

HANGTIAN

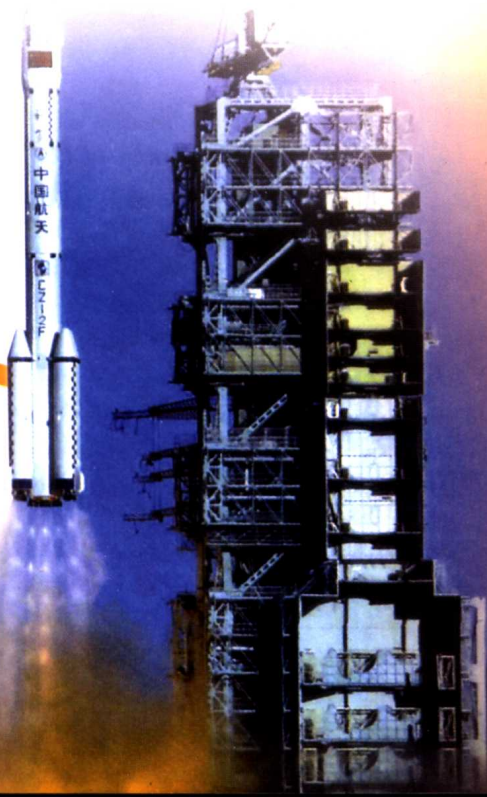
姜 昌 范晓玲 著



航天通信跟踪

TONGXIN GENZONG JISHU DAOLUN

技术导论



北京工业大学出版社

航天通信跟踪技术导论

姜 昌 著
范晓玲

北京工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

航天通信跟踪技术导论 / 姜昌, 范晓玲著. —北京:
北京工业大学出版社, 2003. 11

ISBN 7 - 5639 - 1271 - 1

I. 航... II. ①姜... ②范... III. 航天通信
—跟踪—技术 IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 089295 号

航天通信跟踪技术导论

姜 昌 著
范晓玲

*

北京工业大学出版社出版发行
邮编: 100022 电话: (010)67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 16 开 19 印张 368 千字

印数: 1~2000

ISBN 7 - 5639 - 1271 - 1/T·208

定价: 48.00 元

作者简介



姜昌 男,1925年出生于云南省。研究员,政府特殊津贴获得者。1949年毕业于清华大学电机系电信专业。1957—1961年在前苏联科学院做遥测专业研究生,1961年获前苏联高等和中等专门教育部高等考核委员会技术科学副博士学位。1961年回国后,先后在中国科学院自动化研究所、七机部704所、航天部450工程办公室、航天部503所等单位工作。历任研究室副主任,研究所副所长,科技委员会委员、主任和部科技委员会委员及测控专业组组长等职。1994年离休,现尚被聘为中国航天科技集团503所顾问组顾问和五院科技委员会

特约委员等。

1965—1968年参加并领导我国第一颗人造地球卫星的遥测工作;1970—1973年参加并领导我国灯塔1号导航卫星的遥测研制生产工作;1975—1990年参加并领导远望号测量船的自动跟踪遥测、风云2号气象卫星地面指令数据收集站的研制生产工作;并于1980年带队到南太平洋执行DH-5洲际导弹落区测量任务。1986—1989年领导863-2-205-11“载人空间站系统测控通信网概念研究”项目,并于1989年通过专家组验收;1997—1998年承担863-2-8-3-2“深空测控与通信技术研究”任务,亦通过专家委员会验收;1999—2000年承担第二期863-2-8-3-2“深空测控与通信技术研究”任务,已通过专家委员会验收。

姜昌先生不但在空间数据系统、深空测控、跟踪与通信方面堪称国内第一流的专家,而且笔耕不辍,几十年来发表在国内外著名刊物上的论文有近百篇,公开出版的专著图书亦有多部。

序

我国航天技术的发展处于当今世界的先进行列,“神舟五号”载人飞船的成功发射与返回着陆,极大地激励了我国各族人民的雄心壮志。航天技术不但在军事上有重大的作用 and 意义,并且在国民经济和社会文化生活中有着广泛的应用前景。人们对航天技术的发展日益关心、支持和向往。

