



01 01010010
01 0 0 010
110 101010101 0110 001

空天信息工程 概论

陈树新 王 锋 周义建 李 伟 李 超 编著
吴耀光 主审



国防工业出版社
National Defense Industry Press

空 天 信 息 工 程 概 论

陈树新 王锋 周义建 李伟 李超 编著
吴耀光 主审

國 防 工 業 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了空天信息系统的基本理论、系统组成和关键技术,重点探讨了各种天基和空基信息的获取、传输、处理与控制过程。全书共分为8章,其主要内容包括空天信息系统相关基础理论研究、空间环境分析、空天侦察预警系统、指挥控制系统、战术数据链、卫星通信系统、卫星导航定位系统以及通信对抗技术等。

本书内容丰富,概念清晰,语言通俗易懂,叙述深入浅出,既注重对新知识、新体系、新应用的介绍,也强调对历史沿革、应用背景和发展趋势的讲解。每章都配备有一定数量的思考题,既便于教师组织教学,又有利于学生自学。

本书可用作电子及信息类专业本科生和研究生的教材,也可供相关专业教学、科研和工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

空天信息工程概论/陈树新等编著. —北京:国防工业出版社,2010.8

ISBN 978-7-118-07078-1

I. ①空... II. ①陈... III. ①航空航天工业—信息系统—概论 IV. ①V1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第169963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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

开本710×960 1/16 印张19 字数335千字

2010年8月第1版第1次印刷 印数1—4000册 定价38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

随着航空技术、航天技术和信息技术的发展,空天信息系统成为今天和未来实现信息获取、传输、处理与控制的重要手段和途径,其功能越来越强大,结构越来越复杂,因此,了解掌握空天信息系统基本理论、系统组成和关键技术成为人们关注的焦点,纷纷成立相应的机构,开展相关的研究工作,实施人才的培养计划。空天信息的获取、传输、处理与控制是实施空天一体信息应用的基本保证,是当今人类活动高信息化程度的具体体现。如果按功能来分,空天信息系统可以分为侦察预警系统、指挥控制系统、网络传输系统、导航定位系统、信息对抗系统等。如果按空间位置来分,可以分为地面信息系统、航空空间信息系统、临近空间信息系统、外层空间信息系统等。本书将从功能应用角度,对空天信息系统进行较为深入的分析和研究。

全书共分为8章,重点介绍空天信息系统基本理论、系统组成和关键技术,同时对空天信息系统的最新进展与典型应用和系统进行了分析和介绍。具体章节内容安排如下:

第1章以空天信息系统所涉及的主要概念为研究对象,在给出了空间的具体定义基础上,对相关飞行器进行了归纳和分类。同时利用万有引力定律,推导了不同的宇宙速度。结合信息论的基础知识,探讨了信息方面的相关问题,最后,对各类空天信息系统进行简要介绍。

第2章主要针对空天环境要素进行了分析,重点讨论了太阳电磁辐射、地球大气、地球电离层、地球磁场,以及空间带电粒子辐射的特性,研究了这些因素对空天活动的影响。

第3章从空天侦察和预警需求出发,针对主要的侦察预警装备——雷达进行了讲述,同时,针对最常使用的相控阵雷达、合成孔径雷达和超视距雷达等,从原理和关键技术角度进行了详细介绍。

第4章介绍了指挥控制系统的概念和分类,分析了指挥控制系统的体系结构和软件组成,研究了指挥控制系统的功能、特性和系统中的主要技术,以指挥

控制系统为核心介绍了指挥自动化系统的基本概念和功能、性能等知识,并对未来的发展进行了展望。

第5章介绍了战术数据链的作用、概念、功能和特点,以美军和北约国家常见的战术数据链为背景,重点分析了常用数据链、宽带数据链和专用数据链3个方面问题。研究了战术数据链的组成,并且以美军的战术数据链为例,介绍了战术数据链的通信标准和报文标准等,给出了战术数据链的具体应用模式。

