

地下水同位素示踪仪

陈建生 方 杰* 杜国平

(江苏省农业科学院原子能研究所, 南京 210014)

本文简要描述同位素示踪仪的设计原理。介绍了一种三芯测井电缆同时传递多个计数管脉冲信号的电路设计。单片机软件实现低功耗液晶多路显示电路设计也有创新。

关键词: 示踪 地下水 流向 流速 点稀释法

一、前 言

单井中测定地下水流速、流向、垂向流等参数的同位素示踪仪已受到水文地质、水利及煤田等各领域的高度重视。利用接杆方式的流速流向仪,由于节杆的影响在应用时受到限制。我们于1986年设计了使用热释光探测器(TLD)和直读电离室(IC)的可测深层地下水的流速流向仪^[1]。为了使测量更准确、读数更方便、快速,我们从1987年起一直从事计数管型同位素示踪仪的研制。该仪器保留了TLD和IC型流速流向仪的先进设计思想,例如用6个探测器同时进行流向、流速测量,荧光照相定方位等;同时带有专门设计的用一根信号线同时传递多个探测器脉冲信号的电路。

二、示踪仪设计原理

同位素示踪仪由探头、电缆、投源器和仪表等组成。探头为组合形式,即可以组成流向

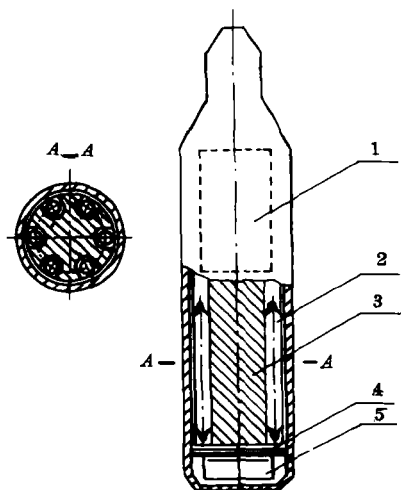


图1 流速流向探头

1. 元件板 2. G-M管 3. 铜柱 4. 相纸 5. 定位罗盘

Fig. 1 Flow velocity and direction probe

1. Electric circuit 2. G-M tubes 3. Copper column
4. Photographic paper 5. Compass

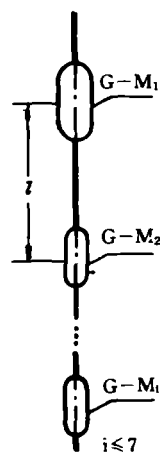


图2 串联探头

Fig. 2 A series of probes

流速单点测量探头(见图 1), 又可组成串联型多点测量流速探头(见图 2)。两种探头采用相同的电路和接收仪表。放射性同位素采用 ^{31}I 。每次投源量为 0.37—3.7 MBq。

1. 多探测器接收电路原理

在进行单点流速、流向测量或多点流速测量时, 采用 6 个计数管对井中不同位置进行示踪放射性同位素活度测定。6 个 G-M 管被安置在流速流向探头内, 或串联型流速探头中。传统的仪器每一个计数管信号用一根信号线传送到地面仪表, 这就需要 6 芯电缆线传送信号。6 芯信号线必须单独屏蔽, 以免相互干扰。测井 6 芯电缆一般长几百米, 价格昂贵。为此我们设计了一种用一根信号线传递 6 个计数管信号的输送、接收电路(如图 3 所示)。

