

基于 KBE 的导弹结构快速设计系统的研究与开发

陈 鑫, 刘献伟, 偏晓鹏

(中国空空导弹研究院, 洛阳 471009)

[摘要] 武器装备的快速性设计和优化是提升自主创新的重要手段。导弹结构快速设计系统是针对导弹结构设计复杂性和反复性的特点, 基于 KBE 的理念, 借助 UG 平台, 融入设计规则和经验教训的设计平台。通过该平台的开发, 实现了导弹结构的自动式建模和自导式建模, 以及对模型的分析计算, 生成可脱离该系统进行单独修改设计的导弹各舱段的知识特征模型, 从而满足了快速性和重复优化设计的需要, 大大提高了设计的效率。

关键词: KBE; 快速设计; 导弹结构; 知识特征模型

Research and Development of Rapid Design System for Missile Based on KBE Method

CHEN Xin, LIU Xianwei, PIAN Xiaopeng

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

[ABSTRACT] The rapid design and optimizing method for weapons is an important means to enhance independent innovation competence. This rapid design system of missile structure is a very useful tool which makes use of UG software and aims at the complicity and repeat of design experience. This system can complete automatic modeling and model analysis, and then can create knowledge characteristic model which can disengage from system and be modified for each cabin of missile. The system can meet the needs of rapid and repeat design so that can improve design efficiency.

Keywords: KBE; Rapid design; Missile structure; Knowledge characteristic model

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.06.076

武器装备(如航天器、军用飞机、战斗车辆、舰艇、现代兵器等)的快速设计与制造一直是国家的重要发展规划和重点内容。随着军工产品竞争的日益激烈,武器系统的技术含量和复杂程度在不断增加,而产品的寿命周期日益缩短。因此,缩短新产品的研发生产周期就成为军工企业形成竞争优势的重要因素。在目前设计软件 CAD/CAE 的基础上,结合多年积累的经验,开发导弹结构快速设计系统,在计算机上创建一个基于 3D 的,与物理样机一样的“数字样机”,通过“数字样机”进行多方案评估和功能验证,已成为提升自主创新的重要手段^[1]。

知识工程(Knowledge Engineering)的概念和技术产生于 20 世纪 70 年代,它是以知识为处理对象,借用工程化的思想,研究如何用人工智能的原理、方法和技术来设计、构造和维护知识系统的一门科学。KBE(Knowledge Based Engineering),即基于知识的工程,是利用经验、专家知识以及最终产品的每一阶段有关的知识来进行设计的一种手段。KBE 必须处理以下几个问题:知识规则表达、知识规则应用、知识规则扩展、知识规则实施等。知识融合(Knowledge Fusion)是基于某

种知识规则表达,对知识规则进行扩展和应用。知识按其作用分为以下 3 种类型。

描述型知识:以描述的方式来表示的知识,包括事实知识和判断知识;过程型知识:传统的数据处理将知识寓于程序中,即程序就代表着系统解决问题所使用的知识;元知识:可以衍生新知识的一种知识。

导弹结构快速设计系统中,(1)实现由粗到细的 3D 建模,实现了描述型知识;(2)将没有特定规律,难以归纳的设计经验教训,融合到设计过程中,实现了过程型知识;(3)允许对独立参数化的 3D 模型进行参数修改,可以衍生成多种模型,便于后期优化和知识积累,实现了元知识的应用。通过此设计系统的建设,可以有效减少方案阶段的物理试验次数,减少对物理样机的依赖,达到快速设计和制造的可行性分析。同时设计系统能为不同的研制阶段提供不同粗细程度的模型,实现多层次的协同设计与优化,能够使设计人员脱离繁重、重复建模验证过程,将大量的精力放在性能参数的合理匹配和性能评估上。设计人员通过多个比较方案,减少结构设计风险,快速形成设计方案,从而保障了设计质量,

缩短了新产品的研制周期。

1 快速设计系统组成

快速设计系统应用现已成熟的 UG/CAD 以及 CAE 基础上进行扩展、开发予以实现。在此环境下,以 VisMockUp 可视化工具和 TeamCenter 产品数据管理平台等为基础,以 UG/CAD 为主要设计工具,以 ADAMS、NASTRAN、FLUENT 等为主要分析工具,进行相应的结构设计。设计系统由以下 7 个模块组成。

(1) 管理模块: 主要功能是负责设计系统输入输出功能的管理和用户权限管理,是平台的底层管理程序;

(2) 自动式专家建模模块: 在专家设计向导指引下快速完成导弹的结构设计建模;

(3) 自导式独立建模模块: 在独立参数化设计向导的指引下完成导弹的结构设计建模;

(4) 结构分析计算模块: 实现与导弹结构相关的特征计算和优化分析等功能;

