

# ANSYS 在道路路面结构计算中的应用

李 艳<sup>1</sup>, 张林春<sup>1</sup>, 张文君<sup>2</sup>, 王效杰<sup>3</sup>, 刘素平<sup>3</sup>

(1. 内蒙古交通设计研究院有限责任公司, 呼和浩特 010010; 2. 上海浦东建筑设计研究院, 上海 201204;

3. 交通部第一公路工程总公司, 北京 100024)

**摘 要:** 该文基于 ANSYS 5.5, 论述了其在道路路面结构计算中的应用问题。针对两种典型的路面结构: 温克勒地基上的板和弹性多层体系的静力和动力问题进行了分析。分别讨论了两种情况下的建模、分网、加载、求解、后处理等问题。

**关键词:** 路面结构; 设计计算; ANSYS 5.5; 建模; 分网; 后处理

**中图分类号:** U416.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2005)02-0100-03

## 0 前言

ANSYS 软件是融结构、流体、电磁场、声场和耦合场分析于一体的大型通用有限元分析软件。由美国 ANSYS 开发, 它能与多数 CAD 软件接口, 实现数据的共享和交换, 如 Pro/Engineer, NAS-TRAN, Alogor, I-DEAS, AutoCAD 等, 是现代产品设计中的高级 CAE 工具之一。

ANSYS 软件主要包括三个部分: 前处理模块, 分析计算模块和后处理模块。前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具可以方便地构造有限元模型, 分析计算模块包括结构分析(线性或非线形分析)、动力学分析、耦合分析等, 可模拟多种物理介质的相互作用, 具有优化分析能力; 后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、立体切片显示等图形方式显示出来, 也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。软件提供了 100 种以上的单元类型, 用来模拟工程中的各种结构和材料。

## 1 道路结构的建模

ANSYS 中常用的模型生成方法是实体建模和直接生成。实体建模指的是应用 ANSYS 操作建立实体, 描述模型的几何边界, 建立对单元大小及形状的控制, 然后令 ANSYS 程序自动生成所有的结点和单元的模型生成方法。直接生成的方法, 必须在定义 ANSYS 实体模型之前, 确定每一个结点的位置, 以及单元的大小、形状和连接。对三维实体模型来说, 实体建模是合适的, 对于简单的或小型的模

型, 应用直接建模更为方便。对于路面结构的而言, 形状较为规则, 应用实体建模更为方便, 本文以弹性多层体系和温克勒地基上的板为例, 说明如何利用 ANSYS 构建模型。如图 1、图 2 所示。

