

一种蜂窝芯材料透气速率检测系统

李君三^{1, 2}

(1. 国防科技大学系统工程学院, 长沙 410073; 2. 中国空间技术研究院, 北京 100094)



摘要: 本文设计了一套蜂窝芯材料在真空环境下的透气速率检测装置, 用于模拟星体在发射过程中, 蜂窝芯腔体内空气逸散情况。采用压差法测试了不同真空度下蜂窝芯的透气速率, 同时制备了有色气体使得整个实验过程可视化, 可以判断出蜂窝芯板的透气死点。实验结果为蜂窝芯材料的工程应用提供了一定的数据支持。

关键词: 透气速率; 蜂窝材料; 真空度; 密封

Detection System of Honeycomb Core Material Air Permeability Rate

Li Junsan^{1, 2}

(1. School of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073;
2. China Academy of Space Technology, Beijing 100094)

Abstract: In this paper, through the design of the permeability detection device of the honeycomb core material, using the pressure difference method to test the air permeability rate under different initial vacuum degrees. At the same time, the colored gas was prepared to visualize the entire experiment process, and could be used to detect the air permeable dead point of the honeycomb core board. The experimental results of the paper provide data support for the engineering application of honeycomb core materials.

Key words: air permeability rate; honeycomb core material; vacuum; sealing

1 引言

蜂窝芯材料由于其具有较好的比刚度和承载效能, 因此被广泛应用于航天领域。由于内部存在蜂窝状孔隙, 在航天器发射之前, 其孔隙中完全浸润有空气, 当航天器进入太空过程中, 存在于孔隙中的空气需要通过蜂窝芯材料的小孔逸散出来, 逸散速率是衡量材料性能的一个重要指标。因此, 有必要设计一种试验装置, 模拟航天器进入太空后的环境, 得出气体逸散速率, 为实际工程提供有价值的参考依据。

蜂窝芯材料的宏观结构及芯层细观结构性能的研究自 50 年代以来就得到了充分发展, 研究范围不断拓展。目前国内外学者针对蜂窝芯材料的研究重点主要集中在力学效能方面。Allen^[1]最早使用有限元的方法模拟蜂窝芯材料的力学性能。Gibson^[2]提出胞元模型理

论, 忽略胞壁在 X 和 Y 方向厚度不同, 采用材料力学公式推导出等蜂窝结构的二维等效弹性参数的解析式。冯旭等^[3]通过工程实例做出对比验证, 进而探讨了对于刚度理论的理解, 并阐述了如何合理布置构件提高结构刚度。Jody W. C. Pang 等^[4-5]通过对复合材料层压板的弹性预应力研究, 利用弹性预应力减少翘曲, 提高刚度, 进而提高机械性能。H. T. Corten 等^[6]致力于研究如何有效改善复合材料的刚度, 发现用少量高模量纤维取代玻璃纤维能够有效改善其刚度, 随后对其进行深层次研究。赵志敏等^[7]设计了实验, 论证了光纤埋入能够有效改善结构刚度性能, 并且发现了光线埋入与刚度性能之间的相互关系。而关于蜂窝芯材料气体逸散速率相关的研究, 目前尚未见报道。

2 蜂窝材料透气速率检测系统

作者简介: 李君三 (1975), 硕士, 航天工商管理专业; 研究方向: 空间飞行器制造质量管理、生产线建设、军品研制能力结构调整等。

收稿日期: 2020-06-05

2.1 蜂窝芯试件制作

为了使实验数据具有一定的参照性，实验需要采用同种规格的蜂窝芯板。被测的蜂窝芯试件大小为500mm×500mm×25mm，上下两面采用有机玻璃板密封，左右两侧采用铝合金条密封，前后两侧不做处理，为了后续透气速率检测提供气体逸散通道，试件如图1所示。

