

矿井测井技术及其应用

郭爱煌 (西安交通大学电子与信息工程学院 710049)

张福平 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 介绍了煤矿井下钻孔测井技术及其发展,并论述了应用无缆测井技术的矿井防爆测井系统及其在煤矿井下的实际应用。

关键词 矿井 无缆测井 应用

中国图书资料分类法分类号 P631.8

作者简介 郭爱煌 男 35 岁 高级工程师 博士研究生 电磁场与微波技术

1 引言

地球物理测井技术应用于煤田地质勘探,在我国已有 40 年的历史。以计算机为核心的数字测井技术的发展实现了高精度测井数据采集和测井资料的计算机自动解释与分析,极大地提高了测井解决地质问题的能力。80 年代以来,世界各主要产煤国家出于能源发展战略的长远考虑,不断改进开采工艺,开发勘探新技术,保障煤矿高产高效,一方面发展综合机械化采煤技术,另一方面从煤矿井下进行深部资源勘探。综采技术的发展,对煤矿采前探测技术提出了高要求,要求能定量地、全方位地预测足以影响综采工作正常进行的各种小型地质异常体和险情,做到精细勘探;深部资源的开采,则需要矿井下的勘探技术。作为勘探的重要手段测井技术,随着技术的发展,在各国研究人员的努力下,已成功地移植到井下,并得到了发展。

2 矿井测井技术

2.1 矿井测井的特点

国内外发展的矿井测井技术,其基本原理与地面测井一样,但在应用场所、探测范围、环境影响、测量目的、解释理论等方面,也存在很大的差别。

a. 矿井测井的首要条件是测井仪必须能在有瓦斯、煤尘的场所使用,即测井仪必须是防爆的。

b. 不像地面钻孔基本垂直岩层界面,矿井钻孔是全空间的,而为综采采前探测的钻孔一般都是顺煤层钻进的。矿井钻孔测井不仅在垂直孔中进行,而且也在水平孔、上仰孔、下倾孔中进行,且多为无水干孔。地面测井钻孔是垂直或近于垂直岩层界面,其径向是同一种岩性,在一定的条件下测量的是同一岩层物性的响应;而矿井水平或定向斜孔的径向随岩层的厚度不同及钻孔位置的变化而异,测量的

可能是一定范围内各岩层物性的综合响应。

c. 地面测井孔径变化是环境影响的主要因素,而矿井测井在水平或定向斜孔中仪器自然贴孔壁,孔壁垮塌、井眼不规则是环境影响的主要因素。

d. 地面测井的目的主要是划分钻孔地质剖面、确定目的层的深度和厚度;矿井测井除划分岩性外,往往需要进行层界面探测,确定钻孔上下岩层的厚度,判断钻孔在岩煤层中的位置。

e. 由于探测范围、环境影响、探测目的的不同,矿井测井解释不能照搬地面测井的解释方法,而要根据实际情况,研究以水平钻孔测井资料数值模拟与解释方法为主体的矿井测井资料解释体系。

2.2 矿井测井仪

2.2.1 存储式电缆测井系统(MINIKAR 防爆测井系统)

这种测井系统由匈牙利采矿研究所研制。系统共有 3 部分(图 1):第一部分为探管、电缆、铝合金管;第二部分为数据采集存储器;第三部分为地面数据处理系统。探管用直径为 3.6 mm 的电缆与存储器连接,电缆外套直径为 24 mm 的铝合金管,每根长 1.5 m,管上每隔 10 cm 刻记深度标志。探管由铝合金管推入钻孔,可测伽玛伽玛、自然伽玛、井温、井斜等参数,数据采集存储器最大可存储 1 000 点,如果测点距为 10 cm,则可存 100 m 的测井资料。地面

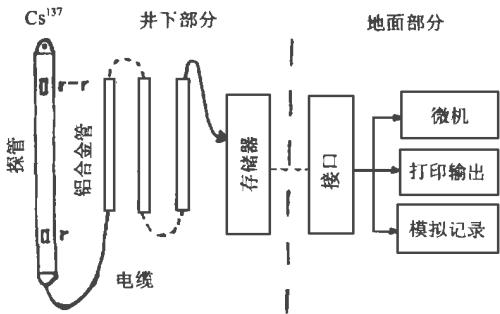


图 1 MINIKAR 防爆测井系统

上,存储器数据通过地面转换接口可直接输出曲线,也可以把数据通信到微机中。

2.2.2 双电缆测井系统(GMB-77 防爆测井系统)

