

文章编号:1000-0550(2017)02-0405-08

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.02.017

准噶尔盆地北缘哈山构造带油气输导系统与运聚规律

王圣柱,吴倩倩,程世伟,薛雁,陈平

中石化胜利油田分公司勘探开发研究院西部分院,山东东营 257000

摘要 哈山构造带经历多期构造运动的叠加改造,造成地层的重复、缺失或倒转,地质结构复杂,油气成藏规律认识不清,制约了研究区的高效勘探。以已发现的油气藏和探井为研究对象,采用分单元解剖、地质与地化分析相结合的思路方法,运用有机地球化学手段追踪油气运移路径,明确了不同构造单元的油气输导配置样式,建立了4种油气运聚模式。研究结果认为:玛湖凹陷和哈山地区发育的风城组烃源岩在水体盐度、氧化—还原性等沉积环境指标方面存在差异。原油(油砂)生物标志化合物、含氮化合物等多参数运移路径示踪表明,浅层斜坡带与中深层推覆—冲断带的原油具有不同的油气来源,两者分属于不同的油气输导系统:斜坡带的原油来源于玛湖凹陷的风城组烃源岩,其生成的油气通过“断—毯”高效输导路径运聚成藏,具有远源供烃、横向输导的特点;推覆—冲断带的原油主要来源于哈山地区的风城组烃源岩,整体表现为烃源岩近源供烃、断层垂向输导的成藏特征,可进一步细分为3种运聚模式:推覆叠置区断裂、溶蚀孔缝发育,为“断—缝”复杂网络输导,冲断叠置区为“断层—砂体”阶梯状输导,褶皱变形区为断层优势输导—砂体辅助输导。上述研究成果对哈山构造带的油气勘探具有重要的指导意义。

关键词 地质结构;输导模式;地化示踪;盆缘斜坡带;推覆—冲断带;哈山地区

第一作者简介 王圣柱,男,1979年出生,博士,高级工程师,石油地质,E-mail: pillar1979@163.com

中图分类号 TE122.1 **文献标识码** A

0 引言

哈拉阿拉特山(下文简称哈山)构造带为晚古生代哈萨克斯坦—准噶尔板块与西伯利亚板块发生碰撞形成的增生型造山带^[1],属于准噶尔盆地西北缘山前带的东段。勘探实践证明,山前构造带“内部”蕴涵着丰富的油气,是寻找大中型油气田的重要领域^[2]。前期在哈山构造解释模型的指导下,取得了良好的勘探效果,相继发现了春晖和阿拉德油田^[3-5],初步形成了斜坡带、推覆带和冲断带多构造单元、多层系立体含油的勘探局面。但随着勘探的不断深入,钻井揭示不同地质单元的油气富集程度不同,如何寻找优质的油气富集区带,成为制约研究区高效勘探的重要瓶颈。哈山构造带经历多期构造运动的叠加改造,致使对不同单元的油气运移特征及富集规律不清楚,亟需开展油气优势运移路径识别及运聚模式研究,深入认识不同单元的油气成藏规律。笔者以已发现的典型油气藏与重点探井为研究对象,采用地质结构解剖与地球化学分析相结合的研究思路,在精细厘定油气源的基础上,重点开展油气输导要素配置样式及优势运移路径研究,查明不同构造单元的成藏主控

因素及油气富集规律,建立相应的油气运聚模式,以期与研究区的油气勘探提供一定指导。

1 地质概况

哈山构造带位于准噶尔盆地北缘,整体呈北东东向展布,南部紧邻乌夏断裂带、玛湖凹陷,北部以达尔布特断裂为界与和什托洛盖盆地相接,东西两侧分别为石西凹陷和扎伊尔山构造带,有利勘探面积逾1 000 km²。自晚古生代以来,准西北缘地区经历多期盆地性质的转换。石炭纪末准噶尔洋盆闭合,准西北缘全面结束了大洋演化阶段^[6],早二叠世进入碰撞造山后的伸展裂陷盆地演化阶段,佳木河组沉积期火山活动强烈,火山岩普遍发育,风城组沉积期处于裂陷湖盆鼎盛期和萎缩期,火山活动明显减弱,发育火山岩、云质岩和碎屑岩混合沉积。早二叠世末期区域应力场由拉张变为挤压,受构造挤压作用影响由先期的裂陷盆地演变为晚二叠世的类前陆盆地;二叠纪末期的晚海西期构造运动造成石炭系和下二叠统的强烈推覆冲断,哈山构造初具雏形。三叠纪—白垩纪进入陆内拗陷盆地演化阶段^[7],晚三叠世印支期构造运动使得先期的大型推覆断层、冲断断层复活,并产

收稿日期:2015-08-05;收修改稿日期:2016-05-01

基金项目:国家科技重大专项专题(2016ZX05002-002);中石化科技重大攻关项目(P13020)[Foundation: National Science and Technology Major Project, No.2016ZX05002-002; SINOPEC Science and Technology Major Project, No. P13020]

生新的次级断裂,哈山再次强烈隆升,经历该期构造运动哈山基本定型;侏罗纪及以后的构造活动强度明显减弱,侏罗系、白垩系超覆于三叠系或推覆体老地层之上,受燕山期构造运动的影响,整体表现为“底超顶削”的特征^[3,8]。新生代以来南北向的区域挤压应力造成准噶尔盆地南缘的伊林黑比尔根山和博格达山的强烈隆升,进入再生前陆盆地演化阶段,沉积了巨厚的新生代地层,准噶尔盆地北缘哈山地区发生构造隆升掀斜,达尔布特断裂左行走滑使先期构造进一步复杂化。