(5) 导弹模型数据库: 存储实际应用的导弹结构的三维数字建模,便于自动式专家建模的数据调用,并可随时添加模型数据;

(6) 基础特征数据库: 存储结构设计中所涉及的基础结构三维数字模型,便于自导式独立建模调用数据,并可随时添加模型数据;

(7) 知识数据库: 存储以往导弹设计过程中的经验教训及常用标准规范等,保证在设计过程中可以随时查阅相关设计资料,且在重要的设计步骤设置了经验教训提示,避免设计中出现类似错误。

2 快速设计系统工作流程

快速设计系统的工作流程如图 1 所示。

2.1 设计输入

系统的主要设计输入包括: 导弹结构原始的任务要求,例如弹架接口、电气接口、几何尺寸、质量特性、强度刚度特性以及弹身的气动外形要求、弹体的布局要求、气动载荷要求等。输入主要在系统的人机交互界面下进行。设计输入界面如图 2 所示。

2.2 设计建模

设计系统建模可以通过自动式专家建模和自导式独立建模两种方式完成,两种方式各有优缺点。

(1) 自动式专家建模。

自动式专家建模是在专家设计向导指引下快速完成导弹的总体结构设计建模。它是依据设计输入的数据与导弹模型数据库中所存储的以往实际导弹全弹模型即专家设计向导(即蓝本),进行公式换算,能够迅速生成总体结构模型,随后可以单独编辑某一特征参数,

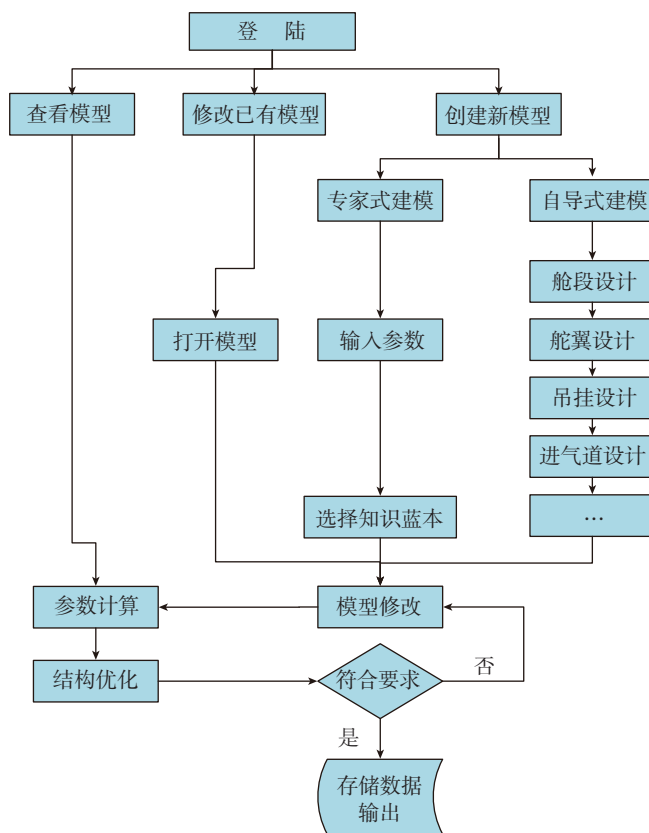


图1 系统工作流程简图

Fig.1 Workflow schematic diagram of rapid design system

图2 设计输入界面

Fig.2 Input interface of design

进行细节结构设计,最终完成全弹总体结构设计建模工作。蓝本输入界面如图 3 所示。

此种建模方法的优点是: 设计建模速度快,大大缩短了建模所耗费的时间; 模型具有独立的可修改特征,可以通过对单个特征参数的修改来反映设计者的创新思维; 生成的总体结构模型继承了以往实际弹种的成功案例,为后期的实体验证提供了良好的保障,能够在很大程度上增加结构可靠性和适应性。

由于数据库中的实际导弹模型有限,其气动外形、

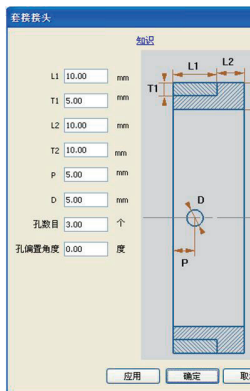


图3 蓝本输入界面
Fig.3 Input interface of blueprint

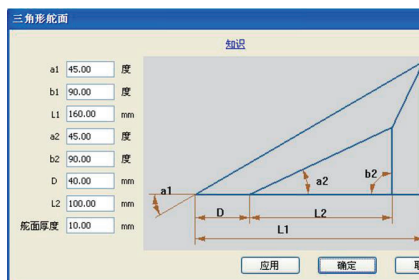
弹体舱段布局方式等存在一定的约束,这样就对设计建模的形式产生了一定的局限性,可能不能很好地反映设计者的设计理念,这是此种建模形式所存在的缺陷。

