

文章编号:1000-0550(2014)04-0734-10

准噶尔盆地乌尔禾油田高自然伽马砂砾岩特征 及其沉积微相研究^① ——以乌36井区百口泉组为例

周俊林^{1,2} 王仲军³ 丁超³ 王贵文³ 宋光建³ 苏长强³

(1.中国地质大学(武汉) 构造与油气资源教育部重点实验室 武汉 430074; 2.中国地质大学(武汉)资源学院 武汉 430074;

3.中国石油新疆油田公司风城油田作业区 新疆克拉玛依 834000)

摘要 基于岩芯编录、测录井资料和薄片分析数据,对准噶尔盆地乌36井区三叠系百口泉组开展了沉积学研究。研究表明,乌36井区百口泉组发育冲积扇沉积体系,扇体内部砂砾岩具有自然伽马异常高的特点,而泥岩具有自然伽马异常低的特点,其原因主要是由于原岩碎屑中富含凝灰岩等高放射性物质,同时沉积物的粒度变化、搬运距离和相带展布控制了砂砾岩自然伽马异常的空间变化,并依据伽马异常的空间变化特点建立了相应的泥质含量计算公式,提出了高自然伽马砂砾岩沉积微相划分的一种新方法。区内主要发育冲积扇中辫流线微相、扇中辫流砂岛微相、扇中漫洪带微相和扇缘漫流带微相。精细刻画了各期扇体沉积微相的展布与垂向演化特征,百口泉组三段发育四期扇体,垂向上表现为一个快速水退背景和缓慢水进背景下的沉积演化序列;百口泉组二段发育三期扇体,垂向上表现为退积型演化序列;百口泉组一段则表现为冲积扇扇缘沉积。通过与实际生产对比,本次研究较好地解释了区内生产井的生产状况,验证了利用高自然伽马砂砾岩自然伽马特征研究沉积微相的可行性与实用性。

关键词 自然伽马异常砂砾岩 沉积微相 乌尔禾油田 准噶尔盆地

第一作者简介 周俊林 男 1986年出生 硕士研究生 沉积学及油藏评价 E-mail: zjlccug@163.com

中图分类号 TE121.3⁺² **文献标识码** A

0 引言

准噶尔盆地西北缘中生代以来大规模发育冲积扇沉积,国内学者曾对该区域冲积扇沉积环境及沉积特征进行了研究,对影响冲积扇发育的构造背景、古地理环境、古气候因素及它们的响应关系等进行了讨论^[1~4]。张纪易通过对准噶尔盆地西北缘冲积扇沉积的野外露头及现代冲积扇地貌学的研究,建立了该区域冲积扇沉积模式及沉积微相划分方案^[1]。此后该区域的冲积扇研究大多参考张纪易提出的冲积扇模式,并不断的完善成熟^[5~8]。自上世纪80年代以来,层序地层学及地震沉积学不断发展,特别是国内学者将先进理论运用到陆相沉积体系的研究当中,不断的发展深化了冲积扇研究理论和方法^[9~12]。进入新世纪以来,随着计算机模拟技术及储层构型研究的不断发展,吴胜和等人通过建立冲积扇分相带的构型模型,对冲积扇内部沉积单元进行了分级分类研究,极大的丰富了沉积学理论和研究方法^[13~15]。然而,

这些研究手段和方法依然存在着一些问题:一是层序地层学和地震沉积学相关理论还不够完善,特别是冲积扇相变快、内部结构复杂、储层非均质性强等特点与地震资料分辨率较低的矛盾目前难以调和;二是冲积扇构型建模对数据参数的选择、各参数要素如何合理匹配、三维构型建模方法和软件等的研究相对薄弱;三是传统的冲积扇研究模式固化、方法单一,不利于冲积扇研究的继续发展。本文在充分研究乌夏断裂带冲积扇沉积微相的基础上,认识到自然伽马数值空间变化与沉积微相的空间展布有密切的内在联系,并探索性提出了利用自然伽马数值划分本区域冲积扇微相的新方法。

乌夏断裂带位于准噶尔盆地西北缘东北部,处于哈拉阿拉特山前,是一个受多期构造叠加影响的逆冲断褶带,乌36井区位于乌尔禾断裂下盘,构造分区隶属于乌尔禾单斜带,向南进入玛湖凹陷^[16]。2006年乌尔禾油田在乌36井百口泉组试获工业油流,不少学者也对该区沉积、储层特征进行了大量研

①国家自然科学基金项目(批准号:41072084)资助

收稿日期:2013-06-04;收修改稿日期:2013-09-04

究^[5,6,9,17]。该井区投入开发后,初期单井产量高。目前同期对比地层压力下降较快,自然递减、综合递减加大,采液、采油速度下降,层间矛盾突出。笔者认为开发效果变差的主要原因是由于对区块沉积微相特征、各微相空间展布、储层特征等问题认识不够深入。

1 地质概况

早石炭世末期,准噶尔板块与哈萨克斯坦板块发生碰撞,在盆地西北缘地区形成碰撞隆起带及与其相邻的碰撞前陆型沉积坳陷。晚二叠世至早三叠世,盆地整体抬升遭受剥蚀,乌夏断裂带北缘碰撞挤压、冲断作用达到高潮,同时逆冲活动具有同生性质,从而在冲断带前缘下三叠统百口泉组沉积了一套冲积扇体系^[18~20]。

乌36井区块主体受控于北部乌尔禾断裂,东西受乌南断裂等次级断层分割夹持,由东向西依次为乌36井断块、乌109井断块、乌101井断块(图1)。该区地层发育较全,三叠系百口泉组($T_1 b$)百口泉组与下伏乌尔禾组($P_2 w$)为角度不整合接触,与上覆克拉玛依组为整合接触。自上而下分为 $T_1 b^1$ 、 $T_1 b^2$ 、 $T_1 b^3$ 三段,进一步将 $T_1 b^3$ 划分为 $T_1 b^{3-1}$ 、 $T_1 b^{3-2}$ 、 $T_1 b^{3-3}$ 、 $T_1 b^{3-4}$ 四个砂层组,将 $T_1 b^2$ 划分为 $T_1 b^{2-1}$ 、 $T_1 b^{2-2}$ 、 $T_1 b^{2-3}$ 三个砂层组。

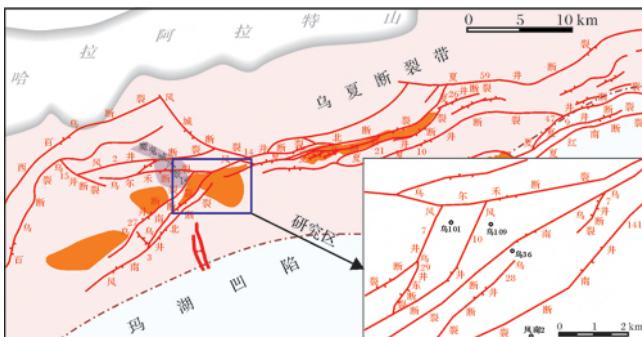


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

表1 百口泉组储集层岩石成分统计表(据赵飞,2010年)

