

文章编号: 1001-6112(1999)03-0232-05

伊通地堑的沉积充填序列及其 对转换-伸展过程的响应

陆永潮, 任建业, 李思田, 叶洪波

(中国地质大学国土资源系, 武汉 430030)

摘要: 伊通地堑处于中国东部第三纪裂谷系向东北延伸的分支, 其东侧盆缘断裂为正断层, 西侧为高角度走滑断层, 其旁侧为扇—扇三角洲楔状体, 表明这些断裂控制着沉积充填。第三系在断陷中厚达 6000m, 油气勘探中已识别出一系列不同级别的间断面及构造反转事件, 根据大的区域性间断面划分出 3 个构造层序, 并进一步划分了三级和四级层序, 在构造层序界面处识别出了深切谷充填。在层序地层格架的基础上重建了沉积体系域。结合各阶段同生构造的配置揭示了总体伸展背景下构造体制由右旋张剪向左旋压剪的转化, 盆地属于转换-伸展性质。伸展及走滑两种机制共同控制了盆地的演化及各阶段的充填样式—沉积体系的三维配置。这一研究成果已作为预测储层和烃源岩分布及地层岩性圈闭的基础。

关键词: 沉积体系域; 层序地层格架; 伊通地堑

中图分类号: TE121.3; P618.13

文献标识码: A

0 引言

当代层序地层学的概念体系, 主要经验和模式源于大陆边缘盆地和陆内近海盆地^[1], 陆相盆地层序地层分析尚处于探索阶段, 但亦取得了一定进展^[2]。中国东部大多数中生代含油气盆地都是陆相盆地, 而且多数为走滑—伸展双重机制控制的断陷盆地^[3], 因此如何将层序地层学的理论和方法应用于陆相断陷盆地, 在我国就显得尤为重要。

伊通地堑是一狭长的、在郯庐断裂带上发展起来的转换-伸展型断陷盆地^[4-5], 充填有巨厚的下第三系地层。近 30 多年的油气资源系统的地质和地球物理勘探, 以及莫里青山油田和鹿乡长春油田的开发, 获得了大量的地球物理资料及百余口井的录井和测井曲线资料。这些丰富的勘探和开发数据为该转换-伸展型盆地的层序地层格架建立及其沉积充填对转换-伸展过程响应的研究提供了坚实的基础。

1 盆地结构及其地质背景

伊通地堑位于郯庐断裂系的北延部分——佳伊地堑系的南端, 地堑呈 NE 向窄长形展布, 面积达 3400km²。地堑被 NNE 向边界断裂夹持, NW 向断裂横切, 总体表现为隆凹相间的构造格局, 自南向北依次为莫里青山断陷、鹿乡断陷、岔路河断陷(图 1)。地堑的构造样式表现出一侧(西北边界)为大型走滑断裂, 另一侧(东南边界)为正断层限制的不对称双断式地堑组合样式。

伊通地堑的形成是沿郯庐断裂带的由右旋向左旋走滑应力场反转的结果, 这一应力场的反转则与中国大陆周缘 3 大板块(印度板块、欧亚大陆、菲律宾板块)的相互作用相关^[6-8]。白垩纪中期(100Ma ±)至渐新世, 3 大板块的相互作用致使郯庐断裂带发生右旋走滑, 伊通地堑逐渐扩展形成; 渐新世晚期至中新世, 该 3 大板块的相互作用使郯庐断裂带受左旋走滑影响, 伊通地堑发生回返和构造反转并结

收稿日期: 1999-05-04

基金项目: 地矿部重大基础项目《中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球动力学背景》资助(8502204)。

