

远 红 外 加 热 技 术 应 用 问 答

王月云 李国政 王继璞

上海科学技术文献出版社

远红外加热技术应用问答

王月云 李国政 王继璞 编

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号)

新华书店经销

昆山亭林印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印数 4.25 字数 102,000

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数: 1—5,000

ISBN 7-80513-176-7/T·54

定价: 1.80元

《科技新书目》170-240

前 言

能源危机席卷整个世界，是人类发展的一大障碍。解决的办法一是开源，二是节流。远红外加热技术是节流的重要方法之一。近些年来，我国大力推广远红外加热技术，已在烤漆、食品、纺织、造纸、塑料、化工、机械、电子、橡胶、医药、制革、畜牧、养殖、种植、家用电器等几十个行业广泛应用，已普及到广大城市、乡村，取得了显著效果。但是，由于此技术普及时间短，在应用中还存在许多实际问题。如：对加热原理、适用范围、加热设备的设计、温度控制、加热器的选择、保养、维修等尚不很熟悉，确实使一些应用者遭到失败，甚至造成经济损失。本书就是针对这一现实，面向广大用户，着重解决应用中的实际问题，浅显易懂，通俗实用。

本书适用于从事加热、干燥的技术人员、操作电工、维修技工阅读，也可作为普及推广的教材。

本书由王月云进行总体规划设计。第一部分由李国政编写，第二、三部分由王月云编写，第四部分由王继璞编写。初稿后由王继璞整理。本书在编写过程中参考了徐怀平的《远红外加热炉》及其他有关资料；成稿后承蒙糜正瑜、夏继余副研究员、余其铮副教授、俞锦陞高级实验师审定，在此一并致谢。由于此技术应用时间较短和作者水平有限，难免有些缺点或错误，敬请广大读者提出批评指正。

作 者

目 录

第一部分

远红外加热的原理与概况

- 一、什么叫红外线(红外辐射)?(1)
- 二、什么叫远红外线(远红外辐射)?(1)
- 三、红外加热技术是如何发展起来的?(3)
- 四、远红外加热技术有什么优点?(4)
- 五、远红外加热技术的应用范围及概况如何?(4)
- 六、什么叫绝对黑体?(7)
- 七、黑体辐射有哪些规律?(8)
- 八、实际物体的热辐射规律是什么?(11)
- 九、物体是如何吸收和发射红外辐射的?(14)
- 十、反射、吸收和穿透现象如何应用于红外加热技术中?(19)
- 十一、什么是匹配吸收? 它在红外加热中是如何应用的?(22)
- 十二、辐射器表面温度对辐射加热有何影响?(23)

第二部分

远红外辐射器

- 十三、辐射器的作用、组成及分类如何(26)

- 十 四、灯式辐射器的结构、规格及使用注意事项是什么? (28)
- 十 五、板式辐射器的结构、规格及特点如何? (31)
- 十 六、带式辐射器的结构及特点如何? (33)
- 十 七、管式辐射器的结构、规格及使用注意事项是什么? (34)
- 十 八、远红外辐射器的发射率与哪些因素有关? (36)
- 十 九、远红外辐射器的基体多用什么材料制成? 各有
什么优缺点? (39)
- 二 十、常用的涂料配方有哪几种? (40)
- 二十一、哪些元素适合于制作远红外涂料? (46)
- 二十二、涂层材料的选择原则是什么? (48)
- 二十三、远红外辐射涂层的涂复工艺如何? (48)
- 二十四、辐射涂层涂复前基体应如何处理? (51)
- 二十五、选择性涂料的特点及选用原则是什么? (52)
- 二十六、非选择性涂料的特点及选用原则是什么? (52)
- 二十七、粘结剂的种类和特性有哪些? (53)

第 三 部 分

远红外加热炉的设计

- 二十八、远红外加热炉设计的重要性如何? (55)
- 二十九、远红外加热炉的种类有哪些? (55)
- 三 十、什么是固定式加热炉? (56)
- 三十一、什么是传送带式加热炉? (57)
- 三十二、什么是链条式加热炉? (59)
- 三十三、什么是料盘式加热炉? (59)

