埕南断裂带埕 913 砾岩体成藏地质条件及勘探开发实践*

王绍光
(胜利石油管理局井下作业公司, 山东 东营　257077)

摘要:从圈闭特征、生油条件、盖层条件和砾岩体的储集条件等方面对济阳坳陷埕 913 区块进行了地质研究;细分了沉积微相,对砂砾岩扇体进行了精细描述,摸索出储层压裂改造方案,总结出一套砾岩复杂岩性油藏的研究思路和技术方法。

关键词:砾岩体;成藏条件;储层描述;压裂改造;山东;胜利油田
中图分类号:TE122.2^{+}21;TE132.1　　**文献标识码**:A

1 概况

埕 913 区块位于济阳坳陷北部的埕南断裂带东段的下降盘,北靠埕东凸起,南邻渤南洼陷。埕南断裂带是济阳坳陷与埕宁隆起的分界断层[1],在埕东凸起南边由 NE 向、NW 向和近 EW 向 3 组断层组成,延伸长度达 70 km。埕南大断层倾角较陡,活动时间较长(自古近纪济阳群沙河街组沙四段沉积早期到新近纪黄骅群明化镇组沉积时期一直持续活动),活动强度大,控制了整个渤南洼陷古近纪的沉积建造及其演化。古近纪时期,由于埕东凸起山高坡陡、渤南洼陷北部陡坡带呈现沟梁相间的古地貌,凸起上被剥蚀的古生界碎屑物质沿埕南大断层下降盘形成了一系列水下冲积扇,扇体纵向上叠置,平面上成串分布,具有较好的沟—扇组合关系及继承性发育特点。受当时古地形、古气候、物源及沉降幅度的影响,各期扇体发育大小、延伸规模及沉积特征变化较大,其中沙三段砾岩体由于规模大,储层发育,虽然物性比较差,但在大断裂强烈活动的断层发育区,砾岩体的储层受到改造,具有良好的油气成藏条件。1997 年完钻的埕 913 井,在 2 130～2 294 m(沙三段内)发现砾岩体厚达 164 m,试油 8 mm 油嘴日产油 88 t,1998 年上报探明含油面积 0.7 km^2,石油地质储量 1.17 ×10^6 t,1999 年设想建成原油生产能力 2 ×10^4 t,由于所部署的 4 口开发井准备井孔隙及渗透性差,投产后产量比较低,产能建设未能实施。2000 年通过利用三维地震资料加强砾岩体的期次划分并在开发过程中进行储层横向描述及压裂改造,单井产量突破 30 t/d,打井 6 口,建产能 3 ×10^4 t,2001 年通过外扩打井 8 口,新增储量 229 ×10^4 t,再建产能 2 ×10^4 t,取得了较好的勘探开发效果。

2 油气成藏地质特征

2.1 圈闭特征

埕 913 区块位于埕南断裂带埕东地区西段,沙三段砾岩体顶面构造 NE 高,向 SW 倾,倾角约 20.5°,靠近凸起处陡,向洼陷处变缓,高点埋深 2 100 m,幅度近 500 m。该区内有 3 条近 EW 走向的盆倾断层,是埕南大断层自转折处向西的伴生断层,将埕 913 区块分割为 2 个断阶。断层在纵向上呈犁形排列。埕 913 区块砂砾岩体直接沉积于基岩断剥面上,形成义 109 鼻状构造上的砂砾岩体油藏,整个砂砾岩体为一构造岩性圈闭。

2.2 生油条件

埕 913 区块所处的埕南断裂带沙三段底部埋深不到 2 000 m,在这一深度范围内的暗色泥岩均未达到本地区的成熟门限,因此埕 913 砾岩体油藏主要是由渤南洼陷内进入成熟门限后的生油岩为其提供

*收稿日期:2003 - 03 - 10;修订日期:2003 - 06 - 02;编辑:张天祯
作者简介:王绍光(1969 -),男,四川岳池人,工程师,从事石油地质勘探和石油管理工作。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

较充足的油源,并经一定距离运移至圈闭中而形成。总的来看,最有利的生油层是渤南洼陷内沙三段油泥岩和油页岩,生油岩有机质类型较好,多为Ⅰ型干酪根,少数为$Ⅱ_1$型和$Ⅱ_2$型,极个别为Ⅲ型,其绝大多数的有机碳含量达1%以上,高者可达7.46%,为好的生油岩,埋深在1 600～3 200 m的生油岩(Ro%为0.3%～0.5%之间)均有可能成为低成熟石油的油源岩,而成熟石油的油源岩可能埋藏深度大于3 200 m。若以埋深3 200 m为成熟门限埋深值,沙三段开始进入成熟门限的时间大约为4～10 Ma,而进入低成熟门限的时间大约在26～30 Ma,总之该区具有良好的生油条件。

