



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109682338 A

(43)申请公布日 2019.04.26

(21)申请号 201811586239.6 *F26B 25/00*(2006.01)

(22)申请日 2018.12.25 *F26B 25/02*(2006.01)

(71)申请人 北京林业大学 *F26B 25/08*(2006.01)

地址 100083 北京市海淀区清华东路35号

(72)发明人 何正斌 伊松林 钱京 王振宇  
曲丽洁

(74)专利代理机构 北京元本知识产权代理事务  
所 11308

代理人 秦力军

(51) Int. Cl.

*G01B 21/08*(2006.01)

*G01N 33/46*(2006.01)

*F26B 9/06*(2006.01)

*F26B 21/00*(2006.01)

*F26B 23/00*(2006.01)

权利要求书1页 说明书16页 附图6页

(54)发明名称

一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的方法

(57)摘要

本发明公开了一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的方法,包括测定干燥介质的温度 $t_{介}$ 和流速 $v_{介}$ ;沿着木材厚度方向以木材表面为起始点计,沿着木材厚度方向,每隔一定距离测定一次木材表面上方的介质的温度 $t_{木}$ 和压力 $R_{木}$ ,并计算相应的介质流速 $v_{木}$ ;比较干燥室内干燥介质与木材表面上方的介质的温度和流速的比值,直至第 $n$ 次测定的 $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ,并且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ ;则沿着木材厚度方向移动的距离即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度。本发明方法中木材表面热质传递薄层厚度测定准确,并且精度高,为木材干燥过程中改善热质传递薄层,提高木材干燥质量提供数据支持,为强化木材表面热量和水分传递,加快木材干燥速率提供了很好的理论指导。

1. 一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的方法,其特征是,包括测定干燥介质的温度 $t_{介}$ 和流速 $v_{介}$ ;以木材宽度和长度形成的表面为起始点计,沿着木材厚度方向向上,每隔一定距离测定一次木材表面上方的介质的温度 $t_{木}$ 和压力 $R_{木}$ ,并计算相应的介质流速 $v_{木}$ ;比较干燥室内干燥介质与木材表面上方的介质的温度和流速的比值,直至第 $n$ 次测定的 $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ,并且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ ,则沿着木材厚度方向移动的距离即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度。

2. 一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的方法,其特征是,包括如下步骤:

1) 以木材平行于水平面的表面为起始点,沿着干燥室的竖向朝上,每隔一定的垂直距离 $H$ ,测定一次木材表面上方的介质的温度和压力,分别记为 $t_{木}$ 、 $R_{木}$ ,其中 $H > 10$ 微米;

2) 每次测定木材表面上方的介质的温度和压力的同时测定干燥室内干燥介质的温度和流速,分别记为 $t_{介}$ 、 $v_{介}$ ;并同时测定干燥室内干燥介质的干湿球温度,分别记为 $t_d$ 、 $t_w$ ;

3) 按照公式A计算木材表面上方的介质的流速 $v_{木}$ ;

$$v_{木} = \sqrt{\frac{913.3 \times (273 + t_d) R_{木}}{101.3 - 0.378 \phi p}} \quad (A)$$

式中, $t_d$ 为干燥室内干燥介质的干球温度, $^{\circ}\text{C}$ ;  $p$ 为温度为 $t_d$ 时,干燥介质的饱和蒸气压,  $\text{kPa}$ ;  $\phi$ 为温度为 $t_d$ 时干燥介质的相对湿度, $\%$ ;  $R_{木}$ 为木材表面上方介质压力,  $\text{mm}$ 酒精柱;

4) 比较干燥室内干燥介质与木材表面上方的介质的温度和流速的比值 $t_{木n}/t_{介n}$ ,  $v_{木n}/v_{介n}$ ,直至第 $n$ 次沿着干燥室的竖向朝上移动后, $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ,并且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ 时,沿着干燥室竖向朝上移动的距离 $h$ 即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度,其中: $n$ 为沿着干燥室的竖向朝上移动的次数, $n=1,2,3,\dots$ 、整数。

3. 如权利要求2所述的方法,其特征是,步骤1)中所述 $H$ 为20-120微米,优选为100微米。

4. 如权利要求2所述的方法,其特征是,还包括步骤1A):木材干燥过程中,测定木材表面的介质的温度和压力,分别记为 $t_{木0}$ 、 $R_{木0}$ 。

5. 如权利要求3所述的方法,其特征是,测定木材表面热质传递薄层起始点的介质的温度和压力的同时测定干燥室干燥介质的温度和风速,分别记为 $t_{介0}$ 和 $v_{介0}$ 。

6. 如权利要求2-5任一所述方法,其特征是,还包括步骤5)沿着干燥室的纵向或横向水平移动,每隔一定的水平距离 $L$ ,重复步骤1-4),测定沿着干燥室纵向或横向水平移动 $L$ 距离后,干燥过程中木材表面上方的热质传递薄层的厚度。

7. 如权利要求6所述的方法,其特征是,步骤5)中所述的水平距离 $L > 10\text{mm}$ ,优选为20-100mm;进一步优选为50mm。

8. 如权利要求6所述的方法,其特征是,重复步骤5),直至沿着干燥室的纵向或横向测定完木材的全部长度或宽度。

9. 如权利要求2-5任一所述方法,其特征是,步骤1)中所述木材热质传递薄层起始点位于木材表面的长度或宽度方向的中线上。

10. 如权利要求8所述的方法,其特征是,所述木材热质传递薄层起始点为木材表面的中心点。

## 一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种木材干燥处理的方法和装置,特别涉及一种测定木材干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的方法和装置,属于木材热加工领域。

### 背景技术

[0002] 木材干燥是木制品加工过程中的重要环节,其能耗占木制品加工过程中的40-70%,提高木材干燥效率,降低干燥能耗成为当前木材加工行业亟待解决的问题。

[0003] 目前,为了提高木材干燥速率,发明专利201410424968.7给出了一种提高木材干燥速率的处理装置及利用该装置干燥木材的方法,本发明公开了一种提高木材干燥速率的预处理装置及处理方法,该装置包括内部具有空腔的木材处理室、超声波处理系统和温度控制系统。该方法通过对待干燥木材进行超声波预处理,使木材内部的抽提物通过溶液析出,将木材内部纹孔膜及部分薄壁组织打破,改善了木材的通透性,打通了木材内部的水分通道,改善了木材干燥品质,减少了干燥过程中的干燥缺陷,缩短了干燥周期,并且本发明的预处理装置设备简单,操作方便,处理工艺条件可控,适宜处理各种木材。

[0004] 发明专利201210090615.9给出了一种木材干燥设备及利用该设备干燥木材的方法,本发明公开了一种木材干燥设备和利用该设备干燥木材的方法,该发明通过在木材真空干燥过程中加入一定频率和功率的超声波,在较低的干燥温度下干燥木材,干燥速率高,干燥质量好,而且能够避免真空干燥在高温条件下产生的干燥缺陷,而且本发明的干燥设备简单,干燥方法操作方便。

[0005] 发明专利201611253782.5给出了一种木材干燥设备,其结构包括干燥箱、风机循环装置、喷蒸箱体、控制器、鼓风机、吹风送管、喷蒸管、除湿窗、均流器、导流板、木材放置架、排气窗口、加热器,该发明通过喷蒸加速干燥箱内木材的干燥速度,且设置排湿窗,排湿效果好,同时能够控制箱内的温度,保证了木材的加工质量。此外,为了提高木材干燥速率,

[0006] 这些方法在很大程度上是通过改善木材的渗透性,进而提高木材的干燥速率,但对于木材干燥过程来说,经历了两个过程,首先是木材内部水分传递到木材表面,然后是木材表面水分传递到干燥介质中,现有的方法都是通过改善木材渗透性,提高木材内部水分到表面的速度,而忽略了木材表面水分进入介质中的速率,从而不能完全实现提高木材干燥过程的作用。研究表明,木材干燥过程中,当干燥介质流过木材表面的时候,会在木材表面形成一层介质薄层(即木材表面热质传递薄层,又称热质传递薄层),木材表面热质传递薄层对于水分和热量的传递也起到了很大的阻碍作用,了解该薄层的厚度,可通过改变薄层厚度进而加快热量在这个薄层中的导热速度和水分在这个薄层里的迁移速率,提高木材干燥过程中的水分蒸发速率,进而缩短干燥时间。对促进木材干燥过程中表面热量和水分传递速率具有非常重要的作用。本发明根据实际需要,给出了一种测定干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的方法,进而为改善木材表面热质传递薄层的改善起到很好的指导作用。

[0007] 木材干燥过程中,当干燥介质流过木材表面的时候会在木材表面形成一个薄层,

由于这个薄层的存在,所以木材内部水分迁移到木材表面之后不能直接进入干燥介质中,而必须通过扩散的方式穿过这个薄层,热量也不能从木材表面直接从干燥介质传递到木材表面,而必须通过导热的形式穿过这个薄层。所以,当了解了这个薄层的厚度就可以通过一定的方式去减少这个薄层的厚度,进而提高木材干燥速率,所以测量这个薄层的厚度对促进木材干燥过程有很好的作用。

[0008] 本发明就是测定木材表面热质传递薄层厚度,现有的研究中没有针对木材表面热质传递薄层厚度进行测量的研究,现有的研究都是针对木材的结构进行改进。

[0009] 通过本发明测定了木材表面热质传递薄层的厚度后,可以通过一定的方法去减小边界层的厚度,进而改善木材表面热质传递过程,提高木材的干燥速率和干燥质量。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的是针对现有木材干燥过程中只针对木材结构本身进行改进,而忽略了木材表面热质传递薄层对木材干燥过程中热量和水分的传递的阻碍作用影响木材干燥速度和质量的技术缺陷,提供一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的方法,本发明方法测定的木材表面热质传递薄层的厚度准确,测定厚度的精度高,为木材干燥过程中改善热质传递薄层,提高木材干燥质量提供数据支持,为加快木材干燥速率、提高木材干燥质量提供了很好的理论指导。

[0011] 为实现本发明的目的,本发明提供一种干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的设备,包括木材干燥室、第一进给装置、第二进给装置和测量装置,其中第一进给装置、第二进给装置设置在干燥室内部,其中:所述干燥室内水平设置用于放置待干燥木材的支架;第一进给装置与第二进给装置相互垂直,且第二进给装置固定在第一进给装置的前端,第一进给装置推动第二进给装置沿着干燥室的纵向或横向水平移动。