航天技术的发展,依靠火箭推进技术,光学、红外、微波有效载荷技术,空间与地面的通信跟踪测量技术,发射指挥控制技术等多方面的支持。我国依靠自己的力量,在空间与地面的通信跟踪测量及火箭推进技术等方面不但取得了重大成就,而且具有中国特色。

《航天通信跟踪技术导论》一书,是作者四十余年从事该领域研究开发工作的经验总结,内容十分丰富。有基础理论,有实践经验和数据,有国外发展情况,有我国的创新点。书中不但凝聚了作者毕生辛勤劳动的成果,还吸收了从事该项工作广大同志的智慧。是一本对科研、教学、训练、维修有重要参考价值的读物和参考材料。

我相信此书的出版,必将在培养我国航天科技人才和推进我国航天技术的发展方面,起到重要作用。

中国工程院院士

程广源

2003年11月于北京

前 言

航天技术是 20 世纪 50 年代发展起来的一项高新技术,它对人类社会的经济建设和国防建设起过并将起着重大作用。无线电测控和通信技术是航天技术的重要组成部分,随着航天器和运载火箭技术的不断发展,航天测控和通信技术也发生了重大变化,已由科学试验卫星时代的模拟传送方式,转向数字化式传输。随着航天技术由实验阶段转向应用阶段,当代的航天器除用于传统的通信、广播、定位导航、气象观测和遥感外,更向载人航天、太阳系内各行星的深空探测发展;工作方式已由单颗卫星发挥作用向多颗卫星组成星座,主星附近有多颗伴星组成编队飞行的方向发展。航天器则由重几百千克到上吨的大卫星逐渐向小卫星、微小卫星和纳卫星发展。航天测控通信技术为适应这些发展也经历了重大的变化。笔者四十多年来,一直在航天测控通信领域工作,由我国第一颗人造卫星东方红-1 号的遥测系统和短波广播东方红乐曲开始,经历了灯塔-1 号导航卫星,中程、洲际运载火箭,331 通信卫星,风云 2 号气象卫星,载人航天、深空探测、月球探测的通信和测控的设备研制及方案论证等工作。笔者在本书中,拟将参与这些工作学习到的知识和积累的经验加以总结,供后人参考。

本书共分 14 章。第一章介绍航天通信跟踪(C&T)的技术特点和研究内容;第二章介绍航天通信测控技术四十多年来的发展史;第三章到第九章分别介绍航天 C&T 中包含的各种单项技术,包括遥测、遥控、测速、测角、测距、定位定轨、通信和数据传输等技术特点和现状;第十章涉及将这些分技术组成 TT&C 和 C&T 的系统技术,总体设计用到的信道计算也在本章中介绍;第十一章介绍非深空的组网技术,因航天器是环绕地球飞行的,单靠一座 C&T 站往往无法完成任务,必须组成 C&T 网,本章中介绍了陆基 C&T 网和新近发展起来的天基 C&T 网;第十二章介绍国际上的深空 C&T 网;第十三章介绍国际上航天 C&T 的三种标准,并比较其异同;第十四章介绍 21 世纪 C&T 技术的发展动向。

在本书即将付印的前夕,2003 年 10 月 15 日我国的载人飞船神州 5 号安全升空并于预定时间返回地面,证实我国的航天通信与跟踪技术又上了一个新台阶,胜利完成了自己的任务。特向十多年来为神州 5 号载人航天通信与跟踪方案论证、设计、生产、评审、执行任务的已经退休和在职的、付出过辛勤劳动的战友们寄以深切思念和衷心祝贺。

笔者四十多年来,在航天 C&T 技术中曾同许多同行合作过,本书中不少观点、知识都是向他们学来的,除文献中列出者外,尚有不少其他同志,在此特地致以谢意。本书涉及航天 C&T 的所有阶段和领域,因笔者掌握知识有限,可能有不少疏漏和不足,加上编写时间仓促,未能仔细推敲,欢迎各位同行指正。

