

航天医学工程基础



国防工业出版社

航天医学工程基础

张汝果 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是有关航天医学以及保障航天员航天健康、安全、高效、经济的医学工程专著。主要内容包括：国外载人航天发展概况；空间环境因素；航天环境因素对航天员的影响及其防护，如供氧、微小气候、辐射、超重、噪声、振动等；航天员的救生；失重时人的生理、心理变化；航天员的选择、训练、医学监督；航天员的生命保障系统、航天服、居住系统；生理遥测系统及地面模拟设备等。本书比较系统、全面地介绍了航天医学工程的基础理论和实践经验，在学术性、科学性方面做了翔实的探讨，具有可读、实用的特点。

本书的读者对象是从事载人航天研究的医学人员、航空医学人员及其工程技术人员，对医学工程学、医学院校师生及医院工作人员，都具有参考价值。

航天医学工程基础

张汝果 主编

*

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)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张 37³/₄ 插页 2 873千字

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷 印数： 001— 600册

ISBN 7-118-00775-7/V·60 定价：28.90元

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分，又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展，加强社会主义物质文明和精神文明建设，培养优秀科技人才，确保国防科技优秀图书的出版，国防科工委于1988年初决定每年拨出专款，设立国防科技图书出版基金，成立评审委员会，扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高，内容有创见，在学科上居领先地位的基础科学理论图书；在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖，内容明确、具体、有突出创见，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作，职责是：负责掌握出版基金的使用方向，评审受理的图书选题，决定资助的图书选题和资助金额，以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书，由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版，随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

**国防科技图书出版基金
第一届评审委员会组成人员**

主 任 委 员 邓佑生

副 主 任 委 员 金朱德 太史瑞

委 员 (按姓氏笔画排列)

尤子平 朵英贤 刘琯德

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘 书 长 刘琯德

《 航天医学工程基础 》

主 主 编	编 审 委 会	张汝果			
		贾司光			
		(按姓氏笔划为序)			
		于喜海	王友云	王德汉	牟树森
秘 书 组	组	刘曰治	刘光远	庞 诚	庄祥昌
		尚传勋	张汝果	张瑞钧	贾司光
		梅 磊	陆印城	梁宝林	魏金河
		梁宝林	陆印城	杨学祺	

《航天医学工程基础》作者名录

(按姓氏笔划为序)

于喜海	王友云	王玉兰	王志清	王连贵
王金华	王德汉	尹彦武	龙升照	刘曰治
刘光远	刘成林	刘学博	刘建忠	汪芳子
成自龙	向求鲁	邢树荣	阎晓霞	孙金鏖
孙增吉	孙桂菊	李士婉	李广标	李祯祥
吴文灿	吴国兴	余和璋	余秉良	庞 诚
杜国杰	宋 楷	杨光华	杨育禹	庄祥昌
庄降祥	沈力平	沈学夫	沈美云	尚传勋
祁章年	林自源	罗旭峰	周笃强	孟运余
张汝果	张其吉	张思超	张瑞钧	姜洪远
赵国璇	姚绍俭	施培家	俞尧荣	陈芝村
陈道木	陈景山	贾司光	徐志明	徐国林
顾 定	顾鼎良	陆印城	梅 磊	崔代秀
黄晓慧	曹 平	童伯伦	谢宝生	裴静琛
钱维权	钱锦康	续玉麟	薛月英	

编著者的话

中国是一个发展中的社会主义大国，在中国共产党的领导下，坚持自力更生、艰苦奋斗，发展航天事业，并多次成功地发射科学实验、气象、通信和返回式卫星，取得了举世瞩目的成就，标志着中国的航天事业具有世界先进水平。

载人航天是航天技术发展的新阶段，是一个国家科学技术和经济实力的集中表现。人进入空间能更好地开拓空间资源，为国民经济建设和国防建设服务。航天医学工程是随着载人航天的发展而逐步形成的一门综合性、应用性、边缘学科。它的主要任务是研究和解决航天员的生命安全、身心健康和高效率工作等有关的医学和工程学问题。为了适应载人航天技术的发展，我们汇集了国外最新成就和自己20余年从事航天医学工程的经验，编著了这部《航天医学工程基础》。这是一部医学和工程相结合的专著，它反映了我国从事航天医学工程研究的特点和中国医药学在航天中应用的前景。本书内容广泛，由于篇幅限制，只着重于基本概念、应用及其有关理论的论述。

