

文章编号:1671-6833(2010)06-0083-04

基于 MSC. Patran/Nastran 的泵车臂架分析系统的研究

吴运新, 钟志宏, 滑广军

(中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 为了对泵车臂架进行多工况有限元分析, 基于 MSC. Patran/Nastran 平台, 运用 PCL (Patran Command Language) 开发了泵车臂架分析系统. 该系统集成于 Patran, 具有 Patran 风格, 便于交互操作; 实现了泵车臂架有限元模型任意姿态变换、载荷参数化和分析过程自动化等功能. 并以某公司 37 m 泵车臂架为对象, 运用系统进行了几种典型工况姿态的有限元分析. 结果表明, 分析系统计算正确快捷, 使用方便, 适用于泵车臂架分析.

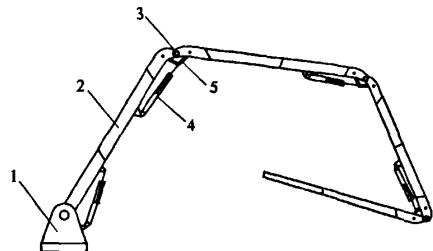
关键词: 臂架; 分析系统; 开发; MSC. Patran/Nastran; PCL

中图分类号: TU646 **文献标识码:** A

0 引言

混凝土泵车是一种用于混凝土浇筑的大型工程机械, 主要由底盘、混凝土泵和臂架系统组成^[1]. 其中, 臂架系统是最能反映混凝土泵车设备特点的部件, 其安全性、可靠性和先进性是决定泵车核心竞争力的关键, 结构如图 1 所示. 混凝土输送管沿臂架方向固定在各节臂上, 借助臂架系统的伸展和回转可以将混凝土连续输送到浇筑现场. 实际工作时, 臂架姿态可以连续变化, 其整体刚度和质量分布也相应变化, 进而导致其应力分布及动态特性的变化. 因此, 了解泵车各工况下的应力状态及动态特性, 对于泵车的安全使用与维护具有重要的意义.

对于静强度分析, 传统观点认为, 臂架水平全伸时的工况是最危险工况^[2-4]. 但为了解臂架工作时的具体应力分布情况, 优化传感器布置, 更好地实现对泵车工作时的实时信息采集与状态监测, 对其各个作业工况尤其典型工况进行有限元分析是非常必要的. 直接利用现有通用有限元软件不能实现泵车臂架姿态的任意变换, 一次建模只能分析一种工况姿态, 效率不高. 笔者将介绍基于 MSC. Patran/Nastran 平台开发的, 能够实现臂架任意工况姿态快速自动分析的泵车臂架分析系统的开发及应用.



1—转塔; 2—臂; 3—销轴; 4—液压缸; 5—连杆

图 1 泵车臂架结构简图

Fig. 1 Structure of boom of truck mounted concrete pump

1 开发平台与语言

笔者采用 MSC. Patran/Nastran 作为开发泵车臂架分析系统的平台, 开发语言为 PCL.

MSC. Patran 是工业领域最著名的并行框架式有限元前后处理及分析系统, 具有完善的几何造型、全面的有限元处理和方便的分析模型定义功能, 并能集成各种分析软件并将分析结果可视化处理. MSC 公司还提供了专门的二次开发语言 PCL, 以方便用户自编分析程序和定制用户界面, 并集成于 Patran 系统中. 另外, Patran 作为优秀的前后处理器, 提供了按“事件分类”的分析求解器选择功能^[5]. 笔者选择了同为 MSC 公司产品的 Nastran 作为求解器.

PCL 是 MSC 提供的模块化高级编程语言和用户自定义工具, 它的主要功能有: ①生成能直接

收稿日期: 2010-06-20; 修订日期: 2010-07-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2008AA042801, 2008AA042802)

作者简介: 吴运新 (1963-), 男, 广东兴宁人, 中南大学教授, 博士生导师, 主要从事机械结构动力学、机电控制、冶金机械等专业领域的教学与科研工作, E-mail: wuyunxin@mail.csu.edu.cn.