2.3　盖层条件

砂砾岩体油藏的盖层条件是指砂砾岩体之上是否有泥岩覆盖或不同期次的砂砾岩体间是否有泥岩隔层。因此本区砾岩体油藏的盖层条件包括两个方面,其一是纵向上沙三段砾岩体上部的泥岩的封盖作用,其二是侧向上断层的封堵作用。

2.3.1　泥岩盖层

本区的泥岩盖层在油气成藏过程中主要起纵向封堵作用。从纵向上来看,尽管砂砾岩体局部非常致密,但整体上孔渗性不均匀,不具备盖层条件,只有在具有泥岩或油泥岩覆盖的条件下,圈闭才是有效的,如埕913井沙三段上部暗色泥岩和沙二段下部的灰质泥岩厚度可达175 m左右,是良好的盖层。从目前的勘探结果来看,除了厚层泥岩外,一些厚度不大的泥岩层对油气藏也具有较好的封隔作用。从水下扇的沉积特征来看,不同厚度的泥岩在其中是广泛发育的,因此本区的岩体上部泥岩具备较好的盖层条件。

2.3.2　断层的封堵性

对于断鼻圈闭和断块圈闭,断层面具备封堵条件,而断层面的封堵实是依靠渗透层与致密层的对接或泥岩的涂抹来实现的,本区的致密层为泥岩和油泥岩,所以断层面封堵最基本的条件同样是要求砂砾岩体之上有泥岩盖层或隔层[2]。除此之外,断层面的封堵或开启与断层的活动强度、活动时期有关。埕南断裂带是一长期强烈活动的边界断层,断裂活动一直持续到喜玛拉雅运动第三幕,切割明化镇组。这种在油气大量运移时期仍在活动的断层是开启的断层,但在某一段时期又是封闭的,但埕913地区的封堵主要是上覆泥岩。

2.4　砾岩体的储集条件

2.4.1　砂砾岩类型

埕913砂砾岩类是近岸水下扇沉积体系内的产物,主要包括砾岩、砂质砾岩、灰质砂质砾岩、砾状不等粒岩屑砂岩、不等粒长石岩屑砂岩等岩石类型。总体上看,此类岩石成分成熟度和结构成熟度均较低,砾石成分复杂,主要有酸性喷出岩、泥岩、石英砂岩、灰岩、白云岩等,含量在60%～80%之间。填隙物为砂、泥质混杂;砾石大小不一(2～120 mm),分选差,磨圆较好。

2.4.2　砂砾岩的储集空间类型

根据砂砾岩的特殊性,综合考虑成因、孔隙大小和形态,通过对区内岩石薄片鉴定,铸体薄片分析和扫描电镜分析结果的综合研究,将沙三段砂砾岩的储集空间分为4种成因类型。

(1)原生孔隙:主要有2种,一种为原生粒间孔隙,为原始孔隙受早期压实作用和胶结作用后所剩粒间孔隙;另一种为微孔隙,如微晶间孔隙和杂基中微孔隙。粒间孔隙主要包括砾石间填隙的砂粒间孔隙。为砾石间填隙的砂粒间的粒间孔隙,孔径在9～48 μm之间,一般为20～32 μm,孔隙喉道为10～20 μm。

(2)次生孔隙:主要包括粒间溶孔隙、粒内溶孔隙、长石晶内溶孔隙和铸模孔隙等类型,均是由于溶蚀作用所形成的。从该区来看这种溶蚀作用所形成的次生孔隙主要是溶蚀长石或其他不稳定组分的岩屑的结果,孔隙无论在近岸水下扇砂砾岩中还是在浊积扇砂岩中,孔径都比较小,一般为2～5 μm。因此,从孔径大小来看,比上述原生粒间孔隙小的多,因而其物性相对要差。

(3)微孔隙:包括微晶间孔隙和杂基中的微孔隙2种类型,区内微孔隙主要为高岭石、伊利石等粘土矿物中的微孔隙,孔隙直径一般为1～3 μm,个别达8 μm。

(4)微裂缝:在区内主要有2种成因类型的微裂缝,一种为成岩压实作用所形成的微裂缝,另一种为构造应力作用所形成的微构造缝。

上述4种储集类型并不是单独出现的,常常相互混合出现构成混合孔隙类型。但起主导作用的最主要的为原生粒间孔隙,其次为次生溶蚀孔隙。

埕913区块沙三段砂砾岩平均有效孔隙率低,

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

变化范围为 3.15 %～13.92 %,多数井不超过 8 %。平均渗透率亦低,变化范围为 0.08 ×10^{-3} μm^2 ～45.65 ×10^{-3} μm^2,渗透率小于 1 ×10^{-3} μm^2 的样品百分率达 75.54。故本区储层多为低孔隙和特低渗透层。

