载人航天器技术

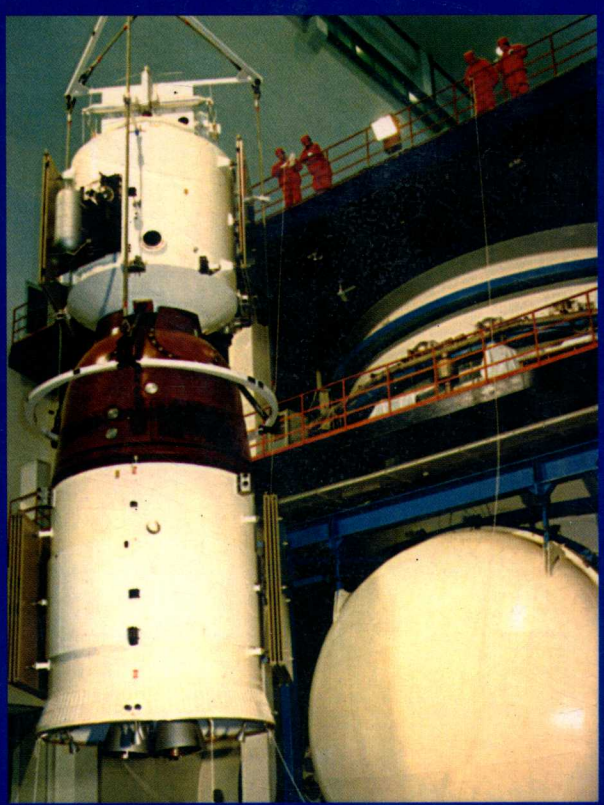
第2版

主编　戚发轫
副主编　朱仁璋　李颐黎

Manned Spacecraft Technology

Second Edition

Edited by
QI Faren, ZHU Renzhang and LI Yili



国防工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

V476.2
1

载人航天器技术

第2版

主编　戚发轫

副主编　朱仁璋　李颐黎

Manned Spacecraft Technology

Second Edition

Edited by

QI Faren, ZHU Renzhang and LI Yili

中国科学技术大学 图书馆藏

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

载人航天器技术/戚发轫主编.—2版.—北京:国防工业出版社,2003.10
ISBN 7-118-03245-X

Ⅰ.载… Ⅱ.戚… Ⅲ.载人航天器-技术
Ⅳ.V476.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第075221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 100044)
北京奥隆印刷厂印刷
新华书店经售
*
开本 787×1092 1/16 印张 42 插页 2 934千字
2003年10月第2版 2003年10月北京第3次印刷
印数:2001—4500册 定价:95.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

目　录

第一章　载人航天技术发展概况 …… 1
1.1　概述 …… 1
1.1.1　载人航天技术的含义 …… 1
1.1.2　发展载人航天的意义 …… 1
1.1.3　载人空间站航天系统的内容 …… 3
1.1.4　载人航天器的组成 …… 3
1.2　载人航天发展概况 …… 4
1.2.1　载人航天技术的发展阶段 …… 4
1.2.2　载人航天器的发展 …… 5
1.3　载人航天的未来发展 …… 10
1.3.1　国际空间站的建成与运营 …… 10
1.3.2　载人行星探测 …… 11
1.4　中国载人航天发展途径 …… 12
参考文献 …… 12
第二章　载人飞船航天系统与载人飞船总体设计 …… 13
2.1　概述 …… 13
2.2　载人飞船航天系统 …… 13
2.2.1　载人飞船系统 …… 13
2.2.2　运载火箭系统 …… 14
2.2.3　航天员系统 …… 16
2.2.4　发射场系统 …… 17
2.2.5　着陆场系统 …… 17
2.2.6　测控与通信系统 …… 18
2.2.7　应用系统 …… 18
2.3　载人飞船总体设计 …… 20
2.3.1　载人飞船的设计依据 …… 20
2.3.2　载人飞船总体设计的一般原则 …… 22
2.3.3　载人飞船的构型和总体布局及总体参数 …… 22
2.3.4　载人飞船总体指标的确定与分配 …… 31
2.3.5　载人飞船的分系统配置 …… 32
2.3.6　载人飞船的气动力设计 …… 33
2.3.7　载人飞船的轨道设计和飞行程序 …… 34