最后,本书得以出版,还要感谢中国科学院京区老科技工作者协会朱尚廉同志的推荐,感谢北京工业大学出版社张瑚编审多次认真审读核对本书书稿,帮助笔者找出多处意识不到的问题并代为编辑了英文缩写字一览表,感谢出版社为本书出版付出的辛勤劳动。

姜 昌

2003 年 10 月

目 录

第一章 航天测控与通信的技术特点和研究内容	1
一、航天测控与通信(C&T)在航天任务中的地位	1
二、航天 C&T 的技术特点	2
三、本书研究的内容	3
第二章 航天 C&T 技术发展史	5
一、跟踪、遥测和遥控分离阶段	5
(一) 跟踪技术(外测技术)	5
(二) 遥测技术(内测技术)	6
(三) 遥控技术	8
二、跟踪、遥测和遥控共用统一载波时期(TT&C-USB)	9
三、通信与测控(C&T)结合时期	10
四、测量带	11
五、通信跟踪网	11
第三章 遥测技术	13
一、常规 PCM 遥测系统的组成	14
二、遥测信号源的频谱特性、取样率和取样误差	17
三、信号取样值量化及量化误差	20
(一) 整量化最大归一化误差	20
(二) 整量化的均方误差	20
(三) 量化信噪比 $(S/N)_q$	21
四、PCM 遥测基带信号的帧构造	22
五、PCM 基带信号功率谱和占用带宽	24
六、PCM 的不同波形及变换	27
七、调制与解调体制	30
(一) 非相干二元移频键控(BFSK)调制与解调	30
(二) BFSK 相干调制与解调	32
(三) 二元(两相)移相键控(BPSK)调制与解调	34
(四) 差分移相键控(DPSK)调制与解调	40
(五) 四相移相键控(QPSK)调制与解调	42
(六) 参差四相移相键控(SQPSK, staggered QPSK)调制与解调	45
(七) 非平衡四相移相键控(UQPSK)调制与解调	46
(八) 最小偏移键控(MSK)调制与解调	47
(九) 各种调制方式的性能小结	51

八、PCM 遥测系统的同步问题	53
(一) 位同步信号的提取	53
(二) 帧同步码和帧同步提取	55
(三) 字同步信号提取	61
(四) 副帧同步码选择和副帧同步检出	61
九、PCM 遥测系统的误码率 P_e 和误差的关系	62
(一) 信噪比和误差的关系	62
(二) 相加性白色高斯噪声(AWGN)引起的误码率 P_e 和误差 $\delta\%$ (或 δ') 的关系	63
(三) 信噪比(SNR)测量	65
(四) 误码率 P_e (BER) 测量	70
(五) 误码率 P_e 的选择标准	72
十、分包遥测	73
(一) 分包遥测产生的历史背景	73
(二) 分包遥测和常规遥测相比较的技术进步点	74
(三) 源包的数据构造	75
(四) 其他形式的三种包构造	77
(五) 转移帧(transfer frame)	78
十一、分包遥测的信道编译码, 帧同步码(ASM)和伪随机化	83
(一) 信道编译码	83
(二) 有信道编译码时的帧同步方法	93
(三) 伪随机化	95
第四章 遥控(TLC/TC)技术	98
一、遥控和遥测的主要区别	98
二、常规遥控技术	99
(一) 基带信号构造	100
(二) 地面发送遥控命令的操作过程	105
(三) 遥控信息的调制体制	105
(四) S/C 接收遥控命令的过程	106
(五) 遥控命令的可靠性要求	107
(六) 遥控验证和保护	107
(七) S/C 上命令的执行	108
三、CCSDS 遥控	109
(一) 应用进程层	110
(二) 系统管理层	111
(三) 分包层	111
(四) 分段层	111
(五) 转移层	112
(六) 编码层	116
(七) 物理层	117
四、CCSDS 遥控和常规遥控比较的技术进步点	117
第五章 测角技术与角跟踪	118
一、单脉冲测角和角跟踪	118

