

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

松辽盆地裂谷期前火山岩与裂谷盆地 关系及动力学过程

刘德来

马莉

(中国石油天然气总公司勘探局,北京,100724)(大庆石油学院勘探系,黑龙江安达,151400)

内容提要 松辽盆地存在裂谷期前火山岩,之后上地壳脆性伸展发育半地堑裂谷盆地。裂谷期前火山岩近水平展布于基底之上,裂谷期沉积则分布于半地堑内,两者属于不同构造层。裂谷期前火山岩属上地壳伸展前壳下岩石圈热减薄阶段的产物,并在接近裂谷期达到高潮;裂谷期沉积物是上地壳伸展阶段的产物。岩石圈伸展是一个平衡过程,当引张应力小于岩石圈抗张强度时,以火山喷发为主;当引张应力等于或大于岩石圈抗张强度,岩石圈发生侧向分离运动,导致上地壳伸展,发育裂谷盆地,同时火山作用减弱。

关键词 松辽盆地 火山岩 裂谷盆地 半地堑 动力学

松辽盆地属于裂谷-坳陷型盆地^[1],以坳陷期地层最为发育,沉积了巨厚的生、储油岩系,裂谷期沉积则深埋在坳陷期层系之下。

松辽盆地坳陷期之下地层从下至上包括以火山岩为主的火石岭组(J₃)、以沉积岩层为主的沙河子组(K₁)和营城子组(K₁)。过去将这套地层统称为侏罗系(上侏罗统),近些年的研究者都将这套地层时代上提,叶得泉等将火石岭组定为白垩系下界^[2],煤田中具有代表性的意见是将火石岭组划为侏罗系,沙河子组、营城子组划为白垩系^[3]。

由于松辽裂谷盆地埋藏深,地震反射效果差,给裂谷盆地解释带来了很大困难。在这种情况下,如何正确认识火山岩地层(火石岭组)与沉积岩地层(沙河子组和营城子组)之间的关系以及裂谷盆地几何学特征是裂谷盆地解释的关键。

油田将这两套地层统一解释为裂谷盆地,因此也就得到了一个深部大盆的概念^①。实际上,以火山岩为主的火石岭组与其上以沉积岩为主的沙河子组、营城子组是盆地发育初期不同阶段的产物,代表了地壳不同阶段的运动学特征和动力学过程。从认识盆地动力学、运动学、几何学角度及资源预测方面考虑,将两者区分开是很有意义的。

1 裂谷期前火山岩与裂谷盆地的关系

1.1 裂谷期前火山岩与裂谷盆地属于两个构造层

中国东北广泛发育晚侏罗世火山岩^[4],强烈喷发期在晚侏罗世末^[5]。这期火山岩在松辽

注:本文为国家“八五”科技攻关项目(编号 85-102-02-01)。

① 大庆石油管理局勘探开发研究院. 松辽盆地北部深层地质特征与致密砂岩气藏形成条件. 1990. 54 页。

本文 1995 年 4 月收到,1997 年 8 月改回,王毅编辑。

盆地也广泛发育,如齐深 1 井,庄深 1 井及绥深 1 井等在坳陷期沉积之下直接钻遇火山岩^[1],油田已将这期火山岩与沙河子组、营城子组共同解释为裂谷盆地范围。根据笔者的研究结果认为,两者应属于两套构造层,它们之间有着完全不同的展布特征,属于地壳发育不同阶段的产物。火山岩属于裂谷期前构造层,沙河子组、营城子组属于裂谷期构造层,两者之间的关系在有些地震剖面上还是可以见到。

图 1 是过齐深 1 井地震剖面,该井在坳陷期地层之下直接钻遇 619 m 火山岩(未见底)。在地震剖面上,火山岩表现为近水平延伸的连续地震相。图 1 中火山岩直接分布于盆地基底之上,不受半地堑控制,向右逐渐转入裂谷期沉积岩层之下,两者之间表现为角度不整合接触。这说明火山岩层发育早于裂谷期沉积,两者形成于盆地发育的不同阶段,属于两套构造层。

