

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.081>



# 海拉尔盆地西部坳陷带侏罗系火山机构识别及发育特征

赵德锋<sup>1</sup>, 史冠中<sup>1</sup>, 侯艳平<sup>2</sup>, 沈传波<sup>1\*</sup>, 吴路路<sup>1</sup>, 曾小伟<sup>1</sup>, 孙荣耀<sup>1</sup>, 郑晨宇<sup>1</sup>,  
彭宇琥<sup>1</sup>, 陈鹏<sup>1</sup>

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712

**摘要:** 火山岩型油气藏是当前油气勘探新领域, 勘探实践表明海拉尔盆地侏罗纪火山—沉积地层具有良好的油气勘探前景. 海拉尔盆地西部坳陷带分布在德尔布干断裂和额尔古纳断裂之间, 断裂构造对火山喷发和盆地填充过程有重要的控制作用, 然而断裂构造和火山岩相之间的耦合关系尚不明确, 制约了该区火山岩型油气藏勘探部署. 针对这一问题, 利用钻井岩心、测录井和地震资料, 运用井—震对比、多属性联合等方法, 分析了西部坳陷带各类火山—沉积岩的测井特征和地震反射特征, 识别火山机构并进行岩相古地理重建. 研究表明, 德尔布干和额尔古纳断裂带影响了中—晚侏罗世火山岩的横向展布, 火山机构主要分布在凹陷缓坡带, 在平面上沿 NE 向次级断裂呈串珠状、条带状分布, 呈多中心复合式爆发样式. 凹陷内平行断层组合、反向调节断层组合、断裂转折带、雁列式断层组合 4 种断裂组合对火山机构类型和发育有明显控制作用. 沉积岩主要发育在火山与断裂围限的可容纳空间内, 断裂与火山古地貌共同控制了凹陷内沉积砂体的展布.

**关键词:** 油气藏; 火山机构; 地震识别; 侏罗系; 海拉尔盆地; 构造地质学.

中图分类号: P545

文章编号: 1000-2383(2023)04-1517-15

收稿日期: 2022-01-18

## Identification and Developmental Characteristics of the Jurassic Volcanic Edifice in the Western Depression, Hailar Basin

Zhao Defeng<sup>1</sup>, Shi Guanzhong<sup>1</sup>, Hou Yanping<sup>2</sup>, Shen Chuanbo<sup>1\*</sup>, Wu Lulu<sup>1</sup>, Zeng Xiaowei<sup>1</sup>, Sun Rongyao<sup>1</sup>,  
Zheng Chenyu<sup>1</sup>, Peng Yuxiao<sup>1</sup>, Chen Peng<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing 163712, China

**Abstract:** Volcanic reservoir of the Upper Jurassic is a new exploration domain in the Hailar basin. Recent exploration proves that the Upper Jurassic volcano-sedimentary rocks in Hailar basin have good prospects of oil and gas. The Western depression of the Hailar basin lies between the Derbugan and Erguna faults. The fault-related structures play an important role in the volcanic eruption and basin filling process. However, the detailed coupling relationships between fault-related structures and volcanic facies

**基金项目:** 湖北省自然科学基金创新群体项目(No. 2021CFA031).

**作者简介:** 赵德锋(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事火山岩储层方面的研究. ORCID: 0000-0002-1094-2304. E-mail: cug\_ZhaoDefeng@163.com

\* **通讯作者:** 沈传波, ORCID: 0000-0001-5641-9714. E-mail: cbshen@cug.edu.cn

**引用格式:** 赵德锋, 史冠中, 侯艳平, 沈传波, 吴路路, 曾小伟, 孙荣耀, 郑晨宇, 彭宇琥, 陈鹏, 2023. 海拉尔盆地西部坳陷带侏罗系火山机构识别及发育特征. 地球科学, 48(4):1517-1531.

**Citation:** Zhao Defeng, Shi Guanzhong, Hou Yanping, Shen Chuanbo, Wu Lulu, Zeng Xiaowei, Sun Rongyao, Zheng Chenyu, Peng Yuxiao, Chen Peng, 2023. Identification and Developmental Characteristics of the Jurassic Volcanic Edifice in the Western Depression, Hailar Basin. *Earth Science*, 48(4):1517-1531.

are unclear that affects the further exploration of volcanic reservoirs. This study uses well-seismic correlation, multi-attribute combination to analyze the drilling core, logging data and 2D/3D seismic data and summarizes the typical characteristics of logging and seismic reflection for the contrasting volcanic and sedimentary rocks. This study identifies volcanic edifice and lithofacies distribution in the Upper Jurassic of the western depression and reconstructs the volcanic paleogeography. The analyzed results indicate that the Derbugan and Erguna faults limited the eruption region of the Late Jurassic volcanos. Volcanic edifices predominantly occur in the outer zone of the western depression distributing along the NE-trending secondary faults in styles of beaded- and banded-shapes. The volcanic edifices show multi-center eruption patterns as the typical features of composite volcanos. The recognized parallel-fault assemblage, antithetical-fault assemblage, fault-transition zone and echelon-fault assemblage jointly control the volcanic structures and spatial distribution. Sedimentary rocks are mainly accommodated between volcanic edifices and faults, and the fault-related structures and volcanic paleogeomorphology jointly impact the distribution of sedimentary rocks.

**Key words:** petroleum reservoirs; volcanic edifice; seismic identification; Jurassic; Hailar basin; structural geology.

## 0 前言

中国东北地区晚中生代经历了强烈的岩石圈伸展过程,发育大量断陷盆地并伴随强烈的火山作用,形成大兴安岭广泛分布的火山岩地层,成为东亚大陆边缘中生代岩浆岩带的重要组成部分(李双庆,2015;汪岩等,2021;章培春等,2022).海拉尔盆地位于大兴安岭西侧,盆内侏罗系火山岩发育受控于断裂构造活动,特别是德尔布干断裂与额尔古纳断裂(孙晓猛等,2011).区域大型基底断裂活动通常是火山活动的重要诱因,断层一般位于地壳减薄区,可作为岩浆运移的通道沟通底部岩浆房,在断裂交汇处多发生火山喷发活动,从而控制火山机构的形成和分布(陈崇阳,2016;王玉学等,2018).

东北地区侏罗系火山岩显示出巨大的油气勘探潜力,地层总体上沿东北—西南方向呈斜列式展布,并分布多个侏罗纪断陷湖盆(李春柏,2021).海拉尔盆地位于中蒙边界东段,叠置于兴蒙造山带基底杂岩之上.盆内红旗凹陷发育中—上侏罗统成熟烃源岩(张晓东等,2019),赫尔洪德凹陷获得了工业油气流(杨旭等,2021),侏罗系成为了勘探的新领域.但是,由于多期构造运动的叠加改造,盆内侏罗系构造原型较难识别,侏罗纪火山地层原始沉积特征及受控因素尚不清晰.有研究认为海拉尔盆地早—中侏罗世主要受控于蒙古—鄂霍茨克洋闭合影响,表现为挤压型断陷—坳陷盆地,晚侏罗世为陆内伸展环境下与火山活动相关的火山断陷盆地,发育塔木兰沟组火山—沉积序列(贾进华等,2021).地震岩性识别表明海拉尔盆地晚侏罗世发育两期火山—沉积旋回,可以与盆地外围的塔木兰沟组和玛尼吐组相对应.这些研究主要集中在盆地火山—

沉积地层特征、岩相古地理分布,以及火山岩储层预测等方面,对侏罗系火山机构类型、样式以及空间分布,尤其是断裂体系对火山机构展布的控制作用研究较为薄弱.海拉尔盆地西部坳陷带位于德尔布干断裂带和额尔古纳断裂带内,西部坳陷带内火山地层发育,是研究断裂构造与火山机构耦合关系的良好地区.本文利用已有的钻测井资料及二维、三维地震资料,对海拉尔盆地西部坳陷带开展火山岩相及火山机构识别,讨论断裂构造对火山喷发及盆地填充过程的控制作用.研究可以为海拉尔盆地火山岩发育区的火山岩及储层预测研究提供重要参考.

## 1 地质概况

海拉尔盆地位于大兴安岭西侧内蒙古自治区呼伦贝尔境内,是在古生代兴蒙造山带基础上发育的中—新生代陆相含油气断陷湖盆(崔军平等,2022).受北东向德尔布干和额尔古纳断裂带控制,盆地整体呈NE向展布,经多期叠加变形的作用,现形成“二隆三坳”的构造格局(图1,陈均亮等,2007;余本善等,2013;Zhu *et al.*, 2020).西部坳陷带位于德尔布干断裂带及额尔古纳断裂带内,由西北部呼伦贝尔湖凹陷,西南部巴彦呼舒凹陷、汗乌拉凸起和查干诺尔凹陷组成,巴彦呼舒凹陷与查干诺尔凹陷被汗乌拉凸起所隔(图1).