本书的作者均是国内长期从事航天医学与医学工程研究的专家。作者们力求使本书在内容上做到科学性、系统性、逻辑性及先进性。由于作者较多，各人写作风格不尽一致，尽管主编多次审阅，仍存在着一些不足之处，甚至一些错误，敬请读者批评指正。

编 著 者

目 录

绪论	1
第一章 载人航天发展概况	5
第一节 载人航天的准备阶段	5
第二节 美国和苏联载人航天计划	10
第三节 载人航天和航天医学展望	15
第四节 载人航天的意义和人在航天中的作用	19
参考文献	23
第二章 空间物理因素	25
第一节 空间	25
第二节 大气环境	25
第三节 温度环境	31
第四节 引力场与磁场	32
第五节 空间电离辐射环境	33
第六节 可见光、紫外线与红外线	39
第七节 空间环境	40
参考文献	41
第三章 航天环境医学与防护	42
第一节 乘员舱气体环境	42
第二节 低压缺氧	52
第三节 乘员舱化学污染	59
第四节 温度环境	67
第五节 噪声	78
第六节 振动	88
第七节 空间电离辐射的医学效应及防护	97
第八节 微波及紫外线辐射的医学效应及防护	109
第九节 航天因素复合效应	115
第十节 中医药在载人航天中应用的展望	117
参考文献	121
第四章 失重对机体的影响	124
第一节 失重生理的研究手段	124
第二节 失重对心血管功能的影响	126
第三节 航天运动病	133
第四节 失重时体液、电解质及血液的变化	145
第五节 失重时的骨量减少	149
第六节 失重时的肌肉萎缩	160
第七节 失重时免疫功能和内分泌的变化	164
第八节 适应与再适应	168

第九节 人工重力	173
参考文献	175
第五章 航天中的超重问题	178
第一节 航天中的重力因素	178
第二节 重力因素的生理效应	180
第三节 航天中的超重防护措施	189
参考文献	192
第六章 航天救生医学工程	193
第一节 航天救生概况	193
第二节 载人航天器发射段的应急救生	196
第三节 轨道段的应急救生	206
第四节 再入段的应急救生	208
第五节 航天返回生存与营救	211
参考文献	214
第七章 航天工效学	215
第一节 航天员的任务和工作能力	215
第二节 航天器人-机功能分配	223
第三节 载人航天器人-机界面工效学	230
第四节 航天操作工效与工作负荷	240
第五节 载人航天人-机-环境系统的总体分析	247
参考文献	255
第八章 航天心理学	256
第一节 航天中人的心理特征	256
第二节 心理-生理应激	263
第三节 长期航天中航天员的心理学问题	265
第九章 航天员选拔	268
第一节 航天活动对机体的影响和对身体的要求	268
第二节 航天员的任务、工作内容、分类与职责	269
第三节 航天员医学选拔	270
第四节 航天员心理与智能选拔	273
第五节 航天员特殊环境因素耐力和适应能力选拔	275
第六节 航天员选拔的实施	276
第七节 航天员选拔的纵向医学监视	279
参考文献	280
第十章 航天员训练	281
第一节 航天活动与训练	281
第二节 航天员理论知识与技能训练	286
第三节 航天员体质锻炼	288
第四节 航天员环境因素耐力与适应能力训练	290
第五节 航天员飞行操作训练	292
第六节 航天员空间活动训练	297
参考文献	300

