

# 页岩气测井评价方法及应用

刘承民

(中国煤炭地质总局一二九勘探队,河北邯郸 056004)

**摘要:**利用测井资料对页岩气进行评价有两方面的内容,一是页岩的识别,即利用页岩在测井曲线上的异常响应特征,确定页岩层的位置与厚度;二是对页岩气储层进行评价,有机碳(TOC)含量是评价页岩气的重要参数,利用 $\Delta\lg R$ 技术,可以快速有效的计算页岩层的有机碳(TOC)含量。实例表明利用测井方法并结合地球化学实验资料,可以对页岩气进行有效评价及预测。

**关键词:**页岩气;有机碳含量(TOC);储层;测井

**中图分类号:** P631.8

**文献标识码:** A

## Shale Gas Logging Evaluation Method and Applications

Liu Chengmin

(No.129 Exploration Team, CNACG, Handan, Hebei 056004)

**Abstract:** Using logging data to evaluate shale gas has both sides' subject matters; the one is shale identification, thus using abnormal response characteristics on logging traces to determine shale location and thickness; the other is shale gas reservoir evaluation, total organic carbon (TOC) is an important parameter to evaluate shale gas, using  $\Delta\lg R$  technique can estimate TOC in shale layer quickly and effectively. Examples have demonstrated that using logging method combine with geochemical experiment information can carry out shale gas effective evaluation and prediction.

**Keywords:** shale gas; total organic carbon (TOC); reservoir; logging

页岩气大部分位于泥页岩或高碳泥页岩中,也存在于页岩夹层状的粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,甚至砂岩地层中。页岩既是烃源岩又是储集层,属于典型的自生自储型气藏,页岩气主要以基质吸附气和裂缝、孔隙中的游离气存在。页岩中有机碳(TOC)含量与页岩含气率有良好的线性关系,而且TOC是评价页岩气的重要参数。目前常用取样的方法,在实验室测定TOC值,来分析评价页岩生烃能力的大小。页岩的有机质分布有较强的非均质性,如果取样点位于有机质的富集段,则TOC测定值就偏大,反正则TOC测定值就偏小。由于测井信息具有纵向分辨率高的特点,利用测井信息建立起与烃源岩有机质含量的定量关系,就可以计算出页岩段TOC的分布值。本文通过研究页岩的测井响应特征,进行页岩定性识别和有机碳(TOC)定量计算。

### 1 页岩气储层测井响应特征

测井资料用来评价页岩的理论依据是页岩含有

**作者简介:**刘承民(1963—),男,物探高级工程师,长期从事煤层气、页岩气测井工作,现任中国煤炭地质总局129勘探队测井工程处处长。

**收稿日期:**2012-05-02

**责任编辑:**孙常长

大量的有机物质,因而具有不同于其他岩石的物性特征。一般情况下,有机碳含量越高的页岩层其物性特征差异越明显,在测井曲线上的异常反映就越大。通过页岩气实测曲线(图1)可以清晰的发现其测井响应特征。

①在双侧向电阻率上表现为低值。由于页岩层富含导电性较弱的烃类,在电阻率曲线上表现为略高于泥岩的异常特征。

②声波时差曲线呈现高值。页岩较泥岩致密,低孔隙,声波时差介于泥岩和砂岩之间。当有裂缝发育和富含有机质时,声波时差值均会变大。

③密度呈现低值。页岩密度值介于煤层与砂岩之间,但比煤层高出很多。当有裂缝发育和富含有机质时,密度值也会变小。

④自然伽马测井曲线上表现为高异常。其符合有机质丰度高的细粒碎屑岩往往伴随放射性元素含量增加的特征。

### 2 有机碳(TOC)定量计算方法

目前应用最多是 $\Delta\lg R$ 技术。计算有机质岩层的总有机碳。将声波时差曲线反向叠合在电阻率曲线上,两条曲线的幅度差即为 $\Delta\lg R$ , $\Delta\lg R$ 幅度差与

