

## 关于红外加热技术及其应用的讨论(二)

本期发表了两篇实验文章。其中第一篇是关于木材在红外烘干过程中温度的分布。文章的结论是,当选用适当波长的红外辐射进行加热时,木材内层温度可以高于表层温度,即木材内部可以形成所谓“正热源”。这一结论与上一期发表的“‘远红外干燥木材’质疑”一文恰成对照。我们认为,搞清木材内部能不能形成“正热源”,对于认识木材的红外烘干机理十分重要。而要搞清这个问题,首先必须掌握足够的第一手资料。我们建议读者多做一些实验,多作一些分析,不论是自己设计实验,还是验证别人的实验,只要用科学的方法实事求是地做出有价值的结果,我们都可予以发表。

本期发表的第二篇文章是关于木材烘干方法的一种试探。它表明,木材的红外烘干还有不少工作可做。发表这篇文章也说明了,我们的专题讨论不仅着眼于提高理性认识,而且也鼓励那些热心于推进应用的人们发表自己的新经验、新思想。

——编者

### 关于“正热源”及木材红外干燥机理之验证

吴 玮 宁燕妮 徐丽军 耿力力 王仁伟

(黑龙江省电子研究所)

#### 一、引 言

一般的红外加热干燥是基于匹配吸收(共振吸收)的机理,按照这种理论,吸收只是在表面薄薄一层进行,这对于薄层和薄物料的干燥是合理的。而木材属于厚物料,如果按匹配吸收理论解释加热过程,那么木材表层温度必然高于内层,使“热扩散”(指温度梯度引起的水分扩散)与“湿扩散”(指含水率梯度引起的水分扩散)方向相反。并且,由于木材表层温度高,促使水分蒸发速度加快,必然导致表层含水率梯度增大,容易产生不能容许的机械应力,造成木材的开裂变形。但是实践证明:应用电热红外烘干木材,烘干周期短,烘干质量好,基本上不翘不裂。这就提出了一个问题,即:作为厚物料的木材,其红外烘干机理是什么?它与一般的对流加热和微波加热干燥过程有何联系和区别?

本文通过对于木材内部温度场(升温特性)的测量,表明在木材内层有一“正热源”存在,即内层温度高于表层。这样“热扩散”与“湿扩散”方向一致,从而加大了脱水强度,缩短了干燥时间;降低了含水率梯度,保证了烘干质量。因此,对于木材烘干过程中木材内部升温特性的测量是验证“热扩散”与“湿扩散”方向一致的烘干机理的实验依据。

## 二、木材内部的水分扩散

木材在自然状态下,都含有或多或少的水份,木材中的水份主要可分为自由水,吸着水和结合水三种。

木材中,水份含量的多少称为含水率,一般用绝对含水率  $W$  表示:

$$W = \frac{\text{湿材重量} - \text{全干材重量}}{\text{全干材重量}} \times 100\%$$

或写成 
$$W = \frac{G_{\text{湿}} - G_{\text{干}}}{G_{\text{干}}} \times 100\%$$

式中,  $G_{\text{湿}}$  表示木材初重,  $G_{\text{干}}$  表示木材在  $95 \sim 105^{\circ}\text{C}$  的温度下,干燥到恒重时的重量。

木材的干燥,就是根据不同用途的要求,除掉木材中的自由水和部分结合水。

木材内部的水份扩散一般分为两种方式,即由含水率梯度 ( $\nabla w$ ) 引起的水份的“湿扩散”和由于温度梯度 ( $\nabla t$ ) 引起的水份的“热扩散”。如果木材中同时存在着湿度梯度和温度梯度,就同时存在“湿扩散”和“热扩散”这两种扩散方式。

对于不同的干燥方式,在不同的烘干阶段,木材内部的温度梯度和湿度梯度的方向可能相同,也可能相反。当两种扩散方向相同时,水份扩散强度增大,含水率梯度减少,木材不易翘曲开裂;当两种扩散方向相反时,水份扩散强度减小,含水率梯度加大,木材容易开裂变形。

目前应用于木材烘干的三种方式,即对流干燥,微波干燥和红外干燥,由于其传热方式和热流强度的不同,便形成了木材内部不同的升温特性,这是它们之间的根本区别所在。

### 1. 对流干燥

在对流干燥中,热量通过气体介质的对流进行传递。木材内部的升温特性自始至终是中心层温度低于表层。即使在高温或过热蒸汽干燥条件下,由于热流强度大,在干燥过程的后期,中心层温度也只是可能接近表层温度,个别情况下,两者趋于相等<sup>[1]</sup>。由于负温度梯度较小,水份扩散主要由湿度梯度决定。

### 2. 微波干燥

微波干燥主要靠辐射进行热量传递。微波的穿透能力最强,并且辐射热流强度也最大,因此,在烘干过程中,自始至终木材中心层温度高于表层<sup>[1]</sup>,因而“热扩散”与“湿扩散”方向一致。

