

# 火山发育区通道相类型、特征、成因及对油气的控制作用

孙希家,张新涛,华晓莉,边立恩,徐春强

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津,300452

**内容提要:**为探讨火山岩发育区通道相特征,充分利用三维地震资料、钻井资料和野外露头,研究了通道相的发育规律。结果表明,研究区发育火山通道和热液通道两种通道相。二者均表现为上粗下细的倒锥状,但是在岩相和地震相等方面差别较大。火山通道多为火山岩充填,表现为堆砌充填结构,具有明显的速度异常,反射振幅与围岩差别较大,常伴生较大规模的强振幅溢流相,整体上呈现出“两强夹一弱”的地震反射特征,即顶、底部强反射,中间弱反射;热液通道多为围岩碎屑充填,无速度异常,反射振幅与围岩差别不大,无溢流相伴生,整体上呈现出“一强一弱”的地震反射特征,即底部强反射,上部弱反射。在对2类通道相特征及成因分析的基础上,建立火山岩发育区通道相发育模式:火山通道由岩浆上侵喷发而成,热液通道受控于岩浆侵入引起的围岩液化侵位作用。2类通道相对油气具有不同的控制作用:火山通道为“利盖不利储”,热液通道为“利储不利盖”。最后结合通道相的分布特征,指出了研究区有利的勘探区带。该研究成果对火山岩发育区油气勘探具有重要的指导意义。

**关键词:**火山通道;热液通道;发育特征;成因模式;油气意义

沉积盆地的构造活动期往往伴生着岩浆侵入,甚至火山喷发(邹才能等,2008;张斌等,2013;Sun Q et al.,2014;冯玉辉等,2016)。岩浆活动形成多种产物,包括以岩席、岩株、岩脉等为代表的侵入岩岩相和以火山通道、热液通道、火山灰、火山熔岩等为代表的火山岩岩相。其中火山通道和热液通道作为沟通早期和晚期地层的“桥梁”,是火山发育区非常重要的构造。火山通道是指从岩浆房到火山口顶部的整个岩浆导运系统,它是由岩浆向上运移到达地表过程中滞留和回填在火山通道中的各类火山岩组成(王璞珺等,2013)。Planke等(2005)将热液通道定义为由于热液或火山碎屑的喷发、搬运,导致沉积地层破裂而形成的管状复合体。热液通道常发育在火山活动区,与岩浆侵入事件密切相关。热液通道和火山通道在成因和发育位置上具有一定的叠置性,导致二者具有相似的几何形态和附属构造。前人在火山岩研究过程中常忽视了热液通道的存在,将之统称为火山通道,往往产生一些错误的结论(Davies et al.,2002;Hansen,2006),尤其是对两种通道的石油地质意义缺乏研究。所以很有必要对火

山通道和热液通道进行精细对比研究,明确二者的异同点,剔除地震解释陷阱,总结它们的油气成藏意义,更好地指导火山岩发育区的油气勘探。

渤海湾新生代盆地是由岩石圈底部热地幔底辟活动和欧亚板块与西太平洋板块相对运动两种岩石圈动力学过程共同控制下形成的走滑拉分盆地(夏庆龙等,2012)。这种大地构造背景导致该区地壳与地幔存在非常活跃的物质交换,控制着NNE向的郯庐断裂带和NW向的张蓬断裂带等走滑断裂的形成。这些断裂垂向上断至软流圈,在热地幔作用过程中充当深部岩浆释放的通道。岩浆沿这些深大断裂侵入地壳,喷溢出地表,形成受走滑断裂带控制的火山喷发带(孙希家等,2017)。渤中A区位于渤海湾盆地沙垒田凸起东部,新近纪构造活动减弱,火山活动相对较弱(金春爽等,2012),这为热液通道的形成提供了客观条件,形成了火山通道和热液通道共生的现象。本次利用三维地震资料、钻井资料和露头资料探讨二者的地震相和岩相特征及差异,及相应的石油地质意义。该研究成果对火山岩油气藏等非常规油气勘探具有重要的理论和实践意义。

注:本文为“十三五”国家科技重大专项“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”项目(编号:2016ZX05024-003)的成果。

收稿日期:2018-04-10;改回日期:2018-06-11;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.04.011

作者简介:孙希家,男,1988年生。硕士,工程师,主要从事油气勘探工作。Email:sunxj23@cnooc.com.cn。

# 1 火山通道与热液通道的地震相特征对比

## 1.1 火山通道的地震相特征

在地震剖面上,火山通道被两侧成层性较好的地层夹于中间,并且两者高角度交切,呈倒锥状,从下到上,逐渐变粗;在切片上呈环状或孤岛状。火山通道是岩浆运移至地表的通道,因此底部多与供给岩席相连,上部发育火山口。侵入岩和火山岩与碎屑围岩之间通常具有较高的波阻抗差异,因此底部岩席、上部火山口常呈现强振幅特征(左国平等,2011;Jackson,2012);而火山通道内部充填块状的火山岩,成层性较差,反射界面不稳定,因此表现为杂乱弱反射(冯玉辉等,2014)。火山通道常伴生着溢流相。溢流相多为玄武质熔岩和安山质熔岩。这类熔岩的成层性较好,其密度和速度均明显高于沉积围岩,在地震资料上表现为强振幅、连续性较好的低频层状反射特征。溢流相的下伏地层常因屏蔽作用呈空白发射或弱反射。火山通道整体上表现为“两强夹一弱”的振幅反射特征,即顶、底部强反射,中间弱反射(图1)。

## 1.2 热液通道的地震相特征

目前已在 Vøring and Møre basins、罗科尔盆地、北海盆地、法罗—设得兰盆地、澳大利亚的埃克斯茅斯次盆、巴西的坎波斯盆地、南非的卡鲁盆地等地识别出了大量的热液通道(Marsh and Skilling,1998;Svensen et al.,2003;Thomson,2005;Wall et al.,2009;Craig et al.,2016;Alvarenga et al.,2016),而国内对于热液通道的报道较少。这些热液通道均发育在岩浆侵入体之上,与岩浆活动具有成因上的因果关系。但与火山通道不同的是,热液通道与岩浆侵入体并不是直接相连,而是通过岩浆侵入体周围的地层流体(如地层水、烃类等)产生“间接”联系。岩浆的侵入引起地层流体温度升高,体积膨胀,形成地层超压。受超压的作用,热液会沿着地层较为脆弱的部位喷出地表,形成热液通道。热液通道与火山通道具有相似的形态特征,均表现为自上而下内径逐渐变小的倒锥状。但是热液通道的内部充填结构不仅包括杂乱充填(I型热液通道)(图2a,V1;图2b,V5),还发育似层状充填结构(II型热液通道)(图2b,V4)。而且热液通道(V1、V4)也不同于火山通道(V2、V3)“两强夹一弱”的地震反射特征,热液通道顶部不会伴生溢流相火山岩,更多地是围岩碎屑、热液等组成的喷出物,与围岩并没有明显的波

