

静电场中刨花定向运动的研究

邱金辉

(南京钢琴厂)

摘要 本文在刨花静电定向试验的基础上,研究了静电场中刨花极化和定向机理,探索了刨花定向角与电场强度、刨花含水率、刨花形态及极板间距等因素间的相互关系。研究表明,一定量的自由离子的存在及其在静电场作用下极化是刨花极化和定向的主要因素,电场强度和刨花含水率对刨花定向程度有显著影响,随着电场强度的增加,平均定向角减小。当电场强度为 4 KV/cm 时,最佳定向角约为 19° 。

关键词 平均定向角;刨花定向运动;极化;电场强度

表1 刨花形态

刨花形态	A	B	C
长度 l (mm)	60	40	20
长细比 s	120	80	40
长宽比 p	18.62	11.60	8.03

表2 因子和水平

因子 \ 水平	1	2	3
A. 电场强度 E (KV/cm)	1	2.5	4
B. 刨花含水率 MC (%)	4	10	18
C. 极板高度 H (cm)	25	35	45
D. 刨花形态 G	A	B	C

静电定向法是生产定向刨花板的主要方法之一,与机械定向法相比,该方法可定向多种尺寸规格的刨花,尤其是尺寸较小、长宽比较大的刨花,且能耗很低。由于目前对静电定向技术的理论研究尚不够,因而影响了该技术的推广和发展。本研究在试验分析的基础上,对静电场中刨花的极化和定向机理进行了较为全面的探讨,旨在为今后生产性试验提供理论依据。

一、试验材料与方法

1. 试验设备及材料

试验在自制的静电定向装置上进行。中间极板与高压静电发生器的高压输出端相接,另外两极板接地,从而在极板之间建立起高压静电场,形成静电定向工作区。

试验用刨花为 1—69 杨木 (*Populus deltoides*),其形态见表 1。

2. 平均定向角 θ 的测定方法

选用 $L_{27}(3^{13})$ 正交试验法以考察各种因子对 θ 的影响,因子及水平的选择见表 2。

各个刨花定向后的角度 (即矢量 E 与刨花纵轴间的夹角) 采用量角器测量。刨花平均取样数 ≥ 200 , 每次抛撒刨花 50—100 个。

刨花的平均定向率 AL 和平均定向角 θ 计算如下:

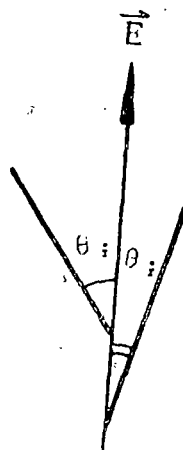


图1 刨花定向角 θ 示意图

本文于1990年2月23日收到。

本研究曾得到张勤丽副教授等的指导协助,特致谢意。

$$AL = \frac{45^\circ - \theta}{45^\circ} \times 100\% \dots\dots (1)$$

$$\theta = \frac{\sum_{i=0}^n \theta_i}{n} \dots\dots (2)$$

式中: n —被测刨花个数 ($n \geq 200$);

θ_i —刨花定向角。

二、试验结果

刨花定向角的统计分布见图2。

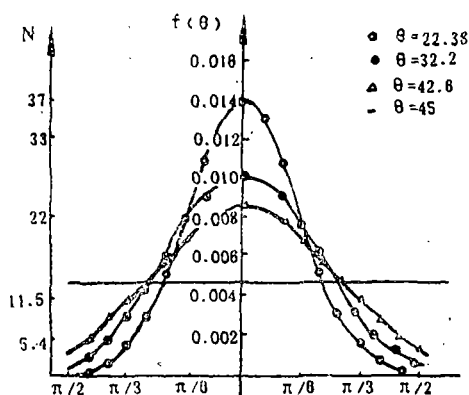


图2 刨花定向角的统计分布图

影响平均定向角 θ 的四个因子(E 、 MC 、 H 、 G)的方差分析与显著性检验结果如表3所示:

表3 方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	F	F _{0.01}	显著性
E	459.13	2	229.57	205	$F_{0.01}=10.92$	••
MC	412.65	2	206.33	184.2	$F_{0.05}=5.14$	••
H	9.42	2	4.71	4.21		
G	3.85	2	1.93	1.72		
E×MC	14.98	4	3.75	3.35	$F_{0.01}=9.15$	
E×H	7.98	4	1.99	1.73	$F_{0.05}=4.53$	
MC×H	1.85	4	0.46	0.41		
误差	6.7	6	1.12			

