

实用技术

红外法测定木材刨花含水率

李腾浪 封维忠 阮锡根

摘要 本文介绍了双色、三色和双光路双色红外水分仪的测量原理、仪器的光学系统和基本组成,并指出了红外水分仪的使用要点。

关键词 木材刨花;红外;含水率

Moisture Measurement of Wood Particles by Infrared Rays

Li Tenglang Feng Weizhong Ruan Xigen
(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract In this paper, fundamental principles and compositions of three types of moisture meters by means of infrared rays were introduced. The measuring principles of these moisture meters were bichromatic, trichromatic and double-optical-ways bichromatic, respectively. Guidelines for these moisture meters in use were also discussed.

Keywords Wood particles; Infrared rays; Moisture meter

木质材料的含水率测量有多种方法,例如电阻法、电容法、微波法、冷冻法、核磁共振法等。这些方法各有优缺点,对于颗粒状的木粉、片状的刨花、丝状的木纤维等由于密度变化的影响,使含水率的在线测量变得更加复杂。例如电容法,同样的含水率因刨花压实程度不同其测量的数值就有差异,因此,必须采用相应措施来消除此误差。我国某些工厂的进口设备中采用了螺旋转换器将刨花压紧,再用电阻法测量其含水率。也有些工厂用微波法测含水率,同时用 γ 射线测量密度,进行修正。虽然这些方法已经用于生产,但都有其不足之处。目前在刨花板、中纤板工业中应用红外线法在线测量刨花或纤维的含水率,已比较广泛并得到国内外专家赞许。本文对红外含水率测量仪进行综合性介绍,并与同行探讨。

1 红外含水率测量仪的基本原理和构成

1.1 测量原理

当向物质上照射近红外光时,被照物会根据其组成成分而吸收特定波长的光。图1表示了水在近红外波段的吸收带有 $1.2\mu\text{m}$ 、 $1.45\mu\text{m}$ 和 $1.94\mu\text{m}$ 三个波长。这种吸收是通过水分子伸缩振动和变角振动的结合而引起的共振现象所产生。因此,一旦将这些光照射在含水的物质上,就会产生与含水量对应的光吸收。在水的近红外吸收波长中,因用 $1.2\mu\text{m}$ 的波长时

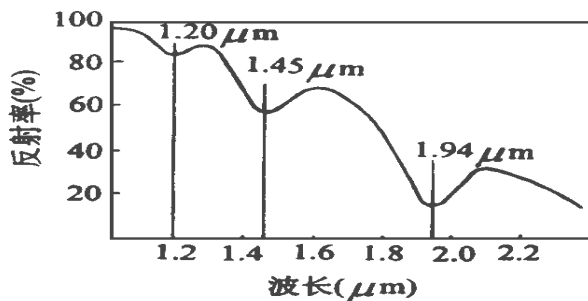


图1 水在近红外波段的反射光谱

Fig. 1 Reflector spectrum of water in sub-infrared band
水的吸收率小,故现在的仪器多采用 $1.45\mu\text{m}$ 或 $1.94\mu\text{m}$ 波长。

在颗粒体的工艺流程中,一般被测物的表面是不规则的,所以表面的反射率要发生变化,因而投射到被测物上后再反射到传感器的光能量也要发生变化。当只采用水的吸收波长进行测定时,上述的反射率变化就形成了外部干扰,很难测量准确。为消除干扰,除使用被水分吸收的波长外,还要使用该波长附近不易被水分吸收的波长,作为比较波长。将这两种光投射到被测物上,并用光电接受器把漫反射回来的光转换为电信号,求出各自的比率。由于外部干扰是以同样的比例影响这两种光,所以若取比例,就能消除外部干扰的影响。这种利用被水吸收和不被水吸收两种波长的水分仪,叫做双色红外水分仪,被测物料的含水率可由下式得出:

$W = a_0 + a_1 \ln(R/S) \dots\dots\dots (1)$
式中: S — 水吸收波长光的反射光量; R — 参考波长光的反射光量; a_0 — 常数; a_1 — 比例系数; W — 被测样品的含水率 (%)

