

# 柴北缘油气运移优势通道特征及其控油气作用

李宏义<sup>1,2</sup>, 姜振学<sup>1,2</sup>, 庞雄奇<sup>1,2</sup>, 罗群<sup>2</sup>

1. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249

2. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249

**摘要:** 油气运移优势通道研究对于追踪油气运移方向和预测有利勘探目标具有重要意义, 在对柴北缘地区输导层砂体展布、主要成藏期古流体势、断层倾向和区域盖层分割槽等地质条件综合研究的基础上, 分别阐述了级差优势、流向优势、流压优势和分割槽优势等4种类型优势通道的分布特征以及对油气运移的单因素控制作用, 然后进行多因素叠加, 综合分析在4种优势通道共同作用下柴北缘地区的油气优势运移方向, 进而优选勘探目标。结果表明: 冷湖—南八仙构造带具有阿尔金斜坡、赛什腾、鱼卡—南八仙3个大规模沉积体系的级差优势通道, 同时流压优势通道、分隔优势通道和流向优势通道分布范围广, 并且处于昆特依凹陷和伊北凹陷油气的运移指向区, 使得该构造带成为最有利的油气聚集带, 其次是鄂博梁I号—葫芦山构造带; 冷湖七号东、西高点深层构造和葫芦山构造为最有利的勘探目标, 有望取得新的突破。

**关键词:** 优势通道; 油气运移; 砂体展布; 古流体势; 断层倾向; 柴北缘

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2006)02-0214-07

收稿日期: 2005-07-08

## Dominant Migration Pathway and Its Control on Oil-Gas Migration in the Northern Edge of Qaidam Basin

LI Hong-yi<sup>1,2</sup>, JIANG Zhen-xue<sup>1,2</sup>, PANG Xiong-qi<sup>1,2</sup>, LUO Qun<sup>2</sup>

1. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

**Abstract:** Dominant migration pathway is an effective method for predicting hydrocarbon migration and favorable traps. Dominant migration pathway can be mainly divided into four models including predominances caused respectively by porosity and permeability difference relative to surrounding rocks, excursion of sedimentation center of caprocks, fluid pressure, or fault obliquity. Based on studies on sandbody distribution, paleo-fluid potential in pool-forming period, fault obliquity and excursion of sedimentation center of caprocks, the distribution and controlling on hydrocarbon migration of every types of dominant migration pathways in the northern edge of Qaidam basin were expatiated. And then hydrocarbon migration and favorable traps in the northern edge of Qaidam basin were predicted by integrated the controlling on hydrocarbon of different types of dominant pathways. The study results show that Lenghu-Nanbaxian structural belt is the most favorable accumulation zone for it is located in the area of four types dominant pathways, followed by Eboliang-Hulushan structural belt, and structural heights of No. 7 Lenghu structure and Hulushan structure are the most favorable exploration targets.

**Key words:** dominant migration pathway; oil-gas migration; sandbody distribution; paleo-fluid potential; fault obliquity; the northern edge of Qaidam basin.

油气运移通道是连接圈闭与油气源的“桥梁和纽带”, 只有在运移通道上的圈闭, 才对油气聚集有利。最佳的远景圈闭总是位于最佳的油气运移通道内, 油气运移通道内的任何潜在圈闭勘探风险都较低。而且越来越多的证据表明, 油气的二次运移只通过有限的优势通道进行, 油气运移空间可能只占据

整个输导层的1%~10%(Catalan *et al.*, 1992; Hindle, 1997; Carruthers and Ringose, 1998),但它输导的油气可能占输导系统输导油气总量的绝大部分。因此,油气优势运移通道研究对于准确追踪油气藏、提高勘探成效具有非常重要的意义。

优势通道系指油气在二次运移过程中无外来干扰情况下自然优先流经的通道。构成油气运移优势通道可以是断层、不整合面和高孔渗的输导层(李明诚,1994,2004)。地质分析和物理模拟实验(Dembicki and Anderson, 1989; Catalan *et al.*, 1992; Thomas and Clouse, 1995;王震亮和陈荷立,1999)研究表明,地质条件下,油气总是顺着阻力最小和分力最大的优势通道方向运移,概括起来主要有4种基本模式(庞雄奇等,2002;姜振学等,2005):(1)油气趋向于顺孔渗性较好,且与周边围岩差别最大的通道方向运移(级差优势);(2)趋向于顺浮力作用的方向运移(流向优势);(3)顺流压较低的方向运移(流压优势);(4)趋向于向上覆地层沉积中心偏移的相反方向运移(分隔优势)。其中,流向优势与流压优势的区别在于前者主要受断层倾向和油气浮力作用控制,而后者主要受流体动力和油气浮力作用所控制。油气运移宏观上受流体势的控制,然而影响地下流体势的因素很多,在实际研究工作中很难准确把握。因此,本文首先从以上4种单因素出发,然后进行多因素综合叠加,进而追踪油气运移的方向,优选勘探目标。

