



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114608493 A

(43) 申请公布日 2022.06.10

(21) 申请号 202210288989.5

(22) 申请日 2022.03.23

(71) 申请人 武汉钢铁有限公司

地址 430080 湖北省武汉市青山区股份公
司机关

(72) 发明人 汪洋 杨辉 李金 丁健 刘鑫
杨芑 柳俊 丁涛

(74) 专利代理机构 北京众达德权知识产权代理
有限公司 11570

专利代理师 安磊

(51) Int.Cl.

G01B 15/02 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

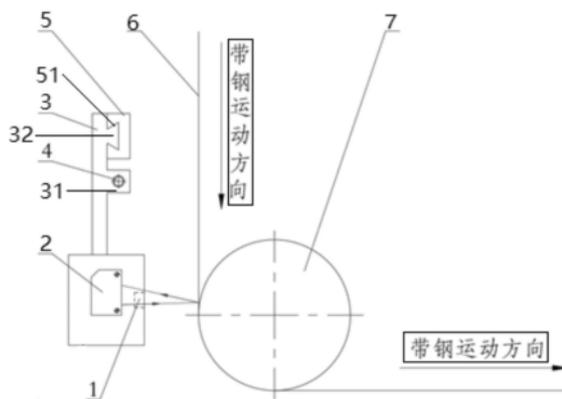
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54) 发明名称

带钢镀锌层测厚装置以及测厚方法

(57) 摘要

本申请属于冶金生产检测技术领域,具体涉及一种带钢镀锌层测厚装置以及测厚方法。该带钢镀锌层测厚装置适用于带钢上的镀锌层的厚度测量,带钢绕设转向辊,该测厚装置包括测厚仪以及两个测距器,测厚仪设置在带钢绕设的转向辊的外侧,测厚仪的输出端朝向带钢,两个测距器分别设置在测厚仪的宽度方向的两端,两个测距仪的输出端朝向带钢。本申请可改善测厚仪所发射的荧光信号的发射的稳定性,减少镀锌层的厚度的测量误差。



1. 一种带钢镀锌层测厚装置,适用于带钢上的镀锌层的厚度测量,其特征在于,所述带钢绕设转向辊,所述测厚装置包括:

测厚仪,设置在所述带钢绕设的所述转向辊的外侧,所述测厚仪的输出端朝向所述带钢;

两个测距器,分别设置在所述测厚仪的宽度方向的两端,两个所述测距器的输出端朝向所述带钢。

2. 根据权利要求1所述的带钢镀锌层测厚装置,其特征在于,所述测厚仪的输出端和所述带钢之间的距离为 $12 \pm 1.5\text{mm}$ 。

3. 根据权利要求1所述的带钢镀锌层测厚装置,其特征在于,所述测距器为激光位移传感器。

4. 根据权利要求3所述的带钢镀锌层测厚装置,其特征在于,所述测距器和所述带钢之间的距离为 $150 \pm 10\text{mm}$ 。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的带钢镀锌层测厚装置,其特征在于,所述测厚装置还包括调整组件,所述测厚仪通过所述调整组件可沿所述带钢的宽度方向移动。

6. 根据权利要求5所述的带钢镀锌层测厚装置,其特征在于,所述调整组件包括:

支架,和所述测厚仪固定连接,所述支架设置于所述带钢的外侧,所述支架朝向所述带钢的一次设置有连接凸起以及导向凸起,所述连接凸起沿所述带钢的宽度方向设置有贯通的螺纹孔;

丝杠,所述丝杠螺纹连接在所述螺纹孔中,所述丝杠的一端用于和驱动件连接;

导轨,所述导轨设置在所述带钢和所述测厚仪之间,所述导轨朝向所述测厚仪的一侧设置有导槽,所述导向凸起滑动设置于所述导槽中。

7. 一种带钢镀锌层测厚方法,其特征在于,所述测厚方法是基于权利要求1-6任一项所述的带钢镀锌层测厚装置进行的,所述测厚方法包括:

获取初始的系统测量参数,所述系统测量参数包括以下中的至少一项:所述测厚仪的输出端和所述带钢之间的距离、所述测厚仪的设备尺寸及所述测厚仪的射线源的光子能量;

调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪的输出端朝向所述带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度;

在所述荧光强度达到预设的强度上限值时,将达到所述强度上限值的所述荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为最终测量参数。

8. 根据权利要求7所述的带钢镀锌层测厚方法,其特征在于,所述调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪的输出端朝向所述带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度,具体包括:

重复执行如下步骤 m 次,获得 m 个所述测厚仪对应采集的所述荧光强度, m 为大于1的正整数;

调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪的输出端朝向所述带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度;

所述在所述荧光强度达到预设的强度上限值时,将达到所述强度上限值的所述荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为最终测量参数包括:

将 m 个所述荧光强度中的最大荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为所述最终

测量参数。

9. 根据权利要求7所述的带钢镀锌层测厚方法,其特征在於,所述锌层厚度测量之后,所述测厚方法还包括:

基于蒙特卡罗算法对所述测厚仪所收集的反射荧光进行评价参数的计算,得到对应的评价参数,所述评价参数包括相对误差和/或质量因子;

在所述评价参数满足预设指标要求时,确定基于所述最终测量参数进行的所述锌层厚度测量合理。

10. 根据权利要求7-9任一项所述的带钢镀锌层测厚方法,其特征在於,所述测厚仪的射线源的光子能量为10keV。

带钢镀锌层测厚装置以及测厚方法

技术领域

[0001] 本申请属于冶金生产检测技术领域,具体涉及一种带钢镀锌层测厚装置以及测厚方法。

背景技术

[0002] 目前,连续热镀锌行业使用最为普遍的镀锌层厚度无损检测方法是X射线荧光法,通过X射线测厚仪向镀锌板发射X射线,而后收集由X射线源激发的荧光来测量镀锌层的厚度。

[0003] 使用上述方法测量时,若带钢抖动较大时,就会影响反射荧光信号的稳定性,导致镀锌层的厚度存在较大的测量误差。

发明内容

[0004] 为解决上述技术问题,本申请提供一种带钢镀锌层测厚装置以及测厚方法,旨在至少一定程度上改善带钢的镀锌层的厚度测量时存在的测量。

[0005] 本申请的技术方案为:

[0006] 一方面,本申请提供了一种带钢镀锌层测厚装置,适用于带钢上的镀锌层的厚度测量,其特殊之处在于,所述带钢绕设转向辊,所述测厚装置包括:

[0007] 测厚仪,设置在所述带钢绕设的所述转向辊的外侧,所述测厚仪的输出端朝向所述带钢;

[0008] 两个测距器,分别设置在所述测厚仪的宽度方向的两端,两个所述测距器的输出端朝向所述带钢。

[0009] 本申请所提供的一种带钢镀锌层测厚装置,由于该测厚装置的测厚仪设置在带钢绕设的转向辊的外侧,此处的带钢通过转向辊的张紧,可改善带钢的抖动,从而可改善测厚仪所发射的荧光信号的发射的稳定性,减少镀锌层的厚度的测量误差。

[0010] 另外,由于测厚仪的宽度方向的两端均设置有测距器,可通过测距器实时获取测厚仪同带钢之间的距离,进而可确认带钢的抖动性,这样可在带钢的抖动性符合要求的情况下,获取带钢的镀锌层的厚度,可进一步减少镀锌层的厚度的测量误差,具有很好的实用性。

