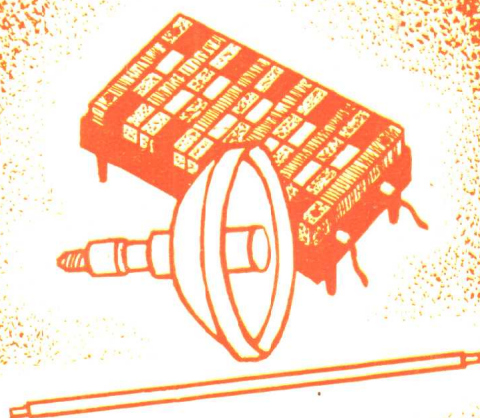




现代科学技术丛书



YUAN HONG WAI JIA RE JI SHU

远红外加热技术

河北人民出版社

现代科学技术丛书

远红外加热技术

徐怀平 编

河北人民出版社

一九七九年·石家庄

现代科学技术丛书
远 红 外 加 热 技 术
徐怀平编

·
河北人民出版社出版
河北新华印刷一厂印刷
河北省新华书店发行
·

1979年2月第1版
1979年2月第1次印刷
印数 1—25,000
统一书号 15086·139 定价 0.60元

前 言

远红外加热技术是本世纪七十年代发展起来的一项新技术。它是利用远红外辐射器发出的射线辐照被加热物体，当远红外线与被加热物体基本质点的固有运动频率相匹配时，则会很好地吸收辐射能并产生激烈的共振，使物体达到快速、均匀加热的目的。这项新技术具有消耗能源少，生产效率高，加热质量好，设备占地小，投资少而见效快，便于实现自动化生产等特点。近几年来国内外已广泛应用于机械、化工、轻工、电子、纺织工业、粮食、食品、医药等部门的各种物料加热、干燥、成型和硬化的处理过程，获得了非常显著的效果。国家有关部门已将远红外加热技术定为全国重点推广项目之一。

本书着重对远红外加热的原理，元件的性能及制作，炉体设计，应用范围及效果等作了介绍，可供从事应用远红外加热技术的工人和技术人员阅读，也可供教学及科研人员参考。

在编写过程中得到河北省经委和我院有关领导的关怀与支持。初稿写出后，请石家庄市衡器厂张鸿儒同志及我院副总工程师马玉昆同志进行了审查修改。在此表示感谢！

由于水平所限，缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

作 者

一九七八年七月

于河北省机械设计院

序 言

红外科学技术的起点是红外线的发现。红外线是英国著名天文学家威廉·海谢尔 (Herschel) 在 1800 年发现的。他利用棱镜研究太阳光谱时, 发现在太阳光的成分中还有一种不可见的辐射存在, 根据它在光谱中的位置称之为红外线。

最初人们通过实验所发现的红外线, 其波长下限位于光谱上红光外缘, 即靠近 0.76 微米处, 上限当时尚不清楚。许多科学家相继进行了大量的科学研究, 各种波长的红外线陆续被发现, 经过一百余年的努力, 人们终于把无线电波区域和红外区域联接了起来, 但很难指出两个区域的界限, 也就是这两个区域的起始部分与终止部分是相互重叠的。还应看到赫芝波区域和红外区域的统一是不完备的, 因为无法得到一种辐射体, 能在整个红外区连续的辐射电磁波。因而实际上只能得到一些个别的、间断的、一个接一个的波列。并且在很大一段区域中, 不能获得较大功率的红外线, 这就给利用其功率的加热技术带来一定的困难。

早期对红外线的研究一直依附于其它学科, 直到本世纪五十年代, 在光学、半导体物理学、电子学、精密仪器、低温技术等现代科学技术迅速发展的基础上, 性能优良的红外探测器、红外光学材料、红外光学系统得以实现, 红外科学技术才逐步形成为一门独立的学科, 并开始进入全面推广应用的阶段。尤其是六十年代以来, 激光器的出现和空间技术的进展, 为红外科学技术的进一步发展开辟了更加广阔的前景。

