

文章编号:0253-9985(2008)06-0716-05

济阳坳陷第三系不整合油气藏运聚成藏模式

宋国奇¹,卓勤功²,孙莉³

(1. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田有限公司, 山东 东营 257001; 2. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015; 3. 武警黄金第九支队, 海南 海口 570216)

摘要:济阳坳陷第三系不整合油气藏平面上主要位于盆缘地层超剥带内的大型鼻状构造和凸起的翼部,纵向上主要分布在一级不整合面附近。根据不整合面上、下地层的风化程度及其保存状况,将第三系不整合体划分为3种结构类型:I型、II型和III型。不同的结构类型具有不同的输导/遮挡能力。第三系不整合油气成藏的主控因素可概括为古地貌、输导体系和遮挡层。根据圈闭发育的构造位置、储层产状和油气运移的方向,建立了斜坡正向运聚和凸起侧向运聚两种不整合油气藏运聚成藏模式。两种成藏模式通常均可发育近源遮挡油气藏和远源超覆油气藏,不整合体结构中的“渗透天窗”是两类油气藏的转折点。

关键词:不整合体结构;不整合油气藏;成藏主控因素;成藏模式;济阳坳陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Hydrocarbon migration and accumulation patterns in the Tertiary unconformity reservoirs of the Jiyang depression

Song Guoqi¹, Zhuo Qingong², Sun Li³

(1. SINOPEC Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying, Shandong 257001, China;

2. Geological Scientific Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: Laterally, the Tertiary unconformity reservoirs of the Jiyang depression are mainly distributed in the large nosing structures of the marginal overlap zones and the flanks of salients, while vertically, they occur mainly near the first-order unconformity surface. Three types of structures, namely the type I, II, and III, are identified in the Tertiary unconformity surface according to the degree of weathering and preservation of strata both above and below the surface. Different types of structures vary in conductivity/sealing ability. The main factors that control hydrocarbon accumulation in the Tertiary unconformity reservoirs are palaeogeomorphology, conducting systems and barrier beds. Two patterns of hydrocarbon migration and accumulation, namely forward direction pattern on slope and sideway pattern on salient, are established through observation of structural location of unconformity traps, occurrence of reservoirs, and migration direction of hydrocarbons. Both of the patterns are favorable for development of proximal sealed reservoirs and distal overlap reservoirs, with the “conducting hatch” in unconformity body acting as the transition between these two kinds of reservoirs.

Key words: unconformity body; unconformity reservoir; main controlling factor for reservoiring; reservoiring pattern; Jiyang Depression

不整合圈闭是指储集层上倾方向直接与不整合面相切封闭所形成的圈闭^[1],包括不整合面之

下的圈闭、不整合面之上的圈闭和上、下不整合面之间的圈闭^[2]。与之对应,可形成不整合遮挡油

收稿日期:2007-10-15。

第一作者简介:宋国奇(1957—),男,博士、教授级高级工程师,石油地质。

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技项目(P06012)。

气藏、地层超覆油气藏和潜山油气藏。本文的研究对象为济阳坳陷第三系不整合遮挡油气藏和地层超覆油气藏。

有关不整合在油气成藏中的作用、不整合油气藏的成藏机制和分布规律等,前人进行了大量的研究和探索,有效地指导了不整合油气藏的勘探^[3-8]。但这些研究大多集中在中国西部的挤压性盆地,而对东部的陆相断陷盆地研究相对较少。同时,对“十五”期间济阳坳陷第三系不整合油气藏勘探成功率相对较低的地质因素分析表明^[9,10],除了勘探技术(薄储层和超剥线识别)相对薄弱外,不整合结构及其对油气的输导、遮挡等机理认识不清也是制约不整合油气藏勘探的关键要素。

1 不整合及不整合油气藏展布特征

济阳坳陷位于渤海湾盆地东南隅,是一个中、新生代断陷-坳陷复合型盆地。研究成果表明,济阳坳陷第三纪发育过程中,形成了两个一级不整合面和多个二、三级不整合面^[11]。构造运动的多期性和沉积体系的复杂性为不整合圈闭和油气藏的形成奠定了基础。

1.1 主要不整合面

一级不整合面全盆地范围发育,包括前第三系与古近系之间的不整合面(T_R)、古近系与新近系之间的不整合面(T_1),在地震、测井、岩性剖面上均有明显的反映,全区易于追踪对比。不整合面的接触关系多样:凹陷区为平行样式,斜坡带为剥蚀或超覆样式,凸起区为披覆样式。 T_R 不整合面为古近系底界,下伏地层包括中生界、古生界或太古界; T_1 不整合面为古近系顶界,上覆地层为馆陶组。

