

航天安全指南

[苏] Г. Т. 别烈高沃依
В. И. 亚罗波洛夫
И. И. 巴拉涅茨基
В. А. 维索卡诺夫
Я. Т. 萨特罗夫

著

航空工业出版社

V528
1002

航天安全指南

Г.Т.别烈高沃依 В.И.亚罗波洛夫
〔苏〕 И.И.巴拉涅茨基 В.А.维索卡诺夫 著
Я.Т.萨特罗夫

孙治邦 周侗武 孙荣科 译
纪绍钧 校



30159272

航空工业出版社

1991

695430

内 容 提 要

本书论述了对航天器乘员组具有危险性的特征和人能承受不利因素影响特征。给出了航天飞行安全性的共性指标和个性指标。对航天器的结构、系统、材料以及机载和地面所用的安全保障设施提出了安全性要求。叙述了在研制、试验和使用航天装备过程中保障安全性的方法。

本书适用于从事载人航天器研制、试验和使用的专业科技人员。

航 天 安 全 指 南

Г.Т.别烈高沃依 В.И.亚罗波洛夫
〔苏〕 И.И.巴拉涅茨基 В.А.维索卡诺夫 著
Я.Т.萨特罗夫

孙治邦 周佩武 孙荣科 译
纪绍钧 校

航空工业出版社出版发行
(北京市和平里小关东里14号)

— 邮政编码: 100029 —

全国各地新华书店经售
北京市朝阳区新源印刷厂印刷

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷
787×1092毫米 1/16 印张: 13
印数: 1—600 字数: 330千字

ISBN 7-80046-358-3/V·080

定价: 12.00元

前 言

在航天技术发展的现阶段，载人飞行的持续时间不断增加。这就使航天器乘员组安全性保障问题的重要性显著增大。航天飞行安全性保障之所以达到了高水平，是由于航天装备研制、试验和使用的过程中实现了科学研究和专家积累经验的一系列措施。但是，由于指导性技术文件、规范性技术文件、国家标准、部颁标准、科学出版物和教学参考资料有不同程度的倾向性，并且缺少共享性，故有必要将上述资料加以综合归纳，编著一本航天安全性出版物，作为参考书供从事研制、试验、使用载人航天器的专业人员参考。

与其他技术部门从事安全性保障的一些专业人员的接触表明，他们也碰到了类似的问题。因此著者希望本书也对他们，至少在方法论上有所裨益。

为了便于使用，本书以问题为原则编著而成。这种编著方法可以使读者对感兴趣的问题得到充分满意的回答，且不致为查询所需资料花费很长的时间。本书内容是根据火箭-航天器综合体的寿命周期的各个阶段来编排的，故叙述上有连贯性。但是，第1章例外，该章是帮助专业人员了解与航天器安全性保障有关的问题，并给出了人在航天飞行中存在危险性的知识。

参加本书编著的有Г.Т.别烈高沃依（第7、10章），В.И.亚罗波洛夫（第1、3、5、7、8、9、11章及附录4），И.И.巴拉涅茨基（第2、4、6、10章及附录1、2、3），В.А.维索卡诺夫（第5章和附录4）和Я.Т.萨特罗夫（第2、3章）。

在编著本书的某些章节时，给著者以很大帮助的有И.В.达维多夫工程师和Ю.П.季莫菲耶夫工程师（第10章），Б.И.科柳奇考夫技术科学硕士（附录2）和В.В.马休辛技术科学硕士（第6章），О.М.斯米勒诺夫工程师（第4章及附录1）、Ю.Б.考斯尤尔卡工程师（第5章）和Н.А.费拉托夫工程师（第10章插图）。著者对В.В.恰洛穆仔细审阅手稿表示深切的谢意。

缩 写 词

- АЗ — аварийный запас 应急储备
- АС — аварийная ситуация 应急状态
- АСКА — аварийно-спасательный космический аппарат 应急救生航天器
- АСУ — автоматизированная система управления 自动控制系统
- БД — бортовая документация 机载文件
- БКП — безопасность космических полетов 航天安全性
- БС — бортовая система 机载系统
- ВПП — взлетно-посадочная полоса 起飞着陆跑道
- ГКИ — галактическое космическое излучение 银河宇宙辐射
- ГО — головной обтекатель 头部整流罩
- ДУ — двигательная установка 动力装置
- ЖРД — жидкостный реактивный двигатель 液体火箭发动机
- ИРПЗ — излучение радиационных поясов Земли 地球放射带辐射
- ИСВ — излучение солнечных вспышек 太阳耀斑辐射
- ИСЗ — искусственный спутник Земли 人造地球卫星
- КА — космический аппарат 航天器
- КК — космический корабль 航天船
- ККМИ — космический корабль многоразового использования 重复使用型航天船
- КПОВ — комплексная программа обеспечения безопасности 安全性综合保障程序
- КС — катастрофическая ситуация 人身事故状态
- ЛКП — летно-космическое происшествие 航空航天失事
- МСКА — межспутниковый космический аппарат 卫星间航天器
- НАЗ — неприкосновенный (носимый) аварийный запас 非常应急储备
- НКУ — наземный комплекс управления 地面控制综合体 (中心)
- НШС — нештатная ситуация 意外状态
- ОАД — обобщенный алгоритм действий 动作的广义算法
- ОГБ — отделяемый головной блок 可分离的头部组件
- ОИП — субъекты искусственного происхождения 人造航天物体
- ОПС — опасная ситуация 危险状态
- ОС — орбитальная станция 轨道站
- ОСТ — отраслевой стандарт 部颁标准
- ОТТ — общие технические требования 通用技术要求
- ПДК — предельно допустимая концентрация 允许浓度极限

