

二连盆地洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩特征 及储层控制因素分析

季汉成¹⁾, 杨德相²⁾, 高先志¹⁾, 房晓东¹⁾, 王薇¹⁾

1) 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京, 102249;

2) 中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司勘探开发研究院, 河北任丘, 062552

内容提要: 为了明确二连盆地洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩的分布规律, 本文通过对火山岩的岩心观察、薄片鉴定、测井资料、地震资料的综合分析, 提出洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩主要发育于阿尔善组下段、阿尔善组上段和腾格尔组一段, 以安山岩、凝灰岩和火山角砾岩为主; 发育爆发相、喷溢相和喷发沉积相, 以喷溢相发育程度高、喷发沉积相分布广特点; 洪浩尔舒特凹陷中生代火山岩主要沿断裂分布, 在垂向上表现为多期次喷发序列的叠置, 共经历了3个火山喷发旋回、14个火山喷发期次。储层孔隙类型多样, 以气孔和构造缝最发育。储层储集性受到火山岩岩性岩相类型、成岩后期的构造活动和成岩作用等因素的制约, 以岩相因素影响最明显。

关键词: 洪浩尔舒特凹陷; 中生界; 火山岩; 岩相; 储集层

我国自20世纪70年代以来, 先后在渤海湾盆地、二连盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、松辽盆地及四川盆地发现了火山岩油气藏(杨辉等, 2006; 王华崇等, 2004; 吕炳全等, 2003; 崔勇等, 2000; 操应长等, 1999; 罗静兰等, 1996; 余家仁等, 1988; 陈文寄等, 1985)。火山岩储层具有极强的非均质性和复杂的成藏规律(Williams et al., 1972), 其具分布广但规模较小等特点。随着能源需求量的日益增长, 石油天然气的勘探、开发领域也在不断地扩展, 火山岩储层的研究也越来越受到重视(张光亚等, 2010; 朱如凯等, 2010; 张玉广等, 2009; 张剑等, 2006; 张新荣等, 2001), 因此二连盆地洪浩尔舒特凹陷火山岩的勘探前景日益引起人们的关注。

洪浩尔舒特凹陷自1991年开始勘探至今, 钻探井和评价井共计80口, 其中60口井钻遇中生界火山岩, 7口井在火山岩中获得工业油气流, 显示出在本区进行火山岩油气勘探具有良好的前景。长期以来, 在油气勘探开发中, 前人对洪浩尔舒特凹陷的储层研究主要集中在沉积岩方面(张志琳等, 2008; 张文朝等, 2002; 赵霞飞等, 2002; 易士威等, 1998; 谭成仟等, 1998; 刘震等, 1997), 而其中的火山岩却没有得到足够的重视, 目前有关洪浩尔舒特凹陷火山岩储层的文献不多(秦凤启等, 2010), 火山岩储层研

究程度偏低, 存在火山岩分布情况不清、火山岩储层发育主控因素不明、有利火山岩储层分布情况不确定等诸多问题。因此预测火山岩的分布范围、有利相带及有利火山岩储层发育区, 对下一步油气勘探开发至关重要。

本文主要利用岩石薄片分析和岩心观察等手段, 通过单井火山岩分析, 划分火山岩相类型、并通过对火山岩测井特征、地震反射特征的识别, 结合多井火山岩相对比, 确定火山岩相展布, 研究火山喷发旋回、期次, 并对火山岩储层特征及其控制因素进行探讨, 以期指导洪浩尔舒特凹陷的下一步勘探。

1 基本地质概况

洪浩尔舒特凹陷位于二连盆地东部、乌尼特坳陷东南缘(杜金虎等, 2000)。凹陷东南以乌套海边界断层与大兴安岭隆起区相接, 西北以锡林凸起与吉尔嘎朗图断陷相望(陈蟒蛟等, 1997)。凹陷长约80km, 宽为10~18km, 面积约1100km², 长轴走向北东, 是在海西褶皱基底上发育起来的一个东南断、西北超的单断箕状凹陷(杜金虎等, 2000)。洪浩尔舒特凹陷的基本构造格局具有显著的东西分区、南北分带的特征。平面上,

自西而东可划分为西、中、东 3 个次级洼槽(董艳蕾等,2000);自北而南可划分为斜坡带、洼槽带和陡翼带 3 个构造带(图 1)。

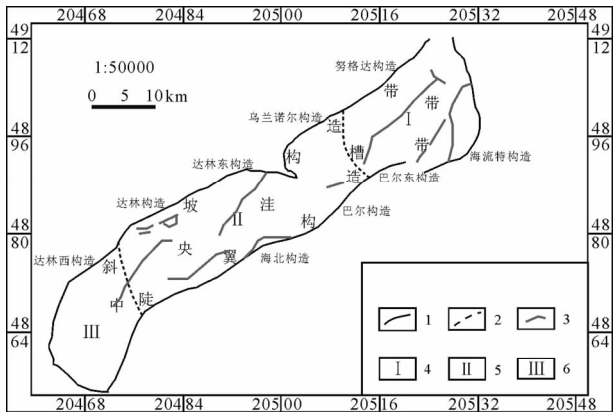


图 1 二连盆地洪浩尔舒特凹陷构造单元划分图

Fig. 1 Tectonic units in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

1—凹陷边界;2—含油气系统范围;3—基底大断裂;
4—东次洼;5—中次洼;6—西次洼

1—Sag border; 2—petroleum system bound; 3—basement fault;
4—east sub-sag; 5—central sub-sag; 6—west sub-sag

洪浩尔舒特凹陷发育阿尔善下段、阿尔善上段、腾格尔组一段 3 套火山岩;火山岩发育程度由早到晚呈降低趋势;岩性以安山岩为主,含部分凝灰岩和少量火山角砾岩,可归为斯特朗博利式火山喷发;火山岩分布整体上呈东厚西薄的趋势;火山岩分布受到断裂体系和地势的影响^①。

1 火山岩岩性特征

通过岩心观察、岩石薄片鉴定和岩石矿物成分分析,结合研究区的地质背景资料分析可知,洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩包括火山熔岩和火山碎屑岩两大类。火山熔岩类型比较单一,主要是安山岩(个别探井录井有玄武岩,岩心未见),颜色多呈灰、灰绿、绿灰色,岩石主要由斜长石微晶和火山玻璃组成,在长石微晶和火山玻璃间还含有少量微粒状磁铁矿,而辉石、角闪石、黑云母等暗色矿物少见。斜长石微晶多呈板条状,火山玻璃多已脱玻化而呈霏细状。岩石多具无斑微晶结构、交织结构和玻晶交织结构,少量具斑状结构,斑晶主要为短柱状斜长石以及角闪石等暗色矿物(图 2)。

常见构造为气孔构造、杏仁构造和块状构造。岩石多发生一定程度的蚀变,主要有绿泥石化、碳酸盐化、硅化等。部分探井中安山岩裂缝较发育,但多被方解石和硅质矿物充填。依据安山岩结构、构造

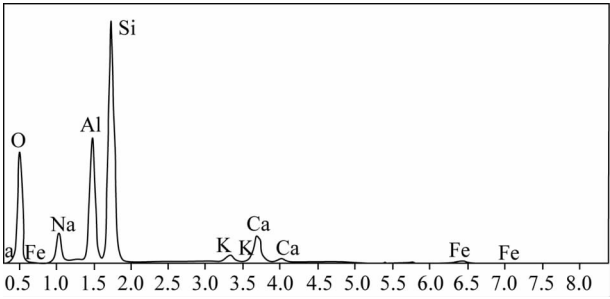


图 2 二连盆地洪浩尔舒凹陷阿尔善组下段的
气孔杏仁安山岩(洪 12 井 826.15m)

Fig. 2 Stomata-almond andesite of Aershan Formation
lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin
(Well Hong 12, 826.15m)

差异,可进一步将安山岩分为气孔杏仁安山岩、致密块状安山岩、溅落熔结安山岩(图 3)、岩流自碎安山岩(图 4)(赵澄林等,1996)。据岩心统计,气孔杏仁安山岩最发育,致密块状安山岩次之,其余两类较少。

火山碎屑岩的主要类型为凝灰岩和火山角砾岩,包括正常的火山角砾岩(图 5)、凝灰岩(图 6),以及向熔岩(图 7)和沉积岩过渡的类型(图 8)。凝灰岩是本区最为发育的火山碎屑岩类型,广泛分布于阿尔善组下段安山岩的下部。颜色多为灰、灰白、棕红、紫红色,具凝灰结构、块状构造。碎屑粒度小于 2mm,分选较差,主要成分为晶屑、玻屑和火山尘,岩屑含量较少。晶屑主要是石英晶屑和长石晶屑,多呈棱角状;玻屑和火山尘多脱玻化呈霏细结构;岩屑主要是安山岩岩屑。岩石普遍受到绢云母化、脱玻化等次生作用的影响。火山碎屑岩中见少量火山角砾岩,且较多发生一定程度蚀变。

2 火山岩岩相特征

火山岩相是指“火山岩形成条件及其在该条件下所形成的火山岩岩性特征的总和”。根据火山岩的形成条件以及火山作用的一般机理和成岩作用方式,将火山岩相划分为火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相、次火山岩相和喷发沉积相(赵澄林等,1999)。通过岩心观察和镜下鉴定,凹陷内发育的火山岩相类型主要是爆发相、喷溢相和喷发沉积相,岩心中未见火山通道相、侵出相和次火山岩相。

