

辐射松板材降温干燥工艺的研究

涂登云¹, 刘彬², 顾炼百²

(1 华南农业大学林学院, 广东广州 510642; 2 南京林业大学干燥技术研究所, 江苏南京 210037)

摘要:对40 mm厚辐射松 *Pinus radiata* 板材进行降温干燥工艺研究. 结果表明, 降温干燥与全程恒高温干燥相比, 在保证干燥质量的同时, 提高干燥速度 10.45%, 缩短终了调湿处理 3 h, 从而达到提高干燥效率和降低干燥能耗的目的.

关键词:辐射松; 降温干燥; 工艺

中图分类号: TS652

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2009)04-0102-03

Study on Technology of Lowering Temperature Drying of *Pinus radiata* Board

TU Deng-yun¹, LIU Bin², GU Lian-bai²

(1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Drying Technology Institute of Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Lowering temperature drying technology was studied on 40 mm thick *Pinus radiata* board. The results showed that the drying rate was increased by 10.45% and final conditioning time shortened by 3 h without affecting the drying quality with lowering temperature drying method compared with constant high-temperature drying in overall process. Therefore, the drying efficiency was increased and energy consumption was reduced.

Key words: *Pinus radiata*; lowering temperature drying; technology

近年来, 新西兰产辐射松已成为我国的主要进口速生材树种之一. 新西兰辐射松属针叶材中易干的树种, 通常采用 120 ℃ 以上的高温干燥方法对其进行干燥. 全程的高温干燥可以快速干燥辐射松板材, 但干燥后板材残余应力较大, 脆性大, 而且材色变深, 影响产品质量^[1-2]. 为保证辐射松木材干燥后的力学性能, 防止材色变深, 也可采用温度低于 105 ℃ 的高温干燥^[3]. 高温干燥后板材温度在 100 ℃ 以上, 如果此时直接进行喷蒸终了调湿处理, 处理效果会不显著. 正常应采用先降温, 后喷蒸的方法对木材进行终了调湿处理^[4]. 实际生产中, 通常把温度降低到 75 ~ 90 ℃ 后再进行喷蒸终了调湿处理^[5]. 辐射松板材高温干燥后期温度为 120 ℃ 左右, 要降至 75 ~ 90 ℃, 具有很大的降温空间. 如果能在高温干燥后期, 选择适当的时刻结束高温干燥, 进行降温, 就会使板材含水率在温度梯度和含水率梯度的共同作用下进一步降低, 从而利用降温过程对木材进行干燥. 本文基于以上设想开发出一种辐射松板材降温干燥工艺, 以有效利用高温干燥后的降温过程对辐射松

板材进行干燥, 从而达到缩短干燥周期、节约能源、降低成本、提高质量的目的.

1 材料与方 法

1.1 试验材料与仪器设备

试验材料为辐射松 *Pinus radiata* 板材. 试件规格为长(顺纹) × 宽(弦向) × 厚(径向) = 600 mm × 150 mm × 40 mm. 从同一试材上制取规格相同的 6 个试件, 将试件分为 A、B 2 组. 其中 A 组用于恒高温干燥试验, B 组用于降温干燥试验. A₁、B₁ 用于在线测量干燥过程中的温度分布和分层含水率. A₂、B₂ 用于测量干燥过程中和终了调湿处理过程中的平均含水率、分层含水率和残余应力. 干燥结束后, 检测所有试件的干燥质量. 试件准备好后, 用硅酮玻璃密封胶封端头, 并用塑料薄膜包好后保存于冷库中待用.

主要实验仪器: 调温调湿箱, 自制的铜-康铜热电偶 1 套, mini LIGNO DX 型木材含水率测量仪, 电热鼓风干燥箱, 电子天平(精度 0.01 g), DeWALT 圆锯机, 小钢锯, 劈刀等.

