

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.09.009

汽车起重机伸缩吊臂曲线形截面的有限元分析*

李 润, 纪爱敏*, 黄鑫磊, 王铭龙, 井智民
(河海大学 机电工程学院, 江苏 常州 213022)

摘要:针对汽车起重机吊臂采用何种截面形状能够提高其整体稳定性的问题,对汽车起重机伸缩吊臂的多种截面形状进行了研究与归纳,提出了一种将非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线理论应用于构造伸缩臂截面形状曲线的系统方法,从而使下盖板产生了大圆弧过渡,减少了吊臂工作时震颤,减小了应力集中现象,提高了稳定性。同时,对伸缩臂模型进行力学简化,便于利用 ANSYS 软件进行有限元分析。并以此为基础,利用 ANSYS 软件本身的参数化设计语言(APDL 语言)为工具进行了其整体的建模,包括实体建模(以基本臂与一节臂为例)、网格划分、滑块处理及载荷加载和约束处理。并通过全伸与全缩两种工况下的强度有限元分析说明了曲线形截面伸缩吊臂的合理性。研究结果表明,利用该方法可以减小应力集中现象,改善受力情况,较好地解决了起重机曲线形吊臂的稳定性问题。

关键词:非均匀有理 B 样条;起重机伸缩臂;APDL 语言;参数化设计

中图分类号:TH213.6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)09-1140-04

Finite element analysis on curved cross-section telescopic boom of truck crane

LI Run, JI Ai-min, HUANG Xin-lei, WANG Ming-long, JING Zhi-min

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

Abstract: Aiming at the problem of the cross-sectional shape of the truck crane boom which can improve the overall stability, various cross-sectional shapes of the telescopic boom truck cranes were studied and summarized, a non-uniform rational B-spline (NURBS) curve theory was applied to construct a systematic approach telescopic cross-sectional shape of the curve, under this a large arc over would be covered, when the crane works tremors were reduced, the stress concentration was reduced and stability was improved. At the same time, for the model to simplify the mechanical telescopic arm, its easy to be used ANSYS finite element analysis software. And on this basis, using ANSYS software itself Parametric Design Language (APDL language) as a tool to carry out its overall modeling, including solid modeling (the basic arm and the arm as an example), meshing, block processing and loading and constraint handling. Through finite element analysis of the extension and contraction strength under the two conditions of the curved section illustrates the rationality of telescopic boom. The results indicate that this method can reduce the stress concentration and improve the force, better solve the curved boom crane overall stability problems.

Key words: non-uniform rational b-spline; crane telescopic boom; APDL language; parametric design

0 引 言

汽车起重机广泛地应用于运输、装卸和筑路等场

地或临时吊装作业,而伸缩臂作为起重机的最关键部件,其设计和结构直接决定了该起重机的性能^[1-2]。但是,由于汽车起重机吊臂的长度、截面形状以及多工况

收稿日期:2014-04-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175146)

作者简介:李 润(1989-),男,山东青岛人,主要从事数字化设计方面的研究。E-mail:lirunbzxy@163.com

通信联系人:纪爱敏,男,教授,博士生导师。E-mail:jam@ustc.edu

的性能要求,使得汽车起重机伸缩臂的设计显得十分重要。同时,在目前多种吊臂截面形状中,臂截面形状由矩形演变为五边形、六边形、八边形、十二边形直至曲线状,业内普遍认为曲线形起重机吊臂能够满足要求并已形成共性认识,即采用曲线形吊臂可大大增强吊臂受压边的抗屈曲能力^[3]。

本研究采用三次 NURBS 曲线理论构造起重机伸缩吊臂下盖板截面的数学函数,并进一步使用 ANSYS 软件中的 APDL 语言编写伸缩吊臂的整体程序,这可使设计人员方便地对其进行参数化三维建模、有限元分析及后续处理。

1 伸缩吊臂的参数化建模分析

对吊臂进行有限元分析时,若是对起重机吊臂进行整体完整的建模则过程复杂,因此,本研究略去受力影响不大的细节,对模型进行简化处理^[4],伸缩臂的结构和性能达到最优状态^[5-6],针对伸缩臂的结构、臂头、臂尾及滑块进行参数化分析。

