

文章编号: 0253-2697(2016)04-0454-10 DOI:10.7623/syxb201604004

火山地层界面的储层意义

——以松辽盆地南部火石岭组为例

赵然磊¹ 王璞珺¹ 赵慧² 衣健¹ 于太极¹ 杨迪¹ 孔坦¹ 唐华风¹

(1. 吉林大学地球科学学院 吉林长春 130061; 2. 中国石油吉林油田公司勘探开发研究院 吉林松原 138000)

摘要: 基于岩心、薄片、物性及核磁测井 T_2 谱等资料,从盆地火山地层界面分类及测井识别入手,开展火山地层界面与储层分布关系的研究,探讨了火山地层界面的控储机理。松南王府断陷火石岭组火山地层界面可划分为 2 级 3 类:喷发间断不整合界面构成一级界面,喷发整合和喷发不整合界面构成二级界面。火山地层界面与储层关系密切,距喷发间断不整合界面越近,储层物性越好,反之则越差,优质储层往往发育在喷发间断不整合界面之下 30 m 之内。在喷发整合、喷发不整合界面附近或该类界面集中发育带往往出现物性高值层段,形成相对较好的储集层段。火山地层界面类型及其分布控制储集空间的类型和组合关系,进而影响到储层的分布。火山地层界面所控制的储集层段在垂向上可划分为次生孔隙带、原生孔隙带和相对致密带 3 种,其中喷发间断不整合界面主要通过控制次生储集空间的发育而形成优质储层,喷发整合和喷发不整合界面主要表现为原生储集空间的集中发育而形成相对优质的储层。结合王府断陷勘探实例,认为火山地层界面附近发育的火山岩类组合,特别是喷发间断不整合界面处是需要重点关注的火山岩油气有利勘探领域。

关键词: 火山地层界面;喷发间断不整合界面;喷发整合、喷发不整合界面;界面控储;储层意义

中图分类号:TE122.2 文献标识码:A

Reservoir significance of volcanostratigraphic boundary: a case study of Huoshiling Formation, Southern Songliao Basin

Zhao Ranlei¹ Wang Pujun¹ Zhao Hui² Yi Jian¹ Yu Taiji¹ Yang Di¹ Kong Tan¹ Tang Huafeng¹

(1. College of Earth Science, Jilin University, Jilin Changchun 130061, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Jilin Oilfield Company, Jilin Songyuan 138000, China)

Abstract: Based on cores, thin sections, physical properties, T_2 spectrum in nuclear magnetic logging and other data, a research is carried out on the relationship between volcanostratigraphic boundary and reservoir distribution from the aspects of the types and logging identification of volcanostratigraphic boundary in the basin, so as to explore the reservoir control mechanism of volcanostratigraphic boundary. The volcanostratigraphic boundaries of Huoshiling Formation, Wangfu Depression, Southern Songliao Basin are divided into two grades and three types, i. e., the primary boundary consisting of eruptive interval unconformity boundary (EIUB), and the secondary boundary consisting of eruptive conformity boundary (ECB) and eruptive unconformity boundary (EUB). The volcanostratigraphic boundary has a close relationship with reservoirs. The closer to EIUB the reservoir is, the better the physical properties will be, or vice versa. High-quality reservoirs are often developed within 30 m beneath EIUB. Relatively better reservoirs are formed with high physical properties adjacent to ECB and EUB or in the concentrated development zones of such boundaries. The types and distribution of volcanostratigraphic boundary controls the types of reservoir space and assemblage relationships, and further influences the reservoir distribution. The reservoir horizons under the control of volcanostratigraphic boundary are divided into three types vertically, i. e., secondary pore zone, primary pore zone and relative tight zone. The EIUB is able to control the development of secondary reservoir space to form high-quality reservoirs; ECB and EUB are mainly presented as the concentrated development of primary reservoir space to form relatively high-quality reservoirs. Based on the exploration cases in Wangfu Depression, it is suggested that volcanic rock assemblages developed adjacent to volcanostratigraphic boundary, especially at the EIUB, are favorable exploration areas of volcanic hydrocarbons to be focused on.

Key words: volcanostratigraphic boundary; eruptive interval unconformity boundary; eruptive conformity boundary and eruptive unconformity boundary; boundary control reservoir; reservoir significance

引用: 赵然磊,王璞珺,赵慧,衣健,于太极,杨迪,孔坦,唐华风. 火山地层界面的储层意义——以松辽盆地南部火石岭组为例[J]. 石油学报,2016,37(4):454-463.

Cite: Zhao Ranlei, Wang Pujun, Zhao Hui, Yi Jian, Yu Taiji, Yang Di, Kong Tan, Tang Huafeng. Reservoir significance of volcanostratigraphic boundary: a case study of the Huoshiling Formation, Southern Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(4): 454-463.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB822002)和国家自然科学基金项目(No. 41202072, No. 41472304)资助。

第一作者: 赵然磊,男,1986年1月生,2007年获中国石油大学(华东)石油工程专业学士学位,2011年获新疆大学矿产普查与勘探专业硕士学位,现为吉林大学地球科学学院博士研究生,主要从事火山岩储层与油气藏研究。Email: zrl_1986@126.com

通信作者: 王璞珺,男,1959年10月生,1982年获长春地质学院工业分析专业学士学位,1994年获长春地质学院沉积学专业博士学位,现为吉林大学地球科学学院教授、博士生导师,主要从事盆地地质和油气地质研究与教学。Email: wangpj@jlu.edu.cn

近年来,火山岩储层的研究主要针对岩性、岩相、火山机构等宏观规律及储层评价、成储机理等方面^[1-12]。在对松辽盆地南部王府断陷火石岭组火山岩储层研究过程中,发现其储层的分布除受岩性、岩相、火山机构等因素影响外,还受火山地层界面的控制。火山地层是指火山喷发物质经过运移、堆积形成的地层,是盆地充填过程中重要的组成部分,是不同于沉积地层的特殊而复杂的“异化地层”^[13],其形成受火山活动规律性和特殊性的影响,并与火山喷发形式、喷发强度及古地貌有密切的关系。火山地层界面是指广泛发育在火山岩中的地层界面,是火山熔浆流动、火山碎屑堆积及其组合等火山地层单元之间形成的界面,是火山地层研究的基础^[14]。

国内外有关火山地层界面的研究主要集中在火山喷发期次、旋回、火山机构、区域地质调查填图等方面,其目的多数为查明火山活动历史、划分火山地层层序、划分火山地层填图单元等^[13-25]。部分学者利用盆地周缘隆起区古火山和现代火山露头资料,对火山地层界面类型进行了系统划分并详细刻画了其地质特征及内涵,同时结合盆内资料初步探讨了火山地层界面的储层意义^[14,22]。目前,有关火山地层界面的储层意义虽然已经引起人们的高度重视,但对于火山地层界面与储层物性的量化关系及其控储机理等方面尚有待进一步深入研究。火山地层界面的控储规律对油气勘探往往具有较为直接的指导作用。