哈山构造带为大型的逆冲推覆构造^[9-10],具有“垂向分层,平面分带、分段”的构造特点。根据地层归属、卷入地层变形特征及构造样式差异,剖面上划分为两套构造层:下构造层主要充填上古生界石炭系、二叠系地层,以发育推覆构造和冲断构造为特征;上构造层指三叠系及其上覆地层,构造变形相对较弱,超覆于哈山推覆体之上,表现为“底超顶削”的宽缓斜坡。受不同时期区域构造应力作用和充填地层差异控制,构造变形强度及构造样式平面上具有分带性特点,自北向南分为3个构造条带:北部为走滑改造带,受新生代近南北向挤压应力与哈山构造带小角度斜交派生剪切应力的影响,达尔布特断裂发生左行走滑形成花状构造样式;中部为受多期构造挤压作用形成的推覆—冲断叠置(叠加)带;南部为传导挤压应力在玛湖凹陷北斜坡形成的断弯褶皱和断展褶皱变形区,即逆冲褶皱带。受区域挤压应力作用方式、大小及充填地层属性等因素控制,不同构造部位发生

差异运动形成风城和红旗坝横向调节带,将推覆—冲断带分割为乌尔禾推覆叠置区、夏子街冲断叠加区和红旗坝断褶区等多个构造变形区(图1)。

2 油气输导系统划分

2.1 火山岩“硬壳层”

哈山构造带表现为“早动早衰型”演化特点,晚海西期哈山即开始推覆造山,并形成哈山锥形,至印支运动末期,哈山基本定型^[4-5,11],哈山推覆体长期处于隆起状态,其顶部的石炭系火山岩长期经历风化淋滤作用。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子易于析出迁移,Al、Fe、Ti等元素难于迁移,随风化程度的增加 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 和 MgO 等矿物质含量呈减少趋势,Al₂O₃、Fe₂O₃、SiO₂等氧化物含量则相对增加^[12]。因此,可以根据不同元素具有明显的迁移差异性,采用岩石风化指数对风化壳结构进行识别^[13]。根据哈浅1、哈浅6等多口探井的岩芯(岩屑)样品岩石矿物元素相对含量的对比分析认为,推覆体顶部的火山岩长期遭受风化淋滤作用的影响,不整合发育5层结构,自上而下划分为黏土层、水解层、溶蚀带、崩解带和原岩。风化淋滤对不整合面附近岩石的储集物性具有明显的控制作用:黏土层储集物性最差;溶蚀带和崩解带的储集物性最好,孔隙度平均值为8.59%,渗透率平均值为 $14.12 \times 10^{-3} \mu m^2$;水解带分布稳定,厚度一般为15~20 m,虽然其发育一定的孔隙(孔隙度一般为0.88%~2.58%),但由于处于近地表淋滤环境,其孔隙、裂缝多被方解石等矿物充填胶结,致使溶蚀孔洞

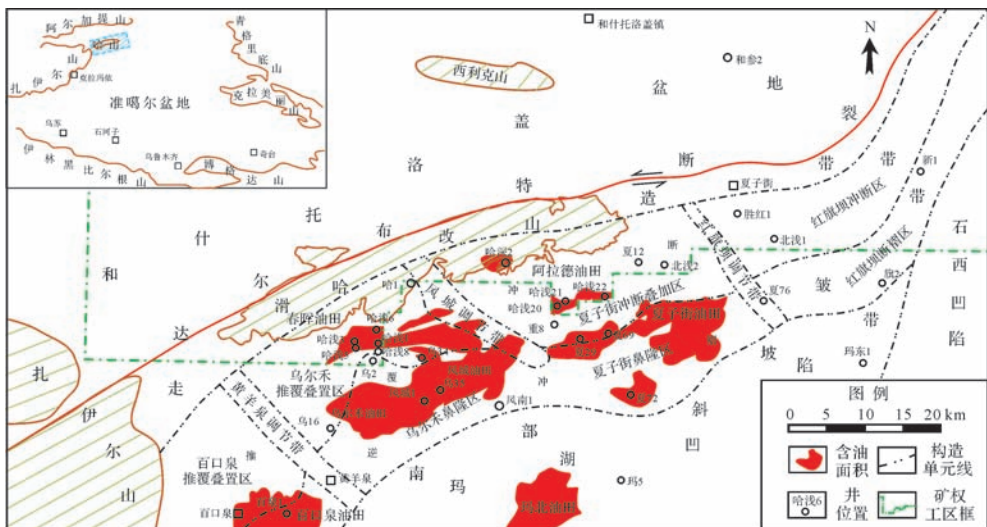


图1 准噶尔盆地北缘哈山构造带构造单元划分图

Fig.1 Division of tectonic units of Hala'alat structural belt in the northern margin of Junggar Basin

及裂缝连通性较差(渗透率一般 $<0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),形成物性致密的火山岩“硬壳层”。正是由于该“硬壳层”的存在,使得多口探井在推覆体顶部均未见油气显示。

