

# 微波与红外干衣实验研究\*

周蔚红 张钧 黄广连

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

**摘要** 本文从干燥机理出发分析了微波干衣优于红外的性能, 并且从实验表明微波干衣比用 PTC 陶瓷板红外干衣平均节能 10~30%, 平均节时 20~40%。

**关键词** PTC, 微波, 红外, 脱水效率, 脱水速率

**分类号** TN99

## Drying of Clothes Experimental Study on Microwave and Infrared Radiation

Zhou Weihong Zhang Jun Huang Guanglian

(Department of Electronic Technology, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** In this paper, the superiority of Microwave over infrared radiation is studied in accordance with the mechanism of drying. Further more the experiments also prove that the energy consumption is reduced by about 10~30%, and drying time is reduced by 20~40%.

**Key words** PTC, microwave, far infrared radiation, moisture losing effectiveness, moisture losing rate

近年来, 用于衣服、毛巾、浴巾等纺织物的干燥方法很多, 如热风输送型干燥, 接触加热型圆筒干燥, 过热蒸汽干燥, 红外干燥等等。目前在家庭和工业中红外加热陶瓷材料的应用比较广泛, 而微波作为一种新型的加热能源, 与一般 PTC 陶瓷加热相比, 具有以下优点:

1. 平均节能 10~30%;
2. 平均节时 20~40%;
3. 消毒效果好, 具有热和非热效应双重杀菌功能;
4. 加热效率受衣服厚薄、材料质地不同影响小;
5. 加热功率控制方便, 响应快;
6. 干后衣质柔和。

### 1 干燥机理分析

所谓干燥, 一般是指从含水的固体材料中去除水分的操作过程。干燥过程中, 水分流动的机理可分为两种:

(1) 气体内的物质移动, 即由材料表面向周围的气相内移动;

(2) 材料内移动, 即由材料内部向表层部分移动, 图 1 是水分移动的模式, 图 2 是干燥曲线。一般情况下, 干燥曲线包含等速干燥期和减速干燥期的组合过程:

图 1 (a) 示出等速干燥期。水分从材料表面蒸发到大气中, 就是由表面逸出的水分子随着气体的运动, 移向空气中。材料内部的水分向表层扩散。这一状态是材料表层的水分蒸发和材料内部水分向表层扩散之间的平衡状态, 只有水分的蒸发消耗热能。因此, 材料在这期间表面呈湿润状态。

图 1 (b) 示出减速干燥期。是一种内部水分向表层扩散赶不上水分从表面蒸发的状态, 表面逐渐

\* 1998 年 4 月 16 日收稿  
1997 年获国家专利项目  
第一作者: 周蔚红, 女, 1972 年, 工程师

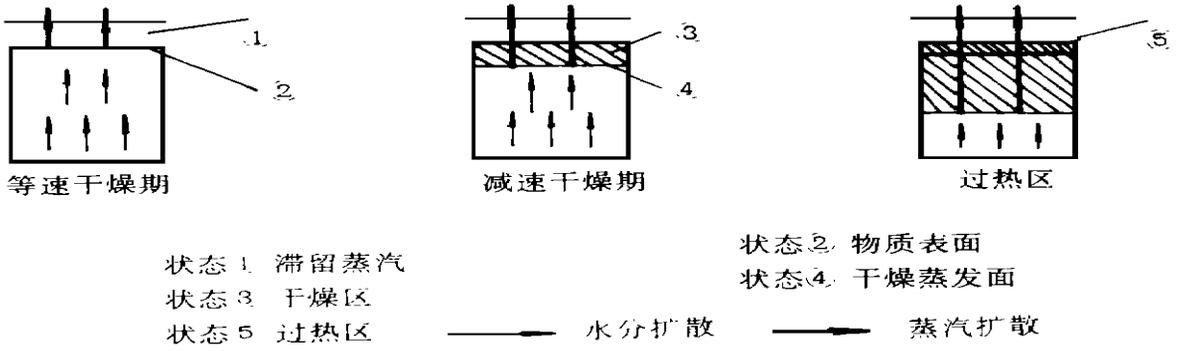


图1 干燥机理

失去湿气，呈干燥状态。材料温度慢慢上升。

图1(c)示出减速干燥期的末期。表层部分过热，呈干燥状态。通过过干燥部分和干燥部分的水分蒸发越来越少。一到这种情况，质量也就变坏，这是不希望的。这了避免这些材料的升温，必须减少供给的热量。但是，这样一来，脱水效率下降，水分干燥就需要花费很长的时间。

为了建立这样的干燥机制，通常需要采取某种手段从外部提供水分移动所需要的气化热。不同的供热方式会对水分从材料内部向表层移动或者水分从表面向空气中移动产生很大的影响。

供热方法通常采用以对流、传导、辐射为基础的外部加热手段。这种方法的缺点是：随着干燥的进行，向材料内部的传热阻力变大，再加上考虑减少上述过热和过干燥区域等条件，则由于热能不能有效地传到材料内部，使干燥速度变慢，处理时间变长。

