

破甲弹数字化设计与仿真系统

王庆^{1,2}, 赵捍东¹, 赵鹏铎², 张晓东¹, 李营^{2,3}

(1. 中北大学 机电工程学院, 太原 030051; 2. 海军装备研究院, 北京 100161;
3. 武汉理工大学 交通学院, 武汉 430063)

摘要:针对传统破甲弹研发周期长、经济耗费大等问题,基于多种 CAD/CAE 软件,在开发平台上构建了破甲弹数字化设计与仿真系统,使之能够完成结构设计、分析计算、自动建模和仿真分析等功能;实例解析表明:该系统在破甲弹设计开发中操作简便、人性实用,对破甲弹及其他弹药的研发有一定指导意义。

关键词:破甲弹;数字化设计;仿真;二次开发;聚能战斗部

本文引用格式:王庆,赵捍东,赵鹏铎,等.破甲弹数字化设计与仿真系统[J].兵器装备工程学报,2017(11):73-76,84.

Citation format:WANG Qing, ZHAO Handong, ZHAO Pengduo, et al. Research on High Explosive Anti-Tank Projectile Digital Design and Simulation[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(11):73-76,84.

中图分类号:TJ413. +2

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2017)11-0073-04

Research on High Explosive Anti-Tank Projectile Digital Design and Simulation

WANG Qing^{1,2}, ZHAO Handong¹, ZHAO Pengduo², ZHANG Xiaodong¹, LI Ying^{2,3}

(1. College of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2. Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China;
3. School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: In order to solve the problems such as long time period and large economic cost in the research and development of traditional high explosive anti-tank projectile, a digital design and simulation system is built on the development platform based on various CAD/CAE software, so that it can be completed structural design, analysis and calculation, automatic modeling and simulation analysis and other functions. Analysis of technology examples shows that the system is simple and practical in the design and development of HEAT projectile, which provides a theoretical basis for the future development of HEAT projectile and other ammunition.

Key words: HEAT projectile; digital design; simulation; secondary development; shaped warhead

破甲弹在以往反坦克、反装甲作战中扮演了重要的杀伤角色,但随着武器装备高新技术的不断发展,比如复合装甲、贫铀装甲、反应装甲和主动防护系统的出现^[1],传统破甲弹的优点受到压制。基于聚能装药^[2]反装甲过程中的诸多优点,当代战争中破甲弹的地位仍然不可取代,因此新型破甲弹的研发和研制迫在眉睫。

安二峰等^[3]对破甲弹的应用研究主要集中在装药结构优化方面,未能将整体结构与战斗部参数结合考虑,试验包含大量不理想数据,耗费比高。梅小宁等^[4]证明了UG二次开发在参数化建模中具有可行性和有效性,可以用于CAE系统或多学科设计优化体系。孙乐等^[5]和王国辉^[6]等通过数值模拟方法研究了破甲弹的侵彻效应,为破甲弹数字化设

收稿日期:2017-06-11;修回日期:2017-07-30

作者简介:王庆(1991—),男,硕士研究生,主要从事弹药毁伤与舰船防护研究。

通讯作者:赵捍东(1960—),男,博士,教授,主要从事弹药毁伤与弹箭模拟技术研究。

计与仿真计算起到了指导作用。智能化设计技术在常规弹药破甲弹研发设计中的应用,将现代化计算机编程、参数化设计和虚拟仿真等技术大量应用于破甲弹的数字化设计开发过程中,必将极大地促进武器装备技术创新发展。

1 系统总体方案设计

该系统基于 Visual Studio 开发平台,通过编程对 AUTO-CAD、UG、Fluent 等 CAD/CAE 软件,以及 Vega 等视景仿真软件的二次开发,有限元软件如 Hypermesh、ANSYS 的调用,将这些软件的功能集成到破甲弹数字化设计与仿真技术一体

化软件系统中,极大地解决了以往不同学科方向中的操作复杂等问题,破甲弹数字化设计与仿真技术一体化系统用户界面的开发,使用户对破甲弹的结构设计和分析计算、数据库管理显得更加方便、快捷,从而极大地提升了破甲弹的设计水平。

1.1 系统体系结构

基于多层次 CAE 的破甲弹数字化设计与仿真技术一体化软件系统,在设计过程中采用四层体系结构进行开发,即管理层 (Management Layer)、功能层 (Function Layer)、接口层 (Interface Layer) 和驱动层 (Driver Layer),具体系统体系结构如图 1 所示。