第6章介绍卫星通信相关的基本概念、原理、组成和特点,对卫星通信的多址技术进行研究,分析了星载和地球站设备的主要部件和技术指标,最后介绍几个具有代表性的卫星通信系统,以及美军主要卫星通信系统组成、作用和性能指标。

第7章在详细介绍卫星导航定位系统基本概念、原理、组成和分类的基础上,以GPS为例,对全球定位系统进行了较为详尽的分析,同时还探讨了GPS增强系统、GPS现代化所涉及到的问题,分别介绍了GLONASS系统GALILEO系统相关内容,最后对我国卫星导航系统的发展进行了简要的介绍。

第8章主要介绍通信对抗的基本概念和技术体系,然后分别对通信对抗技术体系中的通信干扰技术与抗干扰技术作了详细说明,最后结合各类通信系统,介绍了通信干扰的工作原理和主要技术指标。

全书以电子和信息学科为应用背景,在选材上,强调空天信息系统的基本理论、系统组成和关键技术,以及新近研究成果和应用系统的分析和介绍,在充分提升学生对空天信息系统的认识和理解的基础上,提高学生对实际系统应用和开发能力;在内容编排上,强调对空天信息系统所涉及内容的提炼,坚持以介绍新知识、新体系、新应用为中心,内容基本涵盖了近10年来空天信息系统的主要发展和应用成果,以及未来的发展主要趋势,同时注重对必要的历史沿革和应用背景的讲解;在写作上,力求简明扼要,深入浅出,着重理论、体系、应用的阐述。本书全部讲解的参考学时为64学时,当然讲授内容也可以根据课程设置的具体情况、专业特点和教学要求自由取舍。本书配有电子教案,欢迎任课教师索取。

本书第1章、第6章、第7章由陈树新博士编写,第4章、第5章由王锋博士编写,第2章和第1章的部分内容由周义建老师编写,第3章由李伟博士编写,第8章由李超博士编写。陈树新规划并统稿全书。

承蒙空军工程大学电讯工程学院院长吴耀光教授审阅全书,并提出了许多

宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,始终得到了黄国策教授、程建教授、甘忠辉教授的关心与支持,在此表示衷心的感谢。

由于空天信息系统所涉及到的理论、系统和技术发展迅速,编者水平有限,书中难免存在错误和不足,恳请读者批评指正。

作者

二〇一〇年五月,西安

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 空间的定义	1
1.1.1 大气空间	1
1.1.2 宇宙空间	3
1.2 空间飞行器	6
1.2.1 航空器	7
1.2.2 航天器	9
1.3 航天飞行的速度要求	12
1.3.1 太阳系	12
1.3.2 宇宙速度	13
1.4 信息论概述	16
1.4.1 信源的描述及分类	17
1.4.2 信息量	18
1.4.3 离散信源的熵	20
1.4.4 信息传输速率	22
1.5 空天信息系统	24
1.5.1 空天侦察预警系统	24
1.5.2 指挥控制系统	28
1.5.3 空天网络传输系统	30
1.5.4 卫星导航定位系统	31
1.5.5 空天信息对抗系统	34
1.6 小结	36
思考题	37

第2章 空间环境分析	38
2.1 太阳电磁辐射	38
2.1.1 太阳辐射	38
2.1.2 太阳黑子和太阳活动	39
2.1.3 地球大气外的太阳光谱	40
2.2 地球大气	41
2.2.1 地球大气的分层结构	41
2.2.2 太阳活动对地球大气的影响	44
2.2.3 大气模式	45
2.3 地球电离层	46
2.3.1 电离层结构	46
2.3.2 电离层参数与反常现象	47
2.3.3 电离层对空天活动的影响	49
2.4 地球磁场	50
2.5 空间粒子辐射	52
2.5.1 地球辐射带	52
2.5.2 太阳宇宙线	55
2.5.3 银河宇宙线	57
2.6 空间辐射效应	57
2.6.1 总剂量效应	58
2.6.2 单粒子效应	59
2.7 小结	60
思考题	61
第3章 空天侦察预警系统	62
3.1 概述	62
3.1.1 雷达基本概念	62
3.1.2 现代雷达发展史上的一些重大事件	64
3.1.3 雷达的主要性能参数和技术参数	65
3.1.4 雷达在现代战争中的作用	68

