

# 自动扶梯桁架参数化有限元分析方法研究

吴海平<sup>1</sup>,蒋杰<sup>1</sup>,江叶峰<sup>2</sup>,王水军<sup>1</sup>

(1. 杭州市特种设备检测研究院,浙江 杭州 310014; 2. 嘉兴市特种设备检验检测院,浙江 嘉兴 314050)

**摘要:**在确保自动扶梯桁架的结构强度和安全性前提下,为了提高系列化自动扶梯桁架设计开发效率,运用有限元二次开发和 Visual C++ 以及数据接口技术,根据不同的设计、制造和检验要求,研究了不同参数情况下自动扶梯桁架的结构设计特点和强度特性,分析了边界载荷最大化桁架强度特点。研究结果表明,运用自动扶梯参数化有限元分析平台,用户只需输入参数,通过自动建模就可计算得到系列化桁架的结构强度结果,大大简化了分析过程,提高了分析效率。

**关键词:**桁架;参数化;CAE;Visual C++;APDL

**中图分类号:**TP391.73 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)01-0115-03

## Research on Parametric Finite Element Analysis Method for Escalator Truss

WU Haiping<sup>1</sup>, JIANG Jie<sup>1</sup>, JIANG Yefeng<sup>2</sup>, WANG Shuijun<sup>1</sup>

(1. Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. Jiaxing Institute of Special Equipment Inspection, Jiaxing 314050, China )

**Abstract:** On the premise of ensuring the structural strength and safety performance of escalator truss, in order to improve the efficiency of design and development of the serial escalator truss, a parametric finite element analysis platform for the escalator truss is developed by using the secondary development of finite element method and Visual C++ and data interface technology. In this paper, the structural design and strength characteristics of the escalator truss with different parameters are studied according to the requirements of different design, and the strength characteristics of the escalator truss with maximum boundary load are analyzed. The results show that by using the parameterized finite element analysis platform of the escalator, users can get the structural strength results of the serial truss only through calculating the automatic modeling by inputting parameters. The analysis process is greatly simplified and the analysis efficiency is improved.

**Keywords:** truss; parametric; CAE; Visual C++; APDL

## 0 引言

自动扶梯作为一种连续输送人员上下并带有循环运动梯路的固定电力设备,已在诸多领域得到普遍应用。自动扶梯制作工艺复杂,对力学分析需求巨大,尤其是其扶梯桁架安全性能分析直接影响自动扶梯的安全使用<sup>[1]</sup>。当前自动扶梯制造企业对产品的研发主要是根据客户要求来设计和分析产品特性,进而系列化开发产品。这个研发过程较为被动,导致从产品开发初期就决定了产品研发周期的延长和成本的增加,企业本身对产品综合性能缺乏主动与系统的了解。

计算机辅助工程技术(computer aided engineering, CAE)在产品研发过程中起到巨大的作用,近年来发展迅猛。企业可以应用 CAE 技术避免很多重复性的试验,为产品的优化设计和高效性能提供精准保障。CAE 技术已成为企业产品研发必不可少的工具。但 CAE 专业技术强,企业普通研发人员对软件不能很好掌握,往往对产品 CAE 分析只能简单分析或以外包方式交给专业分析人员。系列化产品的有限元分析外包会增加企业开发成本,并且专业分析人员对产品制造过程也无法了解透彻,这会

影响产品分析结果的准确性<sup>[2]</sup>。

目前系列化开发产品是自动扶梯制造企业的主要生产方式。桁架作为自动扶梯关键构件,呈规律变化,故系列化桁架有限元分析过程的重复繁琐工作既是企业须解决的难点,也是研究人员的重点。本文提出了一种运用 Visual C++ 和有限元二次开发工具进行开发自动扶梯桁架参数化有限元分析构想。该方法将大大提高研发效率,降低产品开发成本。

## 1 桁架参数化

自动扶梯桁架作用于安装和支撑自动扶梯的各个部件,承受各种载荷以及将建筑物两个不同层高的地面连接起来,其桁架结构图如图 1 所示。自动扶梯桁架为金属结构,采用角钢、型钢或矩形钢管焊接而成(图 2),并经过喷砂处理后再对桁架段整体热镀锌。

扶梯有下列参数:扶梯提升高度;名义宽度通常为 600 mm、800 mm 和 1 000 mm;额定速度一般 $<0.75$  m/s;倾斜角为 27.3°、30°和 35°。

