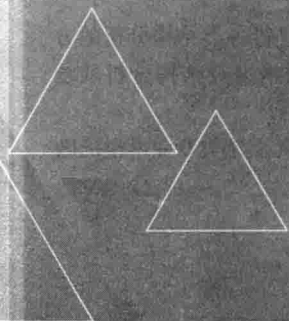


梁炯丰 / 编著

Midas/gen

结构有限元分析与应用

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



梁炯丰 / 编著

Midas/gen

结构有限元分析与应用



前言
第一章 绪论
第二章 有限元分析的基本概念
第三章 有限元分析的基本原理
第四章 有限元分析的基本方法

ISBN 7-302-11111-1
定价：30.00元

封面设计：张... 印刷：北京理工大学出版社

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书通过大量生动的分析算例,系统全面地介绍了利用Midas/gen有限元软件进行各类结构分析的方法,有助于读者迅速提高自身的Midas/gen有限元软件操作水平以及利用有限元技术进行结构分析的功底,从而具备利用Midas/gen有限元软件在相关专业领域中进行高级结构分析的能力。

本书可作为高等院校应用型本科土木工程、水利工程及工程力学专业或成人教育土建类专业学生的教学用书,也可作为土木工程技术人员Midas/gen有限元软件学习用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

Midas/gen结构有限元分析与应用 / 梁炯丰编著.—北京:北京理工大学出版社,2016.12
ISBN 978-7-5682-3390-3

I. ①M… II. ①梁… III. ①有限元分析—应用软件 IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第276029号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787毫米 × 1092毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 414千字

版 次 / 2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷

定 价 / 69.00元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

目前，由于Midas/gen有限元分析软件具有精确和简单便捷的特点而越来越受到结构工程科研及工程计算人员的青睐。本书将结构分析常用到的分析单元以及结构分析类型与Midas/gen实践紧密结合，通过大量生动丰富的算例，系统全面地介绍Midas/gen结构分析的方法。

本书主要内容包括Midas/gen软件概况、桁架杆系有限元分析、梁系结构有限元分析、板单元有限元分析、Midas/gen有限元分析基本算例、屈曲分析、 $P-\Delta$ 分析、特征值分析、反应谱分析、时程分析、静力弹塑性分析、工程应用范例精选。

本书得到中国博士后基金项目（No.2014M562132）、中南大学博士后基金项目（134381）的资助，同时还要感谢国家自然科学基金项目（No.51368001）、江西省青年科学基金项目（No. 20142BAB216002）、江西省重点研发计划项目（20161BBH80045）、江西省科技支撑计划项目（No. 20151BBG70012）、江西省教育厅科技项目（No. GJJ150586）、江西省新能源工艺与装备工程技术研究中心开放基金项目（No.JXNE-2014-08）及广西防灾减灾与工程安全重点实验室开放基金项目（No.2013ZDK01）的大力支持。

在本书的撰写过程中，作者的研究生王长诚、熊政、谢挺挺及本科生王增亮、王佳佳做了很多工作，在此深表感谢！

感谢我的老师、同事、家人、朋友！

由于作者水平有限，书中难免有很多不足甚至错误之处，恳请读者和专家批评指正。

梁炯丰

目 录

第 1 章	Midas / gen 软件概况	1
1.1	Midas / gen 软件简介	1
1.2	Midas Family Program 其他软件简介	2
1.3	Midas / gen 软件的图形操作界面	3
1.4	Midas / gen 软件的坐标系	5
1.5	Midas / gen 软件的单元类型、边界条件和材料类型	6
1.6	Midas / gen 软件的选择、捕捉和激活 / 钝化功能	8
1.7	Midas / gen 软件与国外同类建筑结构分析软件比较	9
第 2 章	桁架杆系有限元分析	10
2.1	Midas / gen 中的桁架单元	10
2.2	应用实例：平面桁架受力分析	12
第 3 章	梁系结构有限元分析	27
3.1	Midas / gen 中的梁单元	27
3.2	应用实例：连续梁受力分析	29
第 4 章	板单元有限元分析	44
4.1	Midas / gen 中的板单元	44
4.2	应用实例：受压力荷载的板单元分析	47

