

炮兵现代弹药设计与 测试技术

陶声祥 殷希梅 王书宇 朱建生 编著

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

随着弹药研制水平的不断发展，新弹种越来越多，弹药结构也越来越复杂，传统的弹药逐渐演变为一个集计算机技术、微电子技术、控制技术等多种高新技术于一体的综合体。对于炮兵弹药而言，已由纯粹以榴弹、火箭弹为主的常规弹药发展为包含多种现代弹药（如电视侦察弹、通信干扰弹、末制导炮弹、弹道修正弹、简易制导火箭弹等）的现代弹药群体，既具有传统的爆破、杀伤、侵彻等硬毁伤作用，又具备实现战场态势感知、电子对抗、精确打击、高效毁伤和毁伤评估等功能。

炮兵弹药种类和作战功能日趋多样，结构日趋复杂，为弹药设计人员带来了一系列新的问题和挑战。例如，弹内装填物已由原来的单一炸药装填物发展为带有各种电子元件的弹载功能设备，弹药结构已不再是简单对称的旋转体，为了实现弹丸的静、动平衡，弹丸内部结构设计变得更为复杂，也要求有新的测试技术进行校核；由于现代弹药中各种脆弱的电子元件的出现，原来仅由弹丸装药和引信在膛内引起的安全性问题变得更为复杂与普遍，导致弹丸膛内安全性和抗过载设计面临更大的挑战；涉及多种现代高科技在内的现代弹药的研发过程较传统弹药牵涉的不同专业背景的参研人员更多，对设计人员的分工协作要求更高，同时资金投入更大，且要求研发周期更短，因此风险也随之提高，弹药设计的论证与优化过程则比以往更为关键。因此，传统的弹药设计过程中仅依靠设计人员的知识、经验和判断力以及靶场试验的做法已不能满足现

代弹药设计和研发需求。借助于现代计算机的虚拟设计、数值仿真等技术来完成弹药设计研发过程中的相关论证与优化，并代替相关靶场试验，这已成为一种必然趋势。

具备实现战场态势感知、电子对抗、精确打击、高效毁伤和毁伤评估等功能的新型弹载电子设备的出现，使弹药性能试验与测试技术也出现了新的内容。除了传统的内、外弹道和终点效应试验与测试技术外，还需要有专门针对某种弹载功能模块和电子设备的性能测试和故障诊断试验技术。