2.1 火山岩相

2.1.1 爆发相

研究区爆发相约占火山产物的 20%,根据其喷发类型、搬运方式的不同,可进一步分为空落亚相和热碎屑流亚相。

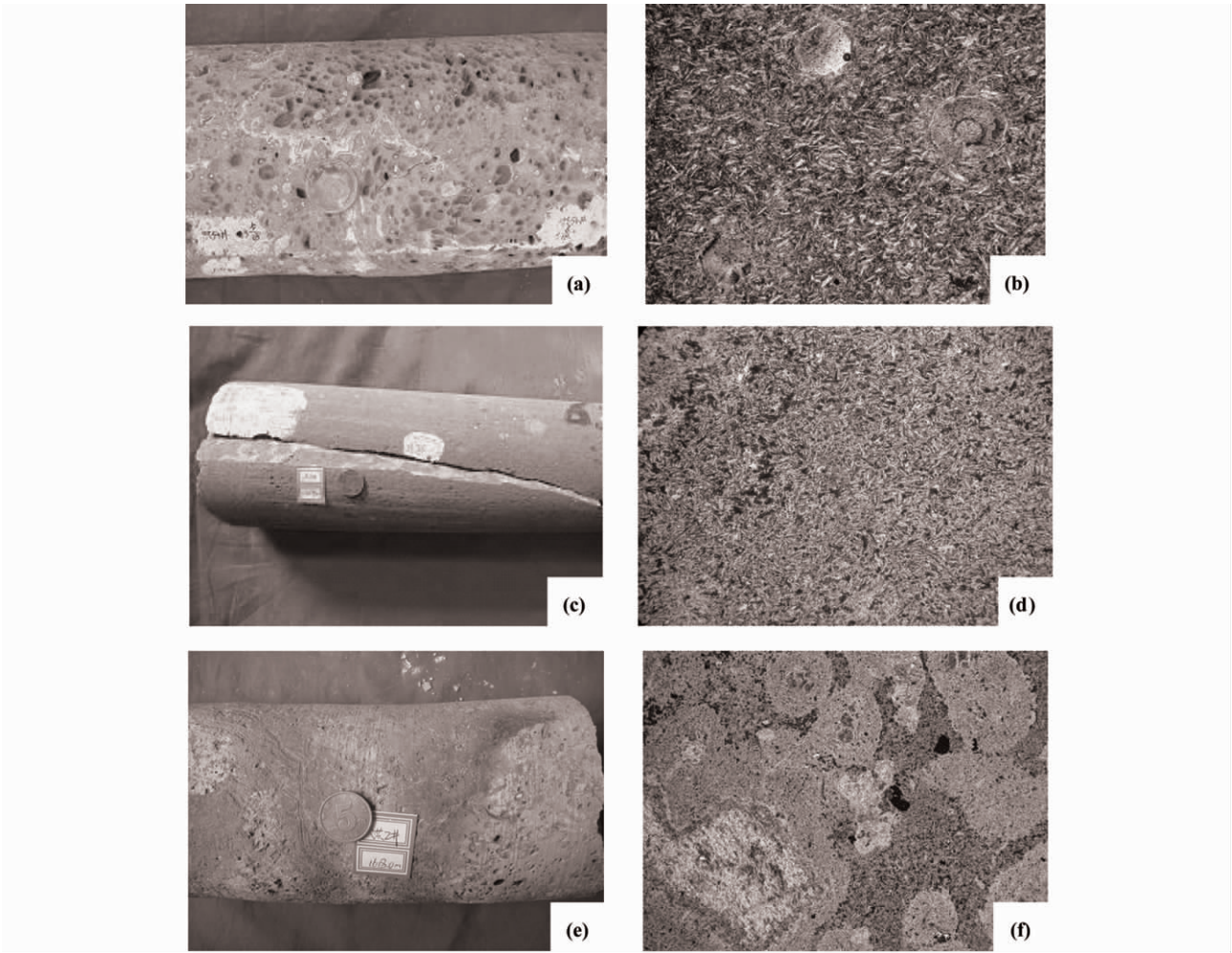


图 3 二连盆地洪浩尔舒特凹陷气孔杏仁安山岩、致密块状安山岩、溅落熔结安山岩

Fig. 3 Stomata-almond andesite, tight andesite and landing welded andesite in Honghaoershute Sag of Erlian Basin
(a)—洪 54 井, 1662.3m, 阿尔善组下段, 气孔杏仁安山岩; (b)—洪 54 井, 1664.4m, 阿尔善组下段, 气孔杏仁安山岩, (—40); (c)—洪 17 井, 1222m, 阿尔善组下段, 致密块状安山岩, 高角度裂缝发育; (d)—洪 17 井, 922.11m, 阿尔善组下段, 致密块状安山岩, (—40); (e)—洪 2 井, 1618m, 阿尔善组下段, 溅落熔结安山岩; (f)—洪 5 井, 1604.2m, 阿尔善组上段, 溅落熔结安山岩, (—40)
(a)—Stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 54, 1662.3m);
(b)—stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 54, 1664.4m, —40);
(c)—tight andesite with high angle fracture of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 17, 1222m);
(d)—tight andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 17, 922.11m, —40);
(e)—landing welded andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 2, 1618m);
(f)—landing welded andesite of Aershan Formation upper segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 5, 1604.2m, —40)

空落亚相:由火山爆发时形成的各种火山碎屑物被爆发气流带入高空后,在空气介质中搬运,最后在重力作用下沉降堆积所形成(张晓东等,2000)。凹陷内空落亚相岩石类型主要是火山角砾岩和凝灰岩,具角砾结构和凝灰结构,块状构造(图 4,5)。

热碎屑流亚相:由火山爆发时产生的高密度火山碎屑流堆积后经熔结冷却所形成(Lajoie et al., 1992;Orton,1996)。凹陷内热碎屑流亚相的主要

构成岩性为熔结凝灰岩和熔结火山角砾岩,主要成分是晶屑、玻屑、浆屑和岩屑,具熔结凝灰结构和熔结火山角砾结构,可见假流纹构造和块状构造,角砾内可见气孔、杏仁构造(图 6)。

2.1.2 喷溢相

喷溢相广泛发育于洪浩尔舒特凹陷中生界地层中,约占火山产物的 75%,其岩石类型主要是中性的安山岩,包括气孔杏仁安山岩、致密块状安山岩、

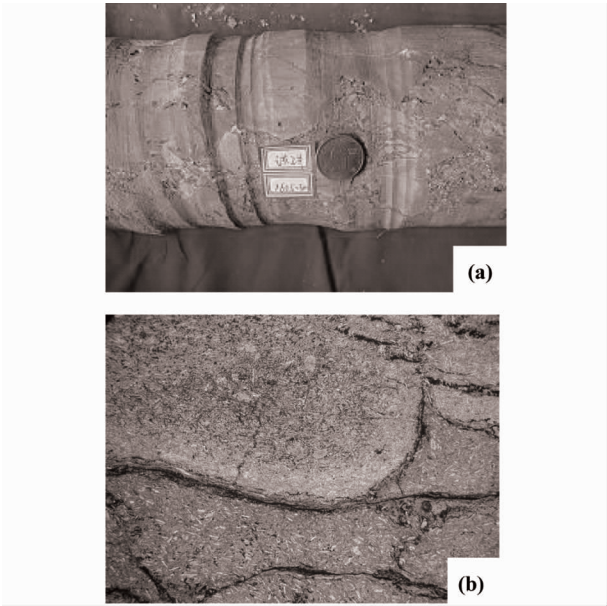


图 4 二连盆地洪浩尔舒特凹陷岩流自碎安山岩
Fig. 4 Autoclastic andesite in Honghaoershute Sag of Erlian Basin
(a)—洪 2 井,1615.3m,阿尔善组下段,岩流自碎安山岩;
(b)—洪 2 井,1615m,阿尔善组下段,岩流自碎安山岩,(-40)
(a)—Autoclastic andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 2, 1615.3 m); (b)—autoclastic andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 2, 1615m, -40)

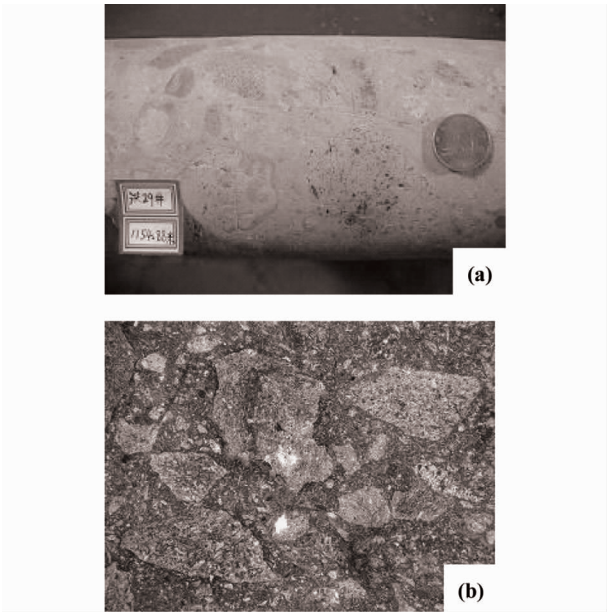


图 5 二连盆地洪浩尔舒特凹陷火山角砾岩
Fig. 5 Volcanic breccia in Honghaoershute Sag of Erlian Basin
(a)—洪 29 井,1155.8m,阿尔善组上段,火山角砾岩;
(b)—洪 29 井,1155m,阿尔善组上段,火山角砾岩,(-40)
(a)—Volcanic breccia of Aershan Formation upper segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 29, 1155.8m); (b)—volcanic breccia of Aershan Formation upper segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 29, 1155m, -40)

