

单探头瓷泥百分含水量测量系统*

邸绍良 李霞波 肖亚斌
黄勇 王述源 李秀娟

(应用物理系)

摘要 本文利用瞬发辐射技术原理研制成功了一种单探头瓷泥百分含水量测量系统,介绍了该系统的结构和数据处理中采取的技术措施,并给出了不同型号瓷泥现场测量的结果。

关键词 百分含水量, 瞬发辐射, 单探头

分类号 O571.22

1 引言

在陶瓷生产中,不同的产品需要不同含水量的瓷泥,所以瓷泥水分的准确、快速测量对产品质量有重要的影响,本系统由于采用分段标定、分道信号处理、二次放大和含水量的密度修正等措施,保证了测量结果的准确度和精密度。

该测量系统的问世将对陶瓷工业产生很大的推动作用。

2 原理

当一束 γ 射线通过一定厚度的瓷泥样品时会与样品中的原子发生作用而被减弱,其透射率 T_r 的自然对数与瓷泥密度 ρ 之间有下列的线性关系:

$$\rho = A_r \ln T_r + B_r \quad (1)$$

式中 A_r , B_r 为常数,通过测量 T_r 即可得到样品的密度 ρ 。

瓷泥中不含对热中子吸收截面大的元素,故热中子与瓷泥的作用,主要是与瓷泥水分子中氢的散射作用,当注量为 N_0 的热中子透射过厚度为 x 的瓷泥样品时热中子注量变为 N ,其减弱规律为:

$$N = N_0 B_n e^{-\Sigma x} \quad (2)$$

式中: Σ 为样品对热中子作用的宏观截面, B_n 为多次散射修正因子,

$$\Sigma = \Sigma_{\mp} + \Sigma_{*} \quad (3)$$

式中: Σ_{\mp} 为瓷泥干料(不含水)对热中子作用的宏观截面, Σ_{*} 为水对中子作用的宏观截面, Σ 与湿密度 ρ ,单位体积瓷泥中绝对含水量 ρ_{*} 有下列关系:

* 1992年4月28日收稿

$$\Sigma = [\sigma_{\mp} / A_{\mp} \rho + (\sigma_{\text{水}} / A_{\text{水}} - \sigma_{\mp} / A_{\mp}) \rho_{\text{水}}] N_A \quad (4)$$

式中； σ_{\mp} 、 $\sigma_{\text{水}}$ 分别为热中子与瓷泥干料和水作用的微观总截面， A_{\mp} 、 $A_{\text{水}}$ 为干料和水的平均分子量， N_A 为阿佛加德罗常数。将 (4) 式代入 (2) 式中得到热中子透射率 T_n ($T_n = N/N_0$) 的表达式：

$$\ln T_n = C_1 \rho + C_2 \rho_{\text{水}} + C_3 \quad (5)$$

$$C_1 = - \frac{\sigma_{\mp}}{A_{\mp}} \cdot N_A \cdot x$$

$$C_2 = - \left(\frac{\sigma_{\text{水}}}{A_{\text{水}}} - \frac{\sigma_{\mp}}{A_{\mp}} \right) \cdot N_A \cdot x$$

$$C_3 = \ln B_n$$

式中， C_1 、 C_2 、 C_3 均为与干料成分和样品大小有关的量。一般情况下， $|C_1| \ll |C_2|$ ，所以在通常情况下不考虑密度变化对样品百分含水量的影响，但在高精度测量中必须考虑这一影响，不能忽略 $C_1 \rho$ 这一项。

进一步把 (5) 式改写成下列形式：

$$\rho_{\text{水}} = A \ln T_r + B \ln T_n + C \quad (6)$$

$$A = - \frac{C_1 A_r}{C_2}$$

$$B = \frac{1}{C_2}$$

$$C = - \frac{C_1 B_r}{C_2} - \frac{C_3}{C_2}$$

式中， A 、 B 、 C 均为常数，由实验确定。可见 $\rho_{\text{水}}$ 不仅与 T_n 有关，还与 T_r 有关，所以若得到准确的 $\rho_{\text{水}}$ 值必须进行 T_r 的修正。

工程上要求瓷泥含水量必须以百分含水量 m 表示，即

$$m = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho - \rho_{\text{水}}} \times 100\% \quad (7)$$

