

GID ,ANSYS ,SURFER 在有限元分析中的应用

胡清义¹, 潘卫凯², 任旭华¹, 黄 程¹

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省三河闸管理处, 江苏 洪泽 223126)

摘要 利用有限元前后处理软件 GID 提供的用户自定义功能和 TCL/TK 语言对扩充软件包 GID-plus 进行二次开发, 实现从 GID 向 ANSYS 导入有限元模型, 并以 ANSYS 作为求解器计算, 然后将结果导入 GID 中进行后处理. 详细介绍了从 GID 中提取数据进行处理, 并导入专业地图软件 SURFER 中绘制位移、应力等值线的原理和方法.

关键词 GID ; ANSYS ; SURFER ; 有限单元法 ; 前处理 ; 后处理 ; 计算方法

中图分类号 O241.82

文献标识码 A

文章编号 1006-764X(2004)07-0017-04

大型有限元分析软件 ANSYS 在各个领域得到了广泛应用,但在遇到复杂结构,特别是结构中钢筋等交错密集分布时,建模就变得非常困难.一般所采用的方法是在专业绘图软件中画好几何模型,然后以 dxf,iges 等图形转换格式导入 ANSYS^[1],但这种方法在遇到复杂图形时,几何模型导入到 ANSYS 后,模型会变形,一些图形元素(点、线、面、体)不能正常生成,还会产生一些原本没有的图形元素.基于 GID 问题自定义功能建立的扩充软件包 GID-plus 提供了专业有限元前后处理软件 GID 与 ANSYS 的接口,从而可以在 GID 中建立几何模型,生成节点和单元,加上荷载、约束、材料等所需信息,然后生成 jobname.ans 文件,该文件即为 ANSYS 可识别的命令流文件.在 ANSYS 中计算完成后,再将结果导入 GID 做后处理. GID 中结构位移、应力等均以云图显示,虽然也提供等值线,但等值线的数值标注也是以颜色区分,不易辨别,为解决此问题,在 GID 中将数据导出,经处理后导入专业地图软件 SURFER 中绘制位移、应力等值线,取得了令人满意的效果.

1 GID 及 GID-plus 简介

GID 是一款专业的有限元前后处理软件,对二维、三维图形绘制及网格剖分都非常方便、快捷,具有 ANSYS 等有限元软件所没有的图层功能及自动生成面和体的功能.图形元素捕捉、复制、移动、偏移、镜像、扫略、比例放大、旋转、测量等图形操作功能与 AutoCAD 等绘图软件相似,比 ANSYS 更方便.几何模型生成很快捷. GID 提供的单元类型有点单元、线单

元、三角形单元、四边形单元、四面体单元、六面体单元、棱体单元等.网格自动剖分后可导出节点和单元信息,可施加点、线、面荷载,给定材料信息.后处理提供切面功能,并能单独列出该面上节点坐标和节点上对应的计算结果.利用这些数据可以用 SURFER 等软件画等值线,这一点也是 ANSYS 不能实现的. GID 主要有前处理和后处理两个模块,利用其进行有限元分析时各模块之间的关系如图 1 所示.

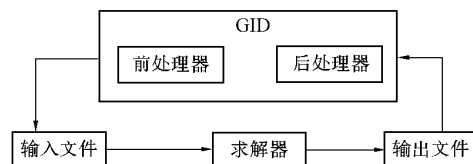


图 1 GID 各模块之间的关系

GID-plus 是 GID 扩充软件系列,其中有 GID 与 ANSYS 接口的模块,本文就将该模块称为 GID-plus. 在 GID 中,对每种问题类型都要建立一个名为 Problem.type.name.gid 的目录(Problem.type.name 可以为任意其他名称,如 GID-plus),该目录要放在 GID 安装目录的 problemtype 子目录下.除 GID 提供的问题类型外,用户可根据需要参照 problemtype 目录下的文件自己编写问题类型^[1],GID-plus 就是一种问题类型,它提供 GID 与 ANSYS 的接口,生成 ANSYS 识别的命令流文件 jobname.ans(输入文件).然后在 ANSYS 计算后导出结果数据组成 jobname.flavia.res(输出文件),将其拷到 GID 工作目录下进行后处理.

