



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 215953424 U

(45) 授权公告日 2022. 03. 04

(21) 申请号 202120778746.0

(22) 申请日 2021.04.16

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 郭冬妮 刘巍 金鑫明 连欢

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01N 25/20 (2006.01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

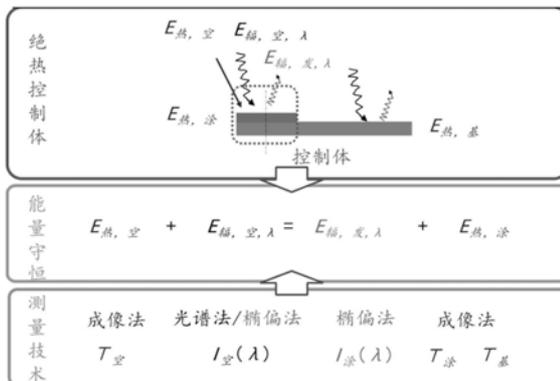
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统

(57) 摘要

本实用新型公开了一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,该系统包括风洞、傅里叶光谱测量仪、红外热像测量仪、红外椭偏测量仪,分别采用傅里叶光谱测量方法进行高温介质红外光谱特性测量、红外热像测量方法进行涂层及基体结构表面温度测量、红外椭偏测量方法进行涂层表面吸收率和发射率测量。可以实现风洞模拟真实发动机热循环下,定量获得介质辐射与涂层热能及辐射能之间的瞬态及稳态传递关系和演化规律,可以定量获得介质辐射涂层热能及辐射能之间的瞬态及稳态传递关系和演化规律,定量评估热阻涂层瞬态及稳态热辐射阻隔率和隔热效果。



1. 一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,包括风洞(101)、傅里叶光谱测量仪(102)、红外热像测量仪(103)、红外椭偏测量仪(104),

所述风洞(101)中放置有涂覆涂层(1)的基体(2);

所述傅里叶光谱测量仪(102)水平放置在风洞(101)的一侧,红外热像测量仪(103)水平放置在风洞(101)的另一侧、红外椭偏测量仪(104)的入射光系统和接收检测光系统对称设置在风洞(101)的两侧,红外椭偏测量仪(104)的光线照射在涂层(1)上。

2. 根据权利要求1所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述风洞(101)设置为超声速风洞(101),风洞(101)的试验段温升速率达 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ;所述风洞(101)模拟真实发动机热循环及温度环境,通过将试验分为加热、稳定和降温过程,构造涂层(1)的瞬态和稳态的热辐射特性环境。

3. 根据权利要求1所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述傅里叶光谱测量仪(102)测量高温介质红外光谱特性,通过傅里叶光谱测量仪(102)实时遥测、分析高温环境中空气介质的红外辐射发射谱测量,获得发射率参数。

4. 根据权利要求1或3所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述傅里叶光谱测量仪(102)采用迈克尔逊干涉仪将检测光产生宽带相干光干涉,经单元探测器采集红外干涉图数据,经过傅里叶变换后,得到红外光谱图。

5. 根据权利要求1所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述红外热像测量仪(103)测量涂层及基体结构表面温度,在不干扰风洞(101)内流场的基础上,通过红外热像测量仪(103)获取高温气体中涂层(1)结构表面的温度分布与演化特性。

6. 根据权利要求1或5所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述红外热像测量仪(103)的测温范围为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ,热灵敏度达到 $0.01^{\circ}\text{C}$ ;所述红外热像测量仪(103)利用红外探测器和光学成像物镜接受被测目标的红外辐射能量分布图形,反映到红外探测器的光敏元件上,从而获得红外热像图。

7. 根据权利要求1所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述红外椭偏测量仪(104)测量涂层表面吸收率和发射率,通过红外椭偏测量仪(104)基于偏振光法进行测量,获得热阻涂层(1)的折射率和吸收率,从而反演出热阻涂层(1)的发射率、透射率,获得热阻涂层(1)的发射谱。

