

国家重点图书出版规划项目

中国载人航天科普丛书

总主编 王永志 王文宝 袁家军

通天神箭

——解读载人运载火箭

主 编 黄春平



中国宇航出版社

国家重点图书出版规划项目

中国载人航天科普丛书

总主编 王永志 王文宝 袁家军

通天神箭

——解读载人运载火箭

主 编 黄春平

副主编 刘竹生 刘 宇



中国宇航出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书主要介绍载人火箭的发展历程、总体设计技术、各分系统的工作原理和基础知识,以及未来的发展方向。

书中既有对载人运载火箭技术的科学解读,又有对相关知识的简要介绍,力求做到深入浅出、通俗易懂、图文并茂、语言生动,适合相关专业科技人员、管理人员和具有高中以上文化程度的航天爱好者阅读。

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

通天神箭:解读载人运载火箭/黄春平主编.——北京:
中国宇航出版社,2011.1
(中国载人航天科普丛书/王永志,王文宝,袁家军主编)
ISBN 978-7-80218-442-8

I. ①通… II. ①黄… III. ①载人航天飞行—运载火箭—
中国—普及读物 IV. ①V475.1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第263284号

责任编辑 艾小军 责任校对 王 妍 设计制作 03工舍

出 版 社 **中国宇航出版社**

社 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
(010)68371105 (010)62529336

承 印 北京画中国画印刷有限公司

版 次 2011年6月第1版 2011年6月第1次印刷

规 格 787×960 开 本 1/16

印 张 16 字 数 253千字

书 号 ISBN 978-7-80218-442-8

定 价 46.00元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

《中国载人航天科普丛书》

编 委 会

总主编 王永志 王文宝 袁家军

委 员 (按姓氏音序排列)

陈善广	邓宁丰	邸乃庸	顾逸东	黄春平
李颐黎	刘树军	潘厚任	戚发轫	钱卫平
王兆耀	吴 斌	徐克俊	赵小津	郑 敏
周凤广	周建平	周雁飞	朱毅麟	

编 辑 部

主 任 刘树军

副主任 邓宁丰

成 员 齐 宏 张铁钧 任长卿 艾小军 曹晓勇

《通天神箭》编委会

主 编 黄春平

副主编 刘竹生 刘 宇

编 委 (按姓氏笔划排列)

丁文华	卜雨亭	王文田	石玉红	孙雅平
孙凝生	朱礼文	刘信和	刘 烽	齐春棠
李玉祥	杨德生	吴彦森	余梦伦	宋征宇
张利艳	张绍臣	张 智	陈振官	陈德隆
陈 曦	周 烈	荆木春	崔照云	崔鑫水
傅 伟	谢建玲	颜国清	薛京宁	穆元良

总序

上世纪九十年代初，党中央审时度势、高瞻远瞩，果断作出了实施中国载人航天工程（代号921工程）的重大决策。这一战略工程的建设与发展，至今已走过了十八年的光辉历程，中华民族实现了千年的飞天梦想，在世界航天发展的史册上，铭刻下了中国人民勤劳智慧、自强不息、勇攀科技高峰的辉煌印记，在人类和平利用太空的伟大征程中树立了不朽丰碑。当今世界，伴随高新技术发展的突飞猛进，航天技术发展方兴未艾，我国航天事业正迈上新的历史征程。当此之际，中国载人航天工程办公室组织编著出版这套《丛书》，对历史、现实和未来都是一件颇有意义的事情。

这套《丛书》全面介绍了工程的发展历程、各系统工作原理及相关航天知识。我作为工程的亲历者、见证者和组织者，更深切地体会到：工程意义重大而充满挑战，成就举世瞩目而来之不易。工程实施以来，在党中央、国务院、中央军委的坚强领导和亲切关怀下，在全国各相关方面的大力支持下，广大航天工作者大力协同、锐意进取，成功突破了一大批拥有自主知识产权的载人航天核心关键技术，先后实现了从无人飞行到载人飞行、从一人一天到多人多天、从舱内实验到出舱活动等重大跨越，使我国成为世界上第三个能够独立开展载人航天活动的国家，在载人航天高技术领域占有了重要一席。胡锦涛总书记明确指出，载人航天工程取得的成就，是我国综合国力不断增强、科技水平不断提高的重要体现，对于增强全民族的自信心和自豪感，凝聚全民族的智慧和力量，鼓舞全党全军全国各族人民全面建设小康社会、实现中华民族伟大复兴具有重大而深远的影响。

