

# 惠民凹陷岩浆作用对碎屑岩储层的影响

张小莉<sup>1)</sup>, 冯乔<sup>2)</sup>, 查明<sup>3)</sup>, 巨银娟<sup>1)</sup>, 杨懿<sup>1)</sup>

1) 西北大学大陆动力学国家重点实验室/地质学系, 西安, 710069; 2) 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 山东青岛, 266510; 3) 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东东营, 257061

**内容提要:**岩浆活动对碎屑岩储层的影响主要包括岩浆上拱作用、热烘烤作用和热液作用。岩浆上拱作用往往使上覆岩层中产生裂缝。而热烘烤作用使周围碎屑岩产生不同程度的变质, 如使泥岩变质为板岩。轻微变质的板岩一般为有效封盖层, 变质程度相对高的板岩, 易发育裂缝而成为有效储集层。另外, 岩浆活动造成局部地温梯度高异常, 促使周围烃源岩热演化生成的烃类、有机酸、二氧化碳, 与岩浆携带的无机二氧化碳一起注入周围碎屑岩储层中, 使储层原始孔隙得以保留并产生次生孔隙。在基性岩浆侵入或喷溢活动中, 岩浆中的  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ , 有利于周围碎屑岩中的蒙脱石向绿泥石转化。而在酸性介质条件下, 碎屑中长石颗粒蚀变提供的  $\text{K}^+$ , 有利于蒙脱石向伊利石转化。结果出现火成岩体周围储层中粘土矿物组合富含绿泥石而贫高岭石以及伊利石相对百分含量较高的特征。

**关键词:** 岩浆侵入; 储层; 粘土矿物; 热烘烤变质作用; 次生孔隙; 板岩

关于火成岩封盖层、火成岩储集层评价以及岩浆作用对烃源岩演化的影响, 国内外学者开展了大量研究工作并取得了一定成果。如众多学者通过对国内外含油气盆地的分析, 从不同角度探讨了岩浆作用与油气成藏地质条件之间的关系以及火成岩油气藏的成藏机理(冯乔等, 1997; 李宏伟等, 2000; 肖坤叶等, 2004; 金强等, 1998; 张坤等, 2002; Luo et al., 2005; 初宝杰等, 2004; 张玉彦, 1987), 并认为: ①岩浆作用的高温无机气液具有加温、加氢、催化作用, 可加速其周围烃源岩的热演化; ②岩浆作用有助于油气运移; ③不同的火成岩相及其围岩蚀变带可成为良好的特殊储层及盖层; ④岩浆活动对前期已经形成的油气藏往往起到破坏作用, 或造成油气藏的调整。卞德志(1988)、黄隆基等(1997)针对不同油区详细分析了火成岩的特征及其测井响应, 形成了一套有效识别评价火成岩的测井分析解释技术。曲志浩(1994)、石彦民等(2000)在分析火成岩油藏特征基础上, 形成了有关的油藏描述技术。张子枢(1994)、伊培荣(1998)、牛嘉玉等(2003)则系统分析了国内外火成岩油气藏特征及其勘探方法, 并

指出火成岩油藏勘探蕴藏着巨大的油气潜力, 同时指出由于其复杂性, 油气勘探难度大、风险高。

中国渤海湾盆地冀中坳陷廊固凹陷曹家务构造以及大港探区的唐家河地区等, 曾开展过有关板岩储层的研究(吴小洲, 1989; 李维华等, 2001; 万从礼等, 2003; 杨池银, 2003)。多数学者认为, 岩浆作用对周围碎屑岩储层的影响主要表现为不利因素, 造成碳酸盐脉、绿泥石脉、黄铁矿脉、沸石、萤石、绿帘石、白云母、片钠铝石等矿物的生成沉淀, 以及氧化硅在孔隙中直接沉淀, 充填孔隙和裂缝, 降低储集性能(王大锐等, 2001; 刘立等, 2003)。而王海云等(1998)则认为, 火山喷发或岩浆侵入过程中伴随有热液活动, 虽然造成矿物沉淀降低储层孔隙度、渗透率, 但热液中释放出的  $\text{CO}_2$ , 在地温较高地段, 可成为产生次生孔隙的因素。上述研究中考虑到了热液作用对其周围碎屑岩储层储集性能影响的双重作用, 但尚未把岩浆作用对周围碎屑岩的影响放入到统一地质框架下进行分析, 对于岩浆作用中的动力作用, 以及不同类型的岩浆所携带的离子与其周围碎屑岩之间发生的作用尚未深入探讨。因此, 系统分析岩浆作

注: 本文为长江学者和创新团队发展计划(编号 IRT0559)、国家自然科学基金(编号 40474045)和中石化项目(编号 04370500200240)资助的成果。

收稿日期: 2007-07-09; 改回日期: 2007-09-20; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 张小莉, 女, 1968年生。博士, 副教授。主要从事油气藏地质与测井资料处理与解释的科研与教学工作。通讯地址: 710069, 西安西北大学地质学系; 电话: 029-88307676; Email: xiaoli\_nwu@163.com。

用对周围碎屑岩的影响,将有利于油气成藏规律的整体把握。

## 1 区域地质特征

惠民凹陷是济阳坳陷西南部的一个次级构造单元(图1),其中断裂发育,多种成因砂体纵横分布,其间存在多期沉积间断,出现频繁岩浆作用(初宝杰,2004;刘泽容等,1988;李春光,1997;操应长等,1999;操应长等,2000)。上述诸多地质因素互相配置,形成了临邑洼陷不同岩石类型的油气藏,如砂岩、碳酸盐岩、火成岩和变质岩油气藏。其中砂岩油气藏储层以极细粒岩屑长石砂岩和细粒岩屑长石砂岩为主。

