

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221480

基于 VB 的 ANSYS APDL 二次开发 在弧形钢闸门设计中的应用

王 晨¹, 王正中¹, 李津宇¹, 韩一峰², 蔡 锐²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;
2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

摘要: 针对弧形钢闸门采用 ANSYS 有限元软件中 APDL 参数化编程语言进行闸门结构三维有限元设计时存在耗时长、效率低的问题, 在 APDL 参数化编程语言基础上, 提出一种基于 VB 的 ANSYS APDL 的弧形钢闸门设计与分析程序, 并以某工程为例对该程序进行云图成果展示。结果表明, 该程序能提高弧形钢闸门的设计分析效率, 设计人员可根据实际工程需要进行调试, 使设计出来的弧形钢闸门满足工程建设需要。

关键词: 弧形钢闸门; 有限元分析; APDL 参数化编程语言; VB

中图分类号: TV663.4; TP663⁺.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)05-0158-04

1 引言

随着高坝大库的建设与发展, 作为水利水电工程泄水建筑物调节咽喉的水工钢闸门正向着高水头、大孔口、大泄量的大型化和轻型化方向发展, 其安全灵活地运行决定着整个枢纽工程和下游人民生命财产的安全。但弧形钢闸门设计工作多采用平面绘图方法, 绘图效率低下, 且无法实现参数化^[1-3]。随着计算机技术的发展和有限元理论的成熟, ANSYS 具有强大的建模能力、求解能力、非线性分析能力等为科学研究和工程实践提供了巨大的便利^[4]。弧形钢闸门空间结构复杂, 单一采用 ANSYS APDL 进行弧形钢闸门的有限元分析难度较大, 不仅需掌握命令流的使用, 且需花费大量的时间去编程。同时弧形钢闸门有限元模型涉及众多节点、单元, 细微的几何参数变动均会导致先前的分析命令流不能继续使用, 需重新进行编程, 降低了设计效率^[5]。鉴于此, 本文提出了基于 VB 对 ANSYS APDL 进行二次开发理论和弧形钢闸门参数化建模及有限元计算方法, 同时开发相应软件实现弧形钢闸门的参数化建模及有限元计算并对结果进行呈现; 并以某工程为例进行实践, 验证了所提方法的可行性。

2 基于 VB 的 ANSYS 二次开发方法

2.1 ANSYS 设计原理

根据 ANSYS APDL 运行的基本原理, 每执行一条命令, 相应的便生成一段 *.log 文件。该 *.log 文件可直接调用供 ANSYS APDL 重新运行; 同时 ANSYS 具有可供其他软件调用的接口, 为使用者提供了 batch 功能, 利用此功能可实现 *.log 文件的后台调用, 利用这一原理可利用编程软件修改 *.log 文件中相应的参数, 并调用 ANSYS APDL 进行程序计算^[6]。

利用 batch 批处理功能进行 ANSYS APDL 接口的相关设置, 即打开 ANSYS MECHANICAL APDL PRODUCT LAUNCH 进行工作路径设置和输出输入名设置, 输入输出名需与 VB 中生成的记事本文件命名相同, 后缀为 .txt 并保存。

2.2 VB 设计原理

与 ANSYS APDL 的编程命令相似, 利用 VB 提供的特殊命令-shell 命令可获取其他软件的工作目录并运行, 仅需设置调用软件的路径及接口即可实现在后台对其他软件的操作。

通过 VB 对 ANSYS 2020 R2 软件的调用为

收稿日期: 2022-07-18, **修回日期:** 2022-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(51179164); 国家科技支撑计划(2012BAD10B02)

作者简介: 王晨(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水工金属结构, E-mail: 972245908@qq.com

