

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测试发射系统

发射试验结果分析与鉴定技术

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测试发射系统

发射试验结果分析与鉴定技术

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

发射试验结果分析与鉴定技术/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. —北京: 国防工业出版社, 2006. 1

国防科研试验工程技术系列教材. 导弹航天测试发射系统

ISBN 7-118-04160-2

I. 发... II. 中... III. ①导弹发射-发射试验-数据-分析-教材 ②导弹发射-发射试验: 鉴定试验-教材 IV. TJ765.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107436 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 3/4 357 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 42.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

《国防科研试验工程技术系列教材》 总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠
委 员 (以下按姓氏笔画排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 杨德洲 邱学臣

郑时运 聂 峰 陶有勤 郭詮水

钱玉民

《国防科研试验工程技术系列教材· 导弹航天测试发射系统》编审委员会

主任委员 胡世祥

副主任委员 尚学琨 王文宝 李 钢 崔吉俊

谷连文 徐宏亮 常显奇 汪建平

委 员 (以下按姓氏笔画排列)

于建平 王立军 王保顺 刘雨均

杨乐平 邵发声 陈新华 张贤文

张育林 张泽明 赵 民 郑时运

钱玉民 徐克俊 徐广洲 虞晓明

穆 山

主 编 邵发声

副 主 编 徐克俊 穆 山 刘雨均 于建平

张育林 徐广洲

秘 书 马建林 张 炜

发射试验结果分析与鉴定技术

主 编 杜之明

副 主 编 黄 健 陈德明

编写人员 杜之明 黄 健 陈德明 王家伍

刘国良 王 磊 马 丽 刘纯根

张尚敏 倪 民

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著该套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业 40 年来重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子装备试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999年10月

序

导弹航天测试发射系统是国防科研试验工程的重要组成部分。40多年来,我国导弹、航天飞行器测试发射技术经过几代人开拓发展与经验积累,培养和造就了一支高素质测试发射工程专业队伍,为我国导弹、航天事业的发展作出了巨大贡献,取得了举世瞩目的成就。为使我国的导弹、航天事业不断进步,保持与世界航天测试发射技术同步发展,培养和造就新一代测试发射技术人才,系统地整理和总结40年来测试发射理论与实践成果,编写一套既适应人才培养需要,又对科研试验工作具有指导作用的系列教材,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

本套教材以具有大专以上学历的测试发射总体人员、工程技术人员和指挥管理人员为主要对象,以导弹航天测试发射工程的基本理论、技术、总体与系统组成为主要内容,以测试发射工程技术为重点,论述力求严谨明确,具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性,既可作为实际工作指导用书,亦可作为相关专业人员的学习参考用书。

本套教材共分14卷。包括:《发射工程学概论》、《运载火箭总体与结构》、《运载火箭控制系统》(上、下册)、《运载火箭推进系统》、《运载火箭遥测系统》、《运载火箭外测与安全系统》、《航天器》、《地地导弹》、《测试技术》、《发射技术》(上、下册)、《测试发射勤务技术》、《液体推进剂》、《发射指挥技术》和《发射试验结果分析与鉴定技术》。

本套教材是几代航天人呕心沥血、无私奉献的共同成果,是长期工作在导弹航天领域科研试验第一线的专家、科技人员理论与实践经验的总结和聪明与才智的结晶。在此,我们谨向他们表示

崇高的敬意。同时,也向参与本套教材编写、修改、审定工作的专家、技术人员和编辑出版工作人员表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业面广、涵盖内容多,疏漏之处在所难免,恳请读者予以指正。

在本套教材的编写过程中,还得到了总装备部首长、机关、试验基地、有关科研院所和型号研制部门的关心与大力支持,在此一并表示感谢。

《国防科研试验工程技术系列教材·
导弹航天测试发射系统》编审委员会

2001 年 1 月

前 言

40 多年来,我国地地导弹试验靶场坚持走自力更生的道路,建设适合我国国情的试验靶场,培养了一大批特别能战斗、特别能吃苦的靶场试验分析人员。经过几十种型号试验的磨练,特别是战术导弹武器系统的试验,我们创建了试验体系,积累了丰富的试验分析经验和指标鉴定技术。把这些经验和体会总结出来,写成教材,让年轻人在已有的基础上去开拓,是很有意义的。

