

文章编号:1672-9854(2009)-02-0052-07

近海陆架盆地优质烃源岩的测井评价展望

周建林

(中国石油大学(北京))



周建林

摘要 优质烃源岩的分布对油气成藏具有控制意义,在潜在烃源岩发育层段中找出优质烃源岩,是进一步提高我国近海盆地油气勘探水平的关键环节之一。海上勘探取岩心困难,制约了对烃源岩的优选。目前已建立了利用测井信息评价烃源岩的方法,并在陆上的渤海湾盆地济阳拗陷和柴达木盆地取得了较好的应用效果。我国近海盆地与这些陆上盆地具有相似的地质特征,所建立的测井评价方法也将同样适用。已知东海、珠江口、莺歌海以及渤海等浅海盆地的烃源岩非均质性都比较严重,在厚度巨大、分布很广的暗色泥页岩中找出优质烃源岩,将有效提高我国近海盆地的油气勘探成功率。

关键词 烃源岩;非均质性;测井评价;近海盆地

中图分类号:TE112.115 **文献标识码**:A

周建林 1964年生,博士,教授级高工。1986年毕业于华东石油学院,2003年获中国科学院研究生院博士学位。主要从事地质研究工作。发表有《胜坨整装油田成藏模式和油气勘探》专著和《济阳拗陷上古生界煤成气成藏规律认识》等论文。通讯地址:102249北京市昌平区府学路18号;电话:(010)89733320

我国浅海陆架盆地的第三系多数为陆相沉积,或者说主要的生储盖组合是陆相沉积,例如东海盆地、珠江口盆地等^[1-3]。这些盆地与我国陆上东部断陷湖盆具有相似的油气地质条件,因而具有相似的成藏规律,油气通过短距离运移而聚集在优质烃源岩发育的生烃洼陷周围^[4-7]。所以优质烃源岩的分布对油气成藏具有控制意义,在潜在烃源岩发育的层段中寻找优质烃源岩,阐明它的时空分布,是我国近海盆地油气勘探的关键环节之一。海上油气勘探投资高,而且受环境保护、气候周期等限制,其目标化非常明显,一般直接针对油气藏或有利的构造高点,油气基础地质研究(包括优质烃源岩评价等)不如陆上盆地做得细致,制约了勘探成功率。

目前的海洋勘探受钻井取心数量限制,不可能获得连续的有机碳含量(TOC)值,常以有限样品的平均值来代表整套厚层烃源岩的有机碳含量值。随着烃源岩非均质性的发现和研究^[8-11],认为这种作

法显然是不妥的,因为平均值会掩盖有机质丰度高的烃源岩对成藏的贡献,这样所得出的结论可能会误导勘探决策。因此如何建立一套比较准确、能够区分不均质烃源岩的定量评价方法,意义十分重大。

近年来,国内外一些学者开始探索烃源岩的地球化学参数与测井信息之间的关系,并在烃源岩识别、有机质丰度、烃源岩演化成熟度和烃源岩评价等方面取得了不少成果^[12-26],有力推动了烃源岩测井评价的发展。特别是近年来,根据烃源岩地球化学分析与测井信息相结合,提出了利用测井信息评价优质烃源岩的方法,并在济阳拗陷沙河街组和孔店组、柴达木盆地第三系烃源岩等的实际评价中取得了良好的效果,准确地划出优质烃源岩的空间分布^[14, 27-28],促进了油气成藏研究和勘探目标的准确判定。笔者认为,这一方法对于我国近海盆地的优质烃源岩评价仍然是适用的。本文的目的在于通过介绍这一方法,并指出海域优质烃源岩分布的不均质

收稿日期:2008-08-21

基金项目:本文得到国家重大基础研究项目(编号:2001CB209102)的资助

性,期望能将测井评价优质烃源岩的技术在近海勘探中得到应用,以进一步提高海域勘探成效。

1 烃源岩的非均质性

烃源岩的非均质性,是指含有机质的细粒沉积物在沉积、成岩过程中,由于沉积环境、保存条件以及生烃和排烃等作用的影响,形成有机质空间上的不均匀分布,具有宏观和微观两大类^[8]。宏观非均质性表现在不同沉积体系和相带之间,这是由于不同的沉积相带具有各自不同的成因类型、沉积构造、沉积韵律、沉积物粒度、矿物成分及结构特征等,它与储层的非均质性有相似的形成机制^[29];微观非均质性表现在显微镜下细粒沉积物发育富有机质的纹层,扫描电镜下藻类化石异常丰富。