西部坳陷带东侧的德尔布干断裂是NE向延伸的深切地壳断裂,在我国境内长达900 km,为晚侏罗世—早白垩世岩石圈减薄背景下形成的北东向大型伸展变形带,它控制了大兴安岭西坡晚中生代火山岩、金属矿床以及含油气盆地形成和分布(郑

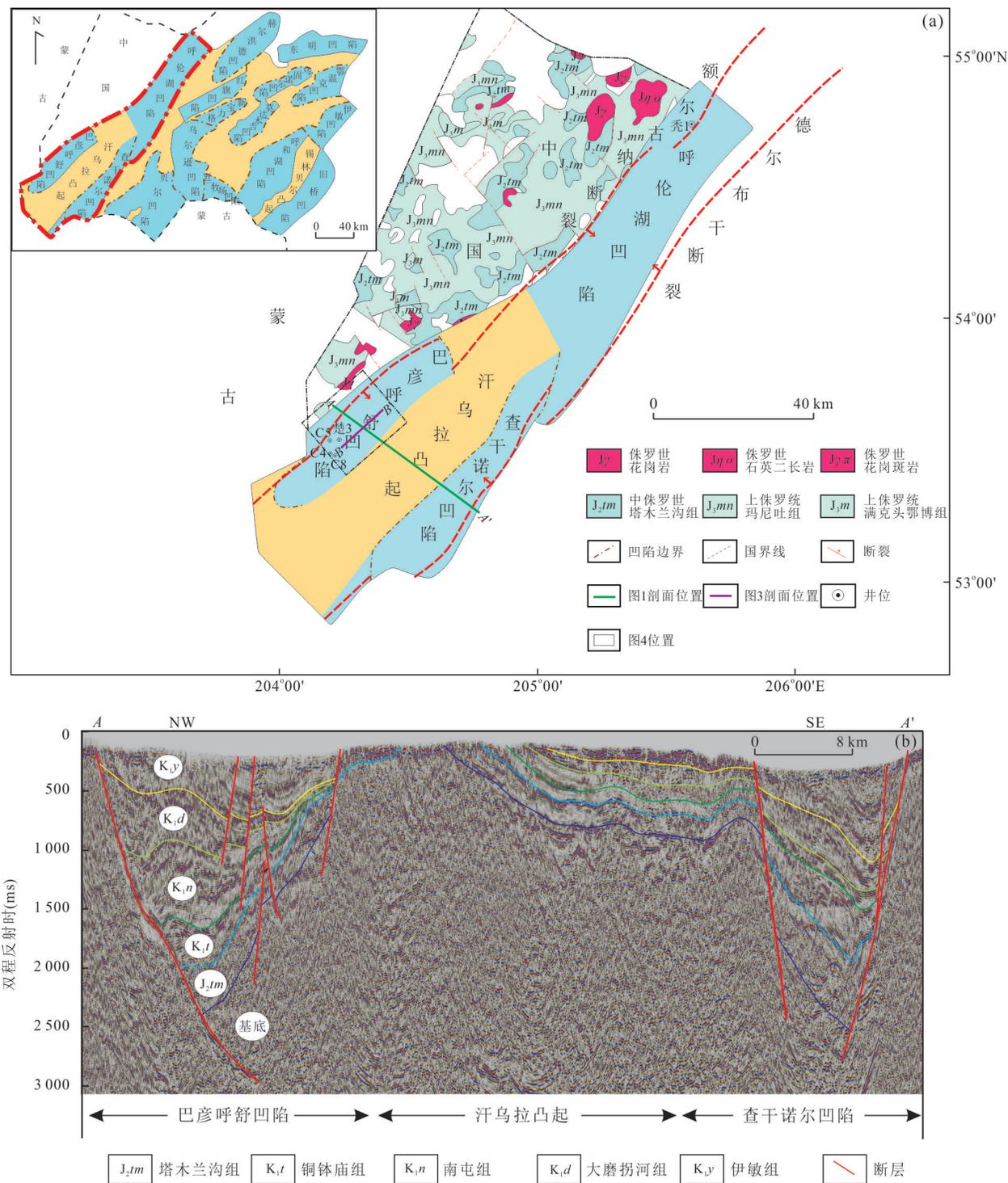


图 1 海拉尔盆地西部拗陷带区域地质概况图

Fig.1 Overview of regional geology in western depression zone of Hailar basin

a. 海拉尔盆地西部拗陷带区域位置图;断裂据张龙升等(2021)修改;b. 海拉尔盆地西部拗陷带地震剖面图

常青等,2009).孙晓猛等(2011)通过总结重、磁、电特征认为德尔布干东西两侧地质体存在明显差异,西侧主要反映隆升的额尔古纳地块基底,东侧主要反映沉积断陷盆地,德尔布干断裂北部构成根河—拉不达林火山断陷盆地的西边界,向南进入海拉尔

盆地(冯晖等,2019),在海拉尔盆地北部为呼伦湖东界,在盆地南部则成为嵯岗隆起与贝尔凹陷的分界,即西部拗陷带西界,成为海拉尔盆地最重要的控盆断裂;在塔木兰沟组时期,德尔布干断裂已经形成,可作为断裂形成的下限时代(王英德,2010).

中生代以来德尔布干断裂受到蒙古—鄂霍茨克构造域和太平洋构造域的共同影响,沿断裂西侧产生一系列 NNE-NE 向拉张断陷,并伴随大量火山岩喷出 (Zhou *et al.*, 2010; Safonova and Santosh, 2014; Qiu *et al.*, 2020; 贺国奇等, 2020). 强烈的伸展作用使得晚侏罗世海拉尔盆地内断层活动异常活跃,控制了盆内箕状断陷及火山—沉积地层的形成. 额尔古纳断裂出露于中俄界河—额尔古纳河东岸,该断裂与满洲里市南部呼伦湖西岸的呼伦断裂相连,呈北东向分布,构成海拉尔盆地西部坳陷带西界 (郑涵等, 2015). 额尔古纳断裂可视作为和德尔布干断裂相近地质时代、相近构造环境下形成的大型低角度伸展型韧性剪切带 (王典等, 2019), 其上盘具有 NW 倾向滑动特征, 断裂南部地区晚侏罗世塔木兰沟组及白垩纪火山岩地层沿断裂带分布.

## 2 研究方法

### 2.1 火山岩相井—震特征识别

火山岩相在成因、组分、产出方式、结构构造及空间叠置等特征上存在差异,造成岩石学特征及物理性质的变化,形成测井曲线及地震剖面反射特征上显著差异 (邵维志等, 2006; 李宁等, 2009). 海拉尔盆地西部坳陷带火山岩测井特征显示一定规律性,自然伽马曲线明显呈现出从基性—中酸性熔岩逐渐升高的趋势,电阻率值呈下降趋势,电阻率随火山碎屑岩—熔岩逐渐增大. 受碎屑性质影响凝灰岩整体电阻率值变化范围较大. 根据自然伽马 (*GR*) 曲线及深侧向电阻率 (*RD*) 曲线对火山岩性响应敏感,本研究通过统计工区内 11 口钻井中大量典型岩性段测井曲线特征,确定中基性、酸性火山岩,粗粒及细粒沉积岩的识别标准,以校正各凹陷内钻井岩性,从而更加精确地识别各类岩性 (表 1). 研究发现,虽有部分基性岩和中性岩、中性岩和酸性岩重

合的现象,但整体上通过 *GR* 可以将三大类火山岩进行区分. 巴彦呼舒凹陷火山碎屑以粗面岩为主. 粗面岩质火山碎屑显示较高的 *GR* 值,并随着其他岩性碎屑的混入呈现降低的趋势. 中基性凝灰岩 *GR* 值低于酸性凝灰岩自然伽马值. 火山角砾岩低电阻率值使得 *RD* 曲线识别中—酸性火山角砾岩界限明显. 沉积岩电阻率、密度略高于同等粒度的火山碎屑岩,而 *GR* 值略低,泥岩与粉砂岩电阻率与凝灰岩相当,而 *GR* 值偏低.

依据现有的二维和三维地震资料,分析不同岩性反射、同向轴终止方式等特征,结合地质体几何外形、内部反射结构,总结出研究区火山机构、火山岩相振幅、频率、连续性等地震识别特征 (表 1),在此基础上进行火山地层单元及堆叠样式的划分. 在火山—沉积地层格架约束下,以巴彦呼舒凹陷连井剖面及井旁地震为例 (图 2),依据火山岩成分、产出方式及距离火山口的远近,将研究区内的火山岩相划分为喷溢相,爆发相,溢流相,火山沉积相. 火山中心喷溢相流纹岩及英安岩呈丘状反射外形,同向轴短小、内部波状起伏杂乱反射,内部强振幅为空落火山碎屑及熔岩流夹层的特征;近源爆发相火山角砾岩常与高密度迅速堆积的火山碎屑流有关,表现为内部杂乱反射;溢流相薄层熔岩一般表现为强振幅、低频、连续性较好,呈平行席状;火山边缘为远离火山口的火山岩主要为以爆发相态产出的空落凝灰岩,一般表现为空白、半连续反射,若与砂岩互层则表现为高频连续反射特征;火山口远端的过渡带以爆发相凝灰质碎屑为主,与周围沉积岩过渡,其界面多为整合界面,不易区分.