三十四、什么是滚桶式加热炉？	(60)
三十五、什么是悬挂式加热炉？	(61)
三十六、什么是震动式传送机构？	(61)
三十七、什么是牵引式加热炉？	(62)
三十八、远红外加热炉的设计程序是什么？	(62)
三十九、如何确定炉型？	(63)
四十、如何确定固定式加热炉炉膛的尺寸？	(64)
四十一、如何确定通过式加热炉的内膛尺寸？	(66)
四十二、如何用热平衡法计算加热炉的功率？	(67)
四十三、如何用热平衡法计算周期性作业的加热炉功率？	(67)
四十四、各种需热量是怎样计算的？	(68)
四十五、如何用热平衡法计算连续作业的加热炉功率？	(70)
四十六、如何用概略重量法计算加热炉的功率？	(71)
四十七、如何用概略容积法计算加热炉的功率？	(71)
四十八、如何用概略照度法计算加热炉的功率？	(71)
四十九、如何用概略系数法计算加热炉的功率？	(72)
五十、如何用类比法确定加热炉的功率？	(72)
五十一、加热炉通风系统的作用是什么？	(73)
五十二、远红外加热炉通风方式有几种？	(73)
五十三、怎样进行强制通风？	(73)
五十四、自然通风如何设计？	(74)
五十五、怎样减少加热炉膛上下温差？	(77)
五十六、怎样确定加热炉的传动方式？	(78)
五十七、加热炉炉体材料如何选择？	(78)
五十八、加热炉常用的保温材料有哪些？	(80)

- 五十九、加热炉常用的耐火材料有哪些?.....(82)
- 六十、远红外加热炉与普通加热炉有什么区别?.....(84)
- 六十一、设计红外炉维修窗口的原则是什么?.....(84)
- 六十二、能否介绍一个加热炉的设计实例?.....(85)

第四部分

加热炉的温度监测与控制

- 六十三、加热炉温度控制系统由哪几部分组成?.....(91)
- 六十四、触点温度计的工作原理及适用范围如何?.....(93)
- 六十五、热敏电阻的工作原理及适用范围如何?.....(94)
- 六十六、热电偶(温差电偶)的工作原理及使用方法是什么?
.....(98)
- 六十七、电子毫伏计的工作原理及使用方法是什么?
.....(104)
- 六十八、补偿导线的作用有哪些?如何进行极性判别?
.....(107)
- 六十九、外接补偿电阻的作用是什么?.....(108)
- 七十、如何确定温度控制基准?.....(109)
- 七十一、以气氛温度做温控基准的优缺点是什么?.....(110)
- 七十二、以辐射器表面温度做温控基准的优缺点是什么?
.....(111)
- 七十三、以被加热物料表面温度做温控基准的优缺点是什么?
.....(112)
- 七十四、为什么远红外加热技术对温度控制有较高的要求?
.....(113)
- 七十五、通风循环调温法的优缺点及适用范围如何?

.....	(115)
七十六、调整辐射距离调温法的优缺点及适用范围如何？	(116)
七十七、开关控制调温法的优缺点及适用范围如何？	(116)
七十八、调整电压调温法的优缺点及适用范围如何？	(117)
七十九、可控硅调节器是怎样调节加热炉的工作温度的？	(118)
八十、能否介绍一个可控硅温控系统的应用实例？	(121)

第一部分

远红外加热的原理与概况

一、什么叫红外线(红外辐射)?

红外辐射, 俗称红外线, 是波长介于可见光与微波之间的电磁波, 它和可见光、紫外线、X 射线以及微波、无线电波一样既具有波动性又具有粒子性, 传播速度约为 3×10^8 米/秒, 可以在真空中传播, 也可以在介质中传播, 具有直射、折射、反射、干涉、衍射等物理现象。它们之间的区别仅在于波长(或频率)不同。可见光的波长范围约为 0.38~0.75 微米, 红外辐射的波长范围约为 0.75~1000 微米, 波长大于 1000 微米的为微波和无线电波。通过三棱镜可以把可见光分成为紫、蓝、青、绿、黄、橙、红七种颜色, 而红外辐射的波长比红光的波长还长, 即在光谱的红色端以外, 所以称之为红外线, 人们的视觉感觉不到它。

二、什么叫远红外线(远红外辐射)?