(一) 单脉冲测角原理	118
(二) 跟踪系统中的平面角度计算单位	119
(三) 测角系统的误差	120
二、干涉仪测角	126
(一) 单基线干涉仪测角原理	126
(二) 两条正交基线测角	127
(三) 方向余弦表示法	128
(四) 干涉仪测速	128
(五) 干涉仪测角的优缺点	128
第六章 测速技术	129
一、单程多普勒频移测速	129
二、双程多普勒频移测速	131
三、NARSTER/GPS(导航星/全球定位系统)测速	132
四、多普勒频移径向测速引入的测速误差	133
(一) 测速的系统误差	133
(二) 测速的随机误差	134
第七章 测距技术	137
一、侧音测距系统	137
(一) 侧音选择	137
(二) 上行调制频谱	138
(三) 侧音测距对应答机的要求	139
(四) 下行调制特性	139
(五) 测距过程和捕获程序	139
(六) 侧音测距的精度	140
(七) 侧音测距的误差源分解	141
二、伪随机码(PNC)序列测距系统	144
(一) 适合测距用的伪随机码序列	144
(二) M 序列的性质	145
(三) 伪随机码测距方法	146
三、GPS(导航星全球定位系统)测距	150
(一) GPS 定位方程	150
(二) GPS 测距误差	151
(三) GPS 定位精度	151
第八章 航天器定位和定轨技术	153
一、测量坐标系	154
(一) 地平坐标系	154
(二) 地球固定坐标系	155
(三) 惯性坐标系	156
二、航天器定轨技术	156
(一) 几何法	156
(二) 动力学法	156
(三) 短弧法	157

三、开普勒轨道根数	157
四、由测站所在地平坐标系中获得的点位参数计算开普勒轨道根数	159
(一) 由地平坐标系转换为固定地球坐标系	159
(二) 由固定地球坐标系转换为惯性坐标系	159
(三) 求轨道根数的顺序	160
(四) 测站轨道预报时的根数顺序	161
第九章 通信与数据传输技术	163
一、地球静止气象卫星的数据构造和传输	164
二、近地轨道(LEO)遥感卫星的数据构造及通信	168
(一) 光机扫描式成像	168
(二) 推扫式扫描成像	169
(三) 画幅式成像	169
三、AOS的数据构造及传输	171
(一) CCSDS 基干网(CPN)	172
(二) AOS 的 8 种业务	173
(三) AOS SLS 的体系结构和协议数据单位(PDU)	176
第十章 系统技术	183
一、通信方程	183
二、通信方程中各项参数的计算	186
(一) 通信斜距距离损耗(space loss) L_s	186
(二) 接收系统等效噪声温度 T_e	187
(三) ΣL_i 包含的各项损耗	190
(四) 航天 C&T 常用天线增益 G_T/G_R 计算	194
(五) EIRP 计算	201
(六) G_R/T_e 计算	201
(七) 波尔兹曼常数	201
三、分散式遥测、遥控和跟踪系统的设计思想	201
(一) 分散式遥测系统	202
(二) 分离式遥控系统	203
(三) 分离式跟踪系统	203
四、统一载波测控系统	204
(一) USB 的技术特点	204
(二) 上行链路	205
(三) 下行链路	205
(四) 下行残余载波	206
(五) 信号经过转发(弯管传输)后的信噪比	206
(六) 载波功率分配和调相指数(x/y)计算	207
五、USB TT&C 系统设计举例	211
(一) TT&C 信道设计	211
(二) 通信信道设计	217
第十一章 组网技术 I——非深空 C&T 网	218
一、非深空和深空的界限	218

