

doi:10.3799/dqkx.2014.069

伊通盆地岔路河断陷油气二次运移模拟

唐文旭¹, 曹强^{1,2*}

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 以伊通盆地岔路河断陷含油气系统研究为基础, 应用二维(2D)盆地模拟方法, 对伊通盆地岔路河断陷内主要生储组合 E_2s (油源)- E_2s (储层)的油气二次运移演化历史进行了模拟恢复; 并依据区内油气汇聚区带的平面分布特征划分油气运聚单元, 基于此对各运聚单元内的烃源条件、输导体系、保存条件等油气成藏条件进行综合对比。研究表明: (1) 岔路河断陷含油气系统要素配置关系良好, 且发育3期油气成藏, E_2s - E_2s (1)为已证实的最重要的含油气系统; (2) 岔路河断陷势能场分布控制了同期油气二次运移方向和强度, 区内主成藏期油气二次运移范围广、强度(流线密度)大, 有利运移指向区主要集中于西北缘盆缘断裂附近和东部的万昌、梁家构造带之内的油气低势区; (3) 岔路河断陷可划分为4个油气运聚单元(I、II、III和IV), 运聚单元II的成藏条件最为优越, 而运聚单元I内的万昌构造带围斜地区亦可作为本区有利勘探区带。

关键词: 伊通盆地; 岔路河断陷; 盆地模拟; 烃; 运聚单元; 石油地质。

中图分类号: TE122

文章编号: 1000-2383(2014)06-0741-10

收稿日期: 2013-10-16

Modeling of Hydrocarbon Secondary Migration in the Chaluhe Sag, Yitong Basin

Tang Wenxu¹, Cao Qiang^{1,2*}

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Based on the analyses of petroleum systems in the Chaluhe sag, hydrocarbon secondary migration in the source-reservoir assemblage (E_2s - E_2s) was evaluated by using 2D basin modeling technique. This study aims to investigate the individual hydrocarbon migration-accumulation units, analyze different conditions for the hydrocarbon accumulation, and locate possible favorable areas as exploration targets. The following conclusions are drawn: (1) Key geologic elements of the petroleum systems are well integrated in the Chaluhe, three events of hydrocarbon accumulation can be identified, and the E_2s - E_2s (1) is recognized as the most significant petroleum system in the study area. (2) Secondary migration direction and intensity were mainly controlled by the fluid potential energy field. Hydrocarbon accumulation during the main period of hydrocarbon migration was characterized by wide distribution and high density. Hydrocarbon fluids mainly charged two areas with lower fluid potential, namely along the northwest basin-marginal fault and the eastern Wanchang, Liangjia uplifts, respectively. (3) The Chaluhe sag consists of four hydrocarbon migration-accumulation units, including units I, II, III, and IV. Unit II has the best potential for hydrocarbon migration and accumulation, followed by unit I. The periclinal area in the Wanchang uplift ranks to be the most favorable area for oil and gas exploration in the Chaluhe sag.

Key words: Yitong Basin; Chaluhe sag; basin modeling; hydrocarbons; migration-accumulation unit; petroleum geology.

伊通盆地位于中国吉林省东部的长春市与吉林市之间, 总体呈北东-南西向狭长状展布。根据第三

系基底起伏及断裂活动特征, 伊通盆地可划分为莫里青断陷、鹿乡断陷和岔路河断陷3个二级构造单

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“伊通盆地晚渐新世以来压扭构造活动的油气二次运移响应”(No. 2012029135); 国家自然科学基金项目“残余盆地古流体动力场演化”(No. 40172051); “构造与油气资源”教育部重点实验室开放基金项目(No. TPR-2011-33)。

作者简介: 唐文旭(1979-), 男, 在读博士研究生, 高级工程师, 主要从事油气成藏研究。E-mail: 693288546@qq.com

* 通讯作者: 曹强, E-mail: caoqiangcug@gmail.com

元,已在前两者发现莫里青油田和长春油田.本次研究区岔路河断陷,与莫里青断陷和鹿乡断陷具有相似的成藏条件,位于盆地东北部,面积约1 350 km²,新生界最大沉积厚度超过 6 km,可进一步划分为新安堡凹陷、波-太凹陷、梁家构造带、万昌构造带和孤店斜坡带 5 个三级构造单元(图 1).岔路河断陷目前勘探程度仍较低,二维地震为2 241 km,三维地震为 1 030 km²,钻探井 52 口,探井密度为 25.96 km²/口.该断陷仅有 16 口井获工业油流,获石油地质预测储量为 2 942×10⁴ t.前人研究(刘鸿友等,2002;王永春,2002)认为岔路河断陷与莫里青断陷和鹿乡断陷具有相似的成藏条件,油气资源潜力巨大,资源量达 1.2×10⁸ t,表明其勘探潜力大.但在油气二次运移研究方面较为薄弱,成为制约该地区成藏深化研究与油气勘探进程的一个重要因素,亟待开展并深化.

油气运移一直是石油地质学研究的难点.20 世纪 90 年代以前,油气运移研究的焦点是初次运移的动力、相态、过程及其地球化学效应(Sandvik and Mercer, 1990).20 世纪 90 年代以后,油气二次运移

研究得到更广泛的关注.目前,沉积盆地内油气二次运移通道及其主控因素研究有 2 种主要观点:一种认为油气二次运移主要以席状运移前锋方式在输导层内运移,其主要受输导层的非均质性控制(Rhea *et al.*, 1994);由于各种成岩作用和微裂隙系统的发育导致的输导层渗透率变化,造成输导层非均质性异常复杂,因此很难有效预测其控制下的油气二次运移过程(Bekele *et al.*, 2002).另一种观点认为油气二次运移只通过局限的优势通道进行,油气运移空间可能只占据整个输导层的 1%~10%(Hindle, 1997; Sylta *et al.*, 1998),这已被大量相关模拟实验(Catalan *et al.*, 1992; Thomas and Clouse, 1995)和数值模拟研究(Carruthers and Ringose, 1998)所证明,并认为油气二次运移主要受沉积盆地内构造形态的控制(Gussow, 1968),利用油气二次运移路径模拟技术可以预测油气聚集区,从而在某种程度上降低勘探风险(Hermans *et al.*, 1992; Pratsch, 1994).

