

KM6 水平舱改造与调试

陈金明, 刘国青, 崔俊峰
(北京卫星环境工程研究所, 北京 100094)

摘要: 文章介绍了 KM6 水平舱改造的基本情况, 重点对改造任务中新增的综合复压系统、环境控制系统、纯氧抽气系统、消防灭火系统、总控系统进行了介绍, 同时还介绍了 A、B 舱舱门改造的情况。KM6 水平舱改造完成后进行了多次系统调试, 调试结果表明: 改造完成后的 KM6 水平舱完全可以满足“人-船-服”联合试验的要求, 也可为其他相关试验提供保障。

关键词: KM6 水平舱; 飞船; 人-船-服; 热真空试验

中图分类号: V416.8

文献标识码: B

文章编号: 1673-1379 (2007)04-0203-05

1 前言

KM6 水平舱在 KM6 建设的一期工程中, 完成了真空容器、热沉系统、液氮系统、气氮系统的设计与制造, 并且完成了真空低温的空载调试^[1]。为了满足载人飞船二期工程中飞船轨道舱泄复压试验和“人-船-服”热真空联合试验要求, 对 KM6 水平舱进行了改造, 包括: 对真空容器、真空系统、基础建设与试验大厅和实验室进行完善或改造; 新研制了综合复压系统、环境控制系统、消防灭火系统、总控系统分系统。本文详细描述了 KM6 水平舱改造的基本情况, 并对改造完成后进行的系统调试和飞船轨道舱泄复压试验作了介绍。

2 KM6 水平舱改造的主要技术要求

2.1 试验能力

KM6 水平舱在完成改造后, 必须具备完成热平衡与热真空、泄复压和“人-船-服”联合热真空试验的能力。

2.2 主要技术要求

(1) 真空系统

C 舱: 空载真空度优于 1×10^{-3} Pa, 有载真空度优于 1×10^{-2} Pa。

A、B 气闸舱: 真空度优于 10 Pa, 并能在 101.3 kPa ~ 10 Pa 压力范围真空度可调。

抽气载荷: 在 A、B、C 舱对 O₂、N₂ 的抽气载荷均为 5 000 Pa·L/s。

(2) 综合复压系统

a. 紧急复压时间:

从 10^{-3} Pa 升至 41.3 kPa: 20~30 s;

从 41.3 kPa 升至 101.3 kPa: 50~60 s。

b. 正常复压时间:

从 10^{-3} Pa 升至 41.3 kPa: 30 min;

从 41.3 kPa 升至 101.3 kPa: 60 min。

c. 噪声控制要求:

紧急复压时, 在 A、B、C 三舱内的噪声小于 90 dB。

(3) 环境控制系统要求

提供 4 名舱内参试人员吸氧排氮呼吸和应急救援用气。

(4) 测量与控制要求

采用集中的方式, 对全系统、试验全过程进行控制、监视、录像、录音、照明、实时记录等。

(5) 安全系统配置要求

配置紧急复压系统、环境控制系统、消防灭火系统、医疗救助设备等系统, 实现 60 s 开门营救。

3 各系统设计

3.1 消防灭火系统

消防灭火系统分为手动和自动 2 种状态, 由火灾自动探测报警子系统、“蓝宝石”(Novec1230) 灭火子系统、细水雾灭火子系统、通信和广播子系统以及移动式灭火器等构成。系统工艺流程如图 1 所示。

收稿日期: 2007-03-30; 修回日期: 2007-07-09

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。

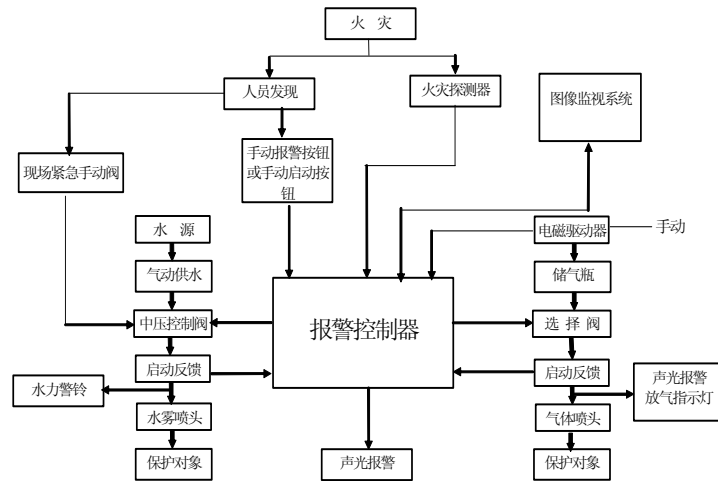


图1 消防系统工艺流程图

Fig.1 The flow chart of fire protection system

3.2 容器系统

容器系统改造包括3个部分：舱门改造；在A、B、C3舱之间安装气压平衡装置，即手动放气阀和释放阀；对A、B舱进行装饰。图2是KM6水平舱舱体布局 and 舱门位置示意图。本次共对6扇舱门进行了改造，分别为1、1'、2、2'、3、4号门，其中2、2'为推拉门，其余为转动门。