[0011] 在一些实施方案中,所述测厚仪的输出端和所述带钢之间的距离为 $12 \pm 1.5\text{mm}$ 。

[0012] 优选地,所述测距器为激光位移传感器。

[0013] 在一些实施方案中,所述测距器和所述带钢之间的距离为 $150 \pm 10\text{mm}$ 。

[0014] 在一些实施方案中,所述测厚装置还包括调整组件,所述测厚仪通过所述调整组件可沿所述带钢的宽度方向移动。

[0015] 在一些实施方案中,所述调整组件包括:

[0016] 支架,和所述测厚仪固定连接,所述支架设置于所述带钢的外侧,所述支架朝向所述带钢的一次设置有连接凸起以及导向凸起,所述连接凸起沿所述带钢的宽度方向设置有

贯通的螺纹孔；

[0017] 丝杠,所述丝杠螺纹连接在所述螺纹孔中,所述丝杠的一端用于和驱动件连接；

[0018] 导轨,所述导轨设置在所述带钢和所述测厚仪之间,所述导轨朝向所述测厚仪的一侧设置有导槽,所述导向凸起滑动设置于所述导槽中。

[0019] 另一方面,本申请还提供了一种带钢镀锌层测厚方法,其特殊之处在于,所述测厚方法是基于上述带钢镀锌层测厚装置进行的,所述测厚方法包括:

[0020] 获取初始的系统测量参数,所述系统测量参数包括以下中的至少一项:所述测厚仪的输出端和所述带钢之间的距离、所述测厚仪的设备尺寸及所述测厚仪的射线源的光子能量；

[0021] 调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪的输出端朝向所述带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度；

[0022] 在所述荧光强度达到预设的强度上限值时,将达到所述强度上限值的所述荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为最终测量参数。

[0023] 在一些实施方案中,所述调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪的输出端朝向所述带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度,具体包括:

[0024] 重复执行如下步骤 m 次,获得 m 个所述测厚仪对应采集的所述荧光强度, m 为大于1的正整数；

[0025] 调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪的输出端朝向所述带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度；

[0026] 所述在所述荧光强度达到预设的强度上限值时,将达到所述强度上限值的所述荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为最终测量参数包括:

[0027] 将 m 个所述荧光强度中的最大荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为所述最终测量参数。

[0028] 在一些实施方案中,所述锌层厚度测量之后,所述测厚方法还包括:

[0029] 基于蒙特卡罗算法对所述测厚仪所收集的反射荧光进行评价参数的计算,得到对应的评价参数,所述评价参数包括相对误差和/或质量因子；

[0030] 在所述评价参数满足预设指标要求时,确定基于所述最终测量参数进行的所述锌层厚度测量合理。

[0031] 在一些实施方案中,所述测厚仪的射线源的光子能量为10keV。

[0032] 本申请所提供的带钢镀锌层测厚方法,可实现系统参数的便捷、快速及准确确定,有利于提升镀锌层厚度测量的便捷性和准确性。

附图说明

[0033] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0034] 附图中:

[0035] 图1为本申请实施例的一种带钢镀锌层测厚装置的结构示意图；

- [0036] 图2为图1的侧视示意图；
- [0037] 图3为本申请实施例提供的一种镀锌层厚度测量的测厚仪模型的示意图；
- [0038] 图4为本申请实施例提供的一种射线源提供的入射光与镀锌板相互作用的示意图。
- [0039] 图5为本申请实施例提供的一种镀锌层测厚方法的流程示意图；
- [0040] 图6为本申请实施例提供的一种不同能量下激发的锌层K α 能量光谱的对比示意图；
- [0041] 图7为本申请实施例提供的一种不同探测器尺寸及距离下的荧光强度对比示意图。
- [0042] 图8(a)-图8(d)是本申请实施例提供的几种不同距离、不同射线源的入射光子能量下镀锌层厚度与入射光子计数之间的线性关系示意图。
- [0043] 附图标记：
- [0044] 测厚仪-1,测距器-2,支架-3,连接凸起-31,导向凸起-32,丝杠-4,导轨-5,导槽-51,带钢-6,转向辊-7。

具体实施方式

[0045] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0046] 需要说明的是,本申请实施例中所有方向性指示仅用于解释在某一特定姿态下各部件之间的相对位置关系、运动情况等,如果该特定姿态发生改变时,则该方向性指示也相应地随之改变。

[0047] 下文的公开提供了许多不同的实施例或例子用来实现本申请的不同结构。为了简化本申请的公开,下文中对特定例子的部件和设置进行描述。当然,它们仅仅为示例,并且目的不在于限制本申请。此外,本申请可以在不同例子中重复参考数字和/或参考字母,这种重复是为了简化和清楚的目的,其本身不指示所讨论各种实施例和/或设置之间的关系。此外,本申请提供了的各种特定的工艺和材料的例子,但是本领域普通技术人员可以意识到其他工艺的应用和/或其他材料的使用。

[0048] 下面结合附图并参考具体实施例描述本申请：

[0049] 本申请实施例提供一种带钢镀锌层测厚装置以及测厚方法,旨在至少一定程度上改善带钢的镀锌层的厚度测量时存在的测量。

[0050] 首先,本申请实施例公开了一种带钢镀锌层测厚装置,适用于带钢6上的镀锌层的厚度测量。图1为本申请实施例的一种带钢镀锌层测厚装置的结构示意图,图2为图1的侧视示意图。结合图1以及图2,本申请实施例的带钢镀锌层测厚装置所适用的带钢6绕设于转向辊,该测厚装置包括测厚仪1以及两个测距器2,其中,测厚仪1设置在带钢6绕设的转向辊的外侧,测厚仪1的输出端朝向带钢6,两个测距器2分别设置在测厚仪1的宽度方向的两端,两个测距仪的输出端朝向带钢6。

[0051] 本申请实施例所提供的一种带钢镀锌层测厚装置,由于该测厚装置的测厚仪1设

置在带钢6绕设的转向辊的外侧,此处的带钢6通过转向辊的张紧,可改善带钢6的抖动现象,从而可改善测厚仪1所发射的荧光信号的发射的稳定性,减少镀锌层的厚度的测量误差。

[0052] 作为本申请实施例的优选方案,带钢镀锌层测厚装置安装在转向辊7的上游,当然,在其他实施方案中,带钢镀锌层测厚装置也可安装在转向辊7的下游,在此不做限制。

[0053] 另外,由于测厚仪1的宽度方向的两端均设置有测距器2,可通过测距器2实时获取测厚仪1同带钢6之间的距离,进而可确认带钢6的抖动性,这样可在带钢6的抖动性符合要求的情况下,获取带钢6的镀锌层的厚度,可进一步减少镀锌层的厚度的测量误差,具有很好的实用性。

[0054] 对于本申请实施例而言,测厚仪1的输出端和带钢6之间的距离可以为 $12 \pm 1.5\text{mm}$,测厚仪1的输出端向镀锌板发射X射线,而后收集由X射线源激发的荧光从而可测量镀锌层的厚度。

