苏德尔特油田贝 16 断块兴安岭群 沉积特征与储层非均质性

徐振中¹,姚 军¹,王夕宾¹,张荻楠²

1. 中国石油大学 石油工程学院,山东 东营 257061

2. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院,黑龙江大庆 163712

摘要:在岩心观察描述、测井及开发动态资料综合分析的基础上,对苏德尔特油田贝 16 断块兴安岭群 储层沉积特征及非均质性进行了研究,并分析了它们对注水开发的影响。结果表明:研究区在兴安岭群沉 积时期主要发育滨浅湖沉积背景下的扇三角洲前缘的沉积,其中扇三角洲前缘水下辫状河道不等粒砂岩 及粗砂岩储层物性最好,河口坝中粒砂岩次之,远砂坝粉砂岩最差;除了 油组以外,其它油层的储层非均 质性较强。应当根据沉积微相的平面分布特征及储层非均质性的强弱采取不同的开发措施。

关键词:苏德尔特油田;兴安岭群;储层沉积特征;非均质性 中图分类号:P618.130.21 文献标识码:A 文章编号:1671-5888(2008)06-0926-07

Reservoir Sedimentary Characteristics and Heterogeneity of Block Bei 16, Xing anling Group in Sudeerte Oil Field

XU Zhen-zhong¹, YAO J un¹, WAN G Xi-bin¹, ZHAN G Di-nan²

1. Faculty of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China

2. Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract :According to core observation, well logging and boring, as well as the development performance data, reservoir sedimentary characteristics and heterogeneity and their effects on the flood development of block Bei 16, Xing 'anling Group in Sudeerte oilfield were comprehensively studied. The results show that the Xing 'anling Group was developed in a fan delta front in a depositional setting of coastal and shallow lake. And the physical properties of the reservoir consisting of non-equal grain size sandstones and gritstones in submerged branch channel are the best, of medium-grained sandstones in mouth bar are secondary, and of siltstones in distal bar are the worst. The heterogeneity of is weak, but the heterogeneity of the other groups is strong. Then different development measures should be adopted based on the distribution characteristics of the sedimentary micro-facies and their differences in reservoir heterogeneity.

Key words: Sudeerte oilfield; Xing 'anling Group; reservoir sedimentary characteristics; heterogeneity

基金项目:中国石油天然气股份公司科技攻关项目(030127)

收稿日期:2008-03-11

作者简介:徐振中(1970→),男,安徽亳州人,在站博士后,工程师,主要从事石油地质综合研究,Tel:0546-8399140,Email:xzz7010@126.com。

0 前言

海拉尔盆地是中国东北地区在古生代褶皱基底 上发育起来的大陆火山裂谷型中生代断陷盆地,是 大庆探区外围盆地中油气勘探前景最有利的盆地。 该盆地包括 3 个坳陷区和 2 个隆起区,进一步划分 为 4 个凸起 16 个凹陷共 20 个二级构造,其中贝尔 凹陷是盆地内一个最大的凹陷[1-2]。苏德尔特油田 位于海拉尔盆地贝尔凹陷贝西和贝中生油洼槽之间 的苏德尔特构造带上。其主力区块之一——贝 16 断块兴安岭群油藏自 2003 年 12 月开发至今,大体 经历了天然能量开发、注水试验及滚动开发 3 个阶 段。目前,单井产量不稳定、含水上升较快等一系列 问题制约了油藏采收率。笔者主要对贝 16 断块兴 安岭群储层的岩心、测井及开发动态等资料进行了 详细的研究,旨在讨论储层的沉积特征与非均质性。 及其对注水开发的影响,为该断块的注水开发、提高 油藏采收率提供地质依据。

1 沉积特征

苏德尔特地区在兴安岭沉积时期为滨浅湖到半 深湖沉积环境,早期水体较浅,区域内部存在局部凸 起。从岩心中灰黑色的浅变质泥岩砾石(图版 a)可 以判断这些局部凸起提供点物源,向盆地提供部分 碎屑物质。这一时期断层的活动性较弱^[3],盆地的 拉张较小,研究区为一截凸填凹过程。中晚期,受到 区域性断层活动的影响^[3],盆地的拉张量增强,水体 逐渐变深。根据区域构造背景、砂岩百分含量(图 1)和砂体厚度等值线图综合判断,贝 16 断块兴安岭 群物源方向来自东部、东北部及北部的构造高部位。

