山东惠民凹陷西部第三纪火山岩油气藏形成条件与分布规律

刘泽容　信荃麟
（华东石油学院，山东东营）
王永杰　徐丕琴　张晓峰
（胜利油田，山东东营）

本文应用地质、地震和测井信息，研究了惠西火山岩油气藏形成条件与分布规律。论述了惠西第三纪火山岩岩类和岩相，阐明了火山岩的岩石与电性关系、地震反射结构及第三纪火山岩的发育和分布。讨论了火山活动在油气藏形成中的四种作用，认为火山活动对油气的形成主要不是破坏作用，反而是一种有利因素，它有利于有机物质的堆积和向烃类转化。火山岩可以作为储油层和盖层，可以起同沉积背斜作用。提出了火山岩油气藏形成的先决条件、重要因素及其分布规律。

一、区域地质概况

惠民凹陷是渤海湾盆地中济阳坳陷西部最大的一个次级凹陷（图 1）。它是中新生代

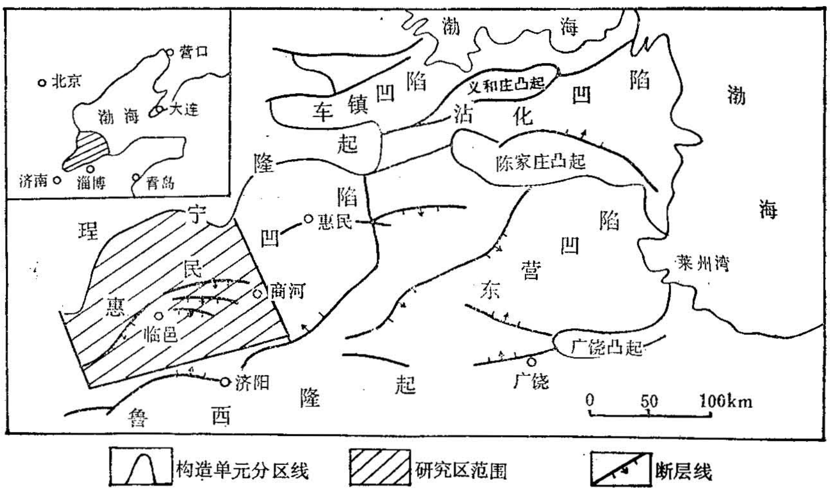

图 1　惠民凹陷西部构造位置图
Fig. 1　Structural location map of western Huimin

本文 1986 年 11 月收到，1987 年 6 月改回，王毅编辑。

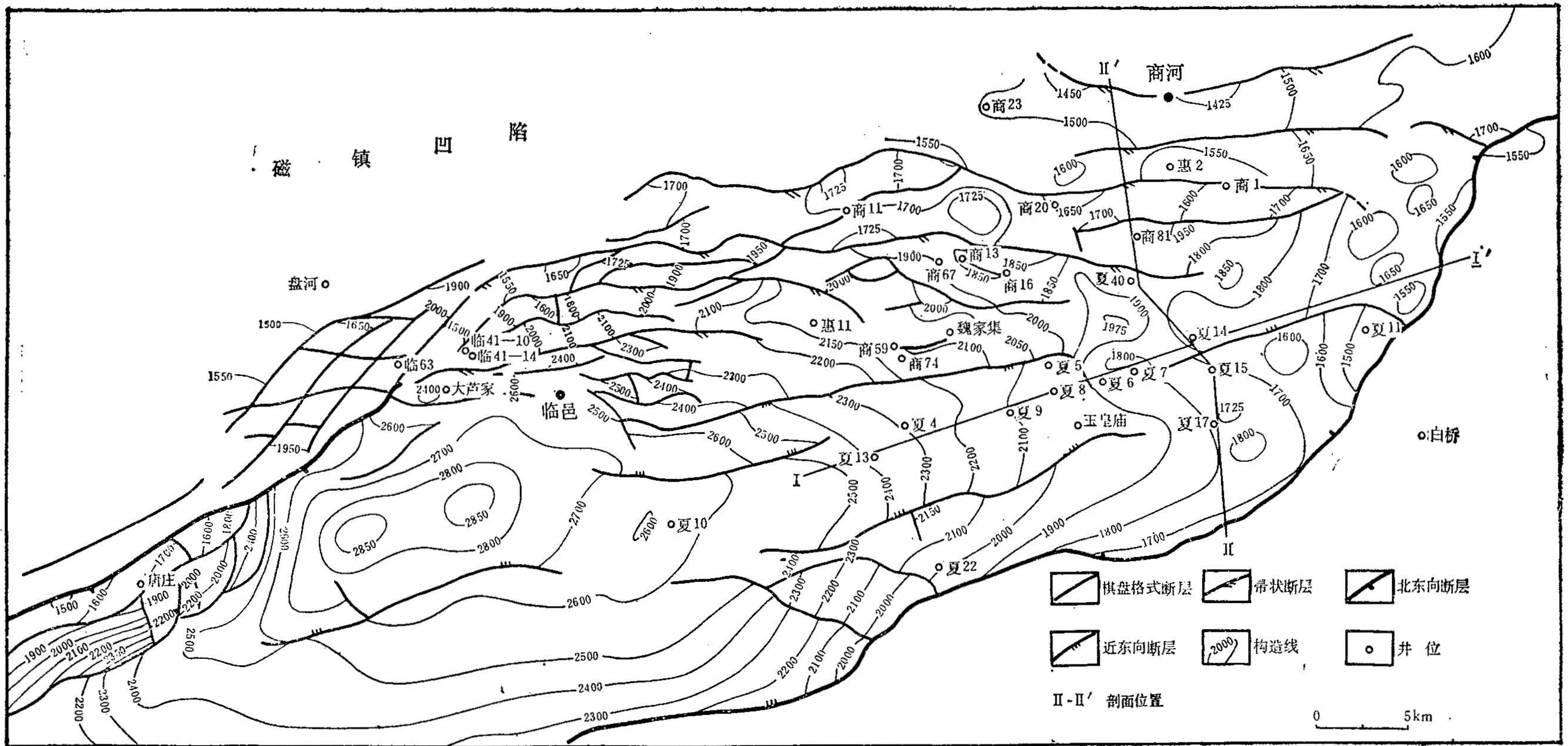

图 2 惠西第二反射层（T_2）构造面貌图（据胜利油田资料改编）

Fig. 2 Structural configuration of the second reflector (T_2) of the area

的断陷盆地。第三系为河湖相沉积，地层总厚度近万米。其中始新统孔店组——沙四段，为一套巨厚的砂、泥岩互层，最大厚度约5000m。渐新统最厚约3200m，分为沙河街组(Es)(包括一、二、三段)和东营组(Ed)。沙河街组是以泥岩为主的大套砂泥岩，下部夹油页岩，上部夹碳酸盐岩层，厚2400m。东营组以砂泥岩为主，厚800m。渐新世末，东营运动使东营组和其上覆馆陶组(Ng)之间，呈区域角度不整合接触。中新统馆陶组和上新统明化镇组(Nm)，为杂色河流相砂泥岩，总厚约767m。