Table 1 Lithologic composition of the Baikouquan reservoir

砾岩、砂砾岩、砂质砾岩(括号内为平均值)					含砾不等粒岩屑、长石岩屑砂岩(括号内为平均值)				
样品个数	砾石含量	砾石主要成分	砂质成分含量	砂质主要成分	样品个数	岩屑含量	岩屑主要成分	石英含量	长石含量
$T_1 b^3$	55	55%~85% (69.77%)	凝灰岩、流纹岩、霏细岩	8%~42% (25.82%)	凝灰岩	45	55%~95% (72.8%)	凝灰岩、其次为泥岩、霏细岩	3%~30% (18.6%)
		55%~81% (67.75%)	凝灰岩、流纹岩、霏细岩	16%~40% (28.16%)	凝灰岩		68%~97% (85.75%)	凝灰岩、其次为安山岩、泥岩	2%~15% (8.6%)
$T_1 b^2$	29	55%~81% (67.75%)	凝灰岩、流纹岩、霏细岩	16%~40% (28.16%)	凝灰岩	18	68%~97% (85.75%)	凝灰岩、其次为安山岩、泥岩	3%~22% (11%)
		55%~81% (67.75%)	凝灰岩、流纹岩、霏细岩	16%~40% (28.16%)	凝灰岩		68%~97% (85.75%)	凝灰岩、其次为安山岩、泥岩	0~10% (3%)

2 高自然伽马砂砾岩特征及其在沉积相研究中的应用

岩石中含有天然的放射性元素,主要是铀系、钍系和钾的放射性同位素,它们在自然衰变时发射伽马射线,使岩石具有自然放射性^[21]。一般情况下,沉积岩的自然放射性随岩石泥质含量增加而增加^[22]。但通过研究表明,乌36井区岩石自然伽马曲线特征不符合这一规律。本区岩石自然伽马值总体介于32~96 API之间,电阻率介于2~54 Ω·m之间。砂砾岩段总体表现为高自然伽马,中高电阻率的特点;含砾砂岩、砂岩表现为中低自然伽马、中低电阻率的特点;泥岩段表现为低伽马值、低电阻率的特点。

2.1 高自然伽马砂砾岩成因分析

如前所述,岩石中的天然放射性元素的含量决定了岩石的放射性。前人也先后对不同地区的高自然伽马砂砾岩、砂岩的成因进行了定性或者定量研究^[23~25]。通过收集前人对乌36井区百口泉组二段($T_1 b^2$)和三段($T_1 b^3$)储集层的岩石学研究数据^[26](表1)可知,本区岩石普遍富含凝灰岩、流纹岩等偏酸性火成岩。此类岩石中的放射性元素含量高(由于区内缺乏自然伽马能谱测井数据,因此不能确定各放射性元素的贡献率),造成了砂砾岩自然伽马高异常,而由于泥质成分为近源沉积,其搬运距离近,未能发挥其比表面优势吸附大量的放射性物质,从而导致其自然伽马异常低的特点。

2.2 砂砾岩自然伽马值的空间变化规律

砂砾岩储层多见于近源沉积物,常出现在冲积扇、扇三角洲等沉积体系内。通过对区内三叠系百口泉组砂砾岩的对比研究,笔者发现同一套砂砾岩,随着其搬运距离的增大、沉积物粒度变细、泥成分含量增大、沉积物分选磨圆变好,其自然伽马异常幅度也随之变小。

图2b是百口泉组三段($T_1 b^3$)沿扇体推进方向上的一条剖面,图中乌109井靠近物源,其砂砾岩自然

伽马值正高异常,辫流线砂砾岩伽马值普遍大于 80 API,泥岩自然伽马负高异常,纯泥岩自然伽马值小于 30 API。随着扇体的推进,砂砾岩的自然伽马负异常幅度不断减小,如乌 113 井,砂砾岩自然伽马值最大值小于 80 API,纯泥岩自然伽马值达到 35 API。扇体继续向玛湖凹陷推进,砂砾岩的自然伽马值异常幅度继续减小,如风南 2 井,砂砾岩已不具备异常高的特点,相反,泥岩开始表现出微弱的异常高的特点。由此可以得出结论:砂砾岩随着搬运距离的增大、岩石粒度的减小,其天然放射性减弱,而泥岩随着其搬运距离的增大,其放射性增大。

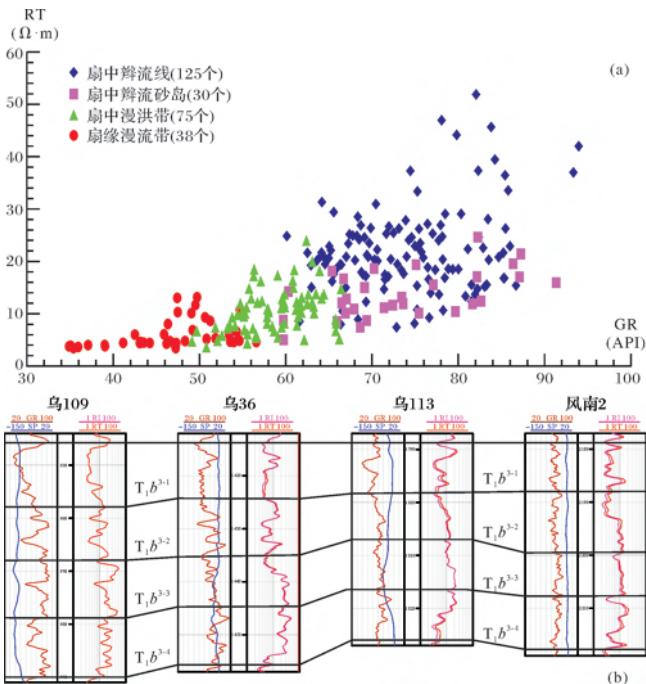


图 2 砂砾岩自然伽马值的空间变化规律分析图
a. 沉积微相 GR-RT 交汇图;b. 过乌 109—乌 36—乌 113—
风南 2 井百口泉组三段($T_1 b^3$)测井曲线对比图

Fig.2 Spatial variation map of conglomerate natural gamma values
a. Microfacies GR-RT cross plot; b. Logs comparison plot of
Wu 109 Well, Wu 113 Well and Fengnan 2 Well

在研究沉积微相与自然伽马值变化的规律的过程中,通过对乌 36 井、乌 102 井、乌 103 井、乌 109 井和乌 113 井取芯段的单井微相分析以及其测井曲线特征的研究,利用已解释出的沉积微相测井数据建立 GR-RT 交汇图版(图 2a)。笔者发现自然伽马值对沉积微相划分具有良好的指示意义,扇中辫流线微相和扇中辫流砂岛微相的自然伽马值主体间于 96~63 API 之间,扇中漫洪带自然伽马值主体间于 63~53 API 之间,而扇缘漫流带间于 53~30 API 之间。可

