

## “和平”号空间站及国际空间站故障维修情况

“和平”号空间站和国际空间站均属于人类历史上的第三代空间站,其建造规模和复杂度都是前两代空间站无法比拟的。在长期在轨飞行中,潜在的设备故障和人为操作失误在所难免。正因如此,空间站站务管理的主要任务之一就是对其舱载设备的故障进行检测、诊断、评估、排除及系统重构。

### 一、“和平”号空间站故障维修情况

“和平”号空间站始建于1986年,原设计寿命为5年,但直到2001年才自行坠毁,共在轨运行了15年。在其超期服役的10年间,由于人为的或自然的因素,出现了失火、停电、漏气、相撞等事故将近1500次,包括10次危及航天员生命安全和空间站正常飞行的事故。而且,其中62处故障一直没有排除,空间站长时间处于超期服役和带病运转之中。

#### 1. 舱外维修作业

在15年的运行中,“和平”号上共有36名航天员进行过78次出舱活动,他们在舱外作业时间共计359小时12分。“和平”号上的出舱活动可以分成6种类型:空间站的设备安装与拆除,约占出舱活动的55%;空间站的检查及维修,约占出舱活动的24%;应急出舱活动(在“和平”号空间站上总共进行过两次应急出舱活动,目的主要是为了对空间站进行紧急检查和修复);完成科学和技术试验;试飞载人机动装置;舱内出舱活动,即航天员穿着舱外航天服在

没有加压的站舱内完成安装或维修任务。

### (1) 交会对接故障维修

1987年3月31日,“量子”1天体物理舱发射,经过5天飞行抵达“和平”号空间站。当两个航天器相距200米时,“和平”号上的两名航天员借助自动系统,监督并控制相互接近、停靠和实施对接。当完成对接组件的机械连接后,由于控制系统发生故障,第一次出现了不完全对接的情况。4月11日,两名航天员先后从空间站出舱,移动到空间站与“量子”1实验舱对接的部位,经检查发现对接没有完全成功是由于在对接部件之前掉进了杂质。在完成清除工作之后,“量子”1舱与“和平”号的对接终于成功。

### (2) 气闸舱故障维修

1990年5月,“联盟”TM-9飞船表面被发现出现一些防热层剥落现象。经分析,站内温度正常,然而由于防热层剥落上翘,遮住了再入探测仪的视场,不得不由航天员出舱进行修补。

同年7月17日,航天员从“量子”2号舱的气闸舱出舱,把上翘的两块防热瓦卡紧固定,对损伤最严重的一块防热瓦也进行了处理。当两位航天员工作完毕返回工作站时,发现“量子”2号舱的气闸舱门卡住打不开,无法进入舱内。这时他们已经在太空工作6小时,供氧系统指针已指向使用极限,急需补充氧气。可是他们的氧气补充系统安装在“量子”2号舱内,由于气闸舱外侧门的一个铰链已损坏,航天服内无法再补充氧气,使生命保障系统很难维系航天员的生命。航天员在太空度过了极其困难的7小时,不得不从备用舱口盖进入空间站。尽管航天员进入站内,但又无合适的工具关闭备用舱门。后来,他们完全凭蛮力设法修好损坏的锁链,临时关闭了舱门。7月26日,为了正常关闭发生故障的舱门,两位航天员又进行第二次舱外活动,花费3小时修理舱门,但仍未达到理想效果。8月1日,随后一批乘组抵达空间站,一直到10月份他们才携带工具出舱维修,最终成功关闭了备用舱门。1991年1月,航天员经过

三次出舱维修,才修复了“量子”号2舱的舱门。

### (3) 电力系统故障维修

1997年11月3日,为了维修“和平”号电力系统,航天员花费了2小时卸下了“量子”1舱外的旧太阳能帆板,并用起重臂将它移动到主舱外部固定起来。11月6日,在“量子”1舱外安装了一个新的太阳能帆板,还更换了温控系统的几个部件。终于使“和平”号空间站完全恢复了电力供应。

