

冀中坳陷第三系油气储集体的地震地层学研究

刘 蔚 志 万 里 平

(石油工业部地球物理勘探局解释中心)

新生代冀中坳陷是一陆相断陷盆地, 储集类型繁多, 通过地震地层学方法, 识别出三大类十种储集体。第一类为高能储集体, 包括深水扇、浅水扇、冲积扇、三角洲、浊积砂、塌积锥; 第二类为地貌储集体, 包括坡积物、凹地充填砂砾岩体; 第三类为特殊岩性储集体, 包括火成岩体、碳酸盐岩储集体。分别具有不同的地震相外形和反射结构, 构成各自的特征。

新生代冀中坳陷是一陆相断陷盆地, 以河、湖相沉积为主, 储集体类型繁多, 颇具特色。由于近年来数字地震技术的发展, 在地震剖面上已能识别多种类型的大型储集体, 并逐步掌握了它们的分布规律。

一、高能沉积储集体

高能沉积储集体是在较高的水动能或重力能条件下快速地沉积下来形成的。作为一种独特的地质体, 其地震相的外形或反射结构都不同于相邻的地质体, 层速度往往也较高。现在已经能辨别出来的高能沉积储集体包括深水扇、浅水扇、冲积扇、三角洲、浊积砂及塌积锥等。

(一) 深水扇

深水扇往往沿湖盆陡岸成带分布, 形成深水扇群。在冀中坳陷已用地震地层学方法发现了兴3井、桐28井、固安、豆庄、马庄、晋47井等多个深水扇或深水扇群。

深水扇由扇根、扇中及扇端三部分组成。扇根主要是杂色砾、砂岩夹棕红、黄色泥岩组成; 扇中则主要由暗色泥岩与砂岩、粉砂岩及砾岩互层组成; 扇端以暗色泥岩夹粉砂岩为主。以廊固凹陷的兴3井水下扇群为例, 从图1可

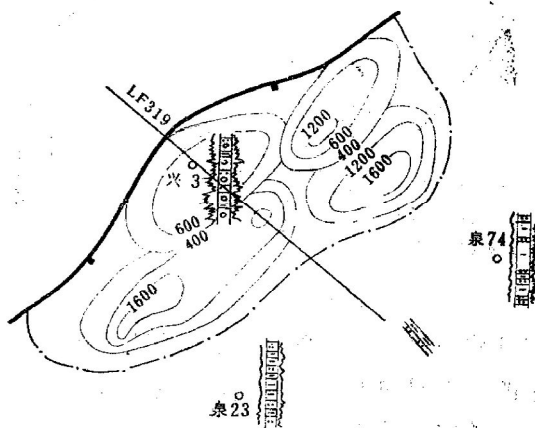


图1 兴3井深水扇群沉积环境示意图

(图中等值线为扇体厚度, 点划线为地震资料追踪出的深水扇边界)

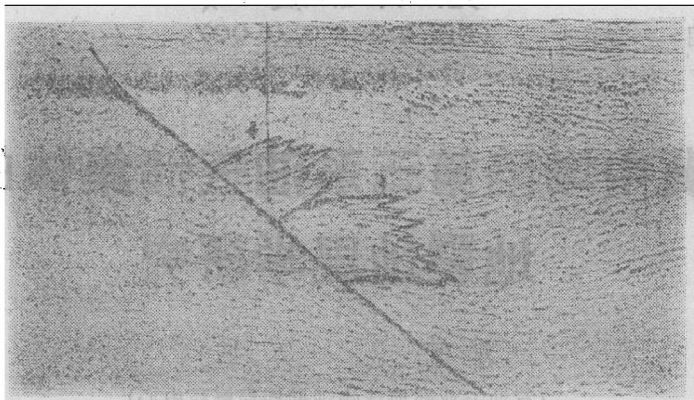


图2 LF319地震剖面(深水扇的地震反射特征)