远红外线是红外线中波长较长部分的电磁辐射。人们为了应用方便起见, 把红外线按波长划分为近红外线、中红外线和远红外线。因为这种区分是人为的, 所以划分的界限是不一致的。下边仅介绍几种主要的划分方法:

1. 国际照明委员会根据照明需要和石英玻璃仅能透过波长 3 微米以下的红外线的原则, 把波长 0.76~1.4 微米的红外

线称作为近红外线, 1.4~3 微米的红外线称为中红外线, 而把 3~1000 微米的红外线划为远红外线。

2. 光学和物理学在其发展过程中, 根据分光测试技术, 把 0.76~1.5 微米的红外线称为近红外线, 把 1.5~5.6 微米的红外线称为中红外线, 把 5.6~1000 微米波段的红外线称为远红外线。

3. 在化学分析中测定红外光谱时发现, 大多数化合物中, 原子化学键振动倍频与组合频谱出现在 0.76~2.5 微米的谐振区, 于是把此谐振区的红外线称为近红外线; 将其出现在 2.5~25 微米的基频波段称为中红外区; 晶格振动和分子转动的光谱多出现在 25~1000 微米处, 此区间的红外线即称为远红外线。

4. 还有人根据物体的吸收和辐射特性, 把 0.76~2.5 微米区间的红外线称为近红外; 把 2.5~15 微米区间的红外线称为中红外; 把 15~1000 微米的红外线称为远红外线。

红外线的区域划分归纳起来详见表 1-1。

表 1-1 红外线区域的划分 (单位: 微米)

序 号	学 科	近 红 外	中 红 外	远 红 外
1	照 明	0.76~1.4	1.4~3.0	3.0~1000
2	光学物理	0.76~1.5	1.5~5.6	5.6~1000
3	化学分析	0.76~2.5 0.76~2.0	2.5~25 2.0~25	25~1000 25~1000
4	其 它	0.76~2.5	2.5~15	15~1000

我们认为表 1-1 中第一种分类方法对加热技术比较适宜。主张在加热技术中沿用国际照明委员会的划分方法。

三、红外加热技术是如何发展起来的？

红外线是在一次光学实验中被发现的。1800年英国科学家威廉·赫谢尔想测量太阳光中各种不同颜色的光究竟哪种颜色的光的热效应最明显，于是他利用牛顿做过的一个实验：让太阳光从一个狭缝引到暗室内，让其通过玻璃棱镜，于是出现一条红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的彩色光带，他在彩色光带的每个颜色的光上放一支水银温度计，碰巧有一支多余的温度计，他就把它放在了红色光以外的地方，但他发现这支在红色光以外黑暗处放的水银温度计的温度读数比在颜色光中放置的水银温度计的温度读数都高。于是他写信给英国皇家学会，说：“……太阳光中的热量至少有一部分包含在一种看不见的光线中……”。以后人们就把这部分“看不见的光线”称为“红外线”或称“红外辐射”。

尽管在十九世纪初就发现了红外线，但其广泛应用于工业生产、军事和各种科学研究领域却是在第二次世界大战前后。三十年代，美国福特汽车公司首先把红外辐射技术应用于汽车涂漆的烘干工艺上，当时使用红外灯泡作为辅射源，由于受玻璃灯罩的限制，只利用其中的近红外能量。直等到日本研制成功氧化镁管和碳化硅板，并宣传了远红外加热技术的优点，这一技术才重新引起大家的注意。对许多化合物，应用远红外线比用近红外线，其加热效果要好得多。

随着工业和科学技术的高度发展，能源的需求矛盾日益加深。日本由于缺乏能源资源，对节能技术给予高度重视。日本在1964年开始研制远红外辐射元件，七十年代初已广泛应用于生产，从而使远红外加热迅速发展成为一门新兴技术领域，由于其明显的节能效果，越来越多的国家正重视这一技术的发展和应用。