通讯作者: 王正中(1963-), 男, 教授、博导, 研究方向为水工结构, E-mail: wangzz0910@163.com

例进行说明,接口程序关键代码为:

```
aa = Shell("C:\Program Files\ANSYS Inc\v202\ansys\bin\winx64\MAPDL.exe" -p
ane3fl -dis -mpi INTEL MPI -np 2 -lch -
dir "C:\Users\wangchen" -j "radial steel
gate" -s read -l en-us -b -i "C:\Users\
wangchen\input.txt" -o "C:\Users\
wangchen\output.txt", vbMinimizedFocus)
```

其中 aa 为存储 Shell 函数返回值的变量 C:\Program Files\ANSYS Inc\v202\ansys\bin\winx64\MAPDL.exe 所在的文件目录;ane3fl 为 ANSYS 产品特征代码;- b 表示处理工作模式;- i 标志后面的文件为输入文件;C:\Users\wangchen\input.txt 为用 APDL 语言编写的 ANSYS 输入文件;- o 标志后面的文件为输出文件;C:\Users\wangchen\output.txt 是输出文件。

2.3 软件开发思路

在 VB 建立的窗口中输入工程中的具体参数,VB 先调用记事本形成完整的供 ANSYS APDL 识别的命令流.txt 文件。随后 VB 直接调用 ANSYS APDL 读取可识别的命令流文件,并在 ANSYS APDL 后台自动进行几何模型和有限元模型建立、有限元计算并将结果云图输出到目标文件夹中。最后 VB 直接读取 ANSYS 输出的计算结果云图进行可视化呈现。从整个流程来看,输入参数和结果呈现为可视过程,调用 ANSYS APDL 计算为后台自动运行的不可视过程,基于 VB 的 ANSYS APDL 软件二次开发流程见图 1。

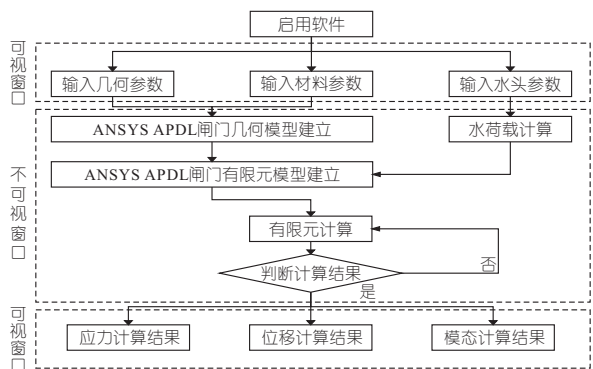


图 1 基于 VB 的 ANSYS APDL 软件二次开发流程结构图
Fig. 1 Flow chart of implement of ANSYS APDL software based on VB

3 弧形钢闸门参数化有限元分析方法

3.1 弧形钢闸门的参数化建模

弧形钢闸门按构造组合可拆分为面板、主横梁、水平次梁、底次梁、纵隔板、边梁、支臂等主要

构件。面板为圆弧形板壳结构;主横梁一般为箱型截面或工字形截面,可进一步拆分为腹板和上下翼缘;水平次梁一般为工字钢或槽钢;底次梁一般为 T 型钢,可拆分为单个腹板和翼缘;纵隔板为变截面工字梁,具体变化形式由面板和主横梁尺寸决定;支臂一般为箱型截面或工字形截面,可进一步拆分为腹板和上下翼缘;弧形钢闸门构造见图 2。

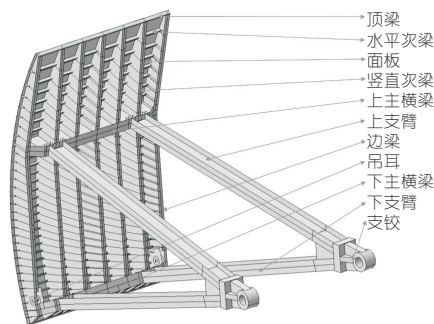


图 2 弧形钢闸门构造图

Fig. 2 Structure diagram of a radial steel gate

从建模的流程和方法上看,各类建模软件均采用点沿轨迹拉伸生成线、线沿轨迹拉伸生成面、面沿轨迹拉伸生成体的建模思路建立三维模型。以主横梁常用截面之一箱形截面建模为例:首先根据其位置数据参数确定关键点,由各点连接为一个封闭轮廓,封闭轮廓填充生成闭合平面,闭合平面沿轨迹拉伸即可生成箱型截面主横梁模型(图 3)。通过这种建模方式,不仅增加了建模的灵活性,且更加符合工程需要。

