个半地堑组成。每个半地堑一般是由盆缘凸起带、陡坡断阶带、凹陷带和缓坡或缓坡断阶带组成, 半地堑之间为次级凸起。断阶带的发育控制了盆地自边缘至凹陷的地形, 因此控制了沉积相类型与分布; 同时断裂活动引发的或与断裂活动伴生的火山活动导致火山物质的盆地充填, 改造或塑造盆地次级单元构造样式和盆地地形, 因此也控制沉积相类型与分布。徐家围子断陷的断阶带控制了火山岩体和沉积相带的分布, 这种控制作用受多种因素影响, 并非单一机制所能解释。

关键词: 断阶带; 火山岩体; 幕式活动; 沉积相; 分布; 松辽盆地

第一作者简介: 程日辉, 男, 39岁, 副教授(博士), 沉积学及石油地质

中图分类号: P618

文献标识码: A

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, 呈阶梯状变化的一种构造样式^[1]。徐家围子断陷是松辽盆地晚侏罗世—早白垩世发育的众多断陷之一^[2]。其明显的地质特征是断裂和火山活动强烈。走向NE(或NNE)和NW(或NNW)的两组主要断裂系统控制了断陷和次级盆地单元的构造格架, 塑造了不同单元的构造样式。

对于伸展盆地而言, 其构造—地层模型仍集中在盆地级别上而不是地层几何学的细节上^[3]。虽然近年来相关的研究展示伸展背景下断层的形成、传播和连结对物源区、流域区、盆缘—斜坡区和盆内区的地形具有控制作用, 因而在不同地形上堆积和保存的沉积体(尤其是粗碎屑物)具有不同的几何型式^[4~7], 但对有火山岩的盆地充填样式与构造样式对应性讨论相对较少。

1 次级盆地单元和断阶带

徐家围子断陷的次级盆地单元在断陷北部和南部存在差别(图1)。北部区由东西两个半地堑组成, 断陷内部的升平凸起将两个半地堑区连结在一起。升平凸起东侧断层为东部半地堑的主控

断层, 而凸起西侧断层为西部半地堑缓坡带的边界。升平凸起北高南低, 并在东南逐渐消失, 两个半地堑转变为一个较大的半地堑, 呈西断东超的构造样式。南部区由于朝阳沟凸起和Zs1—二站凸起的分割而形成3个半地堑区。每个半地堑是由盆缘凸起带、陡坡断阶带、凹陷带和缓坡或缓坡断阶带等次级盆地单元组成。北部区与南部区在断陷的中部分界, 构造特征是断陷西缘控盆断裂在北部区以NW向为主, 次级盆地单元也是沿NW或NNW方向展布的; 而南部区断陷西缘控盆断裂由NE和NW断裂组成, 因此西部半地堑由NE展布转为NW展布, 中部半地堑为SN展布, 东部半地堑为NNE展布。在南北分界处断陷西缘隆起向断陷内延伸, 向东逐渐消失。

徐家围子断陷的断阶带均发育在断陷斜坡上, 包括陡坡断阶带和缓坡断阶带, 可以分为单级、二级、三级和多级4种类型。在断阶带的转折点可以形成坡折—构造坡折^[8], 因此坡折也是多级的。断陷斜坡地形的突然变化或构造坡折可以控制水流动力特征、沉积物流和水体的地理分区(如浅水区和深水区)。断阶带和坡折的空间赋存形态与断层的活动规模、断层传播和断层连结有关, 因此在走向延伸方面不同地带的断阶带存在差异。

* 国家自然科学基金资助项目(编号: 49894190-12)