以上诸多新问题促使弹药设计人员在现代弹药研发中采用更为现代的弹药设计与试验测试技术。

本书对炮兵现代弹药（特别是新型炮弹）研发过程中所采用的新的弹药设计与测试技术进行归纳与梳理，以求达到对炮兵现代弹药设计研发现状和水平有较为全面和系统的认识。

全书共分5章，重点介绍现代弹药设计研发过程中所采用的新的设计与测试技术，并按照虚拟仿真技术到半实物再到全实物的实体测试技术层次进行介绍。

第1章，炮兵现代弹药总体设计技术：对炮兵新弹种总体设计技术进行介绍。

第2章，炮兵弹药虚拟设计平台技术：介绍基于PDM概念的炮兵弹药设计研发过程与数据管理的虚拟平台的构建技术。

第3章，炮兵弹药空气动力学数值仿真技术：介绍可对炮兵弹药外弹道空气动力特性及弹型优化问题进行数值仿真研究的通用数值仿真平台和专用数值仿真平台技术。

第4章，炮兵制导类弹药半实物仿真技术：以炮兵制导类弹药为例，介绍炮兵弹药研发过程半实物仿真技术的应用情况。

第5章，炮兵弹药动态测试技术：主要介绍在炮兵现

代弹药研发过程中所涉及的动态测试技术。

本书由陶声祥、殷希梅、王书宇、朱建生编著，其中，陶声祥负责第1、2章，朱建生负责第3章，王书宇负责第4章并统稿，殷希梅负责第5章。

编 者

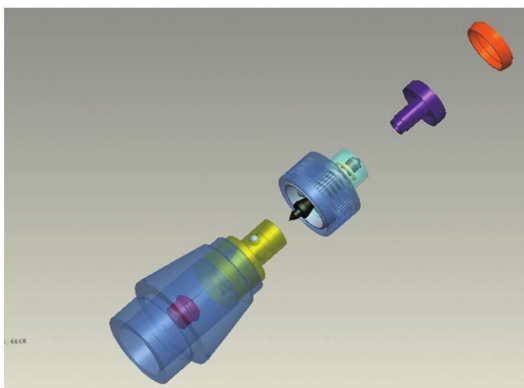


