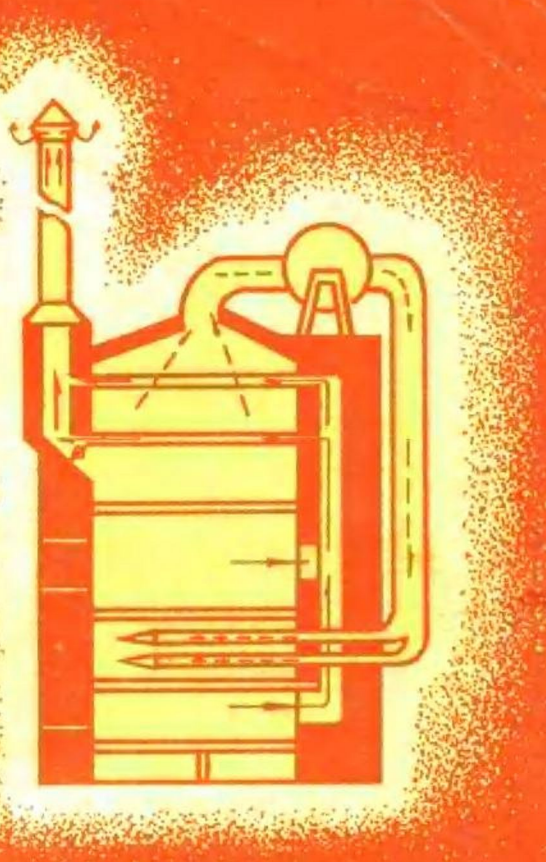
现代科学技术丛书



4.76

YUAN HONG WAI JIA RE LU

远红外加热炉

河北人民出版社

现代科学技术丛书

远红外加热炉

徐怀平

河北人民出版社出版（石家庄市北马路19号）
河北新华印刷一厂印刷　河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32　9 3/4 印张　224,000字　印数：1—2,700　1982年4月第1版
1982年4月第1次印刷　统一书号：15086·158　定价：0.88元

前　　言

加热与干燥工艺是工农业生产中普遍应用的一个重要环节。远红外加热技术是节约能源、增加生产、提高质量的有效手段。它还具有投资少、上马快、用途广等特点。因此，应用这项新技术，对加速国民经济的发展有着重要的意义。

一九七九年初，河北人民出版社出版了我编写的《远红外加热技术》一书。现在，根据需要，出版社已决定再版。两年来，全国各地不少读者来信来访，要求介绍远红外加热炉的设计、应用及其有关内容。本书就是根据这种需要而编写的。

为了把这本书编好，初稿写完后曾请五机部第六设计研究院工程师蒋圻、石家庄市衡器厂张鸿儒二同志进行了审阅、修改，特此表示感谢！

由于水平所限，书中难免有错误，恳请读者批评指正。

编　者

一九八一年七月

于河北省机械设计院

目　　录

第一章　概说……（1）
一、应用范围……（1）
二、发展趋势……（5）
第二章　远红外加热技术基础……（9）
一、基本知识……（9）
二、辐射和吸收……（12）
三、红外辐射的一般规律……（24）
四、加热炉内的热交换……（42）
第三章　红外光谱及应用……（47）
一、红外光谱……（47）
二、应用……（50）
第四章　远红外辐射器……（72）
一、反射器……（72）
二、辐射器分类……（77）
三、远红外涂料……（93）
四、电热材料……（119）
五、辐射器制造工艺……（154）
第五章　远红外加热促进剂……（158）
一、性能……（158）
二、应用……（164）
第六章　远红外加热炉……（170）
一、常用炉型……（171）
二、炉体……（176）