2.2 风化黏土层

风化黏土层位于不整合面之上,以发育浅灰色、灰白色、杂色黏土岩为特征。哈山推覆体经历印支期长期的剥蚀夷平演化过程,之后侏罗系八道湾组超覆沉积于准平原化推覆体之上,形成了侏罗系底部的区域性不整合。研究中首先根据岩芯、露头岩石样品的矿物组成及元素相对含量进行不整合结构层的识别划分,其次,精细标定明确不整合各结构层的常规测井曲线和地震地球物理响应特征,在此基础上,进行不整合风化黏土层的分布预测。研究认为,该期不整合面之上风化黏土层普遍发育,厚度一般为3~8 m。随着黏土层埋深的不断增加,压实作用逐渐增强,储集性能迅速变差(孔隙度一般 $<5\%$,渗透率 $<1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),使其成为良好的遮挡层,可有效阻止油气的垂向运移或散失^[14]。

2.3 灰(泥)质底砾岩层

侏罗系八道湾组沉积初期,研究区物源供给充足,广泛发育冲积扇沉积^[15]。钻井岩性统计,在侏罗系底部不整合风化黏土层之上发育了厚度一般为1.3~4.5 m底砾岩,且分布较为稳定。由于沉积期处于较早干蒸发环境,表现为灰(泥)质胶结,底砾岩层的储集物性远小于其上覆砂岩层的储集物性^[3],构成了研究区的另一套致密分隔层。

研究认为,侏罗系底部的不整合和推覆体火山岩顶部的不整合结构层发育,其中的黏土层、灰(泥)质底砾岩层和火山岩“硬壳层”岩性致密,阻止了斜坡带和推覆—冲断带之间的油气“交换”,将哈山构造带分隔为深浅两套油气输导系统。

3 油气运移路径识别

3.1 油源分析

近期勘探证实,哈山构造带呈现多构造单元、多层系立体含油,稀油—稠油、低熟油—成熟油—高熟油共存的特点。哈山构造变形形成演化平衡剖面复原分析,风城组沉积期表现为广盆式沉积特征,后期强烈的构造改造使得推覆体下部及推覆叠片内部不同程度的“残留”发育风城组烃源岩^[4]。风城组烃源岩发育于以低等水生生物供给为主的半咸水—咸水、还原性沉积环境,具有植烷优势、高 β -胡萝卜烷含

量、低 T_s/T_m 比值、高伽马蜡烷含量、 $C_{20}-C_{21}-C_{22}$ 三环二萜烷呈上升型分布、 $\alpha\alpha\alpha-20RC_{27}<C_{28}<C_{29}$ 规则甾烷相对含量依次升高,富集轻碳同位素($\delta^{12}C$)等系列特征^[4]。为了精细厘定研究区不同构造单元的藏源关系,系统采集了原油(油砂)样品和玛湖凹陷、哈山地区的烃源岩样品进行有机地球化学测试分析。生物标志化合物组成分析表明,早二叠世沉积期,哈山地区与玛湖凹陷的风城组烃源岩的沉积水体深度、盐度和氧化还原性环境方面存在差异,因此,对水体环境反应敏感的沉积环境指数 ETR、升藿烷指数 HHI 等参数在两地区也明显不同^[16-17]。玛湖凹陷的烃源岩生标特征具有“两高三低”的特点,哈山地区的烃源岩则与之相反,表现为“两低三高”的特征。油源精细对比认为,浅层斜坡带的原油为研究区南邻玛湖凹陷中的风城组烃源岩生成的成熟—高成熟原油,中深层推覆—冲断带的原油主要来源于哈山构造带推覆体下部和内部的风城组烃源岩(图2)。

3.2 油气运移路径识别

原油是由不同分子结构的有机化合物组成的复杂混合物,由于不同构型化合物分子的极性 & 吸附能力的差异,使得油气在运移过程中随着运移距离的增加,其物理性质和化学成分发生规律性变化。因此,可以利用原油运移过程中的地质色层效应原理进行运移路径的示踪。有机地球化学色谱—质谱测试技术可以实现原油中分子化合物的鉴定,从而为从源到藏之间的运移路径识别提供了可能。原油中不同构型的生物标志化合物和含氮化合物参数比值或相对含量的变化是油气运移路径示踪的有效指标^[18-19]。

不同构造单元的原油运移参数系统对比研究,发现多个参数指标在斜坡带与推覆—冲断带分界面附近存在“突变”现象,表明深浅圈闭中赋存的油气具有不同的输导路径。规则甾烷参数($20R-\alpha\beta\beta/20R-\alpha\alpha\alpha C_{29}$)的分馏效应可以很好的指示油气的运移距离,相对而言,斜坡带原油的分馏作用更加明显,其运移距离远大于推覆—冲断带原油的运移距离(图3)。从原油中含氮化合物的相对含量分析,斜坡带哈浅5、哈浅3、哈浅6等井八道湾组原油的1,8/1,5二甲基咪唑、1,8/2,7二甲基咪唑和1,8/(2,4+2,7)二甲基咪唑等比值自南向北呈增大的趋势,表明油气的横向运移特征;推覆—冲断带原油的上述比值由哈深斜1井风城组至哈浅6井风城组、石炭系呈自下而上增大的趋势,表明油气的垂向运移特征(图4)。原油运移地球化学参数示踪分析,在另一方面也证实了斜坡