3.2	相控阵雷达	72
3.2.1	基本原理	73
3.2.2	相控阵雷达组成及特点	78
3.2.3	相控阵雷达发展现状	80
3.2.4	相控阵雷达应用和未来发展	82
3.3	合成孔径雷达	84
3.3.1	概述	84
3.3.2	成像处理原理	86
3.3.3	合成孔径雷达发展现状	89
3.4	超视距雷达	90
3.4.1	概念	90
3.4.2	超视距雷达分类	91
3.4.3	天波超视距雷达和地波超视距雷达	92
3.4.4	超视距雷达关键技术	94
3.5	小结	95
	思考题	95
第4章	指挥控制系统	96
4.1	概述	97
4.1.1	指挥控制系统的概念	97
4.1.2	高技术战争对指挥控制系统的要求	99
4.1.3	指挥控制系统的分类	100
4.2	指挥控制系统的组成结构	101
4.2.1	指挥控制系统的体系结构	101
4.2.2	指挥所系统组成	102
4.2.3	战区联合作战指挥系统	106
4.2.4	指挥控制系统软件组成	108
4.3	指挥控制系统的功能和特性	116
4.3.1	指挥控制系统的主要功能	116
4.3.2	指挥控制系统的主要特性	117

4.4	指挥控制系统中的主要技术	118
4.4.1	信息融合技术	119
4.4.2	辅助决策支持技术	120
4.4.3	高速并行处理技术	121
4.4.4	多媒体处理技术	122
4.4.5	指挥控制 Web 技术	123
4.4.6	仿真模拟技术	124
4.4.7	互操作技术	125
4.5	指挥自动化系统与指挥控制系统的发展趋势	126
4.5.1	指挥自动化系统的组成与分类	126
4.5.2	指挥自动化系统的主要功能	128
4.5.3	指挥自动化系统的主要战术技术性能	129
4.5.4	指挥控制系统的发展趋势	130
4.6	小结	131
	思考题	132
第 5 章	战术数据链	133
5.1	概述	133
5.1.1	战术数据链的作用	134
5.1.2	战术数据链的概念	135
5.1.3	战术数据链的功能	137
5.1.4	战术数据链的特点	138
5.2	战术数据链常见形式	139
5.2.1	常用数据链	139
5.2.2	宽带数据链	149
5.2.3	专用数据链	154
5.3	战术数据链的基本结构	156
5.3.1	战术数据链系统的基本组成	156
5.3.2	战术数据链的设备特性	157
5.3.3	战术数据链的通信标准	158

5.3.4	战术数据链的报文标准	158
5.3.5	战术数据链的网络管理	161
5.4	战术数据链的应用	163
5.4.1	战术数据链在 ISR 系统中的应用	163
5.4.2	战术数据链在武器系统中的应用	165
5.5	小结	168
	思考题	169
第 6 章	卫星通信系统	170
6.1	绪论	170
6.1.1	卫星通信的定义	170
6.1.2	卫星通信频率分配	172
6.1.3	卫星通信系统的组成	175
6.1.4	卫星通信的特点	176
6.1.5	摄动、星蚀及日凌中断	177
6.2	卫星通信的多址技术	179
6.2.1	频分多址	179
6.2.2	时分多址	180
6.2.3	码分多址	182
6.2.4	ALOHA 方式	184
6.3	星载和地球站设备	185
6.3.1	高功率放大器和低噪声放大器	185
6.3.2	星载转发器	187
6.3.3	通信地球站设备	190
6.4	典型卫星通信系统	193
6.4.1	VSAT 系统	193
6.4.2	Inmarsat 系统	195
6.4.3	Iridium 系统	200
6.4.4	美军卫星通信系统	202
6.5	小结	210

