

综述与评述

隐蔽油气藏勘探理论体系再认识

胡晓兰^{1,2}, 樊太亮^{1,2}, 王宏语^{1,2}, 侯伟^{1,2}, 王建平^{1,2}, 邹拓³

(1. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083;

2. 中国地质大学(北京)海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 北京 100083;

3. 中国石油大港油田勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要:随着我国油气工业的不断发展,隐蔽油气藏已经逐渐成为油气藏勘探的主要类型,其勘探理论及勘探手段也得到了快速发展。通过对隐蔽油气藏勘探理论的系统分析表明,截至目前层序地层学、古地貌、坡折带和油源控制4大理论有效地指导了隐蔽油气藏形成机制及分布规律研究。三级层序不整合面上、下空间和低位体系域为隐蔽油气藏发育的有利场所,不整合面自身的疏导能力和封闭机理是隐蔽油气藏形成的主要因素,低位体系域中丰富的储集体和良好的空间配置为油气富集提供了条件。古地貌与坡折带制约着储集体的空间展布及汇聚沉积特征,指导了隐蔽储集体的横向追踪。优质烃源岩与储集层的位置关系可以为精确预测隐蔽油气藏发育范围提供思路。

关键词:隐蔽油气藏;层序地层学;古地貌;坡折带;油源控制

中图分类号: TE132

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)06-0996-08

0 引言

Levorsen^[1]于1964年首次提出隐蔽圈闭(隐蔽油气藏)概念,并强调隐蔽油气藏是与岩性变化、流体和水动力等有关非构造类油气藏。1981年, Halbouty^[2]将隐蔽油气藏分为地层型、古地貌型和不整合型3类油气藏。在此基础上,国内学者朱夏于1986年提出隐蔽油气藏除了指非构造类油气藏外,还应包含一部分构造类油气藏^[3]。近些年,对隐蔽油气藏概念分类方面的研究较多^[4-6],但没有形成统一的观点。笔者在总结前人研究的基础上认为隐蔽油气藏是指在当前勘探技术水平下,应用非常规思路与方法能够部分识别和描述的非构造油气藏,主要指发育在层序格架的特殊部位或有特殊成因的岩性油气藏、地层油气藏以及复合型水动力油气藏。随着勘探手段及认识程度的不断提高,与隐蔽油气藏相关的地质理论相继出现^[7-15],但仍未形成一套系统的理论体系。本文针对隐蔽油气藏勘探理论多样而不系统化的现状,深刻剖析了层序地层学、古地

貌、坡折带和油源控制等核心理论,并将其系统化,以期指导隐蔽油气藏的有效勘探与开发。

1 层序地层学理论

层序是以不整合或与之可对比的整合面为边界,成因上有联系的相对整合的一套地层单元^[16]。本文的探讨以三级层序为主,运用露头、岩心、测井和地震等技术识别各种关键界面,建立层序地层格架,在层序格架的界面和相关体系域处展开研究储集体的展布特征和规律,综合考虑各种地质和成藏因素,寻找隐蔽油气藏。

1.1 与界面相关的隐蔽油气藏

1.1.1 与不整合面相关的隐蔽油气藏

盆地内三级层序的界面是由盆地边缘的不整合界面过渡到靠近盆地中心的沉积间断面。不整合界面上、下易发育的隐蔽油气藏类型包括:界面之上的地层超覆油气藏、砂体上倾尖灭油气藏、河道砂体油气藏和界面以下的地层削截油气藏、构造一岩性油气藏、不整合古地貌油气藏(图1)。其中,地层超覆

收稿日期:2010-02-01;修回日期:2010-05-26.

基金项目:国家重点基础研究发展计划("973"项目(编号:2005CB422103);全球油气地质综合评价与区域优选项目(编号:GT-YQ-QQ-2008-5-16)联合资助.

作者简介:胡晓兰(1985-),女,湖北黄石人,博士研究生,主要从事层序地层及隐蔽油气藏勘探与开发研究. E-mail:bbb-lll@163.com.

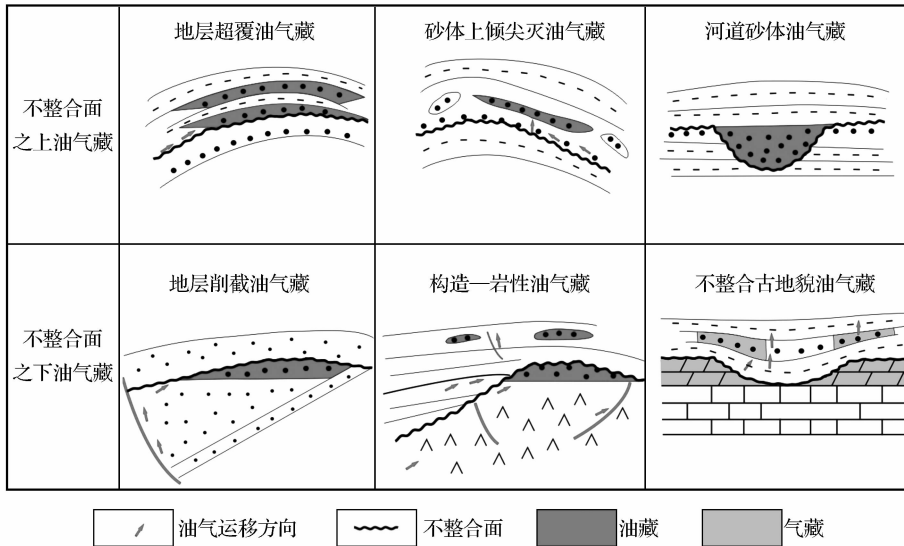


图1 与不整合相关的隐蔽油气藏类型(据何登发等^[17], 2007, 修改)

