

# 基于虚拟模型的大型装置零件反求设计方法

刘常乐<sup>①</sup> 郁杰<sup>①</sup> 武松涛<sup>①</sup> 王建军<sup>②</sup>

(①中国科学院等离子体物理研究所,安徽合肥 230031; ②上海同济同捷科技股份有限公司)

**摘要:**针对大型装置的无实物模型零件系统设计,介绍了一种新型的产品零件反求设计方法,阐述了其基本设计过程。首次提出了零件虚拟模型的概念,重点描述了虚拟模型的创建和数字化方法,并对零件 CAD 模型的优化设计方法进行了研究。最后利用设计实例说明了产品零件的反求设计过程。

**关键词:**反求设计 设计方法 虚拟模型 大型装置

## The Reverse Design Method of Large Device Parts Based on Virtual Model

LIU Changle<sup>①</sup>, YU Jie<sup>①</sup>, WU Songtao<sup>①</sup>, WANG Jianjun<sup>②</sup>

(①Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, CHN;

②Shanghai Tongji Tongjie Science &amp; Technology Co., Ltd.)

反求设计(Reverse Engineering)主要是基于产品零件的实物或者实物模型,利用现代设计理论、方法、技术和相关专业知 识进行产品仿制和设计的重要工程设计方法,其基本过程包括原型数字化和 CAD 模型重建两个主要阶段,它的本质是基于测量的工程设计。反求设计方法已经广泛地被认为是一种重要的产品设计方法,成为工程界不可缺少的技术手段,对于提高我国科技创新能力也有着十分重要的意义。

在机械设计领域中,反求设计主要应用在没有设计图纸或者设计图纸不完整以及没有 CAD 模型的情况下,按照现有零件的模型,利用各种数字化技术重新构造零件 CAD 模型的过程。另外,反求设计还可以应用在当设计工作必须通过实验或者测试分析才能定型

的零件设计时。比如在大型装置的设计领域,为了满足装置的设计要求,在装置概念设计提供的设计框架基础上需经过各种相关的分析和性能测试才能建立相应的产品零件模型,而且没有零件实物或者实物模型可供利用。这类没有现成零件或者实物模型的大型装置零件设计,本质上也属于反求设计。

### 1 大型装置零件反求设计系统

大型装置的工程设计是一个庞大的系统工程,其零件的设计一般滞后于总体框架的设计。零件的设计需要根据总体结构框架以及相关设计准则进行反求设计。反求设计的基本过程首先根据零件设计概念并基于装置的结构框架确定零件在总体结构中的空间位

中优选出加工设备。

### 4 结语

研究产品可制造性评价方法,采用分层递阶的评价策略,首先进行定性评价。如果零件不满足加工可行性,则直接提示其修改;若满足加工可行性且加工设备不唯一,则进一步进行定量评价,优选出加工设备。本文的研究工作已在某研究所“精铸涡轮气冷叶片可制造性分析”项目中得到了实际应用。本方法大大提高了产品的设计质量及设计人员的设计效率,取得了满意的结果。

### 参 考 文 献

- 1 熊光楞,徐文胜等.并行工程的理论与实践.北京:清华大学出版社,施普林格出版社,2001.

- 2 汪应洛.系统工程理论方法与应用.北京:高等教育出版社,1992.
- 3 宋玉银,肖亦晖,成晔等.产品可制造性及评价方法的研究.清华大学学报,1998,38(7):111~114
- 4 吴瑞荣,张玉云,王先奎等.面向对象的可制造性评价系统.清华大学学报,1998,38(2):72~75
- 5 吴光玉,高曙明,陈子辰.产品可制造性逐步评价方法.中国机械工程,2001,12(2):208~212
- 6 仲智刚,潘晓弘,程耀东等.并行工程下产品可制造性评价方法研究.机械,1999,26(4)

第一作者:刘红军,男,1972年生,西北工业大学机电学院博士研究生。研究方向:CIMS,制造业信息化。

(编辑 周富荣) (收修改稿日期:2005-11-04)

文章编号:51210

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

# 设计与研究 Design and Research

置,构造零件的设计空间,确定零件模型的基本特征,完成零件模型的虚拟化。然后基于零件的虚拟设计模型进行零件特征信息的采集,建立数字化零件模型库,并利用 CAD 技术进行零件模型的重建。初步的零件 CAD 模型必须结合装置的物理与工程设计原则进行相关的分析和优化设计才能最终符合设计要求。图 1 所示为大型装置零件的反求设计基本过程。

