

# 湿法冶金大型卧式加压浸出反应釜有限元分析设计程序开发

欧阳灿, 黄金豪, 金生龙

(长沙有色冶金设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410019)

**[摘要]** 近年来国内湿法加压浸出工艺发展迅速, 卧式反应釜作为该工艺的核心设备之一, 不断朝着超大型化方向发展。设备大型化后受力情况变得更为复杂、潜在危险因素增加, 需要借助有限元软件对其结构进行辅助安全性分析。本单位技术团队借助 APDL 及 VB 语言在现有的有限元分析软件基础上通过二次开发, 针对加压浸出工艺核心装备—卧式反应釜结构特点开发定制化的数据输入与结果输出模块, 将传统分析软件使用过程中效率低下的“手动建模”、“手动划分网格”、“复杂参数设置”过程交由软件自动完成, 极大提高了该类设备的分析设计效率。

**[关键词]** 加压浸出; 二次开发; 反应釜; 有限元分析

**[中图分类号]** TQ051.72

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1003-8884(2022)04-0040-05

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.04.009

加压浸出湿法冶金技术因具有环境友好、技术应用面广、金属资源综合回收效率高特点, 已成为当前最具发展前景的湿法冶金技术之一。该技术广泛应用于锌、镍、钴、钨、镓、锗等 30 多种金属的湿法提取。卧式反应釜作为加压浸出工艺关键设备, 为了获得远高于常压下的反应推动力, 长期工作于高温高压、强酸强碱的恶劣工况下, 特别是设备结构大型化后受力情况更加复杂, 需要借助有限元软件对其进行安全性分析。

然而, 传统有限元分析软件(ANSYS、ABAQUS 等)使用门槛较高且没有专门针对卧式氧压釜的分析模块, 导致大型卧式氧压釜分析计算需花费大量时间, 只有极个别既了解设备结构、又精通有限元软件操作的工程设计人员能参与其中, 因此在工程上产生了诸多技术瓶颈。

ANSYS 软件中内置了 APDL 这一参数化设计语言来帮助用户快速完成分析计算工作, 但仍存在

非可视化、上手难度大、通用性较差等缺点<sup>[1]</sup>。VB 则作为一款可视化编程软件, 能提供多种数据类型, 完成复杂数据运算, 拥有强大的数据库, 支持跨平台、多语言开发<sup>[2]</sup>。通过将 VB 和 ANSYS 相结合, 能够有效弥补 APDL 语言的缺陷, 更便捷地完成一系列分析设计工作。目前已有相关人员在 ANSYS 软件的基础上对船体舱快速建模<sup>[3]</sup>、压力容器椭圆形封头计算<sup>[4]</sup>、钢筋混凝土悬臂梁计算<sup>[5]</sup>等领域进行了二次开发尝试。湿法冶金加压浸出领域, 相关针对性的二次开发工作还较为欠缺。

本文结合 APDL 与 VB 两种语言各自的优势特点, 针对卧式反应釜的结构特点定制了专门的全中文数据输入和结果输出界面, 即使第一次使用该软件的工程人员也能在程序界面的逐步引导下, 获得分析结果, 分析效率得到大幅提升。

## 1 开发方案

结合工程实际及卧式反应釜的结构特征, 确定本次开发对象为 6 至 7 隔室的大型卧式反应釜。具体开发流程如下(程序开发逻辑如图 1 所示):

(1) 通过对某大型卧式反应釜进行手动分析, 理清所有关键参数点;

(2) 在 ANSYS 中对参数设置、模型建立、网格划分、载荷施加、后处理等步骤使用 APDL 语言编写宏文件;

**[收稿日期]** 2022-03-20

**[作者简介]** 欧阳灿(1984—), 男, 湖南衡阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事化工设备设计工作, 现任长沙有色冶金设计研究院有限公司化工事业部设备专业负责人。