### 2.2 火山机构识别

火山机构代表一次相对集中的火山喷发活动所形成的一套相序上具有成因联系的火山岩组合,火山喷发的规模及方式决定了火山机构的几何形

表 1 岩性对应地震反射特征及测井曲线特征

Table 1 Seismic reflection characteristics and logging curve characteristics corresponding to lithology

岩性	地震反射特征			测井曲线特征	
	振幅	频率	连续性	<i>GR</i> (API)	<i>RD</i> ( $\Omega \cdot m$ )
流纹岩、英安岩	中—强振幅	中—低频率	连续性差	132~206	10~158
玄武岩和安山岩	强振幅	中—低频率	连续性好	39~120	<45
凝灰岩	中等振幅	中—高频率	连续性较好	60~240	3~240
火山角砾岩	中—强振幅	中—低频率	连续性差	>135	<30
砂砾岩	弱振幅	中—低频率	连续性差	>126	<35
泥岩、砂岩	中等振幅	中—高频率	连续性好	>105	<35

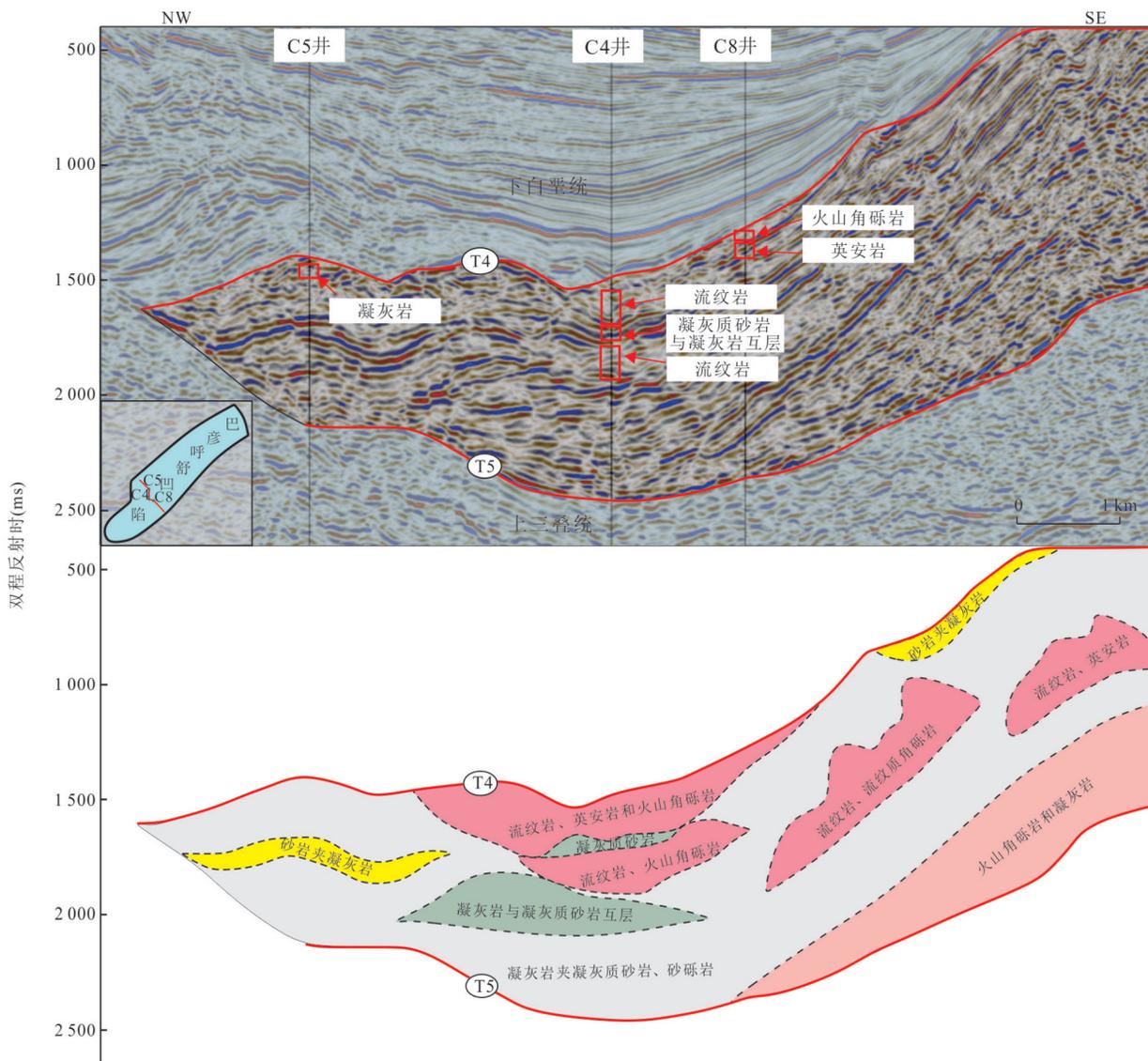


图 2 巴彦呼舒凹陷火山岩性识别典型连井剖面

Fig.2 Typical well connection profile on lithology identification of volcanics in Bayanhushu depression

态(王璞珺等,2007).海拉尔盆地西部坳陷带火山机构以中酸性熔岩与火山碎屑岩互层为主,火山机构的爆发中心常呈现构造高部位.剖面识别火山机构主要依据地震反射特征及地震相模式的约束.根据火山口远近关系,确定火山岩相相序,然后进行火山机构识别和刻画.西部坳陷带巴彦呼舒凹陷及查干诺尔凹陷火山机构在主测线上显示明显,呈多中心复合式喷发,外形呈明显复合丘形(图3).火山机构底部常有呈颈状或直筒状火山通道,与下部供给岩墙相连,通道内部为极短轴、杂乱反射.火山通道顶部的火山口多为混杂堆积,由于后期岩浆供给不足,常形成火山口坍塌,伴有放射状断裂,并侵扰上覆岩层.钻井揭示火山机构下部多为爆发产生的火山岩具有地震波速高、密度大、电阻率大高

山碎屑.中部喷溢相中酸性熔岩及熔岩角砾为火山机构的主体,由于流动性差,喷发中心厚度最大,沿流动方向减薄.上部主要为爆发相的热碎屑流及熔岩流,且仅在火山口附近一定范围内分布.酸性熔岩及其同生角砾常于火山通道颈部脉动式喷溢产出,在纵向形成二者的叠合相带.以火山口为中心,火山岩体走向呈放射状、或环带状,远离火山口产状由陡变缓慢,纵向叠置的火山地层单元沿火山机构两翼呈现超覆减薄直至尖灭的趋势.远离火山口的火山碎屑岩与沉积岩常常互相夹持、叠加,且火山碎屑粒度逐渐变细,火山地层单元的地震反射逐渐变连续.火山机构远端,不同火山机构的地层单元存在切割、嵌套的接触关系.

阻抗特征,前人常通过提取地震属性及三维可视化

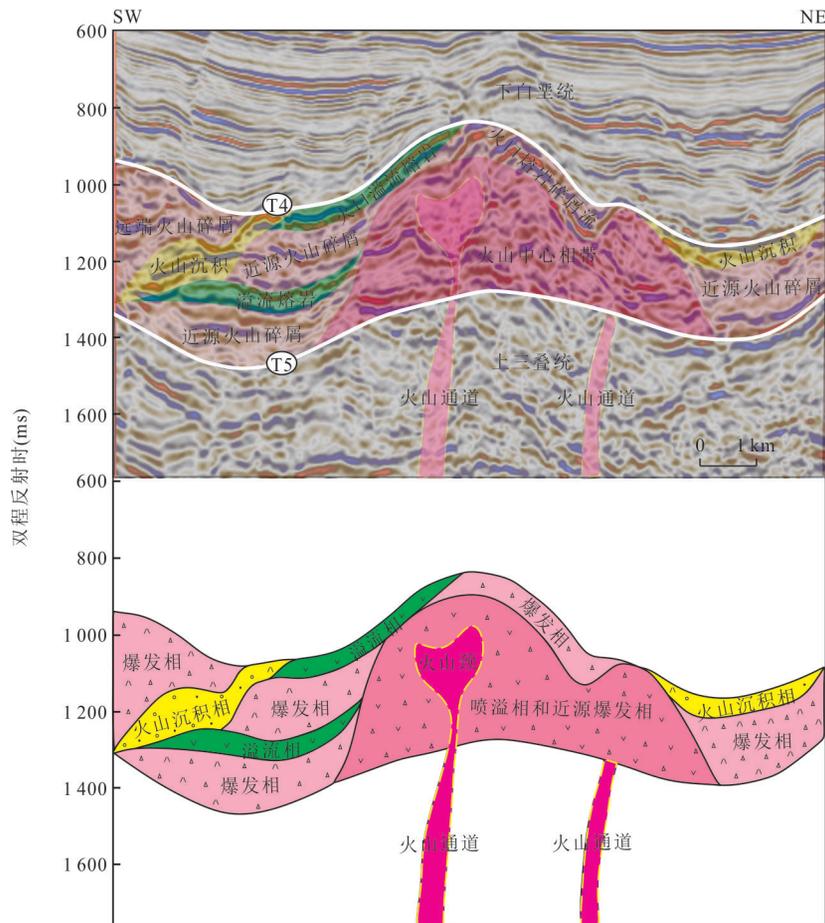


图3 巴彦呼舒凹陷典型火山机构刻画

Fig.3 Characterization of typical volcanic edifices in Bayanhusu depression  
剖面位置见图1中B-B'

技术进行火山机构的识别及预测(鲁银涛等,2014;何贤英等,2017).针对海拉尔盆地西部拗陷带火山机构地层相变快、堆砌叠置关系复杂且非均质性强的特点,提取相关地震属性研究火山机构平面分布,建立地震相与地震属性的联系,再通过剖面属性切片进行约束,使得火山机构识别更为可靠.本文主要采用了三维方差体属性、均方根振幅属性和分频技术开展火山机构识别与刻画.三维方差体数据通过计算相邻道方差,可以反映岩相、岩相变化时所引起的同相轴突变及地质体的不连续性.利用高值方差部分用来识别爆发相的优势分布区域.均方根振幅反映地下地层纵波速度与密度等信息,利用火山岩对振幅变化明显的属性,可以用来预测火山机构岩相分布.分频技术输出特定频率分量的地震体,利用火山岩与沉积岩频率响应差异,在特定频率下识别预测火山—沉积岩分布效果良好,尤其是近源爆发相.火山机构中心爆发相在局部方差切

片上呈杂乱放射线状、蛛网状,爆发相远端显示细碎反射特征(图4a),在均方根振幅剖面上呈现杂乱强振幅聚集(图4b).火山通道在分频剖面上显示明显,几何形状呈类圆形,内部杂乱,火山近源爆发相、喷溢相依此为中心向外发射、向内聚敛(图4c).溢流相熔岩呈现高频、强振幅且相对连续特征.通过多属性的联合约束,结合不同岩相在三类属性切片上的响应特征,可在平面上预测火山及沉积岩优势分布区域(图4d).

