

光器件加热保温装置及控制方法*

Heating Insulation Device and Control Method for Optical Device

中航工业北京长城计量测试技术研究所 张 磊 申雅峰 胡春艳

[摘要] 提出了一种光器件加热保温装置及方法,通过控制电路自动控制实现光器件的加热保温,使在宽温范围内正常工作,具有控温范围宽的优点;使用隔热层对受控光器件与外界环境进行温度隔离,并在隔热层外使用防水涂层进行封闭,使用腔体外壳对整体进行封装,提高了加热保温的效率,并减小了加热保温的功耗。

关键词: 光器件 低温环境 温度控制 加热保温

[ABSTRACT] An heating insulation device and method for optical device is presented, through heating control of optical devices in low temperature, it can make the optical device normal work in low temperature environment. Realizing the heating insulation by automatic control circuit can make the optical device work in wider temperature environment. Using thermal insulation layer, waterproof coating and chamber shell can improve the efficiency of heating, reduce the power consumption of heating.

Keywords: Optical device Low temperature environment Temperature control Heating insulation

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.108

光器件是用于实现光信号的连接、能量分路/合路、波长复用/解复用、光路转换、能量衰减、方向阻隔、光-电-光转换、光信号放大、光信号调制等功能元器件的总称。光器件由于电绝缘性、抗电磁干扰性等特性,近年来被广泛应用于光纤传感测量和光纤通信领域^[1]。

目前,大多数光器件受工作原理及内部结构影响,其正常工作温度不能低于 -20°C ,尤其是光滤波器等无源光器件在低温条件下工作性能较差,通过其中的光能量变化较大,当低于 -20°C 工作时会发生损坏。因此,对它进行温度控制尤为重要。

现有的温度控制方法主要有真空绝热温度控制和相变材料温度控制等。但是,针对光器件在恶劣环境无法正常使用的问题,真空绝热温度控制方式不适合具有光纤引线的光器件,因为较多的引线不仅影响真空绝热的效果,而且大压力的挤压会影响光纤引线中光能量的传输,进而影响光器件的工作性能;而相变材料温度控

制的控温范围局限于相变材料的凝固点附近,不适合恶劣环境中宽温工作范围的要求。

为解决光器件无法在航天航空等恶劣环境中正常工作的问题,本文提出一种光器件加热保温装置及方法,通过控制电路自动控制实现光器件的加热保温,使其在宽温范围内正常工作,具有控温范围宽的优点;使用隔热层对受控光器件与外界环境进行温度隔离,并在隔热层外使用防水涂层进行封闭,使用腔体外壳对整体进行封装,提高了加热保温效率,减小了加热保温功耗^[2]。

1 光器件加热保温装置

为了解决光器件在低于 -20°C 的航天航空等恶劣环境条件下工作性能较差,甚至不能正常工作的问题,提出一种光器件加热保温装置,如图1所示。

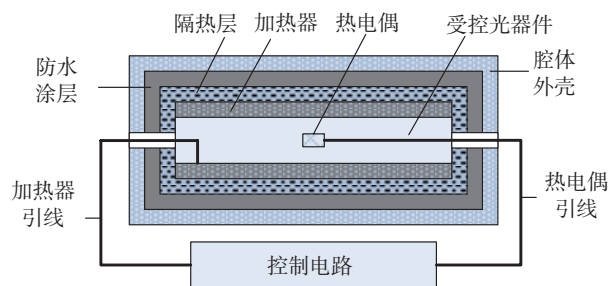


图1 光器件加热保温装置示意图

Fig.1 Diagram of heating insulation device for optical device

加热器粘贴于受控光器件的周围,用于在温度低于阈值时对受控光器件进行加热,使其工作的环境温度在设计允许的范围内。薄膜型电加热器是以镍铬合金或铜镍锰合金作为电热元件,制成丝状或片状与聚酰亚胺薄膜复合而成,利用电导体的电热性质来进行热控制的器件。由于薄膜加热器结构简单、体积小、重量轻、面积大小以及加热功率易于控制,并且贴近设备表面,配合隔热保温材料层可有效地在低温段对设备进行保温,因此非常适合于航空航天热控应用,也常常作为设备的主动热控制方式^[3]。

热电偶粘贴在受控光器件一侧,该侧不能粘贴加热器,且热电偶的粘贴位置要尽量远离加热器。热电偶用于反馈受控光器件的当前温度值,其电阻测量值可以作为受控光器件当前温度的对应值,并作为电路参数传递

* 航空技术创新基金(2011F30404)支持。

到控制电路中。

控制电路用于对加热器的开启与关闭进行自动控制,加热器引线用于输出加热器的驱动电压,热电偶引线用于将受控光器件当前温度值所对应的电阻测量值传递到控制电路中。

在热控系统中,常常会使用多层隔热材料,有2种重要的作用,一是保温,二是隔热。比如说,有些仪器设备工作时没有发热量或是发热量很小而需要保温时,就采用多层隔热材料包覆来保温,以减少热量散失使其温度控制在规定的范围内。所谓隔热,就是设法使某特定方向上的热阻很大,以使这个方向上的热流量尽可能地小,或者是限制在规定的某个量值之下。

