

哈密坳陷三叠系层序地层与沉积特征

王 军^{1,2,3}, 宋明水³, 姜素华⁴, 郭 铮⁵

(1.北京大学 地球与空间科学学院,北京 100871; 2.北京大学 石油与天然气研究中心,北京 100871;
3.中国石化胜利油田分公司 新疆勘探项目管理部,山东 东营 257000; 4.中国海洋大学 海洋地球科学学院,
山东 青岛 266100; 5.中国石油大学(北京) 地球科学学院,北京 102249)

摘要:哈密坳陷三叠系是重要的烃源岩和储层,综合地震、测井、沉积和古生物等资料对其进行层序地层综合划分,将其分为1个二级层序和4个三级层序,各三级层序分别由3个体系域组成,主要发育低位体系域、水进体系域和高位体系域。哈密坳陷三叠系主要发育辫状河、曲流河、辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖泊5种沉积相,其中曲流河三角洲相和辫状河三角洲相是主要的储集体发育相带,湖泊相是有利的烃源岩和盖层发育相带。早、中三叠世哈密坳陷中南部缓坡带广泛发育辫状河相,北部、西北部主要发育曲流河相;晚三叠世黄山街组和郝家沟组沉积时期主要发育辫状河三角洲相,克拉玛依组沉积晚期哈密坳陷北部主要发育曲流河三角洲相,是寻找岩性油气藏的有利区带。

关键词:层序地层 沉积相 沉积特征 三叠系 哈密坳陷

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2013)01-0011-05

吐哈盆地东部的哈密坳陷位于哈萨克斯坦、西伯利亚和塔里木3大板块的结合处,可进一步分为三堡凹陷、火石镇凹陷和黄田凸起3个次级构造单元,其三叠系地层厚度达3 000余米,是重要的烃源岩和储层。由于经历了多次构造运动,研究区三叠系的沉积中心频繁变迁,致使地层厚度差异较大;哈密坳陷南部的火石镇凹陷下三叠统厚度达1 000 m,北部三堡凹陷中三叠统一上三叠统发育较全,最大厚度达2 000 m,并向南部火石镇凹陷逐渐减薄直至缺失。

针对研究区的油气勘探已见到一些成效,目前的勘探成果表明坳陷北部三叠系郝家沟组是主要的含油层系,哈2井和哈3井获得低产油气流,但在坳陷东、南部的其他探井却未获得油气流,认识程度较低,仍处于探索阶段^[1-3]。

前人曾针对哈密坳陷进行了大量的研究^[4-8],但由于地震及地质资料较少,影响了层序界面的正确划分,导致层序地层格架不明确^[9]。为此,笔者综合地震、测井、沉积和古生物等资料对研究区三叠系进行了层序地层划分,建立了层序地层格架,并对沉积相类型及其展布特征进行了研究,以为哈密坳陷三叠系的有利储层分布预测及下步勘探提供依据。

1 层序地层及体系域划分

将地震剖面的层位标定作为层序划分的主要依据,以岩石、地层及古生物研究为依托,确定哈密坳陷三叠系全区(或较大区域)内可以追踪和闭合的5个地震反射界面,自下而上分别为 T_{T1} 、 T_{T2k} 、 T_{T3bs} 、 T_{T3bj} 和 T_{T1b} ,进而将研究区三叠系自下而上划分为SQ1—SQ4共4个三级层序(图1)。其中SQ1、SQ2、SQ3和SQ4层序分别对应于下三叠统烧房沟组和韭

地 层			地震反 射界面	沉积旋回		地震 层序	体系域	接触关系
系	统	组		中期	长期			
侏罗系	下统	八道湾组						角度不整合
三叠系	上统	郝家沟组	T_{T1b}	▲	▲	SQ4	HST TST LST	整合或平行不整合
		黄山街组	T_{T3bj}	▲	▲	SQ3	HST TST LST	整合或平行不整合
	中统	克拉玛依组	T_{T3bs}	▲	▲	SQ2	HST TST LST	整合或平行不整合
	下统	烧房沟组	T_{T2k}	▲	▲	SQ1	HST TST LST	整合或平行不整合
		韭菜园子组	T_{T1}	▲	▲			

图1 哈密坳陷三叠系地震、层序地层及体系域划分

收稿日期:2012-12-01。

作者简介:王军,男,高级工程师,在站博士后,从事石油地质综合研究。联系电话:13854666276, E-mail:wang6169@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2009ZX05009-001)。

