浅谈 CAE 技术在集装箱企业的应用

沈赛男

(寰宇东方国际集装箱(启东)有限公司 江苏 启东 226200)

摘要:近年来,CAE 技术在航空航天、机械制造、汽车设计、船舶、电磁仿真等领域得到了广泛的应用与发展。在新产品研发阶段,需要对产品结构的刚度、强度、疲劳、振动、动力学、热力学、优化设计乃至多物理场耦合等方面进行安全性分析及校核。相比传统物理试验,CAE 仿真技术具有操作便捷、经济性好、可实施性高、结果准确等多方面的优点,因此,CAE 仿真逐渐成为新产品设计必备的分析手段。为了提升我国集装箱制造业的设计水平,在集装箱企业研发部门引入并大力发展 CAE 技术是大势所趋。本文简要介绍 CAE 技术及其在集装箱企业的应用现状,并针对集装箱产品,确定 CAE 分析流程,建立 CAE 分析模型。

关键词: CAE; 集装箱; 有限元分析

0 引言

中国作为全球最大的集装箱制造国,世界上绝大部分的集装箱都在中国设计生产销售。近年来,在集装箱产业技术水平提高的同时,客户也对集装箱产品提出更复杂的设计需求,这无疑给集装箱制造产业带来新的机遇和挑战。因此,目前主流集装箱企业研发部门均引入CAE 仿真技术,用于评估现有产品失效行为并辅助新产品设计。本文针对集装箱产品,简要介绍了CAE 技术及其在集装箱设计中的应用,并给出集装箱 CAE 仿真的流程和一般模型。

1 CAE 简介

1.1 CAE 基本理论

CAE的中文名称为计算机辅助工程(Computer Aided Engineering),主要作用在于通过计算机对给定工况下产品的工作状态和运行方式进行模拟仿真,分析并校核产品使用过程中结构的刚度、强度、疲劳、振动、动力学、热力学乃至多物理场耦合等方面性能,最终量化评价产品在功能、性能和安全可靠性方面是否符合设计目标。

CAE 在工程应用上的定义为: CAE 是一种在二维或三维几何形体(CAD)的基础上,运用有限元(FE)、边界元(BE)、混合元(ME)、刚性元(RE)、有限差分和最优化等数值计算方法,并结合计算机图形技术、建模技术、数据管理及处理技术的基于对象的设计与分析的综合技术和过程,其核心技术为有限元与最优化技术。

1.2 CAE 的工程应用问题类型

CAE 技术经过 50 余年的发展,能有效地对某些生产制造工艺、设备产品和工程进行性能分析和运行状态

模拟,目前已经在航空航天、舶船设计、汽车工业、石油化工、精密仪器、土木建筑、电力电子等领域得到广泛的应用和发展,并已经成为这些领域产品研发过程中不可缺少的设计方法。

从数学和力学角度, CAE 技术可以分为线性、拟线性、非线性、弹性、塑性、弹塑性、粘弹/粘塑性以及各种耦合和综合问题。

从工程问题领域分类,国际先进的 CAE 软件能进行耐久性分析(Durability)、振动与噪声分析(NVH)、一般动力学分析(Dynamics)、碰撞及安全性分析(Crash worthiness/Safety)、计算流体动力学(CFD)、热分析(Thermal analysis)、成型制造过程仿真与模具设计、电磁场和电磁元器件设计与优化等分析。各工程问题大类内又各有细分,比如耐久性分析又分为强度、刚度、稳定性、疲劳、断裂、损伤等小类,热分析又分为热传导分析、温度、膨胀、热应力分析、对流和辐射状态下的热分析、相变分析、热-结构耦合分析等小类。

现实中工程问题往往不会只涉及单一学科而是多学科交杂的复杂问题,目前 CAE 技术虽无法在单个分析中解决工程实际物理场所涉及的所有情况,但通过简化某一物理场或耦合物理场,分析该物理场下的特定性能,对工程问题也能得到较好的求解。