收稿日期: 2002-04-16

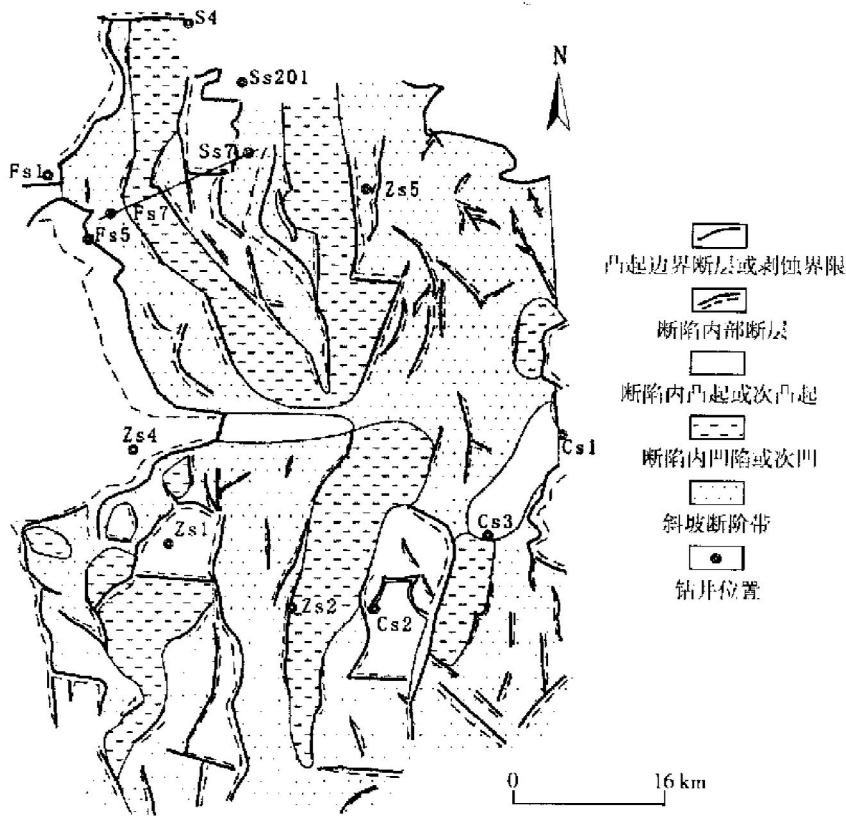


图 1 徐家围子断陷次级构造单元及断阶带的分布

Fig. 1 Distribution of secondary tectonic units and fault terrace belts in Xujiaweizi fault depression

2 控制作用

断阶带的发育不仅控制了断陷斜坡的地形,而且也控制了其上堆积的充填物的几何形态。徐家围子断陷的盆地充填物质中既有正常的沉积物质也有火山物质。火石岭组和营城组的火山岩大面积发育,反映出强烈的断裂-火山活动。火山事件是盆地形成动力学机制的反映,对盆地充填和环境突变具有控制作用^[9~12]。根据徐家围子断陷构造样式(火山岩的喷发位置与断裂或断阶带的关系)与火山岩的赋存状态可以识别出 3 种火山岩喷发-赋存型式^[13]。徐家围子断阶带由 4 条正断层和相应断块组成,由凸起到凹陷形成了 3 个断阶和 3 个构造坡折(图 2)。3 个断阶和凹陷中的地震相均为强反射前积型,呈楔状。根据 Ss7 井火山岩的发育特征分析,火山口发育在升平凸起上,属于在上升盘喷发-赋存型式。因此断阶带上的堆积为火山物质、熔岩与火山碎屑岩互层。详细的地层结构分析表明,断阶带的形成与火山活动有关,即随着火山的多次喷发,自火山口至凹陷方向依次形成断裂系列。根据地震反射结构和

同相轴对比可以识别出 3 个火山喷发旋回:第一次喷发的级别较小,断层 1 和断层 2 形成并活动,形成第一断阶。该旋回由层 1 和层 2 构成,分别代表火山熔岩和火山碎屑岩。第二旋回喷发的级别最大,在断层 1 和断层 2 继续活动的情况下,断层 3 开始发育,形成第二断阶和第三断阶。该旋回由层 3 和层 4 构成,分别代表火山熔岩和火山碎屑岩。第三旋回喷发的级别稍小,由层 5 和层 6 构成。在火山物质充填的过程中,4 条断层继续活动,层 6 沉积时下伏岩层遭受了剥蚀,层 6 沉积具有火山碎屑岩性质,属于火山碎屑冲积扇。

断阶带的发育是与凹陷另侧的主控断层活动同时的,因此也可以认为该缓坡断阶带的形成也与主断层下降盘沉降时调节机制有关。在主断层活动同时,凹陷的另侧充填了巨厚的陆源碎屑楔形体,与火山岩相比地震反射弱,振幅小,也为前积型,属于低位冲积扇沉积。低位冲积扇与断阶带上的火山岩共同构成了火石岭组早期充填序列。中期充填序列地震反射特征表现为低振幅,弱反射,向盆缘两侧具有上超现象。可以解释为主要以湖沼相沉积为主。晚期充填序列地震相的