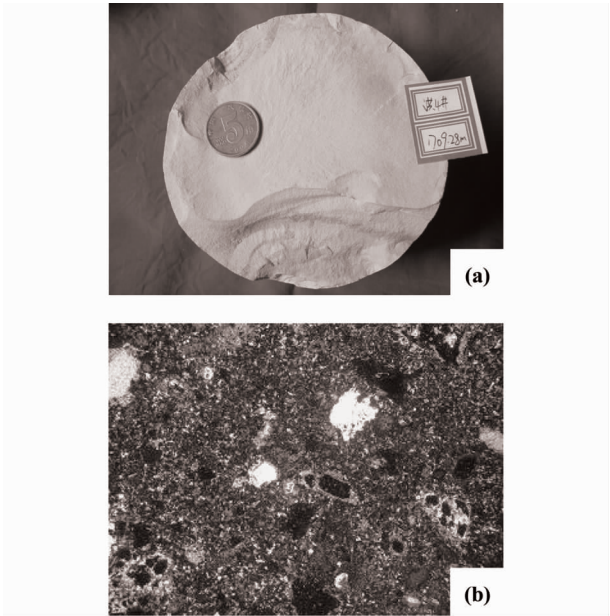


图 6 二连盆地洪浩尔舒特凹陷凝灰岩
Fig. 6 Tuff in Honghaoershute Sag of Erlian Basin
(a)—洪 4 井,1709.28m,阿尔善组下段,凝灰岩;(b)—洪 18 井, 892.59m,阿尔善组下段,凝灰岩,(+40)
(a)—Tuff of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 4, 1709.28 m); (b)—tuff of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 18, 892.59m, +40)

溅落熔结安山岩和岩流自碎安山岩(图 3)。垂向上,熔岩流可分为 4 个相带,即:顶部岩流自碎角砾状熔岩带、上部气孔杏仁状熔岩带、中部致密块状熔岩带、下部气孔杏仁状熔岩带。火山熔岩的垂向分带性导致其储层物性的不均一性,据此可将喷溢相进一步分为上部亚相、中部亚相和下部亚相(图 9)。

上部亚相:位于流动单元的上部,代表岩性为气孔杏仁安山岩和岩流自碎安山岩,具交织结构和玻晶交织结构,具气孔构造和杏仁构造,气孔呈条带状分布,并可沿流动方向定向拉长,原生气孔发育。

中部亚相:位于流动单元的中部,岩石往往比较致密,气孔和杏仁体少且小,并近于圆形。代表岩性为致密块状安山岩,具交织结构和玻晶交织结构,块状构造。原生孔隙不发育,但岩石脆性强,裂隙容易形成和保存。

下部亚相:位于流动单元的下部,代表岩性为气孔杏仁安山岩,具交织结构和玻晶交织结构,具气孔构造和杏仁构造,气孔、杏仁较多,但发育程度不及上部亚相,也可见到沿流动方向定向拉长的气孔,原生气孔发育。

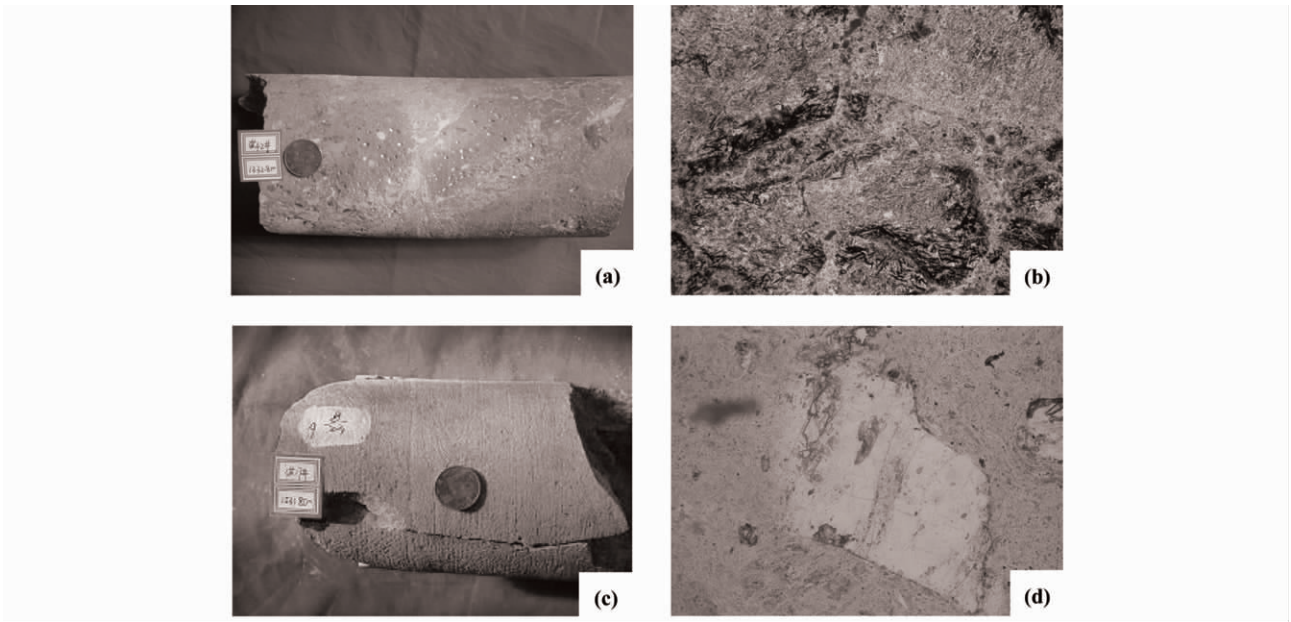


图 7 二连盆地洪浩尔舒特凹陷熔结火山角砾岩、熔结凝灰岩

Fig. 7 Welded volcanic breccias and welded tuff in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

(a)—洪 42 井,1332.8m,阿尔善组下段,熔结火山角砾岩;(b)—洪 63 井,1577.55m,阿尔善组上段,熔结火山角砾岩,角砾具暗化边,(-100);(c)—洪 17 井,1531.85m,阿尔善组下段,熔结凝灰岩;(d)—洪 6 井,1444.5m,阿尔善组下段,熔结凝灰岩,具假流纹构造,(-40)
(a)—Welded volcanic breccias of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 42, 1332.8m);
(b)—welded volcanic breccia with dark gasification boundary of Aershan Formation upper segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 63, 1577.55m,-100); (c)—welded tuff of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 17, 1531.85m); (d)—welded tuff with fake rhyolite structure of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 6, 1444.5m,-40)

2.1.3 喷发沉积相

为正常火山岩向沉积岩过渡的岩相类型,可出现在火山活动的各个时期,与其他火山岩相呈侧向相变或互层,岩石类型有沉火山碎屑岩类和火山碎屑沉积岩类。

本区喷发沉积相岩石类型以沉凝灰岩和凝灰质砂泥岩为主,其含有的火山物质约占火山产物的 5%。喷发沉积相的岩性以沉凝灰岩和凝灰质泥岩、砂岩、砂砾岩为主。

2.2 火山岩测井相

2.2.1 爆发相

凹陷内爆发相火山岩的电阻率曲线表现为平稳微齿状中低阻,自然伽马曲线表现为平稳的高值(凝灰岩)或低值(火山角砾岩),声波时差、中子孔隙度和密度曲线表现为中等值,且曲线较平直(图 10)。

2.2.2 喷溢相

凹陷内喷溢相安山岩的电阻率曲线为微齿—齿状中高值;自然伽马曲线为箱状低值;声波时差和中子孔隙度曲线呈箱形或锯齿形,整体值偏低;密度曲线呈箱形或锯齿形,整体值偏高。喷溢相又分上部、

中部和下部 3 个亚相,上部亚相和下部亚相自然伽马、密度、电阻率呈低值,声波时差和中子孔隙度呈高值;中部亚相自然伽马、密度、电阻率偏高值,声波时差和中子孔隙度偏低值(图 10)。

2.2.3 喷发沉积相

凹陷内喷发沉积相自然伽马曲线为齿状中高值;声波时差、中子孔隙度和密度曲线为中等值,微齿状变化;电阻率曲线表现为微齿状中低值(图 10)。

2.3 火山岩地震相

2.3.1 爆发相

爆发相在地震剖面上多表现为丘状外形,内部呈杂乱反射结构,波形似蚯蚓状,延伸很短,顶面为强反射,内部多为弱反射(图 11a)。

2.3.2 喷溢相

在地震剖面上,喷溢相反射波组外形多呈近水平状或楔形,地震反射同向轴在横向上有一定的连续性,不光滑,局部呈杂乱反射,振幅较强(图 11b)。

2.3.3 喷发沉积相

喷发沉积相在地震剖面上表现为中—强反射,连续性和稳定性好,延伸远(图 11c)。

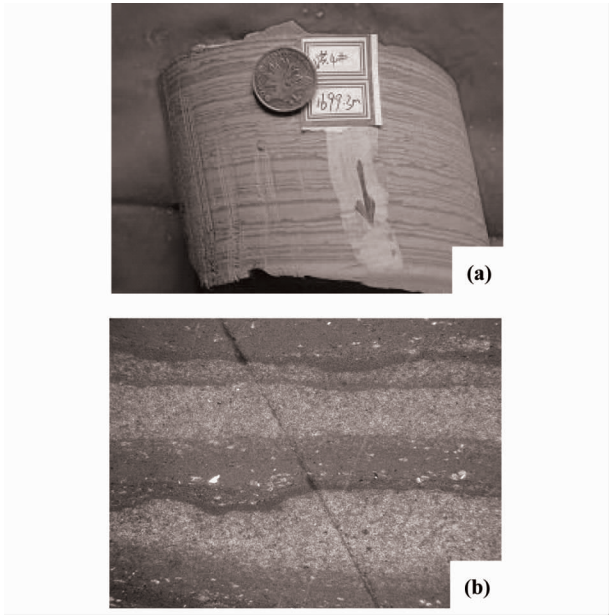


图 8 二连盆地洪浩尔舒特凹陷沉凝灰岩
Fig. 8 Sedimentary tuff in Honghaoershute
Sag of Erlian Basin

