

# ANSYS 二次开发功能及其在地下结构工程中的应用

陈建桦

**[摘 要]** 文章基于 ANSYS 二次开发,探索 ANSYS 在地下结构工程中的应用。介绍了 ANSYS 二次开发功能、方法及设计思想,为岩土工程技术人员在解决地下结构工程问题时提供了新的方法。

**[关键词]** 地下结构工程 ANSYS 二次开发

地下结构工程领域数值计算被广泛应用,这些数值分析方法有有限元法、边界元法、有限差分法等,其中尤以有限元法应用最广,它在基坑开挖、隧道围岩稳定、隧道施工模拟、地下工程结构内力分析等计算中发挥了比较重要的作用。FORTRAN、C 等语言已成功地应用于各种工程问题,但是在编制相关程序时,需要进行复杂的网格划分、统计各单元信息及节点坐标,然后进行有限元分析,最后再配合一些相应的后处理程序才能把大量数据信息转化为直观的、易于理解的静态和动态图形。

随着计算机软件及图形学的发展,现在有了众多的通用和专用有限元软件,ANSYS 就是其中最为通用有效的商用有限元软件之一。ANSYS 从 20 世纪 70 年代诞生至今天的 ANSYS8.0,经过 30 余年的发展,已经成为能够紧跟计算机硬件、软件发展的最新水平,功能丰富、用户界面友好、前后处理和图形功能完备的高效有限元软件系统。它拥有丰富和完善的单元库、材料模型库和求解器,它完全交互式的前后处理或者二次开发、图形软件,大大减轻了工程技术人员创建工程模型、生成有限元模型以及分析和评价结果

的工作量,它可以和多种 CAD 软件(如 AUTOCAD 等)有效连接,可以轻松把复杂的工程结构体的 CAD 设计图形输入到 ANSYS 中加以有限元分析。

下面主要以作者遇到的实际地下结构工程问题为例,介绍 ANSYS 的二次开发功能及其在地下结构工程中的应用。

## 1 ANSYS 二次开发功能

ANSYS 提供了宏(MACRO)、参数设计语言(APDL)、用户界面设计语言(UIDL)和用户可编程特性(UPFs)几种二次开发工具。

宏是指存在于一个文件中被反复使用的一系列 ANSYS 命令集合,这些集合被 ANSYS 执行,以完成某个独立的操作。可以把经常使用的 ANSYS 命令编辑到宏文件中,当运行该宏文件时,相当于运行了自己创建的命令。事实上,宏相当于 FORTRAN 或者 C 语言中的函数或者过程,它也可以传递变量。

APDL 提供了大量的控制程序流程的命令,这些命令可以判断、重复等,这一功能在分析内部建立了输入子程序,从而实现了传统有限元分析功能的扩展。

UIDL 也是一种程序化的语言,它允许用户改变 ANSYS 的图形界面(GUI)中的一些组项。从而提供了一种使用户灵活使用、按个人喜好来组织设计 ANSYS 图形用户界面的强

投稿日期:2004-4-1

有力工具,它在 ANSYS 的命令重组、架设其他用户程序与 ANSYS 之间的桥梁方面起到了重要的作用。

用户可编程特性 (UDFs) 允许用户连接自己的 FORTRAN 或 C 程序和子过程,它充分显示了 ANSYS 的开放式体系。

## 2 地下结构工程常见模型处理

### (1) 挡土结构的有限元分析

挡土结构的有限元分析有两类,即先行规范推荐的“竖向平面弹性地基梁法”和“连续介质有限元法”,而“连续介质有限元法”由于计算参数难以准确确定,目前还没有得到广泛的应用。

挡土结构工程施工的每一阶段,结构体系与外荷载都在变化,因此采用增量法进行支护结构的变形及内力计算能充分模拟施工过程。

所谓增量法,即是荷载以增量的形式加到不断发生变化的结构体系中,每个阶段只计算本阶段在荷载作用下的内力及变位,而实际的内力与变位为各个阶段内力与变位的叠加。

在平面问题中,地下连续墙或板桩等用梁单元来模拟;对临时支撑及土弹簧采用杆单元来模拟。此中杆单元只提供轴向位移的约束,不可抗剪、抗拉,这一特点可以采用 ANSYS 程序中的 LINK10 单元来实现。刚度可以采用(1)式计算:

$$K = E \times A / L \quad (1)$$

其中:

$K$ :基床系数;

$E$ :弹性模量;

$A$ :杆单元的横截面积;

