

文章编号:1671-5888(2003)04-0449-08

松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义

王璞珺¹,迟元林²,刘万洙¹,程日辉¹,单玄龙¹,任延广²

(1. 吉林大学 地球科学学院,吉林 长春 130061;2. 大庆油田研究院,黑龙江 大庆 163712)

摘要:松辽盆地火山岩相可分为 5 相、15 亚相。5 相为火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相和火山-沉积岩相。火山岩孔、缝及其组合关系受亚相控制。喷溢相上部亚相原生气孔和构造裂缝发育,储集物性优良;爆发相各个亚相之间常发育松散层构造,是有利的储集空间;侵出相内带亚相原生裂缝和粒间空隙发育,是优质的大型储集体。不同亚相的成岩方式不同,有熔浆冷凝胶结、压实成岩和二者复合 3 种方式。火山-沉积岩相、爆发相的空落亚相和热基浪亚相均以压实成岩为主,其物性随埋深增加变差;火山通道相、喷溢相和侵出相均以熔浆冷凝固结成岩为主,其孔、渗与埋深无关。爆发相的热碎屑流亚相是复合成岩,其储层物性与埋深的关系视两种成岩方式相对强弱而变化。

关键词:松辽盆地;火山岩相;火山岩储层;中生界

中图分类号:P618.13 **文献标识码:**A

1 火山岩相研究回顾

“相”是地质体中能够反映成因的地质特征的总和。火山岩相一词(volcanogenous facies, volcanic facies, volcanic phase)由前苏联学者较早引入地质文献^[1]。早期主要指火山熔岩,即溢流相火山岩。火山岩相能够揭示火山岩空间展布规律和不同岩性组合之间的成因联系。不同岩相带的孔隙和裂隙及其组合不同。因此,岩相是火山岩成因和物性研究的重要内容。

科普切弗·德沃尔尼科夫把火山岩分为原始喷发相、次火山岩相和火山管道相^[2]。Lajoie 按成因将火山碎屑岩分为自碎屑岩相和火成碎屑岩相^[3]。李石和王彤划分 3 相 8 亚相,包括喷发相、次火山岩相和火山管道相^[4]。Fisher 和 Schmincke 将火山碎屑岩分为火山碎屑流相、火山碎屑岩相、喷发冲积相和火山灰流相^[5]。Cas 和 Wright 按物源特征和搬运方式将火山岩相划分为熔岩流相、火山碎屑岩相、火山碎屑降落沉积相、陆上碎屑流和涌浪相、凝灰岩相和水上碎屑流和深海火山灰相^[6]。陶奎元、邱家骧划分 11 种火山岩相,分别为喷溢相、空落相、火山

碎屑流相、涌流相、火山泥流相、崩塌相、侵出相、火山口-火山颈相、次火山岩相、隐爆角砾岩相和火山喷发沉积相^[7,8]。金伯禄按火山物质搬运方式分为 4 相 11 亚相,包括爆发相、喷崩及喷溢相、侵出相及潜火山相和喷发-沉积相^[9]。谢家莹等划分出 13 种岩相,包括喷溢相、爆发空落相、火山碎屑流相、爆溢相、基底涌流相、火山泥石流相、喷发沉积相、火山颈相、侵出相、潜火山相、隐爆角砾岩相、侵入相、火山湖相^[10]。刘祥将火山碎屑岩分为 4 种岩相,包括火山喷发空中降落堆积物、火山碎屑流状堆积物、火山泥流堆积物、火山基浪堆积物^[11]。刘文灿把大别山火山岩划分为爆发相、喷溢相、喷发-沉积相、潜火山岩相^[12]。谢家莹等对东南地区竹田头 J₃-K₁ 火山岩-沉积岩序列进行剖析,划分出 5 组岩相,包括喷溢相、火山碎屑流相、爆发空落相、喷发沉积相和火山-沉积岩相^[13]。

近年来火山岩已成为油气勘探的重要目标,火山岩识别和储层预测是油气勘探成败的关键。松辽盆地火山岩被分为爆发空落相、溢流相、火山碎屑流相、基底涌流相和喷发沉积相。溢流相再分为上中下 3 个亚相^[14,15]。渤海湾盆地火山岩相分为熔

收稿日期:2003-04-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49894190-13)

作者简介:王璞珺(1959-),男,黑龙江绥滨人,教授,博士生导师,德国洪堡基金会研究奖学金学者,主要从事油气地质勘查和沉积学研究,E-mail:wpjsw@public.cc.jl.cn.