二、非深空航天器的当代应用类别及轨道	219
三、组网问题的提出	221
(一)一座 C&T 站和航天器的可通信面积	221
(二) C&T 站最长可观测弧段长的计算	223
四、陆基(ground-based)非深空 C&T 网	225
(一)美国的陆基非深空 C&T 网	225
(二)前苏联和俄罗斯和非深空陆基 C&T 网	230
(三)欧洲空间局(ESA)的非深空陆基 C&T 网	230
(四)其他小型陆基 C&T 网	231
(五)陆基跟踪网的主要缺点	231
五、天基(space-based)非深空 C&T 网 TDRSS	232
(一) TDRSS 产生的历史背景	232
(二) TDRSS 的体系结构	234
(三)跟踪与数据中继卫星的关键技术	252
第十二章 组网技术 II——深空 C&T(通仪、跟踪)网	254
一、深空探测中的 C&T 特点	254
二、深空 C&T 遇到的主要技术困难	256
三、深空 C&T 站采用的特殊技术	259
(一)加大地球站的接收天线口径,增加微弱信号的收集面积	259
(二)增加深空航天器对地球通信的天线口径	260
(三)增加上行和下行的发射机功率	261
(四)采用信道编译码技术降低对 E_b/N_0 的要求	261
(五)采用信息源压缩技术	262
(六)提高载波频率	262
(七)采用低温制冷的低噪声放大器(LNA)	262
四、深空探测的调制体制和工作方式	264
(一)调制体制	264
(二)通信采用的存储转发工作方式	265
五、20 世纪末的国际深空通信跟踪技术水平	265
(一)角跟踪	266
(二)距离测量和测距精度	266
(三)频率稳定度达到的水平	267
(四)导航能力	267
(五)遥测、遥控能力	268
(六)深空通信能力	268
六、国际深空 C&T 网	270
(一)美国深空 C&T 网(NASA DSN)	270
(二)俄国深空网	271
(三)ESA 深空网	272
(四)单独深空站	272
七、陆基国际深空网的优缺点	275
第十三章 航天 C&T 的标准化	277

一、IRIG(inter-ranging instrumentation group)靶场测量组标准	277
(一) IRIG FDM 遥测标准	277
(二) IRIG TDM 遥测标准	277
二、ESA TT&C 标准	278
三、CCSDS 建议书	278
(一) 常规在轨系统(COS)	279
(二) 高级在轨系统(AOS)	279
第十四章 未来的发展动向	280
一、航天器采用自主运行技术	280
二、航天器之间采用激光通信(lasercom)	280
三、发展 CEI(连接端站干涉仪)高精度、实时测角技术	281
四、开发两倍 GEO 高度的 GPS 系统	281
五、航天器 C&T 的国际合作	282
英文缩写字一览表	284
参考文献	288

第一章 航天测控与通信的技术特点和研究内容

一、航天测控与通信(C&T)在航天任务中的地位

航空与航天都拥有众多的飞行器。航空与航天活动范围的分界限,一般以距地面 100 km 高度为界,100 km 以下属于航空范围,100 km 以上属于航天范围。

当今的航天任务在技术上由五大系统组成:首先是运载器,其中含一次性使用的运载火箭和可重复使用的航天飞机,它们的功能是将航天器送入预定的运行轨道;第二是航天器,即人们按需求设计、生产出来用以完成各种不同目的的航天器;第三为发射场,其功能为按照选择的适当发射时间(称为发射窗口)将运载器点火升空,克服地球引力,升至一定高度并由运载器将航天器送至预定轨道;第四为测控和通信系统,按照国际惯例统称为 C&T 系统,即通信与跟踪系统,包含空间段和地面段设备两部分,两部分相互配合工作,以完成测量运载火箭的轨迹(trajjectory)和航天器入轨后的轨道(orbit),并将运载器和航天器(S/C)上各分系统的工作状况传回地面,如果发现工作异常或出现故障,还可发出信号进行干预,通信只在航天器进入轨道后才工作,它负责将航天器上测量、观察仪器(习惯上统称为有效载荷 P/L)所获得的信息和数据传回地面地球站;第五为应用系统,它负责对航天器取得的数据进行处理、开发和利用。