在“和平”号空间站历史上,航天员曾多次出舱对太阳能帆板进行过维修。

### (4) 密封故障维修

1997年11月3日,航天员完成舱外活动后,“量子”2号舱的舱门没有彻底封住,当舱门过道的压力升至200毫米汞柱时空气开始外泄。11月6日,航天员进行太空作业时发现“量子”2舱门的密封垫上有沉积物,他们进行清理并弄平了密封垫,然后用锁固定了舱门。10日,“量子”2号舱门过道内的压力又稍有下降,舱门的垫圈再次失去密封性。其实,“和平”号舱门的密封性早就出现过问题,1990年由于当时站内压力没有降到零,航天员就硬性打开舱门,结果使舱门的一个托架被严重损坏。

1998年1月9日,航天员通过“量子”2号舱打开密封失效的出舱口舱盖,进行一次舱外活动,检查了出舱口密封失灵的原因。经检查发现,出舱口舱盖的10个锁扣装置中有一个松动,结果在舱盖与舱口之间形成10毫米厚的积垢。他们拆除了一台光学监测仪,设法清除了积垢,然后关上舱盖,给10个锁扣装置充气,才使工作恢复正常。

### (5) 外部设备或组件故障维修

1997年6月25日,一艘俄罗斯货运飞船撞到了空间站的主体舱上,致使陀螺仪出现故障。空间站上的11个陀螺仪能够将轨道舱保持在最有利于太阳能帆板吸收太阳能的位置,如果陀螺仪出现

问题,空间站就不得不定时启动发动机重新定向,消耗宝贵的燃料。航天员通过几次舱外活动最终排除了陀螺仪的故障。

1998年4月11日,航天员出舱对空间站推进器进行拆卸,并检查了一个出故障的阀门。期间,航天员要沿着主梁匍匐前进,拆下故障设备后再打开另一台定向推进器,才能恢复空间站的运行方向。

## 2. 舱内维修作业

### (1) 环控生保系统故障与维修

**供氧系统** 1997年2月24日,“和平”号上的值班航天员打开备用制氧系统,但出人意料的是,从管子里冒出了火星和烟雾。乘员们立即用灭火器灭火,在此过程中他们被迫戴上了氧气瓶呼吸器。4月6日,“进步”号带来制氧系统备件和3个新的灭火器。4月15日,航天员对失灵制氧系统中的裂缝进行修补,修复了制氧系统。

1997年3月,“和平”号氧气发生器内的过滤器出现堵塞而导致暂停使用。5月16日,“亚特兰蒂斯”号航天飞机与“和平”号空间站对接后不久,氧气发生器的附加泵就出现故障。第二天,航天员换上了一个新的氧气发生器。7月1日,“和平”号被撞后,由于制冷管道出现问题,航天员被迫关闭了新的氧气发生器,启用备用的制氧系统。

1997年8月,“和平”号一个供氧电子系统出现故障,而另一个已经由于电能不够而被迫关闭。在站上的俄、美航天员进行了修复工作,在修复之前启用了氧气发生器,航天员的供氧没有发生任何问题。

**冷却系统** 1995年11月2日,“和平”号航天员发现冷却系统发生泄漏,但对乘员舱的温度没有产生影响,渗漏的气体对人体也无害。三名航天员花了两天时间才找到渗漏的位置。4日,他们堵住了冷却系统上的裂缝,经检查表明对裂缝的封堵成功后,航天员

才恢复正常工作。

1997年4月初,温控系统的一根铝制导管被严重锈蚀,漏孔多达21处,开始泄漏有害的防冻剂(乙二醇),使得空间站内一些区域的温度在很短一段时间内上升到28℃。航天员还因乙二醇引起过敏反应,身体处于极限状态。航天员对此进行了维修,将两个大漏口进行了封堵,温度才得以下降,但是直到8月初,航天员才找到最后一个漏气口并进行了修补。