作者简介: 陆永潮(1961-), 男(汉族), 浙江宁安人, 博士, 副教授, 主要从事沉积学、层序地层学和沉积矿产等方面的教学和研究工作。

束主裂陷期的沉积充填。中新世以后该地堑进入再活动发展时期。

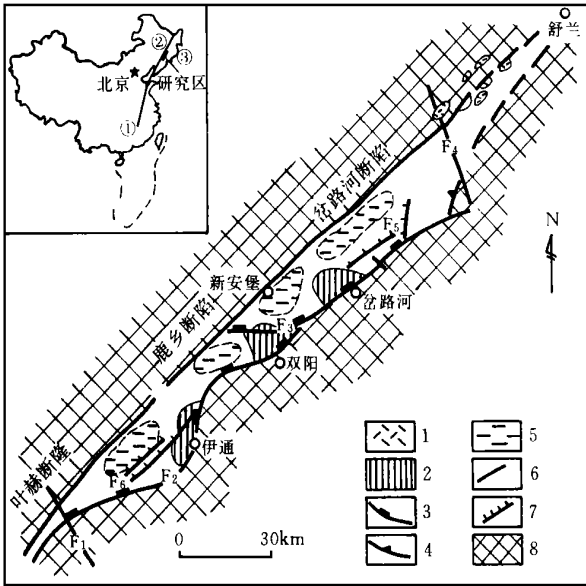


图 1 伊通地堑大地构造位置和构造单元区划略图
 1. 火山岩; 2. 隆起; 3. 边界正断层; 4. 沉积边界;
 5. 盆内洼陷; 6. 走滑转换断层; 7. 盆内正断层; 8. 基岩区
 Fig. 1 The structural division and location map of the Yitong Graben

2 伊通地堑的层序地层格架

伊通地堑内主要充填前第三系、下第三系、上第三系和第四系地层, 厚约 2 000~ 6000m。依据: (1) 地震反射结构和强震幅同相轴特征; (2) 合成地震记录中层速度值差异特征; (3) 岩心、岩屑录井与测井曲线的形态特征; (4) 副层序叠置和组合样式差异等。在伊通地堑中识别出 15 条主要的等时界面, 其中构造层序界面 2 条 (SB_G 、 SB_N), 层序组界面 2 条 (SB_C 、 SB_B), 层序界面 11 条 (SB_H 、 SB_F 、 SB_E 、 SB_D 、 SB_B^2 、 SB_B^1 、 SB_A^3 、 SB_A^2 、 SB_A^1 、 SB_N^1) (图 2)。

据此, 将伊通地堑的充填沉积划分为 3 个构造层序, 即: 前第三系构造层序 (TC1), 下第三系构造层序 (TC2), 上第三系—第四系构造层序 (TC3)。其中下第三系构造层序 (TC2) 为区内主要目的构造层序, 并可进一步划分出 3 个层序组和 14 个层序 (图 2)。

2.1 前第三系构造层序

位于 SB_G 界面以下, 地震剖面上反射波为强震

地层单元		层序地层			层序界面	年龄 /Ma	沉积构成	多幕裂陷作用			
系	统	组	段	构造层序				层序组	层序	裂陷期	裂陷幕
系四系		TS3									
上第三系		岔路河组					冲积平原沉积型		盆地转换	郑庐断裂左旋压扭	
下第三系	渐新统	齐家组	2	III	II F	SB_N^1	23.7	浅湖沉积型 高位体系域 冲积扇 辫状河三角洲 浅湖 低位体系域: 冲积平原和沼泽	主	扩 张	岩石圈深部作用
			1		II E	SB_A^1	27.8				
			3		II D	SB_A^2					
		2	II C		SB_A^3						
		1	II B		SB_A						
		1	II A		SB_B	32.0					
	始新统	永吉组	4	I	I C	SB_B^1		半深湖型 湖扩展体系域和高位体系域: 扇三角洲, 洪积扇 辫状河三角洲 半深湖, 水下扇	裂 陷	热 沉降	软流圈 沉降
			3		I B	SB_B^2					
		2	I A		SB_C	41.2					
		1	I E		SB_D						
新统	香岭组	2	I	I D	SB_E		深湖型 湖扩展体系域: 深水扇三角洲 水下扇 深水洪积岩 深湖 低位体系域: 冲积扇 深切谷 半深湖 深湖	期	走 滑 扩 张	郑庐断裂 右旋张剪	
		1		I C	SB_F	47.8					
	3	I B		SB_H							
	2	I A		SB_G							
J-K	TS1									初始裂谷期	

