

天然 气 地 质 学

徐家围子火石岭组火山岩分布特征 与控陷断裂关系

刘维亮¹, 夏 斌^{1,2}, 蔡周荣¹, 郭 峰², 万志峰¹, 刘见宝², 胡 杨²

(1. 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275;

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 徐家围子火山岩天然气藏是目前在我国东部发现的存在于火山岩层中的最大天然气藏。随着勘探的深入, 火石岭组火山岩将是今后重要的勘探层位。通过对最新三维地震资料的分析, 认为现今火石岭组火山岩沿徐西断裂分布的特征主要是沙河子期徐西断裂改造的结果。火石岭组火山岩喷发的受控机制为地幔上涌, 导致岩浆沿地壳深层的断裂向上喷发。

关键词: 徐家围子断陷; 火石岭组; 火山岩; 徐西断裂

中图分类号: TE122.2⁺22

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2011)03-0420-06

引用格式: 刘维亮, 夏斌, 蔡周荣, 等. 徐家围子火石岭组火山岩分布特征与控陷断裂关系[J]. 天然 气 地 球 科 学, 2011, 22(3): 420-425.

0 引言

在油气勘探和开发难度不断增大的历史背景下, 火山岩油气藏作为一种特殊类型的油气藏, 已逐渐成为重要的勘探目标^[1]。近年来在松辽盆地徐家围子断陷深层发现的储量超过 2 000 亿 m³ 的天然气田, 火山岩储藏占 89.8%, 是迄今我国东部最大的火山岩天然气藏。2002 年, 徐深 1 井火山岩储层压裂改造获得日产 52 万 m³ 天然气的高产气流之后, 以徐家围子为主战场的深层火山岩储层已成为大庆油田深部挖潜的重点之一^[2]。

徐家围子断陷位于松辽盆地北部中央古隆起东部, 主体走向呈 NNW 向和近 SN 向, 南北向长为 95 km, 中部最宽处有 60 km, 主体面积为 5 350 km², 是一个南北狭窄、中间宽的西断东超式箕状地堑(图 1)。徐家围子断陷深层指下白垩统泉头组一段、二段以下地层, 自下而上依次发育上侏罗统火石岭组、下白垩统沙河子组、营城组和登娄库组。其中有 3 套火山岩储集层, 即火石岭组、营城组一段和营城组三段, 目前在营城组 2 套火山岩中发现了规模较大

的天然气藏, 随着勘探的进一步深入, 火石岭组火山岩也将成为勘探的重要目标。

断裂作为天然气聚集成藏的主控因素之一, 对火山岩储层和天然气分布具有明显的控制作用^[3-4]。目前, 对营城组火山岩发育与控陷断裂的关系已经进行了较为深入的研究^[5], 但是对火石岭组火山岩发育和控陷断裂的关系仍研究较少。现存火石岭组火山岩和控陷断裂有什么样的叠合关系, 这种关系是火山喷发时受断裂控制形成还是火山喷发后受断裂活动改造形成; 以及对火石岭期火山岩喷发的深部受控机制, 专门研究仍较少。

本文根据最新的三维地震解释资料对火石岭组火山岩分布和断裂的关系进行分析, 探讨了火石岭组火山岩的喷发机制, 以为火石岭组火山岩天然气藏研究提供一些资料。

1 火石岭组火山岩基本特征

因为目前钻井只能钻遇隆起区或浅层的火石岭组, 对火石岭组火山岩的直接了解主要是根据周边

收稿日期: 2010-07-14; 修回日期: 2010-10-15

基金项目: 大庆油田科技攻关项目“徐家围子断陷形成演化机制研究”(编号: 2007JS11812); 国家重点基础研究发展计划(“973”)项目(编号: 2009CB219401)联合资助。

作者简介: 刘维亮(1976), 男, 陕西兴平人, 博士后, 主要从事油气地质和海洋地质的科研和教学工作。E-mail: liuweiliang1976@yahoo.com.cn.