本文应用美国 PRA 公司的 BasinMod 和 BasinFlow 软件系统对伊通盆地岔路河断陷的主成藏

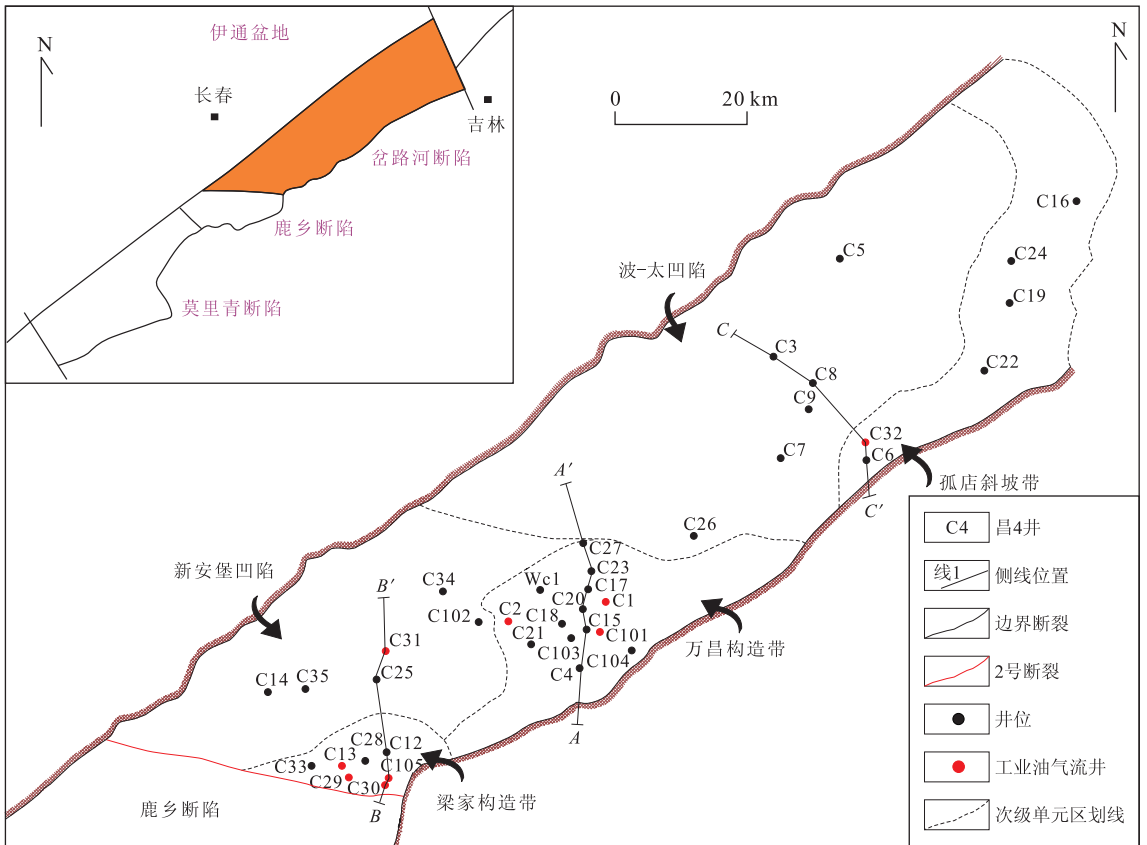


图 1 伊通盆地岔路河断陷构造区划

Fig. 1 Major tectonic units of the study area in the Yitong basin showing well and three cross section locations

期的油气二次运移路径和有利油气聚集带进行了研究,以期为研究区内有利勘探区带的预测与评价提供依据,减少勘探风险。

1 地质背景

1.1 地层发育特征与构造演化历史

伊通盆地是一个在前第三系基底上发育起来的新生代陆相盆地(童亨茂等,2002)。岔路河断陷作为伊通盆地内最大的次级负向构造单元,具有与西南部莫里青和鹿乡断陷相似的地层发育特征与构造演化历史,沉积充填总体上表现为西北厚、东南薄,地层产状倾向西北。基底为大面积分布的海西期、燕山期花岗岩,少部分为古生代变质岩和中生代火山岩,盖层主要为巨厚的第三系,厚度一般在 2 000~6 000 m,自下而上依次为古近系始新统双阳组(E_{2s})、奢岭组(E_{2sh})、永吉组(E_{2y})、渐新统万昌组(E_{3w})、齐家组(E_{3q}),新近系岔路河组(Nc)和第四系(Q)。

伊通盆地的形成与演化主要受印度板块与欧亚板块的碰撞以及太平洋板块对欧亚板块北西西向俯冲的影响(王永春,2002),其构造演化可划分为盆地形成期、扩张期、强烈差异沉降与隆升期、盆地挤压抬升期、萎缩期和再次沉降期 6 个演化阶段(图 2)(唐大卿,2009)。伊通盆地新生代经历了多期的埋藏—抬升—剥蚀过程,形成了古近系内部、古近系与新近系之间及新近系内部 3 个区域不整合,并以古近纪晚期发生的反转抬升及剥蚀最为重要,其对盆地演化、构造定型及油气成藏、保存具有重要意义

(Cao *et al.*, 2010)。古近纪晚期强烈的构造挤压反转导致南部莫里青及鹿乡断陷大幅抬升,普遍缺失渐新统(万昌组和齐家组),而北部岔路河断陷渐新统地层抬升幅度相对较小,但亦有构造带顶部的张性断裂伴生发育;新近纪晚期构造抬升作用(距今约 10 Ma)在岔路河断陷内表现为中新统岔路河组地层的持续抬升和岔路河组上部地层的普遍缺失。

1.2 含油气系统

现有资料揭示,岔路河断陷纵向上发育始新统双阳组(E_{2s})、奢岭组(E_{2sh})和永吉组(E_{2y}) 3 套烃源岩(李本才等,2003)。本区有效烃源岩为主要分布于波一太和新安堡凹陷的双阳组、奢岭组深湖相暗色泥岩,厚度一般为 100~2 000 m;烃源岩有机碳平均含量均大于 1.00%,分别高达 1.99%和 1.59%;有机质类型以偏腐殖型(Ⅱ₂-Ⅲ型)为主;烃源岩热演化均已进入生油窗,深凹处可达高一过成熟阶段。储层为始新统双阳组、奢岭组、永吉组以及渐新统万昌组(E_{3w})砂岩,其中以始新统双阳组和奢岭组储层最为重要(梁春秀等,2002),奢岭组储层以粉细砂岩为主,双阳组储层岩性主要为砂砾岩,但主要含油层段的岩性较细,以扇三角洲前缘的粉细砂岩为主。盖层主要包括始新统双阳组、奢岭组、永吉组和上覆渐新统齐家组(E_{3q}) 4 套区域性盖层。

