

文章编号: 1001-6112(2008)04-0400-05

沉积相地震波波形响应特征研究

——以渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段中部为例

赖生华¹, 蒲秀刚², 杜贵荣¹

(1. 西安石油大学, 西安 710061; 2. 中国石油天然气股份有限公司 大港油田分公司, 天津 300280)

摘要: 依据地震波波形理论, 进行地震相自动识别、划分, 可确定沉积体系平面分布特征。与传统方法相比较, 该方法具有更省时、更客观、更准确的优势。利用此方法研究了渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段中部地层沉积体系平面分布规律。相模型道与沉积相具有较好的响应关系, 其对沉积相变化较敏感, 可用于微相划分。研究表明, 孤南洼陷沙三中亚段中部地层沉积时期, 存在辫状河三角洲、盆底扇和湖泊 3 种沉积体系。辫状河三角洲在该区发育前缘亚相, 分布于孤南洼陷南部斜坡区域; 盆底扇主要分布于洼陷北部, 位于孤南断裂坡脚部位, 浅湖近岸滩坝滑塌也可形成盆底扇复合体。该时期的湖泊较浅, 主要发育浅湖亚相, 近岸滩坝及席状砂也较丰富。

关键词: 相模型道; 自组织神经网络; 地震波波形; 沉积体系; 孤南洼陷; 渤海湾盆地

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY FACIES RESPONSE TO THE SEISMIC WAVE

— AN EXAMPLE OF THE 3RD MEMBER OF SHAHEJIE
FORMATION IN THE GUNAN SAG OF THE BOHAI BAY BASIN

Lai Shenghua¹, Pu Xiugang², Du Guirong¹

(1. Xi'an Petroleum Institute, Xi'an, Shaanxi 710065, China;
2. Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: According to the seismic waveform theories, the seismic facies have been identified and divided automatically and the plane distribution of the depositional systems have also been determined. Compared with the traditional methods, this method has the advantages of saving time, more objective and more accuracy. Using this method, the plane distribution of the depositional system of the middle part of middle submember of the 3rd member of Shahejie Formation has been studied in Gunan Sag of the Bohai Bay Basin. There is preferable relationship between the seismic facies models and the sedimentary facies, and at the same time, they are sensitive for sedimentary facies changes, therefore, can be used for microfacies division. It indicates that three depositional systems, including braided-river delta, basin floor fan and lake depositional system, were existing in the Gunan Sag at this time. The front subfacies of the braided-river delta was developed in the south slope of Gunan Sag. The basin floor fan was mainly distributed in the north of the sag, located in basal slope of the Gunan fault. In addition, the slump of the nearshore strand bar also can form basin floor fan complex. In this period, the nearshore strand sandstone bar and sheet are more abundant.

Key words: facies model; self-organized neural network; seismic waveform; depositional system; the Gunan Sag; the Bohai Bay Basin

沉积盆地在不同发育期, 断裂活动强弱、物源供给多少、水体深浅等均有变化, 因此, 形成了不同的沉积体系。沉积体系分布规律对砂体几何形状、

分布特征及连通性起控制作用, 因此, 决定了油田勘探方向、目标及井网调整。地震反射波含有大量的地质信息, 利用这些信息快速、精细划分沉积相

收稿日期: 2007-04-09; 修订日期: 2008-06-10。

作者简介: 赖生华(1966—), 男, 研究员, 主要从事层序地层学及储层评价研究。E-mail: laishenghua@126.com。

基金项目: 西安石油大学科技基金项目(PLN0404)。

已成为当前研究的热点^[1~10]。本文以济阳坳陷孤南洼陷沙三中亚段中部为例(图1),利用自组织神经网络技术对地震波波形分类,实现地震相自动划分^[11~13],并结合钻井资料,进行地震相与沉积相的转换,来研究沉积体系平面分布特征。

