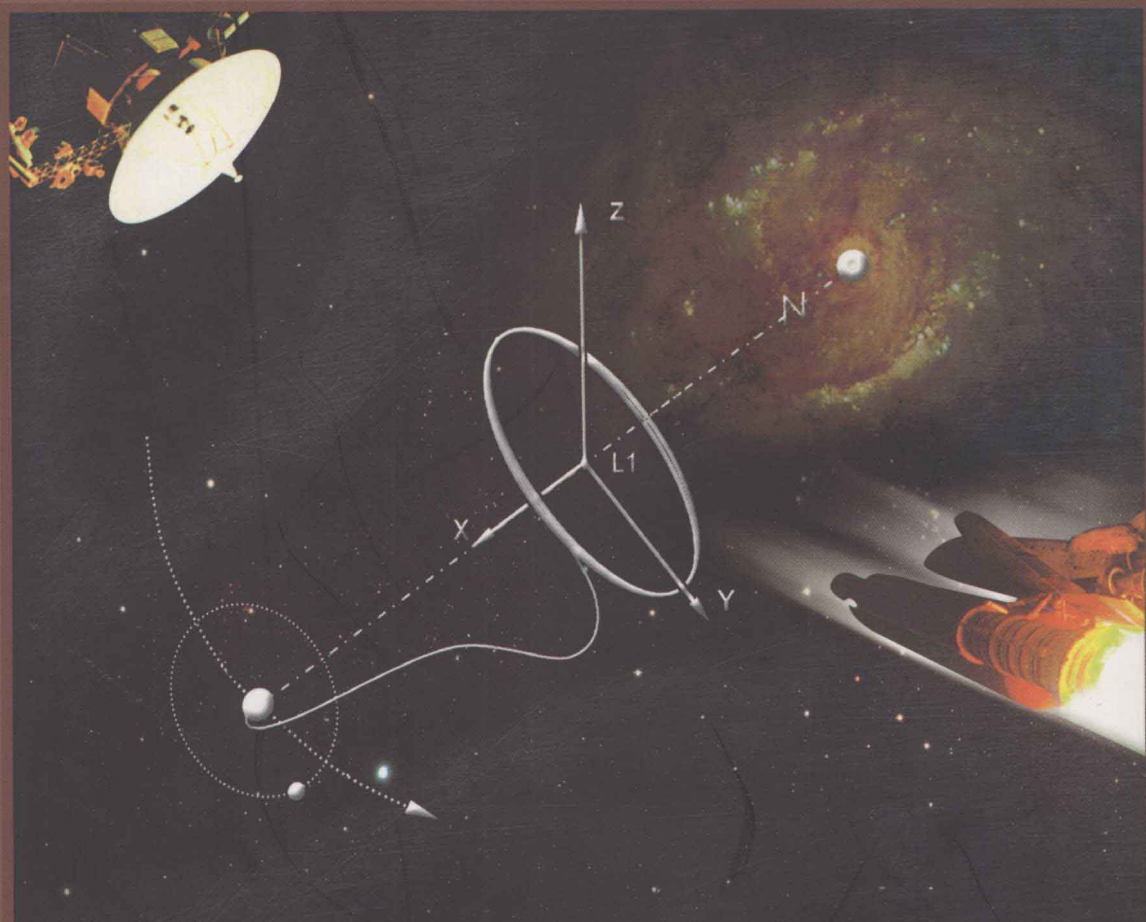




国家“十一五”出版规划重点图书
空间飞行器设计专业系列教材
航天一线专家学术专著

宇航概论

AN INTRODUCTION TO ASTRONAUTICS

胡其正 杨芳 编著



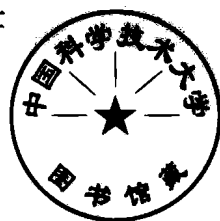
中国科学技术出版社

- 国家“十一五”出版规划重点图书
- 空间飞行器设计专业系列教材
- 航天一线专家学术专著

宇航概论

AN INTRODUCTION TO
ASTRONAUTICS

胡其正 杨 芳 编著



中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

宇航概论/胡其正,杨芳编著. —北京:中国科学技术出版社,2010.6

(空间飞行器设计专业系列教材)