[0055] 本申请实施例的测距器2可选用激光位移传感器,激光位移传感器传感器可实时向带钢6发射激光,以实时获取测厚仪1同带钢6之间的距离,进而可确认带钢6的抖动性,这样可在带钢6的抖动性符合要求的情况下,获取带钢6的镀锌层的厚度,可进一步减少镀锌层的厚度的测量误差。

[0056] 本申请实施例中,测距器2和带钢6之间的距离可以为 $150 \pm 10\text{mm}$ 。

[0057] 本申请实施例的测距器2和测厚仪1可以为预先装配在一起的构件,可方便二者在施工现场的装配,具有很好的实用性。

[0058] 进一步地,本申请实施例的测厚装置还包括调整组件,测厚仪1通过调整组件可沿带钢6的宽度方向移动,以适应不同宽度的带钢6上的镀锌层的厚度的测量。

[0059] 结合图1以及图2,本申请实施例的调整组件包括支架3、丝杠4以及导轨5,其中,支架3和测厚仪1固定连接,支架3设置于带钢6的外侧,支架3朝向带钢6的一次设置有连接凸起31以及导向凸起32,连接凸起31沿带钢6的宽度方向设置有贯通的螺纹孔,丝杠4螺纹连接在螺纹孔中,丝杠4的一端用于和驱动件连接,导轨5固定设置在带钢6和测厚仪1之间,导轨5沿着导轨5朝向测厚仪1的一侧设置有导槽51,导向凸起32滑动设置于导槽中。通过驱动件可控制丝杠4转动,从而可带动支架3沿着导轨5的长度方向移动,进而可带动测厚仪1沿着导轨5的长度方向移动,继而可实现测厚仪1沿着带钢6的宽度方向移动,以实现不同宽度的带钢6上的镀锌层的厚度的测量。

[0060] 本申请实施例的驱动件可以为配置有减速器的电机,以使丝杠4的转速稳定,使测厚装置可以稳定的移动。

[0061] 在其他实施方案中,驱动测厚仪1移动的装置还可以为其他直线往返机构,例如齿轮齿条等,在此不做限制。

[0062] 另外,基于上述带钢镀锌层测厚装置,本申请还提供了一种带钢镀锌层测厚方法。

[0063] 图3为本申请实施例提供的一种镀锌层厚度测量的测厚仪模型的示意图。如图3中,在距离带钢h高度处设置有一个充有氙气(因为氙气的电离能较低)的环形电离室作为测厚仪。电离室的内外直径和高度均可根据系统自定义设置,例如内外直径可分别为2.5cm和20cm,电离室的高度为15cm等。电离室(即测厚仪)靠近带钢一侧的底部可以是0.01cm厚度的铍窗。电离室外远离带钢一侧中心处设置有射线源(如X射线源)作为单色能量光子,该

射线源即为测厚仪的输出端,其发射的能量可称为光子能量,以锥形照射带钢的镀锌层。如图3所示,照射光斑的半径为 $L/2$, L 为锥形底部直径,即最大直径。其中,环形电离室可以有效地增大测厚仪的窗面积,提高探测效率,减小统计误差。

[0064] 本申请实施例基于测厚仪所捕获/采集的 $K\alpha$ 辐射或 $K\beta$ 辐射的强度和能量对被照射物质(镀锌层)进行分析,换言之本申请可利用测厚仪对带钢中的锌层厚度进行测量。具体地,本申请可使用预先制作好的标准板(标准镀锌板)对测厚仪进行标定,得到多个标准板各自对应的电压/电流与镀锌层厚度之间关系的标准测量曲线。以多个标准测量标准曲线为依据,将待测量镀锌层的电压/电流信号与标准测量曲线中的对应点进行比较,可以获得待测量带钢中的镀锌层的厚度。

[0065] 图4为本申请实施例提供的一种射线源提供的入射光与带钢相互作用的示意图。如图4中,测厚仪通过收集X射线源激发的荧光强度来测量镀锌层的厚度。当这些X射线被镀锌层的锌原子吸收后,具有特定能量的光子从原子中释放出来。反射回来的光子的数量(简称为光子数)根据锌层厚度的不同而不同。

[0066] 基于上述论述,请参见图5,图5为本申请实施例提供的一种镀锌层测厚方法的流程示意图。如图5所示,该测厚方法包括如下实施步骤:

[0067] S1、获取初始的系统测量参数,该系统测量参数包括以下中的至少一项:测厚仪的输出端和带钢之间的距离、测厚仪的设备尺寸及测厚仪的射线源的光子能量。

[0068] 本申请所述系统测量参数可为系统或用户预先自定义配置的,其可包括但不限于以下中的任一项或多项的组合:测厚仪的安装距离 h 、测厚仪的设备尺寸和射线源的光子能量。其中,所述测厚仪可为充有氙气的环形电离室,所述测厚仪的设备尺寸包括所述测厚仪的内径和外径(即内外直径)。

[0069] S2、调整系统测量参数,采集测厚仪的输出端朝向带钢侧的铍窗上所收集到的荧光强度;

[0070] S3、在荧光强度达到预设的强度上限值时,将达到强度上限值的荧光强度所对应的系统测量参数,确定为最终测量参数。

[0071] 本申请实施例可通过调整所述系统测量参数,并采集每次调整时所述测厚仪所采集到的荧光强度,进而根据所述荧光强度确定出系统的最终测量参数。

[0072] 进一步地,本申请实施例可重复执行 m 次步骤S2,获得 m 个所述系统测量参数所对应采集的 m 个荧光强度, m 为大于1的正整数。进一步本申请从 m 个荧光强度中选取最大荧光强度,将所述最大荧光强度所对应的系统测量参数确定为系统的最终测量参数。

[0073] 进一步地,本申请实施例可根据所述最终测量参数,调整/安装系统中的相应器件,例如根据最终测量参数中的测厚仪的安装距离 h (例如4cm)来安装测厚仪,根据最终测量参数中测厚仪的设备尺寸(例如内外直径分别为2.5cm和20cm)来选择安装相应尺寸的测厚仪等等,本申请实施例不做限定。

[0074] 进一步地,为验证镀锌层测厚方案的有效性,本申请实施例可基于蒙特卡罗算法对所述测厚仪所收集的反射荧光进行评价参数的计算,得到对应的评价参数,所述评价参数包括相对误差和/或质量因子。在所述评价参数满足预设指标要求时,确定基于所述最终测量参数进行的所述镀锌层厚度测量合理,即确定当前测厚方案合理;反之,确定当前测厚方案不合理。

[0075] 具体实现中,本申请实施例采用基于被称为随机抽样技术的蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法验证测厚方案的有效性。具体地本申请基于蒙特卡罗方法先统计荧光测厚仪界面的光子数F1,即统计测厚仪铍窗所收集到的光子数F1,其具体计算公式 (1) 如下所示:

$$[0076] \quad F1 = \int \int \int \int_A J(r, E, t, \mu) dE dt d\mu dA \quad \text{公式 (1)}$$

[0077] 其中,r为粒子通过(镀锌板)曲面时的位置,E为粒子通过曲面时的能量,t为粒子通过曲面时的时间(shake, 10⁻⁸s),μ为粒子通过曲面时方向余弦,A为面积(cm²)。

