

铜版纸涂布量在线测量仪

黄梅芬 毛顺娟

(机械工业部上海材料研究所)

铜版纸涂布量在线测定仪采用TP-801单板计算机处理数据,能直接数码显示和打印单位面积的涂布量(g/m²),仪器测量时间10s,在线测量重复性为±1g/m²,与称重法相对误差为±5%。

关键词:选择吸收 在线测量 铜版纸 涂布量

一、前言

铜版纸是在普通白纸(也称原纸)上正反涂一层白色涂料,经烘干后制得。白涂料的涂布量和均匀度直接影响铜版纸的质量。本文介绍在线测定铜版纸涂布量的方法和仪器。

与⁸⁵Kr β射线在线测厚仪相比,此仪器具有两个优点:(1)只需一只探头,一次测定就可知道涂布量,无需同时测定原纸厚度。(2)所用²³⁸Pu源比⁸⁵Kr源半衰期长得多,不需要经常作衰变校正。

二、原理和方法

1. 选择吸收法^[1,2]

选择吸收法主要根据光电吸收的原理。光电吸收的几率用光电效应的截面 τ_0 来表示:

$$\tau_0 = KZ^m E_0^{-n} \quad (1)$$

式中, Z 为原子序数; E_0 为入射 γ 光子的能量;对同一元素的同一壳层来说 K 为常数; m 的值约为4,随 K 值的不同而变,但变化较小; n 的值约为3,随 K 和 Z 而略有变化。因此,光电吸收基本上与原子序数 Z 的四次方成正比,与入射 γ 光子的能量 E_0 的三次方成反比。这也就是说重元素的光电吸收截面要比轻元素大得多,入射X射线或 γ 光子的能量愈低,光电吸收愈厉害。一般来说当涂层的原子序数比基体原子序数大一倍以上,也就是说涂层的质量吸收系数至少是基体质量吸收系数的16倍时,采用选择吸收方法比较有利。在此情况下,基体重量变化±10%,对涂层重量的测定不会产生显著的误差^[1]。

铜版纸基体元素主要是C、H、O等,铜版纸涂料有多种成份,如:瓷土($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)、 $CaCO_3$ 、 $BaSO_4$ 、滑石粉($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$)和粘结剂等。欲测定涂料的总量,采用选择吸收法比较合适。

2. 入射X射线的选择

入射X射线的选择主要从两方面考虑:(1)X射线源必须有足够长的半衰期。(2)入射X或 γ 射线的能量应适当。入射射线能量太高,涂层对它吸收小,灵敏度差。射线能量太低,原纸的吸收影响较大,校正比较复杂。

本方法利用二次射线作为光电吸收的入射射线。用²³⁸Pu作为初级射线源(半衰期86.4年,所发射ULX射线,能量为12~22keV),分别激发Cu、Fe、Mo以及18-8不锈钢等不同靶子元素的

特征荧光X射线。这些特征荧光X射线分别经原纸和不同厚度的铜版纸样品吸收后,其透射计数列于表1,各透射计数与相应的铜版纸涂布量(g/m^2)之间的关系见图1。由图1可见涂布量在 $15\sim 50\text{g}/\text{m}^2$ 范围内,经各涂层吸收后的透射计数 N 与涂布量 $W(\text{g}/\text{m}^2)$ 之间基本成线性关系, K 为各条直线的斜率,即 $1\text{g}/\text{m}^2$ 的涂层吸收各特征荧光X射线的强度(计数 $\cdot \text{m}^2/\text{g}$)。