红外科学技术是以红外辐射为特定的对象, 研究其产生、

传输、探测以及与物质相互作用的规律，并在此基础上探索红外辐射作为能量和信息传递的手段在军事、工农业生产和科学研究中的应用。

红外科学技术包括有红外光谱学、红外辐射度学、红外天文学等多种学科和红外分析、红外探测、红外遥感等多类技术分支。

近年来，红外科学技术有了迅速的发展，应用范围已扩展到国民经济各个领域。红外技术在军事应用上有着明显的优点：昼夜可用，保密性强、能发现伪装目标，分辨率高，抗干扰本领强并能提供动态情报。其在军事上的应用计有：夜视成象、照相、制导、搜索和跟踪、通讯等。六十年代发展起来的遥感、遥测也首先用于军事上，其重要性不亚于空间技术。

红外技术在工农业生产上可应用于非接触测温、探火、物质结构分析、污染监测、无损探伤、气象观测、资源勘探、农情监测，以及医疗卫生等方面。

加热工艺是工农业生产各个部门不可缺少的重要环节之一，因此能源消耗量颇大。有人估计，仅加热干燥物料一项，消耗的能量就占工业化国家燃料耗用量的10~15%。因此，采用新技术，建造加热效率高、能源耗费少的加热设备，对四个现代化的早日实现具有十分重要的意义。

1935年美国福特汽车公司的格罗维尼(Groveny)首先取得将红外线用于加热和干燥的专利权，使用红外灯泡对汽车的油漆涂层进行表面干燥。该灯泡的最大辐射波长在1微米左右。晚期出现的氧化镁管和碳化硅板辐射器，其最大辐射波长也在6微米以下，这些短波长红外线用于加热取得一定效果。由于红外基础理论和加热机理研究的深入，人们发现许多物质，尤其是有机高分子物质能更好地吸收长波长的红外线（远红外

线)。经过努力,终于研制出了不少远红外辐射源,其最大波长可达数十微米至上百微米,使红外加热技术向前大大跨进一步。

日本从1964年开始研制远红外辐射元件,1968年宣布成功,1971年10月在涂装技术杂志上公开发表了有关论文,引起各方面的重视。从此红外加热技术进入了远红外的新领域。目前日本的远红外加热技术,在世界上居于领先地位,他生产的辐射元件种类很多,质量较好,产品不仅供应本国还向西欧和美国输出。辐射器按外形分,主要有灯式、管式和板式三类,制造元件的常用材料和工艺为:金属基体加涂金属氧化物的、镍铬电阻丝石英元件的和镍铬丝埋入式的陶瓷元件。适用性最强的是有金属氧化物陶瓷质涂层的管式辐射器,其辐射率高达0.98,有很高的机械强度、冷热循环性、稳定性和很长的使用寿命,工作温度从 40°C ~ 1150°C ,元件的有效辐射波长达50~100微米。除了电热元件外,还研制了用煤气、蒸汽等其它能源加热的远红外辐射器。

远红外加热技术,由于温度的精确控制得以解决及温度范围的扩大,应用范围也日益扩大。它的发展趋向是:基础理论的研究更趋深入;辐射元件的制造逐步系列化和标准化,并向更长波段扩展;继续探索新的辐射材料和制造工艺;注意合理使用这一技术,向应用的深度迈进。

红外加热技术,在我国是从1958年大跃进年代应用和发展起来的,当时使用红外灯泡。1966年开始推广使用氧化镁管和碳化硅板辐射源。1974年引进远红外加热技术后,各有关单位进行了大量的研制、试验和推广工作,取得了显著的成效。1978年7月第一次全国远红外加热技术应用经验交流会后,国家有关部门还组织了产品的定点、标准化、系列化生产。这对我国在远红外加热技术上赶超世界先进水平起了很大的促进作用。

目 录

序 言

第一章 远红外辐射基础及产生原理 (1)

第一节 红外线的基本知识..... (1)

一、红外线的电磁本性 (1)

二、红外线在大气中的传播 (5)

第二节 原子结构..... (6)

第三节 量子理论和分子的内部能级..... (8)

一、量子理论 (8)

二、分子的内部能级 (14)

第四节 红外线的有关计量单位..... (15)

第五节 远红外辐射的产生原理..... (19)

一、量子化转子和远红外辐射..... (19)

二、量子化振子和红外辐射 (23)

第二章 远红外加热技术的理论基础 (29)

第一节 物体的加热方式及一般规律..... (29)

第二节 远红外线的吸收原理..... (34)

第三节 一些物质在红外区的吸收特性..... (40)

第四节 红外辐射能的传播..... (49)

一、红外辐射能的反射、吸收和透射 (49)

二、红外辐射能的发射和吸收..... (51)

第五节 远红外线的反射特性和反射器..... (53)

