

載人航天科普叢書

梁寶林 馬艷霞 編著 宇航出版社

載人航天的 安全與救生



内 容 简 介

人类征服太空是一项科学探险活动。近 30 年的载人航天史上,既有“狂欢的喜悦”,又有“悲伤的眼泪”。安全——这是航天员进入太空的保障。可不安全时怎样才能救生?

本书系统地介绍了航天员生命保障措施和航天各个飞行阶段的应急救生措施,也介绍和分析了震惊世界的几次航天事故、航天惨案发生的原因、经过和后果。

这是一本知识性强且又故事情节跌宕起伏的科普读物,适合于初中以上的广大青少年阅读。

载人航天科普丛书

载人航天的安全与救生

梁宝林 马艳霞 编著

责任编辑:姜明河

*

宇航出版社出版

地址:北京和平里滨河路 1 号 邮政编码:100013

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京科技印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/32 印张:2.5 字数:57 千字

1991 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—3000 册

ISBN 7-80034-372-3/V.042 定价:1.60 元

前 言

人类离开地球到太空或其它星体上生活,将是人类发展史上的又一次飞跃。这种活动领域的扩大,会对社会进步和物质文明带来突破性变化。但通往宇宙的道路并不平坦,从1961年4月苏联航天员加加林代表人类叩开宇宙大门以来的27年历史中,充满着坎坷与艰辛,有人形容它是一首由狂欢的喜悦与悲伤的眼泪交织在一起的“航天交响曲”。载人航天中的安全与救生是这首“交响曲”中的重点音符,它主宰着载人航天事业的成败。安全与救生是一个问题的两个方面,安全是进入太空的保障。太空不同于地面环境,缺乏人类生活所需要的条件,如氧气、水、食物和压力。因此必须建造一个适于人们正常生活的环境实体,这就是通常所说的载人航天器,包括飞船、航天站、登月(或登其它星体)舱、个人飞行器等等。在载人航天器中,生命保障系统是保障人体正常生活的核心技术,必须高度可靠、万无一失。救生是指当已经发生了故障或事故,人体受到生命危险时,为使航天人员脱离险境、转危为安所采取的急救措施。

安全与救生,其实质都是为使人在太空中正常生活和工作而采用的医学与工程技术手段。安全是预防性措施,是基础;救生是应急性措施,是补充。为了避免重复,本书的重点放

在救生方面,而对生命保障和安全性问题只稍加提及,以保持内容的连贯。

在编写中,航天医学工程研究所情报资料室和于喜海同志以及空间技术研究院 508 所的同志们,都提供了大量资料和参考意见,在此表示感谢。由于我们水平所限,编写不当之处,请广大读者多提宝贵意见。

目 录

前言

一、安全篇	(1)
(一)安全是载人航天的前提	(1)
(二)航天生命保障措施是安全的基础	(2)
(三)航天人-机-环境系统设计中的安全要求原则	(4)
1. 人的因素	(4)
2. 对“机”的安全要求原则	(5)
3. 对航天中不利环境的防护要求	(5)
(四)各类载人航天器的安全要求及措施	(6)
1. 载人飞船	(6)
2. 载人登月飞行器	(9)
3. 航天站	(11)
4. 航天飞机	(14)
二、救生篇	(17)
(一)载人航天中比较重大的故障与事故	(18)
(二)几起重大的载人航天事故	(22)
1. “壮志未酬身先死”	(22)
2. 欢迎会变成了追悼会	(25)
3. 一次成功性的失败	(28)
4. 太空中一场与死亡的搏斗	(33)
5. 联盟 T-10 号飞船遇险记	(35)
6. 震惊人类的“航天空难”	(36)
(三)载人航天中事故原因分析	(46)

