

ITASCA 软件技术丛书

FLAC3D、3DEC

与有限元快速建模技术

孟国涛 编著

Griddle

Kubrix

Rhino

BlockRanger

中国建筑工业出版社

ITASCA 软件技术丛书

FLAC3D、3DEC 与有限元 快速建模技术

孟国涛 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

FLAC3D、3DEC 与有限元快速建模技术/孟国涛编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019.5
(ITASCA 软件技术丛书)
ISBN 978-7-112-23332-8

I. ①F… II. ①孟… III. ①土木工程-数值计算-应用软件
IV. ①TU17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 031892 号

本书介绍了基于 Rhino 平台和 ITASCA (Griddle、BlockRanger、Kubrix) 程序的有限差分、有限元与离散元快速建模技术。全书共 17 章, 其中第 1 章介绍 Rhinoceros 软件和 Griddle、BlockRanger、Kubrix 插件的安装与特点; 第 2 章介绍基于 Rhino+Griddle 的快速建模技术; 第 3~9 章介绍基于 Griddle 的隧洞、地下洞室群、边坡、拱坝等模型的构建方法; 第 10 章介绍基于 Rhino+BlockRanger 的快速建模技术; 第 11 章和第 12 章介绍基于 BlockRanger 的边坡、隧洞模型的构建方法; 第 13 章介绍基于 Rhino+Kubrix 的快速建模技术; 第 14~17 章介绍基于 Kubrix 的边坡、洞室、滑坡、砌体结构、柱状节理岩体等模型的构建方法。

本书介绍的快速建模技术通用于 FLAC3D、3DEC、ANSYS、ABAQUS、NASTRAN 等软件, 适用于地质、岩土、水电、交通、采矿、建筑、石油、机械等行业, 可以作为广大科研人员学习 FLAC3D、有限元或离散元数值模拟的配套教程。

责任编辑: 张伯熙

责任校对: 李美娜

ITASCA 软件技术丛书

FLAC3D、3DEC 与有限元快速建模技术

孟国涛 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 348 千字

2019 年 5 月第一版 2019 年 5 月第一次印刷

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-23332-8
(33634)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

作者简介

孟国涛：男，2007年河海大学岩土工程专业博士毕业，历任中国三峡集团公司工程师、依泰斯卡（武汉）咨询公司高级工程师，现任浙江中科依泰斯卡岩石工程研发公司总工程师。具有10余年的咨询和研发工作经验，长期与P. Cundall院士等国际专家合作，擅长应用ITASCA数值分析技术（FLAC/FLAC3D、UDEC/3DEC、PFC等）解决复杂的岩土工程问题。曾主持或参与三峡、白鹤滩、向家坝、乌东德、锦屏、景洪、兰坪铅锌矿等重大工程专题研究。研究工作涵盖边坡、地下洞室、坝基、滑坡、泥石流、地面沉降、地应力、裂隙水渗流、柱状节理岩体等领域。已发表学术论文20余篇，其中，SCI、EI收录10余篇。

前 言

随着计算机技术的发展,数值仿真模拟也进入了高效时代。对接 BIM 系统,从计算机辅助设计 CAD 到计算机辅助工程 CAE 无疑是一大跨越,也是工业设计 4.0 的根本需要。

建模工作是从 CAD 走向 CAE 的桥梁。传统的建模方式通常需要消耗大量的工作时间,有些复杂模型的建立甚至需要几周甚至数月之久,严重制约了数值分析的效率。当动态调整方案需要对模型进行及时更新或比选时,建模工作的迟缓也会直接影响计算机辅助分析的实用性和价值。

建模消耗时间过长一直是数值仿真模拟的症结。针对有限元和离散元建模工作的痛点,ITASCA 国际集团公司经过 10 多年的研发,形成了基于 Rhino 平台的快速建模技术。该技术简单实用且功能强大,掌握了 CAD 软件即能基于 Rhino 平台开展 FLAC3D、3DEC 与有限元建模工作,从而使得简单模型在几分钟、复杂模型在几个小时得以完成。

ITASCA 的快速建模技术(Griddle、BlockRanger、Kubrix)具备自动或交互式网格剖分功能,能够依据少量的控制参数建立高质量的四面体、六面体、Octree 等模型,并且可以输出为 FLAC3D、3DEC、ANSYS、ABAQUS、NASTRAN 等各种格式。该技术在动态更新和调整模型方面有独到优势,适用于岩土体等不确定问题以及随勘探工作逐步揭露地质信息的建模,同时,灵活的网格剖分精度能够对于相同的几何模型导出几万~千万级单元模型,从而有利于进行不同精度的分析,大大提高数值分析的效率。

本书是作者在 ITASCA 国际集团公司从事咨询工作 10 余年的应用积累,涵盖了边坡、地下洞室、坝基、结构等多类型全真案例展示,可以作为地质、岩土、水电、交通、采矿、建筑、石油、机械等专业学习参考书,也可以作为相关专业研究生学习 FLAC3D、有限元或离散元建模的配套教材。

