

第十届全国红外加热暨红外医学发展研讨会

论文及论文摘要集

中国光学学会红外光电器件专业委员会
中国光学光电子行业协会红外专业分会
中国电子学会量子电子学与光电子学分会
中国光学学会锦州分会
云南省光学学会
中国机械工程学会工业炉分会
中国电工技术学会电热专业委员会
国家红外产品质量监督检验中心

联合主办

烟台大学光电信息科学技术学院
淄博蓝景纳米材料有限公司

承 办

《红外技术》编辑部
《工业加热》编辑部
南京中脉科技发展有限公司
佛山思纬整水技术有限公司

协 办

《红外技术》编辑部

编辑出版

(2005年10月,烟台)

全国第十届红外加热暨红外医学发展研讨会纪要

由中国光学学会红外光电器件专业委员会、中国光学光电子行业协会红外分会、中国电子学会量子电子学与光电子学分会、中国光学学会锦州分会、云南省光学学会、中国机械工程学会工业炉分会、中国电工技术学会电热专业委员会和国家红外产品质量监督检验中心联合主办，烟台大学光电信息学院、淄博蓝景纳米材料有限公司承办，《红外技术》编辑部、《工业加热》编辑部、南京中脉科技发展有限公司、佛山思纬整水技术有限公司协办的全国第十届红外加热暨红外医学发展研讨会，于2005年10月11日至15日在烟台大学举行。

会议组委会秘书长、烟台大学光电信息学院蒋本和教授主持了开幕式，来自全国各地高校、研究所和企业的30多名专家、教授代表出席了会议，烟台大学校长郭明瑞教授致欢迎词，中国工程院院士、中科院上海技术物理所方家熊研究员代表主办单位及大会名誉主席中科院院士汤定元研究员讲话，希望加强与企业合作，密切产、学、研结合，努力做好自主创新。

燕山大学红外光纤与传感研究所所长侯兰田教授作了“关于电磁波在介质中的传输过程的研究”的大会报告，从开拓红外加热理论，扩展红外加热技术的思维出发，提出了在红外加热中可能遇到的几个问题，为将红外加热技术与相关学科领域相连接提出可能。

福建省中医药研究院胡翔龙研究员等，对循经红外辐射轨迹的形成机理及其与人体机能调控的关系进行了探讨，为科学

的、全面的阐明经络的实质和探讨人体机能整合调控的机理提供了重要的理论根据。

天津大学褚治德教授作了“红外频谱能量屋”的报告，着重从人手及全身的温度连续谱，介绍到波长连续谱，进而谈频率谱，将为改善增强人民生命健康提供红外新的第三代保健理疗设备。

广州大学曾庆衿教授研制的“金属高温耐腐蚀节能涂料”两项发明专利技术，可把我国能源利用率提高十个百分点。

与会代表对红外激光对多层复合材料的作用研究、红外辐射电热画的研制，红外辐射材料的研究及其在武钢工业炉上的应用，纳米 Al_2O_3 的晶型及粒度对其红外光谱的影响，红外加热在家用产品中的应用现状与发展技术，新的红外保健功能材料——竹炭，医用红外热象仪的发展及动向，红外经络红外医学红外分子簇水等论文进行了交流。

本届会议有国内的有影响企业参与会议，为学会代来了新的生机，与会代表互相交流，切磋，认真研讨学术气氛浓厚，起到了学术、技术、信息交流的三重作用，为推动我国红外加热红外医学的科技进步，促进其推广应用，做出了新的贡献。

会议决定全国第十一届红外加热暨红外医学发展研讨会，定于2007年10月在宜昌市举行，届时欢迎全国同行积极参与。

全国第十届红外加热暨红外医学发展研讨会

二〇〇五年十月十五日

全国第十届红外加热技术暨红外医学发展研讨会

会议名誉主席	汤定元	中国科学院院士 中科院上海技术物理研究所研究员
顾问	苏君红	中国工程院院士 昆明物理研究所研究员
	杨定江	中国光学光电行业协会副理事长 信息产业部第11研究所研究员
组 织 委 员 会		
主任	方家熊	中国工程院院士 中科院上海技术物理研究所研究员
	栾文彦	大连理工大学物理系教授
副主任	王永钧	中国光学学会锦州分会理事长
	蒋本和	中国光学学会锦州分会常务秘书长、高工
秘书长	所洪涛、袁兵、张红、张文怡、曾宇、郑承国、鲁庭柱、李任宇、张宏	烟台大学光电信息学院教授
学 术 委 员 会		
主任	侯蓝田	燕山大学红外光纤与传感研究所所长、教授
	褚治德	天津大学机械工程学院热能工程系教授
副主任	胡翔龙	福建省中医药研究院研究员、国家攀登计划“经络的研究”第一任首席科学家
委员	吴 玮、葛世铭、郭冰江、吴培珍、曾庆衿、孙凤久、王跃农、程文楷	

《第十届全国红外加热暨红外医学发展研讨会论文及论文摘要集》目 录

- 微结构光纤中光子局域化现象……………郑娟娟, 侯蓝田, 周桂耀, 侯峙云, 李曙光, 邢广忠(1)
- 红外加热 30 年……………李工一, 葛世明(4)
- 对当前能源严峻形势的建议……………曾庆衿(6)
- 电热红外加热的节电效果研究……………吴 涛, 岩 峰, 马 江, 吴 玮(7)
- 高红外应用于玻璃抽真空退火炉……………邱尚斌(9)
- 红外激光对多层复合材料的作用研究……………谷 励, 王志秋(10)
- 红外加热技术的综合应用与节能……………谷 励, 栾文彦(10)
- 本安型红外热风循环加热系统研究……………谷 励, 李艳涛(12)
- 红外辐射加热干燥节能基本原理与工程应用……………焦士龙, 张泽英, 褚治德, 马一太(13)
- 新型电阻带定向红外电辐射加热器……………焦士龙, 张泽英, 褚治德, 马一太(14)
- 常温红外与红外加热技术在当前家用产品中的应用现状与发展技术……………郑承国, 王中海(15)
- 电热取暖器发展趋势及优化设计综述……………曾 宇(16)
- 红外辐射电热画的研制(之一)……………栾 松, 栾 竹, 包剑华(16)
- 红外辐射电热画的研制(之二)……………栾 松, 栾 竹, 包剑华(17)
- 智能采暖新时代——环达远红外辐射采暖系列产品应用……………高 松, 栾 松, 栾 竹(18)
- 环达地热采暖系统……………栾 松, 栾文彦, 高 松(19)
- 金钢砂麻布轮红外烘干的节能研究……………焦士龙, 张泽英, 褚治德, 马一太(20)
- 论一种废磨粒制造红外辐射涂料的方法……………周锦才(21)
- 红外辐射材料的研究及其在武钢工业炉上的应用……………
 欧阳德刚, 周明石, 朱小平, 王海青, 朱善和, 张道明, 刘占增(22)
- 红外技术用于闪速炉炉衬内形检测……………金颖妮, 蒋本和, 张洪哲, 纪淑波, 靳文瑞, 董 楠(23)
- 高红外干燥技术用于涂层的固化……………董 楠, 张洪哲, 金颖妮, 蒋本和(23)
- 基于高阶累计的盲目去卷积算法在红外光谱中的应用……………胡自强, 袁景和(24)
- 纳米 Al_2O_3 的晶型及粒度对其红外光谱的影响……………李莉娟, 孙凤久, 楼丹花(24)
- 激光与氮等离子体束混合方法制备铁氮化合物……………于撼江, 孙凤久, 刘军友(24)
- 面向彩色目标机器人视觉的研究与应用……………杜春红, 邱尚斌, 岳 宏, 梁宏志(25)
- 医用红外热像仪的发展及动向……………张洪哲, 蒋本和, 金颖妮, 董 楠(26)
- 从研究循经红外辐射轨迹着手 探讨人体机能整合调控的机理……………胡翔龙(26)
- 肺部疾病患者体表循经红外辐射轨迹的观察……………许金森, 胡翔龙, 杨广印(28)
- 红外经络红外医学红外分子簇水……………葛世名, 李工一(28)
- 远红外理疗仪……………董 楠, 张洪哲, 金颖妮, 蒋本和(29)
- 新的红外保健功能材料——竹炭……………袁 兵(30)
- 近红外技术用于乳腺肿瘤的诊断……………金颖妮, 蒋本和, 张洪哲, 董 楠(30)
- 近红外无创血糖检测技术的研究……………张洪哲, 蒋本和, 金颖妮, 纪淑波, 靳文瑞, 董 楠(31)
- CCD 用于血沉等参量的自动测量……………
 蒋本和, 张洪哲, 金颖妮, 纪淑波, 靳文瑞, 董 楠, 陈文毅, 翟瑞仁(31)
- 思纬频谱保健法(之一)……………佛山思纬技术有限公司(32)
- 思纬频谱保健法(之二)……………佛山思纬技术有限公司(33)