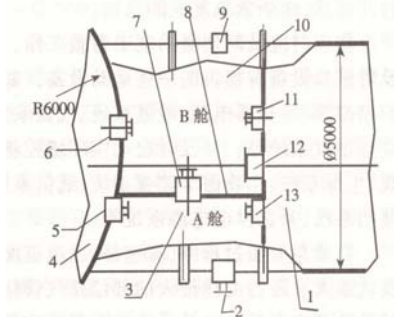


图2 KM6水平舱方舱门的位置图

Fig.2 The locations of quadrate ports in KM6

图注：1. 主试验舱C舱(200m³)，2. 1'号方舱门，3. A气闸舱(30m³)，4. 主容器；5. 5(5')号方舱门，6. 6(6')号方舱门，7. 2(2')号方舱门，8. 中间隔板；9. 1号方舱门，10. B气闸舱(45m³)，11. 3号方舱门，12. φ800mm通道，13. 4号方舱门

舱门主要由门框、门扇和门轴3个组件构成。舱门改造的重点和难点是门扇和门框密封面的平面度和表面粗糙度要达到设计要求和锁紧机构的设计与安装。锁紧机构是斜楔机构与机械传动机构的组合机构。每扇门包含10个斜楔机构，沿着门扇周边对称分布；机械传动机构是由手轮转动副、齿轮传动副、钢丝绳和转动滑轮组成的。

3.3 真空系统

真空系统改造包括在A、B舱增加调压系统

和配置能抽除富氧气体的机组。图3为A、B舱新增真空系统原理图。

配置的抽除富氧气体的机组为德国莱宝公司生产的罗茨泵干泵机组。该机组由三级泵组成，最前级是螺杆泵，后两级为罗茨泵。其具体配置为：3台RA13000罗茨泵，3台WS2001FU变频罗茨泵，5台SP630螺杆泵。RA13000采用常规的罗茨泵，启动压力为15kPa；WS2001变频罗茨泵带溢流阀，可以在大气下启动，并根据进出口压差自动变频。WS2001罗茨泵的齿轮箱是全封闭式的，与泵腔尽量完全隔离。

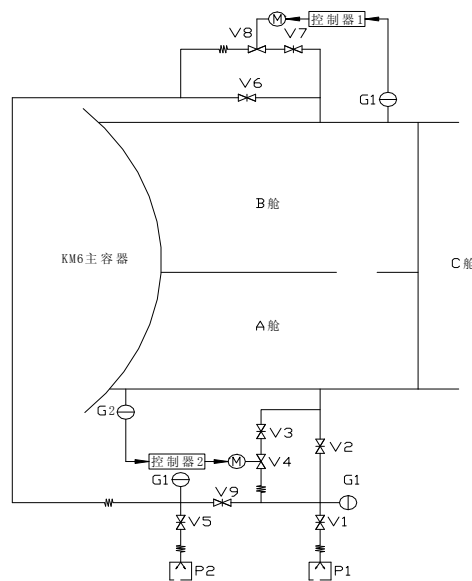


图3 A、B舱新增真空系统原理图

Fig.3 The principle diagram of the new vacuum system

图注：V1、V2、V5、V6、V9为真空密封蝶阀；V3、V7为真空密封蝶阀或直通挡板阀；V4、V8为可调节开度的蝶阀。

为了能够抽除纯氧,对螺杆泵的轴承采用吹少许氮气的方式进行保护。为确保抽氧的安全性和可靠性,罗茨泵齿轮箱中的油全部采用PFPE油。

3.4 综合复压系统

综合复压系统工作原理为液氧和液氮经汽化器汽化、加热器加热后,由氧、氮自动混合仪混合成合适比例的存入混合气罐备用。复压时复压阀开启,缓冲罐内的混合气体迅速进入试验舱,同时混合气罐内的混合气体经调压阀、缓冲罐、气动复压阀组进入试验舱,当试验舱压力达到设定值时,压力传感器给出信号关闭复压阀,切断进气,停止复压。综合复压系统详细的工艺流程