思考题	211
第7章 卫星导航定位系统	212
7.1 绪论	212
7.1.1 导航的基本概念	212
7.1.2 卫星导航定位系统的分类	213
7.1.3 卫星导航定位的原理	215
7.1.4 航行体对导航定位系统的要求	217
7.2 GPS 系统	219
7.2.1 GPS 的建立	219
7.2.2 GPS 组成	221
7.2.3 导航信号结构	224
7.2.4 导航电文	229
7.2.5 伪随机码测距	231
7.3 GPS 增强系统	232
7.3.1 差分 GPS 技术	233
7.3.2 位置差分	234
7.3.3 伪距差分	234
7.3.4 局域和广域差分 GPS	236
7.3.5 GPS 现代化	238
7.4 GLONASS 系统	240
7.5 GALILEO 卫星导航系统计划	243
7.6 中国卫星导航系统	247
7.6.1 北斗-1 系统	248
7.6.2 北斗-2 系统	250
7.7 小结	251
思考题	252
第8章 通信对抗技术	253
8.1 通信对抗的基本概念	253

8.1.1	通信对抗的地位与作用	253
8.1.2	通信对抗技术体系	254
8.2	通信干扰技术	255
8.2.1	基本概念	255
8.2.2	通信干扰工作原理	256
8.2.3	通信干扰设备的主要技术指标	261
8.2.4	影响干扰效果的因素	263
8.2.5	通信干扰的关键技术	263
8.3	通信抗干扰技术	271
8.3.1	扩频通信技术	272
8.3.2	自适应抗干扰技术	281
8.3.3	卫星通信的抗干扰技术	282
8.4	小结	287
	思考题	288
	参考文献	289

第1章 绪 论

空天信息的获取、传输、处理和控制是实施空天一体信息应用的基本保证。从空间构成来看,空与天是空天信息活动的场所,两者有所不同,但没有绝对的界线,可以在不同环境中进行同样的基本活动,只是平台和方法不同而已。从参与空天活动的各类信息来看,它们所关注的内容和形式基本一致,只是获取、传输、处理和控制方式不同,进而所得到的相关性能指标存在差异,因此,对于空与天的不同信息系统,既要强调它们内涵上的相互联系,又不能忽略两者之间存在的差异。

本章在探讨分析空间具体定义的基础上,将对航空和航天飞行器进行归纳和分类,并利用万有引力定律推导三个宇宙速度。结合信息论的基础知识,将探讨信息的定义和信息速率等基本问题。在上述研究基础上,对各类空天信息系统进行介绍。

1.1 空间的定义

气球和飞艇的发明虽然实现了人们“上天”的愿望,但没有得到广泛使用。直到1903年美国莱特兄弟发明了飞机,才使人类进入了航空新时代。如今,军用飞机已成为军队最重要的武器装备,而民用飞机则成了人们最便捷的运输工具。但是,人们并不满足在大气层内的飞行,而是在小心翼翼地飞往太空。苏联著名的宇航员加加林,1961年4月12日首次乘飞船飞向太空,打开了人类宇宙航行的大门。尔后,人们又登上了月球,用无人驾驶飞船探索更遥远的金星、火星、木星、天王星,并继续飞向太阳系的边缘,飞向宇宙的深处。为了区分人们在不同空间的航行,人们通常把贴近地球的、在大气层内的航行活动叫做航空,或者称为大气空间中的活动。同时把太阳系内的航行活动叫航天,把到太阳系之外更远的空间航行活动叫航宇,而后两类航行活动合并在一起统称为宇宙空间的活动。

1.1.1 大气空间

人们普遍认为,大气层的最高限度可达16000km,但由于100km是航天器绕地球运动的最低轨道高度,人们一般以距离地球表面100km(也有80km和

120km 等多种提法)的高度作为“空”与“天”的分水岭,100km 以下称为大气空间。

飞机一般都有一个最高飞行高度,即静升限,对于普通军用和民用飞机来说,静升限一般为 18km ~ 20km,这个高度同时也是对流层与平流层分界的高度,通常将这一空间称为航空空间。在飞机最高飞行高度与航天器绕地球运动的最低轨道高度之间有一层空域,对应高度为 20km ~ 100km,这层空域被称为临近空间,该空间自下而上包括大气平流层区域、中间大气层区域和部分电离层区域。随着技术和应用需求的发展,人们将传统的航空空间进一步向上扩展,将临近空间定义为航空空间的超高空部分。图 1-1 给出了大气空间具体分布示意图。