微结构光纤中光子局域化现象*

郑娟娟^{1,2}, 侯蓝田¹, 周桂耀¹, 侯峙云¹, 李曙光¹, 邢广忠¹

(1. 红外光纤与传感研究所 燕山大学, 秦皇岛 066004; 2. 浙江大学光学工程系, 杭州 310027)

摘要: 通过对微结构光纤 (MSF) 的检测, 发现了明显的背散射相干现象, 这是光子局域化的表现, 不论是折射率引导型, 还是光子带隙型的微结构光纤中, 都存在着由光子局域化作用实现的对光的传输。

关键词: 微结构光纤, 光子局域化, 相干背散射

1 引言

微结构光纤 (包括光子晶体光纤) 是具有划时代意义的纤维光学材料. 自 1996 年^[1]提出后得到了迅速发展, 发表的相关论文数量在成倍增长, 人们对于微结构光纤的认识也在不断深化^[2-6]. 到目前为止, 人们把它分为两类^[6]: 一类是包层的折射率呈周期分布、纤芯为实芯的**折射率引导型**微结构光纤; 一类是在折射率周期分布的包层中心为空气芯的光子带隙导光型. 对于前者, 人们把它等效为阶跃折射率光纤来解释其导光原理, 而对于后者, 通常用布拉格散射来说明它的光子带隙作用. 但是, 基于对微结构光纤的各种现象分析提出的两种解释, 不能从理论上充分说明微结构光纤为什么会把输入的光局域在纤芯中传输, 从而产生了一些奇异的现象, 尤其是对于具有无序折射率分布的光纤包层就更加困难^[12-16]. 为了解释这一问题, 我们进行了多项实验研究, 得到了新的认识和分类方法。

2 实验方法

我们自己拉制的微结构光纤分三种: 单结构 (只有单一结构的包层和纤芯, 结构类似于普通的光子晶体光纤)、多结构 (包括有实纤芯、空纤芯、双芯、多芯) 和多束集成式 (单一种类微结构光纤的多束集成、数种微结构光纤的多束集成). 其中, 单一集成式一般可以加强单根微结构光纤的性能, 而多种集成式一般可以实现不同性能互相补充。

本实验所用的单结构微结构光纤的结构如图 1 所示, 其包层空气孔的短程序基本分布为六角形, 长程无序度约为 5%~10%. 其它结构参数为: 包层空气孔直径 $d=0.9\sim 1.2\ \mu\text{m}$, 孔间距 $\bullet=1.2\sim 1.4\ \mu\text{m}$, 空气填充率 $f=60\%\sim 70\%$. 该微结构光纤曾经通过传输飞秒激光实验, 证明具有强的非线性和光谱展宽作用^[2,7]。

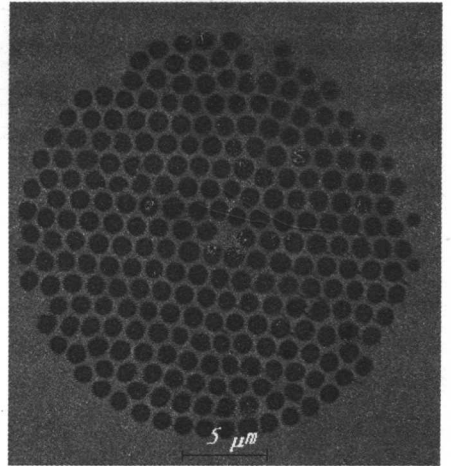


图 1 微结构光纤端面图

我们使用自制的光纤反射装置与一台带微区光谱测量的光栅光谱仪结合, 对不同的 MSF 端面进行反射和透射光谱测量, 并以纯石英纤维的端面反射光谱为基准, 测量它的相对光谱特性, 测量装置如图 2。

光源为 500 W 氙灯, 光栅光谱仪的分辨率为 0.2 nm/mm, 微区聚焦器为一个 40 \times 的显微镜镜头, 利用 1 \times 2 的光纤耦合器, 把聚焦后的光通过 $\phi 20\ \mu\text{m}$ 的光纤传输到 MSF 的端面上, 端面反射光由光纤耦合器的另一根光纤传输到探测器接收, 输出信号经放大和运算后给出相对光谱曲

* 国家高技术研究发展计划 (批准号: 2003AA311011), 国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2003CB314905)。

