



工业和信息化部“十二五”规划教材

实验外弹道学

刘世平 编著

EXPERIMENTAL EXTERIOR BALLISTICS

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



工业和信息化部“十二五”规划教材

实验外弹道学

刘世平 编著 ●

EXPERIMENTAL EXTERIOR BALLISTICS

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

内 容 简 介

本书全面介绍了国内外目前常用的外弹道测试装置的工作原理、测试技术和数据处理方法, 以及其在外弹道试验中的应用。其中包括弹丸速度测量、落弹点坐标测量、立靶坐标测量、飞行轨迹测量、飞行姿态测量等飞行状态参数测量的基本原理和方法, 弹丸气动力系数的自由飞行试验及数据辨识, 弹箭制导与控制的半实物仿真等外弹道综合试验以及相应的数据处理方法。此外, 本书还介绍了伴随弹丸发射及飞行的物理现象观测、气象条件测量、静态物理量测量等外弹道试验所需的测试内容。

本书可用作外弹道、飞行力学、弹药、火炮、引信、制导等专业的高年级本科生和研究生相关课程的教材和靶场工程技术人员的学习参考书, 也可供从事弹道、弹箭、火炮、引信的研究、设计和质量检验的科技人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

实验外弹道学 / 刘世平编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5682-1799-6

I. ①实… II. ①刘… III. ①外弹道学-实验-高等学校-教材 IV. ①O315-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 018813 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 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 30.25

字 数 / 709 千字

版 次 / 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 88.00 元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

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

前言

武器系统在方案论证、系统设计、技术鉴定、定型、生产及使用、长期储存每个环节都需要进行大量的外弹道试验。在长期的外弹道试验中，人们发展了很多外弹道测试手段和试验技术，积累了大量的宝贵经验，逐步形成了服务于外弹道理论和工程的专门学科——实验外弹道学。这门学科主要研究外弹道试验与测试手段的基本原理及相应的数据处理方法，以满足外弹道学理论验证和武器系统研制中的外弹道工程计算的需求。

由于现代战争对武器系统的射程、精度和威力指标的要求越来越高，在战术武器系统中远程精确打击的新型弹药的研制发展迅猛，出现了一批如末敏弹、弹道修正弹、简易控制火箭、制导火箭和炸弹、末制导炮弹、炮射导弹、火箭助推远程滑翔增程弹、布撒器和巡飞弹等新型弹箭，其对相关的外弹道理论和试验都提出了许多新问题、新要求。例如，末敏弹对地面目标区的螺旋扫描运动提高命中概率；弹道修正弹在受到脉冲火箭或阻力器作用后改变飞行轨迹以提高密集度；主动段简易控制火箭利用燃气流的作用产生控制力矩抵消干扰，抑制弹轴的摆动，提高落点密集度；滑翔增程弹箭采用火箭助推、有控滑翔飞行提高射程和命中精度。这些新的弹道问题均需要发展相应的外弹道试验和测试技术。

近些年来，在新型弹箭系统的研制需求的强势推动下，国内外相关单位为配合新型弹药研制，均积极开展外弹道测试技术的研究。由于微机电测试、卫星导航、光电测控、信号采集与处理、计算机、信息融合处理、精密加工等现代新型技术突飞猛进，人们相继发展出了许多新的外弹道测试方法和试验技术理论，为实验外弹道学增加了许多新的内涵。但是到目前为止，国内还没有系统总结外弹道试验与测试技术方面的书籍。这给相关的科技人员和靶场试验工作者总结经验，提高业务水平，在客观上带来了许多困难。为了满足广大兵器科学工作者在实际工作中的迫切需要，本书在传统外弹道试验与测试技术的基础上，进一步归纳、总结近 20 年出现的新成果、新技术，并结合外弹道理论与应用技术的发展

