文章编号:1002-2082(2009)05-0840-04

红外导引头整流罩技术研究

黄 秋，陈亦庆，高志峰，翟学锋
（中国兵器工业第209研究所，四川 成都 610041）

摘 要：从材料选择和整流罩设计两方面，介绍了如何解决高速红外导引头整流罩问题。针对高速红外成像导引头使用环境的要求，分析了整流罩材料选择应考虑的因素。通过比较材料的透过率、硬度、抗弯强度和热膨胀等性能参数，得出尖晶石是较理想的高速导弹整流罩材料，其机械性能和光学性能良好，易于制备，并已取得成功应用；红外玻璃特别适合大尺寸和复杂形状制备。为了减小整流罩气动加热效应，分析了解决气动加热问题的途径，提出可通过镀金刚石膜、信号处理、共形设计等技术来减小影响，并简要介绍共形整流罩设计原理和制造。

关键词：红外材料；尖晶石；红外玻璃；共形整流罩；红外导引头
中图分类号：TN214；TJ762 **文献标志码**：A

Consideration to radome technology for IR seeker

HUANG Qiu, CHEN Yi-qing, GAO Zhi-feng, ZHAI Xue-feng
(No. 209 Institute, China Ordnance, Chengdu 610041, China)

Abstract: The radome is one of the key components of infrared seekers. Especially for the missiles flighting in high speed, a lot of thermal stress is generated into the radome by rapid thermal shock, and the mechanical stress induced by the pneumatic pressure. In order to solve the problem of high-speed infrared seeker radome, material selection and radome design techniques are introduced. The factors which should be considered when the radome material is selected are analyzed according to the environmental requirements of high-speed infrared imaging seekers. It is found, by comparing the performance of the material parameters, that the spinel is the ideal radome material because of its good mechanical property, optical performance and easy preparation. The spinel was successfully applied for the high-speed IR seeker radome. A solution to reduce the aerodynamic heating effect of the radome by diamond film coating, signal processing and conformal design is proposed according to the analytical results of aerodynamic heating. The design principle and fabrication technology of conformal radome are introduced.

Key words: infrared material; spinel; IR glass; conformal dome; infrared seeker

引言

20世纪90年代以后，随着红外成像技术在地-地、空-地、空-空精确制导武器中的大量应用，红外整流罩的设计研究成为一个新的技术热点，出现了大量关于整流罩材料、镀膜、制冷、测试等方面的研究。整流罩是红外制导导弹系统的一个关键部件，安装于导引头的最前端，是光学镜头的一部分。整流罩有3种作用：一是保护红外光学系统免受大气、灰尘、水分等的影响；二是参与光学系统成像和像差校正；三是提供良好的空气动力学特性。随着导引头整流罩研究的深入，特别是高速导引头、多模复合导引头等军事需求的巨大牵引，对整流罩材

收稿日期：2008-12-14； **修回日期**：2009-04-03
作者简介：黄秋(1970—)，女，重庆人，博士研究生，高级工程师，主要从事军用光学工程技术工作。
E-mail：huangqiuj@sohu.com

料、设计以及制造提出更高的要求,在某种程度上,导引头整流罩技术成为某些高速导引头技术项目发展的瓶颈。

1　整流罩材料选择

解决整流罩技术的前提是材料的研制和选择,目前有近百种透红外的材料,但能用于军用整流罩的很有限,由于导弹的目标特性、飞行速度、工作波段和使用环境等特殊性,整流罩材料的机械强度、表面硬度、波段透过性、热稳定性、化学稳定性以及制作尺寸等须严格满足红外成像和气动加热、气动受力等方面的要求。

对高速红外成像导引头,整流罩材料的选择应综合考虑:1) 整流罩安装在导引头等高速飞行的光学系统的前部,应具有高的机械强度、冲击韧性,硬度要大,这样一方面便于加工、研磨和抛光,另一方面不被外力所擦伤。2) 由于飞行过程中空气动力加热,整流罩的温度较高,因此要求整流罩材料的熔点、软化温度要高,并且材料的热稳定性要好,能经受住快速加热和高温产生的热应力及伴随的热发射。3) 在探测器响应波段内,整流罩必须有高的透射率及极小的自辐射,以免产生假信号。整流罩同时也是光学成像系统的一部分,其光学特性和光热特性参数(如透过率、均匀性、折射率温度系数等)必须满足光学系统稳定清晰成像的要求。4) 整流罩的化学稳定性要好,要能防止大气中的盐溶液或腐蚀性气体的腐蚀,并且不易潮解。特别注意的是,整流罩的尺寸往往很大(直径为几十毫米到几百毫米),实用要求材料内部折射率要分布均匀,以免发生散射。

