

长岭断陷构造特征及白垩纪以来的构造演化

胡纯心

(中国石化 东北油气分公司,吉林 长春 130061)

摘要:长岭断陷发育3条古老的深大断裂,对白垩纪以来的沉积构造发展演化起明显的控制作用。通过井下火山岩锆石 U-Pb 年龄的测定,说明长岭断陷中基性火山岩属营城早期的产物,而其上部的酸性火山岩主要为营城晚期的产物。两期火山岩夹持的地层当属营城中期沉积。提出了断陷期存在火石岭和营城两期断陷湖盆,盆地的展布及控制因素存在差异。火石岭期断陷的长轴方向均为北东向展布,受西部的新安镇-红岗断裂和东部的长春-大安断裂控制,已发现油气资源丰度相对较大;营城期断陷的长轴方向均为近南北向展布,受早期断裂及其倾轴方向同期断层双重控制,已发现油气资源丰度相对较小。受先存深大断裂的边界作用及盖层介质条件的调协作用的共同影响,该区复杂的构造具有空间上的协调性、差异性及时间上的统一性、有序性。

关键词:火山岩;构造特征;构造演化;深大断裂;长岭断陷

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

Structural characteristics and post-Cretaceous tectonic evolution of the Changling Rift

Hu Chunxin

(Northeast Oil and Gas Branch, SINOPEC, Changchun, Jilin 130061, China)

Abstract: Three deep major faults are well developed in Changling rift and they significantly control the post-Cretaceous sedimentary and tectonic evolution. Zircon U-PB dating of the volcanic rock samples from wells reveals that the intermediate-mafic volcanic rocks in Changling rift were formed in the early Yingcheng period, and the overlying acidic volcanic rocks were formed in the late Yingcheng period. The strata between these two sets of volcanic rocks should be deposited during the middle Yingcheng period. During rifting, two rifted lacustrine basins occurred in the Huoshiling and Yingcheng periods respectively and their distributions and controlling factors are different. During the Huoshiling period, the NE-trending major axis direction of the Changling rift was controlled by Xin'an-zhen-honggang fault in the west and Changchun-da'an faults in the east, and the discovered resource abundance is high. In contrast, during the Yingcheng period, the NS-trending major axis of the Changling rift was jointly controlled by the early faults and the concordant faults in dipping axis direction, and the discovered resource abundance is low. Under the joint control of the pre-existing deep major faults and cap rocks, the complex structures in the study area are characterized by harmonization and diversity in space, and unity and order in time.

Key words: volcanic rock, structural characteristics, tectonic evolution, deep major fault, Changling Rift

自海西运动兴蒙地块与中朝及西伯利亚地块拼合后,松辽盆地长期处于隆升状态,中生代早期,伴有较强烈的岩浆活动。白垩纪以来,太平洋板块俯冲加剧,松辽盆地深部地质发生强烈变化,莫霍面隆升,上部地壳产生强烈的伸展环境。随着板块的俯冲的强弱及间歇,加之郯庐断层的走滑作用的影响,在本区形成了火石岭期与沙河子-营城期两期断陷盆地。登娄库期为断-拗转换期。泉头-明水期表现为拗陷沉积。明水末期,板块俯冲间歇,莫霍面回

返,加之郯庐断层的左行走滑作用,在区域内产生压扭作用,产生系列反转构造,尤其东缘产生左行反转背斜带,构造最后定型。

1 区域地质背景

1.1 区域深大断裂对本区白垩纪以来的构造演化具边界作用

长岭断陷发育3条深大断裂,自西而东依次为新

安镇-红岗断裂、长岭-大安断裂及前进-长春岭断裂^[1-2]。

新安镇-红岗断裂,南部走向为北西向,向北逐渐转为北东向,平面上表现为一弧形断裂,是一长期活动的古老深大断裂,控制了长岭断陷的西边界。它是区域强、弱磁场的界线,布格重力异常上表现不明显。

白垩纪以来,断裂活动加强,火石岭期,该断裂控制了系列北东走向小型断陷湖盆沉积,火石岭末期断裂反转,地层隆升,火石岭组地层遭受强烈剥蚀。沙河子期-营城期该断裂活动相对较弱,沙河子期该区整体隆升未接受沉积。仅在营城期,火山强烈活动,沿断裂及其上部裂缝带,向上喷发中基性火山岩覆盖在下伏地层之上。之后长期处于隆升剥蚀。直至泉头期全区拗陷,接受地层沉积,嫩江组晚期,受左行张扭应力作用,沿断裂上方,发育北东向展布系列北西向小断层带。明水末期,受太平洋板块俯冲间歇影响,该区产生积压应力,该断裂在局部反转明显。

