

航天员出舱活动技术

■主 编 陈善广



中国宇航出版社

航天员出舱活动技术

主 编 陈善广

副主编 唐国金 吴 斌

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国宇航出版社

· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天员出舱活动技术/陈善广主编. —北京:中国宇航出版社,2007.2

ISBN 978-7-80218-213-4

I.航... II.陈... III.航天员-基本知识 IV.V527

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 016553 号

责任编辑 张艳艳 封面设计 03 工舍 责任校对 祝延萍

出版
发行

中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2007 年 5 月第 1 版
2007 年 5 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 15.5

字数 387 千字

书号 ISBN 978-7-80218-213-4

定价 50.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

《航天员出舱活动技术》
编写组名单

主 编 陈善广

副主编 唐国金 吴 斌

编 写	陈善广	唐国金	吴 斌	鄢小清
	黄海兵	陈景山	张万欣	杏建军
	田立平	蒋自成	姚 志	吴文才
	刘 巍	徐水红		

序

出舱活动是载人航天活动的重要组成部分,掌握出舱活动技术是人类进入空间,建造空间站,登陆月球、火星等天体,探索 and 开发太空资源的基础,也是对航天员和从事载人航天技术研究人员的一项重大挑战。

根据我国的载人航天发展规划和战略部署,在神舟六号载人航天飞行任务顺利完成“多人多天飞行”的基础上,积极开展航天员出舱活动的各项准备工作,中国的航天员即将首次进行出舱活动。

为了确保出舱活动任务的顺利完成,出舱活动工程设计人员需要系统学习、研究出舱活动相关理论与技术,航天员也要进行这方面的学习。《航天员出舱活动技术》一书的出版,对我国出舱活动工程设计人员和航天员学习出舱活动基本理论,掌握出舱活动基本技术,顺利完成我国首次出舱活动任务具有重要意义。

由中国航天员科研训练中心与国防科技大学航天与材料工程学院共同编写的《航天员出舱活动技术》,首次对航天员出舱活动技术进行了系统、全面的论述。本书图文并茂、语言流畅,既有丰富的基本概念、基本理论,又有深厚的技术内涵,满足了工程设计人员和航天员进行出舱活动理论与技术学习的需要,也为相关领域人员研究航天员出舱活动基本技术提供了很好的参考。

参与本书编写的作者均是直接从事载人航天工程理论研究和工程实践的专家,他们的实践经验和理论水平为本书的编写提供了重要的保证。希望本书的出版能让更多的人来了解、认识和研究航天员出舱活动技术,关注我国载人航天事业的发展。

王永志

中国载人航天工程首任总设计师·中国工程院院士

2006年12月20日

前 言

出舱活动技术是载人航天三大基本技术之一。突破出舱活动技术是我国载人航天第二步发展战略的一项重要任务。

航天员出舱活动受到真空、空间电离辐射、微流星体与空间碎片等空间环境的影响,出舱活动技术涉及舱外航天服装备技术、航天员着舱外航天服在太空中的运动与控制技术、航天员出舱活动训练技术等众多复杂技术。本书系统论述了出舱活动的基本概念及航天员出舱活动涉及的相关技术。

本书共分8章。第1章对出舱活动的基本概念与分类、出舱活动的作用、出舱活动基本技术进行了论述,介绍了出舱活动发展简史,对出舱活动技术的发展概况进行了综述;第2章介绍了出舱活动面临的空間环境特性,论述了空間环境对人体的影响,并对出舱活动的防护技术进行了分析;第3章从力学角度论述了微重力环境产生的原因、微重力环境下的人体运动特性和控制方法,介绍了典型的舱外机动装置的构成、使用及控制原理;第4章详细论述了舱外航天服装备的设计原则和方法,对典型舱外航天服的组成进行了介绍;第5章论述了气闸舱的功能及组成,对典型的气闸舱进行了介绍,重点对气闸舱的基本原理进行了分析;第6章给出了出舱活动窗口和出舱活动程序的定义和设计原则,对美、俄的出舱活动程序进行了介绍和对比;第7章对航天员出舱活动技术训练的内容和模式进行了论述,介绍了美、俄的出舱活动技术训练以及虚拟现实技术在出舱活动训练中的应用;第8章介绍了用于航天员出舱活动训练的大型地面设备。