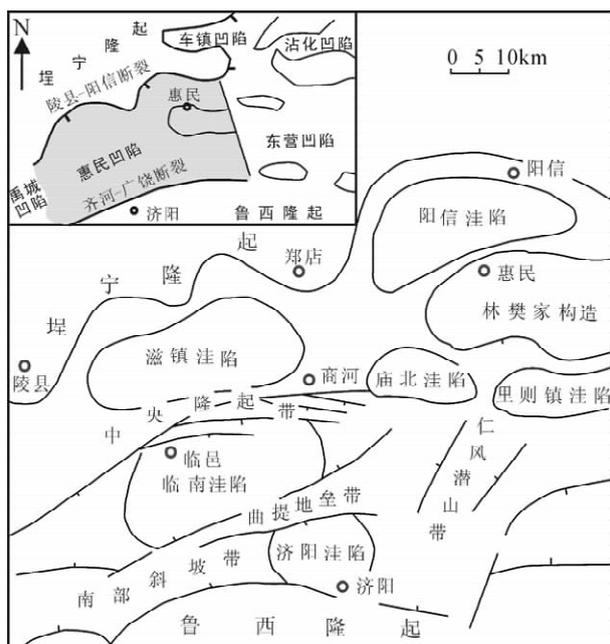


图1 惠民凹陷构造单元划分

Fig. 1 Map of tectonic subdivision in Huimin depression

## 2 惠民凹陷岩浆作用及岩浆岩分布

据盆地演化、断裂发育、同位素测年等资料综合分析,惠民凹陷共发育6期岩浆作用:沙四期、沙三早—中期、沙三晚期、沙二晚期、沙一—东营期、馆陶早期—明化镇期,形成了6套火成岩,各个时期岩浆作用和岩浆岩特征变化较大(表1),岩浆活动强度总体具有南强北弱、东多西少的特点,形成的火成岩相既有辉绿岩,又有溢流玄武岩,还有火山碎屑锥(图2)。其中,在断层转折端的临邑大芦家及撒开端临商—玉皇庙地区,浅成辉绿岩体多沿断层呈板状、片状分布,走向近东西向;另外,临商断层附近的临商火山群、夏口断层附近的玉皇庙—魏家集火山群,走向多呈北东向。沿中央隆起带,6套火成岩累计厚度可达千米,如夏13井区(图3)。惠民凹陷的侵入岩多分布于沙二段、沙三段、沙四上亚段,沙三段、沙四段又是有效烃源岩分布层系。

## 3 岩浆作用对碎屑岩的影响

### 3.1 热烘烤作用与热液作用

#### 3.1.1 岩浆侵入作用及喷溢作用

岩浆活动携带深部一些物质和大量热量,使周围碎屑岩受热被烘烤,其矿物组合产生一系列变化而出现不同程度的变质。热烘烤后的变质岩石微孔隙减小,一般测井响应上表现为高密度、低中子、高电阻率的特征;经强烈变质后的沉积岩可能会产生次生孔隙,测井响应特征表现为低密度、高中子、低电阻率特征等,强烈变质作用过程中有时还伴生一些导电矿物,如黄铁矿,使电阻率值非常小。岩浆岩围岩中的板岩多由泥岩变质而来。泥板岩由于热接触变质过程中脱挥发组分和碳酸盐岩化,一般变得致密坚硬,性脆,易产生裂缝。

表1 惠民凹陷岩浆作用特征

Table 1 Magmatism in Huimin depression

地质时期	构造运动	断裂走向	岩浆活动期	岩浆作用特征	分布区	岩相
中新世、上新世	喜山运动三幕		馆陶期—明化镇期	小规模基性、超基性岩浆喷发为主	夏口	橄榄玄武岩
渐新世中、晚期	东营运动	北东向、北东东向	沙一期—东营期	基性岩浆沿基底断裂上涌后,截弯取直,沿活动二、三级断层上窜,或喷出地表形成火山岩,或侵入地层形成浅成岩。	玉皇庙 商河临盘	火山锥 玄武岩 辉绿岩
			沙二晚期			
渐新世早期	济阳运动		沙三晚期	北东、北东东向断裂与北西向断裂交汇处,为岩浆活动主要通道,沿断裂广泛发育大量浅成辉绿岩、溢流玄武岩。	江家店 商河	辉绿岩 玄武岩
			沙三早—中期			
古新世—始新世	燕山运动五幕	北西向	沙四早期—孔店期	基性岩浆沿北西向断裂侵入或喷发,形成溢流玄武岩建造。	商河曲堤	拉斑玄武岩