笔者以松辽盆地南部王府断陷火石岭组为例,探讨火山地层界面的储层意义。尝试从火山地层界面及其识别入手,结合火山地层界面对储层物性及分布的影响,分析火山地层界面控储机理,以期对火山岩油气精细勘探开发提供一定的参考。

1 火山地层界面类型及测井识别

1.1 火山地层界面类型

前人结合古火山和现代火山露头资料,按照火山

地层界面的形成过程和地质属性将火山地层界面划分为喷发整合、喷发不整合、喷发间断不整合、构造不整合和侵入接触 5 类^[14,22]。笔者在该分类基础上,重点考虑盆地内火山地层界面的可识别性和勘探应用的便利,把松辽盆地南部王府断陷火石岭组火山地层界面划分为 2 级 3 类,分别为喷发间断不整合界面、喷发整合和喷发不整合界面(表 1)。

1.2 火山地层界面的测井识别

火山岩从喷出地面开始到成为储层,期间多数经历了固结成岩、风化淋滤和埋藏改造等一系列复杂的过程,最终深埋地下^[6]。前人有关火山地层界面类型的相关研究多数是基于丰富的野外露头剖面资料而获得的认识。但是在盆地火山地层研究过程中,钻井取心资料有限,要开展火山地层界面储层意义的研究,需要充分结合测井资料的应用,即要进行火山地层界面的测井识别。鉴于火山岩储层的复杂性及其强非均质性,在测井识别过程中,充分利用钻井取心、井壁取心、岩屑等资料刻度测井,以确保界面识别的准确性及其适用性。

火山地层界面主要是由界面两侧火山地层的成分、结构、构造发生突变而产生的。同一套火山地层的常规测井曲线及其 FMI(Formation Microscanner Image)测井图像应该是相对稳定的或者是渐变的。因此在测井曲线及 FMI 图像发生突变的地方往往就是火山地层界面的位置。通过对松辽盆地南部王府断陷 20 口钻井(图 1)测井资料分析,发现自然伽马、电阻率、密度、声波时差等常规测井曲线及 FMI 测井图像可用于火山地层界面的测井识别。利用界面处是否存在喷发间断产物,可将火山地层界面划分为两级界面:①喷发间断不整合界面构成一级界面;②喷发整合和喷发不整合界面构成二级界面,是一级界面之下火山地层单元中的内部界面,2 种二级界面通过测井资料往往很难区分(表 1、图 2)。

表 1 王府断陷火石岭组火山地层界面的分类依据及测井识别特征

Table 1 Classification basis and logging identification characteristics of volcanostratigraphic boundary in Huoshiling Formation, Wangfu depression

火山地层界面		分类依据		成因和识别标志		单位火山地层厚度/m
级别	类型	产状关系	时间间隔	地质成因和识别标志	测井特征	
一级	喷发间断不整合	多数角度相交	长期间断,数十年—几百万年	喷发间断产物:风化壳[图 2(a)]	高伽马、高声波时差、低密度、低电阻率, FMI 图像偏暗黑色且界面两侧色差明显	40~160
				喷发间断产物:火山-沉积岩夹层,包括正常沉积岩和沉火山碎屑岩[图 2(b)]	高伽马、高声波时差、低密度、低电阻率, FMI 图像偏暗黑色且与界面两侧地层色差明显	
二级	喷发整合 喷发不整合	协调 角度相交	短期间断,数分钟—数年 短期间断,数分钟—数年	界面处不存在喷发间断产物:表现为不同火山地层单元之间岩性、岩相、结构、构造上的差异[图 2(c)]	测井曲线值发生突变,出现指状峰,界面两侧 FMI 图像色差极大	2~45

