

# 东濮凹陷膏盐岩沉积控制因素及其对油气成藏的影响

孙利<sup>1,2,3</sup>, 余光华<sup>4</sup>, 李建革<sup>1</sup>, 王家亮<sup>3</sup>, 巩建强<sup>4</sup>

(1.北京交通大学 中国产业安全研究中心博士后科研工作站,北京 100044; 2.北京产业安全与发展研究基地,北京 100044; 3.中国华电集团 科学技术研究总院,北京 100035; 4.中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**东濮凹陷位于渤海湾盆地南端,发育沙三段4膏盐岩、沙三段3膏盐岩、沙三段2膏盐岩和沙一段膏盐岩共4套大型膏盐岩韵律层,研究区油气的富集及分布与沉积的膏盐岩密切相关。以沉积学、构造地质学、储层地质学和地球化学等基础理论为指导,在前人研究的基础上,应用岩心、测井、地球物理及分析化验等资料对东濮凹陷膏盐岩沉积控制因素及对油气成藏的影响进行分析,结果表明,同沉积断层控制着凹陷内膏盐岩的局部沉积特征和厚度,沉积时的古地形和古物源控制膏盐岩的形成、分布及沉积形态。膏盐岩的封隔作用使研究区的异常压力具有垂向上分带性、平面上分隔性的特点,膏盐岩沉积的横向变化可成为各油气封闭系统的侧向封闭条件,膏盐岩发育区较强的压力封闭能力对油气具有良好的封盖作用,膏盐岩的流动性可为油气运聚提供良好的输送通道,并可形成多种类型的圈闭。

**关键词:**膏盐岩 控制因素 同沉积断层 古地形 封盖作用 东濮凹陷

**中图分类号:**TE112

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2014)05-0027-05

东濮凹陷是中国东部地区典型的具有丰富油气资源的盐源盆地,前人针对其局部地区膏盐岩的形成原因、层序结构、沉积特征及与油气成藏的关系等进行了探讨<sup>[1-4]</sup>,但对于整个东濮凹陷膏盐岩的分布特征、控制因素及其对油气成藏影响的认识仍欠系统和深入。为此,笔者以东濮凹陷膏盐岩沉积特征及其控制因素研究为基础,从多方面论述其与油气成藏的关系,以期为研究区下步寻找隐蔽油气藏和滚动勘探开发以及中外同类型含盐盆地的油气勘探提供依据和借鉴。

## 1 地质概况

东濮凹陷位于渤海湾盆地南端,南邻开封坳陷封丘凸起,东、西分别被鲁西和内黄隆起所夹持,凹陷形态呈南宽北窄的琵琶状,面积约为5 300 km<sup>2</sup>。受区域构造的影响,研究区含盐地层主要位于凹陷北部,沉积序列表现为2期大型沉积旋回,共发育4套膏盐岩,分别为沙三段4膏盐岩、沙三段3膏盐岩、沙三段2膏盐岩和沙一段膏盐岩<sup>[5]</sup>,累积厚度超

过1 000 m。勘探实践证明,全球约90.7%的石油资源和近80%的天然气资源均位于膏盐岩分布的地区;在油、盐共生的含油气盆地中,有46%的盆地的油气层产于盐系地层之下,41%的盆地的油气层产于盐系地层之上,13%的盆地的油气层产于盐系地层<sup>[6-8]</sup>。东濮凹陷油气的生成、运移和保存亦明显受膏盐岩沉积和分布特征的影响。

## 2 膏盐岩沉积特征

### 2.1 岩心特征

针对东濮凹陷膏盐岩的取心井较少,主要有濮73和文212等12口井。根据岩心观察及前人研究成果<sup>[6]</sup>认为,研究区膏盐岩主要有纯膏盐岩层、石膏—泥岩薄互层和膏盐岩充填裂缝3种沉积形式;其中,纯膏盐岩层多呈灰白色,具有一定的透明度,晶体直径约为8~12 mm,沉积单层厚度一般为10~90 cm。