参考文献 …… 38
第三章 载人航天器轨道动力学 …… 39
3.1 概述 …… 39
3.2 轨道动力学基础 …… 39
3.2.1 摄动运动方程 …… 39
3.2.2 兰伯特问题 …… 41
3.3 地月转移轨道 …… 42
3.3.1 概述 …… 42
3.3.2 限制性四体问题 …… 43
3.3.3 限制性三体问题 …… 44
3.4 相对运动方程 …… 45
3.4.1 坐标系 …… 45
3.4.2 物理量符号定义 …… 47
3.4.3 绝对空间的相对加速度 …… 47
3.4.4 轨道坐标系角速度及角加速度 …… 48
3.4.5 相对运动方程 …… 48
3.4.6 线性化相对运动方程的解 …… 49
3.4.7 非线性相对运动方程的解 …… 50
3.5 空间交会策略 …… 55
3.5.1 概述 …… 55
3.5.2 目标航天器轨道 …… 56
3.5.3 脉冲推力轨道交会 …… 56
3.5.4 小推力轨道交会 …… 57
3.6 返回运动方程 …… 59
3.6.1 概述 …… 59
3.6.2 坐标系与气动力分量 …… 60
3.6.3 一般返回运动方程 …… 63
3.6.4 配平攻角飞行的运动方程 …… 67
3.7 绳系系统动力学 …… 68
3.7.1 载人航天器与绳系系统 …… 68
3.7.2 绳系系统动力学特性 …… 69
3.7.3 绳系系统的运动 …… 71
3.7.4 绳系系统的控制 …… 73
3.7.5 绳系系统运动方程 …… 76
参考文献 …… 81
第四章 载人航天器乘员系统 …… 82
4.1 概述 …… 82
4.2 人在航天中的任务和作用 …… 83
4.3 航天员分类 …… 84

需要全本请访问 www.ertongbook.com

4.3.1 职业航天员 …… 85
4.3.2 非职业航天员 …… 85
4.4 航天员系统 …… 86
4.5 飞行医学监督与保障设备 …… 87
4.5.1 飞行医学监督设备 …… 87
4.5.2 环境卫生监测设备 …… 89
4.5.3 飞行医学保障设备 …… 91
4.6 飞行医学实验设备 …… 92
4.6.1 空间质量测量设备 …… 93
4.6.2 血压测量设备 …… 94
4.6.3 人体代谢分析及肺功能测试设备 …… 95
4.6.4 图像诊断设备 …… 97
4.6.5 其它设备 …… 97
4.7 飞行对抗措施设备 …… 98
4.7.1 锻炼设备 …… 99
4.7.2 非锻炼设备 …… 101
4.7.3 药物 …… 104
4.7.4 人工重力 …… 105
4.7.5 其它对抗措施 …… 106
4.8 航天食品 …… 106
4.8.1 食品营养保障 …… 106
4.8.2 食品系统 …… 107
4.8.3 食品卫生 …… 113
4.9 航天服及个人装备 …… 114
4.9.1 航天服 …… 114
4.9.2 个人救生物品 …… 123
参考文献 …… 123
第五章 载人航天器环境控制与生命保障系统 …… 125
5.1 概述 …… 125
5.1.1 环控生保系统在载人航天技术中的地位和意义 …… 125
5.1.2 环控生保系统的功能和基本组成 …… 126
5.1.3 环控生保系统的界面关系和设计约束条件 …… 128
5.1.4 环控生保技术中微重力问题研究 …… 130
5.1.5 系统的可靠性、安全性研究 …… 131
5.1.6 载人航天器环控生保系统的分类 …… 133
5.2 短期飞行载人航天器环控生保系统 …… 134
5.2.1 舱压体制 …… 136
5.2.2 气体贮存 …… 136
5.2.3 供气调压技术 …… 137