注:“火山地层界面类型”和“分类依据”据文献^[14]和文献^[26]。

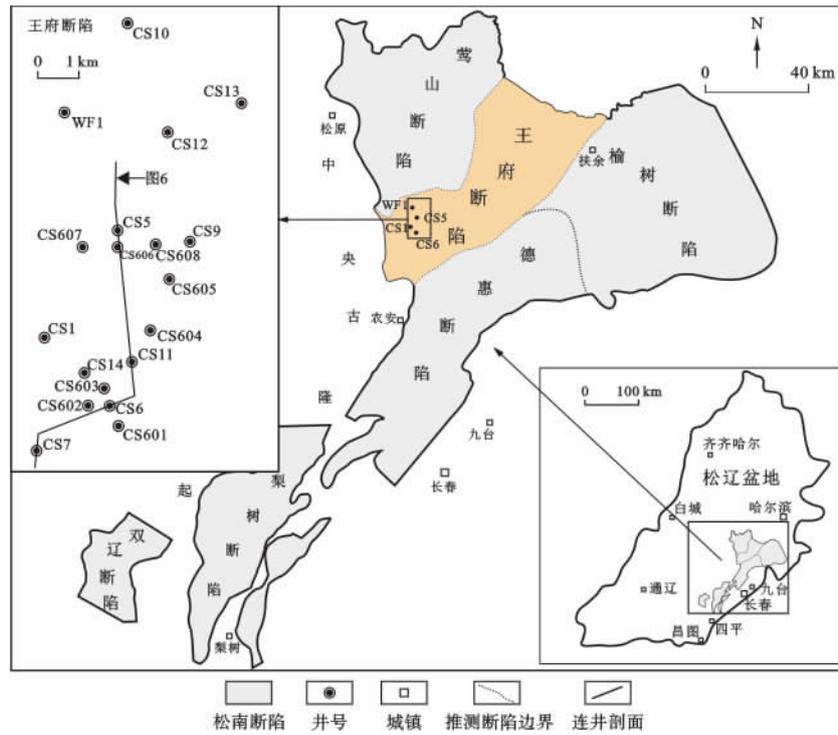


图1 研究区和涉及钻井分布

Fig.1 Study area and drilling distribution

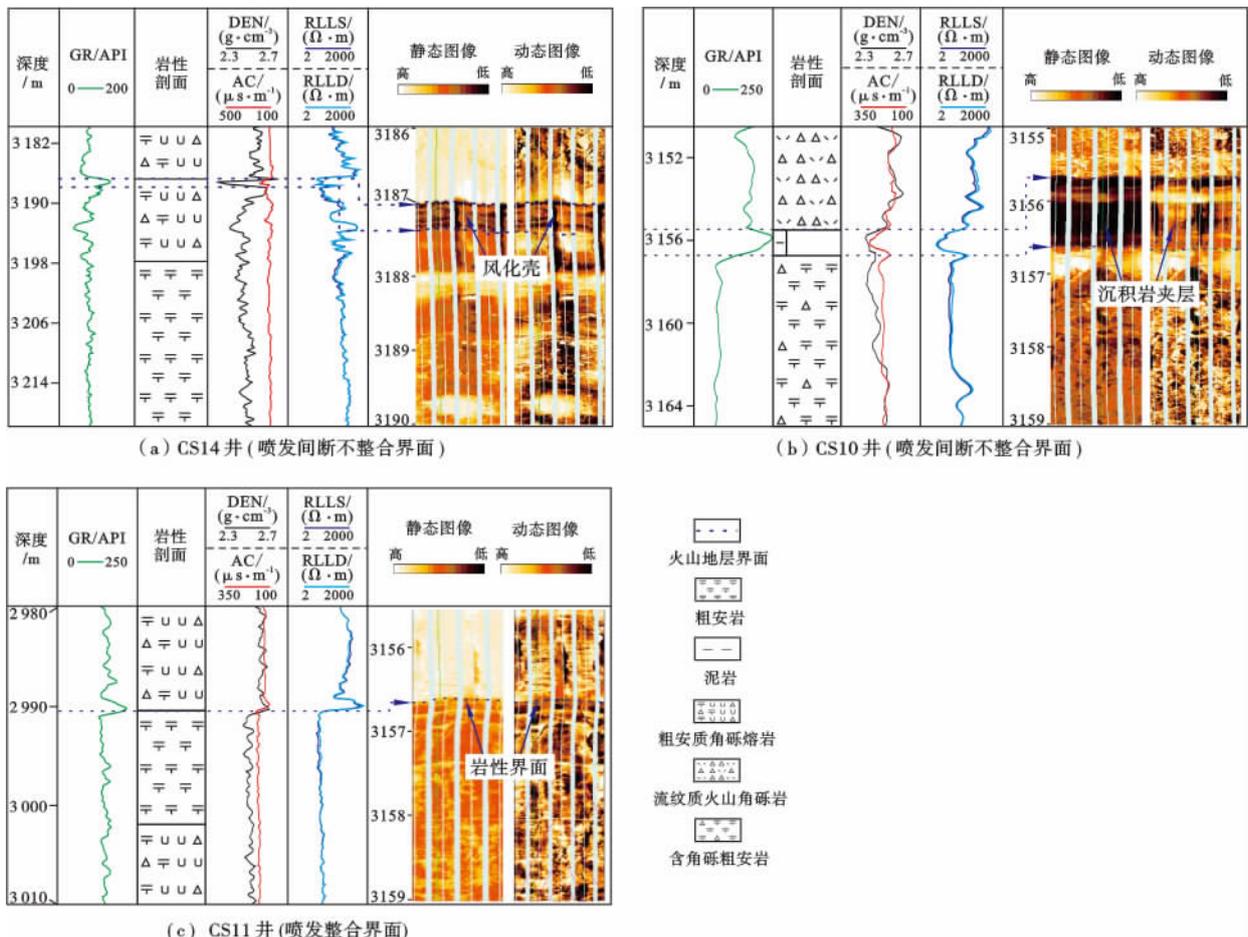


图2 火山地层界面测井识别特征

Fig.2 Logging identification characteristics of volcanostratigraphic boundary

2 火山地层界面与储层关系

2.1 火山地层界面与储层物性关系

根据以上火山地层界面类型划分及测井识别方法,结合岩心观察及测井资料分析,针对王府断陷火石岭组 20 口钻井 4 031 m 进尺火山岩,识别出喷发间断不整合界面 37 个。

火山地层界面对火山岩储层的分布具有重要的影响作用。结合王府断陷火石岭组火山岩识别出的 37 个喷发间断不整合界面,按 1:10 的比例抽稀制作测井孔隙度与距喷发间断不整合界面顶部距离统计分析散点图[图 3(a)]。同时利用 168 套孔隙度和渗透率数据,制作实测孔隙度-距喷发间断不整合界面顶部距离和实测渗透率-距喷发间断不整合界面顶部距离统计分析散点图[图 3(b)]。图 3(a)和图 3(b)中可见,优质储层普遍分布于喷发间断不整合界面之下近距离处,且储层与界面顶部距离越小,物性越好,反之则越差;同时,随着与界面距离增大出现几个物性相对高值层段。其中高孔渗带(孔隙度 $>15\%$,渗透率 >10 mD)分布于界面之下 30 m 之内,相对高孔渗带(孔隙度 $10\% \sim 15\%$,渗透率 $1 \sim 10$ mD)控制距离在界面之下 120 m 之内,呈多峰状态分布(图 3 红色包络线指状突变区域),中间夹一些物性相对较差的层段。

另外,图 3(a)中 a' 、 b' 、 c' 、 d' 为王府断陷火石岭组 4 段火山岩取心段,共计 42.57 m,分别位于喷发间断不整合界面之下不同距离。表 2 为 4 段取心段中 88 套实测孔隙度、渗透率数据及核磁测井 T_2 谱的统计分析。图 3(a)及表 2 中可见,随着与喷发间断不整合界面距离的增大,4 段取心段储层孔隙度逐渐变差,但是渗透率出现了偏差,例如取心段 b' 距离喷发间断不整合界面更近,但是其渗透率却比相对距离更远的取心段 c' 的渗透率更低。

2.2 与火山地层界面相关的储层纵向发育模式

火山地层界面类型及其分布对于储集空间的发育具有重要的控制作用。王府断陷 20 口钻井火石岭组火山岩中有 42.57 m 取心、84 个井壁取心、57 个铸体薄片、245 个岩屑薄片,分别位于界面之下不同位置。通过对这些资料的观察与鉴定,把王府断陷火石岭组火山地层界面储层在垂向上划分为 3 种区带。其特征为:

(1) 次生孔隙发育带:该带为喷发间断不整合界面(一级界面)之下近距离(一般为 30 m)区带,是火山地层界面储层最重要的组成部分,储层物性非常好。岩心观察表明,该带溶蚀孔、构造裂缝发育[图 4(g)],局部微裂缝发育。铸体薄片及普通薄片鉴定显示,该

带次生溶蚀孔(缝)发育[图 4(a)—图 4(d)],且随着距喷发间断不整合界面距离增大而逐渐减少;局部偶见气孔、杏仁构造及矿物炸裂缝等原生孔隙[图 4(e)、图 4(f)]。图 3(a)中取心段 a' 正好处在该次生孔隙发育带上。主要受风化淋滤、有机酸溶蚀和热液溶蚀作用的多重影响,次生孔隙发育,因此该取心段中孔隙度和渗透率均很高。

(2) 原生孔隙发育带:随着距离喷发间断不整合界面距离的增大,火山岩储层的物性逐渐变差,但是在局部会出现一些物性异常高值带。这些物性异常高值带为喷发整合和喷发不整合界面(二级控制界面)集中发育带,储层物性相对较好。岩心观察及铸体薄片鉴定表明,该带主要发育气孔和杏仁体内孔等原生孔隙[图 4(h)、图 4(i)],局部发育次生溶蚀孔缝、构造裂缝[图 4(j)、图 4(l)],但是在该带中较多气孔被绿泥石、沸石、石英等充填形成杏仁构造[图 4(i)、图 4(k)],部分裂缝被沸石和黄铁矿完全充填或半充填[图 4(j)]。图 3(a)中取心段 b' 和 c' 均位于该原生孔隙发育带上,因此按照规律这两段取心段孔隙度、渗透率数值应该均相对较高。但是实际却出现了孔隙度均相对较高,而渗透率表现为 c' 段较高, b' 段较低的现象。通过岩心观察和岩石薄片镜下鉴定发现,取心段 b' 有较多的杏仁体和裂缝充填,故认为受这些准同生期热液沉淀结晶作用和充填作用的影响,导致渗透性变差,因而会出现同属原生孔隙发育带的取心段 b' 虽然距离喷发间断不整合界面更近,但是其渗透率却低于距喷发间断不整合界面更远的取心段 c' 。