1.1 地层特征

贝 16 断块兴安岭群沉积时期整体为水进超覆 沉积,属断陷初始张裂期。其底界为兴安岭群与布 达特群之间的不整合,顶界面为兴安岭群与南屯组 之间的不整合。兴安岭群发育的 3 个湖泛面、1 个 沉积转换面以及沉积间断面或不整合面将兴安岭群 油层分为 0、、、、、 6 个油组共 123 个小 层,其中 3 个湖泛面确定为、、 油组的顶界,沉 积转换面和不整合面分别为、 油层组的顶界。 其中、和 油组(、 油组合采)为本区的主力 含油层段,其储量分别占到 37.5%、43.0%。

1.2 岩石矿物学特征

通过岩心、岩屑观测,薄片观察及扫描电镜等分





Fig. 1 The distribution of sand content of Xing 'anling Group in block Bei 16

析,贝16断块兴安岭群储层岩石类型以碎屑岩为 主,少量火山碎屑岩储层。碎屑岩储层中不等粒砂 岩和粗砂岩物性最好,其次为中砂岩、细砂岩和砾质 砂岩,粉砂岩和凝灰质砾岩最差。岩石结构致密,风 化程度较深(兴安岭群沉积后,这一区域一段时期处 于抬升剥蚀状态,地表水不断下渗导致岩石颗粒发 生风化,如长石高岭石化、碳酸盐矿物的交代和胶结 等,图版 b),由火山碎屑和陆源碎屑组成。其中:火 山碎屑体积分数为 3.6%~36.4%;陆源碎屑中,石 英体积分数为 4.2 % ~ 6.6 %, 平均 5.3 %, 长石体积 分数为 11 % ~ 22 %, 平均 16.6 %, 岩屑体积分数为 30%~53%,平均42.4%。岩屑中以岩浆岩岩屑为 主,其次为沉积岩和变质岩;胶结物体积分数为 7.7%~19.0%,平均13.2%,以方解石及自生粘土 矿物胶结为主,粘土矿物和碳酸盐含量较高是储层 产生敏感性的主要因素。分选差到中等、部分分选 较好:颗粒次圆状 --次棱角状,点式、线式和凹凸式 接触均有发育,其中以点-线接触为主(图版 c);以孔 隙式胶结为主,部分为镶嵌式胶结。

1.3 沉积微相

根据现代沉积学理论^[4],对研究区地质、钻井和 测井等资料的综合研究,特别是对贝 28、贝 14-x56-54、贝 16 等 10 余口取心井计 800 余 m 的岩心分析 表明, 、、油组主要发育扇三角洲前缘沉积,根 据其沉积环境特征,可将其划分成水下辫状河道、水 下辫状河道间、河口坝等沉积微相。

水下辫状河道微相 水下辫状河道岩性多为灰 白色杂乱堆积的砾岩、含砾粗砂岩,砾径多为4 mm、 次圆到次棱角状,砾石周围有氧化圈(图版 d),反映 了浅水三角洲前缘分流河道时而水上、时而水下的 沉积特征。辫状河道砾岩对其下伏河道间厚层块状 灰色泥岩有明显的冲刷痕迹(图版 e)。砂岩中可见 板状、楔状交错层理和平行层理,见大量植物屑。电 性曲线为高幅箱形、齿化箱形、钟形(图 2),多反映 洪水入湖后能量逐渐衰竭的沉积过程。

河口坝微相 河口坝岩性多为灰白色中、粉细砂岩(图版 f)。中砂岩发育平行层理、槽状交错层理、楔状交错层理,粉砂岩发育浪成沙纹层理、波状层理。砂岩中含有大量碳屑(图版 g),反映了沉积物被搬运到河口处因流速降低快速堆积的沉积特征。电性曲线特征表现为中一高幅漏斗形、略齿化的箱形(图 2)。





