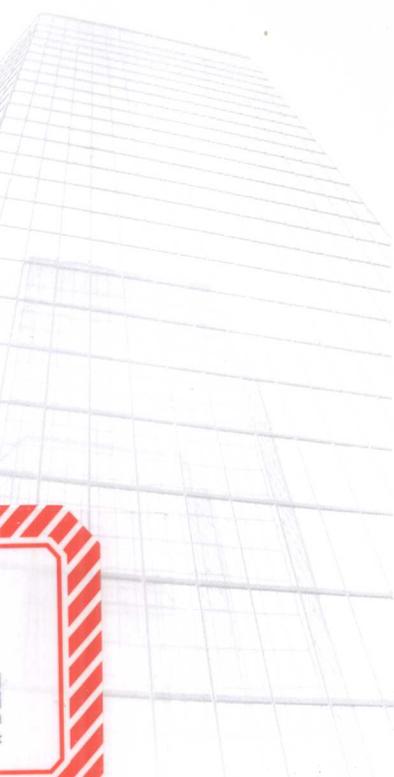


BIM结构

—Autodesk Robot Structural Analysis
在土木工程中的应用

王言磊 王永帅 编著



化学工业出版社

BIM结构

—Autodesk Robot Structural Analysis 在土木工程中的应用

王言磊 王永帅 编著



化学工业出版社

·北京·

本书共分为9章,内容主要包括 Autodesk Robot Structural Analysis 软件的基本构架关系以及它们之间的相互联系,软件的首选项和工程设置,基本的建模技巧,基本的模型加载方法、创建工况、定义并施加节点荷载、杆荷载、平面荷载以及自重等,初步的结构分析,初步的结果预览及计算书的输出,基本的地震分析和风荷载分析,钢结构的基本设计,基本的钢筋混凝土设计、Robot 软件与 Revit 软件模型数据信息互导。

本书适合高等院校土木工程专业的师生、建筑结构设计和施工管理人员以及 BIM 爱好者使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

BIM 结构: Autodesk Robot Structural Analysis
在土木工程中的应用/王言磊,王永帅编著. —北京:
化学工业出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-122-28769-4

I. ①B… II. ①王… ②王… III. ①土木工程-应用
软件 IV. ①TU-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 319366 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 281 千字 2017 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着科学技术的不断发展，传统的二维建筑结构设计方法已经无法满足现阶段建筑设计的发展要求，如何将设计过程变得可视化，将三维模型更直观地展现出来，是目前建筑行业的发展方向。建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）的出现，引发了建筑行业一场新的革命，它突破了传统设计方法的瓶颈，采用三维参数化的设计理念，以一种全新的方法定义三维模型，使得建筑项目从初期设计、施工到后期运营管理的全过程效率都得到了大幅提升，无论是业主、设计方，还是施工方都能感受到 BIM 在建筑行业中的价值，所以 BIM 技术将在未来建筑行业得到大力发展，并引领建筑行业达到一个新的高度。

Autodesk Robot Structural Analysis 是一款国际广泛认同的基于有限元理论的结构分析与设计软件，主要应用领域包括市政工程、水利工程、桥梁工程、房屋建筑工程、石油化工工程。Autodesk Robot Structural Analysis 与 Autodesk Revit Structure 二者相辅相成，使得 BIM 平台日趋成熟。基于 BIM 需求，进行三维结构建模和结构分析是未来发展的方向，而目前 Autodesk Robot Structural Analysis 在实际工程中的应用相对较少，学习并研究使用 Autodesk Robot Structural Analysis 就显得尤为必要，遗憾的是学习者一直缺少一本 Autodesk Robot Structural Analysis 的中文教程。

本书以土木工程应用为背景，详细介绍了 Autodesk Robot Structural Analysis 软件，本书具有以下特点。①由浅入深、循序渐进：本书以初级读者为基本对象，首先从软件基本知识讲起，按照结构建模以及分析的逻辑习惯进行编排，最后对特殊的地震及风荷载进行深入讲解，并且系统地介绍基本钢结构与钢筋混凝土结构的设计。②作为国内第一本 Autodesk Robot Structural Analysis 中文教程，本书的操作步骤详细、连贯，图文并茂，便于读者理解。③实例练习，轻松易学：通过大量综合应用实例练习，详细地讲解了 Autodesk Robot Structural Analysis 在土木工程中的应用。

本书共分为 9 章，主要内容如下：第 1 章介绍了 Autodesk Robot Structural Analysis 软件的基本构架关系以及它们之间的相互联系，使读者初步熟悉了 Autodesk Robot Structural Analysis 的用户界面和基本操作命令；第 2 章是前期准备工作，介绍了软件的首选项和工程设置，包括语言、参数以及对工程单位、材料、数据库等的设置，促进读者对 Robot 软件的了解，为接下来的软件学习打好基础；第 3 章介绍了基本的建模技巧，生成并管理结构数据，建立结构轴网，建立构件单元即节点、梁、柱、墙等；第 4 章讲解基本的模型加载方法，创建工况，定义并施加节点荷载、杆荷载、平面荷载以及自重等；第 5 章讲解了初步的结构分析，包括荷载的组合、模型的验证和计算、结构分析方法；第 6 章讲解了初步的结果预览及计算书的输出，包括示意图和彩图、反映节点和结构层信息的表格，最后输出计算书；第 7 章主要讲解了基本的地震分析和风荷载分析；第 8 章讲解了钢结构的基本设计，包括钢结构设计规范参数、钢结构构件设计和钢节点连接设计；第 9 章讲解了基本的钢筋混凝

目 录

第 1 章 Autodesk Robot Structural Analysis

基本知识

- 1.1 Robot Structural Analysis 软件概述及发展 3
 - 1.1.1 Robot 软件介绍 3
 - 1.1.2 Robot 软件特点 3
- 1.2 Robot Structural Analysis 的启动与结构类型 4
 - 1.2.1 开启 Robot 软件 4
 - 1.2.2 结构类型 4
- 1.3 用户界面 6
 - 1.3.1 工程视图窗口 6
 - 1.3.2 文件菜单栏 7
 - 1.3.3 标准工具栏 7
 - 1.3.4 选择工具栏 8
- 1.4 视图显示及导航 9
 - 1.4.1 显示选项 9
 - 1.4.2 视图导航 9

第 2 章 首选项和工程设置

- 2.1 基本首选项设置 13
 - 2.1.1 语言 13
 - 2.1.2 普通参数 13
 - 2.1.3 桌面设置 13
- 2.2 工程首选项设置 14
 - 2.2.1 单位和格式 14
 - 2.2.2 材料 16
 - 2.2.3 数据库 16
 - 2.2.4 设计规范 16
 - 2.2.5 结构分析 17
- 2.3 工程特性 18

第 3 章 基本的结构建模

- 3.1 绘制结构轴网 21
 - 3.1.1 结构轴对话框 21
 - 3.1.2 练习——绘制结构轴网 22
- 3.2 节点 23

3.2.1	节点定义	23
3.2.2	节点约束	24
3.3	杆件	26
3.3.1	杆的定义	26
3.3.2	练习	28
3.4	截面	29
3.4.1	截面定义	29
3.4.2	练习	30
3.5	板和墙	32
3.5.1	几何定义	32
3.5.2	墙的实例练习	37
3.5.3	板的特性	39
3.5.4	板约束	41
3.5.5	板平面网格划分	42
3.6	建模实例	43
3.6.1	绘制轴网	43
3.6.2	杆和截面的定义	43
3.6.3	约束的定义	45
3.6.4	生成 3D 框架	45
3.6.5	板的定义	45
3.6.6	墙的定义	46
3.6.7	墙的约束定义	47
3.6.8	网格参数的定义	47
第 4 章 模型加载		49
4.1	应用荷载	51
4.1.1	创建荷载工况	51
4.1.2	施加荷载	52
4.2	节点荷载	54
4.2.1	节点荷载定义	54
4.2.2	施加节点荷载	54
4.2.3	节点荷载练习	55
4.3	杆荷载	55
4.3.1	均布杆荷载	55
4.3.2	非均布杆件荷载	57
4.3.3	杆件力	58
4.3.4	杆件荷载练习	59
4.4	平面荷载	60
4.4.1	覆板平面荷载	60
4.4.2	均布面荷载	65
4.4.3	线性荷载 (2P)	66
4.4.4	均匀平面荷载 (轮廓)	66
4.4.5	平面的 3P 荷载 (轮廓)	67
4.4.6	面荷载练习	68
4.5	自重	69

4.5.1 整个结构自重	69
4.5.2 选定单元的自重	69
4.6 施加荷载实例	70

第5章 结构初步分析 73

5.1 荷载工况组合	75
5.1.1 荷载组合介绍	75
5.1.2 手动荷载组合	75
5.1.3 自动荷载组合	77
5.1.4 练习	83
5.2 模型验证	86
5.3 运行计算	87
5.3.1 计算报告	87
5.3.2 分析类型	87
5.4 直接分析法 (DAM)	89
5.4.1 考虑剪切变形	89
5.4.2 设置 DAM 参数	89
5.4.3 DAM 报告	91

第6章 结果初步预览及计算书输出 93

6.1 示意图	95
6.1.1 NTM 标签	96
6.1.2 变形标签	97
6.1.3 反力标签	98
6.1.4 参数标签	99
6.2 彩图及详细的分析	100
6.2.1 彩图	100
6.2.2 详细的分析	100
6.2.3 对象特性	101
6.3 节点表格	102
6.3.1 反力表	102
6.3.2 位移表	104
6.4 层表格	107
6.4.1 作用力表	107
6.4.2 层位移表	107
6.5 屏幕捕捉	108
6.5.1 模型视图捕捉	108
6.5.2 表格视图捕捉	109
6.5.3 其他形式捕捉	109
6.6 输出计算书	110

第7章 基本地震及风荷载分析 113

7.1 地震等效侧力法	115
7.1.1 生成地震荷载	115

7.1.2	地震质量	116
7.1.3	研究地震分析加载	117
7.2	地震模态分析法	119
7.2.1	地震计算流程	119
7.2.2	地震结果分析	122
7.3	风荷载分析	125

第 8 章 基本钢结构设计 127

8.1	规范参数	129
8.2	钢构件设计	132
8.2.1	定义成员与组	132
8.2.2	运行计算	134
8.3	钢连接设计	138
8.4	练习	141
8.4.1	建立钢结构模型	141
8.4.2	施加荷载及初步分析	142
8.4.3	结果初步预览	143
8.4.4	钢构件设计	143
8.4.5	钢连接设计	144

第 9 章 基本钢筋混凝土设计 147

9.1	弹性位移	149
9.2	所需钢筋面积计算	150
9.2.1	概述	150
9.2.2	类型参数	150
9.2.3	计算参数	151
9.2.4	运行计算	154
9.3	提供钢筋面积计算	156
9.3.1	概述	156
9.3.2	转化构件到提供钢筋模块	157
9.3.3	提供钢筋界面	157
9.3.4	提供钢筋计算工作流程	160
9.4	练习	161
9.5	Revit 与 Robot 模型互导	166
9.5.1	Revit 模型发送至 Robot	166
9.5.2	Robot 模型更新回 Revit	173

附录 快捷键列表 175

参考文献 176

第 1 章

Autodesk Robot Structural Analysis 基本知识

本章导读 >>>

通过本章节读者可了解 Robot Structural Analysis 软件的基本构架关系以及它们之间的相互联系，初步熟悉 Robot Structural Analysis 的用户界面和基本操作命令。

学习目标 >>>

- 1. 了解 Robot 的基本知识。
- 2. 掌握软件开启及结构类型选择。
- 3. 熟悉软件界面及选项命令。
- 4. 掌握视图显示及导航的本领。

1.1 Robot Structural Analysis 软件概述及发展

1.1.1 Robot 软件介绍

Autodesk Robot Structural Analysis 是一个基于有限元理论的结构分析软件，软件提供面向建筑、桥梁、土木和其他专业结构的高级结构分析功能，极大扩展了面向结构工程的建筑信息模型（BIM）。利用庞大的设计规范库，用户能够更加无缝地对复杂的国内外项目进行分析。

在国内，Robot Office 已成功参与分析了上海卢浦大桥、卢洋大桥、洋山深水港工程、深圳盐田码头工程、上海地铁、广州地铁等数十个国家重点建设项目的结构分析和结构设计，以及上海海洋水族馆、公安指挥中心、交通银行大厦、深圳城市广场、南宁国际会议展览中心等大批优质幕墙工程的结构设计和结构分析。

目前，国内 BIM 应用的发展呈现出以下五大趋势：一是从标志性建筑项目转向普通商业/住宅建筑项目；二是由大中型城市向中小城市铺开；三是从只专注设计领域向规划、设计、施工一体化延伸；四是运作思维从使用单一产品向综合多软件在同一平台协同运作转变；五是应用形式从只使用桌面软件产品转向结合云端及移动端软件产品整合使用。

1.1.2 Robot 软件特点

1. 多元的结构分析

该软件能够实现对多种类型的非线性进行简化且高效的分析，包括重力二阶效应（P-delta）分析；受拉/受压单元分析；支撑、缆索和塑性铰分析。Autodesk Robot Structural Analysis Professional 提供了市场领先的结构动态分析工具和高级快速动态解算器，该解算器确保用户能够轻松地对任何规模的结构进行动态分析。

2. 多种语言支持

利用 Autodesk Robot Structural Analysis Professional 在全球市场中竞争。该软件为不同国家的设计团队提供多语言支持，包括英语、法语、罗马尼亚语、西班牙语、俄语、波兰语、汉语和日语。可以以一种语言进行结构分析，而以另一种语言输出结果，从而为全球团队提供了极大的灵活性。此外，软件还能够同一个结构模型内混合使用英制和公制单位，以适应不同的环境要求。

3. 多国工作环境

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 包含基于 40 个国际钢结构规范以及 30 个钢筋混凝土结构规范的集成的钢筋混凝土和钢结构设计模块，能够极大简化设计流程，并帮助工程师挑选和验证结构图元。

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 包含 60 多个剖面 and 材料数据库，其中的资源来自世界各地，使用户能够轻松地完成国际项目。利用 70 个针对不同国家/地区的内置设计规范，结构工程师们能够在同一个集成的模型内使用特定国家/地区的剖面形状、英制或公制单位以及当地的建筑规范。

4. 网格生成技术

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 作为一款优秀的结构分析软件程序，

采用了强大的网格生成技术，这种技术使结构工程师能够轻松地处理最复杂的模型。自动网格定义工具允许手动操作网格并对其进行细微改进，并且能够在任何形状和尺寸的模型开口周围划分网格。该软件包含多种网格工具，使结构工程师能够在几乎任何形状的结构上快速地创建高质量有限元网格。

5. 与 Autodesk Revit Structure 建立双向连接

利用 Autodesk Revit Structure 进行建模，利用 Robot Structural Analysis 进行结构分析。体验 Autodesk Robot Structural Analysis Professional 和 Autodesk Revit Structure 软件强大的双向集成。利用 Revit 的 Extensions 插件分析连接，在两款软件之间无缝地导入和导出结构模型。双向连接使结构分析和设计结果更加精确，这些结果随后在整个建筑信息模型中更新，以制作协调一致的施工文档。

1.2 Robot Structural Analysis 的启动与结构类型

1.2.1 开启 Robot 软件

点击  图标，打开 Robot Structural Analysis 软件，开始新建一个工程。将出现如图 1-1 所示界面，在“新建工程”一行中，可以选择打开用户想要的建筑类型。如果有已经存在的工程，可以点击“工程”下的“打开工程”。



提示

Robot 被保存的文件扩展名为：.RTD。

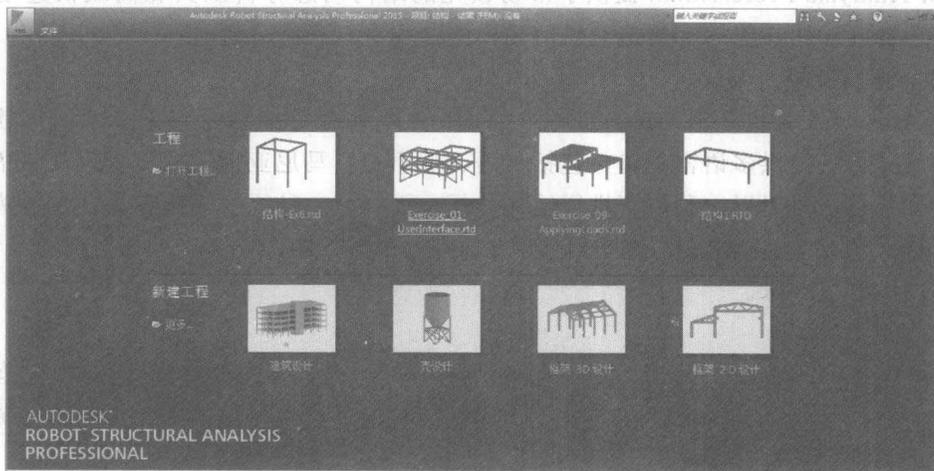
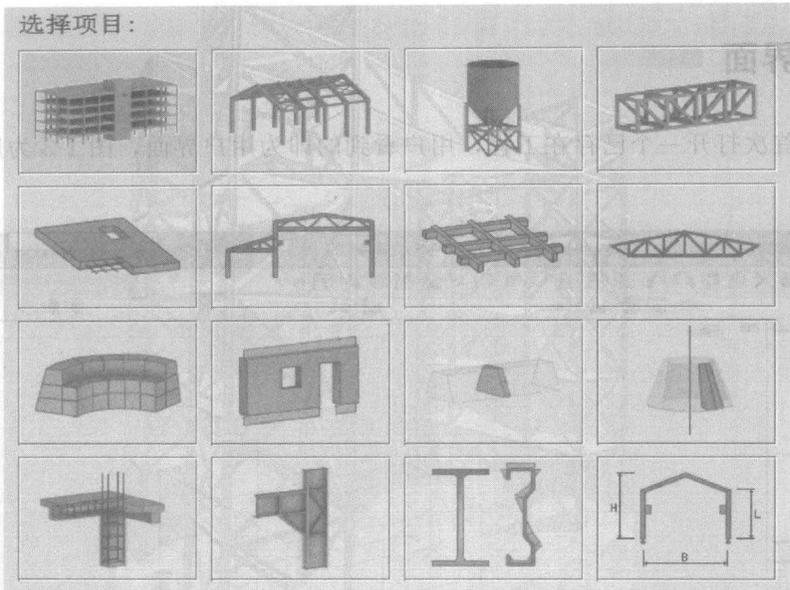


图 1-1 软件开启界面

1.2.2 结构类型

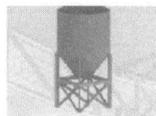
在新建工程界面，用户首先看到的主要是 4 个工程类型——建筑设计、壳设计、框架 3D 设计、框架 2D 设计。点击左侧的“更多”，则会出现如图 1-2 所示对话框。



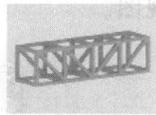
建筑设计



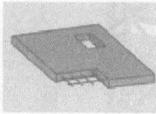
框架3D设计



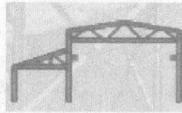
壳设计



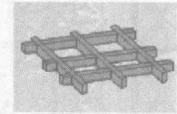
桁架3D设计



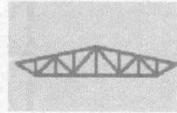
板设计



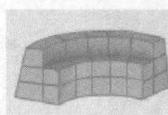
框架2D设计



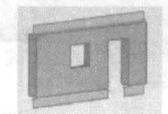
格架设计



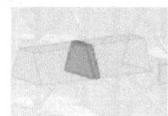
桁架2D设计



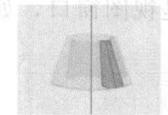
实体结构设计



平面应力结构设计



平面变形结构设计



轴对称设计



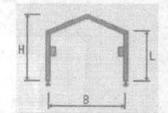
混凝土构件设计



连接设计



截面定义



参数化结构设计

图 1-2 结构类型对话框

1.3 用户界面

当 Robot 首次打开一个已存在工程，用户看到的即为用户界面，图 1-3 为用户界面的主要部分。

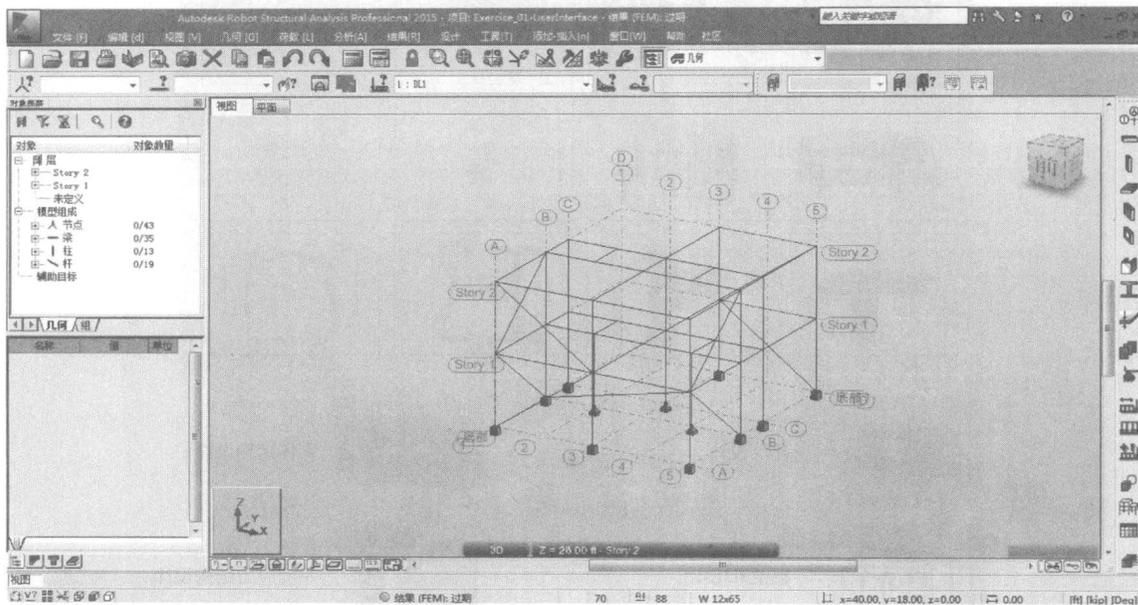


图 1-3 用户界面

1.3.1 工程视图窗口

用户界面中主要部分是视图窗口，如图 1-4 所示为模型的 3D 视图。

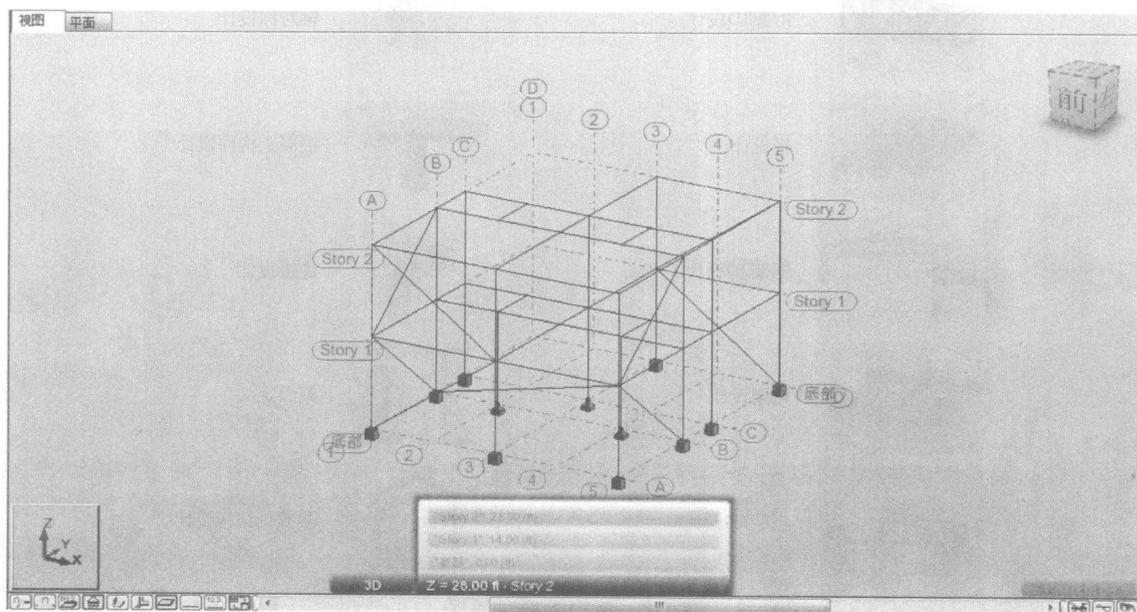


图 1-4 工程视图窗口

注意

注意工程视图窗口左上角有两个标签：“视图”和“平面”。这是由于图例文件以“建筑设计”结构类型保存，只有此种结构类型拥有“视图”和“平面”两个标签。所有其他工程类型只有一个默认的标签。

1.3.2 文件菜单栏

本书中会通过“/”表示下一步的步骤，如图 1-5 为“文件菜单”的一部分。例如：“文件/新的工程”表示“文件”的子菜单中的“新的工程”。

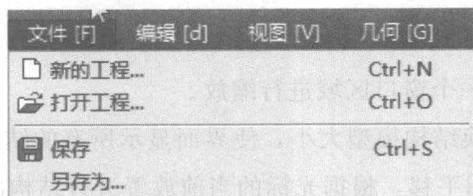


图 1-5 文件菜单

1.3.3 标准工具栏

如图 1-6 所示为“标准工具栏”。



图 1-6 标准工具栏

工具栏包括以下几部分。

(1) 标准工具 如图 1-7 所示。



图 1-7 标准工具

从左到右依次为

-  新的工程：关闭当前工程，新建一个工程。
-  打开工程：关闭当前工程，打开一个已存在的不同工程。
-  保存工程：保存当前工程，“保存”只有通过“文件菜单”可以实现。
-  打印：发送当前视图到打印机。
-  输出选择：当开始输出计算书时，选择是否输出包含在分析和设计计算里的数据。
-  打印预览：代表用户预览将要被打印的文件。
-  屏幕捕捉：很有用的工具，将在后面章节讲解。不仅可以捕捉构件、结果视图，而且可以随着新的结果或者模型重新配置而自动更新。
-  复制和粘贴：复制所选的截面并放入粘贴板中，在光标位置插入粘贴板内容。
-  撤销和重做：撤销上一个编辑项、重复上一个操作。