1 地震相模型道的沉积学意义

沉积相对储层性质有决定性影响,储层性质变

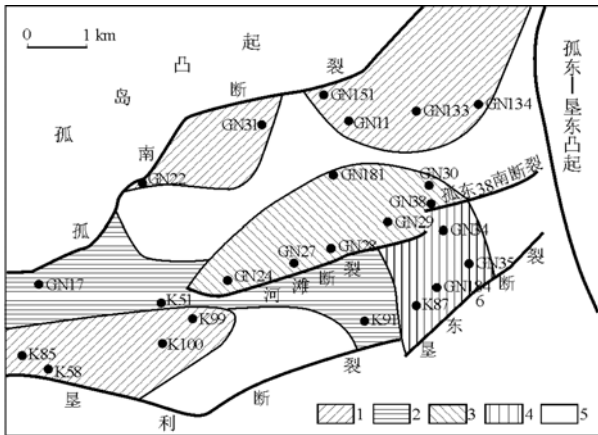


图1 渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段中部沉积后古地貌特征

1. 盆地扇楔形体;2. 湖泊砂体;
3. 扇三角洲楔形体;4. 水道;5. 相对高地

Fig. 1 Geography scope and post-sedimentary palaeogeomorphology feature of the middle part of middle submember of the 3rd member of Shahejie Formation in the Gunan Sag of the Bohai Bay Basin

化必然影响地震波反射特征。地震数据是地震道的有序排列,地震道波形特征决定了地震波反射特征,因此,从理论上分析,沉积相的变化势必导致地震道波形的改变,即地震波波形与沉积相具有响应关系。地震波波形能够定量表征,利用计算机大容量,高速运算能力,可以对波形分类,自动实现沉积相划分。

孤南洼陷沙三中亚段中部地震反射可以划分为15类地震相模型道(图2)。通过与录井资料、岩心描述资料、测井资料及地震反射结构相结合,本文着重阐明井旁相模型道的沉积学意义。

1.1 1-6模型道波形的意义

1-6模型道代表辫状河三角洲和盆底扇粗碎屑沉积。其中,1-3模型道主要反映水道充填砂砾岩体;4-6模型道代表砂坝(滩)沉积复合体。

1-3模型道波形对应的沉积物粒度相对较粗,主要由细砂岩、中砂岩组成,并常见粉砂岩、粗砂岩,甚至细砾岩(图2A)。在局部层段,自下而上构成细砾岩—粗砂岩—中砂岩—粉砂岩完整的向上变细正韵律序列。水道底部砾岩主要由石英砾石组成,分选较好,次圆状—圆状,颗粒支撑。细砂岩在粒度概率曲线上具二段式分布特征,截点近 3Φ ,悬浮总体占60%;槽状交错层理、板状交错层理及波状交错层理发育。粉砂岩中常见生物扰动及塑性变形,代表水下分流河道上部天然堤沉积。

4-6模型道波形代表滩坝微相。自下而上由

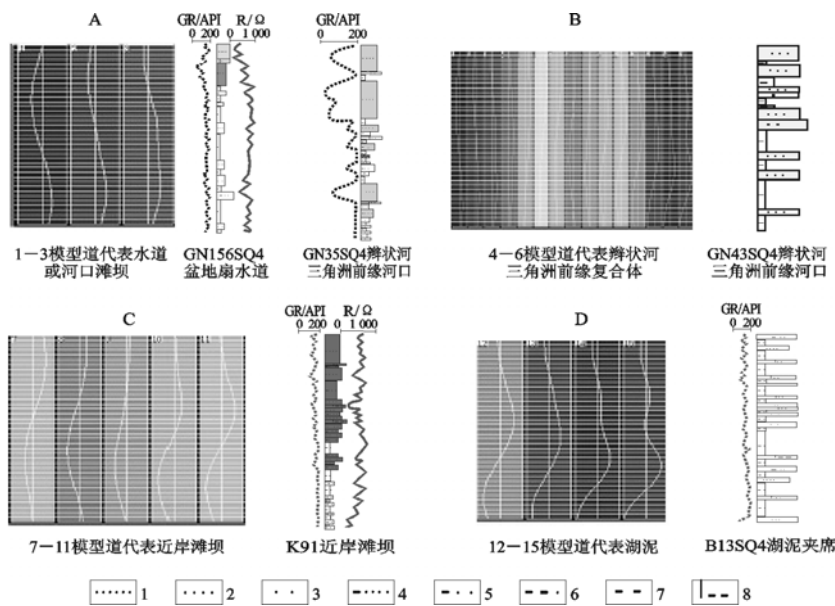


图2 渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段中部地震波波形特征

1. 细砂岩;2. 中砂岩;3. 粗砂岩;4. 泥质细砂岩;5. 泥质中砂岩;6. 砂质泥岩;7. 泥岩;8. 钙质泥岩

Fig. 2 Waveform feature of the middle part of middle submember of the 3rd member of Shahejie Formation in the Gunan Sag of the Bohai Bay Basin