影响烃源岩有机质不均一分布的因素很多,但主要为古湖泊的原始生产力和保存条件。另外,沉积

速率、水体深度、沉积物的粒度等也有一定的影响。它们综合作用的结果导致源岩的有机质丰度在纵向、横向上的不均匀分布。国内外研究表明,有机质丰度高的泥页岩或碳酸盐岩才能对油气成藏做出贡献^[30-37],所以需要认清烃源岩的非均质性,从中将优质烃源岩“评选”出来。通过实践,认为宏观非均质性的描述对于这个“评选”很有意义(表1),这些参数包括了沉积环境、岩性及岩性组合,有机质丰度和类型等。比如渤海湾盆地东营凹陷沙河街组烃源岩,沙三段下部发育深湖相高有机质丰度的油页岩,有机碳含量部分高达10%以上,以I型干酪根为主,生烃潜力(S_2/TOC)在600 mg/g以上,属于目前我国最好的湖相烃源岩^[38]。而发育在滨浅湖环境下的杂色泥岩或粉砂质泥岩则有机碳含量较低,难以作为有效烃源岩。实际上,一套烃源岩中好的坏的均存在,因此烃源岩的非均质性必须做到客观评价。

表1 烃源岩宏观非均质性评价参数

评价等级	主要岩性	砂岩指数 (%)	有机碳含量 (%)	有机质类型	生烃潜力 S_2/TOC (mg/g)	沉积亚相
A	油页岩	<10	>5	I	>500	深湖
B	钙质泥页岩	10~15	2~6	I~II ₂	300~500	半深湖—深湖
C	深灰色泥岩	15~25	1.5~4	II ₁ ~II ₂	200~400	半深湖
D	灰色—浅灰色泥岩	25~35	1~2	II ₂ ~III	50~250	半深湖—浅湖
E	灰绿色—暗棕色泥岩	>30	<1	III	<100	浅湖—滨湖

烃源岩的非均质性具有普遍意义,无论是海相沉积还是陆相沉积。但由于陆相沉积相变比较迅速,因此不均质性相对更加严重一些。我国浅海盆地大都为陆相沉积盆地,因此对烃源岩的不均质性不容忽视。

东海盆地的西湖凹陷烃源岩与其他浅海盆地一

样,具有明显的非均质性,其中已经进入生烃门限的烃源岩主要有始新统花港组、平湖组和古新统明月峰组,它们为陆相含煤沉积,富含有机母质的岩性主要为煤层、碳质页岩和暗色泥岩(表2),有人称其为煤系烃源岩,台北坳陷的明月峰组也是类似的情况^[39],它们的非均质性很明显,厚度变化很大。

表2 东海盆地部分第三系煤系烃源岩厚度及其相对于地层厚度的百分比

凹陷	井名	花港组			平湖组			明月峰组		
		泥岩 (m)/(%)	煤层 (m)/(%)	碳质页岩 (m)/(%)	泥岩 (m)/(%)	煤层 (m)/(%)	碳质页岩 (m)/(%)	泥岩 (m)/(%)	煤层 (m)/(%)	碳质页岩 (m)/(%)
西湖	PH4-1	254/37	2/0.3	13/1.9	529/56	41/4.5	87/9.2			
	PH5-1	297/42	2/0.3	17/2.1	652/87	32/4.3	56/7.4			
	HY7-1	691/53	21/2.5	7/1.0	92/28		21/6.8			
	HY14-1	528/36	9/0.6	18/3.3	111/38	9/3	19/6.1			
	YUQ1	462/48	11/1.3	37/3.3	65/21	4/1.2	14/3.8			
台北	W26-1							97/29	9/2.7	26/7.7
	LF-1							92/29.6	15/4.8	16.6/5

根据显微组分分析, 西湖凹陷和台北坳陷烃源岩有机质中镜质组占 70%以上, 壳质组基本在 17% 以下^[39], 但是 TOC 变化很大, 例如泥质烃源岩 TOC 分布范围为 0.06%~13%(表 3), 这说明东海盆地第三系烃源岩具有强烈的非均质性。由于海上勘探取心少, 又没有进行烃源岩测井评价, 所以目前还没有

