

# 叠合盆地碳酸盐岩复杂缝洞储层的 油气差异运聚作用

## ——塔中83井区表生岩溶缝洞体系实例解剖

王福焕<sup>1,2</sup>, 韩剑发<sup>2</sup>, 向才富<sup>3</sup>, 于红枫<sup>2</sup>, 张云峰<sup>2</sup>, 王霞<sup>2</sup>

(1. 西南石油大学, 四川 成都 610500;

2. 中国石油塔里木油田公司, 新疆 库尔勒 841000;

3. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

**摘要:**叠合盆地海相碳酸盐岩介质油气运聚机理是叠合盆地油气勘探必须解决的关键问题之一。塔中83井区原油和天然气产量在NE向断层与NW向断层的交会部位异常高,而随着远离断层交会部位逐渐降低,并沿构造脊展布,这一点违背传统的背斜核部富气而翼部富油的模式。基于碳酸盐岩表生岩溶的相关研究成果,建立了表生岩溶缝洞体系的基本模型。在分析油气在表生岩溶缝洞体系运聚过程的基础上,认为复杂缝洞体系中油气的差异运聚原理是产生这种现象的关键。油气在表生岩溶缝洞体系中运移时,总是要先将临近油气充注点的孔隙或缝洞充满至其溢出点后,才能继续向远处运移,并沿油气运移路径顺次充满远处的孔洞缝体系,导致:①近油气注入点富气,而远油气注入点富油;②油水关系复杂并受侧向联通通道的控制,这种模式与塔中油气的分布规律非常吻合。基于此,认为研究区断层的交会部位是油气的注入点,油气运移的主输导通道沿构造脊展布。岩溶缝洞体系差异运聚模式提示:①对缝洞体系的油气勘探应首先刻画缝洞体系的结构,在分析油气注入点和主输导通道的基础上才能对油水关系进行很好的预测;②应坚定油气注入点和主输导通道附近圈闭的勘探,不要因局部圈闭的失利而否认整个勘探区带。

**关键词:**差异运聚原理;表生岩溶;缝洞体系;塔中;叠合盆地

**中图分类号:**TE122.1+2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2010)01-0033-09

## 0 引言

叠合盆地是2种或2种以上类型的原型盆地叠加或复合在一起的盆地<sup>[1-2]</sup>,盆地的油气成藏特性可概括为“多期成盆、多期改造、多套烃源岩、多次生排烃、多期运聚散”<sup>[1,3]</sup>。叠合盆地油气勘探进入下构造层以后,勘探对象由碎屑岩转向碳酸盐岩,由高孔高渗储层转入低孔低渗储层,甚至特低孔特低渗储层<sup>[4-5]</sup>。在低孔渗条件下,碳酸盐岩地区的基质孔隙和储层缝洞体系间形成强烈的毛细管力,使油气运移不遵循经典的达西定律,但是当存在一定的启动压力梯度时,属于低速非达西渗流的范畴<sup>[6-8]</sup>,导致

在相同的势梯度下油气的横向运移速率降低;对叠合盆地下构造层来说,毛细管力的存在有效阻碍了不同缝洞体系之间物质的交换,形成相对独立的孔洞缝单元<sup>[9-10]</sup>,也有研究者称其为流体封存箱<sup>[11-12]</sup>。低一特低渗透储层的上述两方面特性必然使油气运移与成藏表现出一定的特性,并成为叠合盆地油气勘探中独立的科学问题<sup>[13]</sup>。前期研究证明叠合盆地碳酸盐岩复杂缝洞体系中存在明显的油气差异运聚作用<sup>[14]</sup>,该原理有可能是继背斜型油气差异运聚作用<sup>[15-16]</sup>和断层型油气差异运聚作用<sup>[16]</sup>之后分析碳酸盐岩复杂缝洞体系油气成藏过程的钥匙。进一

收稿日期:2009-02-21;修回日期:2009-09-25.

基金项目:国家科技重大专项项目“四川、塔里木等盆地及邻区海相碳酸盐岩大油气田形成条件、关键技术及目标评价”(编号:1K-002)资助。

作者简介:王福焕(1968-),男,陕西宝鸡人,高级工程师,在读博士,长期从事油气藏评价工作。E-mail: wangfh-tlm@petrochina.com.cn.

步选典型碳酸盐岩油气藏进行深入解剖,可以为深入理解这一原理提供范例。

## 1 地质特征

塔中 83 井区位于塔中 I 号坡折带中段,东北部以塔中 I 号坡折带为界,西南部以塔中 10 号构造带为界,西北部与塔中 82 井区北东向走滑断层相邻,东南部呈缓坡与塔中 16 井区相连。塔中 83 井区的地层构成与整个塔中地区相似,主要的勘探目的层位为下奥陶统鹰山组的表生岩溶不整合面(图 1)。鹰山组顶面构造图显示研究区是一个向北西倾的鼻状构造,构造高点位于塔中 83 井和塔中 721 井附近,构造的东南部与塔中 16 井区相连,在 2 个构造相连的塔中 722 井附近形成一个明显的鞍状构造。

鹰山组顶面储层特征总体受表生岩溶作用的控制,已发现的油气资源明显受表生岩溶作用的水平潜流带控制,在滞留带发现的油气资源很少。储层物性总体以特低孔、特低渗透为主,孔渗关系表明储层结构受裂缝改造的控制,形成高渗透率低孔隙度的特征,是典型的裂缝—溶洞型储层。

优质的储层是油气成藏的必要条件,但是钻遇优质的储层并不能保证钻遇油气藏。塔中 83 井区在所钻探的 6 口探井和 1 口开发井中,2 口井高产,1 口井油水同产,3 口井出水。同时,对高产井来说,试采的过程中也存在出水的现象,以塔中 722 井为例,试采过程中,含水率曾经达到了 50%。虽然研究区储层物性良好,但是所形成的油气藏并不是受断鼻控制的构造油气藏,而是受储层控制的地层岩性油气藏,表现在断鼻构造没有统一的油水、气水界面,这一点可以通过单井对比得到说明。塔中 83 井区从构造上来说位于塔中 721 井的下倾方向,但是前者的气油比高于后者,说明在构造的核部并未形成气顶,不具有统一的气水界面;同时,塔中 62-27c 井从构造上来说高于塔中 83 井,但是前者是干井,而后者却发现了高产工业气流,说明该构造没有形成统一的油水界面。这种复杂的油气水关系迫切需要从成藏机理的角度对其进行合理的解释,进一步指导研究区的勘探开发。

