



国防特色教材·兵器科学与技术

兵器动态参量测试技术

BINGQI DONGTAI CANLIANG CESHI JISHU

孔德仁 主编

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

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



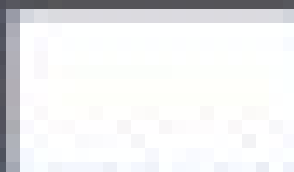
国防科学技术研究院 科技出版工程



兵器动态参量测试技术

兵器工业部科技出版工程 国防科学技术研究院 科技出版工程

兵器工业部 国防科学技术研究院



兵器工业部 国防科学技术研究院

兵器工业部 国防科学技术研究院
兵器工业部 国防科学技术研究院
兵器工业部 国防科学技术研究院



国防特色教材·兵器科学与技术

兵器动态参量测试技术

主 编 孔德仁
副主编 王 芳
主 审 刘怡昕 钱林方

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书首先概略地介绍了动态测试的基础知识,然后分章节详细介绍了应力、应变、力测试技术,动态压力测试技术,运动参量测试技术,温度和热通量测试技术,兵器噪声测试技术,兵器振动测试技术,膛口流场测试技术,弹丸姿态及坐标测试技术,兵器材料的动态参数测试技术。并在每章都给出了相关的测试用例。

本书可作为武器系统与发射工程、地面武器机动工程、过程装备与控制工程等兵器相关专业的教科书或参考书,亦可供相关专业的研究生、教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

兵器动态参量测试技术/孔德仁主编. —北京:北京理工大学出版社,2013.1

ISBN 978-7-5640-7311-4

I. ①兵… II. ①孔… III. ①武器-动态参量-动态测试-测试技术 IV. ①TJ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 013197 号

兵器动态参量测试技术

孔德仁 主编

责任编辑 陈莉华

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787 毫米×960 毫米 1/16 印张:21.75 字数:458 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷 印数:1—3000 册

ISBN 978-7-5640-7311-4 定价:60.00 元

前 言

各类兵器在研发、设计、定型生产的各个阶段都需要进行多项性能的测试,一方面是为研发或设计提供依据,另一方面是作为考核兵器系统的战技指标。兵器性能参数的测试和其他通用机械测试是有显著差异的,大多数兵器系统都工作在高温、高压、高速的环境下,因此动态参量的测试对测量系统的组建及其性能有着特殊的要求,很需要有一本能较系统地介绍兵器动态参量测试基本原理方面的书。为此,我们根据多年的教学与科研实践,收集了国内外有关资料编写成此书。

在兵器的诸多参量测试中,动态参量测试占有十分重要的地位,如弹丸速度、膛压、导气室武器气室压力、各运动体的运动、武器噪声、冲击波、振动后坐力、后坐能量等参量的测试。本书在讲述动态参量测量基础知识的基础上,以上述动态参量为研究对象,分章分别介绍各动态量测试的特殊性,常用测量方法,测量系统组建方法,静、动态标定方法,数据处理方法及使用注意事项,同时兼顾到了近年来的兵器测试技术发展中的新技术、新内容,力求让读者较全面地理解和掌握兵器动态参量测试理论、测试方法及新发展。

本书共10章,由孔德仁同志统稿,其中第1、3、5、7章由孔德仁、王芳编写;第2、6章由狄长安编写;第9、10章由杜中华、王芳编写;第8章由顾金良编写;第4章由徐强编写;刘怡昕院士、钱林方教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见。在此,向刘怡昕、钱林方两位教授表示诚挚的感谢。

在本书的编写过程中,参考并引用了国内外许多专家学者的论著及教材,南京理工大学的同行专家也提出了许多宝贵的意见及建议,在此表示衷心的感谢。编者的研究生张朗、阮晓峰、蒋萍、杨宗伟、王云龙等参与绘制了书稿中的图稿并协助完成了部分书稿的录入工作,在此表示感谢。