热压硫化锌、氟化镁、硒化锌是以前较常用到的整流罩材料,但其机械强度和硬度较低,不适合高速导引头,白(蓝)宝石强度高,但成本高,且大尺寸制备困难。尖晶石是最近几年研制出来的新材料,其特性更适合在超音速导引头中应用。尖晶石($MgAl_2O_4$)是光学透明陶瓷,具有高强度、高硬度、耐高温、耐磨损、耐腐蚀、抗冲击、耐酸碱腐蚀等优点,又具有蓝宝石晶体、石英玻璃的光学性能,在紫外、可见光、红外光波段均具有良好的透过率,通过热压成型,易制备大尺寸。红外玻璃是一种性能优良的宽波段红外光学材料,从可见到红外宽波段范围内均有较高的透过率,其物理特性、热特性和光学特性等均优于ZnS和MgF_2等晶体材料,没有晶界散射。红外玻璃主要特点是适合大尺寸和复杂形状制备(如共形整流罩等),制作工艺简单,可大批量生产,成本便宜。图1～图6列出尖晶石、红外玻璃与其他红外材料特性参数的比较[1-2]。

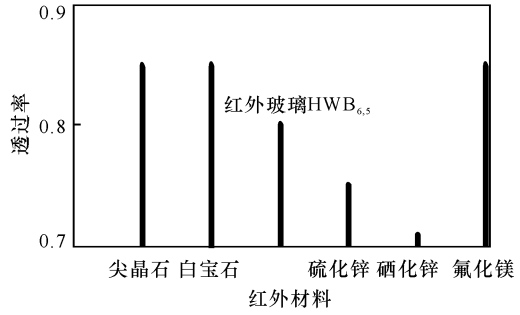

图1　红外材料透过率(波段3 μm～5 μm)

Fig. 1　Transmittance of IR materials(3 μm～5 μm)

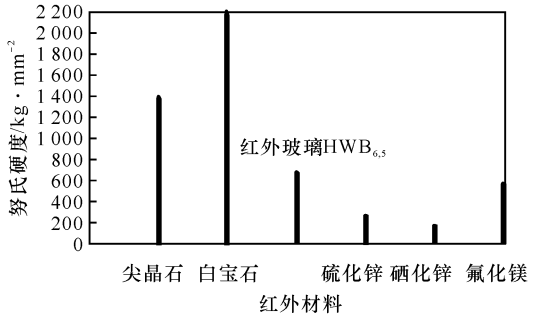

图2　红外材料硬度参数

Fig. 2　Hardness parameters of IR materials

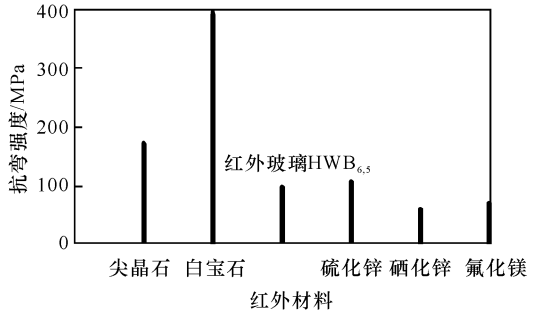

图3　红外材料抗弯强度参数

Fig. 3　Flexural strength parameters of IR materials

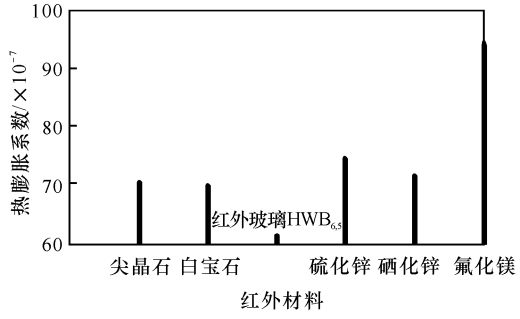

图4　红外材料热膨胀系数

Fig. 4　Thermal expansion coefficient of IR materials

20世纪80年代初,美国的Coors Porcelain公司和Raytheon公司在国防部的大力支持下,成功

地制备出性能较为完善的热压尖晶石陶瓷材料,并很快应用于红外战术导弹系统。红外玻璃也大量应用于美国、俄罗斯等机载吊舱、红外导引头武器系统,对提高武器装备性能起到了重要的作用。在军事需求的推动下,国内制造厂家在热压尖晶石和大尺寸红外玻璃制备技术取得突破,采用热压成型技术,已制备出大尺寸整流罩并应用到在研超音速红外导引头项目。