## 1 地质背景

柴达木盆地北缘(以下简称柴北缘)位于柴达木盆地东北部,呈NW—SE向展布,属盆地的一个一级构造单元。西起阿尔金山前的鄂博梁I号构造,东到德令哈,北界为祁连山山前深大断裂,南界为鄂博梁南缘—陵间断裂、黄泥滩断裂、埃姆尼克山南缘深断裂(图1)。目前,区内已发现冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号、南八仙、鱼卡及马海6个油(气)田。

柴北缘地质条件十分复杂,地史过程中沉积中心不断变迁,后期构造运动改造作用强烈,断裂极为发育。烃源岩主要为中下侏罗统暗色泥岩(彭立才等,2001),储集层类型多样。发育层位主要有侏罗系大煤沟组( $J_2^6$ )和采石岭组( $J_3^1$ )、第三系路乐河组( $E_{1+2}l$ )、下干柴沟组( $E_3x$ )、上干柴沟组( $N_1s$ )和油砂山组( $N_2y$ )(党玉琪等,2003),发育有多套储盖组合。近年多口探井连续失利表明人们对该地区的油气分布规律还没有认识清楚,因此,油气运移优势通道的研究对柴北缘下一步油气勘探有十分重要的指导作用。

## 2 柴北缘优势通道及其控油气作用

### 2.1 级差优势通道及控油气作用

级差优势指因输导层内孔渗性结构分布差异形

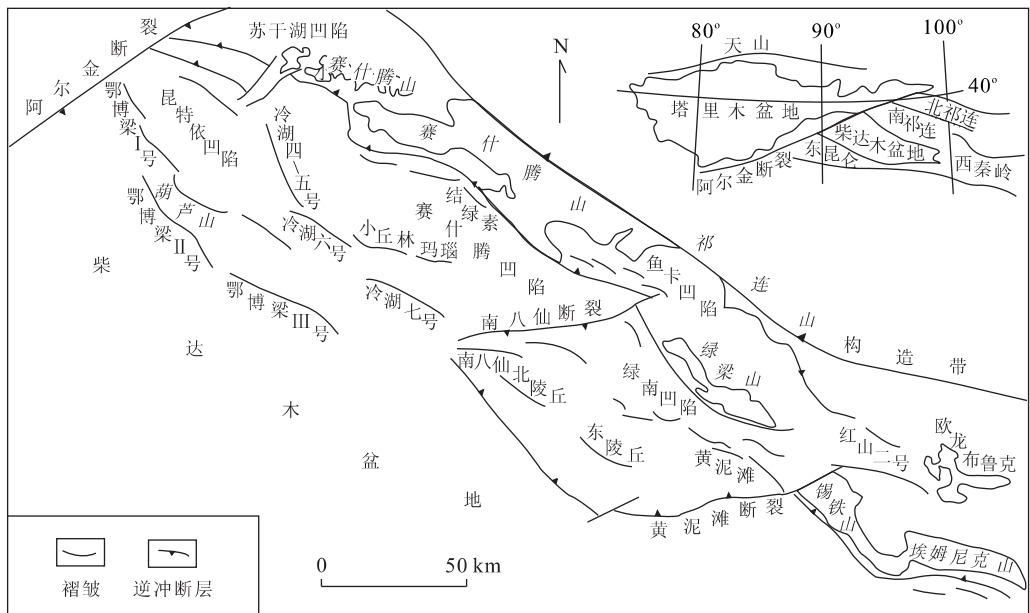


图1 柴达木盆地柴北缘地区构造纲要

Fig. 1 Structural outline in the northern edge of Qaidam basin

成的优势(庞雄奇等,2002;姜振学等,2005),概念模型参见引文.油气在这类介质中总是顺着级差优势最大的通道向前运移.这里的级差系指通道介质中的孔渗性与其周边介质中的孔渗性之差异.差异越大,油气越易集中在高孔渗性的介质中运移,输导油气的量所占的比例越大;差异越小,油气越不易集中在输导通道上运移.