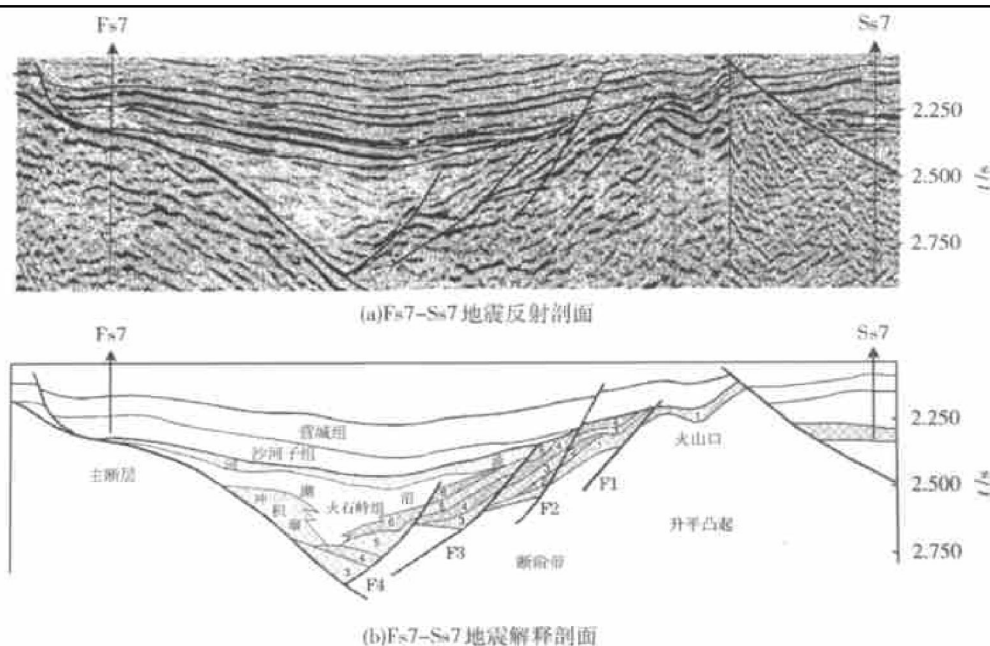


图2 构造断阶带与火山岩体及地层结构

Fig. 2 Relation of fault terrace belts with volcanic massifs and stratigraphic structures

几何形态呈拉长的透镜状, 对下伏地震反射具有削截现象, 可以解释为以河流沉积为主, 对火山岩具有明显的侵蚀作用。3期的充填形成盆地层序地层格架, 展示了断裂-火山活动背景层序地层结构。

由于系列断裂的分割与组合, 形成了现今的徐家围子断陷的次级盆地单元。但各个断层开始活动的时间是不同的。不同构造阶段的次级盆地单元虽然有继承性, 但具体几何样式、发育位置和分布范围等存在着显著差别。徐家围子断陷整个北部区为一复合半地堑, 主断层为NNE-NW向的复合断层, 西缘带为陡坡, 而东缘带为缓坡。由于断陷北中部存在凸起(升平凸起), 凸起的两侧也形成斜坡带。在断陷斜坡带上发育断阶带, 以升平凸起西侧和东南缘的缓坡断阶带最为显著(图3)。北部区发育的火山岩主要分布在环升平凸起地区和东南斜坡区。升平凸起的形成、发育及其层序样式受火山活动的控制, 而火山岩的分布则受断裂和断阶带的控制。如Fs7-Ss7剖面的火山岩是通过断阶带传输到凹陷中的。东南斜坡断阶带上火山岩赋存样式也受断阶带的控制, 尤其是第二断阶之下的火山岩体, 火山岩发育在断层相交(断角)处, 呈扇形体展布, 岩性以火山碎屑岩为主。断陷西缘斜坡发育冲积扇沉积, 分布与主断层一致, 但其相带较窄。主断层走向转变处的冲

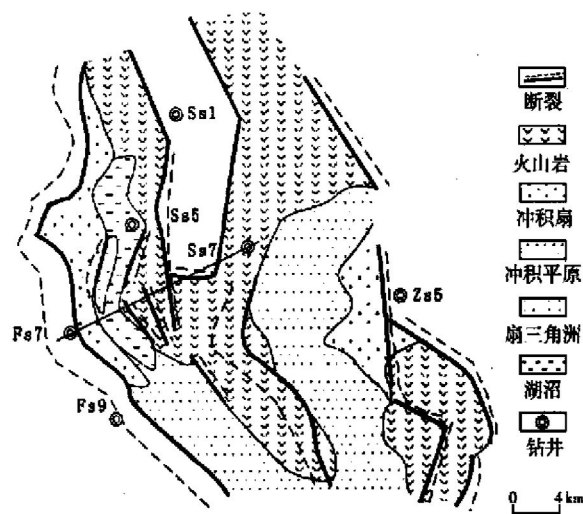


图3 徐家围子北部火石岭组断阶带与沉积相-火山岩分布

Fig. 3 Distribution of fault terrace belts formed during the deposition of Huoshiling Fm and sedimentary facies-volcanic rocks in northern part of Xujiaweizi fault depression

