

文章编号: 1000-0550(2006) 03-0399-08

准噶尔盆地油气沿不整合运移的主控因素分析

曹 剑¹ 胡文¹ 张义杰² 姚素平¹
王绪龙² 张越迁² 唐 勇²

(1. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 南京大学地球科学系 南京 210093;

2. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院 新疆克拉玛依 834000)

摘 要 准噶尔盆地不整合上下发现了众多油气藏,表明不整合是油气运聚的有利通道。通过对不整合上下地层中含油气流体活动特点的分析,提出了不整合的垂向结构是控制油气沿不整合运移的主导要素。不整合从垂向上可划分为上(底砾岩)下(风化壳)两层结构,有时下层风化壳顶部也会发育一层厚度不均的粘土层,使得不整合表现为三层结构。其中,风化壳又包括风化破碎型(火山岩)和风化淋滤型(碎屑岩)两类。基于底砾岩的沉积特征和风化壳的类型,从垂向结构入手,进一步将不整合划分为基岩披覆、砂砾岩和砂泥岩对接等三大类型:基岩披覆型不整合在本区对油气运移最为有利,砂砾岩型不整合次之,而砂泥岩对接型不整合一般不能成为油气运移通道。

关键词 不整合 垂向结构 油气运移 准噶尔盆地

第一作者简介 曹剑 男 1978 年出生 博士 石油地质学与有机地球化学

中图分类号 TE121.1 **文献标识码** A

不整合是指因地壳运动影响,在同一地区的上下岩层间出现明显的沉积间断^[1]。早在 20 世纪 50 年代, Levorsen^[2]就指出,不整合上下发现众多油气藏的实例表明其与油气运移有着密切的关系:(1)不整合下面的岩石因长期受到风化侵蚀,孔隙度和渗透率都会增高,成为油气运移通道;(2)不整合之上沉积的水进砂岩或砂砾岩孔渗性能较好,也可以成为油气运移路径。潘钟祥^[3]以我国在不整合附近发现的油藏为主,并引用国外的著名油藏实例,对不整合与油气运移(通道)和聚集(圈闭)之间的关系进行了总结,进一步阐述了 Levorsen 的观点。近年来,国内众多学者以典型油气聚集区,如塔里木盆地和准噶尔盆地等,为研究对象,进一步就此展开了分析^[4-9],研究结论与前人^[2-3]的认识大同小异。但是,纵观迄今有关不整合与油气运移的工作,大多是与油气聚集一起置于成藏(运聚)的范畴下开展研究,仅仅笼统的说不整合是油气运移的良好通道^[10-11],并未真正完全解决不整合对油气运移的控制机理。

准噶尔盆地是新疆北部石炭纪以来形成的大型叠合油气盆地,海西、印支、燕山和喜马拉雅运动在本区造成了多次沉积间断,形成了多个不整合面^[12],它们在地震、钻井剖面,以及野外露头上都有反映,为含

油气流体沿不整合运移提供了重要的前提条件和潜在通道。近些年来,在盆地当前的两大重点勘探区,即西北缘和腹部地区先后发现了众多不整合油气藏,如西北缘斜坡区的玛北、五区南和小拐等二叠系地层不整合油气藏,腹部陆梁隆起高部位陆梁、玛东和石东地区的侏罗系与白垩系地层不整合油气藏,2004 年,腹部三南凹陷西斜坡又在白垩系底发现了千万吨级的石南 31 井区不整合岩性油气藏。本文试以这两个重点勘探区发育的不整合为主要研究对象,力图分析油气沿不整合运移的主控因素,探讨油气沿不整合运移的机理。

1 研究区不整合的发育状况与油气藏的分布

为深入分析油气沿不整合运移的主控因素,必须首先对不整合进行解剖,即明晰不整合面的类型、发育特点,及其与油气藏的分布关系。

1.1 不整合面的类型与特点

从传统的不整合成因角度出发,如表 1 所示,可将准噶尔盆地的不整合划分为平行、削截和超覆等类型。此外,通过对不同类型不整合的地震识别追踪,结合盆地构造和沉积演化背景,笔者还分析了研究区

“973”项目(G1999043309 2003CB214608)和“十五”国家科技攻关项目(2003BA613A-03)资助。
收稿日期:2005-08-23 收修改稿日期:2005-11-12

不同时代不整合的平面分布特征, 结果表明, 同一时代界面上的不整合在横向上也有明显变化。以西北缘地区为代表(图 1), 自凹陷区—斜坡区—山前断阶带, 不整合类型依次为整合—平行不整合—削截不整合—超覆不整合, 这种平面变化趋势很好地反映了地层沉积的状况。从垂向分布来看, 无论是在西北缘还