线。

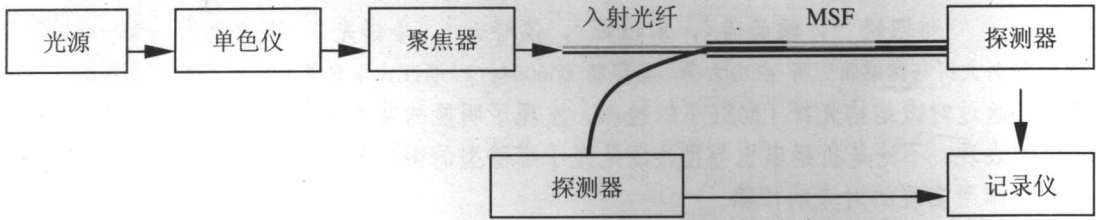


图2 测量装置

3 实验结果

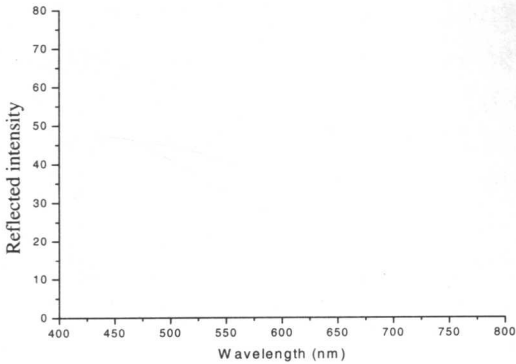


图3 纯石英纤维端面反射光谱

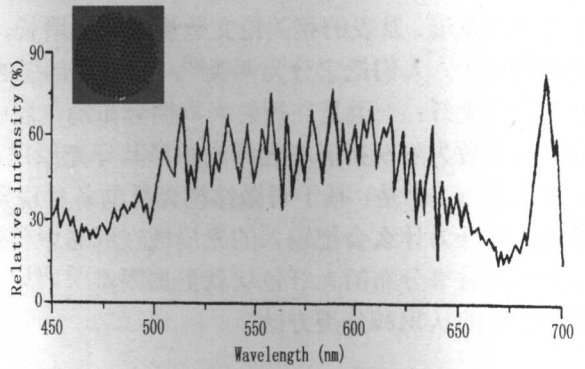


图4 单结构光纤端面反射光谱

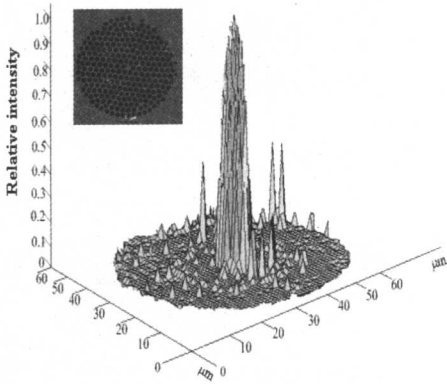


图5 MSF 输出能量分布图

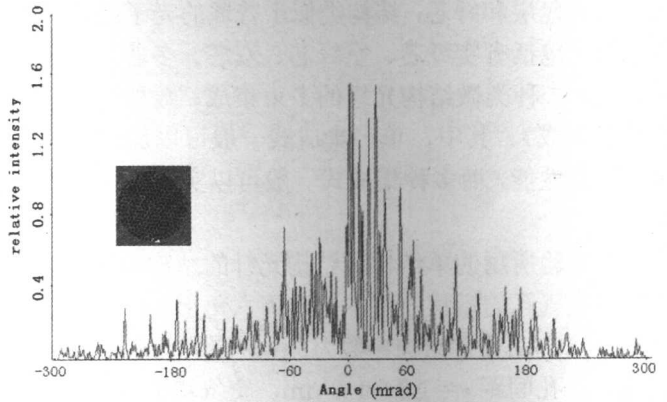


图6 MSF 端面相干背散射分布图

4 分析和讨论

当用40倍显微镜将单色计输出光经光纤耦合器聚焦到MSF端面上时，由于纤芯只有 $\phi 1.5 \sim 1.7 \mu\text{m}$ ，聚焦光斑的尺寸为 $\phi 10 \sim 15 \mu\text{m}$ 左右，其能量大部分照射到包层端面上，我们从端面反射图4看出，它与图3所示的纯石英光纤端面反射光谱完全不同，其端面反射能量虽然很少，但存在着明显的反射光相干现象，而在MSF的输出能量分布图5看出，从光纤输出端测得的出射光的能量分布，约80%集中在纤芯中，而包层传输的能量很少，说明聚焦到MSF端面的能量没有从侧向泄露，被端面反射出去的量也很大。如何理解这一现象是认识MSF导光原理的一个重要内容。为此，我们做以下的分析：

1) 关于光子局域化理论的应用

由于微结构光纤端面空气孔尺寸为 $\phi 0.9 \sim 1.2 \mu\text{m}$, 而孔间距尺寸为 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$, 在 MSF 的节区和脉区是周期结构中带有无序分布, 这种全同散射体在几何上的互相关联, 正是导致散射光相干共振的结构, 当分散的无吸收介质的尺寸和波长 λ 相接近时, 介质对光的弹性散射特别强烈, 根据经典输运理论, 对一般的无序尺度分布的粒子, 其散射波大多是前向不相干的, 但是满足了上述条件后, 散射光振幅在某一路径和反演路径上各点都是相同的, 而且在背散射方向 $k_i + k_f = 0$ (k_i 是入射波矢, k_f 是出射波矢) [8] 出现相干。若 $-k_i$ 和 k_f 之间的角度为 θ_c , 即在散射张角 θ_c 圆锥以内都能出现相干散射 [9]:

$$\theta_c = \lambda [2\pi(lL_r/3)]^{1/2}$$

式中: l 为平均自由程, L_r 为散射路径总长度, θ_c 为散射波相干限止角。根据光波的输运理论, 散射波的干涉对输运起着重要作用时, 波的扩散就不再是单纯的依赖于经典平均自由程和传播速度。按照 John [9] 理论, 它主要依赖于样品的宏观相干性质。扩散系数 $D(L)$ 成了标度 (尺寸) 依赖 (Scale-dependent) 型, $D(L)$ 同时与 λ 和 l 相关, 而且当 l 达到一个临界值 $\lambda/(2\pi)$ 时, $D(L) \rightarrow 0$, 使光的传输停止, 出现了全反射现象, 即实现了光子局域化。所以产生光子局域化的条件是, $l \leq \lambda/(2\pi)$, 也就是 $kl \leq 1$, 称这个条件为约非-里格尔 (Ioffe-Regel) 临界条件 [10]。实际上, 当散射体尺寸和光波长相近时的米氏散射相干波长与宏观的 Bragg 共振波长一致时, 就出现了光子带隙。理想状态下, 光子局域化, 对其内部光是陷阱, 对于外部入射的光则构成了完全反射体, 不允许某一波长范围的光传输。其本质就是形成了光子带隙, 因此, 光子局域化和光子能带和光子带隙是同一本质的两种表述。

