

文章编号: 1000-0550(2013)04-0730-08

利用测井信息评价盐湖相烃源岩^①

高 阳

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015)

摘 要 盐湖相烃源岩富含膏、盐质成分,使其测井响应特征发生极大改变,给测井评价烃源岩带来困难。基于实测数据,分析了盐湖相烃源岩中普遍发育的纯泥岩、含膏(盐)泥岩和膏(盐)质泥岩有机碳含量的测井响应模式,发现纯泥岩和含膏(盐)泥岩 TOC 与 AC 和 LogRt 呈正比,与 DEN 呈反比,膏(盐)质泥岩 TOC 与 DEN 呈正比,与 LogRt 呈反比,并基于此建立了盐湖相烃源岩测井评价方法,即首先利用 ΔGR 区分岩性,再针对不同岩性建立 TOC 评价模型,最后根据实测 $S_1 + S_2$ 和 TOC 建立相关关系,就可以求取烃源岩的 TOC 和 $S_1 + S_2$ 。利用该方法对东营凹陷沙四下亚段烃源岩性质和展布进行分析,发现预测 TOC 与实测 TOC 吻合程度高,具有一定推广价值。

关键词 盐湖相烃源岩 烃源岩测井评价 有机碳含量 地球化学参数 东营凹陷 沙四下亚段

作者简介 高阳 男 1982 年出生 博士 石油地质 E-mail: swap124@163.com

中图分类号 TE122.1 **文献标志码** A

0 引言

有机碳含量(TOC)是烃源岩评价和油气资源评价的重要指标,但由于测试样品数量有限,实验所得有机碳在地质剖面上往往是不连续的^[1]。而且受沉积相带、古生产力、古环境等因素影响,烃源岩性质具有明显非均质性,烃源岩中有机质含量变化很大^[2],只通过烃源岩厚度和平均有机碳含量的传统方法评价烃源岩往往忽视了高峰期烃源岩层的贡献,特别是在缺少取芯资料的地区,传统地球化学方法受到严重制约。基于实测有机碳和岩石热解数据,可以建立烃源岩性质与测井信息之间的关系,进而利用测井资料评价烃源岩有机碳含量,就可获得纵向上连续分布的有机碳数据,为烃源岩评价提供可靠资料^[3]。

近年来,国内外学者都在探索利用测井资料评价烃源岩的方法。1981年, Schmoker 就指出 Appalachian 二叠系页岩有机碳含量与自然伽马存在相关关系^[4], Meyer 和 Nederlof 1984 年进一步提出可以采用电阻率、密度和声波时差综合评价烃源岩优劣^[5], Muller 1987 年又增加了伽马能谱评价烃源岩^[6]。1988 年,由 EXXON/ESSO 石油公司总结前人成果,提出了 $\Delta \log R$ 模型^[7],即将算数坐标下的声波时差和对数坐标下的电阻率曲线叠合,通过确定基线位置,求取 $\Delta \log R$ 分布(式 1),进而建立有机碳含量定量关系式(式 2)。

$$\Delta \log R = \log(R/R_{\text{基线}}) + K(\Delta t - \Delta t_{\text{基线}}) \quad (1)$$

式中, $\Delta \log R$ 为两条曲线间距离; R 为实测电阻率 $\Omega \cdot m$; $R_{\text{基线}}$ 为基线对应电阻率 $\Omega \cdot m$; Δt 为实测声波时差 $\mu s/ft$; K 为叠合系数,取值 0.02; $\Delta t_{\text{基线}}$ 为基线对应声波时差。

$$TOC = \Delta \log R \times 10^{(2.297 - 0.1688LOM)} + \Delta TOC \quad (2)$$

式中, TOC 为有机碳含量,%; LOM 为有机质成熟度, ΔTOC 为有机碳地区校正正值。

目前国内外学者采用的烃源岩测井评价方法大都基于 $\Delta \log R$ 模型,如张志伟^[8]、许晓宏^[9]、汤丽娜^[10]、石强^[11]、朱光有^[12]等,其中胡慧婷等 2011 年通过逐步回归法改进 $\Delta \log R$ 模型,对海拉尔和松辽盆地烃源岩的有机碳含量进行评价^[13]。另外,用自然伽马能谱也能计算有机碳及岩石热解生烃潜量^[14]。

由于不同岩性烃源岩的测井响应特征有很大差异,如炭质泥岩和油页岩测井响应特征相差很大,且地下岩石情况复杂,每种测井响应特征都是多种地质因素叠加的结果,这就给利用测井信息评价烃源岩带来困难。尤其在盐湖相烃源岩评价时,由于盐湖相烃源岩中富含的膏、盐质成分,使其测井响应特征发生极大的改变,给利用测井信息评价盐湖相烃源岩带来很大困难。

本文提出在大量实验分析数据的基础上,首先评价盐湖相烃源岩中膏质和盐质含量,再根据烃源岩中

^①中石化胜利油田分公司项目“东营凹陷沙四下裂解气资源潜力评价”(项目编号 YKK1107)资助
收稿日期: 2012-10-10; 收修改稿日期: 2012-11-27

