

航天密封窗口安全可靠缩比 实验计算机仿真

杨洪波

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 利用 CAE 手段对实际尺寸窗口进行安全可靠分析计算, 探讨了如何利用缩比试验来确定实际结构的承载能力。通过对各缩比模型承载试验的计算机仿真, 从理论上找出了缩比结构的承载规律, 进而对窗口结构缩比试验提供科学依据。

关键词: 窗口; 可靠性; 缩比

1 引言

在航空航天领域, 无论是飞船还是空间站, 为了探索宇宙及观察地面的目的, 都要通过安装在舱壁上的窗口, 利用各种观察仪器将信息记录在各种介质上, 送回地面供人们研究。这样, 窗口直接暴露在复杂多变的空间环境中, 窗口玻璃的光学性能的好坏直接影响着观察仪器的分辨力和成像质量, 而窗口的气密性及安全可靠又直接关系到宇航员的安全及仪器的完好, 因此窗口一直是设计人员关注的关键技术之一。

由于对窗口的安全可靠要求高, 而且窗口玻璃尺寸一般较大, 在真正使用之前, 都要作多次的可靠性测试, 考虑到窗口采用的材料价格较高, 而且受测试条件的限制, 一般都要采用尺寸缩比实验, 即将窗口组件的尺寸等比例缩小, 再做可靠性实验, 这就存在一个问题, 缩比实验的测试结果, 能否真实地反映出 1:1 结构尺寸窗口的测试结果, 这是我们比较关心的问题。目前先进的解决办法就是用 CAD 技术, 对缩比模型进行计算机安全可靠仿真, 计算出在各工况下窗口达到临界破裂泄漏的变化规律, 进而为 1:1 尺寸窗口组件测试提供参考数据, 或不进行测试就可对其安全可靠有一个准确可信的评价。

2 窗口组件安全可靠要求

在若干小时内, 在振动、冲击、一个大气压差条件下, 窗口不产生破裂及本体泄漏, 满足指标概率大于等于 0.9999。

3 窗口结构

3.1 国外典型窗口介绍

3.1.1 美国“空间实验室”的窗口为长方形单层窗口,窗口玻璃材料为BK 7,承受0.42个大气压差。框架材料为铝合金,窗口玻璃与框架之间灌装了室温硫化密封胶。窗口组件和飞船外壁之间采用O型密封圈密封。

3.1.2 美国“阿波罗”飞船的窗口采用双层或三层玻璃,玻璃材料为熔石英,中层和内层为密封承压窗口,内充入约0.5个大气压的干燥氮气,密封层采用RTV-560热塑硅橡胶灌封。

3.1.3 “双子星座”(Gemini)飞船窗口由三层玻璃组成,其材料为退火硅玻璃,在太空中窗口两侧为真空,中层与内层密封,内充1个大气压的干燥氮气,密封层采用硅橡胶垫密封。

3.2 实验窗口结构

窗口结构的设计要综合考虑到窗口所处的非常复杂的空间环境(非对称的空间热环境,交变的空间外热流,各种宇宙射线的辐射,窗口内外的压力差,空间的污染和原子氧的破坏,发射时的冲击、振动等),航天员及仪器的安全完好以及观察仪器的成像质量对窗口光学性能要求,特别是窗口承压能力的安全可靠性。由于窗口外侧为真空,内侧为1个大气压,窗口内外压差较大,为保证窗口气密性,提高窗口的安全可靠性,采用双层窗口玻璃密封,逐级承压,实现玻璃的冗余设计,两层玻璃之间充入0.5个大气压的高纯度的干燥氮气,使每层玻璃只承受0.5个大气压差。其结构方案如图1所示。

窗口密封性的好坏,直接关系到航天员的安全,为了保证窗口密封,在设计时,除采用分层的冗余设计思想外,密封层采用卫星上用XM 23室温硫化密封剂。为了构成微应力安装,并保证密封,采用特殊的装配工艺方法,将密封剂有时序地注入窗口玻璃与壳体间隙内。

4 缩比窗口安全可靠性仿真计算

首先要对实际窗口在工作状态下是否满足技术要求进行仿真计算,然后通过对各缩比模型承载能力的仿真计算得出规律性的结果,来估价在最大承载工况下等比尺寸变化的窗口结构,其承载能力是否也有变化,如果有变化,是什么规律的变化。我们采用了10:1、7:1、5:1、2:1、1:1五种缩比计算模型分别进行有限元法的强度校核计算。