1. 人为因素引起的事故·····	(46)
2. 工程技术上的错误造成的事故·····	(48)
3. 航天中环境因素引起的事故·····	(49)
4. 人-机-环境系统失调引起的事故·····	(49)
(四)载人航天事故可能造成的后果·····	(50)
1. 机毁人亡·····	(50)
2. 航天员死亡·····	(50)
3. 机毁人不亡·····	(50)
4. 飞行失败,航天员生命受到威胁·····	(51)
5. 影响部分飞行计划·····	(51)
6. 航天员不适(不舒服),影响太空作业·····	(51)
(五)载人航天各阶段的救生·····	(52)
1. 发射台及发射前阶段的救生·····	(53)
2. 起飞、上升阶段(主动段)的救生·····	(54)
3. 太空轨道飞行阶段(轨道段)的救生·····	(56)
4. 再返大气层阶段(下降段)的救生·····	(63)
5. 着陆后的回收与营救·····	(66)

一、安 全 篇

(一)安全是载人航天的前提

虽然人类征服太空是一项探险活动,但它仍然要以安全为前提,否则将一事无成。为了保证人在太空中生活的安全,航天技术专家、科学家、工程师和医学家们绞尽了脑汁,付出了辛勤的劳动。他们首先在地面上做了大量的太空模拟实验,对于将要送入太空的材料、器件、设备及一切有关物质,反复进行类似太空环境条件的考验;对于上天人员进行严格的选拔与训练,同时还做模拟太空生活的环境实验。在取得相当数量可以信赖的数据之后,才研制以安全为目的的载人航天器系统。载人航天器在太空中自成体系,因为在这个密封式的微小环境中,有着一套保障生命的措施和环境控制系统,所以它可以使航天人员在太空的失重、高真空、温度交变和强粒子辐射等环境中生存;它给航天人员提供类似地球上的一切生活条件——足够的压力与氧气,适合人体的温度、湿度环境,充足的水、食物和能源,空气净化和废物处理等卫生条件,同时也设置了一旦发生意外所需要的应急救生装置与措施。所有这一切条件,对于在太空中生活的航天人员来说都至关重要,

无论哪个环节出现问题,都会威胁他们的生命。所以载人航天器必须高度可靠,万无一失。它的安全与可靠性决定着太空探险和人类向太空进军的成败。

载人航天器的发射不是孤立的,它与运载工具(火箭)、发射装置、测控设备和搜索救援工具等一道组成载人航天的大系统,这个大系统中任何故障都会影响航天人员的安全。此外,在太空飞行过程中的安全还取决于航天人员本身的素质,即适应性,应变能力以及训练水平;还决定于航天人员、载人航天器、航天特殊环境之间的配合,即航天中人-机-环境系统总体性能的配合与协调。研究载人航天安全问题的理论称为“航天安全理论”,它是专门研究载人飞行中对航天人员生命与健康构成危害的危急情况和处理措施的一门学问。这一学科的相关科学有:可靠性理论、航天医学、航天医学工程学、航天人机工程学、航天人-机-环境系统工程、大系统理论和教育学等等。这门科学的中心任务是:精心制定分析方法,制定具体安全标准和定量评估方法,研究危急情况的预测、预防和识别故障与事故的原则,研究使危急情况局部化和予以消除的原则,研究发生航天事故时对航天人员救护和营救的原则与具体措施等。