积扇体规模较大。此种断阶构造样式控制了陡地形和大沉降量, 可能是沉积物的主要输入通道, 同时这种构造位置由于大沉降量和陡地形, 容易形成沉积体滑脱, 使扇体加大。由于断阶的作用, 冲积扇进入汇水区域形成扇三角洲沉积。汇水区域以湖沼沉积为主, 分布在狭长的凹陷带内。东缘地区Zs5一带也发育冲积扇, 相带稍宽, 可能是由

于坡缓使得沉积物作较长距离搬运的缘故。扇体部分物源来自上一个断阶上的火山物质。断陷东、西边缘冲积扇体的前部发育有冲积平原沉积, 包括河流沉积, 在南部连在一起, 而在断陷内部为低凸起上赋存的火山岩所分割。

3 讨论

地层发育过程并非单一因素作用的结果。对湖盆而言, 除构造因素外, 气候因素也是重要的控制因素。即使仅为构造因素控制, 其作用也是不一样的。Gupta 等^[3]在展望该领域研究时提出了一些重要方面: (1) 深入了解断裂系统中断层如何传播、生长和相互作用; (2) 用地形和地层数据验证断层排列组合演化的关键特征, 而不是做更多的比较; (3) 响应于地层演化关键特征的流域系统和沉积物分散通道演化的野外研究; (4) 盆地边缘剥露的长周期记录的评价; (5) 用于探索侵蚀过程景观演化模型与用于揭示沉积作用的地层模型的有效连接研究; (6) 更好地了解气候变化对沉积物流的作用。

徐家围子地区的地层结构反映了一个构造层序的发育和演化, 揭示了在断裂幕式活动控制下层序的低位、水进和高位的充填过程。断裂的强烈活动时期对应于低位期, 火山岩和冲积扇发育。这时期不但断陷西缘主断裂强烈活动而且中部火山也强烈活动, 由此形成断陷内凸起及伴生断裂(也为主断裂的次级调节断层 F1, F2, F3 和 F4)。其主要特征是断裂不断地形成, 火山岩和粗碎屑快速充填。断裂持续活动时期对应水进期, 以细碎屑的湖沼沉积为主。这时期断陷沉降扩展, 不再有新断层形成, 已有断层继续伸展, 沉积物不断上超。断裂在高位期已基本停止活动, 主要特征为河流沉积物的进积。这种断裂-火山活动背景下的层序具有明显的特殊性: (1) 火山物质作为低位域充填的主体, 其沉积时间短但厚度大, 可以迅速改变断陷地形和形态, 充填的几何形态响应于断阶带发育; (2) 与经典的模式相比最大水进期不代表盆地范围的最大期, 因为一方面断裂活动使断陷沉降加大, 水深加大, 一方面又使盆地汇水面积变小; (3) 低位期的火山物质成为水进期和高位

期的沉积物源, 这与盆地汇水面积变小有关。徐家围子断陷各种构造样式下的层序结构明显不同, 难以用统一的构造机制来解释, Gupta 等论及的6个方面都可能在某一局部地带成为层序发育的主要控制因素。