### 2.2 地球物理响应特征

膏盐岩在测井曲线上一般易于识别,主要表现

收稿日期:2014-07-01。

作者简介:孙利,男,高级工程师,博士,从事油气田勘探开发、战略规划和油气产业安全等方面的研究。联系电话:18600678801, E-mail: sunli\_zy@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“复杂油气田地质与提高采收率技术”(2011ZX05009)。

为一高两低的特征,即较高的电阻率(30~50 Ω·m)、极低的自然伽马(8~42 API)和密度(1.9~2.2 g/cm<sup>3</sup>),淡水泥浆情况下可出现井径扩大等特征。地震剖面上,由于膏盐岩层与其接触地层的密度和速度存在差异,常会形成强反射界面,表现为低频率、强振幅等特征<sup>[9]</sup>。

### 2.3 分布特征

东濮凹陷新生界古近系可划分为2期大型沉积旋回。其中,第1期沉积旋回为沙四段—沙二段下亚段沉积时期,主要为暗色砂泥岩、页岩、油页岩和膏盐岩沉积,厚度可达4 000 m;第2期沉积旋回为沙二段上亚段—东营组沉积时期,其规模较小,仅沙一段为暗色地层,其他均以红色地层为主。研究区沙河街组的沉积特征表现为,纵向上发育多套巨厚的分布广泛的膏盐岩层,且多夹于灰黑色泥页岩中;平面上各套膏盐岩层随着盐湖沉积中心的迁移而具有不同的分布范围,且各套膏盐岩层的沉积厚度从100 m到几百米,具有较大的差异<sup>[10]</sup>。

沙三段4膏盐岩 从区域上分析,东濮凹陷沙三段4膏盐岩从形成初期到结束为1期较为完整的盐湖发育期,是一个统一的沉积旋回。在沙三段4膏盐岩沉积早期,凹陷底部地形相对较平坦、简单,中央隆起带尚未形成,但控制沉积的兰聊、文西和杜寨等断层已相继开始活动。地震和钻井资料分析结果表明,平面上沙三段4膏盐岩主要分布于凹陷中央的柳屯—胡状集—文留—前梨园—杜寨一带,北部边界可延伸至新卫12井附近,南部边界可达濮深15井附近,向西可分布于胡49井以西,向东可抵前梨园洼陷中部,面积约为420 km<sup>2</sup>(图1);纵向上,该套膏盐岩层的最大厚度约为600 m(濮深7井),且在凹陷南、北部的发育程度存在差异,南部发育较薄或不发育,北部一般均有发育。

沙三段3膏盐岩 综合前人分析成果<sup>[5-7,10]</sup>认为,东濮凹陷中央隆起带在沙三段4亚段沉积末期已初具雏形;至沙三段3亚段沉积时期,由于中央隆起带大幅度隆升,来自研究区南部的物源向北推进,致使沙三段3膏盐岩的分布范围向卫城方向缩小,主要集中分布于北部马寨—卫城—文明寨—濮城—户部寨—柳屯一带。地震和钻井资料分析结果表明,平面上,沙三段3膏盐岩的分布范围与沙三段4膏盐岩相比明显减小,向北至文明寨,向南可抵胡96和胡110井以南,西部边界为卫26和卫33井以西,东部边界为濮城地区,面积约为180 km<sup>2</sup>;纵向上该套膏盐岩层的最大厚度超过260 m(卫古1