表1 丰深2井不同岩性富有机质(TOC > 2%) 烃源岩测井响应特征

Table 1 Log characteristics of different types of organic rich source rocks in Well FS2

深度/m	岩性	TOC/%	GR/API	AC/($\mu\text{s}/\text{ft}$)	CNL/%	DEN/(g/cm^3)	LogLLD/ $\Omega \cdot \text{m}$
3968.71	含盐泥岩	2.63	54.4	100.9	32.3	2.3	0.54
3972.38	含膏泥岩	2.58	57.2	96.6	27.3	2.3	0.52
3973.26	泥岩	2.39	71.2	83.2	32.8	2.6	0.83
3973.89	泥岩	2.43	74.6	89.7	29.9	2.5	0.97

注: 数据来自同一井同一次测井段

膏、盐质成分多少, 分类研究烃源岩有机碳与测井信息的相关关系, 再建立不同岩性烃源岩的有机质含量测井评价模型, 并利用该方法对东营凹陷沙四下亚段盐湖相烃源岩进行评价。

1 盐湖相烃源岩测井评价

1.1 烃源岩测井响应特征

盐湖沉积物中, 与石膏和盐岩互层的纯泥岩、含膏(盐)泥岩、膏(盐)质泥岩都能孕育有效烃源岩, 这些岩石测井响应特征随膏、盐岩含量变化有很大差别。

已成熟的纯泥岩自然伽马为高值, 声波时差一般超过 $70 \mu\text{s}/\text{ft}$, 体积密度介于 $2.4 \sim 2.6 \text{ g}/\text{cm}^3$, 中子孔隙度高值, 电阻率低且平直, 通常而言, 富含有机质的泥岩与贫有机质泥岩相比具有“四高一低”的特征, 即高自然伽马、高电阻率、高声波时差、低密度值^[15]。石膏的自然伽马极低, 声波时差约 $52 \mu\text{s}/\text{ft}$, 密度约为 $2.3 \text{ g}/\text{cm}^3$, 中子孔隙度约 50%, 电阻率高值。岩盐自然伽马极低, 声波时差 $67 \mu\text{s}/\text{ft}$, 体积密度仅 $2.1 \text{ g}/\text{cm}^3$, 中子孔隙度接近于 0, 电阻率高值(图1)。当泥岩中含有石膏、岩盐等成分时, 自然伽马和体积密度降低, 声波时差增大, 电阻率增大, 使得同样富含有机质的膏(盐)质泥岩、含膏(盐)泥岩与纯泥岩之间测井响应特征相差极大(表1)。因此利用测井信息评价盐湖相烃源岩必须先查清不同膏、盐岩含量泥岩中有机碳含量与测井信息的关系。

利用东营凹陷沙四下亚段、渤南洼陷沙四上亚段和东濮洼陷沙三段盐湖烃源岩实测数据和测井信息, 首先以标准层法将测井曲线标准化, 然后提取了含膏(盐)泥岩、膏(盐)质泥岩和纯泥岩的测井响应值。利用 R 型聚类分析, 查明体积密度(DEN)、声波时差(AC)、泥质含量(ΔGR)和电阻率对数(LogRt)可以表征有机碳(TOC)变化, 最后建立了含膏(盐)泥岩、膏(盐)质泥岩和纯泥岩有机碳含量(TOC)与测井信息之间的响应模式(图2)。

从图2中可以看出, ΔGR 可以有效区分岩性, 纯泥岩 ΔGR 大于 0.9, 含膏(盐)泥岩 ΔGR 介于 0.7 ~ 0.9, 膏(盐)质泥岩 ΔGR 小于 0.7。泥岩和含膏(盐)泥岩的 TOC 与 ΔGR 之间没有明显的相关性, 但膏(盐)质泥岩 TOC 与 ΔGR 正相关。这是由于膏岩和盐岩具有极低的自然伽马值, 随着岩石中膏、盐质成分的增加, 岩石的自然伽马值降低。对于膏(盐)质泥岩, 随着石膏或盐岩含量增加(ΔGR 减小), 泥岩中有机质含量降低(TOC减小)。

声波时差(AC)能有效地表征各类岩石有机碳变化。纯泥岩和含膏(盐)泥岩 TOC 与 AC 成正比。这两类岩石中泥质含量远高于膏、盐成分, 由于有机质组分的声波时差高, 富有机质泥岩和含膏(盐)泥岩声波时差较高。随着膏、盐成分增加, 由于膏、盐组分声波时差远低于正常泥岩, 使膏(盐)质泥岩的声波时差值较低, 且 AC 随有机碳含量变化无明显相关性。

由于有机质密度低, 纯泥岩和含膏(盐)泥岩有机质含量增加使岩石体积密度降低, 但膏(盐)质泥岩 TOC 与密度呈反比, 这是由于膏、盐岩密度极低, 密度主要表征了泥质含量变化, 而这类岩石 TOC 随泥质含量增加而增加, 即密度增加、泥质含量增加, 膏(盐)质泥岩的有机碳含量增加。