通览《丛书》，可以更深刻地感到，作为我国航天发展史上规模最大、系统构成最复杂、可靠性安全性要求最高的国家级高科技工程，载人航天工程取得的伟大成就令人自豪，催人奋进。同时，从中可以得出许多重要启示：当今时代，世界综合国力的竞争，集中

体现为科技特别是高科技的竞争，关键在于人才的竞争，科技、人才已成为民族振兴的基石和综合国力的核心；社会的进步、国家的发展、民族的强大必须充分发挥科学技术第一生产力的作用，坚持人才为本，瞄准世界高科技发展前沿，着力突破核心关键技术，抢占战略制高点，不断提高自主创新能力，唯有如此，才能把国家安全和发展的命脉牢牢掌握在自己手里；科技落后是最可怕的落后，我国目前仍面临发达国家在高科技领域占优势的巨大压力，必须增强机遇意识、忧患意识和使命意识，敏锐把握世界新科技革命的大势，以战略需求为导向，努力实现科技新跨越、新发展。

《丛书》作为航天高科技普及读物，与一般科普读物相比，有许多突出特点：一是鲜明的系统性和集成性。《丛书》以中国载人航天工程为主线，分别介绍工程总体以及航天员、空间应用、载人飞船、运载火箭、发射场、测控通信、着陆场等各系统，结构清晰、重点突出，各个分卷相互衔接、形成整体。二是广泛的知识性和普及性。《丛书》突出读者感兴趣的知识点，满足社会公众对载人航天科技知识的渴求，语言流畅、深入浅出，图文并茂、通俗易懂。三是高度的科学性和权威性。《丛书》编写人员既有工程总设计师、工程总体的专家，也有工程相关系统的总指挥、总设计师；既有长期工作在航天领域的老专家、老领导，也有奋战在科研一线的技术骨干和管理人员，他们大多亲历和参与了工程的研制建设，是各自领域的权威人士，编写内容概念正确、数据科学准确。

相信这套《丛书》的出版发行，对于宣传我国载人航天工程的伟大成就，大力弘扬载人航天精神，增强民族自信心和创新精神，必将起到重要的促进作用。同时，通过普及航天知识，必将吸引和鼓励更多的青少年热爱科学，积极投身航天事业，使我国高科技发展后继有人、持续跨越，为实现中华民族伟大复兴的宏伟目标，为开创中国特色社会主义事业新局面，作出新的更大贡献。

中央军委委员、总装备部部长
中国载人航天工程总指挥

常 万 全

2010年4月16日

前言

载人航天技术是人类航天发展史上的重大突破。至今，世界上仅有苏联 / 俄罗斯、美国和中国发射过载人航天器。载人航天使人类克服地球引力，冲出地球大气层，到达外层空间，人类得以更广泛、更深入地认识自己的家园——地球，以及宇宙空间。

人们可能会记得，40 多年前苏联的加加林乘东方号飞船第一个叩响了太空之门；人们也不会忘记，美国的阿姆斯特朗走出阿波罗号飞船，在月球上留下了人类第一个足迹；人们更不会忘记，中国的神舟号飞船载着航天员在太空遨游时激动人心的画面。然而，这些载人飞船都是由火箭送入太空，进而完成各项任务的，是火箭使人类探索太空的梦想得以实现。

为了使广大读者更好地了解载人运载火箭的相关知识，在中国载人航天工程办公室的领导下，中国运载火箭技术研究院组织相关专家编写了《通天神箭——解读载人运载火箭》一书。

本书向读者详细阐述了载人运载火箭的发展历程、中外著名航天科学家对火箭发展的贡献、载人运载火箭总体设计技术和各分系统的工作原理及基本知识，以及载人运载火箭未来的发展方向等。全书图文并茂，力求做到深入浅出、通俗易懂。这本书将把读者带进载人运载火箭研制的真实世界当中，唤起读者对载人运载火箭技术的求知欲望。

在本书编写过程中，许多工作在运载火箭研制一线的专家和从事运载火箭管理和情报工作的同志付出了辛勤的劳动，查阅了大量资料，在创作过程中提炼、概括和编撰，力求从火箭研制的各个方面呈现给读者多角度的知识。全书共分 19 章，分别由以下人员撰写：第一、二章丁文华等，第三章谢建玲、崔照云，第四章余梦伦、谢建玲，第五章吴彦森、谢建玲，第六章朱礼文、谢建玲，第七章陈