岩相、角砾岩相和凝灰岩相^[16]及爆发相、溢流相和火山沉积相^[17]。

目前盆地火山岩相主要是沿用基于现代火山和剖面火山岩的岩相研究结果。这样的分类体系主要是依据火山作用方式或喷发/搬运方式,对于研究现代火山机构是适合的。在现有分类方案中对成岩方式论述较少,也未涉及到岩相与储层物性的关系。这对于以储层建模、评价和预测为主要目的的盆地火山岩相研究,已经不能够满足实际需求。

2 松辽盆地火山岩相和亚相类型及其储集空间特征

结合松辽盆地火山岩特点和油气勘探需要,笔者提出火山岩相的“岩性-组构-成因”分类方案(表1)。主要基于岩性和岩石组构等用岩心或岩屑可以观测和准确标识的基本地质属性,强调盆地火山岩相研究中的可操作性,注重岩相与储层物性的关系,笔者将火山岩相分为5种相、15种亚相。分类中既遵循一般分类原则又考虑其实用性^[18],目的是为盆地火山岩研究提供一个行之有效的分类方案,使研究者能够参照分类表中的岩相鉴定标志在剖面、岩心、岩屑和薄片尺度上识别出各种火山岩相和亚相。通过地质相-地震、测井相转换能够用地球物理资料识别火山岩相和亚相^[19~21],并能够在岩相和亚相识别的基础上初步评价火山岩储层物性^[22, 23]。

3 松辽盆地火山岩相和亚相的地质特征和识别标志

根据1987~2002年间对松辽盆地周缘主要露头剖面火山岩测量及地质地球化学研究^[23]、煤田井下巷道剖面测量、东南隆起区大比例尺(1:1000)火山岩地面地质填图和松辽盆地北部徐家围子断陷2×4地震测网火山岩相解释结果^[24],对松辽盆地火山岩相和亚相地质特征和识别标志归纳如下。

3.1 火山通道相()

火山通道指从岩浆房到火山口顶部的整个岩浆导运系统。火山通道相位于整个火山机构的下部,是岩浆向上运移到达地表过程中滞流和回填在火山管道中的火山岩类组合。火山通道相可以划分为火山颈亚相、次火山岩亚相和隐爆角砾岩亚相(图1-)。它们可形成于火山旋回的整个过程中,但保留下来的主要是后期活动产物。

火山颈亚相() 大规模的岩浆喷发、地壳内

部能量的释放造成岩浆内压力下降,后期的熔浆由于内压力减小不能喷出地表,在火山通道中冷凝固结。同时,由于热沉陷作用,火山口附近的岩层下陷坍塌,破碎的坍塌物被持续溢出冷凝的熔浆胶结,形成火山颈亚相。火山颈亚相直径为100~1000余m,产状近于直立,通常穿切其它岩层,多发育在深断裂带附近。其代表岩性为熔岩、角砾熔岩和/或凝灰熔岩,熔结角砾岩和/或熔结凝灰岩。岩石具斑状结构、熔结结构、角砾结构或凝灰结构,具环状或放射状节理。火山颈亚相的鉴定特征是不同岩性、不同结构、不同颜色的火山岩与火山角砾岩相混杂,其间的界限往往是清楚的。图1- 为营城组三段由中基性火山角砾岩构成的火山颈亚相(松辽盆地东南八棵树村剖面)。

次火山岩亚相() 可形成于火山旋回的同期和后期,以后期为主。它是同期或后期的熔浆侵入到围岩中、缓慢冷凝固晶形成的,多位于火山机构下部几百米到1500余m,与其它岩相和围岩呈指状交切或呈岩株、岩墙及岩脉形式嵌入。次火山岩亚相的代表岩性为次火山岩(玢岩和斑岩等),具斑状结构至全晶质不等粒结构,冷凝边构造,流面、流线构造,柱状、板状节理。常见的柱状节理火山岩即为次火山岩亚相的代表。这类岩体的直径可从几百米到10余km以上。次火山岩亚相中常见围岩捕虏体。该亚相的代表性特征为岩石结晶程度高于所有其它火山岩亚相,以及由于岩浆活动后期的流体活动使得其斑晶常具有熔蚀现象(图1- ,朝深2井营城组显微照片)。

隐爆角砾岩亚相() 形成于岩浆地下隐伏爆发条件下,是由富含挥发分的岩浆入侵到岩石破碎带时由于压力得到一定释放又释放不完全而产生地下爆发作用形成的。根据松辽盆地火山岩剖面和井下观测结果,该亚相可形成于岩浆旋回的同期和后期,以中、后期为主。隐爆角砾岩亚相位于火山口附近或次火山岩体顶部,经常穿入其它岩相或围岩。其代表岩性为隐爆角砾岩,具隐爆角砾结构、自碎斑结构和碎裂结构,呈筒状、层状、脉状、枝叉状和裂缝充填状。角砾间的胶结物质是与角砾成分及颜色相

王璞璐,刘万洙,程日辉,等. 松辽盆地北部火山岩储层预测和评价. 中国石油天然气总公司“十五”攻关项目专项研究报告, 2003.