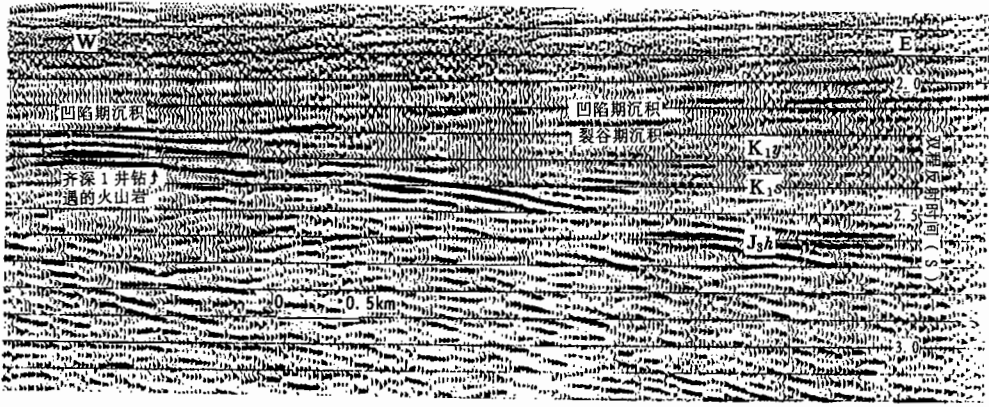


图 1 松辽盆地地震剖面(水平叠加,165.5 线),示裂谷期沉积与裂谷期前火山岩的关系

Fig. 1 Seismic section in the Songliao Basin (unmigration stack section, line 165.5), showing the relationship between the syn-rift sediments and pre-rift volcanics

J_{3h}—火石岭组;K_{1s}—沙河子组;K_{1y}—营城子组

J_{3h}—Huoshiling Formation;K_{1s}—Shahezi Formation;K_{1y}—Yingchengzi Formation

1.2 火山岩不代表裂谷早期盆地

根据火山岩的成因,认为火山岩的发育并不代表裂谷早期盆地,因为从岩浆形成到喷发地表都不以盆地发育为条件,而且火山岩可以赋存于任何地表条件下,像今天我们见到的很多火山岩都位于山顶之上。而沉积岩发育必须以盆地存在为前提,因为只有地表沉降,才能使碎屑物质得以沉积并保存下来。

当然,如果火山岩发育于盆地内,则应属于盆地的一部分。就如图 1 所展示的火山岩,它们近平行展布于基底之上,在分布上不受半地堑控制,因此不能代表盆地。不能否定,在非盆地内发育的火山岩中也可能发育很多碎屑岩沉积,象堰塞湖沉积等。

2 松辽裂谷盆地构造样式

2.1 上地壳伸展发育犁式断层

现代地震观测表明,很多地震集中发生于脆性上地壳底部^[6,7],当地震破裂面进入脆切过渡带时,断层倾角变得非常小^[8],表明上地壳脆性断层不能向下切入中、下地壳韧性流变层^[6],

而是进入基底滑脱面。因此,从整体上讲,伸展断层都是犁式的,只是在断层的上部有的表现为平面状。而且从理论上考虑,完全平面状断层是不可能的,断层在浅部脆性区域倾角较大,向深部岩层塑性增强,断层倾角相应变小^[9]。这与通过软硬相间岩层的断层相似,在脆性岩层内断层倾角陡,成为拉张段;而在塑性岩层内断层倾角缓,成为剪切段^[10]。

2.2 犁式断层控制半地堑发育

上地壳沿犁式断层伸展的结果是发育半地堑,这已为许多拉伸实验所证实^[11,12],只是断层上盘在塌陷过程中由于运动路径不同^[13],半地堑样式略有不同。

很多文献在理论模型中都提到平面状多米诺式伸展断层^[14,15]。如果这一模式在实际中存在,这些断层在旋转中同样发育半地堑。

2.3 裂谷盆地构造特征

松辽盆地基底之上展布的火山岩属裂谷期前构造层,不能作为裂谷盆地解释。真正的裂谷盆地是上地壳伸展形成的半地堑,它们叠加在早期火山岩之上。半地堑内地层分布范围窄,受半地堑形态控制,地层向控凹断层方向掀斜,增厚,向基底缓倾斜方向收敛(图2)。

