

文章编号:0253-9985(2004)04-0422-06

准噶尔盆地坳陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用

刘 豪^{1,2}, 王英民^{1,2}

(1. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要:准噶尔盆地西北缘地区, 多级坡折带十分发育, 对层序地层发育、地层超覆叠置、岩性纵向组合以及沉积体的纵横向展布具有重要的控制作用。多级坡折带对非构造圈闭的控制主要表现为: 非构造圈闭紧邻多级坡折带发育, 沿着坡折带呈串珠状展布; 非构造圈闭在纵向上发育具有继承性的特点; 非构造圈闭发育的类型随着坡折带所处的地理位置的不同而不同, 靠近盆缘的坡折带以形成地层超覆和削截为主的非构造圈闭, 向盆地方向, 地层圈闭逐渐减少, 以地层-岩性圈闭或岩性圈闭为主。多级坡折带的存在导致了在盆地的不同地理位置发生不同的沉积剥蚀响应, 控制了构造圈闭的储、盖组合。另外, 断裂坡折带中的断裂及挠曲坡折带处发育的裂缝, 成为油气运移的通道, 有利于油气运聚。由于坡折带的深部构造往往是早期的有利聚油构造, 因此坡折带又是深部构造中聚集的油气再次垂向运移分配的有利聚集场所。

关键词:准噶尔盆地; 侏罗系; 坳陷湖盆; 坡折带; 非构造圈闭

中图分类号:TE112.322

文献标识码:A

Significance of slope break zones in downwarped lake basins to exploration of non-structural traps in Junggar basin

Liu Hao^{1,2} Wang Yingmin^{1,2}

(1. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing;

2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing)

Abstract: Multistage slope break zones which are well developed on the northwestern edge of Junggar basin significantly control the development of sequence stratigraphy, overlapping and superimposition of strata, vertical lithologic combinations and vertical and lateral distribution of sediments. The control of multistage slope break zones on non-structural traps are mainly represented as follows: 1) Non-structural traps are developed closely near the multistages slope break zones, and distributed in beaded occurrence along the slope break zones. 2) The development of non-structural traps is vertically characterized by their inheritance. 3) The types of non-structural traps vary with the geographical positions of the slope break zones. Non-structural traps would mainly be developed as stratigraphic overlaps and truncations in the slope break zone near basin edges, stratigraphic traps would gradually decrease basinward and then mainly become stratigraphic-lithologic or lithologic traps. The existence of multistage slope break zones would correspondingly lead to various erosions and depositions at different geographical positions in the basin, and control the combination of reservoirs and seals in non-structural traps. In addition, fractures developed in faulted slope break zones and fissures developed in flexural slope break zones would act as migration pathways, and would be favorable to hydrocarbon migration and accumulation. The structures deeply buried in the slope break zones would often be advantageous to hydrocarbon accumulation, thus the slope break zones would also be the favorable sites for accumulation of hydrocarbons that migrate vertically upward and redistribute from the earlier hydrocarbon accumulations at depth.

Key words: Junggar basin; Jurassic; downwarped lake basin; slope break zone; non-structural trap

基金项目:国家自然科学基金项目“大型坳陷湖盆坡折带的构造-古地貌-剥蚀沉积响应耦合”(40272057); 国家“973”项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”(G1999043305)

第一作者简介:刘豪, 男, 30岁, 博士, 层序地层学和含油气盆地分析

收稿日期:2004-04-16

近年来,随着准噶尔盆地侏罗系勘探程度的不断提高,规模较大的构造圈闭基本上已被逐一发现,且已进行过钻探。因此,加强隐蔽圈闭的研究与勘探,实现勘探理论的突破,指导新领域的油气勘探,就成为准噶尔盆地油气勘探亟待解决的问题^[1,2]。

