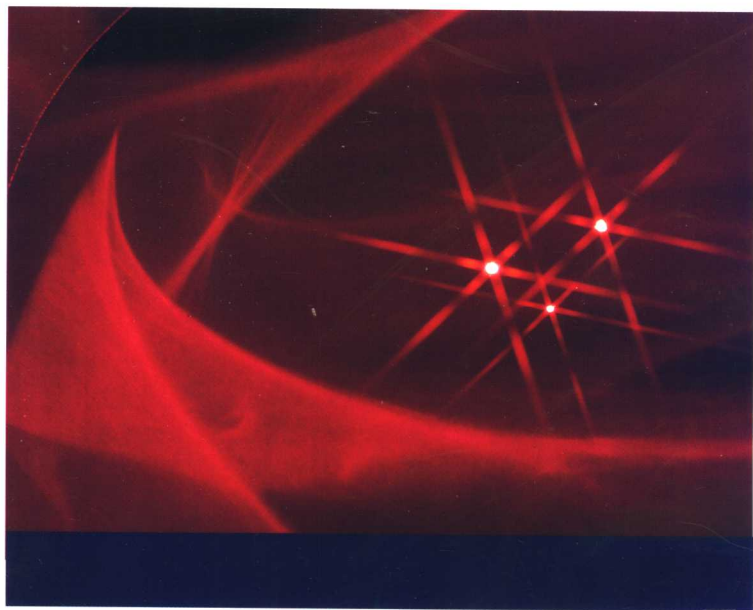


徐卫林 编著

红外技术与纺织材料



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

红外技术与纺织材料

徐卫林 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

红外技术与纺织材料/徐卫林编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 6
ISBN 7-5025-7227-9

I. 红… II. 徐… III. 红外技术-应用-纺织纤维
IV. TS102

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 063184 号

红外技术与纺织材料

徐卫林 编著

责任编辑: 朱 彤 宋向雁

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 陈 静

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

http: //www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 10½ 字数 176 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7227-9

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

纺织工业出版社

红外辐射与温度和热量相关联，所以红外辐射无处不在。人类对红外技术的研究及其应用正在日益深入，在各行各业中的应用非常广泛，在纺织材料生产和研究领域方面也正在取得可喜的进展。

本书是在作者多年研究成果的基础上撰写而成，其中第1章至第5章的内容基本上是多年研究成果的提炼，而第6章和第7章的内容主要是以综合其他研究人员的研究成果为主，增加这两章的目的主要是为了增加内容的覆盖面。在本书某些章节还增加了一些生产和研究部门利用红外技术的实际情况，以增强理论联系实际的效果。此外，书中大量的理论推导和方法都是通过多次推敲建立的，虽然可能在实际应用时会由于环境和使用条件的不同而有所不同，但是能够在理论层面上表述一些现象和规律，因此对于指导实际工作会有很大帮助。

本书最突出的特色是对红外辐射在纺织材料中的透射、反射以及吸收的一些规律进行了量化的分析和测量，并分析了影响这些规律的一些因素；特别是为了建立能够反映不同纺织材料吸收红外升温能力的指标，对各种不同纺织材料的灰度系数进行了测试，并对测试方法进行了介绍。本书的技术内容基本上覆盖了所有与红外技术相关的领域，但深度有所侧重、有所不同；在红外技术的工业应用方面，系统、详细地探讨了强红外辐射对含水纺织材料的干燥以及热定型方面的实际应用效果，相信会对实际生产和操作有一定指导作用。

特别值得说明的是，书中的许多原创性成果是在中国工程院姚穆院士以及中国台湾逢甲大学纺织工程学系石天威教授的悉心指导下完成的。此外，两位先生还在本人成长和发展过程中不断给予支持和鼓励。因此，在本书出版之际，对两位先生表示由衷的谢意！同时，本书部分实验数据的获得还得到了董侠博士和张保国先生的帮助，在此表示衷心的感谢！

由于时间关系，书中不当之处在所难免，敬请国内、国外同行多加指正。

编者

2005年5月

内 容 提 要

纺织品与材料是人类文明最早的成果之一，纺织品新技术所取得的成果已经深入人们日常生活的方方面面。目前，保健及其相关纺织品特别是红外技术在纺织品中的应用已经成为人们关注的热点之一。

