

基于 VB 和 ANSYS 的风机塔筒 参数化建模与分析 *

张彦立, 王广庆, 李 曼

(保定天威风电科技有限公司, 河北 保定 071051)

摘要: 为了高效、快速地建立风机塔筒的有限元模型并对其进行有限元分析,对系列机型塔筒模型的结构进行了全面的研究,采用 ANSYS 提供的 APDL 语言和命令流编程的方法,开发了一种风机塔筒的有限元参数化建模、分析及后处理程序,用可视化界面语言 VB 对其进行了封装。以塔筒模型分析为实例,跟传统方法作对比,对该程序进行了验证。研究表明,该程序能够提高有限元模型的建模效率,缩短了塔筒的设计周期,并且简单实用,为类似问题的解决提供了一条新途径。

关键词: 参数化建模; 风机塔筒; 有限元; APDL

中图分类号: TH123; TM614

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)02-0174-03

Parametric modeling and analysis of wind turbine tower based on VB and ANSYS

ZHANG Yan-li, WANG Guang-qing, LI Man

(Baoding Tianwei Wind Power Technology Co., Ltd., Baoding 071051, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of established wind turbine tower finite element model and its finite element analysis, the parametric programming language and APDL, in ANSYS were investigated. After a comprehensive study for the structure of series tower, the wind turbine program of parametric modeling, analysis and post processing was established. Visual interface VB language was presented to packaging this program. The wind turbine program was evaluated on the tower model analysis, the program was tested. The experimental results show that the program has improved the efficiency to establish finite element model of wind turbine tower and shorten the design cycle of wind turbine tower. It is simple, practical, and provides a new way to solve the similar issues.

Key words: parametric modeling; wind turbine tower; finite element; ANSYS parametric design language (APDL)

0 引 言

在风力发电机组塔筒的设计分析中,经常会遇到系列机型塔筒的设计,这些机型塔筒模型结构类似,只是某些几何参数不一样,但每次计算分析,都需要经过建立实体模型、划分有限元网格、约束、加载求解这些步骤,即使对软件应用熟练的技术人员,完成这些步骤也至少也需要 1~2 天的时间。

由于风机塔筒是较为复杂的三维模型,目前普遍

的建模方法都是先使用专业的 CAD 软件绘出塔筒实体模型,然后再导入 ANSYS 中进行分析,这样做的缺点是操作麻烦而且容易出错。

本研究借助 ANSYS 自身的参数化语言 APDL,将参数化的思想 (Parametric) 引进到有限元的分析过程中^[1-2],采用 APDL 编程的方法,直接在 ANSYS 中快速而准确地建立风机塔筒的有限元模型并进行分析和后处理,大大减少有限元分析的工作量,缩短计算周期。该方法用 VB 界面语言对复杂难懂的程序做了封

装,即使从未认真学习过 ANSYS 软件的工程设计人员也能很好地借助该程序进行塔筒结构有限元分析,具有重要的研究意义。

1 参数化模型的实现

ANSYS 具有参数设计语言 (ANSYS Parametric Design Language)^[3-4],可用程序编辑有限元分析过程,从而省去了繁琐的窗口操作。ANSYS 参数设计语言采用高级 FORTRAN 程序语法的方式进行,如参数的定义、数学的表达式、逻辑语法、条件区块、循环等。利用 APDL 程序语言和 ANSYS 命令,可以实现参数化建模、施加参数化载荷、求解以及后处理结果显示等有限元分析全过程。

对于用 APDL 语言和 ANSYS 命令流编写的有限元计算程序,用户只需输入相应的几何、网格、载荷等参数,系统就能自动调用 ANSYS 计算程序,自动进行网格划分、载荷施加以及自动求解。该系统利用友好、方便、易用的人机交互界面 VB6.0,对复杂的、难于理解和掌握的 ANSYS 命令流进行了后台封装。

1.1 程序系统结构

程序设计的第一步是通过 ANSYS 建立分析模型的参数化 APDL 代码,然后在 VB 中根据模型参数化 APDL 代码进行编程,利用 VB6.0 对 ANSYS 参数化建模程序进行封装的系统结构图如图 1 所示。用户输入计算参数,即可调用后台的 ANSYS 软件进行计算分析及后处理,ANSYS 把计算结果返回给用户。