收稿日期: 2008-06-09

作者简介: 涂登云(1976—), 男, 副教授, 博士, E-mail: tudengyun@163.com

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目(2008GB2C200115); 浙江省农业科技成果转化资金项目(2008D70035); 华南农业大学校长基金(C02060102)

1.2 试验方法与过程

1.2.1 恒高温干燥试验 首先对木材进行2 h 预热处理,然后在 $\theta_{\text{干球}} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_{\text{湿球}} = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行恒高温干燥.干燥过程中,每隔30 min 测量1次试件 A_1 的芯、表层温度和含水率.每隔3 h 用切片法测量 A_2 平均含水率和分层含水率,然后用硅酮玻璃密封胶对试件 A_2 封端后继续进行干燥.当试件 A_1 芯层含水率小于9%后,在不控制干球温度和湿球温度的情况下自然降温至 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后测量 A_2 残余应力、分层含水率和平均含水率(这里的降温主要是考虑介质温度在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,终了调湿处理效果不显著,需要把介质降低到 $75\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后再进行终了调湿处理,以便于取得较好的调湿效果).用硅酮玻璃密封胶对试件 A_2 封端后,放回调湿调湿箱中,在 $\theta_{\text{干球}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_{\text{湿球}} = 91\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下对板材进行终了调湿处理6 h.终了调湿过程中,每隔1.5 h 测量1次 A_2 的残余应力、分层含水率和平均含水率.终了调湿处理结束后,自然冷却至室温,测量所有试件的干燥质量指标.

1.2.2 降温干燥试验 恒高温干燥阶段方法同1.2.1.当试件 B_1 芯层温度达到约 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ (或芯层含水率达到约27%),进行降温干燥.降温过程中每隔30 min 测量1次芯、表层含水率和温度.每隔3 h 用切片法测量 B_2 平均含水率和分层含水率.当芯层温度降至 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,降温干燥结束,进行终了调湿处理4.5 h.终了调湿处理方法和干燥质量检测同1.2.1.

2 结果与分析

2.1 恒高温干燥过程中的温度变化

恒高温干燥过程中的温度变化如图1所示.从第5 h 开始,表层温度逐渐升高.第12 h 时,表层温度为 $105.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,高于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,此时的表层含水率为20.85%,低于纤维饱和点.第15 h 后,由于表层含水率低于10%,蒸发的水分量已经很少,因此表层温度开始趋于稳定.干燥结束时,表层温度为 $112.9\text{ }^{\circ}\text{C}$.芯层温度在第3~12 h 为 $93.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,略高于湿球温度.第12 h 后,芯层温度开始升高.第15 h 时,芯层温度为 $103.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,高于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,此时的芯层含水率为26.74%,低于纤维饱和点.之后,随着芯层含水率的继续降低,芯层温度逐步升高.干燥结束时,芯层温度为 $111.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,与表层温度接近.