表1 铜版纸对各种荧光X射线的吸收

$K\alpha_1$ X射线能量 (keV)		Fe	18—8 不锈钢	Cu	Mo	涂布量 $W_i(\text{g}/\text{m}^2)$
		6.403		8.047	17.478	
N_f		232893	166532	552446	185470	
N_0		202593	145470	521095	188521	
N_i	N_1	152884	111462	450154	184471	25.41
	N_2	167286	121461	472433	186052	16.62
	N_3	166435	120484	471272	185712	17.32
	N_4	143310	104252	431416	183464	32.58
	N_5	150987	110324	446273	184921	28.66
	N_6	155953	113729	458119	185052	24.60
	N_7	126853	92596	405112	181632	46.88
$K(\text{计数} \cdot \text{m}^2/\text{g})$		1348	959	2281	143	
$K_0^*(\text{计数} \cdot \text{m}^2/\text{g})$		378.8	263.3	391.9	-38.1**	
K/N_f (%)		0.59	0.58	0.43	0.078	

* $K_0=(N_f-N_0)/W_0$, W_0 为原纸质量厚度 $80\text{g}/\text{m}^2$
 ** 负值是原纸对 $^{238}\text{PuULX}$ 射线的散射引起,说明原纸对 Mo 荧光X射线基本上没有吸收

表1中 N_i 为Fe、Cu、不锈钢(有多种元素的特征X射线)、Mo等特征荧光X射线强度(每10秒钟计数)。 N_0 为各特征X射线通过 $80\text{g}/\text{m}^2$ 原纸吸收后的计数。 N_i 为各特征X射线透过不同厚度铜版纸样品的计数。 K 为图1中各直线的斜率, K_0 为原纸的吸收效率,即单位质量厚度原纸吸收各特征荧光X射线的强度(计数 $\cdot \text{m}^2/\text{g}$)。由表可见,几种材料相比,随着Fe—不锈钢—Cu—Mo特征荧光X射线能量逐渐递增,涂层对这些特征荧光X射线的相对吸收效率逐渐降低(见表1中 K/N_f 项),涂层对Fe的特征X射线吸收量最大,对 17keV Mo的特征X射线的吸收已相当微弱。同时由于 ^{238}Pu 源对CuX射线的激发效率最高,激发效率以Cu—Fe—Mo—18-8不锈钢的次序降低(见表1中 N_i 项),因此从绝对吸收效率来看,涂层对Cu特征荧光X射线的吸收效率要比Fe高得多(表1中 K 值),而原纸对此两种特征X射线的吸收效率相差并不太大(表1中 K_0 项)。因而采用Cu的特征X射线作为二次入射射线最为合适。

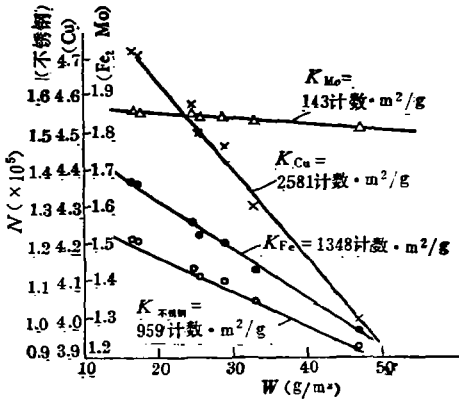


图1 铜版纸对各种荧光X射线的吸收
 ○不锈钢 ●Fe ×Cu △Mo

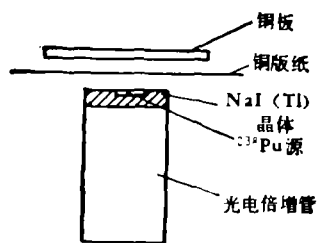


图2 探头示意图

3. 铜版纸涂布量在线测量原理

铜版纸涂布量在线测定仪探头示意图见图2。放射性同位素源 ^{238}Pu 的低能X射线穿过铜版纸打在铜板上,激发Cu的特征荧光X射线,Cu的特征X射线再经过铜版纸吸收后被探头所接收,涂布量不同,其对 ^{238}Pu 源的初级X射线以及铜的特征X射线的吸收也不同,用已知涂布量的标准样品进行定标,即可根据铜的特征X射线透过不同厚度铜版纸的强度(每10秒钟计数值),推算出涂层的质量厚度(g/m^2)。