绿色泥质粉砂岩、粉砂岩、浅绿灰、灰色细砂岩组成,形成向上变粗的反韵律沉积(图 2B)。粉砂岩含泥、碳屑及云母,水平层理发育,底部偶见湖浪作用形成的冲刷面,其下伏泥岩见撕裂特征。细砂岩自下而上粒度变粗,重矿物含量减少,碳屑含量增加,分选好,圆状,颗粒支撑。下部发育水平层理,中部见槽状交错层理,顶部主要是板状交错层理及碳质纹层所构成的浪成构造。辫状河三角洲前缘河口滩坝具三段式分布特征,粗裁点为 2Φ ,细裁点为 $3\Phi\sim 4\Phi$,说明沉积时受一定程度的波浪影响。

在测井曲线上,辫状河三角洲复合体具漏斗状特征。地震反射样式丰富、多变,主要可见弱幅断续丘状反射、S型—斜交复合型前积反射、叠瓦状前积反射、中—弱振幅中连续充填反射、变振幅中连续上超充填反射及弱幅复波反射样式。而盆底扇自下而上由砾岩、粉砂岩、泥岩组成。砂砾岩厚度向上变薄,泥岩出现的频率增加,总体上构成向上变细序列,测井曲线是钟形。盆底扇地震反射结构较复杂,主要有强幅断续丘状迁移反射、中弱幅连续丘状反射、丘状上超充填反射、孤立透镜状反射、弱幅串珠状透镜状反射、乱岗反射、变振幅楔状乱岗反射。

1.2 7—11 模型道波形的意义

7—11 模型道波形为浅湖中滩坝(本文称为近岸滩坝)的典型特征(图 2C)。富含云母、重矿物及碳屑。泥质夹层频繁出现,自下而上泥质含量减少,粒度变粗,构成反韵律序列。近岸滩坝砂岩粒度概率曲线为二段式,跳跃次总体约占 70%。层理发育,常见板状交错层理、低角度板状交错层理、楔状交错层理、微波状交错层理及微波状平行层理。

在测井曲线上,近岸滩坝沉积底部表现为渐变,而顶部则显示为突变特征。电阻率向上增加,自然电位向上降低,呈漏斗特征。在地震剖面上,常表现为强振幅连续低频反射。若有水道化,则出现前积充填反射样式。滩坝边缘滑动小砂体表现为中振幅连续丘状反射。

1.3 12—15 模型道波形的意义

12—15 模型道波形特征反映了相对低洼区的浅湖泥沉积(图 2D)。岩性组合主要是灰色泥岩或泥岩与粉砂质泥岩、粉砂岩互层,偶见紫红色泥岩条带。主要发育水平层理、波状平行层理、波状交错层理,局部亦有塑性变性特征。具中振幅席状地震反射特征。

2 沉积体系平面分布特征

孤南洼陷北靠孤岛凸起,南临垦利断裂—垦东 6 断裂,东接孤东—垦利凸起,西边界为孤西低突起,面积约 200 km^2 (图 1)。沙三段中亚段中部沉积期,该洼陷主要发育辫状河三角洲、盆底扇和浅湖沉积^[14~19]。

该沉积期,湖泊已扩展到全区,来自垦东 6 断裂上升盘的碎屑物质经过 K87 进入孤南洼陷,不断向北前积,形成辫状河三角洲复合体。辫状分流水道向北延伸,至河滩断裂与 GN38 南断裂交汇处分叉成二支,分别流经 GN38、GN41。在断裂坡脚,坡度突然降低,成为大量碎屑物卸载的有利场所,在 GN24—GN18—GN28 区域形成三角形古斜坡(图 1)。

该辫状河三角洲复合体主要发育前缘亚相,进一步可识别出分流水道、水道间、河口滩坝及滩坝间微相。具有明显的波形特征,主要表现为 4—6 模型道波形呈断续线状、块状分布于河滩断裂与垦利断裂之间,2—3 模型道波形构成明显的包络面。分流水道常具 1—3 模型道波形特征,呈条带状分布;沉积物粒度相对较粗,岩性组合为粉砂岩、泥岩夹砂质砾岩、细砂岩,砂质砾岩累计厚度超过 10 m,而在 GN30 井中,细砂岩厚度可达 20 m(图 3)。