三、炉衬……(180)
四、功率的计算……(195)
五、辐射器的合理使用……(205)
六、温度控制……(210)
七、通风系统……(242)
八、设计示例……(247)
九、高温远红外热处理炉……(257)
第七章　硅酸铝耐火纤维……(266)
一、种类及性能……(266)
二、应用……(275)
三、改炉施工……(279)
第八章　应用实例……(288)
一、油漆、绝缘漆的干燥……(288)
二、纺织物干燥、固色和热定型……(293)
三、粮食、食品、药品烘干……(294)
四、塑料、橡胶、皮革、制鞋加热干燥……(296)
五、纸品、印刷品的加热干燥……(299)
六、绝缘材料处理……(300)
七、铸造、金属热处理……(301)
八、电器、无线电元件烘制……(303)
九、蒸汽、煤气远红外加热……(304)
十、其它……(305)
附录　国内远红外辐射涂料及元器件生产厂……(306)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第一章 概　　说

一、应用范围

远红外加热是七十年代才兴起的一项新技术，应用于生产实践的时间还不长。可以说这是人类与自然界长期斗争的必然产物。

1800年英国科学家威廉·海谢尔首先发现了“红外线”。也有人称之为“红外光”或“红外辐射”。此后，经过许多科学家百余年的不懈努力，逐步形成了一门以红外辐射为特定研究对象的新技术——红外科学技术。

红外科学技术有多个技术分支。然而，以红外辐射对物质的加热作用为基础发展起来的红外加热技术，在工农业生产的发展中一直占有不容忽视的地位。

红外加热技术应用在工业生产上至今已有四十多年的历史。本世纪三十年代，美国福特汽车公司首先把红外辐射应用于加热烘干汽车的涂饰物。早期使用的是仅能辐射较短波长红外线的红外灯泡。六十年代出现了氧化镁管和碳化硅板等辐射器，由于辐射波长加大，应用效果得以改善。到七十年代前后，由于红外基础理论研究的深入和测试手段的进步，人们发现，对许多物质用远红外线加热比近红外线要有利得多。为此就需要谋求制作高效远红外辐射元件。

日本从1964年开始研制远红外辐射元件，1968年宣布成

功，在七十年代初期成功地用于工业生产。从而，红外加热技术进入了远红外加热的新时期。

红外加热技术在我国应用的时间还不长，1958年前后推广使用红外灯泡，1966年开始推广使用氧化镁管和碳化硅板，1974年前后由日本引进了远红外加热技术。经过几年的实践，1978年被定为全国重点推广的新技术之一，同年7月在上海召开了第一次全国远红外加热技术应用经验交流会，这对远红外加热技术的推广应用和进一步提高都起了很大的促进作用。

远红外加热与近红外或热风加热相比较具有如下的优点。

1．节约能源，一般可节约20～30%，有的达50%甚至更高。

2．提高效率，可缩短加热时间15～30%以上。

3．提高产品质量。

4．可缩小生产场地10～15%。设备简单，投资少，上马快，容易推广。

5．有利于实现生产的连续化、自动化。

6．寿命长，维修方便，改善劳动条件。

远红外加热，辐射能在辐射源与被加热物体间以光速行进，能量传递速度极快，介质损耗很小。远红外线被物质的分子所吸收，不受物体表面层的阻滞作用，因而有较高的加热速度。

远红外加热过程中，能保持物体中挥发物的扩散方向与干燥方向一致，因此不易发生外焦内潮或起泡等现象，提高了产品质量。加热过程无需介质，净化了工作环境。还可使加热炉内气氛温度低于工件温度，相应改善了工作环境。

远红外加热用于油漆涂饰物的干燥，不仅可使膜层牢固平整，洁净光亮，而且常常由于烘干时间的缩短，而使干燥工序

能成为自动线上的一环，实现生产的连续化。如上海某厂在制作太阳灶的反射罩过程中，需对涤纶薄膜表面的铝反射层及保护层烘干，要在80℃下烘2个小时。采用远红外加热并使用促进剂后，只需7分钟即可烘干，从而可实现生产的连续化。

用于纺织业同样有良好效果。如美国某厂在毛织物整理机的干燥室采用远红外干燥后，在126～129.5℃的温度下可很快地消除植物性杂质，其生产率可提高16.75%。

在食品业，远红外加热更有独到之处。日本某食品厂对鱼类进行远红外辐射，不但能均匀干燥，而且远红外线还具有使鱼肉中磷酸酶的活性降低的功效，因而鱼肉内肌甙酸的生成量增大，结果使鱼的滋味更为浓郁。