纯泥岩和含膏(盐)泥岩 TOC 与 LogRt 呈正比, 膏(盐)质泥岩 LogRt 远远高于纯泥岩和含膏(盐)泥岩, 且 TOC 与 LogRt 呈反比, 随着膏、盐等贫有机质组分增加, 岩石电阻率增大, 岩石有机碳含量减少。

综上所述, 盐湖相烃源岩测井响应特征复杂, 受烃源岩中膏、盐质成分含量和有机质含量共同控制。当岩石中的膏、盐成分含量低时($\Delta\text{GR} > 0.7$), 烃源岩测井响应特征受有机质含量控制, TOC 与声波时差、电阻率成正比, 与密度呈反比; 当岩石中的膏、盐成分含量较高时($\Delta\text{GR} \leq 0.7$), 烃源岩测井响应特征主要受膏、盐成分含量控制, TOC 与密度呈正比, 与电阻率呈反比。

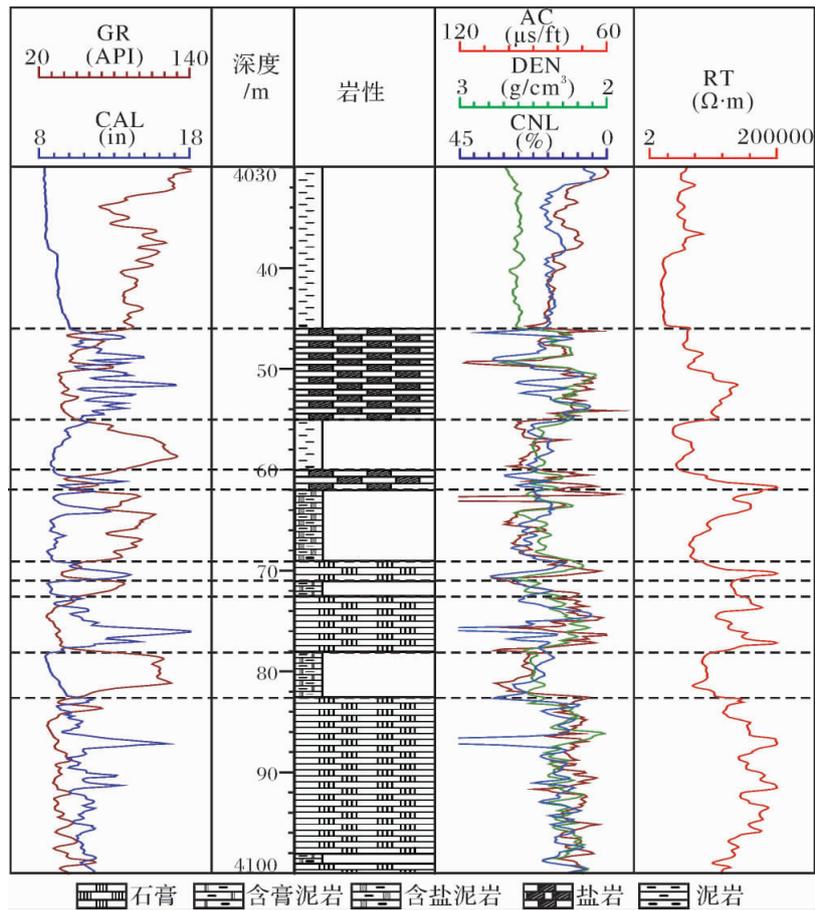


图 1 丰深 1 井盐湖相不同岩性测井响应特征

Fig. 1 Log characteristics of different types of rocks in salt lake of Well FS1

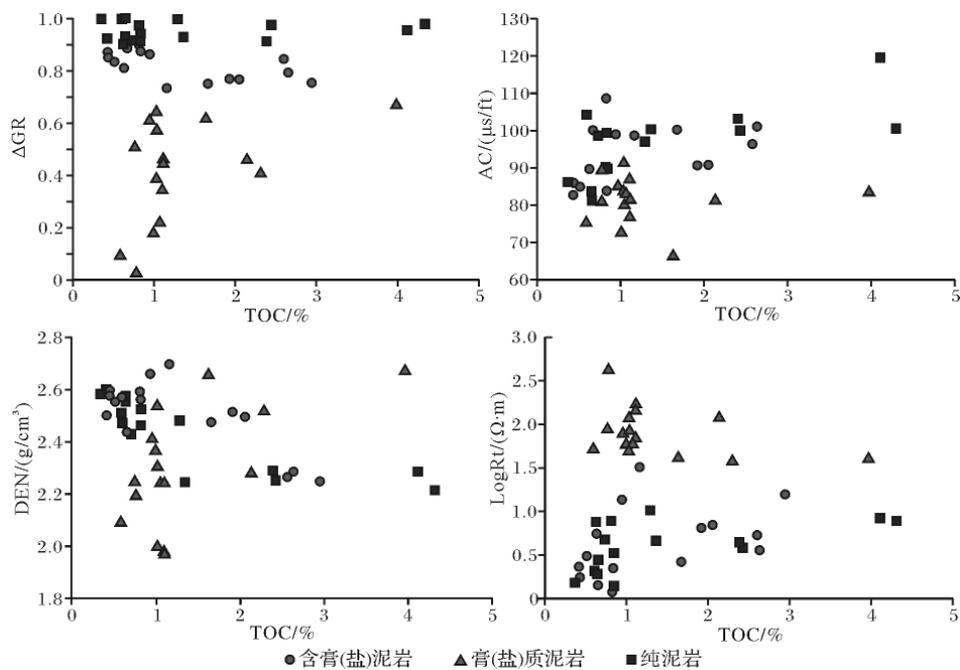


图 2 不同岩性 TOC 与 ΔGR 、AC、DEN、LogRt 相关关系

Fig. 2 Relationships between TOC and ΔGR , AC, DEN, LogRt in different rocks

1.2 建立烃源岩性质测井评价模型

根据盐湖相不同岩性烃源岩的测井响应特征,首先以 ΔGR 区分岩性,再利用 AC、LogRt 和 DEN 来表征纯泥岩和含膏(盐)泥岩的 TOC,利用 DEN、LogRt 和 ΔGR 表征膏(盐)泥岩的 TOC。根据待研究区域实测 TOC 数据和测井信息,分不同岩性建立 TOC 的测井评价模型(式 3、4、5),并可求得式 3、4、5 中的 a_1 、 b_1 等系数。

$$TOC = (a_1 \cdot AC + b_1 \cdot \log Rt + c_1) / DEN (\Delta GR \geq 0.9) \quad (式 3)$$

$$TOC = (a_2 \cdot AC + b_2 \cdot \log Rt + c_2) / DEN (0.7 < \Delta GR < 0.9) \quad (式 4)$$

$$TOC = a_3 \cdot DEN + b_3 \cdot \log Rt + d_3 \cdot \Delta GR + c_3 (\Delta GR \leq 0.7) \quad (式 5)$$