是在腹部地区, 中生界地层都可以直接超覆在古生界石炭系地层上形成超覆不整合, 如在西北缘山前的油砂沟和腹部的石西井区; 而二叠系地层在从凹陷区往隆起区延伸时多形成削截不整合; 侏罗系内部的不整合多表现为平行不整合, 只是在遇到断裂时地层会产生挠曲, 从而形成断褶不整合。

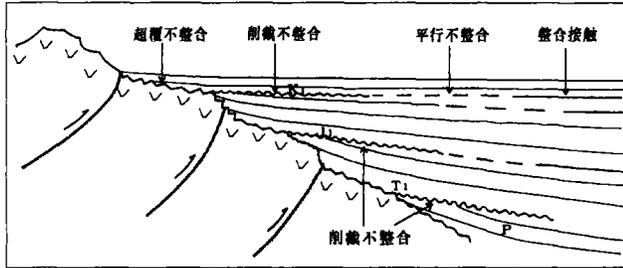


图 1 准噶尔盆地西北缘不整合平面展布示意图

Fig 1 Distribution of unconformity in the northwestern Junggar Basin

表 1 准噶尔盆地不整合成因类型分类表

Table 1 Classification of unconformity based on its formation mechanism in the Junggar Basin

成因机制	基本类型	剖面样式	西北缘		腹部	
			主要分布区域	主要交切关系	主要分布区域	主要交切关系
构造不整合	削截不整合		斜坡区	T底	隆起区	K底
	断褶不整合		斜坡区	T底	斜坡区、隆起区	T底、J底、J2i底
	褶皱不整合		山前断阶带	P3w底	隆起区	C顶
沉积不整合	超覆不整合		山前断阶带	C顶、T底	斜坡区、隆起区	P内部、T底、K底
	平行不整合		凹陷内部	P3w底、P2x底	斜坡区、凹陷区	J内部、K底

总体来看, 上述工作着重揭示的是不整合上下地层的接触关系和对接样式, 尚缺乏与油气运聚评价之间的有机联系, 很难反映不整合对油气运聚的控制强度和能力。因此, 我们认为, 必须从岩石组构入手, 解剖不整合的结构特点, 才能为准确描述不整合的输导性能提供依据。最近, 也有人从垂向结构考虑, 认为不整合面之上的底砾岩, 不整合面上的粘土层, 以及不整合面之下的风化带同属不整合研究的范畴, 并据此将不整合划分为砂—泥—砂, 砂—泥—泥等类型^[13-14]。但是, 从与油气运移关系这个角度来看, 仍需要在这些工作的基础上, 进一步深入细化研究。

基于对区内五十余口基干探井的单井岩石学、测井曲线及物性特征的详细分析, 结合对野外剖面露头(如西北缘克拉玛依不整合沟和乌尔禾新油砂沟)的观测结果, 将不整合分为上下两层结构来研究, 不整

合面之上为上部沉积层, 通常表现为底砾岩, 其下为风化壳(图 2a); 有时风化壳顶部也会形成一层厚薄不均的风化粘土层, 使不整合表现为三层结构(图 2b)。

底砾岩通常是风化壳粗碎屑残积物在发生水进时接近原地沉积的产物^[15], 颗粒较粗, 分选磨圆较差, 厚度在数米至数十米之间, 是油气运移的良好通道(图 2 3a, 3b)。岩心观测发现, 西北缘乌 29 井侏罗系上统齐古组(J_{3q})与中统西山窑组(L_{2x})之间不整合的底砾岩, 玛 6 井、古 79 井和玛 006 井的三叠系和二叠系间(T/P)不整合的底砾岩中, 都有丰富的含油气流体活动痕迹, 但油气分布很不均匀, 特别是在富含泥质填隙物, 以及钙质胶结的砂砾岩中, 含油性很差, 甚至不含油。因此, 砂砾岩的岩性特征可能是评价油气输导性能的关键。