第十一章 航天员医学监督与保障	301
第一节 航天员医学监督	301
第二节 航天员生活制度	308
第三节 航天员营养和食品	311
第四节 消毒与检疫	317
第五节 航天员身体健康状况保障	318
第六节 航天医学人体实验医疗保障	324
第七节 航天药物	326
参考文献	328
第十二章 环境控制和生命保障系统	329
第一节 概述	329
第二节 环境控制和生命保障系统设计基础	331
第三节 非再生式生命保障系统	371
第四节 舱外活动生命保障系统	380
第五节 半再生式生命保障系统	387
第六节 再生式生命保障系统	408
参考文献	413
第十三章 航天服	415
第一节 航天服概述	415
第二节 航天服热交换的医学问题	417
第三节 航天服工作压力的选择	427
第四节 头盔卫生学问题	430
第五节 航天服设计基础	433
第六节 航天服材料与性能要求	437
第七节 头盔的工程设计	441
第八节 航天服装	447
第九节 航天服性能评定	455
参考文献	457
第十四章 航天员居住系统	459
第一节 概述	459
第二节 废物管理系统	461
第三节 个人卫生系统	465
第四节 沐浴系统	466
第五节 食品管理系统	467
第六节 睡眠保证系统	469
参考文献	470
第十五章 航天生理信号监测与处理	471
第一节 概述	471
第二节 生物导引电极	475
第三节 医用传感器及监测仪	484
第四节 特因条件下生理参量的检测技术	491
第五节 航天生理信息传输系统	496

第六节 生理信号的记录和显示	503
第七节 分析处理系统	510
参考文献	521
第十六章 航天医学工程环境模拟技术与模拟设备	524
第一节 模拟技术	524
第二节 重力环境模拟设备	533
第三节 微重力环境模拟设备	551
第四节 空间环境模拟设备	560
第五节 飞行训练模拟器	571
参考文献	576
第十七章 生物医学空间试验和开发	577
第一节 空间生物医学试验	577
第二节 空间医药生产	584
参考文献	589

绪 论

一

人类总是不断地探索未知,扩大自己的活动领域。1903年12月17日美国莱特兄弟乘坐自制的飞机平地而起,实现了人类飞翔的愿望,从此航空事业蓬勃发展。几十年来它对人类精神文明和物质文明建设起到了巨大的促进作用。1961年4月12日苏联航天员加加林首次遨游太空,吹响了人类向太空进军的号角。30年来人类在航天的征途中,克服了一个又一个的困难,取得了重大进展,到目前为止已进行了200多人次的载人航天活动。1969年7月美国航天员阿姆斯特朗和奥尔德林登月成功,标志着人类活动的领域扩展到月球。1988年苏联航天员季托夫和马纳罗夫创造了在航天站上生活和工作一年的记录,表明人可以长期在空间生存,为下一步星际航行奠定了基础。

人类为什么要向太空进军,并不是为了好奇,这是因为太空蕴藏着取之不尽,用之不竭的天然资源,诸如相对于地面的高远位置,微重力、高真空、高净洁、太阳能、高能粒子辐射以及月球和其他星体上的矿藏等都可以造福于人类。但是太空的财富不会从天而降,也不会“送货上门”,而要人类自己去索取,去开发和利用。可以预测,21世纪人类将大规模地开发和利用空间资源,实现空间工业化、商业化和军事化。

近30年的载人航天实践表明,人在空间能进行各种类型的工作,处理意外事故,发挥机器的最大效能。人的主观能动性、创造性、高度思维和应变能力是任何机器所不能代替的。没有人的参与,真正的空间生产和加工是难以实现的,载人航天是开发和利用空间的基本途径,是实现空间工业化和商业化的必由之路。正因如此,除美、苏之外,西欧和日本都在积极创造条件,争取在本世纪末或下世纪初发射载人航天器,加入载人航天的行列。

中国是一个发展中国家,中国人民依靠自己的力量,独立自主,自力更生,艰苦奋斗,多次成功地发射返回式卫星,通信卫星和气象卫星,取得举世瞩目的成就,发展载人航天事业是有基础的。载人航天是一个国家的政治、经济、科学技术和军事力量的集中表现,是综合国力的象征,这不但可以提高我国的国际地位和威望,激发亿万人民的爱国热情,增强民族自尊心和自信心,同时也将促进我国的科学技术和国民经济的发展,我们理应在载人航天领域占有一席之地。

