

# 挖掘机工作装置的CAD模型简化\*

朱 坤, 纪爱敏

(河海大学 机电工程学院, 江苏 常州 213022)

**摘要:** 针对液压挖掘机工作装置的CAD模型在进行有限元分析时存在网格划分质量差、计算时间长等问题,利用UG软件的二次开发功能,并通过C++语言编程,实现了挖掘机工作装置模型的过程简化,提高了其有限元模型的分析精度和设计效率。首先,利用C++语言和二次开发函数UG/Open API编写的程序,将模型中不影响分析结果或对分析结果影响很小的细小特征进行删除;然后,通过程序自动提取工作装置模型的中位面;最后,利用连接、缝合操作对中位面模型进行了完善,使其有利于模型的网格划分和分析。研究表明,通过各步骤对挖掘机的工作装置模型进行简化后,网格划分的质量和有限元分析的精度得到了改善,大大降低了在CAE软件中的分析时间,从而提高了设计效率。

**关键词:** UG;二次开发;细节特征;中位面

中图分类号: TH69;TP31 文献标志码:A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0640-05

## Simplification of CAD model of excavator working device

ZHU Kun, JI Ai-min

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

**Abstract:** Aiming at the problems of poor quality of mesh generation and long time of calculation of the CAD model of hydraulic excavator's working device, the simplification process of the models were realized by the program with the tools of secondary development of UG software and C++ language to enhance the analysis precision and design efficiency of the finite element model of excavator's working device. Firstly, the characters with no or little effect to the analysis result were removed by the program compiled by C++ language and secondary development function of UG/Open API. Secondly, the midsurface model of working device was extracted automatically by the program. Finally, the midsurface model was improved by the process of connecting and stitching to the benefit of mesh generation and analysis. The results indicate that the quality of mesh generation and analysis precision are improved with the above simplification procedures of the model, the analysis time is greatly reduced in the CAE software and the efficiency is riched.

**Key words:** UG;secondary development;detailed feature;midsurface

## 0 引 言

挖掘机工作装置主要由动臂、斗杆、铲斗及液压缸等组成,是挖掘机直接承受工作载荷的主要部件,在工作过程中,工作装置受拉压、扭转与振动冲击等多种载荷作用,性能和可靠性是整机先进性的重要标志。其结构形状为钢板焊接而成的矩形变截面封闭箱形梁,内部一般加筋板以增加强度和厚度<sup>[1]</sup>。目前对挖掘机工装置普遍采用的设计方法是:先利用CAD

软件进行建模,然后再利用有限元软件进行分析<sup>[2-4]</sup>,其中CAD模型建立时一般仅考虑设计需求,而不考虑有限元分析的需求,这会影响网格划分精度和划分质量,降低分析的准确性,同时对于三维模型的有限元分析需要耗费大量的精力和时间。近年来,人们提出有限元模型的一些简化方法,利用中轴变换(Medial Axis Transformation, MAT)技术提取模型中位面的方法比较具有代表性<sup>[5]</sup>,不过MAT技术只能提取薄壁模型的中位面而无法应用于复杂的有限元模型,并且在

收稿日期:2011-12-21

基金项目:河海大学研究生科技创新资助项目(x2x/11B008-03)

作者简介:朱 坤(1986-),男,江苏徐州人,主要从事CAD/CAE集成方面的研究. E-mail:zhukun80074925@126.com

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

模型的拐角部分会产生多余的分支,需要后续的操作将这些分支消除。William Roshan Quadros<sup>[6]</sup>提出利用弦轴变换(Chordal Axis Transformation, CAT)技术提取模型的中位面,该方法避免了在模型的拐角处产生多余的分支,不过在提取过程中它需要对模型进行四面体网格的划分和判断,操作较为复杂,划分网格的质量得不到保证。因此,本研究以挖掘机的动臂和斗杆为例,提出利用UG软件的二次开发功能,并结合C++语言进行编程,通过程序自动删除细节特征并提取模型的中位面,对挖掘机工作装置进行模型简化,其实现过程简便,效率高,不会产生多余的分支结构,因而不需要额外的操作。