以看出:这个深水扇群由四个小的深水扇组成,面积共约 100 km^2 ,单个扇体最大厚度达 1600 m 。LF 319 测线(图2)通过两个小深水扇,地震反射表现为强振幅丘状相,顶界清晰,相单元内部反射较连续,振幅较强,并与顶界平行^[1];层速度高达 5000 m/s 以上,较深水扇外的深湖泥岩的层速度(一般 3000 m/s)要大得多。紧贴断层边缘扇根部分反射较杂乱;扇中部分地震反射振幅较强,连续性较好;扇端部分地震反射较弱,并犬牙交错地楔入相邻地震相单元。根据钻于扇中部位的兴3井(图1)资料,在沙三段下部井深 2900 m 至 3500 m ,岩性为暗色泥岩、粉砂岩与杂色砾岩互层,自然电位和电阻曲线呈桶状或尖刀状。砾岩占整个地层厚度的三分之一左右,最大单层厚度达 30 m ,最薄的 1 m 。砾石以灰褐色、灰色、浅灰或灰白色白云岩、灰岩为主,夹少量燧石及灰白色石英砂岩,砾径 $1\text{--}5 \text{ mm}$,最大者 100 mm 以上,半棱角-棱角状,分选差,有时含炭屑;泥岩为深灰色,质纯、较软,多见水平纹层,含有渤海藻、副渤海藻属化石,说明其为深水沉积物。另外,位于深水扇外的泉74井,泉23井(图1)在沙三段下部发育大套暗色泥岩,偶夹粉砂岩,自然电位及电阻曲线皆呈低平形态,亦是深水沉积的特征。从以上资料可以看出,兴3井水下扇群确系深水沉积。

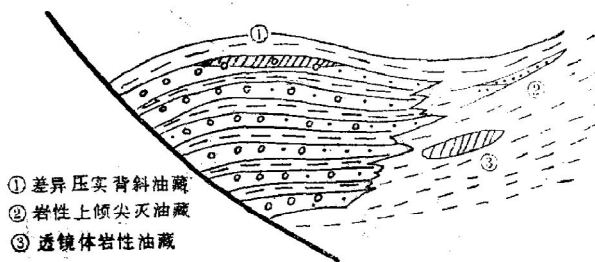


图3 深水扇形成的油藏模式图

深水扇中厚翼薄、内粗外细,因而在上覆沉积物压实作用下往往形成差异压实构造,具有背斜或断鼻形态,能够形成有利的圈闭;同时,由于扇中至扇端部分岩性变化较大,常常形成上倾尖灭或透镜体岩性圈闭(图3)。由于深水扇为生油岩体包围,具有丰富的油源,有利于形成各种类型的油藏。但这些油藏往往形成于砾岩体的上部。如桐28井深水扇砾岩体油藏,油层位于一层近 100 m 厚的砾岩层的上倾尖灭线附近(图4),含油层厚度数米,日产油 55 m^3 。

(二) 浅水扇

从缓坡入湖的河流,由于间歇性洪水携带的砾、砂在浅水湖区沉积下来形成浅水扇。由于河流所经地区的坡降较小,水动力条件较弱,携带的碎屑物质较少,扇体的厚度及规模也较小。如束鹿凹陷西斜坡已发现的四个浅水扇,面积一般仅数平方公里,厚

度数十米至百余米。每个扇体在平面上略成扇形,同一时期形成的扇体往往沿湖岸成线状分布。以钻遇束鹿凹陷沙三段浅水扇的晋8井为例,在井深2800—2900 m,岩性组合主要是浅灰色泥岩与褐色角砾岩、砂岩互层。角砾岩成分为近源的奥陶系白云岩;砂岩具中等分选度,并夹有植物碎片。浅水扇的地震反应为披覆地震相,内部反射较强,略成叠瓦状,与顶、底板都以一定角度相交(图5),

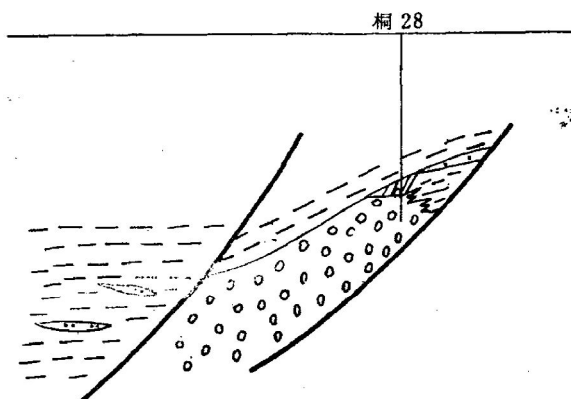


图4 桐28井砾岩体油藏剖面示意图

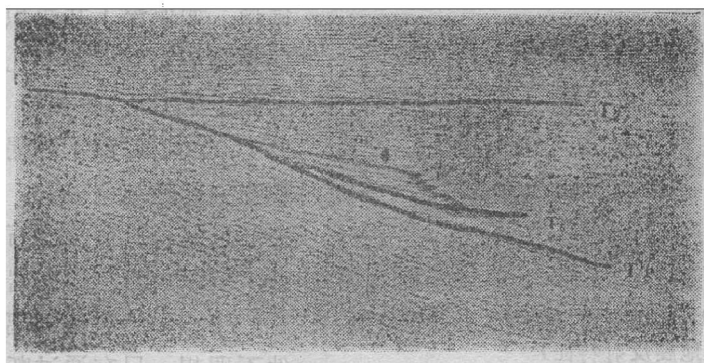


图5 SL78-034地震测线(浅水扇的地震反射特征)

