

文章编号:1000-582X(2002)09-0113-04

非油气 γ 能谱测井信号沿长电缆传输*

魏彪¹, 贾文懿², 刘述成³

(1. 重庆大学光电工程学院, 重庆 400044; 2. 成都理工大学三系, 成都 610059; 3. 西南石油局测井公司, 成都 610010)

摘要:应用于煤田、金属矿和非金属矿及工程地质等勘探的非油气 γ 能谱测井仪, 其设计与应用于油气田勘探的 γ 能谱测井仪是不同的。针对我国非油气 γ 能谱测井仪研究未有突破性进展的现实, 在充分比较国内外非油气 γ 能谱测井仪几种研制方案的基础上, 提出了一种测井信号沿长电缆以电流脉冲模拟方式传输的方案, 并对此开展了试验研究。试验结果表明取得了较满意的成果, 可为小型化、轻便型的非油气放射性 γ 能谱测井仪的研制提供一种新的途径。

关键词:非油气; γ 能谱测井仪; 电流脉冲模拟传输

中图分类号:

文献标识码:A

测井信号沿长电缆传输, 是研制非油气放射性能谱测井仪的关键技术问题之一。我国用于非油气测井工作, 如勘探煤田、金属和非金属矿等固体矿产的小口径(直径 $\varphi \leq 60$ mm)、轻便型(重量 $W \leq 15$ kg)放射性 γ 能谱测井仪, 还有诸多关键问题尚未解决好, 如: (1) 测量精度问题; (2) 稳谱技术问题; (3) 信号沿长电缆传输问题; (4) 轻便化问题; (5) 微机化问题, 等等^[1,2]。因此, 本文结合有关科研项目, 对适用于小口径钻孔(非油气)放射性 γ 能谱测井仪的信号沿长电缆传输, 开展了有关研究工作。

1 方案选择

测井信号沿长电缆传输, 主要有模拟信号和数字信号两种传输方式, 究竟采用何种传输方式, 则直接与测井仪采用怎样的结构方案有关。在早期, 非油气放射性 γ 能谱测井仪的结构, 是采用图 1 所示的结构方案^[3-6]。由图 1 可见, 此时井下信号是采用模拟信号沿长电缆传输至地面工作台之中的, 即, 井下仪器(探管)对信号不作 A/D 转换等数字处理, 数字处理等工作由井上工作台完成的。其主要特点是: 井下仪器电路及结构均较简单。但是, 因是采用电压脉冲模拟传输的信号传输方式, 故测井信号经长电缆传输后, 信号的衰减、加宽、反射和干扰等影响很大, 使信/噪比降低, 这对放射性 γ 能谱测井仪的能谱分析工作是十分

不利的。其后, 约在 1975 年^[7-9], 斯伦贝谢测井公司研制成了数字式放射性 γ 能谱测井探管, 即, 在井下仪器(探管)电路中, 对信号进行 A/D 转换等数字处理, 测井信号采用数字方式经长电缆传送至井上工作台, 其结构如图 2 所示。此种测井仪在油气田勘探的大口径(直径 $\varphi \geq 100$ mm)放射性 γ 能谱测井工作中得到了广泛的应用。

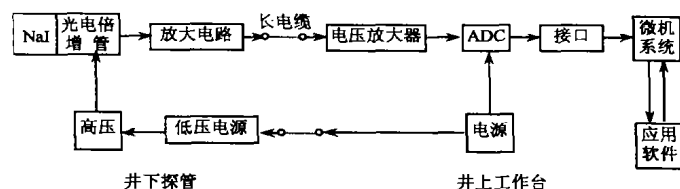


图 1 γ 能谱测井仪结构方案之一

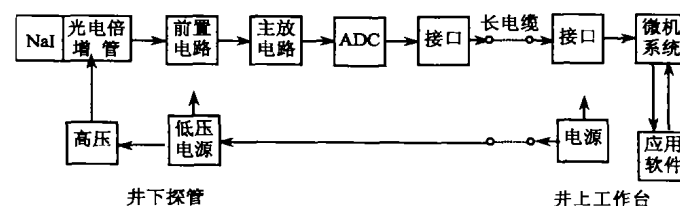


图 2 γ 能谱测井仪结构方案之二

在原理上, 虽然非油气 γ 能谱测井仪与油气 γ 能谱测井仪相似, 但在设计上, 因其用于不同的环境与目的, 故二者通常情况下是不可互换的, 下井仪器(探管)的尺寸差别很大。一般而言, 对于非油气测井工作, 口