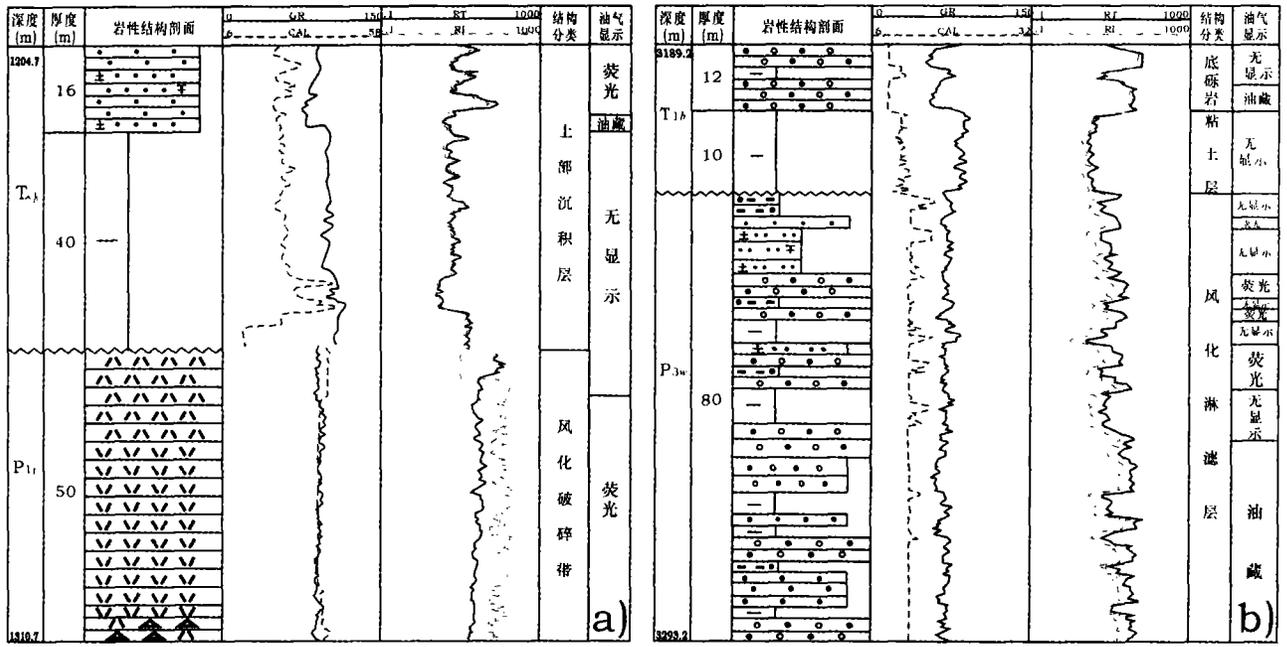


图 2 准噶尔盆地不整合垂向结构示意图, (a) 583 井, (b) 玛 001 井

Fig 2 Vertical structure of unconformity in the Junggar Basin (a) Well 583 (b) Well M001

粘土沉积层位于风化壳顶部, 可视为盖层, 会为油气在下伏风化带中可能的运聚提供强有力的保障。

风化壳是曾一度遭受风化作用改造的沉积岩层, 因此其物性特点不仅受原岩性质的控制, 还受风化作用类型和强度的影响。通过对本区地表剖面考察、钻孔岩心观测和测井曲线的解释分析, 笔者认为, 本区风化壳又可分为两种类型: 风化破碎型和风化淋滤型(图 2)。

风化破碎型风化壳是在石炭系变质岩和二叠系火山岩等原岩基础上形成的。此类岩石不易溶蚀, 难以形成次生孔隙。但它们往往坚硬易碎, 在准噶尔盆地构造活动强烈且频繁的背景下^[12], 随着物理风化等作用的改造, 会形成纵横交错的裂缝和节理, 从而成为油气运移的潜在通道。如西北缘 583 井 1260.7 ~ 1310.7 m (图 2a), 该段岩层以凝灰岩为主, 厚达 100 m, 构造作用致使岩石破碎, 形成张性裂缝, 使得储集层孔隙度增高(平均 11.51%), 测井曲线特征与上部碎屑沉积段有明显不同, 表明孔渗性能有大大变化(提高), 全段均可见荧光显示, 含油气性能良好。腹部地区也表现出类似情形, 如石西 1 井石炭系 4 262 ~ 4 600 m 井段, 火山岩因构造碎裂作用而形成了纵横交错的裂隙裂缝系统, 其中充填了大量的方解石脉。该段风化壳中已发现工业性油气流的事实表明, 构造破碎型的风化壳可以是良好的油气储集空

间。此外, 在地表山前超覆带, 多处侏罗系和白垩系地层直接覆盖在古生界石炭系火山岩和 咸变质岩上, 构造破碎和地表风化作用使得基岩中发育了大量裂缝(图 3c), 成为侏罗系和白垩系油气充注的重要通道, 其中可见黑色沥青残余(图 3d)。

风化淋滤型古风化壳主要是在正常沉积岩(碎屑岩、火山碎屑岩和碳酸盐岩)基础上发展而来的。流体作用使得碳酸盐等易溶胶结物(方解石)溶解流失, 使得长石碎屑等易风化颗粒发生表生变化(粘土化后流失)。因此, 原先坚硬、致密的岩石可以被风化、溶蚀得松散, 使其孔渗性都大大增加, 成为油气运聚的良好潜在通道。如西北缘玛 001 井 3211.2 ~ 3293.2 m(图 2b), 风化壳厚达 80 m, 由于受到大气淡水的淋滤作用, 形成了大量溶洞、溶缝及溶孔(图 3e)。从西北缘风南 1 井、风南 2 井和风 9 井等的岩心上进一步观察发现, 这种风化淋滤型的溶洞大小不一, 大者 2~3 cm, 小者 0.1 cm, 形态并不规则, 有圆形、三角形、花瓣形和其他各种不规则形状, 它们显然为后期含油气流体的进入和运输提供了条件。当然, 这些溶洞也经常被深层油气流体进入后沉淀形成的方解石、铁方解石和硬石膏等矿物充填, 有些洞穴中还被沥青充填。此外, 这些溶洞孔隙往往不是孤立的, 常被大小不一的淋滤缝或微裂缝所沟通, 使得岩石物性得到提高。如图 2b 上乌尔禾组(P_{3w})砂砾



