

柞木横纹压缩流变性能

施建平 王培元

(中国林科院木材工业研究所)

摘 要

对于柞木 (*Quercus mongolica*), 用参数分离法测定其横纹压缩流变参数后表明: 弹性变形与恒压应力在很大的范围内成直线关系, 瞬间塑性变形与恒压应力成为几个阶段的直线关系; 推迟弹性及依赖于时间的塑性都遵循以对数为主体的函数, 由弹性及推迟弹性合成的粘弹性具有很好的线性特征。以上研究结果与白杨试验所得结果几乎一致。因此, 柞木与白杨之间的横纹压缩流变性能并无质的不同, 仅仅表现出量的差别。白杨与柞木之比: 弹性柔量为 2.4~3.4: 1; 推迟弹性柔量为 1.8~2.7: 1; 临界应力为 1: 2。

前 言

刨花板的许多质量问题都与木材横纹压缩流变性能有密切的关系。例如, 剖面密度的分布, 回弹、厚度偏差、吸水厚度膨胀等性能都可部分地用木材流变性能加以解释^[1-3]。因此, 研究木材横纹压缩流变性能可为改善和提高刨花板生产质量提供有益的基础理论知识。

涉及到与木材加工某些过程直接有关的力学性能, 多数处于木材横纹压缩大应变范围内, 表现力学行为相当复杂; 而木材横纹压缩流变参数分离法提供了分析复杂变形的一种简便的定量分析手段^[1]。用参数分离法对杨木的横纹压缩流变性能研究后发现, 其粘弹性的特征符合木材三维网状结构高聚物分子的力学特征, 并不明显存在粘性流动单元所表现的依赖于时间的塑性变形。

本项工作以参数分离法作为基本研究手段, 选择常规物理力学性能与杨木有较大差异的柞木为试验对象。目的在于观察横纹压缩流变参数分离法是否同样适用于柞木, 并

同时比较柞木和杨木的横纹压缩流变参数, 以了解这两种分别属于硬、软阔叶树种的木材之间各流变参数量上的差异。可以说这项工作是对以往提出的参数分离法的一个重要补充。

试验方法

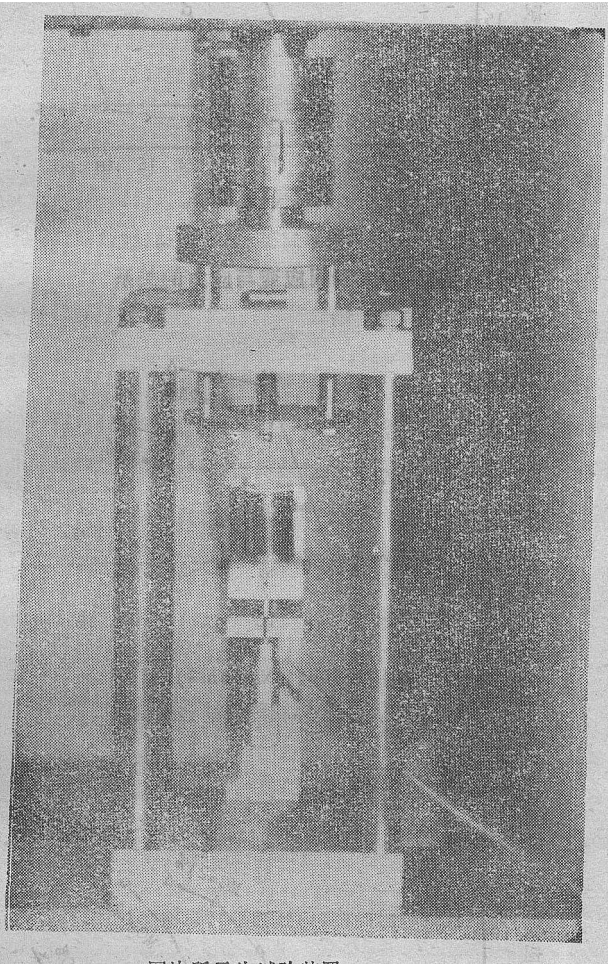
试材为东北柞木。首先将试材锯成板材, 然后分别按径向和弦向制成厚10mm、宽50mm、长50mm的试件。每块试件的厚度方向上五点测量值的方差不超过30 μ m。然后选出无疵、纹理规整的试件, 将其含水率分别平衡至0%, 12%, 21%备用。

