

文章编号: 1672-8785(2021)01-0011-05

## 杜瓦激活对探测器芯片温度影响的理论与试验研究

洪晓麦 王立保 沈 星 刘道进 张杨文  
张丽芳 程海玲 黄 立\*

(武汉高德红外股份有限公司, 湖北 武汉 430205)

**摘 要:** 杜瓦激活过程会引起探测器芯片温度过冲, 导致芯片失效。通过仿真计算分析了吸气剂激活过程中产生的温度分布, 研究了探测器芯片在杜瓦激活时温度升高过冲的主要传热途径, 并提出了一种吸气剂挡板方案。试验结果表明, 该方案可将激活过程中探测器芯片表面的最高温度由 105 °C 降至 85 °C, 解决了激活过程中探测器芯片的温度过冲问题。

**关键词:** 红外探测器; 吸气剂; 杜瓦; 激活

**中图分类号:** TN2      **文献标志码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2021.01.003

## Theoretical and Experimental Research on the Influence of Dewar Activation on the Temperature of Detector Chip

HONG Xiao-mai, WANG Li-bao, SHEN Xing, LIU Dao-jin, ZHANG Yang-wen,  
ZHANG Li-fang, CHENG Hai-lin, HUANG Li\*

(Wuhan Guide Infrared Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

**Abstract:** The dewar activation process will cause the temperature of the detector chip to overshoot and cause the chip to fail. The temperature distribution in the process of dewar activation is analyzed by simulation. The main heat transfer path of the detector chip with temperature rise and overshoot during dewar activation is studied. A scheme of getter baffle is proposed, which can reduce the maximum surface temperature of the detector chip from 105 °C to 85 °C, and solve the problem of temperature overshoot in the activation process.

**Key words:** infrared detector; getter; dewar; activation

### 0 引言

随着红外焦平面探测器在军事、航空、安防等领域的深入应用, 对杜瓦的真空可靠性提出了越来越高的要求。吸气剂安装于杜瓦内

部, 在真空排气时需要通过激活实现吸气剂表面活性, 以维持杜瓦的超高真空度。激活过程中由吸气剂产生的热量会引起探测器芯片温度过冲, 导致芯片失效。因此通常采取分段激活

收稿日期: 2020-09-10

作者简介: 洪晓麦(1987-), 男, 湖北武汉人, 硕士, 主要从事红外探测器杜瓦封装技术研究。

\*通讯作者: E-mail: 312094@qq.com

处理。但由于吸气剂激活不充分,杜瓦的长期真空可靠性存在风险。本文将对此问题进行理论分析和试验验证。

## 1 吸气剂激活热的影响

### 1.1 吸气剂的工作原理

将红外探测器芯片封装在杜瓦中。杜瓦的真空可靠性对红外探测器的正常工作有重大意义。吸气剂可以有效地吸附杜瓦腔体内的活性气体并维持杜瓦的超高真空度。

吸气剂是一种以钪为基底的多相金属混合物。它通过高温烧结而成,其表面的多孔结构可以吸附气体并使之扩散至吸气剂体内部,从而实现气体吸附功能。暴露于大气环境后的吸气剂表面会覆盖着一层  $H_2O$ 、 $CO_2$  及碳氢化合物,因此使用前必须在真空条件下将其加热到一定温度并保持一段时间,以去除表面钝化膜以及所吸附的气体,从而获得清洁的活性表面。这一过程被称为吸气剂激活。

### 1.2 激活热的传导

吸气剂激活方式通常有热激活和电激活两种。在激活过程中,吸气剂会产生大量热量。以赛斯公司生产的 ST 172 吸气剂为例,在激活过程中单颗吸气剂的表面温度可达  $800\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。杜瓦腔体内的吸气剂数量越多,激活时的温度也越高。吸气剂激活过程中产生的热量主要通过热辐射、固体传导和热对流三种方式传导至冷平台上的探测器芯片,使探测器芯片的温度在激活时不断升高,从而出现温度过冲风险。由于杜瓦腔体内部是超高真空环境,热对流可以忽略不计,在此仅考虑热辐射和固体传导两种传热方式的影响。

