




青年科技创新人才学术文库

ANSYS 起重机 金属结构参数化分析技术

ANSYS QIZHONGJI JINSHU JIEGOU CANSHUHUA FENXI JISHU

陈江义 刘竹丽 秦东晨 著

 郑州大学出版社



青年科技创新人才学术文库


机械工业出版社系列教材

ANSYS 起重机 金属结构参数化分析技术

ANSYS QIZHONGJI JINSHU JIEGOU CANSHUHUA FENXI JISHU

陈江义 刘竹丽 秦东晨 著



 郑州大学出版社

郑州

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 起重机金属结构参数化分析技术/陈江义,刘竹丽,秦东晨著.
—郑州:郑州大学出版社,2015.12
ISBN 978-7-5645-2015-1

I. ①A… II. ①陈…②刘…③秦… III. ①起重机械-金属结构-结构
参数-有限元分析-应用软件 IV. ①TH210.3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 208942 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:张功员

全国新华书店经销

河南省诚和印制有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:15.5

字数:360 千字

版次:2015 年 12 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2015 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-2015-1

定价:32.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换



前 言

起重机是一种典型的非标准机械设备,通常按订单生产,即企业根据用户对设备提出的性能参数、外形尺寸、质量和价格等方面的要求进行设计和生产。在当今全球化的激烈市场竞争中,企业要想拿到订单,快速响应市场,产品设计是关键的第一步。然而在起重机产品设计过程中,金属结构的设计和分析是一个十分重要的环节,它在很大程度上影响产品的性能,并直接决定产品的成本。

长期以来,起重机械金属结构的设计、校核及评价方法多采用传统的力学分析方法,为便于使用同类产品的相关资料和经验公式,往往将复杂的结构等效为简单结构进行处理。这样虽然可以简化问题,提高计算效率,但是不能准确反映金属结构的实际工作情况,尤其不能反映结构的局部应力特性、动态性能等其他指标。从20世纪50年代以来,数值计算方法和计算机软硬件技术得到了迅速的发展,从而导致了工程设计、分析和优化技术的全面变革。在多数数值计算方法中,有限元分析是一种针对产品设计和性能评估的方法,由于其适用性好、商品化程度高,已经被广泛应用于机械设计领域。应用有限元分析方法可以从强度、刚度、静动态响应、屈曲稳定性等各个方面对复杂金属结构的性能进行系统的研究和评估,并可以对起重机金属结构在各种工况下随载荷变化的运行状态和随时间变化过程进行仿真模拟。

通用桥门式起重机金属结构的系列化特征较为明显,对于同一类型的起重机,其金属结构有很多共同特征。在应用有限元方法对起重机金属结构进行分析时,简化操作过程,提高工作效率至关重要,这样一方面降低了工程设计人员的劳动强度,另一方面缩短了设计分析时间和产品生产周期。考虑到金属结构的特征相似性,并结合 ANSYS 软件参数化技术,完全可以满足上述要求。

本书强调将 ANSYS 软件参数化分析技术引入到起重机金属结构的性能分析与评价中,立足于工程实际问题的应用,在起重机设计领域推广数字化分析技术,以现代设计方法和手段来提升传统产业的技术水平。全书共分8章,第1章为绪论,第2章简要介绍有限元分析方法的理论基础,第3章和第4章介绍大型有限元分析软件 ANSYS 应用及其二次开发技术,第5章介绍基于 Tcl/Tk 语

言的界面设计技术,第6章介绍起重机金属结构的基本形式及载荷组合,第7章和第8章讨论 ANSYS 参数化分析技术在起重机金属结构分析与优化中的应用,附录中给出了起重机桥架参数化分析程序。本书所述实例大部分来自工程实际,希望能为从事起重机金属结构设计和分析的工程技术人员提供有益的参考,也可以作为相关软件的培训教材及高等院校相关专业本科生的教材。