对相关内容进行提升,以满足相关专业技术人员、机关人员、军队干部的工作需要。

由于实验外弹道学也是武器系统有关专业需要了解和掌握的专业课程,如火炮和火箭炮、炮弹、火箭弹与航空炸弹、引信、雷达、火控、制导和导航、靶场试验与测控专业都在不同程度上需要外弹道试验方面的知识,因此满足这些专业的本科生、研究生的教学和学习参考需要也是编著本书的主要目的。

为了保证内容的完整性和系统性,本书保留了传统实用的外弹道试验及测试技术的内容,增加现代外弹道试验和测试理论知识,淘汰了目前已经不用的测试方法。为了便于实际应用参考和自学,同时兼顾研究生教学内容,本书在内容选取上增加了现代测试技术与应用这些技术的外弹道试验及其数据处理等方面的内容,特别是在试验与数据处理方面增加了专门章节详细介绍,以满足当前教学和科研的需要。为便于学习和查阅,本书在结构的安排上以外弹道试验的测试对象为主线,针对性地融入现代试验与测试理论和测试技术知识,增加了近些年新出现的外弹道试验理论和实验技术内容。

全书共分16章,各章相对独立,其中第3章~第12章介绍弹丸飞行状态参数的测试技术,主要包含弹丸飞行速度测试技术、地面落弹点坐标测量技术、立靶弹着点坐标测量技术、弹丸飞行轨迹测试技术、弹丸飞行姿态测试技术;第13章主要介绍用于外弹道试验现场观测、记录的高速摄影技术;第2章和第14章分别介绍外弹道试验所需的弹丸静态物理量测试技术和外弹道气象测量技术;第15章介绍从外弹道试验数据提取弹箭各种气动力系数的气动力辨识方法;第16章介绍弹箭制导与控制的半实物仿真试验技术。对于本科生教学,主要介绍第3章~第13章的部分内容;对于研究生教学,则在系统总结第3章~第13章内容的基础上,重点介绍第15章和第16章的内容,第2章和第14章可作为选讲内容,也可作为学生学习参考的内容。

本书由刘世平等同志合作编著,其中第7章由李岩副研究员编写,第9章由杨新民副研究员编写,常思江副研究员参与了第15章的编写工作,第16章由王旭刚副研究员编写,051基地的董斌工程师编写了§8.6的Weibel雷达简介,其余章节由刘世平研究员编写。全书由刘世平统稿。书中的基本内容取自作者多年的教学讲义,编者在撰写中参考了国内外专家、学者、工程技术人员和研究生的著作、论文和相关设备的技术资料。其中,部分照片、框图和曲线取自相关文献,少数内容是在总结相关论文的基础上改写而成的,编者无法一一列出,在此谨向这些同志表示衷心的感谢!

这里还要感谢北京理工大学朵英贤院士和南京理工大学博士生导师郭锡福教授的大力支持，他们对本书的评阅使本书内容更加充实，并为本书增添了更多色彩。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，编者乐于见到读者指出书中的错误和不足之处，并恳请批评指正。

编著者

2015年10月于南京理工大学

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	001
§1.1 实验外弹道学研究的任务及内容	001
§1.2 外弹道试验与靶场试验	001
§1.3 与外弹道试验相关的测量内容	004
§1.4 现代试验的测试系统及其构成	005
§1.5 外弹道试验设计与试验文件编写	006
§1.5.1 外弹道试验设计的基本要求	006
§1.5.2 试验计划、试验大纲与试验报告的编写	007
第 2 章 弹丸静态物理量测量技术	010
§2.1 弹丸外形尺寸测量	010
§2.2 弹丸质量、质心和质量偏心的测量技术	011
§2.2.1 物理天平测量法	011
§2.2.2 三点支承法	012
§2.3 弹丸转动惯量测量技术	014
§2.3.1 单线扭摆法	014
§2.3.2 三线摆测量法	016
§2.3.3 台式扭摆测量法	017
§2.4 弹丸动不平衡量的测量技术	020
§2.4.1 弹体动不平衡度的转动惯量测试法	021
§2.4.2 动平衡机测试法	022
第 3 章 弹丸速度的测时仪测量方法	024
§3.1 弹丸速度测量方法分类	024
§3.2 测时仪测速系统的构成	028
§3.2.1 测时仪测速方法及场地布置	028
§3.2.2 区截装置	029
§3.2.3 定距测时法测速的计时仪器	047
§3.3 测时仪测速及误差分析	057