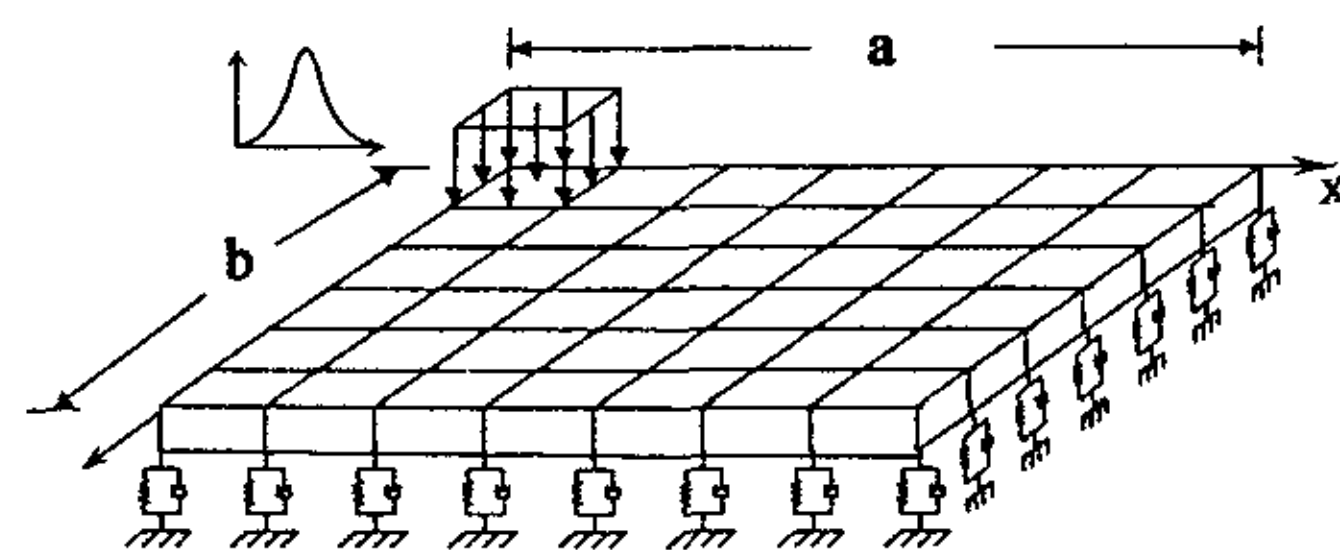


图 1 温克勒地基上的板

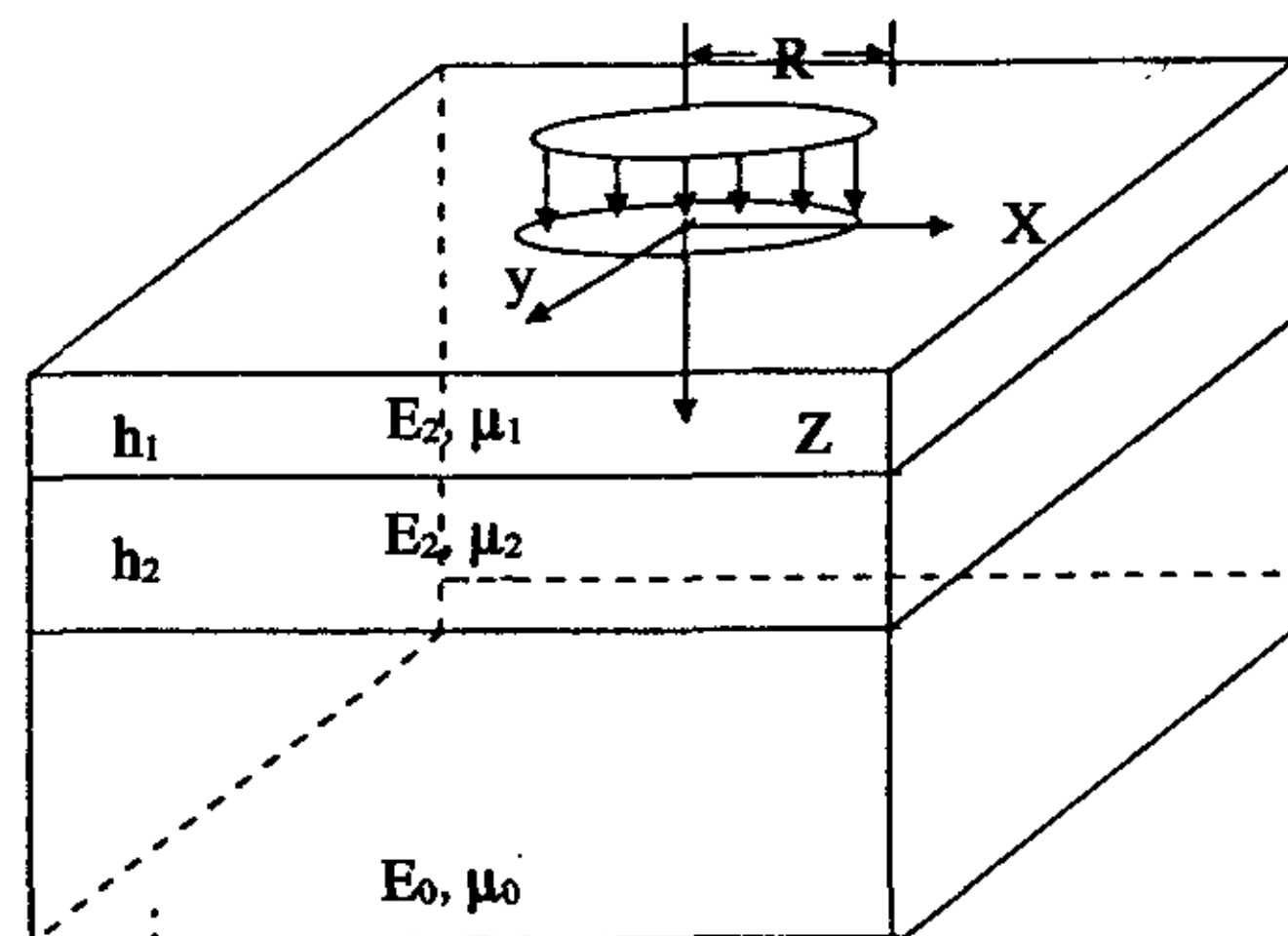


图 2 三层弹性体系

### 1.1 温克勒地基上的板

刚性路面结构可以简化为温克勒地基上的板, 在此基础上进行位移、应力计算。ANSYS 建模时首先应用块命令(BLOCK)生成一个长方体, 然后进行网格划分, 将板底面的结点沿某坐标轴偏移一段距离后, 进行完全复制。然后通过复制结点和底面对应的结点创建弹簧阻尼单元(COMBIN 14)。然后通过选择位置选择结点, 将复制结点三个方向的位置约束起来。这样就形成了图 1 所示的温克勒地基上的板模型。