TCL/TK 语言是一种脚本语言,与 C 语言的风格比较相似,由于它的小巧,被广泛应用在各个领域,用来定义图形用户界面. ANSYS 中的接触向导就是

用它做的^[2]。扩充软件包 GID-plus 也是用这种语言写的,用户可对 GID-plus 作二次开发加入自己想要的功能。在最新的 GID 版本中,GID-plus 已装入 GID,如果是早期的版本,可单独下载 GID-plus 文件夹拷入 problemtype 子目录下即可。GID 软件及 GID-plus 可在西班牙巴塞罗那数值研究中心官方网站 <http://gid.cimne.upc.es> 下载。

2 对 GID-plus 的二次开发

2.1 添加边界节点已知位移值约束功能

在 GID-plus 中,只能给节点某个自由度施加零位移约束,但结构分析中往往需要给节点施加一个已知的边界位移值 U ,为此,笔者对其进行二次开发,添加了对节点施加 X,Y,Z 方向已知位移值 U 的功能。为了不破坏原程序的代码和相应功能,采用添加点位移约束下拉菜单的方法,而没有修改原来的零位移约束界面。具体方法如下:

首先,在 GID 安装目录的 problemtype 子目录下找到 ansys55.3d 文件夹(ansys55 与 ansys 的版本号并无本质关系)其中有 ansys55.3d.cnd 文件,用字处理软件打开后在末尾添加以下代码(为节约篇幅,仅给出添加 X 方向边界位移的代码):

```
NUMBER : 7 CONDITION : disX
CONDTYPE : over points
CONDMESHTYPE : over nodes
QUESTION : disX
VALUE : 0.0
END CONDITION
```

则在施加点约束的对话框下拉菜单中添加了 disX, disY, disZ 三项,如图 2 所示。选择其中任意一项,就可添加相应的位移值 U (默认为 0.0)。



图 2 施加点边界条件对话框

然后,在 GID 安装目录下找到 ansys55.3d.bas 文件,在一个合适位置添加以下代码(笔者将其加在第 115 行后面,为节约篇幅,仅给出与 X 方向位移相关的代码):

```
* Set Cond disX * nodes * CanRepeat
* if( CondNumEntities( int )>0 )
* loop nodes * OnlyInCond
* format "D ,%i ,UX ,%10.9g"
* NodesNum * cond( 1 )
* end nodes
* endif
```

这样 GID 就能将上面所施加的边界节点位移值读入,并添加在 GID 与 ANSYS 的接口文件 jobname.ans 中。

2.2 完善多材料支持功能

GID 可以给不同实体、不同单元赋给不同的材料,但 GID-plus 并不能将这一功能转换为 ANSYS 命令流,给分析带来不便。虽然在图形用户界面下给不同的单元赋予了不同的材料,但 GID-plus 生成的 ANSYS 命令流给每一个单元赋给第一种材料后,又重新给每一个单元赋给其他材料,使得前面赋给的材料被后面的材料所覆盖。为此,笔者对其进行了修改,具体方法如下。在 ansys55.3d.bas 文件中,对于每一种单元类型,在生成单元的程序代码前添加单元选择语句(这里给出八节点六面体单元对应的代码):

```
* loop elems
* if( ElemsMat == matnum ) ! 该行为添加代码
* format "EN ,%i ,%i ,%i ,%i ,%i ,%i ,%i ,%i ,%i ,%i"
* ElemsNum * ElemsConec
* endif ! 该行添加代码
```

2.3 添加线单元支持功能

GID 能对直线进行剖分生成线单元,但 GID-plus 并不支持这种单元。在 ansys55.3d.bas 添加以下代码后,即可实现这一功能。

```
* set elems( linear )>0 )
* loop materials
MAT , * matnum( )
REAL , * matnum( )
ET , * matnum( ) , LINK8
TYPE , 1
* loop elems
* if( ElemsMat == matnum )
* format "EN ,%i ,%i ,%i"
* ElemsNum * ElemsConec
* endif
* end elems
* end materials
```

另外,GID-plus 中坐标值等数值的输出格式都只有 3 位有效数字,对于坐标值较大的结构,会造成

坐标与实际严重偏离,为此可在 ansys55.3d.bas 文件中对节点坐标输出格式作相应调整,就能使输出数值准确无误。

3 使用 ANSYS 求解及 GID 中的后处理

在 ANSYS 中选择 read input from 菜单读入 GID 生成的命令流文件 jobname.ans 文件(如需要,可以用字处理软件将其打开先作一定修改后再读入 ANSYS),GID 中定义的有限元模型就能准确地导入 ANSYS 中,需要的话,在 ANSYS 中可继续用命令或 GUI 方式添加 GID 不能实现的功能,然后求解。求解完成后输出位移、应力文件,以备在 GID 中做后处理用。需要注意的是,输出位移、应力前应将 ANSYS 中/graphics 命令值设为 full,否则输出的位移、应力值不完整。

