

不锈钢纤维/木纤维复合中纤板的研究

张显权, 刘一星

(东北林业大学生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要: 本文重点研究了不锈钢纤维的施加比率对钢/木纤维复合中纤板性能和电磁屏蔽效能的影响。结果表明, 不锈钢纤维的施加比率对复合中纤板的力学性能影响显著; 在钢/木混合纤维中施加一定量的异氰酸酯胶可显著改善中纤板的胶合性能并达到国标要求。不锈钢纤维的施加比率及其在中纤板中的复合位置对电磁屏蔽效能影响显著, 当钢/木纤维混合比率为3:1并复合在中纤板的双侧表面时, 其电磁屏蔽效能可达55 dB以上。

关键词: 木纤维; 不锈钢纤维; 复合中纤板; 电磁屏蔽效能

中图分类号: TS653 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2005)02-0012-05

Study on Properties of Steel/Wood Fiber Composite MDF

ZHANG Xian-quan, LIU Yi-xing

(Key Lab of Bio-based Material Science and Technology of Ministry of Education,
Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: The ratio of steel fiber and wood fiber in a composite MDF, which could be used as electromagnetic shielding material, was studied in this paper. The results showed that steel fiber mixed with wood fiber can cause a negative effect on bonding strength of the composite MDF board, but a certain amount of PMDI resin applied on the steel fiber can significantly improve the board properties. The steel/wood fiber ratio and the mixed fiber position in the MDF also showed an effect on the electromagnetic shielding property of the board. The composite MDF had good electromagnetic shielding effectiveness with values beyond 55 dB at a steel/wood fiber ratio of 3:1 and the steel/wood composites on the top and bottom surfaces of the MDF.

Key words: Wood fiber; Steel fiber; Composite MDF; ESE(Electromagnetic shielding effectiveness)

随着各种电器成为人们生活和工作的必需品, 人们越来越长时间地置身于各种电磁波的包围之中。临床资料表明, 长期经受电磁波辐射可损害人体健康。另外, 信息设备的电磁辐射还会产生信息泄露。

电磁屏蔽是用屏蔽体阻止电磁场在空间传播的一种措施, 电磁屏蔽材料能有效地抑制通过空间传播的各种电磁波及由此产生的电磁干扰, 提高电子系统和电子设备电磁兼容性, 保证信息的安全^[1]。电磁屏蔽材料的性能用电磁屏蔽效能 ESE (electromagnetic shielding effectiveness) 评价, 包括对电磁波的吸收损

耗和反射损耗, 用 dB 表示。dB 值越大, 电磁屏蔽效能越好。目前, 除军用标准外, 我国尚无材料电磁屏蔽效能的标准。参照美国联邦通讯委员会(FCC)标准, 材料对 30~300 MHz 范围内电磁波的屏蔽效能达 30 dB 时就能满足实用要求^[2]。长泽长一郎^[3]将材料电磁屏蔽效能分为 5 等: 在 50~1 000 MHz 电磁波范围内, 10 dB 以下无效; 10~30 dB 效果一般; 30~60 dB 效果较好; 60~90 dB 效果很好; 90 dB 以上屏蔽效果最好。

木材和纯木质人造板属于电的不良导体, 不具有电磁屏蔽效能, 而与金属通过适当方式制成复合材料后, 即具有一定的电磁屏蔽效能。现有的复合工艺主要有:

(1) 在木质材料中混合或填充金属丝、金属粉末、

收稿日期: 2004-03-22; 修改稿: 2004-12-20

基金项目: 高新技术研究发展“863”计划“木材/金属复合材料制造技术”(2002AA245151)。

作者简介: 张显权(1968—), 男, 东北林业大学生物质材料科学与技术教育部重点实验室副教授。

碳纤维、膨胀石墨等导电性物质^[4,5];

(2)木质材料表面覆贴金属箔或金属板^[6];

(3)对木质材料进行金属镀层处理^[7]。

其中,工艺(1)由于金属粉末或碳黑之间不连续,需靠增加用量才能有效,易使得板材密度增加且不均匀;工艺(3)成本高、过程复杂,难以实现;工艺(2)较可行,但使产品失去木材自身的特点。

