

# 优化设计在导弹结构设计中的应用

罗志清 赵志军 李学锋

(中国兵器工业第 203 研究所)

# 优化设计在导弹结构设计中的应用

## The study of tactical missile's airframe digital optimization design

LUO Zhiqing Zhao Zhijun LI Xuefeng

NO.203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an, ShaanXi Province,  
710065.P.R. China

**摘要:** 现代产品设计中, 数字化设计和优化设计方法占有非常重要的地位。传统的战术导弹设计方法和流程逐渐不能满足现代导弹产品研发的需求。本文采用数字化设计方法和优化理念来提高导弹结构设计水平。讨论了传统导弹结构设计的流程及其存在的问题, 对传统导弹设计流程进行再造, 建立了集成优化理念和方法的导弹结构数字化设计平台和设计流程。案例研究表明, 该设计平台和设计流程可以有效的提高设计效率和设计质量, 得到更加合理和优化的设计结果。

**关键词:** 优化设计 数字化设计 设计流程再造

**Abstract:** Digital design and optimal are very important in modern design. The traditional design methods and procedure are not fit for the modern missile weapons research and development. Digital design methods and optimal ideas were employed to deal with this problem. The disadvantages of the traditional missile's airframe design procedure and the advantages of the digital design methods were discussed. A new concept of design process reengineering (DPR) was put forward. An integrated missile airframe digital design platform and the digital design procedure, which integrated the optimization ideas and methods, were developed. Case study showed that the design platform and the design procedure could improve the efficiency and quality of missile's airframe design, and get the more reasonable and optimal results.

**Keywords:** digital design, optimal design, design process reengineering (DPR)

## 1 引言

结构优化设计就是对各种工程结构设计问题, 如重要结构参数的选择、参数匹配、结构校核等, 充分利用现代数学、物理、力学以及计算方法的最新成就, 寻求最佳设计的一种理

论与方法。导弹弹体是导弹武器系统的重要安全部件，承受冲击、气动等各种载荷，承担着导引头、陀螺、战斗部、发动机、舵机等部件，其中不仅包括对振动、冲击敏感的元件，而且包含火工品，所以，其结构设计必须可靠。以往主要采用静强度设计方法设计，但随着导弹性能要求不断提高，传统的设计方法已不能满足需要。导弹弹体结构在满足可靠性要求的基础上，如何减轻质量，已是需要解决的重要问题之一。

结构优化设计包含拓扑优化、几何优化(形状和位置)、尺寸优化等方面的内容。它既体现了该领域问题由浅入深的发展过程，同时，又反映出设计者对问题理解认识的不断深入。结构优化经历 40 多年的研究与发展，目前，尺寸优化和几何优化技术已经比较成熟，在航空、航天、汽车等一些工业领域取得了成功的应用。而拓扑优化仍然处在发展的初期，在应用方面相对来说还比较少，但已经成为结构优化领域近年来的研究热点之一，最佳结构拓扑在结构优化设计中占有非常重要的地位<sup>[1, 2]</sup>。通过在导弹结构设计中，集成采用数字化设计、拓扑优化、形状优化和尺寸优化技术，对导弹结构进行了一系列优化研究，并建立了弹体结构的数字化设计、优化流程。实践研究表明，该设计平台方法和优化流程可以有效保证导弹结构优化设计的效率和质量。

## 2 传统战术导弹结构设计流程及其存在问题

### 2.1 传统战术导弹结构设计流程

传统结构设计中，包括航天器、飞机、导弹等结构设计，其结构设计技术的发展主要走以试验验证为主的路径。经典的结构设计方法将动态载荷化为静载、以静态设计为主，以试验验证为主要依据，通过设计、校核、再修改这样一个不断反复的设计过程(如图 1)。很显然这已经不能满足现代技术发展的需要。为了不断地满足提高导弹性能的要求，在保证结构的可靠性前提下，必须尽可能地减少结构的无用呆重。采用数字化设计手段，把优化设计理念纳入设计流程中，在考虑产品结构性能和设计目标的情况下，设计出满足工程要求的最优产品。