ПДС	постоянно действующая система	永久工作系统
ПКА	пилотируемый космический аппарат	载人航天器
ПОБ	программа обеспечения безопасности	安全性保障程序
ПСК	поисково-спасательный комплекс	搜索救生综合体 (中心)
РКК	ракетно-космический комплекс	火箭-航天器综合体
РКС	ракетно-космическая система	火箭航天系统
РН	ракета-носитель	运输火箭
СА	спускаемый аппарат	降落舱
САС	система аварийного спасения	应急救生系统
СВ	солнечная вспышка	太阳耀斑
СЖО	система жизнеобеспечения	生活保障系统
СК	стартовый комплекс	发射综合体 (中心)
СКИ	солнечное корпускулярное излучение	太阳微粒辐射
СП	стартовая позиция	发射场
СПК	средства подготовки космонавтов	宇航员训练设施
СТР	система терморегулирования	调温系统
ТГК	транспортный грузовой корабль	货运飞船
ТЗ	техническое задание	技术任务书
ТЗК	теплозащитный костюм	保温服
ТК	транспортный корабль	运输飞船
ТМИ	телеметрическая информация	遥测信息
ТСПК	технические средства подготовки космонавтов	航天员训练技术设施
ТТЗ	тактико-технические задания	战术技术任务书
ТТТ	тактико-технические требования	战术技术要求
ЦУП	центр управления полетом	飞行控制中心
ЧПОБ	частная программа обеспечения безопасности	安全性个人保障程序

目 录

前 言

缩写词

第1章 概述 (1)

1.1. 航天安全性的主要学科领域 (3)

1.2. 影响乘员组的危险性因素 (7)

1.3. 应急状态出现原因 (18)

1.4. 危险源 (21)

1.5. 人对忍受不利因素影响的能力 (22)

第2章 宇宙飞行安全性指标 (32)

2.1. 在飞行中航天器乘员组安全性水平定量评估方法论 (32)

2.2. 安全性概率指标 (40)

2.3. 安全性统计指标 (41)

2.4. 安全性局部指标 (49)

第3章 飞行安全性要求的任务 (57)

3.1. 飞行安全性水平的定量标定 (57)

3.2. 飞行安全性任务的定性标定 (61)

第4章 航天器乘员组安全性保障的要求 (62)

4.1. 概述 (62)

4.2. 在发射段和进入轨道段乘员组安全性保障的要求 (64)

4.3. 在轨道飞行中乘员组安全性保障的要求 (64)

4.4. 在下降段和着陆后乘员组安全性保障的要求 (68)

4.5. 安全性保障对航天器结构及其系统的要求 (69)

4.6. 安全性保障对材料选择的要求 (71)

4.7. 外部介质不利影响引起的要求 (71)

4.8. 对乘员组在舱内活动安全性的要求 (71)

4.9. 对航天员选拔和培训的要求 (72)

第5章 载人航天器设计、试验和使用中飞行安全性要求的评估论证程序 (73)

5.1. 航天器研制过程中安全性要求的一般论证程序 (73)

5.2. 设计过程中安全性要求评估论证的特点 (74)

5.3. 安全性指标值的评估程序 (74)

5.4. 实验演示和地面试验中安全性要求的论证 (79)

5.5. 根据以往航天飞行结果对航天器乘员组安全性保障评估的特点 (79)

5.6. 火箭-航天器综合体是否符合安全性保障定性要求的评估 (80)

5.7. 意外状态下航天员动作训练大纲的评估特点 (80)

