

研究与开发

水杉脲醛树脂胶定向刨花板的研究

金菊婉 华毓坤

摘要 利用水杉木材制造定向刨花板(OSB),既是水杉高效利用的途径之一,又为OSB拓宽了原料来源,为OSB的发展提供了条件。本文分析了水杉木材与制板工艺有关的物理、力学、化学性质,研究了水杉材UF胶OSB的生产工艺。试验结果表明:利用水杉木材生产UF胶OSB是完全可行的,只要工艺参数选择合理,产品性能可达到或超过欧共体UF胶定向刨花板标准要求。

关键词 水杉;木材性质;定向刨花板

Study on UF Bonded Oriented Strandboard of *Metasequoia glyptostroboides*

Jin Juwan Hua Yukun

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract It is very meaningful to make use of *Metasequoia glyptostroboides* to produce high quality structural board. It helps not only to solve problem of how to use *Metasequoia glyptostroboides* efficiently and reasonably, but also to alleviate contradiction between supply and demand of structural board. In this study, wood properties of *Metasequoia glyptostroboides* relating to manufacturing technology of OSB were analyzed. The OSB was made and its properties were measured in laboratory. The results showed that manufacturing OSB of *Metasequoia glyptostroboides* with UF resin was successful. The board properties can reach or excess European standard EN 300 when appropriate technology was applied.

Keywords *Metasequoia glyptostroboides*; Wood property; OSB

1 引言

世界范围内天然林面积正在急剧减少,而随着社会的发展和人口的增加,到本世纪末世界工业用材需求量将增加一倍。我国森林资源贫乏,为缓解长期困扰国民经济的木材供需矛盾,国家大规模营造速生丰产用材林,工业用材正逐步从天然林转向人工林。如何高效利用速生树种材开发各类木质复合材料已提到了议事日程上。

水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)是我国的特产树种,以“活化石”著称,由于其具有适应性强、生长迅速、树干通直、圆满等优点,建国以来在国内各地广泛引种,栽培地区不断扩大,仅江苏省扬州地区就已造林达4.5万亩^[1]。由于水杉木材存在材质松软、强度低、冲击韧性差、握螺钉力弱等缺点,因此,它的合理利用问题一直受到人们的关注。

以往的研究表明,利用小径材发展定向刨花板是一条高效、合理的途径。如能以水杉材生产OSB,既为OSB的发展拓宽了原料来源,同时也使速生的水杉得以合理、高效利用,推动速生林的营造,为社会创造有较高使用价值的木材制品,有利于木材资源的保护和发展。

本研究拟从水杉木材的性质、OSB的制造工艺及其性能几个方面讨论水杉OSB的可行性。

2 水杉木材的性质

2.1 水杉木材的主要物理力学性质(见表1)

由表1可见,水杉木材密度较低。国内外专家关于木材密度对刨花板物理力学性能的影响已有详细的论述。因对一定重量的刨花而言,低密度木材制得的刨花相对高密度木材的刨花拥有较大的体积,在压制成同样尺寸的刨花板时,前者刨花之间有着较大的接触面积。由于平均压缩比大,增强了胶合效果,提高了刨花

收稿日期 1996-09-09
金菊婉、华毓坤:分别为南京林业大学木材工业学院博士研究生、教授,南京 210037

表 1 水杉的基本物理力学性质^[2]

Tab. 1 Physical and mechanical properties of <i>Metasequoia glyptostroboides</i>													
产 地	密 度		抗弯强度 (M Pa)	抗弯弹性模量 (M Pa)	顺纹抗压强度 (M Pa)	冲击韧性 (N· m / m ²)	硬 度			抗劈力		顺纹抗剪强度	
	(g / cm ³)						(M Pa)			(N / m)		(M Pa)	
	基本	气干					端面	径面	弦面	径面	弦面	径面	弦面
湖北利川	0. 278	0. 342	54. 6	7500	29. 6	2. 4~ 10 ⁴	24. 9	13. 6	14. 2	4700	6600	4. 5	3. 8

之间的胶合强度^[3]。此外,软材较硬材柔韧而可压缩,在给定的压力下,软木易形成更为致密、结实的制品。水杉木材的气干密度低,材质松软,可以认为水杉制作刨花板有着得天独厚的优势。

2. 2 水杉的化学组成 (见表 2)