1.1 截面模型建立

目前,人们为使起重吊臂自重小、强度较高,因此对它的截面形状进行很多探索。归结起来,起重臂截面形式从矩形到八边形,直至 U 型和曲线形^[7]。本研究以三次 NURBS 曲线构造吊臂下盖板截面为例,进行伸缩臂的参数化建模。

一条三次 NURBS 曲线^[8]可表示为:

C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,3}(u)w_iP_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,3}(u)w_i}

式中: {P_i}—控制点(它们形成控制多边形), {w_i}—权因子, {N_{i,3}(u)}—定义在非周期节点矢量 U 上的 3 次 B 样条基函数。

本研究根据求得的 3 次 NURBS 曲线建立伸缩臂的下盖板,并根据 APDL 语言的循环控制语句,改变控制点 {P_i} 及权因子 {w_i} 的值,可以获得伸缩臂的多种截面形状。

APDL 命令流如下:

```
/PREP7
ET,1,SHELL63          ! 定义壳单元
ET,2,SOLID45          ! 定义实体单元
.....
R,1,R1, , , , ,
.....
.....
```

```
CSYS,4
! 建立 3 次 NURBS 曲线
* DO,1,0,0.5,0.01
* SET,N03W0,((1-2*I)* * 3)* W0
* SET,N131W1,(14*I* * 3-18*I* * 2+6*I)* W1
* SET,N231W2,(6*I* * 2-8*I* * 3)* W2
.....
```

1.2 整体模型建立

下面本研究以基本臂和一节臂为例说明吊臂的建模过程。根据图纸要求设定基本臂的长 L1L,宽 L1W,高 L1H 为独立变量,搭接长度 A1 为非独立变量。首先,笔者设置材料的弹性模量、泊松比及密度等,同时,保证在 ANSYS 单位前、后统一。设置完成后,以全伸臂为例,首先确定滑块、搭接长度以及上、下臂板之间的臂板间隔,然后根据两节臂之间的搭接长度 A1 通过 APDL 语言的 ADRAG 命令^[9-10],逐段的形成基本臂,这样是为了保证在网格划分过程中可以采用映射(MAP)网格划分方式,产生规则的四边形单元,通过 COINCIDENT 命令与滑块上同一位置的重合节点耦合在一起,上、下滑块的处理方式相同。以便使基本臂与一节臂之间的力通过滑块进行传递。

在形成一节臂的过程中,由于吊臂截面是三次 NURBS 曲线形成的,若重新赋值,需要大量计算,过程复杂。因此,本研究采用等比例缩放(LSSCALE)命令产生一节臂的截面曲线,即在基本臂的末端 L1L 处。

基本臂与一节臂简图如图 1 所示。

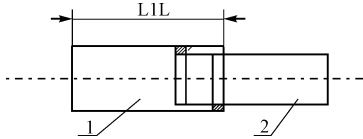


图 1 基本臂与一节臂简图
1—基本臂;2—一节臂

本研究对其截面曲线进行等比例缩放,以获得一节臂的截面曲线,由于新获得的曲线是在原来基础上进行缩放,截面曲线的光滑度与原曲线一致,不会发生变化,最后求解结果与三次 NURBS 曲线截面求解结果相同,操作更简单。然后再通过 APDL 语言的 ADRAG 命令,逐步形成一节臂臂筒。在两臂筒等位置间的空间处,本研究建立两个上滑块和一个下滑快。

这里,上、下滑块的建立不应该由基本臂和一节臂上的点、线、面形成,必须保证模型建成后基本臂、滑块和一节臂是相互独立的,这样可以保证耦合和计算结果的准确性。以此类推,可以对吊臂整体进行建模。

1.3 单元选取与网格划分

壳体选取 ANSYS 单元库中的 SHELL63 壳单元, 实体单元选取 SOLID45, 设置材料的弹性模量、泊松比及密度, 并进行网格划分。

本研究对于每节臂筒体采用映射方式划分网格。而在滑块处采用扫掠的方式对其进行网格划分, 这可以保证单元形状为规则的六面体。在臂头和臂尾处, 由于形状的不规则和硬点的存在, 采用自由网格划分, 控制单元形状尽可能规则, 避免形状畸形^[11]。