5.8. 飞行安全性概率指标估算方法	(80)
第6章 安全性保障大纲	(84)
6.1. 总则	(84)
6.2. 对安全性保障大纲的基本要求	(84)
6.3. 大纲主要章节的内容	(85)
6.4. 航天器综合体从研制到使用各阶段的安全性保障措施	(87)
第7章 意外(应急)状态下航天员动作的训练	(93)
7.1. 训练的目标、课目、阶段和内容	(93)
7.2. 航天员训练用意外(应急)状态的组成	(99)
7.3. 航天员训练的原则	(100)
7.4. 制定综合练习器和专项练习器训练大纲的原则	(101)
7.5. 制定练习周期表的原则	(104)
7.6. 训练过程中意外状态输入方法	(108)
第8章 航天器飞行试验和使用过程中飞行安全性的保障方法	(109)
8.1. 意外(应急)状态的发现与判定	(109)
8.2. 出现意外(应急)状态的预测	(113)
8.3. 未预见意外(应急)状态的识别	(116)
8.4. 意外(应急)状态下乘员组及地面控制中心人员动作的一般算法	(120)
8.5. 有效保障航天安全性用模拟器、练习器及仿真器的使用方法	(125)
第9章 应急救生系统的操作	(129)
9.1. 应急救生系统的使用	(129)
9.2. 乘员组在轨道上的救生	(130)
9.3. 对应急救生航天器的要求	(134)
9.4. 可重复使用的航天飞船的乘员组救生概述	(135)
第10章 载人航天器强迫着陆后保障乘员组的生存问题	(138)
10.1. 不同气候地理区的特点	(138)
10.2. 生存保障方法	(143)
10.3. 生存手段	(151)
第11章 事故和人身事故调查	(155)
11.1. 事故和人身事故调查的组织	(155)
11.2. 事故和人身事故调查的方法问题	(158)
附录1 航天安全性术语和定义	(162)
附录2 乘员组保护装置	(165)
附录3 航天员救生手段	(181)
附录4 航天安全性评估方法	(193)
参考文献	(198)

第1章 概述

在研究航天安全性(БКП)问题时,采用的基本原则是系统原则,即必须考虑系统的所有组成部分:人员、技术设施和周围介质。

人员是指参加航天安全性保障工作的各组人员:

从事航天安全性问题研究的科学工作者;

从事载人航天器(以下简称航天器)总体设计时需要考虑航天安全性要求的设计工作者;直接从事制造航天装备和实现航天安全性保障设计方案的生产人员;

飞行教官和医务人员,负责航天员的选拔、乘员组的配备及乘员组的航天飞行训练,包括意外状态和应急状态的动作训练;

发射场技术维护和发射人员,负责实施运载火箭(ПН)和载人航天器(ПКА)的发射准备、发射和轨迹主动段的飞行控制;

航天器乘员组,负责与飞行控制中心(ЦУП)共同控制航天器在正常功能状态下和在意外状态下的飞行;

地面综合控制中心人员,负责与航天器乘员组共同控制航天器在正常功能状态下和意外状态下的飞行;

搜索救生中心(ПСК)人员,负责实施航天器乘员组撤离正常着陆、应急着陆和强迫着陆的地点;

航天器事故和失事调查委员会人员。

上述各组人员在航天安全性保障中都起着双重作用:一方面他们为问题的解决提出具体的有益的建议;另一方面造成航天飞行的危险性,例如,由于自己失误造成的危险。最后,某些小组可能遭到航天飞行危险性的影响。在保障航天安全性的范围内应当研究航天器乘员组和发射场人员安全性的保障。但是,航天飞行也可能对废火箭组降落区和废级运载火箭降落区的居民造成危险性,也可能对从其它天体返回、潜在有生物威胁和需要检疫的航天器进行维护的人员产生危险性。考虑到航天安全性保障中的主要问题是航天器乘员组的安全性保障,故两个概念在本书后面的叙述中被看作是同义语。

技术设施是指对航天安全性产生影响的技术设备。包括:

生产设备,用以制造航天器,并保证其可靠性和安全性水平;

试验设备,用以检验设计方案的正确性,以及保证对火箭-航天器综合体诸仪表、附件、系统和部件等功能可靠性和安全性的评估;

技术训练设施,用以使航天器乘员组获得知识、技能和在正常功能状态下和意外状态下的处理能力;

发射场技术维护和发射区的设备,用以检查运载火箭和航天器各系统的工作能力,填充运载火箭和航天器燃料组分和气体组分,进行机械装配工作,保证发射前进入完备状态,保证运载火箭同航天器一同发射和保证乘员组在发射场上发生事故时及时脱离航天器;

运载火箭,用以保证航天器及其乘员组被送入轨道;

航天器,用以保证乘员组的生活和工作条件,保证乘员组完成飞行程序预先规定的任务(包括可能出现的意外状态)及保证乘员组的安全;

航天器乘员组在进入轨道、轨道飞行和脱离轨道时的救生设备;

地面控制中心设施,用以取得与航天器的联系,处理来自航天器的信息,发现和判定意外状态,以及在正常飞行状态下和意外状态下向驾驶舱发送控制指令及其它控制信息;

搜索救生中心设施,用以精确确定正常着陆地点或强迫着陆地点,迅速向着陆地点输送救生脱险小组。

服务于航天安全性保障的上述技术设施也起着双重作用:一方面,参与飞行的技术设施如果发生故障可能引起应急状态,并对乘员组或发射场发射人员造成直接威胁;另一方面,这些设施又能保证对应急状态的出现发出警报,保证应急状态的发现、判定、隔离或排除,也可以保护乘员组免受不利因素的影响,继续生存或得以营救。

周围介质 是指对安全性产生直接影响的周围介质因素,其中包括:

噪声,指运载火箭发射时,进入轨道段和脱离轨道段产生的高声压级噪声,以及轨道飞行过程中的较低声压级噪声;

振动,指航天器进入轨道段的振动;

过载,指航天器进入轨道时、应急救生系统动力装置接通时、利用弹射时、下降中经过大气层时、降落伞系统开动时、软着陆发动机起动时、在硬石土路跑道上接地时、接地后降落舱(CA)撑伞触地时产生的过载;