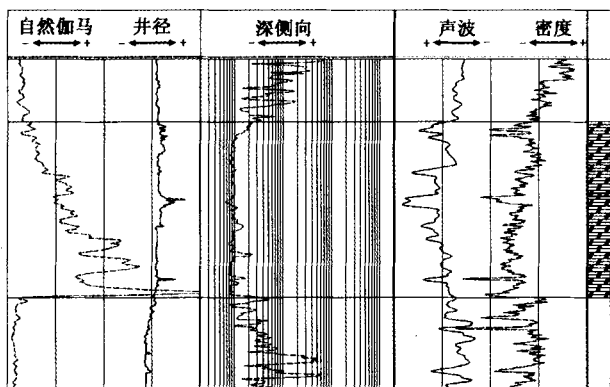


图1 页岩气储层测井响应特征曲线图

Figure 1 Shale gas reservoir logging response characteristic curves

TOC 呈线性关系与成熟度有函数关系,当成熟度由地球化学实验确定后,就可以将  $\Delta \lg R$  幅度差值直接转换为总有机碳(TOC)含量。

两条曲线叠加时,曲线要采用不同的横向比例,声波时差横向比例用算术坐标,电阻率曲线横向比例用对数坐标。每个对数电阻率刻度对应的声波时差为  $-164 \mu\text{s}/\text{m}$  (负号表示其坐标轴方向与电阻率的坐标轴方向相反)。当两条曲线在非页岩层段的一定深度内“一致”时作为参考基线,那么两条曲线间的差值( $\Delta \lg R$ )也就确定了。

声波、电阻率反向叠加计算  $\Delta \lg R$  关系式为:

$$\Delta \lg R = \log(R/R_{\text{基线}}) + 0.0061(\Delta t - \Delta t_{\text{基线}}),$$

式中: $\Delta \lg R$ ——用对数电阻率周期确定的曲线幅值;

$R$ ——对应于  $\Delta t_{\text{基线}}$  值的电阻率值( $\Omega \cdot \text{m}$ );

$\Delta t$ ——声波时差( $\mu\text{s}/\text{m}$ );

$R_{\text{基线}}$ ——非页岩层段对应的电阻率( $\Omega \cdot \text{m}$ );

0.0061——每一个电阻率刻度所对应的声波时差的比值。

利用  $\Delta \lg R$  技术计算 TOC 的经验公式为:

$$\text{TOC} = (\Delta \lg R) \cdot 10^{2.297 - 0.1688 \text{LOM}},$$

式中,TOC 为计算的有机碳含量,单位%,LOM 是成熟度。

在声波时差和电阻率曲线重叠处定义为  $\Delta \lg R$  基线,也就是基线段的非页岩不含有有机质。实际上所有的泥岩都含有一定量的有机碳(平均 TOC 值为 0.2%~1.65%),故经验公式还应考虑有机碳的背景值  $\Delta \text{TOC}$ 。背景值在各个地区是有差别的,应参照实际情况加以确定。

因此,计算 TOC 的实际表达式应为:

$$\text{TOC} = (\Delta \lg R) \cdot 10^{2.297 - 0.1688 \text{LOM}} + \Delta \text{TOC}.$$

### 3 应用实例

以四川东部页岩气探井为例(图2),由于该井

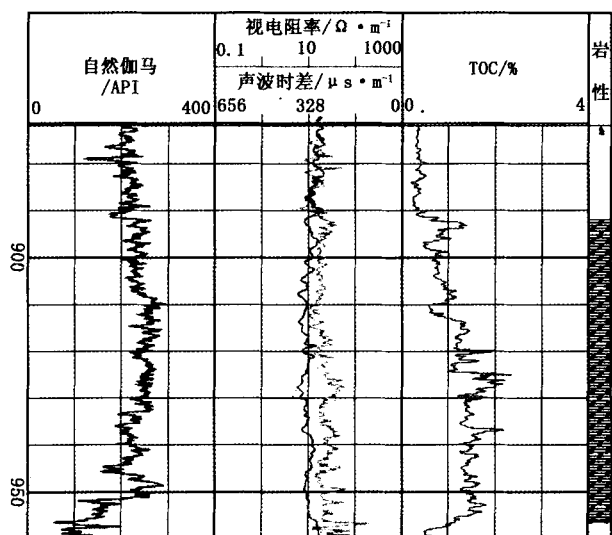


图2 页岩气探井 TOC 连续曲线计算实例

Figure 2 Examples of shale gas exploratory well TOC continuous curve computation

为先期钻井,岩心样品有限,而少量的地球化学实验资料,也无法对地层的页岩层段作出全面评价。而利用  $\Delta \lg R$  技术获得的 TOC 曲线,可作为对可用地球化学分析样品的补充。

该井烃源岩位于上二叠统的吴家坪组,主要以灰褐色页岩和炭质页岩组成,厚度 65m。相对应的测井响应为:自然伽马值异常逐步增大,电阻率曲线的幅值随 TOC 含量的增多而增加,声波时差值也有增大的趋势。地球化学实验资料显示,成熟度为 2.5%,非页岩层段的 TOC 背景值  $\Delta \text{TOC}$  平均为 0.3%。利用  $\Delta \lg R$  技术综合分析可知,烃源岩段 TOC 值在 0.5%~2.1%,并表现出一定的规律性,上中下三部分的 TOC 均值逐步递增,依次为 0.85%、1.2%、1.6%,其变化规律与测井响应特征相一致。