全书共 17 章,其中第 1 章介绍 Rhinoceros 软件、Griddle、BlockRanger、Kubrix 插件的安装和特点;第 2 章介绍基于 Rhino+Griddle 的快速建模技术;第 3~9 章介绍基于 Griddle 的隧洞、地下洞室群、边坡、拱坝等模型的构建方法;第 10 章介绍基于 Rhino+BlockRanger 的快速建模技术;第 11 章和第 12 章介绍基于 BlockRanger 的边坡、隧洞模型的构建方法;第 13 章介绍基于 Rhino+Kubrix 的快速建模技术;第 14~17 章介绍基于 Kubrix 的边坡、洞室、滑坡、砌体结构、柱状节理岩体等模型的构建方法。

作者特别感谢美国 Itasca Consulting Group 公司的 Charles Fairhurst 院士、Peter Cundall 院士、Christine Detournay 博士、Loren Lorig 博士、Reza Taghavi 博士、Edward Dzik 博士、Joe Cheng 博士、Jin Wang 主管等;明尼苏达大学 Emmanuel Detournay 院士;美国沙特阿美休斯顿研究中心韩彦辉博士;河海大学徐卫亚副校长、石崇教授、邹丽芳副教授;四川大学章毅教授、张建海教授、周家文教授;昆明理工大学李峰教授、薛传东教授;合肥工业大学周跃飞教授;常州工学院王小平副教授等在学术观点上的指导和研讨。

非常感谢中国三峡集团总公司樊启祥副总经理、王义锋主任、顾功开主任、樊义林主任、向欣博士；雅砻江流域水电开发有限公司张贵科博士；中国能建集团广东省电力设计研究院郑文棠博士；中国有色金属工业昆明勘察设计研究院王建良博士；中国电建集团成都勘察设计研究院廖成刚教授级高工、邢万波博士、杨云浩博士；中国电建集团昆明勘察设计研究院宁宇博士；中国电建集团华东勘察设计研究院张春生董事长、侯靖总工、单治刚副总工、何世海副总工、徐建荣副总工、江亚丽副总工、石安池副总工、陈建林副总工、王贤彪教授级高工、黄可教授级高工、吕慷教授级高工、万祥兵教授级高工、陈益民教授级高工、方丹教授级高工、倪绍虎博士、李良权博士等在项目研究方面的支持与帮助。衷心感谢原依泰斯卡（武汉）咨询有限公司朱焕春博士、李浩博士；浙江中科依泰斯卡岩石工程研发有限公司褚卫江博士、吴家耀、朱永生、刘宁博士、陈平志、周勇、潘兵、徐全、沈俊良、曹爱武、封磊、滕素等同事为本书提供了大力协助与校对工作。

由于时间仓促，作者水平有限，难免会有一些纰漏和错误，敬请广大读者批评指正。
联系方式：34205914 @qq.com。

2018年10月著于成都华西坝

目 录

第 1 章 基于 Rhino 平台的建模软件简介	1
1.1 Rhino 软件安装与介绍	1
1.2 ITASCA 建模程序安装与介绍	3
1.3 ITASCA 建模程序的适用性	14
第 2 章 基于 Rhino+Griddle 的快速建模技术	16
2.1 基于 Griddle 的建模流程	16
2.2 Griddle 的基础操作	16
2.3 导出模型的网格分组	22
2.4 导出模型的结构面编号	24
2.5 小结	25
第 3 章 交叉隧洞模型 (Griddle)	27
3.1 Rhino 几何模型	27
3.2 输出有限元模型	30
3.3 输出离散元模型	34
3.4 小结	36
第 4 章 浅埋地下洞室群模型 (Griddle)	37
4.1 Rhino 几何模型	38
4.2 基于 Griddle 的模型输出	44
4.3 FLAC3D 数值模拟成果示例	49
4.4 小结	50
第 5 章 深埋地下洞室群模型 (Griddle)	51
5.1 Rhino 几何模型	51
5.2 基于 Griddle 的模型输出	55
5.3 3DEC 数值模拟成果示例	61
5.4 小结	63
第 6 章 自然边坡模型 (Griddle)	64
6.1 Rhino 几何模型	64
6.2 基于 Griddle 的模型输出	72
6.3 3DEC 数值模拟成果示例	76
6.4 小结	77
第 7 章 人工边坡模型 (Griddle)	78
7.1 Rhino 几何模型	79

7.2	基于 Griddle 的模型输出	85
7.3	3DEC 数值模拟成果示例	90
7.4	小结	91
第 8 章	船闸边坡模型 (Griddle)	92
8.1	Rhino 几何模型	92
8.2	基于 Griddle 的模型输出	100
8.3	FLAC3D 数值模拟成果示例	106
8.4	小结	107
第 9 章	高拱坝模型 (Griddle)	108
9.1	Rhino 几何模型	108
9.2	基于 Griddle 的模型输出	118
9.3	FLAC3D/3DEC 数值模拟成果示例	126
9.4	小结	127
第 10 章	基于 Rhino+BlockRanger 的快速建模技术	128
10.1	基于 BlockRanger 的建模流程	128
10.2	BlockRanger 的基础操作	129
10.3	单元尺寸控制	131
10.4	导出模型的分组	131
10.5	小结	133
第 11 章	深切河谷边坡模型 (BlockRanger)	134
11.1	Rhino 几何模型	134
11.2	基于 BlockRanger 的模型输出	140
11.3	FLAC3D 数值模拟成果示例	141
11.4	小结	142
第 12 章	公路隧道模型 (BlockRanger)	143
12.1	Rhino 几何模型	143
12.2	基于 BlockRanger 的模型输出	150
12.3	FLAC3D 数值模拟成果示例	151
12.4	小结	152
第 13 章	基于 Rhino+Kubrix 的快速建模技术	153
13.1	基于 Kubrix 的建模流程	153
13.2	Kubrix 的基本操作示例	158
13.3	VRML 离散元块体模型	164
13.4	小结	166
第 14 章	边坡洞室联合模型 (Kubrix)	167
14.1	Rhino 几何模型	168
14.2	基于 Kubrix 的网格模型输出	173
14.3	FLAC3D 数值模拟成果示例	178