(2) 计算管理工具 如图 1-8 所示。

从左至右依次如下。

 计算：依照选定的参数进行运算。

 分析参数：打开荷载类型对话框，配置每个荷载工况或荷载组合的参数。

 结果冻结：冻结/解冻结构模型的更改。

(3) 视图控制工具 如图 1-9 所示。



图 1-8 计算管理工具



图 1-9 视图控制工具

从左至右依次如下。

 缩放范围：指定一个窗口区域进行缩放。

 全图：点击后切换结构模型大小，使界面显示所有的结构视图。

 旋转、缩放、视图平移：根据光标的当前放置进行结构的多功能修改。

 重画：一般不常用，但可刷新视图，尤其结果视图或者详细的结果视图。



提示

1. “缩放范围”按钮，从左到右指定窗口为放大，从右到左指定窗口为缩小。
2. “旋转、缩放、视图平移”按钮，按【ESC】键可退出。

(4) 附加工具栏 如图 1-10 所示。

从左至右依次如下。

 编辑：打开编辑工具栏，进行内部选项的操作，例如复制平移等功能选项。

 有限元网格生成的选项：打开网格工具栏，进行网格划分。

 视图：打开视图工具栏，对结构浏览进行不同角度的切换。

 工具：打开工具选项，选择常规工具，例如计算



图 1-10 附加工具栏

器、首选项等。

 对象管理对话框：显示/隐藏对象管理对话框，其中包括结构模型的列表和特性。

(5) 布置 如图 1-11 所示。

“布置选择”放置在标准工具栏的最右侧，能够帮助用户快速选择特定的菜单或者对话框，在后面的结果预览，混凝土设计和钢结构设计十分有效。

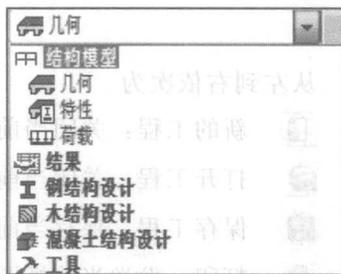


图 1-11 布置



注意

通过“布置”打开的界面，不能简单地点击右上角的<X>关闭界面。

1.3.4 选择工具栏

选择工具栏在标准工具栏的下方，如图 1-12 所示。



图 1-12 选择工具栏

从左至右依次如下。

节点选择器：打开节点选择对话框，用于同一类别节点的快速选择。

杆件选择器：打开选择对话框，快速选择杆、平面或者对象。

特别的选择。

在新窗口中编辑：可以将部分结构孤立，对其进行编辑和结果预览。当选中某些构件或节点，点击此按钮，则会打开只包含选中部分的新窗口。

工况和荷载组合选择器：进行结果预览时，选择不同荷载工况下的力。

结构类型选择器。

1.4 视图显示及导航

1.4.1 显示选项

(1) 显示开关 工程视图底部存在显示信息开关，如图 1-13 所示。可以通过开关快速切换显示的内容。



图 1-13 显示信息开关

由左至右依次如下。

前三个按钮开关显示元素的号：节点号、杆号、板号。

这 4 个按钮开关显示图形信息：支撑符号、截面形状、局部坐标、面板内部。

这两个按钮控制荷载的可见性：荷载符号、荷载值描述。

显示计算模型（有限元）的网格。

(2) 显示选项对话框 如图 1-14 所示。

① 打开方式。方式一：工程环境中单击鼠标右键，选择“显示”菜单。

方式二：通过“视图”/“菜单”选择，显示菜单。

② 选择对话框。该对话框拥有大量配置选项，读者可自行操作，通过观察工程视图中的变化来了解各选项的内容。

1.4.2 视图导航

1.4.2.1 鼠标中键模型导航

基本的视图导航操作由鼠标中键（即滑轮）完成，要点如下。

① 平移：按下中间滑轮，拖动鼠标。



图 1-14 显示对话框

② 缩放：前后旋转鼠标中间滑轮。

③ 旋转：按下【Shift】键和鼠标中间滑轮或者右键，移动鼠标。

注意

“旋转”操作，只有在选择“视图”时才能实现，当选择“平面”时则不能旋转。

1.4.2.2 View Cube

另一种常用旋转方法是：点击视图右上方的“View Cube”，通过点击热区来进行视图的旋转。

1.4.2.3 工程整体坐标系工具

单击左下方的，将打开视图对话框，如图 1-15 所示。



图 1-15 视图

如果用户工作环境是 2D 平面图，则可通过上述对话框进行调整用户所想要的平面。选择 3D 则给出典型的 3D 视图；选择 2D，通过后面的“XY” / “YZ” / “XZ”和“高度”可以确定平面的方向。

第 2 章

首选项和工程设置

本章导读 >>>

本章主要介绍前期准备工作中，软件的首选项和工程设置。包括语言、参数以及对工程单位、材料、数据库等的设置，促进读者对 Robot 软件的了解，为接下来的软件学习打好基础。

学习目标 >>>

- 1. 了解模型建立前的准备工作。
- 2. 熟悉首选项和工程首选项的内容。
- 3. 掌握各首选项所指定的内容设置及修改。

2.1 基本首选项设置

2.1.1 语言

打开首选项对话框“工具”/“首选项…”，将出现如图 2-1 所示对话框。下面将对其进行学习，首先介绍语言设置。

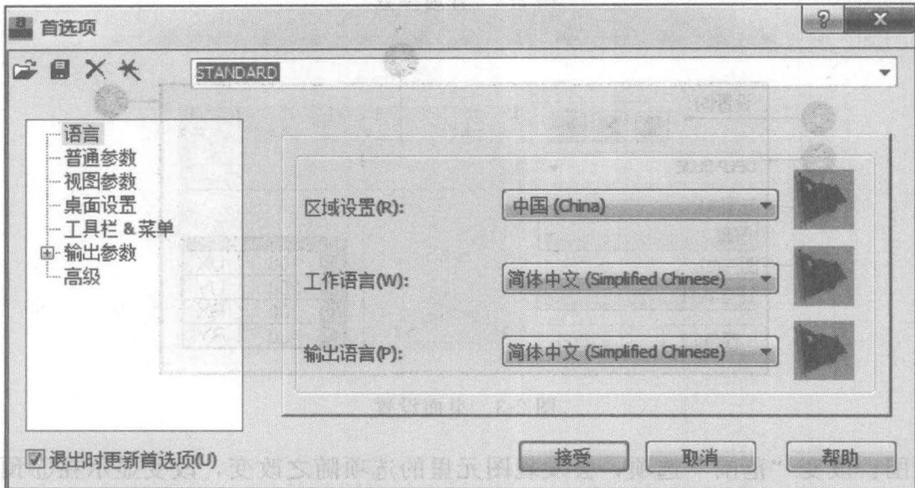


图 2-1 首选项

选择“语言”，则会出现三个子选项——“区域设置”、“工作语言”、“输出语言”，系统默认的是中文，读者可根据自己所处地区或者要求进行重新配置。建议的做法是先设定“区域设置”，然后据此通过“工程首选项”调整工程的设计规范。由于自动更改，所以当开始一个工程后，不建议进行“区域设置”的修改。



注意

若更改“区域设置”，则用户需要同时修改“工程首选项”里的“工程单位”、“材料”、“截面/构件数据库”、“设计规范”、“荷载规范”参数。

2.1.2 普通参数

普通参数选项包括“文件打开/保存”、“自动备份”、“自动保存和提醒”，对话框如图 2-2 所示。

2.1.3 桌面设置

软件内很多关于颜色的默认设置可以通过此标签更改。选择“首选项”里的“桌面设置”对话框，如图 2-3 所示，下拉菜单里有很多重新配置参数的设置，用户可以保存默认的或者一份被重新配置的组合。

- ① 集合管理区域：保存、删除和恢复默认。
- ② 背景颜色选择器：可调整不同的背景颜色。

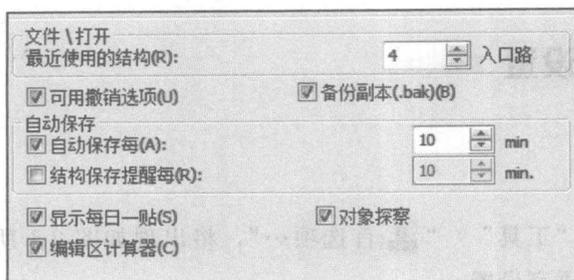


图 2-2 普通参数

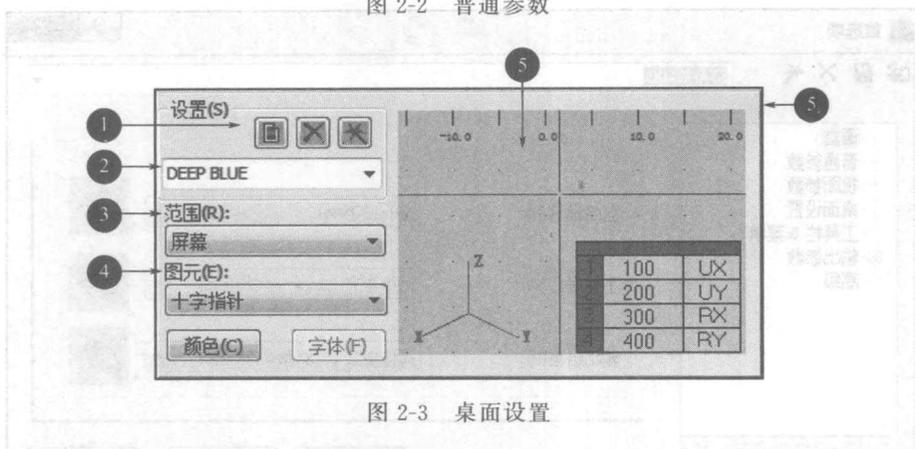


图 2-3 桌面设置

- ③ 范围：改变“范围”选项，会发现图元里的选项随之改变，改变显示在⑤预览窗口。
- ④ 图元：允许用户选择特定的构件，或者用户所希望设置的颜色及字体。
- ⑤ 预览窗口：不同的设置，可通过预览窗口看到改变的效果。

2.2 工程首选项设置

2.2.1 单位和格式

通过“工具”/“工作首选项选择”，打开“工程首选”项设置，弹出对话框。

在 Robot 软件里，通过不同类型的尺寸单位对每个工程进行总体控制。在工程首选项“单位与格式”第一行里，“零位格式”代表 Robot 将会怎样显示一个“零”数值。

(1) 尺寸 尺寸对话框如图 2-4 所示。

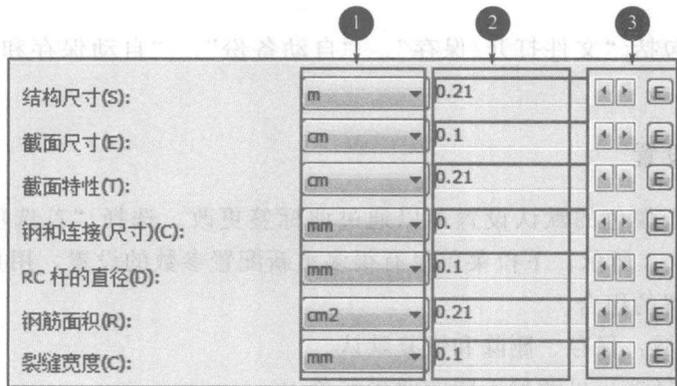


图 2-4 尺寸

① 显示的单位：例如米 (m)、英寸 (in)。

② 预览精度值：对于结果数值显示小数点后的精确度，通过③的左右箭头进行精度的增减。

③ 精度控制：左右箭头表示减或增显示的精度。<E>表示单位格式的改变，将变成科学计数法；例如 1.123×10^3 。

(2) 力 通过“工程首选项”/“单位和格式”/“力”打开力对话框，如图 2-5 所示。

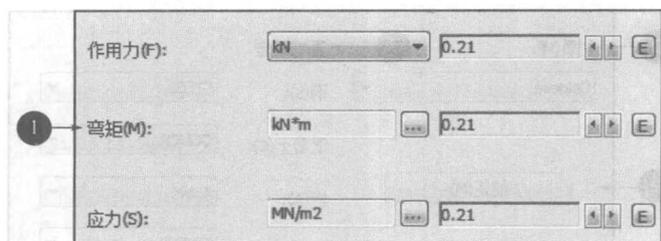


图 2-5 力

弯矩：在力这部分，组合单位比较特殊，需要通过省略号按钮，对每个量进行单独配置。如图 2-6 所示为“kN·m”的组合。

(3) 单位编辑 通过“工程首选项”/“单位和格式”/“单位编辑”打开对话框，“单位编辑”可以生成自己所要的单位，这些单位基于前面设置的单位。如果在对话框（图 2-7）中没有所需要单位，可以在第一行输入单位符号，点击“添加”。

所有的单位以“米”、“牛顿”、“千克”为基准，进行单位量的换算，例如， $1\text{in}=0.0254\text{m}$ 。

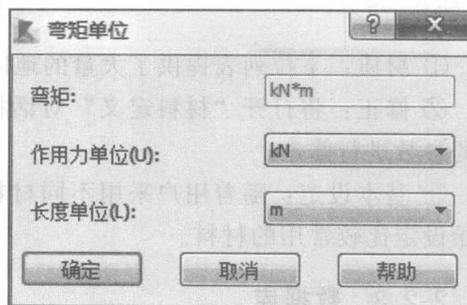


图 2-6 组合单位

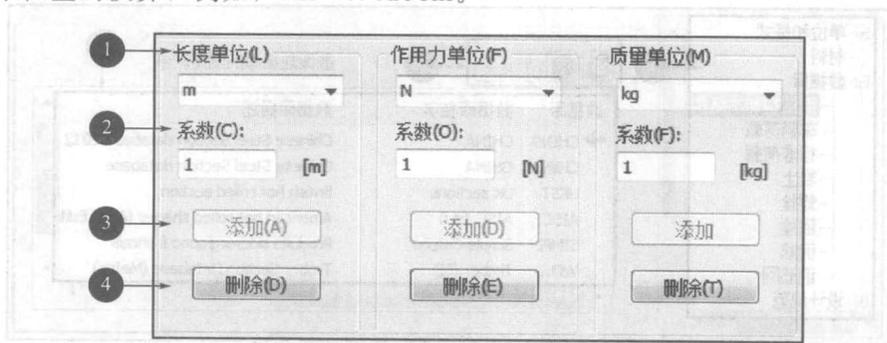


图 2-7 单位编辑

① 单位：手动键入一个新的单位名称，或者选择一个已存在单位进行修改。

② 系数：提供基于“米”、“牛顿”、“千克”的兑换系数。

③ 添加：用于添加单位，完成第 1 步后点击第 3 步“添加”。

④ 删除：删除单位下拉列表里的单位。



提示

单位名称一般不超过 9 个字母。

2.2.2 材料

通过“工具”/“工程首选项”/“材料”打开对话框，如图 2-8 所示，前面我们在“首选项”中设置的“区域设置”已经决定了这里材料的默认值，但可以通过下拉列表进行更改。

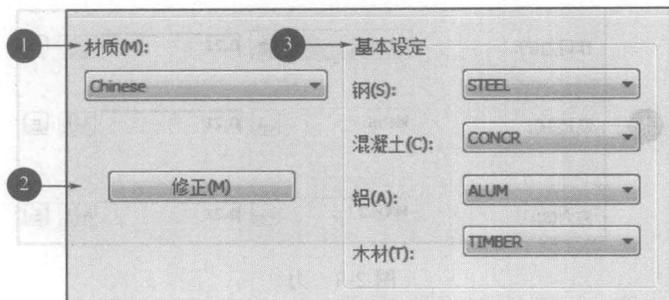


图 2-8 材料

- ① 材质：下拉列表提供了大量的地区选择。
- ② 修正：将打开“材料定义”对话框，对①中所选的地区材料，例如钢、混凝土、铝等的参数进行修正。
- ③ 基本设定：随着用户采用不同材料生成杆件，这里的材料会随之被分配，所以建议开始设定比较常用的材料。

2.2.3 数据库

通过“工具”/“工程首选项”/“数据库”打开数据库，如图 2-9 所示。



图 2-9 数据库

- ① 数据库群：选择不同的荷载数据库，或者改变③中的显示数据库。
- ② 增加、移除、重新排序按钮：管理③中显示数据库。
- ③ 显示数据库：红色箭头表示当前选择的表格行。

2.2.4 设计规范

通过“工具”/“工程首选项”/“设计规范”打开设计规范对话框，该标签设置规范用于构件规范检查和设计模型。读者可自行练习，体会何种规范适用于所列的材料，管理每种材料的规范列表，点击“更多”则打开“规范列表配置”对话框，如图 2-10 所示。

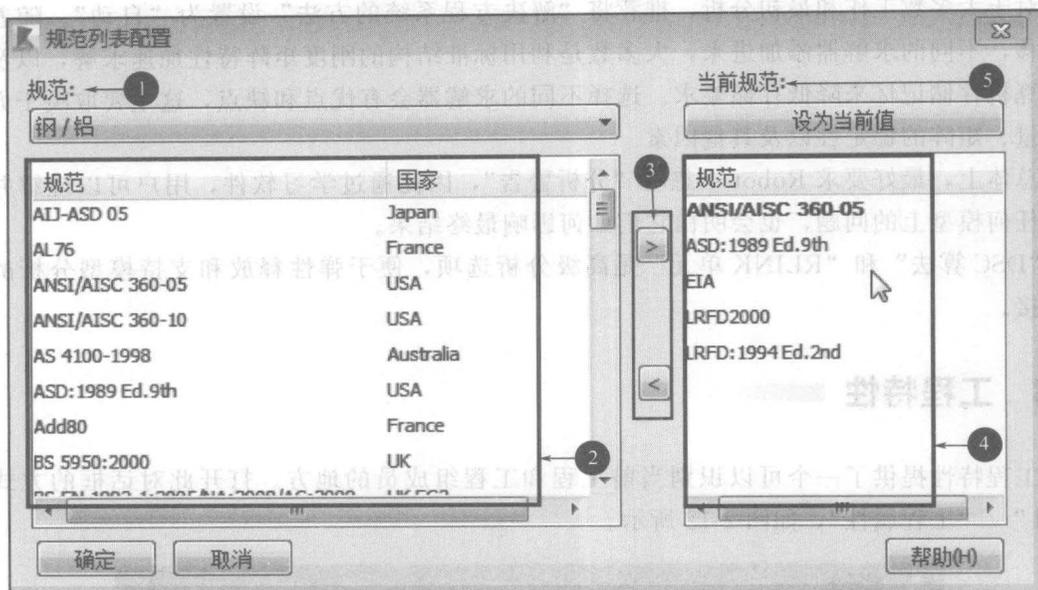


图 2-10 规范列表配置

- ① 规范：选择钢/铝、钢结构连接、木材、混凝土、岩土，也包括多种荷载——荷载组合、风/雪荷载、地震荷载。
- ② 待选规范列表：基于①中的可用规范列表。
- ③ 规范移动：添加左侧规范或者移走右侧规范。
- ④ 活跃规范列表：当前默认的规范被设置成黑体。
- ⑤ 设置当前值：更改当前默认选择的规范。

! 注意

可以通过“③”添加相应规范至“活跃规范列表”区作为备选，退回到上一级规范界面，可直接通过下拉键直接选择备选规范。

2.2.5 结构分析

这一标签包括解决方程系统法的设置、模型分析的设置和非线性分析的设置。结构分析对话框如图 2-11 所示。

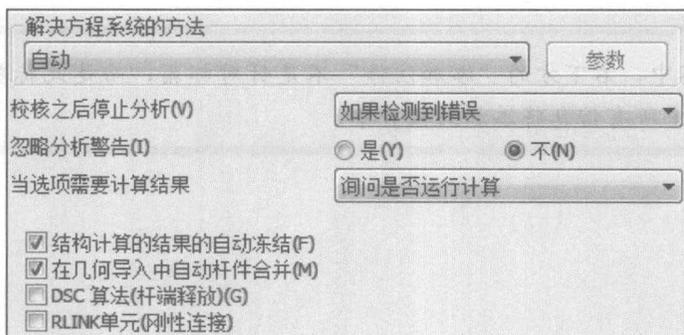


图 2-11 结构分析

对于大多数工作和最初分析，推荐将“解决方程系统的方法”设置为“自动”。随着时间推移，不同的求解器添加进来，大多数是利用标准结构的刚度矩阵特性加速求解，以及利用计算机存储记忆来降低存储要求。选择不同的求解器会有优点和缺点，这主要取决于方程的数量、矩阵的稳定性以及其他因素。

总体上，最好要求 Robot 不忽略“分析警告”，因此通过学习软件，用户可以理解并且处理任何模型上的问题，也会明白它们如何影响最终结果。

“DSC 算法”和“RLINK 单元”是高级分析选项，便于弹性释放和支持模型分析的刚性连接。

2.3 工程特性

工程特性提供了一个可以识别当前工程和工程组成员的地方。打开此对话框的方式为“文件”/“工程属性”，如图 2-12 所示。



图 2-12 工程特性对话框

图 2-12 所示对话框可以记录关于工程的相关信息。包括一个可查看工程信息的标签——“统计”便签。除非勾选“建筑师”标签里的“添加注释”，否则只有“工程”标签信息可被写进报告。

“统计”标签信息供参考，不会添加到报告中。

注意

“建筑师”标签中，右下方的“添加注释”不是针对邮箱，而是此标签的所有信息，所以勾选中后，标签中所有信息将添加到报告中。

第 3 章

基本的结构建模

本章导读 >>>

本章将讲解基本的建模技巧：生成并管理结构数据，建立结构轴网，建立构件单元即节点、梁、柱、墙等。学习完本章即可完成初等结构的模型建立。

学习目标 >>>

- 1. 熟悉 Robot 建模的基本流程。
- 2. 能够快速绘制轴网。
- 3. 掌握节点、杆件、截面、板的应用。

3.1 绘制结构轴网

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 作为一款优秀的结构分析软件，采用了强大的网格生成技术，这种技术使结构工程师能够轻松地处理最复杂的模型。结构网格可用于辅助结构布局和几何配置，确定 Robot 软件已经准备好建模，首先应检查 Robot “布置选择器”是否处于“几何”选项。

3.1.1 结构轴对话框

工程网格或者结构轴对话框打开方式：通过“几何”/“轴定义”打开或者点击右侧工具栏的“”按钮打开。对话框如图 3-1 所示。



图 3-1 结构轴对话框

① 结构轴名称：可以选择现有的轴名称进行修改，或者可以选择⑧“新的”按钮新建一个名称。

② 坐标类型：

笛卡尔：坐标轴可正交正放，也可成一定角度。
柱面：以某点为中心，成放射状。

③ 高级参数：打开笛卡尔下高级参数，未勾选“相对点的轴”时，坐标以(0, 0, 0)为参考点，相对于它建坐标系；当勾选“相对点的轴”时，输入坐标值，则坐标系整体以所设的坐标为参考点。

④ 坐标轴：当选择“X”轴时，所建立的坐标轴将垂直于 X 轴；Y 轴与 Z 轴同理。

⑤ 轴编辑区：该区主要陈列被设置的轴。“位置”表示以该点为参考点，“重复的编号”表示将要设置的轴线数量，“距离”表示相邻两轴线的间距。通过点击“添加”、“删除”编辑将要陈列的结构轴网。

⑥ 编号：选择不同方式来表示轴号，例如“1, 2, 3...”“A, B, C...”。

⑦ 轴管理：打开“轴管理”，可以管理轴网的可见性以及删除轴网。

⑧ 新的：点击“新的”，将对轴网绘制进行重新定义。

注意

在“坐标轴”中，若用户使用 Robot 进行结构分析或者地震分析，则应选择使用“层”命令对结构的层高进行设置；而不能通过结构轴网中“Z”轴对层高进行编辑及设置。

3.1.2 练习——绘制结构轴网

• 打开 Robot 软件，新建工程选择“壳”。

• 通过“几何”/“轴定义”或者右侧工具栏，打开“结构轴”对话框，如图 3-2 所示。

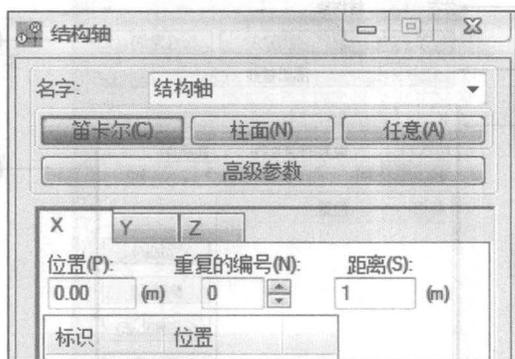


图 3-2 结构轴

① 轴名称自定义，可用默认的“结构轴”。

② 选择“笛卡尔”。

③ 选择 X 轴，“位置”处输入 0.00；“重复的编号”输入 2；“距离”输入 10；“编号”选择“A, B, C...”。

④ 点击“添加”。

• 切换到 Y 轴，相似的步骤，“位置”输入 0.00；“重复的编号”输入 2；“距离”输入 10；“编号”选择“1, 2, 3...”；点击“添加”。

• 完成上述操作，点击对话框底部的“应用”。

• 如果选择“壳”结构类型（如本例），结构视图的默认方向为 ZX 平面，因此刚刚所绘制的轴网不会显示。此时点击左下角的工程坐标系图标，如图 3-3 所示，选择“2D”和“XY”，则轴网将显示。



图 3-3 坐标系

- 现在点击“新的”，开始新的设置。

- 选择“柱面”，点击“P (0.00, 0.00, 0.00)”，显示“高级参数”；用鼠标单击其坐标输入区（发现变绿），此时鼠标移动到视图区，点击之前绘制轴网的“C2”点，则变绿区显示为 (20.00, 10.00, 0.00)。

- 选择“径向”，“位置”处输入 1.5；“重复的编号”输入 1；“距离”输入 1.5；“编号”选择“1, 2, 3...”；点击“添加”。

- 切换到“角”，“位置”处输入 20；“重复的编号”输入 7；“距离”输入 20；“编号”选择“A, B, C...”；点击“添加”。点击“应用”。最终结果如图 3-4 所示。

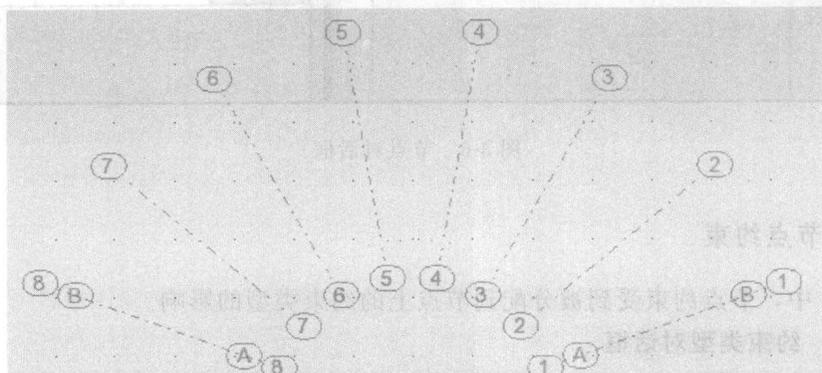


图 3-4 柱面轴网

3.2 节点

3.2.1 节点定义

① Robot 中布局对话框可被当做布局选择器，包括节点对话框。当对话框打开时，利用鼠标可以快速定义节点。通过“几何”/“节点”打开节点对话框，如图 3-5 所示。

如图 3-5 所示，当坐标区变绿时，可以手动输出坐标值，点击“添加”来定义所需节点；或者提前在视图使用“笛卡尔”绘制轴网，当上图坐标区变绿时，移动鼠标点击工程环境中的位置，Robot 会自动聚焦至网格交汇点。



