

竹炭的红外辐射特性

张文标¹, 李文珠¹, 曾凡地²

(1. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 福建省三明市竹业开发站, 福建 三明 365000)

摘要: 为了更深入地了解竹炭产生远红外线特性, 利用傅立叶变换红外光谱仪和红外辐射测量仪, 对竹炭红外辐射特性进行了测试与分析。结果表明: 竹炭具有较高的法向比辐射率, 在 8.00 ~25.00 μm 范围内, 测试温度 25 $^{\circ}\text{C}$ 时, 竹炭法向比辐射率为 0.888 ~0.904。竹炭红外吸收与维恩定律具有很好的对应关系, 在室温下红外吸收峰主要集中在 8.00 ~14.00 μm , 处于人体极为有利的远红外线波长范围。在炭化温度为 700 ~1 100 $^{\circ}\text{C}$ 时竹炭的红外辐射率基本相同; 不同竹龄的竹炭红外发射率有差异, 这主要与竹炭本身的化学组成成分有关。竹炭在保暖、保健等领域的应用具有较大的实际意义。图 2 表 1 参 18

关键词: 林业工程; 竹炭; 红外辐射; 光谱分析

中图分类号: S795.708 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)05-0573-05

Infrared radiation with bamboo charcoal

ZHANG Wen-biao¹, LI Wen-zhu¹, ZENG Fan-di²

(1. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin 'an 311300, Zhejiang, China; 2. Sanming Bamboo Industry Development Station of Fujian Province, Sanming 365000, Fujian, China)

Abstract: Infrared radiation characteristics with bamboo charcoal were studied using a Fourier spectrometer and infrared radiation. Results showed that (1) with 25 $^{\circ}\text{C}$ and a wave from 8.00 to 25.00 μm , the normal spectral emissivity of bamboo charcoal was high reaching 0.888 to 0.904. (2) Infrared absorption of bamboo charcoal with peaks centered around 8.00 to 14.00 μm corresponded well to Wien 's Law, which fits to the human body extremely advantageous remote infrared ray wavelength range. (3) The infrared emissivity of bamboo charcoal was no significant difference at 700 - 1 100 $^{\circ}\text{C}$. Bamboo charcoal for different ages of bamboo had different infrared emissivity abilities, mainly due to its chemical composition. This research demonstrated that bamboo charcoal has great practical application potential in fields, such as health care, maintaining body heat, and so on. [Ch, 2 fig. 1 tab. 18 ref.]

Key words: forest engineering; bamboo charcoal; infrared radiation; spectrum analysis

现代医学和物理学研究证实, 波长 5.60 ~15.00 μm 的红外线的频率与生物细胞中水分子律动频率相同, 极易被人体吸收, 从而由内向外辐射热能, 活化组织细胞, 达到保暖, 促进新陈代谢, 增加身体免疫力与治愈力, 对于预防和治疗关节炎、失眠等疾病有明显作用, 故又名“生命光线”^[1]。近年来, 随着人们对竹炭研究的不断深入, 竹炭除了具有调节湿度, 吸附有害气体, 消除异味, 净化水质, 还具有防电磁波、释放负离子和产生红外线等功效, 但其辐射率(能量)大小、产生机制等方面的研究论文极少见报道^[2-8]。傅立叶变换红外光谱仪具有多频道、高通过、高灵敏度、高信噪比、高分辨率和快速等优势, 在电气石、陶瓷和航空等红外辐射研究中得到了普遍应用^[9-18]。作者用傅立叶变换红外光谱仪和红外辐射测量仪进行竹炭的红外吸收和红外比辐射的测量, 对竹炭的红外辐射特性及

收稿日期: 2007-11-29; 修回日期: 2008-05-20

基金项目: 浙江省科学技术重大招标项目(2003C12016); 福建省林业厅资助项目(闽林[2004]科函8号)

作者简介: 张文标, 副教授, 博士, 从事竹炭竹醋液的生产与利用研究。E-mail: zwb@cnzhutan.com

产生机制进行研究分析,为竹炭在保暖、保健等领域的开发和应用提供理论依据。

1 试验材料

竹炭取自福建省永安市,选用5年生毛竹 *Phyllostachys pubescens* 材原料,加工成一定的规格尺寸,放入砖土窑,经过干燥、预炭化、炭化、煅烧(精炼)和冷却等5个阶段,冷却后出窑加工成一定的规格以备实验用。生产整周期为22 d。