### 3. 红外干燥

实际的红外干燥靠辐射和对流两种传热方式联合传递热量,并且以辐射传热为主,对流传热为辅。另外,从木材的红外吸收光谱可知,木材的表面吸收峰(带)在  $2.9 \mu\text{m}$  和  $6 \sim 7 \mu\text{m}$  处;在  $3.5 \sim 5.5 \mu\text{m}$  波段,表面吸收较少,大部分穿入木材内部。正是由于红外辐射有一定穿透能力,并且,其辐射热流强度比对流加热的热流强度大得多,而又比微波加热的辐射热流强度小,因此,木材内部的升温特性,将介于对流加热与微波加热干燥过程之间,即兼有两者的特性。我们的实验测量证明了这一结论。

## 三、实验方法和测量结果

我们的实验工作重点是测量木材各层的升温特性,同时还测量木材各层的含水率变化

过程。

### 1. 测量装置(图 1)

采用  $\phi 1\text{ mm}$  的镍铬-考铜热电偶为感温元件, 以 XWX—242 型自动平衡记录仪为指示器, 自动显示出木材各层的升温曲线。用 MY—2 型晶体管木材湿度计测量木材各层的动态含水率变化过程。

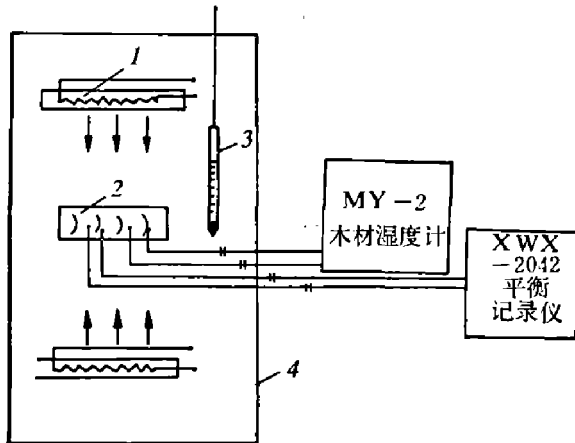


图 1 升温特性测试装置

- 1—辐射元件(沸石板); 规格:  $150 \times 125\text{ mm}$ ,  $400\text{ W}$ ;  
2—实验木块; 3—水银温度计; 4—铝板反射罩

辐射器的表面温度为  $300 \sim 350^\circ\text{C}$ , 木板与辐射器之间距离为  $300\text{ mm}$ 。

### 2. 实验方法

在木材的侧面各层埋入热电偶和含水率探针, 然后在热电偶和探针插入孔灌入蜡油(或绝湿材料), 这样可以防止由于插孔的存在而造成温度场和湿度场的失真, 然后, 外接记录仪和木材湿度计。

被测对象要有普遍性和代表性, 因而本实验各选软材和硬材 2~3 种。软材以松木、椴木为代表; 硬木以柞木、榆木、水曲柳为代表。

### 3. 测量结果

测量结果示于图 2(a)、(b)和(c)。可以看到:

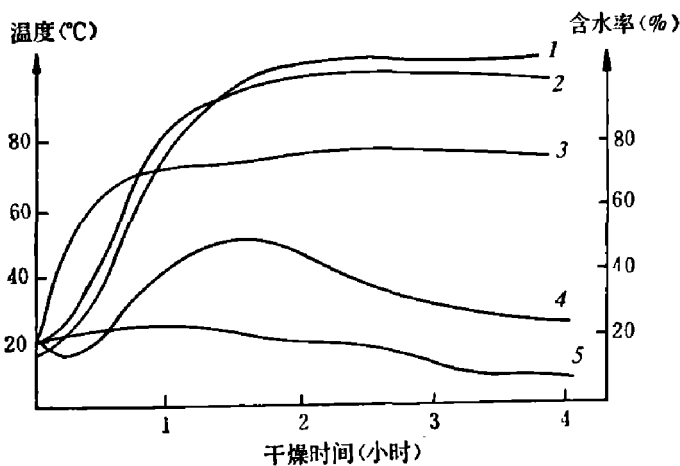


图 2(a) 红外干燥曲线(柞木,  $26\text{ mm}$  厚;  $t_e = 75^\circ\text{C}$ )

- 1—木材中心层温度;  
2—木材表层( $5\text{ mm}$ )温度;  
3—气氛温度;  
4—木材表层( $5\text{ mm}$ )动态含水率;  
5—木材表层( $2\text{ mm}$ )动态含水率