X或 γ 射线通过物质层时,它的强度减弱服从指数衰减规律,因而:

$$N = N_0 e^{-\mu W} \quad (2)$$

式中, N 为铜的特征荧光X射线透过原纸及铜版纸涂层的计数; N_0 为铜的特征荧光X射线透过原纸后的计数; μ 为铜版纸涂层对各种射线(包括铜特征荧光X射线, ^{238}Pu 源的X射线以及各种散射线)总的质量吸收系数,以 m^2/g 为单位; W 为铜版纸涂层质量厚度,即单位面积涂布量(g/m^2)。

式(2)中 $e^{-\mu W}$ 项按泰勒级展开:

$$N = N_0 \left[1 - \mu W + \frac{(\mu W)^2}{2!} - \frac{(\mu W)^3}{3!} + \dots \right] \quad (3)$$

当 μW 值很小时,式(3)可近似为:

$$N \approx N_0 (1 - \mu W) \quad (4)$$

令 $K = N_0 \mu$

$$\text{则, } W \approx (N_0 - N) / K \quad (5)$$

实验证明铜版纸涂层在 $15 \sim 47 \text{g}/\text{m}^2$ 范围内,涂层对X射线(主要是铜特征荧光X射线)的吸收与涂布量之间基本上呈线性关系(见图1)与式(5)结果一致, K 为图1中标准曲线的斜率,即单位涂布量对Cu特征X射线的吸收值(计数 $\cdot \text{m}^2/\text{g}$)。 N_0 为标准曲线在 N 轴上的截距,其值接近于Cu特征X射线透过原纸的计数。

将从标准样品测得的 K 和 N_0 值输入计算机,然后测定计数 N 的值,即可由仪器直接显示涂布量 W 的值。

三、测量仪结构

铜版纸涂布量在线测量仪外形图见图3。包括探头和主机两部份。

(1) 探头部份 包括 $30\text{mCi } ^{238}\text{Pu}$ 源, $\phi 50 \times 1\text{mm}$ 国产碘化钠晶体,EMI 9757B 光电倍增管和一块扇形铜板。探头上用 $12\mu\text{m}$ 涤纶薄膜复盖以避免弄脏源和NaI(Tl)晶体,涤纶膜可以随时更换。铜板可以旋转,当生产发生故障,断纸时,铜板可旋转至流水线外,不影响穿纸。铜板与探头的相对位置保持 20mm ,距离不受振动影响。测量标准样品时,探头可移到流水线外,这样可以随时对仪器作校正。探头不用时,备有铜防护盖。放射性剂量测定符合安全标准。

(2) 主机部份 主机带有TP-801单板微处理器,设计了两个引导程序和四个测量程序,框图如图4所示。四个测量程序有四种显示和打印方式。两个引导程序:一个将 N_0 和 K 值烧死在EPROM存储器内,使用时只需打送测试程序首址0999即可进行四种测量程序。另一个使

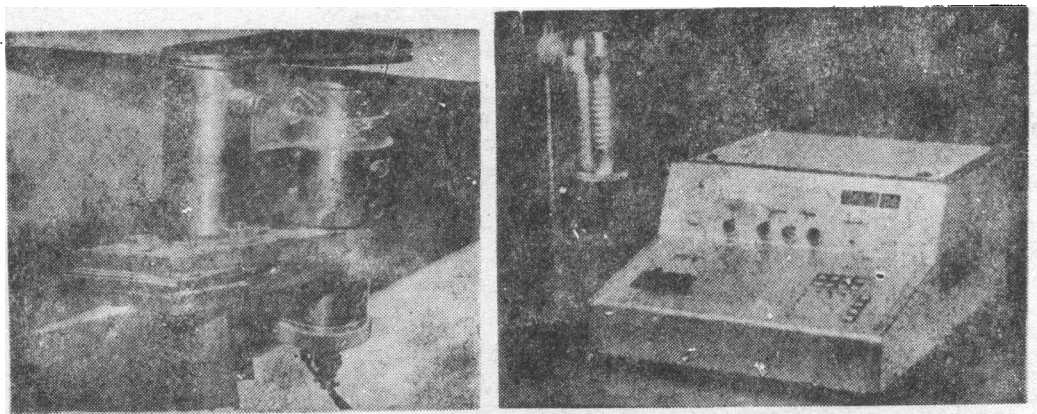


图3 测量装置

左、探头部分 右、仪器部分

用时可按顺序打入年、月、日, N_0 、 K 值, 然后打测试程序首址0800, 即可作四种测量、显示和打印。当 N_0 和 K 值固定时, 用第一引导程序。当 N_0 、 K 值变化时, 用第二引导程序。