陆相湖盆坡折带的研究越来越受到人们的重视^[2~9]。通过对准噶尔盆地侏罗系层序地层学的研究^[10~13],发现在大型坳陷湖盆中不仅有坡折带,而且其数量和类型更为复杂。从成因上看有侵蚀坡折带(erosion slope break)、沉积坡折带(depositional slope break)、断裂坡折带(fracture slope break)^[2]和挠曲坡折带(bending slope break)等多种类型^[1,4,7~9];在空间分布上表现为多级坡折带具有阶梯状、沟梁状等多种剖面配置样式和平行、斜交等多种平面配置样式。综合考虑成因类型和配置样式的有机联系,可进一步划分出多种成因组合模式^[4,7~9]。只是由于湖盆坡折带的规模不如陆架坡折带宏伟而容易被人们所忽视,但其对层序和沉积体系的控制却仍然是十分显著^[4,7~9]。本文以准噶尔盆地西北缘地区侏罗系为例,重点论述断裂坡折带和挠曲坡折带的成因类型及其对油气成藏的控制作用,以便更好地应用于隐蔽油气藏的勘探实践。

1 坡折带与层序发育

准噶尔盆地西北缘地区侏罗系存在控制层序地层发育的各类坡折带,随着当时湖平面的升降,层序中各体系域分布错落有序,形成了关系密切的生、储、盖组合。

1.1 低水位体系域

在低水位期,湖平面下降至浪基面之下,形成各种沉积体系。坡折带以上,下切谷十分发育,形成孔隙度高、渗透性好的河道砂储层。在坡折带以下形成的各种类型的三角洲、重力水道和浊积扇,距油源近,封堵条件好,可以形成地层油气藏,但由于埋深相对较大,缺少钻井资料,孔、渗条件难以预测,导致勘探风险较大。

1.2 湖侵体系域

湖侵期湖平面持续上升,岸线向陆方向迁移,由河流从物源区携带大量碎屑物质进入湖盆,形成三角洲沉积。随着湖侵作用的不断发展,湖侵体系域以退积三角洲为沉积主体。在湖侵冲刷作

用下,三角洲前缘席状砂及三角洲平原的分流水道沉积被湖水反复淘洗,细粒物质被带走,在层序界面上可以形成孔、渗性好的砂岩储层(图1)。湖侵晚期,广大湖域成为深水区,形成具有封堵能力的湖相泥岩,对下伏的三角洲席状砂、河口坝以及分流水道构成良好的盖层。

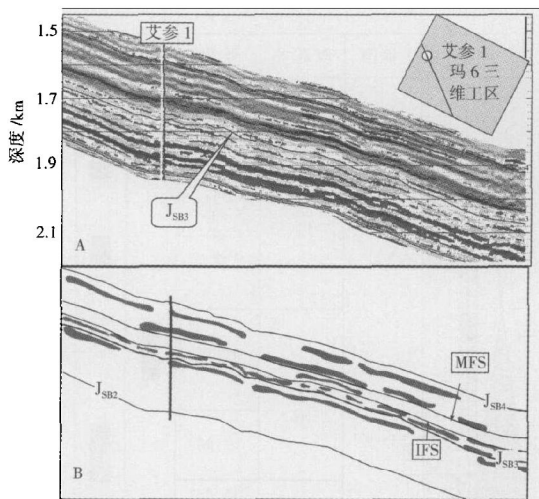


图1 过艾参1井波阻抗反演及其砂体解释

Fig.1 Impedance inversion and sandbody interpretation profiles across Aican 1 well

A—impedance inversion profile

B—sand interpretation profile

A—波阻抗剖面;B—砂体解释剖面

1.3 高水位体系域

高水位期湖平面上升缓慢,快速的堆积作用使岸线向盆地中央推进,形成进积三角洲。此时三角洲前缘的河口坝和三角洲平原的分流水道沉积是最常见的储层。由于进积作用,砂体向盆地方向叠覆(图1),盖层通常为湖泛泥岩。由于生油岩通常发育在盆地内部,侧向运移难度较大,因此需要垂向断层的配合,才能使深部油气向上运移聚集成藏。

