

准噶尔盆地北缘山前带沉积物源及相模式研究^① ——以哈拉阿拉特山前缘春晖探区为例

宋 璠¹ 杨少春¹ 苏妮娜¹ 向 奎² 赵永福² 曹海防²

(1.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院 山东青岛 266580;2.胜利油田新疆勘探项目管理部 山东东营 257017)

摘 要 准噶尔盆地北缘山前带是我国目前油气勘探的一个重点领域。为了深入探讨山前带沉积研究中存在的疑问,以准北缘哈拉阿拉特山前缘春晖探区为对象,综合利用岩芯、钻测井资料及大量沉积学实验手段,对其侏罗系八道湾组沉积特征及物源方向进行研究,证实了该区粗碎屑沉积物主要来自北西方向的哈山山区,属于典型的近源沉积。通过构造、沉积演化史分析与现代沉积考察相结合的方法,总结出了山前带近源砾石高磨圆度的两类成因,分别对应于砾石形成期的滨海环境以及再搬运沉积期的湿地扇环境,最终建立了春晖探区八道湾组湿润型冲积扇沉积相模式。

关键词 准噶尔盆地山前带 侏罗系八道湾组 物源分析 砾石 湿地扇 沉积模式

第一作者简介 宋 璠 男 1982 年出生 博士 讲师 储层沉积学 E-mail: songfan0026@163.com

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

近年来,随着我国西部油气勘探力度的增加,准噶尔盆地西北缘山前带已成为油气勘探的重点领域之一,油气产量已占全盆地产量的40%以上^[1]。北缘哈拉阿拉特山前侏罗系超剥带整体表现为一宽缓的斜坡,截至2011年,中石化胜利油田分公司在该地区哈浅1井区发现了春晖油田,侏罗系八道湾组上报控制及预测稠油地质储量超过 $5\ 300\times 10^4$ t,显示了良好的勘探潜力。由于山前带地质条件及资料的限制,现有研究成果主要集中于南部的百口泉、乌尔禾等

地区,尽管前人对山前带稠油及油砂潜力评价开展了相关工作^[2-3],但对于沉积体系、油气富集规律等方面的研究均不够深入,制约了该区下一步勘探部署。

1 地质背景及沉积特征

春晖探区位于新疆克拉玛依市乌尔禾区西北部,构造上位于准噶尔盆地北缘哈拉阿拉特山逆冲推覆构造的前缘斜坡带,其北以哈山为界与和什托洛盖盆地相邻,向东南以乌夏断阶带与玛湖凹陷相接(图1)。

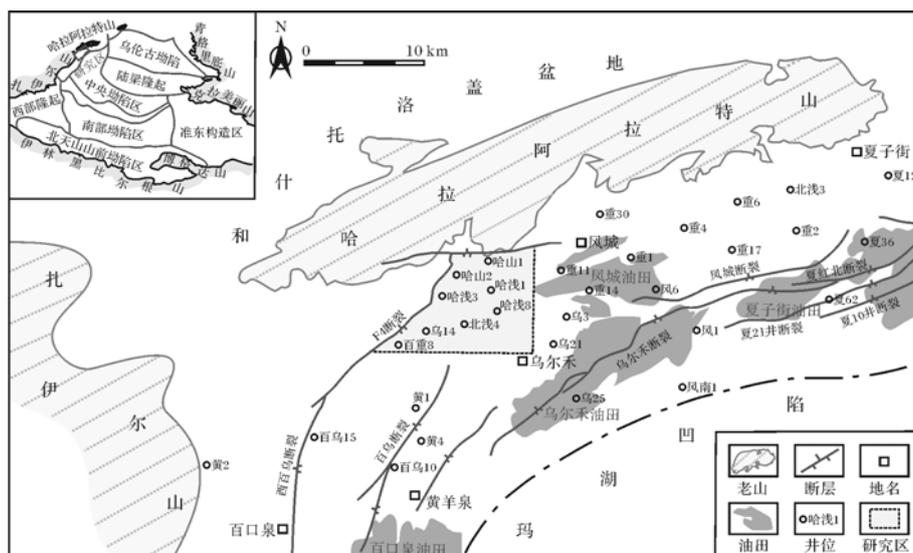


图1 准噶尔盆地北缘春晖探区构造位置

Fig.1 The structural location of Chunhui area in the northern margin of Junggar Basin

^①教育部博士点基金项目(编号:20120133120013)、国家科技重大专项(编号:2011ZX05009-002)与中央高校基本科研业务费专项资金(编号:12CX04009A)联合资助

收稿日期:2014-01-14;收修改稿日期:2014-04-18

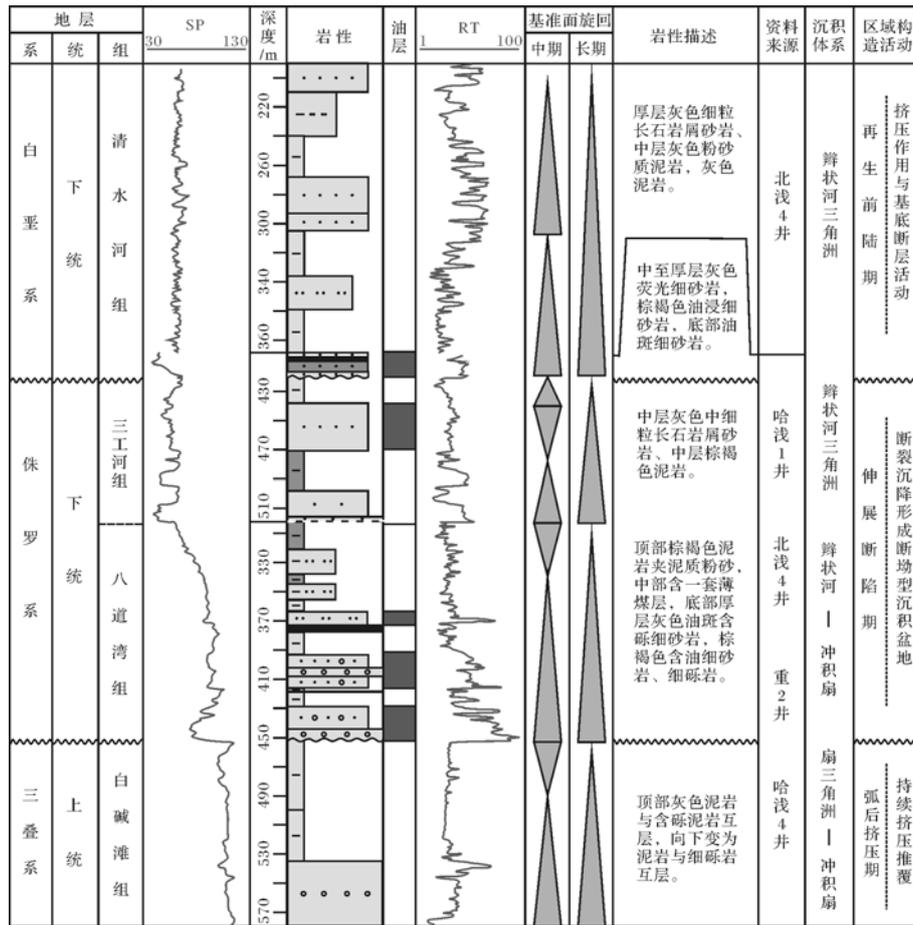


图 2 准噶尔盆地北缘山前带地层综合柱状图

Fig.2 Stratigraphic section of piedmont belt in the northern margin of Junggar Basin