辐射,指宇宙辐射、航天器核动力装置和动力装置辐射以及地球人造放射带辐射;

偶现的流星体和宇宙质点;

人造航天物体:航天器、末级运载火箭、有效载荷分离装置,以及上述物体爆炸和碰撞所形成的碎片;

温度,指轨道上热平衡遭到破坏时、发生火灾时、航天器经过大气层时、下降时、在热气候区或冷气候区接地时的温度;

压力,指航天器的气密性在宇宙中遭到破坏时或高压气体容器密封情况下的压力;

轨道飞行过程中失重;

航天器座舱内的大气成分;

毒性物质:新陈代谢物、结构材料分泌物、航天器工艺过程中有害废料、火灾中的燃烧物以及火箭燃料和工艺液体透过不密封的填充物渗出的蒸气和浮质;

电路的高电压;

航天器溅落时的水;

发射区、正常着陆区和应急着陆区的气候条件(风、雨、冰、雹、雷雨、结冰、风随高度的递减率、能见度)。

上述周围介质因素无论对航天飞行中的乘员组还是对技术设备都有影响。

航天飞行的特点是:有不同专业的大量专业人员参加;利用大量各式各样复杂而高价的装备;有各种不同的不利因素对乘员组和航天器产生影响;航天飞行成功有很大的社会意义。这就需要对航天安全性保障的决策进行严格的科学论证,对这方面所有工作进行很好的组织,创造有潜能的航天安全技术。乘员组要能忍受航天飞行的不利因素,能在危险条件

下积极有效地工作,在使用航天设施过程中能迅速发现和正确判定应急状态以及及时采取果断的行动克服应急状态。而且,所有这些问题都应当在有限的期间、有限的器材耗费和利用目前已达到的技术发展水平来解决。所有这些都是航天安全性保障问题多学科性所决定的。

1.1. 航天安全性的主要学科领域

航天安全性所涉及的主要学科领域包括:科学理论领域、组织管理领域、人素工程领域、技术领域、使用领域、医学领域、心理学领域、经济学领域。

科学理论领域 主要研究下列问题:安全性的术语,安全性的要求和标准,意外(应急)*状态出现和发展模型,安全性的分析方法,安全性的判据和规范,安全性水平的评估方法,以安全性为判据的系统优选法。

学科术语(术语及其定义)是航天安全性领域内工作的专业人员互相理解的基础,并是理论和实践相统一而解决问题的必要条件。航天安全性方面的主要术语和定义列入附录1。

安全性的要求和标准是设计、制造、试验、使用航天装备所需的基础文献。其中包括航天器及其设备的设计规则,材料选择规定,安全性保障设施(机载的和地面的)构成和功用的规定,飞行操作规程,乘员组工作组织条例,航天员健康状况保证条例,航天员的选拔和飞行训练的规定,在对安全性做系统分析时上述问题的界限、水平和范围的规定,安全性程度定量评估的规定,具体设计方案中安全性保障程序(ПОБ)组成及内容的规定。航天安全性全部术语的统一和贯彻章程,在制造和使用的不同阶段设计方案安全性程度的证明方法和报表形式的规定,以及研制者和订购者的相互关系的规定。

意外(应急)状态出现模型反映航天飞行过程的基本规律;反映将航天器自动控制系统(АСУ)各部件的功能动力学考虑在内的这些状态的定性特性和定量特性;反映乘员组的状况,外部介质对航天器及乘员组的影响,意外(应急)状态性质和特征的相互联系。模型的主要功用在于建立航天飞行过程中意外状态的出现时刻并进行事实描述,以便解决航天安全性保障的各种研究课题和实际问题。

意外(应急)状态发展模型分为运动类、航天器状况类、航天器系统功能类、座舱和仪器舱的大气参数类、机内资源储备类及飞行路线类。他们的特点是:与实际过程的高度一致性;引入和模拟任意状态(不论是事先预计到的或是没有预计到的)的适应性;正常功能(过程)状态和意外(应急)状态的再现能力。

航天安全性的分析方法分为评估安全性和方法和选择各系统的最佳参数的方法,以达到飞行安全性的最高水平。这两种方法在原理上基于两条途径:一条途径是考虑到参数变化的阶梯离散性和故障分布函数,不断地分析火箭-航天器综合体(РКК)的状况随时间的变化;另一条途径是分阶段连续分析,即在每个阶段内将系统的结构、特征和状况记录下来,并认为是不变的。

在上述两种途径中,逻辑概率分析法、“故障树”分析法和统计分析法获得广泛应用。逻辑概率分析法是按照研究对象的一定逻辑功能连续描述所发生的一些事件,并确定继续安全飞行或应急中止飞行的一些事件的最终概率。“故障树”分析法乃是图表法,它可以直观