阻抗差异,因此热液通道整体上表现为“一强一弱”的地震发射特征,即底部强反射,上部弱反射(图2)。无论是火山通道还是热液通道,通道下部呈圆柱形,而越靠近地表变为锥形。这是岩浆或热液上侵、冷凝之后,发生热沉降造成的。

# 2 火山通道与热液通道的岩相特征对比

## 2.1 火山通道的岩相特征

岩浆喷发有两种类型:裂隙式喷发和中心式喷发(孙淑艳,2003;Jackson et al.,2013)。裂隙式喷发形成的火山岩沿一个方向呈条带状分布,熔岩分布广,裂口附近熔岩厚度大,向两侧逐渐变薄,以火山熔岩为主,火山碎屑含量较少。中心式喷发形成的火山岩相留有火山口的痕迹,岩浆沿着火山通道喷发,形成大小不等的火山锥。火山锥的大小、形态各异,一般沿大断裂呈串珠状分布。该类火山岩主要由火山碎屑岩及熔岩构成,火山角砾和火山灰含量多。显然,中心式喷发形成的火山通道与热液通道更为相似,因此本文重点分析中心式喷发形成的火山通道。笔者优选了位于长白山区和龙市军舰山期的1个玄武岩露头(图3),实地观察了火山通道的形态、内部充填结构及岩相特征等。

该剖面位于长白山地区和龙市崇善镇,展示了发育于上新世军舰山期的洪泛玄武岩。洪泛玄武岩主体由柱状节理玄武岩构成,按照冷却单元的构型样式可大体分为3个性质相近的部分:最下部柱状节理玄武岩以多个薄层流动单元侧向叠加形成的复合熔岩流为主,并夹有指状穿切的块状玄武岩单元;中部熔岩流流量加大,以简单熔岩流夹复合熔岩流为主;顶部熔岩流流量继续增大,以多个冷却单元纵向叠置的简单熔岩流为主,不同冷却单元的熔岩流间发育凹凸不平的冷却面,冷却面表面可见牛粪状火山弹。图3所示的火山通道就位于洪泛玄武岩下部的柱状节理玄武岩内。它的横剖面呈圆形,表现为由外缘的环形柱状节理玄武岩和内部的杂乱充填的玄武岩、玄武质角砾岩组成的二元结构。火山通道外缘的环形柱状节理玄武岩和围岩(柱状节理玄武岩)之间由喷发不整合面分割,发育冷凝边和烘烤边。该玄武岩呈显微斑状结构或无斑隐晶结构。斑晶主要由斜长石、辉石和少量橄榄石组成。斜长石呈柱状或板状,具有明显的聚片双晶结构;辉石为它形粒状或不规则状;橄榄石为自形粒状,裂纹发育,常见暗化边。基质为填间结构或间隐结构,由斜

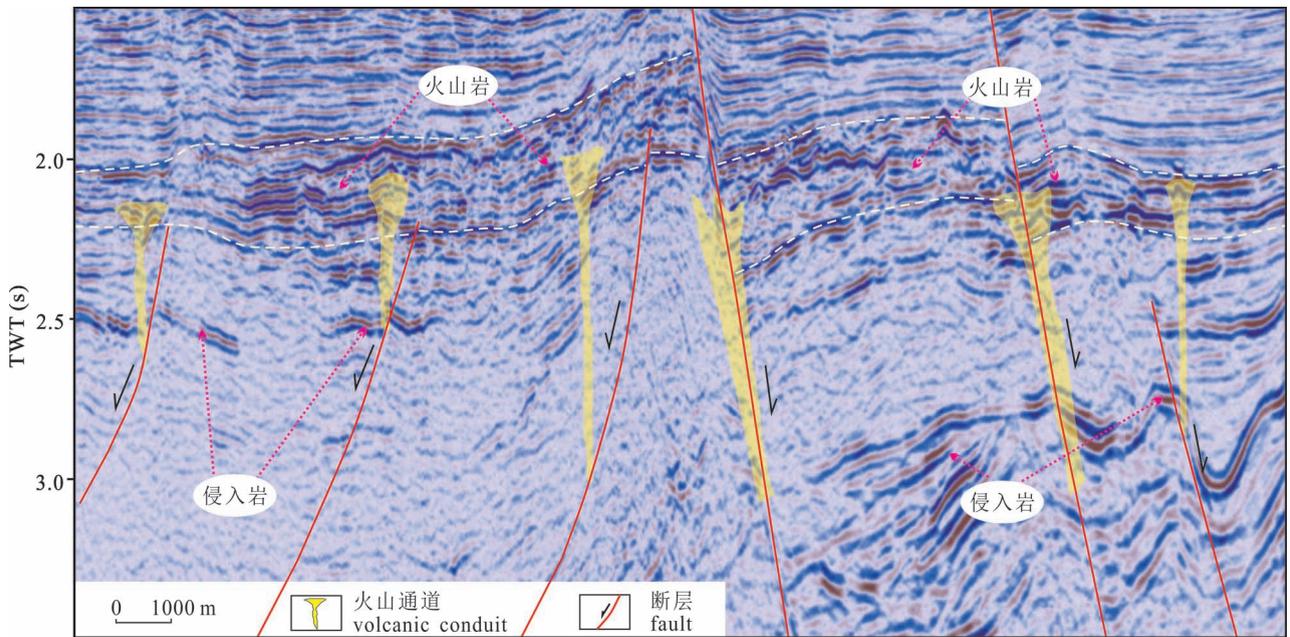


图 1 火山通道地震相特征

Fig. 1 Seismic facies characteristics of the volcanic conduits

长石、辉石、橄榄石和玻璃质组成。火山通道内部的玄武岩、玄武质角砾岩等,各个块体结构不同,相互混杂,堆砌充填,角砾磨圆较差,基质流动拉长程度较低,表现出原地堆积压实、固结成岩的特征。

### 2.2 热液通道的岩相特征

BZb 井钻遇了部分热液通道(图 4),为热液通道的深入研究提供了宝贵的资料。热液通道内部发育有沉积角砾岩、杂砂岩、砂岩和泥岩等,局部发育

有沸石胶结砂岩,很少发现火山物质。沸石的成因有多种,主要包括火山热液成因、交代蚀变成因和火山物质水化成因等(梁浩等,2011)。对于热液通道来讲,沸石是由火山热液的活动形成的。在中基性岩浆的作用下,地下流体发生复杂的变化,一方面流体温度、压力、PH 值等逐渐升高,另一方面  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Al^{3+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等离子逐渐富集。这种碱性流体上涌至热液通道的过程中,随着地层压力的下