试验在环境温度为20 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 $^{\circ}$ C, 相对湿度为55% $\pm$ 5%的条件下进行。为保持试件的含水率, 在试验过程中采用铝箔和胶纸带密封试件的措施。

本实验在岛津DCS-10型万能试验机上进行。为了解记录卸载后的回复变形, 需要设计一套专用试验装置。该装置的基本工作原理与文献^[1]所示者相同, 但依据万能力学试验机原配变形敏感元件形式不同, 在专用试验装置的结构方面有某些区别。本试验设计的装置见图片。

臧丽华工程师对本试验工作提供了大量帮助, 特此致谢

本工作采用的参数测定及计算方法，其所用符号与以往的工作相同^[1-3]。蠕变试验设定的载荷持续时间及卸载回复时间也与文献^[1]相同，各为10分钟。



图片所示为试验装置

结果与讨论

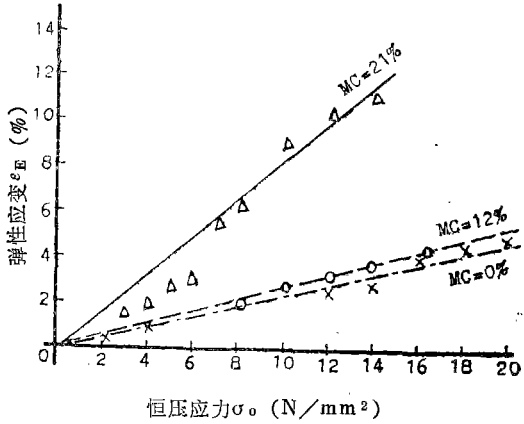
一、弹性

在木材横纹压缩蠕变试验中，只有处于低应力范围内，瞬间变形量才与卸载时产生的弹性回复量大致相等。当应力超过某一临界值时，由于细胞壁被压溃产生大量的塑性变形^[1]，使之在相同应力下的瞬间变形远大于弹性回复变形。由于塑性的存在，便无法直接从瞬间变形中获得弹性变形与应力的关系。参数分离法提出了从弹性回复变形中获得瞬间变形中的弹性变形的计算公式：

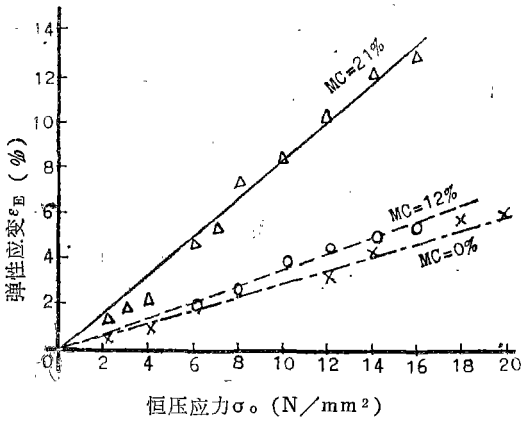
$$\varepsilon_E = \varepsilon_R - \varepsilon_{Ex} \cdots \cdots (1)$$

式中： ε_E 为弹性变形； ε_R 为弹性回复变形； ε_{Ex} 为各种因素综合产生的附加变形。

按公式（1）计算得到的弹性变形绘于图1。由柞木弹性应变 ε_E 与恒压应力 σ 所依从的关系反映出，在很大的应力范围内，至少在中等应力以上范围内，应变与应力成正比例关系，具有线弹性特征。当含水率不同时，弹性柔量随含水率增大而增大，但线弹性特征并不受到影响。这与杨木弹性所呈现的现象一致^[2]。