通讯作者: 夏斌 E-mail: 310602126@qq.com

地层露头、松辽盆地南部钻孔资料以及徐家围子部分钻探资料的统计及对比分析。火石岭组火山岩主要以一套中性岩和基性岩为主。火山熔岩约占 63%,火山碎屑熔岩约占 19%,火山碎屑岩约占 18%。从岩性上统计,流纹质火山岩约占 7%,英安质火山岩约占 4%,安山质火山岩约占 50%,玄武质火山岩约占 5%,此外闪长玢岩约占 0.4%,沉凝灰岩约占 4%,凝灰质砂岩、砾岩约占 29%^[6-7]。地震解释火石岭组火山岩岩相类型丰富,包括喷溢相下部亚相、喷溢相上部亚相、爆发相热基浪亚相、爆发相热碎屑流亚相、火山通道相火山颈亚相和火山沉积相。其中喷溢相下部亚相占近 72% 的比例,喷溢相总体上占近 88% 的比例,是火石岭组的优势相。从岩相组合特征来看火石岭组火山喷发类型为裂隙—中心复合式。

2 徐家围子火石岭组火山岩分布特征及与断裂的关系

2.1 火石岭组火山岩和断裂的叠合关系

徐家围子断陷深层主要发育以正断层为主的 3 组不同走向的断裂,分别为 NNW—NW 向、NE 向和 SN 向,其中 NNW—NW 向发育最早,NE 向和 SN 向发育较晚。徐西、徐中和徐东断裂是 3 条大的控陷断裂。其中徐西断裂为近 NNW—NW 走向的正断层,徐中断裂为 NNW 走向具走滑性质的正断层,徐东断裂由近 SN 向的一系列走滑断裂带构成。徐西断裂在 3 条控陷断裂中发育最早并将断陷和松辽盆地北部深层以花岗岩为主体的中央古隆起相隔,构成断陷的西部边界,断陷内部填充了从白垩系火石岭组到登娄库组火山岩和沉积岩地层,在断陷东部地层逐渐变薄并超覆到朝阳沟隆起的花岗岩、片岩基底之上。

从徐家围子断陷火石岭组现今残存火山岩厚度来看(图 2),西部以徐西断层为界,断层上升盘的中央隆起上火石岭组缺失;东部边界主要是超覆特征,也受东部斜坡上发育的断裂控制,在东部斜坡的高部位缺失;在南北方向上,从研究区南缘到北缘都有分布,只是研究区南部窄、中北部宽。

火石岭组厚度在徐家围子断陷整体比较平均,大部分地区厚度在 600 m 以内。在盆地内有 3 个厚度发育中心,在中部偏南的徐深 11 井到徐深 15 井之间,最大厚度达到 2 200 m,面积约为 63 km²;在中部偏北的徐深 24 井附近有一个厚度中心,最大厚度达到 1 600 m,面积约为 12 km²,向北在安达以北的达深 1 井和达深 6 井以东有一个厚度中心,面积约为 50 km²,最大厚度为 2 700 m。

火石岭组沉积时期,徐东和徐中断裂尚未发育。徐西断裂发育为南、北 2 段,南段发育于断陷西部偏南,北段发育于东部偏北,2 段均整体呈近 NNW 走向,相交于升平—兴城隆起。整个断陷内火石岭组沿徐西断裂东侧分布,在徐西断裂西侧的隆起上缺失。但垂直断裂走向在靠近断裂处和远离断裂处火山岩厚度并没有明显变化,均保持在 500~700 m 之间,断裂对火山岩厚度的控制不明显。

火石岭组火山岩的上述 3 个厚度中心沿徐西断裂独立分布,从厚度等值线看,在 3 个厚度发育中心内部,火山岩较厚的一侧均靠近东面,远离断裂;火山岩较薄的一侧靠近断裂,而非像营城组火山岩那样靠近断裂处火山岩厚度大。因此,我们分析徐