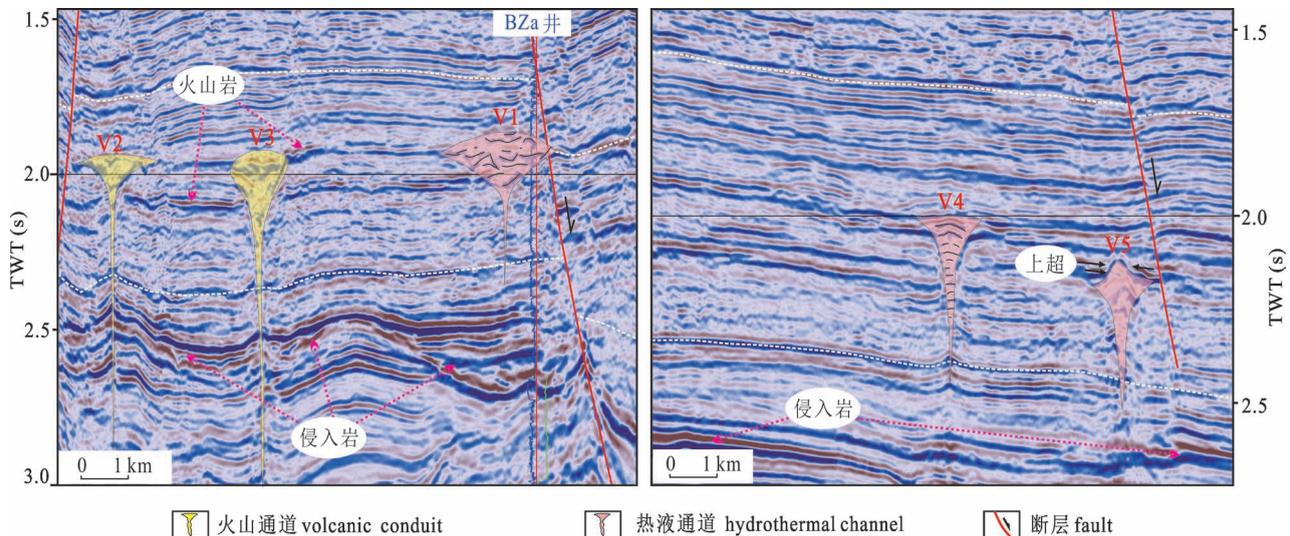


图 2 热液通道地震相特征

Fig. 2 Seismic facies characteristics of the hydrothermal channels



图3 长白山军舰山期火山通道剖面

Fig. 3 Section of the volcanic conduit in Junjian Mountain stage in Changbaishan

与岩浆的侵入是同步的,均早于岩浆的主要喷发期 (Svensen et al., 2006),这也是热液通道很少含有岩浆物质的原因之一。这与以火山岩充填为特征的火山通道在岩性上具有本质的区别。

与成层性较好的围岩地层相比,热液通道内部多表现为杂乱充填反射(图4)。这种差别很显然是热液通道形成过程中,原始地层受上侵热液的改造而产生的。显微镜下显示(图5),热液通道内部充填物成分成熟度和结构成熟度均较低:颗粒成分主要为细、中砂级的石英、长石,以及部分沉积岩岩屑,填隙状的泥质充填粒间;颗粒的分选较差,磨圆程度较低,主要为棱角一次棱角结构,表现为悬浮一点接触的特征,其压实程度较小。同时,沉积颗粒沿着通道方向具有一定的定向排列特征。热液通道的内部充填结构也在一定程度上佐证了原始沉积地层被热液改造、破碎,碎屑物质经过短距离的搬运之后,发生再沉积的推论。

降、温度的降低,沸石便会以胶结物的形式慢慢析出。显然,在沸石形成的过程中,岩浆并没有直接进入热液通道中,而是间接的参与,所以热液通道内部很少含有火山物质。而且有证据表明,在热液通道和火山通道共存的盆地中,热液通道的形成往往

经钻井证实,热液通道的测井响应特征是低自然电位异常和低自然伽马值,而密度和声波速度在热液通道顶部有一定程度的减小,然后随深度的增加而慢慢增大一直到底部(图4)。火山岩则表现出“三高”的测井响应特征,即高速度、高密度、高电阻