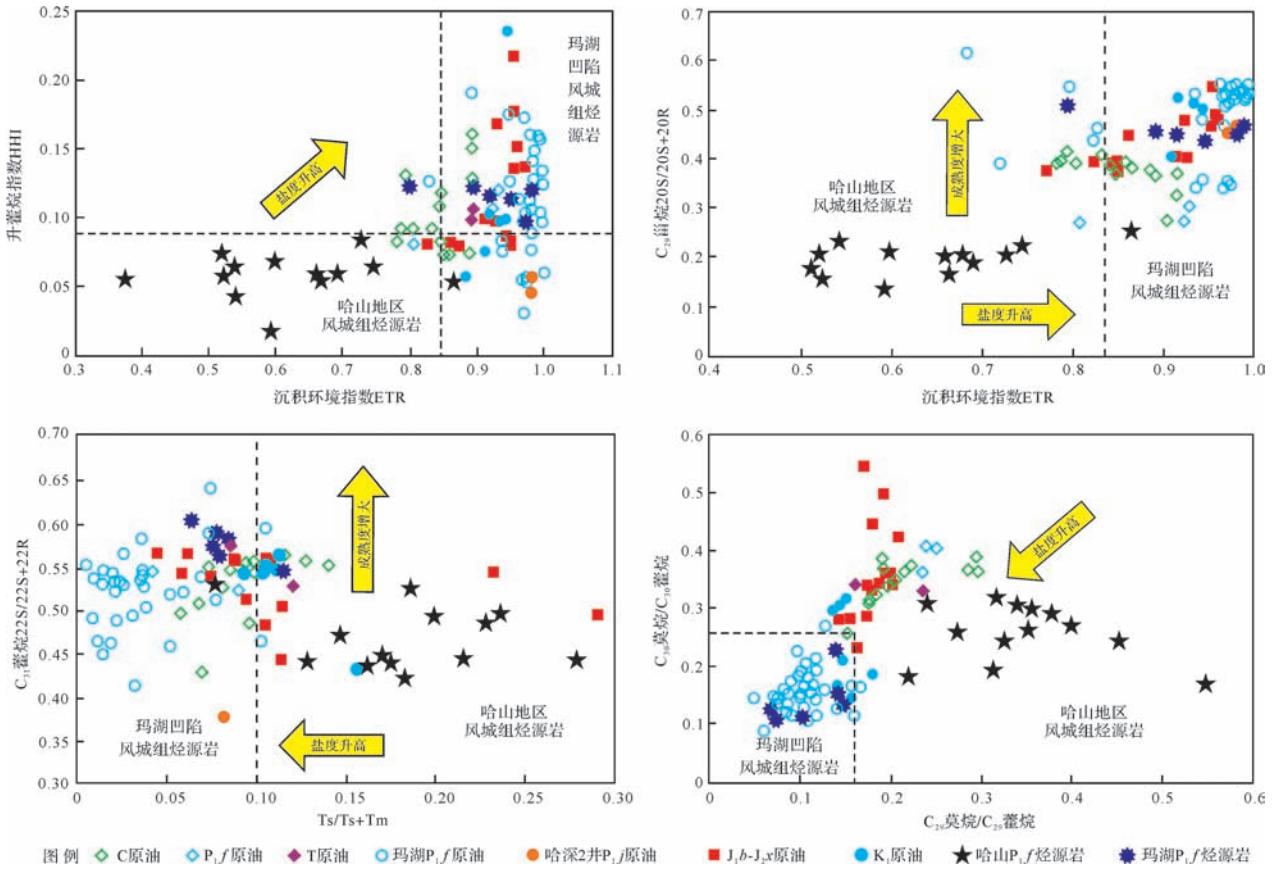


图2 哈山地区不同构造单元油气源地化参数散点图

Fig.2 Scatter plot of crude oil and source rocks parameters of different structural units in Hashan area

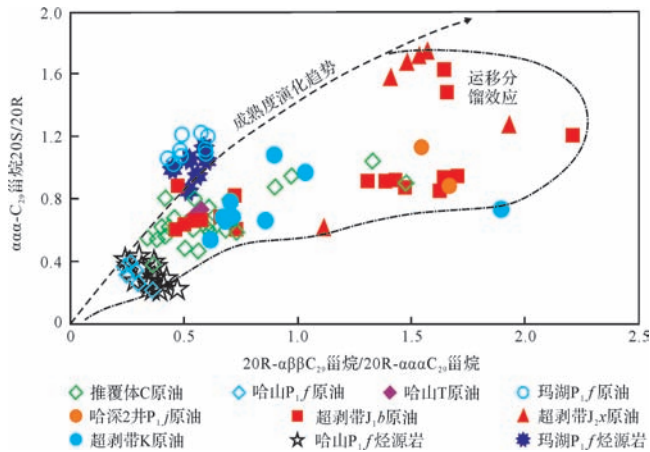


图3 哈山地区不同构造单元油气运移分馏效应散点图

Fig.3 Scatter plot of hydrocarbon migration fractionation effect of different structural units in Hashan area

4 油气运聚模式

4.1 斜坡带“断—毯”输导模式

哈山构造带浅层斜坡带自身不发育烃源岩,表现为圈源分离、玛湖凹陷烃源岩供烃、远源运聚成藏的特点。经历印支期的剥蚀夷平作用,整体表现为宽缓的斜坡构造背景,发育了侏罗系八道湾组和西山窑组两套稳定分布的厚层砂体,且其具有较好的储集物性及连通性,成为斜坡带油气大规模横向运移的高效输导毯和仓储层。在哈山推覆造山的同时,玛湖凹陷内发育了乌27井断层、夏红北断层等一系列推覆冲断断层,其深部沟通了玛湖凹陷的风城组烃源岩,浅部与八道湾组和西山窑组的“毯砂”对接,成为油气垂向运移的油源网,后期的中生界层内调节断层沟通了上述“毯砂”及其之上的孤立砂体,成为油气运移的调整网。断层、砂体配置构成了研究区的“断—毯”输导格架(图5)。玛湖凹陷烃源岩生成的油气通过油源断层或次级油源断层垂向运移进入斜坡带的“毯砂”横向运移,调节断层对“输导毯”内的油气进

