

徐卫林 编著

红外技术

与纺织材料

HONGWAI JISHU
YU FANGZHI CAILIAO

第二版



化学工业出版社

徐卫林 编著

红外技术

与纺织材料

HONGWAI JISHU
· YU FANGZHI CAILIAO

第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

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的应用已经成为人们关注的热点之一。

本书是作者在多年研究红外线技术与纺织材料成果的基础上撰写而成的，最突出的特色是对红外辐射在纺织材料中的投射、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的指导作用。

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。

图书在版编目 (CIP) 数据

红外技术与纺织材料/徐卫林编著. —2版. —北京: 化学工业出版社, 2011. 3
ISBN 978-7-122-10590-5

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 (2011) 第 027154 号

责任编辑: 朱 彤
责任校对: 陈 静

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 174 千字 2011 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

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。

本书是在第一版的基础上修订的，主要内容是在作者多年研究成果的基础上撰写而成的，其中第1章~第5章的内容基本上是多年研究成果的提炼，而第6章的内容主要以综合其他研究人员的研究成果为主，书中又增加了近几年的一些研究成果，如增加了与红外有关并且在纺织品中比较重要的紫外透射性能，以及用红外进行纺织品染色的研究内容，并且对某些内容进行了精简和再确认。

红外辐射与纺织材料大概有三个方面的关联：一是因为红外无处不在，它与纺织品制成服装的热湿舒适性密切相关，需要研究红外对纺织材料的透射、反射和吸收性能，这在本书中进行了量化分析和测量，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；红外辐射与纺织相关联的第二个方面是红外可以大量用于纺织材料的加热、干燥、染色及后整理中，具有清洁卫生和节能降耗等特点，这在本书中也进行了研究和总结；三是近年来开发红外蓄热纺织品方兴未艾，生产企业需要了解相关的生产方法以及测试方法，本书在这些方面也进行了总结。因此，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。

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与鼓励。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，在此表示由衷的感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者
2011年2月

第一版前言

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

目录

第1章 绪论

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	7
1.2.2 常温领域的应用	8
1.2.3 红外技术在测试中的应用	11
1.3 红外技术在纺织领域中应用存在的问题	14
1.3.1 红外技术的应用缺乏有关基础性研究的指导	14
1.3.2 织物吸收红外温升的测试方法中存在的问题	15
1.3.3 红外积极保温布料的保温机理尚需科学验证	16
1.3.4 红外辐射在干燥及热定形方面缺乏基础性研究的指导	17

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

2.1 红外辐射在纺织材料中的透射	18
2.1.1 红外辐射在纺织材料中的透射理论	18
2.1.2 红外辐射在纺织材料中透射的实践	27
2.2 红外辐射在纺织材料中的反射	41
2.2.1 红外辐射在纺织材料中的反射理论	41
2.2.2 红外辐射在纺织材料中的反射实践	45
2.3 纺织材料在红外辐射中的吸收升温	55
2.3.1 红外辐射在纺织材料中的吸收升温理论	55

2.3.2	纺织材料在红外辐射中吸收温升的实践	60
2.4	纺织材料对红外辐射透射、反射、吸收的比较分析	66

第3章 影响纺织材料对红外吸收、反射及透射的一些因素

3.1	纺织材料回潮率对红外辐射作用的影响	68
3.1.1	回潮率对织物中红外透射的影响	69
3.1.2	回潮率对红外在织物表面反射的影响	73
3.1.3	回潮率对织物吸收红外温升的影响	76
3.2	材料种类及颜色的影响	80
3.2.1	织物颜色对红外透射及吸收温升的影响	80
3.2.2	织物材料品种对红外透射及吸收温升的影响	83
3.3	其他因素对纺织材料吸收红外辐射等作用的影响	89
3.3.1	纺织品的透气性与透红外性能的比较	89
3.3.2	真空度对纺织材料辐射性能的影响	94
3.3.3	机织物结构对紫外线透射的影响	98