### 2.3 断裂识别

已有的研究表明利用剖面同相轴错断和水平等时切片技术可以准确识别断层(陈广馨,2018).本文依托地震资料对区内断裂特征进行梳理,重点分析切穿基底并影响火山岩发育的断裂.在地震剖面中主要通过同相轴扭曲、错断等现象进行断层解释;同时参考地层水平切片进行断层识别.地层水平切片切穿断层的地方,断层两侧存在较大差异,

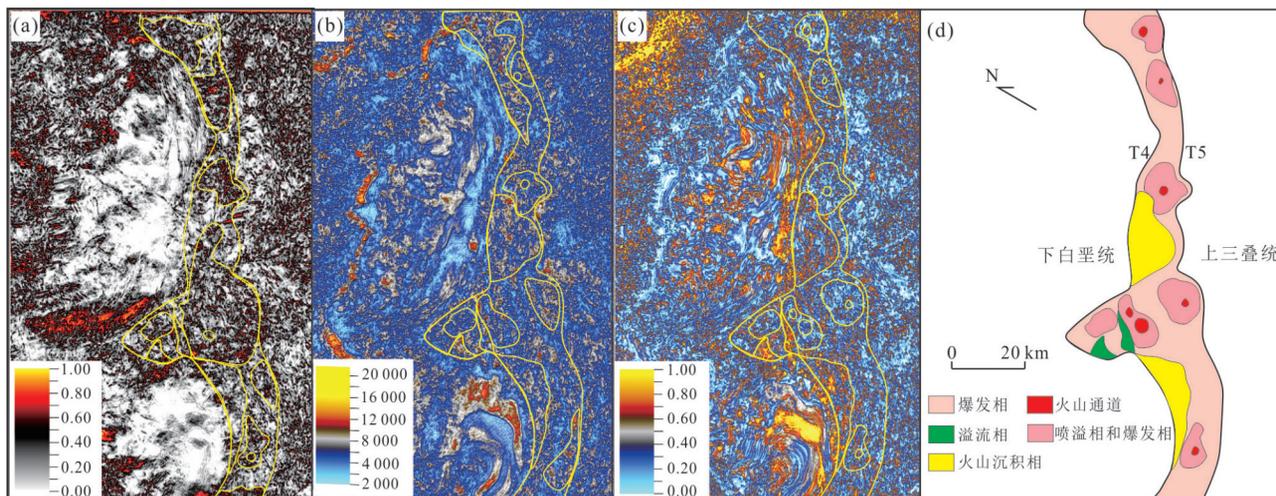


图 4 巴彦呼舒凹陷火山—沉积相带预测

Fig.4 Prediction of volcanic and sedimentary facies belt in Bayanhushu depression

a. 局部方差属性切片; b. 均方根振幅属性切片; c. 分频属性切片; d. 火山—沉积相带预测

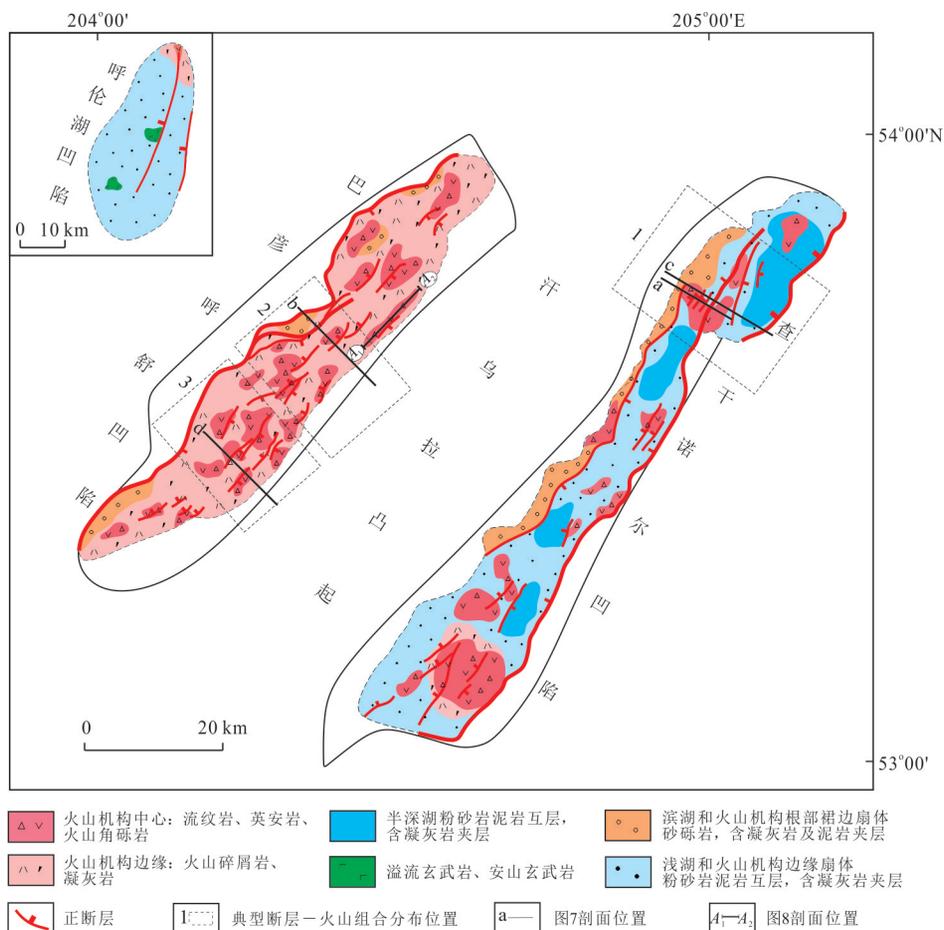


图 5 海拉尔盆地西部坳陷带侏罗系断裂及火山—沉积岩相平面展布

Fig.5 The plane distributive maps of the fault and volcanic or sedimentary lithofacies of the Jurassic strata in western depression zone of Hailar basin

可以较好地在平面上进行追踪.刻画的火山机构直径一般大于 3 km,因此本研究地震解释精度为 4×4

地震测线(80 m×80 m),以达到分析断层与火山机构耦合关系(图 5).

### 3 火山机构、岩相与断裂分布

#### 3.1 火山机构与岩相分布

各个凹陷内部火山岩相变化较快,火山中心相岩性有喷溢产出的流纹岩、英安岩,及近火山口呈爆发产出的火山角砾岩(图5).巴彦呼舒凹陷及查干诺尔凹陷火山喷发方式以中心式为主,喷发程度剧烈,火山机构沿主干断裂及次级断裂呈串珠状分布.以火山口为中心,产出相主要为酸性爆发相火山角砾岩,伴有溢流相流纹岩、英安岩,酸性岩浆粘度大,侧向延展有限,纵向叠置特征明显,地震反射外形多呈明显复合丘状,内部杂乱反射,局部增厚,其远端为空落凝灰岩及沉积岩披覆.巴彦呼舒凹陷内整体以中心相火山熔岩、角砾岩和爆发相凝灰岩为主,单一丘状火山机构在巴彦呼舒凹陷较为少见,多表现为中心复合喷发样式,凹陷内部可容纳空间被火山岩充填,造成沉积岩分布范围有限,沉积岩多与凝灰岩互层发育,超覆于火山岩体之上.复合火山机构的形态呈条带状、叠合椭圆状和无规则状(图5),长轴直径约3~8 km不等,总体上呈NE走向,短轴长度在数百米至3 km左右.在火山中心相外围主要发育厚度不等的火山碎屑岩、凝灰岩,它们由不同的火山源区喷发的火山碎屑叠加而成.巴彦呼舒凹陷的西南端火山活动强度较弱,在断层带附近识别出少量的砂砾岩沉积岩扇体(图5).

查干诺尔沉积整体以浅湖相细粒沉积物为主,火山岩相主要分布在凹陷南部,中部及北部,深洼区域发育半深湖、扇三角洲及近岸水下扇(图5).查干诺尔凹陷火山机构多以小型火山机构为主,且以

裂隙式喷发为主,形成NE走向的多个火山熔岩带.这些火山机构长度约3~8 km,宽度较窄,几百米至1~2 km,具有较大的长短轴比值.大型的复合型火山机构主要分布在凹陷南部,在直径约10~15 km范围内由3个火山源区叠合而成,平面上构成一个圆形,每个火山源区火山机构中心相和外围火山碎屑岩彼此叠覆.在火山活动较弱的北部区域发育湖相沉积,在凹陷西部缓坡带对应发育砂砾岩扇体.

呼伦湖凹陷地震测线较少,已有的地震反射均表现为中高频连续反射特征,说明无强烈的火山爆发现象,结合钻井岩心资料解释,岩性主要以裂隙式溢流相玄武岩为主,夹有砂泥岩层.