见,砂砾岩自然伽马异常除了与沉积物原岩成分有关外,还与沉积物搬运距离、沉积物粒度变化以及沉积物相带展布有着密切的内在联系。

2.3 高自然伽马沙砾岩沉积微相划分方法

通常在成分成熟度和结构成熟度较高的地层中,可利用自然电位曲线和自然伽马曲线来定量研究地层的泥质含量,并作为沉积相划分的重要参数。但通过研究表明,本区自然电位曲线对泥岩不具指示意义(图 2b),同时由于近源沉积物成熟度较低以及自然伽马值的异常,因此也不能利用传统方法来研究地层泥质含量。

通过以上对砂砾岩自然伽马值空间变化规律的认识,笔者认为可以通过定量研究自然伽马变化规律来计算地层的泥质含量。计算公式可以通过对传统的泥质含量计算公式进行改造,改造后的公式:

$$SHI = 1 - \frac{GR - GR_{\min}}{GR_{\max} - GR_{\min}} \quad (1)$$

$$V_{sh} = \frac{2^{SHI \cdot GCUR} - 1}{2^{GCUR} - 1} \quad (2)$$

式中,GR 为自然伽马测井值; GR_{\min} 为纯泥岩的自然伽马极小值; GR_{\max} 为区内砂砾岩的自然伽马极大值; SHI 自然伽马相对值, $GCUR$ 为经验系数。

但是需要指出的是,公式(1)这种方法计算出的泥质含量并不是地层真实的泥质含量,但是可以利用沉积微相划分的自然伽马临界值来计算沉积微相划分的泥质含量百分比临界值。例如图 2a 中,扇中亚相与扇缘亚相划分的自然伽马临界值是 53 API,将这一值带入公式(1)就可以计算出扇中亚相与扇缘亚相划分的泥质含量百分比临界值。为了将这种方法在全区推广,可以通过公式(2)对全区地层实际泥质含量建立经验关系,并利用沉积相划分的自然伽马临界值来约束最终沉积微相划分的泥质含量百分比临界值。通过计算,乌 36 井区扇中辫流砂岛、扇中辫流线与扇中漫洪带划分的泥质含量百分比临界值是 0.50,扇中与扇缘漫流带划分的泥质含量百分比临界值是 0.652。

3 沉积相研究

冲积扇有其独特的沉积环境,包括河床形态、水动力特征、沉积学的过程和相组合^[27]。根据前人研究表明乌 36 井区百口泉组为冲积扇相沉积^[5,6]。此外,笔者通过对区内 5 口重点井 50 个粒度分析资料编制了 C-M 图(图 3),用来反映百口泉组的流体特

征。由图可以看出,C-M图上样品点总体趋势线平行且远离C=M基线,C值大多大于10 000 μm ,C值与M值的比值间于2.5~16,变化范围大,表明颗粒分选差,总体反映出快速堆积卸载的特征,进一步佐证了前人的研究。通过对区内5口重点井的岩芯观察编录、典型沉积构造识别沉积微相、测井相模式的建立以及研究区沉积相的宏观展布。笔者认为乌36井

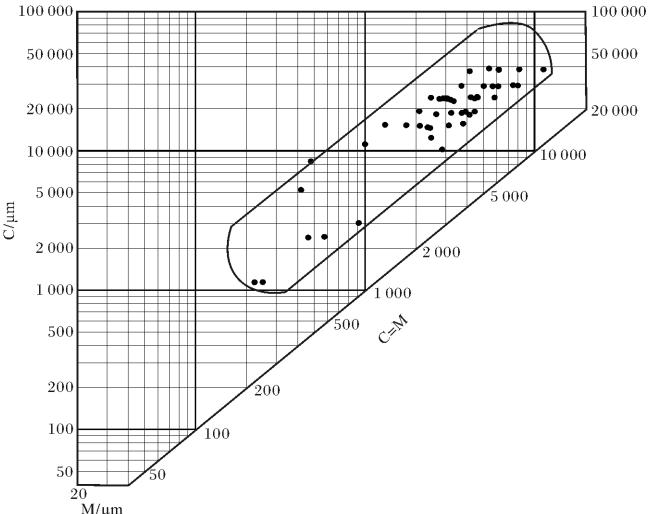


图3 乌36井区百口泉组C-M图

Fig.3 C-M plot of Baikouquan Group in Wu 36 Well area

区百口泉组主要发育冲积扇扇中亚相和冲积扇扇缘亚相。根据研究又进一步将冲积扇扇中亚相划分为扇中辫流线、扇中辫流砂岛、扇中漫洪带3个微相,扇缘亚相主要表现为片流漫洪带沉积。

3.1 沉积微相特征

3.1.1 扇中辫流线

辫流线是扇中河道沉积,是主槽在扇中的延伸和分支,随着扇体向扇缘推进,辫流线逐渐变浅变宽,进入扇缘后逐渐变为片流沉积。辫流线是扇中亚相的主要微相。岩芯观察显示本区辫流线多发育块状层理、正粒序递变层理(图4a)、大型槽状交错层理,层理中砾石具有叠瓦状排列的特点(图4f),垂向上通常为多个正旋回叠置。冲刷面构造(图4e)是识别辫流线的重要层面构造,沉积界面之下岩性较细,界面之上岩性较粗。测井曲线特征表现为GR高幅微齿化,数值间于63~96 API,深侧向测井曲线表现为高幅钟形或箱型,RT间于5~60 $\Omega \cdot \text{m}$ (图5、表2)。

3.1.2 扇中辫流砂岛

辫流砂岛是辫流线分叉或边部的砾滩,沉积物岩性总体与辫流线的垂向特征相似,主要为含砾砂岩、砂砾岩。辫流砂岛发育的层理类型主要为逆粒序层理、块状层理。辫流砂岛识别的最直观特征是逆粒序

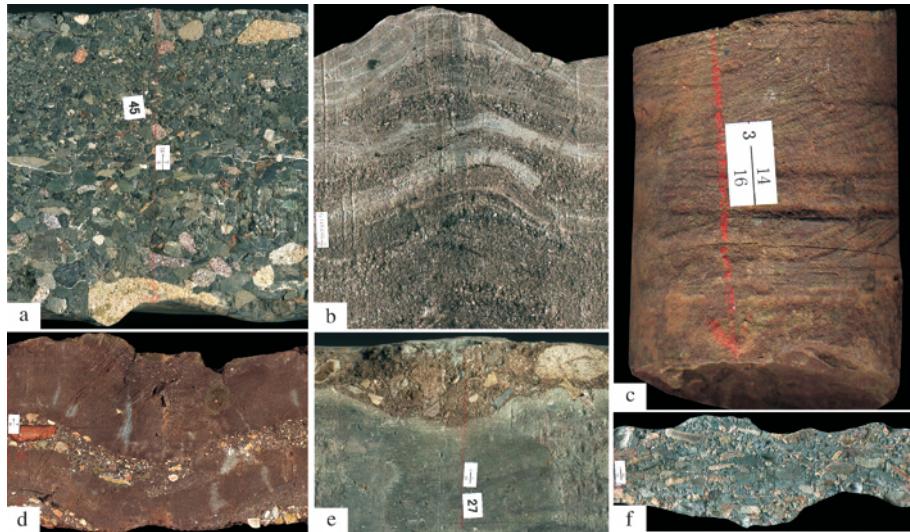


图4 典型沉积构造岩芯图

a. 乌102井1 229.66~1 239.01 m,正粒序递变层理;b. 乌114井1 057.92~1 058.33 m,波状交错层理;c. 乌102井931.74~932.06 m,板状交错层理;d. 乌36井1 405.65~1 405.86 m,脉状(透镜状)层理;e. 乌103井1 712.61~1 712.81 m,冲刷充填(冲刷面)构造;f. 乌113井1 811.77~1 811.9 m,砾石叠瓦状构造。

