



装备学院·学术专著

# 航天器有效载荷

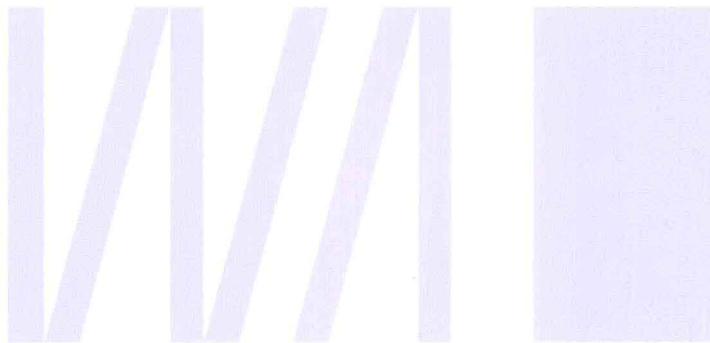
Spacecraft Payload

李怡勇 邵琼玲 李小将 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



# 航天器有效载荷

SPACECRAFT PAYLOAD

李怡勇 邵琼玲 李小将 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书从航天器有效载荷的基本概念出发,通过系统梳理与总结有关研究成果,并结合作者从事相关教学科研工作的经验积累,详细分析了航天器有效载荷的工作环境及其效应,归纳了有效载荷系统研制的一般规律和做法,系统阐述了遥感、通信、导航、科学与对抗五类有效载荷的相关内容,努力做到系统覆盖、知识丰富、深入浅出。

本书可供航空宇航科学与技术专业教学使用,也可供相关专业/行业中的教师、学生、科研人员、工程技术人员和管理人员等参考和使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

航天器有效载荷/李怡勇,邵琼玲,李小将编著. —北京:  
国防工业出版社,2013. 6  
ISBN 978-7-118-08853-3

I. ①航... II. ①李... ②邵... ③李... III. ①航天器—有效载荷 IV. ①V414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 126242 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 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 17¼ 字数 305 千字

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 45.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

自从1957年10月4日苏联利用运载火箭把世界上第一颗人造地球卫星送入太空,迄今已经过半个多世纪的发展,航天也已成为目前最活跃和最有影响的科学技术领域之一,该领域取得的重大成就标志着人类文明的高度发展,也表征着一个国家科学技术和综合实力的先进水平。航天器是开展航天活动的基础,是航天系统中最核心的组成部分。而航天器有效载荷是航天器发挥使命作用的最重要的一个分系统,它的功能和性能将直接影响到最终特定航天任务实现的品质。

航天器有效载荷是指航天器上装载的为直接实现航天器在轨运行要完成的特定任务的仪器、设备、人员、实验生物及试件等。由于有效载荷与航天任务密切相关,故其种类繁多,涉及学科范围广,专业交叉性强。按照目前主流的观点,可以把航天器有效载荷从大的方面分为遥感类、通信类、导航类、科学类、对抗类等几大类,每一类都有各自的专业基础和研究领域。所以,直到目前尚未见到一部能够系统地论述航天器有效载荷的正式出版物,一般只是阐述航天器有效载荷中的某一类或部分内容。但是,作为航天系统中最最重要的一个分系统和航天技术的一个重要分支,编写一部系统论述航天器有效载荷的书籍是十分必要的。我们在长期教学科研实践的基础上,不断梳理和完善航天器有效载荷的知识体系和教研内容,逐渐形成了本书的文稿。

本书通过对航天器有效载荷基本概念、工作环境、研制规律和专门知识的论述,系统阐述了航天器有效载荷的知识体系,尽可能理论联系实际,兼顾理论性和实用性。本书共分为八章:第1章概述,介绍航天、航天器、航天器有效载荷的基本概念和知识;第2章有效载荷工作环境与效应,阐述航天器外部空间环境及效应和航天器平台内部环境及效应;第3章有效载荷系统研制,论述有效载荷系统研制的程序和要求、有效载荷分析与设计、有效载荷试验与测试;第4章至第8章,遥感类、通信类、导航类、科学类、对抗类有效载荷,分别论述各类有效载荷的基础理论、组成、工作原理、特点及应用等内容。

本书在编写过程中,参考了有关专家的著作和兄弟院校的教材,在此表示由

衷的感谢。感谢装备学院航空宇航科学与技术专业的老师和学生对本书编写、修改给予的大力支持和帮助,感谢所有为本书的出版给予过支持和帮助的领导、同事、学生、同行和朋友。