本研究通过在施胶木纤维中加入不锈钢纤维的方法,制造一种钢/木纤维复合中密度纤维板,并探讨不锈钢纤维的施加比率及其在中纤板的复合位置对复合中纤板力学性能和电磁屏蔽效能的影响规律。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

木纤维 取自黑龙江兴隆中纤板厂,主要树种为杨木,混有少量桦木,纤维形态较好,含水率约 4%。

不锈钢纤维 取自河北安平金属网厂,纤维长度为 5~10 mm,直径 0.05~0.07 mm。

脲醛树脂胶(UF) 正阳河木材厂中纤板厂产,主要技术指标:摩尔比 1:1.3,固体含量 59%,黏度(涂-4 杯)140 s,pH 值 7.6。

异氰酸树脂胶(PMDI) 购自 Dow 化学公司,为可乳化的 PMDI(二苯基甲烷二异氰酸酯),棕色液体,官能团为 2.7,固体含量为 100%。使用时用丙酮稀释至 50%,以利于喷胶。

1.2 制板参数

设定板材密度为 0.75 g/cm³;厚度为 9 mm。木纤维中 UF 胶施加量为 10%,钢/木混合纤维中

PMDI 施加量为 3%。热压采用有厚度规和垫板的方式,温度 190 ℃,时间 5 min,压力 2.0 MPa。

1.3 试验过程

根据电磁屏蔽理论^[8],对于分散的金属纤维而言,当加入量一定时,金属纤维在复合材料中的分布越集中,形成导电网络的可能性越大。

根据前期研究结果^[9],将金属材料复合于中纤板的表面时其电磁屏蔽效能较好,故本研究设计将一定量的金属纤维与木纤维混合后,复合铺装在中纤板的表面,厚度为 0.8 mm 左右。钢/木纤维(绝干重)的重量混合比分别为 1:1、2:1 和 3:1(简称比率 1、比率 2 和比率 3)。

按照常规中纤板制板工艺对木纤维施加 UF 树脂胶,然后按照设定的重量比,将不锈钢纤维与施胶木纤维混合均匀,其中钢/木混合纤维的处理方式分为 2 种:①直接铺装;②施加一定量的 PMDI 后再铺装。中纤板的复合铺装结构也分 2 种形式:①钢/木混合纤维铺装在中纤板的上下两表面;②钢/木混合纤维铺装在中纤板的单侧表面。

压制的复合中纤板在恒温恒湿箱中放置至平衡,按照中密度纤维板国标测定其各项物理力学性能,并按照 SJ 20254 军用标准,采用同轴法兰法,测定其电磁屏蔽效能。

2 结果与讨论

2.1 复合中纤板的物理力学性能

钢/木纤维复合中纤板的物理力学性能测试结果见表 1,所有数据均为 6 次测试的平均值。

表 1 钢/木纤维纤维复合中纤板的物理力学性能
Tab. 1 Properties of the MDF made by mixed steel/ wood fiber in different ratios

检测项目	钢/木纤维混合比=1:1				钢/木纤维混合比=2:1				钢/木纤维混合比=3:1			
	单面铺装复合		双面铺装复合		单面铺装复合		双面铺装复合		单面铺装复合		双面铺装复合	
	1-1	1-2*	1-3	1-4*	2-1	2-2*	2-3	2-4*	3-1	3-2*	3-3	3-4*
MOR /MPa	28.57	36.29	29.13	42.91	26.07	34.16	25.41	40.28	18.02	33.63	20.19	38.19
MOE /GPa	2.98	4.21	2.92	3.97	2.86	3.86	2.69	3.84	2.31	3.39	2.23	3.98
IB /MPa	0.685	1.182	0.972	1.024	0.453	1.199	0.693	0.981	0.308	0.912	0.412	0.875
TS /%	12.26	9.02	12.19	10.89	11.26	8.65	11.47	9.35	9.78	7.98	11.61	8.09

注:带*的混合纤维中加有 PMDI 树脂

2.1.1 MOR 从表 1 可见,所有条件下,钢/木纤维复合中纤板的 MOR 值均随不锈钢纤维施加比率的增加而下降,当钢/木纤维混合比为 3:1 时,中纤板的 MOR 值已低于国标要求,说明不锈钢纤维混入给中纤板的 MOR 带来了较大的不利影响,这是因为不锈钢纤维的结构、极性及表面特性与木纤维有很大不同。UF 树脂对木材类多孔性高分子材料有良好的