四、远红外加热技术有什么优点？

(1) 节省能源 远红外加热技术比普通加热技术节能。其实，远红外加热炉并不比相同功率的传统加热炉产生更多的热量，节能的关键是提高了热能的利用率和加热的质量。

远红外加热技术实现了辐射源光谱与被烘烤物质的吸收光谱的近似对应，使远红外辐射的大部分热能直接被烘烤物质吸收，加上辐射的传播速度快，又可以不通过任何介质，因而大大减少了热能传递过程中的损失，从而提高了利用率，所以远红外加热技术具有热能利用率高，被加热件升温快等优点。

(2) 生产效率高 由于远红外加热具有升温快的特点，因而可缩短烘烤时间。（有时甚至可缩短到原来升温时间的 $1/2 \sim 1/4$ ），因而大大提高了生产效率。

(3) 提高产品质量 远红外加热技术应用于油漆烘干可使漆膜平整、牢固、光亮度高；用于烘干木材，可使木材干燥速度提高，尤其适用于某些难干木材；用以烘干果品和粮食可减少外焦内湿现象，同时，由于远红外辐射有灭菌作用，可使粮食不生虫；用于烘干鱼类，可以减少其中的有害成份；用于烘干茶叶，可以提高茶叶的质量，保持茶叶鲜艳的色泽；用于熔化塑料，可使其里外受热均匀，减少老化现象，等等。总之，采用远红外加热技术，特别对于有机物，是大有好处的。

(4) 缩小生产场地，减少投资 由于利用远红外烘干具有升温快，烘干质量好的优点，因而可使烘干用的隧道式烘干炉的长度大大缩短，从而使建炉的基建费用减少。

五、远红外加热技术的应用范围及概况如何？

随着远红外加热机理的深入研究和加热技术的不断发展，

这项技术的应用范围愈来愈广，由最初的油漆烘干扩展到几乎所有的中低温烘干领域。现将应用远红外加热技术较普遍的主要行业概述如下：

1. 油漆烘干 这是应用远红外加热技术最早的行业、也是节能效果最显著的领域，汽车、拖拉机、自行车、缝纫机、电视机、电冰箱、电风扇等各种机电产品表面油漆喷涂及线包浸漆的干燥，均可使用远红外加热技术。

2. 纺织行业 各种棉、毛、丝、化纤织物的漂染、上浆及定型均可使用远红外加热技术。

3. 食品行业 面包、饼干、糕点的生产可使用远红外烘炉，糖果的成型以及红枣、杏干、梨干、花生、瓜子等干果制品和茶叶的脱水干燥也可采用远红外烘干技术。与传统的烘干技术相比，它能提高产品质量，保持原食品的鲜艳色泽，节省烘干费用，同时还能降低生虫率，适于长时期保存。

4. 塑料行业 远红外加热技术目前应用于塑料行业的有塑料原料的脱水干燥和熔化，人造革、塑料制品的发泡处理，泡沫皮革的硬化处理，塑料制品的粘连、成型，塑料板管材的拉伸及弯曲加工等。

5. 印刷行业 各类印刷版面的干燥，印刷制品油色的干燥，印刷品的上光处理及无线装订等。

6. 农业、粮食行业 农作物种子的烘干、杀虫、灭卵、灭菌处理，各类粮食如稻谷、大麦、小麦、玉米、高粱、豆类等的脱水干燥等。随着农业技术的发展和粮食产量的逐年增长，当前世界先进国家的粮食干燥几乎全部采用远红外烘干技术和太阳能烘干技术、因此粮食烘干领域远红外加热技术的应用必将迅速发展起来。

7. 制药行业 各种中草药的烘干、中成药的成型，西药的

脱水、制片和胶囊及包腊工艺,药瓶的烘干等,均可采用远红外烘干技术。

8. 橡胶行业 橡胶原料的预热软化,橡胶制品的粘合及修补后的处理以及橡胶制品的蒸馏、硫化定型等均可采用远红外加热技术。

9. 骨胶行业 骨胶和明胶的脱水干燥、胶粘砂布、砂纸的烘干。

10. 造纸和纸箱制造行业 纸张和纸箱的烘干工艺亦可采用远红外烘干技术。

11. 木材和木器制造行业 原木的干燥和定型、木制品的胶合烘干、胶合板、纤维板的热定型、木器家俱的表面油漆涂层的干燥等,我国东北地区较早地把远红外干燥技术应用于木材干燥处理,取得了较成功的经验。