8. 根据权利要求1或7所述一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,其特征在于,所述的红外椭偏测量仪(104)基于偏振光法进行测量,包括入射光系统和接收检测光系统,入射光系统依次设置有光源(104-1)、起偏器(104-3)、补偿器(104-4),接收检测光系统依次设置为检测光系统(104-2)和检偏器(104-5),当光源(104-1)通过起偏器(104-3)、补偿器(104-4)将偏振光入射到涂层和基体上的界面时,发生反射和折射现象,反射光和折射光分别包含了基体和涂层的目标特征,通过斯涅耳定律和菲涅尔公式,描述反射光和折射光中各分量的强度,通过检偏器(104-5)、检测光系统(104-2)接受反射光和折射光,通过解算获得基体(2)和热阻涂层(1)的折射率和吸收率,从而反演出热阻涂层(1)的发射率、透射率,获得热阻涂层(1)的发射谱。

## 一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型属于热环境试验研究技术领域,具体涉及风洞模拟真实发动机热循环下多场耦合的一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统。

### 背景技术

[0002] 为了测试多种隔热技术对于高温环境的阻隔效果,国内外开展了大量的热环境试验研究:60年代国内外结构热试验室均采用以石英灯辐射加热作热源的热试验系统。此类试验系统,一般总功率从几千瓦到几十万千瓦;到了70年代,研究人员开始研制石墨加热器。按试验对象的形状把石墨加工成加热元件,用石墨加热元件的辐射热加热试验对象,形成新的以石墨为加热元件的辐射加热试验系统,把试验对象的温度提高到1200℃~1600℃,加热率也有提高,最典型的试验是航天飞机的翼前缘与鼻锥热结构试验;在研制石墨加热器的同时,还研究了以高温、高压燃气为热源的对流加热试验系统,如美国的TPSTF(防热系统试验装置)、HTST(8英尺高温结构风洞)等,这类试验系统采用高压气与燃料的化学反应产生高温、高压、高速气流对试验对象表面进行加热,考核防护热结构的放热能力与热结构的承热能力。而目前营造高温环境下的加热设备主要包含三类:一是太阳炉;二是电弧灯;三是石英灯与石墨加热元件。其中,石墨加热器因加热温度高、温区均匀以及运行时间长等优势,常常用于热防护结构传热性能的测试试验中。但是目前常用的加热装置其温升速率很低( $<5^{\circ}\text{C}$ ),现有试验设备多用于表征高温环境下防护材料的稳态热辐射特性。而实际发动机温升率可达100℃,伴随着极端的温度变化,材料受到热应力也将快速变化,极易导致热膨胀及热变形等问题。而材料的膨胀和变形对于表面涂层的力学特性及隔热防护效果均会带来不利影响,甚至诱发涂层失效。因而探究温升急速变化过程中,热阻涂层瞬态和稳态热特性至关重要。

[0003] 因此,需发展风洞模拟真实发动机热循环下一种多场耦合的发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统及方法。

### 实用新型内容

[0004] 针对现有技术中存在的问题,本实用新型的目的在于提供一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,可以实现风洞模拟真实发动机热循环下,定量获得介质辐射与涂层热能及辐射能之间的瞬态及稳态传递关系和演化规律,定量评估热阻涂层瞬态及稳态热辐射阻隔率、隔热效果。

[0005] 本实用新型采取的技术方案为:

[0006] 一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统,包括风洞、傅里叶光谱测量仪、红外热像测量仪、红外椭偏测量仪,

[0007] 所述风洞中放置有涂覆涂层的基体;

[0008] 所述傅里叶光谱测量仪水平放置在风洞的一侧,红外热像测量仪水平放置在风洞的另一侧、红外椭偏测量仪的入射光系统和接收检测光系统对称设置在风洞的两侧,红外

椭偏测量仪的光线照射在涂层上。以实现风洞模拟真实发动机热循环下,定量获得介质辐射与涂层热能及辐射能之间的瞬态及稳态传递关系和演化规律,定量评估热阻涂层瞬态及稳态热辐射阻隔率、隔热效果。

