

卫星工程概论

Satellite Engineering

主 编 徐福祥
副主编 林华宝 侯深渊



中国宇航出版社

卫 星 工 程 概 论

SATELLITE ENGINEERING

主 编 徐福祥

副主编 林华宝 侯深渊

中国宇航出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

《卫星工程概论》是关于卫星工程的概论性专著,系统地论述了卫星总体设计、有效载荷技术和卫星工程其他主要专业技术以及有关的工程技术问题,全书共 18 章。

本书注重结合航天任务的需要,强调原理与设计相结合,设计与应用相结合,力求做到概念准确、阐述清晰、结论正确。本书适用于从事人造卫星研究、设计、试验和应用的工程技术人员阅读,也可作为高等院校有关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

卫星工程概论 / 徐福祥主编;林华宝等编著. —北京:
中国宇航出版社,2003.10
ISBN 7-80144-711-5

I. 卫... II. ①徐...②林... III. 卫星—航天工程
—概论 IV. V474

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 093806 号

责任编辑 杨树仁 艾小军 装帧设计 姜 旭
责任校对 祝延萍 责任印制 任连福

出 版 中国宇航出版社
发 行

地 址 北京市阜成路 8 号 邮 编 100830
(010)68768548

网 址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

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
北京市阜成路 8 号 北京市海淀区海淀大街 31 号
(010)68371105 (010)62579190(传真)

承 印 北京京科印刷有限公司

版 次 2004 年 6 月第 2 版
2004 年 6 月第 1 次印刷

开 本 1 / 16

规 格 787 × 1092

印 张 30.5

字 数 761 千字

书 号 ISBN 7-80144-711-5 / V·083

定 价 88.00 元

本书如有印装质量问题可与发行部调换

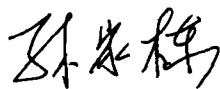
序

自 1957 年 10 月 4 日,世界上第一颗人造卫星进入太空以来,航天技术取得了突飞猛进的进展,航天技术已经广泛应用于国民经济、军事、科学研究和社会生活的众多部门,产生了重大而深远的影响。截至 2003 年底,世界各国和组织共成功发射了 5 635 个航天器,其中 90% 是各类人造卫星,人造卫星是人类目前探索、开发和利用太空的最重要的工具,研制和发射人造卫星是世界各国航天活动的主要内容。

中国人造卫星研制工作始于 20 世纪 50 年代末期,经过 40 多年的艰苦努力,在物质技术基础薄弱的条件下,取得了一系列重大成就。中国在研制人造卫星的工作中,开展了创造性的科研活动,积累了丰富的实践经验和理论知识。认真总结、提炼和升华这些丰富的经验和知识,对于促进中国航天事业,特别是卫星工程技术的不断发展具有重要意义。

《卫星工程概论》是关于卫星工程的概论性专著,是卫星工程知识体系中的重要技术专著。本书主要由中国空间技术研究院 20 多位长期从事人造卫星研制的专家共同编写,全书内容丰富、概念准确、实用性强,是一本优秀的航天技术领域的概论性专著。

在此祝贺《卫星工程概论》出版发行,相信会有更多的航天技术领域的优秀著作不断问世。



“两弹一星”功勋奖章获得者
中国科学院院士

2003 年 12 月

前 言

卫星工程通常泛指研制和管理人造卫星的综合性工程技术,涉及人造卫星的设计、制造、试验、发射、返回、控制、管理和使用等诸多方面的工程技术,具有技术门类广博、综合性很强的显著特点,并且形成了系统完整的知识体系。《卫星工程概论》是关于卫星工程的概论性专著,系统地论述了卫星总体设计、有效载荷技术和卫星工程其他主要专业技术,以及有关的工程技术问题。本书内容包括:概论、空间环境及其对卫星的影响、卫星总体设计、卫星轨道、卫星推进、卫星电源与供配电、卫星测控与数据管理、卫星返回与再入、卫星电磁兼容性、卫星可靠性、卫星的计算机辅助设计、卫星总装、卫星电测、卫星环境试验。书中所涉及的大部分内容也适用于载人飞船、空间探测器等其他航天器的研制工程。