本书是在作者多年研究红外技术与纺织材料成果的基础上撰写而成，最突出的特色是对红外辐射在纺织材料中的透射、反射以及吸收的一些规律进行了量化的分析和测量。本书的技术内容基本上覆盖了所有与红外技术相关的领域，但深度有所侧重、有所不同。在红外技术的工业应用方面，系统、详细地探讨了强红外辐射对含水纺织材料的干燥以及热定型方面的实际应用效果，相信会对实际生产和操作有一定指导作用。

本书可供从事新型纺织品、红外技术、材料科学与工程等专业的科学研究和工程技术人员阅读、参考，也可供相关专业的师生作为教学参考书使用。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 热辐射的基本概念及基本理论	1
1.2 红外技术在纺织应用中的发展与现状	5
1.2.1 高温加热领域的应用	6
1.2.2 常温领域的应用	7
1.2.3 红外技术在测试中的应用	9
1.3 红外技术在纺织领域中应用存在的问题	12
1.3.1 红外技术的应用缺乏有关基础性研究的指导	12
1.3.2 织物吸收红外温升的测试方法中存在的问题	12
1.3.3 红外积极保温布料的保温机理尚需科学验证	13
1.3.4 红外辐射在烘烤及热定型方面缺乏基础性研究的 指导	14
第 2 章 红外辐射在纺织材料中透射、反射及被吸收升温的 性能	15
2.1 红外辐射在纺织材料中的透射	15
2.1.1 红外辐射在纺织材料中的透射理论	15
2.1.2 红外辐射在纺织材料中透射的实践	23
2.2 红外辐射在纺织材料中的反射	34
2.2.1 红外辐射在纺织材料中的反射理论	34
2.2.2 红外辐射在纺织材料中的反射实践	37
2.3 红外辐射在纺织材料中的吸收升温	45
2.3.1 红外辐射在纺织材料中的吸收升温理论	45
2.3.2 红外辐射在纺织材料中吸收升温的实践	50
2.4 纺织材料对红外辐射透射、反射、吸收的比较分析	54

第 3 章 影响纺织材料对红外吸收、反射及透射的一些因素	56
3.1 纺织材料回潮率对红外辐射作用的影响	56
3.1.1 回潮率对织物中红外透射的影响	57
3.1.2 回潮率对红外在织物表面反射的影响	60
3.1.3 回潮率对织物吸收红外温升的影响	63
3.2 材料种类及颜色的影响	66
3.2.1 织物颜色对红外透射及吸收温升的影响	66
3.2.2 织物材料品种对红外透射及吸收温升的影响	68
3.3 其他因素对纺织材料吸收红外辐射等作用的影响	70
3.3.1 纺织品的透气性与透红外性能的比较	70
3.3.2 真空度对纺织材料辐射性能的影响	74
第 4 章 红外辐射在纺织材料干燥方面的应用	78
4.1 红外辐射器的构造原理及进展	80
4.1.1 燃气红外辐射器	80
4.1.2 电力红外辐射器	81
4.2 含水纺织材料在红外辐射中的干燥规律	85
4.2.1 含水纺织材料在红外辐射中干燥的实践	85
4.2.2 含水纺织材料在红外辐射中干燥的规律	86
4.3 含水纺织材料在红外辐射中的温升规律	92
4.3.1 初期回潮率对温升规律的影响	92
4.3.2 辐射强度对织物温升规律的影响	96
4.4 红外辐射在纺织工业中应用举例	97
4.4.1 红外加热技术在纺织工业中应用情况及基本原则	97
4.4.2 远红外辐射在热风打底机上的应用	101
4.4.3 远红外辐射在织物热定型上的应用	105
4.4.4 利用远红外线加热器干燥毛巾纱	109
第 5 章 纺织材料灰度系数的测定及红外测温仪在纺织中的应用	112
5.1 纺织材料辐射系数的测定	112
5.1.1 纺织材料灰度系数测定的实践	113
5.1.2 不同纺织材料灰度系数测定结果	115