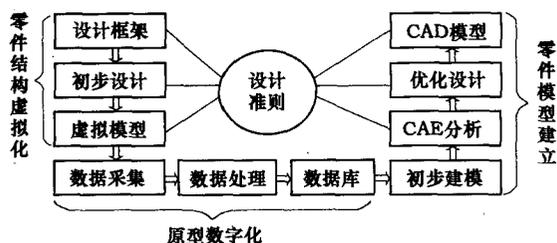


图1 大型装置的零件反求过程

在反求设计过程中,零件虚拟模型的数字化集中体现了基于结构空间的分析和测量方式,它实现了产品零件的无实物模型数据采集。CAD 模型重建可以借助如曲面建模、实体建模、参数化设计、虚拟装配等各种计算机辅助设计方法和技术手段完成零件模型的初步设计。在零件 CAD 模型的优化设计过程中,CAE 分析是必不可少的。对于大型装置的零件设计,要根据其特定的工况条件进行相关的分析研究,对不合理的结构模型进行重新设计和修改,完成零件的 CAD 模型构建。另外,对于虚拟模型所包含信息的不足可以依据设计准则通过装配仿真设计进行弥补。因此,这种基于已知设计框架的零件设计方法虽然不是基于实物模型的设计,但从本质上讲是基于测量的特殊的反求设计。

## 2 零件虚拟模型的构建和数字化过程

### 2.1 零件的虚拟模型概念及创建

零件虚拟模型是指不用制作和提供实物模型,根据设计任务所提供的设计框架结构以及零件的设计概念构建的虚拟设计空间。虚拟设计空间提供了设计零件结构特征的平台,它相当于一个真实存在的假想模型,零件特征的数字化将基于这个虚拟模型。

一般的反求设计过程是基于已经存在的零件或者零件的实物模型进行数据信息采集,然后再进行 CAD 模型重建<sup>[1]</sup>。与之相比,基于虚拟模型的反求设计并不需要零件的真实模型。这对那些没有实物或者实物模型的零件反求设计十分重要。如前所述,在一些大型装置的设计工作中,可能不会提供零件的实物模型,

一是因为装置的零件数目太多,二是时间和成本不允许。虚拟模型的创建解决了既不需要实物模型,又能提供可供数据采集的零件信息平台,为大型装置的零件反求设计提供了方便。

虚拟模型建立的关键在于零件结构空间的构建。在大型装置设计中,概念设计所产生的结构框架提供了不同零件设计的空间区域,它所处的结构模块的空间结构决定了零件的基本设计空间,因此需要对装置结构框架进行分析和解剖,包括根据设计要求设计一些相关的辅助结构来创建零件设计的基本结构空间等。零件的设计概念则是建立虚拟模型的重要指导原则。在这个原则指导下,在结构模块中创建零件设计空间,实现零件模型的虚拟化,从而初步确定了零件设计区域的空间位置、几何形状、基本尺寸等基本特征信息,且可以利用二维方式示意虚拟模型的相关基本特征信息。零件的虚拟模型是零件数字化和三维实体建模的基本依据。图 2 显示了虚拟模型创建的过程。



图2 虚拟模型构建

### 2.2 虚拟模型的数字化

对于有实物模型的零件特征数字化,通常可以直接借助具体的数据采集硬件来完成,如激光扫描仪、电磁测量仪器和超声波测量仪器等。这种基于实物或者实物模型并借助精确采集仪器进行的原型数字化其结果非常精确和全面。而对于虚拟模型的零件数据采集将更多地依赖于 CAD 软件的设计和检测功能、设计要求提供的设计信息以及有关的数据库设计管理软件等,而零件的虚拟模型并不具备零件实物或者实物模型所包含的庞大信息资源,因此数据采集的结果只是近似的和不全面的,但它提供了零件设计的信息,而且基本上能够满足下一步 CAD 建模设计的需要。

在零件虚拟模型的数字化过程中,三维数据采集主要根据虚拟模型所在模块的空间位置,进行几何特征、尺寸信息的采集,并基于二维数据库和设计准则进行数据处理。这样,设计区域内的所有虚拟模型都有其对应的三维基本特征信息。三维数据库的建立是三维实体建模的设计依据。因此与传统的零件模型数据采集不同,零件虚拟模型的数字化过程既基于测量,又同时更注重对数据的分析和处理。图 3 显示了零件虚