浅水扇一般顺地层倾向分布,可形成透镜状岩性圈闭或上倾尖灭岩性圈闭。具较有利的形成油气藏的条件,但较深水扇稍差。

(三) 冲积扇

冲积扇是山间河流出口后由于流速突然降低,碎屑物质在平原边缘快速堆积而形成的扇体。它主要由红色砾岩、砂岩及少量泥质岩组成,是一种广泛分布的储集体。由于它发育的地貌部位、规模、物源等不同,形式也就多种多样,但它们都有较特殊的地震相外形和反射特征,易于在地震剖面上识别。

从地震地层学角度出发,可将冲积扇分为缓坡型与陡坡型两种,它们在地震相特征上有较明显的差别。

1. 缓坡型 以饶阳凹陷强3井冲积扇为例,它发育于湖盆缓坡上,发育时代是孔店组沉积时期,岩性以红色砂、砾岩为主夹泥岩,砾石成分较杂,棱角状,分选差,整个冲积扇厚度达1500 m,面积约128 km²,平面分布呈扇形。在地震剖面上表现为弱振幅缓丘相,顶面反射强,内部反射较弱,可见相邻地震相对它的超覆(图6)。

2. 陡坡型 这种类型的冲积扇都发育于控制盆地的边界断层附近。它们的地震反射特征与缓坡型冲积扇的明显差别在于丘形轮廓鲜明,坡度较陡,扇的根部直接与边界断层接触,内部反射弱而零乱,横向上地震相边界犬牙交错的楔入相邻地震相中,如保定凹陷的保深1井冲积扇及深县凹陷的白宋庄冲积扇等。这类冲积扇平面形态亦呈

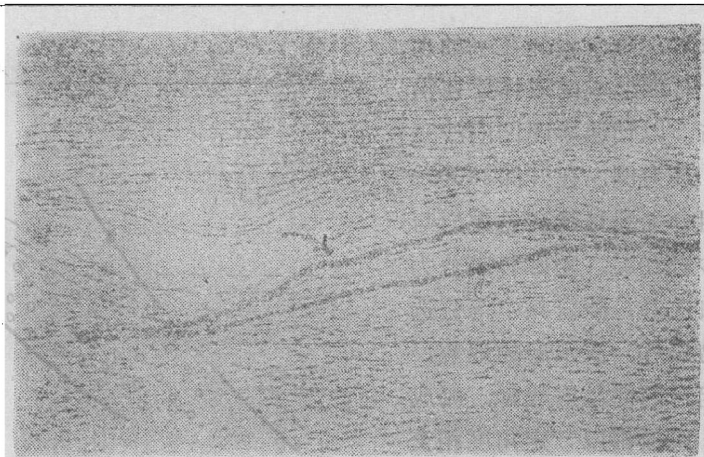


图6 WQ77-27地震测线(缓坡型冲积扇地震反射特征)

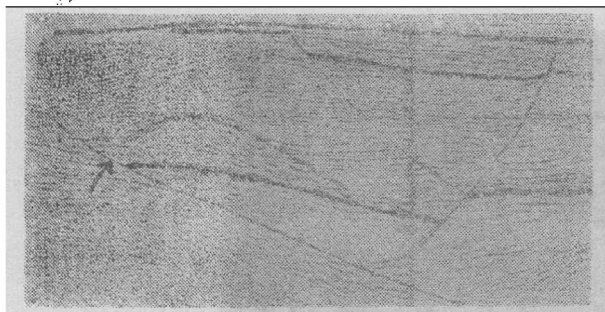


图7 BD 79-617 地震剖面(保深1井冲积扇的地震反射特征)

扇形,如保深1井冲积扇(地震反射特征见图7),它发育于孔店组沉积时期,平面上呈扇形,面积约110 km²,最大厚度1500 m。保深1井揭露的该冲积扇沉积物主要是红色砾岩、角砾岩、粗砂岩夹红色泥岩。砂、砾石的成分极其混杂,但以灰岩、白云岩为主。

冲积扇一般都远离生油区,成油条件不理想,只有通过断层或不整合面与

生油岩体相通时,才有可能形成油气藏。

(四) 三角洲

三角洲是河流和湖泊在河口地区相互影响的结果,是河湖交替相的沉积。湖成三角洲规模一般不大,大者数百平方公里,小者仅数十平方公里。而且并不是所有的三角洲都能在地震剖面上表现出来,只有那些较大型的三角洲在地震测线与古水流方向一致时才能在地剖面上表现出来。表现为斜交前积相或S形前积相,有较明显的顶超和下超现象(图8)。平面形态呈扇形。前积方向代表古水流方向,下超角的大小说明了古水流的强度及前积斜坡的坡度大小。