图 3-5 节点对话框

注意

不能通过<ESC>关闭布局对话框，只能通过“关闭”或者切换到另一对话框。

② 如果所选结构类型为“壳设计”、“3D 框架”、“2D 框架”，依然可以使用节点布局。首先，选用上一节“绘制轴网练习”中“笛卡尔”的坐标系，通过“布局选择器” / “结构模型” / “节点”打开节点对话框，如图 3-6 所示。

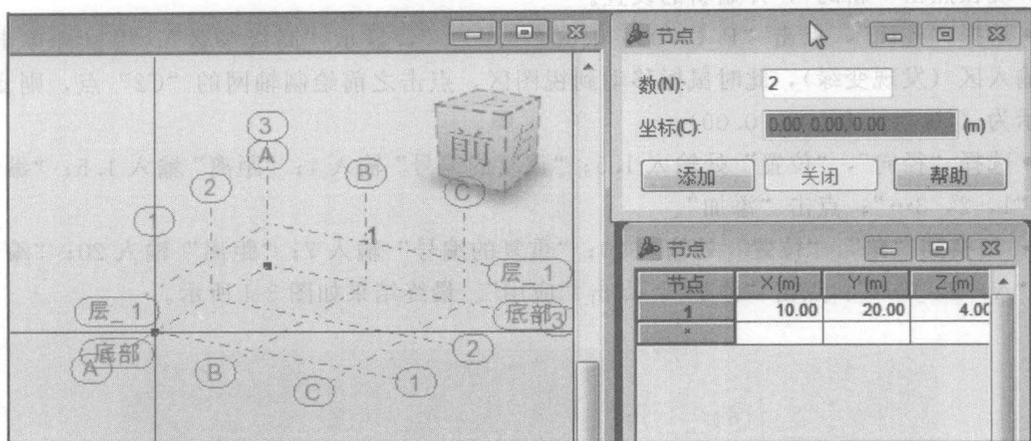


图 3-6 节点对话框

3.2.2 节点约束

在 Robot 中，节点约束受到被分配到节点上的约束类型的影响。

3.2.2.1 约束类型对话框

约束类型对话框如图 3-7 所示，启动约束类型对话框的方式见图 3-7。

- (1) 通过“几何” / “约束”打开。
- (2) 点击右侧工具栏约束按钮  打开。



图 3-7 约束类型

① 标识和列表视图管理工具

- a.  新的约束定义。
- b.  从可用列表中删除约束。
- c.  列表显示选项（大图标视图、小图标视图、标准列表、详细的列表）。
- d.  删除当前不用的约束类型。

e.  标识管理，也可以通过“工具”/“标识管理”打开。

② 应用的约束类型：在选择构件前，先选择要应用的线性或者平面约束标签。

注意

线性的约束不应该用于杆件单元。

③ 列表区：陈列当下工程所有被配置的约束。可以使用①b. 提到的“删除”按钮删除相应的约束类型。

3.2.2.2 新建一个约束类型

打开“约束定义”方式如下。

(1) 点击“约束”对话框上方的  按钮，定义一个全新的约束类型。

(2) 双击任何一个存在的约束类型去修改配置。

两种方式将打开相同的对话框，如图 3-8 所示。

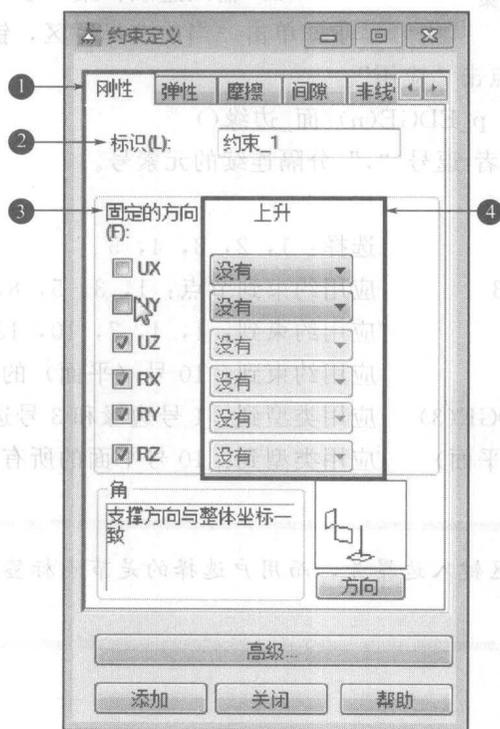


图 3-8 约束定义

① 约束参数选择：包括刚性、弹性和其他类型，了解非线性约束的知识。

② 标识：避免重复使用相同的标识，否则软件会提醒重写标识。建议使用默认标识即可。

③ 固定的方向：这些是基于工程坐标体系的节点约束，线性、平面约束可作用于局部坐标系。“U”表示沿特定的轴移动，“R”表示绕特定的轴旋转。

④ 上升：释放某单一方向的方法。例如，如果把重力约束施加在结构基础上但不希望考虑任何抗拔力，则选择 UZ+，释放 Z 正方向允许位移。相应的，结构不会在 Z 轴负方向发生位移。

3.2.2.3 应用约束到节点上

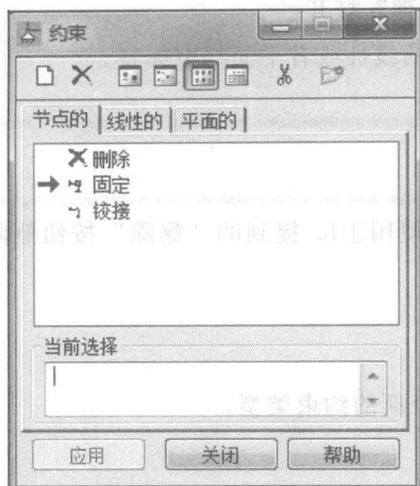


图 3-9 点击应用约束

“约束”对话框下方部分为选项编辑框，用于选择特定构件进行约束施加。可以手动输入节点或者杆件编号，也可以直接点击视图中的构件来施加约束。

(1) 点击应用：在约束定义对话框中，首先，选择顶部适当的标签——“节点的、线性的、平面的”，应保持所选标签类型与所要添加约束的元素类型一致；其次，选择所要添加的约束类型（箭头指示当前选择的约束类型），如图 3-9 所示；最后，移动鼠标到工程区，点击所要添加约束的构件，即可应用。

(2) 输入选项：第一步，选择相应的标签；第二步，单击“当前选择”区，键入所要添加约束的节点

号或者杆件号；第三步，点击“应用”。

关键词：all, to, by, p_EDGE(n)/面_边缘()

分隔符：“空格键”或者逗号“,”分隔连续的元素号。

例如：

a. 1 2 3 4 5

b. 1to5by2, 8, 10to13

c. 1to13by3

d. 10_EDGE(1)

e. 10_EDGE(1)10_EDGE(3)

f. 10 (假设 10 号是一平面)

选择：1, 2, 3, 4, 5

应用约束到节点：1, 3, 5, 8, 10, 11, 12, 13

应用约束到：1, 4, 7, 10, 13

应用约束到：10 号（平面）的 1 号边缘

应用类型到：1 号边缘和 3 号边缘

应用类型到：10 号平面的所有边缘

注意

如果在“当前选择”区键入边界号，而用户选择的是节点标签，则当点击添加时 Robot 会忽略这个选择。

3.3 杆件

3.3.1 杆的定义

3.3.1.1 杆对话框

Robot 中“杆件建模”意味着线性元素。杆建模不仅涉及几何定义，而且是多种设置的集合。Robot 中每个杆有两个主要的特性：“杆类型标识”和“截面类型标识”。

打开杆对话框方式如图 3-10 所示。

(1) 通过“几何”/“杆”打开。

(2) 如果选择“壳设计”、“3D 框架”/“2D 框架设计”，也可通过“布局选择器”/“杆”打开。



图 3-10 杆对话框

① 数和步：这部分建议由软件自动管理。

② 构件名字：Robot 自动命名方式定义构件，这种方式也会被用在规范-检验验证和设计中。使用右侧“省略号”可调整命名的格式，将会在本节第 2 部分讲解。

③ 杆件类型：此标签存储了所有关于规范检验的特性，例如无支撑长度的屈曲检验等，将在本节第 3 部分讲解。

④ 截面：该项包含关于结构截面类型的信息，例如 W16×40。截面下拉列表的数值取决于 3 中杆件类型的选取，即只有杆件属于 3 中“杆件类型”，才会出现在截面下拉列表。

⑤ 默认材料：该项显示了当前截面配置所用的材料（“几何”/“材料”可打开材料对话框）。

⑥ 节点坐标：输入构件起点和终点的坐标值来定义构件；或者移动鼠标到起点区（变绿），然后移动鼠标到工程环境选择某个位置。当选择完“起点”后，会自动切换到“终点”。

⑦ 拖动：勾选“拖动”，则构件前一个终点为下一个的起点。使用该项在布置横梁时会特别有用，可连续布置。

3.3.1.2 杆名称

修改杆件的名称，使用杆对话框中“名字”右侧的省略号，打开“杆件”/“对象名称”对话框。也可以通过“几何”/“杆”/“对象名称”打开对话框，如图 3-11 所示。

① 变量选择：点击下拉列表，可选择软件预先设定的变量。此概念中的“%n”表示对象名称或者“实体名称”。可选择下拉列表中任意一个，点击“增加”添加到编辑区。

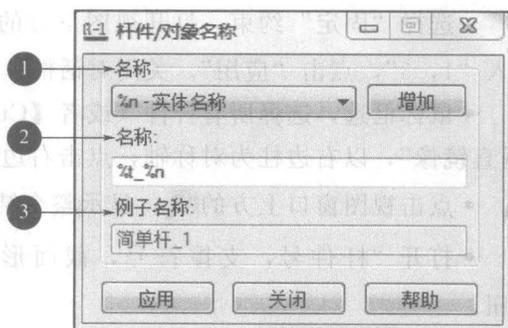


图 3-11 杆件/对象名称

② 名称：你可以添加任何可用的符号，生成一个独一无二的名称格式。随着配置“名称语法”，可预览下面③中的“例子名称”所显示的样子。

③ 例子名称：②中设置的“语法名称”，会显示在该标签，以供预览。

3.3.1.3. 杆类型

杆对话框中的“杆件类型”标签，不仅可以设置用于规范检验和设计的构件类型，而且可以控制“截面”标签的选项。

我们将讨论“钢”和“混凝土”设置。新建一个杆件必须有属于它的杆件类型、杆件规范参数。本书的例子将采用 Robot 提供的“GB 50017—2003”用于钢结构设计，采用“GB 50010—2002”用于混凝土设计。

配置杆件类型，点击标签右侧的省略号，若默认材料为钢，则打开的对话框为“构件定义-参数-GB 50017—2003”

3.3.2 练习

下面我们来简单练习一个 2D 框架设计：

打开 Robot 软件，选择“2D 框架设计”，进入界面，视图以 XZ 平面为默认视图方向。

点击右侧工具栏的“杆”按钮，打开对话框。

设置“杆件类型”为柱（选择何种构件对于分析并不是很重要，但会影响下面的构件设计参数，例如约束位置、屈曲长度等）。

定义截面为“BH 350×350×1”。

注意

如果下拉列表里没有所需截面，则点击“截面”右侧省略号，进入“新截面”对话框，设置新的所需要的截面。

- 在起点和终点分别输入以下坐标（英文状态下输入）。
- 第一个柱坐标：(0, 0) 和 (0, 3)，点击“添加”。
- 第二个柱坐标：(7, 0) 和 (7, 3)，点击“添加”。
- 改变“杆件类型”为梁，定义截面为“BH 350×350×1”。
- 在起点和终点分别输入以下坐标（英文状态下输入）：(0, 3) 和 (7, 3)，点击“添加”。关闭对话框窗口。
- 点击约束按钮, 进入对话框。
- 选择“固定”约束，打开视图下方的节点号，将鼠标移动到“当前选择”区域，输入“1, 3”，点击“应用”。关闭对话框。
- 鼠标框选，选择所有杆件（或者【Ctrl+A】），然后点击“编辑”/“编辑(d)”/“垂直镜像”，以右边柱为对称轴，点击右边柱即可，关闭对话框。
- 点击视图窗口上方的, 显示整个结构。
- 打开“杆件号，支撑符号，截面形状”显示，分别点击下方的, , 按钮。
- 最终效果图如图 3-12 所示。

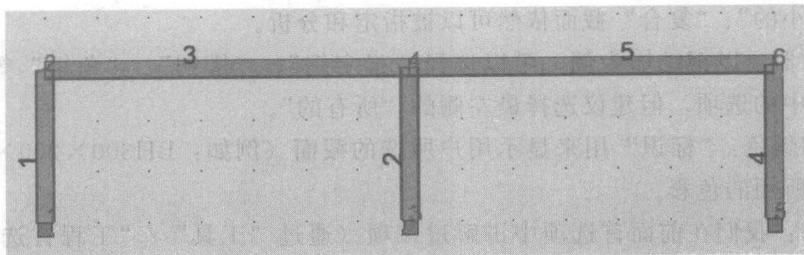


图 3-12 练习效果图

3.4 截面

3.4.1 截面定义

选择杆对话框中“截面”标签右侧的省略号按钮，打开“新截面”对话框，如图 3-13 所示。在这里可以配置所有类型的新截面，并且添加到“截面”标签的可用截面列表中。



图 3-13 新截面

查看上图为钢结构材料下的新截面，如图中“1”所示，读者应该注意，定义新截面时首先观察①处的类型截面。

① 截面类型

a. 选项如图 3-14 所示。

b. 整个对话框将基于图 3-10 杆对话框的设置进行。如果设置的新截面类型与“杆”对话框中开始选择的“杆件类型”一致，则新截面设置完毕点击添加，在“杆件类型”下拉列表即可出现刚刚定义的新截面。否则需要切换“杆件类型”与新截面的截面类型相同，才可显示。

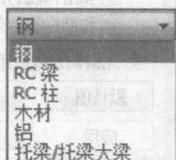


图 3-14 选项

② 新建的类型标签：Robot 软件可以新建、管理、分析很多不同的截面类型，本书中我们将设置“标准”截面类型，但是应该注意“参数

的”、“逐渐变小的”、“复合”截面依然可以被指定和分析。

③ 族过滤器：以钢结构为例，可以选择“工字钢”、“槽钢”、“角钢”等，以此减少⑥中下拉列表中的选项，但建议选择最左侧的“所有的”。

④ 标识和颜色：“标识”用来显示用户所选的截面（例如：BH300×200×1），“颜色”用来指定显示所用的色彩。

⑤ 数据库：我们在前面首选项中讲解过该项（通过“工具”/“工程首选项”/“数据库”/“钢结构和木结构截面”打开），通过它的设置可以为现在的“数据库”下拉列表服务。

⑥ 族：“⑤数据库”的选择将影响到“⑥族”的显示，例如，“⑤数据库”为中国，则“⑥族”最常用的是“BH”（焊接工字钢）。

⑦ 截面：对应于“⑥族”的选择，来指定截面的数值。

⑧ 默认材料：该项显示当前新添截面的默认材料（可由“工具”/“工程首选项”/“材料”来修改指定）。

注意

对话框中应该注意右下方“弹塑性分析”，勾选后，将指定该构件拥有弹塑性特性，并且点击“弹塑性分析”将进行参数配置，这种高级分析本书暂时不进行过多涉及。

完成上述配置后，切记点击“添加”；直接点击“X”关闭对话框将不会保存任何信息，包括不能在“截面”下拉列表中出现。若需要连续设置多个新截面，则每次设置完对话框信息后点击“添加”，直至完成所有的截面设置。

3.4.2 练习

- 新建一个工程，选择建筑设计；进入界面，指示当前处于“Z=14.00m-层_1”。
- 确定“栅格”“标尺”处于开启。

① “视图”/“栅格”/“打开/关闭”。

② “视图”/“栅格/尺”。

③ “工具”/“捕捉设置”（图 3-15）。

• 打开柱布置工具“几何”/“柱...”，或者点击右侧工具栏按钮，出现柱对话框。

• 在“柱”对话框中，点击“名称”右侧的省略号，打开“杆件/对象名称”对话框，如图 3-16 所示。在第一栏依次选择“%o-结构对象”、“%n-实体名称”“%l-层”点击“添加”。第二栏则出现“%o%n%l”，在%o和%n之间加下划线，在%n和%l之间加破折号，最终为“%o_ %-n%l”（或者尝试你自己独特的连接方式）。

• 在“杆件/对象名称”对话框中，点击“应用”。

• 界面类型选择“钢柱”。

• 点击“截面”右侧省略号，出现“新截面”对话框

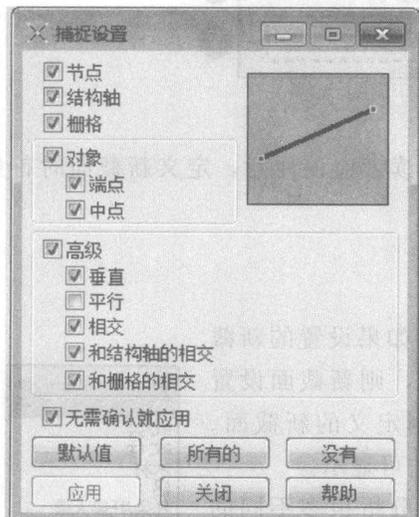


图 3-15 捕捉设置

框(图 3-17);选择“标准”,数据库选择“CHINA”,族选择 BH 族,截面选择 BH 350×350×1,单击“添加”,然后“关闭”。

- 现在点击“起点”(变为绿色),在视图窗口中移动鼠标,注意“起点”的坐标变化。此时我们应用 3.1 中轴网练习的例子作为本练习的轴网。将柱子布置在“C3”、“C2”、“B3”、“B2”,如图 3-18 所示。

- 关闭“柱”,打开“梁”对话框,名称依然用上述方案,点击“截面”右侧省略号,打开“新截面”添加“BH 350×350×1”,点击关闭。

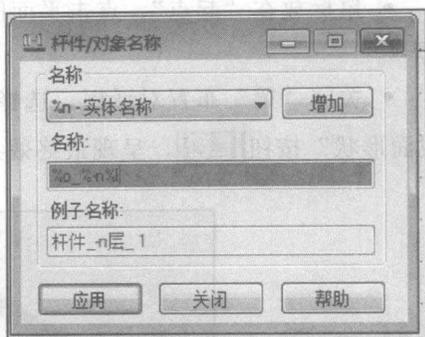


图 3-16 “杆件/对象名称”对话框

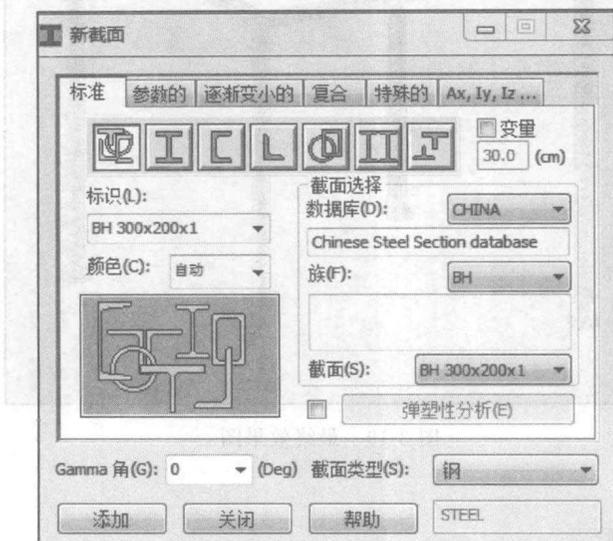


图 3-17 “新截面”对话框

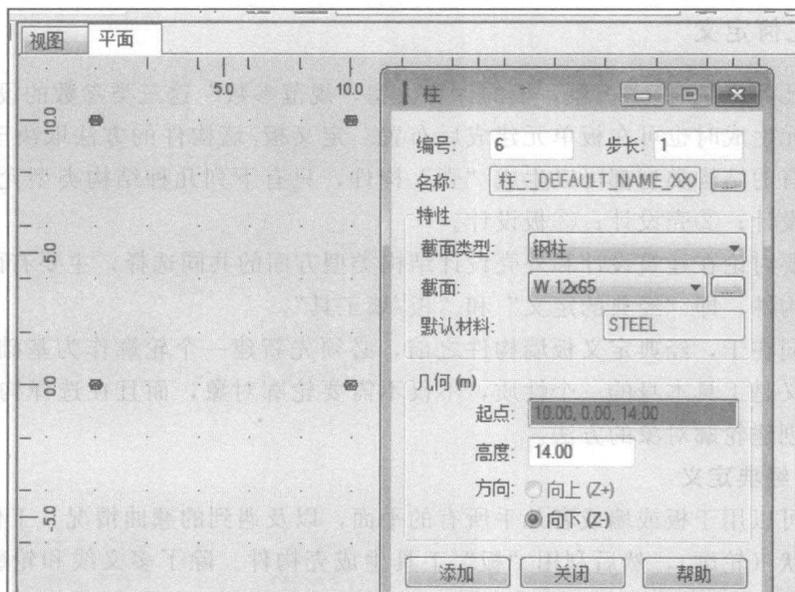


图 3-18 柱子界面

- 鼠标放在“起点”，点击平面图中的柱子顶点进行梁的布置（可以单击“拖曳”提高效率）。
- 关闭“梁”布置对话框，选择窗口上部的“视图”标签 **视图** **平面**，并且选择底部的“截面形状”按钮 ，呈现最终效果图 3-19。

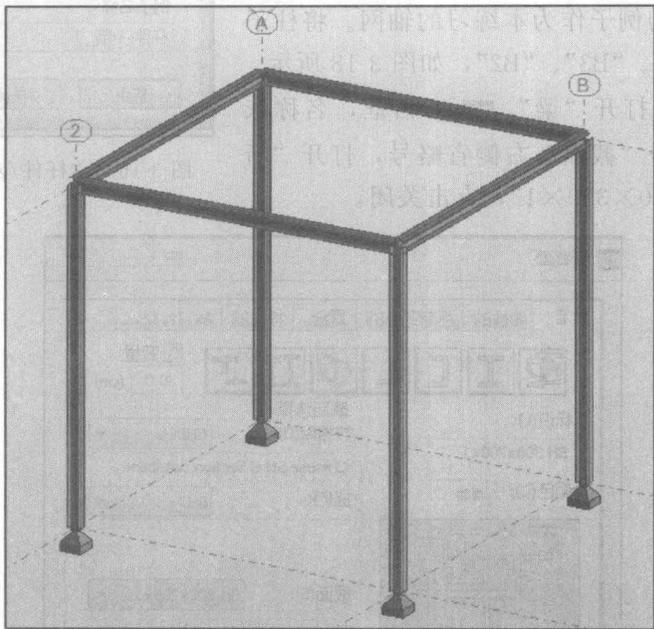


图 3-19 最终效果图

3.5 板和墙

3.5.1 几何定义

用户开始几何定义时，“板厚，板的计算模型，规范参数”这三类参数的设定相对自由，既可以在板单元生成时也可在板单元建成后布置。定义板/墙构件的方法取决于所选的结构类型，不是所有的结构类型都可以生成“壳”构件，只有下列几种结构类型允许配置板/墙元素：①建筑设计；②壳设计；③板设计。

我们将主要讨论在建筑设计和外壳设计结构类型方面的共同选择，主要有两个主要的选择定义板和墙构件，即“经典的定义”和“板/墙工具”。

两者的不同在于，经典定义板墙构件之前，必须先新建一个轮廓作为基础；板/墙工具方法，边界定义是工具本身的一个性质，不仅不需要轮廓对象，而且在选择构件的边界时，也不使用以前创建轮廓对象的方法。

3.5.1.1 经典定义

这种方法可以用于板或墙或者几乎所有的平面，以及遇到的翘曲情况。工作流程是先建立一个几何形状（轮廓），然后利用“板”工具生成壳构件。除了多义线和轮廓外，还可用梁的闭合环或其他对象定义一个平板轮廓。

注意

由轮廓或者线集合以及多义线等定义的平板边界会在生成平板时被消耗，即当在模型中利用它们生成平板时，它们将消失不再存在。

新建一个轮廓或者边界线，通过“几何”/“对象”/“多义线-轮廓”打开对话框，如图 3-20 所示。

① 定义方法：选择需要的定义方式。

a. 线：直线段。

b. 多义线：多条线段串在一起，不需要闭合。线段可以是直线或者曲线。

c. 轮廓：自由闭合的多义线，线段可以是直线或者曲线。

② 几何：定义各顶点的配置方法选择——一段，弧起点-中心点-终点，弧起点-终点-中心点。

③ 参数：包括关于弧离散化和倒角的高级设置。弧离散化指当以弧线定义多义线或者轮廓时，弧线的段数被离散确定（即边缘数量越多，曲线越圆滑）。

下面对多义线-轮廓对话框中的标签进行说明。

(1) 几何 首先选择所需的定义方法类型：线、多义线或轮廓。

线：此时“几何”标签下将显示如图 3-21 所示两顶点对话框，可以手动输入两点坐标或者在工程视图中鼠标点击输入坐标。

多义线或者轮廓：几何标签下会显示如图 3-22 所示几何配置对话框。对于多义线绘制，双击最后一个顶点可完成绘制；对于轮廓，双击最后一个顶点或者单击起始点，都可完成轮廓绘制。



图 3-20 多义线-轮廓

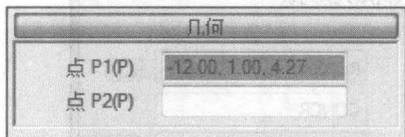


图 3-21 顶点框

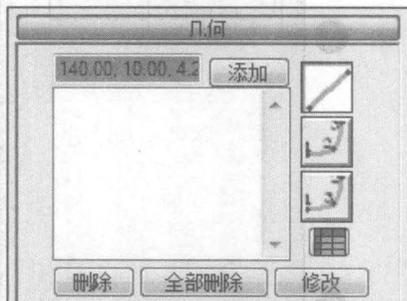


图 3-22 几何配置框

注意

多义线与轮廓不同：多义线可以不闭合，轮廓必须闭合。

(2) 对象识别 板和轮廓看起来很像，图 3-23 显示的是轮廓和板。

比较两者的不同，对于轮廓，亮一些的线位于外侧包围这个几何形状，且整个平面与环境颜色相同；对于板，亮线位于内侧并且整个平面像被粉刷过一样颜色加深。

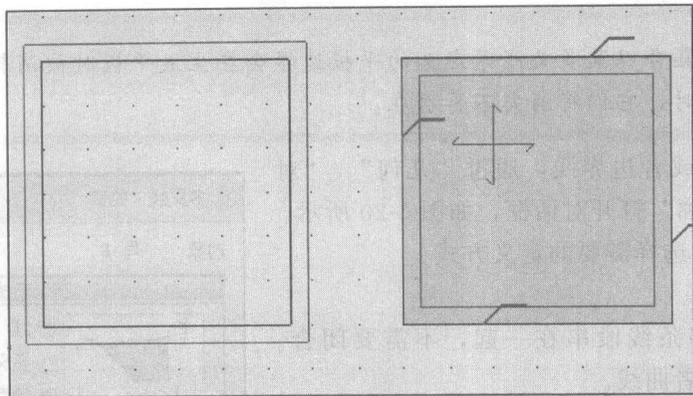


图 3-23 轮廓和平板

我们称亮一些的线为“指示器”，当轮廓或多义线生成板时，其“指示器”将消失。读者可操作，当以图 3-23 左边“轮廓”作为边界生成“板”时，最终将变成右图。

(3) 板的建立 当存在一个已经被定义的板的外围线，或者存在以一个闭合梁或墙组成的板的边界线，那接下来就可以使用板工具进行板的建立，通过“几何”/“板...”打开“板条”对话框，如图 3-24 所示。