在惠民凹陷西部(以下简称惠西)，还存在中央隆起带、临南凹陷、磁镇凹陷和南斜坡四个次级构造单元。该区地质构造复杂，褶皱少，断层多，已找到的背斜或鼻状构造多为断层伴生构造。断层有北东向、近东西向、棋盘格式和帚状等四种断裂系，它们常常形成联合和复合断裂(图2)。其中北东向断裂系是主导性构造，其它三种断裂系是它的伴生和派生构造。主断裂活动时间长，多为同生断层。地应力方式复杂，变化也大，燕山运动末期基本形成，第三纪又经历了多次地壳运动，形成惠西现今复杂的构造面貌。

二、火山岩的基本特征

惠西火山岩分布广泛，下面分别讨论它们的岩石和岩相类型、电性及地震反射结构等基本特征。

1. 火山岩岩石和岩相类型

本区第三纪火山岩的化学成分基本相同[1)]，其中SiO_2平均含量为47.63%，全碱总和($NaO + K_2O$)平均含量为4.32%。根据化学成分分类图[1]鉴别，属熔岩大类，弱碱质系列，碱性橄榄玄武岩族。分布位置与拉斑玄武岩的分界线非常靠近，表明时空分布与深断裂活动密切相关。

惠西广泛发育有基性火山岩[2]、次火山岩及火山碎屑岩。主要岩石类型为玄武岩、玄武玢岩、凝灰岩和火山角砾岩等(图3)。有喷发相、火山颈相和次火山岩相三种。喷发相多构成火山锥和熔岩流，它们与沉积岩互层。火山颈相剖面形态细长，上宽下窄，形如漏斗，产状陡立，夏13井和惠11井均有分布。次火山岩相多为岩墙和岩床。临盘地区发育了多组断裂，为次火山岩的形成提供了有利空间，故这里次火山岩特别发育(图4)。

2. 火山岩的电性特征

临41-14井已在沙二段(Es_2)火山岩中获高产工业油流，它的微电极曲线正向差异幅度大；声波时差曲线呈微齿化，时差值在180—200$\mu s/m$之间；感应测井曲线近于平直，数值在50—0$\Omega m/m$之间；自然电位在+15——30mV之间；视电阻率普遍增高(图5)。研究表明，上述井的电性特征在惠西火山岩井段中具有代表性。火山碎屑岩的结构较疏松，电性多有低阻、低渗的特点。

3. 火山岩的地震反射结构

惠西火山岩在地震剖面上，主要有弧形、似板状和蘑菇状等几种反射结构类型(图6)。弧形反射结构多与玄武岩有关。主要特征是同相轴上拱弯曲呈弧形，类似砂坝的反射结构。透镜体的上界成绕射波的形态，一般为2—3个相位，两翼基本对称，常斜交或穿