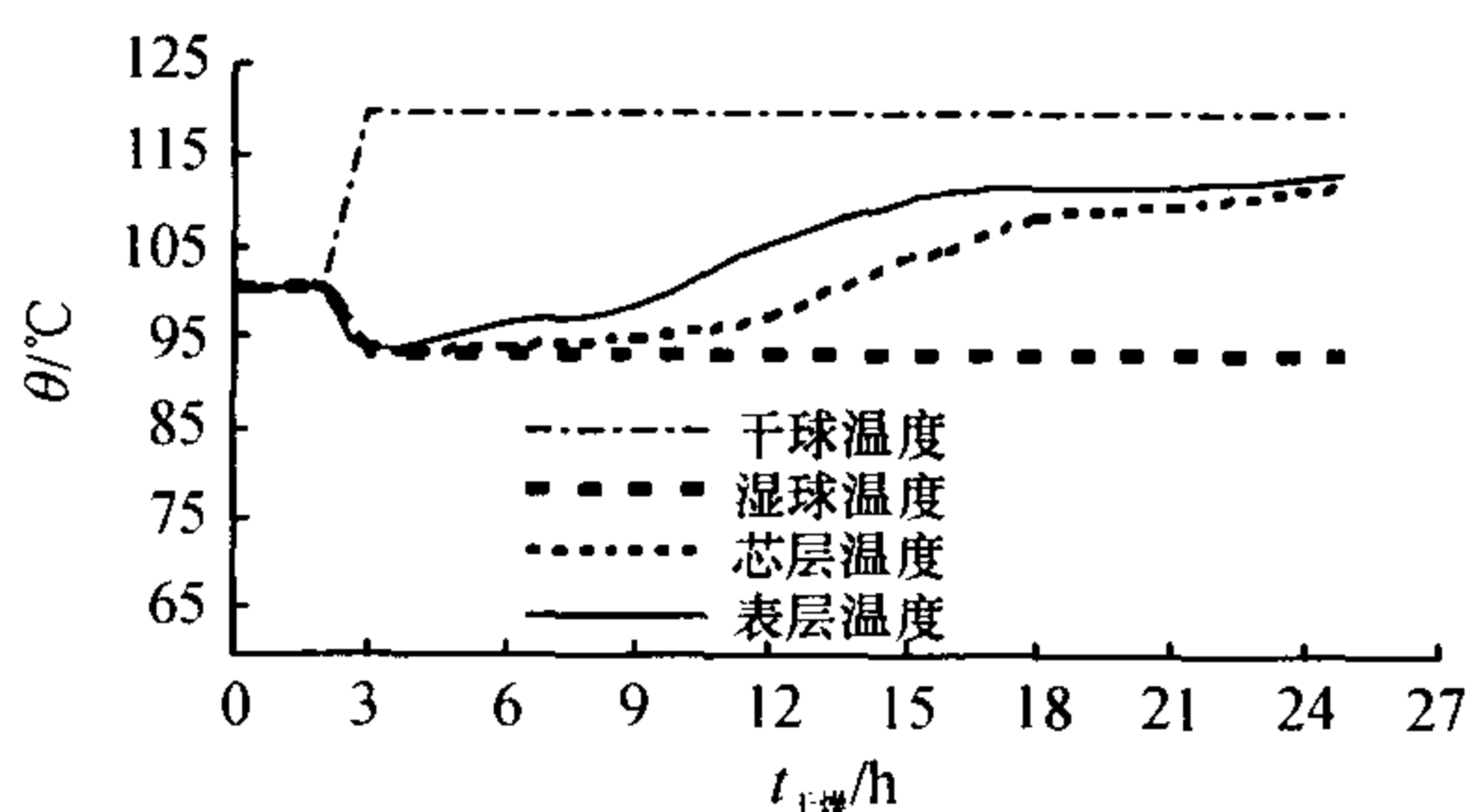


图1 恒高温干燥过程的温度变化曲线

Fig. 1 Curve for change of temperature during constant high temperature drying

2.2 降温干燥过程中的温度变化

降温干燥过程中的温度变化如图2所示.降温前,板材的表层和芯层温度变化规律与恒高温干燥方法基本一致.第16 h 时开始降温,此时的芯、表层温度分别为 102.7 、 $110.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,芯、表层含水率分别为26.44%、10.64%.降温之后干球温度与表层温差逐渐减小.18 h 后,表层温度开始高于干球温度.在16~19 h,芯层温度仍低于表层温度,但芯层与表层之间的温差逐渐减小.第20 h 时,芯、表层温度分别为 100.3 、 $99.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,芯层温度开始高于表层温度.之后,芯层与表层之间的温差逐渐增大.降温干燥结束时,芯、表层温度分别为 90.4 、 $89.6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