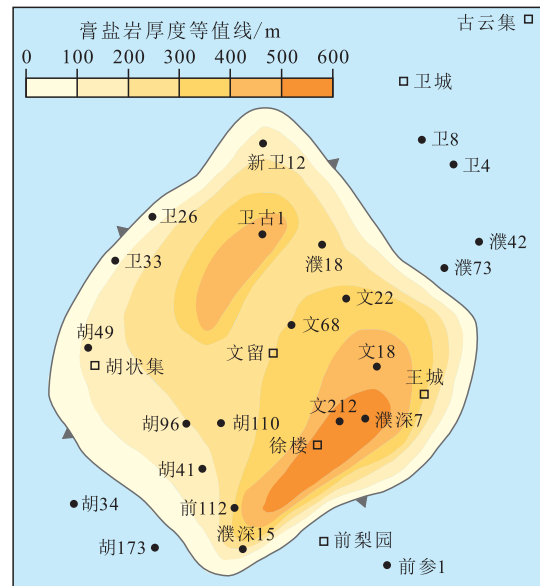


图1 东濮凹陷沙三段4膏盐岩平面分布

井),可划分为7个盐韵律。

沙三段2膏盐岩 在沙三段2亚段沉积时期,东濮凹陷的沉降中心逐渐南移,中央隆起带继续隆升,且隆起带两侧大规模下降,膏盐岩分布范围亦南移,主要集中分布于长垣断层下降盘、胡状集、文东、户部寨、柳屯和前梨园洼陷等区域,面积约为320 km<sup>2</sup>,钻遇最大厚度约为400 m(文21井)。在沙三段2亚段沉积后期,膏盐岩发育范围向北萎缩,至沙三段1亚段沉积初期,文218、卫8、文18、卫4和卫305井附近仍有膏盐岩分布(图2)。

沙一段膏盐岩 在沙一段沉积时期,研究区膏盐岩的发育明显受构造和地形控制,围绕中央隆起带呈环状展布。沙一段膏盐岩的沉积走向与构造

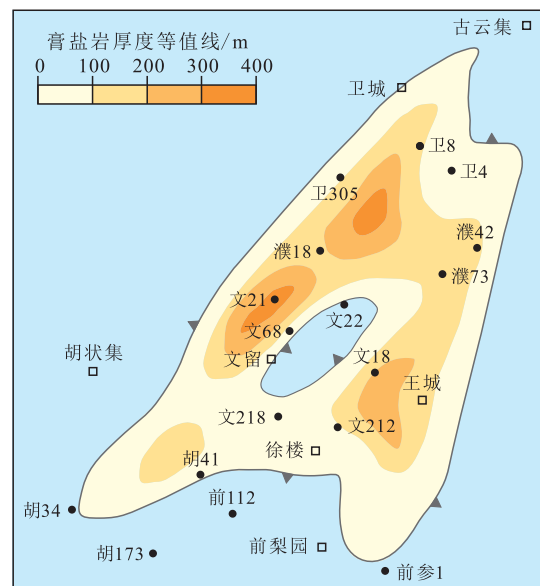


图2 东濮凹陷沙三段2膏盐岩平面分布

走向基本一致,其北部边界位于古云集地区的云9井,南部边界位于刘庄地区的刘16井,东部边界至兰聊断裂带的前参1—濮11井区附近,西部边界延伸至胡状集地区,面积约为700 km<sup>2</sup>,是东濮凹陷4套膏盐岩中分布范围最大的(图3)。研究区沙一段膏盐岩发育4个沉积中心,其沉积厚度为60~150 m;在濮卫次洼、柳屯—海通集洼陷和前梨园洼陷的沉积厚度较大,而户部寨地区沉积的该套膏盐岩则最厚,超过190 m;此外,文310、文404和文255井区也是研究区重要的膏盐岩沉积中心。

