

柴达木盆地西部古近系—新近系优质烃源岩特征<sup>\*</sup>王力<sup>1</sup> 金强<sup>2</sup> 林腊梅<sup>2</sup> 刘永昌<sup>1</sup> 张博明<sup>1</sup>

1. 中国石油冀东油田勘探开发研究院 2. 中国石油大学·华东

王力等. 柴达木盆地西部古近系—新近系优质烃源岩特征. 天然气工业, 2009, 29(2): 23-26.

**摘要** 柴达木盆地西部古近系(E)—新近系(N)盐湖相烃源岩有机质丰度偏低,而且非均质性严重,利用有限的岩石岩屑实验室分析资料很难对其作出客观评价。为此综合有机地球化学和测井信息,建立了一套测井评价方法,得到了海量的烃源岩评价参数。分析这些数据后发现:与膏盐或芒硝互层的泥页岩和含膏盐泥页岩有机质丰度高( $TOC > 1.0\%$ )、类型好,是该区的优质烃源岩;还分析了不同层系优质烃源岩分布规律:其中, $E_3^2$  优质烃源岩是主力生烃灶,其次是  $E_3^1$ ,而  $N_1^1$  和  $N_1^2$  中优质烃源岩则不太发育。

**关键词** 柴达木盆地 古近纪—新近纪 烃源岩特征 地球化学 测井 信息 评价 勘探有利区

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.02.005

柴达木盆地西部古近系(E)—新近系(N)是该盆地目前油气储量最多、产量最高的层位<sup>[1]</sup>,同时也是典型的盐湖相沉积,下干柴沟组下段( $E_3^1$ )、下干柴沟组上段( $E_3^2$ )、上干柴沟组下段( $N_1^1$ )和上干柴沟组上段( $N_1^2$ )4个层位发育烃源岩。由于蒸发岩与烃源岩的共生沉积作用<sup>[2]</sup>,烃源岩岩性主要为钙质泥岩、泥灰岩、含膏盐泥页岩等,并与石膏、芒硝和岩盐呈互层或存在相变关系,有机碳含量较低<sup>[2-3]</sup>。

许多学者对柴西的烃源岩进行了研究,主要利用岩心和岩屑分析资料探讨了油气地球化学特征和分布模式<sup>[2-5]</sup>。但对优质烃源岩的识别以及它们的时空分布规律等问题,仍未解决。作者在前人的研究基础上,综合运用地球化学和测井信息,利用测井评价方法,给出了各评价层段每米8个点的有机碳含量( $TOC$ )、氢指数( $HI$ )等参数剖面,阐明了烃源岩有机质的赋存状况,指出了优质烃源岩发育规律,为研究区油气资源评价提供了有效参数。

## 1 盐湖相优质烃源岩特征

优质烃源岩是指有机质特别富集、类型好、生烃潜力大的烃源岩,它们往往厚度不大,但却对油气聚集的形成具有较大贡献。研究区烃源岩总体上

$TOC$ 值均较低,不能与东部断陷盆地的烃源岩( $TOC$ 主要在2%以上<sup>[6]</sup>)相比。但在低丰度的烃源岩中也发育优质烃源岩,如狮子沟等地区的一些井段有机碳含量超过了1.0%,有的甚至达到了2.0%<sup>[2]</sup>。查明优质烃源岩的特征,并将其识别出来,即是该区烃源岩评价的关键。

通过岩心观察和密集采样分析发现,柴达木盆地盐湖相烃源岩存在着多种岩性组合形式,主要由碳酸盐含量不等的泥灰岩、钙质泥岩、含钙泥页岩、含膏盐泥页岩、石膏层和石盐层组成。各层段烃源岩的岩性还有一些差别; $E_3^2$ 膏盐层比较发育,烃源岩颜色比较深; $N_1^1$ 和 $N_1^2$ 膏盐层减薄,钙质泥页岩比较发育。