地表为大面积戈壁,局部为山区,海拔 350~600 m, 出露石炭系、二叠系、侏罗系以及白垩系,其余均被第四系覆盖。

钻井揭示春晖探区自上而下主要发育第四系、白垩系下统清水河组、侏罗系下统三工河组、八道湾组、二叠系以及石炭系,受印支运动的影响,区内三叠系剥蚀较严重,仅在东南部局限分布。侏罗系八道湾组沉积于三叠纪末的侵蚀面上,与下伏地层呈明显的角度不整合接触,地层全区广泛分布,是准噶尔盆地山前带的主力含油层段(图 2)。八道湾组沉积时期,准噶尔盆地为伸展活动背景下的断陷—拗陷型盆地^[4-6],在整体平缓的古地貌背景及温暖湿润的气候条件下,哈拉阿拉特山山前带形成了广布连片的冲积扇沉积体。

春晖地区八道湾组整体上为多套正旋回叠加的退积沉积特征,中下部以粗—中砾岩、砂砾岩等粗碎屑为主,夹薄层浅灰色泥岩及煤层,向上逐渐过渡为

棕褐色泥岩(图 2)。对该区 15 口取芯井近 500 m 岩芯详细描述,结合钻测井与分析化验资料,对八道湾组下部主力含油层段的沉积特征进行分析。该层段岩性主要为砾岩、砂砾岩等粗碎屑沉积,总体呈正韵律特征,岩芯上可识别出 6~8 个正粒序结构(图 3),顶部具变形层理及冲刷构造,砂砾岩中具有平行层理、板状交错层理,常见碳屑沿层理面分布,泥岩、粉砂岩中含有斑点状黄铁矿。

综合岩石颜色、粒序结构特征、沉积构造、含有物及测井曲线特征,认为八道湾组底部砂砾岩属于湿润环境下的冲积扇沉积,垂向上由多期扇中辫状水道叠置而成(图 3)。各期旋回底部砾石分选差,但具有良好的磨圆度,八道湾组底部直径大于 30 mm 的砾石也常具有较高磨圆度(图版 I -A, B),这一现象不符合典型近源沉积物的结构特征,引发了人们对沉积物来源的质疑。准噶尔盆地侏罗系沉积时期,西部距离春晖地区较远的扎伊尔山供物源能力很强^[7],高圆

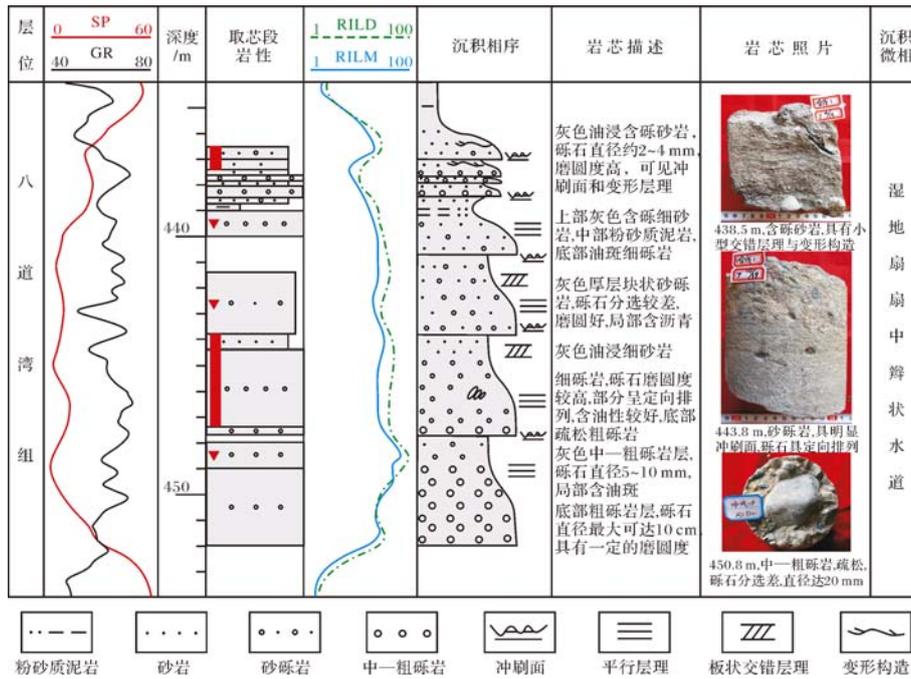


图 3 哈浅 1 井八道湾组主力油层沉积相分析

Fig.3 Sedimentological analysis of Well Haqian1 of major reservoir in Badaowan Formation

度粗粒沉积物是否属于该山区远源物质长距离搬运形成,值得深入探讨。

笔者通过采集大量砂岩与砾石样品,以沉积学实验分析为手段,辅以测录井分析法,对春晖探区八道湾组粗碎屑沉积的物源方向进行研究,分析高圆度砾石的成因,进而建立合理的沉积相模式。

2 沉积物源分析

物源分析是沉积相与沉积体系研究的基础,目前关于古物源及古水流的研究方法很多^[8-9],结合哈山前缘带构造演化与古地貌特点,综合岩芯、录井及倾角测井资料,在大量地质实验的基础上,通过岩屑组分分析法、重矿物组合分析法、矿物成分分析法、地层倾角测井以及砾岩含量分析等方法,对该区八道湾组沉积物源进行了系统研究。

2.1 岩屑组分分析

通过对取芯井 50 块含砾砂岩与 30 块砾石样品进行显微组分鉴定,结果表明:侏罗系八道湾组岩石类型以岩屑砂岩为主(图版 I-C),其次为长石岩屑砂岩,石英含量平均仅为 38%,成分成熟度低。粗砂岩颗粒中含有较多的火成岩岩屑,主要为玄武岩、安山岩以及凝灰质岩屑,可见少数浅变质岩岩屑。砾石与砂岩岩屑的成分基本相同,以凝灰岩、玄武岩为主