Fig.4 Typical sedimentary Structures in core

a. well Wu 102, 1 229.66~1 239.01 m, tabular cross bedding; b. well Wu 102, 1 057.92~1 058.33 m, hummocky cross-stratification; c. well Wu 102, 931.74~932.06 m, tabular cross bedding; d. well Wu 36, 1 405.65~1 405.86 m, vein (lenticular) bedding; e. well Wu 103, 1 712.61~1 712.81 m, scour filling (scour surface) structure; f. well Wu 113, 1 811.77~1 811.9 m, gravel imbricate arrangement.

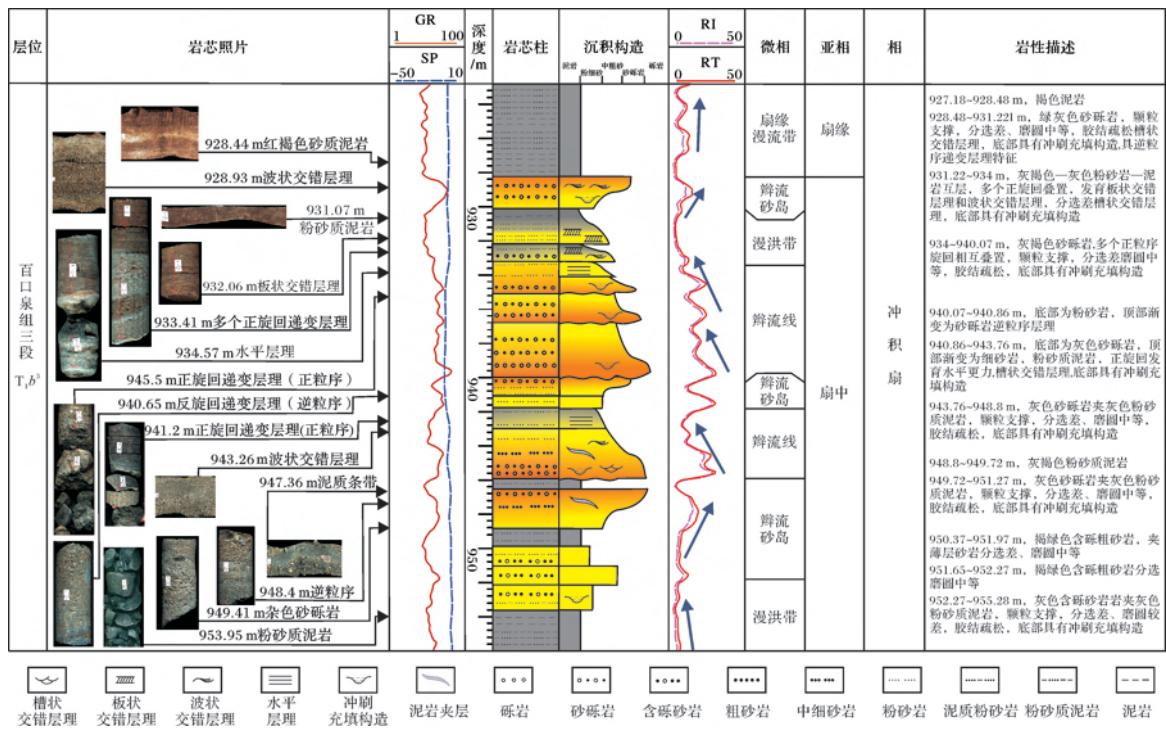


图 5 乌 102 取芯段综合柱状图

注：岩芯照片所标深度为岩芯底界深度。

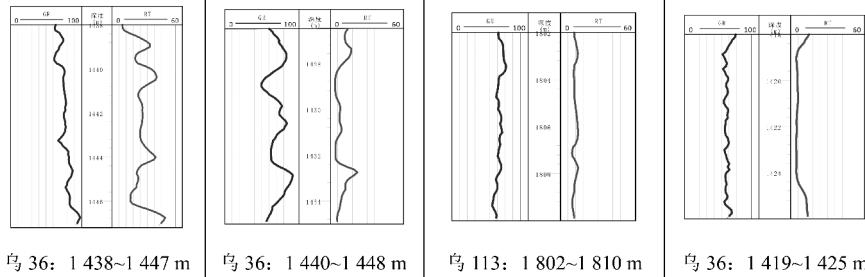
Fig.5 Integrated histogram of core section of Wu 102 well

Note: The depth in the core photographs is the core bottom boundary depth.

表 2 乌 36 井区沉积微相特征统计表

Table 2 Microfacies characteristics in well Wu 36 area

微相	扇中辫流线	扇中辫流砂岛	扇中漫洪带	扇缘漫流带
平面形态	辫装、带状	镶边状	片状、席状	席状
横剖面形态	带状、透镜状	带状、透镜状	交织状	宽带状、层状
厚度	厚层	薄层	中等—薄	厚层状
粒度特征	粒度较粗	粒度较粗	粒度混杂较细—较粗	粒度较细
分选磨圆	分选差、磨圆差	分选差、磨圆差	分选磨圆极差	分选磨圆差—中等
沉积构造	大型交错层理、块状层理、正旋回递变层理、冲刷面等	大型交错层理、反旋回递变层理等	不规则洪积层理、波状交错层理	波状层理、脉状层理
GR 数值特征/API	63~96	63~96	53~63	30~53
RT 数值特征/ $\Omega \cdot m$	5~60	5~25	5~20	3~14
曲线形态	钟形—箱形	低幅箱形—漏斗形	中低幅齿化	低幅齿化



递变层理(图5),之上通常沉积一套薄层漫洪沉积。测井曲线特征表现为GR中高幅微齿化,数值间于63~96 API,深侧向测井曲线表现为主幅漏斗形或箱型,RT间于5~20 $\Omega \cdot m$ (图5、表2)。