参 考 文 献

- 1 程日辉, 郑和荣, 林畅松. 构造断阶与砂体预测: 以沾化凹陷富林地区为例[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 203~206
- 2 迟元林, 王璞瑁, 单玄龙, 等. 中国陆相含油气盆地深层地层研究——以松辽盆地为例[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2000
- 3 Gupta S, Cowie P. Processes and controls in the stratigraphic development of extensional basins[J]. Basin Research, 2000, 12(3/4): 185~194
- 4 Leeder M R, Jackson J A. The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins, with example from the western United States and Central Greece[J]. Basin Research, 1993, (5): 79~102
- 5 Magnavita L P, da Silva T E. Rift border system: the interplay between tectonics and sedimentation in the Reconcavo Basin, Northeastern Brazil[J]. AAPG Bull, 1995, 79(11): 1590~1607
- 6 Galloway W E. Siliciclastic slope and base-of-slope depositional system: component facies, stratigraphic architecture and classification[J]. AAPG Bull, 1998, 82(4): 569~595
- 7 Gawthope R L, Leeder M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins[J]. Basin Research, 2000, 12(3/4): 195~218
- 8 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260~265
- 9 程日辉, 刘招君. 松辽东缘石碑岭中生代盆地的含煤沉积旋回[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(4): 1~6
- 10 程日辉, 刘招君, 王璞瑁. 松辽盆地东部火山事件的地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(1): 57~61
- 11 Wang Pujun, Liu Wanzhu, Wang Shuxue, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, 91(2): 331~340
- 12 Wang Pujun, Ren Yanguang, Shan Xuanlong, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation[J]. Geological Journal, 2002, 37(2): 1~19
- 13 Cheng Rihui, Liu Wanzhu, Wang Pujun, et al. The sequence architecture of volcanic basin fillings—an example from Xujiaweizi faulted depression in Songliao basin[J]. Journal of Geoscientific research in Northeast Asia, 2001, 4(2): 116~119

(Please Turn to Page 135)

HYDROCARBON ORIGIN AND RESERVOIRING HISTORY OF BAIMIAO FIELD IN DONGPU DEPRESSION

Feng Jianhui^{1,2} Tan Yuming^{1,2} Luo Xiaoping^{2,3} Wang Weidong²
Pan Changchun¹ Sheng Guoying¹ Fu Jiamo¹

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, China Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong; 2. Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang, Henan; 3. Dep. of Petroleum, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan)

Abstract: Baimiao field, located in the southern part of Dongpu depression, is mainly a condensate gas field, with oil ring at the bottom. The study of biomarkers indicates that the oil in different parts of the structures might be derived from various source rocks. The crude oil in deeper position (bottom and flank) has been originated from the 2nd sub-member source rock of 3rd member, Shahejie Fm (Es_3^2), and that in the higher part of the structure top has been originated from the Es_3^3 , Es_3^4 and even Es_4 source rocks. The former, in comparison to the latter, is characterized by relatively abundant oleanane, gammacerane, C_{30} dihopane and C_{29} Ts, high values of Ts/Tm and diasterane/regular steranes ratios, and high $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ and 20S/(R+S) indexes of C_{29} steranes. The low values of $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ and 20S/(R+S) of C_{29} steranes indicate the source rocks of Es_3^3 and Es_3^4 submembers might generate hydrocarbons at early maturation stage.

Key words: Dongpu depression; oil source correlation; reservoiring history; biomarker

(Continued from Page 129)

VOLCANIC MASSIF AND SEDIMENTARY FACIES BELTS CONTROLLED BY XUJIAWEIZI FAULT TERRACE BELTS IN SONGLIAO BASIN

Cheng Rihui¹ Wang Pujun¹ Liu Wanzhu¹ Shan Xuanlong¹ Chen Shumin²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin;
2. Daqing Institute of Exploration and Development, Daqing, Heilongjiang)

Abstract: A series of fault terrace belts were found in Xujiaweizi fault depression, from the margin to the center of the depression, in late Jurassic to early Cretaceous. The synsedimentary faults, controlling the generation of fault terrace belts, segmented the secondary geological units, such as uplift belt, slope belt and hollow zone. Xujiaweizi fault-depression can be divided into north and south regions: the former consists of west and east two half-grabens; while the latter is composed of three half-grabens. Each half-graben generally consists of basin-margin uplift, steep-slope fault terrace, hollow zone and gentle-slope fault terrace. There is a secondary uplift between two half-grabens. The development of fault terrace belts controlled the topographies from the margin to the sag in the basin, and hence controlled the types of depositional facies and their distributions, too. Moreover, volcanic activities induced by faulting or associated with faulting resulted in the infilling of volcanic materials in the basin, and the transformation of secondary tectonic pattern and topography in the basin, which would, therefore, controlled the types and distribution of sedimentary facies. It is suggested that the distribution of volcanic massifs and sedimentary facies have been controlled by the fault terraces in Xujiaweizi fault depression. Such control should have been affected by multiple factors, and cannot be easily explained with a single mechanism.

Key words: fault terrace belt; volcanic massif; episodic movement; sedimentary facies; Songliao basin