图 2 - 18 Pro/E 中某引信部件的分解

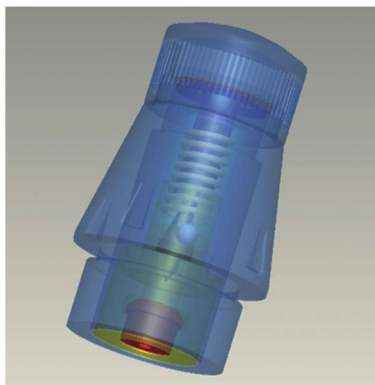


图 2 - 19 Pro/E 中某引信部件装配

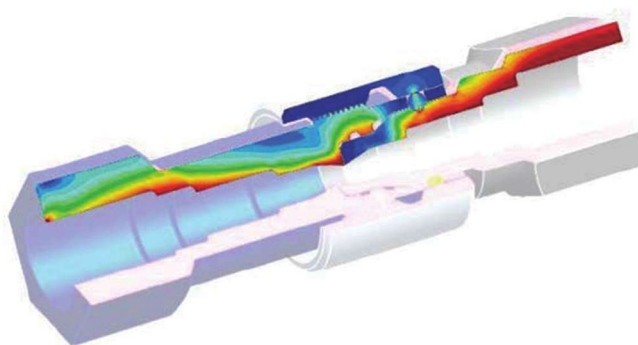


图 2 - 20 Pro/E Mechanical 所进行的数值分析

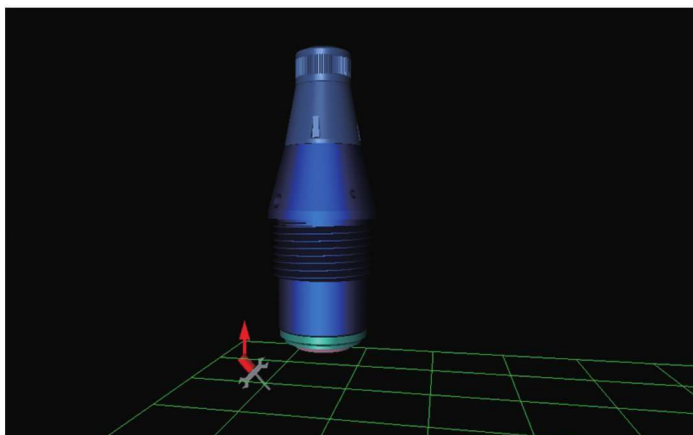


图 2-46 导入 Mockup 2000i2 软件中某引信的 Pro/E 设计模型

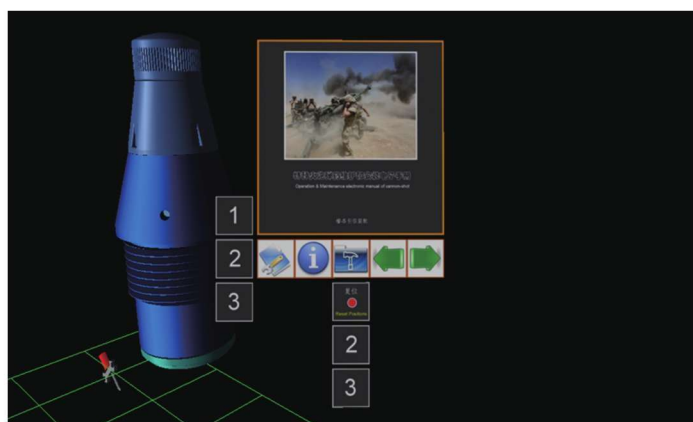


图 2-48 在虚拟装配场景中显示的安装手册

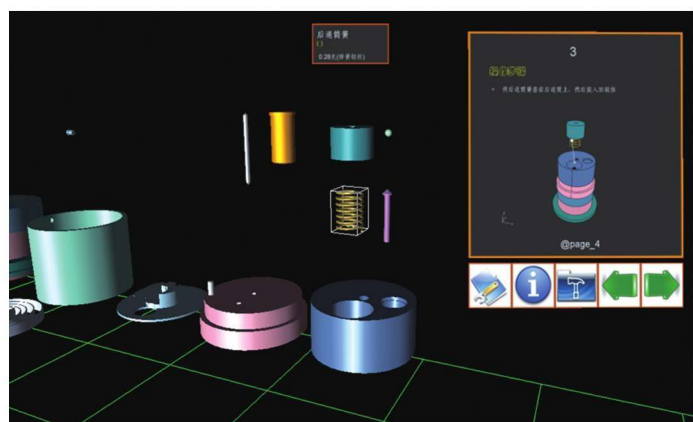


图 2-49 处于关联中的某引信电子手册页面和某具体安装动作

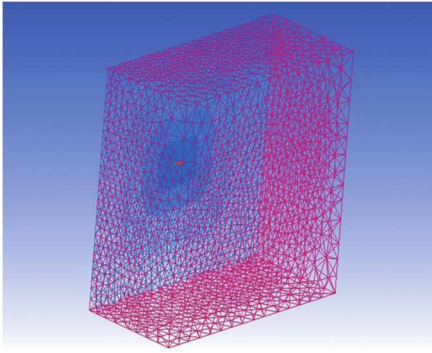


图 3-12 弹丸外流场网格图

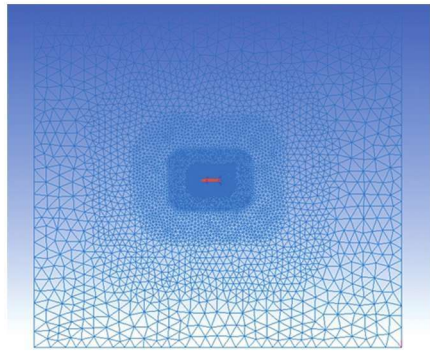
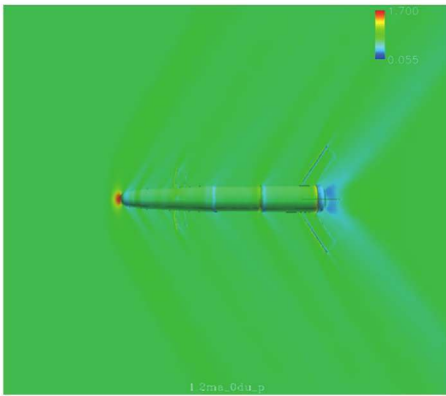
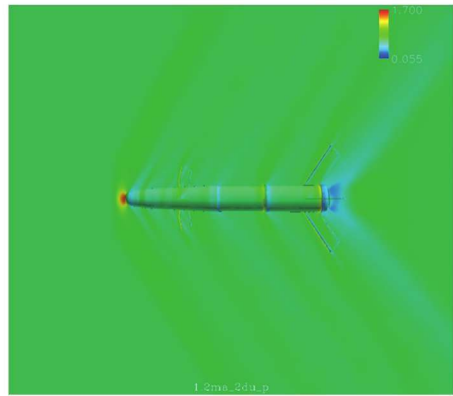


