

木材吸声系数与入射声波 频率关系的回归分析*

陈瑞英 王宜怀 冯德旺

(福建林学院, 南平 353001)

摘 要 利用福建10种主要树种法向吸声系数(α_p)的测定结果, 探讨了法向吸声系数与入射声波频率(f)的关系。回归分析发现 α_p 与 f 满足: $\alpha_p = b_0 + b_1f + b_2f^2 + b_3f^3$, 并且发现此关系式与树种、切面无关, 可以认为是一个普遍规律。

关键词 木材; 吸声特性; 法向吸声系数; 声频; 回归分析

中图分类号 S781.38

对木材吸声特性的研究还处于实验探索阶段^[1~3], 目前对实验规律大都进行一些定性的分析。本文利用文[1]工作时的测量数据, 对木材法向吸声系数(α_p)与入射声波频率(f)的关系进行多项式幂次回归分析, 找出回归方程, 以促进木材声学性能的实验与理论研究的开展。

1 材料与方法

1.1 试材

本文10种树种样株均采集于福建建瓯南雅大康村天然林区。每一树种取1株。样株树干通直, 挺拔, 无病虫害, 树干胸径为22~30 cm, 木材已成熟。在树干胸高处截取25 cm的木段, 加工成直径为8.6 cm的圆盘试样。圆盘厚度分为1.0, 2.0和4.0 cm 3种。每一厚度的圆盘均分别有标准的横、径、弦切面。同一规格的试样1~2个。试样均无缺陷, 经气干含水率16%~19%。用YCL-1型便携式表面粗糙轮廓计测量被测面的表面粗糙度(光洁度) R_a 均控制在 $12 \pm 3 \mu\text{m}$ ^[4]。详见文献[1]。

1.2 方法

采用驻波管法测定 α_p , f 为400, 500, 630, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150和4 000 Hz。测定 α_p 的方法详见文献[1]。

本文涉及各试样在不同频率下的法向吸声系数见表1, 有重复试样取平均值。文献[1]已对实验数据进行了定性分析, 得出了一些有意义的结论。本文采用计算机作图模拟及回归

收稿日期: 1994-11-06

*福建省教委科研基金资助项目

表 1 不同树种不同切面法向吸声系数

Table 1 The normal sound absorption coefficients for three surfaces of different kinds of wood