振官、谢建玲，第八章陈曦、刘信和，第九章陈曦、陈德隆、颜国清，第十章孙凝生、孙雅平，第十一章崔鑫水、孙雅平，第十二章杨德生、孙雅平，第十三章张智、张利艳，第十四章张智、陈曦，第十五章王文田、周烈、张利艳，第十六章颜国清、孙雅平，第十七章傅伟、孙雅平，第十八章李玉祥、孙雅平，第十九章张利艳等。

在本书撰写和审稿过程中，得到了长征2F载人运载火箭总指挥和总设计师系统的大力支持，得到了中国运载火箭技术研究院921办公室和许多科技及管理人员的热情帮助。中国工程院龙乐豪院士、中国空间技术研究院李颐黎研究员、中国载人航天工程办公室科技计划局冯中堂副局长审阅了全部书稿，并提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心的感谢。

书中如有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

主 编

目 录

第一章

火箭渊源

1. 火药 / 2
2. 古代火箭 / 2
3. 现代火箭先驱 / 3
4. 航天与航空 / 10
5. 发展航天, 火箭先行 / 11
6. 火箭是载人航天发展的基础 / 12

第二章

火箭与载人火箭

1. 火箭推进原理 / 16
2. 箭体结构 / 17
3. 火箭分类 / 18
4. 火箭发射方式 / 19
5. 火箭发射轨道 / 20
6. 载人火箭需要具备哪些条件 / 22
7. “神箭”的由来 / 23

第三章

中国载人火箭的诞生

1. 载人火箭的使命和要求 / 26
2. 高可靠性意味着什么 / 27
3. 长征 2F 载人火箭的特点 / 28
4. 载人火箭的研制历程 / 30
5. 选择载人火箭总体方案 / 33
6. 载人火箭是如何实现高可靠性的 / 35
7. 载人火箭的大型地面试验 / 36
8. 闪光足迹——载人火箭研制中的重大事件 / 38

第四章

载人火箭的飞天之路

——火箭轨道

1. 轨道与弹道有什么关系 / 42
2. 火箭是如何飞行的 / 42
3. 火箭受到哪些力的作用，受力后按什么规律运动 / 43
4. 飞船轨道和火箭轨道有什么关系 / 45
5. 地球物理因素对火箭轨道有什么影响 / 46
6. 如何进行载人火箭轨道设计 / 47
7. 载人火箭的飞行有什么特点 / 49
8. 如何进行高空风轨道修正 / 50
9. 火箭的发射时间是如何确定的 / 51

第五章

载人火箭冲出大气层

——气动设计

1. 地球的保护伞——大气层 / 54
2. 什么是标准大气 / 56
3. 什么是声障、热障与黑障 / 56
4. 火箭的气动特性是什么 / 58
5. 地面验证火箭的气动特性——风洞试验 / 59
6. 如何塑造火箭的形体——火箭的气动选型 / 60
7. 什么是气动加热 / 62
8. 火箭的结构热试验 / 63
9. 火箭为什么也要透气 / 64

第六章

载人火箭的动特性

——结构动力学

1. 结构静力学与结构动力学 / 66
2. 为什么要研究火箭的动特性 / 67

3. 认识火箭的结构动特性 / 68
4. 船 / 箭耦合载荷计算 / 69
5. 火箭结构动特性的试验验证 / 70
6. POGO 振动与蓄压器 / 72
7. 让巨人走稳 / 74

第七章

强健载人火箭的体魄

——载荷与强度

1. 无所不在的力 / 78
2. 无所不在的载荷 / 78
3. 火箭经受的典型载荷 / 79
4. 载荷设计是如何进行的 / 81
5. 什么是力学环境 / 81
6. 如何进行火箭力学环境设计 / 82
7. 火箭的自我保护设计 / 83
8. 火箭结构强度和结构刚度 / 84

第八章

载人火箭的躯体

——箭体结构

1. 箭体结构系统包括哪些部分 / 86
2. 制造火箭箭体要用什么样的材料 / 87
3. 箭体结构的形式 / 88
4. 一子级箭体结构的特点 / 91
5. 二子级箭体结构的特点 / 94
6. 整流罩结构的特点 / 96
7. 助推器结构的特点 / 97
8. 火箭各部分之间是怎样连接和分离的 / 98

第九章

载人火箭的飞天动力源 ——火箭动力

1. 飞机的动力系统能用来发射火箭吗 / 104
2. 火箭发动机家族 / 105
3. 液体火箭发动机的主体结构 / 107
4. 衡量火箭发动机性能的主要参数 / 109
5. 火箭发动机的食粮——推进剂 / 112
6. 怎样把推进剂送入发动机推力室 / 113
7. 为什么要给推进剂贮箱增压 / 116
8. 如何保证推进剂得到合理利用 / 117
9. 动力系统的工作过程 / 119