### 1.3 热学模型的建立及热传导仿真分析

以武汉高德红外股份有限公司生产的某型号红外探测器杜瓦组件为例,建立杜瓦组件热学分析模型(见图 1)。

通过金属固定环将三颗吸气剂固定在杜瓦外壳上,并将探测器芯片贴装于杜瓦冷平台上。在吸气剂激活过程中,吸气剂表面产生的热量通过热辐射的方式传导至冷指气缸和陶瓷

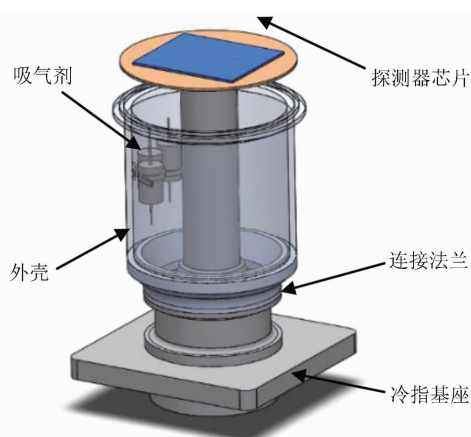


图 1 杜瓦组件的热学分析模型

基板,然后通过固体导热的方式传导至探测器芯片;同时吸气剂的激活热通过金属固定环传导至杜瓦外壳,并依次通过连接法兰、冷指基座、冷指气缸和冷盘传导至探测器芯片。

利用有限元分析软件对杜瓦热学模型用八点六面体实体单元进行网格划分。各层之间由共用有限元节点连接。将吸气剂作为热源,施加温度载荷如图 2 所示。对杜瓦的冷指基座施加恒定温度载荷  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为简化计算,假定各材料的物性参数恒定(见表 1)。

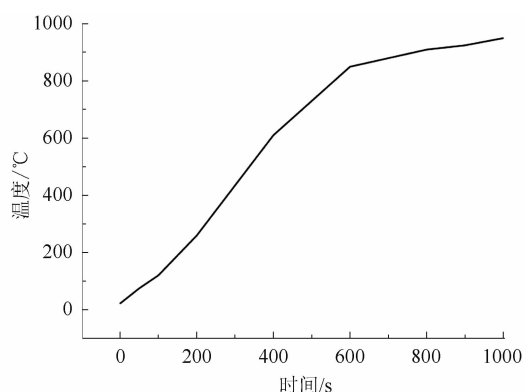


图 2 吸气剂所施加的温度载荷曲线

对有限元模型进行热分析,并计算杜瓦在激活过程中产生的温度分布(结果见图 3)。由计算结果可以得出,探测器芯片的温度随吸气剂激活时间的增加而升高,芯片表面的最高温度达  $104.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,已超出探测器芯片所能承受的温度范围。

为进一步分析吸气剂激活时探测器芯片温度快速上升的主要热来源,对无热辐射情况下

表 1 杜瓦模型材料的物性参数

材料	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	导热率/(W/(m·K))	发射率
TC4	4.51	7.95	0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基板	3.85	26.7	0.85
Si 电路	2.34	149	0.8
4J32	8.1	13.9	0.07