[0078] 本申请实施例还可以相对误差和质量因子 (figure of merit) 评价测厚方案的物理模型(测厚仪模型)是否能有效地激发锌元素的荧光并穿透镀锌层。其中,相对误差R和质量因子FOM的计算公式 (2) 如下所示:

$$[0079] \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$R = \left[\frac{1}{N} \left(\frac{x^2}{\bar{x}^2} - 1 \right) \right]^{1/2}$$

$$FOM \equiv \frac{1}{R^2 T} \quad \text{公式 (2)}$$

[0080] 其中,P(x)为测厚仪接收的反射荧光的一个随机过程的概率密度函数,x_i为从P(x)中抽取的第i个历史的贡献,N为粒子总数,t为计算时间(shake, 10⁻⁸s), \bar{x} 为N个粒子的平均贡献(权重),相对误差为R,质量因子为FOM。

[0081] 本申请实施例在确定系统设计参数(即确定系统的最终测量参数)时,可以铍窗收集的荧光强度作为确定入射源光子能量、测厚仪的安装距离及测厚仪的设备尺寸的依据,并将镀锌层的厚度与光子计数F1之间是否具有良好的线性关系作为验证和确定系统的最终测量参数的依据。

[0082] 进一步地,为排除长时间使用和其他因素的影响,本申请实施例的测厚仪需要每间隔6-12小时标定一次,换言之本申请实施例可周期性地重复执行本申请步骤S1-S3来确定系统的最终测量参数。

[0083] 为帮忙更好地理解本申请实施例,下面以一些例子进行举例说明。请参见图6示出射线源的不同光子能量下所激发的荧光能量光谱对比图。如图6分别示出:光子能量为10keV、20keV、30keV和40keV下,X射线激发的锌(Zn) Kα能量光谱对比图。图示中,曲线1表示光子能量10keV下Kα相对荧光强度的变化曲线。曲线2表示光子能量20keV下Kα相对荧光强度的变化曲线。曲线3表示光子能量30keV下Kα相对荧光强度的变化曲线。曲线4表示光子能量40keV下Kα相对荧光强度的变化曲线。

[0084] 同时请一并参见如下表1-表3示出光子能量为30keV时,粒子数为1×10⁸个时的验证结果。其中,表1为光子产生统计表,表2为光子损失统计表,表3为各层中的光子活动表。

[0085] 表1光子产生统计表

[0086] 产生方式	[0087] 粒子数目 (个)	[0088] 权重 (每个粒子)	[0089] 能量(MeV·粒子-1)
[0090] 射线源	[0091] 100000000	[0092] 1	[0093] 3.0000E-02
[0094] 韧致辐射	[0095] 591348	[0096] 5.9135E-03	[0097] 3.0085E-05
[0098] 一次荧光	[0099] 37591476	[00100] 3.7591E-01	[00101] 3.0686E-03
[00102] 二次荧光	[00103] 300476	[00104] 3.0048E-03	[00105] 7.1453E-06
[00106] 总计	[00107] 138483300	[00108] 1.3848E+00	[00109] 3.3106E-02

[0110]

[0111] 表2光子损失统计表

[00112] 损失方式	[00113] 粒子数目 (个)	[00114] 权重 (每个粒子)	[00115] 能量(MeV·粒子-1)
[00116] 逃逸	[00117] 373321	[00118] 3.7332E-03	[00119] 9.7753E-05
[00120] 康普顿散射	[00121] 0	[00122] 0	[00123] 3.3521E-05
[00124] 俘获	[00125] 138109979	[00126] 1.3811E+00	[00127] 3.2975E-02
[00128] 总计	[00129] 138483300	[00130] 1.3848E+00	[00131] 3.3106E-02

[0132]

[0133] 表3各层中光子活动表

[00134] 栅元号	[00135] 名称	[00136] 进入的粒子痕迹(个)	[00137] 粒子沉积量 (个)	[00138] 碰撞次数
[00139] 1	[00140] 镀层	[00141] 100348516	[00142] 99366968	[00143] 139517
[00144] 2	[00145] 基材	[00146] 89464243	[00147] 90250332	[00148] 127460
[00149] 3	[00150] 电	[00151] 2049569	[00152] 2040655	[00153] 188437
[00154] 4	[00155] 铍	[00156] 1420884	[00157] 1393800	[00158] 26351
[00159] 5	[00160] 空	[00161] 102175059	[00162] 100004609	[00163] 972888

[0164] 由表1和2可知,X射线源产生的光子为 1×10^8 个,每光子能量为30keV的情况下,光子的产生与损失的总数量和总能量相等,说明所有的光子均参与到输运过程且被记录。其中韧致辐射光子伴随电子对产生;一次荧光是镀层或基材产生的荧光;二次荧光是一次荧光进入其他栅元再次激发出的荧光;逃逸是光子到达感兴区外(模拟空间外),而被终止计算的光子数。

[0165] 由表3可知,进入栅元1的光子数大于射线源产生的光子数,说明射线源产生的所有X射线照射到镀锌板,并且激发了镀层原子产生X射线荧光;进入栅元2的光子数显示X射线不仅有效穿透了镀锌层,部分X射线还穿透了镀锌钢板;栅元3和栅元4均有光子进入(此时的光子均为特征X射线),电离室产生的光子更多,因为部分光子可能从电离室侧面进入而没有通过铍窗,因此以铍窗的光子流量进行统计更为准确有效。栅元5中进入的光子数量最多,这是由于不论是射线源发出的X射线还是镀锌层与基材钢板发出荧光都是先经过空气再进入另一个栅元中。以上光子在各栅元中的活动与本申请上述图2和图3所示的测厚方案中的光路有较好地一致性。

[0166] 下面以TFC计数和计数收敛统计考查以上结果的可靠性。表4为计数波动表。根据基于蒙特卡罗的一种算法(MCNP)程序一般要求 $R < 0.05$ 以获得一般可靠的置信区间,由表4可知相对误差 $R < 0.003$;相对误差 R 呈减小的趋势,与 $1/\sqrt{N}$ 成正比关系,其中 N 是粒子总数,而对于一个不理想的计数, R 会随着总计数数的增加而增加。质量因子(figure of merit)相对平均偏差小于0.01,趋近于常数,计数质量很高。以上均符合MCNP程序误差的判定标准,表明测厚方案的物理模型精度较高,能有效地激发锌元素的荧光并穿透镀层。

[0167] 表4计数波动表(TFC)

[00168] 粒子总数	[00169] 相对误差	[00170] 质量因子
[00171] 8192000	[00172] 0.003	[00173] 157098
[00174] 16384000	[00175] 0.0021	[00176] 155697
[00177] 24576000	[00178] 0.0017	[00179] 155076
[00180] 32768000	[00181] 0.0015	[00182] 154071
[00183] 40960000	[00184] 0.0013	[00185] 151939
[00186] 49152000	[00187] 0.0012	[00188] 152981
[00189] 57344000	[00190] 0.0011	[00191] 152284
[00192] 65536000	[00193] 0.0011	[00194] 152088
[00195] 73728000	[00196] 0.001	[00197] 152452
[00198] 81920000	[00199] 0.0009	[00200] 153052
[00201] 90112000	[00202] 0.0009	[00203] 153461
[00204] 98304000	[00205] 0.0009	[00206] 153716
[00207] 100000000	[00208] 0.0009	[00209] 153795