14.4	小结	179
第 15 章	矿坑边坡模型 (Kubrix)	180
15.1	Rhino 几何模型	180
15.2	基于 Kubrix 的 Octree 模型输出	186
15.3	3DEC 数值模拟成果示例	189
15.4	小结	190
第 16 章	滑坡体模型 (Kubrix)	191
16.1	Rhino 几何模型	191
16.2	基于 Kubrix 的凸状块体模型输出	198
16.3	3DEC 数值模拟成果示例	199
16.4	小结	201
第 17 章	块体/砌体结构模型 (Kubrix)	202
17.1	石拱桥模型	202
17.2	砌体结构模型	205
17.3	柱状节理岩体模型	209
17.4	小结	213
参考文献	214

第 1 章 基于 Rhino 平台的建模软件简介

本章首先介绍美国 Robert Mcneel & Associates 公司 Rhinoceros 软件的安装、工作界面和基本操作，然后着重介绍 ITASCA 公司基于 Rhinoceros 平台开发的建模插件（Griddle、BlockRanger、Kubrix）的安装和工作界面，进而分别对 Griddle、BlockRanger 和 Kubrix 插件的特点和使用流程进行介绍，最后，对不同建模程序的适用性进行比较说明。

1.1 Rhino 软件安装与介绍

Rhino 是 Rhinoceros 的简写，是以 NURBS 为核心的专业 3D 造型软件，被广泛地应用于三维动画制作、工业设计、科学研究等领域。

1. Rhino 5.0 软件安装

从 Rhino 官方网站 <http://www.Rhino3d.com/download> 下载并安装 64 位程序。Rhino 5.0 的工作界面如图 1.1 所示，包括菜单栏、命令行、工具栏、工作窗口、状态栏、属性和图层面板等部分。

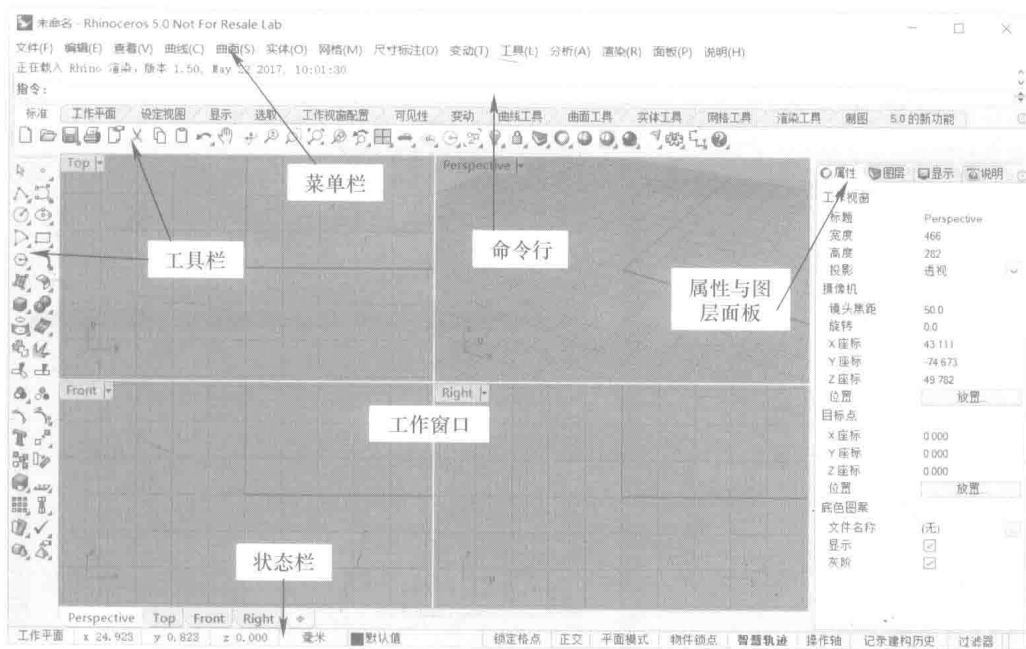


图 1.1 Rhino 5.0 的工作界面

Rhino 5.0 有非常容易使用的用户界面，也可以根据用户的个性需求进行自定义设置。对于命令的执行有 3 种方式：1) 直接键入（英文）指令；2) 菜单选择；3) 点击工具列按钮。