[0009] 风洞模拟真实发动机热循环、多场耦合热辐射测量。

[0010] 进一步的,所述风洞设置为超声速风洞,风洞的试验段温升速率达 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ;所述风洞模拟真实发动机热循环及温度环境,通过将试验分为加热、稳定和降温过程,构造涂层的瞬态和稳态的热辐射特性环境,用于研究表征高温环境下防护材料的瞬态及稳态热辐射特性,量化真实热辐射阻隔能力及隔热效果。

[0011] 风洞模拟多场耦合热辐射测量,分别采用傅里叶光谱测量方法进行高温介质红外光谱特性测量、红外热像测量方法进行涂层及基体结构表面温度测量、红外椭偏测量方法进行涂层表面吸收率和发射率测量。

[0012] 进一步的,所述傅里叶光谱测量仪测量高温介质红外光谱特性,通过傅里叶光谱测量仪实时遥测、分析高温环境中空气介质的红外辐射发射谱测量,获得发射率参数。

[0013] 进一步的,所述傅里叶光谱测量仪采用迈克尔逊干涉仪将检测光产生宽带相干光干涉,经单元探测器采集红外干涉图数据,经过傅里叶变换后,得到红外光谱图。

[0014] 进一步的,所述红外热像测量仪测量涂层及基体结构表面温度,在不干扰风洞内流场的基础下,通过红外热像测量仪获取高温气体中涂层结构表面的温度分布与演化特性。

[0015] 进一步的,所述红外热像测量仪的测温范围为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ,热灵敏度达到 $0.01^{\circ}\text{C}$ ,以构造基体和热阻涂层的大热流密度(如 $10^0\sim 10^1\text{MW}/\text{m}^2$ )、高温(如 $1400^{\circ}\text{C}$ )、高温升速率(如 $10^2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )环境。由于风洞中高温气体的流速可达声速以上,若用热电偶测量涂层表面温度,会引发强烈的激波结构导致其烧毁失效,并严重干扰风洞内流场,红外热像测量技术则可解决上述问题。

[0016] 更进一步的,所述红外热像测量仪利用红外探测器和光学成像物镜接受被测目标的红外辐射能量分布图形,反映到红外探测器的光敏元件上,从而获得红外热像图。

[0017] 进一步的,所述红外椭偏测量仪测量涂层表面吸收率和发射率,通过红外椭偏测量仪基于偏振光法进行测量,获得热阻涂层的折射率和吸收率,从而反演出热阻涂层的发射率、透射率,获得热阻涂层的发射谱。

[0018] 进一步的,所述的红外椭偏测量仪基于偏振光法进行测量,包括入射光系统和接收检测光系统,入射光系统依次设置有光源、起偏器、补偿器,接收检测光系统依次设置为检测光系统和检偏器,当光源通过起偏器、补偿器将偏振光入射到涂层和基体上的界面时,发生反射和折射现象,反射光和折射光分别包含了基体和涂层的目标特征,通过斯涅耳定律和菲涅尔公式,描述反射光和折射光中各分量的强度,通过检偏器、检测光系统接受反射光和折射光,通过解算获得基体和热阻涂层的折射率和吸收率,从而反演出热阻涂层的发射率、透射率,获得热阻涂层的发射谱。

[0019] 进一步的,所述红外椭偏测量仪包括入射光系统和检测光系统,当光入射到涂层的界面时,会发生反射和折射现象,检测结果得到椭偏参数 $\rho = \tan \Psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{r_p}{r_s}$ ,通过分析计算得到涂层的吸收率和透过率参数,描述反射光和折射光中各分量的强度,具体原理