资料来详细展现烃源岩的这种强烈非均质性, 因而也就不能明确优质烃源岩的分布状况及其对油气成藏的控制作用。也就是说, 总体上东海盆地烃源岩以有利于生气的镜质组为主(表 3), 但是如果能确定 TOC 超过 2%的烃源岩分布规律, 则能有效地指明油气富集区和勘探目标。

表 3 东海盆地第三系烃源岩有机显微组分和有机碳含量特征

凹陷	层位	岩性	镜质组 (%)	壳质组 (%)	惰质组 (%)	TOC (%)
平湖	花港组	泥岩	76.5	8.6	14.8	0.12~2.51
	平湖组	煤	76.3	15.6	7.3	48~63
黄岩	花港组	泥岩	68.3	25.4	6.2	0.25~5.41
		煤	81.3	18.2	0.2	28.2~75.5
		碳质页岩	78.5	14.3	4.4	1.64~28.3
	平湖组	泥岩	77.9	18.8	3.3	0.48~3.3
		煤	91.9	7.7	0.4	48~61
		泥岩	65.3	14.9	19.6	0.08~3.8
台北	明月峰组	煤	88.4	9.7	1.5	
		碳质页岩	83.3	11.3	5.3	0.6~13

2 优质烃源岩的测井识别和评价

通过东海盆地和珠江口盆地的资料分析, TOC 在 2%以上的泥页岩是优质烃源岩, 它们埋藏到门限深度后形成了不同地区的烃源灶。陆上盆地的研究表明, 优质烃源岩单层厚度不一定很大, 但是生烃潜力要大、排烃能力要强; 它们往往集中分布在某些洼陷的某个层段中, 是高生物产率和缺氧环境对应的地区和层段。一般的烃源岩评价需要对岩心进行大量的地球化学分析, 但是海上勘探不可能钻取很多岩心, 所以非常有必要利用测井信息进行烃源岩非均质性评价, 从中找出优质烃源岩, 以查明它们对油气成藏的控制作用。根据陆上盆地的科研经验, 认为利用测井信息评价烃源岩完全可以达到这个目标。

利用测井信息进行烃源岩评价, 首先要求搞清楚潜在在烃源岩层段的岩性、岩相及其随埋藏深度的变化情况, 其次要搞清楚哪些测井信息能够反映烃源岩岩性和有机质情况。测井信息中的声波时差、电阻率及密度等对烃源岩情况均有所反映, 但它们又都不能单独完成评价。

东海盆地潜在在烃源岩以暗色泥页岩、碳质泥岩

及钙质泥岩为主, 一般情况下, 它们的声波时差随其埋藏深度的增加(地层压实程度增加)而减小。但当地层中含有有机质或油气时, 由于干酪根(或油气)的声波时差大于岩石骨架声波时差, 因此, 会造成地层声波时差增加^[17]。同时声波时差受矿物成分、碳酸盐和黏土含量以及颗粒间压实程度的影响。所以不能单独用声波时差测井来估算烃源岩的有机质含量。

由于泥页岩的导电性比较好(岩石骨架及孔隙内地层水均导电), 所以在剖面上一般表现为低阻(含钙质岩性除外)。如果泥页岩富含有机质, 即含导电性较差的干酪根和油气, 其电阻率就会比不含有机质的同样岩性的地层电阻率高。因此可以利用电阻率作为烃源岩的有机质丰度指标。但一些特殊的岩性层段或泥浆侵入等也可能导致电阻率的增大, 因此, 也不能单独使用普通电阻率测井来估算烃源岩的有机质含量。密度测井测量的是地层的体积密度, 包括骨架密度和流体密度。地层含流体越多, 孔隙性就越好。由于烃源岩(含有机质)的密度小于不含有机质的泥岩密度, 同时地层密度的变化对应于有机质丰度的变化^[17], 因此密度与有机质含量存在一定的函数关系。但当重矿物富集时, 密度测井就不可能是有机质的可靠指标。

