

黄骅拗陷北堡地区深层火成岩储层评价

马乾¹, 鄂俊杰², 李文华², 成锁银²

(1. 中国地质大学, 湖北武汉 430074; 2. 中国石油冀东油田, 河北唐山 063004)

摘要: 黄骅拗陷北堡地区沙一段、沙三段深层火成岩是该区重要的储集岩, 该储集岩以玄武岩和火山碎屑岩为主, 玄武岩以裂缝为主要储集空间, 火山碎屑岩以粒间次生孔隙和微裂缝为主要储集空间; 沙一段薄层基性玄武岩微裂缝发育, 而中性凝灰岩粒间孔隙和微裂缝组合发育, 沙三段厚层玄武岩顶底裂缝发育, 而中性凝灰岩微裂缝则非常发育; 低-中孔隙度和渗透率变化大为储集层的主要特征。岩性、火山岩相带、构造应力、充填期与聚油期相近是火成岩储集空间发育的主要控制因素。沙一段火山碎屑岩类发育, 但分布范围小, 沙三段以玄武岩为主, 厚度大, 分布广。火成岩顶面构造高部位是有利储层分布区, 为进一步勘探的目标。

关键词: 北堡; 深层; 火成岩; 储集性

第一作者简介: 马乾, 男, 32岁, 工程师, 石油地质

中图分类号: P618.130.2⁺1 **文献标识码:** A

北堡地区区域构造上位于黄骅拗陷北部南堡凹陷西部, 深层沙河街组一段、沙河街组三段(简称沙一段、沙三段)地层中火成岩发育广泛, 主要为火山碎屑岩和玄武岩, 具有分布面积广、厚度大、类型复杂的特点, 是北堡地区深层的重要勘探层系。北12X1井沙一段的高产工业油气层即是火山碎屑岩。

1 特征

1.1 类型

1.1.1 玄武岩

玄武岩属于火成岩溢流的产物, 大多为隐晶微晶结构, 部分具斑状结构, 主要成分为斜长石和辉石, 含量约各占一半。

部分玄武岩具气孔或杏仁状构造, 气孔多数为近圆状, 多数气孔已被后期矿物充填形成杏仁体, 杏仁体成分有绿泥石和方解石, 常见双层结构, 双层结构一般是外壁为鳞片状或放射状绿泥石微晶, 中部为碳酸盐矿物。

玄武岩常见次生变化, 以泥化、绢云母化、绿泥石和碳酸盐化为主, 碳酸盐化的成分有方解石和白云石, 常为微晶和细晶状, 部分为粗大的晶体。

1.1.2 火山碎屑岩

火山碎屑岩属于火山爆发形成的空落堆积, 主

要包括两类岩性: 基性火山碎屑岩和中性火山碎屑岩。基性火山碎屑岩成分主要为玄武质岩屑, 包括玄武质角砾岩和玄武质凝灰岩^[1], 测井曲线特征表现为低自然伽马和低电阻率; 中性凝灰岩主要成分为长英质碎屑和玻屑, 测井曲线以中高自然伽马为特征, 与正常的砂岩十分类似。

1.2 储集空间

火成岩储集空间以裂缝为主, 孔隙次之, 玄武岩以裂缝为主要储集空间, 火山碎屑岩以粒间孔隙和微裂缝为主要储集空间。

1.2.1 裂缝

根据火成岩岩芯描述和薄片鉴定, 主要有以下3组裂缝。

(1) 早期网状裂缝。网状裂缝主要由火成岩隐爆作用产生, 在本区很发育, 一般宽为0.02~0.03 mm, 长度不均一, 发育也很不规则, 绿泥石充填严重, 属于无效裂缝。

(2) 中期构造裂缝。以高角度的裂缝为主, 裂缝往往与岩芯的长轴方向平行或略斜交伸入其中, 缝宽度从1~2 mm不等, 长度20~30 cm常见, 一些裂缝已被方解石、石英等充填; 少数为张开缝, 充填方解石自型晶体, 属于有效裂缝。