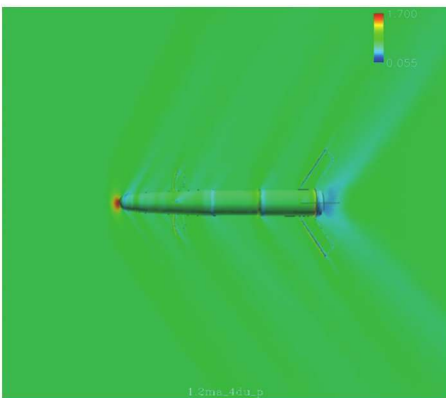
图 3-13 弹丸对称面上的网格分布



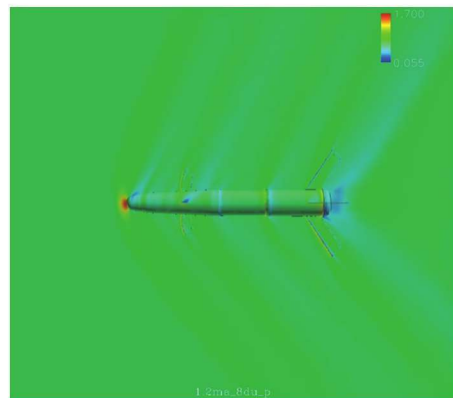
(a)



(b)



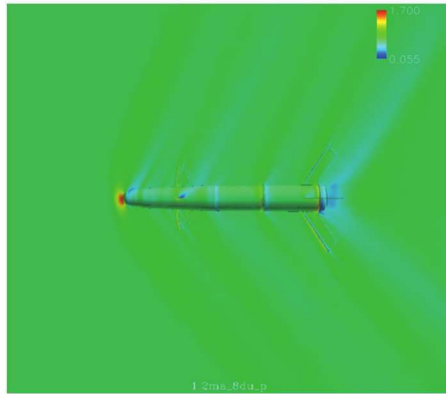
(c)



(d)

图 3-14 速度为 $1.2 Ma$ ，不同攻角下的外流场压力分布云图

(a) 攻角为 0° ；(b) 攻角为 2° ；(c) 攻角为 4° ；(d) 攻角为 6°



(e)

图 3-14 速度为 $1.2 Ma$ ，不同攻角下的外流场压力分布云图（续）

(e) 攻角为 8°



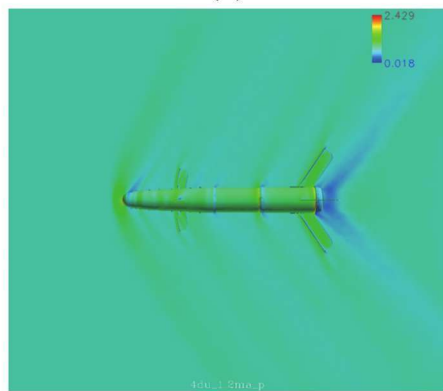
(a)



(b)



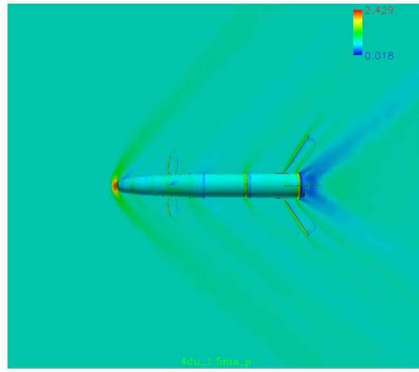
(c)



(d)

图 3-15 攻角为 4° ，不同速度下的外流场压力分布云图

(a) 速度为 $0.6 Ma$ ；(b) 速度为 $0.8 Ma$ ；(c) 速度为 $1.0 Ma$ ；(d) 速度为 $1.2 Ma$



(e)