#### 3.2 断裂分布

海拉尔盆地西部拗陷带两条主干基底断裂控制了拗陷的几何形态及内部地层充填单元.各个凹陷内部可识别出一系列NE向与主干断裂近平行的继承性雁列式次级张性断裂,构成了西部拗陷带深层断裂系统(图5).巴彦呼舒凹陷西部控凹断层呈现上陡下缓坡坪式特征,控凹断层根部平缓,向东逐渐抬升,断裂上盘发育一系列同向或反向断裂,在斜坡带构成NE走向的平行式、雁列式断裂带(图6a).查干诺尔凹陷南部和北部呈现西断东超的特点,凹陷中部显示东西双断控凹特征.南部和北部区域东部控凹断裂以铲式为主,断层产状在凹陷中部变缓,在断层上盘存在一系列同向调节断裂,反向断裂较为少见(图6b).中部呈东西双断地堑,总体上小型断裂不发育,仅在东侧控凹断裂附近有少量同向断裂形成近平行的断裂带.呼伦湖凹陷依据地震资料解释出两条近平行断层,显示单断控制特征.

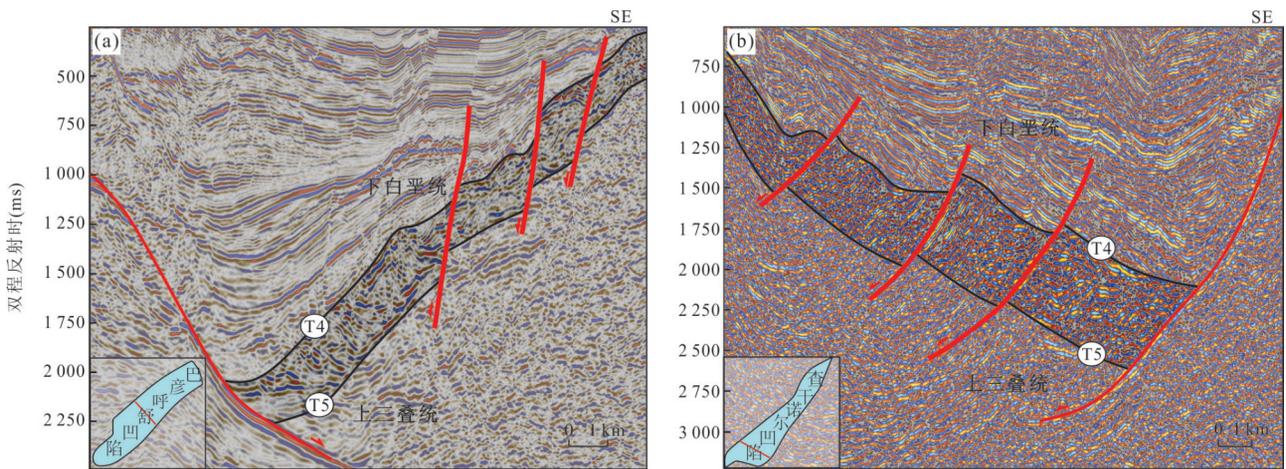


图6 海拉尔盆地西部拗陷带侏罗系断裂特征剖面图

Fig.6 The characteristic maps of the faults of the Jurassic strata in western depression zone of Hailar basin

a. 巴彦呼舒凹陷断层样式; b. 查干诺尔凹陷断层样式

## 4 讨论

### 4.1 断裂分布与火山活动耦合关系

**4.1.1 基底深大断裂控制火山活动区域分布** 海拉尔盆地西部外围露头区,侏罗系火山岩总体呈NE走向展布.西部坳陷带,特别是巴彦呼舒凹陷,识别出的火山机构和火山岩相总体上延续了盆地外围的分布特征,凹陷内火山机构呈椭圆状、条带状沿着NE走向展布.火山机构发育样式方面,巴彦呼舒凹陷缺乏大型的火山喷发机构,而以多中心小型火山机构复合喷发为特征,与露头区火山机构发育类型和样式类似,因此巴彦呼舒凹陷和盆地西部外围总体上构成了一个NE走向的火山岩带.该火山岩带东西宽约50 km,走向NE-NNE延伸数百千米至境外.火山岩带向东20 km以外,越过汗乌拉凸起,火山岩比例较少.在查干诺尔凹陷,仅在凹陷南部产出大量的火山岩,主体以碎屑岩沉积为特征.并且在火山岩带以外区域,火山机构类型主要以裂隙式熔岩侵入为主,爆发相规模较小.通过与区域上深大断裂(即德尔布干断裂和额尔古纳断裂)对比,发现火山岩带位于这两条断裂带内且平行展布(图1).通常认为深大基底断裂是岩浆运移的主要通道,深大基底断裂及伴生次级断裂在拉张作用下,造成地壳岩石圈薄弱,岩浆沿着断层破碎带上涌,形成火山活动的中心区域(张博远,2020).因此本研究认为受德尔布干断裂和额尔古纳断裂活动影响,海拉尔盆地西缘大量晚侏罗世火山岩喷发形成了宽约50 km的NE走向火山岩带.

**4.1.2 次级断裂控制火山机构中心分布** 西部坳陷带各凹陷内部火山机构的展布多与NE向次级断裂重合或相交,与NE向次级断层展布具有明显的耦合关系.NE向次级断裂不同程度上控制了火山机构的优势发育,在各个凹陷内部火山机构呈多中心NE向展布.与火山喷发中心匹配良好的断裂组合主要有平行断层组合、反向调节断层组合、断裂转折带组合、雁列式断层组合(图7),不同的断裂组合对火山沉积中心的控制作用具有差异性.

平行断层组合型主要分布在巴彦呼舒凹陷南部、北部,查干诺尔北部,其特征为平面及剖面上多条次级断裂呈现平行分布,如图5中区域1.火山喷发中心被多条平行断层贯穿,岩浆岩次级断裂上涌,在断层的上下盘均有分布,为典型的裂隙式喷发.

反向调节断层组合型主要分布在巴彦呼舒中部及查干诺尔中部,其平面特征为次级断裂与一侧控凹断层倾向相反,如图5中区域2.火山喷发中心常分布在次级断裂与控凹断层的下降盘,部分火山机构被断裂切穿,且火山机构下部发育明显的火山通道,为典型的中心—裂隙式复合喷发方式.

断裂转折带组合型主要分布在查干诺尔北部及巴彦呼舒中部,其平面特征为火山机构沿两条倾向相反的断裂之间分布,如图5中区域1和区域2.剖面上火山机构分布在两条断裂上升盘的断裂转折带处,火山机构的岩浆由两条断裂输送,为典型的裂隙式喷发,且断裂下降盘受火山扰动影响,近断裂端存在地层增厚现象(图7).

雁列式断层组合型主要分布在巴彦呼舒中、南部及查干诺尔南部,其平面特征为火山沉积中心沿着雁列式断裂呈近雁列式分布,如图5中区域3.部分断裂切穿火山喷发中心,火山机构在断裂两盘均有发育,为中心—裂隙复合式喷发.

研究发现,海拉尔盆地西部坳陷带侏罗系火山机构并非严格在边界控凹断层两侧发育,而是呈NE向分布在凹陷中部或远离控凹断层的缓坡带,展布方向与控凹断层近似平行,且呈串珠、条带状分布,如巴彦呼舒凹陷东北部,其火山机构下部火山通道呈多个平行烟囱状,呈多中心喷发样式,形成锥形复式火山集群(图8).

### 4.2 断裂和火山活动对沉积作用的影响

海拉尔盆地西部侏罗系火山—沉积充填受构造部位及火山喷发作用的共同影响,沉积岩分布受火山及断裂的联合控制,表现为断层—火山地貌共同影响砂体的分布(图9).

断裂构造活动差异及火山喷发方式及强度的不同造成了各个凹陷岩相发育及分布存在差异.德尔布干和额尔古纳断裂是在早期低角度大型推覆构造基础上,侏罗纪再次活化形成(赵小青等,2015;王典等,2019).低角度控凹断层形成面积宽广、深度较浅的可容纳空间,火山作用几乎与断裂活动、湖盆裂陷同时发生,导致凹陷内部丘状火山机构占据部分可容纳空间,使沉积岩充填受限.巴彦呼舒凹陷西部控凹断层南部为典型的“低角度控凹断层”,呈现上陡下缓坡坪式特征,控凹断层根部倾角低,向东逐渐抬升,次级断裂多为反向正断层,形成阶梯状对断的地堑式组合,形成宽约20 km的宽缓低洼空间.巴彦呼舒凹陷西缘火山作用较强,