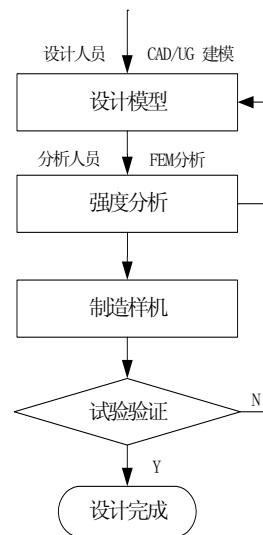


图 1 传统导弹结构设计流程

### 2.2 传统导弹结构设计流程存在的一些问题

1. CAD 设计与 CAE 分析之间隔离，脱节。设计人员对有限元分析知之甚少，分析人员对结构设计及制造工艺了解不多，设计人员根据经验、设计标准以及类似的产品进行设计，

而其强度、刚度、模态及稳定性等分析则需要转送分析人员进行分析计算，很多情况下，分析人员只起校核作用，如果不满足要求，则需要重新进行新一轮设计。

2. 优化设计主要是在设计完成后，如果方案不能满足性能要求才进行，在其设计结果基础上进行优化，虽然可以在一定程度上满足性能要求，但很难达到最优方案。主要是设计人员根据经验或分析人员反馈的一些信息进行改进。

3. 传统设计方法设计效率低、周期长，很难达到一次设计成功和设计最优。

### 3 导弹结构集成数字化设计优化平台及其优化设计流程

#### 3.1 导弹结构集成数字化设计优化平台

为了提高设计效率和设计质量，缩短设计周期，降低研制成本，需要对导弹结构设计流程进行优化、再造，即采用基于网络和 PDM 系统的集成设计、分析、优化平台，应用数字化设计手段，优化结构设计流程，把优化设计理念纳入到整个结构设计流程中。该平台采用现代数字化集成技术，集成了数字化设计、数字化分析、数字化仿真、一体化优化设计以及产品数据管理等技术，可以在集成环境下，高效率的进行导弹结构设计。集成设计平台结构如图 2 所示。

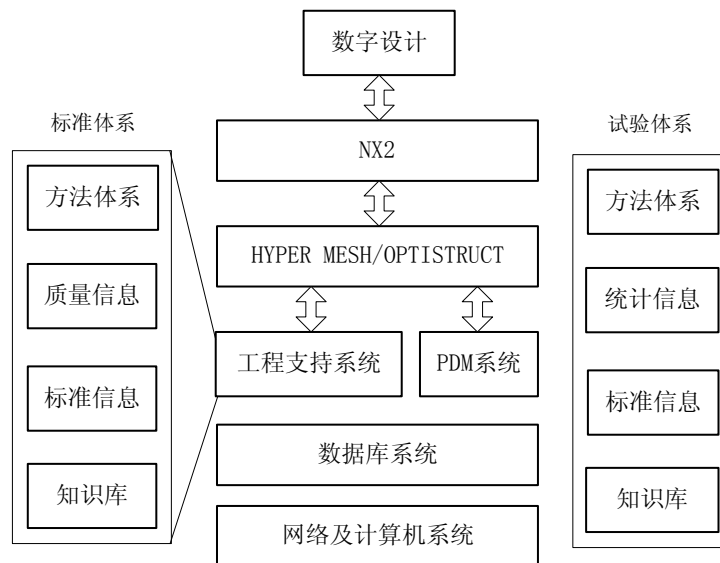


图 2 导弹结构集成优化设计平台

#### 3.2 导弹结构集成优化设计流程

由于导弹性能要求越来越高，导弹结构设计也不仅要满足强度、刚度、稳定性等因素，而且作为一类飞行器，结构重量也是关注的关键因素之一，结构设计优化也越来越显得日益重要。因此，需要在设计流程上来保证设计结果最优化。在概念设计阶段，就考虑结构的载荷状况、约束情况以及空间位置状况，设计最佳的传力路线和材料分布，得到最佳的拓扑结