图 3 准噶尔盆地油气沿不整合运移的典型矿物岩石学记录。(a) 西北缘克拉玛依不整合沟, J_1b 底砾岩沉积于 T_3b 泥岩之上; (b) BZH-16 样品, 采自图 a 中圆点处, 荧光; (c) 西北缘乌尔禾新油砂沟, 白垩系砂岩超覆沉积于石炭系基岩之上 (K/C), 石炭系变质岩出现因多次构造破碎和地表风化作用而形成的纵横交错的裂缝, 其中发现油迹; (d) YSG-5 样品, 采自图 c 中圆点处, 荧光; (e) 不整合之下砂砾岩风化淋滤带中含油, 玛 001 井, 3290 m, 3211.2 m 为不整合 (T_1b/P_{3w}); (f) 黑油山三叠系白碱滩组 (T_3b) 风化面底部的胶结物大多溶失殆尽, 油气流体沿其间的层理面运移, 形成自生石膏, 石膏中可见黑色沥青残余; (g) 西北缘地区样品 W 1-11-1, 574 井, 1999 m, P_{1j} 砂砾岩, 1991 m 为 T/P 不整合面, 电子探针背散射电子成像照片; (h) 腹部地区样品 F 1-11-6 陆 9 井, 2188 m, J_2x 砂砾岩, 2132 m 为 K_1tg/J_2x 不整合面, 电子探针背散射电子成像照片。

Fig 3 Photographs showing typical petroleum-fluid migration along unconformity in the Junggar Basin (a) field photo from Unconformity Trench, Karamay (b) fluorescent microphotograph sample BZH-16 from the spot in Fig a (c) unconformity between Cretaceous and Carboniferous strata New Oil Trench Wuerhe (d) fluorescent microphotograph sample YSG-5 from the spot in Fig c (e) oil in weathered crust below the unconformity surface, Well M 001, 3290 m, 3211.5 m is the unconformity between T_1b and P_{3w} ; (f) bitumen residues in the bedding plane, T_3b , Black Oil Hill (g) sample W 1-11-1 from northwest Junggar Basin, Well 574, 1999 m, P_{1j} conglomerate, 1991 m is the unconformity between Triassic and Permian strata EPM A BSE image; (h) sample F 1-11-6 from central Junggar Basin, Well Lu 9, 2188 m, J_2x conglomerate, 2132 m is the unconformity between K_1tg and J_2x , EPM A BSE image

岩表现为高孔 (平均 6.37%) 高渗 ($42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$), 在测井曲线上总体表现为井径 (CAL) 放大, 自然伽马 (GR) 偏低, 深浅电阻率 (RT、RI) 曲线也相隔较开, 表明孔隙度增高, 全段含油气良好, 均可见荧光显示, 并在局部层段出油。在腹部地区, 侏罗系顶、底的不整合大都是这种情形。

综合考虑不整合面下部风化壳的类型和上部沉积层的岩性特点, 并结合野外观测 (如图 3a、3c), 以及室内岩心和镜下观测结果 (如图 3b、3d、3e), 从垂向结构特点出发, 可将不整合进一步划分为 3 大类型 (基岩超覆型、砂砾岩性、砂泥岩对接型) 和 6 种亚类型 (表 2)。

表 2 准噶尔盆地不整合垂向结构分类与油气输导性能评价表

Table 2 Classification of unconformity based on its vertical structures and their migration features in Junggar Basin

主要结构类型	亚类	发育层位		性质特点	
		西北缘	腹部		
型 (基岩披覆型)	上部沉积层: 正常沉积岩	砂砾岩 - 基岩风化壳 (1)	J/C、K/C	T/C	基岩风化壳可以作为油气运移的良好输导通道, 上覆砂砾岩也可起通道和储集层作用, 因而是相对最为良好的油气运移通道。
	下部风化壳: 风化破碎型		泥岩 - 基岩风化壳 (2)	T/C、J/C	
型 (砂砾岩型)	上部沉积层: 底砾岩与砂岩	砾岩 - 砂岩风化壳 (1)	K、J、T 底	K 底	主要是底砾岩作为油气运移通道, 也是主要运聚通道之一, 但依距离油源的远近程度而有差别, 从深部至浅层, 此类通道所起作用越来越弱。
	下部风化壳: 风化淋滤型底		粘土层 - 砂岩风化壳 (2)	各层发育	
		砾岩 - 泥岩风化壳 (3)	T、P _{3w} 、P _{2x} 底	J 底	
型 (砂泥岩对接型)	上部沉积层: 砂泥岩		各层组 之间	J 内部	横向上联通性不好, 几乎不能成为油气运移的有效通道。
	下部风化壳: 砂泥岩风化壳				