a) 温度20℃，三种不同含水率，径切试件



b) 温度20℃，三种不同含水率，弦切试件

图1 柞木弹性应变与应力的关系

二、瞬间塑性

瞬间塑性变形常与弹性变形混合在一起，以瞬间变形（图2）的形式表现出来。按下列公式可以从瞬间变形中分离出塑性变形^[1]。

$$\varepsilon_{PI} = \varepsilon_I - \varepsilon_R \dots \dots (2)$$

式中: ε_{PI} 为瞬间塑性变形; ε_I 为瞬间应变。

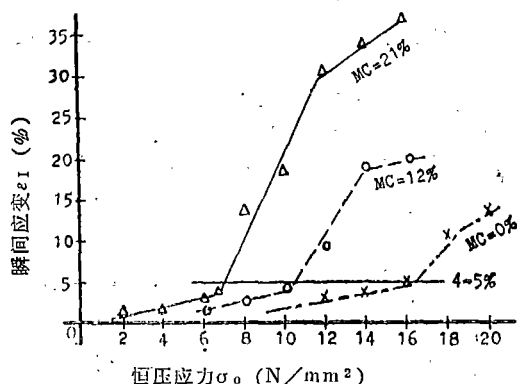
图2为柞木的瞬间塑性变形 ε_{PI} , 图3为分离出的瞬间塑性变形 ε_{PI} 。图3的 $\varepsilon_{PI} - \sigma$ 曲线形状反映出 ε_{PI} 的两个主要特征: 其一, 大幅度的变形在某一临界应力 (A点所示) 处开始。水分对临界应力影响极为明显, 随含水率的增加, 临界应力迅速向低应力方向移动; 其二, 变形的有界性。随应力的增大, 变形增大, 并趋于收敛至某一有限值。这一现象在21%含水率径切面试件的变形曲线中体现最明显。柞木瞬间塑性变形的两个主要特征与杨木相同, 因此, 可以认为柞木的瞬间塑性变形也是主要来源于木材内部细胞壁被压溃引起的大空隙缩小^[3]。

表1列出了不同含水率条件下, 柞木和杨木各自的弹性柔量值以及相同含水率条件下柞木和杨木弹性柔量的比值。由比值反映出, 在0%—21%含水率范围内, 两者柔量之比可视为常数。柞木比杨木: 径切面之比为1:3.4, 弦切面之比为1:2.4。另外, 两者的弹性柔量, 径切面大些, 杨木的径、弦方向的性能差别较柞木明显。

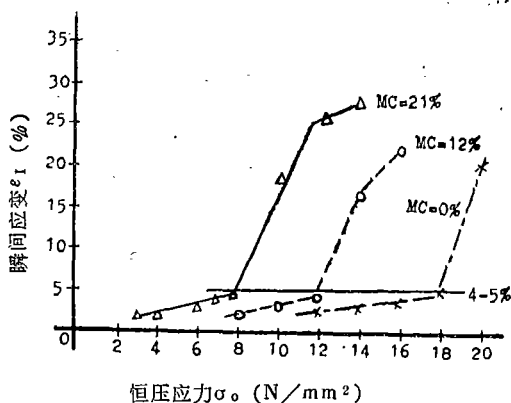
表1 柞木与杨木弹性柔量的比较

柔量单位: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$

含水率	试件方向	柞 木	杨 木	比 值
0%	径切面	2.97	10.63	1:3.6
	弦切面	2.41	4.04	1:1.7
12%	径切面	3.3	12.44	1:3.8
	弦切面	2.43	8.14	1:3.4
21%	径切面	7.85	20.80	1:2.7
	弦切面	6.56	13.72	1:2.1