通过上述的分析,发现在具有明显坡折带发育的地质条件下,沉积基准面旋回变化控制着陆相层序地层的形成与演化,并为预测陆相储层的发育与展布提供了一个参照格架。而在这一格架中低位域是生、储、盖组合最有利的目的层,基准面低位期是形成各类储集砂体和岩性圈闭的有利时期。图2为准噶尔盆地侏罗系层序J_{SQ3}沉积体

系及岩性纵向分布与基准面变化的对应关系。在基准面低位期,发育辫状河低弯度曲流河泛滥平原复合体系,其特点是以河道砂为主,是良好的储集层,所夹薄层泥岩可作为局部盖层,在湖侵期形成的大套泥岩段,又可作为区域性盖层。在高位期,以河流三角洲体系、决口扇、决口河道和冲积平原沉积为主,其特点是以泥质岩为主,夹薄层砂岩。

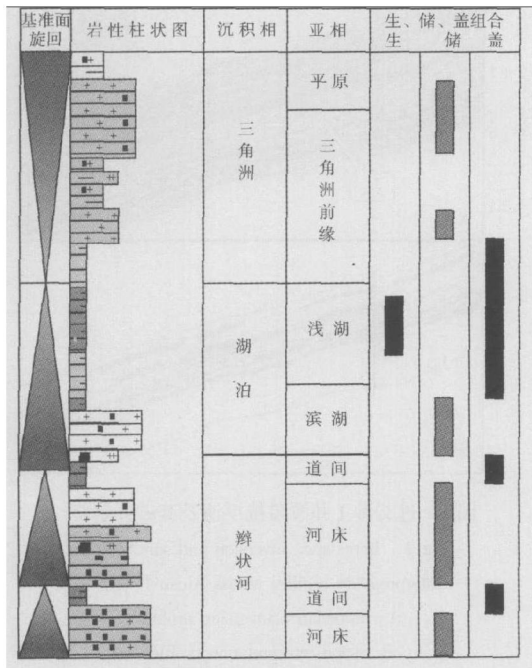


图2 准噶尔盆地玛湖凹陷 J_{503} 层序基准面旋回格架中的沉积体系与储盖层发育规律

Fig.2 Sedimentary systems and development patterns of reservoirs and seals in the cycling framework with J_{503} sequence to be the datum plane in Mahu sag, Junggar basin

2 坡折带与非构造圈闭

准噶尔盆地西北缘由不同成因机制形成的不同形态、类型的坡折带可以进一步控制地层超覆、削蚀,并导致低位域岩性和高频层序叠置等方面存在差异,因此沿着多级坡折带将发育不同性质、不同大小的非构造圈闭。

(1)非构造圈闭紧邻多级坡折带发育,沿着坡折带呈串珠状展布。坡折带在纵向上也具有继承性,并进一步控制了非构造圈闭在纵向上发育的继承性。圈闭发育的个数与多级坡折带的主次有关,一般主控坡折带在纵向上控制的非构造圈闭通

常也是最多的。如在盆地西北缘的三维地震区中,玛湖坡折带上下发育的非构造圈闭较玛北坡折带多,而在中拐地区,该坡折带仍然控制了中拐三维地震区内大部分的非构造圈闭。这一特点与坡折带在某个时期的构造活动强弱有着密切的联系。

(2)坡折带有利于地层超覆、削截等不整合现象产生,因此多级坡折带下的非构造圈闭中地层圈闭的发育尤为突出,且易于识别。如在玛湖凹陷和中拐地区地层超覆和地层不整合遮挡圈闭占大部分。

