

便携式低能 γ 光子背散射煤灰分测量仪

邓景珊¹, 张西进², 韩揽月¹, 刘明¹

(1 核工业第五研究设计院, 郑州 450052, 2 洛阳龙羽宜电有限公司, 洛阳, 471600)

摘要: 煤灰分是煤炭工业分析的主要经济指标之一, 针对实际情况, 利用低能 γ 背散射方法, 研制了便携式煤灰分测量仪。该测量仪轻便, 可以随身携带到汽车、火车和煤堆现场, 直接插入煤中进行煤灰分测量, 5s 中可以给出测量结果。

关键词: 灰分; 低能 γ 背散射

中图分类号: TL812 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2007)04-0628-03

煤灰分是煤炭工业分析的主要经济指标。用煤单位为了避免供煤单位以次充好, 给单位造成经济损失, 需要对煤炭的灰分进行分析。传统的煤炭灰分检测方法是现场采样、破碎、缩分、烘干、研磨、称重、燃烧系列程序进行分析, 其缺点是采样代表性差、滞后时间长, 不能及时给出结果, 不能满足生产的需要。核分析方法是测量煤炭灰分的最好方法, 具有检测速度快的优点。核分析方法^[1, 4, 6]中包含双能 γ 透射方法、低能 γ 背散射方法、高能 γ 电子对湮灭辐射方法和自然 γ 测量方法, 这些方法大部分应用到在线测量和取样测量。本文针对实际情况, 利用低能 γ 背散射方法, 研制了便携式煤灰分测量仪。该测量仪轻便, 可以随身携带到汽车、火车和煤堆现场, 直接插入煤中进行煤灰分测量, 5s 中可以给出测量结果。

1 基本原理

1.1 二元模型^[1-3]

γ 射线与煤炭中元素原子核作用方式有光电效应、康普顿散射和电子对生成, 一般煤炭中

包含的元素有 40 多种, 其中主要元素有 10 多种。为了分析上的方便, 通常把这些元素分为了两组, 即把煤视为二元的混合物, 一元为可燃的有机物(也叫煤质), 主要的包括的成分为 C、H、O、N、S 等, 以 C 为主, 这一元的等效原子序数约为 6; 另一元是不可燃烧的无机物, 用燃烧后的剩余物来代替其含量, 主要包含的元素为 Si、Al、Ca、Mg、Fe 等, 以 Si 为主, 等效原子序数为 12。

对于低能 γ 射线($E_\gamma < 100\text{keV}$)与物质的相互作用主要为光电效应和康普顿散射。发生光电效应时, 光子被吸收, 吸收截面 σ_{ph} 近似与 Z^{4-5} 成正比; 康普顿散射截面 σ_c 近似与 Z 成正比。当煤的灰分比较低时, 光电效应较弱, 即透过的全能光子较多, 而这时散射 γ 射线会较强; 当煤的灰分较高时, 光电效应较强, 即透过的全能光子较少, 而这时散射的 γ 射线也较弱。这样可以通过探测透射光子和散射光子都可以确定煤炭的灰分。做为便携式仪器, 测量背散射光子较为容易实现。

1.2 背散射 γ 光子强度与灰分之间的关系

假设煤中中高 Z 元素所占的质量份额为 P_h , 则低 Z 元素所占份额为 $(1 - P_h)$, 则煤对²⁴¹Am γ 射线的质量吸收系数为:

$$\mu_L = P_h \mu_{hZL} + (1 - P_h) \mu_{LZL} =$$

收稿日期: 2006-12-10

作者简介: 邓景珊(1962—), 男, 河北兴隆人, 研究员, 核技术及应用专业

$$\mu_{LZL} + (\mu_{HZL} - \mu_{LZL})P_H \quad (1)$$

图1为单能 γ 背散射法测量煤炭灰分原理示意图。

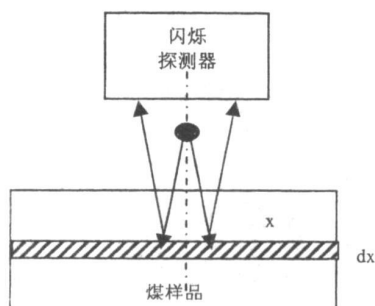


图1 单能 γ 背散射法测量煤炭灰分原理示意图

对于煤二元模型,煤的总质量吸收系数可由式(1)得:

$$P_H = \frac{\mu_{LZL}}{\mu_{HZL} - \mu_{LZL}} + \frac{1}{\mu_{HZL} - \mu_{LZL}} \mu_L = \alpha' \mu_L + \beta' \quad (2)$$

$$\text{其中 } \alpha' = \frac{1}{\mu_{HZL} - \mu_{LZL}}, \beta' = -\frac{\mu_{LZL}}{\mu_{HZL} - \mu_{LZL}}$$

如果 μ_{LZL} 和 μ_{HZL} 近似为常数,利用这些方程便可以确定出煤的高原子序数物质的质量含量,由于高原子序数物质与灰分相关联,因此,如果可以测量 μ_L ,便可以确定煤的灰分。

在 γ 背散射的条件下,可以证明反散射强度 I 与质量吸收系数 μ 成倒数关系^[3-5],下面进行证明。

在文献[3]的假设条件下,入射 γ 射线在离煤层表面距离为 x 的 dx 层内产生的散射为 $\rho_e \sigma I_0 e^{\mu_L x} dx$ (其中 ρ_e 为电子密度, ρ 为反射材料质量密度, σ 为每个电子散射截面, I_0 为入射射线强度)。它们之中从煤中反向射出并被探测到反散射 γ 射线强度 dI 为:

$$dI = \rho_e \sigma \epsilon e^{-\mu_L x} e^{-\mu_L' x} dx \quad (3)$$

其中 ϵ 与几何条件和探测效率有关的常数,在 $0 \sim \infty$ 范围内进行积分,有

$$I = \rho_e \int_0^\infty \sigma \epsilon e^{-\mu_L x} e^{-\mu_L' x} dx = \frac{\rho_e \sigma \epsilon}{\rho(\mu_L + \mu_L')} e^{-(\mu_L + \mu_L')x} \Big|_0^\infty = \frac{NoZ\sigma\epsilon}{A(\mu_L + \mu_L')} \approx k \frac{1}{\mu_L} \quad (4)$$

其中 $\rho_e = \frac{\rho NoZ}{A}$, No 为Avogadro数; Z 为原子序数; A 为原子量; $k = NoZ\rho_e/A$ 。

式中近似认为 μ_L 与 μ_L' 近似相等。将式(4)

代入式(2)有

$$A_d = kP_H = \alpha \frac{1}{I} + \beta$$

其中 k 为比例系数; $\alpha = k\alpha'$; $\beta = k\beta'$ 。这就是 γ 被散射法测量煤炭灰分的基本公式,即灰分与背散射光子强度的倒数成线性关系。

2 结果与讨论

依据上述低能 γ 背散射原理,以单片机P89V51RD2^[6]为核心,研制了便携式煤炭分测量仪,如图2所示。辐射源为 ^{241}Am ,探测器为NaI。图3分别为用所研制的便携式煤炭分仪分别对河南栾川煤和平顶山煤进行测量的结果,从图中可以看出,煤的灰分值与背散射光子的强度成线性关系,另外,从图中还可以看出,两条直线的斜率是不相同的,说明不同产地的煤标定曲线是不一样的。这是由于各个地方的煤灰分元素(Ca, Al, Si, Fe等)成分相对含量不一定相同,特别是Fe元素含量不同造成的。因此,在实际应用中要通过铁含量对测量结果进行校正。

3 结论

根据低能 γ 背散射原理,研发了便携式煤炭分测量仪,可以插入煤中直接进行测量,无需取样,具有快速、方便和实用特点。但由于各个地方的煤灰分元素(Ca, Al, Si, Fe等)成分相对含量不一定相同,对背散射光子强度有一定的影响,特别是Fe元素。因此,对每一产地的煤要建立一条标定曲线,或者通过Fe元素含量进行校正。

参考文献:

- [1] 张志康,等. γ 辐射煤炭分仪[M]. 北京:原子能出版社,1999.
- [2] 黄兴滨,等. 测量煤炭灰分的低能 γ 射线反散射方法[J]. 核技术,2005,28(11):
- [3] 马永和,等. 低能 γ 射线反散射法测量煤炭灰分的线性处理[J]. 核电子学与探测技术,1990,10(6):331.
- [4] Boyce I. S., et al. Nuclear techniques and Mineral Resources[R], Vienna: 1997:135-164
- [5] LIM CS, et al. On-line and Bulk Analysis for the Resource Industries[R], Conference on nuclear science and engineering in Australia. (Australia),

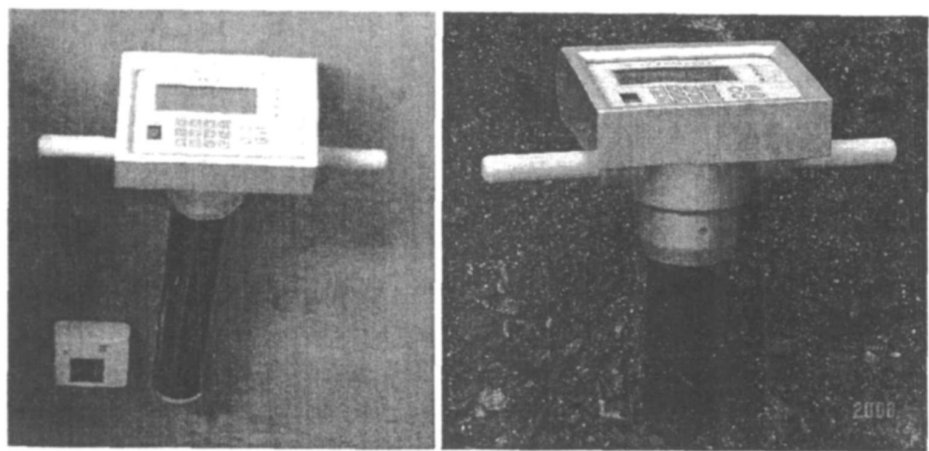


图 2 便携式煤灰分测量仪

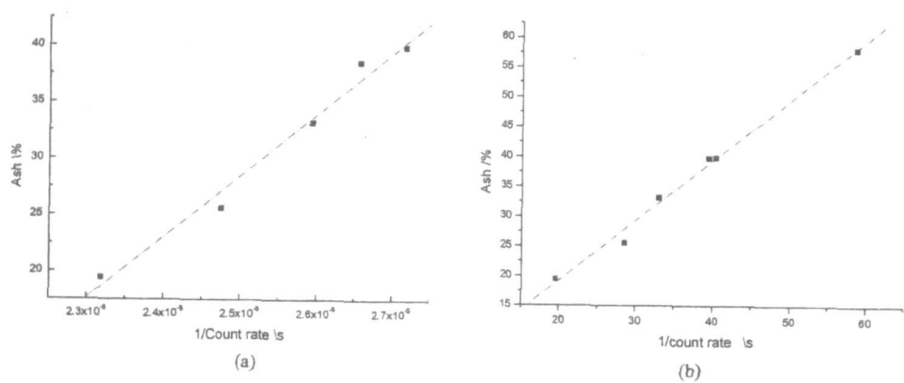


图 3 便携式煤灰分仪对河南滦川(a)和平顶山(b)煤进行的测量曲线

Portable ash gauge based on the low energy γ ray back-reflection technique

DENG Jing-shan¹, ZHANG Xi-jin², HAN Lan-yue¹, LIU Ming¹

(The fifth Research and Design Institute of China Nuclear Industry, CNNC, Zhengzhou, China 45002)

Abstract Coal ash is one of very important economic parameters, based on the low energy γ ray back-reflection technique , a portable coal ash gauge has been developed according the requirement. The gauge is so light that it can be brought to truck , train full with coal , and to the coal piles for ash measurement when the gauge directly is put into the coal , and the results can be displayed in 5 seconds.

Key words: ash, low energy γ ray back-reflection