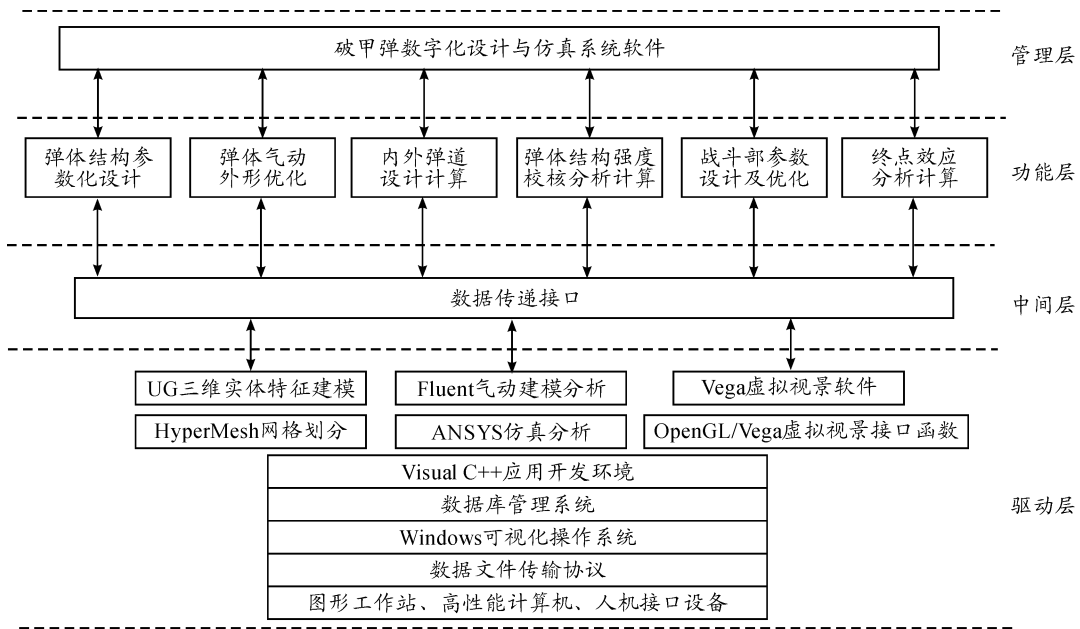


图 1 破甲弹数字化设计与仿真系统体系结构图

1) Management Layer 统揽整个软件系统,主要是通过对功能层的七大功能模块的开发和集成,实现软件系统的集成化和开放性管理,方便后续进一步集成破甲弹工艺设计、快速成型等功能。

2) Function Layer 主要面向用户人机交互,通过开发操作方便、使用快捷的人机交互界面来实现。对专业软件进行二次开发,建立方便用户使用的专用设计、仿真和优化环境。

3) Interface Layer 包括数据接口,数据接口对各子功能模块的模型、数据和文件等进行交换,为软件集成和用户交互提供基础。接口为开放式接口,对后续的功能模块给以支持。

4) Driver Layer 是构建整个软件的数据管理、三维参数化设计、虚拟仿真、虚拟试验系统开发的所有软硬件条件。UG 软件完成破甲弹零部件三维建模和装配,Hypermesh 软件完成破甲弹整体及战斗部的网格划分,Fluent 软件实现弹体气动外形优化设计及参数计算,ANSYS 软件实现弹体结构强度校核、战斗部优化设计和终点效应仿真分析计算,Vega 进

行虚拟装配和仿真试验系统的建模,数据库管理系统用来储存各种设计指标、结构设计参数以及典型破甲弹结构参数等数据,利用 Visual C++ 相关专业^[7] 计算软件,以及整个系统的开发。

1.2 软件功能构架

破甲弹数字化设计与仿真技术一体化软件系统,其功能构架如图 2 所示,主要由弹体结构参数化设计、弹体气动外形设计、内外弹道设计计算、结构强度校核、战斗部参数设计及优化、终点效应分析计算和系统数据库管理等功能模块组成。

弹体结构参数化设计主要包括弹体特征参数获取、初步参数化特征建模、弹体外形参数化设计、弹体内部结构参数化设计、3D 模型虚拟装配等。支持设计方案的快速生成,完成产品详细设计任务,同时为其他功能模块设计计算提供基础信息,而且根据其他功能计算的反馈,随时更改弹体结构,同时采用虚拟视景仿真技术进行开发,可实时查看 3D 模型效果,保证弹体不同结构的精确安装。

