

# 非近海河流相层序地层学探讨

——以济阳拗陷新近系为例

房煦

(中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东 青岛 266580)

**摘要:**目前中国对于河流相层序的研究大多套用国外近海冲积平原环境下的河流相层序地层学模式,该模式认为海平面升降为河流相层序发育的主要控制因素。对于中国陆相盆地中发育的不受海平面升降影响的河流相地层来说,应用以海平面变化作为主要控制因素的近海河流相层序地层学模式解释其层序发育不具备客观前提。借鉴中外河流相层序地层学研究成果,遵循层序地层学及沉积学基本原理,在掌握层序形成机制的基础上,分析了非近海河流相层序发育的主控因素,同时结合济阳拗陷新近系河流相地层沉积模式,探讨并建立了非近海河流相层序地层学模式,指出了可能存在的资源分布。研究表明,非近海河流相层序形成的主控因素为构造沉降、沉积物供给、地形坡度和气候,存在初始体系域、发展体系域、衰退体系域,若基底发生差异性抬升,还可发育抬升体系域。

**关键词:**河流相 层序地层学 初始体系域 发展体系域 衰退体系域 抬升体系域 济阳拗陷

**中图分类号:** TE111.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)06-0010-05

河流相沉积是陆相盆地中最常见的沉积类型之一,多发育于构造沉降相对缓慢、沉积物供给量大的环境中。河流相沉积砂体是油气储集的良好场所<sup>[1-3]</sup>,可形成多种类型油气藏,也是金、铜、铀等多种重要矿产的聚集场所<sup>[4-5]</sup>;此外,河道间的泥炭沼泽也可作为重要的成煤环境<sup>[6]</sup>。目前中国河流相层序地层学研究尚处于探索阶段,应用成果丰富但理论研究突破不大,大多套用国外建立在近海冲积平原环境下的河流相层序地层学模式<sup>[7-10]</sup>。该模式认为河流相层序形成主要受海平面升降控制,对河流相层序的研究通常与相对海平面变化联系起来,基准面变化近似于正弦曲线。而海平面变化和与之有关的滨线迁移对河流作用的影响仅限于从河口向上游有限的距离之内<sup>[11]</sup>,随着向陆地距离的增加,其影响持续减小。对于中国陆相盆地中发育的不受海平面升降影响的河流相地层来说,应用以海平面变化作为主要控制因素的近海环境河流相层序地层学模式不具备客观前提。探求不受海平面变化影响的非近海河流相层序地层学模式,对完善中国陆相盆地层序地层学理论具有重要意义。此外,中国关于河流体系域的描述未能从盆地的角度考虑沉积体系的时空演化,通常是将每种体系域与某种河流类型联系起来。从整个流域来看,从上游

至下游河流类型是在不断转化的,甚至在较短的距离内发生河流类型的数次转变<sup>[12]</sup>,故将体系域与河流类型对应起来必然存在争议<sup>[13]</sup>。为此,笔者从分析河流相层序发育的主控因素对地层结构特征的影响入手,结合济阳拗陷新近系沉积模式,探讨并建立了非近海河流相层序地层学模式。

## 1 非近海河流相层序发育的主控因素

在陆相盆地中,层序发育的主要控制因素是构造沉降、沉积物供给和气候,其中构造沉降是最关键的控制因素<sup>[14]</sup>。对于不受海平面变化影响的非近海河流相地层,其层序发育的主要控制因素为构造沉降、沉积物供给、地形坡度以及气候,从本质上来说是构造与气候的综合响应。

构造沉降 构造沉降作为可容空间变化最重要的控制因素,是层序形成的前提。构造沉降停止或抬升会形成沉积间断或区域性侵蚀不整合面,标志着层序边界形成。若仅考虑构造沉降因素,则河道砂体和泛滥平原沉积物的比率取决于基底沉降速率。当基底快速沉降时,盆地中可容空间产生速率较高,越岸细粒沉积物填补这些可容空间时,形

