



主 编 陈善广

航天医学工程学发展

60年



科学出版社

www.sciencep.com

航天医学工程学发展60年

主 编 陈善广

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

航天医学工程学是以载人航天任务为背景,适应载人航天发展需要而形成和建立起来的一门医学与工程学相结合、多学科交叉融合的综合应用学科。本书全面回顾了航天医学工程学创建、发展的历程,从学科的各个分支和侧面系统梳理、总结学术研究成果和经验。全书共 13 章,包括航天医学工程学及其分支学科航天环境医学、重力生理学、航天细胞分子生物学、航天工效学、航天心理学、航天员选拔与训练、航天实施医学、航天营养与食品工程、航天环境控制与生命保障工程、航天服工程、航天生物医学工程、航天环境模拟技术、航天飞行训练仿真技术的基本概念、主要研究内容、发展阶段和前景展望等。

本书可供从事航天医学工程学研究 and 载人航天事业的专业技术人员、管理人员以及特殊环境医学与工程的研究人员使用,也可作为高等院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航天医学工程学发展 60 年 / 陈善广主编. ——北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-025567-9

I. 航… II. 陈… III. 航空航天医学-医学工程-概况-中国 IV. R857

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162918 号

策划编辑:黄 敏 / 责任编辑:黄相刚 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:刘士平 / 封面设计:黄 超

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 9 月第一次印刷 印张:15 1/2 插页:8

印数:1—1 500 字数:359 000

定价:128.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

《航天医学工程学发展 60 年》编委会

主 编 陈善广

副主编 姜国华 李莹辉

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

丁 柏	白树民	常天春	晁建刚
陈 斌	陈道木	陈金盾	陈景山
陈善广	陈士贵	房兴业	高 峰
黄伟芬	黄晓慧	姜国华	李建辉
李莹辉	李勇枝	梁 宏	刘伟波
刘向阳	马爱军	马治家	钱锦康
沈美云	苏洪余	汤兰祥	万玉民
王春慧	王林杰	王普秀	吴大蔚
严 洪	虞学军	周万隆	

序

太空是继陆地、海洋、天空之后人类的第四活动疆域。载人航天是一项有航天员参与的,探索、开发和利用太空以及地球以外天体的活动,是一个国家政治、经济、科学技术发展的集中体现,也是综合国力的象征。航天医学工程学是中国载人航天事业催生的一门新兴学科,它是为适应我国载人航天发展需要而创建的一门医学与工程学相结合、多学科交叉融合的综合应用基础学科。它以系统论为指导,利用现代科学技术研究载人航天活动对人体的影响及其特征规律,研制可靠的工程对抗防护措施,设计和创造合理的人-机环境,寻求载人航天系统中航天员、航天器和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。

航天医学工程学研究起始于20世纪五六十年代,随着载人航天事业的发展,它经历了萌芽、初步形成、发展充实和日趋成熟等几个阶段,逐步形成了一套较为完整、特色鲜明的科学理论体系和工程实践技术。自20世纪90年代我国载人航天工程启动和实施以来,已完成了“神舟”5号、6号和7号三次载人航天飞行任务,突破了天地往返技术和航天员出舱活动技术,航天医学工程学科直接支撑了最具载人航天特色的航天员系统和航天器环境控制与生命保障系统研制任务的圆满完成,为我国载人航天的突破和发展发挥了极其重要的作用。

值此喜迎中华人民共和国六十华诞之际,从事航天医学工程学理论研究和工程实践的专家、学者编写出版了《航天医学工程学发展60年》一书,首次全面回顾了航天医学工程学创建、发展的历程,从学科的各个分支和侧面系统梳理、总结学术研究的成果和经验,资料翔实,图文并茂,内容丰富,不仅对学科的建设和发展有重要意义,而且对我国载人航天事业的发展具有积极的促进作用。

希望本书的出版能让更多的人来了解、认识和研究航天医学工程学,关注我国载人航天事业的发展。

中国工程院院士

王永志

中国载人航天工程首任总设计师

2009年9月

前 言

航天医学工程学是一门研究载人航天活动对人体的影响及其特征规律,研制可靠的工程对抗防护措施,设计和创造合理的人-机环境,寻求载人航天系统中人(航天员/载荷专家)、机(载人航天器及运载器)和环境(航天环境和飞行器内环境)之间的优化组合,以确保航天活动中航天员的安全、健康和高效工作为主要内容的新兴、多学科交叉集成的综合性应用基础学科。