表 1 盆地火山岩相分类、亚相特征和识别标志(5 种相 15 种亚相)

Table 1 Classification of volcanic facies and corresponding characteristics for each sub-facies

相	亚相	搬运机制和物质来源	成岩方式	特征岩性	特征结构	特征构造	相序和相律	储层空间类型
火山沉积岩相	凝灰岩夹煤沉积	凝灰质火山碎屑和成煤沼泽环境的富植物泥炭	压实作用导致的沉积成岩	火山凝灰岩与煤层互层	陆源碎屑结构	韵律层理、水平层理	位于距离火山穹隆较近的沼泽地带	碎屑颗粒间孔和各种次生孔和缝
	再搬运火山碎屑沉积岩	火山碎屑物经过水流作用改造		层状火山碎屑岩/凝灰岩		交错、粒序层理、块状构造	位于火山机构穹隆之间的低洼地带	
	含外碎屑火山碎屑沉积岩	以火山碎屑为主可能有其它陆源碎屑物质加入		含外来碎屑的火山凝灰质砂砾岩		交错、槽状、粒序层理,块状构造		
侵入相(形成于火山旋回后期)	外带	熔浆前缘冷凝、变形并铲刮和包裹新生和先期岩块,内力挤压流动	熔浆冷凝熔结新生和原岩块	具变形流纹构造的角砾熔岩	熔结角砾和熔结凝灰结构	变形流纹构造	侵入相岩穹的外部	角砾间孔隙、显微裂缝
	中带	高粘度熔浆受到内力挤压流动,堆砌在火山口附近成岩穹		块状珍珠岩和细晶流纹岩	玻璃质结构和珍珠结构	块状、层状、透镜状和披覆状	侵入相岩穹的中部	原生显微裂隙、构造裂隙
	内带亚相		熔浆(遇水淬火)凝固固结	枕状和球状珍珠岩	少斑结构碎斑结构	岩球、岩枕、穹状	侵入相岩穹的核心	岩球间空隙、穹内松散体
喷溢相(形成于火山旋回中期)	上部	含晶出物和同生角砾的熔浆在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下沿着地表流动	熔浆凝固固结	气孔流纹岩	球粒结构细晶结构	气孔、杏仁、石泡	流动单元上部	气孔、石泡腔、杏仁内孔和流纹层间缝隙
	中部			流纹构造流纹岩	细晶结构斑状结构	流纹构造	流动单元中部	板状和契状节理裂隙和构造裂缝
	下部			细晶流纹岩、含同生角砾的流纹岩	玻璃质、细晶结构斑状结构角砾结构	块状或断续的变形流纹构造	流动单元下部	
爆发相(形成于火山旋回早期)	热碎屑流	含挥发分的灼热碎屑-浆屑混合物在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下沿着地表流动	熔浆冷凝胶结+压实作用	含晶屑、玻屑、浆屑、岩屑的熔结凝灰岩	熔结凝灰结构和火山碎屑结构	块状、正粒序、逆粒序,火山玻璃质定向,基质支撑	火山旋回早期多见,爆发相上部	颗粒间孔、每个冷却单元底部可能发育几十cm松散层
	热基浪	气射作用的气-固-液态多相流体系在重力作用下近地表呈悬移质搬运	压实为主	含晶屑、玻屑、浆屑的凝灰岩	火山碎屑结构(以晶屑凝灰结构为主)	平行层理交错层理逆行沙波层理	爆发相中下部或与空落相互层,低凹处厚,向上变细变薄	有熔岩围限且后期压实影响小则为好储层(岩体内松散层),晶粒间孔隙和角砾间孔隙为主
	空落	气射作用的固态和塑性喷出物(在风的影响下)作自由落体运动		含火山弹和浮岩块的集块岩、角砾岩,晶屑凝灰岩	集块结构角砾结构凝灰结构	颗粒支撑正粒序层理,弹道状坠石	多在爆发相下部,向上变细变薄,也可呈夹层	
火山通道相(位于火山机构下部)	隐爆角砾岩	富含挥发份岩浆入侵破碎岩石带产生地下爆发作用	与角砾成分相同或不同的岩汁(热液矿物)或细碎屑胶结	隐爆角砾岩	隐爆角砾结构、自碎斑结构碎裂结构	筒状、层状、脉状、枝叉状、裂缝充填状	火山口附近或次火山岩体顶部或穿入围岩	原生显微裂隙,但多被后期岩汁再充填
	次火山岩	同期或晚期的潜侵入作用	熔浆冷凝结晶	次火山岩、玢岩和斑岩	斑状结构不等粒晶质结构	冷凝边构造,流面、流线,柱状、板状节理,捕虏体	火山机构下部几百至1500m与其它岩相和围岩呈交切状	柱状和板状节理的裂隙接触带的裂隙
	火山颈	熔浆流动停滞并充填在火山通道,火山口塌陷充填物	熔浆凝固固结,熔浆熔结火山碎屑物	熔岩,角砾/凝灰熔岩及熔结角砾岩	斑状结构熔结结构角砾/凝灰结构	环状或放射状节理,岩性分带	直径数百米,产状近于直立、穿切其它岩层	环状和放射状裂隙