• 本书中这种提法用于加重应急状态的语气,根据附录1中所给出定义的理解是有效的。

地给出航天器系统故障与不希望产生的（从航天安全性观点出发）集成（最终）事件之间的因果关系。统计分析法在于利用统计试验法或蒙特-卡洛法。

航天安全性的判据分为通用的（集成的）、假定的（间接的）、相对的（标定的）和局部的四种。作为航天安全性通用判据使用的有：航天器使用周期内的事故数量，乘员组平安返回地球的事实及其他。属于假定（间接）判据的有：航天器以一定的次数完成飞行程序，在一次飞行中发生的事故及其他。相对判据包括：乘员组在飞行中救生的可能性，航天器安全性指标值的增大及其他。局部判据反映总指标组成部分的各种安全性（例如，爆炸安全性、火灾安全性等）或按先后阶段区分的安全性（例如，发射和进入轨道的安全性、下降和着陆的安全性等）。

安全性规范决定航天安全性指标值的允许水平，并与上面指出的方法总和起来进行研究。在确定和提出安全性规范时主要采用启发法和专家评估法。

航天安全性水平的评估在于解决如下问题，例如航天器方案的比较评估及最佳方案的选择，安全性保障设施及措施的有效性分析，以及安全性要求完成程度的确定。航天器安全性水平的评估分为分析法、实验法和模型法。

安全性判据系统优选法是航天装备设计人员在设计阶段必须利用的方法。其目的在于得到火箭-航天器综合体技术任务书（T3）中规定的安全性标准。如果没有规定，则在给定的设计方案（重量、外廓尺寸、成本等）限制下得到安全水平的最大值。同时，解决航天器分系统安全性的分配问题，以及根据安全性的要求对火箭-航天器综合体安全性典型系统的合理特征和最佳参数进行选择的问题。各种设计方案的数学模型作为优选的基础，然后从中选出最好方案。

航天安全性的组织管理领域 主要研究安全性保障程序和计划、专家评估和航天飞行安全性服务。

安全性保障程序包括措施清单和工作计划，并确定执行者。在程序中反映实验研究以及地面试验和飞行试验，目的在于查清设计方案的所有特点，实际验证安全性的要求，查清结构设计、工艺、使用等方面在航天器寿命周期所有各阶段飞行时的安全性保障措施。

安全性的专家评估是实现航天安全性保障程序不可缺少的部分，准确地判定航天设计方案安全性所能达到的水平，目的在于制定使安全性达到技术任务书中规定的标准的各种措施。这项工作由航天安全性服务部门进行，也可以由专门建立的委员会进行。

航天安全性服务在于有目的地分析航天设计方案的安全性，协调安全性保障方面的工作，检验安全性保障措施的实施情况及研究提高安全性的具体措施。服务工作的基本原则是：最大限度地包括所有从事航天技术的单位（例如，设计、生产、试验、使用和科研单位）；与航天装备的直接设计者脱离的独立性；管理集中；有较高的专业领导水平；与航天计划的领导有密切的相互合作。

航天安全性的人素工程领域 研究下列问题：根据航天安全性的要求选拔航天员和配备航天器的乘员组；航天员对付意外（应急）状态的训练；在意外（应急）状态下航天器乘员组、各系统与地面*之间的功能分配；航天器应急着陆（或水上）后乘员组的生存保障；在

• 本书中“地面”的概念是指复杂的地面系统，包括广大专业人员、专用设备和电子计算机综合体，以及用于航天飞行保障的观察通讯设施。

应急状态下协调“航天员-航天器-介质”系统中的特性。

航天员的选拔在于发现人们在意外（应急）状态下对极端恶劣条件的忍耐力及在这种条件下有效地解决航天问题的能力。

乘员组的配备是指选配出的乘员应能在意外（应急）状态的不利条件下保证乘员组集体的社会稳定性，以及在脱离意外（应急）状态后，乘员之间有互补和替换的工作能力。

航天员对付意外（应急）状态的动作训练包括选择训练用的上述状态，制定训练时克服上述状态的过程计划，按照一定的方法原则进行组织和训练。

在意外（应急）状态下航天器乘员组、各系统和地面之间功能的分配在于根据航天器自动控制系统最大限度地保证做到克服应急状态（AC）的条件下，考虑自动控制系统上述各部分按照信息指标、迅速动作指标、信息处理速度指标以及应急状态中所需控制作用和飞行动作的现实可能性来解决克服应急状态问题的现实可能性。

乘员组生存保障与降落舱（CA）应急着陆到地球不同气候地理区水上或陆上以及各种气象条件有关。

在应急状态下“航天员-航天器-介质”系统特点的协调需要考虑不利条件、所发生的应急状态、乘员组活动的信息保障特点和时间不足等对系统工作的影响。

航天安全性的技术领域 包括下列问题：根据安全性保障条件确定的航天器及其系统的结构原则；乘员组安全性保障设施的组成及特征（在应急状态下乘员组工作的信息保障，保护乘员组免受应急状态不利因素的影响，乘员组的救生及应急恢复工作的处置）。

