

# 塔里木盆地塔中、塔北地区志留系古油藏的油气运移

陈元壮, 刘洛夫, 陈利新, 赵素平, 李超, 霍红

1. 石油大学石油与天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249

2. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249

**摘要:** 运用含氮化合物卟啉类探讨塔中、塔北地区在第一期成藏时志留系油气藏的烃类的运移方向, 为建立古油藏成藏模式, 预测原生油气藏分布提供依据。研究表明, 塔中志留系古油藏的油气主要来源于满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩, 向西南—南的方向首先进入塔中志留系, 然后沿不整合面或顺储层从北西向东南和从北东向南西 2 个方向向志留系在塔中地区的尖灭线附近运移。塔北志留系古油藏的油气也主要来自满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩, 首先向北西方向进入塔北隆起的志留系, 然后在志留系储层内或不整合面沿上倾方向继续向北西方向运移进入圈闭。

**关键词:** 含氮化合物; 卟啉类; 油气运移; 古油藏; 志留系; 塔里木盆地。

中图分类号: P618.1

文章编号: 1000-2383(2004)04-0473-10

收稿日期: 2004-03-10

## Hydrocarbon Migration of Silurian Paleo-pools in Tazhong and Tabei Areas of Tarim Basin

CHEN Yuan-zhuang, LIU Luo-fu, CHEN Li-xin, ZHAO Su-ping, LI Chao, HUO Hong

1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing 102249, China

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

**Abstract:** In order to establish the formation models of the Silurian paleo-pools and predict the distribution of the original hydrocarbon pools, hydrocarbon migration directions during the first Silurian pools filling stage in Tazhong and Tabei areas of the Tarim basin have been studied based on analysis of carbazole compounds. The results indicate that hydrocarbons in the Silurian paleo-pools of the Tazhong uplift mainly originated from the Lower and Middle Cambrian source rocks in the Manji-aer sag. These hydrocarbons flowed firstly southwest-southward into the Silurian reservoir beds in the Tazhong area. Then, they further migrated southeastward and southwestward, respectively, to the Silurian pinchouting zone in the Tazhong through unconformable surfaces or the reservoir beds. Hydrocarbons in Silurian pools in the Tabei uplift were also from the Lower and Middle Cambrian source rocks in the Manji-aer sag. They migrated northwestward firstly into the Silurian reservoir beds in the Tabei uplift, and then continued to flow into the traps in high positions in the same direction through the Silurian reservoirs or unconformable surfaces.

**Key words:** nitrogen compound; carbazole; hydrocarbon migration; paleo-pools; Silurian; Tarim basin.

塔里木盆地是一个多旋回的叠合盆地, 在地史时期中曾遭受过多次强烈的构造破坏作用, 给油气 (特别是早古生代的油气) 运移研究带来了极大的困难(汤良杰等, 2002)。目前的研究成果(刘洛夫和康永尚, 1998) 普遍认为, 塔里木盆地塔中、塔北隆起的第一期油气成藏均发生在加里东晚期(主要在志留

纪末), 其油气为中、下寒武统烃源岩第一次大规模生、排烃的产物, 排运出来的烃类主要储集在志留系和奥陶系中。无论是塔北, 还是塔中地区, 其隆起区在奥陶纪末或更早均已出现雏形, 在晚加里东期得到大幅度的加强, 因此, 2 个隆起区的形成期应早于第一期油气成藏期, 为台盆区的烃类向 2 个隆起区

的运移、聚集提供了有利的条件。在志留纪末第一期成藏后,塔中、塔北地区大规模抬升上隆,遭受剥蚀,即在泥盆纪时,已在志留系中经第一期成藏形成的古油气藏均遭到不同程度的破坏,油气散失,重质部分残留形成了现今广泛分布的沥青砂岩。由此可见,志留系砂岩中的沥青应记录了盆地第一期油气成藏的信息,详细研究志留系沥青的地质、地球化学特征,对探讨第一期成藏烃类的运移方向、距离等应有重要的意义。

中性含氮化合物中的咪唑类化合物,由于其稳定性及其极性的差异,在多年的应用中已被证实为实用的油气运移地球化学指标(刘洛夫和徐新德,1996;刘洛夫和毛东风,1996;刘洛夫等,1997;刘洛夫,1997;刘洛夫和康永尚,1998;Liu, 1998; Liu and Kang, 1999;李素梅等,2000;李素梅等,2001)。本次研究就是运用咪唑类的特性来探讨塔中、塔北地区在第一期成藏时进入志留系的烃类的运移方向,以期为古油藏的形成机理研究和成藏模式的建立提供资料和依据。

## 1 样品

本次研究在塔中、塔北两地区的志留系沥青砂岩中共采集岩石样品 33 块,其中在塔中的 9 口井中采集 23 块;在塔北的 4 口井中采集 10 块(图 1,表 1)。由于本次研究的目的是分析盆地第一期成藏时的油气运移情况,故所采集的样品全为由第一期注入烃类演化而成的干沥青砂,样品中没有任何软沥青、稠油和正常油的混杂。

## 2 实验分析

(1)沥青砂中干沥青的抽提:被粉碎的沥青砂岩样用氯仿抽提 48 h,晾干后得到沥青抽提物。(2)抽提物中吡咯型含氮化合物的分离:分离流程和条件见图 2。中性层析氧化铝(100~200 目)和硅胶在使用前均在 110 °C 温度下活化。(3)咪唑类含氮化合物的色谱—质谱分析:使用 Varian3400 型气相色谱仪,色谱柱为 Agilent 公司制造的 HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)石英管毛细柱。进样口温度为 310 °C,1 μL 不分流进样;升温程序:80 °C 保持 2 min,以 7 °C/min 升到 150 °C 再以 3 °C/min 升至