带和推覆—冲断带属于不同的油气输导系统:斜坡带原油为玛湖凹陷的风城组烃源岩生成的油气远源、横向运聚的结果,推覆—冲断带原油为哈山地区的风城组烃源岩生成油气近源、垂向运聚的产物。

行再分配,在与调节断层沟通的毯上孤立砂体中聚集成藏。油气运移路径示踪分析,在研究区西部沿乌35、乌34、乌2、哈浅8、哈浅6井一线,八道湾组原油样品的三环二萜烷/17 α -藿烷、20R- $\alpha\beta\beta$ /20R- $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉和1,8/1,3二甲基咪唑等多个参数发生规律性变化;在研究区东部沿风18、重8、哈浅20、哈浅21井一线,西山窑组原油样品的上述参数也呈规律性变化,指示上述两个构造条带为斜坡带原油的优势运移路径,因此,在其构造高部相应地发现了春晖油田和阿拉德油田。玛湖凹陷内的油源断层与“毯砂”对置关系控制了斜坡带油气的分布层位,调节断层断穿层位及启闭

性控制了油气的毯上或毯内成藏,“毯砂”储集物性控制了油气富集。

4.2 推覆—冲断带“多断”联合输导模式

哈山推覆—冲断带逆冲断层和冲断断层发育,包裹体均一温度存在75 $^{\circ}$ C~90 $^{\circ}$ C、115 $^{\circ}$ C~125 $^{\circ}$ C和145 $^{\circ}$ C~155 $^{\circ}$ C三个温度区间,表明断层多期幕式活动,断裂带附近岩芯、薄片可见裂缝被原油或沥青充填,表明幕式活动断层及伴生裂缝是油气运移的重要通道。推覆—冲断带不同部位的构造样式、断层与砂体等输导要素的时空配置控制了油气运聚差异,呈“上下分层、东西分段”的特点。

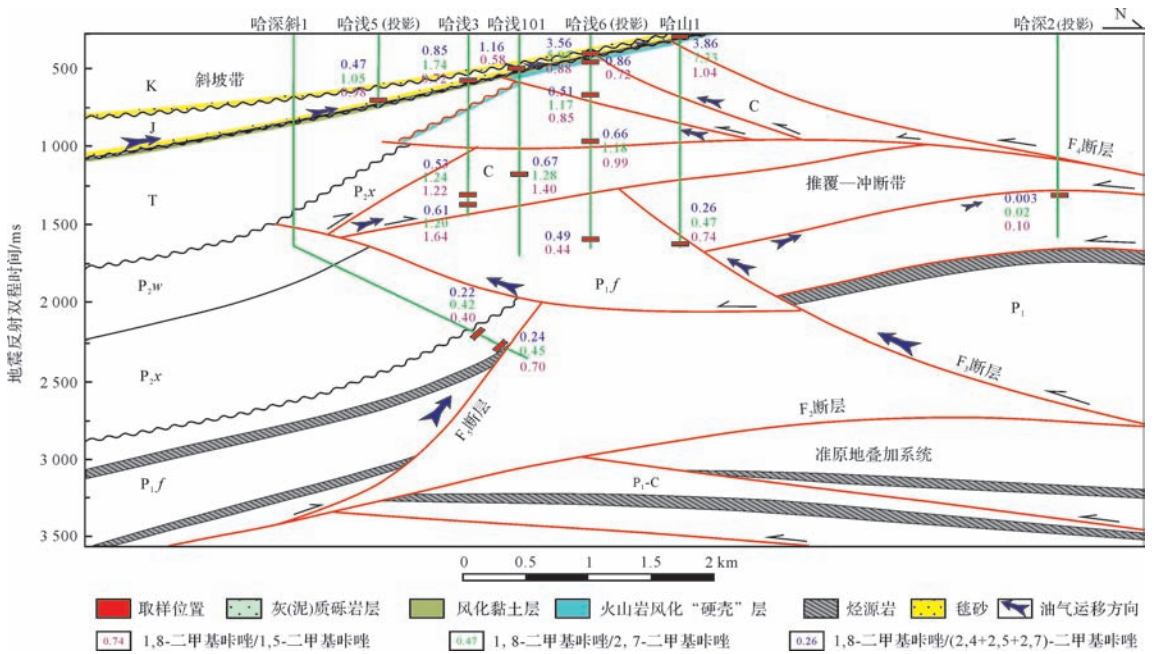


图4 哈山地区不同构造单元油气运移分馏剖面图

Fig.4 Section of hydrocarbon migration fractionation of different structural units in Hashan area