一、远红外线的反射特性	(53)
二、远红外反射器	(55)
第六节 热辐射的基本定律	(60)
一、热辐射	(60)
二、辐射能的传播	(71)
第三章 远红外辐射能发生器	(80)
第一节 辐射器的构造及分类	(80)
第二节 电热式远红外辐射器	(81)
一、电热元件的材料	(82)
二、电阻线	(84)
三、旁热式电热远红外辐射器	(89)
四、直热式电热远红外辐射器	(98)
五、灯、管、板式远红外辐射器的性能	(100)
第三节 煤气及其它热源的远红外辐射器	(102)
第四章 远红外辐射涂层材料、配制 及涂复工艺	(107)
第一节 辐射涂层的辐射系数	(107)
第二节 辐射涂料及配方	(113)
第三节 涂料的制备和基体的涂前处理	(125)
一、涂料的制备	(125)
二、基体的涂前处理	(126)
第四节 辐射层的涂复工艺	(128)
一、涂复工艺	(128)
二、远红外辐射层的厚度	(130)
三、各种涂复工艺的性能	(131)
四、一种高效的方格涂布工艺	(132)

第五章 远红外加热炉的设计及其它 (134)

第一节 远红外加热炉的设计 (134)

一、加热炉设计所需要的原始资料 (135)

二、热源、加热方式及炉型的选择 (136)

三、加热炉长度的确定 (137)

四、加热炉的形状及外形尺寸 (138)

五、加热炉电功率的确定 (139)

六、加热炉的密封与保温 (140)

七、加热炉内的上下温差 (142)

八、加热炉通风系统的计算 (143)

九、加热炉温度的控制 (148)

十、远红外辐射器的选定和工艺布置 (157)

十一、远红外加热炉设计示例 (165)

第二节 移动式远红外辐射器的设计 (171)

第六章 远红外加热技术的应用 (173)

第一节 应用范围 (173)

第二节 应用效果及实例 (176)

一、油漆涂饰工业 (177)

二、高温远红外加热器用于热处理 (178)

三、塑料制品的弯曲加工 (182)

四、纺织、印染业 (183)

五、粮食业 (184)

六、医疗卫生业 (187)

七、食品工业 (188)

第七章 远红外加热技术的有关测定 (189)

第一节 远红外辐射体的辐射特性 (189)

第二节 物质的红外吸收率和红外分光光度计·····(191)

一、物质的红外吸收率 ·····(191)

二、红外分光光度计 ·····(192)

三、红外分光光度计的组成·····(195)

第三节 实用的测定和实验装置·····(202)

附录:

1. 国内远红外辐射涂料及元器件生产厂介绍 ·····(206)

2. 电弧等离子体射流喷涂工艺 ·····(207)

3. 加热炉的热量计算·····(212)

4. 远红外加热技术应用 50 例·····(217)

第一章 远红外辐射基础及产生原理

第一节 红外线的基本知识

一、红外线的电磁本性

红外线是人类在对可见光的不断深入研究过程中发现的。对于光辐射的研究，从历史发展上看，可以分成经典光学和近代光学两个部分。经典光学是指原始的较狭义的光学，它是按人的感觉，确切地说是视觉所划分的物理分支，只限于研究可见光的本性及其传播规律，经典光学所研究的几何光学及各种物理光学现象等，都可以用麦克斯韦 (MaxWell) 所提出的电磁理论来解释，所以电磁理论不仅是经典光学达到顶峰的标志，也是近代光学开始的标志。近代光学把研究的重点放在辐射和物质之间的相互作用上，其原因是麦克斯韦电磁理论的结果。根据电磁理论可以解释光的本性和传播规律。因此，我们对物质结构的研究深度只有达到可以揭示电磁本性的程度，才可全然了解辐射和吸收的过程。近代光学是一个包括与电子、离子、原子以及它们的结构键合有关的全新研究领域。在此，引出近代光学的结论之一：可见光和红外线只是电磁波无限连续波谱的一部分。

