

航天发射装置设计

贺卫东 常晓权 党海燕 编著



北京理工大学出版社

航天发射装置设计

贺卫东 常晓权 党海燕 编著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

航天发射装置设计 / 贺卫东, 常晓权, 党海燕编著. —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 - 0737 - 9

I. ①航… II. ①贺…②常…③党… III. ①航天器 - 发射装置 - 设计
IV. ①V553. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 133393 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 / 37. 25

字 数 / 719 千字

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

定 价 / 142. 00 元

责任编辑 / 王玲玲

蔡婷婷

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

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 焯
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

本书是由北京特种机械研究所多位长期从事火箭导弹发射工程与地面设备的专家共同编写的。编写中，侧重于舰载平台、陆基机动、空中平台和地面固定阵地发射的技术内容，既反映整个系统的完整性，又对其中每一部分进行了具体论述。同时，遵循以工程应用为主，着重从工程设计方面总结我国航天发射技术领域近几十年来的研制成果和经验，强调理论和应用并重的原则，力求做到内容翔实、概念清楚、结论正确，并且给出必要的公式、数据、图表和引证依据，便于工程技术人员查阅。

本书共分 11 章，主要包括概述，发射装置总体设计，发射装置载荷及结构分析，舰潜载发射装置设计，车载发射装置设计，机载导弹弹射装置设计，地下井式发射装置设计，发射装置典型结构设计，发射装置伪装、隐身与防护设计，发射装置“六性”设计和发射装置先进设计分析方法等内容。全书由贺卫东、常晓权、党海燕、郝晓琴、陈海涛、周涛等合著。贺卫东负责全书的统稿工作及第 1、2 章的撰写工作，同时参与了其他章节的撰写工作；陈海涛负责第 3 章的撰写工作；党海燕负责第 4、8、10 章的撰写工作；常晓权负责第 5、9 章的撰写工作；郝晓琴负责第 6、7 章的撰写工作；周涛负责第 11 章的撰写工作。

本书适用于从事航天发射装置研究、设计、生产、试验、使用的工程技术人员和管理人员阅读，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。由于发射技术专业构成复杂、内容广泛，因此本书各章之间具有较大的相对独立性，读者可根据自己的需要选读本书的有关章节。

本书已列入国家出版基金项目 and “十二五”国家重点图书出版规划项目。本书在写作过程中得到了国内相关领域的专家学者的帮

助和支持，得到了北京航天发射技术研究所的大力协助，更是得到了北京特种机械研究所各级领导和技术人员的广泛支持，刘君、于殿君、李文华、罗勇、蔡菀、申宏杰、马艳丽、谭浩、皮维超、邹伟伟、刘世鑫等也参与了本书的编写工作，他们所做的工作对本书的完成起到了重要作用，在此对所有关心帮助过此书的同行表示衷心的感谢。北京理工大学姜毅教授在百忙之中审阅了全稿，对本书给予了高度的评价，并提出了宝贵的意见，在此特表衷心的感谢。

鉴于编写、校审人员水平所限，加之编写时间仓促，书中缺点错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

第1章 概述	1
1.1 发射装置的发展阶段	1
1.2 发射装置的作用与地位	3
1.3 发射装置的分类	4
1.4 发射装置的基本组成	4
1.5 发射装置的基本要求	7
1.6 发射装置的主要特点	7
1.7 发射装置的发展趋势	8
第2章 发射装置总体设计	10
2.1 设计原则	10
2.2 发射装置总体方案的确定	10
2.2.1 发射方式的选择	10
2.2.2 发射动力的选择	12
2.2.3 发射姿态的选择	12
2.2.4 战斗部署的选择	13
2.3 热发射总体方案设计	14
2.3.1 热发射总体方案设计思路	14
2.3.2 发射方式的综合确定	15
2.3.3 热发射燃气流排导方案的选择	16
2.3.4 发射导向方案的选择	17