本书涉及多学科知识,内容覆盖广,由于作者水平有限,不妥之处在所难免,敬请批评指正。

作者

2013年1月

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 航天 .....	1
1.1.1 空域划分 .....	1
1.1.2 航天资源 .....	2
1.1.3 航天活动 .....	3
1.1.4 航天系统 .....	5
1.2 航天器 .....	5
1.2.1 概念 .....	5
1.2.2 分类 .....	7
1.2.3 组成.....	12
1.2.4 特点.....	15
1.2.5 现状与发展趋势.....	17
1.3 航天器有效载荷.....	18
1.3.1 概念.....	18
1.3.2 分类.....	18
1.3.3 地位与作用.....	19
<b>第 2 章 有效载荷工作环境与效应</b> .....	22
2.1 外部空间环境.....	22
2.1.1 地球大气环境.....	25
2.1.2 等离子体环境.....	31
2.1.3 地球磁场.....	34
2.1.4 粒子辐射环境.....	36
2.1.5 空间光辐射环境.....	39
2.1.6 空间引力场.....	41
2.1.7 微流星体与空间碎片.....	43
2.1.8 行星际空间环境.....	45
2.2 空间环境效应.....	45

2.2.1	大气环境效应	47
2.2.2	等离子体环境效应	50
2.2.3	地磁场效应	51
2.2.4	粒子辐射环境效应	51
2.2.5	空间光辐射环境效应	53
2.2.6	失重效应	54
2.2.7	微流星体与空间碎片的危害	55
2.3	平台内部环境	57
2.3.1	力学环境	57
2.3.2	热环境	58
2.3.3	电磁环境	58
2.4	平台内部环境效应	59
2.4.1	力学环境效应	59
2.4.2	热环境效应	59
2.4.3	电磁环境效应	60
<b>第3章</b>	<b>有效载荷系统研制</b>	<b>62</b>
3.1	航天器系统研制阶段	62
3.2	有效载荷系统研制的程序和要求	65
3.2.1	研制程序	65
3.2.2	研制要求	67
3.3	有效载荷分析与设计	68
3.3.1	约束条件分析	68
3.3.2	环境适应性分析与设计	70
3.3.3	性能参数分析与选择	71
3.3.4	热控设计	72
3.3.5	电磁兼容性设计	73
3.3.6	寿命与可靠性设计	77
3.3.7	个性化特殊设计	78
3.3.8	配置与布局设计	81
3.3.9	常用分析与设计工具	83
3.4	有效载荷试验与测试	89
3.4.1	环境适应性试验	90
3.4.2	电磁兼容性试验	92
3.4.3	可靠性试验	93

3.4.4	在轨测试	93
<b>第4章</b>	<b>遥感类有效载荷</b>	<b>94</b>
4.1	遥感理论基础	94
4.1.1	电磁波与电磁波谱	94
4.1.2	辐射度学与光度学	98
4.1.3	地球大气对太阳辐射的影响	104
4.1.4	地物的反射辐射与热辐射	108
4.1.5	航天遥感基本原理	110
4.2	光学成像遥感器	113
4.2.1	基本概况	113
4.2.2	胶片型空间相机	118
4.2.3	光机扫描仪	123
4.2.4	空间 CCD 相机	127
4.2.5	空间相机的典型应用	131
4.3	微波遥感器	132
4.3.1	雷达组成与工作原理	133
4.3.2	微波高度计	135
4.3.3	微波散射计	136
4.3.4	微波辐射计	137
4.3.5	成像雷达	137
4.4	电子侦察卫星有效载荷	145
4.4.1	天线	146
4.4.2	接收机	147
4.4.3	信号处理设备	148
4.5	典型的遥感类有效载荷应用系统	148
4.5.1	KH-12 照相侦察卫星	148
4.5.2	Lacrosse 雷达成像侦察卫星	150
4.5.3	Trumpet 电子侦察卫星	151
4.5.4	DSP 导弹预警卫星	152
<b>第5章</b>	<b>通信类有效载荷</b>	<b>154</b>
5.1	卫星通信概述	154
5.1.1	卫星通信的概念	154
5.1.2	卫星通信的特点	155
5.1.3	卫星通信系统的组成	157