(图版 I-D,E)。

准噶尔盆地北缘侏罗系沉积之前,哈拉阿拉特山逆冲推覆体已逐步形成^[10],石炭系、二叠系被上冲出露而遭受剥蚀,石炭系火成岩成为哈山前缘带侏罗系碎屑岩的主要物质来源。在逆冲推覆过程中砾石受到挤压发生变形,部分砾石可见糜棱构造(图版I-F)。

2.2 重矿物组合分析

重矿物是判断母岩性质和物源方向的重要标志,一般地,来源于同一个物源区的重矿物有着相似的组合类型,并且在搬运过程中不稳定重矿物会逐渐减少,抗风化、耐磨蚀的重矿物越易保存下来,从而在重矿物中所占的比值越高^[11]。

通过对春晖探区及邻区近 30 口井砂砾岩与砾石样品进行重矿物测定,统计分析重矿物组合特征,发现各井区质量分数大于 5% 的主要重矿物组合类型基本一致,反映该区八道湾组沉积时期物源较为单一。各类重矿物中稳定重矿物约占 15%,其中钛铁矿、石榴石、电气石、金红石含量相对较高。利用“锆石+电气石+金红石”稳定重矿物组合(ZTR)与“绿帘石+黝帘石+角闪石+透闪石+辉石+橄榄石”不稳定重矿物组合,寻找区内重矿物的分布规律。依据统计数据绘制相应的直方图,通过对比不同井区重矿物分布频率,发现由西北至东南方向,稳定重矿物的质量

分数逐渐高于不稳定重矿物。ZTR 指数在平面上自西北向东南同样具有明显增大的趋势(图4),邻近哈山的哈浅6井、哈山2井、重29井等地区 ZTR 值不足5%,向东南逐渐升高至22%左右,其它方向的增长规律不明显,证明古水流方向主要为北西至南东方向。

2.3 矿物成分分析

百分含量稳定矿物石英与不稳定矿物长石和岩屑的比值称为成熟系数,该值能够反映沉积物源方向与搬运距离^[12]。对工区内取芯井砂砾岩样品的矿物成分质量分数进行统计,依据成熟系数的变化关系预测物源方向及规模,由图3可看出哈山前缘带大致存在三支由西北至东南成熟系数增大的主方向,预测结果与重矿物 ZTR 指数分布情况相近。

2.4 倾角测井古水流分析

地层倾角测井是通过在井内测量地层倾斜角、方位角进而判断古水流方向的一种物源分析方法^[13]。结合春晖地区的实际情况,选择了区内12口井的地层倾角测井资料,采用矢量方位频率图法与红蓝模式法详细分析了研究区八道湾组的物源方向。

从倾角测井综合解释成果图中可看出(图5),春晖地区侏罗系八道湾组沉积期物源方向主要为北西—南东方向,其中八道湾组沉积早期地层倾向平均为150°左右,层理类型以交错层理为主,层理倾角介

于10°~15°,代表中等—较强能量的水动力环境;八道湾组沉积晚期物源方向向东偏移,地层倾向大约为130°,层理类型多为小规模斜层理、波状层理等,层理倾角平均为8°左右,反映水动力能量有所减弱。

2.5 砾岩含量分析

陆源碎屑颗粒在搬运过程中,由于沉积分异作用的影响,盆地中心主要为细粒沉积物,粗碎屑通常分布于盆地外围地区,并且粗碎屑的含量沿着物源方向逐渐降低。因此,沉积地层中砾岩含量平面变化的特点和规律可以作为判断古水流、确定沉积物源的有效方法^[14-15]。

综合岩芯与测录井资料求取各井八道湾组的砾岩含量,编制其百分含量分布图,发现该区砾岩含量平面变化具有一定的规律性(图6)。春晖探区内,砾岩含量由哈拉阿拉特山向南、东南方向总体呈逐渐降低的趋势,邻近山前的哈山2、哈浅6等井区可达90%以上,扇体向南推进3 km后砾岩含量仍可达70%以上,表明该地区沉积水动力较强且持续作用的时间较长,扇体分布规模大。此外,向西、南西方向砾岩含量递减速度较快,其中百重8井区含量不足50%,砂砾岩体厚度也明显减薄,推测其属于八道湾组扇体的侧缘部位,说明春晖探区内砾岩来源于西部扎伊尔山的可能性不大。

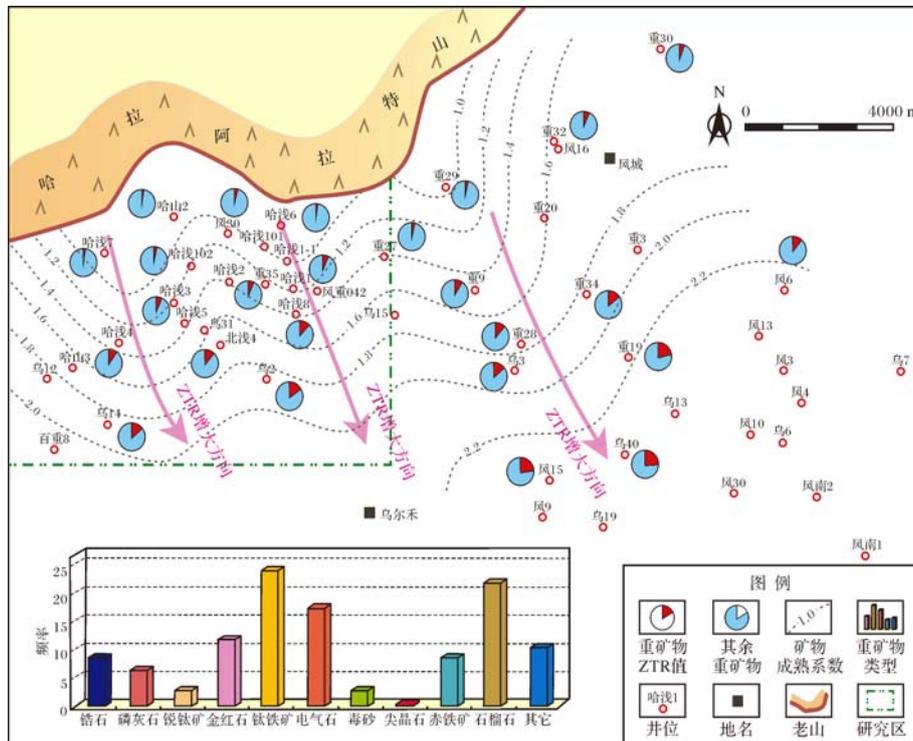


图4 重矿物 ZTR 值及成熟系数分布特征

Fig.4 The distribution of heavy mineral ZTR value and mineral maturity coefficient