我国早在60年代开始了航天医学的探索性研究,1964年1月首次发射生物火箭,探讨飞行因素对机体的影响,开展生命保障和回收技术的研究。在1965~1966年间先后5次成功地把狗、大白鼠及其他生物样品发射到70km的高空,并安全回收,取得了宝贵的科学实验资料。为了发展载人航天科学事业,1968年4月中国组建了航天医学工程研究机构,这是一个医学和工程相结合,多学科合作,集全国有关科技人才于一体的研究实体,主要研究方向是保障人在航天过程中的身体健康、工作效率和安全救生的医学工程问题。这个机构20多年来从无到有,艰苦创业,建造了一些必要的地面模拟设备,开

展了一些航天医学工程的关键性技术研究，在实践中培育了一批医学和工程相结合的专业人才，为我国载人航天事业的发展奠定了基础。

二

航天医学工程是随着载人航天的发展而发展起来的一门综合性、应用性边缘科学。它汇许多相互联系学科的理论知识和技术方法于一体，旨在研究和解决载人航天中人的安全、健康和工作效率问题；寻求航天器-机-环境系统的最佳组合方案，使载人航天器大系统达到安全、高效和经济的总体目标。它涉及的学科有：航天医学和生物学、心理学、工效学、医用电子工程、环境控制和生命保障医学工程、防护和救生医学工程、地面模拟设备医学工程等。从系统科学观点看，它是载人航天器工程大系统的重要组成部分，可称为航天医学工程系统。这是一个以航天员为中心的医学与工程相结合的复杂系统，可以把它概括为一个核心和三个组成部分。

航天员是系统的核心。航天员作为对象来研究，其目的在于提高他们的身体素质、心理素质、知识水平和工作能力，以适应航天的需要。不同的航天员在航天中执行的任务不同，对他们的身体素质和专业技术水平的要求也不相同。但作为对航天员的共性要求应是：有能适应各种航天应激因素的身体条件；有良好的心理素质，能在航天的复杂而又孤独环境中，保持情绪稳定和坚韧不拔；有足够的科技文化知识，熟练的操作技能及灵活的应变能力。因此，首先要建立各类航天员的选拔标准和训练方法，这项任务主要靠航天医学、心理学和工效学的专业人员来完成。

系统的三个组成部分是：生命保障、保健和工效，三者既独立又互相联系。生命保障包括座舱的环境控制和生命保障系统（含航天服系统）医学工程，航天食品和供水及其支持系统，救生系统医学工程，居住系统医学工程等。保健包括飞行前、中、后的医学监督和医疗保障，医学防护措施，舱内环境卫生学和毒理学监测，生理信息的测试、传输和显示等。工效包括人-机功能分配原则，人-机界面设计要求，空间实验设备的生理学要求，作息制度的制定，人在空间劳动生产能力的评定，地面训练模拟设备等。上述大多项目都靠医学工程共同完成，其一般程序是：首先进行模拟实验，摸清人-环境关系和人-机关系，提出医学数据和要求；其次工程人员根据医学数据和要求，进行关键性技术研制，工程设计和试制；然后对试制产品进行工程和医学试验，在此基础上提出改进意见。往往一项与人的安全、健康和工效以及有关的工程产品，需要经过几个反复才能完成。

航天医学工程系统根据载人航天技术的发展可分为短期系统，中长期系统和长期系统。短期系统适用于天地往返运输系统，如载人飞船和航天飞机；中长期系统适用于航天站，系统的要素比前者增多，结构也比较复杂；长期系统主要用于月球基地和载人星际飞行，要素更多，结构更为复杂。航天医学工程系统的发展既有阶段性，又有连续性。从阶段性看，一般是从短期到中长期，最后到长期。从系统的内涵看，不论是短期，中长期或长期，都必须包括一个核心和三个组成部分，其目的都是为着保障航天员的安全、健康和高效率地工作。但是不同阶段对系统的要求是不相同的，如生保系统，短期是非再生式，中长期是半再生式，长期是全再生式；对于航天员，短期重点是防治航天运动