立了不同地区适应的计算模型^[17],基本形式为:

$$\text{TOC}=\text{K}\cdot\Delta\lg\text{R} \quad (3)$$

其中,K为系数,将公式(1)代入公式(3)中可得:

$$\begin{aligned} \text{TOC} &= \text{K}\cdot[\lg(\text{R}/\text{R}_{\text{基线}})+0.02(\Delta t-\Delta t_{\text{基线}})] \\ &= \text{K}\cdot\lg\text{R}+0.02\text{K}\cdot\Delta t-\text{K}(\lg\text{R}_{\text{基线}}+0.02\Delta t_{\text{基线}}) \end{aligned} \quad (4)$$

对于一个研究区或一个评价层位来讲,K、 $\lg\text{R}_{\text{基线}}$ 、 $\Delta t_{\text{基线}}$ 均为常数,因此上式可简写为^[17]:

$$\text{TOC}=\text{a}\cdot\lg\text{R}+\text{b}\cdot\Delta t+\text{c} \quad (5)$$

由于优质烃源岩具有相对高声波时差、高电阻率和低密度的特征,因此要考虑密度的影响,有必要进行密度校正,上式可改写为:

$$\text{TOC}=(\text{a}\cdot\lg\text{R}+\text{b}\cdot\Delta t+\text{c})/\text{d} \quad (6)$$

式中:d——密度测井读数;

a、b、c系数——均可通过对研究区实测样品的TOC分析值,采用最小二乘法拟合获得。

基于这种方法,王力等对柴达木盆地西部盐湖相研究区的测井曲线进行地质层位标定、岩性识别和标准化后,计算出每米8个点的TOC数值^[28]。通过与实测数据的对比验证,发现准确率比较高。通过对单井进行计算,得到近乎连续的潜在烃源岩TOC数据(图1)。以此思路还可以利用测井信息计算出烃源岩氢指数HI、烃源岩成熟度 R_o 等参数。这样,很容易将 $\text{TOC}>2\%$ 的优质烃源岩及其厚度从其它岩性中识别出来,以达到优质烃源岩识别和评价的目的。

将通过计算得到的优质烃源岩厚度、TOC、HI等参数等值线图,与 R_o 等值线图叠加,就能得到评价层位的烃源灶分布图。

总体研究思路和方法见图2。济阳坳陷和柴达木盆地的研究结果证明^[28,30],这种方法确定的烃源灶反映了油气地质规律,对油气藏成因、分布和预测具有指导意义。

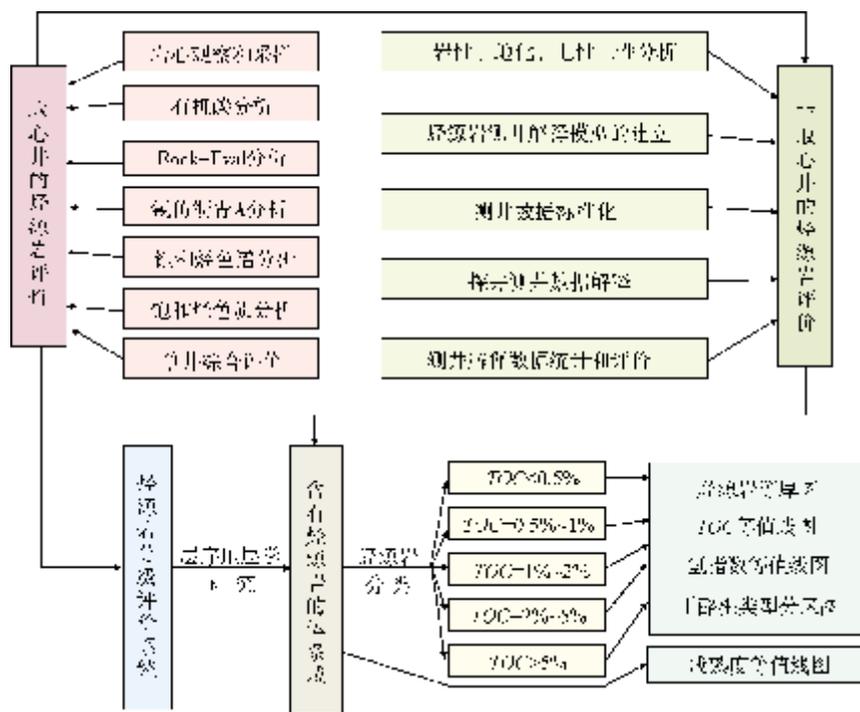


图2 烃源岩测井评价系统框图

3 展望

我国海域油气勘探取得了重大进展,近年来原油产量的迅猛增长在很大程度上弥补了陆上油气产

量的下滑,为我国石油产量稳步增长做出了重要贡献。但是海域油气勘探的某些基础地质研究(包括烃源岩评价)比陆上盆地做得少,本文介绍的方法在海域油气勘探上应当有用武之地,对促进海域油气资

