

低能 γ 射线反散射法测量纸张定量的研究

侯跃新, 苏海林, 高鸿雁, 马永和

(黑龙江省科学院技术物理研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 叙述了低能 γ 射线反散射法测量纸张定量的可能性, 建立了纸张定量与反散射 γ 射线强度的关系式。研制了一套测量装置, 并对测量误差进行了分析。

关键词: 低能 γ 射线; 反散射; 纸张定量

中图分类号: TS736.2; TL99 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2001)02-0148-03

低能 γ 射线反散射法测量纸张定量, 是以低能 γ 射线与物质的相互作用与原子序数的依赖关系, 以及纸张中的主要成分纤维与填料的有效原子序数的差异为基础。通过测量与质量吸收系数成比例的低能 γ 射线反散射强度来确定纸张定量, 能够满足测量精度的要求。纸张的主要成分纤维是由 C、N、H、O 等元素组成的化合物的混合物, 原子序数小, 密度低。而调灰分中的主要元素如 Mg、Al、Si、Ca 等原子序数较高, 物质密度亦高。

1 测量原理^[1~3]

低能 γ 射线反散射测量是基于康普顿效应, 即入射 γ 光子与原子的核外电子发生非弹性碰撞, γ 光子的部分能量转移给电子, 使它反冲出来, 而散射光子的能量和运动方向都发生了变化。当一个 γ 光子撞击到原子序数较小的物质时, 大部分光子会穿透此物质而不产生任何变化, 有一部分光子会因此而折射或反射造成一些能量的损失。用 ^{241}Am 低能 γ 光子源产

生 γ 射线, 当 γ 射线被反射回来的光子撞击到由碘化钠晶体制成的闪烁探测器时会产生荧光, 这些荧光进入光电倍增管后被转换成电子并被放大后输出一连串脉冲, 其脉冲幅度与被检测到的 γ 光子的能量成正比; 脉冲计数率与被测物质的纸张定量 (单位面积的质量) 成正比。

2 纸张定量与低能 γ 射线反散射强度的关系

当 γ 射线穿过物质时, 除了一部分 γ 射线穿过物质时损失能量外, 还有一部分射线以各种不同的角度被散射开来, 当散射角大于 90° 时形成反散射, 反散射强度与纸张定量的关系曲线如图 1 所示。对于 γ 射线穿过纸张而被反散射回来的反散射强度与纸张定量之间符合下列函数关系:

$$I_p = (1 - e^{-(\mu_1 + \mu_p)B_w}) I_{p0} / (\mu_1 + \mu_p) \quad (1)$$

式中: μ_k ——初始辐射的康普顿线性吸收系数;

μ_1 ——初始辐射的线性全吸收系数;

μ_p ——散射辐射的线性吸收系数;

I_{p0} ——散射体反射出来的饱和反散射强度;

I_p ——散射体反射回来的反散射强度;

B_w ——纸张定量。

(1) 式经变换后, 得

收稿日期: 2000-12-24

作者简介: 侯跃新 (1960-) 男, 吉林 吉林市人, 黑龙江省科学院技术物理研究所副研究员, 从事核技术及应用研究与开发工作。

$$B_w = \left[\ln \left[1 - I_p \left(1 + \frac{1}{I_p} \right) \right] \right] \times \left[-1 / \left(1 + \frac{1}{I_p} \right) \right] \quad (2)$$

当被测纸张和放射源确定时, $\frac{1}{I_p}$ 基本上为常数, 通过求解方程 (2) 便可求出定量

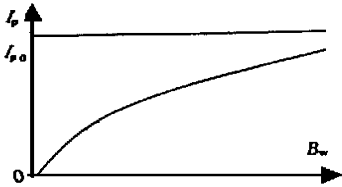


图 1 反散射强度与纸张定量的关系曲线

3 测量装置

整个测量装置由探头、脉冲放大器、甄别器

和单片机数据处理部分组成 (图 2)。

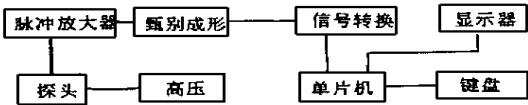


图 2 电路方框图

3.1 γ 射线能量的选择

选择合适的 γ 射线能量是设计核测量仪器首先考虑的重要问题。灵敏度 S 是 γ 射线能量的函数, 也是被测物质成分或原子序数的函数, 被测物不同所选择的 γ 射线能量也会不同, 兼顾到灵敏度和 γ 射线能量的关系, 以及 γ 射线源可选用性, 反散射法测量纸张定量选用 60 keV 的 ^{241}Am 低能光子源是恰当的。

3.2 反散射几何条件的考虑

探测器、放射源及被测样品的反散射测量

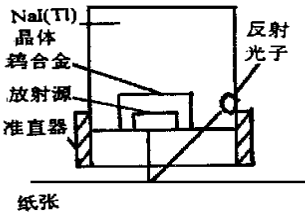


图 3 反散射测量的几何布置

的几何布局如图 3 所示。当采用闪烁探测器时, 探测器接收反散射 γ 射线的窗口为 $\phi 40\text{mm}$ NaI(Tl) 晶体, 放射源尺寸为 $\phi 10\text{mm} \times 6\text{mm}$, 由于放射源中心背对探测器窗口, 使得探测器窗口形成 $\phi 10\text{mm}$ 圆形死区和一个圆环阴影的半死区。为了消除死区或半死区, 将放射源放入