• 收稿日期: 2002-04-10

基金项目: “春晖计划”项目资助(教外司留[1999]95)和国土资源部攻关项目资助(8505010)

作者简介: 魏彪(1963-), 男, 浙江桐乡人, 重庆大学副教授。主要研究方向为核技术及其应用。

径小(直径 $\varphi \leq 60$ mm)、井深浅(≤ 1000 m),若将脉冲信号经处理后以数字方式沿测井长电缆传输,势必造成井下仪器(探管)的电子学线路复杂化,这对应用于小口径的非油气放射性 γ 能谱测井仪,未必是最佳的研制方案。

为此,我们所采取的研究方案是:测井信号沿长电缆采用电流脉冲模拟传输方式。这既可克服图 1 中采用电压脉冲模拟传输时,信号衰减大、抗干扰能力差等的不足;还可避免图 2 中采用数字传输时,“微机”(单片机)下井造成井下探管内电路复杂,未能充分发挥非油气测井工作特点等的优点。采用电流脉冲模拟传输方式的非油气 γ 能谱测井仪,其结构则如图 3 所示。

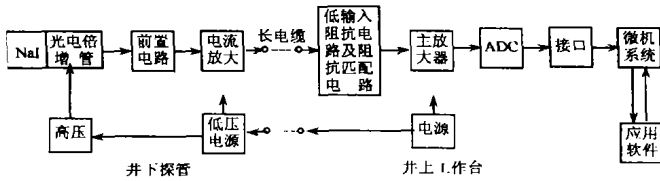


图 3 非油气 γ 能谱测井仪结构示意图

非油气放射性 γ 能谱测井仪,采用图 3 之结构,其优点在于:

(1) γ 能谱测井仪易于研制成小型化、轻便化,因为测井信号采用电流脉冲模拟传输方式,可使探管电路及结构简单,于研制轻便型的 γ 能谱测井仪有利。

(2) 易于改造现有的 γ 测井仪,使其实现“能谱化”,采用电流脉冲信号模拟传输方案,仅需将现有探管电路稍作改动并配接所研制的井上工作台,现有的 γ 测井仪便可进行能谱测量,降低了成本,利于推广应用。

(3) 井上工作台中的信号输入电路为低输入阻抗电路,而非电压放大器,使其阻抗易与测井电缆之特性阻抗相匹配,便于接收井下经测井长电缆传输后的电流脉冲信号,使信号的衰减及反射等降低到最低水平。

2 试验研究

模拟信号之所以采用电流脉冲传输方式,是因为信号脉冲沿测井长电缆以电流脉冲方式传输时,可以认为信号是不会衰减或衰减很小;而信号脉冲沿测井长电缆以电压脉冲方式传输时,则脉冲信号的衰减严重。图 4 所示为脉冲信号沿长电缆不同传输方式的实验结果^[10]。