菜园子组、中三叠统克拉玛依组、上三叠统黄山街组和郝家沟组;SQ1, SQ2, SQ3和SQ4层序底界分别对应于SB1, SB2, SB3和SB4共4个层序界面;SB1和SB2为区域性不整合界面,地震剖面上表现为明显的削截和上超特征,SB3和SB4为区域性分布的沉积体系和沉积旋回的转化界面^[10-11]。

对陆相层序地层学研究来说,一个完整的层序可划分为若干个体系域。体系域发育主要受湖平面升降变化控制,而湖平面的升降变化主要受构造沉降和古气候的控制。受不均衡沉降、隆升及剥蚀的影响,哈密坳陷三叠系各三级层序可分别划分出3个体系域,即低位、水进和高位体系域。

2 三级层序地层特征

2.1 SQ1层序

该层序位于三叠系底部,为干旱环境下形成的紫红色、褐色泥岩及砂质泥岩夹褐色细砂岩组成的河流相沉积,与下伏及上覆地层均呈不整合接触。受断裂及剥蚀作用影响,虽分布广泛但地层厚度差异较大,如哈参2井和堡参1井钻遇下三叠统的地层厚度分别为1 050和375 m。地震剖面上,下三叠统底界由1~3个强—中强振幅、连续—较连续的同相轴组成,是研究区稳定的反射层之一,与下伏地层多呈明显的削蚀接触关系;该层序整体以席状、楔状或丘状为主,内部表现为平行—亚平行、中—强振幅、连续—较连续的波阻抗反射特征。

低位体系域沉积时期, SQ1层序主要为辫状河、曲流河河道及越岸沉积等。岩性为灰、杂色、棕色厚层块状砂砾岩,含砾砂岩及砂岩与杂色、棕红色、褐色泥岩的不等厚互层;剖面上为下粗上细的沉积序列,整体呈水进退积的正旋回特征。该层序顶界为低位体系域退积正旋回组合与水进体系域加积反旋回组合的转化面,且层序顶界面上、下的岩性和电性特征差异明显;界面之下厚层河道砂体相对发育,电性上表现为中高幅箱形—钟形的正旋回特征,界面之上为水进体系域冲积—泛滥平原泥质岩类为主夹薄层天然堤及决口漫溢砂岩沉积,整体电性特征表现为大段泥岩平直特征夹薄层指状、齿状组合。钻、测井资料揭示, SQ1层序低位体系域以陆上粗碎屑沉积物发育为特征,反映了二叠系沉积后研究区隆升遭受剥蚀再接受沉积的背景。

水进体系域沉积时期,随着沉积基准面的上升及物源供给能力与坳陷沉降速率趋于均衡, SQ1层

序主要发育河流冲积—泛滥平原细碎屑泥质岩类沉积。SQ1层序沉积后,研究区隆升遭受剥蚀,高位体系域沉积几乎被剥蚀殆尽,仅南部哈参2井见高位体系域辫状河河道及冲积平原沉积。

2.2 SQ2层序

在SQ2层序沉积时期,研究区的气候由干旱逐渐转变为温暖潮湿,湖水量增加,湖盆范围逐渐扩大,发育1套完整的水进水退沉积旋回。该层序沉积早期主要发育辫状河—曲流河沉积,中期发育河流相冲积—泛滥平原—滨浅湖沉积,晚期发育曲流河—三角洲平原—三角洲前缘—滨浅湖沉积。地震剖面上,克拉玛依组底界表现为中强—弱振幅、较连续—差连续同相轴;该层序整体以席状或丘状为主,内部则表现为中强—弱振幅、较连续—差连续的波阻抗反射特征。

低位体系域沉积时期,为克拉玛依组沉积早期,与下伏下三叠统为平行不整合接触,是晚二叠世以来又一次削高填低过程的开始。其沉积基准面较低,湖盆范围有限,坳陷边缘主要发育辫状河、曲流河沉积,北部发育三角洲及滨浅湖沉积;剖面上为下粗上细的沉积序列,即下部为杂色砾岩和砾状粗砂岩,上部为灰绿色泥岩夹灰绿色厚层状细砾岩和含砾砂岩。由于坳陷的不均衡隆升及沉降,低位体系域在研究区不同部位的发育程度存在差异,南部密1井和三堡1井发育低位体系域辫状河河道砂体,向北、向东在克拉玛依组底部发育河流相冲积—泛滥平原或滨浅湖泥岩沉积,已不具有低位体系域的沉积特征。