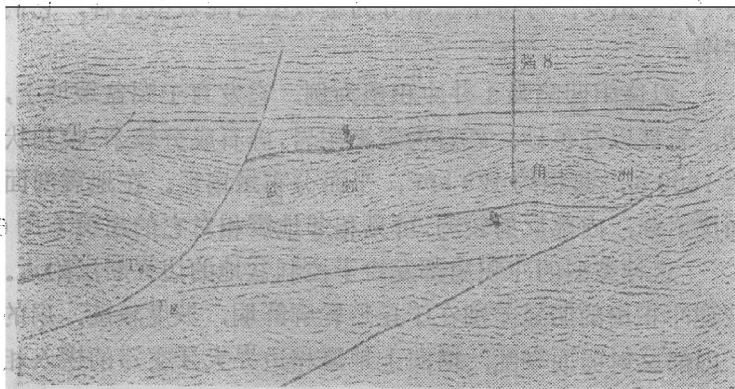


图8 WQ80-725 地震剖面(三角洲的地震反射特征)

在冀中拗陷,三角洲主要发育在两次湖侵时期,即沙三段、沙一段沉积时期,都发育在盆地的缓坡上。现已发现的大小三角洲有十余个。以武强凹陷沙三段三角洲为例,在该三角洲范围内的强8井钻遇沙三段866.5 m,岩性以灰色、深灰色泥岩与砂岩不等厚互层为主,夹红色泥岩及多层炭质泥岩、煤层。砂岩以细砂岩为主,分选好,占地层总厚的31%;炭质泥岩、泥岩与砂岩组成多个反韵律,每个韵律层厚数十米至百余米不等,自然电位曲线呈前积式,为较典型的三角洲沉积。根据以上资料不难看出地震斜交前积相与三角洲沉积体系中三角洲前缘相的斜交前积不同,而是既反应了三角洲平原相也反应了三角洲前缘相和部分前三三角洲,它代表了整个三角洲体系向湖心的推进。

三角洲历来是油气富集的地区,具有很好的成油条件。在三角洲砂体的主体部位以构造油藏为主,在砂体前缘则主要发育岩性或构造岩性油藏。现在查明在冀中拗陷已有武强三角洲、南小陈三角洲等获得工业油流。武强三角洲有南北两个砂体,北面的元昌楼砂体处于一个向斜中,至今未获工业油流;南面的砂体与断鼻构造叠置,已在强2井等处获得了工业油流^[1]。

(五) 浊积砂

多分布在凹陷的中心地区或断陷湖盆陡翼的深水或较深水区,是深湖沉积的砂岩体,而且它们常常分布在深水扇的前方。在冀中拗陷于廊固凹陷及饶阳凹陷皆有发现,厚度数十米至数百米不等,面积不大,仅数平方公里或二、三十平方公里,发育时代多在沙三段沉积时期。

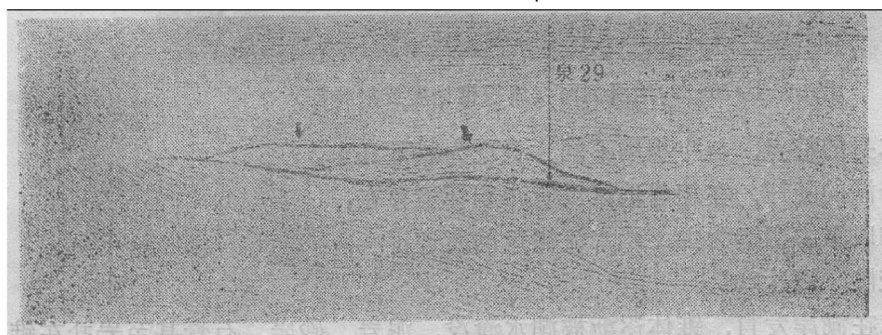


图9 LG85-050地震剖面(浊积砂的地震反射特征)