本书由中国航天员科研训练中心和国防科技大学组织专家共同编写。编写工作得到中国航天员科研训练中心机关、各相关研究室及国防科技大学航天与材料工程学院的大力支持与帮助,中国航天员科研训练中心的专家对本书进行了评审,并提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于航天员出舱活动技术涉及面广,相关技术尚处在不断发展之中,加之受编者认识水平所限,难免有不当和疏漏之处,诚请读者批评指正。

本书可作为从事航天技术研究的工程技术人员与管理人员的技术参考书,还可作为高等院校师生学习航天员出舱活动技术的教学参考书。

编 者

2006年12月

目 录

第 1 章 出舱活动技术概况	1
1.1 概述	1
1.1.1 出舱活动的定义	1
1.1.2 出舱活动的分类	3
1.1.3 出舱活动的作用与意义	4
1.1.4 出舱活动基本技术	5
1.2 出舱活动简史	7
1.2.1 第一阶段:起步探索阶段(1965—1968)	7
1.2.2 第二阶段:改进强化阶段(1969—1972)	8
1.2.3 第三阶段:发展完善阶段(1973—)	8
1.3 出舱活动技术的发展概况	9
1.3.1 俄、美两国的出舱活动技术	9
1.3.2 出舱活动技术的发展趋势	12
参考文献	14
第 2 章 出舱活动空间环境及防护技术	15
2.1 概述	15
2.2 出舱活动面临的空间环境	15
2.2.1 地球大气与真空环境	15
2.2.2 热环境	18
2.2.3 空间电离辐射环境	19
2.2.4 非电离辐射环境	22
2.2.5 微流星体与空间碎片	23
2.2.6 微重力环境	24
2.3 空间环境对人体的影响	24
2.3.1 真空环境对人体的影响	24
2.3.2 热环境对人体的影响	26
2.3.3 电离辐射环境对人体的影响	27
2.3.4 非电离辐射对人体的影响	33
2.3.5 微流星与空间碎片对人体的影响	34
2.3.6 微重力环境对人体的影响	35
2.4 出舱活动的防护技术	36
2.4.1 舱外航天服	36

2.4.2 出舱程序的设计	39
2.4.3 出舱时机的选择	39
2.4.4 空间碎片预报与轨道清扫	40
参考文献	41
第3章 微重力环境下的人体运动与控制技术	42
3.1 概述	42
3.1.1 重力	42
3.1.2 微重力	43
3.1.3 失重和平衡	43
3.1.4 太空微重力的来由	43
3.1.5 太空微重力水平	44
3.1.6 得到微重力环境的方法和手段	45
3.2 微重力环境下人体运动特性	47
3.2.1 微重力环境下人体动力学模型	47
3.2.2 微重力环境下人体运动特性	61
3.3 舱外航天服对航天员运动的约束	63
3.3.1 舱外航天服的约束	63
3.3.2 航天服反作用力矩与关节转角的关系	64
3.4 出舱活动过程中航天员的运动控制	68
3.4.1 采取自身动作进行运动控制	68
3.4.2 采取机动装置进行运动控制	70
参考文献	79
第4章 舱外航天服装备技术	80
4.1 概述	80
4.1.1 基本概念	80
4.1.2 舱外航天服装备在载人航天中的地位和作用	81
4.1.3 舱外航天服装备的特点	82
4.2 航天服医学与工效学设计基础	82
4.2.1 航天服压力和气体环境医学工程学要求	82
4.2.2 航天服温度生理学与医学工程设计要求	84
4.2.3 航天服工效与人体工效学要求	86
4.2.4 航天头盔生理卫生学与视觉工效学要求	88
4.2.5 出舱航天员的辐射防护医学工程对策	90
4.3 舱外航天服装备总体设计概要	91
4.3.1 舱外航天服装备总体设计要求	91
4.3.2 舱外航天服装备的总体方案设计与选择	93
4.3.3 舱外航天服装备最佳系统方案的选择	100
4.4 典型舱外航天服装备	101
4.4.1 概述	101