(3) 相对致密带:距离各级界面均较远,往往发育在厚度较大的火山地层单元中,岩石基本完整,孔洞不发育,受区域构造影响,局部发育构造裂缝,储层物性较差。图 3(a)中取心段 d' 即处在该相对致密带上,以上提到的次生孔隙和原生孔隙均不发育,因此其孔隙度和渗透率均很低。

3 讨论

3.1 火山地层界面控储机理

从图 5 中可见,不同级别火山地层界面附近储层所经历的成岩作用也有所不同,具体表现为:①溶蚀作用普遍发生,主要表现为距喷发间断不整合界面越近,溶蚀作用越强烈,向远处逐渐变弱;②充填作用局部出现,多分布于远离喷发间断不整合界面处;③挥发分溢出作用普遍发育,多集中于喷发整合和喷发不整合界面附近,在远离界面处逐渐变弱,受溶蚀作用影响,在喷发间断不整合界面附近发育较少;④准同生期热液沉淀结晶作用在局部出现,没有表现出与界面特

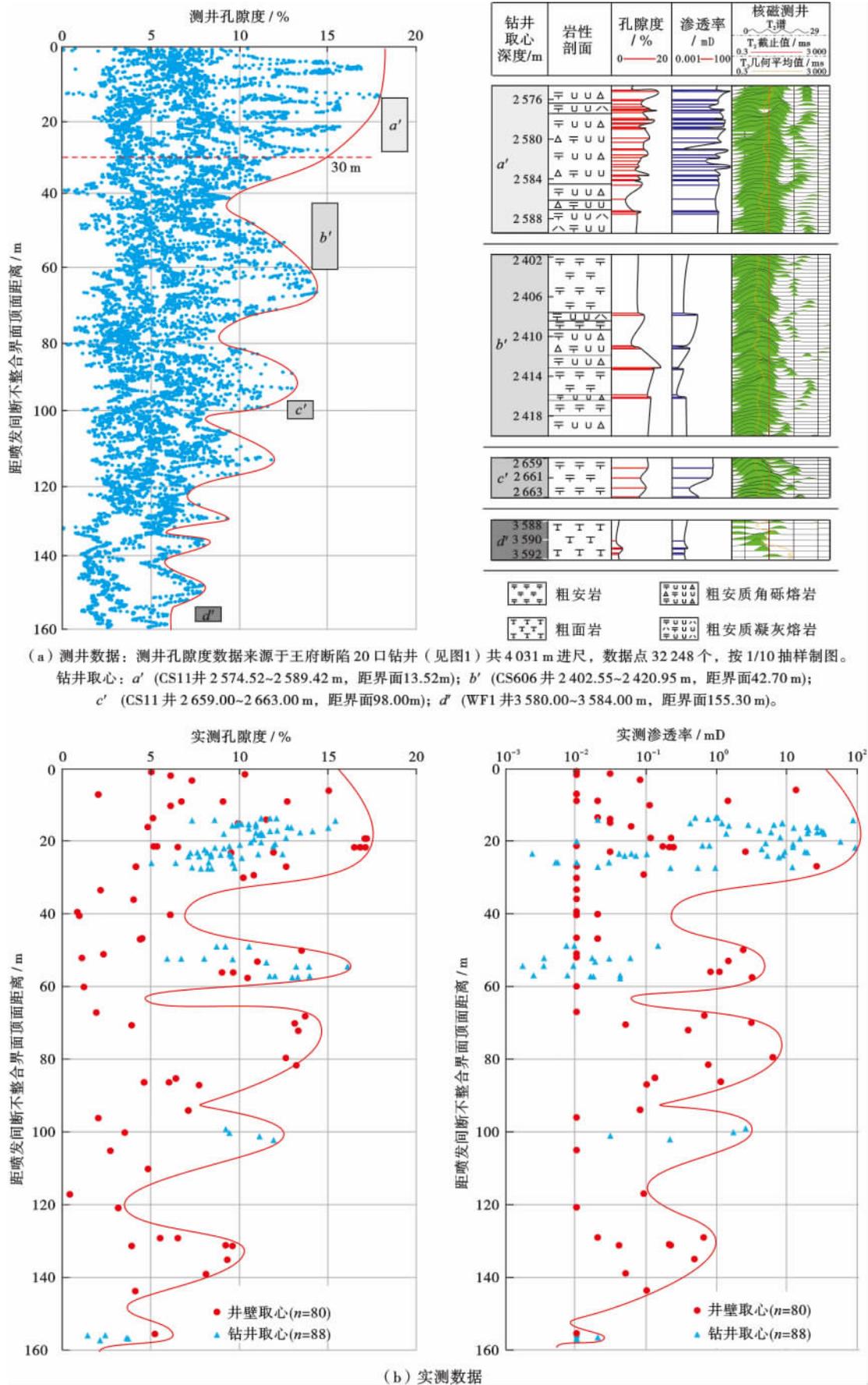


图3 储层物性与喷发间断不整合界面的关系

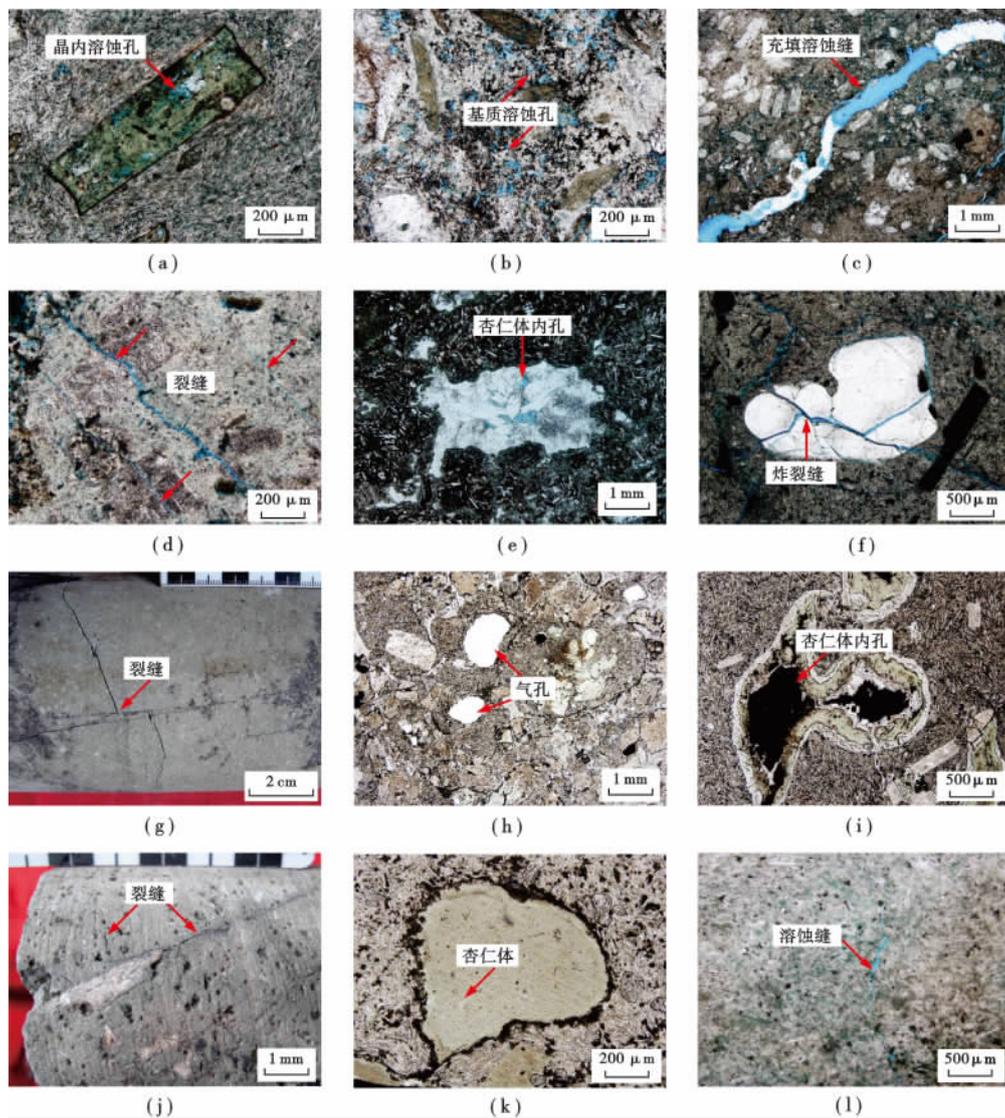
Fig. 3 Relationship between reservoir physical properties and eruptive interval unconformity boundary

表 2 取心段物性及核磁测井 T_2 谱特征(对应于图 3)

Table 2 Physical properties and T_2 spectrum characteristics of nuclear magnetic resonance of coring segment(corresponding to Fig. 3)

井段	界面距离/m	实测孔隙度/%	实测渗透率/mD	T_2 谱峰态	T_2 谱左侧峰		T_2 谱右侧峰	
					峰值范围/ms	幅度	峰值范围/ms	幅度