UG/Open 作为UG平台上提供的二次开发语言是为满足用户特殊需要而随UG一起发布的。它为UG软件的二次开发提供了许多函数和工具集,便于用户进行二次开发。通过利用该模块可以对UG系统进行用户化定制和开发,实现特定的功能<sup>[7]</sup>。

本研究利用C++语言编程实现对UG/Open API函数的调用,从而实现挖掘机工作装置的模型简化处理。

## 1 细节特征的删除

模型的细节特征主要包括倒角、圆角、螺纹、退刀槽、小孔、凸台等,细节特征的删除主要是指去除模型中与模型总体参数相比很小,对有限元分析结果的影响很小或可以忽略不计的细小特征,从而提高网格划分质量,降低有限元模型分析的复杂程度。本研究采用UG软件的二次开发函数UG/Open API以及C++语言编写删除函数来实现细节特征的删除过程,细节特征删除过程流程图如图1所示。

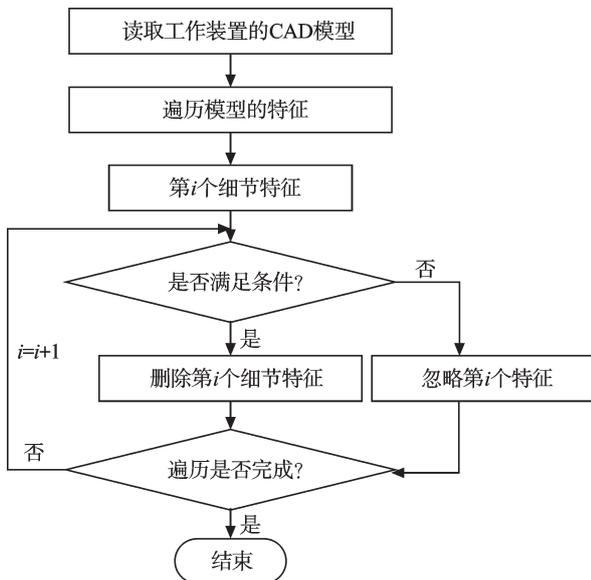


图1 细节特征删除过程流程图

本研究在读取挖掘机工作装置的CAD模型后首先要对模型进行遍历,获得模型的细节特征,然后判断遍历出的细节特征是否满足要求,如果满足条件则删除这个细节特征,否则忽略并进行下一个细节特征的判断。在细节特征的删除过程中首先要解决的问题是对三维模型进行对象的访问,从而获得对象的标识。一般情况下,对象的标识可以通过调用UG/Open API函数遍历来获得。其中,UG建模时可采用参数化建模方法,这样有利于模型的遍历和修改。参数化建模是指设计图形拓扑关系不变,尺寸形状由一组参数进行约束,参数与图形的控制尺寸有显式的对应,不同的参数值驱动产生不同大小的几何图形<sup>[8]</sup>。

### 1.1 模型的遍历

UG/Open API提供了很多遍历函数用于获取对象标识,常用的遍历函数是UF\_OBJ\_cycle\_objs\_in\_part()。遍历的过程如下:首先在UG软件中打开要遍历的挖掘机的动臂,斗杆模型,按住“Ctrl+U”,然后运行由VC编译的动态调用库(\*.dll)。在程序编译链接之前需要对VC的环境进行如下设置:

(1) 因为要建立一个内部UF程序,创建工程时应选择【Win32 Dynamic-Link Library】-【A simple DLL project】;

(2) 添加链接库:选择【Project】-【Setting】-【Link】,添加库名:libufun.lib、libugopenint.lib、libv-mathpp.lib,这样才能调用它们各个库中的函数;