油气藏和地层削截油气藏是与不整合面相关的最常见类型^[17],前者一般发育在陆架坡折之外,后者多发育于陆架之上。

相对构造类油气圈闭而言,隐蔽圈闭形成的条件较为苛刻,除了要求丰富的储集单元,还需要多方位的封盖条件^[13]。不整合面是新老地层分界面,不整合的形成一般伴随一定规模的构造运动,水体的收缩和扩张成为界面处隐蔽圈闭形成的内在控制因素,即水体收缩时地层可能遭受剥蚀,沉积物被搬运并沉积在不整合面之上;水体扩张时,沉积大量细粒泥岩覆盖在水体收缩时沉积的储集体之上,因而储集体和封盖条件都受水体运动控制。不整合面具有3层结构^[17]:不整合面之上的岩石、不整合面以下的风化粘土层以及风化粘土层之下的半风化岩层。不整合界面之上储集单元能量大,油气主要聚集在不整合界面上的低位域砂岩中,或沿不整合面向地势高的砂岩体运移,侧向及顶部被泥岩封盖;不整合面以下的半风化岩层可成为油气运移的有效疏导层,而上部风化粘土层为下伏油气藏提供了良好的封堵条件^[18]。不整合面在隐蔽油气藏形成的过程中起到疏导与封堵的双重作用,与不整合面相关的河道和盆地边缘低势区为沉积物卸载的有利地带,水体的扩张收缩控制着沉积物的物性变化,因而不整合面上、下的储集体是隐蔽圈闭勘探的有利靶区。

1.1.2 与最大海(湖)泛面相关的隐蔽油气藏

最大海(湖)泛面是快速上升的基准面和退积滨面准层序与近岸地层加积准层序的分离面^[19]。在层序单元内部,最大海泛面处多为生油岩区域,且其

上、下储集体优先聚集油气。最大海泛面期持续时间短,不利于储集体发育,与最大海泛面相关的圈闭多为岩相突变形成的岩性圈闭或生油岩发育内部裂隙形成的储集空间。

1.2 与体系域相关的隐蔽油气藏

据 Baum 统计,在全世界的油气总储量中,低位体系域占 86%,水进体系域占 12%,高水位体系域占 2%^[20]。体系域是层序的基本组成单元,解剖各体系域结构,研究不同体系域内部特殊部位油气储集体的成因、类型和分布特征,对隐蔽油气的勘探极其重要。

1.2.1 与低位体系域相关的隐蔽油气藏

低位体系域能够成为油气聚集的有利场所,与其在层序内出现的独特位置及发育的储集体类型和分布密切相关。

在 I 型层序单元内的碳酸盐岩沉积背景下,斜坡之上易形成碳酸盐岩建隆的礁滩沉积。生物礁滩向盆地一侧相变为细粒碳酸盐岩沉积,向陆一侧与泻湖相邻,礁滩被致密的泻湖泥岩封闭,且顶部被海侵期沉积的泥岩封堵,形成地层圈闭^[21]。斜坡之下,陆棚边缘沉积体在风暴浪击作用下垮塌进入深水环境,并被深水泥岩包围形成礁滩透镜体。碎屑岩沉积环境中,斜坡之上河流的复壮作用形成的下切水道被后期充填成为河道砂岩储集体,并被后期海侵和高位体系域背景下形成的泥岩等细粒沉积物覆盖形成地层圈闭。斜坡之下,下切河谷的砂岩在斜坡附近卸载易形成斜坡扇、盆底扇和被浊积砂体充填的盆底峡谷等储集单元,并被水进期富含有机

质的泥页岩从侧面和顶部包围形成地层圈闭。所以,充足烃源岩、有利储集体及有效盖层的天然构建是低位体系域油气储量富足的重要因素。

对于Ⅱ型层序单元而言,由于缺少台地前缘明显坡折,沉积体到深水环境垂直高差较小,无河流下切作用,因而Ⅱ型层序单元不发育盆底扇。但无论是碳酸盐岩环境还是硅质碎屑岩环境,斜坡之上的建隆作用仍然存在,可以沿斜坡发育楔形储集体,水进体系域发育的泥页岩形成侧向封闭,构成地层—岩性圈闭。

