

锥形自调式节流制冷器的应用研究

姚青华

(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘要:介绍了一种应用于红外焦平面探测器组件上的自调式节流制冷器,该制冷器为锥形结构,采用了一种新型自调方式,与传统的波纹管型自调式节流制冷器相比,具有制冷速度快、结构简单、成本低廉、装调方便等优点;文中还对该制冷器自调机构的工作原理进行了简单的介绍和分析,并对该型制冷器进行了性能测试。

关键词:锥形;自调;节流制冷器

中图分类号:TN214 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.09.009

Application research of tapered self-regulated J-T cryocoolers

YAO Qing-hua

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

Abstract: This paper introduces a kind of the self-regulated J-T cryocoolers applied to infrared focal plane detector components. The cryocooler with tapered structure, adopts a kind of new self-regulated way. And the cryocoolers compared with the traditional self-regulated J-T cryocoolers with bellows have some advantages, such as the cooling speed, simple structure, low cost, convenient assembly and so on. The paper also analyses the working principle of this kind of self-regulated J-T cryocooler, and we have performance test of these coolers.

Key words: tapered; self-regulated; J-T cryocoolers

1 引言

节流制冷器通常分为自调式和快速启动式两大类,而自调式节流制冷器通常采用波纹管、形状记忆合金等作为调节控制元件组成自调结构。

随着红外技术的发展,自调式节流制冷器被应用于以128元×128元为代表的红外焦平面探测器组件中,日趋成熟,并逐步应用于各类武器系统中。由于红外导引头内部空间有限,制冷器与杜瓦结构的研究在逐步向短小化、集成化方向发展^[1]。波纹管和形状记忆合金型自调式节流制冷器已不能完全满足红外焦平面探测器组件的应用^[2]。需要研究一款相对短小,装调简单,能够兼顾快速启动与自动调节流量的制冷器。

2 新型自调式节流制冷器的理论分析

2.1 设计思路

在有限的应用空间内,设计了一款结构简单,性能兼顾快启动和自调两大功能的新型节流制冷器。通过材料本身在低温下变形缩小,在常温或高温范围(60℃)内恢复原状,以形成位移量,达到控制流量的目的。

2.2 制冷器理论模型的设计建立

结合应用需求,制冷器总体形状为锥形结构,通过建立制冷器结构热固耦合模型,进行理论分析与计算。根据制冷器结构的实际工况,建立阀体、阀针

作者简介:姚青华(1978-),男,工程师,主要从事低温与制冷的研究工作。E-mail:yqh1110@163.com

收稿日期:2012-04-06;**修订日期:**2012-08-07

以及外面支撑芯柱的几何模型和有限元模型如图1、图2所示。热分析的边界条件为阀体部分表面以及外面支撑芯柱的上顶面温度为-186℃,支撑物的底部为常温27℃。

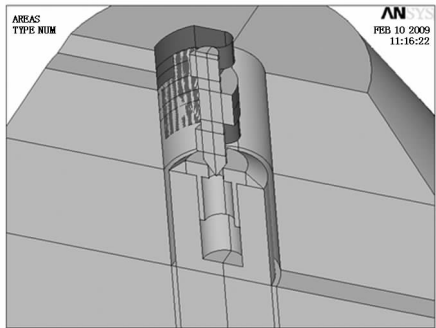


图1 阀针部分几何模型

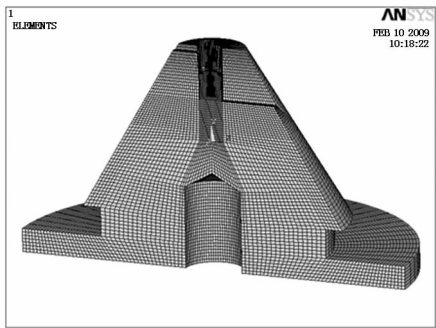


图2 整体有限元模型

2.3 制冷器零件材料属性设定

选用制冷器零件材料属性主要考虑线膨胀系数,弹性模量,导热系数等指标。零件材料选用过程复杂,不过多陈述,下面选用几种典型材料进行建模分析,如表1所示。

表1 制冷器零件材料属性设定值

零件名称	材料	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	线膨胀 系数/ ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	导热系数/ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)	弹性模 量/GPa	泊松 比
阀体、阀 针、阀针 架	304 不 锈钢	7.85×10^3	15.5	16.38	202	0.3
阀体座	因瓦 合金	8.14×10^3	1.38	10.7	134	0.3
焊料	铅锡	9.66×10^3	25.6	40.5	21	0.42
芯柱	聚酰 亚胺	1.43	40.0	0.37	3.1	0.41

2.4 理论计算结果

芯柱(支撑结构)线膨胀系数为 $40 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 时的计算结果。从图3可以得到阀针和阀体口的穿透量大于 $0.2 \times 10^{-4} \text{ m}$ 。从图4可以看到,阀针与阀体