4.4.2 舱外航天服	102
4.4.3 舱外航天服自主生命保障系统	108
4.5 航天服安全性设计	124
4.5.1 概念	124
4.5.2 舱外航天服装备的安全性设计要求	125
4.5.3 航天服安全性设计措施及对策	125
4.5.4 通过设计和使用减小风险	127
4.5.5 附加预防措施	130
4.6 舱外航天服装备的使用	131
4.6.1 舱外航天服装备的使用寿命	131
4.6.2 舱外航天服装备的保存	131
4.6.3 舱外航天服装备的使用气、液介质要求	132
4.6.4 舱外航天服装备的使用	132
4.6.5 舱外航天服装备允许外环境压力变化限制	133
4.6.6 航天服在试验及训练使用中防止高氧反应要求	133
参考文献	133
第5章 气闸舱技术	136
5.1 概述	136
5.1.1 气闸舱的定义	136
5.1.2 气闸舱的作用	136
5.2 气闸舱的基本原理	139
5.2.1 节省气体的基本原理	139
5.2.2 吸氧排氮和阶段减压预防减压病的基本原理	139
5.2.3 泄压复压的基本原理	142
5.3 气闸舱的组成	147
5.3.1 内外舱门	147
5.3.2 生命保障系统	147
5.3.3 舱门密封性检查和测试设备	147
5.3.4 通信设备	148
5.3.5 扶手和脚限制装置	148
5.3.6 航天服控制台	149
5.4 俄、美和国际空间站气闸舱简介	149
5.4.1 上升2号飞船气闸舱	149
5.4.2 苏联礼炮号气闸舱	150
5.4.3 和平号气闸舱	150
5.4.4 美国天空实验室气闸舱	150
5.4.5 美国航天飞机气闸舱	151
5.4.6 国际空间站气闸舱	153
参考文献	154

第 6 章 出舱活动窗口与出舱活动程序设计	155
6.1 出舱活动窗口与出舱活动程序	155
6.1.1 概述	155
6.1.2 出舱活动窗口	155
6.1.3 出舱活动程序	155
6.2 出舱活动窗口设计	156
6.3 出舱活动程序设计	158
6.4 国外出舱程序介绍	159
6.4.1 俄罗斯的出舱活动程序(国际空间站)	159
6.4.2 美国的出舱活动程序(航天飞机或国际空间站)	160
6.4.3 俄、美两国出舱活动程序比较	161
参考文献	161
第 7 章 航天员出舱活动训练技术	162
7.1 航天员出舱活动训练技术的目的与意义	162
7.2 出舱活动训练技术的内容和模式	164
7.2.1 理论训练	165
7.2.2 专业技能训练	165
7.2.3 出舱程序训练	166
7.2.4 出舱活动任务训练	166
7.2.5 国外出舱活动训练的组织模式	167
7.3 国外航天员出舱活动训练技术介绍	167
7.3.1 俄罗斯出舱活动训练技术介绍	167
7.3.2 美国出舱活动训练技术介绍	175
7.3.3 进行出舱活动训练的几点注意	179
7.3.4 我国航天员出舱活动训练技术展望	181
7.4 虚拟现实技术在出舱活动训练中的应用	181
7.4.1 虚拟现实技术概述	181
7.4.2 虚拟现实系统的分类	182
7.4.3 虚拟现实技术在出舱活动训练中的应用实例	185
7.4.4 虚拟现实在出舱活动训练中的优越性	187
参考文献	188
第 8 章 出舱活动训练、试验设备	189
8.1 概述	189
8.1.1 引言	189
8.1.2 常用的出舱活动训练、试验设备	189
8.2 出舱活动程序训练模拟器	190
8.2.1 出舱活动程序训练模拟器的基本概念	191
8.2.2 俄罗斯程序训练模拟器	192
8.3 中性浮力水槽设备	202

8.3.1	中性浮力水槽的用途	203
8.3.2	中性浮力模拟技术的发展和概况	204
8.3.3	中性浮力模拟失重的优缺点	205
8.3.4	中性浮力水槽的系统组成	206
8.3.5	国外典型中性浮力水槽	207
8.3.6	训练流程	214
8.4	舱外航天服试验舱	215
8.4.1	功能	216
8.4.2	组成	216
8.4.3	一般技术要求	216
8.4.4	主要用途	217
8.4.5	美国、俄罗斯舱外航天服试验舱简介	217
8.5	失重飞机	228
8.5.1	目前能提供失重环境的设备	228
8.5.2	失重飞机的作用	230
8.5.3	失重飞行基本原理	232
8.5.4	失重飞机的飞行过程	232
8.5.5	失重飞机性能参数	234
8.5.6	失重飞机改装	234
8.5.7	国外失重飞机简介	235
	参考文献	236

