

FT-628型n- γ 湿度密度计

岳玉珍

(北京核仪器厂)

曹更新

(南京水科院水工所)

提要

本文介绍了该仪器的用途、工作原理、仪器的组成及软件功能。给出了在连云港工地实测的一组数据以及FT-628与美Troxler公司的3411-B同时测量一个标准模块的数据。简要地说明了应用推广的意义。

一、用途

本仪器用于测量土壤、土石混凝土、水泥和沥青铺面的水份含量和密度，经过适当的刻度校准后还可用于测定水份含量与密度范围与上述材料相当的其它材料。使用领域为水利、水电、交通、铁路和大型建筑行业，用于施工现场的质量检测。其特点是速度快，精度高保证高速优质完成施工任务。

二、测量原理

1. 密度测量

密度测量使用 γ 源 (^{137}Cs)，其最大能量为0.662 Mev，因而只需考虑光电吸收和康普顿效应。假设 γ 射线在物质中透射和散射，该物质单位体积内的原子数为 N ，密度为 ρ ，在 $x=0$ 处 γ 射线强度为 I_0 ，射线在物质中 x 处的强度为 I ，通过 dx 薄层后其强度变化为 dI ，按截面定义应有下列关系式：

$$-dI = \sigma_r \cdot I \cdot N \cdot dx \dots \dots (1)$$

式中 $-dI$ 为受到原子作用而离开原来 γ 束的光子数 i

σ_r —— γ 射线与物质作用的截面。

$$\frac{dI}{I} = \sigma_r \cdot N \cdot dx$$

因为 γ 射线穿过物质时其强度随被测物质的厚度而减弱，其关系可用下面指数方程来表示：

$I = I_0 \cdot e^{-\sigma_r \cdot N \cdot x}$ ，式中 I_0 为射线穿过物质前的强度， I 为射线穿过物质后的强度。

$$\text{令 } \mu = \sigma_r \cdot N, \text{ 上式可改写为 } I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (2)$$

因为 $N = \rho / (N_A \cdot A)$ ，所以 $\mu = \sigma_r \cdot \rho / (N_A \cdot A)$

式中 A ——原子质量数；

N_A ——阿佛加德罗常数。

在实际应用中用质量衰减系数表示更为方便。

令 $\mu_m = \mu / \rho$ 则(2)式可改写为

$$I = I_0 e^{-\mu_m \cdot \rho \cdot x} = I_0 e^{-\mu / \rho \cdot \rho \cdot x} \quad (3)$$

对于较复杂的情况衰减特性仍为指数关系，便要

适当修正。第一，几何尺寸影响，主要指放射源和探测器的尺寸。第二，增强因素即次级光子的作用。第三，由增强因素的二次效应引起的作用。图1为透射法测密度的几何示意图。

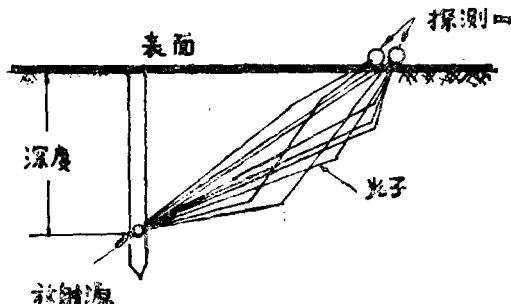


图1 透射法测密度的几何示意图

根据(3)式密度 D 和计数率 CR 之间的关系表达如下： $CR = A \cdot e^{-BD} - C$ (4)

式中 A 、 B 、 C 为常数，可以通过3个或更多的刻度点数据推算出来。常数 B 包含 μ/ρ 和 x ，而 A 和 C 与放射源大小及探测器效率有关， A 和 C 之间的关系决定实际结果与理论上指数函数偏差大小。方程(4)的曲线示于图2。