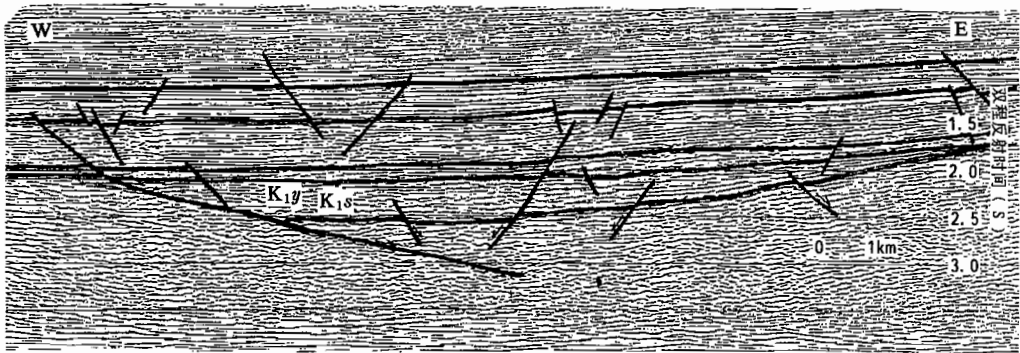


图2 松辽盆地地震剖面(叠偏, 114.8线), 示裂谷盆地半地堑结构

Fig. 2 Seismic section in the Songliao Basin (migration stack section, line 114.8), showing half-graben style

K_{1s}—沙河子组; K_{1y}—营城子组

K_{1s}—Shahezi Formation; K_{1y}—Yingchengzi Formation

根据这样的原理重新解释的部分裂谷盆地如图3(由于受资料限制,半地堑的解释是粗略的,也不代表松辽盆地北部半地堑的全部,目的只是为了说明裂谷盆地的解释方法),半地堑侧列式排列,整体呈NEN走向。由于将裂谷期前火山岩层分离,裂谷期盆地相应变小(图3),与带有裂谷期前火山岩的裂谷盆地相比(图3右上图),更清楚地展示了上地壳的伸展特征。

3 火山作用与上地壳伸展的动力学过程

松辽裂谷盆地发生前的大规模火山作用表明,岩石圈之下熔融物质的聚集早于岩石圈张裂,而裂谷盆地形成于强烈火山喷发之后,说明了促使岩石圈引张的应力可能是逐渐积累的,本文把这一现象解释为岩石圈伸展的平衡过程。

熔融物质在岩石圈之下的聚集,从其所占据的空间和发育的时间考虑,都有一个积累和发

展的过程。同样,作用于岩石圈的引张应力—如软流圈对流在岩石圈底面施加的剪切牵引力,对流体之上岩石圈内的偏张应力和软流圈对岩石圈的底辟侵入^[16],也是逐渐积累和增大的。在大规模火山喷发前或同期并不存在足以使岩石圈发生张裂的动力。

裂谷期前,软流圈熔融物质对流产生的剪切牵引力及其上的偏张应力不足以使岩石圈板块发生分离,但可以使壳下岩石圈发生热减薄。热减薄产生于以下两种原因。①对流可以使塑性物质作侧向迁移,产生壳下岩石圈机械减薄^[17]。②壳下岩石圈和软流圈减压熔融^[17,18]。

岩石圈热减薄促使岩石圈、软流圈减压熔融,减压熔融增加了熔融物质规模;熔融物质增多,对流范围扩大,使引张应力增强。同样,岩石圈热减薄减小了岩石圈厚度,

又由于热流物质的长期作用和上升使岩石圈加热,降低了抗张强度。因此,可以认为岩石圈伸展过程是岩石圈抗张强度(包括远场挤压应力)与引张应力之间的平衡过程,即引张应力逐渐增强,岩石圈抗张强度逐渐降低的过程。