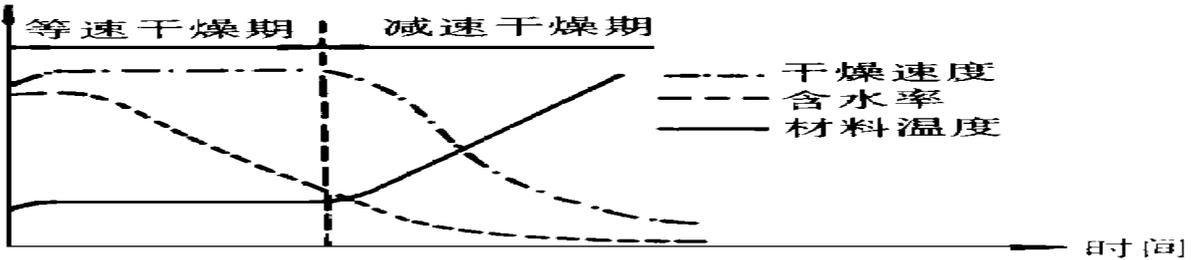


图2 干燥、含水率、温度特性

在此情况下，如果利用微波加热使材料（电介质）本身发热，则由于整个材料发热，蒸发表面好像是向材料内部移动，可以有效地进行干燥。此外，由于水的微波系数（ $\tan\delta \cdot \epsilon$ ）很大，能很好地吸收微波功率。布料中的水分因吸收微波而大量蒸发。以羊毛纤维为例：当含有水分时  $\epsilon = 76.7$ ,  $\tan\delta = 0.16$ ，而当布料中的水分蒸发完以后， $\epsilon = 3.9$ ,  $\tan\delta = 0.10$ ，两者相差近20倍；当布料越干时，吸收的微波能量显著减弱。因此，即使材料内含有的水分处于不平衡状态，水分多的部位也由于微波功率的吸收程度大而升温快，水分移动就变得更快速，使含水率均匀化（均匀效应），这也是微波加热的优点。

综上所述，红外加热方法是外部加热，从物质表面加热。这种方法首先使物质的表面受热并升温，然后通过热传导，使物质内部升温加热。因此，使物质内部得到干燥，需要很长的时间。为了缩短加热时间，需要表层处于高温状态，增大和内部温度梯度，但是，高温会使一些物质的质量劣化，所以这种方法受到一定的限制。

与此相反，微波加热是内部加热，即利用频率为2450MHz的电磁波使物质本身发热，微波加热原理是将电介质置于微波电场中，由于构成电介质的永久偶极子等在微波中以每秒24亿5千万次的频率进行振动，分子之间激烈磨擦而发热。该发热量P可用下式表示：

$$P = 5/9 \times 10^{-10} f E^2 \epsilon \tan\delta (\text{W/m}^3)$$

式中，f为微波的振荡频率，E为电场强度， $\epsilon$ 为介电常数， $\tan\delta$ 为介质损耗角， $\epsilon \cdot \tan\delta$ 为损耗系数，表示微波功率的吸收程度。

## 2 实验过程和结果

为了保证实验条件的可比性, 每次使用同一负载, 在微波干衣机和红外干衣机上先后实验。保证每次实验的衣物和衣物的含水率相同。

### 2.1 脱水量和脱水效率的对比

负载为 8 条毛巾, 用甩干机甩干后进行实验, 得到脱水量和脱水效率的曲线如下:

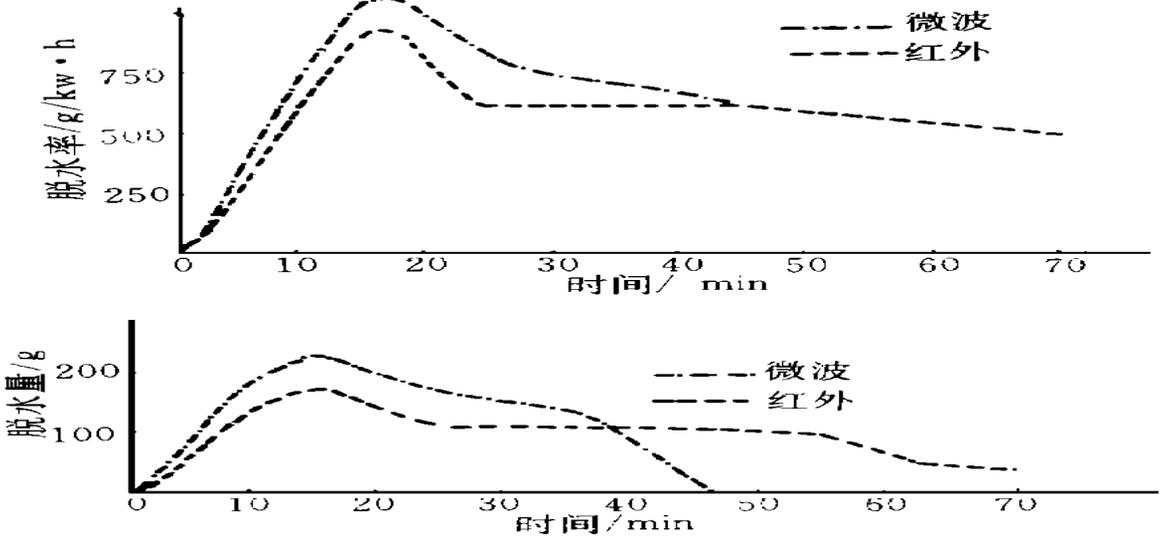


图3 脱水量与脱水率的比较

从实验可以看出: 就毛巾干燥而言, 红外干衣机用了 70min, 而微波干衣机只用了 45min, 节约时间 35. 6%; 在脱水效率方面, 红外干衣机平均效率为 586g/KW · h, 而微波干衣机为 739g/KW · h, 提高效率为 26. 1%。