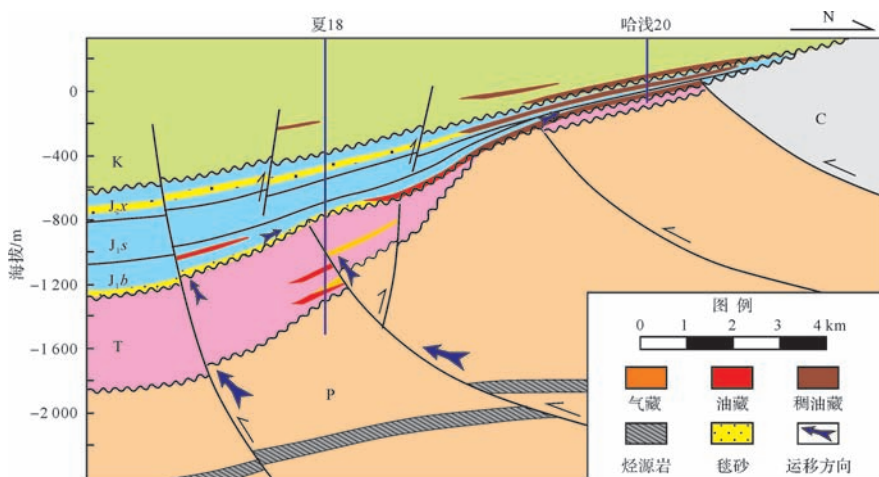


图5 哈山地区盆缘斜坡带“断—毯”输导模式图

Fig.5 Model of "fault-carpet" transportation of basin margin slope zone in Hashan area

晚海西期和印支期强烈的构造挤压使得哈山大规模推覆造山,在推覆断层前端形成乌尔禾断层传播褶皱,因而在西部的推覆叠置区和玛湖凹陷之间形成一大型向斜构造。哈深斜1井三叠系—夏子街组主要砂层段定量颗粒荧光分析,颗粒荧光强度(QGF Intensity)平均值为0.43,颗粒萃取液荧光强度(QGF-E)平均值为12.3,而哈浅1、哈浅22等井的油层荧光强度大于2.0,萃取液荧光强度大于100,表明哈深斜1井的上二叠统和三叠系砂层段无油气运移的痕迹^[20],因此,玛湖凹陷烃源岩生成的油气沿砂体横向运移进入推覆体成藏的可能性较小。但推覆叠置区以发育火山岩脆性地层为特征,大型推覆断层及其伴生裂缝非常发育,在近地表风化淋滤和后期有机酸溶蚀改造作用下溶蚀孔洞缝发育,构成了油气运移的“断—缝”网状输导系统

(图6)。F₃、F₆等大型推覆断裂为油气运移提供了高速通道,风化壳淋滤型和爆发相内幕型火山岩有利储层为油气聚集提供了场所,油源断层与优质储层两者时空配置控制了油气富集成藏。

研究区中东部主要发育二叠系、三叠系碎屑岩地层,以高角度叠瓦冲断构造样式及其伴生的断层相关褶皱为特征。在中部的冲断叠加区为多期冲断叠置形成的多级构造台阶,冲断断层沟通了冲断叠片内和冲断带下部的烃源岩与二叠系、三叠系砂体,构成了“断层—砂体”阶梯输导格架(图7)。烃源岩生烃演化与冲断断层的继承性活动控制了油气的幕式成藏,如夏69井二叠系风城组稠油、稀油和三叠系克拉玛依组稀油、天然气为风城组烃源岩生成油气沿“断层—砂体”输导通道幕式运聚的产物。烃源岩、冲断

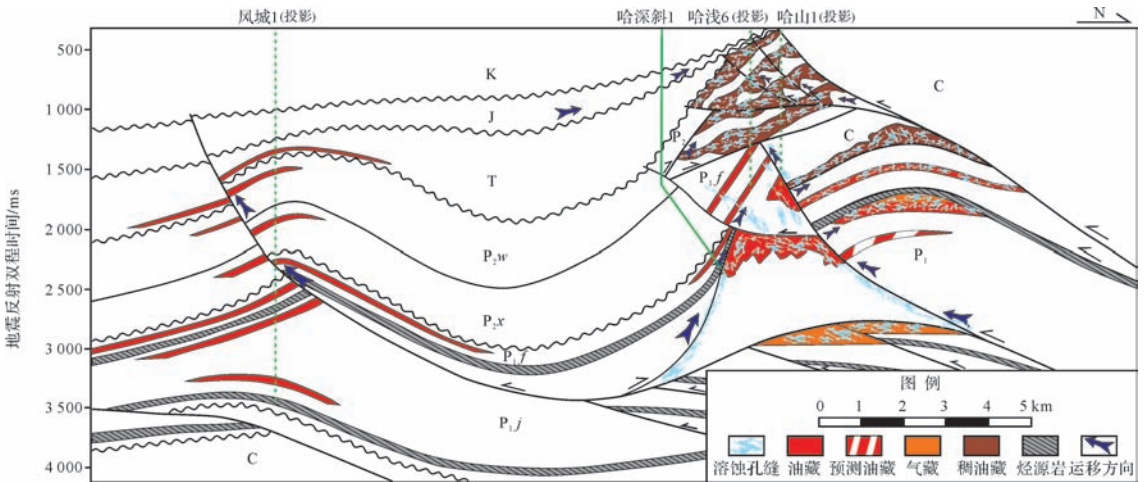


图6 哈山推覆叠置区“断—缝”网状输导模式图

Fig.6 Model of "fault micro-fracture" net-shaped transportation in the nappe superimposed region in Hashan area