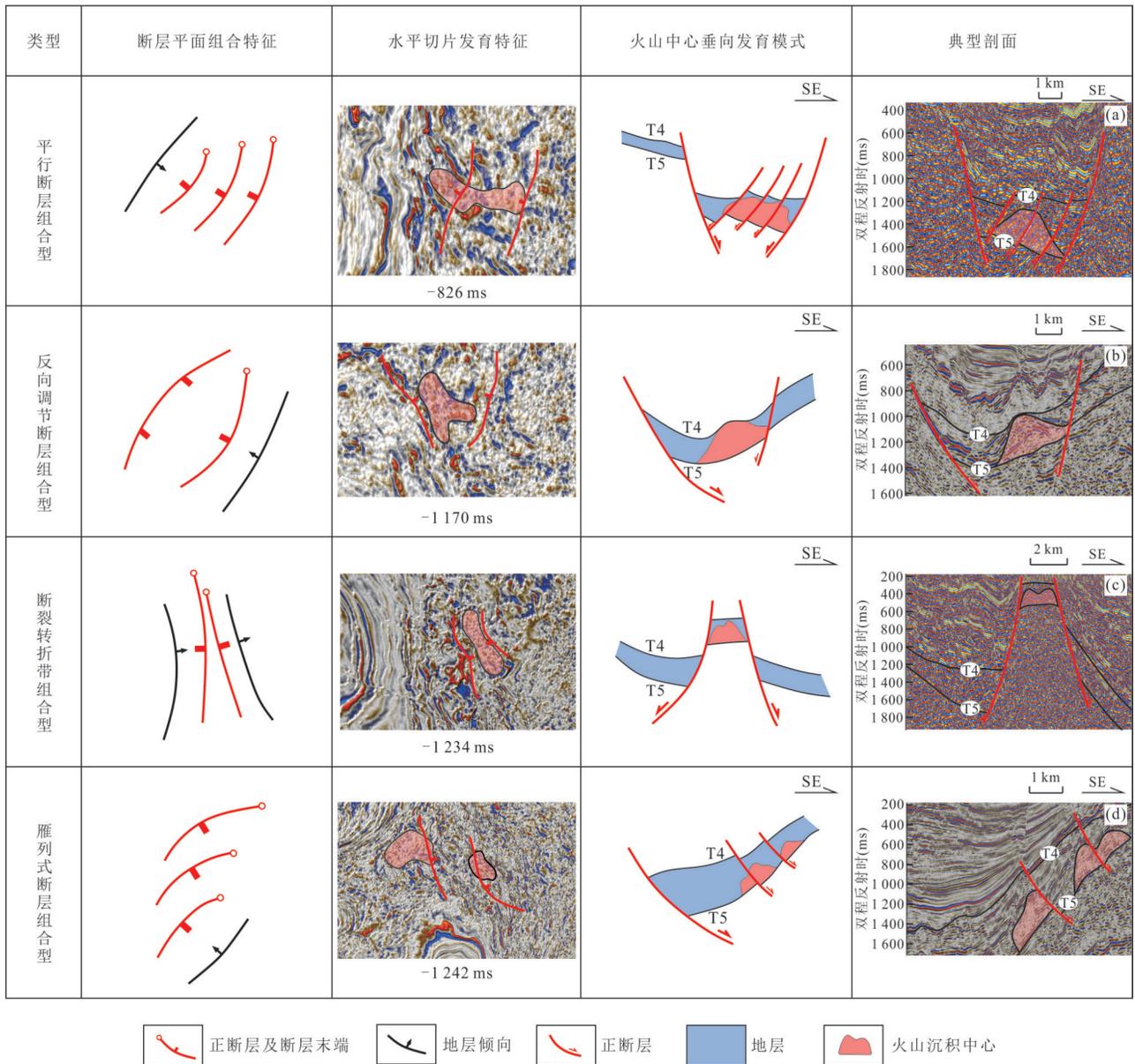


图 7 海拉尔盆地西部坳陷带侏罗系次级断裂与火山沉积中心组合样式

Fig.7 The association styles of secondary fault and volcanic apparatus center of the Jurassic strata in western depression zone of Hailar basin

图 a, b, c, d 剖面位置见图 5

西缘隆起带大量火山灰落入巴彦呼舒凹陷,形成厚层凝灰岩披覆于凹陷内部火山丘之上,导致凹陷内部较厚的凝灰岩夹少量凝灰质沉积岩.巴彦呼舒凹陷火山机构形成局部高隆起,火山机构外围的低洼空间被凝灰岩填充,造成局部的陆相喷发环境.在巴彦呼舒凹陷西部,仅在局部断裂活动形成巨大落差区域,沉积岩沿着火山机构边缘和控凹断层边界呈条带状发育,岩性主要为砂砾岩.

高角度控凹断裂形成狭窄、陡峭的可容纳空间.查干诺尔凹陷东侧控凹断层为典型“高角度控凹断

层”,凹陷中部一北部显示东西双断的地堑特征,近岸发育水下扇及扇三角洲前缘相,靠近断层近源陡坡带湖盆内部过渡到浅湖—深湖的细粒沉积.查干诺尔凹陷南部湖盆区及缓坡带主要发育爆发相火山机构,火山碎屑为湖盆提供直接碎屑沉积物.近滨岸沉积以火山空落相夹碎屑沉积岩为特征,显示滨浅湖水下喷发的沉积环境.呼伦湖凹陷有火山机构发育在湖底,水下喷发伴随发育溢流相玄武岩,物源碎屑沿火山机构负地形滑塌,形成滑塌扇体,其上披覆湖相细粒沉积.

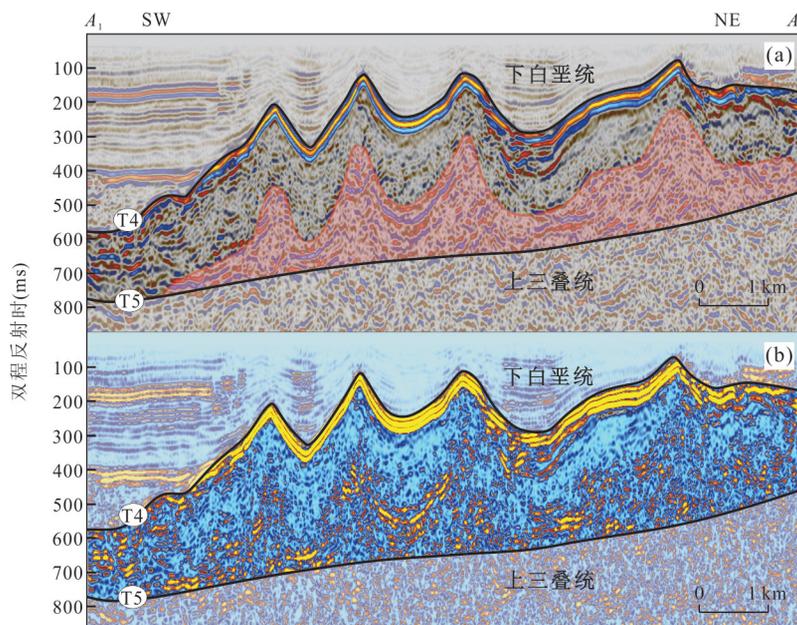


图 8 海拉尔盆地西部坳陷带缓坡带串珠状火山机构

Fig.8 The beaded volcanic edifices of the gentle slope zone in the in western depression zone of Hailar basin

a.地震剖面;b.均方根振幅属性切片;剖面位置见图5中A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>

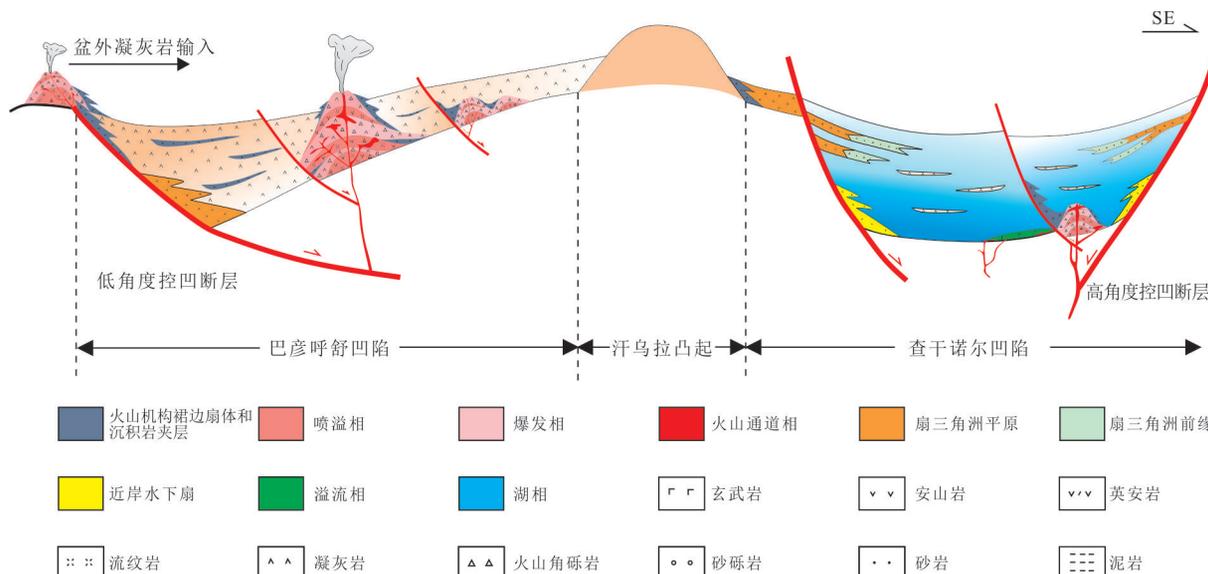


图 9 海拉尔盆地西部坳陷带侏罗系火山沉积模式

Fig.9 The Jurassic volcanic sedimentary pattern in the western depression zone of Hailar basin

凹陷内远离控凹断层区域火山机构对沉积的控制显著增强,表现为复合型火山机构边缘常常形成火山机构裙边扇体.巴彦呼舒凹陷西侧北部火山机构叠合分布,先期火山复活式喷发形成新的火山机构.这种复合酸性火山锥多形成以披覆凝灰质为主的碎屑沉积物.在查干诺尔凹陷酸性火山锥周缘发育以火山碎屑岩及砂砾为主的裙状扇体,与先期的湖相细粒沉积形成较明显的相变界面.而未受火

山机构扰动的远端缓坡带空间,主要发育水下扇或扇三角洲的砂体.

