

页岩气测井技术的应用

潘仁芳 赵明清 伍媛 长江大学地球科学学院

摘要

本文就页岩气储集层地质特征来分析页岩气的常规测井曲线响应情况,并初步研究了利用测井资料求含气量的方法。最后介绍了两个重要参数,有机质热成熟度指数和有机质丰度的测井求取方法。

一. 页岩气测井响应特征

1.1 页岩气储集层地质特征

页岩气是指主体位于暗色泥页岩或高碳泥页岩及其间所夹砂质、粉砂质岩地层中,以吸附气或游离状态为主要存在方式的天然气聚集。暗色页岩在中国分布广泛,中国南方碳酸盐岩地区、西北地区及华北地区中、古生界等都是页岩气藏发育的有利地区。页岩气储集层存在以下几方面的特征:

岩性特征:页岩岩性多为沥青质或富含有机质的暗黑色泥页岩和高碳泥页岩,其间或有夹层状发育的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩等。一般认为其岩石组成为30%~50%的粘土矿物、15%~20%的粉砂质石英颗粒和4%~30%的有机质。页岩气主要是吸附气和

游离气,吸附气占到20%~85%,其余的为游离气和水溶气。页岩的矿物成分较复杂,除高岭石、蒙脱石、伊利石等粘土矿物以外,还混杂石英、长石、云母等许多碎屑矿物和自生矿物。其中石英含量通常大于50%,且可高达75%。页岩颗粒一般小于0.005mm,岩性致密,页岩颗粒分选较差,性脆,在一定压力下易产生裂缝。

储集物性:页岩气具有自生自储的或短距离运输的特点。气源岩的发育位置直接指示了该类气藏的空间发育。暗色页岩孔径很小,大于50nm为大孔,2~50nm为小孔为中孔、小于2nm为微孔。因此比表面积大,孔隙小,结构复杂,总孔隙度一般小于10%。孔隙类型一般为粉细颗粒的粒间孔隙和晶间孔隙。孔喉小,基质渗透率低,是页

岩气吸附气的重要存在场所。有效孔隙度低，孔隙储集的页岩气很有限。裂缝规模差别较大，裂缝类型多样，有成岩时形成的层理，有高压异常气膨胀时形成的破裂缝。裂缝的渗透率远远大于基质渗透率。是页岩气游离气储集的主要场所。多种类型的天然裂缝大范围连通，可形成一个拥有独立压力系统的页岩气藏。钻遇页岩气裂缝时有较好的气显。

1.2 页岩气测井曲线响应特征

利用测井曲线形态和测井曲线相对大小可以快速而直观地识别页岩气储集层。实测中页岩气储集层在常规测井曲线上有明显的特征响应。识别非常规天然气所需的常规测井方法主要是：自然伽马、井径测井、中子密度测井、岩性密度测井、体密度测井、声波时差、电阻率测井。通过测井解释资料可以定量分析储集层的岩性，确定储集层的基本评价参数，包括评价储集层物性的孔隙度和渗透率，评价储集层含气性的含气饱和度，含水饱和度与束缚水饱和度，储集层厚度等等。

自然伽马：页岩气层的自然伽马值显示高值，这是由于：a. 页岩中泥质含量高，泥质含量越高伽马放射性就越高；b. 某些有机质中含有高放射性物质。一般性地层中，泥页岩在地层中伽马显示最高值（> 100）。相比之下，砂岩和煤层显示低值。

井径测井：砂岩显示缩径；泥页岩一般为扩径。

声波时差测井：页岩气储层声波时差值显示高值。页岩比泥岩致密，孔隙度小，声波时差介于泥岩和砂岩之间。遇到裂缝气层有周波跳反应，或者曲线突然拔高。页岩有机质含量增加时，其声波时差增大；声波值偏小，则反映了有机质丰度低。