§3.3.1	弹丸速度的测试参量分析	057
§3.3.2	测时仪测速误差分析	059
§3.3.3	线圈靶测速误差的来源与使用要求	065
§3.3.4	天幕(光幕)靶测速及其误差来源分析	069
§3.3.5	测速靶距的选择	072
§3.4	测时仪测速及数据处理方法	074
§3.4.1	测时仪测弹丸初速的方法	074
第4章	多普勒雷达测速及数据处理	088
§4.1	多普勒原理	088
§4.2	多普勒雷达的工作原理	091
§4.2.1	天线单元	092
§4.2.2	终端设备	096
§4.3	定周测时法与 DR582 雷达终端工作原理	097
§4.4	频谱分析法及终端工作原理	099
§4.4.1	采用频谱分析方法的终端处理系统	099
§4.4.2	多普勒弹丸速度信号的截断(加窗)处理	100
§4.4.3	多普勒弹丸速度信号的快速傅里叶变换(FFT)	104
§4.4.4	多普勒信号频谱分析方法的数据处理流程	112
§4.4.5	测速算法对测速精度的影响	115
§4.5	膛内测速雷达简介	116
§4.6	多普勒雷达测速及数据处理方法	118
§4.6.1	多普勒雷达测速数据的修正换算方法	118
§4.6.2	初速雷达测速及初速换算	121
§4.6.3	多普勒雷达测复合增程弹分段特征参数	123
第5章	地面落弹点坐标的测量及应用	127
§5.1	地面落弹点坐标测量试验场地及要求	127
§5.2	地面落弹点坐标人工交会测量方法	129
§5.3	单站平面极坐标测量法	132
§5.4	人造卫星定位测量法	137
§5.5	落弹点坐标的声学定位测量方法	137
§5.5.1	落弹点坐标的声学定位原理	137
§5.5.2	落弹点坐标声学测试系统的组成	139
§5.6	落弹点坐标的高速 CCD 相机交会测量方法	140
§5.7	测定落点弹道诸元的射击试验	143
§5.7.1	试验准备	143
§5.7.2	试验实施的主要环节	144
§5.7.3	射程和密集度换算方法	145

第 6 章 立靶弹着点坐标测量及应用	149
§6.1 立靶弹着点坐标测量	149
§6.2 声坐标靶	151
§6.2.1 金属杆式声坐标靶	152
§6.2.2 点阵式声坐标靶	153
§6.3 光电坐标靶	158
§6.3.1 阵列式光电坐标靶	159
§6.3.2 区截光电坐标靶	162
§6.4 线阵 CCD 坐标靶	167
§6.4.1 线阵 CCD 的基本工作原理	167
§6.4.2 线阵 CCD 立靶坐标测量系统	169
§6.4.3 CCD 坐标靶系统特性对测试过程的影响	172
§6.5 弹着点坐标测试在外弹道试验中的应用	173
§6.5.1 射击跳角及概率误差的测定试验	173
§6.5.2 立靶密集度试验	177
第 7 章 弹丸飞行轨迹的光学测试技术	180
§7.1 弹丸飞行轨迹光测技术及其发展概况	180
§7.2 光电经纬仪	183
§7.2.1 光电经纬仪的交会测量原理	183
§7.2.2 光电经纬仪的构成及其工作原理	186
§7.2.3 光电经纬仪与雷达的协同测试方法	192
§7.3 弹道相机	194
§7.3.1 概述	195
§7.3.2 弹道相机的基本组成和工作原理	196
§7.3.3 弹道相机的交会测量方法	200
第 8 章 弹丸飞行轨迹的雷达测量技术	205
§8.1 弹丸空间坐标(飞行轨迹)测量雷达简介	205
§8.1.1 单脉冲测量雷达	205
§8.1.2 相控阵测量雷达	207
§8.1.3 连续波测量雷达	210
§8.2 弹丸的无线电特性	212
§8.3 弹丸飞行距离的雷达测量原理	214
§8.3.1 脉冲法测距	214
§8.3.2 调频法测距	216
§8.3.3 距离跟踪原理	219
§8.4 弹丸飞行角度的雷达测量原理	221
§8.4.1 相位法测角	221