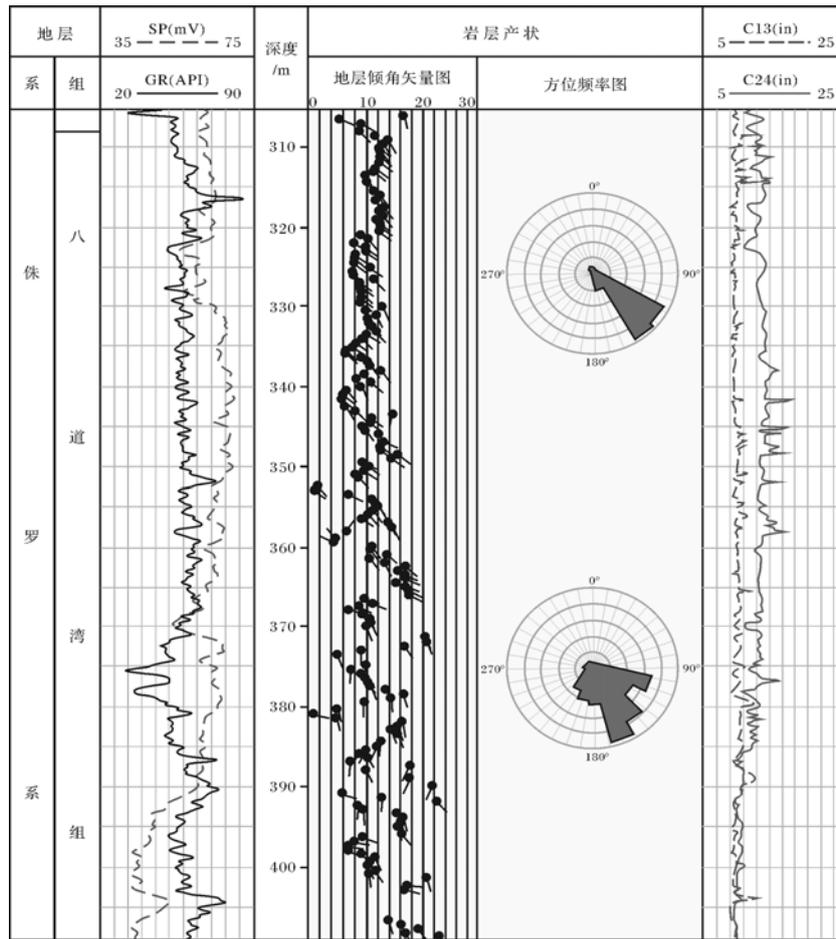


图 5 哈浅 1 井地层倾角测井解释图

Fig.5 The diplog interpretation of Well Haqian 1

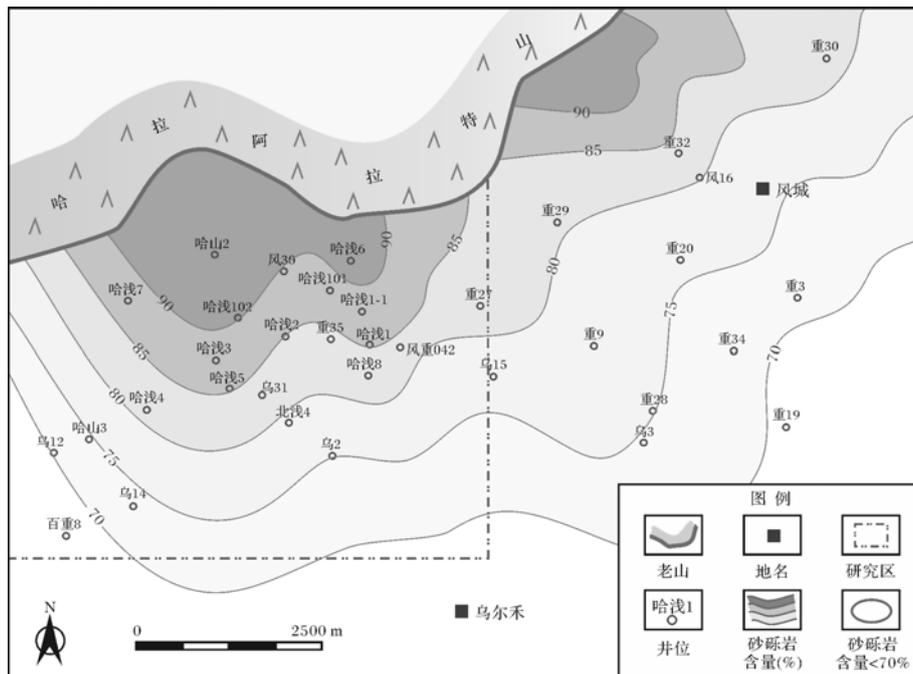


图 6 春晖地区八道湾组砾岩百分含量等值线

Fig.6 Conglomerate content isoline map of the Badaowan Formation in Chunhui area

3 高圆度砾石成因

上述物源分析方法研究结果一致表明研究区侏罗系八道湾组粗碎屑沉积物来自邻近的哈拉阿拉特山,然而,区内大量的高磨圆度砾石却不符合典型的近源沉积特征,这也是该区物源方向的主要疑问所在。笔者在前人成果调研及现代沉积考察的基础上,结合区域构造演化特征及沉积背景,总结了该区近物源高磨圆度砾石的两类成因。

3.1 近源砾石磨圆的内因

岩芯及薄片观察表明,八道湾组储层碎屑颗粒尽管分选差,但砾石磨圆度较高,以粒径大于 20 mm 的中砾磨圆最好,直径大于 100 mm 的粗砾亦较好,相反砂质碎屑颗粒磨圆较差,大多为次棱角状(图版 I-A~D)。该现象表明此类高磨圆砾石与砂质碎屑并非同期沉积形成,砾石属于再搬运沉积的产物。

哈拉阿拉特山是由石炭系、二叠系组成的复式背斜,而石炭纪一早二叠世是准噶尔盆地北缘由俯冲消减的挤压型构造体制转化为板内碰撞后伸展体制的重要变形时期^[16-18]。早石炭世,准北缘整体处于浅海—半深海环境,沉积物主要为浅海海底火山喷发形成的玄武岩、凝灰岩与部分正常浅海沉积;受晚石炭世构造运动的影响,盆地内的海陆分布发生了变迁,海水从准噶尔盆地东南向西北方向侵入,哈拉阿拉特山成为海、陆交接地区^[19];早二叠世,准噶尔盆地北部隆起进一步扩大,海水全部退出,形成了较深水的湖相沉积环境。

由砾石成分的对对应关系可见,春晖地区侏罗系八道湾组大量的玄武岩、凝灰岩砾石主要来源于哈拉阿拉特山区晚石炭世沉积物,而源区的碎屑物质由于处于滨海沉积环境^[20],海水对其进行长期冲刷淘洗,形成了高磨圆度的卵砾石,此类再搬运沉积的高圆度砾石在准噶尔盆地北缘现代冲积扇中也十分常见(图版 I-G)。由此可见,砾石形成时期的构造、沉积环境是其高磨圆度的根本内因。

