



载人航天出版工程

总主编：周建平
总策划：邓宁丰

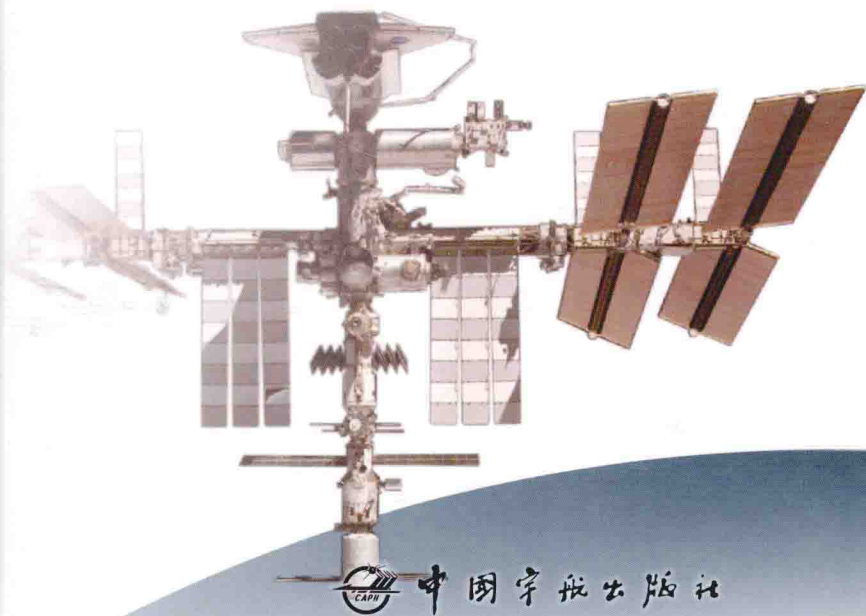
 Springer

空间站系统和应用

Space Station Systems and Utilization

[德] 厄恩斯特·梅瑟施米德 莱茵霍尔德·伯特兰 著

周建平 等 译



中国宇航出版社



载人航天出版工程

总主编：周建平

总策划：邓宁丰

空间站系统和应用

SPACE STATION SYSTEMS AND UTILIZATION

[德] 厄思斯特·梅瑟施米德 著
莱茵霍尔德·伯特兰
周建平 等 译

 中国宇航出版社

Translation from the English language edition;

Space Stations, Systems and Utilization by Ernst Messerschmid and Reinhold Bertrand

© Springer - Verlag Berlin Heidelberg 1999

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书中文简体字版由著作权人授权中国宇航出版社独家出版发行, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

著作权合同登记号: 图字: 01-2012-8195 号

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

空间站系统和应用/ (德) 梅瑟施米德 (Messerschmid, E.), (德) 伯特兰 (Bertrand, R.) 著; 周建平等译. --北京: 中国宇航出版社, 2013. 12

书名原文: Space station: systems and utilization

国家出版基金项目

ISBN 978 - 7 - 5159 - 0584 - 6

I. ①空… II. ①梅… ②伯… ③周… III. ①星际站 IV. ①V476.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 296319 号

责任编辑 刘亚静 彭晨光 **封面设计** 姜旭

出版 **中国宇航出版社**

社址 北京市阜成路 8 号 **邮编** 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京画中华印刷有限公司

版次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

规格 880 × 1230 **开本** 1/32

印张 21.375 **插页** 4 面 **字数** 593 千字

书号 ISBN 978 - 7 - 5159 - 0584 - 6

定价 98.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

《载人航天出版工程》总序

中国载人航天工程自 1992 年立项以来，已经走过了 20 多年的发展历程。经过载人航天工程全体研制人员的锐意创新、刻苦攻关、顽强拼搏，共发射了 10 艘神舟飞船和 1 个目标飞行器，完成了从无人飞行到载人飞行、从一人一天到多人多天、从舱内实验到出舱活动、从自动交会对接到人控交会对接、从单船飞行到组合体飞行等一系列技术跨越，拥有了可靠的载人天地往返运输的能力，实现了中华民族的千年飞天梦想，使中国成为世界上第三个独立掌握载人航天技术的国家。我国载人航天工程作为高科技领域最具代表性的科技实践活动之一，承载了中国人民期盼国家富强、民族复兴的伟大梦想，彰显了中华民族探索未知世界、发现科学真理的不懈追求，体现了不畏艰辛、大力协同的精神风貌。航天梦是中国梦的重要组成部分，载人航天事业的成就，充分展示了伟大的中国道路、中国精神、中国力量，坚定了全国各族人民实现中华民族伟大复兴中国梦的决心和信心。

