

虚拟样机技术在地质工程机械领域的应用研究

瞿叶高¹, 卜长根¹, 李金峰²

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国建筑材料工业地质勘查中心内蒙古总队, 内蒙古呼和浩特 010070)

摘要:基于对国内地质工程机械的研发现状的考虑,根据虚拟样机技术的特点,讨论了在地质工程机械领域实施虚拟样机技术的必要性,并提出了建立地质工程机械虚拟样机的策略。联合 PRO/E、ANSYS 及 ADAMS 建立了气动潜孔锤的虚拟样机模型,对气动潜孔锤虚拟样机进行了仿真,阐明了虚拟样机技术在地质工程机械领域的应用前景。

关键词:虚拟样机技术;地质工程机械;仿真;气动潜孔锤

中图分类号:TH122;P634.4⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2006)11-0038-03

Application Study on Virtual Prototyping Technology in the Field of Geological Engineering Machinery/QU Ye-gao¹, BU Chang-gen¹, LI Jin-feng² (1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Inner Mongolia Brigade of Geological Surveying Center for Chinese Building Material Industry, Hohhot Inner Mongolia 010070, China)

Abstract: Based on the virtual prototyping technology and the geological machinery design actuality, the necessity of virtual prototyping technology application in geological engineering machinery field is discussed. Furthermore, a practical strategy for setting up geological machinery virtual prototype is proposed. In order to illustrate the application future of virtual prototyping technology in geological engineering machinery, a pneumatic DTH hammer was selected as an example to be simulated and evaluated with the software PRO/E, ANSYS, and ADAMS.

Key words: virtual prototyping technology; geological engineering machinery; simulation; pneumatic DTH hammer

地质工程机械是国民经济建设的重要设备,工程地质勘查、能源开发、市政工程施工以及地质灾害防治等领域,无不涉及地质工程机械设备。然而,国内地质工程机械设备的开发与研制一直在传统的研发模式下进行,设计与制造周期长、成本高,一些产品严重老化、缺乏市场竞争力。随着经济全球化的发展,市场竞争日趋激烈,国内地质工程机械制造企业要求得生存与发展,就必须调整其产品开发和生产组织模式。

虚拟样机技术是一种崭新的产品开发方法,它是一种基于产品的计算机仿真模型的数字化设计方法。利用虚拟样机技术可以将地质工程机械装置设计、装配和样机运转、性能测试和设计改进完全在虚拟环境中进行,使地质机械设备的研发过程从纯粹的物质流与资金流转为数据流与信息流,实现数字化设计与制造的崭新理念。

1 虚拟样机技术

1.1 虚拟样机技术内涵

虚拟样机技术就是在建筑第一台物理样机之前,设计者利用计算机技术建立机械系统的数字化模型,进行仿真分析并以图形方式显示该系统在真实工程条件下的各种特性,修改并得到最优设计方案的技术。这种技术是多个相关学科领域交叉、集成的产物,涉及多体系统运动学与动力学建模理论及技术实现,是基于先进的建模技术、多领域仿真技术、交互式用户界面技术和虚拟现实技术的综合应用技术^[1,2],如图1。

(1) 工程设计开发技术:虚拟样机所模拟的物理系统的数学模型和几何模型及工作方式等;

(2) CAx/DFx 技术:包括液压、机械、电子和控制系统的 CAD 技术,以及数值、半实物仿真,实时仿真,分布仿真技术;

(3) 虚拟现实技术:包括可视化建模、人机交互

收稿日期:2006-07-05

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:50475056)

作者简介:瞿叶高(1983-),男(汉族),山东人,中国地质大学(北京)硕士研究生在读,机械工程专业,研究方向为机械动力学仿真与设计,北京市海淀区学院路29号,quyegao@sina.com;卜长根(1963-),男(汉族),安徽人,中国地质大学(北京)副教授、硕士生导师,机械工程专业,研究方向为机电产品集成及动力学仿真,bucg@cugb.edu.cn。

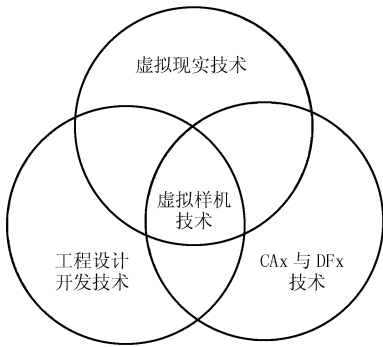


图 1 虚拟样机技术内容

环境等。

虚拟样机技术不仅是计算机技术在工程领域的成功应用,更是一种全新的机械产品设计理念。传统产品的开发过程是一个串行的过程,在概念设计(产品规划)之后,是一个产品设计—样机建造—测试评估—反馈设计的循环反复过程,如图 2。这其中的每一次循环,都伴随有物理样机的建造或修改,随之而来的产品开发周期的延长和开发成本的增长。另外,传统开发过程往往是把注意力过分集中在局部优化而忽略了整机性能,从而导致最终产品存在着许多未曾估计到的问题,导致了设计质量降低并造成严重浪费。