如图3、4所示。

[0020] 红外椭偏测量方法具有无扰、非接触、无标记特点,且具有亚原子层级的分辨率。

[0021] 进一步的,在绝热控制体内,选取涂层与基体作为研究对象,其输入的能量主要为

$E_{热,空}$ 和 $E_{辐,空,\lambda}$ ,其输出的能量为 $E_{辐,发,\lambda}$ 和 $E_{热,涂}$ ,输入与输出能量守恒,既得到如下关系式:

[0022]  $E_{热,空} + E_{辐,空,\lambda} = E_{辐,发,\lambda} + E_{热,涂}$

[0023] 其中, $E_{热,空}$ 为采用红外热像测量方法获得的空气与涂层和基体之间的对流、传导热量; $E_{辐,空,\lambda}$ 为采用红外热像测量方法或者红外椭偏测量方法获得的空气与涂层和基体之间的辐射热量; $E_{辐,发,\lambda}$ 为采用红外椭偏测量方法获得的涂层辐射发射出去热量; $E_{热,涂}$ 为采用红外热像测量方法获得的涂层与基体的热量。

[0024] 根据能量关系、各多场耦合热辐射测量参数得到发动机环境热阻涂层辐射特性。

[0025] 本实用新型的有益效果为:

[0026] 通过以上,利用风洞构造发动机涡轮叶片上热阻涂层恶劣工况下所需的大热流密度(如100~101MW/m<sup>2</sup>)、高温(如1400℃)、高温升速率(如102℃/s)环境,采用傅里叶光谱测量方法进行涂层高温介质红外光谱特性测量、遥测、分析高温环境中空气介质的红外辐射发射谱测量,获得发射率参数;红外热像测量方法进行涂层及基体结构表面温度测量;红外椭偏测量方法获得涂层的椭偏参数 $\rho = \tan \Psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{r_p}{r_s}$ ,通过分析计算得到涂层的吸收

率和透过率参数,实现涂层表面吸收率和发射率测量。通过以上三组光学测量结果最终可以定量获得介质辐射涂层热能及辐射能之间的瞬态及稳态传递关系和演化规律,定量评估热阻涂层瞬态及稳态热辐射阻隔率和隔热效果。

## 附图说明

[0027] 图1为本实用新型实施例提供的一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统示意图;

[0028] 图2为本实用新型实施例提供的一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统原理图;

[0029] 图3为本实用新型实施例提供的一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统红外椭偏测量仪测量原理图;

[0030] 图4为本实用新型实施例提供的一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究系统红外椭偏测量仪分析计算过程示意图;

[0031] 其中,1、涂层;2、基体;101、风洞;102、傅里叶光谱测量仪;103、红外热像测量仪;104、红外椭偏测量仪;104-1、光源;104-3、起偏器104-4;补偿器;104-2检测光系统;104-5检偏器。

## 具体实施方式

[0032] 为使本实用新型实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本实用新型实施例中的附图,对本实用新型实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本实用新型一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本实用新型中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于

本实用新型保护的的范围。

[0033] 为便于对本实用新型实施例的理解,下面将结合附图以具体实施例做进一步的解释说明,实施例并不构成对本实用新型实施例的限定。

[0034] 实施例1

[0035] 图1为本实用新型实施例提供的热辐射测量系统100结构示意图,如图1所示,该系统包括:

[0036] 风洞101、傅里叶光谱测量仪102、红外热像测量仪103、红外椭偏测量仪104,傅里叶光谱测量仪102,水平放置在风洞101的一侧,红外热像测量仪103水平放置在风洞101的另一侧、红外椭偏测量仪104的入射光系统和接收检测光系统对称设置在风洞101的两侧,红外椭偏测量仪104的光线照射在涂层2上。

[0037] 通过上述方案以实现风洞模拟真实发动机热循环下,定量获得介质辐射与涂层热能及辐射能之间的瞬态及稳态传递关系和演化规律,定量评估热阻涂层瞬态及稳态热辐射阻隔率、隔热效果。

[0038] 在实施例1的基础上,本实用新型的又一实施例,风洞101模拟真实发动机热循环、多场耦合热辐射测量;