[0012] 其中,所述第一进给装置沿着所述干燥室的纵向或横向水平设置,沿着干燥室的纵向或横向移动;所述第二进给装置沿着所述干燥室的竖向设置,沿着干燥室的竖向移动。

[0013] 特别是,测量装置用于测定干燥室内干燥介质的温度和流速;测定待干燥木材表面或木材表面上方的介质的温度和压力;以及测定干燥室内的干湿球温度。

[0014] 其中,所述干燥室的下部设置具有导热性能的分隔板,将干燥室分成上下两个彼此独立的封闭空间,分隔板以上部分为干燥部,分隔板以下部分为加热部。

[0015] 特别是,所述加热部内安装加热器,为待干燥木材提供热源;在分隔板的上部设置循环风机,促使干燥室内干燥介质的流动,将热量传递给木材,将木材干燥出来的水分带走。

[0016] 加热器、风机的开闭以及开启程度根据测量装置的测定结果,通过控制器进行调节。

[0017] 其中,所述第一进给装置包括第一螺杆,第一手柄、第一螺杆套筒和螺杆支架底座,其中,第一手柄与第一螺杆的一端固定连接;第一螺杆套接在第一螺杆套筒内部,与第一螺杆通过螺纹连接;螺杆支架底座固定在支架的上部,第一螺杆套筒固定在螺杆支架底座的上部,并使第一螺杆套筒沿着干燥室纵向或横向水平延伸。

[0018] 特别是,所述第一螺杆为全螺纹螺杆,且其上带有刻度,所述第一手柄固定在第一螺杆的后端。

[0019] 第一手柄与第一螺杆固定连接成一体,转动第一手柄带动第一螺杆沿着干燥室的纵向或横向前后移动。

[0020] 其中,所述第二进给装置包括第二螺杆、第二手柄、第二螺杆固定架,其中,第二手柄与第二螺杆的一端固定连接;第二螺杆套接在第二螺杆固定架内部,与第二螺杆螺纹连接。

[0021] 所述第二螺杆垂直穿过干燥室支架,沿着干燥室的竖向延伸。

[0022] 特别是,所述第二手柄固定在第二螺杆位于支架下方的底端;第二螺杆位于支架上方的顶端设置用于测定木材表面附近出干燥介质的温度和压力的温度-压力组件。

[0023] 尤其是,所述第二螺杆为全螺纹螺杆,且其上带有刻度,沿着干燥室的竖向设置。

[0024] 其中,所述第二螺杆固定架包括呈一体连接的支撑部和固定部,所述支撑部用于将第二螺杆支撑在支架的上部,所述第二套筒固定部的形状、大小尺寸与导向槽的导向部形状、大小尺寸相适应,使得第二进给装置垂直固定在支架上,并贯穿支架,且可沿着导向槽滑动。

[0025] 特别是,所述支撑部整体呈柱状,内部具有空腔,空腔内表面具有内螺纹,与所述第二螺杆螺纹连接;所述第二套筒固定部通常呈楔形,沿着干燥室竖向截面形状呈燕尾状。

[0026] 尤其是,所述第二螺杆固定架固定安装在第一进给装置的第一螺杆的前端,即固定安装在与第一手柄安装端相对的另一端,与第一螺杆相垂直。

[0027] 其中,所述支架呈平板状,水平设置在所述干燥部的中部或中上部,所述第一、第二进给装置设置并固定在支架上。

[0028] 特别是,所述支架与干燥室横向两侧的侧壁固定连接,且与干燥室纵向两侧的侧壁不接触,留有一定的距离,形成2条干燥介质流动通道;或者支架与干燥室纵向两侧的侧壁固定连接,且与干燥室横向两侧的侧壁不接触,留有一定的距离,形成2条干燥介质流动通道。

[0029] 尤其是,所述干燥介质通道的宽度为干燥室纵向长度的 $1/8-1/5$ ,优选为干燥室纵向长度的 $1/6$ 。

[0030] 特别是,每一条所述干燥介质流动通道的宽度为干燥室纵向长度的 $1/16-1/10$ ,优选为 $1/12$ 。

[0031] 其中,所述支架上设置具有支撑、固定和导向作用的导向槽,用于固定、支撑第二进给装置,第二进给装置在导向槽内沿着干燥室纵向水平移动。

[0032] 特别是,所述导向槽沿干燥室纵向或横向延伸,沿着干燥室的竖向贯穿支架,形成竖向贯通的通槽。

[0033] 尤其是,所述导向槽设置在支架的沿着干燥室纵向或横向的一侧,且所述导向槽与第一进给装置的设置方向相同。

[0034] 特别是,第一进给装置固定安装在所述支架沿干燥室纵向或横向一端的前侧或后侧。

[0035] 尤其是,所述导向槽沿着干燥室的纵向或横向设置,位于所述第一进给装置的前端,即位于第一进给装置在所述支架上的投影的前端,通过第一进给装置的推动使得安装在第一进给装置前端的第二进给装置在导向槽内沿着干燥室的纵向或横向来回滑动,沿着干燥室的竖向上下移动。

[0036] 其中,所述导向槽包括导向部和位于导向部下方的贯穿部,导向部用于固定、支撑第二进给装置,并对第二进给装置具有导向的作用;第二进给装置通过贯穿部穿透所述支架。

[0037] 特别是,所述导向部的沿干燥室竖向的截面形状呈燕尾状,所述贯穿部的沿干燥室竖向的截面形状成矩形。

[0038] 尤其是,所述横截面呈矩形的导向槽的贯穿部,其长度沿着干燥室纵向或横向延伸,高度沿着干燥室的竖向延伸,宽度沿着干燥室的横向或纵向延伸,贯穿部的宽度与第二进给装置的第二螺杆的直径相适应或大于第二螺杆的直径。第二进给装置的第二螺杆通过贯穿部透过支架,使得第二进给装置垂直穿过支架,并固定支承在支架上,且在导向槽内可自由滑动。

[0039] 特别是,所述第一进给装置固定安装在所述支架上,沿着干燥室的纵向或横向延伸,与所述支架平行;所述第二进给装置垂直固定在所述支架上,并贯穿所述支架,沿着导向槽在所述支架上沿着干燥室的纵向或横向移动。

[0040] 第二螺杆套接在第二螺杆固定架内,因此使得第二螺杆固定在第一螺杆的前端,使得第二螺杆的延伸方向与干燥室的竖向一致,第二螺杆固定架与第二螺杆的螺纹配合连接固定,通过旋转第二手柄,带动第二螺杆在第二螺杆固定架内沿着干燥室的竖向上、下移动,从而带动安装在第二螺杆顶端的测量装置的温度-压力组件沿着木材厚度方向移动,温度-压力组件的移动距离通过第二螺杆上的刻度测定。转动第一手柄推动第一螺杆沿着干燥室纵向或横向移动,从而带动固定在第一螺杆前端的第二进给装置在导向槽内沿着干燥室纵向或横向移动,转动第二手柄,推动第二螺杆沿着干燥室的竖向移动,带动固定在第二螺杆上端的温度-压力组件沿着干燥室的竖向移动,达到测定木材表面热质传递薄层厚度的目的。

[0041] 其中,所述测量装置包括测量干燥室内干燥介质温度和流速的温度-风速组件、测量待干燥木材表面上方介质的温度和压力的木材表面温度-压力组件、测量干燥室内干湿球温度的干湿球温度计。

[0042] 特别是,所述温度-风速组件包括通过导线连接的温度-风速传感器组和温度-风速控制件,其中温度-风速传感器组设置在干燥室的干燥部的中央位置,位于待干燥木材的上方,包括一个温度传感器和一个风速传感器,用于测定干燥室内干燥介质的温度和流速;温度-风速控制件设置在干燥室的外部,通过导线与温度-风速传感器组相连接,干燥介质温度-风速传感器组测定的干燥介质的温度和速度传递给温度-风速控制组件,根据测定的温度和速度,控制加热器的开启或关闭或开启程度;控制循环风机的开关或开启程度。

[0043] 特别是,温度-压力组件,包括温度-压力传感器组,连接杆和温度-压力测量固定件,温度-压力测量固定件固定安装在第二进给装置的顶部,连接杆的一端与温度-压力测量固定件固定连接,另一端安装温度-压力传感器组,温度-压力传感器组通过连接杆,使其位于待干燥木材表面的沿干燥室纵向或横向的中心线的位置。

[0044] 尤其是,位于所述连接杆一端的温度-压力传感器组位于待干燥木材的宽度或长度方向的1/2的位置,即位于所述连接杆一端的温度-压力传感器组到待干燥木材表面的投影与待干燥木材沿着干燥室纵向或横向的中心线相重合。

[0045] 特别是,干湿球温度计设置在干燥室的干燥部的中上部,位于木材上方,并且其安

装位置高于待干燥木材,即其安装位置位于待干燥木材的上方。

[0046] 本发明另一方面提供一种利用上述设备测定干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的方法,包括测定干燥介质的温度 $t_{介}$ 和流速 $v_{介}$ ;以木材宽度和长度形成的表面为起始点计,沿着木材厚度方向向上,每隔一定距离测定一次木材表面上方的介质的温度 $t_{木}$ 和压力 $R_{木}$ ,并计算相应的介质流速 $v_{木}$ ;比较干燥室内干燥介质与木材表面上方的介质的温度和流速的比值,直至第 $n$ 次测定的 $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ,并且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ ,则沿着木材厚度方向移动的距离即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度。

[0047] 本发明又一方面提供一种利用上述设备测定干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的方法,包括如下步骤:

[0048] 1) 以木材平行于水平面的表面为起始点,沿着干燥室的竖向朝上,每隔一定的垂直距离 $H$ ,测定一次木材表面上方的介质的温度和压力,分别记为 $t_{木}$ 、 $R_{木}$ ,其中 $H > 10$ 微米;

[0049] 2) 每次测定木材表面上方的介质的温度和压力的同时测定干燥室内干燥介质的温度和流速,分别记为 $t_{介}$ 、 $v_{介}$ ;并同时测定干燥室内干燥介质的干湿球温度,分别记为 $t_d$ 、 $t_w$ ;

[0050] 3) 按照公式A计算木材表面上方的介质的流速 $v_{木}$ ;

$$[0051] \quad v_{木} = \sqrt{\frac{913.3 \times (273 + t_d) R_{木}}{101.3 - 0.378 \phi p}} \quad (A)$$