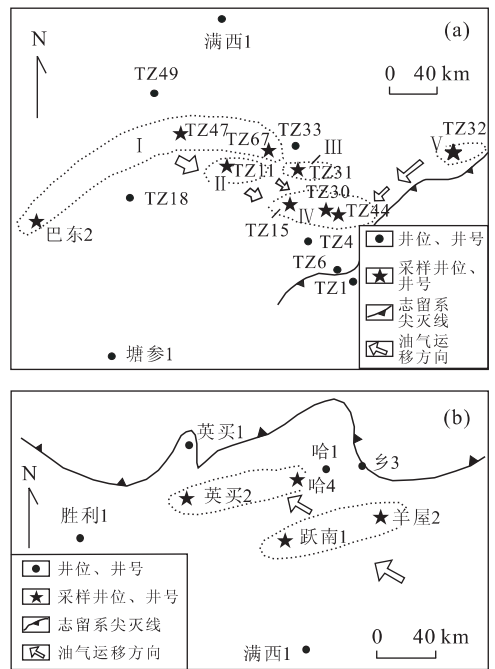


图 1 塔中(a)及塔北(b)地区采样井位置及志留系古油藏第一期成藏油气运移方向

Fig. 1 Sample location and hydrocarbon migration directions of the first-stage hydrocarbon reservoir of the Silurian paleo-pools in Tazhong (a) and Tabei (b) area

I. 第 1 地带(巴东 2 井—塔中 47 井—塔中 67 井地带); II. 第 2 地带(塔中 11 井地带); III. 第 3 地带(塔中 31 井地带); IV. 第 4 地带(塔中 15 井—塔中 30 井—塔中 44 井地带); V. 第 5 地带(塔中 32 井地带)

310 °C,保持 18 min. 质谱仪为 Finnigan SSQ710 型四极杆质谱仪, EI 电离源,离子温度为 200 °C,电子能量为 70 eV,多离子检测。

## 3 实验结果及数据处理

在所分析的 33 块样品中,均发现有相当丰富的咪唑类含氮化合物,不同样品中的含量相差较大,总含量分布在 0.280 4~518.931 5 μg/g 之间(EOM 为总抽提物)。总体上看,咪唑类总含量在塔北地区的样品中较高,而塔中地区的则相对较低。在塔中地区,总体上是塔中 67 井、塔中 47 井和巴东 2 井的样品的含量较高;其东南方向的塔中 11 井和塔中 31 井的次之;而塔中 15 井、塔中 30 井、塔中 44 井和塔中 32 井的则较低。在塔北地区,羊屋 2 井和跃南 1 井的样品的咪唑类总量较高,而哈 4 井和英



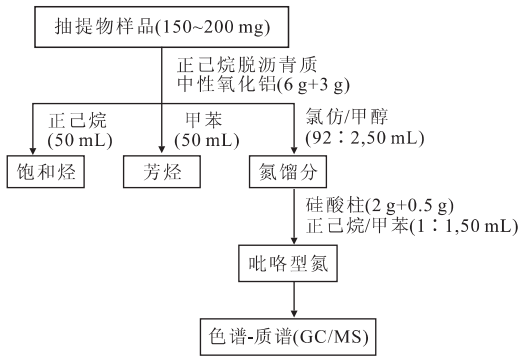


图 2 含氮化合物分离流程

Fig. 2 Fractional flow of nitrogen compounds

买 2 井的则较低. 在纵向上, 各井不同深度的样品的总量也有明显差异(表 1). 正因为咔唑类的含量及其地化参数在横向和纵向上分布的这种差异性, 为研究古油藏烃类的侧向和垂向的运移提供了前提条件.

所有的分析样品中均检测到烷基咔唑(图 3a), 且从咔唑、甲基咔唑、二甲基咔唑到三甲基咔唑成系列完整分布(塔中 32 井 3 792. 70 m 井段的样品除外); 除塔中 32 井 3 736. 28 m 深和塔中 31 井 4 611. 24 m 深的 2 块样品外, 其他样品均检测到苯并咔唑(图 3b). 在烷基咔唑系列中, 检测到 23 个化合物(图 3a); 在苯并咔唑系列中, 检测到 3 个化合物(图 3b).

经过整理和计算, 所分析的样品的咔唑类化合物总量、咔唑含量、甲基咔唑含量、二甲基咔唑(含 1—乙基咔唑)含量、三甲基咔唑(A)、三甲基咔唑(B)和三甲基咔唑(C)的含量及其三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值, 以及苯并咔唑[a]、苯并咔唑[b]和苯并咔唑[c]的含量等计算结果被列于表 1 中.

#### 4 塔里木盆地台盆区第一期油气成藏时的烃类运移方向讨论

(1) 干沥青中咔唑类含量较高, 表明该类化合物的稳定性高, 是研究古油藏(古油气聚集带)的烃类运移方向和路线的较好的指标. 从表 1 可知, 被分析的所有干沥青样品均含有较高含量的咔唑类化合物. 除塔中 32 井和塔中 44 井的 3 块样品外, 其余样品的咔唑类总量都在  $1 \mu\text{g/g}$  以上, 而且大部分井的各采样井段的咔唑类总量平均值都在  $3 \mu\text{g/g}$  以上(占总采样井数的 61. 5%). 在热演化程度如此高、