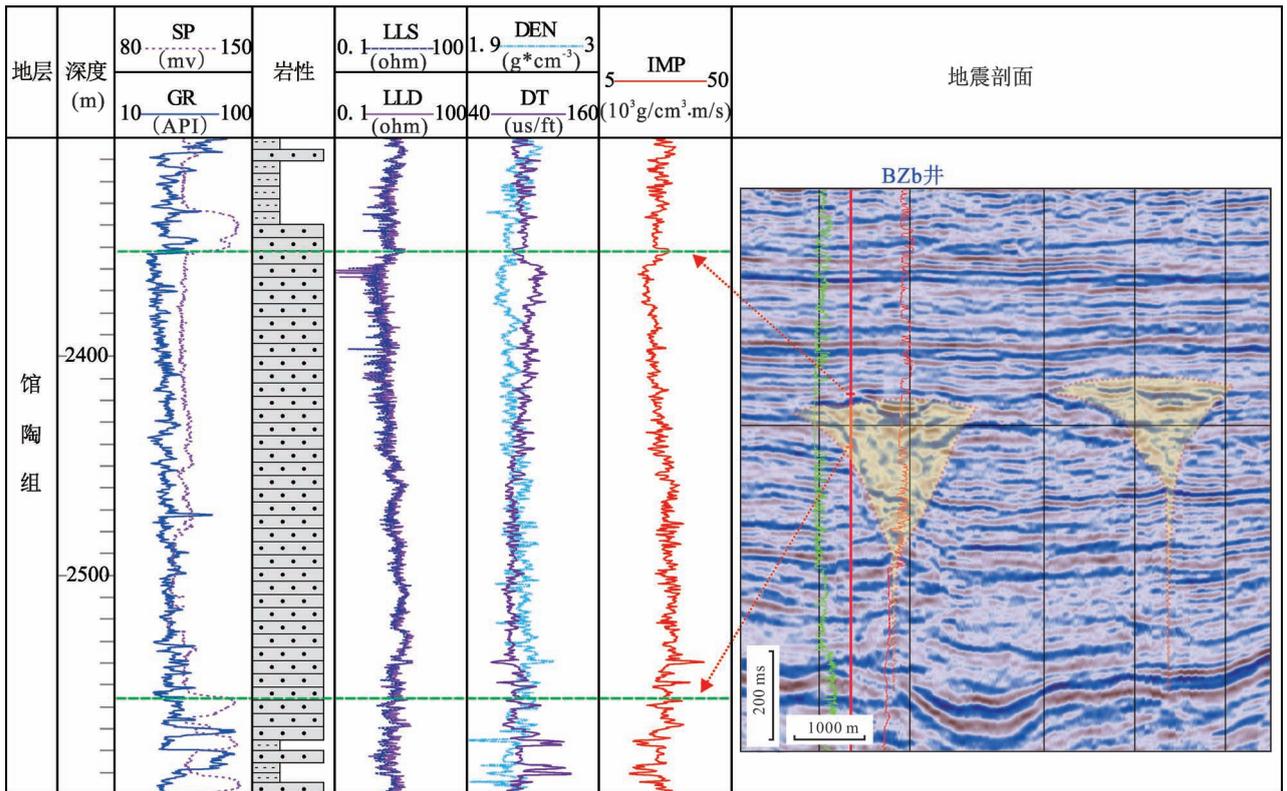


图4 热液通道岩电特征

Fig. 4 Lithological and electrical features of the hydrothermal channel

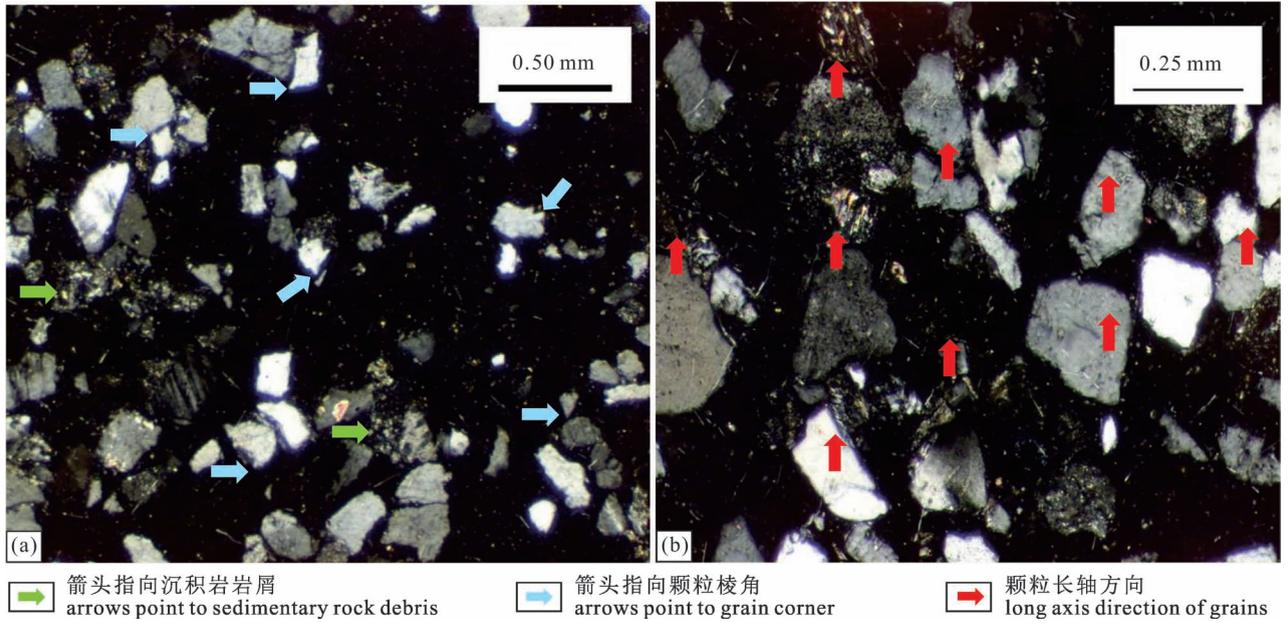


图 5 热液通道玻片特征

Fig. 5 Glass slide features of the hydrothermal channel

率,而围岩密度和速度相对较低,导致测井曲线在火山岩和围岩之间具有明显的“台阶”(王璞珺等, 2013)。不同的岩石物理特征导致火山通道与热液通道呈现出不同的地震反应特征。对于同一剖面(图 6),地震资料上可以明显地识别出呈蘑菇状的热液通道,但是热液通道在速度体剖面上则无显示,即没有速度异常,而深部的岩浆侵入体在地震资料(强振幅反射)和速度体(速度高异常)上均显示比较清楚。这是由于热液通道与沉积围岩相比,并没有较大的速度和密度差异,因此它振幅特征并不是很明显,其特征性反射为由热液改造地层形成的低连续性。而岩浆侵入体具有高速度、高密度的岩石物理特征,所以在地震剖面上表现出特征性的强振

幅反射。

综合以上分析表明,火山岩发育区可以发育火山通道与热液通道两种通道相类型。它们虽然具有相似的几何形态和发育位置,但是在地震相、测井相、岩相等 3 个方面具有较大的差异性(表 1)。笔者通过精细对比研究,总结出了火山通道和热液通道特征对比表。根据各自的特征,可以进行火山通道和热液通道的识别。

### 3 火山通道与热液通道的成因模式

在岩浆侵入的过程中,高温高压的岩浆对地下流体(包括地层水、烃类等)进行加热,使之温度升高,体积变大,形成了地层超压。在断裂带或断裂活

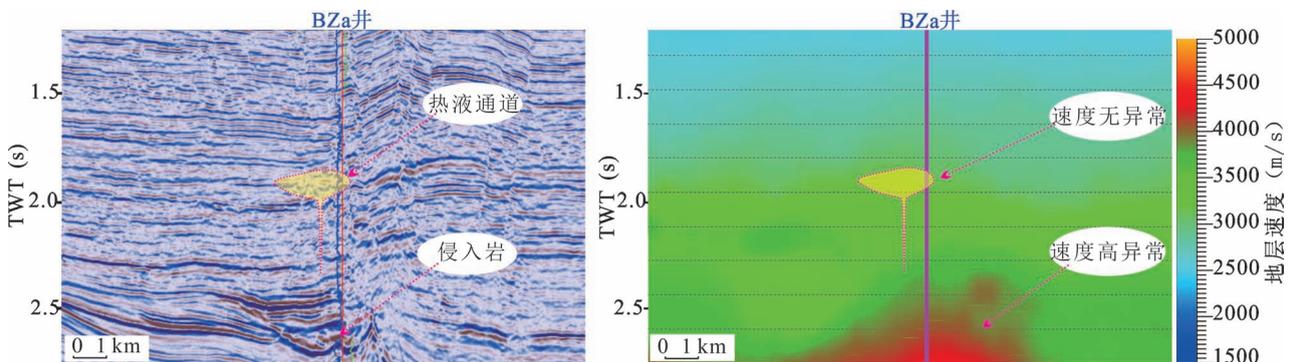


图 6 热液通道速度特征

Fig. 6 Velocity features of the hydrothermal channel

表 1 火山通道与热液通道特征对比

Table 1 Feature comparison between the volcanic conduit and the hydrothermal channel