第 5 章	Midas / gen 有限元分析基本算例	63
5.1	拱结构分析	63
5.2	平面框架结构分析	76
5.3	预应力分析	109
第 6 章	屈曲分析	115
6.1	屈曲分析问题概述	115
6.2	Midas / gen 的屈曲分析功能	115
6.3	屈曲分析实例	117
第 7 章	$P-\Delta$ 分析	127
7.1	$P-\Delta$ 效应概述	127
7.2	Midas / gen 的 $P-\Delta$ 分析功能	127
7.3	$P-\Delta$ 分析实例	128
第 8 章	特征值分析	141
8.1	特征值分析概述	141
8.2	Midas / gen 的特征值分析功能	141
8.3	特征值分析实例	142
第 9 章	反应谱分析	153
9.1	反应谱分析概述	153
9.2	Midas / gen 的反应谱分析功能	153
9.3	反应谱分析实例	154
第 10 章	时程分析	168
10.1	时程分析概述	168
10.2	Midas / gen 的时程分析功能	168
10.3	时程分析实例	169

第 11 章	静力弹塑性分析	184
11.1	静力弹塑性分析概述	184
11.2	Midas / gen 的静力弹塑性分析功能	184
11.3	静力弹塑性分析实例	186
第 12 章	工程应用范例精选	212
12.1	钢框架结构分析及优化设计	212
12.2	平面网架的设计分析	224
12.3	钢筋混凝土框架动力弹塑性分析	246
参考文献	272

第 1 章 Midas/gen 软件概况

1.1

Midas/gen 软件简介

Midas/gen 是为了能够迅速完成对建筑与土木工程的结构分析与设计而开发的建筑及土木工程通用的结构分析与优化设计软件。gen 是“general structure design system for Windows”的缩写。Midas/gen 软件于 1989 年 12 月开始开发, 1996 年 11 月发布 Windows 系列版本, 2000 年 12 月进入中国、美国、加拿大、英国、日本、印度等国家。2002 年 Midas/gen 完全中文化, 并加入 2002 年新施行的结构规范, 2004 年 1 月 9 日通过国家建设部评估鉴定(建科评[2003]015 号)。

Midas/gen 自开发以来, 已在国内及国外许多大型工程案例如国家游泳中心、北京电视中心、北京奥运会羽毛球馆等工程中得到成功应用, 这证明了其效率和准确度高的特性。Midas/gen 全面强化了实际工作中结构分析所需要的分析功能, 通过在已有的有限元库中加入索单元、钩单元、间隙单元等非线性单元, 结合施工阶段的时间依存性、几何非线性等最新结构分析理论, 获得更加准确和切合实际的分析结果。Midas/gen 的适用领域如下:

- (1) 土木建筑物: 桥梁、地下建筑物、水箱、大坝、隧道等。
- (2) 建筑物: 写字楼、住宅楼、商用建筑、陆地上及海上的厂房。
- (3) 特殊建筑物: 体育场、大型仓库、发电站等。
- (4) 其他建筑物: 轮船、飞机、铁塔、吊车、压力容器等。

Midas/gen 软件具有强大的分析功能, 可完成静力弹塑性分析(Pushover 分析)、动力弹塑性分析、预应力分析(预应力钢束布置、钢束预应力损失、混凝土的徐变和收缩)、施工阶段分析(材料收缩、徐变及柱子的弹性收缩)、静力分析、特征值分析、反应谱分析、 $P-\Delta$ 分析、几何非线性分析、材料非线性分析、屈曲分析、水化热分析、温度荷载分析、隔震分析、消能减震分析、支座沉降分析、时程分析、钢结构优化(包括强度优化和位移优化)。