柴北缘地区在第三系沉积时期为稳定的由北向南倾斜的单斜区域构造背景,发育冲积扇、辫状河、辫状河三角洲、扇三角洲、湖泊 5 种沉积类型,由西向东分布四大沉积体系:(1)西北部阿尔金山陡坡扇三角洲—湖泊沉积体系,来自西北阿尔金山的冲积扇直接入湖,形成扇三角洲—湖泊沉积体系,该体系作用于鄂博梁、牛鼻子梁、冷湖—四号地区,分布于上干柴沟组—上油砂山组沉积时期;(2)北部赛什腾缓坡冲积扇—辫状河—辫状河三角洲—湖泊沉积体系,物源来自北部、小赛什腾山、下元古界的变质岩系及少量的古生界的闪长岩,影响范围包括结绿素、驼南—冷湖七号、冷湖六号东端—鄂博梁Ⅲ号、鸭湖构造;(3)东北部鱼卡—南八仙缓坡冲积扇—辫状河—辫状河三角洲—湖泊沉积体系,物源来自绿梁山,沉积范围为马海、南八仙、南陵丘等地区;(4)东部小柴旦缓坡冲积扇—辫状河—辫状河三角洲—湖泊沉积体系,物源来自绿梁山,沉积范围为大红沟、东陵丘、盐湖等地区.

以上 4 个沉积体系中,砂岩厚度大,孔隙度、渗透率等物性条件好,与周围岩石存在孔渗性结构差异,从而形成 4 个级差优势运移通道,油气将主要沿这 4 条优势通道由南向北运移,其中 3 个沉积体系深入到有效烃源岩中,这种配置关系有利于油气的输导运移,形成有效的油气聚集.如图 2 伸入昆特依—伊北凹陷的 3 个砂岩储集体(鄂博梁、冷湖七、南八仙),其延伸方向成为油气级差优势运移的主导方向.柴北缘油气藏勘探成果证实了上述结论.柴北缘地区下侏罗统烃源岩分布在昆特依凹陷、鄂博梁凹陷、伊北凹陷之中,这些凹陷的南北分别有鄂博梁—鸭湖构造带和冷湖—南八仙构造带.2 个构造带都紧靠生油凹陷,前者的保存条件还优于后者,在冷湖—南八仙构造带上,多数圈闭位于优势通道上,形成许多油气田,如南八仙构造位于鱼卡—南八仙沉积体系优势通道上,为油气成藏提供了良好的运移条件,形成了目前柴北缘最大的油气田.在鄂博梁—鸭湖构造带上也分布多个面积大的圈闭,由于缺

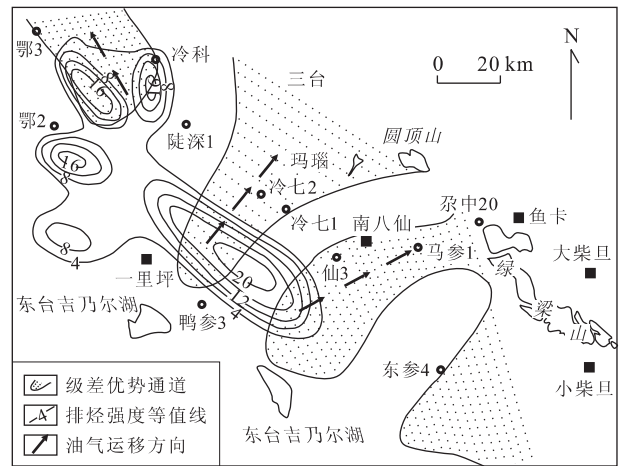


图 2 柴北缘  $E_{1+2}$  层油气级差优势运移方向

Fig. 2 Oil-gas migration direction controlled by porosity-permeability difference of middle-lower Lulehe Formation in the northern edge of Qaidam basin

少优势通道,难以形成油气优势运移方向,而且难以形成大规模油气藏.

## 2.2 流向优势通道及控油气作用

流向优势系指油气在运移过程中由于断层倾角不同和浮力作用对油气运移方向的控制作用(庞雄奇等,2002;姜振学等,2005),概念模型参见引文.在沉积盆地内,由于孔隙介质中始终充满了地下水,油气的运移始终受到浮力的作用,正是这种最一般和最常规的动力作用,才出现有油气自盆地中心向盆地边缘、自盆地深部向盆地浅部运移的普遍规律.当有断裂出现时,油气运移方向和通道受浮力和断面(或储层)倾角的控制.倾角越大,油气越易径向上运移;倾角越小,油气越难顺断裂向上运移,它们可能在没有顺断裂面到达顶部或地面之前就已顺优势通道分流并在有关的圈闭中富集成藏.