收稿日期:2014-08-20。

作者简介:房煦,男,在读硕士研究生,从事沉积学、层序地层学研究。联系电话:15589821151,E-mail:slytfx@163.com。

基金项目:国家“973”计划“深部油气储层综合地球物理探测和评价方法”(2013CB228605)。

成厚层的泛滥平原沉积,且不同期次河道间垂向距离较大,表现为较低的河道砂体密度(图1a);若基底沉降缓慢,可容空间产生速率低,不同期次河道间垂向距离较小,当后期河道流经前期河道地带时,会发生对前期河道沉积砂体的侵蚀改造,导致河道切割叠置,表现为较高的河道砂体密度(图1b)。

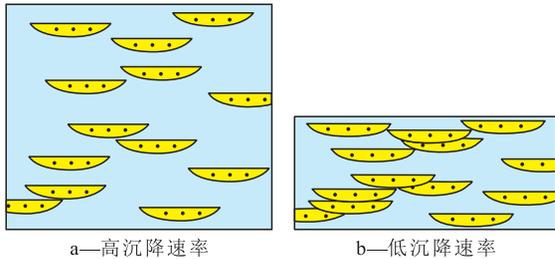


图1 不同构造沉降速率对地层结构特征的控制

**沉积物供给** 沉积物供给量主要受控于构造和气候条件,高沉积物供给量一般是由于物源区构造抬升、气候潮湿以及流域地形较陡造成,这导致物源区风化剥蚀速率提高以及盆地内流量增大。一方面,潮湿的气候使盆地内需发育更多的河道来消化增大的水量;另一方面,因河流具有较高的沉积物负载,当水动力下降时,碎屑物质更易沉积,造成河道高于两侧低洼区域,易发生决口改道。因而高沉积物供给量在地层中表现为较强的河道化作用,以及相对高的砂泥比(图2a);相反,低沉积物供给量表现为较弱的河道化作用,以及相对低的砂泥比(图2b)。

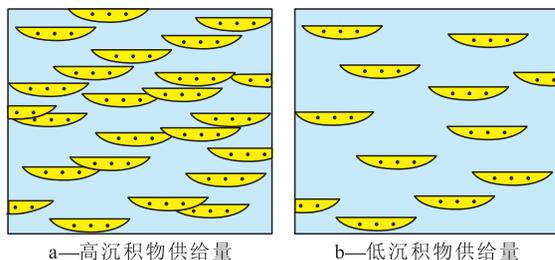


图2 不同沉积物供给量对地层结构特征的控制

**地形坡度** 地形坡度是控制河流类型的主要因素<sup>[15]</sup>。流水进入盆地后所形成的河道类型、沉积物粒度、沉积结构和沉积构造主要取决于其流动时所具有的动能,动能与流域地形坡度密切相关。高地形坡度具有较强水动力条件,沉积物运载量大,流水冲刷河岸,河道稳定性差,有利于形成辫状河,砂体连片叠置,属高能环境下的河道沉积;低地形坡度具有较弱的水动力条件,河岸稳定,河道迁移速度慢,沉积物粒度总体偏细,主要发育曲流河与网状河,属低能环境下的河道沉积。从盆地边缘至盆地内部,最常见的沉积组合是冲积扇—辫状

河—曲流河—网状河(图3),而这正是冲积河流发展演化过程中比降趋小、能耗趋小这一自然规律的客观体现<sup>[16]</sup>。较高的沉降速率可导致地形坡度增大,而沉积物的补偿作用使地形趋于平缓。在某一特定地理位置,随地形坡度变化,河流沉积物的相序也发生相应改变。随着时间推移,地形坡度由缓变陡,后期近源、较高坡度环境下的辫状河叠加在前期远源、较低坡度环境下的曲流河沉积之上,形成进积式垂向序列;相反,地形坡度由陡变缓形成退积式垂向序列。