电磁理论和实验都告诉我们：电磁波谱是由波长不同而本质相同的 γ 射线、 x (或伦琴) 射线、紫外线、可见光、红外

线、微波及无线电波所组成，它们构成了波长由 1×10^{-11} 厘米到 3×10^{10} 厘米的电磁波谱，如图 1-1。按波长计算包括 20

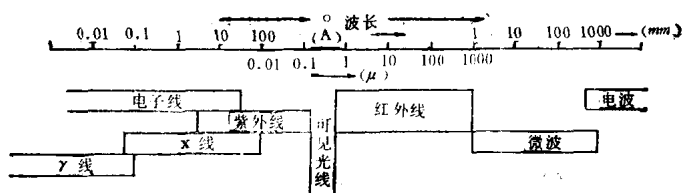


图 1-1 电磁波谱图

余个数量级。按照习惯可分成有部分相互重叠的上述若干波段。各个波段间没有物理现象的明显突变。表 1-1 列出了电磁波的波长范围。

由图 1-1 可看出电磁波包括的波尺范围是很宽的。以上的各种波，可用各式各样的振动器辐射，并可用各式各样的方法记录，它们有同一的电磁本性，都作为横向电磁波在空间传播，它们在真空中的传播速度相同，亦即不同波的频率和波长的乘积都等于光在真空中的传播速度。即： $C = \lambda \cdot \nu$

式中， C 是光在真空中的传播速度，约为 3×10^{10} 厘米/秒， λ 是波长， ν 是频率。低频率的电磁辐射可由电子管配合电感、电容来产生，高频率的电磁辐射只有借助于天然的振子。分子的转动和振动以及固体晶格之间的相对运动会产生红外区的辐射。不同波长的电磁波也存在着物理性能的差异，如大部分电磁波不能引起人的视觉，而有一段却可以，即便对同一种物质而言，有的具有较大的穿透本领，而有的则没有穿透本领。

这里应着重提及电磁波的一个基本性质是：它的波动、粒子二象性。一方面由电磁波的反射、折射、干涉以及穿透某些物质的现象，表现了它的波动性，可以说电磁波是具有一定波

表 1-1 电磁波的波长尺度分类表

波 段	波 长	
	常 用 单 位	cm
低 频 振 动	20000m 以上	2×10^6 以上
无线电波	长 波	20000~2000m
	中 波	2000~200m
	短 波	200~10m
	超短波	10~0.1m
	微波	0.1m以下
红 外 线	长 波	1000~25 μ
	中 波	25~2.5 μ
	短 波	2.5~0.76 μ
可见光	红	7600~6200 $\text{\AA}$
	橙	6200~5900 $\text{\AA}$
	黄	5900~5600 $\text{\AA}$
	绿	5600~5000 $\text{\AA}$
	青	5000~4800 $\text{\AA}$
	蓝	4800~4500 $\text{\AA}$
	紫	4500~3800 $\text{\AA}$
紫 外 线	3800~50 $\text{\AA}$	$0.38 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-7}$
x 射 线	50~0.04 $\text{\AA}$	$5 \times 10^{-7} \sim 4 \times 10^{-10}$
r 射 线	40 x 以下	4×10^{-10} 以下

长，以波的形式进行传播的一种合谐振摆运动。一方面由产生机理及光电效应，表现了它是能量微粒——一种由光量子（或称光子）组成的辐射能。光量子具有一定的能量，随着波长变短，光量子的动（能）量反而增大。高频率的电磁波除具有波

动性外，还显示了强烈的粒子性，低频率电磁波光量子的能量很小，小到难以发现这些波是不连续的，换言之，就是低频率的电磁波较多的显示了波的性质，中间频率的电磁波同时显示出波动性和粒子性。对电磁波（辐射）而言，在波动和粒子概念之间存在着互相补充的二象性，对于同一个辐射过程所具有的特征，即可以用时间和空间展开的波的数学形式来描述，也可以用在统计上确定的时间和位置出现的粒子来描述。在研究某些辐射时，把这二者结合起来的形象显得不够调和，原因在于我们盲目地指望用宏观的模拟来解释微观的事件。为此，我们只能同时接受这两种模型——电磁波的物质波说和粒子说。虽然有时这两种说法可以同样的适用，但在不同情况下，则强调某一说法可能更为适宜。对于低频率的电磁波最好用波动图象来描述，而高频率电磁波最好用粒子图象来描述。在中频段，即在可见光和红外区，两种模型同样有效，使用时都应加以考虑。

习惯称光谱的波长范围，是从大约 10^{-6} 厘米（紫外线下限）到大约 0.1 厘米（远红外线的上限）。可见光谱在电磁波谱中所占的波段极狭窄，大约在 $0.38 \sim 0.76$ 微米之间。已经证实，可见光的边界由人眼的敏感程度及辐射源的功率来决定。例如，当辐射功率增大数十万倍时，人眼在红外波段的视场可达到 $0.85 \sim 0.9$ 微米。