1.2 不整合面与油气藏的分布关系

准噶尔盆地西北缘和腹部地区已在不整合面上下发现了多处油气藏。

在西北缘地区, 二叠系—侏罗系超覆及削截不整合发育 (图 2)。玛湖凹陷所生成的油气首先侧向沿二叠系烃源层上下的不整合运移, 在不整合上下或尖灭线附近圈闭中成藏。如克拉玛依大油气田的形成就与不整合面密切相关^[12], 而本区大量地层油气藏的形成更是直接受不整合面控制, 如玛北油田、五区南二叠系油气藏, 以及红山嘴油田石炭系各油藏等。

在腹部地区, 盆 1 井西生烃凹陷周缘二叠系烃源岩上下以超覆不整合最为发育, 油气首先沿不整合面形成汇聚或成藏, 再在断层调整下形成地层油藏, 如玛东 2 井区中二叠统下乌尔禾组油藏, 石西油田、夏盐 2 井区石炭系油藏, 石南油田中侏罗统头屯河组油藏, 以及莫索湾下侏罗统三工河组油藏等。

总的来看, 不整合面附近的油气藏既有分布在不

整合面之上的底砾岩中的, 也有分布在不整合面之下风化壳中的。如西北缘玛北油田在三叠系和二叠系不整合面上下皆发现了工业油气流, 五区南油气田在不整合面之下的风化淋滤型古风化壳中发现了二叠系油藏, 而腹部石西油田的石炭系油气是以不整合面之下的风化破碎型风化壳为聚油空间的。

以西北缘五区南二叠系油藏为例, 地层表现为东南倾的大单斜。海西期该区强烈隆升, 下二叠统佳木河组、风城组和中二叠统夏子街组地层遭受风化剥蚀, 在其上倾方向先后尖灭, 形成地层超覆和剥蚀尖灭带。中上二叠统乌尔禾组地层超覆不整合在佳木河组地层之上, 并与上覆三叠系呈平行不整合接触, 岩性主要为砂砾岩, 因受风化淋滤而使储集层物性增强, 有效孔隙度可达 8% ~ 12%, 油气性质主要表现为轻质原油。而在地层尖灭线附近, 油气性质转变为稠油, 密度可达 0.90 g/cm^3 , 这是因为, 沿不整合面运移的原油最初聚集在构造高部位, 后期由于地层抬升

遭受风化剥蚀,原油被细菌降解,从而使得油气性质转变为稠油。

还值得指出的是,与不整合有关的油气藏的形成对其上倾方向和上下地层的封闭性要求相当严格,否则只可能成为油气运移通道,而难以形成油气藏。

2 油气沿不整合面运移的证据

不整合上下地层内的矿物岩石学特征,以及含油气流体活动的地球化学特点为分析油气沿不整合的运移提供了最直观的证据。

不整合上下地层裂隙充填物和胶结物中常见自生高岭石、石英、(含铁)方解石等矿物组合,以及黄铁矿等硫化物。如图 3f 3g 3h 所示,不整合之下溶蚀现象非常发育,表明酸性的含油气流体作用强度较大^[16 17],自生矿物的出现通常伴随着长石和成岩方解石等矿物的溶解,各种矿物之间相互混杂交叉分布,呈港湾、锯齿状接触,没有清晰的边界,说明不整合面附近的溶解—沉淀作用很强烈,并且是多期性的,导致了储集层孔隙结构和组成面貌的复杂性。长石和成岩方解石被溶蚀后释放出的 SO_2 和 Al, K, Na, Ca, Mg 等组分加入孔隙水中, SO_2 形成自生石英, Al^{3+} 以高岭石、 Ca^{2+} 以方解石沉淀下来^[18]。以图 3g 中的裂隙充填物为代表,笔者对其进行了电子探针化学成分分析,结果表明,多期次流体作用形成了条带状分布的自生矿物组合,自脉体边缘向中心依次为绿泥石、低 Mn 方解石 (0.58% MnO) 和高 Mn 方解石 (1.36% MnO), 分别对应着深部热流体、成岩期地层流体和成藏期含油气流体的产物。又如图 3h 黄铁矿的形成也与含油气流体对储集层的充注有着密切的关系。不整合面在沉积间断期间,会有大量淡水的注入,使得烃类遭受生物降解(在原油气相色谱图上出现“UCM”,呈明显的“鼓包状”),提供给硫酸盐还原养分。后期埋藏过程中,在硫酸盐还原菌参与下,有机酸可与硫酸根发生完全反应,降低硫酸根离子浓度的同时产生 HS^- 。同时,乙酸也可还原高价铁化合物(赤铁矿),提供 Fe^{2+} ,二者相结合形成黄铁矿沉淀^[17]。