如图 1.2 所示，当说明面板的自动更新打开并执行命令时，说明面板中会出现相关提示，有助于详细了解命令的位置、操作步骤和选项等。

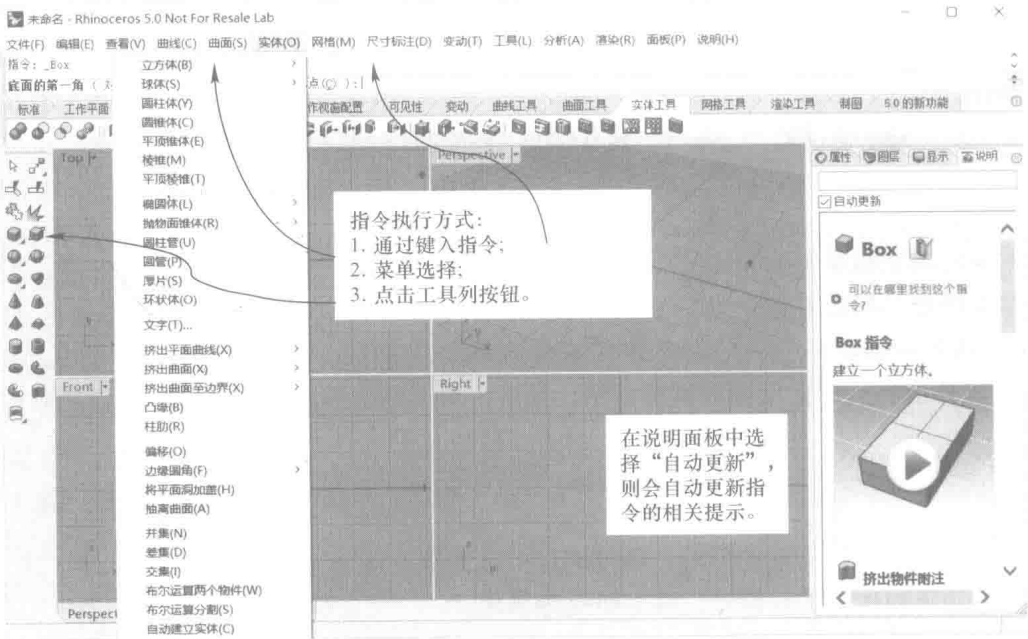


图 1.2 Rhino 5.0 命令执行方式

2. Rhino 5.0 特点简介

Rhino 的使用习惯与 AutoCAD 类似，并且一些设置如 F3 是调用属性面板；F7 是消除背景网格；F8 是正交设置；F9 是锁定格点等也与 CAD 使用习惯相似。

Rhino 可以十分方便地导入、创建、编辑和导出如图 1.3 所示的各种格式（如 obj、

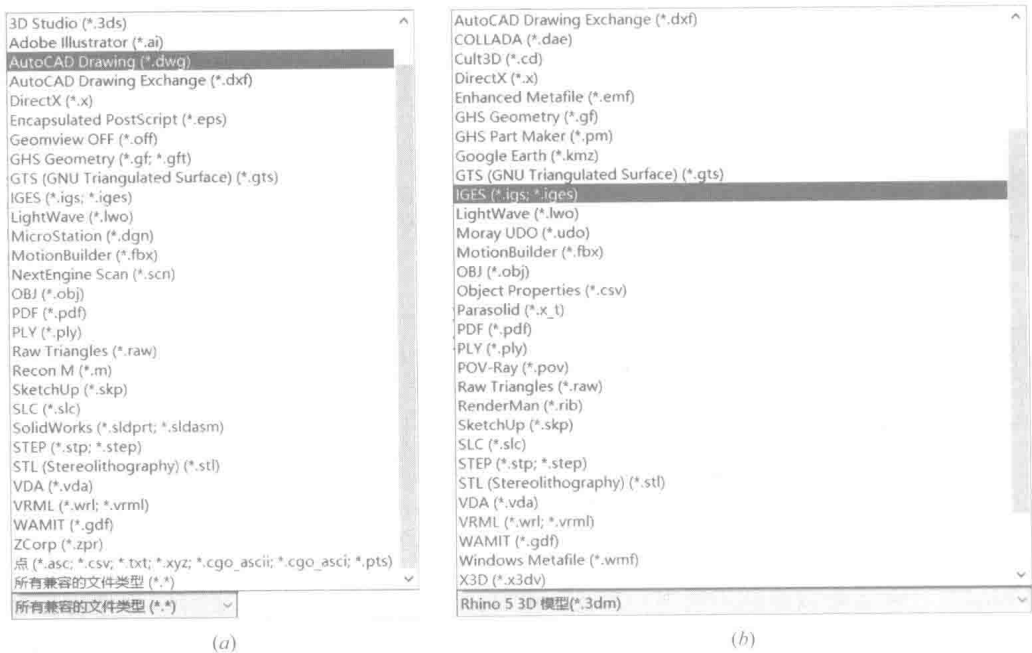


图 1.3 Rhino 5.0 文件格式

(a) 导入文件类型；(b) 存储格式

DXF、IGES、STL、3dm 等)的几何对象,从而能够与大多数 CAD 设计软件(如 AutoCAD、MicroStation 等)进行数据交换。

1.2 ITASCA 建模程序安装与介绍

Itasca International Inc. 是岩体工程领域世界著名高科技机构,公司总部位于美国明尼苏达州,目前在全球 13 个国家设有 16 家成员公司,含中国境内的原依泰斯卡(武汉)咨询有限公司(2004—2018)和浙江中科依泰斯卡岩石工程研发有限公司(2011—至今)。