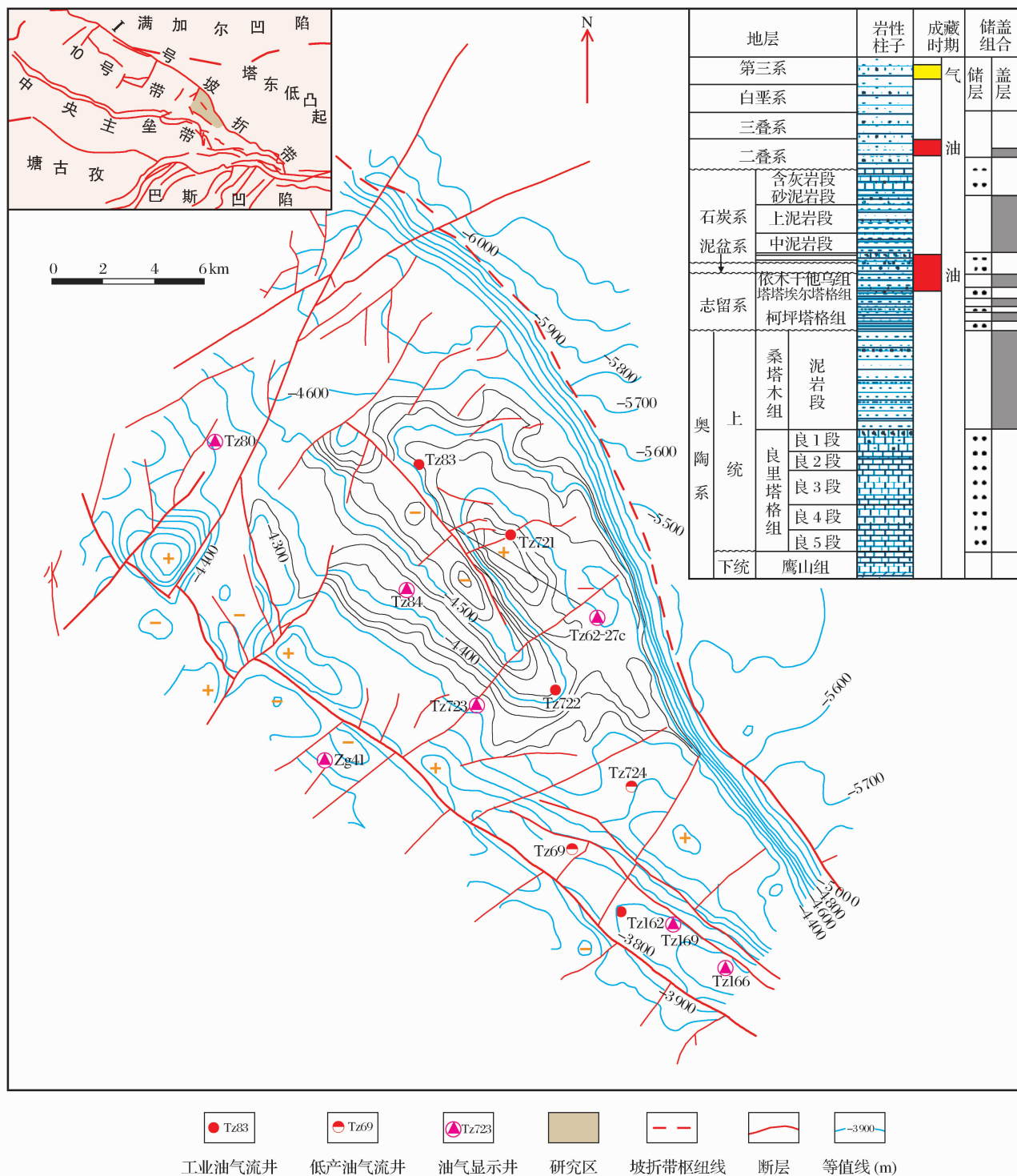
## 2 油气运移方向

原油和天然气性质发生系统变化的方向代表油气的主要运移方向<sup>[14]</sup>。通过反映油气运移的气油比、天然气干燥系数、 $H_2S$  含量和原油含蜡量分析(图 2)存在以下几个独特的特点:①断层交会部位含量异

常高:所有的参数都显示在 NE 向断层与 NW 向断层交会部位异常高,特别是反映天然气运移方向的气油比和  $H_2S$  含量在断层交会部位高出几个数量级,这一点无法用传统的背斜型油气运聚规律进行解释,因为经典的油气运聚理论认为天然气总是倾向于聚集在构造的高部位,从而造成构造核部是天然气、气油比高、干燥系数高和  $H_2S$  含量高;②原油和天然气的性质存在系统的变化趋势:随着远离断层交会部位,反映天然气运移的气油比、干燥系数和  $H_2S$  含量大幅度降低,同时原油的含蜡量也大幅度降低,而且变化趋势非常一致,总体沿研究区的构造脊(图 1)展布;③偏离构造脊的钻井各项指标大幅度下降:在塔中 722 井附近存在一个鞍状构造,偏离鞍状构造核部的钻井,其各项指标含量大幅度降低,以塔中 721 井气油比和  $H_2S$  含量来说,其气油比只有 6 169,而  $H_2S$  含量只有 274 mg/L。 $H_2S$  含量的对比最为明显,在其北部的塔中 83 井区高达 32 700 mg/L,其西南部的塔中 722 井亦高达 2 002 mg/L。这些特性说明 NE 向断层与 NW 向断层的交会部位是油气的注入口,油气的主运移方向沿构造脊展布指向塔中 16 井区(图 2)。