注:浮岩类发育于火山旋回的顶部,首先遭受剥蚀、不易保存,又因其孔隙度特别大,当被埋藏后将经历明显的压实作用,故它们在盆地内部的火山岩中很少见;构造裂隙可以成为任何一种火山岩相的储集空间和运移通道,但对于溢流相下部亚相细晶流纹岩等脆性岩石来说,由于其中的裂隙易形成、易保存,因而构造裂隙对这类岩石具有更重要的储层意义

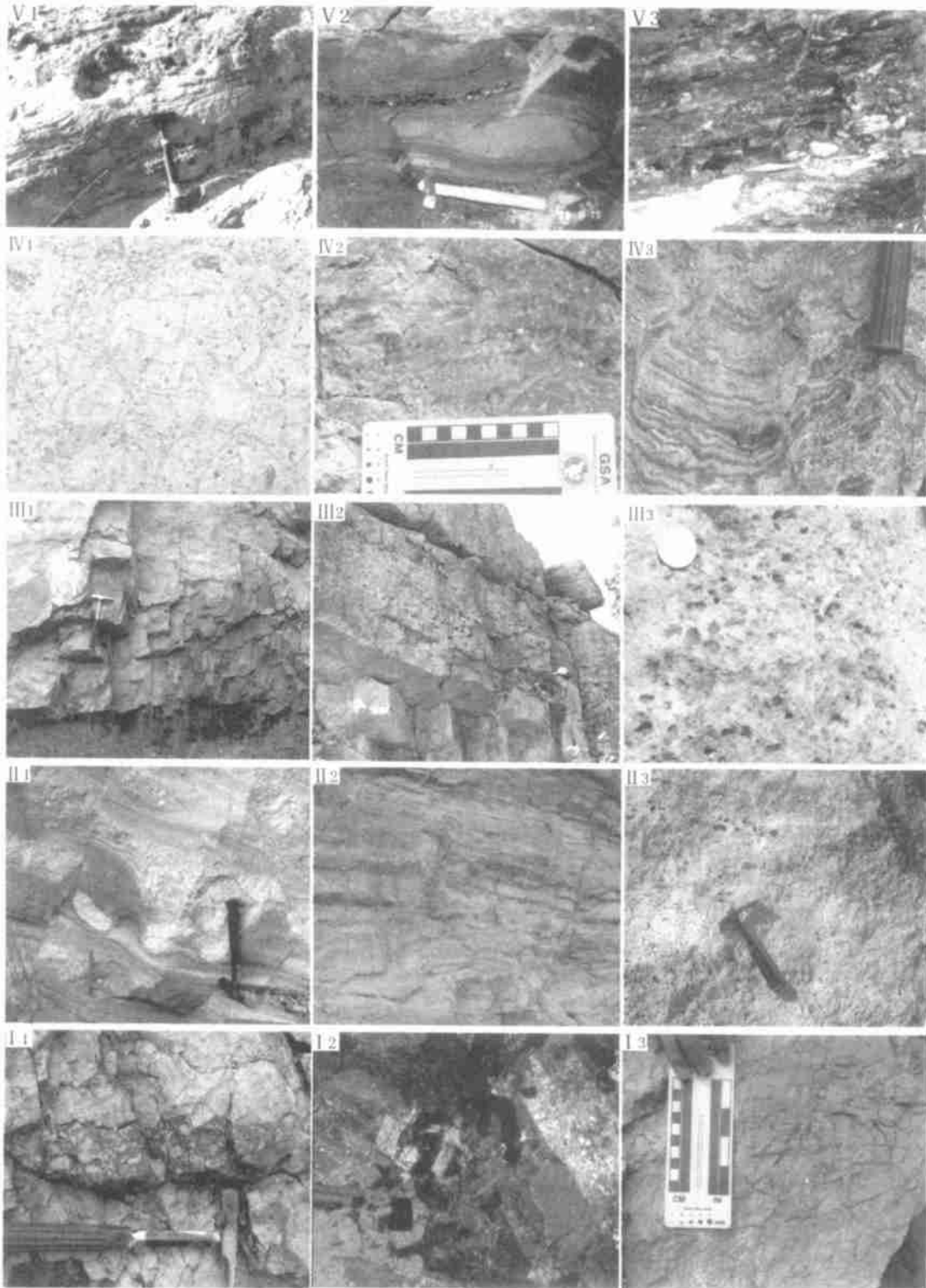


图 1 火山岩相和亚相照片

Fig. 1 Pictures showing volcanic facies/ sub - facies

·火山通道相: 1. 火山颈亚相, 2. 次火山岩亚相, 3. 隐爆角砾岩亚相; ·爆发相: 1. 空落亚相, 2. 热基浪亚相, 3. 热碎屑流亚相;
 ·喷溢相: 1. 喷溢相下部亚相, 2. 喷溢相中部亚相, 3. 喷溢相上部亚相; ·侵入相: 1. 侵入相内带亚相, 2. 侵入相中带亚相,
 3. 侵入相外带亚相; ·火山-沉积岩相: 1. 含外碎屑火山碎屑沉积岩, 2. 再搬运火山碎屑沉积岩, 3. 凝灰岩夹煤沉积