低位体系域以不整合面为底界,发育下切河道储集体、斜坡扇和盆底扇等浊积岩砂体,碳酸盐岩礁滩及滑塌碳酸盐岩透镜体。油气沿不整合面向上部有利储集体运移,并被侧向或上部泥岩封盖,与上覆水进体系域具生烃能力的密集相相匹配,易于在同一层序单元内部形成“上生下储”式隐蔽油气藏。

1.2.2 与水进体系域相关的隐蔽油气藏

水进体系域位于低位体系域之上,是初始海泛面到最大海泛面区间内沉积的地层,可容纳空间不断增大,泻湖和煤层比较发育。水进体系域内物源供给速率和沉积物沉积速率低,易形成富含浮游生物的凝缩层,成为有效的烃源岩和区域盖层。不同斜坡类型碳酸盐岩环境中,海面上升的速度与沉积物沉积速度不一致,导致一些改造后的灰岩储层和礁滩等储集空间被后期高位体系域的富泥沉积体封闭,形成岩性油气藏^[22]。碎屑岩环境中,临滨砂体被波浪改造形成物性良好的储集空间,被后期水进体系域水退沉积的页岩封堵,形成地层和构造—岩性圈闭,沿着海、湖岸线呈裙带状分布。

陆架之上的水进体系域沉积体易形成岩性尖灭和地层型圈闭,它们既可以是滩坝储集体的侧向尖灭,也可以为近岸斜坡带上河流侧向改道或溢岸沉积体,并被高位沉积的细粒泥岩所封盖。陆架外侧的水进体系域以凝缩层段为主,是低位时期沉积的良好生油岩和区域盖层,发育的隐蔽圈闭较少。

1.2.3 与高位体系域相关的隐蔽油气藏

高位体系域形成于海平面上升末期、静止期和开始下降期^[22]。由于海平面不再上升,地层单元内表现为进积的沉积模式。在碳酸盐岩环境中,在向盆地一侧沉积的多是陡坡带盆地边缘生物礁,垮塌进入临近深水环境,被周围泥岩封盖,形成深水生物礁岩性圈闭。在碎屑岩环境中,向陆一侧主要为河流三角洲沉积体系,储集体下伏优质生油岩凝缩层,被顶部不整合界面封堵,但多发育构造圈闭。盆地深部可能形

成三角洲前缘垮塌的砂岩储集体,顶部不整合封盖与侧向深水泥岩封堵形成地层—岩性圈闭。

2 古地貌理论

地貌是地表的外在形态,在地层的沉积演变过程中受沉积基准面的升降变化,沉积物从地貌高点搬运到地势低处,经历“填平补齐”的过程。地貌中的凸、沟、坡、凹等形态单元在储集体的形成过程中起着不同的作用。沉积基准面下降,地貌凸起处被剥蚀,形成碎屑沉积物,被水或风等动力载体携带并沿着地势低处运移;根据能量消耗最低原理^[23],沉积物沿着构造转换带运移消耗能量最低,构造转换带属于斜坡地带;“坡带富沟”理论表明^[24],古凸起被剥蚀后的沉积物沿转换带处的古沟谷向下运移,并经过斜坡带汇集到凹陷处。这些地貌形态的不同组合呈现出不同的地貌格局,同时对储集体的控制作用也不同。古地貌控制着隐蔽储集体的平面展布,古高点和古凸起控制物源的搬运和水系的变迁,负向地貌单元对储集体的汇集及地层上超对储集体上倾延伸范围具有制约作用^[25]。

樊太亮等^[25]在研究济阳坳陷胜海地区东营组地层沉积时,证实了侵蚀河谷对沉积物的搬运和沉积汇集作用、坡折带的卸载作用和斜坡带对沉积物的制约作用,并根据地貌坡折控砂原理部署了埕北8井,钻遇高产油流并证实下切河谷沉积的浊积水道砂岩为隐蔽油气藏的有利目标。同时,樊太亮等^[26]对鄂尔多斯盆地北部加里东期古地貌格局进行了较系统的研究,发现太原组、山西组和石盒子组沉积时期,古地貌对不同类型的储层及其分布的控制作用不同,即滨岸砂坝主要受控于海岸线的位置与变迁以及远离海岸线的局部凸起地形;而河道砂的发育主要受控于古地貌中的侵蚀沟谷^[13,26]。Hongliu Zeng^[27]利用地震解释技术建立了Tiger Shoal地区层序地层的三维模型(图2),恢复了层序边界与体系域的形成过程,并根据地貌学理论识别出充填的下切谷及进积楔隐蔽储集体。

3 坡折带理论

坡折带原是地貌学概念,是指地形坡度突变的地带,不管是盆地的沉积区还是侵蚀区,都可以发育坡折带^[28]。林畅松等^[10]提出了构造坡折带的概念,并对沾化凹陷进行研究,指出构造坡折带对盆地可容纳空间的控制和沉积体系具有约束作用,坡折带控砂的原理可以指导隐蔽油气藏的勘探。张善

文^[28]根据坡折带的成因机理将其分为3类:构造坡折、沉积坡折和侵蚀坡折。王英民等^[11]就东营凹陷古近纪陆相湖盆坡折带的类型进行研究,指出不同类型的坡折带控制不同类型隐蔽储集体的发育。坡折带内部结构特征对砂体的控制作用归因于坡折带的形成机理、盆地类型和地理位置等综合因素作用的结果^[12]。