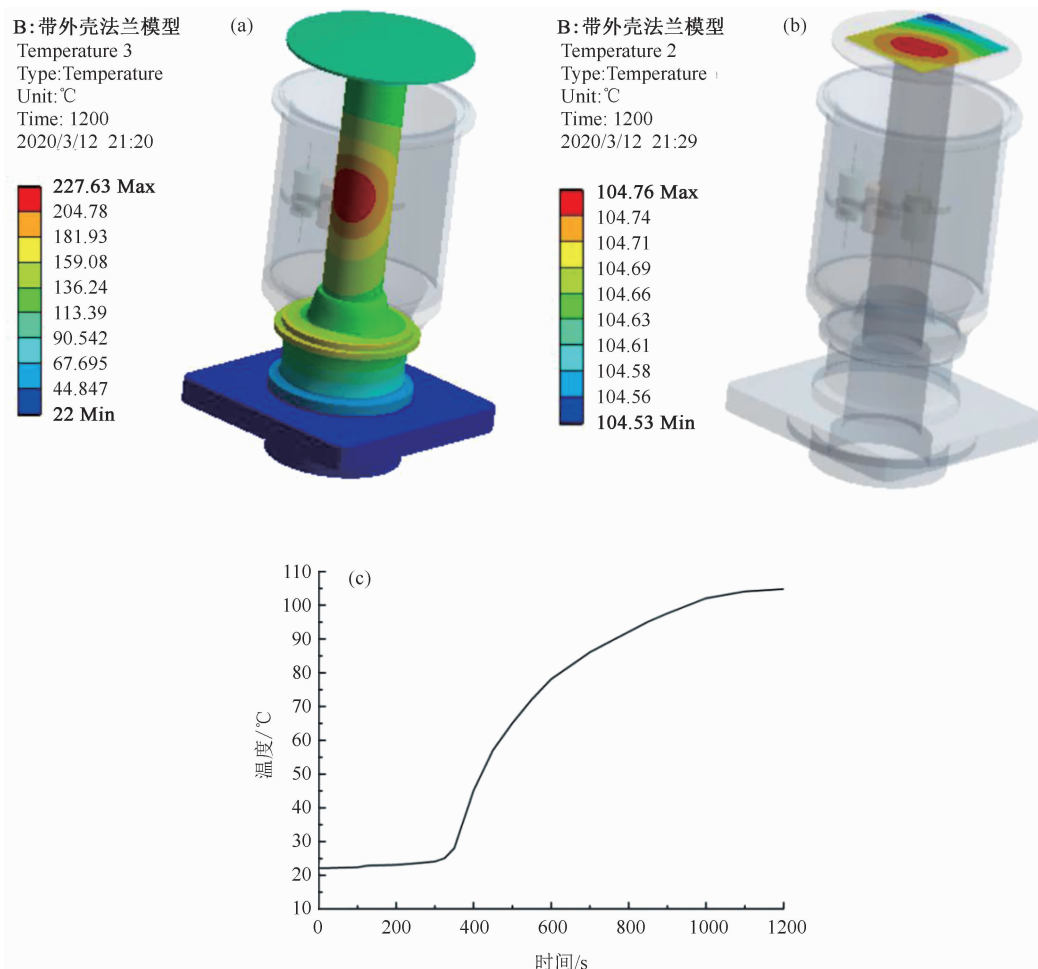


图 3 杜瓦激活热分析的计算结果: (a)杜瓦冷指的温度场; (b)探测器芯片的温度场; (c)探测器芯片的温度随激活时间的变化曲线

探测器芯片的表面温度场进行了仿真计算(结果见图 4)。由计算结果可以得出,在不考虑吸气剂热辐射的情况下,杜瓦激活时探测器芯片的最高温度为 29.96 °C。

通过对比有无热辐射时的仿真计算结果可以得出,在杜瓦吸气剂的激活过程中,导致探测器芯片温度升高过冲的主要因素是吸气剂的热辐射。

## 2 杜瓦结构优化

红外探测器芯片对温度比较敏感。若长时间处在高温下,芯片易失效,导致探测器无法正常工作。因此需要优化杜瓦结构,即在保证吸气剂充分激活的前提下,使探测器芯片温度不过冲。

上文分析了吸气剂激活时的热辐射是导致探测器芯片温度快速上升的主要原因。在杜瓦

F: 带外壳法兰模型-无热辐射

Temperature 2  
Type: Temperature  
Unit: °C  
Time: 1000  
2019/8/28 11:39

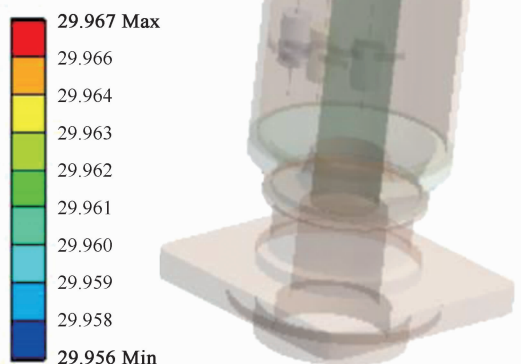


图4 无热辐射时探测器芯片的表面温度场

腔体中, 吸气剂与冷指气缸之间的辐射漏热可以等效为两个平行面之间的辐射传热:

$$Q = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} + \frac{1}{A_1}} \quad (1)$$