柴北缘地区断裂构造广泛发育(曾联波等,2001;高先志和陈发景,2002),在地震剖面上可辨识出一级断裂 3 条,即赛南断裂、绿南断裂、陵间断裂;二级断裂 10 条,即仙尔断裂、北 1 断裂、冷七断裂、马仙断裂、鄂东断裂、伊北断裂、无东断裂、滩南断裂、绿梁山断裂和葫南断裂;三级断裂 47 条,四级断裂 26 条,共计 86 条.若干条地震剖面提供佐证,断面倾向北东,断面倾角浅部陡( $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ),向下变缓( $<20^{\circ}$ ),浅部往往由几条近于平行的逆断层构成的叠瓦状构造向深部收敛成一条,形成犁式断层.如绿南断裂,在浅部由 3 条平行的逆掩断层构成的叠瓦状构造,向深部收敛成一条.断距最大可达 3 500 m,

一般在 1 000 m 左右,主干断裂普遍控制了次一级断裂的发育规模和特征,主干断裂沿深部滑脱面(即基底岩系中的滑脱面)发育。深部逆冲系统在扩展过程中,在主干断裂的背驮部位或下伏部位,普遍派生了许多次级逆断层,共同构成柴北缘地区沿深部滑脱面发育的断裂系统。

依据断层的几何学特征,可将柴北缘地区的断层分为 2 类,第一类断层的特征是切断浅部  $N_2^3$ 、 $N_2^2$ 、 $N_2^1$  地层,消失在浅部滑脱面  $E_3^2-N_1$  湖相地层中(即形成浅层断裂系统)。此类断层形成于  $N_2^3-Q_{1+2}$  期间,控制着其上盘地表褶皱的发育,断层面上盘褶皱强烈,地层破碎,油气保存条件极差。断层下盘断块型圈闭发育,是次生油藏形成的潜在场所。此类断层垂向封闭性与侧向封闭性的探讨,是其下盘上第三系次生油藏保存条件研究的关键。第二类断层的特征是切断深部  $E_3^2$ 、 $E_3^1$ 、 $E_{1+2}$ 、 $J_{1+2}$  地层,消失在基岩滑脱面中(为深部断裂系统),此类断裂均为基底卷入型逆冲断裂。

根据断层流向优势通道控油气理论,结合柴北缘地区断层发育特点分析,柴北缘地区深部断层断面倾角较小,油气沿断层运移时,顺断层面的运移分量小,顺连通性砂岩输导层的运移分量小,在这种情况下油气将穿过断层面,沿地层和不整合面作顺层运移进入圈闭中聚集成藏。如在柴北缘地区南八仙油气藏中,有低角度北倾的仙南断裂,深部的  $E_3^1$  地层形成原生油气藏,油藏特点是纵向上含油气层位集中,只有  $E_3^1$  一套地层含油气;油气藏分布不受断层切割,为完整的构造油气藏。其形成过程为下侏罗统源岩中排出的油气首先进入伊北断裂再向上运移进入  $E_{1+2}$ 、 $E_3^1$  地层中,然后再做顺层运移,进入圈闭中,形成南八仙深层油气藏。南八仙中浅层油气藏为次生油气藏,圈闭内发育一条南倾的高角度的仙北断裂。油层分布在  $N_2^2$ 、 $N_2^1$ 、 $N_1$  地层中,纵向上分布层位较多,较分散,但横向上都与断层相接触,说明油气是顺断层由下向上运移的,在不同的层位聚集,形成具有多套含油气组合特征的油气藏(图 3)。在南八仙中浅层油气藏形成过程中,由于仙北断裂倾角较陡,顺断层面的垂向运移分量小,而顺连通性砂岩输导层的横向运移分量小,油气在断层面运移过程中以垂向运移为主,由深层原生油气藏经过破坏后油气沿断层运移至中浅层圈闭中聚集成藏。

