

引用格式: 许方哲. 松辽盆地南部火石岭组火山岩分布特征[J]. 世界石油工业, 2024, 31(5): 48-55.

XU F Z. Distribution characteristics of volcanic rocks in Huoshiling Formation in southern Songliao Basin[J]. World Petroleum Industry, 2024, 31(5): 48-55.

松辽盆地南部火石岭组火山岩分布特征

许方哲

(中国石化东北油气分公司勘探开发研究院, 吉林 长春 130062)

摘要: 松南地区火山岩具有分布范围广、厚度大、岩性岩相特征复杂、地层穿时的特点, 地层序列划分是地质研究的基础, 对于后续相关地质研究及油气勘探开发部署具有重要意义, 因此, 明确不同区块的火山岩喷发时期与岩性组合差异尤为重要。应用以往的岩性岩相识别、地震地层接触关系分析方法, 在火山岩年代学指导下, 利用U-Pb、K-Ar、Ar-Ar等测年方法确定火山岩地质时期。通过取样分析测试得到松辽盆地火山岩的年代数据130个, 明确松南地区火山岩时代归属。结合火山岩成分分类, 确定松南地区火石岭组火山岩发育3个喷发旋回, 由上至下分别为中性喷发旋回、中酸性喷发旋回以及中基性喷发旋回。中性喷发旋回分布范围较广, 喷发次数多, 在查干花、梨树、龙凤山地区均发育; 中酸性喷发旋回分布范围较小, 厚层酸性喷溢相为主, 发育火山通道相, 主要分布在查干花、梨树地区; 中基性喷发旋回分布范围较小, 仅在东岭地区发育, 该旋回以中基性喷溢相和中基性爆发相为主。明确松辽盆地南部火石岭组火山岩喷发旋回划分, 建立全区的火山岩地层格架, 优选更利于勘探部署的喷发旋回开展研究工作, 控制了勘探的时间成本, 有利于松辽盆地南部火山岩研究的系统化。

关键词: 火山岩; 成因类型; 喷发旋回; 松辽盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

文章编号: 1006-0030(2024)05-0048-008 **DOI:** 10.20114/j.issn.1006-0030.20231102002

Distribution characteristics of volcanic rocks in Huoshiling Formation in southern Songliao Basin

XU Fangzhe

(Exploration and Development Research Institute, Northeast Oil & Gas Branch,
Sinopec, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: The practice of deep oil and gas exploration in the southern Songliao Basin shows that volcanic oil and gas reservoirs have become an important field for oil and gas breakthrough. In recent years, the degree of oil and gas exploration for volcanic rocks has been significantly improved. The basin has abundant drilling, seismic, logging, volcanic rock chronology and geochemical data, which provides conditions for the study of deep volcanic rocks in the basin. Volcanic rocks in Songnan area have the characteristics of wide distribution, large thickness, complex lithology and lithofacies, and time-lapse of strata. Stratigraphic sequence division is the basis of geological research, which is of great significance for subsequent related geological research and oil and gas exploration and development deployment. In addition to the previous methods of lithology and lithofacies identification and seismic stratigraphic contact relationship analysis, this study also used U-Pb, K-Ar, Ar-Ar dating methods to determine the geological period of volcanic rocks under the guidance of volcanic chronology. Through sampling analysis and testing, 130 age data of volcanic rocks in Songliao Basin are obtained, and the age of volcanic rocks in Songnan area is clarified. Further combined with the classification of volcanic rock composition, the volcanic rocks of Huoshiling Formation in Songnan area develop three eruption cycles, from top to top, they are neutral eruption cycle, intermediate-acid eruption cycle and intermediate-basic eruption cycle. The distribution range of neutral eruption cycle is wide, and the number of eruptions is large, which is developed in Chaganhua area, Lishu area and Longfengshan area. The distribution range of intermediate-acidic eruption cycles is small, and the thick-layer acidic effusive facies is dominant, and the volcanic channel facies is developed, which is mainly distributed in the Chaganhua and Lishu areas. The distribution range of the intermediate-basic eruption cycle is small, and it is only developed in the Dongling area. The cycle is dominated by intermediate-basic effusive facies and intermediate-basic explosive facies. The division of volcanic eruption cycle of Huoshiling Formation in southern Songliao Basin is clarified, the stratigraphic framework of volcanic rocks in the whole area is established, and the eruption cycle which is more

收稿日期: 2023-11-02

修回日期: 2024-05-08

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技项目“松南断陷火山岩气藏一体化技术研究与应用”(P21104)

作者简介: 许方哲(1989—), 女, 助理研究员, 硕士, 从事松辽盆地南部勘探地质研究工作。

E-mail: never997199412@126.com

conductive to exploration and deployment is selected to carry out research work, which controls the time cost of exploration and is conducive to the study of volcanic rocks in southern Songliao Basin.

