

●自动控制●

纸张在线定量测量控制技术

■ 胡松 (民丰特种纸股份有限公司 浙江 嘉兴 314000)

提 要: 综述了各种不同的纸张在线定量测量传感器控制系统的工作原理、特点、定量控制方法以及选用原则。

关键词: 在线定量传感器; 定量; 密度; β 射线; γ 射线; x 射线; 近红外光线

射线与被测纸张相互作用时,一部分射线被纸张所吸收,另一部分则穿透纸张。根据贝尔定理,在理想状态下, β 射线穿透纸张时,其强度衰减曲线符合指数规律,即:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d} \quad (1)$$

式中: I_0 无纸张时的射线强度;

I 射线穿透纸张后的射线强度;

μ 射线的质量吸收系数;

ρ 纸张的密度;

d 纸张的厚度。

实际上,由于 β 射线的散射和反射等因素的影响, I 和 $\mu \rho d$ 之间的关系不完全是纯指数关系,仅在某一范围内其 μ 才可视为常数。因此,精确的衰减曲线应该以吸收比值 R 来表示:

$$R = f(A, B, C, D, \rho d) \quad (2)$$

其中: $R = I/I_0$, 为吸收比值;

A, B, C, D 常数,其值取决于被测物的成分、传感器的几何条件和 β 射线的能量等因素。

射线穿透式定量测量中,也有采用 x 射线和 γ 射线的。但它们的性能远不如 β 射线。其原因,首先 β 射线穿透力比较小,灵敏度较高。其次 β 射线对纸页的其它成份不灵敏,因为 μ 是 A/Z (原子量/原子数)的函数。例如在纸页中大多数物质的 μ 为 $A/Z - Z$,所以用 β 射线测量纸页定量是最适宜的;而 x 射线或 γ 射线对纸页的其它成份是灵敏的,其 μ 是 $(A/Z)^2$ 的函数,所以在测量纸页灰分含量时,则要选用 x 射线。 β 双面穿透式传感器的结构原理见图1。它由放射源和射线探测器两部分组成。

1.1.1 放射源

β 双面穿透式传感器使用的放射源主要有钷Pm147、氪Kr85和铯Sr90三种。其半衰期分别为2.5年、



胡松,高级工程师,曾任民丰造纸厂计量仪表科科长等职及中国造纸学会自动化专业委员会第一、第二、第三届常委。

目前在线密度测厚技术已在造纸、涂布、无纺布、磁记录材料、复合包装材料等行业普遍应用。随着技术进步,新产品层出不穷。现就不同工作原理、不同控制方法的纸张在线定量测控技术介绍如下。

1 在线密度测厚工作原理

物质在线密度测厚工作是利用不同能量的射线,穿透或反射于该物质时,射线强度随物质厚度而衰减。理论上 β 射线、 γ 射线、 x 射线以及近红外光线等都能用于物质的厚度测量。这里我们将着重介绍纸张定量测量常用的 β 双面穿透式、 γ 单面反射式和红外穿透式的测量原理。

1.1 β 双面穿透式传感器的测量原理

β 双面穿透式是基于贝尔定理。当放射源放射出 β

10.6年和29年。从各种放射源穿透测量时灵敏度与测量范围的关系曲线可以看出,钷Pm147适用于低定量5~100g/m²,氪Kr85适用于中定量10~1200g/m²,而铯Sr90适用于高定量500~6000g/m²。已知纸张定量范围情况下,选择放射源时,则应正确权衡灵敏度与使用寿命问题。若选择使用寿命短的放射源,可能其灵敏度较高,因而测量较精确。但是频繁更换放射源,费用会很高。反之,则可能灵敏度较低,而使测量误差增大,选用时应慎重考虑。