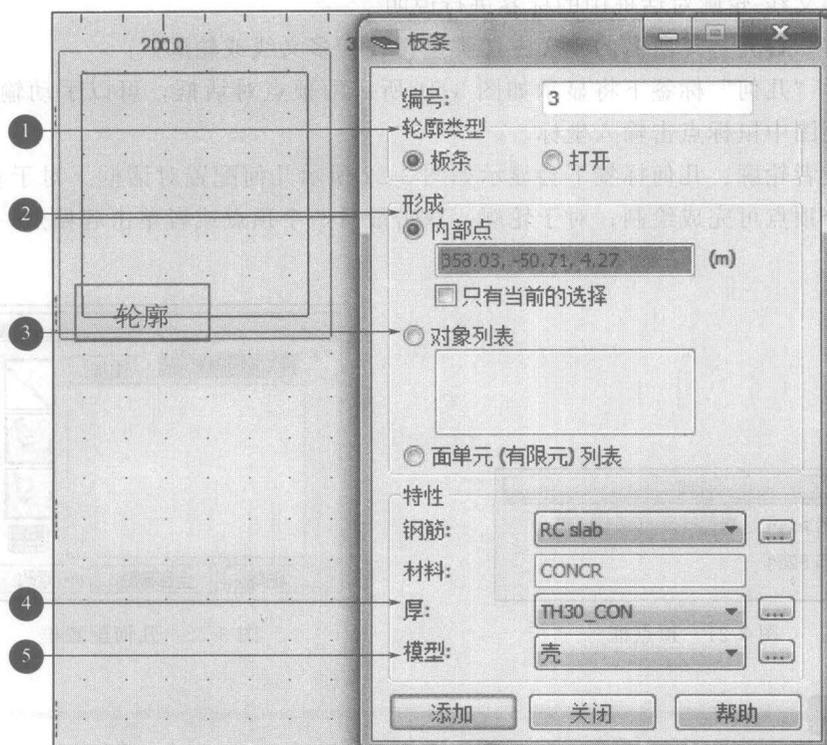


图 3-24 板条

① 轮廓类型：“板条”表示把轮廓变成板，“打开”表示将已存在的板打开变成轮廓。

② 形成——内部点：选择“内部点”，简单指定工程视图中一个已存在的由梁、墙、轮廓或者多义线组成的闭合环，则软件自动生成平面来充满刚才选定的闭合环。

注意

如果需要配置其他参数，例如“钢筋”、“厚”等，则需要提前指定在建立“板”。

③ 形成——对象列表：形成轮廓的另一种方法，选择轮廓对象的一部分填入列表中，点击“添加”即可生成板。

④ 厚：厚和其他界面特性。选择之前定义的“标识”下拉列表或者点击右侧省略号来新建一个标识。

⑤ 模型：这是计算模型标识，用户将施加该模型到即将生成的板。同样，选择之前定义的标识下拉列表或者点击右侧省略号来新建一个标识。

3.5.1.2 板和墙工具定义

随着 Robot 发展，板和墙工具被添加进来，如果使用 Autodesk Revit 软件，用户会发现两者在建立板墙方面有很大的功能相似性。

(1) 板对话框 通过“几何”/“板”打开板工具对话框，如图 3-25 所示。

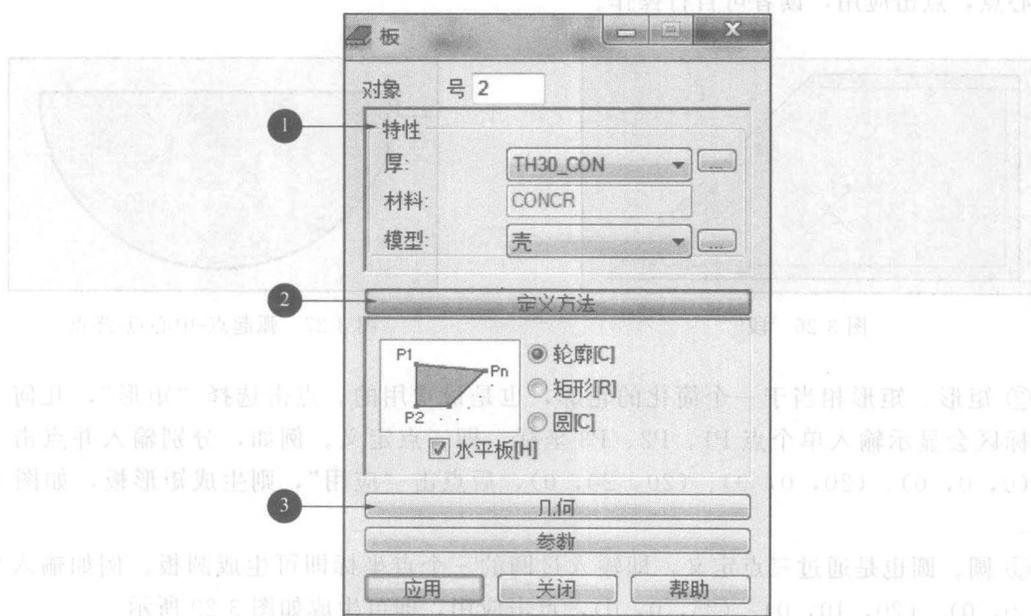


图 3-25 板

① 特性

a. 厚：厚和其他界面特性。选择之前定义的标识下拉列表或者点击右侧省略号来新建一个标识。

b. 材料：这是一个只读特性，已经由“厚”决定。

c. 模型：这是计算模型标识，用户将施加该模型到即将生成的板。

② 定义方法

a. 轮廓：自由闭合的多义线，线段可以是直线或者曲线。

b. 矩形：由三点即可定义。

c. 圆：三点简化定义。

d. 水平板：该选项将使生成的板在工程中保持水平，忽略 Z 轴的影响。

③ 几何：定义几何时，各顶点的配置方法选择。该标签取决于“定义方法”的选取。

(2) 几何-板 下面将结合例子对各几何类型进行讲解，打开“建筑设计”界面，调整Z的高度为“0”（可在视图下方看到 $Z=0.00\text{m}$ ），打开“板”对话框，首先选择所需的定义方法——轮廓，矩形，圆。

① 轮廓

a. 段：确定“轮廓”方法后，首先选择“段”，然后点击几何下方的坐标输入区（变绿），此时分别输入坐标 $(0, 0, 0)$ 、 $(0, 10, 0)$ 、 $(10, 10, 0)$ 、 $(20, 0, 0)$ ，每次输入坐标点击“添加”，当四个坐标添加完毕后，点击“应用”，即可生成板，如图3-26所示。

b. 弧起点-中心点-终点：在轮廓下选择“弧起点-中心点-终点”，在几何下方的坐标区分别输入坐标 $(20, 10, 0)$ 、 $(30, 0, 0)$ 、 $(40, 10, 0)$ ，每输入一点则点击“添加”，输入完毕后点击“应用”，效果图如图3-27所示。

c. 弧起点-终点-中心点：与b.相似，不同之处在于先输入起点，后输入终点，最后输入中心点，点击应用，读者可自行操作。

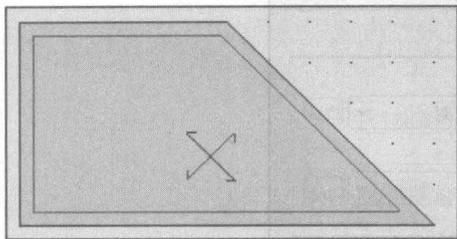


图 3-26 段

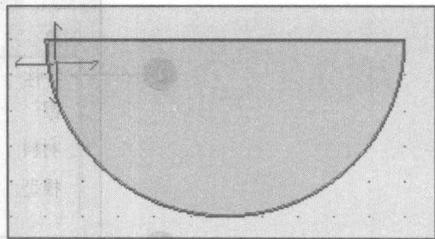


图 3-27 弧起点-中心点-终点

② 矩形。矩形相当于一个简化的轮廓，也是最常用的。点击选择“矩形”，几何下方的坐标区会显示输入单个点P1、P2、P3坐标，即三点定义。例如，分别输入并点击“添加” $(0, 0, 0)$ 、 $(20, 0, 0)$ 、 $(20, 20, 0)$ ，后点击“应用”，则生成矩形板，如图3-28所示。

③ 圆。圆也是通过三点定义，即输入过圆的三个点坐标即可生成圆板。例如输入坐标 $(10, 0, 0)$ 、 $(20, 10, 0)$ 、 $(25, 0, 0)$ ，点击应用，即可生成如图3-29所示。

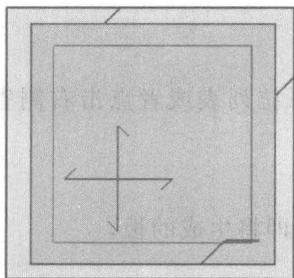


图 3-28 矩形板

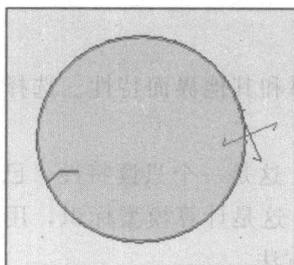


图 3-29 圆形板

(3) 几何-墙 通过“几何”/“墙”打开墙对话框，如图3-30所示。

墙对话框中信息与板信息类似，不再重复说明。

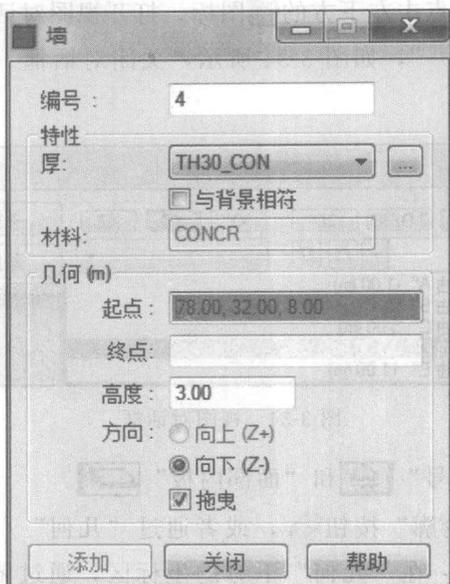


图 3-30 墙对话框

注意

墙默认向 Z 轴负方向拉伸，所以视图界面应该以 ZY 或者 ZX 为平面，才可看到墙的拉伸面。

3.5.2 墙的实例练习

下面进行“墙的实例练习”。

- 打开“壳设计”界面，默认的为 XZ 平面。
- 点击右侧工具栏轴定义 ，或者通过“几何”/“轴定义”，打开轴定义对话框，进行轴网绘制。

① 选择“笛卡尔”，点击 X 标签，编号选择“A, B, C”，“位置”输入“-1”，点击“添加”；依次输入“0/5/10/11”，并添加。效果如图 3-31 所示。

② 选择 Z 标签，编号选择“1, 2, 3”，位置输入“0/3/6/7/8”并添加。效果如图 3-32 所示。

③ 选择 Y 标签，编号选择“定义”，右侧栏输入“L1”；位置输入“0/5/10”，点击添加。效果图如图 3-33。

- ④ 点击“应用”，关闭轴定义对话框。

标识	位置
1	-1.00
2	0.00
3	5.00
4	10.00
5	11.00

图 3-31

标识	位置
1	0.00
2	3.00
3	6.00
4	7.00
5	8.00

图 3-32

标识	位置
1	0.00
2	3.00
3	6.00
4	7.00
5	8.00

图 3-33

- 建立新的工作平面，点击左下方的图标，打开视图对话框；选择“2D”、“YZ”并选择“结构轴 D 10.00 (m)”，如图 3-34 所示，关闭对话框。则视图将只显示 X=10 时的 YZ 平面。

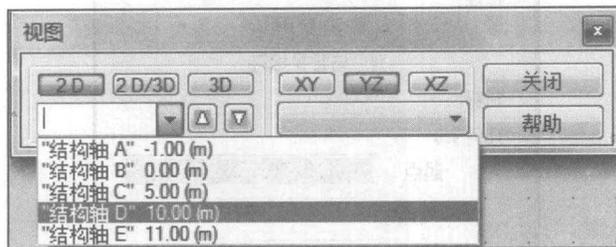


图 3-34 视图对话框

- 打开底部的“支撑符号”和“面部内板”。
- 点击右侧“多义线-轮廓”按钮，或者通过“几何” / “对象” / “多义线-轮廓”，打开对话框，进行轮廓绘制。在“几何”下方的坐标区，通过鼠标点击工程视图的方法输入：(10, 0, 0)、(10, 3, 0)、(10, 3, 3)、(10, 5, 3)、(10, 5, 0)、(10, 12, 0)、(10, 12, 3)、(10, 14, 3)、(10, 14, 0)、(10, 17, 0)、(10, 17, 4)、(10, 0, 4)；点击“应用”（或者双击最后一点）。关闭对话框，视图将显示为图 3-35。

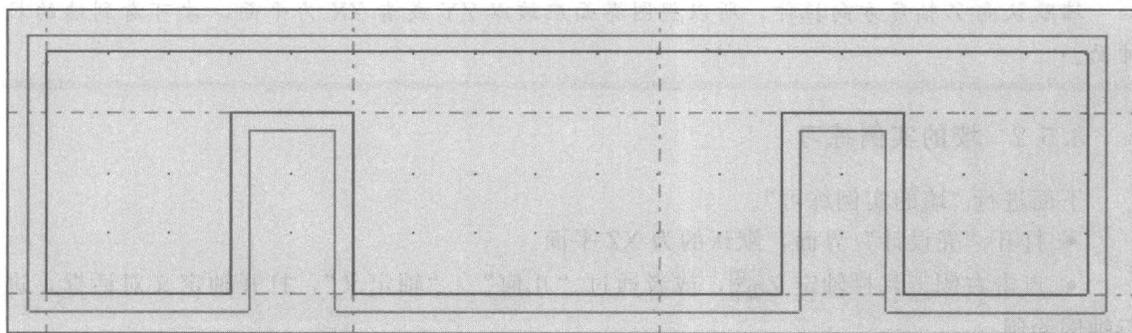


图 3-35 墙轮廓示意图

- 点击右侧工具栏“板条”按钮，打开对话框；轮廓类型选择“板条”，形成选择“内部点”，特性里钢筋选择“没有”，模型选择“壳”，厚选择“Th30_CON”。参数配置完毕后，将鼠标移到墙轮廓，点击内部任意一点，关闭对话框。视图如图 3-36 所示。

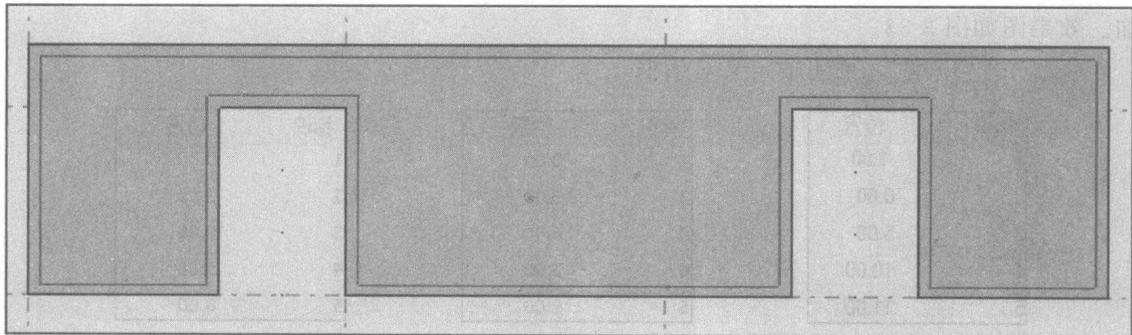


图 3-36 墙示意图

发现图 3-35 和图 3-36 之间的区别主要是颜色加深，亮一些的线即指示器由外侧到内侧。这种区别也就是我们前面提到的“轮廓”与“板”的区别。

3.5.3 板的特性

3.5.3.1 厚

该标签指定了板的厚以及初始材料。通过“几何”/“特性”/“厚”或者点击右侧工具栏的按钮，打开“有限元厚”对话框。

该对话框与我们之前讲的“约束”对话框相似，例如，点击新建按钮打开对话框定义“新的厚”，或者双击已存在的标签进行编辑修改厚。“新的厚”分为“同种的”和“各向异性”。

(1) 图 3-37 表示“同种的”，指定均匀厚度参数。

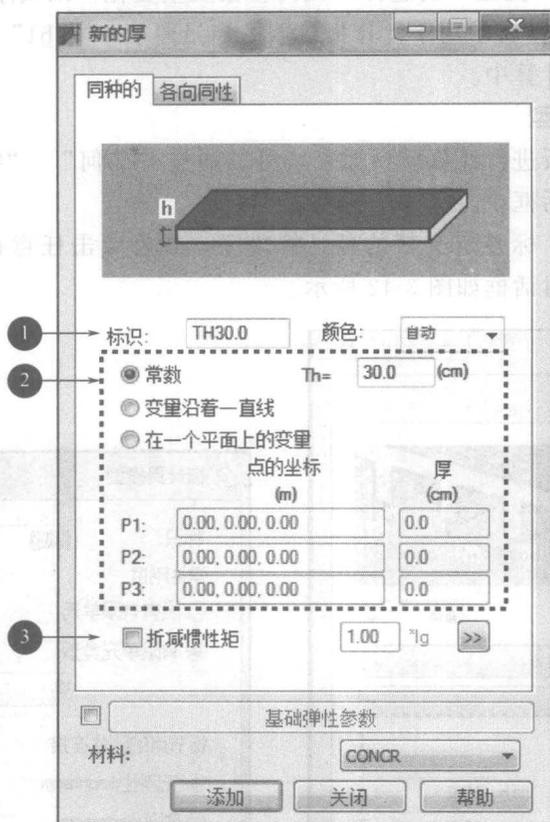


图 3-37 新的厚

① 标识和颜色：指定被定义的厚度类型的名字；选择被定义的厚度类型的颜色。

② 厚

a. 常数：选择该项，则构件的厚度将为常数；后面的“Th”表示厚度值，该常数厚沿着整个有限元（面板），如图 3-38 所示。

b. 变量沿着一直线：选择该项，则构件厚度将线性变化，需要通过两点定义面板的厚度，如图 3-39 所示。

c. 在一个平面上的变量：选择该项，则构件厚度需要三个点 P1、P2、P3 来定义，如图 3-40 所示。

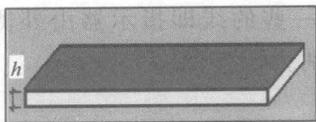


图 3-38

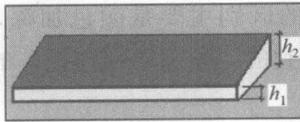


图 3-39

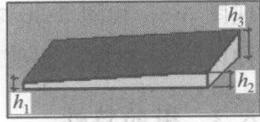


图 3-40

③ 折减惯性矩：可用来检验混凝土裂缝区的挠度。

(2) 图 3-41 为“各向异性”对话框，指定正交异性厚度参数。

① 方向 X：点击该按钮打开“各向异性”对话框，来定义主正交各向异性方向。对于大多数情况，“自动”是最好的选择。

② 类型：下拉列表陈列了许多已经定义的板几何，例如“单侧，单项肋”、“单侧，双向肋”等，用户也可以选择“用户定义的”，建立一个自定义的正交矩阵。

③ 几何参数：基于“类型”的选择，几何参数发生变化，以及刚度矩阵会不同。

④ 厚：第一个“Th”表示用于计算板自重的当量厚度；“Th1”和“Th2”表示仅作为等效厚度用在温度荷载计算中。

3.5.3.2 板计算模型

运用此选项对结构板进行计算模型分配，可以通过“几何”/“特性”/“板计算模型”打开“板计算模型”对话框。

单击对话框“新建”标签定义新的板计算模型，或者双击任意存在的标签进行编辑修改，新“板计算模型”对话框如图 3-42 所示。



图 3-41 各向异性

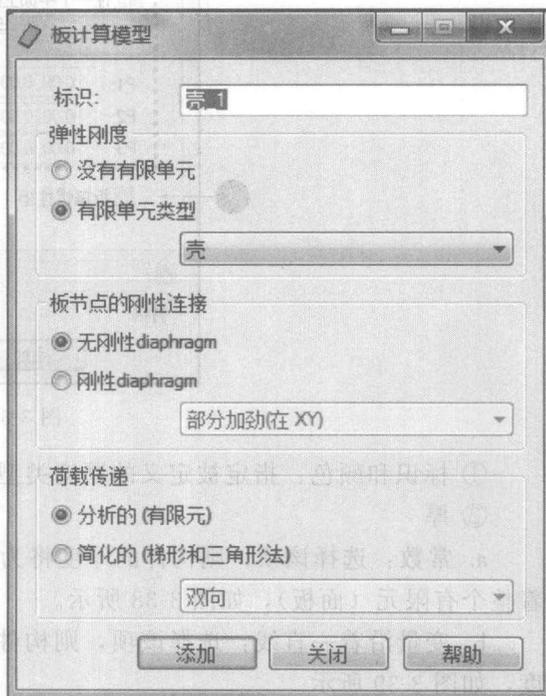


图 3-42 板计算模型

① 弹性刚度：选择是否使用有限元。

a. 没有有限单元：当一个模型正在生成时，有限元不会产生，而是只生成一个覆板构件。

b. 有限单元类型：选择该项后，将对板进行网格化。不同自由度的构件将使用不同的结构类型。

注意

热载荷是以有限元分布在平板上的，因此，当平板计算模型选择没有有限单元，则板上热荷载不包括在计算中。

② 板节点的刚性连接

a. 无刚性隔板：不施加附加力约束到壳构件。

b. 刚性隔板：施加附加约束到壳构件的节点连接处。

③ 荷载传递

a. 分析的（有限元）：这是一个基于生成有限元网格和分配荷载到网格节点的标准方法。

b. 简化的（梯形和三角形）：以梯形和三角形方式分配荷载。

3.5.4 板约束

3.5.4.1 板约束定义对话框

板约束可以通过边缘（线性的约束）或者整个平面实现（平面的约束），约束对话框可以施加并管理上述两种约束类型，通过“几何”/“约束”或者点击右侧工具栏的按钮打开对话框。

发现该对话框，与之前的节点约束对话框很类似。注意对话框上部的图标，“线性的”、“平面的”约束，是本节要用到的。选择“线性的”或者“平面的”，点击新建打开“约束定义”对话框，如图 3-43 所示。

节点约束定义与它们唯一不同就是“线性的”或“平面的”约束可以选择“整体”或者“局部”坐标系。

3.5.4.2 板约束-实例练习

下面将以实例对板约束进行讲解：

- 打开“3.5.2 墙实例练习”绘制的墙。
- 打开右侧对话框约束按钮，或者通过“几何”/“约束”打开约束对话框。
- 单击选择“线性的”，然后约束类型为“固定”；鼠标点击“当前选择”区后，移动到工程视图中，点击选择三部分墙底，即“1_边缘 (1)、1_边缘 (5)、1_边缘 (9)”。
- 点击，打开视图管理对话框，选择“3D”，



图 3-43 约束定义

关闭对话框，则示意图如图 3-44 所示。

3.5.5 板平面网格划分

板的网格划分是另一个重大的主题，Robot 软件拥有强大的网格划分算法，可以处理几乎任何形状的结构或网格需求，所以对板构件网格化的方式将极大地影响最终的分析结果。总之，如果网格划分不合适，那么很有可能得到一个错误的结果。通常情况下，工程师趋向于在板的广泛区域使用疏松的网格，在复杂区或者几何突变区（例如槽口等）加密网格。

3.5.5.1 网格设置

生成计算模型时，板会自动进行网格划分。用户可控制板平面网格如何划分，如何划分合适，以及选择何种算法。通过“分析”/“网格划分”/“网格选项”或者点击“有限元网格生成的选项”里的“网格选项”，启动“网格选项”对话框，如图 3-45 所示。

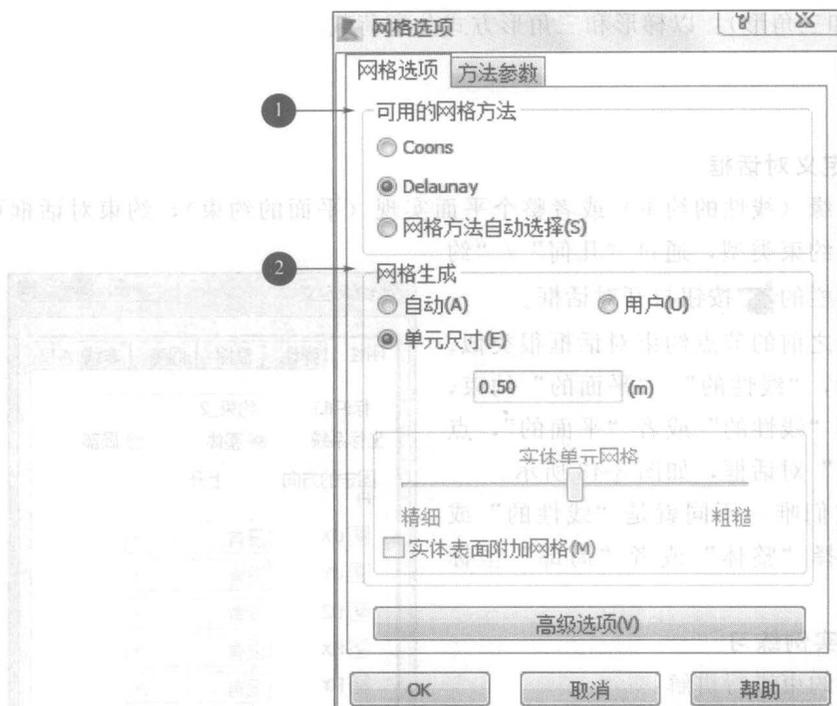


图 3-45 网格选项

① 可用的网格方法：如果希望网格分化更具体化，可以选择一种网格分化方法。

a. Coons：产生简单的网格划分。通过将板面的对边做等量的划分并将分割体连接，可以生成如四边形和三角形等这样规则的网格。当遇到几何形状不规则的平面时，这个方法可能会出现问題。为了更好地控制这个选项，用户可以使用基本网格点来进行网格划分，可借助“基本网格点”工具，通过“几何”/“网格划分”/“基本网格点”打开对话框。

b. Delaunay：产生复杂的网格划分。此法适用于三角形或者四边形单元的网格划分，但

应尽量避免内角过锐或者过钝的三角形。三角形要尽量接近等边三角形，四边形要尽量接近正方形，这种情况下的网格划分便是理想的。这个 Delaunay 算法来源于等边三角形和正方形的偏差最小化。

c. 网格方法自动选择：这是软件默认的方法。

② 网格生成

a. 自动。

b. 用户：定义了两边的划分尺寸。

c. 单元尺寸：可以指定被划分的单元的尺寸大小，此项是比较常用的。

3.5.5.2 实例练习

下面结合例子应用。

• 打开 3.5.4 练习中的墙体及约束。

• 通过“分析”/“网格划分”/“网格选项”或者点击“有限元网格生成的选项”打开网格选项对话框。

• 选择“Delaunay”（复杂的）网格方法，网格生成中选择“单元尺寸”，并且输入“0.5”，点击“OK”。

• 点击“产生计算模型”按钮，生成网格，如图 3-46 所示。

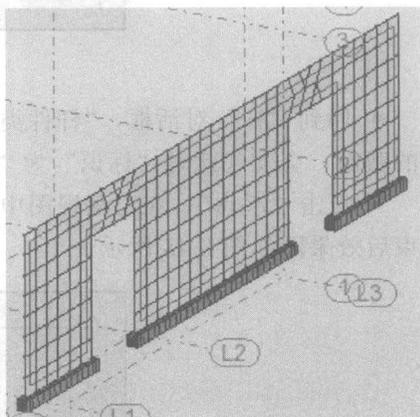


图 3-46 墙体的网格划分

3.6 建模实例

本节将结合上几节中的例子进行完整的示例练习，包括从轴网绘制到节点、杆件、板的建立，以及网格划分、约束等的应用。

3.6.1 绘制轴网

• 打开“壳设计”界面，默认的为 XZ 平面。

• 点击右侧工具栏轴定义，或者通过“几何”/“轴定义”，打开轴定义对话框，进行轴网绘制。

① 选择“笛卡尔”，点击 X 标签，编号选择“A, B, C”，“位置”输入“-1”，点击“添加”；依次输入“0/5/10/11”，并添加。效果如第 5 节图 3-31 所示。