[0052] 式中, $t_d$ 为干燥室内干燥介质的干球温度, $^{\circ}\text{C}$ ;  $p$ 为温度为 $t_d$ 时,干燥介质的饱和蒸气压,  $\text{kPa}$ ;  $\phi$ 为温度为 $t_d$ 时干燥介质的相对湿度,%;  $R_{木}$ 为木材表面上方的介质的压力计读数,  $\text{mm}$ 酒精柱;

[0053] 4) 比较干燥室内干燥介质与木材表面上方的介质的温度和流速的比值 $t_{木n}/t_{介n}$ ,  $v_{木n}/v_{介n}$ ,直至第 $n$ 次沿着干燥室的竖向朝上移动后, $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ,并且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ 时,沿着干燥室竖向朝上移动的距离 $h$ 即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度,其中: $n$ 为沿着干燥室的竖向朝上移动的次数, $n=1,2,3,\dots$ 、整数。

[0054] 其中,步骤1)所述木材平行于水平面的表面为木材沿干燥室纵向和横向方向的木材表面。

[0055] 特别是,步骤1)中所述 $H$ 为20-120微米,优选为100微米。

[0056] 尤其是,采用温度-压力传感器组测定所述的木材表面上方介质的温度和压力。

[0057] 特别是,还包括步骤1A):木材干燥过程中,测定木材表面的介质的温度和压力,分别记为 $t_{木0}$ 、 $R_{木0}$ ;其中,所述木材表面为沿干燥室纵向和横向方向的水平的木材平面。

[0058] 其中,以木材表面为热质传递薄层起始平面,即以沿着干燥室纵向和横向方向的木材表面为所述木材热质传递薄层起始点。

[0059] 特别是,测定木材表面热质传递薄层起始点的介质的温度和压力的同时测定干燥室干燥介质的温度和风速,分别记为 $t_{介0}$ 和 $v_{介0}$ 。

[0060] 尤其是,测定木材表面热质传递薄层起始点的介质的温度和压力的过程中,加热木材,待干燥室内干燥介质的温度和风速稳定后,在测定并记录木材表面的介质的温度和压力。

[0061] 其中,步骤1)中所述木材热质传递薄层起始点位于木材表面的长度或宽度方向的中线上的一点。

[0062] 特别是,步骤1)中所述木材热质传递薄层起始点为木材表面的长度或宽度方向的

中心线。

[0063] 尤其是,所述木材热质传递薄层起始点为木材表面的中心点。

[0064] 其中,步骤3)中公式A中P按照公式B计算:

$$[0065] \quad P = -8.479 + 1.307t_d - 0.0326t_d^2 + 3.0295 \times 10^{-4}t_d^3 \quad (B)$$

[0066] 式中, $t_d$ 为测定木材表面上方的介质的温度和压力时,测定的干燥室内干燥介质的干球温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

[0067] 其中,步骤3)中公式A中 $\Phi$ 按照公式C计算:

$$[0068] \quad \Phi = (-1.52 - 62.10\ln t_d + 130.50\ln t_w - 21.89(\ln t_w)^2 + 1.91(\ln t_w)^3) / (1 + 0.725\ln t_d - 0.865\ln t_w) \quad (C)$$

[0069] 式中, $t_d$ 、 $t_w$ 分别为测定木材表面上方的介质的温度和压力时,测定的干燥室内干燥介质的干球温度,湿球温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

[0070] 其中,步骤4)中所述干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度 $h = H * n$ ,其中, $H$ 为沿着干燥室的竖向朝上,每次移动的垂直距离; $n$ 为沿着干燥室的竖向朝上移动的次数, $n = 1, 2, 3, \dots$ 、整数。

[0071] 特别是,还包括步骤5):沿着干燥室的纵向或横向水平移动,每隔一定的水平距离 $L$ ,重复步骤1-4),测定沿着干燥室纵向或横向水平移动 $L$ 距离后,干燥过程中木材表面上方的热质传递薄层的厚度。

[0072] 其中,步骤5)中所述 $L > 10\text{mm}$ ,优选为20-100mm;进一步优选为50mm。

[0073] 特别是,重复步骤5),直至沿着干燥室的纵向或横向测定完木材的全部长度或宽度。

[0074] 与现有技术相比,本发明的优点如下:

[0075] 1.本发明的测定干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的方法,木材表面的热质传递薄层厚度测定结果准确,采集的数据量大,测定结构精度高,为木材干燥过程中改善热质传递薄层,提高木材干燥质量提供数据支持。

[0076] 2.本发明的测定干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的方法适用于测定任意形状、大小和材质的木材,适用面广。

[0077] 3.采用本发明方法测定的木材表面热质传递薄层厚度为强化木材表面热量和水分传递,加快木材干燥速率、提高木材干燥质量提供了很好的理论指导。

[0078] 4.采用本发明方法测定的木材表面热质传递薄层厚度可以根据边界层的厚度获知木材表面热量和水分的传递速度,指导并控制干燥过程中木材表面水分蒸发和内部水分移动,保证木材内外水分移动速度一致,进而减少干燥缺陷。

## 附图说明

[0079] 图1为本发明干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度测定设备的主视图;

[0080] 图2为本发明干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度测定设备的侧视图;

[0081] 图3为本发明干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度测定设备的俯视图;

[0082] 图4为图3中沿着A-A线的剖视示意图;

[0083] 图5为第一进给装置结构示意图;

[0084] 图6为第二进给装置的结构示意图;

[0085] 图6A为本发明第二进给装置、支架、测量装置的温度-压力测量固定件的结构示意

图；

[0086] 图6B为图6A中A部分的放大示意图；

[0087] 图7为本发明测量设备位于测量起始点时示意图；

[0088] 图8为本发明测量设备位于测量起始点时的俯视图。

[0089] 附图标记说明

[0090] 1、干燥室；11、木材；12、加热器；13、风机；14、导向槽；141、导向部；142、贯穿部；15、分隔板，16、干燥部；17、加热部；2、第一进给装置；21、第一螺杆；22、第一手柄；23、第一螺杆套筒；24、螺杆支架底座；3、第二进给装置；31、第二螺杆；32、第二手柄；33、第二螺杆固定架；331、支撑部；332、固定部；4、干燥支架；5、干湿球温度计；6、干燥介质温度-风速传感器组；7、干燥介质温度-风速控制件；8、温度-压力传感器组；9、支撑件；10、温度-压力测量固定件

### 具体实施方式

[0091] 下面结合具体实施例来进一步描述本发明，本发明的优点和特点将会随着描述而更为清楚。但这些实施例仅是范例性的，并不对本发明的范围构成任何限制。本领域技术人员应该理解的是，在不偏离本发明的精神和范围下可以对本发明技术方案的细节和形式进行修改或替换，但这些修改和替换均落入本发明的保护范围内。

[0092] 下面参照附图，详细描述实施本发明木材干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度的测定方法的具体实施例。

[0093] 如图1-3，本发明的干燥过程中测定木材表面热质传递薄层厚度的设备由内部具有空腔的木材干燥室1、第一进给装置2、第二进给装置3、干燥支架4和测量装置组成，其中第一进给装置、第二进给装置、干燥支架设置在干燥室内部空腔内，干燥支架用于放置待干燥木材11，在干燥室内水平设置；第一进给装置沿着所述干燥室的纵向或横向设置，固定在干燥支架上，沿着干燥室的纵向或横向水平移动；第二进给装置沿着所述干燥室的竖向设置，沿着干燥室的竖向上下移动；第一进给装置与第二进给装置相互垂直，且第二进给装置固定在第一进给装置的前端，第一进给装置推动第二进给装置沿着干燥室的纵向或横向水平移动。测量装置用于测定干燥室内干燥介质的温度和流速；测定待干燥木材表面或木材表面上方的介质的温度和压力；以及测定干燥室内的干湿球温度。

[0094] 干燥室内部空腔呈长方体形，第一进给装置沿着木材长度或宽度方向移动，第二进给装置沿着木材厚度方向移动，二者配合使用，测定待干燥木材表面上方的热质传递薄层的厚度。

[0095] 本发明中木材干燥室的内部空腔形状除了为长方体形之外，其他任何形状均适用于本发明，例如球形、立方体形、圆柱体形等均适用于本发明。本发明实施例中木材干燥室选用干燥窑为例进行说明，其他内部具有空腔的木材干燥装置均适用于本发明。

[0096] 本发明具体实施方式中，如图1、2，以木材干燥室从左至右方向为干燥室的纵向，从前到后方向为干燥窑的横向，从上至下的方向为干燥窑的竖向。以待干燥木材的长度方向与干燥室的纵向相一致，木材的厚度方向与干燥室的竖向相一致为例进行说明。干燥室的空腔的纵向、横向、竖向分别与待干木材的长度、宽度、高度方向相对应。

[0097] 本发明具体实施方式中第一进给装置沿着木材的长度方向前后或左右移动，第二

进给装置沿着木材的厚度方向上下移动。

[0098] 干燥室内待干燥木材的长度沿着干燥室纵向延伸,木材的长度与宽度方向形成的平面为木材的长-宽平面;木材的长度与厚度方向形成的平面为木材的长-厚平面;木材的宽度与厚度方向形成的平面为木材的宽-厚平面。

[0099] 如图1、2,木材干燥室的下部设置由金属材料制成,具有良好的导热性能分隔板15,将干燥室分成上下两个彼此独立的封闭空间,分隔板以上部分为干燥部16,分隔板以下部分为加热部17。

[0100] 加热部的内部安装有加热器12,干燥室的底部即分隔板15的上部设置循环风机13。循环风机促使干燥室内干燥介质的流动,将热量传递给木材,并将木材干燥出来的水分带走。加热器、风机的开闭以及开启程度根据测量装置的测定值通过控制器进行调节。

[0101] 干燥支架4呈平板状,水平设置在干燥室的中部或中上部,并且第一进给装置2和第二进给装置3设置并固定在支架上。第一进给装置与支架平面相平行,第二进给装置与支架平面相垂直。支架一方面可以对待干燥木材进行支撑,另外也能将干燥室的上部干燥部分分成上下两部分,利于干燥介质循环。

[0102] 通常支架由不锈钢材料制成,如图1、2、3,支架与干燥室横向或纵向两侧的侧壁固定连接(例如焊接、铆接、或通过侧壁上设置凸台,支架水平放置与凸台上),水平固定在干燥室内部;支架与干燥室纵向或横向两侧的侧壁不接触,留有一定的距离,形成2条干燥介质流动通道。