图 2 传统产品开发流程图

虚拟样机技术将传统的产品设计—样机建造—测试评估—反馈设计的循环过程采用以数字化方式进行,从而避免了物理样机的建造,缩短了产品开发周期、降低了产品开发成本,如图 3。而且虚拟样机技术强调系统层面上的优化,使产品在开发设计阶段就可以迅速分析、比较多种设计方案,测试并改进设计方案,直至获得最优工作性能,从而能极大地提高产品的性能。

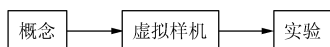


图 3 虚拟产品开发流程图

1.2 虚拟样机技术实现平台

机械系统虚拟样机技术是在 CAx(CAD、CAM、CAE 等)等技术基础上发展起来的。其核心内容是先进的 CAD 和多体系统运动学与动力学建模技术。近年来的计算机可视化技术的发展为这些技术提供了友好的用户界面,并相应地产生了许多功能强大、

性能稳定的虚拟样机软件平台。较有影响的有 MSC. Software 的 MSC. ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System), CADSI 的 DADS (Dynamic Analysis and Design System), 韩国的 Recurdyn 以及德国航天局的 SIMPACK 等。

对于一些简单的物理系统,利用上述平台可以很容易地建立其相应的虚拟样机系统。然而,当系统包含复杂的几何造型特征及功能特征时,需要联合其他软件平台来联合建立虚拟样机系统,如三维实体造型工具(PRO/E、SOLIDWORKS、UG),控制系统设计软件(MATLAB、MATRIX、EASY5)及有限元工具(ANSYS、NASTRAN)等,见图 4。虚拟样机软件为这些实体造型软件、控制系统软件及有限元工具等提供了接口功能。通过这些接口进行数据传输,便可以轻易地实现对复杂的机—电—液一体化等系统联合仿真操作。

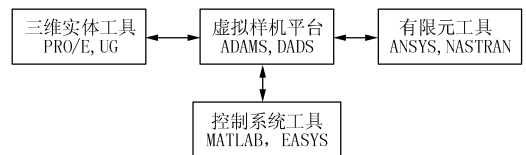


图 4 虚拟样机平台之间的数据传输

2 虚拟样机技术应用于地质工程机械研发过程的必要性及其实现策略

2.1 实施虚拟样机技术的必要性

由于地质工程机械设备常常在工况恶劣、地质情况复杂的环境下工作,工作过程中存在大量随机影响因素,研制存在较大的困难。传统的理论分析很多只是定性的说明问题,缺乏精确的计算和验证。相对复杂的机构分析和综合问题,往往依靠经验、类比方法来拼凑。因此,地质工程机械设备的开发与研制一直处于传统的设计模式下,一种新产品的开发通常要经过设计、样机试制、工业性试验、改进定型和批量生产几个步骤。而且,由于地质机械设备工作环境恶劣,传统开发过程中物理样机试验的破坏性会非常严重,试验中很难在相互作用的零件中确定故障原因,严重制约了产品质量的提高^[3]。

随着地质机械应用领域的拓宽及相关技术的发展,地质工程机械的研发及设计在广度、深度和规模上都发生了很大的变化^[4]。地质机械设备广泛地与电子技术、传感器技术、液压技术相结合,开始向机—电—液—仪一体化、自动化及智能化发展,从而实现自动控制、自动监测和智能化处理。一个地质

工程设备往往会包含多个子系统,如电子分系统、机械分系统、控制分系统、软件分系统模型等。系统构造的复杂化及功能的复杂化,给传统的设计带来很大的困难。虚拟样机技术从分析解决产品整体性能及相关问题的角度出发,弥补了传统设计与制造过程中的不足,能很快解决地质工程机械设备的 T(上市时间)、Q(产品质量)、C(产品成本)、S(产品服务)和 E(环境)问题,对快速多变的市场需求做出敏捷的响应。

2.2 地质工程机械实施虚拟样机技术的策略

首先根据市场需要,确定地质工程机械系统总体参数和各项性能指标,再根据专家系统初步确定地质机械设备总体设计方案。按照模块化设计思想,把地质工程机械抽象为一组相互连接的功能模块的集合。对模块功能进行分析,并相应地将整个设备划分为各个功能子系统,如机械系统、电子控制系统、液压控制系统、气动控制系统等。然后,对各个子系统进行功能细化,产生概念样机。