本书主要由中国空间技术研究院 20 多位长期从事人造卫星研制的专家共同编写,主要基于中国卫星工程的研制实践,又充分吸收了国外最新技术成果。全书内容丰富,其中很多内容是从工程实践中归纳、综合、提炼并经过飞行验证的研究成果。本书的特点是注重结合航天任务的需求,强调原理与设计相结合,设计与应用相结合,具有很强的应用性,并力求做到概念准确、阐述清晰、系统完整、结论正确。

本书适用于从事人造卫星研究、设计、试验和应用的工程技术人员阅读参考,也可作为高等院校有关专业的教学参考书。

编者
2003 年 12 月

目 录

第1章 概 论

徐福祥 林华宝 侯深渊

1.1 航天与卫星工程	1
1.1.1 航天与航天系统	1
1.1.2 航天技术与卫星工程	2
1.1.3 卫星应用与卫星应用系统	3
1.2 人造卫星的分类和应用	4
1.2.1 科学卫星	4
1.2.2 技术试验卫星	5
1.2.3 应用卫星	5
1.2.4 小型卫星	8
1.3 卫星的系统组成	8
1.3.1 有效载荷	8
1.3.2 卫星平台	9
1.4 卫星和卫星工程特点	10
1.4.1 卫星的主要特点	10
1.4.2 卫星工程的主要特点	11
1.5 人造卫星技术的发展趋势	12
1.5.1 通信卫星	12
1.5.2 气象卫星	13
1.5.3 地球资源卫星	13
1.5.4 海洋卫星	14
1.5.5 导航卫星	14
1.5.6 侦察卫星	14
1.5.7 小型卫星	14
1.6 中国卫星工程的成就与展望	15
1.6.1 中国卫星工程的主要成就	15
1.6.2 21 世纪初中国卫星工程展望	17

第2章 地球空间环境特征及其对航天器的影响

都 亨

2.1 概述	19
2.2 航天器主要轨道上的环境特征	20
2.2.1 中性大气	21
2.2.2 磁场	22

2.2.3 等离子体和低能带电粒子·····	23
2.2.4 高能带电粒子·····	24
2.2.5 电磁辐射·····	25
2.2.6 流星体和空间碎片·····	25
2.3 空间环境对航天器的影响·····	28
2.3.1 对轨道的影响·····	28
2.3.2 对姿态的影响·····	29
2.3.3 对表面材料的影响·····	30
2.3.4 高能带电粒子的辐射损伤·····	30
2.3.5 单粒子事件·····	30
2.3.6 充电效应·····	31
2.3.7 对温度的影响·····	32
2.4 航天器研制对空间环境的需求·····	32
2.5 空间环境预报与监测·····	32

第3章 卫星总体设计

彭成荣 吴开林

3.1 概述·····	36
3.1.1 卫星总体设计与系统工程观念·····	36
3.1.2 卫星总体设计的基本任务和设计原则·····	37
3.1.3 卫星总体设计的特点和要求·····	38
3.2 任务分析·····	40
3.2.1 用户任务要求及初步分析·····	40
3.2.2 卫星轨道类型和选择·····	41
3.2.3 约束条件的确定·····	44
3.2.4 提出总体方案设想·····	44
3.2.5 关键技术分析·····	45
3.2.6 卫星研制技术流程初步制定·····	46
3.3 卫星可行性总体方案论证·····	47
3.3.1 方案分析和综合·····	47
3.3.2 卫星与卫星工程大系统其他系统之间的接口·····	51
3.3.3 卫星总体性能指标分析与综合·····	52
3.3.4 方案优选·····	52
3.3.5 总体优化设计·····	55
3.3.6 方案论证报告和技术要求·····	58
3.4 卫星总体方案设计·····	59
3.4.1 意义和内容·····	59
3.4.2 几个典型的总体性能指标预算·····	60
3.4.3 卫星构型·····	64
3.4.4 质量特性·····	66
3.4.5 动力学分析·····	67