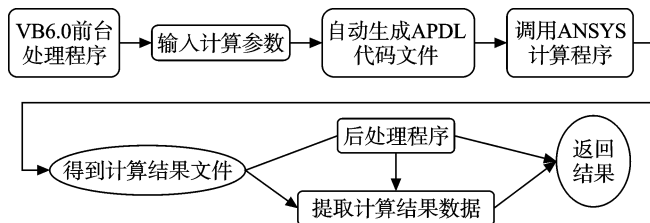


图1 程序结构框图

1.2 程序系统功能

(1) 允许用户可以根据实际计算工况,输入特定的计算参数,包括壁厚、高度、载荷等。

(2) 用户在输入各种参数后,进行计算之前,可以对输入的数据进行修改、删除操作,以保证输入正确的参数。

(3) 用户通过界面调用后台的 ANSYS 软件进行计算,能够得到最后的计算结果文件,供用户进行后处理和结果分析。

1.3 程序的主要子程序和設計

程序的组成主要有^[5-8]:用户界面程序、VB 调用接口程序及 VB 后处理程序。

(1) 用户界面程序。用户界面程序主要完成系统和用户的交互。用户界面模块包括计算参数输入和编写 APDL 的前、后处理命令流两部分。当所有的参数输入完毕,用户点击想要实现的计算按钮,系统将以文档格式自动生成 APDL 计算命令流并存在指定的目录下。

(2) VB 调用接口程序。VB 调用接口程序在该系统中起着接受用户界面的输入、创建进程调用 ANSYS 模块、将生成的 APDL 命令文件提交给 ANSYS 程序进行计算处理的重要作用,用户再次点击想要实现的计算按钮即可执行相应的计算。

(3) VB 后处理程序。VB 后处理程序主要用于提取计算结果数据,对于屈曲特征值计算,可以直接读取 ANSYS 的计算结果;对于极限强度分析,可以直接读取计算模型的最大等效应力;对于疲劳分析,根据线性累计损伤理论,结合输入的载荷时间序列和定义的 S-N 曲线,给出模型的最大疲劳损伤。

通过以上思路和步骤,笔者成功地开发出基于 VB 和 ANSYS 风机塔筒有限元分析程序。

该程序交互界面如图 2 所示。

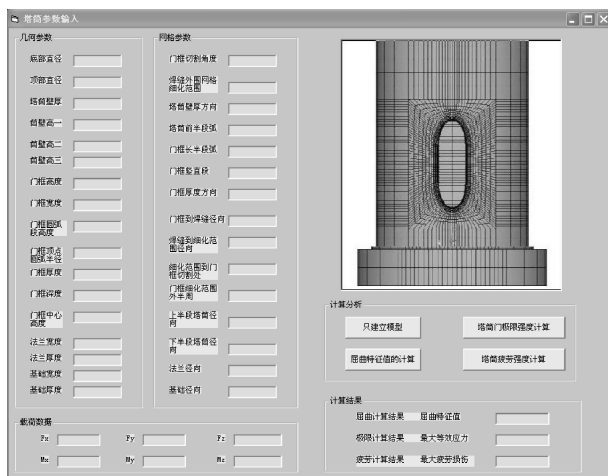


图2 程序交互界面

2 实例分析

以 1.5 MW 某风机塔筒为例^[9-10],本研究输入设计需要的几何、网格和载荷数据,进行塔筒屈曲特征值

表1 有限元分析极限载荷

载荷描述	载荷
M_x	-1 674.3 kNm
M_y	-43 744 kNm
M_z	-569.7 kNm
F_x	-839.9 kN
F_y	-1.29 kN
F_z	-2 130 kN

和极限强度的计算分析,因为这两种分析所用到的载荷都是极限载荷,即载荷数据是一样的,有限元分析极限载荷如表 1 所示。计算结果分析如下:

2.1 塔筒屈曲特征值的计算

屈曲分析主要用于研究结构在特定载荷下的稳定性以及确定结构失稳的临界载荷,屈曲分析包括:线性屈曲和非线性屈曲分析。线弹性失稳分析又称特征值屈曲分析。通过 ANSYS 帮助文件可以查得有关特征值的计算公式:

$$([K] + \lambda_i [S]) \{\psi\}_i = \{0\}$$

式中: $[K]$ —刚度矩阵; $[S]$ —应力刚度矩阵; ψ_i —第 i 阶位移特征矢量; λ_i —第 i 阶特征值(也叫作比例因子或载荷因子)。

特征值表示给定载荷的比例因子,如果给定载荷是单位载荷,特征值即是屈曲载荷。特征矢量是屈曲模态,一般来说只对第一个特征值和特征矢量感兴趣。

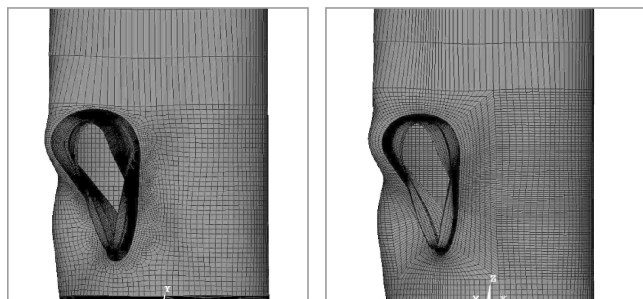
本例首先以传统 CAD 方法建立塔筒模型,将需要计算的塔筒导入至 ANSYS 软件进行计算,得到塔筒模型计算的结果;然后与用程序建立的塔筒模型计算的结果作比较;最后得出比较结果。

具体操作描述:用程序建立的塔筒几何模型和网格大小跟传统 CAD 方法的模型保持一致,再施加同样的载荷,计算得出塔筒的屈曲特征值和屈曲模态,再把结果进行对比,1~10 阶的屈曲特征值对比如表 2 所示,一阶模态对比如图 3 所示。

表 2 屈曲特征值计算结果对比

阶次	传统方法	参数化方法	对比结果
1	8.701 3	8.9712	3.10%
2	9.978 7	10.254	2.76%
3	10.77 2	11.062	2.69%
4	11.121	11.391	2.43%
5	11.985	12.263	2.32%
6	12.125	12.487	2.99%
7	12.419	12.664	1.97%
8	12.518	12.817	2.39%
9	12.663	12.935	2.15%
10	12.811	13.047	1.84%

由表 2 的对比结果可以看出:程序所得结果与传统方法所得结果非常接近,最大变化比值为 3.10%;由图 3 可以看出,两种方法下塔筒屈曲一阶模态变形一致。通过两种方法计算结果的对比,证明参数化塔筒建模分析程序是完全可行的。



(a) 传统方法(一阶模态)

(b) 参数化方法(一阶模态)

图 3 屈曲模态对比

2.2 极限强度计算

本研究对塔筒门进行极限强度分析,应力最大的位置出现在门框和塔筒壁焊接的拐角处,由于拐角处应力不准确,本研究不考虑拐角处的应力。通过建模过程中建立的组件,去掉拐角处的计算结果,后处理程序返回最大应力值为 273 MPa,最大应力出现在门框中上部和中下部位置,门框应力云图如图 4 所示。



图 4 门框应力云图

3 结束语

本研究基于 VB 和 ANSYS 开发了风机塔筒参数化有限元分析程序,并通过分析实例验证了此种方法的可行性,该程序主要具有以下优点:

(1) 直接在 ANSYS 中建立几何模型,实现与分析工程的无缝集成,APDL 参数化的建模方式大大缩短了建模时间,提高了工作效率,且建模过程准确,不易出错。

(2) 用可视化的界面语言 VB 对程序进行了封装,友好的人机交互界面可实现计算参数的快速输入及结果的输出,即使对英文不熟悉或对 ANSYS 操作不熟练的用户,也可以使用该程序实现风机塔筒的有限元分析。

(下转第 191 页)

Name	Value	Force Mask	Style	Data Type	Description
hblower	[...]	[...]	ABSTRACT...		
hblowerData	[...]	[...]	Decimal	INT(10)	
hblowerTag0	255		Decimal	INT	
hblowerTag1	161		Decimal	INT	
hblowerTag2	162		Decimal	INT	
hblowerTag3	163		Decimal	INT	
hblowerTag4	164		Decimal	INT	
hblowerTag5	165		Decimal	INT	
hblowerTag6	166		Decimal	INT	
hblowerTag7	167		Decimal	INT	
hblowerTag8	168		Decimal	INT	
hblowerTag9	169		Decimal	INT	