水进体系域沉积时期,为克拉玛依组沉积中期。哈密坳陷稳定沉降,可容纳空间增大,湖盆水位上升使湖泊面积扩大,主要发育曲流河泛滥平原及浅湖沉积。岩性为大段灰绿色、棕色及褐色泥岩夹灰绿色及灰色薄层砂岩,电性为低值平直特征夹中高幅指状、齿状组合。该体系域底界对应低位体系域厚层砂体的顶面,其上泥岩发育段,是退积与加积组合的转化面,测井曲线上表现为正旋回与平直特征段的分界处,代表初始水泛面。水进体系域顶界为加积组合与上部高位体系域进积组合的转化面,代表最大水泛面,对应于厚层曲流河泛滥平原(三堡1井)或滨浅湖泥岩沉积(堡参1井)顶部,测井曲线上为大段平直段的顶部与其上部中高幅正或反旋回的分界处。

高位体系域沉积时期,为克拉玛依组沉积晚期。坳陷边缘发育曲流河河道夹泛滥平原沉积,向

北至坳陷内部逐渐演化为三角洲平原及前缘沉积,反映自水进体系域沉积晚期,研究区沉积基准面开始下降,湖盆水域稳中有退,周围物源供给能力有所增强,砂体比水进体系域发育。岩性主要为灰绿色、棕色、褐色、灰色泥岩与灰色砂岩互层,岩性和电性表现为明显的水退进积特征。该体系域底界对应于水进体系域顶部的最大水泛面,界面上、下的岩性组合、旋回及电性特征明显,易于识别和对比。

2.3 SQ3层序

研究区已有多口井钻遇SQ3层序。在该层序沉积时期,研究区水进范围达到最大,随后逐渐开始缩小,湖盆短暂抬升,为暗色泥岩与砂、泥岩互层沉积。在SQ3层序沉积早期,湖盆沉积中心位于密1—三堡1—哈参1井区,该层序沉积厚度较大,发育曲流河三角洲沉积;中期水进发育滨浅湖沉积,局部发育半深湖沉积;晚期水退发育粗碎屑辫状河三角洲沉积,整体构成1个完整的水进水退旋回。地震剖面上,SQ3层序底界为中强—弱振幅、较连续—差连续同相轴;层序整体以席状、丘状或菱形为主,内部表现为强—中强振幅、连续—较连续或中强—弱振幅、较连续—差连续的波阻抗反射特征。

低位体系域沉积时期,研究区的沉积特征与SQ2层序的高位体系域具有继承性,发育曲流河三角洲平原和前缘沉积。SQ3层序底界为SQ2层序的高位体系域进积组合与SQ3层序的低位体系域退积组合的转化面,即水退反旋回与水进正旋回2个长期旋回的转化面,表现为由曲流河—曲流河三角洲平原向曲流河三角洲平原—前缘演化,对应于SQ3层序水进早期低可容纳空间条件下的1套相对较粗的碎屑岩沉积;SQ3层序顶界为低位体系域退积与水进体系域退积—加积旋回的转化面,一般为曲流河三角洲平原—前缘向滨浅湖沉积的转化处,以代表初始湖泛面的稳定暗色泥岩的区域性分布为特征。

水进体系域沉积时期,SQ3层序主要发育滨浅湖泥岩夹中薄层滩坝砂岩及薄煤层沉积,测井曲线上整体表现为中低幅加积特征。SQ3层序顶界为最大湖泛面,为稳定分布的厚层暗色泥岩的顶界,对应于加积旋回与顶部高位体系域水退进积旋回的转化面;顶界面之下为湖相泥岩夹滩坝砂岩沉积,之上为正旋回或反旋回中高幅测井响应特征的三角洲相厚层砂岩,且顶界面上、下的岩性和电性特征差异明显。

高位体系域沉积时期,SQ3层序主要发育最大水进期后、湖泊逐渐萎缩背景下的曲流河三角洲前缘—平原沉积,哈北1—哈参1井区发育辫状河三角洲前缘—平原沉积,整体为1套水退进积的沉积组合。岩性为中厚层三角洲分流河道中、细砂岩夹分流间湾或平原沼泽暗色泥岩及薄煤层。