1) 中国科学院地质所七室，1983，第三系惠民盆地的沉积特征、沉积-构造演化及油气聚集。石油技术，第6期。

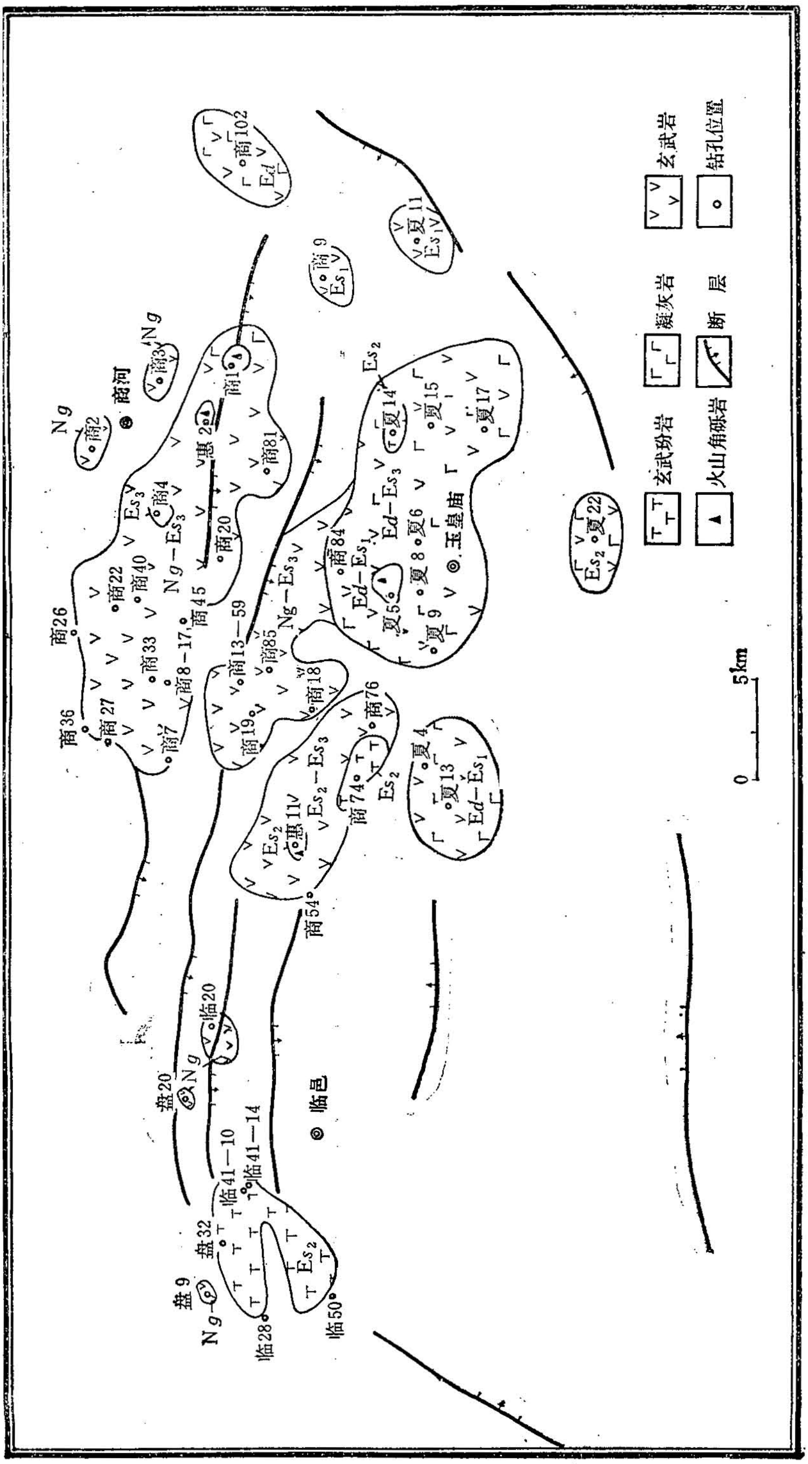

图 3　惠西第三纪火山岩分布图

Fig. 3　Distribution of Tertiary volcanic rocks in the area

N_g——馆陶组；E_d——东营组；E_s——沙河街组；N_m——明化镇组

过正常波。弧形波底界受地层产状决定。波形能量衰减极小，中断突然；有强弧形和弱弧形两种。强弧形波多是致密结构的玄武岩体，弱弧形波可能与结构疏松的火山碎屑岩有关。上述反射结构，已在夏 14 井、夏 7 井和商 84 井中得到证实，如图 6 所示。似板状反射结构多与玄武玢岩有关。其特征是同相轴连续性好，能量较强，视周期在 40—50ms 之间，产状与围岩相似或基本一致，波阻中断突然，一般有 1—2 个相位。这类反射结构，已在商 74 井和夏 14 等井中得到证实（图 6）。蘑菇状反射结构是火山颈相的地震反应，在地震剖面上呈上大下小的蘑菇状空白反射区。其下部是火山颈相，上部是火山口，在它附近发育了火山锥，火山锥上常有披覆构造存在。火山颈内可能存在火山岩和火山角砾岩等。其排列杂乱，导致地震反射差、能量弱，反射结构紊乱。颈壁有时形成绕射波，颈两侧正常反射明显中断。夏 17 井和惠 11 井和夏 18 井区已证实确为火山颈相（图 6）。