相	火山通道	热液通道
地震相	地震反射特征“两强夹一弱”，即顶、底部强反射，中间弱反射	地震反射特征“一强一弱”，即底部强反射，中上部弱反射
测井相	测井响应表现为“三高”特征，即高速度、高密度、高电阻率	低自然电位和低自然伽马值，密度和声波速度在顶部有一定程度的减小，然后随深度的增加而慢慢增大一直到底部
岩石相	火山通道内部玄武岩、玄武质角砾岩等堆砌充填，各个块体结构不同，相互混杂，角砾磨圆较差，基质流动拉长程度较低	热液通道内部沉积角砾岩、杂砂岩、砂岩和泥岩等杂乱充填，局部发育沸石胶结砂岩，很少发现火山物质

动引起的地层薄弱带上，围岩会在地层超压和上涌热液的作用下发生崩解，产生包括角砾在内的各种碎屑物质，与热液混合形成碎屑流并向上侵入到上部地层之中，上部地层也随之发生逐级崩解，直至在地表发生喷发。这被称为围岩液化侵位机理 (Svensen et al., 2003; Alvarenga et al., 2016; Marsh and Skilling, 1998)。在地层超压的作用下，热液喷发时通道内最小的流动速度可达每秒几百米 (Boorman et al., 2003)，这意味着热液可以快速地搬运碎屑物质。来自于深层压实和胶结程度较高的岩层的角砾和岩石碎屑在搬运过程中一方面会滞留或者回填在热液通道中，形成以杂乱充填为特征的 I 型热液通道；另一方面可能会被搬运到地表，与地表的疏松砂岩或者刚刚搬运来的沉积物混合，然后在热液通道内部充填沉积，这样包含角砾的杂乱的碎屑流可能部分会被改造，表现出一定的牵引流特征，便形成了似层状充填为特征的 II 型热液通道 (图 7)。热液通道内部流体喷出地表之后，会在重力的作用下以热液通道为中心向着各个方向辐射状流动，在卸载区发生沉积。形成的沉积序列在岩心上表现为多个含有砾石的正旋回，每个旋回的底部是发育底砾岩的冲刷面，向上粒度变细，发育平行层理、小型交错层理和波纹层理。这种沉积为典型的浊流沉积 (Grove, 2012)。

随着岩浆的持续上侵，其对顶部围岩的上拱作用不断增强。根据安德森断裂模式，这种垂向上的挤压会导致顶部围岩受到不断增大的水平引张应力的作用，继而发生地层减薄、断裂、破碎，岩浆沿地层的破碎带喷出地表，形成火山通道。岩浆、火山灰及围岩碎屑等火山喷出物沿着火山通道喷出地表一定高度后回落，在火山口周围形成爆发相。含有晶出物和同生角砾的岩浆在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下，在沿着地表流动过程中逐渐滞留、冷凝、固结形成溢流相 (图 7)。

#### 4 火山通道与热液通道的石油地质意义及有利勘探区带

由于成因的差异，火山通道和热液通道表现出明显不同的石油地质意义。火山通道常表现出“利盖不利储”的特点。晚期喷发的火山岩未经强烈改造，裂缝不发育，坚硬致密，可以作为有利的盖层和保存条件 (Cukur et al., 2012; 郭涛等, 2016)。南堡和松辽盆地近年来的钻探证实了晚期火山岩具有低孔低渗的特征。南堡地区火成岩平均孔隙度 7.4%，渗透率  $0.24 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；松辽盆地玄武岩和凝灰岩平均孔隙度 7.5% ~ 7.7%，渗透率  $(0.5 \sim 0.8) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。渤海湾盆地沙垒田凸起西部某构造的钻井资料揭示，油气显示以东营组及以下地层为主，馆陶组见零星显示，证实该区火成岩尤其是馆陶组火成岩对油气具有较强的封盖能力。而且通过地层对比发现，南堡凹陷南缘主力油层也位于这套火成岩地层之下 (武强等, 2012)。另一方面，这套火山岩既不能作为储层，更占据了大量的储集空间，降低了正常储层的发育比重，因此它不利于储层的发育。

热液通道表现出“利储不利盖”的特点。热液通道受内部超压流体的支撑，压实程度要低于围岩，所以具有比围岩更高孔隙度和渗透率，可以作为储层和流体的垂向运移路径。而且它不会伴生溢流相火成岩，对储层储集空间侵占较少，有利于正常储层的发育。法罗盆地深层发育的热液通道表现为高孔隙度低密度特征，平均孔隙度可达 15% (Grove, 2012)。地层超压可以降低压实作用带来的影响，有利于保存原生空隙，同时也可以抑制胶结物生长和促进次生空隙形成 (肖军等, 2007)。可能导致孔隙度降低的因素是自生矿物的出现和中等一差的分选。总的来讲，热液通道比围岩具有更好的储集性能。