(a)—洪 4 井,1699.3m,阿尔善组下段,沉凝灰岩,发育层理构造;(b)—洪 4 井,1699.3m,阿尔善组下段,沉凝灰岩,发育层理构造,(-40)
(a)—Sedimentary tuff with bedding structures of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 4, 1699.3m); (b)—sedimentary tuff with bedding structures of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 4, 1699.3m, -40)

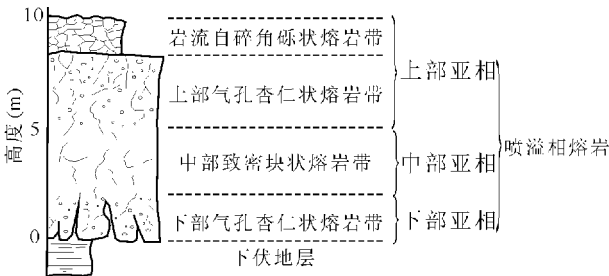


图 9 二连盆地洪浩尔舒特凹陷熔岩流垂向成层性
(修改自赵澄林等,1996)

Fig. 9 Vertical layered property of lava flow in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (modified from Zhao Chenglin et al. , 1996)

3 火山岩分布及火山喷发旋回期次研究

3.1 火山岩岩相平面展布

综合利用岩心资料、录井资料、测井资料、地震资料等,在确定了凹陷内各探井火山岩相和火山口

平面位置的基础上,结合火山岩地震相的反射特征,分析得出凹陷内不同层位火山岩的岩相展布情况(图 12)。

阿尔善组下段:喷溢相相对占优势,但爆发相和喷发沉积相也有一定程度的发育。喷溢相在东洼和中洼大面积分布,且斜坡带、洼槽带和陡翼带均有分布,以洼槽带厚度最大。爆发相和喷发沉积相主要分布在斜坡带和洼槽带,陡翼带分布很少,但爆发相在斜坡带厚度较大,喷发沉积相在洼槽带厚度较大(图 12a)。

阿尔善组上段:喷溢相和喷发沉积相占绝对优势,爆发相很少。喷溢相主要分布在中洼和西洼的洼槽带;喷发沉积相分布较广,在 3 个次洼的洼槽带均有分布;爆发相分布十分局限,主要分布在火山口附近(图 12b)。

腾格尔组一段:喷溢相和喷发沉积相占绝对优势,爆发相很少。喷溢相和喷发沉积相分布在西洼的洼槽带;爆发相仅分布在火山口附近(图 12c)。

总之,阿尔善组下段、阿尔善组上段、腾格尔组一段 3 个层位火山岩均发育爆发相、喷溢相和喷发沉积相,岩相分布以喷溢相发育程度高、厚度大,喷发沉积相分布范围广为特征。

3.2 火山喷发旋回期次研究

根据构造不整合、喷发不整合、具一定厚度沉积岩夹层等标志,认为洪浩尔舒特凹陷存在 3 个火山喷发旋回。凹陷内不同区域在中生代经历的火山喷发旋回次数不同:东洼和中洼东北部经历 1 个火山喷发旋回,为阿尔善组下段时期;中洼西南部经历 2 个火山喷发旋回,分别为阿尔善组下段时期和阿尔善组上段时期;西洼经历 3 个火山喷发旋回,分别为阿尔善组下段时期、阿尔善组上段时期和腾格尔组一段时期(图 13)。

在以上 3 个火山喷发旋回的基础上,根据火山岩间存在风化面或碎屑岩夹层、火山岩岩性组合的变化、火山岩测井响应的变化等特征,经对比划分,认为阿尔善组下段火山喷发旋回至少存在 7 个火山喷发期次,阿尔善组上段火山喷发旋回至少存在 3 个火山喷发期次,腾格尔组一段火山喷发旋回至少存在 4 个火山喷发期次。

4 讨论

4.1 火山岩储集空间特征

4.1.1 储集空间类型

洪浩尔舒特凹陷火山岩储层储集空间类型主要

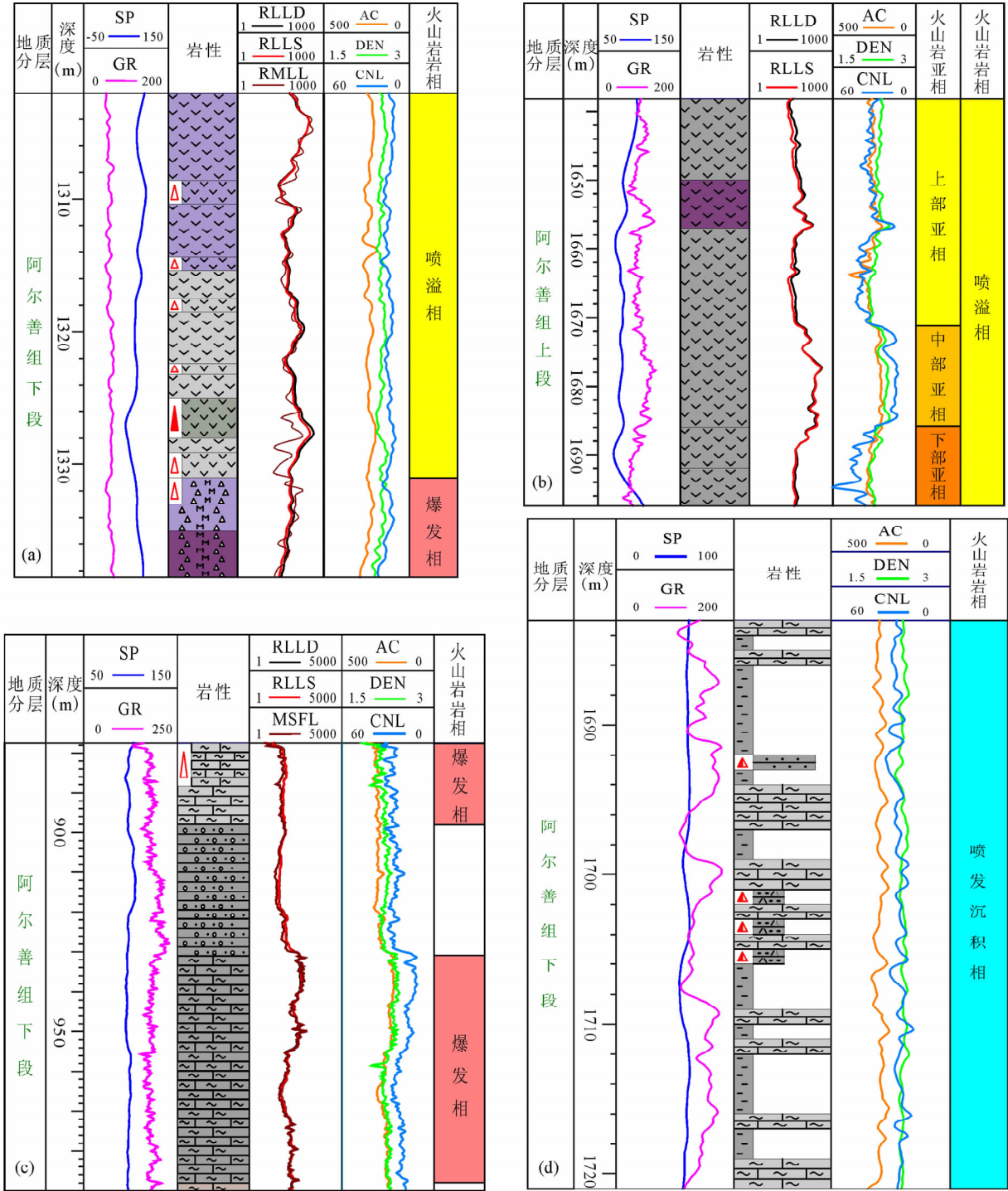


图 10 二连盆地洪浩尔舒特凹陷爆发相(a:洪 42 井,c:洪 18 井)、喷溢相
(a:洪 42 井,b:洪 57 井)和喷发相(d:洪 4 井)测井响应特征

Fig. 10 Logging response characteristics of explosive facies (a; Well Hong 42, c; Well Hong 18),effusive facies (a; Well Hong 42, b; Well Hong 57) and eruptive facies(d; Well Hong 4) of volcanics in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