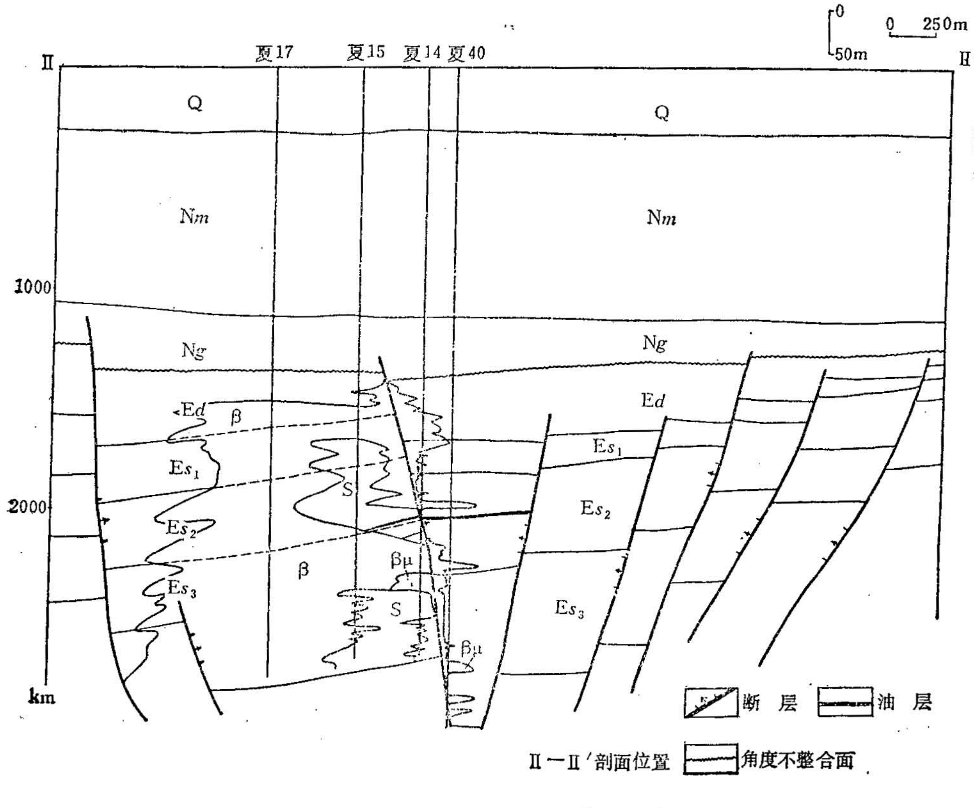

图 4 惠西 303.9 测线地质剖面图

Fig. 4 Geological section along Line 303.9 in the area

图中表示火山岩(T_r)在剖面上分布的特征

β——玄武岩； $\beta\mu$——玄武玢岩； s——凝灰岩； II—II′——剖面位置

三、火山岩的分布

惠西火山岩时空分布范围广，单井钻遇次数多，累积厚度大。据钻井和地震资料证

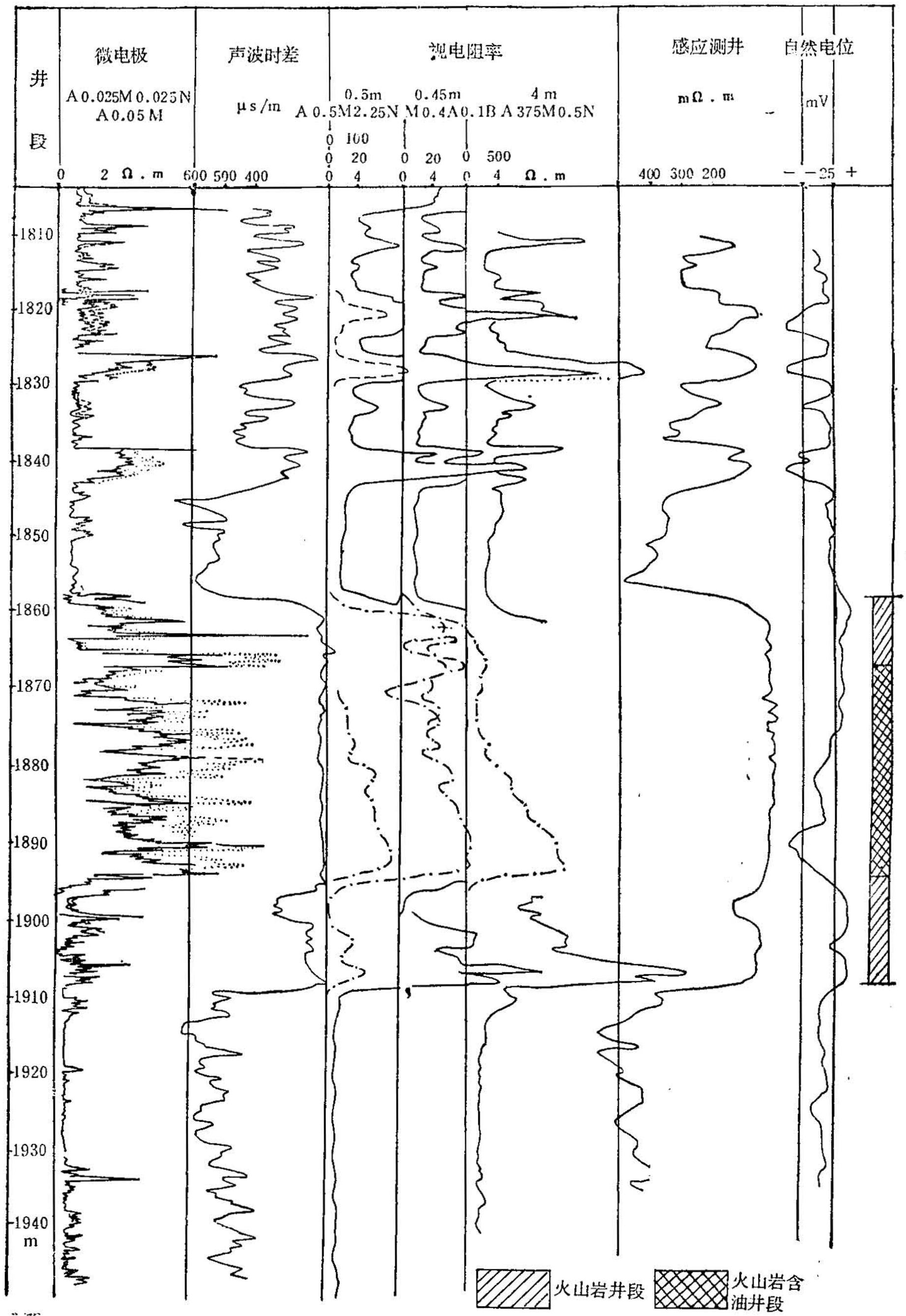

图 5　惠西临 41-14 井第三纪火山岩的电性特征

Fig. 5　Electric properies of Tertiary volcanic rocks in Lin 41-14 hole

实，目前，在近 1000km^2 范围内有 352 口钻井钻遇，沙三期至馆陶期火山岩都很发育。玉皇庙是惠西火山岩最发育区，该区已钻的井中，单井平均厚度 443.7m，平均每井钻遇 53.6