图 2 伊通地堑沉积充填特征、层序划分及对应的多幕裂陷作用和构造背景

Fig. 2 The sediments infilling and sequence division and the responding multiphase rifting and tectonic setting in the Yitong Graben

幅、中低频、较连续，底界面凹凸不平，与上覆双阳组呈微角度不整合。钻井揭露为白垩系的紫红色砂泥岩，下伏为花岗岩基底。分布在莫里青、岔路河断陷的深部位。

2.2 下第三系构造层序及沉积体系域

下第三系构造层序为伊通地堇主裂陷期充填沉积，其顶界为 SB_N 区域不整合面，底界为 SB_G 破裂不整合面。包括 3 个层序组 (I、II、III) 和 14 个层序 (图 2)。

层序组 I 介于 SB_G 与 SB_C 区域不整合界面间，包括双阳组、奢岭组、永吉组一段地层。由于前第三系构造层序在伊通地堇大部分地区缺乏，因此 SB_G 界面是事实上的基底界面。该层序组的时间跨度约为 10.5 Ma，厚度最大达 2000m。据其间次一级的沉积间断面和与之相对应的整合面及层序内部沉积构成和覆水条件可识别出 5 个深湖型层序 (SQ I-1、SQ I-2、SQ I-3、SQ I-4、SQ I-5) (图 2)，其特征为：(1) 各层序单元具明显的不对称性，通常地堇西北主走滑断裂侧的沉积厚度大于东南正断层侧；(2) 同一

层序的顶底界面在盆缘表现为明显的角度不整合，而向盆内则过渡为整合面；(3) 各层序以发育深湖相泥岩为其主要特征，剖面上具明显的二分性。下部为低水位的扇砾岩体；上部为湖扩展或高水位的泥岩夹砂砾层沉积。一般盆缘发育陡坡冲积扇或湖底扇 (西北主走滑断裂侧)、缓坡深水扇三角洲 (东南齿状断裂侧)，盆内为深湖浊积扇和泥岩沉积 (图 3)。(4) 从 SQ I-1 至 SQ I-5，低位体系域的厚度、分布规模变小，而湖扩展体系域 (或高位体系域) 的厚度、分布规模加大，显示层序发育的幕式伸展性。

层序组 II 介于 SB_C 与 SB_B 界面间，包括永吉组二、三、四段，可划分出 3 个半深湖型层序 (SQ II-1、SQ II-2、SQ III-3) (图 2)。厚约 300~600m，时间跨度为 5.5 Ma。垂向上，显示出由细到粗的沉积旋回，各层序的沉积特征有：(1) 以半深湖相泥岩、粉砂质泥岩沉积为主体，间夹浊积砂体，大型前积复合体少见。(2) 每个层序大部分由细粒填积 (盆内) 和退积 (盆缘) 副层序组成的湖扩展高位体系域构成，进积或加积副层序构成的低位体发育薄或不发育