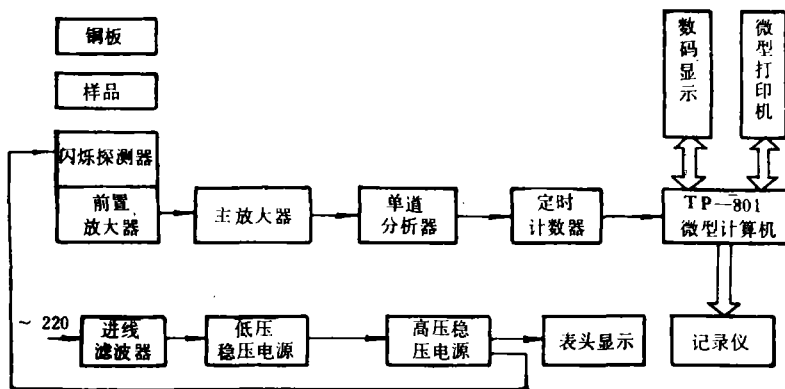


图4 仪器方框图

四、结果与讨论

1. 实验室测定结果

测定了手涂和机涂共 104 只样品, 涂布量从 $11 \sim 39 \text{g/m}^2$, 原纸重量由 $75.70 \sim 87.39 \text{g/m}^2$ 。与称重法相比有 95% 以上的样品测定相对误差在 $\pm 10\%$ 范围内。

2. 在线测定结果

仪器在上海华丽铜版纸厂主生产线——1*涂布机上进行试验, 测定了 150g/m^2 和 120g/m^2 两种双面铜版纸(前者使用 110g/m^2 原纸, 后者使用 80g/m^2 原纸), 涂布量约 40g/m^2 , 与称重法相比测定误差一般为 $\pm 2 \text{g/m}^2$, 即 $\pm 5\%$ (见表 2)。

3. 整轴铜版纸在线测定结果

120g/m^2 和 150g/m^2 铜版纸各任取一轴连续测定结果示于表 3 (每 5 分钟记录一次涂布量)。各测定值与平均值相比, 一般保持在 $\pm 1 \text{g/m}^2$ 范围内。当然料底或打料时例外, 变化较大。

4. 结果分析

1) 测量统计误差 由于测量统计涨落所引起的误差小于 $\pm 0.3 \text{g/m}^2$ 。

表2 铜版纸在线测定结果

品 种	样 号	原 纸 重 $W_0(\text{g}/\text{m}^2)$	铜 版 纸 涂 层 重				
			称重 $W_{\text{称}}$ (g/m^2)	静态测定 $W_{\text{静}}$ (g/m^2)	相对误差(%) ($W_{\text{静}} - W_{\text{称}})/W_{\text{称}}$	在线测定 $W_{\text{线}}$ (g/m^2)	相对误差(%) ($W_{\text{线}} - W_{\text{称}})/W_{\text{称}}$
150克铜版纸	21—2	116.48	43.30	44.0	+1.6	43.6	+0.7
	21—5	110.51	39.60	41.3	+4.3	39.4	-0.5
	21—7	106.80	38.86	40.3	+3.7	40.2	+3.4
	21—8	110.33	41.22	41.8	+1.4	41.5	+0.7
	21—9	107.68	40.06	39.7	-0.9	38.5	-3.9
	21—10	109.60	39.58	39.4	-0.5	38.6	-2.5
	21—12	111.00	43.51	41.7	-4.2	44.6	+2.5
120克铜版纸	23—1	84.84	38.68	38.4	-0.7	39.1	+1.1
	23—3	81.16	38.27	37.2	-2.8	38.3	+0.1
	23—4	80.86	40.85	39.2	-4.0	39.9	-2.3
	23—5	84.61	40.60	38.8	-4.4	39.0	-3.9
	23—6	86.30	38.17			37.7	-1.2
	23—7	84.63	39.23			37.7	-3.9