将 ANSYS 输出的位移、应力、主应力通过自编的读入写出小程序排列成 GID 识别的格式,存入文件 jobname.flavia.res 后即可在 GID 中进行后处理。对 6 个应力分量、3 个主应力、3 个位移分量等可以用云图显示。若需要了解结构内部应力、位移状态,可对其进行切面操作,选择所要切的面上 3 点定义平面,该切面单独设在一个图层,关闭其他图层即可清楚了解该平面上的应力、位移状态。

4 SURFER 中等值线的绘制

在 GID 中显示切面结果后,可得到所切平面上的节点三维坐标和节点上的位移、应力值。但云图有时不能满足设计研究的需要,等值线更直观、明了,这就要用到专业地图软件 SURFER。SURFER 只能处理平面二维坐标点对应的位移、应力值,因此,应以所切平面为新的 X,Y 平面,该平面法向为 Z 向建立新的坐标系,将原坐标系中三维坐标转换为新坐标系下的坐标,在新坐标系下,所有点的 Z 坐标都将为零。这样就可将新坐标系下节点 X,Y 坐标及对应位移(或应力)导入 SURFER 中进行处理,绘制等值线。

4.1 新坐标系的建立

在所切平面上任取不在同一直线上的 3 点 A (x₁,y₁,z₁),B(x₂,y₂,z₂),C(x₃,y₃,z₃),以 A 为新坐标系的原点,AB 方向为 X 正向,A,B,C 3 点所确定平面的法向为 Z 方向建立新坐标系。A,B,C 3 点所确定平面的三点式平面方程为^[2]

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \tag{1}$$

记

$$l = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$m = \begin{vmatrix} x_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$n = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$d = \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}$$

则新坐标系的 Z 向单位向量 z(l₃,m₃,n₃)=(l/d,-m/d,n/d)。

经过 A 点,方向余弦为 z 的直线方程为^[2]

$$\begin{cases} x = x_1 + l_3 t \\ y = y_1 + m_3 t \\ z = z_1 + n_3 t \end{cases} \tag{2}$$

其中 t 为参数。

令 t=1,取该直线上一点 D(x₁+l₃,y₁+m₃,z₁+n₃),按照同样的方法,可以求得 A,B,D 确定的平面的法向单位向量,取为新坐标系的 Y 向 y(l₂,m₂,n₂)。

如前所述,取 AB 向为 X 正向,AB 方向向量为 AB(x₂-x₁,y₂-y₁,z₂-z₁),令

$$b = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$l_1 = \frac{x_2 - x_1}{b}, m_1 = \frac{y_2 - y_1}{b}, n_1 = \frac{z_2 - z_1}{b}$$

则 x(l₁,m₁,n₁)为新坐标系下 X 方向的单位向量。至此,新坐标系已经建立。

4.2 坐标转换

已求得新坐标系三个坐标轴的单位向量 x(l₁,m₁,n₁),y(l₂,m₂,n₂),z(l₃,m₃,n₃),则 GID 后处理中所切平面上任意一点在原坐标系下的坐标(x,y,z)可依据以下公式得到其在新坐标系下的坐标(x',y',z')^[3]:

$$\begin{cases} x - x_1 = l_1 x' + l_2 y' + l_3 z' \\ y - y_1 = m_1 x' + m_2 y' + m_3 z' \\ z - z_1 = n_1 x' + n_2 y' + n_3 z' \end{cases} \tag{3}$$

其中(x₁,y₁,z₁)为 A 点,即新的坐标原点在原坐标系下的坐标。

4.3 等值线的绘制

依据以上原理,很容易编制程序将 GID 后处理中所切平面上的节点坐标都转换到新的坐标系下,取新坐标系下的 X,Y 坐标值和每一点对应的一个应力或位移值组成 A,B,C 三列 SURFER 可处理的

数据表,即可绘制对应位移或应力的等值线.另外,对切面的边界也要按 SURFER 的要求作相应处理.

5 应用实例

采用以上方法分析了某拱坝中孔预应力闸墩.中孔工作门为大型弧形闸门,弧门总推力为44050 kN,弧门支承结构采用固端支承梁形式,闸墩中布置双排永存张力为3000 kN的主预应力锚索,支承梁中布置3排永存张力为2000 kN的次锚索^[4].由于闸墩处锚索密集且主次锚索交错分布,直接在 ANSYS 中建模将十分困难,为此,笔者用以上方法进行分析,依据对称性取结构的一半分析,由于建模范围较小,边界条件运用了该拱坝整体有限元计算结果的位移值.单元采用八节点六面体等参单元(ANSYS 中为 SOLID45 单元),材料参数如下:混凝土弹性模量为 20 GPa,密度为 $2.45 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,泊松比为 0.167,线胀系数为 $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^[4].按设计要求先进行线弹性分析,给闸墩及支承梁配筋提供依据,预应力采用等效集中力模拟,共剖分 7667 个节点,5999 个单元,计算取得了良好效果.图 3 是在 SURFER 中绘制的第三排次锚索所在平面 σ_1 等值线.