根据均匀传输方程,取长为 dx 的电缆,其电压和电流的关系为^[11]:

$$\frac{d^2 U}{dx^2} - r^2 U = 0 \quad (1)$$

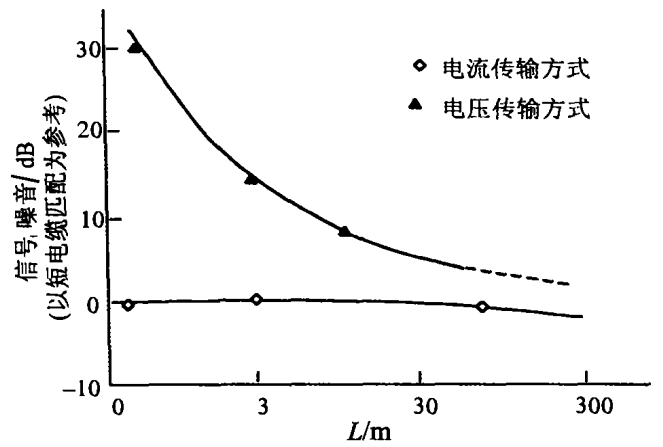


图 4 脉冲信号沿长电缆不同传输方式比较

$$\frac{d^2 I}{dx^2} - r^2 I = 0 \quad (2)$$

式中, $r = [(R + j\omega L)(G + j\omega C)]^{1/2} = \alpha + j\beta$, R 、 L 、 G 和 C 分别为电缆单位长度的电阻、电感、漏电导和电容, α 为衰减系数; β 为相移系数。

由于 R 和 G 的存在,使信号沿长电缆传输时均是衰减的。 α 愈大,衰减愈快,因此应选择波阻抗较小的电缆。 β 决定信号延迟即加宽的大小,利用此性质可测试电缆的有关特性。式(1)、(2)的通解为:

$$U = A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \beta x) + A_2 e^{\alpha x} \sin(\omega t + \beta x) \quad (3)$$

此式的物理意义是:前项为脉冲入射波,后项为反射波。因此,由于反射波的存在,使信号沿长电缆传输时产生干扰,故须对其进行研究,采取有关合理的措施。

由上述式(1)、(2)及(3)可见,信号沿长电缆传输时,存在着衰减系数 α 、相移系数 β 及反射波,因此信号在长电缆中传输时,将遇到的问题是(1)信号被衰减;(2)信号被加宽;(3)信号产生反射;(4)信号受到干扰;等等。

通常,测井电缆不可能是理想的传输线。从频率特性上看,其可视为有一定带宽 Δf 的传输媒介,如图 5 所示。

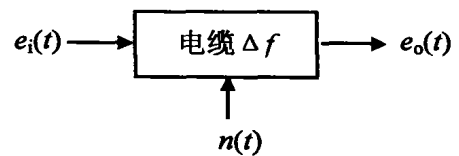


图 5 电缆等效模型示意图

图中, $e_i(t)$ 为输入信号, $e_o(t)$ 为输出信号, $n(t)$ 为干扰噪声。一般地,传输的信号上升时间 t_r 愈快,则对电缆的带宽 Δf 愈宽,二者的近似关系为: $\Delta f = 1/3 t_r$ 。可见,测井电缆的带宽或频率特性,可以用所传输的脉冲信号上升时间估算之,实际工作中,能方便地求

得某种型号电缆在一定长度下的 t_r 值。因此,当测井电缆的频率特性及信号本身的脉冲宽度为一定时,测井信号能否自井下沿测井电缆以模拟方式可靠地传输到地面,主要取决于信号沿长电缆传输时出现的衰减、加宽、反射及干扰等能否很好地加以解决。

对于信号以电流脉冲方式沿长电缆传输时的衰减问题,我们在井下探管电路中,将脉冲信号适当展宽后再进行传输,即将 γ 射线约 $1 \sim 2 \mu\text{s}$ 的脉冲信号展宽至 $10 \mu\text{s}$ 左右,从而使信号沿长电缆传输时的衰减得到一定程度的克服。脉冲信号沿长电缆传输时,信号将被加宽。研究表明,当脉冲宽度等于上升时间 t_r 时,该脉冲信号就能可靠地沿长电缆传输;电缆长度不同,则 t_r 值也不尽相同,且 $t_r \approx t_{r1} \times (L)^{1/2}$ 。其中, t_{r1} 为电缆长度 1 km 时之上升时间, L 为欲求该电缆之长度。根据实测并由上述 t_r 值估算公式,得到电缆长度 1 500 m 时,信号沿长电缆传输前、后的加宽 $\Delta t = 9 \mu\text{s}$,其加宽也小于 $10 \mu\text{s}$;况且,非油气测井工作井深浅,测井电缆一般 $\leq 1\ 000$ m,信号被加宽仅约为 $5 \mu\text{s}$ 左右,因此,信号以电流脉冲方式沿长电缆传输时的加宽问题,对测量精度影响较小。对于信号以电流脉冲方式沿长电缆传输时的反射问题,我们借助于低输入阻抗电路的特点,采取了终端匹配方法,较好地消除了反射现象。测井信

