

Study of Well-Logging Identification and Interpretation of Coalbed Natural Gas

Qinglin Zheng¹, Yu Zhao², Kebo Liu¹

¹Changqing Business Division, China Petroleum Logging Co. Ltd., Xi'an

²Production Logging Center, China Petroleum Logging Co. Ltd., Xi'an

Email: zql@cpl.com.cn

Received: Oct. 27th, 2012; revised: Nov. 21st, 2012; accepted: Nov. 29th, 2012

Abstract: This article introduces comprehensive studying results on the well-logging for Coalbed Natural Gas, describes the logging data characteristic of coal, points out the method of coalbed thickness identification with logging data and establishes the model of coal logging data interpretation by mathematic ways which can provides the coalbed parameters including gas saturation. We can study the coal mechanics parameters and give a regional comprehensive evaluation with logging data. And we designed a set of logging series for different aim of Coalbed Natural Gas exploration and production. At last, we can give technic support for Coalbed Natural Gas exploration and production.

Keywords: Coalbed Natural Gas; Well-Logging; Coalbed Parameter; Coal Gas Saturation; Coalmechanics Parameter; Well-Logging Series

煤层气测井识别与评价方法探讨

郑庆林¹, 赵雨², 刘克波¹

¹中国石油集团测井有限公司长庆事业部, 西安

²中国石油集团测井有限公司生产测井中心, 西安

Email: zql@cpl.com.cn

收稿日期: 2012年10月27日; 修回日期: 2012年11月21日; 录用日期: 2012年11月29日

摘要: 本文重点介绍了煤层气测井的综合研究成果。分析了煤层的测井响应特征, 确定了煤层厚度的划分方法, 利用数学统计的方法, 建立了煤储层参数的测井解释模型, 提供了包括煤层含气量在内的煤储层参数, 进行了煤层力学参数的研究和区域性的综合评价, 并为不同勘探开发目的设计了一套适合煤系地层的测井系列方案, 最终为煤层气勘探和开发提供可靠的技术支持。

关键词: 煤层气; 测井; 煤储层参数; 煤层含气量; 煤层力学参数; 测井系列

1. 引言

测井公司自一九九七年开始煤系地层测井和煤层气测井评价技术研究以来, 先后在山西、陕西、河北、新疆、及安徽等地区录取了不同系列的测井资料, 同时收集了大量的煤芯分析资料, 开展了多方面的研究工作^[1]。

我们主要从煤储层测井响应特征入手, 针对煤储层的复杂性、特殊性设计解释模型, 运用先进的解释

技术, 以岩心实验分析资料为依据研究煤层的测井解释方法, 分析煤层的变化规律, 以达到识别煤层、分析煤层和开采煤层的目的。

2. 煤储层测井响应特征

正如测井资料在常规石油天然气勘探开发中发挥着重要作用一样, 在煤层气勘探开发中, 测井资料同样也是识别煤层、分析煤层、开采煤层不可缺少的

手段。由于煤储层物理化学成分与其它沉积岩有明显的不同，煤主要是由植物演变而来的有机质和少部分无机质，其化学成分主要是碳(C)、氢(H)、氧(O)三种元素，其分子结构相对松散，内部条带状、片状、层状等结构发育，因此煤储层在测井曲线上具有独特的响应特征，即：高电阻率、高声波时差、高补偿中子、低伽马、低体积密度、低光电吸收截面指数 $Pe^{[2,3]}$ 。表 1 是几种类型煤的测井响应特征。从表中我们可以煤的测井响应特征值与常见岩石的测井响应特征明显不同，但随着煤的化学组分的变化而发生变化。

3. 煤层厚度的划分

煤层厚度决定了煤层气资源量的大小，因而它是评价煤层的一项重要参数。对煤层厚度的划分就是利用测井资料准确地划分出煤层与顶底板层的界面深度。一般说来，仪器的分辨率越高，即在与煤层的界面处曲线变化越陡，界面划分的精确性就越高。图 1 测井资料划分煤层实例图。