表3 整轴铜版纸在线测定结果(g/m^2)

83.9.23第4轴 (120 g/m^2 铜版纸)	83.3.22(下午6:00) (150 g/m^2 铜版纸)
38.6, 38.7, 38.4, 38.6, 39.0, 38.2, 38.7, 38.7, 40.2, 40.7 平均39.0	34.7, 35.8, 35.8, 35.7, 35.3, 35.1, 34.9, 35.8, 35.6 平均35.4

2) 距离的影响 ①铜板与探头之间距离

的影响:图5是1 g/m^2 涂层对铜荧光X射线的吸收计数随铜板离探头距离变化的情况。由图5可知铜板与探头的距离以8mm最佳,此时涂层的吸收最大,距离变化引起计数的波动也较小。但这个距离对涂布生产带来不便,因而选用20

mm距离,而20mm正处在图5曲线的陡坡上,距离变化 $\pm 1\text{mm}$,单位涂布量的吸收计数就可相差 $\pm 4\%$,因此必须严格保持铜板与探头的相对位置固定不变。②铜版纸离铜板距离的影响:铜版纸在铜板和探头之间有20mm的变化范围,实验结果说明了铜版纸在探头与铜板之间的距离变化对测量结果影响小于 $\pm 1\%$ 。③水份对测定结果的影响:水份对测量结果无明显影响,增加10 g/m^2 水份,测量相对偏差仅0.7%。因此本仪器可以作湿法在线检测。④原纸厚度的影响:由表1可知1 g/m^2 原纸对Cu荧光X射线的吸收为391.9计数,而1 g/m^2 涂层对Cu荧光X射线的吸收为2281计数,原纸的吸收约为涂层吸收的17.2%,因而对不同原纸厚度的产品可用斜率校正法作不同的标准曲线,求出各自的 N_0 和K值(主要是 N_0 的值有变化),输入计算机即可使用。对同一种产品来说,如果涂布量为40 g/m^2 ,原纸差别 $\pm 5\text{g}/\text{m}^2$ 带来的误差约为 $\pm 2\%$,可以满足测定要求。在线测定中,原纸重量是十几米的平均值,因此原纸厚度波动比较小但原纸厚度不均匀直接影响称重的结果,这就可能造成称重的结果与仪器测定的结果有时偏离较大。⑤测量重复性:现场一昼夜连续测定铜的特征荧光X射线计数(不放样品),最低最高计数相差 ± 2500 个(10秒钟计数),约 $\pm 1\text{g}/\text{m}^2$ (涂层K值为3000计

(下转第6页)

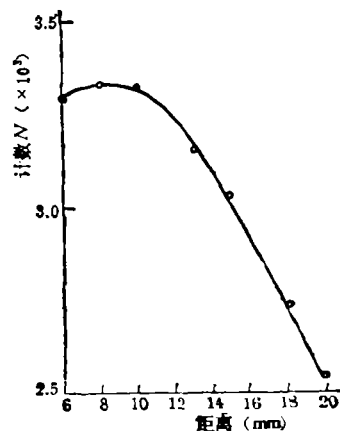


图5 距离对测量结果的影响

面为细粒花岗岩。

5. 指示线性构造

河南桃园岩体以南的中元古界 Pt_2M 分布区,在总计数率和各含量图上呈现一系列平行排列的北西西走向的线性升高带。对比地质资料,这与 Pt_2M 地层中一系列紧密排列的断层(大河断裂系)位置吻合,只是航测反映的条带数量更多些。