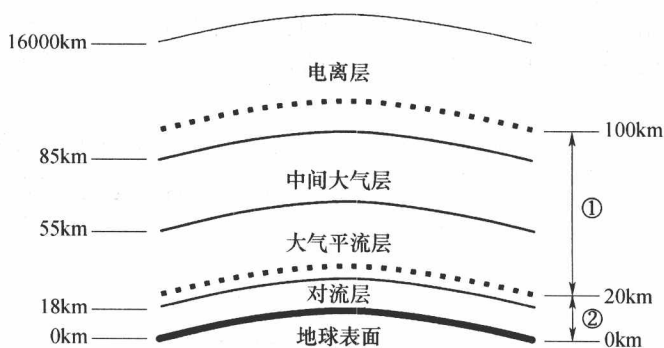


图 1-1 大气空间分布示意

①—临近空间；②—航空空间。

大气空间在垂直空间范围内包括对流层和平流层。对流层是地球大气中最低的一层。对流层中气温随高度增加而降低,空气的对流活动极为明显。对流层的厚度随纬度和季节而变化,它集中了大气中约 3/4 的质量和几乎全部水汽,是天气变化最复杂和对航空活动影响最大的层次。风暴、浓雾、低云、雨雪、大气湍流等对飞行构成较大影响的天气现象都发生在对流层中。平流层位于对流层之上,空气稀薄,底部距离地面约 20km,层顶距离地面约 85km,在平流层中,空气的垂直运动较弱,水气和尘埃较少,气流平稳,能见度好。

按飞机的活动特点,航空空间一般分为超低空、低空、中空、高空、超高空。

距地面高度 100m 以下的空间为超低空。超低空飞行,有利于作战飞机的突防、隐蔽地接近目标,但近地障碍严重威胁飞机的飞行安全,油料消耗大,续航能力低,观察地面的角度大,发现和识别目标困难。

距地面高度 100m ~ 1000m 的空间为低空。低空飞行,有利于隐蔽出航和准确突袭地面目标,但续航能力较低,机载电子设备作用距离近,易受高炮等防空

火力杀伤。

距地面高度 $1\text{km} \sim 7\text{km}$ 的空间为中空。这一空间是适合飞机飞行的最佳飞行高度,有利于发挥飞机的战术技术性能,是空中格斗的主要战场。但是,由于在中空飞行容易被雷达发现,且高射炮和地空导弹大多以中空为其主要打击空域,因此,目前作战飞机的机动有向两极空间发展的趋势:向高空发展以增强飞机的生存能力,使对方一般的防空火力“鞭长莫及”;向超低空发展以避开对方地面雷达警戒、达到隐蔽突击的效果。

距地面 $10\text{km} \sim 20\text{km}$ 的空间为高空。飞机在高空飞行,航程和机载电子设备作用距离增大,但投掷普通炸弹的命中率降低,且易过早被敌雷达发现,受地空导弹的威胁较大。

距地面 $20\text{km} \sim 100\text{km}$ 的空间为临近空间,在这一区间布设的飞行器具有飞行高度高、滞空时间长的独特优势,同时又可以避免目前绝大多数的地面武器攻击,临近空间飞行器可执行快速远程投送、预警、侦察与战场监视、通信中继、信息干扰、导航等任务,在空间攻防和信息对抗中能发挥重要作用,其特殊的战略位置和特点,决定了临近空间信息系统将成为国家空、天、地一体化信息系统不可缺少的组成部分。

1.1.2 宇宙空间

宇宙空间是指地球大气平流层以外的外层空间,根据宇宙空间距离地球的远近,一般将宇宙空间分成近地空间($100\text{km} \sim 150\text{km}$)、近宇宙空间($150\text{km} \sim 2000\text{km}$)、中宇宙空间($2000\text{km} \sim 50000\text{km}$)和远宇宙空间($50000\text{km} \sim 930000\text{km}$)。目前,40%的航天器和100%的洲际弹道导弹与潜射弹道导弹主要运行于近地空间和近宇宙空间,60%的不载人航天器运行于中宇宙空间。随着人类航天技术的进步,航天活动将会进一步向远宇宙空间发展。