源评价和储量增长将产生积极作用。

就笔者目前接触了解到的东海、珠江口、莺歌海以及渤海等浅海盆地的烃源岩和油气成藏资料来看,烃源岩非均质性比较严重,其中的优质烃源岩是构成油气资源量的主体和控制油气成藏的根本。在厚度巨大、分布很广的暗色泥页岩中找出优质烃源岩,探讨它对油气藏形成的控制作用,能够有效地提高我国近海盆地油气勘探成功率。目前在陆上盆地建立的优质烃源岩测井识别和评价方法,完全可以适用于这些近海盆地的研究,因为它们的潜在烃源岩基本上是陆相裂谷盆地的沉积,存在相似的地质、地球化学和地球物理特征。

与测井信息相比,地震信息对烃源岩的分辨率比较低,但是对地震信息进行目标处理,可以提取一些与烃源岩岩性和有机质有关的属性参数,用于烃源岩非均质性评价,从而确定优质烃源岩的分布。笔者认为本文所述的这项研究必须是在烃源岩地质分析的基础上才能有所突破,并且期望在我国近海盆地的油气勘探中尽快加以实现。

参考文献

- [1] 龚再升,李思田.南海北部大陆架边缘盆地分析与油气聚集[M].北京:科学出版社,1997.
- [2] 赵金海,贾健谊,马惠福.东海新生代盆地找油气的几点认识[J].海洋石油,1999,13(3):1-7.
- [3] 何治亮,王琳,罗传容,等.中国海相盆地油气勘探潜力分析[M]//周玉琦.朱夏油气地质理论应用研讨文集.北京:地质出版社,2001:52-59.
- [4] 朱光有,金强,周建林,等.东营凹陷湖盆充填过程对烃源岩控制作用研究[J].地质地球化学,2003,31(2):73-79.
- [5] 石宝珩.陆相生油理论的由来和发展[J].石油勘探与开发,1981,8(3):14-17,8(4):17-21.
- [6] 朱光有,金强,郭长春,等.渤海湾盆地东营—沾化凹陷油气聚集的差异性及控制因素研究[J].石油实验地质,2003,25(4):353-356.
- [7] 胡见义.中国陆相石油地质理论基础[M].北京:石油工业出版社,1992.
- [8] 朱光有,金强.烃源岩的非均质性及其研究——以东营凹陷牛38井为例[J].石油学报,2002,23(5):34-39.
- [9] 金强.有效烃源岩的重要性及其研究[J].油气地质与采收率,2001,8(1):1-4.
- [10] 朱光有,金强,张水昌,等.东营凹陷沙河街组湖相烃源岩组合特征[J].地质学报,2004,78(3):416-427.
- [11] 金强,查明,赵磊.柴达木盆地西部第三系盐湖相有效生油岩的识别[J].沉积学报,2000,18(4):421-427.
- [12] Meyer B L, Nederlof M H. Identification of source rocks on wireline logs by density/resistivity and sonic transittime/resistivity crossplots[J]. AAPG Bulletin.1984,68:121-129.
- [13] Passey Q R, Creaney S. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs[J]. AAPG Bulletin.1990,74(12):1777-1794.
- [14] 张立鹏,边瑞雪,杨双彦,等.用测井资料识别烃源岩[J].测井技术,2001,25(2):146-152.
- [15] Schmoker J W. Determination of organic-matter content of Appalachian Devonian shales from gamma-ray logs[J]. AAPG Bulletin.1981,65:1285-1298.
- [16] Schmoker J W, Hester T C. Organic carbon in Bakken Formation, United States portion of Williston Basin[J]. AAPG Bulletin.1983,67:2165-2174.
- [17] 朱光有,金强,张林晔.利用测井信息获取烃源岩地球化学参数[J].测井技术,2003,27(2):104-109.
- [18] Fertl W H, Chillinger G V. Total organic carbon content determined from well logs [J]. SPE Formation Evaluation, 1988,3(2):407-419.
- [19] Hester T C, Schmoker J W, Sahl H. Log-derived regional source-rock characteristics of the Woodford shale, Anadarko Basin, Oklahoma [J]. U S Geological Survey, Bulletin 1866D,1990:1-38.
- [20] 黄海平,卢松年.测井资料与烃源岩有机碳含量的定量关系研究[J].江汉石油学院学报,1998,20(3):8-12.
- [21] Herrson S L, Letendre I, Dufour M. Source rock evaluation using geochemical information from wireline logs and cores [J]. AAPG Bulletin.1988,72:1007.
- [22] Mann U P, Muller J. Source rock evaluation by well log analysis(Lower Toarcian, Hils Syncline): Advances in organic geochemistry 1987 [J]. Organic Geochemistry,1988,13:109-129.
- [23] 郭永华,何炳骏.利用测井资料确定生油岩有机质的成熟度[J].石油勘探与开发,1993,20(3):22-26.
- [24] Schmoker J W. Sandstone porosity as function of thermal maturity[J]. Geology,1988,16:1007-1010.
- [25] 王方雄,侯英姿,夏季.烃源岩测井评价新进展[J].测井技术,2002,26(2):89-93.
- [26] 张志伟,张龙海.测井评价烃源岩的方法及其应用效果[J].石油勘探与开发,2000,27(3):84-87.
- [27] 朱光有,金强,张水昌,等.陆相断陷盆地复式成烃及成藏系统研究——以济阳拗陷沾化凹陷为例 [J]. 石油学报,2004,25(2):48-52.
- [28] 王力,金强.柴达木盆地西部第三系优质烃源岩的特征与评价[J].天然气工业,待刊.
- [29] 周建林,刘静,杨少春.胜坨油田坨28断块沙河街组二段储层非均质性定量研究 [J]. 高校地质学报,2002,8(4):437-445.
- [30] 金强,王永诗,朱光有,等.济阳拗陷沙河街组有效烃源岩特征与评价[J].石油勘探与开发,2003,30(3):53-55.
- [31] 朱光有,金强,张水昌,等.济阳拗陷生烃洼陷的成因类型