Keywords: volcanic rock; genetic type; eruption cycle; Songliao Basin

0 引言

松辽盆地位于中亚造山带东段,从古生代至中生代该地区经历了由古亚洲洋构造域向古太平洋构造域的演化过程。由于特殊的地理、构造位置,盆地的形成和演化可能经历了来自不同时期、不同构造事件的影响,导致盆内火山岩具有多活动中心、多期次、类型多样、成分复杂等特征,形成的含火山岩地层在岩性特征、岩性序列、岩相组合等方面均存在一定差异。由于物源为火山喷出的岩浆,并受构造作用控制,火山地层序列常具有穿时、倒转现象,再加之火山岩中缺少化石资料,很难用古生物特征判断火山地层序列,致使火山地层序列精细划分与对比变得异常困难。前人研究多集中于火山岩的岩性、岩相、储层和成藏,而对火山地层形成与分布机制的研究相对较少^[1-4]。

本次研究利用U-Pb、K-Ar、Ar-Ar等测年方法得到松辽盆地火山岩的年代数据共计130个,其中松辽盆地南部的年代数据共计56个,通过统计分析落实数据可靠性。结合对于松辽盆地南部火山岩岩性、岩相、火山岩地震反射特征、火山机构形态、规模等的研究,确立不同地区火山岩时代归属并划分火山喷发旋回^[5-6]。依据松南地区火山岩分类命名TAS图解(据国际火山岩TAS图解)识别松南地区火山岩成因类型,松南断陷火石岭组火山岩从基性到酸性均发育,以弱碱性和钙碱性岩为主,不同地区火山岩物质组成有一定差异。结合年代学、地层分布及盆地演化等综合分析,松辽盆地南部火石岭组共包括5个喷发旋回,研究区(查干花—东岭—龙凤山—梨树地区)火石岭组对应旋回1—旋回3。查干花与梨树地区微量元素与稀土元素特征相似差别不大,表明二者可能来自同一岩浆源区。

本文通过岩心描述、薄片鉴定、岩石组构等资料综合分析,描述研究区主要火山岩的岩石学基本特征,明确不同类型火山岩的识别标志,结合地球化学测试结果,划分研究区火石岭组火山岩喷发旋回、期次,建立研究区火石岭组火山岩旋回、期次剖面。结合不同地区火山岩勘探开发现状,可以进一步明确优质火山岩气藏的时空展布及成因类型,有效指导勘探部署。

1 松南地区火山时代归属

本次研究涉及松辽盆地内的绥化断陷、常家围子断陷、徐家围子断陷、古龙断陷、莺山断陷、王府断陷、长岭断陷以及梨树断陷等8个断陷的火石岭组火山岩的年代^[7-11]。其中,松辽盆地南部的年代数据共计56个,长岭断陷的年代数据共计31个。经统计发现松辽盆地火石岭组年龄出现4个峰值(见图1)分别为:70~80 Ma、110~135 Ma、140~150 Ma以及180~200 Ma,其中110~135 Ma、140~150 Ma为最有可能的火石岭组年龄:①数据最多。分布于110~135 Ma的数据共有43套,分布于140~150 Ma的数据共有33套,两组数据共占总数的60%。这些数据主要来自于不同学者2003年至2017年的测试结果。测试方法最主要为U-Pb法、K-Ar法以及Ar-Ar法。不同方法,不同学者相同的测试结果可能反映了火石岭组年龄的真实性。②盆内钻井结果。准确标定火石岭组是盆内钻井样品测年结果真实性的先决条件,松辽盆地徐家围子断陷芳深10井和梅里斯断陷杜13井均发育沙河子组厚层的暗色细砾沉积,将其下的厚层火山岩段划归为火石岭组是可信的^[12]。

70~80 Ma这个年龄峰可能是样品受到蚀变的结果。在热液、脱玻化、硅化、蚀变等因素影响下,一般矿物不能保持原始的封闭体系,往往是蚀变后的封闭体系,因而测定出蚀变以后保留的封闭体系年龄会明显低于原始年龄。松辽盆地大约在青山口组一段末至二、三段末有一次大的构造活动,使地质体发生蚀变,目前在金65井、乾109井、乾124井、金6井、英80井等沿盆地中央的孙吴—双辽壳断裂方向的井中均发现有玄武岩的喷发。图1(b)中的第1个年龄峰值可能代表了这次构造-火山活动及其后的影响。大多数矿物长期受到100~200 °C的加热就会发生Ar的丢失,在所统计的样品中,多数现今埋深均超过2 000 m,并在地质历史上遭受深埋,岩石重新受热并导致K-Ar法和Ar-Ar法测得的年龄值偏低^[13-14]。

180~200 Ma的年龄峰可能为捕获的下侏罗统地层中斑晶和捕虏晶的年龄。许文良系统总结了东北地区中生代火山岩的年代学、岩石组合及其时空分布规律后发现,早—中侏罗世(173~190 Ma)火