2.4 SQ4层序

该层序是三叠系最上部的1套层序,以滨浅湖和辫状河三角洲沉积为主。岩性主要为灰、黄灰色砂、砾岩与黄灰、灰绿色泥岩、砂质泥岩互层,局部夹薄层炭质泥岩和煤层。该层序地层厚度变化较大,与下伏SQ3层序呈整合或平行不整合接触,以岩性变粗和砂层变厚作为划分标志。受印支晚期运动影响,研究区大部分区域的SQ3层序顶部均遭受不同程度的剥蚀,在三堡凹陷,该层序与下伏SQ3层序在岩性上存在明显差异,上粗下细、界限明显。整体上,SQ4层序北厚南薄,向南至密1和三堡1井区被完全剥蚀殆尽。地震剖面上,SQ4层序底界由1~3个强—中强振幅、连续—较连续的同相轴组成,是研究区稳定的反射层之一,与下伏地层多呈明显的削蚀接触关系;该层序整体以席状和楔状为主,内部表现为强—中强振幅、连续—较连续或中强—弱振幅、较连续—差连续的波阻抗反射特征。

低位体系域沉积时期,SQ4层序发育1套粗碎屑辫状河三角洲平原—前缘沉积,层序底界表现为岩石粒度明显变粗和砂岩变厚的特征。该层序底界通常位于厚层砾岩和砂砾岩的底部,底界面上、下的岩性和电性特征差异明显;电性特征表现为中低幅突变为高幅;岩性特征上,底界面之下砂岩粒度较细、厚度薄且泥岩发育,之上发育厚层砂砾岩。该层序顶界对应厚层砂砾岩顶部,发育稳定的湖相泥岩,代表初始湖泛面,且顶界面上、下的岩性、沉积相类型和测井响应特征均存在明显差异。

水进体系域沉积时期,SQ4层序发育1套滨浅湖泥岩为主夹薄层滩坝砂岩沉积。该体系域顶界对应于最大湖泛面,为大套厚层泥岩的顶部,其上部高位体系域发育多层砂体。顶界面之下表现为水进退积—加积特征,之上为高位体系域进积特征。SQ4层序的水进体系域发育较薄,且遭受印支运动的强烈剥蚀,现今仅在坳陷北部堡参1井区残留,至三堡1井以南及哈北1井区已被剥蚀殆尽。

高位体系域沉积时期,SQ4层序发育1套辫状河三角洲前缘及滨浅湖沉积。由于印支运动的强烈剥蚀,目前残留地层分布局限,仅有哈2、哈3、哈

4、堡参1和三堡1井钻遇,其中哈2、哈3和哈4井发育辫状河三角洲前缘沉积,堡参1井至三堡1井为滨浅湖沉积。SQ4层序高位体系域底界对应于最大湖泛面,顶界为区域性不整合,内部表现为水退进积准层序组合特征,其相类型、旋回性、岩性及电性特征均与上、下地层存在明显差异。

3 沉积特征

3.1 沉积演化

吐哈盆地四周环山,周缘界山的构造及地质演化对盆地的沉积发育具有至关重要的控制作用。北部博格达山为晚古生代的裂谷带,于早二叠世末期褶皱回返,其周期性升降控制着盆地北部物源的供应及沉降带的发育。南部觉罗塔克山于晚石炭世末期褶皱隆起,至晚二叠世逆冲活动已基本停滞,在盆地南缘形成宽泛的斜坡区,但觉罗塔克山作为物源区依然长期存在。进入三叠纪,哈密凹陷整体表现为南高北低、南断北超;沉积中心位于北部,而沉降中心则位于南部。

早三叠世SQ1层序沉积时期,哈密凹陷的物源主要来自南偏东方向,亦发育东部次要物源。该时期研究区气候由半湿热向干旱炎热转化,湖水干枯,可能并不存在真正意义的湖泊汇水区。至早三叠世末期,研究区高位体系域缺失以及中三叠统底部的底砾岩在坳陷内广泛分布,反映了哈密凹陷在早三叠世末期整体抬升遭受剥蚀。

中三叠世SQ2层序沉积时期,哈密凹陷的沉积物南粗北细,物源主要来自南部。该时期研究区气候由干旱逐渐变为温暖潮湿,湖水量增加,湖盆范围逐渐扩大,在水进体系域和高位体系域沉积时期,湖盆已向南扩大至三堡1井区,向北到达堡参1井区及其以北地区,标志着哈密凹陷经历了三叠纪第1次区域性的水进过程。

晚三叠世SQ3层序沉积时期,哈密凹陷的沉积中心南移,物源主要来自北部,亦发育东部次要物源。该时期研究区经历了三叠纪第2次区域性水进过程,湖泊水体范围达到最大,并于高位体系域沉积时期开始逐渐退缩。

