

基于主成分分析的刨花板环保性能综合评价模型构建

刘 玉, 沈 隽, 朱晓冬*, 刘志明

(东北林业大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要:对采用不同工艺生产的兴安落叶松(*Larix gmelinii*)刨花板所释放的有机污染物浓度数据进行主成分分析,确定了影响落叶松刨花板环保性能的主要因素,总挥发性有机化合物、醛酮类化合物、酯类化合物和芳香烃类化合物是影响刨花板环保性能的主导因子。对落叶松刨花板环保性能进行综合评价,得到刨花板产品综合环保性能评价最优的生产工艺条件为:板厚度8 mm,板材密度 $0.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,施胶量7%,热压温度 140°C ,热压时间6 min,板坯含水率6%的刨花板。

关键词:刨花板;环保性能;主成分分析;综合评价模型;有机污染物

中图分类号:S781.42 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)05-0207-06

Modeling of Environmental Property Evaluation of Particleboards Based on Principal Component Analysis

LIU Yu, SHEN Jun, ZHU Xiao-dong*, LIU Zhi-ming

(College of Material Science and Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract:Principal component analysis was adopted to analyze the environmental properties of *Larix gmelinii* particleboards under different hot-pressing parameters. The main factors affecting the properties were TVOC concentrations, ketones and aldehydes, esters and aromatic hydrocarbons. According to the evaluation of the particleboards, the optimal conditions to make particleboards with high performance of environmental protection were obtained as follows: particleboard density $0.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, thickness 8 mm, resin content 7%, pressing temperature 140°C , press time 6 min, and the moisture content 6%.

Key words:particleboard; environmental property; principal component analysis; comprehensive evaluation model; VOC

近年来,由人造板产品释放的有机污染物(VOC)所造成的室内环境污染问题受到了人们的普遍关注。世界各国陆续颁布了相关法规政策对人造板产品中的VOC释放进行限量^[1-7],以提高人造板产品的环保性能。目前我国对人造板产品的环保性评价仅依靠甲醛释放量单一指标进行评估,存在一定的局限性,因此针对其他VOC释放限量的相关法规标准也已进入了起草阶段。刨花板在制备过程中,工艺参数的确定对刨花板的环保性能有显著的影响,为了确定最优的低污染物释放工艺条件,通常要进行大量的试验,并对其进行科学的分析处理

才能得到。刨花板环保性能的好坏需要通过测试结果进行工艺优选,由于刨花板所释放的污染物种类较多^[8-9],且彼此间并不相互独立,在选择工艺生产刨花板时,常发现有些指标好,有些指标差,难以决定最佳工艺条件。

主成分分析法(PCA)是将原有指标重新组成一组新的互相无关的几个综合指标来代替原有指标,利用几个较少的综合指标反映原来指标的一种方法^[10-11]。主成分分析法的引入,特别是应用于综合评价方面对解决实际问题有很大帮助^[12]。张传平^[13]等利用主成分分析法分析了胜利油田原油开

收稿日期:2011-11-03 修回日期:2012-01-15

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目“人造板VOC释放成分与性能的人工神经网络预测”(12513023)。

作者简介:刘玉,女,讲师,主要研究方向:环保型复合材料利用。E-mail:liuyu820524@126.com

* 通讯作者:朱晓冬,男,副教授,主要研究方向:木质复合材料制造。E-mail: pse4646@126.com

采过程中成本项目间的系统联系。姚焕玫^[14]等运用主成分分析法将少数综合变量取代原有多维变量进行太湖水质富营养化情况的定量化评价。白晓平^[15]运用主成分分析法建立模型对露天半连续运输系统中的各子系统生产情况进行排序,为露天煤矿的优化设计和生产管理提供了依据。鉴于此,本文探索性地以刨花板的 VOC 释放总量(TVOC)和芳香烃、烷烃等几项化合物指标为分析变量,采用主成分分析法,提取对刨花板环保性能影响较大的几个主成分因子,对样本进行综合量化评价和排序,建立刨花板品质评价模型,为进行刨花板环保性能预测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用兴安落叶松(*Larix gmelinii*)木材取自黑龙江省朗乡实验林场,树龄 7 a,胸径 18 cm。木材锯截成板方材后运至哈尔滨,在实验室经削片、刨片加工成刨花后,干燥至初含水率为 4%。按照目