3.2 近源砾石磨圆的外因

沉积物由山区向盆地搬运、沉积的过程中,颗粒会受到摩擦、碰撞及溶解等作用进一步磨圆,由此可见,再旋回砾石沉积时的沉积环境及水动力特征是其具有高磨圆度的重要外因。

侏罗系八道湾组沉积时期,准噶尔盆地北缘处于温暖湿润的古气候环境,潮湿多雨、洪水多发,哈山地区岩石风化产物在山区河流作用下,在山前带形成了

广布的冲积扇体。此类湿润型冲积扇常形成于较平缓的古地貌单元,沉积物大多呈灰色、缺乏红色,富含煤层,平面上以砂砾质辫状水道为主,河道以具常年性、相对稳定性、定向迁移性而有别于间歇性洪积扇^[21-22],我国喜马拉雅山麓地区的柯西河^[23]、洪都拉斯西北部、北极地区^[24]均发育典型的湿地扇。受沉积环境的影响,八道湾组沉积初期在哈山前缘形成了一套分布广、磨圆较好的砾质沉积,野外露头中多见砾石呈定向排列(图版 I-H)。

与阵发性洪积扇相比,湿润型冲积扇水动力较为稳定,使颗粒受侵蚀磨圆改造的时间较长,在这一过程中砾石的磨圆度还会受以下因素影响:①砾石的大小,通常粒径较大的砾石更易磨圆,主要由于大颗粒与其他颗粒碰撞、摩擦的几率较大,且体积较大的砾石搬运速率较慢,受定向水流冲刷时间长,能进一步提高其磨圆程度,本区露头与岩芯观察均表明直径大于 20 mm 的中砾磨圆度普遍高于 2~10 mm 的细砾。②砾石的成分,相对于燧石、石英岩等硬度较大的颗粒,本区砾石以凝灰岩、玄武岩、糜棱岩及部分泥质岩为主,在搬运碰撞过程中更易于磨圆。③相对搬运距离,八道湾组沉积时期研究区古地貌为宽缓的单斜构造,砾石随定向水流搬运距离越长,磨圆程度也越高,区内存在的少量棱角状砾石属于山前带新近崩解的产物,粒度主要介于 10~30 mm。综上所述,再旋回砾石的磨圆度是其沉积水动力特征与砾石本身性质综合作用的体现。

4 沉积相展布与相模式

综合岩屑成分、重矿物组合、地层倾角测井以及砾岩含量分布特征,揭示了研究区古水流方向为北西至南东方向。在此基础上,从取芯井单井相研究出发,以连井沉积相分析为桥梁,按照“点—线—面”的研究思路明确了研究区沉积相展布特征,建立了合理的沉积模式。

哈拉阿拉特山前缘侏罗系八道湾组的沉积相组合总体表现为逐渐水进的沉积过程,湿地扇呈退积型叠加样式,砂体横向连续性好,沉积末期过渡为辫状河沉积(图 7)。八道湾组下部主力油层沉积时期,在沉积物源、古构造、古气候等多种因素综合影响下,平面上由西北至东南方向多个冲积扇体在山前带相互叠置分布,以扇中亚相规模最大,形成了大范围连片发育的辫状水道砂砾岩体,其次为扇间泥炭沼泽、扇缘以及局限分布的扇根亚相,向东南方向湿地扇逐渐

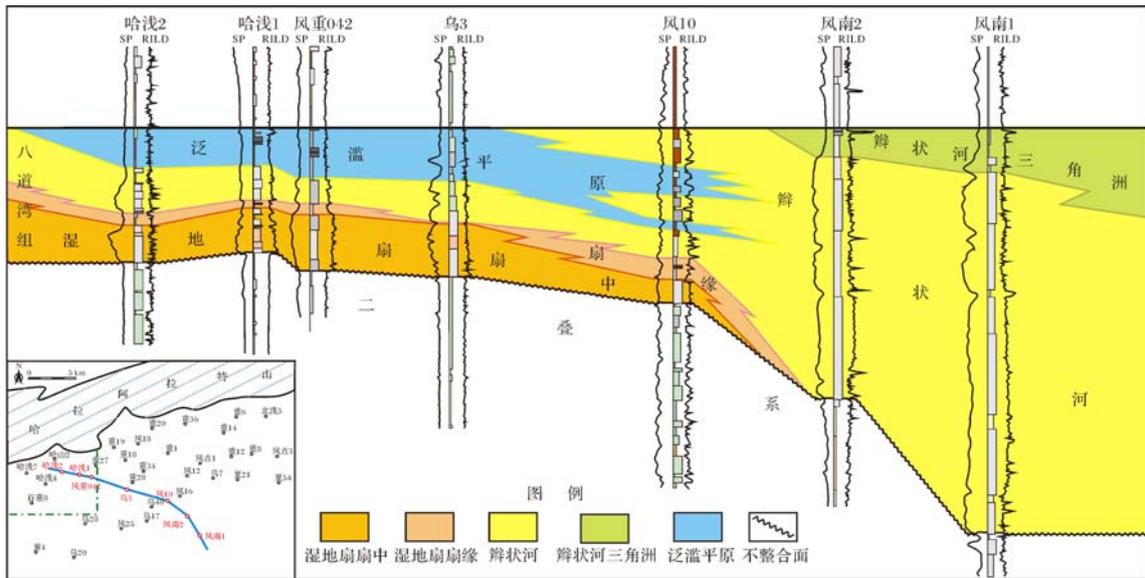


图 7 哈山山前带八道湾组过哈浅 2—风南 1 井沉积相连井剖面图

Fig.7 Sedimentary facies of well correlation section of Badaowan Formation from Well Haqian 2 to Well Fengnan 1 in the Hala'alt piedmont belt