距地球表面 100km 是航天器绕地球运行的最低高度, 100km 以上空气稀薄,空气阻力近似于零,无法借助空气产生的升力进行飞行。因此,要进行太空飞行必须使用火箭推进系统。人们将运载火箭从地面起飞到航天器入轨,这段轨道称航天器的发射轨道。发射轨道中火箭发动机的工作段称主动段,从火箭发动机停机到航天器入轨的这段轨道段称自由飞行段。

航天器进入所设计好的轨道执行任务,这个轨道称为运行轨道,完成在轨任务之后,有的要求回收,为此制动发动机工作,航天器脱离运行轨道到地面的轨道称返回轨道。对于星际飞行航天器从一个行星出发,飞向某一行星进行探测或者在此行星上着陆,为此设计执行的轨道被称为行星际飞行轨道。

从地球上,太阳在空间走过的路线,实际上就是地球绕太阳公转的轨道被称为黄道,黄道与赤道之间有 23.5° 的夹角,这个数值称为黄赤交角。这样,黄道和赤道之间有两个交点。人们规定太阳由南向北经过赤道的这一点叫升交点,在天文上也叫春分点,用符号 γ 表示,太阳经过这一点的日子一般为 3 月 21 日,与升交点相对应那一点叫降交点,即秋分点。

航天器在运行轨道上围绕地球飞行时,其运行轨道可以利用倾角(i)、半长轴(a)、偏心率(e)、近地点幅角(ω)、升交点赤经(Ω)和过近地点时刻(t)等要素进行表示。

轨道平面与赤道平面的夹角称为轨道倾角,用 i 表示。当 $i=0^\circ$ 时,表示轨道面和赤道面重合,因而称为赤道轨道;当 $i=90^\circ$ 时,轨道面通过南北两极,称为极轨道;当 $i>90^\circ$ 时,卫星运动方向和地球自转方向相反,称为逆行轨道,太阳同步轨道即具有这个特点。

当 $i\neq 0^\circ$ 时,轨道和赤道也有两个交点,即卫星由南向北经过赤道时的点叫升交点;与之相对,卫星由北向南经过赤道的点叫降交点。由春分点沿赤道向东度量到升交点的这一段弧线,被称为升交点赤经,用 Ω 来表示。

i 和 Ω 决定了轨道面相对于赤道面的位置,或者说决定了轨道面在空间的位置。轨道的形状(圆还是椭圆)和大小则用另外两个量,即偏心率 e 和半长轴 a 来表示, $e=0$ 时,轨道为圆形; $e<1$ 时,轨道为椭圆形; $e=1$ 时,轨道呈抛物线,卫星就能脱离地球引力,进入太阳系飞行。 e 越接近 1,椭圆形状越扁。轨道大小则由半长轴表示, a 越大,椭圆越大,卫星飞行一圈的时间越长。

近地点在轨道面的位置是由近地点幅角 ω 来表示,它决定了长半轴的方向,该角是从升交点沿航天器飞行方向起,量到近地点的一段弧线。

航天器轨道在空间的位置完全确定后,要知道什么时候航天器飞行到轨道的什么位置,还需要知道航天器过近地点时刻 t 。这个时刻作为航天器在轨道上起算时刻,通过公式即可计算出航天器在某一时刻到达轨道上哪个位置。

综上所述,由椭圆性质知道,距地心最近的点叫近地点,距地心最远的点叫远地点,近地点和远地点距离之和的 $1/2$ 就是半长轴。航天器的椭圆轨道如图 1-2 所示。

在了解了航天器运行轨道要素的基础上,根据所承担的任务不同,航天器轨道有多种形式。

1. 圆轨道和椭圆轨道

根据开普勒定律可知,对应每一轨道高度都有一个确定的圆轨道速度与之对应。以 500km 高的轨道为例,如果入轨速度正好是 7.613km/s,且入轨速度方