图 5　Φ180 mm 尖晶石整流罩

Fig. 5　Spinel radome with diameter of 180 mm

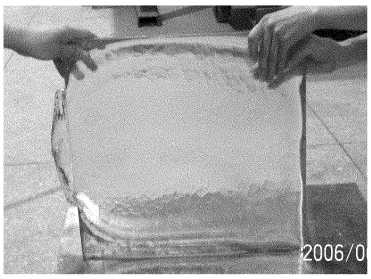

图 6　440 mm×420 mm×35 mm 红外玻璃

Fig. 6　440 mm×420 mm×35 mm infrared glass

2　整流罩设计技术新发展

当导弹的速度达到几个马赫(1 马赫≈1 225 km/h)以上时,从空气动力学方面分析,导引头的头部顶端和头部边缘部位等会形成温度驻点,其余部分随着结构外形呈现不同温度分布。此时在视场内的图像会出现边缘模糊,甚至无法识别出物体轮廓,解决气动加热问题的办法主要有:

1) 侧窗技术。即避开顶端温度驻点,采取在导引头侧面开窗。如休斯公司的标准-2Block4 新双模式导引头,头中部为半主动雷达探测头,侧部为红外探测;台湾的雄风II 及法德合作的Sprint 被动雷达/IR 系统也采取此项技术。

2) 制冷技术。主要有内部制冷和外部制冷。如在导引头的鼻锥部位采用反向喷洒制冷剂等来吸收气动效应产生的热量。现在制冷方式正在逐步从外部制冷向内部制冷方向发展。

3) 镀膜技术。在天线罩的外部镀多层超硬膜,加强导引头整流罩的机械强度,如在硫化锌和红外玻璃上镀金刚石膜技术已得到应用,可承受(2 450～3 675)km/h 气动力,镀金钢石膜还可以降低基波系数,减小摩擦力,提高整流罩的抗热冲击能力。

4) 改变帧频和积分时间。导引头因气动光学效应会产生大量的热,其中部分热量通过光学入瞳进入系统内,严重影响了红外系统探测时对于目标和背景温差的分辨。通过改变图像的帧频和每一帧的积分时间减小噪声干扰,但会减小成像作用距离。

5) 加热保护罩。在战术制导导弹系统中,也可以和其他高速毫米波等导弹一样,在导引头前安装锥形热防护罩,以隔绝高速加热对整流罩的影响,另一方面锥形热罩可改善系统的气动外形。

6) 采用共形结构。根据高速导引头空气动力学原理,球形天线罩外形无法满足高速飞行要求,而使用尖拱形结构可大大减小空气阻力,但尖拱形结构会产生非对称光学像差,采用非球面和位相板等技术可以给予校正。

3　共形整流罩技术

为了减小导弹阻力及气动加热,获得好的隐身能力和目标视场,可使用与机身或弹体形状一致的整流罩,称之为共形整流罩(conformal dome)。美国国防部高级研究计划局DARPA 于1996 年开始“共形光学计划”项目研究[3],图 7 左边为使用共形整流罩的导弹[4]。这项光学技术的特点表现在组成外部窗口的元件除了光学性能的需求外更适合于空气动力学的要求,图 8 描述了导弹在不同马赫数飞行时整流罩的阻力系数和长径比的关系。可以看出,随着长径比的增大,整流罩的阻力系数明显减小[5]。

共形头罩的设计关键在于校正随框架角变化的动态像差,有 3 种基本的校正类型:

A 类——铰链式光学系统(articulated optics)。针对视场中每个位置用像差补偿器,这一方法提供了宽视界内任意孔径、任意位置最佳和完整的解。另一个得到检验的例子是飞机窗,它有非常普通的形状。当跟踪器或成像器件扫过整个视界时,调整滑移与旋转像差校正器。此类铰链式设计的优点是对共形窗的机械与热偏移具有自调节或自对准的功能。