§8.4.2	振幅法测角	223
§8.4.3	自动测角原理	225
§8.5	雷达测试数据处理	227
§8.6	Weibel 系列雷达系统简介	228
§8.7	弹道测量雷达的发展	232
第 9 章	弹丸飞行轨迹的卫星定位测试技术	236
§9.1	卫星定位的基本原理	236
§9.1.1	三维空间定位原理	236
§9.1.2	GPS 卫星导航定位原理	237
§9.2	GPS 卫星导航信号的基本构成和伪距测时原理	238
§9.2.1	扩频通信的基本概念	238
§9.2.2	卫星导航信号的组成和调制方式	238
§9.2.3	伪码测时的基本原理	239
§9.3	GPS 卫星导航定位系统的常用坐标系	239
§9.3.1	地心惯性坐标系	239
§9.3.2	地球坐标系	240
§9.3.3	站心坐标系	242
§9.4	常用坐标系之间的转换	242
§9.4.1	大地椭球坐标系和大地直角坐标系的转换	242
§9.4.2	地球坐标系和导航坐标系之间的转换	243
§9.4.3	大地直角坐标系和发射基准坐标系 (又称 NUE 坐标系) 之间的转换	244
§9.4.4	地球坐标系和地面发射坐标系 (又称地面坐标系) 之间的转换	245
§9.5	GPS 卫星导航定位技术在弹道测试中的应用	246
§9.5.1	已知炮口和目标点坐标计算理论射向	246
§9.5.2	计算弹丸落点与目标点之间的射程偏差和射向偏差	246
§9.5.3	利用 GPS 实测弹道轨迹的数据处理方法	247
第 10 章	弹丸飞行姿态的纸靶测试技术	248
§10.1	纸靶试验及测试概述	248
§10.2	纸靶弹孔测试方法	251
§10.2.1	攻角纸靶弹孔测试方法	251
§10.2.2	弹孔形状参数与姿态角之间的关系	252
§10.3	攻角纸靶擦痕法	255
§10.4	弹丸飞行姿态的纸靶测试误差分析	257
§10.4.1	纸靶弹孔法的姿态角测量误差分析	257
§10.4.2	攻角纸靶擦痕法的姿态角测量误差分析	264
§10.4.3	飞行轨迹坐标测量误差分析	265
§10.5	纸靶测试方法与计算机图像采集处理	267

§10.5.1	纸靶弹孔图像采集与判读系统的组成	267
§10.5.2	纸靶弹孔图像的计算机判读方法	268
§10.6	纸靶法试验测弹丸气动力及弹道特征参数	270
§10.6.1	纸靶法测弹丸的起始扰动试验	270
§10.6.2	章动波长法测弹丸的翻转力矩系数	271
§10.6.3	螺线弹道法测弹丸的气动力系数	272
第 11 章	弹丸飞行姿态的靶道测试技术	274
§11.1	弹道靶道	274
§11.2	弹道靶道的测试设备与试验功能	277
§11.2.1	弹道靶道采用的测试技术	277
§11.2.2	弹道靶道的试验功能	279
§11.3	闪光阴影照相站	281
§11.3.1	闪光阴影照相原理	281
§11.3.2	闪光阴影照相光路	282
§11.3.3	闪光阴影照相站	284
§11.3.4	闪光光源	286
§11.3.5	逆向反射屏	287
§11.3.6	触发系统	288
§11.3.7	空间基准系统	290
§11.4	弹道靶道闪光阴影照相的图像判读处理方法	292
§11.4.1	靶道内采用的坐标系及其变换关系	292
§11.4.2	基准网格平面上物像之间的换算关系	293
§11.4.3	弹丸上任意一特征点的空间坐标换算	295
第 12 章	弹丸飞行姿态的弹载传感器测试技术	297
§12.1	弹载传感器测试系统简介	297
§12.2	太阳方位角传感器	300
§12.3	弹丸姿态地磁传感器	305
§12.3.1	地磁场的基本性质	305
§12.3.2	弹丸姿态地磁传感器介绍	306
§12.3.3	弹丸姿态的地磁传感器测试原理	309
§12.4	微惯性测量传感器	311
§12.4.1	加速度传感器	311
§12.4.2	角速率陀螺仪	315
§12.4.3	弹载微机械陀螺仪的主要性能指标	320
§12.5	弹丸飞行姿态的组合传感器测量	321
§12.5.1	惯性传感器组合测量	321
§12.5.2	其他传感器与三轴磁传感器组合测量	324