树种	含水率/%	切面	声 波 频 率 f/Hz										
			400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000
杉 木	16.1	横 径 弦	0.504 5	0.379 8	0.251 9	0.207 9	0.142 7	0.131 0	0.128 2	0.153 7	0.193 5	0.264 8	0.430 1
			0.504 5	0.362 8	0.254 5	0.201 6	0.136 7	0.118 9	0.109 0	0.129 6	0.172 5	0.218 8	0.309 3
			0.249 4	0.193 5	0.163 7	0.136 7	0.115 1	0.088 5	0.098 8	0.115 1	0.139 6	0.195 5	0.264 8
马尾松	18.5	横 径 弦	0.563 2	0.460 6	0.343 2	0.309 3	0.289 1	0.249 4	0.251 9	0.309 3	0.346 4	0.404 4	0.508 5
			0.116 3	0.104 3	0.098 8	0.122 8	0.122 8	0.145 7	0.185 6	0.157 0	0.183 7	0.160 3	0.197 5
			0.203 7	0.158 6	0.132 4	0.117 6	0.109 0	0.124 1	0.181 8	0.148 9	0.203 7	0.312 3	0.259 6
漆 树	16.4	横 径 弦	0.411 6	0.292 0	0.223 3	0.205 8	0.169 0	0.176 2	0.183 7	0.218 8	0.286 3	0.372 9	0.408 0
			0.346 4	0.300 5	0.254 5	0.237 3	0.185 6	0.172 5	0.169 0	0.201 6	0.207 9	0.400 8	0.346 4
			0.315 3	0.207 9	0.195 5	0.158 6	0.145 7	0.126 8	0.133 8	0.148 9	0.207 9	0.359 5	0.327 5
华杜英	16.5	横 径 弦	0.187 6	0.185 6	0.167 2	0.191 5	0.174 4	0.203 7	0.251 9	0.237 3	0.251 9	0.327 5	0.346 4
			0.120 1	0.132 4	0.120 1	0.107 8	0.111 4	0.120 1	0.117 6	0.157 0	0.118 9	0.242 1	0.191 5
			0.158 6	0.135 2	0.109 0	0.092 5	0.101 0	0.120 1	0.157 0	0.147 3	0.205 8	0.212 2	0.201 6
香 樟	17.9	横 径 弦	0.306 4	0.259 6	0.227 9	0.216 6	0.210 1	0.176 2	0.163 7	0.195 5	0.254 5	0.242 1	0.278 1
			0.178 0	0.169 0	0.232 5	0.172 5	0.191 5	0.201 6	0.169 0	0.150 4	0.230 2	0.372 9	0.415 3
			0.300 5	0.249 4	0.212 2	0.174 4	0.136 7	0.124 1	0.141 1	0.132 4	0.174 4	0.199 6	0.306 4
山合欢	18.6	横 径 弦	0.297 7	0.275 4	0.267 4	0.247 0	0.234 9	0.218 8	0.257 0	0.242 1	0.289 1	0.289 1	0.397 3
			0.346 4	0.283 6	0.207 9	0.174 4	0.124 1	0.116 3	0.112 6	0.113 8	0.144 2	0.191 5	0.232 5
			0.272 7	0.249 4	0.232 5	0.254 5	0.193 5	0.223 3	0.191 5	0.205 8	0.272 7	0.271 8	0.383 2
擦 树	18.8	横 径 弦	0.286 3	0.225 6	0.170 7	0.147 3	0.112 6	0.112 6	0.133 8	0.148 9	0.169 0	0.195 5	0.254 5
			0.110 2	0.117 6	0.103 2	0.101 0	0.099 9	0.125 4	0.106 6	0.144 2	0.207 9	0.303 4	0.207 9
			0.207 9	0.191 5	0.152 0	0.178 0	0.107 8	0.105 5	0.112 6	0.117 6	0.152 0	0.195 5	0.418 9
甜 槠	16.5	横 径 弦	0.303 4	0.286 3	0.278 1	0.318 3	0.283 6	0.223 3	0.181 8	0.221 8	0.300 5	0.343 2	0.346 4
			0.158 6	0.136 7	0.131 0	0.132 4	0.139 6	0.139 6	0.155 3	0.181 8	0.352 9	0.379 8	0.452 8
			0.195 5	0.172 5	0.147 3	0.133 8	0.116 3	0.111 4	0.124 1	0.106 6	0.174 4	0.212 2	0.232 5
光皮桦	17.0	横 径 弦	0.349 7	0.297 7	0.244 5	0.272 7	0.214 4	0.183 7	0.189 5	0.232 5	0.272 7	0.283 6	0.379 8
			0.242 1	0.223 3	0.195 5	0.195 5	0.157 0	0.147 3	0.155 3	0.179 9	0.254 5	0.264 8	0.359 5
			0.131 0	0.126 8	0.122 8	0.170 7	0.065 0	0.155 3	0.145 7	0.125 4	0.135 2	0.170 7	0.234 9
榲 栎	18.6	横 径 弦	0.390 2	0.300 5	0.230 2	0.183 7	0.152 0	0.118 9	0.113 8	0.142 7	0.163 7	0.189 5	0.286 3
			0.794 2	0.484 3	0.309 3	0.201 6	0.131 0	0.095 6	0.085 7	0.121 5	0.393 7	0.584 8	0.492 3
			0.397 3	0.249 4	0.162 0	0.101 0	0.097 7	0.083 8	0.084 7	0.092 5	0.128 2	0.203 7	0.165 5

分析, 找出了木材法向吸声系数与频率的经验方程。在实验中, 我们对 3 种厚度进行测定, 经分析发现超过一定厚度时, 厚度的因素已变得不重要, 且厚度对 α_p 与 f 之间的关系影响不大。因此, 选定一种厚度分析 α_p 与 f 的规律是合适的。

2 回归分析

根据文献[1]得出不同树种的木材不论横切面、径切面和弦切面, 木材的法向吸声系数在相同条件下数值虽有所不同, 但总的吸声曲线基本相近。不同树种、不同切面法向吸声系