对于红外水分仪来说,样品的表面状态、颜色、组成成分等(这些被称作“质地”)的影响表现为被测物表面分光特性的斜率。采用双色红外分析仪时,由于比较波长信号的变化而形成示值误差。三色红外水分仪就是在双色红外水分仪的基础上再增加一个比较波长。这种水分仪的特点是采用了— 个被水吸收的波长和两个不易被水吸收的比较波长。由于三色红外水分仪是取比较波长信号之和,所以示值误差互相抵消,从而消除了因被测物“质地”变化而引起的测量误差。设水的吸收波长为 λ_0 , 不被水吸收的波长为 λ_1 和 λ_2 , λ_0 , λ_1 和 λ_2 的反射能量分别为 S_0 , R_1 和 R_2 , 因“质地”引起的分光特性的斜率误差为 r , 如图 2 和图 3 所示。图中的三条曲线分别表示了三种不同含水率情况下样品的反射光谱特性。图 2 表示被测物不受“质地”影响的场合, 图 3 表示被测物受“质地”影响的场合。虚线表示由于受“质地”影响, 被测物的分光特性由水平而变为倾斜。它们之间的关系由下式表示:

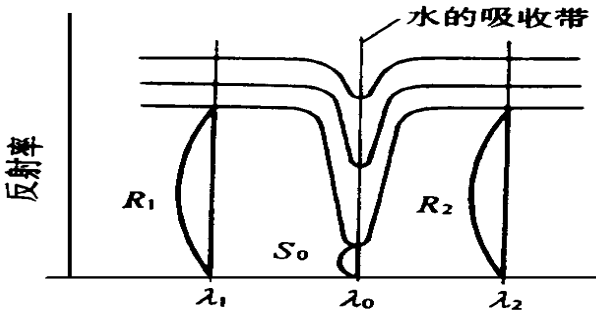


图 2 不受“质地”影响的场合

Fig. 2 Unaffected reflective rate

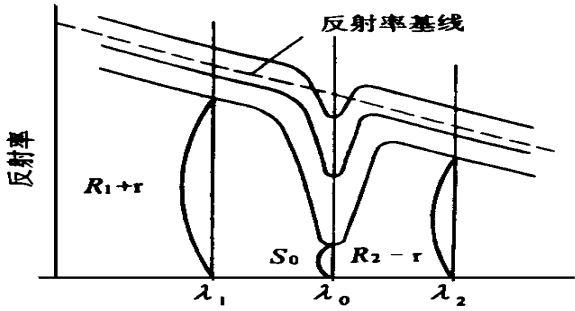


图 3 受“质地”影响的场合

Fig. 3 Effected reflective rate

双色式: $S_0/R_1 \rightarrow S_0/(R_1 + r) \dots\dots\dots (2)$
三色式: $S_0/(R_1 + R_2) \rightarrow S_0/[(R_1 + r) + (R_2 - r)] = S_0/(R_1 + R_2) \dots\dots (3)$
双色式如式 (2) 所示, 因“质地”产生了误差, 而三色式则如式 (3) 所示, 不受“质地”的影响。

适当地对 λ_0 , λ_1 和 λ_2 这三种波长进行选择以及三色比率的运算, 可认为采用三色比率运算方式的水分仪比双色红外水分仪有着更高的测量精度。

1.2 单光路三色红外水分仪的构成

下面以日本产 JE-300 型在线红外水分仪为例, 介绍单光路三色红外水分仪的构成。

该仪器由传感器头部和电子部分组成, 其光学部

分由光源、光学滤波器、反射镜等构成 (见图 4)。

利用透镜汇聚光源发出的光, 透过由电动机驱动的光调制盘, 变成脉动光。圆盘的光孔中装有 4 种滤光片 (F_1, F_2, F_3, F_4), 使水分吸收波长 λ_1 , 参考波长 λ_2 , λ_3 , 可见光波长 λ_4 透过, 然后再利用反射镜 M_1 将透射光照射到被测物上。