苏联某科研单位曾用远红外线进行轻烤茶叶的试验。结果表明，轻烤过的茶叶中单宁儿茶酸络化物氧化和未氧化的两部分有最佳含量比，即1:2或1:3，会使酶纯化，并形成一种牢固地凝聚在茶叶内的天然味道的芳香物质，从而提高了茶叶的质量。

由于远红外加热技术有很多优点，因此应用范围愈来愈广泛，除了最先采用的油漆涂饰行业外，已扩及到了许多行业，其中包括需要精确控制温度的塑料、化纤及热处理等行业。现将有代表性的应用简介如下。

1．油漆涂饰行业

汽车、拖拉机、飞机、轮船、各类机械产品、机电产品、五金制品等表面涂饰物的干燥及绝缘防腐涂料的处理。

2．塑料行业

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。

3．纺织行业

各种纤维和制品的干燥、上浆处理，各类化学纤维的热定型及加温处理，毛织物的脱水干燥等。

4．食品行业

各种鱼类、肉类制品，糕点制品的烤制；青菜、茶叶、水产品等的脱水干燥，糖果成型，各类食品的灭菌处理。

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。

6．金属管、板材行业

各种金属管、板材的淬火、退火处理，焊接前的预热，焊缝的消除应力，酸洗后脱水干燥，表面涂饰及防腐漆的干燥处理。

7．玻璃行业

特种玻璃的淬火、退火处理，商标图案的粘连或印刷后烘干，玻璃制品的清洗干燥及消毒。

8．橡胶行业

橡胶原料的预热软化，橡胶制品的蒸溜及硫化定型，橡胶制品的粘合及修补后的处理。

9．木材、木器行业

原木的干燥和定型，木制品的粘合烘干，胶合板、纤维板的热定型，木器家具的涂饰物干燥。

10．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。

此外，在皮革、造纸、制药、医疗、仪器仪表、电子、化工和陶瓷等生产加工的许多加热工艺上，都能采用远红外加热技术，并有很好的效果。

二、发展趋势

当前，工业化国家都在加强能源科学技术的研究，不外是开源和节流两方面。加热工艺是工农业生产各个部门都不可缺少的生产环节，而远红外加热是加热技术中减少能源消耗的有效节流措施。因此，已受到世界各国的普遍重视。

从远红外加热技术的应用现状看，日本在世界上居于领先地位。日本缺乏燃料资源，因此特别重视节约能源技术的研究。日本生产的远红外辐射元件种类很多，按外形不同有灯式、管式和板式元件等。按所用材料和工艺分有金属基体加涂金属氧化物，电热丝石英元件和电热丝埋入式的陶瓷元件等。日本生产的元件质量较高，不仅供应本国，还向欧美出口。其中应用最早的是管式元件。接着是灯式元件，由于该类元件有与红外灯泡通用的灯口，故使用非常方便。以后又制造了板式元件。由于材料、工艺、尺寸、形式的不同，日本市场出售的远红外元件品种繁多。辐射波长可达 50 微米，使用温度可以从 45℃ 直到 1150℃。其中适用性最大的是涂有金属氧化物涂层的陶瓷元件，使用最多的是管式元件。陶瓷元件有较高的辐射率、机械强度、化学稳定性和很长的使用寿命，因此适用范围较广。日本生产的元件，出厂前都经过严格的检验，如对额定电压须作超压 20%的负载试验。元件保用期为一年，一年内可免费修理，但元件的实际使用寿命可长达四、五年之久。