5.2.4 座舱大气通风净化技术 …… 139
5.2.5 温湿度控制技术 …… 142
5.2.6 废物收集处理技术 …… 146
5.2.7 座舱内环境应急及舱内航天服技术 …… 149
5.2.8 水管理技术 …… 150
5.2.9 座舱烟火检测与防火灭火技术 …… 152
5.2.10 测量控制技术 …… 153
5.2.11 航天员居住设施 …… 154
5.3 物理化学再生式环控生保系统 …… 155
5.3.1 物理化学再生式环控生保系统基本概念 …… 155
5.3.2 氧的再生技术 …… 156
5.3.3 水的再生技术 …… 161
5.4 受控生态生保系统 …… 164
5.4.1 受控生态生保系统的基本概念 …… 164
5.4.2 受控生态生保系统研究的主要问题 …… 165
5.5 出舱活动环控生保系统 …… 166
5.5.1 舱外航天服 …… 166
5.5.2 携带式环控生保系统 …… 167
5.5.3 出舱活动的测量、通信、控制及机动能力 …… 169
参考文献 …… 169
第六章 载人航天器结构与机构系统 …… 170
6.1 概述 …… 170
6.1.1 结构与机构分系统的功能 …… 170
6.1.2 结构与机构分系统的组成 …… 171
6.2 设计条件 …… 172
6.2.1 航天器系统总体要求 …… 172
6.2.2 总装对结构的设计要求 …… 174
6.2.3 分系统向结构提出的要求 …… 174
6.2.4 环境与载荷 …… 174
6.3 载荷与强度分析 …… 174
6.3.1 载荷条件 …… 174
6.3.2 结构强度条件 …… 177
6.4 舱体结构试验 …… 181
6.4.1 鉴定试验 …… 181
6.4.2 验收试验 …… 183
6.5 舱段结构的分类与结构形式 …… 183
6.5.1 密封舱 …… 184
6.5.2 壳体结构 …… 190
6.6 载人航天器上所用的机构和装置 …… 199

6.6.1 对机构的要求和分类 …… 199
6.6.2 结构与机构分系统常用的机构和装置 …… 200
6.6.3 连接与分离机构和装置 …… 204
6.6.4 船箭连接分离系统 …… 217
6.6.5 舱段连接与分离系统 …… 218
6.7 空间对接装置 …… 219
6.7.1 用途与功能 …… 219
6.7.2 类型 …… 219
6.7.3 常用对接装置 …… 220
参考文献 …… 223
第七章 载人航天器防热结构 …… 224
7.1 概述 …… 224
7.1.1 再入气动加热的严重性 …… 224
7.1.2 克服再入气动热的途径 …… 225
7.1.3 防热结构设计的基本要求和过程 …… 226
7.2 防热结构设计与分析 …… 228
7.2.1 热容吸热防热 …… 228
7.2.2 辐射防热结构 …… 231
7.2.3 烧蚀防热结构 …… 239
7.3 防热结构试验 …… 247
7.3.1 材料筛选试验 …… 247
7.3.2 热结构匹配试验 …… 249
7.3.3 防热结构的再入气动加热模拟试验 …… 252
参考文献 …… 256
第八章 载人航天器制导、导航与控制系统 …… 258
8.1 概述 …… 258
8.1.1 基本概念及定义 …… 258
8.1.2 载人飞船 GNC 技术发展概况 …… 258
8.2 载人飞船 GNC 系统的任务、设计原则及组成 …… 260
8.2.1 载人飞船 GNC 系统的任务 …… 260
8.2.2 载人飞船 GNC 系统的设计原则 …… 260
8.2.3 载人飞船 GNC 系统的组成 …… 260
8.3 载人飞船轨道运行段三轴姿态确定和控制 …… 266
8.3.1 飞船姿态运动方程 …… 266
8.3.2 载人飞船姿态确定 …… 272
8.3.3 载人飞船姿态控制律设计 …… 280
8.3.4 载人飞船的全姿态捕获技术 …… 285
8.3.5 飞船离轨前建立制动发动机点火姿态 …… 288
8.3.6 航天员手动运动控制 …… 289