(二)航天生命保障措施是安全的基础

载人航天器中的生活保障系统和微小环境控制技术,是保证航天人员在太空中正常生活的基本措施,是载人航天安全的基础。

在载人的密封舱里,首先要造一个与地球人生活相类似

的人工大气环境,并维持一定的大气压力,舱内的空气组成取决于压力制度。若选用1个大气压(约100千帕),则舱内空气组成就和地球表面一样,其中氧气占21%,苏联研制的各类载人航天器都采用这种制度。若选用四分之一大气压力,为保证航天人员所需要的氧气,其空气组成就是单一的纯氧,这不安全,美国最初的几个载人航天器采用了这种压力制度,曾发生过火灾。理想的压力制度是在保证人体需要的氧气条件下,压力越低越好,因为压力低,载人舱内外的压差小(因太空是无压状态),向空间泄漏的气体就少,可使带入太空的气体储备量减少,从而减少运载火箭的推力和载荷量。在载人舱内还要创造适合于人体需要的温度、湿度和净化空调等卫生环境,一般温度在18~25℃为最佳,相对湿度为30~70%为宜。座舱卫生条件要求也比较严格,在这样的狭小环境里,每天乘员的排泄物,如尿、便、呼出的二氧化碳和人体代谢产物、工程部件及材料的挥发性产物等,都要及时排除,否则就会给人体带来不利影响,甚至危及生命。生活条件的重要内容是水和食物,人体每天需要的供水量最低为2.5千克,供食标准除满足身体营养外,主要是人体热量的供应,每人每天要从食物中提供2000~3000大卡(1大卡=4187焦耳)的热量,在航天中对食物的要求是体积小、重量轻、营养成分齐全、易消化吸收、少残渣而又能长期保存。

生命保障措施的另一部分是包括头盔在内的航天服系统,它和载人航天器座舱一样,是一套小而全的生命保障系统,是一套自行控制的微小环境,其中包括供氧条件、气体成分、压力控制、温湿度调节、能源供应等等。航天员能在月球上或太空中行走,脱离飞船母体单独作业,就是靠这套服装来保障其生命安全的。

除了上述生命保障措施外,还需要一套相对应的环境控

制技术措施,以便在载人航天器发射前、发射中、轨道飞行和返回地球各个阶段里,维持和控制舱内正常生活条件。对上述所说的舱内压力、温度、湿度、供氧量、二氧化碳浓度和舱内有害物质,按标准进行严格地控制。比如说,应该按时按量供应座舱氧气,如果控制系统发生故障,不能给氧,其后果是可以想象的,又例如排除废物措施失灵,造成载人舱内臭味弥漫,或二氧化碳增多,也会造成人员轻者不适,重者丧命的后果。

(三) 航天人-机-环境系统设计中的 安全要求原则

为了在航天过程中保证人员的安全,要尽量从各个方面作精细的考虑和安排,世界 27 年载人航天的实际经验表明,下述几个方面为重点考虑因素。

1. 人的因素(对航天人员的要求)

①航天员必须训练有素,健康状况无可挑剔,特别是救生技术训练要合格,掌握在遇险时自我救护和相互救护的方法与知识;

②必须熟悉载人航天器的结构及其功能原理,特别要熟悉应急救生装置的结构和使用方法及程序;

③必须有在不利因素作用下能有效工作的能力,并有发现、鉴别和摆脱应急情况的高度职业品质和应变能力;

④必须具备在应急情况下的适应素质,快速而准确地使用与操纵一切应急救生装备及救生工具;

⑤航天员在航天中的一切活动要严格遵守舱内规定,在紧急情况下的行为活动必须与地面指挥之间密切合作,不准

许有越轨现象。

2. 对“机”的安全要求原则(对载人航天器大系统设计的安全要求原则)

①载人航天器内部结构不能有引起航天员和航天服机械损伤的锐角、棱角、危险的伸出部位和活动元件；

②要把载人舱划分成能独立地保障必要的大气压和气体成分的若干个单间舱；

③结构布局与性能,要确保航天员平时活动方便,应急时便于操作,直到被营救时为止；

④电缆的连接及执行主要任务职能的燃料管道应能防爆、防火、防真空和防腐蚀；

⑤装有爆炸危险材料的容器、高压器皿及有挥发性气体的容器,要远离航天员的生活区所,并要有安全防护措施；

⑥载人航天器的材料及结构,要有防陨石颗粒击伤和防辐射性能,有耐热、耐火性能,在高温、低压条件下,不应散发出有毒物质；

⑦航天器内要清除潜在的易燃源,防止压力升高和过热的可能性,并在航天员生活区域里设置消除有毒物质和灭火的设备；

⑧要保证有各类应急救生装备和工具,如航天服系统、应急跳伞装置、个人逃逸装置,并有备份的水、食品和能源；

⑨返回时应有足够的减少冲击力的措施,溅落后要保证姿态稳定,并能及时得到营救。

3. 对航天中不利环境的防护要求

①载人航天器发射时,要安装避雷器,以防雷击；

②发射与返回的时刻,要选择良好的气候条件,避开暴风、雷雨等不良天气；

③对太空的辐射防护,要考虑到太空轨道的选择、发射时

间的选择,以尽量回避太空辐射带的影响;