从系列化开发角度出发,扶梯桁架参数化实现具有可操作性,扶梯可以分为 3 种典型,开发倾斜角不变,提升高

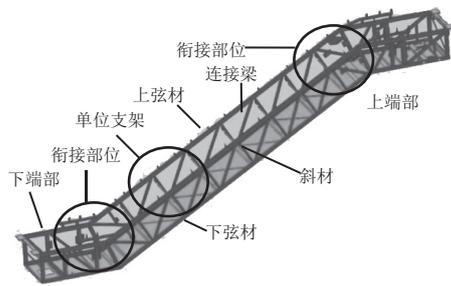


图1 桁架结构图

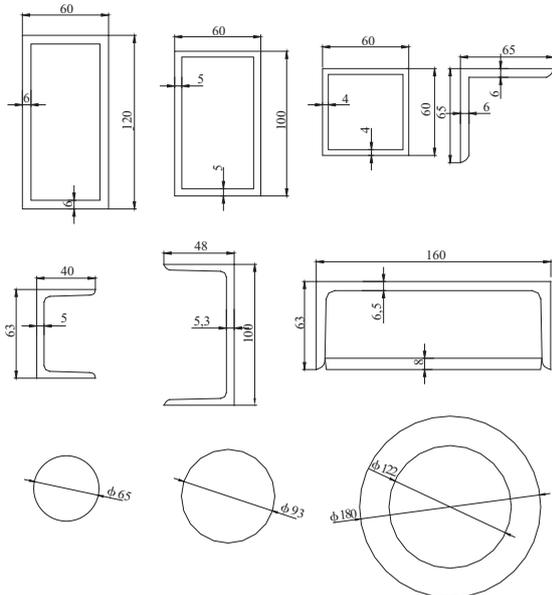


图2 桁架角钢、型钢、矩形、圆型钢

度、名义宽度、材料变化的同系列扶梯可根据典型桁架来构成,扶梯额定速度和最大输送能力以边界条件参数化形式实现。其他参数可根据这3种典型实现。以倾斜角30°扶梯,提升高度4m、名义宽度800mm,材料为方形钢为例:1)设计人员要开发提升高度为6m扶梯,设计人员只需在4m扶梯基础上,保证衔接部位不变,只需增加桁架可变单位支架(图1)数量来提升高度,进而开发出同系列扶梯;2)设计人员要开发宽度为1000mm,提升高度6m扶梯,那只要在增加可变单位支架数量同时,改变左右两边连接梁长度;3)设计人员要开发宽度为1000mm,提升高度为6m,材料为角钢扶梯,支架个数、连接梁长度、单元材料都需改变。企业系列化开发扶梯思路可为参数化有限元分析实现提供参考依据。

## 2 有限元参数化实现过程

### 2.1 ANSYS 二次开发

APDL(ANSYS 参数化设计语言)是一种解释性文本语言,也是 ANSYS 最简单有效的二次开发工具。APDL 可将 ANSYS 命令流以宏形式组织,开发出参数化的用户程序,以实现分步骤有限元分析的全过程,还可在 ANSYS 中定制分析导航工具条、一系列参数化对话框、三维模型、

材料定义、网格划分、载荷和边界条件、分析控制和求解以及参数化的后处理等。

VC 是一种高效的编程语言工具。ANSYS 程序要被 VC++ 启动,有 WinExec、ShellExecute 和 CreateProcess 多个函数可以使用。WinExec() 函数的作用是在应用程序中运行另外一个程序。其原型如下:

```

UINT WinExec(
    LPCSTR lpCmdLine, //程序路径
    UINT uCmdShOW //窗口显示的方式);

```

函数创建一个进程,去执行其他程序,它可以指定进程的安全属性、继承信息和类的优先级等,用 VC 可开发集成 ANSYS 分析导航操作界面。ANSYS 与 VC 的数据接口方式为批处理。APDL 宏中存放了命令流语句,APDL 命令流语句可直接被 VC 调用。通过命令由 VC 直接调用参数化的 ANSYS 命令<sup>[3-4]</sup>。

### 2.2 有限元参数化实现

根据以上分析特点,可以将桁架有限元作参数化分析,参数化分析流程如图3所示。其实现流程:1)通过界面参数化对话框输入几何参数和分析参数;2)VC生成APDL可执行文件;3)VC调用APDL进行有限元分析;4)生成的文件存入数据库供用户查看。针对本桁架参数化分析而言,选择要分析的桁架APDL模版文件,输入可变量数据,生成新的APDL命令流文件,用VC调用ANSYS进行有限元分析,分析结果存入数据库,供界面调用<sup>[5-9]</sup>。

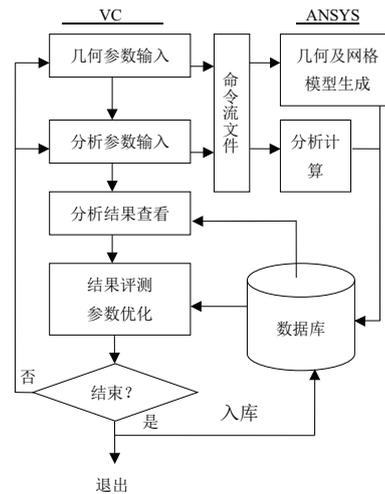


图3 参数化分析流程图

## 3 应用实例

本文以浙江省制造业信息化与智能制造为背景,结合某地扶梯企业生产模式,开发出桁架参数化分析平台,如图4所示。以桁架分析为例,系列化同型号桁架分析可作参数化设置,设计人员只需输入相应数据就可获得想要的结果。