ISBN 978-7-5046-5607-0

I. ①宇… II. ①胡…②杨 III. ①航天学-高等学校-教材 IV. ①V4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 077300 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

<http://www.kjpbbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京国防印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×960 毫米 1/16 印张:29 字数:560 千字

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

印数:1-2000 册 定价:50.00 元

ISBN 978-7-5046-5607-0/V·49

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

本书介绍航天领域主要的基本概念、基本原理和一些相关知识,内容包括航天活动的发展历程、太空环境、飞行轨道、运载火箭、跟踪测控、人造卫星的组成及应用、深空探测和载人航天以及空间领域国际合作和国际空间法的主要规则。

本书是空间飞行器设计专业研究生的专业基础课程教材,也可供航天器总体及有关专业科技人员和高校师生参考。

作者简介

胡其正 研究员,博士生导师,1959年毕业于清华大学电机系,先后在中国科学院和中国空间技术研究院从事火箭探空、卫星研制等航天器总体工程与研究
工作,曾任副总研究师、国际宇航联空间系统委员会委员,现任中国空间技术研究院神舟学院专职教授。

杨 芳 研究员,1999年在中国空间技术研究院获飞行器设计专业博士学位,毕业至今一直从事卫星总体设计工作。现任型号副总师,中国空间技术研究院神舟学院兼职教授。

责任编辑 崔 玲
封面设计 中文天地
正文设计 孙 俐
责任校对 林 华
责任印制 安利平

我国航天技术走过了40多年的光荣历程,正面临着21世纪更加蓬勃发展的形势,需要人才,需要知识。

空间飞行器即航天器,包括卫星、飞船、空间站、深空探测器等。空间飞行器设计专业是航天技术领域的一门主要学科,它所涵盖的知识面很宽,涉及光、机、电、热和系统工程等,是一门多学科交叉综合和工程性很强的新型学科。

本丛书是根据空间飞行器设计专业培养研究生的课程教学需求,同时考虑到空间技术领域的在职中、高级技术人员研究生水平进修的需要而编写的。因此,本丛书全面讲授空间飞行器设计专业领域的基础理论和系统的专门知识,在内容上具有足够的纵深度和宽广度、前沿性和前瞻性。本丛书的作者都是从事了几十年航天工程的高级设计师和研究员,他们把自己丰富的知识和经验很好地融入到这套丛书中,理论与实践密切结合,使本丛书具有很高的学术水平和工程实用价值。

本丛书将陆续出版。它的出版是非常值得祝贺的,相信它不仅是一套不错的研究生教材,能够为培养高级航天技术人才服务;同时又是一套优秀的学术专著,将对我国航天科学与技术的发展做出贡献。

阎桂荣

2001年9月

前 言

自 1957 年世界第一个人造卫星进入太空以来,航天活动得到长足的发展,人类的活动范围从陆地、海洋和空中扩展到了浩瀚的太空,航天活动成为认识宇宙的重要途径,航天技术已经广泛应用于国民经济、国防、科学研究和社会生活等众多领域,对社会发展和人类生活起着重要作用。

我国航天事业始于 20 世纪 50 年代末期,1970 年成功发射了第一颗卫星,经过几十年的努力,取得了辉煌的成就,至今已经研制成功多个系列运载火箭,数十颗应用卫星在运行,成功进行了月球探测和实现了载人航天,当前我国航天事业正处于蓬勃发展的时期。

航天任务是一项庞大复杂的系统工程,任务的完成需要依靠航天器、运载火箭、发射场、测控网和应用系统等多个系统有机融合、有序协调地工作。航天技术涉及众多专业领域,为了满足教学的需要,设置了宇航概论课程,定位为专业基础课。本书是面向空间飞行器专业的参考书,讲述航天各方面的基础知识,内容覆盖面广,着重介绍航天的基本概念、基本原理和基本规律,便于读者对航天领域有一定深度的全面了解。

