

辽河拗陷东部凹陷沙三段火成岩成因及储集特征

胡振华

(中国石油辽河油田公司, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:为进一步拓展辽河拗陷东部凹陷沙三段火成岩勘探空间,充分利用岩心观察、薄片鉴定、岩石化学分析和地震及测井等方法,深入开展东部凹陷沙三段火成岩的成因及储集特征研究。研究表明:辽河拗陷东部凹陷沙三段火成岩体发育,沿断裂呈串珠状分布,多期叠加;岩石类型主要有熔岩、脉岩和火山碎屑岩3大类;火山喷发模式属于裂隙式喷发,岩体主要分布在断层下降盘,岩相分为爆发相、溢流相和火山沉积相,其中爆发相是火成岩勘探的有利相带;主干断裂控制火成岩体形成;储集性能主要受构造裂缝、岩性和岩相控制,属裂缝—孔隙型储层。综合评价认为,研究区火成岩体具有平面分布广、纵向多期次叠加的特点,与深部优质烃源岩侧向接触,是形成复式油气藏的有利地区,也是开展深层火成岩勘探的重点目标区。

关键词:火成岩体 串珠状分布 多期叠加 裂隙式喷发 成因机制 储集性能 辽河拗陷

中图分类号: TE112.111

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)04-0046-04

近年来,中外火成岩研究和勘探工作取得一系列进展^[1-2],如印尼查蒂巴朗安山岩、日本吉井流纹岩、克拉玛依玄武岩、济阳拗陷辉绿岩和松辽盆地深层火成岩等均获得工业油气流^[3]。火成岩是特殊类型油气储层,非均质性较强,研究难度大。随着火成岩油气藏的勘探实践,积累了较为丰富的资料和经验,为进一步研究火成岩成因奠定了基础。辽河拗陷东部凹陷沙三段火成岩勘探也获得成功^[4],但在火成岩成因和有利储层控制因素等方面还有待进一步研究,以期对火成岩深入勘探提供更确凿的理论依据。

1 区域地质概况

辽河拗陷位于华北板块东北缘,渤海湾盆地北端,是中、新生代发育起来的裂谷型盆地。新生代辽河拗陷可划分为西部凹陷、东部凹陷、大民屯凹陷、中央凸起、西部凸起和东部凸起6个构造单元,呈北东向展布^[5]。东部凹陷北抵头台子,南至辽东湾,长度约为140 km,宽度为18~30 km,面积约为3 300 km²;在前古近系基底的构造面貌基础上,经历了裂谷、走滑、拗陷等演化阶段,并伴随着主干断裂活动,火山岩分布广泛。研究区火山活动分为3个旋回^[6]:第1旋回发生在古近纪早期;第2旋回发生在古近纪中期,即沙三段沉积时期,也是火山活

动强烈期;第3旋回发生在古近纪晚期。

2 火成岩特征及成因

2.1 岩石学特征

东部凹陷沙三段火成岩类型多、次生变化大、特征各异。通过岩心和岩屑系统观察、岩石薄片鉴定和岩石化学分析资料,可划分为熔岩、脉岩和火山碎屑岩3大类。其中绝大多数为熔岩类的喷出岩,如玄武岩、粗面岩、粗安岩、安山岩等,常见到火山角砾岩和辉绿岩。

粗面岩斑晶发育,具有粗面结构。岩石呈灰绿、黑绿及黑灰色等多种颜色,斑晶为透长石和斜长石,呈柱状或板条状有规律排列。岩石标本宏观上表现为块状、坚硬、致密等特征,密度较玄武岩低,现已钻遇的亚类有粗面质角砾熔岩、角砾化粗面岩和粗面岩3种类型,以粗面岩为主。

安山岩为中性火山熔岩,岩石多为浅灰色,风化面呈灰绿色或灰紫色,半晶质结构,常见斑状结构,有时为玻基斑状结构,斑晶矿物主要为斜长石,其次为辉石、暗化的角闪石和黑云母。基质常由微晶斜长石和少量辉石、磁铁矿等构成交织结构,有时为霏细质或玻璃质。常见块状、流动构造或气孔、杏仁构造。

玄武岩属基性熔岩类,岩石颜色较深,主要为

收稿日期:2014-05-06。

作者简介:胡振华,男,工程师,硕士,从事石油地质勘探工作。联系电话:13842708398, E-mail:287292441@qq.com。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科技重大项目“辽河探区有利预探区带综合评价和目标优选”(06-01D-01-02-02-1)。