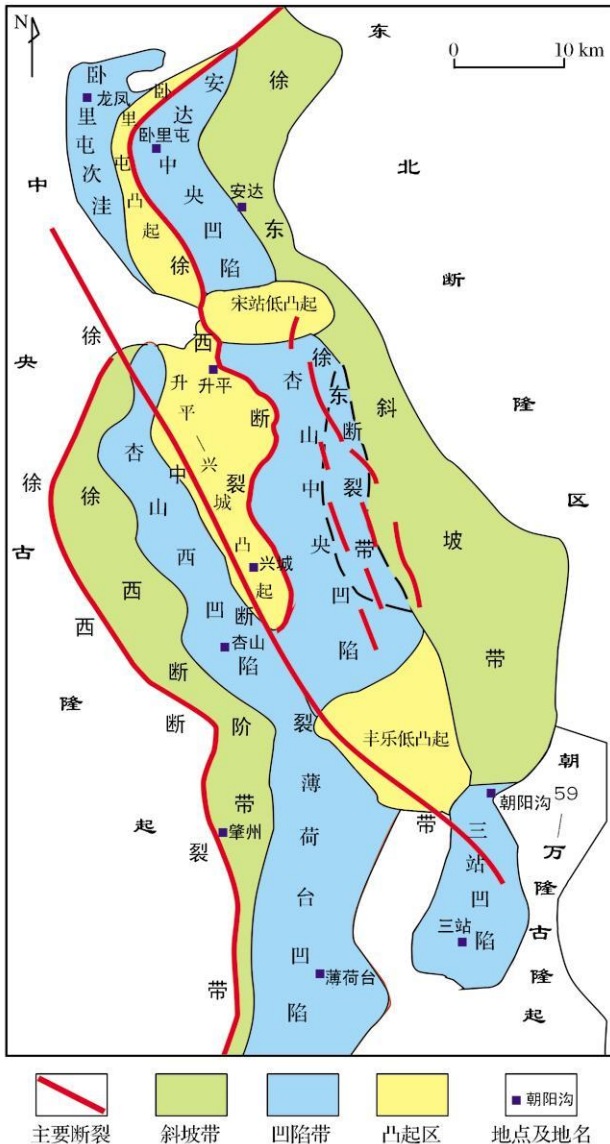


图 1 徐家围子断陷构造位置示意(据蔡周荣等^[8], 2010)