## 3 表生岩溶缝洞体系模型及其差异运聚作用

岩溶风化壳储层是表生岩溶储层,对它的研究相对深入并建立了比较完善的岩溶缝洞体系模式<sup>[17-24]</sup>。根据上述模式可以将表生岩溶地区的主要圈闭简单归纳为以下几类(图 3):①横向具有一定连通性的可以导致流体横向运移的通道(图 3 中的 AA')。该通道对应于表生岩溶作用中的水平渗流带,其最明显的岩溶特征是出现大型的水平溶洞,控制流体沿水平方向流动。②横向连通通道(图 3 中的 AA')在被垂直落水洞或者其他垂直缝洞体系(图 3 中 G)切割时,横向连通通道将在垂向上跃迁,从而将早期水平溶洞分割成几部分(图 3 中的 H)。③位于该带之上的圈闭(图 3 中的 B、C、D、E、F 圈闭)。这些圈闭代表垂直渗流带或者表层岩溶带发育的复杂圈闭,与地表水产生的地表径流冲刷、溶蚀过程中形成的一些溶沟、溶洞、溶缝、溶蚀洼地、溶蚀漏斗及落水洞等密切相关。④位于水平潜流带之下的圈闭(图 3 中的 I)。该带对应于水平渗流带之下形成的溶蚀漏斗、落水洞等。⑤孤立的缝洞体系(图 3 中的 B)。由于受到后期复杂成岩作用的影响

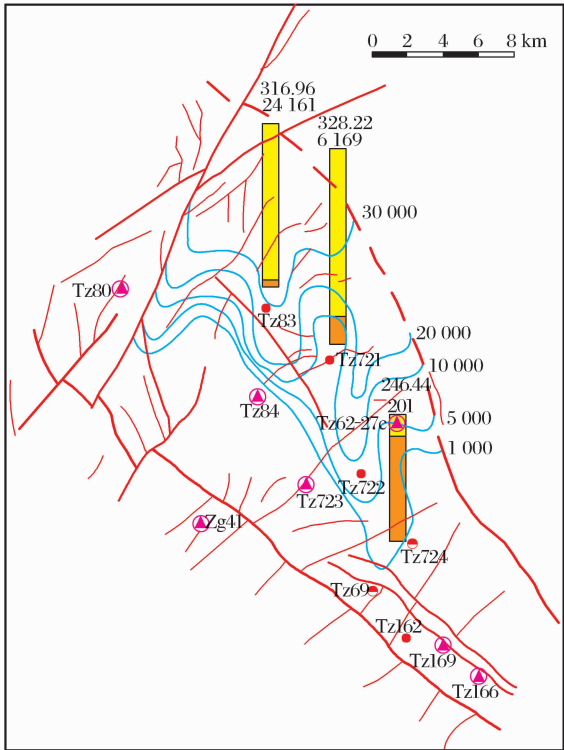


不与水平渗流带所沟通的任何圈闭连通的圈闭,形成相对独立的流体封存箱。

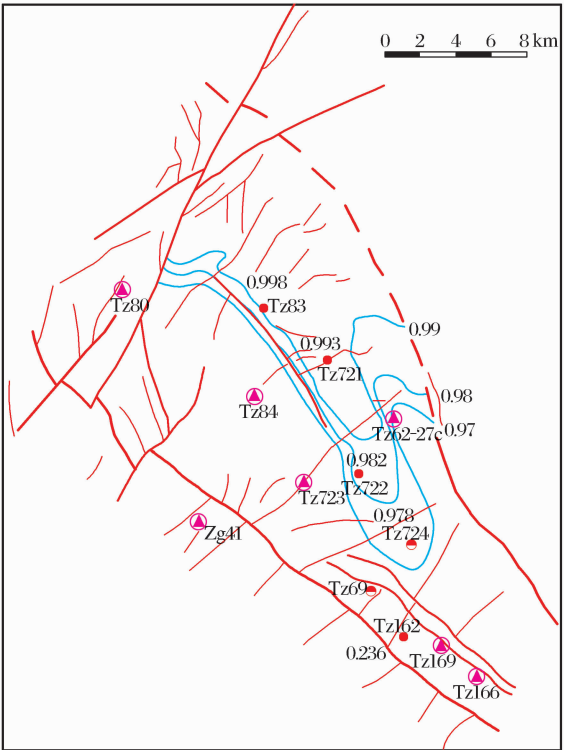
任何复杂的岩溶体系均可归纳为上述简化模式的叠加和复合,因此通过上述简单模型油气运移过程的分析,可以探究碳酸盐岩复杂缝洞体系油气成藏过程。由于浮力在油气的运移过程中起着举足轻重的作用,而研究区勘探出现了许多出水井,开发过

程中存在油水同产的现象,因此,分析油气运移过程中先假设原始圈闭中充满地层水,与研究区石油地质特征一致,再假设储层中先经历油的充注,然后遭受晚期气侵。

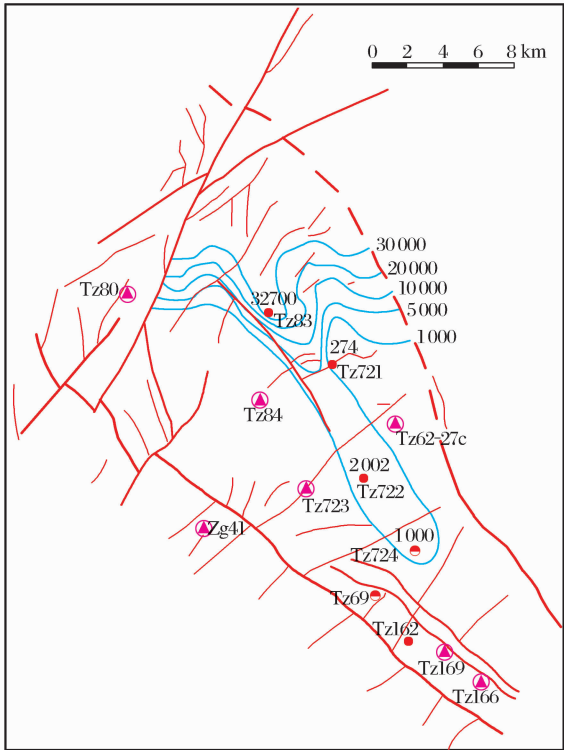
在充满地层水的储层中油气运移过程如下(图3a):油在进入储层中的O点后,将在浮力的作用下,向圈闭C顶部运移,将地层水向下排出,直到