载人航天工程是十分复杂的大系统工程，既有赖于国家的整体科学技术发展水平，也起到了影响、促进和推动着科学技术进步的重要作用。载人航天技术的发展，涉及系统工程管理，自动控制技术，计算机技术，动力技术，材料和结构技术，环控生保技术，通信、遥感及测控技术，以及天文学、物理学、化学、生命科学、力学、地球科学和空间科学等诸多科学技术领域。在我国综合国力不断增强的今天，载人航天工程对促进中国科学技术的发展起到了积极的推动作用，是中国建设创新型国家的标志性工程之一。

我国航天事业已经进入了承前启后、继往开来、加速发展的关键时期。我国载人航天工程已经完成了三步走战略的第一步和第二

步第一阶段的研制和飞行任务，突破了载人天地往返、空间出舱和空间交会对接技术，建立了比较完善的载人航天研发技术体系，形成了完整配套的研制、生产、试验能力。现在，我们正在进行空间站工程的研制工作。2020年前后，我国将建造由20吨级舱段为基本模块构成的空间站，这将使我国载人航天工程进入一个新的发展阶段。建造具有中国特色和时代特征的中国空间站，和平开发和利用太空，为人类文明发展和进步做出新的贡献，是我们航天人肩负的责任和历史使命。要实现这一宏伟目标，无论是在科学技术方面，还是在工程组织方面，都对我们提出了新的挑战。

以图书为代表的文献资料既是载人航天工程的经验总结，也是后续任务研发的重要支撑。为了顺利实施这项国家重大科技工程，实现我国载人航天三步走的战略目标，我们必须充分总结实践成果，并充分借鉴国际同行的经验，形成具有系统性、前瞻性和实用性的，具有中国特色的理论与实践相结合的载人航天工程知识文献体系。

《载人航天出版工程》的编辑和出版就是要致力于建设这样的知识文献体系。书目的选择是在广泛听取参与我国载人航天工程各专业领域的专家意见和建议的基础上确定的，其中专著内容涉及我国载人航天科研生产的最新技术成果，译著源于世界著名的出版机构，力图反映载人航天工程相关技术领域的当前水平和发展方向。

《载人航天出版工程》凝结了国内外载人航天专家学者的智慧和成果，具有较强的工程实用性和技术前瞻性，既可作为从事载人航天工程科研、生产、试验工作的参考用书，亦可供相关专业领域人员学习借鉴。期望这套丛书有助于载人航天工程的顺利实施，有利于中国航天事业的进一步发展，有益于航天科技领域的人才培养，为促进航天科技发展、建设创新型国家做出贡献。



2013年10月

前 言

本书是德国斯图加特大学过去几年间举办的系列讲座的成果。继 1983 年首个美国国家航空航天局 (NASA) / 欧洲空间局 (ESA) 空间实验室任务 SL1 和 1985 年首个德国 D1 空间实验室任务后, 科学团体和公众对载人航天飞行的兴趣在后阿波罗时代达到了另一个高潮, 参与国际空间站的项目被纳入欧洲航天政策展望的内容中, 在这样的大背景下, 在大学中举办一些与空间站和航天飞行应用相关的研讨和讲座活动是非常适时的。1987 年底到 1988 年初, 我们首次举办与空间站相关的系列讲座, 从 1990 年底 1991 年初开始, 系列讲座从斯图加特大学扩展到位于法国图卢兹的国家高等航空航天大学 (ENSAE), 在 1995 年到 1996 年, 法国斯特拉斯堡国际空间大学 (ISU) 将讲座内容列为空间研究硕士 (MSS) 学位的一门新课程。

作为这些讲座的补充, 斯图加特大学空间系统学院 (IRS) 组织学生参加了空间站设计研讨班, 内容覆盖空间站的各个领域。学生们可以利用空间系统学院开发的软件工具设计他们自己的空间站; 专家可帮助学生们将其设计思想与虚拟用户的要求相结合, 满足预先设定的边界条件, 使空间站概念设计达到最优化, 最终通过计算机实现模拟飞行。