航天医学工程学萌发于20世纪50年代。早在中华人民共和国成立之初,新中国的领导者 and 科学家们高瞻远瞩,非常重视我国载人航天事业,在国家经济实力还十分有限的情况下,就已经开始筹划宇宙医学的研究。后来,随着国内研究领域的拓宽,宇宙医学演变为宇宙医学及工程。

从20世纪60年代末70年代初,国内学者基本上都开始把这一学科领域称为航天医学工程。从70年代初至90年代初,经过国家“曙光”号任务、返回式1型卫星(FSW-1)、“CBS-1”生物搭载舱实践和国家“863计划”领域设立的载人航天器环控生保及医学防护技术预先研究,初步形成了航天医学工程学科的基本脉络。

1992年,国家“载人航天工程”正式启动,国内开展了大量针对工程应用的基础性研究,由于有明确的任务需求为牵引,航天医学工程学得到快速发展。

2003年,“神舟”5号首次载人航天飞行的实践使这一学科理论得到实际工程的有效检验。

2005年,“神舟”6号“多人多天”飞行及航天员进入轨道舱参与科学实验,标志着这一学科日趋成熟。

2008年,在全面总结、梳理航天医学工程学科发展脉络的基础上,提出了航天医学工程学的概念,并系统阐释了具有中国特色的航天医学工程学学科理论体系和技术方法。

2008年,“神舟”7号航天员出舱活动成功,展示了航天医学工程学在载人航天工程中的重要地位。

本著作通过对建国60年来国家航天医学工程学实践活动的回顾,详细介绍了这门学科所经历的萌芽、初步形成、发展充实和日趋成熟4个发展阶段。全书共分13章,第一章为航天医学工程学发展总论;第二章为航天环境医学;第三章为重力生理学;第四章为航天细胞分子生物学;第五章为航天工效学研究进展;第六章为航天员选拔与训练;第七章为航天实施医学;第八章为航天营



养与食品工程；第九章为航天环境控制与生命保障工程；第十章为航天服工程；第十一章为航天生物医学工程；第十二章为航天环境模拟技术；第十三章为航天飞行训练仿真技术。另外，航天心理学也是本学科重要的应用性分支学科，鉴于其具有很浓的应用性特点，这部分内容已纳入有关章节。

航天医学工程学所支撑的我国载人航天工程历次任务的圆满完成，从一个方面体现了新中国 60 年所取得的辉煌成就，体现了国家综合实力的提升，是我国载人航天事业从无到有发展的真实写照。航天医学工程学的诞生与发展有力地促进了相关基础学科的发展，丰富了我国自然科学体系，为推动自然科学发展做出了应有贡献！同时也集中体现了几代“航天医工人”的心血和智慧。由于受篇幅限制，有些内容不可能在这本书中一一体现，如有疏漏敬请谅解。

本著作在撰写过程中，航天员科研训练中心史办公室、张汝果研究员、杨天德研究员、祁章年研究员、常绍勇副研究员、刘成林研究员、汪恭质研究员、王德汉研究员、解大青研究员等提供了大量资料。

宏峰、白延强、王宪民、李潭秋、刘新民、姜世忠、薛亮、黄端生、胡耄祺研究员等参与了本书的技术审查。

杨学祺编辑、肖日新研究员等负责稿件处理。

在此一并表示感谢！

陈新彦

中国航天员科研训练中心
2009 年 9 月于北京航天城

目 录

彩图

第一章 航天医学工程学发展总论	(1)
第一节 航天医学工程学简介	(1)
第二节 航天医学工程学的萌芽(新中国成立初期至 1967 年)	(6)
第三节 航天医学工程学的形成(1968~1992 年)	(8)
第四节 航天医学工程学的发展(1992~2002 年)	(14)
第五节 航天医学工程学的日趋成熟(2003 年至今)	(20)
第二章 航天环境医学	(33)
第一节 航天环境医学概述	(33)
第二节 我国航天环境医学研究发展历史	(35)
第三节 航天环境医学发展前景展望	(47)
第三章 重力生理学	(51)
第一节 重力生理学概述	(51)
第二节 我国重力生理学发展历史	(52)
第三节 重力生理学发展展望	(66)
第四章 航天细胞分子生物学	(70)
第一节 航天细胞分子生物学概述	(70)
第二节 航天细胞分子生物学发展阶段	(71)
第三节 航天细胞分子生物学研究展望	(79)
第五章 航天工效学研究进展	(82)
第一节 航天工效学概述	(82)
第二节 航天工效学发展历程	(83)
第三节 航天工效学发展前景展望	(94)
第六章 航天员选拔与训练	(97)
第一节 航天员选拔与训练概述	(97)
第二节 我国航天员选拔与训练的发展历史	(98)
第三节 我国航天员选拔与训练发展展望	(114)
第七章 航天实施医学	(117)
第一节 航天实施医学概述	(117)
第二节 我国航天实施医学发展历程	(118)
第三节 航天实施医学展望	(129)
第八章 航天营养与食品工程	(133)
第一节 航天营养与食品工程概述	(133)
第二节 我国航天营养与食品工程发展历史	(134)
第三节 航天营养与食品工程研究发展展望	(146)