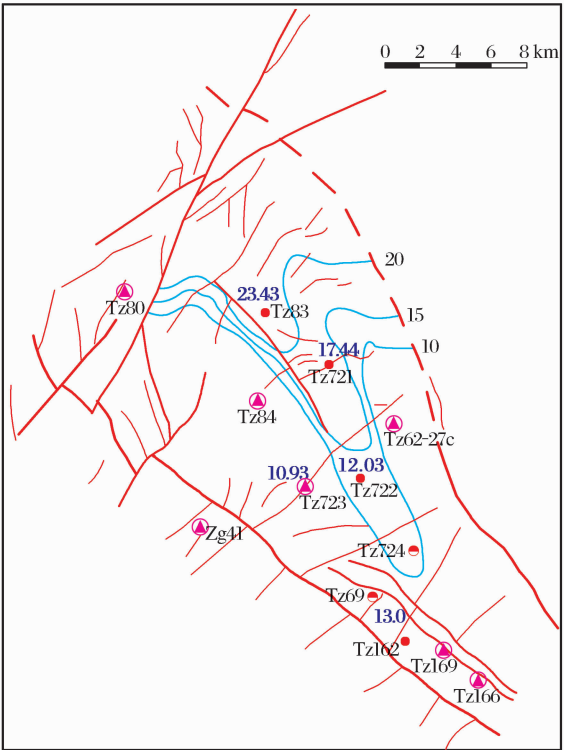
(a) 原油产量与气油比



(b) 天然气干燥系数



(c) 天然气 H<sub>2</sub>S 含量



(d) 原油含蜡量

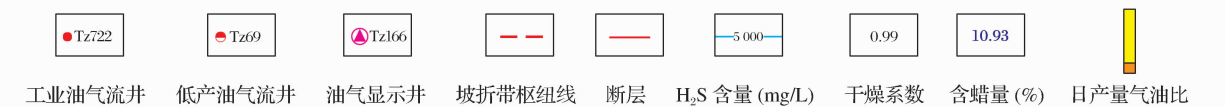


图 2 塔中 83 井区下奥陶统油气运移示踪分析

油将圈闭 C 充满到其溢出点后(P 点),油气沿 C 圈闭和 D 圈闭间的裂缝体系向圈闭 D 运移,在圈闭 D 中重复圈闭 C 中所发生的过程,在此期间下部油气波及的范围始终没有超过 O 点。如果油源充足,原油将持续充注,直到超出圈闭 C 和 D 的共同溢出点(R)并向 S 点运移,并在圈闭 E 中重复在圈闭 C 和 D 中发生的过程。如此反复,直到将所有位于横向连通通道之上的圈闭充满,形成如图 3a 所示的原油聚集状态。

对于晚期天然气运移来说,由于天然气的密度比原油和地层水的密度均小,其所发生的过程与原油在地层水中发生的过程大致类似。唯一的区别是

注气的过程同样是原油波及范围扩展的过程:天然气将首先在圈闭 C 中形成气顶,将早期形成的原油向下排出。此时天然气的波及范围虽然没有发生变化(处于圈闭 C),但是由于圈闭 C 中排出了油气,因此原油的波及范围会继续扩展。这一特点也暗示天然气和原油充注的先后次序会影响局部圈闭的油气成藏过程,早期天然气充注可能阻碍晚期的原油充注。上述过程分析说明油气充注的过程是逐渐将地层水排出圈闭的过程,因此油气的充足程度对不同圈闭的油气充满度影响巨大。一般遵循近源圈闭先充注,充满程度高,而远源圈闭后充注,充满程度相对低。

