

《国防科研试验工程技術系列教材》

航天航空工程系統

載人航天環境模擬技術

中國人民解放軍高等兵種軍事訓練教材編輯部工作委員會

國防大學出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

航天医学工程系统

载人航天环境模拟技术

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

载人航天环境模拟技术 / 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, 2006.1

(国防科研试验工程技术系统教材. 航天医学工程系统)

ISBN 7-118-03873-3

I. 载... II. 中... III. 载人航天飞行—航天环境模拟—教材 IV. V524.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 039208 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 13 1/4 338 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 42.00 元

[本书如有印装错误, 我社负责调换]

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

内 容 简 介

本书是《国防科研试验工程技术系列教材·航天医学工程系统》中的一卷。全书分 8 章对载人航天环境模拟技术进行了较全面的介绍,阐述了载人航天环境模拟技术在载人航天工程和航天医学工程学科中的地位和作用,介绍了航天员和航天医学工程产品在航天飞行中遇到的各种环境以及这些环境所产生的效应,并重点介绍了与航天员密切相关的乘员舱密闭环境、空间环境、航天动力学环境和失重环境的模拟原理、模拟方法及模拟设备,以及载人航天环境模拟设备总体技术和控制技术,对航天医学工程产品环境试验技术也作了简单介绍。

“以人为本、安全至上”,是发展载人航天环境模拟技术的指导思想,本书总结了我国 30 多年来在载人航天环境模拟设备的研制和载人模拟试验中安全性保障方面的宝贵实践经验。

本书可作为载人航天环境模拟技术专业方向工程技术人员的教材,也适于具有大专以上学历的航天医学工程科研人员、技术人员和管理人员阅读,或供其他人员参考。

**《国防科研试验工程技术系列教材·
航天医学工程系统》**

编号	教材名称
8-1	航天医学工程概论
8-2	航天环境医学基础
8-3	航天重力生理学与医学
8-4	航天员选拔与训练
8-5	航天心理学
8-6	航天工效学
8-7	航天服工程
8-8	航天营养与食品工程
8-9	航天环境控制与生命保障工程基础 上册
8-10	航天环境控制与生命保障工程基础 下册
8-11	航天生物医学电子工程
8-12	航天员医学监督与医学保障
8-13	载人航天环境模拟技术
8-14	航天飞行训练模拟技术

ISBN 7-118-03873-3/R·20

定价:42.00 元

《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 皓 陶有勤 郭詮水

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

载人航天环境模拟技术

主 编 黄晓慧

副 主 编 田桂钰

主 审 黄端生

编著人员 第 1 章 黄晓慧

第 2 章 田桂钰 毕建智

第 3 章 冯庆义 黄晓慧

第 4 章 刘 巍 马爱军 黄晓慧

第 5 章 冯庆义 黄晓慧

第 6 章 徐水红 刘 巍 黄晓慧

第 7 章 黄晓慧 刘洪英 卢来洁

第 8 章 黄晓慧

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年来的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

载人航天工程是以航天员为核心的人(航天员)—机(航天器)—环境(航天器乘员舱外部/内部环境)系统工程,航天员的身体健康与生命安全是载人航天的核心问题。航天医学工程是载人航天工程的分支学科,解决保障航天员健康与安全的医学问题及相关的工程问题。

载人航天环境模拟技术是航天医学工程学科的重要支持性技术组成,具有工程和医学密切结合的特点。航天实践表明,载人航天环境模拟技术是提高航天员对航天环境的适应能力、增强航天医学工程产品的可靠性、保证航天员健康和安全的最重要的保障性技术之一,在载人航天工程中具有不可替代的地位和作用。

载人航天环境模拟技术集成应用多项学科理论和基础工程技术,以“医工结合”为特点,研究在地面上人工等效再现(模拟)载人航天环境以及实施载人航天模拟试验的技术和方法,为航天医学工程研究及其相关产品的研制提供试验保障手段。载人航天环境模拟技术的工程基础是机械、真空、制冷、空调、自动控制、计算机等工程应用技术,同时与航天环境医学、航天重力医学、航天生保医学、环控生保工程以及航天服工程等航天医学工程分支学科紧密结合。大型载人航天环境模拟试验设备的建造更是综合体现了上述多门类学科和技术的集成和应用。

本书以国内外相关技术为背景,以研究内容和方法以及相关设备为重点,突出“安全至上、以人为本”的指导思想,对载人航天环境模拟技术进行了较全面的介绍,力求能够概括我国 30 多年来在该领域所取得的技术成果和实践经验。