(3) 晚期低角度斜向裂缝。晚期斜向裂缝充填程度低, 规模小, 属于有效储集空间。沙一段和沙三段玄武岩取芯段可见垂向、斜向两组裂缝, 且均较发育。

1.2.2 孔隙

(1) 气孔。主要发育在沙一段玄武岩和玄武岩角砾中, 绝大部分为圆形、椭圆形, 说明当时溢流速度缓慢。在镜下可见直径为 0.05~ 1 mm 左右的气孔, 且绝大多数已被充填, 充填物为方解石, 也有未被充填的, 但相互间连通性比较差。

(2) 杏仁体内孔。气孔内充填矿物被溶蚀后而形成的, 大多数气孔未被碳酸盐类完全充填, 杏仁体又被后期的深部溶蚀形成的空间, 本区该类型孔隙较为发育。

(3) 溶蚀粒间孔。是由于深部溶蚀作用形成的粒间孔隙, 主要存在于中性晶屑凝灰岩中, 是火山碎屑岩最重要的储集类型。

1.3 储集空间组合

不同层位及不同岩性有不同的储集空间组合, 深层火成岩的储集空间具有多样性。

1.3.1 沙一段薄层基性玄武岩微裂缝组合

以北 12X1 井 4 401~ 4 403.2 m 油层段(图 1)为典型代表。玄武岩以低自然伽马、高密度值为特征, 密度值为 2.64 g/cm³。扫描电镜下见次生张开微裂缝, 宽度 5 μm 左右, 配位数 4。电测解释孔隙度为 19.5%, 属于裂缝型储层。荧光薄片鉴定可见气孔中方解石呈环带状发光的特点, 其次是粘土矿物被沥青浸染发光的现象, 表明玄武岩储层经历油气聚集的过程, 油气聚集与方解石的充填是同期的。