[0103] 本发明中以干燥支架与干燥室的横向两侧的侧壁固定连接为例进行说明,干燥介质通道的宽度为干燥室纵向长度的 $1/6$ (通常为 $1/8-1/5$ ),优选为每一条干燥介质流动通道的宽度为干燥室纵向长度的 $1/12$ (通常为 $1/16-1/10$ ),例如干燥室纵向长度为6m,则每一条干燥介质流动通道的宽度为0.5m(通常为0.375-0.6m)。

[0104] 第一进给装置和第二进给装置固定安装在干燥支架4的上,第一进给装置固定在(例如焊接、铆接等方式固定)支架的上方,并且靠近支架的一端(如图3,例如位于前端),待干燥木材放置在第一进给装置的一侧。第二进给装置固定在第一进给装置的前端,且与第一进给装置相垂直,如图1、3。

[0105] 如图3、4,干燥支架4上设置具有支撑、固定和导向作用的导向槽14,导向槽沿着干燥室纵向/横向延伸(本发明实施方式中以纵向延伸为例进行说明),用于固定、支撑第二进给装置,第二进给装置在导向槽内沿着干燥室纵向/横向移动。

[0106] 如图3,导向槽设置在支架沿着干燥室纵向或横向延伸的一侧,且位于第一进给装置的前端,沿着干燥室的纵向或横向延伸,第一进给装置在支架上的投影与导向槽在同一直线上。导向槽沿着干燥室纵向或横向的长度大于或等于待干燥木材的长度。导向槽沿着干燥室纵向或横向延伸的两端封闭,沿着干燥室的竖向贯穿支架,形成上下贯通的通槽。第二进给装置通过导向槽固定并支撑在支架上,并垂直穿过支架。第二进给装置安装在导向槽内,与支架活动连接,在导向槽内自由移动,使得第二进给装置沿着干燥室的纵向或横向移动。

[0107] 导向槽包括导向部141和位于导向部下方的贯穿部142,导向部用于固定、支撑第二进给装置,并对第二进给装置具有导向的作用;第二进给装置通过贯穿部穿透支架。如图4,导向部的竖向截面形状呈燕尾状,贯穿部的竖向截面形状成矩形;导向部的形状、尺寸大

小与第二进给装置的第二螺杆固定架底部的形状、尺寸大小相适应；竖向截面呈矩形的贯穿部，其长度沿着干燥室纵向延伸，高度沿着干燥室的竖向延伸，宽度沿着干燥室的横向延伸，贯穿部的宽度与第二进给装置的第二螺杆的直径相适应或大于第二螺杆的直径。第二进给装置的第二螺杆通过贯穿部透过支架，使得第二进给装置垂直穿过支架，并固定支承在支架上，且在导向槽内可自由滑动。

[0108] 本发明具体实施方式部分导向槽的导向部以截面为燕尾状为例进行说明，其他形状的导向槽、卡槽均适用于本发明，本领域中其他具有固定、支撑和导向功能的任何形状的机械结构均适用于本发明，例如截面呈T型，凹字形，三角形等。导向槽、第一进给装置沿着干燥室纵向设置

[0109] 如图5，第一进给装置2包括第一螺杆21，第一手柄22、第一螺杆套筒23和螺杆支架底座24。其中，第一手柄固定在第一螺杆的末端，与第一螺杆固定连接成一体；第一螺杆套筒接在第一螺杆套筒内部，第一螺杆套筒呈柱状，内部具有内螺纹，与第一螺杆通过螺纹连接；螺杆支架底座通过焊接、铆接等方式固定在支架的上部，第一螺杆套筒固定在螺杆支架底座的上部，并使第一螺杆套筒沿着干燥室纵向水平延伸，且与支架平面相平行，进而使得第一进给装置水平固定在支架的上部，且沿着干燥室的纵向水平延伸。

[0110] 本发明具体实施方式中所述固定连接为焊接、铆接等本领域中现有已知的固定连接方式。

[0111] 第一螺杆为全螺纹螺杆，且其上带有刻度，沿着干燥室的纵向或横向水平设置，用于记录测量装置沿着干燥室纵向或横向移动的距离；第一手柄与第一螺杆固定连接成一体，转动第一手柄，带动第一螺杆沿着干燥室的纵向左右移动或横向前后移动；根据第一螺杆上的刻度，记录测量装置沿着干燥室纵向或横向移动的距离。

[0112] 导向槽的延伸方向与第一进给装置相平行，位于第一进给装置的支架底座24的正前方，导向槽与第一进给装置形成的平面垂直于支架，即第一进给装置在支架上的投影与导向槽在同一直线上。

[0113] 本发明实施例中第一螺杆沿着干燥室的纵向移动，即沿着木材的长度方向移动。

[0114] 螺杆支架底座可以是一个或多个，如果螺杆支架底座有多个，则多个螺杆支架底座沿着干燥室的纵向/横向呈直线排列成一行，使得固定在螺杆支架底座上的第一螺杆套筒沿着干燥室纵向/横向延伸。本发明具体实施方式中螺杆支架底座为2个，沿着干燥室纵向排列。

[0115] 如图6、6A、6B，第二进给装置包括第二螺杆31、第二手柄32、第二螺杆固定架33。第二进给装置的第二螺杆通过导向槽垂直穿过支架4，沿着干燥室的竖向延伸，位于支架的下方一端为第二螺杆的下端；位于支架的上方的一端为第二螺杆的上端。第二手柄固定安装在第二螺杆下端的底部；第二螺杆固定架内部具有空腔，且空腔内壁具有内螺纹，第二螺杆套筒接在第二螺杆固定架内部，与第二螺杆固定架螺纹连接。

[0116] 第二螺杆为全螺纹螺杆，且其上带有刻度，沿着干燥室的竖向设置；第二螺杆的下端底部固定安装第二手柄，第二螺杆的上端顶部固定安装用于测定木材表面上方介质温度和压力的测量组件，测量组件通过焊接、铆接等固定连接方式连接成一体；

[0117] 第二螺杆固定架与支架4相垂直，固定并支撑在支架上，包括呈一体连接，并且同轴的支撑部331和固定部332，支撑部用于将第二螺杆稳定地固定并支撑在支架4的上部，整

体呈柱状,通常为圆柱状,其他柱状结构均适用于本发明,内部具有空腔,空腔内表面具有内螺纹;第二螺杆固定架的固定部与支撑部通过焊接、铆接等固定连接方式连接;其内部具有空腔,供第二螺杆穿过,空腔内壁具有内螺纹也可以没有。

[0118] 固定部的形状、大小尺寸与导向槽的导向部141形状、大小尺寸相适应。第二螺杆固定架的固定部的截面呈通常呈燕尾形,楔形,T型,凹字形,三角形等。固定部与导向槽相互卡接,紧密结合,使得第二螺杆固定架垂直固定在支架的上部。

[0119] 第二螺杆固定架与支架相垂直,则套接于第二螺杆固定架内的第二螺杆与支架相垂直,沿着干燥室竖向延伸。转动第二手柄使得第二螺杆沿着干燥室的竖向上、下移动,根据第二螺杆上的刻度,记录安装在第二螺杆上端顶部的测量装置沿着木材厚度方向移动的距离。

[0120] 如图1-3,第一进给装置与第二进给装置相垂直,第二进给装置的第二螺杆固定架固定安装在第一进给装置的第一螺杆的前端,即固定安装在与第一手柄安装的一端相对的另一端,第二螺杆固定架固定在第一进给装置的第一螺杆的前部,第二螺杆套接在第二螺杆固定架内部,使得第二螺杆固定在第一螺杆的前端,且与第一螺杆相垂直,通常第二螺杆固定架与第一螺杆通过焊接、铆接等固定连接方式固定在一起。

[0121] 第二螺杆套接在第二螺杆固定架内部,使得第二螺杆固定在第一螺杆的前端,使得第二螺杆的延伸方向与干燥室的竖向一致,第二螺杆固定架与第二螺杆的螺纹配合连接固定,通过旋转第二手柄,带动第二螺杆在第二螺杆固定架内沿着干燥室的竖向上、下移动,从而带动安装在第二螺杆顶部的测量装置沿着木材厚度方向上、下移动,测量装置的移动距离通过竖向螺杆31上的刻度测定。

[0122] 转动第一手柄推动第一螺杆沿着干燥室纵向或横向移动,从而带动固定在第一螺杆头部的第二进给装置沿着干燥室纵向或横向移动;转动第二手柄,推动第二螺杆沿着干燥室的竖向移动,每移动一次测量一次木材表面上方介质的温度和压力,通过计算,获得木材表面热质传递薄层厚度。

[0123] 如图1、2,测量装置包括测量干燥室内干燥介质温度和流速的温度-风速组件、测量待木材表面及其上方介质的温度和压力的木材表面温度-压力组件、测量干燥室内干湿球温度的干湿球温度计5。

[0124] 如图2,温度-风速组件包括通过导线连接的温度-风速传感器组6和温度-风速控制件7,其中温度-风速传感器组设置在干燥室的干燥部16的中央位置,位于待干燥木材的上方,包括一个温度传感器和一个风速传感器,用于测定干燥室内干燥介质的温度和流速;温度-风速控制件设置在干燥室的外部,通过导线与温度-风速传感器组相连接,干燥介质温度-风速传感器组测定的干燥介质的温度和速度传递给温度-风速控制组件,根据测定的温度和速度,控制加热器的开启或关闭或开启程度;控制循环风机的开关或开启程度。

[0125] 如图2、3,温度-压力测量组件,用于测定待干燥木材表面或木材表面上方不同位置处介质的温度和压力,包括温度-压力传感器组8、支撑件9、和温度-压力测量固定件10,其中,温度-压力测量固定件固定安装在第二进给装置的第二螺杆上端的顶部,支撑件(通常为连接杆)的一端与温度-压力测量固定件固定连接,另一端安装温度-压力传感器组,温度-压力传感器组通过支撑件,使其位于待干燥木材表面的沿干燥室纵向或横向的中心线的位置。温度-压力传感器组8包括一个温度传感器和一个压力传感器(通常为微压计),测

定木材表面及上部的介质的温度和风压(即压力),介质压力由智能数字微压计测定。

[0126] 本发明实施例中温度-压力测量固定件以焊接、铆接等方式固定在第二螺杆的顶端。通过木材表面的温度-压力组件测定木材表面上方介质的温度和压力,并计算木材表面不同位置的介质的压力差,进而计算得到介质的速度,通过计算,获得木材表面热质传递薄层厚度。