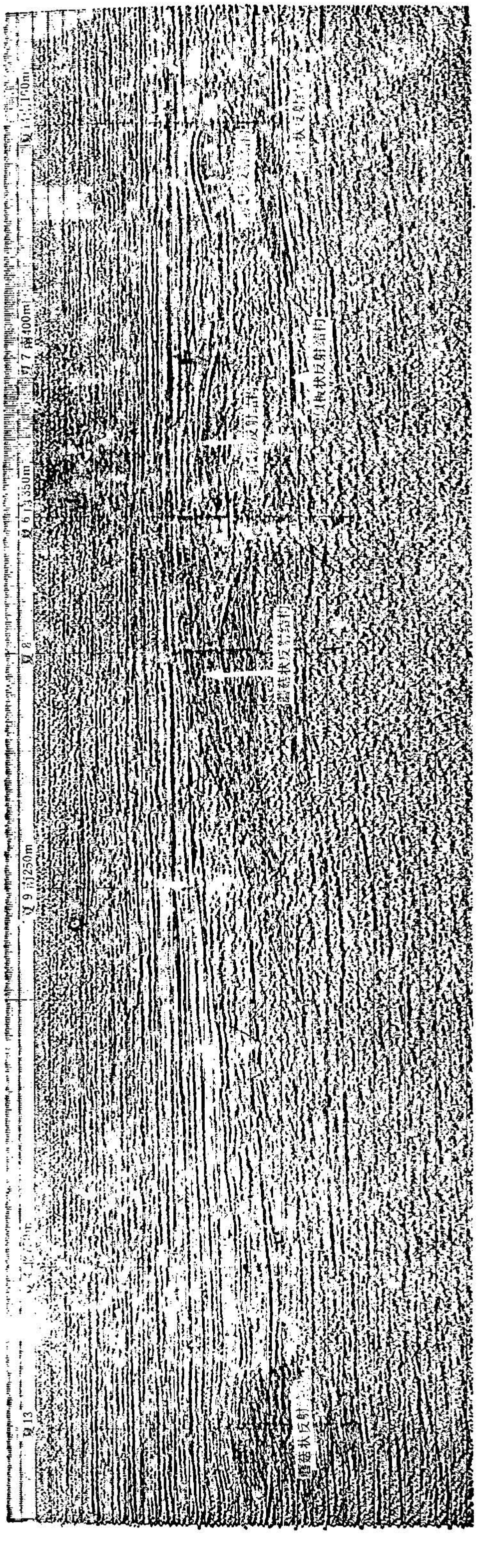

图 6 惠西 37.8 测线上不同岩相火山岩地震反射结构剖面图

Fig. 6 Seismic reflection configurations of volcanic rocks of different lithofacies along Line 37.81

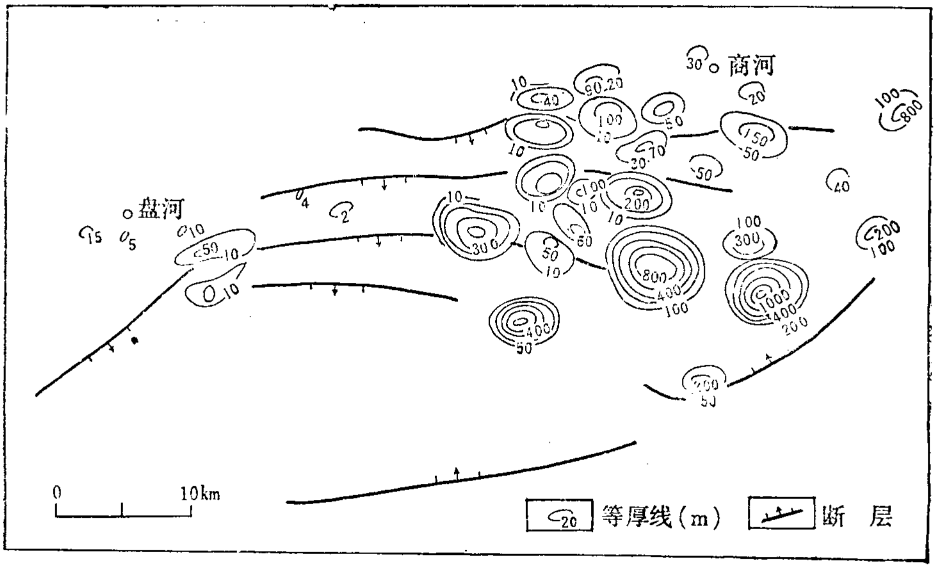

图 7　惠西第三纪火山岩等厚图

Fig. 7　Isopach map of Tertiary volcanic rocks in the area

次。夏 5 井区火山活动最强，共钻遇 188 次，累计厚达 1028 m（图 3，图 7）。

研究区内，火山活动东西差别大。中央隆起带西部，在沙二期火山活动最强烈，只在 $100km^2$ 范围内钻遇玄武玢岩。东营至馆陶期仅有零星分布的玄武岩，其它时期未见火山岩。而东部地区，火山活动在沙三至馆陶期都很发育。目前，在约 $600km^2$ 范围内均有钻遇，岩石类型复杂，有火山岩、次火山岩和火山碎屑岩，以水下溢流式喷发为主，并有爆发式喷发及次火山岩侵入（图 3，图 4）。

火山活动受构造运动控制。惠西在沙二至沙一期之间，发生了济阳运动 II 幕，东营至馆陶期之间，发生了东营运动。在这两次构造运动之前的沙二期和东营期，火山活动相对强烈。运动之后的沙一期和馆陶期火山活动明显减弱，充分反映了构造运动对火山岩的控制。

帚状断裂系的 III 号弧形断裂，在沙二期和东营期生长指数最大，为 1.22 和 1.56。沿该断层的岩浆喷发次数和单井累积厚度，同样也是沙二期和东营期较大，分别为 17 次和 165m，15 次和 155m。爆发式喷发，此时期也较发育。

断裂复合处是火山活动最强裂的喷发中心。研究表明，惠西在沙三至馆陶期，有众多的火山喷发中心，分布在两组或两组以上断裂复合部位（图 2，图 3）。玉皇庙自沙三期至东营期，火山喷发次数高达 188 次，累积火山岩厚度为 1028 m。其中沙二、沙一和东营期火山喷发的次数和累积火山岩厚度，大于商河和临盘地区的 10 倍至几十倍，居惠西之首。该区位于 3 组断裂复合处。其中近东西向断裂是区内主断裂，它与岩浆通道断裂相连，有大量岩浆供给，给火山岩体的侵位提供较大物质和空间。所以，这里火山岩很发育。商河地区只有两组断裂复合，同期火山喷发次数和单井累积火山岩厚度仅有玉皇庙地区的十分之一至几十分之一（图 2，图 3）。