5.2 红外测温仪在纺织中的应用	117
5.2.1 红外测温仪在纺织上应用的影响因素	118
5.2.2 红外测温仪在纺织生产中的实际应用	124
第6章 远红外辐射保健纺织品	127
6.1 远红外辐射保健纺织品的工作原理及生产方法	128
6.2 远红外辐射保健纺织品的保暖效果及测试方法	133
6.2.1 远红外辐射保健纺织品的保暖效果	133
6.2.2 远红外辐射保健纺织品的测试方法	135
6.3 远红外辐射保健纺织品的保健作用及临床使用效果	138
6.3.1 远红外辐射保健纺织品的保健机理	138
6.3.2 远红外辐射保健纺织品的临床使用效果	139
第7章 纺织材料红外隐身技术及其最新进展	143
7.1 红外成像及远红外隐身的原理	143
7.1.1 红外成像的原理	143
7.1.2 红外隐身的原理	146
7.2 红外隐身纺织材料的生产方法及研究进展	148
7.2.1 涂层法制作红外隐身纺织品	148
7.2.2 染色及颜料法制作红外隐身纺织品	152
参考文献	153

第 1 章

绪论

1.1 热辐射的基本概念及基本理论

所有物质由于分子和原子振动的结果，都会连续不断地向外发射电磁波。其电磁波的范围可以由波长达数百米的无线电波直至波长小于 10^{-14} m 的宇宙射线。本文引用文献中热辐射的概念，即把仅因介质的温度引起的介质发射的辐射能定义为热辐射。就是说，是介质的温度在控制着热辐射线的发射，只要物体的温度高于绝对零度，其内部微观粒子就处于受激发状态，从而物体总是不断地向外发出辐射能。热辐射是以通过电磁波的形式传递能量为特征的传热方法，图 1-1 给出了各种电磁波的类型及其波长范围。

热辐射主要包括紫外线、可见光及红外线，工程中最感兴趣的是可见光及红外线。可见光的波长范围约为 $0.38\sim 0.76\mu\text{m}$ ；而红外辐射线的波长从可见光的红端之外延伸到 $1000\mu\text{m}$ 左右。有时将红外线区分为近红外线区和远红外线区，也有根据波长大小分为近红外线、中红外线及远红外线三个部分，具体区分因用途不同而有所差异，但没有严格区分界限。20 世纪 70 年

代发展了红外加热技术，因为许多被加热的有机物、无机物和水吸收光谱大致在 $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 的范围，因而往往把 $2.5 \mu\text{m}$ 以上的红外辐射统称为中远红外，而 $0.76 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 的红外辐射被称为近红外。

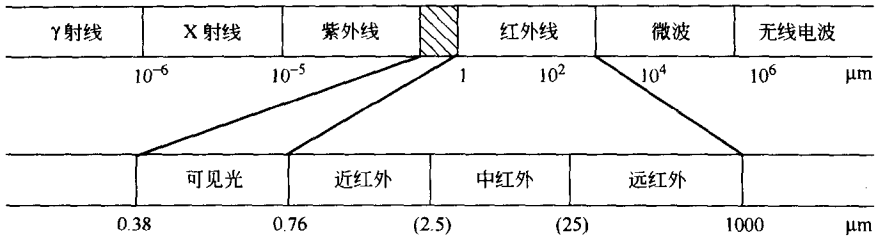


图 1-1 电磁波的类型及其波长范围

辐射能的传播可以用两种理论来解释，即经典的电磁波理论和量子理论。在大多数情况下，这两种理论得出的结论是非常一致的。按照波动理论，电磁辐射在真空中的传播速度和光速一样。

作为电磁波的一种，热辐射同时具有光的性质和波的性质。当物体分子的振动频率与辐射光的频率相同，并且分子振动时的偶极矩发生变化时，可以产生共振，使分子产生能级跃迁而吸收辐射能量。所以，当热辐射的能量投射到物体的表面上时会被吸收，并产生反射和透射现象。吸收率 α_A 、透射率 α_T 、反射率 α_R 分别表明物体吸收、透射以及反射辐射能的能力。由能量守恒定律可知， $\alpha_A + \alpha_T + \alpha_R = 1$ 。由于 α_A 很难直接测定，它通常是通过测定 α_T 和 α_R 并用上面的公式推出来的。当吸收率 $\alpha_A = 1$ 时，所有入射辐射能全部被物体吸收，这种理想的吸收体称之为黑体。所谓“黑体”，就是一个空腔，上面开一小孔，小孔的面积远小于腔壁的面积，所以从小孔内发射出的小量辐射与整个腔壁所发射出的辐射量相比可以忽略不计，不会影响腔内的热平衡。而从外面射入小孔的辐射，总是全部被吸收掉，不再从小孔反射回来。这样的空腔就相当于吸收比等于 1 的物体。当空腔达到某一温度热平衡时，从小孔内射出的电磁辐射就具有稳定的特性，称为黑体辐射。不管空腔壁是用什么材料做成，只要平衡温度相同，黑体辐射总是相同的，辐射功率按波长（或频率）的分布总是相同的。黑体的辐射能力与吸收能力均最大，因此可以用来作为比较实际的物体发射辐射能的标准。自然界中并不存在真黑体，只有少数物质表面，如炭黑、金刚砂、铂黑、金黑等在吸收辐射能的能力上接近于黑体。