8.4 载人飞船再入大气层控制技术 …… 292
8.4.1 概述 …… 292
8.4.2 再入大气层的控制技术 …… 292
参考文献 …… 297
第九章 载人航天器热控制系统 …… 298
9.1 航天器空间环境 …… 298
9.1.1 宇宙真空和深黑低温 …… 298
9.1.2 微重力 …… 299
9.1.3 空间外热流 …… 299
9.2 航天器热控系统基本换热公式 …… 300
9.2.1 导热公式 …… 300
9.2.2 对流换热公式 …… 300
9.2.3 辐射换热公式 …… 301
9.3 热控系统设计依据 …… 302
9.3.1 热控系统的任务 …… 302
9.3.2 总体对热控的要求 …… 302
9.3.3 热控系统的工作内容 …… 302
9.3.4 载人航天器对热设计的特殊要求 …… 302
9.4 航天器热平衡计算 …… 303
9.5 航天器热控系统组成 …… 304
9.5.1 热设计与热计算子系统 …… 304
9.5.2 被动热控子系统 …… 305
9.5.3 液体冷却回路子系统 …… 310
9.5.4 主动热控子系统 …… 314
9.5.5 地面调温子系统 …… 317
9.5.6 真空热试验子系统 …… 318
9.6 航天器热试验 …… 319
9.6.1 热平衡试验 …… 319
9.6.2 热真空试验 …… 327
9.6.3 返回着陆升温试验 …… 328
9.6.4 地面调温试验 …… 328
9.7 航天器热控技术的发展 …… 329
参考文献 …… 330
第十章 载人航天器电源系统 …… 331
10.1 名词术语 …… 331
10.2 一般电源系统描述 …… 331
10.2.1 电源系统的组成 …… 331
10.2.2 电能源与贮能装置 …… 332
10.2.3 配电系统 …… 334

10.3 电源系统的职能 …… 334
10.3.1 一般技术要求 …… 334
10.3.2 系统级职能 …… 335
10.4 电源系统的系统级设计 …… 336
10.4.1 电源系统选择与设计原则 …… 336
10.4.2 电源系统系统级设计过程 …… 337
10.4.3 载人航天器电源系统设计特点 …… 337
10.5 太阳光电电源系统 …… 338
10.5.1 概述 …… 338
10.5.2 太阳电池阵 …… 339
10.5.3 蓄电池组 …… 342
10.5.4 电源系统总体构型 …… 343
10.6 燃料电池与再生式燃料电池 …… 345
10.6.1 概述 …… 345
10.6.2 燃料电池反应原理 …… 346
10.6.3 再生式燃料电池 …… 346
10.7 太阳动力发电系统 …… 347
10.7.1 概述 …… 347
10.7.2 聚能器 …… 347
10.7.3 接收器 …… 347
10.7.4 能源转换设备 …… 348
10.8 空间核电源 …… 349
10.8.1 核能的空间应用 …… 349
10.8.2 核电源系统组成 …… 349
10.9 空间系绳发电系统 …… 350
10.9.1 概述 …… 350
10.9.2 发电与贮能 …… 351
10.9.3 飞行试验 …… 352
10.10 “阿波罗”飞船电源系统 …… 352
10.10.1 电源系统概述 …… 352
10.10.2 燃料电池系统 …… 353
10.10.3 蓄电池系统 …… 355
10.10.4 配电系统 …… 357
10.11 “天空实验室”电源系统 …… 358
10.11.1 燃料电池—蓄电池系统 …… 358
10.11.2 太阳电池阵—蓄电池系统 …… 359
10.12 航天飞机轨道器电源系统 …… 360
10.12.1 燃料电池与蓄电池组 …… 360
10.12.2 辅助发电装置 …… 361