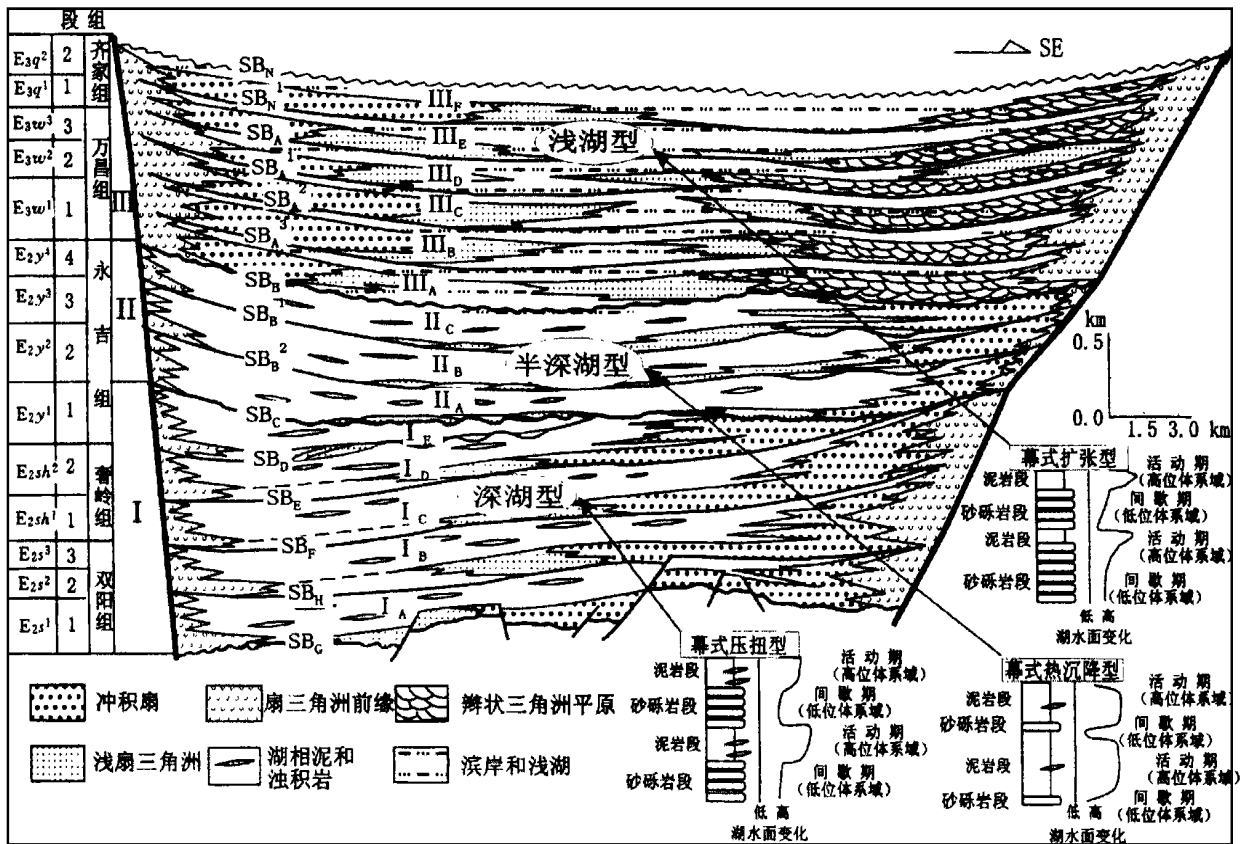


图 3 伊通地堇层序地层格架图

Fig. 3 A sequence framework of the Yitong Graben

(图3)。(3)两侧的盆缘断裂对层序的厚度控制不明显,各层序显示中部厚,两侧薄,并向两侧呈上超的“碟状”形态,指示了两侧断裂活动相对停滞,盆地整体缓慢下沉和特点。

层序组III其顶界面为 SB_N 区域不整合面,底界面为内部前缘不整合面 SB_B 。包括万昌组和齐家组地层,厚约1000~1700m。根据该层序组中已识别出的三级界面,可进一步划分出6个层序。其中万昌组中识别出4个(SQ III-1、SQ III-2、SQ III-3、SQ III-4),齐家组中识别出2个(SQ III-5、SQ III-6)。上述各层序的充填特征均具明显的二分性(图3),下部为低水位的冲积扇、扇前冲积平原的含砾砂岩夹薄层浅水洼地和沼泽沉积。上部为湖扩展或高水位的冲积扇三角洲(西北陡坡侧)、辫状冲积平原和辫状河三角洲(东南缓坡侧)及分布较大的滨浅湖的砂岩和粉砂质泥岩(盆内)。由于该层序组充填时,两侧边界断裂的强活动性,尤其是西北边界的强活动性,导致各层序呈不对称的地堑式分布样式。

2.3 上第三系—第四系构造层序(TC3)