第九章 航天环境控制与生命保障工程	(148)
第一节 航天环境控制与生命保障工程概述	(148)
第二节 我国航天环境控制与生命保障工程发展历程	(150)
第三节 航天环境控制与生命保障工程发展展望	(166)
第十章 航天服工程	(168)
第一节 航天服工程概述	(168)
第二节 我国航天服工程发展历程	(172)
第三节 航天服工程展望	(180)
第十一章 航天生物医学工程	(183)
第一节 航天生物医学工程概述	(183)
第二节 航天生物医学工程发展历程	(184)
第三节 航天生物医学工程展望	(196)
第十二章 航天环境模拟技术	(199)
第一节 航天环境模拟技术概述	(199)
第二节 我国航天环境模拟技术发展历程	(202)
第三节 航天环境模拟技术发展展望	(215)
第十三章 航天飞行训练仿真技术	(217)
第一节 航天飞行训练仿真技术概况	(217)
第二节 我国航天飞行训练仿真技术发展历史	(218)
第三节 航天飞行训练模拟技术前景展望	(230)
附录 航天医学工程学学科发展大事记	(233)

第一章 航天医学工程学发展总论

航天医学工程学是在中国特色载人航天事业实践与发展中开创的一门新兴学科。新中国成立 60 年来,伴随着中华人民共和国的成长壮大,中国载人航天走过了坎坷而独特的发展历程,取得了累累硕果,特别是 20 世纪 90 年代初实施的“载人航天工程”取得了令世人瞩目的辉煌成就。航天事业的发展极大地带动与推进了科学技术的发展,也催生和促进了相关领域新学科和新技术的发展。其中,一门综合性新兴学科——航天医学工程学也应运而生,并形成了一套较为完整、特色鲜明的科学理论体系和工程实践技术,为我国载人航天的突破和发展做出了极其重要的贡献。回顾、总结航天医学工程学学科发展历程,对于落实科学发展观,推动载人航天事业可持续发展具有重要意义,也是向中华人民共和国成立 60 年的一份献礼。

第一节 航天医学工程学简介

一、航天医学工程学的概念

航天医学工程学是以我国载人航天任务为背景,为适应载人航天发展需要而形成和建立起来的一门医工结合、多学科交叉集成的综合性应用学科。它以系统论为指导,利用现代科学技术以及与之相适应的方法体系,研究载人航天活动对人体的影响及其特征规律,研制可靠的工程对抗防护措施,设计和创造合理的人-机环境,寻求载人航天系统中人(航天员/载荷专家)、机(载人航天器及运载器)和环境(航天环境和飞行器内环境)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。它既源于航空医学、空间生命科学、工程技术等基础学科,又具有鲜明的自身特色——凸现学科间的交叉渗透、融合和明确的飞行任务应用背景。

航天医学工程学的学科构成主要包括航天环境医学、重力生理学、航天细胞分子生物学、航天工效学、航天心理学、航天员选拔与训练、航天实施医学、航天营养与食品工程、航天环境控制与生命保障工程、航天服工程、航天生物医学工程、航天环境模拟技术、航天飞行训练仿真技术等(图 1-1)。

航天环境医学主要研究航天环境因素作用于人体所产生的生理学和病理学效应、作用机制及其防护措施,内容包括座舱大气环境医学、座舱环境化学和卫生毒理学、温度医学、振动医学与工程、声环境医学与工程、辐射环境医学与工程及载人航天器医学评价技术等。

重力生理学主要研究航天飞行中微重力和超重的生理效应、作用机制及其防护措施,内容包括微重力体液头向分布时心血管功能改变、空间运动病、肌肉萎缩、骨质丢失、免疫功能下降、神经和内分泌功能紊乱的机制及其防护研究等。