**[引用格式]** 欧阳灿, 黄金豪, 金生龙. 湿法冶金大型卧式加压浸出反应釜有限元分析设计程序开发[J]. 有色设备, 2022, 36(4): 40-44.

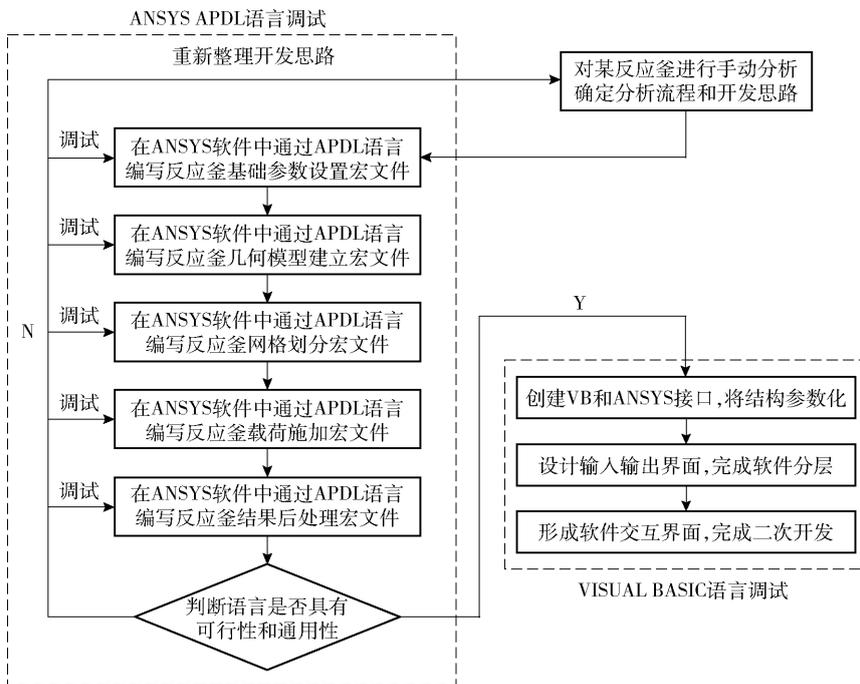


图1 程序开发逻辑

(3) 判断语言是否具有可行性和通用性, 不足即返回对宏文件进行修改调试;

(4) 宏文件满足要求, 即创建 VB 和 ANSYS 接口, 实现参数化;

(5) 依据软件需求, 设计操作界面、软件模块划分和软件分层;

(6) 形成软件交互界面, 完成二次开发。

## 2 参数化过程

卧式反应釜结构的参数化过程关键点在于如何将分析模型的主要参数信息与模型建立、网格划分、后处理等过程的链接通过 APDL 语言实现, 主要参数包括设计条件及材料基本参数和设备几何参数等。

### 2.1 设计条件及材料属性参数

实现卧式反应釜分析计算过程的首要步骤是确定设计条件及材料属性等基本参数。设计条件包括设计温度、设计压力、介质密度。材料属性包括壳体、接管、支座等零部件材料的弹性模量、泊松比和设备的等效密度。基础参数均为输入参数, 需要用户根据提示输入。

### 2.2 设备几何参数

几何参数为控制卧式反应釜几何模型生成的参数, 是整个参数化过程中最至关重要的部分, 直接影响分析结果的准确性, 几何参数设置不合理将导致

分析过程的失败。

由于卧式反应釜的结构复杂, 几何参数数量十分庞大, 关键输入参数有数十个之多, 另外包含多组导出参数。导出参数是参数化过程中通过输入参数的几何运算生成的参数, 与输入参数共同影响模型的建立, 这些参数通过运算得到不需要用户直接参与控制。参数化过程中, 关键的输入几何参数包括设备直径、壁厚、筒体长度、鞍座距离、各管口大小和位置等, 导出参数则包括接管截面积、筒体截面周长、封头表面积等。

### 2.3 网格划分参数

网格划分过程是分析过程中较为复杂的一部分, 如何控制各个部件的单元类型、网格大小、线份数需要通过多次尝试确定。网格划分过程封装在 ANSYS APDL 宏文件中, 不需要用户参与设置, 内部参数均为导出参数, 根据各个部件几何参数确定划分网格时使用的网格大小和相应线段的份数。反应釜 90% 部位采用扫描的划分方法, 该方法为精度、效率最高的网格划分方法。

### 2.4 载荷参数

载荷参数均为设计条件的导出参数, 该过程主要施加压力、温度、接管载荷等。

### 2.5 后处理参数

本程序分析计算目的是为了校核卧式反应釜关

键部位的强度及刚度。后处理参数为输出参数,即将程序计算后的结果通过命令导出,传输给用户。得到的后处理参数包括筒体最大应力强度值、接管最大应力强度值、鞍座最大应力强度值和筒体最大变形值。

### 3 操作界面

程序操作界面采用 VB 程序语言设计可视化人机交互界面,通过交互界面获得实现参数化过程所需要的输入参数,并将用户界面的信息转换成可被 ANSYS 识别读取的 APDL 语言。

依据参数化过程,将卧式反应釜分析程序分为一个求解设置和五个交互模块,主操作界面包含在第一交互模块中(如图 2 所示)。该界面左上角的求解设置用来确定 ANSYS 启动路径和计算文件保存路径。



图 2 程序主操作界面

第一交互模块为基本参数界面,该界面中用户根据提示输入设计条件和材料属性。

第二交互模块为几何参数界面(如图 3 所示),



图 3 几何参数界面

该界面中用户根据初步设计输入卧式反应釜的筒体、鞍座、隔墙、各接管的结构参数,完毕后点击开始分析进行计算。

后三个交互模块为结果输出界面(如图 4~图 6 所示),分别显示筒体、接管、鞍座的最大应力值和整体变形值,并根据校核结果判定合格与否,弹窗告知用户。



图 4 整体应力结果界面



图 5 筒体和接管应力结果界面



图 6 鞍座应力和整体变形结果界面

## 4 应用案例

以某加压浸出项目大型卧式反应釜为例,使用本程序进行设备的有限元分析。该反应釜直径为 4 200 mm,待校核的钢壳厚度为 34 mm,材料为 Q345R,共分为 6 个隔室,采用双鞍座形式。为考察自编程序计算结果的准确性,同时使用 ANSYS 软件进行传统方法的手动分析。