根据实测 TOC 值和相对应深度计算 TOC 值的对比发现(图3):计算的 TOC 值在 0.7%~1.8%。有的点与实测 TOC 值一致,说明计算 TOC 值与实测

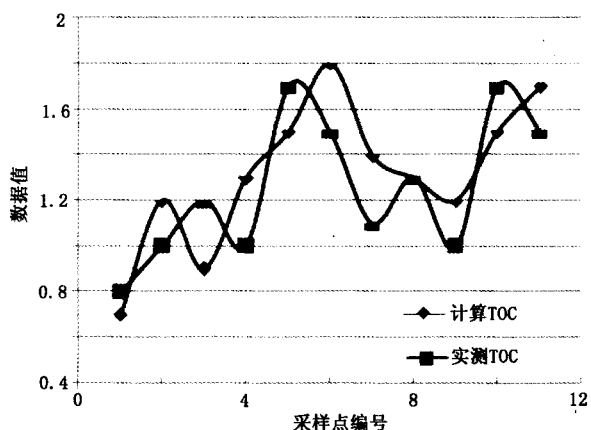


图3 页岩气钻井实测与测井计算 TOC 值对比图

Figure 3 Contrast of shale gas well measured and logging estimated TOC values

的 TOC 值基本吻合。个别点的 TOC 值出现了误差,但从对比图可以看出,两者的变化趋势基本上是相同的。

通过以上应用实例的对比分析说明,利用测井资料计算的 TOC 值是可以代替实验室实测 TOC 值的,从而证明,利用  $\Delta\lg R$  技术来获得 TOC 值是可行的。

#### 4 结语

目前,页岩气测井解释评价还存在许多技术难题。本人在页岩气测井实际应用研究的基础上,依据测井资料可以识别页岩层和划分页岩层厚度,并对页岩层进行评价。利用  $\Delta\lg R$  技术可以获得纵向连

续的 TOC 曲线,从而能够消除页岩层段分布的非均质性及有限岩心分析样品的随机取样等因素带来的误差,在定量评价中有着重要作用。在以后的页岩气测井工作中,如果有较多的地球化学实验分析资料参与对比研究,对于页岩气的测井解释评价工作将具有更加可靠的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王鹍,唐成磊,王飞. $\Delta\lg R$  技术在烃源岩评价中的应用[J].断块油气田,2009.
- [3] 田国华,颜洪鸣.浙江页岩气等非常规天然气勘查思考[J].中国煤炭地质,2011,(9).

(上接第 55 页)

矿井涌水量预测应建立在水资源量评价基础上,保证矿井涌水量预测的合理性和科学性。

#### 3.2 一般步骤

①收集勘查区自然地理、矿井、地质、水文地质资料,在分析研究基础上进行必要的踏勘,根据勘查任务和存在的主要问题,确定勘查目的层和勘查类型,拟定评价方法,合理选择勘查手段、进行勘查设计。

②确定勘查目的层和勘查类型。一般依据勘查煤层分层(分水平、分区)确定。顶板采用冒落裂隙带发育高度拟定主要直接充水水源作为勘查目的层,根据主要直接充水水源及其与煤层叠置关系确定勘查类型;底板根据突水系数初步勘查目的层(直接充水水源和隔水层)和勘查类型。

③组织勘查施工。勘查手段先后顺序一般遵循:水文地质测绘、补充调查,水文地质物探,水文地质钻探、水文测井,抽(放、注)水试验,岩、土、水、同位素样试验,其他特殊目的试验、水文地质观测等。

④资料分析处理。其一般步骤是:基础资料分类、归纳、统计,地层岩性、构造分析,含水层特征、地下水系统分析,流场、水化学场、同位素场等分析,数学分析。

⑤勘查报告的编制。根据收集的资料和勘查成果,结合邻近生产矿井的水文地质特征和充水因素,分煤层确定充水水源、充水通道、充水方式和充水强度,进行充水条件分析。再针对不同的评价方法步骤进行评价,并对不同的评价结果进行综合分析,最后确定推荐的结果和提出相应的防治水技术措施。

#### 4 结论

综上所述,煤矿床水文地质勘查,在设计之初,就应该关注资料的收集和综合分析,确定勘查煤层的目的层,选择合理、科学的勘查手段和评价方法。否则,盲目地进行勘查所取得的资料不能满足煤矿防治水工作要求。

#### 参考文献:

- [1] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局.煤矿防治水规定[M].北京:煤炭工业出版社,2009.
- [2] 国家煤矿安全监察局.煤矿防治水规定释义[M].江苏 徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [3] 傅耀军,方向清.矿床水文地质勘查类型划分探讨[J].中国煤炭地质,2011,23(9).
- [4] 杜敏铭,邓英尔,许模.矿井涌水量预测方法综述[J].地质学报,2009,29(1).