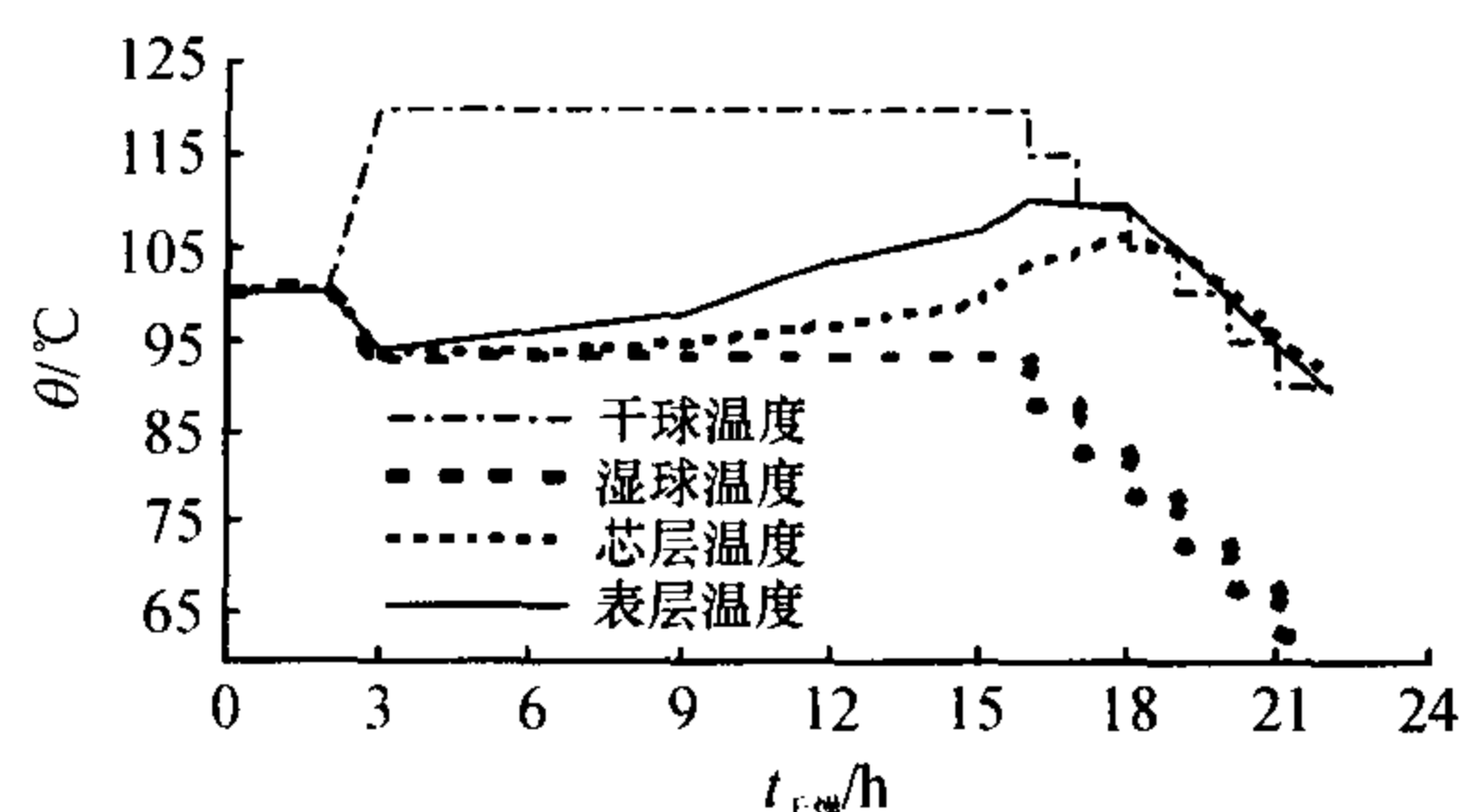


图2 降温干燥过程的温度变化曲线

Fig. 2 Curve for change of temperature during lowering temperature drying

2.3 干燥过程的表、芯层温差

板材干燥过程中的表、芯层温差变化如图3所示.试件 A_1 在预热结束后,表、芯层温差逐渐增大,第12 h 时,达最大值 $8.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.第12 h 后,表、芯层温差快速减小.第18 h 后,温差减小速度减缓.在恒高温干燥过程中,试件 A_1 的温度分布始终为内低外高.试件 B_1 在预热结束后,表、芯层温差逐渐增大,第15 h 时,达最大值 $7.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;第16 h 开始降温后,温差快速减小;第20 h 时,温差由正值变为负值,之后逐渐增大,板材的温度分布为内高外低,与内高外低的含水率分布一致,从而加快了板材的干燥速度.