烃源岩生排烃历史研究表明(曹强,2010),岔路河断陷始新统双阳组烃源岩主要于始新世中期至始新世末期进入成熟开始生烃,于渐新世早期达到生烃高峰,其开始排烃的时间较早,在渐新世中期及之前;而奢岭组烃源岩于始新世晚期至渐新世早期进入成熟阶段,至渐新世中期后才达到生烃主带,其开

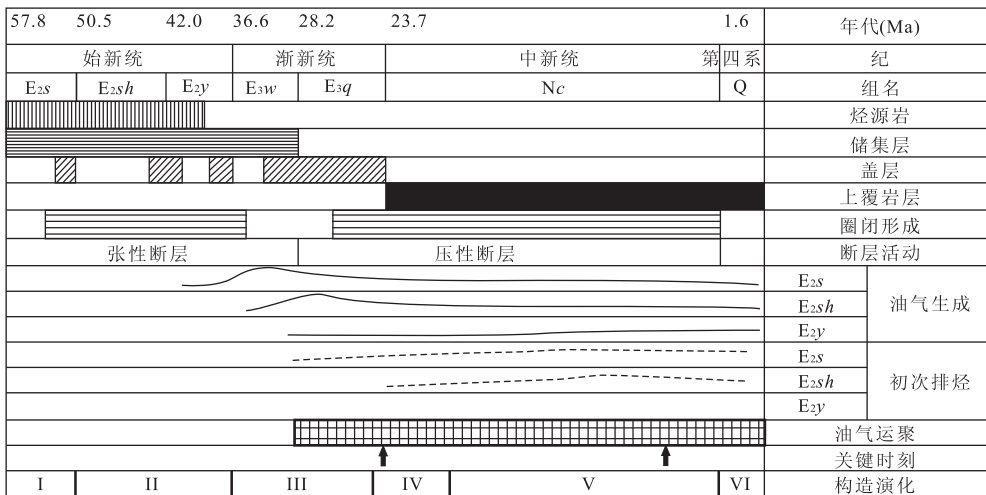


图 2 岔路河断陷含油气系统事件

Fig. 2 Events chart for the Eocene and Oligocene petroleum systems in the Chaluhe sag

始排烃的时间较晚,在中新世中期及之后;永吉组烃源岩于渐新世早期开始生烃,至今尚未进入生烃高峰期(图 2)。在生烃强度上,岔路河断陷各层段烃源岩的生气强度大于生油强度,且各层段排油效率和排气效率相近,均在 40% 以上。

岔路河断陷内圈闭类型丰富,且成群成带分布,构造-岩性圈闭和地层圈闭主要分布于断陷东南部万昌构造带,断陷南部梁家构造带断裂发育,以断块、断鼻等构造圈闭为主。其中始新世以前,盆地持续沉积,形成的圈闭以岩性圈闭为主;而渐新世中期至中新世末,由于构造反转和应力场向压扭性质的转变,形成圈闭以构造-岩性复合型和构造圈闭为主(图 2)。

据丰勇等(2008)对岔路河断陷油气成藏年代学的研究结果,研究区经历了 3 期油气成藏:第 1 期:38.1~27.0 Ma;第 2 期:19.5~10.0 Ma;第 3 期:1.0~0 Ma。主要层系双阳组和奢岭组油藏以第 1 期和第 2 期成藏为主。

基于上述成果,可知岔路河断陷纵向上发育多个含油气系统,具体到各个二级构造单元又具有不同的生储组合和含油气系统,但都以 E_2s 油源- E_2s 储层为最重要的生储组合,根据 Magoon and Dow (1994)提出的含油气系统划分方案,其对应的含油气系统为 E_2s - E_2s (!),式中第 1 项代表烃源岩,第 2 项代表储层,符号(!)代表已知的含油气系统。因此,本次重点剖析了 E_2s - E_2s (!)含油气系统在地质历史时期的二次运移演化,来探讨伊通盆地各二级构造单元的油气运移演化特征。

2 油气二次运移模拟

2.1 油气二次运移模拟原理

BasinFlow 软件运用“烃类势能面”的概念来模拟油气运移,认为烃类(油和气)总是从高烃势能区向低烃势能区运移,其运移路径沿着烃类势能面等值线的法线方向,并在动能为零、势能相对最小的封闭低烃势区形成烃类聚集(Corradi *et al.*, 2009)。

流体势主要考虑了影响烃类运移的 3 个物理参数的综合效应,即烃类所受到的净浮力、水动力以及由烃-水相之间的界面张力而产生的毛细管压力(毛细管突破压力)的合力。模拟过程中把地层孔隙压力视为水动力。

(1)净浮力。由于烃类密度小于孔隙水和围岩的密度,因此受到浮力的作用,其作用方向与重力方向

相反,计算公式为:

$$H_{\text{buoy}} = -[(\rho_w - \rho_{\text{hc}})/\rho_{\text{hc}}] \times Z.$$

(2)水动力。地下水流动对油气运移和聚集具有很大影响,在 BasinFlow 模拟软件中提供计算水动力的公式如下:

$$H_w = Z + P/(\rho_w \times G),$$

$$H_{\text{hd}} = H_w \times (\rho_w/\rho_{\text{hc}}).$$

(3)毛细管力。毛细管力为二次运移的阻力,主要取决于储集层的孔隙半径、油水界面张力等,在 BasinFlow 模拟软件中用于计算毛细管力的公式如下:

$$H_{\text{cap}} = 2 \times [38.379 \times (\rho_w - \rho_{\text{hc}})^{0.09935}] / 10^{(-0.226+0.466 \log K)}.$$

综合上述,3 个物理量的效应,即可得到流体势(H_{hc})计算公式:

$$H_{\text{hc}} = H_{\text{buoy}} + H_{\text{hd}} + H_{\text{cap}}.$$

H_{buoy} 表示烃类浮力,单位是 kg/m^2 ; ρ_w 表示水密度,单位是 kg/m^3 ,取值 1.03; ρ_{hc} 表示烃类密度,单位是 kg/m^3 ,取地下原油平均密度; G 表示重力加速度,单位是 m/s^2 ,取值 9.81; Z 表示储层海拔,单位是 m,古海拔可通过恢复研究区地史而得到; H_w 表示水头,单位是 m; P 表示孔隙流体压力,单位是 Pa,压力可由压力模拟获得,其恢复主要考虑了欠压实和生烃增压等生压机制的模拟; H_{hd} 表示水动力,单位是 kg/m^2 ; H_{cap} 表示毛细管力,单位是 kg/m^2 ; K 表示渗透率,单位是 md; H_{hc} 表示流体势,单位是 kg/m^2 。