2.3.5	发射装置尺寸、质量、精度的估算与分配	18
2.3.6	发射装置载荷分析计算	19
2.3.7	发射装置配套设备组成	20
2.3.8	接口协调	21
2.3.9	发射装置的具体结构、电气、液压方案设计	22
2.4	冷发射总体方案设计	22
2.4.1	冷发射技术概念及分类	22
2.4.2	冷发射总体方案设计思路	33
2.5	发射装置总体技术协调	44
2.5.1	功能指标协调	44
2.5.2	对外接口协调	45
2.5.3	内部接口协调	46
2.6	发射装置装载平台的选择和分析	47
2.6.1	发射装置对车载平台的选择和分析	47
2.6.2	发射装置对舰载平台的选择和分析	63
2.7	装弹方式的选择	64
2.7.1	装弹方式分类	64
2.7.2	发射装置与装填设备之间的协调	64
2.8	发射装置的总体布置	65
2.8.1	概述	65
2.8.2	舰载发射装置的总体布置	65
2.8.3	车载发射装置的总体布置	66
2.8.4	机载导弹的发射方式与载机上的配置	71
2.9	发射装置耐环境设计要求	84
2.9.1	发射装置环境适应性分析	84
2.9.2	发射装置耐环境设计	86
第3章	发射装置载荷及结构分析	88
3.1	载荷的种类与计算状态	88
3.1.1	静载荷与动载荷	88
3.1.2	过载系数与动载荷	89
3.1.3	计算状态	90
3.2	弹-架系统的坐标系	91
3.2.1	坐标系的选择	92

3.2.2	坐标系的变换	94
3.3	常见载荷分析	98
3.3.1	燃气流引起的载荷	98
3.3.2	导轨不平度引起的惯性载荷	101
3.3.3	风载荷	106
3.3.4	核爆炸引起的载荷	111
3.4	舰载发射装置载荷计算	115
3.4.1	舰艇摇摆运动	115
3.4.2	舰载发射装置的摇摆载荷	122
3.4.3	导弹作用在发射装置上的载荷	127
3.4.4	舰载发射装置综合载荷分析	129
3.5	车载发射装置载荷计算	132
3.5.1	车载发射装置运输状态综合载荷分析	132
3.5.2	车载发射装置发射状态综合载荷分析	148
3.6	机载导弹发射装置载荷分析	153
3.6.1	飞机飞行和着陆时的受载情况	153
3.6.2	载机飞行和着陆时发射装置的载荷	158
3.7	发射装置结构分析	161
3.7.1	结构分析的基础知识	161
3.7.2	结构有限元分析	168
3.7.3	发射装置刚强度分析	183
3.7.4	复合材料发射箱结构分析	195
第4章	舰潜载发射装置设计	205
4.1	舰载倾斜发射装置设计	205
4.1.1	固定角发射装置设计	205
4.1.2	回转发射装置设计	214
4.2	舰载垂直发射装置设计	224
4.2.1	公用排气道式垂直发射装置设计	224
4.2.2	独立自排导式垂直发射装置设计	233
4.3	潜载发射装置设计	238
4.3.1	鱼雷管水平发射装置设计	238
4.3.2	潜艇垂直发射装置设计	242

第5章 车载发射装置设计	250
5.1 车载发射装置的通用设计技术	250
5.1.1 车载发射装置的总体布置	250
5.1.2 总体参数计算	251
5.1.3 液压系统设计	252
5.1.4 电气系统设计	254
5.1.5 自动调平系统设计	257
5.2 车载倾斜发射装置设计	274
5.2.1 车载变仰角发射装置设计	274
5.2.2 车载随动发射装置设计	274
5.3 车载垂直发射装置设计	274
5.3.1 基本组成和功能	274
5.3.2 垂直发射车稳定性计算	278
5.3.3 车载垂直裸弹热发射装置设计	283
第6章 机载导弹弹射装置设计	299
6.1 概述	299
6.2 弹射时导弹的分离方案	299
6.3 机载导弹弹射装置的一般原理	301
6.3.1 导弹分离参数的确定	301
6.3.2 机载弹射装置结构方案选择	302
6.3.3 杠杆式弹射装置结构和工作原理	304
6.3.4 活塞式弹射装置结构和工作原理	307
6.4 气动装置计算	309
6.4.1 气源参数计算	309
6.4.2 气动推力计算	310
6.5 火药气体动力装置计算	314
6.5.1 火药燃气气源参数计算	314
6.5.2 火药气体传动的动力学参数	315
6.6 弹射装置动力学分析	318
6.6.1 气体弹射系统的运动分析	318
6.6.2 弹射系统动力学方程的建立	322
6.6.3 气缸弹射力的计算	326
6.7 导弹弹射装置的闭锁与开锁力计算	327

