

《国防科研试验工程技术系列教材》

航天医学工程系统

# 航天医学工程概论

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

航天医学工程系统

# 航天医学工程概论

中国人民解放军总装备部  
军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

·北京·

## 图书在版编目(CIP)数据

航天医学工程概论/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. —北京:国防工业出版社, 2005.6

国防科研试验工程技术系统教材. 航天医学工程系统  
ISBN 7-118-03401-0

I. 航... II. 中... III. 航空航天医学-医学工程-教材 IV. R857.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005473 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850 × 1168 1/32 印张 20% 548 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500 册 定价:60.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 《国防科研试验工程技术系列教材》 总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠

委员 (以下按姓氏笔画排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 杨德洲 邱学臣

郑时运 聂 峰 陶有勤 郭淦水

钱玉民

# 《国防科研试验工程技术系列教材· 航天医学工程系统》编审委员会

主任委员 沈力平

副主任委员 陈善广 宿双宁 刘新民

委 员 柳玉昌 祁章年 王普秀 马治家

沈美云 陈士贵 陈景山 黄晓慧

黄伟芬 薛亮 许铮

主 编 沈力平

副 主 编 陈善广 魏金河 黄端生 姜世忠

秘 书 高青蓝

# 航天医学工程概论

主 编 魏金河 黄端生

主 审 姜世忠 王宪民

编著人员 第 1 章 魏金河

第 2 章 魏金河

第 3 章 魏金河

第 4 章 黄端生

第 5 章 魏金河

第 6 章 黄端生

第 7 章 黄端生

第 8 章

第 1 ~ 3 节 魏金河

第 4 ~ 5 节 黄端生

## 总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著该套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业40年来重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障；四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为：导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子装备试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识，各专业及相关学科的基础理论与专业知识，主要设备的基本组成、原理与应用，主要试验方法与工作程序，本学科专业的主要科技成果，国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是：具有大专以上学历的科技与管理干部，从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养，有益于国防科研试验事业的发展，有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999年10月



# 序

航天医学工程是以载人航天任务为背景,为适应我国载人航天领域研究和研制的实际需要而形成、发展起来的一门医工结合的综合性技术学科。它以系统论为指导,利用现代科学技术理论与方法,研究载人航天活动对人体的影响规律及其防护方法,研究与研制可靠的工程防护措施,设计和创造合理的人工环境,寻求载人航天系统中人(航天员)、机(载人航天器/运载器)与环境(航天环境/飞行器内环境)之间的优化组合,确保航天活动中航天员的安全、健康和高效工作。

在我国载人航天事业发展的 30 多年历程中,我国从事航天医学工程的专家和广大科技工作者,紧紧围绕航天员和航天器环境控制与生命保障工程这两项最具载人航天特征的研究任务,经过几代人的不懈努力,在关键技术预先研究、系统方案概念论证与可行性论证、工程型号研究和国外先进技术跟踪研究的实践中,逐步建立了以航天医学、航天环境控制与生命保障工程为主线的多学科综合性航天医学工程学科体系。

本套教材对航天医学工程研究的前期工作进行了系统的总结,其目的:一是为本专业人才培养提供一套基础教材,并为本学科的发展起承前启后的作用;二是促进相关专业的技术及管理人员之间的交流,以推动我国国防科技与载人航天事业的发展。本套教材既可作为大专以上从事航天医学工程研究、研制和管理人员的基础教材,也可作为相关领域的技术人员、管理人员以及院校师生的参考用书。

本套教材共分 13 卷。包括:《航天医学工程概论》、《航天环境医学基础》、《航天重力生理学与医学》、《航天员选拔与训练》、

《航天心理学》、《航天工效学》、《航天服工程》、《航天营养与食品工程》、《航天环境控制与生命保障工程基础》(上、下册)、《航天生物医学电子工程》、《航天员医学监督与医学保障》、《载人航天环境模拟技术》和《航天飞行训练模拟技术》。

在本套教材的编写过程中,得到了总装首长、领导机关和兄弟单位的热情支持与帮助,本学科的一些老专家也提出了许多宝贵的意见与建议,在此一并表示衷心的感谢。由于本套教材涉及面广,学科也还在发展之中,加上编者的水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,诚请读者予以指正。

《国防科研试验工程技术系列教材·  
航天医学工程系统》编审委员会  
2000年10月

# 前 言

航天医学工程是在载人航天事业发展过程中形成的一门综合性学科。它具有两个重要特点：一是医工的紧密结合，二是结合我国国情的创造性。1991年《航天医学工程基础》一书的出版，在载人航天论证中起到了重要作用。随着我国载人航天工程的进展，航天医学工程的内容及对它的认识都有了较大的发展。在总装备部的领导、组织下，本学科将共编写14册专著分别介绍有关的具体内容，鉴于航天医学工程的跨学科综合性特征，有必要专写一册概论。