2.2 模型选取及参数赋值过程

如前所述,二维盆地模拟技术主要应用在油气二次运移模拟和有利运聚带预测(徐波等,2011)。其中,油气二次运移过程主要受到运移通道、构造和封闭界面等的控制,是油气在三维输导体系中一种非常复杂的流动过程(石广仁等,1993; Hindle, 1997; Aydin, 2000; 姜林等,2011)。因此,合理并正确选择符合研究区地质背景的数学模型显得尤为重要,其关系到最终模拟结果的可靠程度。本次研究中不同模块所选的模拟方法如下表所列(表 1)。

油气二次运移模拟涉及参数众多,以下介绍几种对岔路河断陷油气运移模拟具重要影响的参数赋值过程。

地层厚度主要来自于三维地震资料,并通过时深转换公式计算获得各层顶底界面深度数据;地层剥蚀厚度的恢复主要基于“参考层厚度变化率法”(牟中海等,2000),选取了始新世中期和渐新世末期的 2 次地层抬升所导致的地层剥蚀厚度数据(曹强,

表 1 岔路河断陷油气二次运移模拟计算方法

Table 1 Methods for secondary migration modeling in the Chaluhe sag

模拟内容	方法选择	拟合依据	参考文献
埋藏史(压实过程)	联合流体流动压实模型	实测孔隙度数据	石广仁等,1993
孔隙度变化			Bethke, 1985
渗透率变化	改进的 Kozeny-Carman 模型	实测渗透率数据	Ungerer <i>et al.</i> , 1990
盆地热流演化	瞬时热流模型	实测地温数据	Bethke, 1985; Jessop, 1990
有机质热成熟度史	Easy %R _o 模型	实测 R _o 数据	Sweeney and Burnham, 1990
排烃史	饱和度排烃模型	排烃门限饱和度为 5%	England <i>et al.</i> , 1987

注:表中实测地温数据包括 DST 和 试油温度数据。

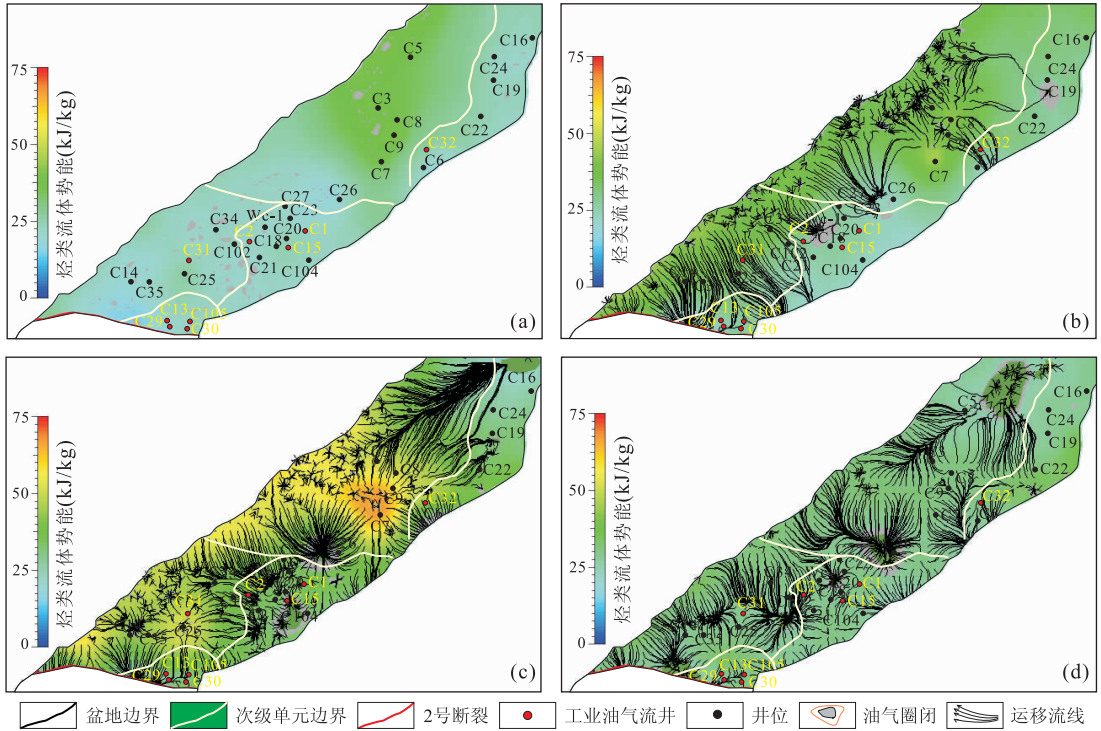


图 3 岔路河断陷 E₂s-E₂s 生储系统油气运移流线演化史

Fig. 3 Evolution history chart for the petroleum migration routes and accumulation sites of the E₂s-E₂s system in the Chaluhe sag
a. 36.6 Ma; b. 30 Ma; c. 10 Ma; d. 0 Ma

2010);岩性资料获取在探井处依据钻井资料,可统计出不同钻井各层段的砂泥岩百分比含量,而无井区的岩性数据主要基于研究区沉积相划分的结果;不同岩性岩石热导率数据采用软件默认赋值,现今热流值通过单井盆地模拟计算. 烃源岩与烃类的热动力学参数等使用盆地模拟软件的默认参数. 现今地层压力资料主要来源于钻井实测压力和地震速度法计算数据,古压力恢复采用耦合流体流动压实方程计算超压(剩余压力),并根据剩余压力校正孔隙度和深度,从而修正地层埋藏史,实现压力、孔隙度和深度正、反演相结合的耦合模拟重建.

2.3 模拟结果讨论

对比目前的油气勘探成果,本次油气二次运移

模拟所揭示的油气有利运聚部位与现今的工业油气流井有很好的对应关系,证明此模拟结果的可信度较高,可以依据此模拟结果来分析岔路河断陷的油气二次运移演化历史.

据岔路河断陷 E₂s-E₂s 生储系统油气运移流线演化史图(图 3)分析表明,在始新统双阳组和奢岭组沉积期,始新统双阳组烃源岩埋藏较浅,尚未达到成熟生烃门限,此时没有烃源岩排烃、运移作用的发生;后至永吉组沉积末期(36.6 Ma)(图 3a),始新统双阳组烃源岩已开始部分进入成熟生烃阶段,不过此时烃源岩成熟度较低,生烃量较小,油气运移作用微弱.