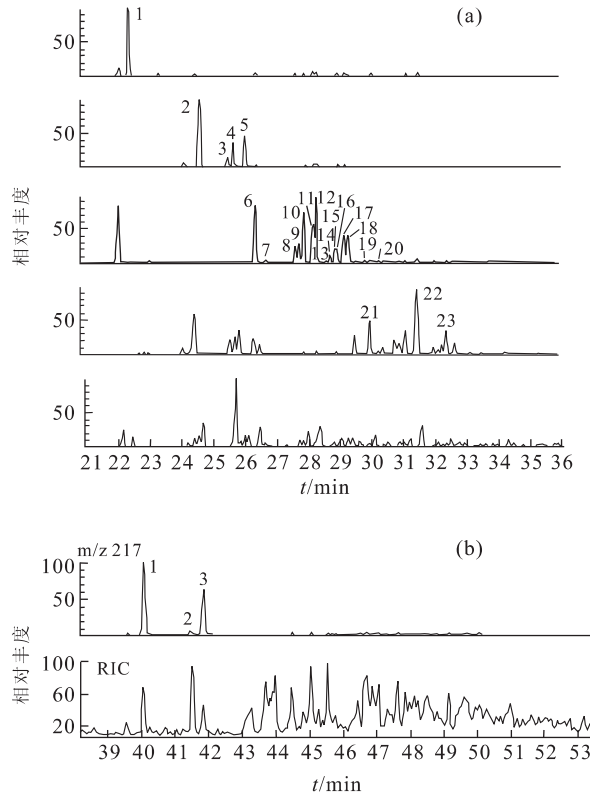


图 3 塔北地区羊屋 2 井志留系沥青砂(7 号样, 5 467. 90 m)的烷基咔唑(a)和苯并咔唑(b)质量色谱图

Fig. 3 Mass chromatograms of alkylcarbazoles of the Silurian asphaltic sandstones of Yangwu 2 well in Tabei area (No. 7, 5 467. 90 m)

a: 1. 咔唑; 2. 1—甲基咔唑; 3. 3—甲基咔唑; 4. 2—甲基咔唑; 5. 4—甲基咔唑; 6. 1, 8—二甲基咔唑; 7. 1—乙基咔唑; 8. 1, 3—二甲基咔唑; 9. 1, 6—二甲基咔唑; 10. 1, 7—二甲基咔唑; 11. 1, 4—二甲基咔唑; 12. 1, 5—二甲基咔唑; 13. 二甲基咔唑; 14. 2, 6—二甲基咔唑; 15. 2, 7—二甲基咔唑; 16. 1, 2—二甲基咔唑; 17. 2, 4—二甲基咔唑; 18. 2, 5—二甲基咔唑; 19. 2, 3—二甲基咔唑; 20. 3, 4—二甲基咔唑; 21. 三甲基咔唑(A); 22. 三甲基咔唑(B); 23. 三甲基咔唑(C). b: 1. 苯并咔唑[a]; 2. 苯并咔唑[b]; 3. 苯并咔唑[c]

氧化或生物降解作用如此强烈的志留系干沥青中, 尚能分离出大量的咔唑类化合物, 而且, 在几乎所有样品中都检测到完整的烷基咔唑系列(咔唑、甲基咔唑、二甲基咔唑、三甲基咔唑). 这一现象充分表明, 咔唑类具有很高的热稳定性和抗氧化、抗生物降解的能力, 可作为良好的运移指标来研究已被破坏了的古油藏(或古油气聚集带)的烃类运移特征. 众所周知, 无论是塔中还是塔北地区的志留系古油藏都曾经历多旋回的、强烈的构造破坏作用和剥蚀作用以及长期的、程度高的氧化和生物降解作用(特别是塔北). 另外, 塔中西部及其以西的广大地区在早二

叠世未曾发生过一期区域性的火山喷发与岩浆侵入事件,形成数米至数百米、厚度不等、分布广泛的层状基性岩浆岩。该期岩浆活动有多次喷发和侵入,热液作用持续时间长。火山口主要分布在塔中西北部,如在塔中18井、塔中22井、塔中21井和塔中47井附近都有火山口分布,塔中47井是这次研究的分析井之一。岩浆活动带来的岩浆、热液流体等高温物质和巨大热能对志留系古油藏的沥青应有烘烤和破坏作用,使沥青的变质程度加深,有机组分进一步破坏。但是,从本次的分析资料来看,塔中47井、巴东2井、塔中67井等(它们基本上都位于岩浆活动的中心地区)的志留系干沥青样品仍有很高的咔唑类含量,比其他井高得多,表明此期岩浆作用产生的热量对咔唑类的分布影响不大。塔北地区在英买7井等地也有岩浆岩分布。

(2)塔北地区志留系干沥青砂的抽提物中咔唑类含量普遍比塔中地区样品的高,反映出塔北隆起志留系古油藏中的烃类遭受了更为强烈的氧化和生物降解作用。从表1可看出,塔北各井志留系干沥青样品的咔唑类含量明显高于塔中各井,前者的平均数值范围为 $3.2101 \sim 174.5855 \mu\text{g/g}$ ,后者的仅为 $0.3120 \sim 9.8614 \mu\text{g/g}$ 。这种差异是由于塔北地区较强烈的构造抬升导致志留系遭受较强烈的剥蚀作用而形成的。在晚加里东至海西期,塔北地区构造活动较强烈,抬升幅度较大,志留系的被剥厚度大于塔中隆起。由于地层被剥厚度较大,致使塔北隆起的志留系古油藏遭受较为强烈的破坏,其原油的氧化和生物降解作用也较强,形成的沥青比塔中的更干更硬。由于塔北隆起志留系古油藏中大量饱和烃和芳烃组分散失或消耗,造成了沥青砂抽提物中的非烃、沥青质的含量相对较大,使得其咔唑类(非烃)的含量明显高于构造抬升、地层剥蚀、氧化和生物降解作用均相对较弱的塔中地区的志留系沥青砂岩。因此,塔北隆起上志留系较高的咔唑类含量,一方面反映出该区较为强烈的构造抬升运动,另一方面也表明了咔唑类的高的稳定性。(3)三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)、苯并咔唑[a]/苯并咔唑[c]和烷基咔唑/(烷基咔唑+苯并咔唑)等比值反映了塔中、塔北隆起的志留系第一期成藏的烃类均经历了相对较长距离的运移。理论研究和大量实际资料都已表明,屏蔽型的三甲基咔唑(A)极性较小,运移较快,而暴露型的三甲基咔唑(C)则极性较大,运移相对较慢,故运移距离越远,三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值