2 CAE 技术在集装箱企业的应用

2.1 集装箱企业引入 CAE 分析的目的

为保证结构安全性,降低产品设计和制造过程中的 法务风险,保证设计合规性,获得流通许可,集装箱产 品在出厂前需要试验部门利用静力试验配合引入动载系 数的方式模拟集装箱装卸、运输时的复杂动载工况。集 装箱静力试验标准以 ISO 1496-1 为基础,各船级社和其 他机构有各自的检验标准,总设计原则为:结构永久变形小于标准规定值,永久变形未导致尺寸超差,且箱门能正常打开。目前为集装箱颁发流通许可证的机构主要是中国船级社、挪威船级社、英国船级社、俄罗斯船级社、劳氏等机构。

传统集装箱新产品开发过程为: 概念设计—初步设计—方案细化—生产样机—物理试验—修改设计—再次试验—满足需求。在集装箱产品开发过程中引入 CAE 技术,在产品概念设计和初步设计阶段,在计算机上利用虚拟试验模拟真实物理试验,校核设计方案可靠性,并及时将试验结果反馈给设计人员,规避设计不足,甚至可以达到样机生产后一次性通过物理试验的目的,最大程度缩减新产品开发过程中反复试验并修改设计的流程。此外,集装箱企业引入 CAE 技术,还可以对现有产品进行失效分析,通过计算机仿真手段确定失效形式,判定失效原因,明确责任划分。基于此,目前主流集装箱企业均在其设计研发部门设置 CAE 岗位,大力发展 CAE 技术,提升产品研发经济性与可靠性。

2.2 集装箱工况简介

集装箱产品根据功能性, 共分为4个大类: 干箱、冷箱、罐箱和特箱, 其中特箱又分为开顶箱、海工箱、折叠箱等小类。箱型不同, 其所涉及的工况也不同, 所需要参考的设计标准亦不同。根据工况分类, 集装箱共需要分析如下工况:

- (1) 堆码: 模拟海上船舶运输时底层集装箱承受堆码在其上部质量,且偏码的工况,用于校核角柱性能;
- (2) 吊顶:模拟 4 个顶角件竖直吊起集装箱的工况,用于校核底架性能;
- (3) 吊底: 模拟绳索通过 4 个底角件吊起集装箱的工况,用于校核底架性能;
- (4) 叉举:模拟叉车搬运空箱和重箱的工况,用于校核叉槽性能;
- (5) 栓固: 模拟运输集装箱的汽车或者火车紧急制动或碰撞的工况,用于校核底侧梁性能,
- (6) 横向刚性: 模拟集装箱承受风浪导致同列上方箱子倾斜对下方箱子的横摇挤压的工况,用于校核端框性能;
- (7) 纵向刚性: 模拟集装箱承受风浪导致同列上方箱子倾斜对下方箱子的纵摇挤压工况,用于校核侧框性能;
- (8)侧壁气袋:模拟船承受风浪导致箱内货物压向侧壁的工况,用于校核侧壁性能;
- (9) 端壁气袋: 模拟船承受风浪导致箱内货物压向端壁的工况,用于校核端壁性能;
- (10) 地板试验:模拟叉车进入箱内装卸货物的工况,用于校核底架性能;

- (11) 顶板试验:模拟两名工人携带必要的工具在箱顶上工作时的工况,用于校核顶框性能;
- (12) 惯性力试验: 模拟箱子在铁路或公路运输时,由于转弯、急起、急停、爬坡等路况承受各方向惯性力的工况:
- (13) 两点吊:模拟海工箱由2根绳索吊起顶角件的工况,校核主结构性能;
- (14) 四点吊:模拟海工箱由 4 根绳索吊起顶角件的 工况,校核主结构性能;
 - (15)海水压力:模拟海工箱承受海浪拍打的工况;
 - (16) 风载试验: 模拟海工箱承受海上风压的工况;
- (17) 水平冲击:模拟海工箱承受水平方向冲击的工况,用于校核框架性能;
- (18) 垂直冲击:模拟海工箱承受垂直方向冲击的工况,用于校核框架性能;

以上工况均属于各检验标准规定的工况。除此之外, 在集装箱设计过程中,还需根据箱子实际使用情况评估 试验工况,检验标准未规定的一些工况,比如侧开门箱 侧门刚度评估,折叠箱开度分析等工况。

2.3 集装箱产品 CAE 分析流程

通常, CAE 分析的基本步骤如下。

第1步,准备阶段。根据工程、设备或工艺过程明确分析需求,确定分析对象、分析类型,搜集材料信息、载荷信息,建立准确的CAD模型,确定分析时间及费用,确定方案评估准则。