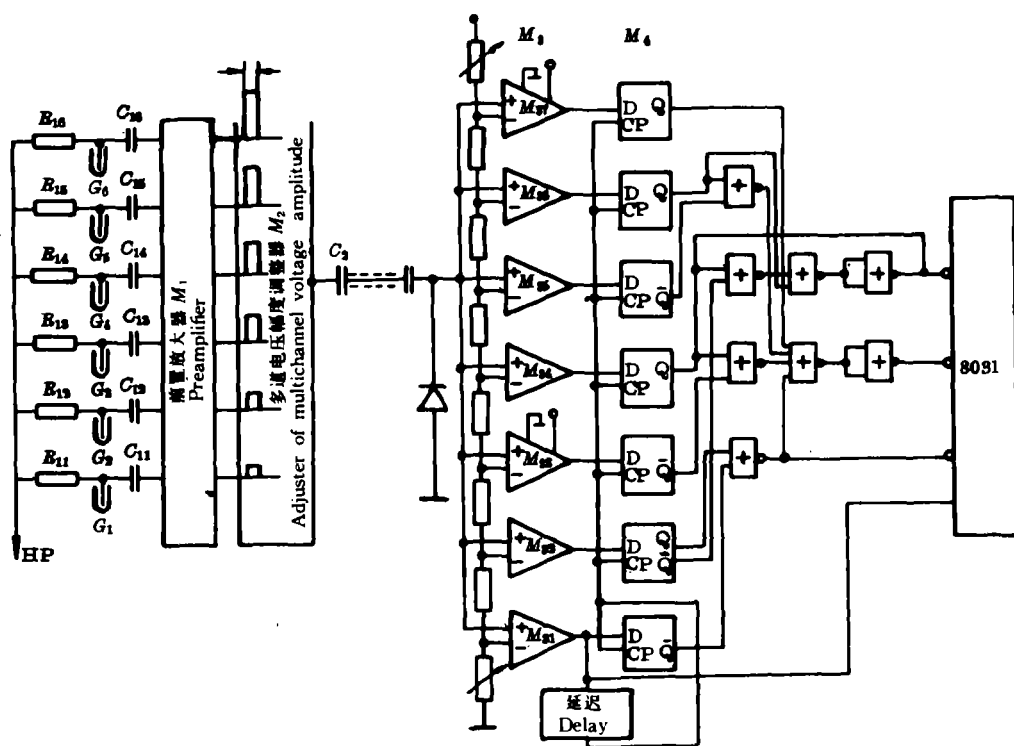


图 3 接收电路原理

Fig. 3 Principle of recept or circuit

G-M 管产生的电信号经电容 $C_{li}(i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 衰减后, 再经反向器和比较器组成的前置放大器 M_1 , 输出宽度为 $10\mu\text{s}$ 的矩形波。 $R_{li}(i=1-6)$ 选择在 2—5 MΩ 时, G-M 管的脉冲信号经过两个 R_{li} 电阻衰减后, 其脉冲幅度 $\leq 0.2\text{V}$, 这样就确保不使其它的 M_1 有信号输出, 从而起到了隔离作用。由 M_1 输出的矩形波经过多道电压幅度调整器 M_2 , 将矩形信号调整为一组不同电压的脉冲信号(见表 1)。

各路输出信号被送到信号线, 再经电容 C_2 送入电缆线。

表1 一组不同电压的脉冲信号数据

Table 1 Data for a group of pulse signals with different M_2 values

计数管 Tubes	状 态 State																
	M_1						A/D 转换 A/D transformation						逻辑门译码输出 Logical translation				
	$M_{16}M_{15}M_{14}M_{13}M_{12}M_{11}$						$M_2(V)$						$M_{36}M_{35}M_{34}M_{33}M_{32}M_{31}$			$A_2A_1A_0$	
G_6	1	0	0	0	0	0	3.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
G_5	0	1	0	0	0	0	2.5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G_4	0	0	1	0	0	0	2.0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
G_3	0	0	0	1	0	0	1.5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
G_2	0	0	0	0	1	0	1.0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
G_1	0	0	0	0	0	1	0.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

信号经电缆传递到地面仪表后, 经基线恢复器送入快速并联型多道分析器。它是由电压比较器 M_3 构成, 由 M_3 输出的信号经 M_4 的 DQ 锁存器进行数据暂存。该暂存器信号经逻辑门电路变成了三位信号送给单片机 8031。6 个 G-M 计数管信号经过 M_1-M_4 及逻辑门译码后的模拟信号及数字信号见表 1。

从 M_{31} 输出端取一信号送到 8031 单片机申请中断。该信号的另一路经延时处理后作为 DQ 锁存器的 CP 信号, 将 M_3 的输出信号锁存在 M_4 中。8031 单片机接收到中断申请后, 首先对现行工作程序进入堆栈保护, 然后将 $A_0 A_1 A_2$ 三位数据信号读入 8031 系统进行数据处理, 将 6 个 G-M 管的探测信号分别存入 1—6 号暂存器, 并将 6 个 G-M 管的总计数存入暂存器 8 中, 液晶显示暂存器 8 中总计数内容, 8 中每增加一个计数, 蜂鸣器响一声。由中断到中断响应的时间一般需要 3—5 个机器周期, 晶振选用 2 MHz, 响应时间一般为 10—25 μ s。每个 G-M 管的死时间约 100 μ s, 经 M_1 阻抗转换输出后的矩形波脉冲宽度仅为 10 μ s。6 个 G-M 管在信号线中的死时间只相当于一个 G-M 管的死时间, 这就大大提高了总计数效率。