总之,柴北缘地区许多伸入源岩的断裂在地史中的开启时期(如构造运动期间)都具有油气流向的

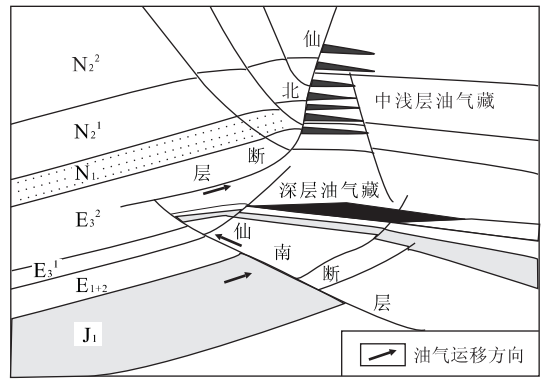


图 3 南八仙油气田流向优势通道控制油气运移方向  
Fig. 3 Oil-gas migration direction controlled by flow direction in Nanbaxian field

运移优势特征,为输导油气沿断裂运移,在圈闭中聚集提供了有利的条件。

### 2.3 流压优势通道及控油气作用

流压优势指油气运移过程中流体动力作用对油气运移方向和运移量大小的控制作用(庞雄奇等, 2002;姜振学等, 2005),概念模型参见引文。在均匀的输导层内,如果不存在水流动力,则油气主要在自身浮力作用下自深部向浅部运移。一旦存在水流动力,则油气运移的方向和通道受浮力和水流动力的双重作用控制,在浮力和水动力相反并且力量相当的情况下就容易形成悬挂式油气藏;在浮力与水动力作用方向相同时,油气将加速向前运移。

地下流体的渗流是一个机械运动过程,流体总是自发地由高能向低能方向流动。Hubbert(1953)最早把流体势概念引入石油地质学中,用来描绘地下流体的能量变化和流体运移规律。成藏期输导层古流体势对油气运移和聚集起着直接的控制作用。柴北缘主要有 2 次重要的成藏期,即渐新世(下干柴沟组沉积末期)和上新世(下油砂山组沉积末期),其中渐新世为主要成藏期(高先志等, 2004)。柴北缘主要输导层为路乐河组和下油砂山组,渐新世( $E_3$ )时期路乐河组流体势场分布特征整体上西南高,东北低,由西南向东北逐渐变化的趋势。在昆特依凹陷、伊北凹陷有一个北西向展布的流体高势区,在其南部有鄂博梁 II—III 号构造和鸭湖构造较弱的高势区,此时葫芦山、鄂博梁 I 号、昆北、冷湖一四号构造、南八仙—马海为低势区。鄂博梁 I 号、葫芦山、冷湖一四号、南八仙方向是油气运移的流压优势通道方向(图 4)。此时为油气大量生成阶段,在其他条件不变的情况下,柴北缘地区昆特依凹陷、伊北凹陷下