Fig. 2 Xing anling Group fan delta deposits of D108-229 well

远砂坝微相沉积物主要由泥质粉砂岩、粉砂岩 (图版 h)、细砂岩夹极薄层泥岩组成。沉积构造以 波状层理、压扁状层理(图版 i)为主。

水下辫状河道间湾微相 以块状粉砂质泥岩、 泥岩(图版 e)为主,厚度小。电性曲线特征表现为 砂岩背景下的指状凸出(图 2)。

沉积特征控制储层的物性和含油性,岩性对储 层质量的控制主要表现在岩石组合、粒度和分选性 对储层物性的影响^[5]。按照凝灰质砾岩、砾质砂岩 (含钙、高岭石及凝灰质等)、不等粒砂岩、粗砂岩、中 砂岩、细砂岩和粉砂岩分类,统计了 411 块样品 (B16、D106-203A 等 井)的孔隙度值,分别为 17.1%、23.8%、27.2%、25.1%、24.8%、23.9%、 16.1%。这表明随着粒度变粗储层物性变好;粘土 矿物、火山碎屑及碳酸盐的存在大大降低了储层物 性。77块样品(B16、D108-229等井)的含油性统计 结果也发现这一规律:不等粒砂岩和粗砂岩的含油 性最好,其次为中砂岩、细砂岩和砾质砂岩,粉砂岩 和凝灰质砾岩最差。

2 储层非均质性

2.1 平面非均质性

储层的平面非均质性是由于储层的几何形态、 规模、连续性、物性及其含油性的平面变化所引起 的^[6]。从油藏剖面图上(图 3)可以看出,贝 16 断块 油藏含油层段较分散,主力油层砂体呈薄层状(厚度 1~3 m),但砂体多为朵叶状,连通性较好,砂层组 间隔层稳定。平面上砂体的展布主要受沉积微相的 控制。4 油组 7 小层渗透率为(0.1~3.0) ×10⁻³ μ m²,从北到南渗透率有逐渐变小的趋势(图 4)。结 合沉积相图(图 5)和油藏剖面图(图 3)看,主力油层 集中在辫状河道和河口坝部位,物性和含油性较好。

2.2 层间非均质性

储层的层间非均质性是指各种环境的砂体在剖 面上交互出现的规律性或各层段之间物性的垂向差 异性,以及隔层的泥质岩类的发育和分布规律等^[7]。

垂向砂体分布差异性从单层厚度来看,兴安 岭群共划分出 6 个油层组 123 个小层,表明层间隔 层多、储层薄的特点。其中在 1~2 m 的砂体占 62 %,主要为薄-中砂层,相邻小层间砂厚差别较大 (图 2)。反映了兴安岭油层层间非均质性较强。

从砂岩密度来看,各小层的砂岩发育程度差别 较大,总体来说70%以上的小层砂岩密度为10%~ 30%,砂岩密度大于50%的小层仅占5%。其中4 油组顶部、3油组底部以及511、212小层砂岩密度 最大。砂岩密度在层间变化剧烈,表明兴安岭油层 层间非均质性较强。

垂向物性差异性 从各层单层突进系数、渗透 率变异系数、渗透率级差统计结果看,6个油组的单 层突进系数平均值为1.24~1.85,渗透率级差的平 均值为5.93~94.31,渗透率变异系数的平均值为 0.25~0.71,表明层间非均质性中等到强。其中0、

和 油组的层间非均质性强(单层突进系数:1.6 ~1.9,渗透率级差:13~94,渗透率变异系数:0.60



苏德尔特油田贝 16 断块油藏剖面 图 3 Reservoir section of block Bei 16 in Sudeerte oilfield Fig. 3



- 图 4 贝16 断块兴安岭群4油组7小层渗透率平面分布 冬
- The distribution of permeability of X47 in block Fig. 4 Bei16

~0.70); 、油组的层间非均质性中等(单层突进 系数:1.28~1.67,渗透率级差:5.93~7.24,渗透率 变异系数:0.53~0.68); 油组的层间非均质性弱 (单层突进系数:1.24,渗透率级差:1.91,渗透率变 异系数:0.25)。