通常采用两种分层方法：一是计算机自动分层。计算机自动分层就是将几种类型的标准煤层的测井响应特征值值入测井解释程序当中，当我们输入测井资料，计算机将根据实际测井值与已经输入的标准煤层测井值进行相关性对比，相关系数接近为 1 的，计算机就自动识别为煤层。从而准确的划分出煤层。二

是人工分层。就是解释处理人员，根据本人的解释经验及对本井测井资料的认识，与已知区域的地质测井资料进行对比，直接划分出煤层，再将分析出的煤层参数输入测井处理解释软件，进行煤层气识别与评价。第一种方法常常适用于新的勘探开发区块，因为对本区块认识较少，所以我们常常将测井资料与标准地质层进行相关性对比。而在熟知的勘探开发区域我们常常采用第二种方法，因为煤层的测井响应特征特别明显区别于其他的地层，解释人员很容易的识别煤层，能极大的提高测井处理解释速度。

4. 煤层物性和裂缝评价

煤层的孔隙结构类型属裂缝-孔隙双重孔隙结构，这种孔隙结构的特征是煤基质天然裂缝(割理)网分隔成许多方块，每个方块中的煤基质由煤粒和微孔组成。基质是主要的储气空间，甲烷被吸附在微孔的内表面

Table 1. The well-logging data of some kinds of coal
表 1. 几种类型煤的测井响应特征

名称	分子式	热中子孔隙度 (%)	骨架密度 (g/cc)	测井密度 (g/cc)	光电吸收截面 P_e (b/e)	纵波时差 (μ s/m)	理论中子俘获截面 Σ_{ma} (C.u)
无烟煤	$C_{720}H_{258}N_6O_{16}$	>60	1.60	1.57	0.16	344	22
烟煤	$C_{532}H_{418}N_8O_{41}$	54.2	1.35	1.33	0.17	394	35
褐煤	$C_{480}H_{412}N_7O_{101}$	100	1.10	1.05	0.20	525	30