4.1 窗口 FEM 力学模型

在建立有限元网格时,为了更好地逼近窗口的结构形状,对窗口中玻璃、壳体、压板及密封层采用了三维6面体单元,筋采用了弹性壳体单元,所有单元按材料的不同,分配给相应的材料属性(材料属性见表1),密封层由于是胶体材料,它随着温度、胶层厚度及受拉压程度不同而有不同的材料特性,所以在给胶体单元赋材料属性时,采用了按实测的材料特性(如: $E = 0.9 \text{ MPa}$) 赋给。约束点选在实际结构中窗口的壳体与舱壁的法兰连接处。全部 FEM 模型单元点数为2452,节点总数为3548。FEM 力学模型见图2,各缩比结构的 FEM 力学模型与此相同,只是尺寸不同。

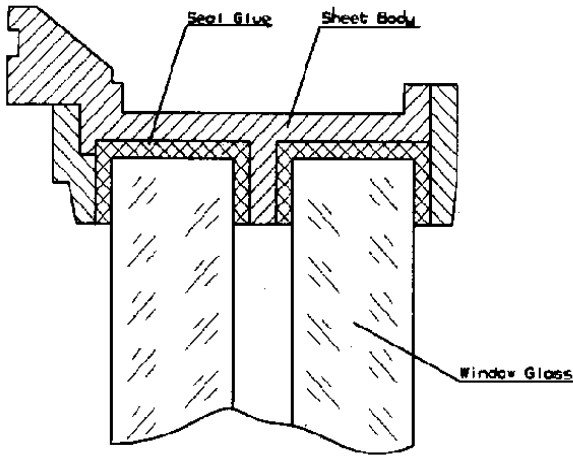


Fig. 1 Window structure

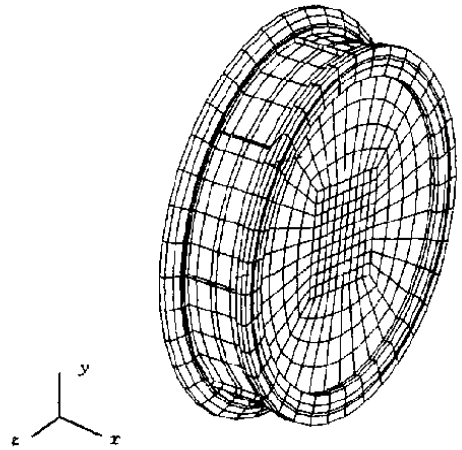


Fig. 2 Window FEM model

Tab 1 Material Properties

No	name of Mat	band	E	G	μ	ρ	part
			kg/mm ²	kg/mm ²		kg/mm ³	
1	glass	K9	8132	3346	0.209	2.53E-6	window glass
2	Al allo	LC9	7100	2650	0.33	2.80E-6	sheet bod
3	seal glue	XM 23	* 0.09		0.34	1.49E-6	seal la er

data source:

GB903- 87 aerospace manual

* refer to value(0.9MPa) of measuring RTV glue

4.2 工况及计算内容

工况1: 窗口玻璃为双层, 外面为真空状态, 内侧为1个大气压, 双层窗口之间为0.5个大气压。

计算内容: 1: 1模型窗口的最大变形, 应力值及安全系数。数据见表2。

工况2: 窗口在发射时, 承受纵向及横向冲击载荷, 同时两层窗口玻璃受0.5个大气压差的作用。

计算内容: 1: 1模型窗口窗口的最大主应力值及安全系数。数据见表3。

工况3: 在窗口玻璃最大主应力接近断裂应力的工况下。

计算内容: 各缩比模型窗口玻璃所能承受的最大的大气压力。数据见表4。

4.3 窗口计算结果及分析

根据工况及计算内容, 采用UG/GFEMPLUS及PATRAN等著名的CAD/CAE软件, 对窗口各缩比力学模型进行了计算及仿真, 计算结果见表2, 表3, 表4。

Tab. 2 Window deformation data

LOAD CASE 1

item	direction	max value
glass deformation PV value	light axis direction	1.83 nm
glue compress value	light axis direction	0.44 mm
sheet bod deformation	light axis direction	7.50 μ m

Tab. 3 Window stress data

item for max stress value	max major stress value			safet coefficient		
	case 1	Case 2	case 3	case 1	case 2	case 3
glass	2.25MPa	2.36MPa	2.26MPa	22.22	21.19	22.12
sheet bod	2.37MPa	2.76MPa	3.92MPa	144.72	124.28	87.5

Tab. 4 Max atm press of shrink ratio window

shrink Ratio	max Atm Press(MPa)		
	equivalent	diameter	thick
1:1	11.78	7.05	25.94
2:1	11.78	25.94	7.05
5:1	11.78	86.12	1.10
7:1	11.78	142.27	0.57
10:1	11.78	253.11	0.28