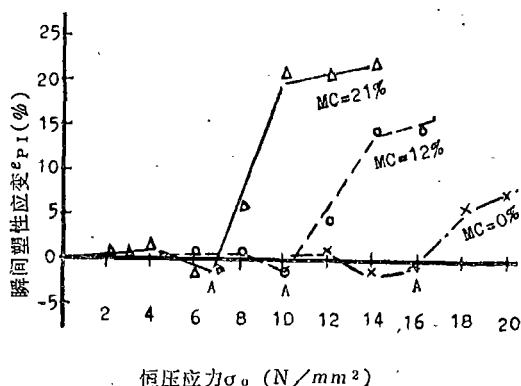


a) 温度20℃, 三种不同含水率, 径切试件

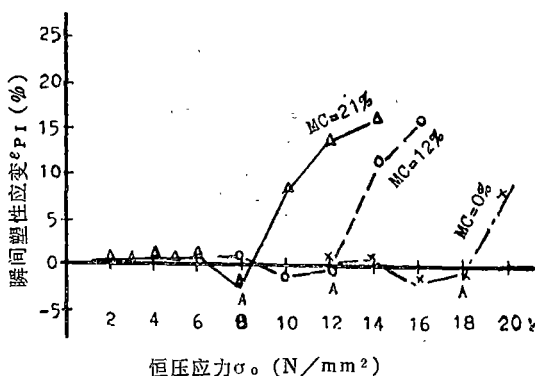


b) 温度20℃, 三种不同含水率, 弦切试件

图2 柞木瞬间应变与应力的关系



a) 温度20℃, 三种不同含水率, 径切试件



b) 温度20℃, 三种不同含水率, 弦切试件

图3 柞木瞬间塑性应变与应力的关系

一般认为, 当木材受横纹压缩时, 应变超过2.5%, 塑性将会出现于变形中^[5]。对于木材加工中的某些过程, 所关心的是大塑性变形的开始。比较图2、图3可发现, 柞木在0%—21%含水率范围内, 大幅度塑性变形发生在4—5%应变处。另一方面, 木

材横纹压缩的各类变形中塑性变形偏差最大^{〔1〕}。有研究者通过大量观察试验表明,在刨花板贴面二次加工中,压缩率应在3%~5%范围内;否则,板的质量和性能波动将增大^{〔6〕}。综上所述,对于刨花板贴面二次加工,板的压缩变形应尽可能避免进入大幅度塑性状态,否则厚度偏差将失去控制。

木材横纹压缩时,大塑性变形开始的临界应力的大小反映了木材的可塑性的强弱。该值的大小及影响因素(例如含水率、温度等)。对于某些木材加工过程,根据所需达到的目的,设置工艺参数具有重要参考价值。图4比较了柞木和杨木的临界应力。由图可看出水份对临界应力的影响是极显著的,随含水率的提高,临界应力迅速降低。以径切试件为例:含水率从0%提高至21%,柞木的临界应力从16N/mm²降至7N/mm²;杨木的临界应力从7N/mm²减小至2N/mm²。柞木与杨木临界应力的差异可通过相同含水率条件下的比值反映,两者的比值大致为2:1,即柞木的临界应力为杨木的二倍左右。根据已有的资料,毛白杨及柞木的横纹全部抗压强度的比值为:径切面1:2~2.3;弦切面1:1.25~1.7^{〔4〕}。这一结果

与本研究的结果基本相同。

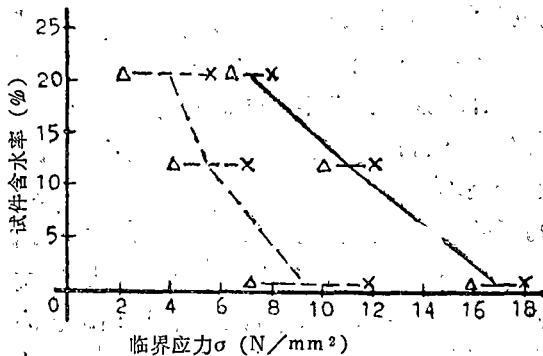


图4 柞木与杨木临界应力的比较

△—径切试件 ×—弦切试件
···杨木 —柞木

三、推迟弹性

推迟弹性变形可从卸载后的推迟弹性回复变形中得到^{〔1〕}。试验表明柞木的推迟弹性柔量与时间的关系可用 $A + B \log t + C(1 - e^{-Dt})$ 这类数学形式表达^{〔1〕}。柔量函数的各参数列于表2, 其中参数B的特征与柔量的特征相一致。