$Es^{4(下)}$ 与 Ek , Es^3 与 Es^4 , $Es^{2(上)}$ 与 $Es^{2(下)}$ 之间为二级不整合面,纵向上形成了多期叠置的超剥样式。平面上,特别是在斜坡带和凸起边缘,二级不整合面往往与一级不整合面重合,并可见到明显的近凹削蚀、近凸超覆现象。

济阳坳陷各凹陷南部的超剥带宽缓、延伸距离长,地层、岩性变化慢,超剥关系清楚,可观察到地层的退积、剥蚀与超覆的渐变关系;而北部超剥带相对狭窄,地层产状陡,岩性变化急剧,新地层

往往超覆于不同的老地层之上。

1.2 不整合油气藏分布规律

据统计分析,济阳坳陷已探明第三系不整合油气藏的空间分布主要有以下特征:

1) 不整合油气藏主要分布在一级不整合面附近(图1)。该类油藏探明储量占到济阳坳陷地层油藏储量的90.5%。其中, T_R 不整合面控制着第三系地层超覆油气藏, T_1 不整合面主要控制着不整合遮挡油气藏。二级不整合附近发现的不整合油气藏探明储量较少,仅占到9.5%,主要分布在 T_2 和 T_0 附近。目前,尚未在三级不整合附近发现不整合油气藏探明储量。

2) 不整合油气藏平面上主要位于具有一定构造背景的盆地边缘。新近系多发育地层超覆油气藏,位于靠近凸起的外环;古近系主要形成不整合遮挡油气藏,主要位于靠近洼陷的内环。两类不整合油气藏往往相伴发育,或以其中之一为主。

2 不整合结构类型及其油气输导作用

既然不整合油气藏的形成、分布与不整合面密切相关,那么不整合在该类油气藏形成过程中的作用以及如何起作用就成为了核心问题。前人对中国西部压性盆地不整合的研究表明,完整的不整合发育3层结构,即不整合面之上的岩石、之下的风化粘土层和半风化岩石,三者油气成藏过程中的作用是不同的^[12-15]。本文将不整合面上、下岩石的组合统称为不整合体。

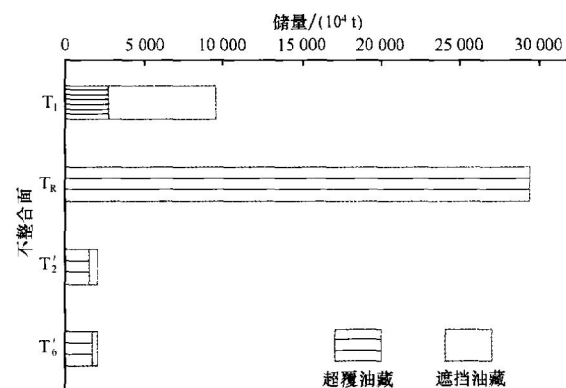


图1 济阳坳陷不整合面与已探明不整合油气藏储量的关系

Fig. 1 Relationship between unconformity surface and proven reserves of unconformity reservoirs in the Jiyang depression

2.1 不整合体结构类型

通过对济阳拗陷钻遇第三系不整合面的 70 余口井的岩心观察及其岩石学、矿物学和测井响应特征的综合分析,发现济阳拗陷第三系不整合体结构十分复杂(图 2),存在 3 种类型:Ⅰ型为完整结构,包括不整合面之上的岩层、之下的风化粘土层和半风化岩石;Ⅱ型不发育风化粘土层;Ⅲ型不发育风化壳。就不整合面上、下发育的岩性来讲,存在多种岩石组合形式,包括底砾岩、砂岩、泥岩、灰岩、火山岩和变质岩。

2.2 不整合体结构类型对油气的输导作用

将不整合面上、下岩层概括为渗透层或非渗透层。因此,不整合体输导/遮挡作用取决于不整合结构类型、渗透层配置及其空间展布。

对于发育风化粘土层的Ⅰ型不整合,油气可沿风化粘土层上或/和下渗透层展布方向呈顺层侧向运移。如不整合面之上的底砾岩或砂岩是有效的运聚通道^[16-18],风化粘土层为油气运移的遮挡层或上、下渗透层的分隔层。