数最小值的声波频率均在1 200~1 600 Hz，也就是在此频率范围内木材的吸声性能最差。当 f 低于1 200 Hz时， α_p 随着频率的减小而增大；当 f 高于1 600 Hz 时， α_p 随频率的增加而增大。这说明木材的 α_p 与 f 的关系具有一定的规律性。

对表 1 数据进行多项式回归分析，发现三次幂较为符合，即 α_p 与 f 的回归方程为：

$$\alpha_p = b_0 + b_1f + b_2f^2 + b_3f^3$$

其中 b_0 , b_1 , b_2 和 b_3 为回归系数。表 2 给出了回归系数 $b_0 \sim b_3$ 、剩余标准差 σ 和 相 关 系 数 R 。从表 2 可以看出相关系数 R 基本上都大于0.900，只有 3 个数据低于0.900，最低的相关系数为0.775(光皮桦，弦向)。剩余标准差 σ 则达到 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 数量级的水平。因此，方程式

表 2 回 归 系 数 及 相 关 系 数

Table 2 The coefficients of interrelation and regression

树 种	厚度/mm	b_0	$b_1(\times 10^{-10})$	$b_2(\times 10^{-10})$	$b_3(\times 10^{-1})$	$\sigma(\times 10^{-2})$	R
杉 木	9.8	0.739 344 0	-9.053 646	3.867 182	-4.517 06	1.551 585 0	0.952 967 1
	10.1	0.751 920 6	-9.502 814	4.138 115	-5.120 14	1.337 239 0	0.954 357 4
	10.7	0.361 499 6	-4.008 820	1.711 090	-2.079 17	0.117 590 0	0.983 162 9
马尾松	10.5	0.768 121 0	-7.930 490	3.609 868	-4.494 66	1.172 585 0	0.944 931 4
	10.8	5.677 128 ⁻¹⁰	1.163 938	-4.101 616	0.510 81	0.209 000 7	0.907 796 3
	10.9	0.293 823 4	3.509 171	-2.044 500	2.965 15	0.494 958 2	0.937 139 2
漆 树	9.6	0.581 780 6	-7.024 542	3.502 460	-4.647 94	0.723 567 8	0.956 891 8
	10.5	0.556 766 9	-6.457 204	3.163 828	-4.186 14	0.628 815 7	0.949 939 7
	10.34	0.488 194 8	-6.351 215	3.222 594	-4.328 87	0.500 749 8	0.963 918 6
华杜英	9.64	0.183 377 2	-2.189 449	3.602 760	-0.505 73	0.245 063 5	0.966 367 6
	9.64	0.176 686 7	-1.453 135	8.963 502	-1.296 37	0.491 459 1	0.847 125 5
	10.0	0.196 854 3	-1.882 286	1.214 084	-1.858 53	0.234 900 3	0.933 510 0
香 樟	9.3	0.405 248 2	-3.533 651	1.665 036	-2.162 17	0.263 314 6	0.927 427 3
	10.5	0.251 841 7	-1.515 463	7.799 632	-0.724 22	1.088 489 0	0.926 254 8
	10.0	0.417 500 9	-4.137 766	1.715 308	-1.887 80	0.274 277 5	0.987 524 4
山合欢	10.1	0.335 568 9	-1.465 173	6.040 478	-0.508 31	0.225 389 8	0.949 439 4
	10.4	0.522 780 8	-6.124 269	2.673 954	-3.320 20	0.307 285 3	0.973 657 6
	10.72	0.327 143 7	-1.788 809	7.489 521	-0.672 35	0.313 413 9	0.944 753 9
擦 树	10.8	0.394 233 2	-4.315 648	1.985 011	-2.497 90	0.463 482 6	0.926 175 6
	10.28	0.209 163 8	-2.731 775	1.828 941	-2.852 98	0.331 919 9	0.960 126 7
	9.7	0.262 260 4	-1.735 271	4.300 759	0.244 59	0.297 331 8	0.980 967 9
甜 槠	11.4	0.426 038 7	-3.107 125	1.467 260	-1.839 45	0.927 658 7	0.814 059 8
	10.04	0.238 277 1	-2.694 306	1.802 102	-2.489 80	0.506 158 8	0.982 011 2
	10.3	0.287 479 8	-2.966 574	1.460 965	-1.884 18	0.083 352 9	0.977 542 3
光皮桦	9.12	0.455 647 1	-3.855 923	1.717 165	-2.014 33	0.470 249 5	0.936 441 0
	10.1	0.335 000 8	-2.934 791	1.413 618	-1.670 71	0.694 287 9	0.973 115 2
	9.5	0.124 640 1	1.459 216	-1.390 612	0.429 16	0.208 040 0	0.775 370 3
榿 栎	10.8	0.558 141 3	-6.307 974	2.666 088	-3.165 34	0.636 717 4	0.956 890 2
	9.82	1.394 303 0	-2.218 980	1.100 709	-15.073 40	3.401 418 2	0.968 494 3
	9.9	0.601 773 0	-8.518 979	4.045 871	-5.483 23	1.350 970 0	0.922 461 1