5.1.4	卫星通信系统的工作过程 .....	158
5.1.5	卫星通信系统的分类 .....	159
5.2	有效载荷组成与基本参数 .....	160
5.2.1	有效载荷组成 .....	160
5.2.2	基本参数 .....	161
5.3	星载通信天线 .....	166
5.3.1	星载通信天线的分类与基本特性 .....	166
5.3.2	星载通信天线的研制要求 .....	168
5.3.3	多波束卫星天线技术 .....	170
5.4	星载转发器 .....	178
5.4.1	透明转发器 .....	178
5.4.2	处理转发器 .....	179
5.4.3	转发器的应用现状 .....	180
5.5	典型通信卫星有效载荷 .....	181
5.6	典型的通信类有效载荷应用系统 .....	182
5.6.1	国防卫星通信系统 .....	182
5.6.2	“军事星”卫星通信系统 .....	184
5.6.3	全球宽带卫星 .....	185
<b>第6章</b>	<b>导航类有效载荷</b> .....	<b>187</b>
6.1	卫星导航概述 .....	187
6.1.1	卫星导航定位和测速方法的分类 .....	187
6.1.2	卫星导航的性能指标 .....	188
6.1.3	卫星导航发展简介 .....	189
6.2	低轨测速导航系统及有效载荷 .....	190
6.2.1	系统组成 .....	190
6.2.2	工作原理 .....	191
6.2.3	有效载荷 .....	191
6.3	全球导航定位系统及有效载荷 .....	192
6.3.1	系统组成 .....	192
6.3.2	工作原理 .....	193
6.3.3	有效载荷 .....	195
6.4	地球同步卫星无线电测定系统及有效载荷 .....	196
6.4.1	系统组成 .....	196
6.4.2	工作原理 .....	197

6.4.3	有效载荷 .....	198
6.5	典型的导航类有效载荷应用系统 .....	198
<b>第7章</b>	<b>科学类有效载荷</b> .....	<b>201</b>
7.1	空间环境探测有效载荷 .....	201
7.1.1	磁场测量仪器 .....	201
7.1.2	质谱计 .....	204
7.1.3	光谱仪 .....	207
7.1.4	空间带电粒子探测器 .....	208
7.1.5	空间碎片探测器 .....	209
7.1.6	空间辐射效应探测器 .....	213
7.2	深空探测有效载荷 .....	213
7.3	空间科学试验有效载荷 .....	215
7.3.1	空间材料科学试验 .....	215
7.3.2	空间生命科学试验 .....	217
7.3.3	空间药物生产试验 .....	217
<b>第8章</b>	<b>对抗类有效载荷</b> .....	<b>219</b>
8.1	天基攻防技术 .....	219
8.1.1	天基攻击技术 .....	219
8.1.2	卫星系统脆弱性及防御技术 .....	222
8.2	天基激光武器 .....	229
8.2.1	研究概况 .....	230
8.2.2	光源——激光器 .....	233
8.2.3	激光武器破坏效应 .....	248
8.3	天基微波武器 .....	248
8.3.1	天基微波武器的类型 .....	249
8.3.2	高功率微波武器组成与工作原理 .....	250
8.3.3	高功率微波产生器件 .....	251
8.3.4	微波功率合成 .....	253
8.3.5	微波武器破坏效应 .....	254
8.4	天基动能武器 .....	255
8.4.1	KKV 组成与关键技术 .....	255
8.4.2	KKV 拦截方式 .....	257
8.4.3	KKV 拦截精度 .....	258
8.4.4	KKV 的破坏效应 .....	259
	<b>参考文献</b> .....	<b>260</b>

# 第 1 章 概 述

人类为了扩大社会生产,必然要开拓新的活动空间。从陆地到海洋,从海洋到大气层,再到宇宙空间,就是人类逐渐扩展活动范围的过程。航天是人类拓展宇宙空间的产物。

遨游太空、探索宇宙是人类自古以来就有的美好梦想。在古代,中国就流传着嫦娥奔月的美好传说,有着腾云驾雾的遐想。到唐宋时期,中国在世界上最早发明了火药和火箭,并为近代火箭和航天技术的发展奠定了基础。20 世纪初,在俄国的齐奥尔科夫斯基(К. Э. Циолковский)、美国的戈达德(R. H. Goddard)和德国的奥伯特(H. Oberth)等航天先驱的杰出贡献下,近代火箭和航天飞行技术取得了重大突破。1957 年 10 月 4 日,苏联首先利用运载火箭把世界上第一颗人造地球卫星送入轨道,成为世界史上航天纪元的开端。经过半个世纪的快速发展,航天已经成为 21 世纪最活跃和最有影响的科学技术领域之一,该领域取得的重大成就标志着人类文明的高度发展,也表征着一个国家科学技术和综合实力的先进水平。