本书的编写工作是在总装备部和航天医学工程研究所的直接

领导下完成的,由陈善广研究员和黄端生研究员审定,本书图表的绘制得到王怡灵和叶志萍同志的帮助,文字校核得到卢来洁和冯雪梅同志的帮助,在此一并表示感谢。

由于载人航天环境模拟技术涉及的专业和技术内容广泛,本书由多位作者共同撰写,难免存在疏漏重复或其他不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 1 月

目 录

第1章 概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 载人航天环境	2
1.1.2 载人航天器	3
1.2 航天医学工程与载人航天环境模拟技术	5
1.2.1 航天医学工程	5
1.2.2 载人航天环境模拟技术	7
1.3 载人航天环境模拟技术内容与应用	7
1.3.1 载人航天环境模拟技术内容	7
1.3.2 载人航天环境模拟技术的应用	8
1.4 载人航天环境模拟原理和方法	10
1.4.1 环境参数模拟和环境效应模拟	10
1.4.2 计算机数值模拟	13
1.4.3 半物理半数值模拟	14
1.5 载人航天环境模拟技术特点	14
1.6 载人航天环境及模拟	15
1.6.1 载人航天人工大气环境及模拟	15
1.6.2 载人航太空环境及模拟	20
1.6.3 载人航天动力学环境及模拟	25
1.6.4 载人航天失重环境及模拟	33
1.6.5 载人航天产品环境模拟试验技术	37
参考文献	39
第2章 载人航天人工大气环境模拟技术	41
2.1 概述	41

2.1.1 地球大气环境	41
2.1.2 乘员舱大气环境模拟	44
2.2 乘员舱大气环境模拟技术	45
2.2.1 模拟乘员舱	46
2.2.2 真空环境的模拟	46
2.2.3 供氧与去除二氧化碳	49
2.2.4 温湿度调节	52
2.2.5 送风	56
2.3 航天服内微小大气环境模拟技术	58
2.3.1 航天服气源系统的功能	59
2.3.2 航天服气源系统组成	59
2.3.3 航天服气源系统设计	60
2.4 乘员舱大气环境模拟试验设备	62
2.4.1 乘员舱环境模拟(实)试验	62
2.4.2 乘员舱环境模拟设备设计要求	62
2.4.3 飞船内环境模拟舱	63
2.4.4 航天服试验舱	70
2.4.5 应急生保试验舱	83
参考文献	104
第3章 载人航天空间环境模拟技术	106
3.1 概述	106
3.1.1 载人航天空间环境及其效应	106
3.1.2 载人航天空间环境模拟的必要性	112
3.1.3 空间环境模拟方法	113
3.2 载人航天空间环境模拟技术	114
3.2.1 载人航天空间环境模拟技术的内容	114
3.2.2 载人航天空间真空环境模拟	115
3.2.3 载人航天空间冷黑环境模拟	119
3.2.4 载人航天太阳辐照环境模拟技术	123
3.3 载人航天空间环境模拟设备	134

3.3.1 国内外概况	135
3.3.2 舱外航天服试验舱	136
3.3.3 典型载人空间环境模拟设备	139
3.4 载人航空气间环境模拟试验技术	142
3.4.1 载人航空气间环境模拟试验的危险因素	142
3.4.2 载人航空气间环境模拟试验安全技术	142
3.4.3 载人空间环境模拟试验中气闸舱的使用	147
参考文献	149
第4章 载人航天动力学环境模拟技术	151
4.1 概述	151
4.1.1 载人航天中的动力学环境及其效应	151
4.1.2 载人航天动力学环境模拟	153
4.2 载人航天超重环境模拟技术	154
4.2.1 重力的基本概念	154
4.2.2 人体重力坐标系	156
4.2.3 载人航天超重环境及其对人体影响	157
4.2.4 载人航天超重环境模拟技术	158
4.2.5 载人离心机总体设计技术	164
4.2.6 典型载人超重环境模拟设备简介	170
4.2.7 载人超重环境试验管理	175
4.3 前庭功能试验加速度环境模拟技术	176
4.3.1 航天运动病和前庭功能试验	176
4.3.2 角加速度前庭功能试验设备	178
4.3.3 直线加速度前庭功能试验设备	181
4.3.4 前庭功能试验设备的应用	184
4.4 载人航天振动环境模拟技术	185
4.4.1 航天员经历的振动环境及其效应	185
4.4.2 航天员振动环境模拟技术	186
4.5 载人航天冲击环境模拟技术	188
4.5.1 载人航天冲击环境及其效应	188