(2) 自导式独立建模。

自导式独立建模是在独立参数化设计向导的指引下完成导弹的总体结构设计建模。它是在参数化设计向导的指引下,调用基础特征数据库中的结构设计模型进行全弹各项结构特征的详细设计,包括舱段、气动立面、分离面、整流罩、连接形式等,而在各种详细结构特征设计中,也可以调用实际导弹此种结构的设计模型,按照设计向导的指引最终完成详细设计模型。套接接头和三角形舵面参数界面如图4所示。



(a) 套接接头



(b) 三角形舵面

图4 套接接头和三角形舵面参数界面

Fig.4 Parameter interface of connection and triangular rudder

此种建模方法的优点是:设计模型中的气动外形、弹体舱段布局方式可选方式多样,给予设计师充分的创新空间;模型参数详细,可以在细节上能够充分反映设计师的意图。

此种建模方法耗时长,要求设计师具有一定的设计经验,避免长时间的详细设计后无法形成可实现的模型。

2.3 结构优化计算

设计完成后,形成了全弹的总体结构模型,对模型进行各项分析,包括弹体的几何特征、质量特性、吊挂的疲劳特性、弹体的强度刚度特性等,并能够按照给出的优化目标进行质量最优、几何最优等优化分析,上述过程经过反复迭代设计后,最终的设计结果应和任务输入的要求一致。质量特性分析如图5所示。

| 名称 | 材料 | 舱段长度/半径/mm | 质量/kg | 质心位置 | 备注 | |
|----------|---------|------------|------------|-------------------|--------------------|-----------|
| 弹体 | 3000.00 | 60.7000 | -0.61,0.41 | 1556.70,0.00,0.00 | -0.80,0.00 此为主动段质心 | |
| 弹头 | 3000.00 | 101.65 | -0.61,0.20 | 1664.02,0.00,0.00 | -0.61,0.60 此为主动段质心 | |
| 下导引头舱段质量 | 铁 | 207.00 | 6.80 | -0.00,0.00 | 155.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 150.00 | 2.55 | 0.19,0.19 | 940.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 150.00 | 7.20 | -0.06,0.06 | 940.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 1591.00 | 18.40 | -0.53,0.53 | 1943.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 1591.00 | 18.40 | -0.53,0.20 | 1862.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 372.00 | 7.35 | -0.12,0.12 | 2799.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 下导引头舱段质量 | 铁 | 1209.5 | 3.00 | 1.00,0.00,0.00 | 1707.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段质量 | 铁 | 2795.5 | 2.40 | 0.00,0.00,0.00 | 2855.40,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段质量 | 铁 | 63.7 | 0.75 | 0.00,0.00,0.00 | 1794.40,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 0.00 | 0.00 | 204.51,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 0.00 | 0.00 | 496.40,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 0.00 | 0.00 | 1032.45,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 0.00 | 0.00 | 2625.51,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 0.00 | 0.00 | 2993.50,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 2.35 | 0.00,0.00,0.00 | 427.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 2.35 | 0.00,0.00,0.00 | 405.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |
| 舱段+舱段质量 | 铁 | 舱段+舱段质量 | 2.20 | 0.00,0.00,0.00 | 785.00,0.00,0.00 | 0.00,0.00 |

图5 质量特性分析
Fig.5 Quality analysis

设计系统最终的输出结果包括:弹体的布局设计、弹体各结构特征的详细设计、弹体的各项特性分析结果。设计所形成的一种新的模型状态可以时时添加到导弹模型数据库中,可以进一步丰富库内的模型案例。

3 软件应用实例

导弹任务要求输入的信息为:弹长(2240±3)mm,弹径(127±1)mm,质量(85±1.5)kg,质心位置(1210±15)mm。

(1) 自动式专家建模:使用专家设计向导,对任务输入进行公式换算,迅速生成总体结构模型,生成模型如图6所示。

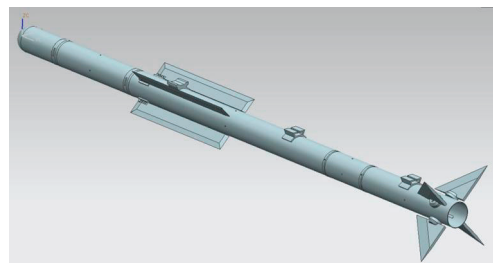
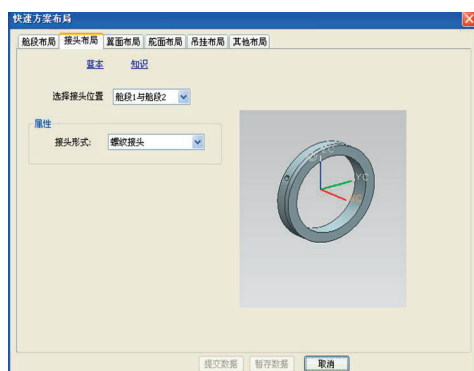