胶合作用,而对表面光滑、渗透性很差的金属类无机材料几乎没有胶合作用。所以,不锈钢纤维的加入影响了木纤维之间的有效胶合,使木纤维之间形成了一些没有胶合的空白点。在施加载荷时,纤维之间没有形成胶合的空白点很容易产生滑移,从而导致了复合中纤板 MOR 值的降低。

在混合纤维中加入一定量的 PMDI 可以显著提

高复合中纤板的 MOR 值,尤其在不锈钢纤维加入量较大时改善的程度更明显。从表 1 中可知,加入 PMDI 后,中纤板 MOR 值几乎不随不锈钢纤维施加比率的增加而下降。当钢/木纤维的混合比为 3 : 1、铺装于 MDF 的单侧表面时,PMDI 的加入使板材的 MOR 提高 86.5%;双侧表面铺装时提高 89.15%。这是因为不锈钢纤维表面由于氧化而含有吸附水、羟基及其它极性基团,PMDI 能与吸附水和羟基等活性点形成共价键,同时,PMDI 胶中的氨基甲酸酯基、取代脲基等极性基团也会与不锈钢纤维表面的极性基团形成第二类化学键。另外,不锈钢纤维还能与异氰酸酯基的苯环形成配位键结合。所有这些胶接都起到了改善中纤板胶合强度的作用。

2.1.2 MOE 钢/木纤维复合中纤板的 MOE 随不锈钢纤维施加比率增加的变化趋势与其 MOR 相同。加入 PMDI 后,两种铺装结构的复合中纤板的 MOE 值均比未加 PMDI 时提高很多,有效地减弱不锈钢纤维的不利影响。从表 1 中可知,当钢/木纤维的混合比为 2 : 1 时,不加 PMDI、双表面复合不锈钢纤维的中纤板的 MOE 已低于国标要求。

2.1.3 IB 复合中纤板的 IB 值随不锈钢纤维施加比率的变化规律与其 MOR 及 MOE 近似,也是因为不锈钢纤维本身不能产生良好的胶合,而且还阻碍木纤维之间的胶合。当钢/木纤维的混合比为 2 : 1 时,

单面铺装复合不锈钢纤维中纤板的 IB 值已经低于国标要求。而施加 PMDI 对双面铺装复合不锈钢纤维中纤板的 IB 值改善程度更大,其 IB 值几乎不随不锈钢纤维施加比率的增加而变化。在测试过程中也发现,未加 PMDI 时,钢/木纤维混合比为 2 : 1 的试件大部分在混合纤维层破坏;而混合比为 3 : 1 时,所有试件均在混合纤维层处产生破坏,破坏程度随不锈钢纤维施加比率的增加而更加明显。

2.1.4 TS 不锈钢纤维对中纤板的 TS 指标也有不利影响,板的 TS 值虽随不锈钢纤维施加比率的增加而上升,但增幅较小且能满足国标的要求。施加 PMDI 可以降低板的 TS 值,但改善的程度不明显。分析认为,不锈钢纤维的加入虽然对木纤维的胶合产生不利影响,但不锈钢纤维不像木纤维那样容易吸水膨胀,使得板内由于水分的变化产生的膨胀应力相对较小,一定程度上减弱了由于木纤维膨胀应力而导致的胶合破坏和不锈钢纤维带来的不利影响。

上述分析说明加入一定量的 PMDI 可以显著改善复合中纤板的各项性能。虽然加入 PMDI 后,复合中纤板的各项性能指标仍随不锈钢纤维加入比率的增加而下降,但变化幅度很小且能满足国标要求。

