



世纪高等教育土木工程系列规划教材

# FLAC 3D 实用教程

彭文斌 编著

Tumen Gongcheng Xilie Guihua Jiaocao



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

# FLAC 3D 实用教程

彭文斌 编著



机械工业出版社

本书第一次系统、深入、详细地介绍了美国 ITSACA 咨询集团公司数值分析软件 FLAC 3D 2.1 的基本功能、使用方法及应用开发技术。

本书分 15 章, 主要内容包括: FLAC 3D 概述、基础知识、建模技术、FISH 语言、本构模型、材料参数、边界条件、初始条件、结构单元、求解、后处理、分界面及应用实例等。

本书结构严谨, 内容翔实, 通俗易懂, 配有大量插图, 使读者能够迅速、准确而深入地理解 FLAC 3D 的功能和技术, 快速掌握数值分析技术。本书相关程序可通过 wenbinpeng@163.com 与编者联系获取。

本书可作为高等院校的土建、交通、采矿、地质、水利、环境、石油、力学等专业的高年级本科生和研究生的教学用书, 亦可作为上述相关专业工程技术人员的使用手册。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

FLAC 3D 实用教程/彭文斌编著. —北京: 机械工业出版社, 2007. 8  
21 世纪高等教育土木工程系列规划教材  
ISBN 978-7-111-22086-2

I. F... II. 彭... III. 土木工程—数值计算—应用软件,  
FLAC 3D—高等学校—教材 IV. TU17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 119549 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 马军平 版式设计: 霍永明 责任校对: 申春香  
封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍  
保定市 中画美凯印刷有限公司印刷  
2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷  
169mm × 239mm · 13.125 印张 · 512 千字  
标准书号: ISBN 978-7-111-22086-2  
定价: 36.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
销售服务热线电话: (010) 68326294  
购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话: (010) 88379720  
封面 无防伪标均为盗版

# 前 言

三维快速拉格朗日法是一种基于三维显式有限差分法的数值分析方法，它可以模拟岩土或其他材料的三维力学特性。三维快速拉格朗日分析将计算区域划分为若干四面体单元，每个单元在给定的边界条件下遵循指定的线性或非线性本构关系。如果单元应力使得材料屈服或产生塑性流动，则单元网格可以随着材料的变形而变形。这就是所谓的三维快速拉格朗日算法，这种算法非常适合于模拟大变形问题。三维快速拉格朗日分析采用了显式有限差分格式来求解场的控制微分方程，并应用了混合单元离散模型，可以准确地模拟材料的屈服、塑性流动、软化直至大变形，尤其在材料的弹塑性分析、大变形分析以及模拟施工过程等领域有其独到的优点。

FLAC 3D 是美国 ITASCA 咨询集团公司开发的三维快速拉格朗日分析程序。该程序较好地模拟地质材料在达到强度极限或屈服极限时发生的破坏或塑性流动的力学特性，特别适用于分析渐进破坏失稳以及模拟大变形。它包含 11 种弹塑性材料本构模型，有静力、动力、蠕变、渗流、温度等多种计算模式，各种模式间可以互相耦合，可以模拟多种结构形式，如岩体、土体或其他材料实体，可以模拟梁、锚元、桩、壳以及人工结构，如支护、衬砌、锚索、岩栓、土工格栅、摩擦桩、板桩、分界面单元等，还可以模拟复杂的岩土工程力学问题。