由于编者学识水平有限,书中不妥之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 0 章 绪论	1
0.1 测试技术在兵器系统中的地位与作用	1
0.2 兵器动态参数测试的特殊性	3
0.3 本书的特点	5
第 1 章 动态测试基础知识	6
1.1 概述	6
1.1.1 测试系统的组成	6
1.1.2 信号、动态信号描述	8
1.2 测试系统的静态标定及静态特性指标	11
1.2.1 测试系统的基本要求	12
1.2.2 测试系统的线性化	12
1.2.3 测试系统的静态标定	14
1.2.4 测试系统的静态特性指标	15
1.3 测试系统的动态特性	19
1.3.1 动态参数测试的特殊问题	19
1.3.2 测试系统的数学模型	20
1.3.3 传递函数	21
1.3.4 频率响应函数	23
1.3.5 冲激响应函数	24
1.4 典型测试系统的动态特性分析	24
1.4.1 典型系统的频率响应	24
1.4.2 典型激励的系统瞬态响应	28
1.5 测试系统无失真测试条件	30
1.6 测试系统的动态特性参数获取方法	31
1.7 动态误差修正	34
1.7.1 频域修正方法	34
1.7.2 时域修正方法	34
1.7.3 动态误差修正例	35

第 2 章 应力、应变、力测试技术	36
2.1 引言	36
2.2 基础知识	36
2.2.1 应变片的工作原理	36
2.2.2 应变片的主要工作参数	40
2.2.3 应变片的粘贴	41
2.2.4 电阻应变片的温度误差及补偿	43
2.2.5 电阻应变片的信号调理电路	45
2.2.6 等臂对称电桥的“相邻相减、相对相加”特性	50
2.2.7 电阻应变仪	51
2.3 力测量	53
2.3.1 常用力传感器	53
2.3.2 力传感器标定	56
2.3.3 测量实例	57
2.4 应变、应力测量	65
2.4.1 应变片的布置与接桥	65
2.4.2 平面应力、应变测量	66
2.4.3 高温条件下应力、应变测量	69
2.5 转矩测量	72
2.5.1 转矩测量原理	72
2.5.2 常用转矩传感器	73
2.5.3 转矩传感器标定	75
2.6 基于光纤布拉格光栅应变测量	76
2.6.1 光纤 Bragg 光栅传感原理	77
2.6.2 光纤 Bragg 光栅动态应变传感原理	78
2.6.3 光纤 Bragg 光栅组成的应变测试系统	80
第 3 章 动态压力测试技术	84
3.1 概述	84
3.1.1 压力的定义	84
3.1.2 压力的计量单位	84
3.1.3 压力测量分类	85
3.2 塑性测压法原理及常用方法	85
3.2.1 铜柱测压法	86

3.2.2	铜球测压法	87
3.2.3	静态标定及静态压力对照表的编制	88
3.2.4	温度修正方法	92
3.2.5	静标体制铜柱测压的技术要点归纳	92
3.3	测压铜柱静动差分析	93
3.3.1	静标铜柱产生静动差的原因	93
3.3.2	静动差修正方法实践	94
3.4	准动态校准技术	98
3.4.1	准动态校准的含义	98
3.4.2	膛压准动态标定系统的组成	99
3.4.3	半正弦压力源的工作原理	100
3.5	动态压力电测法	100
3.5.1	应变式压力传感器	101
3.5.2	压阻式压力传感器	104
3.5.3	压电式压力传感器	106
3.6	测压系统的标定技术	107
3.6.1	测压系统的静态标定	107
3.6.2	测压系统的动态标定	109
3.6.3	传感器准静态校准	114
3.7	动态压力测量的管道效应	115
3.7.1	传感器的安装	115
3.7.2	测试系统动态特性分析	116
3.8	测压实例	118
3.8.1	膛压及导气室压力测量	118
3.8.2	冲击波压力场测试	118
第4章	温度及热通量测试技术	120
4.1	概述	120
4.1.1	温度与温标	120
4.1.2	温度测量方法	122
4.2	热电偶测温	124
4.2.1	基本原理	124
4.2.2	热电偶的标定	130
4.2.3	热电偶的响应方程	131
4.2.4	裸露和抽吸式热电偶测温模型	132