[0127] 干湿球温度计5设置在干燥室的干燥部的中上部,位于木材上方,并且其安装位置高于待干燥木材,即其安装位置位于待干燥木材的上方;通常干湿球温度计的安装位置高于温度-风速传感器组6,位于温度-风速传感器组6的上方;测定干燥室内干燥介质的干湿球温度,进而得到干燥室内干燥介质的相对湿度。

[0128] 温度-风速传感器组测定干燥室内干燥介质的温度和风速,分别为 $t_{介}$ 和 $v_{介}$ ;木材表面温度-压力传感器组测定的木材表面的介质的温度和压力,分别为 $t_{木}$ 和 $R_{木}$ ;干湿球温度计测定干燥室干燥介质的干球温度和湿球温度,分别为 $t_d$ 和 $t_w$ 。

[0129] 本发明具体实施方式中,以待干燥木材的长度方向与干燥室的纵向相一致,木材的厚度方向与干燥室的竖向相一致为例进行说明,第一进给装置沿着木材的长度方向前后或左右移动,第二进给装置沿着木材的厚度方向上下移动。本发明具体实施方式中为例叙述简便,干燥室的纵向以左右方向为例,竖向以上下方向为例进行说明。

[0130] 本发明设备的工作过程,即木材表面热质传递薄层厚度的测定方法:

[0131] 1、将待干燥木材11放置在干燥支架4的上方,且位于导向槽的一侧,木材的长度干燥室的纵向一致,固定在第一进给装置的前端,导向槽靠近第一进给装置前端的一端与待干燥木材的一端相齐,如图8;然后安装测量装置的温度-风速组件、温度-压力组件、干湿球温度计,其中,温度-风速组件的温度-风速传感器组设置在干燥室的干燥部的中央位置,位于待干燥木材的上方;温度-压力测量组件的温度-压力传感器组通过支撑件使其位于木材长度方向的中心线上,即温度-压力传感器组在木材上的投影与木材长度方向的中心线重合。

[0132] 2、转动第一手柄,调节固定在第一进给装置第一螺杆的前端的第二进给装置,使之位于待干燥木材的沿着干燥室纵向或横向方向且靠近或远离第一进给装置的一端,固定在第二螺杆上端顶部的温度-压力测量固定件的相应地位于待干燥木材的沿着干燥室纵向或横向方向且靠近或远离第一进给装置的一端,使得测量装置的温度-压力组件的温度-压力传感器组位于待干燥木材的沿着干燥室纵向方向的一端,记录第一螺杆的读数,如图7、8,测量装置的温度-压力传感器组与待干燥木材的沿着干燥室纵向或横向的且靠近或远离第一进给装置的一端平齐,并且转动第二手柄,调节第二螺杆的升降,使得固定在第二螺杆上端顶部的温度-压力测量固定件相应的升降,使得温度-压力传感器组沿着干燥室的竖向与木材表面接触,记录第二螺杆的读数。测量装置的温度-压力传感器组位于木材宽度或长度方向的中心线上。

[0133] 本发明具体实施方式中以使得测量装置的温度-压力组件位于待干燥木材的沿着干燥室纵向方向且靠近第一进给装置前端的一端,并且位于木材沿干燥室横向方向的中间位置为例进行说明,测量装置的温度-压力组件位于待干燥木材的沿着干燥室纵向方向的一端或横向方向的一端或横向方向一端的中间位置等其他位置均适用于本发明。本发明具体所述方式中以木材左侧为例。

[0134] 本发明具体实施方式中木材表面上方的介质温度-压力传感器组位于木材宽度方向的一端中部,如图7、8,本发明具体实施方式中以待干燥木材的靠近第一进给装置前端一侧且沿干燥室横向方向的木材宽度方向的一端为例,即木材的最左端。

[0135] 木材表面介质温度-压力传感器组测量过程中沿着木材长度或宽度方向移动,本发明以木材的左侧为测量起始点,测量时向第一螺杆向右移动,每次移动的距离为50mm(通常为20-100mm),如图2、3所示。

[0136] 木材表面上方的介质温度和压力测量组件与待干燥木材厚度方向的上表面接触的位置,为木材表面介质温度-压力传感器组竖向测定的原点位置,木材表面介质温度-压力测量组件沿着干燥室竖向向上移动,测定木材表面热质传递薄层厚度,第二螺杆每移动一次的距离为100微米(通常为20-120微米)。

[0137] 3、关闭干燥室,开启加热器12和循环风机13,对木材进行干燥,其中通过干湿球温度计5测定干燥室内干燥介质的温度,并控制干燥介质的温度为35-90℃,每测定一次木材表面上方的温度和压力时,测定一次干燥室内干燥介质的干湿球温度。

[0138] 4、测量装置的温度-压力传感器组与木材表面接触时,测定干燥室内起始阶段干燥介质的温度和风速( $t_{介0}$ 和 $v_{介0}$ );木材表面介质的温度和压力( $t_{木0}$ 和压力 $R_{木0}$ );干燥室内的干湿球温度( $t_{d0}$ 和湿球温度 $t_{w0}$ )。

[0139] 即当开启加热器、循环风机后,干燥室内温度-风速传感器组监测的温度和干燥介质流速稳定(即读数不变化)时,记录为干燥介质的温度和风速,分别为 $t_{介0}$ 和 $v_{介0}$ ,并读取木材表面温度-压力传感器组测定的木材表面的介质的温度 $t_{木0}$ 和压力 $R_{木0}$ ;同时通过干湿球温度计测定干燥室干燥介质的干球温度 $t_{d0}$ 和湿球温度 $t_{w0}$ ;根据公式(1)计算木材表面的介质的流速 $v_{木0}$ ,

$$[0140] \quad v_{木0} = \sqrt{\frac{913.3 \times (273 + t_{d0}) R_{木0}}{101.3 - 0.378 \varphi_0 p_0}} \quad (1)$$

[0141] 公式(1)中, $t_{d0}$ 为干燥介质的干球温度,℃; $p_0$ 为温度为 $t_{d0}$ 时,干燥介质的饱和蒸气压力,kPa; $\varphi_0$ 为温度为 $t_{d0}$ 时,干燥介质的相对湿度,%; $R_{木0}$ 为木材表面的压力计的读数mm酒精柱;其中, $p_0$ 按照公式(2)计算; $\varphi_0$ 按照公式(3)计算:

$$[0142] \quad p_0 = -8.479 + 1.307 t_{d0} - 0.0326 t_{d0}^2 + 3.0295 \times 10^{-4} t_{d0}^3 \quad (2)$$

$$[0143] \quad \varphi_0 = (-1.52 - 62.10 \ln t_{d0} + 130.50 \ln t_{w0} - 21.89 (\ln t_{w0})^2 + 1.91 (\ln t_{w0})^3) (1 + 0.725 \ln t_{d0} - 0.865 \ln t_{w0}) \quad (3)$$

[0144] 公式(2)、(3)中的 $t_{d0}$ 为干燥介质的干球温度,℃; $t_{w0}$ 为干燥介质的湿球温度,℃。

[0145] 5、计算 $t_{木0}/t_{介0}$ 、 $v_{木0}/v_{介0}$ 的比值,当 $t_{木0}/t_{介0} < 0.99$ , $v_{木0}/v_{介0} < 0.99$ 时,转动第二进给装置3上的第二手柄,使得第二螺杆沿着干燥室竖向向上移动一定距离H,控制温度-压力传感器组沿着木材的厚度方向向上移动H,H为100微米(通常H为20-120微米,优选为100微米)。

[0146] 6、第二螺杆沿着干燥室竖向每向上移动H一次(即测量装置的温度-压力传感器组沿着干燥室竖向每向上移动H一次)后,测定一次干燥室内干燥介质的温度和风速(即 $t_{介}$ 和 $v_{介}$ );木材表面上方介质的温度和压力(即 $t_{木}$ 和 $R_{木}$ );干燥室内的干湿球温度(即 $t_d$ 和 $t_w$ ),然后计算木材表面上方介质的流速(即 $v_{木}$ ),再分别计算 $t_{木}/t_{介}$ 、 $v_{木}/v_{介}$ 的比值;

[0147] 温度-压力传感器组向上移动第n次,则测定的木材表面上方介质的温度和压力分别记为 $t_{木n}$ 、 $R_{木n}$ ;干燥室内干燥介质的温度和风速分别记为 $t_{介n}$ 、 $v_{介n}$ ;干燥室干燥介质的干

湿球温度分别记为 $t_{dn}$ 、 $t_{wn}$ ；根据公式(1A)计算木材表面的介质流速为 $v_{木n}$ 。

$$[0148] \quad v_{木n} = \sqrt{\frac{913.3 \times (273 + t_{dn}) R_{木n}}{101.3 - 0.378 \varphi_n p_n}} \quad (1A)$$

[0149] 公式(1A)中, $n$ 为温度-压力传感器组向上移动的次数, $n$ 为1,2,3,⋯,整数; $t_{dn}$ 为第 $n$ 次向上移动后干燥介质的干球温度,℃; $p_n$ 为温度为 $t_{dn}$ 时,干燥介质的饱和蒸气压力,kPa; $\varphi_n$ 为温度为 $t_{dn}$ 时,干燥介质的相对湿度,%; $R_{木n}$ 为第 $n$ 次向上移动后木材表面上方介质压力传感器的读数mm; $p_n$ 按照公式(2A)计算; $\varphi_n$ 按照公式(3A)计算:

$$[0150] \quad P_n = -8.479 + 1.307 t_{dn} - 0.0326 t_{dn}^2 + 3.0295 \times 10^{-4} t_{dn}^3 \quad (2A)$$

$$[0151] \quad \varphi_n = (-1.52 - 62.10 \ln t_{dn} + 130.50 \ln t_{wn} - 21.89 (\ln t_{wn})^2 + 1.91 (\ln t_{wn})^3) / (1 + 0.725 \ln t_{dn} - 0.865 \ln t_{wn}) \quad (3A)$$

[0152] 公式(2A)、(3A)中的 $t_{dn}$ 、 $t_{wn}$ 分别为温度-压力传感器组第 $n$ 次向上移动后,干燥介质的干球温度、湿球温度,℃。