第三系内部不整合面之下地层多为砂、泥岩互层。对于砂岩层,风化作用在一定程度上可改善砂岩物性,在沿砂岩层走向上形成渗透通道;而对于泥岩层,由于第三系内部不整合面形成时地层埋藏较浅,其成岩作用较弱,且风化时间相对较短,风化淋滤作用难以形成有效的渗透通道。因此油气无法在砂、泥岩互层间运聚。油气在不整合体下部渗

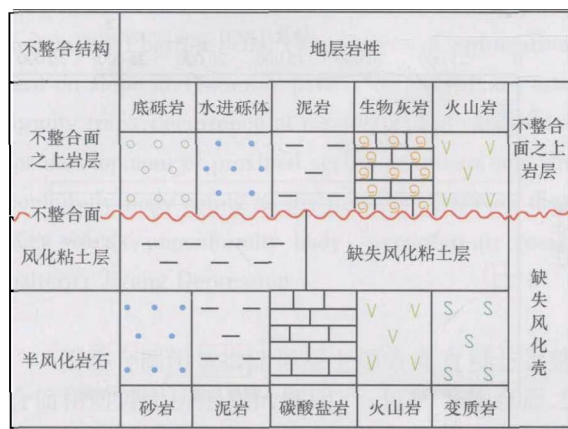


图2 济阳拗陷第三系不整合结构类型及岩性组合示意图
Fig. 2 Sketch map showing the Tertiary unconformity structure types and lithologic assemblages in the Jiyang depression

透层的运移只能是线状的而不是面状的。

与第三系不整合接触的前第三系,其岩性除中生界和上古生界的砂岩外,更多的是碳酸盐岩、花岗片麻岩和岩浆岩,且往往经历多期构造运动和较长时间的风化淋滤剥蚀,因而可形成具有一定渗透能力且呈面状分布的输导层。如在沾化凹陷西侧的义和庄凸起,馆陶组超覆或披覆在中生界、古生界之上。下古生界寒武-奥陶系灰岩、白云岩,由于风化粘土层不发育,因而在不整合面之下形成了厚度达 30 ~ 50 m 具有明显地震(表现为一连串的弱反射低速带)和测井曲线特征的裂缝发育带;中生界和上古生界的碎屑岩,发育一定厚度的风化粘土层,在其之下的半风化岩层中裂缝发育、结构疏松,可作为油气运移的良好通道。位于太平油田和四扣洼陷之间的沾北 2、沾北 1 和沾 200 井,不整合之下的中生界、石炭-二叠系为含油斑泥岩。油源及成藏过程分析表明,四扣洼陷的油气正是经过上述裂缝性泥岩运移到上倾圈闭而成藏。

当Ⅱ型不整合结构顶、底板均为渗透层时,因无风化粘土层分隔,将形成不整合体结构的另一种油气输导方式——“不整合体天窗”,即油气沿不整合之下渗透层(半风化岩石、渗透性基岩)运移至“天窗”,通过“天窗”进入上覆渗透层,再进行侧向运移(图 3)。

3 不整合油气藏油气运聚成藏模式

根据不整合结构类型及其在油气成藏中的作

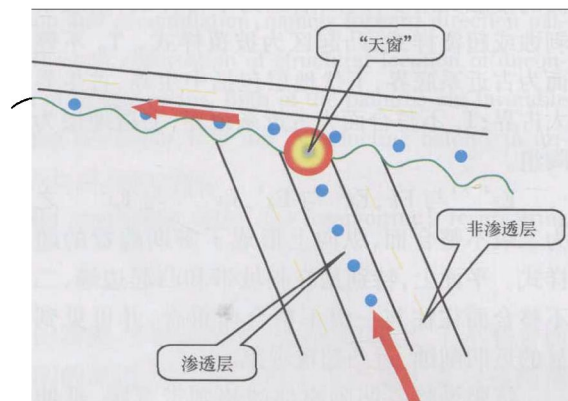


图3 不整合垂向导天窗示意图
Fig. 3 Sketch map showing the vertical conducting hatch of unconformity

用,并考虑油气输导运聚方向与输导层展布方向关系的不同,建立了两套不整合油气藏成藏模式。

3.1 斜坡正向运聚成藏模式

该类油气藏发育在盆地陡坡和缓坡地层超剥带的大型鼻状构造背景上,典型代表为东营凹陷缓坡带乐安油田和金家油田、东营凹陷陡坡带王庄油田和沾化凹陷缓坡带陈家庄油田。

位于东营凹陷南部缓坡草桥鼻状构造带上的乐安油田,不整合之上的馆陶组超覆于古近系多套地层之上(T_1 不整合),北部形成不整合遮挡圈闭,南部形成地层超覆圈闭、潜山圈闭。