红外线是一种不可见的射线，它在电磁波谱中占据很宽的波段，介于可见光和微波之间，波长范围是 $0.76 \sim 1000$ 微米。有人习惯把红外区又分为二或三部分，分称“近”、“远”或者“近”、“中”、“远”红外线。所谓远、近是指该段红外线在电磁波谱中与可见光谱的距离。这种划分的界限没有统一的规定，几种常见的分类划法见图 1-2。

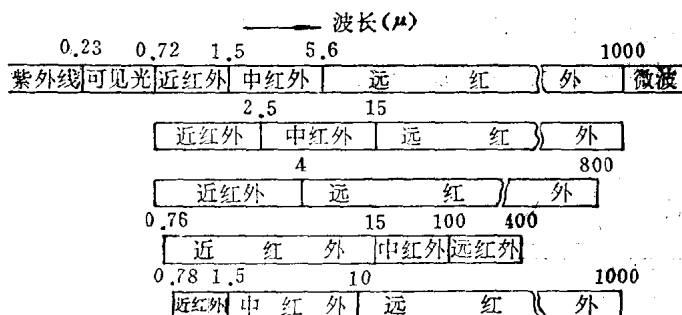


图 1-2 红外线的分类

人们认识较为深入的是波长为 $0.76 \sim 15 \mu$ 的红外波段。上限之所以为 15μ ，决定于大气对红外线的吸收率，大气中永远存在的水蒸气，几乎能把波长超过 15μ 的红外线吸收干净。

二、红外线在大气中的传播

太阳也是一个红外辐射体，但在地面实测的结果，发现在某些区域却不存在红外辐射或强度很弱，并且在不同的海拔高度有不尽相同的红外波谱。人们终于发现是大气的削弱了太阳的辐射，使太阳辐射出来的能量只有 70% 到达地面，其余 30% 损失于途中。

大气是由多种气体和水蒸汽混合而成的介质，其中还有许多悬浮微粒，其大小约在 $5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-3}$ 厘米之间。近地层大气的主要成分是氮和氧，其余各种气体——氢、二氧化碳、氨、氟、氯、氩等所占百分比很小。空气中水蒸汽的含量，随空气温度和大气压力而变化。

红外线在空气中被各种气体分子、水蒸汽及固体微粒吸收和散射。红外线通过大气时，会发生水蒸汽、二氧化碳、臭氧

的选择性吸收。其吸收情况见图 1-3。

水蒸汽对红外线的吸收本领最强，它在较宽的波长范围都具有强烈的选择性吸收带，吸收带呈选择性是指吸收现象主要

表现在一定的波段上，水蒸汽在 3 微米以内，5~7 微米，14~16 微米附近都具有强烈的吸收带，因此它对红外线的透射起着强烈的衰减作用。

二氧化碳在波长 2.6 μ 、4.3 μ 特别在 13~17 μ 处有强烈的吸收带。臭氧的吸收带主要表现在 10 μ 左右。

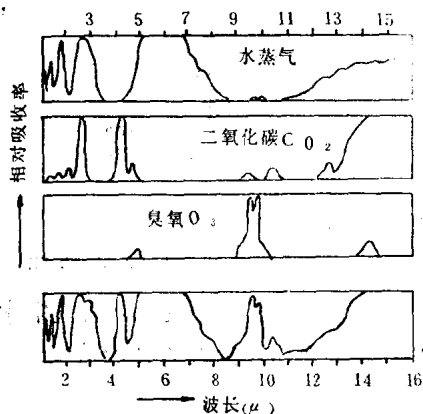


图 1-3 大气中主要成分的红外线吸收

除吸收外还有散射带来的削弱，它是由空气中存在的悬浮粒子引起的。除空气分子本身造成散射外，属于这种粒子的还有较大的离子，具有吸水性的晶体和微粒杂质——尘土和灰烟等。

了解空气对红外线的衰减作用，其意义还在于，应用远红外加热技术时，主要是使辐射体发射出的远红外线在尽可能小的衰减下投射到工件上，如在传播的介质中存在大量的水蒸汽和二氧化碳及灰尘等，则由于它们吸收红外线，将会降低加热效率。

第二节 原子结构

无论是从光学还是热学探讨远红外线的产生机理，都必须