前国内常用的刨花板生产工艺进行制板。热压温度为 140℃,其他工艺条件见表 1。试验所采用的脲醛树脂胶粘剂购自黑龙江省林科院,pH 值为 8.9,粘度为 156 s,固化时间 50 s,固体含量为 69.68%,游离甲醛 0.6%,摩尔比 1.2。内标物 Toluene-D8 购自天津科大化学试剂公司。二氯甲烷(色谱纯)购自天津科密欧化学试剂公司。

1.2 试验仪器

50 t 人造板预压机(哈尔滨东大人造板机械制造有限公司);100 t 人造板热压机(哈尔滨东大人造板机械制造有限公司);AG-10TA 型万能力学试验机(日本岛津公司);FA1004N 电子分析天平(上海旦鼎有限公司);GZX-9246MBE 电热鼓风干燥箱(上海予腾生物科技有限公司);Numen-1 型 1 m³VOC 与甲醛释放量检测用气候箱(中国林业科学研究院);DSQ II 气相色谱质谱联用仪(美国 Thermo 公司);TP-5000 热解析仪(北京北分仪器有限公司)。

表 1 刨花板生产工艺条件
Table 1 Hot-pressing parameters of particleboards

序号	板号	板坯结构	板坯含水率/%	密度/(g·cm ⁻³)	厚度/cm	施胶量/%	热压时间/min		
1	A0	3 层	6	0.70	8	7	5		
2	A1(B3/C1/D1/E3)								
3	A2								
4	A3								
5	A4								
6	A5								
7	B1	单层	6	0.60	12	8	4.0		
8	B2			0.65					
9	B4			0.75					
10	B5			0.80					
11	C2			0.70		7			
12	C3								
13	C4								
14	C5								
15	D2								
16	D3								
17	D4			8	8	11	7		
18	D5								
19	E1								
10	E2								
21	E4				7	5.5			
22	E5								

1.3 试验方法

根据表 1 试验设计压制幅面尺寸为 320 mm×340 mm 的刨花板。刨花板边部处理采用释放性较低的铝质胶带进行边部密封,使裸露在空气中的测试样品面积为 0.20 m²(单张刨花板)。刨花板 VOC 释放采用小环境舱法进行采集测定。调整环

境舱内温度为 23℃,相对湿度为 45%,空气交换率为 1 次·h⁻¹,装载量为 1 m²·m⁻³,待环境舱内环境达到试验所需测试条件后,将试件迅速放置于环境舱体底板中心位置,试件平衡后,采用 Tenax 吸附管采集刨花板释放的 VOC,通过气相色谱-质谱分析仪对刨花板释放的 VOC 进行定性定量分析。

每一试验样本平行重复 2 次。

气相色谱条件:TRACE TR-5MS 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),柱温为 40℃保留 2 min,以 2℃·min⁻¹升至 50℃保留 4 min,以 5℃·min⁻¹升至 150℃保留 4 min,再以 10℃·min⁻¹升至 250℃保留 8 min,柱流量 1 mL·min⁻¹,分流比 1:30;载气为高纯氦气(99.999%);进样口温度 250℃。

质谱条件:离子源为 EI 源;电子能量 70eV;离子源温度 230℃;扫描范围:40~450 amu;色谱-质谱接口传输线温度 270℃

解析条件:解析温度 300℃,解析时间 5 min,进样时间 1 min。

用气相色谱-质谱-计算机联用技术检测得到的落叶松刨花板挥发性有机化合物总离子图,各组分

质谱分析经 NIST 谱库检索分析,匹配度>700,结合保留时间确认其挥发性化合物。

1.4 评定分析方法

应用 SPSS13.0 统计分析软件对刨花板数据样本进行主成分分析,根据主成分分析后确定的不同主分量的线性组合与贡献率之积的和来排序不同的样本,进行刨花板环保性能综合评价。