第1章 出舱活动技术概况

1.1 概述

1.1.1 出舱活动的定义

出舱活动技术是载人航天的三大基本技术之一。这三大基本技术是载人航天器成功发射和航天员安全返回技术、航天员出舱活动技术和航天器在轨交会对接技术。人类要想自由进入太空,建造空间站,登陆月球、火星等天体,探索 and 开发太空资源,就必须掌握这三项基本技术。对于一个国家来说,只有拥有了这三项基本技术,才能取得独立、平等地参加国际载人航天活动的资格。

出舱活动的英文是 Extra Vehicular Activity,简称 EVA,也被翻译成“舱外活动”。单纯从翻译的角度讲,舱外活动似乎更准确些;但从工程技术和航天员训练的角度讲,出舱活动则蕴涵了航天员出舱、舱外作业和返回的一系列动作程序,从字面上体现了人的“主动性”和“过程”两层意思,有益于对 EVA 进行深入理解和全面把握,对舱外活动任务的设计、相关产品研制和舱外活动任务的实施有更大的指导意义。因而本书将 EVA 称为“出舱活动”。

(1) 苏联/俄罗斯^① 与美国早期在 EVA 定义上的分歧

什么是 EVA? 在苏联/俄罗斯和美国之间,特别是早期对此问题的认识一直存在着较大分歧。例如,当苏联航天员在谈论 EVA 时,认为他们是在真空的环境中活动;而美国航天员则认为,当他们在进行舱外活动时至少他们的头部应当伸出舱外。苏联/俄罗斯和美国双方这种认识上的差异一定程度上是由于两国在 EVA 设计思想和采取的技术途径上的不同所引起的。在苏联早期的载人飞船上,一开始就采用了以附加的气闸舱作为实现舱内外压力过渡的手段。舱外活动航天员是经过气闸舱离开飞船进入太空的,留守在密闭舱内的非舱外活动航天员自然是处于正常的舱内气压环境之中。与苏联的技术途径不同,美国早期的舱外活动是通过载人飞船乘员舱直接的泄压和复压来实现正常舱压与舱外真空环境的压力过渡。因此,当怀特在双子星 4 号飞船的舱门外进行舱外活动时,他的乘组伙伴 J·麦克迪维特虽然也穿着舱外航天服暴露于真空环境中,但他始终停留在舱内,没有走出舱门,因此不被认为是执行了 EVA 任务。

尽管苏、美双方对 EVA 认识上长期存在分歧,但是这并不妨碍他们互相理解和认可对方对 EVA 的解释和记录。后来,随着美国的载人航天器上也设置了气闸舱,两国又陆续开展了多次的联合载人飞行,双方对舱外活动定义的认识逐渐趋于一致。

^① 苏联解体后,其尚未结束及新开发的航天项目主要由俄罗斯完成,且由于航天项目的长期性,也决定了某些项目无法界定其所属国家,本书除特别注明外,所描述的俄罗斯航天项目如其起始年代属苏联时期,均不做特别说明。

(2) 美国国家航空航天局对 EVA 的定义

美国国家航空航天局(National Aerospace and Space Administration, NASA)于 20 世纪 90 年代在它制定的标准《人系统整合》(NASA STD 3000)中对 EVA 这一术语作出了明确的定义。根据这一标准,EVA 的定义是穿着航天服的航天员在非压力或空间环境中进行的主动性活动。

这一定义限定了舱外活动是航天员在非压力(即真空)的环境或空间环境进行的活动,消弭了俄、美两国在舱外活动定义上的分歧,同时也已被世界上其他许多国家的航天机构所接受。

(3) 我国有关军用标准对 EVA 的定义

我国在载人飞船工程立项后不久,载人航天的管理部门就分别组织有关单位编制相应的名词术语国家军用标准:分别是载人航天工程办公室归口,航天科技集团五院负责起草的《载人航天工程术语》;总装备部司令部归口,航天医学工程研究所负责起草的《航天医学工程术语》。两个标准均对 EVA 作出了定义。