该系统由西德 WBK 公司物探研究所开发,使用电缆可测 800 m 孔。采用井口密封孔内注水技术,除可进行放射性测井外,还可进行井径、视电阻率、声速测井。在垂直孔内测井,和地面测井一样;而在水平孔、定向斜孔中采用水冲孔底抛锚,电缆通过锚上的转向滑轮引到孔口牵引探管进行测井(图 2),测井数据通过电传输到孔口微机,由微机显示并记录在磁带上。磁带数据在地面处理和绘制成果图件。

2.2.3 无缆测井系统

MINKAR、GMB-77 两种测井系统都未摆脱地面测井的思想,即使用电传输信号。在矿井中测井使用电缆,技术复杂,要求高,而且十分不便。为克服这种不足,我国煤炭科学研究总院西安分院和西德 GEOCOM 公司在 80 年代中期,研制了无缆测井系统。该系统采用的无缆测井技术被专家认为是当代国际最先进的测井方案。

无缆测井系统的设想基于气象探空气球、探测卫星的回收。系统井下仪器分两部分,第一部分是探管,第二部分是同步机和测深装置(图 3)。探管和同步机有各自的电源、单片机系统,并由单片机系统控制各自的工作流程。探管和同步机采用同样的晶振频率,以便使其工作时钟一致。工作前,探管和同步机用短电缆线相连,由同步机的键盘操作,使探管和同步机“同步”开始工作,然后拆开短电缆连线,把探管拧在钻杆上,由钻杆送入孔中。钻杆运行带动测深光电码盘,光电码盘的信号由短电缆线传输到同步机。测井开始后,探管记录钻孔测量数据,而同步机同步记录深度。测量完成后,从钻杆上取下探管,用短电缆线连接同步机和探管,把探管的数据通信到同步机中,与同步机的深度信号比较,经去伪存真处

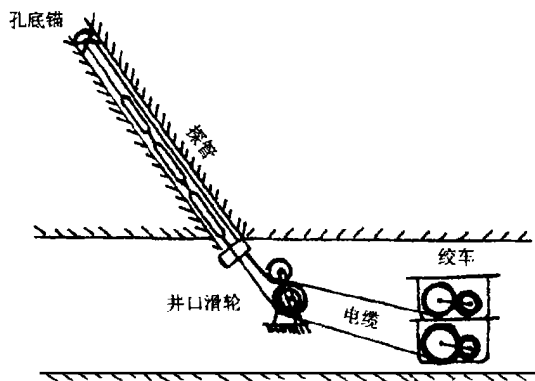


图 2 GMB-77 防爆测井系统

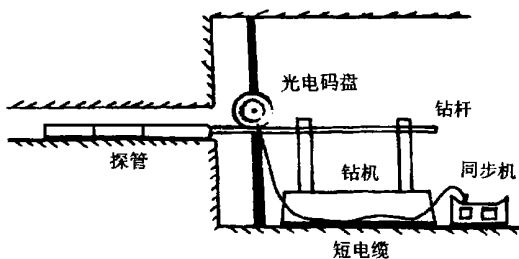


图 3 无缆测井系统

理,即获得深度与测井数据一一对应的数据文件。到地面后通信到微机,即可得到测井成果图。

3 矿井防爆测井系统

该系统是煤炭科学研究总院西安分院 80 年代中期研制,并经过十多年不断完善的矿井钻孔测井系统,已成功地应用于煤矿生产、安全等领域。系统应用无缆测井技术,采用单片机控制、数据采集处理,适用于煤矿井下水平孔、定向斜孔、垂直孔测井。系统由全方位钻孔测斜仪、选择伽玛测井仪、密度测井仪、准直自然伽玛测量仪等组成。每一种仪器都包括用可充电电池供电的探管和同步机两部分,备有共用的深度测量装置。

3.1 全方位钻孔测斜仪

全方位钻孔测斜仪是通过测量大地重力场和磁场来确定钻孔倾角和方位角,由于采用了 3 个相互正交的重力加速度计和 3 个相互正交的磁力计作为测角和测向传感器,使得全方位钻孔测斜仪实现了全空间钻孔测量。

测斜仪主要由 3 部分组成,即信号测量、模数转换、数值计算。由探管完成 3 路测角信号和 3 路测向信号的定时定点测量及模数转换,同步机完成测点有效性判别及数值计数、结果显示。数值计算首先是建立测斜仪在不同倾斜状态下重力加速度计和磁力计的模拟信号经模数转换后的数值与测量角度的关系,得出数值计算方程,并应用无约束条件下的多元互数寻优方法,对信号测量的传感器轴系不正交、不重合等进行校正,使测斜仪达到给定的测量精度(倾角为 $\pm 0.1^\circ$;方位角 $\pm 1.0^\circ$),得出校正方程。在实际测量时,根据上述数值计算和校正方程,由重力加速度计和磁力计的实测数值,即可计算出钻孔倾角和方位角。