[0153] 测量装置的测量一次之后向上移动的距离 $H$ 为100微米,每次移动距离 $H$ 为20-120微米,优选为100微米。

[0154] 7、第二进给装置沿干燥室竖向每向上移动一次,测定一次木材表面上方介质的温度和压力(即 $t_{木}$ 和 $R_{木}$ );干燥室内干燥介质的温度和风速(即 $t_{介}$ 和 $v_{介}$ );干燥室干燥介质的干湿球温度(即 $t_d$ 和 $t_w$ );然后计算木材表面上方介质的流速(即 $v_{木}$ ),再计算 $t_{木}/t_{介}$ 、 $v_{木}/v_{介}$ 的比值;直至测定第 $n$ 次向上移动后,按照公式(1A)计算第 $n$ 次移动后的木材表面上方介质的流速 $v_{木n}$ ,并且 $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ;且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ 时,记录第二螺杆的读数(记为 $Y1$ ),第二螺杆向上移动的距离 $h$ 即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度, $h = (Y1 - Y0) = H * n$ ,第二螺杆上的读数 $Y1$ 减去步骤2)的第二螺杆的初始读数 $Y0$ ,即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度。

[0155] 8、转动第一手柄,第一螺杆沿着干燥室的纵向或横向移动一定距离 $L$ ,即沿着木材的长度或宽度方向移动距离 $L$ ,每次纵向或横向移动的距离 $L$ 为20-100mm(优选为50mm),即调节木材表面上方的介质温度-压力传感器组沿着干燥室纵向移动20-100mm;转动第二手柄,使得木材表面上方介质温度-压力传感器组与木材表面接触;

[0156] 9、重复步骤4-7),测定每次沿着木材纵向移动 $L$ 距离后,木材表面热质传递薄层的厚度;

[0157] 10、重复步骤8)、9),直至沿着干燥室纵向方向移动,从木材的一端直至另一端,测定完整根木材的长度或宽度,获得木材表面热质传递薄层厚度。

[0158] 实施例1:

[0159] 采用本发明木材表面热质传递薄层厚度测定设备,在介质干球温度为60℃,流速为2m/s的条件下对长度为1.8m的杨木板材进行干燥,本发明实施例中以在风机的带动下,进风端在木材的左侧,出风端在木材的右侧,即介质沿着木材表面从图8中的左侧进入,流经木材表面,从右侧流出,沿着干燥室纵向循环流动为例进行说明。

[0160] 测定木材表面不同位置处的热质传递薄层厚度,具体方法如下:

[0161] 1、如图7、8,将长度为1.8m的杨木板置于支架上部,木材长度、宽度分别与干燥室纵向、横向一致;并且木材长度方向的靠近第一进给装置前端的一端(即木材宽度的一端)与导向槽的靠近第一进给装置的一端相平齐;然后安装测量装置的温度-压力测量组件,温

度-压力传感器组通过支撑件使其位于木材长度方向的中心线上,即温度-压力传感器组在木材上的投影与木材长度方向的中心线重合。

[0162] 2、转动第一手柄,调节第二进给装置,使之位于待干燥木材的沿着干燥室纵向且靠近第一进给装置的前端的一端,且使第二螺杆上端顶部的温度-压力测量固定件的相应地位于待干燥木材的沿着干燥室纵向且靠近第一进给装置前端的一端,使得温度-压力传感器组位于待干燥木材的沿着干燥室纵向且靠近第一进给装置前端的一端,记录第一螺杆的读数(记为X0),如图7、8,测量装置的温度-压力传感器组与待干燥木材的沿着干燥室纵向且靠近第一进给装置前端的一端平齐,转动第二手柄,调节固定在第二螺杆上端顶部的温度-压力测量固定件相应的升降,使得温度-压力传感器组沿着干燥室的竖向与木材表面接触,记录第二螺杆的读数(记为Y0)。测量装置的温度-压力传感器组位于木材宽度或长度方向的中心线上。

[0163] 3、关闭干燥室,开启加热器12和循环风机13,对木材进行干燥,其中通过干湿球温度计5测定干燥室内干燥介质的温度,并控制干燥介质的温度为60℃(通常为35-90℃),干燥介质流速定为2m/s,每测定一次木材表面上方的温度和压力时,测定一次干燥室内干燥介质的干湿球温度。

[0164] 4、测定测量装置的温度-压力传感器组与木材表面接触时干燥室内起始阶段干燥介质的温度和风速;木材表面介质的温度和压力;干燥室内的干湿球温度。

[0165] 当干燥介质温度-风速传感器组监测的温度和干燥介质流速稳定(即读数不变化)时,记录当温度-压力传感器组与木材表面接触时的为干燥介质的温度和风速分别为 $t_{介0}$ 和 $v_{介0}$ ,并读取木材表面温度-压力传感器组测定的木材表面的介质的温度 $t_{木0}$ 和压力 $R_{木0}$ ;同时通过干湿球温度计测定干燥室干燥介质的干球温度 $t_{d0}$ 和湿球温度 $t_{w0}$ ;根据公式(1)计算木材表面的介质流速 $v_{木0}$ ,

$$[0166] \quad v_{木0} = \sqrt{\frac{913.3 \times (273 + t_{d0}) R_{木0}}{101.3 - 0.378 \Phi_0 p_0}} \quad (1)$$

[0167] 公式(1)中, $t_{d0}$ 为干燥介质的干球温度,℃; $p_0$ 为温度为 $t_{d0}$ 时,干燥介质的饱和蒸气压力,kPa; $\Phi_0$ 为温度为 $t_{d0}$ 时,干燥介质的相对湿度,%; $R_{木0}$ 为木材表面压力计的读数mm酒精柱;其中, $p_0$ 按照公式(2)计算; $\Phi_0$ 按照公式(3)计算:

$$[0168] \quad p_0 = -8.479 + 1.307 t_{d0} - 0.0326 t_{d0}^2 + 3.0295 \times 10^{-4} t_{d0}^3 \quad (2)$$

$$[0169] \quad \Phi_0 = (-1.52 - 62.10 \ln t_{d0} + 130.50 \ln t_{w0} - 21.89 (\ln t_{w0})^2 + 1.91 (\ln t_{w0})^3) / (1 + 0.725 \ln t_{d0} - 0.865 \ln t_{w0}) \quad (3)$$

[0170] 公式(2)、(3)中的 $t_{d0}$ 为干燥介质的干球温度,℃; $t_{w0}$ 为干燥介质的湿球温度,℃。

[0171] 5、计算 $t_{木0}/t_{介0}$ 、 $v_{木0}/v_{介0}$ 的比值,当 $t_{木0}/t_{介0} < 0.99$ , $v_{木0}/v_{介0} < 0.99$ 时,转动第二进给装置3上的第二手柄32,使得第二螺杆沿着干燥室竖向向上移动一定距离H,控制温度-压力传感器组沿着木材的厚度方向向上移动H,H为100微米(通常H为20-120微米,优选为100微米)。

[0172] 6、第二螺杆沿着干燥室竖向每向上移动H一次(即测量装置的温度-压力传感器组沿着干燥室竖向每向上移动H一次)后,测定一次干燥室内干燥介质的温度和风速(即 $t_{介}$ 和 $v_{介}$ );木材表面上方介质的温度和压力(即 $t_{木}$ 和 $R_{木}$ );干燥室内的干湿球温度(即 $t_d$ 和 $t_w$ ),然后计算木材表面上方介质的流速(即 $v_{木}$ ),再分别计算 $t_{木}/t_{介}$ 、 $v_{木}/v_{介}$ 的比值;

[0173] 温度-压力传感器组向上移动第n次,则测定的木材表面上方介质的温度和压力分别记为 $t_{木n}$ 、 $R_{木n}$ ;干燥室内干燥介质的温度和风速分别记为 $t_{介n}$ 、 $v_{介n}$ ;干燥室干燥介质的干湿球温度分别记为 $t_{dn}$ 、 $t_{wn}$ ;根据公式(1A)计算木材表面的介质流速为 $v_{木n}$ 。

$$[0174] \quad v_{木n} = \sqrt{\frac{913.3 \times (273 + t_{dn}) R_{木n}}{101.3 - 0.378 \varphi_n p_n}} \quad (1A)$$

[0175] 公式(1A)中,n为温度-压力传感器组向上移动的次数,n为1,2,3,⋯,整数; $t_{dn}$ 为第n次向上移动后干燥介质的干球温度,°C; $p_n$ 为温度为 $t_{dn}$ 时,干燥介质的饱和蒸气压力,kPa; $\varphi_n$ 为温度为 $t_{dn}$ 时,干燥介质的相对湿度,%; $R_{木n}$ 为第n次向上移动后木材表面上方介质压力传感器的读数mm; $p_n$ 按照公式(2A)计算; $\varphi_n$ 按照公式(3A)计算:

$$[0176] \quad P_n = -8.479 + 1.307 t_{dn} - 0.0326 t_{dn}^2 + 3.0295 \times 10^{-4} t_{dn}^3 \quad (2A)$$

$$[0177] \quad \varphi_n = (-1.52 - 62.10 \ln t_{dn} + 130.50 \ln t_{wn} - 21.89 (\ln t_{wn})^2 + 1.91 (\ln t_{wn})^3) / (1 + 0.725 \ln t_{dn} - 0.865 \ln t_{wn}) \quad (3A)$$

[0178] 公式(2A)、(3A)中的 $t_{dn}$ 、 $t_{wn}$ 分别为干燥介质的干球温度、湿球温度,°C。

[0179] 测量装置的测量一次之后向上移动的距离H为100微米,每次移动距离H为20-120微米,优选为100微米。

[0180] 7、计算 $t_{木}/t_{介}$ 、 $v_{木}/v_{介}$ 的比值;直至测定第n次向上移动后,按照公式(1A)计算第n次移动后的木材表面上方介质的流速 $v_{木n}$ ,并且 $t_{木n}/t_{介n} \geq 0.99$ ;且 $v_{木n}/v_{介n} \geq 0.99$ 时,记录第二螺杆的读数(记为Y1),第二螺杆向上移动的距离h即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度, $h = (Y1 - Y0) = H * n$ ,第二螺杆上的读数Y1减去步骤2)的第二螺杆的初始读数Y0,即为干燥过程中木材表面热质传递薄层厚度。

[0181] 8、转动第一手柄,第一螺杆沿着干燥室的纵向或横向移动一定距离L,即沿着木材的长度或宽度(本发明具体实施方式中以木材长度为例)方向移动距离L,每次纵向或横向移动的距离L为50mm(通常为20-100mm),即调节木材表面上方的介质温度-压力传感器组沿着干燥室纵向移动50mm(通常为20-100mm);转动第二手柄,使得木材表面上方介质温度-压力传感器组与木材表面接触;