1.2

Midas Family Program 其他软件简介

Midas Family Program 是为了使结构设计全过程自动化而开发的软件包，Midas/gen 就是 Midas Family Program 中的一个软件，其他软件介绍如下：

(1)Midas/Civil。

Midas/Civil 是一个通用的空间有限元分析软件，可用于桥梁结构、地下结构、工业建筑、飞机场、大坝、港口等的结构分析与设计。特别是针对桥梁结构，Midas/Civil 结合国内的规范与习惯，在建模、分析、后处理、设计等方面提供了很多便利的功能，目前已为公路、铁路部门的设计院所采用。

(2)Midas/FEmodeler。

Midas/FEmodeler 是有限元分析前处理软件，使用独自开发的运算法则，提供以基本形状为基础的参数式建模方式，自动进行复杂的几何处理，自动划分有限元网格，生成立体模型。用户可以快速方便地建立各种复杂的模型，如模型内部的孔洞，分隔的线和点也同样可以包含在网格中，从而为有限元分析提供最佳的网格。

(3)Midas/SDS。

Midas/SDS 是楼板与筏式基础有限元分析与设计软件，可以进行单双向密肋楼盖、无梁楼盖、一般楼板、独立基础、联合基础及筏式(包括桩筏)基础的精确分析与配筋设计，可以为用户提供冲切验算及配筋数据。尤其对于厚板转换层楼板，其可以方便地进行有限元分析计算并输出设计所需的配筋结果，可以对楼板作振动效应分析，自动计算柱、墙、桩及地基弹性支撑刚度，自动进行布桩设计。

(4)Midas/GTS。

Midas/GTS 是岩土隧道分析设计软件，适用于公路隧道、铁路隧道、城市隧道、山岭隧道分析，以及桩土协同工作、三维基坑支护等。

(5)Midas/FEA。

Midas/FEA 是目前唯一全部中文化的土木专用非线性及细部分析软件，它的几何建模和网格划分技术采用土木领域应用广泛的前处理软件 Midas/FX+ 的核心技术，同时融入了 Midas 强大的线性、非线性分析内核。Midas/FEA 拥有简洁直观的用户界面，即使是初学者也可以在短期内迅速掌握。特别对于工程中比较难处理的各种非线性分析问题，Midas/FEA 不仅提供了简单的参数化输入方法，而且其全中文化的程序界面、技术手册和培训例题，可以让初学者迅速成为高级分析人员。