本书部分内容来自河南省重点科技攻关项目“起重机门架结构非概率可靠性优化设计技术及工程应用(编号 132102210107)”“桥式起重机数字化设计平台研发(编号 122102210090)”及“基于知识工程的桥式起重设计分析集成系统关键技术研究(编号 122102210096)”。本书由郑州大学陈江义、刘竹丽、秦东晨著,其中陈江义承担第四、五、七章及附录部分,刘竹丽承担第六、八章,秦东晨承担第一章、朱强承担第二章,王迎佳承担第三章,最后由秦东晨统稿。在本书编撰过程中,研究生罗琳丽、吕海勇、刘娇及文尉超等做了大量的工作,卫华集团有限公司为本书提供了相关工程数据,在出版过程中得到了郑州大学出版社刘开和李蕊编辑的大力帮助,在此一并表示深切的谢意。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2014年7月



目 录

| | |
|---------------------------|-----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 有限元方法 | 1 |
| 1.2 有限元方法的特点及应用 | 3 |
| 1.3 ANSYS 及二次开发技术 | 6 |
| 1.4 CAE 技术在起重机金属结构设计中的必要性 | 8 |
| 第2章 有限元方法基础理论 | 11 |
| 2.1 弹性力学基本方程 | 11 |
| 2.2 变分法基础 | 19 |
| 2.3 能量原理 | 22 |
| 2.4 有限元分析的基本步骤 | 27 |
| 第3章 ANSYS 软件应用 | 29 |
| 3.1 ANSYS 简介 | 29 |
| 3.2 制定 ANSYS 有限元分析方案及其策略 | 35 |
| 3.3 ANSYS 有限元求解的基本步骤 | 49 |
| 3.4 几种单元简介 | 53 |
| 3.5 ANSYS 标准求解过程实例 | 59 |
| 第4章 ANSYS 二次开发技术 | 71 |
| 4.1 ANSYS 二次开发工具 | 71 |
| 4.2 APDL 语言基础 | 78 |
| 4.3 APDL 宏 | 91 |
| 4.4 APDL 宏实例 | 96 |
| 第5章 界面开发 | 100 |
| 5.1 Tcl 语言基础 | 100 |
| 5.2 Tk 组件 | 116 |
| 5.3 ANSYS 中 Tcl/Tk 应用 | 128 |
| 5.4 交互界面设计实例 | 130 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第 6 章 起重机金属结构形式及载荷组合 | 139 |
| 6.1 桥架 | 139 |
| 6.2 门架 | 149 |
| 6.3 载荷及载荷组合 | 154 |
| 第 7 章 起重机金属结构参数化有限元分析 | 172 |
| 7.1 起重机金属结构几何建模 | 172 |
| 7.2 起重机金属结构有限元模型 | 178 |
| 7.3 参数化分析实例 | 180 |
| 第 8 章 起重机金属结构优化设计 | 195 |
| 8.1 结构优化设计概述 | 195 |
| 8.2 ANSYS 结构优化技术 | 202 |
| 8.3 起重机金属结构优化设计 | 211 |
| 附 录 桥式起重机桥架参数化分析程序示例 | 219 |
| 参考文献 | 240 |

第1章

绪论

1.1 有限元方法

随着现代科学技术的发展,人们正在设计和制造结构更复杂、性能更先进、适应性更良好的机械设备,这要求工程师在设计阶段就能精确地预测出产品的技术性能,需要对机械结构的静动力强度、刚度、稳定性及其他多物理场耦合特性进行分析和计算,这些都归结为求解描述物理问题的偏微分方程或方程组。在计算机软硬件技术和数值分析方法支持下迅速发展起来的有限元分析方法为解决这些复杂的工程分析和计算提供了有效的途径。有限元方法是一种高效能、常用的计算方法,早期是以变分原理为基础发展起来的,所以它广泛地应用于以拉普拉斯方程和泊松方程所描述的各类物理场中(这类场与泛函的极值问题有着紧密的联系)。后来发展到可应用于以任何微分方程所描述的各类物理场中,而不再要求这类物理场和泛函的极值问题有所联系。

1.1.1 有限元方法的形成与发展

17世纪,牛顿和莱布尼茨发明了微积分,证明了该运算具有整体对局部的可加性。虽然,积分运算与有限元技术对定义域的划分是不同的,前者进行无限划分而后者进行有限划分,但积分运算为实现有限元技术准备了一个重要的理论基础。