§12.5.3 陀螺仪/GPS 传感器组合测量简介	328
第 13 章 外弹道高速摄影技术	329
§13.1 高速摄影技术及其发展	329
§13.2 高速电影摄影方法	334
§13.2.1 高速电影摄影	334
§13.2.2 高速摄像	337
§13.3 等待式高速分幅摄影	341
§13.3.1 鼓轮式高速分幅摄影	342
§13.3.2 转镜式高速分幅摄影	343
§13.3.3 超高速数字分幅摄影	346
§13.4 高速扫描摄影方法	348
§13.4.1 弹道同步摄影的工作原理	349
§13.4.2 鼓轮式弹道同步摄影机的基本结构	350
§13.4.3 狭缝式弹道同步摄影的参数选择	355
§13.4.4 高速数字狭缝摄像机及其发展现状	356
§13.5 高速摄影在外弹道测试中的应用	358
§13.5.1 高速摄像(影)参数的选择方法	358
§13.5.2 高速摄像(影)在外弹道测试中的应用	363
§13.5.3 弹道同步摄影技术的应用简介	366
第 14 章 外弹道气象诸元测量	368
§14.1 气温的测量	368
§14.2 气压的测量	370
§14.2.1 动槽式水银气压表	370
§14.2.2 空盒气压表	371
§14.2.3 振动筒式气压传感器	372
§14.3 湿度的测量	373
§14.3.1 干湿球温度表	373
§14.3.2 毛发湿度表(计)	374
§14.3.3 电子式湿度传感器	375
§14.4 地面风的测量	376
§14.4.1 机械式风速计	376
§14.4.2 热力式风速计	378
§14.4.3 动压式风速测量仪	379
§14.4.4 超声波风速测量仪	380
§14.5 随高度分布的气象诸元测量简介	381
§14.5.1 高空温、压、湿探测的方法	381
§14.5.2 高空风探测方法	382