四、火山岩油气藏形成条件与分布规律

据惠西 3 个油气田 352 口井的钻井地质和测井资料、近 10 000km地震剖面和火山岩中已获油流的 8 口井资料分析,发现区内火山岩与油气关系密切。

1. 火山活动在油气藏形成中的作用

临南凹陷是惠西的主要生油区,沙三段是本区的主要生油层,上第三纪馆陶末期至明化镇期是主要生油期[1]。该区的火山活动主要发生在沙四至馆陶期,即在本区主要生油期之前,故火山活动对油气生成与聚集主要不是破坏作用,在惠西这种特定的地质条件下,反而成为有利因素。

研究表明,火山活动在区内油气形成中,主要有四种作用,即有利于有机质的富集和向烃类转化、可作为油气的储层、盖层以及可起类似同沉积背斜的作用(古构造作用)。后者尤为重要,常常导致其它储油层和圈闭的发育。

1）有利于有机质的富集和向烃类转化： 玄武岩喷发至地表堆积时，其温度不低于900℃,并长期保持高温,厚层熔岩内部冷凝固结需要若干年之久。据报道,10m 厚的玄武岩,冷却的时间约 7 年。惠西火山活动频繁,分布广,累积厚度大于 100m 的井也较普遍,且多系水下喷发,故本区第三纪湖水温度必定高于无火山岩分布的地区。加之火山锥的堆积,构成水下低隆起。这里水体较浅,阳光透射好,这些条件无疑会有利于生物的繁殖。如商 8—17 井,是沙河街期的火山锥,该井生物灰岩厚度大,生物机遇率为 32 种,比无火山锥的邻区多 12 种。

岩浆由地下深处向上运移,喷出地表,或侵入围岩中,从而导致围岩的地温升高,形成局部地温异常带,促进已埋藏在岩石中的有机质热解,有利于向石油成熟方面转化。

2）火山岩可作为油气良好储层： 通过火山岩的岩屑、岩心、电性、地震反射结构及扫描电镜观察与研究，认为惠西火山岩储集空间有原生孔隙和次生孔隙两种。其中次生孔隙是火山岩储集空间的主要类型。火山岩中的原生孔隙有熔岩的气孔、岩浆喷发到湖底急剧冷却、碎裂和熔岩冷凝结晶形成的晶间孔隙等多种类型。次生孔隙主要有构造裂隙和熔蚀缝洞。构造裂隙的特征、展布型式受导生构造的控制。应强调的是火山岩基质中,斜长石微晶间的玻璃质被溶解形成的微晶间孔隙,也是次生孔隙的一种。它的单个孔隙空间都很小 ($10\mu m$),并互相连通。总空间对孔隙度作用很大,对油气储集有利。位于同一构造带的滨南油田的滨 338 断块区,在沙四期的玄武岩中获得高产工业油流。根据岩心观察、薄片和扫描电镜的研究,储集空间也是以溶蚀的构造裂缝为主。缝洞连通性好,导致油气高产。上述现象说明,次生孔隙是火山岩储集空间的主要类型,次生孔隙发育区常常是火山岩油气藏的高产区。

3）火山锥的形成导致多种圈闭和储层发育： 玉皇庙夏 8 井区,早第三纪有 140 多次水下火山喷发,喷发速度远大于沉积速度。在喷发中心附近,形成火山锥,构成水下低隆起,使其周围沉积的地层,常可形成超覆尖灭圈闭或岩性尖灭圈闭。夏 8 井火山锥附近发育同心状和放射状断裂,形成了多种断层遮挡圈闭。东二段及其以上地层披覆在夏 8 井

1）胜利油田地质科学研究院,1983,临邑盆地石油地质模拟的初步成果。

区火山锥之上，形成披覆构造圈闭。目前在夏 8 井东二段和夏 6 井馆陶组的披覆构造圈闭中，已找到了工业气藏(图 8)。

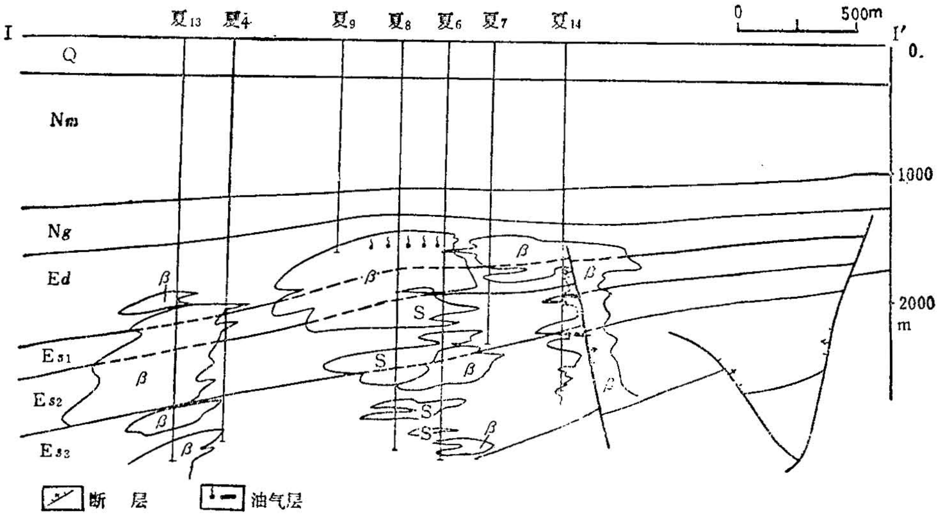

图 8　本区夏 13—夏 14 井火山岩油气藏剖面图

Fig. 8　Section of oil-gas reservoir of volcanic rocks in the sector from Xia 13 to Xia 14 holes