在距今约 30Ma(图 3b),区域油气运移流线的

分布状况有了重要的改变,此时位于岔路河断陷新安堡凹陷和波一太凹陷的始新统双阳组烃源岩都已进入了大量成熟生烃阶段,烃源岩生烃量大,油气运移作用活跃,并且研究区内油气运移有 2 个重要的指向区:一是新安堡凹陷和波一太凹陷两生烃中心处,形成的含油气构造多近西北缘盆缘断裂分布;二是油气较长距离大规模侧向运移至东部的构造带油气低势区,其中梁家构造带和万昌构造带的油气聚集主要来自新安堡凹陷的贡献,孤店斜坡带的油气聚集主要为波一太凹陷处生成的油气. 此阶段岔路河断陷油气运移范围广,油气运移作用十分活跃,运移强度(流线密度)大,油气供给充分,为研究区油气成藏的第一个关键时刻.

后演化至距今约 10 Ma(图 3c),岔路河断陷西北侧两生烃凹陷内的双阳组烃源岩热演化程度达到最大,生排烃作用强烈,区域油气运移流线分布发生了明显的改变. 总体上油气运聚表现为南北分带的格局,南部新安堡凹陷生烃中心生成的油气在势能差的驱动下,一方面同层系近源成藏,在凹陷生烃中心多个流体低势区汇聚;另一方面侧向运移至万昌

构造带围斜处、万昌构造带昌 4 井区及梁家构造带内,形成多个含油气构造. 北部波泥河一太平凹陷双阳组生成的油气则主要汇聚至孤店斜坡带处. 由于此时岔路河断陷内始新统双阳组油气生排烃作用十分强烈,生烃量巨大,油气运移范围广且强度大,油气供给充分,是岔路河断陷油气成藏的第二个关键时刻,也是断陷油气系统形成最重要的时刻.

之后由于晚期构造抬升,岔路河断陷流体势明显降低(图 3d),现今两生烃凹陷内双阳组源岩仍处于生烃高峰阶段,油气运移作用非常活跃,总体油气运聚格局虽有所调整,但仍以梁家、万昌构造带和孤店斜坡带为主要聚烃区带.

2.4 油气运聚单元划分与评价

以岔路河断陷主成藏期的油气运移流线图为基础(图 3c),根据油气汇聚区带的平面分布特征,可将岔路河断陷主要生储组合系统 E_2s-E_2s 在平面上划分为 4 个油气运聚单元(I、II、III和IV)(图 4a); 基于此对各运聚单元内的烃源条件、输导体系、保存条件等油气成藏条件进行综合对比(表 2),并结合主要运聚单元内的成藏模式分析最终确定岔路河断

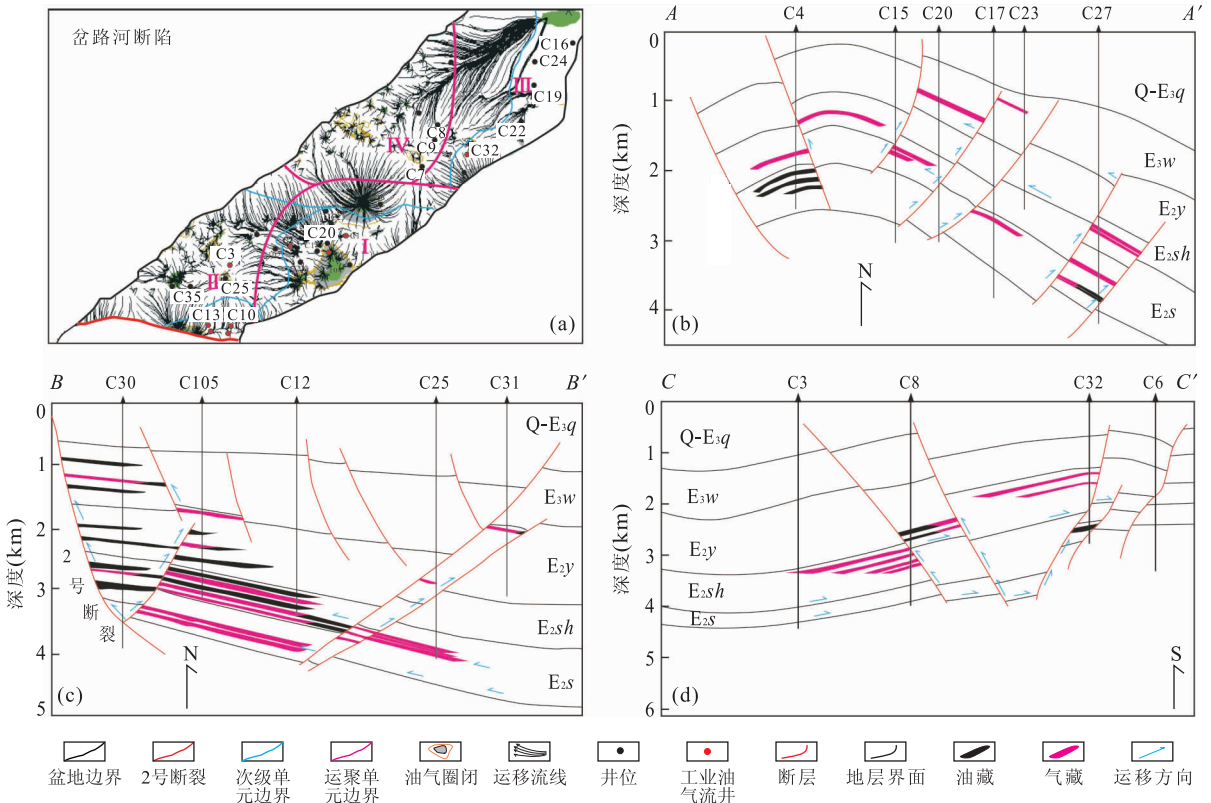


图 4 岔路河断陷 E_2s-E_2s 生储系统油气有利运聚单元示意

Fig. 4 Evolution history chart for the petroleum migration routes and accumulation sites of the E_2s-E_2s system in the Chaluhe sag

a. 运聚单元划分; b. 运聚单元 I 成藏模式; c. 运聚单元 II 成藏模式; d. 运聚单元 IV 成藏模式

表 2 岔路河断陷 E₂s-E₂s 生储系统(成藏组合)油气运聚单元综合评价Table 2 Comprehensive evaluation on hydrocarbon migration-accumulation unit of the source kitchen-reservoir assemblage (E₂s-E₂s) in the Chaluhe sag