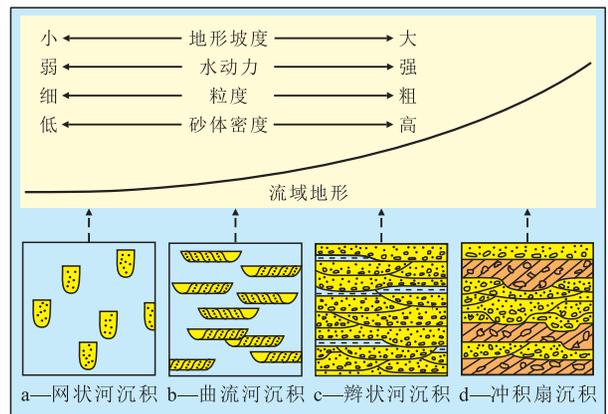


图3 地形坡度对地层结构特征的控制

**气候** 气候对河流相层序的影响是多方面的,且难以量化。气候对沉积物供给、湖平面升降、河流流量和植被发育等因素的控制,可以解释沉积趋势的变化。在潮湿气候条件下,植被茂盛,河流抗冲性强,河道稳定,以曲流河及网状河沉积为主,易形成发育较好的煤层与低成熟度的土壤层;干旱条件下,植被发育差,河岸抗冲性差,河道不稳定,有利于形成辫状河沉积,煤层基本不发育,土壤层成熟度高。气候的变化还控制着闭流湖盆湖平面的升降,湖岸附近河流下切和加积作用与湖平面升降对应关系密切,不过随着离岸距离加大,这种相关性减弱<sup>[8]</sup>。与海平面的升降不同,气候等外界条件的微小变化就可能引起闭流湖盆湖平面的剧烈波动<sup>[17]</sup>。对于敞流湖盆来说,由于湖平面维持在盆地溢出点高程,湖平面相对升降本质上受控于基底构造升降,此时控制河流相层序发育的因素为构造运动。此外,气候变化还直接影响河流流量,可导致河流加积或侵蚀<sup>[18-19]</sup>。

层序发育是多种控制因素动态组合下的结果,尤其在盆地边缘地区,其中每种因素的影响都可能被其他因素加强或削弱。对于多种控制因素对非近海河流相层序发育的共同作用,须进行综合分析判断。

## 2 非近海河流相层序地层学模式

### 2.1 体系域划分

济阳拗陷位于渤海湾盆地中段的南部,在新近纪进入整体拗陷阶段,发育了巨厚的冲积河流相碎屑岩建造,呈平面状分布,披覆在凹凸构造之上。作为济阳拗陷汇水区的渤中拗陷<sup>[20-21]</sup>,在新近纪主要发育河流相与滨浅湖相沉积<sup>[22]</sup>,说明渤中拗陷并未与海洋水体连通。因而济阳拗陷在新近纪总体上并不受海平面升降的影响,用近海河流相层序地层学模式解释其层序演化不具备客观前提。若河流相层序发育不再受海(湖)平面升降的影响,或者没有证据显示此处层序的发育与海(湖)平面升降具有成因上的联系,则传统描述水位变化的低位—海侵(水进)—高位体系域的命名方式不再适用。陆相盆地中可容空间的变化主要受控于构造运动,一个完整的河流相层序往往与一期构造旋回相一致。通过研究非近海河流相层序发育的主控因素对地层结构特征的影响,结合济阳拗陷新近系沉积模式,归纳出非近海河流相层序可发育4种体系域类型。

**初始体系域** 该体系域发育于构造沉降初期,沉降范围较小,受前期不平坦地形的影响,盆地内低洼部位为沉积区,隆起部位为剥蚀区,以近源沉积为主,地形坡度较大,所发育的沉积体系为冲积扇—辫状河组合。因沉积范围局限,不同期次河道在有限的可容空间内迁移改道,反复改造前期沉积,使河道砂体相互切割叠置,形成内部连通、分布广泛的厚层砂砾岩体,泥质沉积物保存较少,往往以夹层的形式出现(图4)。但如果构造沉降初期地形即相对平坦且沉降范围较大,则该体系域可能不发育或厚度较薄。