上述五大系统中,航天器起着主要作用。当代的航天器可概括为三类:第一类是在地球引力场范围内运行的航天器,其上无需宇航员参与操作的称为人造地球卫星,现在主要应用于广播通信、导航定位、对地成像观测和空间环境观测;第二类为载人航天器,其上有宇航员参与工作,除对地、对天观测外,尚用于微重力、强辐射条件下的材料与生命科学研究和检修其他航天器,并可在地球引力范围内及地球引力范围外运行;第三类为深空探测航天器,指运行距离超出地球表面 2×10^6 km 以外者,严格说来,各种月球探测器,与地球的距离在 2×10^6 km 以内的其他航天器,都不属于深空定义的范围,但从测控和通信的特点类似性和所用设备的相互兼容性来看,两者并无太大的差别,所以将月球探测器和距离在 2×10^6 km 以内的探测器也当作深空航天器来看待,只是在射频频段上加以区别。

航天器的发射,在轨道上可分为五个阶段:首先为主动段,指由发射场发射工

位点火起飞直至轨道插入点,这一段属于动力段,其力学环境恶劣,实际上应称之为轨迹,但我国一般也将它统称为轨道;其次为停泊轨道段,只有在发射地球同步轨道的月球和深空探测器时,才有停泊轨道段,它用于选择插入转移轨道的加速时间及地点,一般为近地球的圆形轨道或椭圆形轨道;第三为转移轨道,这是停泊轨道和最终运行轨道之间的过渡轨道,其中应提供速度增量中间需进行的速度修正和进入运行轨道前的制动等动作;第四为运行轨道,一般为圆形或椭圆形,是用来完成通信、观测、定位和数据采集等任务的主要轨道;最后为返回、着陆轨迹,由运行轨道加制动动作而完成。返回式成像观测卫星,载人航天的航天飞机,客运、货运飞船,月球和行星的登陆考察等都需要有这段轨迹。

前述三类航天器中的任何一类,一旦进入空间后不论处于上述五种轨道段中的哪一种轨道,能和地球站取得联系的唯一手段,只有靠无线电技术。航天无线电技术,因其功能不同又可细分为四种:其一称为跟踪(tracking),缩写为 T,不仅指地球站天线实时瞄准航天器轨道的角自动跟踪,也包括地球站实时测量出航天器轨道的位置、速度和指向角等参数的功能;其次为遥测(telemeter),缩写符号为 TLM,其功能是将航天器上各分系统的工作状况报告给地面,相当于航天器的“体检大夫”;第三为遥控(telecommand, command)或命令,缩写符号为 TLCTC 或 CMD (命令),它主要是根据遥测发回地面的数据,经分析、对比、判断后,如发现异常和故障,即产生相应命令,用上行信道(地面测控站至航天器)进行调整、纠正或置换备件。这三种技术和起来,我国习惯上称其为测控或统一载波测控系统,国际上通用的缩写符号为 TT&C,它是保证作为工作平台使用的航天器正常工作和延长寿命的必要手段。最后为通信(C),其功能是将安装在航天器上的测量仪器、观察仪器和收集、转发各种信息的设备取得的信息传回地面。某些情况下通信的上、下行都存在。通信和测控和起来统称为 C&T。通信与跟踪技术,按工作程序来讲,应该 T 放在前面,因只有先用 TT&C 技术建立起通信链路后,才能开始通信。但国际上也许因为航天器进入应用阶段后通信成为主要的目的,因而把 C 放在 T 前面并用 T 代表 TT&C,因而也简称为通信与跟踪(C&T)技术,实际内容仍为通信与测控。

二、航天 C&T 的技术特点

第一,必需拥有捕获和跟踪运动目标的能力。航天 C&T 和地面固定通信不同,不论航天器处于动力飞行段还是处于惯性飞行段,它和地面观测站始终处于相对运动状态,除了极特殊的处于地球静止轨道(GEO)上的航天器和地球站处于相对静止外,对于其他航天器,地球站和航天器的天线波束必需相互瞄准建立起通信链路,才能利用无线电传播完成交换信息的任务,因而在航天技术中测控和通信是

紧密结合在一起的,缺一不可。另外,跟踪是把航天器当作点目标看待的,除用角跟踪技术跟踪上航天器的运动外,尚需测出点目标的位置和速度;同时,还要测量出被当作体目标时航天器的星体坐标系三个轴的指向,即姿态,姿态满足一定要求才能工作。不过这是属于航天器上另一个制导、导航与控制(GNC)分系统的研究范围,不属于C&T研究范围,但GNC测出的姿态参数也要借遥测传到地面进行分析、研究,而调整姿态的指向角位置命令,也要借助于遥控传到航天器上执行。