构造坡折带是由同沉积构造长期活动使地形坡度明显突变的地带,可细分为断裂坡折带和挠曲坡折带。断裂坡折多发育于靠近湖盆陡坡带,由于基底活动,地层发生垮移,控制着断层上盘砂体的发育。不同类型的断裂坡折系统由于构造样式的差异,其沉积模式不同,从而形成不同的砂体组合^[29]。比如,陡坡多阶型坡折带较宽缓、落差大、展布范围小,沉积前段可深入洼陷中心,对沉积物具有很好的分选作用;缓坡多阶型坡折带垂向落差小,横向延伸较远,沉积砂体受基准面的变化控制明显(图3)。挠曲坡折带多发育在湖盆边缘三角洲低位段,由于构造挤压形成背斜或鼻状圈闭的同时,在两翼发生

挠曲作用^[30-32]。挠曲坡折带之下的地层明显增厚,并且易在地层发生挠曲处形成地层超覆圈闭。

沉积坡折带是因不同地区沉积物的沉积速率差异而造成地形坡度突变^[11]。三角洲平原与三角洲前缘的结合部一般可形成沉积坡折带。沉积坡折带对隐蔽圈闭的形成控制作用明显:纵向上表现为物源不断向盆地中心推进,湖盆处于收缩状态,地震剖面特征为沉积坡折点向前推移。实验证明^[33],处于不同坡折带位置上的三角洲前缘沉积体滑塌作用由于坡折角的不同而有所差异,中间位置坡折角较大,易发育两级滑塌体;而边缘位置坡折角较小,一般只发育一级滑塌体(图4)。据此,在隐蔽砂体的勘探过程中,可利用沉积坡折带滑塌效应寻找一级或多级滑塌储集体。

侵蚀坡折带是由风化侵蚀等外动力地质作用造成的地形坡度突变。在持续时间较长但侵蚀仍没有达到准平原化的区域有可能发育侵蚀坡折带。侵蚀坡折带多与不整合面相关,它对隐蔽圈闭形成的控制作用可用不整合面相关的圈闭理论解释。

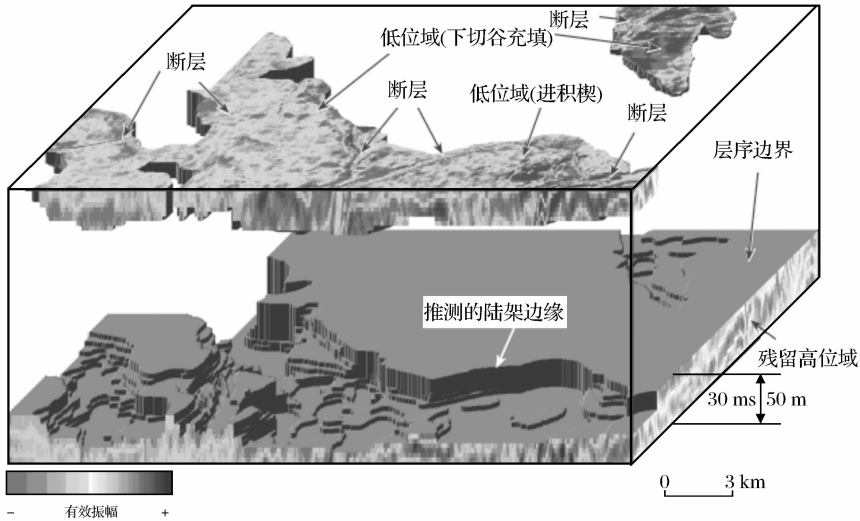


图2 低位体系域三维可视化模型(据 Zeng Hongliu 等^[27],2004,修改)

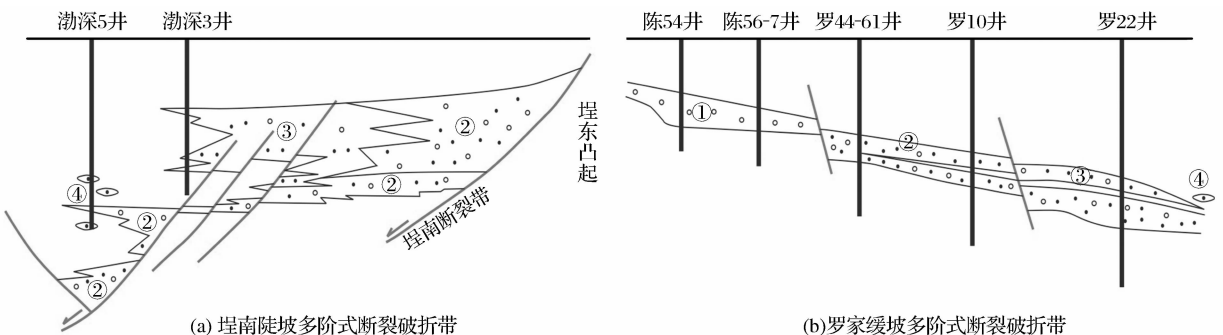


图3 断裂坡折带对低位域砂体沉积模式的控制(据倪金龙等^[29],2007,修改)