### 2.2 改变衣服的材料

负载为 6 件衣服, 且衣服材料为涤纶或的确良等易干材料, 甩干后含水量与毛巾等棉织物相近。实验结果如表 1。

由上表看出, 红外干衣机脱水 760g, 耗时 60min, 脱水平均效率为 727. 1g/KW · h, 而微波干衣机脱水 770g, 耗时 45min, 脱水效率为 787g/KW · h, 提高效率 8. 3%, 节约时间 25%。

另外, 可以看出, 在同等含水量的情况下, 微波干衣效率受衣服质地影响较红外的小。与毛巾相比, 红外干衣机效率改变 24%, 微波干衣机仅改变 6. 5%。

表1 衣服质地对微波和红外的影响

|      |                 |       |        |        |        |        |       |
|------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 红外干衣 | 时间 (min)        | 0~10  | 10~20  | 20~30  | 30~40  | 40~50  | 50~60 |
|      | 净脱水 (g)         | 120   | 140    | 140    | 135    | 135    | 90    |
|      | 脱水速率 (g/s)      | 0. 2  | 0. 233 | 0. 233 | 0. 225 | 0. 225 | 0. 15 |
|      | 脱水效率 (g/KW · h) | 674   | 805    | 807    | 776    | 774    | 521   |
| 微波干衣 | 时间 (min)        | 0~10  | 10~20  | 20~30  | 30~40  | 40~45  |       |
|      | 净脱水 (g)         | 115   | 250    | 185    | 150    | 70     |       |
|      | 脱水速率 (g/s)      | 0. 19 | 0. 417 | 0. 31  | 0. 25  | 0. 233 |       |
|      | 脱水效率 (g/KW · h) | 509   | 1202   | 851    | 700    | 658    |       |

### 2.3 改变负载的含水量

当负载增多时,分别采用干后含水约0.75kg和1.5kg的两个典型负载。实验结果如表2。

表2 衣物含水量对微波和红外影响

|        | 衣物湿重  | 烘干后重  | 净脱水   | 总耗时    | 脱水平均效率      | 脱水平均速率  |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------------|---------|
| 红<br>外 | 4000g | 2500g | 1500g | 115min | 868.6g/KW·h | 0.22g/s |
|        | 1950g | 1190g | 760g  | 60min  | 727.1g/KW·h | 0.21g/s |
| 微<br>波 | 4000g | 2420g | 1580g | 88min  | 880g/KW·h   | 0.3g/s  |
|        | 1950g | 1180g | 770g  | 45min  | 787g/KW·h   | 0.29g/s |

从上表可以看出,当负载增加一倍时,红外干衣效率改变19.5%,而微波干衣效率改变了11.8%。由此可见微波受负载的影响较红外的小。

### 2.4 改变环境温度

以上实验结果都是在室温较低时得到的。当室温改变时,对于含水约1.5kg的典型负载,我们的实验结果如表3。

表3 环境温度对微波和红外的影响

|        | 室温 | 衣服湿重  | 烘干后重  | 净脱水   | 总耗时    | 脱水平均效率      | 脱水平均速率  |
|--------|----|-------|-------|-------|--------|-------------|---------|
| 红<br>外 | 9  | 4000g | 2500g | 1500g | 115min | 868.6g/KW·h | 0.22g/s |
|        | 25 | 4200g | 2560g | 1680g | 100min | 988g/KW·h   | 0.28g/s |
| 微<br>波 | 9  | 4000g | 2420g | 1580g | 88min  | 880g/KW·h   | 0.3g/s  |
|        | 25 | 4200g | 2600g | 1600g | 75min  | 996g/KW·h   | 0.36g/s |

由表可见,当环境温度升高时,红外脱水平均效率提高13.7%,微波提高13.2%。红外节约干衣时间13%,微波节约14.8%。

由此我们得出结论:微波干衣机受环境温度影响较红外干衣机小。而微波干衣机在干衣效率和干衣速率方面都高于红外。

## 参考文献

- 1 Dr. Michael Hamid. Microwave Drying Of Clothes. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy. 1991, 26 (2)
- 2 Hamid M and Boulanger. R. A new method for the control of moisture and Insect Infestations of grain by microwave power. J. Microwave Power 4: 11~18
- 3 Ishii T K. Engineering Analysis of Domestic Size Microwave clothes dryer. J. Microwave Power. 1972, 7: 387~395