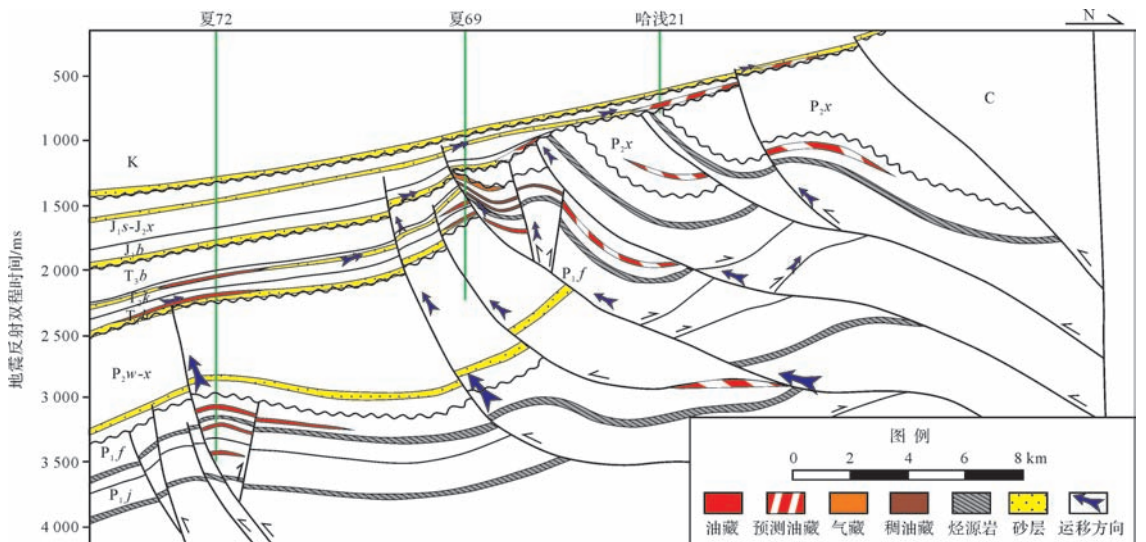


图7 哈山冲断褶皱叠加区“断层—砂体”阶梯输导模式图

Fig.7 Model of "fault-sand" ladder transportation in the thrust superimposed region in Hashan area

断层与砂体形成良好时空配置的圈闭是该区带勘探的有利目标。

东部褶皱变形区受印支期构造运动挤压作用的影响,地层发生强烈的褶皱变形,呈“沟梁”相间的构造格局。构造变形一方面造成了地层的剥蚀,先期油藏的调整或破坏,如新2井风城组油砂中抽提物 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 比值为 0.32, C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 比值为 0.20, 甲基菲指数 MPI 换算成熟度 R_o 为 0.78%, 表明原油成熟度较低, 表明其为早期油藏破坏的产物; 另一方面使得油气沿砂体横向运移的距离很大程度上受到限制, 即晚侏罗世—早白垩世二次生烃期, 烃源岩生成的油气沿油源断层垂向运移至浅部砂体后的横向运移距离往往局限在单一褶皱内(图7), 油气表现为沿断层垂向、侧向优势输导, 砂体辅助输导特点, 这也是油气沿夏红南和夏红北断裂带富集的重要原因。烃源岩生烃演化、构造褶皱变形与油源断层优势输导、砂体辅助输导时空配置控制了褶皱变形区的油气运聚成藏。

5 结论

(1) 地质结构解剖和有机地球化学分析, 浅层斜坡带和中深层推覆—冲断带之间存在黏土层、灰(泥)质底砾岩层和火山岩“硬壳层”, 两者具有不同的油气来源及输导要素配置样式, 分属不同的油气输导系统。

(2) 构造样式及输导要素时空配置控制了斜坡带、推覆叠置区、冲断叠加区和褶皱变形区不同构造单元的输导差异性, 具有纵向分层、横向分带的特点, 建立了4种油气运聚模式。

参考文献 (References)

[1] 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. “缝合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限[J]. 岩石学报, 2010, 26(8): 2233-2246. [Han Baofu, Guo Zhaojie, He Guoqi. Timing of major suture zones in North Xinjiang, China: constraints from stitching plutons[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(8): 2233-2246.]

[2] 贾承造, 宋岩, 魏国齐, 等. 中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 3-13. [Jia Chengzao, Song Yan, Wei Guoqi, et al. Geological features and petroleum accumulation in the foreland basins in central and western China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 3-13.]

[3] 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研究[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 Has-

han 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.]

