



国家出版基金项目



工业和信息化部“十二五”规划专著

航天发射科学与技术

航天发射总体技术

SPACE LAUNCH SYSTEM
TECHNOLOGY

赵瑞兴 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

航天发射总体技术

赵瑞兴 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

《航天发射总体技术》内容包括地(舰)面固定和机动、液体和固体火箭发射技术,及其实现航天发射技术的地面设备系统。

第1章简要概述航天发射技术的发展史和发展趋势,第2章介绍火箭、导弹和航天器的分类、组成及特点,第3章重点阐述火箭和导弹的发射方式,第4章介绍导弹武器系统的生存能力,第5章介绍地面设备系统的组成,第6章介绍地面设备系统的总体设计原则、设计依据、总体方案论证和方案设计,第7章介绍地面设备系统的使用环境与适应性设计,第8章介绍地面设备系统试验。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天发射总体技术 / 赵瑞兴编著. —北京:北京理工大学出版社,2015.6

(航天发射科学与技术)

国家出版基金项目 工业和信息化部“十二五”规划专著

ISBN 978-7-5682-0750-8

I. ①航… II. ①赵… III. ①航天器发射 IV. ①V525

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 134270 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大天成印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 30.5

字 数 / 581 千字

版 次 / 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

定 价 / 115.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

航天发射科学与技术

编写委员会

名誉主编：于本水 黄瑞松 刘竹生

主 编：杨树兴 包元吉

副主编：（按姓氏笔画排序）

 万 全 王生捷 刘 浩

 姜 毅 胡习明 贺卫东

 葛令民

编 委：（按姓氏笔画排序）

 于殿君 王东锋 邓 科

 朱恒强 刘占卿 汤元平

 李建冬 李 梅 何家声

 赵瑞兴 荣吉利 党海燕

 傅德彬 路 峰 谭大成

航天发射科学与技术

学术顾问委员会

(按姓氏笔画排序)

丁旭昶	于倩	于建平
王 缜	牛养慈	任跃进
刘淑艳	李喜仁	张泽明
陈亚军	陈登高	周凤广
赵长禄	郝志忠	秦 烨
唐胜景	曾智勇	

总序

世界各国为了进一步提高综合国力，都在大力开发空间资源和加强国防建设。作为重要运载器的火箭、导弹，以及相关的发射科学技术，也相应地都得到了广泛的重视。发射科学技术综合了基础科学和其他应用科学领域的最新成就，以及工程技术的最新成果，是科学技术和基础工业紧密结合的产物。同时，发射科学技术也反映了一个国家相关科学技术和基础工业的发展水平。

航天发射科学技术的发展历史漫长，我国古代带火的弓箭便是火箭的雏形。火箭出现后，被迅速用于各种军事行动和民间娱乐。随着现代科学技术的发展和人类需求的增加，美国、俄罗斯、中国、日本、法国、英国等航天大国，投入了大量的人力、物力进行航天发射的研究和开发，并取得了丰硕成果，代表了世界的先进水平。火箭、导弹的发射水平，决定了一个国家航天活动和国防保障区域的范围。因此，各航天大国均把发展先进的发射和运载技术作为保持其领先地位的战略部署之一。无论是空间应用、科学探测、载人航天、国际商业发射与国际合作，还是国防建设，都对发射技术提出了新的要求，促使航天发射科学技术向着更高层次发展。

综上所述，系统归纳、总结发射领域的理论和技术成果，供从事相关领域教学、研发、设计、使用人员学习和参考，具有重要的意义。这对提高教育水平、提升技术能力、推动科学发展和提高航天发射领域的研发水平将会起到十分重要的作用。

航天发射科学技术构成复杂，涉及众多学科，而且内容广泛，系列丛书的编写需要有关领域的专家、学者来共同完成。因此，北京理工大学、北京航天发射技术研究所、北京机械设备研究所、北京特种机械研究所、总装备部工程设计研究院等国内从事相关领域研究的权威单位组建了本丛书的作者队伍，期望将发射科学技术的