表2数据表明,在相同含水率条件下,参数B所存在的应力范围内,并没有发生大的改变,只是具有某种程度的波动,可基本认为是常数。参数B的这一特点反映出推迟

表2 柞木横纹压缩推迟弹性柔量函数的各参数

单位: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$

含水率 (%)	受力方向 应力σ ₀ (N/mm ²)	径切面								弦切面							
		7	8	10	12	14	16	18	20	7	8	10	12	14	16	18	20
0	A					0.21	0.26	0.26	0.34						0.18	0.34	0.13
	B					0.28	0.49	0.33	0.47						0.22	0.35	0.48
	C					0	0	0	0						0	0	0
	D					0	0	0	0						0	0	0
12	A			0.47	0.47	0.30	0.68					0.35	0.26	0.21	0.38		
	B			0.49	0.99	1.02	0.97					0.49	0.46	1.01	0.98		
	C			0	0	0	0					0	0	0	0		
	D			0	0	0	0					0	0	0	0		
21	A	1.31	1.53	0.79	1.07	1.03	0.47			1.89	0.78	0.83	0.15	0.48			
	B	1.67	2.67	2.31	2.43	2.27	2.05			2.67	1.93	2.80	2.28	2.42			
	C	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0			
	D	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0			

函数表达式: $A + B \log t + C(1 - e^{-Dt})$

弹性柔量与应力无关,即推迟弹性具有线性特征。柞木推迟弹性柔量对含水率的响应与弹性柔量相似,即含水率的变化不改变其线性特征,只改变参数B常值的大小。

柞木推迟弹性柔量的特征与杨木相同,都呈线性特征,并且柔量函数的表达式也具有相同的形式。因此,通过比较特征参数B可反映出,这两种树种材料受到横纹压缩时推迟弹性柔量的差异。表3中的比较结果表明,在0%~21%含水率范围内,相同含水率条件下的柞木与杨木B值的比值变化不大,保持相对稳定。柞木比杨木:径切面平均比值为1:2.7,弦切面平均比值为1:1.8。

表3 柞木与杨木推迟弹性柔量主值B的比值

柔量单位: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$

含水率(%)	试件方向	柞 木	杨 木	比 值
0	径切面	0.44	1.23	1:2.8
	弦切面	0.42	0.62	1:1.5
12	径切面	1.00	2.95	1:2.9
	弦切面	0.99	2.23	1:2.3
21	径切面	2.35	5.35	1:2.3
	弦切面	2.52	3.85	1:1.5

四、依赖于时间的塑性

蠕变中与时间有关的变形分量减去推迟弹性回复变形便可分离出依赖于时间的塑性变形^[1]。分离出的柞木横纹压缩依赖于时间的塑性柔量函数表达式为 $A + B \log t + C(1 - e^{-D t})$ 。函数的各参数列于表4。其中参数B为主特征值,该值的变化趋势与柔量的变化趋势相一致。

根据杨木横纹压缩流变性能的研究结果推论,依赖于时间的塑性变形主要原因在于细胞壁在恒压作用下逐渐被压溃所引起的木材内部大空隙的缩小。因此,依赖于时间的塑性变形量不仅与应力大小有关,而且与蠕变开始时的木材变形量有直接联系。本研究结果加强了这种推论的可信程度。当恒压应力接近临界应力时,细胞壁在瞬间尚未被大幅度压溃,随之载荷持续期变形的增大,细胞压溃破坏引起的依赖于时间的塑性变形,

迟早会在蠕变开始后某一时刻发生。在此情况下,细胞壁的压溃破坏随恒压应力增大而加剧,因此表4中柔量主参数B值表现出由小到大的变化趋势。在试件所受的压缩应力等于或大于临界应力条件下,蠕变开始之时,木材的细胞壁已有部分在瞬间变形中被压溃,空隙已大大减小。于是在蠕变过程中,因细胞壁继续破坏而产生的依赖于时间的塑性变形量反而呈现出减小的趋势。因此,柔量主参数B值随着应力的增大反而逐渐减小。随恒压力进一步增大,细胞壁的压溃大部分已在瞬间完成,此时依赖于时间的塑性将从蠕变中消失。本试验结果表明,在含水率为21%,应力为 14 N/mm^2 条件下,径切面试件出现依赖于时间塑性消失现象,此时柔量各参数均为零。