**二氧化碳去除系统** 1997年4月初,由于冷却系统多处泄漏,“和平”号上通过去除二氧化碳来净化空气的主要系统出现故障。航天员在修理好这个系统之前,不得不采用一种备用方法净化空气。

### (2) 供电系统故障与维修

1997年7月17日,航天员误将一根连通飞船定向系统的电缆拔断,从而使“和平”号空间站陷入黑暗之中。3名航天员不得不在“联盟”TM-25飞船的救生舱内通过无线电与地面联系,经过抢修,空间站内的照明得到恢复。8月22日,航天员进入“光谱”舱,接通了3条未受损的太阳能帆板与空间站电力系统连接的电缆,恢复了大部分的电力供应。之后,航天员接通“晶体”舱温控系统及通风系统的电源,并用温控系统对已受潮的舱内设备进行了干燥处理。

### (3) 密封性问题与维修

1999年7月10日,空间站内气压出现下降,原因是连接空间站与外部空间的真空阀门老化,舱体出现裂缝,从而出现漏气现象。由于“和平”号是多舱体结构,且大多数舱体中放满科学仪器并用防护板与外壳隔开,因而很难找到漏气的地方。漏气使得舱体内的气压平均每昼夜降低1毫米汞柱,如果舱内气体下降幅度保持这样的速度,到2000年6月就会出现危险状况。地面控制中心建议航天员从站内依次关闭各个舱室,并观察各舱室的气压变化。经过航天员的检查,最终确定了引起空间站压力下降的漏洞位置并进行修补。

#### (4) 意外相撞事故与应急处理

1997年6月25日,一艘俄罗斯货运飞船撞到了空间站的主体舱上,使得“光谱”舱失去了压力。航天员迅速关闭了被破坏的“光谱”舱和“和平”号其他舱相连接的舱口。7月5日,“进步”M-32货运飞船送去了2吨重的货物,包括修复站上被损坏部位的必要设备,如“光谱”舱用的电缆。到8月5日,“联盟”TM-26飞船前往空间站进行乘组轮换时,才最终修复了撞坏的部件。

#### (5) 计算机故障和维修

1997年8月18日,航天员手动操纵“进步”M-35货运飞船与空间站对接时,由于计算机发生故障,“和平”号航向改变,供电量减少。8月19日,他们更换了计算机中的一块故障部件,并重新进行编程,才使“和平”号恢复正确的航向,太阳能帆板恢复供电,站上科学仪器恢复启用。9月8日,“和平”号空间站的中央计算机突然失灵,太阳能接收系统无法正常工作,站上被迫借用不久前与其对接的“联盟”TM-26飞船上的小型发动机接收能源。空间站内暂时关闭能源消耗较大的设备,仅维持一些极其必要的设备正常运转。10月1日,航天员将旧计算机关闭,又花了几小时安装了一台新计算机。地面控制中心开始启动新计算机并下载软件,这一过程共耗时10个小时。11月21日,中央计算机再次发生故障,致使陀螺仪停止转动。

1998年1月2日,“和平”号上的中央计算机又出故障,造成陀螺仪一度停转,并使空间站暂时失去辨别方向的能力。经过紧急作业,借助“联盟”TM-26飞船上的发动机正确定位,蓄电池充电后才使各个系统得到供电,从而恢复了3个陀螺仪的旋转。5月30日,主计算机第四次失灵,迫使航天员关闭了所有不必要的耗电设备,如空调、灯光等,以节省电力。5月31日,主计算机数次启动尝试均未成功。航天员只得启动了备用计算机。

1999年7月,航天员又发现主计算机出现故障,并将其关闭,同

时利用备用导航系统保证航向。

## 二、国际空间站故障维修情况

国际空间站始建于 1998 年。建站以来的十几年间,由于国际空间站的持续操作运行以及航天员在执行航天任务中的人为失误,国际空间站发生诸多故障,以俄罗斯实验舱为例,2001 年到 2006 年期间所发生的故障中,研究设备故障占总故障的 34%,服务系统故障占 26%,软件故障占 7%,维护操作失误(含乘员和地面人员)占 33%。