2) 关于包层中的侧向反射作用

当采用 40 倍光学系统将光栅单色仪出射光通过光纤耦合器聚焦到 MSF 端面上后, 入射光的方向与光纤芯传光方向成一个锥角, 除中心光轴外, 这些入射光都包含着很大比例的横向分量, 如果这些横向分量的光, 不能被局域回光纤芯中, 就将从 MSF 包层中泄露出去, 在 MSF 的输出端将没有能量输出, 但是从 MSF 输出端的能量分布图 5 可见, 聚焦在 MSF 端面上的能量, 没有发生大部分能量的泄露, 而且在纤芯中会聚了约 80% 的光能量, 因此, 说明 MSF 的横向具有使 500~650 nm (尤其是 550~600 nm) 波长的光局域在中心的能力。对于 MSF 的这种性质, 现有的报道中, 都采用折射率引导型原理解释 [11], 采用等效折射率方法, 可以计算出 MSF 的 n_{eff} 随波长变化曲线 [7], 由于包层中存在空气孔造成平均有效折射率 n_{eff} 下降, 并且远小于纤芯的折射率。也有利用光在高折射率材料中全反射原理, 解释入射到包层中横向光 (垂直于光纤轴方向) 满足全反射的要求。但是, 不同波长的 n_{eff} 是不同的, 因此它们的全反射角也不同, 采用 40 倍透镜聚焦光束后, 会有很大一部份光不能满足全反射条件, 它们会从包层泄露出去, 而增加了 MSF 的传输损耗。因此, 对于没有折射界面的结构, 这种解释又与实验结果不相符合。

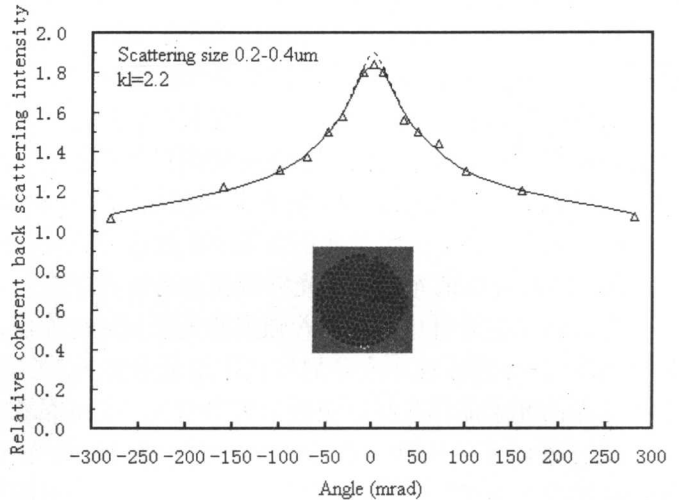


图7 MSF 背散射强度与方向角关系曲线

在 MSF 传光理论解释中,更多地采用包层的 Bragg 散射作用^[4~6],象电子在完整晶格中散射一样,光子也会在折射率周期变化的光子晶体中实现 Bragg 散射,从而使侧向传输的光被反射回纤芯中,不能在包层中传输,但是 Bragg 散射更适用于单层粒子散射,而对于深层的晶格点阵散射的作用很微弱,甚至无法实现散射相干。然而在米氏散射理论中,当光波长和折射率周期变化的材料相互作用时,尤其是当变化周期尺寸和光波长满足一定条件时,就会产生强烈散射,这时的散射截面可以比粒子的几何截面大几倍^[17],使侧向传输的光能量无法通过,而被全部反射回纤芯中传输,这是实现了真正意义上的光子局域化作用。而产生光子局域化的本质就是产生光子带隙,因此可以把光子晶体光纤重新分为以光子带隙导光型和以光子带隙局域光型式两种。我们认为在微结构光纤中,存在着强烈的光子局域化作用,无论是光子带隙型,还是折射率引导型的 MSF,其导光原理中光子局域化作用是主要的。所以,这一理论不单解释了具有规则周期折射率分布的光子晶体光纤,更能解释带有无序分布的微结构光纤。

为了进一步证明这一点,我们又使用 He-Ne 激光(波长为 632.8 nm,光束直径 ϕ 3.0 mm,输出功率为 5 mW)对单结构光纤端面进行背向散射相干强度随角分布的测量,见图 6 和图 7,由图中可以推断出相干背散的限止角度约 15°左右,而且这个相干背向散射角的大小与散射强弱有关。我们利用约非-里格尔条件 $kl \leq 1$ 来判断微结构光纤(MSF)的局域化程度,其中 k 是散射光波矢, $k = 2\pi/\lambda_{\text{env}}$,当完全实现光子局域化时, λ_{env} 是 Bloch 波长,在我们的计算中 λ_{env} 仍然采用背散射相干范围波长 500~650 nm, l 是介质的散射光平均自由程,近似为 0.3~0.2 μm ,利用上述数据计算结果为 $kl \approx 2.2$ 左右。这一结果接近于光子强局域化状态,也证明我们的分析的正确性。

References (略)

红外加热 30 年

李工一¹, 葛世明²

(1. 辽宁科发高红外有限公司; 2. 锦州红外技术应用研究所)

1 行政运作

1970 年日本首先发起远红外加热,当时被认为是划时代的加热技术。各国政府出招支持与推广此项技术。

我国远红外加热始于上海。政府在 1978~1980 年在上海召开了几次会议,以及第一届全国红外推广现场会。政府出资,三电办介入,将我国原本落后的,无人研究无人过问的低温加热炉、烘干炉、干燥炉、焙烧炉……进行了大规模的改建,改造与新建,据不完全统计到 1982 年全国共改建低温炉 180 万 kW,节约电力 2 亿 kW·h。

这一时期,配合红外加热,我国出版了几本“红外加热”书籍,大多数是理论性的、概念性的,在当时起到了很好的效果,业内人士普遍知晓了一些新的原理和知识,红外涂料、红外元件、匹配吸收、高辐射系数……

2 市场运作

从 1985 年起,红外加热进入了市场运作阶段,为了争取用户,商家施出了全部招数,证明各自的红外加热元件的优劣,证明了红外加热方法的适应性,推崇自己红外加热技术的独创性,在我国市场经济——改革开放初期,红外加热以廉价节能的名义为各地上马的一轮又一轮的家用电器热潮,提供了不少的红外加热装备,洗衣机、电风扇、电冰箱、空调、电饭煲与此同时亦从国外进入了不少红外加热流水线上烘干炉、固化炉、脱水炉,例如,吉林冰箱厂,将军牌冰箱厂,

阿里斯顿等不足十条，然而当时我国引进的生产线已超过百条。

这一时期的理论很混乱，个别人洋洋万字打出了“赶快限制推广远红外”的文章，不少 SiC 工厂纷纷下马，从最高时期的几十种加热元件，只落到 5~7 种。

值得一提的是：我国唯一科研单位，辽宁科发公司、锦州红外科技研究所（国家红外技术推广研究中心及国家高红外技术推广研究中心）提出了自己对红外加热的理解与看法，并在 1992 年召开的第六届国际电热会议上发表，引起不少国家的兴趣，引起加拿大、台湾学者的关注、锦州的理论推进了红外加热的有序发展，用定量的计算演示了红外加热、红外加热元件、红外加热设备以及红外加热技术之间的定量与半定量的关系，提出了不为人们重视的低温（50~350℃），加热炉用红外辐射加热技术，经过上海市经委的推荐，在上海搞了一试点。合同规定，节能 40%（或称热效率按国标达 40%以上），炉内温度均匀性 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，上海当时组织力量测试验收，结果是该炉热效率达 42%，48%和 52%（验收时包括桑塔娜在内上海时低温加热炉的热效率最高为 36%。