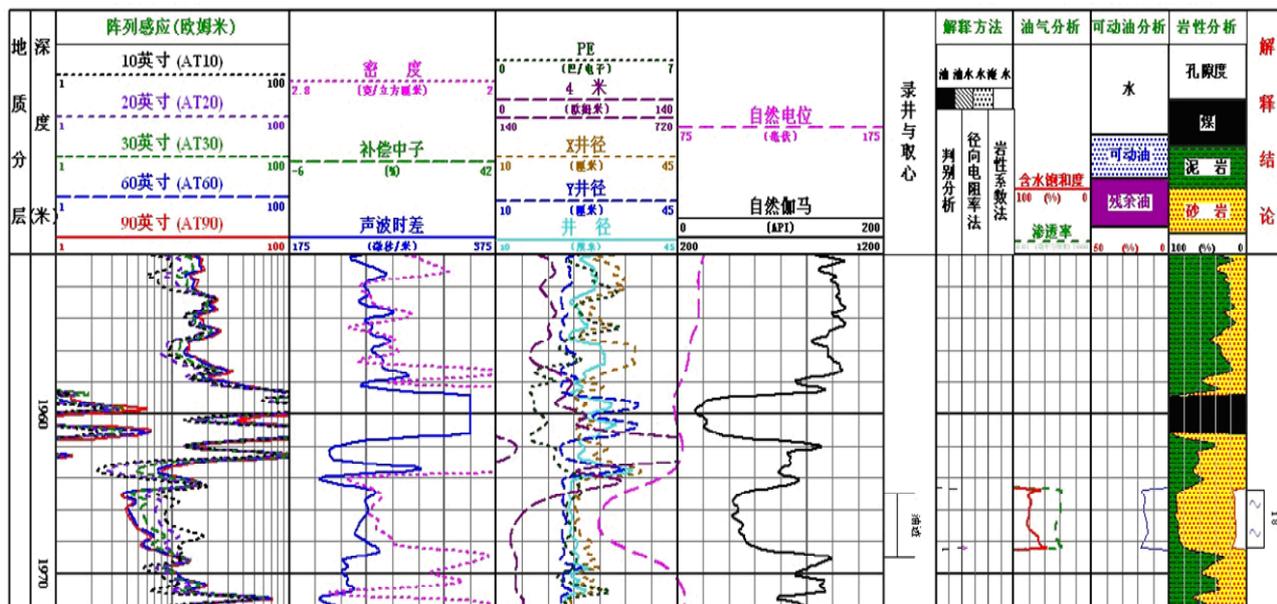


Figure 1. An example of coalbed identification with logging data
图 1. 测井资料划分煤层实例图

上,但其渗透率很低,在浓度差的作用下,甲烷穿过基质扩散到裂缝中。裂缝在煤的总孔隙体积中占次要地位,储气能力较低,有少量游离气贮存其中,但渗透率高,是煤层甲烷渗流的主要通道。

煤层的天然裂缝(又称割理)是煤化作用和构造应力影响的结果,它通常发育大致相互垂直的两组,主要的、延伸较长的一组叫面割理,次要的、与面割理大致垂直的一组叫端割理,割理有方向性,是控制煤层方向性渗透的主要因素。图2是某区炭质页岩的天然裂缝露头^[4]。

在有裂缝的地层中,由于泥浆侵入裂缝中,使得裂缝的电阻率明显较围岩低,在成像图上显示为暗色条纹,因此可以利用电成像资料进行裂缝识别。对于不同成因、不同类型的裂缝具有不同的成像特征,因此利用成像测井资料可以识别裂缝类型、并能准确计算裂缝产状,分析裂缝的发育程度等。图3是煤层裂缝在测井资料上的显示实例。

5. 煤储层参数及煤层含气量评价

煤层含气量既是煤层气勘探和开发中一个非常重要的参数,同时也是评价煤层资源的一个重要参数。

煤在变质作用中产生的甲烷分子以游离、吸附、溶解三种状态赋存于煤层中,其中主要以吸附状态存在于煤体表面,煤层吸附甲烷量的多少决定于压力、温度、煤质等。因此煤层气与砂岩等岩石中的天然气的储集有本质的区别。

在煤层测井解释中除煤层含气量外,还要进行煤层工业组分的分析,提供水分、灰分、挥发分、固定碳等参数,因此沿用传统的碎屑岩或碳酸盐岩分析含气储层的方法显然是不合适的,必须采用适合于煤储层的概念和解释模型,应用先进的处理技术,才能达到精细分析和定量解释煤层含气量的目的^[1]。

5.1. 煤层气解释模型

评价煤层含气量的方法是建立在物理模型基础上的,该模型考虑了甲烷在煤层中的赋存及运动,同时还要考虑煤层的特殊性,它完全不同于碎屑岩粒间孔隙储层的模式。煤层不仅是煤层甲烷的储层,同时也是源岩,它是一种复杂的有机复合体,在煤化作用及成岩作用的不同阶段,其水分、灰分、固定碳、挥发分等组分也发生变化。设计的新模型是一个由水

分、灰分、挥发分、固定碳组成的,并有气体含量和其它因素构成的多组分多矿物复杂岩性模型(如图4所示)。

根据以上的物理模型,从而可以建立煤层气测井解释的数学模型。其公式如下:

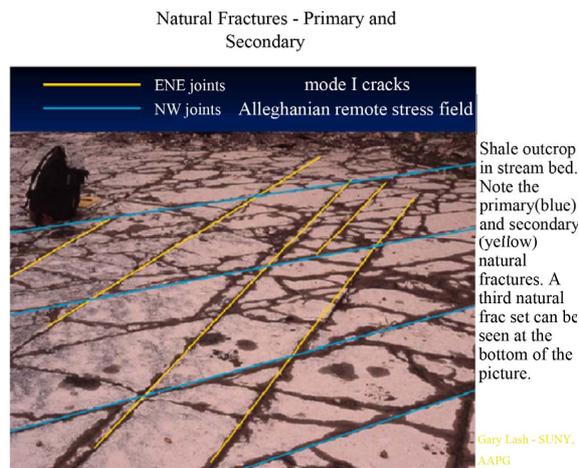


Figure 2. Natural fracture of carbon shale
图2. 某区炭质页岩的天然裂缝露头

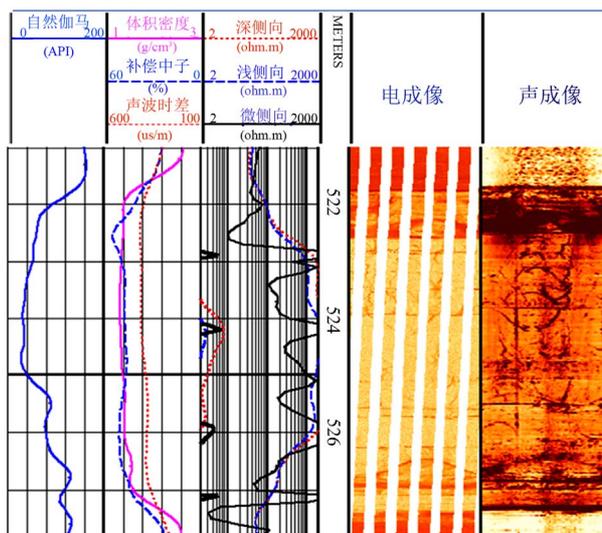


Figure 3. The logging nature of fracture in coalbed
图3. 煤层裂缝测井资料特征



Figure 4. Physic model of logging interpretation for coalbed gas
图4. 煤层气测井解释的物理模型

$$L = X \times C \quad (1)$$

式中 L -测井曲线； C -工业组分及含气量含气量； X -响应参数，实验分析值与测井响应之间相关关系。

当然这个模型是我们在计算煤层的组分和计算含气量时使用的，而在计算煤层的孔隙度和渗透率等参数时可以采用常规的油气层测井解释模型。

5.2. 关键井的选择

关键井的选择应针对煤层气的特点，选择不同地区的井，这些井的煤层应具有不同的变质程度，煤的性质应有一定的差别，具有一定的代表性；此外这些井的测井资料和实验分析数据应比较齐全。根据这些井的资料确定相应的解释参数和数学模型，为进一步的定量解释提供可视的依据。

5.3. 测井资料的环境校正

测井资料由于受到井下温度、压力、泥浆侵入、井眼状况等条件的影响，必须对其进行环境校正。针对不同的仪器采用不同的解释软件和解释图版进行校正，使各条测井曲线能真实地反映煤层的测井值，这些对于煤系地层更显重要，由于裂缝性煤层常常具有扩径的特征，所以煤层气测井解释过程中井眼校正尤为重要。

5.4. 实验室分析数据的深度归位

钻井取心的煤岩心深度与测井曲线之间存在深度误差，因此必须对岩心进行深度校正，使两者深度一致。

5.5. 测井资料的精细处理和解释

在常规油气勘探中，油、气是做为一种矿物参与到测井模型中进行运算处理的，而在煤层气解释中，这种方法显然是不适用的。吸附气不再是一种有独立空间存在的气体对测井曲线产生影响，而是依附于煤的其它四种工业分析组分。所以对煤储层的定量处理应该首先建立对煤的灰分、水分、挥发分、固定碳的准确认识上，同时考虑到地区性、构造条件、煤层厚度、埋深等诸多因素，将这些因素和认识归纳为规律即可建立煤储层解释模型，编制煤层气处理软件，进行定量评价。图 5 为一口井的煤层测井解释成果图。