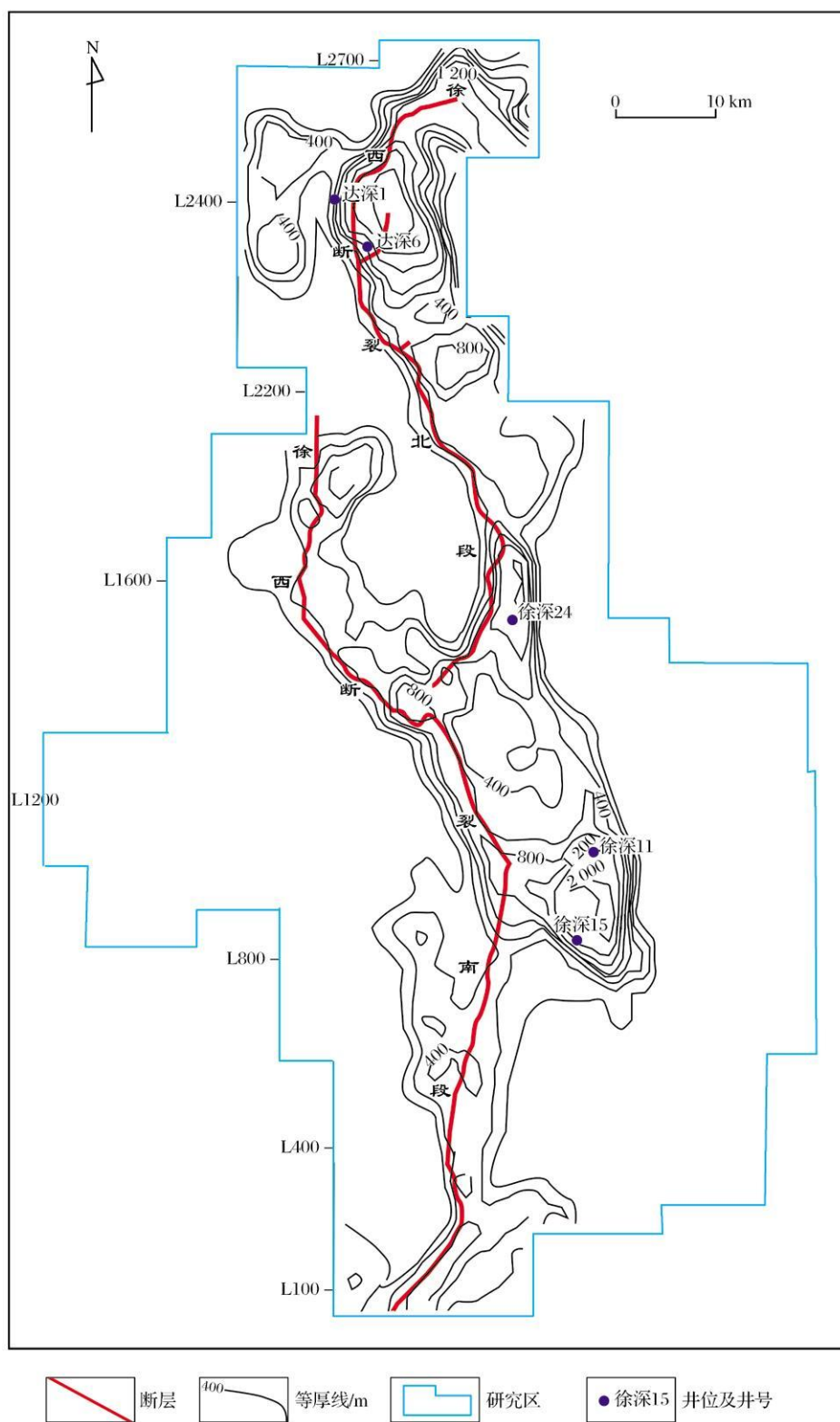


图2 徐家围子火石岭组火山岩厚度与断裂叠合特征

西断裂对火石岭组分布的控制作用并不明显, 3个火石岭组厚度中心的发育应与局部构造和火山活动有关。

在剖面上, 火石岭组火山岩主要分布在深拗陷内, 表现为东西两翼高, 中间低, 西部以徐西断裂为

界, 东部有向隆起上尖灭的趋势, T_{4-2} 反射层向东延伸明显小于 T_5 反射层, 一般超覆在 T_5 反射层上 (图3)。在凹陷内部火石岭组火山岩的箕状断陷结构特征不明显, 而是有明显呈等厚分布的特征。从剖面上看, 火石岭组火山岩明显分布在徐西断裂以

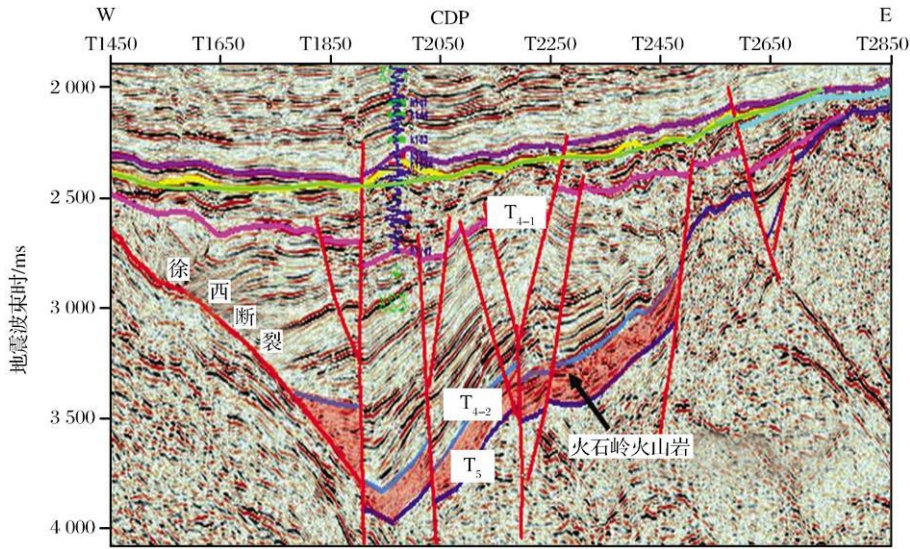


图3 火石岭组火山岩分布剖面(line1226 线)

T₃ 相当于基岩顶面反射层; T₄₋₂ 相当于火石岭组顶面反射层; T₄₋₁ 相当于沙河子组顶面反射层

东,并且徐西断裂有向深部地壳延伸的趋势。坳陷内部的SN走向断层和NE走向断层对火石岭组火山岩有分割作用,从地震剖面上分析这些分割作用发生在火石岭组火山岩形成后。

2.2 徐西断裂的活动特征及对火石岭组火山岩分布的影响

从现存火石岭组火山岩在徐西断裂以东发育,在徐西断裂以西缺失的现象,可以看出火石岭组火山岩的空间分布明显受徐西断裂的控制。这种控制作用是否在火石岭期火山岩发育时就已经存在呢?为此,我们系统统计了徐西断裂的生长量(图4)和徐家围子断陷的沉降量(图5)。