长岭-大安断裂,走向为北东向,是一长期活动的古老的深大断裂,为壳断裂,控制了长岭断陷营城期断陷沉积,控制了营城晚期火山岩的分布。

白垩纪以来,断裂活动加强,火石岭期,该断裂的东倾方向上控制了系列北东走向小型断陷湖盆沉积,火石岭末期整体隆升,火石岭组地层遭受强烈剥蚀。沙河子期该断裂处于休眠期,营城期该断裂活动强烈,营城初期,火山强烈活动,沿断裂及其上部裂缝带,向上喷发中基性火山岩覆盖在下伏地层之上。营城早、中期断裂及其东倾方向上次生断裂活动强烈,发育营城期断陷地层,营城晚期,沿断裂及其上部裂缝带,向上喷发酸性火山岩覆盖在下伏地层之上。登娄库期断裂活动逐渐减弱,断-拗转换,接受沉积,嫩江组晚期,受左行张扭应力作用,沿断裂上方及其东倾方向上方,发育多个北东向展布系列北西向小断层带^[3]。

前进-长春岭断裂,南部走向为北东向,向北逐渐转为北东东向,是一长期活动的古老深大断裂,局部控制了长岭断陷营城期断陷沉积。

白垩纪以来,断裂活动加强,火石岭期-沙河子期,处于休眠期,营城期该断裂活动强烈,营城初期,火山强烈活动,沿断裂及其上部裂缝带,向上喷发中基性火山岩覆盖在下伏地层之上。营城早、中期断裂局部活动强烈,发育营城期断陷地层,营城晚期,沿断裂及其上部裂缝带,局部向上喷发火山岩覆盖在下伏地层之上。登娄库期断裂活动逐渐减弱,断-拗转换,接受地层沉积。明水末期,受太平洋板块俯冲间歇及郯庐断裂左行走滑共同影响,在该区产生压扭性应力,该断

裂反转明显。在断裂上方产生左行排列的反转背斜带。

1.2 长岭断陷火石岭组火山岩的时代

长期以来,人们将长岭断陷底部中基性火山岩认做侏罗系火石岭组地层,认为长岭断陷底部的火石岭组火山岩是盆地的底部地层。近年来,随着勘探的逐步延伸,在火石岭组火山岩下部发现碎屑岩地层的存在,并探明有石油地质储量。对所谓火石岭组火山岩仍然是过去 K-Ar 法及 Ar-Ar 法测年的结果。2011 年,选择一批井下样品进行了锆石年龄测定,为进一步认识长岭断陷的成生发展演化提供了基础数据。

1.2.1 过去对火石岭组火山岩的认识

2002 年贾军涛等对火山岩进行了 K-Ar 法及 Ar-Ar 同位素法测年(表 1)。近年来所开展的年龄测定几乎均为单颗粒锆石 U-Pb 方法,与以前的年龄测定相比,精度和可信度大幅提高。由于 K-Ar 法同位素体系封闭温度较低,很容易受到后期热事件的干

表 1 松辽盆地营城组和火石岭组火山岩 K-Ar 及 Ar-Ar 法同位素年龄^[4]

Table 1 K-Ar and Ar-Ar isotope dating of volcanic rocks of the Yingcheng and Huoshiling formations in the Songliao Basin

层位	样号	岩性	测试方法	年龄/Ma
营城组	D279	英安岩	K-Ar 法	102.9 ± 1.2
	J014			106.6 ± 1.1
	D221	英安岩		111.3 ± 1.0
	Daci14	英安岩		130.5 ± 5.8
	Daci15	英安岩		126.5 ± 1.4
	Trac16	粗面岩		132.1 ± 5.9
	Ande17	安山岩		133.5 ± 6.1
	Ande18	安山岩		124.6 ± 4.6
	Ande19	安山岩		122.5 ± 1.3
	Btan20	玄武粗安岩		131.3 ± 5.9
	Btan31	玄武粗安岩		123.9 ± 1.3
	Rhyo32	流纹岩		122.5 ± 1.0
	Daci33	英安岩		124.4 ± 1.3
	Rhyo34	流纹岩		128.7 ± 1.3
	Btan35	玄武粗安岩		129.7 ± 1.5
火石岭组	Rhyo22	流纹岩	Ar-Ar 法	154.6 ± 2.1
	Trac23	粗面岩		145.7 ± 6.2
	Trac24	粗面岩		157.8 ± 7.3
	Tand25	粗安岩		147.8 ± 0.3
	Tand26	粗安岩		153.3 ± 2.3
	Ande25	安山岩		157.2 ± 0.2
	Ande27	安山岩		153.9 ± 2.1
	Ande28	安山岩	K-Ar 法	156.3 ± 2.5
	Ande29	安山岩		157.9 ± 2.7
	Btan30	玄武粗安岩		154.6 ± 2.2