在 1995 年发布的国家军用标准《载人航天工程术语》(GJB 2496—1995)中,EVA 的定义是:航天员在航天器舱外的太空中进行的各种活动。

在 1997 年发布的国家军用标准《航天医学工程术语》(GJB 2969—1997)中,EVA 的定义是:航天员着舱外航天服到航天器舱外执行架设、组装、维修等任务的过程。

上述两项国家军用标准关于 EVA 的定义基本上是相同的,两者都明确规定了 EVA 是航天员在航天器舱外进行的活动。所不同的只是后者强调了航天员是在穿着舱外航天服的条件下进行舱外活动,同时还列举了 EVA 的几种典型任务。该两项国家军用标准中有关 EVA 定义的提出,既体现了我国载人航天领域标准化工作的自主性,也考虑了在载人航天名词术语方面与国际接轨。但是,随着时间的推移和人们对 EVA 认识的进一步深入,为便于科技工作者从 EVA 的工程实现和航天员训练的角度准确、全面地理解,编者认为上述两种定义可加以修订。

(4) 本书对 EVA 的定义

在上述定义的基础上,我们认为:EVA,汉语称出舱活动,是指航天员脱离母载人航天器或建在其他天体上的基地,依靠自身携带的生命保障系统,在太空中或其他天体表面上进行工作和活动,然后返回母载人航天器或建在其他天体上的基地的一系列过程的总称,母载人航天器包括飞船、航天飞机、空间站和登月舱等。

这个定义相对更为全面和准确。首先,它明确了航天员必需脱离母载人航天器或建在其他天体上的基地才算出舱活动,否则即便舱压降到舱外或基地外水平,也不算出舱活动,这符合人们对出舱活动的一般认识和期待;其次,它明确指出了出舱活动包括了在太空中的活动和在其他天体表面的活动,直接将月球等天体表面行走纳入了出舱活动,显示了定义的全面性和严谨性;再者,它指出了航天员依靠自身携带的生命保障系统走出其他天体上的基地也属于出舱活动,具有前瞻性;最后,它将出舱活动看成“过程”和“活动”,直接点出了其最明显的特征,便于人们对出舱活动的理解和把握。

(5) 由定义体现的出舱活动的特征

出舱活动的定义虽然简单,但它却包含了多层次的深刻含义,体现了出舱活动的基本特征。

① 航天员是出舱活动的主体

出舱活动是人的活动。进行出舱活动的是人,而不是机器人或任何其他动物。因此,在考虑出舱活动任务的设计、研制和试验中,必须坚持“以人为本”的理念,确保出舱活动中人的安全。

② 出舱活动是在太空中或其他天体表面进行的

航天器舱外或其他天体表面的环境对于人体来说是十分严峻和恶劣的,它包括真空或低压、冷黑、高低温、辐射和微流星体等各种对人体有害的环境因素,其中最主要的是真空或低压、高低温,人在真空或低压、高低温环境中是须臾不得生存的。因此,出舱活动的关键是航天员必须携带生命保障系统,而该系统必须能够较好解决真空或低压、高低温等条件下人的生存与防护问题。

③ 出舱活动是人的主动性行为

根据出舱活动的这个含义,当一个航天员虽然处于真空的空间环境之中,但他没有从事主动性的行为,也不能认为是执行了舱外活动。如上面提到的美国双子座4号航天员麦克迪维特,在怀特进行出舱活动时,他虽然也处于真空环境之中,但他被束缚在舱内的座椅上,只从事飞船的监视和其他舱内操作,并没有执行任何实质性的舱外操作,因此,他的活动不能被认为是出舱活动。

④ 出舱活动是一系列活动构成的动态过程

出舱活动是动态的过程,它包括航天员出舱准备执行舱外作业的过程、执行舱外作业的过程和从舱外返回舱内的过程。出舱活动是由这三个相互衔接的过程构成的一个整体。

1.1.2 出舱活动的分类

按照不同的标准,出舱活动可有多种分类方法,概括起来,主要有以下几种。

一是根据航天员出舱活动发生场所的不同,分为在太空中进行的出舱活动和在其他天体表面进行的出舱活动两类。前者也称太空行走(spacewalk),后者也称外星球漫步,如月球漫步(moonwalk)等。太空行走还可细分为在地球轨道上进行的太空行走和在深太空(如月球轨道上)进行的太空行走。到目前为止,只有阿波罗15号~阿波罗17号飞行任务指挥舱驾驶员在绕月飞行时进行了超出地球轨道的出舱活动。