(3) 设定编译链接时头文件和库文件的查找目录为UG的安装目录。

下面为模型遍历(\*.dll)文件的部分程序:

```

void do_open_api()
{
    tag_t
    disp_part_tag,next_tag=NULL_TAG;
    .....;
    disp_part_tag=UF_PART_ask_
    display_part();//打开当前模型
    UF_OBJ_cycle_objs_in_part(disp_part_tag,UF_feature_type,
    &next_tag);
    //获取文件中每一个特征的标识
    .....;
}
  
```

通过以上程序,本研究可以得到模型的所有特征标识。

### 1.2 细节特征删除

在进行细节特征的删除时本研究要充分考虑特征间的父子关系,如果父特征节点被删除,那么其子特征就会失去参考依据,导致系统的不稳定<sup>[9]</sup>,其关系

可以利用以下函数获得:

```
extern int UF_MODL_ask_feat_relatives
(
tag_t feature_tag,
int * num_parents,
tag_t**parent_array,
int* num_children,
tag_t**children_array
)
```

在CAD模型的细节特征删除过程中,每一类特征在UG/Open API 函数中都有对应的函数与之对应,因此可以调用相应的函数实现特定细节特征的删除,这样的构造方法有利于细节特征删除函数的扩展和修改。CAD模型细节特征的删除还应该根据CAD模型建模尺寸和简化误差控制范围来确定<sup>[10-11]</sup>,并不是所有的细节特征都要进行删除,而是根据实际情况分析计算每类细节特征的参考范围,在该范围之内细节特征才可删除,否则不应进行删除。例如对倒圆角进行访问的特定函数如下:

```
UF_MODL_ask_blend_parms
(
tag_t feature_obj_id,
int edit,
char **radius,
)
```

本研究获得动臂和斗杆模型所需的细节特征信息后,就可以利用UG/Open API函数进行细节特征删除,在UG模型界面下,按“Ctrl+U”,然后运行由VC编译生成的\*.dll文件。其部分程序如下:

```
void do_open_api()
{ ……;
fp=fopen("F:\jianhua\info.txt","w");
if(fp==NULL)return;
disp_part_tag=UF_PART_ask_display_part
();
UF_OBJ_cycle_objs_in_part(disp_part_tag,
UF_feature_type,&next_tag);
……;
if(strcmp(feaut_type,"BLEND")==0)
UF_MODL_put_list_item(list,next_tag);
……;}
UF_MODL_delete_list_item(&list,next_tag);
UF_MODL_delete_feature(list);
……;
}
```

以上程序编译连接成功后运行程序,模型上符合条件的圆角被删除,实现了模型的细节特征删除功能。其他细节特征(如螺纹、退刀槽、小孔、凸台等)在满足删除条件后也可按照该方法进行删除。

## 2 中位面的提取

通常复杂模型在有限元分析时会存在3方面的问题:①网格划分质量差;②模型分析时间较长;③对硬件要求较高。因此,本研究需要对模型进行简化,从而提高网格划分质量和缩短计算时间,主要目的是为了提取薄壁模型的中位面框架,这种框架结构是对三维模型的抽象表示,它们之间具有相同的拓扑关系。这种技术在很多领域都有应用,如机器人路径规划、特征提取、磨具设计、图像处理以及网格划分等方面。框架模型表示法包括中轴转换(MAT)、弦轴转换(CAT)等,目前应用比较广泛的方法是中轴转换技术,它可以应用于各种薄壁模型的中位面提取中,中轴转换的基本思路即模型内部各个部分最大内切球的中心所形成的轨迹,不过它会在模型拐角部分生成多余的分支,不能准确反映模型的结构形状,因此需要大量的修复工作将这些分支消除掉,使其能准确表达出模型的结构。

UG/Open API提供了程序所需的各种函数,结合C++语言编程可实现模型中位面的自动提取过程。中位面的生成过程主要包括面对的判断、提取中面、面片的修剪与缝合等过程<sup>[12-14]</sup>。