本装置中的隔热层用于对受控光器件进行温度隔离,使受控光器件温度降低速度远小于环境温度降低的速度,当加热器工作时,阻止热量向外散发,提高加热效率。隔热层要求使用导热系数不大于 $0.12\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 的保温材料,如矿物纤维、玻璃纤维等。

在热设计中,如何控制多层隔热材料的漏热量是非常重要的。在制作与装配多层隔热组件时,往往以手工操作为主,因此很容易造成性能的不稳定,比如反射屏表面的污染、间隔层织物的不平整、端边的参差不齐以及附着于仪器或部件上时又需要粘贴或包扎定位等,都可能使性能变得不稳定,造成实际性能的下降。因此,对其制作工艺的规范化提出了要求,以保证制作工艺的一致性和重复性。如采用规格化的多层夹套,而不是零散包装,接口、端面的保护也采用规格化措施;采用不易变形的层间隔结构,并进行适当的预处理使其平整干燥;此外,保证施工的任何环节都不要使反射屏表面受到污染,并尽可能使装配时的压缩力一致。

隔热层外面的防水涂层用于防止温度在高低之间变化时产生凝水,从而对受控光器件工作性能产生影响。防水涂层的厚度不宜超过 1mm 。多层之间的关系为隔热层包裹在加热器外,防水涂层涂抹在隔热层外,腔体外壳包裹在防水涂层四周,同时腔体外壳左右侧面开有小孔,用于将加热器引线、热电偶引线引出。热电偶引线、加热器引线与控制电路相连。腔体外壳将受控光器件及上述各组成部件封闭起来,进而构成光器件加热保温装置的整体结构。

2 光器件加热保温控制电路及方法

使用上述装置对光器件进行加热保温的方法,包括以下步骤:

首先,通过热电偶获得受控光器件当前温度值对应的电阻测量值,并将电阻测量值作为电路参数传递到控制电路中。

之后,在控制电路中分析获得的电阻测量值,确定受控光器件当前温度环境。判断当前环境温度是否在该器件正常工作温度范围内,若超过正常工作温度的下限或上限,则自动开启或关闭加热器加热装置^[4]。

光器件加热保温装置中控制电路(如图2)^[5]用于对加热器的开启与关闭进行自动控制。该装置中光器件壳体的温度检测通过热电偶来实现,热电偶是阻值随温度进行线性变化的温度传感器。

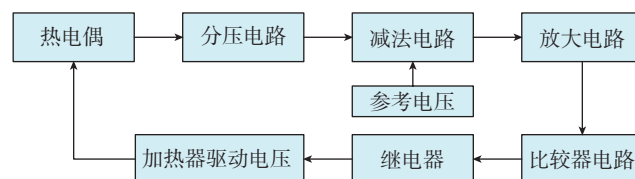


图2 装置中控制电路示意图

Fig.2 Diagram of control circuit in device

控制电路首先用分压电路实现热电偶电阻值到电压值的转换,同时使用减法电路与放大电路配合将上阈值温度和下阈值温度对应的电压值放大到后级电压比较器易于检测的范围。然后接迟滞电压比较器,在下阈值温度上翻为高电压,上阈值温度下翻为低电压,将电压比较器的输出电压作为后级的继电器的控制信号,当输出高电压时,继电器闭合并接通加热电路,对光器件进行加热;当输出低电压时,继电器打开并关闭加热电路,停止加热。

3 试验与加热保温效果分析

为了验证光器件加热保温装置及方法对光器件在低温环境下正常工作的温度控制能力,将一个具有光器件加热保温装置的光滤波器放入环境试验箱中,通过改变温箱的环境温度,模拟低于 -20°C 的航天航空等恶劣环境。

试验中使用了2个PT100热电偶,将其中一个热电偶放置在环境试验箱中,用来监测环境温度的变化;将另外一个热电偶紧贴放置在光器件壳体表面,用来监测光器件壳体表面的实时温度变化。光器件加热保温装置控制电路中的下阈值温度设置为 0°C ,上阈值温度设置为 20°C ,即当光器件的环境温度小于 0°C 时,该装置对光器件进行加热保温控制;当光器件的环境温度大于 20°C 时,该装置对光器件停止加热保温控制。从 $-40\sim 40^{\circ}\text{C}$,以 5°C 为间隔改变环境试验箱的温度,同时记录2个PT100热电偶的电阻值,可以得到图3所示的不同环境温度下热电偶阻值分布图。

对比图3中2条曲线的变化可以看出,当环境温度在 $-40\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间时,光器件壳体表面的热电偶阻值始终

(下转第112页)

在本试验中,涂层的热循环次数达到 400 次,试件未出现破坏,显示了良好的抗热震性能。

4 陶瓷涂层在航空发动机上的应用

用某型涡桨发动机改型的地面燃气轮机,使用条件非常恶劣,涂覆该涂层的发动机涡轮叶片运行 7400h 后状况良好,显示出良好的抗高温热腐蚀性能。涂覆该涂层的涡轮一级导向叶片也已装机使用。由于陶瓷涂层具有优异的抗高温腐蚀性能,如果将陶瓷顶层加厚,涂层还兼具有热障的作用,这对提高涡轮前燃气温度,从而提高发动机的推重比具有十分重要的意义。