不同岩性烃源岩有机质含量、生烃潜能存在明显差异,低的 $TOC$ 值不足0.2%,高的则超过了2.0%,表现出强烈的非均质性<sup>[6]</sup>,如狮子沟地区狮23井 $E_3^2$ 取心段(图1)。与膏盐或芒硝等间互的深灰色到黑色泥页岩和含膏盐泥页岩段, $TOC$ 多数在0.8%甚至超过1.0%,热解烃 $S_2$ 大于4.0 mg/g,有机质主要为偏腐泥混合型,生油潜力大,为本区优质烃源岩。钙质含量较少的深灰色—黑色含钙泥岩 $TOC$ 含量在0.4%~0.8%之间, $S_2$ 分布在1.0~

<sup>\*</sup> 本文受到国家自然科学基金项目“咸化湖盆有机质沉积及其烃源岩与盐类物质的相互作用研究”(编号:40572084)和中国石油天然气股份有限公司“十五”科技攻关项目“柴达木盆地西部油气分布规律及勘探目标选择”(编号:KTY-2003-035)的联合资助。

**作者简介:**王力,1982年生,博士;主要从事石油地质综合研究工作。地址:(063004)河北省唐山市冀东油田勘探开发研究院。电话:13930540281。E-mail:wangli19820723@163.com

4.0 mg/g,干酪根类型以偏腐殖混合型和偏腐泥混合型为主,生气能力中等。而粉砂质泥岩、砂质泥岩和钙质含量较高的浅色钙质泥岩、泥灰岩等  $TOC$  多数分布在0.4%之下, $S_2$  基本都小于1.0 mg/g,有机质类型为偏腐殖混合型和腐殖型,生气潜力有限。

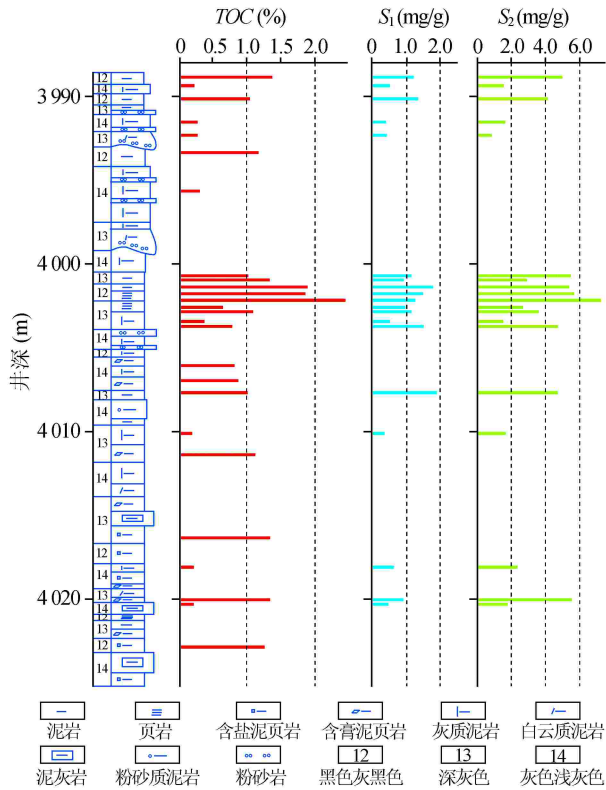


图1 狮23井取心段岩性与有机质丰度的对应关系图

优质烃源岩的形成与沉积环境密切相关。第三纪柴西盐湖环境经常交替出现大气降水(河水)补给缺乏、蒸发作用强烈、湖盆水体咸化期,或短时淡水补给充分、湖水相对淡化作用期,也就是存在盐湖—半咸水湖交替变更现象<sup>[7]</sup>。前者湖水不断浓缩在局部深洼处形成硫酸盐或氯化盐沉积,同时高盐度可使水体产生稳定分层<sup>[2]</sup>,在相对深水部位形成强还原环境,有利于优质烃源岩的发育;后者湖水相对淡化,适宜于碳酸盐沉积,湖水分层现象不明显,湖底一般为弱还原—还原环境,对沉积有机质保存不利,所以主要沉积钙质泥页岩和泥灰岩,有机质含量较低。