### 2.1 面对的判断

面对的定义即两个面如果符合设定的条件,那么可将其确定为一对面,面对的确需要符合平行、距离、重叠3个条件。假设有两个面 $F_1, F_2$ ,它们的法向量分别为 $N_1, N_2$ ,两个面间的距离为 $d$ 。判断方法如下:

(1) 平行。两个面的法相向量方向相同或相反,即: $N_1 \cdot N_2 = \pm 1$ ,对于近似平行的两个面,它们之间的夹角应小于用户自定义的最大角度 $\theta_{\max}$ ,即 $180^\circ - \text{angle}(N_1, N_2) < 2\theta_{\max}$ ,其判断示意图如图2所示。

(2) 重叠。当面对中的一个面投影到另一个面后它们之间应该是重叠或者是部分重叠的。

(3) 距离。即两个面间的距离 $d$ 小于设定的值 $t_{\max}$ ( $t < t_{\max}$ )。

当符合这上述3个条件后,这两个面就可以确定为面对。

工作装置斗杆面对判断过程如图3所示,通过平行、重叠、距离检查后,可以确定斗杆模型的所有面对。

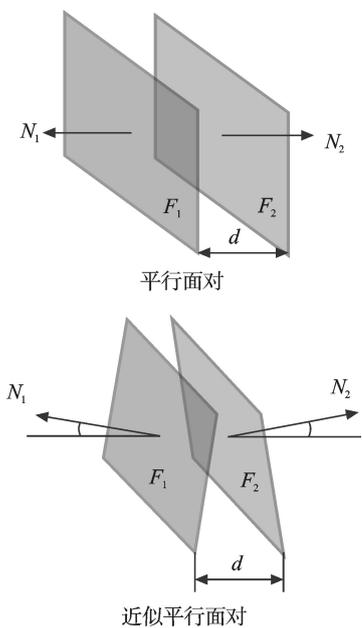


图2 面对的判断

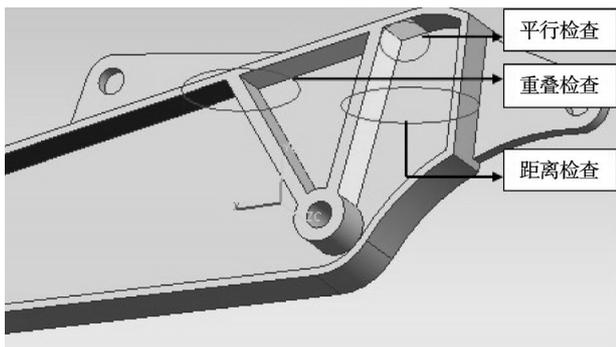


图3 斗杆模型面对的判断

当挖掘机动臂和斗杆模型的面确定好之后就可以通过UG/Open API函数和C++语言编程实现模型中位面的自动提取过程。部分代码如下所示:

```
void do_open_api()
{
uf_list_p_t face_list;
tag_t disp_part_tag,body_tag,facepair_tag;
.....;
UF_OBJ_ask_type_and_subtype(body_tag,
    &body_type,&sub_type);
if(body_type==UF_solid_type&&sub_type
    ==UF_solid_body_subtype)
    .....;
UF_MODL_ask_face_data(face_object,
    &type,point,dir,box,&face_radius,
    &rad_data,&norm_dir);
    .....;
UF_VEC3_is_parallel(dir,dir1,0.0001,
    &is_parallel);
```

```
if(is_parallel=1)
{
    UF_MODL_create_midsrf_feature(body_tag,&midsurface_tag);
UF_MODL_cre_def_facepair_feat(midsurface_tag,bplanes[m],
bplanes[n],&face_list[m],
    &face_list[n],&facepair_tag);
UF_MODL_auto_midsrf_feature(midsurface_tag);
}
.....;
}
```