浊积砂的地震反射常呈豆荚状或小丘状,一般为断续的中振幅反射,并为相邻的水平反射所超覆(图9)。这种地震相形态实际上反映了一种高密度流推进时的快速堆积。如廊固凹陷的泉29井浊积砂(图9),它发育于凹陷中部偏向陡岸,发育时代是沙三段中部沉积时期,泉29井在井深2300—2500 m钻遇该砂体,岩性组合为深灰色、灰色泥岩与浅灰色粉砂岩、砂岩、含砾砂岩呈不等厚互层。据取芯资料(2300—2328.81 m)证实:砂砾岩层呈正韵律分布,从底到顶,依次为砂砾岩、砂岩、粉砂岩、砂质泥岩、泥岩,并见到较明显的鲍马序列,其中以A段递变层理及C段变形层理最清晰(图10),变形层理有压扁层理、波状层理等。粒度大小悬殊、分选差,砂岩成分成熟度低,由韵律层的底到顶为岩屑砂岩、长石岩屑砂岩过渡到长石砂岩。磨圆中等,但常见碳粒。

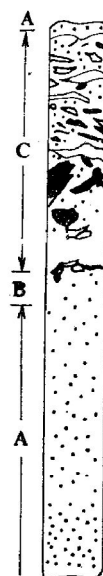


图10 泉29井浊积砂素描图

浊积砂是有利的储集体,物性较好,砂体厚度较大,而且被生油岩包围,具有丰富的油源。在前面所述的泉29井浊积砂体及饶阳凹陷的宁2井浊积砂体中都已获得工业油流,有的井日产数十吨。

(六) 塌积锥

塌积锥是陆相断陷盆地里一种特殊的储集体,它是基岩崩裂、破碎沿陡坡滑塌形成的锥体。不显层理,没有或极少泥质岩夹层。堆积速度极快,厚度可达数百米。以晋县凹陷赵兰庄塌积锥为例,它发育于孔店组沉积时期,平面形态呈扇形,面积约41 km²,厚度700余米。地震反射为杂乱丘状相,丘状外型清晰,顶部突出,内部反射弱而零乱(图11),近岸一侧相单元顶界较缓,在5°以下,远离物源一侧较陡,可达20°。层速度高达5000 m/s以上。据钻遇该锥体核心的赵7井资料,在井深1925—2645.9 m,几乎全为角砾岩,仅夹极少量的红色泥岩,角砾岩成分为灰岩、白云岩和变质岩。

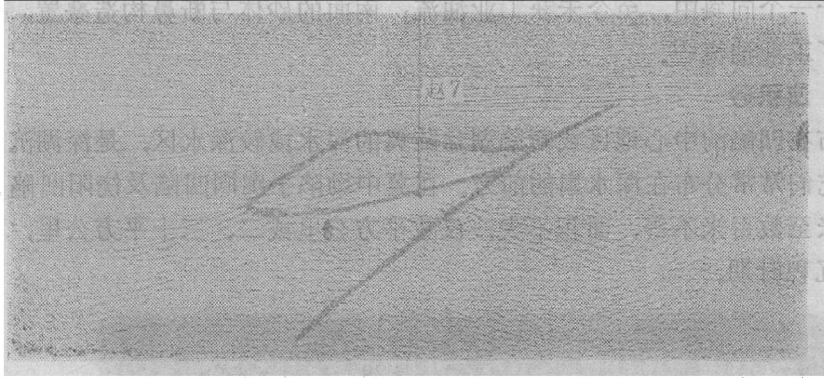


图11 SJ78-399地震剖面(塌积锥地震反射特征)

塌积锥有其本身的特点,与冲积扇不同。表现为以下几点:

- (1) 发育于湖的陡岸,在相邻地区没有冲积环境存在;
- (2) 沉积物以重力搬运为主,无水流搬运的痕迹;
- (3) 锥面较陡,可达20°。

塌积锥往往在湖岸发育,锥体逐渐被湖水淹没,泥岩、砂岩、石膏甚至岩盐在锥体上面沉积将其覆盖,这些上覆层由于差异压实作用常常形成背斜或断鼻形态,锥体顶部的砾岩被泥岩、石膏及岩盐等上覆层封闭可形成岩性圈闭。并且,塌积锥紧邻生油岩体,具有较丰富的油源,成油条件较好。前面所述的晋县凹陷赵兰庄塌积锥已获得了工业油流。