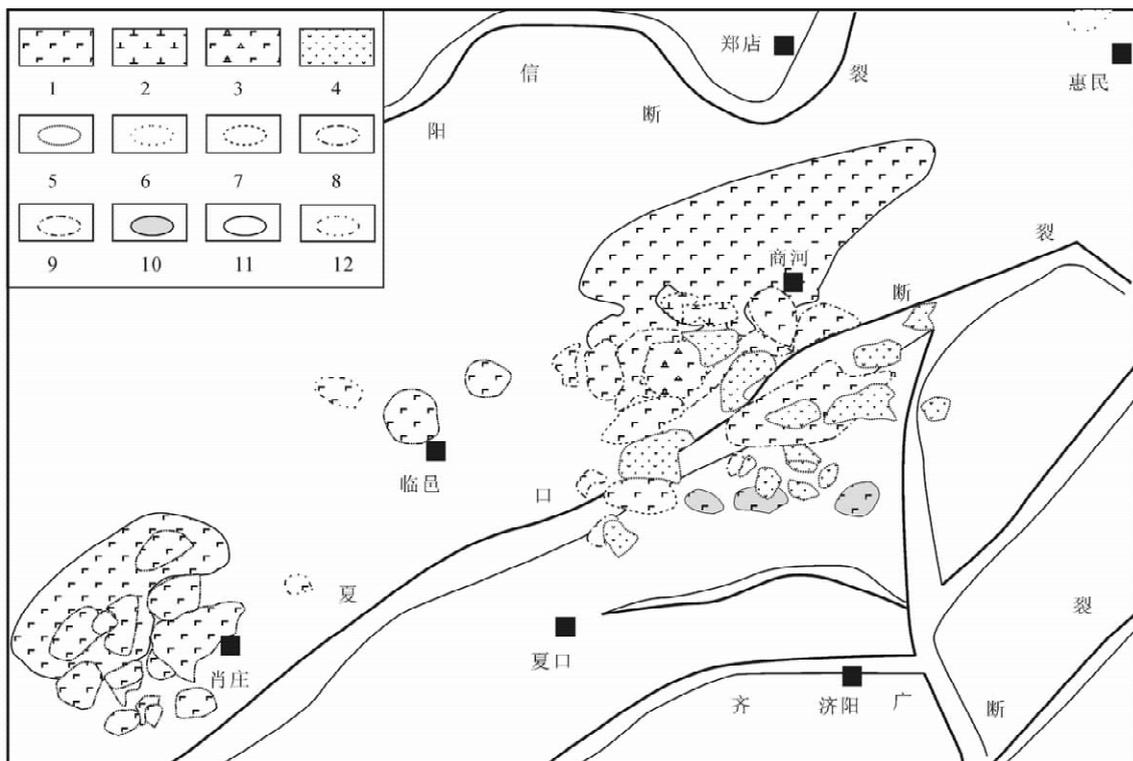


图 2 惠民凹陷火成岩分布图

Fig. 2 Distribution of igneous in Huimin depression

1—玄武岩;2—辉绿岩;3—玄武质砾岩;4—凝灰岩;5—沙河街组(Es);6—沙河街组四段(Es<sup>4</sup>);7—沙河街组三段(Es<sup>3</sup>);8—沙河街组二段(Es<sup>2</sup>);9—沙河街组一段(Es<sup>1</sup>);10—东营组(Ed);11—馆陶组(Ng);12—明化镇组(Nm)  
 1—basalt; 2—diabase; 3—basaltic conglomerate; 4—tuff; 5—Shahejie formation(Es); 6—the fourth member of the Shahejie formation(Es<sup>4</sup>); 7—the third member of the Shahejie formation(Es<sup>3</sup>); 8—the second member of the Shahejie formation(Es<sup>2</sup>); 9—the first member of the Shahejie formation(Es<sup>1</sup>); 10—Dongying formation(Ed); 11—Guantao formation(Ng); 12—Minghuazhen formation(Nm)

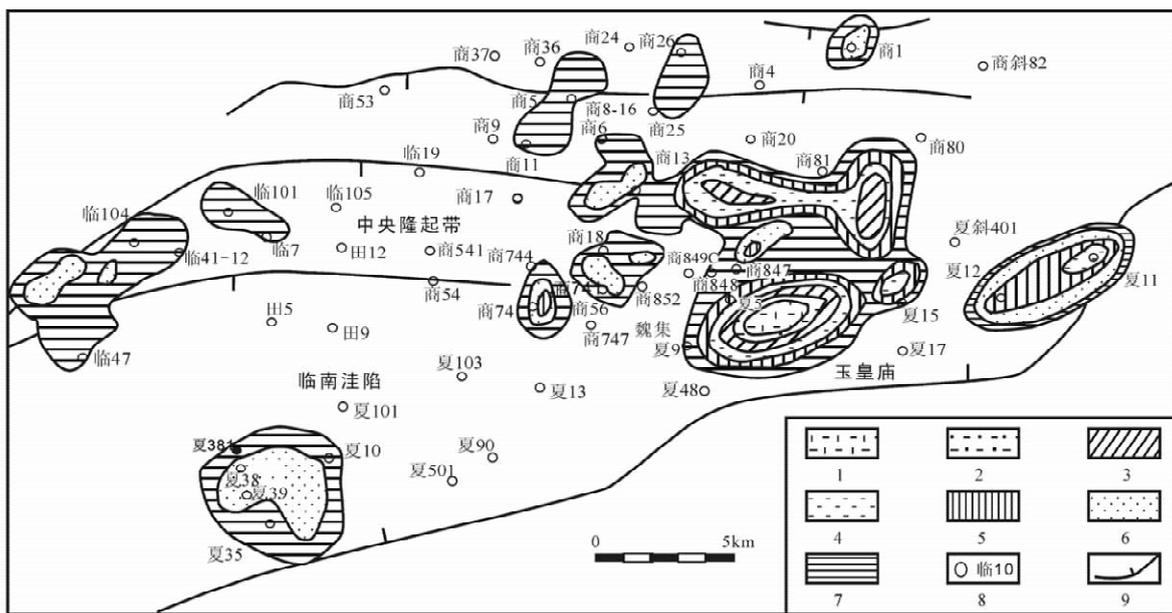


图 3 惠民凹陷西部火成岩厚度分布图

Fig. 3 Distribution of igneous thickness in Huimin depression

1—>500m 分布区;2—400~500m 分布区;3—300~400m 分布区;4—200~300m 分布区;5—100~200m 分布区;  
 6—50~100m 分布区;7—>0m 分布区;8—井位及井号;9—断层  
 1—>500m; 2—400~500m; 3—300~400m; 4—200~300m; 5—100~200m; 6—50~100m; 7—>0m; 8—well location and No.; 9—fault