航天器及其系统的结构原则包括材料选择，危险设备的位置，应急参数的选择，火灾、爆炸、创伤安全性保障，外界因素影响的防止及应急脱离航天器的保障等问题。

乘员组安全性保障设施的组成和特征涉及到如下问题：意外（应急）状态的发现和判定；航天器中应急救生设施、灭火设施、座舱漏气补偿设施、辐射防护设施、应急恢复设施、防止乘员组解除密封设施、毒性物质防护设施等的配备；航天器着陆地点的标识；保障乘员组着陆后生存的设施的配置。

航天安全性保障的使用领域 包括下列问题：在航天飞行过程中乘员组安全性的作业保障；着陆后乘员组的搜索和救生；事故和一等事故的调查。

航天飞行过程中乘员组安全性的作业保障与下列问题有关：在意外（应急）状态实际发生时间内既用机载设备也用地面设施来解决其发现和判定问题；制定乘员组克服这些状态的方法；飞行控制中心的工作人员；地面模拟中心，包括计算机设施、模拟器、训练模拟器和仿真器；依靠乘员组和航天器飞行的地面控制中心（HKY）来实现克服意外（应急）状态的方法。

着陆后乘员组的搜索和救生研究下列问题：航天器着陆地点的选择；着陆地点气象条件的考虑；乘员组有无应急储备物质；及时向搜索救生中心人员通告航天器的下降地点；着陆地点的标识；搜索救生中心为发现、搜索、撤离航天器和乘员组所用设施的装备情况；搜索救生中心设施彼此间及与乘员组之间在搜索和救生过程中的相互合作；在乘员组救生问题上的国际合作；对搜索救生中心人员进行搜索救生的操作训练。

事故和一等事故的调查在于制定全套有效措施来免除或防止航天器在完成下次飞行时出现类似事故和一等事故。其中包括建立一个由几组专家组成的专门委员会，以便分别研究乘员组训练和工作的组织、发射指挥组的组织和飞行控制组的组织问题；研究发射中心（CK）、

运输火箭、航天器的应急技术；研究生物医学和心理学；查明信息源；按照一定的方法计划和组织委员会的工作。

航天安全性的医学领域 研究下列问题：人对不利因素影响的忍受限度；航天员的身体检查；航天员健康状况的动态观察；乘员疾病的预防；自救和互救；乘员组飞离地球后的医疗保障。

在确定人对航天飞行不利因素影响的忍受限度时，既要注意到个别因素（辐射、温度、大气压力、气体分压力、过载、失重、噪声、振动、有毒性物质、食品不足、缺水及其它），也要注意到综合作用下个别因素的结合。

航天员的身体检查按照对航天员候选人提出的要求和检查每个候选人健康状况的方法进行，以保证航天飞行的完成而不发生有害的疾病。

航天员健康状况的动态观察在飞行训练期间进行，目的在于及时发现疾病，并在飞行前治愈。

乘员疾病的预防包括飞行训练时采取的综合措施（隔离观察、消毒等），避免飞行过程中发生有害的疾病。

航天器乘员组的自救和互救在于避免乘员组在飞行过程中受伤和生病时或航天飞行中不利因素危害航天员的健康（生命）时产生的有害的后果。

乘员组飞离地球后的医疗保障包括乘员组在飞行过程中生病的发现，并给与专门技能的帮助，以防疾病产生有害的后果。

航天飞行安全性的心理学领域 包括下列问题：航天员的心理测验；乘员组成员的心理相容性；航天员的心理训练和航天员在飞行过程中的心理支持。

航天员的心理测验要求测定乘员组成员在紧张状态下个人的性格特点、品行反应和情绪反应，以保证其在应急状态下的有效活动。

乘员组成员的心理相容性按照规定的判据以专门精选法来保证。这一点在复杂和危急状态下的长时间飞行中作小组活动时特别重要，因为在这种状态下完全有可能使集体动摇，并导致心理冲突。

航天员的心理训练在于使乘员组在飞行中形成一种概念，以保证乘员组经常准备应付应急（意外）状态，并保证活动的高效率。

航天员在飞行中的心理支持要求创造一些防止每个乘员发生心理挫折的条件，并调节飞行中产生的心理冲突。

航天安全性的经济领域 包括下列问题：安全性保障技术决策的经济最佳化；在完成规定的航天安全性要求时，整个航天器设计方案的经济最佳化；在保证航天安全性最高水平情况下耗费分配的最佳化。

安全性保障技术决策的经济最佳化要求制定几种决策的可选择方案，并按价格判据对这些方案进行比较评估。

为满足规定的航天安全性要求，整个航天器设计方案的经济最佳化采取下列办法来实现：航天器各系统的设计特征、质量和可靠性的分配能在以给定的概率解决整个任务的情况下耗资最少。这种做法对在火箭-航天器综合体设计任务书中已给出航天安全性保障要求时，具有代表性。

在没有给出这些要求的情况下，设计特征和耗费的分配应使整个任务的完成达到给定的

概率和最高水平的安全性保障。

1.2. 影响乘员组的危险性因素

对航天器乘员组成员有危险性的不利因素是：宇宙介质（辐射、微流星、人造航天物体、温度、真空）作用的后果；飞行动力学（失重、过载、噪声、振动、生物节律失调）的影响；有限容积形成的孤僻和隔绝环境（生活保障设施储备的有限性，毒性物质出现和形成的可能性）；航天器各系统电路中的高电压；航天员处于不利状态（生病、心理不相容性、情绪激动及其它）；着陆地点外部介质的不利影响（进水）。