二是按照航天员出舱活动目的和任务的不同,可分为验证类出舱活动、有效载荷操作类出舱活动、维护与维修类出舱活动、空间站装配类出舱活动等。

验证类出舱活动是指为了检验出舱活动系统的可行性和安全可靠,评价出舱活动系统或系统中某部分的能力而实施的出舱活动,如1965年3月18日苏联航天员阿列克谢·列昂诺夫(Aleksei Leonov)在上升2号飞船上完成的世界第一次出舱活动,1965年6月3日美国航天员爱德华·怀特(Edward White)在双子座4号任务中进行的美国历史上第一次出舱活动等。

有效载荷类出舱活动是指为了完成特定的科学试验而进行出舱活动,如航天员在月球表面采集岩石标本、进行月震测量、安装科学实验装置,航天员在太空中释放和回收卫星、安装和取回试验装置或样本等。

维护与维修类出舱活动是指为了维护或维修航天器而实施的出舱活动,如1984年5月4日苏联航天员出舱修理礼炮7号空间站整合推力系统液压分系统,1993年美国航天员

从航天飞机上出舱 8 次维修在太空中运行的哈勃太空望远镜,2005 年美国发现号航天飞机与国际空间站对接后航天员出舱检查、修补机腹位置的隔热瓦等。

空间站装配类出舱活动是指航天员在太空中像“搭积木”一样将组成空间站的不同功能模块(分别发射入轨)连接在一起。如目前正在建造的国际空间站由 6 个实验舱、1 个居住舱和 3 个节点舱构成,长 110 m,宽 88 m,质量 400 000 余 kg,需要航天员进行 160 余次的出舱活动方能完成组装。

载人航天活动早期,航天员一次出舱活动的目的和任务相对单一,容易依据出舱活动的目的和任务进行归类;而目前,在多数情况下,航天员一次出舱活动需要完成多种或多个任务,如,既进行出舱活动系统部分功能或部件验证,也进行有效载荷操作,甚至同时进行维护与组装作业,因此,依据上述方法不易进行归类,可称为综合类出舱活动或多任务类出舱活动。

三是按是否事先列入计划和时间的紧迫性进行分类,可分为计划内出舱活动、计划外出舱活动和应急出舱活动三大类。这是 NASA 采用的分类方法。

计划内出舱活动(Scheduled EVA),是指在发射前或执行任务前就策划好的,包括在飞行任务时间表内的出舱活动。

计划外出舱活动(Unscheduled EVA),是指在发射前或执行任务前未列入计划,不包括在飞行任务时间表内,但对于有效载荷试验和飞行任务的完成非常必要的出舱活动。

应急出舱活动(Contingency EVA),是指当发生应急情况时,需要航天员出舱作业,以确保乘员安全返回而实施的出舱活动。

应急出舱活动的显著特点是时间的紧迫性和出舱活动的结果对于乘员安全的重要性。显然,应急出舱活动属于计划外出舱活动的特例,但又不同于上面所述的一般性计划外出舱活动。一般性计划外出舱活动的时间具有可选性或相对从容性。

截至 2005 年底,在人类已完成的 230 余次出舱活动中,大部分(约占 EVA 总数的 70% 以上)属计划内出舱活动,其余均为计划外出舱活动,尚无 1 例应急出舱活动。