此外,显微镜观察发现,不整合上下地层裂隙充填物和胶结物中常见烃染,并有油、气、水包裹体共生,反映了不整合附近曾经是含油气流体活动的重要通道。烃类和胶结物有两种共生关系,其一是和胶结物同时形成的烃,造成胶结物的烃染,且胶结物中常含有有机包裹体;其二是沿穿过胶结物的裂缝和方解石矿物脉解理分布的烃类,要晚于胶结物和脉的形

成,表明烃类多次进入。

总之,从不整合上下地层中的矿物岩石学特征来看,不整合无疑可以有良好的油气运移通道。

3 不整合输导性能评价

如前所述,我们认为,不整合的垂向结构是控制油气沿不整合运聚的关键要素。实际上,即便是从成因类型角度来考虑不整合与油气输导性的关系,关键还是要认识到不同结构类型不整合,特别是不同垂向结构部分对油气运聚能否作贡献,有多大贡献?理由:从不整合的成因类型来看(图 1),本区的超覆不整合多表现为基岩超覆不整合,不整合之下的风化壳多为风化破碎带,而其他类型不整合之下的风化壳则多为砂泥岩。

统计分析表明(表 2),不同结构类型不整合的油气输导性能明显不同。其中以基岩披覆型不整合最为优良,不仅不整合面之上的砂砾岩可以运聚油气,而且不整合下面的基岩也可以输送油气,并能作为良好储油空间。西北缘地表超覆尖灭带和断阶带上盘侏罗系、白垩系油气藏的形成就多与基岩披覆型不整合有关,如克拉玛依和乌尔禾地区有的地方至今仍在向地表逸散油气,而且还发育了大量白垩系和侏罗系沥青砂岩,其中可见沥青脉等油气运移留下的痕迹。此外,三叠系底部和侏罗系底部也都可以超覆在二叠系或石炭系基岩风化壳上(图 1),这种不整合附近都有油气藏形成,或良好油气显示。

对于砂砾岩型不整合,其输导性能一方面看不整合之上砂砾岩的发育情况和岩性特征,另一方面则需视具体情形分析风化壳的油气输导性能。在西北缘地区,各主要层系之间,如 K/J, J/T, T/P 等界线上多为砂砾岩型不整合。从地表考察和钻孔岩心观测情况来看,绝大部分这种类型的不整合界面上下,特别是底砾岩中有含油气流体活动痕迹,表明是比较优良的油气输导层,砂砾岩的性质是评价此类不整合输导性能的主要因素。此外,不整合面之下的砂泥岩风化壳有时也能成为油气运移通道,但深入细致观察发现,油气是沿砂泥岩的层理面运移的:(1)如果这种层理面富含泥质和/或被钙质胶结,油气则不能够运移;(2)如果风化作用溶解淋滤了层间界面上的胶结物,则为油气运移提供了条件。如在克拉玛依黑油山地区,三叠系白碱滩组 (T_3b) 风化面底部胶结物大多溶蚀殆尽,因此油气流体沿其间的层理面运移,并由于 $CaCl_2$ 型油田水与地表大气降水的混合作用,从而

形成了沿层理面分布的次生石膏, 有些石膏中还含有黑色沥青(图 3f)。

对于砂泥岩对接型不整合, 由于不整合面上下都是砂(砾)泥岩地层, 因此即使下部风化壳具有一定的渗透性, 也可能仅在早期对油气输导有利, 后期由于会受到沉积压实作用, 岩层渗透性将大大降低。加之准噶尔盆地作为叠合盆地的构造背景决定了砂层分布之间的各向异性相当显著(受沉积环境和成岩作用的影响), 因此同一个不整合风化壳的油气输导性能在相隔数十千米的两处就有可能存在相当大的差异。所以, 从更广的横向范围来看, 这种类型不整合的输导性往往是不均匀的, 变化很大, 迄今还没有在这种不整合附近发现较好的油藏。如西北缘地区 473 井侏罗系与三叠系(J/T)之间不整合之下的泥质砂岩, 乌 10 井侏罗系与三叠系(J/T)不整合之下的泥岩等均无油气显示, 且裂隙不发育, 仅有少量的微细方解石脉, 表明含油气流体—岩石反应并不强烈。