岩浆活动携带的热量使周围产生局部高地温异常,促使周围烃源岩的热演化,同时,火成岩中过渡金属等对周围烃源岩生烃起到显著的催化作用(Mango F D.,1992;Mango F D.,1994;Mango F D.,1996),使烃类早熟和低熟,对烃源岩加氢作用可促使生烃量显著增加。

### 3.1.2 岩浆岩体周围砂岩中粘土矿物组合特征

#### 3.1.2.1 商56、商847井区钻井中沙河街组三段岩浆岩的分布

与商56井区相邻的商741井区中商742、商743井沙河街组三段钻遇辉绿岩。商742井深3217.9m、3221.2m与商743井深3413.7m处的辉绿岩岩石化学分析结果为:SiO<sub>2</sub>44.46%~47.30%,平均46.00%;TiO<sub>2</sub>1.61%~2.89%,平均2.26%;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>14.57%~15.70%,平均15.30%;Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2.81%~4.39%,平均3.44%;FeO7.01%~7.39%,平均7.20%;MnO0.14%~0.18%,平均0.16%;MgO4.14%~7.67%,平均5.69%;CaO8.70%~10.72%,平均9.79%;Na<sub>2</sub>O2.58%~3.06%,平均2.90%;K<sub>2</sub>O1.28%~2.03%,平均1.57%;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.33%~0.44%,平均0.40%;H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>

3.52%~4.48%,平均3.93%;CO<sub>2</sub>0.09%~4.02%,平均1.43%。辉绿岩的测井曲线显示为明显高密度(2.65~2.75g/cm<sup>3</sup>)、高电阻率、低自然伽马的特征。

商56井在2931.5~2994.5m井段钻遇3层厚层状的辉绿岩夹薄层泥岩,辉绿岩层累计厚度57.0m。辉绿岩层上覆地层主要为薄到中等厚度的粉砂岩、灰质砂岩。

商852、商849侧、商849井钻孔中,沙河街组三段中未见岩浆岩。

商848井钻井取芯段2716.30~2722.80m,岩性为深灰色玄武岩与灰黑色、灰色凝灰岩。井深2718.1m、2722.0m、2722.2m处岩性为玄武岩,具斑状结构,成分主要为斜长石、辉石、玻璃质及其它隐晶质;井深2718.4m、2719.0m、2719.2m、2719.4m处岩性为凝灰岩,岩石具凝灰结构,火山碎屑物主要为钾长石及少量喷发岩石屑,胶结物为火山灰;井深2720.6m、2721.0m、2722.8m处岩性为凝灰岩,岩石具凝灰结构,岩石中含少量长石岩屑,其他主要为火山灰及其分解物。