图3和图4为刨花平均定向角 θ 随电场强度 E 和含水率 MC 变化的曲线;刨花形态与刨花旋转角加速度的关系曲线见图5。

三、分析讨论

1. 刨花静电定向机理 试验表明: 木

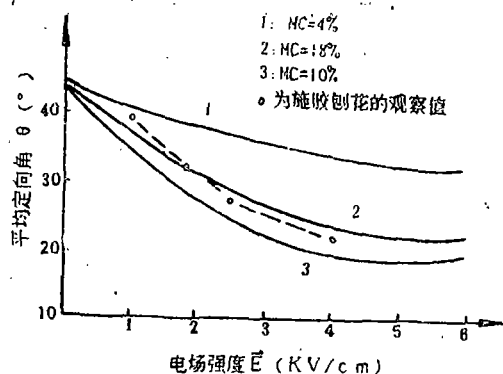


图3 电场强度 E 与平均定向角 θ 之关系

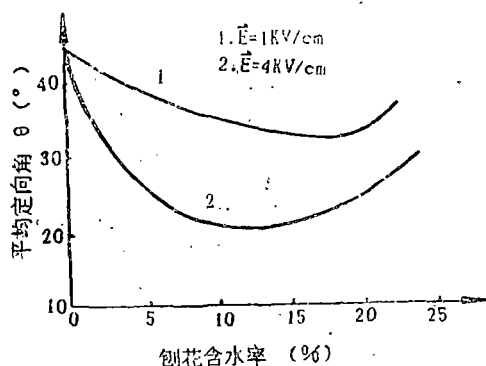


图4 刨花含水率与平均定向角 θ 之关系

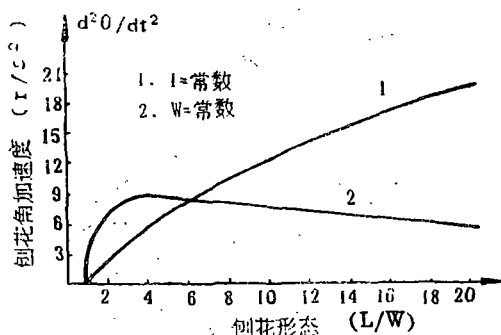


图5 刨花形态与刨花旋转角加速度的关系

质刨花 in 高压静电场中能被极化和定向, 其机理可分析如下:

尽管木材的主要成分纤维素的每个分子上都有三个极性游离羟基 ($-OH$), 半纤维素分子结构中含有类似于羟基和羧基 ($-COOH$) 的亲水极性基团, 在木素分子结构中含有羟基和羰基 ($-C=O$), 木材抽提物中也存在有一定量的极性分子基团, 但

在绝干状态下,木材的极性很弱,属弱极性天然高聚类物质,其相对介电常数 ϵ_r 仅为2.0~3.0,平均定向角为 42° ($E=4\text{KV/cm}$)。而木材中的水分子则是一种强极性物质 ($\epsilon_r=75\sim81$),在纤维饱和点以下时,部分水分子以氢键的形式存在于纤维素分子之间。另有部分吸附水则发生离解,产生 H^+ 和 OH^- 离子;此外,木质刨花中含有少量的水溶性无机盐类物质(钾、钠、碳盐等),可在极性非常强的水中溶解,电离成正负离子。在高压静电场中,这些自由离子受静电感应分别向刨花两端移动,随后刨花在电场作用下产生一旋转力矩 I ,使刨花扭转,并沿电力线方向排列。因此,刨花在静电场中能被极化的关键在于刨花中有自由离子和极化离子的存在。

2. 影响刨花定向的因素

①电场强度 E 根据极化理论:刨花中的任何粒子(原子、离子、分子)在电场中都能产生一个感生偶极矩 I ,而偶极矩 I 的大小与电场强度成正比: $I=\alpha E$ (α —粒子的极化率),并且极性分子在电场中的极化强度 P 以及游离离子向刨花两极移动的电离量 Q 也与电场强度 E 成正比 ($P\propto E, Q\propto E$),因此,刨花的定向率也应正比于电场强度 E 。由图3可见,刨花平均含水率约为10%时,其平均定向角 θ 在 $E\leq 4\text{KV/cm}$ 的范围内随 E 值上升而下降,当 $E=4\text{KV/cm}$ 时, θ 值最小,约为 19° ,此时定向效果最好;当 E 在4—6KV/cm范围内变化时; θ 值反而变差,其原因:

A.电介质在静电场中的极化是有限的,介电常数即为反映物质极化能力的参数;

B.在静电场中离子电荷量 Q 受到刨花顶端附近空气电离量的限制(空气的击穿电场强度为 35.5KV/cm),随着 E 的增加,刨花两端正负离子的集中程度也越来越高,一旦电荷量 Q 达到 10^{-10} 库仑左右的数量级时,将在尖端上形成自放电条件,限制了离子的进一步分离和极化;

C.因极性效应和正负极性产生电离的条件不同,或者因刨花本身顶端形状各异,可能在刨花某一端上首先放电。集中于该端的电荷有一部分被中和,使刨花上留有相反符号的剩余电荷 $q_{剩}$,在 E 的作用下产生静电力 $F=q_{剩}E$,引起刨花向电极板方向做横向运动。刨花的横向运动增加了刨花之间、刨花与极板之间的碰撞,因而也增加了刨花受极板边缘效应的影响,并且,由于多了一维运动,产生空气阻力矩的可能性增加,也将有碍于刨花沿电力线方向定向。

由于有上述的刨花顶端放电、碰撞、空气阻力矩等现象的存在,所以刨花的 θ 值不可能随 E 的上升而趋向于 0° ,应有一统计极限值,该值的大小可衡量定向效果的好坏。 E 与 θ 的回归方程为:

$$\theta = 44.23 - 10.14E + 1.01E^2 \dots (3)$$

($MC=10\%$)

②含水率 MC 根据赫里(J.W.S.Heazle) (1)假说,自由离子的导电率 K 为:

$$K = C \cdot \mu \cdot d \cdot F \dots \dots \dots (4)$$

式中: C —木材中电解质或盐的浓度(克当量/ m^3);

μ —电离子的迁移率,

$$\mu = \frac{\text{速度 (m/s)}}{\text{电场强度 (KV/cm)}};$$

d —电解质离解为导电离子的电离度;

F —法拉第常数(96,490库/克当量);

$C \cdot d$ —决定木材中导电离子的浓度。

刨花中盐的浓度 C 基本为一常数,而离子迁移率 μ 和电离度 d 随刨花含水率的变化而变化。因此刨花含水率也是影响刨花极化的重要因素之一。由方差分析可见:含水率的影响仅次于电场强度 E 。由图4可知:在 E 一定的条件下, θ 随 MC 的上升而下降,但如果 MC 超过某一数值(最佳值)时,定向效果反而变差。其主要原因在于:随 MC 的增加,刨花的电离程度和离子迁移率亦增加,因而提高了极化和定向的效果;但当刨花电离达一定程度时,在刨花的某一端部也

会出现放电现象,从而影响刨花的定向。另外当电场中有高含水率的刨花存在时,电场的导电性增加,电流的泄漏也增加,从而使极板的电压值下降且失控。并且刨花含水率过高,刨花质量随之增大,因而增加了刨花的转动惯量,亦不利于定向。

③刨花形态G 从刨花所受力矩和其本身的惯性矩来考察,刨花形态对静电定向亦有影响。根据J. W. Talibott和E. K. Stefanakos^[2]的公式,刨花在静电场中所受到的扭转力矩T为:

$$T = 0.196 \epsilon_0 E^2 (\sin^2 \theta_n) \times$$

$$\times \left\{ \frac{L^3}{\left[\frac{L}{2(t+W)} \right]^{0.3}} - \frac{W^3}{\left[\frac{W}{2(t+L)} \right]^{0.3}} \right\} \dots\dots (5)$$

式中: ϵ_0 —介电常数,为 $8.85 \times 10^{-12}(\text{F/m})$;

θ_n —刨花纵向与电场矢量之间的瞬时角度;

L、W、t—分别为刨花的长、宽、厚(mm)。

在E和初始角一定的条件下,显然T与 $L^{2.7}$ 成正比,而W增加,T下降。

对于近似矩形的刨花,其中心轴的转动惯量^[3]为:

$$I_2 = M \frac{(L^2 + W^2)}{12} = \gamma_0 \cdot L \cdot W \cdot t \frac{(L^2 + W^2)}{12} \dots\dots (6)$$