中子测井：页岩气储集层中子测井值为高值。中子测井值反映的是岩层中的含氢量。含氢物质一般为：水，石油，结晶水和含水砂，既中子密度测井反映的是地层孔隙度。

页岩地层孔隙度一般小于 10%。页岩气储集层中，要注意到两个相反的影响因素：地层中含气使得中子密度值减小，而束缚水则使中子密度值偏大。束缚水饱和度大于含气饱和度，故认为束缚水对于中子测井值的影响较大。有机质中的氢含量也会对中子测井产生影响使孔隙度偏大。在页岩储集层段，中子孔隙度值显示低值，这代表高的含气量、短链碳氢化合物。

地层密度测井：地层密度为低值。地层密度值实际上测量的是地层的电子密度，而电子密度相当于地层体积密度。页岩密度为低值，比砂岩和碳酸岩地层密度测井值低，但是比煤层和硬石膏地层密度值高出很多。随着有机质和烃类气体含量增加将会使地层密度值更低。存在裂缝，也会使地层密度测井值降低。

岩性密度测井：现代测井仪器同可以时测量地层密度与岩性密度。在岩性密度测井 P_{ρ} 值可以用来指示岩性。岩性密度测井可应用于识别页岩粘土矿物类型。页岩矿物组成的变化，将导致单位体积页岩岩性密度测井值的变化。结合取芯资料，可以很好地分析某地区的粘土岩矿物成份。

电阻率测井：页岩深浅探测电阻率均显示低值。页岩气的电阻率影响因素复杂，主要是：1) 页岩泥岩含量高，束缚水饱和度高，而这两者的电阻率都很低。2) 页岩气储集层低孔低渗，使得泥浆滤液侵入范围很小，侵入带影响很小，深浅曲线值非常相近，这反映了页岩气储集层的渗透率值低。3) 有机质电阻率高，干酪根的电阻率为无限大，在有机质丰度高的地层中，电阻率测井值为高值。

二. 基础参数和技术指标，利用体积模型计算含烃量

应用计算机技术对测井资料处理解释，必须根据需解决的问题应用适当的物理方法、建立相应的测井解释模型、导出测井响应值与地质之间的数学关系。测井测量的物理参数可以看成是单位体积岩石中各部分的相应物理量的平均值，把岩石的宏观物理量看成是各部分贡献之和。即岩石宏观物理量 M 等于各部分物理量 M_i 之和，即 $M = \sum M_i$ 。当用单位体积物理量（测井参数）表示时，岩石体单位体积物理量 m 就等于各部分相对体积 V_i 与其单位体积物理量 m_i 乘积之总和，即 $m = \sum m_i V_i$ 。

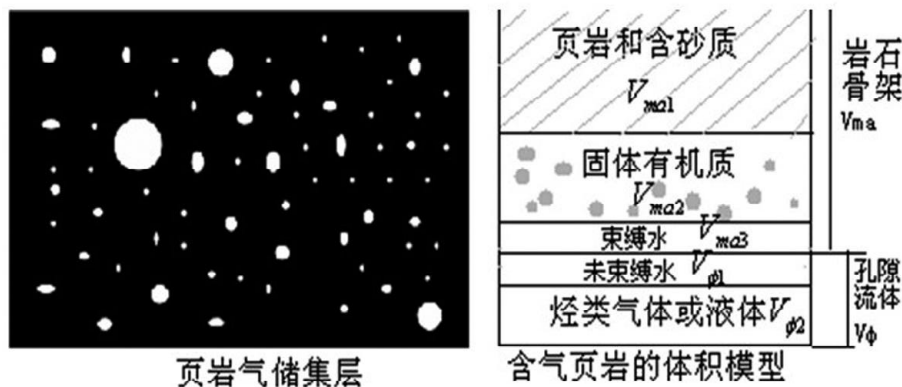


图 1 页岩气储集空间模型

$V_i m_i$ 。

在这里利用最优化多矿物解释模型。页岩矿物质组成复杂,骨架组成主要是致密性泥页岩、高碳泥页岩,还有大量的固体有机质,其间夹有层状发育的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩等。粉砂岩的测井解释与泥岩区别不大。所以页岩骨架矿物可看成由致密性的泥岩及粉砂碎屑、固体有机质以及结晶水三个部分组成。页岩的渗透率低,孔隙度低,总孔隙度一般小于 10%。页岩孔隙,孔隙空间是吸附气存在的重要场所,其间还有少量的自由水和液态烃类。