是原生孔、次生孔和裂缝 3 大类(王璞珺等,2008)。

(1)原生孔。是岩浆在冷凝成岩过程中形成的各种孔隙,包括气孔(原生气孔和充填残余孔)(图 3a,图 14a)、晶间孔(图 7b)、粒间孔、粒内孔等。火

山熔岩中的气孔比较发育,而火山碎屑岩由于颗粒大小混杂、分选磨圆不好以及后期经历的压实、胶结作用较强,使得粒间孔隙发育程度较低。

(2)次生孔。是岩石在成岩阶段经溶解作用形

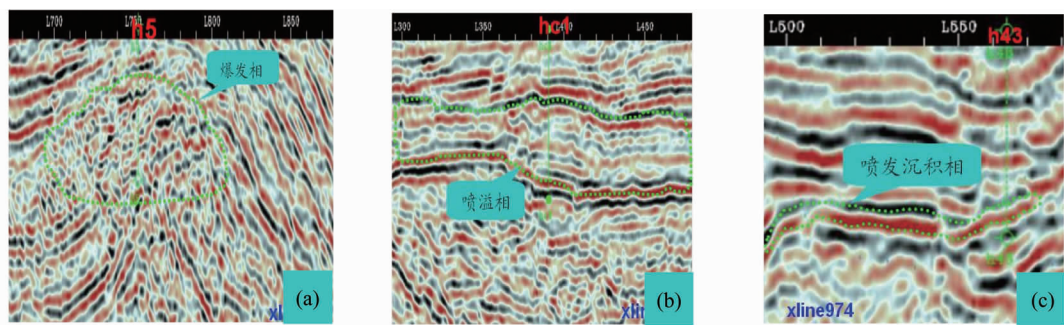


图 11 二连盆地洪浩尔舒特凹陷爆发相、喷溢相、喷发相地震反射特征

Fig. 11 Seismic reflection characteristics of explosive facies,effusive facies and eruptive facies of volcanic in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

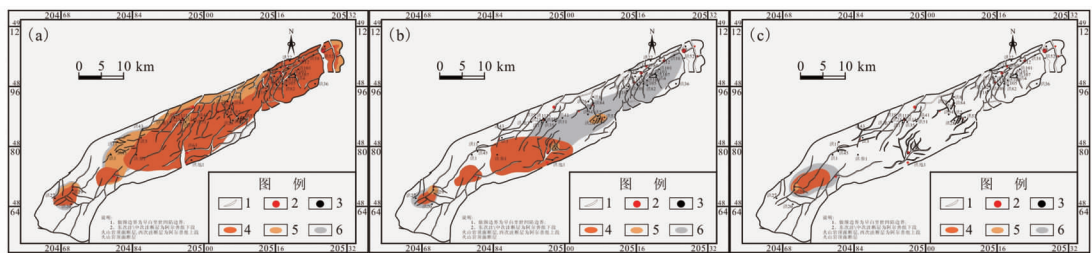


图 12 二连盆地洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩相展布图

Fig. 12 Distribution of Mesozoic volcanic facies in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

(a)—阿尔善组下段;(b)—阿尔善组上段;(c)—腾格尔组一段;1—断层;2—预测火山口;3—钻井;4—喷溢相;5—爆发相;6—喷发沉积相

(a)—Lower segment of Aershan Formation;(b)—upper segment of Aershan Formation;(c)—member I of Tengger Formation;

1—fault;2—predict crater;3—drilled well;4—effusive facies;5—burst facies;6—eruption sedimentary facies

成的孔隙,包括杏仁体溶孔、晶内溶孔、粒间溶孔等。凹陷内火山岩储层中比较发育的次生孔是杏仁体溶孔和晶内溶孔(图 14b,14c,14d),但其发育程度不及残余的原生孔。

(3)裂缝。凹陷内发育有成岩收缩缝、构造缝和溶蚀缝(图 14e,14f)3 种类型的裂缝,构造缝广泛发育,成岩收缩缝和溶蚀缝的发育程度比较低。

4.1.2 储集空间组合特征

由于火山熔岩和火山碎屑岩在岩石成分、结构、构造等方面存在差异,使得它们的储集空间类型和储集空间组合形式具有很大不同,相应的储层物性差异也很大。

(1)火山熔岩。火山熔岩中发育的孔隙类型主要是气孔、晶间孔、砾间孔、成岩收缩缝和构造缝,其孔隙结构组合主要有两种,一种是由气孔和连通气孔的裂缝组合构成的孔-缝型组合,另一种是由裂缝组成的裂缝型组合,孔-缝型能够形成更为有效的储集空间(图 3c)。

(2)火山碎屑岩。火山碎屑岩中发育的孔隙类型主要是砾内气孔、粒间孔、溶蚀孔和构造缝。火山

碎屑岩中发育程度最好的孔隙类型是溶蚀孔和构造缝。其孔隙结构主要为溶蚀扩大的孔、洞、缝及原生粒间孔、构造缝构成的复合式储集空间。但由于凹陷内溶蚀孔隙发育程度不高,使得火山碎屑岩整体储集性较差。

4.2 火山岩储层发育影响因素

通过对洪浩尔舒特凹陷火山岩的研究认为:岩性岩相控制了火山岩原生孔隙的发育;构造裂缝则能贯通相互独立的孔隙,提高火山岩的渗透率。火山活动后期的溶蚀作用能够扩大原生孔隙,提高火山岩的孔隙度,因此控制火山岩储集性的因素主要有:火山岩岩性岩相、构造裂缝和酸性流体的溶蚀作用等。

4.2.1 岩相对火山岩储层的影响

原生孔隙是火山岩储集空间形成的基础,其发育情况受岩性岩相的控制。不同火山岩相带的岩石类型不同,相应的储集空间类型也存在较大差异(表 1)。研究认为凹陷内主要的储集空间类型是气孔和残余气孔,喷溢相储层储集空间发育程度优于爆发相。

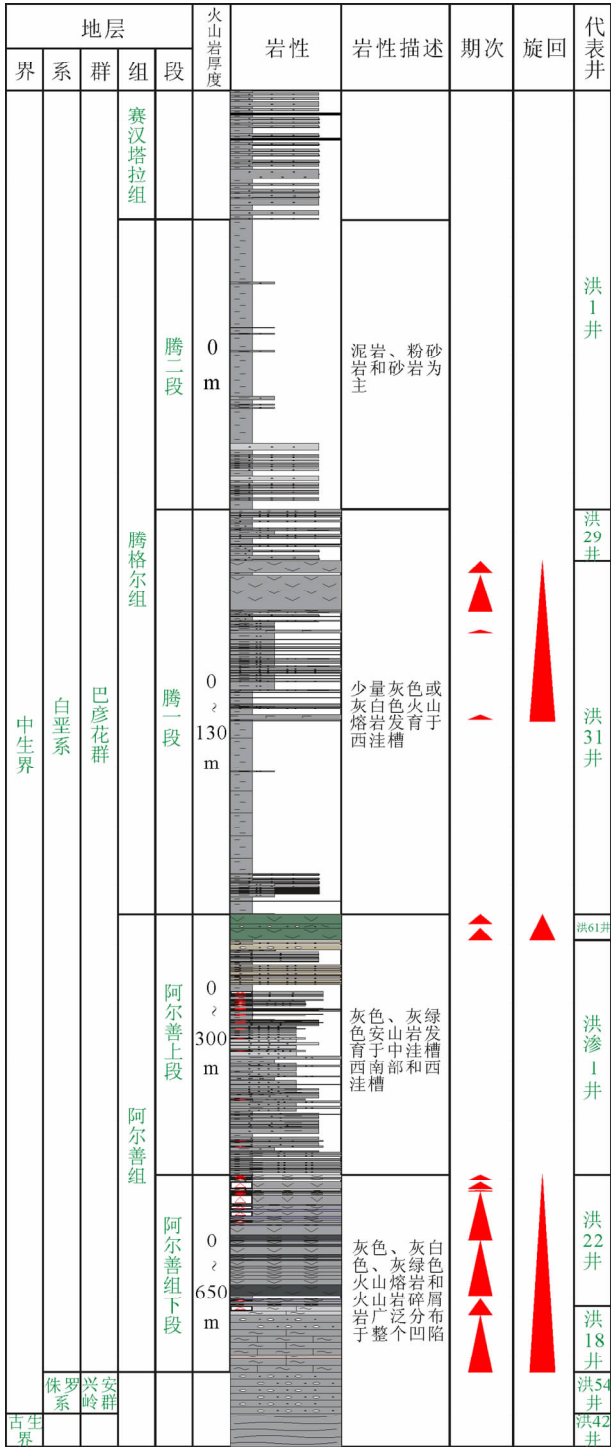


图 13 二连盆地洪浩尔舒特凹陷地层综合柱状图

Fig. 13 Synthetical histogram of stratum in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

首先不同火山岩相带的储层物性存在差异。喷溢相熔岩的气孔和爆发相火山碎屑岩的粒间孔均是较好的原生孔隙。但二者相比,火山碎屑岩的孔隙小,且后期经历的成岩改造作用较强,储层有效性不及火山熔岩。以凹陷内阿尔善组下段喷溢相和爆发

相火山岩储层物性数据为例(图 15),喷溢相平均孔隙度为 11.92%、平均渗透率为 $4.29 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而爆发相平均孔隙度为 9.02%、平均渗透率为 $3.29 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,喷溢相储层的孔渗性明显好于爆发相。

表 1 二连盆地洪浩尔舒特凹陷火山岩爆发相和喷溢相的主要储集空间类型

Table 1 Main reservoir space types of explosive facies and effusive facies of volcanics in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

岩相	岩性	储层空间类型
喷溢相	气孔状熔岩	气孔、杏仁体内孔、构造缝
	致密块状熔岩	脱玻化收缩缝、构造缝
爆发相	岩流自碎安山岩	角砾间缝和收缩缝、气孔
	凝灰岩	脱玻化收缩微裂缝、晶屑溶孔
	集块岩、火山角砾岩	粒间孔、粒内孔、构造裂缝