则越大。在苯并咔唑中,苯环与咔唑并合的碳位差异,造成不同的苯并咔唑结构异构体。一般地在原油中常见的有呈接近线状的苯并咔唑[a]和呈半球状的苯并咔唑[c]<sup>2</sup>类异构体(苯并咔唑[b]的含量一般较低)。苯并咔唑[a]比苯并咔唑[c]运移速度快,随运移距离的增大,线性分子异构体相对富集,即苯并咔唑[a]/苯并咔唑[c]比值增大。烷基咔唑/(烷基咔唑+苯并咔唑)比值也有同样的变化趋势,随运移距离增大,比值增大,因为烷基咔唑分子较小,运移相对较快。因此,上述3个比值的相对大小基本上能反映出烃类运移距离的相对远近。

松辽盆地新站油田的葡萄花油组,储层为下白垩统姚一段砂岩,烃源岩为直接位于其下的下白垩统青山口组;该油田的黑帝庙油组的储层为下白垩统嫩江组三—四段,其油源来自嫩江组本身。这2个油组的原油的运移距离都很短,都是下白垩统自生自储的。因此,它们的原油中的三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)和苯并咔唑[a]/苯并咔唑[c]比值都较小,前者为 $1.32 \sim 1.69$ ,后者为 $0.95 \sim 1.24$ (平均为 $1.12$ )(王铁冠等,2000)。而本次研究的塔里木盆地志留系沥青砂岩样品,其上述2项比值则大得多。在塔北地区,各井样品的三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值为 $3.9909 \sim 8.4038$ ;苯并咔唑[a]/苯并咔唑[c]比值为 $0.9909 \sim 1.6972$ (平均为 $1.3226$ )。在塔中地区,这2项参数更大,分别为 $4.8724 \sim 24.7857$ 和 $0.7150 \sim 3.2250$ (平均为 $1.6541$ )。为什么塔中、塔北地区志留系干沥青的三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)和苯并咔唑[a]/苯并咔唑[c]<sup>2</sup>项比值明显大于松辽盆地新站油田的原油呢(其实也明显大于柴达木盆地西南地区的下第三系自生自储的原油的该两比值)?比较合理的解释就是因为塔中、塔北志留系古油藏中的烃类经过了相对较长距离的运移。在志留纪末,中、下寒武统烃源岩排出的烃类向志留系储层运移过程中需要穿过巨厚的上寒武统、奥陶系及部分志留系,而且在横向上又经历了从满加尔凹陷中心向塔中、塔北两隆起的长距离运移,有足够的时间和空间使原油中的含氮化合物发生分异作用,使极性较大的三甲基咔唑(C)和半球状的苯并咔唑[c]大量散失在运移路径上,结果是古油藏中的烃类相对富集三甲基咔唑(A)和苯并咔唑[a]。

塔中、塔北地区的志留系古油藏中的烃类经历较长距离的运移后,也相对地富集了烷基咔唑,苯并

咔唑则大量被运移通道上的围岩所吸附,导致烷基咔唑/(烷基咔唑+苯并咔唑)比值较大,塔北的为 0.886 6~0.969 6,塔中的为 0.668 5~0.977 3,有个别样品(如塔中 31 井的 4 611.24 m 和塔中 32 井 3 736.28 m 井段)的该比值甚至高达 1.000 0。在以往我们对塔西南(刘洛夫等,1997;刘洛夫,1997)和塔中(刘洛夫和康永尚,1998;Liu,1998;Liu and Kang,1999)地区的石炭系原油样品研究时,也发现相同的情况,如塔西南的群 4 井、群 5 井下石炭统原油的烷基咔唑/(烷基咔唑+苯并咔唑)的比值为 1.00;塔中地区的奥陶系原油的为 0.799,志留系原油的为 0.723,石炭系原油的为 0.801~1.000。这充分表明,塔里木盆地各地区各层系的原油基本上都经历了相当长距离的运移。

#### 4.1 塔中地区

如上所述,塔中、塔北地区在志留系古油藏形成以后,经历过多期强烈的构造活动,在塔中地区二叠世末还有大规模的岩浆侵入活动,即古油藏的油气曾经历过长时期、多期次的破坏作用(氧化、生物降解和热作用),使现今的干沥青分布面貌复杂化,其中的化合物组成的分布也复杂。不同地带、不同构造部位、不同井号或同一口井的不同井段,古油藏遭受破坏的程度都可能存在差异,致使不同样品干沥青的有机质组成的规律性也受到一定程度的歪曲。不过,作为油气运移实用指标的含氮化合物,尽管咔唑类的原始分布可能受到一定程度的影响,但由于它们的稳定性,总体上还是能反映当时的烃类运移规律的。