从徐西断裂生长量统计图(图4)看,徐西断裂最大生长量为沙河子期,其次为火石岭期,沙河子期最大生长量达到9700 m,接近火石岭期最大生长量(5400 m)的2倍。其中,火石岭期,徐西断裂在

南部和北部生长量比较大,在中部较小;沙河子期,南部生长量较小,中部和北部生长量较大。从徐家围子断陷沉降量统计图(图5)看,火石岭期为断陷的初始沉降期,断陷的平均沉降量小于800 m,最大沉降量为1600 m;沙河子期断陷急剧沉降,平均沉降量超过1500 m,最大沉降量达到2700 m。2项统计指标说明徐西断裂的最强活动和徐家围子最大断陷均发生在沙河子组时期。

从剖面上看,火石岭组火山岩在断陷内基本等厚,根据火石岭组火山岩以喷溢相为主的特征,说明火山喷发时期,古地貌较为平坦,喷溢的岩浆在流动中形成等厚分布的格局。结合徐西断裂的活动强度,我们认为,火石岭期火山喷发时徐家围子断陷尚未形成,火石岭组火山岩的分布主要受古地形地貌的控制,在徐西断裂两侧应均有火石岭组火山岩分布。徐西断裂对火山岩分布的控制作用并不明显。

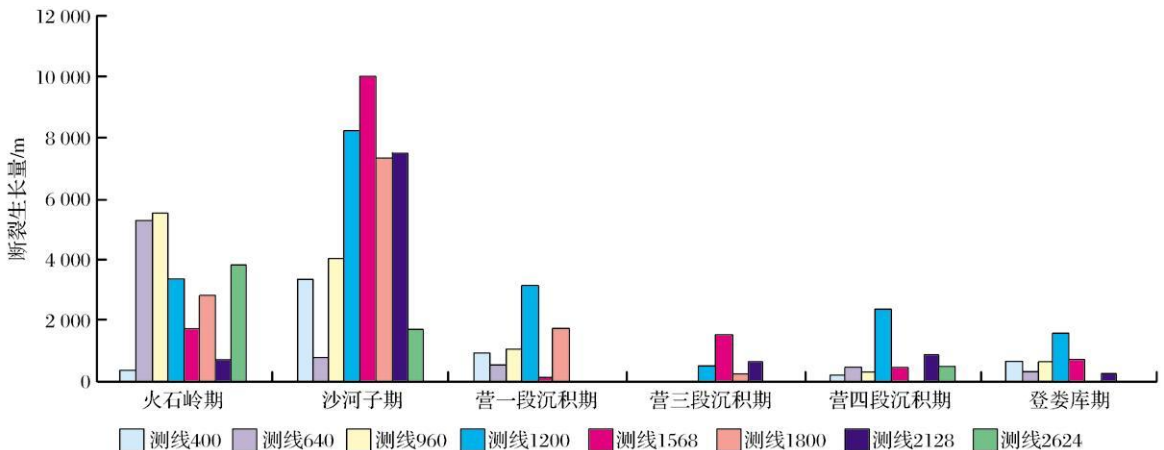


图4 徐西断裂不同时期生长量统计

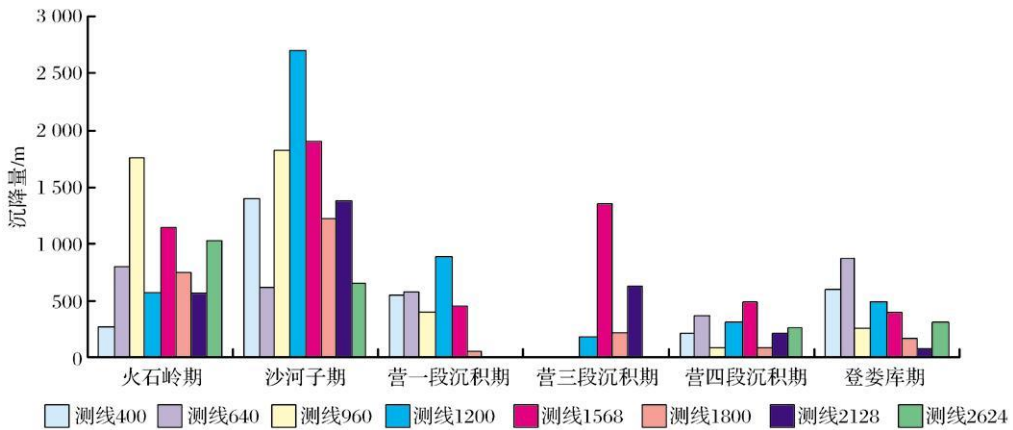


图 5 徐家围子不同时期沉降量统计

沙河子组沉积时期,徐西断裂生长量增大,徐家围子断陷大幅度沉降,断陷格局基本形成。此时,徐西边界断裂东侧的火石岭组沉降于断陷之中继续接受沉积,而徐西断裂西侧相对隆升,接受剥蚀,随着沙河子期及以后断陷的不断沉降以及隆起区的不断剥蚀,隆起区火石岭组被剥蚀殆尽,造成现今火石岭组火山岩沿徐西断裂东侧分布,在西侧缺失的现象。

因此,火石岭组火山岩和徐西断裂现今的这种空间分布关系并不是一次形成的。火石岭组沉积时期,由于不是徐西断裂发育的高峰期,该断裂对火山岩分布的控制作用并不明显,火山岩在断裂的两侧应均有分布。而造成现今的分布格局主要发生在沙河子组沉积时期断裂东、西两侧的差异沉降与隆升剥蚀等改造过程中。