灰黑色和深绿灰色,风化面呈紫红或深褐色,多为半晶质结构,具有斑状结构,基质为间粒和间稳结构,主要为中基性斜长石、易变辉石和普通辉石等。斑晶矿物成分主要为基性斜长石、单斜辉石、斜方辉石和橄榄石等,常见块状构造、气孔、杏仁构造。

辉绿岩呈岩脉状产出,岩心为灰白与灰黑色混杂以及浅绿灰色,具典型的辉绿结构,个别为嵌晶含长结构。斜长石呈自形一半自形长条状,普遍发育双晶,普通辉石为半自形—它形。次生变化主要为绿泥石化,辉石可见绢云母化。

通过全岩分析并利用火成岩中的 SiO_2 、 K_2O 和 Na_2O 含量及关系对东部凹陷沙三段岩性进行分类命名。样品的元素化学分析资料表明, SiO_2 含量为45.5%~61.4%,平均值为52.5%, K_2O 和 Na_2O 含量为4.2%~12.8%,平均值为8.2%。由全碱与 SiO_2 确定的TAS图(图1)可见,岩石主要分布在粗面岩—粗面英安岩区、粗面安山岩、粗面玄武岩和玄武岩4个区域,呈偏碱性。其中黄沙坨地区岩性比较均一,集中分布在粗面岩—粗面英安岩内;欧利坨子和热河台地区的火成岩岩性变化较大,投点零散,在钙碱性系列中的玄武岩—粗面岩区均有分布。

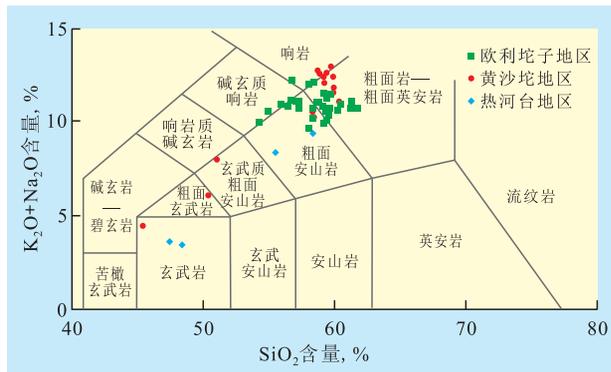


图1 东部凹陷沙三段火成岩分类

2.2 喷发模式

火成岩喷发模式对于认识其成因、预测有利储层分布都有重要的意义。盆地构造性质是喷发模式的主要控制因素,如准噶尔盆地西北缘五彩湾地区石炭系火山岩以裂隙式喷发为主^[7],有观点认为松辽盆地营城组火成岩单个火山机构主要是中心式喷发,整体上受区域大断裂控制成串分布^[8];但也有观点认为以裂隙式喷发为主,以中心式喷发为辅^[9]。辽河拗陷东部凹陷沙三段属于断陷盆地,主要发育裂隙式多旋回喷发模式。从热河台—于楼地区火成岩厚度与断层的关系(图2)可见,火成岩体具有明显的不对称性,沿断层走向厚度比较稳定,而垂直断层走向,岩体主要分布在下降盘,上升

盘岩体厚度急剧减薄或没有分布,说明火成岩分布受主干断层控制,具有裂隙式喷发的特点。通过对相干体时间切片、地震属性平面分布和地震相分析,在南部红星—沟沿地区发现火山岩体呈椭圆状分布,火山口一般位于断层交汇处的构造薄弱带,岩浆顺着通道向上喷发,形成一个锥形火山岩体。

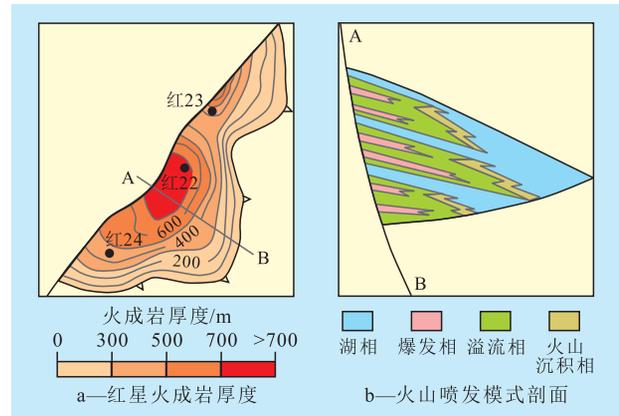


图2 东部凹陷红星火成岩厚度与喷发模式关系

根据火山作用特点,采用从期次到岩相的方式研究其喷发模式。把沙三段火成岩划分为沙三段上亚段和沙三段中亚段2期,每期又由若干次喷发组成。在每次喷发早期,岩浆积蓄能量较大,主要以爆发作用方式形成的岩相为主;喷发中期,强度减弱,喷发相对平衡,形成大面积的溢流玄武岩;临近结束时,形成火山和正常沉积作用的混合产物。相应地形成一次爆发相—溢流相—火山沉积相的喷发模式。