6. 煤层机械特性参数研究

多极阵列声波成像测井可在软地层(煤层)中直接获得横波时差，横波时差是研究机械特性中至关重要且较难获得的一条曲线。横波资料的取得为进行岩石机械特性研究提供了可能。应用密度、纵、横波时差以及其它一些曲线和参数，就可以计算岩石机械参数的模量(杨氏模量、体积模量、切变模量)，强度(抗张强度、抗剪强度)，应力和压力(最大、最小水平应力、上覆地层压力、周向应力、径向应力、破裂压力、坍塌压力)以及泊松比等十几项参数，利用这些岩石机械特性参数可以进一步进行井眼稳定性分析、岩石强度分析、压裂设计、水力压裂裂缝高度预测等，为钻井工程施工及煤层气开采提供参考数据。

7. 区域煤层气综合评价

煤层甲烷勘探地质选区的前提是综合地质评价，而在勘探的过程中对区域煤层气进行综合评价，将为整个区域煤层气的勘探和开发提供可靠的数据。研究中对区域煤层的横向变化情况、顶底板层横向变化情况、构造情况、含气量和煤层各工业组分的区域分布情况、煤层封堵性、煤层力学参数和地应力等进行了

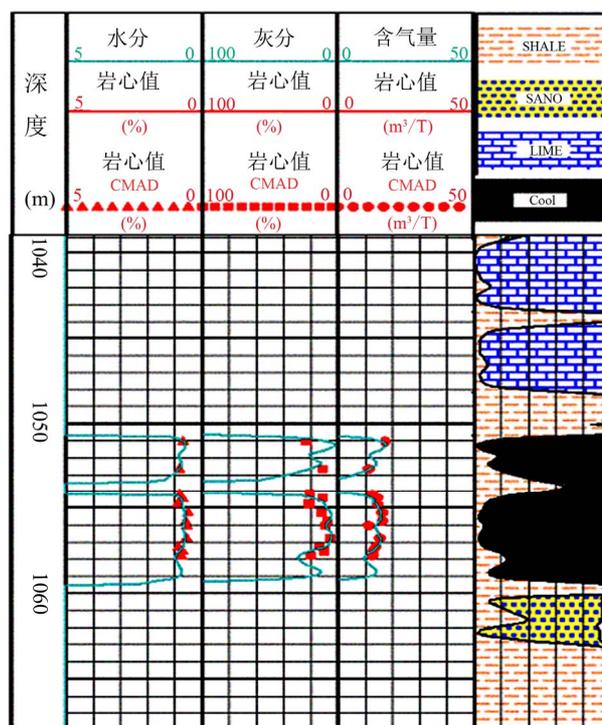


Figure 5. Well-logging interpretation results of coalbed gas
图 5. 煤层测井解释成果图

情况、煤层封堵性、煤层力学参数和地应力等进行了综合的评价。

8. 煤系地层测井系列

通过测井可以录取到反映地层岩石物理特性的测井曲线。利用测井曲线在适当的解释模型支持下,可以获得进行油、气勘探开发为目的所需的各种参数,因而对测井系列(项目)的选择可以根据不同的勘探开发需要来选择,为此,我们根据识别和评价的原则,制定了一套煤系地层测井系列的优选方案供用户选择。

9. 结束语

我国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一,同时也是世界上煤层甲烷总资源量最多的国家之一,经相关资料报道我国煤层甲烷总资源量为 $3.0 \times 10^{13} \sim 3.5 \times 10^{13} \text{ m}^3$, 约是美国煤层甲烷总资源量的三倍。因此,

勘探开发煤层甲烷资源对于改善我国能源结构、净化环境有着十分重要的意义,也是接替天然气资源最现实的能源^[1]。

测井技术是煤层气勘探开发中的重要手段,可以选取正确的测井序列,应用测井资料对煤储层的成分及力学性质等参数进行定量计算,从而对煤层气进行有效的识别和评价。

参考文献 (References)

- [1] 李剑浩, 王国平, 郑庆林等. 中国石油集团测井解释技术优秀论文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [2] SY/T5132-2003. 测井原始资料质量要求[S]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [3] [法]O·塞拉蓉; 谭廷栋, 廖明书等译. 测井解释基础与数据采集[A]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 1.
- [4] D.-H. Han. Fundamental Properties of Gas Shale. DongYing. 2011.