注：各树种木材含水率和圆盘切面次序参见表 1

与实测的结果吻合得很好，是很好的拟合方程。图 1～3 各条曲线更能直观地说明这一点。这足以说明， α_p 与 f 满足方程式所描述的规律。

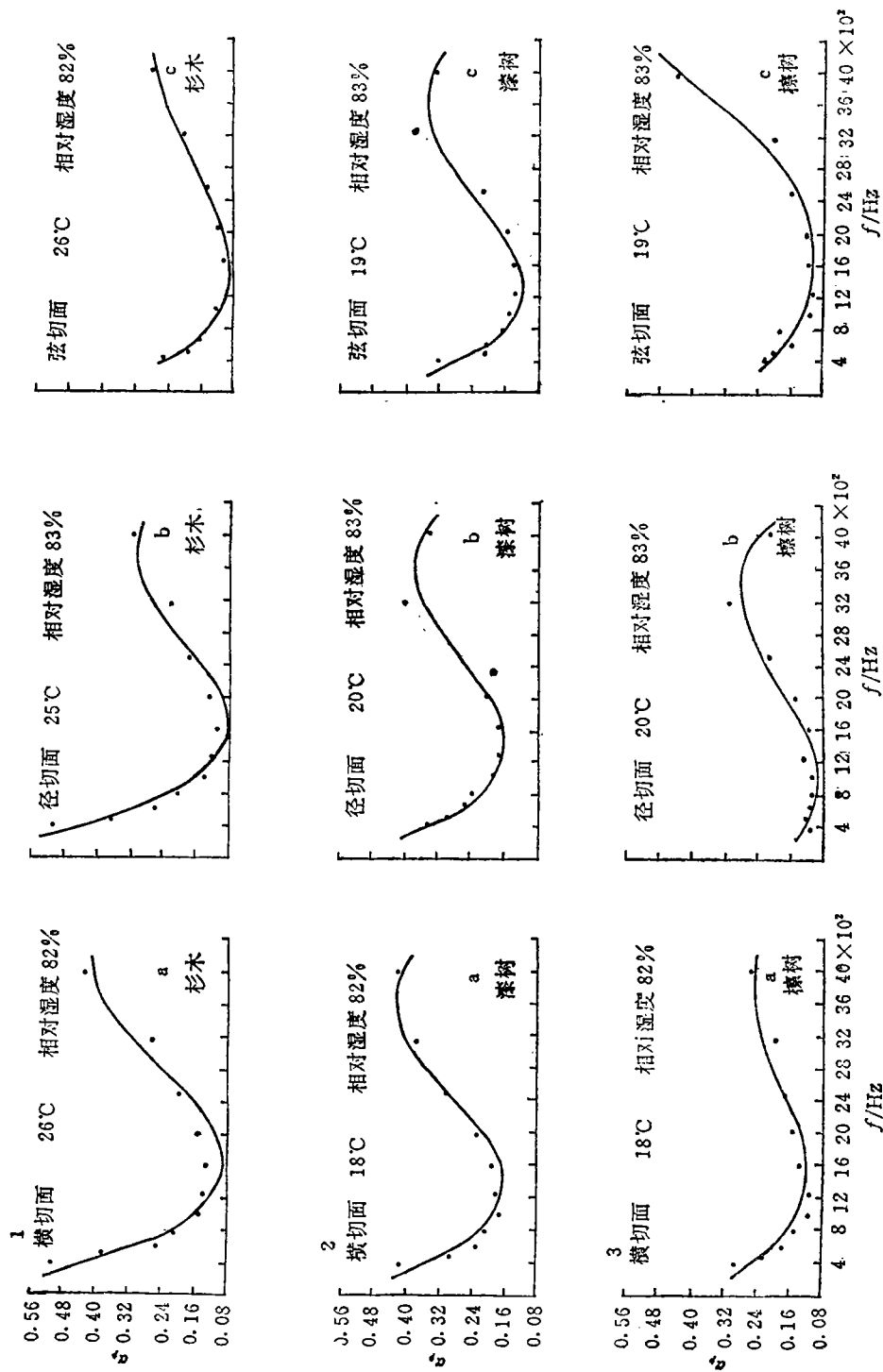


图 1～3 3 种树种拟合曲线
Figs 1~3 Fitted curves for three tree species

由于文章篇幅所限, 10组拟合曲线不能全部给出。根据密度不同给出杉木(密度 0.357 g/cm^3), 漆树(密度 0.496 g/cm^3)和樟树(密度 0.592 g/cm^3)的3组典型的拟合曲线(图1~3)。

3 结论

3.1 在一定的木材含水率和厚度条件下, 通过计算机作图模拟和回归分析, 找到了 α_p 与 f 的回归方程, 且与树种和切面无关, 可以认为是一个普通规律。

3.2 由于多项式回归是一种通用的回归分析方法, 因此, 在目前木材吸声理论研究还处于初期阶段的情况下, 进行这种回归分析是有意义的。由于木材物理性质的实验理论研究涉及的因素较多, 影响木材吸声特性的“可变因子”很多, 我们在测定不同木材试样时, 很难使得所有条件都取得绝对一致, 因此木材吸声特性的普遍规律及函数形式不可能给出精确的表述, 经验公式就显得尤为重要。文中的回归分析是针对福建树种, 不同地区及不同条件回归系数有一定差异, 但通过分析研究, 认为方程式具普遍性。因此, 本文公布该结果, 对木材吸声特性理论的完善和充实, 将起抛砖引玉的作用。

附 10种树种拉丁学名

1 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 2 马尾松 *Pinus massoniana*, 3 漆树 *Toxicodendron vernicifluum*, 4 华杜英 *Elaeocarpus chinensis*, 5 香樟 *Cinnamomum camphora*, 6 山合欢 *Albizia kalkora*, 7 樟树 *Sassafras tzumu*, 8 甜槠 *Castanopsis egrei*, 9 光皮桦 *Betula luminifera*, 10 槲栎 *Quercus aliena*

参 考 文 献