4.2.5	热电偶测量高速气流温度的技术措施	133
4.2.6	热电偶动态补偿方法	135
4.3	热辐射测温法	136
4.3.1	概述	136
4.3.2	热辐射测温的基础理论	138
4.3.3	常用热辐射测温仪表	142
4.4	光纤测温法	146
4.4.1	光纤原理	146
4.4.2	光纤测温原理	149
4.5	热通量测量	151
4.5.1	概述	151
4.5.2	热通量测试技术	152
4.5.3	Gardon 热通量传感器	155
4.6	温度测量实例	158
4.6.1	兵器性能环境试验中的温度测量	158
4.6.2	火箭燃气射流温度分布	159
第 5 章	兵器噪声测试技术	163
5.1	噪声测试的物理学基本知识	163
5.1.1	声波、声速和波长	163
5.1.2	声源、声场和波阵面	164
5.1.3	声压、声强和声功率	165
5.1.4	声级和分贝	165
5.2	人对噪声的主观量度	167
5.2.1	响度与响度级	168
5.2.2	声级计的计权网络、A 声级	169
5.2.3	等效连续声级	170
5.2.4	噪声评价曲线	171
5.3	噪声测量仪器	171
5.3.1	传声器	171
5.3.2	声级计	173
5.3.3	噪声分析仪	178
5.4	噪声测量方法	178
5.4.1	测试环境对噪声的影响	178
5.4.2	噪声级的测量	179

5.4.3 声功率级测试	181
5.4.4 声强的测量	183
5.5 噪声测量实例	184
5.5.1 常规兵器发射和爆炸时的噪声特点	184
5.5.2 兵器噪声测试的功能需求	185
5.5.3 枪口噪声测试实例	186
第6章 运动参量测试技术	188
6.1 位移测量	188
6.1.1 概述	188
6.1.2 电感式位移测量系统	189
6.1.3 电涡流式位移测量系统	194
6.1.4 光电位置敏感器件	197
6.1.5 光学杠杆	201
6.2 速度测量	204
6.2.1 概述	204
6.2.2 平均速度法	205
6.2.3 瞬时速度法	207
6.3 加速度测量	214
6.3.1 惯性式加速度计	214
6.3.2 应变式加速度计	216
6.3.3 压电加速度计	217
6.4 运动参量测试实例	222
6.4.1 枪械后坐能量测试	222
6.4.2 弹丸运动速度测试	224
6.4.3 自动机运动测试	226
6.4.4 弹载冲击加速度测试	228
第7章 兵器振动测试技术	230
7.1 概述	230
7.2 测振系统的组成及合理选择	230
7.2.1 测振系统的组成	231
7.2.2 振动系统的合理选用	232
7.2.3 传感器的安装	234
7.3 振动系统特性测试	235

7.3.1	激振方式	235
7.3.2	机械结构参数的估计	241
7.4	机械阻抗测试	244
7.4.1	机械阻抗的基本概念	244
7.4.2	几种类型的机械导纳定义方法	245
7.5	常用振动分析方法及仪器	246
7.5.1	振动测试数据的分析方法	246
7.5.2	常用振动测试仪器	246
7.6	振动测试实例	248
7.6.1	枪肩系统机械阻抗测试	248
7.6.2	火炮振动模态分析	252
第8章	膛口流场测试技术	257
8.1	概述	257
8.2	膛口流场	257
8.2.1	初始流场	258
8.2.2	膛口主流场	258
8.2.3	膛口火焰	259
8.2.4	膛口噪声	260
8.2.5	膛口流场的特点	260
8.3	膛口温度测量	261
8.3.1	光谱温度测量原理	261
8.3.2	辐射温度法	264
8.4	膛口流场密度测量	268
8.5	膛口流场可视化测量	269
8.5.1	膛口流场的阴影照相原理	270
8.5.2	膛口流场的间接法阴影照相	271
8.5.3	平行光的阴影照相	273
8.6	膛口流场的分布及卡瓣与弹之间的干扰测试	274
8.6.1	X光机测试技术	274
8.6.2	阴影照相测试技术	278
8.6.3	超高速照相法	281
8.7	膛口火焰测量	283
8.7.1	照相机B门法	283
8.7.2	转鼓摄影法	283