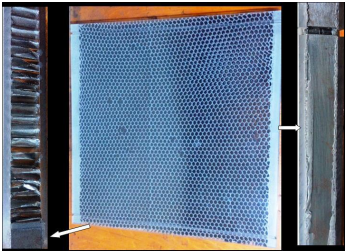
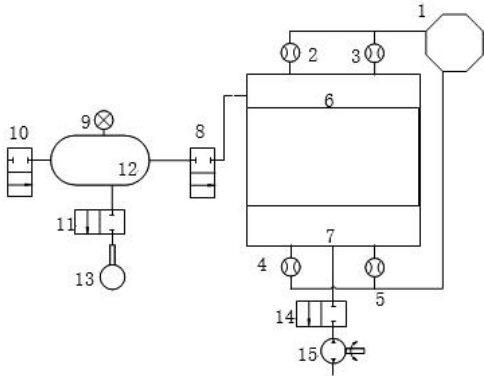


图1 蜂窝芯试件制作

2.2 检测原理

采用压差法检测蜂窝芯材料的透气速率，用两个气体缓冲腔，一个腔体保持一定的真空状态，另一个腔体保持一定的气压，然后计算固定量的气体通过蜂窝芯板的时间，得到气体的逸散速率，原理如图2所示。



1—控制器 2, 3, 4, 5—真空传感器 6, 7—测试腔体 8, 10, 11, 14—电磁阀
9—压力表 12—气缸 13—烟雾发生器 15—真空泵

图2 透气速率检测装置系统组成示意图

用真空泵将蜂窝芯板和两个缓冲腔体抽到一定的真空度，为了增加气体的供应量，系统中采用了一个气罐，同时为了将整个测试流程可视化，采用烟雾发生器将烟雾充入气罐。采用4个真空计记录两侧腔体的实时压力，当系统的真空度到达目标位时，通过切断电磁阀与气源的通道保持一定的压力，然后接通气罐和缓冲腔，气体充入，启动计时器，到两个缓冲腔气压达到平衡的时候，停止计时，计算透气速率和透气时间。

2.3 检测系统设计

保持整个系统的真空度是确保检测结果准确的重要前提，方案中真空腔体上的密封圈采用非封闭式的，此种情况会在两个密封圈结合处存在缝隙，此缝隙需要采用胶粘的方式密封，并且由于压盖的压力，会导致橡胶密封圈轻微变性，挤压涂胶表面，达到更好的密封效果。腔体的密封如图3所示。

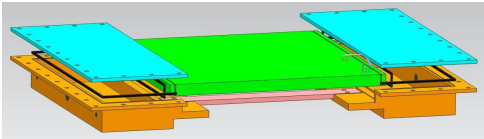


图3 左右两侧腔体密封示意图

此试验中需要制备有色气体，整个试验装置可以分为有色气体制备模块、真空腔体模块以及抽真空装置模块。有色气体制备模块包括烟雾发生器、储气罐、电磁通断阀、压力表以及一些管路附件，真空腔体模块包括真空腔主体、待测试件、橡胶密封圈、压盖、真空计、压力表以及相关附件。

3 测试结果及讨论

为了保证试验数据的可靠性，试验过程中应保证真空腔体部分良好的密封性，其漏率应该在蜂窝芯材料透气速率允许的误差范围内，本实验中采用的是保压状态下测试不同时间段的真空度，从而间接反映出试验装置的密封性。

将整个测试腔体用真空泵抽到测试的真空度，真空泵停止工作，开始进入保压状态，通过查看不同时间下四个通道的气压值检测真空腔体的密封性，对比结果如表1所示。

表1 检测装置密封性能

记录时间/min	传感器 1/kPa	传感器 2/kPa	传感器 3/kPa	传感器 4/kPa
0	8.05	8.05	8.00	8.00
1	8.15	8.16	8.10	8.10
2	8.25	8.25	8.20	8.20
3	8.34	8.35	8.29	8.30
4	8.43	8.43	8.39	8.39

由表1中的数据可知，蜂窝芯材料透气速率检测装置腔体密封性良好，其对蜂窝芯材料的透气速率造成的影响值远小于允许的误差，证明本透气速率检测装置得出的数据真实可靠，误差在允许的范围内。分别对同一块蜂窝芯材料在不同初始真空度下进行透气