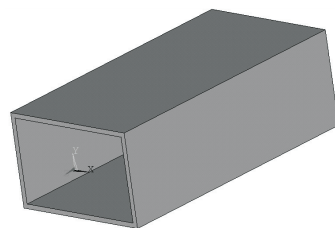


图 3 箱形截面主横梁模型

Fig. 3 Model of box-shaped section of main beam

在弧形钢闸门模型建立过程中,通常采用由整体到细部的建模方式,首先搭建外层轮廓框架,即确定支铰和面板位置,面板是以支铰为圆心的圆弧。以支铰为原点,以支臂长度为半径,以闸门顶部 z 坐标为 0 的最高点确定外轮廓位置;以各水平梁腹板中心线之间间隔距离确定水平梁位置;以各垂直梁腹板中心线之间间隔距离确定垂直梁位置;以支铰位置和主梁位置确定支臂位置。

剩余构件主要分为水平梁和垂直梁,水平梁包括水平次梁、底次梁和主横梁,其均由 1~2 块腹板联结翼缘组成,故建模思路相同。建模时通

过已建面板所确立的水平梁腹板的方位确定水平次梁腹板位置。而后即可根据其腹板和翼缘具体尺寸完成截面轮廓及拖拽路径线的建立,截面轮廓按拖拽路径线进行拖拽即可完成水平梁几何模型的建立;竖直梁主要包括边梁和纵隔板,边梁为非变截面梁,其建模思路同水平梁思路相同,仅需变更具体尺寸和拖拽路径。纵隔板为变截面梁,其腹板轮廓由面板尺寸和支臂数量、支臂截面尺寸共同决定,故将其放于建模次序最后进行建模。由于过程为参数化建模,故以尺寸参量作为位置选取标准,以 ksel 命令根据闸门纵隔板间距尺寸对纵隔板腹板各关键点位置进行选取,并将其连线并添加至同一线集中,执行 nummrg 命令即可对其进行填充,实现腹板的建立。

3.2 弧形钢闸门的参数化有限元计算

有限元计算过程主要分为有限元模型的建立及荷载的添加与计算。在弧形钢闸门的结构中,面板主要以四端固支、三端固支一端铰支形式固定于区隔上,而绝大部分的面板区域以四端固支的形式固定于区隔上,面板的几何特征在结构形式上属于薄壳结构;支臂为重要的承重结构,将上游面板所承受的水荷载传递至支铰,其所受约束介于固定铰支座约束和固定端约束之间,其同时承受轴力荷载和弯矩荷载,为压弯组合构件。在闸门构件单元类型的选择上,Shell181 等单元类型可模拟薄面板区隔和中厚面板区隔,各边每单位长度网格数不少于 4 份或单元尺寸长度尽可能保证在 0.03~0.25 m 时,可满足计算精度和效率的统一^[7]。支臂结构常采用梁单元进行模拟,网格数为 20~40 个,可满足计算精度和效率的统一^[8]。

建立有限元模型,以 cmsel 命令选取弧形钢闸门面板、底槛、止水、支铰等位置,以 d 命令进行约束的添加,以 sfgard 命令进行面荷载的添加,随后即可进行求解。求解后以 plnsol 命令和 /SHOW, JPEG 命令进行云图显示及图片输出,输出结果用于 VB 调用。参数化有限元计算流程见图 4。

4 基于 VB 的 ANSYS APDL 二次开发应用实例

某水利工程设计中,弧形钢闸门尺寸为 13.0 m×14.7 m(宽×高),宽高比为 0.884,弧形钢闸门半径 18 m,支铰高程 11.4 m。闸门结构按双主横梁斜支臂布置,梁系采用实腹式齐平连接。主梁和支臂截面均采用箱型截面;18 根水平次梁,截面采用工字型截面;7 根垂直次梁,截面采

