

一种航天维护舱门的设计与试验

李传政 刘 波 董吉洪 张尧禹

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)



摘要: 针对航天器设备在轨维护的需求, 并考虑航天发射时的力学性能要求, 设计了一套航天维护舱门并试验验证。舱门的外形为弧形, 采用加筋壁板结构。8个锥销、锥套分别安装在舱门与舱体上, 锁紧螺钉将锥销、锥套连接紧固, 并防止锁紧螺钉的脱落丢失。舱门与舱体还通过两个铰链相连, 铰链为双连杆串联结构。舱门试验时, 搭建了工装试验架以模拟舱门失重状态下的操作性能。试验结果表明, 锥销、锥套连接可靠牢固, 锁紧螺钉具有较好的防脱落性能, 双杆铰链有利于舱门的打开和关闭, 舱门操作顺畅便捷, 满足使用需求。

关键词: 在轨维护; 舱门; 锥销锥套; 锁紧螺钉; 铰链

Design and Test of A Space Maintenance Door

Li Chuangzheng Liu Bo Dong Jihong Zhang Yaoyu

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033)

Abstract: To meet the need of on-orbit maintainability of space equipment and the requirement of mechanics during space launch, this paper presents a space maintenance door and tests it. The door is shaped of arc and designed with structure of stiffened panel. 8 cones and cups are installed on the door and cabin respectively, locking screws connect and fasten the cones and cups, and locking screws are constrained not to drop out. The door and cabin are also connected by two hinges each of which consists of two rods in series. To simulate the operability of door with zero gravity, a test stand is built. Test results show that, cones and cups are fastened reliably by locking screws, and the locking screws are constrained well not to drop out. The hinges with two rods contribute to opening of closing of the door, and the door can be operated smoothly and conveniently, meeting the demand of using.

Key words: on-orbit maintenance; space door; cone and cup; locking screw; hinge

1 引言

随着载人航天工程及空间站技术的发展, 空间在轨维护技术逐渐成熟, 并应用在越来越多的大型航天器上^[1]。著名的哈勃太空望远镜, 通过5次在轨维修、更换相关设备, 不仅提高了望远镜的性能, 还大大延长了使用寿命^[2]。为了满足设备在轨维护的需求, 航天器上需要设置相应的维护舱门, 航天员可以打开和关闭维护舱门维修更换设备^[3]。维护舱门既要满足航天器发射时大过载、强振动等恶劣环境下的力学性能要求, 又要保证在太空中航天员打开、关闭舱门操作的简易

方便性。传统的载人航天器舱门连接机构虽然可靠性高、承力性好, 但机构系统过于复杂, 占用质量和空间较大, 操作费时费力^[4, 5]; 普通的螺钉连接虽然简便, 但为了满足发射时的力学性能要求, 在维护舱门上需要布置的螺钉数量过多, 航天员开闭舱门操作时间较长; 常用于飞机口盖上的承力快卸锁, 由于操作力较大, 不适于航天员在舱外失重环境下的操作^[6~8]。

设计了一套航天维护舱门, 舱门与舱体采用8个锥销、锥套及锁紧螺钉连接; 同时还采用铰链机构限制运动位置, 满足使用需求。

作者简介: 李传政(1988), 实习研究员, 机械制造及其自动化专业; 研究方向: 大型空间相机结构设计。

收稿日期: 2019-07-18

2 维护舱门的设计

某大型航天器采用由骨架与蒙皮组成的半硬壳式承力筒结构^[9-10],为模块设备在轨维修、更换,在相应位置设计了维护舱门,如图1所示。受承力筒外形的限制,该舱门的外形为弧形,舱门四周由框、梁骨架构成的门支撑舱门。舱门内侧布置有纵向和横向的筋条,以增强结构的稳定性。舱门外侧布置有把手以便于操作舱门运动。