本书共分8章。第1章介绍航天医学工程的概念、形成、组成、方法和任务。第2章至第7章分别介绍航天基础医学、航天实施医学工程、航天环境控制与生命保障工程、航天医监工程、载人航天环境与飞行模拟技术、航天医学工程管理体系。第8章介绍航天医学工程的发展展望。本书从航天医学工程总体的角度，对本学科的全貌进行了概括性论述，内容全面、层次清楚，是一本学术性、可读性强的著作，可作为从事载人航天事业及相关的生命科学、工程专业的技术、管理人员的教科书和参考书。

在本书编写中，得到总装机关和航天医学工程所领导的关心和支持及其他各分册作者的热情帮助，特此致谢。

书中不当之处，诚望读者不吝指正。

编者

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 航天医学工程的任务与组成.....	25
1.3 航天医学工程的基本方法.....	34
参考文献 .....	43
<b>第 2 章 航天基础医学</b> .....	44
2.1 概述.....	44
2.2 航天环境医学.....	50
2.3 重力生理与医学.....	72
2.4 航天心理学.....	92
2.5 航天细胞分子生物学 .....	103
参考文献.....	119
<b>第 3 章 航天实施医学工程</b> .....	120
3.1 概述 .....	120
3.2 航天员选拔与训练 .....	123
3.3 航天员医学监督与医学保障 .....	148
3.4 航天营养与食品 .....	161
3.5 航天生保医学工程 .....	170
3.6 航天工效学 .....	185
3.7 空间医学实验技术 .....	197
参考文献.....	209
<b>第 4 章 航天环境控制与生命保障工程</b> .....	210
4.1 概述 .....	210
4.2 载人航天器座舱环控生保技术 .....	211

4.3 再生式生命保障技术 .....	257
4.4 航天服技术 .....	278
4.5 航天员居住保障技术 .....	321
参考文献 .....	339
<b>第5章 航天医监工程 .....</b>	<b>341</b>
5.1 概述 .....	341
5.2 航天医学信息的获取 .....	343
5.3 航天医学信号的放大与记录 .....	351
5.4 航天医学信息处理 .....	355
5.5 航天医学信息传输与管理 .....	380
参考文献 .....	386
<b>第6章 载人航天环境与飞行模拟技术 .....</b>	<b>387</b>
6.1 概述 .....	387
6.2 载人航天环境模拟技术 .....	388
6.3 载人航天环境地面模拟设备 .....	436
6.4 载人航天飞行模拟技术 .....	469
6.5 载人航天飞行训练模拟器 .....	499
参考文献 .....	515
<b>第7章 航天医学工程的管理体系 .....</b>	<b>517</b>
7.1 概述 .....	517
7.2 航天医学工程系统总体技术 .....	518
7.3 航天医学工程的科研管理 .....	564
参考文献 .....	602
<b>第8章 航天医学工程发展展望 .....</b>	<b>603</b>
8.1 概述 .....	603
8.2 航天基础医学发展展望 .....	607
8.3 航天实施医学发展展望 .....	623
8.4 环境控制生命保障工程发展展望 .....	631
8.5 载人航天环境模拟技术发展展望 .....	643
参考文献 .....	649

# 第1章 概 论

## 1.1 概 述

### 1.1.1 以航天员为中心的系统观

#### 1.1.1.1 载人航天的必要性和系统特点

载人航天的最大特点就是,在航天的工程系统中加入了人,即航天员。然而,这种变化决不只是在原有的无人系统中增添了一个普通部件,而是一种质的飞跃。也就是说,由于航天员成为整个系统的一部分,而且是最重要的一部分,整个工程的设计和性质都要发生根本性的变化。

那么,为什么一定要发展载人航天?载人航天工程系统最重要的特点又是什么呢?

#### 1) 发展载人航天的必然性

##### (1) 人类探索天性的需要

人类与其他动物的根本区别就在于人类有高级智能,有控制自己行为的能力,有永无止境的探索未知的欲望。探索欲望的表现之一就是活动范围的不断扩大,从陆地到海洋,从地面到天空。

人类的活动范围取决于科技和生产力的发达程度。尽管经历了几千年的文明发展,但只是到了15世纪,人们才具有远洋航行的能力。1405年明朝的郑和率队完成了历时两年的远航西洋的壮举。之后,1492年哥伦布才跨洋从欧洲抵达美洲。当然,航海的真正兴起还是在17、18世纪蒸汽机、内燃机发明之后。那时,荷兰和英国借着第一次工业大革命的东风,建立了强大的航海船队,取得了巨大的经济利益和政治霸权。

20世纪初,美国莱特兄弟的创举为人类飞向天空揭开了序幕,人类从此摆脱了两维空间的束缚。人类活动范围和速度的迅速增长,又反过来大大地促进了科技和生产力的发展。仅仅几十年后,又发生了质的飞跃。

在20世纪中期,大推力的火箭技术发明之后,人类飞向大气层以外的太空,就不再是幻想了。在1957年10月苏联成功发射人类第一颗卫星不久,于1961年4月12日,尤里·加加林就乘坐东方号飞船实现了太空遨游。仅仅8年之后,1969年7月16日美国的3名航天员——阿姆斯特朗、奥尔德林和考林斯,乘着阿波罗11号飞船离开地球,进入月球轨道,并于7月21日凌晨2点56分,航天员阿姆斯特朗登上人类向往已久的月球。当他踏上月球的土地时,说出了一句富有哲理的名言:“对于一个人来说,这只是一小步,但对整个人类来说,这却是一个巨大飞跃(That's one small step for a man, one giant leap for mankind)”。这一飞跃使人类几千年的梦想变成了现实,使人类的活动范围扩展到了无限神秘的太空。