最后还必须指出的是, 应辩证看待不整合的输导性能。在油气盆地中, 我们更多看到的是不整合与断裂, 以及砂砾岩输导层配合在一起将烃源岩和圈闭联系起来, 控制了油气藏的形成^[19-21]。因此, 在研究不整合与油气成藏关系, 建立不整合油气藏的成藏模式时, 不应放大某一运移通道要素的作用, 需要通盘考虑输导体系在油气运移中的作用。以腹部地区为代表, 前人研究^[12]已经表明, 该区断裂以发育深(C—T)浅(J—K)发育的双层体系为特征, 它们在剖面上呈“y”字型搭配, 并与不整合和输导层一起构成了空间上的流体输导网络。其中, 二叠系内部的不整合是本区三叠纪末油气第一次成藏时的良好通道; 侏罗系底不整合对侏罗纪末的油气第二次成藏较为有利; 第三纪全盆地的整体掀斜使得工区南降北升, 油气沿白垩系底不整合运聚成藏。在这期间, “y”字型搭配的深浅断裂体系沟通了不同时代发育的不整合和高渗透性砂砾岩输导层, 为油气的垂向快速运移提供了条件, 构成了不整合—断裂(输导层)的立体油气输导体系。

4 结论

(1) 不整合可以是油气运移潜在的良好通道, 不整合的垂向结构是控制油气沿不整合运移的主导因素。

(2) 不整合从垂向上可划分为上下两层结构, 上层的底砾岩是油气运移的良好通道, 输导性能取决于砂砾岩自身的沉积特征; 风化壳又可分为风化破碎型

和风化淋滤型两类, 前者发育在火山岩变质岩风化带中, 以岩石构造破碎和物理风化裂缝体系为运移空间; 后者发育在正常沉积岩基准面上, 以地表—近地表水淋滤作用形成的表生次生孔隙为运移通道。此外, 下层的风化壳顶部有时也会发育一层厚度不均的粘土层, 使得不整合表现为三层结构, 且粘土层是良好的油气盖层。

(3) 综合不整合面上部沉积层沉积特征和下部风化壳类型, 从不整合结构入手, 进一步将不整合划分为基岩披覆型、砂砾岩型和砂泥岩对接型等三大类型 6 个亚类。其中, 基岩披覆型不整合具有良好输导性, 在本区对油气运聚最为有利, 底砾岩型不整合也具有重要意义, 而砂泥岩对接型不整合一般不能成为油气运移通道。不整合通常与断裂(输导层)一起构成空间上的立体油气输导体系。

致谢 编辑与审稿专家对本文初稿提出了有益建议, 谨致谢忱。

参考文献 (References)

- 1 Adams F D. The Birth and Development of the Geological Sciences. New York: Dover Publication, Inc. 1954: 506
- 2 Levorsen A I. Geology of Petroleum. San Francisco: Freeman Company. 1954: 618 ~ 624
- 3 潘钟祥. 不整合对于油气运移聚集的重要性. 石油学报, 1983, 4(4): 1 ~ 10 [Pan Zhongxiang. Significance of unconformity to petroleum migration and accumulation. Acta Petrolei Sinica. 1983, 4(4): 1 ~ 10]
- 4 何登发. 塔里木盆地的地层不整合面与油气聚集. 石油学报, 1995, 16(3): 14 ~ 21 [He Dengfa. Unconformities and oil and gas accumulation in Tarim Basin. Acta Petrolei Sinica. 1995, 16(3): 14 ~ 21]
- 5 刘波, 王英华, 钱详麟. 华北奥陶系两个不整合面的成因与相关区域性储层预测. 沉积学报, 1997, 15(1): 25 ~ 36 [Liu Bo, Wang Yinghua, Qian Xianglin. The two Ordovician unconformities in North China: their origins and related regional reservoirs' prediction. Acta Sedimentologica Sinica. 1997, 15(1): 25 ~ 36]
- 6 张守安, 吴亚军, 余晓宇, 等. 塔里木盆地不整合油气藏的成藏条件及分布规律. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 15 ~ 17 [Zhang Shouan, Wu Yajun, She Xiaoyu, et al. Conditions and distribution of unconformity oil and gas pools Tarim Basin. Xinjiang Petroleum Geology. 1999, 20(1): 15 ~ 17]
- 7 艾华国, 兰林英, 王筠, 等. 塔里木盆地雅克拉断凸前中生界不整合面之下奥陶统白云岩储层特征. 地质学报, 1999, 73(4): 342 ~ 350 [Ai Huaguo, Lan Linying, Wang Jun, et al. The reservoir characteristics of Lower Ordovician dolomites below pre-Mesozoic unconformity in Yakela fault-convex, Tarim Basin. Acta Geologica Sinica. 1999, 73(4): 342 ~ 350]