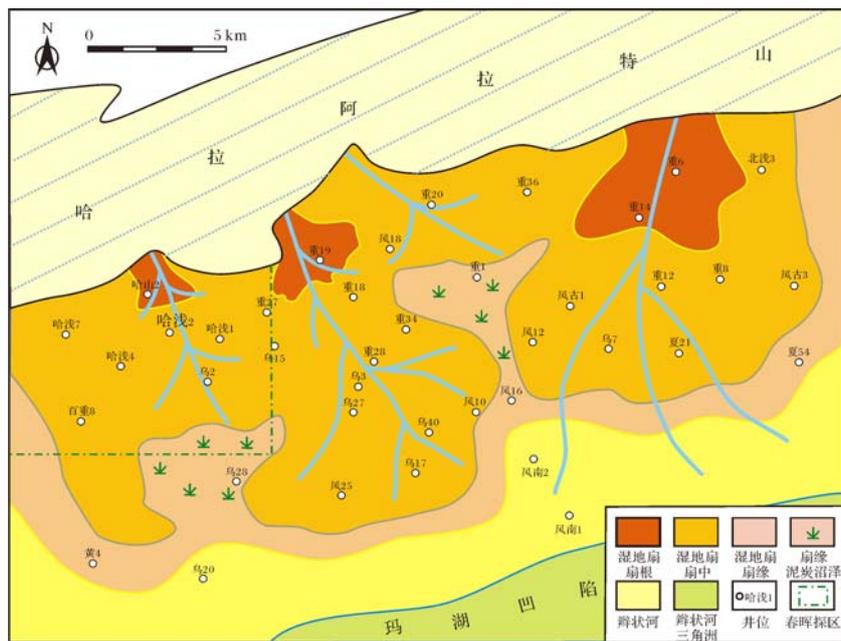


图 8 哈山山前带八道湾组沉积相平面图

Fig.8 Sedimentary facies of Badaowan Formation in the Hala'alt piedmont belt

过渡为辫状河、辫状河三角洲沉积(图 8)。

盆地演化特征、古气候条件等因素决定了哈拉阿拉特山前缘的沉积相演化模式。准噶尔盆地北缘八道湾组沉积初期进入了燕山构造活动阶段,属于稳定背景下的陆内断陷—坳陷时期,构造活动较三叠纪明显减弱,但此时克拉玛依—乌尔禾断裂带与乌尔禾—

夏子街断裂带仍持续活动,对扇体的发育分布起主要控制作用^[25]。从八道湾组沉积相平面分布图可看出,扇体分布与区域断裂的走向近于垂直。八道湾组中后期,随着构造活动强度进一步减弱、侵蚀基准面升高与湖平面上升,扇体逐渐向哈山退覆,形成了退积型的冲积扇沉积序列。

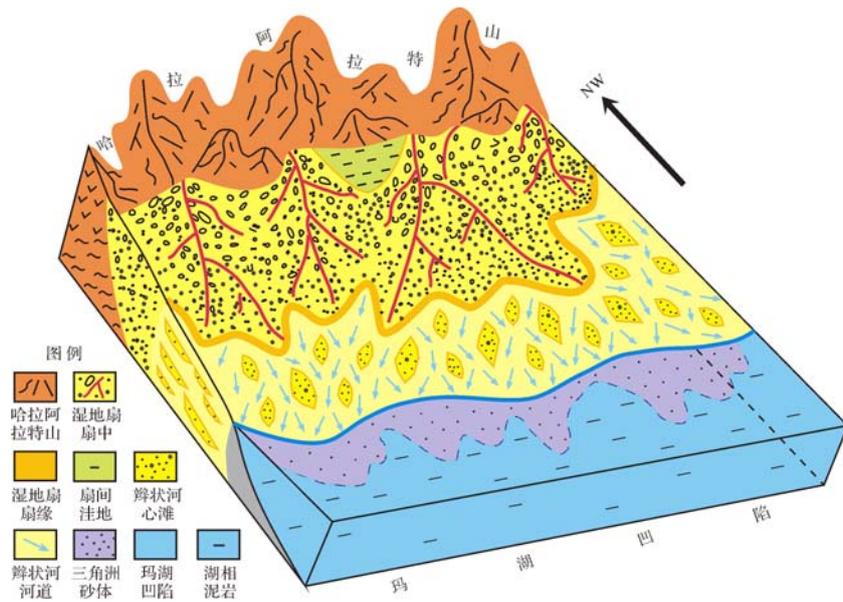


图9 哈山山前带侏罗系八道湾组沉积模式图

Fig.9 Sedimentary model of Jurassic Badaowan Formation in the Hala'alt piedmont belt

八道湾组沉积早期,哈山山前带整体为东南倾的宽缓单斜,构造形态简单。古生物资料分析表明热带及亚热带的杪椋科、双扇蕨科、紫萁科以及石松尤为发育,结合地层剖面中发育大量煤层,表明该时期具有温暖潮湿、降雨量充沛的气候特点,易于在山区形成稳定的辫流水道^[5]。在上述古构造与古气候环境下,哈山山前斜坡带形成了广泛分布的湿润型冲积扇,沉积体平面规模大于 200 km²,河道常具定向迁移特征,垂向上整体及单个旋回均呈向上变细的层序,扇体向盆地内部推进较广,可见此类扇体的沉积特征及沉积模式与干旱型洪积扇具有显著差异。本区湿地扇发育模式如图9所示。

春晖探区八道湾组主要发育湿地扇扇中辫状水道砂砾岩与小规模扇根粗砾岩两种相类型,其中砂砾岩体厚度大、分布广、连通性好,储层孔隙度平均可达 28.9%,渗透率平均为 $393.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,与油源断裂相匹配构成了该区高效的网毯式油气输导格架^[26]。

5 结论

(1) 准噶尔盆地北缘侏罗系八道湾组沉积时期,哈拉阿拉特山南缘具有平缓的古地貌背景与温暖湿润的古气候条件,形成了一套湿地扇—辫状河—辫状河三角洲沉积体系,其中山前带春晖地区广泛发育湿地扇扇中辫状水道,主要为多套正旋回叠加的粗碎屑沉积,旋回底部的砾岩层砾石分选差,但磨圆度较高。

(2) 通过岩屑组分分析、重矿物组合分析、矿物成分分析、倾角测井古流向分析以及砾岩含量分析等多种沉积物源研究方法,证实了准噶尔盆地北缘春晖探区的主力油层—侏罗系八道湾组沉积物来自西北方向的哈拉阿拉特山,基本与西缘的扎伊尔山无关,物源方向较为单一。

(3) 近源砾石的高磨圆度主要有两种成因类型,一是受其初始形成时期的古构造背景及沉积环境控制,凝灰岩、玄武岩、泥质岩类沉积物在滨浅海水动力长期作用下,形成了高磨圆度砾石;二是受八道湾组沉积时期水动力环境所控制,湿润型冲积扇由于河道具有常年性、稳定性、定向迁移性的特点,颗粒较大、硬度较小的砾石在持续搬运侵蚀过程中,磨圆程度进一步提高。

(4) 春晖探区内主要发育湿地扇扇中辫状水道砂砾岩与小规模扇根粗砾岩两种类型,其中优势岩相带与构造相匹配,控制了油气富集规模及油藏边界。然而,由于目前开发技术条件的限制,砾岩油藏的原油开采难度很大,因此,随着山前带评价勘探与滚动勘探的逐步开展,下一步应综合更为丰富的钻测井资料对湿地扇内岩相单元进行刻画,寻找对原油开发更有意义的储集岩相带。

致谢 本文的研究工作得到中国石油大学(华东)地球科学与技术学院的操应长教授与王艳忠副教授的帮助,审稿专家提出了宝贵的建设性意见,在

此深表感谢!