从 Patran 调用的函数;②生成窗体和控件;③调用 Patran 内的所有函数;④调用 Patran 外的可执行文件^[6]. 这些特点使用户能灵活地调配该软件现有的功能和添加新的函数,来完成特定的任务,并使开发的界面具有 Patran 风格. 使用 PCL 进行二次开发,既可节约编程工作量、提高工作效率,又能增加程序的可靠性.

通过 PCL 编程,在 Patran 菜单中集成臂架性能分析系统模块. 用户可以通过此模块,对已有臂架有限元模型设置任意想要分析的姿态及边界条件,系统能够自动完成分析.

2 系统开发

2.1 开发流程

Patran 在运行时,所有的操作都会记录在会话文件(session file, *.ses 文件)中. 会话文件中记录的操作可以通过回放的形式重做,并且可以用 PCL 嵌入变量、定义函数,从而实现某些操作过程的自动化、参数化. 另外,还可以通过 PCL 定制 Patran 风格的菜单,将开发的程序集成于 Patran 系统中. 基于此,可以按照如下流程开发泵车臂架分析系统:

(1)用 Pro/E 建立泵车臂架主体模型(不含液压缸与连杆),并装配成水平姿态,导入 Patran,划分好网格;

(2)手动操作实现臂架姿态变换、液压缸与连杆有限元生成、施加约束与载荷、定义材料、设置单元属性等;

(3)使用 PCL 编辑步骤(2)各操作过程中生成的会话文件,定义相关变量与函数,实现分析过程的自动化与参数化;

(4)定制界面,将系统集成于 Patran 菜单,便于臂架分析的各种参数的输入与结果查看.

2.2 技术关键

开发泵车臂架分析系统过程中的技术关键有:①臂架姿态变换;②液压缸及连杆生成;③销轴联接.

2.2.1 臂架姿态变换

臂架姿态变换可以通过绕在相邻两臂联接销轴中心建立的坐标系旋转来实现. 臂架网格划分完成后,在每个销轴中心建立局部坐标系,依次转换每节臂至指定角度,同时不改变单元及节点编号.

2.2.2 液压缸及连杆生成

当臂架转换至指定姿态后,分别以相邻两臂上连杆与臂架的铰点为圆心,以连杆长度为半径

画圆弧,两圆弧交点即为对应的活动铰点位置. 活动铰点位置确定以后,即可通过直接建立节点与单元的方式建立液压缸与连杆的有限元单元. 单元类型选择的是 Rod 单元,内力分布需另行计算.

2.2.3 销轴联接

臂架之间通过销轴联接,联接方式属于复杂的非线性接触问题,其局部应力需利用非线性分析才能得到. 笔者仅采用 MPC (Multiple - Point Constraints, 多点约束)来近似模拟相关部件运动关系.

2.3 界面定制与集成

编辑上述过程中产生的会话文件,定义相应变量与函数,可以实现快速自动地分析不同工况姿态下的泵车臂架. 为便于用户进行交互操作,笔者利用 PCL 开发了具有 Patran 风格的“臂架分析”模块并集成于 Patran 菜单栏,如图 2 所示. 通过此模块,用户可以方便地输入想要分析工况的臂架姿态与末端牵引载荷,快速进行臂架静力分析或模态分析并查看相关结果.



图 2 分析系统菜单

Fig. 2 Menu of the analysis system

3 应用实例

选择某公司 37 m 泵车臂架进行了系统开发与典型工况姿态分析计算.

3.1 有限元模型

用 Pro/E 建立 37 m 泵车臂架主体模型,装配成水平姿态,导入 Patran 中,建立其有限元模型,如图 3 所示.



