

杜瓦热耗的影响因素分析

林国画, 孟令伟

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:随着红外探测器杜瓦组件生产数量和品种的增加,对杜瓦热耗提出一致性好和较低热耗的要求,本文从理论上分析了影响杜瓦热耗的因素,从实际出发,根据应用的具体情况提出需要控制的主要因素,通过实际制作样品和对大量数据的统计分析,验证了理论分析的结果,为降低和稳定控制杜瓦热耗提供了明确的依据,对杜瓦设计、开发、生产具有一定的参考价值。

关键词:热耗;发射率;冷指

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.02.013

Analysis on influence factors of Dewar heat consumption

LIN Guo-hua, MENG Ling-wei

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract:With the rapid development of infrared detector, the size of Dewar assembly becomes bigger, which needs the Dewar with lower heat consumption. The influence factors of Dewar heat consumption were analyzed theoretically, and these factors were verified through the experiments. The results show Dewar heat consumption is related to the emissivity of window surface and the thickness of cold finger, which provides a reference for the design, development and manufacture of Dewar.

Key words:heat consumption; emissivity; cold finger

1 引言

热耗是杜瓦设计、研制、生产中一个重要的指标,某一款杜瓦热耗的大小影响到所选用的制冷机功率的大小及制冷机的工作寿命,同时也影响到杜瓦自身的寿命。

目前已实现批量化生产的红外焦平面探测器杜瓦组件,在生产中需要重点控制哪些因素能够使杜瓦的热耗稳定在一个较低的数值范围内,为用户提供性能一致的产品,成为需要更加明确的一项工作;同时随着红外焦平面探测器组件阵列规模的扩大,杜瓦结构也在变大,热耗相应增加,但是用户对新产品杜瓦的要求瞄准的是低热耗,如何在新产品研发初期,热耗就能得到有效控制,也是需要解决的

问题。

针对上述需求,对影响杜瓦热耗的主要因素进行分析研究和验证,找到了控制热耗需要重点控制的因素。

2 杜瓦热耗的组成分析

红外焦平面探测器组件的热耗由辐射传热、固体传热、对流传热及芯片的焦耳热组成。

芯片的焦耳热由探测器的设计进行控制,杜瓦内部是超高真空,对流传热可不考虑,因此,在杜瓦热耗的控制研究中,主要针对辐射传热及固体传热的影响进行研究。

2.1 辐射传热原理及对热耗的影响分析

一般物体的辐射通量可以用公式(1)来表示:

作者简介:林国画(1968-),女,大学本科,高级工程师,主要从事光学设计工作。E-mail:11hwcq_g@sina.com

收稿日期:2016-05-01; **修订日期:**2016-06-03

$$\Phi = \sigma \varepsilon A T^4 \quad (1)$$

式中, σ 为 Stefan-Boltzmann 常数; ε 为辐射体的发射率; A 为辐射体的表面积; T 为辐射体的表面温度。

假定有一温度为 T_1 、表面积为 A_1 的球状物体, 放置在温度为 T_2 的球形空腔(面积为 A_2) 之中(如图 1 所示), 考虑到 T_2 物体的辐射有一部分没有直接落在 T_1 物体上, 以及物体除吸收外还对辐射有多次反射, 经计算可得到该两物体之间的辐射传热通量为:

$$\Phi = \sigma A_1 F (T_2^4 - T_1^4) \quad (2)$$

式中, $F = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 (1 - \varepsilon_2)} \frac{A_1}{A_2}$, A_1 表示面积较小的

物体的表面积。

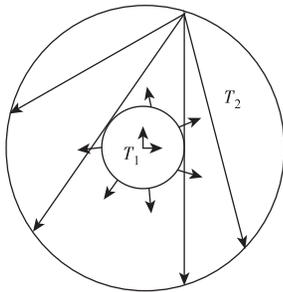


图 1 两物体间辐射传热示意
Fig. 1 Radiation between two objects

杜瓦内部的结构如图 2 所示, 辐射传热主要由窗座内壁与冷屏外表面之间的辐射产生。从公式(2)可以看出, 窗座内壁与冷屏外表面的表面积的大小、表面发射率的大小、它们之间的温差与辐射热量多少有关, 表面积越小、发射率越低、温差越小它们之间的辐射热量就越小。在实际使用中, 由于探测器芯片的工作温度是一定的, 冷屏的温度也就确定不变了, 窗座的温度是环境温度, 一般也是确定不变的, 因此, 窗座内壁与冷屏外表面之间的温差在公式(2)中是个常量; 窗座的外形尺寸设计与冷屏有关, 冷屏的高度与系统 F 数、制冷时间、力学稳定性有关, 通常综合 3 个因素会得到一个确定不变的高度, 那么窗座的外形尺寸也就随之确定, 窗座的内表面积也就确定下来, 在新开发产品时, 可以将窗座和冷屏的尺寸尽可能优化, 以便得到较低的辐射传热, 而已经成熟的产品, 窗座内壁与冷屏外表面的表面积在公式(2)也可以视为常数, 减小辐射传热的工作主要集中在降低表面发射率, 表面发射率减小, 组件的热耗就可以降低。