海军使用的发动机工作环境恶劣,燃气中含有大量盐分,热端部件高温氧化和高温热腐蚀严重,从海军使用的发动机返厂检查情况看,大量未到使用寿命的高温热端零部件因腐蚀严重而不得不更换,造成了极大的浪费,同时,严重的腐蚀也降低了发动机的工作可靠性,存在安全隐患。为此,在某型发动机涡轮叶片上涂覆了 NiCrAlY 防护涂层,取得了较好的防护效果。在国外,陶瓷涂层已被广泛应用于航空发动机上,国内也正逐步开展这方面的研究和应用。我国自主设计研制的新型涡轴发动机,具有功率大的显著特点,然而,由于其涡轮后温度较高,达到 1000℃ 以上,在研制长试过程中曾出现高温烧蚀现象。该发动机作为三军通用型,如在海洋环境下使用,加上高温腐蚀,这一缺陷更加突出。因此,在海军型发动机研制过程中,拟采用陶瓷涂层对发动机涡轮叶片进行防护,陶瓷涂层可提高涡轮叶片的耐热温度,有效解决高温部件的高温氧化和高温热腐蚀等问题。

5 结束语

在涡轮叶片表面涂覆陶瓷涂层,可以改善高温部件的高温氧化和高温热腐蚀性能,提高涡轮叶片的耐热温度,大大提高发动机的性能,并且大幅提高发动机的安全性。然而这种技术还处于发展阶段,陶瓷涂层存在着涂层与基体粘结强度不够,以及涂层和基体的热物理性不相匹配的问题也还没有得到完全的解决,故而,这项技术要更好地应用于航空涡轮叶片中,还需要更多的探索与发展^[6]。相信在完成必要的技术积累和试验工作后,该涂层必将在航空领域大展鸿图。

参考文献

- [1] 钱苗跟,姚寿山,张少宗. 现代表面技术. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 邓世均. 高性能陶瓷涂层. 北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 刘福顺,宫声凯,徐惠彬. 大功率 EB-PVD 陶瓷热障涂层的研究与应用. 航空学报,2000(S):30-34.
- [4] 中国军工材料体系编委会. 中国军工材料体系——航空发

动机. 北京:国防工业出版社,2002.

[5] 刘延辉,周细应. 高温涂层的研究与进展 // 第六届全国表面工程学术会议暨首届青年表面工程学术论坛论文集,2006:207-210.

[6] 唐绍裘. 高性能陶瓷涂层材料技术及应用市场. 表面技术,2002,19(2):46-47.

(责编 亿霖)

(上接第 109 页)

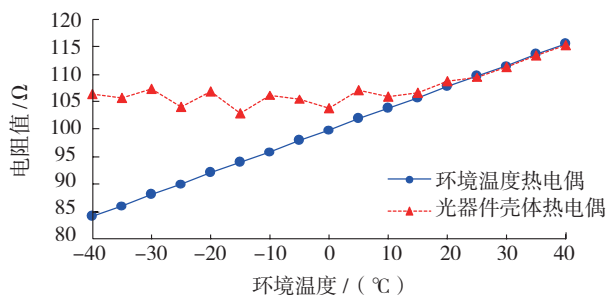


图3 不同环境温度下热电偶阻值分布图

Fig.3 Distribution map of resistance thermocouple under different ambient temperature

保持在 100~110Ω 之间,说明该装置对光器件进行了加热保温控制,并且将光器件温度始终控制在 0~20℃ 之间。当环境温度在 0~20℃ 之间时,光器件壳体表面的热电偶阻值略大于环境温度热电偶的阻值,这是因为上阈值温度为 20℃,该装置仍然在对光器件进行加热控制。当环境温度在 20~40℃ 之间时,光器件壳体表面的热电偶阻值与环境温度热电偶的阻值一致,说明控制电路在检测到环境温度达到上阈值 20℃ 后,关闭了对光器件的热控制。由此可知,采用这种光器件加热保温装置及方法可以使光器件在更低的温度环境下正常工作,从而扩大了光器件工作温度范围,增强了光器件环境适应能力。

4 结论

通过对以上试验结果的分析可以得出,使用文中所述装置及方法对器件进行温度控制,可以有效地将温度控制在器件标称温度之内,使器件可以在更宽的环境温度范围内正常工作,提高了其温度适应性,对于扩展有工作温度限制的器件的应用范围具有广泛的实用价值。

参考文献

- [1] 江毅. 高级光纤传感技术. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 丁连芬. 电子设备可靠性设计手册. 北京:电子工业出版社,1989.
- [3] 王连坡. 结构设计中的热控制技术. 电子机械工程,2009,25(6):11-13,34.
- [4] 华成英. 模拟电子技术基础. 北京:高等教育出版社,2006.
- [5] 谈文心. 模拟集成电路. 西安:西安交通大学出版社,1995.

(责编 谷雨)