同或不同的岩汁(热液矿物)或细碎屑物质。隐爆角砾岩亚相的代表性特征是岩石由“原地角砾岩”组成,即不规则裂缝将岩石切割成“角砾状”,裂缝中充填有岩汁或细角砾岩浆,充填物岩性和颜色往往与主体岩性相似但颜色不同(如图1-3所示,照片摄于松辽盆地东南八棵树村采石场剖面)。

3.2 爆发相()

爆发相形成于火山作用的早期和后期,是分布最广的火山岩相,也是构造类型繁多、易于与正常沉积岩混淆的火山岩类。可分为3个亚相:空落亚相、热基浪亚相、热碎屑流亚相(图1-)。

空落亚相(1) 其主要构成岩性类型为含火山弹和浮岩块的集块岩、角砾岩、晶屑凝灰岩,集块结构、角砾结构和凝灰结构,颗粒支撑,常见粒序层理。空落亚相是固态火山碎屑和塑性喷出物在火山气射作用下在空中作自由落体运动降落到地表,经压实作用而形成的。多形成于火山岩序列的下部,或呈夹层出现,向上粒度变细。空落亚相的鉴定特征是,具有层理的凝灰岩层被弹道状坠石扰动而形成的“撞击构造”(图1- 1,照片摄于松辽盆地东南营城采石场)。

热基浪亚相(2) 其主要构成岩性为含晶屑、玻屑、浆屑的凝灰岩,火山碎屑结构,以晶屑凝灰结构为主,具平行层理、交错层理,特征构造是逆行沙波层理。它们是火山气射作用的气-固-液态多相体系在重力作用下于近地表呈悬移质搬运,重力沉积,压实成岩作用的产物,因此也称之为载灰蒸汽流沉积。该亚相多形成于爆发相的中、下部,构成向上变细变薄序列,或与空落相互层。热基浪亚相的代表性特征是发育层理构造,尤其是逆行沙波层理(反丘)构造。图1- 2为含角砾凝灰岩,序列下部为反丘向上变为平行层理(摄于松辽盆地东南营城采石场)。

热碎屑流亚相(3) 其主要构成岩性为含晶屑、玻屑、浆屑、岩屑的熔结凝灰岩,熔结凝灰结构、火山碎屑结构,块状,基质支撑。它们是含挥发分的灼热碎屑-浆屑混合物,在后续喷出物推动和自身重力的作用下沿地表流动,受熔浆冷凝胶结与压实共同作用固结而成,以熔浆冷凝胶结成岩为主。多见于爆发相上部。原生气孔发育的浆屑凝灰熔岩是热碎屑流亚相的代表性岩石类型,浆屑塑性拉长/撕裂状,顺层分布,气孔和浆屑以及晶屑的长轴方向平行于流动方向(图1- 3,松辽盆地东南营城采石

场)。

3.3 喷溢相()

喷溢相形成于火山喷发旋回的中期,是含晶出物和同生角砾的熔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,熔浆逐渐冷凝、固结而形成。喷溢相在酸性、中性、基性火山岩中均可见到,一般可分为下部亚相、中部亚相、上部亚相。

下部亚相(1) 代表岩性为细晶流纹岩及含同生角砾的流纹岩,玻璃质结构、细晶结构、斑状结构、同生角砾结构,具块状或断续的流纹构造,位于流动单元的下部。喷溢相下部亚相岩石的原生孔隙不发育,但岩石脆性强,裂隙容易形成和保存,所以是各种火山岩亚相中构造裂缝最发育的(图1- 1,松辽盆地东南斜尾巴沟营城组剖面)。

中部亚相(2) 代表岩性为流纹构造流纹岩,细晶结构、斑状结构,流纹构造,位于流动单元的中部。喷溢相中部亚相是唯一的原生孔隙、流纹层间缝隙和构造裂缝都发育的亚相,也是孔隙分布较均匀的岩相带。中部亚相往往与原生气孔极发育的喷溢相上部亚相互层,构成孔-缝“双孔介质”极发育的有利储集体(图1- 2,松辽盆地东南斜尾巴沟营城组剖面)。