发射试验结果分析与战术技术指标评估是靶场的重要工作,也是武器系统设计定型不可或缺的环节。通过飞行试验分析,使设计方案获得改进,使总体设计方案更协调、更可靠、更符合实战要求。正因为如此,飞行试验分析工作也是用户和设计研制部门极为关注的一项工作。

发射试验结果分析涉及自动控制、测控技术、飞行力学、数理统计等诸多学科,且具有很强的工程背景,而目前这方面的著作比较少见。正是基于这一原因,为弥补这一方面的欠缺,总装备部责成我们编写这本书,但愿它能对靶场分析人员有所裨益。

靶场发射试验既有导弹,又有航天飞行器。导弹既有战略导弹,又有战术导弹;既有固体,又有液体。不同型号,其制导方式也可能不同。这些因素决定了它们的试验分析和鉴定技术有较大差异,要写一本涵盖所有型号的试验分析与鉴定技术的书是非常困难的。本书以我国早期地地固体战术导弹试验为背景,以其主要战术技术指标的分析鉴定为重点进行编写。如无特别声明,书中各章节提到的导弹均是地地固体战术导弹。

全书共 10 章和两个附录,第 1 章为概论,界定了靶场试验结果分析与指标评定的范围;第 2 章~第 8 章分别就数据预处理、弹

道特性、固体发动机系统与射程、制导系统与射击精度、战斗部性能、系统可靠性、作战反应时间等方面的分析与评估方法深入展开讨论;第9章讨论了导弹试验结果的综合评价和故障分析;第10章论述了批抽检的规则和评判方法;附录给出了与上述内容有关的数学基础知识和一般试验文档的格式。

第1章由王家伍、杜之明编写;第2章、第5章及附录由杜之明编写(其中5.2节由王磊编写);第3章由刘纯根编写;第4章由刘国良、马丽编写;第6章、第10章由陈德明编写;第7章由张尚敏编写;第8章由倪民编写;第9章由黄健、杜之明编写;全书由杜之明、刘纯根统稿。

本书由张金槐教授主审。张教授在审查全书之后提出了许多有益的修改意见,作者在此向张教授致以衷心的感谢。

由于作者知识面的局限,加之时间仓促,内容编写和表述中定有许多不确之处,恳请专家和读者给予批评指正。

作者

内 容 简 介

本书系统地阐述了导弹发射试验后,靶场利用测量数据对导弹各系统进行分析的主要内容和方法,以及与之有关的战术技术指标鉴定技术。

全书共 10 章和两个附录,第 1 章为概论,界定了靶场试验结果分析与指标评定的范围;第 2 章~第 8 章分别就数据预处理、弹道特性、固体发动机系统与射程、制导系统与射击精度、战斗部性能、系统可靠性、作战反应时间等方面的分析与评估方法深入展开讨论;第 9 章讨论了导弹试验结果的综合评价和故障分析;第 10 章论述了批抽检的规则和评判方法;附录给出了与上述内容有关的基础知识和一般试验文档的格式。

本书可作为靶场试验分析工程师的教材,也可作为有关技术专业的教学参考。

《国防科研试验工程技术系列教材· 导弹航天测试发射系统》

编号	教材名称
1-1	发射工程学概论
1-2	运载火箭总体与结构
1-3	运载火箭控制系统 上册
1-4	运载火箭控制系统 下册
1-5	运载火箭推进系统
1-6	运载火箭遥测系统
1-7	运载火箭外测与安全系统
1-8	航天器
1-9	地地导弹
1-10	测试技术
1-11	发射技术 上册
1-12	发射技术 下册
1-13	测试发射勤务技术
1-14	液体推进剂
1-15	发射指挥技术
1-16	发射试验结果分析与鉴定技术