号沿长电缆以模拟方式传输,将受到各种不同的干扰,如传输线间影响而产生的干扰等,我们采取严格的屏蔽措施及低输入阻抗电路配以电缆终端匹配等技术,有效地抑制或减少测井信号沿长电缆传输时的干扰或噪声。

在研究过程中,由于采用了电流脉冲模拟传输方案,且采取了有效的措施,使模拟脉冲信号沿长电缆传输时出现的信号衰减、反射及干扰等问题得以较好的解决,获得了令人满意的结果,这些结果如图 6 - 9 所示。由图 6 及图 7 可见,信号经 500 m 传输前、后,放射源 ^{137}Cs 的 γ 能谱曲线,谱线的形态几乎没有发生变化,能量分辨率也未变差,其分辨率均约在 12% 左右;同时看出, ^{137}Cs 的 γ 射线特征峰峰面积效率、峰总及峰谷比等,也十分接近。从图 8 及图 9 也可见, U 、 Th 矿石的 γ 射线特征峰,如 γ 射线能量为 1.76 MeV 及 2.62 MeV 的特征峰,经 500 m 长电缆传输后,不仅特征峰明显,且在峰面积效率上影响不大。由于峰面积效率直接决定了 γ 能谱测井仪的测量精度,可见,测井信号经 500 m 长电缆传输前、后,其峰面积效率上的甚小影响,对非油气放射性 γ 能谱测井工作十分有利。试验结果表明,测井信号采用电流脉冲模拟传输方案,是可使非油气放射性 γ 能谱测井仪满意开展有关测井工作的。