式中,TOC 为有机碳含量,%; Rt 为原状地层电阻率, $\Omega \cdot m$; AC 为实测声波时差, $\mu s/ft$; DEN 为体积密度, g/cm^3 ; ΔGR 为自然伽马相对值 $(GR - GR_{min}) / (GR_{max} - GR_{min})$ 小数。

求取 TOC 之后,利用岩石热解和有机碳测试数据,建立 $S_1 + S_2$ 与 TOC 的相关关系,就能求得岩石的生烃潜力 $S_1 + S_2$ 。应用该方法可以为烃源岩评价和油气资源量评估提供大量的评价数据。

2 模型应用

东营凹陷沙四下亚段是典型的盐湖相沉积^[16],自盆地边缘至中心依次发育有碎屑岩-碳酸盐岩-硫酸岩组合^[17]。沙四下亚段沉积后期,东营凹陷北部形成“高山深湖”的沉积格局,湖水在重力作用下形成下部卤水和上部咸水、微咸水的分层现象^[2,18],当卤水达到盐类结晶浓度时便有盐类沉积,当气候变化、发生风暴、浊流或季节性洪水涌入等使湖水大规模震荡,分层卤水结构就会遭到破坏,形成碎屑岩沉积^[19],灰白色膏、盐岩与深灰色泥岩频繁韵律互层,膏、盐岩层单层厚度不超过 25 m。由于盐湖湖盆底层具有缺氧、强还原、高盐度条件,使得有机质得以最大程度的保存,与膏、盐岩互层的暗色泥岩和油页岩具有较高的有机质丰度,是有效烃源岩^[20]。

由于东营凹陷北部沙四下亚段埋深大多超过 4 000 m,钻遇的井较少,且烃源岩取芯数量有限,不能在剖面和平面上控制烃源岩地球化学性质变化规律,难以反映烃源岩平面和剖面非均质性全貌。本文利用前文所述方法,首先以测井深度为准,对岩心深度进行校正,而后提取岩心的测井相应特征,然后建

立了测井信息与烃源岩实测 TOC 之间的关系(式 6~8) 将利用测井信息评价的 TOC 与实测 TOC 进行对比,发现二者吻合程度较高(表 2,图 3)。

$$TOC = (0.0059AC + 5.23\log Rt) / DEN (\Delta GR > 0.9) \quad (R^2 = 0.76) \quad (式 6)$$

$$TOC = (0.0017AC + 2.80\log Rt) / DEN (0.7 < \Delta GR < 0.9) \quad (R^2 = 0.83) \quad (式 7)$$

$$TOC = 2.59\Delta GR + 0.30DEN - 0.0042AC (\Delta GR < 0.7) \quad (R^2 = 0.78) \quad (式 8)$$