重要成果著作成册，帮助读者更深入地了解 and 掌握航天发射领域的知识和技术，推动我国航天事业的发展。

本丛书力求系统性、完整性、实用性和理论性的统一，从发射总体技术、发射装置、地面支持技术、发射场总体设计、发射装置设计、发射控制技术、发射装置试验技术、发射气体动力学、发射动力学、弹射内弹道学等多个相互支撑的学科领域，以发射技术基本理论，火箭、导弹发射相关典型系统和设备为重点，全面介绍国内外的相关技术和设备、设施。

本丛书作者队伍是一个庞大的教育、科研、设计团队，为了编写好本丛书，编写人员辛勤劳动，做出了很大努力。同时，得到了相关学会，以及从事编写的五个单位的领导、专家及工作人员的关心和大力支持，在此深表感谢！由于种种原因，书中难免存在不当之处，敬请读者批评指正！

编写委员会

前言

中国的航天事业自 1956 年创建以来，坚持走自力更生、艰苦奋斗的道路，从“两弹一星”发展到载人航天工程，经历了无数个夜以继日的艰难鏖战、无数次惊心动魄的模拟实验，依靠全国大协作和集体的智慧，取得了举世瞩目的成就。在研制工作中造就了一大批有理论和实践经验、善于技术攻关的优秀科技人才。本书旨在将丰富的实践经验科学化、理论化、系统化，使这些成果见之于文字。

《航天发射总体技术》是“航天发射科学与技术”系列丛书的一个分册，内容包括地（舰）面固定和机动、液体和固体火箭发射技术，及其实现航天发射技术的地面设备系统。全书主要侧重于地面机动发射和固定阵地发射的技术内容，既反映整个系统的完整性，又对每一部分进行了具体论述。

全书共 8 章，从概论开始，引出火箭、导弹的发射方式、生存能力、地面设备系统、总体设计、使用环境与适应性设计和地面设备系统试验等内容。

全书以工程应用为主，力求做到内容翔实、逻辑严谨、概念清楚、结论正确，给出了必要的公式、数据、图表和引证依据，便于工程技术人员、管理人员和高等院校相关专业师生查阅参考。

本书在编写过程中，得到了北京航天发射技术研究所、北京机电工程研究所及北京工程机械研究所有关领导和专家的帮助，在此一并表示感谢！

鉴于编写人员水平有限，编写时间仓促，缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者

2013 年 12 月

目 录

CONTENTS

第1章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 航天发射技术的发展史	3
1.3 航天发射技术的发展趋势	21
第2章 火箭、导弹和航天器	23
2.1 概述	23
2.2 火箭	24
2.2.1 化学火箭	24
2.2.2 电火箭	28
2.2.3 核能火箭	29
2.2.4 激光火箭	30
2.2.5 太阳能火箭	30
2.2.6 光子火箭	30
2.2.7 探空火箭	30
2.2.8 运载火箭	34
2.3 导弹	48
2.3.1 地地导弹	48
2.3.2 潜地导弹	48
2.3.3 舰空导弹	49
2.3.4 空空导弹	50
2.3.5 空地导弹	51
2.3.6 舰舰导弹	52
2.3.7 岸舰导弹	53
2.3.8 空舰导弹	53

2.3.9	战略导弹	53
2.3.10	战术导弹	54
2.3.11	反导导弹	54
2.3.12	弹道导弹	54
2.3.13	防空导弹	61
2.3.14	飞航导弹	73
2.4	航天器	78
2.4.1	航天器的分类	78
2.4.2	航天器的组成	79
2.4.3	航天器的特点	81
2.4.4	典型航天器	81
第3章	发射方式	96
3.1	概述	96
3.2	发射方式的分类	97
3.3	固定发射	98
3.3.1	地面固定发射	98
3.3.2	半地下固定发射	99
3.3.3	地下固定发射	100
3.3.4	水下固定发射	103
3.4	机动发射	103
3.4.1	公路机动发射	104
3.4.2	越野机动发射	104
3.4.3	掩体机动发射	105
3.4.4	铁路机动发射	106
3.4.5	水面机动发射	109
3.4.6	水下机动发射	109
3.4.7	空中机动发射	111
3.5	自动力发射	112
3.5.1	地下井自动力发射	112
3.5.2	潜艇自动力发射	113
3.5.3	地面自动力发射	113
3.6	外动力发射	114
3.6.1	压缩空气式动力装置	115

