



美国煤田密度测井及 灰分和发热量分析

韩长林

(江西省二二四煤田地质勘探队)

我们实地参观了美国地质调查所丹佛煤炭分所和美国中西部大多数私人测井公司的煤田测井,现将他们利用测井资料进行煤质、煤的灰分和发热量分析的情况介绍于下。

一、密度曲线

密度曲线是目前美国煤田测井中最主要的参数曲线。密度曲线用密度块刻度、并借助小型电子计算机,使密度测井现场读数(C.P.S)与岩、煤层体密度值(克/厘米³)直接联系起来。

(一)密度测井仪

他们几乎全部使用吉哈特-欧文(GE ARHART-OWEN)公司密度测井仪和记录面板。

吉哈特-欧文公司密度测井仪井下探管外径约1.25英寸(32毫米)。接收器为碘化钠(NaI)晶体,晶体尺寸为 $\Phi 0.5 \times 2.5$ 英寸($\Phi 13 \times 64$ 毫米)。

索取心钻杆,受钻杆体壁厚的限制,欲进一步提高钻杆接头的连接强度,只能采用更高强度级的管材,这样势必增加钻杆的制造成本,也就限制了钻杆螺纹强度的再提高。

(6)可选用复合式钻杆(即焊接接头钻杆),接头部分可单独进行加工,这样钻杆接头的壁厚在一定范围内可以增加,这就使螺纹锥度在一定范围内有了增大的条件。

钻杆柱在工作状态时,接头螺纹在钻孔中随钻孔的延伸和孔径的变化,受力是非常

作定量分析用的密度曲线的测量,采用12英寸(30厘米)源距,铯137(Cs^{137})同位素源,强度为150毫居里

这种井下仪带推靠弹簧,测量时借推靠弹簧把仪器推向井壁,并只定向接收从地层中散射的伽玛射线。

记录面板能同时作四道记录。记录方式有模拟推臂式记录、盒式磁带记录和打字输出,其采样间隔0.1或0.5英尺,可任选。

模拟推臂记录仍为他们在煤田地球物理测井中的主要记录方式。记录纸宽11英寸(28厘米)。一般详测曲线走纸比例为10英尺/英寸。作煤质分析时,就是利用煤层处(包括部分顶、底板)模拟密度测井曲线按一定的采样间隔先实现模拟曲线对计数率的转换,再由得到的计数率求出对应的体密度,并由体密度值确定相应的灰分和发热量。

(二)计数率对密度的转换

吉哈特-欧文公司密度测井仪附有三种

复杂的。本文只从改变接头螺纹锥度的一些试验数据中,做了一些分析比较和讨论,所得结论难免存在一定的片面性,望大家给与指正。但是我们想通过对钻杆接头螺纹设计中的一些技术参数的研究探讨,引起同行专家们对钻杆柱的重视和开展一些螺纹基础参数的试验研究,以达到促使我国钻探专业在钻杆的设计、制造和使用方面赶上世界先进水平之目的。

不同体密度值的密度块。利用这三种密度块对仪器进行刻度，从而建立岩层体密度与密度测井的反应值之间的联系。它的理论依据是：基于密度块的体密度值和沉积岩的体密度值变化范围，散射伽玛强度与体密度（ δ ）存在一定的关系：

$$c.p.s = KQe^{-\mu L\delta}$$

式中 Q ——源强；

δ ——密度块或岩层体密度；

L ——源距；

K 、 μ ——源距 L 和伽玛源确定后为常数；

$c.p.s$ ——计数率，脉冲/秒。

密度块的名称及体密度值如下：

低密度块，由 2 - 甲基丙烯酸制成，体密度值为 1.28 克/厘米³；

中等体密度块，由镁制成，体密度值为 1.73 克/厘米³；

高密度块，由铝制成，密度值为 2.6 克/厘米³。

根据上述三个刻度值，就可利用上述体密度及对应计数率作为散点值，作 $c.p.s$ 与 δ 指数回归曲线。

作回归曲线的工作是由小型电子计算机完成的。美国地质调查所丹佛煤炭分所所采用的电子计算机为 HP85。这种小型计算机带盒式磁带程序，当选定指数曲线运算程序盒式磁带并将其塞进计算机盒式磁带程序插孔里后，再分别以 $x(c.p.s)$ 和 $y(\delta)$ 值输入 HP85 机，HP85 机即行绘出计数率 $c.p.s$ 与体密度 δ 指数关系曲线（实质上为回归分析），并同时示出相关系数 r^2 的大小，以示点与曲线的拟合程度。

HP85 机作出上述指数曲线的同时，还有了这一信息的记忆。而后，每当以 x 值输入一个计数率值，HP85 机便根据已建立起的回归曲线、以打字输出和显示两种形式绘出对应的 y 值，即对应的体密度值 δ_i ，从而