④火箭起飞、航天器返回中,对冲击力、加速度、噪声、振动等环境因素,要有一定的防护措施;

⑤在太空出舱活动时,应设有防太空紫外线照射和微陨石袭击的防护装置;

⑥在太空飞行中要有对抗微重力(失重)的有效措施。

(四)各类载人航天器的安全要求及措施

所谓载人航天器,前已讲过,它是一种能把地球上的人送入太空的飞行装置。已发射过的类型有飞船、登月飞行器、航天站(也称空间站、轨道站或太空站)和航天飞机等。为了飞行全过程的安全,除前述涉及到航天大系统中的防护措施要求外,还涉及到某一特定型号航天器的发射、飞行和返回过程中所遇到的特殊意外因素的防护问题。所以,当进行某一具体载人航天器飞行实施时,从方案计划到实际飞行都要按原则要求从安全角度慎重考虑与安排,事先设计一些一旦发生问题时的救生方案和营救措施,以达到万无一失。

1. 载人飞船

载人飞船是最早实现载人航天的太空飞行器。苏联共发射了东方号、上升号和联盟号3个系列的载人飞船,联盟号又分为3个系列的改进型飞船;美国共发射了水星号、双子座号与阿波罗号3个系列的飞船。飞船这类载人航天器的基本特点是飞行时间相对短些,返回地球时只是载人舱返回,其它如服务舱与运载工具等都抛弃在空间。它在飞行中有比较好的姿态调整和机动飞行性能。飞船发展到今天,除能载人飞行,在太空轨道上完成各种科学实验及观测活动外,还可作为运

输工具来往于地球与载人航天站之间和来往于各航天站之间。

正因为飞船是最初的载人航天器,所以它在安排和考虑安全因素时比较慎重。在未进行载人飞行之前,先发射无人飞船和动物飞船,苏美两国都是这样做的,在取得可靠资料之后,才正式上人。

①苏联东方号飞船,共发射了6艘,每艘飞船只乘1人。其飞行时间从1小时48分到4天23小时零6分不等,都没超过5天,但它的生命保障系统的设计能力是可以保证1名航天员10昼夜飞行用的,其保险系数为几倍。为避免在发射上升与返回再入大气层阶段火箭推力的高过载力,航天生物医学专家们给航天员选择了适当的姿态角度。航天员所穿用的航天服也是经过精心研制的,它是一套微型生命保障系统,如果飞船漏气,这套服装可自动换成自主的供氧和压力系统,以保证航天员的安全。航天服在设计上还考虑了降落在沙漠地区时的防热能力,降落在寒区的防寒功能,降落在水上有飘浮起来的功能,以便于救生。这套服装在地面上曾模拟各种可能发生的意外,做过大量的实验,在取得大量的安全可靠资料后,才使用于载人飞行。

②苏联上升号飞船,共发射了两艘5人次。在发射上升与返回阶段的安全救生措施也考虑得比较周全,在飞船上设置了弹射救生装置,这套装置包括弹射座椅、火工弹射品、降落伞系统、氧气瓶、无线电收发报机和在不良条件下着陆用的各类救生物质和生活用品等。有了这些装备,无论飞船在发射台上,或上升与返回时发生意外,均可跳伞逃生。苏联上升号飞船的总体设计基本上与东方号相类似,由于增加了航天员数量(2~3人),在相信飞船可靠性的基础上,飞船上取消了弹射救生系统,这实际上是一种冒险行动。飞船增强了航天服系