此外凹陷内共有 7 口探井在火山岩中获得工业油气流,其产层均是喷溢相安山岩,进一步证明岩相对火山岩储层有重要影响,凹陷内喷溢相储层好于爆发相。

喷溢相整体物性不均一,不同亚相物性差异很大。喷溢相上部亚相原生气孔发育,占岩石总体积百分比可高达 20%~30%,构造裂缝主要表现为不规则的孔间裂缝,加之顶部喷出时即暴露于地表,易被溶蚀改造,因而喷溢相顶部常成为优质的火山岩储层。中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,是构造裂缝最发育的火山岩亚相,岩心中常可见成组出现的高角度构造缝。由于原生孔隙不发育,中部亚相的储层物性一般很差,只有在构造裂缝十分发育的情况下才可能形成裂缝型储层。下部亚相的储层特征与上部亚相类似,也是储层物性较好的相带,但是厚度一般不及上部亚相(图 9)。

表 2 是凹陷内 4 口探井中火山岩储层的岩相、亚相类型及其在总火山岩储层中所占百分含量的统计,对比发现喷溢相上部亚相和下部亚相储层所占比重较高,尤其是上部亚相,表明喷溢相储层储集空间发育程度优于爆发相,喷溢相的 3 个亚相中,上部亚相储集性最好,下部亚相次之,中部亚相最差。

4.2.2 构造活动对火山岩储层的影响

首先,构造活动是控制火山活动及火山岩平面分布的主要因素,构造活动产生的主断裂是岩浆上涌的通道,控制了火山机构的发育及火山岩平面的分布。通过对洪浩尔舒特凹陷内火山机构分布情况

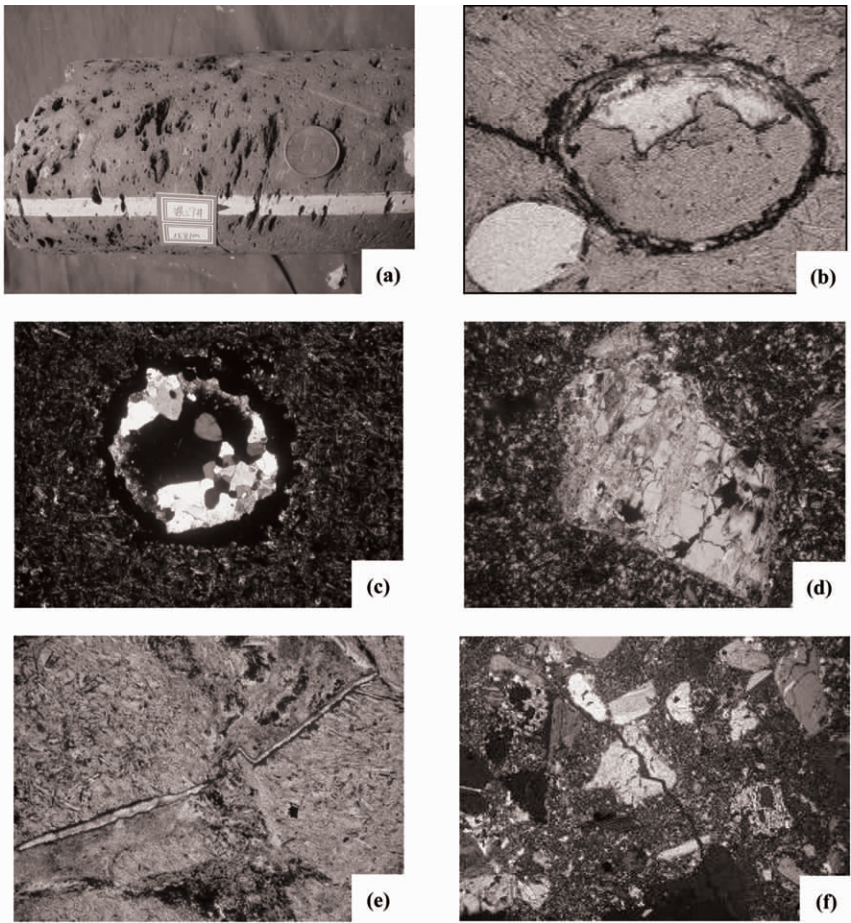


图 14 二连盆地洪浩尔舒特凹陷火山岩储层储集空间类型

Fig. 14 The reservoir space type of volcanic reservoirs in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

(a)—洪 57 井,1581m,阿尔善组上段,气孔杏仁安山岩,气孔;(b)—洪 2 井,1618.7m,阿尔善组下段,气孔杏仁安山岩,杏仁体内溶孔,(-40);(c)—洪 38 井,1345.2m,阿尔善组下段,气孔杏仁安山岩,碳酸盐和硅质充填气孔后碳酸盐溶解,($+40$);(d)—洪 6 井,1444.5m,阿尔善组下段,熔结凝灰岩,方解石交代长石后溶解形成溶孔,($+100$);(e)—洪 2 井,1615m,阿尔善组下段,岩流自碎安山岩,裂缝中碳酸盐胶结物溶解,(-100);(f)—洪 1 井,1475m,阿尔善组下段,凝灰岩,构造微裂缝,($+40$)

(a)—Stomata-almond andesite of Aershan Formation upper segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, full of stomata (Well Hong 57, 1581m);(b)—stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, dissolved pore in amygdale(Well Hong 2, 1618.7m, -40); (c)—stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, carbonates and siliceous was filled in stomata and then carbonates was dissolved (Well Hong 38, 1345.2m, $+40$); (d)—welded tuff of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, after the replacement of quartz the calcites was dissolved and formed dissolution pores (Well Hong 6,1444.5m, $+100$); (e)—autoclastic andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, carbonate cements in crack was dissolved (Well Hong 2, 1615m, -100); (f)—tuff of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, microstructural fracture (Well Hong 1, 1475m, $+40$)

表 2 二连盆地洪浩尔舒特凹陷 4 口探井火山岩储层岩相及亚相类型

Table 2 Facies and sub-facies types of volcanic reservoir in four wells in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

井号	储层 总厚度 (m)	喷溢相						爆发相			
		上部亚相		中部亚相		下部亚相		热碎屑流亚相		空落亚相	
		(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)
洪 42 井	62.1	36.3	58	0	0	16.2	26	9.7	16	0	0
洪 53 井	84.6	60.4	71	0	0	13.5	16	10.8	13	0	0
洪 54 井	43.9	26.7	61	2.4	5	7.7	18	0	0	7	16
洪 6 井	89.9	51.1	57	0	0	30.6	34	0	0	8.2	9
合计	280.5	174.5	62.2	2.4	1	68	24.2	20.2	7.2	15.2	5.4

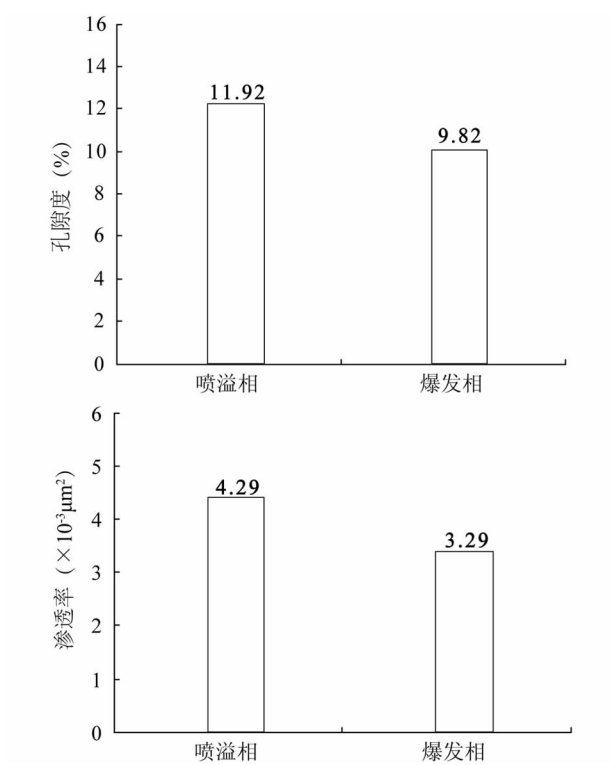


图 15 二连盆地洪浩尔舒特凹陷阿尔善组下段火山岩喷溢相与爆发相孔隙度、渗透率对比图

Fig. 15 Porosity and Permeability comparison between explosive facies and effusive facies of Aershan Formation lower segment volcanic rocks in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

的研究来看,预测的火山口都分布在断裂带附近(图 16)。其次,火山岩岩体形成之后,其原生气孔都是互不连通、独立存在的,或连通性很差。而构造裂缝的发育起到了改善火山岩储集性的作用。构造缝常切穿气孔,使相互独立的多个气孔相互连通,也促进了次生孔隙的发育,从而提高了火山岩储层的孔、渗

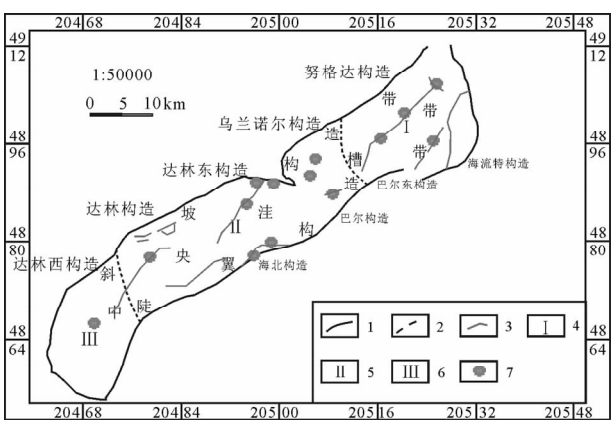


图 16 二连盆地洪浩尔舒特凹陷中生界预测火山口分布图

Fig. 16 Distribution of Mesozoic predict volcanic craters in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