B 类——用相位板横向/滚转移动作动态校正器[6]。由于共形头罩有一点负光焦度,入射到头罩

上的准直光束有点发散。采用轴向平移相位板动态校正像散,从图 9 可形象地看到不同观察角时,轴向平移相位板可校正头罩产生的像散。

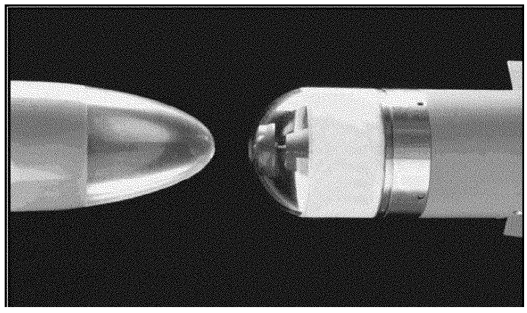

图 7　共形整流罩导弹和传统导弹对比示意图

Fig. 7　Contrast of missile with conformal radome and traditional missile

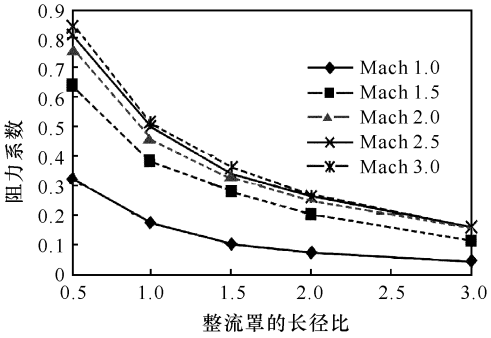

图 8　不同长径比整流罩的阻力系数与飞行速度的关系

Fig. 8　Resistance coefficient versus flight speed of radomes with different draw ratio

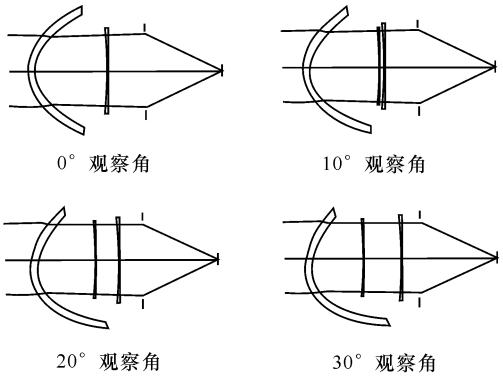

图 9　共形头罩中的轴向平移板

Fig. 9　Axially translating plates in conformal radomes

C 类——位于罩内的固定校正器[7]。这是一种旋转对称的光学单元,安装并固定在头罩或导弹弹体上,亦即它不会象光学系统框架那样运动,这使复杂的头罩看起来就像简单的窗。

由于校正是靠静态元件完成的,此法具有简单、成本低的优点,但不能大角度范围校正。共形光学表面的加工和测试超出了传统工艺与设备的能力,为此,美国"光学制造中心"专门开发一种五轴精密表面加工机,称为"确定性共形微型磨床(CDMG)"(该磨床能够生产大多数任意形状的共形光学件),并设计开发出夏克-哈特曼(Shack-Hartmann)干涉仪,用于对元件检验和系统组装。国内研究机构正积极努力突破非对称自由曲面加工及检测技术,这将大大推动高速图像制导导弹的发展。

4　结束语

尖晶石和红外玻璃是比较理想的红外导引头整流罩材料。共形整流罩技术给导弹整流罩的设计带来了革命性的变化,其无可比拟的性能必将成为未来红外导弹整流罩的发展方向,同时,也对光学系统的设计和光学材料的加工等方面提出了新的挑战。

参考文献:

[1]　余怀之. 红外光学材料[M]. 北京:国防工业出版社. 2007.
YU Huai-zhi. Infrared optical material[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007. (in Chinese)

[2]　WEBER M J. Handbook of optical materials[M]. [S. I]: CRC Press. 2003.

[3]　SHANNON R R. Overview of conformal optics [J]. SPIE, 1999, 3705: 180-188.

[4]　SHANNON R R, MILLS J P, POLLICOVE H M, et al. Conformal optics technology enables window shapes that conform to an application, not to conventional optical limitations [J]. Photonics Spectra, 2001, 35(4): 86-93.

[5]　KNAPP D J, MILLS J P, HEGG R G, et al. Conformal optics risk reduction demonstration [J]. SPIE, 2001, 4375: 146-153.

[6]　MITCHELL T A, SASIAN J M. Variable aberration correction using axially translating phase plates [J]. SPIE, 1999, 3705: 209-220.

[7]　SPARROLD S W. Arch corrector for conformal optical systems[J]. SPIE, 1999, 3705: 189-200.