3 勘探开发主要思路及效果

3.1 沉积微相研究

通过对区内取心井的岩心观察,结合各砂体的沉积特征及其相应的测井相标志,将研究区沙三段近岸水下扇划分为扇根、扇中和扇端 3 个亚相。

3.1.1 扇根沉积

本区有 2 种类型:A 类为连续的砾岩段,由粗、中砾岩组成,细砾岩很少,几乎无泥质夹层,分层不明显,以埕 913 井扇根沉积为代表;B 类主要由中、细砾岩组成,间夹少量砾状砂岩和薄层泥岩,相对较细,以埕 913 - X9 为代表。

扇根砾岩具砾径悬殊大、粗细混杂、分选极差、分层不明显(在连续几十米的岩心上均无较明显的层面或夹层)的特点。砾石和填隙物的成分、数量因属不同扇体而有差异,但砾石和填隙物的各自组成百分比及数量,在纵向上变化频繁,多数井段无较明显的变化规律或趋势,显得十分杂乱,是这些粗碎屑岩的共性。纵向上,砾石砾径的变化显示出正、反韵律及砾径无明显变化规律(或杂乱变化)的块状段频繁交互沉积的状况。

3.1.2 扇中沉积

扇中沉积多为油泥岩、泥岩、油页岩与砂岩、少量含砾砂岩的互层及中粒度的砾岩。砂岩单层厚度较大,通常在 3 m 以上,最厚者可达 10 m。

因砂层较厚,测井曲线能较好反映砂层的存在及其特征。就其中的单个砂层而言,在电阻率曲线上多呈钟形,在自然伽玛和自然电位曲线上,则呈现多样化的曲线形态:即钟形、漏斗—钟形和箱形。漏斗—钟形曲线是其中较多较有代表性的曲线形态,它反映了扇中砂体的前积和砂层向上粒度减小,泥质含量增多的沉积过程。

3.1.3 扇端沉积

扇端沉积主要为油页岩、油泥岩夹细砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩。各类粉、细砂岩的单层厚度小,一般不超过 2 m。自下而上,通常砂层减薄、泥质岩增多,渐变为深湖、半深湖相沉积。因砂层少而薄,2.5m梯度曲线主要受油页岩、含钙油泥岩的高电阻率影响而呈中、高阻尖峰交错起伏的高阻段。在自然伽玛和自然电位曲线上,砂层通常呈低幅度的齿形曲线。

3.2 砂砾岩扇体的细分和对比

针对一个地区的砾岩体仅仅划分出扇根、扇中和扇端是往往不够的,因为在打井实践中发现,在不到 300 m 的范围之内,往往会钻到上一期砾岩体的扇端,本期砾岩体的扇中和下一期砾岩体的扇根,要搞好砾岩体的滚动开发和注水,必须在砾岩体亚段划分方案的基础上,对埕 913 井地区砂砾岩扇体内部做了进一步的细分。

砾岩体的细分工作主要根据录井、测井资料进行划分,然后进行合成地震记录的标定,在三维地震剖面上进行描述,砾岩体在各测井曲线上的响应值和曲线特征受到多种因素的影响。经录井与测井曲线的对比分析,确认主要的影响因素有:①砾石的数量、砾径和成分;②填隙物的成分和数量;③胶结的致密程度。发现在纵向上,由于岩性粗、分选差、非均质性强,没有一种因素能在较长井段内起到稳定的主导作用,再加上几乎无泥质夹层,致使砾岩段的岩电关系复杂,各测井曲线的分层性差,内部的细分、对比十分困难。在仔细对比井壁微电阻率成象测井和常规测井曲线之后,发现各测井曲线中,自然伽玛曲线的变化与砾径的变化有较密切的关系。在埕 914 井的 FMI 测井的动态加强图象(ECN)上,砾石的形状和大小展现较为清楚。按砾径的变化,砾岩体内可分出 3 种旋回段:正韵律、反韵律和粒序无趋势段。3 种旋回段的砾径变化均能在自然伽玛曲线上得到一定程度的反映,可对比性相对较好。按此认识,经分析对比,在亚段界线的控制之下,将本区扇体连续砾岩段进一步划分为 6 个层,由下而上自然伽玛值由低到高,底部自然伽玛值低,中、上部自然伽玛值高。结合三维地震划分出 7 个砾岩体的期次,并针对每个小的期次描述出砾岩体分布图、微构造图及厚度图来指导打井。