可惜，这类指标的炉子，该研究所也不过在廿几年的时间里完成 4~5 条。

3 优胜劣汰

随着大规模引进技术最后一个项目（从涂装而言）的进展，红外加热浮出水面，渐渐明白了自己的位置。这个项目就是汽车工业。我国可能考察了世界所有的汽车厂，未见国外有红外或远红外加热的烘干炉和固化炉，我国之内，整车涂装的流水线亦没有用红外加热的。

红外加热的思考期到了。红外加热设备只有三种，封闭式烘箱式炉，半开放式连续炉及全开放式的连续式炉，最适合红外加热的只有全开放式连续式炉，例如塑料印刷的轮印机，印染行业的立式烘干炉，定型炉（连续式）。半开放式连续加热炉亦可应用。最关键的是如何用辐射加热的方法使工件在炉内引走的过程中保持上中下左中右温度均匀。这是一个很繁烦的技术。

红外加热对象，应当是薄制品，大面积，对于厚物料的加热。不论在何种加热炉中红外加热难以实现工业目标：保证工件内外温度一致。

红外加热涂料固化，以粉末和水性涂料最优，油漆涂料的节能涉及环保及热量再利用之技术，热风加热优势比较明显，红外加热对粉末是非常有效的。

红外加热面对工业加热目标：将工件表面设计成为 $\pm 5^\circ\text{C}\sim 7^\circ\text{C}$ 的技术措施太繁，逼得人们想到了两种方法，一种是大面积、大功率、大空间加热。工件表面温度均匀了，能耗太高。另一种方法就是采用强辐射、高能量、高功率、高辐射系数，采用“辐射均匀、温度均匀、瞬间加热技术（即高红外原理，保证工件温度均匀，又能实现快速加热，特别适用于脱水与粉末涂料水系涂料及油基涂料……）。我国的红外研究机构是从红外辐射理论研究中提出了高红外方法（俗称式简称），位于明尼苏达州的美商 BGK 公司，他们是引进美军方“瞬间”或“爆炸”加热技术成立的隶属于伊利诺斯州工具厂的一间公司。

高红外节能节时节地提高产量均具有十分惊人的效果，可以说没有一项技术的工艺进步能达到三个 90%，节时、节能、节地和提高产量。这应当是红外加热的发展方向。

4 结语

BGK 公司在全球的推广应当引起重视。上海宝钢彩板加热炉最高加热速度（生产速度）15~30 m/min，而采用高红外可达 90~100 m/min。粉末涂料通常要 20 min 固化。高红外 30 s 即可完成。且产品质量处于最好状态。

高红外技术难度尚有不少需解决的问题，例如测温、元件寿命及控制技术。

高红外加热趋势越愈来愈明显。

对当前能源严峻形势的建议

曾庆衿

(广州大学物理学院, 广州 501405)

我国经济正在高速发展, 能源形势非常严峻, 电力告急, 八面“油荒”。

开源非一日之功, 本文暂且不谈; 节流潜力很大, 把现有的科技成果抓紧落实, 全国推广, 便可取得显著的功效。

1 工业加热炉可节能 10%

我国科研人员, 早已发现耐火材料(耐火砖、浇注料、硅酸铝纤维等)在红外波段 $1\sim 5\mu\text{m}$ 范围辐射系数只有 $0.45\sim 0.55$, 不利于高温辐射加热, 于是研制了提高红外波段辐射能力的节能涂料(HES-I), 经武汉钢铁公司、广州钢铁公司、韶关钢铁公司和佛山陶瓷集团公司使用证明, 节能10%以上, 同时出版了论文和专著, 所进行的分析研究比国外还要深入和系统。可惜, 真正研制并获得发明专利的成果无法产业化, 而假冒的却运用了回扣等经济手段在市场热腾了一阵子。假的终究是假的, 在市场混不长久。日本借机插手进来, 仿照西方被誉为加热炉发展里程碑的ET-4节能涂料, 研制了CRC1100、CRC1500, 产品进入上海, 与上海组成“日上”公司, 以 $\text{¥}36\text{万/t}$ 的高价, 大量进入宝钢; 当向内地武钢推进时, 武钢用16万人民币购了半吨试用, 试用的结果并不比售价 $\text{¥}5\text{万/t}$ 的国产HES-I优越, 两者的价格比是7:1。国内的工业加热炉大多不用进口节能涂料, 所以现在的工业加炉——窑炉、轧制加热炉、烧结炉、正火炉、工业电炉、陶瓷炉、水泥炉等都没有使用高温红外节能涂料。若能重视我国拥有自主知识产权的高温红外节能涂料, 振兴我国的高温红外涂料工业, 填补工业加热炉没有红外涂料配套的空白, 必能节能10%以上。

2 高温工作的金属设备可节能 10%

高温工作的金属设备, 有火电厂的火电锅炉、水冷壁、烟气管道、热交换器; 有石化行业的管式裂解炉、热气管道、热交换器; 有钢铁行业和机器制造行业的正火炉、辐射管; 有化工、制药行业的热加工设备。

金属有很多优点, 所以人类文明使用大量的金属设备。但从节能降耗持续发展的角度来考察金属, 它便存在两大非常严重的缺点:

金属第一大缺点是红外反射率高、辐射率低, 很不利于高温辐射加热, 致使金属设备热效率低, 浪费能源严重。

金属第二大缺点是不耐高温腐蚀, 也不耐酸、碱、盐气氛和溶液浸泡腐蚀, 自耗严重。

调查我国工业的高温金属设备, 对于上述两个缺点都没有防护, 金属设备是在高温下裸体工作, 既耗能又自耗。随着工业愈发展耗能和自耗愈严重: 我国1998年金属损失2700亿人民币, 2001年金属损失4000亿人民币。美国的工业也没有克服上述两个缺点, 每年金属损失3000亿美元, 全世界金属年产量24% (相当一亿吨金属) 因没有防护而损失掉, 可见这是全球存在的严重问题。世界的报道关注了这方面的问题, 但世界的研究还没有足够重视这方面的研究。以我国为例, 中科院沈阳金属所做了大量很有意义的研究, 但没有办法用到大型的民用工业设备, 更难用到现场施工。可是, 随着能源的贫乏, 矿产资源的枯萎, 人类要持续发展, 必须正面解决金属设备的上述两大缺点。

现在我国科学工作者研制了一种金属涂料, 常温施工常温固化, 坚硬耐磨, 与金属设备结合可长期工作在 1000°C 以下, 红外辐射率高, 克服了金属的第一个缺点, 测试和使用证明可节能10%以上, 并且涂层耐酸、碱、盐气氛腐蚀, 调整配方, 还可以长期耐酸、碱、盐溶液泡煮腐蚀,