3.4.6 方案评估和对分系统要求·····	72
3.5 总体详细设计·····	74
3.6 总体设计展望·····	76
3.6.1 大型复杂卫星的总体设计·····	76
3.6.2 微小型卫星的总体设计·····	77
3.6.3 设计手段的进步·····	78
第4章 卫星轨道 ·····	张云彤
4.1 概述·····	79
4.2 卫星轨道力学·····	80
4.2.1 坐标系·····	80
4.2.2 卫星运动方程·····	82
4.2.3 二体问题·····	87
4.2.4 常数变易法和摄动方程·····	88
4.2.5 一些重要的近似解·····	89
4.3 轨道设计·····	91
4.4 几种常用的轨道·····	97
4.4.1 太阳同步轨道·····	97
4.4.2 回归轨道·····	97
4.4.3 冻结轨道·····	98
4.4.4 地球静止轨道·····	99
4.4.5 GPS 轨道和定位原理·····	101
4.4.6 双星定位原理·····	101
4.4.7 卫星组网·····	102
4.4.8 中继卫星测轨原理·····	103
4.5 轨道确定·····	104
4.5.1 初轨确定概况·····	104
4.5.2 利用卡尔曼滤波的轨道改进方法·····	104
第5章 卫星有效载荷 ·····	陈世平
5.1 概述·····	110
5.1.1 卫星有效载荷的分类·····	110
5.1.2 卫星有效载荷设计的一般原则·····	111
5.1.3 卫星有效载荷设计的一般技术要求·····	112
5.2 通信卫星有效载荷·····	113
5.2.1 基本组成和工作原理·····	114
5.2.2 性能参数和主要设计考虑·····	115
5.3 地球资源卫星有效载荷·····	119
5.3.1 光学成像遥感器·····	119
5.3.2 多光谱类遥感器·····	121
5.3.3 高空间分辨率类遥感器·····	123

5.3.4 成像光谱仪类传感器	124
5.3.5 合成孔径雷达(SAR)	125
5.3.6 数据传输设备	127
5.4 气象卫星有效载荷	127
5.4.1 扫描辐射成像仪	128
5.4.2 大气探测仪	130
5.5 海洋卫星有效载荷	133
5.5.1 光学遥感器	134
5.5.2 微波遥感器	136
5.6 导航卫星有效载荷	139
5.6.1 低轨测速导航系统卫星有效载荷	139
5.6.2 全球导航定位系统卫星有效载荷	140
5.6.3 地球同步卫星无线电测定系统(RDSS)卫星有效载荷	141
5.7 侦察卫星有效载荷	141
5.7.1 成像侦察卫星有效载荷	141
5.7.2 电子侦察卫星有效载荷	144
5.7.3 导弹预警卫星和海洋监视卫星有效载荷	146
5.8 科学卫星有效载荷	147
5.8.1 科学探测有效载荷的种类和主要性能	147
5.8.2 科学试验有效载荷及有关试验结果	150

第6章 卫星结构与机构

陈烈民

6.1 概述	152
6.1.1 作用和功能	152
6.1.2 组成和型式	153
6.1.3 研制阶段和步骤	155
6.2 卫星结构与机构的材料	156
6.2.1 对材料的要求	156
6.2.2 金属材料	157
6.2.3 复合材料	157
6.2.4 金属材料与复合材料的比较	158
6.2.5 材料的应用和发展	159
6.3 卫星结构的设计和分析	161
6.3.1 设计要求	161
6.3.2 设计原则	163
6.3.3 载荷确定	163
6.3.4 结构分析	164
6.3.5 结构优化设计	166
6.4 卫星机构的设计和分析	168
6.4.1 设计要求	168

6.4.2 设计原则	169
6.4.3 机构分析	170
6.5 卫星结构与机构的试验验证	171
6.5.1 结构的试验验证	171
6.5.2 机构的试验验证	173
第7章 卫星热控制	郭 舜
7.1 概述	175
7.2 卫星热设计	177
7.2.1 卫星热设计的任务和原则	177
7.2.2 热控系统的方案设计	179
7.2.3 热分析计算	181
7.2.4 再入卫星的防热	182
7.3 卫星热控制技术	183
7.3.1 被动热控制技术	183
7.3.2 主动热控技术	188
7.3.3 卫星应用的制冷方法	190
7.4 卫星热试验	191
7.4.1 热平衡试验	191
7.4.2 热相似试验	193
7.5 展望	193
第8章 卫星姿态控制与轨道控制	吕振铎 徐福祥
8.1 概述	197
8.1.1 任务	197
8.1.2 分类与组成	198
8.2 卫星姿态动力学和运动学	200
8.2.1 参考坐标系与运动学方程	200
8.2.2 动力学方程	202
8.3 姿态确定	203
8.3.1 自旋卫星自旋轴姿态确定	203
8.3.2 三轴稳定卫星的三轴姿态确定	205
8.3.3 姿态确定的状态估计	205
8.4 姿态控制	206
8.4.1 自旋卫星姿态控制	206
8.4.2 双自旋卫星的消旋控制	207
8.4.3 自旋卫星的章动控制	208
8.4.4 三轴稳定卫星的三轴姿态控制	209
8.4.5 姿态捕获	212
8.4.6 磁控	213
8.4.7 卫星平台姿态与有效载荷指向的复合控制	214