3.3 开展储层压裂改造

由于埕 913 区块含油面积小,弹性开采,投入开发以来一直存在着储层岩性致密,导流能力低,单井产能递减快等矛盾。1999 年对 2 口开发井进行大

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

型酸化并配置以深抽工艺仍未取得突破,2000 年年初除埕 913 井外,其他井几乎不能正常生产,产能建设和外围滚动也因此搁浅。

2000 年以来,为加快该区块储量的动用,根据以上研究综合分析后采取单井压裂方式,先从构造位置较高的埕 913 - 3 井开始,取得突破后向其他停产低产井推广。

2000 年 4 月,采用普通石英砂作为支撑剂压裂北块的埕 913 - 3 井一次获得成功,采用 12 mm 的油嘴初产 80 t/d,一直连续生产。而后陆续向其他井推广,埕 913 区块口口实施压裂改造,获得 30～60 t/d 不等的日油能力,特别是原来月开抽时率只有6.6 % 的埕 913 - 2 压裂后转喷,日油水平由 0.6 t/d 上升到 60 t/d,每米采油指数由 0.038 t/d.MPa.d.m 上升到 0.34 t/d.MPa.d.m,而且从环空恢复测井和井温测井解释结果来看,地层渗透性变好,有效渗透率由 2.24 毫达西改善到 12.5 毫达西,纵向出油段增加。埕 913 区块压裂人为造缝不仅使地层泄油能力提高,单井产能大幅度提高,改变了埕 913 区块单井长期低产低效的开发局面,当年建产能 3×10^4 t,更为重要的是突破了块状厚层砂砾岩体压裂改造的先例,为埕 913 区块下一步的滚动开发和产能建设提供可靠的部署依据。

3.4　实施滚动勘探扩边

砾岩体投产压裂成功为滚动扩边增加了信心,针对砾岩体进行了平面上的扩边和纵向上的试采,使该区的储量得到成倍的增长,1998 年对埕 913 地区只上报了埕 913 探井周围 0.7 km^2,石油地质储量 117×10^4 t,在长达 2 年的时间里储量得不到动用,通过开展精细油藏研究,开发井由原来得 4 口增加到 16 口,在平面上含油面积增加到 1.4 km^2,原来的储量只集中在砾岩体的顶部,经过重新论证,射开砾岩体的下部也能增产,厚度也得到增加,2001 年通过储量重新计算,预计能够新增 2.29×10^6 t。

4　结论与认识

埕南断裂带东段砾岩体的勘探在 1998 年以后取得了较大的突破,通过近年来的勘探开发实践,在砾岩体成藏规律方面取得以下主要认识:①陡坡带水下扇砾岩体成藏取决于圈闭、油源、泥岩盖层、断层封堵性以及储集空间类型等多种地质因素的控制,只有在各种因素有效配置的条件下才能成藏。②在勘探开发过程中,对砾岩体进行沉积微相的研究和砾岩体精细描述是勘探开发的关键,其中以中扇亚相的辫状沟道微相和构造高部位是最有利的勘探靶区。③采取单井压裂方式,首先从构造高部位开始,逐步向周边部位滚动开发,通过平面上的扩边和纵向上的试采,不仅能够增加储量,而且能够提高产量,实践证明是一条行之有效的开发思路。

参考文献:

[1] 王秉海,钱凯. 胜利油田地质研究与勘探实践[M],东营:石油大学出版社,1992,60 - 61.

[2] 毕义泉,刘里勤,沈国华. 王庄油田郑 408 砂砾岩体储层非均值性研究[J]. 石油勘探开发,2000,27(6)42 - 44.

Geological Condition of Ore - forming and Exploration Practice of Cheng No. 913 Conglomerates in Chengnan Fault Belt

WANG Shao - guang

(*Underground Exploration Company of Shengli Oil Field, Shandong Dongying* 257077, *China*)

Abstract: Through encirclement characteristics, oil - forming condition, cover - rock condition and concentration condition of conglomerates, geological study of Cheng No. 913 block in Jiyang depression is carried out. Sedimentary microfacies are divided carefully, and scalloped conglomerates are described as well. Transform of reserve pressure burst is put forward, and a set of study thoughts and technology method of oil - forming in conglomerates is summarized.

Key words: Conglomerate; ore - forming condition; description of reserve; tranform of pressure burst

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net