a'	13.52	5.00~15.40/10.38	0.01~93.78/15.721	双/三峰 多数不连续	3.0~30.0	较大	100.0~700.0	较小
b'	42.70	6.68~16.09/11.20	0.002~0.145/0.023	双峰多数 不连续	1.0~10.0	较大	30.0~800.0	较小
c'	98.00	9.20~11.90/10.40	0.030~2.560/1.128	双峰 不连续	1.0~10.0	较大	30.0~600.0 多数<100.0	较小
d'	155.30	1.40~3.70/2.70	0.010~0.020/0.012	单/双峰 不连续	0.3~7.0	中等	10.0~30.0	中等

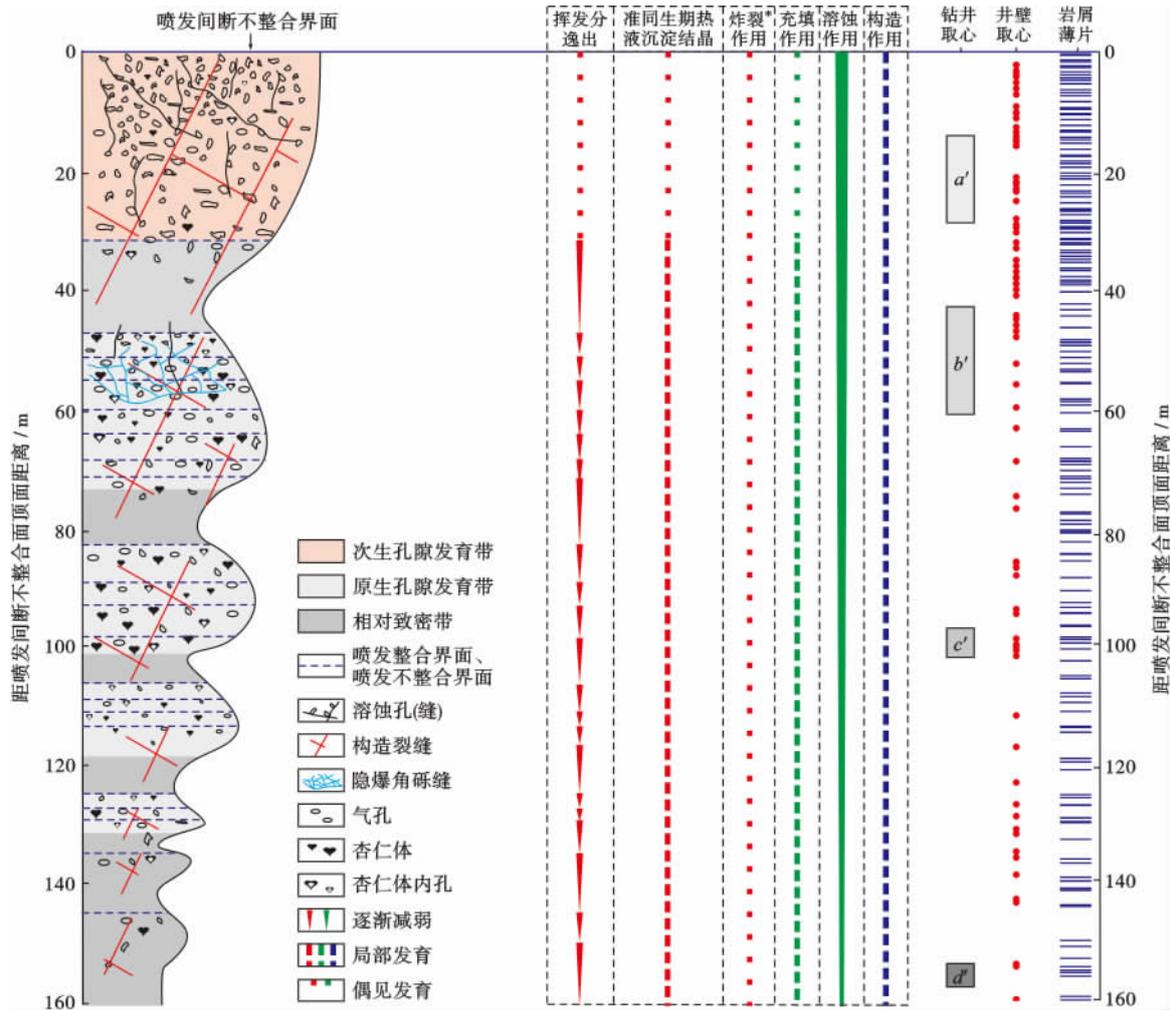
注:第 3 列和第 4 列中,“/”之后是平均值。



注:(a)粗安岩,铸体薄片,单偏光,CS11 井 2 720.00 m;(b)粗安岩,铸体薄片,单偏光,CS11 井 2 585.45 m;(c)粗安岩,铸体薄片,单偏光,CS11 井 2 579.41 m;(d)粗安岩,铸体薄片,单偏光,CS11 井 2 575.09 m;(e)粗安岩,普通薄片,单偏光,CS11 井 2 661.00 m;(f)粗安岩,铸体薄片,单偏光,CS11 井 3 043.00 m;(g)粗安岩,岩心照片,CS11 井 2 575.02~2 575.12 m;(h)粗安岩,普通薄片,单偏光,CS606 井 2 418.05 m;(i)粗安岩,普通薄片,单偏光,CS606 井 2 403.55 m;(j)粗安岩,岩心照片,CS606 井 2 411.55~2 411.62 m;(k)粗安岩,普通薄片,单偏光,CS606 井 2 406.25 m;(l)粗安岩,铸体薄片,单偏光,CS6 井 2 668.50 m。