表 2 水杉的化学组成^[4]

Tab. 2 Chemical composition of <i>Metasequoia glyptostroboides</i>									
热 水	苯 醇	灰分 (%)	戊聚糖 (%)	纤维素	酸不溶	酸溶	综纤	综纤	纤维素中残
抽 出 物	抽 出 物			(硝酸乙	木 素	木 素	维 素	余 酸	不溶木素
(%)	(%)			醇法,%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
水杉	2. 62	2. 03	0. 39	9. 06	47. 6	31. 17	0. 5	77. 30	5. 41

由表 2可见,水杉木材的化学组成中,除木素含量稍高外,与其它针叶树材没有明显区别。各类抽出物含量均在正常范围内,对于胶合的影响可不予考虑。

2. 3 水杉的酸性测定与分析

本试验选用高邮、丹阳两地水杉心材、边材及混合材,参照文献 [5, 6]测得酸性指标为: pH5. 2~ 6. 28,酸缓冲容量 0. 092~ 0. 183 mmol,总酸量 2. 264~ 3. 974 mmol /100g 木材。

世界上绝大多数木材的 pH在 4~ 6之间,平均总缓冲容量为 0. 164 mmol,平均总酸含量为 3. 70 mmol /100 g绝干木材^[5],可见,水杉木材略显弱酸性属正常范围。经预备试验验证,在固化剂用量 1% ~ 3% 范围之内,固化剂用量对 OSB性能没有显著影响,水杉制作 OSB可以采用常规胶合工艺。

3 材料和方法

3. 1 试验材料

3. 1. 1 试验用水杉木材 采伐记录见表 3

表 3 水杉木材采伐记录

Tab. 3 Felling record of <i>Metasequoia glyptostroboides</i>				
产 地	树龄 (年)	平均胸径 (cm)	外 观	采伐日期
高 邮	18	20	良好	1996. 3. 12
丹 阳	20	22	良好	1996. 4. 17

3. 1. 2 试验用 UF树脂胶外购。经测定,UF胶的固含量为 65%,粘度 370 mPa·s。

3. 2 试验方法

3. 2. 1 刨花制备 由长材刨片机制备。用于制作 OSB的刨花实测尺寸如表 4所示。

表 4 刨花尺寸分布

Tab. 4 Flake dimension distribution

长度 $l(\text{cm})$	> 90	90~ 80	80~ 70	70~ 60	60~ 50	50~ 40	< 40
(%)	19	22	23. 5	11. 5	13. 5	8	2. 5
$\bar{l}(\text{cm})$	73. 9						
变异系数	0. 056						
宽度 $b(\text{mm})$	> 20	20~ 15	15~ 10	10~ 5	< 5		
(%)	3	18. 5	39. 5	36	3		
$\bar{b}(\text{mm})$	11. 7						
变异系数	0. 17						
厚度 $d(\text{mm})$	> 1. 0	1. 0~ 0. 8	0. 8~ 0. 6	0. 6~ 0. 4	0. 4~ 0. 2	< 0. 2	
(%)	20	18	25. 5	23. 5	12	1	
$\bar{d}(\text{mm})$	0. 75						
变异系数	0. 74						

3. 2. 2 刨花干燥 实验室干燥窑内完成,终含水率 8. 5% 左右。

3. 2. 3 施胶 施胶前施加 1% 熔融石蜡作防水剂;胶中加入浓度为 20% 的氯化铵溶液作固化剂,用量 1%。

3. 2. 4 铺装 手工定向铺装,幅面为 35 cm× 35 cm,单层定向结构,表层刨花定向角为 5~ 10度,内部刨花定向角为 15~ 20度。

3. 2. 5 热压 OSB名义厚度为 10 mm,最大压力以达到预定厚度为准,闭合速度 15~ 25 s(因密度而异)。热压时间和温度按试验方案选取。

3. 2. 6 性能测试 压制后的 OSB在室内平衡 72~ 96 h后取样和测试。

3. 2. 7 数据处理与分析 根据试验方案,作一次重复试验,以两次试验结果进行统计分析,计算回归系数,淘汰不显著因子,得出回归方程,由回归方程中各变异系数的大小衡量该变量对指标影响的显著性。由于全面考虑 OSB性能,故在优化工艺参数时,将多目标问题转化为单目标优化问题,对各回归方程进行线性加权处理,采用复合形优化法^[7]对总方程作优化处理,得出本试验范围内最优工艺参数(即本试验因子变化空间内,使板材具有最佳综合性能的一组工艺参数的组合)。