夏 17 井沙一期玄武岩厚达1138m，地震剖面证实是该期的火山通道。熔融的岩浆，向上运移过程中，必然刺穿早期围岩，形成岩浆刺穿接触圈闭。在这种圈闭中，同样可能找到工业油气流。

惠西沙二和沙三期次火山岩较发育，形成次火山岩的岩浆向上运移，侵入早期地层，使地层厚度局部加大，导致上覆地层上拱，形成侵入上拱构造圈闭。该区这类圈闭较为普遍，如夏 14 井区等，已在这种圈闭中找到了工业油流 (图 5)。

据不完全统计，惠西火山岩厚度大于 30m，就可能导致上部地层储层物性变好，厚度增大。如商 85 井区是沙三期的火山锥，它上部沙二段下部砂岩厚度大于 60m，比无火山锥的邻区多 10m 以上的砂岩。商 40 井，沙三段下部玄武岩厚达 103m，其上的沙二段下部砂岩厚 39m，比无火山岩区砂岩多 5m 以上，再上部是沙一期生物灰岩，厚 11m，也比无火山岩区多 3m。上述砂岩和生物灰岩，都是该区重要储油层。以上种种现象均与火山的水下喷发有关。湖盆中边喷发、边堆积的火山锥与同沉积背斜对沉积的控制作用很类似。在火山锥的顶部，水体浅，水动力能量强，簸选作用好，粗碎屑物相对沉积多，故火山锥近顶部往往砂岩厚度大，物性好。

惠西的沙一段生物灰岩，是区内重要的储油层之一，大于 10m 的等厚线多分布在火山锥附近，如商 8—17 井等。这是因为火山锥附近，水温较高，水体较浅，阳光透射好，常是生物繁殖的有利场所，构成生物灰岩发育区。

4）致密的玄武岩为油气的良好盖层：惠西玄武岩，有的致密，有的疏松。致密的玄武岩对油气运移有遮挡作用，是油气的良好盖层。如商 33 井位于商三区，在 1668—1711m

井段，沙一段生物灰岩有工业油流，盖层是馆陶组厚 18m 的玄武岩。商 13—59 井也位于商三区，在 1928—1943.2m 井段有油气，盖层是沙一段玄武岩，厚 138m。

2. 火山岩油气藏的形成条件

火山岩油气藏形成条件与砂岩和碳酸盐岩油气藏相比，在一定程度上具有共同性，但有它特殊的一面。即火山岩自身一般不具有生、储条件，一旦这些不利于成油的条件得到某种改善，那么火山岩同样可以形成油气藏，甚至还可以获得高产。因而，形成火山岩油气藏的首要条件是，火山岩分布要紧邻生油凹陷，有丰富的油源作为形成油藏的物质基础，同时要有长期活动的断裂或张性断裂作为运移的通道，把油气输导到火山岩中，或者有其它输导层起运移通道作用。其次是火山岩必须具有较好的次生孔隙，或原生孔隙，特别是经过构造改造具有次生孔隙的火山岩，常常成为油气良好的储层。按目前国内外研究[3]，火山岩中的高产井往往都是分布在火山岩的次生孔洞发育区。如临盘油田火山岩中的高产井，分布在多组断裂复合处，即构造裂隙发育的地区。邻区滨南油田火山岩中的高产井，分布在沙四与沙三段之间的不整合面上。沙四末期，火山岩由于遭受风化剥蚀，次生孔隙很发育，储层物性得到改善，从而形成了油气高产的必要条件。火山岩形成的时期也很重要，最好在该区主要生油期之前，这样有利于有机质热解向烃类转化；油气形成在后，免遭破坏；同时尚可提供捕获油气的有利圈闭。火山岩分布最好分布在该区构造的相对高的部位，构成油气运移的最优指向，成为油气聚集的有利地带。火山岩自身的封堵作用或与其它盖层构成良好配置也很重要，使油气得以聚集和保存。临 41-14 井，在沙二段火山岩中获得高产工业油流，这与该井位于中央隆起带的临 9 断块、紧邻临南生油凹陷，又处于古今构造的高部位，与油气运移最优指向有极密切的关系。同时，这里又是带状断裂系的收敛处，并是北东向断裂复合的部位，断裂极其发育，导致火山岩储层物性变好，形成了有利于油气高产的先决条件。本区的主断层和张性断层，在它们的活动期常为油气运移的通道。静止期多是油气的遮挡面。断层的多重性质，使临南生油区的油沿断层运移到火山岩储层中去，从而形成富集高产的火山岩油气藏。

3. 火山岩油气藏的分布规律

从惠民凹陷西部火山岩中已见油的 8 口井研究，它们都靠近生油凹陷。如临 41-14、临 41-10 等井在沙二段玄武玢岩中获高产工业油流，这两口井都紧靠临南生油凹陷的北侧。在商河油田三区和四区，分别在沙三段和沙二段火山岩中出油，这些井也同样靠近临南生油凹陷，位于它的东北部。邻区的滨南油田和草桥油田的火山岩也见工业油流，它们的位置紧靠利津生油凹陷的西侧和牛庄生油凹陷的南侧，它们都紧邻生油凹陷，有丰富油源便于供给，否则，不可能形成火山岩油气藏。

1）沿中央隆起带或其它构造高部位分布： 惠西已找到的火山岩油气藏，都分布在临盘至商河之间的中央隆起带上，其中两口井分布在西段，六口井分布在东段。中央隆起带断裂活动强烈，形成了不同级别，不同序次的断裂系。主断层常常是岩浆向上运移的通道，断裂复合部位为火山岩和次火山岩的形成提供了空间。中央隆起带是惠民凹陷中的高部位，靠近油源，是油气运移最优指向的地区，同样也是火山岩油气藏分布的有利地区。邻区也有一些火山岩油气藏虽不分布在凹陷的中央隆起带上，但也仍位于生油凹陷周缘的构造高部位。