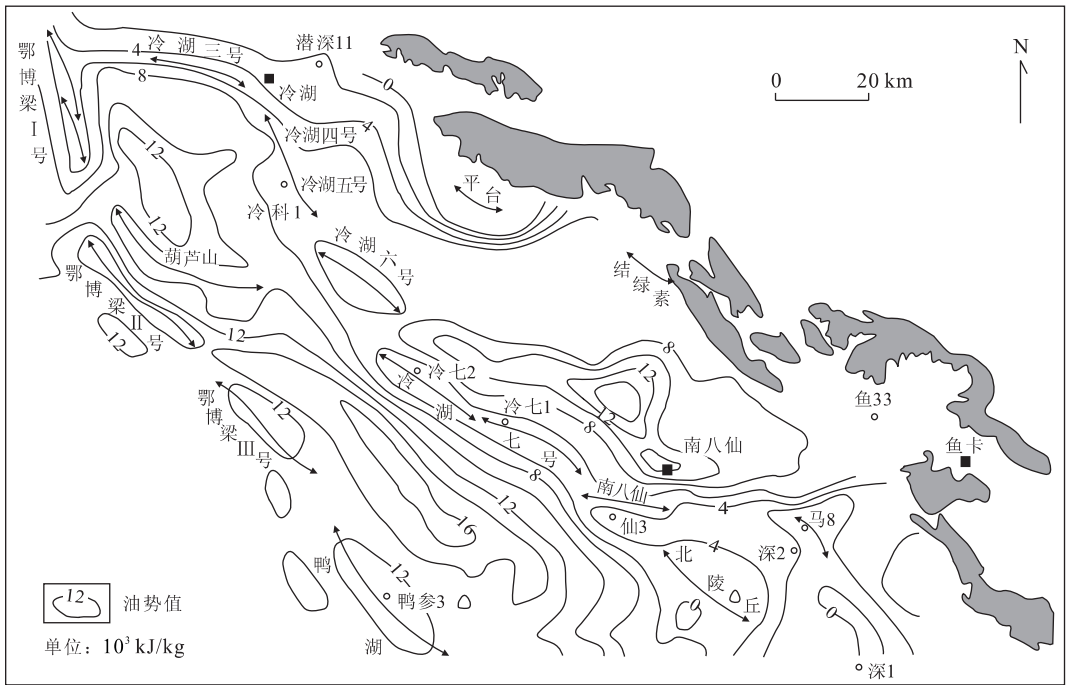


图 4 柴北缘路乐河组  $E_3$  末期油势等值线分布

Fig. 4 Fluid potential at stage of late  $E_3$  of Lulehe Formation in the northern edge of Qaidam basin

侏罗统的油气运移, 将受水动力条件的控制, 沿流压作用形成的优势通道向东北方向运移, 在该优势通道方向上的构造圈闭, 有利于捕集油气, 形成油气藏. 而远离优势通道的圈闭则不利于油气聚集成藏. 如鄂博梁—鸭湖构造带目前没有发现下侏罗统烃源岩生成的工业油气藏, 在冷湖—南八仙构造带发现了冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号、南八仙、马海等油气田, 勘探成果证实了上述分析是合理的. 中新世 ( $N_1$ ) 路乐河组流体势场变化不十分显著, 鄂博梁 I 和 II 号、冷湖五号地区变化相对明显, 亦成为流压优势的分布区.

渐新世时期下油砂山组鄂博梁 I 号、III 号、冷湖四号、南八仙以及鸭湖构造是流压优势的指向区. 由于此时中侏罗统烃源岩进入排烃高峰, 冷湖—南八仙构造也自然成为油气聚集的有利地带. 中新世时期流体势分布与构造格局基本一致, 变化较大的是葫芦山构造成为伊北凹陷、昆特依凹陷油气优势运移通道的指向. 另外, 冷湖六、七号、鄂博梁 II、III 号、鸭湖亦成为油气运聚的有利地带.

#### 2.4 分隔优势通道及控油气作用

分隔优势指运载层之上的区域盖层分隔槽位置相对有效源岩区不同, 对油气分流量的控制作用, 油气主要区域盖层分割槽偏离供烃源泉岩中心向相反

的方向运移 (庞雄奇等, 2002; 姜振学等, 2005), 概念模型参见引文. 在这种模式中, 浮力是油气向上运移的主要动力, 区域性盖层底部形成的分隔槽是最终决定油气流向的地质要素.

柴北缘地区的区域盖层为下干柴沟组上段 ( $E_3x^2$ ) 和路乐河组 ( $E_{1+2}l$ ) (洪峰等, 2001), 在油气大量运移时期, 区域盖层的构造形态, 决定油气的优势运移方向.  $E_3 - N_1$  时期, 昆特依凹陷和伊北凹陷进入大量生排烃阶段. 区域盖层在 2 个凹陷中部沿近北西方向形成分隔槽, 分隔槽向鄂博梁—鸭湖构造一侧偏离, 使得鄂博梁—伊北凹陷中的油气具有向冷湖—南八仙构造带运移的优势, 此时在路乐河输导层内的油气主要向冷湖—南八仙构造带运移, 具有分隔优势通道; 向鄂博梁—鸭湖构造带方向运移的油气数量较少, 不具备分隔优势通道. 这种趋势与流压优势通道的分布特征相似.

柴北缘地区以上 4 种油气运移优势通道, 在油气从烃源岩排出后, 将共同决定油气的二次运移方向、规模、时期和距离. 油气在输导层内运移过程中, 既要受到流向优势通道、分隔优势通道的控制, 也要受到级差优势通道、流压优势通道的控制. 油气运移的具体路线将取决于优势通道的空间配置关系. 同时受构造运动的影响, 盆地内不同地区、不同时期优