[0210] 确定测量模型能有效地激发锌元素的荧光并穿透镀层后,应寻找最合适的射线源能量。锌(Zn)元素 $K\alpha$ 的特征X射线能量为8.63keV。因此,入射单色光子的能量(即射线源的光子能量)必须大于8.63keV。为了方便计算,本申请可将最小单色光子能量设置为10keV。

[0211] 图6比较了10keV、20keV、30keV和40keV的能谱,由图6可知,由10keV单色光子产生的Zn $K\alpha$ 的荧光强度最高。因此,最合适的射线源能量理论整数值应该是10keV,此时可获得最大的Zn $K\alpha$ 荧光强度。

[0212] 本申请实施例中,测厚仪的距离(h)是模型构建过程中的另一个重要因素。测厚仪与带钢之间的距离直接关系到测厚仪的灵敏度与测量精度。

[0213] 请参见图7,图7为本申请实施例提供的一种不同能量下激发的锌层 $K\alpha$ 能量光谱的对比示意图。图7中的铍窗分别在1cm到10cm距离处采集的Zn $K\alpha$ 强度对比数据($nps=107$),表5是图7中曲线a~d的采用参数情况。

[0214] 表5各曲线对应参数表

[00215] 曲线名称	[00216] 模型参数	[00217] 测厚仪内径	[00218] 测厚仪外径	[00219] 入射光角度
[00220] a	[00221] 2.5	[00222] 20	[00223] DIR=0.9905	
[00226] b	[00227] 2.5	[00228] 15	[00229] DIR=0.9905	
[00230] c	[00231] 2.5	[00232] 15	[00233] DIR=1	
[00234] d	[00235] 0.5	[00236] 15	[00237] DIR=1	

[0240] 由图7与表5可知:当测厚仪内径较大时,入射光角度越小,采集荧光强度越低;当测厚仪内径较小且入射光角度最小时,采集到的荧光强度最大。且测厚仪距离(即安装距离) h 在2~4cm之间时,荧光强度达到最大值。当测厚仪接近镀锌层时,部分荧光进入测厚仪内径盲区,因此无法收集。当测厚仪距离逐渐增大时,部分荧光从测厚仪外部逃逸。考虑到实际生产情况,较大的检测距离可以有效降低带钢抖动引起的误差和仪器损坏的风险。因此,在测量模型中,最合适的测厚仪距离 h 应该是4cm。其中,DIR是指单色光子反射方向与Y轴方向的夹角的余弦值。

[0241] 连续热镀锌生产线锌层测厚仪使用标准测量曲线为依据,将测量得到的电压或电流信号与标准曲线中的对应点比较,得到对应的锌层厚度值。在标定过程中,锌层测厚仪回到位于O型架一侧的标定位,使用制作好的标准板对标准曲线进行标定。因此,测量曲线对锌层测厚仪具有重要作用。由于在MCNP程序不能仿真电信号,所以需要能够建立锌层厚度值与X射线荧光光子数的测量曲线。

[0242] 在按前述方式确定了射线源能量和探测距离的基础上,测量了40~180g·m⁻²中等厚度的锌镀层。图8(a)~(c)分别示出10keV入射光子能量时,锌镀层厚度(与图5中的单位面积锌层重量呈正比)与Zn K α 光子计数之间的关系。当测厚仪距离在3~4cm间,两者能建立较好地线性关系。同时,在测厚仪内径为0.5cm且DIR=1时,线性关系最好,线性相关系数为0.9994。

[0243] 图8(d)是20keV单色光子的比较数据,由于高能X射线产生的Zn K α 荧光较少,经过较厚的镀锌层后,Zn K α 荧光进一步减弱,不能显示出微弱的变化趋势。结果也更进一步的证明了10keV为较合适的入射光子能量。

[0244] 通过实施本申请实施例,本申请获取初始的系统测量参数,所述系统测量参数包括以下中的至少一项:所述测厚仪的安装距离、所述测厚仪的设备尺寸及所述射线源的光子能量;调整所述系统测量参数,采集所述测厚仪中靠近所述镀锌板侧的铍窗上所收集到的荧光强度;在所述荧光强度达到预设的强度上限值时,将达到所述强度上限值的所述荧光强度所对应的所述系统测量参数,确定为最终测量参数。上述方案中,本申请通过调整系统测量参数,采集当前所述测厚仪所收集的荧光强度,在荧光强度达到预设的强度上限值时可将此时的所述系统测量参数确定为最终测量参数。这样实现了系统参数的便捷、快速及准确确定,有利于提升镀锌层厚度测量的便捷性和准确性。

[0245] 作为本申请实施例的优选方案,所述测厚仪的安装距离为4cm,所述射线源的光子能量为10keV,所述测厚仪为充有氙气的环形电离室,所述测厚仪的设备尺寸包括所述测厚仪的内径和外径,所述测厚仪的内径为2.5cm,所述测厚仪的外径为20cm。

[0246] 本申请实施例至少具有如下技术效果或优点：本申请通过调整系统测量参数，采集当前所述测厚仪所收集的荧光强度，在荧光强度达到预设的强度上限值时可将此时的所述系统测量参数确定为最终测量参数。这样实现了系统参数的便捷、快速及准确确定，有利于提升镀锌层厚度测量的便捷性和准确性。

[0247] 在本申请中，除非另有明确的规定和限定，术语“连接”、“固定”等应做广义理解，例如，“固定”可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系，除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0248] 在本申请的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

[0249] 另外，在本申请中如涉及“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。另外，各个实施例之间的技术方案可以相互结合，但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础，当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在，也不在本申请要求的保护范围之内。

[0250] 在本申请的描述中，除非另有明确的规定和限定，第一特征在第二特征之“上”或之“下”可以包括第一和第二特征直接接触，也可以包括第一和第二特征不是直接接触而是通过它们之间的另外的特征接触。而且，第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”包括第一特征在第二特征正上方和斜上方，或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”包括第一特征在第二特征正下方和斜下方，或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0251] 在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任意的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外，本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例进行接合和组合。

[0252] 尽管已描述了本申请的优选实施例，但本领域内的普通技术人员一旦得知了基本创造性概念，则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以，所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本申请范围的所有变更和修改。

[0253] 显然，本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申请的精神和范围。这样，倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内，则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