第2步,前处理,包括以下几个方面:

- (1)输入并简化 几何模型;
- (2) 定义单元类型、材料属性、几何属性;
- (3)确定连接关 系和相互作用关系;
- (4) 定义位移边 界条件;
- (5) 定义载荷边 界条件;

第 3 步, 总装求解。指定适合的求解器,给定合适的求解过程控制参数,并将输入文件提交给求解器进行计算。

第4步,后处理。 对所求出的解根据有 关准则进行分析和评

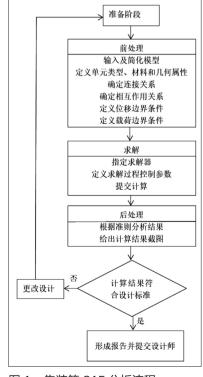


图 1 集装箱 CAE 分析流程

价,并给出计算结果的截图,如位移场云图、 应力云图、温度场云图等。集装箱 CAE 分 析流程见图 1。

图 1 描述了基于集装箱的 CAE 分析流程,这个过程中约 60%的时间用于前处理,约 30%的时间用于后处理,只有 10% 左右的时间用于分析仿真需求和求解计算,但奠定整个 CAE 分析基础的正是这 10%的需求分析与求解时间,只有精确地分析仿真需求并将产品物理模型转换为有限元模型,才能最大程度地获得准确的计算结果。一个简单的集装箱有限元模型及计算结果如图 2、图 3 所示。

2.4 影响集装箱 CAE 分析准确性的因素

CAE 分析毕竟是理想数学模型,它跟物理模型有一定的差距,而这些差距也决定了 CAE 分析的准确度。对 CAE 分析准确度影响最大的因素有二。

2.4.1 材料本构

在工程界,材料参数往往是一家公司的核心机密,因此很大一部分材料参数很难获取。目前在集装箱企业,对于常用的金属材料的弹性分析,CAE技术已经能做到相当高的准确度,但涉及弹塑性材料、各项异性材料、复合材料的分析,还需要努力去攻克。2.4.2 工艺

有限元模型的前处理并不考虑工艺,比 如用绑定代替粘贴、用共节点代替焊接、不 考虑焊接残余变形等,这些工艺因素,都会 导致有限元结果与实际结果的误差。

3 结语

随着制造业利润水平不断被压缩和产品生命周期日益缩短,生产高附加值的创新产品也成为了集装箱企业求生存、谋发展的战略举措之一。而研发创新产品必不可少的一环就是 CAE 仿真,它能缩短企业新产品研发周期,降低物理试验成本,节省研发经费,提高新产品安全性和可靠性,真正为企业创造高额利润,提升产品附加值。因此大力发展 CAE 技术是提高集装箱企业核心竞争力的关键点,也是中国制造业数字化工程的关键点。

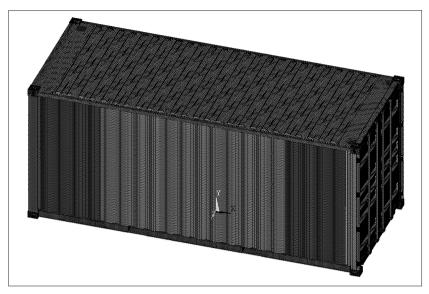


图 2 集装箱有限元模型

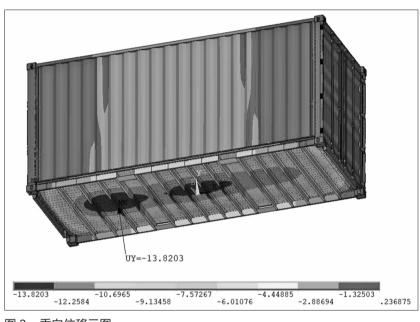


图 3 垂向位移云图

参考文献:

[1] 王元. 数学大辞典 [M]. 北京: 科学出版社, 2010. [2] 孙东印,司建明,李郁,等. 综述 CAE 技术的发展和应用 [J]. 现代制造技术与装备, 2011(2):25-27.

作者简介:沈赛男(1988-),女,汉族,江苏南通人,硕士研究生,工程师,研究方向:工程结构分析与优化设计。