ITASCA 国际集团公司集产学研于一体,除了为岩石力学学科发展和岩土工程实践作出了突出贡献外,还发明、开发了一系列在国际范围内普遍应用的技术、设备和计算机软件,包括全球范围内应用范围最广、用户最多的岩石力学数值分析软件 FLAC、FLAC3D、UDEC、3DEC、PFC、MINEDW、XSite 等。

Griddle、BlockRanger 和 Kubrix 是 ITASCA 公司近 10 余年基于 Rhino 平台开发的建模软件,其具备自动或交互式网格剖分功能,能够依据少量的参数控制建立高质量的四面体、六面体、Octree 等模型,并输出各种通用有限差分、有限元和离散元模型。

1. Griddel 和 BlockRanger 程序安装

Griddle 是一个基于 Rhino 5.0 或 6.0 软件平台的全交互式通用网格生成插件。Griddle 能够将 Rhino 的面网格按照一定的精度重新剖分为三角形或四边形面网格,进而,以面网格为边界,生成高质量的四面体、六面体或混合网格,最后,输出 FLAC3D、3DEC、ANSYS、ABAQUS、NASTRAN 格式的网格或块体模型。

Griddle 1.0 程序的安装步骤如下:

1) 从 ITASCA 国际集团公司官方网站<https://www.itascacg.com/software-demo> 下载并安装 Griddel_xxx.msi 程序,见图 1.4:

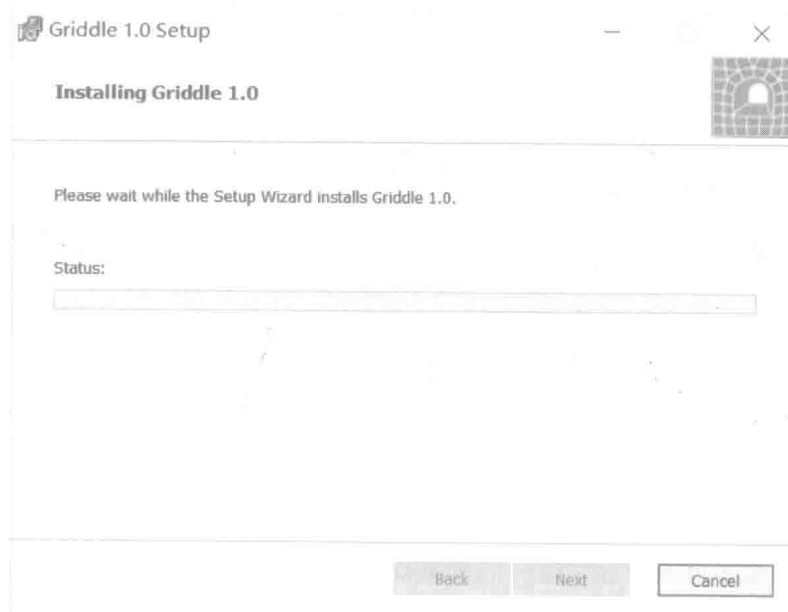


图 1.4 Griddle 程序的安装

- 2) 重启计算机;
- 3) 从 Windows 开始菜单的 Itasca 目录下找到并单击 Griddle 1.0 Users Files, Griddle 100 文件夹中包含了需要安装的插件;
- 4) 双击 BlockRanger.rhi 安装 BlockRanger 插件;
- 5) 类似地, 双击安装 Gint.rhi、Gsurf.rhi、Gvol.rhi 和 G_NMExtract.rhi 插件;
- 6) 打开 Rhinoceros 5 (64-bit), 将 Griddle100.rui 和 ColorizeObjects.rvb 拖动至 Rhino 运行窗口, 加载至 Rhino 中。

以上执行 Griddle_xxx.msi 将 Griddle 1.0 和 BlockRanger 1.2 插件安装至 Rhino 5 (64bit) 后, 在安装软件目录 C:\Program Files\Itasca\Griddle100\Documentation 下, 可以找到软件的使用手册 GriddleBlockRangerUserGuide, 同时, 从开始菜单快捷方式链接至 Itasca\Griddle100\Tutorials 文件夹, 可以找到使用手册中介绍的 Rhino 模型。

Griddle 和 BlockRanger 是加载于 Rhino 平台的插件, 安装后运行 Rhino 程序, 在 Rhino 工作界面将出现如图 1.5 所示的 Griddle 工作列。



图 1.5 Griddle 程序的工作列

Griddle 工作列包括 7 个指令按钮, 对于指令的执行有 2 种方式: 1) 直接键入 (英文) 指令; 2) 点击工具列按钮。其中, 7 个指令的具体功能如下:

1) 【ColorizeObjects】

对于选中的对象, 以不同颜色区别显示。

2) 【NonManifoldMerge】

将多个曲面或多重曲面合并成一个非流形多重曲面。

3) 【BR】

执行 BlockRanger 网格剖分。

4) 【GInt】

进行交叉网络的清理。

5) 【GSurf】

面网络的重新生成。

6) 【GVol】

以面网格为边界生成体网格，并且输出 FLAC3D、3DEC、ANSYS、ABAQUS、NASTRAN 格式文件。

7) 【G_NMExtract】

抽离网格单元。

2. Griddle 特点简介

Griddle 基于 Rhino 中多重曲面网格进行网格重剖分并输出有限元网格或者离散元块体模型。其功能强大，却易于使用。可以说只要会操作 Rhino，就会运用 Griddle 建模。