8.5 轨道运动与轨道动力学	215
8.5.1 轨道运动	215
8.5.2 轨道动力学	216
8.6 轨道控制	217
8.6.1 轨道确定(空间导航)	217
8.6.2 轨道控制的计算条件	218
8.6.3 地球静止轨道卫星的轨道控制	220
8.6.4 轨道保持	225
8.6.5 再入和返回控制	227
8.7 卫星星座的轨道控制	227
第9章 卫星推进	朱孝赛
9.1 概述	230
9.2 推进系统要求和方案	231
9.2.1 推进系统主要参数	231
9.2.2 卫星推进系统要求	232
9.2.3 推进系统比较及选用原则	234
9.3 推进系统设计和实现	237
9.3.1 推进系统确定	237
9.3.2 输送系统和推进剂量	243
9.3.3 推力器	244
9.3.4 推进剂管理	247
9.3.5 推进剂	249
9.3.6 推进剂剩余量计算	249
第10章 卫星电源与供配电	陈小霓 杨思忠
10.1 概述	251
10.2 发电装置	252
10.2.1 能源转换器件及发电装置的选择	252
10.2.2 锌银蓄电池组	252
10.2.3 锂-亚硫酰氯电池	252
10.2.4 氢氧燃料电池	253
10.2.5 核电源	253
10.2.6 太阳电池阵	254
10.3 储能装置	258
10.3.1 Cd-Ni 蓄电池	258
10.3.2 H ₂ -Ni 蓄电池	261
10.3.3 锂离子蓄电池	263
10.4 电源控制装置和系统拓扑结构	264
10.4.1 电源母线与电源系统拓扑结构	264
10.4.2 太阳电池阵的功率调节	265

10.4.3 蓄电池组放电控制和功率调节	266
10.4.4 充电控制和充电功率调节	267
10.5 电源分系统接口	270
10.6 卫星供配电	271
10.6.1 供配电任务与体制	271
10.6.2 卫星配电器	271
10.6.3 火工品起爆控制器	273
10.7 电源变换器	274
10.7.1 电源变换器的功能和配置	274
10.7.2 电源变换器的分类	275
10.7.3 电源变换器设计	275
10.8 卫星电缆网	276
10.8.1 电缆网的功能及分类	276
10.8.2 电缆网的设计	276
第 11 章 卫星测控与星载数据管理	陈宜元
11.1 概述	278
11.1.1 卫星测控系统的概念和作用	278
11.1.2 卫星测控的特点	278
11.1.3 卫星无线电测控与火箭、导弹无线电测控的区别	279
11.1.4 卫星无线电测控的发展	280
11.2 卫星测控信道传输及测控基本原理	281
11.2.1 电波传播及无线电频率	281
11.2.2 射频信道计算	282
11.2.3 遥测、遥控多路传输原理	283
11.2.4 跟踪测轨基本原理	285
11.3 星载数据管理	287
11.3.1 系统概况	287
11.3.2 功能和原理	288
11.3.3 系统部件及接口	289
11.3.4 软件设计与工程化	293
11.4 卫星测控网及统一测控系统	295
11.4.1 地面测控网	295
11.4.2 天基测控网	296
11.4.3 统一测控系统	300
11.5 空间数据系统咨询委员会简介	302
11.6 卫星测控设计与实施	304
第 12 章 卫星返回与再入	李颐黎 林华宝
12.1 概述	308
12.1.1 利用空气阻力减速	308