GN184—GN35 及 GN34 两区富含砂岩,累计厚度达 30 m(包括粉砂岩)(图 3),具 4—6 模型道波形特征,代表河口滩微相(图 4)。因此,该区可能只发育辫状河三角洲前缘亚相。根据 K89 录井资料,该时期发育大套块状砂质砾岩,说明辫状河三角洲平原应发育于垦东 6 断裂上升盘。

孤南断裂中、东段活动剧烈,位于断坡脚的 GN22—GN15 及 GN151—GN134 两区域分别沉积互不相连的盆底扇,表现为古地形隆起(图 1)。1—3 模型道波形特征明显,呈大小不一的团块状分布。GN11、GN134 井见少量砂质砾岩,可能代表局部诱发因素形成的水下滑塌体或水道沉积。此外,近岸滩坝边缘发生滑塌,在靠近垦利断裂 K99—K58 区域也成规模较小的盆底扇复合体。

洼陷内的盆底扇主要为中扇亚相,包括辫状水道、水道间、砂坝及砂坝间微相。相模型道特征多种多样,较为复杂。中扇辫状水道沉积岩性较粗,主要是杂色、浅灰色砾岩,灰白色粗砂岩、中砂岩、不等粒砂岩。河道沉积底部具明显冲刷面,起伏不平,形成冲刷充填构造。冲刷面上砾岩成分复杂,主要含石英岩、火成岩和泥岩砾石。砾石分选差,

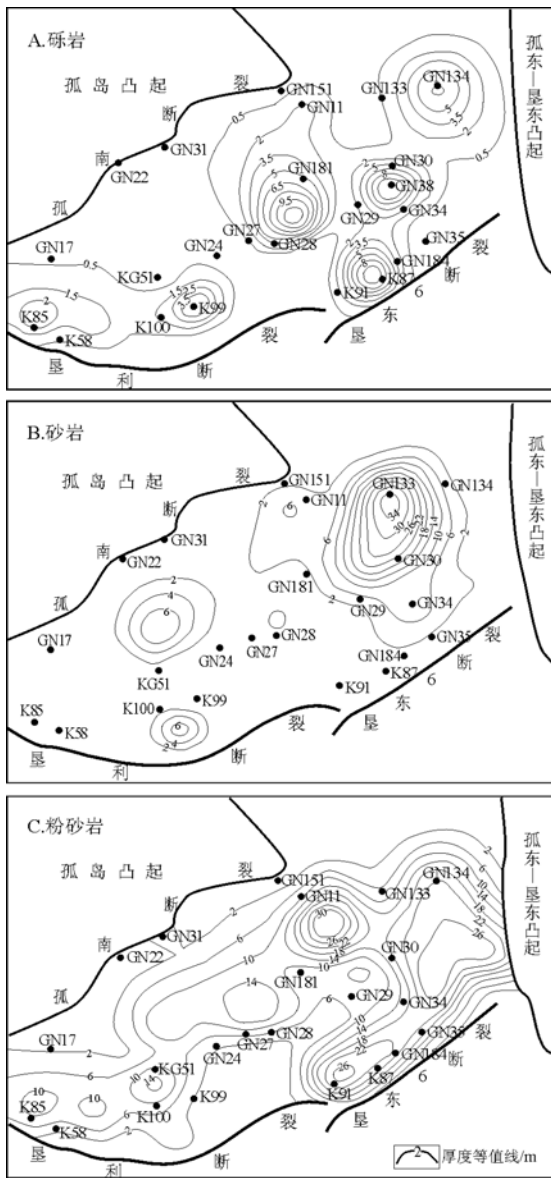


图 3 渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段中部岩性平面分布

Fig. 3 Plane distribution of lithology of middle part of the middle submember of the 3rd member of Shahejie Formation in the Gunan Sag of the Bohai Bay Basin

多数呈次棱角状,少数圆状,杂乱堆积,颗粒支撑,呈块状。砂岩成分成熟度低,富含重矿物、长石等。主要发育板状交错层理,有时见楔状交错层理。水道间主要为绿灰色泥岩,次为灰绿色泥质粉砂岩、绿灰色粉砂岩及灰色粉砂岩。富含云母、碳屑。粉砂岩中有时发育楔状交错层理,泥岩中则平行层理发育。