速率测试, 透气时间及透气速率结果如表 2 所示。

表2 不同真空度下透气速率检测

实验次数	真空度设置/kPa	透气速率/L·s ⁻¹	透气时间/s
1	5	0.107	34.7
2	10	0.105	33.3
3	30	0.085	32.1

同时在实验中不允许蜂窝芯板存在透气死点现象, 本实验装置中采用有色气体测试, 其透气死点可以很直观地反应出来, 由于有色气体存在细小的颗粒, 为了验证烟雾的细小颗粒不会堵塞蜂窝芯板的透气小孔, 实验中分别比较了有烟和无烟两种情况下透气速率的快慢, 结果如表 3 所示。可以看出, 在有烟和无烟的状况下, 蜂窝芯材料的透气速率几乎一致, 说明烟雾中的小颗粒不会堵塞蜂窝芯板的透气小孔, 本实验中采用的烟雾气体完全符合试验要求。

表3 有无烟雾透气速率对比

实验次数		透气时间/s	透气速率/L·s ⁻¹
无烟雾条件	1	34.8	0.103
	2	35.7	0.107
	3	35.1	0.104
有烟雾条件	1	35.2	0.104
	2	35.0	0.104
	3	35.3	0.105

4 结束语

（上接第 48 页）

行应用, 研抛 10 件电磁阀活门座进行, 并计量表面质量。如图 7 所示, 电磁阀活门座特种型面的表面粗糙度最大值为 $0.21\mu\text{m}$, 最小值为 $0.18\mu\text{m}$, 优于设计要求。

采取基于正交试验的研抛工艺参数后,跟踪分析2019年2000余台电磁阀制造过程的故障,电磁阀低温气密泄漏故障降低为0起,工程应用效果明显。

5 结束语

航天电磁阀 R 形活门座切削研抛工艺方法, 解决了电磁阀低温气密泄漏的问题, 提高了电磁阀的工作

论文设计了一套用于检测蜂窝材料透气速率的系统，在满足密封条件的前提下，测试了给定蜂窝芯板设计的透气时间和透气速率，从得到数据结果可知，试验结果重复性较好；同时采用烟雾气体检测蜂窝芯材料的透气死点，并分别通过有烟和无烟两种状态下得到透气速率结果可知，烟雾不会堵塞蜂窝芯材料的透气小孔，表明蜂窝芯材料具有较好的气体逸散性能，实验为蜂窝芯材料的工程应用提供了一定的数据支持。

参考文献

- 1 Allen H G. Analysis and Design of Structural Sandwich Panel[M]. Pergamon Press, 1969
- 2 Gibson L J, Ashby M F. Cellular solid: Structure and Properties[M]. Pergamon Press, 1988
- 3 冯旭, 孙扬, 赵申. 刚度及力的传递路径对刚度的影响[J]. 山西建筑, 2011(4): 20~21
- 4 Tuttle M E. A mechanical/thermal analysis of prestressed composite laminates[J]. J Compos Mater, 1988, 22(8): 780~786
- 5 Tuttle M E, Koehler R T, Keren D. Controlling thermal stresses in composites by means of fiber prestress[J]. J Compos Mater, 1996, 30(4): 486~502
- 6 Corten H T. Composite Materials: Testing and Design[M]. ASTM, 2012.2
- 7 赵志敏, 邱振芳, 林有义. 光纤埋入对复合材料刚度的影响[J]. 航空学报, 1998, 19(1): 99~103

可靠性。该方法可普遍应用于各种 R 形活门座的表面质量提高,对提高产品性能具有一定的借鉴和参考。

参考文献

- 1 朱宁昌. 液体火箭发动机设计[M]. 北京: 宇航出版社, 1994
- 2 马丽珍. 阀门台座加工工艺[J]. 火箭推进, 2005, 3(31): 42~45
- 3 张勇峰. 阀中几种零件的难点部位加工方法[J]. 火箭推进, 2011(10): 32~36
- 4 史永华, 刘军威, 张军, 等. 运载火箭用阀门阀座加工技术[J]. 航天制造技术, 2013(3): 47~49
- 5 韩春阳, 茹红宇, 徐青山, 等. 阀门密封座特种型面加工工艺研究[C]. 2018年航天先进制造技术国际研讨会论文集, 2018: 145~153