位于 SB_N 区域不整合界面之上。包括上第三系岔路河组和第四系的粗碎屑冲积体系沉积,其岩性为砂砾岩,含砾砂岩夹泥岩、粉砂质泥岩。为断陷再活动充填的产物,厚度最大可达750m。

从上述层序特征可以看出,伊通地堑为由多个单型盆地叠复的叠合式盆地,而每个单型盆地的沉积充填代表一个构造层序。尽管研究区内前第三系构造层序(TC1)和上第三系—第四系构造层序(TC3)发育或保存不全。但该地堑式断陷的沉积充填仍具3“单型”构成特征(即 SG 、 SN 两条区域性等时的古构造界面将整个盆地划分成3个构造层序),代表了伊通地堑经历了3次大的成盆和沉积充填过程,而主成盆充填时(TC2)包括3个层序组和14个层序,并由相应的等时界面所分隔,它明显反映主成盆期的不同演化时期,并代表着一特定的构造发展及其沉积充填响应过程。

3 沉积作用对构造过程的响应

从上述的层序地层格架可以看出,伊通地堑下第三系主裂陷期的沉积充填可明显地划分成3个阶段(图2,3):(1)右旋张扭应力场作用下的走滑-伸展阶段的断陷充填——层序组I;(2)热回沉作用下的区域沉降阶段的坳陷充填——层序组II;(3)纯拉

张作用下的伸展阶段的断陷充填——层序组III。尽管各阶段构造作用机制不同,即由走滑-伸展双重机制到热回沉及伸展的单机制,但其活动过程均具幕式的特征^[9],即活动与间歇期的交替构成一幕。而每幕的充填沉积相当于一个三级层序。

走滑-伸展阶段的沉积充填响应见于层序组I中(包括双阳组、奢岭组和永一段中的5个三级层序),由于走滑-伸展的幕式性,造成地堑的基底沉降的间歇与活动的交替,在间歇期,盆地侧缘剥蚀强,并有固定物源从盆缘大量注入盆地,使湖平面相对下降并保持长时间的低水位,形成由盆缘近端冲积扇、扇前冲积平原,向盆内相变为扇三角洲、浅湖和半深湖细粒沉积;活动期时,盆地两侧边界抬升变陡,分水岭改变导致入湖沉积物锐减,使湖盆不断伸展加深,并持续长时间有深湖盆存在,且盆缘充填湖底扇(陡坡侧)、深湖扇三角洲(缓坡侧)、向盆内迅速相变为深湖泥岩和浊积扇沉积。其一幕的沉积响应正好与二元结构构成的三级层序相对应,即下部为低位的砂砾岩段,上部为高位的深湖相泥岩、浊积岩段。由于该层序组发育时的走滑和伸展的双重机制作用,导致其沉积-沉降中心沿轴向不断地由南向北迁移。

热回沉阶段充填包括永吉组二、三、四段地层,由于该阶段的沉积基底表现为幕式的热回沉沉降,即间歇期与热回沉沉降活动期的交替,而每幕发展恰好形成一个三级层序。由于间歇期持续时间较短,充填的低位沉积体——下切河道、辫状河(或扇)三角洲(斜坡带)及浅湖—半深湖沉积物(盆中)发育薄或不发育;而沉降活动期的充填沉积——半深湖泥岩和浊积岩为其主体。从而构成永吉组二、三、四段的3个层序以细碎屑沉积为主(半深湖泥岩夹浊积薄砂体),大型的前积复合体少见的特征。

拉伸伸展阶段的充填沉积中(万昌组和齐家组)也可划分出反映次级幕式活动控制的低位和湖扩张——高位两个体系域。伸展间歇期,基底稳定但物源的大量供给导致相对湖平面持续下降直到最低水位,并形成低位体系域,其内部构成主要由冲积扇、扇前冲积平原、浅水洼地和残留的小湖组成;伸展时,基底沉降活动大于物源供给使湖平面快速上升至高水位,但湖盆始终维持浅水状态,形成高水位体系域,其内部构成主要由冲积扇、扇三角洲(陡坡侧)、辫状河平原和辫状河三角洲(缓坡侧)及分布较广的浅湖沉积(盆内)组成。