山岩主要分布在吉黑东部、小兴安岭—张广才岭和额尔古纳地区。松辽盆地内190~195 Ma及其附近的

火山岩年龄与盆缘测试显示良好的一致性,反映早—中侏罗世东北地区火山活动的广泛分布^[15]。

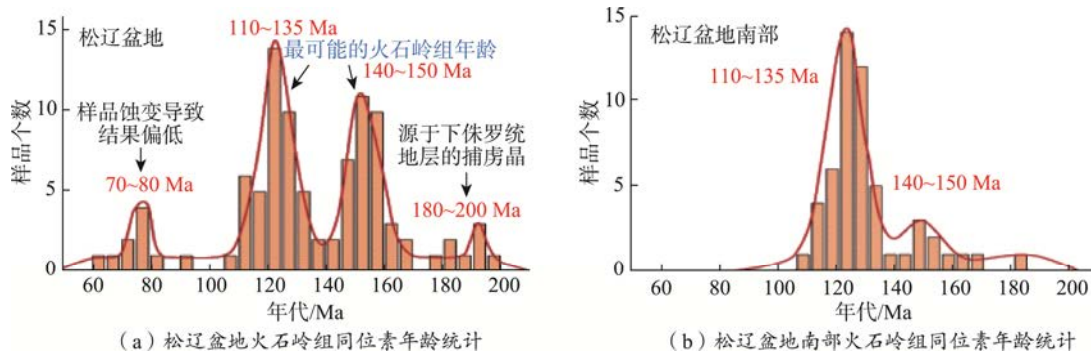


图1 松辽盆地火石岭组同位素年龄特征

Fig.1 Isotopic age characteristics of Huoshiling Formation in Songliao Basin

2 松南地区火山喷发旋回划分

2.1 单井喷发旋回划分依据与方法

单井喷发旋回的划分依据包括沉积岩夹层、岩相序列和锆石年龄等。风化壳或沉积岩夹层的出现,反映了较为长期的火山喷发间断,是火山喷发间断和喷发旋回划分十分有利的证据^[16]。部分旋回界面既不存

在风化壳,也不存在沉积夹层,表现为岩相序列或测井曲线的变化。在一个火山喷发旋回中,通常会出现火山通道相—爆发相—喷溢相—侵入相—火山沉积相的序列,实际情况中的相序组合只能出现其中的2~3个岩相类型或单一的岩相类型^[17-18]。如图2所示,SN104井旋回2只有爆发相、中酸性喷溢相与火山沉积相,且岩性为流纹质凝灰岩、流纹岩等;旋回1

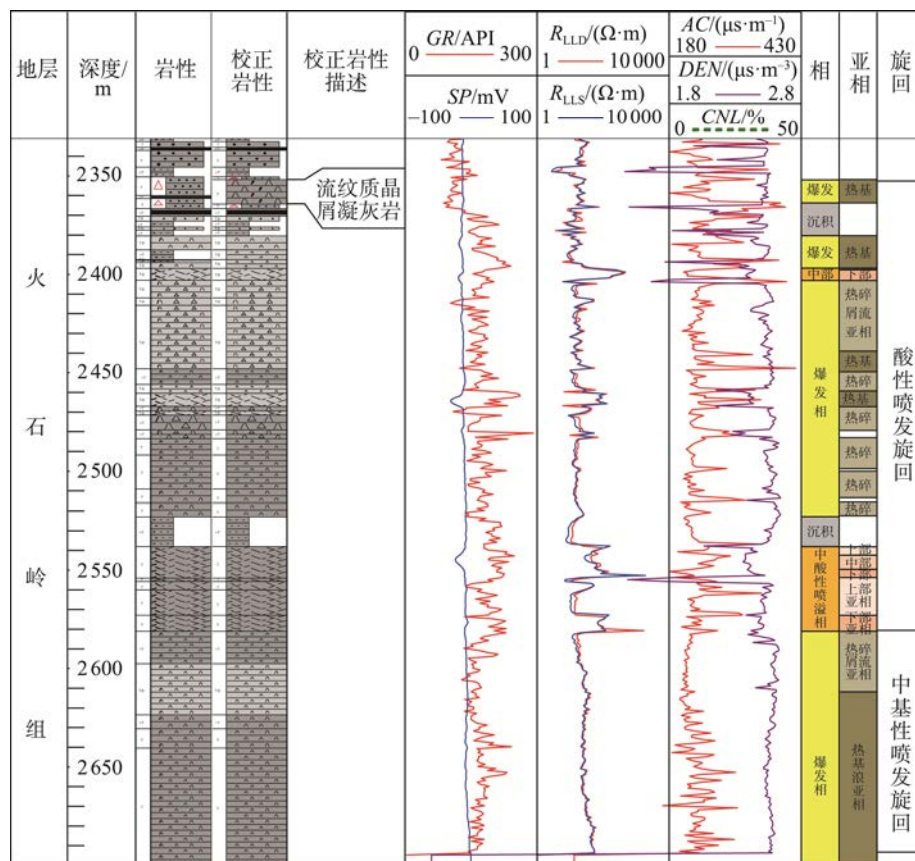


图2 SN104井测井岩性岩相序列旋回划分

Fig.2 Logging lithology lithofacies sequence cycle division of SN104

又从爆发相开始, 岩性为安山质凝灰岩。岩性岩相的组合变化反映了岩浆长时间分异演化作用, 这中间必然存在长时间喷发间断, 可作为旋回界面^[19-20]。因此, 对于既没有沉积岩夹层, 又没有风化壳的大套火山岩, 可根据岩性岩相的序列变化, 进行喷发旋回的划分和横向对比^[21]。