1901 年，普朗克（Planck）从量子理论出发揭示了黑体辐射按波长的分布规律。对黑体而言，单色辐射力和温度、波长之间存在如下关系

$$E_{b,\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/(\lambda T)} - 1} \quad (1-1)$$

式中 λ ——波长，m；

T ——黑体的热力学温度，K；

C_1 ——常数，其值为 3.743×10^{-16} ， $W \cdot m^2$ ；

C_2 ——常数，其值为 1.4387×10^{-2} ， $m \cdot K$ 。

图 1-2 是根据普朗克定律给出的不同温度下黑体单色辐射力随波长变化的曲线。从图中可以看出，在一定温度下单色辐射力随着波长的增加先是增加，当增至某一最大值后，又随波长的增加而减小。对不同的温度，对应于最大单色辐射力的波长 λ_m 是不同的，在高辐射温度时，辐射集中在电磁波谱的短波段。但在低辐射温度时，辐射蔓延在整个波谱上。还有很少的辐射分布在可见光附近。 $E_{b,\lambda}$ 曲线下的总积分即是该温度下的总辐射力。

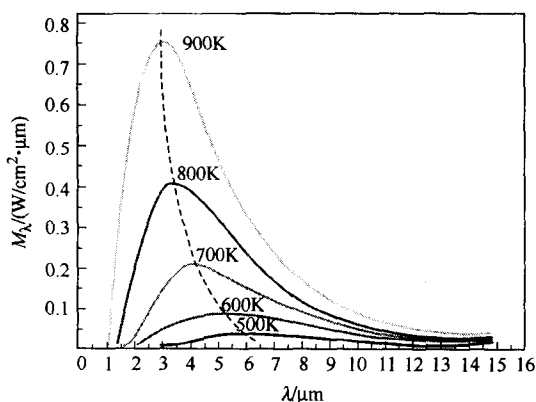


图 1-2 黑体辐射的单色强度随波长的变化

对应于最大单色辐射力的波长 λ_m 与物体的绝对温度 T 存在如下称为维恩位移定律 (Wien's displacement law) 的关系式

$$\lambda_m T = 2.8976 \times 10^{-3} m \cdot K \quad (1-2)$$

早在普朗克定律提出之前，它是维恩于 1891 年通过实验得到的，事实上也可以从式 (1-1) 中推导而得。维恩定律也可作为光谱测温的基础，它被广泛用于非接触式测温领域。

在辐射换热的计算中，确定黑体的总辐射力至关重要。早在普朗克提出量子理论以前，斯特藩于 1879 年通过实验得到著名的斯特藩 (Stefan) -玻尔兹曼 (Boltzman) 定律。之后玻尔兹曼 (Boltzman) 又于 1884 年在分析卡诺循环时证实了这一关系，即

$$E_b = \sigma_0 T^4 \quad (\text{W/m}^2) \quad (1-3)$$

式中, $\sigma_0 = 5.6697 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, 称为黑体辐射系数。

斯特藩-玻尔兹曼定律 (Stefan-Boltzman Law) 是计算辐射换热的基础。

由于实际物体的辐射和吸收比黑体要复杂得多, 其特性取决于许多因素, 如物体组成成分、表面粗糙度、温度、辐射波长、表面入射的辐射光谱分布等。因为它们并不完全遵循上述三大定律, 实际物体的辐射力与同温度下黑体辐射力之比称为实际物体的发射率 (又称为黑度), 实际物体对入射辐射能吸收的百分数称为该物体的吸收率, 而把单色吸收率与波长无关的物体称之为“灰体”。所谓“灰体”, 即发射率为小于 1 的一个常数的物体。灰体同黑体一样也是一种理想化的物体, 对常规物体而言, 其发射率与吸收率均不为常数, 而是波长的函数, 即随物体温度的变化其吸收率及发射率均在不同程度上发生变化。