$L$ :杆单元的长度。

两节点确定后, $L$ 是定的,至于 $E$ 、 $A$ ,只要保证 $K$ 值,可以随意组合。

### (2) 弹性半无限平面地基上的闭合框架的有限元分析

弹性半无限平面地基上的闭合框架用梁单元来模拟,框架结构与地基土的相互作用

用只可抗压的杆单元来模拟。

### (3) 地下工程支护结构的有限元分析

按支护结构与围岩相互作用考虑方式不同,地下工程支护结构计算的力学模式可大致分为:荷载-结构模式、支护结构体系与围岩共同作用模式。

荷载-结构模式适用于浅埋、围岩塌落而出现松动压力以及衬砌承受较高水压的情况。衬砌采用梁单元,衬砌与围岩的相互作用通过只可抗压的杆单元模拟。

支护结构体系与围岩共同作用模式主要用于由于围岩变形而引起的压力,压力值必须通过支护结构与围岩共同作用而求得,这是反映现代支护结构原理的一种计算方法。在隧道开挖过程当中,通常根据围岩类别采用锚杆、超前小导管注浆和管棚等支护措施对其进行加固,以提高围岩的稳定性。锚杆等加固的有限元模型,目前仍是国内外正在研究的课题。根据文献资料,锚杆的主要作用并非其自身强度对整体结构作贡献,其真正作用是在施工过程中起到及时加固、限制塑性区的发展,使岩体保持较好的连续性和整体性,从而能够很好的起到自承作用。所以,通常的锚杆模拟计算中采用提高 $C$ 、 $\phi$ 值的方法,因此在有限元计算时,依据国内外研究可将围岩参数中的 $C$ 、 $\phi$ 值提高20%~30%。在有限元计算当中,围岩材料的本构模式采用 Drucker-Prager (D-P) 模型,以计算隧道结构与地层在开挖过程中发生的非线性变形特征。另外,ANSYS 计算软件提供了对有限元计算单元进行“生(alive)”与“死(kill)”的处理功能,因此可以利用该功能来模拟隧道施工的分步开挖过程。岩体和隧道结构均采用 ANSYS 程序中的 PLANE42 单元加以模拟。

## 3 工程实例

实例 宜万线某三线车站隧道,围岩级别为 V 级围岩。采用荷载-结构模式计算二次衬砌内力。二次衬砌用 ANSYS 中的 BEAM3 单

元模拟，二次衬砌与初衬之间的相互作用用 LINK10 单元（只可受压）模拟。命令流如下：

```
!围岩级别:V级围岩
!弹性反力系数:500MPa/m
h=0.7      !二次衬砌厚度(m)
kk=500e6    !弹性反力系数
q=399.1e3   !垂直围岩压力(pa)
qh=159.6e3  !水平均布围岩压力(Pa)
/prep7      !前处理
antype,static
et,1,beam3
.....
et,2,link10
.....
!生成二次衬砌单元
*do,i,1,n1+n2+n3+n4-1
e,i,i+1
*enddo
!生成杆单元
.....
*do,i,1+1000,n1+n2+n3+n4+1000
e,i-1000,i
*enddo
fini
/solu      !求解
alls
csys,0
.....
NSEL,S,LOC,X,0
DSYM,SYMM,X      !利用对称
.....
!施加垂直均布围岩压力
*do,i,1,nn0
f,i+1,fy,.....
*enddo
!施加水平均布围岩压力(右侧)
*do,i1,1,n1+n2,1
f,i1+1,fx,.....
*enddo
solve
fini
/post1     !后处理
esel,s,elem,,1,n1+n2+n3+n4-1
etable,mz1,smisc,6
```

```
etable,mz2,smisc,12
plls,mz1,mz2,-1
```

结构受力荷载模式（取对称结构）如图 1 所示：

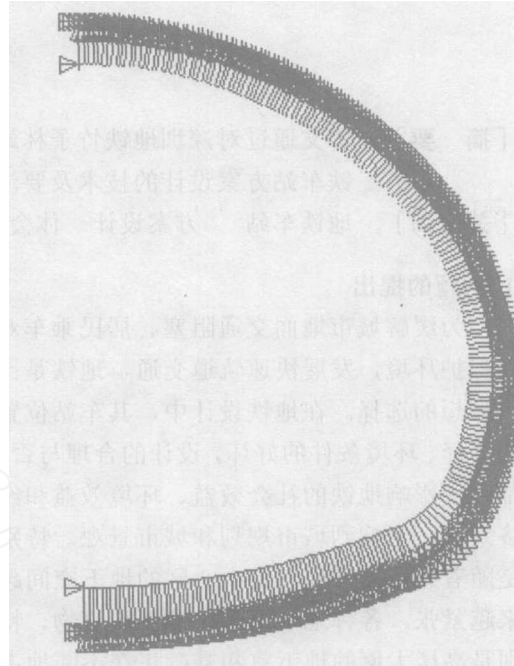
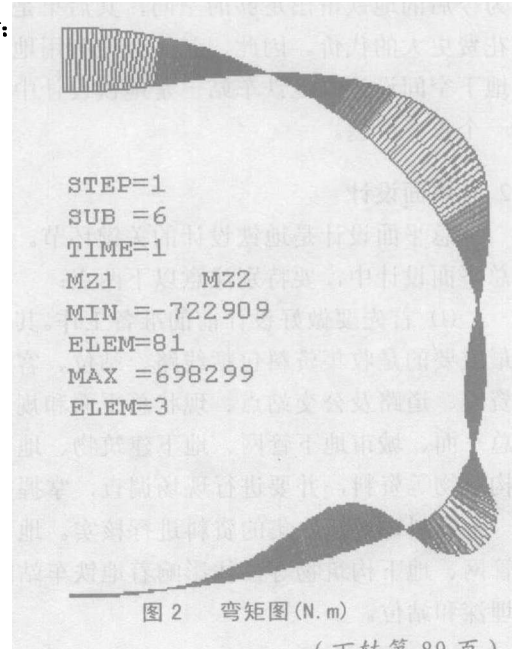