这也是克服金属第二大缺点的初步成果。2005年2月这项研究获得发明专利授权。发明人为了把这成果产业化,经过几年的奔波游说,仍筹不起投产经费,单枪匹马,力量单薄,只好听天由命了,实在可惜。假若能把这金属涂料产业化,起码可以节能10%,延长设备寿命更是明显,我国的民族工业将在世界工业之林中增加了一朵奇芭。

3 创新的时代应有创新的举措

10年前,报道我国能源利用率30%,西方先进国家是60%。10年后的今天,我国能源的利用率仍报道30%。据估计,可能更低,因为我国的工业发展是粗放性的,是高耗能的,节能又没有重大的创新。

对于高耗能的工业加热炉和金属高温设备,我国有了与国际比美的研究成果,有自己国家的知识产权,面对当前严峻的能源形势,在这中华民族创新崛起的时代,能否有一种革新换面的创新举措,来缓解我国的能源紧张形势,来缔造我们节约性持续发展的社会?!因此建议我国科技部、能源部牵头组织专家,组织检测和实施机构,招募国内外一切能用于工业加热炉、用于高温金属设备的节能降耗新发明新技术,经过检测、鉴定优选,把特别有效可行的技术成果肯定下来,向国内推荐,向全国推广,这样,估计我国的能源利用率将从30%提高到50%。

电热红外加热的节电效果研究

吴涛,岩峰,马江,吴玮

(黑龙江省电子技术研究所,哈尔滨 150040)

1 前言

电热红外设备在工业生产中广泛应用于加热、干燥、固化工艺,如,木材烘干炉、砂型烘干炉烘、烤漆烘道、红外空气幕等;在人民生活中广泛用于建筑供暖、人体理疗等设备中。只要精心设计,使其电-红外转换率大于50%,即以红外传热为主,那么其节电效果是显著的。

根据电-红外转换率公式:

$$\eta = \frac{A \cdot \varepsilon \sigma T^4}{P_{\text{电}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: A 为红外辐射面积, cm^2 ; ε 为法向全发射率; σ 为斯蒂藩-玻尔兹曼常数, $5.67 \times 10^{-12} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^4)$; T 为绝对温度, K , $1 \text{ K} = (273 + t)^\circ\text{C}$

一般情况下,当 $\varepsilon \geq 0.83$, $T > 473 \text{ K}$ 时, $\eta > 50\%$,从式中可见, ε 越大, T 越高,红外辐射越多,但也要注意,温度的提高有个界限,即不能有可见光出现,否则, η 反而相对减少。下面将介绍节电效果居世界之冠的“远红外木材烘干炉”和“红外建筑供暖器”这两项技术应用。

2 红外木材烘干技术

2.1 红外加热器的表面温度

作为木材的红外干燥,设计时,主要应选择对于木材穿入较深的波段,而 $3.3 \sim 6.8 \mu\text{m}$,这就是内部的主吸收带,只要把加热器的峰值波长选择在 $4 \sim 6 \mu\text{m}$ 之间,便具有穿入深、节电效率高的特点,根据维恩位移定律:

$$T = 2898/\lambda_m \text{ (K)}$$

式中: λ_m 为峰值波长, μm 。加热器的表面温度应选择在 600 K 左右。

2.2 设备内的辐照度

辐照度要分布均匀,且量值适宜,这就要求内壁应采用红外反射性能好的不锈钢板或合金铝

板, 并且对于不同物料所能承受的辐照度值设计相应的空间电功率密度 (kW/m^3), 经测试, 木材能承受的最大辐照度为松木 $0.25 \text{ W}/\text{cm}^2$, 水曲柳 $0.27 \text{ W}/\text{cm}^2$, 如果超过该值木材将变黄、变焦, 破坏了木材的物化特性, 降低了机械强度, 综合考虑应为 $0.2 \text{ W}/\text{cm}^2$, 为此, 在 GB5481-85《远红外林木烘干炉》中规定, 木材烘干炉的空间电功率密度为 $1 \text{ kW}/\text{m}^3$ 最佳。

2.3 脱水耗电率

脱 1 kg 水的耗电量定义为脱水耗电度 (kWh/kg)。在冬季里, 对于烘干松木、榆木和硬杂木等耗电情况进行应用测试, 如表 1 所示。

表 1 脱水耗电度 (冬季)

木材种	厚/mm	初会水率/%	终会水率/%	脱水耗电率/ (kWh/kg)
松木	30	65.2	11.6	0.83
松木	30	41.0	8.0	0.91
松木	27	85.0	16.2	0.87
榆木	30	53.2	9.2	1.39
榆木	30	56.1	11.2	1.06
榆木	30	88.0	9.7	0.87
硬杂木	27	59.5	20.0	1.2
脱水耗电率的平均值/ (kWh/kg)				1.02

在东北地区, 冬夏温差很大, 夏天零上三十几度, 冬天零下三十几度, 取其中间值为木材入炉时的温度, 即 0°C 来计算木材在烘干过程中的耗电量, 那么 1 kg 水从 0°C 升到 100°C 并变成水蒸气, 需要耗热量为 639 kcal (这里还不包括相应质量的木材本身升温时所需的热量)。而 1 kWh 电能可转换成 860 kcal 热量。

根据表 1 平均脱 1 kg 水耗电 1.02 kWh , 那么, 其脱水耗电率为:

$$639 \div (860 \times 1.02) \times 100\% = 72\%$$

这在世界上是独一无二的, 据报道, 近红外从木材中每蒸发 1 kg 水, 耗电 3.5 kWh , 微波烘干为 4.5 kWh , 世界上发达国家的能源利用率为 $40\% \sim 50\%$, 我国为 $28\% \sim 30\%$, 可见红外木材烘干的节电效果是非常显著的。

3 红外建筑供暖技术

俗语说, “火烤脑前暖, 风吹背后寒”, “早穿皮袄午穿纱, 怀抱暖炉吃西瓜”, 这里的暖就是来自红外线。

还有, 红外线还能被“蓄积起来”, 白天太阳当空照, 人们感到热, 可是, 晚上太阳西下后, 为什么空气还很热呢? 就是因为白天阳光中的红外线被大地和植被吸收, “蓄积”起来, 到晚上又释放出来的结果。

根据红外线是“热线”, 而且能被蓄积起来的特点, 我们设计了以红外辐射传热为主的建筑供暖设备。

哈尔滨冬天夜间最低气温为 -35°C , 白天最高气温为 -7°C , 我们对建于 1958 年的普通建筑的一楼进行电耗测试, 在连续恒温 18°C 时, 每平方米, 每天耗电为 0.35 kWh 。如果围护结构采取保温措施, 连续恒温 18°C 时, 每平方米, 每天耗电应为 0.3 kWh 左右。

4 红外加热设备的核心部件——红外辐射加热器

在 GB8623-88《金属管状远红外辐射加热器》中规定, 法向全发射率 $\epsilon \geq 0.83$, 电-红外线转

换率为 $\eta > 50\%$ ，而我们在木材烘干炉和建筑供暖设备中采用的是我单位承担的国家 863-715-006-0140 课题成果——釉质膜表层的红外加热器，包括金属管、半导体陶瓷片和沸石板，该加热器“填补国际空白”，“居世界领先水平”，其电-红外转换率可达 70%，而且釉质膜红外性能不衰减，附着力强，不脱落，使用寿命 40 年以上。