辐射 研究辐射源：银河宇宙辐射（ГКИ）、地球放射带辐射（ИРИЗ）、太阳耀斑微粒辐射（ИСВ）、机上同位素源、核发动机、核电力装置、地球的人造辐射带（由于在宇宙空间发生核爆炸）。

银河宇宙辐射是一种高能带电粒子流。银河宇宙辐射的角分布被认为是各向同性的，在航天员身体中剂量分布是均匀的。银河宇宙辐射的通量密度平均等于 2.5 粒/厘米²·秒，并在长时间内没有显著变化。银河宇宙辐射的核能量谱也类似于这种情况。

在银河宇宙辐射的组成中包括质子（约为85%）， α 粒子（约为13%）及锂、铍、硼、碳、氧、锡（约为2%）。

银河宇宙辐射在近地的剂量比星际空间要少，这是由地球的屏蔽影响和地磁效应决定的。地球的屏蔽影响可以使银河宇宙辐射密度减少50%。地磁场可以使银河宇宙辐射通量密度在近地降低66%~90%。银河宇宙辐射的剂量大小取决于轨道高度。在较低的高度上，银河宇宙辐射的剂量实际上根据轨道平面的倾斜角而变化。如果轨道位于200~600千米高度上，那么赤道轨道上的银河宇宙辐射的剂量大约将比极地轨道上少80%。随着高度的增加，这个差值逐步减小。根据计算与直接测量的结果，在宇宙中处于300千米高度以下的轨道，其与赤道平面的倾斜角为65°时，银河宇宙辐射的剂量率考虑到二次辐射则为80~100微戈·昼夜⁻¹。在地球磁层范围内，银河宇宙辐射的剂量率稍大一些（约为300微戈·昼夜⁻¹）。银河宇宙辐射强度取决于太阳的活动：当太阳的活动很大时，银河宇宙辐射强度减小。根据11年的太阳活动周期，银河宇宙辐射强度在2~4.5粒/厘米²·秒范围内变化。

地球放射带（ПРЗ）假定分为内外两种。假定内放射带位于磁力线与地球表面在纬度45°相交的区域范围内。在西半球，地球的内放射带从地球表面500~600千米高度上开始，而在东半球，内放射带从约1500千米高度上开始，假定放射带的外边界位于离地球表面约5000~10000千米的距离。在大西洋的南部上空，放射带的下边界（由于地磁异常）下降到300千米。

地球的内放射带主要由大能量的质子以及电子、轻锂核和轻氢核构成。内放射带在3600千米高度和7000~8000千米高度附近有两个辐射强度最大值。在第一种情况下，粒子通量密度达到 $2 \cdot 10^4$ 质子/厘米²·秒；在第二种情况下，约为 $5 \cdot 10^3$ 质子/厘米²·秒。内放射带的剂量强度在很大程度上受高空核爆炸影响。平均剂量在1000~3000千米高度内随轨道平面倾斜角的变化很大。（见表1）

在300千米高度左右，内放射带的剂量强度与轨道平面倾斜角无关，不超过0.5毫戈·昼夜⁻¹。如果考虑到航天器飞过地球放射带时其薄壳材料同电子和质子的相互作用，那么航天

表 1 平均剂量在不同高度上随轨道平面倾斜角的变化

离地球表面 的高度 (千米)	内放射带质子平均剂量随轨道平面倾斜角 φ 的变化, 毫戈/昼夜*			
	0°	45°	65°	90°
300	0.5	0.5	0.5	0.5
500	1.6	1.6	1.6	1.6
1 000	20.0	9.0	6.5	5.8
2 500~3 500	1 100.0	260.0	200.0	180.0
7 500	26.0	34.0	26.0	24.0

员将承受剂量强度为350毫戈·小时⁻¹的辐射。评估表明, 航天器在10~20分钟内迅速穿过内放射带飞向其它星体时并没有严重的辐射危害——剂量总共只为数百分之几戈。

地球的外放射带位于赤道上空大部分近地空间10 000~50 000千米, 并在纬度55°~70°上下降到300千米。外放射带由低能量的电子和质子构成。能量大于0.2千电子伏(КЭВ)的电子流密度在外放射带内约为 $4 \cdot 10^7$ 电子/厘米²·秒。电子谱随着其能量的增大而陡降。电子流的最大密度是在离地球15 000~20 000千米距离上记录的。电子在外放射带内的角分布是异向同性的。

色球层太阳耀斑微粒辐射是最危险的辐射。太阳耀斑按其能量及质子流量强度的增长量分成等级: -3、-2、-1、0、1、2、3、4。太阳耀斑发生的频率取决于太阳活动周期的相位。大强度的太阳耀斑辐射大约每5年发生1~2次。