3.6.2 燃气式动力装置	115
3.6.3 燃气 - 蒸汽式动力装置	116
3.6.4 炮射式动力装置	116
3.6.5 自弹式动力装置	117
3.6.6 液压式动力装置	117
3.6.7 电磁式动力装置	117
3.6.8 投放式动力装置	118
3.6.9 复合式动力装置	119
3.7 发射方式的研究性试验	119
3.7.1 缩比模型发射试验	120
3.7.2 模拟与仿真试验	121
3.7.3 全尺寸模型发射试验	122
3.8 防空导弹的发射方式	122
3.8.1 倾斜发射	123
3.8.2 垂直发射	125
3.8.3 箱式发射	126
3.9 飞航导弹的发射方式	128
3.9.1 贮运箱发射	128
3.9.2 垂直发射	129
3.9.3 水面发射	129
3.9.4 水下发射	130
3.9.5 自行车载发射	130
3.9.6 空中发射	131
3.10 运载火箭的发射方式	131
3.10.1 地面场坪发射	132
3.10.2 地面车载发射	132
3.10.3 空中发射	133
3.10.4 海上发射	133
第 4 章 导弹武器系统生存能力	135
4.1 概述	135
4.2 导弹武器系统的生存环境	139
4.2.1 未来战场的侦察环境	140
4.2.2 未来战场的攻击环境	153

4.2.3	核爆炸效应	158
4.3	导弹武器系统生存能力分析	173
4.3.1	核攻击条件下导弹武器系统生存能力分析	173
4.3.2	常规攻击条件下导弹武器系统生存能力分析	179
4.4	导弹武器系统生存概率计算	181
4.4.1	单元目标的生存概率	181
4.4.2	集群目标的生存概率	182
4.4.3	地下井发射导弹武器系统的生存概率	184
4.4.4	随意机动发射导弹武器系统的生存概率	185
4.4.5	冲刺机动发射导弹武器系统的生存概率	186
4.5	提高导弹武器系统生存能力的主要技术途径	187
4.5.1	提高导弹武器系统的伪装隐蔽能力	187
4.5.2	提高导弹武器系统的快速反应能力	194
4.5.3	提高导弹武器系统的快速机动能力	196
4.5.4	提高导弹武器系统的抗核加固水平	197

第5章 地面设备系统 204

5.1	概述	204
5.2	弹道导弹地面设备系统	208
5.2.1	战略弹道导弹地面固定发射地面设备系统	208
5.2.2	战略弹道导弹地下井贮存、地面发射地面设备系统	210
5.2.3	战略弹道导弹地下井发射地面设备系统	212
5.2.4	战略弹道导弹公路机动发射地面设备系统	215
5.2.5	战略弹道导弹铁路机动发射地面设备系统	217
5.2.6	战术弹道导弹公路机动发射地面设备系统	219
5.3	防空导弹地面设备	224
5.3.1	“爱国者”防空导弹地面设备	224
5.3.2	“C-300”防空导弹地面设备	227
5.3.3	“响尾蛇”防空导弹地面设备	236
5.3.4	“道尔”防空导弹地面设备	237
5.4	飞航导弹发射装置	239
5.4.1	自行式车载飞航导弹发射装置	239
5.4.2	舰舰飞航导弹发射装置	242
5.4.3	瞄准机动式飞航导弹发射装置	246

第 6 章 地面设备系统总体设计	254
6.1 概述	254
6.2 总体设计原则	255
6.2.1 满足作战或商业发射的需求	255
6.2.2 坚持地面设备系统与导弹的同步一体化设计	256
6.2.3 坚持先进性与继承性相结合	257
6.2.4 坚持近期需要与长远目标相结合	258
6.2.5 坚持技术配套与实物配套相结合	258
6.2.6 坚持效能与费用相结合	259
6.3 总体设计依据	260
6.3.1 导弹或运载火箭的主要总体参数	260
6.3.2 航天器的主要总体参数	261
6.3.3 导弹试验场或航天器发射场的定点与工程勘察报告	262
6.3.4 导弹试验场或航天器发射场的保障条件	262
6.3.5 目标特征	263
6.3.6 性能要求	263
6.3.7 一般要求	267
6.3.8 国外研制导弹武器系统或运载火箭系统的经验教训	269
6.4 总体方案论证	269
6.4.1 发射方式的选择	269
6.4.2 生存能力分析	273
6.4.3 作战能力分析	275
6.4.4 机动能力分析	276
6.4.5 提出部分或全部地面设备的初步方案	297
6.5 总体方案设计	347
6.5.1 总体参数分析	348
6.5.2 总体布局设计	349
6.5.3 总体协调设计	355
6.5.4 可靠性设计	359
第 7 章 地面设备系统的使用环境与适应性设计	365
7.1 概述	365
7.2 气候环境	367
7.2.1 地球气候带和气候区的基本情况	367