渤海油田渤中 A 区馆陶组为辫状河三角洲沉

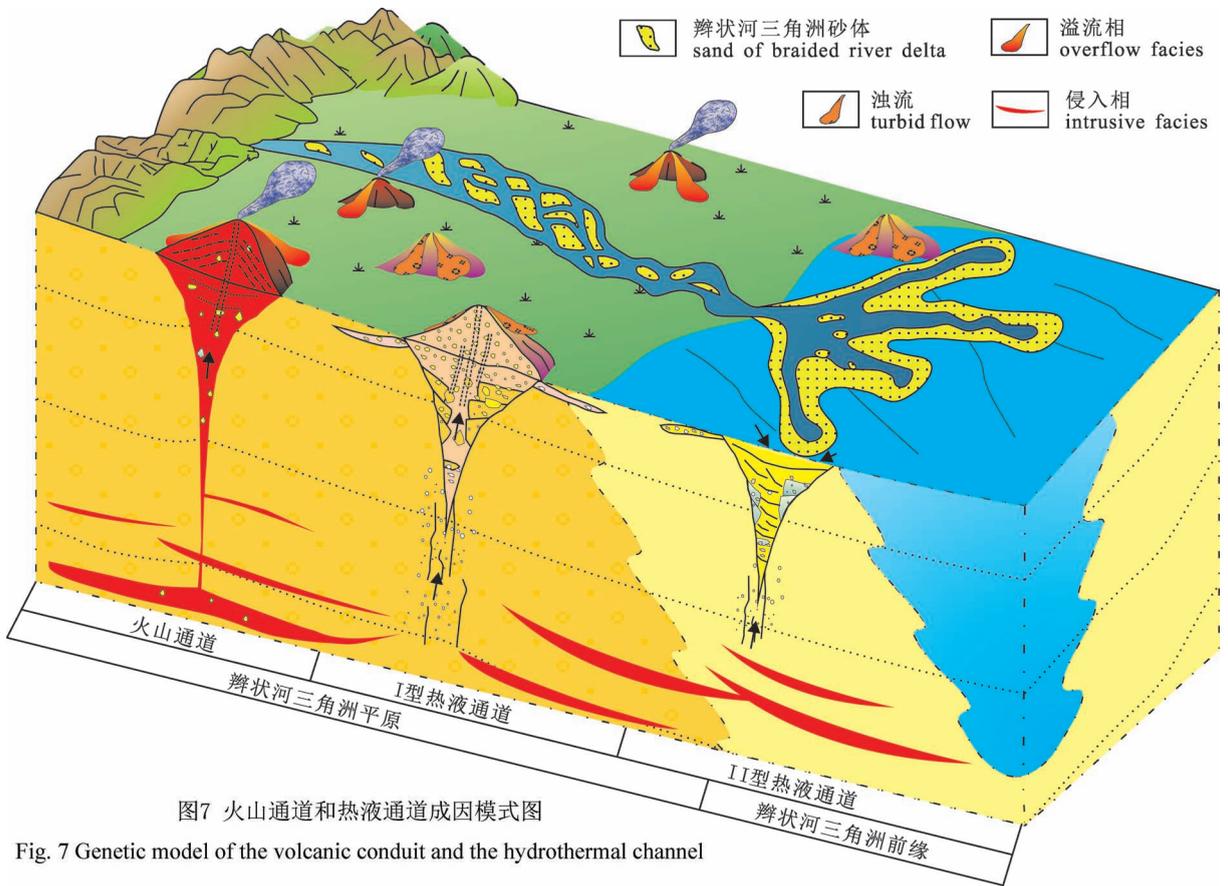


图7 火山通道和热液通道成因模式图

Fig. 7 Genetic model of the volcanic conduit and the hydrothermal channel

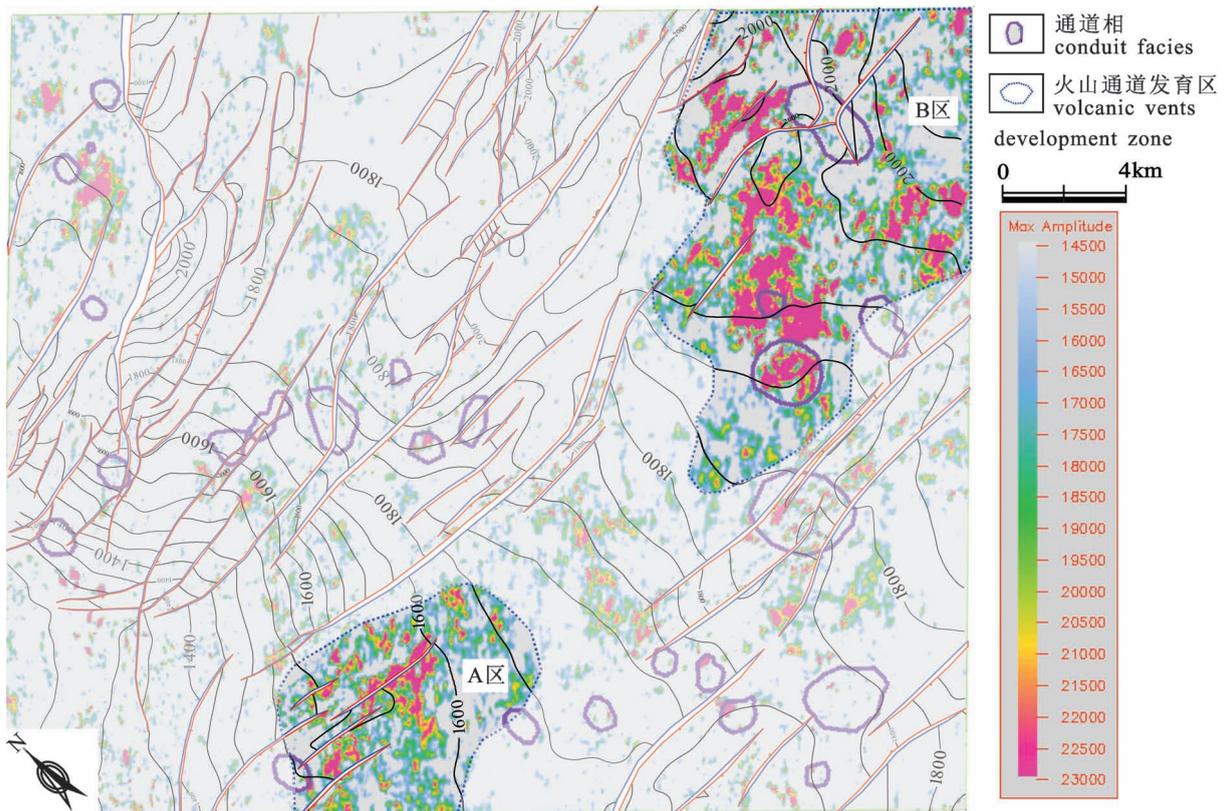


图 8 渤中 A 区有利区带预测

Fig. 8 Favorable zone prediction of Bozhong A zone

积,储层非常发育。制约本区油气成藏的关键因素是盖层。所以根据火山通道“利盖不利储”,热液通道“利储不利盖”的石油地质特征,火山通道发育区是本区油气成藏的有利区带,而热液通道发育区是本区油气勘探过程中需要规避的部位。根据火山通道和热液通道的发育特征,火山通道常伴生以强振幅反射为特征的溢流相火山岩,而热液通道无溢流相伴生,因此采用剖面地震相特征结合最大振幅属性进行火山通道和热液通道发育区的识别(图8)。认为中部为热液通道发育区,东部和西部为火山通道发育区。通过综合分析,指出了A区和B区两个有利勘探区带。A区为斜坡带背景下火山通道及溢流相火山岩的封堵,可以形成岩性圈闭。B区大型火山通道活动,形成了一个“蟹足状”断裂带,发育有大约10平方公里构造圈闭,溢流相火山岩可以作为该圈闭的良好盖层,具有较好的勘探潜力。

## 5 结论

(1)作为火山岩发育区的两种通道相类型,火山通道和热液通道在地震相、岩相、测井相等方面存在明显不同的特征。它们的成因及石油地质意义也差异较大,在实际研究中不应该混为一谈,应根据各自的特征,精细研究加以区分,更好地指导油气勘探。

(2)岩浆在侵入过程中,与围岩及孔隙流体发生相互作用,最终形成了火山通道和热液通道两种通道相。其中,火山通道成因相对简单,由岩浆上侵喷发而成;热液通道成因相对复杂,受控于岩浆侵入引起的围岩液化侵位作用。

(3)由于成因的差异,火山通道和热液通道表现出截然不同的石油地质意义。火山通道常表现出“利盖不利储”的特点,而热液通道表现出“利储不利盖”的特征。据此,并结合研究区石油地质综合研究的成果,可以清楚地判断有利的勘探区带。

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

冯玉辉, 边伟华, 顾国忠, 黄玉龙, 仇劲涛, 孙昂, 王璞珺. 2016. 中基性火山岩井约束地震岩相刻画方法. 石油勘探与开发, 43(2):228~236.