表2 长岭断陷营城组和火石岭组火山岩锆石 U-Pb 年龄数据

Table 2 Zircon U-Pb dating of volcanic rocks of the Yingcheng and Huoshiling formations in the Changling Rift

井号	层位	井深/m	岩性	年龄/Ma
L1	K ₁ yc	4 218.35 ~ 4 218.40	紫色粗面质凝灰岩	105 ± 1 (n = 4)
Y1	K ₁ yc	3 569.00 ~ 3 569.20	灰紫色流纹质凝灰岩	105 ± 2 (n = 14)
Y3	K ₁ yc	3 529.75 ~ 3 529.90	流纹质岩屑晶凝灰岩	107 ± 6 (n = 6)
Y5	K ₁ yc	3 873.50 ~ 3 873.65	流纹岩	104 ± 3 (n = 5)
Y7	K ₁ yc	3 212.55 ~ 3 212.65	紫灰色流纹质凝灰岩	108 ± 3 (n = 1)
Y4	K ₁ yc	4 228.00 ~ 4 230.00	花岗斑岩	124 ± 1 (n = 25)
Y6	K ₁ yc	4 223.20 ~ 4 223.30	石英粗面岩	115 ± 3 (n = 2)
D2	K ₁ yc	3 613.00	流纹岩	105 ± 3 (n = 25)
SN180	K ₁ h	2 468.60 ~ 2 468.80	灰白色杏仁状安山岩	106 ± 3 (n = 15)
SN180	K ₁ h	2 708.60 ~ 2 708.70	灰绿色杏仁状安山岩	116 ± 2 (n = 7)
SN102	K ₁ h	1 752.39 ~ 1 752.49	紫红色流纹质凝灰岩	112 ± 3 (n = 2)

注: n 为样品数。

扰,所测年龄波动大。通过 K-Ar 及 Ar-Ar 法测得松辽盆地钻井中多个火石岭组粗面岩-粗安岩-安山岩的年龄介于 145 ~ 158 Ma 之间,时代属晚侏罗世,并认为其代表火石岭组火山岩的时代^[4-5]。

1.2.2 所谓火石岭组火山岩应为营城组早期产物

2011 年,吉林大学孙德友选择长岭断陷部分井下火山岩样品进行了锆石 U-Pb 年龄测定,高精度的同位素年龄表明,过去认识的火石岭火山岩同位素年龄在 112 ~ 116 Ma,其时代应为营城早期,过去认识的营城组酸性火山岩多数在 104 ~ 108 Ma(表 2),应为营城组晚期的产物^[6],那么夹持于二者之间的碎屑岩地层应属于营城组。

近年来的钻探及高精度三维地震资料均揭示,营城组底部火山岩与下伏地层呈角度接触,下伏地层为碎屑岩沉积,岩性可分为 3 段。下段以灰黑色泥岩为主,有机质丰度高、类型为 I 和 II₁ 型,是良好的烃源层,已经探明的东岭东断块,表明其生烃潜力大。但其层位的归属尚存争议,既可能为沙河子组也可能是火石岭组,本文暂沿用其过去的归属,定为火石岭组地层。

2 长岭断陷构造特征

研究区的构造由多期构造运动的作用叠加而成,构造复杂多变,但并不是无规律可循。研究区构造的演化受到先期存在的边界条件的制约和“软硬相间”的介质条件的调谐,产生的构造具有以下特点:1)构造呈带状展布并与边界断层具和谐性;2)构造变形在空间展布上具层次性、协调性和差异性;3)构造变形在时间上具统一性;4)复杂构造的形成具有序性。

2.1 构造展布特征

2.1.1 复杂的区域构造格架

研究区纵向分为 4 个构造层,其中,断陷层分为火石岭组构造层、营城组构造层,断-坳转换层为登娄库组构造层,坳陷层为泉头组-明水组构造层。火石岭组与营城组之间为角度不整合接触(图 1,图 2),其他构造层为平行不整合接触。横向上构造的展布受边界条件制约,构造展布方向与起边界作用的构造走向相协调。