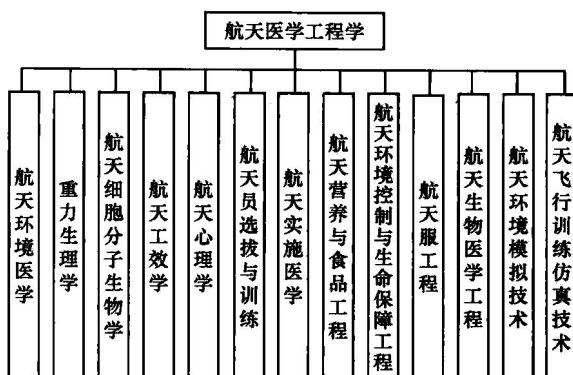


图 1-1 航天医学工程学分支学科组成图

航天细胞分子生物学主要针对中长期航天活动中空间环境因素导致的有机体生理、病理变化,着重从细胞、分子水平研究其变化的规律及其内在机制,致力于发展分子靶点型对抗防护措施,内容包括在重力、辐射等环境因素条件下,细胞内信号途径、基因表达调控等基本生物学问题。

航天工效学是研究航天员工作规律的一门新兴学科,内容包括不同状态下航天员形态参数和力学参数测量技术、工作能力分析与测试技术、人-机界面设计与评价技术等。

航天心理学主要研究航天飞行对航天员心理活动的影响及其变化规律,它将心理学的理论和方法应用于航天员心理选拔、心理训练、心理健康维护与支持以及工程设计等方面,内容包括航天生理心理学、航天心理卫生学及航天员训练心理学。

航天员选拔与训练主要针对载人航天飞行环境和任务对人的要求,研究航天员选拔与训练的方法、标准和程序等,内容包括预备航天员选拔技术研究、飞行乘组选拔技术研究、训练技术研究等。

航天实施医学以保障并促进航天员的健康、解决航天中的医学问题为目标,主要进行航天员健康维护、医学鉴定、医学监测等相关的技术研究。

航天营养与食品工程是一门研究航天员营养需求与营养保障的技术学科,主要研究航天环境下的物质代谢规律以及航天食品加工、包装和安全管理等内容。

航天环境控制与生命保障工程主要研究创造适合人生存和工作的人工环境,维持与人相关的物质流和能量流平衡的技术,内容包括座舱大气压力控制、大气净化、大气温湿度控制、空气通风、在轨生活保障、测量控制、防火与灭火安全等。

航天服工程是一门研究空间个体防护技术及其系统实现的应用学科,重点开展压力防护、工效保障、特种织物材料、特种工艺及系统集成等方面的研究。

航天生物医学工程是一门研究航天条件下生物医学信号检测、传输、处理、建模与仿真等方面的理论和技术的应用学科,内容包括生物医学传感器技术、生物医学信号测量与处理技术、生物医学遥测技术、生理仿真与建模、生物医学图像处理技术等。

航天环境模拟技术是研究在地面上人工等效再现或模拟载人航天环境的技术和方法,内容包括压力环境、大气环境、热真空环境、动力学环境的模拟技术等。

航天飞行训练仿真技术是以相似原理、控制理论、计算机技术、航天器飞行专业技术等



为基础,采用实物、半实物和数字仿真的方法,研究与构建人在回路中的航天器模拟飞行系统。

二、航天医学工程学特点与体系框架

航天医学工程学以人为中心,以实现载人航天任务中航天员的安全、健康和高效工作的需求为目标,在明确的任务牵引下,遵循应用基础研究、应用技术攻关、应用技术工程化实践的发展规律和科学的方法体系,综合集成生物学、医学、电子学、数学、力学、机械工程学等多学科知识、理论和技术,通过医学工程技术的交叉融合,形成了以确保航天员安全、维护航天员健康、提高航天员工作能力为目标的实施体系(图 1-2)。