### 1. 航天员出舱维修

#### (1) 意外事件与处理

2001 年,由于“进步”M-45 货运飞船在与国际空间站对接后,“寻求”气闸舱对接装置留有 O 形橡胶圈阻塞物,这些阻塞物使“进步”M1-7 飞船的对接无法进行,于是航天员首次进行国际空间站的计划外出舱活动,清除阻塞物。

2002 年 11 月,用于建设国际空间站的有轨滑车在运行了 13 米后突然停止。航天员约翰·赫林顿被派出舱检查。经调查发现,一条天线与有轨车的缆线缠绕在一起,从而阻止了滑车前进。赫林顿用工具拨开天线,使得有轨车在中止行进 6 小时后重新开始运行,并顺利完成了余下的 3 米行程。

2007 年,位于国际空间站前端和右舷的“太阳阿尔法回转节”(SARJ)装置出现过度振动。之后,前往空间站的航天飞机乘员执行了维修任务。航天员在修理时发现回转节受损是由于空间碎片碰撞造成的,由于空间站没有足够的电力完成这项维修工作,因此他们不得不关闭了该装置。

#### (2) 外部设备或组件的故障与维修

2004 年,第 9 期长期考察组刚抵达国际空间站几个小时,用于维持空间站稳定的一个陀螺仪就停止了工作。为此,地面控制中心

不得不安排航天员进行了一次计划外出舱以排除陀螺仪故障。

维修冷却系统是空间站最具挑战性的工作之一,两名航天员需要在太空把重 355 千克的备用泵搬离大约 10 米,而且几天内连续实施太空作业,航天员的体力和精力都受到极大的挑战。2010 年 7 月,在维修冷却系统故障时,原定安排的两次出舱活动未能完成任务,不得已又增加了一次。

2006 年 3 月,由于国际空间站的化学滤毒罐丢失,空间站上的扶手也存在一些问题,航天员无法在近期进行任何舱外活动,只能等到相关问题解决后才能进行。丢失的化学滤毒罐用于排除航天服生命维持系统中致命的二氧化碳,因此,地面负责人决定利用下一艘补给飞船将另外一个氢氧化锂滤毒罐运抵国际空间站。

航天器上大部分设备是即插即用,且有备份件,如果无法维修,可以进行在轨更换。如果设备没有备份件,就只能从地面运输上来。

### (3) 电力系统故障

2007 年 11 月 3 日,美国航天员帕拉津斯基完成历时 7 个多小时的舱外活动,成功修补了一块国际空间站太阳能电池板。由于电池板依然带电,而且破损点距离工作舱非常远,航天员要“行走”近一个小时,英国《泰晤士报》曾评论说这次任务是美国航天史上最危险的太空行走。在修复工作进行时,由于可能受到损毁的太阳能电池板的电击,航天员的衣服和工具都经过了绝缘处理。

### (4) 航天飞机故障维修

2005 年 8 月,“发现”号航天飞机机身腹部被发现有两块凸起,该凸起物可能对航天飞机返航构成威胁。美国国家航空航天局专家在进行了紧张的研究和讨论后,最终决定由航天员出舱解决。由于问题部位在“发现”号的腹部,所以航天员带上了各式工具,将自己绑在国际空间站机械臂的末端,由机械臂将其“举”到航天飞机腹部进行维修。最终航天员圆满完成了此次维修任务,“发现”号也得



以安全返航。

2007年6月15日,“亚特兰蒂斯”号航天飞机乘员在例行检查时发现,航天飞机左侧发动机外壳上覆盖的隔热罩一角松开,形成了一道长十多厘米的缝隙。航天员最终利用航天飞机医药箱中的医用缝合器以及U形针进行缝合固定,完成了这次航天飞机的修补任务。