上部亚相(3) 代表岩性为气孔流纹岩和球粒流纹岩,气孔呈条带状分布,沿流动方向定向和拉长,球粒结构、细晶结构,气孔构造、杏仁构造、石泡构造,位于流动单元的上部。上部亚相是原生气孔最发育的相带,原生气孔占岩石体积百分比可高达25%~30%,原生气孔直径从微米级到10余cm,气孔之间通过构造裂缝连通。由于气孔的影响,构造裂缝在上部亚相中主要表现为不规则的孔间裂缝,而规则的、成组出现的裂缝较少。喷溢相上部亚相一般是储层物性最好的岩相带之一(图1- 3,朝深1井营城组岩心照片)。

3.4 侵出相()

侵出相主要见于酸性岩中,形成于火山喷发旋回的晚期。当破火山口-火山湖体系已经形成、高粘度岩浆受内力挤压流出地表时,遇水淬火或在大气中快速冷却便在火山口附近形成侵出相(玻璃质)火山岩体。我国东部中生代酸性岩发育区的珍珠岩、黑曜岩和松脂岩类都属于侵出相火山岩。侵出相岩体外形以穹隆状为主,岩穹高几十米至数百米,直径几百米到数千米,可划分为内带亚相、中带亚相

和外带亚相。

内带亚相(1) 位于侵出相岩穹的内部,代表岩性为枕状和球状珍珠岩,玻璃质结构,岩球、岩枕构造,总体产状呈穹隆形。该亚相的原生裂缝最为发育,在微观和宏观尺度上原生裂缝均呈环带状。在宏观尺度上玻璃质珍珠岩沿着环带状裂隙破碎成几厘米至几十厘米甚至 10 余 m 的火山玻璃球体,这些球状堆积物之间充填着较细的玻璃质碎屑、使得大的珍珠岩球体松散地胶结或堆砌在一起。由于这种堆积物的骨架坚硬,同时有侵出相中带珍珠岩和外带角砾熔岩作为坚硬的外壳披覆其上、起到保护作用,所以,在一个大的侵出相火山岩穹隆的内部往往发育有大规模的“岩穹内松散体”。这种松散体的物性通常是非常好的。图 1-1 是侵出相内带亚相珍珠岩体,球体直径近 10 m,内部由直径依次递减的小球体组成,岩石薄片下呈玻璃质环带状(珍珠结构)。照片摄于松辽盆地东南三台乡村珍珠岩矿。

中带亚相(2) 位于侵出相岩穹的中部,内带亚相和中带亚相均是由于高粘度熔浆在内力挤压作用下流动,遇水淬灭,逐渐凝固结在火山口附近堆砌而成。常见结构有玻璃质结构、珍珠结构、少斑结构和碎斑结构。代表岩性为致密块状珍珠岩和细晶流纹岩,块状构造,岩体呈层状、透镜状和披覆状。该亚相的岩石脆性极强,构造裂缝极易形成同时也易于再改造,最终能够保留下来的构造裂缝不如喷溢相下部亚相发育。图 1-2 为侵出相中带亚相层状珍珠岩,照片摄于松辽盆地东南三台乡村珍珠岩矿。

外带亚相(3) 位于侵出相岩穹的外部,其代表岩性为具变形流纹构造的角砾熔岩。它们是(高粘度)熔浆舌在流动过程中,其前缘冷凝、变形并铲刮和包裹新生和先期岩块,在自身重力和后喷熔浆作用下流动,最终固结成岩而成。岩石具熔结角砾结构、熔结凝灰结构,常见变形流纹构造。其鉴定特征是具变形流纹构造的角砾/集块熔岩,其中的角砾和集块也具有变形流纹构造(图 1-3,肇深 8 井营城组岩心照片)。

3.5 火山-沉积岩相()

火山-沉积岩相是经常与火山岩共生的一种沉积岩相,可出现在火山活动的各个时期,与其它火山岩相侧向相变或互层,分布范围广、远大于其它火山岩相。在火山喷发过程中、尤其在火山活动的间歇

期,于火山岩隆起之间的凹陷带主要形成火山-沉积岩组合。其岩性主要是含火山碎屑的沉积岩。碎屑成分主要为火山岩岩屑和凝灰质碎屑以及晶屑、玻屑。火山-沉积岩主要形成于冲积扇和山间河流沉积环境。松辽盆地火山-沉积岩可细分为 3 个亚相:含外碎屑火山碎屑沉积岩、再搬运火山碎屑沉积岩和凝灰岩夹煤沉积。

含外碎屑火山碎屑沉积岩(1) 其代表岩性是具有层理的、以火山碎屑为主(>50%)的沉积岩和/或火山凝灰岩中包裹有泥质岩等外来岩块(如图 1-1,松辽盆地东缘剖面照片)。

再搬运火山碎屑沉积岩(2) 岩石由火山角砾岩和凝灰岩组成,层理构造发育,岩石序列中有明显的反映再搬运的沉积构造或相关特征。如图 1-2 所示,照片中部为一具有粒序层理和平行层理的浊积岩透镜体,其上下均为波状层理凝灰岩,向上过渡为含煤的含火山角砾的凝灰岩。浊积岩成分为砂级火山碎屑,是经过再搬运后在湖相环境中沉积的。照片摄于松辽盆地东南部营城煤矿井下 800 深处巷道剖面(沙河子组-营城组过渡段)。