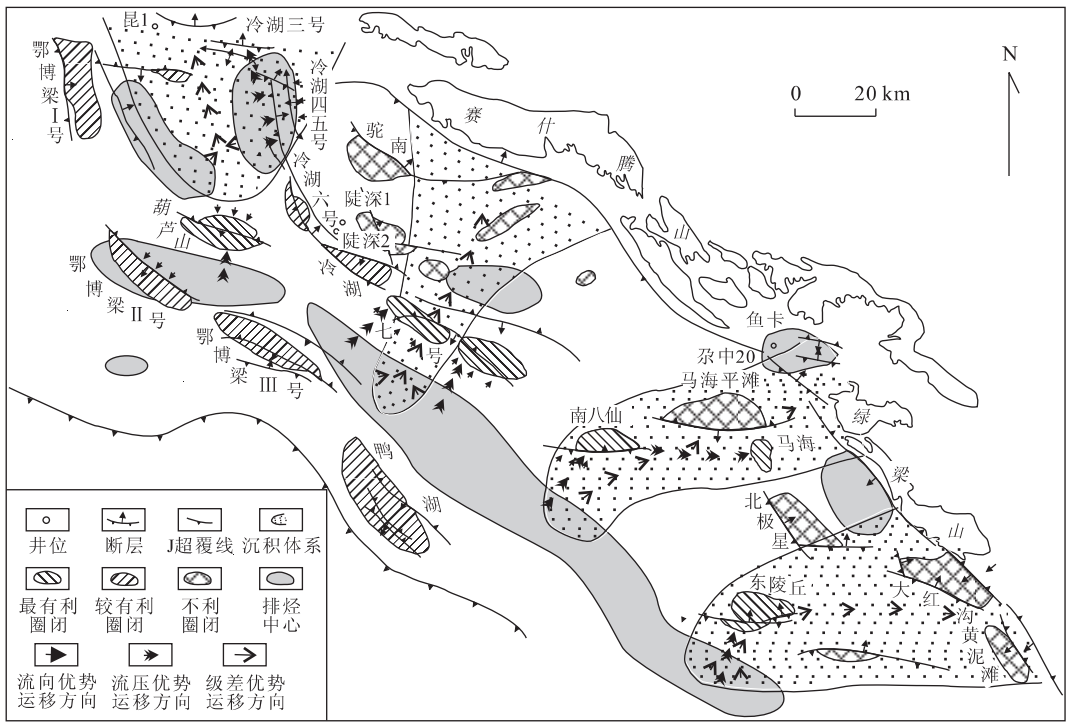


图 5 柴北缘有利勘探目标预测

Fig. 5 Favorable exploration targets in the northern edge of Qaidam basin

势通道也在不断发生变化。

### 3 有利勘探目标优选

运用叠合法将柴北缘 4 种模式优势通道分布范围叠加,同时考虑各生烃凹陷的排烃范围,对柴北缘有利油气聚集区带进行评价和预测(图 5)。结果表明,冷湖构造带和南八仙—马海构造带为最有利的油气聚集带,其次是鄂博梁 I 号—葫芦山构造带,再次是鸭湖构造、赛什腾凹陷中的潜伏构造带;鄂博梁 II、III 号构造带形成时间晚,又处于流向油气运移的发散区,属于不利的区带。冷湖七号东、西高点深层构造和葫芦山构造是最有利的勘探目标,是柴北缘下一步油气勘探的重点。

### 4 结论与认识

(1)柴北缘油气运移优势通主要包括级差优势、分隔优势、流压优势和流向优势 4 种模式。其中,级差优势通道在冷湖四号—五号、冷湖七号、南八仙和东陵丘—大红沟地区最为发育;柴北缘地区多数伸入源岩的深大断裂在地史中的开启时期(如构造运

动期间)都可作为油气的流向优势运移通道;冷湖四号—五号、冷湖七号、南八仙地区为稳定的流体汇聚区,流压优势明显;在分隔优势的作用下,昆特依—伊北凹陷中的油气具有向冷湖—南八仙构造带运移的优势,而向鄂博梁—鸭湖构造带方向运移的油气数量较少。(2)冷湖—南八仙构造带具有阿尔金斜坡、赛什腾、鱼卡—南八仙 3 个大规模沉积体系级差优势通道,同时流压优势通道、分隔优势通道和流向优势通道分布范围广,并且处于昆特依凹陷和伊北凹陷油气的运移指向区,使得该构造带成为最有利的油气聚集区。冷湖七号东、西高点深层构造和葫芦山构造是最有利的勘探目标,建议今后对这 2 个构造的油气潜力进一步加以论证,力争取得柴北缘油气勘探的重大突破。

### References

Carruthers, D., Ringose, P., 1998. Secondary oil migration: Oil-rock contact volumes, flow behavior and rates. In: Parnell, J., ed., Dating and duration of fluid flow and fluid-rock interaction (Vol. 144). [s. 1.]: Geological Society Special Publication, 205—220.