式中,  $\sigma$  为斯特藩-玻尔兹曼常数 ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ );  $A_1$  为吸气剂体表面辐射面积 ( $\text{m}^2$ );  $A_2$  为冷指气缸圆柱面的表面辐射面积 ( $\text{m}^2$ );  $\epsilon_1$  为吸气剂体表面发射率;  $\epsilon_2$  为冷指气缸外表面发射率;  $T_1$  为吸气剂体表面温度 (K);  $T_2$  为冷指气缸的表面温度 (K)。

根据辐射传热计算公式, 可通过减小两个

辐射面的温度差来降低热辐射。在两个辐射面之间增加辐射屏, 将一次辐射转换为二次辐射, 以减小两辐射面间的温差, 从而降低热辐射。依据此设计思路提出了一种吸气剂挡板方案, 即通过在吸气剂外侧设计一个圆弧形挡板, 减少吸气剂的激活热对冷指气缸及陶瓷基板的热辐射影响。图5为该优化方案的结构示意图。

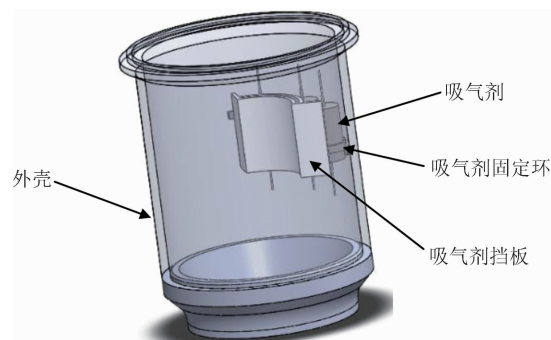


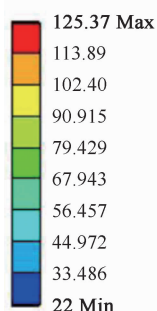
图5 吸气剂挡板结构

在吸气剂靠近冷指的外侧增加挡板结构 (厚度为 0.5 mm)。通过点焊方式将其与吸气剂固定环连接。对优化后的杜瓦结构进行了传热分析和计算 (结果见图6)。由计算结果可以得出, 在增加吸气剂挡板后, 冷指部件的最高温度从 227.6 °C 降至 125.37 °C, 冷指薄壁气缸受到的吸气剂辐射热减少, 吸气剂激活时探测器芯片的最高温度为 84.6 °C。

图7所示为杜瓦结构优化前后吸气剂激活

D: 带外壳法兰模型-吸气剂挡板(0.5 mm) (a)

Temperature 6  
Type: Temperature  
Unit: °C  
Time: 1200  
2020/3/14 22:59



D: 带外壳法兰模型-吸气剂挡板(0.5 mm) (b)

Temperature 2  
Type: Temperature  
Unit: °C  
Time: 1200  
2020/3/14 23:00

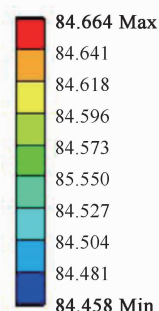


图6 杜瓦优化结构的激活热计算结果: (a)杜瓦冷指的温度场图; (b)探测器芯片的表面温度场

时探测器芯片的温度曲线对比情况。可以看出,在整个激活过程中,有挡板结构的芯片温度均比无挡板结构的低。增加吸气剂挡板可以有效地降低激活热对探测器芯片的影响,在充分激活吸气剂的同时确保探测器芯片的温度不过冲。