[0182] 9、重复步骤4-7),测定每次沿着木材纵向移动L距离后,木材表面热质传递薄层的厚度;

[0183] 10、重复步骤8)、9),直至沿着木材长度(即干燥室纵向方向)移动,从木材的一端直至另一端,测定完整根木材的长度(1.8m),获得木材表面热质传递薄层厚度。

[0184] 木材表面热质传递薄层厚度测定结果如表1所示。

[0185] 表1木材表面热质传递薄层厚度测定结果

[0186]

木材长度方向距离(mm)	热质传递薄层厚度(mm)	木材长度方向距离(mm)	热质传递薄层厚度(mm)	木材长度方向距离(mm)	热质传递薄层厚度(mm)
0	0	600	14.95	1200	21.14
50	4.32	650	15.56	1250	21.58
100	6.10	700	16.15	1300	22.01
150	7.47	750	16.71	1350	22.42
200	8.63	800	17.26	1400	22.84
250	9.65	850	17.79	1450	23.24

[0187]

300	10.57	900	18.31	1500	23.64
350	11.42	950	18.81	1550	24.03
400	12.21	1000	19.30	1600	24.41
450	12.95	1050	19.78	1650	24.79
500	13.65	1100	20.24	1700	25.16
550	14.31	1150	20.70	1750	25.53
				1800	25.89

[0188] 从表1中可以看出,随着木材表面测试位置与进风端距离的增加,木材表面热质传递薄层厚度逐渐增加,而对于干燥过程来说,木材表面与环境中的干燥介质之间由于存在热质传递薄层,热量在传递薄层内部是导热的方式进行,而水分是以扩散的形式进行,热质传递薄层对水分和热量的传递起阻碍作用,所以随着热质传递薄层在木材表面上方的厚度的增大,干燥介质中的热量更难传递到木材表面,木材表面的水分更难移动到干燥介质中,在实际干燥过程中就可以采取循环风机正反转,或超声波去减小这个薄层的厚度,而且离木材端部越远的地方更应该用强度大的超声波才能去除这个薄层,最后可以建立薄层厚度与超声波强度的关系,进而快速高效的去掉这个薄层,而促进木材干燥过程如果采用一定的办法将这个薄层的厚度降低为0,使木材表面的这个薄层不存在,介质中的热量可以直接传递到木材表面,而无需经过这个薄层,木材表面的水分可以直接蒸发到木材表面,而不需要经过这个薄层。这样就可以大大加快木材表面水分的蒸发和热量传递给木材的速度。

[0189] 木材干燥过程中存在热质传递边界层,但是薄层厚度不能清楚获知,热质传递薄层越厚,水分和热量传递路径越远,水分和热量迁移越难,通过测量热质传递薄层的厚度,可以了解薄层内热量和水分的传递特性、规律、迁移的路程和蒸发过程,结合木材内部的水分移动规律,控制木材表面和内部水分迁移的情况,提高木材干燥质量(木材干燥缺陷大部分由木材内部和表面水分移动不同步导致);指导木材表面水分和热量传递规律的研究,进而减少干燥缺陷。