2.2 松南地区喷发旋回井-震对比

2.2.1 梨树地区旋回划分

(1) 梨树地区连井剖面对比。选择2条骨干连井剖面进行连井对比。对比的原则是先进进行单井旋回划分, 选择几个区域上发育沉积岩夹层标准井, 确定大体的对比格架, 在此基础上, 综合其余井火山岩段内风化壳、沉积岩夹层、岩性的变化, 进行临近的对比和旋回的划分工作。已有的岩心、钻井资料表明梨树地区火石岭组可分为2个旋回, 下部为中性喷发旋回, 上部为中酸性喷发旋回。中性喷发旋回为一套分布范围广的且喷发频繁的中性喷出岩组合, 喷发次数多且单次喷发厚度小, 岩相变化快。主要的岩石类型为安山岩(占比55%), 玄武安山岩(占比27%), 安山质火山角砾岩(占比10%), 凝灰岩(占比8%)代表井为SN167、SN203井以及SW17井。上部的中酸性喷发旋回以厚层的中酸性喷溢相为主, 但也有薄层的爆发相。此外在上部中酸性旋回中可见火山通道相。岩性以流纹岩为主(占比50%), 其次是流纹质火山角砾岩(占比25%), 另外还有流纹质隐爆角砾岩(占比10%)、凝灰岩(占比10%), 沉凝灰岩(占比5%)。代表井为松南65、松南66、SN104井以及SN165井。

(2) 井-震对比。单纯的井-井对比往往存在较大的误差和不确定性, 工区有高精度的三维地震资料, 因此, 在连井对比的基础上, 进行了喷发旋回的井-震对比和划分。在对比中, 主要利用地震界面进行喷发旋回界面的调整。根据井-震对比, 梨树地区火石岭组可以明显分为2个旋回(见图3)。

2.2.2 查干花地区旋回划分

对C1、C2、C3井的连井以及其他连井剖面对比发现, 查干花地区仅发育中性喷发旋回, 该旋回的下部岩性整体以喷溢相和爆发相互层为主, 局部可见火山通道相代表井为查1、查5井。旋回中部为厚层的爆发相夹薄层的喷溢相代表井为查3井, 旋回的上部则以沉凝灰岩为主代表井为查2井。该地区的岩性主要为安山质凝灰岩(占比39%)、安山

岩(占比17%); 其次为英安质凝灰岩(占比9%)、流纹质凝灰岩(占比8%)沉凝灰岩(占比11%); 隐爆角砾岩(占比5%), 玄武质安山岩(占比5%)以及沉积岩(占比6%)占比较小。

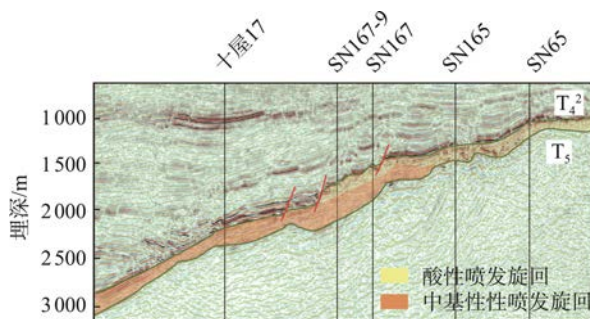


图3 SW17井-SN167-9井-SN167井-SN165井-SN65井连井地震剖面

Fig.3 SW17-SN167-9-SN167-SN165-SN65 seismic profile.

在连井对比的基础上, 进行了C5-C1-C2-C3井这4口井的井-震对比和划分。在对比中, 主要利用地震界面进行喷发旋回界面的调整。根据井-震对比, 查干花地区火石岭组可以划分为1个旋回。

2.2.3 龙凤山地区旋回划分

对B9、B213、B213-1以及B203这4口井连井对比以及B9-B213-B203-B2井等4口井地震剖面的连井对比发现, 龙凤山地区火石岭组火山岩可划分为2个旋回, 下部为中性喷发旋回, 上部为中酸性喷发旋回。下部旋回的岩性以安山质凝灰岩为主(占比40%), 其次为安山岩(占比23%)、安山质火山角砾岩(占比20%), 沉凝灰岩(占比12%)与隐爆角砾岩(占比5%)的含量相对较小。中性喷发旋回以爆发相和喷溢相为主, 两种相交替频繁, 单层厚度不大。代表井为B204井和B215井。