[0039] 风洞101模拟真实发动机热循环,使用超声速风洞再现发动机内部典型热循环及温度环境,用于研究表征高温环境下防护材料的瞬态及稳态热辐射特性,量化真实热辐射阻隔能力及隔热效果;

[0040] 风洞101模拟多场耦合热辐射测量,分别采用傅里叶光谱测量方法进行高温介质红外光谱特性测量、红外热像测量方法进行涂层及基体结构表面温度测量、红外椭偏测量方法进行涂层表面吸收率和发射率测量。

[0041] 更为具体的是,基体2上涂覆涂层1,置于风洞101环境中。风洞101设置为超声速风洞101,风洞101模拟真实发动机热循环,使用超声速风洞101再现发动机内部典型热循环及温度环境,用于研究表征高温环境下涂层1的瞬态及稳态热辐射特性,量化真实热辐射阻隔能力及涂层1对于基体2的隔热效果;风洞101试验段温升速率可达 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,以构造基体和热阻涂层的大热流密度(如 $10^0\sim 10^1\text{MW}/\text{m}^2$ )、高温(如 $1400^{\circ}\text{C}$ )、高温升速率(如 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )环境。试验分为加热、稳定和降温过程,可构造涂层1的瞬态和稳态的热辐射特性环境,以开展热平衡过程瞬态和稳态热辐射研究。

[0042] 在实施例1的基础上,本实用新型的又一实施例,傅里叶光谱测量仪102测量(图1中简称光谱法),利用迈克尔逊干涉仪将检测光(红外光)产生宽带相干光干涉,经单元探测器采集红外干涉图数据,经过傅里叶变换后,得到红外光谱图。具有实现高灵敏度的多组分同时测量、分析速度快、非侵入、不需额外的人工红外光源等优点,并可实现在线遥测,通过实时遥测、分析高温环境中空气介质的红外辐射发射谱测量,获得发射率等参数。

[0043] 在实施例1的基础上,本实用新型的又一实施例,红外热像测量仪103(图1中简称椭偏法)利用红外探测器和光学成像物镜接受被测目标的红外辐射能量分布图形,反映到红外探测器的光敏元件上,从而获得红外热像图。其测温范围为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ,热灵敏度可达到 $0.01^{\circ}\text{C}$ ,由于风洞101中高温气体的流速可达声速以上,若用热电偶测量涂层1表面温度,会引发强烈的激波结构导致其烧毁失效,并严重干扰风洞101内流场,红外热像测量仪103则可解决上述问题,在不干扰风洞101内流场的基础下很好地获取高温气体中涂层1

结构表面的温度分布与演化特性。

[0044] 在实施例1的基础上,本实用新型的又一实施例,红外椭偏测量仪104(图1中简称成像法)主要由光源104-1、检测光系统104-2、起偏器104-3、补偿器104-4和检偏器104-5组成。基于偏振光法进行测量,包括入射光系统和接收检测光系统,当光源104-1通过起偏器104-3、补偿器104-4将偏振光入射到涂层和基体上的界面时,会发生反射和折射现象,反射光和折射光包含了基体和涂层的目标特征,通过斯涅耳定律和菲涅尔公式,描述反射光和折射光中各分量的强度,通过检偏器104-5、检测光系统104-2接受反射光和折射光,通过解算如图4所示,式中各参数定义如下: $N_1$ :材料复折射率; $\lambda$ :入射光波波长; $h$ :普朗克常数; $k_B$ :玻尔兹曼常数; $\alpha_\lambda(T)$ :吸收率; $\Phi_0$ :入射角; $\Phi_1$ :材料中的折射角; $N_0$ :环境折射率; $\Psi$ :幅值; $\Delta$ :相位; $N_1$ :复折射率 $n$ :折射率 $\kappa$ :吸收系数。进而获得基体2和热阻涂层1的折射率和吸收率,从而反演出热阻涂层1的发射率、透射率,获得热阻涂层1的发射谱,测量具有无扰、非接触、无标记、亚原子层级的分辨率的优点。红外椭偏测量仪104原理结构见图3所示。