见图4,综合复压系统的功能分为紧急复压和正常复压。

3.5 环境控制系统

环境控制系统包括气源子系统、直接供气子系统、环境供气子系统、气体调温子系统、气体组分分析子系统和测量控制子系统等。图5为环境控制系统流程图。

3.6 测控系统

测控系统在总体结构上采用 SIEMENS PCS7-400H 冗余集散控制系统的方式,软件由 PCS7 组态软件编制完成,包括总体系统流程画面和分系统流程画面。图6所示为系统流程画面。

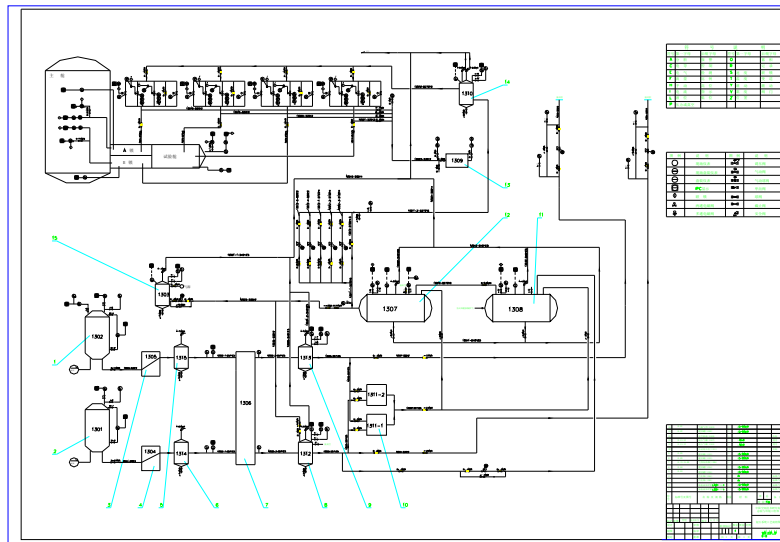


图4 综合复压系统工艺流程图
Fig.4 The flow chart of pressure restoring system

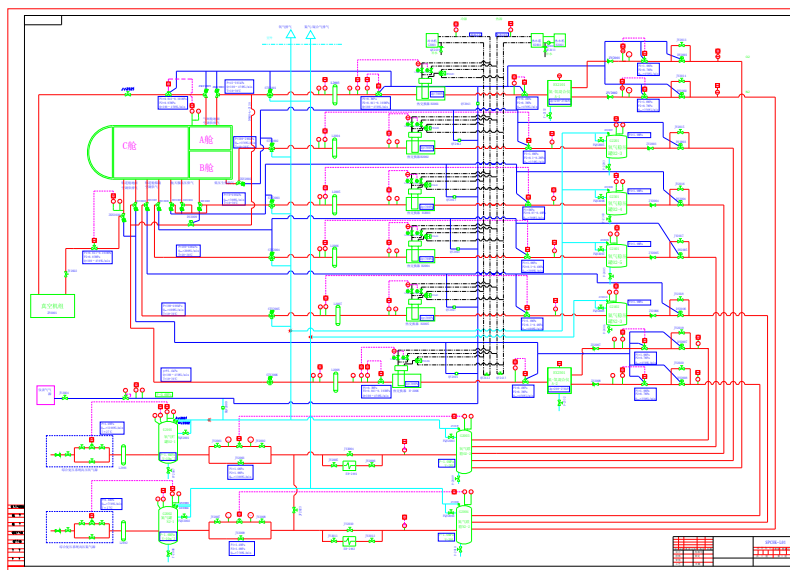


图5 环境控制系统工艺流程图
Fig.5 The flow chart of environment control system

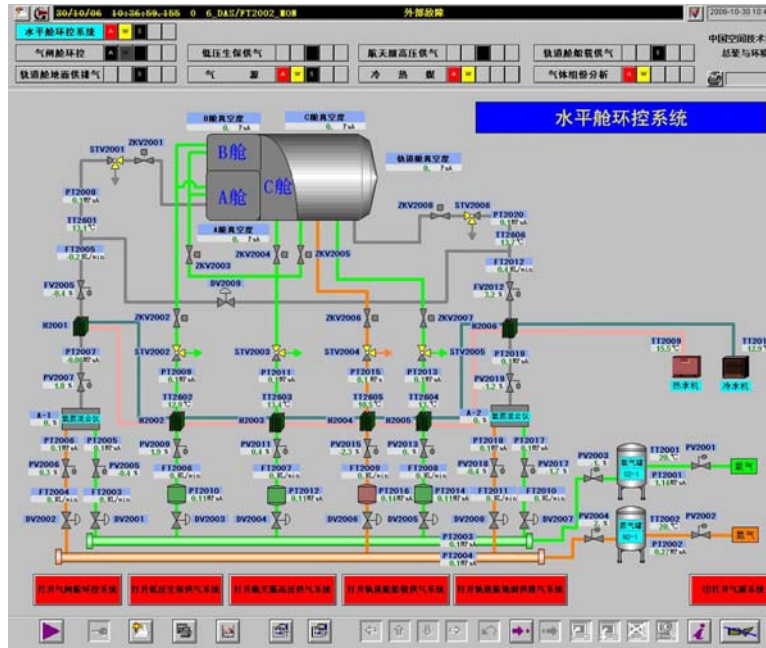


图6 系统流程画面

Fig.6 The flow chart of the overall system

各个分系统使用 S7-400H 回路控制系统完成现场的设备运行和设备操作的控制。视频监控使用视频服务器结构形式，语音使用功放形式。总控制室内部采用监控计算机监控试验的相关参数，并可接受试验指挥的命令，完成整个试验的正常流程及紧急流程控制。

4 系统调试

4.1 环境控制系统

环境控制系统的调试主要是对 6 条供气回路进行参数设定，使其输出气体的流量或压力稳定在设定范围内。图 7 为 A、B 舱生保供气的压力曲线。由图 7 可见，当用气终端受到扰动，输出压力在短时间内波动后能迅速稳定到设定值，这说明系统具有良好的稳定性。

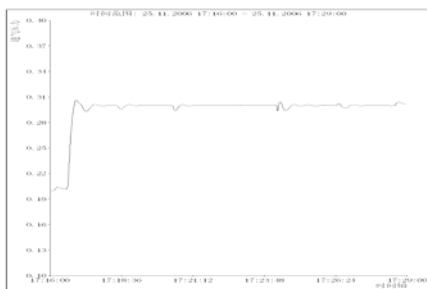


图7 A、B舱低压生保供气压力曲线(设定供气压力0.3 MPa)