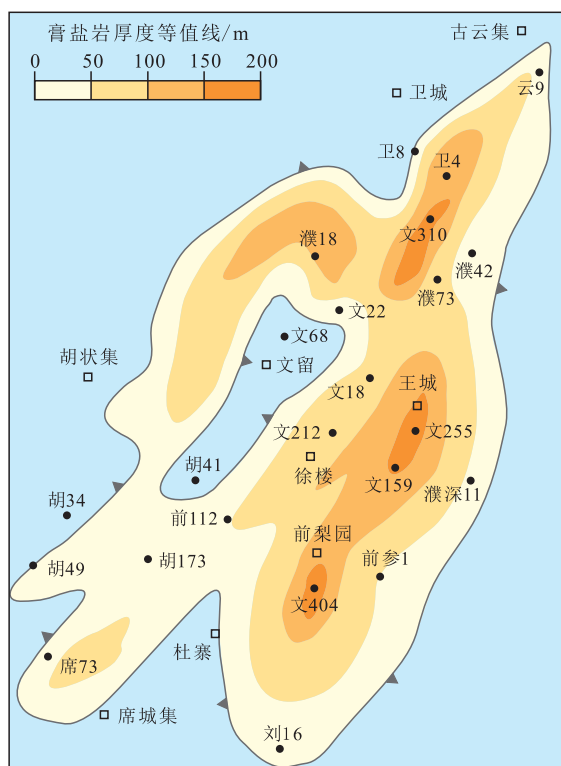


图3 东濮凹陷沙一段膏盐岩平面分布

### 3 膏盐岩沉积控制因素

#### 3.1 同沉积断层控制膏盐岩沉积

东濮凹陷为在水平拉张应力作用下裂解形成的张性盆地,其断层多为雁行式排列的同向或反向同沉积断层,控制形成了研究区垒堑相间的构造格局。在同沉积断层的下降盘,即地堑位置,湖水相对较深、水体平静、水动力较弱,有利于膏盐岩的发育,一般沉积厚度较大;在同沉积断层的上升盘,即地垒位置,由于水体动荡、水动力较强,不利于膏盐岩发育,因此沉积厚度相对较小<sup>[11-12]</sup>。同沉积断层对研究区膏盐岩的沉积具有控制作用,沙三段4膏盐岩沉积受杜寨断层控制,沙三段3膏盐岩沉积受

马寨断层控制,沙三段2膏盐岩沉积受文西断层控制,沙一段膏盐岩沉积受徐楼断层控制。膏盐岩沉积厚度的统计结果显示,研究区膏盐岩在同沉积层上升盘的沉积厚度明显小于下降盘,例如在文255—文159井区,受徐楼断层的控制作用,沙一段膏盐岩的最大沉积厚度超过120 m。

#### 3.2 古地形控制膏盐岩形成

膏盐岩的形成须满足一定的地质条件,膏盐岩的沉淀析出既需较高的矿化度,还要有安静和清洁的水体条件。以NaCl为例,当水体的盐度达到一定程度时,由于密度较大(大于1.25 g/cm<sup>3</sup>)时,高密度卤水向盆地低洼深水区域汇集;这些区域一般受陆源淡水的影响较小,陆源碎屑物质较少,水动力条件较弱,当水体的盐度超过40%时即会有膏盐岩的沉淀析出<sup>[13-14]</sup>;因此,膏盐岩的形成明显受沉积时的古地形控制。根据东濮凹陷各套膏盐岩的平面分布特征可以看出,沙三段2膏盐岩和沙一段膏盐岩的沉积明显受中央隆起带影响。如在沙三段2亚段沉积之前,中央隆起带已初具规模,其地势较高,水体动荡,水动力条件较强,使研究区高密度卤水向隆起带两侧的低洼部位汇集,导致在中央隆起带两侧洼陷带内发育较厚的沙三段2膏盐岩,而中央隆起带则缺失该套地层。

#### 3.3 古物源控制膏盐岩分布

东濮凹陷为汇水型内陆盐湖盆地,具有多物源的特点。其周围山区(物源区)的多季节性河流峡谷是陆源碎屑沉积物进入湖盆的重要通道,不仅带来大气淡水,还输送了陆源碎屑沉积物。湖盆水体的盐度和膏盐岩的沉积明显受大气淡水和粗粒陆源碎屑沉积物的影响,膏盐岩难以在陆源碎屑沉积物集中发育的区域或河口地区沉积,因此同一沉积时期形成的粗粒陆源碎屑沉积物与膏盐岩在平面上呈犬牙交错式分布<sup>[15-16]</sup>。东濮凹陷沙三段2膏盐岩和沙一段膏盐岩的分布即受古物源方向控制,与古物源具有密切关系。

## 4 膏盐岩对油气成藏的影响

#### 4.1 对地层压力的影响

油气成藏研究证实,膏盐岩下覆油气藏及膏盐岩层内部常出现异常地层压力带<sup>[17-21]</sup>。东濮凹陷存在的异常压力油气藏与膏盐岩的关系密切。研究区文东地区膏盐岩层之上为正常压力系统,压力系数为0.85~1.25;而膏盐岩层之下的油藏为异常高