本书以 FLAC 3D 2.1 版本为依据，由浅入深地讲解了 FLAC 3D 的用法。对于较复杂的例题和程序均有注释。本书相关程序可通过 [wenbinpeng@163.com](mailto:wenbinpeng@163.com) 与编者联系获取。如果您是一位初学者，可以暂先跳过带有“\*”号的章节，这不会影响您对后面所学内容的理解。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第1章 概述</b> .....	1
1.1 基本介绍 .....	1
1.2 FLAC 3D 的特点 .....	1
1.3 用户界面 .....	3
1.4 文件格式 .....	6
1.5 分析计算步骤 .....	6
<b>第2章 完成第一个简单分析计算样例</b> .....	7
2.1 问题的提出 .....	7
2.2 创建初始几何模型、划分网格 .....	7
2.3 定义材料模型及参数 .....	10
2.4 加载及边界条件 .....	10
2.5 求解 .....	11
2.6 结果分析 .....	12
2.7 完成开挖沟渠工作 .....	16
<b>第3章 FLAC 3D 基础知识</b> .....	19
3.1 FLAC 3D 基本术语 .....	19
3.2 有限差分网格 .....	21
3.3 命令句法 .....	21
3.4 对象命名 .....	22
3.5 符号约定 .....	24
3.6 单位系统 .....	26
<b>第4章 初级实体建模技术</b> .....	27
4.1 3D 网格原始形状 .....	27
4.2 网格生成器 .....	33
4.3 单元体生成 .....	36
4.4 三维面生成 .....	44
<b>第5章 中级实体建模技术</b> .....	46
5.1 组合基本网格 .....	46
5.2 连接毗邻的网格 .....	48

5.3 简化复杂网格为基本网格 .....	52
<b>第6章 FISH 语言</b> .....	55
6.1 介绍 .....	55
6.2 FISH 语言规则、变量和函数 .....	55
6.3 语句 .....	58
6.4 与 FLAC 3D 的关联 .....	62
6.5 FISH 内建变量、函数和数组 .....	65
6.6 结构单元* .....	73
6.7 FISH 扩展 .....	73
<b>第7章 本构模型</b> .....	81
7.1 基本介绍 .....	81
7.2 定义模型命令 .....	82
7.3 正确选择本构模型 .....	83
<b>第8章 材料参数</b> .....	87
8.1 定义材料参数命令及格式 .....	87
8.2 材料参数关键字 .....	87
8.3 材料参数的附加关键字 .....	98
8.4 材料变形参数 .....	98
8.5 材料强度参数 .....	99
8.6 后破坏参数 .....	101
<b>第9章 边界条件</b> .....	113
9.1 边界条件命令及格式 .....	113
9.2 应力边界 .....	117
9.3 位移边界 .....	128
9.4 选择正确的边界类型 .....	132
9.5 人工边界 .....	132
<b>第10章 初始条件</b> .....	133
10.1 初始条件命令及格式 .....	133
10.2 均匀应力—无重力 .....	135
10.3 渐变应力 .....	135
10.4 非均匀网格初始应力 .....	139
10.5 非均匀网格的压实 .....	143
10.6 模型改变后的初始应力 .....	146
10.7 初始化速率 .....	147
<b>第11章 结构单元*</b> .....	148

11.1	结构单元节点	148
11.2	梁结构单元	153
11.3	锚索结构单元	164
11.4	桩结构单元	175
11.5	壳型结构单元	191
11.6	壳结构单元	195
11.7	土工格栅结构单元	215
11.8	衬砌结构单元	228
<b>第 12 章 求解</b>		250
12.1	指定计算模式命令	250
12.2	参数设置命令	251
12.3	记录采样	255
12.4	求解	263
<b>第 13 章 后处理</b>		265
13.1	PLOT 绘图命令基本知识	265
13.2	视图管理	267
13.3	视图设置	268
13.4	绘图条目管理	271
<b>第 14 章 分界面*</b>		273
14.1	基本知识	273
14.2	创建几何分界面	274
14.3	分界面材料参数的选择	277
<b>第 15 章 应用实例</b>		283
15.1	边坡曲率的稳定性分析	283
15.2	交叉巷道的支承荷载	292
15.3	开挖与支护浅埋隧道	304
15.4	预报盐矿层钻孔的封闭	320
15.5	预制混凝土沉箱	332
<b>附录</b>		371
附录 A	FLAC 3D 命令一览表	371
附录 B	FLAC 3D、FISH 保留名	372
附录 C	PLOT add 命令的详细参数	378
附录 D	结构单元的 FISH 函数	401
<b>参考文献</b>		414