3.1.3 扇中漫洪带

扇中漫洪带位于辫流线间的高部位,只有在洪水期水流溢流出辫流线后沉积于砂岛之上的细粒悬浮负载沉积,边部多见有辫流砂岛镶边。沉积物多为红褐色、灰褐色,表现出长期暴露氧化特征,岩性为砂质泥岩、泥岩、粉砂岩,常混有少量粗粒砂及小砾石,发育有波状层理(图4b)、小型洪积层理。测井曲线特征表现为GR中低幅微齿化,数值间于53~63 API,深侧向测井(RT)曲线表现为中低幅钟形或箱型,数值间于5~20 $\Omega \cdot m$ (图5、表2)。

3.1.4 扇缘漫流带

扇缘亚相发育片流沉积,当扇体推进到扇缘时,辫流线消失,水流以片状形式散开,在扇缘沉积了一套细粒物质,由于水流的强度的变化,扇缘与扇中呈指状交互,不能截然分开。由于水流较浅,加之贫水期暴露地表,因此表现为强氧化环境,从而沉积物以棕褐色、红褐色为主。岩性主要以砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,分选较差,发育水平层理、波状层理。由于水流的变化,辫流线的延伸河道会沉积一些薄层粗碎屑沉积物,并具有辫流线沉积特征,从而呈脉状层理(图4d)或飘带状层理。测井曲线特征表现为GR高幅微齿化,数值间于30~53 API,深侧向测井曲线表现为低幅平滑状,RT间于5~14 $\Omega \cdot m$,(图5、表2)。

3.2 沉积体系展布与演化

通过对横切剖面的沉积微相对比,以及利用2.3

节中提出的利用自然伽马数据计算各小层泥质含量绘制平面等等值线图,再利用图2a中揭示出的沉积微相划分的泥质含量临界值结合地质认识绘制沉积微相平面展布特征图。图件基本反映出了三叠系百口泉组冲积扇沉积体系的空间展布特征和演化历史。百口泉组三段($T_1 b^3$)和百口泉组二段($T_1 b^2$)发育7期规模不等的扇体(图6,7)。百口泉组一段($T_1 b^1$)发育扇缘漫流带沉积,本文不做深入研究。

3.2.1 百口泉组三段沉积微相展布与演化

百口泉组三段($T_1 b^3$)进一步分为4个小层,整体表现为四期扇体的垂向叠置。 $T_1 b^{3-4}$ 小层表现为一个快速的水退背景下的冲积扇快速推进过程,因此在剖面微相对比图中可以清晰的看到该层底部为扇中漫洪带沉积,垂向上表现为粒度变粗的反旋回,小层顶部扇体以扇中辫流线微相为优势相,同时扇中前缘辫流砂岛微相较发育。 $T_1 b^{3-3}$ 小层冲积扇体进一步扩大,并向西南部迁移,总体以扇中亚相为主体,扇中辫流线微相最为发育,辫流砂岛微相不具规模,可见此时物源供给充足、辫流河道迁移改造频繁。 $T_1 b^{3-2}$ 小层扇体规模开始缩小,由于物源供给不足,扇体逐渐后退萎缩,因此相对下伏两个小层,虽然区内依然以扇中亚相为主,但是扇中漫洪带、辫流砂岛微相规模明显扩大,扇中辫流线规模有所减小,从微相的展布特征来看,可见此时扇体主要被三条大的支流控制,从而形成三个扇体,并且扇体前缘交互叠置,这一特点在连井剖面相对比图中也有良好的显示。 $T_1 b^{3-1}$ 小层沉积时,扇体急剧萎缩,特别是辫流线微相规模急剧缩小,平面上表现为两个扇体,且东部扇体比较发育,西部扇体可能是由一个较小支流控制的一个小朵体。

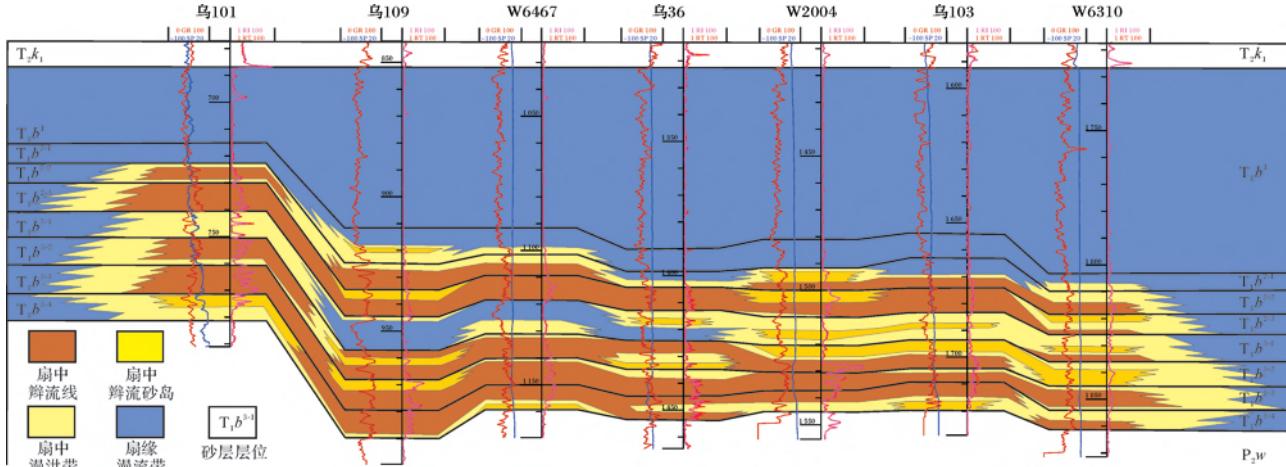


图6 过乌101井—乌109井—W6467井—乌36井—W2004井—乌103井—W6310井沉积微相剖面图

Fig.6 Microfacies profile crossing Well Wu 101, Wu 109, W6467, Wu 36, W2004, Wu 103 and W6310