2 结果与分析

2.1 刨花板性能指标测试结果

刨花板按用途、结构、制造方法的不同分为许多种。本研究对不同生产工艺条件下制造的干燥状态下使用的普通刨花板所释放的几类常见污染物指标进行浓度测试(表 2)。

表 2 刨花板各项指标测定结果

Table 2 Chemicals released from the particleboards									μg·m ⁻³
序号	板号	芳香烃	卤代烃	醛酮类	烷烃类	酯类	烯烃类	其他	TVOC
1	A0	60.690	3.530	14.210	33.450	5.540	2.910	67.760	188.090
2	A1	46.865	0.000	31.590	7.985	5.895	2.655	23.790	118.780
3	A2	58.180	0.000	16.310	7.030	8.570	0.560	48.220	138.870
4	A3	60.320	1.020	15.740	15.120	4.860	2.150	38.300	137.510
5	A4	71.560	2.170	7.860	10.330	3.620	3.450	19.080	118.070
6	A5	111.720	1.880	16.050	12.180	6.780	4.200	41.060	193.870
7	B1	51.879	0.000	11.889	6.440	1.030	3.059	13.466	87.763
8	B2	43.076	0.000	16.843	18.395	0.000	1.830	38.662	118.806
9	B3	46.865	0.000	31.590	7.985	5.895	2.655	23.790	118.780
10	B4	43.517	1.942	12.605	18.888	2.967	12.237	42.467	134.623
11	B5	72.273	0.761	18.567	14.019	5.515	3.008	27.016	141.158
12	C1	46.865	0.000	31.590	7.985	5.895	2.655	23.790	118.780
13	C2	67.917	0.664	16.707	15.740	6.223	0.000	67.818	175.070
14	C3	72.682	2.330	15.133	15.986	4.018	0.000	36.040	146.188
15	C4	87.854	9.502	16.828	16.946	2.116	1.467	13.391	148.105
16	C5	67.671	2.006	37.578	34.627	3.810	0.000	134.055	279.747
17	D1	46.865	0.000	31.590	7.985	5.895	2.655	23.790	118.780
18	D2	59.663	0.000	10.290	4.382	0.875	0.000	6.437	81.647
19	D3	39.031	1.876	22.823	24.338	3.260	0.871	41.306	133.505
20	D4	94.399	0.000	25.831	35.825	5.869	0.000	23.477	185.402
21	D5	71.193	0.245	120.324	2.290	0.147	9.010	78.157	281.367
22	E1	32.452	0.000	8.071	10.650	3.432	16.964	24.958	96.526
23	E2	52.326	2.742	10.547	10.729	1.026	1.229	6.258	84.858
24	E3	46.865	0.000	31.590	7.985	5.895	2.655	23.790	118.780
25	E4	63.755	1.542	9.795	15.024	4.668	0.000	12.636	107.419
26	E5	146.123	1.971	30.634	26.497	6.546	0.000	20.132	231.903

2.2 主成分分析

应用 SPSS13.0 统计软件,将表 2 中的刨花板各项主要性状指标进行分析。将参数变量进行标准化处理,然后进行主成分分析,根据性状累计方差贡献率达到 80%以上确定主成分个数(表 3)。

主成分的特征根和贡献率是选择主成分的依据,将落叶松刨花板的 8 类有机污染物指标转化为

4 个主成分。由表 3 可以看出,第 1 个主成分的特征值为 2.660,方差贡献率为 33.248%,代表了全部性能信息的 33.248%,是重要的主成分;第 2 个主成分的特征值是 1.813,方差贡献率为 22.663%,代表了全部性能信息的 22.663%;第 3 个主成分的特征值是 1.205,方差贡献率为 15.061%,代表了全部性能信息的 15.061%;第 4 个主成分的特征值是

0.947,方差贡献率为 11.834%,代表了全部性能信息的 11.834%;其他主成分的贡献率分别为 9.002%、5.464%,依次减少。前 4 个主成分的累积

方差贡献率为 82.806 %,已经把刨花板 VOC 释放污染程度状况的 82.806 %的信息反映出来,因此可以选取前 4 个主成分概括刨花板性能指标。

表 3 试验样本数据的特征值与被解释的方差

Table 3 Total variance explained

主成分	初始特征根			提取初始特征根		
	特征根	方差贡献率/%	方差累计贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	方差累计贡献率/%
1	2.660	33.248	33.248	2.660	33.248	33.248
2	1.813	22.663	55.911	1.813	22.663	55.911
3	1.205	15.061	70.972	1.205	15.061	70.972
4	0.947	11.834	82.806	0.947	11.834	82.806
5	0.720	9.002	91.807			
6	0.437	5.464	97.271			
7	0.218	2.729	100.000			
8	0.000	0.000	100.000			