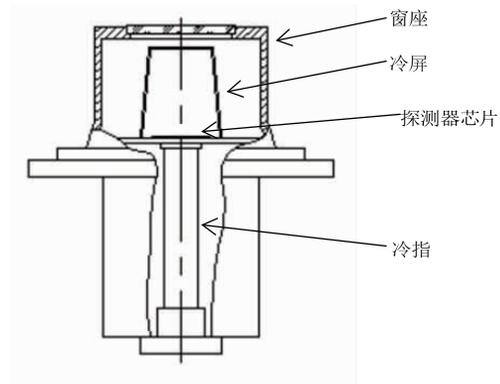


图 2 探测器-杜瓦组件剖面示意图
Fig. 2 DDCA section

2.2 固体传热原理及对热耗的影响分析

两个物体相互接触, 各部位之间温度不同, 就会发生传热, 传热量的大小如公式(3)所示, 微杜瓦中的固体传热主要包括引线传热和冷指传热, 在微杜瓦工艺中, 焊接的引线长度、引线直径和引线材料都已固定, 引线数的变化也较小, 总共算下来, 引线传热只有几十毫瓦; 而冷指的固体传热量较大, 几乎占到杜瓦全部热耗的一半。探测器芯片的工作温度和组件应用的环境温度是相对固定的, 对冷指传热的影响也是相对固定的, 冷指根据所选材料不同, 其热导率对热耗的贡献会有所不同, 但微杜瓦冷指可选材料只有 1~2 种, 根据不同的应用条件会相对固定一种材料, 其影响只是在于是否会有更适用的热导率低的材料, 冷指壁厚的变化对热耗的影响较大, 而且, 薄壁冷指的加工难度较大, 不好控制, 因此, 将冷指壁厚控制在一定的公差范围内, 就可以较好地控制热耗。

$$Q_{\text{传导}} = -\frac{A}{L} \int_{T_1}^{T_2} k dT = \frac{A}{L} \left(\int_{T_{\text{ref}}}^{T_1} k dT - \int_{T_{\text{ref}}}^{T_2} k dT \right) \quad (3)$$

式中, L 为传热长度 (cm); A 为垂直于热流方向的传热面积 (cm^2); T_1 为热端温度 (K); T_2 为冷端温度 (K); $\int k dT$ 为相对温度的积分导热率 (W/cm)。

3 杜瓦热耗的影响因素验证

3.1 窗座表面发射率对热耗的影响验证

窗座表面发射率与表面粗糙度有关, 表面粗糙度小, 表面发射率也小, 杜瓦的窗座一般为可伐材料, 通过车床加工成型, 车好的窗座内表面粗糙度通常大于 1.6, 为了降低表面粗糙度, 窗座车好后要进行抛光处理, 抛光处理后为了增强它的耐腐蚀性, 要进行电镀, 电镀通常所用的材料为镍或金, 因此, 窗座内表面发射率与选用镀镍材料还是

镀金材料有关,为此制作样品进行了发射率测试和验证试验。

由于窗座为圆形,无法直接测得表面发射率,制作了基底材料、加工要求与窗座完全一致的平面样品,加工完成后,对样品分别镀金和镀镍,如图3所示。由黑体、傅里叶光谱仪、探测器、旋转机构组成的测量装置上测试常温发射率,镀镍样品平均发射率0.08,镀金样品平均发射率0.05,镀金样品的平均发射率小于镀镍样品,也就是说,杜瓦窗座内表面镀金其热耗值会比镀镍的小。为了验证测试结果,制作了一个小批次的杜瓦组件,其中窗座镀镍和镀金的样品各占一半,组件所用的其他零件技术状态均相同。将制作好的杜瓦组件放置在电子天平上,往冷指中灌入液氮,用称重法测量杜瓦组件热耗,窗座镀金的杜瓦组件热耗的平均值比窗座镀镍的杜瓦组件热耗的平均值低,说明在探测器杜瓦组件的设计中窗座内表面镀金有利于降低杜瓦的热耗。