图4界面中先创建项目编号、项目名称,新建文件名,输入倾斜角,选择典型模版,型钢、角钢及圆钢材料参数的改变以及弹性模量、泊松比参数的改变。提升高度可直接输入,也可输入单位支架个数来改变。除衔接部位外,上下端部长度也可变化。参数输入完成后生成CAD模型,

在界面上点击执行计算, CAD 模型以 IGES 格式导入 ANSYS, 进入 ANSYS 界面作有限元分析。ANSYS 中定制了简单工具条和分步骤工具条(图 5 和图 6)以便调整有限元模型。有限元分析计算成功后, 分析完成结果文件存入数据库, 在平台上可以查看各个应力云图和变形图(如图 7、图 8、图 9 所示), 也可查看系列化的对比信息。

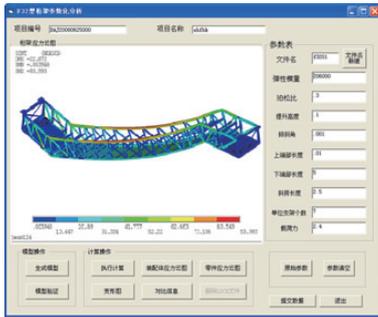


图 4 桁架有限元分析界面



图 5 简单工具条



图 6 分步骤工具条

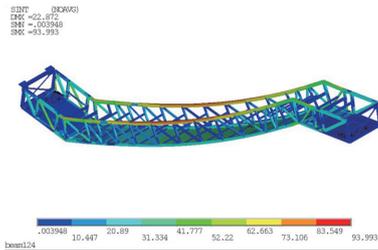


图 7 第三强度理论的等效应力云图

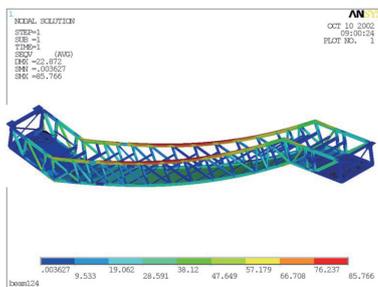


图 8 第四强度理论的等效应力云图

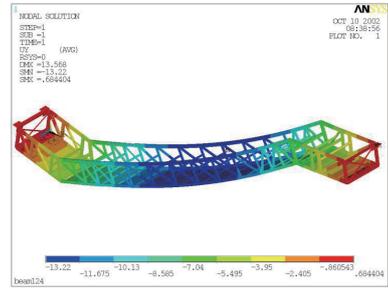


图 9 桁架强度分析 y 方向位移云图

### 4 结语

本文运用编程软件与有限元 APDL 工具, 开发了自动扶梯桁架参数化高效分析平台。运用此平台, 用户只需输入所需的参数, 平台执行简化操作就可以得到桁架结构有限元分析结果数据, 使得有限元分析操作不再是专业 CAE 分析师的专业行为, 一般设计研发人员也可从容上手。本论文所提方法的优点在于, 既保证有限元分析结果又提高了设计计算的准确度, 增强了产品的可靠性; 同时简化了分析过程, 避免了大量重复性工作, 加快了分析速度, 缩短了产品的研发周期。

#### 参考文献:

- [1] 史信芳, 蒋庆东, 李春雷, 等. 自动扶梯[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [2] 师访. ANSYS 二次开发及应用实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012: 389-371.
- [3] 朱文伟. Visual C++2013 从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [4] 刘标, 程文明, 栗园园. 基于 VB 和 APDL 的门式起重机结构参数化有限元分析[J]. 起重运输机械, 2010(12): 12-13.
- [5] 李存岑, 李顺荣, 徐裕, 等. 基于物联网技术的特种设备监控移动办公系统开发[J]. 中国安全生产科学技术, 2013(9): 165-170.
- [6] 张红兵, 万长东, 尚广庆, 等. 自动扶梯桁架结构的有限元轻量化分析[J]. 机械工程, 2012, 29(10): 1139-1142.
- [7] 詹光源. 自动扶梯桁架的有限元分析[J]. 电梯工业, 2015(7): 61-64.
- [8] 高原, 曹国华, 秦健聪. 船用自动扶梯桁架的有限元分析及其应用[J]. 机械强度, 2017(3): 78-80.
- [9] 陈杨. 基于 ANSYS 的扶梯桁架结构自动化建模与分析系统开发[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.

收稿日期: 2019-08-23