Fig.7 The pressure curve of air feeding for breath in A&B cabins (with default value of pressure of 0.3 MPa)

4.2 综合复压系统

为了对复压系统进行调试，设计生产了一个模拟舱，与飞船舱体积相仿，为 9 m^3 ($\phi 1.6\text{ m} \times$ 长 4.5 m)。调试的目的是通过对复压阀门开度的调试，确保各个阶段的复压时间在设计范围内；同时对 C 舱紧急复压时产生的噪声进行测量，验证消噪设备的性能是否满足试验要求。表 1 为部分调试结果。图 8 为测得的噪声曲线。噪声在第 7.8 s 达到第一阶段最大值 100.6 dB，在第 95 s 达到第二阶段最大值 101.4 dB。由图 8 可见，第二阶段的噪声只是在非常短时间内达到 101.4 dB，其他大部分时间均小于 100 dB，满足设计要求。

表 1 综合复压系统技术参数的设计值与调试结果比较
Table 1 A comparison between design parameters and test parameters of pressure restoring system

序号	项目名称	设计值	调试值
1	C 舱从 10^{-3} Pa 至 41.3 kPa 的紧急复压时间/s	20~30 s	C 舱从 10^{-3} Pa 至 41.3 kPa 的紧急复压时间 13 s
2	C 舱从 41.3 kPa 至 101.3 kPa 的紧急复压时间/s	50~60 s	C 舱从 41.3 kPa 至 101.3 kPa 的紧急复压时间 24 s
3	C 舱从 10^{-3} Pa 至 41.3 kPa 的正常复压时间/min	30 min	C 舱从 10^{-3} Pa 至 41.3 kPa 的正常复压时间 5min 16 s
4	C 舱从 41.3 kPa 至 101.3 kPa 的正常复压时间/min	60 min	C 舱从 41.3kPa 至 101.3kPa 的正常复压时间 8 min 57 s