①河道充填;②冲积扇;③水下扇或扇三角洲;④浊积扇

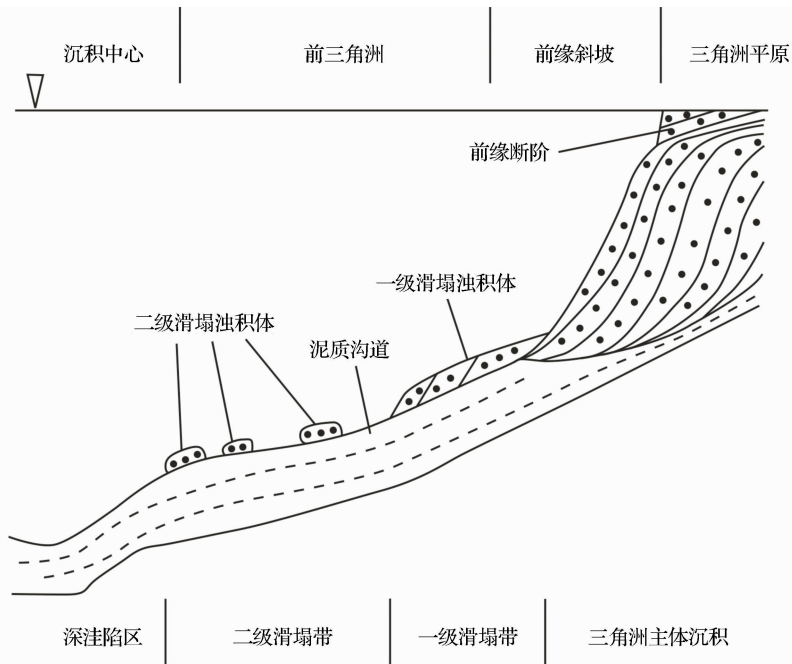


图4 沉积坡折带对三角洲前缘滑塌浊积体分布的控制(据刘晖等^[33],2007,修改)

坡折带纵向上受沉积基准面影响而控制着储集体的垂向发育,横向上对物源沉积体系分期卸载并制约沉积体系的分布,形成与坡折带成因和类型相关的独特油气成藏组合^[32]。构造和沉积的双重控制作用,使得不同类型的沉积盆地在相应的沉积环境下,会发育不同类型的坡折带以及对应形态的隐伏储集体。总之,坡折带对砂体的控制作用是形成与坡折带相关的隐蔽油气藏的最重要因素,在油气勘探过程中,识别坡折带至关重要。

4 油源控制理论

烃源岩是隐蔽油气藏形成的基础,李思田^[34]指出没有富烃洼陷,就不存在油气藏。侯读杰等^[35]就济阳坳陷的优质烃源岩进行研究,提出隐蔽油气藏的形成与优质烃源岩的分布密切相关,距离优质烃源岩近的区域更易形成隐蔽油气藏。

根据储集体与烃源岩的纵向关系,邹才能等^[36]将与烃源岩相关的岩性油气藏分为源下油气藏、源内油气藏和源上油气藏3类。据此,从油源的角度出发,可以剖析隐蔽油气藏的形成和分布规律。油气自生成后就处在逸散和汇聚的平衡中^[37]。油气从烃源灶到达圈闭的过程,是烃源灶、圈闭、疏导体系和运移动力多个元素共同作用的结果。对于位于烃源岩下部的储集体,油气向下运移需要克服巨大的浮力和毛管力,烃源岩和储层之间的压差成为油气充注的动力;针对储集体在烃源岩下部的油气藏,

赵文智等^[38]提出“三面控藏”的观点,即不整合面和裂隙起疏导作用,断层面控制油气横向运移,最大海泛面成为良好的烃源岩层和盖层。烃源岩内部的储集体,多为从水进体系域或高位域滑塌形成的深水透镜体。此类油藏位于源内,油气自生成就开始充注附近储集体,受局部构造的控制,生烃中心储集体欠发育,而附近斜坡带储集体较发育,成为油气运移的优势区,位于源内的岩性圈闭由水下河道沉积体、重力流浊积体以及周围泥岩形成,受构造作用和沉积环境的差异影响产生成岩作用的结果不同,同时由于储集层孔隙性、渗透性及非均质性综合作用形成物性差异^[36]。综合成藏条件,寻找构造、沉积体系和物性耦合良好区带是源内隐蔽油气藏勘探的核心。位于源上的储集体,浮力为油气运移的先天动力,不整合面和断层面是其疏导的主要网络,所以在寻找这类圈闭时,重点是寻找可能的运移路径,并最终挖掘运移网络中及网端的隐蔽圈闭。