利用概念样机使用相关虚拟样机平台,构造地质机械产品的虚拟样机。基于产品开发需求,采用相应仿真分析平台对地质机械设备虚拟样机的功能性能进行仿真分析,对虚拟样机的行为进行模拟分析,并基于仿真分析结果,修改产品设计模型(如 CAD 模型)和相应的仿真分析模型。通过产品全生命周期反复的建模、仿真分析与模型改进活动,便可以开发出满足产品预期设计目标的虚拟样机。虚拟样机技术的实施策略如图 5 所示。

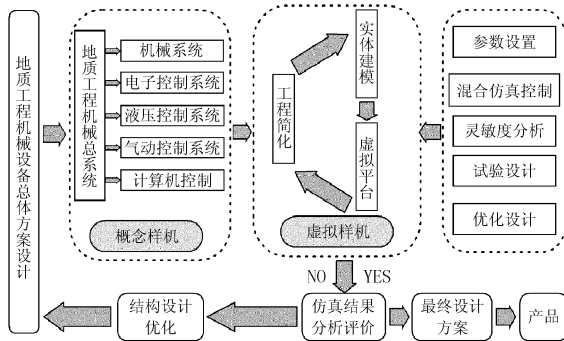


图 5 地质工程机械虚拟样机技术实施策略示意图

3 虚拟样机技术的应用

气动潜孔锤是一种常用的地质工程设备,其工作环境非常复杂,运动表现为耦合,非线性^[5]。目前关于气动潜孔锤的研发大多是建立在传统经验和类比等方法基础上的。本文以无阀式气动潜孔锤为例,联合 ADAMS、PRO/E 及 ANSYS 建立潜孔锤的

虚拟样机模型并对其虚拟样机进行仿真,来阐明虚拟样机技术在地质工程机械中产生的巨大作用。

ADAMS 是集建模、求解、可视化技术于一体的虚拟样机平台,是目前世界上使用范围最广的机械系统仿真分析软件。ADAMS 采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法,建立系统动力学方程,并与大位移、非线性求解功能相结合,能提供全方位、高精度的仿真分析结果。其核心模块为:ADAMS/View(用户界面)模块、ADAMS/Solve(求解器)模块及 ADAMS/PostProcessor(后处理)模块。同时还拥有几乎可以涵盖整个机械行业的各种专业模块及扩展模块,如 ADAMS/Hydraulics(液压系统模块),ADAMS/Vibration(振动模块),ADAMS/Car(轿车模块),ADAMS/Engine(发动机设计模块)等模块。ADAMS 提供了与其他 CAD(如 PRO/E)、CAE(如 ANSYS)软件的集成接口,可以生成包括机-电-液一体化在内的,任意复杂机械系统的虚拟样机虚拟模型。

无阀式气动潜孔锤是潜入孔中以压缩空气为动力,通过配气装置控制活塞作往复运动并冲击钻头尾部,将能量传递至钻头而破碎岩石的机构(见图 6)。

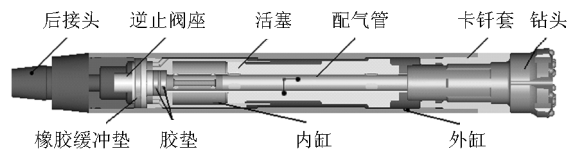


图 6 无阀式气动潜孔锤结构图

考虑到潜孔锤零件构造的复杂性,潜孔锤三维特征建模在 PRO/E 中实现,利用 PRO/E 生成参数化的零件实体,预装配成潜孔锤运动部件,进行干涉检查,然后通过 ADAMS 与 PRO/E 之间的接口 MECHANISM/PRO,将整个潜孔锤的 CAD 模型传送给 ADAMS。同时将 ANSYS 产生 ADAMS 的柔性体零件,利用 ADAMS/Flex 模块导入 ADAMS/View 中,在 ADAMS 中完成运动约束、运动激励的定义,产生参数化的虚拟样机模型^[6](见图 7)。

根据所建立的气动潜孔锤虚拟样机模型,ADAMS/Solver 模块自动生成动力学方程,提供静力学、运动学、动力学的解算结果,包括位移、速度、加速度、力和自定义的数据等结果。利用后处理模块 ADAMS/Post Processor 可以实现动态查看气动潜孔锤虚拟样机的仿真结果,在播放三维动画的同时显示曲线的的数据位置,从而可以观察运动与参数变化的对应关系(见图 8)。

(下转第 44 页)