4 试验设计

本试验主要研究生产水杉 OSB的可行性以及在一定工艺条件下水杉 OSB所能达到的性能值。根据杨木 OSB及普通刨花板的生产工艺条件,选择对 OSB

性能有较大影响的压缩比、施胶量、热压温度和加压时间为考察因素,压缩比以成品板密度与原料密度之比值反映。利用 D_0 最优设计和二次数学模型,考察各因子与 OSB性能之间的数量关系,具体选用四因素近似饱和 D -最优“416-A”^[8],外加中心点($x_i=0$)一次,得

表 5 各因子水平编码

Tab. 5 Coding of factorial levels									
变量名称	编码	-1.685	-1.494	-1	-0.907	0	0.644	1	1.685
压缩比(近似)	x_1	1.22		1.38		1.62		1.86	2.02
密度(g/cm ³)		0.45		0.511		0.6		0.689	0.75
施胶量(%)	x_2	6		7.63		10		12.37	14
热压温度(℃)	x_3	140		150		165		180	190
热压时间 (min/mm板厚)	x_4		0.6		0.707	0.87	0.99		1.2

5 试验结果与讨论

5.1 试验结果

回归方程见表 6

5.2 因素对性能作用的分析

单独考察某因子对性能影响作用时,使用式子为表 6中各式除以相应常数项所得无量纲方程,同时,其它因子取零水平,图 1 2 3由此而作。

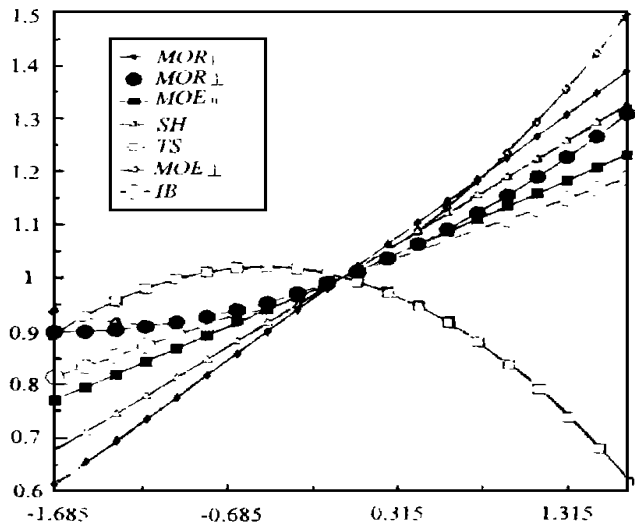


图 1 压缩比与各指标的关系

Fig. 1 Effectiveness of compression ratio on mechanical properties of the board

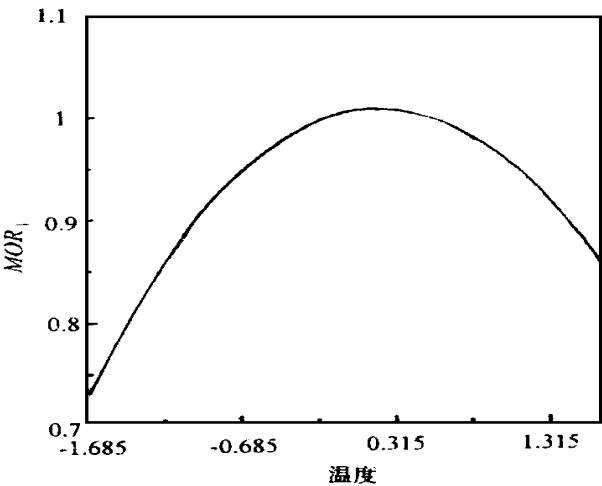


图 2 热压温度与 $MOR_{||}$ 关系

Fig. 2 Relationship between hot-pressing temperature and $MOR_{||}$

5.2.1 压缩比的作用 在本试验范围内,几乎所有的性能都随着压缩比的增加而得以改善,压缩比对所有的指标值都有显著影响。随着压缩比的增加,单位体积内刨花数量增加,板材内部刨花与刨花之间的接触面积增加,接触更加紧密,更能有效发挥胶粘剂的胶合作用,使得刨花之间的抗剪切强度提高,从而提高了 MOR 、 MOE ,产生更好的胶合性能,提高 IB (图 1)