商847井2740.9~2838.0m井段钻井录井以

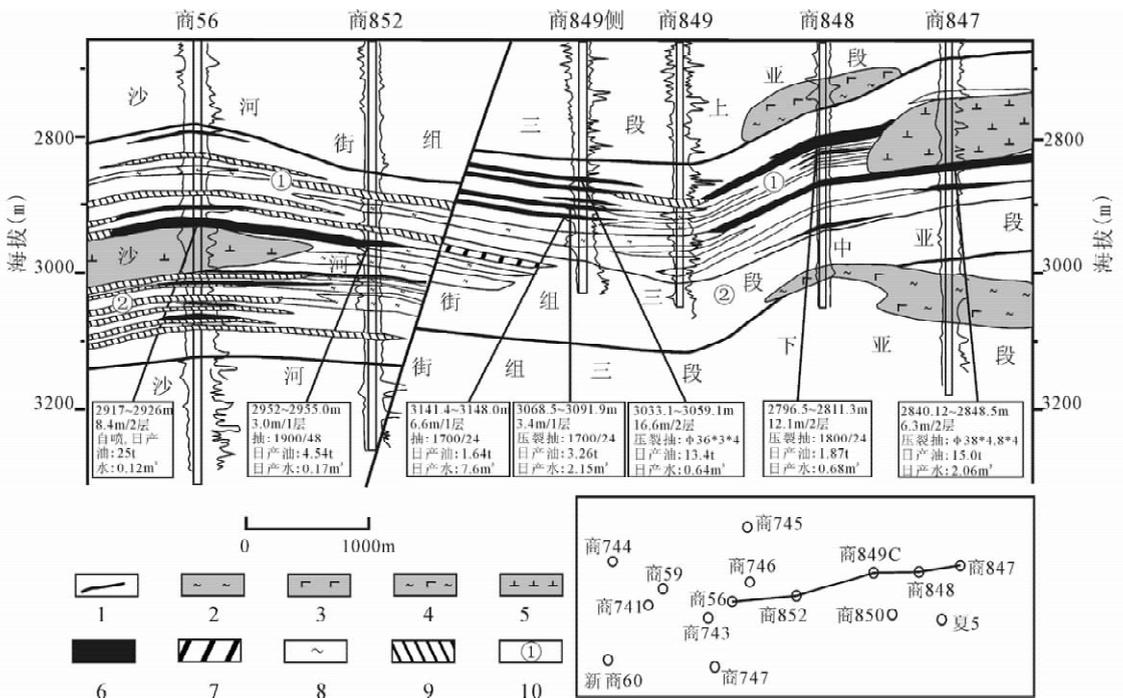


图4 商56井—商852井—商849井油藏剖面图

Fig. 4 Reservoir section plane from well Shang56 to well Shang849

- 1—地层界线;2—凝灰岩;3—玄武岩;4—玄武质凝灰岩;5—辉绿岩;6—油层;7—含油致密层;8—水层;9—干层;10—砂组编号
- 1—Formation boundary; 2—tuff; 3—basalt; 4—basaltic tuff; 5—diabase; 6—oil layer; 7—oil-bearing tight layer; 8—water layer; 9—dry layer; 10—number of sand group

及测井资料综合解释反映其为浅灰绿色厚层块状辉绿岩夹薄层泥岩、白云岩,辉绿岩的测井曲线特征主要为低自然伽马、高电阻率、高密度,FMI 图像反映主要为亮色、块状。辉绿岩下伏 2839.98~2847.29 m 井段钻井取芯,其中 2840.1~2842.5m 为灰褐色油浸细砂岩,2844.35~2847.29m 为灰褐色油浸粉砂岩、褐灰色油斑泥质粉砂岩。

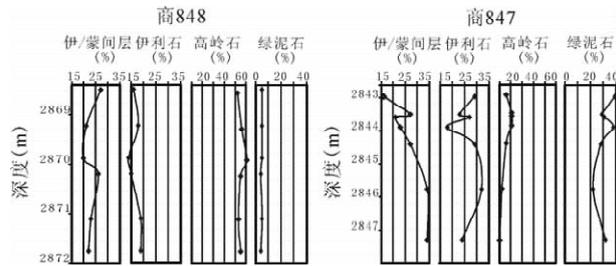


图 5 同一砂层不同部位中的粘土矿物特征

Fig. 5 Characteristics of clay minerals in one sandstone body in different position

商 847 井 3001.5~3093.2m 井段录井、荧光分析、测井资料综合解释等反映为浅灰绿色玄武质凝灰岩、浅灰绿色荧光玄武质凝灰岩、浅灰绿色凝灰岩、浅灰绿色油斑凝灰质砂岩。玄武质凝灰岩的测井响应特征主要为:自然伽马低值、电阻率高值、密度高值,FMI 图像以亮色色调为主,块状。凝灰岩的测井响应特征主要为:自然伽马和电阻率曲线的低值,FMI 图像以暗色为主。

3.1.2.2 岩浆岩体周围砂岩中粘土矿物组合特征

岩浆作用可使周围砂岩中的粘土矿物成分和含量出现一些变化。图 4 中商 848 井中 2868.0~2872.0m 砂层与商 847 井中试油砂层属于同一砂层,在两井中埋深相差仅 20 余米。商 847 井中位于

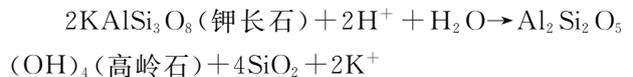
辉绿岩体下方的砂层(2843.0~2848.5m)中粘土矿物组合具富绿泥石贫高岭石特征,且伊利石相对百分含量明显高;商 848 井中该砂层远离辉绿岩侵入体,粘土矿物组合具贫绿泥石富高岭石的特征(图 5)。由此推测,对于同一砂体而言,位于辉绿岩体下伏砂岩中伊利石相对百分含量明显高于远离辉绿岩体的砂岩中伊利石的相对百分含量,辉绿岩侵入体下伏紧邻砂岩中还具富绿泥石贫高岭石的特征。

一般情况下,高地温环境中,富 K<sup>+</sup> 有利于蒙脱石向伊利石转化,富 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 而贫 K<sup>+</sup>,有利于蒙脱石向绿泥石转化。临邑洼陷沙三段、沙四段侵入岩以基性为主,化学成分中富 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、贫 K<sup>+</sup>,为绿泥石生成创造了条件,导致侵入岩体附近的碎屑岩中,绿泥石含量明显增加。

3.1.3 火成岩体周围砂岩物性特征及其变化

岩浆活动造成局部地温梯度增高,加速了烃源岩有机质演化进程和砂岩成岩作用,即使在较浅处,也有烃源岩成熟生成烃类,并产生有机酸和二氧化碳,进而在储层中出现次生孔隙发育带,与原生孔隙叠加,形成有利储层。

岩浆作用携带的无机二氧化碳与烃源岩成熟形成的有机酸、二氧化碳和烃类进入砂岩储层后,使砂岩孔隙介质呈弱酸性,打破了原来已经形成的水-岩平衡,促使一些不稳定的组分和长石发生蚀变,并造成新矿物沉淀(徐同台等,2003)。惠民凹陷沙河街组岩屑长石砂岩中的长石颗粒蚀变产生次生孔隙,生成高岭石、伊利石,析出钾离子。钾长石蚀变生成高岭石的化学反应如下:



微斜长石生成伊利石的化学反应为:

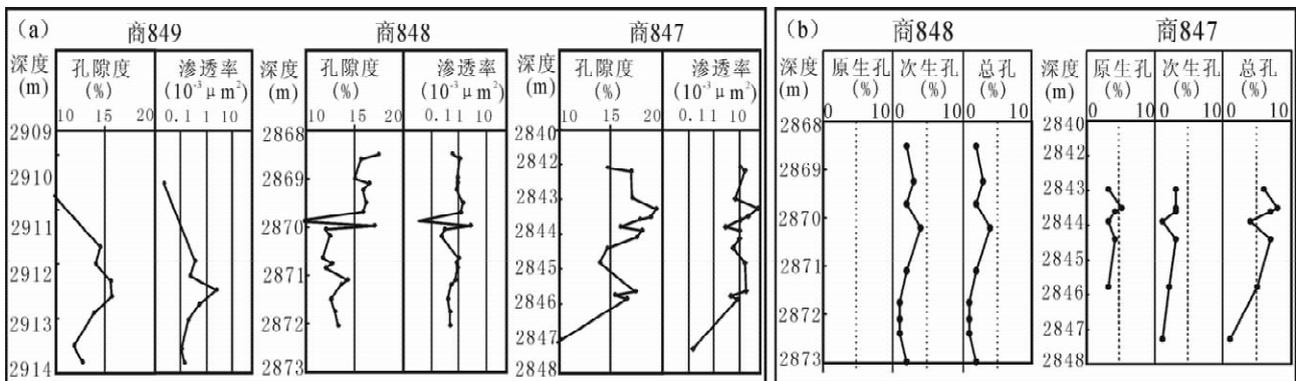
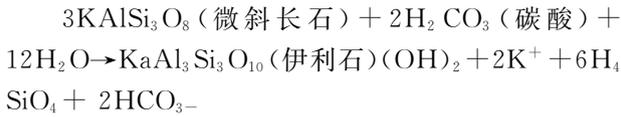


图 6 同一砂层中物性(a)和面孔率分布特征(b)

Fig. 6 Characteristics of physical properties and face pore ratio of one sandstone body



生成的石英充填于裂缝和孔隙中。同时,酸性地下水介质条件下,方解石胶结物溶解可形成溶孔。

商 849、商 848 井、商 847 井同一砂层中不同部位的物性分析结果表明,位于辉绿岩体下伏的商 847 井砂层的孔隙度、渗透率,明显高于商 848 井、商 849 井中该砂层的储集物性(图 6a),商 848 井、商 849 井中该砂体远离辉绿岩体(见图 4)。商 847、商 848 井砂岩铸体薄片分析结果表明,商 847 井中上述砂层的原生孔隙、次生孔隙均相对发育,商 848 井中该砂层原生孔隙不发育,次生孔隙中等(图 6b)。由此可见,岩浆作用可使周围砂岩中原生孔隙得以保存,并产生次生孔隙。

### 3.1.4 火成岩体周围泥岩(含烃源岩)特征变化

接触变质作用使周围泥岩变质为板岩,弱变质的板岩一般为有效遮盖层。在岩浆热液进一步烘烤下,或在岩浆上拱作用下,或在后期区域构造力作用下,板岩易产生裂缝进而成为有效储集层(韩登林, 2005)。

临邑洼陷商 741 井、夏 381 井辉绿岩体上下的板岩中,均具有非常活跃的油气显示。夏 381 井 4007.06~4036.08m 井段的板岩、砂岩、辉绿岩中,地层测试日产油 6.5t,水 1.34m<sup>3</sup>(图 7)。商 741 井辉绿岩体(3390~3435m)上覆变质岩层中(3.0m/1层),试油初期日产油 12.1t,一年内,累计产油

3181t,日产原油保持在 10t/d 以上,显示了良好的含油性。商 741 井成像测井图像明显反映变质岩中裂缝发育。商 741 井区块的商 75-斜 2 井,钻至沙三段侵入岩上覆接触变质岩井段时,漏失泥浆 1000 余 m<sup>3</sup>;裸眼投产后,日产原油 12t/d,含水 40%。商 741 井、商 75-斜 2 井、夏 381 井的辉绿岩体及其周围碎屑岩中含油气实际情况表明,侵入体周围的变质岩中,蕴含了相当丰富的油气资源。

### 3.2 岩浆上拱作用

岩浆上拱作用易使上覆先存的致密坚硬岩石或变质岩产生裂缝,改善储集物性,或者使原来不具备储集性能的板岩成为储层。

据岩芯观察,夏 38 井辉绿岩体上覆 3821.52~3828.67m 砂岩段,裂缝发育,缝宽 0.5mm,裂缝延伸 10~20cm;岩芯中溶蚀孔发育,孔径 0.3~2.5 mm,且多分布于裂缝两侧。夏 38 井地层倾角测井资料处理结果反映,火成岩体上覆的变质岩中,FIIL 图上 3824.5~3828.8m 井段裂缝相对发育(见图 7);常规组合测井曲线具有井径曲线锯齿状、自然电位曲线基本平直、声波时差曲线“周波跳跃”、中子测井值有所增大及微电阻率测井曲线齿状低值的特征,反映为一裂缝发育带。裂缝、溶孔为夏 38 井辉绿岩体上覆砂岩的主要孔隙类型。其中,裂缝主要为岩浆上拱作用及后期构造应力作用共同造成的。