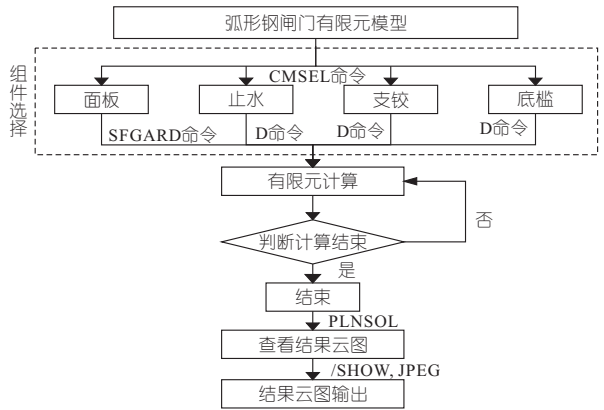


图 4 参数化有限元计算流程图

用“T”型截面;底次梁采用“T”型截面;顶次梁采用槽钢截面;构件材料为 Q345C。闸门承受的设计水头为 18.4 m。

主界面的菜单栏包括前处理、求解及后处理三大模块。前处理模块中包含有输入各参数的子界面;求解模块中包含设置荷载参数和系统的计算;后处理模块实现计算结果的显示。

4.1 弧形钢闸门前处理模块

通过点击主菜单下的“弧形钢闸门”按钮进入参数输入界面,前处理界面见图 5。在界面设定的窗口输入设计闸门的材料参数、几何参数。

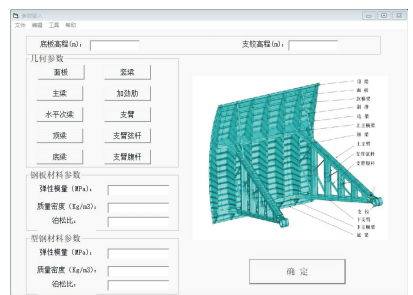


图 5 前处理界面图

Fig. 5 Interface diagram of pretreatment

本文软件内置两种类型钢材,即默认门叶结构选择钢板材料,支臂结构选择型钢材料,输入两种材料的参数。点击各闸门结构对应的按钮进入相应的子菜单,在各结构几何属性窗口中依次输入结构对应的几何参数。

4.2 弧形钢闸门求解模块

所有参数输入完成点击“确定”进入主菜单,选择“求解”模块,求解模块仅需输入闸门自重和静水压力两种荷载参数,输入完成后点击“确定”按钮。此时 ANSYS 软件图标显示软件在后台运行。待图标消失即表示 ANSYS 运行完毕,计算结束,可进入后处理模块查看计算结果。

4.3 弧形钢闸门后处理模块

在后处理模块下有多个选择按钮,分为三大

类,分别为闸门位移、等效应力、模态云图,点击相应按钮,相关的图将显示在右侧区域。弧形钢闸门整体位移和等效应力云图、横梁位移和等效应力云图、第 1、2 阶模态云图见图 6、7,其余结果云图也可通过单击相应按钮进行呈现。

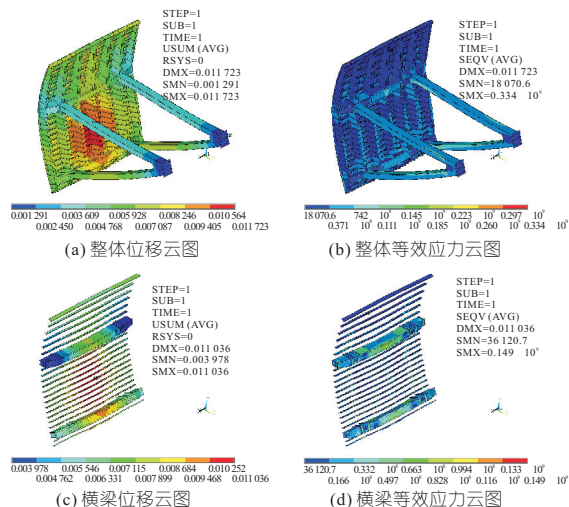


图 6 整体、横梁位移、等效应力云图

Fig. 6 Overall nephogram, nephogram of beam displacement, and nephogram of equivalent stress