8.7.3	光敏元件膛口火焰亮度及持续时间的测量	284
8.7.4	数字式高速照相系统法	285
第 9 章	弹丸姿态及坐标测试技术	286
9.1	概述	286
9.2	弹丸转速姿态测量	287
9.2.1	电测法(凹槽刻痕法)	287
9.2.2	攻角纸靶试验	290
9.2.3	高速摄影方法	293
9.2.4	弹丸记录仪法	294
9.2.5	固定靶道弹丸姿态探测	296
9.2.6	太阳方位角法	299
9.3	弹丸坐标测量	301
9.3.1	CCD 坐标靶	301
9.3.2	基于激波的声靶测量系统	303
9.3.3	基于平行光幕的坐标测量系统	308
9.3.4	脉冲雷达坐标测量系统	313
第 10 章	兵器材料动态参数测试技术	314
10.1	概述	314
10.2	分离式 Hopkinson 压杆	315
10.2.1	分离式 Hopkinson 压杆组成及测试原理	316
10.2.2	Hopkinson 压杆试验	321
10.2.3	影响 Hopkinson 压杆试验的因素及其解决办法	323
10.2.4	Hopkinson 压杆在火工品过载研究中的应用	327
10.3	膨胀环测试技术	330
10.3.1	基本原理及控制方程	330
10.3.2	试验系统组成	332
10.3.3	测试结果	333
参考文献		334

第0章 绪 论

0.1 测试技术在兵器系统中的地位与作用

测试技术在兵器科学技术的发展中具有重要的地位。兵器测试技术是发展兵器技术的基础,是兵器科研生产的重要组成部分。历史经验表明,兵器技术的每一个重大突破往往都伴随着相应的测试技术的重大突破。在人类发明火炮的最初几百年,兵器测试技术发展十分缓慢,直到19世纪60年代诺贝尔发明了铜柱测压器和布朗吉发明了测速摆后才使火炮内、外弹道的定量研究有了可能,并由此产生了内、外弹道学和内、外弹道设计方法,奠定了近代兵器设计方法。第二次世界大战后,随着电子技术、激光技术、信息技术和计算机技术的飞速发展,各种新的测试技术为兵器的深入研究提供了手段,从而极大地加速了各种新技术的应用和各种传统技术的优化,使火炮等常规兵器在短短几十年内,技术性能成倍地提高。我国改革开放以来,兵器技术有了飞速的提高,同样也极大地促进了兵器测试技术的发展。例如,在20世纪70年代,我国高膛压火炮研究还处于起步阶段,由于没有相应的高膛压测试器材,严重地阻碍了有关的火药、装药和内弹道研究工作的进展,甚至出现过因依据错误的膛压数据进行试验而导致膛炸的事故。当时为了尽快攻克高膛压测试技术,相关部门组织了高膛压测试攻关协调组,成功地解决了这个测试难题,保证了我国第一代高膛压火炮的研制、定型和生产的顺利进行。

随着兵器测试技术的发展,兵器测试技术已成为现代兵器高新技术的重要组成部分,并推动着兵器科学与技术的进步。从兵器系统全寿命、全过程和全费用立场分析,测试在兵器工程中的地位与作用可归纳为以下4个方面。

1. 探索规律、发展理论

众所周知,任何一门学科的发展都离不开实验。兵器理论的发展更是如此。

在兵器系统型号研究之前,针对一些重要理论或技术需要开展预先研究或基础研究。在兵器型号研制的方案阶段,也需要对某些重要的新部件或分系统进行技术攻关。在这些重要探索性理论与技术研究中,一方面,所提的理论、假设是否符合实际,所采取的技术措施是否有效,要靠测试工作予以验证,从而发展、完善兵器理论与技术。另一方面,兵器系统在工作过程中表现出高温、高压、高速、高冲击性和动态范围大的特点。对此人们要想用直观感知的办法认识其客观规律性是根本不可能的;单纯地用理论推导的方法也很难对其客观规律做出全面的描述。面对如此复杂的过程,人们只有进行测试。在大量测试数据的基础上进行归纳、分析和总结,提出一系列经验公式和修正系数。外弹道和内弹道学中的很多定律、状态方程,兵器设计中的各种经验公式等,都是通过人们的大量试验测试总结出来的。在兵器理论体系

中,这些经验性的理论占有很重要的地位。

2. 验证设计、鉴定性能

先进的兵器系统必定具备先进的战术技术指标,然而所研制的样机能否达到要求,需对该兵器系统全面的测试,用测试数据来证明其是否达到要求或对其达到要求的程度进行评价,只有这样,才能客观、准确地验证和鉴定兵器系统性能。