由表 4 中主成分载荷矩阵可以看出,刨花板 TVOC 在第 1 主成分上的载荷较大,即与第 1 主成分的相关系数较大;刨花板释放的醛酮类化合物在第 2 主成分的载荷较大,即与第 2 主成分的相关系数较大,呈正相关;刨花板释放的酯类化合物在第 3 主成分的载荷较大,与第 3 主成分的相关系数较大,呈负相关。刨花板释放的芳香烃类化合物在第 4 主成分的载荷较大,即与第 4 主成分的相关系数较大,呈负相关。对 4 个主成分进行命名,分别为总挥发性有机化合物、醛酮类化合物、酯类化合物和芳香烃类化合物主成分。

表 4 主成分载荷矩阵

Table 4 Component matrix

	主成分			
	1	2	3	4
芳香烃	0.636	-0.422	-0.032	-0.533
卤代烃	0.281	-0.458	0.718	-0.096
醛酮类	0.433	0.743	-0.040	-0.412
烷烃类	0.662	-0.385	0.146	0.497
酯类	0.222	-0.352	-0.780	0.081
烯炔类	-0.246	0.598	0.236	0.162
其他	0.725	0.415	-0.029	0.443
TVOC	0.957	0.266	-0.009	-0.088

从 4 个主成分因子的特征向量计算结果(表 5)可见,各主成分因子与每一参选因子间的关系有正有负,且大小不同。表明了每一主成分对相应因子的相关向和作用大小也是不同的。

根据各性状相关矩阵的特征向量(表 5),可列出 4 个主成分的函数表达式:

$$Y_1=0.390X_1+0.172X_2+0.265X_3+0.406X_4+0.136X_5-0.151X_6+0.445X_7+0.587X_8$$
 (1)

$$Y_2=-0.313X_1-0.340X_2-0.552X_3-0.286X_4-0.262X_5+0.444X_6+0.308X_7-0.197X_8$$
 (2)

$$Y_3=-0.029X_1+0.655X_2-0.036X_3+0.133X_4-0.710X_5+0.215X_6-0.026X_7-0.008X_8$$
 (3)

$$Y_4=-0.547X_1-0.099X_2-0.424X_3+0.511X_4-0.083X_5+0.167X_6+0.455X_7-0.090X_8$$
 (4)

表 5 主成分因子的特征向量

Table 5 Eigenvector of correlation matrix of main characters

	主成分			
	1	2	3	4
芳香烃	0.390	-0.313	-0.029	-0.547
卤代烃	0.172	-0.340	0.655	-0.099
醛酮类	0.265	0.552	-0.036	-0.424
烷烃类	0.406	-0.286	0.133	0.511
酯类	0.136	-0.262	-0.710	0.083
烯炔类	-0.151	0.444	0.215	0.167
其他	0.445	0.308	-0.026	0.455
TVOC	0.587	0.197	-0.008	-0.090

2.3 刨花板环保性能综合评价及模型构建

以刨花板的综合环保性能作因变量,主成分值 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 作自变量,以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重,建立刨花板综合性能评价模型,构造最终评价函数,并以此对不同工艺条件下生产的刨花板进行综合评分。综合评分分值越大,污染越严重,环保性能较差,反之,分值越低,环保性能越佳。

根据表 5 计算得到的最终评价函数为: $Y=33.248Y_1+22.663Y_2+15.061Y_3+11.834Y_4$ 。得到 26 种工艺条件的刨花板品质综合评分(表 6)。

由表 6 可见,在测试板材中,第 1 主成分值最高的是 C_5 板,TVOC 污染严重,最低的是 E_1 板,TVOC 污染较轻;第 2 主成分值最高的是 D_5 板,而 C_4 板较低,说明 C_4 板的醛酮类污染程度较轻;第 3 主成分值最高的是 C_4 板,最低的是 A_2 板;第 4 主

成分值最高的是 C₅ 板,最低的是 D₅ 板。同一工艺条件下生产的板材在不同主成分中的评分既是最高值也是最低值,说明生产工艺因子对不同主成分的贡献率有明显差别。如 D₅ 板在第 2 主成分分值最高,在第 4 主成分分值最低,说明施胶量大的板材醛

酮类污染严重,而芳香烃污染较低。综合评价得分排序第 1 位的是 E₅ 刨花板,即热压工艺条件为板厚度 8 mm,板材密度 0.7 g·cm⁻³,施胶量 7%,热压温度 140℃,热压时间 6 min,板坯含水率 6%的刨花板污染最小,综合环保性能最优。