实现从密度测井得到的计数率（ $c.p.s$ ）对体密度值 δ_i 的转换。

因为目前美国地质调查研究所和中西部的绝大部分私人测井公司的煤田测井仍以模拟记录为主。为了确定密度测井模拟曲线上各点的体密度值，首先得确定模拟曲线上各个采样点的计数率。美国地质调查所丹佛煤炭分所是用一种纽蒙尼克斯公司（NUMOR-NICS CORP）生产的电子图-数转换器进行的。利用这种机器，工作人员在确定了零线以后，只要拿给定的电笔沿曲线轨迹跟踪一次，这电子图-数转换器就将作定量分析用的煤层密度曲线按选定采样间隔给出相应各点的计数率值。有了这些各采样点的计数率值，由前述可知，就很容易通过 HP85 机确定煤层各点的体密度值了。

（三）密度测井中各种影

响因素及其校正

1. 层厚与电缆提升速度 为了减少电缆提升速度及其变化对各种参数、特别是对密度曲线测量的影响，美国地质调查所和一些私人测井公司在煤田测井中采用恒速、低速提升电缆。

密度测井所用的吉哈特-欧文公司的仪器与目前国内使用的伽玛-伽玛测井仪的时间常数相同（为 1 秒）。而他们的电缆提升速度控制在 15 英尺/分，不足 300 米/小时，近似恒速。如果仪器系统阻尼时间按 3 秒计算的话，随着电缆提升，使仪器在勘探目的层里有 3 倍以上系统阻尼时间渡越，即可认为测量值几乎达到最大值。由此可计算得出目的层厚不足 0.70 米。目前美国煤田勘探中以浅、厚煤为主要对象，所以，他们在利用密度测井曲线确定煤层体密度值时，不作层厚和电缆提升速度校正。

2. 井液及井壁侵入带的影响 由于他们采用的井下探管带推靠弹簧，只定向接收从地层中散射的伽玛射线，由密度测井得到的

计数率求出对应点的体密度值时不作任何井液校正。

我们接触到的美方煤田钻探以清水钻进居多,在密度测井中,也忽略井壁清水浸入带对密度测井结果的影响。

关于这一点,美国内务部矿山局在“地球物理测井模块”一文中,列出了当各种不同密度模块处于不同含水状态时对其体密度的影响(表1)。

表1所指自然态是同实验室收到样品条件;空气干燥是指在100°F炉子干燥1小时;饱和是指在0.1毫米水银柱压力真空20至30分钟,並允许吸水16小时。

由表1可知,模块处于三种不同含水状态,除高密度模块外,中、低体密度模块的密度几乎没有改变。这大约就是他们忽略井壁水浸入带对密度测量结果影响的理由。

3.井径 美国煤田测井主要测四种参

刻度模块密度表1

孔号	含水状态	密度 (g/cm ³)	标准差	Z/A校正	校正后密度 (g/cm ³)
中等密度					
A-1到 A-4	自然态	2.33 ^①	0.03	1.00	2.33
		2.39 ^②	0.01	1.00	2.39
	空气干燥	2.32	0.02	1.00	2.32
	饱和	2.33	0.03	1.00	2.33
	基底	2.31	0.03	1.00	2.31
低密度					
A-5	自然态	1.68 ^③	0.02	1.00	1.68
		1.73 ^④	0.03	1.00	1.73
	空气干燥	1.68 ^③	0.02	1.00	1.68
	饱和	1.68 ^③	0.02	1.00	1.68
	基底	2.33	0.02	1.00	2.33
高密度					
A-6	自然态	3.06	0.10	0.974	2.98
	空气干燥	3.01	0.12	0.974	2.93
	饱和	3.02	0.15	0.974	2.94
	基底	2.33	0.02	1.00	2.33

①从井口至5.7英尺密度; ②从5.7英尺至8.0英尺密度;
③从井口至6.3英尺密度; ④从6.3英尺至8.0英尺密度。

数,而其一为井径曲线。

由于我们所涉及的美中西部和美国东部的部分地区,地质构造简单,岩、煤层近乎水平或倾角极缓,且钻孔最深为200米左右,在美国地质调查所和一些私人测井公司的测井资料中,即使在煤层处也未见井径有局部异常。在密度测井中始终没见过作井径校正。

但是,在克罗拉多州丹佛联邦中心的刻度井设施中,有井径分别为3、5、8和12英寸同体密度值的四个孔为煤田密度测井提供井径校正资料。在有关刻度井的报告中,有如下叙述:“……另外,以同一模块出现的3、5、8和12英寸不同直径的钻孔用来确定不同孔径的经验校正……”。由于种种原因,我们在美期间,没有做这种井径经验校正。

4.Z/A影响及其校正(Z——元素原子序数;A——元素原子量)