火石岭组构造层,剖面上表现为西断东超的箕状断陷,遭受不同程度的剥蚀,与上覆地层呈角度不整合接触。平面上可分为两个断陷带,西部沿新安镇-红岗断裂分布,东部断陷带沿长春-大安断裂东平行分布,所有断陷的长轴方向均为北东向展布,断陷以前神字井断陷最大,面积约 300 km²,东岭东断陷最小,面积约 20 km²,两个断陷均已发现油气,其中以前神字井火石岭断陷为源岩发现千亿方规模松南气田^[7-9],在东岭东断陷火石岭组探明石油 500 × 10⁴ t。

营城组构造层,营城组底部与顶部火山岩分布范围广,不受断陷的范围控制。中部碎屑岩受营城期断陷控制,平面上可分为两个断陷带,西部断陷区沿新安镇-红岗断裂东及长春-大安断裂东平行分布,剖面上表现为西断东超的箕状断陷,东部断陷区沿前进-长春岭断裂及其以西东分布,剖面上表现为东断西超的箕状断陷。所有断陷的长轴方向均为近南北向展布(图 3)。目前已在 新安镇、查干花、伏龙泉及孤店断陷均发现油气藏,但资源丰度相对较小。

登娄库组叠加在营城组构造层之上,分布范围有所扩大。

坳陷层全区广布。

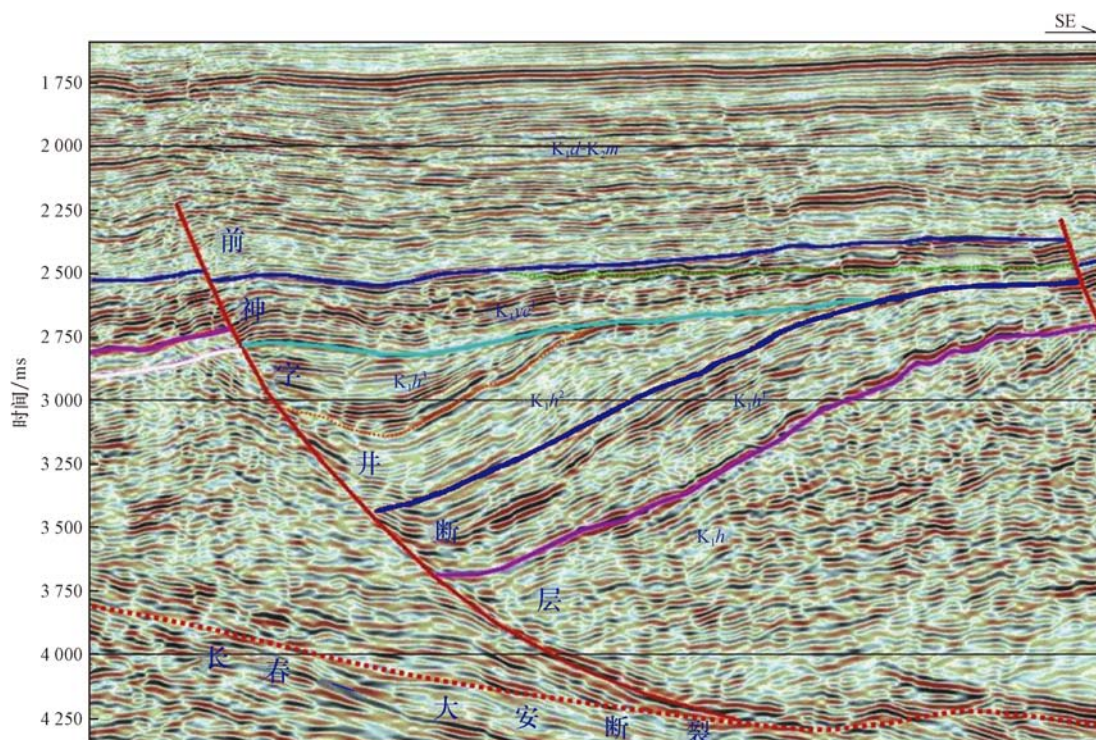


图1 过前神字井断陷三维地震-地质解释剖面

Fig. 1 3D seismic-geological interpretation profile crossing the Qianshenzijing Rift