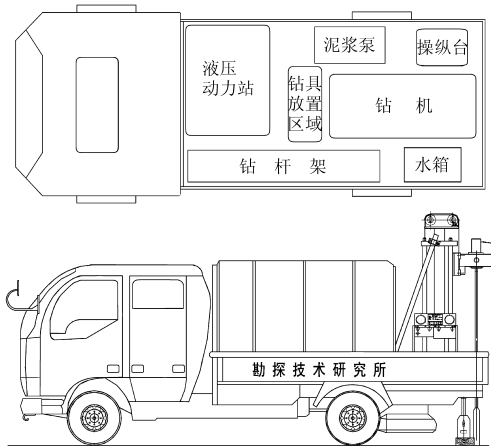


图1 CQK-50型车载化钻机布局



图2 CQK-50型车载化钻机全貌

5 结语

车载化钻机是钻探机械设备一种新的装载形式。它既有车装钻机集约化程度高,搬迁与施工快捷方便的优点,又可以在必要时脱离汽车,同散装钻机一样能够部件拆、装自如,适应无法通行汽车的难进入地区施工,故而特别适合地质调查钻探工程在边远、分散地区单机作业的需求。

在我国当前的经济、技术条件下,利用现成设备有机组合成车载钻机的方式与研制专用车装钻探设备相比,技术上相对简单,而且成本低、周期短、见效快,十分符合国情。车载化钻机在地质调查领域有较好的应用、发展前景,很可能成为与车装钻机、拖车装钻机、散装钻机并列的一种新的钻机装载形式。

项目组吸收借鉴国外钻探装备设计理念,在CQK-50型车载化取样钻机动力匹配、液压系统热平衡、变量泵-定量马达之间的无级变速和恒功率输出以及伸缩钻架超长行程给进等方面进行了探索,取得专利2项。CQK-50型车载化钻机的研制成功,为国土资源大调查地质调查工作提供了技术支撑,为地质填图取样钻探增添了利器。该钻机已列入中国地质调查局2006年度地质调查科技成果推广计划。

4 结语

利用PRO/E, ANSYS及ADAMS成功地建立了气动潜孔锤的虚拟样机模型,并分析了气动潜孔锤动态特性。对于合理选择潜孔锤的各项参数,快速开发产品提供了一条捷径,充分体现了虚拟样机技术在地质工程机械产品研发中的重要性。虚拟样机技术可以从根本上解决目前国内地质工程机械设计制造水平落后的现状,为提高地质工程机械产品研发水平有着十分重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 李瑞涛,方涓,张文明,彭龙洲. 虚拟样机技术的概念及应用[J]. 金属矿山, 2000, (7): 38-40.
- [2] 熊光楞,李伯虎,柴旭东. 虚拟样机技术[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(1): 114-117.
- [3] 王国彪,程小虎. 工矿设备设计新模式——基于虚拟样机的设计联盟[J]. 矿山机械, 2000, (7): 6-7.
- [4] 杜祥麟,李振亚. 地质系统地质机械的研究与开发[J]. 探矿工程, 1999, (增刊): 232-234.
- [5] Bu Changgen, Qu Yegao, Liu Baolin. Dynamic Modeling and Simulation of DTH Hammer[A]. Proceeding of 16th CIRP International Design Seminar[C]. Alberta, Canada, 2006.
- [6] 宁晓斌,张文明,王国彪. 用虚拟样机技术分析鼓式制动器的振动[J]. 有色金属, 2003, 55(2): 105-107.
- [7] INC, ADAMS/VIEW User's Reference Manual [Z]. 1994.

(上接第40页)

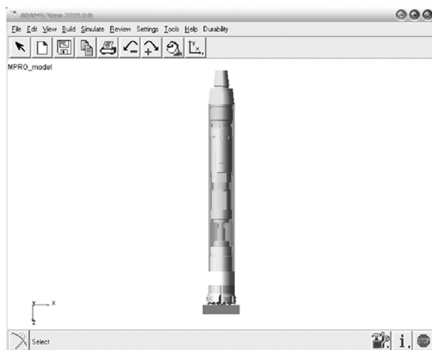


图7 气动潜孔锤虚拟样机模型

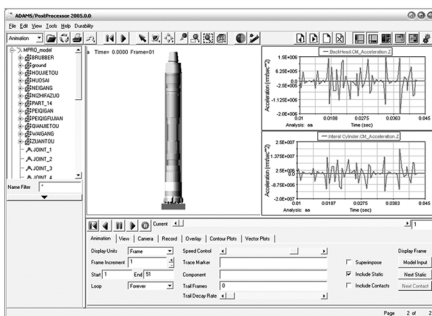


图8 气动潜孔锤虚拟样机仿真后处理结果图