(1)塔中地区在志留纪末第一期成藏时,烃类在志留系的运移平面上有从北西向南东、北东向南西 2 个方向向志留系尖灭线附近运移的趋势。塔中地区被分析的 9 口井共 23 块志留系干沥青砂样品的咔唑类总量及其中的各组分的含量见表 1。为了能从平面上更清楚地看出各井间的变化,我们分别对

各井的含量参数(包括总量和各组分含量)和比值参数按井取平均值(表 1)并作图。咔唑类总量的变化(图 4a)为:西北部的塔中 67 井的最大,为 9.861 4  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,然后按塔中 47 井、巴东 2 井、塔中 11 井、塔中 31 井、塔中 15 井、塔中 30 井、塔中 44 井的顺序减少,到东南部的塔中 44 井降低到 0.312 0  $\mu\text{g}/\text{g}$ ;另一方向,从东北面的塔中 32 井的 0.426 3  $\mu\text{g}/\text{g}$  降到塔中 44 井的 0.312 0  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。很明显,按照咔唑类总量的变化,可将塔中地区分为 5 个地带:即巴东 2 井—塔中 47 井—塔中 67 井地带(第 1 地带)、塔中 11 井地带(第 2 地带)、塔中 31 井地带(第 3 地带)、塔中 15 井—塔中 30 井—塔中 44 井地带(第 4 地带)和塔中 32 井地带(第 5 地带)(图 1)。咔唑类总量的变化是从第 1 地带到第 4 地带减少;从第 5 地带到第 4 地带减少,即油气运移在平面上的趋势遵循这 2 个方向向塔中 15 井—塔中 30 井—塔中 44 井区志留系尖灭线部位推进,在运移过程中,随着距离增大,由于咔唑类的极性等原因,化合物与围岩相互作用而不断损失,导致总含量不断下降。除咔唑类总量外,该类化合物中的各组分基本上也有相同的变化趋势(图 4b,4c)。

三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值在塔中地区各分析井的平均值如图 5 所示。如前所述,随运移距离增大,三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值不断增大。图 5 中显示出比较明显的规律性,从巴东 2 井—塔中 47 井—塔中 67 井地带,向塔中 11 井地带、塔中 31 井地带、塔中 15 井—塔中 30 井—塔中 44 井地带,该比值不断增大;从塔中 32 井地带向塔中 15 井—塔中 30 井—塔中 44 井地带,其比值也增大。因此,这一指标反映出与咔唑类总量指标所显示的同样的运移趋势,即从第 1 地带到第 4 地带,从第 5 地带到第 4 地带(图 1,6)。

(2)塔中地区在志留纪末第一期成藏时,烃类在

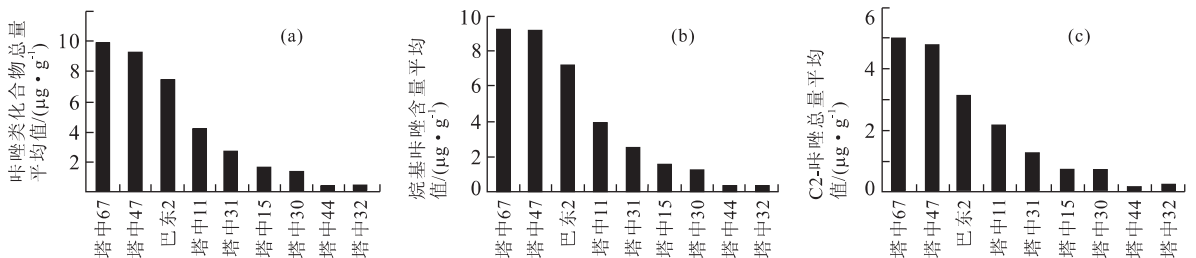


图 4 塔中地区各井的志留系干沥青中咔唑类化合物含量的平均值分布

Fig. 4 Average distribution of carbazole compound contents of the Silurian dry asphalts in different wells of Tazhong area



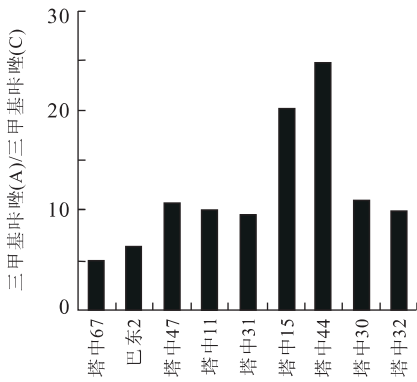


图 5 塔中地区各井的志留系干沥青中三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值的平均值分布

Fig. 5 Average distribution of 3-methylcarbazoles (A) /3-methylcarbazoles (C) of the Silurian dry asphalts in different wells of Tazhong area

志留系的运移剖面上有从下向上的趋势. 为了能从纵向上研究油气的运移情况, 我们将塔中地区各分析井的不同深度的所有样品的几项分析数据作成随深度变化的图件(图 7). 从咔唑类含量参数、三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值等指标来看, 塔中地区第一期成藏时, 油气在志留系中的运移有自深部位向浅部位的趋势.

图 7a 显示出, 不同深度样品的咔唑类总量有比较明显的变化, 深度较大的样品的总量数值较大, 较浅的样品的数值则较小, 表明有自下向上的运移趋势. 咔唑类的各组分的含量变化(图 7b, 7c)也基本

上显示出自下向上变小的趋势. 三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值也有自下向上变大的趋势, 也表明了自下向上运移的趋势.