拟模型数字的过程,其结果产生了 CAD 模型基本的三维数据库。CAD 建模的方法前面也提到很多,具体的建模设计方法这里不再赘述。

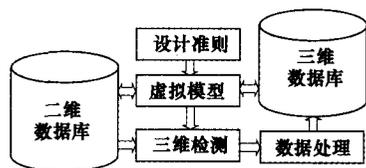


图3 虚拟模型数字化过程

### 3 CAD 模型的优化设计

优化设计的主要工作是根据 CAE 的分析结果以及相关的设计准则,应用 CAD 辅助设计方法对零件 CAD 模型进行重新修正。CAE(计算机辅助工程)技术是反求设计所必不可少的关键技术。它一般以三维实体造型为基础,进行工程分析,给优化设计提供设计依据<sup>[2]</sup>。目前 CAE 分析应用软件有 ANSYS、NASTRAN、MSC/MARC、ABAQUS、ALGOR 等。CAE 分析主要根据装置的使用场合和零件在装置中的具体工况条件进行相关分析研究,工程分析一般包括结构分析、热分析、电磁分析、流体分析以及相关的耦合分析等。工程分析的具体内容可以由大型装置的实际情况确定。通过工程分析,使 CAD 建模的初步结果得到验证,并对不合理的零件结构设计提出优化方案,重新修正设计。图 4 为优化设计系统,这个过程可以分布协同工作。

虚拟装配技术是根据产品的形状特点、精度特性真实地模拟产品的三维装配过程并且以交互的方式控制产品三维模型的装配过程,同时还可以对虚拟产品进行实时的特征修改设计,它可以作为实现零件 CAD 模型特征信息修改设计的平台。

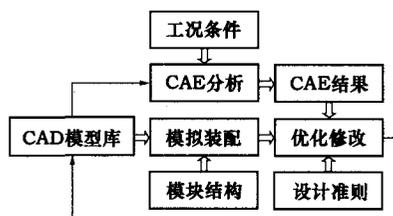


图4 零件优化设计体系结构

模型修正设计基于虚拟装配的可视化平台进行,并把优化修改的结果不断反应到 CAD 模型库里。优化结果可以进行再次分析验证,直到符合设计要求为止。基于虚拟装配平台的模型优化修改设计实现了资

源的共享,且人机交互性强,操作方便。因此这种优化设计既弥补了虚拟模型信息的不全面,又体现了计算机软件技术的集成应用,方法简单、实用。

### 4 设计实例

以下为 ITER(国际热核聚变反应堆)真空室内屏蔽结构的屏蔽零件——屏蔽单元的反求设计过程。

图 5、6 为真空室内屏蔽结构零件虚拟模型创建以及模型数字化过程。首先根据屏蔽结构空间特征和屏蔽单元的设计概念,把这个区域设计成 10 个虚拟模型(图 6),包括了所有虚拟模型的二维标签、基本尺寸和基本形状以及空间位置等。将虚拟模型数字化,这个过程需要对采集来的数据按照二维设计的结果进行分析设计,包括每一个虚拟模型的具体尺寸信息采集、几何特征设计。图 5 为 CAD 模型的数据采集示意。利用三维软件进行实体建模,构建零件的初步实体模型,并对初步的 CAD 模型进行有限元分析。屏蔽单元在真空室内部主要受到自身重力、电磁力的作用,尤其是在等离子体垂直破灭时,该局部区域的电磁力将达到瞬间最大值: X 方向 -825 kN; Y 方向 5 740 kN; Z 方向 414 kN<sup>[3]</sup>。

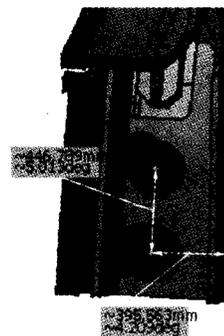


图5 局部设计框架及数据采集

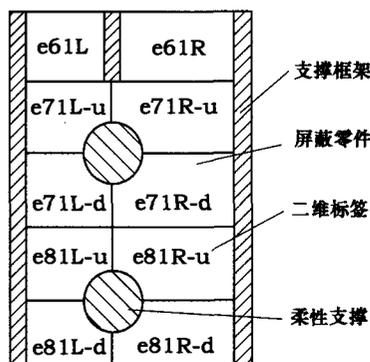


图6 屏蔽单元二维设计

图 7、8 为该区域一个屏蔽单元组件的有限元分析结果。图 7 为屏蔽单元组件等效应力图,应力最大值为 15.198 MPa;图 8 为其总体变形图,最大收缩位移为 0.017 mm,远小于设计要求所规定的变形与应力的极限值。因此有限元分析的结果符合设计准则的要

