

基于真空自位密封的 KM6 水平舱舱门系统研制

郭峰, 陈金明

(北京卫星环境工程研究所, 北京 100094)

摘要: KM6 水平舱舱门是为“人-船-服”热真空联合试验的任务要求而定的, 是人员进出舱内的重要通道。在 KM6 水平舱各舱体上设置相应的气压平衡装置, 以使方形舱门能在真空条件下转动或平动开闭。门轴装置采用双轴铰链机构, 开启灵活, 联动锁紧机构可靠, 使得舱门法兰结构形成可靠的真空自位密封。结果表明: 该舱门系统经受了 KM6 水平舱联合调试和“神舟六号”飞船轨道舱泄复压试验的考验, 各项技术指标均满足要求, 实现了真空条件下的快速开启和有效的自位密封, 达到了研制目的。

关键词: 真空容器; 舱门; 双轴铰链; 真空自位密封; 气压平衡装置

中图分类号: V416.8

文献标识码: B

文章编号: 1673-1379(2007)04-0208-03

1 前言

KM6 水平舱舱门系统是 KM6 水平舱的关键分系统之一。舱门系统需要在真空试验环境和大气环境下运行, 因此舱门系统的设计不仅要满足常规门机构的开关和锁紧功能要求, 还必须考虑真空环境的特殊性^[1], 以实现舱门法兰结构的密封可靠和开启轻便。

2 舱门及其气压平衡装置

KM6 水平舱的舱体是一个两端与 KM6 主容器焊接相连的水平卧式容器, 容器内部被一块圆形隔板和一块方形隔板分割成主试验舱 C 舱、气闸 A 舱和气闸 B 舱。整个舱体共有 10 扇方形舱门, 其中 2(2') 号舱门为平动门, 其余均为转动门。

KM6 水平舱容器系统技术改造的一个主要任务就是要改进设计并安装水平舱舱体之间、舱体和舱外大气环境之间的 6 个方形舱门, 并且在舱体上安装气压平衡装置, 即平衡阀和释放阀, 以实现舱门在真空试验环境和大气环境下的开启和关闭功能。

KM6 水平舱 A、B、C 舱体、舱门系统和气压平衡装置(平衡阀和释放阀)之间的逻辑功能关系如图 1 所示。

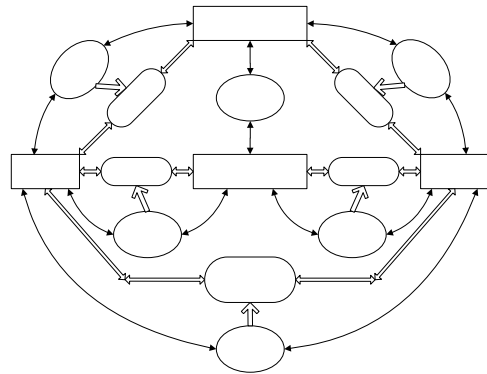


图 1 容器系统逻辑关系图

Fig.1 Functional diagram of KM6 horizontal chamber

3 舱门的结构设计

舱门分为转动舱门和平动舱门: 转动舱门采用门轴式开启方式; 平动舱门采用平动导轨式开启方式。

3.1 舱门的系统架构

转动舱门主要由门框、门扇和门轴组件构成, 其系统架构如图 2 所示。门框密封面、门框密封槽和密封圈部件构成门框组件; 门扇组件包括门扇密封面和联动锁紧机构; 门轴组件实际上是一个双轴转动铰链机构。构成门框组件的门框密封面、门框密封槽和密封圈部件与构成门扇组件的门扇密封面组合成为舱门法兰。在舱门法兰密封面的平面度和表面粗糙度满足真空密封要求的前

收稿日期: 2007-03-29

作者简介: 郭峰(1975-), 男, 工程师, 主要从事机械设计和环境模拟设备研制工作。联系电话: (010) 68745205-832。

前提下,舱门法兰与联动锁紧机构、转动铰链机构相配合,形成有效的真空自位密封结构。

平动舱门主要由门框、门扇和平动导轨组件构成,其系统架构如图3所示。与转动舱门相比,平动舱门没有门轴装置,而代之以平动导轨组件,结构相对简单。下文重点阐述转动舱门系统的结构和机构设计。

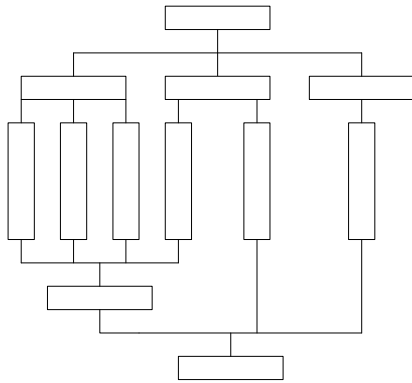


图2 转动舱门的系统架构图
Fig.2 Block diagram of the rotating bulkhead door

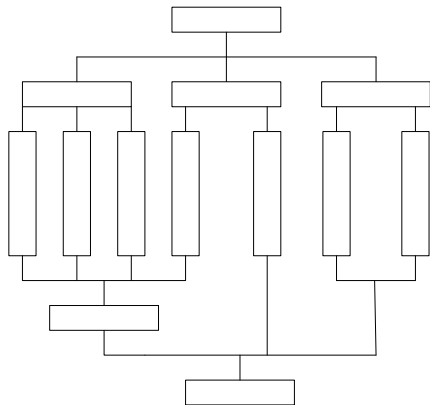


图3 平动舱门的系统架构图
Fig.3 Block diagram of the sliding bulkhead door

3.2 门轴组件的设计^[2]