需要指出的是, 咔唑类含量、三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值等在纵向上的变化没有平面上的变化规律性明显. 这可能是由于纵向上的样品深度间距较短(1 260 m 左右)而平面上油气运移距离较大(从满加尔凹陷到塔中隆起)的缘故. 运移距离较短, 咔唑类还来不及分异或分异程度较小. 同时也表明, 台盆区的第一期油气运移应主要表现为平面上(从满加尔凹陷到塔中隆起)的运移, 其纵向上的效应可能是由于油气沿不整合面和顺着志留系的上倾方向(尖灭线)斜向运移而造成的. 当然, 也不排除有少量烃类是来自塔中底下的中、下寒武统烃源岩, 因为已有的资料表明, 在塔中隆起的塔参 1 井和邻近的巴楚凸起上的和 4 井均已找到较好的中、下寒武统烃源岩.

(3)塔中地区在志留纪末第一期成藏时的烃类运移综合分析. 从区域石油地质特征来看, 在寒武系沉积时, 塔中隆起南面的塘古孜巴斯凹陷很浅, 不具备优质烃源岩形成的地质和地球化学条件; 另外, 在隆起南坡的下古生界所钻的井基本上都是干井, 迄今为止没有证据证明隆起南面的塘古孜巴斯凹陷的寒武系在志留纪末给塔中隆起上的志留系古油藏供油. 对于阿瓦提凹陷, 虽然和满加尔凹陷一起同属北

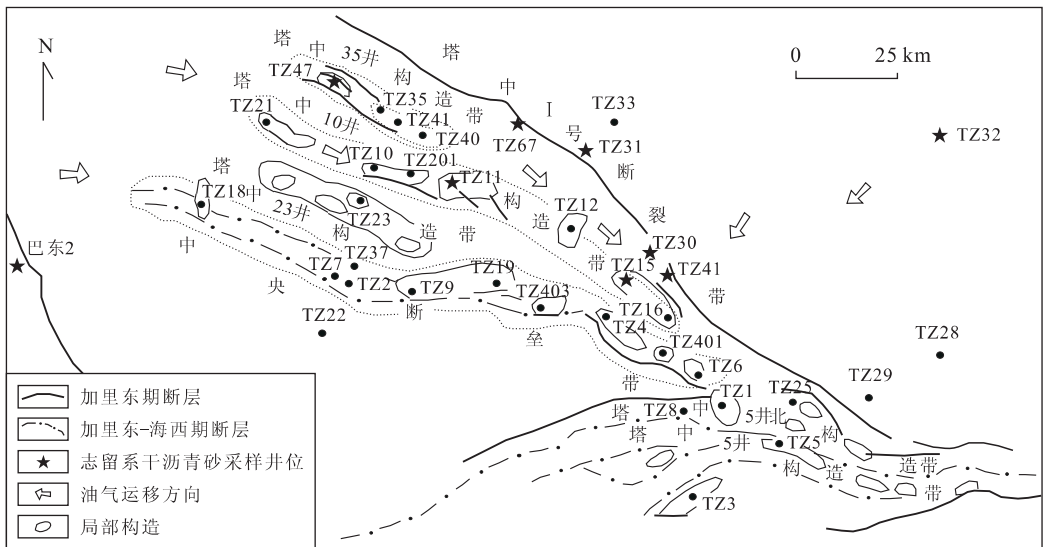


图 6 塔中地区构造单元划分及志留系古油藏第一期成藏时的油气运移方向

Fig. 6 Division of structural units and hydrocarbon migration directions of the first-stage hydrocarbon reservoir of the Silurian paleo-pools in Tazhong area

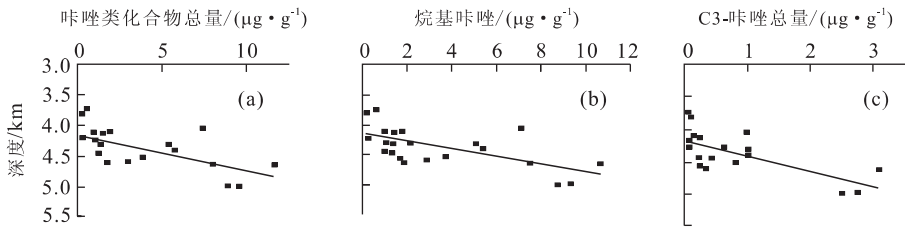


图 7 塔中地区各井的志留系干沥青中咔唑类化合物含量随深度变化

Fig. 7 Carbazole compound contents of the Silurian dry asphalts with depth change in different wells of Tazhong area

部拗陷,但前者在寒武—奥陶纪时很浅,沉积的地层较薄,该凹陷的主要发育期为石炭—二叠纪;而后者在寒武—奥陶纪时有巨厚的沉积物充填,是凹陷的主要发育期,发育有良好的烃源岩.因此,塔中隆起志留系古油藏的油源不太可能来自塘古孜巴斯和阿瓦提凹陷,而应是来源于塔中东北面的满加尔凹陷.

结合本次的研究成果,我们认为塔中隆起在志留纪末形成志留系古油藏时,其油气主要来源于满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩,向西南—南的方向首先进入塔中的志留系,然后在志留系储层内沿不整合面或顺储层从北西南向东南和从北东向西 2 个方向向志留系在塔中的尖灭线附近运移(即向上倾方向斜向运移),即分别从西北面的巴东 2 井—塔中 47 井—塔中 67 井地带(第 1 地带)经塔中 11 井地带(第 2 地带)、塔中 31 井地带(第 3 地带),和从东北面的塔中 32 井地带(第 5 地带),同时向塔中 15 井—塔中 30 井—塔中 44 井地带(第 4 地带)方向运移(图 1,6).当然,也可能有少部分烃类是来自塔中下面的寒武系,通过断裂向上作短距离运移直接进入志留系储层,但这不是主要的,因为本区的油气主要表现为长距离运移的特点.以上认识与研究塔中石炭系东河砂岩 CIII 油组的成藏模式(刘洛夫和康永尚,1998;Liu,1998)时得到的油气运移方向是一致的.