上部中酸性喷发旋回中, 岩性以流纹质凝灰岩为主(占比50%), 其次是流纹质火山角砾岩(占比15%)和安山岩(占比15%), 火山角砾岩(占比5%)和沉凝灰岩(占比5%)的占比较小。中酸性喷发旋回主要以爆发相为主, 其次为中酸性喷溢相, 局部可见火山通道相。代表井为B219井和B213井。

在连井对比的基础上, 进行了B9-B213-B203-B2井这4口井的井-震对比和划分。在对比中, 主要利用地震界面进行喷发旋回界面的调整。根据井-震对比, 龙凤山地区火石岭组可以分为2个旋回(见图4)。

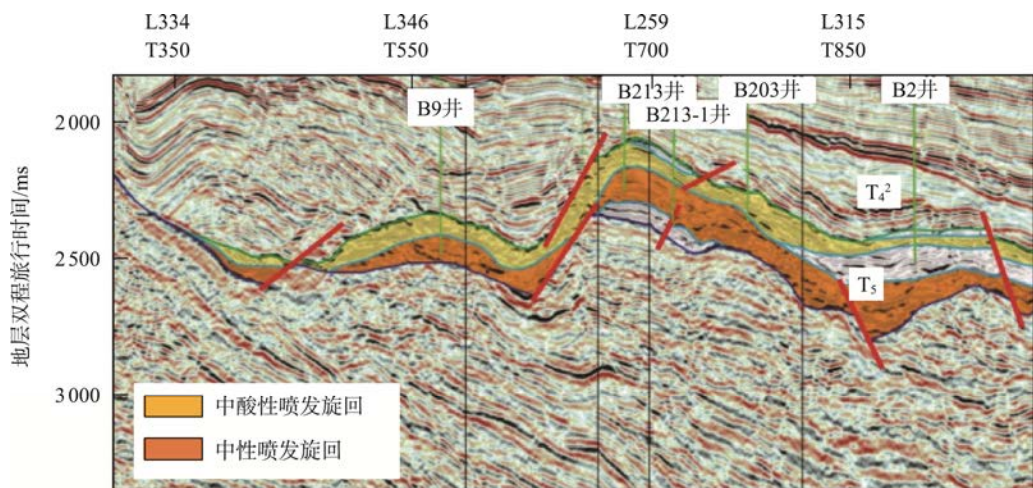


图4 B9井-B213井-B203井-B2井连井地震剖面
Fig.4 B9-B213-B203-B2 seismic profile

2.2.4 全区连井剖面旋回对比

在分别对梨树、查干花、龙凤山以及东岭这4个研究区进行旋回划分后,建立了2条过全区的剖面进行全区的连井剖面旋回对比。第1条剖面是过查干花、龙凤山以及梨树这3个研究区,由北向南依次为YS3-YS7-C5-B215-SN165-SN167-SW17井。其中查干花地区仅发育中性喷发旋回,龙凤山地区既发育中性喷发旋回又发育中酸性喷发旋回,梨树地区在SN165井和SN167井这2口井发育中酸性喷发旋回,而SW17井发育中性喷发旋回,同第1条连井剖面对比发现,梨树地区并不是全区都发育2个旋回,局部地区仅发育中酸性旋回或中性喷发旋回。

第2条剖面是过查干花、东岭以及龙凤山这3个研究区,由北向南依次为C5-SN183-SN180-B213-B215井。其中查干花地区仅发育中性喷发旋回,龙凤山地区既发育中性喷发旋回又发育中酸性喷发旋回,东岭地区发育中基性喷发旋回。

3 松南地区喷发旋回划分结果

前人将松辽盆地火石岭组二段的火山岩划分为5个喷发旋回,由下至上分别是中性熔岩旋回、酸性碎屑岩旋回、中基性熔岩旋回、偏碱性熔岩旋回和酸性熔岩旋回^[22]。结合前人研究与本项目的年代学、地球化学等研究^[23-25],将研究区火石岭组火山岩划分为3个旋回,由下至上分别为中性喷发旋回、中酸性喷发旋回以及中基性喷发旋回。

3.1 中性喷发旋回

分布范围较广、喷发次数多、单次喷发厚度小、岩相变化快,在SW17、SN104、SN66、SN203、YS3、YS7、B215井等多口钻井中均有揭示,厚度117~197 m,平均厚度为155.8 m。岩性以安山岩、玄武安山岩、凝灰岩和火山角砾岩为主,其中安山岩厚度为342.83 m,约占55%;玄武安山岩厚度为187.00 m,约占30%;凝灰岩厚度为31.17 m,约占5%;火山角砾岩厚度为62.33 m,约占10%。岩相以中基性喷溢相和爆发相为主,还有少量的火山通道相,其中板状熔岩流亚相厚236.87 m,约占38%;辫状熔岩流亚相厚224.40 m,约占36%;热碎屑流亚相厚93.50 m,约占15%。年代学结果显示,中性喷发旋回形成的时间最早约为128~130 Ma(见图5)。