第二,通信距离越来越远,这是陆地固定通信、移动通信、航海和航空通信所不能比拟的,以轨道高(H)为1 000 km的常用近地轨道(LEO)航天器为例,当地球站天线工作仰角(E)为 10° 时,通信斜距已达2 762 km,对于地球静止轨道(GEO)通信斜距达40 656 km,对于月球探测通信距离达 0.4055×10^6 km,对于火星通信距离则增至 0.4013×10^9 km,对于太阳系内最远一颗行星即冥王星的单程通信距离远达 7.5351×10^9 km。因而对航天C&T而言,即使局限在太阳系内,如何克服如此巨大距离引起的路径损耗,也已成为通信与跟踪需要克服的主要困难之一。

第三,通信时延越来越大,追求实时通信越来越变得不可能。以 $H=1\ 000$ km的LEO航天器而言,单程通信时延只有3.33 ms,对GEO卫星,单程通信时延已增至0.12 s,这对于话音通信已处于勉强可用的临界点。对于月球距离的通信,单程时延增至1.267 s时,通话开始出现重谈(overtalk)现象。火星单程通信时延则增加至22.29 min,冥王星单程通信时延高达260.78 min,因而仅就太阳系内的内、外行星通信而言,人们已开始感到光速太慢,对通信、测量和控制都必须采用特殊的方式。

第四,航天器除动力/机动段飞行外,大部分时间都在有规律的惯性轨道上运动,可以采取更简单的轨道测量方法。不论航天器是在巡航区间的轨迹上运动或是进入某天体引力区成为某天体的卫星绕天体环飞,基本上可变换为一种二维曲线,不同于航空飞机在三维空间中的机动飞行,因而可用更简单的方法测量轨道。

第五,航天技术由于通信距离越来越远和由单个航天器工作转向多星组成星座的工作方式发展,而不断向测控、通信提出新的挑战,迫使测控和通信技术向更高层次开拓。如:扩大地球站天线口径,发展接近绝对零度的低温制冷低噪声放大技术以放大微弱信号,发展接近理论极限的信道编译码技术,基线长延伸至空间的甚长基线干涉仪,载波频段由微波向空间激光通信(lasercon)发展,航天器之间在空间组成通信网工作等。由于航天技术所处的特殊地位,通信中的许多新技术和新电子元器件都有幸首先在航天C&T中采用,航天C&T已成为各种高新技术的实验场,实验成功之后才逐渐扩大,推广到其他部门使用。

三、本书研究的内容

本书内容分为三个层次,按层次分别进行阐述。

第一个层次为单项技术层。其中含遥测(TLM)、遥控(TLC)、测角(方位角 A 和俯仰角 E)、角跟踪、测速(\dot{R})、测距(R)和通信。通信中又含测量、成像观察、实验用有效载荷(P/L)所获取的数据的传输,含语音(audio)、视频(video)、静止图像(still image S. I)等 CCSDS(空间数据系统协商委员会)提出的统一数据流的高等在轨系统(AOS)数据的传输。

第二个层次为由单项技术组成的系统层。其中含遥测、遥控、跟踪相分离系统,跟踪、遥测、命令利用统一载波的 USB(统一 S-频段)测控系统(TT&C),通信和跟踪分别采用载波的 C&T 系统,跟踪系统和通信共用载波的 C&T 系统等。

第三个层次为网络层。考虑到地球的曲率和电磁波只能直线传播的特点,通信距离受到很大限制,加上地球自旋运动引起的信号中断,为克服这些影响,以增加地球站和航天器的接触时间(又称为 C&T 覆盖率),只有在不同地理位置布设多座 C&T 站组成网络来解决长时间跟踪的问题,称为 C&T 网。对此,本书中将分陆基测量带、陆基 C&T 网和天基 C&T 网,分别加以介绍。