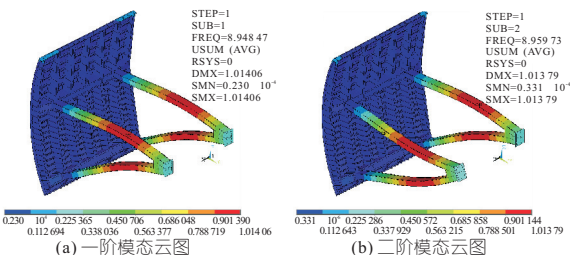


图 7 一阶、二阶模态云图

Fig. 7 Nephograms of first-order modal and second-order modal

由图 6、7 可知,从整体来看,弧形钢闸门整体最大等效应力为 334 MPa,最大位移为 11.732 mm;细部结构来看,其横梁最大等效应力为 149 MPa,最大位移为 11.036 mm;无论是整体或细部,闸门的强度刚度均满足规范要求^[9]。从各阶模态频率看,一阶模态频率约为 8.95 Hz,二阶模

态频率约为 8.96 Hz,均为支臂振动,且模态频率区间与水流脉动主频率(0~20 Hz)有交集,有振动可能,需采取措施如对支臂添加弦杆或腹杆。

5 结论

a. 以通用计算机语言 VB 为辅助,以 ANSYS APDL 为基础,提出一种基于 VB 的 ANSYS APDL 的弧形钢闸门设计与分析程序,并以某工程为例对该程序进行云图成果展示。

b. 实例应用结果表明,操作人员无需熟悉 ANSYS,也无需打开 ANSYS,即可快速、高效完成弧形钢闸门的有限元计算,具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] 王正中,张雪才,刘计良. 大型水工钢闸门的研究进展及发展趋势[J]. 水力发电学报, 2017, 36(10): 1-18.
- [2] 王正中. 水工钢闸门结构非线性分析理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [3] 任博,邓达人,谭守林,等. 水利水电工程中平面钢闸门三维参数化设计与研究[J]. 水电能源科学, 2022, 40(7): 210-212.
- [4] 陈笙,郑圣义,董继富,等. 弧形钢闸门排水孔优化设计及有限元分析[J]. 水电能源科学, 2018, 36(1): 165-167.
- [5] 翟超. 弧形钢闸门数字化设计程序开发[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [6] 王正中,赵春龙,张雪才,等. 水工钢闸门数字化设计新技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [7] 张雪才,杨顺群,侯庆宏,等. 水工闸门面板结构空间有限元分析原则[J]. 水力发电, 2021, 47(10): 61-70.
- [8] 张雪才,陈丽晔,姚宏超,等. 弧形闸门支臂结构空间有限元分析原则研究[J]. 水力发电, 2021, 47(7): 73-82.
- [9] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程钢闸门设计规范: SL 74-2019[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019.

Application of ANSYS APDL Secondary Development in Design of Radial Steel Gate Based on VB

WANG Chen¹, WANG Zheng-zhong¹, LI Jin-yu¹, HAN Yi-feng², CAI Kun²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of low efficiency and time-consuming when using the ANSYS parametric design language (APDL) to carry out the three-dimensional finite element design of the gate structure, this paper proposed a APDL design-analysis program based on VB, and performed nephogram results on a certain project. The results show that the program can improve the design and analysis efficiency of steel arch gate, and programmers can flexibly debug related to practical project cases, so that the designed steel arch gate can meet the needs of project construction.

Key words: radial steel gate; finite element analysis; parametric design language APDL; VB