

计算机辅助工程分析与优化设计

王 裴 王 裕
(吉林工业大学) (新疆工学院)

摘要: 本文论述了计算机辅助工程分析与优化设计技术及其在 CAD 中的重要性。结合实例着重讨论了工程分析与优化设计的关系及实现方法。

一、引 言

计算机辅助设计 (CAD) 技术是一门综合性、交叉性的技术, 这门技术正在不断地发展和完善, 并迅速地深入到机械工业、电子工业等各个领域, 成为推动企业技术改造强有力的工具。

对 CAD 技术, 人们对它的认识正在逐步深化, 早期人们仅把绘图当作 CAD 或者把只要使用计算机计算就当作 CAD 技术。后来, 由于生产实践的需要, 计算机图形学、工程分析, 数据库技术等才结合起来, 构成一体化的 CAD 完整技术, 成为新技术的重要内容。

CAD 技术的含义, 除包括数值计算、绘图外, 还包含对设计方案进行“构思”、分析及判断、修改, 直到获得最佳 (最优) 的方案为止。因此, 如何使用计算机来实现数值计算, 数据的存取、绘图与图形修改等是 CAD 技术的基本过程和内容。实践表明, 一个完善的 CAD 系统应具有的基本能力是快速计算和绘图能力; 存取大量图形数据和非图形数据的能力; 人机对话的操作能力; 输入和输出图形数据和非图形数据的功能。

二、工程分析

在 CAD 系统中, 分析、计算和优化的能力, 已是实用 CAD 系统不可缺少的组成部分。通过工程分析、计算、实现概念模型到设计模型之间量的变换关系, 对于一个 CAD 系统来说, 不仅要求用来解决工程设计中个别环节的分析、计算, 而且应该要求能解决从概念设计直到绘制出工程图的全部工作。CAD 系统其分析、计算的内容根据不同的设计要求而有所不同。在电路设计中, CAD 系统分析、计算主要是电路的计算和数值的模拟; 机构 CAD 系统分析、计算是以机构学的原理为基础, 实现机构的分析和综合; 光学机械 CAD 系统中则包括结构、机构、非结构等多种类型问题的分析和计算, 当问题的分析计算目的是校核其强度、安全性、静动态特性等, 这时常把有限元法和数学规划理论作为主要的计算手段和工具。利用有限元法控制微分方程

$$mU'' + cU' + kU = R(t) \quad (1)$$

揭示出结构的某些性质和规律性, 并结合数学规划的思想, 为设计方案 (设计变量) 的选择提供有效的数值分析依据。公式 (1) 中 m 、 k 、 c 分别表示质量矩阵、刚度矩阵、阻尼矩阵;

$R(t)$ 为载荷矩阵。

在实用的CAD系统工程分析中,有限元和优化方法已是不可缺少的内容。起初(约七十年代中期),在一个CAD系统中工程计算是很少的(或不计算),这时有限元法仅作为产品已经生产运行发现问题之后再来校核的计算工具,随着工程分析计算的需要,到七十年代的后期,有限元法得到进一步的发展和运用,逐渐与设计结合起来,作为重分析和调整计算的工具,其目的是用来解决工程设计中某些重要环节的修改计算。目前(从八十年代初期),有限元法已与优化设计、数据库、计算机绘图进一步结合起来形成一体化的设计系统,在数据库统一的管理下,实现设计过程信息流的自动传递。

作为工程分析的一个例子,讨论图1链板的计算情况。

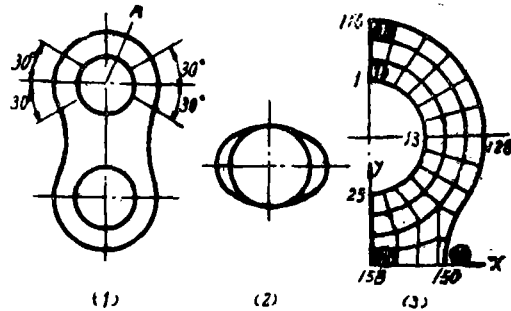


图 1

当有限元仅作为计算工具时,计算目的是为了获得链板在工作载荷作用下应力场。根据其应力数值规律去探究最大的应力区约在水平线 $\pm 30^\circ$ 的范围之内见图1(1),从而为研究链板实际工作时可能出现的破坏部位提供数值参考的分析依据。

当有限元法与设计相结合作为重分析和调整设计的工具时,根据实际的情况,可以多次的,反复调整设计参数,例如,调整链板的周边几何尺寸,这样可以获得链板最合理的几何形状。

再进一步,当有限元法作为CAD系统中工程分析工具时,由于有限元计算,修改设计,优化设计等结合成一体化的整体。这样,从概念设计 \rightarrow 有限元模型网格 \rightarrow 有限元计算 \rightarrow 产生工程图,由信息流的自动传递而完成的。这样就使得原有设计,从设计思想、设计方法、设计手段上都发生深刻的变化,从总体设计到修改设计到工程图设计都在计算机上,通过人机对话的操作来实现。