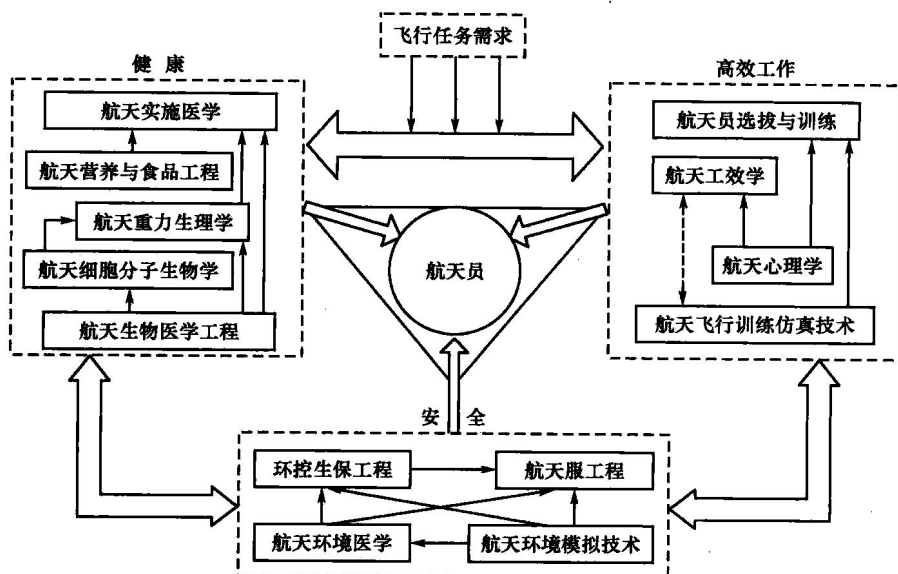


图 1-2 航天医学工程学与载人航天任务关系示意图

在上述体系中,体现了航天医学工程学的四个核心要素,即①以系统论为指导;②以人为本;③医学与工程学(简称医工)相结合;④安全、健康、高效工作的三大目标。

系统论是航天医学工程学的指导思想。在航天医学工程学分支学科设置、研究内容和研究方法确定、学科发展规律探索等方面,始终贯彻系统论的指导思想。航天医学工程学设置了 13 个分支学科,这些分支学科紧紧围绕载人航天中航天员的安全、健康和高效工作的目标开展研究,各学科之间互相关联,构成一个综合性、交叉的学科群,共同解决载人航天复杂人-机系统问题。要达到上述目标、解决这些问题,依靠单个学科是无法实现的。

以人为本是航天医学工程学的核心理念。人始终是航天医学工程学关注的焦点和核心,各分支学科的研究都是围绕人而展开的。例如,航天实施医学围绕航天员的医学监督与医学保障开展研究;航天食品与营养工程围绕航天员的营养需求与营养保障开展研究;航天工效学则重点研究如何保证航天器更好地适应人的生理、心理特点和工作能力。

医工结合是航天医学工程学的特色。在医学研究过程中要借鉴工程化的方法,强化研



究的边界条件和过程控制,使研究结果更具工程可行性;在工程研制中要充分考虑医学需求,以人为中心展开设计,工程研制的结果要通过有人参与的试验加以验证。例如,在航天服装备的研制过程中,医学部门在研究摸清人的生理特性和规律后,通过工程化的实验研究,提出航天服生理卫生学与工效学要求,医学部门与工程部门共同协商确定航天服工程设计上可操作的医学工程设计参数要求,工程部门负责制定并测试航天服医学工程设计参数,医学部门负责制定航天服人体生理学评价方法及标准并实施评价。对于航天服装备的系统综合试验评价,则由医学部门和工程部门联合实施。上述研究和试验方法是医工结合的具体体现。

安全、健康和高效地工作,是学科群要实现的共同目标。以安全、健康和高效地工作为目标牵引的三大模块存在着相互影响、相互支撑的内在联系,且层层递进。确保航天员的安全是保障航天员健康飞行和高效工作的前提,也是最基本的要求。在此基础上,还必须保证航天员的健康,要求航天环境医学和环控生保工程还必须保证人的正常生活。最后,还必须开展复杂人-机系统工效学研究,提高航天器的适人性,通过选拔训练确保航天员工作能力和良好心理素质,保证其在轨高效工作,充分发挥载人航天中人的作用。

航天医学工程学及其各分支学科的研究,必须坚持以系统论为指导,走医工结合道路,保证航天员安全、健康和高效地工作,但各分支学科的侧重点有所不同。

(1) 航天员的安全主要通过航天环境医学要求及工程实现途径的研究来保证。航天环境医学研究人在空间环境中生存和生活的条件,确定正常飞行条件下环境、代谢参数和应急工况下人的安全耐受限值,作为航天器工程设计依据;航天环控生保和航天服工程研究人在空间环境中生存和生活的工程实现途径,从而保证航天员飞行安全;航天环境模拟技术为航天环境医学研究和工程产品可靠性试验提供独特的技术平台和技术保障。

(2) 航天员的健康主要通过对载人飞行中医学问题的研究与医学保障实现。航天重力生理学和航天细胞分子生物学分别从宏观和微观层面研究失重航天特因环境对人体的影响机制及防护措施,为航天员健康保障提供理论依据;航天实施医学研究航天员医学监督与医学保障应用技术;航天营养与食品工程根据航天员工作负荷和空间作业特点,研究物质代谢规律与营养需求,提供营养膳食保障;航天生物医学工程研究医学监测的工程实现途径。上述分支学科在理论与应用、医学与工程方面共同保障航天员的健康。

(3) 训练有素的航天员和良好的人-机界面是高效工作的基础。航天工效学研究航天器与人的最佳匹配途径;航天员选拔与训练针对飞行任务要求,实施航天员训练,选拔出身体、心理和技能合格的飞行乘组。航天心理学研究成果用于指导航天员心理健康维护,保证了飞行中航天员良好的心理状态,为其高效工作奠定了基础。航天飞行训练模拟技术针对飞行任务特点,研究并提供航天员飞行训练支持手段。