在热物质聚集的初期,由于规模小,对流范围小,各种引张应力的合力比较弱,但熔融物质可以呈底辟上升,在地表喷发火山岩。随着热物质增多,各种引张应力的合力逐渐增强以及岩石圈有效热减薄和温度增高,底辟上升的熔融物质增多,火山作用逐渐增强,并在裂谷期前达到高潮。当各种引张应力的合力等于和大于岩石圈抗张强度时,上地壳拉开,两侧岩石圈发生侧向分离运动,裂谷盆地形成。由于岩石圈拉开,上升的热物质注入到板块分离产生的空间,火山活动减弱。大西洋裂谷具有相似的发育过程,Ziegler^[17]解释这一现象为:如果板块分离受到阻滞,则软流圈熔融物质呈底辟上升,壳下岩石圈发生大量热减薄,并有大规模高原玄武岩喷出覆盖裂谷带周围地区。如果大陆块体最初分离不受限制,地壳容易被分离,则没有或伴随很少火山活动,这是因为软流圈的熔融物质注入到了离散板块张开的空间。

综上所述,松辽盆地裂谷期前火山岩与裂谷期沉积属于两个构造层,裂谷盆地叠加在早期火山岩之上。火山岩分布区不属于裂谷盆地范围,它们是裂谷期前岩石圈热减薄阶段的产物。半地堑是裂谷盆地的基本结构单元。裂谷期沉积受半地堑形态控制,地层向控凹断层方向掀斜,增厚,向基底缓倾斜方向收敛。

岩石圈伸展是挤压应力、岩石圈抗张强度与引张应力之间的平衡过程。以热活动为主要动力的岩石圈引张应力是逐渐积累的,在挤压应力、岩石圈抗张强度大于引张应力时,岩石圈以

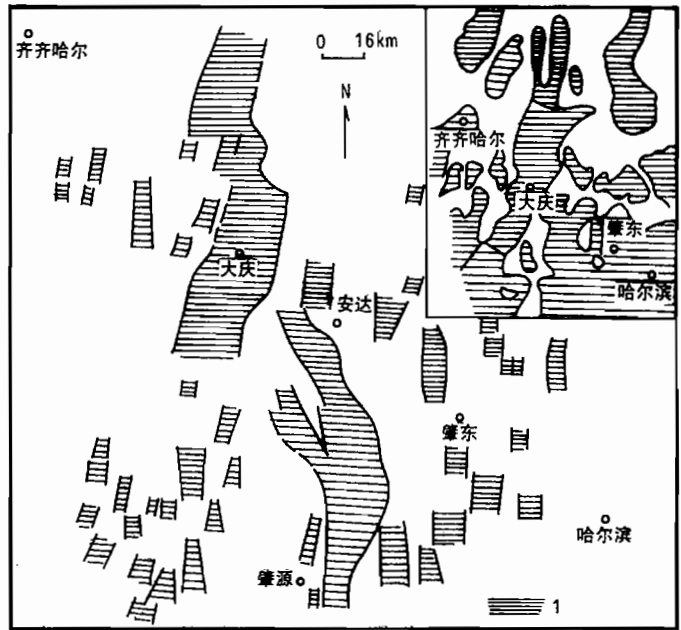


图3 松辽盆地北部部分裂谷(半地堑)分布

Fig. 3 Half-graben distribution in the northern Songliao Rift Basin

1—半地堑(Half graben)