统的设计,形成相对独立的生命保障系统,用脐带形式与飞船母体连接,实现了人类第1次太空行走,航天员列昂诺夫在太空停留了37分钟。

③苏联第3个飞船系列是联盟号飞船,到目前已有2次改型,除能执行单独飞行任务外,还可以在轨道上互相对接成联合体,可以与载人航天站对接成为航天站系统的一部分,也可用来作运输飞船或救生飞船,是一种多用途的载人航天器。飞船结构设计上有两个生活舱段,自由空间总共有9平方米以上,其生命保障系统与措施可供3名航天员生活1个月的时间。飞船上增加了应急救生逃逸系统,如在发射后发生事故,它可使航天员乘坐的载人舱快速与火箭分离,脱离危险区域。在返回大气层时用的降落伞系统逐渐增加了备份。在飞船发射指挥与管理系统程序上也加强了安全工作。因为在追查载人飞船发生事故的原因时发现,并不单纯是飞船本身的问题,往往是综合因素,所以安全保证不仅取决于装在飞船上的各类安全措施,更要取决于接收与处理来自飞船上各个系统工作信息的地面指挥控制工程系统。因为飞船在飞行过程,如绕地球飞行、发射与返回阶段中每一个时刻,包括紧急情况的处理,都是由地面指挥与控制人员进行计算、处置、指挥和采取决策行动的。

④美国第1个飞船系统是水星号,共发射6艘载人飞船,其中有两艘是亚轨道飞行。水星飞船是乘载1名航天员的载人航天器。它装有两套生命保障系统,飞船采用直径19.2米的单具降落伞系统在水上溅落,飞船上还增设备份降落伞,在返回接近地面时把底部防热罩抛去,着陆缓冲气囊充气涨开,以缓冲溅水速度所产生的冲击危害。在发射起飞阶段发生事故时,也可使用应急弹射救生系统。总之,美国水星号飞船是它第1个载人飞行系列,它的安全要求与措施,同苏联第1个

载人飞船一样,得到重视。船上救生物资齐全,还有航天员手动控制系统,以防止自动系统失灵。

⑤美国双子座飞船是它发展载人航天的第2个型号飞船,共发射10艘。其生活保障系统除有备份设计外,还采用燃料电池提供部分氧气。飞船结构适用于2人飞行,装有两扇带观察窗口的舱门,以便在紧急情况下打开这两扇门,将航天员连同座椅弹出。正常返回时利用飞船降落伞系统溅水着陆。降落伞分减速伞、主降落伞和备用伞。双子座飞船也备有手控系统,以防万一。

⑥美国第3个飞船系列是阿波罗飞船,它是3人乘的飞船,基本任务是登月,同时也是美国第1个航天站(天空实验室)的运输飞船,也是同苏联的联盟号飞船在太空轨道上对接联合飞行的飞船。其生命保障措施、安全要求以及应急救生设备都与登月计划有关,故放在下节介绍。

2. 载人登月飞行器

载人登月飞行器也是载人航天器的一种类型,按飞行时间和任务目标不同,可分为月球探测飞船、月球轨道站和月球基地。目前已实现登月的飞行器,只有美国阿波罗系列。1969年7月人类登上月球,采用的是登月舱系统。为了保障飞行和登月的安全,阿波罗飞行器的基本结构是由救生塔(也称逃逸塔)、指令舱(飞行器的主体)、设备舱(服务舱)和登月舱几个部分组成。如果没有登月任务,可不带登月舱。救生塔是在起飞到60千米处时的脱险装置,安装在指令舱顶部,正常飞行时,上升到80千米处就将它抛去。指令舱是整个飞行器的主体部分,在飞行过程中航天员一直生活在这里,飞行器主要控制部分也集中在这里,航天员生活保障系统(如环境控制、供水、供食和供氧以及排除废物等)可供维持14天预定飞行和4天应急飞行之用。设备舱内装有环境控制、电源、通讯、跟