欧美和苏联等国至今改良型红外灯泡的使用量还很大，采用涂有碳化物的钽或其它低温发热体取代原来的钨丝，以便增强远红外区域的辐射能量。美国和许多欧洲国家都研制了陶瓷

远红外辐射元件，通过添加涂层中各种氧化物成分，以提高辐射率和远红外区的辐射能量。当采用多晶氧化物半导体材料作辐射涂层时，元件能把输入电能的99%变成红外辐射能量。此外，欧美各国还生产有石英玻璃质的辐射元件，远红外辐射性能也很好。

除电热式的以外，国外还大量生产气体燃烧式的远红外元件。如日本制的远红外多孔陶瓷板，配以金属网后，可用城市煤气或天然气等气体燃料来发热。

近几年来，由于研制的远红外涂料使用温度向高、低温两极扩展，因此使远红外加热技术的应用范围更加广泛。在高温区域，远红外加热技术可应用于金属的热处理，如预热、淬火、退火及消除应力等。英国已制成一种能加热到1250℃的远红外加热炉，这种加热炉把钢铁加热到700℃时，热效率达70%，加热到1250℃时，热效率可达50%。在低温区域，解决了木材烘制及农作物的干燥等应用问题。此外在医疗方面用远红外理疗代替针灸，可治疗多种疾病。

由于采用可控硅调功器，解决了远红外辐射器表面温度的精确控制问题，因此在需要精确控温的塑料行业中远红外加热技术得以广泛应用。由于远红外线的特殊功用，该种加热方法几乎能解决各类塑料的所有加热问题。

远红外加热技术的应用，除了上一节介绍的以外，在国外在民用领域也开始应用，在西欧有些国家制造了采用石英玻璃元件的远红外灶；在日本有防止雪害和冻害的远红外融雪装置。

我国远红外加热技术的起步比日本晚，但发展很快，现已研制出不少具有我国特色的远红外涂料和元器件，在促进剂的研制上也取得可喜的成绩。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

随着远红外加热技术的推广应用，国内元器件生产厂犹如雨后春笋一般，当前最常用的有氧化镁管、碳化硅管和板、黑化锆系陶瓷管和板，还有搪瓷元件。由于各厂选用的原料、工艺各不相同，因此产品的性能和质量差别很大。选用的远红外涂料五花八门，适用范围各不相同，尚待有关部门对产品进行标准化和系列化工作。

远红外加热技术要通过加热炉体现效果，目前国内对远红外加热炉的设计理论、结构及材料选用，以及通用性、标准化和系列化等方面都没有成熟经验，还有待于进一步研究探讨，总结经验，制定规范。

当前，远红外加热技术的发展趋势是：基础理论的研究更趋深入；元件的主辐射波长远移，元器件生产逐步实现标准化和系列化；继续探索新的辐射材料和制造工艺；注意远红外加热设备的研制和改造。

近年来由于科研人员深入研究了红外辐射的微观机制，辐射与被加热物质之间相互作用过程的机理等基础理论，为远红外加热技术的进一步发展提供了必要的知识。例如，通过对于被加热物质内部产生的物理化学和生态变化过程的研究，使人们对辐射的特殊功能以及热量交换的机制了解得更为透彻，这就为辐射材料、辐射元件的优化设计提供了依据。苏联、西德和英国在基础理论研究方面作了较多的工作。

通过对涂料固化过程的深入研究，日本首先试制成功了远红外加热用的吸收促进剂。我国吉林大学和中国科学院上海有机化学研究所也分别研制成功适用于油漆涂饰物的稀土固化促进剂和有机固化促进剂。通过在涂料内加入少量的无机物或某些有机物后，增强涂料对远红外线的吸收作用，得以进一步提高远红外加热的效率。

远红外辐射元件的标准化和系列化生产，是各国发展远红外加热技术的一个共同特点。标准化和系列化的元件更易于组合成性能和用途各不相同的辐射器组件，便于有不同需求的用户直接采用。在日本管式远红外辐射元件标准制品的系列尺寸，由10厘米到6米长，规格齐全，用户选用非常方便。

