

《国防科研试验工程技术系列教材》

航天医学工程系统

航天工效学

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

航天工效学/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, 2003. 1
国防科研试验工程技术系列教材·航天医学工程系统
ISBN 7-118-02949-1

I. 航... II. 中... III. 工效学: 航空航天医学
IV. R857.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 070799 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 13¼ 343 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 32.00 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 皞 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

航天工效学

主 编 马治家 周前祥

编著人员	第 1 章	马治家	第 6 章	马治家
	第 2 章	王 丽	第 7 章	杨健群
	第 3 章	马治家	第 8 章	周前祥
	第 4 章	周前祥	第 9 章	徐永忠
	第 5 章	周前祥	第 10 章	徐永忠

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

航天工效学是工效学的一个分支,是工效学发展的前沿领域,也是工效学发展的重要推动力量。它利用工效学的理论、原则、方法,解决载人航天器系统设计、研制和空间飞行过程中所面临的主要工效学问题。同一般工效学类似,航天工效学也是一个交叉学科,与许多其它学科(如生理学、心理学、人体解剖学等)都有密切关系。所以,它既继承了相关学科中应用的方法,也有自身独创的方法。

在载人航天飞行中,航天员是整个飞行系统的核心,是控制与决策者;航天器是航天员的运载工具和生活、工作的场所,因此,飞船的设计、环境因素的确定,都必须满足航天员的生活与工作要求。航天工效学的重要作用就是确保航天器设计与飞行环境的确定适于航天员的特性,简化飞行器的设计,提高整个飞行系统的安全可靠性。

航天工效学主要涉及与航天员有关的问题,即凡是需要航天员监视、操纵以及与其生活和工作有关的问题都需要用航天工效学的方法解决。涉及的主要方面有人机功能分配,人一机界面设计,航天器座舱布局以及环境参数要求的确定等。这些方面问题的解决,都离不开航天员的生理、心理特性。因此人的能力与特性、人体测量参数、人一机界面、航天员作业时的工作负荷等便成了航天器设计的基本依据。此外,对设计出来的航天器系统,必须进行工效学检验,评价整个系统及相关部分是否达到了相应的工效学要求,所以,研究工效学评价方法也是十分重要的。

本书共分 10 章。第 1 章主要介绍了航天工效学的概念、发展历程以及研究手段与方法;第 2 至第 9 章,是全书的重点,分别对

航天工效学研究所涉及的重要内容展开论述,如人体测量、人的能力和特性、人机功能分配、乘员舱环境布局、人机界面、工作负荷、航天环境与工效以及工效学评价方法等;第 10 章介绍了重要航天活动中的工效情况。

本书的编写工作是在总装备部、航天医学工程研究所的直接领导下进行的,得到了该所第四研究室的大力支持,并承蒙魏金河研究员担当主审,在此一并表示衷心感谢;同时,对本书所列参考文献的各位作者表示衷心的感谢。

本书是由各位作者共同撰写的,力求结合我国载人航天发展的实际,使理论与实践相结合,使其具有科学性、系统性、实用性,主要供航天工效学研究者、载人航天器工程设计人员以及其它有关人员参考。

由于本学科是一门交叉学科,涉及的专业广,观念更新又快,书中难免有疏漏甚至错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2001 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 航天工效学概述	1
1.2 研究内容与范围	8
1.3 研究方法	12
参考文献	14
第 2 章 人体测量	15
2.1 概述	15
2.2 人体测量术语	18
2.2.1 人体测量位置	19
2.2.2 人体平面和轴	19
2.2.3 相互关系的术语	20
2.2.4 测点	21
2.2.5 人体主要关节	24
2.3 人体测量的主要工具	26
2.4 载人航天活动中所需的主要人体测量参数	31
2.4.1 人体参数测量的主要原则	31
2.4.2 人体测量条件及要求	32
2.4.3 形态参数	33
2.4.4 力学参数	37
2.4.5 关节活动度	39
2.4.6 皮下脂肪厚度	44
2.5 人体测量数据处理方法及其影响因素	44
2.5.1 数据的统计处理	44
2.5.2 影响人体测量数据的主要因素	49
2.6 人体测量数据的应用	51