4 结论

综上所述,伊通地堑为转换-伸展型的陆相断陷盆地,其主裂陷期——下第三系充填沉积中,各不同构造演化阶段(如走滑-伸展、热回沉、拉伸-伸展)其所具有的沉积响应(层序样式和沉积体系配置)也明显不同。而各层序界面形成,层序沉积体系域的构成均反映构造幕式活动的主控性,同时物源和古气候也有一定的影响。

致谢: 本项研究得到了吉林石油管理局勘探部勘探开发研究院和物探所有关领导的大力支持和无私帮助,刘耀宗总地质师、崔学周总工、王永春院长等的精心指导,在此致以衷心的感谢。

参考文献:

[1] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Sill-iclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[M]. AAPGM methods in Exploration Series 1990, 7: 1

~ 12

- [2] 解习农 伊通地堑层序构成及层序地层格架样式[J]. 现代地质, 1994, 8 (3).
- [3] Xie Xinong, et al. Depositional model and tectonic evolution of tertiary transform extensional basins in northeast China: case study on Yitong and Damintun Grabens [J]. Journal of China University of Geosciences, 1997, 36 (8): 771~ 784
- [4] 李思田 论沉积盆地分析系统[J]. 地球科学, 1992, 17(增刊): 31~ 39
- [5] 解习农, 任建业, 焦养泉 断陷盆地构造作用与层序样式[J]. 地质论评, 1996, 42 (3).
- [6] 李思田, 杨士恭, 等 中国东北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系[J]. 中国科学(B 辑), 1997, (2): 185~ 195
- [7] Li Sitian, Yang Shigong, Xie Xinong. Tectonic evolution of Tertiary basin in circum-Pacific Belt of China and their geodynamic setting [J]. Journal of China University of Geosciences 1997, 8 (1): 4~ 10
- [8] Li Sitian, Mo Xianxue, Yang Shigong. Evolution of Circum-Pacific Belts in East China and their geodynamic [J]. Journal of China University of Geosciences 1995, 6 (6): 48~ 58
- [9] 焦养泉, 周海民, 刘少峰, 等 断陷盆地多层次幕式裂陷作用与沉积响应——以南堡老第三纪断陷盆地为例[J]. 地球科学, 1996, 21(6): 633~ 636

DEPOSITIONAL SEQUENCES OF YITONG GRABEN (EASTERN CHINA) AND ITS RESPONSE TO TRANSFORM-EXTENSIONAL PROCESSES

LU Yong-chao, REN Jian-ye, LI Sitian, YE Hong-po

(China University of Geosciences, Wuhan 430030, China)

Abstract: The Yitong Graben is located in the north eastern segment of the Tertiary rift system in East China. The graben is bounded by a steep dipping transform fault on the northwestern side and subparallel normal faults on the southeastern side, with very thick marginal fan complexes indicating syntectonic sedimentation. The graben is infilled with Tertiary sediments up to 6000 m thick, in which a series of different scaled hiatuses and tectonic inversion events have been discerned during hydrocarbon exploration. According to regional and local conformities, the basin infill may be divided into three tectonic sequences, among which the major sequence TS2 is further subdivided into three sequence sets and fourteen subsequences. Based on the sequence stratigraphic framework, depositional system tracts are reconstructed. Integrative analysis of the depositional structural features showed that the regional tectonic stress system experienced a transformation from dextral transpressional-shear through thermal subsidence to sinistral compressional-shear with a general extensional setting. Extension and wrenching dominated the graben evolution and affected the depositional style in different evolutionary stages and the spatial configuration of depositional system. The conclusions have been applied with some success to prospecting of reservoir and hydrocarbon source-rock distribution and lithologic-stratigraphic traps in this basin.

Key words: Yitong Graben; sequence stratigraphic framework; depositional system tract