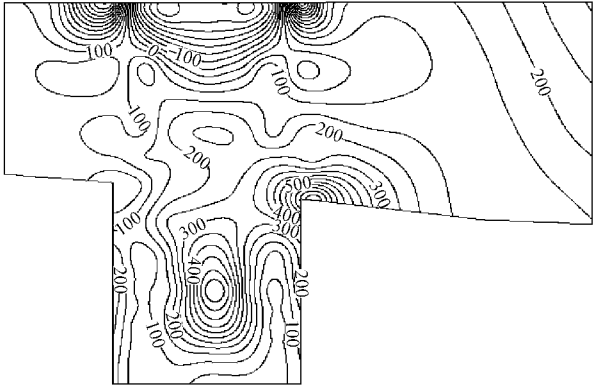


图 3 第三排次锚索所在平面 σ_1 等值线(单位: kPa)

6 结 语

本文介绍了在有限元分析中使用 GID 作前后处理器,ANSYS 为求解器,用 GID-plus 作接口程序的有限元分析方法,并介绍了将 GID 中切面上的结果导入 SURFER 绘制位移、应力等值线的原理和方法.事实上,采用其他程序作求解器时,这种方法也可参考使用,有限元建模最终都是要得到节点、单元、约束、材料等信息,求解后由节点应力、位移画云图或等值线图,本文所介绍的方法能方便快捷地实现这一前后处理过程,具有一定的实用价值.

GID-plus 的功能虽然还不完善,但它具有很好的可开发性,用户可以根据自己的需要添加自己想要的功能.相信对其进行不断完善,将给 GID 与

ANSYS 提供一个很好的接口.

现在针对有限元分析的软件很多,各自都有自己的特点和优势,如果能将各软件结合起来应用,能大大提高工作效率,并取得更好的效果.

参考文献:

[1] 叶先磊,史亚杰. ANSYS 工程分析软件应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2003.17~33.
[2] 姚纬明,牛志伟,李同春.基于 GID 的程序界面设计及应用[J].水利水电科技进展,2003,23(3):22~24.
[3] 《数学手册》编写组.数学手册[M].北京:高等教育出版社,1979.339~341.
[4] 陈琴.乌江构皮滩拱坝不同孔口布置方案对大坝应力的影响研究[R].武汉:长江科学院,2002.

(收稿日期:2004-07-20 编辑:熊水斌)

(上接第 14 页)

- b. 锦屏一级建设对雅砻江开发具有承上启下的作用,有利于加快雅砻江干流其他梯级电站的开发.
- c. 锦屏一级对推进“川电东送”战略,拉动四川省经济社会发展具有积极的作用.
- d. 鉴于锦屏一级的综合效益及对雅砻江开发的重要作用,建议国家尽快批准项目的开工建设.

参考文献:

[1] 吴世勇.从四川能源结构特点看雅砻江水能资源开发.水力发电,2004,30(5):1~3.
[2] 吴世勇.锦屏一级电站建设在四川经济发展中的战略作用.雅砻江水电,2003(1):60~63.
[3] 吴世勇,张运洲,吴安平.锦屏水电站电能输送与消纳研究.中国电力,2004,37(6):23~25.

(收稿日期:2004-03-15 编辑:熊水斌)

· 简讯 ·

第四届流域管理和城市供水国际会议在深圳举行

2004 年 12 月 13 日,第四届流域管理和城市供水国际会议在深圳银湖旅游中心举行.来自世界各地的 170 余位水利、水务专家出席了这次会议,共同探讨水资源管理、水资源利用、水环境保护以及城市供水和节水问题.流域管理和城市供水国际会议由美国弗吉尼亚大学、美国土木工程师学会环境水资源研究会(EWRI)和城市水资源研究委员会(UWRRC)共同发起,旨在推动世界范围内水事业的革新与进步.第一、二届会议于 1997 年和 1999 年在美国召开,第三届会议于 2001 年在中国台湾召开.本届会议共收到会议论文 150 多篇,收入会议论文集的有 117 篇,大会交流 70 多篇.

(编辑部供稿)