3.2 选择伽玛测井仪

选择伽玛测井仪测量选择伽玛伽玛、自然伽玛、接地电阻 3 种参数。

选择伽玛伽玛测井是适应干孔灵敏度低,以煤测井需要对煤层夹矸进行精细测量而提出来的低能

量(Am^{241})短源距(18 cm)的测井方法。这种方法放射源主要测量伽玛射线与煤岩层的光电效应,而光电效应与物质的原子序数 Z 的 4 次幂成正比。由于煤的主要成分碳的 $Z=6$,而岩石平均有效原子系数 $Z>13$,因此这种方法能特别有效地划分煤层与夹矸。自然伽玛测井主要用于划分地层和判别煤中泥质的含量,在干孔测量中有较好的效果。接地电阻只有在钻孔充水的条件下才能测量,由于这种条件煤矿井下往往难于满足,因此使用不多。

3.3 密度测井仪

密度测井仪测量岩石密度、自然伽玛两种参数。密度测量是采用 Cs^{137} 放射源、单源距。考虑到矿井钻孔以水平孔、定向斜孔为多,仪器自然贴壁,因此对源及接收器均采用上面单面屏蔽、贴壁面准直定向发射和接收伽玛射线技术,取得了良好的测量效果。综合密度和自然伽玛曲线能准确判别不同岩层、判别煤质。

3.4 准直自然伽玛测量仪

准直自然伽玛测量仪是采煤机自然伽玛导向仪的延伸与发展。仪器采用两个性能一致的自然伽玛射线测量传感器,并分别用重金属屏蔽上半部分和下半部分,以便在顺煤层钻孔中定向地接受来自煤层底板或顶板的经过煤层吸收和衰减的自然伽玛射线强度,计算钻孔距煤层顶板或底板的距离,对钻孔在煤层中的位置进行监测。

这种仪器的应用条件是顶、底板岩层与煤层有较明显的自然放射性差异,这在大多数煤矿是满足的。另外,这种仪器探测厚度的范围也是有限的,一般在 $0\sim40\text{ cm}$ 。好在对顺煤层钻进监测的目的不是探测煤层厚度,而是确定钻孔在煤层中的位置,因此准直自然伽玛测量仪是顺煤层钻井监测有效和实用的一种仪器。

4 矿井防爆测井系统的应用

4.1 钻孔轨迹确定

矿井钻孔许多是为定区域抽放瓦斯,定层位抽放岩层压力水,构造探测及巷道之间贯通而施工的,因此钻孔轨迹的确立十分重要,不仅判别钻孔是否达到设计要求,而且对地质异常体的定位、层位的识别等都必不可少。图 4 是矿井防爆测井系统测斜仪测量的某受控定向钻进的钻孔大地坐标系下的空间轨迹图。

4.2 顺煤层钻进监测

顺煤层钻进监测主要是确定钻孔轨迹和钻孔在煤层中的位置。确定钻孔轨迹通过测量钻孔倾角和

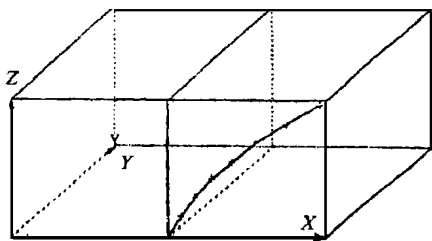


图 4 钻孔空间轨迹图

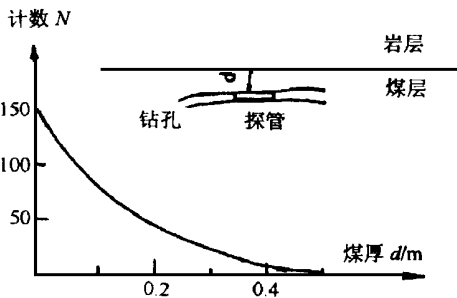


图 5 自然伽玛计数与煤厚关系图

方位角即可完成;确定钻孔在煤层中的位置,矿井防爆测井系统中采用的是准直自然伽玛测量仪。

图 5 是大同某矿顺煤层钻进探测地质异常体试验的准直自然伽玛计数与煤厚的关系。通过 3 个钻孔的实际应用表明,这是一种判别钻孔在煤层中位置的有效方法。

4.3 矿井井下深部勘探

矿井井下深部勘探测井与地面测井一样,主要是划分钻孔地质剖面,确定煤层深度、厚度、结构。图 6 是某煤矿的应用实例,自然伽玛和选择伽玛伽玛曲线对煤层结构都有较好的反映;钻孔施工过程中掉入孔中位于煤层上方的套管和因打捞套管而形成的破碎带也能清楚地反映出来。