三、有限元法与优化设计

在复杂结构最佳设计中,常常遇到的分析计算是隐函数性的,多变量的非线性约束问题。这类问题一般表达形式为

求目标函数 $F(x)$ 的极小值,

$$\min F(x) \quad x \in R^n$$

满足约束条件

$$g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m$$

由于目标函数 $F(x)$ 或约束条件 $g_j(x)$ 一般是非线性,隐函数的形式,因此常把有限元

法和优化理论结合起来, 利用有限元法计算的结果来构造目标函数或约束方程, 并利用许多成熟的优化方法, 例如罚函数法 (序列规划法) 将原问题转化为无约束的规划问题, 通过直接搜索迭代计算直到获得满意的结果为止。

仍以链板为例, 通过有限元计算, 获得链板工作时最大的应力区在 $\pm 30^\circ$ 范围内, 且为拉应力; 据此, 可以设计出一种预应力链板, 这样不但能保证链板工作时强度条件, 而且经济效果也较好。

预应力链板的设计, 关键是设计一个椭圆形的冲头, 通过与链板孔 A 的挤压而在链板最大应力区上附加上合理的残余压应力。从而使链板工作时的实际应力在允许的范围内。预应力链板数值分析模型为:

求设计变量 $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$

使最大应力区单元的最大工作应力 $F(x)$ 最小

$$\min F(x) = \max\{\sigma(x)\}$$

满足约束条件

(1) 应力约束条件: 应力在一定上、下限范围之内

$$\sigma_i \leq \sigma_{1i}^0$$

$$\sigma_i \geq \sigma_{2i}^0 \quad i = 1, 2, \dots, m_1$$

(2) 设计变量本身的约束

$$x = \{x_j\}$$

例如: 对第 j 个设计变量

x_j 的上限 c_{1j}^0 , 下限 c_{2j}^0

$$x_j \leq c_{1j}^0 \quad \text{或} \quad 1 - \frac{x_j}{c_{1j}^0} \geq 0$$

$$x_j \geq c_{2j}^0 \quad \text{或} \quad \frac{x_j}{c_{2j}^0} - 1 \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m_2$$

式中单元应力值 σ_i , 最大应力值 σ_{max} , 是由弹塑性有限元求得的。而应力的上下限值 σ_{1i}^0 、 σ_{2i}^0 , 设计变量本身的上下限值 c_{1j}^0 、 c_{2j}^0 都是根据实际条件给定的。计算时外载是通过强制位移由链板边界曲线情况来给定的, 其最终反映在冲头, 椭圆的长短轴的参数上, 图 1(2) 即为冲头的形状参数设计提供数值的依据。

对于 0.8A 链板, 取 1/4 进行计算见图 1(1), (3), 单元 $Ne = 41$ 个, 节点 $Np = 158$ 个, 边界点强制位移由椭圆的长短轴 (设计变量) a 、 b 及不同 θ 角通过程序计算自动分配到周边的各个节点上, 经四次迭代, 即满足要求, 计算结果列表 1

表 1

	椭圆长短轴	强化后最大工作应力点的残余应力	强化后最大工作应力
第一次迭代	$a = 3.144, \quad b = 3.03$	29.26	303.174
第二次迭代	$a = 3.1451, \quad b = 3.118$	52.7	270.67
第三次迭代	$a = 3.1459, \quad b = 3.125$	62.5	260.81
第四次迭代	$a = 3.146, \quad b = 3.127$	64.44	258.8

计算表明,要想充分发挥有限元和优化设计在 CAD 技术中的作用,就必须充分地利用图形显示,人机对话式的操作技术等手段。把工程设计中自动优化的方法与人机对话结合起来,把优化设计与数据处理、工程分析、判断结合起来,即把优化理论与有限元、计算机绘图,数据库技术结合起来。在统一的共享的数据库管理之下,实现和解决各种数据(图形数据与非图形数据)之间的转换,实现工程计算的各种信息与工程设计所要求的信息之间的相互转换,这样 CAD 系统就成为一体化的系统,成为具有计算和优化功能的计算机辅助设计系统,最有成效地为工程实践服务。

参 考 文 献

- [1] E·J豪格, J·S阿罗拉著;实用最优设计,科学出版社,1985
- [2] 北京国际计算机绘图技术及应用学术讨论会论文集 北京工业学院 1985年10月5日—9日
- [3] 计算机辅助设计,大连工学院工程力学研究所,1987年9月
- [4] 刘志刚,吉林工业大学研究生论文,1988年5月
- [5] 朱中,吉林工业大学研究生论文,1988年9月

Computer Aided Engineering Analysis and Optimum Design

Wang Pei

Wang Yu

(Jilin University of Technology) (Xinjing Institute of Technology)

Abstract

This paper deals with the technology of computer aided engineering analysis and optimum design, the importance of which in CAD system is also described with the emphasis on the general method of computer aided engineering analysis and optimum design and with a practical example.