凝灰岩夹煤沉积(3) 是松辽盆地最常见的岩相之一,由凝灰岩与煤互层序列组成,形成于间湾沼泽沉积环境。如图 1-3 所示,照片下部为灰白色凝灰岩,向上过渡为黑色煤层。照片摄于松辽盆地东南部营城煤矿井下 800 m 深处巷道剖面(沙河子组-营城组过渡段)。

4 讨论

有关火山岩相的术语很杂,且多数情况下只提及名词概念没有给出定义和识别标志,难以运用。笔者根据成因和可识别性,将相近岩相进行归类后提出上述划分方案。本文用“热碎屑流”一词以示区别于沉积岩中的碎屑流相。本文的热碎屑流亚相包括或相当于其它文献中的火山碎屑流相、火山泥流相和火山灰流相等术语^[25]。用“热基浪”一词以强调火山气射物沿地表呈载屑蒸汽流搬运的特点,该亚相包括或相对于其它文献的涌浪相和底潮沉积等术语^[26]。从实际应用的角度看,火山颈亚相的最大特点就是各种成分和结构的熔岩和角砾(熔)岩堆砌在破火山口及其下延部位,它包括或相当于其它文献中的火山口-火山颈相、火山爆发崩塌相、喷崩相等术语^[7,8]。

参考文献:

- [1] Kolotukhina S E. The volcanogenous facies of the lower Carboniferous in central Kazakhstan[J]. Trudy, 1940, 42(12):17-20.
- [2] 科普切弗-德沃尔尼科夫 B C,雅科夫列娃 E,彼特罗娃 M A. 火山岩及研究方法[M]. 周济群,黄光昭译校. 北京:地质出版社,1978. 10-82.
Kepugef D B C, et al. Volcanic rocks and related research methods [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978. 10-82.
- [3] Lajoie J. Facies models 15: Volcaniclastic rocks [J]. Geoscience Canada, 1979, 6(3): 129-139.
- [4] 李石,王彤. 火山岩[M]. 北京:地质出版社,1980. 20-40.
Li Shi, Wang Tong. Volcanic rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980. 20-40.
- [5] Fisher R V, Schmincke H U. Pyroclastic rocks[M]. Heidelberg: Springer, 1984. 59-265.
- [6] Cas R A F, Wright J V. Volcanic successions modern and ancient[M]. London: Allen & Unwin, 1987. 59-333.
- [7] 陶奎元. 火山岩相构造学[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1994. 12-31.
Tao Kuiyuan. Structure and facies of volcanic rocks[M]. Nanjing: Jiangsu Science & Technology Press, 1994. 12-31.
- [8] 邱家骧,陶奎元,赵俊磊,等. 火山岩[M]. 北京:地质出版社,1996. 10-22.
Qiu Jiaxiang, Tao Kuiyuan, Zhao Junlei, et al. Volcanic rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 10-22.
- [9] 金伯禄,张希友. 长白山火山地质研究[M]. 长春:东北朝鲜民族教育出版社,1994. 40-49.
Jin Bailu, Zhang Xi-you. Volcanic geology of the Changbai Mountain[M]. Changchun: Korean Education Press, 1994. 40-49.
- [10] 谢家莹,陶奎元. 中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩[M]. 北京:地质出版社,1996. 40-71.
Xie Jiaying, Tao Kuiyuan. Volcanic geology of the south eastern continent of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 40-71.
- [11] 刘祥,向天元. 中国东北地区新生代火山和火山碎屑堆积物资源与灾害[M]. 长春:吉林大学出版社,1997. 1-8.
Liu Xiang, Xiang Tianyuan. Cenozoic volcanoes and pyroclastic deposits in Northeastern China resources and hazard[M]. Changchun: Jilin University Press, 1997. 1-8.
- [12] 刘文灿,孙善平,李家振. 大别山北麓晚侏罗世金剛台组火山岩地质及岩相构造特征[J]. 现代地质,1997, 11(6):237-243.
Liu Wencan, Sun Shanping, Li Jiazhen. Geological facies and structures of the J₃ volcanic rocks in northern Dabie Mountain[J]. Geoscience, 1997, 11(6): 237-243.
- [13] 谢家莹,蓝善先,张德宝,等. 运用火山地质学理论研究竹田头火山机构[J]. 火山地质与矿产,2000, 21(2): 87-95.
Xie Jiaying, Lan Shanxian, Zhang Debao, et al. Volcanic assemblage of the Zhutiantou area [J]. Volcano Geology and Resources, 2000, 21(2): 87-95.
- [14] 陈建文,王德发,张晓东. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩相和火山机构分析[J]. 地学前缘,2000, 7(4):371-379.
Chen Jianwen, Wang Defa, Zhang Xiaodong. Facies and assemblage of the Xujiaweizi volcanic rocks of the Songliao Basin[J]. Earth Sciences Frontiers, 2000, 7(4): 371-379.
- [15] 李长山,陈建文,游俊,等. 火山岩储层建模初探[J]. 地学前缘,2000, 7(4):381-389.
Li Changshan, Chen Jianwen, You Jun. Preliminary study on volcanic reservoir modeling[J]. Earth Sciences Frontiers, 2000, 7(4): 381-389.
- [16] 董冬,杨申镛,段智斌. 滨南油田下第三系复合火山岩相与火山岩油藏[J]. 石油与天然气地质,1988, 9(2): 355-376.
Dong Dong, Yang Shenbiao, Duan Zhibin. Composite volcanic facies and volcanic rock pool of the Eocene in Binnan Oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9(2): 355-376.
- [17] 罗静兰,曲志浩,孙卫,等. 风化店火山岩岩相、储集性与油气关系[J]. 石油学报,1996, 17(1):32-39.
Luo Jinglan, Qu Zhihao, Sun Wei, et al. The relationship between lithofacies, reservoir lithology and oil and gas of volcanic rocks in Fenghuadian area [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 17(1):32-39.
- [18] 王璞瑜,陈树民,刘万洙,等. 松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系[J]. 石油与天然气地质,2003, 24(1):18-27.
Wang Pujun, Chen Shumin, Liu Wanzhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18-27.