# 第 1 章

## 概 述



### 学习目的:

了解 FLAC 3D 的基本原理、用途以及与其他类似软件的差别, FLAC 3D 的发展历史, FLAC 3D 的用户界面及使用流程。

### 1.1 基本介绍

FLAC 是快速拉格朗日差分分析 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 的简写, 渊源于流体动力学, 最早由 Willkins 用于固体力学领域。FLAC 3D 程序自美国 ITASCA 咨询集团公司推出后, 已成为目前岩土力学计算中的重要数值方法之一。该程序是 FLAC 二维计算程序在三维空间的扩展, 用于模拟三维土体、岩体或其他材料体力学特性, 尤其是达到屈服极限时的塑性流变特性, 广泛应用于边坡稳定性评价、支护设计及评价、地下洞室、施工设计 (开挖、填筑等)、河谷演化进程再现、拱坝稳定分析、隧道工程、矿山工程等多个领域。

### 1.2 FLAC 3D 的特点

#### 1.2.1 应用范围广泛

##### 1. 包含 11 种材料本构模型

- (1) 空单元模型。
- (2) 三种弹性模型: 各向同性、正交各向异性和横向各向同性。
- (3) 七种塑性模型: Drucker-Prager 模型、摩尔-库仑模型、应变硬化/软化模型、多节理模型、双线性应变硬化/软化多节理模型、D-Y 模型、修正的剑桥模型。

每个单元可以有不同的材料模型或参数, 材料参数可以为线性分布或非线性



分布。

2. 有 5 种计算模式：

(1) 静力模式：这是 FLAC 3D 默认模式，通过动态松弛方法获得表态解。

(2) 动力模式：用户可以直接输入加速度、速度或应力波作为系统的边界条件或初始条件，边界可以吸收边界和自由边界。动力计算可以与渗流问题相耦合。

(3) 蠕变模式：有 5 种蠕变本构模型可供选择以模拟材料的应力 - 应变 - 时间关系：Maxwell 模型、双指数模型、参考蠕变模型、粘塑性模型、碎盐模型。

(4) 渗流模式：可以模拟地下水流、孔隙压力耗散以及可变形孔隙介质与其间的粘性液体的耦合。渗流服从各向同性达西定律，液体和孔隙介质均被看作可变形体。考虑非稳定流，将稳定流看作是非稳定流的特例。边界条件可以是孔隙压力或恒定流，以模拟水源或井。渗流计算可以与静力、动力或温度计算耦合，也可以单独计算。

(5) 温度模式：可以材料中的瞬态热传导以及温度应力。温度计算可以与静力、动力或流计算耦合，也可单独计算。

3. 可以模拟多种结构形式

(1) 对于通常的岩体、土体或其他实体，用八节点六面体单元模拟。

(2) FLAC 3D 的网格中可以有分界面，这种分界面将计算网格分割为若干部分，分界面两边的网格可以分离，也可以发生滑动，因此，分界面以模拟节理、断层或虚拟的物理边界。

(3) FLAC 3D 包含有四种结构单元：梁单元、锚单元、桩单元、壳单元，可用来模拟岩土工程中的人工结构，如支护、衬砌、锚索、岩栓、土工织物、摩擦桩和板桩等。

4. 有多种边界条件

边界方位可以任意变化边界条件可以是速度边界、应力边界，单元内部可以给定初始应力，节点可以给定初始位移、速度等，还可以给定地下水位以计算有效应力、所有给定量都可以具有空间梯度分布。

### 1.2.2 FLAC 3D 内嵌语言 FISH

FLAC 3D 具有强大的内嵌语言 FISH，使用户可以定义新的变量或函数，以适应用户的特殊需要。FISH 可做如下事情：

(1) 用户可以自定义材料的分布规律（如非线性分布等）。

(2) 用户可以定义变量，追踪其变化规律并绘图表示或打印输出。

(3) 用户可以自己设计 FLAC 3D 内部没有的单元形态。

(4) 在数值试验中可以进行伺服控制。

- (5) 用户可以指定特殊的边界条件。
- (6) 自动进行参数分析。
- (7) 利用 FLAC 3D 内部定义的 FISH 变量或函数, 用户可以获得计算过程中节点、单元参数, 如坐标、位移、速度、材料参数、应力、应变和不平衡力等。