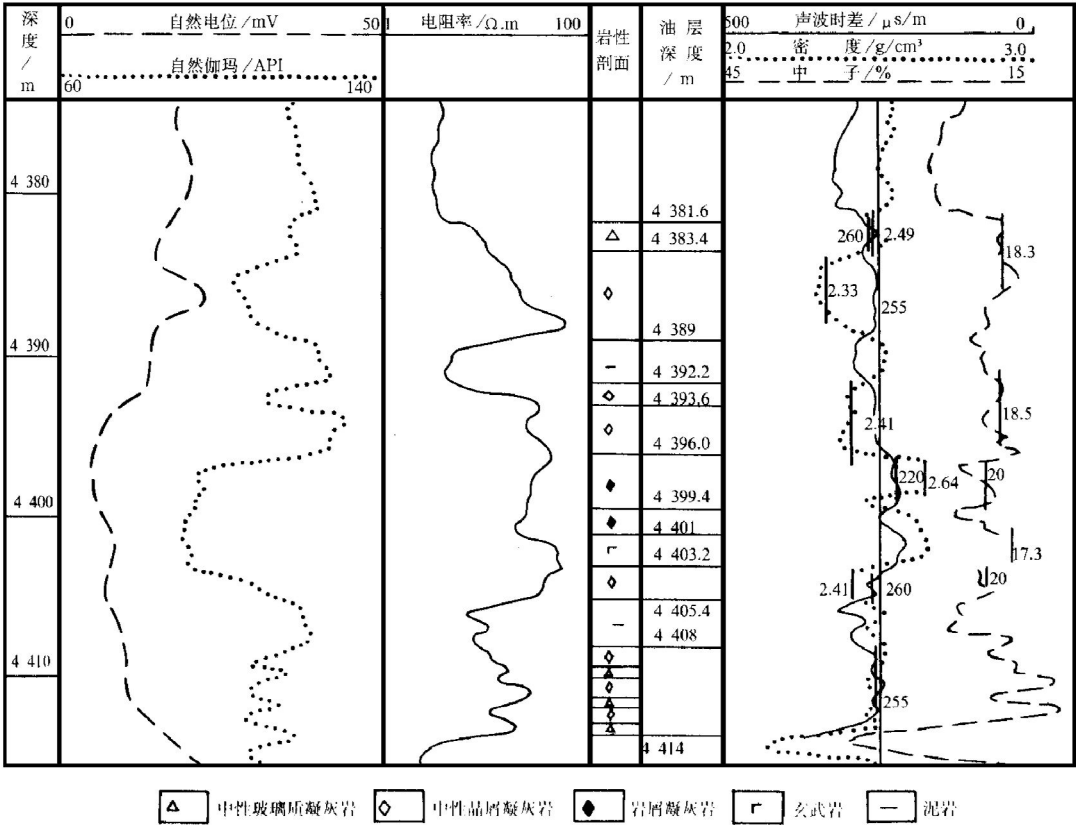


图 1 北 12X1 井沙河街组一段油层特征图

Fig. 1 Characteristics of oil horizon in Sha-1 member, Bei12X1 Well

1.3.2 沙一段中性凝灰岩粒间孔隙和微裂隙组合

以长石、石英晶屑为主的中性凝灰岩荧光薄片鉴定证实粒度相对较粗, 粒间孔隙和以玻璃质为主的中性凝灰岩微裂缝发育。在北 12X1 井油层段中, 中性晶屑凝灰岩单偏光镜和荧光显微镜下可见粒间比较饱满的含油现象, 为黄色油斑浸染, 其密度响应与砂岩类似, 一般 2.4 g/cm³ 左右, 自然伽马响应变化比较大, 高者可达 106 API, 电测解释孔隙度为 20%。玻璃质凝灰岩油层微裂缝发育, 荧光显

微镜下可见油质沥青晕状浸染, 电测解释孔隙度 19.5%, 目前勘探成果证实上述凝灰岩是北堡地区深层储集条件最好的储层。

1.3.3 沙三段厚层玄武岩顶底裂缝组合

钻井取芯资料表明厚层玄武岩顶底裂缝发育, 钻井取芯其裂缝线密度达每米 6 条。裂缝的成因与热液蚀变的差异性有关。熔岩流动过程中, 由于顶底、中部冷却温度以及压力的差异性, 造成热液蚀变的差异性。顶底以碳酸岩化为主, 绿泥石化、

绢云母化为辅。自然伽马能谱测井表明,厚层玄武岩中K元素具有迁移现象,顶底呈较高值,表明热液蚀变过程中偏碱性环境,后期存在碳酸盐化的现象,其补偿中子值较低,深浅侧向电阻率呈高值。正是这些因素,造成厚层玄武岩顶底的岩石脆性大,有利于构造裂缝的产生。中部以绿泥石化为主,伴有绢云母化、蛇纹石化,泥质含量较高。由于泥质含量的增加,导致结合水含量增加,补偿中子呈高值,深浅侧向电阻率降低。也正是由于中部泥质含量较高,使岩石塑性增加,造成后期构造裂缝不发育。

北5井于沙三段厚层玄武岩底部4 917.6~4.919.4 m井段,井径较好,密度值比相应层位剧烈降低,深浅侧向低值,微球电阻率低值异常,属于“高阻带”中的“低值段”,电测解释为可能的裂缝段。

1.3.4 沙三段中性凝灰岩微裂缝组合

沙三段厚层玄武岩的上部发育中性凝灰岩,微裂缝比较发育,北5井4 853.0~4 861.8 m凝灰岩段,岩屑录井见石英自形晶簇,钻井过程中有井漏的现象,漏失泥浆41.2 m³;荧光薄片鉴定可见含油张开缝;其声波时差降低呈齿状变化,密度值比相邻高阻砂岩层剧烈降低,微球与深浅侧向电阻率反向异常,自然电位负异常,表明本段微裂缝非常发育。

1.4 储集性能

决定玄武岩储集条件的关键在于裂缝的发育程度。玄武岩的基质孔隙度低,裂缝不发育的玄武岩岩芯实测孔隙度3.47%~5.94%,渗透率 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;微裂缝发育的玄武岩岩芯孔隙度4.23%~7.68%,渗透率 $0.05 \times 10^{-3} \sim 1.66 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;高角度裂缝发育的全直径岩芯实测孔隙度2.74%,渗透率 $138 \times 10^{-3} \sim 2\ 824 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

