

热控实施典型故障分析

毛书勤 许艳军

(长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130031)



摘要: 结合工程实践, 介绍了在热控实施过程中常见的故障模式, 这些故障模式主要有多层隔热组件故障、尼龙搭扣失效、电加热器故障等三大类。阐述了各种故障的现象, 分析了产生故障的原因及解决办法, 通过剪切力试验数据分析, 总结出了尼龙搭扣粘贴的优选工艺。

关键词: 故障分析; 多层隔热组件; 剪切力试验; 电加热器

Typical Malfunction Analysis on Heat Control Procedure

Mao Shuqin Xu Yanjun

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 110031)

Abstract: Several malfunction modes in heat control procedure were introduced. The malfunction modes included three main kinds, such as the malfunction of multilayer insulation blankets, the invalid of nylon fibula, the failure of electric heater and so on. The reasons for the malfunctions and the methods of solving malfunction were analyzed. By the means of analysing the data of shear test, the stickup techniques of nylon fibula were summarized.

Key words: malfunction analysis; multilayer insulation blankets; shear test; electric heater

1 引言

为保证航天器能够在宇宙空间环境下正常工作, 必须采取相应的热控手段对航天器的温度实施有效控制。一般而言, 航天器热控制技术可分为主动热控技术与被动热控技术两大类。其中, 主动热控技术是一种闭环控制技术, 它通过安装在各个加热区的测温元件反馈温度值, 通过温控电路合理调节各个加热区的温度。被动热控技术是一种开环控制技术, 主要是通过使用隔热材料阻断航天器与宇宙空间之间的热交换。

2 热控实施过程中常见故障分析

2.1 多层隔热组件故障

多层隔热组件通常主要由反射屏、间隔物等材料制成^[1]。实际上, 在制作、安装、试验、保存、发射、

在轨运行等诸多环节当中, 多层隔热组件均有可能出现故障, 且在每个环节中出现的故障形式也不尽相同。

2.1.1 多层隔热组件表面电阻不合格

多层隔热组件在制作完成后, 通常要进行表面电阻检测。检测值必须符合相关文件的规定, 而阻值超标也是常见问题之一。一般而言, 阻值超标应该从两方面寻找原因: 多层隔热组件在制作过程中, 双面镀铝聚酯薄膜材料经过反复拖拽后与桌面磨擦, 造成镀层材料损伤从而影响表面电阻值; 多层隔热组件材料存放不当, 表面镀层材料氧化所致。针对第一条解决的根本办法在于规范操作方法, 尽量减少多层隔热组件制作过程中不必要的拖拽; 针对第二条主要是加强多层隔热组件的储存管理, 使其保存环境为合适的温度、湿度。

2.1.2 多层隔热组件表面破损

多层隔热组件表面破损多发于多层隔热组件安

作者简介: 毛书勤 (1982-), 硕士, 电机与电器专业; 研究方向: 电装工艺技术、绝缘技术研究。

收稿日期: 2013-03-27

装及拆卸过程中。在安装过程中,由于被安装面周围通常有较为锋利的金属边缘,而双面镀铝聚酯薄膜通常只有几十微米的厚度,如果工作人员操作不当极易发生材料表面划伤的现象,从而影响多层材料的正常使用。若划伤较小,可以采用单面镀铝聚酯薄膜丙烯酸压敏胶带粘贴修复;若损伤面积较大或划痕较深则应对该片多层材料进行更换。为有效避免此类事件发生,相关工作人员必须进行专门的岗前培训,操作过程中必须佩戴棉质手套,轻拿轻放,安装过程中必须注意避让锋利的金属边缘、突起等位置。

2.1.3 多层隔热组件烧蚀

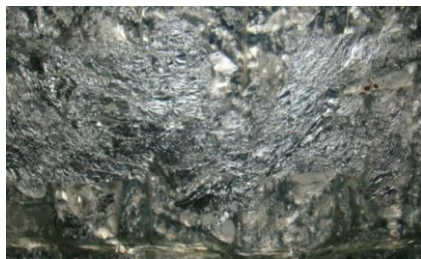


图1 多层隔热组件故障实物图

多层隔热组件在热平衡试验过程中可能出现烧蚀现象,如图1所示。发生这种现象主要是多层隔热组件在高温作用下发生劣化,局部高温是引发故障的直接原因。因此,应该从引发局部高温的几个可能因素中去查找问题的症结:

a. 多层隔热组件安装不合理:在热试验过程中,用于外热流模拟的电加热器外部被多层隔热组件覆盖,导致局部热量无法散出,温度异常升高,引发多层隔热组件的烧蚀现象。

b. 电加热器内部短路:由于每个加热区的供电电压一定,如果电加热器内部发生短路现象,导致该加热区电加热器阻值减小,则由 U^2/R 的功率计算公式可知,该加热区的功率会明显增大,从而在热平衡试验中引发多层隔热组件的烧蚀现象。

这是一种较为严重的故障,通常出现故障的多层材料与模拟外热流用的电加热器都无法再次使用,需根据实际情况进行更换与修复。

2.2 尼龙搭扣失效

2.2.1 常见故障

实际上,尼龙搭扣的粘贴是一个比较容易被忽视的工艺环节。而相比于多层隔热组件,尼龙搭扣又是一个比较薄弱的地方,因为尼龙搭扣要在热真空、热

平衡等各种试验中被反复撕扯且通常不做更换。而尼龙搭扣一旦从航天器本体上脱落,将直接导致多层隔热组件脱落失效。因而非常有必要开展相关工艺试验以寻找有效增强尼龙搭扣抗剪切能力的手段。