通过岩心观察、薄片鉴定和测井曲线特征分析,红星火成岩体呈锥状,岩浆延伸不远。爆发相集中在火山口附近,中间部位主要为溢流相,最边缘为火山沉积相,向外逐渐过渡为碎屑岩沉积相。爆发相岩性混杂,主要为火山碎屑岩、角砾岩和碱性玄武岩,测井曲线表现为低密度、低中子和高电阻率特征,密度和中子曲线呈较合状。溢流相岩性均一,主要为碱性玄武岩,块状构造,气孔发育且定向排列,具有低自然伽马、高密度、高中子的测井曲线特征。溢流相顶部因玄武岩发生蚀变,测井曲线表现为自然伽马增高、电阻率降低的特征。钻探证实火成岩发育具有多期叠置的锥状结构模式,有利相带重复,内幕存在多套储盖组合,具备形成复式火成岩油藏的有利条件。

2.3 分布特征

辽河拗陷东部凹陷沙三段沉积时期发育多个火成岩体,成群分布,面积约为385 km²。分布特征明显受主干断层的控制,平面上呈串珠状,厚度中

心各自独立。由北向南在黄沙坨—欧利坨子—热河台—于楼—红星—大平房等地区发育了多个巨厚的火山岩体(图3),岩性以粗面岩、玄武岩为主,最大厚度为700 m,向东西两侧逐渐减薄。

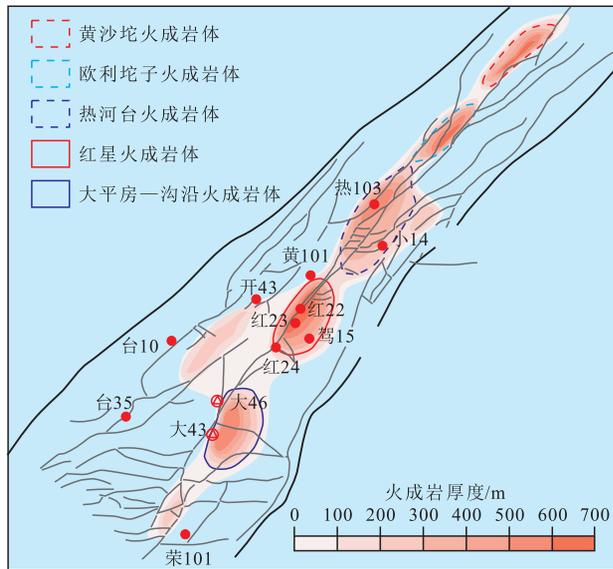


图3 东部凹陷沙三段火成岩分布

纵向上,东部凹陷中南段大平房—欧利坨子火成岩对比剖面(图4)揭示了火成岩锥状分布,由沙三段—沙一段—东营组火成岩具有多期叠加的特点,火山口具有明显的继承性。北部受界西断层控制,欧利坨子地区火成岩岩性为互层状粗面岩、玄武岩;中部热河台、于楼地区为薄层状安山岩;南部受驾掌寺断层控制,红星地区钻探为厚层块状的玄武质火山角砾岩;大平房和沟沿地区东营组与沙一段见到大套的玄武岩,下部为厚层火山岩。

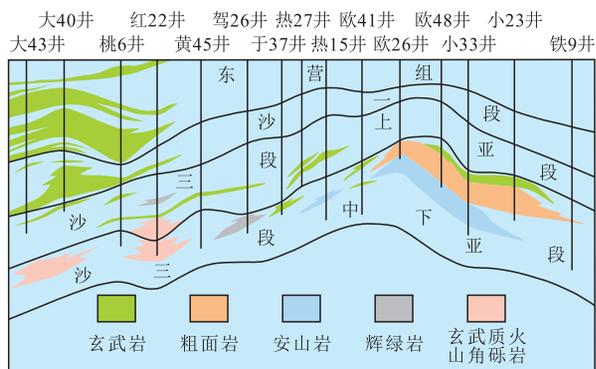


图4 东部凹陷中南段大平房—欧利坨子火成岩对比剖面

2.4 成因机制

东部凹陷沙三段沉积时期为喜马拉雅运动 I 幕作用期,太平洋板块对欧亚板块的俯冲由北北西转为北西西向,郯庐断裂带由左旋走滑转为右旋走滑。由于区域应力场发生变化,受到北西—南东向的拉张应力作用,处于张剪性应力环境,伸展作用