(3)对于大型坳陷型湖盆,由于构造活动在顺源方向上的差异,造成从盆缘到盆地内部坡折带的大小和形态的不同。在准噶尔盆地西北缘地区,一般靠近盆缘构造运动较强烈,易于形成坡度较陡、延伸范围较大的坡折,因此,在该地区的坡折带上下形成地层超覆和削截为主的非构造圈闭。同时,在该部位由于有较大的构造沉降差异,坡折带高差较大,坡折带上下可容空间的差异亦较大,在坡折带之上有利于深切谷圈闭形成。向盆地方向,随着构造活动的减弱,坡折带的规模逐渐减小,坡度减缓,地层圈闭逐渐减少,取而代之以地层-岩性圈闭或岩性圈闭为主,越向盆地靠近,岩性圈闭的发育越明显(图3)。

(4)由于构造活动在盆地的不同位置存在强弱差异,因此,同一个坡折带在横向上其坡降、规模有较大的变化。这一变化必然导致形成不同类型的非构造圈闭。如玛湖坡折带,在玛湖地区该坡折带远离盆缘,坡度较缓,容易形成三角洲沉积为主的地层-岩性复合圈闭;在中拐地区,该坡折带靠近盆缘,主要发育一系列地层超覆为主的圈闭。

3 坡折带与油气成藏

3.1 储层

首先在多级坡折带的地质背景下基准面旋回通过控制物源区的扩大与收缩、河流地貌的改造与变迁、沉积物的供给型式等,控制着储层形成条件与发育规律^[14,15]。对于河流相沉积而言,由低水位期至高水位期,沉积物将由下部的相互切割、叠置的厚层粗粒砂体,向上演变为相对孤立的薄层砂岩。这些薄层砂岩可能被较厚的洪泛泥岩所包围,并且由于泥质含量高,物性条件变差。对于湖相沉积而言,在低位期,河道将沉积物输送到盆

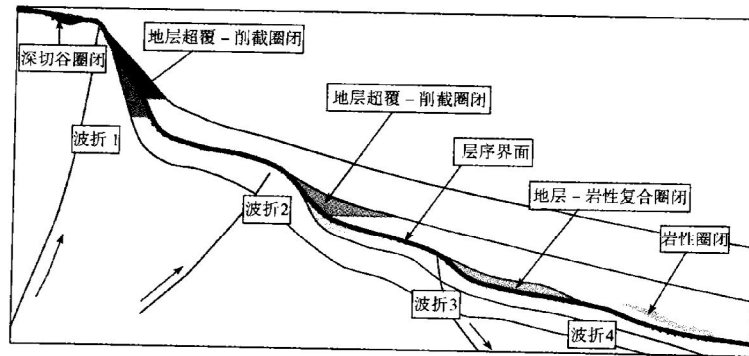


图3 多级坡折带在横向上对非构造圈闭发育控制模式图

Fig.3 Mode chart showing how the multistage slope break zones would laterally control the development of non-structural traps

地斜坡带至深盆区,常发育洪水浊流沉积,易于形成岩性圈闭。以中拐地区拐4井区层序 J_{S3} 内部准层序组岩性油藏为例,当中、短期基准面下降的时候,在层序界面之上发育的准层序组 PSS1—PSS2,由于陆上可容空间不断减少,在三角洲沉积坡折带之上以侵蚀作用为主,形成以进积为主的河口砂坝沉积。由于仍然受湖水的波及,使沉积物泥质被带走,砂质留下来,其储集层发育条件相对较好。随着三角洲向湖推进,砂体泥质含量逐渐增多,表现为储集物性变差。中、短期基准面上

升时期,为湖侵体系域 PSS3 分流河道的主要沉积期,此时有效可容空间向陆迁移,在体积分配的作用下,沉积物首先在三角洲平原的中上部沉积,形成的河道砂体厚度大,但由于堆积速度较快,沉积物分选相对较差,储集物性一般。在三角洲平原的中下部,由于地形平坦,河道分叉严重,河道砂体的沉积厚度相对稳定,沉积物粒度较细,但由于水体通常可以波及该区,水体的淘洗使得泥质含量通常较低,储集物性良好,拐4井出油砂体(尖灭砂体)即为该类型储层(图4)。