虽然通过上述分析,明确了盐湖相优质烃源岩的发育特征,但由于研究区取心少,仅凭有限的实验室分析数据难以查明优质烃源岩分布规律,所以下面利用测井信息进行烃源岩评价,得到了理想的结果。

## 2 用测井信息评价烃源岩

常规的烃源岩评价主要是对岩心、岩屑进行实验室分析,给出有机质丰度、类型和成熟度等参数。但存在着一些不足:①岩心样品有限,少数取心井不能从剖面和平面上控制烃源岩地球化学性质的变化规律;②由于有机质分布的非均质性<sup>[6]</sup>和取样人为性等因素的影响,分析结果往往不能反映烃源岩的全貌;③分析费用昂贵且耗时长。

近年来,国内外一些学者开始探索利用测井信息对烃源岩进行研究,并取得了令人满意的效果<sup>[8-11]</sup>,但是对于盐湖相岩性变化大、有机质丰度低的烃源岩还未见有报道。作者发现不同有机质含量的盐湖相泥页岩以及非烃源岩在声波时差、电阻率等测井响应上具有一定的差别,如果建立了测井信息与烃源岩实测  $TOC$  和  $HI$  等参数的某种关系,就可根据测井响应值计算出烃源岩评价的有关参数,从而大大增加了烃源岩评价的数据量,有利于揭示岩性变化大、有机质分布复杂的盐湖相烃源岩的真实面貌,并且可能找出优质烃源岩的分布规律。

研究区暗色泥页岩碳酸盐含量常常超过20%,导致电阻率呈现出高值,对常规  $\Delta \lg R_t$  法预测烃源岩  $TOC$  值产生了不良影响<sup>[10]</sup>。通过实测  $TOC$  与碳酸盐含量的相关分析,分段回归出  $TOC$  与电阻率和声波时差的相关关系(式1和式2)。

$$TOC = 0.83(\lg R_t + 0.0061 \cdot \Delta t) - 1.33$$

$$\text{当 } (\lg R_t + 0.0061 \cdot \Delta t) < 3.4, r^2 = 0.89 \quad (1)$$

$$TOC = 1.67(\lg R_t + 0.0061 \cdot \Delta t) - 4.18$$

$$\text{当 } (\lg R_t + 0.0061 \cdot \Delta t) \geq 3.4, r^2 = 0.85 \quad (2)$$

式中: $R_t$  单位为  $\Omega \cdot m$ ;  $\Delta t$  单位为  $\mu s/m$ ;  $TOC$  单位为%。

$HI$  是烃源岩评价的主要指标,也是表征有机质类型的重要参数。通过将研究区烃源岩的热解分析数据与  $TOC$  进行回归分析发现, $S_2$  与  $TOC$  呈正相关关系(式3),相关系数( $r^2$ )为0.96。

$$S_2 = 1.1044 TOC^2 + 3.7894 TOC - 0.866 \quad (3)$$

式中: $S_2$  单位为  $mg/g$ 。

$TOC$  已求出,这样很容易得到  $HI$ :

$$HI = (1.1044 TOC^2 + 3.7894 TOC - 0.866) \cdot 100 / TOC \quad (4)$$

式中: $HI$  单位为  $mg/g$ 。

成熟度是判断烃源岩有无油气生成过程的基本参数,其中镜质体反射率( $R_o$ )是最为常用的指标。由于有机质热演化程度与其埋藏深度有关,利用研

究区  $R_o$  与深度的对应关系,获取了相应的回归方程(式 5,  $r^2$  为 0.95),这样就可以计算任一评价层段烃源岩的成熟度。

$$R_o = e^{(Z-4450.5)/2263.7} \quad (5)$$

式中: $Z$ 为埋藏深度,单位为 m。

为了检验上述计算公式的准确性和适用性,选取了烃源岩发育的狮 28 井进行了有机质含量实测值和计算值的对比工作。在该井下干柴沟组 3 990~4 020 m 取心段密集采样 29 块,并进行了有机碳和热解分析测试,通过将  $TOC$ 、 $S_2$ 、 $HI$  的计算值与其比较(图 2),发现二者吻合较好,说明笔者所建立的盐湖相烃源岩测井评价方法是可信的。