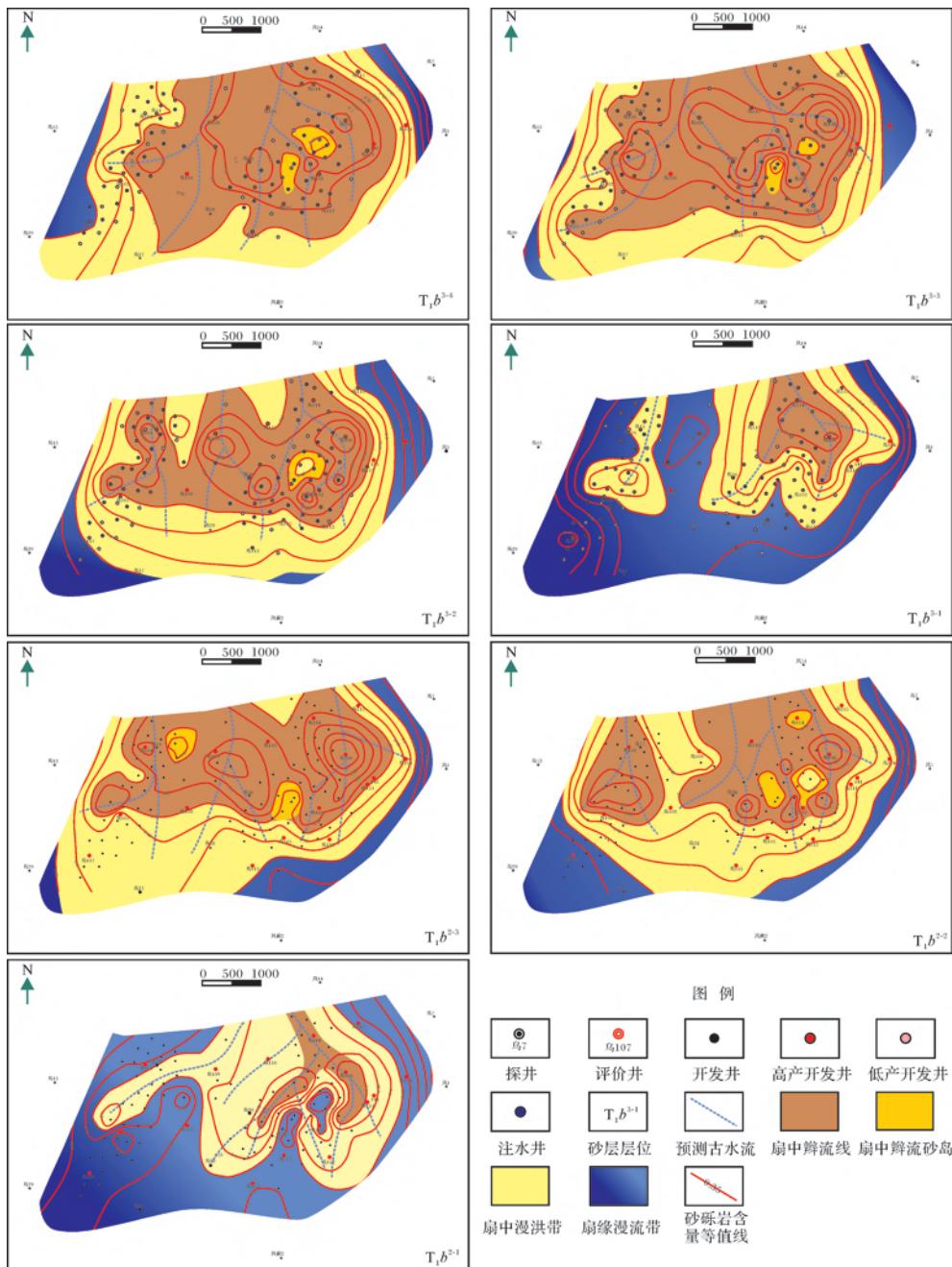


图 7 乌 36 井区三叠系各小层沉积微相平面展布图

Fig.7 Microfacies plane distribution of each layer in Triassic, Well Wu 36 area

从垂向上来看, 乌 36 井区百口泉组三段表现为一个快速水退和缓慢水进的沉积过程, 其沉积特点能够揭示本区构造活动强弱的变化特点。 $T_1 b^{3-4}$ 时期扇体快速推进, 可见该时期为早三叠世早期造山剥蚀及挤压冲断的最强烈时期。 $T_1 b^{3-4} \sim T_1 b^{3-1}$ 时期, 该区为水进背景下的退积型冲积扇沉积, 垂向上扇体规模缓慢缩小, 水流分支改道作用变强、剖面上可见扇中辫流线微相逐渐向上变为扇中漫洪带、扇缘漫流带沉

积。

3.2.2 百口泉组二段沉积微相展布与演化

百口泉组二段($T_1 b^2$)进一步分为3个砂组。 $T_1 b^{2-3}$ 小层沉积时期, 扇体规模再一次扩大, 但已不能和百口泉三段扇体最大规模时相比较, 从扇体展布来看, 总体由北北东方向向西南方向推进迁移, 扇中辫流线微相最为发育, 漫洪带在西南方向上较为发育。 $T_1 b^{2-2}$ 小层时期, 扇体逐渐后退缩小, 主体分为两个小

扇体,西部扇体较小,东部较大,由于水流作用不够稳定、以及物源供给的不够充足,所以扇中辫流砂岛和漫洪带沉积相对下伏小层较为发育,辫流线微相在剖面上的连续性和可对比性变差。 $T_1 b^{2-1}$ 小层以扇缘亚相为主,辫流线与漫洪带规模急剧缩小,扇中亚相为鸟足状,只在一些较小规模的河道处发育辫流线或辫流砂岛微相,主体以漫洪沉积为主,砂体基本不具备可对比性。

从垂向上来看,乌36井区百口泉组二段表现为一个水进的退积型沉积过程,其沉积特点也能够揭示本区构造活动强弱的变化特点。 $T_1 b^{2-3}$ 时期扇体规模的再一次扩大,指示了早三叠世又一次规模较大的抬升剥蚀过程, $T_1 b^{2-3} \sim T_1 b^{2-1}$ 可见垂向上扇体规模缓慢缩小,剖面上扇中辫流线微相逐渐向上变为扇缘漫流带沉积。由扇体的规模和变化范围来看,此次抬升剥蚀构造运动要弱于百口泉组三段的沉积时期。由沉积物颜色来看,百口泉组三段主要为灰绿色、杂色沉积物,而百口泉组二段以红褐色、褐色沉积物为主。可见沉积环境由潮湿的半氧化、半还原环境向温热的氧化环境变迁。

4 油气地质意义

研究表明,扇中辫流线是最有利储集相带、其次为扇中辫流砂岛微相,扇中漫洪带与扇缘漫流带微相储集能力最差。利用本文提出的高自然伽马砂砾岩沉积微相划分方法精细的解释出了各小层沉积微相平面展布图。通过乌36井区块目前的生产实际情况来检验本次研究成果的实用性,特别是验证笔者提出的高自然伽马砂砾岩沉积微相划分方法的可行性,对区内生产井目前产油量统计分析。目前本区开发主要层位为百口泉组三段($T_1 b^3$),主要是 $T_1 b^{3-4} \sim T_1 b^{3-2}$ 三个小层,将目前高产井、低产井与 $T_1 b^{3-4} \sim T_1 b^{3-1}$ 四个小层沉积微相平面展布图叠合(图7)。从图中可见,除部分低产井是由于落在注水开发井网边部导致其地层能量不足而低产外。其余多数井是由于落在扇中漫洪带内和扇缘漫流带内。以乌101断块为例,其前缘除乌107井为高产井外,其余7口井均低产。从沉积微相展布图中可见 $T_1 b^{3-4}$ 、 $T_1 b^{3-2}$ 层乌101断块前缘均为扇中漫洪带或扇缘沉积,在 $T_1 b^{3-3}$ 小层,有一个小支流通过乌107井,从而导致乌101断块前缘除乌107井高产外,其余井为低产。因此本次研究成果能够很好的解释目前的生产状况,提出的高自然伽马砂砾岩沉积微相划分方法实用可行。随着勘探开