隔层分布特征 贝 16 断块兴安岭群隔层岩性



- 贝16 断块兴安岭群4油组7小层沉积微相平面分 图 5 布图
- Fig. 5 The distribution of sedimentary microfacies of X47 in block Bei16

主要为泥岩、粉砂质泥岩、各油组间泥岩隔层分布稳 定,横向上可以追踪,这从油藏剖面图(图3)可以看 出。主力油层 和 油组间隔层厚度为 0.6~8.1 m, 和 油组间隔层厚度为 1.0~22.6 m, 和 油组间隔层厚度为 0.6~6.6 m,从北向南隔层厚度 逐渐增大。

2.3 层内非均质性

层内非均质性是指在一个单砂体的内部由沉积 旋回、底部冲刷和粒度变化而引起的岩性、物性的垂 向变化,常用渗透率变异系数、渗透率级差和突进系 数来表示其强弱^[8]。从层内渗透率非均质性的计算 结果看,各个小层层内渗透率突进系数一般为 1.25 ~2.50;渗透率级差变化较大, ⁴~⁸小层多为 80~120,其它小层一般在 20以下;变异系数在不同 的小层变化较大,除了 油组多在 0.3以下外,其它 多在 0.6 左右。它们在不同小层的变化反映出除 油组的各小层层内非均质性较弱以外,其余油组内 各个小层的层内非均质性中等到强。

3 储层非均质性对开发的影响

储层平面、层间及层内非均质性特征对于油藏 注水开发、井网调整和剩余油挖潜有着重要作用,在 生产上要采取有针对性的开发方式和工艺措 施^[9-10]。

兴安岭群层状砂岩油藏的各油组之间隔层分布 稳定、具有各自独立的油水系统。受沉积特征、非均 质性、隔层及储量分布状况的控制, 、、油组应 作为3套层系开发。目前贝16断块部分井区已经 实行注水开发,出现了以下问题:

(1)根据沉积微相及孔渗分布特征分析,注入水 沿水下辫状河道高渗透条带快速突进,在辫状河道 方向上的油井注水受效好,初期产能高,但由于非均 质性严重,含水上升也快;不在辫状河道方向、处于 辫状河道边缘部位上的油井注水初期受效较差,但 后期见效较好,产量稳步上升。

(2)由于主力油组内部各个小层的物性存在较 大差异,注入水首先沿粗砂岩、不等粒砂岩等高渗透 层系突进,低渗透层驱油效率较低,初期产能高,但 含水上升快,进入高含水期在低渗透层附近明显地 形成一块死油区。

针对这些问题,拟采取以下措施:

注水井网方式 注水井网应根据小层沉积微相 的平面展布,充分利用水下辫状河道展布范围及方 向,采取辫状河道中心注水、辫状河道侧翼采油的方 式完善注采关系,实现水驱动用。根据不同小层孔 渗的分布规律,实施分层注水,增加中、低渗透层的 注入量,控制高渗透层的注入量。

油层射开原则 对于层内、层间非均质性均较弱的 油组,应当射开油层的中上部。对于层内、层

间非均质性均较强的 、油组,先射开低渗透性油层;对同油层来说,应射开油层中上部;当油层存在不稳定夹层时,应加强油层改造,扩大射孔密度,合理提高注水强度,这是因为过高的注水强度有可能产生大量的人工裂缝引起窜流。

4 结论

(1) 贝 16 断块在兴安岭群沉积时期主要发育滨 浅湖沉积背景下的扇三角洲前缘的沉积,其中扇三 角洲前缘水下辫状河道不等粒砂岩及粗砂岩储层物 性最好,河口坝中粒砂岩次之,远沙坝粉砂岩最差。

(2)储层的平面非均质性较强,主力油层集中在 辫状河道和河口坝部位;除了 油组以外,其它油组 储层的层内、层间非均质性较强。

(3)应当根据沉积微相的平面分布特征及不同 油组层间、层内储层非均质性的强弱采取不同的注 水开发措施。

参考文献(References):

- [1] 张长俊,龙永文.海拉尔盆地沉积相特征与油气分布
 [M].北京:石油工业出版社,1995.
 ZHANG Chang-jun, LONG Yong wen. Sedimentary facies and oil-gas distribution of Hailaer Basin, NE China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [2] 王树学,王璞2,金振龙,等.海拉尔盆地苏德尔特地区 古潜山特征与成因[J].吉林大学学报(地球科学版), 2007,37(1):79-85.