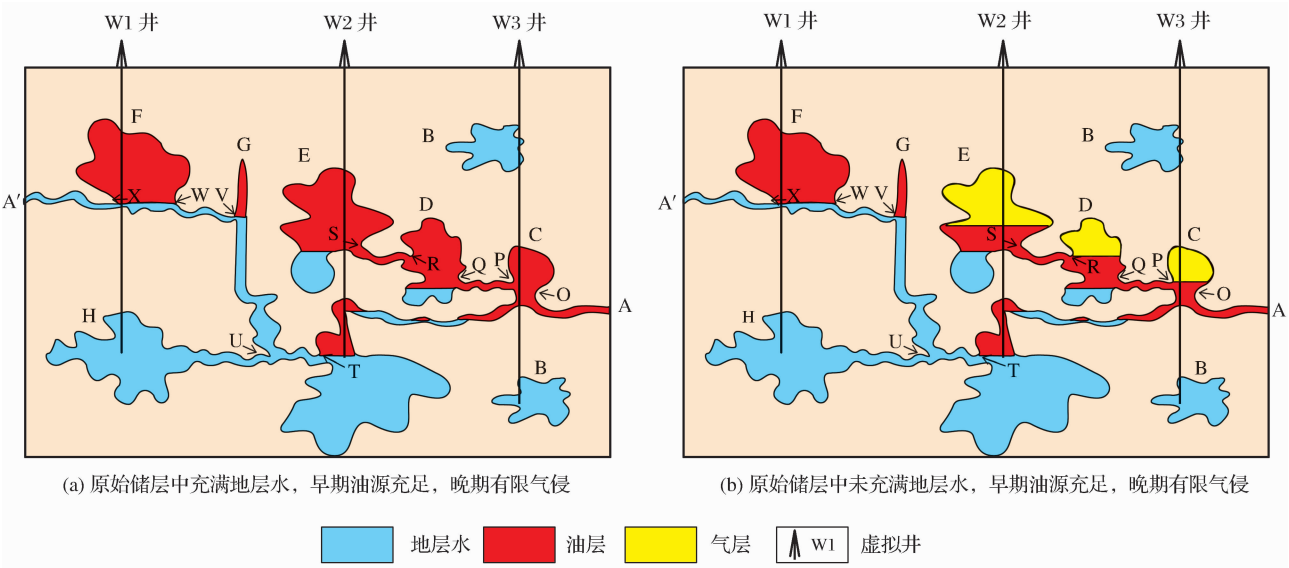


图 3 表生岩溶缝洞体系简化模式及其油气运移过程

A-A'为水平渗流带中导致流体横向移动的复杂通道;B为孤立孔洞缝体系;C、D、E、F为位于横向连通通道之上的孔洞缝圈闭;G为垂直落水洞或溶洞;H为位于横向通道一侧的圈闭(被垂直落水洞屏蔽);I为位于横向连通通道之下的孔洞缝通道;O、Q、S、W为油气在浮力作用下向圈闭顶部聚集的点;P、R、T、V、X为局部圈闭的溢出点

图 3b 展示了油源充足,而晚期微弱气侵的情况,可以看出对岩溶缝洞体系的油气成藏具有以下几个特点:①油气充满度影响因素复杂。圈闭大小、圈闭溢出点和油气源的充足程度都会影响圈闭油气充满度。一般在油气运移的方向上(图 3 中的 AA')可能形成纯气藏(近烃源岩)、油气藏和纯油藏(远烃源岩)的空间分布格局。②油气水关系复杂。位于圈闭溢出点之下的地层水不能有效的排出,导致所有圈闭没有统一的油水界面,不同圈闭的油水界面和气水界面受局部圈闭溢出点控制,总体受横向连通的输导通道 AA'制约。受圈闭溢出点的影响,位于横向输导通道之下的圈闭甚至会在进口和出口两端形成不同的油水界面(图 3 中 I 圈闭)。③受浮力作用的影响,

被垂直落水洞或者其他垂直缝洞体系(图 3 中 G)切割的部分水平溶洞(图 3 中的圈闭 H)可能永远不会有油气成藏过程。即垂直缝洞体系会导致油气运移通道在垂向上的跃迁。④受毛细管作用力的影响,孤立的缝洞体系(图 3 中 B 圈闭)由于缺少通道沟通油源,不会发生油气成藏过程。

4 讨论

4.1 油水关系预测

通过上述分析可以发现碳酸盐岩复杂缝洞体系油气成藏在不同的局部圈闭中可能存在统一的油水界面,但是缝洞体系复杂组合决定了油水关系的复杂性。因此,碳酸盐岩复杂缝洞体系中油气差异运



聚原理首先是可以指导对复杂油气水关系的认识。

上述 3 个模式均用虚拟井的方式反映了钻井中可能揭示到的复杂的油水关系。早期油充注晚期气侵所产生的油气成藏效应在 3 口虚拟井中所见的效果明显不同。最左边的 W1 井在圈闭 F 中见到油层,而在圈闭 H 中出水;最右边的 W3 井在上下 2 个孤立圈闭中出水,而在中间的圈闭 C 中见到油气藏;中间的 W2 井钻遇的 2 个圈闭均为底水油气藏。

上述岩溶缝洞体系基本模型及其差异运聚作用过程提供了预测研究区油气水分布规律的钥匙。利用基本模型的排列组合可以推演出千差万别的模型,从而其主导的油气运聚过程亦不同。根据地震物理属性分析,特别是分频处理结果,可以对研究区的孔洞缝空间结构进行刻画。研究区储层孔洞缝非常复杂,表现出强烈的非均质性。受水平潜流带的控制,孔洞缝总体上表现出呈层状分布的特点(图 4)。