[0045] 在上述实施例的基础上,本实用新型的又一实施例,一种发动机环境热阻涂层辐射特性研究方法,具体包括如下步骤:

[0046] a、模拟真实发动机热循环及温度环境:通过风洞101将试验分为加热、稳定和降温过程,构造涂层1的瞬态和稳态的热辐射特性环境,量化真实热辐射阻隔能力及隔热效果;以开展热平衡过程瞬态和稳态热辐射研究;

[0047] b、高温介质红外光谱特性测量:通过傅里叶光谱测量仪102实时遥测、分析高温环境中空气介质的红外辐射发射谱测量,获得发射率参数;

[0048] c、涂层及基体结构表面温度测量:在不干扰风洞101内流场的基础下,通过红外热像测量仪103获取高温气体中涂层1结构表面的温度分布与演化特性;

[0049] d、涂层表面吸收率和发射率测量:通过红外椭偏测量仪104基于偏振光法进行测量,获得热阻涂层1的折射率和吸收率,从而反演出热阻涂层1的发射率、透射率,获得热阻涂层1的发射谱。

[0050] 本实用新型的又一实施例,步骤(b)中的傅里叶光谱测量仪102采用迈克尔逊干涉仪将检测光(红外光)产生宽带相干光干涉,经单元探测器采集红外干涉图数据,经过傅里叶变换后,得到红外光谱图。

[0051] 傅里叶光谱测量方法具有实现高灵敏度的多组分同时测量、分析速度快、非侵入、不需额外的人工红外光源等优点,并可实现在线遥测。

[0052] 本实用新型的又一实施例,步骤(c)中的红外热像测量仪103利用红外探测器和光学成像物镜接受被测目标的红外辐射能量分布图形,反映到红外探测器的光敏元件上,从而获得红外热像图。

[0053] 所述步骤(c)中红外热像测量仪103的测温范围为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ,热灵敏度达到 $0.01^{\circ}\text{C}$ 。由于风洞中高温气体的流速可达声速以上,若用热电偶测量涂层表面温度,会引发强烈的激波结构导致其烧毁失效,并严重干扰风洞内流场,红外热像测量技术则可解决上述问题。

[0054] 本实用新型的又一实施例,步骤(d)中折射率和吸收率的获得步骤如下:红外椭偏测量仪(104)包括入射光系统和检测光系统,当光入射到涂层1的界面时,会发生反射和折

射现象,检测结果得到椭偏参数 $\rho = \tan \Psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{r_p}{r_s}$ ,通过斯涅耳定律和菲涅尔公式分析计算得到涂层的吸收率和透过率参数,描述反射光和折射光中各分量的强度,具体原理如图3、4所示。

[0055] 红外椭偏测量方法具有无扰、非接触、无标记特点,且具有亚原子层级的分辨率。

[0056] 如图2所示,在绝热控制体内,选取涂层与基体作为研究对象,其输入的能量主要为 $E_{热,空}$ (采用红外热像测量方法获得的空气与涂层和基体之间的对流、传导热量)、 $E_{辐,空,\lambda}$ (采用红外热像测量方法(简称成像法)或者红外椭偏测量方法获得的空气与涂层和基体之间的辐射热量)、其输出的能量为 $E_{辐,发,\lambda}$ (采用红外椭偏测量方法获得的涂层辐射发射出去热量)和 $E_{热,涂}$ (采用红外热像测量方法(简称成像法)获得的涂层与基体的热量)。输入与输出能量守恒,既得到如下关系式:

$$[0057] \quad E_{热,空} + E_{辐,空,\lambda} = E_{辐,发,\lambda} + E_{热,涂}$$

[0058] 从而可根据能量关系、各多场耦合热辐射测量参数得到发动机环境热阻涂层辐射特性。

[0059] 以上所述的具体实施方式,对本实用新型的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本实用新型的具体实施方式而已,并不用于限定本实用新型的保护范围,凡在本实用新型的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本实用新型的保护范围之内。