中扇砂坝岩性组合主要为浅绿灰、绿灰、灰、灰白色泥质粉砂岩、细砂岩。砂岩成分成熟度较低,常见岩屑、重矿物、云母、碳屑分布;泥质含量较丰富,有时富集成条带。砂岩分选较差—较好,次棱

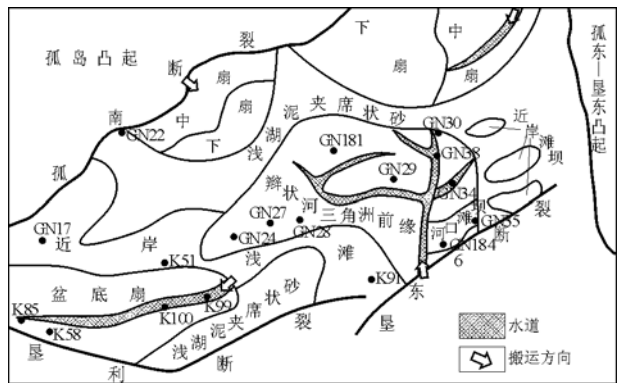


图 4 渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段中部沉积体系平面分布

Fig. 4 Plane distribution of depositional system of the middle part of middle submember of the 3rd member of Shahejie Formation in the Gunan Sag of the Bohai Bay Basin

角状一次圆状,颗粒支撑,粒度概率曲线呈二段式;层理十分发育,常呈水平层理、波状平行层理、板状交错层理。砂坝间沉积以泥岩为主,夹灰绿色泥质粉砂岩。有时灰色泥岩与褐色泥岩构成韵律层。

K91—KG51—GN17 一带在古地貌上为一水下平台(图 1),具 7—9 模型道波形特征,分布广泛,连续性好。主要为灰色、灰白色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩,偶见中砂岩及少量砾岩,其中砂岩累计厚度最厚可达 30 m,为一近岸滩坝(图 3,4)。

此外,湖泊中也发育一些零星分布、规模较小的滩坝。

其余相对低洼区为浅湖泥沉积,具 12—15 模型道波形特征。岩性组合主要是灰色泥岩或泥岩与粉砂质泥岩、粉砂岩互层。在浅湖泥中,有时夹有分布较稳定的浅灰色粉砂岩,称为席状砂。

3 结论

1)利用地震波波型可以实现地震相自动划分,具有更省时、更客观、更准确的优势。

2)孤南洼陷沙三中亚段中部地层地震反射可以划分为 15 类相模型道,与沉积相具有较好的对应关系。同时,相模型道对沉积相变化较敏感,可用于微相划分。1—6 模型道代表辫状河三角洲和盆底扇粗碎屑沉积,其中,1—3 模型道主要反映水道充填砂砾岩体,4—6 模型道代表砂坝(滩)沉积复合体;7—11 模型道波形为浅湖中滩坝沉积;而 12—15 模型道波形特征则反映了相对低洼区的浅湖泥沉积。

3)孤南洼陷沙三中亚段中部沉积时期存在辫状河三角洲、盆底扇和湖泊 3 种沉积体系。辫状河

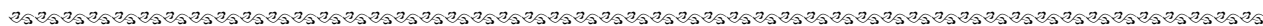
三角洲发育前缘亚相,分布于孤南洼陷南部斜坡区域;盆底扇主要分布于洼陷北部、孤南断裂坡脚部位,浅湖近岸滩坝滑塌也可形成盆底扇复合体;湖泊发育浅湖亚相,近岸滩坝及席状砂较丰富。

参考文献:

1 Payton C E. 地震地层学[M]. 牛毓荃译. 北京:石油工业出版社,1980
 2 胡海燕. 渤海湾盆地新滩油田垦东 32-33 块隐蔽油气藏研究[J]. 石油实验地质,2007,29(2):203~206
 3 姜辉,于兴河,李庆明等. Muglad 盆地 Nugara 坳陷东凹 Darfur 群地震层序格架和地震相[J]. 油气地质与采收率,2006,13(5):24~27
 4 范洪军,李军,肖毓祥等. 地震分频技术在扇三角洲演化过程研究中的应用[J]. 石油与天然气地质,2007,28(5):682~686
 5 杨飞,张宏艳,陈俊生. 岩性油藏勘探方法研究:以渤海湾盆地辽河坳陷为例[J]. 石油实验地质,2007,29(1):95~98
 6 曹学良,曹延军,姜传恩等. 胡状集地区地震岩性反演与储层预测[J]. 石油与天然气地质,2001,22(3):225~229
 7 庄丽. 东营凹陷永安镇三角洲层序地层与沉积体系[J]. 石油实验地质,2006,28(6):544~548
 8 Weimer P. Siliciclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications[M]. Tulsa: AAPG, 1979. 345~376