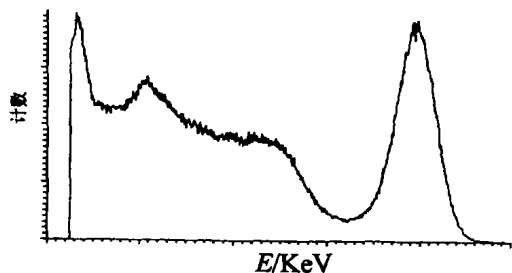


图 6 经 500 m 传输前的放射源 ^{137}Cs γ 能谱曲线

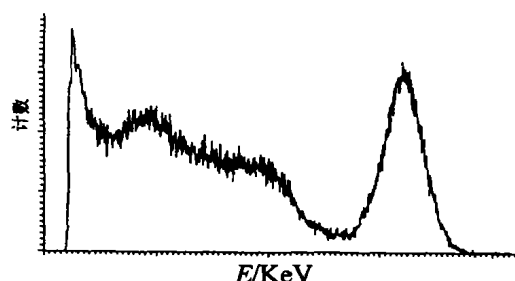


图 7 经 500 m 传输后的放射源 ^{137}Cs γ 能谱曲线

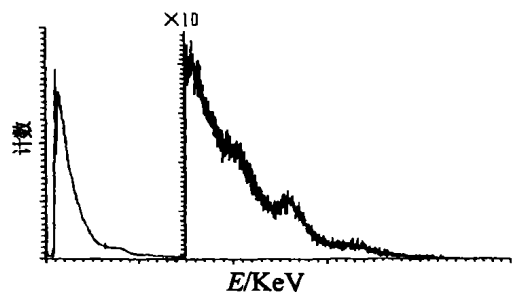


图 8 经 500 m 传输后的 U 矿石 γ 能谱曲线

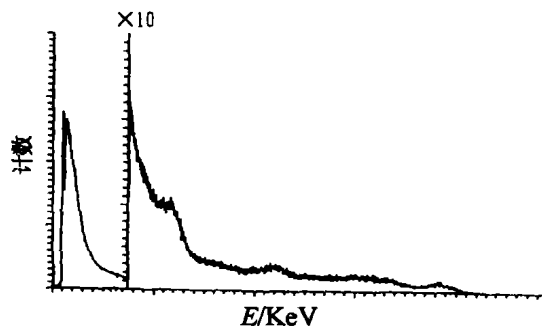


图 9 经 500 m 传输后的 Th 矿石 γ 能谱曲线

3 结束语

限于实验室条件,笔者未能进行更长距离的试验,

然而从研究结果可以看出,测井信号采用电流脉冲模拟传输方案,较之于电压脉冲模拟传输方案,更易克服或消除信号沿长电缆传输时产生衰减、加宽、反射及干

扰等的影响。较之于“单片机”下井的数字传输方案,则能简化井下仪器即探管内的电路及结构,易利于研制成小型化、轻便型的非油气放射性 γ 能谱测井仪。因此,本项研究工作,为研制适合我国国情的非油气放射性 γ 能谱测井仪提供了一种有效的途经。

参考文献:

- [1] 贾文懿.核地球物理仪器[M].北京:原子能出版社,1998.
- [2] 魏彪,贾文懿.轻便型 γ 能谱测井仪几个关键技术问题的探讨[J].核技术,1998,21(1):5-10.
- [3] SALAMON B. The Present State of Scintillation Counting Technique in Nuclear Well Logging[J]. The Log Analyst, 1975, XV11(6):1 180-1 195.
- [4] 方沐译.非油气测井[J].国外测井技术,1992,7(6):52-63.
- [5] KILLEEN P G. Borehole logging for uranium by measurement of natural gamma radiation - a review[J]. International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 2000, 42(1): 231-260.
- [6] MIWA H, TOHYAMA T. Radiation Pulse Transmission Via A Long Cable Without A Peramplifier and/or A Pulse Transformer [M]. Nuclear Electronics (II), International Atomic Energy Agency, Vienna, 1962.
- [7] 庞巨丰.现代核 γ 能谱测井技术[M].西安:西安石油学院,1991.
- [8] MWENIFUMBO C J. Temperature logging in mineral exploration. Journal of Applied Geophysics[J]. 2001, 38: 297-313.
- [9] CARNEVALE, MARIO. Geophysical Borehole Logging As An Exploration Tool for Tunnel Design[A]. 37th Annual Meeting: General Information for this Meeting[C]. 2002: 25-27.
- [10] 张连文.脉冲信号沿长电缆传输的研究[J].核电子学与探测技术,1984,4(4):267-272.
- [11] 高桥敏郎.通讯系统与传输方式[M].北京:人民邮电出版社,1976.

Non - oil Spectral Gamma - ray Logging Signals Transmission via a Long Cable

WEI Biao¹, JIA Wen - yi², LIU Shu - cheng³

(1. Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. 3rd Department of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. Well Logging Co. of Sothenwest Oil Bureau, Sichuan 610010, China)

Abstract: Compared with spectral gamma - ray tool applied to exploration for oil - gas field, the design of non - oil spectral gamma - ray tool is different, which is applied to such exploration as coal field, metal ore or non - metal ore, and engineering geology, etc. This paper puts forward a method of spectral gamma - ray logging signals transmission via a long cable in form of analogue, and some experiments have been made out. The results of the experiment show that signals transmission via a long cable in form of analogue is a new method for designing spectral gamma - ray logging tool.

Key words: non - oil; spectral gamma - ray logging tool; radiation pulse transmission via a long cable

(责任编辑 张小强)