系列讲座和空间站设计研讨班总结多年来的一些知识和经验, 于 1996 年形成了第一本《空间站系统 and 应用》, 目前已经被修订、扩大发行并翻译成英语。

我们的讲座内容涉及空间站的所有方面, 包括设计、组装以及最终的运行等, 这主要得益于航天研究和产业界专家对系列讲座和

研讨班的大力支持，我们对他们表示诚挚的感谢，他们的授课和支持为下列章节作出了无与伦比的贡献：历史和发展现状 [B·伯克哈尔特 (B. Burkhalter)，奥本大学]，轨道环境 [H·哈马切克 (H. Hamacher)，德国航空航天中心]，电源和热控系统 [C·奥迪 (C. Audy)，德国航空航天中心；J·克鲁格 (J. Krüger)，空间系统学院/德国航空航天股份公司 (DASA)]，应用 [B·福伊尔巴克 (B. Feuerbacher)，德国航空航天中心；D·伊萨凯特 (D. Isakeit) 和 H·沃尔特 (H. Walter)，欧洲空间局]，微重力 [T·罗斯根 (T. Rösigen)，空间系统学院/苏黎世联邦理工学院 (ETH)]，人的因素 [P·格兰斯尤尔 (P. Granseuer)，欧洲空间局]，后勤、通信和运行 [G·海津格 (G. Hirzinger)，德国航空航天中心；F·休伯 (F. Huber)，空间系统学院；H·伦斯基 (H. Lenski)，德国航空航天股份公司；K·迈因策尔 (K. Meinzer)，马尔堡大学；U·肖特勒 (U. Schöttle)，空间系统学院] 以及国际空间站 [D·安德烈森 (D. Andresen)、K·诺特 (K. Knott) 和 G·塞伯特 (G. Seibert)，欧洲空间局]。

我们也要对来自空间系统学院的同事 A·欣利伯 (A. Hinüber)、J·克鲁格 (J. Krüger) 和 J·奥斯伯格 (J. Osburg) 表示感谢，他们付出了辛勤的工作，帮助我们组织了相应系列讲座、本书编写以及空间站设计研讨班等改进工作。我们还要感谢 T·弗里尔 (T. Freyer)，他完成了本书文字翻译工作；感谢 J·塞斯伯格 (J. Amos Osburg)，他完成语言风格及校对工作；同时要感谢 I·赫巴德 (I. Hrbud) 对第 5 章的支持；也要感谢 D·西比斯 (D. Cibis) 和 A·朱乔莉 (A. Zocholl) 在文字编辑和图表方面所做的工作。我们尤其要感谢我们的评审专家 G·比丁斯 (G. Biddis)，感谢他为我们提交了有价值的批改意见。在本书的整个编辑出版过程中，斯普林格出版公司的 D·默克莱 (D. Merkle) 博士一直陪伴我们，我们向他表示感谢。

我们对给予本书大力支持的欧洲空间局、戴姆勒克莱斯勒航空

航天公司以及 M·贝在夫 (M. Bedorf) 表示感谢。

1995 年 10 月, 欧洲决定参与国际空间站, 当时东西方激烈的空间竞赛刚刚结束, 正是合作起来建立一个真正互利的国际空间站的时机, 这是众多航天先驱们所预测的航天长期发展的高潮, 也是历史上首次在一个极有趣的地外环境中将多种学科和国际合作结合起来, 我们相信未来还将有许多这样的空间站, 而且我们希望这将有助于带来一个持久的航天领域和平合作的年代。本书的目的是帮助读者了解空间站的系统和应用, 以及空间系统工程和应用相关的其他领域。

厄思斯特·梅瑟施米德

莱因霍尔德·伯特兰

斯图加特大学

1999 年 2 月

目 录

第 1 章 引言	1
第 2 章 历史和发展现状	7
2.1 空间站的设想、方案和早期设计 (1865 - 1957)	7
2.2 美国空间站的研究 (1957 - 1985) 及天空实验室	12
2.3 苏联及俄罗斯空间站: 礼炮号和和平号	29
2.4 欧洲的空间实验室和美国的空间居住舱	36
2.4.1 欧洲的空间实验室项目	36
2.4.2 美国的空间居住舱	46
2.5 从和平号空间站到国际空间站 (1994 - 2004)	54
2.5.1 第一阶段 (1994 - 1998): 和平号空间站进一步 扩大和运行	55
2.5.2 第二阶段 (1998 - 2000): 国际空间站开始组装	59
2.5.3 第三阶段 (2000 - 2004): 国际空间站的运行 和发展	63
2.5.4 国际空间站概述	64
2.6 空间站比较	71
第 3 章 轨道环境	73
3.1 引力场	74
3.1.1 从中心体发出的远距离引力场	74