按可视化界面提示输入所有参数,经过程序计算得到设备整体应力云图(如图 7 所示)设备最大处应力值为 338 MPa。根据其他结果模块得到各个关键部件的校核结果,筒体最大应力值为 234 MPa  $\leq$  1.5 Sm(270 MPa),接管最大应力值为 338 MPa  $\leq$  2.2 Sm(396 MPa),鞍座最大应力值为 493 MPa  $\leq$  3 Sm(540 MPa),整体最大变形值为 9.4 mm  $<$  0.001  $\times$  筒体长度 = 27 mm。各关键部件的强度和刚度均满足校核要求,因此判定设备整体的安全性得到保证。将自编程序计算的整体应力输出结果和传统方法手动计算结果进行对比(如图 8 所示),云图和应力值计算结果误差仅为 3%,满足工程设计要求。

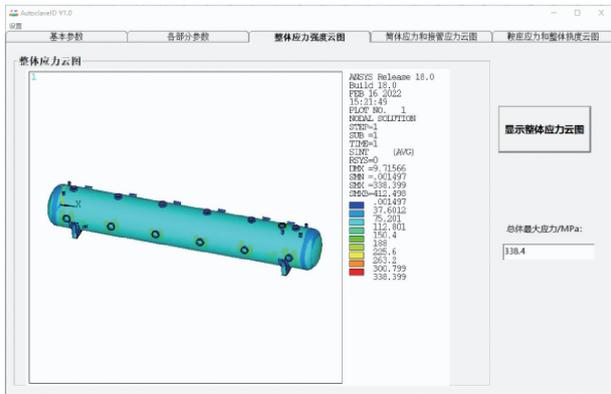


图 7 应用案例整体应力结果

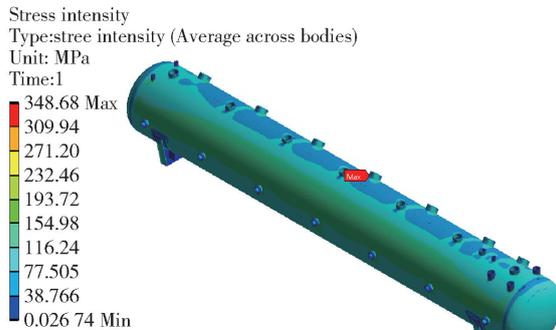


图 8 手动分析整体应力结果

## 5 总结

本程序针对卧式反应釜的结构和工作特点而开发,并且拥有全中文可视化人机交互界面。相较于传统的分析设计流程,采用本程序进行分析设计可以极大提高卧式反应釜设备的分析计算效率,同时有效降低了有限元软件的使用门槛,适用于工程院所的一线设计人员。

### [参考文献]

- [1] 张喻捷. 基于 C#与 Ansys 的索道桁架有限元计算程序的二次开发[J]. 起重运输机械, 2021(16): 86 - 90.
- [2] 赵志刚, 李东方. APDL 与 VB 的二次开发在汽车板材切割剪切力数值分析中的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2019(11): 28 - 32
- [3] 周恒, 王慧, 杨树森, 等. 基于 VB 和 ANSYS 的船体舱段快速建模的二次开发[J]. 机械工程师, 2021(6): 79 - 82.
- [4] 汪亮彬, 王强. 基于 ANSYS 的 VB 计算程序开发[J]. 石油和化工设备, 2019, 22(4): 20 - 24.
- [5] 邓继华, 张孝振, 许斌林, 等. 基于 ANSYS 二次开发的几何非线性平面梁单元[J]. 应用力学学报, 2021, 38(3): 1161 - 1168.

## Software Development for the Finite Element Analysis (FEA) of Large Horizontal Hydrometallurgical Autoclaves

OU Yang-can, HUANG Jin-hao, JIN Sheng-long

**Abstract:** The high pressure acid leaching process has been developing fast recently. As its core equipment, the horizontal autoclave is growing ever larger. With such growth in size, load-bearing becomes

more complex and danger increases. As a result, finite element analysis (FEA) software has been used to analyze the structural safety of the vessels. To better accommodate the characteristics of the autoclave structure, we made some secondary development based on the existing FEA software using APDL and VB languages, to customize the data input and output modules. The secondary development automates the manual process of model building, grid setting, and complex parameters setting, greatly increasing the efficiency of equipment analysis and design.

**Key words:** HPAL; secondary development; autoclave; finite element analysis



---

(上接第 39 页)

## The Application of Dense Flow Absorbers in Treating the Flue-Gas of Hazardous Waste Side-Blown Furnaces

YUAN Sheng-li

**Abstract:** The article first describes the process of side-blown incineration of hazardous waste and the characteristics of the flue-gas, and then gives an introduction to the gas cleaning process accordingly, followed by a case study of its application in a commercial operation. The focus of the study is on the dense flow absorber and the effect of its first application in the treatment of the flue-gas from side-blown furnaces for hazardous waste incineration is described. The results show that the expected aim has been achieved. The article also explores the issues and improvements made during real operation, hence a reference for the design of projects of the same nature.

**Key words:** dense flow absorber; side-blown furnaces for hazardous waste incineration; flue-gas cleaning