表 6 回归方程(编码方程)汇总

Tab. 6 Regression equations of experimental indexes			
回归方程	公式号	方程失拟	方程显著
$MOR_{ }=40.32+9.25x_1+2.989x_2+1.55x_3+2.26x_4+1.9x_{1x4}-2.98x_3^2+1.55x_4^2$	1	0.25	0.01
$MOR_{\perp}=12.54+1.51x_1+0.69x_2+0.54x_3+0.45x_4+0.45x_1^2$	2	0.25	0.01
$MOE_{ }=5100.9+693.35x_1+298.99x_2+95.29x_3+194.07x_4+167.13x_{1x2}+138.21x_{1x4}$	3	0.25	0.01
$MOE_{\perp}=1521.6+249.53x_1+123.52x_2+78.21x_3+57.7x_4+115.37x_1^2-82.21x_4^2$	4	0.25	0.01
$IB=0.427+0.047x_1+0.074x_2+0.014x_3+0.023x_{1x2}+0.031x_{2x4}$	5	0.01	0.01
$TS=10.62-0.87x_1-2.23x_2-1.22x_4+0.81x_{2x4}+0.72x_{3x4}-0.92x_1^2$	6	0.25	0.01
$SH=1398.54+268.01x_1+97.75x_2$	7	0.25	0.01

注:各方程常数项即为中心点方案($x_i=0$)所得各指标值,即第 1号方案的预测值。

值得指出的是,与以往一些研究结果不同,本试验中随着压缩比的增加, TS 先增加到某一值,尔后逐渐下降(图 1) 据研究,刨花板吸水后厚度膨胀的原因有两个:一是刨花本身的膨胀,二是水分破坏刨花间的胶合,使刨花互相分离。压缩比增加,吸水后刨花本身的膨胀增大,但另一方面,压缩比增加,使刨花间可以紧密接触,提高了刨花间的胶合强度^[9]。浸泡在水中的试件,水的渗入主要是通过试件边缘,压缩比增加,板材孔隙度的降低和原料用量的增加,板材边缘的紧密程度大大增加,从而对水的渗透起着相当大延缓作用,也就减少或阻止了由于吸收水分过度而引起的刨花间胶合破坏和分层。在测定完毕、试件放置过程中,发现压缩比大的试件中刨花仍然接触紧密,而某些低压缩比板材的试件,从其端面可观察到有细微分层现象。这进一步说明 24 小时水浸泡过程中,一些低压缩比板材的胶层已受破坏,而高压压缩比板材的胶层则还未破坏。由此推测,对 TS 而言,存在着一个临界压缩比,在此值以下提高压缩比,压缩比的第一个作用(对刨花本身的膨胀影响)较大,而在此比值以上提高压缩比,则第二个作用(对胶合强度影响)起主要作用,从而使 TS 逐渐下降。

以往研究刨花板的工艺条件时大多忽略了压缩比,对于同一种原料制得的板材,压缩比直接与成品板的密度成正比。但用增大压缩比制得的高密度刨花板与高密度原料制成的相同密度的板材,这两者的性能是不同的。在用不同密度原料制板的情况下,计算压缩比显得格外重要。从另一个角度讲,对于由不同原料制得的刨花板,强度不一定与密度成正向关系,但肯定与压缩比成正向关系。用压缩比作为评价指标,为以不同密度原料制得的板材提供了可比性。

5.2.2 施胶量的作用 施胶量对板的各项物理力学性能的影响都较大,一般而言,施胶量增大,意味着刨花单位表面积上得到树脂多,热压时刨花之间胶合力大、胶合强度高,从而使得各项指标都有不同程度提高(表 6 各式)。

施胶量和压缩比对个别指标存在交互效应(见表 6 中公式 3、5),选择这两者时可综合考虑。

5.2.3 热压温度 热压温度取决于胶合方式、原料等,过低和过高都会对板材性能造成不良影响,如 $MOR_{\parallel}$,温度接近试验范围上限时反而下降(图 2)。随着温度的升高,在其他工艺条件参数不变的情况下,芯层胶粘剂固化得更加完全,因此 IB 有较大的提高。