### 1.2 弹性多层体系

通常柔性路面结构可视为半无限弹性多层体

收稿日期: 2004-07-02

作者简介: 李艳(1974-), 女, 内蒙古包头人, 工程师, 从事公路与桥梁勘察设计。



系,但在有限元的计算中,土基只能取有限尺寸。为确定半无限体厚度取值问题,可以选用不同深度的均值体有限元解和理论计算结果进行比较,结果发现,对于静态问题,当厚度取值大于 6 m,动态问题厚度取值大于 11 m 时,两者的挠度接近。同时根据文献[2]的分析,对于 FWD(落锤式弯沉仪)的冲击荷载,沿深度扩展到 12 m 基本可满足计算要求。因此,静态问题厚度取值应大于 6 m,动态荷载时应大于 12 m。在确定了土基的计算深度后,同样利用块命令(BLOCK),经过多次即可形成弹性多层体系的路面结构。需要指出的是,圆形荷载的作用面需要在表面上单独产生,注意圆心要和坐标轴中心重合。经过一系列的命令产生体和加载面后,在网格划分前应该进行粘合(GLUE),这样就可以模拟完全连续的多层体系结构。如图 2 所示。

## 2 网格划分

ANSYS 提供的网格划分有两种模式,自由网格划分和映射网格划分。在进行网格划分前,必须考虑采用哪一种划分更为合适。自由网格对于单元形状没有限制,也没有特定的准则。与自由网格相比,映射网格对包含的单元有一定的限制,必须满足特定的规则。对于实体来说,映射体网格只包含六面体单元,这意味着只有规则的体才能接受映射网格划分。划分结果具有规则形状,明显成排。

针对所研究的路面结构,确定网格划分需要考虑如下两个因素。首先要考虑模型的影响,对于温克勒地基上的板,采用映射网格划分更为有利。这样的话,可以不考虑地基反应模量和弹性系数相互换算对计算结果的影响,此外,有利于用户控制整个实体模型,特别是进行移动荷载加载时更为重要。另一个需要考虑的因素是加载面的影响。汽车荷载一般简化为圆形或矩形面荷载,对于圆形荷载采用映射网格划分很难实现,只能应用自由网格划分的方法。综合两个方面的因素,矩形荷载下温克勒地基上的板采用映射网格划分,可以实现绝大多数的静动力问题。而对于圆形荷载下的多层体系,最好采用自由网格划分。

确定了网格划分类型,可以利用网格划分在实体模型的基础上生成网格和单元。这个过程包括三个部分,定义划分单元的属性,控制网格生成,生成网格。

### 2.1 单元属性定义

简单地说,这一步骤就是选择单元类型并设定

材料常数。对于实体模型,通常可以选择简单的实体单元——等参八结点单元来划分网格,在 ANSYS 中命名为 SOLID 45,也可以选用复杂的单元,如 20 结点的单元(SOLID 95)。温克勒地基采用弹簧和阻尼单元来模拟,命名为 COMBIN 14。如果不考虑阻尼的影响,只需要在单元实常数设定时,指定阻尼为零。材料常数的定义在前处理的材料特性下指定,对于静力学计算问题,只需要指定杨氏模量和泊松比,动力学问题需指定各材料的密度和阻尼。

### 2.2 控制网格生成

网格的划分影响各个力学指标的计算精度。对于三维有限元而言,网格太细或太粗都不好。网格密使得计算时间增长,消耗大量的计算机时和计算存储,而且由于舍入误差的存在,计算结果不一定理想。而网格划分太粗,使得计算结果和理论解相差太大,其计算结果没有参考意义。为此,需要控制网格的生成,使得计算精度和计算时间的矛盾,在一定的范围内平衡。

ANSYS 网格划分工具(Main menu>Preprocessor>Mesh Tool)能够控制单元形状、中间结点的位置、单元大小。对于映射网格划分,如温克勒地基上的板,通过控制体线上单元的数目来优化网格划分,对于多层体系而言,最好是指定整体控制中的面控制或体控制。值得指出的是,温克勒地基上板的计算中,由于存在地基反应模量和弹簧弹性常数之间的换算,最好采用均匀的映射网格划分方案。

### 2.3 生成网格

在单元属性和网格控制指定以后,应用网格划分工具中(或菜单中)Mesh 命令,拾取要划分的体即可进行网格生成。如果生成的网格不好,可以清除网格,重新划分,也可以在 Mesh 选项中打开 Accept/reject 指示,在网格划分结束的时候自动提示是否接受这种划分。ANSYS 网格划分的另一个功能是局部细划,可以对加载面或单元对进行进一步的划分。

## 3 静动力问题的加载和求解

在这一步,运用 SOLUTION 处理器定义分析类型和分析选项,施加荷载,指定荷载步选项,并对有限元求解进行初始化。首先根据荷载条件和计算目的来选择分析类型。通常进行的计算为静力分析或瞬态动力学分析,可通过使用 ANTYPE 命令来定义。然后使用 Load 命令进行加载。路面结构所受到的荷载为车轮荷载和温度荷载。这两类荷载都