二、地貌型储集体

地貌型储集体是沉积时受古地形控制形成的储集岩体。目前从地震资料上已能分辨出的有两种类型。

(一) 坡积物

坡积物是碎屑物质沿残山的坡面向下滚动形成的砾、砂岩体。在地震剖面上一般表现为断续的强振幅相,外形呈饼状或楔状,分布在古斜坡上,有时可见上覆层反射对它的

超覆(图12)。

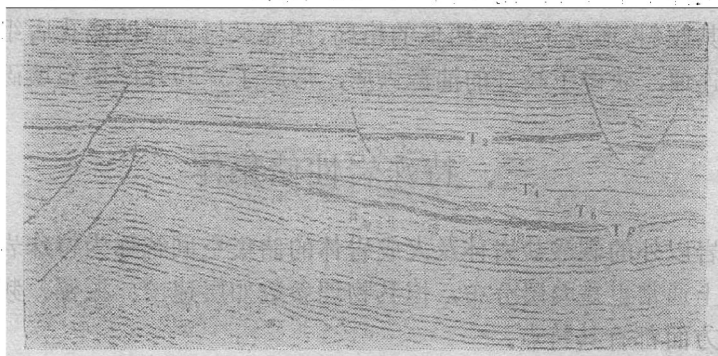


图12 WQ84-120地震剖面(坡积物地震反射特征)

在冀中坳陷现已多处发现坡积砾、砂岩体,如饶阳凹陷刘李庄古残山及深县凹陷刘村-深泽古残山的古斜坡上皆见有坡积砾、砂岩体。前者沿古残山的四周分布,后者出现在古残山的缓坡上,都发育于沉积凹陷发育的初期,最大厚度达数百米,位于坡度转换的地方,愈靠近残山顶部厚度愈小。据钻遇刘李庄孔店组坡积砾岩体的雁118井资料,井深2750—2820 m岩屑及岩芯分析表明,主要岩性为紫红色燧石砾石及灰色、绿灰色含砾泥岩,不见层理,未见生物化石;最大砾径超过10 cm,分选极差,物性变化大。

坡积砾、砂岩体若邻近生油区或覆以生油层,亦可形成油藏,但多为岩性油藏,如刘李庄油藏,含油层为坡积砾岩层,位于低部位的雁50井、雁104井等曾在孔店组坡积砾岩中日产原油数百吨,但其附近及高部位的一些井却无原油产出,显然主要受岩性控制,为岩性油藏。

(二) 凹地充填砂、砾岩体

凹地充填砂、砾岩体一般发育在第三纪早期残留的凹地上,多为孔店组沉积。凹地充填砂、砾岩体的平面形态受古地形控制,可以多种多样,厚度数十至数百米不等,地质成因较为复杂。以中北斜坡京30井区凹地充填物为例,在GA79-605测线上其底板下凹,顶界略呈弧形并超覆在底界上,内部反射较强,有分叉现象(图13)。京30井钻遇该充填物的上部,井深1935—2032 m,厚约100 m。底部为浅灰色灰岩砾石层,见潘德尔牙形石,说明砾石来源于奥陶系上马家沟组灰岩,岩性与前第三系基岩一样,可能为风化残积物;下部为棕褐色油斑、油浸砾岩,砾石成分为溶孔状白云质硅质岩,砾石表面溶洞发育,连通性好,其形成显然也与风化壳有关;上部为杂色砾岩夹紫红色砂质泥岩,砾石成分顶部以燧石、石英为主,向下渐变为以灰岩、白云岩为主,砾径一般2—5 mm,大者10 mm左右,具有河流冲积相的特点。因之,对京30井凹地充填物来讲,下部充填物主要是风化壳的产物,并由于风化作用形成了良好的次生孔隙,为形成油藏提供较

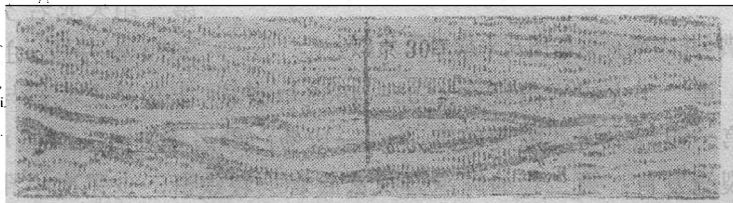


图13 GA79-605地震剖面(凹地充填砂、砾岩体地震反射特征)

好的储集条件;上部则主要是河流冲积物对凹地的充填。京30井区凹地充填物由于后期的构造运动将其倾斜,形成了东高西低的格局,西部又与廊固凹陷孔店组-沙四段的生油岩通过不整合连通,获得了较好的油源供应,形成了京30井凹地充填砾石油藏。

三、特殊岩性储集体

我们将碎屑岩以外的碳酸盐岩体及火成岩体的储集空间统称为特殊岩性的储集体。它们在地震剖面上通常也是成层分布,但其物理参数如层速度、振幅、频率及地震反射结构、连续度等方面都有其特点。