18世纪,著名数学家高斯提出了加权余值法及线性代数方程组的解法。这两项成果的前者被用来将微分方程改写为积分表达式,后者被用来求解有限元方法所得出的代数方程组。其后另一位数学家拉格朗日提出的泛函分析,提供了将偏微分方程改写为积分表达式的重要途径。

在19世纪末及20世纪初,数学家瑞利和里兹首先提出可对全定义域运用展开函数来表达其上的未知函数。1915年,数学家伽辽金提出了选择展开函数中形函数的伽辽金法,该方法被广泛地用于有限元。1943年,R. Courant第一次提出了可在定义域内分片地使用展开函数来表达其上的未知函数,这实际上就是有限元的做法。

有限元法被提出来以后,经过一段时间的沉寂期,在20世纪五十年代和六十年代初有了很大的发展。主要表现为在代数表达形式、单元划分、单元类型选择和收敛性研究上取得的突破。1960年,克劳夫在《平面应力分析中的有限元》的论文中,第一次从

数学上说明了将定义域划分成有限的单元能够成功的原因:他表明对一些特定类型的单元来说,随着单元尺寸的减小,近似解将收敛到精确解,这就在某些情况下证明了有限元法的收敛性。并第一次提出了“有限元法”这个名称,此后,这种叫法被大家接受,正式形成了有限元方法。

半个世纪以来,有限单元法蓬勃发展,不仅已经成为结构分析中必不可少的工具,而且成为现象分析的一种基本手段。其应用已由弹性力学平面问题扩展到空间问题、板壳问题,由静力平衡问题扩展到稳定问题、动力问题和波动问题。分析的对象从弹性材料扩展到塑性、黏弹性、黏塑性和复合材料等,从固体力学扩展到流体力学、流固耦合理论、热传导与热应力问题、磁场问题以及建筑声学及噪音问题。不仅涉及稳态场问题,还涵盖材料非线性、几何非线性、时间维问题和断裂力学等。

在有限元方法的应用中出现多种新单元(先后有等参元、高次元、不协调元、拟协调元、杂交元、样条元、边界元、罚单元,还有半解析的有限条等不同单元)和求解方法(如半带宽与变带宽消去法、超矩阵法、波前法、子结构法、子空间迭代法等)。能解决各种复杂耦合问题的软件和软件系统也不断涌现。对网格自动剖分和网格自适应过程的研究,大大加强了有限元法的解题能力,使有限单元方法的发展逐渐趋于成熟。

1.1.2 有限元方法的基本思想

有限元方法是一种基于变分法而发展起来的求解微分方程的数值计算方法。其离散化的思想可以追溯到20世纪早期,1943年R. Courant首先提出离散化这一概念,并在求解扭转问题时,为了表征翘曲函数,首次将截面分成若干个三角形区域,在各个三角形区域设定一个线性的翘曲函数,求得了扭转问题的近似解。其实质就是以计算机为工具,采用分片近似、进而逼近整体的研究思想求解物理问题。

首先,将物体或者求解域离散成为有限个互不重叠且仅通过节点相连的子域(称为单元),原始边界条件也被转化为节点上的边界条件,这一过程称为离散化。其次,在每个单元内,选择一种简单近似函数来分片逼近未知的单元内位移分布规律,即分片近似,并按弹性理论中的能量原理或变分原理建立单元节点力和节点位移之间的关系。最后,把所有单元的这种关系式集合起来,就得到一组以节点位移为未知量的代数方程组,通过求解这些代数方程组就可以求出物体上有限个节点的位移,这是有限元方法的创意和精华之所在。