可施加到实体模型上(关键点、线和面)或有限元模型上(结点和单元)。将荷载施加到实体模型上,在求解时,程序会自动将这些荷载转换到结点和单元上。最后应用求解(SOLVE)命令,从数据库中获得模型和荷载信息,并计算结果。

### 3.1 静力问题的加载

静力加载比较简单。在划分好网格的实体模型上,选择要加载的关键点、面(结点、单元),然后施加力、弯矩、位移等荷载。对于矩形荷载作用下的温克勒地基上的板,在划分网格时,应该使  $x$ 、 $y$  方向上单元的边长为相应荷载边长的整倍数,这样可直接在单元上施加荷载。圆形荷载作用下的多层体系,在建立模型时已创建了专门的加载面,在其上直接加载即可。可能出现的一个问题是,已经在加载面上施加了荷载,但没有显示出加载的箭头(或环状线)。这是由于加载面并没有和实体上的面连接起来,可通过分割(DIVIDE)命令中的面被线分来实现。

### 3.2 动力问题的加载

随着 FWD(落锤式弯沉仪)和 SASW(表面波谱分析法)在道路工程中的应用和发展,很多研究者关心动力荷载作用下结构的响应问题。此外,为了更加真实地反映道路结构受车辆荷载的作用,不少人关心移动荷载下结构的响应问题。因此下面主要介绍动力荷载和移动荷载如何施加到结构模型中的问题。

#### 3.2.1 动力荷载

动力荷载随时间发生变化,但施加的位置是固定的。指定这样的荷载,需将荷载对时间的关系划分成合适的荷载步。一般而言,如果荷载时间曲线为光滑连续曲线,且曲率变化不大(如 FWD 荷载),只需在加荷时间范围内将荷载等分为一个特定的整数倍。将各时间点的荷载数据保存到不同的荷载步中。然后在不同的时间点将荷载值施加到实体上,保存到时间荷载步中即可。

#### 3.2.2 移动荷载

移动荷载的加载与动力荷载加载类似,但移动荷载不仅随时间发生变化,而且施加荷载的位置也发生变化。因此移动荷载的加载要复杂一些,对网格的划分依赖较为明显。在划分网格时一定要在移动荷载的轨迹线上创建足够多的结点,如果是匀速运动,那么在迹线上结点均匀分布即可满足要求。一般车辆在路面结构上直线行驶,因此,最好利用映射网格来划分实体。加荷载时,根据结点间的距离

和移动荷载的速度计算行驶时间,在不同行驶时间对应的结点上施加荷载,直到车辆完全脱离路面结构。这个过程中荷载步不能在加载过程中指定,应该等于轨迹线上结点数,因此在划分网格时就应该考虑到这个问题。需要指出的是,这只是一个近似的处理方法。

## 4 后处理

ANSYS 有两个后处理器,一般处理器(POST 1)和时间历程后处理器(POST 26)。对于静力学分析,可在 POST 1 中图象显示结果或列表显示结果,对自己感兴趣的位置进行应力、位移分析。也可以指定特定的路径,对路径上各点的应力、位移等指标的变换规律进行研究。

时间历程后处理器可用于研究指定点的分析结果与时间的函数关系。它有强大的分析能力,可进行图形显示、列表显示、微分、响应谱生成等操作。在动力学分析中,可通过定义变量,提取各结点、单元的位移、应力随时间的变化关系。为了加快后处理的速度,可以用 ANSYS 的命令编制命令流文件,通过选择、组合命令提取特定位置的结点或单元,将其随时间变化的数值映射到数组中,另存为自己定制的文件中。

## 5 结论

ANSYS 具有强大的处理静态、动态问题的能力。可分析道路工程中大多数的计算问题,如路面结构的静力动力计算问题、接(裂)缝问题、混凝土材料的疲劳以及非线性等诸多问题。本文仅对两种常用的路面结构的静动力问题在 ANSYS 的实现作了初步的探讨,更多的问题需要进一步的深入研究。

### 参考文献

- [1] Chih-Ping Wu and Pao-Anne Shen. Dynamic Analysis of Concrete Pavements Subjected to Moving Loads[J]. J. Tran. Engineering, 1996, 22(5): 367—373.
- [2] Jagannath Mallela and K. P. George. Three-Dimensional Dynamic Reaponse Model for Rigid Pavements[J]. In Transportation Research Record 1448, 1995, TRB: 92—99.
- [3] 王勖成,邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [4] 夸克工作室编著. 有限元分析基础篇 ANSYS 与 Matlab [M]. 北京:清华大学出版社,2002.