- 1 陈瑞英, 王宜怀, 冯德旺. 10种主要用材吸声性能的实验研究. 福建林学院学报, 1994, 14(4): 306~310
- 2 王毓奇, 吴又可, 叶克圣. 木材及其制品法向吸声系数的实验研究. 南京林业大学学报, 1987, 11(2): 85~93
- 3 成俊卿. 木材学. 北京: 中国林业出版社, 1985. 534~554
- 4 许秀雯, 赵德君, 谭海彦. 落叶松刨切薄木表面粗糙度的检测. 中国木材, 1991(2): 36~37

Chen Ruiying (Fujian Forestry College, Nanping 353001, PRC), Wang Yihuai, and Feng Dewang. Regression Analysis of the Relationship between Sound Absorption Coefficients and Audio Frequencies of wood. / *Zhejiang For Coll*, 1995, 12(1):31~35

Abstract: This study was carried out by use of the determination results of normal sound coefficients of wood (α_p) for 10 major tree species from Fujian. The regression analysis of α_p and audio frequencies (f) showed that the formula $\alpha_p = b_0 + b_1f + b_2f^2 + b_3f^3$ is fit for actual conditions, which not only has not any relation to the tangent plane of wood but also can be regarded it as a general law.

Key words: wood; sound absorption characteristics; normal sound absorption coefficient; audio frequencies; regression analysis