1.3

Midas/gen 软件的图形操作界面

Midas/gen 的菜单系统可以方便地进行输入、输出操作，可以实现结构分析所需的所有功能，使用户最少地移动鼠标，获得最佳的操作效果。

Midas/gen 操作界面主要包括主菜单、树形菜单、关联菜单、模型窗口、表格窗口、信息窗口、状态条、工具条和图标菜单，如图 1.1 所示。

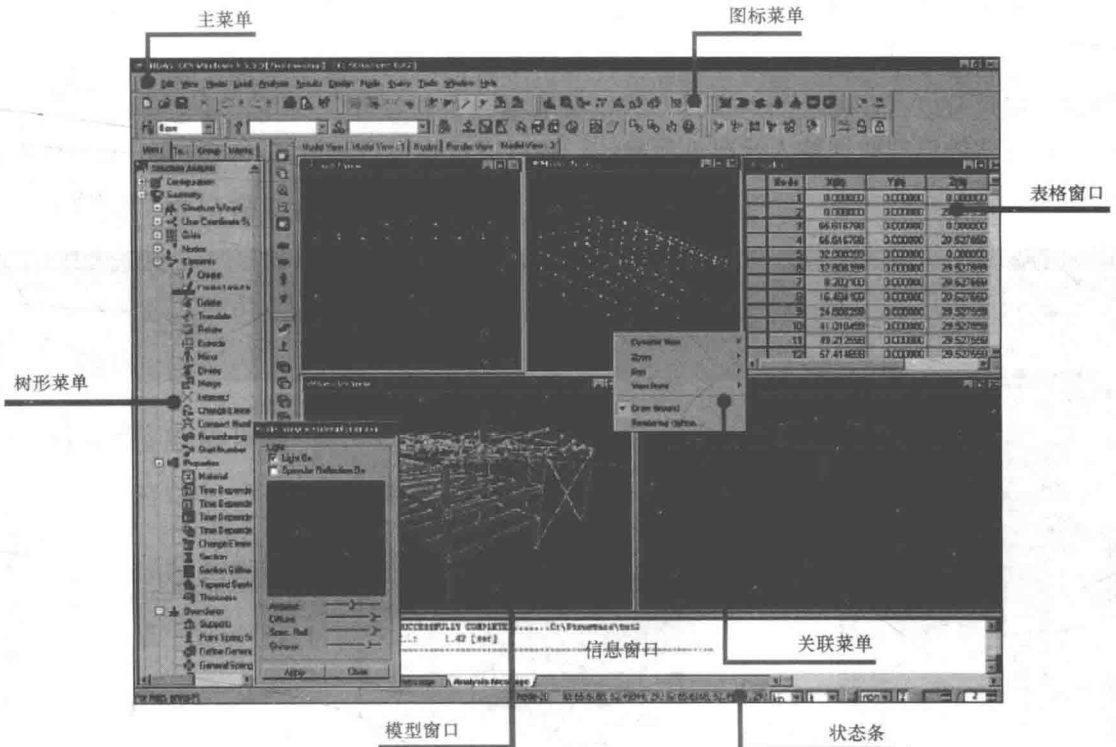


图 1.1 Midas/gen 操作界面

1.3.1 主菜单

主菜单包含的命令如下：

文件：包括文件建立、保存、打印及数据互换等功能。

编辑：包括撤销/重做、编辑 Spread sheet 表格化数据等功能。

查看：模型视觉表现方法的调整、选择、激活/钝化等。

模型：网格、节点、单元、截面特性、边界条件、质量等模型数据的输入，定义群等。

荷载：各种静力荷载、动力荷载、温度荷载及施工阶段分析、移动荷载分析、水化热

分析和几何非线性分析所需数据的输入。

分析：分析所需的各种控制数据的输入和分析运行。

结果：荷载组合条件的输入、分析结果的图形处理、查询及分析等。

模式：前处理模式和后处理模式的转换。

查询：节点或者单元的输入状态及属性的查询。

工具：单位系及初期操作环境的设定、MGT 命令窗口、材料目录表的列成、地震数据的生成、截面特性值计算器的运行等。

窗口：操作界面的各种窗口调整和排列。

帮助：帮助功能及连接 Midas IT 的主页、发送 E-mail 等。

1.3.2 树形菜单

模型的输入及分析、结果分析、各种表格及群的状态的设定等都按照树形结构进行整理。用户可以打开相关的对话框，准确有效地进行操作。另外，在工作树中，用户可以对目前的模型数据输入状况进行确认，可以通过拖放(Drag&Drop)建模并进行修改，如图 1.2 所示。