每次测量时间为 64 s, 测量结束后按显示键可将 1—8 暂存器内容逐一显示。按流向键可计算出流向值并显示。复位后第二次测量开始。

2. 流向流速型单点式探头

该探头是测定井中地下水的渗透流速和水平流向 (结构见图 1)。在井中无垂向流时, 放射性示踪剂在井中的稀释满足稀释定理^[2]

$$V_f = 1.81d/\alpha t_{1/10} \quad (1)$$

式中, v_f 是渗透流速; d 是井滤管直径; α 是校正系数; $t_{1/10}$ 是放射性示踪剂的浓度降低到 1/10 所需要的时间。

放射性示踪剂随着地下水流的运动, 在井中及含水层中逐渐形成不均匀的分布。水流补给方向的浓度最低, 水流方向的浓度最高。6 个 G-M 管被安置在探头中的 6 个方位, 相邻两个 G-M 管的夹角为 60° , 探头中心是一铅柱 (或铜柱), 用以屏蔽其它方向来的 γ 射线。根据 6 个 G-M 管测量到的数值进行作图或计算, 即可得到相对流向。定方位的指南针安置在探头的最下面, 通过它可以得到探头在井中的方位^[3], 与相对流向比较计算, 就可得到地下水的实际流向。

将 6 个 G-M 管的几何位置对称安排, 可接收到 360° 范围的 γ 射线。因此, 可以把 6 个 G-M 管的总计数当作一个 G-M 管的计数来使用, 总计数率随时间的下降应满足 (1) 式, 所以在同一次测量中就可以测到流向和流速。

3. 串联型流速探头

串联型流速探头既可用于多点水平流速的测定, 又可用于垂向流速的测量(结构见图 2)。高压发生器、前置放大器 M_1 、多道电压幅度调整器 M_2 都放置在最上端的探头中。探头外径为 40 mm, 内有元件板和一个 G-M 管。另外几个 G-M 管安装在外径为 30 mm 的探管中, 用电缆串联在主探头之下。

当井中有垂向流时, 可以用串联型探头测量垂向流速 V 。通常采用峰-峰法。将放射性核素投放在串联型探头组的中部, 该放射性核素将随垂向流速运动, 依次经过探测器 C、B、A 或 D、E、F, 用示踪仪记录下每个探测器接收到的计数率随时间的变化曲线。在曲线上找出峰值所在位置对应的时间 t_C 、 t_B 、 t_A 或 t_D 、 t_E 、 t_F 。已知两相邻探头之间的距离 l , 则垂向流速 V 为

$$V = l / (t_B - t_C) \quad (2)$$

流向流速型探头同串联型探头, 可分别与一个三芯插头连接。三芯电缆包括: 9 V 电源线、地线和信号线。探头转换后, 仪表单片机暂存器的内容 1—6 为串联型探头组 G-M 管的计数率。在进行多点水平流速或垂向流速测定时, 需启动不同的管理键, 由不同的软件进行数据获取和处理。

三、现场测试

刘家梁矿是轩岗矿务局受煤系地层基底奥灰岩溶水严重威胁的矿井之一, 1983 年投产以来, 连续发生四次底板突水事故, 直接影响煤炭生产和矿井开拓延伸。为了查清岩溶水渗流

表 2 水平渗透速度及流向数据

Table 2 Data for horizontal permeable flow velocity and direction

孔 号	测试层位	测试深度(m)	岩 性	水平渗透速度(cm/d) Horizontal permeable flow velocity	流向(方位角) Flow direction (position angle)
Hole No.	Test position	Test depth	Lithologic log		
OC ₁	峰峰组 of ₂	171.3	灰岩 Calcalogic rock	49.55	343.07°
	Feng-feng	176.3	白云质灰岩 Dolomite		
	group of ₂		泥质灰岩 Mart	57.02	
OC ₂	上马家沟组 Os ₂	115.0	泥质灰岩 Mart	120.24	277.53°
	Shangmajia gou group Os ₂	120.0	泥质灰岩 Mart	117.38	
OC ₃	峰峰组 of ₂	455.6	白云岩 Dolomite	16.76	251.99°
	Feng-feng	460.6	泥质灰岩 Mart	13.98	
	group of ₂				
OC ₆	峰峰组 of ₂	290.6	泥质灰岩 Mart	17.23	242.58°
	Feng-feng	295.3	灰岩 Calcalogic rock	21.04	
	group of ₂				
OC ₉	峰峰组 of ₂	273.0	灰岩 Calcalogic rock		75.32°
	Feng-feng	278.0	泥灰质 Mart	4.87	
	group of ₂		灰岩 Calcalogic rock	20.58	