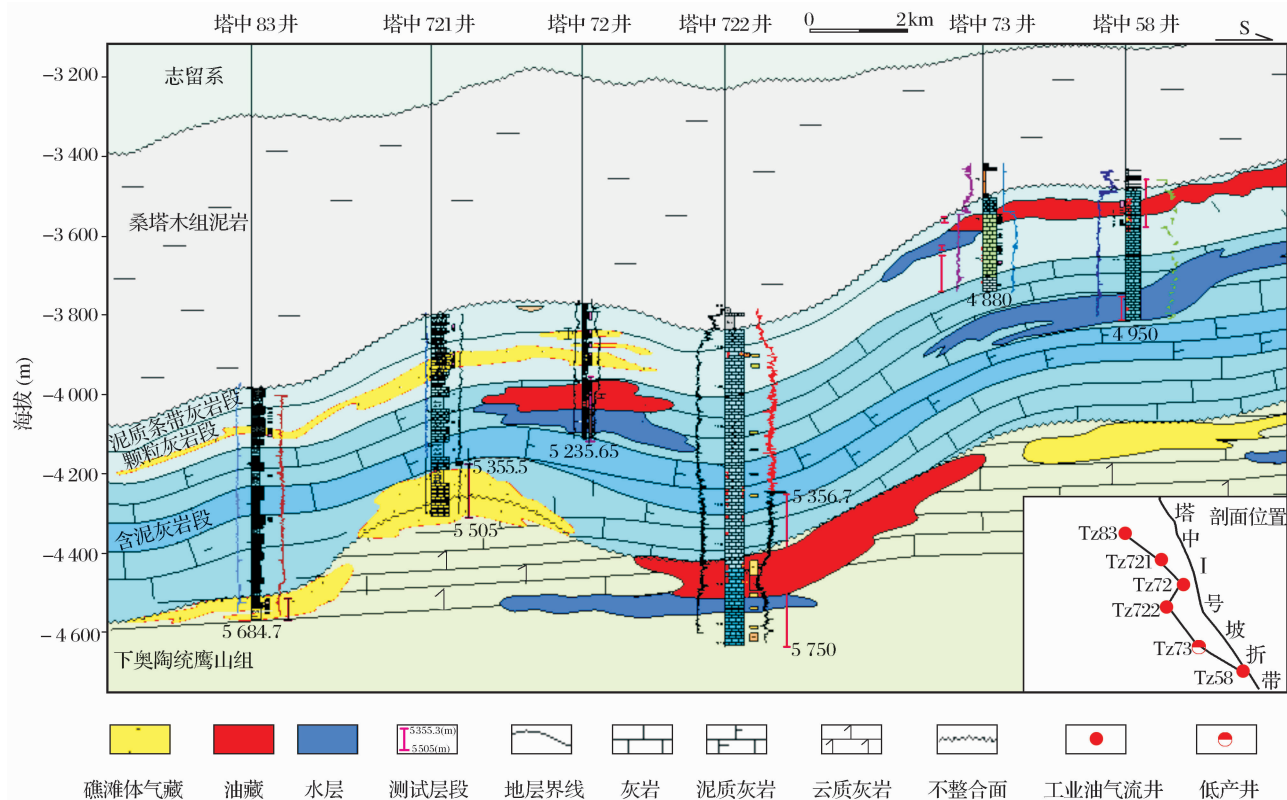


图 4 储层差异运聚作用形成的油气藏剖面

根据油气钻探成果解释,在差异运聚模式指导下做出的油气成藏剖面显示在临近油气注入断层部位的塔中 83 井—塔中 721 井总体富集天然气,而远离油气注入断层的塔中 722 井—塔中 724 井—塔中 69 井富集原油。虽然在后者的局部圈闭中存在一定量的天然气,但是该天然气属于原油溶解气,与前者高成熟的原油裂解气在性质上存在明显差异,表现在天然气干燥系数低、 $H_2S$  含量低、气侵程度小(图 3)。横向上的油气空间分布格局总体表现了在孔洞缝差异运聚原理的作用下,油气的波及范围由注入断层逐渐向远离断层的塔中 16 井区逐渐扩展的格局。

油气水的关系非常复杂,总体来说,每个局部圈闭可能具有独立的油气水界面。总体上受水平岩溶

带的控制(图 1)

断层对油气的分布具有重要的控制作用,总体会导致油气沿断层向浅部缝洞体系的运聚,如塔中 721 井断层的活动,造成了该井上下奥陶统均含油气藏的格局,相反,如果断层晚期持续活动,可能会导致缝洞体系中油气的破坏。如塔中 825 井,由于受走滑断层的直接控制,可能导致了所钻遇缝洞体系油气藏的破坏。

#### 4.2 油气注入点及其运移方向

油气运移存在主导通道,该通道一般受输导层顶面构造形态控制<sup>[25]</sup>,特别是多种类型的构造脊,如鼻状构造<sup>[14,26-27]</sup>。晚期生成的油气更易于沿早期烃类运移过的路径进行运移<sup>[28]</sup>,油气二次运移也不是利用所有的输导层,而是利用物性相对良好

的通过输导层进行运移。以砂岩输导层为例,其厚度一般不超过 6 m<sup>[29]</sup>。受此影响,油气进入圈闭的路径更倾向于点状注入,而不是线带状或者面状。塔中地区远离其主要的生烃拗陷——满加尔凹陷,油气在从满加尔凹陷向塔中地区运移时,无疑首先向盆地中的构造脊部位汇聚,并沿构造脊向塔中地区汇聚,形成点状注入。这种运移方式与传统的认识——油气沿 I 号坡折带普遍注入相比,无疑效率更高,运移损失量更小。塔中地区所有的地球化学指标均指示在 NE 向断层与 NW 向断层的交会部位是油气的主要注入点,而沿 I 号坡折带并无普遍的注入,表现在所有的地球化学指标并没有典型的向 I 号坡折带富集的特点,这与传统的地质认识差异明显。

油气在缝洞体系中的运聚同样要受到构造脊的影响,以塔中 83 井区为例,主要表现在以下 3 个方面:其一,油气沿缝洞体系的复杂路径运移时,受浮力作用的影响,总是要不断地向输导脊的核部聚集,这可能是导致塔中 84 井区钻井落空的主要原因。从图 1 可以看出,塔中 84 井区在构造位置上相对靠近洼陷部位,即使在西北部走滑断层有油气注入,但是在油气运聚的过程中,将不断地向塔中 10 号构造带的核部运聚,不会造成塔中 84 井区的油气成藏;其二,构造的圈闭幅度控制了岩溶缝洞体系的总体溢出点,这可能是导致塔中 83 井—塔中 721 井油气富集和塔中 62-27c 井钻探失败的主要原因。每一个岩溶缝洞圈闭有其独立的圈闭溢出点,当岩溶缝洞体系位于同一个构造圈闭(如塔中 83 井区的鼻状构造)中时,构造圈闭的溢出点成为岩溶缝洞体系的溢出点。该溢出点提高了构造圈闭中岩溶缝洞体系含油气柱的高度并决定了油气运移路径上缝洞体系成藏的可能性。塔中 83 井区构造圈闭的溢出点位于-4 240 m 左右,而塔中 62-27c 井钻遇的下奥陶统顶面位于-4 400 m 以下。这一点决定了塔中 62-27c 井钻探目标层不能成藏,同时也间接论证了油气注入不是沿 I 号坡折带的带状注入,而是沿断层交会部位的点状注入,即如果油气是沿 I 号坡折带的带状注入,油气只有将其通过的所有的孔洞缝充满之后才能达到塔中 83 井鼻状构造的核部。其三,构造脊展布的方向就是油气运移的主输导通道,这一点可以完美解释塔中地区油气性质平面分布规律的第 3 个特点即在塔中 83 井鼻状构造和塔中 16 井之间的鞍状构造中,只有位于鞍状构造核部才是油气的主输导通道,偏离该主输导通道都会导致油气性质的

变化,如气油比、干燥系数及 H<sub>2</sub>S 含量的大幅度降低(塔中 721 井),甚至是不成藏(塔中 62-27c 井)。

### 4.3 对油气勘探的启发

不同勘探区带油气的孔洞缝结构可能千差万别,因此如果能识别复杂岩溶体系的基本缝洞单元,则可以通过不同缝洞单元在勘探区的可能组合形式预测油气的差异运聚过程,从而有效的指导生产。