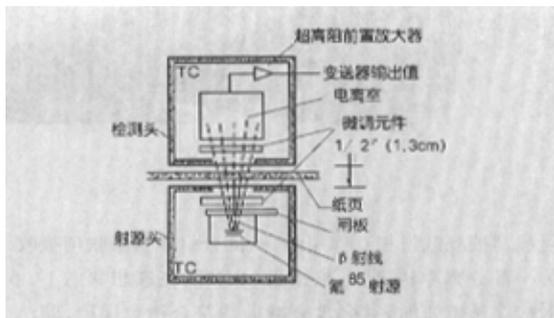


图1 β双面穿透式传感器的结构原理

1.1.2 射线探测器

β双面穿透式测量目前有气体和固体两种射线探测器。

1.1.2.1 气体探测器 气体电离室工作原理

当射线穿透纸张后进入电离室,使电离室内气体电离,电离后的正、负电荷在电场作用下向中心(阳极)和四周(阴极)运动,产生微小电流。微小电流经前置放大器放大后得出相应于定量的信号。

气体电离室的设计和制造是射线探测器的关键因素。因为它一方面吸收射线,产生电离电流;另一方面又要防止它很快碰撞,产生二次电流。所以,电离室尺寸,内充气体性质、密度和压力,电场电压的高低以及密封性能等等都会影响射线测量精度。电离室一般测量信号的最大电流是 2×10^{-9} A,通过 $5 \times 10^9 \Omega$ 的高电阻产生约10V直流电压。

1.1.2.2 固体探测器——固态硅(SST)工作原理

当射线穿透纸张后进入固态硅,固态硅电离出电子和空穴。在电场作用下分别向阳极和阴极运动,产生电流。固态硅比电离室尺寸小,施加电压低,测量时间常数小。因而,高效的固态硅探测器比气体探测器响应更快,信噪比更大。

固体探测器除了SST以外还有半导体探测器HPGe和CdZnTe。

1.1.2.3 β双面传感器的几个问题

首先,穿透式传感器实际测量的是放射源与探测器之间所包容空间内所有物质的密度。除了纸张外还包括空气柱的密度、灰分的密度等等。只有其他因素恒定时,射线的衰减才与定量成单值函数。但是,因为扫描过程中上、下测量头的对位与间距以及其间的空气温度发生变化,产生附加的射线衰减量变化,从而影响定量测量精度。为此,β射线穿透式测量对扫描架提出很高的设计和制造精度要求,用以扫描过程中上、下测量头的x、y两个方向的同步。再配之以Z变送器和气隙温度变送器,随时测量上、下测量头的间距变化及气隙温度变化,通过计算机进行补偿运算;又通过吹灰装置以减少灰分的影响。因此其结构复杂,价格昂贵。

其次,从式(1)可知射线衰减量与定量呈指数关系,在应用中尚需进行线性化处理。

其三,β射线穿透测量的输出电压(或电流)是模拟量。在进入计算机时需进行模/数转换,转换线路中的阻容滤波限制了其时间常数。

1.2 γ单面反射式传感器的工作原理

γ单面反射式传感器的工作原理是基于著名的康普顿—吴有训效应。当入射的γ射线或光子与原子序数较低的物质相互作用时,大部分射线会直接穿透此物质而不产生任何变化,另有一小部分射线会与物质相互作用而产生折射和反射。随着物质厚度增加,射线与物质相互

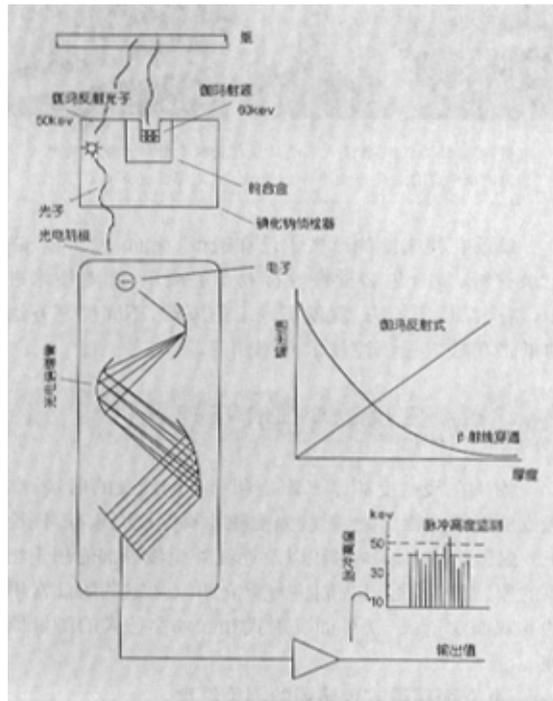


图2 γ单面反射式传感器工作原理

作用的数量也线性增加,直至趋于饱和。我们利用射线与物质相互作用的线性上升段,就可测量物质的实际厚度(见图2)。 γ 单面反射式传感器的放射源与射线探测器处于纸张的同一侧。

