

# KM6 水平舱方舱门改造

陈金明<sup>1</sup>, 郭峰<sup>1</sup>, 吴明根<sup>2</sup>, 王若维<sup>2</sup>

(1. 北京卫星环境工程研究所, 北京 100094; 2. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 文章介绍了 KM6 水平舱方舱门改造的设计方案、实施过程及改造后的真空检漏和调试结果, 给出了舱门预紧力计算方法。通过 KM6 水平舱联合调试和飞船轨道舱泄复压试验, 认为改造达到了设计要求。

**关键词:** KM6; 真空容器; 舱门; 结构设计

中图分类号: V416.8

文献标识码: B

文章编号: 1673-1379(2007)04-0211-03

## 1 概述

方舱门是 KM6 真空设备水平舱的重要分系统之一, 作为试验期间进入试验舱的通道, 舱门需要能在真空或大气环境下 5 s 内从门两侧手动开启, 并且开门轻便<sup>[1,2]</sup>。同时为了保证试验舱内的真空度, 对舱门的泄漏率也提出了较高的要求, 即每扇门的泄漏率不大于  $1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。因此, 舱门不仅要满足常规门机构的开关和锁紧功能要求, 还必须考虑在真空环境使用的特殊性, 要密封可靠和开启轻便。

改造前 6 扇方舱门的门框都已经同水平舱舱体焊接成一体, 并且安装了门板及相应的锁紧机构。由于焊接变形等因素, 门框密封面的平面度的最大值达到了 5.98 mm, 门板的平面度的最大值达到了 6.28 mm, 难于实现真空密封要求。原有的舱门锁紧机构达不到锁紧目的, 开闭困难, 并且也达不到对密封圈预紧压力的要求, 无法实现真空密封和快速开闭功能。

为此, 对 6 扇方舱门进行了改造, 其中三扇(1、3、4 号门)为右开旋转门, 一扇(1'号门)为左开旋转门, 一扇(2 号门)为右开平动门, 一扇(2'号门)为左开平动门。

对方舱门的改造包括两部分内容: 一是在舱体上直接修磨门框, 使门框密封槽面平面度在 0.4 mm 以内, 表面粗糙度达到  $R_a0.8$ ; 二是重新研制门板、转臂机构和锁紧机构等, 使重新加工的门板密封面平面度在 0.4 mm 以内, 表面粗糙度达到  $R_a0.8$ 。

## 2 主要部组件的改造设计方案

方舱门的主要组件包括: 门框、门板、转臂机构、锁紧机构、平动门支臂机构、密封圈、转动轴动密封结构等。主要组件的改造设计方案如下:

### (1) 门框改造方案

设计生产一套专用加工机床, 对已经焊在舱体上的门框进行机械修复加工, 使修复后的门框法兰面和密封槽底面平面度在 0.4 mm 以内, 密封槽表面粗糙度达到  $R_a0.8$ 。

### (2) 门板设计方案

根据门框结果尺寸, 对门板进行重新设计。利用有限元分析结果, 对门板的加强筋进行了调整。调整后的加强筋刚度和强度比改造前稍有降低, 因此新设计的门板要比原来的轻。设计完成后的门板结构见图 1。

### (3) 锁紧机构

锁紧机构由转臂、转轴、传动齿轮、钢丝绳轮、钢丝绳、滚动轴承及插销等组成, 见图 1。设计有 10 个锁紧点, 其中上、下各有 2 个, 两侧面各有 3 个。

### (4) 转臂机构

转臂机构采用双转臂基座、长回转轴结构, 转动活动部件采用不锈钢滚动轴承, 使门板转动轻便、灵活。结构设计见图 2。

### (5) 平动门支臂机构

对已有导轨机构进行改造, 重新设计平动门支臂机构。支臂机构采用滚动轴承形式, 全部轴承为不锈钢材料, 使用时可以加适量的二硫化钼作润滑。

收稿日期: 2007-04-17; 修回日期: 2007-07-16

作者简介: 陈金明(1963-), 男, 研究员, 从事航天器环境工程与试验等研究工作。联系电话: 68747176。

(6) 密封圈

密封圈材料采用氟橡胶，重新设计密封圈截面形状和尺寸。

(7) 转动轴动密封结构

对于转动轴的密封，采用三道密封结构形式，

以达到密封泄漏率要求。其中， 两道为“O”型密封圈，一道为气动密封圈。与密封圈配合的轴外表面镀硬铬并抛光，使粗糙度达到  $R_a0.05$ ，相应轴套内表面的粗糙度达到  $R_a0.4$ 。