图 3-15 攻角为 4° ，不同速度下的外流场压力分布云图（续）

(e) 速度为 $1.5 Ma$

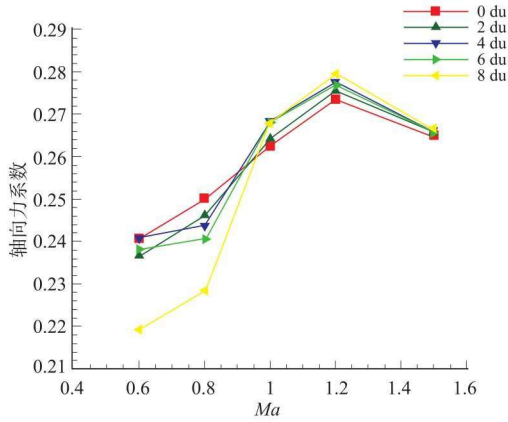


图 3-16 轴向力系数随马赫数变化的曲线

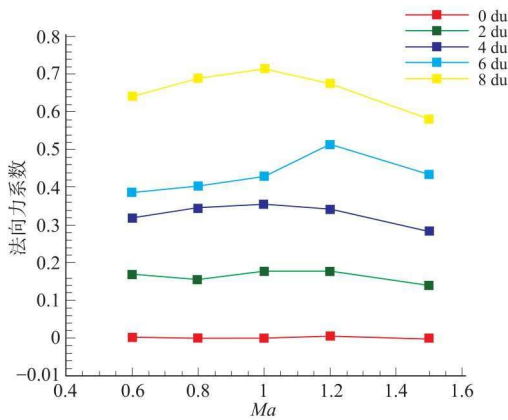


图 3-17 法向力系数随马赫数变化的曲线

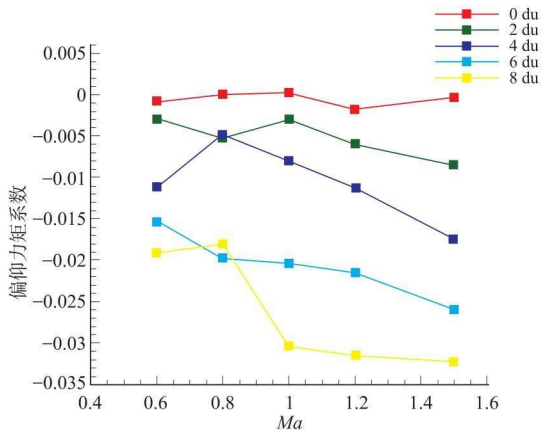


图 3-18 俯仰力矩系数随马赫数变化的曲线

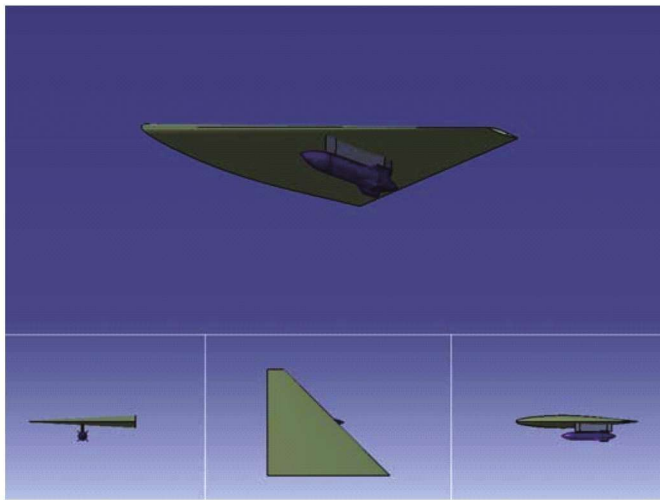


图 3-19 WPSF 模型及其三视图

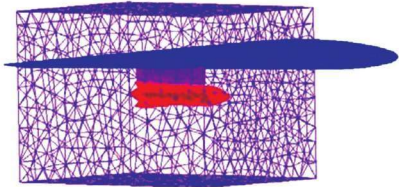


图 3-20 WPSF 模型重叠
网格示意

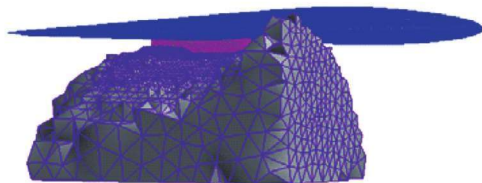


图 3-21 WPSF 模型子网格
“挖洞”后的计算体积

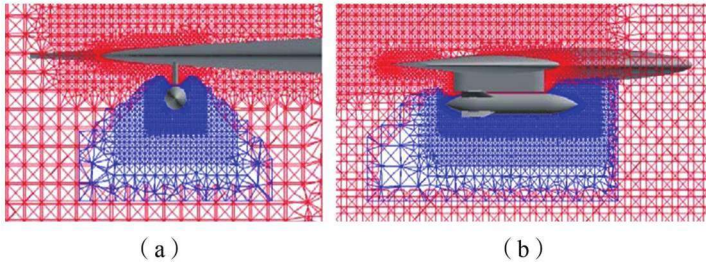


图 3-22 WPSF 模型网格“挖洞”后的纵切面和横切面
(a) 纵切面; (b) 横切面

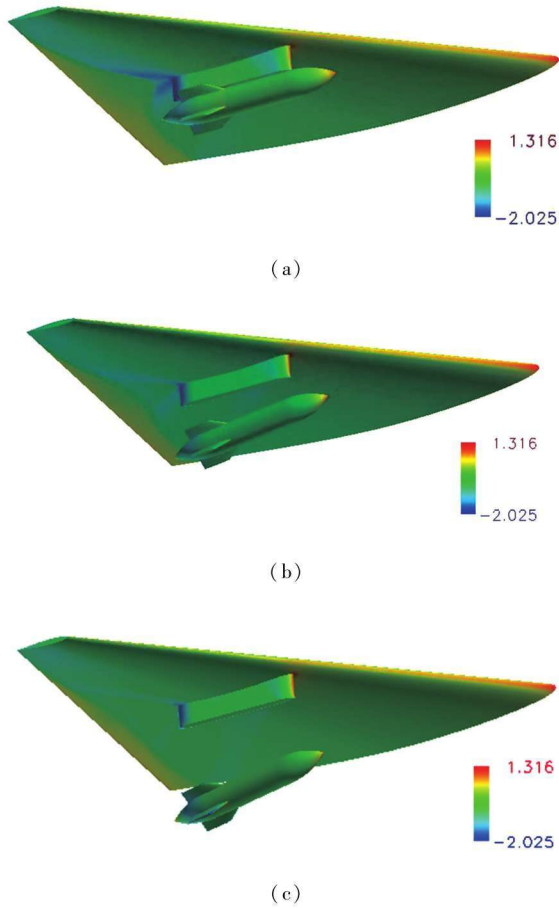


图 3-23 不同时间的物面 C_p 图
(a) $t=0$; (b) $t=0.15$ s; (c) $t=0.30$ s

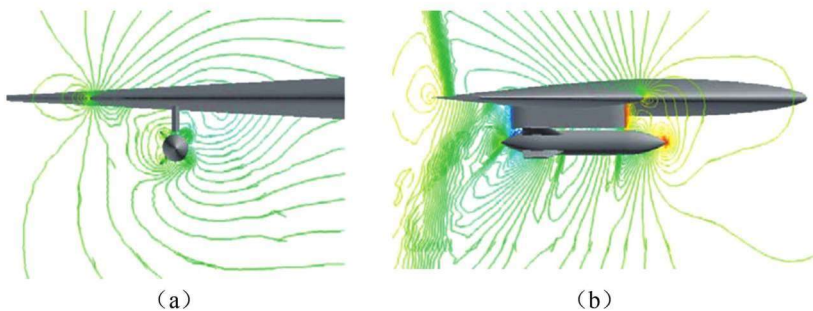