试油结果统计表明,商 56 井中辉绿岩体上覆砂层中具有较高产能,而远离辉绿岩体的商 852 井中砂层的产能较低。商 852 井物性分析和测井响应特

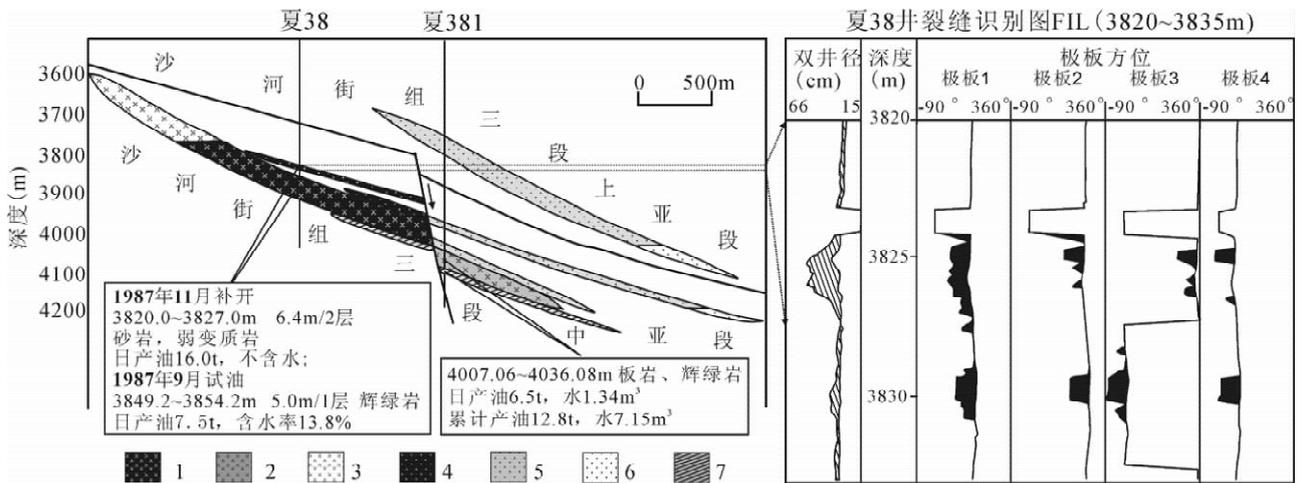


图 7 岩浆作用及其对周围砂岩、泥岩储集物性的影响

Fig. 7 The influence of volcanism on sandstone reservoirs and mudstone reservoirs

- 1—火成岩油层; 2—火成岩含水油层; 3—火成岩层; 4—砂岩油层; 5—砂岩含水油层; 6—砂岩水层; 7—板岩含水油层
- 1—Igneous oil layer; 2—igneous water-bearing oil layer; 3—igneous layer; 4—sand oil layer; 5—sand water-bearing oil layer; 6—sand water layer; 7—slate water-bearing oil layer

征反映,该砂层平均孔隙度 18.1%,平均渗透率  $5.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。商 56 井中该砂层测井解释孔隙度与商 852 井基本一致,而商 56 井中试油原油产量明显高,推测与裂缝分布有关,商 56 井辉绿岩体上覆砂层中的裂缝可能是岩浆上拱作用造成的。

由此可见,岩浆上拱作用导致周围岩石,尤其是上覆岩石产生裂缝,裂缝在一定程度上改善了周围储层的储集物性,并提高其产能。

## 4 结论

(1) 岩浆作用产生局部高地温异常,在一定程度上加速其周围烃源岩热演化进程。烃源岩热演化生成的烃类、有机酸、二氧化碳,以及岩浆活动携带的深部无机成因二氧化碳,进入储层中,有利于保护储层原生孔隙并产生次生孔隙。

(2) 岩浆上拱作用、热烘烤作用及热液作用影响碎屑岩特征。岩浆上拱作用易使上覆的岩层产生裂缝。岩浆热作用使附近泥岩(包括烃源岩)不同程度变质成为泥板岩,成为可能的盖层,变质程度较高的板岩在岩浆上拱作用下,或在后期区域构造应力作用下,又有可能产生裂缝而成为有效裂缝性储层。另外,热烘烤作用和热液作用除造成储层不同程度变质外,还使粘土矿物组合及相对百分含量发生变化。基性侵入岩体附近的碎屑岩中粘土矿物组合具富绿泥石贫高岭石特征。

## 参 考 文 献

卞德志. 1988. 克拉玛依油田石炭系玄武岩储集层测井解释研究. 见: 第一届测井年会论文集, 北京: 石油工业出版社, 366~374.

初宝杰, 向才富, 姜在兴, 等. 2004. 济阳拗陷西部惠民凹陷第三纪火山岩型油藏成藏机理研究. 大地构造与成矿学, 28(2): 201~208.

操应长, 姜在兴, 邱隆伟. 1999. 山东惠民凹陷商 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.

操应长, 邱隆伟. 2000. 济阳拗陷下第三系火成岩储集层的控制因素. 石油勘探与开发, 27(5): 44~49.

冯乔, 汤锡元. 1997. 岩浆活动与油气成藏地质条件的关系. 西北地质科学, 18(1): 59~65.

韩登林, 张昌民, 林小云, 等. 2005. 含油气系统中粘土岩所扮演的角色. 贵州地质, 22(1): 50~53.

黄隆基, 范宜仁. 1997. 火山岩测井评价的地质和地球物理基础( I ). 测井技术, 21(5): 341~344.

金强, 熊寿生, 卢培德. 1998. 中国断陷盆地主要生油岩中的火山活动及其意义. 地质论评, 44(2): 136~142.