本书共 11 章,第 1 章简述了宇宙航行概念和人类航天活动的发展历程,在第 2、第 3 章讲述了太空环境和航天器运行轨道,这两章是理解航天器和航天活动的基础。第 4~6 章分别讲述运载火箭、发射场、测控网,说明如何从地面出发,使航天器获得必要的飞行速度进入其运行轨道,如何跟踪测定航天器的位置和保持地面与航天器的无线电联系。

第7~10章讲述人造卫星及其应用、深空探测器及月球和行星探测活动、载人航天器和载人航天活动。第11章简要地介绍国际合作和国际空间法,以便了解开展国际合作的意义和必要性,了解作为航天大国在国际上应有的权利与义务。

作者从学校毕业后分配到中科院,在钱骥先生引领下开始进入了航天领域的大门。其后,在中国空间技术研究院的40多年时间里得到了学习和实践的机会,在完成航天任务过程中,得到了领导和同事们的很多支持与帮助。本书写作是几十年工作和学习经验的总结,也是再学习的过程,它的完成和出版得到了单位领导和同事们的大力支持与帮助,杨芳博士在型号任务十分繁重的情况下承担了近年来的课程教学任务,完成了本书第7、第8两章的写作,张爽娜博士提供了“导航”一节的初稿;张云彤、胡平信、谭维炽、朱文明、张焄、范剑峰、张照炎等专家分别审校了各章书稿,陈烈民、侯增祺、叶云裳、李力田和耿长福等多位老教授帮助审校了书稿的相关内容,在此向他们一并表示感谢!

作者学识有限,书中难免不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

作 者
2010年1月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 概述	1
1.2 宇宙航行	2
1.3 空间	3
1.4 时间	10
1.5 航天科技与应用	14
1.6 世界航天发展简史	17
1.7 我国航天技术的发展	23
第2章 空间环境	32
2.1 概述	32
2.2 太阳及太阳活动	33
2.3 行星际空间环境	36
2.4 地球空间环境	38
2.5 空间天气预报	66
第3章 航天器运行轨道	68
3.1 概述	68
3.2 开普勒轨道	69
3.3 宇宙速度	81
3.4 卫星轨道描述	82
3.5 轨道摄动	89
3.6 几种常用的轨道	94
3.7 轨道机动	99
3.8 卫星对地面的覆盖	105
3.9 卫星星食	109
第4章 航天运输系统	113
4.1 概述	113

4.2	火箭推进原理	114
4.3	火箭发动机	118
4.4	运载火箭	129
4.5	运载火箭发射轨道	138
4.6	航天飞机	146
4.7	电火箭推进技术	148
4.8	其他推进技术	157
第 5 章	航天发射场	161
5.1	航天发射场的作用	161
5.2	发射场场址	161
5.3	发射场纬度与轨道的关系	162
5.4	发射场的组成及主要设施	163
5.5	世界主要发射场	166
第 6 章	航天跟踪测控网	176
6.1	测控网的主要功能	176
6.2	飞行器视在位置测量体制	177
6.3	光学跟踪测量系统	179
6.4	航天器的光学观测条件	182
6.5	无线电跟踪测量技术	185
6.6	遥测遥控系统	194
6.7	运载火箭的跟踪与测控	197
6.8	航天测控网	199
6.9	深空测控网	204
6.10	天基测控	211
第 7 章	航天器	217
7.1	航天器的分类	217
7.2	航天器的组成	218
7.3	航天器的构型	219
7.4	航天器结构与机构分系统	220

7.5	航天器热控制分系统	224
7.6	航天器电源分系统	230
7.7	航天器姿态控制分系统	239
7.8	航天器测控与数据管理	252
第8章	有效载荷及卫星应用	260
8.1	卫星通信	260
8.2	卫星导航定位	280
8.3	遥感卫星及应用	291
8.4	空间科学研究	307
8.5	工程技术试验	314
第9章	深空探测	316
9.1	概述	316
9.2	深空探测的飞行轨道	317
9.3	深空探测器技术	330
9.4	月球探测	338
9.5	内行星探测	342
9.6	外行星及其卫星探测	352
9.7	小天体及其探测	363
9.8	太阳探测	369
第10章	载人航天	373
10.1	概述	373
10.2	载人航天的发展概况	374
10.3	载人航天器	376
10.4	载人航天器的发射运行与返回	383
10.5	应急救生	393
10.6	环境控制与生命保障	396
10.7	循环再生式环控生保系统	401
10.8	航天员	404
10.9	“阿波罗”登月活动	410