各分支学科在航天医学工程学科中的地位不完全相同。航天员选拔与训练、航天环境控制与生命保障工程以及重力生理学是航天医学工程学的主干学科,航天实施医学、航天营养与食品工程以及航天服工程是特色学科。

航天医学工程学的发展充分体现了“任务带学科、学科促任务”的指导思想。航天医学工程学是“载人航天工程”的重要支撑,在其基础上创建了两个最具载人特色的工程系统——航天员系统和航天器环境控制与保障分系统;与此同时,在“载人航天工程”研制实



践中,伴随航天员选拔训练、航天心理学、航天实施医学、环境控制与生命保障、航天服、航天环境模拟技术、航天生物医学工程、航天营养与食品工程等工程需求的扩大,航天医学工程学的学科体系和内容也随之丰富、充实。

三、航天医学工程学在“载人航天工程”中的作用

“载人航天工程”启动后,航天医学工程学以航天员系统和飞船环控生保分系统的角色,直接参与国家“载人航天工程”型号任务研制,为历次载人航天飞行任务的成功做出了突出贡献。具体作用主要体现在以下几个方面。

(1) 研究并形成了航天员选拔与训练的方法和理论体系,用于指导中国航天员选拔、训练,为我国历次载人航天飞行提供了优秀的飞行乘组。

(2) 以人的需求为先导,创建了航天器环控生保工程理论,保障了密闭环境与人相关的物质流和能量流的平衡,解决了失重环境下物质的存储、输送、分配以及废弃物管理与再利用难题,研制出了适宜生存的座舱人工环境和直接用于太空作业的舱外航天服。

(3) 开展航天实施医学研究,提出了具有中国特色的中西医结合的医学监督与医学保障(本书简称医监医保)技术,预防为主、寓治于防,保证了航天员的身心健康。

(4) 系统研究航天飞行中人的生理和心理特点以及工作能力,用于指导载人航天器人-机界面设计,保证航天员与航天器的最佳匹配,充分发挥航天员的作用。

(5) 系统研究并论述了航天特因环境对人的影响,从宏观和微观两方面提出了防护理论,用于指导航天特因防护措施与装备研制。

总之,将航天医学工程学长期研究的成果和方法成功运用于“载人航天工程”中,为工程研制实现提供了重要的理论和技术支撑。同时,工程引领了航天医学工程学的深入研究和进一步发展,使学科得到升华。3次载人航天飞行任务验证了学科对工程指导的有效性,体现了学科的生命力。

四、航天医学工程学的发展阶段

航天医学工程学伴随我国载人航天事业的发展历程,经历了萌芽、初步形成、发展充实、日趋成熟4个发展阶段。

航天医学工程学萌发于20世纪50年代新中国成立初期的宇宙医学研究,后来随着国内研究领域的拓宽,宇宙医学演变为宇宙医学及工程;从60年代末70年代初,国内学者基本上都开始把这一学科领域称为航天医学工程。

从20世纪70年代初至90年代初,经过国家“曙光”号任务、返回式1型卫星(FSW-1)、CBS-1生物搭载舱实践和国家“863计划”领域设立的载人航天器环控生保及医学防护技术预先研究课题,初步形成了航天医学工程学科的基本脉络。

1992年国家“载人航天工程”正式启动,以明确的任务需求为牵引,航天医学工程学科得以快速发展。国内开展了大量针对工程应用的基础性研究,充实和丰富了航天医学工程学科基础理论成果,张汝果研究员主编出版了《航天医学工程基础》,逐步形成了航天医学



工程学科的总体框架。

2003年“神舟”5号首次载人航天飞行的实践使这一学科理论得到实际工程的有效检验。2005年“神舟”6号“多人多天”飞行与航天员进入轨道舱参与科学实验,以及同年国防工业出版社出版了魏金河、黄端生编著的《航天医学工程概论》,标志着这一学科日趋成熟。2008年,陈善广研究员全面总结、梳理了航天医学工程学科的发展脉络,在《航天医学与医学工程》发表专题文章“中国航天医学工程学发展与回顾”,提出了航天医学工程学的概念,并系统阐释了具有中国特色的航天医学工程学学科理论体系和技术方法,概述了航天医学工程学的体系构成、研究内容、学科特点和发展目标。2008年“神舟”7号航天员出舱活动成功,展示了航天医学工程学在载人航天工程中的重要地位。