成藏条件	运聚单元-I	运聚单元-II	运聚单元-III	运聚单元-IV
分布范围	万昌构造带及其围斜带	新安堡凹陷和梁家构造带	孤店斜坡带	波一太凹陷
烃源条件	西侧新安堡凹陷和东侧波一太凹陷双阳组源岩双重供烃,油源充足	新安堡凹陷双阳组源岩油源充足	波一太凹陷双阳组源岩,油源充足	波一太凹陷双阳组源岩,油源充足
输导体系	砂体和断裂	砂体和断裂	砂体和断裂	砂体和断裂
储集条件	砂体发育,储层物性较好	砂体较发育	砂体较发育	砂体欠发育
圈闭类型	岩性圈闭为主、少量岩性-断层圈闭	断层-岩性断层圈闭	断鼻、断背斜圈闭	岩性圈闭和断层-岩性圈闭
保存条件	构造带顶部发育张性断裂,断至双阳组上部地层,封盖条件差	封盖条件好	较差	封盖条件好
流线类型	平行-汇聚流为主	汇聚流为主	汇聚流	汇聚流为主
运移评价	近源侧向运聚为主,条件好	近源垂向和侧向运聚,条件好	远源侧向汇聚为主,条件好	近源垂向运聚,条件好
油气藏类型	断层-岩性油气藏	断层-岩性油气藏	断鼻油气藏	岩性油气藏
典型油气藏	万参 1 井和昌 27 井双阳组气层	昌 25 井和昌 12 井双阳组气层	昌 32 井双阳组气层	昌 9 井双阳组气层
综合评价	构造带围斜较好	好	一般	一般

陷内可能的有利勘探区带。

运聚单元 I 包括万昌构造带及其围斜地区,是岔路河断陷最重要的油气运聚单元,单元内已钻万参 1 井、昌 4 井等探井 20 余口,其中以双阳组为产层的气流井 6 口。通过昌 27 井双阳组典型气藏解剖表明,油气呈近源侧向运移为主,西侧的新安堡凹陷和东侧的波一太凹陷双阳组源岩都已进入成熟和高成熟演化阶段能生成大量油气,具有双凹供烃的优势,油源十分充足;主要的输导体系类型为砂体侧向输导和断层垂向输导,联合控制油气运聚,油气运移以平行-汇聚流为主,平面上形成多个规模不等的油气汇聚区,万昌背斜构造带是油气运移的重要指向(长期发育的油气流体势低值区),运移条件好。控制该区油气聚集的主要因素是储层的展布和断层。在双阳组沉积时期,万昌构造发育东南物源的扇三角洲辫状河道砂体,储层发育,厚度一般为 5~30 m,储集物性较好(许圣传等,2000);古近纪末构造反转作用产生了许多断至深部双阳组地层的新生断裂(李玉彤,2012),成为了 2 个大洼陷烃源岩与万昌构造带上的断层-岩性圈闭之间的沟通桥梁,相邻 2 个生烃凹陷双侧供烃,生成的油气近源侧向汇聚至封闭条件较好的万昌构造带围斜地区聚集成气藏(图 4b)。本区代表性的油气藏为昌 15、万参 1 井和昌 27 井双阳组气层,成藏条件综合评价为构造顶部差,围斜带较好,现已在昌 15 井区永吉组二段提交预测天然气地质储量逾 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$,含气面积为

11.2 km^2 ,日产气为 $3.85 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

运聚单元 II 位于新安堡凹陷和南部梁家构造带地区,单元内已有昌 30 井和昌 25 井等 10 余口探井,发现双阳组为产层的 4 口油气流井;现凹陷内已提交的预测石油地质储量均来自该单元,含油面积为 47.7 km^2 。该运聚单元以新安堡凹陷双阳组成熟-高成熟源岩为油气的主要供给来源,油气供给条件良好;其中在新安堡凹陷生烃中心四周以近源垂向运聚为主,到梁家构造带则以近源侧向汇聚为主,两地区该运聚单元的油气运移都以汇聚流为主,平面上形成多个油气汇聚区;油气富集控制因素则以构造(断层)和岩性相辅相成,共同控制油气运聚,现今区内多形成断层-岩性圈闭;区内双阳组一段和双阳组二段砂体发育,其中在新安堡凹陷靠近西北缘地区双一段和双二段储层以水下扇砂体为主,南部梁家构造带主要以扇三角洲平原和前缘砂为主,砂体发育且分布广泛,储集性能良好;凹陷区和梁家构造带中部以北双三段中深湖相-浅湖相泥岩发育,连续性好且分布广;上覆奢岭组下部地层也具有较好的封盖性,整体封盖条件优越,加之该区晚期发育断层没有伸入始新统永吉组以下地层,油气如果通过断层输导发生垂向运移也不至于分散至万昌组上部地层,油气保存条件较好;输导体系类型和万昌构造带相类似,都是以断层垂向且双一、二段砂体侧向联合输导高成熟油气至梁家构造带这一长期的油气运移有利指向区(低流体势区)内的断层-岩性圈

闭,从而汇聚成藏(图 4c);代表油气藏为昌 25 井和昌 12 井双阳组构造一岩性复合油气藏,其中昌 25 井日产气为 $0.45 \times 10^4 \text{ m}^3$,运聚单元 II 成藏条件综合评价较好。

运聚单元 III 和 IV 位于岔路河断陷北部地区,主要包括波一太凹陷和孤店斜坡带 2 个三级构造单元,区内钻探昌 3 井和昌 6 井等探井 10 余口,发现以双阳组为产层的 2 口油气流井。该运聚单元在波一太凹陷生烃中心四周以近源垂向运聚为主,到孤店斜坡带则以近源侧向汇聚为主,2 个地区都以波一太凹陷双阳组成熟—高成熟源岩为油气的主要供给来源,油气供给条件良好;该运聚单元的油气运移以汇聚流为主,平面上形成多个油气汇聚区;断层和岩性共同控制了该区油气的成藏与富集,其中波一太凹陷地区以岩性圈闭和断层—岩性圈闭为主要类型,而孤店斜坡带则以断鼻、断背斜圈闭为主;从双阳组目的层砂体展布方面看,区内波一太凹陷内昌 7—昌 8—昌 9 井区双阳组一段为扇三角洲前缘沉积,砂体规模有限,而孤店斜坡带东南部搜登站和孤店子附近井区为物性较好的扇三角洲平原相沉积;至双阳组二段孤店斜坡主要在靠近东部和北部地区分别展布局部的扇三角洲平原和前缘砂体,波一太凹陷地区则在盆地西北缘断裂附近有双阳组二段小规模水下扇砂体分布;在保存条件方面,波一太凹陷双三段中深湖相—浅湖相泥岩发育,连续性好且分布广;上覆奢岭组下部地层也具有较好的封盖性,整体封盖条件优越;而孤店斜坡带双三段为沉积缺失区,封盖条件差;输导体系类型为断层砂体共同输导,油气自波一太凹陷生成后沿砂体侧向运移联合断层垂向输导至孤店斜坡东部双二段断鼻构造油气藏内聚集成藏(图 4d),代表油气藏为昌 32 井双阳组二段油层(断鼻构造油气藏,日产油为 4 t);由于岔路河地区运聚单元 III 和 IV 缺乏良好的储盖组合,其成藏条件综合评价结果为较差。