2）沿断裂分布且与断裂系展布型式一致：惠西发育了帚状、北东向和近东西向 3 种断裂系。各断裂系在不同地区，对火山活动的作用不同。玉皇庙地区的火山活动是受近东西向断裂和北东向的 I、II 号断裂以及 II、III 号弧形断裂系的主断层控制。商河地区的火山活动，主要是受帚状断裂系的 II、III 号弧形断裂和北东向断裂系的 III、IV 号断裂的控制。临盘地区的火山活动，主要是受帚状断裂收敛部位和北东向断裂复合的控制。上述各区的主断层，第三纪期间属压扭性断层，在平静期是油气的遮挡面；在活动期和它伴生的张性断层是油气运移的通道，因此形成断块油气藏。这些断块油气藏常常沿各地区的主断层呈线性展布，它们的平面展布形态，与该区断裂体系展布的型式一致。

3）沿次生孔隙发育地区分布：据国内外的研究表明，火山岩的储集空间主要是次生孔隙，因此，在构造裂隙或溶蚀孔洞等次生孔隙发育的部位，常常是形成火山岩油气藏的有利场所。譬如，惠西的火山岩油气藏，都是分布在两组或两组以上的断裂复合处。滨南油田的火山岩油气藏中，获得高产工业油流，它分布在济阳运动 1 幕形成的沙三段和沙四段之间的不整合面上。上述火山岩油气藏的储集空间主要是次生孔隙，它们储层的物性受到构造运动和风化作用的改造。因此，我们在勘探工作中，应当注意研究火山岩次生孔隙的发育和分布，以便寻找富集高产的火山岩油气藏。

综上所述，1. 惠西第三纪火山岩，主要是玄武岩、玄武玢岩和火山碎屑岩。有喷发相、次火山岩相和火山颈相。依据地震剖面上，玄武岩多为弧形反射结构、玄武玢岩多为板状反射结构、火山颈相多为蘑菇状反射结构及其它的地球物理特征，可将地下火山岩与其它沉积岩区分开出来。 2. 惠西第三纪火山岩，在东部分布范围广，发育时间长，岩石类型复杂，以水下溢流式喷发为主。西部火山岩时空分布局限，岩石类型单调，以次火山岩为主；3. 惠西第三纪火山活动，主要发生在沙四至馆陶期。其中沙二期和东营期的火山活动最强；沙一期相对较弱，是本区第三纪火山活动相对微弱的时期；4. 构造运动和断裂活动，是惠西第三纪火山活动的主要控制因素，多组断裂的复合部位；常常是火山锥和次火山岩体发育的位置；5. 火山活动主要发生在本区主要生油期（馆陶末至明化镇期）之前，火山活动对油气生成和聚集无破坏作用，在火山岩油气藏形成中主要是有利于有机质的富集和向烃类转化，为油气的储层、盖层和类似同沉积背斜的作用；6. 火山岩邻近生油凹陷分布，火山岩中次生孔隙发育，并有断裂或输导层沟通，是形成火山岩油气藏的先决条件。火山岩位于构造高部位，并形成于主要生油期之前，火山岩自身封堵或与其它盖层的良好配置等地质条件，是形成火山岩油气藏的主要因素；7. 惠西火山岩油气藏，主要分布在生油深凹陷周围、中央隆起带或凹陷周缘的构造高部位、次生孔隙发育区和断裂附近，特别是多组断裂复合处常常是火山岩油气藏发育的地区。

参　考　文　献

[1] 王德滋、周新民，1982，火山岩石学。科学出版社。
[2] 从柏林，1979，华北断块新生代玄武岩研究。地质学报，第 53 卷，第 2 期。第 112—124 页。
[3] 高寿柏译，（N. Komatsu, Y. Fujita and O. Sato 著），1984，新生界火山岩是可能的烃类储集层。第十一届世界石油会议报告论文集。石油工业出版社。

FORMATION CONDITIONS AND DISTRIBUTION REGULARITIES OF OIL-GAS POOLS IN TERTIARY VOLCANIC ROCKS IN THE WESTERN PART OF THE HUIMIN DEPRESSION

Liu Zerong, Xin Quanlin,
(East China Petroleum Institute, Dongying, Shandong)
Wang Yongjie, Xu Peiqin and Zhang Xiaofeng
(Shengli Oilfield, Dongying, Shandong)

Abstract

The formation conditions and distribution regularities of oil-gas pools of the volcanic rocks in the western part of the Huimin depression have been studies by applying the geologic, seismic and well logging information. This paper discusses the types and lithofacies, electricity, seismic reflection configurations, development and distribution of Tertiary volcanic rocks in the area. The study demonstrates that volcanic activity mainly occurred during the period from the Shasi stage to the Guantao stage, i.e., before the oil-generating period (before the end of the Guantao stage and the Minghuazhen stage). The activity did not destroy oil and gas formation and accumulation, but was favourable to concentration of organic matter and its conversion to hydrocarbons; besides, volcanic rocks can serve as reservoir rocks and cap rocks, playing a role very similar to that of a syndepositional anticline. The volcanic rocks are distributed near the margins of the oil-generating depression; there are many secondary pores and fissures in the rocks, which are connected with each other. These are the leading conditions for the formation of oil-gas deposits of volcanic rocks. The formation of volcanic rocks in structural highs before the main oil-generating period and their self-sealing or good combination with other cap rocks these are important factors for forming volcanic oil and gas pools. The oil-gas pools of volcanic rocks in western Huimin are mainly distributed around the deep oil-generating depression, in the central uplift or the structural highs on the margins of the depression. In particular ,the sites where several faults compound are usually areas where high-yielding oil-gas pools of volcanic rocks are concentrated.