5.2.4 加压时间 加压时间延长,胶粘剂能更充分地固化,刨花间胶合强度更好,因此对强度等性能有利,

但长时间高温热压,会使表层胶粘剂过度固化,导致负面影响。如 $MOE_{\perp}$,加压时间过长反而下降(图 3)。

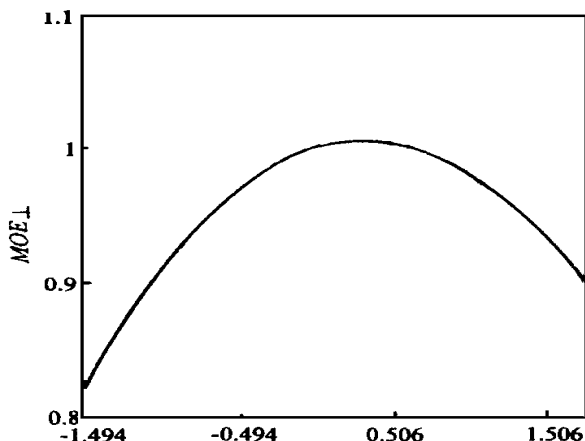


图 3 热压时间与 $MOE_{\perp}$ 的关系

Fig. 3 Effectiveness of hot-pressing time on $MOE_{\perp}$

热压时间和温度参数的选择,应确保板坯芯层达到足够高的温度。既要保证板坯芯层温度达到胶粘剂固化所需要的水准,又不能因板坯温度过高以致产生负效应。这两个参数应密切配合、统筹控制,使这两因素处于最经济地相互结合的状态。本研究中,鉴于大片刨花的特殊性(刨花平面和端面方向上的孔隙大,板坯中刨花传热皆为横纹方向,传热较普通刨花板慢),加之刨花含水率高,故加压时间、温度均选取常规工艺的上限。

5.3 工艺参数的优化

从表 6 可知,压缩比和施胶量对板材性能影响比较显著,而加压时间和温度在本试验研究范围内对各指标影响较小,因此选择工艺参数时,前两者予以重点考虑,从成本、性能考虑,取约束条件为: $-1 \leq x \leq 1$, $i = 1, 2, 3, 4$ 。

采用复合形法,对综合方程在上述约束条件范围内寻优,得最佳工艺参数为:

压缩比 1.9(板密度 0.689 g/cm^3);施胶量 12.37%;温度 180°C ;加压时间每毫米板厚 1 分钟。在最佳工艺下制板,检测各项性能,并与方程预测值对比,实测值与预测值如表 7 所示。

本试验 17 个方案,除个别方案的个别指标未达标,其余皆已达到或超过欧共体 UF 胶 OSB 标准。因此,可以根据产品用途对性能的要求,从产品性能和经济效益综合考虑,酌情选择压缩比和施胶量。本试验范围内,热压温度和时间对板性能的影响较前二者小,故可视具体刨花含水率、胶种统筹控制,以最短的时间、最

表 7 实测值、预测值及 EN300 UF胶 OSB标准值的比较

Tab. 7 A comparison among test value, predicted value and EN 300 standard value

指标	OSB/级	OSB/级	实测值	预测值	预测偏差 (%)
MOR (M Pa)	20	22	52.39	54.59	4.03
MOR _⊥ (M Pa)	10	11	16.88	15.97	5.70
MOE (M Pa)	2500	3500	6316	6577	3.97
MOE _⊥ (M Pa)	1200	1400	2052	2071	0.90
IB (M Pa)	0.3	0.34	0.614	0.606	1.00
TS (%)	25	20	8.04	6.81	18.06
SH (N)			1640	1764	7.03

注: 预测偏差率= 100%× (预测值 - 实测值) / 预测值

低的能耗,生产性能达标的产品。

- 6 结论
- 6.1 用水杉为原料生产 OSB完全可行。
- 6.2 以水杉为原料生产的 OSB,只要工艺选择适当,板材性能完全可以达到或超过欧共体 UF胶定向刨花板的标准要求。
- 6.3 水杉本身密度较低,故而在强度性能保持不变的前提下,产品密度也可相应降低,有望生产低密度的

(上接第 5页)

表 5 两种芦苇刨花板的单位生产成本对比情况

Tab. 5 Comparison of properties between reed partideboards bonded with MDI and UF resin, respectively