图 3-24 $t=0$ 时的等 C_p 线纵切面和横切面

(a) 纵切面; (b) 横切面

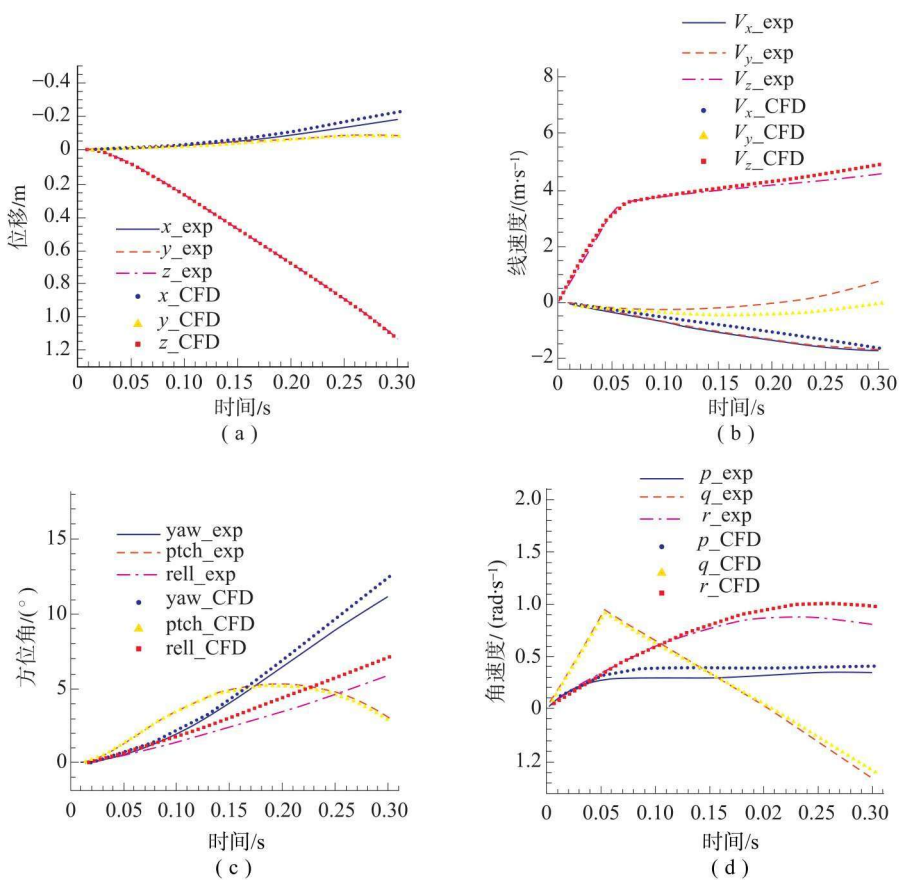


图 3-25 计算结果和试验数据在一个时间步的对比

(a) 外挂物质心位移变化量 (机翼体轴系); (b) 质心线速度 (机翼体轴系);
 (c) 外挂物姿态角变化; (d) 外挂物角速度 (外挂物体轴系)

目 录

CONTENTS

第 1 章 炮兵现代弹药总体设计技术	001
1.1 炮兵现代弹药研发阶段分析	001
1.2 炮兵现代弹药总体设计要求	002
1.2.1 战场环境要求	003
1.2.2 力学环境要求	004
1.2.3 战术技术要求	004
1.3 炮兵现代弹药总体设计内容	005
1.3.1 总体方案选择及结构设计	006
1.3.2 弹药威力设计	007
1.3.3 弹丸发射强度及安全性设计	008
1.3.4 引战配合	010
1.3.5 弹载设备的抗过载设计	010
1.3.6 减速减旋设计	010
1.3.7 任务设备的精确投放设计	011
1.3.8 弹载供电方式设计	011
1.4 炮兵现代弹药设计技术	011
1.4.1 抗过载技术	011
1.4.2 减速减旋技术	012

1.4.3	精确投放技术	012
1.4.4	新型炮弹数据链技术	014
1.4.5	高速运动成像技术和图像处理技术	014
1.4.6	模拟仿真技术	015
1.4.7	试验测试技术	016
1.4.8	基于PDM的炮兵现代弹药一体化研发协作技术	019