在论证阶段,应对武器装备的测试性指标提出科学、合理的要求,以保证所研制的武器装备具有良好的可测试性,使部队能方便、及时、准确地进行武器装备的性能状态检测与故障诊断。

在方案阶段,需要对方案设计中的新部件或分系统性能进行试验,从而考核其技术是否可行、成熟,是否可用于原理样机。在原理样机或模型样机试制过程中和完成后,要对原理样机或模型样机进行试验,以确定研制方案是否可通过方案评审。

在工程研制阶段,首先要对初样机进行试验,根据其达到的技术状态,确定其是否通过评审并转入正式样机试制。在正式样机研制完成后,还要进行严格的鉴定试验,以确定其是否可通过技术鉴定。通过样机技术鉴定后,研制部门还要协同试验基地拟定设计定型试验大纲。

在设计定型阶段,核心工作是在国家试验基地进行武器装备的设计定型试验,即对被试装备系统各项性能指标进行全面、多条件的测试。试验基地总结各项测试结果,提出试验结果报告,该报告将是被试装备是否通过设计定型的根本依据。

在试生产阶段,要进行生产定型试验,除按验收规范进行产品交验测试外,还要对生产厂家的生产组织、工艺、工装等进行考核,从而确定该生产厂家是否可通过该型号产品的生产定型审查。

3. 检查质量、验收产品

在制造阶段,兵器系统整个生产过程有数以万计的工序,每道工序的加工是否合格要经过检验才能知道。检验就是规范化的测试与判断。随着兵器制造技术的现代化,国外已将大量先进的测试技术应用到产品检验中,把大批先进的测试设备配备到现代化生产线上,甚至投资研制专用的产品检验测试设备,形成实时、在线的检测系统,既保证了产品质量,又促进了工艺的进步。例如,美国华特夫里特兵工厂采用电子和光学测量技术来检验 105 mm 加农炮药室的型面。该装置用于炮身生产线上,快速而精确的检测和记录药室直径、锥度、锥体位置、基准直径位置、各圆锥部分的同轴度以及平截头圆锥的交线等参数,其分辨率可达 0.002 5 mm。这些详细的测量数据,较全面准确地表征着该药室的加工质量,军方据此进行产品验收,就能有效地保证产品质量。再如,为确保“爱国者”导弹引信的产品质量,美陆军试验鉴定局投资,由哈特戴蒙德实验室为其研制了专门的模态试验系统。该系统对总装后的引信进行全面、严格的模态参数检测,确保每发引信模态参数符合规定要求,不仅有效提高了产品质量,而且降低了某些零件加工工序的精度要求,因而降低了生产成本。

4. 状态检测、故障诊断

对兵器技术保障、使用与管理人员来说,最关心的问题是所属兵器系统性能状态如何,是

否存在故障,是什么故障,发生在哪个部位等。要解决这些问题的唯一途径就是对兵器系统进行测试,根据测试数据来判断兵器系统性能状态是否正常。对故障状态的兵器系统,也要在其测试数据的基础上进行诊断运算与推理,从而确定其故障性质与发生部位。由此可见,兵器性能状态检测与故障诊断是兵器系统技术保障工作的关键环节,它对形成兵器系统保障力与战斗力至关重要。

另外,兵器系统经过一定时间的使用,其寿命将会下降,直至最终报废。兵器系统的报废是一个非常严肃的问题。从战技指标考虑,不满足使用要求又无修理价值的兵器系统必须报废;从经济角度考虑,如果将没有达到报废条件的兵器系统作报废处理,将会造成很大的浪费。兵器系统的报废必须符合以下原则:一是兵器系统的战术技术指标已经不能满足使用的最低要求;二是兵器系统不能安全使用;三是兵器系统继续使用已不经济。例如,130 mm 加农炮当初速度下降量达到 $6.6\%v_0$ 时,该炮就需要报废。因此,判断兵器系统是否达到报废标准必须以测试数据为依据。