- 8 陈建平, 查明, 柳广弟, 等. 准噶尔盆地西北缘斜坡区不整合面在油气成藏中的作用. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 75 ~ 78 [Chen Jianping, Zha Ming, Liu Guangdi *et al.* Significance of unconformity to petroleum formation, northwestem Junggar Basin Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24(4): 75 ~ 78]
- 9 牟中海, 何琰, 唐勇. 准噶尔盆地陆西地区不整合与油气成藏的关系. 石油学报, 2005, 26(3): 16 ~ 20 [Mou Zhonghai, He Yan, Tang Yong. Relation of unconformity with hydrocarbon accumulation in Luxi area of Junggar Basin. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(3): 16 ~ 20]
- 10 Ziegler K, Longstaffe F J. Multiple episodes of clay alteration at the Precambrian/Paleozoic unconformity, Appalachian basin: Isotopic evidence for long-distance and local fluid migrations. Clays and Clay Minerals, 2000, 48(4): 474 ~ 493
- 11 Cai CF, Franks SG, Aagaard P. Origin and migration of brines from Paleozoic strata in Central Tarim, China: constraints from $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, δD , $\delta^{18}\text{O}$ and water chemistry. Applied Geochemistry, 2001, 16(9-10): 1269 ~ 1284
- 12 张义杰. 新疆准噶尔盆地断裂控油气规律. 北京: 中国石油大学(北京)博士学位论文, 2002 [Zhang Yijie. Petroleum migration and formation in fault-controlled Junggar Basin [Ph. D]. Beijing: Dissertation of China University of Petroleum, 2002]
- 13 陈中红, 查明, 吴孔友, 等. 陆梁隆起白垩系底部不整合面特征与油气运聚. 新疆石油地质, 2002, 23(4): 283 ~ 285 [Chen Zhonghong, Zha Ming, Wu Kongyou *et al.* Characteristics of unconformity below the Cretaceous strata, Luliang uplift and its significance to petroleum migration and accumulation. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(4): 283 ~ 285]
- 14 吴孔友, 查明, 洪梅. 准噶尔盆地不整合结构模式及半风化岩石的再成岩作用. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 270 ~ 276 [Wu Kongyou, Zha Ming, Hong Mei. Structural models of unconformity and recurrent diagenesis of semi-weathering rock in Junggar Basin. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(3): 270 ~ 276]
- 15 汤良杰, 金之钧. 多期叠合盆地油气运聚模式. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 24(4): 67 ~ 70 [Tang Liangjie, Jin Zhijun. The model of hydrocarbon migration and accumulation in the superimposed basin. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 24(4): 67 ~ 70]
- 16 Surland R C, Crossey L J, Hagen E S, *et al.* Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis. AAPG Bulletin, 1989, 73(1): 1 ~ 23
- 17 蔡春芳, 梅博文, 马亭, 等. 塔里木盆地有机酸来源、分布及对成岩作用的影响. 沉积学报, 1997, 15(3): 103 ~ 109 [Cai Chunfang, Mei Bowen, Ma Ting *et al.* The source, distribution of organic acids in oilfield waters and their effects on mineral diagenesis in Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 103 ~ 109]
- 18 曹剑, 张义杰, 胡文, 等. 准噶尔盆地腹部自生高岭石发育特点及其对储层物性的影响. 矿物学报, 2006, 25(4): 367 ~ 373 [Cao Jian, Zhang Yijie, Hu Wenxuan *et al.* Developing characteristics of kaolinite in the central Junggar Basin and its effect on the reservoir quality. Acta Mineralogica Sinica, 2006, 25(4): 367 ~ 373]
- 19 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap. AAPG Memoir, 1994, 60: 1 ~ 49
- 20 Cao Jian, Zhang Yijie, Hu Wenxuan, *et al.* The Permian hybrid petroleum system in the northwest margin of the Junggar Basin, northwest China. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22(3): 331 ~ 349

The Main Factor Controlling Petroleum Migration Along Unconformity in the Junggar Basin

CAO Jian¹ HU Wen-xuan¹ ZHANG Yijie² YAO Su-ping¹ WANG Xu-long²
ZHANG Yue-qian² TANG Yong²

(1. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing 210093)

2. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000)

Abstract Many oil and gas pools have been found above or below the unconformity in the Junggar Basin, indicating that the unconformity is a good conduit for petroleum migration. Based on the petroleum-bearing fluid activities in unconformity zones, we suggested that vertical structure of unconformity is the most key factor controlling the petroleum migration. Two layers of unconformity were divided, i.e. bottom conglomerate (upper layer) and weathered crust (lower layer). In addition, if some mudstone were developed on the top of weathered crust, the unconformity was three-layer structured. The weathered crust could be further divided into weathered fractured crust based on volcanic rocks, and weathered solution crust based on detrital rocks. Then, we defined three types of unconformity according to lithostratigraphic features of the bottom conglomerate and the weathered crust. They include overlap-base type, sandstone-conglomerate type, and sandstone-mudstone type, among which the first one is the most favorable for petroleum migration, the second intermediate, and the last could generally not be considered as a conduit.

Key words unconformity, vertical structure, petroleum migration, Junggar Basin