在广泛应力范围考察依赖于时间的塑性柔量,无论柞木或杨木都遵循由小到大,再由大到小的变化规律。但在数量上柞木与杨木有很大差异。以含水率为21%、温度为 20°C 条件下的径切试件为例:杨木依赖于时间的塑性柔量主参数B最大值为 $26.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$,而柞木仅为 $5.33 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$ 。而且柞木最大值对应的应力为 7 N/mm^2 ,杨木所对应的应力却只有 4 N/mm^2 。

以上结果表明,无论柞木还是杨木的依赖于时间的塑性变形仅与细胞壁的压溃有关,而与粘性流动的力学行为无关。由此,再次证实了木材横纹压缩粘弹性中不存在单独串联的粘性单元的结论^[1]。

五、粘弹性

上述结果表明,柞木横纹压缩粘弹性与杨木相同,仅由弹性和推迟弹性组成。在推迟弹性存在的应力范围内,粘弹性表现出线性特征。而且粘弹性表现出的力学行为与杨木相同,具有与三维网状结构高聚物相似的力学行为^[1]。

结 论

1. 参数分离法也适用于柞木横纹压缩各

表4 柞木横纹压缩依赖于时间塑性柔量函数的各参数

单位: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$

含水率 (%)	受力方向	径切面								弦切面							
	应力 σ_0 (N/mm^2)	7	8	10	12	14	16	18	20	7	8	10	12	14	16	18	20
0	A					-2.00	4.01	0.27	1.46						-2.48	0.18	1.58
	B					4.03	1.44	0.91	0.64						4.15	2.40	0.13
	C					-4.43	0	0	0						-5.82	3.90	0
	D					0.04	0	0	0						0.03	0.15	0
12	A			-0.61	0.56	0.23	0.39					-2.37	-2.64	1.96	1.48		
	B			2.97	2.05	1.35	1.01					3.20	3.74	0.35	0.14		
	C			-2.16	0	0	0					-3.6	-4.71	0	0		
	D			0.16	0	0	0					0.03	0.03	0	0		
21	A	-0.15	-0.39	0.22	0.19	0	0.37			19.66	-5.71	0.21	0.30	0.15			
	B	5.33	2.51	-0.62	0.29	0	-0.71			8.65	9.62	1.93	0.06	0.02			
	C	-6.06	0	0	0	0	0			-31.18	-7.32	0	0	0			
	D	0.24	0	0	0	0	0			0.48	0.04	0	0	0			

函数表达式: $A + B \log t + C (1 - e^{-D t})$

流变变形的定量测定,分离出的粘弹性具有木材三维网状结构高聚物分子的力学特征;分离出的依赖于时间的塑性变形与粘性流动变形无关。上述与时间有关的变形均可用 $A + B \log t + C (1 - e^{-D t})$ 这一函数形式表达。

2. 柞木和杨木两者的流变性能不存在质的不同,只有量的差别。两者主要流变参数的差别在于:

弹性柔量: 杨木与柞木之比为2.4~3.4 : 1;

推迟弹性柔量: 杨木与柞木之比为1.8—2.7 : 1;

临界应力: 杨木与柞木之比为1 : 2。

参 考 文 献

- (1) 王培元, 1985, 木材横纹压缩流变参数测定, 林业科学, 21 (5): 404—413.
- (2) 王培元, 1987, 白杨木材横纹压缩流变性能, I、粘弹性, 林业科学, 23 (2): 182—190.
- (3) 王培元, 1987, 白杨木材横纹压缩流变性能, II 塑性, 林业科学, 23 (3): 356—363.
- (4) 中国林业科学研究院木材工业研究所主编, 1982, 中国主要树种的木材物理力学性质, 中国林业出版社.
- (5) 北京林学院主编, 1983, 木材学, 中国林业出版社.
- (6) Scherfke, R., Kehr, E., 1968, ueber die Herstellung und Eignung von Spanplatten fuer die Oberflaechenpressbeschichtung, Holztechnologie, 9 (2): 113—129