图 3 臂架有限元模型

Fig. 3 Finite element model of the boom

臂架由不同厚度钢板焊接而成,采用 8 节点 Shell 单元. 这种单元是二阶的,具有足够的计算精度. 转塔采用 Solid 单元,销轴和混凝土输送管(含混凝土)采用 Beam 单元.

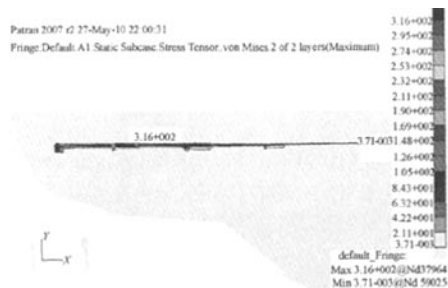
臂架主要材料为优质进口板材 SG1000. 该材料具有良好的韧性、焊接性能及冷加工性,综合力学性能良好. 其密度 $7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$, 弹性模量 200 GPa, 泊松比 0.3.

作用在臂架上的载荷主要有自重、末端牵引力以及风载,约束为泵车底盘对转塔的约束。结构的自重载荷通过施加重力场及调节密度来实现,终端软管的重量及端部侧向牵引力通过施加集中载荷来实现,风载通过施加压力载荷实现,根据有关文献定义为 250 Pa。转塔虽然可以转动,但在静力分析中不考虑转动,故约束转塔底面节点各自由度。

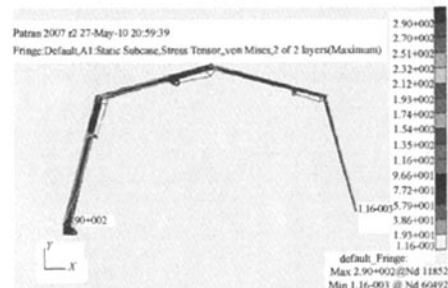
3.2 典型工况计算

实际工作时,臂架工作姿态多变,笔者仅选取水平极限工况、地基、面墙、楼顶 4 种典型工况进行分析。计算时,定义以上 4 种工况下每节臂与水平方向的夹角分别为 $[0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$ 、 $[75^\circ, 15^\circ, -15^\circ, -75^\circ]$ 、 $[75^\circ, 45^\circ, 15^\circ, -45^\circ]$ 、 $[75^\circ, 75^\circ, 45^\circ, -30^\circ]$ 。进入分析系统,在“臂架姿态”对话框中分别输入上述 4 组角度,然后选择“静力分析”,系统自动完成分析,查看等效应力云图,如图 4 所示。

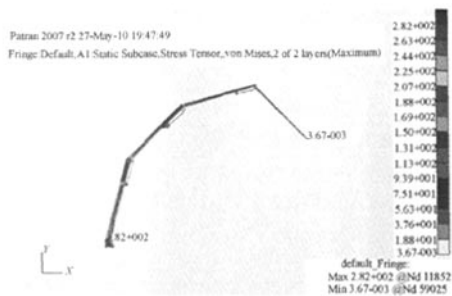
由 4 种典型工况的应力云图可以看出:水平全伸工况的应力水平最大,符合传统静强度分析认为此工况为最危险工况的观点;最大应力 316 MPa,位于第二节臂与第一节臂的联接销轴孔附近,小于臂架板材屈服应力,满足强度要求。其它 3 种典型工况最大应力分别为 290 MPa、282 MPa 和 261 MPa,位置均在第一节臂与转塔连接处附近。不同工况应力分布差别较大,说明对泵车臂架进行多工况分析是有意义的,而且是必要的。