1.2.1 放射源

γ 单面反射式传感器常用的放射源为镭Am241,其半衰期为456年。射线形式为 γ 射线。但也有使用氪Kr85 β 射线的。

1.2.2 射线探测器

γ 单面反射式测量目前有NaI晶体闪烁探测器、硅或HPGe半导体电离探测器和CdZnTe半导体电离探测器,除此之外还有盖勒计数管等。现就主要的NaI探测器、CdZnTe探测器和盖勒计数管分别介绍如下。

1.2.2.1 NaI探测器

NaI探测器工作原理见图2。以镭Am241放射源为例,放射源产生能量为60keV的 γ 射线,经过康普顿散射后,180°方向反射(背反射)回来的能量为50keV,这些反射回来的射线打在NaI晶体制成的闪烁探测器上会产生光子,光子在进入光电倍增管时转换为电子,电子被多级倍增放大,产生一个电脉冲。用电子脉冲甄别器检测50keV的电子脉冲,来测量被测纸张的实际厚度。

1.2.2.2 CdZnTe探测器

CdZnTe是理想的半导体,适合于常温下用于50~100V(DC)/mm的厚度测量。

背反射回来的光子同CdZnTe的原子相互作用时产生电子-空穴对。CdZnTe探测器的阳极和阴极两端吸引负电子和对应空穴的正电荷。由此引起电子和空穴的积累而产生电压脉冲,电压脉冲高度与入射的光子能量成比例。此电压脉冲经前置放大器放大后再进入脉冲放大器,将电压脉冲转换成高斯脉冲(频率)并放大之,最后输出至单位计数系统或贮存有脉冲与对应入射光子能谱特性曲线的标准多通道分析仪。

1.2.2.3 β 射线反射式传感器

在纸张的同侧,氪Kr85放射源与射线探测器一盖勒计数管成一定角度的斜角反射, β 射线粒子经反射进入盖勒管产生脉冲信号,经VFC转换输出。这种由德国Lippke公司生产的 β 射线反射式定量传感器目前已很少见到。

1.2.2.4 反射式定量传感器中各种探测器性能比较

NaI晶体闪烁探测器,用于能量分辨率时效率是非常低的,往往还需要在其中使用光电倍增管之类。因此整个闪烁器的底座系统的尺寸和重量不会小,且NaI晶体闪烁器对周围环境(温度、振动、冲击、湿度等)敏感,其结果使性能随着时间而降低。但相对于硅、HPGe半导体探测器,其安装和使用成本稍低些。

硅、HPGe半导体探测器,在能量分辨率方面性能是比较显著的。硅探测器具有极好的低能量分辨率;但因尺寸所限,仅仅用在低于20keV或预期非常低的能量吸收。HPGe探测器能够装配式的使用大部分有效体积和提供极好的能量分辨率;但是对温度较敏感,必须用机电冷却系统或液氮容器来恒定温度。这种具有交流电源或连续供氮装置本身是昂贵的,这样使探测器体积庞大且笨重,造成安装和使用成本极高。

CdZnTe探测器能量分辨率比NaI高,比硅和HPGe稍差些;但在常温下不使用交流电源,并能与电子电器组合装配成尺寸小、重量轻的测量装置;允许其在5keV到2MeV的能量范围内测量,并兼备硅和HPGe二者的特性;用于多种用途(选择计数器SD、鉴别器ID、选择鉴别器SD、能谱仪S)。

CdZnTe是结晶体材料,是直接转换成电流的理想半导体,无须易碎且笨重的PMT去支持转换过程。因而,它能经受一般工业环境的温度、湿度、振动、冲击,不致影响其性能。在-30℃~70℃温度范围内不使用电子补偿,误差在规定的精度范围内。CdZnTe的高密度和有效Z而产生高吸收率,其探测速度极高,脉冲输出时高达2MHz,电流输出时高达1GHz。此外,CdZnTe坚固耐用、不吸湿、化学稳定、测量范围广等。