§14.5.3 GPS 探空系统简介	385
§14.6 能见度的观测	388
第 15 章 弹丸气动力系数辨识方法	389
§15.1 概述	389
§15.2 弹丸气动力系数的最小二乘准则的辨识方法	390
§15.2.1 最小二乘法准则的辨识方法	390
§15.2.2 线性最小二乘法	391
§15.2.3 显函数模型的非线性的最小二乘法	394
§15.2.4 C-K (Chapman-Kirk) 方法	395
§15.2.5 非线性最小二乘条件下的误差估计	399
§15.3 卡尔曼滤波方法	400
§15.3.1 系统模型	400
§15.3.2 卡尔曼滤波器	402
§15.4 最大似然函数法	403
§15.4.1 最大似然准则	403
§15.4.2 输出误差的参数估计方法	405
§15.5 弹道跟踪雷达测速数据辨识阻力系数	407
§15.6 纸靶试验数据的气动辨识	412
§15.6.1 数学模型	412
§15.6.2 纸靶测试姿态数据的气动辨识方法	412
§15.7 弹载传感器测弹丸转速数据的气动辨识	413
§15.8 太阳方位传感器测弹丸姿态数据的气动辨识	414
§15.8.1 太阳方位传感器的测量参数与观测方程	414
§15.8.2 弹丸气动力参数辨识数学模型 (状态方程)	417
第 16 章 弹箭制导与控制半实物仿真技术	420
§16.1 弹箭制导与控制半实物仿真系统的组成和功能	420
§16.1.1 制导控制半实物仿真方式及组成	420
§16.1.2 数学模型及器件	421
§16.1.3 仿真软件及算法	423
§16.2 弹箭的运动特性及运动控制仿真技术	425
§16.2.1 弹箭的运动特性	425
§16.2.2 角运动转台仿真——转台	425
§16.2.3 线运动平台仿真技术——平台	426
§16.2.4 目标与环境特性及仿真	427
§16.3 弹载卫星定位装置及定位信息仿真技术	429
§16.3.1 卫星定位装置的原理及信号模型	429
§16.3.2 卫星导航信号模拟器	431

§16.4 半实物仿真中力与力矩特性仿真	433
§16.4.1 舵机负载系统仿真	433
§16.4.2 压力仿真	434
§16.5 半实物仿真系统集成及实验技术	436
§16.5.1 弹箭半实物仿真的总体系统方案	436
§16.5.2 总体方案集成和接口技术	437
§16.5.3 半实物仿真试验设计及流程	440
附录 测试信号采样分析	444
附 1 信号数字化处理的基本步骤	444
附 2 数字信号的采样与量化	444
附 3 截断、泄漏和窗函数	447
附 4 离散傅里叶变换	448
附表	454
参考文献	467

第1章

绪论

§1.1 实验外弹道学研究的任务及内容

实验外弹道学是服务于外弹道理论和工程设计需要的专门学科，其包括外弹道试验与测试原理及方法研究、利用试验手段再现弹丸的空中运动和与此运动有关诸问题的研究，主要研究对象是与弹丸在空中运动相关的试验理论、与外弹道试验相关的测试方法，以及外弹道试验与数据处理方法。

实验外弹道学的内容涉及试验基础理论、外弹道试验与测试技术和外弹道试验数据处理以及试验分析等方面的内容。试验基础理论以测试信号分析理论、试验设计理论、误差理论和统计理论为基本内容，是外弹道试验理论和外弹道试验数据处理及试验分析的基础。外弹道试验与测试技术和外弹道试验数据处理及试验分析是实验外弹道学的主要内容。

外弹道试验与测试技术包含外弹道试验中各诸元参数的测量原理、方法和外弹道的试验原理、方法两方面的内容。前者主要研究弹丸在空气中的运动速度、飞行姿态、空间坐标和弹着点坐标等弹丸运动状态参数，外弹道试验数据处理中所需要的弹丸静态物理量参数（如弹丸尺寸、质量、质心位置、质量偏心、转动惯量、动不平衡角等）和试验现场条件参数（如气象条件、射击条件、场地条件等相关参数）的测量原理和方法；后者主要研究武器系统的研制、鉴定、产品定型、生产及使用过程中所需的外弹道特征量的获取和弹丸的技术战术指标验证以及射表编制等的试验原理和方法。

外弹道试验数据处理和试验分析主要以外弹道学理论为基础，采用数学的方法分析和处理外弹道试验测试数据，进行试验数据的误差分析和试验结果分析，并换算出外弹道特征参数和气动参数，以满足外弹道理论研究、弹道工程设计计算以及武器系统研制中弹丸飞行特性的诊断分析等方面的需要。实验外弹道学是弹道学的一个分支，是伴随着理论外弹道学和现代科学技术发展起来的一门实验科学。它以武器系统科研、生产和使用的实际需求为背景，研究设计和实施外弹道试验的原理和方法，寻求弹丸的飞行运动规律，分析影响弹丸飞行的各种因素，在武器系统的研制、生产质量检验、产品验收及使用过程中具有广泛的应用。