胶种	成本项目	单位	耗量	单价 (元)	金额 (元)	备 注
UF	1.原料——芦苇	t	1.00	150.00	150.00	
	2.辅助材料				449.00	
	①脲醛胶	kg	148.00	2.50	370.00	固体含量 61%,施胶量 12%
	②固化剂	kg	1.00	4.00	4.00	
	③防水剂	kg	15.00	2.00	30.00	浓度 30%
	④助剂	kg	4.50	10.00	45.00	
	3.燃料动力				150.00	
MDI	4.工资和福利费				40.00	
	5.制造费用				200.00	
	6.单位生产成本				989.00	刨花板密度为 0.84 g/cm ³
	1.原料——芦苇	t	0.90	150.00	135.00	
	2.辅助材料— MDI	kg	26.80	20.00	536.00	
	3.燃料动力				150.00	
	4.工资及福利费				40.00	
	5.制造费用				200.00	
	6.单位生产成本				1061.00	刨花板密度为 0.70 g/cm ³

注: MDI板生产中采用具有防粘板功能的垫板,不另用脱模剂

其密度较大,为 0.65 g/cm³, SiO₂含量高,用 UF难以生产出合格的刨花板,但可以通过改善胶粘剂性能提高胶合性能

5.2 MDI可以很好地胶合芦苇,在热压温度为 160℃,热压时间为 20 s/mm条件下,压制密度为 0.70 g/cm³,施胶量为 4%和 5%的 MDI刨花板,其物理力学

OSB结构材。

6.4 试验所得回归方程的预测偏差小,可用于预测板材的性能

谢词 丹阳市林场和高邮市多种经营管理局林业站为本试验提供了试材,试验过程中得到本院廖元强老师、陈俊平和孙文卿两位同学的大力帮助,在此一并致谢!

- 7 参考文献
- 1 中国林业出版社编辑.速生树种造林技术.北京:中国林业出版社,1984
 - 2 成俊卿主编.木材学.北京:中国林业出版社,1985
 - 3 [美]莫斯勒米 A. A.著,申宗圻等译.碎料板.北京:中国林业出版社,1980
 - 4 陆文达.水杉木材半纤维素中各种高聚糖的分离和提纯.南京林业大学学报,1984,8(2): 95
 - 5 王思群.竹木复合定向刨花板的研究.南京:南京林业大学博士学位论文,1991
 - 6 尤纪雪等.木材酸性测定方法的研究.林产工业,1996,23(1): 23~25
 - 7 余俊等.最优化方法及其应用.湖北:华中工学院出版社,1984
 - 8 朱伟勇等.最优设计在工业中的应用.沈阳:辽宁科学技术出版社,1993
 - 9 林业部科学技术委员会.定向刨花板的研究.北京:1993,115

性能分别达到我国 A类刨花板二等品和优等品的指标要求。密度和施胶量对 MDI刨花板的物理力学性能影响很大

5.3 虽然 MDI刨花板的干强度较大,但即使施胶量达到 6%时,其物理力学性能仍难以达到德国室外级刨花板标准 DIN 68763 V100的指标要求,主要是水煮 2 h的内结合强度 (IB)低

5.4 在设定条件下,MDI芦苇刨花板的单位生产成本比 UF高 7.28%,只有当 MDI价格由 20元/kg降至 17.30元/kg时,MDI芦苇刨花板和 UF芦苇刨花板单位生产成本才能相同

- 6 参考文献
- 1 聂勋载,范恩齐.常用非木材纤维碱法制浆实用手册.中国轻工业出版社,1993
 - 2 韩广萍,王戈,刘振国.芦苇特性与芦苇刨花板制板工艺关系.林产工业,1995,22(4): 37~38
 - 3 李凯夫,谭海彦,李卓夫.提高芦苇-麻屑刨花板性能的研究.木材工业,1995,9(4): 1~4
 - 4 濮安彬,陆仁书,李明.芦苇-杨木刨花板制造工艺研究.林产工业,1996,23(2): 1~4
 - 5 石锐.用异氰酸酯做胶粘剂生产刨花板的工艺.林产工业,1988,15(1): 5~8
 - 6 Pizzi A. Wood Adhesive Chemistry and Technology. Marcel Dekker Inc. 1983, 306~317