(一) 火成岩体

冀中拗陷在早第三纪时有多期岩浆活动,形成了多套火成岩体,但以始新世末沙四段沉积初期的基性岩浆活动最广泛和最有勘探价值。这一时期冀中拗陷大多数凹陷都进入湖相沉积期,火成岩体分布在生油岩中有利于油气藏的形成。以廊固凹陷为例,沙四段生油岩厚达千米以上,其中有大量的火成岩体分布,这些火成岩中玄武岩、凝灰岩呈层状分布,而有的辉绿岩则斜穿层理。

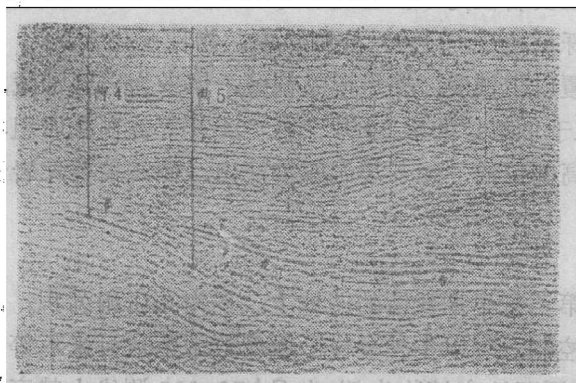


图14 LF338地震剖面(火成岩体地震反射特征)

火成岩在地震剖面上一般表现为低频强振幅连续反射(图14),层速度一般较高,可达4500 m/s以上,但在孔隙发育的情况下,又可降到3000—3500 m/s,这种由于孔隙度变化而引起层速度的变化在波阻抗剖面上有比较清楚的表现。

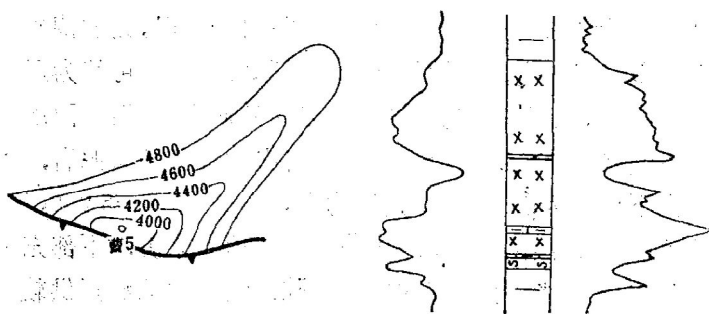


图15 曹5井火成岩形态图及火成岩录井图

火成岩体分布在生油岩中,它们经常形成岩性上倾尖灭或透镜状岩性圈闭,如图15所示,曹5井位于火成岩尖灭线附近,井深3000 m到4670 m主要是灰黑、深灰色泥岩夹细砂岩及火成岩,偶夹泥质灰岩。曹5井钻遇两组火成岩,第一组火成岩分布在3616—3674 m井段,主要是辉绿岩,

底部见凝灰岩;第二组火成岩出现在4555—4653 m井段,上部是玄武岩与泥岩互层,下部是辉绿岩。第一组辉绿岩孔隙度较高,为8—12%,渗透率0.3—44.5 mD,晶间孔隙、长石溶孔及微裂缝发育;第二组的辉绿岩及玄武岩均较致密,少见次生孔隙及裂缝。在曹5井第一组辉绿岩中测试日产原油18 t,气60000 m³,属岩性油藏。另外,在廊固凹

陷风河营构造上沙四段的玄武岩中亦获得工业油流,说明火成岩体作为一种油气储集体具有广阔的勘探前景。

(二) 碳酸盐岩储集体

在冀中坳陷下第三系中,除东营组外皆有碳酸盐岩分布。按成因可分为盐湖型和淡水型。盐湖型碳酸盐岩多发育于孔店组及沙四段与盐岩、石膏等伴生。由于沉积稳定,成层性好,在地震剖面上常表现为连续的强振幅反射。淡水型碳酸盐岩多发育在沙二段、沙三段及沙一段。淡水型碳酸盐岩亦可分为两种,一种是深湖-半深湖相的泥晶灰岩,它们一般与暗色泥岩互层或夹在暗色泥岩中,地震反射连续而光滑,振幅较强,层速度可达 5000 m/s ,但储集性能差;另一种是在浅水台地、生物滩、封闭湖湾等环境下沉积的鲕状灰岩、砂屑灰岩、介壳灰岩、藻屑灰岩、藻屑白云岩等,一般都发育有较好的孔隙,常与砂、泥岩组合形成薄互层。这种类型的碳酸盐岩在地震剖面上的反射特征,主要取决于碳酸盐岩层的厚度及其稳定性。若碳酸盐岩集中,厚度又较大,则形成一强一弱两个波,较连续,微有波状扭曲;若碳酸盐岩薄层多而分散,不管稳定与否,振幅强弱皆有,反射连续性差,易出现扭曲、分叉、叠瓦状、丘状等反射结构(图16)。在经过特殊处理的相位剖面上,碳酸盐岩的反射结构如丘状、波状、叠瓦状、分叉合并等复合波特点就表现得更清楚¹⁾(图17)。由于这类碳酸盐岩的连续性差,常与构造叠合形成构造岩性油藏,如留70-39在沙三段上部藻屑白云岩中获高产油流,日产原油150t,就是藻屑白云岩在大王庄构造背景上形成的构造岩性油藏,该藻屑灰岩层的物性向邻区逐渐变差。物性较好的碳酸盐岩在没有构造背景的情况下,有时也能形成岩性油藏。