特性, 评价不同含水层段的富水性和渗透性, 我们在1989年10月和1990年10月采用点稀释测速法对刘家梁矿奥陶系岩溶水进行两次现场测试, 孔中未发现明显的垂向流, 测量结果列于表2、3中。

表3 平均渗透速度、渗透系数、水力坡度、隔水层段数据
Table 3 Data for mean flow permeable velocity, permeable coefficient, hydraulic gradient and aquiclude

孔号	含水层段(m)	平均渗透速度(m/d)	水力坡度	渗透系数(cm/d)	隔水层段(m)
Hole No.	Aquifer	Mean flow permeable velocity	Hydraulic gradient	Permeable coefficient	Aquiclude
OC ₁	171.3—176.3	0.53	0.3	176.7	
OC ₂	115.0—120.0	1.19	0.37	320.3	
OC ₃	455.6—460.6	0.15	0.33	45.5	
OC ₇	400—408.3	3.34	0.35	954.2	
	419—425.4	2.17	0.35	620	408.3—419
	461—481	0.59	0.35	169	425.4—461
	504—507.5	5.91	0.35	1689	481—504
OC ₁₁	303—335.2	2.17	0.38	571	
	379—413	3.1	0.38	815.8	335.2—379
OC ₁₂	404.5—513.4	2.7	0.31	871	

根据钻孔测定的渗透流速和渗透系数计算结果可知, 蓄水构造内奥陶系灰岩不同层段渗透性和富水性极不均匀, 无论在垂直方向或水平方向都有很大变化, 反映出岩性和地质构造对岩溶水赋存的控制作用, 同时也说明不同层段接受补给的条件有差异。上马家沟组含水最丰富, 是煤矿底板突水的主要水源, 而峰峰组含水甚贫, 可视为相对隔水层, 在防治水中应充分利用其隔水作用。

根据1990年11月统测的钻孔水位标高而绘制的水位线图, 反映出岩溶水的补给主要来自西南方向, 总的流向受泉水排泄基准控制, 从不同方向向泉水排泄区汇集, 在矿区中部形成一条由南西向东北方向径流的强径流带, 沿主径流线方向向水力坡度较小, 向两侧水力坡度增大。根据钻孔测定的岩溶水流向, 8个钻孔中有5个钻孔同等水位线确定的岩溶水流向相一致, 反映了岩溶水的总的流向对局部流向的影响。其余3个钻孔岩溶水流向同总的流向不一致, 甚至相反, 这说明局部地区裂隙发育方向对岩溶水流向具有控制作用。

四、结 语

地下水同位素示踪仪的研制成功, 改变了我国传统水文地质试验方法, 提高了水文地质勘察研究水平。该仪器用于煤炭系统奥陶系岩溶水勘察方面还是首次。由于岩溶地区含水层段渗透性与富水性不均一, 应用传统的抽、放水试验方法, 很难确定不同含水层段的渗透特性。现场实际测试证明, 地下水同位素示踪仪的应用, 起到了抽水试验难以起到的作用。

参 考 文 献

- [1] 陈建生. 物理, 1989; 18(4): 221
- [2] Bedmar A plata. Single well techniques using radioaction tracers, IAEA—TECDOC—291, Vienna, 1983
- [3] 陈建生, 方杰. 南京大学学报, 1989; 25(3): 50

A groundwater tracing instrument using radioisotopes

Chen Jiansheng Du Guoping

(*Institute of Application of Atomic Energy, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014*)

Fang Jie

(*Nanjing University, Nanjing 210003*)

Abstract

A new ground water tracing instrument and its principle, features, and applications are described. Signals from G-M tubes are transported through a 3-wire cable. A low-power liquid crystal scan display circuit controlled by a microcomputer is employed. Both groundwater flow direction and velocity can be determined precisely. The instrument can be used in the survey of many parameters, such as coefficient of permeability, vertical flow, effective porosity, transmissivity, coefficient of dispersion and seepage of dam or reservoir bottom.

Keywords: Tracing Groundwater Flow direction Flow velocity
Point diluent method

(1991 年 3 月 26 日收到)