- [19] 邵正奎,孟宪禄,王璞瑛. 松辽盆地储层火山岩地震反射特征及其分布规律[J]. 长春科技大学学报, 1999, **29**(1): 33-36.
Shao Zhengkiu, Meng Xianlu, Wang Pujun. Seismic reflection features and distribution law of volcanic rocks in the Songliao basin[J]. Journal of Changchun University of Science & Technology, 1999, **29**(1): 33-36.
- [20] 邱春光,王璞瑛,门广田,等. 松辽盆地徐家围子断陷火山岩亚相和亚相的测井识别[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, **33**(专辑 V): 123-127.
Qiu Chunguang, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Well - logging to identify volcanic facies and sub - facies in Xujiaweizi depression of northern Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, **33**(Sup.): 123-127.
- [21] 刘万洙,王璞瑛,门广田,等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, **24**(1): 88-31.
Liu Wanzhu, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in the northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, **24**(1): 28-31.
- [22] 李世凯,刘万洙,陈树民,等. 松辽盆地储层火山岩岩性、岩相与储层物性的关系研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, **33**(专辑 V): 136-140.
Li Shikai, Liu Wanzhu, Chen Shumin, et al. Relationship among lithology, lithofacies, porosity and permeability of the volcanic reservoir rocks of the Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, **33**(Sup.): 136-140.
- [23] Wang Pujun, Liu Wanzhu, Wang Shuxue, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, **91**(2): 331-340.
- [24] Wang Pujun, Ren Yanguang, Shan Xuanlong, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation[J]. Geological Journal, 2002, **37**(2): 97-115.
- [25] Tucker M E. The field description of sedimentary rocks. Milton: John Wiley & Sons, 1982.

VOLCANIC FACIES OF THE SONGLIAO BASIN: CLASSIFICATION, CHARACTERISTICS AND RESERVOIR SIGNIFICANCE

WANG Pu-jun¹, CHI Yuan-lin², LIU Wan-zhu¹, CHENG Ri-hui¹, SHAN Xuan-long¹, REN Yan-guang²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing 163712, China)

Abstract: The reservoir volcanic rocks of the Songliao Basin include upper Jurassic Huoshiling Formation, lower Cretaceous Yingcheng Formation. Based on the cuttings/core sections and outcrop descriptions as well as 2-4 seismic interpretation of the volcanic rocks around and within the Songliao Basin. The authors of the paper classify the reservoir volcanics into five facies and fifteen sub-facies which are described as to their identifying signatures of lithology, texture, structure and relationship between sub-facies and reservoir features.

Sub-facies type is a important controlling factor on the porosity and permeability of the reservoir volcanic rocks. The upper effusive facies sub-facies(3) are rich in both primary vesicles and fault cracks being good reservoir rocks. Circular primary cracks are generally well developed in the extrusive pillow lavas resulted from large-scale unconsolidated body within volcanic dome that is one of the best reservoirs. Loose units, covered by hard volcanic layer and preserved owing to rapid cooling of lava, are common in between the effusive facies. They are good reservoirs, too. Porosity and permeability of volcanic rocks can decrease with buried depth if their diagenesis is compaction dominant. Those are the cases of volcanogenetic sedimentary facies and subfacies of base surge deposits. For the rest facies of the volcanic rocks, reservoir features are not influenced by buried depth.

Key words: Songliao Basin; volcanic facies; volcanic reservoir; Mesozoic