1.1.1.3 出舱活动的作用与意义

出舱活动是载人航天活动的重要组成部分,是人类开发利用空间资源不可缺少的技术途径。我们可以从以下几个方面理解出舱活动的作用和意义。

1) 航天员出舱活动可以对航天器进行必要的维修与维护,从而挽救航天器,确保飞行安全和任务完成。航天器的建造和在轨运营是各种高技术的复杂综合,其难度大、风险高,即使在地面进行了充分的研究和试验,在太空仍然会出现各种问题,其中有些影响到飞行安全和任务完成的问题必须依靠航天员进行维护与维修类出舱活动来解决。例如:1993 年,在太空中运行不久的哈勃太空望远镜出现了故障,如果不能及时更换一些部件,这个价值连城的航天器只能作为太空垃圾而被抛弃掉。关键时刻,靠的就是航天员从航天飞机上进行的 8 次、共 52 h 的出舱活动,更换了失效部件,终于使其能够以更高的精度和更长的寿命继续服役。再比如,2005 年,美国发现号航天飞机成功与国际空间站对接后,航天员进行了 3 次出舱活动,查看航天飞机机腹位置隔热瓦的破损情况,并进行了修补,从而预防了类似 2003 年哥伦比亚号航天飞机失事造成 7 名航天员罹难的惨剧。美国和苏联/俄

罗斯过去的航天经验充分证明了出舱活动对解决航天任务中没有预料到的问题,具有极其重要的意义和作用。

2) 航天员出舱活动可以搭建大型的空间站,可以到外天体上考察,从而推动空间技术发展,促进对空间的探索与利用。由于载人飞船、航天飞机在轨飞行时间较短且容积有限,限制了人类对太空的探索、开发和利用,因此,必须发展大型空间站(包括在外星球上建造太空基地)。依据现有的运载能力,空间站的建造只能是一个舱段一个舱段地发射升空,然后在空间进行组装。而空间组装离不开航天员出舱活动。例如,正在建造的国际空间站在组装时需要航天员进行约 160 余次出舱活动。只有建造了一定规模的空间站,才能携带必要的生命保障物品和科学试验设备,航天员才能长期驻留,开展多种多样的科研和生产工作,从而更好地探索和利用空间环境。另外,即使载人航天器着陆在外星球上,航天员不出舱也没有实际意义。可以说,苏联和平号空间站、美国天空实验室、登月工程,以及多国共同建造和运营的国际空间站所取得的巨大成就中均包含了航天员出舱活动的贡献。

3) 航天员出舱活动可以较方便地完成某些飞行任务(如抓取和释放卫星等),并充分利用太空高真空、高低温交变剧烈及辐射等特殊环境因素,开展科学研究。例如,美国航天员曾多次在航天飞机上进行出舱活动以释放或抓取卫星,据称用此方法发射和回收卫星可以提高效率,节约大量成本;美、俄航天员也多次进行出舱活动,在太空中或航天器外表面安装有效载荷试验装置,并回收试验样品,取得了大量很有价值的研究成果。

4) 航天员出舱活动是实施太空救援的必要手段。由于载人航天风险高且技术高度复杂,在太空中运行的载人航天器,如飞船、航天飞机、空间站等,出现严重故障,居于其内的航天员需要从中走出来,转移至另一个可供航天员正常生活和安全返回的航天器的可能性始终是存在的。另外,也存在正在执行出舱活动任务的航天员因为某种原因而无法自主返回母航天器的可能性。虽然,这些情况在迄今为止的载人航天中尚未发生,但本着以人为本、安全至上的载人航天最高准则,必须为这种可能性准备应对措施。实际上,上述情况发生后,唯一有效和能够采取的措施就是航天员进行出舱活动实施自救或互救。

总之,如果将航天员限制在舱内,就无法对航天器进行维修与维护,也不能建立容积更大的空间站和到外星球上漫步,更不能在航天员出现危险时进行有效救援,许多载人航天的任务和科学研究也将无法完成。或许有人认为,自动化系统或机器人可以替代航天员出舱活动。对于此问题,我们认为,一是到目前为止,现有的自动化技术尚不能达到所需的水平,而且过分依赖自动化技术将大大增加系统的复杂性,带来安全可靠性问题;二是人具有许多自动化系统无法比拟的优点,现代载人航天系统是人和自动化的有机、完美结合,航天员在其中发挥着巨大作用。在目前的技术条件下,如果缺乏航天员出舱活动,人类探索太空和利用太空的步伐将大大受阻。由此可见,航天员出舱活动对于航天事业和载人航天工程的作用不可或缺、意义重大,具有可观的科技效益、经济效益和社会效益。