12.1.2	返回过程	309
12.1.3	返回式航天器的分类	311
12.2	返回轨道设计	312
12.3	气动力加热和防热结构	315
12.4	安全着陆和回收	320
12.4.1	基本任务	320
12.4.2	着陆系统	321
12.4.3	标位装置	324
第 13 章	卫星电磁兼容性	孙珏方
13.1	概述	326
13.1.1	基本概念	326
13.1.2	电磁环境	327
13.1.3	电磁干扰(EMI)三要素	328
13.1.4	电磁兼容性对卫星效能的影响	328
13.1.5	电磁兼容性的主要参数	329
13.2	卫星系统的电磁兼容性设计	331
13.2.1	卫星总体考虑的基本原则	331
13.2.2	设计要求及内容	331
13.2.3	系统间电磁兼容性控制	332
13.3	电磁兼容性预测分析	333
13.3.1	电磁兼容性预测的数学模型	333
13.3.2	电磁兼容性基本方程	335
13.3.3	预测分析方法和步骤	336
13.3.4	预测分析过程的简化	337
13.3.5	卫星不同研制阶段预测分析工作	338
13.4	卫星电磁兼容性试验	338
13.4.1	实验基本条件	338
13.4.2	测试方法	339
13.4.3	设备和分系统级 EMC 测试	341
13.4.4	整星(系统)级电磁兼容性试验	345
13.5	电磁兼容性标准和规范	348
13.5.1	卫星研制中适用的标准	348
13.5.2	航天系统电磁兼容性要求标准简介	349
13.5.3	标准的剪裁	350
第 14 章	卫星可靠性	郭维长
14.1	概述	352
14.2	卫星可靠性的指标确定、分配和可靠性预计	354
14.2.1	可靠性指标	354
14.2.2	可靠性指标分配	355

14.2.3 可靠性预计	355
14.3 卫星故障预想	356
14.3.1 故障模式及其影响分析	357
14.3.2 故障树分析(FTA)	358
14.4 卫星可靠性评估(贝叶斯方法)	361
14.4.1 指数寿命型系统可靠度	361
14.4.2 成败型系统可靠度	365
14.4.3 正态分布下的性能可靠度	367
14.4.4 系统可靠性评估示例	368
14.5 软件可靠性简述	370
14.6 卫星可靠性管理简述	372
14.7 卫星可靠性发展趋势	373
第 15 章 卫星的计算机辅助设计	陈月根
15.1 概述	375
15.2 卫星的数字化模装	376
15.2.1 DMU 技术和卫星的数字化构型	376
15.2.2 零件造型	377
15.2.3 装配及品质检查	379
15.3 卫星质量特性的 CAD 集成分析	380
15.3.1 卫星质量特性分析的特点	380
15.3.2 用三维 CAD 技术进行卫星质量特性计算	380
15.4 CAD/CAM 一体化的考虑	381
15.5 结构有限元技术与卫星总体设计	383
15.5.1 结构有限元方法及应用软件	383
15.5.2 建模	384
15.5.3 分析计算和后处理	385
15.5.4 模型修正	385
15.6 卫星的热分析	386
15.6.1 卫星热分析的特点	386
15.6.2 卫星热分析的过程及软件系统	386
15.6.3 热分析建模	387
15.6.4 外热流分析和辐射角系数计算	388
15.6.5 温度场的计算	388
15.7 空间环境的 CAD 集成分析	390
15.8 卫星的计算机总体仿真	391
15.9 卫星集成设计技术	393
15.9.1 SSDSE 集成设计系统	394
15.9.2 SYSTEMA 系统	395
15.9.3 AVIDM 系统	396