发的进一步深入,目前证实百口泉组二段($T_1 b^2$)也是本区有利的含油层系,但该层还没有大面积开发。笔者认为,可利用图7中百口泉组二段($T_1 b^2$)各层系沉积微相平面图及已有开发井网对区块开发进行调整。

冲积扇沉积体系具有相变快、平面及纵向上连续性差、扇体内部非均值性强等特点,因此冲积扇微相精细研究一直是个难题。准噶尔盆地西北缘三叠系中下统广泛发育冲积扇、扇三角洲沉积体系,且砂砾岩储层普遍具有自然伽马值异常的特点。本文提出的高自然伽马砂砾岩沉积微相划分方法能够为本地区中下三叠统沉积相研究提供新的研究思路和方法,为油气勘探开发提供有利的依据。

5 结论

乌36井区百口泉组砂砾岩具有自然伽马异常高的特点,而泥岩具有自然伽马异常低的特点,其成因主要是受到原岩碎屑中富含凝灰岩等高放射性物质的影响,同时沉积物的粒度变化、搬运距离和相带分布控制了砂砾岩高自然伽马异常的空间变化。同时利用自然伽马值的变化规律建立定性泥岩计算公式,并建立了高自然伽马砂砾岩沉积微相划分方法,通过研究成果与生产实际对比,此方法能够很好解释目前的生产状况,方法使用可行。

乌36井区百口泉组主要发育冲积扇扇中亚相和冲积扇扇缘亚相,扇中亚相划分为扇中辫流线、扇中辫流砂岛、扇中漫洪带3个微相,扇缘亚相主要表现为漫流带沉积,其中扇中辫流线是最有利储集相带。

百口泉组三段发育四期扇体,表现为一个快速水退后缓慢水进的沉积过程。 $T_1 b^{3-4}$ 时期扇体快速推进,规模扩大。 $T_1 b^{3-4} \sim T_1 b^{3-1}$ 时期为水进背景下的退积型冲积扇沉积,垂向上扇体规模缓慢缩小,扇中辫流线微相逐渐向上变为扇中漫洪带、扇缘漫流带沉积。泉组二段发育3期扇体,表现为一个水进退积型沉积过程, $T_1 b^{2-3}$ 时期扇体规模的再一次扩大, $T_1 b^{2-3} \sim T_1 b^{2-1}$ 可见垂向上扇体规模缓慢缩小,剖面上扇中辫流线微相逐渐向上变为扇缘漫流带微相。

参考文献(References)

- 张纪易.粗碎屑洪积扇的某些沉积特征和微相划分[J].沉积学报,1985,3(3):75-85[Zhang Jiyi. Some depositional characteristics and microfacies subdivision of coarse clastic alluvial fans[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(3): 75-85]
- Zhanghua Lou, Rong Zhu, Zhonghua Tang, et al. Sedimentary environments of the Cangfanggou Group in Junggar Basin, Xinjiang, in re-

- sponse to climate and tectonic regime [J]. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 2000, 74(4): 795-806
- 3 Youliang Ji, Yong Zhou, Jun Kuang, et al. The formation and evolution of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift and its control on the distributions of sedimentary facies in the Junggar Basin [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2010, 53(6): 818-831
- 4 冯建伟,戴俊生,鄢继华,等. 准噶尔盆地乌夏前陆冲断带构造活动—沉积响应[J]. 沉积学报,2009,27(3):494-502[Feng Jianwei, Dai Junsheng, Yan Jihua, et al. Sedimentary response to Permian structural movements in Wuxia foreland thrust belt of Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(3): 494-502]
- 5 张顺存,丁超,何维国,等. 准噶尔盆地西北缘乌尔禾鼻隆中下三叠统沉积相特征[J]. 沉积与特提斯地质,2011,31(2): 17-25[Zhang Shuncun, Ding Chao, He Weiguo, et al. Middle and Lower Triassic sedimentary facies within the Urho uplift on the northwestern margin of the Junggar Basin [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2011, 31(2): 17-25]
- 6 宫清顺,黄革萍,倪国辉,等. 准噶尔盆地乌尔禾油田百口泉组冲积扇沉积特征及油气勘探意义[J]. 沉积学报,2010,28(6): 1135-1144[Gong Qingshun, Huang Geping, Ni Guohui, et al. Characteristics of alluvial fan in Baikouquan Formation of Wuerhe oil field in Junggar Basin and petroleum prospecting significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(6): 1135-1144]
- 7 白振华,张源智,刘玉梅,等. 百口泉油田百21井区夏一段冲积扇储层沉积微相分析[J]. 特种油气藏,2011,18(2):41-44[Bai Zhenhua, Zhang Yuanzhi, Liu Yumei, et al. Analysis of sedimentary microfacies in the alluvial fan reservoir of the first member of the Xiaojie Formation in the Bai-21 well block of the Baikouquan oilfield [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2011, 18(2): 41-44]
- 8 裴亦楠. 中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展[J]. 沉积学报,1992, 10(3):16-24[Qiu Yinan. Developments in reservoir sedimentology of continental clastic rocks in China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(3): 16-24]
- 9 查明,李秀鹏,曾洪流,等. 准噶尔盆地乌夏地区中下三叠统地震沉积学研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2010, 34(6):8-12[Zha Ming, Li Xiupeng, Zeng Hongliu, et al. Seismic sedimentology study of Middle and Lower Triassic in Wu-Xia area, Junggar Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2010, 34(6): 8-12]
- 10 李林,陈志宏,张金凤,等. 层序地层分析技术在冲积扇沉积相研究中的应用[J]. 石油物探,2010,49(3):299-305[Li Lin, Chen Zhihong, Zhang Jinfeng, et al. Application of sequence stratigraphy technology in research of alluvial fan sedimentary facies [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2010, 49(3): 299-305]
- 11 李国永,徐怀民,路言秋,等. 准噶尔盆地西北缘八区克下组冲积扇高分辨率层序地层学[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(3):1124-1131[Li Guoyong, Xu Huaimin, Lu Yanqiu, et al. High-resolution sequence stratigraphy for alluvial fan on Lower Karamay Formation in 8th zone of northwestern Junggar Basin [J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2010, 41 (3): 1124-1131]
- 12 吴胜和,伊振林,许长福,等. 新疆克拉玛依油田六中区三叠系克下组冲积扇高频基准面旋回与砂体分布型式研究[J]. 高校地质学报,2008,14(2):157-163[Wu Shenghe, Yi Zhenlin, Xu Changfu, et al. High frequency base-level cycles of alluvial fan and distribution patterns of sandbodies of Lower Karamay Formation (Triassic) in Middle 6th area of Karamay oilfield, Xinjiang [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(2): 157-163]
- 13 伊振林,吴胜和,杜庆龙,等. 冲积扇储层构型精细解剖方法—以克拉玛依油田六中区下克拉玛依组为例[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):939-946[Yi Zhenlin, Wu Shenghe, Du Qingleong, et al. An accurate anatomizing method for structure of reservoir of alluvial fan: A case study on Lower Karamay Formation, Liuzhong area, Karamay oilfield [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2010, 40(4): 939-946]
- 14 吴胜和,范峥,许长福,等. 新疆克拉玛依油田三叠系克下组冲积扇内部构型[J]. 古地理学报,2012,14(3):331-340[Wu Shenghe, Fan Zheng, Xu Changfu, et al. Lower Karamay Formation in Karamay, Oilfield Xinjiang [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14 (3): 331-340]
- 15 陈欢庆,朱筱敏. 精细油藏描述中的沉积微相建模进展[J]. 地质科技情报,2008,27(2):73-79[Chen Huanqing, Zhu Xiaomin. Microfacies modeling in fine reservoir description [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2008, 27(2): 73-79]
- 16 冯建伟,戴俊生,刘巍,等. 准噶尔盆地乌夏断裂带构造分区[J]. 新疆石油地质,2007,28(4):406-409[Feng Jianwei, Dai Junsheng, Liu Wei, et al. Tectonic units in Wu-Xia Fault Belt, Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(4): 406-409]
- 17 宫清顺,寿建峰,姜忠朋,等. 准噶尔盆地乌尔禾油田三叠系百口泉组储层敏感性评价[J]. 石油与天然气地质,2012,33(2):307-313[Gong Qingshun, Shou Jianfeng, Jiang Zhongpeng, et al. Reservoir sensitivity evaluation of the Triassic Baikouquan Formation in Wuerhe oilfield, Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33 (2): 307-313]
- 18 况军,齐雪峰. 准噶尔前陆盆地构造特征与油气勘探方向[J]. 新疆石油地质,2006,27(1):5-9[Kuang Jun, Qi Xuefeng. The structural characteristics and oil-gas explorative direction in Junggar Foreland Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2006, 27(1): 5-9]
- 19 吴孔友,查明,王绪龙,等. 准噶尔盆地构造演化与动力学背景再认识[J]. 地球学报,2005,26(3):217-222[Wu Kongyou, Zha Ming, Wang Xulong, et al. Further researches on the tectonic evolution and dynamic setting of the Junggar Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2005, 26(3): 217-222]
- 20 Novikov I S. Reconstructing the stages of orogeny around the Junggar Basin from the lithostratigraphy of Late Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic sediments [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, 54 (2): 138-152
- 21 洪有密. 测井原理与综合解释[M]. 东营:中国石油大学出版社, 1998[Hong Youmi. The Logging Principle and Comprehensive Interpretation [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 1998]
- 22 李斌凯,马海州,谭红兵. 自然伽玛测井与伽玛能谱测井的应用现状[J]. 盐湖研究,2007,15(4):20-26[Li Binkai, Ma Haizhou, Tan