踪、制导和姿态控制发动机等设备,是飞行器的后勤供应基地。登月舱是登月飞行器的特殊部分,它由上升段和下降段两部分组成,下降段含有软着陆发动机装置,保证在月球着陆;上升段是将航天员从月球表面接回到绕月球飞行的指令舱中的飞行器,航天员在月球表面时,除月球表面作业活动外,主要生活在此舱中,因此,此舱也有1套生命保障及微小环境控制系统。设计指标是保证工作49小时。

美国阿波罗登月飞行器系列,共发射载人飞船11艘,其中6艘已实现了登月,1艘登月失败,4艘是登月准备及探测飞船。为了飞行安全,美国国家航空航天局和航天技术专家们费尽了脑筋,他们专门成立了安全处,专门统一负责指导与协调安全保证工作。在制定飞行方案时,就提出了关于安全飞行的总则和具体安全的定量标准,这对保证飞行和航天员的安全起着重要作用。按照这些要求,完成往返飞行的成功概率要达到99.5%。在设计上要保证整个飞行器各个系统有高度的可靠性,并在所设计的各个分系统的职能结构上都具有备份,分系统中首要保证的是生命保障系统、发动机装置、电源系统、飞行控制系统和地面控制的通讯联系的可靠性。这些分系统如发生问题会直接影响飞行的成败及航天员的生命安全。

为了飞行各阶段的安全,相应地设计了安全装置和安排了具体应急措施。如在发射前30分钟到发射后3分钟这段时间里发生意外,就利用救生塔把航天员乘坐的座舱弹出去以保证乘员安全,同时还在发射塔架上设置了高速电梯、缆车和专用地道——斜槽,使航天员快速离开现场。在登月前的轨道飞行阶段还有一套应急中止飞行并返回地球的安排。在登月过程中的安全考虑更周密,当飞行器接近月球时,航天员要借助设备舱中的巡航发动机将飞行器转变到月球轨道上飞行,这种发动机可靠性极高,它在地面上经过了长时间的多次发

动试验,证明可靠,才用于实际之中。飞行器进入月球轨道之后,登月舱与母体分离,即与飞行器的指挥舱分离,下降到登月轨道,这时航天员处于一个新的危险环境之中,因为登月过程和从月球上再起飞都存在着可能失败的危险,这就要通过飞行器各个分系统备份设计和可靠性来保证其安全以避免发生意外,在程序设计上还有一套随时返回月球轨道与飞行器主体对接的程序安排,以防止登月失败后的事故。

总之,美国在发展与研制阿波罗登月飞行器的计划中,对它的安全与可靠性极为重视,他们在飞行器结构设计、航天员生命保障措施、应急救生及故障可能性、地面试验、系统管理和检验、质量评估和有效控制程序等 6 方面,都做了比较精细的安排与设计。虽然在全过程中也发生了一些事故和故障,甚至死了 3 名航天员,但总的来说,计划是成功的,实现了人类多少年来的登月愿望。

3. 航天站

航天站也称空间站、轨道站或太空站,它是一种能较长期在太空停留的载人航天器。它可一次发射成功,或多次发射后在太空组装而成。发射时不载人,航天员乘飞船在太空与其对接后,进入站内生活和工作。航天站经过一定时间的飞行之后,基本上是落入大气层烧毁或成为“太空垃圾”,不回收。航天员在航天站内活动的安全问题,主要是指在太空飞行中的安全保障问题。因此,除航天器本身结构和安全设施外,还要考虑太空辐射、微流星冲击和长期失重等因素的影响。对太空辐射的防护有 2 个办法,一是选择低于太空“内辐射带”的轨道飞行,以利用地球磁场来防御太阳微粒辐射作用,二是加大和加厚航天站外层结构,以形成良好的防护屏障,这种结构也能防止微流星的撞击。微流星群不仅能击穿航天站的密封座舱,造成舱内漏气,而且还能侵蚀舱体表面,降低其结构材料