§1.2 外弹道试验与靶场试验

外弹道试验一般分为实验室试验和野外试验两部分。实验室试验以室内模拟试验为主，其中包括弹道靶道自由飞行试验、风洞试验和各种飞行现象的模拟试验。风洞试验是弹丸空

气动力学的专门试验，它将试验模型置于与实际气流相似的模拟流动中进行，以获得与实际情况相似的结果。靶道试验是在靶道中利用各种测试手段观测炮弹、火箭、导弹等各种弹体模型在自由飞行中的各种状态和现象，以获得有关的空气动力特征量和弹道特征参数。弹丸飞行姿态模拟试验是指采用弹体、弹体内腔模型、弹道控制目标探测或者弹丸姿态测量装置在各种试验转台上进行的弹丸飞行动力学半实物仿真试验，它可以模拟弹丸及其部件的多自由度运动。实验室试验的主要特点是：

- (1) 采用实弹外形几何参数和物理参数相似的模型，其中也包括部分实弹原型；
- (2) 在室内模拟弹丸在空中飞行的环境和条件，因而只能获得与实际情况相近的结果；
- (3) 试验直观、可靠、精度高，成本相对较低，多用于武器系统的初期研制。

野外条件的外弹道试验通常在靶场专门设置的露天靶道进行，为便于叙述，这里称之为外弹道靶场试验。外弹道靶场试验主要有弹丸自由飞行试验（这里指弹丸在无控条件下的空中飞行试验）和有控飞行试验。前者主要是无控弹药的弹道试验和有控弹药（如制导弹药、弹道修正弹药、末端敏感弹药等）的无控飞行试验，后者主要是有控弹药的开环飞行和闭环飞行的弹道（控制）试验。外弹道靶场试验一般以实弹或者与实弹几何参数和物理参数均相同的填沙弹或运载器，在野外实际飞行的环境下进行，并根据试验目的选用专门的外弹道测量仪器设备。

靶场试验并没有严格的定义，其概念和内涵非常宽泛，一般指各种武器系统在专门的试验场（靶场）进行的试验。靶场试验也包括火炮、弹药、引信等产品的研究、鉴定、定型及产品质量检验和验收等方面的外弹道试验。例如，在火炮弹药研究过程中常常要进行弹丸初速试验、阻力特性试验、飞行稳定性试验、射程试验和密集度试验、弹道一致性试验，以及针对某些专项研究的特殊需要进行的专门试验等。与实验室试验相比，野外靶场试验需动用更多的人力、物力，试验规模更大。

常规兵器的试验靶场主要承担武器系统的研制、技术鉴定、设计定型、产品检验等试验工作。早在 20 世纪初，国外技术先进的国家就相继建成了许多成规模的兵器系统试验靶场，到 20 世纪 60 年代末，美国各军种拥有的武器靶场或试验机构已达 80 余个，到 20 世纪 70 年代人们从中选定了 26 个（陆军 9 个、海军 8 个、空军 9 个）为国防部重点试验靶场。我国从 20 世纪 50 年代末开始创建常规兵器试验基地，经过 60 年的发展，特别是 21 世纪以来，常规兵器试验基地有了长足的发展，已初步具备了各种成系列的弹道测试手段，形成了初具规模的现代化靶场，并成为我国国防科技事业的一支重要力量。

靶场试验的内容很多，其包含围绕武器系统设计、试制、生产进行的各种静态试验以及内弹道、外弹道、终点弹道等各种弹道试验。外弹道试验只是其中一部分，它的分类方法有多种形式：