2.2 复合中纤板的电磁屏蔽效能

不同铺装结构的中纤板的电磁屏蔽效能测定结果如图 1~2。

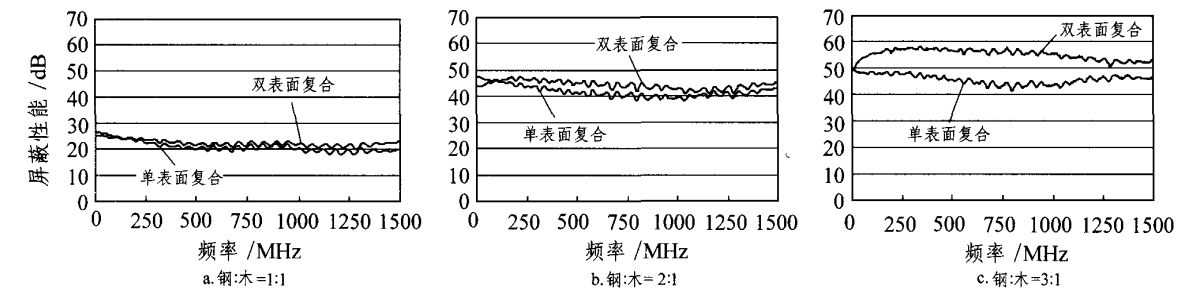


图 1 3 种钢/木纤维混合比例率的中纤板的电磁屏蔽效能 ESE
Fig. 1 ESE of MDF made with 3 kinds of steel/wood fiber ratios

由于木材是不导电的绝缘材料,所以钢/木纤维复合中纤板的电磁屏蔽效能主要取决于板材内不锈钢纤维的分布与含量。当钢/木纤维混合比率为 1 时,复合中纤板的电磁屏蔽效能较差,两种复合结构的电磁屏蔽效能均在 20 dB 左右,而且还随频率的增加呈下降的趋势,尤其是单侧表面复合不锈钢纤维、在低频范围内,下降趋势更加明显。增加不锈钢纤维的施加比率,复合中纤板的电磁屏蔽效能有所提高,两种复合结构均能达 40 dB 左右。双表面复合不锈

钢纤维板材在低频范围内可达 45 dB 左右,且基本不随频率的增加而下降,在高频时也能保持较好的电磁屏蔽效能。当钢/木纤维的混合比达 3 : 1 时,双表面复合不锈钢纤维板材的电磁屏蔽效能已接近 60 dB,在整个测试频率范围内显示了良好的屏蔽效能。说明复合体系内导电单元达到一定比率时,在高频范围内也可使复合材具有良好的电磁屏蔽效能。

根据电磁屏蔽理论^[8],当复合体系内形成一定的导电网络时,屏蔽层越多,电磁波在屏蔽层之间经过

多次反射、折射和透射,损耗掉大量的电磁波能量,屏蔽效能越好。不锈钢纤维施加比率较低时,复合体系内部导电单元含量较少,其屏蔽基本上是以反射为主,高频情况下电磁波可从复合体系内有限的导电网络中间穿过,电磁屏蔽效能较低。加大不锈钢纤维施加比率,复合体系内的导电网络大大增加,网络间的屏蔽“空洞”含量下降,产生大量闭合的导电回路,可产生一定的感抗和涡流,且电磁波在多重屏蔽界面上反射和透射,吸收损耗加大,以保持高频情况下的电磁屏蔽效能。

从图 1 可以看到,当不锈钢纤维施加比率较低(1 和 2)时,将等量的不锈钢纤维均匀分散在复合材料的双侧表面而形成较多的屏蔽层时,可以提高复合板的电磁屏蔽效能,但提高的程度很有限(图 1a)。当

混合比率增大到 2 时,两种复合结构板材的电磁屏蔽效能差别稍有增加(图 1b)。说明如果复合体系内的导电单元含量较低时,尽管增加屏蔽层的数量可以增加电磁波在体系内的反射、折射次数和能量损耗,但由于不锈钢纤维被分散为两层,每层中导电单元含量变少,难以形成足够的导电网络,因而两种复合结构板材的电磁屏蔽效能差异不大。

当混合比率为 3 时,双侧表面复合板材的电磁屏蔽效能明显大于单侧表面复合板,差别约为 10 dB,在频率 700 MHz 时差别可达 15 dB(图 1c)。说明当不锈钢纤维含量达到一定数量时,复合体系内形成的双屏蔽层可比单屏蔽层具有更高的屏蔽效能。