3.2 中酸性喷发旋回

分布范围较小,厚层酸性喷溢相为主,发育火山通道相,揭示厚度80~229 m,平均厚度为146 m。岩性主要以流纹岩、流纹质角砾岩、凝灰岩、流纹质隐爆角砾岩为主,还有少量的沉凝灰岩;其中流纹岩厚364.85 m,约占50%;流纹质角砾岩厚182.42 m,约占25%;凝灰岩厚72.97 m,约占10%。岩相为酸性喷溢相占主要部分,只有少量的爆发相及火山通道相,其中酸性喷溢相厚547.27 m,约占75%;热碎屑流亚相厚109.45 m,约占15%;火山通道相厚72.97 m,约占10%。其中分布范围较旋回1小,岩性从中基性向酸性转变,岩相类型也从板状、辫状熔岩流等中基性喷溢相变为酸性喷溢相。年代学结果显示中酸性旋回的形成时间在120~125 Ma。

地层单位	厚度	年龄	岩性	岩相	岩性描述	代表井	旋回
中生界 白垩系 下统火 石岭组	126~300 m	116~120 Ma	▽ ▽ ▽	中基性 喷溢相	一套广泛分布 的喷发频繁的 中基性喷出岩 组合玄武岩与 安山岩喷溢相 主要表现为板 状熔岩流亚相 爆发相以热基 浪亚相为主	SN109 SN180 SN183	中基性 喷发旋回
			┐ ┐ ┐	爆发相			
			△ △ △	中基性 喷溢相			
			┐ ┐ ┐	爆发相			
			△ △ △	中基性 喷溢相			
			┐ ┐ ▽	中基性 喷溢相			
			▽ ▽ ▽	中基性 喷溢相			
	131~421 m	121~125 Ma	▽ ▽ ▽	爆发相	岩性整体以中 性安山岩为主, 分布规律为喷 溢相安山岩和 爆发相火山角 砾岩互层。局 部可见火山通 道相的隐爆角 砾岩	北213井 查3井 北218井 查1井 查5井 SN65井	中酸性 喷发旋回
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			△ ▽ ▽	火山通道相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			△ △ △	爆发相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			△ △ △	爆发相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
			▽ ▽ ▽	中酸性 喷溢相			
	179~225 m	128~130 Ma	▽ ▽ ▽	中基性 喷溢相	主要岩性为玄 武安山岩, 句 法发育少量爆 发相的火山角 砾岩	北204 北215 十屋17井 SN64井	中性 喷发旋回
			┐ ┐ ▽	中基性 喷溢相			
			┐ ┐ ▽	中基性 喷溢相			
			┐ ┐ ▽	中基性 喷溢相			
			△ △ △	爆发相			
			┐ ┐ ▽	中基性 喷溢相			

图5 松南地区火石岭组综合柱状图

Fig.5 Comprehensive histogram of Huoshiling Formation in Songnan area

3.3 中基性喷发旋回

分布范围较小, 仅在东岭地区发育, 该旋回以中基性喷溢相和中基性爆发相为主, 在中基性喷溢相中板状熔岩流亚相发育而爆发相主要发育热激浪亚相。厚度为131~421 m, 平均厚度为211 m。东岭地区的岩性主要为安山岩 (占比55%), 其次是玄武岩 (占比17%) 和玄武安山岩 (占比14%), 安山质玄武岩 (占比2%)、安山质凝灰岩 (占比6%)、安山质火山角砾岩 (占比6%) 含量相对较小。经过对东岭地区年代学数据的统计发现, 这一旋回形成于116 Ma。晚于其他地区发现的中性喷发旋回 (128~130 Ma), 以及中酸性喷发旋回年代学结果显示, 中基性喷发旋回的形成时间在整个研究区最晚, 约为116~120 Ma。

4 结论

(1) 建立松南地区火石岭组火山地层格架, 划分3个旋回, 明确火山岩2种成因。解决了松南地区火山岩研究不同区块分割独立的问题。

(2) 研究建立了松南地区火山地层格架。收集得到松辽盆地火山岩的年代数据130个。其中, 松辽盆地南部表现2个峰值: 110~135 Ma, 140~150 Ma, 主体在110~130 Ma, 结合松辽盆地地地层年代划分, 长岭断陷锆石测年102~108 Ma为营三段火山岩, 108~115 Ma为营一段火山岩, 116~130 Ma为火石岭组火山岩 (样品点21个); 梨树断陷火石岭组火山岩锆石测年110~131 Ma (样品点13个), 峰值在121~125 Ma, 为火石岭组火山岩,

对应国际地质年代, 测年数据集中对应Hauterivian-Barremian期, 部分数据点上延到早Aptian期。

(3) 结合年代学、地层分布及盆地演化等综合分析, 松辽盆地南部火石岭组共包括5个喷发旋回, 研究区(查干花—东岭—龙凤山—梨树地区)火石岭组对应旋回1-旋回3。依据松南断陷火山岩分类命名TAS图解, 松南断陷火石岭组火山岩从基性到酸性均发育, 以弱碱性和钙碱性岩为主, 其中查干花地区岩石类型主要为粗面质/玄武安山质/少量流纹质火山岩; 龙凤山地区岩石类型主要为中酸性英安质岩石和中性粗面安山质火山岩; 梨树地区岩石类型主要为中基性安山质火山岩和粗面安山质火山岩, 少量中酸性火山岩, 分布集中; 东岭地区岩石类型主要为中性粗面安山岩和基性粗面玄武岩。总体来看, 查干花以中基性火山岩为主, 伴有少量的酸性组分, 而梨树地区整体上为中基性火山岩。查干花与梨树地区微量元素与稀土元素特征相似差别不大, 表明二者可能来自同一岩浆源区。