Catalan, L., Xiao, W. F., Chatzis, I., et al., 1992. An experimental study of secondary oil migration. *AAPG Bulletin*,

- 76(5):638—650.
- Dembicki, H. J., Anderson, M. J., 1989. Secondary migration of oil; Experiments supporting efficient movement of separate, buoyant oil phase along limited conduits. *AAPG Bulletin*, 73(8):1018—1021.
- Hindle, A. D., 1997. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three-dimensional model. *AAPG Bulletin*, 81(9):1451—1481.
- Hubbert, M. K., 1953. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions. *AAPG Bulletin*, 37(8):1954—2026.
- Thomas, M. M., Clouse, J. A., 1995. Scaled physical model of secondary migration. *AAPG Bulletin*, 79(1):19—59.
- Dang, Y. Q., Hu, Y., Yu, H. L., et al., 2003. The petroleum geological feature of the northern edge of Qaidam basin. Geological Publishing House, Beijing, 45—78 (in Chinese).
- Gao, X. Z., Chen, F. J., 2002. Accumulation model of petroleum in the Tertiary system of the northwestern Qaidam basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6):757—762 (in Chinese with English abstract).
- Gao, X. Z., Ma, D. D., Liu, Z., et al., 2004. Characteristic of hydrocarbon accumulation in the northern edge of Qaidam basin. *Oil & Gas Geology*, 25(6):707—712 (in Chinese with English abstract).
- Hong, F., Yu, H. L., Song, Y., 2001. Geological feature and sealing property evaluation of cap rock in the northern edge of the Qaidam basin. *Petroleum Exploration and Development*, 5:8—11 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Z. X., Pang, X. Q., Zeng, J. H., et al., 2005. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments. *Earth Science Frontiers*, 12(4):507—516 (in Chinese with English abstract).
- Li, M. C., 1994. The migration of oil and gas. Petroleum Industry Press, Beijing, 113—118 (in Chinese).
- Li, M. C., 2004. Basic principles of migration and hydrocarbon exploration. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(4):379—383 (in Chinese with English abstract).
- Peng, L. C., Yang, H. Z., Liu, G. L., et al., 2001. Classification and estimation of organic facies in Jurassic source rocks in the northern edge of Qaidam basin. *Oil & Gas Geology*, 22(2):178—181 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X. Q., Jin, Z. J., Jiang, Z. X., et al., 2002. Quantitative models of hydrocarbon accumulation. Petroleum Industry Press, Beijing, 129—145 (in Chinese).
- Wang, Z. L., Chen, H. L., 1999. Preliminary approach to the definition and confirmation of effective pathways for migration and accumulation. *Experimental Petroleum Geology*, 21(1):71—75 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, L. B., Jin, Z. J., Tang, L. J., et al., 2001. Structural controls of petroleum and gas distribution on northern margin of Qaidam basin, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(1):54—58 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 党玉琪, 胡勇, 余辉龙, 等, 2003. 柴达木盆地北缘石油地质. 北京:地质出版社, 45—78.
- 高先志, 陈发景, 2002. 柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(6):757—762.
- 高先志, 马德达, 刘震, 等, 2004. 柴达木盆地北缘油气成藏特点. *石油与天然气地质*, 25(6):707—712.
- 洪峰, 余辉龙, 宋岩, 2001. 柴达木盆地北缘盖层地质特点及封盖性评价. *石油勘探与开发*, 5:8—11.
- 姜振学, 庞雄奇, 曾溅辉, 等, 2005. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究. *地学前缘*, 12(4):507—516.
- 李明诚, 1994. 石油天然气运移. 北京:石油工业出版社, 113—118.
- 李明诚, 2004. 油气运移基础理论与油气勘探. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(4):379—383.
- 彭立才, 杨慧珠, 刘兰桂, 等, 2001. 柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩沉积有机相划分及评价. *石油与天然气地质*, 22(2):178—181.
- 庞雄奇, 金之均, 姜振学, 等, 2002. 油气成藏定量模式. 北京:石油工业出版社, 129—145.
- 王震亮, 陈荷立, 1999. 有效运聚通道的提出与确定初探. *石油实验地质*, 21(1):71—75.
- 曾联波, 金之钧, 汤良杰, 等, 2001. 柴达木盆地北缘油气分布的构造控制作用. *地球科学——中国地质大学学报*, 26(1):54—58.