图2 尼龙搭扣脱落、开裂实物图

图2是多层隔热组件拆卸过程中,尼龙搭扣从被粘贴面剥离的图片。图中失效的两个搭扣的共同特征是粘贴位置位于铆钉上方、涂胶量偏少。这里就暴露出了影响尼龙搭扣粘结强度的两个因素——涂胶量与被粘贴面的表面情况。涂胶量偏少,胶液没有从尼龙搭扣边缘处少量溢出,则当尼龙搭扣受到侧向剪切力的时候极易发生脱落现象。尼龙搭扣下方被粘贴面有明显凸起,粘贴过程中如果处理不当,在凸起处周围极易产生气泡从而影响尼龙搭扣的粘接质量。以下是几个可能影响尼龙搭扣粘贴质量的因素:

- a. 尼龙搭扣是否打磨;
- b. 尼龙搭扣打磨面与被粘贴面是双面涂胶还是单面涂胶;
- c. 被粘贴面的表面情况,如是否光滑,是否有凸起、凹陷等等。

2.2.2 尼龙搭扣剪切力试验测试

针对影响尼龙搭扣粘贴强度的几个重要因素,开展了相关工艺试验。试验中采用统一人员在酚醛板上粘贴相同尺寸的尼龙搭扣。尼龙搭扣共分为四组:第一组:未打磨单面涂胶;第二组:未打磨双面涂胶;第三组:打磨单面涂胶;第四组:打磨双面涂胶。每组样本数量10个。粘贴完毕后,固化24h。而后采用剪切力测试仪对每个样本进行剪切力试验以测量其抗剪切强度。剪切力试验数据如表1所示。

将第一组与第二组数据、第三组与第四组数据相比,可以发现双面涂胶组的数据样本方差较小,说明双面涂胶能有效改善粘结的一致性、均匀性。将第一、二组数据与第三、四组数据对比可以发现,打磨能有效提升尼龙搭扣粘结的抗剪切力。因此,尼龙搭扣打

磨与双面涂胶是增加尼龙搭扣粘结强度与粘结一致性的有效手段。进一步观察数据可以发现，每组样本中与多数数据相比都有剪切力特别大或者特别小的情况。尼龙搭扣剪切力特别大的情况发生在粘贴完成后胶液有少量溢出，且溢出的胶液与尼龙搭扣边缘平齐或略高。而剪切力较小的情况发生在粘贴后胶液没有发生溢出的样本上。

表 1 剪切力试验数据表 N

序号	第一组	第二组	第三组	第四组
1	7.5	7.5	14.0	15.5
2	6.5	7.0	17.5	15.0
3	6.5	11.5	17.0	16.0
4	6.0	5.0	22.5	11.5
5	3.0	8.5	17.0	10.0
6	4.5	7.0	12.5	18.0
7	10.5	7.0	8.0	18.0
8	7.5	7.0	9.0	12.5
9	3.0	7.0	9.5	15.5
10	5.0	6.5	20.0	16.5
样本均值	6.0	7.4	14.7	14.85
样本方差	4.65	2.54	21.71	6.5

通过上面的工艺试验我们可以得出如下结论：打磨能有效增强尼龙搭扣粘贴的抗剪切力；双面涂胶能有效改善尼龙搭扣粘贴的均匀性；粘贴过程中应使胶液从尼龙搭扣边缘少量溢出并与尼龙搭扣边缘平齐或略高。

2.3 电加热器失效

在主动热控实施中常用的电加热器一般为聚酰亚胺康铜箔电加热器。该种电加热器由聚酰亚胺膜与康铜箔压制而成。其常见的失效包括：



图 3 电加热器外观破损

a. 电加热器外观破损。出现此类问题的原因多半是由于厂家制造缺陷或者使用者保存不当，如图 3 所示。这是一类比较危险的潜在隐患，因为这样的电加热器在阻值检验过程中往往是合格的，但是在长期使用过程中，破损地方的康铜箔极易发生氧化直至最终断路失效。要避免此类问题必须加强对电加热器的外观检验，同时在使用环节避免电加热器表面被划伤。

b. 电加热器主、备回路短路。电加热器主、备回路间的连通多半由厂家制版错误引起，如图 4 所示。此类问题完全可以在电加热器粘贴前通过测量发现，即使没有发现，当电加热器布线完成后也可以通过测量各个加热区主、备阻值的办法锁定问题电加热器。



图 4 电加热器主、备回路短路

c. 电加热器与被粘贴面短路。出现此类问题的原因多半在于操作者在粘贴电加热器过程中用力擗压所致。在电加热器的出线端由于焊点较大，应特别注意此处的绝缘防护问题。

3 结束语

航天器热控实施过程中出现的问题各异，各研制单位的实际情况也不尽相同，但每个问题的背后都隐藏着管理、工艺、生产等诸多环节中不到位的情况。相信只要重视每次故障分析，重视归零，持续改进，在热控实施过程中出现的问题就一定会得到圆满解决。

参考文献

1 侯增祺，胡金刚. 航天器热控制技术——原理及其应用[M]. 北京:中国科学技术出版社，2007：45~55