(4) 松南地区火山地层格架的建立, 解决了一直以来火山岩成岩演化、岩相分布、岩性组合等方面存在的疑惑与争议, 建立了不同地区对于火山岩时期、岩性岩相划分与命名的统一标准, 推动了松南地区火山岩的系统研究。3个喷发旋回中火山岩的勘探效果与储层条件存在较大差异, 明确地层格架有利于针对性的展开部署, 目前的研究分析表明, 旋回2火山岩储层条件更优, 勘探开发取得的成果较显著, 是火山岩领域深耕的重点目标。

参考文献:

- [1] 高翔, 高有峰, 瞿雪姣, 等. 松辽盆地松科2井下白垩统营城组火山-沉积序列精细刻画[J]. 地学前缘, 2017, 24(1): 265-275.
GAO X, GAO Y F, QU X J, et al. Volcanic-sedimentary succession description of the Lower Cretaceous Yingcheng Formation based on the ICDP scientific drilling borehole in the Songliao Basin (SK-2)[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(1): 265-275.
- [2] 胡鹏, 鲍志东, 于兴河, 等. 碎屑重矿物差异与物源演化: 以长岭凹陷乾北地区青三段—姚一段为例[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(2): 375-387.
HU P, BAO Z D, YU X H, et al. Detrital heavy mineral difference and its implication for provenance: A case study of the third member of Qingshankou Formation and the first member of Yaojia Formation in Qianbei area, Changling Sag[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46(2): 375-387.
- [3] 贾茹, 付晓飞, 孟令东, 等. 断裂及其伴生微构造对不同类型储层的改造机理[J]. 石油学报, 2017, 38(3): 286-296.
JIA R, FU X F, MENG L D, et al. Transformation mechanism of fault and its associated microstructures for different kinds of reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(3): 286-296.
- [4] 孙茹雪, 潘保芝, 郭宇航. 松辽盆地中基性火山岩有效储层物性下限研究[J]. 世界地质, 2017, 36(1): 226-233.
SUN R X, PAN B Z, GUO Y H. Research on lower limits of effective reservoir physical properties of intermediate-basic volcanic rock in Songliao Basin[J]. Global Geology, 2017, 36(1): 226-233.
- [5] 刘哲, 单玄龙, 衣健, 等. 松辽盆地长岭断陷火山岩储层对天然气成藏的控制作用[J]. 世界地质, 2017, 36(3): 880-888.
LIU Z, SHAN X L, YI J, et al. Controlling effects on gas accumulation of volcanic reservoirs of Changling fault depression in Songliao Basin[J]. Global Geology, 2017, 36(3): 880-888.
- [6] 李斌, 陈井胜, 刘森. 吉林伊通地区中二叠世火山岩年代学及地质意义[J]. 地质论评, 2023, 69(增刊1): 43-44.
LI B, CHEN J S, LIU M. Chronology and geological implication of Middle Permian volcanic rocks in Yitong area, Jilin Province[J]. Geological Review, 2023, 69(S1): 43-44.
- [7] 岳洪举, 陆胜, 于庆洋, 等. 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组火山岩年代学和岩石地球化学研究[J]. 地质论评, 2022, 68(6): 2138-2146.
YUE H J, LU S, YU Q Y, et al. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks of Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser Khingan mountains[J]. Geological Review, 2022, 68(6): 2138-2146.
- [8] 程泽宇, 边伟华, 陈崇阳, 等. 海拉尔盆地嵯岗隆起侏罗系火山岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 世界地质, 2022, 41(3): 451-464.
CHENG Z Y, BIAN W H, CHEN C Y, et al. Chronology, geochemistry and geological significance of Jurassic volcanic rocks in Cuogang uplift, Hailar Basin[J]. Global Geology, 2022, 41(3): 451-464.
- [9] 陈崇阳. 松辽盆地断陷期火山地层序列与构造-火山-盆地充填演化: 盆缘剖面与徐家围子断陷对比研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
CHEN C Y. Volcano stratigraphic sequence and tectonic-volcanic-basin filling evolution in the faulted period of Songliao Basin: Based on the comparative study of basin margin sections and Xujiaweizi graben[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [10] 汪泽成, 赵振宇, 黄福喜, 等. 中国中西部含油气盆地超深层油气成藏条件与勘探潜力分析[J]. 世界石油工业, 2024, 31(1): 33-48.
WANG Z C, ZHAO Z Y, HUANG F X, et al. Ultra-deep hydrocarbon accumulation conditions and exploration