李春光. 1997. 试论东营、惠民凹陷与火成岩相关油气藏的成因. 特种

油气藏, 4(3): 10~14.

李宏伟, 邓宏文, 陈富新. 2000. 含油气盆地火山岩与油气关系浅论. 地质前缘, 7(4): 4~10.

刘立, 彭晓蕾, 高玉巧, 等. 2003. 东北及华北含油气盆地岩浆活动对碎屑岩的改造与成岩作用贡献. 世界地质, 22(4): 315~325.

李维华, 刘明生, 曾宪云, 等. 2001. 冀中廊固凹陷板岩油气藏勘探实践与认识. 中国石油勘探, 6(2): 20~22.

刘泽容, 信荃麟, 王永杰, 等. 1988. 山东惠民凹陷西部第三系火山岩油气藏形成条件与分布规律. 地质学报, 62(3): 210~222.

牛嘉玉, 张映红, 袁选俊, 等. 2003. 中国东部中、新生代火成岩石油地质研究、油气勘探潜江及面临的问题. 特种油气藏, 10(1): 7~12.

曲志浩. 1994. 风化店火山岩油藏描述. 西安: 西北大学出版社, 72~88.

石彦民, 肖敦清. 2000. 黄骅拗陷枣北地区火山岩综合油藏描述. 石油勘探与开发, 21(7): 87~92.

万从礼, 金强. 2003. 东营凹陷纯西辉长岩对烃源岩异常生排烃作用研究. 长安大学学报(地球科学版), 25(1): 20~25.

王大锐, 张映红. 2001. 渤海湾油气区火成岩外变质储集层中碳酸盐胶结物成因研究及意义. 石油勘探与开发, 28(2): 40~42.

王海云, 李捷. 1998. 东北含油气盆地储层次生孔隙形成机制. 大庆石油学院学报, 22(4): 5~8.

吴小洲. 1989. 辉绿岩及其接触变质岩储层简介. 石油勘探与开发, 16(3): 72~75, 54.

肖坤叶, 邓荣敬, 杨桦, 等. 2004. 北塘凹陷新港探区新生代岩浆活动的石油地质意义. 石油勘探与开发, 31(2): 25~28.

徐同台, 王行信, 张有瑜, 等. 2003. 中国含油气盆地粘土矿物. 北京: 石油工业出版社, 233~236.

杨池银. 2003. 大港探区勘探领域及对策分析. 中国石油勘探, 8(3): 20~22.

伊培荣, 彭峰, 韩芸编译. 1998. 国外火山岩油气藏特征及其勘探方法. 特种油气藏, 5(2): 65~70.

张坤, 刘峰, 程秀芹. 2002. 松辽盆地南部火山岩及其在成藏过程中的作用. 大庆石油地质与开发, 21(3): 16~17.

张玉彦. 1987. 曹家务构造火成岩及变质泥岩储层分析. 华北石油勘探与开发, 1(2): 18~24, 38.

张子枢, 吴邦辉. 1994. 国外火山岩油气藏研究现状及勘探技术调研. 天然气勘探与开发, 16(1): 1~26.

Luo J L, Morad S, Liang Z G, et al. 2005. Controls on the quality of Archean metamorphic and Jurassic volcanic reservoir rocks from the Xinglongtai buried hill, western depression of Liaohé basin, China. AAPG Bulletin, 89(10), 1319~1346.

Mango F D. 1992. Transition metal catalysis in the generation of petroleum and natural gas. Geochim. Cosmochim. Acta. 56: 553~555.

Mango F D. 1996. Transition metal catalysis in the generation of natural gas. Geochim. Cosmochim. Acta. 24(10/11): 977~984.

Mango F D, Hightower J W, Alan T, et al. 1994. Role of transition-metal catalysis in the generation of natural gas. Nature, 368(7): 536~538.

## The Influence of Volcanism on Clastic Reservoirs in Huimin Depression

ZHANG Xiaoli<sup>1)</sup>, FENG Qiao<sup>2)</sup>, ZHA Ming<sup>3)</sup>, JU Yinjuan<sup>1)</sup>, YANG Yi<sup>1)</sup>

1) State key laboratory for Continental Dynamics/ Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069;

2) Geoinformation Science & Engineering College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao,

Shandong, 266510; 3) China University of Petroleum (East china), Dongying, Shandong, 237061

### Abstract

The influences of Magma intrusion activity on the clastic rocks include the magma upwarp activity, the baked activity and the hydrothermal activity. Ascending of magma resulted in the fractures in overlying rocks, whereas baking is responsible for various metamorphisms of the country rocks (clastic rock), i. e. , mudstone was metamorphosed into slate. Low-grade metamorphic slates are often effective caprocks, and highly metamorphized slates are an effective reservoir because of its well-developed fracture system. The local geothermal gradient abnormality was derived from magma intrusion and volcanic activity, which often arouses a series of changes around the clastic rocks. Magma intrusion accelerated the thermal evolution course of source rocks. Organic acid, carbon dioxide and hydrocarbon were propitious to preserve the primary pores and produce secondary pores in surrounding clastic rocks.  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  derived from basic intrusion rocks and eruption would be propitious to change montmorillonite into chlorite. The results are that the clastic rocks around the igneous rocks are characterized by a high chlorite, poor kaolinite, and higher illite.

**Key words:** Magma intrusion; clastic reservoirs; clay mineral; baked metamorphism; secondary pores; slates