## 2. 舱内维修作业

### (1) 环控生保系统故障与处理

2002年5月,国际空间站的主氧气发生器在断断续续工作了几周后完全停止了工作。站上3名航天员只好利用固体燃料制氧罐来制氧,同时加紧修复主氧气发生器。这个由俄罗斯制造的氧气发生器故障不断,通常是因为气泡阻断了氧气的输送。2004年,由于线路堵塞,主氧气发生器再次发生故障,2名航天员不得不利用备用零件组装了一台可在急需时替换的氧气机,同时等待俄罗斯货运飞船运来更多的氧气和抢修氧气发生器所需的零部件。

2008年5月,由于水泵出现故障导致国际空间站唯一的卫生间无法使用。通常,国际空间站上的人体排泄物由水泵抽往专门储存池中,然后被压到“进步”号货运飞船中,同其他垃圾和用坏的设备一起坠入太平洋。在卫生间维修期间,航天员只能用可替换的容器替代马桶。直到6月,“发现”号航天飞机为空间站带来了新的马桶抽吸装置,才使该马桶运行正常。

### (2) 姿控计算机故障与维修

2007年6月13日,美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机乘员在国际空间站完成第二次舱外活动时,由于配线冷凝导致短路而使控制空间站定位的计算机出现故障。发生故障的计算机位于俄罗斯舱段,负责控制整个空间站的导航定位和生命维持系统。为此,NASA管理人员考虑再次推迟“亚特兰蒂斯”号返航时间,甚至做好最坏打算——全体乘员暂时撤离空间站。故障发生后,空间站上的3名航

航天员立即变更他们原有的工作日程安排,两名航天员负责排除故障,另外一名在旁协助。为节省其电源能耗,航天员还酌情关掉了航天飞机上的一些照明灯、摄像机和计算机等耗电设备。在地面飞行控制中心专家们的帮助下,经过整整两个昼夜的测试之后,两名航天员用一段电缆将一个电源振荡保护开关电路旁路,才使两台计算机重新运转起来。6月18日,空间站的姿态控制从航天飞机转移至空间站俄罗斯舱段内的一台导航和制导计算机。

国际空间站姿态控制系统发生事故,并非只此一次。1998年发射空间站的第一个舱段后,其上的计算机发生故障几乎引起整个舱段的坠落;2001年美国舱段的控制计算机也曾有过一连串的瘫痪。

### (3) 电力与照明系统故障与维修

2007年2月,国际空间站突发电力故障,导致部分设备被迫断电长达一天时间,空间站与地面短暂失去联系。经过检查发现,故障源于太阳能供电系统的直流电转换设备。故障发生后,空间站上部分通信暂时中断,乘员们紧急关闭了一些站内设备。后经航天员历时1天的紧急修复,国际空间站上受到断电影响的系统和设备才得以恢复电力供应。

2008年9月,国际空间站上的日本“希望”实验舱不断出现照明故障,保管室内的4个灯管中只有1个能点亮,加压实验舱段内的17个灯管中有6个不亮。此外,除“希望”实验舱外,国际空间站其他实验舱荧光灯也是故障不断,备用的灯管已用尽。据日本航空航天探索局(JAXA)称,如果能正常照明的荧光灯数量不足半数,就会影响“希望”舱内的工作和实验。为解决照明问题,美国国家航空航天局当年派航天飞机为空间站送去了一批荧光灯。

### (4) 人为故障与处理

2007年8月,由于美国乘员突发奇想,决定在完全漆黑的环境下拍照,于是切断了万能热动开关,拔掉所有插座,关闭一切照

明工具,从而切断了所有电源,结果导致美国模块主监控计算机断电停机,舱内温度迅速下降到了 18.9 摄氏度。美国国家航空航天局指挥人员随后指导乘员立即采取必要行动,迅速为监控计算机接通电源。

(中国航天员科研训练中心)