人类探索太空的目的,是要了解地球以外的太空究竟是什么样的,在其他行星上是否存在类似地球上的生命、甚至技术文明,在太空中是否存在人类可利用的资源,人类能否持续在太空中安全地飞行,能否在其他行星上长期居住,等等。

显然,要回答上面的问题,就必须进行载人航天,只靠无人的航天飞行并不能真正扩大人类的活动范围。

## (2) 人类可持续发展的需要

人类在地球上的繁殖和文明发展,使得地球上的资源日渐减少。可持续发展的危机感已迫使人们千方百计地去探索开发新的资源。从长远看,解决可持续发展的出路之一就是探索、开发太空中的资源。

人类短短几十年的航天实践已经证明,太空中具有非常独特的资源。例如,空间位置、高真空、微重力和空间辐射等物理资源,月球和其他行星上的矿物资源等。其中,物理资源已被用于通信、

材料加工、空间探测、气象观测、科学研究,甚至新的生物品种的培育。月球上丰富的氦-3,在解决能源短缺方面,具有极大的潜在价值。

在太空资源的开发中,尽管无人航天飞行是有效的手段之一,但真正要解决问题,还是需要人的参与。

因此,载人航天是人类文明发展的必然延伸,随着经济和技术的发展,它一定会逐步成为人类探索开发活动的重要组成,也一定会对人类可持续发展做出越来越重要的贡献。

## 2) 载人航天工程系统的主要特点

### (1) 以航天员为中心的设计思想

在载人航天系统中,以航天员为中心的设计主要体现在如下几个方面:必须确保航天员的安全;尽可能为航天员创造舒适的生活和工作环境;真正把航天员放在整个系统的核心地位。

应当指出的是,在载人航天系统中,航天员决不是一个被动的被保护、被关照对象,而是处于主导地位的系统管理者和操纵者。安全、生存保障只是最起码的必要条件,更重要的是如何充分发挥人的独特的高级智能,以发现、分析、解决各种意料之外的难题。这样,才能真正显示出载人航天的特点和优势。

因此,在载人航天系统设计的一开始就应当明确树立以航天员为中心的思想。这样可以少走弯路、减少浪费,并能事半功倍。

要实现以航天员为中心,在载人航天系统的设计及研制全过程中,必须有专门从事航天员研究的航天医学专家的参与,也就是说,必须进行工程系统与医学的结合与整合。

### (2) 航天员生命保障

载人航天最基本的问题之一就是如何保障航天员的生命安全。为此,首先就是要在载人航天器舱内,创造一个接近地面的生存环境。我们知道,空气、水、食物是人生存必需的条件,这里空气就是地面的大气。这三个因素之中,大气尤为重要。因此,生命保障的首要任务就是在舱内创造正常的大气环境。当然也要提供饮水、进食、卫生等条件。



虽然生命保障系统是载人航天器中的一个工程分系统,但是,生命保障条件的设计和研制决不是一般性的工程任务,它的直接基础是航天医学。在整个研制和运行过程中,都必须实现医学与工程的结合,都必须处理好医学与工程的接口关系。

### (3) 人 - 系统之间的适配

#### ① 为什么要实现人 - 系统之间的适配。

既然在载人航天中,航天员不是被动的载荷,而是执行任务的主体和核心,因此,那么只有生命保障措施是远远不够的,还必须为航天员创造适宜的工作条件和环境,也就是说,要在人和工程系统之间建立谐和的关系。这样,不仅有利于航天员提高工作效率、减少差错,而且还能使航天员保持良好的心理状态,从而有利于其身心健康。这样,就可以从根本上保证航天任务的完成。

所以,在载人航天系统的设计、研制中,必须充分重视航天员与工程系统之间的各种适配性。

#### ② 什么是人 - 系统之间的适配。

在载人航天系统中,在航天员和工程系统之间,存在多种界面。这些界面主要是:空间界面,显示界面和操作界面。人与工程系统之间的适配,主要就表现在这些界面上。

##### 第一,关于空间界面的适配。

载人舱内的空间可分为工作区、活动区和生活区,这三个区都存在界面问题。生活区的界面主要影响航天员的舒适性,对工效的影响是间接的;活动区的界面既涉及舒适性,也影响工效;工作区的界面则直接影响航天员的工效。

所谓空间界面,主要指每个区的空间大小,空间布局和视觉、触觉效应。

空间界面的适配,就是在可能的条件下,尽可能地满足航天员的感知、运动和操作的空間需求。因此,对舱内空间的设计应当是主动的,而不是被动的,即,不是先考虑设备的安放,余下的才是航天员的。要达到空间界面的适配性设计要求,需要了解航天员的生理、心理和工效学需求,这就需要工程和医学专家之间的密切配