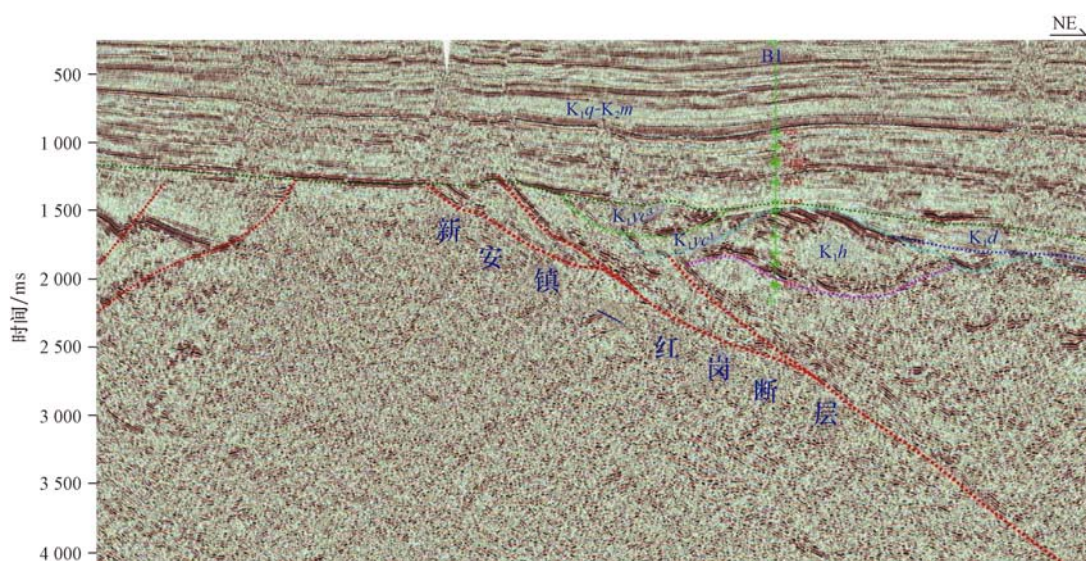


图2 过二里界断陷二维地震-地质解释剖面

Fig. 2 2D seismic-geological interpretation profile crossing the Erlieji Rift

2.1.2 褶皱构造呈带状展布

长岭断陷褶皱构造受深大断裂边界条件的制约,成带状展布。本区构造带的展布方向与区域构造的展布方向相一致或协调^[10]。

本区褶皱构造主要分为东西两带,中部地区褶皱构造欠发育,多为隆升挠曲。褶皱受上部沉积盖层塑性层的调协作用,一般下陡上缓。西部褶皱构造相对低缓,南弱北强,构造带沿长春-红岗断裂北段展布,为该断裂的反转褶皱带。东部褶皱构造相对高陡,南

北弱,中部强,构造带沿前进-长春岭断裂北段展布,为该断裂的反转褶皱带。褶皱带形成过程中,受邻庐断裂走滑作用影响,构造带内褶皱呈左行雁行排列。北部的长春岭背斜长轴走向为北东东向,中部登娄库背斜长轴呈北北东向展布,而南部伏龙泉背斜则为北东向。