根据岩芯物性分析结果,决定孔隙度大小的关键在于晚期微裂缝的发育程度;决定渗透率大小的关键在于中期高角度裂缝的发育程度。

决定凝灰岩储集性能的关键因素在于后期溶蚀程度和裂缝发育程度。北12X1井沙一段油层段凝灰岩后期溶蚀程度和裂缝发育程度高,属于孔隙-裂缝型储层,其孔隙度19.5%~20.4%,渗透率 $32 \times 10^{-3} \sim 55.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,电子压力计探边测试有效渗透率 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2 控制因素

2.1 岩性

中性火山碎屑岩较基性火山碎屑岩裂缝发育程度高,粒间溶蚀孔隙发育,主要表现在薄片鉴定和井壁取芯资料中中性凝灰岩普遍存在微裂缝,而基性火山碎屑岩薄片鉴定微裂缝不发育;一般认为中性火山碎屑岩的杨氏弹性模量高于基性火山碎屑岩,脆性大。

颗粒较大的火山碎屑岩容易形成溶蚀孔,表现在颗粒相对较粗的中性凝灰岩荧光薄片分析存在溶蚀孔,玄武岩质角砾岩存在粒间溶蚀孔。

2.2 粒度

根据火成岩储层分析结果,火山碎屑岩物性最好,其成分越粗,次生孔隙越发育;近火山口相带,各类火山碎屑岩粒度较粗,容易形成后期溶蚀孔隙,因此物性相对较好。

2.3 构造应力

断层200 m范围内及背斜的轴部是裂缝比较发育的位置,如邻近断层的北5井、北深28井和北12X1井,各项资料分析表明火成岩裂缝均比较发育。根据裂缝识别成果,火成岩主要发育NW和NE向两组裂缝,与深层NW和NE向两组断层有关(图2、3)。