3.1.2 靠近中心体的引力场	75
3.2 磁场	77
3.2.1 地球磁场	77
3.2.2 太阳磁场	80
3.3 放射性辐射	82
3.3.1 基本原理	82
3.3.2 太阳源的低能粒子——太阳风	83
3.3.3 太阳源的高能粒子——太阳耀斑	84
3.3.4 银河系源粒子	84
3.3.5 地球磁场内的辐射带	85
3.3.6 辐射对材料及人体器官的影响	87
3.3.7 防护措施	90
3.4 电磁辐射	93
3.4.1 银河系射频噪声	94
3.4.2 太阳辐射	94
3.4.3 太阳辐射压力	96
3.4.4 反照辐射	97
3.4.5 热辐射	99
3.5 自然辐射源和其他辐射源	99
3.6 大气层	101
3.6.1 组成成分	101
3.6.2 原子氧	107
3.7 电离层	109
3.7.1 电离层模型	110
3.7.2 电离层的变化	110
3.7.3 电离层无线电波的状况	111
3.8 固体物质	112
3.8.1 流星体	112
3.8.2 分散通量	114

3.8.3	流星雨	115
3.8.4	空间碎片	116
3.8.5	空间碎片的产生	117
3.8.6	空间碎片的发展及引起的风险	120
3.8.7	防止空间碎片的产生及对空间站的意义	122
3.9	诱发环境——污染	126
3.9.1	分子沉积	126
3.9.2	分子纵向密度	127
3.9.3	粒子释放	128
第4章	环境控制与生命保障系统	132
4.1	环境控制与生命保障系统：航天员的环境保护	132
4.1.1	生理边界条件	132
4.1.2	新陈代谢边界条件	136
4.1.3	附加边界条件	137
4.2	环境控制与生命保障系统的任务	137
4.2.1	综述和分类	137
4.2.2	大气管理	139
4.2.3	水管理	156
4.2.4	废物管理	165
4.2.5	食物供给	166
4.2.6	航天员安全性	167
4.3	生物再生式环境控制与生命保障系统展望	168
4.3.1	生物圈研究	170
4.3.2	单独生物部分	171
4.4	总结	173
第5章	电源和热控系统	176
5.1	电源供给	177

5.1.1	空间站特性	178
5.1.2	能源和存储系统	179
5.2	技术	184
5.2.1	光伏太阳能发电机	184
5.2.2	太阳能动力系统	196
5.2.3	阴影期间对太阳能动力系统的影响	200
5.2.4	光伏系统和太阳能动力系统的比较	204
5.2.5	能量分配和管理	207
5.3	全部系统的实例	211
5.4	热控系统的任务	216
5.5	热控系统	221
5.5.1	被动热控系统	221
5.5.2	主动热控系统	223
5.5.3	热控系统硬件的性能和技术数据	227
5.5.4	热控系统设计的边界条件	229
5.5.5	散热器	231
5.6	系统实例	235
5.7	国际空间站的热控系统	236
5.7.1	被动热控系统	236
5.7.2	主动热控	239
第 6 章	姿态和轨道控制系统	247
6.1	姿态和轨道控制问题	247
6.2	扰动	249
6.2.1	气动阻力	250
6.2.2	气动力矩	253
6.2.3	重力梯度	254
6.2.4	运行影响	257
6.3	飞行策略	258

6.3.1 姿态控制策略	258
6.3.2 轨道控制策略	265
6.4 推进系统技术	272
6.4.1 推力器	273
6.4.2 控制力矩的产生	277
6.4.3 敏感器	282
6.5 总体系统	283
第7章 应用	286
7.1 环境条件和应用学科	286
7.1.1 失重和微重力	287
7.1.2 真空	291
7.1.3 空间辐射	292
7.1.4 应用学科的概述	293
7.2 物理学和材料科学	296
7.2.1 可用于未来研究的成果和领域	296
7.2.2 国际空间站的前景	318
7.3 生命科学和生物技术	319
7.3.1 取得的成果和未来研究的领域	319
7.3.2 强调生命科学领域的进一步研究	329
7.4 空间科学	333
7.4.1 空间科学的典型学科：天体物理学和辐射 物理学	333
7.4.2 国际空间站给空间科学提供了哪些有益途径？	337
7.5 对地观测	339
7.5.1 空间站能给对地观测带来什么？	339
7.5.2 从国际空间站进行对地观测	340
7.5.3 气象学	341
7.5.4 生态学	341