病，中长期重点是防止肌肉萎缩和骨质脱钙以及孤独和寂寞所引起的心理变化等。

航天医学工程系统不同于载人航天的其他的工程技术系统，它是以人为中心，解决与人有直接关系的医学与工程问题，它不仅具有医学科学研究的特点，同时又要遵从工程设计与发展的规律。它是以保障人的安全，健康和高效率作为系统的目标，将实现这一目标的各种技术措施、安全装置和防护设备集为一体。国外没有明确提出航天医学工程系统的概念，也未将它列入载人航天工程大系统内。我们依据系统论的观点和载人航天的特殊性，提出这个系统的概念，主张将它放到与航天站，运载火箭、通讯测控网和天地往返运输系统同等地位上，这样才能保证载人航天工程大系统的完整性。

航天医学工程系统在载人航天工程大系统所起的作用：

1. 有利于提高大系统的安全性

任何一个人-机系统的可靠性不应是人的可靠性和机的可靠性的简单相加。训练有素的人的参与，可以弥补工程系统可靠性的不足，从而提高其安全性。人的可靠性得到保证，大系统的安全性也得到提高。

2. 有利于发挥人在航天中的作用

本系统就是以采取一系列措施保障航天员的安全、健康和工效，从而有效地保证航天员发挥作用。

3. 有利于大系统的人-机关系和人-环境关系的合理匹配

本系统着重研究航天器中人-机关系和人-环境关系相互作用的规律，从中可以找出既经济又能高效工作的最佳组合方式。

4. 有利于系统分析、设计和管理

本系统涉及到许多知识、技术、措施、仪器和设备，将这些要素集中起来构成一个复杂系统，将有利于系统分析、设计和管理。

航天医学工程系统是积我们20余年航天医学工程研究的实践经验而提出的概念，它的作用还有待于在我国载人航天的实践中去完善。综上所述，航天医学工程系统在载人航天工程大系统中的作用是非常重要的，它和工程总体，和其他工程系统都有密切的关系。

航天医学工程只有近30年的发展历史，虽然已积累了不少理论知识和实践经验，但究竟还很年青，还有许多未知领域需要我们去探索。载人航天器工程大系统是一个复杂巨系统，如何客观评估它的可靠性，真正做到安全可靠万无一失，仍是一个未解决的问题。20多年来共发生载人航天应急事故20余起，14名航天员遇难身亡，是一个惨痛教训。在航天医学方面，航天运动病的发病机理及防治问题；长期失重的肌肉萎缩和骨质脱钙问题；心血管系统对失重的适应及返回地面的再适应问题；空间重粒子辐射的防护以及长期航天的心理学问题等都有待解决。在工程方面，长期航天用的完全密闭再生式生命保障系统正处于关键性技术预先研究阶段；不需预吸氧的高压航天服处于试验阶段。上述问题的解决，人才有可能在空间长期生活，实现人的星际航行才有了前提。可以想象，未来的太空，特别是近地空间，将有数目众多、作用各异的航天器，如航天站、空间实验室和工厂、天地往返运输航天器以及近地星体人类居住区。总之，只要有人进入太空，就离开不了航天医学工程。未来的航天事业将为航天医学工程的发展开辟更加广阔的前景。

三

为了适应我国航天高技术的发展,我们撰写了这部《航天医学工程基础》。本书的主要特点是把保障航天员的安全、健康和高效率有关医学和工程问题汇集一起,系统论述。它不同于传统的《航天医学》或《生命保障系统工程学》著作,只单纯论述医学或工程学问题,本书是一部医学和工程相结合的概论性科学著作;它也不同于一般“专著”,航天医学工程问题涉及面很广,书的篇幅有限,因此对一些理论问题不可能展开讨论,只着重于航天医学工程的基本内容 and 应用基础来撰写。本书既概括了近30年国外在航天医学工程方面取得的成就,反映了我国在这方面的进展,概述了航天医学工程的现状和发展前景,具有系统性和实用性。把医学和工程问题有机联系起来,汇成系统,也反映了我国开展航天医学工程研究的特点。