② 选择 Z 标签，编号选择“1, 2, 3”，位置输入“0/3/6/7/8”并添加，效果如图 3-32 所示。

③ 选择 Y 标签，编号选择“定义”，右侧栏输入“L1”，位置输入“0/5/10”，点击添加。效果图如图 3-33。

④ 点击“应用”，关闭轴定义对话框。

3.6.2 杆和截面的定义

• 打开右侧工具栏“杆”定义按钮，开启对话框；“杆件类型”选择“RC 柱”，“截

面”点击右侧省略号进行定义新的截面，“b”输入 30，“h”输入 40；点击“添加”。关闭对话框。

- 鼠标点击“杆”对话框的“起点”，变绿；然后移动鼠标到工程区，点击选择“B1-B2”、“C1-C2”、“D1-D2”；结束后效果图如图 3-47 所示。

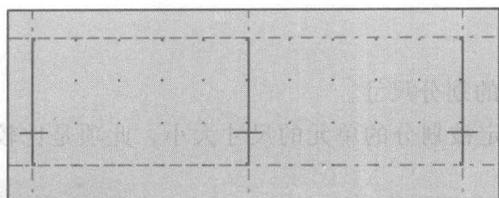


图 3-47 柱子示意图

- 回到“杆”对话框，“杆件类型”选择“RC 梁”，“截面”点击右侧省略号进行定义新的截面，会发现此时“标识”为“BR”，操作输入“BR40×60”。关闭对话框。

- 点击“起点”，在工程视图中，点击选择“A2-B2”、“B2-C2”、“C2-D2”、“D2-E2”；结束后效果图如图 3-48 所示。

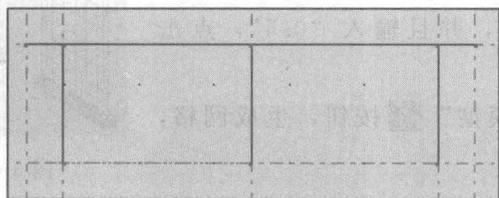


图 3-48 柱梁示意图

- 回到“杆”对话框，“杆件类型”选择“柱”，“截面”点击右侧省略号进行定义新的截面，选择族为“BH”，下拉列表选择“BH300×200×1”；关闭对话框。

- 点击选择“A2-A3、C2-C5、E2-E3”。

- 回到“杆”对话框，“杆件类型”选择“梁”，“截面”点击右侧省略号进行定义新的截面，选择族为“BH”，下拉列表选择“BH350×200×1”；关闭对话框。

- 点击选择“A3-C5、E3-C4”。关闭对话框。

- 完成 2D 框架的绘制，打开视图底部“ ”和“”，显示支撑符号和截面形状以及杆号。示意图如图 3-49 所示。

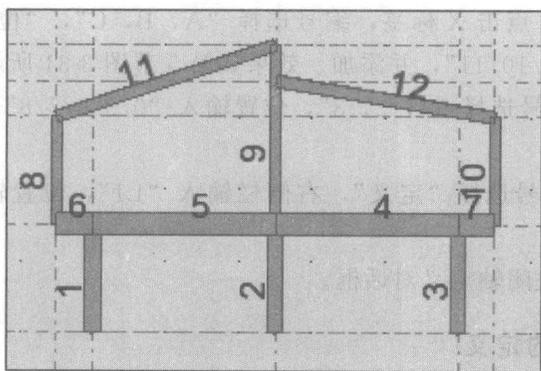


图 3-49 2D 框架

3.6.3 约束的定义

• 点击右侧工具栏“约束”按钮，打开约束对话框。选择“固定”，在工程视图中框选“1, 2, 3”号杆，点击“应用”。

3.6.4 生成 3D 框架

• 通过“视图”/“3D下工作”/“3D xyz”，或者点击视图顶部的“”命令，将工程转为 3D 状态。关闭和。

• 框选整个工程或者按快捷键【Ctrl+A】，全选整个工程结构。

• 点击“编辑”菜单命令，选择移动复制，弹出对话框如图 3-50 所示；在平移向量标签下输入“0, 5, 0”，勾选“复制”，重复数输入“2”，点击“运行”，关闭对话框。

• 点击“杆”命令按钮，“杆件类型”选择“梁”，“截面”点击右侧省略号进行定义新的截面，选择族为“BH”，下拉列表选择“BH300×200×1”；关闭对话框。在工程视图中绘制横向梁，“(A, L1, 3) 和 (A, L2, 3) 和 (A, L3, 3)”、“(C, L1, 5) 和 (C, L2, 5) 和 (C, L3, 5)”、“(E, L1, 3) 和 (E, L2, 3) 和 (E, L3, 3)”。完成后如图 3-51 所示。

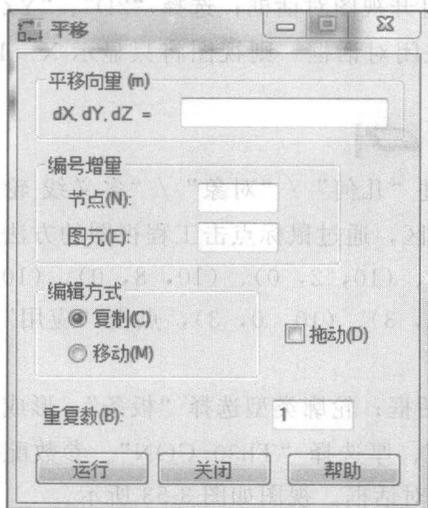


图 3-50 平移

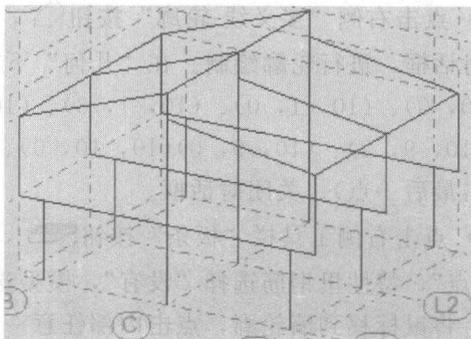


图 3-51 3D 框架模型

3.6.5 板的定义

• 点击视图左下方的图标，打开视图对话框；选择“2D”、“XY”并选择“结构轴 2 3.00 (m)”。关闭视图对话框。

• 点击右侧“多义线-轮廓”按钮，或者通过“几何”/“对象”/“多义线-轮廓”，打开对话框，通过鼠标，在视图中标出轮廓“A, L1”、“E, L1”、“E, L3”、“A, L3”、“A, L3”；关闭对话框。

• 点击右侧工具栏的“板条”按钮，选择“板条”，“内部点”，钢筋选择“没有”，厚选择“12cm”，选择“壳”模型；然后鼠标移动到“内部点”（变绿），此时移动鼠标点击

结构内部任意一点，完成板的生成。关闭对话框。

- 重新点击 ，切换到 3D 视图；打开底部的  。示意图如图 3-52 所示。

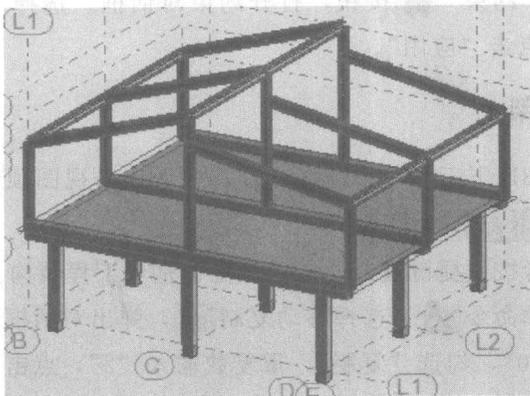


图 3-52 带板的框架示意图

3.6.6 墙的定义

墙的定义在第 5 节讲解过，为保证练习完整性，本节做适当修改再操作一遍。

- 建立新的工作面板，点击左下方的  图标，打开视图对话框；选择“2D”、“YZ”并选择“结构轴 D 10.00 (m)”，如图 3-53 所示，关闭对话框。则视图将只显示 X=10 时的 YZ 平面。

- 打开底部的“支撑符号”  和“面部内板” 。

- 点击右侧“多义线-轮廓”按钮 ，或者通过“几何”/“对象”/“多义线-轮廓”，打开对话框，进行轮廓绘制。在“几何”下方的坐标区，通过鼠标点击工程视图的方法输入 (10, 0, 0)、(10, 1, 0)、(10, 1, 3)、(10, 2, 3)、(10, 2, 0)、(10, 8, 0)、(10, 8, 2)、(10, 9, 2)、(10, 9, 0)、(10, 10, 0)、(10, 10, 3)、(10, 0, 3)，点击“应用”（或者双击最后一点）。关闭对话框。

- 点击右侧工具栏“板条”按钮 ，打开对话框；轮廓类型选择“板条”，形成选择“内部点”，特性里钢筋选择“没有”，模型选择“壳”，厚选择“Th30_CON”。参数配置完毕后，将鼠标移到墙轮廓，点击内部任意一点，关闭对话框。视图如图 3-53 所示。

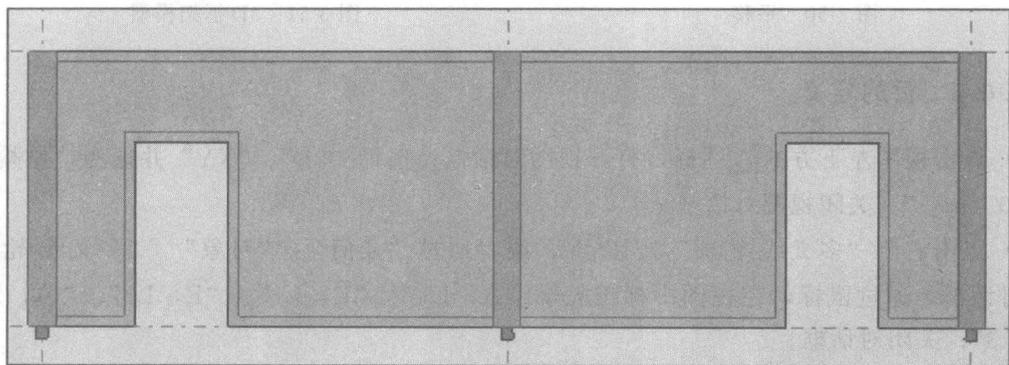


图 3-53 墙示意图

3.6.7 墙的约束定义

- 打开右侧对话框约束按钮，或者通过“几何” / “约束” 打开约束对话框。
- 单击选择“线性的”，然后约束类型为“固定”；鼠标点击“当前选择”区后，移动到工程视图中，点击选择三部分墙底。
- 点击，打开视图管理对话框，选择“3D”，关闭对话框。则示意图如图 3-54 所示。

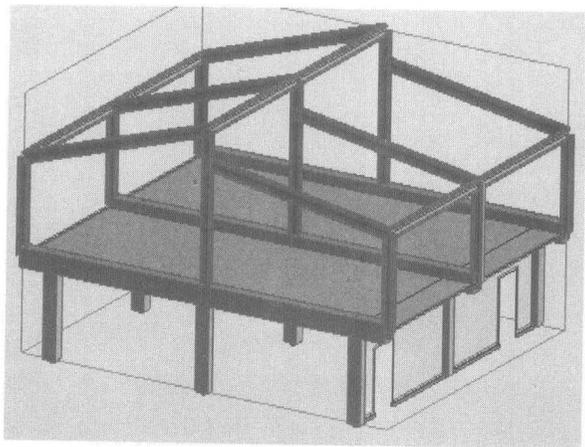


图 3-54 墙约束示意图

3.6.8 网格参数的定义

- 点击上方菜单栏的，然后选择“网格选项”，或者通过“分析” / “网格划分” / “网格选项” 打开对话框。选择“复杂的网格生成”（即 Delaunay），网格生成选择“单元尺寸”，输入“0.5”，点击“OK”，点击“产生计算模型”。示意图如图 3-55 所示。

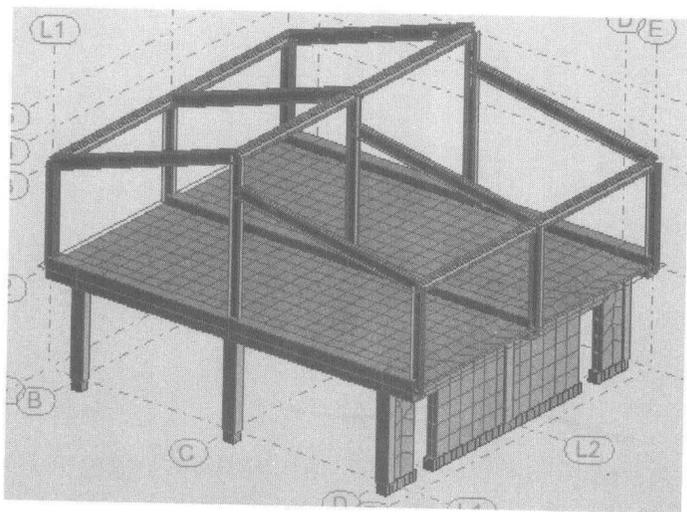


图 3-55 网格示意图

第 4 章

模型加载

本章导读 >>>

本章将讲解基本的模型加载方法，创建工况，定义并施加节点荷载、杆荷载、平面荷载以及自重。为下一章的结构初步分析做准备。

学习目标 >>>

- 1. 熟悉荷载类型的生成。
- 2. 掌握各种类型荷载对话框相关参数的设置。
- 3. 快速完成节点荷载、杆荷载、平面荷载的施加。

4.1 应用荷载

4.1.1 创建荷载工况

我们已经了解很多几何定义部分的内容，下面来了解 Robot 的荷载应用。荷载情况是通过荷载类型对话框配置的，并且只有用户已经定义过的荷载类型方可被应用。

从荷载菜单选择荷载类型，或者点击右侧工具栏的荷载类型按钮，打开荷载类型对话框，如图 4-1 所示。



图 4-1 荷载类型

① 编号：这是荷载类型的编号，Robot 会自动替换为下一个数字。

② 标识：指被用在荷载组合列表里的荷载类型名称。通常此标识包括 DL1（恒载）、LL（活载）、SL（雪载），或者其他类似的。

③ 性质：是指一种设置，它决定了荷载情况如何被考虑进基于代码组合的荷载组合。拥有相同性质的多倍荷载情况，可以被包括在一种组合也可以被分开包括在多种组合里。

④ 名字：这个标签被用于 Revit 中的很多领域，荷载组合装配、情况选择等。它与“②标识”设置相同，可以选择系统自定义，或者用户自行设定更具描述性的名称。

⑤ 定义的工况列表：所有工况会被陈列在此，包括用户手动定义的组合。里面所有陈列的是“分析类型”的一种指示。用户只有通过“分析”/“分析类型”才能更改。

提示

在 Robot 第一次新建一个恒载，它会自动生成一个“自重”并且应用到模型，可能不是用户所期望的；则点击荷载表（“荷载”/“荷载表”），查看自重是否被包括：

工况	荷载类型	列表				
1:DL1	自重		全部结构	-Z	因数=1.00	备忘录:

如果用户想删除它，可以简单地突出这一行（确定此时处在下方的“文本编辑”），然后点击【Delete】。

练习 4-1：创建工况

- 新建一个新的工程“建筑设计”。
- 点击“荷载”/“荷载类型”或者点击右侧工具栏的  按钮，打开荷载类型对话框。
- 设置“性质”为恒载，“标识”和“名字”为 DL1，点击添加。
- 改变“性质”为活载，会发现系统自动更换“标识”和“名字”为 LL1，点击添加。
- 选择“性质”为风载，分别改变“标识”和“名字”为“风 1”、“风 2”，点击添加。
- 最终发现“选出的工况”如图 4-2 所示。

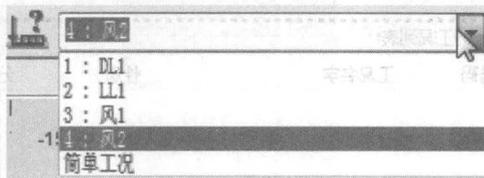


图 4-2 选出的工况

4.1.2 施加荷载

我们已经定义了荷载类型，现在可以进行荷载定义了。包括四个部分：节点，杆，表面，自重和重量。

4.1.2.1 使用荷载布局选择

荷载布局会自动陈列已经添加的荷载类型，所以当添加完毕后，不需要每次打开荷载类型对话框；而荷载布局选择最有用的地方，应该是每次荷载定义的时候，需要通过它选择即将被定义施加的荷载类型。

4.1.2.2 使用荷载定义对话框

通过“荷载”/“荷载定义”，或者右侧工具栏的荷载定义按钮 ，打开荷载定义对话框，如图 4-3 所示。

工作流程：

- 工况选择，选择需要应用的荷载工况。
 - 选择需要定义的荷载类型（例如节点的力、杆件均布荷载、均匀平面荷载）。
 - 配置荷载的参数。
 - 应用荷载到元素中
- ① 移动鼠标到工程视图界面，点击相应的元素应用。
 - ② 生成或手动键入一个选择到“施加到”区域，点击“应用”。
 - 重复操作，更改不同的荷载配置。



图 4-3 荷载定义对话框

① 工况编号：读者切记要常看，看清工况所对应的荷载类型，否则接下来的一切定义都是错误的。

② 荷载施加类型：选择将要施加的荷载类型，下面详细地介绍。

a. 节点：荷载或者位移作用在结构中的节点上。

b. 杆：线性的荷载包括膨胀、伸长、热荷载。

c. 表面：作用在板表面的荷载，例如墙、楼板或者覆板。

d. 自重和质量：施加自重到整个或者部分结构，选定单元的自重、体积力、离心和角加速度。

③ 施加到：此处用于施加荷载时选定构件，可以手动输入节点号、杆件号等，也可通过鼠标点击工程上的结构。

4.1.2.3 荷载施加类型

节点标签：



节点的力



强加位移



杆标签：



均布荷载



梯形的荷载



均布弯矩



膨胀

表面标签：





4.2 节点荷载

4.2.1 节点荷载定义

在荷载定义对话框中，选择“节点”后点击 ，弹出“节点力”设置对话框，如图 4-4 所示。

通过上述对话框定义节点力，主要包括三部分：集中力、弯矩、与坐标轴所成夹角。

- ① 集中力：通过三个不同坐标可以设置集中力的大小。
- ② 弯矩：设置节点处绕某特定坐标轴的弯矩。
- ③ 角度：当节点力非水平或竖直，与坐标轴成一定角度时，可通过此项设置。

例如，设置与水平面（XY 平面）成 45° 的力 5kN ，则在此对话框“F”下在 Z 填入“5”，在夹角填入“45”，然后点击“添加”即可。

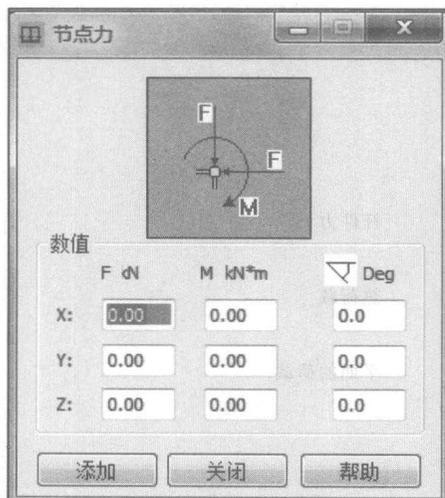


图 4-4 节点力对话框

4.2.2 施加节点荷载

当点击完添加后，则注意到“节点定义”对话框上方的工况编号，不仅显示选择的荷载类型，而且“选择”后面出现了“节点的力”，以下有 3 种方式施加荷载到节点上。

① 点击应用：移动鼠标到工程区，然后点击节点进行选择。则刚刚定义的节点力施加到所选择的节点上。这里不需要点击“应用”。

② 键入选择：鼠标点击“施加到”区，键盘输入节点号，然后点击“应用”。

③ 使用选择对话框：可以使用“选择”对话框（图 4-5）来应用荷载。鼠标移到“施加到”区，然

后点击节点选择按钮则出现选择对话框。

通过该对话框可以选择节点，然后点击“荷载定义”对话框中的“施加到”，即可自动移动到该区域，最后点击“应用”来施加节点力。

4.2.3 节点荷载练习

打开 3.4 截面一节中的练习，进行节点荷载的练习。

- 点击右侧工具栏的按钮，打开“荷载类型”对话框，添加恒载“DL1”、活载“LL1”、风载“风1”；关闭对话框。

- 点击，打开荷载定义对话框，并点击视图左下方的，打开“节点号”；点击节点力，F 在 X 轴输入“5”，点击“添加”。

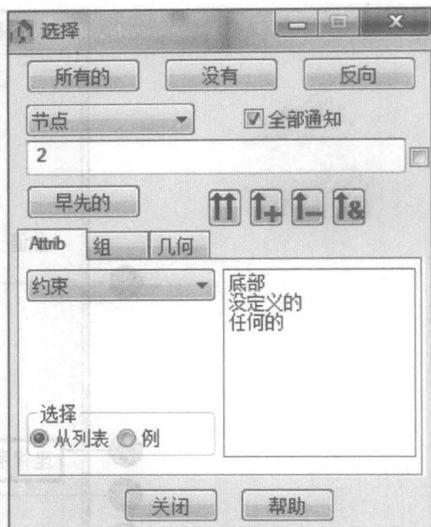


图 4-5 选择对话框

① 直接移动鼠标到结构中，选择“8号”节点并点击鼠标左键，出现如图 4-6 所示效果图。（不需要点击应用）

② 鼠标移动到“施加到”区域，手动输入“2号”节点，点击“应用”，结果如图 4-7 所示。

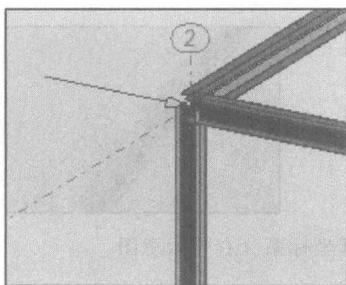


图 4-6

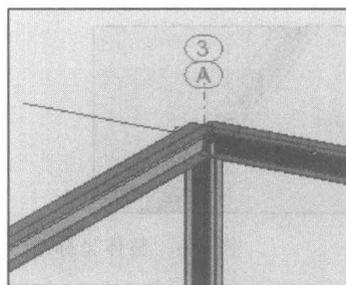


图 4-7

4.3 杆荷载

4.3.1 均布杆荷载

4.3.1.1 定义荷载特性

在“荷载定义”对话框中点击“杆”，然后点击，打开均布荷载配置对话框，如图 4-8 所示。

① 数值：当前的单位已经在顶部显示；在“P”一列输入线性荷载的数值，可选择沿着 X 轴、Y 轴或者 Z 轴；此处与坐标系有联系，将在下面讲解。角度一列，与上一节“节点力”相似，都是绕着某一轴成一定的夹角。

② 坐标系：分为“整体”、“局部”坐标系。两者的不同在于，当杆件非水平或竖直时施加杆件均布荷载，若选择“整体”坐标系，则荷载沿着整体坐标轴的方向分布（即不

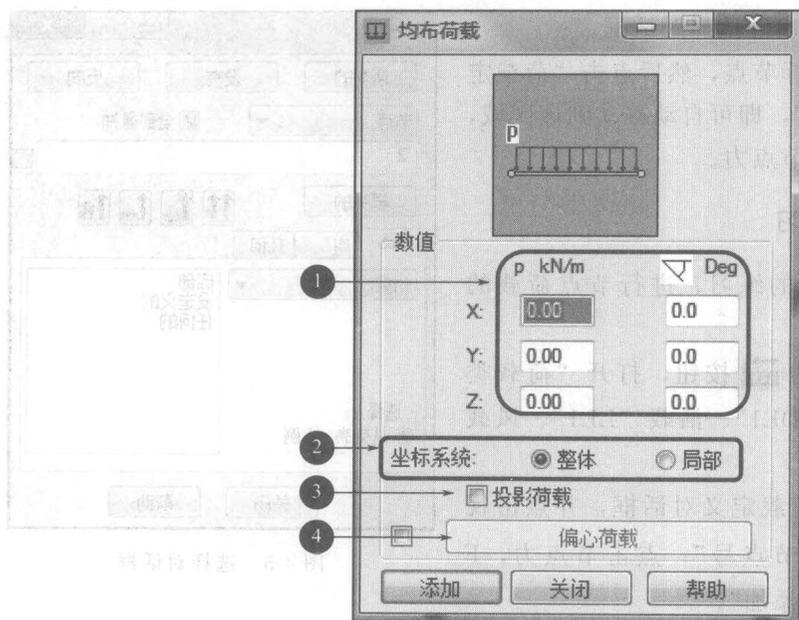


图 4-8 均布荷载对话框

垂直于杆件)；若选择“局部”坐标系，则荷载分布垂直于特定的坐标轴。示意图如图 4-9 所示。

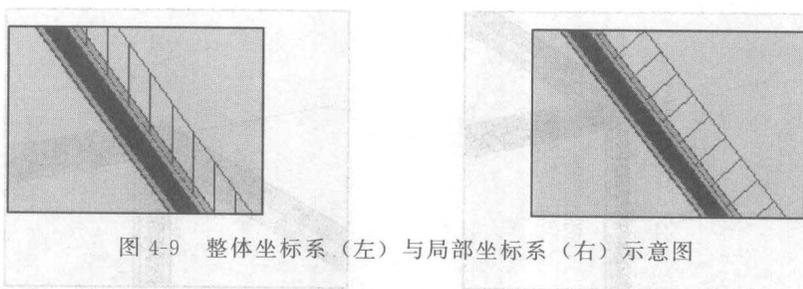


图 4-9 整体坐标系(左)与局部坐标系(右)示意图

③ 投影荷载：投影荷载经常用于雪荷载，荷载施加于构件的长度上。

④ 偏心荷载：勾选偏移荷载，点击弹出“偏心荷载”对话框，如图 4-10 所示，已经标明为在局部荷载坐标系下，可以通过“y”和“z”的数值输入指定偏心的距离。完成后添加并应用，效果图如图 4-11 所示。