热减薄为主并伴随强烈火山作用,随着岩石圈抗张强度降低(可能伴随挤压应力减弱)与引张应力增强,两者逐渐达到平衡,则岩石圈开始发生侧向分离,裂谷盆地形成。

本文是在导师陈发景教授、陈章明教授指导下完成的,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 刘德来,陈发景,关德范. 松辽盆地形成、发展与岩石圈动力学. 地质科学,1996, 31(4):397~408.
- 2 叶得泉,钟筱春. 中国北方含油气区白垩系. 北京:石油工业出版社,1990. 30~31页.
- 3 王思恩,张志诚,姚培毅. 中国侏罗—白垩纪含煤地层与聚煤规律. 北京:地质出版社,1994. 75~77页.
- 4 李思田,杨士恭,吴冲龙. 中国东北北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系. 中国科学(B辑),1987,(2):185~195.
- 5 王东方,权恒. 大兴安岭中生代构造岩浆作用. 地球科学,1984, 26(3):81~89.
- 6 宋鸿林,单文琅,傅昭仁. 论壳内韧性层及其构造表现. 现代地质,1992, 6(4):494~503.
- 7 Sibson R H. Fault zone model, heat flow, and depth distribution of earthquakes in the continental crust of the United States. Bull. Seis. Soc. Am., 1982, 72: 151~161.
- 8 Jackson J A. Active normal faulting and crustal extension. In: Coward M P, Dewey J F, Hancock P L. eds. Continental Extension Tectonics. Special Publication (28). Geological Society of London, 1987. 3~17.
- 9 Morley C K. Extension, detachments and sedimentation in continental rift (with particular reference to east Africa). Tectonics, 1989, 8(6): 1175~1192.
- 10 张文佑. 断块构造导论. 北京:石油工业出版社,1984. 92~93页.
- 11 McClay K R, Ellis P G. Analogue models of extensional fault geometries. In: Coward M P, Dewey J F, Hancock P L. eds. Continental Extension Tectonics. Special Publication (28). Geological Society of London, 1987. 109~125.
- 12 Ellis P G, McClay K R. Listric extensional fault systems results of analogue model experiments. Basin Res, 1988, (1): 55~71.
- 13 Dula W F. Geometric models of listric normal faults and rollover folds. AAPG, 1991, 75(10): 1609~1625.
- 14 Barr D. Structural/stratigraphic models for extensional basins of half-graben type. Journal of structural geology, 1987, 9(4): 491~500.
- 15 Gibbs A. Development of extension and mixed-mode sedimentary basins. In: Coward M P, Dewey J F, Hancock P L. eds. Continental Extension Tectonics. Special Publication (28). Geological Society of London, 1987. 19~33.
- 16 Ziegler P A. Plate tectonics, plate moving mechanisms and rifting. Tectonophysics, 1992a, 215: 9~34.
- 17 Ziegler P A. Geodynamics of rifting and implications for hydrocarbon habitat. Tectonophysics, 1992b, 215: 221~253.
- 18 金性春. 板块构造学基础. 上海科学技术出版社, 1984. 135页.

Relation Between Prerift Volcanics and the Rift Basin and Geodynamic Processes

Liu Delai

(Exploration Bureau, China Nation Petroleum Corporation, Beijing, 100724)

Ma Li

(Exploration Department, Daqing Petroleum Institute, Anda, Heilongjiang, 151400)

Abstract

In the Songliao basin there occurred pre-rift volcanic rocks. Then brittle extension of the upper crust gave rise to a semi-graben rift basin. Pre-rift volcanic rocks are distributed subhorizontally on the basement, while the sediments of the rifting stages are distributed in the semi-

graben, both belonging to different tectonic layers. Pre-rift volcanic rocks may be the product of thermal thinning of the subcrustal lithosphere before the extension of the upper crust and volcanism reached a culmination near the rifting stage. The sediments of the rifting stage are the product of extension of the upper crust. The lithospheric extension is a process of balance between tensile strength and extensional stress. Volcanic eruption predominated when extensional stress was smaller than the tensile strength; when the extensional stress was equal to or greater than the tensile strength, the lithosphere would undergo lateral separation, resulting in extension of the upper crust and development of a rift basin and meanwhile volcanism weakened.

Key words: Songliao basin; volcanic rock; rift basin; half-graben; geodynamics

作者简介

刘德来,男,1957年11月生。1982年毕业于大庆石油学院石油地质专业,1993年获中国地质大学(北京)博士学位。现在中国石油天然气总公司勘探局从事石油勘探生产与科研管理工作。通讯地址:100724,北京中国石油天然气总公司勘探局。