图1-1是通用有限元方法对直齿圆柱齿轮轮齿进行的变形和应力分析,其中图1-1(a)为有限元模型,图1-1(b)是最大切应力等效应力线图。

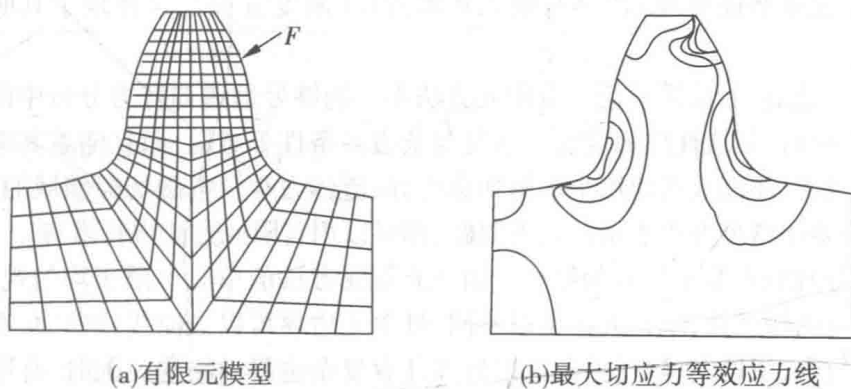


图 1-1 对直齿圆柱齿轮进行的变形和应力分析

在图 1-1(a)中采用八节点四边形等参数单元把轮齿划分成网格,这些网格称为单元。网格间相互连接的节点称为单元节点,网格与网格的交界线称为边界。显然,图中的节点数是有限的,单元数目也是有限的,这就是“有限元”一词的由来。

在整个有限元分析过程中,离散化是分析的基础。有限元方法的离散化对单元形状和大小没有规则划分的限制,单元可以是不同的形状,且不同单元可以相互连接组合。所以,有限元方法可以模型化任何复杂几何形状的对象或求解区域,离散精度高。

分片近似是有限元方法的核心,有限元方法是应用局部的近似解来建立整个求解域的解的一种方法,针对一个单元来选择近似函数,积分计算也是在单元内完成,由于单元形状简单,一般采用低阶多项式函数就能很好地逼近真实函数在该单元上的解,此过程可以认为是里兹法的一种局部化应用。而整个求解域内的解可以看成所有单元近似解的组合。对于整个求解域,只要单元上的近似函数满足收敛性要求,随着单元尺寸的不断缩小,有限元方法提供的近似解将收敛于精确解。

矩阵表示和计算机求解是有限元方法的关键。因为有限元方程是以节点值和其导数值为未知变量的,节点数目多,形成的线性方程组维数很高,一般工程问题都有成千上万,复杂问题可达数百万甚至更多。所以,有限元方程必须借助矩阵进行表示,并且只有利用计算机才能求解。

1.2 有限元方法的特点及应用

1.2.1 特点

有限元方法经过几十年的发展,已经成为一种通用的数值计算方法。它具有鲜明的特点,具体表现在以下几个方面:

1) 理论基础简明,物理概念清晰。有限元方法的基本思想是几何离散和分片插值,概念清晰,易于理解。用离散单元的组合体来逼近原始结构,体现了几何上的近似;而用近似函数逼近未知变量在单元内的真实解,体现了数学上的近似;利用与原问题等效的

变分原理(如最小势能原理)建立有限元基本方程(刚度方程),又体现了其明确的物理背景。

2)计算方法通用,应用广泛。有限元方法不仅能够处理诸如应力分析中的非均匀材料、各向异性材料、非线性应力应变关系及复杂边界条件等难题,而且随着其理论基础和方法的逐步完善,还能成功地用来求解如热传导、流体力学及电磁场等领域的许多问题。理论上讲,只要用微分方程表示的物理问题,都可以用有限元方法进行求解。

3)可以处理任意复杂边界的结构。由于有限元方法的单元不限于均匀规则单元,单元形状有一定的任意性,单元大小可以不同,且单元边界可以是曲线或曲面,不同形状单元可以进行组合,所以,有限元方法可以处理任意复杂边界的结构。同时,有限元方法的单元可以通过增加插值函数的阶次来提高有限元解的精度。因此,理论上讲,有限元方法可以通过选择单元插值函数的阶次和单元数目来控制计算精度。

4)计算格式规范,易于程序化。有限元方法在具体推导运算过程中广泛采用了矩阵方法。矩阵代数能够把烦冗的分析和运算用矩阵符号表示成非常紧凑简明的数学形式,因而最合于电子计算机存储,便于实现程序设计的自动化。

总之,有限元方法已被公认为应用分析的有效工具,受到了普遍的重视和广泛应用。

有限元方法从选择未知量的角度来看,可分为三大类:位移法、力法和混合法。以节点位移为基本未知量的求解方法称为位移法;以节点力为基本未知量的求解方法称为力法;一部分以节点位移,另一部分以节点力作为基本未知量的求解方法称为混合法。由于位移法通用性强,计算机程序处理简单、方便,因此得到广泛的应用。