综上所述,兵器测试对兵器系统全寿命过程的每个阶段都是十分重要的。兵器测试的理论与技术是整个兵器理论与技术体系中不可或缺的重要组成部分。在兵器的预先研究、基础研究或理论研究中,采用先进有效的测试技术,就可以更准确地探索其客观规律,推动兵器科学与技术的发展。在兵器的论证和研制阶段,采用科学、先进的测试技术,就可以全面、准确地获取兵器系统的性能状态信息,从而客观、准确地评价鉴定兵器系统的性能与质量。在兵器的制造与验收阶段,在现代化的生产线或工艺过程中采用先进有效的测试技术,就可以及时、准确地获取产品生产质量信息,不仅使质量监控行之有据,也可促进生产工艺的改进和提高。在兵器技术保障阶段,采用先进的测试技术进行兵器系统的性能状态检测与故障信息诊断,从而实现基于状态的使用、管理和维修,当判断出已无修理价值时,应及时进行报废处理。

0.2 兵器动态参数测试的特殊性

兵器测试中常见的测试内容有弹丸初速测试、内外弹道飞行速度测试、膛压测试、应力测试、振动测试、冲击波超压值测试、温度测试、噪声测试、炮口扰动测试等。兵器系统各项性能参数的测试和其他通用机械测试有着显著的差异,大多数兵器系统都工作在高速、高膛压、高温、高过载、高冲击、高频响的环境下,被测信号持续时间短,随时间的变化率大,这就要求测试系统能够迅速准确、无失真地再现被测信号随时间变化的波形,也就是要求测试系统具有良好的动态特性。动态测试包含更多的测试信息,更利于评价分析兵器系统的诸项性能和进行故障诊断。

下面以火炮在设计、研制、生产、验收等各环节所涉及的部分动态参数为例,了解动态参数在兵器测试中的特殊性。火炮发射的动态参数很多,在火炮测试中,弹丸速度、身管振动、炮口冲击波、噪声、自动机线位移等测试内容对于检验火炮的性能都具有重要意义。

弹丸的初速度是火炮、弹道诸元中最主要的参数之一,弹丸飞行速度是弹丸运动特性的一

一个重要参数,是弹丸运动过程中的一个基本特征量,弹丸的速度大小与弹丸发射条件及过程有关,也与弹丸本身的物理参数、气动参数和气象参数有关,它是衡量火炮特性、弹药特性和弹道特性的一项重要指标。初速的准确与否也直接影响到火炮系统的命中概率。据瑞士康特拉夫斯公司提供的数据,初速下降 10%,命中概率下降为 64%。根据我国规范,地炮初速下降 10%,即可判定身管寿命终止,因此,测量炮口初速也是精确判定火炮身管寿命的重要方法。可见,在火炮系统的研制、定型、生产质量控制、产品验收中,以及整个弹道学理论和其他一些理论的研究中都需要测定弹丸的飞行速度。

自动机是火炮的心脏,自动机运动诸元的测定,在火炮实验研究中占有重要地位。根据测出的自动机运动曲线,对照自动机的运动计算,可以校核理论分析的正确性;根据测出的自动机运动曲线,可以分析火炮的结构参数对其性能的影响,判定各种系数的正确数值;根据测出的自动机运动曲线,可以了解自动机的工作特性,判断自动机的运动是否平稳,能量的分配是否恰当,各构件之间的撞击所引起的速度变化是否合理;自动机的运动曲线也是判断火炮产生故障原因的重要依据之一。

火炮膛内压力指火炮药室内火药燃烧后气体膨胀所产生的压力,它是表征火炮内弹道特性的一个重要指标。通过测量膛压,可提供火炮膛内的最大压力、膛底压力随时间的变化规律以及不同燃烧截面间的压力差等数据。膛内最大压力 p_m 是内弹道设计的初始数据之一,药室内压力随时间的变化规律,即 $p-t$ 曲线,可为火炮的强度设计、鉴定弹丸、研究发射药和点火系统、内弹道计算等提供数据。对于高膛压火炮来说, $p-t$ 曲线的测量尤为重要。通过对 $p-t$ 曲线的分析,可以评价装药结构的优劣,进而改进装药,提高内弹道性能。在药室的不同部位安装同样的测试系统,还可以测量压力差。它可以确定发射药燃烧过程中膛内的反向压力差及压力反射的波动,进一步评价火炮装药的安全性。