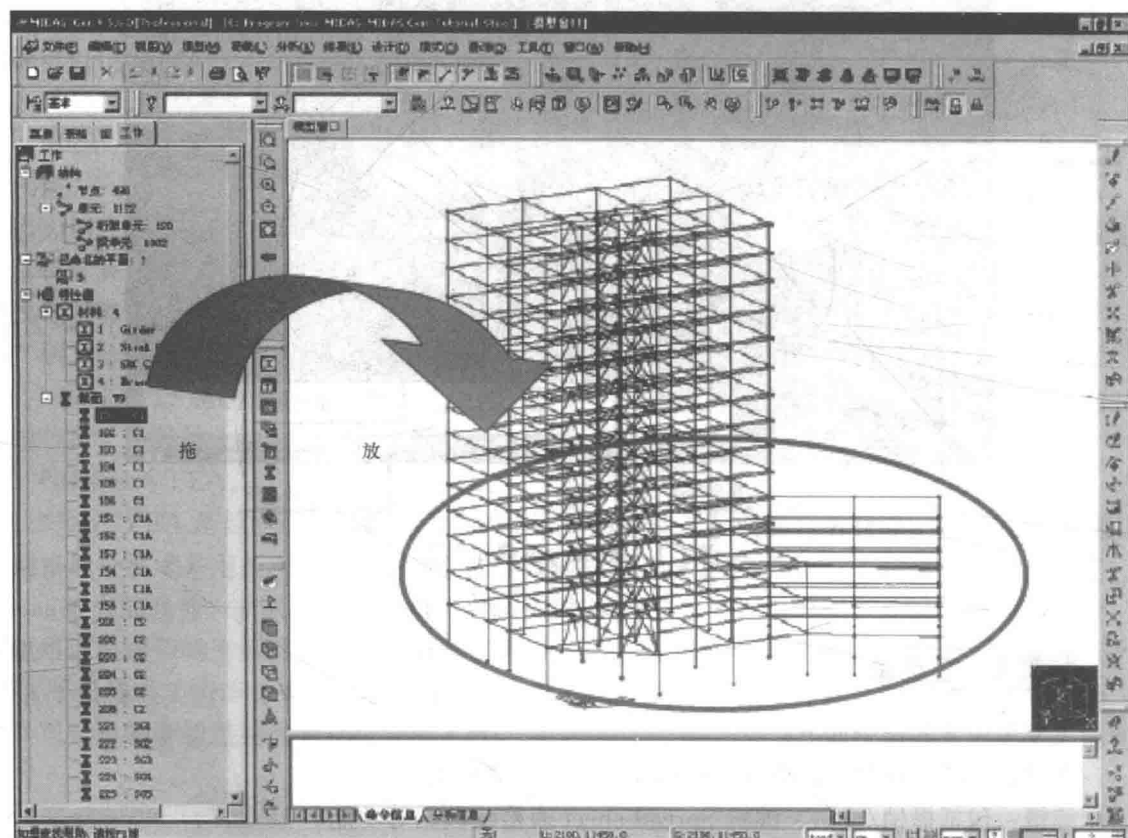


图 1.2 使用工作树的拖放功能建模

1.3.3 关联菜单

在操作窗口单击鼠标右键可以弹出与操作内容相关的各项功能或常用功能的菜单。

1.3.4 模型窗口

在模型窗口中，可以使用 Midas/gen 的 GUI(Graphic User Interface)功能进行建模、结果分析。模型窗口可以将几个窗口同时展现在一个界面中。由于各窗口的运用都是相互独立的，因此各窗口可以使用不同的坐标系来建模。另外，所有窗口使用的都是相同的数据库，任何一个窗口中的操作内容都可以同时其他的窗口得到反映。

在模型窗口中，不仅可以展示一般形态的模型，而且模型和分析结果可以通过去除隐藏线、调整明暗、照明、颜色分离处理等展示渲染画面。另外，其中的动态查看功能能够展示各种动态的视觉效果，比如用户可以一边走一边看建筑物模型，或者进入模型内部查看模型的输入状态或各种分析结果。

1.3.5 表格窗口

在表格窗口中，可以将各种数据的输入和分析结果以 Spread sheet 形式表格化。表格窗口中可包含数据输入、追加输入、编辑、按属性整理、查询功能等，也可以与 Excel 或一般的数据库软件进行数据互换。

1.3.6 信息窗口

在信息窗口中，可以显示建模过程中的各种提示、警告或者错误信息。

1.3.7 状态条

在状态条中可以查看各种坐标系的状况、变更单位、过滤选择、快速查询、调整单元捕捉状态等。

1.3.8 工具条和图标菜单

为了能够快速导入经常使用的功能，Midas/gen 提供了非常形象的功能图标，功能图标包含在功能图标群的工具条内，工具条可以用鼠标任意拖曳。使用“工具”>“用户定制”功能可以选择或编辑工具条上的各项内容。对工具条上的某一图标的功能有疑问时，只要将光标移到该图标的位置，就会出现简洁的提示窗口(tool tip)。