### 1.2.3 与有限元比较

#### 1. FLAC 3D 的优点:

(1) FLAC 3D 采用了混合离散方法来模拟材料的屈服或塑性流动特性, 这种方法比有限元方法中通常采用的降阶积分更为合理。

(2) FLAC 3D 利用动态的运动方程进行求解 (即使问题本质上是静力问题也是如此), 这使得 FLAC 3D 能模拟动态问题, 如振动、失稳和大变形等。

(3) FLAC 3D 采用显式方法进行求解, 对显式法来说, 非线性本构关系与线性本构关系并无算法上的差别, 对于已知的应变增量, 可很方便地求出应力增量, 并得到平衡力, 就同实际中的物理过程一样, 可跟踪系统的演化过程。而且, 它没有必要存储刚度矩阵, 这就意味着, 采用中等容量的内存可以求解多单元结构模拟大变形问题, 几乎并不比小变形问题多消耗更多的计算时间, 因为没有任何刚度矩阵要被修改。

#### 2. FLAC 3D 的缺陷:

(1) 对于线性问题, FLAC 3D 要比相应的有限元花费更多计算时间, 因而, FLAC 3D 在模拟非线性问题、大变形问题或动态问题时更有效。

(2) FLAC 3D 的收敛速度取决于系统的最大固有周期与最小固有周期的比值, 这使得它对某些问题的模拟效率非常低, 如单元尺寸或材料弹性模量相差很大的情况。

### 1.2.4 FLAC 3D 具有强大的前后处理功能

FLAC 3D 具有强大的自动三维网格生成器, 内部定义了多种基本的单元形状, 用户还可以利用 FISH 自定义单元形状, 通过组合基本单元, 可以生成非常复杂三维网格, 如交叉隧洞等。

在计算过程中的任何时刻用户都可以用分辨率的彩色或灰度图或数据文件输出结果, 以对结果进行实时分析图形, 可以表示网格、结构以及有关变量的等值线图、矢量图和曲线图等, 可以给出计算域的任意截面上的变量图或等值线图, 计算域可以旋转以从不同的角度观测结果。

## 1.3 用户界面

FLAC 3D 的输入和一般的数值分析程序不同, 它可以用交互的方式, 从键

盘输入各种命令，也可以写成命令（集）文件，类似于批处理，由文件来驱动。因此，采用 FLAC 3D 程序进行计算，必须了解各种命令关键词的功能，然后，按照计算顺序，将命令按先后依次排列，形成可以完成一定计算任务的命令文件。

FLAC 3D 2.1 版本是 Windows 操作系统下的程序，尽管界面简单，为方便用户的学习和应用，首先熟悉一下图形用户界面还是很有必要的。

### 1.3.1 图形用户界面

标准的图形用户界面如图 1-1 所示，包括两个部分。

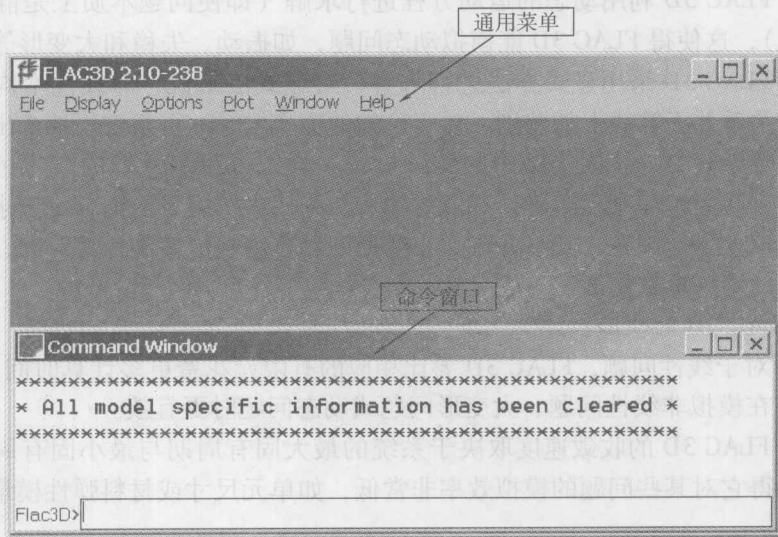


图 1-1 标准图形用户界面

FLAC 3D 是由 DOS 操作系统程序移植过来的，在原 DOS 命令窗口外部包装了一个标准的 Windows 窗口作为主窗口，命令窗口及多个输出窗口作为主窗口的子窗口（MDI）出现。命令窗口中的提示符为：“Flac 3D >”，所有的命令在此交互完成。