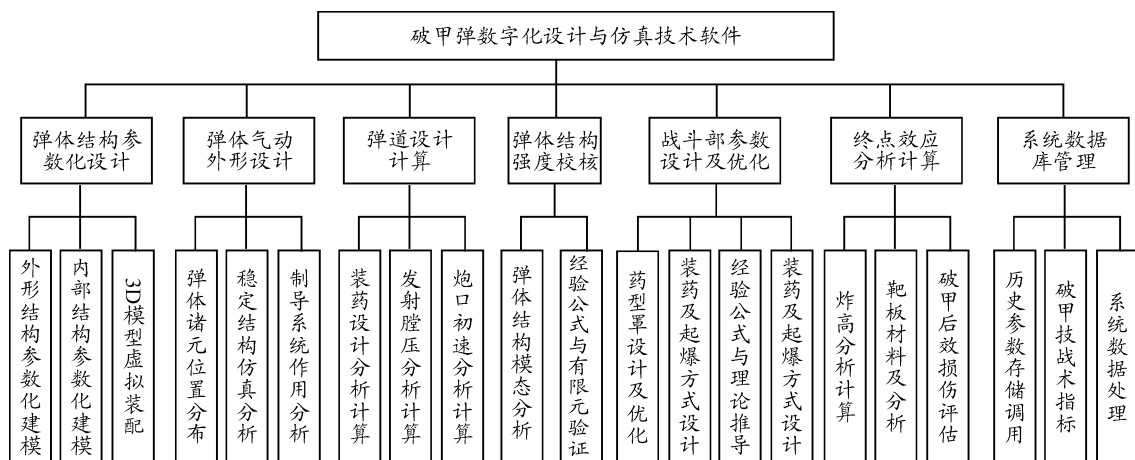


图2 软件功能示意图

弹体气动外形设计主要包括破甲弹发射到命中目标过程中的各种载荷建模和分析计算,气动布局优化设计,气动参数的计算等^[8]。在确定最优气动外形后,综合终点毁伤效应,对弹体结构实时优化。

内弹道设计计算主要包括装药设计分析计算、发射膛压设计分析计算、炮口初速分析计算等,外弹道分析计算主要包括速度、弹道倾角、射程、射高、偏航、俯仰角、偏航角、滚转角等,软件开发过程中通过 Matlab 编程针对内外弹道分析计算,主要是为产品设计人员和工程分析人员提供工程化 CAE 方法,对产品的性能进行快速分析与仿真,从而实现在产品投入加工前,尽可能多的暴露设计过程中的问题,解决研制过程中的关键技术,优化方案,提高武器研制质量。

弹体结构强度校核分析计算主要是通过经验公式和有限元分析方法对破甲弹各主要零部件的结构强度进行优化设计和仿真,在材料选择、结构优化和弹丸发射环境下的过载环境分析,均在经验公式允许的误差范围内,有限元分析方法也应与典型相关试验相对照,误差小于 10%。使其满足实际使用的技术指标要求,也为后续进一步改进奠定基础。

战斗部参数设计及优化是破甲弹设计与仿真过程中的关键技术环节,先进而又高效,适应不同装甲的战斗部是破甲弹发挥作用的基础,实弹试验参考价值高但是局限性大,可利用数值模拟预先提供参考。合理选用有限元软件,运用合适的算法、网格、材料强度模型、材料本构关系、边界条件和接触等保证计算精度,条件允许的情况下可以和有关试验对比,保证仿真的准确性。战斗部尺寸和其他组件符合装配要求。

终点效应分析计算包括炸高分析计算、靶板材料及分布

方式和破甲后效损伤评估等,面对复杂的战场环境,有限元软件已经足够完成不同目标靶板的数值仿真。合理的有限元模型及计算方法是重点,仿真过程具体操作要求参照战斗部参数设计及优化中的具体要求。

系统数据库管理主要是完成破甲弹设计过程中经验公式计算结果数据、仿真分析数据和各种设计技术指标的保存和调用。同时还能够完成数据的导入、导出、保存、修改和查询等任务。这些子功能模块主要是为了方便用户对各种型号的破甲弹模型参数、结构设计参数、仿真分析和公式计算结果数据等协同管理,提高使用效率。

2 关键技术实例解析

战斗部参数化设计及优化是整个软件系统中的关键技术环节,本文利用某型战斗部几何模型和仿真模型的数字化设计,说明关键技术环节的实现过程。

2.1 基于 UG 二次开发的参数化几何建模流程

UG/Open API 开发模式^[9]支持 C/C++ 语言,因此 API 程序可以方便地用到计算机语言中,并利用强大的计算机语言环境进行编译。战斗部几何模型设计过程中,首先启动程序调用,在 UG 环境下创建一个参数驱动模型,将这个模型保存起来作为模板,随软件运行次数增加,模板文件逐渐积累。再根据几何特征提取的结构设计参数,编辑模板文件中的表达式参数值,选择设计变量和输出参数,设计相关变量文件,更新模板文件表达式,最后生成战斗部三维模型。具体程序运行流程如图 3 所示。