被照射光中, 根据被测物的水分, 一部分水分吸收波长光被吸收, 另一部分被漫反射。参考波长光没有被测定物吸收而被漫反射。这些漫反射光利用聚光

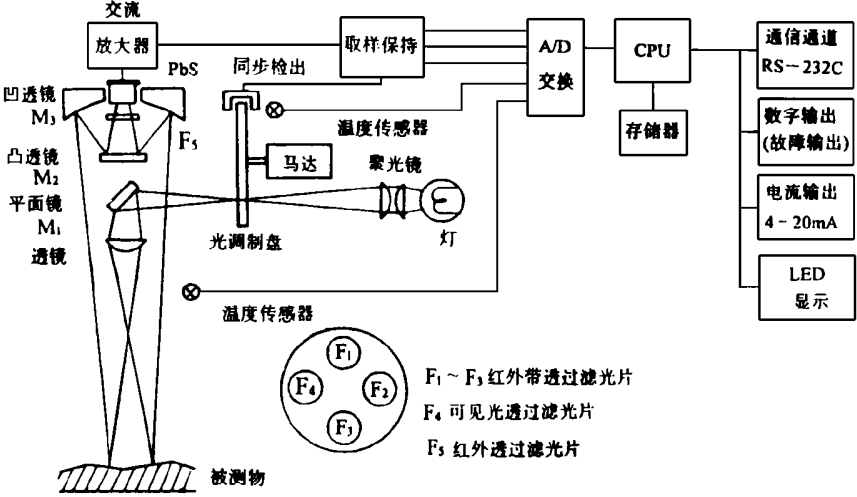


图 4 三色红外水分仪的构成

Fig. 4 Composition of trichromatic infrared ray moisture meter

镜 M_2 、 M_3 汇聚,通过可见光截止滤光片 F_3 ,再用 PbS 光电元件将其变换成电信号。另外,可见光可作为确认测定位置用的光点使用。

PbS 光电探测器获取的电信号是按吸收波长信号 S_0 、参考波长信号 R_1 、 R_2 的顺序排列的串行信号。首先用交流放大器放大信号,再由取样保持电路将 S_0 、 R_1 、 R_2 的信号分离,以各自的直流信号形式取出。

已形成直流信号的 S_0 、 R_1 、 R_2 在模拟输入部分进行 A/D 转换,以数字信号形式输送到中央处理器 (CPU),在 CPU 利用 (1) 式运算时,再加进温度、湿度的校正运算,并显示出水分值。

JE-300 红外水分仪的主要技术指标如下:

测定距离	350±50 mm
测定面积	φ 30 mm
响应时间	0.5 s
标准曲线数	99 条
显示	发光二极管,吸光度,水分
外部通讯	RS-232 C
输出信号	4~20 mA
温度范围	0~+40℃
电源	AC 100 V
尺寸	头部 286mm×182mm×150mm 电子部分 153mm×244mm×320mm
选择	个人计算机用软件

1.3 双光路双色红外水分仪的构成

如上所述,双色红外水分仪可以消除由于样品表面反射率变化而形成的外部干扰,而三色红外水分仪不但可以消除被测物料表面反射率变化而形成的干扰,而且可以消除被测物料“质地”变化而引起的测定误差。但是由于仪器需长期地工作,仪器的光路和电路中不可避免地存在着漂移,因此产生测量误差。为了消除漂移的影响,目前国内外许多红外水分仪采用了双光路多色光学系统,除采用两束投射到被测物料上的主光束外,还采用两个辅助光束来消除漂移,使仪器长期稳定地工作。这两个辅助光束具有与两个主光束相同的测量波长和参比波长,但只在仪器内部,而不投射到样品上。辅助光束与主光束均来自同一个光源,通过相同的滤光片并汇聚到同一个红外探测器上。四个光束(即两个主光束和两个辅助光束)的信号强度运算如下:

$$(R/S) \times (S_1/R_1) \approx \text{水分浓度}$$

式中: R 为参比主光束, S 为测量主光束, R_1 为参比辅助光束, S_1 为测量辅助光束

如有导致漂移的情况发生,如电源电压的变化使测量波长光强变化,则 S 和 S_1 的值会同时按比例变化。根据四光束的比率关系,这一变化所造成的结果可抵消。当样品的含水率改变时,即 S 值改变时,整个方程式的值也相应改变,从而能真实地反映出样品中