构和最小的重量。优化技术及其设计工具在结构设计方面非常有用。结构优化可以集成在整个导弹结构设计流程中，设计流程示意图如图 3 所示。从图中可以看出，整个设计流程利用了 CAD 工具 UG NX2、CAE 分析工具和优化设计工具，从概念设计开始到初步设计到详细设计结束，优化理念贯穿在整个设计流程中。

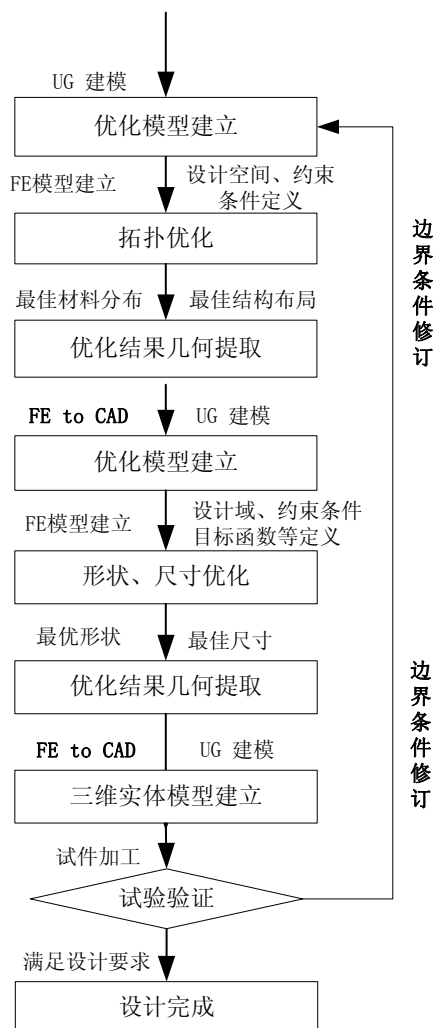


图 3 导弹结构集成优化设计流程

## 4 案例研究

图示的是某型导弹控制舱的 CAD 模型和有限元分析模型。该控制舱是导弹的非常重要的组成部件，控制舱内安装有控制舵机和发射发动机，发射发动机安装在控制舱中心轴线上的安装座上，它要承受并传递所有的发射冲击载荷到外围舱壁上。因此，控制舱结构设计在弹体结构设计中占据重要地位。控制舱的结构示意图及其拓扑优化设计域的定义如图 3 和图 4 所示。我们用 UG NX2 进行几何建模，用 HyperMesh 进行网格生成和建立载荷和约束，利用 Altair HyperWorks OptiStruct 7.0 为优化设计平台进行优化设计。