自然界中并不存在黑体, 对于普遍存在的非黑体辐射, 有必要探讨其规律及其与黑体辐射间的关系。基尔霍夫研究了非黑体辐射, 提出了物体辐射出射度与吸收率之间的关系, 即基尔霍夫定律: 物体的辐射出射度和吸收率之比值是一个与物体性质无关的常数, 其值等于同温度下绝对黑体的辐射出射度。如式 (1-4) 所示。

$$\frac{M}{\alpha} = M_B \quad (1-4)$$

式中 M ——物体在温度 T 时的辐射出射度;

α ——物体的吸收率;

M_B ——绝对黑体在温度 T 时的辐射出射度。

另外, 常用比辐射率 (发射率) 来衡量物体辐射性能的好坏。比辐射率即物体在某一温度 T 时的辐射后出射度与同温度下黑体的辐射出射度之比, 称为比辐射率或发射率。用 ϵ 表示, 即

$$\epsilon = \frac{M}{M_B} \quad (1-5)$$

由式 (1-4) 和式 (1-5) 可以得出

$$\epsilon = \alpha \quad (1-6)$$

该式是基尔霍夫定律的另一种表示方法, 即在热平衡 (给定温度 T) 的条件下, 任意物体对黑体辐射的吸收率恒等于同温度下该物体的发射率。发射率越大的物体吸收率也越大, 即好的辐射体必然是好的吸收体。这样, 只要知道物体在某温度下的发射率, 就可以用发射率修正的方法研究该物体的辐射。对于灰体, 由于其单色吸收率不随波长变化, 所以灰体的吸收率等于

其发射率并与投射源的温度无关。

同一温度下黑体、灰体和选择性辐射体的发射率及光谱辐射出射度与波长的关系如图 1-3 和图 1-4 所示。

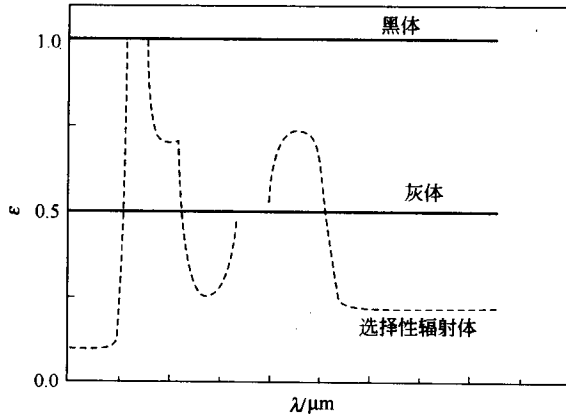


图 1-3 三类辐射体的 ϵ - λ 关系比较

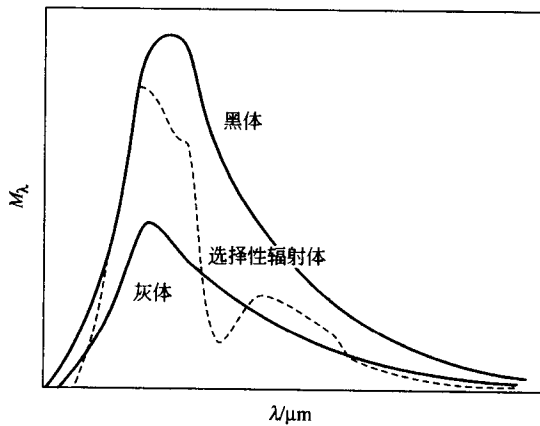


图 1-4 三类辐射体的 M_λ - λ 关系比较

1.2 红外技术在纺织应用中的发展与现状

红外辐射以电磁波的形式将能量传递出去，具有速热性、干净卫生、节能、省时且占地面积小，除了用于节省能源的烘干领域外，最近也应用在常

温领域，如用于增加人体血液循环以及食品保鲜等方面。红外辐射的应用依其性能而言，大致可以分为高温领域的加热应用以及常温领域的应用，同时在材料的测试表征方面也有大量应用。