冯玉辉, 黄玉龙, 丁秀春, 于小健, 刘飞, 王璞珺. 2014. 辽河盆地东部凹陷中基性火山岩相地震响应特征及其机理探讨. 石油物探, 53(2):206~215.

郭涛, 杨波, 陈磊, 杨海风, 王孝辕, 刘庆顺, 涂翔. 2016. 岩浆岩三

维精细刻画—黄河口凹陷南斜坡渤中34-9油田的发现. 中国海上油气, 28(2):71~77.

金春爽, 乔德武, 谈伟宁. 2012. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征. 石油与天然气地质, 33(1):19~29.

梁浩, 罗权生, 孔宏伟, 范谭广, 任忠跃, 郭克诚. 2011. 三塘湖盆地火山岩中沸石的成因及其储层意义. 沉积学报, 29(3):537~543.

孙淑艳, 李艳菊, 彭莉, 李国栋. 2003. 火成岩地震识别及构造描述方法研究. 特种油气藏, 10(1):47~50.

孙希家, 华晓莉, 张志强, 边立恩, 徐春强. 2017. 渤海海域沙东地区馆陶组火山通道相构型及成因机制. 特种油气藏, 24(1):53~57.

夏庆龙, 田立新, 周心怀, 王应斌, 余一欣, 吕丁友. 2012. 渤海海域构造形成演化与变形机制. 北京:石油工业出版社, 1~63.

肖军, 王华, 朱光辉, 李绪深, 易平. 2007. 琼东南盆地异常地层压力与深部储集层物性. 石油天然气学报, 29(1):7~10.

王璞珺, 冯志强. 2013. 盆地火山岩、岩性·岩相·储层·气藏·勘探. 北京:科学出版社, 9~72.

武强, 王应斌, 张中巧, 于喜通. 2012. 歧中北—沙西火成岩形成机制及油气地质意义. 断块油气田, 19(4):467~471.

张斌, 王璞珺, 张功成, 孙晓猛, 鲁宝亮, 倪唯— . 2013. 珠—琼盆地新生界火山岩特征及其油气地质意义. 石油勘探与开发, 40(6):657~665.

邹才能, 赵文智, 贾承造, 朱如凯, 张光亚, 赵霞, 袁选俊. 2008. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布. 石油勘探与开发, 35(3):257~271.

左国平, 屠小龙, 夏九峰, 饶大骞. 2011. 大丰兴化地区火山岩地震识别方法研究. 石油物探, 50(3):252~259.

Alvarenga R, Iacopini D, Kuchle J, Scherer C, Goldberg K. 2016. Seismic characteristics and distribution of hydrothermal vent complexes in the Cretaceous offshore rift section of the Campos Basin, offshore Brazil. Marine and Petroleum Geology, 74:12~25.

Boorman S, McGuire J, Boudreau A, Kruger J. 2003. Fluid overpressure in layered intrusions; formation of a breccia pipe in the Eastern Bushveld Complex, Republic of South Africa. Mineralium Deposita, 38:356 - 369.

Craig M, Oliver D, Kirsty P, Bell R, Jackson C, Reeve M. 2016. Fault-controlled fluid flow inferred from hydrothermal vents imaged in 3D seismic reflection data, offshore NW Australia. Basin Research, 28(3):299~318.

Cukur D, Horozal S, Lee G, Kim D, Han H. 2012. The distribution and characteristics of the igneous complexes in the northern East China Sea shelf basin and their implications for hydrocarbon potential// EGU General Assembly Conference. EGU General Assembly Conference Abstracts.

Davies R, Bell B, Cartwright J, Shoulders S. 2002. Three-dimensional seismic imaging of Paleogene dike-fed submarine volcanoes from the northeast Atlantic margin. Geology, 30(3):223~226.

Feng Yuhui, Bian Weihua, Gu Guozhong, Huang Yulong, Qiu Jintao, Sun Ang, Wang Pujun. 2016&. A drilling data-constrained seismic mapping for intermediate—mafic volcanic facies. Petroleum Exploration and Development, 43(2):228~236.

Feng Yuhui, Huang Yulong, Ding Xiuchun, Yu Xiaojian, Liu Fei, Wang Pujun. 2014&. Relationship between intermediate—mafic volcanic facies and their corresponding seismic reflections: a case study from eastern depression of Liaohu Basin. Geophysical Prospecting for Petroleum, 53(2):206~215.