口的整个圆弧均发生了穿透,因此可以推出实际中有接触的相互作用时,阀针和阀体口完全接触,没有间隙,可以起到密封气体的作用。

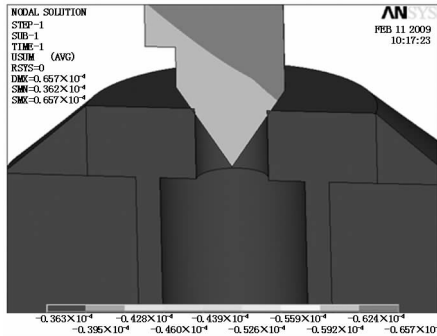


图3 阀针与阀体口的总位移云图

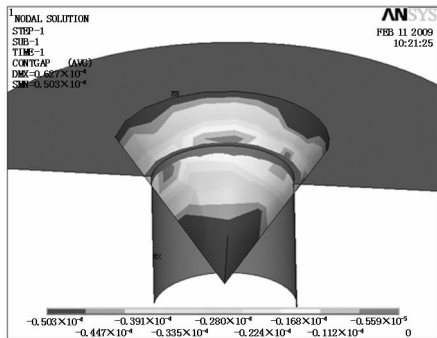


图4 阀针与阀体口的穿透量

2.5 理论模型设计分析结论

当整个结构由室温27℃达到工作状态的稳态时(即顶部温度-186℃,底部27℃时):可以得出制冷器结构工作原理:外面的芯柱(支撑结构)受冷收缩,带动固定在其上端的阀针架和阀针下移,从而堵住阀体口。虽然阀针和阀针架以及阀体部分受冷也会收缩,有使间隙加大的趋势,但是支撑物收缩带动阀针下移对于减小间隙起着主导作用^[3]。

3 自研锥形自调式节流制冷器的试验结果及分析

按照设计思路,以理论模型设计分析为指导,自行研制成功了下款锥形自调式节流制冷器,如图5、图6所示。

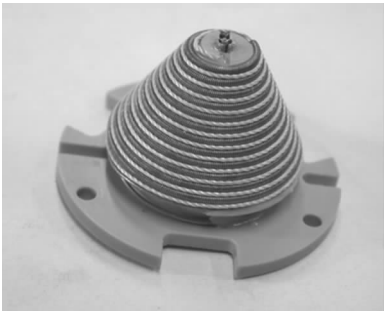


图5 锥形自调式节流制冷器照片

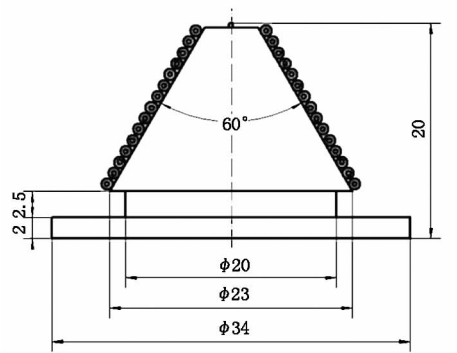


图 6 锥形自调式节流制冷器外形示意图

通过查阅文献资料,发现法国 SOFRADIR 公司生产此款锥形自调式节流制冷器,归纳其技术指标

表 3 锥形自调式节流制冷器测试结果

制冷器编号	锥形真空杜瓦编号	工作介质/压力	启动时间(95 K)	稳定工作温度	平均稳定流量	备注
Z090105	128D080101	Ar/50 MPa	5.95 s	88.3 K	3.8 l/min	128 × 128 元铈化铟
Z090106	128D080103	Ar/50 MPa	5.91 s	88.6 K	2.5 l/min	
Z090111	128D080105	Ar/50 MPa	6.46 s	88.9 K	3.4 l/min	

由测试结果可知,此款锥形自调式节流制冷器在装有 128 × 128 元铈化铟红外焦平面探测器组件上进行测试,启动速度快,工作温度稳定,自调后平均稳定流量小,能够满足红外焦平面探测器使用要求。

4 总 结

锥形自调式节流制冷器具有制冷速度快、身材短小、成本低廉、装调方便等优点。与波纹管型自调式节流制冷器相比,优点突出。此款制冷器的性能现已达到国际同类产品水平。此款制冷器具有快速启动和流量自动调节两大功能,并可在氮气、压缩空气等气体介质下工作,其在反坦克、舰载、地对空等导弹系统中可以得到广泛应用,市场前景广阔。

如表 2 所示。

表 2 法国 SOFRADIR 公司锥形自调式节流制冷器技术指标

工作介质	工作压力	启动时间(95 K)	稳定工作温度	稳定流量	备注
氩气(Ar)	50 ~ 70 MPa	≤ 8 s	(88 ± 2) K	≤ 12 l/min	

通过参照国外同类产品的性能指标要求,将自研的锥形自调式节流制冷器安装在 128 × 128 元铈化铟红外焦平面探测器组件上进行测试,测试结果如表 3 所示。

锥形自调式节流制冷器还存在一些不足:如制冷器使用介质气体压力较高;制冷器调试和使用需要使用相同介质气体,交叉使用介质气体,会导致制冷器自调机构失效;另外此款制冷器由于长度和空间限制,未安装进气过滤器,在使用过程中应严格按照操作说明操作,防止出现堵塞现象。

参考文献:

[1] Alain Cottureau, Marc David. New Development in Small Cryocoolers[J]. Proc. SPIE, 1996, 2744: 393 - 402.

[2] S Reale, B Guille. Flat structure cooled detector assembly [J]. SPIE, 1994, 2225: 428 - 436.

[3] G Walkers. Closed-cycle cryocoolers [J]. Engineering, 1981, 842: 3.