各国研究人员仍致力于继续探索新的远红外辐射材料和元件制造工艺。除了大量采用金属氧化物外，还研究采用金属碳化物、氮化物和硼化物，以及其它非金属化合物。在元件制造方面，除了沿用远红外涂料表面涂复的工艺外，还研究直接采用含上述物质混合物的矿砂制成无涂层的陶瓷元件。远红外辐射元件的制造工艺虽然很多，但发展方向是趋于简化。

各国研究人员都十分注意远红外加热技术的合理应用，在应用中注意炉体结构的改进，加强保温措施，选用新型保温材料等以取得最佳的综合效果。对远红外加热技术在农业上的应用，有些科研人员在探索把农作物的收割和干燥联合成一次农田作业的可能性。最近，日本有人在研究用某些液体来贮存和传送远红外能量，如能成功，不仅对远红外加热技术而且对能源的合理利用将是重大的贡献！

许多国家在远红外加热炉的研制上，尽量保持通用性以满足不同工艺的要求，有利于非单一产品的生产单位使用。通用加热设备的工作温度、辐照面积、辐射距离及传送速度等均应能灵活调整。

第二章　远红外加热技术基础

一、基 本 知 识

（一）电磁本性

客观世界中存在着各种不同类型的辐射，如无线电波，太阳光和 x 射线等。它们的产生方法和表现形式虽然各不相同，但就本质来说都是电磁波。

所谓电磁波就是交替变化着的电场和磁场在空间的传播。应注意，变化的电场和变化的磁场是相互关联的。1888 年德国物理学家赫芝用电磁振荡的方法产生了电磁波，并证明其性质与可见光相同。后来又经过许多科学家的研究，不仅证明了可见光是电磁波，而且证明了红外线、紫外线及 x 射线都是电磁波。它们有相同的电磁本性，主要差异是波长（或频率）不同。如果把各种类型的电磁波按波长或频率大小顺序排列起来，就形成了如图 2-1 的电磁波谱。

电磁波包括的波长范围非常之大，从波长最短的 γ 射线到最长的无线电波，波长之比相差 20 多个数量级。应注意的是，电磁波谱的两端都没有尽头。按照习惯电磁波谱可分成有部分相互重叠的若干个波段，各个波段之间没有物理现象的明显突变。

在电磁波谱中，波长最长的是无线电波。无线电波又可分为长波、中波、短波、超短波、微波等。其次是红外线、可见光

和紫外线，再其次是 x 射线和 γ 射线。电磁波中除可见光以外，其它都是人眼看不见的。红外线、可见光和紫外线这三部分，由于对物质有较强的加热作用，也常被称为“热辐射”或“热线”。

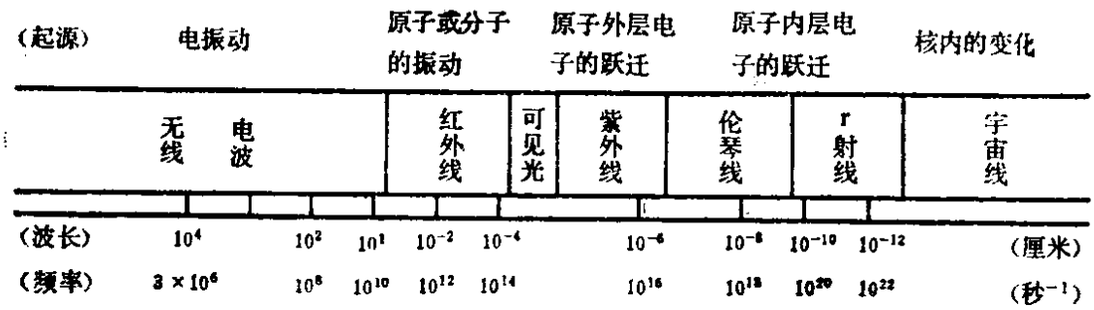


图 2-1　电磁波谱

在物理学上，常把从太阳发射到地球上来的那些东西，统称为“辐射”。其中能引起人们视觉的称可见光。可见光只占很狭小的一部分，其波长范围约为 0.4～0.76 微米。也有人眼感觉不到的，红外线就是其中之一。红外线的波长界限为 0.76～1000 微米。根据习惯常称人眼看得见的电磁波为光，看不见的为“线”或“辐射”，通常“红外线”较“红外辐射”更为人们所常用，但绝非说“光”只准用于可见辐射，而不准用于其它辐射。