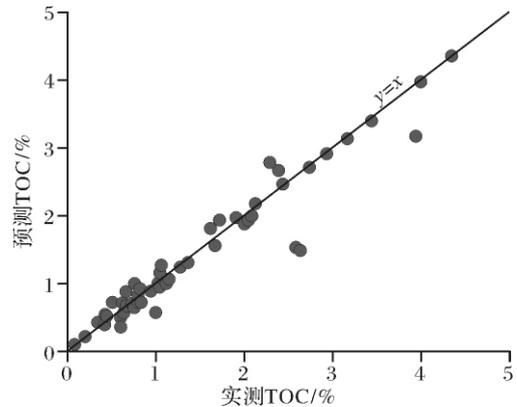


图 3 实测 TOC 和测井预测 TOC 对比
Fig. 3 Different between actual measurement and forecast TOC

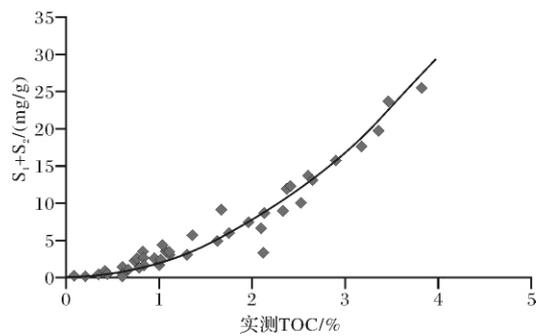


图 4 $S_1 + S_2$ 与 TOC 相关关系
Fig. 4 Relationships between $S_1 + S_2$ and TOC

利用岩石热解数据与有机碳测试数据(表 2)建立了相关关系(图 4),见式 9。

$$S_1 + S_2 = 1.882 \times TOC^{1.996} \quad (R^2 = 0.73) \quad (式 9)$$

式中: $S_1 + S_2$ 为岩石生烃潜力, mg/g ; TOC 为岩石有机碳含量,小数。

为检验模型准确性和适用性,选取研究区烃源岩发育的丰深 2 井进行实测值和计算值对比,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 5)。

表2 东营凹陷沙四下亚段烃源岩实测、预测 TOC 与 $S_1 + S_2$ Table 2 Actual measurement TOC, S_1 , S_2 and forecast TOC of lower member of Es₄ in Dongying Depression

井号	深度/m	岩石名称	实测 TOC/%	预测 TOC/%	S1/(mg/g)	S2/(mg/g)	T _{max} /°C	S ₁ + S ₂ /(mg/g)
丰8	3818.8	泥岩	0.95	0.87	1.39	1.1	441	2.49
丰8	3822.8	泥岩	1.03	1.02	1.14	1.25	441	2.39
丰8	3947	膏质泥岩	0.94	0.89	1.17	0.99	419	2.16
丰8	4144.6	含盐泥岩	0.77	0.63	0.56	0.46	303	1.02
丰8	4144.9	含盐泥岩	2.13	2.31	1.61	1.63	448	3.24
丰8	4145.2	灰质泥岩	0.99	0.58	0.82	0.68	447	1.5
丰深1	4023.4	黑色泥岩	1.06	1.28	2.15	1.2	448	3.35
丰深1	4023.6	黑色泥岩	1.11	1.21	2.11	0.8	431	2.91
丰深1	4023.9	膏质泥岩	1.3	1.55	1.73	1.14	448	2.87
丰深1	4024	黑色泥岩	2.46	2.40	4.01	2.61	443	6.62
丰深1	4026.7	灰黑色泥岩	3.96	3.11	5.54	4.82	447	10.36
丰深1	4026.9	纹层泥岩	1.62	1.58	2.47	2.36	395	4.83
丰深2	3968.7	灰质泥岩	2.63	2.54	7.85	5.69	418	13.54
丰深2	3969.4	含盐泥岩	0.76	0.91	1.59	0.74	422	2.33
丰深2	3970.8	含盐泥岩	0.73	0.52	1.37	0.72	419	2.09
丰深2	3972	含盐泥岩	1.03	1.15	2.81	1.38	415	4.19
丰深2	3972.38	含盐泥岩	2.58	2.48	8.24	5.36	418	13.6
丰深2	3972.7	含盐泥岩	1.35	1.21	3.54	2.04	410	5.58
丰深2	3973.26	含盐泥岩	2.39	2.27	7.16	4.86	421	12.02
丰深2	3973.89	含盐泥岩	2.43	2.37	7.03	5.26	417	12.29
丰深2	3974.14	含盐泥岩	0.83	0.79	1.67	0.77	419	2.44
丰深2	3975.23	含盐泥岩	1.66	1.36	5.31	3.8	417	9.11
丰深2	3975.7	含盐泥岩	0.6	0.55	0.85	0.48	423	1.33
丰深2	4296.98	含盐泥岩	0.82	0.81	2.34	1.05	412	3.39
丰深2	4297.38	纹层泥岩	0.66	0.61	0.6	0.37	417	0.97
丰深2	4298.2	含盐泥岩	0.83	0.73	0.84	0.5	421	1.34
丰深2	4303.02	纹层泥岩	0.42	0.35	0.48	0.19	419	0.67
丰深2	4502.55	含膏含盐泥岩	0.35	0.32	0.16	0.12	427	0.28
坨176	2996.11	灰色含盐泥岩	1.03	1.56	0.37	2.25	434	2.62
坨176	2996.3	灰色含盐泥岩	1.1	1.13	0.38	2.43	434	2.81
坨176	2996.35	灰色含盐泥岩	1.11	1.30	0.48	2.9	435	3.38