### 1.3.2 通用菜单

通用菜单包含了 FLAC 3D 部分的公用命令或函数，如文件控制、显示、输出和参数设置等。它采用下拉式菜单结构。

#### 1. File 菜单（图 1-2）

(1) New: 不退出 FLAC 3D，而把系统重置到开始状态。

(2) Call: 读入用户事先准备的数据和命令文件, 且按批命令方式顺序执行。

(3) Model: 读入用户自定义的模型 (.dll 文件) 到指定单元。

(4) Restore: 读入指定的保存文件 (.sav 文件), 还原系统状态。

(5) Save: 当前系统状态保存到指定二进制文件中。

(6) ImportGrid: 按指定文件导入模型数据。

(7) Exit: 退出 FLAC 3D。

## 2. Display 菜单 (图 1-3)

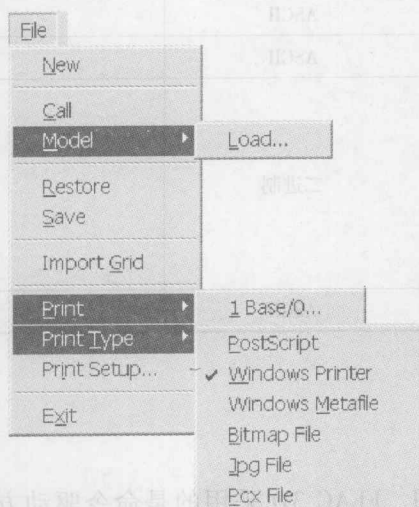


图 1-2 File (文件) 菜单

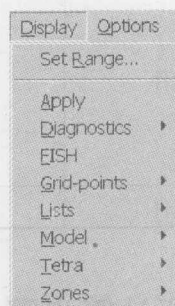


图 1-3 Display (显示) 菜单

显示有关指定内容及设置。

## 3. Options 菜单 (图 1-4)

## 4. Plot 菜单 (图 1-5)

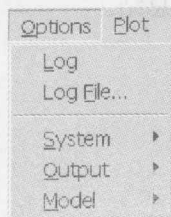


图 1-4 Options (选项) 菜单

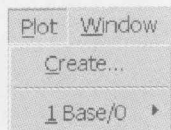


图 1-5 Plot (绘图) 菜单

## 1.4 文件格式

FLAC 3D 使用或产生 6 种类型的文件格式, 见表 1-1。

表 1-1 FLAC 3D 中的文件类型和格式

文件类型	文件扩展名	文件格式	说明
数据文件	.dat	ASCII	
保存文件	.sav	二进制	
日志文件	.log	ASCII	
历史文件	.his	ASCII	
绘图文件	.bmp	二进制	
	.imf		
	.pex		
	.jpg		
	.ps		
配置文件	.ini	ASCII	

## 1.5 分析计算步骤

与大多数程序采用数据输入方式不同, FLAC 3D 采用的是命令驱动方式。命令字控制着程序的运行。在必要时, 尤其是绘图, 还可以启动 FLAC 3D 用户交互式图形界面。为了建立 FLAC 3D 计算模型, 必须进行以下三个方面的工作: ①有限差分网格生成; ②本构特性与材料参数设置; ③边界条件与初始条件设置。

完成上述工作后, 可以获得模型的初始平衡状态, 也就是模拟开挖前的原岩应力状态。然后, 进行工程开挖或改变边界条件来进行工程的响应分析, 进行一系列计算步后达到问题的解。最后, 进行结果的分析与总结。