(a) PLC 接收数据

Name	Value	Type	Address
i0	1	Bool	assigned
i1	2	Bool	assigned
i2	3	Bool	assigned
i3	4	Bool	assigned
i4	5	Bool	assigned
i5	6	Bool	assigned
i6	7	Bool	assigned
i7	8	Bool	assigned
i8	9	Bool	assigned
i9	10	Bool	assigned

(b) DSP 接收数据

图6 PLC 与 DSP 互发数据

实验证明,PLC 与 DSP 通讯良好,能实现互发数据,协调整个系统高效、安全地工作。

5 结束语

本研究采用 PLC 作为风力发电机组控制系统的主结果控制器,可以用简单的程序完成复杂的逻辑控制,实验结果表明 PLC 逻辑控制系统效果良好,性能稳定。由于采用了 A-B 公司的 PLC,所开发的上位机监控系统和以太网通讯系统具有独特性。控制技术的

研究对增强我国大型风力发电机组的自主研发能力、提高风力发电机组的国产化率和降低机组成本具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 张明锋,邓凯,陈波,等.中国风电产业现状与发展[J].机电工程,2010,27(1):1-3.
- [2] FANG Chuang-lin. Practical problems and coping strategies of wind power industry in China [J]. **World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference**,2009,12(2): 1-5.
- [3] 刘细平,林鹤云.风力发电机及风力发电控制技术综述[J].大电机技术,2007,12(3):17-20.
- [4] 张庆利,尤波,胡海燕,等.兆瓦级变速恒频风电机组控制系统研究与开发[J].机械工程师,2007,10(3):87-89.
- [5] 盛双文.大型风力发电机组中央控制系统的研制[D].北京:中国科学院,2000.
- [6] CHEN Gui-you,ZHOU Li,SUN Tong-jing,et al. Design of wind turbine generator control system[J]. **Power Electronics and Motion Control Conference**,2006,3(5): 1-4.
- [7] 魏仲,晁勤,马成兴,等. PLC 控制器在风电机组中的应用[J].信息技术,2009,21(1):97-101.
- [8] 叶杭冶.风力发电机组的控制技术[M].2版.北京:机械工业出版社,2002.
- [9] CHANG Y R,CHAN C M,CHANG C J. The design of control system and power conditioning system for a 25 kW active-control based wind turbine system[J]. **Power Electronics and Drive Systems**,2009,12(1): 1272-1276.
- [10] 白永祥,房大中,侯佑华,等.调度中心大规模风电场实时在线监控系统[J].电力自动化设备,2010,30(11):6-8.

[编辑:李辉]

(上接第176页)

参考文献(References):

- [1] 曾文源.舰船结构有限元参数化建模与优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学船舶工程学院,2005.
- [2] MAGGI Y I,GONCALVES RM,LEON,R T,et al. Parametric analysis of steel bolted end plate connections using finite element modeling [J]. **Journal of Constructional Steel Research**,2005,61(5):689-708.
- [3] 陈精一. ANSYS 工程分析实例教程[M].北京:中国铁道出版社,2007
- [4] 龚曙光,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
- [5] 艾德才. VisualBasic 程序设计实用教程[M].北京:中国水利水电出版社,2005
- [6] 彭公孚,席长友.基于VB控件开发的ANSYS程序调用方法[J].武汉理工大学学报,2004,28(1):148-150.
- [7] 高荣慧,张岩,罗辉.基于VB和ANSYS的塔式起重机臂架参数化设计[J].机械工程与自动化,2008,146(1):12-13.
- [8] 陆旭,周见行,姜伟.基于APDL的塔式起重机有限元参数化建模与分析[J].机电工程,2009,26(7):34-36.
- [9] Germanischer Lloyd. Rules and regulations,IV-industrial services,part 1 - guideline for certification of wind turbines [S]. Hamburg:Germanischer Lloyd,2010.
- [10] Deutsche Norm. Structural steelwork:analysis of safety against buckling of shells,DIN 18800 part 4[S]. Berlin:German Institute for Standardization,1990.

[编辑:李辉]