7.2.2	单一气候环境	368
7.2.3	复合气候环境	377
7.3	力学环境	378
7.3.1	振动环境	378
7.3.2	冲击环境	381
7.3.3	噪声环境	382
7.3.4	加速度环境	384
7.3.5	碰撞环境	385
7.3.6	摇摆环境	385
7.3.7	跌落环境	386
7.3.8	力学环境与气候环境的相互影响	386
7.4	发射环境	386
7.4.1	自动力发射环境	387
7.4.2	外动力发射环境	388
7.5	水下环境	389
7.6	其他环境	390
7.6.1	生物环境	390
7.6.2	化学环境	390
7.6.3	爆炸大气环境	390
7.6.4	电磁干扰环境	391
7.6.5	雷电环境	391
7.6.6	地震环境	392
7.7	典型地面设备的使用环境载荷	393
7.7.1	弹道导弹地面发射台的使用环境载荷	393
7.7.2	防空导弹车载发射装置的使用环境载荷	394
7.7.3	飞航导弹舰载固定角发射装置的使用环境载荷	395
7.8	使用环境适应性设计提示	397
7.8.1	气候环境适应性设计提示	397
7.8.2	力学环境适应性设计提示	399
7.8.3	水下环境适应性设计提示	400
7.8.4	其他环境适应性设计提示	400
第8章	地面设备系统试验	402
8.1	概述	402

8.2	协调试验	404
8.2.1	机械对接试验	405
8.2.2	电气匹配试验	405
8.2.3	靶场合练	406
8.3	运输试验	407
8.3.1	公路运输试验	407
8.3.2	铁路运输试验	408
8.4	电磁环境试验	409
8.5	发射试验	410
8.5.1	模型弹外动力发射试验	411
8.5.2	遥测箭自动力发射试验	411
8.6	可靠性试验	412
8.6.1	环境应力筛选试验	415
8.6.2	可靠性增长试验	416
8.6.3	可靠性鉴定试验	422
8.6.4	可靠性验收试验	422
8.6.5	加速寿命试验	423
8.6.6	试验室模拟试验	423
8.6.7	使用现场试验	424
8.7	自然环境试验	424
8.7.1	高气温试验	424
8.7.2	低气温试验	425
8.7.3	温度冲击试验	425
8.7.4	湿热试验	426
8.7.5	低气压试验	427
8.7.6	太阳辐射试验	427
8.7.7	淋雨试验	428
8.7.8	盐雾试验	429
8.7.9	沙尘试验	429
8.7.10	风压试验	431
8.7.11	霉菌试验	431
参考文献		433
索引		435

第 1 章 概 论

1.1 引 言

航天技术是将航天理论用于火箭、导弹及航天器研究、设计、制造、试验、发射、飞行、返回、控制和管理等工程实践而形成的一门综合性工程技术，也是探索、开发和利用太空及地球外天体的综合性工程技术。航天技术包括喷气推进技术、制导与控制技术、姿态控制技术、轨道控制技术、热控制技术、电源技术、空间通信技术、遥测技术、生命保障技术、火箭设计技术、航天器设计技术、火箭制造技术、航天器制造技术、火箭试验技术、航天器试验技术、环境控制技术、发射技术、航天器返回技术和航天系统工程等。

发射技术是火箭、导弹及航天器发射技术的简称。发射技术是航天技术的一个分支，是航天技术的重要组成部分。发射技术是对火箭或导弹的发射方式、地面设备系统和发射工程设施等进行研究、设计、制造、试验和使用的工程技术。发射技术是高度综合的现代实用技术，在基础科学与技术科学的基础上，它集中应用了诸如力学、车辆学、材料学、热力学、光学、土力学、气象学、电子技术、自动控制技术、低温技术、液压技术、真空技术、可靠性技术、计算机技术、系统工程理论、侦察技术、伪装防护技术、军事理论、武器设计理论、核爆炸理论和制造工艺学等工程技术的最新成果。上述工程技术对发射技术的发展发挥了至关重要的作用，而发射技术的发展又促进了相关科学技术的进步。