12. 陶瓷和搪瓷行业 陶瓷的上釉烧结、搪瓷的上釉和喷

表 1-2 远红外加热技术节电实例

使用行业	加工工艺	节能效果*
汽车制造厂	汽车水箱烘干	年节电59.6万度
自行车厂	自行车油膜烘干	节能42%
缝纫机厂	机头烘干	节电28%
医疗器械厂	电冰箱烘干	节电34.8%
变压器厂	硅钢片烘干	年节电51.8万度
维尼纶厂	丝束脱水烘干	节电9%
漂染厂	酞青蓝染料烘干	节电30.5%
食品厂	烤制月饼	节电11.6%
制药厂	四环素药粉烘干	提高工效一倍
纸箱厂	纸箱烘干	节电72.5%
印刷公司	印刷品上光板	节电61.5%
汽车发动机厂	铸造砂型干燥	节电38~40%

* 节电效果均与原加热工艺相比较。

花。

此外,在仪器仪表、皮革加工、玻璃熔化、淬火及退火工艺,铸造砂型烘干及许多部门都可采用远红外加热技术并取得较理想的效果。

各行业采用远红外加热技术后,报道的经济效果实例列于表 1-2。

六、什么叫“绝对黑体”?

为了比较各种辐射加热器在同一温度下辐射功率的大小,我们先要引入一个标准辐射体,即“绝对黑体”的概念。

“绝对黑体”是一种理想的模型,它是一个完全的吸收体,也是一个完全的辐射体。和其它真实物体相比,它具有最大的辐射本领。实际上,自然界并不存在这样的“绝对黑体”,但是在实验时可以制造一个接近“绝对黑体”特性的辐射源,如图 1-1。

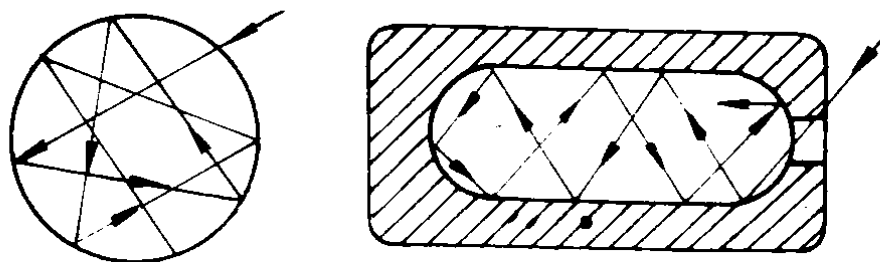


图 1-1 黑体模型

用不透明的材料制作一个空腔,在空腔上开一个小孔,当一束光线从小孔射入后,光线将在空腔内发生多次反射,每反射一次,都有一部分能量被腔壁吸收,经过多次反射后,光线几乎完全被吸收,假如从小孔中入射的光能量为 1,黑体腔材料的吸收率为 a ,那末,经过一次吸收后剩余的能量为 $(1-a)$,经过几次吸收后,从小孔射出的能量为 $(1-a)^n$,当小孔的面积比空腔的表面积小得多时,反射的次数 n 就比较大,假定空腔的吸收率

$\alpha = 0.9$, 经过 3 次反射吸收后, 从小孔射出的能量为 $(1 - 0.9)^3 = 0.001$, 可以近似认为射入空腔的能量全部被吸收, 这样的空腔就接近于完全的吸收体。如果对空腔进行加热, 那末根据热辐射的规律, 从小孔辐射出去的能量也可以认为接近于 1, 这个空腔就几乎和“绝对黑体”一样。

七、黑体辐射有哪些规律?