2.1.3 全区构造变形

断-拗转换期其他地区的伸展走滑在本区表现不明显。泉头-姚家期的伸展变形相对较弱。主要变形

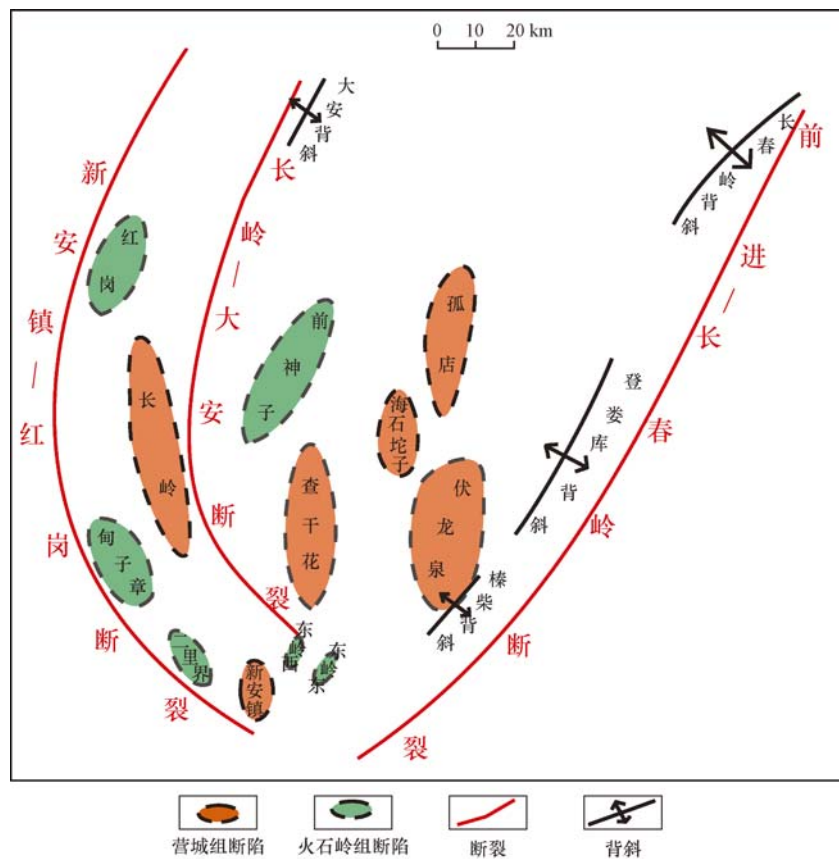


图3 长岭断陷展布及构造纲要

Fig. 3 Structure outline and distribution of the Changling Rift

期为嫩江晚期的全区张扭性变形,其结果在本区形成5条北东向展布,由系列北西向小断层组成的断裂带,这些断层延伸长度均小于20 km,断距一般小于50 m。明水末期压扭变形全区通体褶皱,在长岭断陷两侧形成褶皱构造带,中部形成挠曲变形。自东而西受郯庐断裂左行走滑作用影响逐渐减弱。

2.2 构造演化特征

海西运动板块拼合后,基底岩系褶皱隆升遭受剥蚀,中生代早期,受邻区强烈岩浆活动的影响,本区局部有岩浆活动。进入白垩纪后,开创本区沉积构造发展的新纪元。

火石岭期,进入白垩纪以来,太平洋板块向西俯冲加剧,造成松辽盆地下部莫霍面隆升,在上部地壳形成强烈的伸展环境,块断作用发生,在长岭断陷形成东西两个断陷带。火石岭早期为深裂陷,充填了灰黑色泥岩沉积。中期,随着板块俯冲速度的减缓,同沉积断层生长速率减缓,沉积一套快速充填的浅水沙砾岩沉积,晚期为湖沼相含煤沉积。整体表现为一个正旋回。

火石岭末期,随着太平洋板块俯冲的间歇,本区整体抬升,先期沉积的火石岭地层遭受强烈剥蚀。沙河

子期本区断层未活动,地层仍遭受剥蚀。

营城早期,太平洋板块进一步向西俯冲,本区表现为强烈的火山活动,岩浆沿早期断裂及断裂顷轴方向上裂缝向上喷出,在本区广布中基性火山岩。营城中期,随着太平洋板块进一步向西俯冲,在本区产生块断活动,在先期断裂及其顷轴方向产生块断,形成了新安镇、查干花、伏龙泉等断陷。沉积了巨厚的营城组地层。晚期,本区中部受长春-大安断裂的控制,沿断裂带及其顷轴方向上的断裂及裂缝向上喷发酸性火山岩^[11]。

营城末期,地层隆升遭受短暂的风化淋滤。

登娄库期为断-拗转化期。早期,板块俯冲速率较大,沿营城期断层进一步块断,晚期,随着板块俯冲速率的减缓,本区全面进入拗陷阶段。登末全区隆升,地层遭受短暂的风化淋滤^[12-14]。