有机质页岩储集空间如图 1 所示。长为 L , 体积为 V 的页岩正方体有下列关系:

$$1 = V_{ma} + V_{\phi}; \quad 1 = L_{ma} + L_{\phi}$$

$$V_{ma} = V_{ma1} + V_{ma2} + V_{ma3}; \quad V_{\phi} = V_{\phi1} + V_{\phi2}$$

$$L_{ma} = L_{ma1} + L_{ma2} + L_{ma3}; \quad L_{\phi} = L_{\phi1} + L_{\phi2}$$

为岩石孔隙度: $\phi = V_{\phi} / V$

其中, V_{ma} 表示岩石骨架的相对体积, 包括含砂质页岩相对体积 V_{ma1} 和固体有机质的相对体积 V_{ma2} 以及少量的束缚水相对体积 V_{ma3} ; V_{ϕ} 表示孔隙和裂缝的相对体积, 包括有自由水相对体积 $V_{\phi1}$ 和吸附的、游离的和溶解烃类气体或液体的相对体积 $V_{\phi2}$ 。

根据上述体积模型, 可以导出各种测井值与岩石孔隙度等参数之间的基本关系式:

$$\text{声波时差: } \Delta t = V_{ma1} \Delta t_{ma1} + V_{ma2} \Delta t_{ma2} + V_{ma3} \Delta t_{ma3} + V_{\phi1} \Delta t_{\phi1} + V_{\phi2} \Delta t_{\phi2};$$

$$\text{地层体积密度: } \rho = V_{ma1} \rho_{ma1} + V_{ma2} \rho_{ma2} + V_{ma3} \rho_{ma3} + V_{\phi1} \rho_{\phi1} + V_{\phi2} \rho_{\phi2}$$

$$\text{中子孔隙度: } \Phi_N = V_{ma1} \Phi_{ma1} + V_{ma2} \Phi_{ma2} + V_{ma3} \Phi_{ma3} + V_{\phi1} \Phi_{\phi1} + V_{\phi2} \Phi_{\phi2}$$

$$\text{有效光电吸收指数: } P_e = V_{ma1} P_{ema1} + V_{ma2} P_{ema2} + V_{ma3} P_{ema3} + V_{\phi1} P_{e\phi1} + V_{\phi2} P_{e\phi2}$$

$$V_{ma1} + V_{ma2} + V_{ma3} + V_{\phi1} + V_{\phi2} = 1$$

通过联立以上方程可以计算出烃类气体或液体的体积含量 V_2 , 继而求出含气量。

然而以上公式仅为理想的模型推导, 要列出完整的算式需要大量的岩心实验室资料, 建立回归算法。且误差较大。所以只是一种想法。这主要是因为: 1) 地下页岩矿物成分复杂, 储集层情况多样无法掌握。2) 气体在地下和地上的参数值不同, 需要换算。3) 有机质参数资料少, 无法确定。4) 在国内页岩岩心很少资料不全。

参考文献

- [1] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布. 天然气工业. 2004; 24(7): 15~18
- [2] 张金川, 徐波, 聂海宽, 邓飞涌. 中国天然气勘探的两个重要领域. 天然气工业. 2007; 27(11): 1-6.
- [3] 蒲泊伶, 包书景, 王毅, 蒋有录. 页岩气成藏条件分析——以美国页岩气盆地为例. 石油地质与工程. 2008, 22(3): 33-39
- [4] 唐嘉贵, 吴月先等. 四川盆地页岩气藏勘探开发与技术探讨. 钻采工艺. 2008, 31(3): 38-42
- [5] 张金川等. 页岩气及其勘探研究意义. 现代地质. 2008; 22(4): 640-646