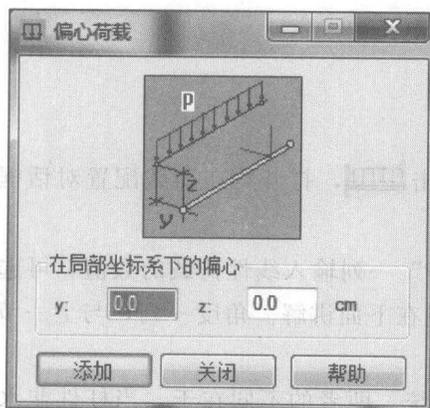


图 4-10 偏心荷载对话框

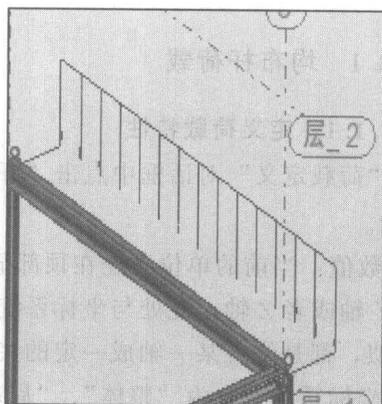


图 4-11 偏心荷载示意图



注意

“投影荷载”时一般要忽略荷载的转角，所以当应用“投影荷载”同时选择荷载转角，可能会得到错误的结果。

4.3.1.2 施加杆均布荷载

当点击完添加后，则注意到“荷载定义”对话框上方的工况编号，不仅显示选择的荷载类型，而且“选择”后面出现了“均布荷载”，以下有3种方式施加均布荷载。

① 点击应用：移动鼠标到工程区，然后点击杆件进行选择。则先前定义的均布荷载施加到所选择的杆件上，这里不需要点击“应用”。

② 键入选择：鼠标点击“施加到”区，键盘输入杆件号，然后点击“应用”。

③ 使用选择对话框：点击视图上方的“杆件选择”，弹出“选择”对话框进行选择，此方法与节点选择类似。

4.3.2 非均布杆件荷载

4.3.2.1 定义荷载特性

在荷载定义对话框中，选择杆，然后点击右侧工具栏的，打开梯形荷载配置对话框如图4-12所示，梯形荷载和均布杆荷载相比，不是很常用，但是在特定情况下也会使用，而且梯形荷载配置比均布杆荷载复杂一些，所以读者也应该重视梯形荷载的使用和练习。

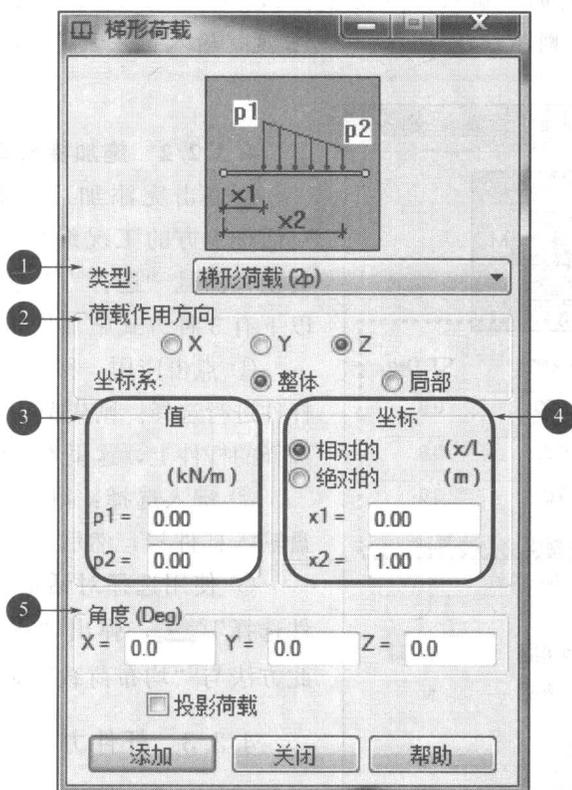


图 4-12 梯形荷载

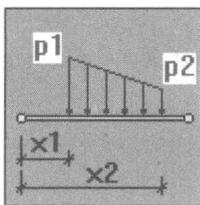


图 4-13 梯形荷载 (2P)

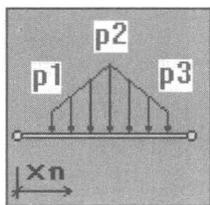


图 4-14 梯形荷载 (3P)

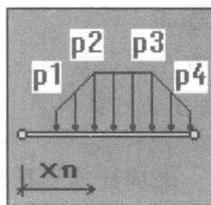


图 4-15 梯形荷载 (4P)

① 类型：下拉列表列举了三种方法，梯形荷载 (2P)、梯形荷载 (3P)、梯形荷载 (4P)，示意图分别如图 4-13~图 4-15 所示。

② 荷载作用方向：该选项陈列了 X、Y、Z 三个方向，选定一个，则梯形荷载将与该轴一致，但应该注意整体与局部坐标系的区别。查看杆件当前方向，可选择视图窗口下方的“局部坐标”按钮 ，显示当前的方向 (X 为蓝色，Y 为绿色，Z 为红色)。

③ 值：该选项将随“① 类型”不同而改变，对话框中为两点定义梯形荷载，所以给定 p_1 、 p_2 的值即可确定梯形的两个顶点。

④ 坐标：该项基于③，给定 p_1 、 p_2 代表的顶点的具体位置，可以选择“绝对的”、“相对的”坐标，通过“ x_1 ”和“ x_2 ”输入数值。

⑤ 角度：该项与前面讲解的角度是同一性质。

注意

在④ 坐标中，“相对的”输入值不能大于 1，且 x_2 值比 x_1 值大，它的输入值含义是占该段的比值。“绝对的”则指该段杆件的绝对长度，输入值应该是该段的实际长度。

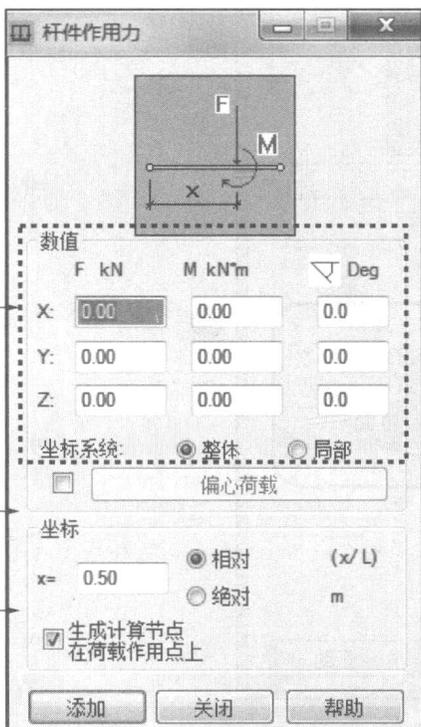


图 4-16 杆件力对话框

4.3.2.2 施加梯形荷载

当点击完添加后，则注意到“荷载定义”对话框上方的工况编号，不仅显示选择的荷载类型，而且“选择”后面出现了“梯形荷载”，以下有 3 种方式施加均布荷载。

① 点击应用：移动鼠标到工程区，然后点击杆件进行选择。则先前定义的梯形荷载施加到所选择的杆件上，这里不需要点击“应用”。

② 键入选择：鼠标点击“施加到”区，键盘输入杆件号，然后点击“应用”。

③ 使用选择对话框：点击视图上方的“杆件选择” ，弹出“选择”对话框进行选择，此方法与“均布荷载”施加类似。

4.3.3 杆件力

荷载定义对话框中，选择“杆”后点击  打开“杆件力”设置对话框，如图 4-16 所示。

① 数值：杆件作用力包括集中力和弯矩。该选项与“节点力”对话框中的数值选项相同，设置方法及代表的含义相同。

② 偏心荷载：该项与“均布荷载”对话框中的相同，设置方法也与前面一样。

③ 相对/绝对：与“梯形荷载”对话框设置相同，即“相对的”输入值不能大于1，它的输入值含义是占该段的比值。“绝对的”则指该段杆件的绝对长度，输入值应该是该段的实际长度。

④ 生成计算节点在作用点上：该项是重要的，构件设计和规范检验只有在整个构件长度中的特殊位置进行。如果构件某处不产生计算节点，则该处一般不会产生最大力，所以勾选该项有利于计算结果的准确性。

4.3.4 杆件荷载练习

打开“4.2.3 节点荷载练习”，进行杆件荷载练习。

• 首先，进行斜梁绘制，打开“梁”对话框，“截面类型”选择“钢梁”，“截面选择”选择“BH300×200×1”，然后起点输入(0, 10, 10)，终点输入(10, 10, 0)，点击“添加”，效果图如图4-17所示。

• 其次，选择荷载类型，在视图窗口上方，点击“选出的工况”下拉列表，选择“DL1”进行荷载定义。

• 点击右侧工具栏，弹出“荷载定义”对话框；选择“杆”并点击“均布荷载”；

① 在数值标签中，Z的数值输入“-3”，角度为“0”，点击“添加”；然后直接移动鼠标到视图工程中，点击“7号”杆，则发现均布荷载施加到7号杆件上。

② 再次选择均布荷载，Z轴数值依然为“-3”，“坐标系”选择“局部”，点击“添加”，移动鼠标到刚刚定义的斜梁上，点击“施加”，发现荷载垂直施加到杆件上。

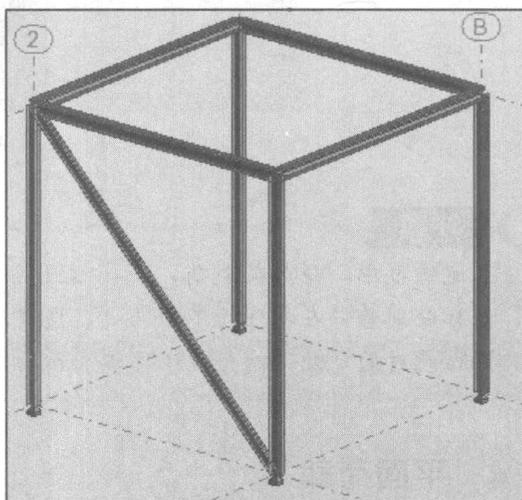


图 4-17 斜梁示意图

• 然后点击“梯形荷载”，弹出“梯形荷载”对话框。

① “类型”选择“梯形荷载(3p)”，坐标系选择“整体”，“值”填入“ $p_1=-2$ ， $p_2=-5$ ， $p_3=-3$ ”，“坐标”选择“相对的”并填入“ $x_1=0.1$ ， $x_2=0.25$ ， $x_3=0.45$ ”；点击“添加”鼠标点击选择“6号”杆。

② 再次点击“梯形荷载”，“类型”选择“梯形荷载(2p)”，坐标系选择“整体”，“值”填入“ $p_1=-3$ ， $p_2=-2$ ”，“坐标”选择“绝对的”并填入“ $x_1=6$ ， $x_2=9$ ”；点击“添加”鼠标再次点击施加到“6号”杆。

• 点击选择“杆件力”，弹出“杆件作用力”对话框，“数值”标签中，F在Z中输入“-5”，M在Y中输入“5”；“坐标”选择“相对的， $x=0.5$ ”，点击“添加”，在“施加到”区输入“8”，点击应用。

• 完成上述操作，关闭对话框。则杆件力的三种主要方式已经练习完毕，最终示意图如图 4-18 所示。

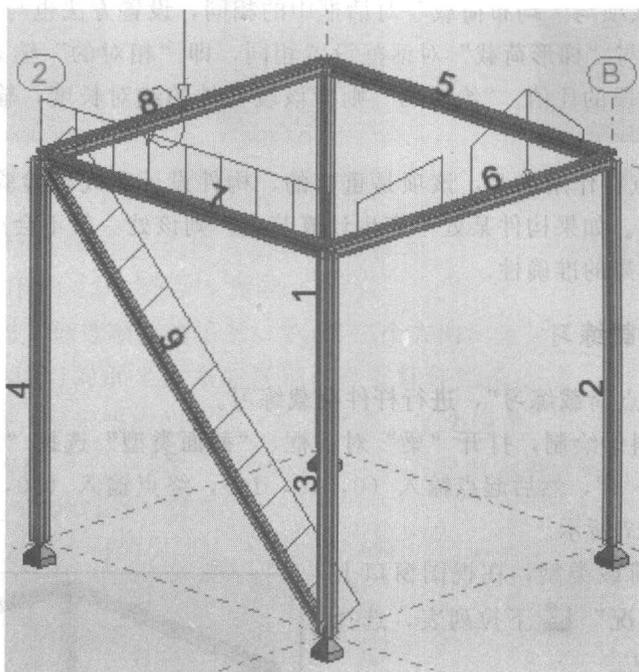


图 4-18 杆荷载示意图



注意

上述练习中，施加荷载前，关闭视图窗口下方的“截面形状”按钮；当完成荷载定义后，鼠标分别悬停在杆件的不同两端，发现杆件中的箭头指向随之相反。读者应注意在坐标“相对的/绝对的”处，悬停在不同端表示的意义不同。读者可自行练习感受不同。

4.4 平面荷载

4.4.1 覆板平面荷载

施加平面荷载，首先应该有平面构件，如板、墙等。我们已经在第 3 章学习了板和墙的绘制，以及了解了经典定义中的轮廓，下面首先学习一下“覆板”的知识。

4.4.1.1 覆板对话框

覆板是一种平面构件，可以承担面荷载，然后分配到构件中。局部坐标系可以决定覆板分配荷载的方向。通过“几何”/“覆板”打开“覆板”对话框，如图 4-19 所示。

① 对象号：当点击“应用”后，软件可自动生成下一个对象号。如果用户选择指定一个已经存在的元素，Robot 会询问是否需要重新定义它。

② 荷载分布：该选项用于选择初始荷载的传递分配方向，选项有：

a. 双向 (XY)：如双向板一样，沿着局部 X 轴方向和局部 Y 轴方向，荷载以梯形分布形式传递分配到边缘构件。



图 4-19 覆板对话框

b. 单项 (X 或 Y): 沿着局部 X 方向或者 Y 方向, 荷载以矩形分布的方式传递分配到边缘构件上。二者变化图如图 4-20 所示。

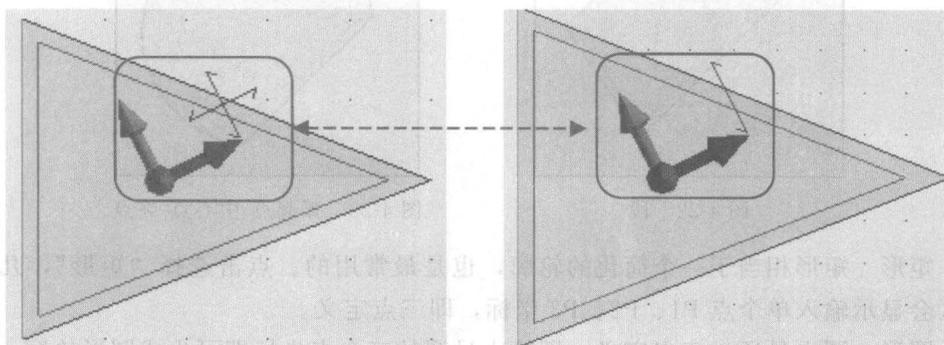


图 4-20 荷载分布方向

③ 定义方法: 该项提供覆板的几何类型, 如同之前讲过的轮廓。

a. 轮廓: 自由闭合的多义线, 线段可以是直线或者曲线。

b. 矩形: 由三点即可定义。

c. 圆: 三点简化定义。

④ 几何: 定义各顶点的配置方法, 选择一段, 弧起点-中心点-终点, 弧起点-终点-中心点。

⑤ 参数: 包括关于弧离散化和倒角的高级设置。弧离散化指当以弧线定义多义线或者轮廓时, 弧线的段数被离散确定 (即边缘数量越多, 曲线越圆滑)。

4.4.1.2 定义几何

首先选择所需的覆板类型: 轮廓、矩形、圆。

(1) 轮廓: 一切换到已经打开的“覆板”对话框, 选择轮廓, 点击“几何”, 出现几何下拉列表, 如图 4-21 所示。

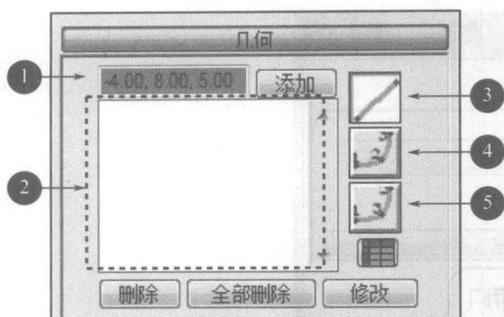


图 4-21 几何示意图

① 坐标输入区：可以通过键盘输入坐标后点击“添加”，或者在坐标输入区变绿时，移动鼠标到工程环境中点击“节点”来添加顶点。

② 顶点陈列区：①中添加的坐标将在此分别陈列，可通过该标签浏览并检查所添加的顶点坐标。

③ 段：该项是在完成选择“定义方法”后，通过“段”来绘制所选的几何类型，“段”表示通过两点坐标确定一条线段，多根线段最终组成一个闭合的形状，完成轮廓的绘制。示意图如图 4-22 所示。

示意图如图 4-22 所示。

④ 弧起点-中心点-终点：与③类似，该项表示通过三点来绘制轮廓，示意图如图 4-23 所示。

⑤ 弧起点-终点-中心点：仅仅顺序与④不同，确定完起点和终点后最后确定中心点来绘制轮廓，示意图与③相同。

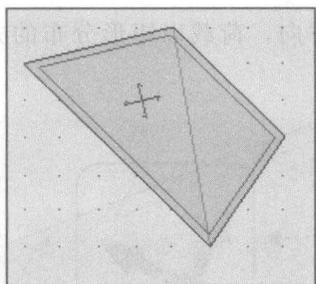


图 4-22 段

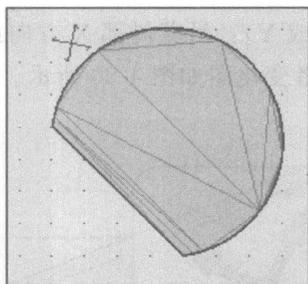


图 4-23 弧起点-中心点-终点

(2) 矩形 矩形相当于一个简化的轮廓，也是最常用的。点击选择“矩形”，几何下方的坐标区会显示输入单个点 P1、P2、P3 坐标，即三点定义。

(3) 圆形 圆也是通过三点定义，即输入过圆的三个点坐标即可生成圆形轮廓。

注意

绘制轮廓时，双击最后一点或者单击起始点，即可生成轮廓。

4.4.1.3 覆板显示选项

通过“视图”/“显示”，或者点击视图窗口左下角  按钮，打开“显示”对话框，选择左侧“板/FE”，如图 4-24 所示。

勾选图 4-24 加重的部分，则分别对应应在视图中，如图 4-25 所示。

4.4.1.4 局部板方向

为了调整覆板的局部坐标轴方向，通过“几何”/“特性”/“局部板方向”，打开“局部系方位”对话框，如图 4-26 所示。

(1) “局部 Z 轴方向的变化”：选择该项后，则覆板的 Z 轴将对称到另一侧，并且 X 轴的正方向不变，Y 轴的正方向反向，但是这对荷载的传递分配没有影响。变化前后的对比示

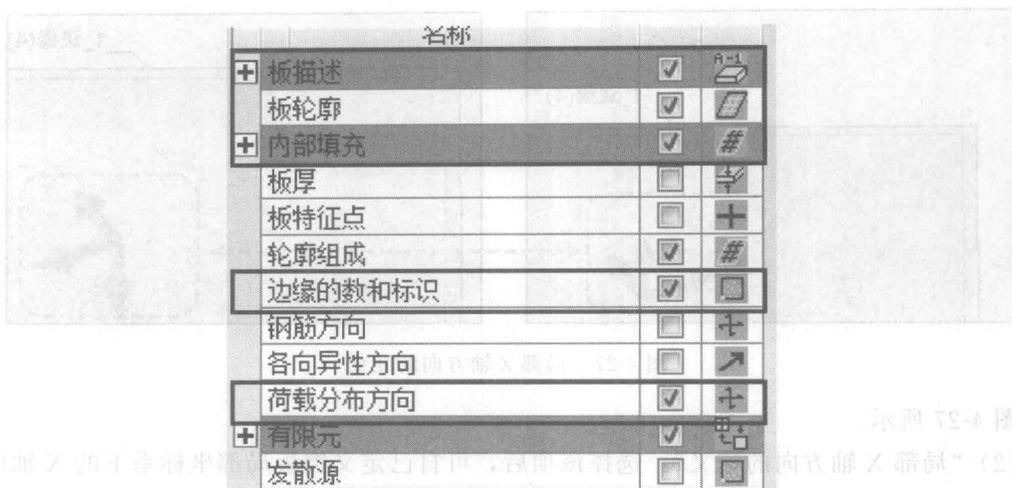


图 4-24 覆板显示选项

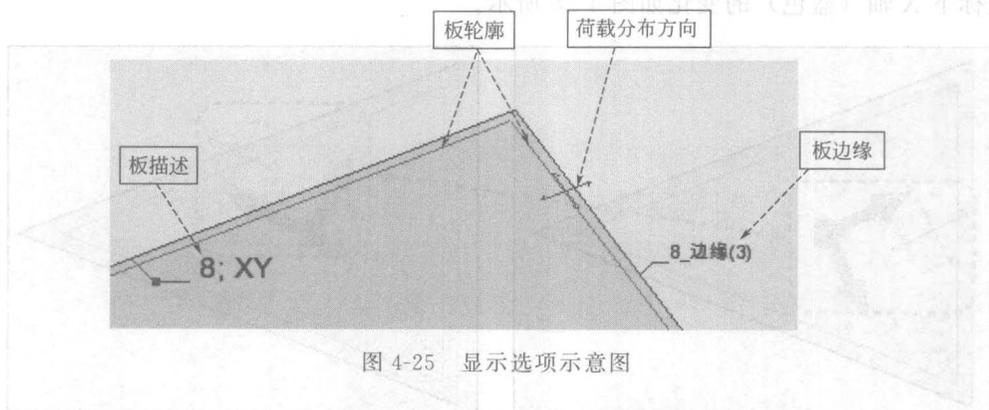


图 4-25 显示选项示意图

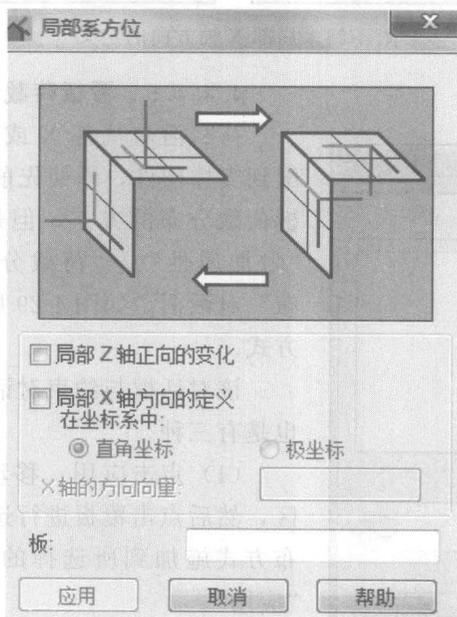


图 4-26 局部系方位

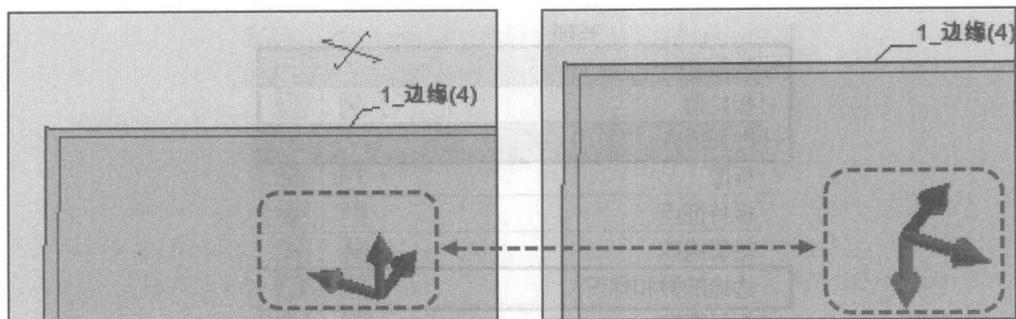


图 4-27 局部 Z 轴方向的变化

意如图 4-27 所示。

(2) “局部 X 轴方向的定义”：选择该项后，可自己定义覆板局部坐标系下的 X 轴向量。

方法：首先切换窗口到“平面”，勾选该选项框；其次“X 轴的方向向量”使用鼠标点击两个点来确定 X 的方向向量；再次“板”输入需要定义的板编号；最后点击“应用”。则局部坐标下 X 轴（蓝色）的变化如图 4-28 所示。

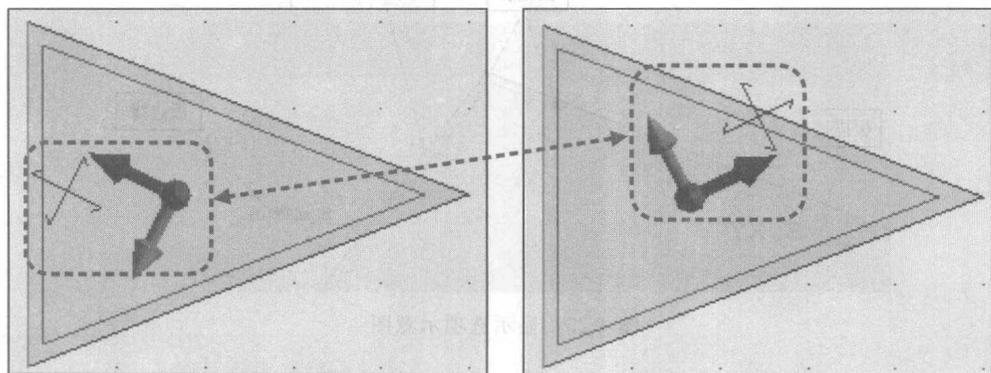


图 4-28 局部 X 轴方向的定义

4.4.1.5 覆板荷载分布方式

荷载沿着局部 X 或 Y 方向，通过覆板传递分配到支撑构件，即使先前定义覆板时已经选择了覆板荷载分布的方式，但是依然可以通过“几何”/“附加属性”/“荷载分布-覆板”，打开“荷载分布”对话框，如图 4-29 所示，更改已经定义的方式。