1—凹陷边界;2—含油气系统范围;3—基底大断裂;4—东次注;
5—中次注;6—西次注;7—预测火山口

1—Sag border ; 2—petroleum system bound ; 3—basement fault ; 4—east sub-sag ; 5—central sub-sag ; 6—west sub-sag ; 7—predict crater

性(图 7c)。对于裂缝不发育的火山岩,即使原生气孔十分发育,也不能够形成好的储层,如图 14(a)的洪 57 井。根据对已钻遇火山岩井的阿尔善组下段安山岩进行裂缝发育程度分析,18 口裂缝发育的井中多具有较好的油气显示,无裂缝发育的 2 口井均无油气显示。

另外,断裂是地层深部酸性流体上升的通道,而酸性流体可以对储层进行改造,形成溶蚀孔隙,因此,断裂在一定程度上也促进了溶蚀作用的进行。

4. 2. 3 成岩作用对火山岩储层的影响

火山岩在成岩过程中经历多种成岩作用,不同类型成岩作用对储层影响不同,总结各种成岩作用

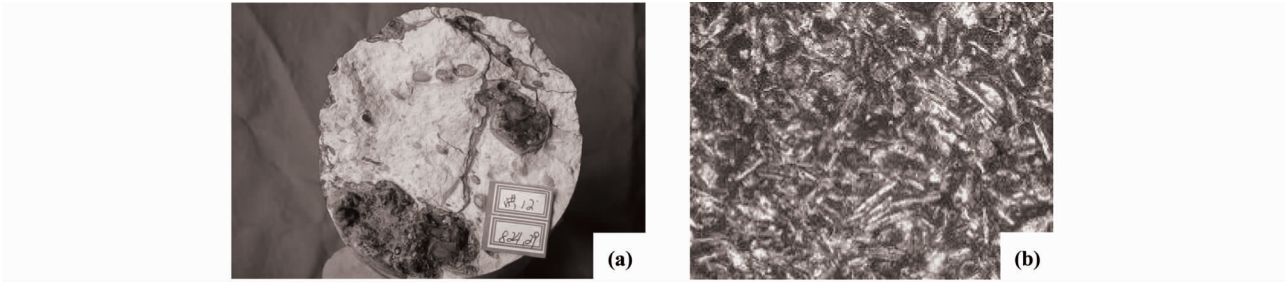


图 17 二连盆地洪浩尔舒特凹陷安山岩冷却成岩作用

Fig. 17 The cooling diagenesis of andesite in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

(a)—洪 12 井,824.29m,阿尔善组下段,气孔杏仁安山岩;(b)—洪 12 井,824.09m,阿尔善组下段,气孔杏仁安山岩,晶间孔,(+40)

(a)—Stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin (Well Hong 12, 824.29m); (b)—stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, intracrystalline pore (Well Hong 12, 824.09m, +40)

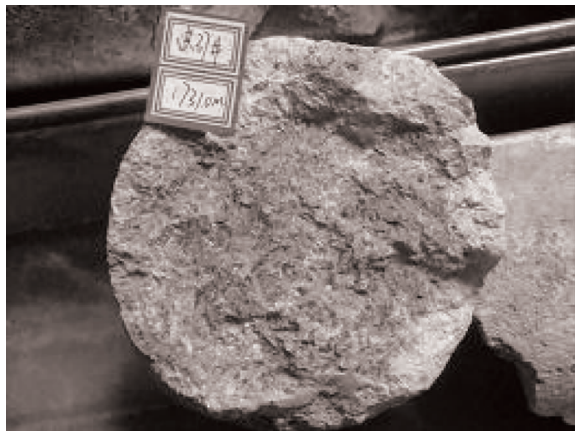


图 18 二连盆地洪浩尔舒特凹陷安山岩风化淋滤现象
Fig. 18 The weathering leaching phenomenon of andesite in Honghaoershute Sag of Erlian Basin
洪 37 井, 1731m, 阿尔善组下段, 气孔杏仁安山岩, 严重泥化
Stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, seriously sliming (Well Hong 37, 1731m)

对储层的影响形式和影响程度, 比较重要的有以下几方面。

(1)冷却成岩作用——形成各类原生孔隙。安山岩经过冷却成岩作用, 形成各类原生孔和成岩收缩缝(Sruoga et al., 2007), 此作用决定了安山岩中原生孔隙的发育程度(赵澄林等, 1996)。通过岩心及镜下观察, 发现部分井段安山岩中原生气孔十分发育, 在未被矿物充填及有裂缝连通的条件下即可形成良好的储层(图 14a, 17a, 17b)。

(2)表生风化淋滤作用——形成部分溶孔同时有利于溶解作用进一步进行。洪浩尔舒特凹陷火山岩在形成后没有被立即深埋, 在接近地表环境中, 表生水对岩石组分进行溶解淋滤, 使岩石遭受风化淋滤作用。但由于火山岩形成于凹陷张裂期, 随着张裂的进行, 火山岩逐渐进入埋藏期, 使得表生作用时间变短, 风化淋滤作用影响程度变小。从深度上看, 在距安山岩顶部 20m 的岩心上能见到强烈的风化淋滤现象(图 18), 而在距安山岩顶部 50m 处见到的风化淋滤作用程度已降至很低。从构造部位上看, 构造高部位遭受风化淋滤作用时间长, 风化作用较强。表生风化淋滤作用可形成部分溶孔, 利于储层发育。

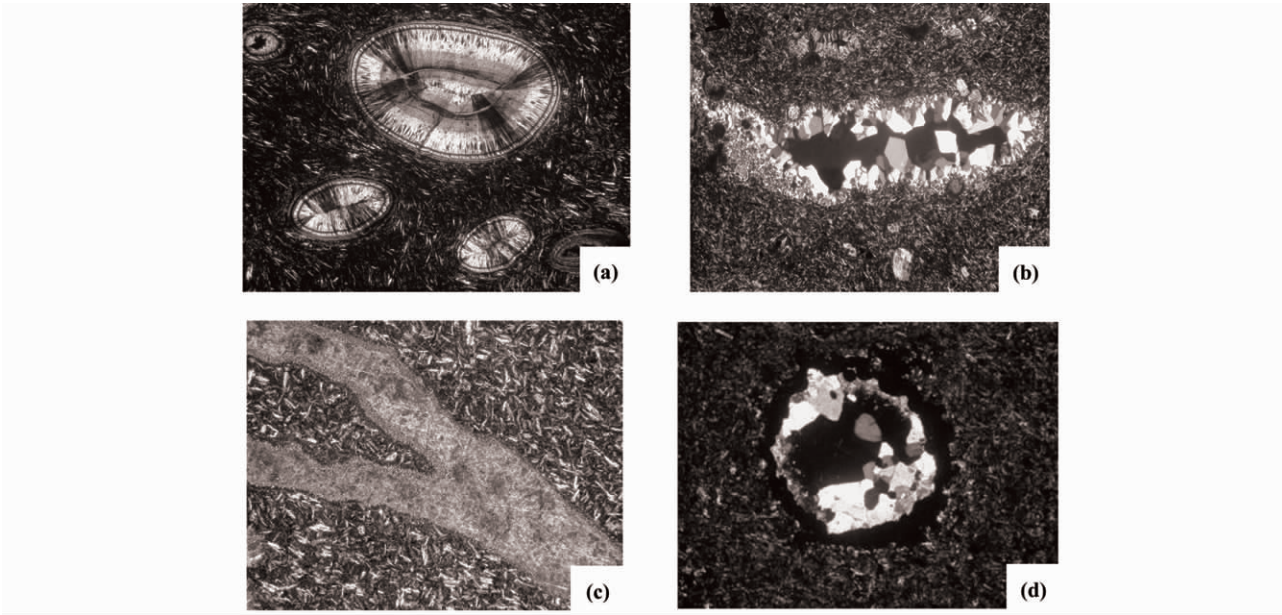


图 19 二连盆地洪浩尔舒特凹陷火山岩储层矿物充填作用
Fig. 19 The mineral filling of volcanic reservoir in Honghaoershute Sag of Erlian Basin

(a)—洪 2 井, 1618.7m, 阿尔善组下段, 气孔杏仁安山岩, 绿泥石呈栉状和皮壳状充填气孔, (+40); (b)—洪 5 井, 1603.5m, 阿尔善组上段, 溅落熔结安山岩, 石英呈晶簇状充填气孔, (+40); (c)—洪 28 井, 1668m, 阿尔善组下段, 安山岩, 裂缝被玉髓和方解石分期充填, (+40); (d)—洪 38 井, 1345.2m, 阿尔善组下段, 气孔杏仁安山岩, 碳酸盐和硅质充填气孔后碳酸盐溶解, (+40)
(a)—Stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, stomata was filled by chlorite (Well Hong 2, 1618.7m, +40); (b)—landing welded andesite of Aershan Formation upper segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, stomata was filled by quartz (Well Hong 5, 1603.5m, +40); (c)—andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, cracks was filled by chalcedony and calcite by stages (Well Hong 28, 1668m, +40); (d)—stomata-almond andesite of Aershan Formation lower segment in Honghaoershute Sag of Erlian Basin, calcite was dissolved after stomata was filled by calcite and quartz (Well Hong 38, 1345.2m, +40)