全书共十七章,一、二章属国外发展概况和航天环境因素的介绍,是个引子。三至十六章属航天医学工程的内容,各章作者都是长期从事该方面研究工作的专家。最后一章是从生物医学角度探讨空间应用和航天生物医学的发展问题。我们发展载人航天事业,除了探索未知外,重要的目的是开发利用空间资源为国民经济建设服务。空间微重力环境为生物工程的研究、晶体生长和制药提供良好条件,具有很大的发展前途。可以肯定,空间的生产和加工将会带来巨大的社会效益和经济效益。

本书出版的目的在于总结我们的经验,加强航天医学工程的学术交流,促进我国载人航天事业的发展,同时也可使关心我国载人航天事业的读者对航天医学工程有一个基本了解。本书可作为从事航天医学工程研究人员的基本读物,也可作为与航天医学工程有关的学科教学和研究之参考,对航天工程各系统的工程设计有参考价值。由于我们尚缺乏实际飞行的经验,对某些问题的认识不一定深刻。书中难免有错误和不当之处,衷心希望广大读者批评指正。

第一章 载人航天发展概况

第一节 载人航天的准备阶段

现在,把人送上空间绕地球轨道飞行和登上月球已不是罕见的事,而且不久人们就可以长时间留在空间站上工作和生产,并探测火星。然而能达到今天这样的科学技术水平,决不是一朝一夕所能达到的,而是人类世世代代辛勤研究、长期实践的结果。

一、火箭技术的发展

18世纪西方资本主义生产的发展为科学技术的发展提供了机会。1782年,法国昂诺内(Annonay)一家造纸厂厂主的两个儿子约瑟夫(Joseph)和雅克·蒙哥尔费(Jacques Montgolfier),受到纸袋罩在火上会上升的启发,开始了热气球的实验并取得成功。1783年10月15日法国一名药剂师皮拉特尔·德罗齐埃(Pilatre de Rozier)在气球上作了第一次飞行,此后近一百年的时间里,气球升空数以百计。但是,用动力发动的和比空气重而能维持在空中的第一台装置是在19世纪40年代英国人制成的,而近代飞机的设计制造则是从19世纪末开始,实际的飞行试验在本世纪初。美国威尔伯(Willur)和奥维尔·莱特(Orville Wright)兄弟俩设计和制造的飞机在1903年12月17日由奥维尔·莱特驾驶,起飞后12 s飞行了40 m,近乎不可能的事终于实现了。此后,特别是在第一次和第二次世界大战期间,由于战争的需要,飞机性能有了迅速提高。现在飞机速度可达音速的3倍,运载能力可达100多吨或载500多名乘客。当今,人们乘坐飞机已是日常生活中司空见惯的事情。尽管如此,但用螺旋桨和喷气发动机推动的飞机的活动范围只限于大气稠密区(高度在27.5 km以下),如果要飞出大气层,则需要研制一种燃料在燃烧时不需要大气中氧气的推进发动机,这就是现代的火箭。

火箭的发明与火药的发明是分不开的,大约在9世纪,我国就发明了火药,到了13世纪宋金战争中出现了原始的军用火箭,利用燃烧黑色火药排出大量气体的反作用力将箭射出。成吉思汗远征欧洲时,曾使用过这种武器。到15世纪,其他国家也有了火箭,但由于这种火箭命中率不如火炮,所以直到19世纪在战争中并未广泛使用。

火箭技术发展到现在这种水平,实得力于三位先驱^[1,2]。首先是苏联教师康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基(Константин Циолковский)1857年出生,1935年去世,早在1903年他就在名为《科学评论》杂志上提出利用液氢与液氧作推进剂的火箭可以使人达到飞往月球和行星旅行的目的。以后,又提出了多级火箭和惯性导航的概念,并最早建立了计算火箭推进速度的公式。第二位是美国的罗伯特·H·戈达德(Robert. H. Goddard),1882年出生,1945年去世,他和齐奥尔科夫斯基一样也是一名教师,而且他既是理论家又是实验者。他做了许多火箭实验,同时还进行了火箭推力的数学理论研究。在第二次世界大战开始以前,他已研制和成功地发射了35枚液体火箭(第一枚于1926年3月16日发射)。第三位先驱是1894年出生于罗马尼亚,1940年入德国籍的赫尔曼·奥伯特