第4章 红外辐射在纺织材料干燥方面的应用

4.1	红外辐射器的构造原理及进展	110
4.1.1	燃气红外辐射器	111
4.1.2	电力红外辐射器	112
4.2	含水纺织材料在红外辐射中的干燥规律	116
4.2.1	含水纺织材料在红外辐射中的干燥实践	116
4.2.2	含水纺织材料在红外辐射中的干燥规律	117
4.3	含水纺织材料在红外辐射中的温升规律	125
4.3.1	初期回潮率对温升规律的影响	125
4.3.2	辐射强度对织物温升规律的影响	129
4.4	红外辐射在纺织工业中的应用举例	131
4.4.1	红外加热技术在纺织工业中的应用情况及基本原则	131
4.4.2	红外辐射技术在棉织物染色方面的应用	136
4.4.3	远红外辐射纺织品后整理上应用	150
4.4.4	远红外在织物热定形上的应用	154
4.4.5	利用远红外加热器干燥毛巾纱	157

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

5.1 纺织材料辐射系数的测定	160
5.1.1 纺织材料灰度系数测定的实践	162
5.1.2 不同纺织材料灰度系数测定结果	164
5.2 红外测温仪在纺织中的应用	167
5.2.1 红外测温仪在纺织上应用的影响因素	167
5.2.2 红外测温仪在纺织生产中的实际应用	175

第6章 远红外保健纺织品

6.1 远红外保健纺织品的工作原理及生产方法	179
6.1.1 远红外保健纺织品的理论基础	179
6.1.2 远红外保健纺织品的加工方法	181
6.2 远红外保健纺织品的保暖效果及测试方法	186
6.2.1 远红外保健纺织品的保暖效果	186
6.2.2 远红外保健纺织品的测试方法	188
6.3 远红外保健纺织品的保健作用及临床使用效果	192
6.3.1 远红外保健纺织品的保健机理	192
6.3.2 远红外保健纺织品的临床使用效果	194

参考文献

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。本书引用文献 [1] 中热辐射的概念，即把仅因介质的温度而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^[2]。

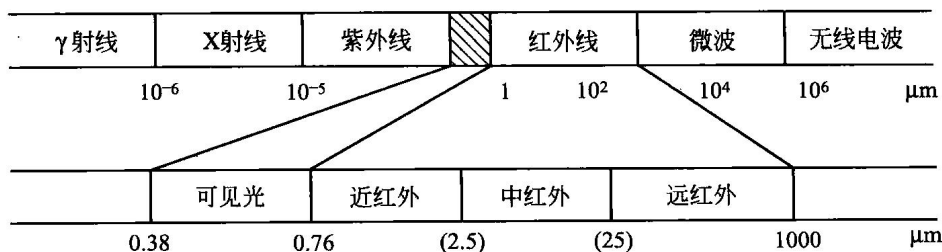


图 1-1 电磁波的类型及其对应的波长

热辐射主要包括紫外线、可见光及红外线，工程中人们最感兴趣的是可见光及红外线^[1]。可见光的波长范围从 $0.38\sim 0.76\mu\text{m}$ ；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，也有根据波长长短分为近红外线、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^[3]。

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，电磁波遵循说明横波的诸定律，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 分别表明了物体吸收、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为黑体。所谓“黑体”，就是一个空腔，上面开一个小孔，小孔的面积远小于腔壁的面积，所以从小孔内发射出的少量辐射，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的，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^[4]。

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 ——黑体的绝对温度，K；

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

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

如图 1-2 所示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^[5]。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，当增到某一最大值后，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。

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。

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

它是早在普朗克定律提出之前维恩于 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，它被广泛地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

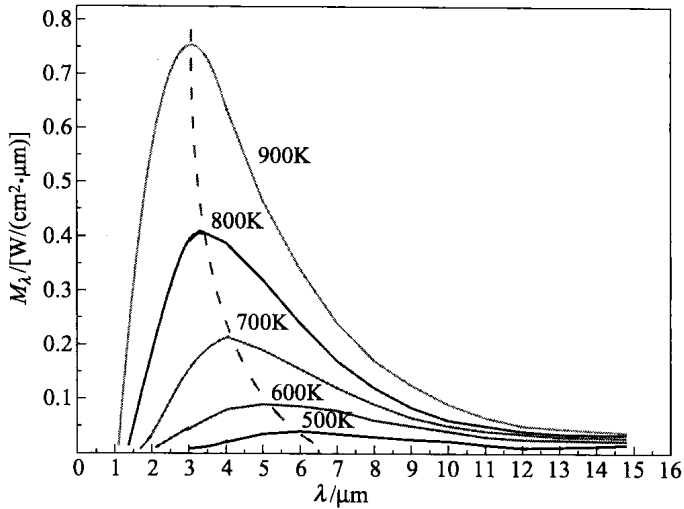


图 1-2 黑体辐射的单色强度随波长的变化

(Stefan)-玻尔兹曼 (Boltzman) 定律。而后玻尔兹曼 (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的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，如下式所示。