晚三叠世SQ4层序沉积时期,哈密凹陷的沉积中心逐渐向西北偏移,物源主要来自东南部。该时期研究区气候潮湿,早期湖水较浅,中期湖盆迅速扩张加深,形成坳陷湖盆,进入三叠纪第3次区域性水进过程;晚期受印支运动影响,湖水开始下降,沉

积中心向北西方向的哈4井区迁移。

3.2 沉积相类型

哈密坳陷三叠系主要划分为辫状河、曲流河、辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖泊5种沉积相,其中辫状河三角洲相和曲流河三角洲相是主要的储集体发育相带,湖泊相是有利的烃源岩和盖层发育相带。

3.2.1 辫状河相

早、中三叠世哈密坳陷广泛发育辫状河相,主要分布于坳陷中南部的缓坡带。纵向上,以三叠系SQ1层序低位体系域和SQ2层序低位体系域(韭菜园子组和克拉玛依组底部)的辫状河相最发育;SQ1层序高位体系域亦发育辫状河相,但由于后期剥蚀,目前仅在南部哈参2井区残留(图2)。

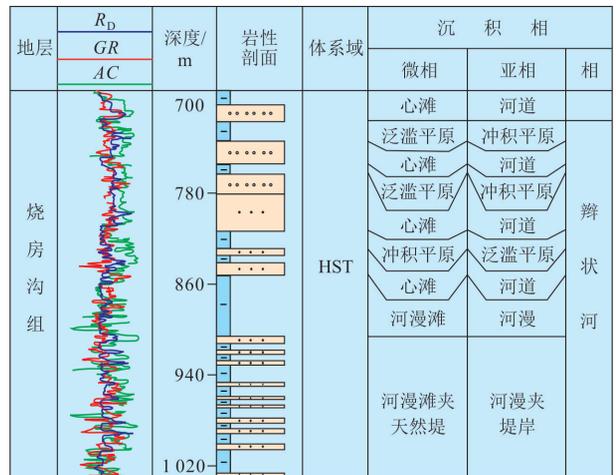


图2 哈参2井烧房沟组沉积特征

研究区发育的辫状河相是典型的层序发育初期低可容纳空间下的产物,常见多期河道切割叠加现象;砂体粒度粗、厚度大,厚度最大可达数十米甚至上百米。自然电位曲线呈箱形,顶、底界面多为突变型,少数呈钟形,反映为厚层粗粒的河道沉积。

3.2.2 曲流河相

研究区SQ1层序低位体系域和水进体系域及SQ2层序水进体系域和高位体系域沉积时期发育曲流河相,主要位于哈密坳陷北部、西北部三堡1井以北至堡参1井区域。岩性一般为中、细砂岩,粒度较细,岩性组合及测井曲线表现为典型的曲流河二元结构特征,即下部为滞留沉积与边滩构成的粗粒河道充填,顶部为河漫与堤岸亚相细粒沉积,具有典型的曲流河泥包砂特征;测井曲线上表现为典型的钟形或箱形与钟形组合。

3.2.3 辫状河三角洲相

辫状河三角洲相是研究区晚三叠世黄山街组

和郝家沟组沉积时期湖泊充填形成的主要沉积相,多见于低位和高位体系域沉积时期。平面上多个砂体错叠连片分布,垂向上各时期形成的辫状河三角洲相具有一定的继承性,多个砂体相互叠置,形成连片、巨厚的砂体。根据岩性和电性在垂向上的变化规律可将辫状河三角洲前缘的沉积物划分为正韵律、反韵律、复合韵律及交互韵律4种沉积韵律。自然电位曲线以钟形、箱形和漏斗形为主,底部呈突变或渐变,其中底部呈突变的钟形和箱形是水下分流河道沉积的特征,底部呈渐变的漏斗形为河口坝、远砂坝及其复合体沉积的特征。

3.2.4 曲流河三角洲相

研究区三叠系发育的曲流河三角洲相主要形成于克拉玛依组沉积晚期及黄山街组沉积早期和晚期。整体上为1套水退进积的沉积组合,岩性为中厚层三角洲分流河道中、细砂岩夹分流间湾或平原沼泽暗色泥岩及薄煤层。