1.2.2.5 γ 单面反射式传感器的特点

首先, γ 单面反射式传感器是单面测量,不存在上、下测量头之间的对位和间隔问题。因此对扫描架的要求低,制作方便,价格低廉,唯一要求传感器与被测纸张表面垂直并紧贴。

其次,从其工作原理可知射线粒子与纸张相互作用的数量跟纸张的厚度成线性关系,不需进行线性化处理。

其三, γ 单面反射式传感器的输出是脉冲数,可直接为计算机所接受,无需再进行模/数转换,因而提高了其快速性。

1.3 红外定量测量

红外线式传感器是利用不同物质对近红外领域(1.0~3.0 μm)的吸收特性而连续在线测量物质的厚度或成份。根据测量形式来分类,红外线式传感器可分为穿透式、反射式和散射式;根据测量使用红外波长数量来分类,可分为二波长、三波长、四波长和五波长红外测量仪。以下介绍二波长穿透式的测量原理。

1.3.1 红外穿透式测量原理

所有物质对光都有吸收。就光的吸收而言,可分为一般吸收和选择吸收,一般吸收几乎与波长无关,选择吸收与波长有关。在近红外范围内,所有物质都有自己的吸收波长,我们称这一波长就是此物质的“指纹波长”。根据朗伯定律,对于某一物质而言:

$$I = I_0 \exp[-(\alpha \omega + \beta) \times d] \quad (3)$$

式中: I_0 —投向被测物的入射光束能量;

I —穿过 d 物质厚度后的光束能量;

α —该物质的衰减系数,在单色光照射下可以看成是常数;

β —该物质中其他组分的衰减系数;

d —物质的厚度;

ω —该物质的组分含量。

根据式(3),可解出物质的厚度:

$$d = -1/(\alpha \omega + \beta) \times \ln(I/I_0) \quad (4)$$

如果采用双波长测量,即除选用该物质的吸收波长以外,另外选择一参考波长。假设 I_m 为测量波长的透过能量, I_r 为参考波长的透过能量,则 I_m 和 I_r 可分别表示成:

$$I_m = I_0 \exp[-(\alpha \omega + \beta_m) \times d] \quad (5)$$

$$I_r = I_0 \exp[-\beta_r \times d] \quad (6)$$

解(5)、(6)式可得:

$$d = [1/\alpha \omega + (\beta_m - \beta_r)] \times \ln(I_m/I_r) \quad (7)$$

从上式可看出,该物质的厚度可通过求 I_m 和 I_r 比值的对数来获得。采用双波长测量技术后,大气中的水蒸汽和尘埃的影响、光源的不稳定及被测物的晃动对测量结果所造成的误差就大大地减少了,而且 $(\beta_m - \beta_r)$ 所带来的误差要比单一波长带来的误差小得多。

1.3.2 红外穿透式传感器的几个问题

首先,红外穿透式测量是利用物质特殊的吸收波长即“指纹波长”来测量的,对不同的物质必须测知其“指纹波长”,然后采用真空镀膜或其他方法获得这一特定波长的滤光片,这是很关键的一点。如果滤光片的波长精度低,偏离了“指纹波长”,则可能使灵敏度大大降低,甚至偏移到邻近的其他物质的“指纹波长”,而造成测量误差。

其二,从其测量原理看,选择参考波长也是很重要的。如果选择不当也会产生误差。

其三,作为双波长测量技术,测量波长与参考波长透过能量的比较应在物质的同一测量点上,而传感器的测量波长滤光片与参考波长滤光片往往通过调制电机旋转轮流通过光束。如果被测物静止,则测量波与参考波在同点上比较。但是在线测量时,被测物以一定速度相对于传感器运动,测量波光束与参考波光束不能在同点穿透,从而造成测量误差。

其四,外界阳光、灯光等照射在被测位置时,也会对测量产生误差。

直至今日,最精确和最可靠的密度测厚的测量和控制系统还是放射性检测系统。

2 定量控制方案和控制规律

对于控制方案来说分别有:以定量信号直接控制定量阀(也有直接控制纸机车速的方案,但目前已少见)的反馈控制系统;以定量为主控,以纸浆流量为副控的串级控制系统;以定量为主控,纸浆浓度为前馈,纸浆流量为副控的前馈—反馈控制系统等。