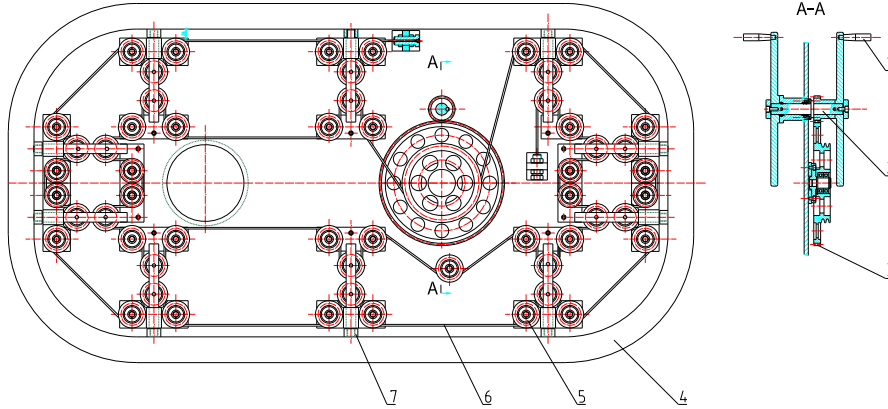


图1 门板及锁紧结构

Fig.1 The floor shutter and lock-pin structure

1. 手柄, 2. 转轴, 3. 传动齿轮, 4. 门板, 5. 钢丝绳轮, 6. 钢丝绳, 7. 插销

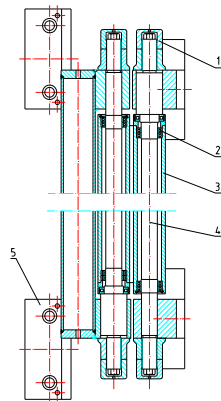


图2 转臂机构

Fig.2 The rotating arm structure

1. 锁紧螺母, 2. 轴承, 3. 套筒组件, 4. 长回转轴, 5. 双转臂铰链底座

3 舱门预紧力计算

设舱门压紧密封圈所需要的预紧压力为  $P_y$ ，则存在以下关系：

$$P_y = A \cdot Y, \tag{1}$$

式中： $P_y$  为舱门预紧压力，N； $A$  为密封圈接触面积， $\text{mm}^2$ ； $Y$  为密封圈比压，MPa。其中  $A$  可按以下公式计算： $A = (2L_1 + 2b_1 + \pi \cdot r_s) \cdot d$ 。式中： $L_1$  为密封槽垂直方向直段长度，mm； $b_1$  为密封槽水平方向直段长度，mm； $r_s$  为密封槽圆角直径，mm； $d$  为密封圈直径，mm。

对于橡胶密封圈，一般取  $Y = 1.4$ ，此时密封圈压缩量为 25%，漏率小于  $1 \times 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

插销所需要的插入力  $P_c$  为：

$$P_c = \lambda P_{ym} \text{tg} \alpha, \tag{2}$$

式中： $P_c$  为插销所需要的插入力，N； $\lambda$  为系数，考虑到 10 个插销的受力不均匀，取  $\lambda = 2$ ； $P_{ym}$  为每个插销需要的预压紧力，N， $P_{ym} = P_y / 10$ ； $\alpha$  为插销压紧面倾斜角， $^\circ$ 。

为了保证插销自锁，插销压紧面的斜度设计为 1:10，即  $\text{tg} \alpha = 0.1$ ，由此可以计算出关门时需要施加的预紧力，并进行有关组件的强度计算。