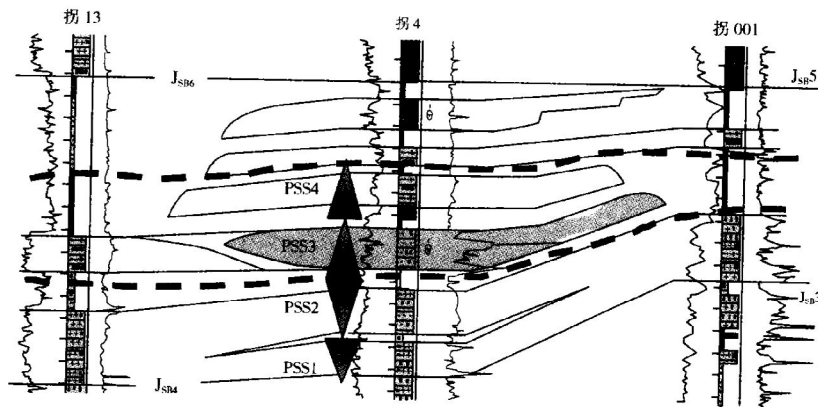


图4 拐4井油藏高频层序与油气的关系

Fig.4 Relation between hydrocarbons and high-frequency sequence in Guai 4 well oil reservoirs

其次,储层沉积作用受到坡折带发育的平面组合的制约,盆地内局部高地影响着水系的具体分布格局,古山口、侵蚀沟谷、古河道等决定着物源的搬运通道,同时坡折带的存在又决定着沉积物卸载场所。因此,盆地多级坡折带等地势梯度

变化带相匹配的地理空间,是储集岩分布的有利场所。在西北缘地区多级坡折带的阶梯状组合控制了沉积体系的相带变化,各坡折带往往成为相带的分界线,从物源区至沉积区通常发育辫状河—曲流河—三角洲—滨浅湖或辫状河—三角洲—滨浅

湖沉积,具有较强的规律性,每级坡折带上发育的砂体是很好的储集层。同时,同一坡折带坡降在横向上通常是有变化的,而坡降是控制三角洲等沉积性质的主要因素。在西北构造坡折域,从北向南坡降变小,坡折带之间的间距增大,这种变化控制了沉积体系由北向南从辫状河三角洲(玛东2三角洲和玛湖三角洲)向曲流河三角洲(中拐三角洲)转化。个别地区因受多个坡折带的复合,使局部地区坡降增大,从而出现水下扇沉积(小拐水下扇)。因此坡折带横向上的发育特征也决定了储集层段在横向上的变化。

3.2 封堵

一般非构造圈闭的封堵条件包括顶封、侧封和底封三个方面。而封堵的类型又可以分成偏泥相封堵、断层封堵和水动力封堵^[16]等,其中偏泥相和断层封堵是最常见的封堵类型,也是本文讨论的重点。

西北缘地区多级坡折带类型较多,而其中断裂坡折带是由同沉积断裂活动产生明显差异升降和沉积地貌突变的古构造枢纽带,其断层的封堵性就是该坡折带背景下非构造圈闭的封堵条件之一。西北缘地区断裂坡折带的发育又可以分为两种情况,其一是垂直物源方向的断裂坡折带,如中拐地区达巴松坡折带,该坡折带的断裂的封堵与否构成了圈闭的侧上封堵条件;另外一种平行或斜交于物源方向的断裂坡折带,如车排子地区断裂坡折带是最典型的例子,该坡折带的发育控制了物源水系和沉积砂体的顺源发育,构成了圈闭的侧封条件。因此,上述断裂坡折带中的断层封堵是形成非构造圈闭侧封条件的主要因素之一。