(3) 矿物充填作用——气孔和裂缝被充填,降低储层有效性。火山岩储层中早期形成的原生孔隙和溶蚀孔隙在成岩过程中可能会被孔隙流体中沉淀析出的矿物充填,使储层有效性大大降低(赵澄林等,1996)。通过岩心和镜下观察,凹陷内充填孔隙和裂缝的矿物主要是绿泥石(图19a)、硅质(图19b,19d)和碳酸盐(图19c),若充填程度不高则降低储层的有效性,若充填程度高则可使储层完全失效。由于火山岩成岩是依靠岩浆的冷却成岩作用,而非像碎屑岩那样依靠压实、压溶、胶结等成岩作用,所以引起凹陷内火山岩储层物性降低的主要原因不是压实、压溶、胶结等成岩因素,而是绿泥石、硅质、碳酸盐等矿物的充填作用(刘为付等,2005)。

(4) 酸性条件下斜长石和碳酸盐矿物的溶解作用是形成溶孔,提高储层物性。随着有机质的生、排烃,地下水呈酸性,可以使斜长石和碳酸岩矿物发生溶解,形成溶蚀孔隙。溶解作用越强,溶蚀孔隙越发育,对提高储层储集性越有利。通过20口井火山岩岩石薄片分析,洪浩尔舒特凹陷火山岩储层溶蚀孔隙发育程度不高,但分布很广,在20口井中的15口井内见到溶蚀孔隙(图14b,14c,14d,14e)。

5 结论

(1) 洪浩尔舒特凹陷中生界火山岩岩石类型包括安山岩、凝灰岩和火山角砾岩,其中火山熔岩发育程度高于火山碎屑岩。火山岩相类型包括爆发相、喷溢相和喷发沉积相。其中爆发相可进一步分为热碎屑流亚相和空落亚相,喷溢相可进一步分为上部亚相、中部亚相和下部亚相。岩相分布以喷溢相发育程度高、厚度大,喷发沉积相分布范围广特点。洪浩尔舒特凹陷在中生代经历了3个火山喷发旋回、14个火山喷发期次。

(2) 火山岩储层储集空间类型包括气孔、晶间孔、粒间孔、粒内孔、杏仁体溶孔、晶内溶孔、粒间溶孔、成岩收缩缝、构造缝和溶蚀缝等,其中最发育的是气孔和构造缝。研究区火山岩储集性能受到火山岩岩性岩相、成岩后期的构造活动和成岩作用等因素的制约,其中影响程度最明显的因素是火山岩岩相;冷却成岩作用、风化淋滤作用、构造活动和有机酸性流体溶蚀作用都对火山岩储层孔隙的形成起积极作用,而热液蚀变和矿物沉淀作用则对储层起破坏作用。

致谢:衷心感谢中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司勘探开发研究院领导与专家的大力

支持,硕士研究生朱丹、陈震、饶甜、邢恩袁参与了部分岩心观察与描述工作,在此一并表示感谢!

注 释

① 高先志,季汉成. 2010. 二连盆地重点凹陷火成岩成藏条件研究. 中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司内部报告.

参 考 文 献

- 操应长,姜在兴,邱隆伟. 1999. 山东惠民凹陷741块火成岩油藏储集空间类型及形成机理探讨. 岩石学报,15(1):129~136.
- 陈蟒蛟,徐树宝,秦云龙. 1997. 洪浩尔舒特断陷沉积特征研究. 石油勘探与开发,24(5):33~37.
- 陈文寄,刘若新. 1985. 华北地区新生代火山岩的时空分布特征和盆地演化,现代地壳运动研究(2). 北京:地震出版社.
- 崔勇,栾瑞乐,赵澄林. 2000. 辽河油田欧利坨子地区火山岩储集层特征及有利储集层预测. 石油勘探与开发,27(5):47~49.
- 董艳蕾,武锦程,边树涛. 2000. 洪浩尔舒特凹陷海流特构造群成藏条件分析. 西安石油学院学报(自然科学版),15(4):25~28.
- 杜金虎,金凤鸣,覃汉生,董艳蕾,武锦程,张彦民. 2000. 洪浩尔舒特凹陷油气藏形成条件与勘探实践. 西安工程学院学报,22(4):6~13.
- 刘为付,朱筱敏. 2005. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化. 石油实验地质,27(1):44~49.
- 刘震,孙强,武耀辉. 1997. 洪浩尔舒特凹陷下白垩统热成熟度地震预测. 石油实验地质,19(4):371~376.
- 吕炳全,张彦军,王红罡,张玉兰. 2003. 中国东部中、新生代火山岩油气藏的现状与展望. 海洋石油,23(4):9~11.
- 罗静兰,曲志浩,孙卫,石发展. 1996. 风化店火山岩岩相、储集性与油气关系. 石油学报,17(1):32~38.
- 秦凤启,崔永谦,王桂苓,于顺平,刘喜恒,谢建荣,潘雯丽. 2010. 二连盆地洪浩尔舒特凹陷安山岩储层预测方法. 中国石油勘探,(2):70~73.
- 谭成仟,宋子齐,高哲荣. 1998. 灰色系统理论在二连洪浩尔舒特凹陷储层评价中的应用. 物探化探计算技术,20(1):62~71.
- 王华崇,冉启全,胡永乐. 2004. 大港枣园油田火成岩岩相. 石油勘探与开发,31(5):21~24.
- 王璞珺,冯志强. 2008. 盆地火山岩. 北京:科学出版社,15,34~45,75~76,99~102.
- 杨辉,张研,邹才能,文百红,李明. 2006. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩分布及天然气富集规律. 地球物理学报,49(4):1136~1143.
- 易士威,祝玉衡,谭洪,杜金虎,邹伟宏. 1998. 二连盆地洪浩尔舒特凹陷千万吨级努格达油藏的发现. 中国石油勘探,3(2):47~50.
- 余家仁,唐阶庭. 1988. 二连盆地阿北安山岩储层的初步认识. 石油勘探与开发,15(1):38~44.
- 张光亚,邹才能,朱如凯,袁选俊,赵霞. 2010. 我国沉积盆地火山岩油气地质与勘探. 中国工程科学,12(5):30~38.
- 张剑,谯晓容,曹云安,周京玲,史东坡. 2006. 火山岩储集层岩性识别的研究及应用. 中外能源,11(4):46~48.
- 张文朝,董艳蕾,李莉,张宏茂,王奇. 2002. 洪浩尔舒特凹陷非构

造油气藏的形成及勘探前景——以洪东洼槽为例. 西安石油学院学报(自然科学版),17(3):1~6.

张晓东, 霍岩, 包波. 2000. 松辽盆地北部地区火山岩特征及分布规律. 大庆石油地质与开发,19(4):10~12.

张新荣, 王东坡. 2001. 火山岩油气储层特征浅析. 世界地质,20(3):272~278.

张玉广, 刘永建, 霍进杰, 于浩业, 寇戣, 姜洪福, 师永民. 2009. 中国火山岩油气资源现状及前景预测. 资源与产业,11(3):23~25.

张志琳, 缪卫东, 陈开远. 2008. 二连盆地洪浩尔舒特凹陷油气生成. 石油天然气学报,30(2):178~181.

赵澄林, 孟卫工, 金春爽, 蔡国钢, 赵随光, 季汉成. 1999. 辽河盆地火山岩与油气. 北京: 石油工业出版社,12~25, 77~78.

赵澄林, 祝玉衡, 季汉成, 杜金虎. 1996. 二连盆地储层沉积学. 北京: 石油工业出版社, 204~207, 216~217.

赵霞飞, 孙平, 史原鹏, 李林波, 牛成民, 桂训康. 2002. 二连盆地洪浩尔舒特凹陷下白垩统构造特征与沉积体系研究. 矿物岩

石,22(4):59~65.

朱如凯, 毛治国, 郭宏莉, 王君. 2010. 火山岩油气储层地质学——思考与建议. 岩性油气藏,22(2):7~13.

Lajoie J, Stix J. 1992. Volcaniclastic rocks. In: Walker R G, James N P(eds). Facies models response to sea level change, Canada Waterloo. Ontario: Geological Association of Canada, 101~118.

Orton G J. 1996. Volcanic environments. In: Reeding H G(eds). Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy. London : Blackwell Science,485~567.

Sruoga P, Rubinstein N. 2007. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén basin, Argentina. AAPG Bulletin, 91(1):115~129.

Williams J J, Augila F. 1972. Depositional environment and diagnosis of sedimentary reservoir and description of igneous reservoir. American Association of Petroleum Geologists, 16(10): 623~632.

Characteristic of Mesozoic Volcanic Rock and Analysis of Reservoir Controlling Factors in the Honghaoershute Sag of Erlian Basin

Ji Hancheng¹⁾, YANG Dexiang²⁾, GAO Xianzhi¹⁾, FANG Xiaodong¹⁾, WANG Wei¹⁾

1) College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing,102249; 2) Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei, 062552

Abstract

Based on core observation, thin section identification and integration of well log and seismic data of the Honghaoershute Sag, the distribution pattern of Mesozoic volcanic rock in the Honghaoershute Sag of Erlian Basin was distinctly defined. This study proposed that the Mesozoic volcanic rock developed mainly within the Aershan Formation lower segment, Aershan Formation upper segment and Tengger Formation first segment, and consists of andesite, tuff and volcanic breccia. xplosive facies, effusive facies and eruptive sedimentary facies can be identified, with effusive facies well developed and widely distributed. The Mesozoic volcanic rocks are distributed mainly along faults and superimposed by multiple volcanic eruptions. Three cycles and fourteen periods of volcanic eruption have been identified. The reservoir porosity is versatile, and stomata and fractures are predominant. Reservoir accumulation is controlled mainly by petrology, lithofacies and tectonic action as well as diagenesis.

Key words: Honghaoershute Sag; Volcanic rock; Lithology; Facies; Reservior