1.1.4 出舱活动基本技术

出舱活动是航天员脱离载人航天器,到太空中或其他星球表面进行作业。出舱活动时,航天员面临下列环境因素:太空中或其他星球表面没有人类赖以生存的气压和气体,处于真空或低压状态,氧气缺乏;高低温变化剧烈,可从 +100 余℃ 迅速降到 -100 余℃;强烈

的太阳辐射、粒子辐射;随时可能遭遇微流星或空间碎片的撞击等。若不对这些因素进行防护,人是无法生存的,例如,在真空、低压、高低温交变情况下,人会因体内液体沸腾和缺氧而死,也会因不能耐受极端的高温或低温而死;若对这些因素防护不到位,则可能影响人的健康,如出现太空减压病等。另外,在舱外失重环境下人体运动和作业规律完全不同于地面,也有别于舱内,等等。

由于航天员在出舱活动时无法依靠航天器舱的防护,而且航天员在舱外作业过程中遇到的问题远比在舱内作业中遇到的问题复杂,因此,必须采用一些基本技术来保证出舱活动时航天员的安全和健康,并维持其一定的作业能力。这些基本技术包括航天员着舱外航天服在太空中的运动与控制技术、舱外航天服装备技术、气闸舱技术、出舱活动窗口选择与出舱活动程序设计技术及航天员出舱活动训练技术等。这些技术相互补充和协调,共同实现出舱活动航天员防护和维持航天员作业能力两大基本目标。

1) 航天员着舱外航天服在太空中的运动与控制技术。航天员在出舱活动过程中所处的是微重力环境,那么航天员在这种微重力环境下的运动特性如何,怎么利用这种微重力下的人体运动特性对航天员的运动加以控制,正是航天员着舱外航天服在太空中的运动与控制技术需要讨论的问题,从太空微重力环境的形成开始,由基本的运动定律建立起人体动力学方程,进而讨论人体运动特性和航天员运动控制等相关问题。

2) 舱外航天服装备技术。舱外航天服又称出舱活动装置,具有防护宇宙空间环境对人体的危害,为航天员提供所有的生命活动保障条件和作业活动功能,用于航天员在开阔的宇宙空间中工作,保证航天员生命安全与功效,是航天员出舱活动时必须穿用的个人综合防护作业(工作)设备。舱外航天服装备由舱外航天服、舱外航天服生命保障系统、舱外航天服监测与通信系统和航天员个人装具等组成。舱外航天服技术包括服装的结构、舱载和自主生命保障系统工作原理及服装使用特性等方面的内容。

3) 气闸舱技术。气闸舱是保障 EVA 安全有效的一个重要环节。航天员出舱活动前,在气闸舱内,进行从航天器座舱的标准大气环境过渡到纯氧大气、较低压力的航天服环境,而且也是航天员从空间返回航天器座舱的过渡舱,因此,也称为过渡舱。航天器座舱内大气压力为正常大气压力,在穿上较低压力的航天服之前,必须在气闸舱内吸氧排氮,否则,溶解在体内的氮气就会形成气泡而发生减压病。气闸舱的设计、尺寸和内部设备,应当能使航天员有效地进行出舱和进舱时所有必要的操作,能以最短的时间和尽可能小的负荷出舱和进舱。出舱活动用的所有必要装备都存放在气闸舱内。气闸舱内还装有必要的生命保障设备,使得在出舱前的航天服检测、吸氧排氮和其他准备工作期间,不消耗自持式生命保障系统内的消耗品。气闸舱内的操作应有备用方式,以防主要操作方式失灵,尤其是在返回时。例如,在和平号空间站上,就发生过舱门损坏的情况。气闸舱还可以用作对发生减压病的航天员进行紧急救治的高压舱。

4) 出舱活动窗口选择与出舱活动程序设计技术。出舱活动有不同的种类,每种任务的情况也不尽相同。不同种类出舱活动任务都需要提前考虑各种相关因素,并编排出科学、合理的出舱活动任务计划和实施细则,并将这些情况落实到航天任务指挥、各协同部门以及航天员的飞行手册中。经过几十年的发展,出舱活动任务的组织和策划已经日臻完善,国外在出舱活动窗口设计和程序设计上已经形成了一整套完整的体系。以国际空间站航天员飞行手册为例,在手册中已经将航天员着何种出舱航天服、何时、在何地、做何种工