第二节 航天医学工程学的萌芽 (新中国成立初期至1967年)

一、宇宙医学在新中国的兴起

人类进入20世纪上半叶,第二次世界大战结束后进入冷战时期。在这个时期,美国和前苏联都争先将人送入太空作为冷战时期向外层空间扩张的重要突破口。为了了解空间飞行对于人类的影响,前苏联和美国都进行了大量的生物飞行探空试验。

在1947~1952年,美国利用“V2”型火箭和“空蜂”号火箭分别把果蝇、真菌孢子、种子、苔藓、猴、小白鼠等发射到60~120km的高空进行研究,并测量了动物的心电、呼吸、血压等生理指标;还研究了小鼠在失重状态下的姿势反射并成功回收。1958年1月美国发射的“探险”1号卫星,发现范·艾伦辐射带。

1949~1960年,前苏联利用火箭把犬发射到100~110km和210~212km高空进行研究。1957年10月,前苏联成功发射第1颗人造地球卫星,11月将载有小型犬“莱依卡”的生物卫星送上天。

美国和前苏联在生物飞行探空研究领域所取得的这些成就震动了国际学术界,在我国学术界也产生了巨大的反响。

在20世纪50年代,尽管新中国疮痍累累、百业待兴,新中国的领导者和科学家们高瞻远瞩,非常重视我国的载人航天事业。自1956年起,中国科学院、中国医学科学院和军事医学科学院等科研机构的决策人员开始酝酿一个重大问题,即中国的空间技术应该起步,中国的航天医学与工程技术也应该立题探索,以便赶上世界的先进水平。

党和国家领导人对国外的空间探索给予了高度重视,1958年5月毛泽东主席在党的八届二中全会上发出“我们也要搞人造卫星”的号召,当时的国务院副总理聂荣臻随即召集专门会议,责成当时的中国科学院副院长张劲夫和原第五研究院王诤副院长制定一套空间技术体系规划。

1958年8月,由中国科学院钱学森、赵九章等科学家负责拟定我国发展人造地球卫星的规划草案,代号“581任务”,提出了要“研究和探索太空”,并成立了581小组。该小组的组长为钱学森,副组长赵九章、卫一清。当时国家计划委员会也指定9人组成小组,负责筹



备高空探测的研究工作。在9人小组下设生物小组,由军事医学科学院劳动生理研究所蔡翹、陈定一、贾司光等人组成。

1959年10月,军事医学科学院劳动生理研究所在蔡翹领导下,成立了宇宙医学研究组,1960年正式组建航空宇宙医学研究室,1964年5月劳动生理研究所改名为航空宇宙医学研究所,由5个研究室扩建为9个研究室。他们拟定了高空探测的生理研究规划及火箭飞行的生物生命保证系统研究规划,开始为一些研究项目的各种试验做准备工作。

与此同时,中国科学院生物物理所在贝时璋领导下,成立高空生理研究组,1960年扩建为宇宙生物研究室,开展以动物实验为目的的宇宙生物学研究。他们陆续建成动物离心机、振动、低压、温度、生化 and 动物训练等各类实验室。

1959年,中国医学科学院在原院长白希清和副院长沈其震领导下成立了宇宙医学领导小组,由郭福芝、洪引、赵林等参加。当年医学科学院领导和宇宙医学领导小组做出了组建专业业务骨干队伍、筹建实验室和招收专业生培养新生力量的决定。

至此,我国在军事医学科学院、中国科学院生物物理所和中国医学科学院劳动卫生及职业病研究所等单位都组建了专门的研究机构,负责高空探测方面的研究,揭开了我国载人航天医学工程研究的序幕。

二、萌芽时期的主要研究工作与发展

航天医学工程学在萌芽时期主要是开展该领域的探索性研究,重点跟踪了美国和前苏联生物飞行探空研究进展,利用探空火箭开展高空探测的生物实验,以及火箭飞行动物生保技术研究,初步证明了飞行环境对生物体安全与健康的影响,同时,在地面开展相应的初步模拟实验,为载人航天飞行做技术储备。通过这些研究,初步形成了涉及生命保障医学、起飞返回救生医学防护、医用电子仪器等技术支撑的航天医学工程学科的萌芽。

由于载人航天初期的空间探索是个全新的研究领域,缺少可供参考的技术资料和可借鉴的研究经验。虽然在3个单位都成立了相关的研究部门,但航天医学工程学科概念在这些单位还只是处于一种朦胧状态。一方面,党和国家领导人对空间探索的重视引发了我国科学家和广大科技工作者对开拓新领域的激情;另一方面,由于尚未形成学科框架,涉及具体的研究任务时又不知从何处入手,不知道如何划分课题,不知道通过什么方法去开展研究。一些重要研究课题纷纷在3家单位开始立项,并于20世纪60年代初迎来了这个学科发展的第一个高潮,即我国开始了探空火箭的研究。