Gao Tao, Yang Bo, Chen Lei, Yang Haifeng, Wang Xiaoyuan, Liu

- Qingshun, Tu Xiang. 2016#. 3D fine description of magmatic rocks: the discovery of BZ34-9 oilfield in the southern slope of Huanghekou Sag. *China Offshore Oil and Gas*, 28(2):71~77.
- Grove C. 2012. Submarine hydrothermal vent complexes in the Paleocene of the Faroe—Shetland Basin: Insights from three-dimensional seismic and petrographical data. *Geology*, 41(1):71~74.
- Hansen. 2006. The morphology of intrusion-related vent structures and their implications for constraining the timing of intrusive events along the NE Atlantic margin. *Journal of the Geological Society*, 163(5):789~800.
- Jackson C. 2012. Seismic reflection imaging and controls on the preservation of ancient sill-fed magmatic vents. *Journal of the Geological Society*, 169(5):503~506.
- Jackson C, Schofield N, Golenkov B. 2013. Geometry and controls on the development of igneous sill-related forced folds: A 2-D seismic reflection case study from offshore southern Australia. *Geological Society of America Bulletin*, 125(11~12):1874~1890.
- Jin Chunshuang, Qiao Dewu, Dan Weining. 2012#. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin. *Oil and Gas Geology*, 33(1):19~29.
- Liang Hao, Luo Quansheng, Kong Hongwei, Fan Tanguang, Ren Zhongyue, Guo Kecheng. 2011#. Formation and Distribution of Zeolite in Volcanic Rock and Its Effect on Reservoirs in Santanhu Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 29(3):537~543.
- Marsh J, Skilling I. 1998. Karoo Volcanic and Intrusive Rocks, Eastern Cape. Field Excursion Guide A3, IAVCEI, International Volcanological Congress Magmatic Diversity: Volcanoes and their Roots, Cape Town, July.
- Planke S, Rasmussen T, Rey S, Myklebust R. 2005. Seismic characteristics and distribution of volcanic intrusions and hydrothermal vent complexes in the Vøring and Møre basins. *Pet. Geol. Conf.* 6:833~844.
- Sun Q, Wu S, Cartwright J, Wang S, Lu Y, Chen D, Dong D. 2014. Neogene igneous intrusions in the northern South China Sea: Evidence from high-resolution three dimensional seismic data. *Marine & Petroleum Geology*, 54(2):83~95.
- Sun Shuyan, Li Yanju, Peng Li, Li Guodong. 2003#. Study on seismic identification and structure description of igneous rock. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 10(1):47~50.
- Sun Xijia, Hua Xiaoli, Zhang Zhiqiang, Bian Li'en, Xue Chunqiang. 2017#. Structures and genetic mechanism of volcanic vent in Guantao Formation of Shadong Area in Bohai Sea. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 24(1):53~57.
- Svensen H, Jamtveit B, Planke S, Chevallier L. 2006. Structure and evolution of hydrothermal vent complexes in the Karoo Basin, South Africa. *The Geological Society of London Journal*, 163:671~682.
- Svensen H, Planke S, Jamtveit B, Pedersen T. 2003. Seep carbonate formation controlled by hydrothermal vent complexes: a case study from the Vøring Basin, the Norwegian Sea. *Geo-Marine Letters*, 23(3):351~358.
- Thomson K. 2005. Volcanic features of the North Rockall Trough: application of visualisation techniques on 3D seismic reflection data. *Bulletin of Volcanology*, 67(2):116~128.
- Wall M, Cartwright J, Davies R, McGrandle A. 2009. 3D seismic imaging of a Tertiary Dyke Swarm in the Southern North Sea, UK. *Basin Research*, 22(2):181~194.
- Wang Pujun, Feng Zhiqiang. 2013#. Volcanic Rocks in Basin: Lithology, Facies, Reservoirs, Gas Pool, Exploration. Beijing: Science Press: 9~72.
- Wu Qiang, Wang Yingbin, Zhang Zhongqiao, Yu Xitong. 2012#. Formation mechanism of igneous rock and its geological significance in Qizhongbei Shaxi Area of Qikou Sag. *Fault Block Oil & Gas Field*, 2012, 19(4):467~471.
- Xia Qinglong, Tian Lixin, Zhou Xinhui, Wang Yingbin, Yu Yixin, Lv Dingyou. 2012#. Mechanism of Tectonic Evolution and Deformation in Bohai Sea. Beijing: Petroleum Industry Press: 1~63.
- Xiao Jun, Wang Hua, Zhu Guanghui, Li Xushen, Yi Ping. 2007#. Abnormal Formation Pressure and Deep Reservoir Physical Property in Qiongdongnan Basin. *Journal of Oil and Gas Technology*, 29(1):7~10.
- Zhang Bin, Wang Pujun, Zhang Gongcheng, Sun Xiaomeng, Lu Baoliang, Ni Weiyi. 2013#. Cenozoic volcanic rocks in the Pearl River Mouth and Southeast Hainan Basins of South China Sea and their implications for petroleum geology. *Petroleum Exploration and Development*, 40(6):657~665.
- Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, Zhu Rukai, Zhang Guangya, Zhao Xia, Yuan Xuanjun. 2008#. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China. *Petroleum Exploration and Development*, 35(3):257~271.
- Zuo Guoping, Tu Xiaolong, Xia Jiufeng, Rao Daqian. 2011#. Seismic identification of volcanic in Dafengxinghua area. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 50(3):252~259.

## Types, Characteristics, Causes and Control of Hydrocarbon of the Conduit Facies in the Volcanic Development Zone

SUN Xijia, ZHANG Xintao, HUA Xiaoli, BIAN Li'en, XU Chunqiang

*Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin, 300452*

**Objectives:** There are two kind of conduit facies including the volcanic conduit and the hydrothermal channel develop in the volcanic rock development zone. Much attention has been focused on the volcanic conduit, while very few work on the hydrothermal channel have been done, especially the significance of petroleum geology of it. We study the characteristics and hydrocarbon significance of two channels.

**Methods:** Combining the three-dimensional seismic data, drilling data, profiles and glass slides, we make multiscale comprehensive analysis on the volcanic conduit and the hydrothermal channel. There are some differences

in lithofacies and seismic facies of them.

**Results:** The volcanic conduit and the hydrothermal channel are shown as the inverted cones whose upper end is much thicker than the lower end. The volcanic conduit whose reflection amplitude is different from the host rock is mostly magmatic filling, develops a typical stacking structure, has the obvious velocity anomaly, and often is associated with a larger scale of high amplitude effusive facies. The volcanic conduit is characterized by "two strong and one weak" seismic features, that is, strong reflection at the top and bottom, and weak reflection in the middle. The hydrothermal channel is filled with the surrounding rock debris and has no velocity anomaly. The reflection amplitude of the hydrothermal channel without the development of the associated effusive facies is not very different from the surrounding rock. Its seismic feature is "one strong and one weak", which is characterized by strong reflection at the bottom and weak reflection in the upper part. The volcanic conduit is formed by magma intrusion. The hydrothermal channel formation is controlled by the fluidization and disaggregation of rock at depth as a consequence of intrusive igneous activity. The two types of channels have different control functions of hydrocarbon. The volcano conduit is beneficial to reservoir development and not to the development of cap rock, while the hydrothermal channel is beneficial to the cap rock development and not to reservoir development.

**Conclusions:** Based on the different control functions of hydrocarbon, combining the distribution characteristics of the conduit facies, the favorable exploration zone in the research area is pointed out. This study has important guiding significance for oil and gas exploration in the volcanic development zone.

**Keywords:** volcanic conduit; hydrothermal channel; development characteristics; genetic model; hydrocarbon significance

**Acknowledgements:** This study was supported by the National Science and Technology Major Project (No. 2016ZX05024-003)

**First author:** SUN Xijia, male, engineer. Email: sunxj23@cnooc.com.cn

Manuscript received on: 2018-04-10; Accepted on: 2018-06-11; Edited by: LIU Zhiqiang

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2018.04.011