9 程浪洪. 塔里木盆地轮古西地区多地震属性储层综合预测[J]. 油气地质与采收率,2007,14(3):78~80
 10 郝志伟,王楠,孙明涛等. 太平油田馆陶组下段辫状河储层地震反射假象分析[J]. 油气地质与采收率,2007,14(1):62~65
 11 包约翰. 自适应模式识别与神经网络[M]. 北京:科学出版社,1992
 12 刘力辉. 应用自组织神经网络划分地震微相[J]. 石油地球物理勘探,1996,31(增刊2):90~100
 13 段玉顺. 地震相的自动识别方法及应用[J]. 石油地球物理勘探,2004,39(2):158~162
 14 张乐,姜在兴,郑宁等. 孤南洼陷新生代构造演化特征及其对沉积的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2007,14(3):37~41
 15 高树新,任怀强,杨少春. 渤海湾盆地济阳坳陷陈家庄凸起东段北斜坡油源特征及成藏分析[J]. 石油实验地质,2007,29(1):73~77
 16 董春梅. 基于河水位变化的层序地层模式:以济阳坳陷孤东油田为例[J]. 石油实验地质,2006,28(3):249~252
 17 赵俊兴. 高分辨层序地层学方法在沉积前古地貌恢复中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(1):74~78
 18 王家豪. 层序地层学应用于古地貌分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2003,28(4):381~385
 19 徐长贵. 古地貌分析在渤海古近系储层预测中的应用[J]. 石油勘探与开发,2004,31(5):511~515

(编辑 徐文明)



(上接第 399 页)

8 秦勇,张有生,朱炎铭等. 煤中有机质二次生烃迟滞性及其反应动力学机制[J]. 地球科学,2000,25(3):278~282
 9 朱炎铭,秦勇,范炳恒等. 武清凹陷石炭—二叠系烃源岩的二次生烃评价[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2004,29(1):77~84
 10 秦勇,朱炎铭,范炳恒等. 沉积有机质二次生烃理论及其应用[M]. 北京:地质出版社,2001
 11 冉启贵. 华北地区上古生界煤岩成烃及二次成烃研究[J]. 天然气地球科学,1995,6(31):13~17
 12 邬立言,顾信章,盛志伟等. 生油岩快速定量评价[M]. 北京:科学出版社,1986
 13 刘洛夫,王伟华,李术元. 干酪根二次生烃热模拟研究[J]. 沉积学报,1995,13(增刊):147~150
 14 程克明. 生油层定量评价方法研究[A]. 见:中国石油学会编. 石油地质进展丛书 1:有机地球化学和陆相生油[M]. 北京:石油工业出版社,1986. 265~272
 15 秦建中. 华北地区煤系烃源岩层油气生成、运移、评价[M]. 北京:科学出版社,2000. 159~160
 16 周杰,庞雄奇,李娜. 渤海湾盆地济阳坳陷烃源岩排烃特

征研究[J]. 石油实验地质,2006,28(1):59~64
 17 秦建中,李志明,刘宝泉等. 海相优质烃源岩形成重质油与固体沥青潜力分析[J]. 石油实验地质,2007,29(3):238~246
 18 秦匡宗,郭绍辉. 石油沥青质[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 3~61
 19 刘洪林,李贵中,王红岩等. 西北低煤阶盆地生物成因煤层气成藏模拟研究[J]. 石油实验地质,2006,28(6):600~603
 20 李艳霞,钟宁宁. 川东石炭系气藏中固体沥青形成机理探讨[J]. 石油实验地质,2007,29(4):402~404
 21 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984
 22 Premovic P I, Jovanovic L J S, Zlatkovic S B, et al. Oxygenic kerogenization of asphaltenes: The Dead Sea asphalt float (Israel) and related materials[A]. In: Selected Papers from the 17th International Meeting on Organic Geochemistry [C], Spain: AIGOA, 1995. 1005~1006
 23 晏德福. 有机地球化学文集[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1986. 116~134

(编辑 徐文明)