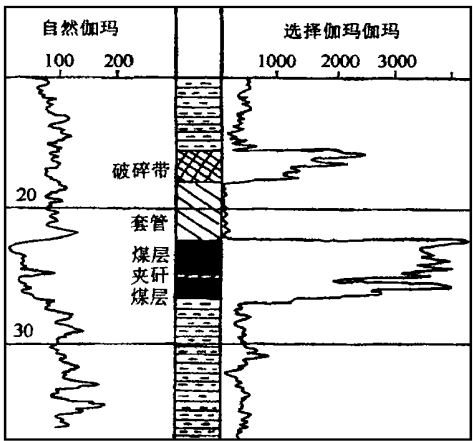


图 6 矿井井下测井实例

用 钻 进 参 数 仪 实 时 判 层

滕子军 (山东煤田地质局 泰安 271000)

摘要 利用钻进参数仪采集的各岩石的钻速、钻压、转速 3 个参数数据进行回归分析, 计算各种岩石的视可钻性指数, 并在钻进中实时判层。

关键词 钻进参数仪 钻探参数 实时判层

中国图书资料分类法分类号 P634.9

作者简介 滕子军 男 33 岁 工程师 钻探工程

1 引言

钻探过程中随时了解孔内岩石情况对指导钻探生产有着重大意义。目前钻机操作者仅凭经验判层, 这种方法常常造成误判。

我们利用钻进参数仪(简称钻参仪) 采集数据, 发现这些数据之间的关系能反映岩石的抗破碎属性。若通过分析这些数据之间的关系, 找出反映岩石抗破碎属性的常数就可以在钻进中实时判层。

2 实时判层的思路及视可钻性指数的算法

每种岩石的单位体积破碎功是不同的。在标准条件下, 某种岩石单位体积的破碎功(无论是冲击、切削、磨削) 是一定值, 它能反映岩石抗破碎的属性, 或者说破碎比功能反映岩石的物理特性(硬度、强度、胶结性等) 。

设岩石的破碎总体积为 W , 则其能量平衡方程可写成:

$$WA = Et, \quad (1)$$

式中 A —— 破碎比功;

W —— 破岩体积;

E —— 破岩消耗功率;

t —— 破岩消耗时间。

因破岩消耗的功率与扭矩 M 和转速 N 成正比, 所以

$$E = K_1 MN;$$

又因扭矩与钻压 p 成正比, 即 $M = K_2 p$, 所以

$$E = K_1 K_2 p N, \quad (2)$$

式中 p —— 钻压;

$K_1 K_2$ —— 系数。

又因破碎总体积取决于钻头底面积 S 、钻速 v 及破岩时间 t , 所以

$$W = Svt. \quad (3)$$

将(2)、(3)式代入(1)式得:

$$SvtA = K_1 K_2 p N t,$$

即 $v = (K_1 K_2 p N) / (SA)$ 。

由于 K_1 、 K_2 、 S 、 A 都是常数, 令 $K = (K_1 K_2) / (SA)$, 由此可写成

$$v = Kp N. \quad (4)$$

5 结束语

矿井测井技术, 在各国研究人员的努力下, 仪器研制、解释方法等方面取得了不少成果, 为煤矿生产、安全解决了许多实际问题, 但与地面测井相比, 无论是测井方法、解释理论和设备优化都存在较大差距, 还有许多工作需要做。

参考文献

- 1 缪奋. 跨世纪的煤矿勘探新技术. 煤田地质与勘探, 1995; 23(4)
- 2 郭爱煌. 矿井全方位钻孔测斜技术. 煤田地质与勘探, 1994; 22(4)
- 3 魏世新, 郭爱煌. 矿井防爆测井系统的研究及其应用. 煤炭科学技术, 1994

(收稿日期 1999-05-11)

UNDERGROUND MINES LOGGING TECHNIQUE AND APPLICATION

Guo Aihuang (Xi'an Jiaotong University, Microwave and Optical Communication Institute)

Zhang Fuping (Xi'an Branch, CCRI)

Abstract In the paper, the underground mines logging technique and development have been recommended. And the mine explosion-proofing logging system with the nothing cable logging technique and practicality application in underground mines have been discussed.

Keywords underground mines; nothing cable logging; application