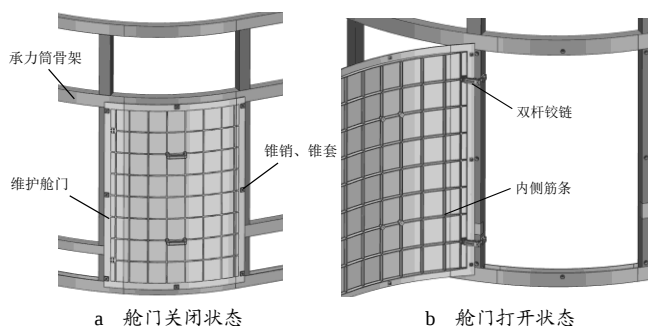


图1 舱门结构形式

由于维护舱门较大,为保持承力筒整体刚度和传力性能,设计有8个锥销、锥套结构将舱门与承力筒骨架连接,使得舱门与骨架整体受力,提高结构刚度和稳定性。锥销、锥套连接组件如图2所示。锥销固定安装在舱门上,锥套固定安装在门框上,锥销的圆台与锥套的锥形槽接触配合,既便于锥销、锥套的对准连接,又利于将舱门面内的剪切力通过锥销、锥套的配合面转化为锁紧螺钉的拉力,从而提高连接强度。锁紧螺钉为不脱出螺钉结构,其光杆段的直径小于连接螺纹段的直径。锁紧螺钉穿过锥销的通孔,与锥套的螺纹孔连接配合。在锥销侧面设置有止脱螺钉,能限制锁紧螺钉的螺纹段在锥销通孔内部。锁紧螺钉头部套有环形卡套,卡套与锥销沉孔之间设置有弹簧。在锁紧螺钉脱离锥套时,弹簧在自身恢复力作用下将锁紧螺钉向外弹出,并在止脱螺钉的限制下锁紧螺钉不能脱离锥销,便于航天员拆装螺钉,满足人机工效学要求。

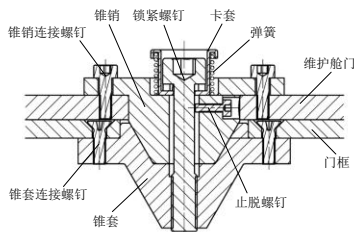


图2 锥销、锥套连接组件

对于弧形舱门,需要避免开启时连接件卡住而难以开启的问题。由于连接件的轴线是沿舱门的外形法线方向安装的,当舱门外形弧度较大并且有多个连接件沿舱门的弧线方向布置时,会出现连接件的轴线与舱门开启运动方向有较大的角度差。采用锥形面配合的锥销、锥套组件可以避免连接件卡住的问题,这时要求锥销、锥套的锥形角 θ 大于舱门弧形中心角 α ,如图3所示。在本设计中,舱门弧形中心角为 45° ,锥销、锥套的锥形角为 60° 。

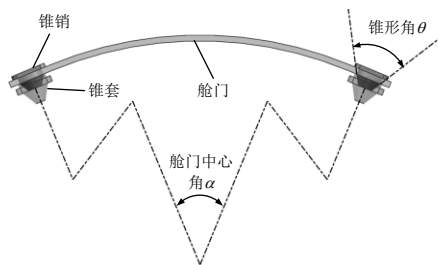


图3 连接件的锥形角与舱门弧形中心角

维护舱门的一侧边通过两个铰链与门框连接,以限制舱门的运动轨迹,满足在轨维护需求。为降低维护舱门开闭的难度,铰链设计为双连杆串联而成的双杆铰链,使得维护舱门在开启时能够先向外平移一段距离后再旋转开启。为避免关闭舱门过程中两个铰链杆出现 180° 的“死点”位置而难以运动,在铰链上设计有限位挡块,使得舱门开闭过程中两个铰链杆夹角小于 100° ;在满足舱门开启角度要求的同时,提高机构可靠性。舱门开启过程中铰链运动状态如图4所示。

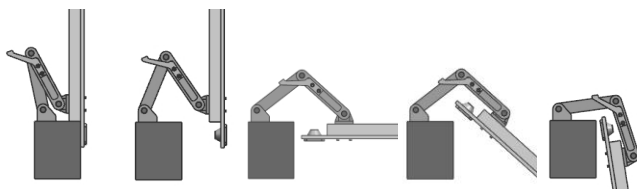


图4 双杆铰链运动过程

3 维护舱门试验装置

为了验证维护舱门的操作性能,设计制造了独立的门框支架与舱门装配,舱门与门框支架采用8个锥销、锥套连接,并有2个双杆铰链相连,如图5~图7所示。维护舱门及门框支架由铝合金加工制造,舱门长1680mm,宽(弧线长度)1222mm,质量为20kg。锥销、锥套采用钢材材料加工制造,锁紧螺钉由M6内六角圆柱头螺钉改制成不脱出螺钉结构。