十分强烈。由北往南沿界西断裂、驾掌寺断裂和二界沟断裂发生一连串的火山喷发,形成广泛分布的火成岩。

火山岩有规律地沿断裂分布,以北东向主干断裂控制火山活动为主,北南和东西向断裂较少。火成岩的分布受控于深大断裂(驾掌寺断裂和界西断裂),靠近断裂厚度最大,延伸方向与断裂走向一致(图3),表明火成岩的发育是紧紧依附于断裂的。断裂的古落差、生长指数、活动速率等参数的最大处均与火成岩的最厚处相一致(图3),断裂交叉处的薄弱带是火山通道或火山口的位置所在。

稀土元素和同位素特征也是研究火成岩成因机制的标志^[10]。玄武岩的稀土总量为 $95.4 \times 10^{-6} \sim 147.1 \times 10^{-6}$, $(La/Lu)_{CN}$ 为 7.7~12.1;辉绿岩的稀土总量为 $98.3 \times 10^{-6} \sim 125 \times 10^{-6}$, $(La/Lu)_{CN}$ 为 6.9~7.3;粗面岩的稀土总量为 $138 \times 10^{-6} \sim 2288 \times 10^{-6}$, $(La/Lu)_{CN}$ 为 8.9~17.5。3类岩石的稀土配分曲线均具有轻稀土富集的特点,为明显的右倾形式,反映出相似的源区环境,表明具有同源岩浆的可能性。3类岩石稀土总量不同,体现出各自的差异性。玄武岩成分更接近源区,来源深度较深;粗面岩的稀土总量最高,并出现了明显的Eu负异常,是同源岩浆分异演化的结果,来源深度较浅。由此说明,断裂切割不同深度的岩浆源区,会形成不同岩性的火成岩体。

在原始地幔岩浆中铈的含量很低,如果有地壳物质混入,即使其量甚微,也会使 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值明显升高。据东部凹陷火成岩岩石 Sr—Nd 同位素结果分析,玄武岩的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值较高, ϵNd 为 2.3~2.8,初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值(0.704 56~0.704 68)较低;粗面岩的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.704 6~0.704 9, ϵNd 为 1.4~1.9;辉绿岩的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值较低, ϵNd 为 -2.8~-0.7,初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值较高,为 0.705 7~0.706 7。分析其原因可知,玄武岩源于深部地幔岩浆;粗面岩经过分异,深度变浅;辉绿岩则有较强的地壳物质混染。

3 储集特征

火成岩属裂缝—孔隙型储层,以构造缝和溶蚀孔隙为主。从东部凹陷红22井和欧48井的岩心中可以看到多组高角度裂缝含油,证实了构造裂缝对改善火成岩的储集性有重要意义。

东部凹陷形态狭长、构造强烈、应力集中,火成岩易形成裂缝^[11]。构造作用是改善火成岩物性的主控因素:一方面,构造活动可诱发产生大量裂缝,裂缝相互连通使渗透率提高几个数量级;另一方面,

构造活动促进了地下流体活动,使长石杏仁体及充填的碳酸盐等易溶物质被溶解,形成各种溶蚀孔隙,是东部凹陷火成岩重要的次生储集空间类型。

有利岩性和岩相条件仍然是十分重要的因素^[12-13],东部凹陷火成岩含油储层基本以粗面岩为主。岩石三轴压缩实验结果表明,在同样作用力下,裂缝的发育程度及裂缝开度随着浅色矿物含量的增加而增加。粗面岩矿物成分主要以正长石为主,属于浅色矿物,易形成裂缝。

火成岩勘探证实岩相相对火成岩储层发育程

度与油气成藏具有一定控制作用(表1)。从表1中可以看出不同火成岩岩相带、储层发育程度及产能之间的关系,红22和红23等井处于火山爆发相带,其储层发育,油气富集,基质孔隙度分别为8.9%和10.3%。截至2011年底,红22井累积产油量为1 061 t,累积产气量为 $1\ 216\times 10^4\ \text{m}^3$;红23井累积产油量为678.9 t,累积产气量为 $93.6\times 10^4\ \text{m}^3$ 。而处于火山沉积相带内的红24和大46井,储层不发育,物性较差,基质孔隙度分别为4.4%和3.2%,仅见油气显示。