#### 4.2 塔北地区

根据区域石油地质资料,结合本次所研究的塔北地区的 4 口井的志留系干沥青的地球化学资料,我们认为,塔北地区在志留纪末第一期成藏时的烃类供给方式与塔中地区的相似.

(1)塔北地区在志留纪末第一期成藏时,烃类在志留系的运移平面上有从南东向北西方向的趋势.从咔唑类总量来看,总的变化规律是,从东南面的羊屋 2 井( $174.5855 \mu\text{g/g}$ )向西北面的哈 4 井( $5.7924 \mu\text{g/g}$ )降低;从东南面的跃南 1 井( $7.6493 \mu\text{g/g}$ )向西北面的英买 2 井( $3.2101 \mu\text{g/g}$ )下降,指示着从南东

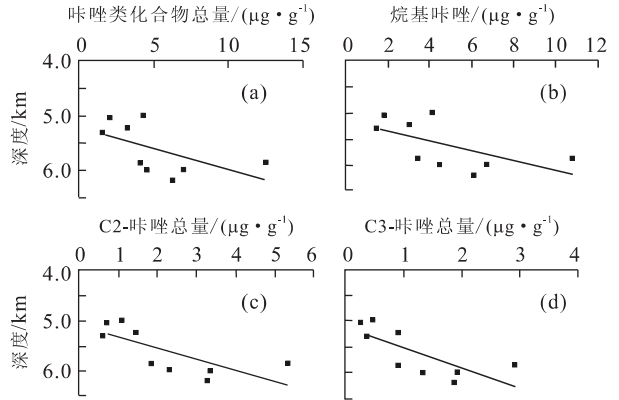


图 8 塔北地区各井的志留系干沥青中咔唑类化合物含量随深度变化

Fig. 8 Carbazole compound contents of the Silurian dry asphalts with depth change in different wells of Tabei area

向北西方向的烃类运移趋势(图 2).其他组分的含量变化也基本上符合这一变化规律.三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值亦指示着油气从南东向北西方向的运移趋势,从羊屋 2 井的  $6.6431 \mu\text{g/g}$  增至哈 4 井的  $6.6900 \mu\text{g/g}$ ;从跃南 1 井的  $3.9909 \mu\text{g/g}$  增至英买 2 井的  $8.4038 \mu\text{g/g}$ (表 1).

(2)塔北地区在志留纪末第一期成藏时,烃类在志留系的运移剖面上有自下向上的趋势.与研究塔中地区油气纵向运移时的资料处理一样,将塔北地区的 4 口井不同深度的样品的几项分析数据作成随深度变化的图件(图 8).从咔唑类的含量参数、三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值来看,塔北地区第一期成藏时,油气在志留系中的运移有自深部位向浅部位(自下而上)运移的趋势.

图 8a 表明,咔唑类总量随深度变化总体上成线性关系,深度越浅,总量数值越小,反映出油气有自下向上运移的趋势.各组分的含量(图 8b,8c,8d)也有同样的变化趋势.三甲基咔唑(A)/三甲基咔唑(C)比值有自下向上变大的趋势,亦反映了有从深



部向浅部运移的效应。

(3)塔北地区在志留纪末第一期成藏时的烃类运移综合分析。综合上述分析,我们认为:塔北地区在志留纪末第一期成藏时,油气也经历了长距离的运移。油气来自满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩,首先向北西方向进入塔北隆起的志留系,然后在志留系储层内(或沿不整合面)沿上倾方向继续向北西方向运移进入圈闭。

## 5 认识与结论

(1)本文的研究表明,吡啶类中性吡咯含氮化合物的热稳定性好,有较强的抗氧化和抗生物降解的能力,在干沥青中仍有大量的、完整的分布,对研究古油藏的油气运移有特别重要的意义。其中的吡啶类化合物含量指标最为有效;其次是三甲基吡啶(A)/三甲基吡啶(C)比值,也表现出良好的效果。

(2)根据本次的研究并结合与国内一些盆地的对比来看,塔里木台盆地志留纪第一期成藏时(志留纪末)的烃类经历了长距离的运移,纵向上穿越了巨厚的寒武系、奥陶系和志留系,更主要的是经历了从源岩区(满加尔凹陷的中、下寒武统)到塔中、塔北2个隆起的志留系储层的侧向长距离的运移。(3)塔北、塔中两地区志留系砂岩干沥青中的含氮化合物含量的差异是由于塔北样品遭受更为强烈的氧化和(或)生物降解作用而造成的。在晚加里至海西期,塔北地区构造活动较强烈,抬升幅度较大,志留系的被剥厚度大于塔中隆起。由于地层被剥厚度较大,其志留系古油藏中的原油的氧化和生物降解作用也较强,大量饱和烃、芳烃组分散失或消耗,造成了沥青砂抽提物中的非烃、沥青质的含量相对较大,使得其吡啶类含氮化合物的含量明显高于塔中地区的志留系沥青砂岩。(4)塔中隆起在志留纪末形成志留系古油藏时,油气主要来源于满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩,向西南—南方向首先进入塔中的志留系,然后在志留系储层内沿不整合面或顺储层从北西向南东和从北东向南西2个方向向志留系在塔中地区的尖灭线附近运移(向上倾方向斜向运移)。当然,也可能有少部分烃类来自塔中下面的寒武系,通过断裂向上作短距离运移直接进入志留系。(5)塔北地区在志留纪末第一期成藏时,油气也经历了长距离的运移。油气来自满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩,首先向北西方向进入塔北隆起的志留系,然后在志留系储层