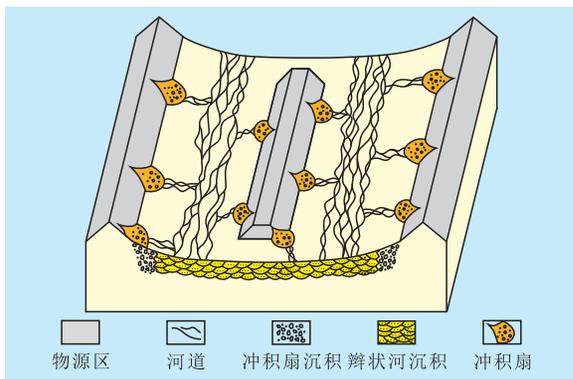


图4 初始体系域沉积模式

**发展体系域** 该体系域发育时期,沉降范围较

大,流域面积宽广,可容空间具有较高的产生速率,伴随沉积物对盆地的填平补齐,在盆地内部形成了低坡度的沉积环境,由盆地边缘冲积扇—辫状河组合向盆地内部逐渐转化为曲流河—网状河沉积体系。盆地内部水动力条件较弱,粒度总体偏细,泛滥平原沉积物厚度大,河道砂体呈孤立状分布(图5)。当河流沉积速率远小于可容空间增长速率时,在低洼处可形成湖泊或发生湖侵,从而出现河流相地层中的湖相夹层。

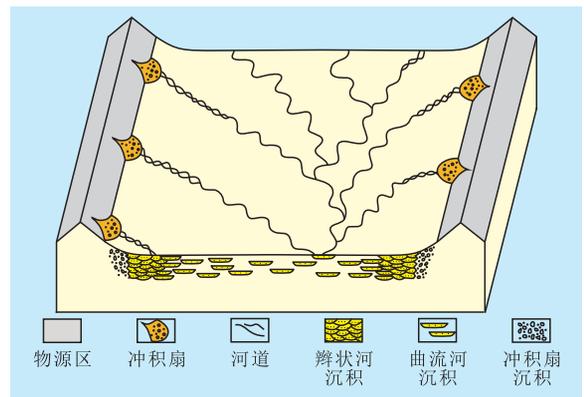


图5 发展体系域沉积模式

**衰退体系域** 相对于发展体系域,衰退体系域构造沉降较为缓慢,可容空间产生速率低,沉积补偿作用使整个流域地形趋于平缓,流域内以高弯曲度曲流河与网状河沉积为主,较低的沉降速率导致河道砂体密度较高(图6),砂体间切割叠置程度提高。需要注意的是,虽然衰退体系域与初始体系域都表现为较高的砂体密度,但却有本质上的区别。若构造沉降完全停止,不再产生新的可容空间时,堆积至基准面附近的泛滥平原泥质长期暴露地表,形成沉积间断面。

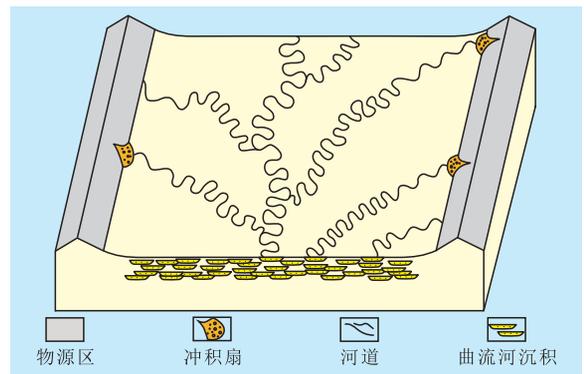


图6 衰退体系域沉积模式

**抬升体系域** 当基底发生差异性抬升时,将导致沉积范围缩小,上升区域地形坡度增大,以侵蚀下切作用为主,相对下降区域则发育较高能环境下的河道沉积。构造持续抬升最终形成全盆分布的

不整合面,可破坏下部沉积地层。

## 2.2 沉积演化

从层序整体演化来看,伴随沉积物对早期不规则地形的填平补齐,对于同一地理位置,自下而上由近源高能的混合型河道演化至远源低能的条带状河道沉积;由盆地边缘至盆地内部,地形变缓,水动力减弱,粗碎屑沉积物减少,砂体密度下降,由冲积扇组合过渡至泛滥平原组合。值得注意的是,初始体系域中的混合型河道沉积砂体厚度大、连通性好、均质性强、储集物性好,但通常缺乏可作为有效盖层的稳定分布的泥岩,油气难以在其中保存。其上发育的穿插在漫溢沉积物中的条带状砂体,因具有良好的储盖组合,可形成多种类型油气藏,例如济阳拗陷馆陶组上段的河流相砂体储层<sup>[23]</sup>。若伴随适宜的气候及地质条件,发展体系域与衰退体系域中的河道间泥炭沼泽沉积可能发育横向上易于对比、具有经济潜力的煤层。