7.6	工程科学和技术的发展	343
7.6.1	验证新的技术	344
7.6.2	系统和组件研发的例子	344
7.7	工业和商业应用前景	348
7.7.1	应用的潜在领域	348
7.7.2	流体和材料科学	349
7.7.3	生物技术和医药	350
7.7.4	工业应用	351
第8章	微重力	353
8.1	微重力的位置优势	353
8.2	获取微重力的途径	356
8.2.1	落塔	356
8.2.2	抛物线飞行	358
8.2.3	探空火箭	359
8.2.4	空间舱	360
8.2.5	飞行机会	361
8.2.6	航天飞机货架卫星	363
8.2.7	欧洲可回收平台	363
8.2.8	空间实验室	364
8.2.9	空间站	365
8.2.10	飞行方式比较	366
8.3	空间站上的摄动加速度	368
8.3.1	空气阻力	369
8.3.2	潮汐力	370
8.3.3	g 抖动	375
8.3.4	太阳辐射光压	380
8.4	摄动补偿和悬浮	381

第 9 章 系统工程	387
9.1 航天项目的生命周期	387
9.1.1 0 阶段	389
9.1.2 A 阶段—可行性	391
9.1.3 B 阶段—初步定义	391
9.1.4 C 阶段—详细定义	391
9.1.5 D 阶段—生产/地面鉴定试验	392
9.1.6 E 阶段—使用	392
9.1.7 F 阶段—处置	392
9.2 方案设计问题	393
9.2.1 “模糊”问题表达	393
9.2.2 系统元素间很强的相互依赖性	394
9.2.3 方案设计决策中的预先确定特性	396
9.2.4 极端边界条件	397
9.3 方案设计的方法与工具	398
9.3.1 方案设计方法论	399
9.3.2 系统元素特征化	406
9.3.3 方案设计工具	420
9.4 空间站体系	425
9.4.1 概念开发小组和“自由”方案	425
9.4.2 和平号空间站结构	430
9.4.3 哥伦布自由飞行实验室	431
9.4.4 国际空间站	432
第 10 章 协同	435
10.1 术语和概念	435
10.2 分系统联接	436
10.3 系统平衡	438

10.4 协同联接实例	440
10.4.1 非完整系统	442
10.4.2 用于能量存储的再生燃料电池	446
10.4.3 用于污染物过滤的再生燃料电池	450
10.4.4 电解生产推进剂	454
10.4.5 安全性与可靠性	456
10.5 总结	457
第 11 章 人的因素	459
11.1 术语和历史发展	460
11.2 空间中的人	462
11.2.1 中性姿势	462
11.2.2 平衡觉损伤	463
11.2.3 体液转移	464
11.2.4 肌肉萎缩	464
11.2.5 脱钙	464
11.3 人因工程	465
11.3.1 组织和集成	465
11.3.2 人因工程的方法	466
11.3.3 人因工程支持的方式	470
11.4 工作站设计	475
11.4.1 人体测量范围	475
11.4.2 身体限制	475
11.5 可居住性和乘员表现	482
11.6 航天员选择	485
11.6.1 航天员任务和职责	485
11.6.2 挑选标准	486
11.6.3 淘汰标准	488

11.6.4 挑选流程	489
第 12 章 后勤、通信和运行	491
12.1 后勤	491
12.1.1 运输要求	492
12.1.2 发射系统及运输能力	497
12.1.3 自动转移飞行器	498
12.1.4 返回飞行器	504
12.1.5 舱外活动	506
12.2 数据和通信系统	508
12.2.1 数据管理系统	509
12.2.2 空间站的传输路径	510
12.2.3 分布式数据系统	513
12.2.4 无线通信系统设计	519
12.2.5 天线	523
12.2.6 调制和编码	526
12.2.7 跟踪与数据中继卫星系统	529
12.2.8 国际空间站的数据和通信系统	531
12.3 自动化和维护	532
12.3.1 空间站上的有效载荷运行	532
12.3.2 基于维护和修理的有效载荷设计	535
12.3.3 有效载荷操作的自动化	536
12.3.4 测试和确认	543
12.3.5 小结	544
12.4 遥科学	544
12.4.1 航天员时间——重要资源	545
12.4.2 遥操作和遥呈现	547