WANG Shu-xue, WANG Pu-jun, JIN Zhen-long. et al. Geological features and genetic interpretation of Sudeerte buried-hill traps of Hailaer Basin, NE China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, **37**(1):79-85.

[3] 崔全章,孙增玖.海拉尔盆地贝尔凹陷断裂特征与油气 富集规律[J].石油地球物理勘探,2005,40(增刊):82-107.

CUI Quan-zhang, SUN Zeng-jiu. Fault characteristics and patterns of hydrocarbon accumulation oil-gas concentration in Beier sags, Hailar Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, **40** (Sup.):82-107.

[4] 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 2 版. 北京:石油工业出版 社,1996.

FENG Zeng-zhao. Sedimentary petrology [M] . 2nd. Beijing:Petroleum Industry Press,1996.

[5] 刘春慧,金振奎,朱桂芳,等.准噶尔盆地东部吉木萨尔 凹陷二叠系梧桐沟组储层物性特征及控制因素[J].天

第6期

然气地球科学,2007,18(3):375-379.

L IU Chun-hui, J IN Zhen-kui, ZHU Gui-fang, et al. Physical properties of reservoir and control factors of Permian Wutonggou Formation in Jimusar sag, east of Junggar Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, **18** (3):375-379.

[6] 杨少春.储层非均质性定量研究的新方法[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(1):53-56.

YANG Shao-chun. A new method for quantitatively studing reservoir heterogeneity[J].Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, **24**(1):53-56.

[7] 方少仙,侯方洁.石油天然气储层地质学[M].东营:中 国石油大学出版社,2006:176-180.

FANG Shao-xian, HOU Fang-jie. Reservoir geology [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2006:176-180.

- [8] 贾爱林,肖敬修.油藏评价阶段建立地质模型的技术与 方法[M].北京:石油工业出版社,2002:93-97. JIA Ai-lin,XIAO Jing-xiu. Techniques of geological modeling on the period of reservoir evaluation[M].Beijing:Petroleum Industry Press, 2002:93-97.
- [9] 张荻楠,刘淑琴.特低渗透油层储层非均质性对油水分 布的影响[J].大庆石油地质与开发,2000,19(5):7-12.

ZHANG Di-nan, LIU Shu-qin. Heterogeneity of very low permeability oil reservoirs and its influences on the distribution of oil and water[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2000, 19(5):7-12.

[10] 尹志军,鲁国永,邹翔,等.陆相储层非均质性及其对 油藏采收率的影响——以冀东高尚堡和胜利永安镇 油藏为例[J].石油与天然气地质,2006,27(1):106-110.

> YIN Zhi-jun, LU Guo-yong, ZOU Xiang, et al. Heterogeneity of non-marine reservoirs and its influences on recovery factor:take Gaoshangpu and Yong-anzhen oil reservoirs in Jidong and Shengli oilfields as examples[J]. Oil & Gas Geology, 2006, **27**(1):106-110.

图版说明

a. 含砾粗砂岩, 灰黑色浅变质泥岩砾石 (D108-229井,1423.1m); b. 方解石交代长石(德 104-200B井,1513.9m,正交偏光, *d*=0.6mm); c. 点-线接触,颗粒次圆一次棱角状,方解石胶结 (D104-200B井,1499.6m,正交偏光, *d*=1.6 mm); d. 细砾岩带有砾石氧化圈,浅水特征(D108-229井,1424.5m); e. 冲刷面, 灰白色泥质砾岩及 灰色块状泥岩(D108-229井,1418.0m); f. 灰白 色泥质粉细砂岩(D108-229井,1418.0m); g. 含 有大量碳屑的中粒砂岩(D108-229井,1420.6m); g. 含 有大量碳屑的中粒砂岩(D108-229井,1420.7m); h. 深灰色泥岩中夹杂薄层粉砂岩(D110-217 井,1748.3m); i. 压扁状层理(D106-203井,1 623.3m); 岩心直径12 cm

2