泉头-嫩江期,本区持续拗陷,嫩江晚期全区在张扭应力作用下,形成系列北东向断裂带。

四方台-明水期,本区持续拗陷,盆地萎缩。

明水末期,板块俯冲间歇,莫霍面下降,加之郯庐断裂的左行走滑作用,本区在压扭环境下,在产生构造反转,形成反转构造带^[15]。本区构造最终定型(图4)。

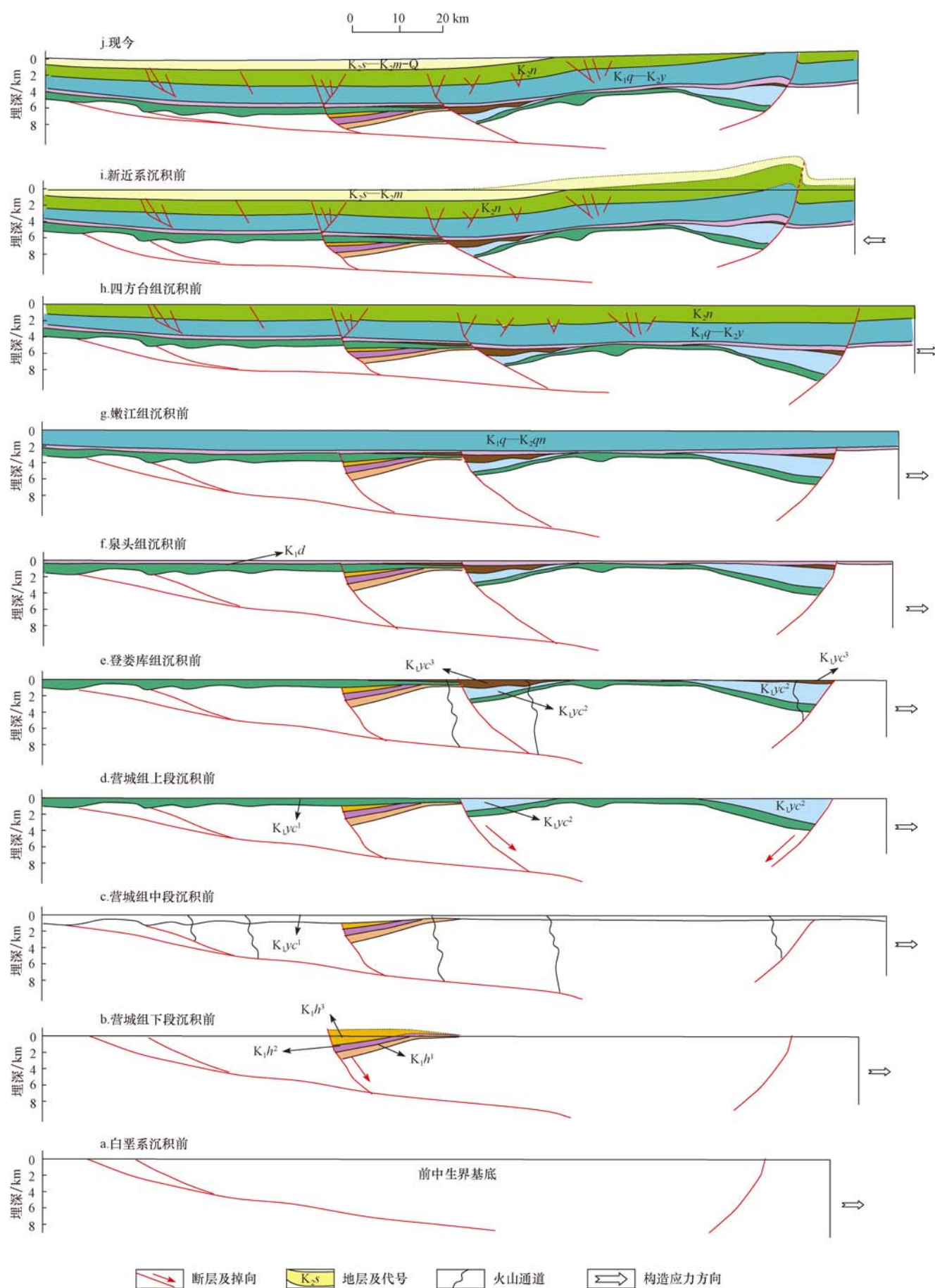


图4 长岭断陷构造发育演化示意图

Fig. 4 Sketch map showing the tectonic evolution of the Changling Rift

3 结论

1) 长岭断陷发育3条深大断裂,它们对后期该区沉积构造的发展演化控制作用明显。

2) 火山岩锆石 U-Pb 年龄测定认为,过去认识火山岩组中基性火山岩为营城组早期产物。

3) 长岭断陷发育火山岩和营城两期断陷盆地,两期断陷的走向及分布差异明显。

4) 受先存深大断裂的边界作用及盖层的介质条件的调协作用的共同作用,本区复杂的构造具有空间上的协调性、差异性,时间上的统一性和有序性。

参 考 文 献

- [1] 罗群. 中国东北第五断裂系统及其控藏特征[J]. 石油试验地质, 2010, 32(3): 205-210.
Luo Qun. Fault systems and characteristics of their controlling reservoir formation in the northeast China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(3): 205-210.
- [2] 赵文智, 李建忠. 基底断裂对松辽盆地南部油气聚集的控制作用[J]. 石油学报, 2004, 25(4): 1-6.
Zhao Wenzhi, Li Jianzhong. Control of basement faults on hydrocarbon accumulation in Southern Songliao Basin[J]. Acta Petroli Sinica, 2004, 25(4): 1-6.
- [3] 李明, 赵一民, 刘晓, 等. 松辽盆地南部长岭凹陷油气富集区分布特征[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(4): 413-418.
Li Ming, Zhao Yimin, Liu Xiao, et al. Oil and gas enrichment zone distribution in the south part of Changling depression in Songliao basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(4): 413-418.
- [4] 贾军涛, 王璞珺, 万晓樵, 等. 松辽盆地断陷期白垩纪营城组的时代归属[J]. 地质评论, 2008, 54(4): 439-448.
Jia Juntao, Wang Pujun, Wan Xiaoqiao, et al. Fault depression in Songliao Basin Cretaceous Yingcheng Formation belongs to age[J]. Geological Review, 2008, 54(4): 439-448.
- [5] 赵国连, 何顺利. 松辽盆地徐家围子裂陷式盆地的层序发育特点[J]. 西北地质, 2002, 35(1): 28-40.
Zhao Guolian, He Shunli. In Xujiaweizi rift basin of the sequence stratigraphic characteristics[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(1): 28-40.
- [6] 吴群, 蒲仁海, 韩敏强, 等. 长岭凹陷白垩系火山岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2010, 30(2): 111-119.
Wu Qun, Pu Renhai, Han Minqiang, et al. Department of zircon LA-ICP-MS U-Pb volcano rock of Cretaceous in Changling sag dating and its geological significance[J]. Mineral Rock, 2010, 30(2): 111-119.
- [7] 谢忱, 胡纯心. 松辽盆地长岭断陷南部天然气成藏与富集特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 381-385.
Xie Chen, Hu Chunxin. Gas accumulations and distribution features in the south of the Changling fault depression in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 381-385.