目 录

第1章 概论	1
1.1 靶场飞行试验	1
1.1.1 试验阶段的划分与目的	1
1.1.2 试验方案和组织实施方法	3
1.1.3 试验靶场系统组成及功能	6
1.2 飞行试验结果分析	8
1.2.1 原则和依据	8
1.2.2 基本工作程序和分析报告	8
1.2.3 主要内容和方法	10
1.3 战术技术指标鉴定	13
1.3.1 依据	14
1.3.2 鉴定与试验要求	15
1.3.3 鉴定结果与作战使用指标的差异	17
1.4 试验分析与鉴定技术的发展	18
第2章 试验信息的预处理	20
2.1 试验信息的分类	20
2.2 试验数据的预处理	21
2.2.1 丢失数据补偿	22
2.2.2 外遥测时间零点一致性分析及其修正方法	23
2.2.3 跟踪目标一致性分析	25
2.2.4 外遥测位置、分速度相互换算方法	26
2.2.5 跟踪点不一致修正	28
2.2.6 验前信息与验后信息的相容性检验方法	29
2.2.7 外遥差加工处理方法	31
2.2.8 外测数据正确必要性分析法	33

第3章 弹道方程	35
3.1 概述	35
3.2 坐标系	37
3.2.1 坐标转换矩阵	37
3.2.2 常用坐标系	38
3.2.3 常见的转换矩阵	40
3.2.4 姿态角之间的关系	41
3.3 作用于导弹上的力和力矩	42
3.3.1 地球引力	42
3.3.2 大气气动力	45
3.3.3 推力	47
3.3.4 控制力	48
3.4 弹道方程组	51
3.4.1 矢量形式的弹道方程组	51
3.4.2 质心运动方程组	52
3.4.3 姿态运动方程组	54
3.4.4 补充方程	55
3.5 再入段弹道方程组	56
3.5.1 简化的弹道方程	56
3.5.2 零攻角再入时的简化弹道方程	59
3.6 零攻角再入时的弹道参数分析	60
3.6.1 再入最小负加速度的估算	60
3.6.2 热流的近似估算	63
第4章 固体火箭发动机系统性能分析与射程鉴定	67
4.1 概述	67
4.2 主发动机性能参数识别方法	68
4.2.1 主发动机燃烧室瞬时压强计算方法	69
4.2.2 发动机性能参数计算公式	70
4.2.3 主发动机性能参数识别方法	70
4.3 动力模型识别方法	75
4.3.1 误差模型识别	75
4.3.2 误差识别过程	80

4.4 射程鉴定方法	81
4.4.1 术语	81
4.4.2 鉴定方法	86
第5章 制导系统分析与射击精度指标评定	92
5.1 概述	92
5.2 制导系统性能分析	94
5.2.1 制导方法误差分析	94
5.2.2 制导工具误差分析	98
5.2.3 再入误差分析	109
5.2.4 控制指令分析	109
5.3 飞行稳定性分析	112
5.3.1 刚性弹体姿态方程	113
5.3.2 俯仰、偏航、滚动通道方程组	125
5.4 射击精度指标及其相互转换	137
5.5 射击精度评定方法	140
5.5.1 直接评定法	140
5.5.2 间接评定方法(折合评定法)	156
5.5.3 关于折合结果的指标评定	174
第6章 战斗部试验结果分析与指标评定	178
6.1 概述	178
6.2 子母弹战斗部性能分析	179
6.2.1 爆高控制系统性能分析	180
6.2.2 抛撒机构性能分析	181
6.2.3 子弹抛撒初速分析	182
6.2.4 子弹结构强度分析	182
6.3 用遥外测参数确定子弹飞行姿态	183
6.3.1 子弹弹体姿态运动方程	183
6.3.2 子弹质心运动方程	185
6.3.3 子弹弹轴与速度的夹角及子弹落角	187
6.3.4 应用中的几点说明	188
6.4 确定子弹姿态的一种简化方法	189
6.4.1 子弹飞行过程中遥测参数与外测参数的关系	189