表1 辽河拗陷东部凹陷南段沙三段火成岩储集性能

井号	深度/m	岩性	相带	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\ \mu\text{m}^2$	产能
红22	3 760~3 808	火山角砾岩	爆发相	8.9	1.2	油气层
红23	3 979~4 000.5	火山角砾岩	爆发相	10.3	1.35	油气层
欧48	2 782.3~2 807.9	粗面岩	爆发相	6.2	1.3	油气层
大46	3 245.8~3 295	安山岩	溢流相	3.2	0.78	致密层
红24	3 761.8~3 780.9	凝灰质砂岩	火山沉积相	4.4	0.85	致密层

东部凹陷沙三段火成岩处在烃源岩中,有利相带的储层与烃源岩直接接触,源储相通,配置有利。在烃源岩生烃膨胀力的作用下,易产生异常高压,从而推动油气沿着断裂或裂缝突破毛细管力向深层火成岩充注。在断裂活动过程中,构造应力改善了火成岩物性,形成裂缝储集空间,并带动油气从高势区的烃源岩沿着断裂大量运移。火成岩储集物性不受埋深和压实作用控制,对天然气而言,成藏物性下限降低,在深层亦可以形成气藏;受火成岩内幕多套储盖组合的影响,可形成复式油藏。

4 结论

辽河拗陷东部凹陷沙三段发育多个呈串珠状分布的火成岩体,空间上表现为孤立的锥状。火成岩分布受控于断层,具有裂隙式喷发、多期叠加的特点。火成岩的成因受控于主干断裂,断裂强度和断距控制火成岩体的规模、岩性变化;构造薄弱带是火山口的位置所在,断裂切割不同深度的岩浆源区,会形成不同岩性的火成岩体。火成岩属裂缝—孔隙型储层,构造裂缝和溶蚀孔隙是其主要储集空间。构造作用强度、岩性、岩相条件是控制储层优劣的主要因素;构造活动强烈带裂缝发育程度优于弱活动带;粗面岩优于安山岩、玄武岩;爆发相优于溢流相、火山沉积相。辽河拗陷东部凹陷火成岩体发育,与深部优质烃源岩侧向接触,有利于形成复式油气藏,是开展深层火成岩勘探的重点目标区。

参考文献:

- [1] 张子枢,吴邦辉.国内外火山岩油气藏研究现状及勘探技术调研[J].天然气勘探与开发,1994,16(1):1-26.
- [2] 郭占谦.从全球油气田分布看我国东南沿海火山岩覆盖区的含油气前景[J].石油实验地质,2001,23(2):122-131.
- [3] 蒙启安,门广田,张正和.松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用[J].大庆石油地质与开发,2001,20(3):21-24.
- [4] 张占文,陈振岩,蔡国刚,等.辽河拗陷火成岩油气藏勘探[J].中国石油勘探,2005,10(4):16-22.
- [5] 辽河油田石油地质志编辑委员会.中国石油地质志:卷3·辽河油田[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [6] 陈义贤,陈文奇.辽西及邻区中生代火山岩—年代学、地球化学和构造背景[M].北京:地震出版社,1997.
- [7] 杨辉,文百红,张研,等.准噶尔盆地火山油气藏分布规律及区带目标优选——以陆东—五彩湾地区为例[J].石油勘探与开发,2009,36(4):419-427.
- [8] 黄玉龙,王璞珺,冯志强,等.松辽盆地改造残留的古火山机构与现代火山机构的类比分析[J].吉林大学学报:自然科学版,2007,37(1):65-72.
- [9] 彭宁,崔秀梅,崔周旗,等.冀中凹陷古近系—新近系火成岩岩相特征与油气成藏模式[J].油气地质与采收率,2010,17(2):17-20.
- [10] 邱家骧.岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1985.
- [11] 刘立,谢文彦,焦立娟,等.辽河断陷盆地东部凹陷新生代火山岩裂缝成因探讨[J].特种油气藏,2003,10(1):18-21.
- [12] 周动力,汪勇,张秀波.火成岩有利储层与油气成藏分析[J].油气地质与采收率,2010,17(5):6-10.
- [13] 王大华,肖永军,徐佑德,等.松南长岭断陷查干花地区火山岩储层特征及影响因素[J].油气地质与采收率,2010,17(6):39-42.