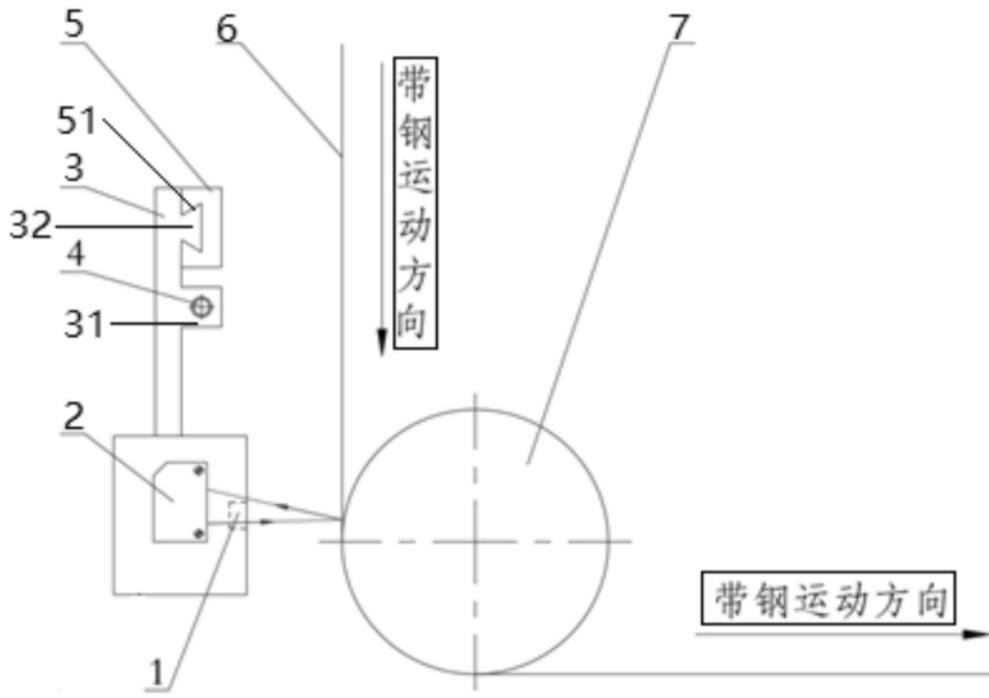


图1

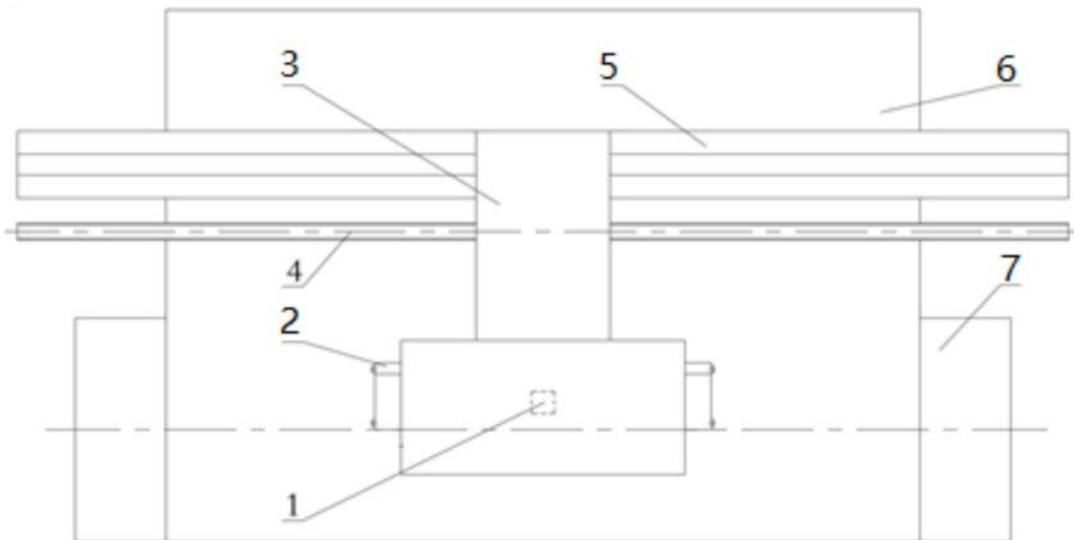


图2

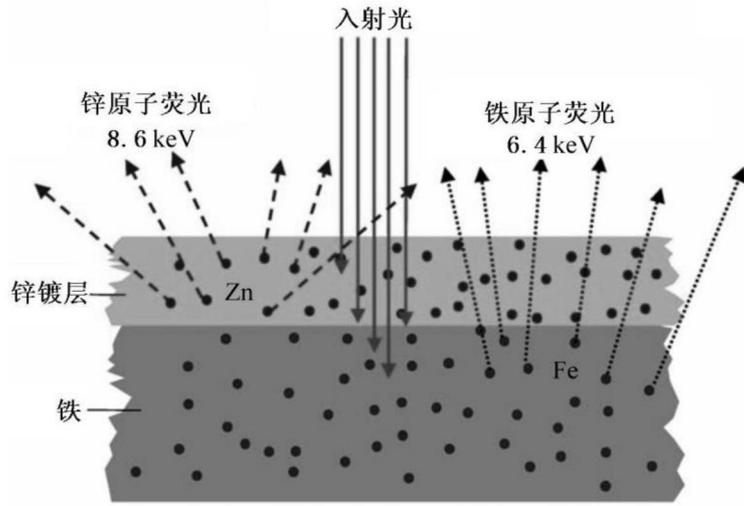


图3

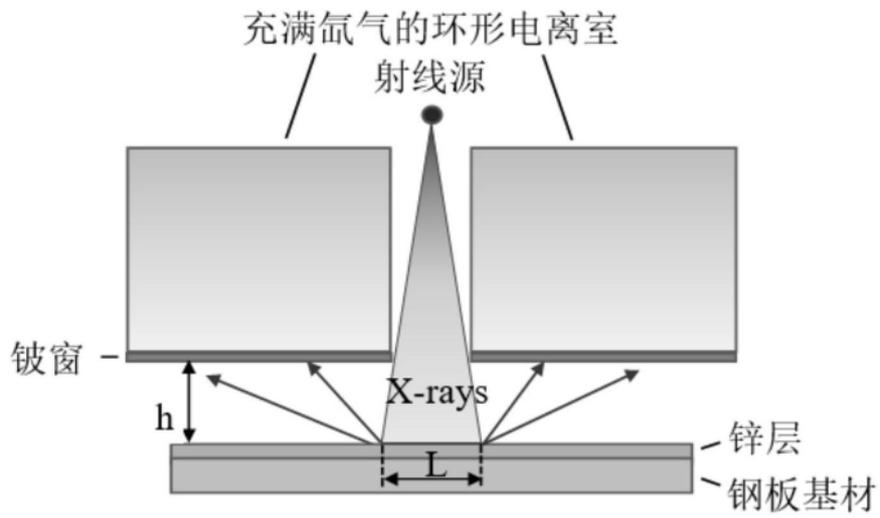


图4