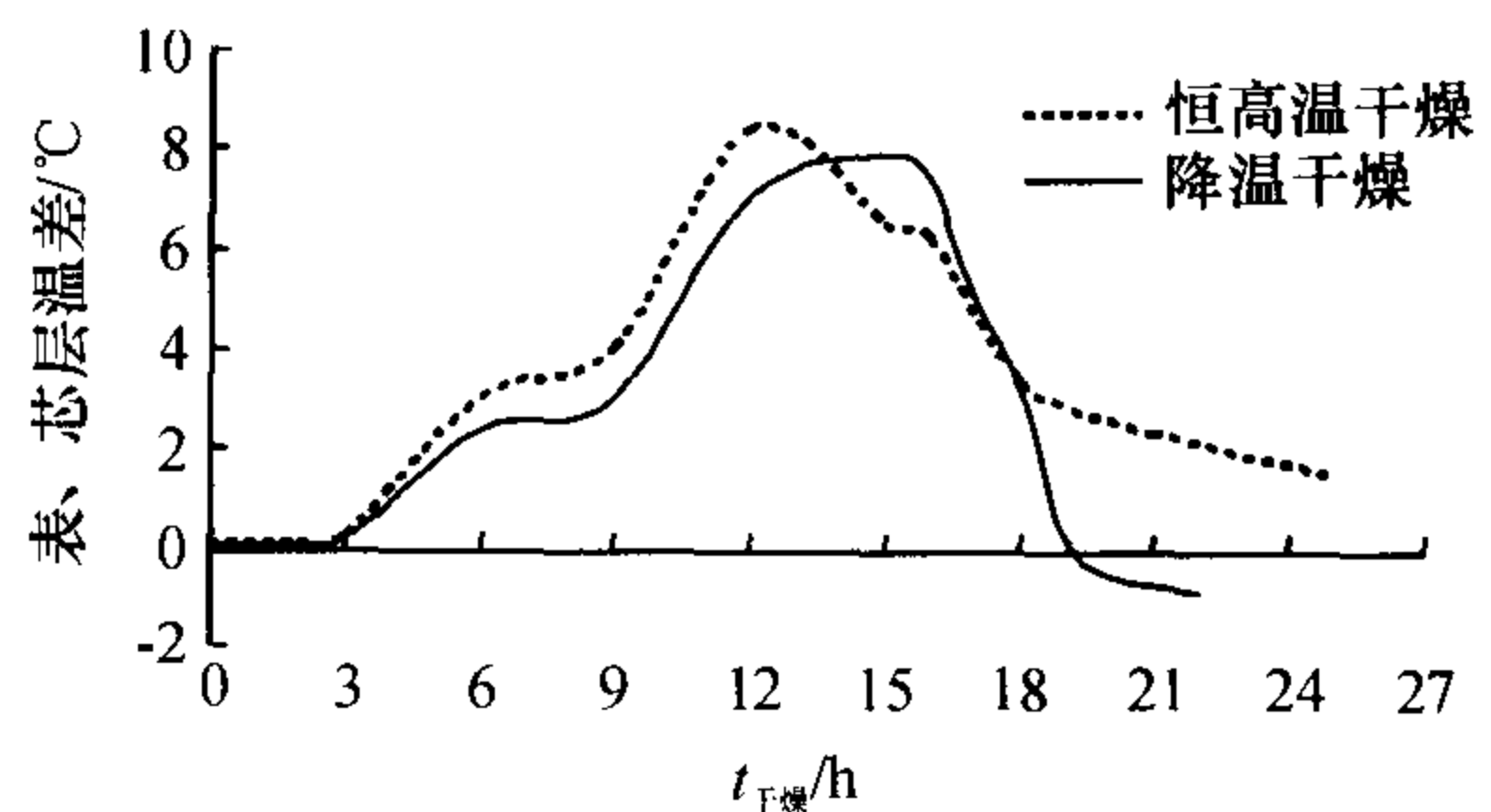


图3 2种干燥方法的表、芯层温差变化曲线

Fig. 3 Curve for changes in temperature difference between the surface and core layers with two drying methods

2.4 干燥速度对比

2种干燥方法试件的平均含水率、表层含水率、芯层含水率变化曲线如图4所示.采用恒高温干燥,板材从平均含水率133.88%干燥到6.95%,共用时24.8 h.采用降温干燥,板材从平均含水率138.55%

干燥到 7.49%，共用时 22 h，干燥效率提高 10.45%。A₂、B₂ 试件在恒高温干燥阶段的干燥速度较接近，每小时含水率分别降低 7.62%、7.75%。干燥后期，试件 A₂、B₂ 的平均含水率每小时分别降低 1.23%、2.11%，降温干燥是恒高温干燥速度的 1.71 倍；A₂

和 B₂ 的表层含水率干燥速度基本一致；B₂ 芯层的含水率降低速度明显快于试件 A₂。经 6 h 的降温干燥过程，试件 B₂ 芯层含水率从 26.44% 降至 8.27%，含水率每小时降低 3.03%，是 A₂ 的 1.87 倍。说明，降温过程更有利于木材内部水分的扩散。