1.2.2 应用领域

有限元方法虽然起源于结构分析,但由于诸多的学者不断为之付出努力,加之计算机技术的飞速发展,有限元方法的工程应用领域已得到了迅猛扩展,具体的应用领域如表1-1所示。

表1-1 有限元方法的应用领域

| 研究领域 | 平衡问题 | 特征值问题 | 动态问题 |
|--------------------|---|---------------------------|--|
| 结构工程学, 结构力学和 宇航工程学 | 梁、板、壳结构的分析;复杂或混杂结构的分析;二维或三维应力分析 | 结构的稳定性;结构的固有频率和振型;线性黏弹性阻尼 | 应力波的传播;结构对于非周期载荷的动态响应;耦合热弹性力学与热黏弹性力学 |
| 土力学,基础 工程学和岩 石力学 | 二维或三维应力分析;填筑和开挖问题;边坡稳定性问题;土壤与结构的相互作用;坝、隧洞、钻孔、涵洞、船闸等的分析;流体在土壤和岩石中的稳态渗流 | 土壤与结构组合物的固有频率和振型 | 土壤和岩石中的非定常渗流;在可变形多孔介质中的流动-固结应力波在土壤和岩石中的传播;土壤与结构的动态相互作用 |
| 热传导学 | 固体和流体中的稳态温度分布 | | 固体和流体中的瞬态热流 |

续表 1-1

| 研究领域 | 平衡问题 | 特征值问题 | 动态问题 |
|------------------|---|----------------------------------|--|
| 流体动力学, 水利工程学和水源学 | 流体的势流; 流体的黏性流动; 蓄水层和多孔介质的定常渗流; 水工结构和大坝的分析 | 湖泊和港湾的波动(固有频率和振型); 刚性或柔性容器中流体的晃动 | 河口的盐度和污染研究(扩展问题); 沉积物的推移; 流体的非定常流动; 波的传播; 多孔介质和蓄水层中非定态渗流 |
| 核子工程学 | 反应堆安全壳结构的分析; 反应堆和反应堆安全壳结构的稳态温度分布 | | 反应堆安全壳结构的动态分析; 反应堆结构的热黏弹性分析; 反应堆和反应堆安全壳结构中的非稳态温度分布 |
| 电磁学 | 二维和三维静态电磁场分析 | | 二维和三维时变、高频电磁场分析 |
| 生物力学工程问题 | 人体的脊柱、头骨、骨关节、牙移植等应力分析 | | 响应分析 |

1.2.3 有限元方法在产品开发中的作用

基于高性能的计算机硬件和功能完善的有限元分析软件,对设计的结构进行详细的力学分析,以获得尽可能真实的结构受力信息,就可以在设计阶段对可能出现的各种问题进行安全评判及设计参数的修改。据有关资料分析,一个新产品开发过程中的问题有60%以上可以在设计阶段消除,甚至有的结构在施工过程中也需要进行精细的设计,要做到这一点,就需要类似有限元分析这样的处理手段。

有限元方法的出现和发展,促进了产品设计与制造发生根本性的改变,使产品开发正朝着数字化设计、分析、优化及数字化制造与控制的综合方向发展。

在现代产品设计开发过程中,CAD/CAE/CAM已成为基本工具,作为CAE工具重要组成之一的有限元方法,更是成为产品开发必不可少的工具。CAD工具用于产品结构设计,形成产品的数字化模型。有限元方法则适用于产品性能的分析与仿真,帮助设计人员了解产品的物理性能和破坏的可能原因,分析结构参数对产品性能的影响,对产品性能进行全面预测和优化,帮助工艺人员对产品的制造工艺及试验方案进行分析设计。实际上,当前有限元方法在产品开发中的作用,已从传统的零部件分析、校核设计模式发展为与计算机辅助设计、优化设计、数字化制造融为一体的综合设计。有限元方法已成为提高产品设计质量的有效工具。可以预见,随着现代力学、计算数学和计算机技术等学科的发展,有限元方法作为一个具有坚实理论基础和广泛应用效力的通用数值分析工具,必将在产品开发中发挥更大的作用。