1.4

Midas/gen 软件的坐标系

Midas/gen 软件使用的坐标系包括全局坐标系(Global Coordinate System, GCS)、单

元坐标系(Element Coordinate System, ECS)、节点坐标系(Node Local Coordinate System, NCS)。

1.4.1 全局坐标系

全局坐标系为遵循右手法则的直角坐标系,使用英文大写字母 X 、 Y 、 Z 表示各轴。节点以及与节点相关的大部分数据、节点位移以及反力均按全局坐标系输出。用户输入结构模型的几何位置,程序会自动将 $X=0$ 、 $Y=0$ 、 $Z=0$ 点定义为参考点(Reference Point)。在 Midas/gen 中,由于程序界面的竖向作为全局坐标系的 Z 轴,因此用户建模时将结构的竖向(重力加速度的反方向)设置为与全局坐标系的 Z 轴平行会更方便一些。

1.4.2 单元坐标系

单元坐标系也是遵循右手法则的直角坐标系,使用英文小写字母 x 、 y 、 z 表示各轴。单元内力和应力等与单元有关的数据按单元坐标系输入和输出。

1.4.3 节点坐标系

节点坐标系为按右手法则决定的直角坐标系,使用英文小写字母 x 、 y 、 z 表示各轴。节点坐标系用于给节点施加任意方向的约束条件、弹性支撑边界或强制位移等边界条件,以及任意方向反力的计算和输出。

1.5 Midas/gen 软件的单元类型、边界条件和材料类型

1.5.1 Midas/gen 软件的单元类型

Midas/gen 软件使用以下几种单元类型。

- (1)桁架单元(Truss Element)。
- (2)只受拉单元(Tension-only Element),包含 Hook 功能。
- (3)索单元(Cable Element)。
- (4)只受压单元(Compression-only Element),包含 Gap 功能。
- (5)梁单元/变截面梁单元(Beam Element/Tapered Beam Element)。
- (6)平面应力单元(Plane Stress Element)。
- (7)板单元(Plate Element)。
- (8)平面应变单元(2D Plane Strain Element)。
- (9)平面轴对称单元(2D Axisymmetric Element)。
- (10)墙单元(Solid Element)。
- (11)空间单元(Space Element)。

其中桁架单元、只受拉单元、只受压单元、梁单元/变截面梁单元为线性单元，平面应力单元、板单元、平面应变单元、平面轴对称单元、墙单元为平面单元。

1.5.2 Midas/gen 软件的边界条件

除一般的边界条件外，Midas/gen 还提供考虑桩的纵向刚性的一般弹性支撑和考虑地基只受压特性的只受压单元和只受拉单元，如图 1.3 所示。

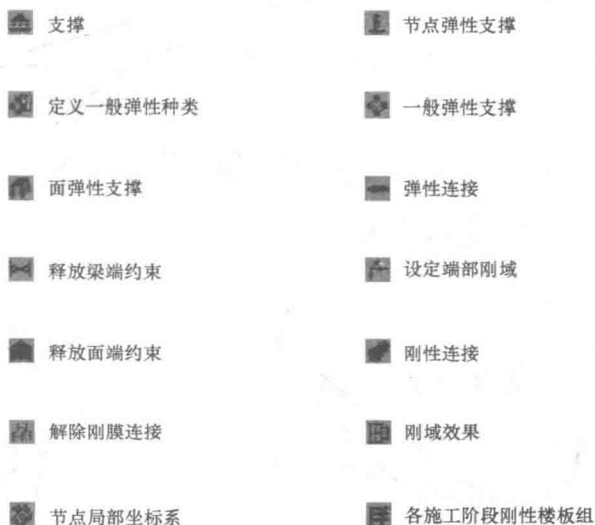


图 1.3 边界条件

1.5.3 Midas/gen 软件的材料类型

Midas/gen 备有 GB(中国)、ASTM、AISC、JIS、DIN、BS、EN、KS 等的材料和截面特性数据库(DB)，也可使用用户自己定义的材料和截面。