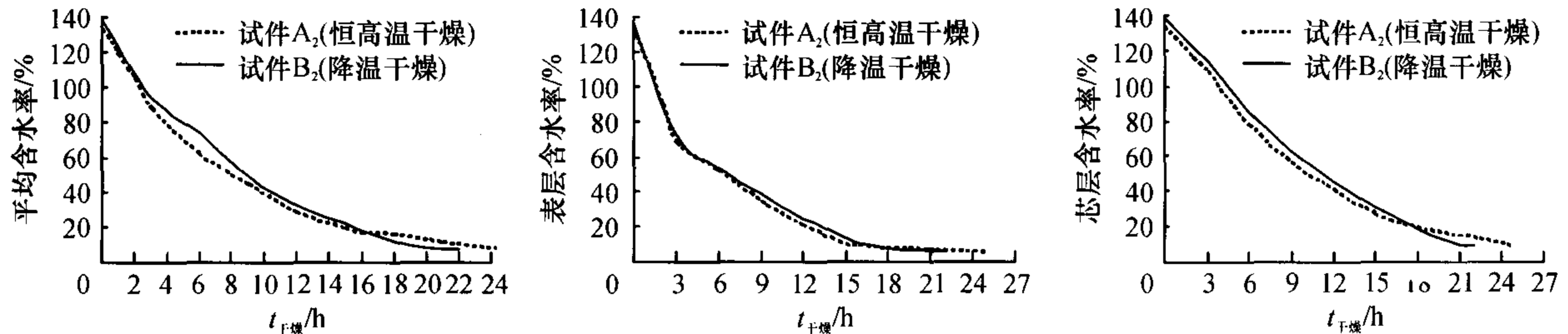


图4 2种干燥方法试件含水率变化曲线

Fig.4 Curve of moisture content change of test pieces with two drying methods

2.5 终了调湿效果对比

终了调湿处理过程中 2 种干燥方法的试件分层含水率偏差与残余应力变化如表 1 所示。降温干燥结束时，试件 B₂ 厚度上含水率偏差、残余应力均小于 A₂。处理 1.5 h 时，试件 B₂ 厚度上含水率偏差为 0.04%，含水率分布均匀，与恒高温干燥终了调湿处理 4.5 h 时的效果相当。B₂ 试件处理 3 h 时，残余应力 1.79%，与恒高温干燥终了调湿处理 6 h 时的效果相当。因此，降温干燥可缩短终了调湿处理时间 3 h。

2.6 干燥质量对比

2 种干燥方法试件的干燥质量如表 2 所示，降温干燥方法的板材干燥质量好于恒高温干燥。2 种干燥方法均未使辐射松板材产生开裂、变形。

表 1 终了调湿处理过程中 2 种干燥方法的试件 (A₂, B₂) 分层含水率偏差与残余应力变化

Tab.1 Deviation of layered moisture content and change of residual stress of test pieces with two drying methods (A₂, B₂) during conditioning

t/h	厚度上含水率偏差/%		残余应力/%	
	A ₂	B ₂	A ₂	B ₂
0	1.87	0.72	4.89	3.69
1.5	0.70	0.04	3.65	2.70
3.0	0.36	-0.07	3.03	1.79
4.5	0.01	-0.06	2.38	1.16
6.0	-0.02		1.8	

表 2 2 种干燥方法试件的干燥质量统计表

Tab.2 Statistics for drying quality of test pieces with two drying methods

干燥方法	平均含水率/%	厚度上含水率偏差/%	残余应力/%
恒高温干燥	9.14	2.03	1.46
降温干燥	8.95	1.86	0.92

3 结论

在降温过程中，板材内的温度梯度和含水率梯度均为内高外低，可以加速板材内部水分的扩散速度，从而提高辐射松板材的干燥速度。采用降温干燥方法，40 mm 厚辐射松板材从初始含水率 138.55% 干燥到平均含水率 7.49%，共用时 22 h，比恒高温干燥周期缩短 2.8 h，干燥效率提高 10.45%。

降温干燥结束时，板材的残余应力和厚度上含水率偏差均小于恒高温干燥，降温干燥可缩短终了调湿处理时间 3 h。降温干燥的辐射松板材质量好于恒高温干燥。

参考文献:

- [1] KREBER B, HASLETT A N. A study of some factors promoting kiln brown stain formation in radiata pine[J]. Holz als Roh und Werkstoff, 1997, 55(4): 215-220.
- [2] MCCCRDY M, PANG Shu-sheng, KEEY R. Measurement of colour development in *Pinus radiata* sapwood boards during drying at various schedules[J]. Maderas Cienciay tecnología, 2005, 7(2): 79-86.
- [3] 涂登云, 江宁, 李睿, 等. 辐射松板材加速干燥工艺对材性的影响[J]. 林产工业, 2004, 31(2): 35-37.
- [4] CHEN G, KEEY R B, WALKERJ C F. The drying stress and check development of high-temperature kiln seasoning of sapwood *Pinus radiata* boards—Part II: Stress development[J]. Holz Roh-Werkstoff, 1997(55): 169-173.
- [5] PANG Shu-sheng, SIMPSON I G, HASLETT A N. Cooling and steam conditioning after high-temperature drying of *Pinus radiata* board: Experimental investigation and mathematical modelling[J]. Wood Science and Technology, 2001 (35): 487-502.

【责任编辑 李晓卉】