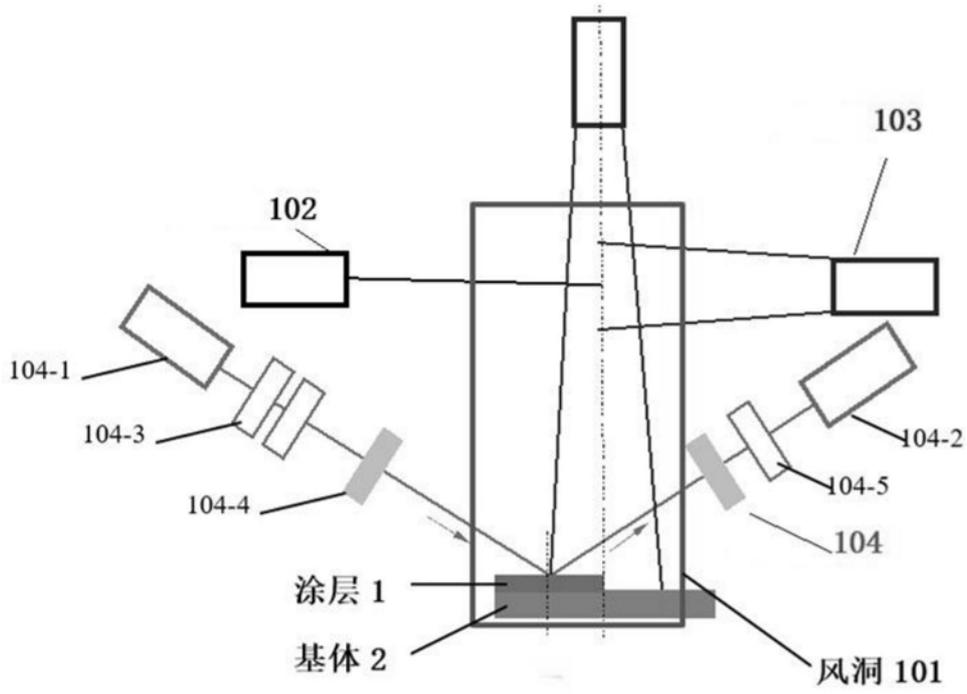


图1

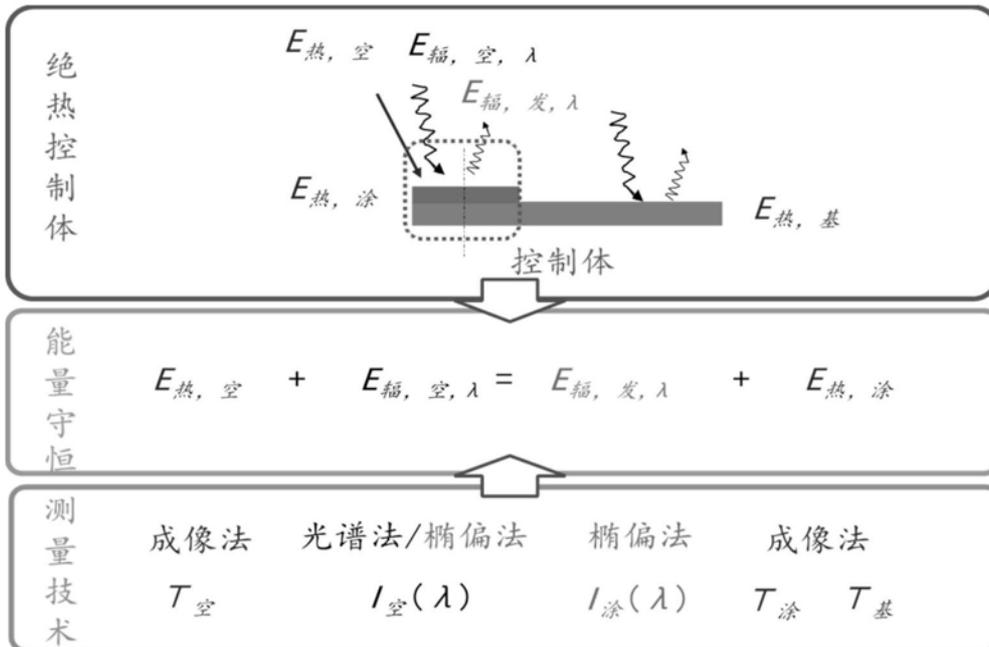


图2