1.3 ANSYS 及二次开发技术

ANSYS 是一个多用途的有限元分析软件,是美国 ANSYS 公司的产品,该公司成立于 1970 年。ANSYS 可以用来求解结构、流体、电力、电磁场及碰撞等问题,广泛应用于以下工业领域:航空航天、汽车工业、生物医学、桥梁、建筑、电子产品、重型机械、微机电系统、运动器械等。软件主要包括三个部分:前处理模块、分析计算模块和后处理模块。前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具,用户可以方便地构造有限元模型;分析计算模块包括结构分析(可进行线性分析、非线性分析和高度非线性分析)、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析,可模拟多种物理介质的相互作用,具有灵敏度分析及优化分析能力;后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、矢量显示、粒子流迹显示、立体切片显示、透明及半透明显示(可看到结构内部)等图形方式显示出来,也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。

ANSYS 提供了 100 种以上的单元类型,用来模拟工程中的各种结构和材料。该软件有多种不同版本,可以运行在从个人机到大型机的多种计算机设备上,如 PC、SGI、HP、SUN、DEC、IBM 等。

其技术特点主要有:

- ①能实现多场及多场耦合分析;
- ②实现前后处理、求解及多场分析统一数据库的一体化大型有限元分析软件;
- ③具有多物理场优化功能的有限元分析软件;
- ④具有中文界面的大型通用有限元软件;
- ⑤具有强大的非线性分析功能;
- ⑥多种求解器分别适用于不同的问题及不同的硬件配置;
- ⑦支持异种、异构平台的网络浮动,在异种、异构平台上用户界面统一、数据文件全部兼容;
- ⑧具有强大的并行计算功能支持分布式并行及共享内存式并行;
- ⑨具有多种自动网格划分技术;
- ⑩具有良好的用户开发环境。

标准 ANSYS 是一个功能强大、通用性好的有限元分析软件,同时它还具有良好的开放性,用户可以根据自身的需要在标准 ANSYS 版本上二次开发,对 ANSYS 进行功能扩充和系统集成,生成具有行业分析特点和符合用户需要的用户版本 ANSYS 程序。开发功能包括四个组成部分:参数化程序设计语言(APDL)、用户界面设计语言(UIDL)、用户程序特性(UPFs)和 ANSYS 数据接口。

(1) 参数化程序设计语言(APDL)

参数化程序设计语言由类似于 FORTRAN77 的程序设计语言部分和 1000 多条 ANSYS 命令组成。其中,程序设计语言部分与其他编程语言一样,具有参数、数组表达式、函数、流程控制(循环与分支)、重复执行命令、缩写、宏以及用户程序等。标准的 ANSYS 程序运行是由 1000 多条命令驱动的,这些命令可以写进程序设计语言编写的程

序,命令的参数可以赋确定值,也可以通过表达式的结果或参数的方式进行赋值。从 ANSYS 命令的功能上讲,它们分别对应 ANSYS 分析过程中的定义几何模型、划分单元网格、材料定义、添加载荷和边界条件、控制和执行求解和后处理计算结果等指令。

用户可以利用程序设计语言将 ANSYS 命令组织起来,编写出参数化的用户程序,从而实现有限元分析的全过程,即建立参数化的 CAD 模型、参数化的网格划分与控制、参数化的材料定义、参数化的载荷和边界条件定义、参数化的分析控制和求解以及参数化的后处理。

宏是具有某种特殊功能的命令组合,实质上是参数化的用户小程序,可以当作 ANSYS 的命令处理,可以有输入参数或没有输入参数。

缩写是某条命令或宏的替代名称,它与被替代命令或宏存在一一对应的关系,在 ANSYS 中二者是完全等同的,但缩写更符合用户习惯,更易于记忆,减少敲击键盘的次数。ANSYS 工具条就是一个很好的缩写例子。

(2) 用户界面设计语言 (UIDL)

标准 ANSYS 交互图形界面可以驱动 ANSYS 命令,提供命令的各类输入参数接口和控制开关,用户在图形驱动的级别上进行有限元分析,整个过程变得直观轻松。用户图形界面设计语言 (UIDL) 就是编写或改造 ANSYS 图形界面的专用设计语言,主要完成以下三种图形界面的设计:主菜单系统及菜单项、对话框和拾取对话框、帮助系统。