车辆学、材料学和土力学等学科的研究成果推动了发射技术的发展，譬如，高性能载重汽车底盘、大吨位铁路转向架、高强度轻质合金材料和高强度路面与路基等为导弹的公路机动发射与铁路机动发射创造了条件。

真空技术和低温技术的发展使低温推进剂得到了广泛的应用，为低温推进剂加注系统的研制打下了良好的技术基础。

电子技术、自动控制技术和计算机技术等研究成果主要用于车辆的定位与导航、火箭或导弹的测试、瞄准和发射控制等，它们提高了地面设备系统的使用可靠性，加快了地面设备系统实现小型化、集成化、自动化、数字化和智能化的步伐，改变了地面设备系统的研制模式。

军事理论、武器设计理论、伪装防护技术和核爆炸理论等对地面设备系统的研制、发射工程设施的设计和导弹武器系统的部署等具有重要的理论指导作用。

20世纪以来,随着航天技术的发展,发射技术的研究内容日益丰富,发射方式越来越多,地面设备系统的组成越来越复杂,发射工程设施的规模越来越大。由于地面设备系统或发射工程设施的任何一个隐患都可能危及人员、设备、场地甚至火箭(或导弹、航天器)的安全,故要求发射技术采用系统工程的方法,将导弹武器系统或运载火箭系统的设计要求与使用要求有机地融合起来,依照研制程序将各种要求与规范逐步变成研制者与使用者的具体工作,通过具体工作将地面设备系统与发射工程设施组合成一个技术合理、经济性能良好、接口协调、运转灵活、使用可靠和研制时间较短的实际工程系统。发射技术既是应用系统工程的受益者,同时也为应用系统工程的发展提供了实践的平台。

发射技术直接影响导弹武器系统或运载火箭系统的技术水平、使用性能、研制周期、研制成本和使用可靠性。研究发射技术的主要目的是快速提高导弹武器系统的战术技术指标和运载火箭系统的技术经济指标,快速提高导弹武器系统的作战效能和运载火箭系统的市场竞争能力。发射技术领域的研究成果不仅丰富了航天技术,提高了地面设备系统和发射工程设施的使用性能,而且也对国民经济的众多部门和社会生活的很多方面产生了重大的影响。

发射技术直接影响运载火箭或导弹的发射成败,直接影响运载火箭系统的技术经济性能或导弹武器系统的战术技术性能,直接影响运载火箭系统或导弹武器系统的研制时间和研制费用。在选择发射技术时,应综合考虑火箭或导弹的技术要求、作战使用要求、系统协调性和安全性等。对发射技术的基本要求有以下几个方面。

(1) 发射技术应将发射方式、地面设备系统和发射工程设施有机地融为一体。根据火箭或导弹的类型、运载火箭系统的技术指标或导弹武器系统的战术技术指标及使用要求等确定发射方式,根据发射方式选择研制地面设备系统与发射工程设施的发射技术。

(2) 发射技术应自主或协助实现运载火箭系统的技术经济指标或导弹武器系统的战术技术指标。与发射技术直接有关的运载火箭系统的技术经济指标主要包括发射条件、发射窗口、发射程序、发射准备时间、瞄准精度和发射可靠性等;与发射技术直接有关的导弹武器系统的战术技术指标主要包括射击精度、快速反应能力、环境适应能力、机动能力、伪装防护能力、使用可靠性和效费比等。

(3) 发射技术应满足军方的作战使用要求。与发射技术直接有关的军方作战使用要求主要包括目标特性、战场环境、作战模式、使用流程、作战效能、作战评估、信息源保护、协同作战、部署方式、指挥体制、信息传输、维修和保障体制等。

(4) 发射技术应保证地面设备系统和发射工程设施具有规定的功能及性能,能在规定的条件下将火箭或导弹可靠地发射出去。譬如,发射设备与发射工程设施能顺利排导