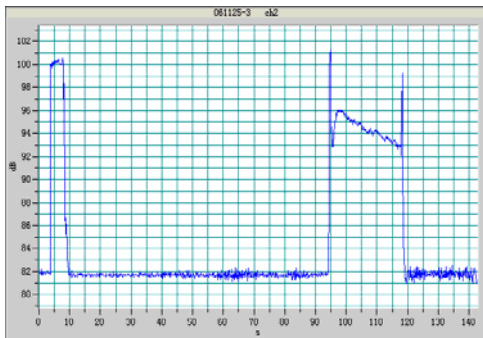


图 8 C 舱紧急复压过程中的噪声曲线
Fig.8 The noise curve of C cabin in emergent pressure restoring process

4.3 真空系统

真空系统的调试主要分为两个部分,一部分是 C 舱真空系统的调试,一部分是 A、B 舱真空系统的调试。

由于 C 舱和 A、B 舱抽气系统抽除纯氧的能力在系统出厂前已经进行了验证,本文只对系统的抽气能力进行介绍。在模拟轨道舱负载处于 C 舱的条件下,使用莱宝机组对 C 舱进行抽气。调试结果表明,机组在 25 min 以内将 C 舱的真空度抽至 10 Pa,该项指标满足设备指标要求,如图 9 所示。在 A、B 舱贯通的情况下,真空系统开启莱宝机组,在 18min 内将 AB 舱的真空度抽到 7 Pa, A、B 舱的极限真空能力也满足设计指标要求。

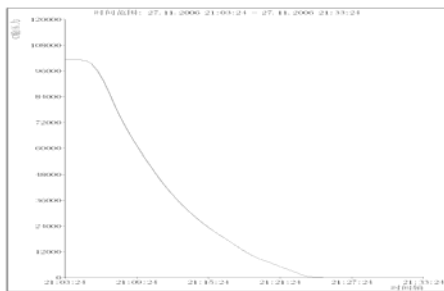


图 9 C 舱 30 min 有载真空度曲线
Fig.9 The loaded pressure curve of C cabin in 30 minutes

在 A、B 舱内部放入 2.3 L/min 的 CO₂ 气体负荷,模拟 3 个人的呼吸,环控系统对 A、B 舱通入流量为 450 L/min、温度 30℃、氧气含量为 50% 的环控供气,启动 A、B 舱抽气及压力调节系统。调试结果表明,在规定的时间内 A、B 舱真空系统可以将舱内的压力稳定在设定的压力范围内,满足设计及试验要求。图 10 为 A、B 真空系统将舱内压力稳定在 41.3 kPa 时的抽气降压曲线。

从图 10 中可以看出抽气开始 25min 以后 A、B 舱的压力稳定在 41.3 kPa ± 0.5 kPa。

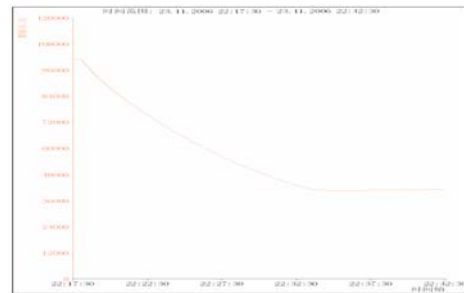


图 10 A、B 舱抽气曲线
Fig.10 The pressure curves of A&B cabins

4.4 其他系统

消防系统由于相对独立,在整体调试前对该系统进行了单独调试,为了避免对容器造成损坏,在容器外进行了中压细水雾的联动测试,测试表明系统能够在规定时间内发现火情并作出响应。

容器系统改造完成后,进行舱门的验收测试表明,改造后的舱门能够在 5 s 内开启到 90°,满足设计要求。

5 结论

KM6 水平舱改造达到或超过了总体改造技术指标和功能要求。改造完成后,KM6 水平舱已经成功地进行了包括空载调试、热平衡与泄复压和“人-船-服”联合试验。试验中真空系统、复压系统、容器系统等有关分系统完全可以满足试验的要求。

改造完成的水平舱系统可以用于进行我国未来的其他载人地面试验、航天员出舱活动试验以及应急救援试验。

致谢:参加 KM6 水平舱改造的还有龚洁、阳高峰、邵容平、余谦虚、郭峰、何鸿辉、尹大勇、孙立臣、张文先、汪力、刘恩均、耿丽艳、岳志勇等人及哈尔滨工业大学和杭州杭氧环保成套设备有限公司等单位,在此一并表示感谢。

参考文献 (References)

[1] 陈金明,黄威. 航天器载人试验舱的设计. 环模技术, 1999(3): 24-28[Chen Jinming, Huang Wei. The design of test cabin for manned spacecraft[J]. Environmental Simulation Technology, 1999(3): 24-28]