在测井数据标准化的基础上,利用该方法对研究区62口井沙四下亚段烃源岩进行评价,获取了巨量的烃源岩评价参数,对研究区沙四下亚段盐湖相烃源岩性质和平面展布进行评价。以 TOC > 0.5% 为有效烃源岩界定标准,绘制了有效烃源岩累计厚度和有机碳均值平面等值线图(图6)。从图中可以看出,东营北带沙四下亚段有效烃源岩北部以陈家庄断层为界,主要分布在胜科1井、郝科1井以北,滨680、利古6以西,其中在新利深1南和丰深2~东风8井区有效烃源岩累计厚度超过了350 m。中央隆起带以南仅在局部(梁125~梁6井区、史130井区)发育有效烃源岩,累计厚度不超过100 m(图4左)。从有效烃源岩 TOC 均值等值线图上可以看出,在利津地区(新利深1南)、胜坨地区下降盘(坨深1井区)、民丰地区(丰深2~丰深6井区)有效烃源岩的 TOC 均值超过1.8%,郝科1井区 TOC 均值超过1.6%,总的来看,

有效烃源岩向东、向南厚度减薄、品质变差。

3 结论

(1) 受膏、盐质含量影响,盐湖相烃源岩中普遍存在的纯泥岩、含膏(盐)泥岩和膏(盐)质泥岩的测井响应有较大差别。利用东营凹陷沙四下亚段、渤南洼陷沙四上亚段和东濮洼陷沙三段盐湖烃源岩实测数据和测井信息建立了含膏(盐)泥岩、膏(盐)质泥岩和纯泥岩有机碳含量(TOC)与测井信息之间的响应模式,发现自然伽马相对值(ΔGR)可以有效区分岩性,体积密度(DEN)、声波时差(AC)和原状地层电阻率(LogRt)可以表征盐湖相烃源岩有机碳含量。

(2) 建立了盐湖相烃源岩测井评价方法,即首先用 ΔGR 区分岩性,进而根据实测 TOC 数据和 DEN、AC、LogRt 进行多元回归,建立相关关系,计算烃源岩 TOC。最后利用实测 TOC 和岩石热解 $S_1 + S_2$ 建立相