10.10	重返月球	415
10.11	登陆火星的准备	420
第 11 章	国际合作与空间法	426
11.1	国际合作	426
11.2	国际空间法	428
11.3	国际空间法的 5 项国际条约	430
11.4	空间活动的有关法律原则	438
11.5	其他有关航天活动的规则、原则	443

第1章 绪 论

1.1 概述

宇宙航行是指载人或不载人的航天器在太空的航行活动,又称航天或太空飞行,包括环绕地球的运行、飞往月球或太阳系其他天体的航行、行星际空间的航行和飞出太阳系的航行。宇宙航行的主要目的是探索、开发和利用太空以及地球以外的天体。

飞向太空是人类自古以来的梦想,为实现这一梦想人们经历了长期不懈的努力,随着科学技术的进展,现代航天技术获得了突破,终于在1957年成功地发射了人造地球卫星,人类开始进入了航天时代。半个世纪以来,航天活动得到了广泛而快速的发展:载人飞船进入了太空,进而成功地实现了载人登陆月球;大量的卫星在太空进行了科学探测;一系列的深空探测器已经探访过太阳系的八大行星。这些航天活动极大地丰富了人们对宇宙的认知,各类应用卫星更受到了人们的关注,除了军事应用以外,通信与广播卫星、导航卫星、气象卫星以及陆地和海洋观测卫星已经得到了广泛的应用,为社会发展和经济建设起到了重要作用。航天技术在天气预报、导航、通信和广播电视等方面的应用已经进入人们日常生活,提高了人们的生活质量。航天技术的发展和应用已经取得了很大的社会效益和经济效益。

航天的技术关键首先在于航天器需获得足够的速度克服或摆脱地球引力进入环绕地球或环绕太阳的运行轨道,飞出太阳系的航行还要摆脱太阳的引力。从地球表面发射航天器进入围绕地球运行轨道的速度必须大于 7.9km/s ,这个速度称为第一宇宙速度,飞离地球或飞出太阳系需要更高的速度。因此,先进有效的推进技术是实现航天的先决条件。

航天的另一项技术关键是航天器需适应与地球表面截然不同的空间环境,太空是深冷的真空环境,没有大气层的保护,存在着全谱段的电磁辐射,充斥着各种粒子的辐射。这种环境不适合许多材料和元器件的工作,更不适合人的生存,航天器的设计必须适应和抵御这种环境,以保障仪器部件的正常工作,确保

人员的健康生存。此外航天的技术关键还包括克服遥远距离的障碍,要能够实现对远离地球航天器的控制、跟踪、测量和通信。遥远的距离不仅造成电波传播延迟,还将无线电信号衰减到极其微弱的水平,地面的测控中心不得不以这样微弱的信号实现对茫茫太空中航天器的跟踪,保持着对航天器的控制及与其通信联系。

航天任务的实施是在航天学理论指导下,以航天技术为手段,结合其他专门技术,用系统工程的方法完成的。一项航天任务涉及航天器、运载器、发射、测控、有效载荷及应用等多项技术,本书将主要讨论航天器、运载器及发射场、航天器的运行轨道和运行环境、卫星的主要应用、深空探测以及载人航天活动等有关内容。

1.2 宇宙航行

1.2.1 宇宙

宇宙是时间和空间的总和,天地万物的总称。《淮南子·齐俗训》说:“往古来今谓之宙,四方上下谓之宇”,这就是指时间和空间的概念。一切物质运动与时间和空间是不可分离的,时间与空间是物质存在的固有形式。我们生存的地球、所见到的太阳系、现在所观测到的银河系以及其他星系都是宇宙的一部分,都是有限的,而宇宙是无限的,有待人们去探索。我们用时间和空间来描述物质运动,用有限的空间描述物质的位形,用有限的时间描述事件发生的先后顺序及运动的快慢程度。