图 2 为 2 种复合结构中纤板的电磁屏蔽效能趋势图。

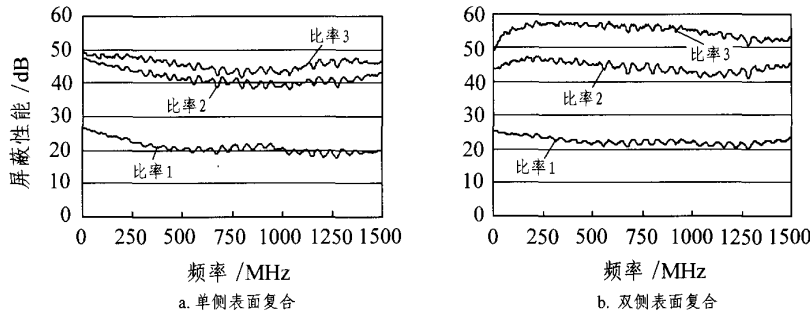


图 2 二种铺装结构的复合中纤板的电磁屏蔽效能
Fig. 2 ESE of MDF formed with 2 kinds of composite structure

从图 2a 可见,单侧表面复合不锈钢纤维 MDF 的电磁屏蔽效能随不锈钢纤维施加比率的增加而增加。当不锈钢纤维的施加比率为 1 时,板的电磁屏蔽效能均在 20 dB 左右,在高频范围内甚至低于 20 dB,电磁屏蔽效能一般;当施加比率为 2 时,电磁屏蔽效能增大到 40 dB 左右,1.3 GHz 以后甚至超过 40 dB,电磁屏蔽效能显著提高;当施加比率为 3 时,其电磁屏蔽效能增加到 45 dB 左右,增幅较小。说明不锈钢纤维含量对钢/木纤维复合中纤板电磁屏蔽效能的影响有一个临界范围。此外,屏蔽效能还随电磁波频率的增加呈下降趋势,在 9 kHz 到 450 MHz 范围内电磁屏蔽效能下降较快,450 MHz 以后电磁屏蔽效能下降缓慢。频率超过 1 GHz 后,不锈钢纤维施加比率为 2 和 3 时,板材的电磁屏蔽效能随频率的增加还略有上升。

当双侧表面复合不锈钢纤维时(图 2b),板的电磁屏蔽效能随不锈钢纤维施加比率的变化规律和单侧复合时有相似之处,但当比率为 2 和 3 时,双表面

复合板材的电磁屏蔽效能差别更大,可达 10 dB 以上。当不锈钢纤维加入比率为 1 时,复合板的电磁屏蔽效能刚过 20 dB;当施加比率增为 2 时,其电磁屏蔽效能超过 40 dB,在频率低于 700 MHz 时约为 45 dB;当施加比率为 3 时,其电磁屏蔽效能超过 50 dB,在 300 MHz 左右时接近 60 dB。3 种施加比率下,复合中纤板的电磁屏蔽效能随频率的增加呈一定的下降趋势,但非常不显著,低频和高频范围的电磁屏蔽效能保持基本一致。

3 结论

1) 复合中纤板的各项性能指标随不锈钢纤维施加比率的增大呈显著的下降趋势,当施加比率超过 2 (即不锈钢纤维重量超过整个板重的 11.9%,以板厚度 9 mm 计) 时,复合中纤板的某些力学性能指标已经低于国标要求。而在钢/木混合纤维中施加一定量的 PMDI 可以显著改善复合中纤板的性能,满足国标要求。

2) 不锈钢纤维的加入可以显著提高复合中纤板的电磁屏蔽效能,且随不锈钢纤维施加比率的增加呈显著上升,但上升的幅度有所差别。当施加比率为3(即不锈钢纤维重量占整个板重的13.3%,以板厚度9 mm计)时,双侧表面复合不锈钢纤维中纤板的屏蔽效能可达55 dB以上,单侧表面复合板材屏蔽效能也能达到40 dB以上。

当复合板中不锈钢纤维的含量达到一定程度时,双侧表面复合的板材的屏蔽效能高于单侧表面集中复合的板材。

参考文献:

- [1] 陈穷. 电磁兼容性工程设计手册[M]. 北京:国防工业出版社, 525-566.
- [2] 朱家琪, 罗朝晖, 黄泽恩. 金属网与木单板的复合[J]. 木材工业, 2001, 15(2): 5-7.
- [3] 长泽长八郎. 赋予木质材料电磁屏蔽性能[J]. 木材工业(日),

1996, 51(5): 188-193.