15.10 展望	397
第 16 章 卫星总装	马世俊 姜汉文 宋长根
16.1 概述	400
16.1.1 卫星总装的任务	400
16.1.2 卫星总装技术的发展	401
16.2 总装厂房要求	403
16.3 总装设计	403
16.3.1 总装设计的步骤	404
16.3.2 安装设计要求	406
16.3.3 仪器设备安装设计	407
16.3.4 电缆安装设计	409
16.3.5 管路安装设计	410
16.3.6 安装支架设计	411
16.3.7 连接与防松	412
16.3.8 地面支撑机械设备的设计	413
16.3.9 对接设计	414
16.3.10 总装检测要求	414
16.4 总装实施	414
16.4.1 总装工艺设计和编制	414
16.4.2 安装	416
16.4.3 精度检测	418
16.4.4 质量特性	420
16.4.5 密封检漏	423
第 17 章 卫星电测	陈逢田
17.1 概述	427
17.1.1 电测的基本内容	428
17.1.2 电测任务和测试环路	429
17.1.3 对测试设备的基本要求	430
17.2 分系统测试	431
17.3 整星测试	433
17.3.1 整星电测流程	434
17.3.2 整星测试管理	435
17.3.3 测试文件	436
17.3.4 整星测试地线处理	437
17.4 故障判断分析和处理	437
17.5 自动化测试手段及发展趋势	439
17.5.1 测试系统	440
17.5.2 测试软件设计	442
17.5.3 星地一体化	442

17.5.4 卫星电测发展趋势·····	443
第 18 章 卫星环境试验 ·····	金洵叔
18.1 概述·····	445
18.2 环境试验在卫星研制中的应用·····	446
18.2.1 卫星产品的特点·····	446
18.2.2 卫星试验阶段的划分·····	447
18.2.3 环境试验和风险管理的关系·····	448
18.2.4 卫星环境试验的标准·····	449
18.3 卫星环境试验项目·····	452
18.3.1 环境试验分类和确定·····	452
18.3.2 卫星环境试验项目介绍·····	453
18.4 卫星环境试验的有效性·····	459
18.4.1 对环境试验效果的估计·····	459
18.4.2 环境试验计划的整体有效性·····	459
18.4.3 单项试验的有效性·····	460
18.4.4 环境工程工作的重要性·····	462
18.5 卫星环境试验计划的制定·····	462
18.5.1 制定原则·····	463
18.5.2 试验计划内容·····	463
18.5.3 试验矩阵·····	463
18.5.4 试验计划的评审·····	463
18.5.5 研制试验·····	464
18.5.6 鉴定试验·····	465
18.5.7 验收试验·····	466
18.5.8 卫星环境试验的发展趋势·····	467

第1章 概 论

徐福祥 林华宝 侯深渊

1957年10月4日,世界上第一颗人造地球卫星发射成功,开创了人类航天新纪元,广阔无垠的宇宙空间开始成为人类活动的新疆域。人类活动范围经历了从陆地到海洋,从海洋到大气层,从大气层到宇宙空间的逐渐扩展的过程。人类活动范围的每一次飞跃,都大大增强了认识和改造自然的能力,促进了生产力的发展和社会的进步。

近半个世纪以来,航天技术在世界范围取得了突飞猛进的进展,航天技术已经广泛应用到国民经济、军事活动、科学研究和社会生活的众多部门,产生了重大而深远的影响。截至2003年底,世界各国和组织共成功发射了5 635个航天器,60多个国家和地区参与了研制和发射,170多个国家和地区开发应用航天技术成果,在一些主要航天国家已经形成了庞大的航天技术产业。

世界各国发射的人造地球卫星占航天器发射总数90%,人造卫星目前是人类探索、开发和利用太空的最主要的工具。航天技术主要通过卫星应用转化为直接生产力和国防实力,研制人造卫星是世界各国航天活动的主要内容,卫星工程成为航天技术的重要组成部分。

1.1 航天与卫星工程

1.1.1 航天与航天系统

航天是指进入、探索、开发和利用太空(即地球大气层以外的宇宙空间,又称外层空间)以及地球以外天体的各种活动的总称^[1]。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。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空间资源在国民经济、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。空间资源系指地球大气层以外的可为人类开发和利用的各种环境、能源与物质资源,如空间高远位置、高真空、超低温、强辐射、微重力环境、太阳能以及地球以外天体的物质资源等^[2]。通过开发和利用各种空间资源可以获取和丰富人类现代社会发展的三大资源,即信息、材料和能源。当前利用空间高远位置,从空间获取信息和传输信息已获得巨大的社会效益;利用空间微重力环境探索开发新材料和生物制品显示了可喜的前景;其他空间资源的开发和利用尚处于研究探索阶段,发展潜力十分巨大。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;航天技术是为空间应用和空间科学提供技术手段和保障条件;空间应用是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