## 1.1 航 天

### 1.1.1 空域划分

相比地球上的陆地和海洋,人们习惯上把地球外面的空间称为“天空”。它从地球表面向上连续无限延伸,如图 1-1 所示。人类在探索外空的活动中,为

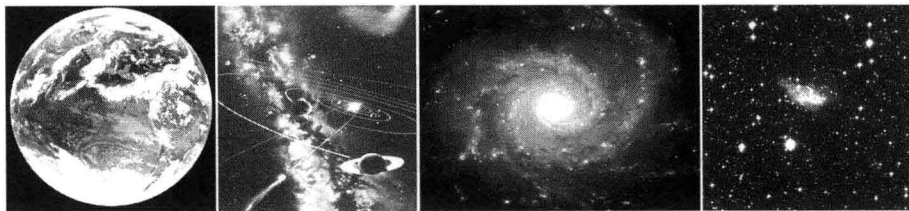


图 1-1 无限延伸的天空(地球→太阳系→银河系→宇宙)

了便于区分,根据不同飞行器的活动范围,将地球表面以上的空域进行了划分,按照由低到高的顺序依次划分为航空空间、临近空间和航天空间。

### 1. 航空空间

飞机等航空器活动的主要场所,包括大气层的对流层和平流层的底部,大部分是从海平面到 20km 高度的空间范围。航空空间具有大气环境中特有的物理特性,主要体现为大气的状态参数(压强、温度和密度)、连续性、黏性、可压缩性、声速和马赫数。

### 2. 临近空间

一般指距地面 20 ~ 100km 的空域。这个高度处于现有飞机的最高飞行高度和卫星的最低轨道高度之间,也称为亚轨道或空天过渡区,大致包括大气平流层区域、中间大气层区域和部分电离层区域。在这个空间范围里,由于空气稀薄,不利于航空器飞行;但又不是真空环境,有大量的电荷存在,所以也不适合航天器飞行。因此,它既不属于航天的范畴,也不属于航空的范畴,对于情报收集、侦察监视、通信保障以及对空对地作战等很有发展前景。

### 3. 航天空间

在地球以外离地表 100km 的高度上,大气密度为地表的五百万分之一,已接近真空,非常适合航天器的飞行。因此,通常把离地表 100km 以上的区域作为航天空间,并进一步细分为近地空间(100 ~ 40000km)、远地空间(40000 ~ 384000km)和星际空间(> 384000km)。目前大多数航天器是在近地空间里飞行。

## 1.1.2 航天资源

### 1. 轨道资源

航天空间是人类继陆地、海洋、大气层之后的第四个活动领域。航天器环绕地球按天体力学规律沿着特定轨道运动,飞行时位置高、速度快,可以快速、大范围地覆盖地球表面,从而达到通信、遥感、定位等目的。如航天器在 200km 轨道高度、20° 视角时的视场为 10000km<sup>2</sup>,是普通飞机视场的 100 倍;一颗静止轨道卫星可以覆盖超过 40% 的地球表面。所以各种航天器轨道本身就是重要的宝贵资源。例如,赤道上空的地球静止轨道只有一条。为了避免相邻航天器之间的无线电干扰,要求每隔 2° 才能布置一颗相同无线电频率的卫星。这样,在这种静止轨道上只能布置有限数量的卫星,因此许多国家都在争夺这种轨道位置。

### 2. 频率资源

频率资源虽然不属于空间自然的资源,但是,地球静止轨道资源的紧张与航天器所用频率有关。早期,静止轨道通信卫星所用的频段为 C 波段,后来发展

了 Ku 和 Ka 频段,现在仍然不够使用,还需要向更高的频段发展。但是,频率资源也是有限的,这样,各国发射的静止轨道通信卫星的位置和频率就需要协调。

国际电联(International Telecommunications Union, ITU)的任务之一就是负责协调各国发射的航天器轨道和频率,尤其是静止轨道通信卫星的位置和频率。每一个国家在研制和发射静止轨道通信卫星之前,要向国际电联申报和登记所需求的轨道和无线电频率,并与相邻卫星的国家和地区进行协调。只有在协调好并确认没有干扰后,才可发射,所以无线电频率也是一个很重要的资源。