图 1 结构受力荷载模式图

经过后处理，弯矩、轴力分别如图 2、图 3 所

示：



(下转第 89 页)

法国自巴黎 1900 年修建第一条地铁线以来,已有百年左右的运营经验,其技术是成熟的、经验是先进的,巴黎目前拥有 14 条轨道交通线(长约 150 公里),2003 年车辆发生事故而需由其他车辆回送车辆段的次数仅有一次。

我国的城市轨道交通起步较晚、运营经验不足、人员素质不高,因此影响了我国城市轨道交通的运营水平。一般来说,车辆在刚投入使用和将到寿命期时,易出现故障。我国的地铁规范规定,地铁车辆的国产化率必须不低于 70%,故地铁车辆的制造需立足于国内,某些配件可适当进口,这就决定了我国地铁车辆的制造水平。就已运营的上海、广州两个城市的地铁车辆大部分为进口车辆,从上海的城市轨道交通线路来看,其车辆故障率仍较高。所以,我国的城市轨道交

通有自己的具体国情,不能完全照搬国外的经验,我国专家在制定地铁规范时,正是考虑到了这一点。如果仅为节省少量的投资而牺牲了运营的灵活性,是不值得的。

因此,我们认为苏州轨道交通一号线为苏州市的第一条轨道交通线,人员素质参差不齐、运营经验不够再加上其他的不确定因素,一切从方便运营的角度出发,全线设置的配线是合理的、考虑了较多的不利因素,较能满足线路使用的不同功能,为全线的运营创造了较灵活、便利的条件。在预可、工可、总体设计几个阶段的专家评审中,从大的方面,专家对我们设置的配线是无异议的。

总之,苏州市轨道交通一号线的配线设置是合理的,为以后的开通运营打下了良好的基础。

(专业评审:朱丹;责任编辑:邓富甲)

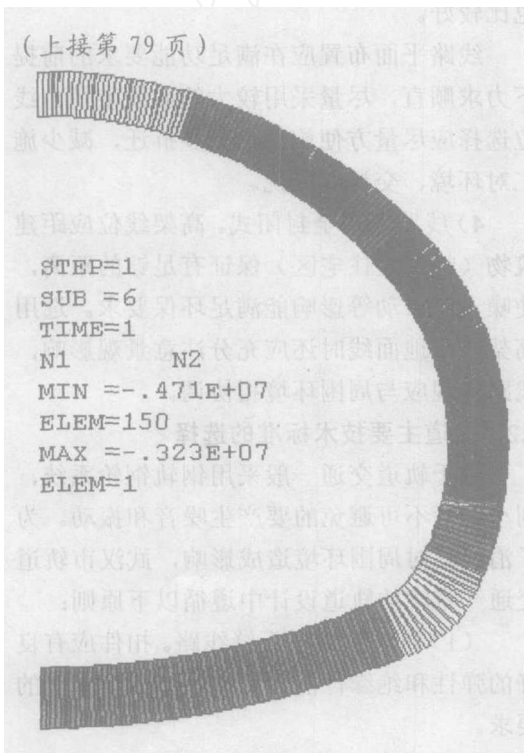


图 3 轴力图(N)

#### 4 结语

本文基于 ANSYS 二次开发,研究 ANSYS 在地下结构工程中的应用,目的是探索 ANSYS 的快速计算与其可视化引入地下结构工程计算。实践表明,ANSYS 二次开发可以降低计算周期和工作量,为岩土工程技术人员在解决地下结构工程问题时提供了新的方法。

(专业评审:肖明清;责任编辑:梅志山)