## 第 2 章

# 完成第一个简单分析计算样例



### 学习目的:

通过一个样例,熟悉了解 FLAC 3D 分析问题的基本操作步骤。

FLAC 3D 是一个大的应用软件,要全面掌握并应用它是非常困难的。事实上,也没有必要全面掌握它。最重要的是,要学会如何在研究的学科中应用 FLAC 3D,如何让 FLAC 3D 为分析和设计服务,如何在需要的时候了解到需要的信息,而不是学习了一大堆 FLAC 3D 知识,却不懂得应用。

所以,首先要做的是熟悉 FLAC 3D 必须的操作步骤,然后,就可以试着进行自己的分析了。本章将通过一个简单的例子帮助用户完成这一步。

## 2.1 问题的提出

在任意一土体中开挖一  $2\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$  的沟渠,进行应力、应变场分析的几何模型大致如图 2-1 所示。

## 2.2 创建初始几何模型、划分网格

### 2.2.1 重置系统

在建几何结构之前,不要忘记在 FLAC 3D 的提示符下先输入命令:

```
Flac 3D > new
```

NEW 命令是在不退出 FLAC 3D 而开始一个新的分析计算任务,也就是系统重置。养成在计算程序中第一行写上 NEW 命令的习惯是有好处的。命令窗口中会有如图 2-2 所示的回应。

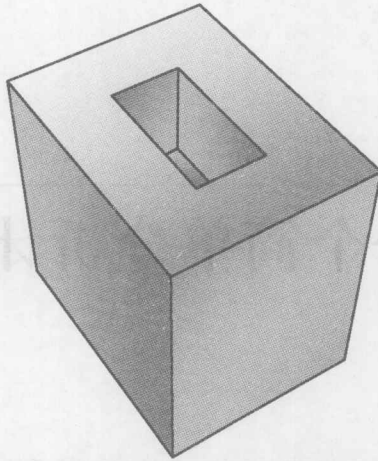


图 2-1 土体中开挖沟渠几何模型

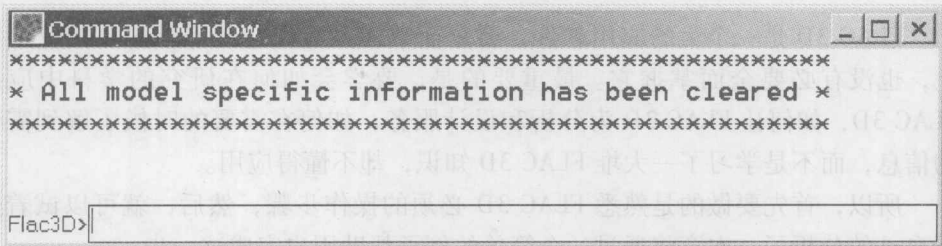


图 2-2 NEW 命令后的回应

### 2.2.2 创建几何模型，并划分网格

接着输入命令：

```
Flac 3D > generate zone brick size 6, 8, 8
```

该命令将产生在  $x$  轴 6 格、 $y$  轴 8 格和  $z$  轴 8 格的 3 维长方网格体。

GENERATE<sup>⊖</sup>命令产生网格，可简称为 GE。zone 参数指示为 3 维网格体，可简称为 zo。brick 参数指示为长方形的网格体，可简称为 b。size 6, 8, 8 参数指示长方形网格体在  $x$ 、 $y$  和  $z$  轴所划分的网格数。

### 2.2.3 显示网格体

输入命令：

```
Flac 3D > plot
```

⊖ 本书命令或参数中的黑体表示在编程中可缩写的模式。

```
Plot Base/0 > show
```

在屏幕上绘图显示。发生什么情况？在主窗口中弹出了一个 MDI 的绘图窗口（视图），在这个子窗口中除了系统时间日期、FLAC 3D 版本及生产商信息外，什么也没有！这个视图有个变量名，执行上述命令是显示系统的默认视图，它的默认变量名为 Base 或 0，程序中需要对哪个视图操作就是要对视图变量名操作。

注意提示符的变化吗？说明系统在 PLOT 命令状态，当前视图名为 Base，可以输入 PLOT 的任何子命令，若想回到 FLAC 3D 命令状态，按一次回车（或 QUIT 子命令）即可。为了在当前视图显示网格体或其他信息，还需要使用 PLOT 的 add 子命令，来增加条目。显示黄色的网格体可输入命令：

```
Plot Base/0 > add surface yellow
```