3 火石岭组火山岩喷发机制探讨

综合前人^[9-11]研究以及对松辽盆地区域 15s 地震剖面的分析,地壳深层断裂系统自下而上可以划分为水平拆离面,倾斜拆离面,低角度基底断裂和高角度基底断裂。这些断裂系统的发育为壳幔之间架起了一条条的通道。结合区域地质背景和壳幔结构特征分析,松辽盆地北部曾发生过地幔上涌的地质现象^[12]。在徐家围子地区,地幔岩浆上涌沿着这些断裂逐级向上侵入,最后沿基底断裂在地表薄弱处向上溢流喷发,是火石岭组火山岩喷发的主要受控机制(图 6)。

而至于徐西断裂的作用,我们仍依据火石岭组厚度较均匀的发育特征认为,火石岭组火山岩沿深部基底断裂向地表喷发,徐西断裂也是喷发通道之一。但徐西断裂此时刚刚发育,对火山岩的分布并不形成控制作用。沙河子期徐家围子断陷进入强烈断陷阶段,徐西断裂作为控陷断层沿中央古隆起边

界切穿火石岭组,成为火石岭组西面分布的边界。

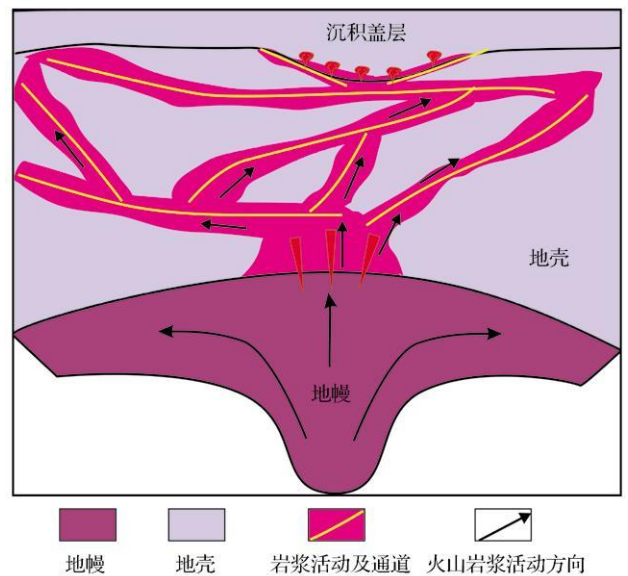


图 6 地幔上涌与徐家围子断陷火山活动关系模式

4 结论

(1) 研究区火石岭期地幔岩浆沿基底断裂在地表溢流喷发。

(2) 火石岭组地层厚度在徐家围子断陷内基本呈等厚分布,大部分地区厚度在 600 m 以内。

(3) 火石岭组沿徐西断裂分布的格局主要受沙河子组沉积期断裂东、西两侧的差异沉降与隆升剥蚀的改造过程控制。

参考文献:

- [1] Pan Jianguo, Hao Fang, Zhang Huqian, et al. Formation of granite and volcanic rock reservoirs and their accumulation model[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(3): 380-385. [潘建国,郝芳,张虎权,等.花岗岩和火山岩油气藏的形成及其勘探潜力[J].天然气地球科学,2007,18(3):380-385.]