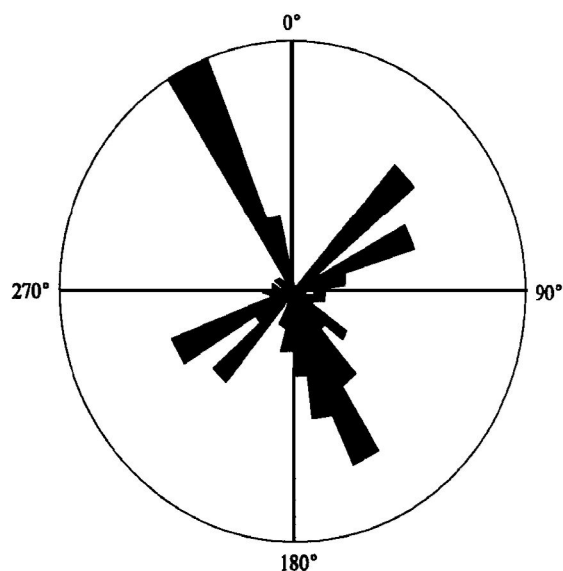


图2 北5井火成岩裂缝发育方位图

Fig.2 Orientation diagram of igneous rock fractures in Bei-5 Well

2.4 充填期

根据石油勘探开发研究院万庄分院的研究,北深28井充填于玄武岩裂缝中的方解石中含有大量的水溶烃包裹体,表明充填物方解石的形成和油气

聚集期近于同期,如果此时油气开始占据裂缝,则方解石晶体生长会受到抑制而停止生长,成为聚油裂缝。

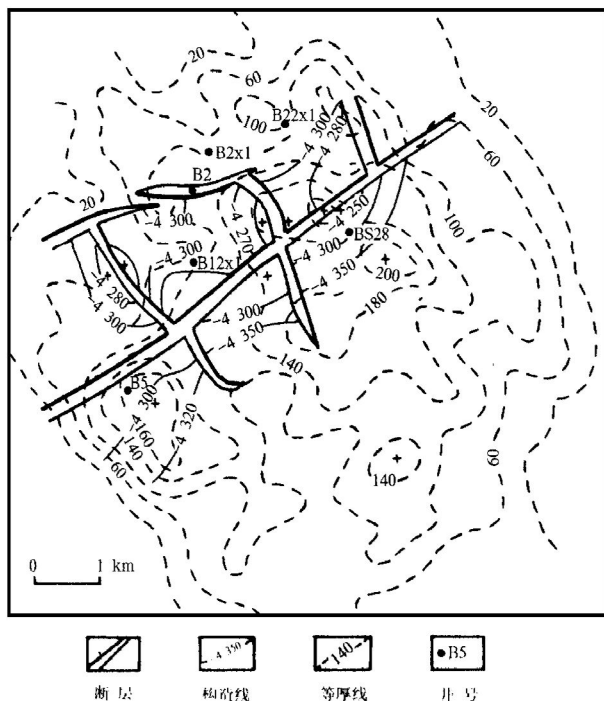


图3 北堡深层沙河街组三段火成岩厚度与断层分布关系

Fig. 3 Relationship between igneous rock thickness in deep-seated Sha-3 member and fault distribution in Beipu region

根据上述特征分析,位于构造高部位的裂缝由于优先捕获油气,充填作用弱,裂缝的连通程度高,成为有效聚油裂缝;而构造低部位的裂缝充填程度非常高,则为无效裂缝。

3 预测

根据火成岩的岩石学特征,北堡地区深层火成岩岩相可划分为溢流相、爆发相、火山碎屑沉积相和次火山岩相^[2]。火山溢流相和火山爆发相是北堡地区两类主要的岩相类型。沙一段主要以发育火山爆发相的火山碎屑岩为特征;沙三段主要以发育厚层火山溢流相的玄武岩为特征。

北堡地区沙一段、沙三段火成岩垂向分布有3种类型(图4):(1)沙一段上部火成岩组合。以厚层火山爆发相基性玄武质角砾岩和薄层玄武岩为特征,火山碎屑岩厚度可达96 m,厚度以及岩性变化大。(2)沙一段下部火成岩组合。以发育火山爆发相中凝灰岩和火山溢流相玄武岩为特征。(3)沙三段火成岩组合。发育3期火成岩,以厚层火山溢流相玄武岩为特征,每一期玄武岩顶部发育厚度不等的火山碎屑岩。

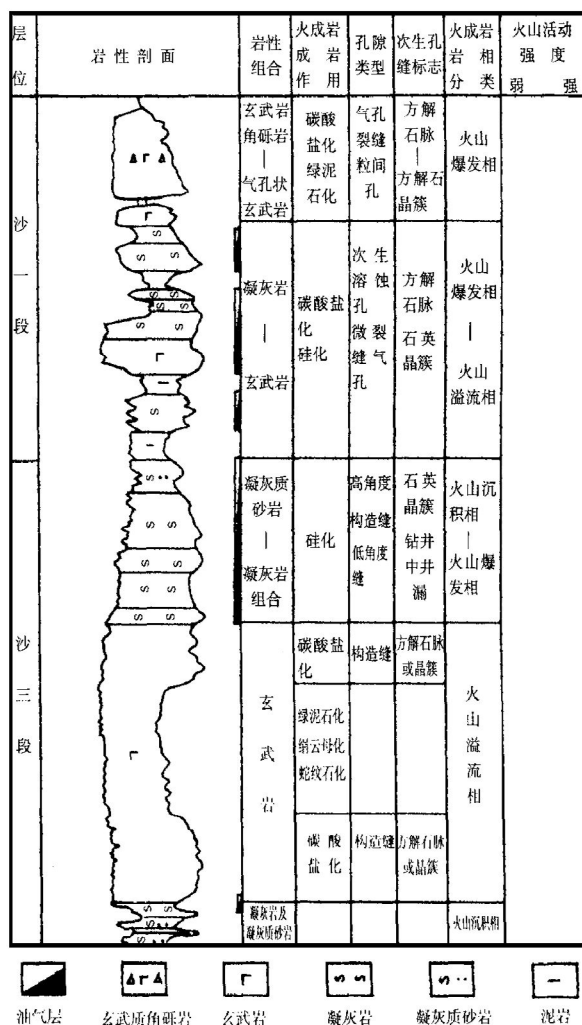


图4 北堡深层火山岩相组合特征示意图

Fig. 4 Sketch map showing characteristics of igneous rock facies in Beipu region

总体上,沙一段火成岩火山活动强度大,但是规模小,主要表现在火山爆发相的火山碎屑岩类发育,但是分布范围小。沙三段火山活动强度小,但规模大,以溢流相玄武岩为主,玄武岩气孔不发育,但是厚度大,分布广。