10.13 空间站电源系统 …… 361
10.13.1 电源系统需求 …… 361
10.13.2 概念研究与方案选择 …… 361
10.13.3 混合电源系统 …… 362
10.14 苏联载人航天器电源系统 …… 364
10.14.1 “联盟”号飞船电源系统 …… 364
10.14.2 “礼炮”号与“和平”号空间站电源系统 …… 365
10.15 中国“神舟”号飞船电源系统 …… 365
10.15.1 概述 …… 365
10.15.2 太阳电池阵 …… 366
10.15.3 电源系统总体设计 …… 367
10.15.4 安全性、可靠性设计 …… 368
参考文献 …… 369
第十一章 载人航天器测控与通信系统 …… 370
11.1 概述 …… 370
11.2 美俄载人航天测控与通信系统 …… 370
11.2.1 美国载人航天测控与通信系统 …… 370
11.2.2 俄罗斯载人航天测控与通信系统 …… 377
11.3 测控与通信的基本原理 …… 377
11.3.1 跟踪测轨 …… 377
11.3.2 遥测 …… 380
11.3.3 遥控 …… 381
11.3.4 图像信息传输 …… 382
11.3.5 天地话音传输 …… 382
11.3.6 信道设计 …… 383
11.4 载人航天测控与通信系统工程设计中的几个问题 …… 384
11.4.1 电磁兼容性问题 …… 384
11.4.2 空间环境适应性设计问题 …… 384
11.4.3 可靠性与安全性设计问题 …… 385
11.5 分包遥测和分包遥控 …… 385
11.5.1 开放系统互连模型 …… 385
11.5.2 分包遥测遥控概念 …… 385
11.5.3 分包遥测标准 …… 388
11.5.4 分包遥控标准 …… 393
11.6 高级在轨系统 …… 401
11.7 “神舟”号飞船测控与通信分系统 …… 406
11.7.1 任务与功能 …… 406
11.7.2 分系统组成与工作原理 …… 407
11.7.3 分系统技术特点 …… 411

需要全本请访问 www.ertongbook.com

参考文献 411
第十二章 载人航天器数据管理系统 412
12.1 概述 412
12.2 航天器数管系统的主要功能和设计特点 414
12.2.1 航天器数管系统的主要功能 414
12.2.2 航天器数管系统的设计特点 415
12.3 航天器数管系统体系结构 415
12.3.1 集中式体系结构 415
12.3.2 分布式体系结构 416
12.3.3 “神舟”号飞船数管系统 421
12.4 数管系统部件简介 422
12.4.1 返回舱中央单元 1(CTU1) 422
12.4.2 轨道舱中央单元 2(CTU2) 424
12.4.3 串行数据总线 424
12.4.4 远置单元 425
12.4.5 应急数据记录器 CRU 425
12.4.6 数传复接器 DTCU 426
12.5 航天器数管系统功能设计 426
12.5.1 遥控遥测功能设计 426
12.5.2 时钟管理设计 427
12.5.3 航天器程序控制功能设计 427
12.5.4 数据处理功能设计 428
12.5.5 自主控制功能设计 428
12.5.6 数管系统内务管理设计 429
12.5.7 数管系统救生功能设计 433
12.5.8 其它功能 434
12.6 航天器数管系统软件 434
12.6.1 概述 434
12.6.2 数管系统软件设计特点 435
12.6.3 数管系统 CTU1 软件 437
12.6.4 数管系统 CTU2 软件 438
12.6.5 数管系统软件的在轨维护 438
参考文献 439
第十三章 载人航天器推进系统 440
13.1 概述 440
13.1.1 基本术语 440
13.1.2 航天器推进系统的功用 441
13.1.3 航天器推进系统的分类 441
13.2 航天器液体火箭推进系统 446