反散射测密度的几何图形示意图3，在这种情况下

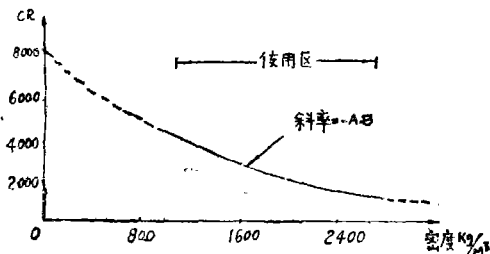


图2 透射法测密度特性曲线

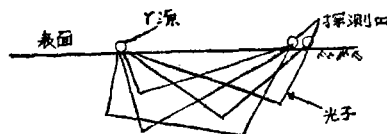


图3 反散射法测密度几何图形

下放射源和探测器在同一水平面上,在测量过程中飞越了材料的全部光子至少有一次被散射过,所以在各探测器上的平均能量是低于透射法的平均能量。图4为密度特性曲线。

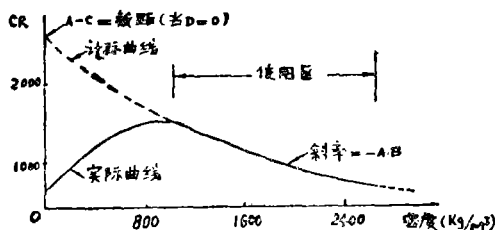


图4 反散射法测密度特性曲线

从曲线上看出计数率随密度增长而减少,并在使用区内的各点是遵循标准衰减方程,这个区域即为普遍采用的实际测量密度范围。

2. 温度测量

温度测量,即测量物质中的水份含量,采用铍-钷中子源,核反应如下: $\text{Be}^{10}(\alpha, n)\text{C}^{12}$,快中子经过物质被慢化变成热中子,通过对热中子的测量来测量物质的含水量,由于被测材料中含有其它慢化元素给测量带来一定的误差,因此要采用补偿的办法。根据实验数据的分析求得计数率与含水量的关系式:

$$CR = F + F \cdot M \quad (5)$$

式中 CR ——计数率;

F ——在水份为零时的补偿;

F ——斜率;

M ——水份含量。

三、仪器的组成及方框图

仪器由探测器、计数器、时间控制器、微处理器,接口电路、键盘、开关、输出显示器及高低压电源等部分组成,图(5)为仪器原理框图。

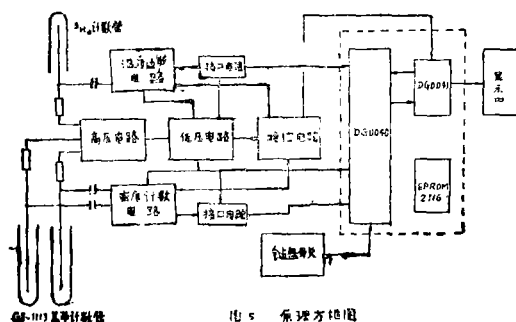


图5 原理方框图

探测器系我厂专门研制的 ^3He 计数管及薄壁高灵敏度的盖革计数管。电子元件均选用CMOS集成电路,功耗低,抗干扰能力强。显示器采用高温液晶显示器。微处理器选用国产DG0040系列。存储器(EPROM)中存有刻度数据(常数 A 、 B 、 C)。测量过程中显示测量过程的计数值,测量完了进行计算并立即显示结果。

四、仪器的软件

仪器的软件由三部分组成:自检程序,测量程序,故障检查与显示程序。

1. 自检程序

开机后首先执行自检程序,自检程序分三段:

a. 显示器检查, b. 键盘按键检查, c. 面板开关检查。

2. 测量程序

测量程序包括键测试,数据采集,计算,显示等部分。

3. 故障检查与显示

检查与显示8种故障

- | | |
|------------------------|---------|
| ① 高压, 低压故障, | 显示11111 |
| ② 时控电路故障, | 显示22222 |
| ③ 密度(γ)测量出故障, | 显示33333 |
| ④ 温度(n)测量出故障, | 显示44444 |
| ⑤ γ 计数溢出 | 显示55555 |
| ⑥ n 计数溢出 | 显示66666 |
| ⑦ 负数取对数 | 显示77777 |
| ⑧ 除数为零 | 显示88888 |

五、技术指标

1. 使用环境

a. 温度 $-10 \sim +55^\circ\text{C}$

b. 湿度 $92 \sim 98\%$ ($40^\circ \pm 2^\circ\text{C}$)

2. 电源

镉镍蓄电池8节10伏, 容量3Ah(安时)

3. 放射源

a. γ 源: ^{137}Cs , 活度为 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$

b. 中子源 $^{241}\text{Am-Be}$, 活度为 $18.5 \times 10^8\text{Bq}$

4. 测量精度

a. 反散射法测量密度(在 2000kg/m^3 时)测量总误差:

时标: 15秒时为 $\pm 62.4\text{kg/m}^3$

1分时为 $\pm 54.4\text{kg/m}^3$

4分时为 $\pm 52.8\text{kg/m}^3$

测量深度为75mm

b. 透射法测密度(在 2000kg/m^3 时)测量总误差:

时标 15秒时为 $\pm 28.8\text{kg/m}^3$

1 分时为 $\pm 25.6 \text{ kg/m}^3$

4 分时为 $\pm 24.0 \text{ kg/m}^3$

测量深度为 300 mm

c. 中子散射法测湿度 (在 250 kg/m^3 时) 测

量总误差:

时标 15秒时为 $\pm 24 \text{ kg/m}^3$

1 分时为 $\pm 14 \text{ kg/m}^3$

4 分时为 $\pm 11.2 \text{ kg/m}^3$

测量深度为 125 mm

5. 电性能

a. 时标精度与稳定性: $\pm 0.005\%$

$\pm 0.0002\%/^{\circ}\text{C}$,

b. 仪器的温度系数为 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$,

c. 液晶显示器5位, 最大数为99999

d. 电池电压低于8.8 伏时自动断电 (避免电池损坏)。

6. 数据处理功能

仪器具有运算湿密度, 干密度, 水含量, 百分水含量, 浦氏值、马氏值等功能。

7. 仪器表面剂量率

根据安全防护要求仪器表面剂量率小于 15×10^{-4} 希沃特/小时。

六、实验数据

表 1

深度 (cm)	密度 计数	水分 计数	湿密度 (kg/m^3)	干密度 (kg/m^3)	含水量 (kg/m^3)	百分比 含水量 (%)	
30	565	514	2163	1966	197	10.00	取样
25	1007	522	2140	1940	200	10.30	法得到
20	1719	516	2120	1922	198	10.30	湿密度
15	2603	498	2141	1951	190	9.70	2170
10	2413	508	2171	1973	193	9.75	kg/m^3
5	2776	518	2186	1987	199	10.01	含水量
0	1314	511	2132	1937	195	100.0	11.38 %

密度标准计数2423*

水分标准计数1910*

* 见注解

我厂与南京水科院合作研制两台样机, 刻度工作在南京水科院进行的。利用标准密度块及水分标样 (不同水分的标准水箱) 进行刻度推算出 A、B、C 数值, 经该院同志反复试验核准修正了 A、B、C 常数, 经现场试用最后确定了仪器的常数, 使仪器测量精度达到满意的结果。表 1 为连云港工地测量的一

组数据。表 2 为在标准密度模块上测量的数据。表 2 (a) 为 FT-628 测得的数据, 表 2 (b) 为美制 3411-B 测得的数据。

表 2 (a) 仪器 FT-628

深度 (cm)	湿密度 (kg/m^3)	干密度 (kg/m^3)	含水量 (kg/m^3)	百分比含 水量 (%)	备 注
30	1987	1841	146	7.93	标准模块
25	1993	1842	146	7.90	密度
20	2052	1903	149	7.82	2018.98
15	1978	1828	150	8.20	(kg/m^3)
10	2022	1869	153	8.18	
5	2059	1904	155	8.14	
0	2070	1926	144	7.47	

表 2 (b) 仪器 3411-B

深度 (cm)	湿密度 (kg/m^3)	干密度 (kg/m^3)	含水量 (kg/m^3)	百分比含 水量 (%)	备注
30	2015	1854	161	8.70	标准模块
25	1997	1829	168	9.20	密度
20	1997	1827	170	9.30	2018.98
15	1982	1829	158	8.60	(kg/m^3)
10	1988	1822	166	9.10	
5	2021	1848	173	9.40	
0	2117	1945	171	8.80	

七、结束语

现场试用结果说明 FT-628 型 n- γ 湿度密度计性能较好, 测量精度达到设计要求 与 3411-B 比较性能相近。本仪器的推广应用将保证施工质量, 提高施工速度, 比传统取样烘干称重法省时省力可大大减轻劳动强度, 对社会主义现代化将产生较大的社会效益和经济效益。

* 注解: “标准计数”是在仪器配套的一块聚乙稀等材料制成的做为参考标准的模板上测量时的计数值, 仪器测量过程如下: 开机后首先预热, 然后在“标准板” (用做参考标准的模板) 上测量, 将测得的标准计数存入计算机的存储器中, 然后再把仪器放在被测物质上进行测量此时测得的为仪器测量计数, 取测量计数与标准计数的比值进行计算, 消除放射源衰变等因素的影响而产生的误差。