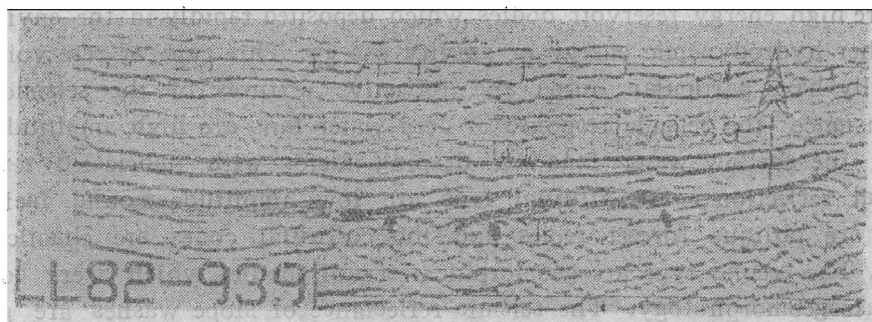


图16 LL82-939 地震剖面(碳酸盐岩的地震反射特征)

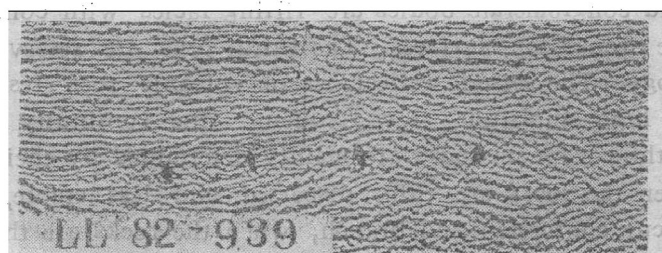


图17 LL82-939 地震相位剖面(碳酸盐岩地震反射特征)

以上所述三大类十种储集体,是当前地震勘探精度下有较大把握分辨出来的储集

1) 部分采用物探局一公司研究队牛国军等的内部报告。

体。我们相信随着勘探工作的深入和地震勘探精度的提高,还会有更多的油气储集体可以分辨出来,它们的细节也将更加清楚。

参 考 文 献

- [1] 刘前志等, 1984, 冀中坳陷第三系地震相及其含油气特征。石油学报, 第5卷, 第4期。

STUDY OF SEISMIC STRATIGRAPHY OF THE TERTIARY HYDROCARBON RESERVOIR BODIES IN JIZHONG DEPRESSION

Liu Qianzhi

Wan Liping

(Interpretation Center of Geophysical Exploration Bureau,
Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

3 types (including 10 kinds) of reservoir bodies are discovered by means of seismic stratigraphy in the Tertiary strata in the Jizhong Depression. The first type are high energy reservoir bodies which deposited rapidly in the environment of higher hydrodynamic energy or gravity energy. This type of reservoir bodies generally have particular forms and reflective textures of the seismic facies. For instance, the seismic response of deep-water fans are high amplitude-mound facies, the shallow-water fans are draping facies with imbricated texture in internal reflection, the alluvial fans are low amplitude-mound facies, the deltas are oblique foreset facies and the colluvial cones are chaotic mound facies. The second type are geomorphic reservoir bodies which were controlled by paleogeomorphology. The seismic reflectance of slope washes are generally discontinuous high amplitude facies in the form of pancake or wedge and the filled sand and conglomerate bodies are filling facies with concave-down base plates and the arcuate top surfaces. The third type are reservoir bodies with special lithology. The seismic reflectance of volcanic rock reservoirs are characterized by high amplitude, low frequent, fine continuity and high layer velocity and the carbonate rocks are mainly determined by their thickness and stability, when the rocks are thin, dispersed and less stable, seismic reflectance will occur contortion and branch; when the rocks are thick and continuous, the properties of reflectance will show a high wave and a low wave with light-undulatory contortion. The above reservoir bodies were controlled by paleo-current direction, strength and paleogeomorphology as well as tectonic movement.