13.2.1 液体火箭推进的系统方案…… 446
13.2.2 航天器液体火箭推进系统主要组件…… 449
13.2.3 载人航天器液体推进系统设计…… 455
13.3 国外载人航天器液体火箭推进…… 458
13.3.1 载人飞船推进系统…… 458
13.3.2 空间实验室与空间站推进系统…… 461
13.3.3 航天飞机推进系统…… 464
13.3.4 航天员舱外活动机动装置…… 465
13.3.5 货运飞船推进系统…… 465
13.4 中国“神舟”号飞船的推进分系统…… 465
13.4.1 轨道舱推进子系统…… 466
13.4.2 返回舱推进子系统…… 466
13.4.3 推进舱推进子系统…… 468
13.5 航天器推进系统的展望…… 471
13.5.1 新型火箭推进…… 471
13.5.2 化学火箭推进剂…… 471
13.5.3 液体火箭推进系统…… 472
13.5.4 新材料和新工艺…… 473
13.5.5 检测与测试手段…… 473
参考文献…… 473
第十四章 载人航天器仪表照明系统…… 475
14.1 概述…… 475
14.2 仪表照明系统的功能…… 475
14.2.1 仪表系统的功能…… 475
14.2.2 照明系统的功能…… 476
14.3 仪表系统总体设计…… 477
14.4 照明系统设计…… 478
14.4.1 基本要求…… 478
14.4.2 仪表系统照明…… 479
14.4.3 舱内公用照明…… 479
14.4.4 舱外照明…… 479
14.5 载人航天器中的仪表…… 479
14.5.1 大气数据系统的几个仪表…… 480
14.5.2 竖直刻度仪表…… 481
14.5.3 伺服仪表与带式仪表…… 482
14.5.4 数字仪表…… 484
14.5.5 组合指令指示器…… 484
14.5.6 T形布局仪表板…… 484
14.5.7 阴极射线管(CRT)显示器…… 485

14.5.8 彩色液晶平板显示器…… 486
14.6 “神舟”号飞船仪表照明系统…… 486
14.6.1 任务与功能…… 486
14.6.2 系统组成…… 486
14.6.3 技术特点…… 488
14.7 国外典型载人飞船仪表系统…… 489
14.7.1 “联盟”号飞船仪表系统…… 489
14.7.2 “阿波罗”飞船指挥舱仪表系统…… 490
14.8 航天飞机仪表…… 492
14.8.1 航天飞机驾驶舱仪表系统…… 492
14.8.2 航天飞机后舱仪表系统…… 492
14.8.3 平视显示仪…… 492
14.8.4 仪表显示与图像信息合成的头盔显示器…… 495
14.8.5 注意及警告系统…… 496
参考文献…… 498
第十五章 载人航天器应急救生系统…… 499
15.1 概述…… 499
15.1.1 载人航天应急救生…… 499
15.1.2 发射段救生方式…… 501
15.2 “联盟 TM”飞船的应急救生系统…… 502
15.2.1 应急救生系统的任务…… 502
15.2.2 系统设计中主要考虑的因素…… 502
15.2.3 系统组成…… 503
15.2.4 中止飞行及应急救生系统工作模式…… 505
15.3 “阿波罗”飞船的逃逸救生系统…… 508
15.3.1 概述…… 508
15.3.2 逃逸系统的设计要求…… 509
15.3.3 中止飞行程序…… 510
15.3.4 发动机…… 511
15.3.5 鸭式翼系统…… 514
15.3.6 程序装置系统…… 515
15.3.7 飞行动力学分析…… 515
15.3.8 结构…… 516
15.3.9 风洞试验…… 517
15.4 “神舟”号飞船的应急救生…… 517
15.4.1 待发射段及发射段的应急救生…… 517
15.4.2 运行段及返回段的应急救生…… 519
参考文献…… 519
第十六章 载人航天器回收与着陆系统…… 520