### 4.3 石油地质意义

断裂活动、火山喷发和沉积作用控制了凹陷内烃源岩空间展布.巴彦呼舒凹陷受低角度断层—火山喷发共同控制,湖域面积宽广而深度较浅,火山喷发形成厚层凝灰岩填充,导致泥岩发育受限,仅发育薄夹层,因而烃源岩欠发育.呼伦湖及查干诺

尔南部在断陷较强烈地区形成半深湖—深湖沉积,火山喷发活动较弱区域泥岩厚度较厚,有形成良好烃源岩的潜力.例如,秃1井等多口井见油气显示,说明塔木兰沟组具有一定的成藏条件,火山岩储层主要受岩相、岩性及裂缝发育控制(李军等,2008;杨明慧和兰朝利,2012).

火山机构对于储层种类及分布有着明显的控制作用,储层分布以火山口为中心,近火山口火山通道相酸性熔岩及粗粒火山碎屑岩一般具有一定厚度,且较好分选,具有一定的孔渗,且溢流熔岩中常发育气孔和杏仁构造,在后期风化淋滤改造后也可形成良好储层.远火山口空落相沉凝灰岩及碎屑较小的火山碎屑岩一般物性较差,如巴彦呼舒凹陷楚4井凝灰岩,岩心渗透率仅为 $0.026 \times 10^{-3} \sim 0.055 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为极低渗储层(贾进华等,2021),可作为良好的盖层圈闭.

研究表明,断裂对于火山岩储层形成及扩展起着十分重要的作用(Chang *et al.*, 2017;高帅等,2020).巴彦呼舒侏罗系火山岩沉积期间断裂发育,火山机构沿次级断裂展布,断裂发育使得其周围天然裂缝发育.楚3井岩心观察显示火山碎屑岩均发育有不同程度的裂缝,岩心孔隙度为 $7.4\% \sim 22.7\%$ ,渗透率为 $0.06 \times 10^{-3} \sim 2.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于中—较高孔、高孔渗型—裂缝型储层(马艳玲,2014),说明断裂对其附近储层改造作用明显.断裂的发育也为后期油气运移提供了通道.

## 5 结论

本文根据海拉尔盆地西部坳陷带钻井岩心、测录井以及二维、三维地震资料,采用井—震对比、多属性联合等方法识别出火山机构和岩相分布,并与凹陷内外断裂构造及组合进行耦合关系分析,取得如下认识:

(1)海拉尔盆地西部坳陷带中—晚侏罗世地层内部火山机构岩相变化较快,以中心式喷发和裂隙喷发为特征,多呈复合丘形、椭圆形分布,火山机构常沿着主干断裂及次级断裂呈NE向呈串珠状分布.从火山口至火山口远端主要出现流纹质熔岩、火山角砾岩、凝灰岩、火山—沉积过渡岩相、以及沉积岩.

(2)德尔布干和额尔古纳断裂为岩浆上涌提供了通道,宏观上控制了西部坳陷带侏罗系火山岩及火山机构分布.控凹断裂及次级断裂主要形成平行

断层组合、反向调节断层组合、断裂转折带组合、雁列式断层组合等4种类型,它们影响了火山喷发和火山机构、岩相的空间分布.

(3)凹陷内火山—沉积岩相分布受构造部位及火山喷发共同影响,沉积岩分布受火山及断裂的联合控制,进而控制凹陷内烃源岩空间展布.火山机构类型和岩相分布对储层也有着明显的控制作用.

## References

- Chang, W. B., Shan, X. L., Yi, J., et al., 2017. Spatial and Temporal Distributions of the Late Mesozoic Volcanic Successions and Their Controlling Effects on the Changling Fault Depression of the Songliao Basin, Northeast China. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 54(12): 1194—1213. <https://doi.org/10.1139/cjes-2017-0074>
- Chen, C. Y., 2016. 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 (Dissertation). Jilin University, Changchun(in Chinese with English abstract).
- Chen, G. X., 2018. The Application of Seismic Attributes in Volcanic Reservoir Prediction of the Yingcheng Formation in the SS2-1 Block(Dissertation). Northeast Petroleum University, Daqing(in Chinese with English abstract).
- Chen, J. L., Wu, H. Y., Zhu, D. F., et al., 2007. Tectonic Evolution of the Hailar Basin and Its Potentials of Oil-Gas Exploration. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 42(1): 147—159 (in Chinese with English abstract).
- Cui, J. P., Zhao, J., Ren, Z. L., et al., 2022. Geochemical Characteristics of Lower Cretaceous Source Rocks and Thermal History in the Huhehu Depression, Hailar Basin. *Earth Science*, 45(1): 238—250 (in Chinese with English abstract).
- Feng, X., Sun, C. C., Hou, H. S., et al., 2019. Features of the Geophysical Field of Basin-Control Fault Regions on either Side of the Da Hinggan Mountains and Geological Implications. *Chinese Journal of Geophysics*, 62(3): 1093—1105(in Chinese with English abstract).
- Gao, S., Gong, L., Liu, X. B., et al., 2020. Distribution and Controlling Factors of Natural Fractures in Deep Tight Volcanic Gas Reservoirs in Xujiaweizi Area, Northern Songliao Basin. *Oil & Gas Geology*, 41(3): 503—512(in Chinese with English abstract).

- He, G. Q., Liu, C., Deng, J. F., et al., 2020. Records of the Late Jurassic Magmatic Arc in Heihe Area, Heilongjiang Province: Discussion on the Relationship with Mongolia-Okhotsk Ocean. *Earth Science*, 45(7):2524—2537 (in Chinese with English abstract).
- He, X.Y., Liu, Y., Xu, X.L., et al., 2017. Controlling Factors of Carboniferous Volcanic Reservoirs and Favorable Reservoir Prediction in Xiquan Area, Junggar Basin. *Lithologic Reservoirs*, 29(3): 42—51(in Chinese with English abstract).
- Jia, J.H., Tao, S.Z., Fang, X., et al., 2021. Deep Jurassic Volcano-Sedimentary Succession, Reservoir-Seal Assemblage and Their Exploration Significance in Northeast China: A Case Study of Jurassic in the Hailar Basin. *Acta Geologica Sinica*, 95(2): 377—395(in Chinese with English abstract).
- Li, C.B., 2021. Petroleum Exploration History and Enlightenment in Hailar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 42(3): 374—380(in Chinese with English abstract).
- Li, J., Xue, P. H., Zhang, A. Q., et al., 2008. Characteristics and Controlling Factors of Carboniferous Volcanic Reservoir in the Middle Section of the Northwestern Margin of Junggar Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 29(3): 329—335 (in Chinese with English abstract).
- Li, N., Qiao, D.X., Li, Q.F., et al., 2009. Theory on Logging Interpretation of Igneous Rocks and Its Application. *Petroleum Exploration and Development*, 36(6): 683—692(in Chinese with English abstract).
- Li, S.Q., 2015. Late Mesozoic Volcanism and Sedimentary Provenance Study of Typical Extensional Basins in Northeast China(Dissertation). University of Science and Technology of China, Hefei (in Chinese with English abstract).
- Lu, Y.T., Wang, B., Lu, F.L., et al., 2014. Seismic Attributes and Evolutional Models of Volcanic Rocks in Northwest Part of South China Sea. *Progress in Geophysics*, 29(5): 2407—2410(in Chinese with English abstract).
- Ma, Y.L., 2014. Study on Sedimentary and Reservoir Characteristics of Bayanhusu Sag(Dissertation). Northeast Petroleum University, Daqing(in Chinese with English abstract).
- Qiu, L., Yan, D. P., Xu, H., et al., 2020. Late Cretaceous Mud Volcanism in the Southwestern Songliao Basin Records Slab Rollback of the Subducted Paleo-Pacific Plate underneath NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 3: 100028. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2020.100028>
- Safonova, I. Y., Santosh, M., 2014. Accretionary Complexes in the Asia-Pacific Region: Tracing Archives of Ocean Plate Stratigraphy and Tracking Mantle Plumes. *Gondwana Research*, 25(1): 126—158. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.008>
- Shao, W.Z., Liang, Q.F., Li, J.G., et al., 2006. On Log Response Characteristics of Igneous Reservoir in Huanghua Depression. *Well Logging Technology*, 30(2): 149—153, 194(in Chinese with English abstract).
- Sun, X.M., Liu, C., Zhu, D.F., et al., 2011. Geophysical Features and Tectonic Attribute of the Derbugan Fault in the Western Slope of Da Hinggan Ling Mountains. *Chinese Journal of Geophysics*, 54(2): 433—440(in Chinese with English abstract).
- Wang, D., Li, P., Liu, C., et al., 2019. Overview on Tectonics and Geological Fields of Basins West of the Da Hinggan Mountains. *Chinese Journal of Geophysics*, 62(3): 1116—1138(in Chinese with English abstract).
- Wang, P. J., Pang, Y. M., Tang, H. F., et al., 2007. The Characteristics of the Paleo-Volcanic Edifice of Yingcheng Formation, Cretaceous, Songliao Basin. *Journal of Jilin University( Earth Science Edition)*, 37(6): 1064—1073 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., Qian, C., Pang, X. J., et al., 2021. Early Cretaceous Extension of Great Xing' an Range: Constraints from Geochemistry and Zircon U-Pb Ages of Orbicular Rocks in Uragai Area, Inner Mongolia, China. *Earth Science*, 46(4): 1447—1466(in Chinese with English abstract).
- Wang, Y.D., 2010. The Structural Features and Significances of Argun Ductile Shear Zone and Cuo Gang Tectonic Gneiss Zone(Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. X., Zhang, W. M., Cong, Y. M., et al., 2018. The Fault Characteristics of the Wangfu Fault Depression and Its Controlling Effects on Deep-Seated Volcanic Gas Reservoir. *Acta Petrologica Sinica*, 34(7): 2189—2199 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M.H., Lan, C.L., 2012. Reservoir Characteristic Comparison and Difference Analysis of Volcanic Reservoirs in the Paleo-Asian Domain's Basin, China. *Acta Geologica Sinica*, 86(8): 1198—1209(in Chinese with English abstract).
- Yang, X., Peng, W., Shen, W.J., et al., 2021. Oil-Source Analysis of Tamulangou Formation and Tongbomiaou Formation in Helhongde Sag of Hailar Basin. *Petroleum*