东营凹陷牛庄洼陷烃源岩排出的油气由北向南运移,首先由油源断层进入北部古近系砂岩储层中,如沙河街组三段砂岩,然后沿砂层储层上倾方向运移,若储层上倾方向发育不整合遮挡层,则形成不整合遮挡油气藏。若不整合(T_1)具“天窗”结构,则向上运移进入馆陶组储层,在馆陶组上部泥岩、玄武岩的封盖下形成馆陶组超覆油气藏。

根据该区 T_1 不整合顶、底板岩性配置关系,在广6井和草39井井区不整合面上、下均为砂岩,形成了油气运移的“天窗”。该区馆陶组原油物性分布特征提供了有力的佐证:在上述井区原油物性好,以此向外逐渐变差,表明原油是由此向外侧向运移的。

在陡坡带已探明的不整合油气藏特征与上述成藏模式基本相同,由此提出斜坡正向运聚成藏模式。模式中油源断层的倾向、圈闭储层倾向与油气运聚方向正向相对(图4)。一般近源以发育古近系不整合遮挡油气藏为主,油气输导体系为

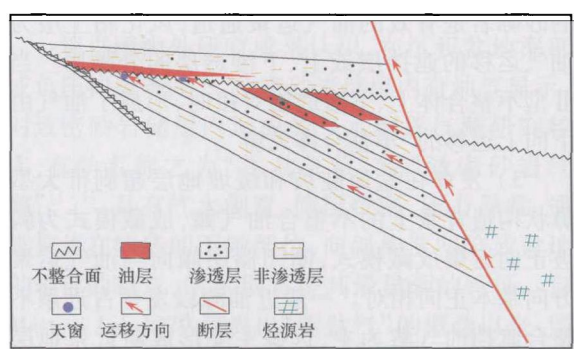


图4 斜坡正向运聚成藏模式示意图

Fig. 4 Sketch map showing the forward direction pattern of hydrocarbon migration and accumulation on the slope

油源断层和砂体,上倾遮挡层为物性相对差的砂体或不整合体上部的泥岩层;远源主要形成新近系地层超覆油气藏,油气输导体系主要为不整合体水进砂砾岩层,上倾遮挡层为泥岩层或不整合体风化粘土层、半风化硬壳。两种类型不整合油气藏的油气是通过砂-砂对接“不整合体天窗”运移的。

3.2 凸起侧向运聚成藏模式

该类油气藏发育在凸起翼部超剥带构造背景上,典型代表为青城凸起高青油田、林樊家低凸起林樊家油田、义和庄凸起义东-太平油田和埕子口凸起埕东油田。

太平油田位于义和庄凸起东部,储层为新近系馆陶组河流相砂岩,油气藏类型为地层超覆油藏。义和庄凸起的东部通过义东断层与沾化凹陷四扣洼陷相接。第三系与前第三系之间为不整合接触,不整合面之下依次发育前第三系下古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩、上古生界和中生界碎屑岩。前第三系地层近东西向展布,倾向北东,明显受风化淋滤作用的影响,特别是碳酸盐岩。在不整合面之上为层层超覆的沙河街组一段砂泥岩和馆陶组下段河流相砂岩,馆陶组上段底部泥岩为区域性盖层。由此形成不整合遮挡圈闭(潜山圈闭)和地层超覆圈闭。

油源对比表明,太平油田馆陶组超覆油藏以及东部义东潜山油藏的油气均来自四扣洼陷。北东走向的义东断裂带为油源断层。义东断层横切义和庄凸起三排潜山,在义和庄凸起与义东断裂带之间发育三排近东西向的构造脊,为油气运移提供了有利背景。凸起东部靠近义东断层的区域,不整合面之下的前第三系油气显示活跃,并与三排潜山走向有关,形成了3个油气运聚带;而不整合面之上的沙河街组及馆陶组油气显示很少。这说明油气由义东断层向上首先主要进入不整合下部渗透层——前第三系半风化岩层,馆陶组砂体不是该区主要的油气输导通道。

不整合体结构分析表明,该区第三系与前第三系之间不整合底板形成一定规模的渗透层。据钻井岩心观察及单井测井裂缝评价,前第三系风化壳最厚可达500 m,但其风化程度在平面上和纵向上具有较强的非均质性。位于斜坡带的奥陶系风化明显,裂缝发育程度较高,以I-II级裂缝带