综合上述4种理论,结合中国陆相碎屑岩盆地多为断拗型的特点,建立了缓坡带以多级沉积坡折为特征,陡坡带发育多阶型断裂坡折的断拗盆地背景下隐蔽油气藏发育模式(图5)。油气藏发育在三级层序单元中,界面之上有与古地貌相关的深切河谷充填的地层圈闭,坡折带以下是斜坡扇和盆地扇等地层—岩性和岩性圈闭,显示了不整合面的疏导与低位域储集体的良好配置是低位域油气聚集的有利因素。油源控制论的观点表明,低位域的油气由

层序内凝缩段的细粒沉积物生成, 密集段与低位域储集体有断层面沟通时, 油气可以“倒灌”充注到低位储集单元内, 形成源下油气藏。但是由于要克服毛细管力和浮力的阻碍作用, 隐蔽油气藏只能发育在优质烃源岩下部近距离的断层附近。源内油气藏多

发育在盆缘地层上倾尖灭处, 且规模较小。源上圈闭多发育在盆内断层密集处或地层上隆形成的微幅度背斜周围, 由于断层的沟通, 水进域的生油岩产生的油气沿着断层面一直向上运移, 或是原生气藏被改造后发生二次运移聚集成藏。

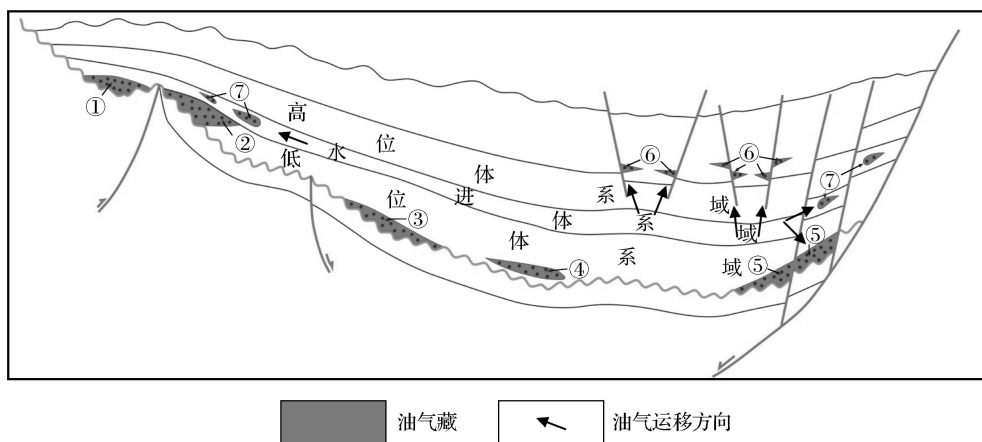


图5 隐蔽油气藏发育模式

①深切谷圈闭; ②地层超覆— truncation圈闭; ③地层—岩性复合圈闭; ④岩性圈闭; ⑤源下圈闭; ⑥源上圈闭; ⑦源内圈闭

5 结论

随着石油供需矛盾的不断突出, 开展隐蔽油气藏的勘探研究已成为提高国内油气自给能力, 解决国家经济和能源危机的有效途径。对隐蔽油气藏勘探理论的系统研究表明, 层序地层学理论、古地貌、坡折带理论和油源控制论为研究隐蔽储集体的形成及分布规律指明了勘探方向。但是针对我国复杂的盆地形成成因背景和多样的油气成藏条件而言, 归纳总结国内外不同盆地类型和不同沉积背景下储集体发育特征, 并与中国类型相似的盆地进行对比研究, 借助高精度的三维地震解释及测井约束反演预测等地球物理技术, 分析隐蔽油气富集规律, 寻找有利勘探方向, 将理论与实践相结合仍需开展进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] Levorsen A I. The obscure and subtle trap[J]. AAPG Bulletin, 1964, 48(5): 141-156.
- [2] Halbouty M T. The Deliberate Search for the Subtle Trap [M]. Oklahoma, AAPG Memoir, 1981, 32: 1-8.
- [3] Gao Ruiqi, Zhao Zhengzhang. Oil and Gas Exploration New Area of China: Subtle Reservoir Exploration of Bohai Bay Basin [M]. Beijing, Petroleum Industry Press, 2001: 5-6. [高瑞琪, 赵政璋. 中国油气新区勘探——渤海湾盆地隐蔽油气藏勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 5-6.]

- [4] Niu Jiayu, Li Qiufen, Lu Weihua, et al. Discussion on proposition and definition of subtle oil-gas reservoir [J]. Acta Petroli Sinica, 2005, 26(2): 122-126. [牛嘉玉, 李秋芬, 鲁卫华, 等. 关于“隐蔽油气藏”概念的若干思考 [J]. 石油学报, 2005, 26(2): 122-126.]
- [5] Pang Xiongqi, Chen Dongxia, Zhang Jun. Progress and prospect of research on hydrocarbon accumulation mechanism of subtle reservoirs [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(1): 56-63. [庞雄奇, 陈冬霞, 张俊. 隐蔽油气藏成藏机理研究现状及展望 [J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 56-63.]
- [6] Pang Xiongqi, Chen Dongxia, Zhang Jun. Concept and categorize of subtle reservoir and problems in its application [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 1-8. [庞雄奇, 陈冬霞, 张俊. 隐蔽油气藏的概念与分类及其在实际应用中需要注意的问题 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 1-8.]
- [7] Pan Yuanlin, Kong Fanxian, Zheng Herong, et al. Subtle Reservoir of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 4-5. [潘元林, 孔凡仙, 郑和荣, 等. 中国隐蔽油气藏 [M]. 北京: 地质出版社, 1998: 4-5.]
- [8] Yang Zhanlong, Chen Qilin. Lithologic traps and lithologic reservoirs exploration continental basins [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 616-621. [杨占龙, 陈启林. 岩性圈闭与陆相盆地岩性油气藏勘探 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 616-621.]
- [9] Li Pilog, Pang Xiongqi. The Formation of Subtle Reservoir in Continental Fault Basins [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 33-36. [李丕龙, 庞雄奇. 陆相断陷湖盆隐蔽油气藏形成——以济阳拗陷为例 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 33-36.]
- [10] Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural

- slope-break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(3): 260-267. [林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2000, 25(3): 260-267.]
- [11] Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 199-205. [王英民, 金武弟, 刘书会. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(3): 199-205.]
- [12] Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on a tectonic traps in downwarped lake basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(2): 30-35. [刘豪, 王英民, 王媛. 拗陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制 [J]. *石油学报*, 2004, 25(2): 30-35.]
- [13] Yang Wanli. In-depth Study and Exploration Practice of Subtle Reservoirs [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1984: 27-28. [杨万里. 隐蔽油气藏勘探的实践与认识 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1984: 27-28.]
- [14] Yin Taiju, Zhang Changmin. Hydrocarbon exploration in the sequence stratigraphy framework [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(1): 25-30. [尹太举, 张昌民. 层序地层格架内的油气勘探 [J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(1): 25-30.]
- [15] Shen Shouwen, Peng Dajun, Yan Qibin, *et al.* The application of sequence stratigraphy to subtle trap prediction: Its principle and method [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 1(3): 300-305. [沈守文, 彭大钧, 颜其彬, 等. 层序地层学预测隐蔽油气藏的原理和方法 [J]. *地球学报*, 2001, 1(3): 300-305.]
- [16] Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure [M] // Bally A M. *AAPG Studies in Geology* 27, 1987: 1-10.
- [17] He Dengfa. Structure of unconformity and its control on hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 4(2): 142-149. [何登发. 不整合面的结构与油气聚集 [J]. *石油勘探与开发*, 2007, 4(2): 142-149.]
- [18] Liu Haitao, Shi Jiannan. Analysis on the simulation experiments of unconformity structure and elusive reservoir distribution [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2008, 27(1): 10-13. [刘海涛, 史建南. 不整合面结构与隐蔽油气藏分布模拟实验研究 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2008, 27(1): 10-13.]
- [19] Posamentier H W, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition II—Sequence and systems tract models [C] // *Sea-Level Changes: An Integrated Approach*. SEPM Special Publication, 1988, 42: 125-154.
- [20] Li Xiangquan, Chen Shaoping, Du Xuebin, *et al.* Method and developing tendency of subtle traps exploration [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2005, 12(2): 1-4. [李祥权, 陈少平, 杜学斌, 等. 隐蔽油气藏勘探方法与发展趋势 [J]. *断块油气田*, 2005, 12(2): 1-4.]
- [21] Liu Yanli, Fan Tailiang, Qiu Chunguang. Summary on lithostratigraphic trap [J]. *Global Geology*, 2006, 25(4): 401-406. [刘延莉, 樊太亮, 邱春光. 岩性地层圈闭研究综述 [J]. *世界地质*, 2006, 25(4): 401-406.]
- [22] Zhu Xiaomin. *Sequence Stratigraphy* [M]. Beijing: Petroleum University Press, 2000: 87-101. [朱敏敏. *层序地层学* [M]. 北京: 石油大学出版社, 2000: 87-101.]
- [23] Zou Dejiang, Yu Xinghe, Li Shengli, *et al.* Analysis on control of paleogeomorphology to reservoir sedimentary system [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(2): 175-178. [邹德江, 于兴河, 李胜利, 等. 古地貌对储层沉积体系控制作用分析——以冀中油田马西地区为例 [J]. *石油天然气学报*, 2008, 30(2): 175-178.]
- [24] Xing Fengcun, Lu Yongchao, Liu Chuanhu, *et al.* Structural-paleogeomorphologic features of Chepaizi area and mechanism of their control on sandbodies [J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(2): 78-83. [邢凤存, 陆永潮, 刘传虎, 等. 车排子地区构造—古地貌特征及其控砂机制 [J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(2): 78-83.]
- [25] Fan Tailiang, Lv Yancang, Ding Huaming. The regularities of formation and distribution of reservoirs in systems of continental sequence stratigraphy [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 315-321. [樊太亮, 吕延仓, 丁华明. 层序地层体制中的陆相储层发育规律 [J]. *地学前缘*, 2000, 7(4): 315-321.]
- [26] Fan Tailiang, Li Weidong. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of non-marine oil reservoir [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(2): 12-17. [樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例 [J]. *石油学报*, 1999, 20(2): 12-17.]
- [27] Zeng Hongliu, Hentz T F. High-frequency sequence stratigraphy from seismic sedimentology: Applied to Miocene, Vermilion Block 50, Tiger Shoal area, offshore Louisiana [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(2): 153-174.
- [28] Zhang Shanwen, Wang Yingmin, Li Qun. Searching subtle traps using the theory of slope break [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 3(30): 5-8. [张善文, 王英民, 李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏 [J]. *石油勘探与开发*, 2003, 3(30): 5-8.]
- [29] Ni Jinlong, Lv Baofeng, Lin Yuxiang, *et al.* Fault slope break system and control on deposit model in Bonan depression, Bohai Bay basin [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2007, 27(2): 153-158. [倪金龙, 吕宝凤, 林玉祥, 等. 渤南洼陷断裂坡折带系统及其沉积模式 [J]. *桂林工学院学报*, 2007, 27(2): 153-158.]
- [30] Wang Yingmin, Liu Hao, Wang Yuan, *et al.* Types and distribution characteristics of slope breaks of large-type downwarped lake basins [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(5): 683-688. [王英民, 刘豪, 王媛, 等. 准噶尔大型拗陷湖盆坡折带的类型和分布特征 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2002, 27(5): 683-688.]
- [31] Hu Zongquan, Zhu Xiaomin. Sequence stratigraphic simulation