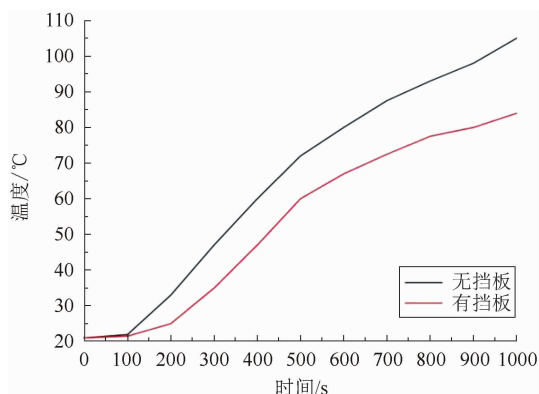


图 7 优化前后激活时探测器芯片的温度对比

### 3 试验验证

在武汉高德红外股份有限公司生产的某型号探测器杜瓦组件的腔体内放置 3 颗吸气剂。图 8 所示为实际杜瓦激活时探测器芯片的温度监测数据。受激活热的影响,探测器芯片的最高温度达到 105 °C。这个实际监测温度与仿真计算结果(104.7 °C)接近。

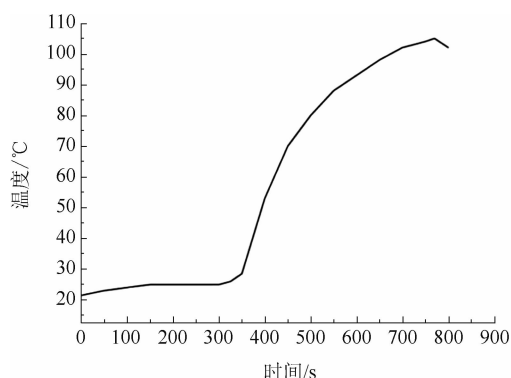


图 8 现有结构激活时探测器芯片的温度曲线

将吸气剂挡板结构应用于该型杜瓦组。在吸气剂激活条件不变的前提下,激活时实际监控的探测器芯片温度曲线如图 9 所示。可以看出,在增加吸气剂挡板后,探测器芯片受激活热的影响得到改善,激活时探测器芯片的最高

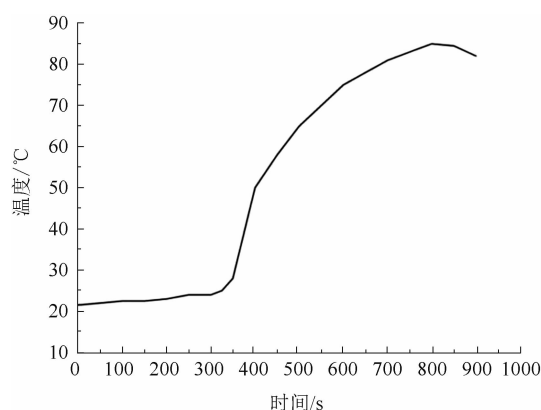


图 9 挡板结构激活时探测器芯片的温度曲线

温度由原先的 105 °C 降低到 85 °C。

### 4 总结

本文介绍了杜瓦通过吸气剂维持超高真空的工作原理,然后分析了在吸气剂激活过程中使探测器芯片温度快速升高过冲的主要热源(吸气剂的热辐射),并提出了一种可降低热辐射的杜瓦吸气剂挡板结构。仿真分析并对比了优化前后的温度分布。试验结果表明,吸气剂挡板可将激活时探测器芯片的最高温度由原先的 105 °C 降低至 85 °C,实现了吸气剂的充分激活,保证了杜瓦的长期真空可靠性。

### 参考文献

- [1] 李建林,李惟夏,徐世春.非蒸散型吸气剂维持红外焦平面探测器杜瓦组件工作真空度的性能与应用[J].*红外与激光工程*,2018,**47**(10):119-127.
- [2] 冯天佑,陈联,朱建炳,等.钨钼铁吸气剂的研究现状及发展[J].*真空与低温*,2017,**23**(1):7-12.
- [3] 徐圣亚,戴立群,孙启扬,等.大规模红外探测器杜瓦热负载实验测量研究[J].*红外技术*,2018,**40**(8):739-742.
- [4] 张亚平,徐世春,徐冬梅,等.快速评价微杜瓦真空寿命及应用[J].*真空科学与技术学报*,2018,**38**(7):557-563.
- [5] 金树峰,陈叔平,张军辉,等.辐射屏数及密度对超导腔垂直测试杜瓦漏热的影响[J].*原子能科学技术*,2019,**53**(4):754-760.