至于 Rhino 的面网格，可以运用 Rhino 中大量的建模工具建立实体并剖分网格，也可以从其他的软件导入网格。例如，采用 Windows10 自带的 3D Builder 软件，打开资料库中的 Bullzozer 模型，如图 1.6 所示，将模型另存为 stl format 文件。

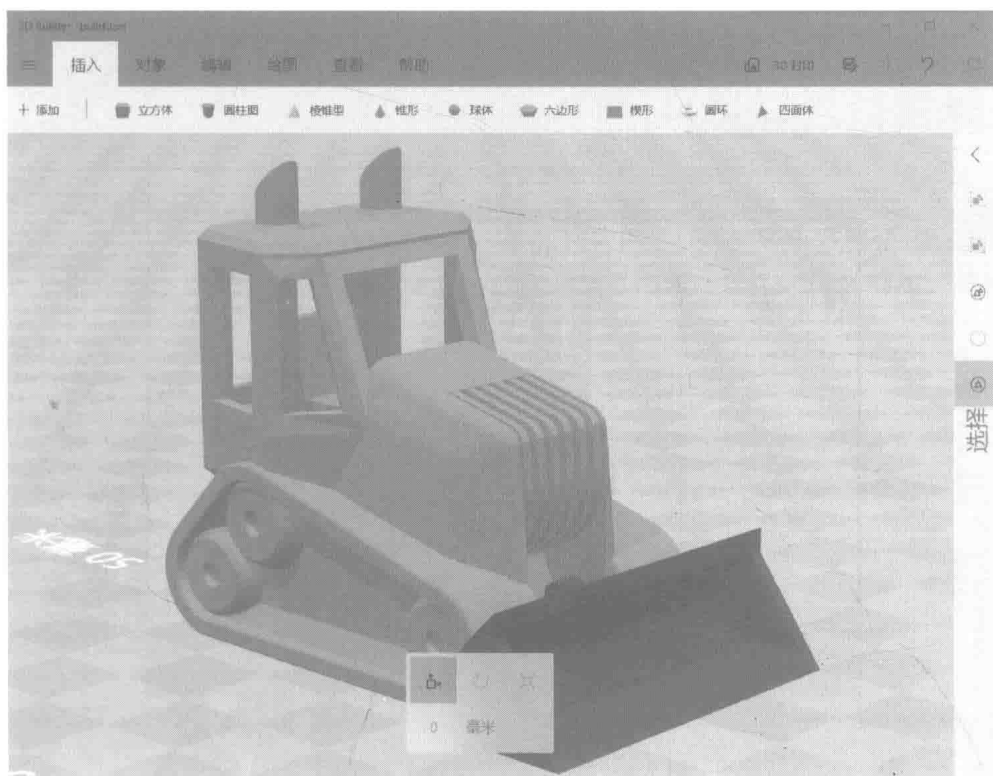


图 1.6 3D Builder 资料库中 Bullzozer 模型

将 bulldozer.stl 的网格导入 Rhino 后，应用 Griddle 插件中的 _GSurf 对网格进行重新剖分，得到四边形为主的面网格，如图 1.7 所示。

执行 Griddle 插件中的 _GVol 命令，以面网格为控制条件生成六面体为主的非结构化体网格，并且选择输出 bulldozer.f3grid 文件。

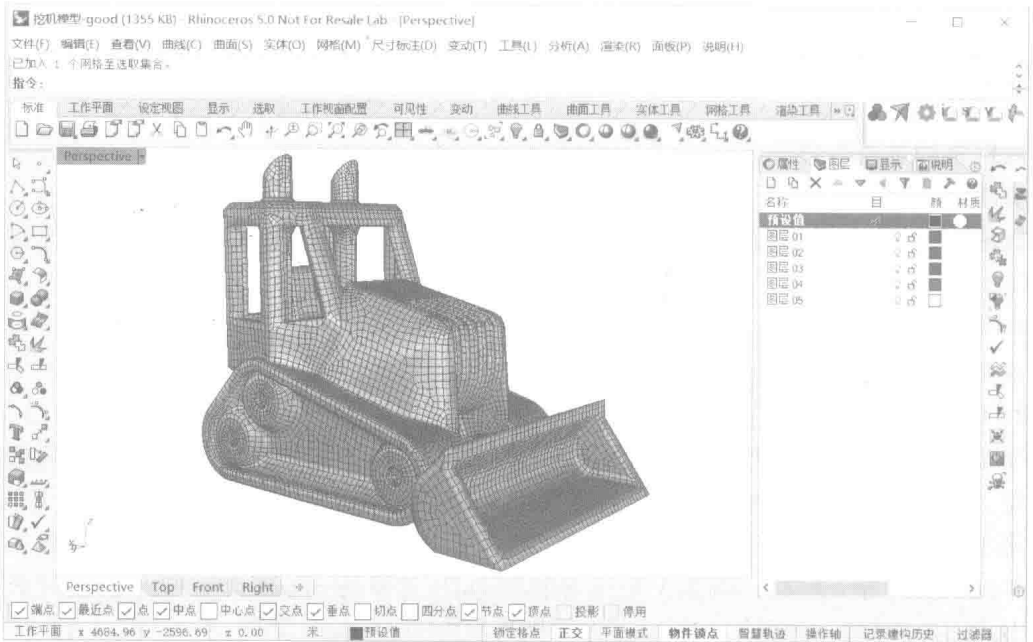


图 1.7 Rhino 中 Bulldozer 模型网格

打开 FLAC3D 软件，执行【File | Grid | Import from FLAC3D. .】命令，选择 bulldozer.f3grid，即可导入数值分析模型，如图 1.8 所示。