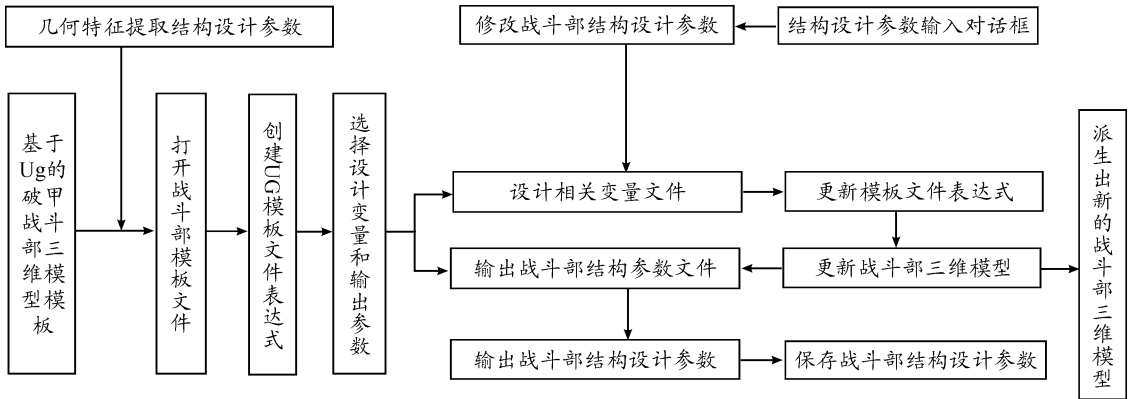


图3 参数化建模流程

某型战斗部参数化设计结果如图4所示,在这一模板提供的几何模型中,可修改和优化的参数包括壳体直径(D),壳体厚度(H),壳体长度(L),药型罩内径(d_1),药型罩锥角(α),VESF板^[10]锥角(β),VESF板厚度(d_2),辅助装药高度(d_3)。其他模板稍有不同。

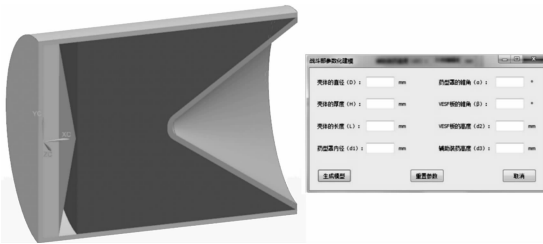


图4 某型战斗部参数化设计结果示意图

2.2 ANSYS/AUTODYN 软件调用示例

将建好的某型战斗部三维模型通过编程自动生成二维CAD模型,如图5所示。在CAD图上进行几何运算,为后续仿真分析提供方便,另一方面平面CAD图纸工程实用意义大,可直接用于实际生产。

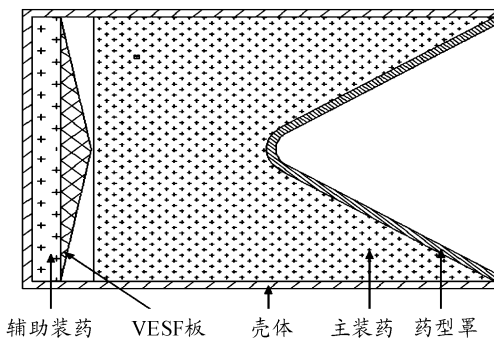


图5 战斗部二维CAD图

调用 ANSYS/AUTODYN 非线性动力学软件,进行某型战斗部聚能装药作用分析,数值仿真采用 Euler 填充算法,战斗部模型轴对称,网格在射流形成通道处局部加密,加密处网格大小为 $0.2 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ 。药型罩材料为 COOPER,采用 Shock 状态方程描述;壳体材料为 STEEL 4340,采用 John-

son-Cook 强度模型;主装药为 OCTOL,采用 JWL 状态方程描述。单位制为 mm-mg-ms。有限元模型及侵彻体成型过程如图6所示。聚能射流头部速度参照文献[1]中的 PER 准定常理论及有关经验公式,仿真所得结果在合理范围内,射流形态与文献[11]对比可信度很高。