可见只要实验测得 T_r 、 T_n 就立即得到 $\rho_{\text{水}}$ 和 ρ ，从而给出 m 值。

透射的热中子作用到硼 (B) 物质上，通过热中子与硼的俘获反应产生瞬发 r (0.477MeV) 通过测量瞬发 r 达到测量透射热中子的目的。

利用该测量系统测得的瞬发 r 和 ^{137}Cs (0.662MeV) r 谱如图 1 所示。

这个谱形决定了采用双通道两道域的数据采集方式。

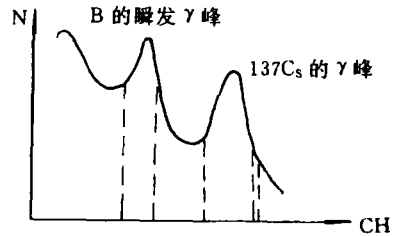


图 1

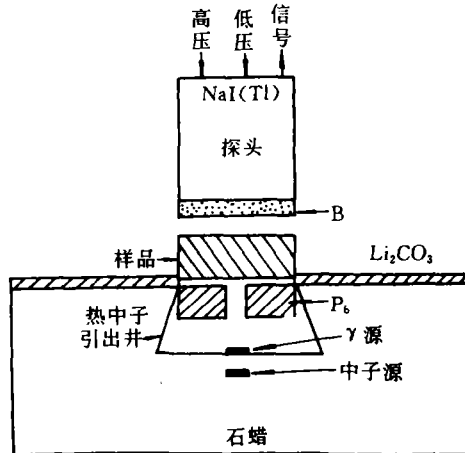


图 2

3 数据获取系统

为了获取密度和水分信息数据，采用了如图 2 的结构方式。热中子引出井用石蜡制成，选用最佳几何条件获得了高镅比和高中子注量。 Li_2CO_3 用以降低测量本底。

中子源： $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子源其活度为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$

r 源： ^{137}C ，活度为 $5.4 \times 10^7 \text{Bq}$

4 信息记录分析系统

从闪烁探头输出的密度和水分混合信号的脉冲高度谱进入核信息分析记录系统。该系统是以 80C31 单片机为基础和 CMOS 系列芯片构成的六个模块组成，具体结构如图 3 所示。

本系统在相应软件的支持下实现了双通道二次放大，两道域分选密度和水分信号计数功能，显示和打印数据的功能，掉电保护和超限报警功能，具有整个测量系统需要的各种低压、高压，只要更换一下备用的一次直流电源（充电电池）可在无电网条件下工作。

系统软件流程图如图 4 所示：

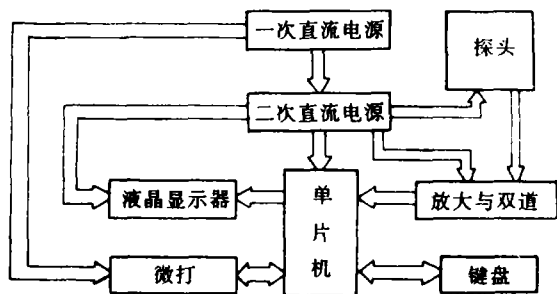


图 3 系统结构框图

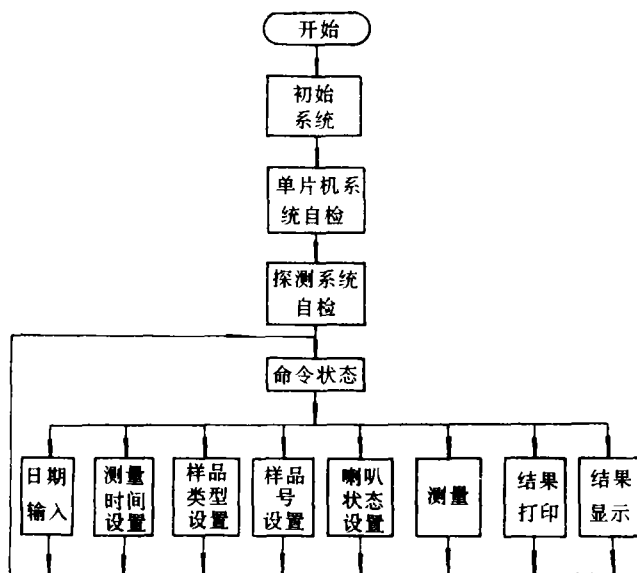


图 4 系统软件流程

5 系统的标定与现场测试结果

本系统对瓷泥密度和含水量的测量属于相对测量,它是以烘干法为标准,以烘干值为参考值,所以在整个测量系统调至最佳工作状态后进行标定(即刻度)。

用高 3cm 直径为 4cm 的铝制样品盒制备一组密度不同的样品,分别测量¹³⁷C_γ射线通过样品的计数 N_r , 求出对数 $\ln N_r$, 值与相应密度值作出密度标定曲线。