1.4 滑块接触处建模

吊臂在工作时通过各节臂间的滑块挤压和接触来传递力, 相邻两节臂的滑块呈现曲线状, 改善受力情况^[12]。

滑块模型如图 2 所示。

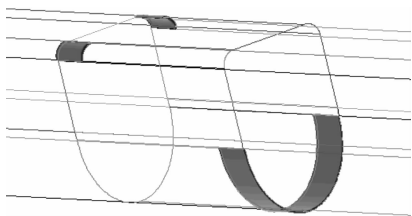


图 2 滑块模型

而 ANSYS 单元库中有十分丰富的单元, 可以实现接触分析。但是, 由于过多的接触对会使问题趋向于非线性化, 计算缓慢并占用大量的内存资源, 且所求得解不易收敛, 本研究因此对于滑块与截面接触处采用耦合的方式进行连接处理。

耦合结果如图 3 所示。



图 3 局部耦合图

1.5 加载及约束

起重机伸缩吊臂所受的载荷主要有臂架自重、吊重、侧载、惯性载荷、风载、液压缸作用力及伸缩机构钢丝绳拉力^[13]。为了避免模型改变后节点编号改变, 而导致力的加载位置改变, 本研究在臂头的盖板处建立硬点, 并在硬点上加载, 这可以保证加载位置不变且便于施加集中载荷。由于吊臂相对于总体笛卡尔

坐标系有 65° 的仰角, 且吊重在臂头的拉力及钢丝绳拉力与整体笛卡尔坐标系不一致, 笔者通过旋转这些节点的节点坐标系来改变力的加载方向。这样操作, 可以满足不同的加载要求。

在基本臂尾部处, 为了保证吊臂可以绕 X 轴旋转, 因此, 除转动自由度 (ROTX) 外, 本研究约束其他 5 个自由度。对于变幅液压缸与基本臂的铰点连接处处理方式相同。

2 实例验证及结果分析

下面笔者以五节臂汽车起重机伸缩吊臂为例, 进行验证。其臂架在全伸状态下为 26.475 m, 吊重 2 t, 钢丝绳拉力为吊重的 1/6; 全缩时 6.634 m, 吊重 20 t, 仰角均为 65° 作为计算实例进行分析, 得出其全伸状态下等效应力图及变形图如图 4、图 5 所示。