济阳拗陷在新近系馆陶组下段沉积时期,继承断陷期末构造格局,盆地内隆凹相间,地形坡降大,沉积体系展布明显受古地形的影响<sup>[24-25]</sup>。盆地中的局部高地或低凸起作为局部物源区,以近源沉积作用为主,冲积扇—辫状河沉积体系发育,砂体连片叠置,形成毯状分布的厚层砂砾岩,其底部与古近系呈不整合接触,发育初始体系域;在馆陶组上段沉积早期,拗陷中局部凸起被填平,局部物源作用减弱或消失,地形趋于平缓,河道砂体叠置程度有所下降。在馆陶组上段沉积晚期与明化镇组下段沉积时期,沉积物将分割济阳拗陷与渤海湾盆地其他地区的隆起覆盖,物源区后撤,流域广阔,形成源远流长的河流体系,河道砂体呈孤立状分布,连通性差,以曲流河沉积为主,局部发育浅水湖泊沉积。馆陶组上段与明化镇组下段属于发展体系域;明化镇组上段相对于前期地层来说,砂体密度增大,横向分布范围较广,连续性有所增强。经浅井钻探,在东营凹陷明化镇组上部发现有孔虫化石,说明明化镇组沉积晚期济阳拗陷局部地区发生了较为重要的海侵事件<sup>[26]</sup>,此时层序演化受构造、气候、海平面变化共同作用,层序形成机制更加复杂,需进行综合判断。

## 3 结论

对于不受海平面变化影响的非近海河流相地层,其层序形成的主要控制因素为构造沉降、沉积物供给、地形坡度以及气候,本质上为构造与气候

的综合响应。非近海河流相层序存在初始体系域、发展体系域、衰退体系域,若基底发生差异性抬升,还可发育抬升体系域。从层序整体演化来看,在垂向上,由下部近源高能混合型河道沉积演变至上部远源低能条带状河道沉积;在平面上,由盆地边缘冲积扇组合过渡至盆地内部泛滥平原组合。初始体系域中的混合型河道沉积砂体连通性好,但通常缺乏有效盖层,油气难以在其中保存;其上发育的包裹在泥质沉积物中的条带状砂体因具有良好的储盖组合,可形成多种类型油气藏;若伴随适宜的气候及地质条件,发展体系域与衰退体系域中的河道间泥炭沼泽沉积可能发育横向上易于对比、具有经济潜力的煤层。

## 参考文献:

- [1] 赵春明,胡景双,霍春亮.曲流河与辫状河沉积砂体连通模式及开发特征——以渤海地区秦皇岛32-6油田为例[J].油气地质与采收率,2009,16(6):88-91.
- [2] 马立驰.曲流河河道砂体油气选择性充注原因——以济阳拗陷新近系为例[J].油气地质与采收率,2013,20(4):17-19.
- [3] 贾俊山,王建勇,段杰宏,等.胜利油区整装油田河流相开发单元开发潜力及对策[J].油气地质与采收率,2012,19(1):91-94.
- [4] 于兴河.碎屑岩系油气储层沉积学[M].北京:石油工业出版社,2008:259-307.
- [5] 吴仁贵,徐达淦.辫状沉积砂体与砂岩型铀矿的关系剖析[J].铀矿地质,2005,21(2):92-96.
- [6] 陈全红,李文厚,郭艳琴,等.鄂尔多斯盆地早二叠世聚煤环境与成煤模式分析[J].沉积学报,2009,27(1):70-76.
- [7] Shanley K W, McCabe P J. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework: a case history from the Upper Cretaceous of southern Utah, USA [C]// Flint S S, Bryant I D. Quantitative modeling of clastic hydrocarbon reservoirs and outcrop analogues. International Association of Sedimentologists Special Publications 15. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1993: 21-56.
- [8] Shanley K W, McCabe P J. Perspective on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 1994, 78(4): 544-568.
- [9] Paul Wright V P, Marriott S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage [J]. Sedimentary Geology, 1993, 86(3): 203-210.
- [10] Van Wagoner J C. Sequence stratigraphy and marine to nonmarine facies architecture of foreland basin strata, Book Cliffs, Utah, USA; reply [J]. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 1998, 82(8): 1 607-1 618.
- [11] Catuneanu O. Principles of sequence stratigraphy [M]. Oxford: Elsevier, 2006: 222-253.
- [12] 张周良,刘少宾.中国的网状河流体系[J].应用基础与工程科学学报,1994,2(2/3):204-212.
- [13] 胡光明,倪超,王军,等.河流层序地层学研究现状与存在的问