3.2.5 湖泊相

自晚二叠世至侏罗纪,研究区均发育湖泊相,但各时期发育湖泊的位置和面积存在差异。中三叠世克拉玛依组水进体系域沉积时期是哈密坳陷三叠纪第1次湖泊发育期,形成的湖泊面积有限,仅分布于坳陷北部堡参1井区及其以北地区;晚三叠世黄山街组沉积时期是研究区三叠纪第2次湖泊发育期,形成湖泊的面积最大,其后湖泊逐渐萎缩;至郝家沟组沉积中期湖盆范围再次扩大,为第3次湖泊发育期。由于吐哈盆地为内陆盆地,四周高山环抱,南北狭窄,碎屑物供给充足,盆地常处于补偿和过补偿状态,因此其湖泊相主要以滨浅湖沉积为特征,深湖或半深湖沉积仅在短时期内呈小范围分布。

3.3 沉积相展布

哈密坳陷三叠系克拉玛依组主要发育辫状河—曲流河相,河流沉积几乎遍布整个坳陷,湖泊水体范围非常小,仅局限于坳陷北部;沉积物粒度的粗细变化、相序演化及泥岩颜色、厚度变化等揭示,克拉玛依组沉积时期研究区的物源主要来自坳陷南部;平面上,密1井至三堡1井区主要为粗碎屑辫状河沉积,三堡1井以北、以东的哈北1井和哈参1井区以曲流河及其泛滥平原沉积为主,至堡参1井区发育暗色滨浅湖泥岩及反旋回三角洲砂岩,进入滨浅湖发育区。黄山街组发育大面积的曲流河三角洲平原—前缘—滨浅湖沉积,沉积物的粒度变化及相带演化表明其主要物源来自坳陷北部山系,北

部物源形成的曲流河三角洲沉积向南推进较远,越过三堡1井接近密1井区。郝家沟组为1套以砂砾岩为主的辫状河三角洲平原—前缘沉积,从相带分布、砂砾岩含量及粒度特征等分析结果表明,其物源应来自坳陷东南方向,哈北1和哈参1井区为河流主入湖方向,三角洲前缘推进较远,向西、向北可达密1井、哈4井区,反映其物源供给能力较强。

4 结束语

三叠纪哈密坳陷处于相对封闭的陆相沉积环境,其沉积中心频繁变迁,发育以近物源、浅水及快速堆积为特点的沉积体系,主要发育辫状河、曲流河、辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖泊5种沉积相。其中辫状河三角洲相和曲流河三角洲相的砂体发育,储集性能良好;湖泊相泥岩发育,可作为烃源岩和盖层。低位、水进和高位体系域的交替变化,使各种类型的沉积相相互叠置,为大量砂岩圈闭的形成创造了有利条件,是隐蔽油气藏勘探的首选目标区。今后应着重研究砂岩及烃源岩的平面展布特征,以指导油气勘探部署。

参考文献:

- [1] 张善文.胜利西部探区勘探工作的几点思考[J].油气地质与采收率,2012,19(1):1-3.
- [2] 周路,陈世佳,陈伟.哈密坳陷四道沟油气藏特征及成藏分析[J].成都理工学院学报,2001,28(3):284-289.
- [3] 吴因业,顾家裕,施和生,等.从层序地层学到地震沉积学——全国第5届油气层序地层学大会综述[J].石油实验地质,2008,30(3):217-220.
- [4] 邱桂强.陆相断陷盆地高精度层序地层研究现状与思路[J].油气地质与采收率,2005,12(3):1-5.
- [5] 郭迎春,苏明,何云龙,等.松辽盆地黑鱼泡凹陷姚家组层序地层与沉积体系[J].油气地质与采收率,2010,17(1):29-32.
- [6] 郭林.吐哈盆地哈密坳陷石炭—二叠系油气成藏要素[J].新疆石油地质,2012,33(1):33-38.
- [7] 刘爱永,陈刚,刘林玉.吐哈盆地三叠系砂岩的孔隙类型及次生孔隙形成机理探讨[J].石油实验地质,2002,24(4):345-347.
- [8] 郭秋麟,米石云,石广仁,等.盆地模拟原理方法[M].北京:石油工业出版社,1998:1-182.
- [9] 张立强,杨晚,侯冠群.东营凹陷永82井沙四段紫红色泥岩特征及其在层序划分中的应用[J].油气地质与采收率,2012,19(5):43-46.
- [10] 李文厚,周立发.吐哈盆地沉积格局与沉积环境的演变[J].新疆石油地质,1997,18(2):135-141.
- [11] 李文厚.哈密坳陷上二叠统一三叠系层序地层学研究[J].新疆地质,1997,15(4):367-370.