由于构成沉积岩的绝大多数元素为轻元素,且煤田密度测井中使用铯137同位素作源,这种源的伽玛射线能量为0.66百万电子伏特,所以,伽玛射线与构成沉积岩的元素的相互作用主要产生康普顿-吴有训效应。可以论证,由测量得到的岩石康普顿散射伽玛射线强度反映了岩石的电子密度。即计数率並非真正与岩石的体密度、而是由岩石的电子密度通过岩石的 $\bar{Z}/\bar{A}$ 与岩石的体密度 δ 联系起来($\bar{Z}$ 和 $\bar{A}$ 分别为岩石所含元素的加权原子序数和原子量)。

由于密度测井刻度用的密度块的 Z/A (或 $\bar{Z}/\bar{A}$)值和绝大多数沉积岩的 $\bar{Z}/\bar{A}$ 值均约为0.500。所以,利用前述公式,由计数率求对应体密度值时,对绝大多数沉积岩来说,不用作 $\bar{Z}/\bar{A}$ 校正。但对于那些含氢多或由重元素组成的岩层,由于它们的 $\bar{Z}/\bar{A}$ 值不能近似作0.500对待,则利用上式由计数率

确定岩、煤层体密度值时,要进行 $\bar{Z}/\bar{A}$ 校正。

我们在美期间大部分时间工作在美国中西部。美国中西部以侏罗、白垩和第三纪的褐煤为勘探对象,在煤质分析、由计数率确定煤的体密度时,他们引进的 $\bar{Z}/\bar{A}$ 经验校正公式为:

$$\delta(c.p.s) = 1.05\delta$$

式中 $\delta(c.p.s)$ ——由计数率 $c.p.s$ 利用回归曲线得到的褐煤视体密度;

δ ——经 $\bar{Z}/\bar{A}$ 校正后的褐煤体密度。

二、煤的灰分和发热量分析

目前,美国地质调查所丹佛煤炭分所和美国中西部一些私人测井公司利用测井资料进行煤质(灰分和发热量)分析中,并不采用体积模型,而是作统计分析——回归分析来解决。

按照这种分析法,在某一有限地区取得某一煤层的一定数量的化验资料,即一系列的该煤层的体密度值和相应的灰分含量和发热量资料后,作体密度值与灰分含量和体密度值与发热量(或灰分含量与发热量)线性回归分析。其具体做法是:选取 HP85 机的直线函数盒式程序磁带;并置该磁带于 HP85 机盒式磁带程序插孔中。而后,分别以 x 值与 y 值输入体密度与灰分或体密度与发热量散点值。待全部散点值输入完毕后,指令 HP85 机作出回归直线。HP85 机作出回归直线的同时,给出相关系数 r^2 值,以示直线与点的拟合程度。

这里,首先要强调的是,化验资料应源于某一有限地区,且被确认为属同一煤层的资料。其次,有关体密度与灰分,体密度与发热量基本为线性关系这一点已为国内不少同志做的有关煤质回归分析或其他统计分析方法所证明。

HP85 机作出回归直线以后,仍是记忆这一信息的,即当你以 x 值输入给 HP85 机一个体密度值后,HP85 能根据已建立的线性回归方程输出对应的 y 值:灰分含量或发热量。

由于美国煤田测井中的密度测井实际上直接以岩、煤层的体密度值读出,即通过由密度块刻度值作为散点值作出的指数回归曲线,就能从密度测井中得到的计数率确定煤层的体密度值(经 $\bar{Z}/\bar{A}$ 校正)。而在建立了上述两个线性回归方程后(体密度与灰分含量及体密度与发热量),又能由煤层的体密度值确定煤层的灰分含量和发热量。这样,就可以从密度测井得到的计数率来确定煤层的密度、灰分含量和发热量,完成煤质分析的全过程。当然,这些工作在美国地质调查所丹佛煤炭分所全是由 HP85 小型电子计算机来完成的。

利用这种回归分析法,我们在美期间,对美国怀俄明州波德河盆地 80AU15 号孔史密斯煤层进行估算,其结果与化验室成果比较列于表 2。

表 2

深度(英尺)	灰 分 (%)		发热量(BTU/16)	
	化验	测井	化验	测井
698.0—708.0	15.07	15.52	8091	7598
713.5—724.5	3.78	3.84	9200	8650.25
725.1—726.7	4.39	3.78	8505	8605.70
729.0—744.0	3.74	4.41	8722	8598.93

一些美方私人测井公司,如古德韦尔公司就是利用这种分析法,先在怀俄明州吉莱特地区取得一些有代表性分布的钻孔中某些煤层的煤样化验成果后,作出只适用于该地区这一煤层的体密度与灰分和体密度与发热量(或灰分与发热量)的回归直线,为合同单位或其他有关私人公司作煤田测井煤质分析的。