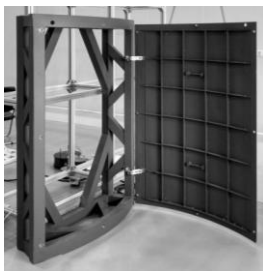


图5 维护舱门试验件



图6 双杆铰链



图7 锥销、锥套组件

为模拟失重状态下的舱门操作性能，还采用铝型材搭建了舱门工装试验架，对舱门采用吊挂弹簧进行重力卸载，通过调整与弹簧相连的钢丝绳使弹簧竖直向上的拉力等于舱门的重力，如图8所示。弹簧上端通过钢丝绳与弧型导轨上的滑轮连接，导轨的弧形与舱门重心的运动轨迹接近重合，使得在舱门开闭过程中弹簧能够跟随舱门运动，并保持拉力接近不变，使舱门运动过程中处于重力卸载状态。

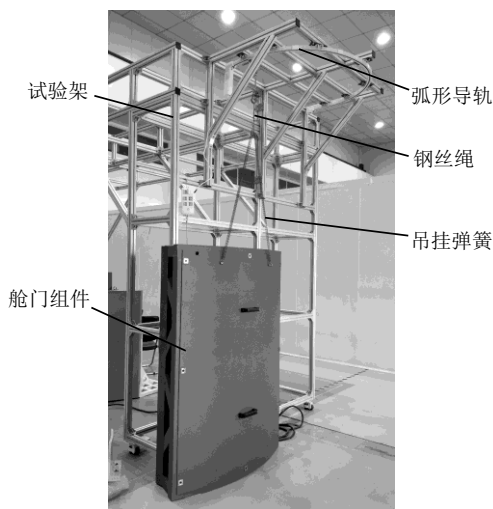


图8 维护舱门试验架

4 试验验证

经多次拆装测试，8个锁紧螺钉都顺利拧入、拧出，回弹弹簧能在拧出瞬间将锁紧螺钉向外弹出，并且止脱螺钉能防止锁紧螺钉的脱落丢失。采用双杆铰链的舱门经多次打开、关闭测试，舱门开合运动顺畅，最大打开角度为 180° ，且与门框无干涉，满足使用需求。

打开、安装舱门时，为了便于航天员操作并节省时间，需要按顺时针或逆时针依次拆除或安装8个锁紧螺钉。经测试，从舱门弧形边中间处的锁紧螺钉开始依次拧紧效果最佳。考虑到舱门是弧形，从弧形段

的中部拧紧能够先将舱门两侧较均匀地压紧，便于后续其余螺钉的顺利拧紧。

表1 锁紧螺钉拧入、拧出力矩 N·m

螺钉序号	1	2	3	4	5	6	7	8
拧入力矩	3	3	3	3	3	3	3	3
拧出力矩	2.3	2.2	2.0	2.0	2.1	2.2	2.1	2.6

为测量拆装锁紧螺钉的力矩，采用力矩扳手测量。安装锁紧螺钉时，力矩扳手设为固定力矩值 $3\text{N}\cdot\text{m}$ ，按顺序依次拧紧8个锁紧螺钉；拆卸锁紧螺钉时，力矩扳手从小到大按 $0.1\text{N}\cdot\text{m}$ 的间隔设置多个不同的力矩值来拧锁紧螺钉，直至刚好将锁紧螺钉拧出，此时对应的力矩值即为锁紧螺钉的拧出力矩；测试结果见表1。可见不同位置处的螺钉拧出力矩有所差异，但整体上均匀性较好。经测试，所设计的双杆铰链能为舱门开启、关闭阶段提供一定的平移距离，既有利于打开舱门时锥销、锥套的顺利脱离，避免了弧形舱门多个连接件出现卡滞的风险，又有利于关闭舱门时锥销、锥套的对准配合，减小了锥销、锥套锁紧时的装配应力。

5 结束语

设计了一套外形为弧形的航天维护舱门，采用加筋壁板结构；并制造了舱门试验件试验，试验时搭建工装试验架以模拟舱门失重状态下的操作性能。结果表明，锥销、锥套连接可靠牢固，锁紧螺钉具有较好的防脱落性能，8组锥销、锥套受力均匀，8个锁紧螺钉可以按顺序依次拆装；双杆铰链能为舱门开闭时提供一定的平移距离，既有利于打开舱门时锥销、锥套的顺利脱离，又有利于关闭舱门时锥销、锥套的对准配合；舱门开合过程顺畅，操作便捷，最大打开角度为 180° ，且与门框无干涉，满足使用需求。

(下转第20页)