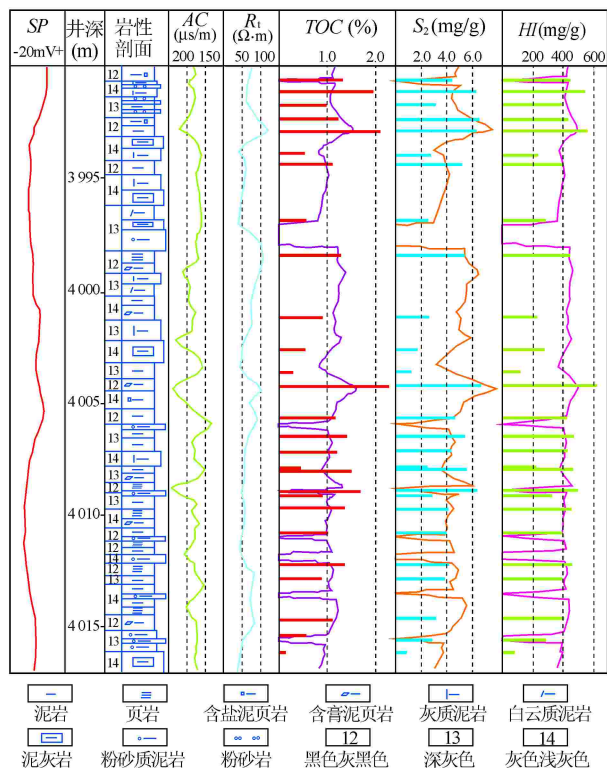


图 2 狮 28 井地化参数实测值与计算值的比较图

在测井数据标准化的基础上,利用该方法对研究区 125 口井上、下干柴沟组暗色泥岩段的  $TOC$ 、 $HI$  和  $R_o$  等进行了计算,获取了巨量的烃源岩评价参数,实现了对柴西古近系—新近系盐湖相烃源岩的精细评价。

### 3 优质烃源岩的分布规律

利用测井信息所得大量的有机碳含量数据,可以很容易地识别出优质烃源岩。通过 4 个评价层段的数据统计,作出了其有机质丰度等值线图 and 等厚图,并且绘出了相应的生烃潜力等值线图和热演化

成熟度等值线图,获取了优质烃源岩的平面分布情况。由深到浅,它们的特征如下:

1)  $E_3^1$  优质烃源岩主要分布在狮子沟—南翼山—乌南—切克里克所围的区域内,面积约 4 000  $km^2$ (图 3-a)。其中狮子沟和乌南以西等地区,  $TOC$  基本在 1.2% 以上,尤其是狮子沟地区  $TOC$  最大值超过了 1.4%。尽管这种烃源岩最大厚度不到 200 m,但是大部分地区的  $R_o$  都在 0.8% 以上,茫崖凹陷和切克里克凹陷的深洼地区已达到生油高峰,是研究区的重要油源层。

2) 与  $E_3^1$  优质烃源岩相比,  $E_3^2$  优质烃源岩分布范围往西、往北以及东南方向范围都有扩大,特别是咸水泉—红沟子等地区也发育,面积超过了 5 200  $km^2$ (图 3-b)。这是因为  $E_3^2$  沉积时期,咸化湖盆范围扩大明显,狮子沟—茫崖、乌南以西和南翼山西北等都成为膏盐层沉积中心、存在分层水体和缺氧环境<sup>[2]</sup>,故形成了多个优质烃源岩富集区,其中  $TOC$  均大于 1.2%,茫崖凹陷深洼处  $TOC$  最大值超过了 1.6%。该优质烃源岩在狮子沟—茫崖一带厚度最大,超过了 300 m,且基本都达到了生油门限;狮子沟—茫崖深洼带则处于生油高峰阶段,生油潜力巨大,是非常重要的烃源岩。