图 4 火山地层界面附近储集空间类型

Fig. 4 Types of reserving space adjacent to volcanostratigraphic boundary



注：图中*所指的炸裂作用特指：火山喷发过程中形成的斑晶在火山岩喷出后因压力释放发生爆裂形成矿物炸裂缝的作用；所用资料包括：钻井取心 a'、b'、c'、d' 同图 3(a)，井壁取心 84 个，岩屑薄片 245 个。

图 5 火山地层界面附近储层发育模式(对应于图 3)

Fig. 5 Reservoir development pattern adjacent to volcanostratigraphic boundary(corresponding to Fig. 3)

定的关系,但是受溶蚀作用影响,在喷发间断不整合界面附近发育较少;⑤炸裂作用偶见发育,没有表现出与界面特定的关系;⑥构造作用在局部出现,没有表现出与界面特定的关系。综上,火山地层界面的控储机理表现为以下 2 个方面:

(1) 在喷发间断不整合界面构成的一级界面附近,结合岩心观察及镜下岩矿鉴定,未发现类似斜长石中空骸晶结构等明显的水下熔岩急剧淬火的特征结构,因此推测火山岩应属陆上喷发,形成一些气孔等原生孔隙,在进入埋藏阶段之前暴露于地表,受到大气和地表水的影响,经历过风化淋滤作用的改造。通过对地层分析发现,在本区火石岭组火山岩喷发间断期地层及沙河子组底部地层中发育 2 套优质烃源岩,烃源岩与喷发间断不整合界面直接或近距离间接接触,推测在埋藏之后烃源岩产生的有机酸有机会进入喷发间

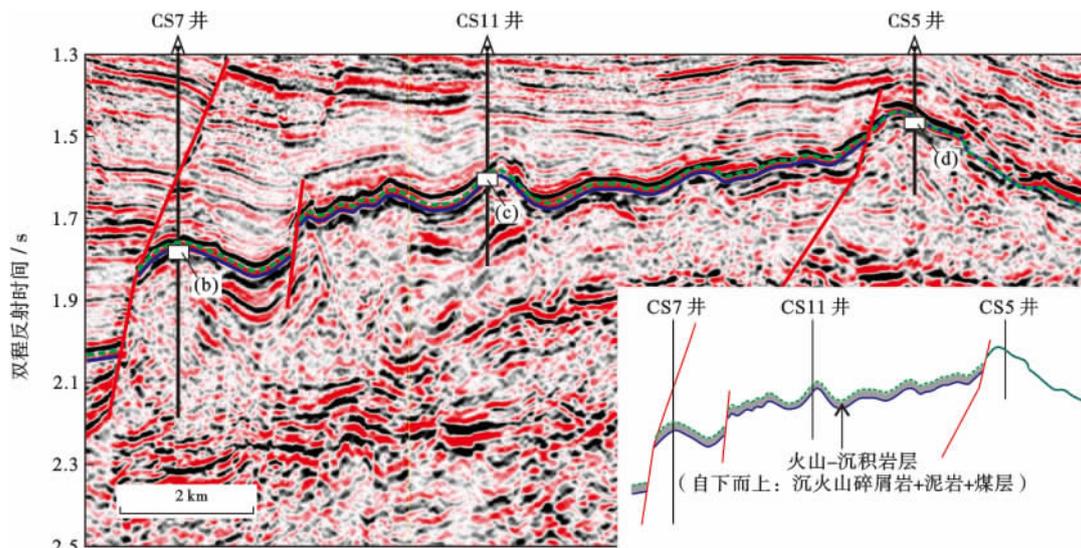
断不整合界面附近的储层中产生溶蚀再改造。另外,该处构造裂缝发育,深层的热液也有可能沿裂缝进入储层,发生热液溶蚀作用。因此在该界面附近主要受风化淋滤、有机酸溶蚀和热液溶蚀作用形成以次生孔隙为主,裂缝和原生孔隙为辅的优质储层。风化淋滤、有机酸溶蚀和热液溶蚀作用在喷发间断不整合界面附近产生的次生孔隙在镜下鉴定特征上尚无明显区别,另外在界面附近的测井曲线都表现为高伽马、低电阻等特征,因此对于次生孔隙产生的主要影响因素尚不能完全明确,有待深入研究。而风化淋滤等产生的孔隙在埋藏成岩过程中容易受到上覆岩层的机械压实以及胶结作用等影响而遭到破坏,因此该类孔隙能够保存下来需要有埋藏相对较浅、位于构造高部位、形成地层超压、早期抑制胶结物沉淀的烃类充注和后期溶蚀性流体的再次进入等尽可能减少储层孔隙破坏机制

产生的地质条件。

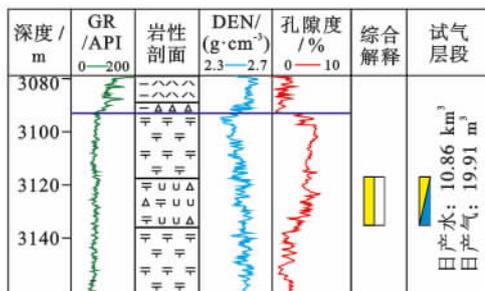
(2) 随着与一级界面距离的增大,次生溶蚀作用逐渐变弱,在喷发整合和喷发不整合界面构成的二级界面附近,受挥发分逸出等作用的影响,形成以原生孔隙为主,裂缝和次生孔隙为辅的储层。但是受充填作用和准同生期热液沉淀结晶作用的影响,部分裂缝和原生孔隙发生充填,储集空间及其连通性遭到破坏,因此在单个二级界面附近往往很难形成较好的储层。而当多个二级界面集中发育在一定厚度的火山地层中时,原生孔隙在一定程度上得到富集,进而形成以原生孔隙为主的相对较好的储层发育带。