北堡深层火成岩顶面形态为一断层复杂化的背斜形态,以北堡深层为目的层的5口深井均位于构造低部位。

深层沙三段火成岩累加厚度图上明显存在2个厚度中心,一个位于北深28井附近,最大厚度200 m,分布范围大;一个位于北5井附近,最大厚度170 m,整体表现为2个火山锥形态(图3)。

从沙三段火成岩厚度分布与断层分布的关系分析,火山厚度中心的位置与NE向和NW向断层交汇的部位吻合程度高,其中北深28井火山厚度中心与两组断层交汇处基本一致,说明深层火成岩

(下转第344页)

PETROLEUM GEOLOGICAL PROPERTY AND HYDROCARBON DISTRIBUTION IN LAOYEMIAO REGION

Wang Xiaowen¹ Dong Yuexia²

(1. Jidong Oilfield Company of China Petroleum, Tangshan, Hebei; 2. China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract: Laoyemiao structural belt is a rolling anticline structural belt. Three grades of faults that developed there are: 1. EW-NE strike faults that controlled sag; 2. NNE-NE strike faults that controlled oil; 3. NW-NWW strike faults that controlled traps. The deep lake facies mudstone of 4~5 submembers of Sha-3 member and shallow to semi-deep lake facies mudstone from Sha-1 member to the third member of the Dongying Formation are two main sets of source rocks which have all reached maturation stage. Their organic matter is basically mixed and humic types with higher organic abundance. The reservoir bodies are braided river channel sand bodies, subaqueous gravity flow deposits, subaqueous distributary channel sandbodies, river mouth sand bars and turbidity sand bodies in deep water. The reservoirs are characterized by high porosity and high permeability. The types of hydrocarbon pools are mainly controlled by the extension of rifted basin, contemporaneous faults and sedimentary facies. Rifting cycles controlled the distribution of petroleum system, the contemporaneous faults increased hydrocarbon-bearing area, and the collocation of reservoir facies determined oil and gas enrichment.

Key Words: petroleum geological property; controlling factor; rolling anticline; Laoyemiao

(上接第 340 页)

的分布受到断层的控制。NE 向和 NW 向两组断层交汇处应当是火山活动中心的位置。

邻近继承性活动的断层, 火成岩裂缝和次生溶蚀孔隙发育。邻近火成岩活动中心, 各类粗碎屑火山碎屑岩发育, 玄武岩的隐爆作用强烈。由于受到后期构造活动和溶蚀作用, 因而容易形成次生孔隙和裂缝。北深 28 区块断层交汇部位是火山活动中心的位置, 构造作用比较强, 同时也是构造的高部

位, 火成岩裂缝可能更为发育。所以该部位是火成岩储层有利分布区, 是进一步开展火成岩钻探的有利部位。

参 考 文 献

- 1 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 223~238
- 2 邱家骧, 陶奎元, 赵俊磊, 等. 火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 10~22

RESERVOIR EVALUATION OF DEEP-SEATED IGNEOUS ROCKS IN BEIPU REGION, HUANGHUA DEPRESSION

Ma Qian¹ E Junjie² Li Wenhua² Cheng Suoyin²

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei; 2. Jidong Oilfield Company of China Petroleum, Tangshan, Hebei)

Abstract: The reservoir rocks of Beipu region in Huanghua Depression are deep-seated igneous rocks of Sha-1 and Sha-3 members. The reservoir rocks are mainly pyroclastic rocks and basalts. Fractures are primary preserving spaces of the basalts; intergranular secondary pores and micro-fractures are the basic preserving spaces of pyroclastic rocks. The reservoirs are characterized by considerable variation in porosity and permeability. The development of preserving spaces of igneous rocks are controlled by lithologic feature, rock facies zone, tectonic stress and the coincidence of filling stage with oil accumulation stage. The pyroclastic rock of Sha-1 member developed well with small distribution range; the basalt of Sha-3 member are distributed extensively with considerable thickness. The highs on the top structures are targets for further exploration.

Key Words: Beipu; deep-seated bed; igneous rock; reservoir property