1960年2月19日,中国科学院上海机电设计院自行设计制造的“T-7M”试验性液体燃料探空火箭,在上海南汇简易发射场首次发射成功,它为中国生物试验火箭研制奠定了基础,标志着中国“空间时代”的到来。

探空火箭试飞成功后,20世纪60年代(1960~1968年)以军事医学科学院、中国科学院生物物理研究所和中国医学科学院为主,负责国家探空任务,主要开展了如下几个方面的研究。

(1) 开展了以动物实验为主的探索性研究工作,目的是从医学和工程角度保证动物安全地遨游太空,为我国航天员飞向太空奠定科学基础。研究内容包括探索动物的耐受限度,研究模拟飞行中噪声、振动、冲击、超重、缺氧等因素影响下,动物中枢神经系统、心血管



系统以及内分泌系统的反应变化;研究动物训练方法,保证动物能安静居留舱内;研制生理电极及固定方法等。

(2) 开展了动物的选拔及训练工作:根据“T-7A”生物火箭设计的总体要求,对搭载犬的体重、体长、体宽、体高、外形及临床健康指标等制定了选拔基本条件;根据巴甫洛夫高级神经活动学说的经典分类及其标准,对犬进行了高级神经分类选拔;开展了模拟飞行条件的选拔训练,包括噪声、振动和加速度等;对犬的服装、固定及方位变化进行了适应性训练。

(3) 进行了连续 1 昼夜、3 昼夜和 7 昼夜的动物(犬)大型联机模拟实验。主要目的是研究动物长时间处于狭小孤独环境中的昼夜节律变化,为动物正式飞向宇宙进行探索性准备。这次动物实验取得了成功,获得了非常满意的预期结果。

(4) 开展生物火箭试验:1963 年 6 月,中国科学院新技术局正式向原第五研究院发送了中科院生物物理研究所拟于 1963~1965 年利用“T-7”火箭开展生物试验的研究计划。1964 年 7 月 19 日,中国第一枚生物试验火箭“T-7A(S1)”发射成功,实现了中国首次生物探空试验研究,迈出了我国现代空间生物科学探测的第一步,取得了可贵的试验资料。随后,于 1965~1966 年又连续成功发射 4 次,将装有多只大白鼠、小白鼠及小型犬“小豹”和“珊珊”的生物火箭发射到 70km 的高空并成功回收。生物火箭试验主要考察了“T-7A”气象火箭作为运载工具把实验动物垂直发射到 70~80km 高空的可行性与可靠性,研究主动段加速度、振动、噪声对实验动物的影响,研究与检查实验动物在舱内的生理反应、存活率及生保系统的工作状态,研究短时间飞行生物舱内电离辐射的强度,研究返回段过载对实验动物的影响,研究与检验生物舱回收的可能性。

(5) 研制了部分空间生物探索的模拟实验设备:为了开展空间生物探测研究,承担国家空间生物探测任务的 3 个单位都在力所能及的条件下建设了一些实验模拟设备。例如,军事医学科学院建成了我国第一台半径 6m 的人用离心机、各类低压环境实验舱、高低温实验室、人用秋千、转椅、振动台等设备。

第三节 航天医学工程学的形成(1968~1992 年)

一、“曙光”号任务及航天医学工程的形成

随着国家探空研究的深入发展,3 个单位分散组织实施国家有关航空宇宙医学工程(20 世纪 60 年代初的称谓)的科研任务已经不适应发展的要求。1965 年 10 月总后勤部向国防科委提出,将军事医学科学院航空宇宙医学研究所调出,建立宇宙医学研究机构。

1966 年初,在国防科委领导下,中国科学院、中国医学科学院和军事医学科学院决策人员在北京召开宇宙医学、宇宙生物学规划会议,会议建议成立宇宙医学、宇宙生物医学研究中心。在国防科委领导下,成立了宇宙医学、宇宙生物学专业组,全面负责规划的领导与协调,并成立大中型专用设备建设筹备组,统一规划大型地面模拟实验设备研制。

1968 年初,在宇宙医学、宇宙生物学研究相关单位,传达了关于我国第 1 艘宇宙飞船的设想方案。1968 年 4 月 1 日,为了贯彻落实毛泽东主席和周恩来总理有关调整改组科研机构的指示,决定从 3 家从事宇宙医学和宇宙生物学研究的单位中抽调部分人员,组建宇宙医