2.6.1 基本应用原则	51
2.6.2 具体应用	52
2.6.3 利用人体数据建立人体模型	54
2.6.4 人体测量参数在载人航天领域的应用	57
参考文献	63
第3章 人的能力及特性	65
3.1 概述	65
3.2 信息接收	66
3.2.1 感觉器官的一般特性	66
3.2.2 视觉分析器	68
3.2.3 听觉分析器	82
3.2.4 前庭分析器	90
3.2.5 皮肤感受器	91
3.2.6 嗅觉感受器	92
3.2.7 运动觉分析器	93
3.3 信息处理	93
3.3.1 信息的储存	94
3.3.2 分析、综合	95
3.3.3 决策	95
3.3.4 信息处理能力	95
3.4 执行器	97
3.4.1 肌肉和骨骼	97
3.4.2 语言器官	105
3.4.3 眼动	105
3.5 航天员的能力	106
3.5.1 航天员能干什么	106
3.5.2 人和机器的比较	108
3.5.3 人的特点	109
参考文献	112
第4章 人机功能分配	114
4.1 概述	114
4.2 载人航天中人的能力及其影响因素	115

4.2.1	航天运动病	116
4.2.2	视觉效率降低	117
4.2.3	运动系统协调性紊乱	118
4.2.4	工作时生理应激负荷加大	119
4.2.5	心理障碍	119
4.3	航天员的任务类型与人机特性	120
4.3.1	航天员任务类型	120
4.3.2	人机特性	122
4.4	功能分配的基本原则与方法	125
4.4.1	基本原则	125
4.4.2	人机功能分配的方法	127
4.4.3	须特别注意的因素	133
4.5	人机功能分配的依据	134
4.5.1	功能分配的层次	134
4.5.2	航天员工作负荷与能力	137
4.5.3	航天员操作效率对飞船系统效率的影响	138
4.6	系统功能分配的模糊综合评价	139
4.6.1	模糊接近度	140
4.6.2	决策模型的建立	140
4.6.3	研究实例	141
	参考文献	143
第5章	乘员舱环境布局	145
5.1	概述	145
5.2	布局的一般准则	146
5.3	乘员舱作业空间的设计方法	148
5.3.1	相关概念	149
5.3.2	设计时应考虑的因素	149
5.3.3	近身作业空间	153
5.3.4	全舱总作业空间的设计要求	155
5.4	舱内设备的布置	156
5.4.1	总体布置原则与占位优先权	156
5.4.2	设计步骤	160

5.4.3	工作面设计	163
5.4.4	工作台布置	168
5.4.5	人员通道及辅助设备和束缚装置	179
5.4.6	提高布局质量的方法	181
5.5	座椅设计	182
5.5.1	座椅设计的意义	183
5.5.2	设计方法	184
5.6	舱门设计的工效学要求	189
5.6.1	舱门的类型	189
5.6.2	设计考虑的主要因素	190
5.6.3	工效学要求	191
5.7	内部装饰与照明	192
5.7.1	一般要求	193
5.7.2	颜色表示及其在舱内匹配选择的工效学原则	194
5.7.3	舱内照明光源的颜色特性	195
5.7.4	舱内颜色色调搭配的一般规律	198
5.7.5	照明与作业工效	199
5.7.6	眩光	200
5.7.7	舱内照明的工效学要求	202
	参考文献	203
第 6 章	人机界面	205
6.1	概述	205
6.2	显示器	207
6.2.1	概述	207
6.2.2	视觉显示器	208
6.2.3	几种重要的显示器	232
6.3	控制器	237
6.3.1	控制器的分类	237
6.3.2	控制器的设计要求	241
6.3.3	各类控制器的设计要求	251
6.4	控制器与显示器的组合	270
6.4.1	控制器与显示器的分组	270

6.4.2 控制器与显示器的安装	271
6.4.3 控制器与显示器的关系	273
参考文献	275
第7章 工作负荷	277
7.1 概述	277
7.2 工作负荷的测量与评价	282
7.2.1 工作负荷评价技术的特性	282
7.2.2 工作负荷的评价	284
7.3 工作负荷测量评价技术的应用	304
7.4 工作负荷的预测	309
参考文献	311
第8章 航天环境与工效	313
8.1 概述	313
8.2 失重、微重力	316
8.2.1 失重所引起的问题	316
8.2.2 人工重力	319
8.3 超重	325
8.3.1 空间飞行过程中重力因素的特点	325
8.3.2 超重的生理效应及其对工效的影响	328
8.3.3 防护与工效学设计要求措施	333
8.4 振动	336
8.4.1 航天振动现象及其生理效应	336
8.4.2 人体振动特性	338
8.4.3 振动对工效的影响	340
8.4.4 振动评价标准	342
8.4.5 航天振动防护	344
8.5 噪声	346
8.5.1 基本参数	346
8.5.2 航天噪声环境	349
8.5.3 噪声的危害	350
8.5.4 航天噪声容许标准和个人防护措施	354
8.6 航天心理应激	356