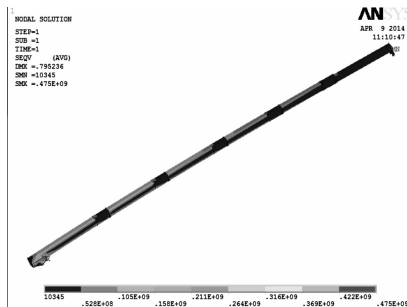


图 4 全伸状态应力图

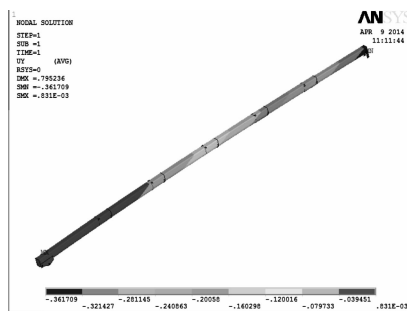


图 5 全伸状态位移图

其全缩状态下等效应力图及位移图如图 6、图 7 所示。

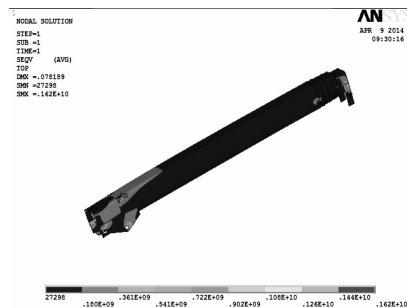


图 6 全缩状态应力图

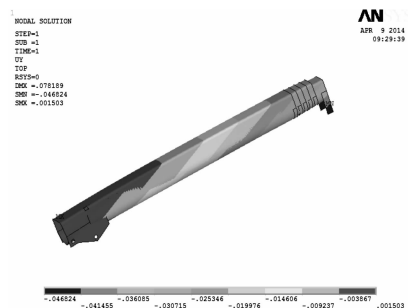


图7 全缩状态位移图

2.1 吊臂等效应力分析

在全伸状态下最大等效应力为 475 MP,最大等效应力点出现在变幅油缸的铰点处,最小应力出现在臂头处,如图 6 中的 MX 和 MN 显示处。在全缩状态下最大等效应力为 1 620 MP,最大等效应力点出现在基本臂与一节臂连接的上滑块处,最小应力出现在臂头处,同时,吊臂上半部分的等效应力主要表现为拉应力,下半部分的的等效应力表现为压应力。

2.2 吊臂变形分析

吊臂变形主要发生在 Y 方向和 Z 方向上,水平方向 X 基本上没有变形,二者均在臂头处变形最大,臂尾处变形最小。全伸状态下最大位移发生在 Y 方向上,为 36.17 cm,全缩状态下最大位移为 Y 方向上 4.68 cm,最大位移值均在安全范围内。

3 结束语

本研究采用三次 NURBS 曲线理论为基础建立汽车起重机伸缩吊臂的截面曲线,通过 ANSYS 参数化设计语言〔〕(APDL),完成对吊臂整体的参数化建模,并利用有限元分析方法分别对全伸臂和全缩臂进行有限元的强度分析,在此基础上可以通过改变伸缩臂各节臂之间的搭接长度,实现吊臂的伸缩变化,满足在不同仰角、不同载荷下的工况要求。

该研究方法具有较强的实用价值,为曲线形吊臂的稳定性分析开辟了一条新的道路;同时,可为后续 FEM 优化分析提供可靠的实验依据。

参考文献(References):

- [1] 徐格宁. 机械装备金属结构设计[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 李海虹,陈永会,李志谭. 利用有限元法进行塔机起重臂的动态分析[J]. 太原重型机械学院学报,2003,24(2): 106-109.
- [3] 黄鑫磊,纪爱敏,殷旭,等. 基于三次 NURBS 曲线的伸缩吊臂局部稳定性研究[J]. 机电工程,2013,30(6):660-663.
- [4] 苗明,高原. 起重机伸缩臂的 ANSYS 二次开发[J]. 起重运输机械,2001(3):53-55.
- [5] 徐格宁,惠忠文. 基于组合策略的桥式起重机优化设计方法[J]. 太原科技大学学报,2009,30(1):54-58.
- [6] 纪爱敏,张培强,彭铎,等. 起重机伸缩吊臂局部稳定性的有限元分析[J]. 农业机械学报,2004,35(11):49-51.
- [7] 张文攀,王冲,何函. 采用自由度耦合技术的汽车起重机车架有限元分析[J]. 机械,2011(12):21-23,33.
- [8] PIEGL L, TILLER W. The NURBS book[M]. 2nd ed. New York: Springer,2010.
- [9] 奎曙光,谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [10] 陈乐平,单磊,陈星. 基于 Moldflow 和 ANSPS 的防眩板有限元分析[J]. 轻工机械,2013,30(1):5-9.
- [11] 纪爱敏,彭铎,刘木南. QY25K 型汽车起重机伸缩吊臂的有限元分析[J]. 工程机械,2003,34(1):19-21.
- [12] 沈玉凤,孟庆华. 汽车起重机六边形截面箱形伸缩臂计算研究[J]. 山东工程学院学报,2001,15(1):24-26.
- [13] 王金诺,于兰峰. 起重运输机金属结构[M]. 北京:中国铁道出版社,2001.

[编辑:程浩]

本文引用格式:

李 润,纪爱敏,黄鑫磊,等. 汽车起重机伸缩吊臂曲线形截面的有限元分析[J]. 机电工程,2014,31(9):1140-1143.

LI Run, JI Ai-min, HUANG Xin-lei, et al. Finite element analysis on curved cross-section telescopic boom of truck crane[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(9):1140-1143.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>