The Rheological Behavior of Mongolian Oak (*Quercus mongolica*) in Compression perpendicular to Grain

Shi Jianping

Wang Peiyuan

(Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry)

Abstract

Rheological parameters of Mongolian Oak in compression perpendicular to grain was determined by the method of separating the rheological parame-



全国人造板胶粘剂及表面加工研讨会*

关于积极发展我国人造板工业胶粘剂及表面加工的若干建议

根据大力发展木材综合利用的国家产业政策,我国人造板工业将进一步发展,人造板产量将由1987年247.66万立方米,提高到2000年500万立方米。作为人造板工业配套的胶粘剂及表面加工工业亦应同步加快发展。通过会议讨论,并经专家论证,现就发展中若干重点问题提出如下建议:

一、有计划、有步骤地建立稳定可靠的化工原料供应渠道

人造板胶粘剂及表面加工所需化工原料紧缺,一直是影响人造板工业发展的重要因素之一。近年来人造板工业先后从国外引进了技术和设备,改造和新建了一批企业,人造板生产能力大幅度增长,但由于胶料供应不足等原因,新上设备利用率多在50%以下。为了保证人造板工业稳步、健康发展,必须迅速解决化工原料供应问题。根据我国人造板发展战略目标,到2000年人造板产量将达500万立方米,表面加工产量将达2亿平方米,约需胶粘剂40万吨左右。这个数量如果完全依靠林业系统自己筹建胶粘剂原料基地来解决是不现实的,也是不符

合我国产业结构分工与经济政策的。其根本途径,首先是依靠化工部门,认真沟通供应渠道,同时也应看到,我国幅员辽阔,交通运输不便,在一些林业(特别人造板工业)重点发展省区,如黑龙江、吉林、四川等省缺少化工原料的地区,兴建或扩建一些胶粘剂原料基地(主要是生产甲醇及甲醛),以保证林业系统有一定的自给能力,也是十分必要的。当然,胶粘剂原料基地的兴建必须作好调查研究,基地的选择,既要求具备各种生产条件,同时还应与人造板工业的布局相适应。建议林业部恢复和加强《胶料调查小组》工作,汇同全国林产工业协会共同进行调查研究,全面规划。胶粘剂原料基地建设要因地制宜,在当前全国压缩基建投资规模的情况下,暂以在原有厂(车间)基础上技术改造及扩建为主,可进行各种形式的集资联营。在考虑胶粘剂原料基地建设的同时,还应注意胶粘剂生产的专业化,以便为组织生产供应多品种、新品种胶粘剂和配套辅助材料(各种添加剂、填充剂等)创造条件,逐步改变现在建一个人造板厂必建一个胶

* 研讨会由中国林产工业公司、国家林业投资公司林产工业项目部和中國林学会木材工业学会于1989年4月在芜湖市联合召开。

ters. The results indicated, the linear relationship between elastic deformation and constant compression stress existed in wide stress range; the instantaneous plastic deformation in different sections was separately dependent on the stress linearly; the behavior of retarded elasticity and plasticity depending on time was mainly expressed in terms of logarithmic function; the behavior of viscoelasticity consisting of elasticity and retarded elasticity was closely corresponding with linear viscoelasticity. The results were almost the same as the results obtained from Poplar. Therefore, the differences on rheological properties between Poplar and Mongolian Oak existed in quantitative aspect only. The ratio of the rheological parameters between Poplar and Mongolian Oak respectively is as follows: 1) 2.4--3.4 : 1 for elastic compliance; 2) 1.8-2.7 : 1 for retarded elasticity. The ratio of the critical stress between Poplar and Mongolian Oak in compression perpendicular to grain was 1 : 2.