- 及生烃潜力比较[J]. 天然气工业, 2005, 25(11): 17-20.
- [32] 金强, 朱光有. 中国中生代咸化湖盆烃源岩沉积的问题及相关进展[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 483-492.
- [33] 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地化特征研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 506-512.
- [34] 张水昌, 张保民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地两套海相有效烃源岩层—I 有机质性质、发育环境及控制因素[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 261-268.
- [35] 朱光有, 金强, 周建林, 等. 东营断陷湖盆充填模式研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 143-148.
- [36] Carroll A R, Bohacs K M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basin [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(6): 1033-1053.
- [37] 朱光有, 金强, 张善文, 等. 渤南洼陷盐湖—咸水湖沉积组合及其油气聚集[J]. 矿物学报, 2004, 24(1): 25-30.
- [38] 朱光有, 金强, 张水昌, 等. 济阳坳陷东营凹陷古近系沙河街组深湖相油页岩的特征及成因[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 59-69.
- [39] 姜亮. 东海陆架盆地第三系煤系烃源岩油气生成与聚集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.

编辑: 吴厚松

Prospect of Logging Evaluation of Excellent Hydrocarbon Source Rocks in Offshore Shelf Basins in China

Zhou Jianlin

Abstract: As the control effect of the distribution of excellent hydrocarbon source rocks on hydrocarbon accumulation, it is of great importance to identify it for Chinese offshore hydrocarbon exploration, which is very difficult because of hard drill-coring. The method of evaluating hydrocarbon source rocks by logging data has been built and better applied in continental Jiyang Depression in Bohaiwan Basin and Qaidam Basin. It can be also used in offshore basins as they have the similar geological characteristics. As we know, hydrocarbon source rocks are quite heterogeneous in offshore basins such as East China Sea, Pearl River Mouth, Yinggehai and Bohai basins, so locating better source rocks among dark mud shale with large thickness and wide distribution will effectively improve the success rate of offshore hydrocarbon exploration.

Key words: Hydrocarbon source rock; Heterogeneity; Logging evaluation; Offshore basin

Zhou Jianlin: male, Dr., Senior Geologist. Add: China University of Petroleum-Beijing, 18 Fuxue Rd., Changping, Beijing, 102249 China