3.2 火山地层界面控储勘探应用

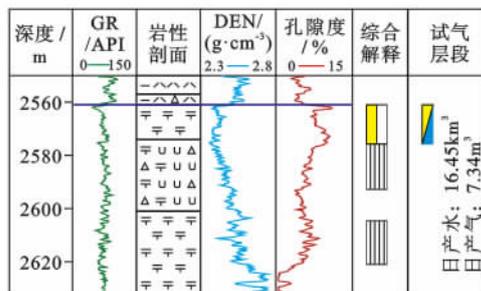
王府断陷火石岭组火山地层界面发育。如图 6(a)所示,通过地震反射特征结合测井资料可识别出明显的喷发间断不整合界面,界面之上普遍发育有一套火山—沉积岩。图 6(b)、图 6(c)、图 6(d)分别是 CS7 井、CS11 井、CS5 井 3 口井中喷发间断不整合界面之下火山岩储层的测井曲线特征、综合解释和试气结果。从图 6 中可见,喷发间断不整合界面之下火山地层对应测井曲线变化趋势基本一致:随着距喷发间断不整合界面距离增大,密度曲线值逐渐增大,孔隙度曲线值与之相反逐渐减小。另外,3 口井中界面之下



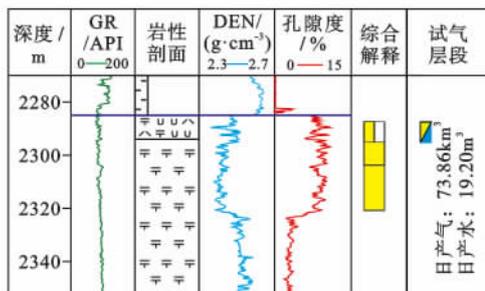
(a) 火山地层界面地震反射特征 (剖面位置见图 1)



(b) CS7 井



(c) CS11 井



(d) CS5 井



图 6 王府断陷火石岭组火山地层界面储层实例

Fig. 6 Study cases of reservoirs at volcanostratigraphic boundary in Huoshiling Formation, Wangfu depression

储层综合解释为气层、差气层、干层,针对其中部分层段进行试气作业,均取得了较好的气、水显示。其中CS7井试气层段为3117~3135.5m,共计18.5m,试气段中心位置距界面37m,试气显示产气量 $10.86 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$,产水量 $19.91 \text{ m}^3/\text{d}$;CS11井试气段为2561~2576m,共计15m,试气段中心位置距界面7.5m,试气显示产气量 $16.45 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$,产水量 $7.34 \text{ m}^3/\text{d}$;CS5井试气段为2287.5~2295.5m,共计8m,试气段中心位置距界面6.5m,试气显示产气量 $73.86 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$,产水量 $19.2 \text{ m}^3/\text{d}$ 。试气结果显示喷发间断不整合界面之下储层产能均达到工业气流标准^[27]。

松南火石岭组火山岩经历多期构造运动^[28,29],局部形成构造高部位,早期火山岩在火山地层界面附近接受风化淋滤改造容易形成优质储层。另外,松南火石岭组火山岩喷发间断期间地层及沙河子组底部地层中发育两套优质烃源岩^[30],在热演化阶段,可形成大量有机酸性流体,有助于在火山地层界面附近发生溶蚀作用形成次生孔隙。因此,对于松南深层探区,火山地层界面附近发育的火山岩类组合,特别是喷发间断不整合界面处是需要重点关注的火山岩油气有利勘探领域。

4 结 论

(1) 火山地层界面类型与特征:松南王府断陷火石岭组火山岩主要发育喷发间断不整合界面构成的一级界面和喷发整合、喷发不整合界面构成的二级界面,共2级3类。测井曲线可识别出2种级别的界面。喷发间断不整合界面围限的火山地层单元厚度一般为40~160m。喷发整合和喷发不整合界面围限的火山地层单元厚度一般在2~45m。

(2) 火山地层界面控储效应:距喷发间断不整合界面(一级界面)越近,储层物性越好,反之则越差。优质储层往往发育在一级界面之下30m之内。随着与一级界面距离的增大,会出现若干储层物性较高发育带,其也可形成相对较好的储层,这些较高孔渗带多数位于喷发整合和喷发不整合界面(二级界面)附近或其集中发育带。

(3) 火山地层界面控储机制:火山地层界面主要通过影响原生孔隙和次生孔隙的发育而控制储层的发育。在喷发间断不整合界面附近,受风化淋滤及上覆烃源岩酸性流体等的影响,火山岩储层接受较强的次生溶蚀改造,储层物性变好,形成次生孔隙发育带。随着距一级界面距离的增大,次生溶蚀作用减弱,原生孔隙保留增多,在二级界面富集区域形成原生孔隙发育带。当火山地层较厚时,在远离界面区域形成相对致密带,往往构成储层物性较差的致密层段。

(4) 勘探应用:喷发间断不整合界面控储效应最为明显,是首选勘探目标。喷发整合及喷发不整合界面控储效应其次,是二类勘探目标。最理想的勘探目标是以喷发不整合界面为主导,同时包含一系列喷发整合或喷发不整合的火山地层界面集中发育层段。

参 考 文 献

- [1] 王璞珺,迟元林,刘万洙,等. 松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2003,33(4):449-456.
Wang Pujun, Chi Yuanlin, Liu Wanzhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 33(4): 449-456.
- [2] 唐华凤,白冰,边伟华,等. 松辽盆地营城组火山机构地层结构定量模型[J]. 石油学报,2012,33(4):541-550.
Tang Huafeng, Bai Bing, Bian Weihua, et al. Quantitative models of strata texture within volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, NE China[J]. Acta Petroli Sinica, 2012, 33(4): 541-550.
- [3] 邹才能,赵文智,贾承造,等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J]. 石油勘探与开发,2008,35(3):257-271.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 257-271.
- [4] 杨辉,张研,邹才能,等. 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[J]. 地球物理学报,2006,49(4):1136-1143.
Yang Hui, Zhang Yan, Zou Caineng, et al. Volcanic rock distribution and gas abundance regularity in Xujiaweizi faulted depression, Songliao Basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(4): 1136-1143.
- [5] 高有峰,刘万洙,纪学雁,等. 松辽盆地营城组火山岩成岩作用类型、特征及其对储层物性的影响[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2008,37(6):1251-1258.
Gao Youfeng, Liu Wanzhu, Ji Xueyan, et al. Diagenesis types and features of volcanic rocks and its impact on porosity and permeability in Yingcheng Formation, Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 37(6): 1251-1258.
- [6] 刘万洙,黄玉龙,庞彦明,等. 松辽盆地营城组中基性火山岩成岩作用:矿物晶出序列、杏仁体充填和储层效应[J]. 岩石学报,2010,26(1):158-164.
Liu Wanzhu, Huang Yulong, Pang Yanming, et al. Diagenesis of intermediate and mafic volcanic rocks of Yingcheng Formation (K_{1y}) in the Songliao Basin: sequential crystallization, amygdule filling and reservoir effect[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 158-164.
- [7] 冯子辉,邵红梅,童英. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储层储集性控制因素研究[J]. 地质学报,2008,82(6):760-768.
Feng Zihui, Shao Hongmei, Tong Ying. Controlling factors of volcanic gas reservoir property in Qingshen gas field, Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 760-768.
- [8] 柳成志,孙玉凯,于海山,等. 三塘湖盆地石炭系火山岩油气储层特征及碱性成岩作用[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(6):1221-1231.
Liu Chengzhi, Sun Yukai, Yu Haishan, et al. Study on character-