由于红外线同其它各种辐射线都属于电磁波，所以它们具有一些共有的特性，红外线和可见光一样都作为横向电磁波在空间传播，都是按直线前进的，它们在真空中具有相同的传播速度，都服从反射定律和折射定律，都有干涉、衍射和偏振等现象。

各类电磁波除了具有共性外，也具有各自的特性。

（二）红外线的分类

红外线在电磁波谱中介于可见光和微波之间，占据很宽的

波段。有时又将红外线分为近红外、中红外和远红外三个区域，也有的仅分为近红外和远红外两个区域，还有的分成四个区域。尚没有统一标准。一些常见的划法见表 2-1。

表 2-1　　红外线的分类

序号	近红外 (μ)	中红外 (μ)	远红外 (μ)	极远红外 (μ)
1	0.76～3	3～6	6～15	15～1000
2	0.72～1.5	1.5～5.6	5.6～1000	
3	0.72～2.5	2.5～15	15～1000	
4	0.72～4		4～800	
5	0.78～1.5	1.5～10	10～1000	
6	0.78～2	2～25	25～300	
7	0.72～6		6～1000	
8	0.78～1.4	1.4～3	3～1000	

由上表看，近红外与可见光之间有一界限不明显的过渡区。这是由于可见光的上边界（即红外线的下边界）是随人眼的敏感程度和辐射源的功率而有少许变化之故。远红外与中红外（或近红外）的界限有 3 、5.6、 6 、10、15、25等多种。这些不同的分类法是根据不同的应用场合而设置的。

序号 8 是国际照明委员会的分类法，规定 0.78～1.4 微米为近红外，从 1.4～3 微米为中红外，3～1000 微米为远红外。将这种分类方法移用到远红外加热技术中来也是适宜的。因为目前使用的各种远红外加热元件，其有效红外线的波长范围大都在 1～25 微米之间，一般远红外加热设备中辐射元件的表面工作温度为 300～600℃，其相应辐射能量最大值处的波长——峰值波长为 6～3 微米。由于辐射的是具有连续波长的红外线，因此在峰值处两侧相当宽的波长范围都是辐射能量的有效使用

区。有人主张远红外区以5.6或6微米为起点，是基于对很多物质的加热中起主导作用的是大于上述波长的红外线而定的，有一定道理。但这样划分往往把峰值波长的下限区划在远红外区域以外，这里主要指具有不容忽视能量等级的3～5微米段。实际上多数的无机物和高分子有机物质，在3～4微米之间，都有一个由分子的伸展振动而形成的特性吸收区，能强烈地吸收该波段范围的辐射能，其能量的作用是不容忽视的，因此在远红外加热技术中，还是把远红外区的起点定为3微米较为实际。

二、辐射和吸收

（一）物质结构

红外辐射与物质间的相互作用是远红外加热技术的根本，因而为了更清楚地明晰远红外加热技术的基础，有必要对物质结构作一简要介绍。

众所周知，一般物质由分子组成，分子又由原子组成。原子本身也不是简单的球体，它的中央是带正电荷的原子核，其外围有许多带负电荷的电子围绕着作高速运动，就象地球和其它行星绕太阳运动一样。原子核所带的正电荷与外围电子所带负电荷的绝对值相等，因而正常的原子呈中性。

在元素周期表上，氢的原子序数为1，原子结构最简单。氢原子核也叫“质子”，外围只有一个电子。每个电子所带的电荷为-1.6×10^{-19}库仑，每个质子所带的电荷为$+1.6\times10^{-19}$库仑。质子的质量约为电子质量的2000倍，因而原子的质量，基本上集中在原子核上。

氦原子外围有两个电子，其原子核中除有两个带正电的质

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com