2 试验方法

2.1 竹炭的红外吸收光谱测定

将竹炭样品研磨至200目以上,取5 mg样品于玛瑙研钵中,加入500 mg的溴化钾(KBr),充分混合并研磨,将研磨好的样品-基质混合物置于专用模具中,压制成一定厚度的透明锭片,再利用IR-Prestige傅立叶变换红外光谱仪对竹炭样品进行红外吸收光谱测试,得到红外吸收光谱曲线和辐射能量曲线图。

2.2 竹炭红外比辐射率测试

将竹炭样品经研磨粉碎过筛后,颗粒粒径为0.125 ~ 0.160 mm,采用IRE-2型红外辐射测量仪(中国科学院上海技术物理研究所研制)测量竹炭的比辐射率。测试温度为(25 ± 0.01),测量精度为± 0.01;在8.00 ~ 25.00 μm波段配有带宽约1.00 μm,中心波长分别为8.45, 9.50, 10.60, 12.00和13.50 μm的窄带滤光片。

3 红外辐射与吸收机制分析^[1]

红外线是电磁波谱的一部分,其波长为0.76 ~ 1 000.00 μm,介于可见光与微波之间。按波长不同又分为近红外(0.76 ~ 1.50 μm),中红外(1.50 ~ 5.60 μm),远红外(8.00 ~ 14.00 μm)和超远红外(15.00 ~ 1 000.00 μm)。中红外与远红外是物体产生热感的原因,故又称为热红外。凡温度高于绝对零度的物体,均能辐射红外能。

红外辐射特性主要与构成物质的分子结构及其变化关系密切。由于分子与原子一样,能量也是量子化的,若某种原因使分子从一种运动状态跃迁到另一种运动状态时,分子能量也必然随着改变,这样就伴随有电磁场辐射的吸收或发射。物体的红外辐射能力用比辐射率来表示,其表达式为: $\epsilon = M/M_0$ 。其中: M 表示物体的辐出度; M_0 表示黑体的辐出度。它反映了物体相对于黑体辐射能力的大小。所谓黑体是一个发射率(或吸收率) $a = 1$ 的理想物体,而其他所有具有一定温度的红外辐射物体与理想黑体的比辐射率都小于1。物体的比辐射率与其材料种类、结构、物理性质与化学性质、物体表面状态以及它的温度有关。除黑体和灰体外比辐射率还与辐射波长有关。黑体的红外辐射遵循以下定律: 斯蒂芬-玻尔兹曼定律。发射率等于吸收率,好的吸收体也是好的辐射体,温度高于绝对零度的物体都能不断辐射能量。红外线辐射能力用比辐射率表示,其表达式为: $\epsilon = M/T^4$ 。其中 M 为物体辐射能, $W \cdot m^{-2}$, 常数 $= 5.699 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$, T 为黑体绝对温度, K 。 基尔霍夫定律。反射率 + 吸收率 + 透射率 = 100%(或1.0)。这一关系对于光谱反射率、光谱吸收率、光谱透射率同样成立;处于某一温度下的材料的吸收率与发射率相等。常温下测出试样的反射率(对于透光材料,再测出试样的透射率),再用100%(或1.0)减去(反射率 + 透射率),得到吸收率。 维恩位移定律。 $\lambda_m T = C$, 其中 λ_m 为峰值辐射波长; T 为黑体绝对温度; C 为常数,实验测定值约为 $2 898 \mu m \cdot K$ 。反映了黑体温度 T 与这个温度下黑体最强辐射峰(峰值辐射)波长 λ_m 之间的关系。随着 T 的升高, λ_m 向短波方向移动。反之, T 下降, λ_m 向长波方向移动;在实际应用中只要测定物体的绝对温度便可了解峰值辐射波长 λ_m 。竹炭是竹材高温热解的产物,竹材在热解过程中形成了特殊的孔隙结构,形状非常类似并接近于由五元环和六元环所组成的洋葱状富勒烯(C60)结构。另一方面在热解过程中吸收和储备的热使极性分子激发到更高的能级,在常温下当它向下跃迁至较低能级时,就以发射电磁波的方式释放多余的能量向外辐射。利用傅立叶变换红外光谱仪对竹炭的红外吸收光谱进行测试分析,

了解竹炭在 $4\ 000 \sim 400\ \text{cm}^{-1}$ 范围内的基团振动频率分布情况，定性分析竹炭红外吸收和辐射特性。再用红外辐射测量仪测出相应波长处的红外辐射强度值。从而对竹炭的红外辐射特性进行较系统的研究，为开发竹炭的红外功效产品提供理论依据。