4.1 法向全发射率

标志红外发射本领的法向全发射率 $\epsilon \geq 0.87$ 。这个参数很关键，从式(1)中可看出，如果 ϵ 从 0.7 提高到 0.9，那么电-红外转换率就提高 30%，因此红外加热器涂层的 ϵ 越高越好。

4.2 表面温度

从式(1)可见，红外转换率与温度 T 的 4 次方成正比，但温度的设计要考虑两个问题，一是，不能出现可见光，否则电-红外转换率 η 反而相对减少；二是，不同物料有着各自不同的主吸收带，如木材的红外的主吸收带为 4~6 μm ，根据(2)式，相对于 4~6 μm 波段，其温度应当为 724~483 K。然而对于人体理疗仪的设计则不同，由于皮肤、血液、脂肪的吸收峰位于 6~8 μm ，那么，相对地应选择温度为 483~362 K。但测试表明在 6~8 μm 有多个吸收峰，因此红外加热器应设计成宽带辐射，其带宽范围为 6~8 μm 。

4.3 红外辐照度

红外辐照度实际上是看不到的“温度”，当加热器的表面温度选定后，辐照度的量值很重要，辐照度过大会使物料被烧焦、烤伤；过小，又不能达到以红外传热为主的节电效果。测试表明，木材能承受的最大辐照度为 0.25~0.27 W/cm²，人体所能承受的最大辐照度为 0.08~0.10 W/cm²，而工业烘漆的最大辐照度为 0.5 W/cm²。这里还要特别指出，辐照度的均匀性是直接影响物料烘烤质量的重要参数。

4.4 保温措施

保温措施直接影响节电效果，作为工业使用的烘干炉，其外表的温度不应高于环境温度，作为红外供暖设备其围护结构必须采用保温措施，否则将影响节电效果，我们设计的木材烘干炉，由于保温措施到位，在冬季零下三十几度的环境温度下，烘干炉在运行中落到炉上部的积雪不会融化。

5 结语

当今时代国家号召建立节约性社会，因此在电加热设备中，应该采用法向全发射率 ϵ 大，且电-红外转换率高的红外加热元件，这是红外节电的必要条件，缺一不可。

高红外应用于玻璃抽真空退火炉

邱尚斌

(东北电子技术研究所)

在红外加热装置中，红外辐射器发射的光谱包含近、中、远红外波段，这种全波段的加热模式将产生高强度、高能量、高功率密度的红外辐射能。该炉被加热的物体是镀膜玻璃管，在炉中受热退火并用抽真空技术排出管中气体混合物。退火温度最高 570℃，保温 470℃，真空度 10 Torr。被加热物吸收波长为 0.75~16 μm ，选用两种波长范围的高红外石英加热元件，一种是短波红外加热元件及中长波加热元件，它们的波长范围分别为 0.75~3.5 μm 及 3.5~16 μm ，功率密度为 5~25 W/cm²，炉壁结构为不锈钢密封式，保温厚 250 mm。功率控制是通过红外传感器测其工件表面温度并用光学导流转变成电信号去调整投入功率。温升曲线是先编制好并输入到具有多段编程功能的专用智能仪表中，可随意改变工艺参数以满足工艺要求。

红外激光对多层复合材料的作用研究

谷 励¹, 王志秋²

(1. 大连理工大学物理系, 大连 116024; 2. 锦州欧仕包装机械有限公司, 辽宁 锦州 121001)

序言

以能量光电子为特色的激光加工与处理技术作为一项高新技术, 近年来在材料科学、生命科学领域获得了突飞猛进的发展。激光/材料相互作用是一切激光加工技术的基础, 明确其物理过程, 研究光束传输、转换、成型理论, 研制相应的光电子器, 开发新型激光加工工艺, 不仅具有重要的学术价值, 而且具有重大的经济效益的社会效益。本课题经中国兵器工业集团总公司立项并将进行评审和鉴定。同时, 该项目未在国内外发现相关资料, 故已报发明专利。

1 多层复合材料的热效应特征分析

本文首先对多层复合材料的热效应——热溶合进行系统的分析, 对每层的传热特性和耐温性进行分析实验。以此作为激光溶合的计算参量。

2 激光器参量的选择

激光模式的选择与确定, 激光器传能光纤的应用过程中, 能量波形的变化与热合。传能光纤的应用光刀的光学系统设计, 光刀位置与角度的确定激光器系统的扫描速度与功率的最佳偶合等等。

3 激光光束与光斑热作用分析

作者通过对多层复合材料的热效应和激光光束光斑热作用的研究分析, 分析计算出激光所产生温度场的空间分布, 以及它随激光辐射的时间效应。为激光对多层复合材料热溶合提供了理论依据。

4 激光对多层复合材料溶合的硬件技术实现

作者将已设计使用的激光溶合系统的气动系统、机械结构系统、控制系统、真空系统设计思想和方案提供给作者。

红外加热技术的综合应用与节能

谷 励¹, 栾文彦²

(大连理工大学物理系, 大连 116024)

序言

本文从节能是我国基本国策基本点出发, 结合红外加热技术发展现况, 提出了红外加热技术应综合发展和应用, 并以节能为中心目标, 探索出一条使红外加热技术不断深入和扩大的新路径。同时通过本文作者分析论证能起到抛砖引玉的目的。

1 红外加热技术应用与节能关系

红外加热技术应用与节能是密不可分的, 但在技术应用现阶段多以如何实现加热技术的性能指标、提高生产率和生产产品的质量为主要因素, 而节能往往列为次要因素。随着红外加热技术不断发展和应用领域的不断扩大, 节能逐渐成为主要因素, 研究将该技术发展为一个节能技术, 应成为值得探索的重要课题。

2 红外加热技术的综合应用与节能

2.1 红外加热技术的机理与节能

红外加热技术是涉及电学、光学、传热学、化学等多学科知识的综合技术。技术应用所涉及的领域也非常广阔。几乎各种行业都需要热作用。因此, 它的应用是综合的。把它作为一项节能技术, 必须从多方面进行深入研究。首先应从加热机理上进行节能推理, 以确保有准确的理论依

据作保证。依据大多数有机物吸收红外波段电磁波特性,通过被加热物充分接受辐射而加速内部分子键之间的振动和转动,以达到倍效的加热效果,但在工程实际中,单一考虑“匹配与吸收”往往使许多红外加热不能达到技术所阐述的效果,作者认为应用“亚匹配与吸收”机理值得考虑。