压系统,压力系数为1.5~1.8。由于膏盐岩的封隔作用,使研究区的异常压力具有垂向上分带性、平面上分隔性的特点。东濮凹陷膏盐岩层对地层压力的影响主要表现在3个方面:①具有封隔作用,膏盐岩层良好的封闭性易于形成封闭地质体,上覆地层重力载荷增加、封闭地质体内部水热增压或粘土矿物脱水等均可形成异常地层压力;②石膏脱水导致封闭地质体内部形成异常地层压力,当达到一定埋深时,地层中沉积的石膏脱出结晶水转化为硬石膏,分离出来的大量结晶水进入相邻地层,导致地层中的孔隙流体压力增大,形成异常地层压力;③由于地层中的膏盐岩层对压实作用具有抑制效应,往往造成膏盐岩层内部及其下伏地层发生欠压实,形成异常地层压力<sup>[22-28]</sup>。

#### 4.2 对油气的侧向封闭作用

受东濮凹陷形成时盆地的古水系、古地形以及断层等影响,研究区具有多套盐、泥、砂岩相互叠合的沉积特征(图4),发育的4套膏盐岩与沉积的砂岩之间具有盐退砂进的横向共生关系。随着沉积中心的南、北迁移,研究区膏盐岩的沉积分布在东南、西北方向发生多次变化,其砂岩的分布范围亦随着膏盐岩的变迁而变化。例如在沙三段4亚段沉积早期—沙三段3亚段沉积时期,研究区膏盐岩的分布表现为由东南向西北方向逐渐迁移,至沙三段2亚段沉积早期又开始向东南方向回迁,沙三段2亚段沉积晚期—沙三段1亚段沉积早期再次向西北方向缩小,至沙一段沉积时期又向南回迁。由于膏盐岩的低渗透性和垂向上的厚度较大,在与砂岩横向接触时可以有效地阻止油气发生侧向散失;因此,膏盐岩沉积的横向变化对储层具有很好的侧向遮挡作用,成为各油气封闭系统的侧向封闭条件,例如沙三段4膏盐岩的侧向遮挡作用对文23气田的形成具有非常重要的作用。

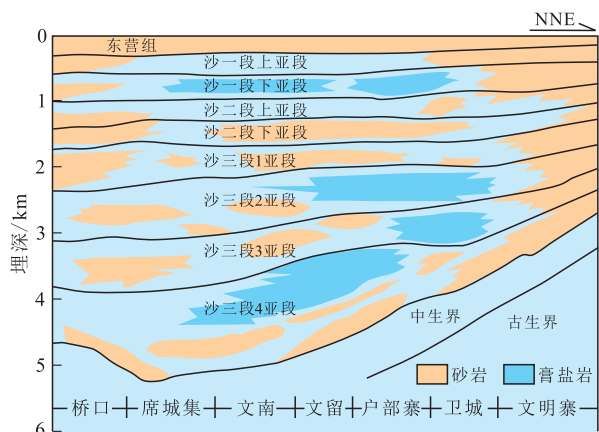


图4 东濮凹陷北部膏盐岩沉积示意

#### 4.3 对油气的封盖作用

东濮凹陷北部发育的4套膏盐岩具有良好的封盖条件,是影响其下伏地层油气聚集成藏的重要因素。每套膏盐岩层均由膏盐岩和泥岩构成的盐韵律组成,非常致密,具有很高的突破压力;其渗透性差于纯泥岩,且厚度大、地层压力高,因此具有毛管压力和异常地层高压双重封闭机制,对油气封盖能力明显强于纯泥岩,在盖层分级中属于特级盖层。此外,膏盐岩与砂岩交错叠置及膏盐岩的可塑性,也利于形成岩性尖灭油藏和盐间泥岩裂缝油藏。

统计结果表明,全球33%的大型油田的盖层为膏盐岩,且东濮凹陷正是由于地层中沉积多套具有极强封盖能力的膏盐岩层,才可以阻挡油气的逸散,为与膏盐岩层同沉积烃源岩生成的油气在各膏盐岩层之下富集成藏创造了有利条件<sup>[29]</sup>。一般情况下,膏盐岩发育区常会形成欠压实泥岩带(属于超压盖层),具有较强压力封闭能力,可有效阻止游离相油气的逸散,对来自其下部成藏动力系统油藏调整后再次运移的油气也具有良好的封盖作用。地层中膏盐岩层的沉积形成油气保存的天然屏障,对东濮凹陷油气的聚集和保存具有重要作用。