4 测试结果与分析

4.1 竹炭的红外吸收光谱

竹炭的红外吸收光谱测试图谱见图 1，能量图谱见图 2。

从图 1 可知，竹炭在 $4\ 000 \sim 400\ \text{cm}^{-1}$ ($2.50 \sim 25.00\ \mu\text{m}$) 内的红外吸收峰主要集中在 $1\ 250 \sim 400\ \text{cm}^{-1}$ ($8.00 \sim 25.00\ \mu\text{m}$) 波长内，其中 $3\ 300\ \text{cm}^{-1}$ ($3.00\ \mu\text{m}$)， $2\ 400\ \text{cm}^{-1}$ ($4.15\ \mu\text{m}$)， $1\ 600\ \text{cm}^{-1}$ ($6.25\ \mu\text{m}$)， $1\ 050\ \text{cm}^{-1}$ ($9.50\ \mu\text{m}$)， $800\ \text{cm}^{-1}$ ($12.50\ \mu\text{m}$)， $740\ \text{cm}^{-1}$ ($13.50\ \mu\text{m}$) 和 $498\ \text{cm}^{-1}$ ($21.10\ \mu\text{m}$) 处均有明显吸收峰存在，且 $1\ 050\ \text{cm}^{-1}$ ($9.50\ \mu\text{m}$) 附近吸收峰最强。

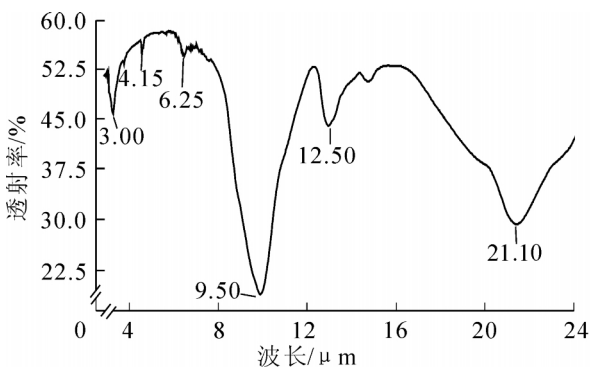


图 1 竹炭红外光谱图

Figure 1 Infrared ray spectra of bamboo charcoal

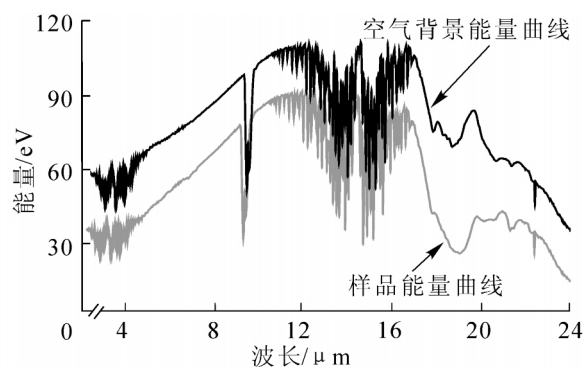


图 2 空气背景下的能量曲线和竹炭样品能量吸收曲线

Figure 2 Curve of energy under air background and curve of energy absorption of bamboo charcoal

从图 2 初步定性对比可知，以空气为背景的能量光谱曲线与样品能量光谱曲线在 $2.50 \sim 8.00\ \mu\text{m}$ 范围内形状基本一致，只是在能量值上有明显的区别，样品的能量明显降低，在 $8.00 \sim 14.00\ \mu\text{m}$ 范围处，光谱曲线发生明显变化，出现了较大的吸收峰。

根据基尔霍夫定律可知，在相同温度和相同入射波条件下，物体的红外特性吸收率 A 等于发射率，即 $A = E$ 。同时，人体体表温度大致在 $31 \sim 33\ ^\circ\text{C}$ 。根据维恩位移定律 $\lambda_m T = C$ 。其中 λ_m 为峰值辐射波长， T 为黑体绝对温度， C 为常数，实验测定值约为 $2\ 898\ \mu\text{m}\cdot\text{K}$ 。由此可知，人体皮肤表面的红外辐射峰值波长为 $9.00 \sim 10.00\ \mu\text{m}$ 。根据匹配吸收理论，人体皮肤对 $9.00 \sim 10.00\ \mu\text{m}$ 的红外辐射具有良好吸收效应。