内(或沿不整合面)沿上倾方向继续向北西方向运移进入圈闭。

## References

- Li, S. M., Liu, L. F., Wang, T. G., 2000. A comparison study on the effectiveness of using biomarker and nitrogenous compounds as indexes indicating oil and gas migration. *Petroleum Exploration and Development*, 27(4): 95—98 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. M., Liu, L. F., Wang, T. G., et al., 2001. Application of non-hydrocarbon technique to charging pattern in E31 pool, Gasikule oilfield, Qaidam basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(6): 621—626 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. F., 1997. Investigation on pyrrolic nitrogen compounds in Qun-4 well oil of the Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 15(2): 184—187 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. F., 1998. Distribution and significance of carbazole compounds in Paleozoic oils from the Tazhong uplift, Tarim. *Acta Geologica Sinica*, 72(1): 87—93.
- Liu, L. F., Kang, Y. S., 1999. Study on secondary migration of hydrocarbons in Tazhong area of Tarim basin in terms of carbazole compounds. *Chinese Journal of Geochemistry*, 18(2): 97—103.
- Liu, L. F., Kang, Y. S., 1998. Investigation on secondary migration of oils in central Tarim, Tarim basin using pyrrolic nitrogen compounds. *Geochimica*, 27(5): 475—482 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. F., Mao, D. F., 1996. New method of oil migration study. *Advance in Earth Sciences*, 11(6): 607—610 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. F., Xu, X. D., Mao, D. F., et al., 1997. Application of carbazole compounds in study of hydrocarbon migration. *Chinese Science Bulletin*, 42(23): 1970—1973 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. F., Xu, X. D., 1996. Nitrogen compounds and study of oil migration. *Petroleum Explorationist*, 1(2): 33—37 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. F., Xu, X. D., Mao, D. F., et al., 1997. Application of carbazole compounds in study of hydrocarbon migration. *Chinese Science Bulletin*, 42(4): 420—423 (in Chinese with English abstract).
- Tang, L. J., Jin, Z. J., Dai, J. S., et al., 2002. Regional fault systems of Qaidam basin and adjacent orogenic belts. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6): 676—682 (in Chinese with English ab-

stract).

Wang, T. G. , Li, S. M. , Zhang, A. Y. , et al. , 2000. Oil migration analysis with pyrrolic nitrogen compounds. *Journal of the University of Petroleum, China*, 24(4): 83-86 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

李素梅, 刘洛夫, 王铁冠, 2000. 生物标志化合物和含氮化合物作为油气运移指标有效性的对比研究. *石油勘探与开发*, 27(4): 95-98.

李素梅, 刘洛夫, 王铁冠, 等, 2001. 利用非烃技术探讨尔斯库勒油田 E31 油藏的充注模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 26(6): 621-626.

刘洛夫, 1997. 塔里木盆地群 4 井原油吡咯类含氮化合物地球化学研究. *沉积学报*, 15(2): 184-187.

刘洛夫, 康永尚, 1998. 运用原油吡咯类含氮化合物研究塔里木盆地塔中地区石油的二次运移. *地球化学*, 27(5): 475-482.

刘洛夫, 毛东风, 1996. 石油运移研究的新方法. *地球科学进展*, 11(6): 607-610.

刘洛夫, 徐新德, 1996. 含氮化合物与石油运移研究. *勘探家*, 1(2): 33-37.

刘洛夫, 徐新德, 毛东风, 等, 1997. 咪唑类化合物在油气运移研究中的应用初探. *科学通报*, 42(4): 420-423.

汤良杰, 金之钧, 戴俊生, 等, 2002. 柴达木盆地及相邻造山带区域断裂系统. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(6): 676-682.

王铁冠, 李素梅, 张爱云, 等, 2000. 利用原油含氮化合物研究油气运移. *石油大学学报(自然科学版)*, 24(4): 83-86.

\*\*\*\*\*

(上接 426 页)

on hydrocarbon generation condition. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, (1): 11-22 (in Chinese with English abstract).

Qiu, Z. J. , Gong, Z. S. , 1999. Petroleum exploration in China (Vol. 3; Eastern petroleum province). Petroleum Industry Press, Beijing, 489-506 (in Chinese).

Tao, Z. Y. , 1981. Theories and practices of rock mechanics. Water Conservancy Press, Beijing (in Chinese).

Yang, W. L. , Gao, R. Q. , Guo, Q. F. , et al. , 1985. Continental hydrocarbon generation and accumulation in Songliao basin. Heilongjiang Science and Technology Press, Harbin, 21-321 (in Chinese).

Yu, H. N. , Lu, H. F. , 1998. The principle of structural geology. Nanjing University Press, Nanjing (in Chinese).

附中文参考文献

陈庆宣, 王维囊, 孙叶, 等, 1998. 岩石力学与构造应力场分析. 北京:地质出版社.

高瑞祺, 蔡希源, 1997. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京:石油工业出版社, 181-207.

关德范, 1981. 大庆长垣成因及油气生成条件的探讨. *大庆石油学院学报*, (1): 11-22.

邱中建, 龚再升, 1999. 中国油气勘探(第三卷:东部油气区). 北京:石油工业出版社, 489-506.

陶振宇, 1981. 岩石力学的理论与实践. 北京:水利出版社.

杨万里, 高瑞祺, 郭庆福, 等, 1985. 松辽盆地陆相油气生成运移和聚集. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 21-321.

俞鸿年, 卢华复, 1998. 构造地质学原理. 南京:南京大学出版社.