水分的变化。

中科院上海技术物理研究所德福光电技术公司生产的 TIR 系列双光路四光束红外水分仪的光学部分如图 5 所示。

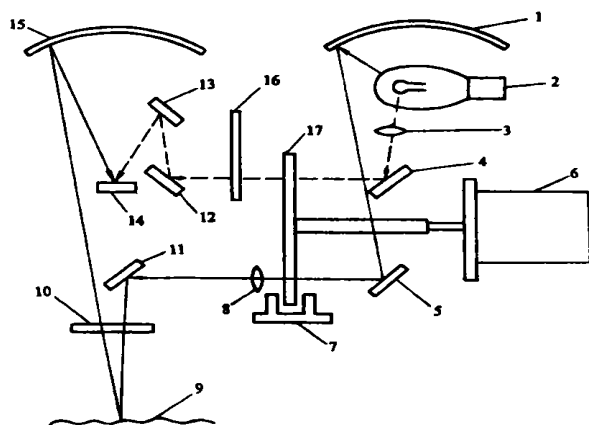


图 5 双光路双色(四光束)红外水分仪的光学原理

Fig. 5 Optical principle of double-optical-beam bichromatic (four optical beams) infrared ray moisture meter

从图 5 可见,电机 6 带动光调制盘 17 以一定的速率匀速旋转。调制盘上装有测量波段滤光片、参比波段滤光片和可见光滤光片。从光源 2 发出的光(以实线表示)经球面镜 1 平面镜 5 汇聚到旋转调制盘 17 的相应位置,交替通过其上的测量波段滤光片、参比波段滤光片和可见光滤光片。测量波段、参比波段的红外光依次经过透镜 8 平面镜 11 光窗 10 投射到被测物料上,经被测物料反射后,再经球面镜 15 汇聚到带有截止可见光滤光片的 PbS 红外探测器 14 上。另外从光源 2 发出的另一光束(以虚线表示)经透镜 3 平面镜 12 和 13,最后也落到 PbS 红外探测器上。这一光束在仪器内部并未经被测样品反射,被称之为辅助光束,它与投射到被测物料上的光束一样,能反映出光学系统的变化情况。该仪器的主要技术指标如下:

水分测试范围	0~90%
精确度	0.005 F S
重复性	0.002 F S
稳定性	每 180 天校准一次
使用温度范围	+40℃~ -40℃
阻尼	0~30s
传感器头与信息处理机距离	标准电缆长 15m, 最长 100m
输出信号	0~100 mV, 0~10 V, 4~20 mA / 1~5 mA / 10~50 mA
测试距离	200~300 mm
电源	220 V±10%, 50 Hz
功耗	75 W A

尺寸

信息处理机尺寸见系列化,传感
器头 186HK 330W× 158D
mm

2 红外水分仪的优点

红外含水率测量仪虽然价格较高,但可以在线连续测量,安装方便,测量精度高,适用性广,因此成为测量刨花和木纤维含水率使用最多的仪器。从测量原理来看,其最大优点是测量结果与被测物料的密度无关。按照绝对含水率的定义:

$$W = m_{\text{水}} / m \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中: W 为被测物料的绝对含水率; $m_{\text{水}}$ 为被测物料所含水的质量; m 为被测物料的绝干质量。

通常的测试方法(如微波法,高频阻抗法等)试样架大小固定(或测试区域大小固定),因此可将 m 看成恒量,测出待测物理量(例如微波法中的衰减大小)和 $m_{\text{水}}$ 的关系,用 $m_{\text{水}}$ 反映含水率 W 的数值。但对于如木材刨花类的被测对象,测量结果随密度变化而异。而红外法所测出的 $m_{\text{水}}$ 值即不随密度变化。由(4)式得:

$$m_{\text{水}} = mW$$

同时下述关系式成立:

$$m = Vd = h \cdot S \cdot d$$

其中: V 为被测样品体积, d 为被测样品密度(绝干容量), h 为被测样品层深度, S 为样品表面积,因此:

$$m_{\text{水}} = W \cdot V \cdot d = W \cdot h \cdot S \cdot d \dots\dots\dots (5)$$