16.1 概述…… 520
16.1.1 垂直着陆…… 520
16.1.2 水平着陆…… 521
16.1.3 现状与发展…… 521
16.2 回收与着陆系统的任务…… 523
16.3 回收与着陆系统工作特点和设计原则…… 523
16.4 回收与着陆系统的组成…… 524
16.4.1 减速装置…… 524
16.4.2 着陆缓冲装置…… 524
16.4.3 执行机构…… 525
16.4.4 控制装置…… 525
16.4.5 伞舱结构…… 525
16.4.6 标位装置…… 525
16.4.7 漂浮装置…… 526
16.4.8 扶正装置…… 526
16.5 减速装置…… 526
16.5.1 降落伞系统的组成…… 527
16.5.2 稳定下降速度…… 527
16.5.3 常用的降落伞伞型…… 528
16.5.4 降落伞系统的设计…… 532
16.5.5 开伞冲击载荷和伞衣收口技术…… 534
16.6 着陆缓冲装置…… 538
16.6.1 着陆分析…… 538
16.6.2 压溃或压碎型缓冲装置…… 539
16.6.3 缓冲气囊…… 539
16.6.4 着陆反推火箭发动机…… 540
16.7 回收与着陆程序的控制…… 541
16.7.1 基本设计要求…… 541
16.7.2 回收与着陆控制方法和控制仪器…… 541
16.7.3 载人飞船回收与着陆程序控制实例…… 542
参考文献…… 545
第十七章 载人航天器地面测试与故障模拟…… 546
17.1 载人航天器测试的目的及意义…… 546
17.2 载人航天器测试方法和手段…… 546
17.2.1 可测试性分析和设计…… 546
17.2.2 测试方案…… 547
17.3 载人航天器测试系统简介…… 549
17.3.1 地面测试系统…… 549
17.3.2 电测试系统软件…… 552

17.3.3 测试系统的安全性和可靠性…… 553
17.3.4 “神舟”号载人飞船地面综合测试系统的特点…… 554
17.4 研制过程的地面测试…… 556
17.4.1 测试阶段划分…… 556
17.4.2 测试级别…… 558
17.4.3 “神舟”号载人飞船地面综合测试…… 560
17.5 载人航天器故障模拟…… 561
17.5.1 概述…… 561
17.5.2 故障模拟系统组成…… 563
17.5.3 故障模拟方法…… 563
17.5.4 地面故障诊断系统…… 564
17.5.5 天地一体化故障诊断系统…… 567
参考文献…… 567
第十八章 载人航天器环境模拟试验…… 569
18.1 概述…… 569
18.1.1 地面试验的重要性…… 569
18.1.2 力学环境…… 569
18.1.3 空间环境…… 570
18.1.4 航天产品等级与试验分类…… 571
18.2 力学环境模拟试验…… 572
18.2.1 载人航天器结构特点…… 572
18.2.2 试验条件…… 573
18.2.3 试验方法…… 575
18.2.4 试验设备…… 579
18.2.5 试验数据处理…… 584
18.3 真空热环境试验…… 586
18.3.1 载人航天器真空热试验的特点…… 586
18.3.2 试验条件…… 586
18.3.3 试验方法…… 588
18.3.4 试验设备…… 589
18.3.5 载人真空热环境试验及其设施…… 591
参考文献…… 595
第十九章 载人航天器的可靠性…… 596
19.1 概述…… 596
19.1.1 载人航天器可靠性工作的重要意义…… 596
19.1.2 可靠性与安全性的关系…… 597
19.1.3 工程研制与生产阶段可靠性主要工作项目…… 598
19.2 可靠性设计与分析…… 598
19.2.1 载人航天器可靠性设计分析工作特点…… 598

19.2.2 可靠性、安全性定性设计分析技术 …… 600
19.2.3 可靠性、安全性定量设计分析技术 …… 607
19.2.4 可靠性、安全性综合设计与分析 …… 616
19.2.5 软件质量与可靠性 …… 617
19.3 可靠性试验技术 …… 620
19.3.1 载人航天器可靠性试验的特点 …… 620
19.3.2 环境应力筛选 …… 620
19.3.3 可靠性增长和增长试验 …… 623
19.3.4 可靠性鉴定与验收试验 …… 626
19.3.5 可靠性试验的综合利用 …… 629
参考文献 …… 629

需要全本请访问 www.ertongbook.com