3)  $N_1^1$  优质烃源岩分布范围明显不及  $E_3^2$  优质烃源岩(图 3-c),南乌斯及其东南地区不发育这套烃源岩,但在大风山地区则形成了少量优质烃源岩,面积约为 3 900  $km^2$ 。与  $E_3^2$  优质烃源岩类似,狮子沟—茫崖、乌南以西和咸水泉以北—红沟子以南等仍为有机质富集区,其中狮子沟、茫崖一带的  $TOC$  超过了 1.4%,最大厚度小于 200 m。由于仅在茫崖、乌南以西和南翼山东北等地区达到生油门限,生油气潜力不及下伏层位。

4)  $N_1^2$  优质烃源岩分布面积比  $N_1^1$  优质烃源岩还要小(图 3-d),不足 3 200  $km^2$ 。  $TOC$  为 1.2%~1.4% 的区域分布在狮子沟—茫崖、南乌斯以西和咸水泉—红沟子一带。其厚度基本上都在 100 m 以下,最大厚度还不到 150 m。除茫崖凹陷深处和南翼山以东—大风山以西等局部地区外都位于生油门限以下,生油气数量有限。

### 4 结论

1) 柴西第三系盐湖相烃源岩有机质分布呈现出强烈的非均质性。其中与膏盐或芒硝间互的暗色泥页岩和含膏盐泥页岩,有机质含量高 ( $TOC > 1.0%$ )、类型好(偏腐泥混合型为主)、生烃潜力大