1.2.2 宇宙航行

宇宙航行是指载人或不载人航天器在太空的航行活动。航天活动的主要目的是探索、开发和利用太空和地球以外的天体。宇宙航行与航空的不同在于航空是大气层中的航行,宇宙航行是在地球大气层以外的太空航行,也称为航天。航天包括环绕地球的航行、飞往月球或其他行星的航行(包括环绕天体运行、从近旁飞过或在其上着陆)、行星际的航行和飞出太阳系的航行。当前人类的航天活动是在太阳系内航行,先后发射了人造卫星和载人飞船,进入环绕地球轨道的飞行、实现了探测器飞抵月球进行探测和载人登月,开展了深空探测,先后实现了深空探测器飞临和探测了8颗行星,实现了无人探测器降落金星和登陆火星的探测,当前正在努力为人类重返月球和载人登陆火星做积极的

准备。

目前人类的航天活动基本上是在太阳系空间进行,至于飞出太阳系,进入到其他恒星系空间的航行尚处于探索阶段,关键问题是获得高的飞行速度。如果以现代一般航天器的速度飞到离我们太阳系最近的恒星——半人马座中的比邻星,需要飞行7万年的时间,倘若飞行速度提高到接近光速,飞行到这颗距离我们4.22光年的比邻星,也还需要4年多的时间。如何实现恒星际航行的问题尚待今后不断地探索。

航天活动的内容包括载人和不载人航天器的研制,航天器的发射和回收,航天器的跟踪、测控和导航,航天器及航天员在轨道上的运行,航天器在轨道上交会、对接和维修装配等作业,在轨道上对空间和天体的科学探测,空间资源的应用以及航天员着陆其他天体上的生活和工作等。

1.3 空间

1.3.1 空间的概念

空间是指上下四方,一切物质存在和运动的地方,是物质存在的一种客观形式。广义的空间概念是指宇宙空间,它是由长度、宽度、高度表现出来三维的无限的范围,包括了地球在内的所有天体。我们这里是在地球上讨论人类的航天活动,空间的定义则是指地球大气层以外的宇宙空间,又称太空或外层空间,有时也俗称为天。

空间或太空上界是无限的,下界从地面以上何处开始,尚无一致认同的规定,一般认为太空下界高度距地面约100~120km,这是航天器运行轨道近地点所能及的最低高度。

空间可划分为太阳系空间和太阳系以外的空间,太阳系空间包括地球空间、行星空间和行星际空间。行星空间是指行星引力的作用范围,或行星磁层或大气层所及范围;行星际空间是指太阳系行星空间之间的空间。太阳系以外的空间进一步可分为恒星际空间、恒星系空间和星系际空间。

1.3.2 地球和地球空间

1.3.2.1 地球形状

地球是一个有固体表面的天体,是围绕太阳运行的一颗行星。地球是接近于圆球的椭球体,平均半径约6371km,赤道平均半径为6378km,扁率为1/298.3。赤

道很接近圆,椭圆率约 1.6×10^{-5} 。地球质量约 $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$,引力常数 $3.986 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ 。

地球上的位置用地理坐标的经纬度表示。地球表面上通过南北两极的大圆称为地球子午线或经线,通过格林尼治天文台的子午线为本初子午线,以它作为经度度量的起算点,本初子午线的经度为 0° ,向东从 0° 到东经 180° ,向西从 0° 到 -180° ,即西经 180° 。东经 180° 线和西经 180° 线重合。纬度的起算点为赤道,赤道是垂直于地球自转轴的大圆,赤道面通过地心,平行于赤道的平面与地球表面相交的圆为纬线。纬线上的点到地心的连线与赤道面的张角为当地的纬度,赤道的纬度为 0° ,向北从 0° 到北极为 $+90^\circ$,即北纬 90° ,向南至南极为 -90° ,即南纬 90° 。

1.3.2.2 地球的运动

人们对天体的观测和对航天器的跟踪测量都是在地球上进行,地球的运动直接影响这些观测和跟踪活动。地球本身在宇宙空间有多种方式的运动,主要运动有围绕太阳的公转、绕地轴的自转、绕地月系统质心与月球的绕转以及地球自转轴的进动等,此外还有地球自转轴的章动和在地球本体内的移动以及其他地球轨道的各种摄动和变化。