该对话框与约束对话框类似，所以施加的方式也是有三种。

(1) 点击应用：移动你的鼠标到“当前选择”区，然后点击覆板进行选择。则先前选择的荷载分布方式施加到所选择的覆板上，这里不需要点击“应用”。

(2) 键入选择：鼠标点击“当前选择”区，键盘输入覆板号，然后点击“应用”。



图 4-29 荷载分布

(3) 使用选择对话框：点击视图上方的“杆件选择”，弹出“选择”对话框，此方法与荷载施加到杆件类似。此处需要注意的是选择“覆板”的方式：对话框第二行下拉列表 ，选择“对象”；下面的下拉列表选择“覆板”。

4.4.2 均布面荷载

4.4.2.1 均布面荷载对话框

点击右侧工具栏的 ，打开荷载定义对话框，然后选择“表面”点击第一个“均布平面荷载”，弹出“均布平面荷载”对话框，如图 4-30 所示。

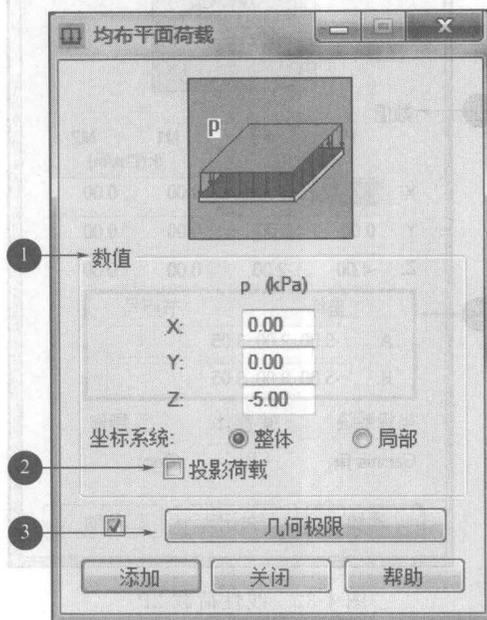


图 4-30 均布平面荷载

① 数值：当前的单位已经在顶部显示；在“P”一列输入面荷载的数值，可选择平行于 X 轴、Y 轴或者 Z 轴进行分布。

② 投影荷载：与杆件荷载中的类似，一般用于坡屋顶的雪荷载。

③ 几何极限：该选项选择后，可选择一个平面或者方向来限制均布面荷载的施加。特定情况下，需要屏蔽整体构件中某些构件来施加面荷载，则可使用“几何极限”。

4.4.2.2 均布面荷载练习

- 打开上一节“杆件荷载练习”模型，选择工况为“LL1”。

- 打开“荷载定义”对话框，选择“表面”标签下的“均布平面荷载”；P 在 Z 轴输入“-2.00”，选择“整体”坐标系，点击“添加”。

- 在“施加到”区域输入板号“1”，点击“应用”；或者直接移动鼠标到工程环境中，点击板来施加面荷载。

- 均布面荷载示意图如图 4-31 所示。

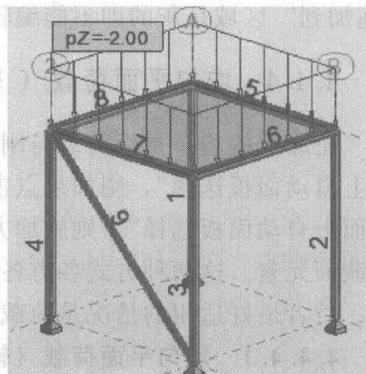


图 4-31 均布面荷载练习示意图

4.4.3 线性荷载 (2P)

4.4.3.1 线性荷载 2P 对话框

“荷载定义”对话框中,选择“表面”标签下的,弹出“线性荷载 2p”对话框,如图 4-32 所示。

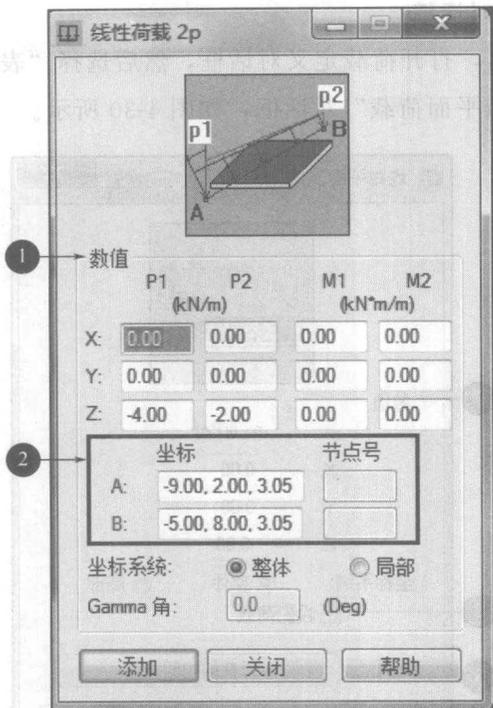


图 4-32 线性荷载 2P

① 数值: 可通过该项, 决定线性荷载 (力和弯矩) 起点和终点的数值大小。

② 坐标: 该项作为输入两顶点 P1、P2 的坐标, 可以在覆板上或者覆板外部, 甚至可以不在覆板区域。

4.4.3.2 施加线性荷载到平面

线性荷载施加到平面上不同于其他荷载的施加方式。主要不同在于: 不需要指定构件点击“应用”来施加, 而是当点击“添加”即施加荷载到平面上 (注意到点击完“添加”后, “施加到”区域是灰的即不能编辑)。

4.4.4 均匀平面荷载 (轮廓)

轮廓上的均布平面荷载与刚刚讲过的线性荷载有一定类似性, 如果勾选对话框中“等值面上自动面板选择”, 则如果点击“添加”即可完成荷载的施加。当然, 如果没有勾选“等值面上自动面板选择”, 则施加方式与均布荷载的施加方式类似, 需要选择荷载即将施加到的截面元素。这两种方式各有各的用途, 前者最好施加均布荷载到平面与荷载共面的局部区域; 后者最好适用的情况是荷载与平面不必共面的区域 (例如圆柱壳、倾斜面等)。

4.4.4.1 均匀平面荷载 (轮廓) 对话框

定义施加到轮廓上的均布面荷载, 打开“荷载定义”对话框, 选择, 打开“均布

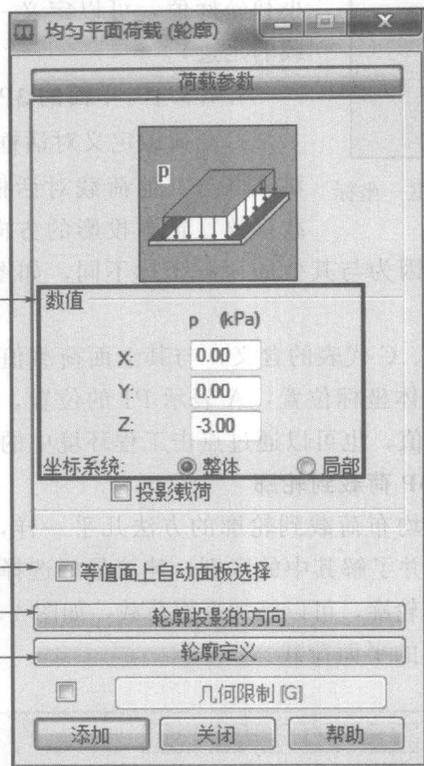


图 4-33 均布平面荷载（轮廓）对话框

平面荷载（轮廓）”对话框，如图 4-33 所示。

① 数值：指定沿不同坐标轴的荷载值，以及根据不同的坐标系统来施加。“整体”与“局部”坐标系不同在前面已经讲过（见 4.3.1）。

② 等值面上自动面板选择：勾选选项后，Robot 会寻找任何与已经定义的轮廓（通过④定义）共面的区域来施加荷载，并且可直接点击“添加”完成荷载的施加；若不勾选，则需要通过③来定义轮廓投影的方向。

③ 轮廓投影的方向：打开选项后，如图 4-34 所示，这些选项可以帮助用户指定不同的荷载施加方向。

④ 轮廓定义：通过选择顶点来定义轮廓，以便施加荷载，方法与之前讲过的相同。

4.4.4.2 施加均匀平面荷载到轮廓

如果已经选择“等值面上自动面板选择”，则“轮廓的投影方向”不可用，并且当选择完轮廓顶点后点击“添加”即可完成荷载的施加。

如果没有选择“等值面上自动面板选择”，则按照之前讲过的三种施加荷载方法中的任意一种进行荷载的施加。

4.4.5 平面的 3P 荷载（轮廓）

我们讲最后一种平面荷载类型，这种荷载类型可以施加漂移荷载或者作用于结构迎风面的线性变化的风载。方法是建立一个施加荷载的轮廓，这与之前讲过的类似；指定荷载的大

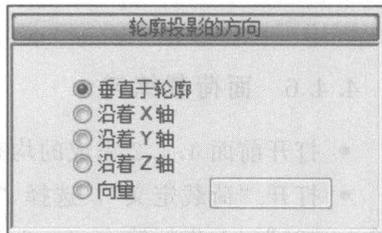


图 4-34 轮廓投影方向

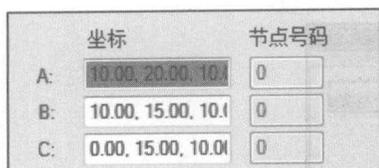


图 4-35 平面 3P 荷载对话框—坐标

小和坐标值，可以定义一个平面的范围（轮廓就是荷载的足迹）。

4.4.5.1 平面的 3P 荷载（轮廓）对话框

打开荷载定义对话框，选择 ，打开对话框。该对话框与其他荷载对话框类似，主要包括三部分：荷载参数、轮廓投影的方向、轮廓定义。这其中荷载参数

中有一处需要特别强调，因为与其他的荷载坐标不同，如图 4-35 所示，截图选自对话框数值标签中。

图 4-35 中，坐标 A、B、C 代表的含义，与其上面荷载值 P1、P2、P3 有关，该选项可以指定上述荷载值的相应具体坐标位置，A 表示 P1 的位置，B 表示 P2 的位置，C 表示 P3 的位置。可以手动输入坐标值，也可以通过点击工程环境中的点来添加坐标值。

4.4.5.2 施加平面的 3P 荷载到轮廓

施加的方法与前面施加均布荷载到轮廓的方法几乎一样，用户依然应该注意是否选择“等值面上自动面板选择”，并了解其中的区别；建议最好选择。

结合 A、B、C 的坐标和轮廓，可以施加平面荷载，如图 4-36 所示，施加了 $P1 = -10\text{kPa}$ ， $P2 = -10\text{kPa}$ ， $P3 = -2\text{kPa}$ 的平面荷载。

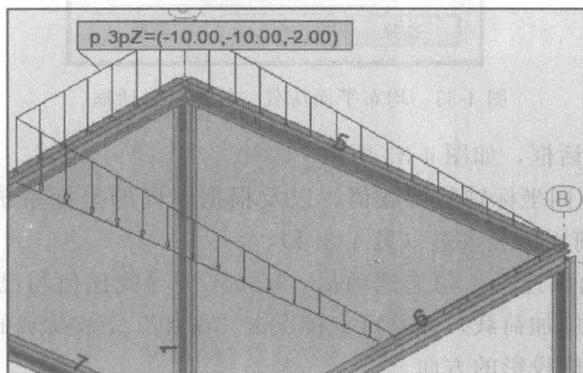


图 4-36 平面 3P 荷载

4.4.6 面荷载练习

- 打开前面 4.4.2 完成的均布面荷载练习图。
- 打开“荷载定义”，选择“线性荷载 2p”，打开对话框：P1 中 Z 输入“-24”，P2 中 Z 输入“20”；A 坐标输入 (-2,14,10)，B 坐标输入 (12,16,10)，点击“添加”，完成线性荷载 2P 的施加。
- 打开“均布平面荷载（轮廓）”对话框，Z 输入“-3”，勾选“等值面上自动面板选择”，轮廓定义中分别点选 (0,20,10)、(0,15,10)、(5,20,10)，然后点击“添加”，完成均布平面荷载（轮廓）的施加。
- 打开“平面的 3P 荷载”对话框，P1，P2，P3 分别输入“-40、-40、-20”，A，B，C 分别点选 (0,15,10)、(10,15,10)、(10,10,10)；轮廓定义分别点选 (0,15,10)、(10,15,10)、(10,10,10)、(0,10,10)，点击“添加”完成施加。如图 4-37 所示。

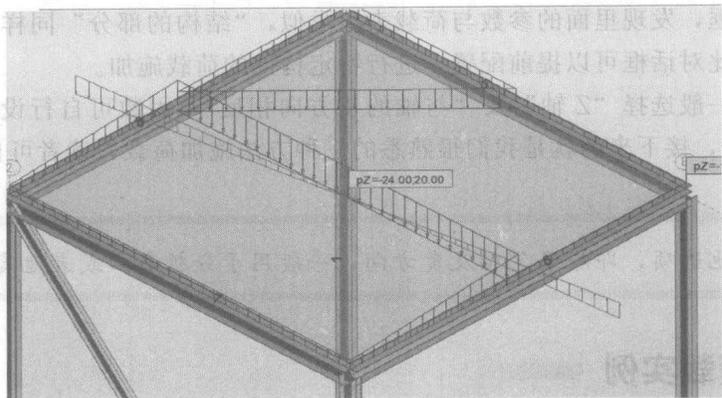


图 4-37 面荷载施加练习

4.5 自重

4.5.1 整个结构自重

在荷载定义对话框中，选择“自重和质量”中的“整个结构自重-PZ”，会发现  按钮立刻变为灰暗的，而不是像之前其他荷载按钮打开对话框；若要恢复原状，需要通过“视图”/“表”/“荷载”打开“荷载表”，删除“自重”（方法是选择自重一栏，点击键盘的【Delete】键）。

打开荷载表，如图 4-38 所示，可以对自重进行修改。

工况	荷载类型	列表	全部结构	方向	因数	备忘录
1:DL1	自重	1to3	全部结构	-Z	因数=1.00	

图 4-38 荷载表

① 列表：该项用于显示已经施加某荷载工况的构件号。

② 全部结构/结构的部分：如果选择“全部结构”，则整个结构构件自重都将被考虑；如果选择“结构的部分”，则只有列表中的构件会被考虑自重，此时也可以修改列表中的构件号。

③ 方向：自重的作用方向，软件默认的是 Z 轴负方向，可自行更改为 X、Y、Z 的正负方向。

④ 因数：由于会存在不属于物理几何模型恒载的荷载，例如油漆、防火材料、其他饰面等，可以通过修改因数保证准确性。

4.5.2 选定单元的自重

如果对特定的构件施加自重，则可以使用“选定单元的自重”，点击该按钮 ，然后弹出“自重”对话框，如图 4-39 所示。



图 4-39 自重对话框

观察该对话框，发现里面的参数与荷载表很类似，“结构的部分”同样可以选择某个特定的构件，但是此对话框可以提前配置，进行特定构件的荷载施加。

对于自重，一般选择“Z轴”及“与轴的正方向相反”，因数可自行设定，完成参数配置后点击“添加”，接下来的就是我们很熟悉的三种方法施加荷载，读者可自行练习。



提示

对话框中其他选项，即除了Z轴及负方向，一般用于分析离心或者地震荷载。

4.6 施加荷载实例

本节将结合上一章的建模实例进行完整的加载练习，包括工况的创建、节点荷载、杆荷载、面荷载以及自重的施加。

(1) 创建工况

打开第3章的练习模型。

打开“荷载类型”对话框：

① 性质为“恒”，点击“添加”，生成“DL1，DL2”。

② 性质为“活”，点击“添加”，生成“LL1，LL2”。

③ 性质为“风”，点击“添加”，生成“风1”。

④ 性质为“雪”，点击“添加”，生成“SN1”。

完成后点击“关闭”。

(2) 施加杆荷载

• 打开“荷载定义”对话框（为简便练习，本例先进行2D框架的荷载施加）。

• 工况选择“DL2”，选择“杆”，打开“均布荷载”对话框，在Z输入“-5”，点击“添加”，“施加到”框中点击选择或者手动输入“4, 5, 6, 7 或者 4to7”，点击“应用”。关闭“均布荷载”对话框。

• 工况选择“LL1”，点击  按钮，弹出“杆作用力”对话框，在FZ栏输入“-10”，坐标栏输入“x=0.5”，点击“添加”；然后“施加到”框输入“5”，点击“应用”。

• 同样选择“杆件作用力”，FZ输入“-20”，施加到4号杆件。如图4-40所示。

• 选择“风1”工况，选择均布荷载，PX栏输入“1.5”，坐标系统选择“整体”，点击“添加”，施加到1号梁；同样定义均布风荷载，选择均布荷载，PX输入“2.5”，坐标系统选择“整体”杆件8杆件；PZ输入“-3”，坐标系统选择“局部”，施加到11号杆件。风载加载完毕，示意图如图4-41所示。

• 工况选择“SN1”，打开杆件均布荷载对话框，PZ输入“-2.5”，选择“投影荷载”，点击“添加”，施加到11号、12号杆件。

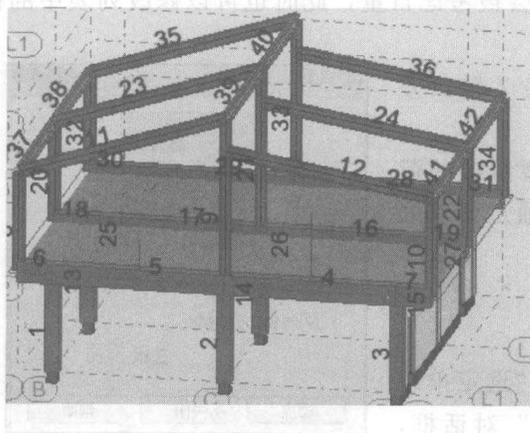


图 4-40 杆件作用力示意图

(5) 荷载表

• 通过“视图” / “表格” / “荷载”或者“荷载” / “荷载表”打开荷载表，如图 4-43 所示。

工况	荷载类型	列表				
1.DL1	自重	1to42 44 45	全部结构	Z	因数=1.00	备忘录
2.DL2	节点力	4	FX=0.0	FY=0.0	FZ=0.0	CX=0.0
2.DL2	均布荷载		PX=0.0	PY=0.0	PZ=-10.00	整体
2.DL2	均布荷载	4to7	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-5.00	整体
3.LL1	杆件力	4	FX=0.0	FY=0.0	FZ=-20.00	CX=0.0
3.LL1	杆件力	5	FX=0.0	FY=0.0	FZ=-10.00	CX=0.0
4.风1	均布荷载	1	PX=1.50	PY=0.0	PZ=0.0	整体
4.风1	均布荷载	8	PX=2.50	PY=0.0	PZ=0.0	整体
4.风1	均布荷载	11	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-3.00	局部
5.SN1	均布荷载	11 12	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.00	整体
5.SN1	均布荷载	23 24 35 36	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.00	整体
4.风1	均布荷载	23 35	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-3.00	局部
4.风1	均布荷载	20 32	PX=2.50	PY=0.0	PZ=0.0	整体
4.风1	均布荷载	13 25	PX=1.50	PY=0.0	PZ=0.0	整体
3.LL1	杆件力	17 29	FX=0.0	FY=0.0	FZ=-10.00	CX=0.0
3.LL1	杆件力	16 28	FX=0.0	FY=0.0	FZ=-20.00	CX=0.0
2.DL2	均布荷载	16 17 28 29	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-5.00	整体
6.LL2	有限元均布	44	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-5.00	整体

图 4-43 荷载表

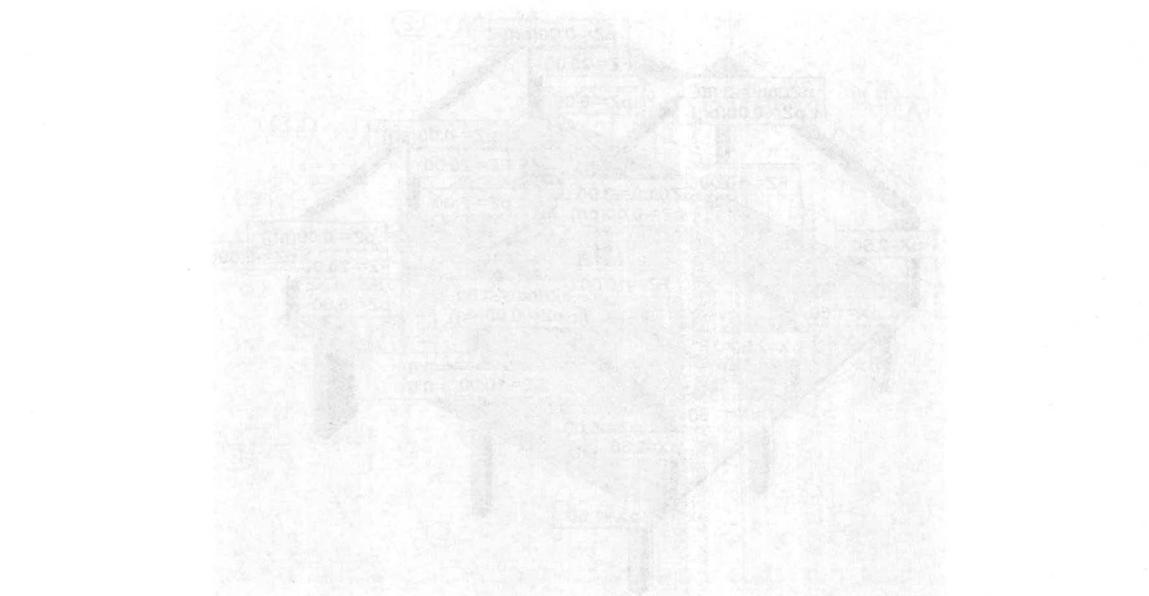


图 4-44 荷载表

荷载面平荷载 (E)

“荷载面平荷载” 图中所示击点，请双击或左键单击并打开“S.L1” 属性列表。

“固定” 击点，单击并选择除荷载“荷载” 击点，“S” 人单击 S9，请双击出

重量荷载 (A)

重量荷载“重量” 击点，“重量荷载” 图中所示击点或左键单击并打开“DL1” 属性列表。

可变荷载击点列表，单击“sq”

第 5 章

结构初步分析

本章导读 >>>

本章将讲解初步的结构分析，包括荷载的组合、模型的验证和计算、结构分析方法，为下一章的结果预览做准备。

学习目标 >>>

- 1. 熟悉荷载组合的含义及方式。
- 2. 掌握各种荷载组合对话框相关参数的设置。
- 3. 重点掌握两种荷载组合的步骤。
- 4. 能够进行模型的验证和计算。

5.1 荷载工况组合

前面几章我们了解了建立基本模型的主要部分，包括构件定义、约束、新建工况并施加荷载到这些构件上。那接下来便可以开始进行简便的运算，因为 Robot 软件对每种工况都会考虑并执行计算，然后进行结果的预览，但是在此之前，应该来了解一下荷载工况组合。

5.1.1 荷载组合介绍

Robot 主要有三种方式建立并管理荷载组合，第一种是手动建立组合；第二种是完全自动组合；第三种是利用自动工具自动建立独特的手动荷载工况。所有的组合都只是一个“主要组合”的组成部分，这些组合最终归结到一个单一的荷载组合叫做“ULS”或者“SLS”，这样可以帮助用户处理大量的荷载组合，如果仅仅考虑线性静荷载工况（非 P- Δ 或者非 P-Delta），可以利用这个强大的功能区处理大量的荷载组合；当然，如果需要考虑 P-Delta 或者非线性，则需要使用手动组合或者自动组合生成特定的荷载组合。原因是线性静荷载工况可以使用叠加原理被叠加，决定结构荷载组合的效果；非线性和 P-Delta 需要单独考虑。

首先，我们来了解学习手动荷载组合，这种组合方式适用于少量的荷载工况组合；其次我们将学习自动的 SLS 和 ULS 荷载组合；最后我们将了解学习被用于非线性和 P-Delta 分析的自动生成手动组合。



提示

ULS (Ultimate Load State) 亦表示承载力极限状态，SLS (Service Load State) 亦表示正常使用极限状态。

5.1.2 手动荷载组合

手动生成荷载组合的缺点是烦琐并且费时。如果仅有少量的荷载组合去生成或者需要调整先前已经手动生成的荷载组合的参数，通过“荷载”/“手动组合”打开“组合定义/修改”对话框，如图 5-1 所示。

① 组合数：Robot 会自动生成下一个号码（除了已经存在的荷载工况数目），此处可以自行修改，但是最好软件自动生成。

② 组合类型：选择相应的组合类型。

a. ULS：承载力极限状态，结构或构件达到最大承载能力，或达到不适于继续承载的变形的极限状态。该荷载组合用于当承载力极限状态验证时的钢和钢混构件设计。

b. SLS：正常使用极限状态，结构或构件达到正常使用或耐久性能中某项规定限度的状态。该荷载组合用于正常使用极限状态时的钢和钢混构件的设计。

c. ACC：偶然组合，承载能力极限状态设计时，永久作用标准值效应与可变作用某种代表值效应、一种偶然作用标准值效应的组合。该荷载组合用于当偶然组合时的钢和钢混构件的设计。

③ 组合名字：此处可随意写，只要能够易于认识，也可由软件自动生成。

④ 参数：点击后弹出“组合参数”对话框，如图 5-2 所示。

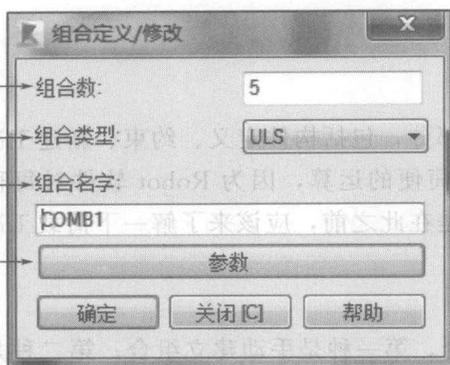


图 5-1 组合定义/修改对话框

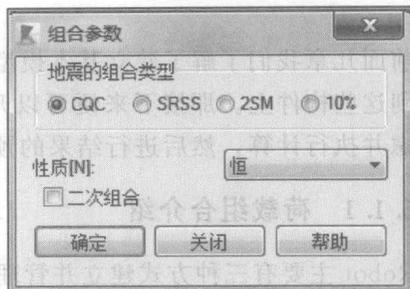


图 5-2 组合参数

- a. CQC: (Complete Quadratic Combinations Method) 完全平方组合。
- b. SRSS: (Square Root of the Sum of Squares Method) 平方和的算术平方根组合。
- 例如: $R_{comb} = \sqrt{(R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_n^2)}$
- c. 2SM: (Double Sum Method) 二重和。
- d. 10%: 占比 10%。