参考文献 (References)

- 管树巍,李本亮,侯连华,等. 准噶尔盆地西北缘下盘掩伏构造油气勘探新领域[J]. 石油勘探与开发,2008,35(1):17-22. [Guan Shuwei, Li Benliang, Hou Lianhua, et al. New hydrocarbon exploration areas in footwall covered structures in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 17-22.]
- 方朝合,刘人和,王红岩,等. 新疆风城地区油砂地质特征及成因浅析[J]. 天然气工业,2008,28(11):127-130. [Fang Chaohu, Liu Renhe, Wang Hongyan, et al. Origin analysis and geological characteristics of oil sands in the Fengcheng area, northwest Junggar Basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(11): 127-130.]
- 谢正霞,王伟锋,陈刚强,等. 乌夏地区侏罗系稠油性质与稠变机理探讨[J]. 新疆地质,2009,27(1):53-57. [Xie Zhengxia, Wang Weifeng, Chen Gangqiang, et al. Properties and study on the alteration of heavy oil of Jurassic in Wuxia area, Junggar Basin[J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(1): 53-57.]
- 雷振宇,鲁兵,蔚远江,等. 准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布[J]. 石油与天然气地质,2005,26(1):86-91. [Lei Zhenyu, Lu Bing, Wei Yuanjiang, et al. Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern edge of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 86-91.]
- 鲍志东,刘凌,张冬玲,等. 准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J]. 沉积学报,2005,23(2):194-202. [Bao Zhidong, Liu Ling, Zhang Dongling, et al. Depositional system frameworks of the Jurassic in Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 194-202.]
- 祁利祺,鲍志东,吴博然,等. 准噶尔盆地西北缘侏罗系展布与层序地层格架特征[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):261-267. [Qi Liqi, Bao Zhidong, Wu Boran, et al. Distribution and sequence stratigraphic framework of the Jurassic strata on the northwestern margin of the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 261-267.]
- 宋璠,杨少春,苏妮娜,等. 准噶尔盆地春风油田沙湾组沉积相新认识[J]. 石油实验地质,2013,35(3):238-242. [Song Fan, Yang Shaochun, Su Nina, et al. New understanding of sedimentary facies of Shawan Formation in Chunfeng oilfield, Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(3): 238-242.]
- 杨仁超,李进步,樊爱萍,等. 陆源沉积岩物源分析研究进展与发展趋势[J]. 沉积学报,2013,31(1):99-107. [Yang Renchao, Li Jinbu, Fan Aiping, et al. Research progress and development tendency of provenance analysis on terrigenous sedimentary rocks[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(1): 99-107.]
- Zimmermann U, Spalletti L A. Provenance of the Lower Paleozoic Balcarce Formation (Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina): Implications for paleogeographic reconstructions of SW Gondwana[J]. Sedimentary Geology, 2009, 219(1/4): 7-23.
- 张善文. 准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区风城组烃源岩的发现及石油地质意义[J]. 石油与天然气地质,2013,34(2):145-152. [Zhang Shanwen. Identification and its petroleum geologic significance of the Fengcheng Formation source rocks in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 145-152.]
- 方世虎,郭召杰,贾承造,等. 准噶尔盆地南缘中—新生界沉积物重矿物分析与盆山格局演化[J]. 地质科学,2006,41(4):648-662. [Fang Shihu, Guo Zhaojie, Jia Chengzao, et al. Meso-Cenozoic heavy minerals' assemblages in the southern Junggar Basin and its' implications for basin-orogen pattern[J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(4): 648-662.]
- 纪友亮,王勇,李清山,等. 高邮凹陷古近系戴南组戴一段物源分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2012,40(9):1406-1413. [Ji Youliang, Wang Yong, Li Qingshan, et al. Sediments provenance of Gaoyou Depression during sedimentation of first member of Dainan Formation of Paleogene[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2012, 40(9): 1406-1413.]
- 燕金梅,鞠江慧,王建功,等. 地层倾向测井资料的地质应用[J]. 测井技术,2005,29(3):227-229. [Yan Jinmei, Ju Jianghui, Wang Jianguo, et al. Geologic application of Diplog data[J]. Well Logging Technology, 2005, 29(3): 227-229.]
- 苏朝光,仲维莘. 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组物源分析[J]. 石油与天然气地质,2010,31(5):648-655. [Su Chaoguang, Zhong Weiping. An analysis on the provenance of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi Uplift of the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 648-655.]
- 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003:42-47. [Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 42-47.]
- 何登发,管树巍,张年富,等. 准噶尔盆地哈拉阿拉特山冲断带构造及找油意义[J]. 新疆石油地质,2006,27(3):267-269. [He Dengfa, Guan Shuwei, Zhang Nianfu, et al. Thrust belt structure and significance for petroleum exploration in Hala'alat Mountain in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(3): 267-269.]
- 胡杨,夏斌. 哈山地区构造演化特征及对油气成藏的影响[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2013,35(1):35-42. [Hu Yang, Xia Bin. Tectonic evolution characteristics of Hala'alate Mountains and their influence on hydrocarbon accumulation in northern Xinjiang[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2013, 35(1): 35-42.]
- 刘政. 准噶尔盆地西北缘哈拉阿拉特山推覆构造形成演化与构造建模[D]. 北京:中国地质大学(北京),2012:53-63. [Liu Zheng. Formation and evolution and its structural modeling of Hala'alate thrust nappe at northwestern margin of Junggar Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012: 53-63.]
- 何登发,陈新发,况军,等. 准噶尔盆地石炭系烃源岩分布与含油气系统[J]. 石油勘探与开发,2010,37(4):397-408. [He Dengfa, Chen Xinfa, Kuang Jun, et al. Distribution of Carboniferous source rocks and petroleum systems in the Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(4): 397-408.]
- 马宝林. 新疆哈拉阿拉特山地区的地层和沉积环境[J]. 沉积学报,1987,5(4):66-77. [Ma Baolin. The stratum and sedimentary en-

- vironments of Hala' alate Mountain area, Xinjiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1987, 5(4): 66-77.]
- 21 肖雄飞. 准噶尔盆地北缘春晖油田侏罗系八道湾组湿地扇沉积及成藏效应[J]. *古地理学报*, 2013, 15(1): 113-123. [Xiao Xiongfei. Sedimentology and accumulation effect of humid fan of the Jurassic Badaowan Formation in Chunhui Oilfield, northern margin of Junggar Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15(1): 113-123.]
- 22 唐海发, 彭仕宓, 蔡圣权, 等. 湿地扇中辫状水道沉积微相-岩石相划分方法[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2008, 35(1): 22-27. [Tang Haifa, Peng Shimi, Cai Shengquan, et al. A new method for subdividing the sedimentary microfacies of braided river channel in the middle of humid fan[J]. *Journal of Cheng Du University of Technology: Science & Technology Edition*, 2008, 35(1): 22-27.]
- 23 Gole C V, Chitale S V. Inland delta building activity of Kosi River[J]. *Journal of the Hydraulics Division*, 1996, 92(2): 111-126.
- 24 Leggett R F, Brown R J E, Johnston G H. Alluvial fan formation near Aklavik, Northwest Territories, Canada[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1996, 77(1): 15-30.
- 25 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.]
- 26 王圣柱, 张奎华, 肖雄飞, 等. 准北缘哈山地区斜坡带网毯式油气成藏规律[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 27(6): 19-24. [Wang Shengzhu, Zhang Kuihua, Xiao Xiongfei, et al. Study on meshwork-carpet hydrocarbon pool-forming features in Hashan area, the sloping zone, the northern border of Junggar Basin[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2012, 27(6): 19-24.]