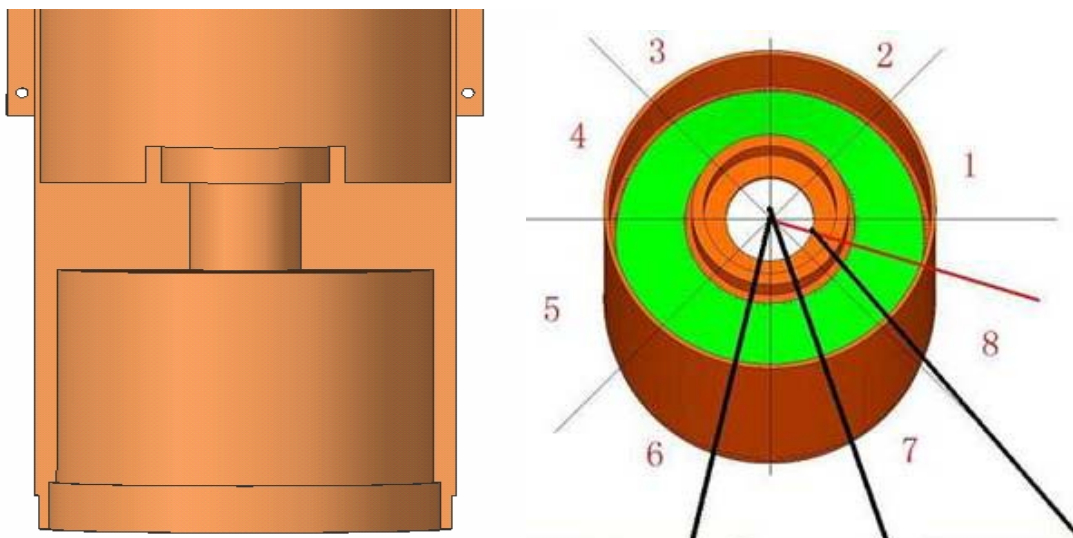


图 4 控制舱 CAD 模型及其设计域定义

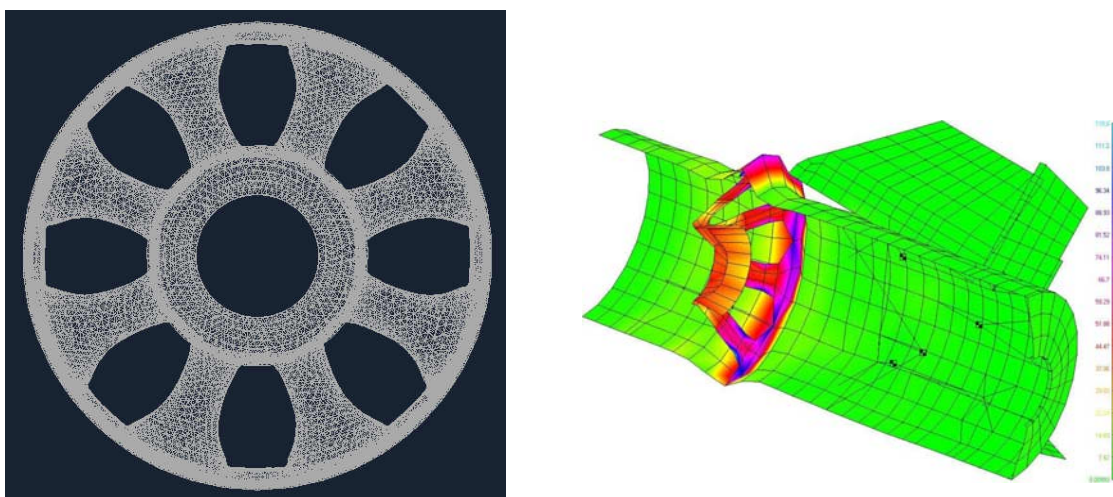


图 5 优化结果示意图

困扰该导弹研制的主要问题是超重，该舱体原设计采用铝合金，结构设计主要基于经验设计，重量 1150 克。在保证结构强度的前提下，采用优化设计和镁合金材料，重量为 740 克，减重 410 克，达到了设计目的。强度实验和飞行试验表明，该结构能够有效承担发射过载、飞行过载要求。

## 5 结论

根据导弹结构设计要求，利用数字化设计手段，集成了三维设计、拓扑优化、形状优化以及尺寸优化等工具，设计了导弹结构集成数字化设计、优化流程。案例研究证明，该设计

平台可以有效实现弹体结构的优化设计,即对其进行拓扑优化设计,得到一种最佳的传力途径和减重方案,而后对得到的结果进行形状优化设计,得到比较详细的结构状态。

## 6 参考文献

- [1] 任怀宇, 张铎总体结构优化在导弹总体设计中应用. 宇航学报, 2005, 26(10): 100-105.
- [2] 罗震, 陈立平, 黄玉盈, 张云清连续体结构的拓扑优化设计, 力学进展. 2004, 34(4): 463-476
- [3] Yehuda E. Kalay, The impact of information technology on design methods, products and practices, Design Studies. 2006 (27) 357-380.
- [4] Giovanni L, Giovanni M, Francois Beux. A hybrid genetic based optimization procedure for aircraft conceptual analysis. Optimal Engineer, 2006, 7: 151-171.
- [5] Zhen Luo, Jingzhou Yang, Liping Chen. A new procedure for aerodynamic missile designs using topological optimization approach of continuum structures. Aerospace Science and Technology.