1.2.1 高温加热领域的应用

红外线放射体经瓦斯或加热器加热后，将能量转换为特有的中远红外线波长带加以辐射，这些中远红外线放射体的主要材料为二氧化锆 (ZrO_2)、二氧化硅 (SiO_2)、三氧化二铝 (Al_2O_3)、二氧化钛 (TiO_2) 等氧化金属的陶瓷材料；另外还有碳化锆 (ZrC)、碳化硅 (SiC) 等非氧化金属的精密陶瓷，应用于烘干机的加热、暖气机的加热、农畜食品加热等方面。

强红外辐射在纺织加工中应用较早，并已有相当数量的文献报道了红外辐射在染整加工中的应用情况。它主要被用于湿织物的烘干以及最终产品的热定型，也有应用于浆纱工序中的烘干。从使用的情况看，红外在烘干中的应用较为成功，但由于其速热性以及穿透材料的深度有限，因此对于厚重材料易使材料加热不匀而导致温度分布差异较大，特别是当辐射源的辐射强度均匀性较差时，更容易造成被加热体的变色或烤焦。但只要工艺参数合理，仅满足烘干这一目的仍较易实现。而在热定型的应用中存在的问题较多，因为热定型对纺织品表面及内部温度场分布的均匀性要求较高，对定型不同阶段的温度及定型时间也有严格要求。对一些轻薄的浅色纺织品而言，甚至微弱的辐射强度差异也可能导致织物中温度的较大差异，从而引起纺织品表面的色差以及其他力学性能（如织物拉伸强度、拉伸模量及弯曲模量等）的变化，并影响最终产品的使用性能。在热定型工艺参数方面有资料作过报道。红外热定型机一般是将原有的 M751 型定型机进行改造而成，而常州市东风印染厂研制的 HT-180 型定型机则全部采用电热红外辐射加热的热定型机，烘房内部使用 $2200\text{mm} \times 520\text{mm}$ 间距为 520mm 的直热式红外辐射板共 9 块。每块辐射板的功率为 15kW ，辐射板与织物的距离为 140mm 。在辐射下方装有小波纹反射铝板，对下面的织物进行加热。在织物下面 120mm 处的反射强度是利用辐射反射加热织物的。箱体内的温度控制是由三支铂电阻通过可控硅调功器，分别控制三个区域电阻带的表面温度，织物表面温度用红外测温仪显示数据，并以此为依据分别调整铂电阻选定的温度和热定型的车速，以达到工艺规定的温度要求。如 3503 厂等，在织物含水湿态烘干时，红外辐射器距织物 8cm ，不同厂家的使用方法略有差异。文献对其他国家如德国、美国、前苏联等使用红外辐射热定型的情况也做了较为详细的报道。从总的应用情况看，主要存在两个方面的问题：一是如前文所述的那样，由

于热定型要求织物的温度较高（一般在 $160\sim 200^{\circ}\text{C}$ ），因此要求较高的辐射强度，而在辐射强度较高时，即使微弱的辐射强度差异也易于导致织物表面温度的分布不均匀，易于引起织物的色差及服用性能下降；另一个问题则是织物表面的温度难于快速准确地测量，一般热敏电阻的测温计响应较慢，而辐射强度过高时织物的温度变化较快，并且织物通道的运动给测温也带来一定困难。有人尝试用红外测温仪测温的方法，该法的最大优点为非接触式且响应快，其应用原理即如前文所述的维恩定律，但由于受到试样灰度系数及测温环境的影响，所测结果的精度及可信度难以保证，研究结果也阐述了该方法这方面的特点。

1.2.2 常温领域的应用

近年来的研究表明红外辐射对人体具有相当作用的理疗功能，在红外辐射源照射下动脉微毛细血管与静脉微毛细血管的吻合处松弛膨胀，加快动静脉吻合处的微循环，增加新鲜血液的氧气和养料、白细胞的补充，增加废料、积液的排泄运输。能促进局部渗出物的吸收，有消肿和消炎的作用；能减弱肌肉的张力，并有相当程度的镇痛作用。图 1-5 表明了人体对红外线吸收光谱有两个吸收峰，即 $2.5\sim 4\mu\text{m}$ 和 $5.6\sim 10\mu\text{m}$ ，红外辐射的理疗功能被研究得越来越广泛和深入，以周林频谱仪为典型代表的红外理疗仪也不断问世。