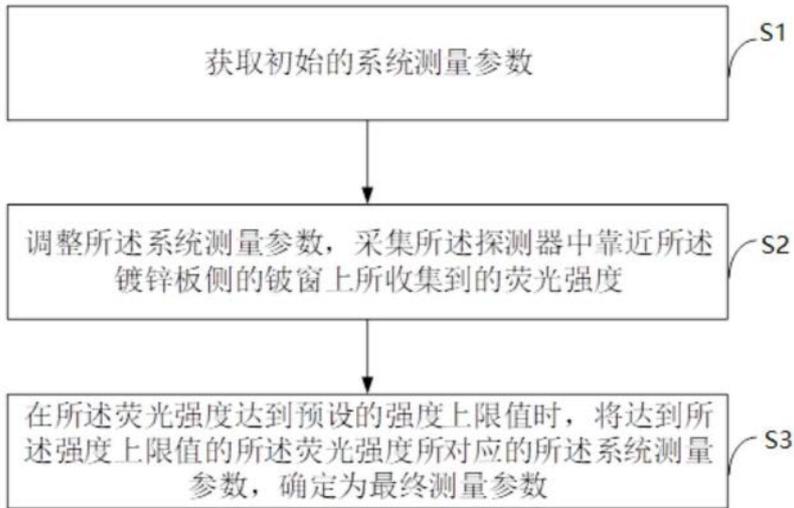


图5

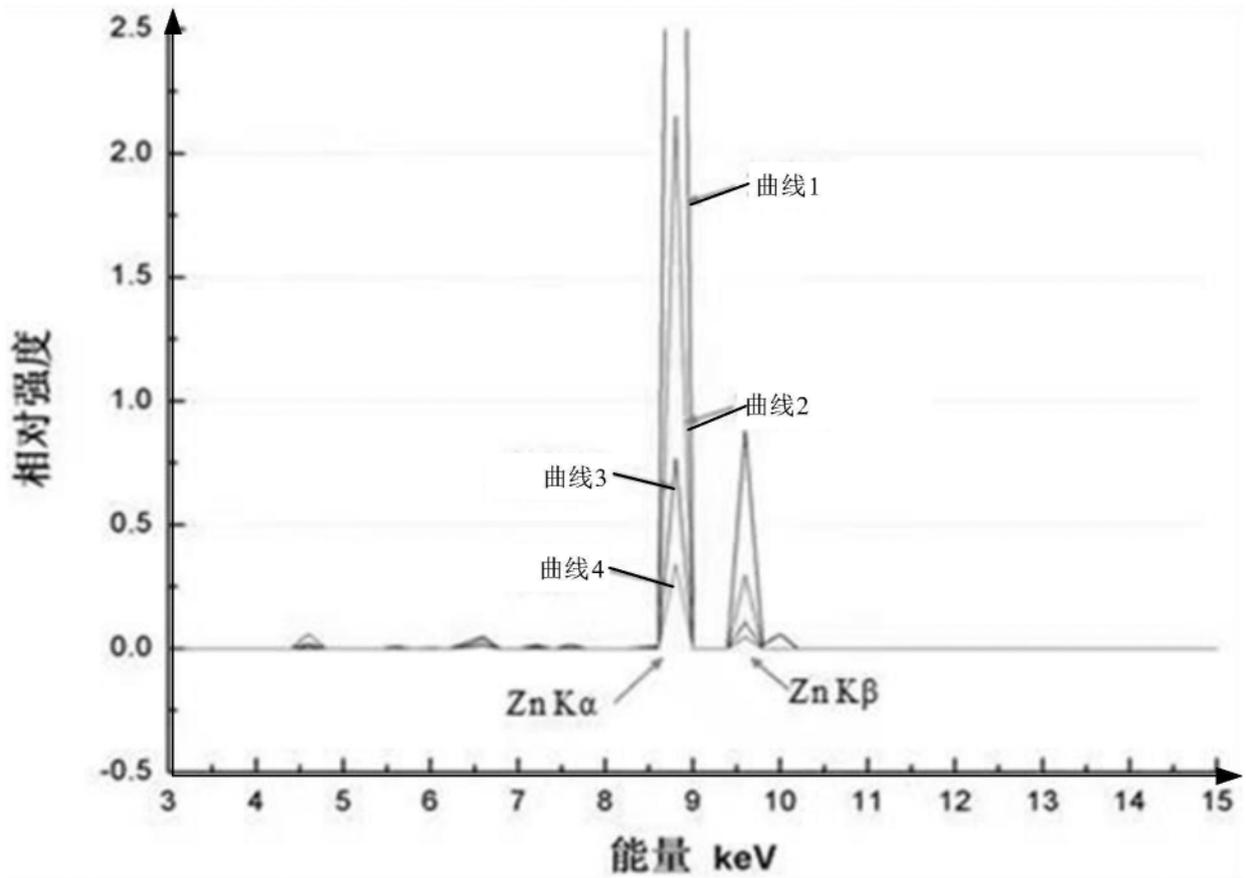


图6

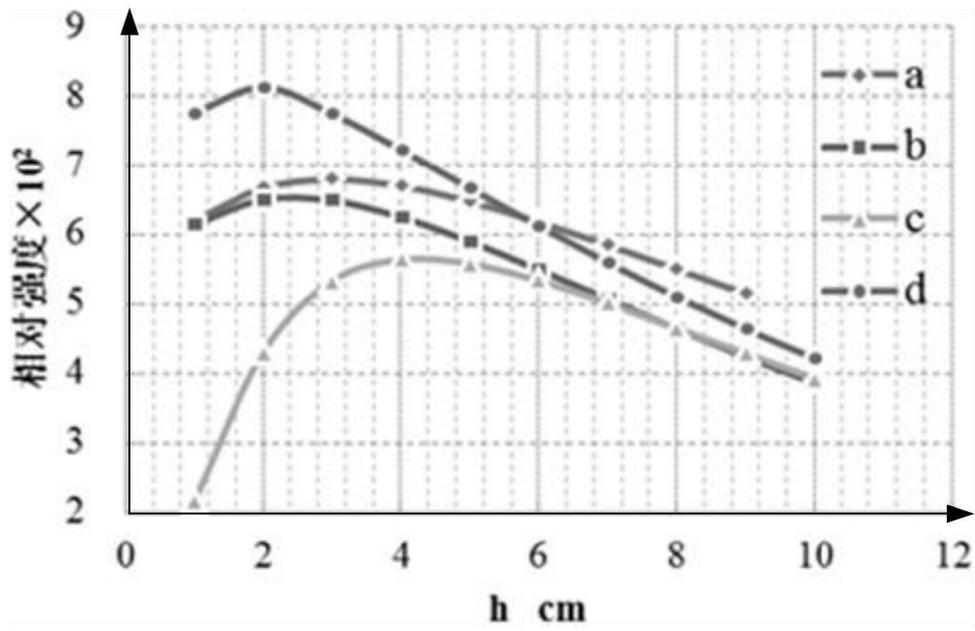


图7

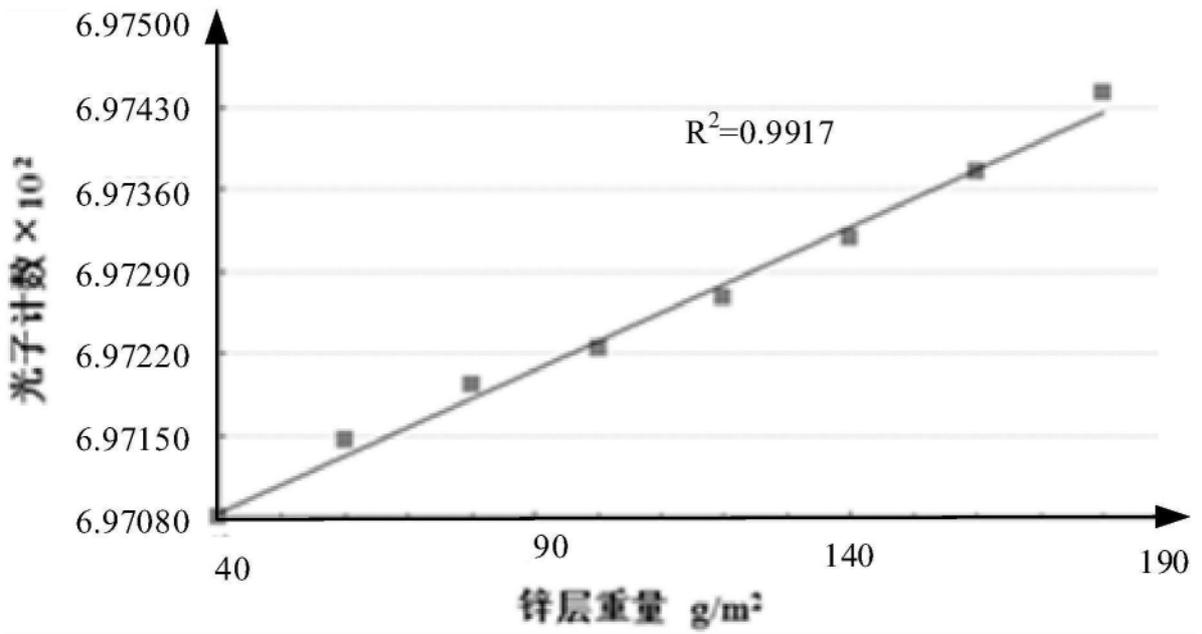


图8 (a)