第2章	炮兵弹药虚拟设计平台技术	020
2.1	基于PDM的弹药一体化虚拟设计平台概述	020
2.1.1	PDM的基本概念及发展历史	020
2.1.2	基于PDM的弹药虚拟设计平台的构建方案	025
2.2	基于Windchill的弹药虚拟设计平台的系统组成	027
2.2.1	弹药虚拟设计协作环境	028
2.2.2	弹药虚拟设计平台CAD软件	038
2.2.3	弹药虚拟设计平台CAE软件	041
2.2.4	弹药结构虚拟装配训练环境	042
2.3	基于Windchill平台的弹药科研项目管理	043
2.4	基于Windchill平台的弹药研发设计数据管理	047
2.4.1	弹药一体化虚拟设计数据管理的规划实施	048
2.4.2	弹药虚拟设计协作环境与CAD软件数据交互的实现	054
2.4.3	弹药虚拟设计协作环境下CAD与CAE数据交互的实现	058
2.4.4	CAD软件与弹体结构虚拟装配训练环境数据交互的实现	062
2.5	基于虚拟装配训练系统的弹药结构虚拟装配训练	062
2.5.1	弹药虚拟装配训练系统功能及解决步骤	063
2.5.2	弹药虚拟装配训练系统基本组成	063
2.5.3	弹药结构三维场景虚拟装配训练过程实现	067
第3章	炮兵弹药空气动力学数值仿真技术	070
3.1	通用数值仿真平台	070
3.1.1	ANSYS概述	070
3.1.2	FLUENT概述	077
3.2	空气动力学数值仿真平台——Cmrflow	084
3.2.1	Cmrflow软件的特点及组成	084