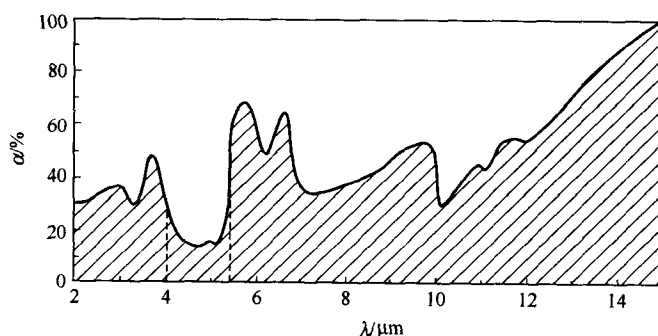


图 1-5 人体的红外吸收光谱

因为纺织品与人体接触最为密切，因此近年来各种保健纺织品的开发日趋火热。自 1991 年起有大量文献报道了红外保健纺织品的功能特性及进展情况。自 20 世纪 80 年代开始，国外特别是日本对远红外纺织品进行了大量研究与开发，生产这些产品的主要公司有尤尼吉可、东丽、旭化

成、钟纺、帝人公司等，其都有自己的生产专利。在国内，远红外陶瓷粉及应用的研究开始于1991年，迄今已有多个厂家生产这类产品。目前对这类产品的保健功效报道相对较少，而大多数资料主要报道其积极保暖的功效。

保温布料有防止人体热量散逸的消极保温布料和从外部吸收热量的积极保温布料。消极的保温布料又可分为利用纤维或织物内部的静止空气（如喷胶棉等）实行隔热保温的布料，以及用铝涂层进行反射保温的红外反射布料（如太空棉等）。目前研制开发的积极保温布料有利用电池和面状发热体转换为热能电热布料、利用铁粉等材料被空气中的氧气氧化而发热的化学反应发热布料，以及利用物质发生相变释放出热量的积极保温布料等，但这些方法与利用太阳的辐射红外能的积极保温布料相比存在耗费多且耐用性较差等问题。据伊原等介绍，ZrC等周期表IV族过渡金属的碳化物具有如下特性：当被光照射时能将0.6eV以下的高能（波长约在 $2\mu\text{m}$ 以下）光线吸收并转换成热量，能值低于0.6eV（波长约在 $2\mu\text{m}$ 以上）的光则被反射而不吸收。而太阳的辐射光谱在 $0.5\mu\text{m}$ 附近具有峰值，波长在 $0.3\sim 2\mu\text{m}$ 范围的太阳光占总能量的95%以上。冬季在户外活动时，如服装吸收太阳光中的红外辐射（占总能量45%左右）则可达到积极保温的功效，正是在这种设想的指导下，尤尼吉可公司首先通过在纤维内部混入ZrC，成功地开发了可吸收太阳辐射中的可见光与近红外线的积极保温布料，这种布料被称为阳光蓄热保温布料，该公司正在为这类纤维开拓以现代衣料为主的多种用途，除用于制作冬季运动服、女裤、男上衣及工作服外，还推广用于游泳衣等新式布料。有些文章在报道它的积极保温功能的同时，还阐述了它的杀菌防臭、增进人体血液循环等功能。

开发红外积极保温布料的关键在于选用合理的远红外陶瓷粉，远红外陶瓷粉即具有远红外辐射特性的微粉，国内也称之为红外陶瓷粉。常见的远红外辐射性物质见表1-1。

表 1-1 常见的具有远红外辐射特性的物质

名 称	红外辐射性物质	名 称	红外辐射性物质
氧化物	Al_2O_3 、 ZrO_2 、 MgO 、 TiO_2 等	硅化物	TiSi_2 、 MoSi_2 、 WSi_2 等
碳化物	ZrC、SiC、 B_4C 、TaC 等	氮化物	Si_3N_4 、TiN 等
硼化物	TiB_2 、 ZrB_2 、 CrB_2 等		

在表1-1中的物质中，使用得最多的是氧化物和碳化物，有时也使用氮化物。通常其颗粒直径在几个微米的范围内，而含量在4%~15%内变化不等。通常制作红外布料的方法有织物后处理方法及纺丝成布法等。