前文分析包括 2 方面的研究工作:其一是对能导致油气侧向运移的缝洞通道的刻画。前文分析显示不同的圈闭与该水平缝洞体系的空间关系决定了其成藏的可能性及其油气充满度。图 3 初步展示了水平通道和垂直通道及其组合的“U”型(图 3 中圈闭 I 与圈闭 F 的通道)、“T”型(图 3 中圈闭 I 和圈闭 H 的通道)等复杂通道。受浮力的影响,在充满地层水的情况下,每一层孔洞缝体系中最上部的侧向连通通道对油气运聚效果最明显。如果圈闭 E—G—F 直接相连,在储层充满地层水的情况下会屏蔽下部圈闭 I 的成藏。其二是对圈闭基本构成单元的分析。表生岩溶模式中复杂的缝洞体系大致可以分为孤立缝洞、水平缝洞、垂直缝洞等几种基本缝洞体系,根据其是否与水平连通通道的关系,可以分为上部、下部和侧向上的圈闭,不同圈闭的油气成藏效应差异迥然。

通过地球物理方法详细刻画基本圈闭单元与通道的复杂组合样式,从而可以在成藏过程分析的基础上指导油气勘探与开发。从油气勘探的角度来说,一个圈闭落空并不意味着探井的失败。以表生岩溶中的 W3 井来说(图 3),无论其成藏过程如何,钻井均将在上部圈闭 B 中落空,如果此时判断整个钻井失败就会丢失下部圈闭 C—圈闭 E 中的油气资源。因此,对任何一个具体区带的油气勘探来说,我们不仅要通过地球物理的方法确认优质储层发育的部位,还应该尽量描述优质储层的孔洞缝结构,结合油气输导的方向和通道具体分析该区带油气差异聚集的过程,进而指导油气勘探。不同勘探区带的缝洞组合形式差别巨大,但是可以肯定,每一个缝洞体系中都存在油气的差异运聚过程。

## 5 结论

(1)塔中 83 井区 NE 向断层与 NW 向断层的交会部位是油气主要注入点,原油和天然气性质随着远离油气注入点系统降低,油气的主输导通道沿研究区的鼻状构造展布。

(2)塔中 83 井区碳酸盐岩复杂表生岩溶缝洞体系中存在独特的油气差异运聚作用,导致油气分布

规律受油气来源及其充足程度,圈闭位置及其与横向连通缝洞体系的控制。

(3)系统研究碳酸盐岩复杂岩溶缝洞体系的差异运聚模型,有利于指导叠合盆地地下构造层复杂油水关系的分析及油气勘探实践。

#### 参考文献:

- [1] Jin Zhijun, Wang Qingchen. The application of the characteristics and hydrocarbon reservoirs of representative superimposed basins in China[J]. Science in China: Ser. D, 2004, 34 (supplement 1): 1-12. [金之钧,王清晨. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例[J]. 中国科学: D辑, 2004, 34(Supplement 1): 1-12.]
- [2] He Dengfa, Jia Chengzao, Tong Xiaoguang, *et al.* Discussion and analysis of superimposed sedimentary basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 1-7. [何登发,贾承造,童晓光,等. 叠合盆地概念辨析[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 1-7.]
- [3] Pang Xiongqi, Luo Xiaorong, Jiang Zhenxue, *et al.* Advances and problems on hydrocarbon accumulation research of complicated superimposed basins in western China[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(9): 879-887. [庞雄奇,罗晓容,姜振学,等. 中国西部复杂叠合盆地油气成藏研究进展与问题[J]. 地球科学进展, 2007, 22(9): 879-887.]
- [4] Jia Chengzao. Formation and evolution of the superimposed basins in China and potential of hydrocarbon exploration of theirs middle-lower complex[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 1: 1-4. [贾承造. 中国叠合盆地形成演化与中下组合油气勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2006, 1: 1-4.]
- [5] Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, *et al.* Petroleum geological conditions and exploration potential in middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 120-126. [张光亚,赵文智,邹才能,等. 中国陆上叠合盆地中下组合油气成藏条件及勘探潜力[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 120-126.]
- [6] Law B E. Basin-centered gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002b, 86(11): 1891-1915.
- [7] Law B E, Curtis J B. Introduction to unconventional petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1851-1852.
- [8] Wu Heyong, Liang Xiaodong, Xiang Caifu, *et al.* The characteristics of downfold reservoir and investigation of hydrocarbon accumulation in Songliao basin[J]. Science in China: Ser. D, 2007, 37(2): 185-191. [吴河勇,梁晓东,向才富,等. 松辽盆地斜向油藏特征及成藏机理探讨[J]. 中国科学: D辑, 地球科学, 2007, 37(2): 185-191.]
- [9] Wei Liling, Kang Zhihong. An approach on flow units in fracture-and-cavernous carbonate reservoirs[J]. Xinjiang Geology, 2005, 23(2): 169-172. [魏历灵,康志宏. 碳酸盐岩油藏流动单元研究方法探讨[J]. 新疆地质, 2005, 23(2): 169-172.]
- [10] Guo Chunhua, Yang Yu, Mo Zhenmin, *et al.* Study and discussion on flow units of fractured carbonate reservoir[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2006, 20(6): 34-37. [郭春华,杨宇,莫振敏,等. 缝洞型碳酸盐岩油藏流动单元概念和研究方法探讨[J]. 石油地质与工程, 2006, 20(6): 34-37.]
- [11] Bradley J S, Powley D E. Pressure compartments in sedimentary basin: A review on basin compartment and seal[J]. AAPG Memoir, 1994, 61: 3-26.
- [12] Zhu Zongqi, Miao Jianyu, Liu Wenrong, *et al.* The pressured fluid compartment and its preserving to secondary pores[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 1997, 27(1): 73-78. [祝总祺,苗建宇,刘文荣,等. 论压力封存箱及其对次生孔隙的保护作用[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 1997, 27(1): 73-78.]
- [13] Jin Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 15-22. [金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15-22.]
- [14] Xiang Caifu, Xia Bin, Xie Xinong, *et al.* Tracing hydrocarbon migration by integrated analysis of different kinds of tracers in western slope zone of Songliao basin, northeast China [J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(4): 64-70. [向才富,夏斌,解习农,等. 松辽盆地西部斜坡带流体运移示踪分析[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4): 64-70.]
- [15] Vincelette R R, Chittum W E. Exploration for oil accumulations in Entrada sandstone, San Juan basin, New Mexico[J]. AAPG Bulletin, 1981, 65: 2546-2570.
- [16] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(7): 803-811.
- [17] Esteban M, Klappa C F. Subaerial exposure surfaces, in P. A. Scholle, *et al.* (eds.), Carbonate depositional environments[J]. AAPG Memoir, 1983, 33: 1-54.
- [18] Kerans C. Karst-controlled reservoir heterogeneity in Ellenburger group, carbonates of west Texas[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1160-1183.
- [19] Zhu Qihuang. Development pattern, evolution characteristic and reservoir types of carbonate paleokarst[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1993, 14(2): 188-196. [朱起煌. 碳酸盐岩古岩溶相的发育模式、演化特点及储层类型[J]. 新疆石油地质, 1993, 14(2): 188-196.]
- [20] Budd D A, Saller A H, Harris P M. Unconformities and porosity in carbonate strata[J]. AAPG Memoir, 1995, 63: 55-76.
- [21] Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Zou Shengzhang, *et al.* Palaeokarst research of the carbonate oil-gas field and its application to oil-gas exploration and development[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(5): 503-509. [夏日元,唐建生,邹胜章,等. 碳酸盐岩油气田古岩溶研究及其在油气勘探开发中的应用[J]. 地球学报, 2006, 27(5): 503-509.]
- [22] Gu Jiayu. Characterstics and evolutionary model of karst reservoir of Lower Ordovician carbonate rocks in Lunnan area of Tarim basin[J]. Journal of Palaeogeography, 1999, 1(1): 54-60. [顾家裕. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩岩溶储