4 舱门制造与安装调试

4.1 舱门制造流程

方舱门加工制造流程见图 3。

(1) 门框修复加工

设计专用机床和工装加工门框法兰面及其密封槽。专用机床基准面通过 6 个定位螺钉与 6 个锁紧螺钉与门框连接；专用机床在现场分段对门框法兰面及其密封槽进行加工。

(2) 门板组件加工

门板框直线部分用锻件经龙门刨或龙门铣，按图加工成型，留适当的加工余量。门板框圆弧部分用碾压件车成圆环形，再铣削成 1/4 圆弧形。最后把门板框焊接成型。

门板按图下料后校正, 再与门板框焊接成一体。

门板框与门板一侧为满焊, 另一侧为间断焊。完成焊接后, 再与加强筋板及滑轮固定底板焊接, 完成后进行整体热处理, 消除应力。

精修门板框平面, 使平面度达到图纸要求即小于 0.4 mm。

用砂带机和砂具对门板框平面进行抛光加工, 使门框平面粗糙度达到  $R_a0.4$ , 用粗糙度样板进行检测。

(3) 门铰链加工

门铰链加工的关键是保证两门轴平行度, 因此必须保证门轴套孔的同轴度与平行度。为此采用焊后热处理再整体加工轴承孔并保证轴孔的同轴度与平行度的加工工艺。

(4) 门组件的装配

不管是旋转门还是平动门, 在关闭后必须保证门板平面与门框平面贴合, 因此装配旋转门时可用调整垫片来调整门铰链座或舱体铰链座, 保证门轴在 X 方向上下贴合。

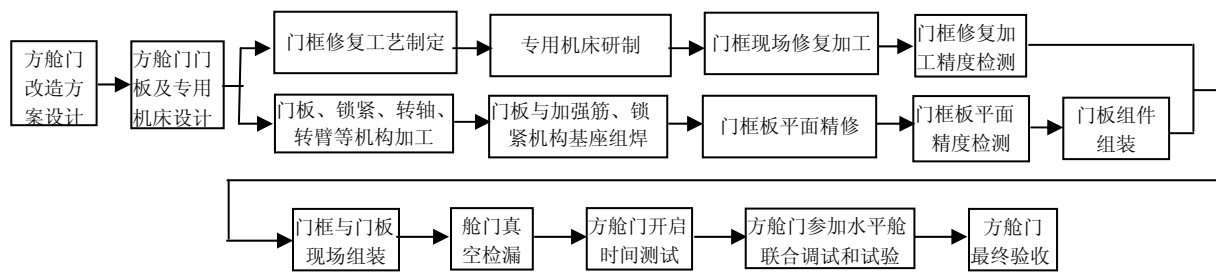


图3 方舱门制造流程图  
Fig.3 The flow chart of manufacture of the rectangular door

4.2 舱门检漏

在完成了方舱门的工厂加工和现场对门框进行修复并把门板、门框安装就位后, 开始对方舱门进行真空检漏。分别对 1、1'、3、4 号舱门门框法兰密封面、观察窗法兰焊缝、门轴法兰焊缝、门轴动密封和观察窗密封法兰进行了真空检漏。4 扇门门框法兰密封面和门轴动密封的检漏漏率结果见表 1。4 扇门门框法兰最大漏率为  $1.3 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ , 达到小于  $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$  量级的设计要求, 说明门板和门框法兰密封面平面度及粗糙度、密封圈截面和材料等的选择、锁紧机构及预紧力等都达到了设计要求。4 扇门门轴动密封漏率最大值为  $2.6 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ , 也优于设计指标, 说明所采用的动密封结构方案是成功的。方舱门总漏率不大于  $1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ , 达到了 KM6 水平舱改造总体对方舱门改造的漏率要求。

表1 方舱门主要密封面漏率实测值 ( $\text{Pa} \cdot \text{L/s}$ )  
Table 1 Measured leakage values for the sealing faces of the cabin doors

舱门名称	门框大法兰密封面	门轴动密封
1号门	$1.3 \times 10^{-8}$	$7.4 \times 10^{-10}$
1'号门	$1.0 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-9}$
3号门	$2.2 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-9}$
4号门	$3.2 \times 10^{-9}$	$2.6 \times 10^{-9}$

4.3 舱门开启时间测试

分别对三名试验人员进行舱门开启  $90^\circ$  用时测试, 测试结果见表 2。结果表明, A-C 舱门开启  $90^\circ$  平均时间为 4.0 s, B-C 舱门开启  $90^\circ$  平均时间为 3.3 s。测试时间满足设计要求。

表2 舱门开启用时实测值 (s)  
Table 2 Measured opening time for Nos. 3&4 cabin doors

项目\人员代号	1	2	3
4号门	4.0	4.0	4.0
3号门	3.0	3.5	3.5

5 结论

方舱门在完成了安装调试和真空检漏后, 即用于 KM6 水平舱联合调试和飞船轨道舱泄复压和“人-船-服”联合试验。试验证明方舱门操作轻便, 真空密封漏率达到设计要求, 能够承受一个大气压力负荷。KM6 水平舱方舱门改造是成功的。

参考文献 (References)

[1] Donna L Fender. Manned testing in a simulated space environment[C]//Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium, Environment Testing for Space Program, 1993-10. ESA WPP-066  
[2] Johnson Space Center. Crew and thermal systems division testing laboratories, user guide[G]. NASA STB-F-3650, 1989