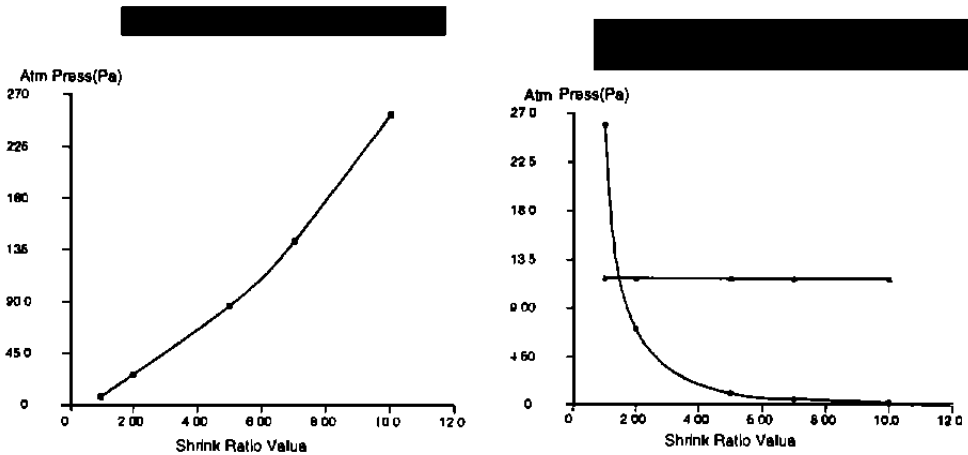


Fig. 3 Relation Curve

从表2、表3计算结果可以看出, 1:1尺寸的窗口模型, 玻璃在0.5压差的作用下, 波面畸变的PV值小于要求值 $N/10$, 其安全系数都是很高的, 另外密封层拉伸及压缩量为0.44mm, 远小于本身的厚度, 可保证良好的密封性。如不考虑加工、装配工艺及温度的影响等因素, 该窗口是安全的。为确保窗口的绝对安全, 还要对窗口作破坏性测试, 即对窗口的缩比模型做破坏性压力测试, 考查缩比窗口所能承受的最大的大气压力。作为1:1尺寸的窗口, 由于要做实际使用, 不能做破坏性测试, 它最大能承受多大压力是人们比较关心的问题。用各缩比模型的实测压力数据, 能否正确推导出1:1尺寸的窗口所能承受的最大的大气压力, 也是一个问题。通过CAE手段进行计算机仿真(见表4), 可得出下列曲线。

从曲线图中可看出, 窗口尺寸的缩比与承载压力有一定的关系。当窗口玻璃的厚度和直径同时等比例缩小时, 窗口玻璃所能承受的最大大气压力是一定的。这说明从理论上讲缩比模型的测试结果可以反应实际模型的结果。如果窗口玻璃的厚度不变而直径按比例缩小时, 窗口玻璃所能承受的最大大气压力随直径的缩小而增大, 并不成比例关系。如果窗口玻璃的直径不变而厚度按比例缩小时, 窗口玻璃所能承受的最大大气压力随厚度的缩小而减小, 也不成比例关系。这就要求在做缩比模型的测试时一定要在三个尺寸方向上进行等比例缩小, 才能正确反应实际模型的结果。

5 结 束 语

航天窗口结构的安全可靠性, 在0.5个大气压差下是满足技术要求的。对于利用缩比窗口模型做承压破坏性测试的可行性, 本文通过对各缩比窗口模型的计算机仿真, 找出了缩比与承压大小的规律。以2.8:1缩比窗口模型为例, 仿真计算得出的使窗口玻璃产生破裂所承受的最大气压与实测结果比较接近。这说明对成本高, 风险大, 一定结构形式的结构组件, 可采用缩比模型做破坏性试验来确定实际结构的临界安全可靠性是可行的。

另外, 本文所讨论的问题没有考虑加工、装配工艺及温度对窗口安全可靠性的影响, 这对实测是有一定偏差的, 在处理实际问题时要考虑在内, 同时还要考虑到窗口玻璃破坏的概率。

参 考 文 献

- [1] EDS Unigraphics, GFEM Plus User Manual. USA: Electronic Data Systems Corporation Unigraphics Division, 1995: Version 10.4
- [2] James L. Gimlett, Multiple Docking Adapter Window for S-190 Experiment. Applied Optics, 1974, 13 (11): 2620-2637.

Computer Simulation of Shrink Ratio Experiment for Aerospace Seal Window

Yang hongbo

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The reliability of window has been analyzed by means of CAE in this paper. It is discussed that the experiment of shranked model is used to verify the ability of bear pressure for real structure. The regular pattern of anti-pressure has been found in theoretical computer simulation, and offered scientific accordance for shrink ratio experiment of window.

Key words: Window, Reliability, Shrink ratio

杨洪波 男, 1963年9月生, 1991年毕业于中科院长春光机所研究生部光学仪器专业(硕士)。副研究员。现从事光仪 CAD/CAE 的应用、开发工作。曾参与完成多项大型工程课题的 CAD/CAE 任务及软件开发工作。主要研究方向: 机电一体化、系统动力学工程分析及仿真。