转动舱门的门轴组件实际上是两支点双轴转动铰链机构,其机械原理如图4所示。

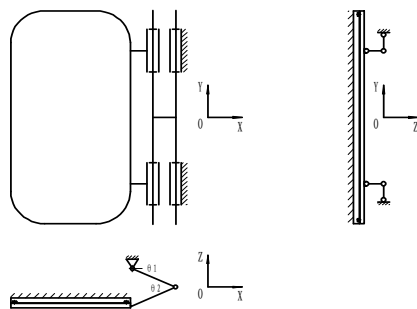


图4 门轴组件的机械原理
Fig.4 Working principle diagram of the door spindle mechanism

该转动铰链机构为开式链平面连杆机构,是将两个刚性构件用转动低副联接。该机构的自由度 F 计算公式为

$$F = 3n - 2n_1 - n_2,$$

式中: n 为活动构件数目, $n=2$; n_1 为转动低副数目, $n_1=1$; n_2 为接触高副数目, $n_2=0$ 。计算出的自由度 F 为 2。

显然,该门轴组件在 XOZ 平面具有 θ_1 和 θ_2 两个自由度,使得门扇密封面和门框密封面能够在 X 向和 Z 向实现自位密封。

此外,由于门轴组件在 YOZ 平面内为双支点支撑,因此通过机械工艺调整可以实现门扇和门框在 YOZ 平面的密封。

3.3 联动锁紧机构的设计^[2]

联动锁紧机构是门扇组件的重要组成部分,它一方面实现门扇和门框的锁定,另一方面使得舱门法兰结构夹紧,同时对密封圈进行预紧。

从图5中可知,联动锁紧机构包含10个斜楔机构,即插销机构。插销机构沿着门扇周边对称分布,有利于舱门法兰密封预紧力的均匀分布。

联动锁紧机构是机械传动机构与斜楔机构组合而成的,其机械原理如图5所示,机械传动流程如图6所示。其中机械传动机构是由手轮转动副、齿轮传动副、钢丝绳和转动滑轮构成的复杂组合机械传动机构,使得联动锁紧机构传动轻便、灵活。

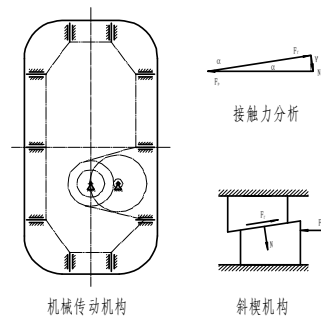


图5 联动锁紧机构原理图
Fig.5 Working principle diagram of coordinated lock mechanism

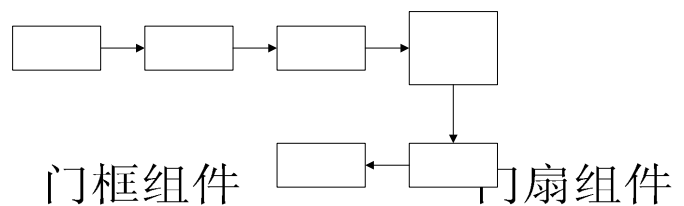


图6 机械传动流程图
Fig.6 Flow chart of mechanical driving

门框 门框 密封 门扇 联动锁

4 气压平衡装置

KM6 水平舱舱门系统需要在真空环境下运行。为提高舱门开启和关闭的可靠性,可在舱体上安装相应的气压平衡装置,即平衡阀和释放阀,同时为其他分系统提供流程功能支持。

考虑到 KM6 水平舱舱体阀门工作在真空试验环境及其对其真空漏率和开闭可靠性等的相关特定要求,舱体平衡阀和释放阀均选用瑞士 VAT 公司的气动真空阀门^[3],由水平舱内的压力连锁进行开关控制,通过总控系统设置相关指令实现流程控制。

5 系统测试

5.1 舱门系统的漏率测试

经检测,各扇舱门的漏率指标均小于 $1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$,满足设计要求。

5.2 舱门开启时间的测试

由3名试验人员分别对 A、B 舱与 C 舱之间的舱门进行开启 90° 时间测试,测试结果如表1所示。

表1 舱门开启时间表
Table 1 Opening time of the bulkhead door

项目/人员	1	2	3
A-C 舱门	4s	4s	4s
B-C 舱门	3s	3.5s	3.5s

测试结果表明舱门满足开启功能要求。

5.3 平衡阀和释放阀的功能测试

当 C 舱的气压到达常压时,连锁 C 舱的释放阀门。调试结果显示:连锁动作正确,满足设计要求。

当 A、B 舱与 C 舱压力差在 $\pm 2 \text{ kPa}$ 范围内,自动开启 A、B 舱与 C 舱之间的平衡阀门,结果表明平衡阀门工作正常。

测试结果表明:平衡阀和释放阀功能正常,并且可控。

6 结论

KM6 水平舱的舱门系统经受了 KM6 水平舱联合调试和“神舟六号”飞船轨道舱泄复压试验的考验,各项技术指标均满足要求,说明本系统的研制达到了总体的技术要求。

参考文献 (References)

- [1] 黄本诚,马有礼. 航天器空间环境试验技术[M]. 北京:国防工业出版社,2002[Huang Bencheng, Ma Youli. Spacecraft environmental test technology[M]. Beijing: Defence Industry Press, 2002]
- [2] 徐灏,邱宣怀,等. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1991[Xu Hao, Qiu Xuanhuai, et al. Machine design handbook[M]. Beijing: Machine Industry Press, 1991]
- [3] VAT Company. Installation, operation and maintenance instructions[G]. VAT Series 24.3. Switzerland, 2005-09