2.2 红外加热技术应用受被加热物特性的影响

任何技术都有它快速发展的阶段和应用范围,红外加热技术也一样,它对于薄载体表面涂层固化的应用比较成功,现阶段应以节能为中心,对现有技术设备进行工艺技术指标的计算机建模分析,通过量化精确计算出各种能耗数据。并对应用红外加热技术进行行业化系统评价,特别是该技术应用能耗指标,应作为一个主要的核定指标。对超过行业平均能耗指标查找原因,根据新指标进行技术改造。对厚载体的表面物加热和厚物料干燥加热,要进一步研究红外加热有效性,特别是温度场的均匀性和物体受热的均匀性问题。另一方面是采用红外辐射加热与其它加热技术有机结合应用的研究。要充分分析被加热物的干燥特性和传热特性,在加热的整个过程中可以采用某一阶段或几个阶段用红外加热,其它阶段用其它加热形式。红外加热技术多应用于非接触加热的辐射加热,有些特殊条件下也可应用于可接触加热形式中。

2.3 红外加热技术的多种热源的综合应用

如何把红外加热技术作为节能技术,就必须以耗能量与能源价格比做一个重要的衡量指标,在不影响环保指标前提下,不能仅仅固定在电热源上,应对不同热源的经济性进行考核。在我国不同地区的资源是不同的,应因地制宜考虑问题,另外,如果能够参考欧美设备优点(例如粮食烘干机可以在热源上任意选择电、燃油、煤的各种热源互换)用户可以根据自己的具体条件进行任意的选择。另外,大家所熟悉的问题,不论使用那种热源都应重视热源的有效利用,它存在两个方面,第一是在充分掌握加热机理情况下,采用的加热形式。第二条是怎样能使热源最大化的应用于有效加热区而减少不必要的能量损失。这两个方面都是节能的重要问题。

2.4 红外加热技术的灵活运用与节能

由于红外加热技术所应用的范围广,工程中常会出现被加热物的特殊需要,如材料几何形状、材料的温度特性或其它特性等等。如果不认真思考往往失去用红外加热技术最佳解决问题的机遇。本作者在工程实际中常遇到采用该技术解决特殊工艺阶段的问题,对不适合红外加热条件的场合应用其它加热形式。其次是应用方法的节能。如采用电为热源的红外加热时,在加热过程中用现阶段电网的峰谷电量不平衡,采用低谷时间用电来达到节电增效的目的,近期开发的电热取暖膜红外加热可以利用夜间低谷电加热,以达到低电价增效的目的。另外,对许多加热项目变整体加热为局部有效加热,把整体加热温度与局部加热温度区别对待,也可达到节能的效果。本作者近期开发的红外加热与太阳能有机结合的新型综合加热节能技术既有益节约能源又有益于人类的健康。

2.5 红外加热技术应用的不断扩展与节能

一项技术的生命力在于它不断深入研究和应用的扩展,开发新热源对特殊被加热物进行有效加热越来越受到科学工作者的重视。本作者开发的二氧化碳激光器为红外辐射源就是其中一项,使用激光波段为 $10.6\ \mu\text{m}$ 红外线光束的对 $0.5\sim 2\ \text{mm}$ 多层非金属与全属相间叠加的薄物料进行加热溶合。它不仅加热速度快、无电磁污染、加热区域可调,而且加热溶合宽度、长度也可调。同时节省能量,减少环境温度等许多优点。用等离子理论开发的红外等离子体特殊加热源也是新热源一种。其次,把红外加热技术应用到医疗领域发展非常快,出现许多新的科研成果,并逐渐造福人类,它将有广阔发展和应用的前景。

3 在宏观和微观不同状态的红外加热技术的综合应用

在红外加热技术应用领域中,红外加热技术所研究的机理多以热力学为理论基础,分析红外

加热宏观现象。因此,将红外加热的作用效果也都定性进行分析和评价。由于红外加热技术体现各种技术结合的综合性。如果不认真分析红外加热技术所应用的对象,又固执认为它是解决一切问题的万能钥匙,就不会达到最佳节能效果。这时红外加热技术的综合应用经过深入分析就自然推理到微观状态下加热机理的分析。本文提出了真正能使红外加热技术变成节能技术就必须先将微观状态下加热机理进行详细的研究必要性。那么只有将加热机理彻底掌握,才能更好的应用,也就能达到节能的最佳效果。

4 红外加热技术综合应用与节能的量化

红外加热技术能成为节能技术,除进一步深入研究微观加热机理,另一方面就是不断将红外加热技术的节省效果进行精确的量化。它包括加热源辐射效率的量化,加热布局与加热温度场分析量化,散热损失的量化。建立多参数的分析模型,对不同红外加热技术应用的行业进行加热效率的能耗量化计算。只有量化才能真正达到节能的目标。作者认为量化需要许多科学工作者经过大量的理论分析和实验才能获得,它将进一步推动红外加热技术发展的应用。

5 红外加热技术综合应用与节能中所需硬件

红外加热技术发展过程中离不开先进的分析测试系统,根据红外加热技术所应用的每一个领域的项目,除进行理论推导外,每项分析和实验都需要验证,如果没有先进的分析测试系统的硬件的技术支持,很难达到最佳方案和效果。另一方面,每一项技术应用的实施也需要用分析测试设备来验证。其次,作者认为设计与开发计算机控制系统,开发高精度传感器,才能使先进的红外加热技术应用得以更进一步发展。

本安型红外热风循环加热系统研究

谷 励¹, 李艳涛²

(1. 大连理工大学物理系, 大连 116024; 2. 锦州力源科技有限公司, 辽宁 锦州 121001)

序言

我国兵器工业系统对火药、炸药的加热干燥多采用蒸汽式干燥形式,这主要是考虑生产的安全性,怎样将红外加热应用到火药、炸药上加热干燥,缩短干燥时间,节省能源,提高产品生产的安全性,变成一项非常复杂和艰难的工作。由中国兵器工业集团总公司立项,作者经过多年研究设计出节电、环保的本安型红外热风循环加热系统,该系统通过了中国兵器工业集团总公司安全专家组评审和鉴定,并已投入生产使用近两年,填补了该项技术应用的国家空白。

作者从下面 5 方面进行阐述:

1 火药、炸药的组成与红外加热的热敏感性的分析

依据不同种类炸料物理和化学特性,对它进行特定的红外加热热敏感性分析。原工艺中温度指标已不能作为确定热敏感性的唯一性数据。在红外加热作用下,不仅要考虑药料间相互作用对热敏感性的影响,还要分析混合剂对热敏感性影响倍增的因素。

2 红外加热药料热效应与干燥机理研究

火药、炸药干燥属于厚物料有机物加热干燥,必须进行特定的红外加热的热效应分析。本文阐述了红外加热效应热机理研究的必要性。同时对红外加热药料机理也详细的论述。

3 在保证安全前提下所采用节能技术

由于火药、炸药的特殊性,原有加热技术多考虑安全性问题,怎样研究在保证安全前提下又能节省能源,往往成为难题。作者经过多年的分析研究,设计出本安型红外热风循环加热系统。该系统在解决了红外加热的温度场的均匀性难题条件下,使本系统节省一半以上能源。