- (1) 按试验内容分类有单项试验和综合试验。单项试验的内容比较单一，通常以测试一种主要因素影响的参数为主，并分析这种单一因素对测试参数的影响。例如，弹丸的阻力特性是影响其飞行速度衰减变化规律的主要因素，通过测量弹丸飞行速度的变化规律可以分析弹丸的阻力特性，因此弹丸阻力特性试验是一种单项试验。单项试验主要用于理论研究、武器系统研制和产品改进等方面的各个环节，在应用时常常通过各种单项试验认识各因素对某些参数的影响规律或者测试某种参数的数值。这种试验对试验条件控制要求严格，是专题研究、产品研制等研究中的重要试验。综合试验是考察多种因素对某些参数的综合影响的试验，

试验通常侧重于检验多种因素对试验结果的综合影响,通常用来检验武器系统的综合指标是否满足要求,并从中分析和诊断影响系统综合指标的主要因素。这类试验一般只需控制各种因素及试验条件在满足要求的范围内即可。例如,火炮射击密集度是受多种因素影响的一项指标参数,射击密集度试验的目的一般是考察影响射击密集度的各种因素,以检验武器系统是否达到密集度指标,试验中一般只要求射击条件、弹药条件、火炮条件和气象条件符合图纸要求和试验规程的要求。因此,射击密集度试验是综合试验。

(2)按试验产品的种类分类有火炮试验、弹药试验和引信试验等。这种分类的试验可以较好地控制试验条件,分别研究武器系统各部分因素对整个系统的影响,以便找出产生影响的主要方面。例如,在检验弹药的性能试验中,必须按规定控制其他条件(如火炮条件、发射条件等),以使得这些条件不能影响对最后结果的评定,否则将可能得出错误的结论。一般说来,按产品分类的试验多用于产品研制和验收以及生产质量控制等。

(3)按试验项目分类有强度试验、寿命试验、尾翼张开试验、飞行控制部件张开试验、精度试验、射程试验、飞行时间试验、风偏试验、弹道一致性试验等。这些试验的目的非常明确,有些虽然不单纯是外弹道试验,但试验要用到一些外弹道试验参数作为评定指标。例如,火炮寿命试验需用立靶密集度、射程和弹丸飞行的章动角作为评定指标。

(4)按武器系统研制过程分类有摸底试验、研究试验、定型试验、鉴定试验、验收试验和使用试验等。这些试验由于目的不同,使用的武器及要求的试验条件差别较大。摸底试验是在对全系统或其中某部分的规律一无所知或知之甚少情况下进行的探索试验。这种试验通常没有其他具体的目的,总的目的是摸清情况以便确定后面研究的具体内容和方向。研究试验是探索和验证新规律的试验,其对使用的武器和试验条件的要求都比较严格,试验中常常会出现意想不到的情况,甚至多次失败。定型试验是检验研制的武器是否达到了预定的战术技术指标要求,并得出能否通过定型的结论。验收试验是对定型后生产的产品进行质量检验的试验,这类试验的条件一般按图纸要求进行,通过试验可以得出其产品质量是否达到验收标准的结论。鉴定试验主要是对科研产品和仿制品或转厂生产的产品性能进行技术鉴定,检验其性能是否达到规定的战术技术指标。鉴定试验还可以检验武器弹药的长期储存性能。使用试验包括操作勤务性能及各种专门条件(例如热带、寒区、风雨等气象条件)下的试验。

归纳起来,表 1.2.1 所示的各种类型试验均与外弹道试验密切相关。

表 1.2.1 与外弹道试验相关的靶场试验分类

靶 场 试 验																
按内容分		按产品分					按项目分				按进度分					
单项试验	综合试验	火炮试验	弹药试验	引信试验	火药试验	...	强度试验	精度试验	射程试验	...	摸底试验	研究试验	定型试验	鉴定试验	验收试验	使用试验

应该指出,上述分类说明靶场试验包含了整个武器系统的野外试验,是一个很大的范畴,实际上外弹道试验只是武器系统靶场试验的一部分,本书内容所述的靶场试验是指与外弹道试验相关的部分。例如,弹药试验在这里专指弹药试验中的外弹道试验部分。这种分类是不严格的,在试验分类名称上只是沿用了人们长期以来的习惯称呼,以使读者在实际工作中对这些称呼有一个大概的了解。