综上所述,伊通盆地岔路河断陷的油气成藏条件以运聚单元 II 最为优越。其内发育富烃凹洼,油源条件充足;始新统双阳组优质砂体广泛分布,储集条件优越;断裂—砂体—基岩不整合复合输导体系发育,输导油气不断汇聚至有利圈闭成藏;加之晚期断裂不甚发育,联合区域优质泥岩盖层封闭下部双阳组的油气,油气保存条件良好。而运聚单元 I 内由于构造顶部发育晚期张性断裂,对早期双阳组油气聚集起破坏作用,但万昌构造带围斜地区保存条件良好,亦可作为有利勘探区带。

3 主要结论

(1)岔路河断陷纵向上存在多套有利的生储盖组合,主力烃源岩生排烃历史与圈闭形成有良好的时、空配置关系,并且发育 3 期油气成藏,油气藏多集中于下部的双阳组和奢岭组储层;研究区包含多个含油气系统,以 E_2s-E_2s (!) 为最重要的含油气系统。

(2)岔路河断陷不同演化阶段 E_2s-E_2s 生储系统内具有不同的流体势展布特征,势能场平面分布的改变导致同期油气二次运移方向和强度的变化,进而控制油气的有利汇聚部位;研究区 E_2s-E_2s 生储系统内发育 3 期油气成藏,主成藏期油气供给充分,二次运移范围广、强度(流线密度)大,油气运移作用十分活跃,区内西北缘盆缘断裂附近凹陷和东部的万昌、梁家构造带油气低势区为油气二次运移的长期有利指向区。

(3)岔路河断陷主力生储系统 E_2s-E_2s 在平面上共划分为 4 个油气运聚单元(I、II、III 和 IV),并以运聚单元 II 和 I 较为优越。运聚单元 II 主要分布在新安堡凹陷和梁家构造带内,其油源及储集条件好,复合输导体系发育,加之晚期断裂不甚发育,联合区域优质泥岩盖层封闭下部双阳组的油气,油气保存条件亦好。运聚单元 I 主要分布在万昌构造带内,并以万昌构造带围斜地区保存条件和成藏配置最为优越,亦可作为本区有利勘探区带。

References

- Aydin, A., 2000. Fractures, Faults and Hydrocarbon Entrapment, Migration and Flow. *Natural Gas Geoscience*, 17(7): 797—814. doi:10.1016/S0264-8172(00)00020-9
- Bekele, E., Person, M., Rostron, B., et al., 2002. Modeling Secondary Oil Migration with Core-Scale Data: Viking Formation, Alberta Basin. *AAPG Bulletin*, 86(1): 55—74.
- Bethke, C. M., 1985. A Numerical Model of Compaction Driven Groundwater Flow and Heat Transfer and Its Application to the Paleohydrology of Intracratonic Sedimentary Basins. *Journal of Geophysical Research*, 90(8): 6817—6828. doi:10.1029/JB090iB08p06817
- Cao, Q., 2010. Dynamics of Hydrocarbon Accumulation in the Yitong Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 101—104 (in Chinese with English abstract).
- Cao, Q., Ye, J. R., Shen, C. B., et al., 2010. Tectonic Uplift History of the Yitong Basin since the Oligocene, North-