- [4] 王圣柱, 张奎华, 金强. 准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区原油成因类型及风城组烃源岩的发现意义[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(4): 595-602. [Wang Shengzhu, Zhang Kuihua, Jin Qiang. The genetic types of crude oils and the petroleum geological significance of the Fengcheng Formation source rock in Hashan area, Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(4): 595-602.]
- [5] 于洪洲. 准噶尔盆地西北缘哈拉阿拉特山前复杂构造带建模技术[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(增刊1): 91-97. [Yu Hongzhou. Complicated structure modeling in front-zone of Hala'alt mountain of northwestern margin, Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(Suppl.1): 91-97.]
- [6] 朱宝清, 冯益民. 新疆西准噶尔板块构造及演化[J]. 新疆地质, 1994, 12(2): 91-105. [Zhu Baoqing, Feng Yimin. Plate tectonics and evolution in west Junggar of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1994, 12(2): 91-105.]
- [7] 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.]
- [8] 吉海龙. 准噶尔盆地哈山地区隐蔽油气藏识别[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 670-674. [Ji Hailong. Identification of subtle traps in Hassan block, Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 670-674.]
- [9] 何登发, 李德生, 童晓光. 中国多旋回叠合盆地立体勘探[J]. 石油学报, 2010, 31(5): 695-709. [He Dengfa, Li Desheng, Tong Xiaoguang. Stereoscopic exploration model for multi-cycle superimposed basins in China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 31(5): 695-709.]
- [10] 方世虎, 贾承造, 郭召杰, 等. 准噶尔盆地二叠纪盆地属性的再认识及其构造意义[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 108-121. [Fang Shihu, Jia Chengzao, Guo Zhaojie, et al. New view on the Permian evolution of the Junggar Basin and its implications for tectonic evolution[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(3): 108-121.]
- [11] 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.]
- [12] 宋国奇, 陈涛, 蒋有录, 等. 济阳拗陷第三系不整合结构矿物学与元素地球化学特征[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(5): 7-11, 17. [Song Guoqi, Chen Tao, Jiang Youlu, et al. Mineralogical and element geochemical characteristics of unconformity structures of Tertiary in Jiyang depression[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(5): 7-11, 17.]

- [13] 王京红, 靳久强, 朱如凯, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳有效储层特征及分布规律[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 757-766. [Wang Jinghong, Jin Jiuqiang, Zhu Rukai, et al. Characters and distribution patterns of effective reservoirs in the Carboniferous volcanic weathering crust in northern Xinjiang[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(5): 757-766.]
- [14] 吴孔友, 邹才能, 查明, 等. 不整合结构对地层油气藏形成的控制作用研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 518-524. [Wu Kongyou, Zou Caineng, Zha Ming, et al. Controls of unconformity on the formation of stratigraphic reservoirs[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2012, 36(4): 518-524.]
- [15] 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.]
- [16] 田金强, 邹华耀, 徐长贵, 等. ETR在严重生物降解油源对比中的应用——以辽东湾地区JX1-1油田为例[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(7): 19-23, 36. [Tian Jinqiang, Zou Huayao, Xu Changui, et al. Application of ETR in oil source correlation for severely biodegraded crude oil-by taking JX1-1 oilfield for example [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(7): 19-23, 36.]
- [17] Peters K E, Moldowan J M. Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum[J]. *Organic Geochemistry*, 1991, 17(1): 47-61.
- [18] 王铁冠, 李素梅, 张爱云, 等. 利用原油含氮化合物研究油气运移[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(4): 83-86. [Wang Tieguan, Li Sumei, Zhang Aiyun, et al. Oil migration analysis with pyrrolic nitrogen compounds[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 2000, 24(4): 83-86.]
- [19] Peters K E, Moldowan J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient sediments*[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc Press, 1993: 109-126.
- [20] 陈冬霞, 庞雄奇, 张俊, 等. 应用定量颗粒荧光技术研究岩性油气藏的隐蔽输导通道[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 250-254. [Chen Dongxia, Pang Xiongqi, Zhang Jun, et al. Application of quantitative grain fluorescence techniques to study of subtle oil migration pathway of lithological pool [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2): 250-254.]

Hydrocarbon Transmission System and Accumulation in Hala' alat Mountain Structural Belt in the Northern Margin of Junggar Basin

WANG ShengZhu, WU QianQian, CHENG ShiWei, XUE Yan, CHEN Ping

West Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China

Abstract: The Hala' alat Mountain structural belt is controlled by the multi-period structural superposition during the long geohistory, which caused stratum repetition, absence or reversion, the geological structure is complicated, and the rule of hydrocarbon accumulation is not clear, which restricts the efficient hydrocarbon exploration. Through typical reservoirs and wells dissecting, the geological structure of anatomy and the combination of organic geochemical analysis, based on the geological chromatographic effect principle of molecular compounds in crude oil in the process of migration, the study is performed in the characteristics of hydrocarbon transport in different tectonic units. The style of hydrocarbon migration in different tectonic units is cleared, and four models of hydrocarbon migration and accumulation are established. The geochemical fingerprint parameter characteristics of source rocks are contrasted and analyzed in detail, the sedimentary water salinity, oxidative indicators are different in Mahu Depression and the Hala' alat Mountain structural belt of the source rocks of Fengcheng Formation. Hydrocarbon migration is studied through geochemical tracing based on biomarker compounds and nitrogen compounds of crude oil (oil sand). The results showed that the shallow slope zone and the middle-deep nappe-thrust zone had different source rocks, and belonged to different hydrocarbon transporting systems. Through the "fault-carpet" highly efficient transportation framework for hydrocarbon accumulation, the reservoir-formation characteristics of the slope zone which was mainly derived from the Fengcheng Formation source rocks in Mahu Depression generally showed distal lateral transportation and carpet-edge enrichment. The reservoir-formation characteristics of the nappe-thrust zone which was mainly derived from the Fengcheng Formation source rock in Hashan area generally showed proximal vertical and "multi-fault" transportation. Furthermore, the style of "multi-fault" model can be further subdivided into three types, which are fault micro-fracture net-shaped model in the western nappe superimposed region, the fault-sand ladder model in the middle thrust superimposed region, the fault dominant and sand body assisted model in the eastern faulted fold region. The results have important guidance for the exploration of hydrocarbon in Hala' alat Mountain structural belt.

Key words: geological structure; transport pattern; geochemical tracing; basin margin slope zone; nappe-thrust zone; Hashan area