工作经验表明,有时构造破碎带伴有放射性元素含量的升高,它可能是放射性物质迁移的通道或有中酸性岩体沿破碎带侵入;有时线性构造带以放射性场的降低为特征,这可能与放射性元素的迁出有关或有基性超基性岩侵入其中。包括结晶基底的隐伏断裂在内,各种线性构造可以三种形式的放射性异常显示出来:线性延伸异常(升高或降低);等轴状异常链(升高或降低);总 γ 场强度和放射性元素含量高与低发生突变的分界线。

最后需要指出,目前我国应用航空 γ 能谱测量寻找非放射性矿产以及研究各种基础地质问题的作得还不多,航测资料用于不同地质目的时的推断解释方法也不够成熟,还有待研究和发展。但是,现已取得的初步成果足以表明该方法在地球科学的广泛领域中应用的有效性,以及它的良好潜在作用。

本文资料来源于我队实测结果。

本队高级工程师卓松年、石青云,成都地质学院副教授章晔曾对文章作了审阅并提出宝贵意见,在此表示感谢。

(上接 18 页)

数 m^2/g)。温度变化大时,可根据铜特征荧光 X 射线计数的变化,适当改变 N_0 的值对测定结果进行校正。

五、结 论

铜版纸涂布量在线测定仪采用同位素源荧光 X 射线选择吸收法,测定时间 10 秒,实验室测定与称重法的相对偏差为 $\pm 10\%$ ($10\sim 40g/m^2$ 范围内)。对 $120g/m^2$ 和 $150g/m^2$ 双面铜版纸在线测定重复性为 $\pm 1g/m^2$,与称重法的相对偏差约为 $\pm 2g/m^2$ (约 $\pm 5\%$)。水份对测定结果无明显影响。原纸厚度相差 $\pm 5g/m^2$ 时,对 $40g/m^2$ 铜版纸测量结果影响为 $\pm 2\%$ 。用单板机处理数据,仪器可直接快速、连续显示和打印涂布量。

南通电子仪器厂马为平、冯荫华、陈达元同志参加了仪器研制和计算机程序编制工作;上海材料研究所吴万春同志参加了现场安装设计工作;上海华丽铜版纸厂范公桥、吴志民、陆朴敏等同志协助和参加了部份现场安装、测试工作,特此感谢。

参 考 文 献

- [1] C. A. Ziegler ed., Applications of low energy X and gamma rays, New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1971, p.91.
- [2] 张家骅等,放射性同位素 X 射线荧光分析,北京,原子能出版社,1981 年,第 7 页。

(1984 年 6 月 12 日收到)

Abstracts in English

Application of airborne gamma-spectrometric survey to earth sciences in China

Zhang Wenbin Xu Dongchen Fan Bingxue

(General Team of Aero-geophysical Survey, Ministry of Geology
and Mineral Resources of China)

Keywords: airborne gamma ray spectrometer survey uranium prospecting
geological mapping non-radioactivity prospecting
aero-geophysical survey

New developments for Rutherford backscattering analysis techniques

Wang Zhenxia

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

Keywords: backscattering mass resolution power
depth resolution power time of flight (TOF)
glancing angle

An apparatus for on-line measuring the coating weight on art paper

Huang Meifen Mao Shunjuan

(Shanghai Materials Research Institute)

The method and apparatus for on-line measuring the coating weight on art paper are described. The design of the coating gauge was based on the technique of characteristic X-ray fluorescence preferential absorption. The gauge was equipped with a TP-801 micro-computer which makes the gauge capable of showing and typing the data in different forms. The measurement is quick, continuous, accurate and non destructive. Analysis period is 10 seconds. In on line measuring, the reproducibility is $\pm 1\text{g/m}^2$ and the relative error of this method amounts to $\pm 5\%$ with the weighing method as a standard.

Keywords: preferential absorption on line measuring
art paper coating weight

A stepping motor driven ion beam scanner with double probe

Piao Yubo Ma Shuxun Ma Yongli

(Institute of Nuclear Research, Lanzhou University)

A device with double probe driven by a stepping motor is described. It can be used