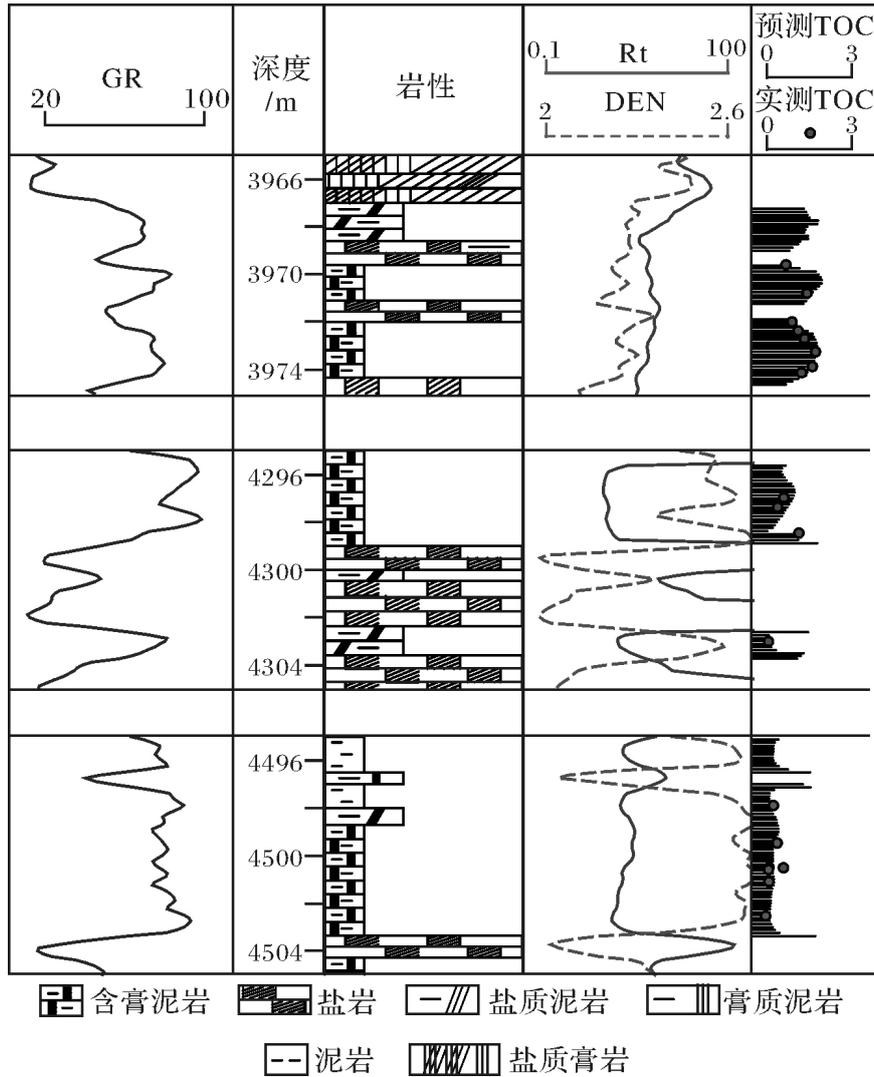


图 5 丰深 2 井 TOC 实测值与计算值对比

Fig. 5 Comparison between actual measurement and calculated TOC in Well FS2

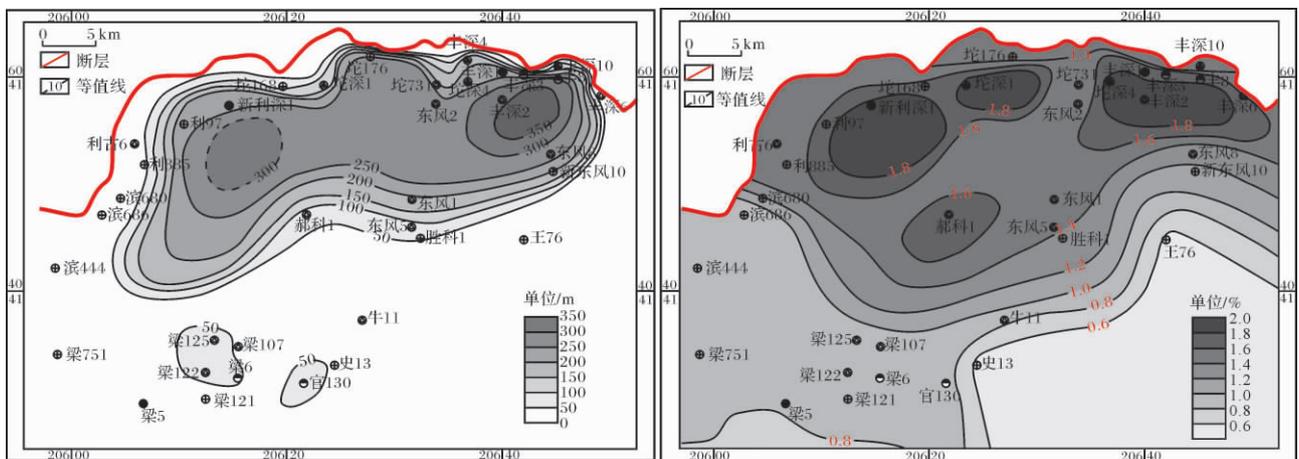


图 6 有效烃源岩累计厚度(左)和 TOC 均值(右)等值线图

Fig. 6 Effective source rocks accumulated thickness (left) and TOC mean (right) contour map

关系,用计算所得 TOC 评价岩石 $S_1 + S_2$ 。并利用该方法对东营凹陷沙四下亚段盐湖相烃源岩性质和展布进行评价,发现评价结果与实测数据吻合程度高,具有实用价值。

参考文献 (References)