### 3. 环境资源<sup>[1]</sup>

航天器在空间飞行时,在航天器的周围具有高真空、强辐射、高洁净、改变昼夜规律的环境以及稳定的太阳能等,在航天器内部形成地面无法获得的微重力环境,这种特殊的环境本身就是极为宝贵的资源。

利用太阳能为航天器获取电能和热能;地球重力场和磁场可以用作航天器姿态控制;还有人设想建造空间电站,并将电能传至地面,在未来地球能源枯竭时,空间电站有可能成为取之不竭的清洁能源;利用微重力环境可以制造出地面无法做到的高性能的晶体材料、药品和生物制品;在空间环境中,农作物种子会引起变异,带回地面繁殖后代,出现产品产量大增的奇异现象。

### 4. 物资资源

月球及太阳系各行星上都蕴藏着极为丰富的资源。月球岩土中含有地球地壳里的全部化学元素,并有大约 60 多种矿藏。其中包括地球上极为缺乏的同位素氦-3,它是核聚变反应堆理想的燃料,可能成为人类未来能源原料;还可能发现地球上没有的能源和矿藏,以开发出新的能源和材料。

如果大胆设想,将来人类在月球及其他行星上建立有人居住和生产的场所,就可以就地取材,获得各种能源,加工成各种产品。

## 1.1.3 航天活动

航天是指进入、探索、开发和利用太空以及地球以外天体的各种活动的总称。航天的实现必须使航天器克服或摆脱地球的引力,如想飞出太阳系,还要摆脱太阳引力。在相当长的时间里,航天基本上还是在太阳系以内的航行活动。

航天活动包括航天技术(又称空间技术)、空间应用和空间科学三大部分<sup>[2]</sup>。航天技术是指为航天活动提供技术手段和保障条件的综合性工程技术。空间应用是指利用航天技术及其开发的太空资源在国民经济、国防建设、文化教育和科学研究等领域的各种应用技术的统称。空间科学是指利用航天技术对宇宙空间的各种现象及规律的探索和研究。航天技术、空间应用与空间科学三大领域之间有着不可分割的联系:航天技术为空间应用和空间科学提供技术手段

和保障条件;空间应用运用航天技术成果转化为现实生产力和国防实力,并对航天技术和空间科学的发展提出需求;空间科学为航天技术和空间应用的持续发展提供科学研究基础。

航天技术是一门重要的军民两用技术,是在航天工程实践中逐渐形成和发展起来的一门综合性工程技术。它主要包括:喷气推进、火箭制导和控制、航天器轨道控制、航天器姿态控制、航天器热控制、航天器电源、航天遥测、火箭设计与制造、航天器设计与制造、火箭与航天器试验、飞行器环境模拟、航天器发射、航天器返回、航天测控、航天器信息获取和处理、航天系统工程等。航天技术与其他技术,如通信、导航、遥感、探测和科学实验等技术的交叉和渗透,产生了一些新技术,如卫星通信技术、卫星遥感技术、卫星导航定位技术和空间科学应用技术等。这些新技术统称为空间应用技术。各种空间应用技术的发展,大大扩展了航天技术的应用范围。

目前,航天技术已被广泛应用于军事(见图 1-2),包括侦察监视、导弹预警、通信中继、导航定位、海洋监视、大地测量、气象测绘等多个方面。美军从空间作战(Space Operations)的角度,将航天技术的军事应用概括为 4 大任务领域,即:空间力量增强(Space Force Enhancement)、空间支持(Space Support)、空间控制(Space Control)和空间力量应用(Space Force Application)。这些广泛的应用已使空间成为国家安全的新的战略制高点,极大地提高了军队的综合作战能力,对现代战争和军队建设产生了巨大而深远的影响。