- istic of carboniferous volcanic oil and gas reservoirs and alkaline diagenesis in the Santanghu Basin, NW China[J]. Journal of Jilin University; Earth Science Edition, 2010, 40(6): 1221-1231.
- [9] 王岩泉, 胡大千, 蔡国刚, 等. 辽河盆地东部凹陷火山岩储层特征与主控因素[J]. 石油学报, 2013, 34(5): 896-904.
Wang Yanquan, Hu Daqian, Cai Guogang, et al. Characteristics and controlling factors of Cenozoic volcanic reservoirs in Liaohe Basin, NE China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(5): 896-904.
- [10] 卢双舫, 胡慧婷, 刘海英, 等. 英台断陷深层的气源条件及勘探潜力[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(4): 912-920.
Lu Shuangfang, Hu Huiting, Liu Haiying, et al. Gas source conditions and exploration potential of deep layer in Yingtai fault depression[J]. Journal of Jilin University; Earth Science Edition, 2010, 40(4): 912-920.
- [11] 罗静兰, 邵红梅, 杨艳芳, 等. 松辽盆地深层火山岩储层的埋藏—烃类充注—成岩时空演化过程[J]. 地学前缘, 2013, 20(5): 175-187.
Luo Jinglan, Shao Hongmei, Yang Yanfang, et al. Temporal and spatial evolution of burial-hydrocarbon filling-diagenetic process of deep volcanic reservoir in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(5): 175-187.
- [12] Sruoga P, Rubinstein N. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén Basins, Argentina[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(1): 115-129.
- [13] 王璞珺, 张功成, 蒙启安, 等. 地震火山地层学及其在我国火山岩盆地中的应用[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 597-610.
Wang Pujun, Zhang Gongcheng, Meng Qi'an, et al. Applications of seismic volcanostratigraphy to the volcanic rifted Basins of China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 597-610.
- [14] 衣健, 王璞珺, 唐华风, 等. 火山地层界面的地质属性、地质内涵和储层意义——以中国东北地区中生代—新生代火山岩为例[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 324-336.
Yi Jian, Wang Pujun, Tang Huafeng, et al. Geological property, geological connotation and reservoir significance of volcanostratigraphic boundary: a case study of the Mesozoic & Cenozoic volcanic rocks in Northeastern China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 324-336.
- [15] 唐华风, 李瑞磊, 吴艳辉, 等. 火山地层结构特征及其对波阻抗反演的约束[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 620-627.
Tang Huafeng, Li Ruilei, Wu Yanhui, et al. Textural characteristics of volcanic strata and its constraint to impedance inversion[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 620-627.
- [16] De Rita D, Giordano G, Milli S. Forestepping-backstepping stacking pattern of volcanoclastic successions: roccamonfina volcano, Italy[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1998, 80(1/2): 155-178.
- [17] Pu Renhai, Zhong Hongli, Zhang Yunlong. Preliminary study on the effects of permian volcanism on the Tahe Ordovician oil pools in Tarim Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2013, 44: 13-20.
- [18] 陈业全, 李宝刚. 塔里木盆地中部二叠系火山岩地层的划分与对比[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(6): 6-10.
Chen Yequan, Li Baogang. Classification and correlation of permian volcanic rocks in Mid-Tarim area[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2004, 28(6): 6-10.
- [19] 王璞珺, 衣健, 陈崇阳, 等. 火山地层学与火山架构: 以长白山火山为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(2): 319-339.
Wang Pujun, Yi Jian, Chen Chongyang, et al. Volcanostratigraphy and volcanic architecture of the changbaishan volcanos, NE China[J]. Journal of Jilin University; Earth Science Edition, 2013, 43(2): 319-339.
- [20] Sturkell E, Ágústsson K, Linde A T, et al. New insights into volcanic activity from strain and other deformation data for the Hekla 2000 eruption[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2013, 256: 78-86.
- [21] Kasama T, Yoshida H. Volcanostratigraphy of the late Mesozoic acid pyroclastic rocks of the Arima Group, southwest Japan[J]. Journal of Geosciences Osaka City University, 1976, 20: 19-42.
- [22] Tang Huafeng, Cryton P, Gao Youfeng, et al. Types and characteristics of volcanostratigraphic boundaries and their oil-gas reservoir significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(1): 163-174.
- [23] 王君, 朱如凯, 郭宏莉, 等. 火山岩风化壳储层发育模式——以三塘湖盆地马朗凹陷石炭系火山岩为例[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 217-226.
Wang Jun, Zhu Rukai, Guo Hongli, et al. Weathered crust volcanic reservoir: a case study on Malang depression, carboniferous, Santanghu Basin, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 217-226.
- [24] 王京红, 靳久强, 朱如凯, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳有效储层特征及分布规律[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 757-766.
Wang Jinghong, Jin Jiuqiang, Zhu Rukai, et al. Characters and distribution patterns of effective reservoirs in the carboniferous volcanic weathering crust in Northern Xinjiang[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 757-766.
- [25] 黄玉龙, 王璞珺, 门广田, 等. 松辽盆地营城组火山岩旋回和期次划分——以盆缘剖面和盆内钻井为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(6): 1183-1191.
Huang Yulong, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Division of volcanic cycles and stages of the Yingcheng Formation of the Songliao Basin—take the cross sections at the margin and the boring holes as examples[J]. Journal of Jilin University; Earth Science Edition, 2007, 37(6): 1183-1191.
- [26] Fisher R V, Schmincke H U. Pyroclastic rocks[M]. Berlin: Springer, 1984.
- [27] 石油地质勘探专业标准化委员会. SY/T 6293-2008 勘探试油工作规范[S]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2008.
Petroleum Geology Exploration Professional Sandardization Committee. SY/T 6293-2008 Specifications of well testing in exploration[S]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2008.
- [28] Wang Pujun, Chen Shumin. Cretaceous volcanic reservoirs and their exploration in the Songliao Basin, Northeast China[J]. AAPG Bulletin, 2015, 99(3): 499-523.
- [29] 王璞珺, 赵然磊, 蒙启安, 等. 白垩纪松辽盆地: 从火山裂谷到陆内拗陷的动力学环境[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 99-117.
Wang Pujun, Zhao Ranlei, Meng Qi'an, et al. The Cretaceous Songliao Basin: dynamic background from volcanic rift to interior sag Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 99-117.
- [30] 瞿雪姣, 王璞珺, 高有峰, 等. 松辽盆地断陷期火石岭组时代归属探讨[J]. 地学前缘, 2014, 21(2): 234-250.
Qu Xuejiao, Wang Pujun, Gao Youfeng, et al. Chronostratigraphy of Huoshiling Formation in the Songliao Basin, NE China: an overview[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(2): 234-250.

(收稿日期 2015-10-27 改回日期 2016-01-26 责任编辑 张怡)