#### 4.4 对油气运聚的影响

膏盐岩层对油气在地层中的运移和聚集具有极大的影响<sup>[30-32]</sup>。主要表现为:①膏盐岩的流动性可为油气运聚提供良好的输送通道。当膏盐岩层的埋藏达到一定深度(一般大于3 000 m)时,其地层温度超过100℃,地层压力超过58 MPa,这种条件下沉积在地层深处的膏盐岩具有很强的流动性。当存在不均衡的上覆地层压力时,膏盐岩会发生蠕变,造成局部地层变厚,致使上覆地层向上隆起;地层在上隆过程中会出现拉张、破裂甚至形成断层,这些破裂或断层即成为油气运聚的良好通道。东濮凹陷文留油田就是由于膏盐岩层上拱,进而在其上部形成的张性构造(断背斜)带。②膏盐岩可形成多种类型的圈闭,为油气聚集提供场所。膏盐岩的流动是形成圈闭的直接因素;膏盐岩在高温、高压条件下可变为塑性体,在构造应力以及上覆高密度沉积层不平衡重力作用下发生构造变形和塑性流动,形成诸如盐丘、盐枕、盐拱张、盐刺穿和盐岩楔等变形构造,进而形成多种类型的构造圈闭;除因膏盐岩流动形成的断层圈闭和拱张背斜圈闭(文留油田发育的众多非刺穿圈闭)外,还形成与膏盐岩滑脱有关的圈闭(如文北油田的文19块)。此外,膏盐岩的发育增加了形成侧向遮挡圈闭的概率。

当含盐地层发育断层时,断层上升盘的储层与下降盘的膏盐岩层对接,即形成良好的侧向封堵条件;且与砂、泥岩互层相比,这种由膏盐岩层形成的地层接触关系可形成断块油气藏。如研究区文西地垒带的文123块沙二段下亚段油藏即为文西2号断层上升盘沙二段下亚段储层与下降盘沙一段膏盐岩对接所形成,文269块高油气比油藏和濮深7气藏是由盐枕侧向封堵而形成的。

## 5 结束语

东濮凹陷为典型的富含油气的盐源盆地,其含盐地层主要位于凹陷北部,发育沙三段4膏盐岩、沙三段3膏盐岩、沙三段2膏盐岩和沙一段膏盐岩。各套膏盐岩的发育随着盐湖沉积中心的迁移而发生变化,具有不同的沉积特征,是同沉积断层、古地形和古物源共同作用的结果。同沉积断层影响膏盐岩沉积的局部分布特征及其沉积厚度,古地形控制膏盐岩的沉积展布,而古物源则影响着膏盐岩的平面分布形态和方向。

东濮凹陷膏盐岩的沉积有利于油气的聚集成藏,主要表现为膏盐岩的发育促进油气藏异常压力的形成,为油气成藏提供了良好的侧向封闭和封盖条件,而且对油气运聚产生非常积极的影响。今后应加强对膏盐岩沉积条件、成因以及与膏盐岩沉积有关的隐蔽油气藏的研究,丰富沉积和油气成藏理论,为盐源盆地的油气勘探提供理论指导。

### 参考文献:

- [1] 王旭东,曾灏辉,官秀梅.膏盐岩层对油气成藏的影响[J].天然气地球科学,2005,16(3):329-333.
- [2] Monthieux M, Landais P, Durand B. Comparison between extracts from natural and artificial maturation series of Mahakam delta coals[J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(3): 299-311.
- [3] 颜世翠.准噶尔盆地东北缘石炭纪古盐度与古环境[J].油气地质与采收率,2013,20(5):60-63.
- [4] 赵振宇,周瑶琪,马晓鸣,等.含油气盆地中膏盐岩层对油气成藏的重要影响[J].石油与天然气地质,2007,28(2):299-309.
- [5] 杨香华,陈开远,石万忠,等.东濮凹陷盐湖层序结构与隐蔽油气藏[J].石油与天然气地质,2002,23(2):139-142.
- [6] 张国庆,李令喜,李效蕊.东濮凹陷断层封堵模式探讨[J].断块油气田,2002,9(5):16-18.
- [7] 黄国平,张金报,李继东,等.东濮凹陷东倾同沉积断层与油气聚集[J].油气地质与采收率,2003,10(5):19-22.
- [8] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003:113-252.
- [9] 赵军.地震属性技术在沉积相研究中的应用[J].石油物探,