- 层特征及形成模式[J]. 古地理学报, 1999, 1(1): 54-60.]
- [23] Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan, *et al.* Sequence development controls on iynogenesis karst of the middle-upper ordovician carbonate in Tazhong Area, Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 103-109. [刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 103-109.]
- [24] He Faqi. Karst Weathering crust oil-gas field on carbonate unconformity: an example from the Tahe oilfield in the ordovician reservoir in the Tarim basin[J]. Geological Review, 2002, 48(4): 391-397. [何发崎. 碳酸盐岩地层中不整合岩溶风化壳油气田——以塔里木盆地塔河油田为例[J]. 地质论评, 2002, 48(4): 391-397.]
- [25] Hunt J M. Petroleum Geochemistry and Geology(2nd ed.) [M]. New York: W. H. Freeman and Company, 1994: 1-627.
- [26] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, *et al.* The movement of entrapment of petroleum in the Subsurface[J]. Journal of the Geological Society, 1987, 144: 327-347.
- [27] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charges in concentration: A three-dimensional model[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1451-1481.
- [28] Thompson K F M. Contrasting Characteristics Attributed to Migration Observed in Petroleums Reservoired in Clastic and Carbonate Sequences in the Gulf of Mexico Region[C]//England W A, Fleet A J. Petroleum migration. Geological Society, Special Publication, 1991, 59: 191-205.
- [29] Miles J A. Secondary migration routes in the Brent sandstones of the Viking Graben and east Shetland basin: Evidence from oil residues and subsurface pressure data[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(11): 1718-1735.

## Differential Hydrocarbon Migration and Accumulation in Complex Fissure and Pore Carbonate Reservoir of Superposition Basin: An Example of Pore-Fissure-Fracture Reservoir Formed by Supergene Karstification in Tz83 Well Area

WANG Fu-huan<sup>1,2</sup>, HAN Jian-fa<sup>2</sup>, XIANG Cai-fu<sup>3</sup>, YU Hong-feng<sup>2</sup>, ZHANG Yun-feng<sup>2</sup>, WANG -Xia<sup>2</sup>

(1. Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China; 3. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** Mechanism of hydrocarbon migration and accumulation in complicated carbonate pore-fissure-fracture reservoir of the superposition basin is a key scientific problem to be solved. The production of crude oil and natural gas in the Tz83 well area is much high at the intersection point between NE and NW trending faults, gradually decreases away the intersection point and distributes along the structural ridge. This phenomenon is contradiction with the traditional distribution model of gas accumulated in the core while oil accumulated in the limb of an anticline. A conceptual model of the pore-fissure-fractures reservoir formed by supergene karstification was built according to the related carbonate karstification research results. The differential hydrocarbon migration and accumulation in the complex fissure-pore carbonate reservoir is the fate factor causing the abnormal distribution of oil and gas. Hydrocarbon was firstly charged into the nearest hole, pore and fissure; then migrated and charged into the other compartment alone migration pathway after the first compartment filling. Thus hydrocarbon was charged into the compartment in order, with two patterns as follows: ① Preferential accumulation of gas at the hydrocarbon-filling point, while oil accumulation far away the filling point; ② Complex gas-oil-water correlation controlled by the lateral connected networks. The latter pattern of hydrocarbon migration and filling is in coincidence with the oil and gas distribution in Tazhong area. Therefore, the intersection position of the faults is a place of oil and gas filling, and the main pathway of oil and gas migration is along structural ridge. The differential hydrocarbon migration and accumulation in the complex fissure-pore carbonate reservoir give us the following indications: ① Hydrocarbon exploration of fissure and pore reservoir should firstly describe the structure of the fissure-fracture reservoir, and the special distribution of gas-oil-water correlation can be predicted according to main charging point and migration pathway; ② Hydrocarbon exploration should be confined to hydrocarbon charging point and main migration pathway. The exploration aim should not be given up due to some failed wells.

**Key words:** Different hydrocarbon migration and accumulation; Supergene karstification; Pore-fissure-fracture reservoir; Tazhong area; Superposition basin.