通过用户界面设计语言 (UIDL),用户可以在扩充 ANSYS 功能的同时建立起对应的图形驱动界面,如在主菜单的某位置增加菜单项,设计对应的对话框、拾取对话框,实现参数的输入和其他程序运行的控制,同时提供相应的联机帮助,使操作者能方便地获取系统帮助。

(3) 用户程序特性 (UPFs)

用户程序特性向用户提供丰富的 FORTRAN77 用户程序开发子程序和函数,用户利用它们从开发程序源代码的级别上扩充 ANSYS 的功能。使用这些子程序和函数,编写用户功能的源代码程序,在与 ANSYS 版本要求匹配的 FORTRAN 或 C++ 编译器上重新编译和连接,生成用户版本的 ANSYS 程序。另外,还提供了外部命令功能,允许用户创建 ANSYS 可以利用的共享库。用户可以开发下列方面的功能程序:

开发用户子程序实现从 ANSYS 数据库中提取数据或将数据写入 ANSYS 数据库。该种子程序可以编译连接到 ANSYS 中,此时 ANSYS 提供了 10 个数据库操作命令;如果作为外部命令处理,可以在 ANSYS 的任何模块中运行;

利用 ANSYS 提供的子程序定义各种类型的载荷,其中包括 BF 或 BFE 载荷、压力载荷、对流载荷、热通量和电荷密度等;

利用 ANSYS 提供的子程序定义各种材料特性,包括塑性、蠕变、膨胀、黏塑性、超弹、层单元失效准则等;

利用 ANSYS 提供的子程序定义新单元和调整节点方向矩阵;

利用 ANSYS 提供的子程序修改或控制 ANSYS 单元库中的单元;

利用 UEROP 创建用户优化程序;

ANSYS 程序作为子程序在用户程序中调用。

(4) ANSYS 数据接口

ANSYS 程序在分析过程中存在大量的设计分析数据,一部分在运行时置于计算机的内存之中,一部分以文件的形式存放在工作目录中。除 LOG 文件和出错文件等文本文件之外,其他文件都是二进制文件,分别以不同的格式进行写入,如:数据库文件、结果文件、模态结果文件、单元矩阵文件、子结构矩阵文件、对角化刚度矩阵文件、缩减位移矩阵文件、缩减频率矩阵文件和完整的刚度-质量矩阵文件等等。ANSYS 数据接口详细地阐述每种二进制文件的格式,然后介绍从这些数据文件提取各种数据的子程序或函数,从而实现对二进制数据的读写和修改。显然,它满足了用户以下三种基本需要:检查或观察过程数据或结果数据;通过修改 ANSYS 的数据文件达到控制或修正计算;提取结果数据进行分析处理。

ANSYS 数据接口提供了两条模型和数据库信息的转换和传递命令,即 CDREAD 和 CDWRITE,前者将一个符合 ANSYS 读入或写出格式的模型和数据库文件信息读入到 ANSYS 数据库中,后者的作用正好相反。同时,为了减少转换或传递的时间,提高效率,还提供重定向自由度映射关系和其他数据库代码化的辅助命令,如/DFLAB、NBLOCK、EBLOCK、EN 等等。该功能大大提高了 ANSYS 与其他有限元程序之间模型数据的传递和转换,也实现了 ANSYS 自身数据库文件代码化后便于存储或机器之间的传递。ANSYS 数据接口还阐述了图形文件的格式,帮助用户将 ANSYS 图形文件转换成其他格式。

1.4 CAE 技术在起重机金属结构设计中的必要性

1.4.1 起重机金属结构的设计要求

(1) 强度要求

起重机类型多种多样,不同形式起重机的金属结构都较为复杂。在传统的起重机金属结构分析、计算和设计过程中,一般需要将整体结构简化为较精确的计算模型简图。再对结构的每个组成部分进一步抽象成典型的柱、梁等受力构件,从而利用力学公式来近似计算某一位置的正应力和剪应力,并与材料的许用应力进行比较,来判断结构是否满足强度的要求。