式中: M—刨花质量(kg);

γ_0 —刨花比重(g/cm^3)。

由公式可知: I_2 与 L^3 和 W^3 成正比,因此增大L和W都不利转向。

上述两种因素对转向的综合影响可由下式表示:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{T}{I_2} \dots\dots\dots (7)$$

式中: $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ ——刨花旋转角加速度。

上式相应的关系曲线由图5表示。由图

5可知,当L一定时, $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ 是随长宽比L/W的上升而上升,上升的速度逐渐缓慢;在W一定时, $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ 首先随L/W上升而上升($0 \leq L/W \leq 4$);之后随L/W的上升而缓慢下降($L/W > 4$);当 $L/W = 4$ 时, $\frac{d^2\theta}{dt^2} =$

$$7.87 (\text{r/s}^2); \text{当 } L/W = 1 \text{ 时, } \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0,$$

即正方形的刨花无定向效果。

因此,如果仅从静电定向效果考虑,长度一定时,减小刨花的宽度是合理的,但当刨花宽度一定时,增加刨花的长度却不利于定向。

本试验结果表明:A、B、C三种形态的刨花对 θ 并无显著影响。这是由于三种刨花的长宽比(L/W)很大(参见表1),由图5中曲线2可知:当 $L/W > 3$ 时,角加速度受L/W的影响非常之小。

综上所述,刨花定向效果的好坏不在于刨花本身的大小,而在于长宽比L/W的大小。因此,静电定向技术更适用于细小刨花,甚至纤维。

④极板高度H 刨花在电场中极化并转向需要一定时间,要保证刨花良好定向,极板应具有足够的高度,就本试验选用的三种形态的刨花而言,在 $E = 4 \text{ KV/cm}$ 、 $MC = 10\%$ 时,刨花定向的时间极短。极板高度在250—450mm范围内都是适宜的。

四、结论

1. 刨花在静电场中的极化和定向机理为:

①刨花本身为极性分子(包括其中的水分子),具有因原子排列而产生的偶极子,在静电场作用下会趋向极化;

②刨花含水率一定时将产生一些游离离子,在静电场作用下,正负离子向刨花两端移动而极化和定向。

2. 影响刨花定向的主要因素是电场强度 E 和刨花含水率 MC 。由于 MC 受制板工艺的限制,而电场强度的调节十分方便,是刨花静电定向的主要控制变量。

3. 极板高度 H 和刨花形态 G 对定向有一定程度的影响,刨花形态 G 对定向影响程度的大小取决于刨花的长宽比。

4. 定向因子的最佳选择为: 电场强度 $E = 4\text{KV/cm}$; 含水率 $MC = 10\%$; 极板高度 $H = 450\text{mm}$; 刨花形态: A型。

(责任编辑 姜征)

参考文献

- (1) [苏] B. И. 波勃斯, M. И. 格拉佐, 1983, 静电场中纤维充电动力学和运动形式, 纺织工业出版社, 40—108.
- (2) Tallbott J.W. and E. K. Stefanakos, 1972, Aligning forces on wood particles in an electric field, Wood and Fiber, 4 (3) : 193.
- (3) [美] R·P·费曼, R·B·莱登, M·桑兹, 1964, 费曼物理学讲义, vol.1, 上海科学技术出版社, 191.

A study on particle alignment motion through an electrostatic field

Qiu Jinhui

(Nanjing Piano Factory)

Abstract In this paper, the principle of polarization and alignment motion of wooden particles were stated, and the relationship between average alignment angle and some factors concerned such as electrostatic field intensity(E), moisture content of particle (MC), particle geometries (G), and hight of electrode plates (H) were revealed. The results obtained from the study showed,

1. The free ions and polarized ions are primary factors causing wooodn particles to be polarized and aligned.
2. Field intensity and moisture content of particles have a significant effect on the particle alignment; the higher the field intensity were, the smaller the average alignment angle.
3. When the field intensity is over 4KV/cm , the average alignment angle rapidly worsen. The main cause for this phenomenon is point discharge in wooden particles.
4. About 19° alignment angle is obtained at 4KV/cm field intensity (E).

Keywords Average alignment angle, Particle alignment motion, Polarization, Field intensity