太阳的宇宙射线在色球层太阳耀斑的基本期过后平均约经20~30分钟就能达到地球。耀斑集成流的基本部分只发生在初期。值得指出的是, 耀斑组照例发展: 在数日内一个耀斑接着另一个耀斑。太阳耀斑辐射的总剂量取决于宇宙飞行的持续时间。在短时飞行, 例如, 15个昼夜飞行时, 在剂量200~300毫戈范围内当保护能力为35千克·米⁻²时, 乘员组受到辐射的概率很小, 可能只是0.01~0.02。

长时间宇宙飞行时, 辐射将出现完全另一种情况。计算表明, 即使有极可靠的保护措施, 例如乘员组处在专门研制的防辐射舱内保护能力达300千克·米⁻², 600个昼夜的平均剂量也在200毫戈左右。在评估长时间宇宙飞行的辐射危险性时, 必须考虑数次特大耀斑出现的概率。根据这个就可以算出太阳耀斑概率特征所决定的超出规定剂量的冒险性。由于太阳耀斑的概率特征, 较正确地表示辐射危险性特征的不是剂量的值, 而是剂量随超出冒险性的变化。

在地球的人造放射带(由于高空核爆炸引起的)内, 电子的空间传播和通量密度随时间而显著变化。一般认为, 电子人工带的时间衰变受指数定律制约。在1964年中期, 地球的内放射带内由于美国的《Старфиш》核爆炸而引起的辐射剂量强度在保护能力为10千克·米⁻²时达到100戈·昼夜⁻¹。在1971年, 保护能力为7千克·米⁻²时, 最大剂量强度已经不超过5.2戈·昼夜⁻¹了。人工地球放射带最稳定的区域位于赤道上空1 200~4 500千米高度上。表2给出了在1 000千米以上高度上当保护能力为10千克·米⁻²时, 人工地球放射带的电子所产

• 原文误为毫戈·昼夜。——译者

生的表面剂量。

表 2 在不同高度上轨道平面倾斜角 φ 不同时地球放射带的剂量

地球表面上 空的高度， 千米	轨道平面倾斜角 φ 时地球放射带的剂量，戈/昼夜			
	0°	45°	65°	90°
1000	30	6	4	4
1800~2300	2000	200	200	200
3000	400	80	60	60
8000	30	7	5	5

1965年，在低于300千米的轨道上，由注入的电子所决定的表示剂量特征的曲线已经与银河宇宙辐射剂量水平曲线相重合。

在未来，航天器上有可能采用：工作介质在反应堆活性区直接加热的核火箭发动机，将核能变为电能使工作介质离子化从而加热和加速的核电火箭发动机，利用一系列核爆炸产生推力的核火箭发动机。此外，在飞船上还可能采用同位素电力装置，也可能采用其它一些利用同位素源的系统。目前，根据乘员组在这个舱或另一个舱逗留的大概时间，取所有被保护容积内的剂量的平均值作为评估上述辐射源危险性的判据。

微流星 在一定的条件下偶然出现的星体和粒子对航天器具有相当严重的危险性。当它们与航天器的表面撞击时，相对运动的动能基本上转变为破坏飞船壳体和粒子的机械能，并形成对航天器结构的加热蒸发能和冲击波能。星体粒子影响的结果取决于它的运动速度、质量和物质密度。偶然出现的星体粒子的速度分布如图1所示。

同航天器表面撞击的星体粒子的数量取决于它们的质量和航天器所在的空间区。对于处在地球轨道上的航天器，偶然出现的流星粒子质量（以克计）大于 m ，在1秒内与 1米^2 表面

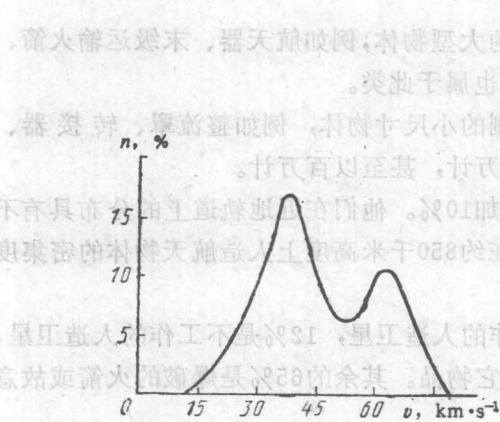


图 1 在宇宙中星体粒子的分布密度 n 与其相对地球运动的速度 v 的关系

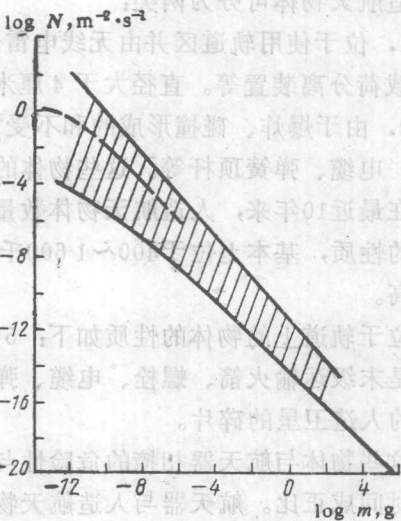


图 2 星体粒子通量密度 N 与其质量 m 的关系
(实验与计算数据的散布区划有截面线)
——表示微流星密度和质量的关系