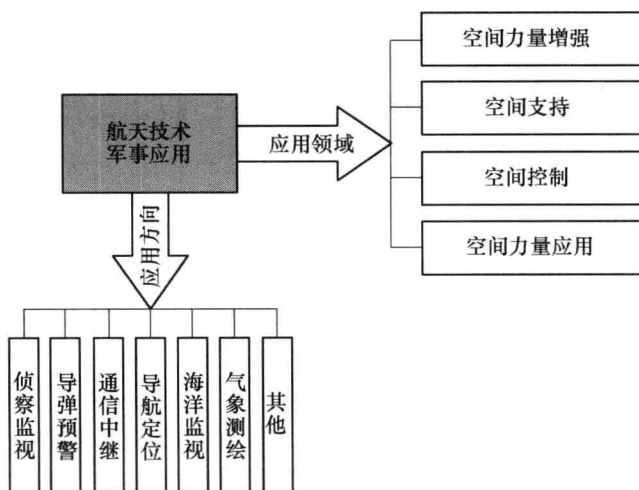


图 1-2 航天技术的军事应用

同时,航天技术的民用和商用价值也十分巨大。空间物理探测、空间天文探测、卫星气象观测、卫星海洋观测、卫星广播通信、卫星导航、卫星遥感、太空旅

游、地外生命与资源探索等都是航天技术的重要应用领域；微重力环境下完成的各种化学、物理和生物实验成果是航天技术为人类文明与进步所做的直接贡献。

#### 1.1.4 航天系统

人类要实现航天活动,就要建立庞大的以航天器为核心的航天工程系统,简称航天系统。航天系统是由航天器、航天运输系统(如运载火箭或其他运载器)、航天发射系统(航天发射场)、航天测控系统和航天应用系统组成的完成特定航天任务的工程系统。航天发射系统、航天测控系统等可为不同的航天器和航天运输系统所用。

航天系统按航天器是否载人可分为无人航天系统和载人航天系统;按用途可分为民用航天系统和军用航天系统;按航天器类型可分为卫星航天系统、载人飞船航天系统等。在目前的航天系统中,卫星航天系统的数量最多,种类也多,如通信卫星航天系统、气象卫星航天系统、导航卫星航天系统、侦察卫星航天系统等。

航天系统是现代典型的复杂工程大系统,具有规模庞大、系统复杂、技术密集、综合性强,以及投资大、周期长、风险大、应用广泛和社会经济效益十分可观等特点,是国家级大型工程系统。完善的航天系统是一个国家航天实力的重要标志,目前世界上只有为数不多的国家拥有这种实力。

## 1.2 航天器

### 1.2.1 概念

航天器是为执行一定任务,在地球大气层以外的宇宙空间(太空)基本按照天体力学规律运行的各类飞行器,又称空间飞行器或航天飞行器<sup>[3]</sup>。但是与自然天体不同的是,航天器可以在人的控制下改变其运行轨道或回收。航天器是航天系统的核心,为了完成航天任务,还必须具备发射场、运载器、航天测控和数据采集系统、用户台站以及回收设施的配合。

从地球表面发射的航天器,环绕地球、脱离地球和飞出太阳系所需的最小速度,是航天器在空间飞行所需的三个特征速度,分别称为第一、第二和第三宇宙速度。

#### 1. 第一宇宙速度 $v_1$

一般抛射体在均匀重力场中将沿抛物线回到地面。当速度不断增大,并达到第一宇宙速度  $v_1$  时,该物体受到的离心力恰好等于地球引力,它将不再返回

地面,而成为一个围绕地球转动的人造卫星。假设在地球表面发射航天器,使离心力等于地球引力,即有

$$mg_E = m \frac{v_1^2}{R_E}$$

$$v_1 = \sqrt{g_E R_E} \approx 7.91 \text{ km/s}$$

这就是第一宇宙速度  $v_1$ 。式中,  $g_E$  是地球表面重力加速度(9.81m/s);  $R_E$  是地球平均半径(6371km);  $m$  为抛射体质量。

## 2. 第二宇宙速度 $v_2$

第二宇宙速度  $v_2$  是指航天器从地球表面发射并能脱离地球引力场所需要的速度。根据能量守恒定律,其所需速度  $v_2$  应使航天器在地球表面的动能等于航天器从地球表面到无穷远克服引力场所做的功。地球表面的势能  $A$  和动能  $E_E$  分别为

$$A = - \int_{R_E}^{\infty} \frac{\mu m}{r^2} dr = - \frac{\mu m}{R_E}, E_E = \frac{1}{2} m v_2^2$$