- [4] 富村洋一. Manufacture of Medium Density Fiberboard Containing Carbon Fibers in the Core Layer[J]. 木材学会誌, 1987, 33(8): 645-649.
- [5] ALAN L. LAMBUTH. Electrically Conductive Particleboard[C]. Proceeding of the 23rd International Particleboard/Composite Material Symposium. Pullman, WA: Washington State University, 1989: 117-128.
- [6] 加藤昭四郎等. Production of Multi-laminated Wood Composites and its Electromagnetic Shielding Effectiveness and Some Other Properties[J]. Bull For & For Prod Res Inst, 1991, 360.
- [7] 长泽长八郎等. Effects of Wood Species on Electro-conductivity and Electromagnetic Shielding Properties of the Electrolessly Plated Sliced Veneer with Nickel[J]. 木材学会誌, 1994, 40(10): 1092-1099.
- [8] 王锦成. 电磁屏蔽材料的屏蔽原理及研究现状[J]. 化工新型材料, 2002(7): 16-19.
- [9] 张显权, 刘一星. 木材纤维-铜丝网复合 MDF 的研究[J]. 林产工业, 2004, 31(5): 15-19.

(责任编辑 姜征)

(上接第7页)

参考文献:

- [1] McMillen J M. Stresses in Wood during Drying[R]. U S Forest Product Laboratory, Report No. 1652, 1958.
- [2] Haque M N, T A G Langrish, L-B Keep, et al. Model Fitting for Visco-elastic Creep of Pinus radiata during Kiln Drying[J]. Wood Science and Technology, 2000, 34: 447-457.
- [3] Youngs R L, C B Norris. New Method of Calculating Internal Stresses in Wood[J]. Forest Products Journal, 1959, 9(10): 367-371.
- [4] Shigeru Nishio. Estimation of Drying Stresses in Wood by Cup Method. II Comparison of Cup Method with Slice Method[J]. 木材学会誌, 1976, 22(11): 626-631.
- [5] 高建民, 余雁, 刘志军. 木材干燥应力连续检测方法的研究[J]. 木材工业, 2004, 18(3): 1-3.
- [6] Skaar C, W T Simpson, R M Honeycutt. Use of Acoustic Emissions to Identify High Levels of Stress during oak lumber drying[J]. Forest Products Journal, 1980, 30(2): 21-22.
- [7] Sadanari M, S Kitayama. Waveform Analysis of Acoustic Emissions Generated in the Wood Drying Process[J]. 木材学会誌, 1989, 35(7): 602-608.
- [8] Noguchi M, S Okumura, S Kawamoto. Characteristics of Acoustic Emissions during Wood Drying[J]. 木材学会誌, 1985, 31(3): 171-175.
- [9] Quales S L. Acoustic Emissions Associated with Oak During Drying[J]. Wood and Fiber Science, 1992, 24(1): 2-12.

- [10] Stohr H P. Shrinkage Differential as a Measure for Drying Stress Determination[J]. Wood Science and Technology, 1988(22): 121-128.
- [11] Kawai S, K Nakato, T Sadoh. Computation of Drying Stresses Resulting from Moisture Gradients in Wood during Drying I [J]. 木材学会誌, 1979, 25(2): 103-110.
- [12] Kawai S, K Nakato, T Sadoh. Computation of Drying Stresses Resulting from Moisture Gradients in Wood during Drying II [J]. 木材学会誌, 1979, 25(4): 272-279.
- [13] Ugolev B N, N V Skuratov. Stress-strain State of Wood at Kiln Drying[J]. Wood Science Tech, 1992, 26: 209-217.
- [14] Sokolovskyy Y. Stresses and Strains of Wood in the Drying Process[R]. 8th International IUFRO Wood Drying Conference, 2003.
- [15] Morgan K, H R Thomas, R W Lewis. Numerical Modeling of Stress Reversal in Timber Drying[J]. Wood Science, 1982, 15(2): 139-149.
- [16] Cui Y Q, E W Jones, F W Taylor, et al. An Application of Finite Element Analysis to Wood Drying[J]. Wood and Fiber Science, 1994, 26(2): 281-293.
- [17] Dahlblom O, H Petersson, S Ormarsson. Full 3-D FEM-Simulations of Drying Distortions in Spruce Boards Based on Experimental Studies [R]. 7th International IUFRO Wood Drying Conference, 2001.

(责任编辑 袁东岩)

欢迎赐稿、发布信息、刊登广告