- 题[J].地质科技情报,2011,30(6):55-59.
- [14] 纪友亮.层序地层学[M].上海:同济大学出版社,2005:125-126.
- [15] 张周良.河流相地层的层序地层学与河流类型[J].地质论评,1996,42(S1):188-193.
- [16] 倪晋仁,王随继,王光谦.现代冲积河流的河型空间转化模式探讨[J].沉积学报,2000,18(1):1-6.
- [17] 池英柳,张万选,张厚福,等.陆相断陷盆地层序成因初探[J].石油学报,1996,17(3):19-26.
- [18] Blum M D.Climatic and eustatic controls on Gulf Coastal Plain fluvial sedimentation: an example from the Late Quaternary of the Colorado River, Texas [C]//Armentrout J M, Perkins B F.Sequence stratigraphy as an exploration tool, concepts and practices in the Gulf Coast.Tulsa:SEPM Gulf Coast Section, Eleventh Annual Research Conference, Program with Abstracts, 1990:71-83.
- [19] Blum M D.Genesis and architecture of incised valley fill sequences: a Late Quaternary example from the Colorado River, Gulf Coastal Plain of Texas [C]//Weimer P, Posamentier H W.Siliciclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications.Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 58, 1994:259-283.
- [20] 国景星.济阳凹陷上第三系沉积体系研究[D].徐州:中国矿业大学,2002.
- [21] 徐长贵,姜培海,武法东,等.渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义[J].沉积学报,2002,20(4):588-594.
- [22] 何仕斌,朱伟林,李丽霞,等.渤中坳陷沉积演化和上第三系储盖组合分析[J].石油学报,2001,22(2):38-43.
- [23] 张善文,王永诗,石砥石,等.网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例[J].石油勘探与开发,2003,30(1):1-10.
- [24] 王永诗.隐蔽油气藏勘探阶段区带评价方法及实践——以济阳坳陷为例[J].油气地质与采收率,2010,17(3):1-5.
- [25] 曹忠祥,李友强.济阳坳陷“十一五”期间探井钻探效果及对策分析[J].油气地质与采收率,2013,20(6):1-5.
- [26] 徐道一,姚益民,韩延本,等.山东东营凹陷新近系明化镇组天文地层研究[J].古地理学报,2008,10(3):287-296.

编辑 经雅丽

(上接第9页)

- [15] 邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12):26-38.
- [16] 赵铭海,傅爱兵,关丽,等.罗家地区页岩油气测井评价方法[J].油气地质与采收率,2012,19(6):20-24.
- [17] 刘惠民,张守鹏,王朴,等.沾化凹陷罗家地区沙三段下亚段页岩岩石学特征[J].油气地质与采收率,2012,19(6):11-15.
- [18] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等.中国页岩气研究现状与发展趋势[J].石油学报,2010,31(4):689-694.
- [19] 宁方兴.现河庄地区泥岩裂缝主控因素分析与油气成藏[J].石油地质与工程,2008,22(3):37-39.
- [20] 宁方兴.东营凹陷现河庄地区泥岩裂缝油气藏形成机制[J].新疆石油天然气,2008,14(1):20-25.
- [21] 王永诗,巩建强,房建军,等.渤南洼陷页岩油气富集高产条件及勘探方向[J].油气地质与采收率,2012,19(6):6-10.
- [22] 宗国洪,肖焕钦,李常宝,等.济阳坳陷构造演化及其大地构造意义[J].高校地质学报,1999,5(3):275-282.
- [23] 张林晔,李政,朱日房.页岩气的形成与开发[J].天然气工业,2009,29(1):124-128.
- [24] 聂海宽,张金川.页岩气储层类型和特征研究——以四川盆地及其周缘下古生界为例[J].石油实验地质,2011,33(3):219-225.

编辑 邹澍滢



欢迎投稿 欢迎订阅