- 2004,43(增刊):67-70.
- [10] 李健.东濮凹陷深层异常温压条件下的油气生成特征[J].石油学报,2003,24(2):30-33.
- [11] 王赵明,罗小容,陈瑞银,等.有机质热演化过程中地层压力的作用与影响[J].地球科学进展,2006,21(1):39-45.
- [12] 赵明,王华,余朋孝.巴楚断隆西段古董山构造带断层封堵性与油气成藏的关系[J].中南大学学报:自然科学版,2009,40(4):1099-1105.
- [13] 侯方浩,蒋裕强,方少仙,等.四川盆地上三叠统香溪组二段和四段砂岩沉积模式[J].石油学报,2005,26(2):30-38.
- [14] 郭英海,刘焕杰,权彪,等.鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J].沉积学报,1998,16(3):44-52.
- [15] 刘鹏,宋国奇,张扬,等.饶阳凹陷馆陶组物源方向及其地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(5):15-18.
- [16] 孙波,蒋有录,张善文,等.东濮凹陷北部膏盐岩分布特征及其对地层温度的影响[J].油气地质与采收率,2012,19(1):28-30.
- [17] 邱春光,刘延莉.松辽盆地西斜坡萨爾图油层组隐蔽油气藏成藏因素分析[J].特种油气藏,2011,18(1):36-39.
- [18] 付广,郭玉超,董亚南,等.南堡凹陷油气成藏的有利地质条件[J].油气地质与采收率,2013,20(3):1-4.
- [19] 瞿建华,张顺存,李辉,等.玛北地区三叠系百口泉组油藏成藏控制因素[J].特种油气藏,2013,20(5):51-56.
- [20] 吴鲜,窦莲,龙胜祥,等.东濮凹陷沙三上盐间段湖相页岩油气成藏条件[J].特种油气藏,2013,20(4):36-40.
- [21] 付振群,傅恒,汪瑞良,等.珠江口盆地东沙隆起珠江组储层特征及主控因素[J].油气地质与采收率,2013,20(4):10-16.
- [22] 查明,曲江秀,张卫海.异常高压与油气成藏机理[J].石油勘探与开发,2002,29(1):19-23.
- [23] 陈中红,查明,曲江秀,等.沉积盆地超压体系油气成藏条件及机理[J].天然气地球科学,2003,14(2):97-102.
- [24] 曹华,龚晶晶,汪贵锋.超压的成因及其与油气成藏的关系[J].天然气地球科学,2006,17(3):422-425.
- [25] 王志宏,柳广弟.廊固凹陷异常高压与油气成藏的关系[J].天然气工业,2008,28(6):66-73.
- [26] 孙利,李三国,李中超,等.陆家堡凹陷西部地区九佛堂组层序地层格架与分布特征[J].油气地质与采收率,2013,20(1):40-43.
- [27] 王东晔.东濮凹陷北部深层异常高压形成机理及对有机质热演化的抑制作用[J].油气地质与采收率,2013,20(3):33-36.
- [28] 唐小云,龚晶晶,杨世刚,等.东濮凹陷文留地区古近系超压成因分析[J].油气地质与采收率,2007,14(5):20-22.
- [29] 焦大庆,王德仁,武晓玲.东濮凹陷天然气成藏及富集规律[J].石油与天然气地质,2006,27(6):794-803.
- [30] 郭倩,蒲仁海,杨林,等.塔里木盆地塔河地区志留系上倾尖灭圈闭油气成藏[J].石油实验地质,2011,33(2):120-123.
- [31] 聂逢君,姜美珠,李思田.南海珠江口盆地珠三拗陷油气输导系统研究[J].石油实验地质,2011,33(4):392-401.
- [32] 李坤.塔里木盆地卡塔克隆起古生界油气运移体系与成藏演化[J].石油实验地质,2011,33(4):364-370.