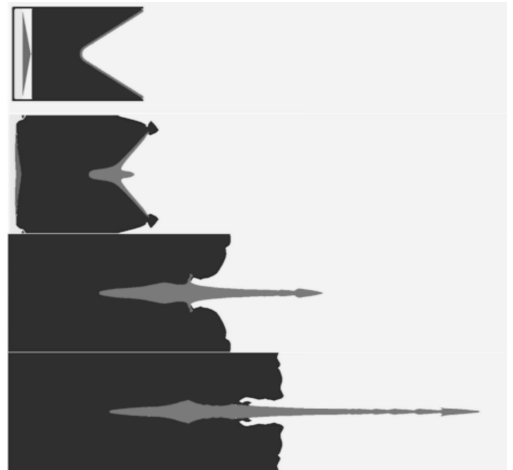


图6 战斗部聚能侵彻体成型示意图

3 结论

破甲弹数字化设计与仿真软件结合了 CAE 系统和多学科优化体系,为破甲弹的开发研制提出了一种新的思路。

需要说明的是,实例解析中展示的战斗部有限元模型及侵彻体成型过程为优化后的图形,侵彻体头部速度和直径为综合意义上的最佳结果,在战斗部参数化设计和优化过程中,进一步显示了一体化软件系统的诸多优点:

1) 将 Vega 虚拟视景软件运用到系统中,较普通三维制图软件更为直观,符合未来制造业发展趋势。

2) 集成环境下,实现了破甲弹核心部件——战斗部的智能化自动生成,使破甲战斗部的迅速更新换代成为可能。

3) 破甲弹数字化设计与仿真系统软件将整体都纳入考虑范围,避免了各学科方向独立操作导致不兼容的问题,同时为其他不同弹药的研发提供了一定研究基础。

(下转第 84 页)

以上这组图(如图6)可以直观的看出工质在不同距离上的组分占比情况,在120 s内工质所占体积分数在绝大多数区域超过1%,在180 s内工质所占体积分数在绝大多数区域超过5%

3 结论

工质在被空气带出喷口之后,随空气扩散到整个工作区域,其运动规律与空气流动规律相近,开始随空气形成的数个小涡流扩散,在涡流增强合并后在更大范围内扩散,在60 s内就可以均匀分布到整个工作区域,并随工质时间增加,在工作区域内的占比逐渐增大。通过计算,设计的装置在进行洗消作业时能在120 s内让工质散布到200 m远,50 m高的区域内,工质所占体积分数在绝大多数区域超过1%,在180

s内工质所占体积分数在绝大多数区域超过5%,能够满足污染压制相关要求^[4]。

参考文献:

- [1] 张建岗,姚仁太. 福岛核事故对中国的影响及应急经验[J]. 辐射防护,2012,32(6):362-372.
- [2] 丁立虎. 反应型压制去污剂喷洒车训练教材[M]. 北京:火箭军司令部出版社,2016.
- [3] 潘宁民. 发烟机动力装置发展趋势[J]. 航空发动机,1999(3):59-62.
- [4] HJ/T61—2001,辐射环境监测技术规范[S]. 2001.

(责任编辑 周江川)

(上接第76页)

参考文献:

- [1] 许先复. 反坦克武器与坦克之间的角逐[J]. 现代兵器,1987(8):1-5.
- [2] 隋树元,王树山. 终点效应学[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [3] 安二峰,沈兆武,周听清,王德润. 一种新型聚能破甲弹的应用研究[J]. 力学与实践,2004,26(3):68-71.
- [4] 梅小宁,杨树兴. 基于UG二次开发的参数化建模方法在优化设计中的应用[J]. 科技导报,2010,28(3):29-32.
- [5] 孙乐,张伟,黄俊卿,等. 破甲弹侵彻装甲板的数值仿真[J]. 装甲兵工程学院学报,2009,23(6):53-56.
- [6] 王国辉,李向荣,彭锐枫,等. 破甲弹对复合装甲毁伤数

值模拟分析[J]. 北京理工大学学报,2014,34(8):781-789.

- [7] 孙鑫,余安萍. VC++深入详解[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [8] 伍星,卢永刚,宋琼,等. 基于FLUENT的弹体气动特性计算与分析[J]. 兵器装备工程学报,2016,37(2):22-25.
- [9] 董卫正,田立中,付宜立. UG/Open API编程基础[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [10] BLACH E A, WEIMANN K. Generation of different detonation wave contours[C]//16th International Symposium on Ballistics San Francisco,1996(2):347-356.
- [11] 赵捍东,陈国光,董永香. 聚能装药射流的数值仿真研究[J]. 华北工学院学报,2001,22(3):211-214.

(责任编辑 周江川)