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

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 时辐射后的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：

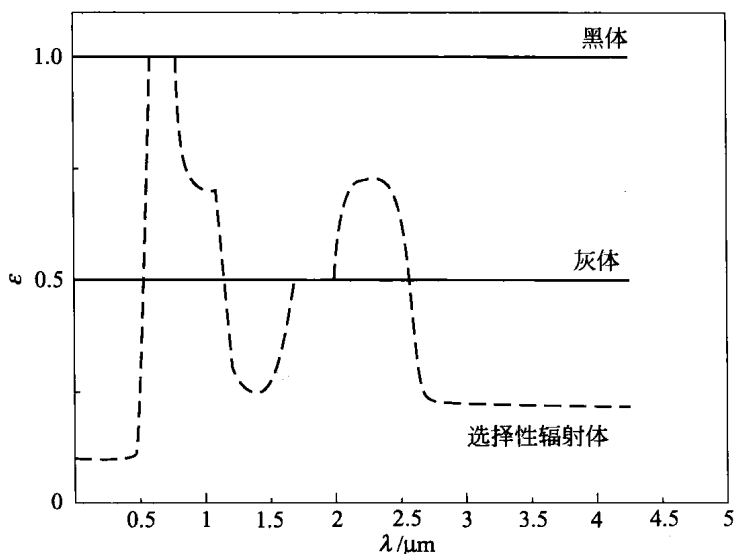
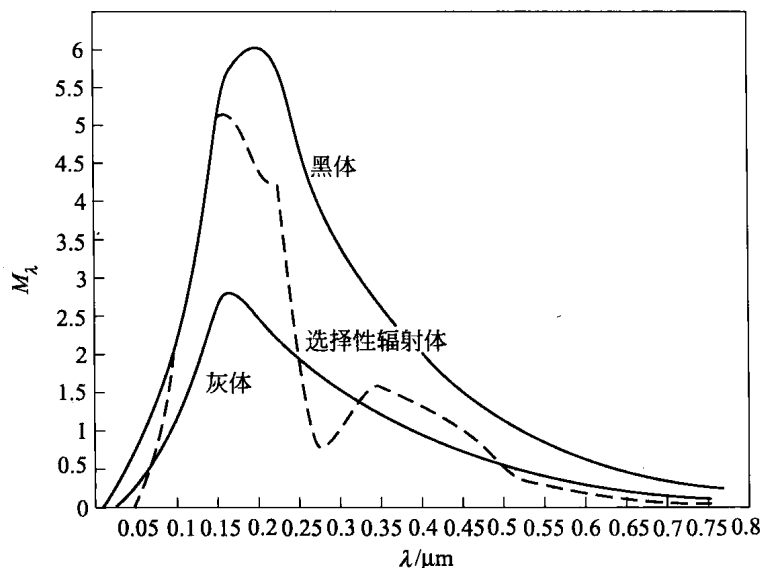
$$\epsilon = \alpha \quad (1-6)$$

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^[4]。

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。

1.2 红外技术在纺织应用中的发展与现状

红外线以电磁波的形式将能量传递出去，具有速热性、干净卫生、

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

节能省时等特点，且占地面积小，除了用于节省能源的烘焙领域外，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的应用。

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^[2]。

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^[6~13]。它主要被用于湿织物的烘干以及最终产品的热定形,也有应用于浆纱工序中的烘干^[10]。从使用的情况看,红外辐射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。而在热定形的应用中存在的问题较多,因为热定形对纺织品表面及内部温度场分布的均匀性要求较高,对定形不同阶段的温度及定形时间也有严格要求。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,并影响最终产品的服用性能。在热定形工艺参数方面有资料^[12]作过报道。红外热定形机一般是将原有的M751型定形机进行改造而成,而常州市东风印染厂研制的HT-180型定形机,则全部采用电热红外辐射加热的热定形机,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