地球以约 0.017 偏心率的轨道绕太阳运行,轨道的近日点 $1.471 \times 10^8 \text{ m}$,远日点 $1.521 \times 10^8 \text{ m}$,日地平均距离 $1.495980 \times 10^8 \text{ km}$,公转周期(回归年) 365.2422 日,公转轨道面与地球赤道面交角约 23.44° 。

地球沿自转轴自西向东自转,平均自转周期为 1 恒星日,等于 23 小时 56 分 4.1 秒(平太阳时)。地球赤道半径比极半径大,它的自转运动受到日月引力的影响,产生自旋轴的进动,使自旋轴沿着半角为 23.4° 的圆锥面转动,周期约 25800 年,现代自旋轴指向靠近北极星的空间,大约每年转动 0.01° ,这种进动将对航天器轨道确定带来影响,为此,描述航天器轨道参数时需指定相同的参考历元,例如一般选用 2000 年 1 月 1 日中午 12 时的地轴指向为参考基准。

1.3.2.3 地球空间

地球空间是指地球大气层以上的空间,地球空间的外边界若按地球磁层范围来确定,其高度约为 10 个地球半径,若按地球引力范围来确定,其半径距地心约 93 万 km。航天活动中有时把地球静止轨道(距地面约 35800 km)及其以下的空间称为近地空间,把距地球大于等于地-月距离(约 38.4 万 km)的空间称为深空(一些国际组织针对无线电通信规定或建议距地球 200 万 km 以上的

空间为深空)。

在地球空间,地球的影响起着主导作用,存在着地球引力场、磁场,有稀薄的大气分子、离子和各种粒子,同时也受到太阳作用显著的影响,包括太阳引力、太阳的电磁辐射和粒子辐射等。

地球空间是航天的主要活动场所,人造卫星和飞船都是在地球引力场中运行,所受的作用力主要是地球引力,其运动受地球引力场支配,深空探测器在飞离地球空间以前也是在地球引力场的作用下运行。航天器的运动和工作还受到地球磁场、大气以及太阳电磁辐射和粒子辐射的影响。第2章将讨论关于地球空间的环境,第3章将讨论航天器在地球引力场中的运动规律。

1.3.3 太阳系空间

太阳系空间半径为 $100 \sim 160 \text{ AU}$ (AU 是天文单位,等于日地平均距离, $1 \text{ AU} = 1.4959787066 \times 10^{11} \text{ m}$, 约为 1.5 亿 km), 这是以日光层顶(heliopause)作为太阳系的边界,那里是太阳风所及的边缘,以外则是星际介质存在的空间。由于太阳系行星都集中在太阳附近的空间,因此以往曾以冥王星轨道为界,认为太阳系空间半径约 40 AU 。若按太阳的引力作用范围推算,太阳系空间半径在 10 万 AU 以上。

太阳系处于银河系之中,太阳是银河系千亿颗恒星中的一颗,它位于银河系的银盘中距离银心约 27000 光年的地方(光年是光行 1 年的距离, $1 \text{ LY} = 9.4607304725808 \times 10^{15} \text{ m}$, 约为 6.32 万个天文单位),以 2.5 亿年的周期围绕银河中心转动。银河系以外的恒星系统称为河外星系,距离银河系较近的河外星系有大麦哲伦星云、小麦哲伦星云和仙女座星云,它们距离银河系分别在 16 万光年、19 万光年和 220 万光年。在宇宙空间有百亿个河外星系,银河系只是众多星系中的一员。

太阳系空间是当前航天活动的主要场所,也是空间探测的主要对象。太阳是太阳系的中心,在太阳引力作用下围绕其运行的有行星、矮行星、彗星、小行星和流星体,还有行星的卫星围绕着行星运行。

1.3.3.1 太阳

太阳是在宇宙星系中一颗主序星,是银河系中的一颗普通的恒星,它的直径为 $1.39 \times 10^6 \text{ km}$,质量为 $1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$,大约为地球质量的 33 万多倍,巨大质量引起的引力场作用于整个太阳系,太阳系内的天体都在其引力作用下运动。太阳表面温度为 5800 K ,太阳内部核聚变产生巨大的能量,以电磁辐射形