为主,部分为Ⅲ级裂缝带;位于凸起上的寒武系裂缝发育程度较低,主要为Ⅲ级裂缝带。Ⅰ-Ⅱ级裂缝带油气显示活跃,为油气运移的主力通道。来自四扣洼陷的油气首先沿油源断层进入不整合之下的半风化岩石中,再沿风化程度较好的Ⅰ-Ⅱ级裂缝带侧向运移。

从该区第三系与前第三系之间不整合体顶、底板的岩性分布来看,顶板砂岩与底板半风化碳酸盐岩在许多部位叠置,如沾45井等井区,成为油气在浮力的作用下从前第三系向第三系运移的“不整合体天窗”。“天窗”附近顶、底板地层大量的油气显示是最有利的佐证。而且由此向西至凸起高部位,与前面相反的是馆陶组的油气显示活跃,并在馆陶组下段5个砂层组形成了地层超覆油气藏;而前第三系地层中几乎见不到油气显示。

由此可见,四扣洼陷排出的油气首先沿义东断层垂向运移,之后由东向西侧向运移,运移方向与潜山储层和第三系储层展布方向基本一致。

综上所述,将油气沿储层走向侧向运聚的、发育在凸起周缘的这类油气藏成藏模式概括为凸起侧向运聚成藏模式。该类油气藏油源断层的倾向、油气运聚方向与圈闭储层倾向大角度相交,油气通过油源断层进入不整合体下部渗透层后,顺层侧向运移,遇到砂-砂对接“不整合结构体天窗”向上进入不整合体上部水进砂砾岩层运移(图5)。一般近

源以发育古近系或前第三系不整合遮挡油气藏为主,远源主要形成新近系地层超覆油气藏,上倾遮挡层均为泥岩层或不整合体风化粘土层、半风化硬壳。

3.3 济阳坳陷第三系不整合油气藏勘探前景

综上所述,在济阳坳陷的陡坡、缓坡和凸起部位不整合广泛发育。特别是一级不整合,有利勘探面积达9 500 km²,具有较大勘探空间。

两种不整合油气藏的运聚成藏模式中,均发育不整合面之下的不整合遮挡油气藏和不整合面之上的超覆油气藏;两类不整合油气藏往往相伴发育,之间通过“不整合体天窗”相转接。对于济阳坳陷已发现其中一类不整合油气藏的区域,应按照国家不整合油气藏油气运聚成藏模式,积极寻找另一类不整合油气藏。

4 结论

1) 济阳坳陷已探明不整合油气藏主要分布在具有一定构造背景的一级不整合面附近,新近系多发育地层超覆油气藏,古近系主要形成不整合遮挡油气藏。济阳坳陷第三系发育过程中,多期构造运动形成了两个一级不整合面和多个二、三级不整合面,不整合油气藏仍具有巨大的勘探潜力。

2) 将不整合面之上的岩层、之下的风化粘土层和半风化岩石的组合统称为不整合体。济阳坳陷第三系不整合体发育3种类型:Ⅰ型结构完整,Ⅱ型不发育风化粘土层,Ⅲ型不发育风化壳。就不整合面上、下发育的岩性来讲,不整合面上、下的砂砾岩是有效的油气运聚通道,风化粘土层为油气运移的遮挡层或上、下渗透层的分隔层。当Ⅱ型不整合体上、下渗透层对接时,形成了油气由下向上运移的“不整合体天窗”。

3) 发育在盆地陡坡和缓坡地层超剥带大型鼻状构造背景上的不整合油气藏,成藏模式为斜坡正向运聚成藏模式,圈闭储层倾向与油气运聚方向基本正向相对。一般近油源以发育古近系不整合遮挡油气藏为主,远源主要形成新近系地层超覆油气藏,两种类型不整合油气藏的油气是通过“不整合体天窗”运移的。

(下转第732页)