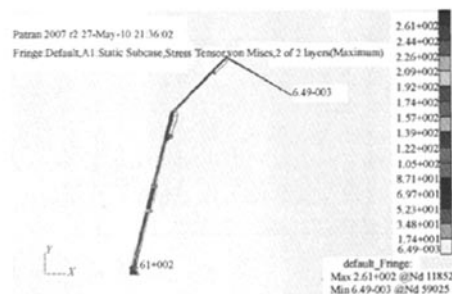
(a) 水平



(b) 地基



(c) 面墙



(d) 楼顶

图 4 典型工况下臂架应力云图

Fig. 4 Stress fringes of the boom under typical working conditions

有限元建模在整个有限元分析工作量中占 70% ~ 80% 左右^[7]。据此可以计算,相比传统分析一种工况姿态需建模一次的方法,至少减少了一半的工作量。而且,随着分析工况姿态数增加,系统的这一优势将更明显。

4 试验验证

为了验证系统分析结果的准确性,选取“地基”工况进行了应力测试,并和分析结果进行对比。

为了避免由于建模不准确带来的局部应力集中而造成误差过大,选择分别在每节臂顶板距离销轴 L_i (见表 1) 处布置测点,如图 5 所示。



图 5 测点位置

Fig. 5 Location of the measuring point

分析结果与测试结果对比如表 1 所示。由分析结果与测试结果对比可知,应力分析最大相对误差仅为 14.4%,说明了分析系统的正确性。

表 1 分析结果与测试结果比较
Tab.1 Comparison of analysis results and
measurment results

测点	1	2	3	4
L_i/mm	3 890	2 965	2 235	1 165
分析结果/MPa	168.0	197.0	206.0	77.5
测试结果/MPa	186.2	225.6	240.6	88.4
相对误差/%	9.8	12.7	14.4	12.3

5 结论

(1)该分析系统能够实现泵车臂架有限元模型的姿态变换、末端载荷参数化和分析过程自动化等功能。

(2)对于多工况分析,系统能迅速实现,正确快捷,减少了大量重复工作,提高了工作效率,体现了分析系统的优势与实用性。

(3)系统集成于 Patran,工作界面也完全是 Patran 风格的,易于接受和掌握,具有较大的发展潜力。

参考文献:

[1] 史先信,郑永生,徐怀玉,等. 基于 ANSYS 的大型泵

车臂架有限元分析[J]. 建筑机械,2009(4):79 - 82.

[2] 闫丽娟,冯敏,徐怀玉. HB37 型布料杆的有限元计算与分析[J]. 工程机械,2005(1):30 - 32.

[3] 张艳伟,佟力,孙国正. 基于 ANSYS 的混凝土泵车臂架结构分析研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2004,28(4):536 - 539.

[4] 郭立新,陈长征,张国忠,等. 混凝土泵车布料机构水平工况的动态分析[J]. 振动与冲击,1999,18(3):77 - 80.

[5] 李邦国,路华鹏,胡仁喜,等. Patran2006 与 Nastran2007 有限元分析实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社,2008:3 - 12.

[6] 陈坤艳,袁家军,黄海. 基于 MSC. PATRAN/NASTRAN 的结构优化程序系统[J]. 宇航学报,2005,26(4):514 - 518.

[7] 关振群,顾元宪,张洪武,等. 三维 CAD/CAE 一体化的参数化动态有限元建模[J]. 计算机集成制造系统,2003,9(12):1112 - 1119.

Study on Analysis System for Boom of Truck Mounted
Concrete Pump Based on MSC. Patran/Nastran

WU Yun - xin, ZHONG Zhi - hong, HUA Guang - jun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: To analyze the boom of truck mounted concrete pump under multi working conditions with finite element method, an analysis system is developed using PCL based on MSC. Patran/Nastran. This system is integrated in Patran with Patran style. It is easy for interactive operation. Arbitrary pose transformation, loads parameterization and analysis automation are realized in the system. The boom of a 37m truck mounted concrete pump of a company is analyzed under several typical working conditions with this system. The results show that the analysis system is correct and effective in calculation, convenient in usage, and suitable to be applied in analysis of the booms.

Key words: boom; analysis system; development; MSC. Patran/Nastran; PCL