求,证明零件结构是合理的。对于不合理的分析结果,则可以根据分析结果考虑重新修改零件模型的相关结构。

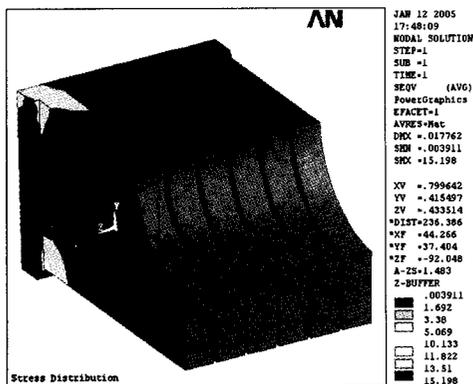


图7 等效应力分布

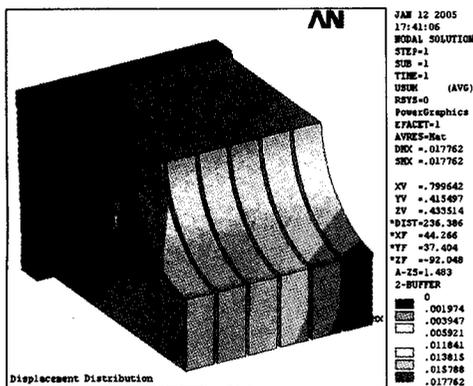


图8 屏蔽单元组件总体变形图

修改设计还包括零件模型的一些相关特征信息,并在虚拟装配平台上进行,主要模拟零件的真实装配情形,以弥补虚拟模型数字化过程中出现的数据不全面造成的失真情况。修改设计的结果如果需要,还可

以再次进行分析研究,使 CAD 模型最终完全符合设计要求,并把变化的信息不断存储到相关的数据库中。图9 为基于虚拟装配平台的屏蔽零件 CAD 模型修改设计过程。

## 5 结语

反求设计是一项开拓性、实用性和综合性很强的技术,其研究和应用已有很大进展,但都比较集中于对旧零件的还原和有实物模型的反求设计研究,因而影响了反求设计的应用广度和灵活性。众所周知,简单的单件复制已经不能满足现代制造技术的要求,尤其一些大型装置的多零件系统设计,都是典型的无模型设计,设计任务庞大。基于虚拟模型的零件反求设计方法提供了一种零件设计的新方法,它集产品开发、研究与检测以及设计系统的集成于一体,并借助计算机软件的智能技术为无模型的零件系统设计开发提供了有益的参考。

## 参 考 文 献

- 1 金涛,陈建良,童水光. 逆向工程技术研究进展. 中国机械工程, 2002, 13(16)
- 2 曾翰通,李明,杨飞. CAE 在逆向工程中的应用. 计算机辅助工程, 2002, 11(2)
- 3 M. Morimoto. Guideline for the in-wall shielding task. G15 MD 275 04-11-08 W0.1, 2004

(编辑 孙德茂)

(收稿日期:2005-02-01)

文章编号:51211

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

## · 书讯 ·

### 《数控机床故障检测与维修问答》中国机械工程学会设备维修分会 编/2003 定价:42.00 元

本书系统地叙述了数控机床工作原理及结构特点,并在相应的章节中详细介绍了数控机床故障诊断与维修实例。主要内容包括:数控机床的产生背景与发展过程;数控机床应用及主要功能;数控机床的硬件、软件配置及选用原则;机床数控系统的工程概念,故障测试、维修、改造的基本方法;仪器、仪表的配置;数控标准化以及参考标准;CAD/CAM/CAE 在数控集成化生产中的作用,FMS/CIMS 的开发与制造技术新的发展等。本书供从事设备维修的工程技术人员和技术工人使用。

### 《机床使用保养调整技术问答》铁维麟主编 王慧敏副主编/2000 定价:58.00 元

本书作者总结了金属切削加工的多年实践经验,收集了大量的技术资料编写而成。全书以问答的形式简明地介绍了金属切削加工机床的使用、保养和调整技术,并对金属切削中常见的量具也做了介绍。对于从事金属切削加工的青年工人如何正确使用机床具有指导意义;并可供初中级技术工人提高水平及考工晋级使用。

来款请寄北京市朝阳区东直门外望京路4号,邮编:100102,机床杂志社收。