当前视图显示黑色的坐标系：

```
Plot Base/0 > add axes black
```

此时，在键盘上分别按 <x>，<y>，<z> 小写字母键，可旋转当前视图中 X、Y、Z 轴，相应大写字母键则方向相反。字母 <m> 键或 <M> 键则放大或缩小当前视图，当前视图大致如图 2-3 所示。

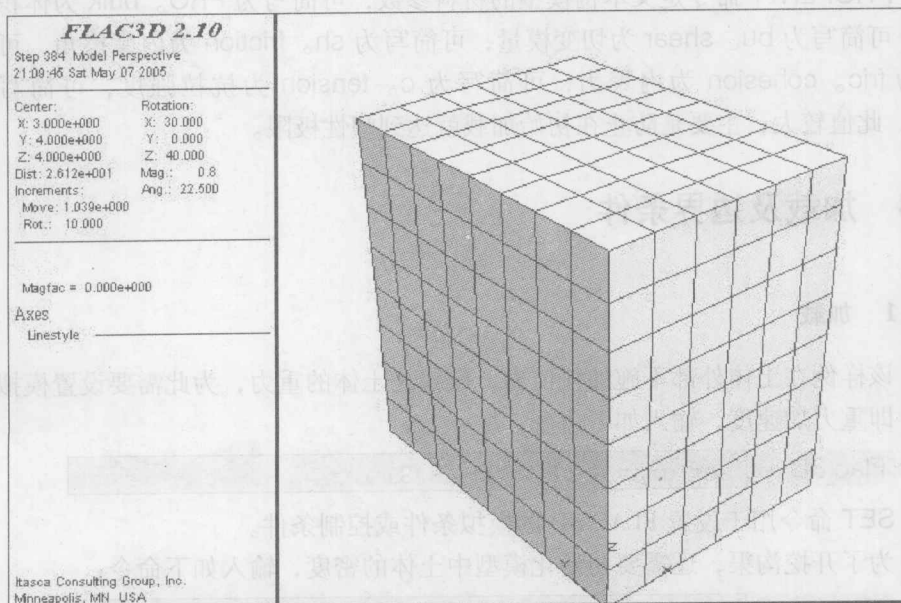


图 2-3 6m × 8m × 8m 的网格体视图



## 2.3 定义材料模型及参数

### 2.3.1 定义材料模型

对这个样例，我们对网格体中的所有区域均定义为摩尔-库仑模型（Mohr-Coulomb Elastic-Plastic Model）。返回到 FLAC 3D 提示符下，输入如下命令：

```
Flac 3D > model mohr
```

MODEL 命令定义材料模型，可简写为 MO。总共 11 种材料模型，购买全部软件后，可有 25 种模型。mohr 参数指摩尔-库仑模型，可简写为 moh。

### 2.3.2 定义材料参数

不同的材料模型，需要定义不同的材料参数，对于摩尔-库仑模型，用以下命令定义它的参数：

```
Flac 3D > property bulk = 1e8 shear = 0.3e8 friction = 35
```

```
Flac 3D > property cohesion = 1e10 tension = 1e10
```

PROPERTY 命令定义本构模型的材料参数，可简写为 PRO。bulk 为体积模量，可简写为 bu。shear 为切变模量，可简写为 sh。friction 为内摩擦角，可简写为 fric。cohesion 为内聚力，可简写为 c。tension 为抗拉强度，可简写为 ten。此值较大，主要是防止在初始加载就达到塑性极限。

## 2.4 加载及边界条件

### 2.4.1 加载

该样例在土体外部不施加任何力，仅仅是土体的重力，为此需要设置模拟条件，即重力加速度，输入如下命令：

```
Flac 3D > set gravity 0, 0, -9.81
```

SET 命令用于设置 FLAC 3D 的模拟条件或控制条件。

为了开挖沟渠，还需要初始化模型中土体的密度，输入如下命令：

```
Flac 3D > initial density = 1000
```

INITIAL 命令初始化网格的相关值，可简写为 IN。density 为网格质量密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )，可简写为 de。