Midas/gen 所提供的材料数据的输入种类如下：

(1) 钢结构。

GB(国家标准)、JGJ(高层民用建筑钢结构技术规程)、JTJ(交通部标准)内含 12 个种类的钢材数据库(16Mn、Q235、A3 等)。

ASTM(American Society for Testing Materials)内含 40 个种类的钢材数据库(A36、A53、A242-40 等)。

JIS(Japanese Industrial Standards)内含 23 个种类的钢材数据库(SS400、SM490 等)。

DIN(Deutsches Institute für Normung e. V.)内含 11 个种类的钢材数据库(St 37-2、St 52-3 等)。

BS(British Standards)内含 23 个种类的钢材数据库(43A、50A 等)。

EC(European Code)内含 12 个种类的钢材数据库(S235、S275 等)。

KIS(Korean Industrial Standards)内含 29 个种类的钢材数据库(SS400、SM490 等)。

(2) 混凝土。

GB(国家标准)、JTJ(交通部标准)内含 21 个种类的混凝土材料数据库(C20、C30 等)。

ASTM(American Society for Testing Materials)内含 7 个种类的混凝土材料数据库(Grade C2500、Grade C3000 等)。

JIS(Japanese Industrial Standards)内含 16 个种类的混凝土材料数据库(C27、C30 等)。

KIS(Korean Industrial Standards)内含 19 个种类的混凝土材料数据库(C210、C270 等)。

(3)组合材料。

可用上述钢材和混凝土来输入。

(4)用户定义。

用户自己输入弹性系数、泊桑比、热膨胀系数及比重等。

1.6 Midas/gen 软件的选择、捕捉和激活/钝化功能

1.6.1 Midas/gen 软件的选择功能

选择(Selection)功能用于复制节点、单元或者输入边界条件等属性。另外,有选择地对某一特定部分激活,或者查询输入/输出内容时,选择功能作为对对象进行指定的方法,在整个建模过程中是必不可缺的。

Midas/gen 所提供的选择功能如图 1.4 所示。

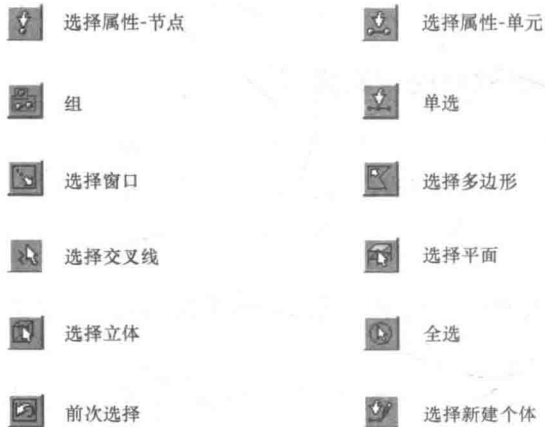








图 1.4 选择功能

1.6.2 Midas/gen 软件的捕捉功能

在 Midas/gen 中,用光标创建单元、节点或指定属性时,将光标移动到邻近的栅格、节点或单元附近,光标将自动对齐到相应位置。

不同种类的捕捉的具体操作如下:

□从主菜单中选择“视图”>“捕捉”>“点”。

- 从主菜单中选择“视图”>“捕捉”>“轴线”。
- 从主菜单中选择“视图”>“捕捉”>“节点”。
- 从主菜单中选择“视图”>“捕捉”>“单元”。
- 从主菜单中选择“视图”>“捕捉”>“全部”。
- 从主菜单中选择“视图”>“捕捉”>“关闭”捕捉或在图标菜单中单击  (捕捉点)。
- 在图标菜单中单击  (捕捉轴线)。
- 在图标菜单中单击  (捕捉节点)。
- 在图标菜单中单击  (捕捉单元)。
- 在图标菜单中单击  (捕捉全部)。
- 在图标菜单中单击  (关闭捕捉)。