对于控制规律来讲分别有:时间—比例控制、Smith预估控制以及多变量复杂控制系统等,以应对不同对象的造纸过程的需求。

3 选用原则

林林总总的定量传感器,还有不同的控制方案 and 不同的控制规律产生了目前市场上品种繁多,性能各异而且价格不同的纸张定量测控系统。

任何一种定量测控系统都有各自的优缺点,各自的适用领域。我们只有熟悉各种在线定量测控系统的工作原理、性能特点和适用范围,针对企业实际使用的目的和要求,根据企业造纸工艺和设备的特点和纸张质量的要求,适当考虑技术贮备的基础上,选择最佳性价比的经济实用的产品。而不要脱离实际需要盲目追求功能齐全,更不能仅仅为了企业的形象包装或者其他目的,盲目模仿其他企业的选择,这样势必造成使用效能低下现象。但是也要避免忽视性能,片面追求低价格,而最终不能满足生产的需求。与此同时要选择质量可靠,售后服务好的产品。

目前国内生产的在线定量传感器有气体电离室的 β 射线穿透式和红外线穿透式两种产品。据悉国内已有企业与国外著名的射线探测器公司合作以OEM方式开始 γ 射线背反射定量传感器的科研工作。新一代的常温、高效半导体探测的定量传感器将很快面世,以满足国内卷材等行业日益增长的密度测厚需求。□

The control technique of on-line quantitative measurement of paper

HU Song (Minfeng Specialty Paper Co.,Ltd, Jiaxing, Zhejiang 314000, China)

Abstract: In this paper are introduced the principles and properties of the on-lines sensor control system for basis weight of different types of paper, the method of quantitative control and the principle of its selection.

Key words: on-line basis weight sensor; basis weight; density; β -ray; γ -ray; α -ray; near infrared light

收稿日期:2003-10-18

作者: [胡松](#)
作者单位: [民丰特种纸股份有限公司, 浙江, 嘉兴, 314000](#)
刊名: [中华纸业](#) PKU
英文刊名: [CHINA PULP & PAPER INDUSTRY](#)
年, 卷(期): 2004, 25 (1)

本文读者也读过(10条)

1. [黄春雨](#) [纸张横向定量的自动控制](#) [期刊论文] - [中国造纸](#) 2004, 23 (1)
2. [施长君](#). [尹玉海](#). [4201定量传感器的标定](#) [期刊论文] - [黑龙江造纸](#) 2008, 36 (2)
3. [《纸张定量、水分的在线测定近红外法》行业标准即将上报](#) [期刊论文] - [造纸信息](#) 2005 (6)
4. [尚少革](#). [侯丽杰](#). [齐伟红](#). [2002纸张水分、定量微机控制系统的运行和状态提示](#) [期刊论文] - [黑龙江造纸](#) 2000 (1)
5. [杨春节](#) [造纸机广义预测控制器设计与实施](#) [期刊论文] - [中国造纸学报](#) 2001, 16 (1)
6. [梁国行](#). [覃琪河](#) [QCS质量控制系统在1760mm纸机上的应用](#) [期刊论文] - [中华纸业](#) 2007, 28 (z1)
7. [杨福成](#) [可控的均匀度](#) [期刊论文] - [国际造纸](#) 1999, 18 (6)
8. [徐政晨](#). [XU Zheng-chen](#) [神经网络在纸机横向定量控制中的应用](#) [期刊论文] - [山东轻工业学院学报 \(自然科学版\)](#) 2008, 22 (3)
9. [姚竞红](#). [严国祥](#). [郑汝珍](#). [YAO Jing-hong](#). [YAN Guo-xiang](#). [ZHENG Ru-zhen](#) [流浆箱的PROFLOW稀释式横向定量控制系统](#) [期刊论文] - [纸和造纸](#) 2006, 25 (4)
10. [Axel Gommel](#) [流送系统工程设计新概念](#) [期刊论文] - [中华纸业](#) 2006, 27 (6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zhzy200401017.aspx