(2) 刚度要求

金属结构在外载荷作用下将产生弹性变形并振动,过大的变形和振动影响起重机的正常使用,因此在设计时对起重机的刚度有相应的要求。起重机金属结构的刚度分为静态刚度和动态刚度。静态刚度以在规定的载荷作用于指定位置时结构或构件在某一位置的静态弹性变形值(挠度)来表征。设计要求为结构或构件在某一位置的弹性变形值不超过许用值。

对于一般的起重机不规定校核结构的动态刚度,但在起重机使用条件对此有要求或起重机设计本身认为对此性能有要求时,则需要进行校核,其指标由设计者与用户确定,并要在提交给使用者的有关资料中注明。动态刚度用结构振动系统在满载情况下,钢丝

绳绕组的下放悬吊长度相当于额定起升高度时,系统在垂直方向的最低阶固有频率(满载自振频率)来表征。设计要求为满载自振频率不小于许用值。

(3) 稳定性要求

起重机金属结构中常用到各种型钢和板材,型钢和由型钢制造的杆件都比较细长,组成箱形结构的板件也比较薄,因而它们在压力的作用下有可能发生失稳。稳定性要求是在结构设计中进行相应分析和计算,以保证金属结构在使用中不发生因失稳而丧失承载能力的现象。

除整体失稳外,对于一些由薄钢板(包括型钢的翼缘板和腹板)组成的实腹式轴心受压构件、受弯构件或压弯构件,受压、受剪或承受局部压应力的翼缘板或腹板的局部区域会出现钢板由平面状态变成波浪式的翘曲状态的现象,这种现象称为结构丧失局部稳定性。当结构出现局部失稳时,失稳区域的受力情况严重恶化,甚至有可能在很小的外力作用下使整个结构发生破坏。

(4) 疲劳强度要求

起重机金属结构直接承受的往往是变化载荷,结构在变化的内力作用下材质会变脆,当变化载荷重复出现达到一定次数时结构会产生裂纹并快速扩展,从而降低了结构的承载能力,甚至发生断裂,从而导致疲劳破坏。由于结构发生疲劳破坏属于脆性断裂,其危险性很大。因此通常对 M4 级以上的结构件或连接件不仅要计算静强度,还应计算疲劳强度。

1.4.2 CAE 技术在金属结构设计中的必要性

近些年来,有限元法在起重机金属结构设计中的应用愈来愈广,起重机金属结构是整个起重机中的主要受力构件,有限元分析的目的在于在保证满足结构强度、刚度及稳定性的条件下,实现结构轻量化设计、降低生产成本。

仅对强度而言,金属结构的传统设计方法是根据经典力学理论分析计算结构体较危险截面上的应力,并对设计的截面按极限状态法或许用应力法进行结构性能校核。传统设计方法应用广泛,其优点在于:概念明确、思路清晰;缺点是:计算烦琐、不能对整体进行详细准确的计算,只能实现局部简化计算,无法获得较精确的数据,导致设计的起重机的安全系数过大,从而导致生产成本增加,材料浪费,能耗过高等。

随着有限元技术的快速发展,传统的设计方法正逐渐被有限元设计与分析所代替。随着功能强大的商业有限元分析软件大量出现,如 ANSYS、ABAQUS、HyperWorks 等,在金属结构设计中引入有限元分析技术成为必然。通过建立金属结构的有限元模型,可以准确计算出整个结构的应力分布情况、变形情况等,这样就可以很方便地对结构参数进行校核,对结构性能进行分析。甚至可以结合实际工程应用进一步对结构进行细节设计,对结构参数进行优化,如板厚、板间距、材料分布等。

目前较流行的是综合设计法。所谓综合设计法,是结合传统设计方法和有限元方法,在设计过程中将二者结合起来,发挥其各自的特点,从而提高设计质量、缩短设计周期。采用有限元技术,分析计算简便结果准确,可以规避传统设计方法使用过程中计

算烦琐和结果不准确的缺点。同时可以利用金属结构的整体几何模型,直接进行强度、刚度和稳定性分析,还可以方便地对模型中的几何参数、约束条件及载荷情况进行修改,使之更加符合工程实际。

从商业有限元软件本身来讲,无论是分析结构的强度和刚度,还是结构的稳定性与疲劳,都提供了相应的功能模块,因此利用 CAE 技术对起重机金属结构进行分析和设计,不仅是必要的,而且也是可行的。