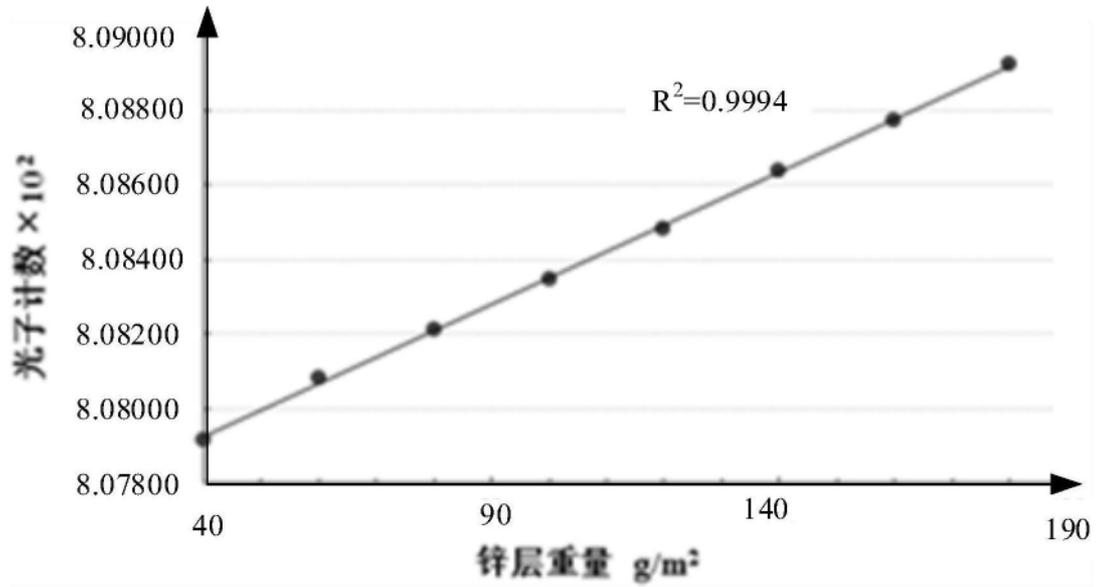


图8 (b)

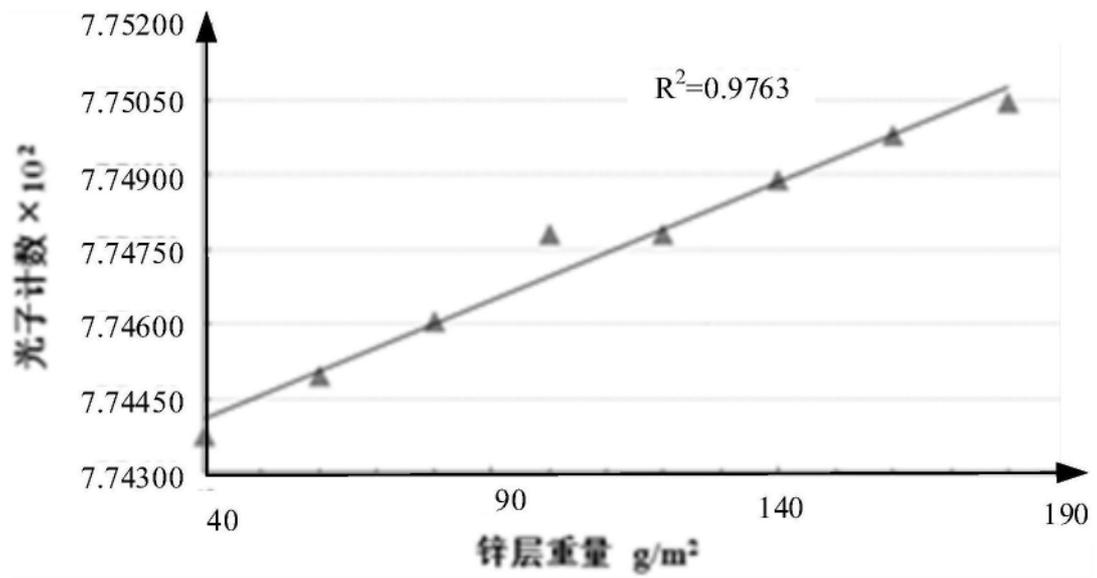


图8 (c)

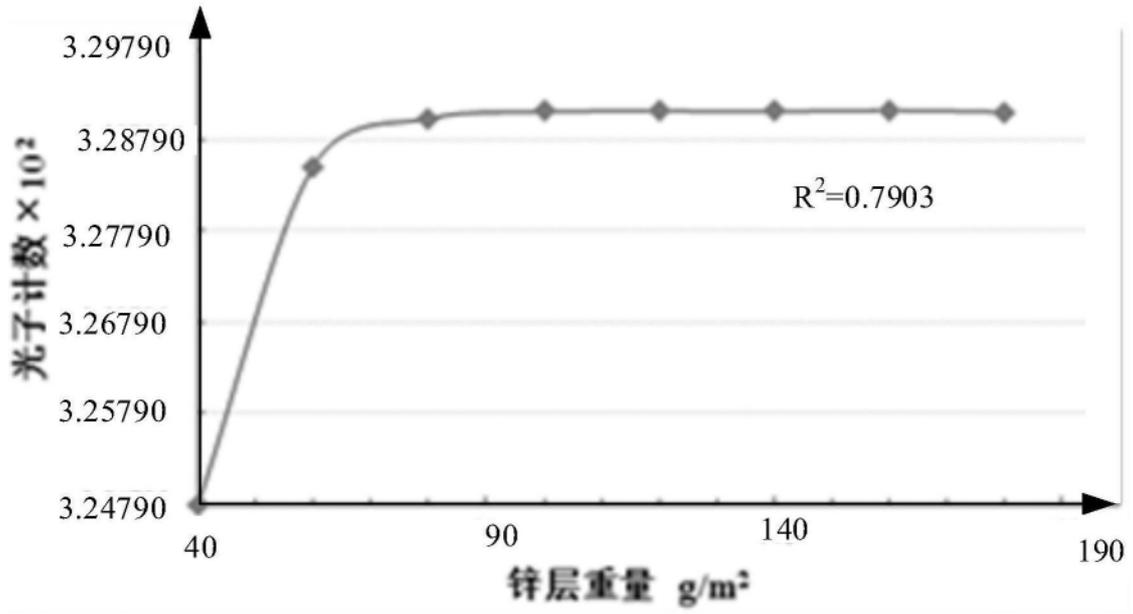


图8 (d)