从(5)式可以看出, $m_{\text{水}}$ 是与密度有关的,然而红外法例外,原因是红外线照射到被测样品上,它深入至样品的一定深度就全部被吸收,且密度越大,深度越小。

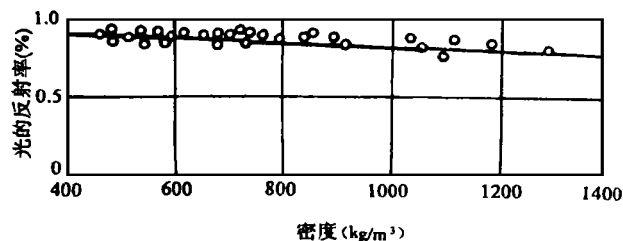


图6 光对无限厚度的木质材料的反射系统和木质材料密度之间的关系

Fig. 6 Relation between optical reflection coefficient of wood materials without thickness limitation and its density

图6是对于无限厚度的木质材料,其密度与光的反射系数之间的关系曲线。从图6可以看出,当木质材料的密度变化3.5倍时,光的反射系数仅变化10%,实验证明下述关系式成立:

$$h \cdot d \approx K (\text{const})$$

K 为常数,因此(5)式变为:

$$m_{\text{水}} = W \cdot K \cdot S$$

上式与样品的密度无关。因此用红外法测出 $m_{\text{水}}$ 的大小,就能反映样品含水率 W 的值。

3 红外水分仪在线使用要点

3.1 距离变化 利用双色或三色比率运算理论上可以消除因距离变化引起的影响,但实际上仍存在某种程度的影响,其程度大小随被测物料品种变化而变化。反射率和灵敏度好的测定物几乎不受影响,反之易受影响,每10 mm物料厚度含水率相差约0.1%。一般情况下采用在传送带上设置挡板作为控制距离变化的方法。

3.2 表面不平 有凹凸存在时采用反射方式会影响测定值,因而利用挡板使表面平滑,利用水分仪变换器的平滑功能,进行电学处理和测定。

3.3 安装位置 必须考虑到测量物料的部位,并避开阳光和白炽灯光等强烈红外辐射,否则将使系统受到干扰,甚至使仪器无法工作。对无法避开阳光和灯光的被测部位,应采取遮光措施。

3.4 测定场所 要选择被测物表面和内部水分差小的地方。

此外,空气湿度(气体水分)及水汽(液体水)也可产生影响,因此,在水汽和灰尘比较多的场合使用时,必须采用空气清洗器,以确保光路畅通。

4 结束语

随着木材工业自动化的发展,对在线水分检测的需求也在逐渐增加。因此开发高质量的水分检测仪器,具有十分重要的意义。

5 参考文献

- 梅列姆亚尼 尤 依. 精确地测量传输线上木材刨花的含水率. [苏]木材加工工业, 1988(5): 7~8
- 山田幸良. 介电常数法的水分传感器. [日]自动化, 1986, 34(8): 94~96
- 久田卓兴. 高周波式含水率计测定精度调查. [日]木材工业, 1986, 41(1)
- Forrer J B. An Electronic System for Monitoring Gradients of Drying Wood. Forest Prod J, 1984, 3(7~8): 34
- 宫内克之, 中 壮太郎. 程序用红外水分仪. [日]计测技术, 1986, No. 10
- 宫内克之, 中 壮太郎等. 红外水分仪的应用和使用要点. [日]计装, 1986, 29(10)
- 佐藤清美, 江涛译. 香烟制造工序中制品温度和水分的控制. [日]传感器技术, 1991, No. 5
- 卡尔苏斯基 M D. 用红外光谱法测定木材刨花的含水率. [苏]木材与胶合板, 1983, (4): 20~25