综上所述，竹炭材料具有良好的红外效应，并且适合于人体吸收。

4.2 竹炭的红外比辐射率

竹炭的红外比辐射率测试结果见表 1。

表 1 竹炭样品的比辐射率值

Table 1 Values of infrared radiation ratio of bamboo charcoal

1	2	3	4	5	6	7	8
0.892	0.896	0.898	0.900	0.888	0.892	0.890	0.890

说明： λ_1 为全波长积分发射率； λ_2 为 $8.00 \sim 25.00\ \mu\text{m}$ ，积分发射率； λ_3 为 $8.45\ \mu\text{m}$ ； λ_4 为 $9.50\ \mu\text{m}$ ； λ_5 为 $10.60\ \mu\text{m}$ ； λ_6 为 $12.00\ \mu\text{m}$ ； λ_7 为 $13.50\ \mu\text{m}$ ； λ_8 为 $14.00 \sim 25.00\ \mu\text{m}$ ，积分发射率。

由表 1 可以看出，竹炭具有较高的红外比辐射率，其不同波段的值都为 $0.888 \sim 0.900$ 。

此外,表1中显示竹炭样品在 $2 \sim 5$ 所代表的波长范围内具有较高的红外比辐射率,与红外吸收光谱分析相互对应,正好处于对人体极为有利的远红外线的主要波长范围(8.00 ~ 14.00 μm)。因此,竹炭微粒的远红外辐射效应在人体保健方面将具有很大的应用价值,具有促进人体表面微血管的血液循环,增强新陈代谢等功效。

5 竹炭红外辐射影响因素分析与讨论

5.1 不同炭化温度对竹炭红外辐射的影响

为了比较不同炭化温度对竹炭红外辐射率的影响,作者采用炭化温度为700, 900和1100的竹炭进行红外辐射率测试。采用中国科学院上海技术物理研究所研制的IRE-2型红外辐射测量仪,测试温度25,测量精度为 ± 0.01 ,在8.00 ~ 25.00 μm 波长的发射率。测试结果为:炭化温度700的竹炭红外辐射率为0.897,800的竹炭红外辐射率为0.898,900的竹炭红外辐射率为0.898。

由此可知,不同炭化温度竹炭的红外发射率基本相同,这是由于竹材中的有机成分基本热解,基团组成基本相同,分子的振动和转动情况相近,对红外吸收和辐射作用区别不大。又据研究表明^[6]炭化温度在600 ~ 1000时的竹炭中,芳环的取代位置增多,由芳环构成的碳网平面增大,碳结构开始更趋规整有序,由于含氧官能团的不断受热分解而使竹炭含氧量的逐渐降低,导致类石墨微晶的层间距减少现象不明显。

5.2 竹炭的化学组成对红外辐射率的影响

为了证实竹炭的化学组成结构不同对红外辐射率的影响,选用不同竹龄的竹材炭化得到的竹炭进行红外辐射率测试,采用中国科学院上海技术物理研究所研制的IRE-2型红外辐射测量仪,测试温度25,测量精度为 ± 0.01 ,在8.00 ~ 25.00 μm 波长的发射率。测试结果:2年生竹材为0.886,4年生竹材为0.888,6年生竹材为0.902,8年生竹材为0.904。

由此可知,不同竹龄的竹炭红外发射率不同,2年生的竹材和4年生的竹材的竹炭的红外发射率相近,6年生的竹材和8年生的竹材的竹炭红外发射率相近,8年生竹材的竹炭比2年生竹材的竹炭红外发射率高出1.8%。这说明竹炭的化学组成对红外辐射率有一定的影响。

6 结论与建议

对竹炭红外辐射特性的研究分析表明:竹炭具有较高的法向比辐射率,在8.00 ~ 25.00 μm 范围内,测试温度25时,竹炭法向比辐射率为0.888 ~ 0.904。在炭化温度700 ~ 1100时,竹炭的红外辐射率基本相同;不同竹龄的竹炭的红外发射率有差异,这主要与竹炭本身的化学组成成分有关。竹炭的红外峰值辐射与维恩位移定律相符,在室温条件下峰值辐射波长为9.50 μm 左右,处于人体极为有利的远红外线波长范围。这对于竹炭在保暖、保健等领域的应用具有较大的实际意义。

参考文献:

- [1] 陈衡. 红外物理学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985: 1 - 28.
- [2] 张齐生. 我国竹材加工利用要重视科学和创新[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(1): 1 - 4.
- [3] 张文标. 竹炭竹醋液的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2002.
- [4] 张文标, 叶良明, 张宏, 等. 竹炭生产和应用[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(2): 49 - 54.
- [5] 张文标, 李文珠, 张宏, 等. 竹炭竹醋液的生产与应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 1 - 70.
- [6] 周建斌. 竹炭环境效应及作用机理的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [7] 李文珠, 张文标, 楼坚强. 竹炭性能与检测方法[J]. 世界竹藤通讯, 2007, 5(3): 19 - 22.
- [8] 王高伟, 胡光洲, 孔倩, 等. 竹炭性能的研究进展[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25(4): 10 - 12.
- [9] 杨如增, 杨满珍, 廖宗廷, 等. 天然黑色电气石红外辐射特性研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002, 30(2): 183 - 189.
- [10] 韩炜, 陈敬中, 吴驰飞. 电气石粒度对其远红外辐射和吸附效应的影响[J]. 矿产综合利用, 2005(4): 23 - 25.
- [11] TAKADA K. Far-infrared radiant ceramics and its application[J]. Bull Ceram Jpn, 1988, 23(4): 310 - 315.

- [12] 刘志明, 高闽光, 刘文清, 等. 基于傅里叶变换红外光谱的热辐射体温度遥测新方法研究[J]. 红外技术, 2007, 29 (10): 584 - 588.
- [13] 朱军, 刘文清, 陆亦怀, 等. 基于 FTIR 的目标背景辐射测量方法研究[J]. 红外技术, 2004, 26 (1): 52 - 55.
- [14] KROUTIL R T, COMBS R J, KNAPP R B. Radiometric linearity in passive FTIR spectrometry[J]. Proc SPIE, 1999, 3 856: 34 - 43.
- [15] GEORGE M R, BILL P. Uncertainties in FTIR data due to a nonlinear response [J]. Proc SPIE, 1998, 3 534: 176 - 186.
- [16] 张天舒, 刘文清, 高闽光, 等. 傅里叶变换红外光谱仪复数光谱误差分析及辐射定标方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26 (3): 430 - 433.
- [17] 罗明东, 吉洪湖, 黄伟, 等. 用 FTIR 光谱仪测量排气系统中红外光谱辐射强度的方法[J]. 航空动力学报, 2007, 22 (9): 1 423 - 1 429.
- [18] 笹森宣文, 江涛. 通过测定反射率、透射率计算比辐射率[J]. 红外, 2001(1): 36 - 40.



浙江林学院茶文化学院工程开工典礼隆重举行

2008年6月30日上午9时,浙江林学院茶文化学院工程开工典礼在东湖校区隆重举行。出席开工典礼的领导和嘉宾有浙江林学院党委书记陈敬佑,中国国际茶文化研究会副会长兼秘书长沈才士,临安市常委、常务副市长胡竑,浙江林学院党委委员、党办校办主任汪士华等。开工典礼由校党委委员、副校长鲍滨福主持。

陈敬佑发表热情洋溢的讲话。他指出茶文化学院建成后,将极大地改善茶文化学院的办学条件,对促进茶文化学院的发展,使茶文化学院成为我国茶文化的教育、研究、培训与国际交流中心,进一步推动中国茶文化走向世界,具有十分重要的意义。他希望工程建设者加强管理,严格按照施工程序和要求高质量、高标准组织施工,确保如期建成,将茶文化学院工程打造成精品、亮点工程。

胡竑在讲话中表示,茶文化学院建设项目是省级重点项目,也是临安市项目攻坚活动要着力推进实施的重点项目,对于促进临安市经济发展意义重大。他要求临安市各有关部门、属地街道、行政村从全局出发,集中力量,鼎力支持,提供优质高效服务,及时帮助解决项目建设中出现的各种矛盾和问题,努力营造良好建设施工环境。希望施工单位牢记责任,扎实工作,保质保量,尽早建成,为构建杭州西郊现代化生态市增添新动力。

在漫天的礼花和喜庆的鞭炮声中,沈才士宣布开工。陈敬佑、沈才士、鲍滨福、胡竑等为茶文化学院奠基。

茶文化学院是浙江林学院与中国国际茶文化研究会共建的全国首家茶文化学院,现已招收2届文化产业与管理(茶文化)专业本科生90名。茶文化学院工程由浙江省发改委、浙江省教育厅批准立项,并列入省重点建设工程。该工程由教学实验组团、研究组团和行政办公组团3个部分组成,总用地面积86 710 m²,建筑面积12 251 m²,工程总投资5 887万元。