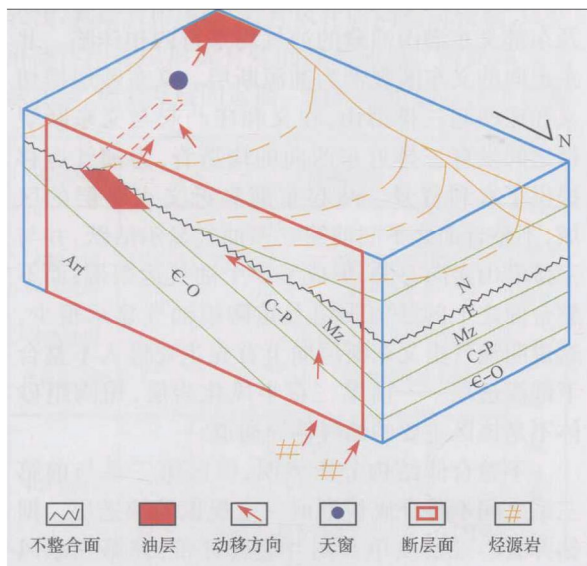


图5 凸起侧向运聚成藏模式示意图

Fig. 5 Sketch map showing the sideways pattern of hydrocarbon migration and accumulation on the salients

参 考 文 献

- 1 丁勇, 云露, 王允诚. 塔河油田寒武系台缘大型建隆地质属性[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1): 35~37
- 2 叶德胜, 王根长, 林忠民, 等. 塔里木盆地北部寒武-奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景[J]. 四川成都: 四川大学出版社, 2000. 88~116
- 3 黄太柱, 云露, 蒋华山. 塔河油田成藏条件与富集规律[A]. 见: 翟晓先, 编. 塔河油气田勘探与评价论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2006. 11~20
- 4 翟晓先. 塔里木盆地北部复杂地质条件下寻找大油气田的方向和地区[A]. 见: 康玉柱, 编. 中国塔里木盆地石油地质文集[C]. 北京: 地质出版社, 1996. 56~64
- 5 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 307~312
- 6 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J]. 天然气地球科学, 1993, 3(2-3): 1~41
- 7 陈红汉, 李纯泉, 张希明, 等. 运用流体包裹体确定塔河油田油气成藏期次及主成藏期[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 10~15
- 8 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143~150
- 9 蔡希源. 塔里木盆地台盆区油气成藏条件与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 590~597
- 10 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 轮南、塔河油田稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31~38
- 11 翟晓先. 塔河大油田新领域的勘探实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 751~761

(编辑 李 军)

(上接第720页)

4) 发育在凸起翼部超剥带构造背景上的不整合油气藏, 成藏模式为凸起侧向运聚成藏模式, 油气顺渗透层走向侧向运聚, 不整合面之下常形成潜山油气藏, 通过“不整合体天窗”在不整合面之上形成不整合超覆油气藏。

参 考 文 献

- 1 陈荣书. 石油及天然气地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 80~85
- 2 范从武. 国外地层圈闭的分类及时空展布规律[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 48~49
- 3 潘钟祥. 不整合对于油气运移聚集的重要性[J]. 石油学报, 1983, 4(4): 1~10
- 4 陈中红, 查明, 朱筱敏. 准噶尔盆地陆梁隆起不整合面与油气运聚关系[J]. 古地理学报, 2003, 5(1): 120~126
- 5 何登发. 塔里木盆地的地层不整合与油气聚集[J]. 石油学报, 1995, 16(3): 14~21
- 6 张抗. 盆地的改造及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 38~41
- 7 付广, 许泽剑, 韩冬玲, 等. 不整合面在油气藏形成中的作用[J]. 大庆石油学院学报, 2001, 25(1): 1~4
- 8 苏宗富, 邓宏文, 樊太亮. 塔中地区石炭系非构造圈闭及有利勘探目标[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 548~553
- 9 隋风贵, 王学军, 卓勤功, 等. 陆相断陷盆地地层油藏勘探现状与研究方向——以济阳坳陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(1): 1~6
- 10 郭元岭, 张林晔, 蒋有录, 等. 济阳坳陷地层油藏勘探实践分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 432~436
- 11 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 25~38
- 12 吴孔友, 查明, 柳广弟. 准噶尔盆地二叠系不整合面及其油气运聚特征[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 53~54
- 13 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[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 15~17
- 14 尹微, 陈昭年, 许浩, 等. 不整合类型及其油气地质意义[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2): 239~241
- 15 王艳忠, 操应长, 王淑萍, 等. 不整合空间结构与油气成藏综述[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(3): 326~330
- 16 Bethke C M, Reed J D, Oltz D F. Long-range petroleum migration in the Illinois Basin[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(5): 925~945
- 17 常波涛. 陆相盆地中不整合体系与油气的不均一性运移[J]. 石油学报, 2006, 27(5): 20~23
- 18 余晓宇, 施泽进, 刘高波. 巴楚-麦盖提地区油气成藏的输导系统[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 346~350

(编辑 李 军)