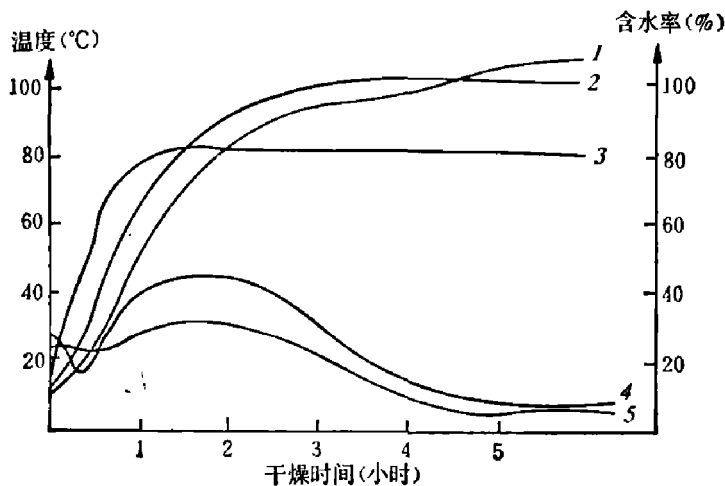


图 2(b) 红外干燥曲线(榆木,  $22\text{ mm}$  厚;  $t_e = 80^\circ\text{C}$ )

- 1—木材表层( $5\text{ mm}$ )温度;  
2—木材表面温度;  
3—气氛温度;  
4—木材中心动态含水率;  
5—木材表层( $5\text{ mm}$ )动态含水率

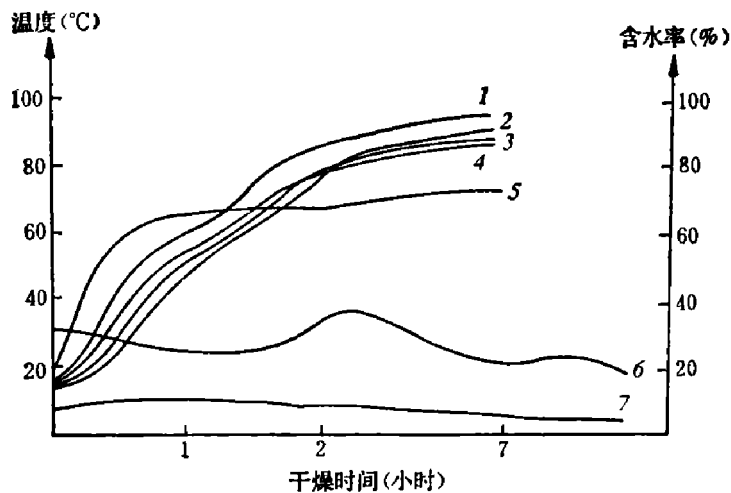


图 2(c) 红外干燥曲线 (松木, 60 mm 厚;  $t_0 = 75^\circ\text{C}$ )

- 1—木材表层 (5 mm) 温度;
- 2—木材中心层温度;
- 3—木材深层 (21 mm) 温度;
- 4—木材表层 (13 mm) 温度;
- 5—气氛温度;
- 6—木材中心动态含水率;
- 7—木材表层 (5 mm) 动态含水率

(1) 在干燥过程的初期, 升温特性类似于对流干燥, 中心层温度低于表层。后来, 中心层温度逐渐上升并高于表层, 同微波干燥类似。

(2) 在烘干过程中, 表层含水率有超过平均含水率的现象, 这是对流干燥过程所见不到的, 说明在红外干燥情况下, 脱水强度大。

## 四、结 论

实验结果表明, 木材在红外烘干过程中, 内层温度高于表层, 因此, “热扩散”与“湿扩散”方向一致。在工程上, 为保证木材内层温度高于表层, 从辐射器的光谱特性上看, 主要应该选择那些对于木材穿入较深的波段, 即  $3.5 \sim 5.5 \mu\text{m}$ 。只要我们把辐射器的峰值波长选择在这一范围, 这样的加热便具有穿入深, 加热率高的特点。

选择合适的波段 (为此, 辐射器表面温度应取  $300 \sim 400^\circ\text{C}$ ), 再加上设计合理的辐射热流强度 (为此, 空间电功率密度取  $1 \text{ kW}/\text{m}^3$ ), 就能在木材内部产生热量积累, 似乎形成“正热源”, 使木材某一层温度高于表层, 从而使“热扩散”与“湿扩散”的方向一致。木材内部更深处的进一步加热, 则靠热传导。由于辐射热流强度大, “热扩散”与“湿扩散”方向一致的木层范围逐渐向内延伸, 于是, 经过比较短的时间就能使木材内部温度高于表层, 从而达到完全方向一致。这种由温度梯度产生的推动力比湿度梯度产生的大得多, 使内层水份连续不断排出, 表层便不会形成过干现象, 因此, 可以基本上消除木材开裂变形等缺陷, 达到烘干速度快、质量又好的目的。

总之, 红外木材干燥的脱水过程分两个阶段进行, 即: 木材内部的水份依靠内部吸收红外辐射形成的温度梯度, 以此为主导, 以温度梯度和湿度梯度所产生的联合推动力, 从内向外扩散; 而扩散到木材表面及极表层中的水份则直接依靠吸收红外辐射及对流传热的作用而蒸发。

## 参 考 文 献

- [1] 满久崇磨, 木材の乾燥, 森北出版株式会社, 昭和 37 年。
- [2] 梁世镇, 木材干燥, 农业出版社, 1980。

(本文 1982 年 10 月 4 日收到。修改稿 1983 年 1 月 6 日收到。)