Sedimentary Provenance and Facies Model of Piedmont Belt in the Northern Margin of Junggar Basin: A Case from the Chunhui exploration area of Hala' alt front edge

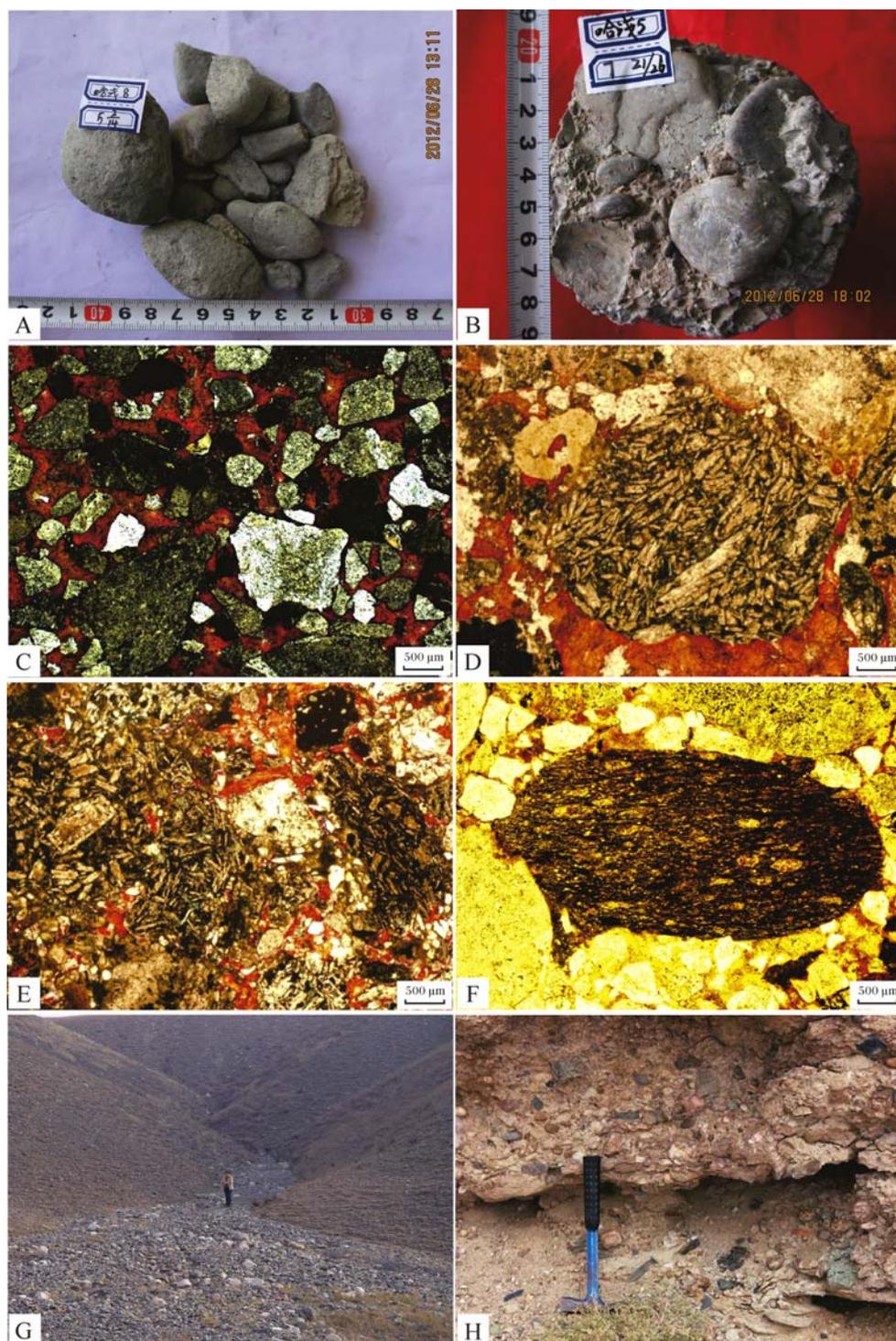
SONG Fan¹ YANG ShaoChun¹ SU NiNa¹ XIANG Kui² ZHAO YongFu² CAO HaiFang²

(1. College of Geo-science and Technology in China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580;

2. Department of Xinjiang Exploration Project Management, Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257017)

Abstract: At present, piedmont belt in the northern margin of Junggar Basin is one of the key zone in oil-gas exploration fields. For the purpose of explaining the question in the piedmont belt sedimentary research, with the Chunhui exploration area of Hala' alt front edge in the northern margin of Junggar Basin for target, the sedimentary characteristics and provenance of Jurassic Badaowan Formation was studied comprehensively using methods of core, drilling and logging data, and a large number of sedimentologic experiment. The results have confirmed that the coarse clastic sediments belong to the typical proximal deposit, which are mainly from northwest Hala' alt mountains. By analyzing tectonic and depositional histories, combining with recent sediment investigation, two origins of high-psephicity near-source gravel from piedmont zone were concluded, which formed in the littoral environment stage and humid fan environment of retransported stage, respectively. In the end, the humid fan facies model of Jurassic Badaowan Formation in Chunhui exploration area was established.

Key words: piedmont of Junggar Basin; Jurassic Badaowan Formation; provenance analysis; gravel; humid fan; sedimentary model



图版 I 说明 A.次圆—圆状砾石,哈浅 8 井,547.5 m;B.高磨圆度卵砾石,哈浅 5 井,586.5 m;C.哈浅 5 井岩组分显微特征,岩屑含量较高,581.75 m,正交偏光 20×;D.次圆状玄武岩砾石,哈浅 101 井,532.5 m,单偏光 20×;E.玄武岩岩屑,具明显粗玄结构,哈山 1 井,69.9 m,单偏光 20×;F.高磨圆度的糜棱岩砾石,哈浅 3 井,435 m,单偏光 20×;G.准噶尔盆地北缘现代冲积扇,砾石磨圆度高;H.准噶尔盆地北缘八道湾组露头,砾石磨圆度高。