- of depression lake basin with topographic ramp[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 217-221. [胡宗全, 朱筱敏. 具有地形坡折带的拗陷湖盆层序地层模拟[J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 217-221.]
- [32] Fan Tai-liang, Gao Zhi-qian, Liu Cong, *et al.* The characteristics of Palaeozoic slopes with different geneses and oil/gas plays in the Tarim basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 127-136. [樊太亮, 高志前, 刘聪, 等. 塔里木盆地古生界不同成因斜坡带特征与油气成藏组合[J]. *地学前缘*, 2008, 15(2): 127-136.]
- [33] Liu Hui, Cao Yingchang, Xu Taoyu, *et al.* The simulation experiment about the control of sandy body in depositional slope-break belt[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 2007, 26(1): 34-37. [刘晖, 操应长, 徐涛玉, 等. 沉积坡折带控砂的模拟实验研究[J]. *山东科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 26(1): 34-37.]
- [34] Li Sitian. Basin geodynamics background of formation of huge petroleum systems[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5): 505-512. [李思田. 大型油气系统形成的盆地动力学背景[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2004, 29(5): 505-512.]
- [35] Hou Dujie, Zhang Shanwen, Xiao Jianxin, *et al.* The excellent source rocks and accumulation of stratigraphic and lithologic traps in the Jiyang depression, Bohai Bay basin, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 137-146. [侯读杰, 张善文, 肖建新, 等. 济阳拗陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析[J]. *地学前缘*, 2008, 15(2): 137-146.]
- [36] Zou Caineng, Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, *et al.* Accumulation dynamics and distribution of litho-stratigraphic reservoirs in south Songliao basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 125-131. [邹才能, 贾承造, 赵文智, 等. 松辽盆地南部岩性—地层油气藏成藏动力和分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 125-131.]
- [37] Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, Li Jianqing, *et al.* Geologic thresholds in the process of forming oil and gas reservoir and their functions of controlling petroleum[J]. *Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science*, 2000, 24(4): 53-59. [庞雄奇, 姜振学, 李建青, 等. 油气成藏过程中的地质门限及其控制油气作用[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2000, 24(4): 53-59.]
- [38] Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Wang Zecheng, *et al.* The intensification and significance of "Sag-wide Oil-Bearing Theory" in the hydrocarbon-rich depression with terrestrial origin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(2): 5-13. [赵文智, 邹才能, 汪泽成, 等. 富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(2): 5-13.]

Recognition of Theoretical System of Subtle Reservoirs Exploration

HU Xiao-lan^{1,2}, FAN Tai-liang^{1,2}, WANG Hong-yu^{1,2}, HOU Wei^{1,2}, WANG Jian-ping^{1,2}, ZOU Tuo³

(1. *School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;*

2. *Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;*

3. *Exploration & Development Research Institute of Dagang Oilfield, Tianjin 300280, China)*

Abstract: Subtle reservoir has been gradually becoming the main field of oil and gas reservoirs exploration, and it is rapidly developed for their theories and exploration methods. Four theories like as sequence stratigraphy, paleogeomorphic, slope-beak zone and source-constrained oil have guided the formation mechanism of subtle reservoir and distribution. The space above and under the unconformity surface and low stand system in the third-order sequence is a favorable place for subtle reservoir. The transport and seal for unconformity surface itself is the key factor for subtle reservoir formation. The palaeogeomorphology and slope-beak zone constrained the spatial distribution of reservoir and hydrocarbon accumulation gave a guide for horizontally tracing the subtle reservoir. The location of high-quality source rock and reservoir would predict the scope of subtle reservoir.

Key words: Subtle reservoirs; Sequence stratigraphy; Paleogeomorphic; Slope-break zone; Source-constrained oil.