井型晶体中, 这种方案可使计数率大大提高。实验测得, 利用 $925\text{MBq } ^{241}\text{Am}$ 低能 γ 光子源测量纸样品时, 计数率提高 49%。

探测器与样品之间的距离也是影响灵敏度的重要因素, 实践证明随着探测器样品之间的距离增大, 灵敏度明显下降, 以测量纸张为例, 距离在 5~10mm 之间是最佳选择。准直是消除多次散射的有效手段, 无准直时计数率随探测器样品之间距离增大而增大, 当增大到一定程度计数率几乎不变, 然后下降。加入准直后使多次散射对计数率的贡献大大减少, 计数率的变化趋势较不加准直趋缓。计数率虽有所下降, 但计数率的变化更能真实地反映厚度的变化。通过实验证明准直长度为 5mm, 探测器窗口到样品距离为 10 mm 最为理想。

对一组已知纸张定量为 50~500 g/m^2 的原样品进行标定实验测量与化验结果进行比较, 可得出每个样品的测量偏差。经过统计处理得出原样品的测量误差为 $\pm 0.54\%$, 表 1 为原样品的测量结果。

表 1 原样品的测量结果 g/m^2					
	1	2	3	4	5
测量值	57.2	61.8	73.3	75.2	81.3
化验值	57.6	61.3	72.8	75.8	80.8
偏差	-0.4	0.5	-0.5	-0.6	0.5
	7	8	9	10	11
测量值	110.4	116.4	120.4	129.0	137.8
化验值	111.2	115.6	121.1	130.3	138.5
偏差	-0.8	-0.8	-0.7	-1.3	-0.7
	13	14	15	16	17
测量值	183.4	256.8	279.6	304.2	399.4
化验值	182.4	254.9	281.2	302.5	401.2
偏差	1.2	1.9	-1.6	1.7	-1.8

4 误差分析

核分析或测量, 误差来源很多, 包括样品的化验误差、统计涨落、样品的不均匀性、核方法对样品的物理状态及化学组成不同引起的误差以及仪器自身引起的误差等。因此工业环境下很难对一次测量结果做出准确可靠的判断, 按数理统计原理, 用带有统计意义的均方根误差来衡量随机的测量结果是比较合适的。

参考文献:

[1] 常健生. 检测与转换技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981, 267.

- [2] 肖度元,等.精煤灰分在线测量原理[J].核电子学与探测技术,1988,8(6): 330.
- [3] 安继刚.电离辐射探测器[M].北京:原子能出版社,1995,20.

Study on measuring the paper basis weight by low energy γ -ray backscattering techniques

HOU Yue-xin, SU Hai-lin, GAO Hong-yan, MA Yong-he

(Institute of Technical Physics, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin of Heilong jiang Prov. 150086, China)

Abstract This article introduces possibility for measuring the paper basis weight (mass thickness per unit area) by low energy γ -ray backscattering techniques. The relation between the paper basis weight and the intensity of low energy γ -ray backscattering has been established. A measuring device has been completed and its measuring results are analysed.

Key words low energy γ -ray ; backscattering; basis weight of paper

(上接第 144页 ,Continued from page 144)

参考文献:

[1] Santonico R, et al. Development of resistive plate counters [J]. Nucl Instrum Methods, 1981, A187 377.

[2] Bencivenni G, et al. A modular design for glass spark counters [J]. Nucl Instrum Methods, 1994, A345 456.

[3] Teramoto Y, et al. R& D of glass RPCs for the BELLE detector [C]. Scientifica Acta, Vol. XI, No. 1, 1996, 401.

[4] Morgan N, et al. Polyvinylchloride resistive plate counters for charged particle detection [J]. Nucl Instrum Methods, 1994, A340, 341.

[5] Ables E, et al. ABS plastic RPCs [C]. Scientifica Acta, Vol. XI, No. 1, 1996, 373.

[6] 陈元柏,等.阻性板计数器的研制 [J].核电子学与探测技术,1992,12 88.

[7] Bian JG, et al. Some results of resistive plate counter and proposal to tau_ charm factory of Beijing [C]. Scientifica Acta, Vol. XI, No. 1, 1996, 419.

[8] Liguori G, et al. Study of electrode surface treatment effects on bakelite RPCs performances [C]. Scientifica Acta, Vol. XI, No. 1, 1996, 229.

[9] 王效良,等.阻性板计数器的研究与发展 [C].全国高能物理大会会议集 [C]. 1998, 120.

The performance study of resistive plate chamber made of domestic material

HAN Hong-guang, TONG Guo-liang, OU YANG Qun, CHEN Yuan-bai,
LU Wei-da, XIE Yi-gang, MU Li-guang

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract Some resistive plate chambers have been built with domestic material, mainly concentrated on phenolic polymer resistive plates. Efficiency about 95% and time resolution of 2.25ns FWHM have been obtained with a facility of small scintillation cosmic-ray telescope.

Key words RPC; material; efficiency; time resolution