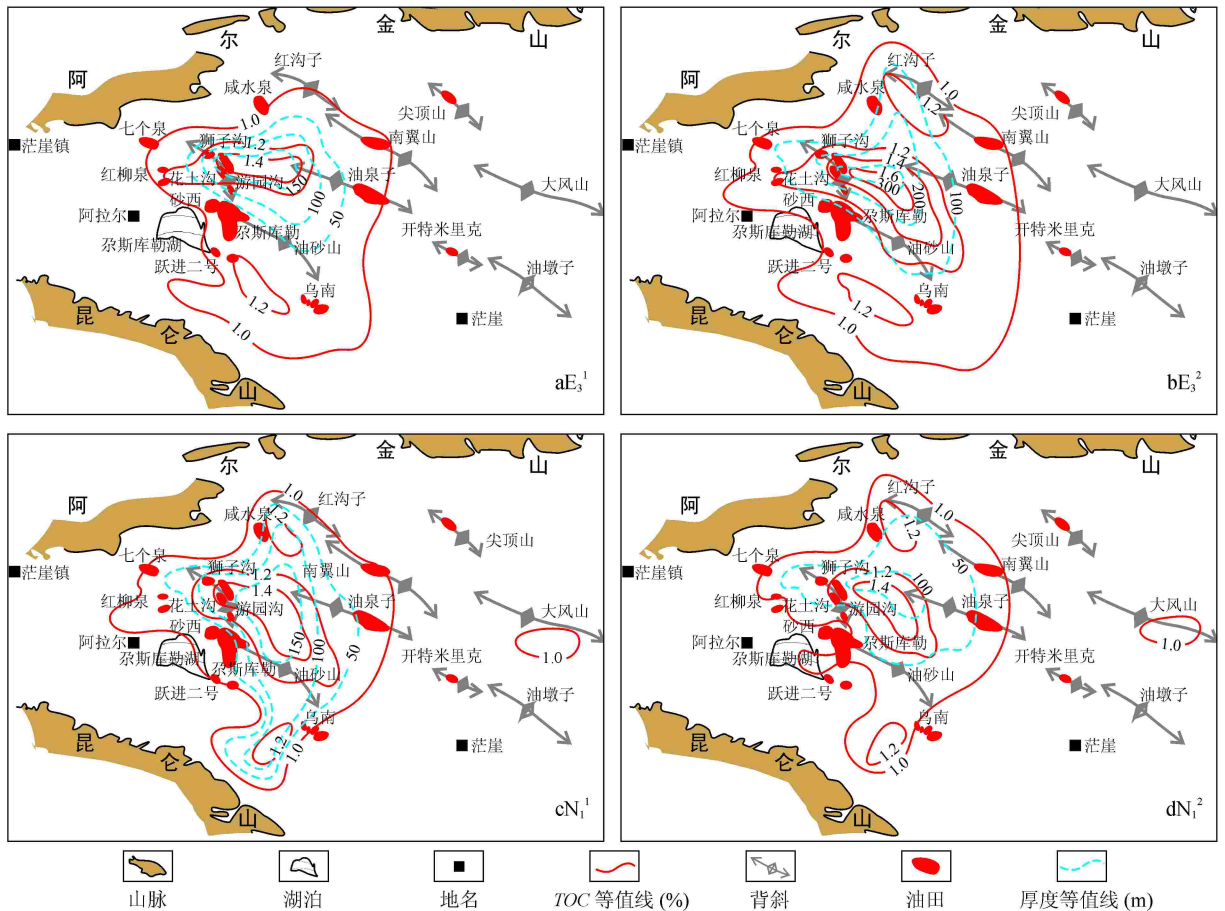


图3 柴西第三系优质烃源岩有机碳含量和厚度等值线图

是该区的优质烃源岩。

2)综合运用地球化学和测井信息建立了一套盐湖相烃源岩的测井评价方法,经验证表明,计算结果准确可靠,从而得到了巨量的烃源岩 TOC、HI 和 R<sub>o</sub> 等参数数据,实现了烃源岩的精细评价。

3)利用获取的大量评价参数查明了 4 个层段的优质烃源岩的分布情况: E<sub>3</sub><sup>2</sup> 优质烃源岩分布广、厚度大、热演化程度高是柴西的主力油源层; E<sub>3</sub><sup>1</sup> 优质烃源岩仅次于前者; N<sub>1</sub><sup>1</sup> 和 N<sub>1</sub><sup>2</sup> 优质烃源岩厚度薄、成熟度低对油气藏的贡献较小。

#### 参 考 文 献

- [1] 黄杏珍, 邵宏舜, 顾树松, 等. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 304-341.
- [2] 金强, 查明. 柴达木盆地西部第三系蒸发岩与生油岩共生沉积作用研究[J]. 地质科学, 2000, 35(4): 465-473.
- [3] 妥进才, 邵宏舜, 黄杏珍. 湖相碳酸盐岩生油岩及其有机地球化学特征——以柴达木盆地第三系为例[J]. 石油实验地质, 1995, 17(3): 272-276.
- [4] 黄第藩, 张大江, 李晋超, 等. 盐湖环境中二环倍萜类的

分布和树脂酸衍生物的生烃特征[J]. 石油与天然气地质, 1989, 10(4): 337-345.

- [5] 朱扬明, 苏爱国, 梁狄刚, 等. 柴达木盆地咸化湖生油岩正构烷烃分布特征及其成因[J]. 地球化学, 2003, 32(2): 117-123.
- [6] 朱光有, 金强. 烃源岩的非均质性研究——以东营凹陷牛38井为例[J]. 石油学报, 2002, 23(5): 34-39.
- [7] JIN QIANG, ZHA MING, LIU ZHEN, et al. Geology and geochemistry of source rocks in the Qaidam Basin, NW China[J]. Journal of Petroleum Geology, 2002, 25(2): 219-238.
- [8] PASSEY Q R, CREANEY S, KULLA J B, et al. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(12): 1777-1794.
- [9] 石强, 李剑, 李国平, 等. 利用测井资料评价生油岩指标的探讨[J]. 天然气工业, 2004, 24(9): 30-32.
- [10] 朱振宇, 刘洪, 李幼铭.  $\Delta \log R$  技术在烃源岩识别中的应用与分析[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 647-649.
- [11] 朱光有, 金强, 张林峰. 用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J]. 测井技术, 2003, 27(2): 104-109.

(修改回稿日期 2008-12-23 编辑 居维清)