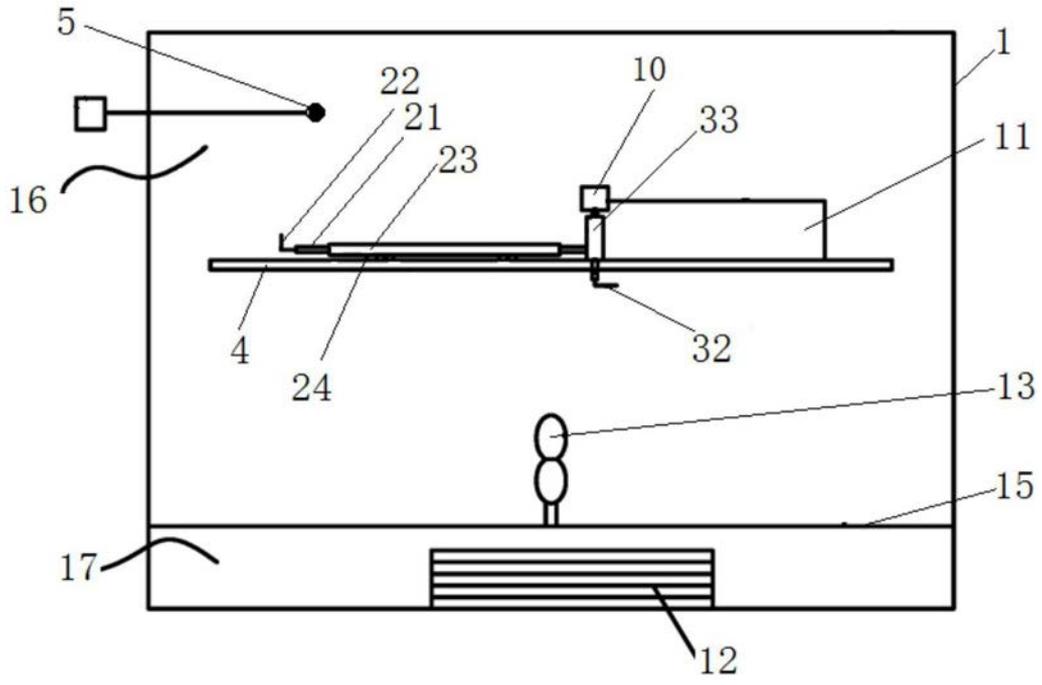


图1

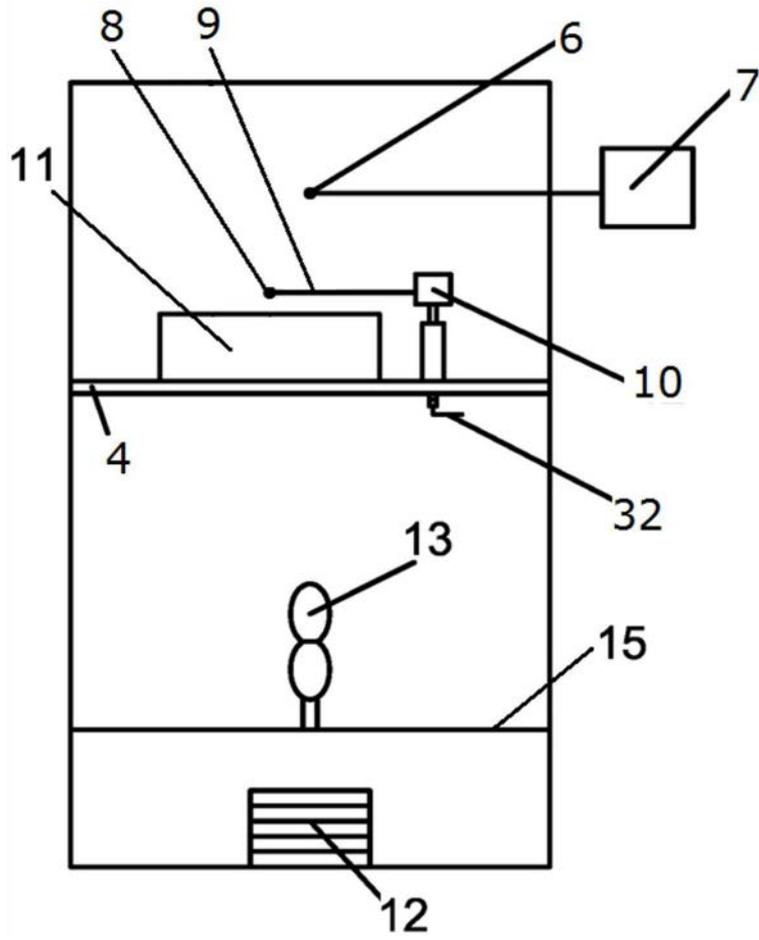


图2

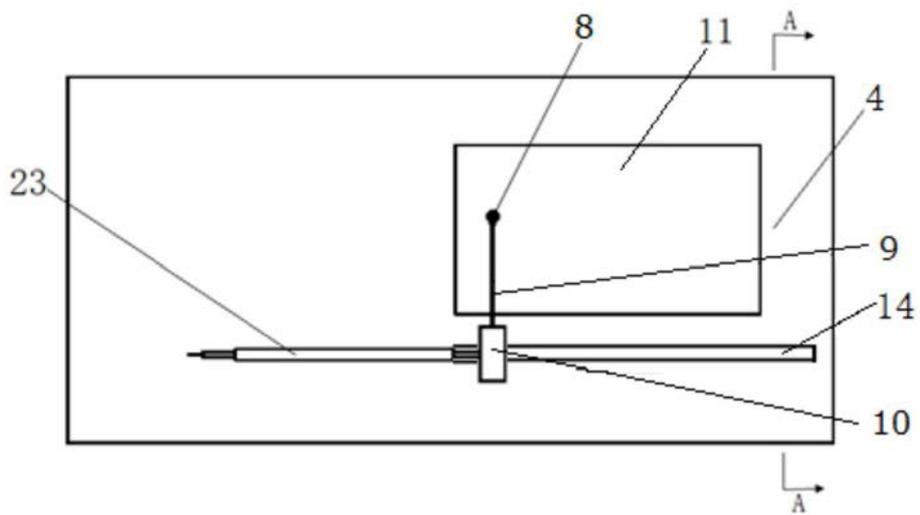


图3

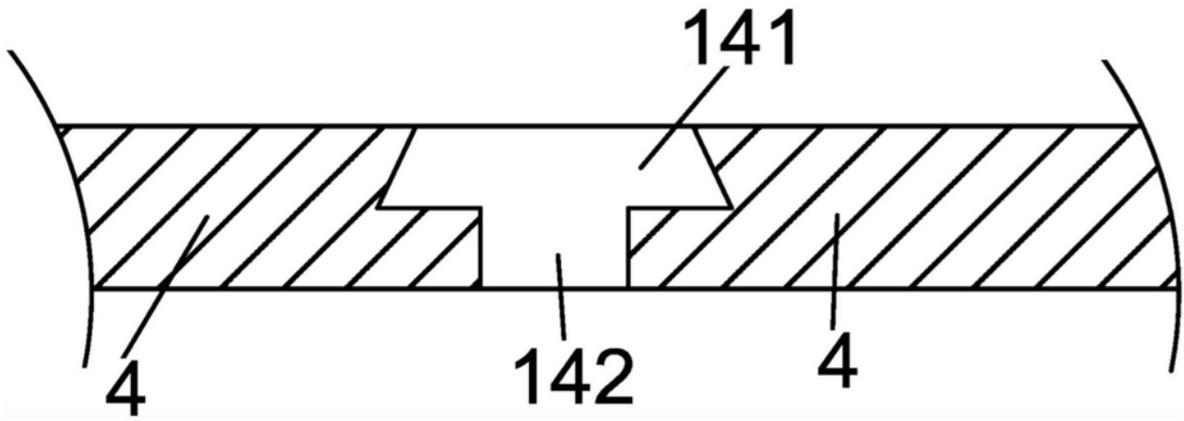


图4

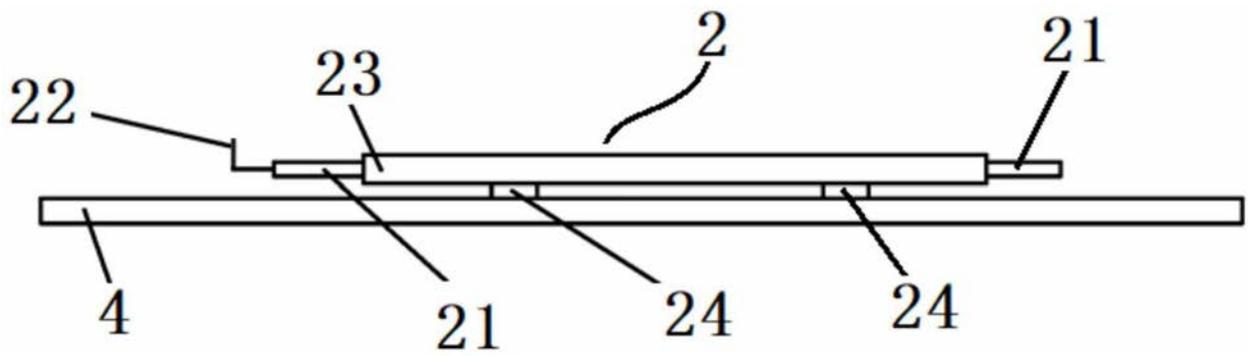


图5

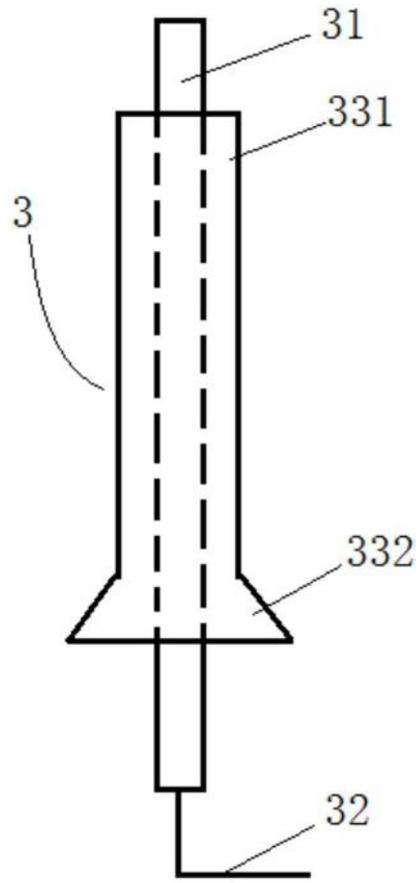


图6

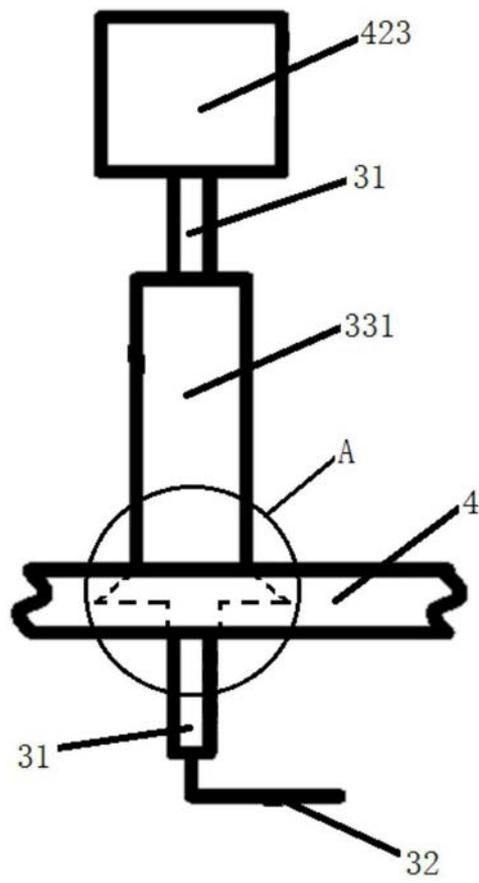


图6A

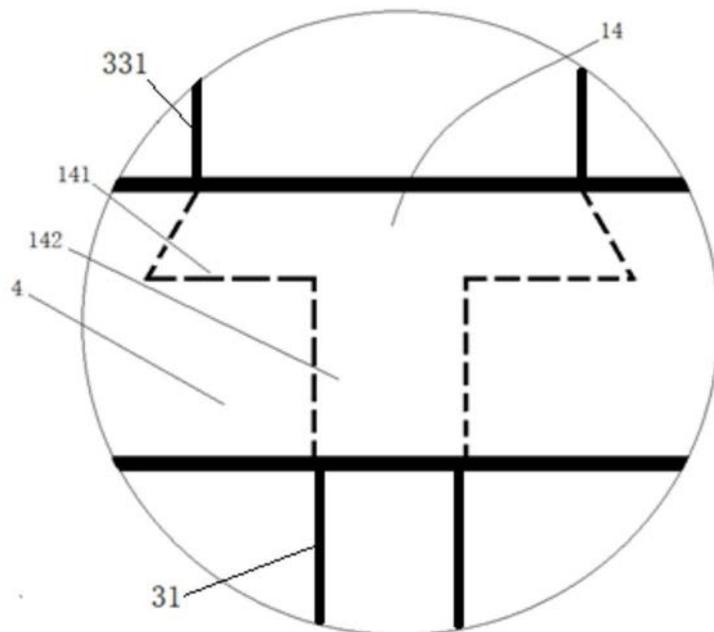


图6B

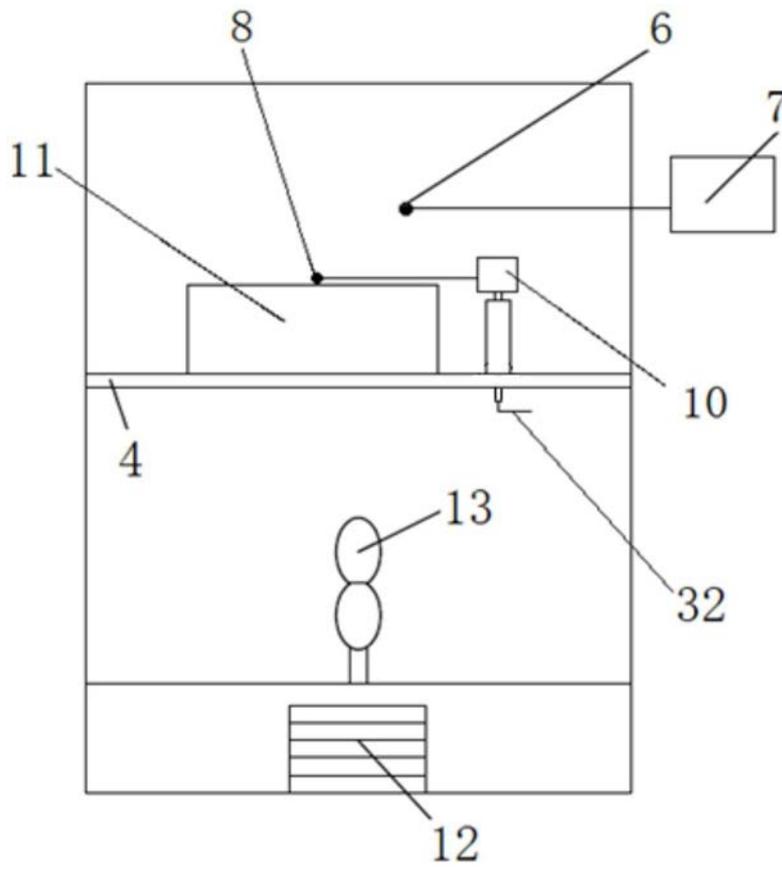


图7

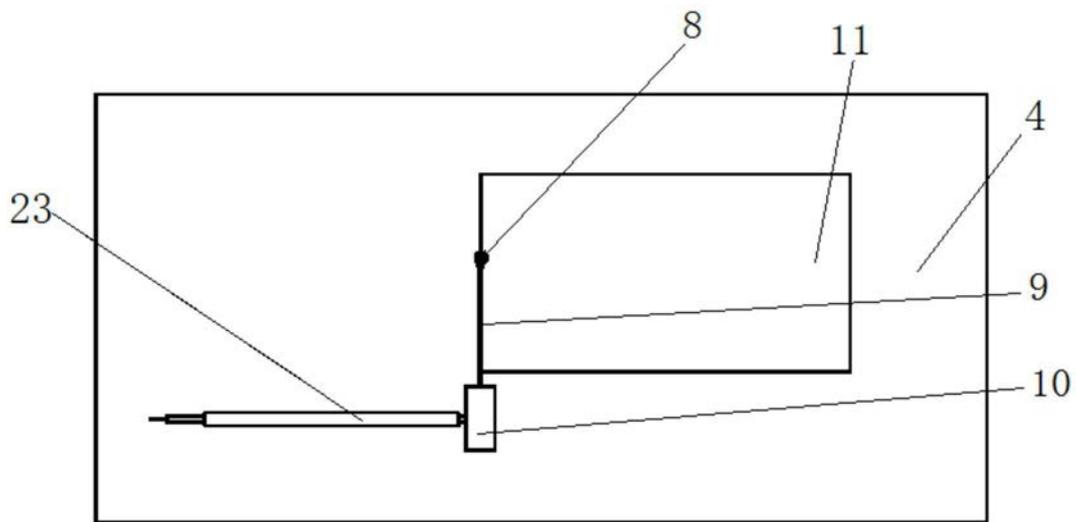


图8