则有

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\mu}{R_E}} = \sqrt{2g_E R_E} = \sqrt{2} v_1 \approx 11.18 \text{ km/s}$$

式中,  $r$  是地心距;  $\mu$  为地球引力常数,  $\mu = 3.986 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$ 。

## 3. 第三宇宙速度 $v_3$

第三宇宙速度  $v_3$  是指航天器从地球逃逸太阳系所需要的总速度。这需要两部分动能,一部分动能是脱离地球引力所需的动能,另一部分动能是脱离太阳系所需要的动能。

脱离太阳系所需要的速度为

$$v'_3 = \sqrt{\frac{2\mu_S}{R_S}} \approx 41.12 \text{ km/s}$$

式中,  $R_S$  是太阳系中地球轨道平均半径,即平均日地距离,  $R_S = 1.496 \times 10^8 \text{ km}$ ;  $\mu_S$  为太阳引力常数,  $\mu_S = 1.327 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$ 。

由于地球的公转速度为 29.76km/s(使发射方向与公转方向相同),所以,脱离太阳系所需要的速度只需要  $v''_3 = 42.12 - 29.76 = 12.36 \text{ km/s}$ 。这样,从地球逃逸太阳系所需要的总速度  $v_3$  为

$$v_3 = \sqrt{v_2^2 + (v''_3)^2} = \sqrt{11.18^2 + 12.36^2} = 16.67 \text{ km/s}$$



## 1.2.2 分类

航天器按是否载人可分为无人航天器和载人航天器两大类。按照各自的用途和结构形式,航天器还可进一步细分,如图 1-3 所示。

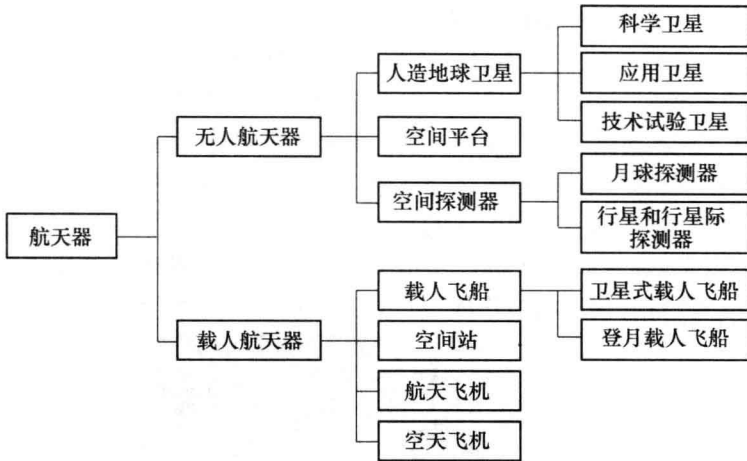


图 1-3 航天器的分类

### 1. 无人航天器

无人航天器包括人造地球卫星(简称卫星)、空间平台和空间探测器。

#### 1) 人造地球卫星

人造地球卫星是发射和使用数量最多的一类航天器,世界各国发射的人造卫星占航天器发射总数的 90% 以上。人造地球卫星有多种分类方法。按照卫星规模的大小,可以分为微型卫星、小型卫星、中型卫星和大型卫星;按照卫星的轨道特征,可以分为近圆轨道卫星和椭圆轨道卫星,其中近圆轨道卫星又可分为低地轨道卫星(LEO)、中地轨道卫星(MEO)和静地轨道卫星(GEO);按照卫星的功能用途,可以分为科学卫星、应用卫星和技术实验卫星。

科学卫星用于科学探测和研究,主要包括空间物理探测卫星和天文卫星等。直接为国民经济、军事和文化教育服务的人造地球卫星称为应用卫星,主要有通信及广播卫星、气象卫星、测地卫星、地球资源卫星、导航卫星和侦察卫星等,还有专门军事用途的截击卫星,部分卫星还具有多种功能。技术试验卫星是对航天领域中的各种新原理、新技术、新系统、新设备以及新材料等进行在轨试验的卫星。多数情况下,科学卫星也兼有技术试验功能。

1957 年 10 月 4 日,苏联成功发射了世界上第一颗人造地球卫星(也是第一个航天器),人类从此进入空间时代。20 世纪 70 年代,卫星开始全面进入应用