上述断层封堵仅仅是当断裂坡折带存在时必须考虑的一部分,而形成非构造圈闭封堵的重要条件还在于偏泥相的存在与否,不管坡折带是断裂型还是挠曲型,偏泥相岩性在圈闭的顶、底和侧封方面将起到更大的作用。对于顶封我们首先考虑到的是顶部的偏泥相细粒沉积,而一般在高频层序中能够形成这种细粒沉积物的只是“渐深相”顶部,即可能的湖泛沉积物。假设沉积表面是一个均一的斜坡时,只有当湖平面(基准面)阶跃式的上升才有可能形成超覆于斜坡上的砂、泥岩互层(或粗粒-细粒沉积物互层)的沉积物组合,其中的泥岩(细粒沉积物)就可能成为顶封条件。由于西北缘地区多级坡折带十分发育,在基准面旋

回过程中沿着每一坡折带都可以导致坡折带上下可容空间的“突变”,坡折带之上以地层剥蚀、沉积过路或者较少沉积作用为主,而坡折带之下则因为可容空间的突然增大易于导致渐深相沉积(图5)。如果在湖盆范围,则湖平面的升降与坡折带表面(即基底沉降)的叠加就构成了阶跃式的湖平面变化。因此沿着每个坡折带超覆体之上的偏泥相细粒沉积物就构成了有利的顶封条件。以过拐4井油藏对比为例(图4),在坡折带下方,从准层序组 PSS1 至准层序组 PSS3 经历了由中、短期基准面缓慢下降后又快速上升的过程,准层序组之间夹一套代表湖泛面的极薄泥岩(三角洲坡折之上为沉积过路面所替代)。准层序组 PSS2 上部与准层序组 PSS3 下部分流河道砂构成较好的储层,向上由于基准面的上升为分流间湾及河间凹地的泥质岩沉积提供了潜在的可容空间,且准层序组 PSS3 之上为层序 J_{s03} 的最大湖泛面,形成了区域性的盖层。又由于在层序界面之下是上一个层序的高位域,在坡折带之上高位域顶部发育了三角洲平原细粒沉积,而在坡折带之下通常以滨浅湖泥岩沉积为主,因此构成了良好的底封条件。

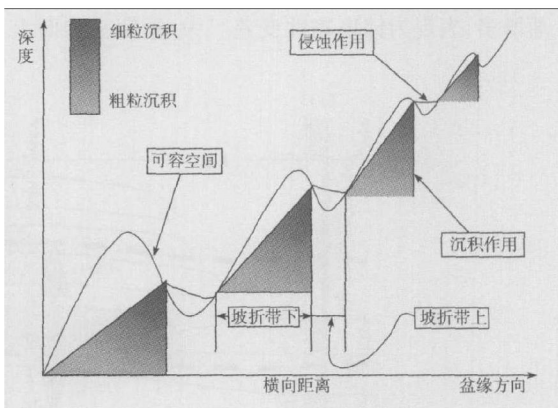


图5 多级坡折带上下“突变”可容空间对沉积物堆积的控制模式图

Fig.5 Mode showing controls of vertical abrupt change of accommodations in multistage slope break zones on accumulation of sediments

此外,由于同一坡折带在横向上其坡降是有变化的,因此同一坡折带的沉积物及岩性也不尽相同。如坡折带控制的三角洲沉积,因为坡降的变化,在坡折带横向上发育有三角洲的进积朵页体及朵页体之间的间湾沉积,而间湾沉积则构成

了非构造圈闭的侧封条件。

3.3 聚集

准噶尔盆地侏罗系油气藏以来自二叠系烃源岩的次生油气藏为主,前人将其油气藏形成富集规律总结为“源控论”、“断控论”和“梁聚论”。而坡折带对侏罗系油气成藏的控制作用则恰好充分体现了这“三论”的思想。