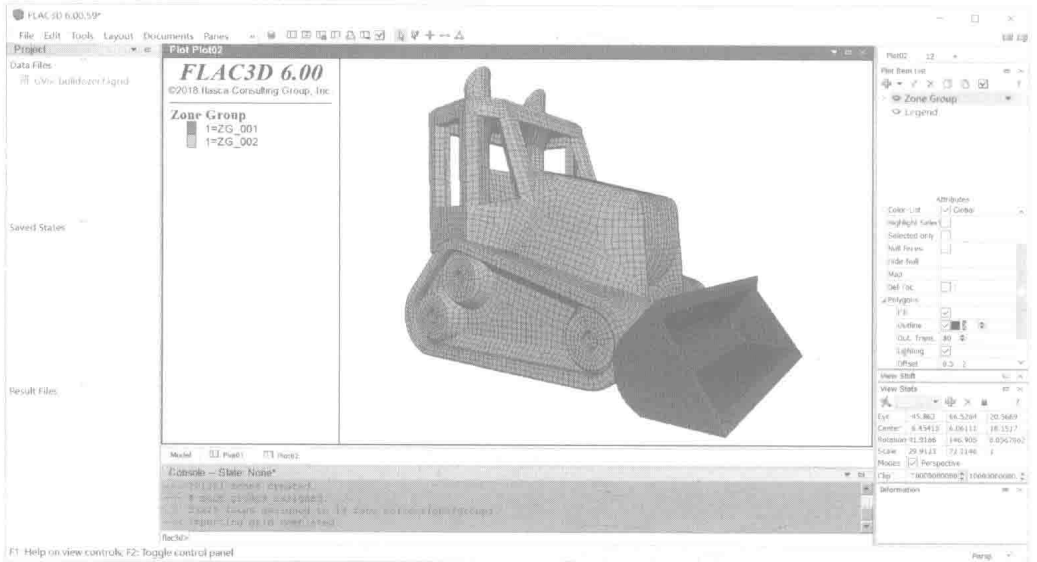


图 1.8 FLAC3D 中 Bulldozer 模型

有限差分 FLAC3D 和有限元 (ANSYS、ABAQUS、NASTRAN 等) 主要是求解方法的不同，而网格具有高度相似性，因此，基本可以等同视之。而离散元 3DEC 模型为离散块体的集合，其需要导入的是块体，再视需要进行网格剖分。

离散元的建模过程与有限元类似，例如，采用 Windows10 自带的 3D Builder 软件，打开资料库中的 Chess 模型 (图 1.9)，将模型另存为 stl format 文件。