第十章

载人火箭飞天驾驶员 ——飞行控制

1. 火箭是如何在轨道上飞行的 / 122
2. 飞行控制系统的组成与任务 / 124
3. 如何驾驶火箭飞行 / 126
4. 如何发出火箭飞行程序指令 / 127
5. 飞行控制的替补员——冗余设计 / 133

第十一章

引领载人火箭飞天 ——制导控制

1. 火箭飞行的自动领航员——制导系统 / 136
2. 载人火箭的高可靠性领航系统 / 137
3. 载人火箭的感知器官——惯性测量系统 / 139
4. 载人火箭的大脑——箭载计算机 / 143
5. 载人火箭运送飞船的导航图——制导律 / 144
6. 影响火箭将飞船送达目的地的因素 / 145

第十二章

把握载人火箭飞天

——姿态控制

1. 火箭姿态稳定的理论基础 / 148
2. 如何使火箭成为不倒翁 / 149
3. 如何控制火箭姿态 / 151
4. 如何应对火箭自身的不稳定因素 / 154
5. 如何控制火箭的质心运动 / 158
6. 火箭飞行过程中的干扰因素 / 158
7. 姿态控制的自适应设计 / 159

第十三章

载人火箭飞天安检员

——故障检测

1. 载人火箭的安检员 / 162
2. 故障有快慢之分 / 163
3. 安检员的特殊使命 / 163
4. 如何判断故障 / 166
5. 如何处理火箭起飞前的故障 / 167
6. 火箭起飞后发动机出现故障怎么办 / 168
7. 逃逸塔和整流罩未分离怎么办 / 169
8. 火箭和飞船无法分离怎么办 / 170

第十四章

航天员的救生艇

——逃逸飞行器

1. 航天员的逃逸救生过程是怎样的 / 174
2. 火箭为航天员提供了几种救生方式 / 175
3. 逃逸飞行器的组成和布局 / 177
4. 逃逸飞行器的结构 / 179
5. 逃逸动力系统 / 183
6. 灭火装置的作用 / 186

第十五章

载人火箭飞天诊断器

——遥测、外测及安控

1. 火箭的听诊器——遥测系统 / 188
2. 火箭的眼睛——图像测量系统 / 190
3. 火箭飞天的诊断点——遥测参数测点 / 191
4. 跟踪火箭的千里眼——轨道测量系统 / 192
5. 航区安全的保护者——安全控制系统 / 195

第十六章

飞天前控制系统的全面体检

——地面测试发射控制

1. 控制系统的全面体检医生——地面测试发射控制系统 / 200
2. 飞天前进行全面体检 / 201
3. 火箭体检合格发出射前指令 / 202
4. 调准火箭发射方向 / 206

第十七章

载人火箭出征前的准备

——发射前的主要设备和工作

1. 种类繁多的地面支持系统 / 210
2. 火箭从总装厂房到发射场的运输 / 210
3. 火箭在发射场的转场运输 / 212
4. 火箭 / 飞船在发射场的组装 / 213
5. 火箭在发射场的地面供配气系统和供配电系统 / 215
6. 火箭推进剂加注 / 216
7. 火箭的射前瞄准 / 217

第十八章

载人火箭腾飞的起点

——活动发射平台

1. 载人火箭的“三垂”发射模式 / 220
2. 与众不同的活动发射平台 / 221
3. 活动发射平台优化的结构、强健的体魄 / 222

4. 如何保证垂直运输中火箭的安全平稳 / 223
5. 如何进行运输-发射状态转换 / 225
6. 如何保证火箭垂直挺立 / 226
7. 如何调整火箭的发射方向 / 227
8. 我国活动发射平台与国外活动发射平台的比较 / 228

第十九章

载人火箭发展展望

1. 载人火箭是人类探索宇宙的天梯 / 232
2. 我国载人火箭发展展望 / 233
3. 国外载人火箭发展展望 / 234
4. 载人火箭发展趋势 / 236



第一章

火箭渊源

卫星和飞船虽然都能够在茫茫太空中完成人们赋予的许多任务，但是卫星和飞船自己并不能进入太空，而是要靠一种装有动力装置的运载工具把它们送入太空并保证一定的条件才能围绕地球飞行。这种装有动力装置的运载工具就是火箭。