准噶尔盆地侏罗系是后前陆期的沉积,而坡折带往往是在深部构造背景下发育的,许多断裂坡折带是古断层再次活动的产物。断裂坡折带中的断

裂在后期的成藏关键时刻可以成为油气运移的有利通道,挠曲坡折带也可能因应力集中而有利于裂缝的发育,从而成为隐形的运移通道(图6)。一般讲,挠曲坡折带则往往是由于同期深部断裂活动使浅层发生挠曲而变形,或是在古梁、古断凸、古潜山之上由于披覆作用而产生的,从而坡折带往往与深部构造有密切的对应关系。而这些深部构造在早期成藏关键时刻往往是有利的聚油构造,因此坡折带是深部构造中聚集的油气再次垂向运移、分配的有利聚集场所(图6)。

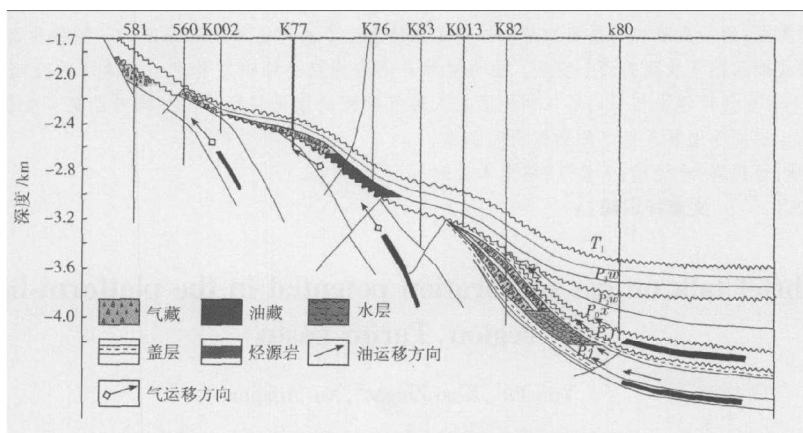


图6 中拐凸起坡折带对油气运移的影响

Fig.6 Impact of slope break zones in Zhongguai swell on hydrocarbon migration (after Xinjiang Oilfield Company, 2002)

参考文献

- 王英民,刘豪,王媛.准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景[J].石油勘探与开发,2002,29(1):44~47
- 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):260~266
- 邓宏文,王洪亮,王敦则.古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制——以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例[J].石油与天然气地质,2001,22(4):293~303
- 王英民,刘豪,李立诚,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(6):683~688
- 鲍志东,管守锐,李儒峰,等.准噶尔盆地侏罗系层序地层学研究[J].石油勘探与开发,2002,29(1):48~51
- 朱筱敏,康安,张琴,等.准噶尔盆地东北缘侏罗系含煤岩系层序地层和隐蔽圈闭[J].石油与天然气地质,2002,23(2):121~126
- 王英民,金武弟,刘书会,等.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):199~214
- 刘豪,王英民,王媛,等.大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义[J].沉积学报,2004,22(1):95~102
- 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
- Wang Yingmin, Liu Hao, Xin Renchen, et al. Lacustrine basin slope break: the new domain of strata and lithological traps exploration[J]. Petroleum Science, 2004, 21(2): 25~30
- 刘豪,王英民,王媛,等.准噶尔盆地侏罗系三工河组层序界面结构分析[J].新疆石油地质,2002,23(2):127~129
- 张年富,齐雪峰,王英民,等.准噶尔盆地侏罗系Ⅲ层序底界上下砂体预测与有利区评价[J].石油与天然气地质,2002,23(2):145~149
- 高新生,赵霞飞,李天明,等.准噶尔盆地西部侏罗系层序地层特征[J].石油与天然气地质,2001,22(2):165~168
- Eschard R. Geological factors controlling sediment transport from platform to deep basin: a review[J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18(4): 487~490
- 樊太亮,吕延仓,丁明华.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
- 许怀先,陈丽华.石油地质实验测试技术与应用[M].北京:石油工业出版社,2001