本研究通过以上程序分别生成的动臂和斗杆模型的中位面如图4所示。由图4可以看出其原来模型各个板壳结构被相应的面代替,模型局部结构的厚度变为零。

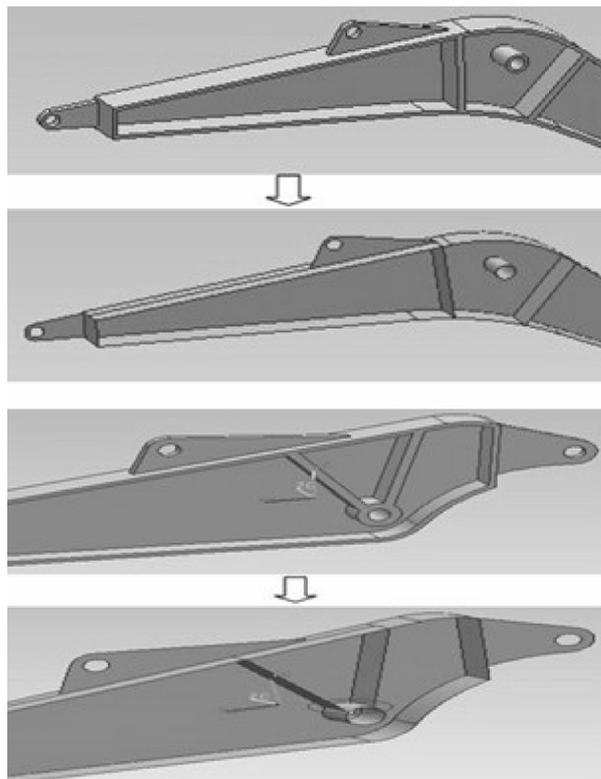


图4 生成动臂和斗杆模型的中位面

### 2.2 中位面的连接与缝合

本研究生成中位面之后,每个面都是相互独立的,在模型相交部分有时会产生多余的面或者生成的面不相交,因此,需要在一些后续的步骤中对中位面进行修剪和缝合,使其成为一个整体。在图4中,在椭圆标注部分,生成的中位面并没有连接起来,这样在有限元分析时会导致网格划分错误甚至无法划分网格等缺点。

中位面的连接和缝合如图5所示。该过程是利用UG软件中的建模功能手工完成的,通过简单的几步的操作即可使其形成一个理想的模型。

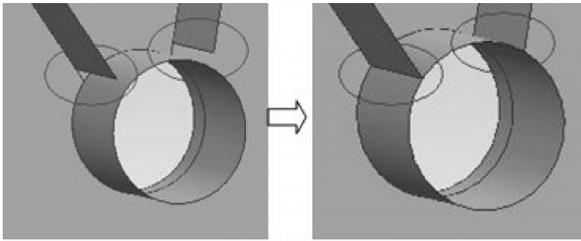


图5 中位面的连接缝合过程

### 3 结束语

本研究提出利用C++语言编程调用UG/Open API函数的方法,实现挖掘机工作装置的动臂和斗杆模型进行细节特征删除和中位面的自动提取过程,使工作装置的有限元模型得到简化,有利于改善网格划分质量,降低模型的分析时间,在CAD/CAE集成过程中有效提高了从CAD模型到CAE模型的转换效率,优化了有限元分析的结构模型。

### 致 谢

感谢纪老师在本项目中对我的指导,感谢河海大学对该项目的资助。

### 参考文献(References):

- [1] 孔德文,赵克利,徐宁生. 液压挖掘机[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 刘 韬,胡军科,谢 平. 液压挖掘机工作装置结构的优化设计[J]. 建设机械技术与管理,2011(11):118-120.
- [3] 杜文靖,崔国华,刘小光. 挖掘机工作装置整体集成有限元分析[J]. 农业机械学报,2007,38(10):20-23.