运用“绝对黑体”的概念来研究实际物体的远红外辐射规律, 可使问题简单化, 换句话说, 将黑体辐射的规律稍加修改即可得到实际物体的辐射规律。下面介绍几种绝对黑体辐射的主要规律。

1. 普朗克定律 1900 年德国物理学家应用量子理论的概念, 提出了一个绝对黑体辐射功率按辐射波长分布的规律, 其公式如下:

$$M_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (1-1)$$

式中:

M_{λ} ——辐射体单位表面在温度 T 时发射的波长为 λ 的单色辐射功率,

T ——辐射体表面的绝对温度,

λ ——辐射波长,

e ——自然对数的底,

c_1 ——第一辐射常数 $= 3.7402 \times 10^{-12}$ (瓦/厘米²),

c_2 ——第二辐射常数 $= 1.43848$ (厘米, 度)。

根据(1-1)式可以求出不同温度下的 M_{λ} - λ 关系曲线, 如图 1-2 所示。

由图可以看出绝对黑体的辐射规律: ①“绝对黑体”的辐射

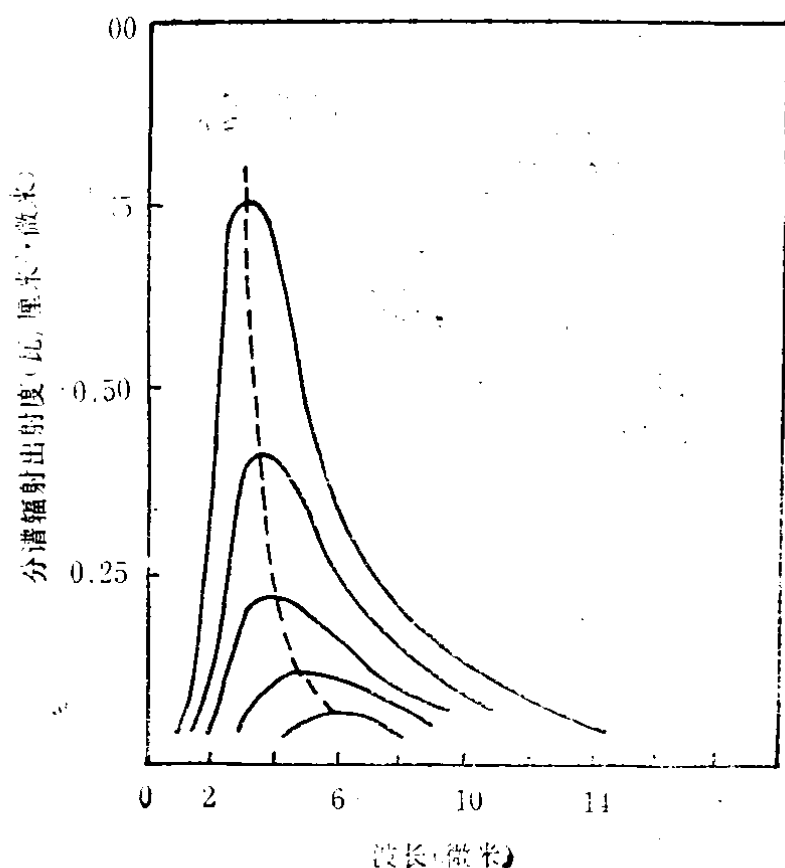


图 1-2 不同温度下黑体 $M_\lambda-\lambda$ 曲线

功率随波长变化而变化,这个变化是连续的。②在任何一个波长“绝对黑体”的辐射功率都随温度升高而增大,不同温度下的 M 曲线是不相交的。③每条曲线都有一个极大值,位于波长 λ_m 处, λ_m 称为峰值辐射波长。绝对黑体表面温度越高,其辐射功率的极大值越大并且向波长短的方向移动。

2. 斯忒藩-波尔兹曼定律:

图 1-2 中的曲线表示在不同温度下“绝对黑体”的单色辐射功率随波长而变化的分布规律,而每一条曲线下包含的面积等于绝对黑体在相应温度下的全部辐射功率。当温度一定时,对 (1-1) 式从 $\lambda=0$ 到 $\lambda=\infty$ 进行积分,就可求得单位面积的绝对黑体在单位时间内向半球空间发射的总的辐射能量。