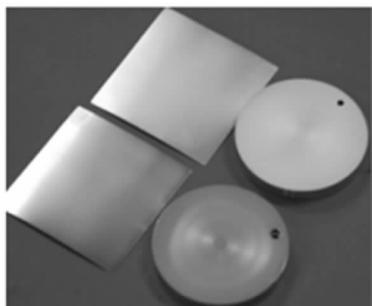


图3 平面镀金和镀镍样品

Fig. 3 Plating gold and nickel on metal surface

3.2 冷指壁厚对热耗的影响验证

要保证冷指热传导产生的热耗较小,冷指的壁厚要很薄,这给加工带来很大难度。冷指加工完成后,通常在温度恒定的实验室中用三坐标设备进行测量,按照编号对测量值进行记录,以便于进行追溯。为了实际得到冷指壁厚对组件热耗的影响,统计了不同批次的杜瓦的热耗值和相对应的冷指的壁厚数据,统计同一型号的杜瓦组件超过600只,如图4所示(水平方向对应样品数,垂直方向对应热耗值和壁厚值),图中截取了统计数据的一段,从图中可以看出,冷指的壁厚与杜瓦的热耗存在对应关系,冷指壁厚薄(曲线中的低点),相应的热耗也小,冷指壁厚大(曲线中的高点),热耗也大,从统计数据可以验证上面的理论分析,为杜瓦生产和设计中通过冷指壁厚来控制热耗提供了明确的数据参考,严格控制冷指壁厚的一致性就可以将杜瓦的热耗控制在稳定的范围内。

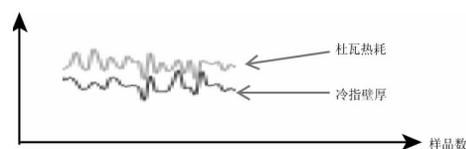


图4 冷指壁厚与杜瓦热耗的一一对应

Fig. 4 Cold finger thickness and dewar heat load one-to-one

4 小结

在对杜瓦热耗的影响因素分析中,找出了在理论设计上存在的影响因素,实际制作中并不是控制了这些因素,就能保证热耗低、数值稳定,杜瓦零件的清洗、除气等工艺对热耗也有影响,严格控制工艺也是控制热耗的关键因素。

参考文献:

- [1] HUANG Longxiang, SHEN Xiangheng, SONG Jiangtao. Measure target wide band emissivity with thermal imager [J]. Laser & Infrared, 2009, 39(2): 159 - 161. (in Chinese)
黄龙祥,沈湘衡,宋江涛. 基于热像仪的物体波段发射率的测量[J]. 激光与红外, 2009, 39(2): 159 - 161.
- [2] XIE Pinhua, WEI Qingnong, LIU Jianguo, et al. A method of measuring infrared emissivity of paint coatings by bidirectional reflectance [J]. Laser & Infrared, 1999, 29(1): 42 - 49. (in Chinese)
谢品华,魏庆农,刘建国,等. 用双向反射法测量漆层的红外发射率[J]. 激光与红外, 1999, 29(1): 42 - 49.
- [3] LI Jianlin, ZHOU Xiaojun. Heat Load measurement of the micro metal dewar with mass flow method and its calculation [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(1): 143 - 148. (in Chinese)
李建林,周效军. 利用流量法测量微型金属杜瓦瓶热负载及其计算方法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 143 - 148.
- [4] ZHANG Bin. Research on thermal design for electronic equipment [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2012, (1): 63 - 65. (in Chinese)
张斌. 电子设备的热设计研究[J]. 装备制造技术, 2012, (1): 63 - 65.
- [5] YU Kun, LIU Yufang, JIA Guangrui, et al. Analysis on factor affecting the infrared spectral emissivity of steel surface [J]. Infrared Technology, 2011, 33(5): 289 - 292. (in Chinese)
于坤,刘玉芳,贾光瑞,等. 影响钢表面红外光谱发射率的因素分析[J]. 红外技术, 2011, 33(5): 289 - 292.
- [6] WANG Luosheng. The effect of temperature and emissivity on radiance illumination in IR target simulation system [J]. Infrared Technology, 1993, 15(1): 17 - 20. (in Chinese)
王罗生. 在红外目标模拟系统中温度及发射率对辐射照度的影响[J]. 红外技术, 1993, 15(1): 17 - 20.