- [4] 李金晓,杨茹萍. 挖掘机动臂的有限元分析[J]. 建筑机械化,2009(11):59-62.
- [5] RAMANATHAN M, GURUMOORTHY B. Generating the mid-surface of a solid using 2D MAT of its faces[J]. **Computer-Aided Design and Applications**,2004(1):665-674.
- [6] Quadros, William Roshan. An approach for extracting non-manifold mid-surfaces of thin-wall solids using chordal axis transform[J]. **Engineering with Computers**, 2008, 3(24):305-319.
- [7] 黄 勇. UG/Open API、MFC和COM开发实例精解[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [8] 赵璞峰. 基于CAD的VR多层次细节模型生成技术研究[D]. 绵阳:中国工程物理研究院,2006.
- [9] 葛晓波. 有源相控阵雷达机箱模块CAD/CAE集成建模技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学机电工程学院,2009.
- [10] NIKHIL J, DEBASISH D. Feature simplification techniques for freeform surface models [J]. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, 2003, 3(3): 177-86.
- [11] 何 磊. 框架零件的CAD/CAM集成制造技术研究[J]. 机械,2010,37(9):58-61.
- [12] 杜宏亮,袁 媛,蒋家桥,等. 一种大型桁架CAD中的有限元分析[J]. 机械,2010,37(1):52-54.
- [13] 王 会. 基于VB6.0和UG NX4.0的盘形凸轮机构CAD系统设计[J]. 机械,2010,37(1):55-58.
- [14] SHEEN D P, SON T, MYUNG D K, et al. Transformation of a thin-walled solid model into a surface model via solid deflation[J]. **Computer-Aided Design**, 2010, 42(8):720-723.

[编辑:李 辉]

(上接第639页)

控随动凸轮磨床可以显著地提高凸轮的制造水平、生产效率和柔性化制造能力。通过使用Sinumerik 840D数控系统的电子齿轮、插补表功能和误差数据在线检测手段,能够方便地获取凸轮轴加工时对应转角的补偿数值,并能把这些离散的补偿数据转换添加到实际加工程序中,从而引导机床实现即时补偿磨削,较好地解决了砂轮损耗、工件轴转速差、伺服系统响应偏差等重复性误差影响因素。这为提高凸轮轴轮廓的磨削精度提供了一种可行的方法。

### 参考文献(References):

- [1] 潘盛湖,杨继东. 高精度数控凸轮轴磨床控制系统设计[J]. 机床与液压,2006(11):177-179.
- [2] 李 静,沈南燕,何永义,等. 凸轮非圆磨削动态误差预测及补偿[J]. 制造技术与机床,2009(10):64-68.

- [3] 罗红平,周志雄,孙宗禹,等. 凸轮轴切点跟踪磨削加工策略[J]. 湖南大学学报,2002,29(3):62-64.
- [4] 范晋伟,关佳亮,阎绍泽. 提高精密凸轮磨削精度的几何误差补偿技术[J]. 中国机械工程,2004,15(14):123-126.
- [5] 杨金凤,孙志永. 凸轮轴在线检测及误差分析[J]. 机械设计与制造,2009(8):174-175.
- [6] 黄富贵,傅师伟,张认成. 基于三次样条函数拟合的凸轮升程误差评定方法[J]. 轻工机械,2004,22(4):80-83.
- [7] 杨连生. 内燃机设计[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981.
- [8] Siemens Ltd.. SINUMERIK 840D/840Di/810D/FM-NC Programming Guide[M]. Siemens, 2007.
- [9] 潘旭华. 一种油膜厚度可调的静压导轨及其调节方法:中国,200810061701. 0[P]. 2008-10-08.
- [10] 俞红祥,张 昱,潘旭华. 新型非圆随动磨削运动模型的研究[J]. 机械工程学报,2011,47(13):167-174.

[编辑:罗向阳]