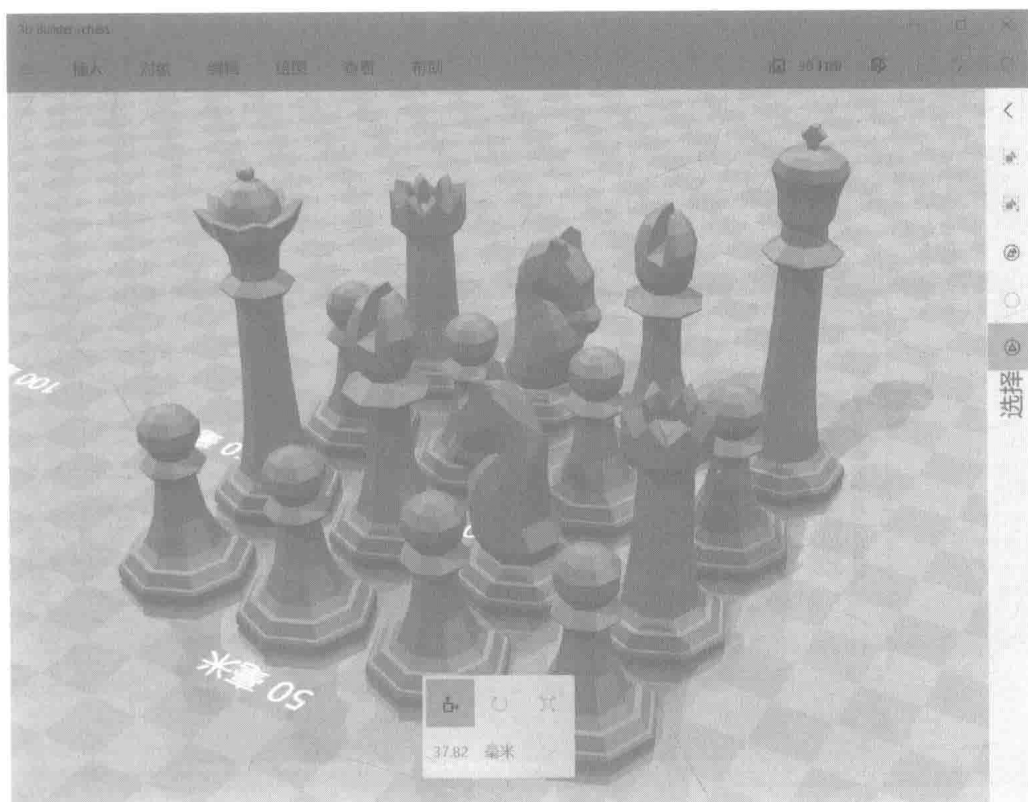


图 1.9 3D Builder 资料库中 Chess 模型

将 chess.stl 导入 Rhino 后，应用 Griddle 插件中的 _Gsurf 命令对网格进行重新剖分，生成三角形网格，如图 1.10 所示，重剖分的网格相对稀疏一些，以控制输出的块体量。



图 1.10 Rhino 中 Chess 模型网格

执行 Griddle 插件中的 `_GVol` 命令，以面网格为控制条件生成四面体网格，并且选择输出 `chess.3ddat` 文件。

打开 3DEC 软件，执行【File|open item...|Data File:Call】命令，选择块体文件 `chess.3ddat`，导入块体模型。由图 1.11 可见，每个棋子都是一个块体分组，并且每个独立的棋子都是离散四面体块体的集合。

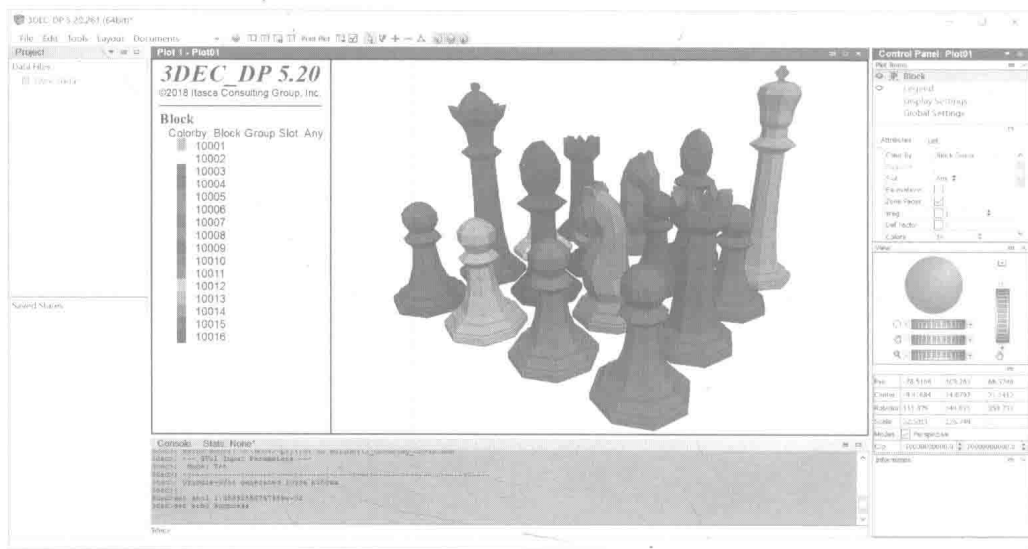


图 1.11 3DEC 中 Chess 模型

总体上讲，在具备网格基础上，Griddle 能够快速（甚至几秒钟）建立高质量的有限元或离散元模型，其功能强大且易于使用，特别适用于复杂三维几何模型的非结构化建模。

3. BlockRanger 特点简介

BlockRanger 是一款基于 Rhino 5.0 或 6.0 平台的全交互式体网格生成插件。BlockRanger 要求用户在 Rhino 中将复杂几何体分割成简单的实体，如六面体、楔形体或四面体形状，然后，确定输出网格或者块体的单元尺寸（或单元数），最后，输出 Flac3d、3DEC、Ansys、Abaqus、Nastran、Lsdyna、Vrml 格式网格或块体模型。

与传统的建模思路类似，BlockRanger 以分解实体对象为主，即将复杂对象分解成若干几何体后再一一剖分。通常采用类似“堆积木”的方式进行构建，例如，首先依据 1/4 浴缸模型（图 1.12）的边缘线，采用 Rhino 命令建立四面体、棱柱体和六面体块体集合。

然后，执行 Griddle 工具列中的 `_BR` 命令，以图 1.13 所示的块体为控制条件生成全六面体网格，并且输出 `bathtub.f3grid` 文件。

最后，打开 FLAC3D 6.0 软件，执行【File|Grid|Import from FLAC3D...】命令，选择 `bathtub.f3grid`，即可导入结构化的全六面体网格模型，见图 1.14。

总体上，在具备实体集合基础上，BlockRanger 能够快速建立全六面体的高质量有限元或离散元模型。BlockRanger 功能强大且简单实用，适用于相对简单的几何模型的结构化建模。但是，对于异常复杂的模型，将模型细分为实体集合（以满足 BlockRanger 的输入条件）会非常耗时，其有悖于本书介绍快速建模的宗旨，建议选用 Griddle 程序。