- east China; Evidences from Apatite Fission Track Ages and Geological Relationship. *Chinese Journal of Geochemistry*, 29 (3): 293—300. doi: 10. 1007/s11631—010—0459—1
- 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*. *Geological Society, London, Special Publication*, 144: 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.
- Corradi, A. P., Ruffo, A., Corrao, et al., 2009. 3D Hydrocarbon Migration by Percolation Technique in an Alternate Sand-Shale Environment Described by a Seismic Facies Classified Volume. *Marine and Petroleum Geology*, 26 (4): 495—503. doi: 10. 1016/j. marpetgeo. 2009. 01. 002
- England, W. A., Mackenzie, A. S., Mann, D. W., et al., 1987. The Movement and Entrapment of Petroleum Fluids in the Subsurface. *Journal of Geological Society, London*, 144(2): 327—347. doi: 10. 1144/gsjgs. 144. 2. 0327
- Feng, Y., Chen, H. H., Ye, J. R., et al., 2008. Reservoir-Forming Periods and Accumulation Process of Chaluhe Fault Depression of Yitong Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34 (3): 502—510 (in Chinese with English abstract).
- Gussow, W. C., 1968. Migration of Reservoir Fluids. *Journal of Petroleum Technology*, 20 (4): 353—365. doi: 10. 2118/1870—PA
- Hermans, L., Kuyk, V. A. D., Lehner, F. K., et al., 1992. Modeling Secondary Hydrocarbon Migration on Haltenbanken, Norway. In: Larsen, R. M., Brekke, H., Larsen, B. J., eds., *Structural and Tectonic Modeling and Its Applications to Petroleum Geology*. *Norwegian Petroleum Society, Special Publication*, 1: 305—323.
- Hindle, A. D., 1997. Petroleum Migration Pathways and Charge Concentration: A Three-Dimensional Model. *AAPG Bulletin*, 81(9): 1451—1481.
- Jessop, A. M., 1990. *Thermal Geophysics*. Elsevier, Amsterdam, 305—306.
- Jiang, L., Hong, F., Liu, S. B., et al., 2011. Physical Simulation of Oil and Natural Gas Secondary Migration. *Natural Gas Geoscience*, 22(5): 784—788 (in Chinese with English abstract).
- Li, B. C., Liu, H. Y., Du, H. X., et al., 2003. The Petroleum System and Accumulation in Yitong Basin. *China Petroleum Exploration*, 8(3): 38—44 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. T., 2012. Hydrocarbon Accumulation Mechanism and Distribution Law of Liangjia Shallow Reservoirs, Yitong Basin. *China Petroleum Exploration*, 2(3): 12—16 (in Chinese with English abstract).
- Liang, C. X., Wei, Z. P., Li, B. C., et al., 2002. Carrying Bed Systems and Oil & Gas Migration in Yilan-Yitong Basin. *Natural Gas Industry*, 22(1): 31—32 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. Y., Peng, S. P., Wei, Z. P., et al., 2002. Characteristics and Maturity of Crude Oil in the Yitong Graben. *Petroleum Exploration and Development*, 29(3): 21—23 (in Chinese with English abstract).
- Magoon, L. B., Dow, W. G., 1994. The Petroleum System—From Source to Trap. *AAPG Memoir*, 60: 3—24.
- Mu, Z. H., Chen, Z. Y., Lu, T. Q., et al., 2000. The Recovery of Mesozoic Formation Erosion Thickness in the North Margin of Qaidam Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 27(1): 35—37 (in Chinese with English abstract).
- Pratsch, J. C., 1994. The Location of Major Oil- and Gas Fields: Examples from the Andean Foreland. *Journal of Petroleum Geology*, 17(3): 327—338. doi: 10. 1111/j. 1747—5457. 1994. tb00138. x
- Rhea, L., Person, M., Marsily, D. G., et al., 1994. Geostatistical Models of Secondary Oil Migration within Heterogeneous Carrier Beds: A Theoretical Example. *AAPG Bulletin*, 78(11): 1679—1691.
- Sandvik, E. I., Mercer, J. N., 1990. Primary Migration by Bulk Hydrocarbon Flow. *Organic Geochemistry*, 16(1—3): 83—89. doi: 10. 1016/0146—6380(90)90028—X
- Shi, G. R., Guo, Q. L., Mi, S. Y., et al., 1993. The Synthetic System and Method in Basin Modeling. In: Zhao, Z. Y., ed., *The Research Advances on Geology of Petroleumiferous Basins*. Xi'an Press, Xi'an, 67—72 (in Chinese with English abstract).
- Sweeney, J. J., Burnham, A. K., 1990. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics. *AAPG Bulletin*, 74(10): 1559—1570.
- Sylta, O., Pedersen, J. I., Hamborg, M., 1998. On the Vertical and Lateral Distribution of Hydrocarbon Migration Velocities during Secondary Migration. In: Parnell, J., ed., *Dating and Duration of Fluid Flow and Fluid-Rock Interaction*. *Geological Society, London, Special Publication*, 221—232.
- Tang, D. Q., 2009. The Structural Character and Tectonic Evolution of Yitong Basin—Analysis of a Typical Strike-Slip and Extensional Basin (Dissertation). China

- University of Geosciences, Wuhan, 56—58 (in Chinese with English abstract).
- Thomas, M. M., Clouse, J. A., 1995. Scaled Physical Model of Secondary Migration. *AAPG Bulletin*, 79(1): 19—59.
- Tong, H. M., Ji, H. Y., Song, L. Z., et al., 2002. Tectonic Styles and Oil-Gas Distribution in Yitong Graben. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 17(5): 9—13 (in Chinese with English abstract).
- Ungerer, P., Doligez, B. P., Chenet, Y., et al., 1990. Basin Evaluation of Integrated Two-Dimensional Modeling of Heat Transfer, Fluid Flow, Hydrocarbon Generation and Migration. *AAPG Bulletin*, 46(1): 3—39.
- Wang, Y. C., 2002. The Petroleum System and Hydrocarbon Accumulation in the Yitong Graben. Petroleum Industry Press, Beijing, 143—173 (in Chinese with English abstract).
- Xu, B., Du, Y. S., Yang, Z. B., et al., 2011. Current Situation and Development Trend of the Study on Secondary Hydrocarbon Migration. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 18(1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S. C., Dong, Q. S., Yan, L. P., et al., 2011. Comprehensive Liquid Identification of Hydrocarbon Reservoirs in Graben-Like Fault Basin; A Case Study in Chaluhe Depression, Yitong Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(2): 359—364 (in Chinese with English abstract).
- 曹强, 2010. 伊通盆地成藏动力学研究(博士学位论文). 武汉: 中国地质大学, 101—104.
- 丰勇, 陈红汉, 叶加仁, 等, 2008. 伊通盆地岔路河断陷油气成藏过程. 地球科学——中国地质大学学报, 34(3): 502—510.
- 姜林, 洪峰, 柳少波, 等, 2011. 油气二次运移过程差异物理模拟实验. 天然气地球科学, 22(5): 784—788.
- 李本才, 刘鸿友, 杜怀旭, 等, 2003. 伊通盆地含油气系统与油气藏. 中国石油勘探, 8(3): 38—44.
- 李玉彤, 2012. 伊通盆地梁家浅层油气成藏机制及其油气分布规律. 中国石油勘探, 2(3): 12—16.
- 梁春秀, 魏志平, 李本才, 等, 2002. 伊通—伊通盆地输导体系与油气运聚. 天然气工业, 22(1): 31—32.
- 刘鸿友, 彭苏萍, 魏志平, 等, 2002. 伊通地堑原油特征与成熟度. 石油勘探与开发, 29(3): 21—23.
- 牟中海, 陈志勇, 陆廷清, 等, 2000. 柴达木盆地北缘中生界剥蚀厚度恢复. 石油勘探与开发, 27(1): 35—37.
- 石广仁, 郭秋麟, 米石云, 等, 1993. 盆地模拟方法及综合勘探系统. 见: 赵重远编, 含油气盆地地质学研究进展. 西安: 西安出版社, 67—72.
- 唐大卿, 2009. 伊通盆地构造特征与构造演化——典型走滑伸展盆地剖析(博士学位论文). 武汉: 中国地质大学, 56—58.
- 童亨茂, 纪洪勇, 宋立忠, 等, 2002. 伊通地堑构造样式及其油气分布规律. 西安石油学院学报(自然科学版), 17(5): 9—13.
- 王永春, 2002. 伊通地堑含油气系统与油气成藏. 北京: 石油工业出版社, 143—173.
- 徐波, 杜岳松, 杨志博, 等, 2011. 油气二次运移研究现状及发展趋势. 特种油气藏, 18(1): 1—6.
- 许圣传, 董清水, 闫丽萍, 等, 2011. 地堑式断陷盆地储层流体综合识别——以伊通盆地岔路河断陷为例. 吉林大学学报(地球科学版), 41(2): 359—364.

附中文参考文献