- potential in sedimentary basins of Central-Western China[J]. World Petroleum Industry, 2024, 31(1): 33-48.
- [11] 曹磊. 松辽盆地长岭地区中基性火山岩勘探地球物理技术进展[J]. 世界石油工业, 2023, 30(4): 30-39.
CAO L. Progress in geophysical techniques for exploration of medium basic volcanic rocks in the Changling area of Songliao Basin[J]. World Petroleum Industry, 2023, 30(4): 30-39.
- [12] 王治, 何静, 陈豫川, 等. SEC新准则下新疆油田火山岩油藏采收率影响因素分析及类比方法研究[J]. 世界石油工业, 2019, 26(5): 63-69.
WANG Y, HE J, CHEN Y C, et al. Factors affecting recovery efficiency of volcanic reservoirs in Xinjiang oilfield and its analogy method in the new SEC rule[J]. World Petroleum Industry, 2019, 26(5): 63-69.
- [13] 王高文. 徐深气田火山岩岩性、岩相识别及有效储层分布规律[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(5): 124-129.
WANG G W. Volcanic lithology-facies identification and distribution laws of the effective reservoir in Xushen Gas Field[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2018, 37(5): 124-129.
- [14] 印长海, 绪磊, 杨亮, 等. 莺山凹陷营城组火山岩储层特征及成因[J]. 大庆石油地质与开发, 2014, 33(5): 92-96.
YIN C H, XU L, YANG L, et al. Characteristics and origins of Yingcheng Formation volcanic reservoirs in Yingshan Sag[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2014, 33(5): 92-96.
- [15] 任宪军, 单玄龙, 衣健. 松辽盆地长岭断陷营城组火山熔岩流单元储层特征及量化表征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(5): 30-40.
REN X J, SHAN X L, YI J. Characteristics and quantitative evaluation of reservoir in lava flow units in the early Cretaceous Yingcheng Formation in Changling Depression of Songliao Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2017, 41(5): 30-40.
- [16] 黄文彪, 邓守伟, 卢双舫, 等. 松辽盆地南部扶余油层致密储层成岩序列及成藏期次[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(3): 508-516.
HUANG W B, DENG S W, LU S F, et al. Diagenetic sequence and hydrocarbon accumulation phases of the Fuyu layer tight reservoir in the southern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(3): 508-516.
- [17] 魏翔宇, 高有峰, 魏琴, 等. 蚀变对中基性火山岩储层的控制作用: 以松辽盆地徐家围子断陷下白垩统营城组为例[J]. 世界地质, 2017, 36(2): 541-551.
WEI X Y, GAO Y F, WEI Q, et al. Controlling of alteration on intermediate and basic volcanic reservoirs: A case study of Lower Cretaceous Yingcheng Formation of Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin[J]. Global Geology, 2017, 36(2): 541-551.
- [18] 张广权, 胡向阳, 孙兵, 等. 松辽盆地龙凤山凝析气藏营四砂组沉积特征及控制因素分析[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(4): 502-513.
ZHANG G Q, HU X Y, SUN B, et al. Sedimentary characteristics and controlling factors of gas condensate reservoir of Ying IV Formation in Longfengshan Gasfield, Songliao Basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(4): 502-513.
- [19] 赵文智, 邹才能, 冯志强, 等. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特征及评价技术[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 129-142.
ZHAO W Z, ZOU C N, FENG Z Q, et al. Geological features and evaluation techniques of deep-seated volcanic gas reservoirs, Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 129-142.
- [20] 邹才能, 贾承造, 赵文智, 等. 松辽盆地南部岩性-地层油气藏成藏动力和分布规律[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 125-130.
ZOU C N, JIA C Z, ZHAO W Z, et al. Accumulation dynamics and distribution of lithostratigraphic reservoirs in South Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 125-130.
- [21] ZHU X M, ZENG H L, LI S L, et al. Sedimentary characteristics and seismic geomorphologic responses of a shallow-water delta in the Qingshankou Formation from the Songliao Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 79: 131-148.
- [22] TANG H F, KONG T, LIU X, et al. Formation mechanism of high-quality reservoirs of Lower Cretaceous volcanoclastic sedimentary rocks in Songliao Basin[J]. Petroleum Research, 2017, 2(2): 186-198.
- [23] ZHU C Y, ZHAO G C, JI J Q, et al. Subduction between the Jiamusi and Songliao blocks: Geological, geochronological and geochemical constraints from the Heilongjiang Complex [J]. Lithos, 2017, 282/283: 128-144.
- [24] JIANG F, CHENG R H, RUAN B T, et al. Formation mechanism of volcanic reservoirs within a volcanostratigraphic framework: The case of the Wangfu fault depression in the Songliao Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 84: 160-178.
- [25] TANG H F, ZHAO X Y, SHAO M L, et al. Reservoir origin and characterization of gas pools in intrusive rocks of the Yingcheng Formation, Songliao Basin, NE China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 84: 148-159.

(编辑: 许静 王环)