- Geology & Oilfield Development in Daqing*, 40(3): 33—41(in Chinese with English abstract).
- Yu, B.S., Li, W.W., Wang, X.Y., et al., 2013. Tectonic Evolution and Its Controlling on Sedimentation in Hailar Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 48(2): 289—296, 332, 161(in Chinese with English abstract).
- Zhang, B.Y., 2020. Deep Fault System and Its Controlling on the Distribution of Permian Volcanic Rocks in Southwestern Sichuan Basin(Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L.S., Lin, F.M., Ji, X.Y., et al., 2021. Geological Characteristics and Genesis of the Qiyimuchangbeishan Silver-Lead-Zinc Deposit in the Erguna Massif, Inner Mongolia. *Geology and Exploration*, 57(1): 64—72(in Chinese with English abstract).
- Zhang, P. C., Peng, B., Zhao, J. Z., et al., 2022. Petrogenesis of the Syenogranite in the Xiaowulangou Area of Southern Great Xing'an Range: Constraints from Zircon LA-ICP-MS U-Pb Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopes. *Earth Science*, 47(8): 2889—2901(in Chinese with English abstract).
- Zhang, X.D., Li, J.S., Hou, Y.P., et al., 2019. Controlling Action of the Tectonic Evolution on the Hydrocarbon Accumulation in Hongqi Sag of Hailar Basin. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 38(5): 117—125(in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. Q., Cheng, R. H., Yu, Z. F., et al., 2015. Provenance-Sedimentary System and Tectonic Setting of First Member of Nantun Formation in Wuexun Depression of Hailar Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 45(1): 61—80(in Chinese with English abstract).
- Zheng, C.Q., Zhou, J.B., Jin, W., et al., 2009. Geochronology in the North Segment of the Derbugan Fault Zone, Great Xing'an Range, NE China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(8): 1989—2000(in Chinese with English abstract).
- Zheng, H., Sun, X.M., Zhu, D.F., et al., 2015. The Structural Characteristics, Age of Origin, and Tectonic Attribute of the Erguna Fault, NE China. *Scientia Sinica (Terra)*, 45(8): 1169—1182(in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. B., Wilde, S. A., Zhao, G. C., et al., 2010. Was the Easternmost Segment of the Central Asian Orogenic Belt Derived from Gondwana or Siberia: An Intriguing Dilemma? *Journal of Geodynamics*, 50(3—4): 300—317. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.02.004>
- Zhu, J. C., Meng, Q. R., Feng, Y. L., et al., 2020. Decoding Stratigraphic Evolution of the Hailar Basin: Implications for the Late Mesozoic Tectonics of NE China. *Geological Journal*, 55(3): 1750—1762. <https://doi.org/10.1002/gj.3563>

### 附中文参考文献

- 陈崇阳, 2016. 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(博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 陈广馨, 2018. 地震属性在SS2-1区块营城组火山岩储层预测中应用(硕士学位论文). 大庆: 东北石油大学.
- 陈均亮, 吴河勇, 朱德丰, 等, 2007. 海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景. *地质科学*, 42(1): 147—159.
- 崔军平, 赵金, 任战利, 等, 2022. 海拉尔盆地呼和湖凹陷下白垩统烃源岩地球化学特征及热演化史. *地球科学*, 45(1): 238—250.
- 冯晖, 孙成城, 侯贺晟, 等, 2019. 大兴安岭两侧控盆断裂域地球物理场基本特征与地质意义. *地球物理学报*, 62(3): 1093—1105.
- 高帅, 巩磊, 刘小波, 等, 2020. 松辽盆地北部深层致密火山岩气藏天然裂缝分布特征及控制因素. *石油与天然气地质*, 41(3): 503—512.
- 何贤英, 刘勇, 许学龙, 等, 2017. 西泉地区石炭系火山岩储层主控因素及有利储层预测. *岩性油气藏*, 29(3): 42—51.
- 贺国奇, 刘翠, 邓晋福, 等, 2020. 黑龙江黑河地区晚侏罗世岩浆弧的火成岩记录: 与蒙古—鄂霍茨克洋关系探讨. *地球科学*, 45(7): 2524—2537.
- 贾进华, 陶士振, 方向, 等, 2021. 东北地区深层侏罗系火山—沉积序列与储盖组合及勘探意义: 以海拉尔盆地侏罗系为例. *地质学报*, 95(2): 377—395.
- 李春柏, 2021. 海拉尔盆地油气勘探历程与启示. *新疆石油地质*, 42(3): 374—380.
- 李军, 薛培华, 张爱卿, 等, 2008. 准噶尔盆地西北缘中段石炭系火山岩油藏储层特征及其控制因素. *石油学报*, 29(3): 329—335.
- 李宁, 乔德新, 李庆峰, 等, 2009. 火山岩测井解释理论与应用. *石油勘探与开发*, 36(6): 683—692.
- 李双庆, 2015. 中国东北地区晚中生代典型盆地火山作用及沉积物源演化特征(博士学位论文). 合肥: 中国科学技术大学.
- 鲁银涛, 王彬, 吕福亮, 等, 2014. 南海西北部火山岩地震属性特征及发育模式. *地球物理学进展*, 29(5): 2407—2410.
- 马艳玲, 2014. 巴彦呼舒凹陷沉积相及储层特征研究(硕士学位论文). 大庆: 东北石油大学.

- 邵维志,梁巧峰,李俊国,等,2006.黄骅凹陷火成岩储层测井响应特征研究.测井技术,30(2):149-153,194.
- 孙晓猛,刘财,朱德丰,等,2011.大兴安岭西坡德尔布干断裂地球物理特征与构造属性.地球物理学报,54(2):433-440.
- 王典,李鹏,刘财,等,2019.大兴安岭西盆地群域构造与地球物理场综述.地球物理学报,62(3):1116-1138.
- 王璞珺,庞颜明,唐华凤,等,2007.松辽盆地白垩系营城组古火山机构特征.吉林大学学报(地球科学版),37(6):1064-1073.
- 汪岩,钱程,庞雪娇,等,2021.大兴安岭早白垩世伸展作用:内蒙古乌拉盖球状岩地球化学及锆石U-Pb定年的限制.地球科学,46(4):1447-1466.
- 王英德,2010.额尔古纳韧性剪切带与嵯岗构造片麻岩带构造特征及研究意义(硕士学位论文).长春:吉林大学.
- 王玉学,张为民,丛玉梅,等,2018.王府断陷断裂特征及其对深层火山岩气藏的控制作用研究.岩石学报,34(7):2189-2199.
- 杨明慧,兰朝利,2012.中国古亚洲域沉积盆地火山岩油气藏储层特征比较及其差异分析.地质学报,86(8):1198-1209.
- 杨旭,彭威,申文静,等,2021.海拉尔盆地赫尔洪德凹陷塔木兰沟组和铜钵庙组油源分析.大庆石油地质与开发,40(3):33-41.
- 余本善,李薇薇,王兴宇,等,2013.海拉尔盆地构造演化及对沉积的控制作用.石油地球物理勘探,48(2):289-296,332,161.
- 张博远,2020.川西南地区深层断裂系统及其对二叠系火山岩的控制作用(硕士学位论文).北京:中国地质大学(北京).
- 张龙升,林芳梅,姬祥永,等,2021.额尔古纳地块七一牧场北山银铅锌矿床地质特征及其成因分析.地质与勘探,57(1):64-72.
- 章培春,彭勃,赵金忠,等,2022.大兴安岭南段小乌兰沟正长花岗岩成因:锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学、地球化学及Hf同位素的制约.地球科学,(8):2889-2901.
- 张晓东,李敬生,侯艳平,等,2019.海拉尔盆地红旗凹陷构造演化及其对成藏的控制作用.大庆石油地质与开发,38(5):117-125.
- 赵小青,程日辉,于振锋,等,2015.海拉尔盆地乌尔逊凹陷南一段物源-沉积体系与构造背景.吉林大学学报(地球科学版),45(1):61-80.
- 郑常青,周建波,金巍,等,2009.大兴安岭地区德尔布干断裂带北段构造年代学研究.岩石学报,25(8):1989-2000.
- 郑涵,孙晓猛,朱德丰,等,2015.额尔古纳断裂特征、形成时代及构造属性.中国科学:地球科学,45(8):1169-1182.