图6 自动式专家建模案例

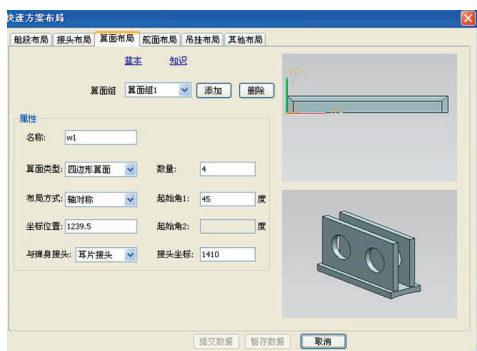
Fig.6 Automatic expert modeling case

(2) 自导式独立建模: 在独立参数化设计向导的指引下完成导弹的总体结构设计建模, 其中舱段接头布局及翼面设计建模如图 7 所示, 最终生成的模型如图 8 所示。

(3) 结构分析计算: 整弹静态分析结果, 包括整弹应力、应变和位移云图如图 9 所示。



(a) 舱段接头



(b) 翼面

图7 舱段接头和翼面布局

Fig.7 Section joints and wing layout

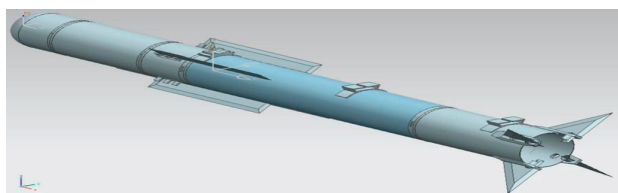


图8 自导式独立建模案例

Fig.8 Self-directed independent modeling case

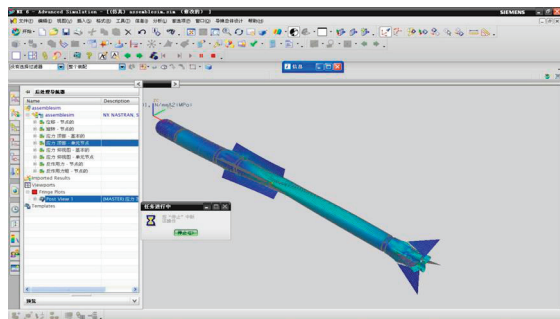


图9 静态分析云图

Fig.9 Analysis of static nephogram

4 结论

武器装备的快速性设计和优化是提升自主创新的重要手段。导弹结构快速设计系统将 KBE 的理念、现有的设计和分析软件、多年积累的经验教训这三者相互结合并进行信息化处理, 突出实体建模、综合优化、知识重用等特点, 为设计人员提供一个协调环境, 可以在 F 阶段用作任务分解、方案论证及方案设计的工具, 亦可在 C、S 阶段进行弹体结构特征的各项设计和校核、各种知识的学习、各类信息的管理等。

参考文献

[1] ZHENG J Q. An intelligent master model of computeraided process planning for large complicated stampings[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005, 13(2):103-112.

(责编 大漠)

(上接第75页)

的装配信息, 对提取的数据进行分析、处理、运算, 并按照用户要求以多种形式输出, 用户可将这些输出结果拷贝到 CAPP 等系统中, 从而高效、准确地辅助装配工艺文件的编制。后期可以将系统与 CAPP 系统进行通信, 直接将提取的装配信息放置在装配大纲的编制平台上。

参考文献

[1] 周秋忠, 范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用[J]. 航空维修与工程, 2008(3):55-57.

ZHOU Qiuzhong, FAN Yuqing. MBD technology application in aircraft manufacturing[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2008(3): 55-57.

[2] 郭具涛, 梅中义. 基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用[J]. 航空制造技术, 2011(22):74-77.

GUO Jutao, MEI Zhongyi. Aircraft digital assembly process design and application based on MBD[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(22): 74-77.

[3] 宁俊义, 杨晓飞. MBD 模式下工程信息的表达与传递[J]. 航空制造技术, 2012(6):77-79.

NING Junyi, YANG Xiaofei. Expression and transmission engineering information under MBD mode[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(6):77-79.

[4] 梅中义. 基于 MBD 的飞机数字化装配技术[J]. 航空制造技术, 2010(18):42-45.

MEI Zhongyi. Digital aircraft assembly technology based on MBD[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(18):42-45.

[5] 张敏, 苏兰海, 王君英. 基于 CAA 的 CATIA 用户自定义特征创建[J]. 机械设计与制造, 2008(9): 87-89.

ZHANG Min, SU Lanhai, WANG Junying. CATIA user-defined features create based on CAA[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(9): 87-89.

(责编 大漠)