表 1

样品号	密度(g/cm ³)	N_r	$\ln N_r$	拟合结果
1	1.17	• 17198	9.753	1.167
2	1.28	16958	9.738	1.279
3	1.36	16791	9.729	1.357
4	1.56	16342	9.701	1.572

用最小二乘法拟合实验结果,得 ρ 与 $\ln N_r$ 的关系.

$$\rho = -7.93 \ln N_r + 78.52$$

用此式计算的密度值,最大误差小于 0.02g/cm³. 用同样的样品盒制备一组水分不同,但总重量相同的样品($W=58\text{g}$)分别测量热中子通过样品后由 B 产生的瞬发 r 射线计数 N_n , 求出其 $\ln N_n$ 值与烘干法得到的百分含水量 m 值对应作出标定曲线。

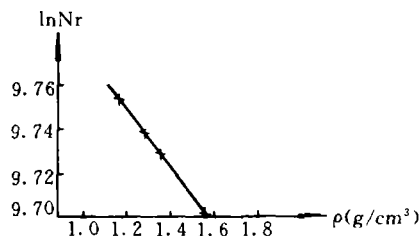


图 5 实验结果

表 2

样品号	m	N_n	$\ln N_n$	拟合结果
1	3.34%	32262	10.382	3.86%
2	6.68%	32018	10.374	6.85%
3	10.01%	31701	10.364	10.47%
4	13.34%	31439	10.356	13.49%
5	16.71%	31138	10.346	16.99%

用最小二乘法拟合实验结果得到 m 与 $\ln N_n$ 的对应关系:

$$m = -363.82 \ln N_n + 3731.18$$

用以上关系计算得出的水分最大误差小于 0.6%。

标定后到建湘瓷厂进行现场实际测量,测量结果如表 3 (1991 年 9 月 14 日)

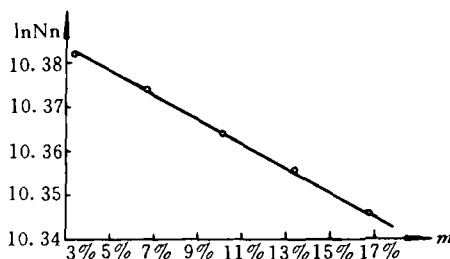


图 6

表 3 百分含水量现场测试结果

样品种类	测量值	烘干值(%)	误差(%)
φ200 坯料	24.55	24.44	0.11
φ125 坯料	23.97	24.02	0.05
鱼盘料	25.71	25.70	0.01

长期现场取样的测量值一直与烘干法得到的结果符合的很好, 这说明了该系统依据的原理是正确的, 采取的技术措施是有效的。保证了测量系统的稳定性和测量数据的可靠性, 完全能满足陶瓷工业的瓷泥百分含水量测量的要求。

参 考 文 献

- 1 P L Eisler, P Huppert. Nucl. Instr and Meth, 1979, 159: 579~586
- 2 L G Evanw, st al. Nucl Instr and Meth. 1986, A 242: 346~351
- 3 C Chung, T C Tseng. Nucl Instr and Meth. 1986, A 267: 223~230
- 4 孙涵芳编. 单片机原理及应用. 北京航空学院

HJK—I Measurement System for Ceramic Material Density and Water—Content

Di Shaoliang Li Xiabo Siao Yabin Huang Yong
Wang Shuyuan Li Xiujuan
(Department of Applied Physics)

Abstract

The principle and structure of a single—detector fast measurement system for ceramic material density and water—content are introduced in this paper. The techniques for data—processing and actual measurement results for different types of ceramic material are presented.

Key words single-detector, absolute water—content, two—channel