- [8] 王洪江, 吴聿元. 松辽盆地长岭断陷火山岩天然气藏分布规律与控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 360-367.
Wang Hongjiang, Wu Yuyuan. Distribution patterns and controlling factors of volcanic gas pools in the Changling fault depression, the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 360-367.
- [9] 刘立, 侯启军, 刘娜, 等. 松辽盆地南部幔源 CO₂ 与油气充注时序——来自含片钠铝石砂岩的证据[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 873-881.
Liu Li, Hou Qijun, Liu Na, et al. Charging time sequence of mantle CO₂ and hydrocarbon in southern Songliao Basin: an evidence from dawsonite-bearing sandstones[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 873-881.
- [10] 张守仁, 张遂安. 松辽盆地深层断陷期地层展布特征及油气勘探意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 335-343.
Zhang Shouren, Zhang Sui'an. A study of the distribution of the strata during the fault-depression stage and its significance for the petroleum exploration in Songliao Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 335-343.
- [11] 张尔华, 姜传金, 张元高, 等. 徐家围子深层结构形成与演化探讨[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 149-157.
Zhang Erhua, Jiang Chuanjin, Zhang Yuangao, et al. Study on the formation and evolution of deep structure of Xujiaweizi fault depression [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 149-157.
- [12] 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31.
Hu Wangshui, Lü Bingquan, Zhang Wenjun, et al. An approach to tectonic evolution and dynamics of the Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 16-31.
- [13] 李娟, 舒良树. 松辽盆地中、新生代构造特征及其演化[J]. 南京大学学报, 2002, 38(4): 525-531.
Li Juan, Shu Liangshu. Cenozoic tectonic characteristics and evolution in Songliao Basin [J]. Journal of Nanjing University, 2002, 38(4): 525-531.
- [14] 葛荣峰, 张庆龙, 王良书, 等. 松辽盆地构造演化与中国东部构造体制转换[J]. 地质评论, 2010, 56(2): 180-195.
Ge Rongfeng, Zhang Qinglong, Wang Liangshu, et al. Tectonic evolution of Songliao Basin and the prominent tectonic regime transition in Eastern China [J]. Geological Review, 2010, 56(2): 180-195.
- [15] 孙晓猛, 王书琴, 王英德, 等. 郯庐断裂带北段构造特征及构造演化序列[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 165-176.
Sun Xiaomeng, Wang Shuqin, Wang Yingde, et al. Tectonic features and tectonic evolution of the North Tanlu fault sequence [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 165-176.