火炮射击时会产生剧烈的冲击和振动;牵引火炮及自行火炮在行军时,由于道路高低不平也会产生振动。不论是前者还是后者,都会造成某些零部件的损坏或变形,使某些机构的动作发生故障,使安装在火炮上的电子、光学仪器损坏或者工作失常。火炮发射中的冲击和振动十分复杂,它与火炮结构特性、各部件的运动特性、环境条件都有关系,另外,火炮射击时由于火药气体压力的合力不会完全通过重心,由于弹丸挤入膛线对身管的作用,都会使火炮在弹丸离开火炮前就开始振动,使刚要离炮口的弹丸受到一个初始扰动,从而影响火炮的射击精度。对于高射火炮及航空机关炮,由于射速的不断提高,前一发引起的振动势必影响下一发的射击精度。对于反坦克火炮,身管的振动对首发的命中尤其重要。通过振动与冲击测试可以直接、全面地了解火炮各部位在射击和行军时的振动规律,从而采取合理的方法改善火炮在振动和冲击下的精度与强度问题。

火炮在射击过程中有高温、高压、高速的特点,在使用时,一些性能受到温度的限制。例如,火炮在射击时火药气体生成的热能有 10%~20% 被身管吸收,其中绝大部分使身管温度升高。由于身管温度的升高,金属表面变软,抗冲击性能下降。当弹丸通过时,加速了磨损和火药气体的冲刷作用。在相同条件下,高温磨损比常温磨损快 2~3 倍;由于身管温度的升高,

射击精度可降低1~1.5倍,炮口温度达300℃时,可能降低3~4倍。因此,为保证火炮寿命、射击精度,需监测炮管温度来保证火炮工作在允许的温度范围内。

在对噪声进行评估、判定其大小是否符合标准、分析噪声的主要成分及性质或为有效的降低噪声提供技术支撑时,都需要进行噪声测试。只有准确、真实地测得噪声的声压等有关数据才能为解决噪声问题提供依据。

现代兵器工程的研究对象日益复杂化,其技术也越来越先进,人们只有借助于先进的测试仪器、采用先进的测试技术对兵器系统进行全面、准确的测试,通过对大量测试数据的分析,才能正确认识和掌握兵器系统的客观规律,从而推动兵器技术的不断发展,研制出性能先进的兵器系统,并形成有效的保障力和战斗力。

0.3 本书的特点

本书全面、系统地论述了现代兵器系统中常见的动态测试技术及动态测试中的理论与实际应用问题,是由编者多年来为武器系统与工程及测试类专业的研究生和本科生开课所编的多轮讲义加以整理完善而编著完成的。在本书的成稿过程中,编者结合科研和教学过程的心得,不断对本书的内容进行了取舍、调整和改进,在保留一些经典测试方法的基础上,增加了很多新的内容。

全书共分10章,第1章介绍了后续几章所共同需要的基本知识和概念,包括现代动态测试系统的组成、测试系统的静动态特性参数、动态特性参数的获取方法及动态误差的修正方法等内容;第2章以电阻应变式传感器为主介绍了兵器系统中常见的应力、应变、力以及扭矩测量的基本知识和方法,讨论了高温、高压下应力、应变测试的特点及注意事项,还介绍了压电式、磁电式、光纤布拉格光栅传感器在动态参数测试中的应用;第3章介绍动态压力测试技术,以编者多年从事动态压力测量的研究成果为主,讨论了塑性测压法、各种电测压法在动态压力测试中的应用;第4章讨论温度及热通量的测试技术,尤其是兵器系统中的高温测试问题;第5章是兵器噪声测试技术,除介绍噪声测试的基本知识外,针对常规兵器在发射和爆炸时的噪声特点,探讨了脉冲噪声的测试技术;第6章是兵器运动参量测试技术,分别介绍了位移、速度、加速度等运动参数的测试方法;第7章介绍兵器振动测试技术,主要讨论了在实际应用中常见的测振系统及测试方法;第8章是膛口流场测试技术,主要讨论高温、高压的火药燃气从膛口高速冲出时所引起的复杂膛口流场信息的测试方法;第9章围绕弹丸的飞行姿态及弹着点测试方法展开叙述,对目前常用的测试原理及测试方法进行了介绍;第10章介绍兵器材料的动态参数测试技术,兵器材料在发射过程中所承受的动态或冲击载荷和静态时有很大差别,因此本章主要探讨了兵器材料性能的动态参数测试原理及实现方法。

本书给出了大量的动态参量测试的实际应用案例,有相当部分是编者及国内有关单位的研究成果,这是其他同类教材中所没有的。