- Hongbing. The application status of natural Gamma-ray logging and natural Gamma-ray spectrometry logging[J]. Journal of Salt Lake Research, 2007, 15(4): 20-26]
- 23 于振锋,程日辉,赵小青,等.海拉尔盆地乌南凹陷南一段高伽马砂岩成因与识别[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(3):76-83[Yu Zhenfeng, Cheng Rihui, Zhao Xiaoqing, et al. Genesis and identification of high gamma sandstone in the first member of Nantun Formation of Wunan depression in Hailar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36(3): 76-83]
- 24 谭成仟,刘池阳,赵军龙,等.鄂尔多斯盆地高自然伽马值异常特征及主控因素研究[J].石油地球物理勘探,2007,42(1): 50-56 [Tan Chengqian, Liu Chiyang, Zhao Junlong, et al. Study on feature of high natural gamma anomaly and main controlling factors in Ordos Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(1): 50-56]
- 25 毛志强,申波,匡立春,等.夏子街组特殊岩性段地球物理特征及
- 其成因[J].新疆石油地质,2013,34(1):98-100[Mao Zhiqiang, Shen Bo, Kuang Lichun, et al. The special lithologic sections of Permian Xiaozijie Formation in Junggar Basin: Geophysical characteristics and origin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(1): 98-100]
- 26 赵飞.乌尔禾油田乌36井区块三叠系百口泉组沉积体系与储层特征研究[D].西安:西北大学,2010[Zhao Fei. Depositional System and reservoir characteristics of Baikouquan Formation of Triassic of Wu36 Well block in Wuerhe oilfield[D]. Xi'an: Northwest University, 2010]
- 27 Blair T C, Mcpherson J G. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages[J]. Journal of Sedimentary Research Section A: Sedimentary Petrology and Processes, 1994, A64(3): 450-489

High GR Glutinite Feature and Micro-Sedimentary Facies in Wuerhe Oil-field, Junggar Basin

——Taking the Baikouquan Group in Wu 36 Area as an example

ZHOU Jun-lin^{1,2} WANG Zhong-jun³ DING Chao³ WANG Gui-wen³
SONG Guang-jian³ SU Chang-qiang³

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of Geoscience, Ministry of Education, Wuhan 430074;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geoscience, Wuhan 430074;

3. Fengcheng Oil Field, CNPC Xinjiang Oil Field Company, Karamay, Xinjiang 834000)

Abstract: Based on rock core documentation, well logging analysis and the rock fragment data, we carried out the sedimentology research on the Triassic Baikouquan Group in Wu 36 area of Junggar Basin. This study revealed that the Baikouquan Group developed in alluvial fan system. The glutinite is characterized by unusually high natural gamma and the mudstone is characterized by low inside the alluvial fan. This feature is mainly controlled by the high radioactive substance in the original rock, for example the tuff. The spatial variation in high natural gamma anomaly was influenced by sediment grain size, transport distance and facies distribution. According to the spatial variation characteristics of Gamma anomaly, we established a clay content formula and put forward a new method on the division of sedimentary facies. Our study area mainly develops mid-fan braided stream line microfacies, mid-fan braided stream sand island microfacies, mid-fan sheetflood microfacies and cross flow microfacies in marginal subfacies. We also carefully portrayed the distribution and vertical evolution of these sedimentary microfacies of different stages. The results show that the 3rd member in Baikouquan Group developed four fan bodies. There is a sedimentary evolutionary sequence in the vertical profile controlled by fast dereliction and slow retrograding. The 2nd member in Baikouquan Group developed three fan bodies and presented a retrograding evolutionary sequence in the vertical. The 1st member in Baikouquan Group performed the alluvial fan marginal sedimentary. Compared with the actual production, this study better explained the production status of the regional producing well and verified the feasibility and practicality of using natural gamma characteristics of high natural gamma glutinite to make research on sedimentary microfacies.

Key words: natural gamma anomaly glutinite; micro-sedimentary facies; Wuerhe Oilfield; Junggar Basin