6.7.1 开锁力计算	327
6.7.2 闭锁力计算	329
第7章 地下井式发射装置设计	330
7.1 发射井的现状和未来	330
7.2 发射井发射方式的优点	332
7.3 发射井的一般结构	333
7.3.1 对发射井的一般要求	333
7.3.2 发射井的组成	333
7.4 发射井结构参数的选择	338
7.4.1 井筒的尺寸	338
7.4.2 设备室的尺寸	340
7.4.3 井盖的尺寸	341
第8章 发射装置典型结构设计	342
8.1 贮运发射箱设计	342
8.1.1 概述	342
8.1.2 发射箱主要结构方案和主要参数的确定	342
8.1.3 发射箱箱体设计	345
8.1.4 导向梁的设计	349
8.1.5 箱盖设计	367
8.1.6 适配器设计	375
8.1.7 插头机构设计	381
8.1.8 锁弹机构设计	388
8.1.9 悬挂减振装置设计	393
8.1.10 发射箱隔热设计	402
8.1.11 箱体气密设计	403
8.1.12 箱体热防护设计	407
8.2 燃气流导流装置设计	410
8.2.1 概述	410
8.2.2 导流装置结构参数的确定	415
8.2.3 导流器结构刚强度计算	417
8.2.4 导流器结构的设计计算	420
8.3 发射架设计	421

8.3.1	概述	421
8.3.2	发射架结构设计和主要参数确定	422
8.3.3	发射架结构刚度	423
8.3.4	发射架典型结构设计	427
第9章 发射装置伪装、隐身与防护设计		432
9.1	概述	432
9.1.1	伪装、隐身与防护技术的概念	432
9.1.2	发射装置隐身技术的研究范畴与重点	433
9.1.3	发射装置防护技术的研究范畴与重点	435
9.1.4	提高发射装置生存能力的技术	435
9.2	主要伪装技术	435
9.2.1	遮蔽法	436
9.2.2	干扰法	439
9.2.3	示假法	439
9.2.4	预先规避法	439
9.2.5	仿生伪装	439
9.3	主要隐身技术	440
9.3.1	可见光隐身技术	440
9.3.2	红外辐射隐身技术	441
9.3.3	雷达波探测与雷达隐身技术	444
9.3.4	电磁辐射隐身技术	451
9.3.5	声波隐身技术	453
9.4	主要防护技术	454
9.4.1	主动防护技术	454
9.4.2	被动防护技术	456
9.5	发射装置隐身特性设计	460
9.5.1	概述	460
9.5.2	隐身战技指标的拟订	461
9.5.3	隐身方案设计	466
9.5.4	隐身特性预估与测试方法简介	471
9.6	发射装置装甲防护设计	489
9.6.1	概述	489
9.6.2	装甲防护技术指标的拟订	490

9.6.3 防护方案设计	492
9.6.4 防护特性预估与测试方法简介	494
第10章 发射装置“六性”设计	497
10.1 概述	497
10.2 发射装置可靠性设计	497
10.2.1 可靠性指标的制订	497
10.2.2 可靠性模型的建立	499
10.2.3 可靠性预计	501
10.2.4 可靠性分配	502
10.3 发射装置维修性设计	503
10.3.1 维修性设计原则	503
10.3.2 维修性建模	503
10.3.3 维修性指标分配	504
10.3.4 维修性预计	504
10.4 发射装置保障性设计	504
10.4.1 设计方面的保障	504
10.4.2 产品交付后的保障	504
10.5 发射装置测试性设计	505
10.5.1 测试性设计原则	505
10.5.2 测试性设计	505
10.6 发射装置安全性设计	506
10.6.1 安全性设计原则	506
10.6.2 安全性设计要求	507
10.7 发射装置环境适应性设计	507
10.7.1 自然环境适应性设计	507
10.7.2 发射装置力学环境适应性设计	509
10.7.3 发射装置电磁环境适应性设计	510
第11章 发射装置先进设计分析方法	511
11.1 三维设计应用	511
11.1.1 构造产品数字样机	511
11.1.2 三维建模规范	513
11.1.3 三维标注	516

11.1.4 多学科综合仿真分析	518
11.2 协同设计	526
11.2.1 产品成熟度管理	526
11.2.2 设计间协同	533
11.2.3 设计与工艺、制造协同	537
主要参考文献	546
索引	547