- 岳炳顺,黄华,陈彬,等. 东濮凹陷测井烃源岩评价方法及应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2005, 27(3): 351-354 [Yue Bingshun, Huang Hua, Chen Bin, *et al.* A method for logging source rock evaluation in Dongpu Depression and its application [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(3): 351-354]
- 朱光有,金强,戴金星,等. 东营凹陷沙四中亚段盐湖相烃源岩研究[J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 257-265 [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Dai Jinxing, *et al.* Investigation on the salt lake source rocks for Middle Sha4 section of Dongying Depression [J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(2): 257-265]
- 谭廷栋. 测井资料识别生油岩方法[J]. 测井技术, 1988, 12(6): 1-11 [Tan Tingdong. Identification of Kuchersits from well logs [J]. Well Log Technology, 1988, 12(6): 1-11]
- Schmoker J W. Determination of organic-matter content of Appalachian Devonian shales from gamma ray logs [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65: 1285-1298
- Meyer B L, Nederlof M H. Identification of source rocks on wireline logs by density/resistivity and sonic transit time/resistivity crossplots [J]. AAPG Bulletin, 1984, 68: 121-129
- Mann U P, Muller J. Source rock evaluation by welllog analysis (lower Toarcian, Hils Syncline): Advances in Organic Geochemistry [J]. Organic Geochemistry, 1988, 13: 109-129
- Passey Q R. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(12): 1777-1794
- 张志伟,张海龙. 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 [Zhang Zhiwei, Zhang Hailong. A method of source rock evaluation by well-logging and its application result [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(3): 84-87]
- 许晓宏,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 [Xu Xiaohong, Huang Haiping, Lu Songnian. A quantitative relationship between well logging information and organic carbon content [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1998, 20(3): 8-12]
- 汤丽娜. 烃源岩测井识别在渤海湾石油开发中的应用[J]. 科技导报, 2011, 29(21): 51-54 [Tang Lina. Well logging evaluation of source rock and its application in Bohai Bay oil exploitation [J]. Science & Technology Review, 2011, 29(21): 51-54]
- 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 [Shi Qiang, Li Jian, Li Guoping, *et al.* Evaluating source rock indexes by log data [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(9): 30-32]
- 朱光有,金强,张林晔. 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 [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Zhang Linye. Using log information to analyze the geochemical characteristic of source rocks in Jiyang Depression [J]. Well Log Technology, 2003, 27(2): 104-109]
- 胡慧婷,卢双舫,刘超,等. 测井资料计算源岩有机碳含量模型对比及分析[J]. 沉积学报, 2011, 29(6): 1199-1204 [Hu Huiting, Lu Shuangfang, Liu Chao, *et al.* Models for calculating organic carbon content from logging information: Comparison and analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(6): 1199-1204]
- 陆巧焕,张晋言,李绍霞. 测井资料在生油岩评价中的应用[J]. 测井技术, 2006, 30(1): 80-83 [Lu Qiaohuan, Zhang Jinyan, Li Sha-oxia. Application of log data to oil source rock evaluation [J]. Well Log Technology, 2006, 30(1): 80-83]
- 曲彦胜,钟宁宁,刘岩,等. 烃源岩有机质丰度的测井计算方法及影响因素探讨[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(2): 80-84 [Qu Yansheng, Zhong Ningning, Liu Yan, *et al.* Using logging methods to calculate organic matter abundance of source rocks and its influencing factors [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(2): 80-84]
- 袁静,覃克. 东营凹陷沙四段深水成因蒸发岩特征及其与油气藏的关系[J]. 石油大学学报, 2001, 25(1): 9-11 [Yuan Jing, Qin Ke. Characteristics of evaporate generated in deep water of Sha4 Member in Dongying Sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2001, 25(1): 9-11]
- 张枝焕,杨藩,李东明,等. 中国新生界咸水湖相烃源岩和原油生物标志物组合特征[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 119-123 [Zhang Zhihuan, Yang Fan, Li Dongming, *et al.* Biomarker Assemblage Characteristics of Source Rocks and Associated Crude Oils in Saline Lake Facies of Cenozoic in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 119-123]
- 朱光有,金强,张水昌,等. 东营凹陷湖相烃源岩 TOC 与 Sr 的正相关性及其原因[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 551-560 [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Zhang Shuichang, *et al.* Positive correlation between contents of TOC and Sr in source rocks of the Palaeogene Shahejie Formation in Dongying Sag, eastern China [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 551-560]
- 丁飞. 东营凹陷深层烃源岩可溶有机质特征与沉积有机相划分[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2008 [Ding Fei. Characteristics of the Soluble Organic Matter and Sedimentary Organic Facies of Deep Source Rocks in the Dongying Depression [D]. Qingdao, Shandong: Ocean University of China, 2008]
- 王永诗,金强,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 [Wang Yongshi, Jin Qiang, Zhu Guangyou, *et al.* Characterization of the effective source rocks in the Shahejie Formation of the Jiyang Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 53-55]

Salt Lake Source Rock Evaluation by Logging Data

GAO Yang

(Geoscience Research Institute of Shengli Oilfield , SINOPEC , Dongying , Shandong 257015)

Abstract: Salt lake source rock rich in gypsum and salt , these compounds makes the logging response of source rock change significantly. Based on the experimental data , the relationships between TOC and log information of gypsum (salt) -bearing mudstone , gypsum (salt) mudstone and mudstone have been studied. Research shows that: TOC of mudstone and gypsum-bearing mudstone is proportional to AC and LogRt , inversely proportional to DEN. TOC of gypsum(salt) mudstone is proportional to DEN and inversely proportional to LogRt. Based on the results of this research , the evaluation method of salt lake source rocks by logging information has been established. First , distinguish the types of source rocks by ΔGR , then TOC evaluation model of different kinds of lithology is established on the basis of experiment data. finally , the correlation between the experimentally measured $S_1 + S_2$ and TOC has been studied , so that the TOC and hydrocarbon potential of source rocks can be calculated by log data. The characteristics and distribution of lower submember of 4th member of Shahejie formation source rock are studied in this way. The study found that a high degree of agreement between the predicted TOC and experimented TOC which proves the method has some promotional value.

Key words: salt lake source rocks; evaluation of source rock by logging; TOC; geochemical parameters; Dongying Depression; 4th member of Shahejie Formation.