1.6.3 Midas/gen 软件的激活/钝化功能

执行激活/钝化功能可以在模型窗口只显示全部模型中的一部分。

激活是指使对象处于可以进行建模操作的状态，而对于钝化的部分则无法进行选择、增加、修改等建模操作。一般默认全部功能处于激活状态。

被钝化的部分可通过执行“视图”>“显示选项”>“绘图”命令，打开“绘图”窗口，使用钝化目标功能使该部分的轮廓在界面上显示或者不被显示。

1.7 Midas/gen 软件与国外同类建筑 结构分析软件的比较

国外的 SAP、STAAD、ANSYS 等结构分析软件用起来不是很方便，如 ANSYS 建模很麻烦，学起来很慢，用起来也不是特别顺手。而 Midas/gen 不但可以导入 SAP2000、STAAD2000 数据文件，而且使用界面和在线帮助手册都是中文化的，支持中国设计规范。Midas/gen 按新规范输出结果如下(其他软件只提供其中的一部分，大部分需要用户自己整理)：

- (1) 双向地震作用计算。
- (2) 偶然偏心计算。
- (3) 楼层剪重比计算。
- (4) 重力二阶效应及稳定计算。
- (5) 振型参数与质量系数计算。
- (6) 层间刚度比计算。
- (7) 层间位移及层位移计算。
- (8) 罕遇地震作用下验算：静力弹塑性分析及动力弹塑性分析。
- (9) 隔震及消能减震分析。
- (10) 钢结构优化设计。

第 2 章 桁架杆系有限元分析

2.1

Midas/gen 中的桁架单元

桁架杆件结构体系是最为常见的工程结构形式之一，在杆件两端用铰链进行连接，图 2.1 所示为屋架桁架。

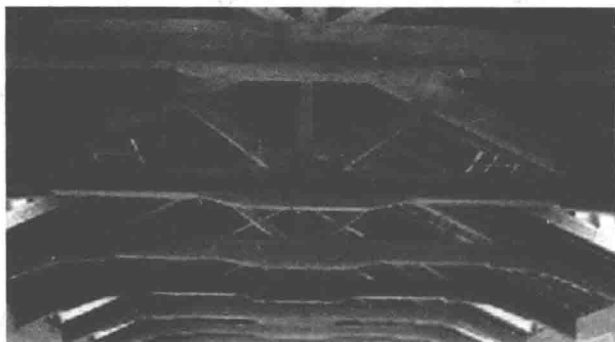


图 2.1 屋架桁架

由直杆组成的桁架一般具有三角形单元的平面或空间结构，桁架杆件主要承受轴向拉力或压力，从而能充分利用材料的强度，在跨度较大时，相较于实腹梁，可以节省材料，减轻自重，增大刚度。桁架的优点是杆件主要承受拉力或压力，可以充分发挥材料的作用，减轻结构重量。常用的有钢桁架、钢筋混凝土桁架、预应力混凝土桁架、木桁架、钢与木组合桁架、钢与混凝土组合桁架。

Midas/gen 中提供了桁架单元来模拟各类平面桁架杆或空间桁架杆。由 2 个节点构成的桁架单元属于单向受拉-受压的三维线性单元，它只能传递轴向的拉力和压力，通常利用该单元做空间桁架结构或交叉支撑结构的受力分析。桁架单元的两端各有一个沿单元坐标系 x 轴方向的位移，它具有两个自由度。对于桁架单元、只受拉单元及只受压单元等只具有轴向刚度的单元而言，只有单元坐标系的 x 轴有意义，它是确定结构变形的基准，利用 y 、 z 轴可确定桁架截面在视窗上的方向。