3.2.2	Cmrflow 软件模块介绍	086
3.2.3	Cmrflow 软件的求解步骤	096
3.3	基于 Cmrflow 的空气动力学问题数值仿真算例	098
3.3.1	某型末制导炮弹	099
3.3.2	WPSF 模型的分离计算	103
第 4 章	炮兵制导类弹药半实物仿真技术	109
4.1	概述	109
4.2	图像类制导弹半实物仿真平台的总体设计	111
4.3	半实物仿真相关参数的确定与计算	116
4.4	目标仿真系统	122
4.4.1	功能及结构	122
4.4.2	软件方案	123
4.4.3	技术实现	128
4.5	制导弹多功能测试转台	134
4.5.1	系统功能	134
4.5.2	设计方案	135
4.6	空中陀螺稳定平台	145
第 5 章	炮兵弹药动态测试技术	149
5.1	高过载测试技术	149
5.1.1	测试内容	150
5.1.2	测试方法	152
5.1.3	测试设备	153
5.2	离心测试技术	157
5.2.1	旋转受力分析	157
5.2.2	离心试验机	158
5.2.3	旋转过载试验机	160
5.3	特征参数测试技术	162
5.3.1	测量原理	162
5.3.2	弹特征参数综合测试仪	171
5.4	弹载存储测试技术	173
5.4.1	工作原理	173

5.4.2 弹载信号采集和记录	174
5.4.3 弹载记录仪	176
5.5 弹丸飞行姿态测试技术	177
5.5.1 太阳方位角遥测技术	178
5.5.2 基于摄影测量学的遥测技术	179
参考文献	183

第 1 章

炮兵现代弹药总体设计技术

1.1 炮兵现代弹药研发阶段分析

炮兵现代弹药的研发过程与传统弹药基本类似，从科研立项到产品定型，通常要经历的阶段如图 1-1 所示。

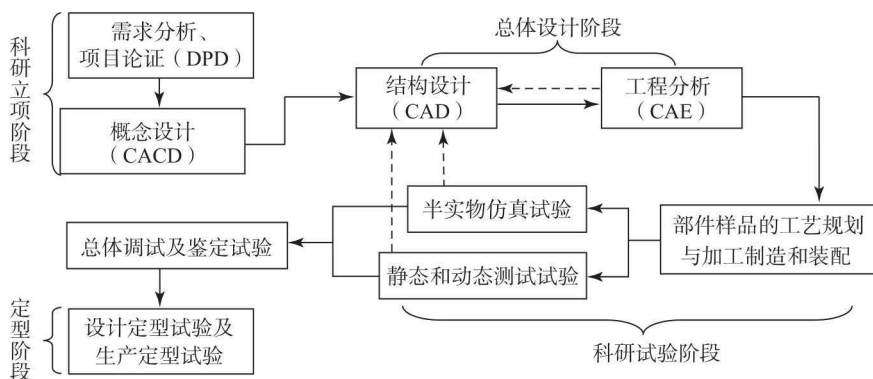


图 1-1 炮兵现代弹药研发阶段划分

1. 科研立项阶段

需求分析、项目论证、概念设计属于弹药研发立项阶段。

2. 总体设计阶段

炮兵现代弹药总体设计阶段包括结构设计阶段和工程分析阶段。其中，结构设计阶段除包括与传统弹药相同的弹药结构设计方面的内容外，还包括光电硬件结构设计、软件功能模块设计等，主要使用的设计软件为 CAD 软件和 EAD 软件等；在工程分析阶段，主要利用 ANSYS、LS - DYNA、FLUENT、