- [2] Wu Wei, Zhang Xiurong, Xu Dongfang. Comprehensive evaluation of gas-bearing traps in volcanic rocks of Xujiaweizi depression[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2002, 26(2): 9-13. [吴伟, 张秀荣, 徐东芳. 徐家围子断陷火山岩圈闭含气性的综合评价[J]. 大庆石油学院学报, 2002, 26(2): 9-13.]
- [3] Meng Qí an, Yang Yongbin, Jin Mingyu. Controlling role of faults to giant Qingshen gas field in Songliao basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(supplement): 14-18. [蒙启安, 杨永斌, 金明玉. 断裂对松辽盆地庆深大气田的控制作用[J]. 石油学报, 2006, 27(增刊): 14-18.]
- [4] Yu Dan, Lv Yanfang, Fu Xiaofei, *et al.* Characteristics of fault structure and its control on deep gas reservoir in Xujiaweizi fault depression, Songliao basin[J]. Geological Review, 2010, 56(2): 237-246. [于丹, 吕延防, 付晓飞, 等. 松辽盆地北部虚骄围子断陷断裂构造特征及对深层天然气的控制作用[J]. 地质论评, 2010, 56(2): 237-246.]
- [5] Wang Shuxue, Zhou Qinghua, Zhou Qingqiang, *et al.* Gas-bearing system and accumulation mechanism of deep layer in Xujiaweizi fault depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(3): 394-399. [王树学, 周庆华, 周庆强, 等. 松辽盆地徐家围子断陷深层天然气含气系统与成藏机制[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(3): 394-399.]
- [6] Yang Liying, Li Ruilei. Integrated recognition with geologic and seismic methods on the volcanic rocks, volcanic edifices and volcanic facies in southern deep Songliao basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(6): 1083-1091. [杨立英, 李瑞磊. 松辽盆地南部深层火山岩、火山机构和火山岩相地质—地震综合识别[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(6): 1083-1091.]
- [7] Wang Pujun, Chi Yuanlin, Liu Wanzhu, *et al.* Volcanic facies of the Songliao basin: Classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 33(4): 449-456. [王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(4): 449-456.]
- [8] Cai Zhouong, Xia Bin, Guo Feng, *et al.* Controlling mechanism on volcanic rocks of the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi rift depression in the northern Songliao basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6): 941-947. [蔡周荣, 夏斌, 郭峰, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷营城组火山岩受控机制分析[J]. 石油学报, 2010, 31(6): 941-947.]
- [9] Nancye H Dawers, Mark H Anders. Displacement-length scaling and fault linkage[J]. Journal of Structural Geology, 1995, 17(5): 607-614.
- [10] Brian Wernicke, Burchfiel B C. Modes of extensional tectonics[J]. Journal of Structural Geology, 1982, 4(2): 105-115.
- [11] Li Zhongquan, Xiao Demin, Hou Qijun, *et al.* Palaeo-foreland basin formation characteristics and gas-oil exploration significance in deep-seated Songliao basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2004, 31(6): 582-586. [李忠权, 萧德铭, 侯启军, 等. 松辽盆地深层古前陆盆地地层特征及其油气勘探意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(6): 582-586.]
- [12] Xiao Long, Wang Fangzheng, Wang Hua, *et al.* Mantle plume tectonics constraints on the formation of Songliao and Bohaiwan basins[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(3): 283-293. [肖龙, 王方正, 王华, 等. 地幔柱构造对松辽盆地及渤海湾盆地形成的制约[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(3): 283-293.]

Relationship between Huoshiling Volcanic Distribution and Sag-controlling Fault in Xujiaweizi Rift Sag

LIU Wei-liang¹, XIA Bin^{1,2}, CAI Zhong-rong¹,

GUO Feng², WAN Zhifeng¹, LIU Jianbao², HU Yang²

(1. School of Marine Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Xujiaweizi gas reservoir is the largest gas volcanic reservoirs in the eastern China. The Huoshiling volcanic rocks will be an important exploration target. By means of the latest 3D seismic data, we consider that the distribution of the Huoshiling volcanic rocks along the Xuxi fault is the product of the Xuxi fault reconstruction at the Shahezi period. The Huoshiling volcanic eruption is crystal magma migrated upward along deep faults.

Key words: Xujiaweizi rift sag; Huoshiling Formation; Volcanic rocks; Xuxi fault.