表 6 主成分分值、综合组成成分分值及排序

Table 6 Component score and sort order of principal component analysis

板号	Y ₁	排序	Y ₂	排序	Y ₃	排序	Y ₄	排序	Y	排序
A0	1.903	24	-0.780	6	0.572	20	1.683	25	188.795	25
A1	-0.976	5	0.410	17	-1.041	2	-0.194	9	-90.782	8
A2	-0.167	14	-0.284	11	-2.016	1	0.183	18	-114.703	2
A3	-0.155	15	-0.265	12	-0.313	12	0.311	19	-9.358	17
A4	-0.834	11	-0.660	9	0.475	17	-0.386	6	-50.462	12
A5	1.313	21	-0.722	7	-0.633	9	-0.939	4	-82.384	10
B1	-2.021	3	0.264	16	0.518	18	-0.286	8	-49.719	13
B2	-0.838	10	0.514	22	0.918	23	0.753	21	94.016	20
B3	-0.976	6	0.410	18	-1.041	3	-0.194	10	-90.782	7
B4	-0.672	13	0.968	24	1.200	24	1.335	24	171.690	24
B5	-0.138	16	-0.361	10	-0.581	11	-0.193	14	-62.754	11
C1	-0.976	7	0.410	19	-1.041	4	-0.194	11	-90.782	6
C2	1.031	20	-0.218	14	-1.007	7	0.564	20	10.743	18
C3	0.275	18	-0.825	5	0.265	14	-0.142	16	-13.533	16
C4	0.684	19	-2.100	1	3.315	26	-1.207	3	52.569	19
C5	4.317	26	0.916	23	0.344	15	1.978	26	333.563	26
D1	-0.976	8	0.410	20	-1.041	5	-0.194	12	-90.782	5
D2	-2.083	2	-0.236	13	0.374	16	-0.782	5	-111.690	3
D3	0.031	17	-0.184	15	0.543	19	1.059	22	100.415	21
D4	1.757	22	-1.253	3	-0.832	8	0.169	17	-17.772	15
D5	2.365	24	5.080	26	0.837	22	-2.113	1	144.361	23
E1	-2.289	1	1.714	25	0.594	21	1.299	23	106.269	22
E2	-1.685	4	-0.673	8	1.395	25	-0.361	7	-26.014	14
E3	-0.976	9	0.410	21	-1.041	6	-0.194	13	-90.782	4
E4	-0.812	12	-1.165	4	-0.163	13	-0.154	15	-85.747	9
E5	2.896	25	-1.782	2	-0.602	10	-1.801	2	-124.379	1

3 结 论

利用主成分分析法,将刨花板释放的 8 类有机污染物指标综合为 4 项,而且前 4 个主成分可分别表达刨花板几类毒性污染物的危害程度。主成分分析表明,在参选的 8 项指标中,总挥发性有机化合物、醛酮类化合物、酯类化合物和芳香烃类化合物是影响刨花板环保性能的主导因子,这些主导因子可以作为刨花板环保性能评估和预测的指标。

根据主成分函数式所计算得到的最终评价函数为 $Y = 33.248Y_1 + 22.663Y_2 + 15.061Y_3 + 11.834Y_4$,可用于综合评价刨花板环保品质指标。对刨花板污染物释放情况进行综合评价,结果表明综合评价得分最低,环保性能最优的刨花板生产工艺条件为板厚度 8 mm,板材密度 0.7 g·cm⁻³,施胶量 7%,热压温度 140℃,热压时间 6 min,板坯含水率 6%的刨花板。

参考文献:

[1] BIFMA M7. 1-2005 Standard test method for determining VOC emissions from office furniture systems, components and seating[S].

[2] BIFMA X7. 1-2005 Standard for formaldehyde and TVOC emissions of low-emitting office furniture systems and seating [S].

[3] GB18584-2001 室内装饰装修材料木家具中有害物质限量[S]. 北京:中国标准出版社,2004.

[4] ASTM D 6670-01 Standard practice for full-scale chamber determination of volatile organic emissions from indoor material/products [S].

[5] ISO 16000-9:2006 Indoor air-Part6: Determination of volatile organic compounds from building products and furnishing-Emission test chamber method[S].

[6] JIS A 1901: 2009 Determinati on of the emission of volatile organic compounds and aldehydes for building product s- Small chamber method [S].