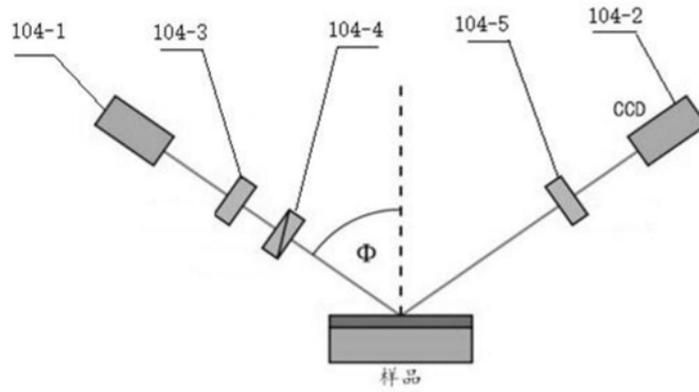


图3

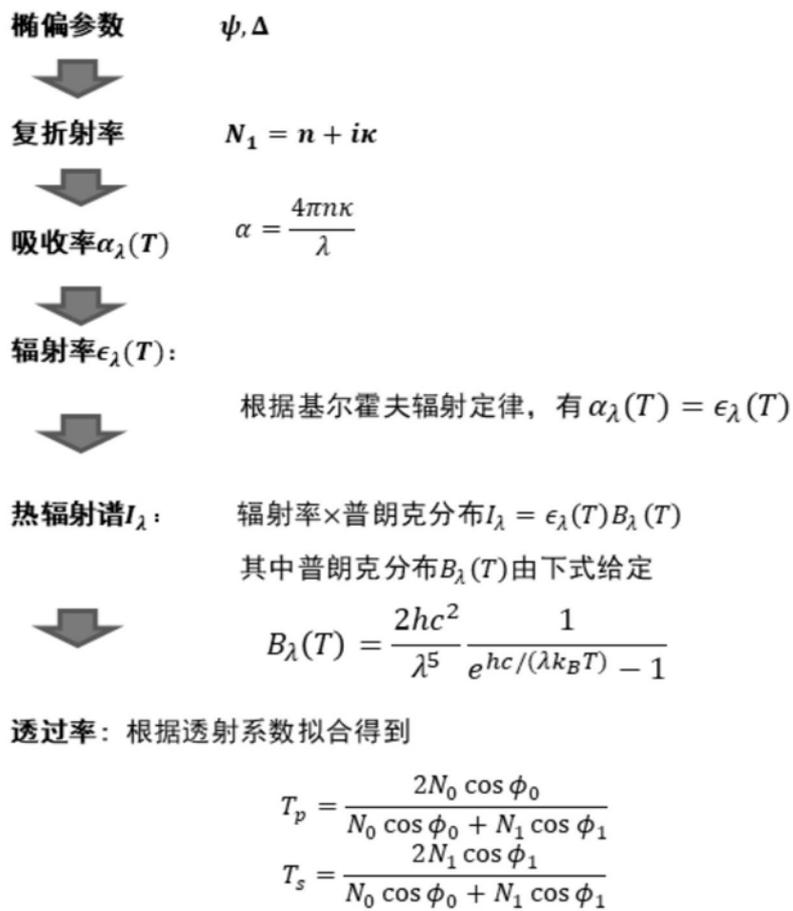


图4