配置完参数点击“确定”，再次点击“组合定义/修改”对话框的“确定”，则弹出“组合”对话框，如图 5-3 所示。



图 5-3 “组合”对话框

- ① 组合: 该项显示了之前在“组合定义/修改”对话框中设置的组合数、组合类型、组合名字,也可以从下拉列表中选择所需要的组合。
- ② 性质: 该项可以用于过滤③“工况列表”,当存在大量的工况时,此项会很有作用。
- ③ 工况列表: 该项不仅会陈列显示所有的工况,而且会显示所有先前已经定义的荷

荷载组合；所有的工况及荷载组合陈列在此，用于建立新的荷载组合。

④ 添加/移除按钮：当选择③“工况列表”中的工况或者组合可点击添加按钮添加到⑤“组合的工况列表”中，同理选择⑤“组合的工况列表”中荷载组合或工况将其移除。

⑤ 组合的工况列表：被选中参与荷载组合的工况将陈列在此处，并且每个工况的因数将陈列在此。

⑥ 因数/因数定义

a. 因数：当选中“工况列表”中某项或某几项工况后，在点击添加按钮前，可以对因数进行修改设定，或者也可以选择“自动”，软件将按默认值进行配置并转化到“组合的工况列表”。

b. 因数定义：该项是“因数”设为“自动”时，陈列默认的各工况因数，点击“因数定义”，弹出“组合因数”对话框，如图 5-4 所示。当因数需要更改时，需要手动进行单个修改。方法是，首先选择需要修改的工况，选择后前方会出现箭头；其次修改因数，输入所需要的值；最后点击“变化”，即可完成修改。

最终，可以点击“应用”或者“关闭”完成这次组合或者使用“新的”开启另一个组合。而对话框中的“变化”，可以用来打开“组合定义/修改”对话框修改参数和组合名字。



图 5-4 组合因数对话框

5.1.3 自动荷载组合

5.1.3.1 工作流程

① 通过“荷载”/“自动组合”打开“荷载工况规范组合”对话框，如图 5-5 所示。

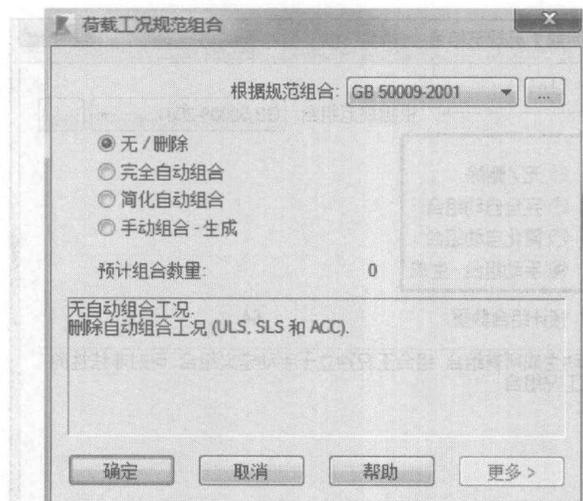


图 5-5 荷载工况规范组合

② 核实对话框“根据规范组合”中的规范，可以通过下拉列表进行修改；也可关闭对话框，打开之前讲过的“工程首选项”（通过“工具”/“工程首选项”/“设计规范”打开）进行规范的修改。

③ 选择相应的组合方式，“完全自动组合/简化自动组合/手动组合-生成”（后面会详细讲解）。

④ 选择对话框中“更多”，弹出“荷载工况规范组合 GB 50009—2001”对话框，如图 5-6 所示，检查“工况”、“组合”、“组”、“关系”。



图 5-6 荷载工况规范组合 GB 50009—2001

⑤ 如果在组合方式中选择“手动组合-生成”，则点击“通过”弹出的对话框中，还有“下一步”，可以选择“需要生成的组合”。

⑥ 最后点击“产生”。

5.1.3.2 荷载工况规范组合对话框

Robot 利用一套可定制的规则来产生荷载组合，这种规则包含工况、组、关系等。这样可以很好地控制产生组合的结果，也可以在复杂的种类中建立多种不同的组合。

通过“荷载”/“自动组合”打开荷载工况规范组合对话框，如图 5-7 所示。

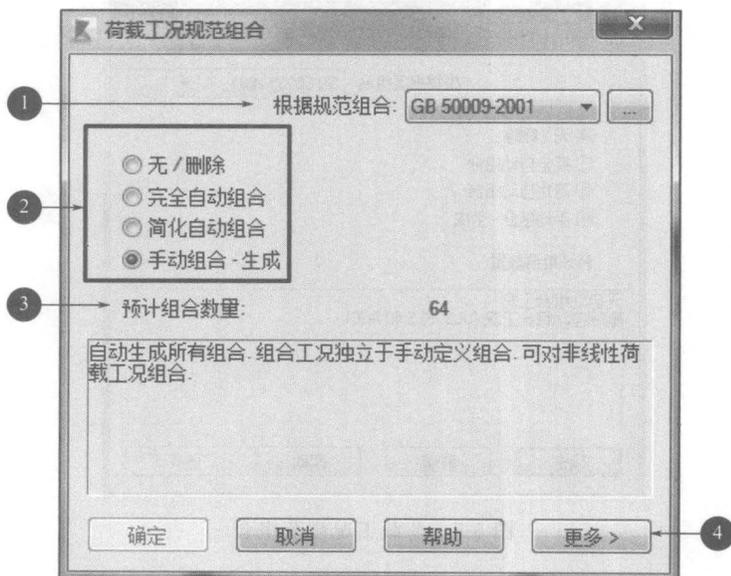


图 5-7 荷载工况规范组合对话框

① 根据规范组合：下拉列表陈列已经设置过的规范，这些规范由工程首选项（通过

“工具”/“工程首选项”打开)配置。查看基本设置可以添加规范,之前已经讲过。右侧的省略号:也称规范组合管理编辑器,可以打开并修改当前规范的参数。

② 产生方式

- a. 无/删除:删除自动组合工况 (ULS, SLS, ACC)。
 - b. 完全自动组合:各荷载工况根据组合类型 (ULS, SLS, ACC) 分组组合,并产生包络工况。
 - c. 简化自动组合:根据所选规则自动生成极限工况 (最大力、挠度、反力),本章不使用。
 - d. 手动组合-生成:自动生成所有组合,组合工况独立于手动定义组合。
- ③ 预计组合数量:基于当前设置,对将要生成的组合进行预估。
- ④ 更多:点击后可以控制何种工况将参与到组合。

注意

“完全自动组合”不能用于分析“非线性和 P-Delta”,“手动组合-生成”可对非线性荷载工况进行组合。

5.1.3.3 规范管理编辑器

传统荷载组合的设置已经完成,不需要进行太多调整。当然,这里需要注意这些设置的源头。点击图 5-7 对话框中的①右侧的省略号,则弹出如图 5-8 所示的规范管理编辑器。

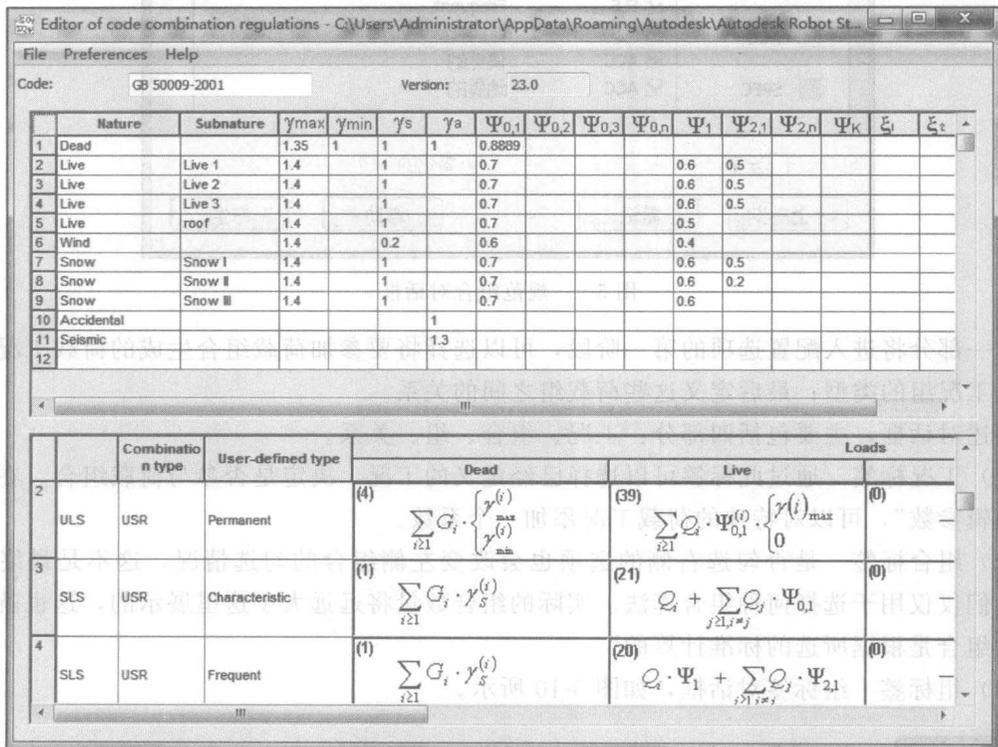


图 5-8 规范管理编辑对话框

这个规范管理编辑器是以欧洲规范组合为基础发展的。通常,欧洲规范作为一个标准组合所有的可变荷载(一般以字母 Q 表示)被称作可变作用,大方面讲意味着风载、活载、

雪载都属于可变作用。恒载（一般以字母 G 表示）被称作“永久作用”，并且被单独考虑，这导致了对话框中有 4 列：恒载、活载、偶然作用、地震作用。对话框中每一列作用下方的求和公式也同样是因数“ γ 、 Ψ 、 ξ ”。这种体制也已经被美国规范（LRFD、ACI）适应，所以当发现相似的因数 1.2、1.4、1.6 作为恒载和活载的系数，他们也相当于在欧洲规范下的“ γ 、 Ψ 、 ξ ”。对话框第一列表示组合的形式，包括 ULS、SLS、ACC；第二列表示组合的名字；后面在荷载类型下方的是求和公式，他们将被应用到荷载工况的组合中。

用户可以对编辑器进行更深的挖掘。现在，仅仅意识到该处，并且知道它是用于定义组合的。可以对上述信息进行重新编辑，但是建议先备份一份所要修改的内容。

5.1.3.4 更多

通过点击“完全自动组合”、“简化自动组合”或者“手动组合-生成”，然后点击右下方的“更多”，弹出“荷载工况规范组合 GB 50009—2001”对话框，如图 5-9 所示。

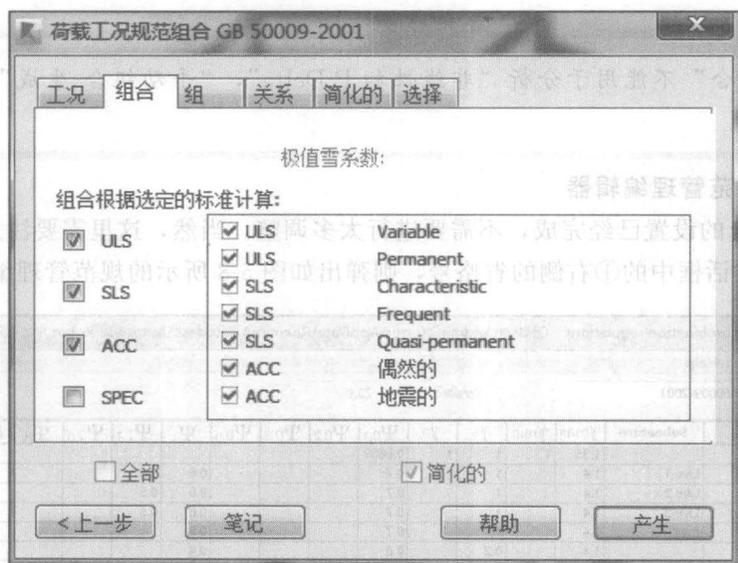


图 5-9 规范组合对话框

这一部分将进入配置选项的第一阶段，可以选择将要参加荷载组合生成的荷载工况；生成荷载工况组的类型；最后定义这些荷载组之间的关系。

上述对话框，主要包括四部分：工况、组合、组、关系。

(1) 工况标签 通过此标签可以选择已经定义的工况，决定是否参与荷载组合。在右侧的“编辑参数”，可以对特殊的荷载工况添加一个系数。

(2) 组合标签 是否勾选右侧的选项也会改变左侧组合的勾选情况，这不是最终的组合，他们仅仅用于选择何种组合算法。实际的组合数量将远远大于这里展示的，这也就是所说的“组合是根据所选的标准计算的”。

(3) 组标签 组标签对话框，如图 5-10 所示。

注意

对于大部分普通结构，“组”和“关系”已经被设置完毕。对于任何荷载组合生成，每个工况必须被设置到组里，并且每一组参与到关系中。

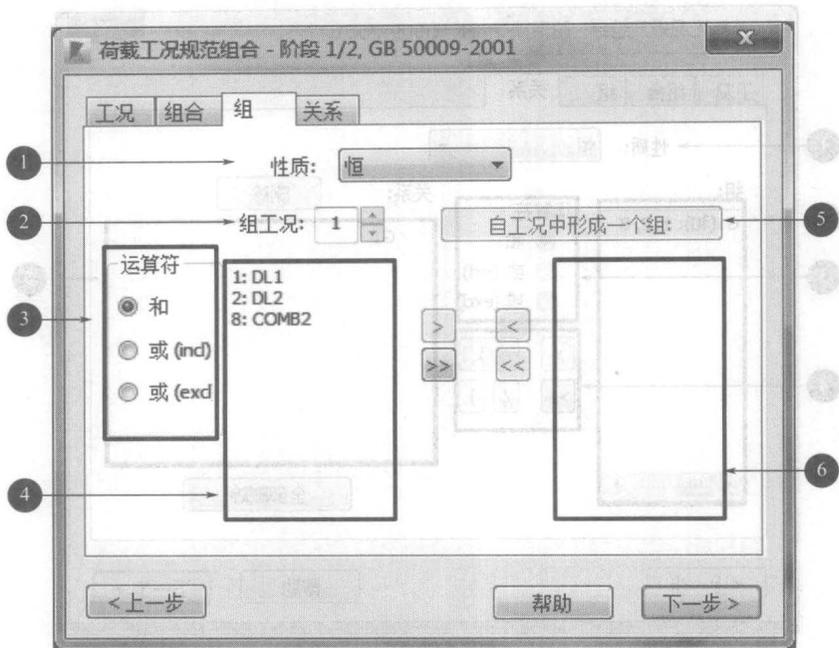


图 5-10 组标签

- ① 性质：使用该项快速选择所要生成或者修改的荷载工况，变化将出现在④中。
- ② 组工况：组名称命名方式是指示性字母加数字。例如恒载组表示为 G1、G2、…、Gn，活载组表示为 Q1、Q2、…、Qn 等。
- ③ 运算符：该标签下存在三种选项，可以进行三种不同方式的组合。
- 和：选择“和”，则所有选择的工况将同时被应用并组合。恒载和活载一般使用此项，可以同时选择所有的荷载一起组合。
 - 或 (ind)：选择“或 (ind)”，将生成所有可能的组合；例如，选择 LL1、LL2、LL3 使用或 (ind) 形式添加到组，则会得到的组合包括 LL1 或 LL2 或 LL3 或 LL1+LL2 或 LL1+LL3 或 LL2+LL3 或 LL1+LL2+LL3。
 - 或 (excl)：选择该项，将只生成单一的组合；例如，选择 LL1、LL2、LL3，使用或 (excl) 添加到组合，将只得到 LL1、LL2、LL3。
- ④ 组工况清单：该项显示所有当前分配到特定组的工况。
- ⑤ 自工况中形成一个组：运用该按钮，将前面选择的工况生成一个新的工况组。需要注意的是，该按钮将对出现在⑥中的所有工况进行生成，避免重复，需要反复使用该按钮生成一个新的工况组，或者移除不想要的工况。
- ⑥ 可使用工况列表：如果有余下没有被添加进新的工况组的工况，将在该列表中陈列。
- (4) 关系标签 关系标签可以对已经配置的工况组进行逻辑关系操作。有两种潜在的逻辑操作水平，一种是在组的水平上对单独的工况进行操作，另一种是在关系的水平上对工况组进行操作。如果此处没有定义关系，那么此处不会生成荷载组合。所以必须有“和”关系以便 Robot 生成荷载组合。
- ① 性质：与组标签类似，该项可快速选择荷载工况组。

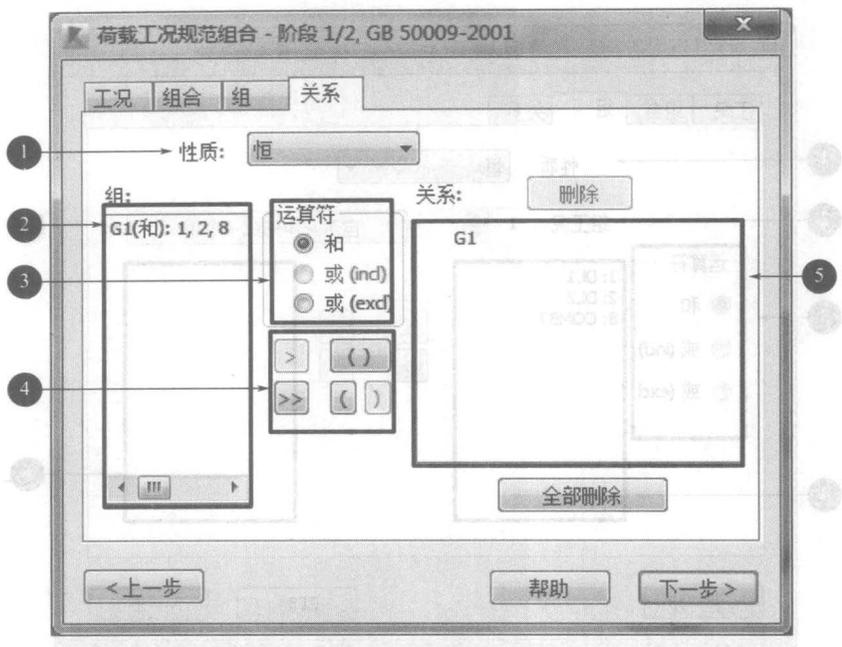


图 5-11 关系标签

② 组：前面组标签生成的所有组（无论是自动或者手动生成）在此处陈列。陈列的顺序为，首先是组名称（例如 G1），然后是应用到的逻辑关系（例如“和”），最后是一系列工况的编号。可以分别通过工况、组标签回顾浏览它们。

③ 运算符：选择完一组工况后，可以选择任意的关系，进行添加，查看在⑤中如何显示。

④ 添加按钮：为了在组之间生成高级逻辑关系，圆括号按钮可以帮助我们更灵活地控制关系的组合。例如，如果选择活载组 Q1、Q2、Q3，我们希望 Q2 和 Q3 应用到一起，达到“Q1 或 (Q2 和 Q3)”的效果，则可以运用此项的添加按钮进行操作完成。操作步骤如下。

- 性质选择“活”，则②出现 Q1、Q2、Q3。
- 选择 Q1，点击添加按钮的“>”。
- 选择运算符的“或 (ind)”，点击添加按钮的“()”。
- 选择组中的“Q2、Q3”，并选择运算符的“和”，点击添加按钮中的“>”。
- 最终出现“Q1 或 (Q2 和 Q3)”。

⑤ 关系列表：当前配置完成的关系将在此处陈列，例如④中的练习，最终结果将陈列于此。

5.1.3.5 组合选择

选择自动荷载组合的最后一步，是工况组合的选择，在上一步四种标签设置完毕后，点击右下方的“下一步”，将进入如图 5-12 所示的组合选择对话框。

对话框里展示了所有可能的荷载组合，当然这些组合是基于前面对话框设置的内容出现的，现在要进行的工作是选择真正所需的荷载工况组合。对话框中加框部分，是进行全部选择和全部不选择的按钮，即点击左边方框打勾的图形，则可快速选择所有的工况，点击右侧



图 5-12 组合选择对话框

空方框则可快速清空所有的选择。

5.1.4 练习

打开 Robot 软件，选择新建工程——建筑设计。

- 通过“荷载”/“荷载类型”打开荷载类型对话框，分别定义如图 5-13 所示的荷载类型。设定完毕，关闭对话框。



图 5-13 荷载类型

- 通过“荷载”/“手动组合”打开对话框，在组合名字框内填入“1.2DL+1.4LL”，点击确定。
- 弹出组合对话框，选择工况 1，并在因数框内填入 1.2，点击移动区的右箭头，完成工况 1 的移动。按照此方法选择 LL1，因数填入 1.4 进行移动。

11 : 1.2DL+1.4LL
1 : DL1
2 : DL2
3 : LL1
4 : LL2
5 : LL3
6 : LL4
7 : 风1
8 : 风2
9 : SN1
10 : SN2
11 : 1.2DL+1.4LL
简单工况
组合

图 5-14 工况陈列

• 点击“应用”，查看荷载工况陈列，如图 5-14 所示，出现新的工况 11：1.2DL+1.4LL。

• 通过“荷载”/“组合表”打开组合表，鼠标移动到该表并点击鼠标右键，选择“表格栏”，弹出组合对话框，在组合描述中选择“工况标识”；点击“OK”。则组合表中“定义”的前后区别如图 5-15 所示。

• 关闭手动组合对话框，通过“荷载”/“自动组合”打开荷载工况规范组合对话框，选择完全自动组合。

• 点击“更多”，切换到含有前面讲的四个标签的对话框，点击工况标签，确定所有工况已经被选择。分别点击“组”和“关系”标签，在自动组合中，软件已经为我们设置

好组与关系，并且适用于大多数情况。但在此例中，我们将进行修改。

组合	名字	分析类型	组合类型	工况性质	定义
11	1.2DL+1.4LL	线性组合	ULS	恒	1*1.20+3*1.40

组合	名字	分析类型	组合类型	工况性质	定义
11	1.2DL+1.4LL	线性组合	ULS	恒	DL1*1.20+LL1*1.40

图 5-15 组合表对比图

• 点击“组合”标签，去掉 ACC，因为我们没有设置地震荷载，不会生成地震组合。

• 对话框下方的“笔记”，记录了当前关于“工况”、“组合”、“组”、“关系”的设置。

点击笔记可查看。

• 点击“组”标签，默认的性质为恒，切换到活，我们重新进行配置。

a. 现在显示的是一个活载组包括四个参与工况：LL1，LL2，LL3 和 LL4。LL1 是均布活荷载，但 LL2~LL4 是最不利位置的可变荷载。我们希望 LL1 可以随时被施加而 LL2~LL4 只能作为可变荷载单次施加，所以需要生成两个组。

b. 依次选中 LL2、LL3 和 LL4，点击右箭头进行工况移动。

c. 点击“自工况中形成一个组”，则“组工况”变为 2；点击运算符，变为“或 (excl)”，示意图如图 5-16 所示。

• 切换到“关系”标签，性质选择“活”，注意到当前在右侧关系列表中只有 Q1。现在选择 Q2 并且选择“和”，点击右箭头完成 Q2 的添加。

• 点击产生，在平面中建立简单的几何形状，例如两根柱上搭一根梁，目的是运行计算从而产生荷载组合。完成几何的建立，则点击计算按钮开始计算，此过程中出现的任何警告都选择忽略。

• 运行计算完毕后，通过“荷载”/“组合表”打开组合表，单击右键选择表格栏，组合描述勾选工况标识。

• 则组合表将如图 5-17 所示。

• 重新选择自动组合，此次选择“手动组合-生成”。

• 此次尝试练习前面所学的设置 4 种不同活载工况组并且生成一种高级活载关系。首先需要“删除”前面存在的两个活载组，然后依次选择单个活载移动到右侧，点击“自工况中

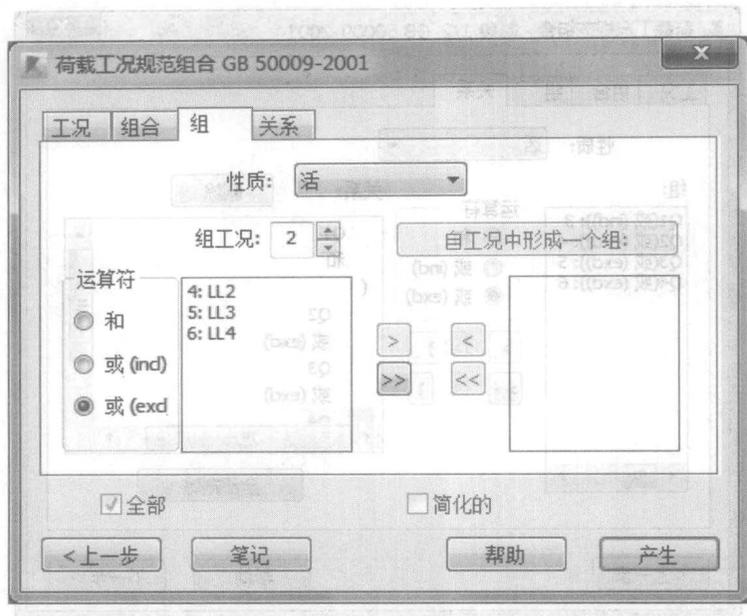


图 5-16 组示意图

组合/公司	定义
ULS/5	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL2*1.40 + 风,1*0.84 + SN1*0.98$
ULS/6	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL2*1.40 + 风,1*0.84 + SN2*0.98$
ULS/7	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL2*1.40 + 风,2*0.84$
ULS/8	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL2*1.40 + 风,2*0.84 + SN1*0.98$
ULS/9	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL2*1.40 + 风,2*0.84 + SN2*0.98$
ULS/10	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL3*1.40$
ULS/11	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL3*1.40 + SN1*0.98$
ULS/12	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL3*1.40 + SN2*0.98$
ULS/13	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL3*1.40 + 风,1*0.84$
ULS/14	$DL1*1.20 + DL2*1.20 + LL1*1.40 + LL3*1.40 + 风,1*0.84 + SN1*0.98$

图 5-17 组合表

形成一个组”，同时注意调整 Q2-Q4 为“或 (excl)”。

- 完成后切换到“关系”标签；做到右侧列表只有 Q1，选择“和”以及点击“()”，则会达到这样的效果：在 Q1 与圆括号内的任何事件之间存在“和”。然后依次选择 Q2-Q4 以及“或 (excl)”点击右箭头进行移动工况组。最终示意图如图 5-18 所示。

- 这个练习给我们一个通过同方式训练设置组与关系的机会。

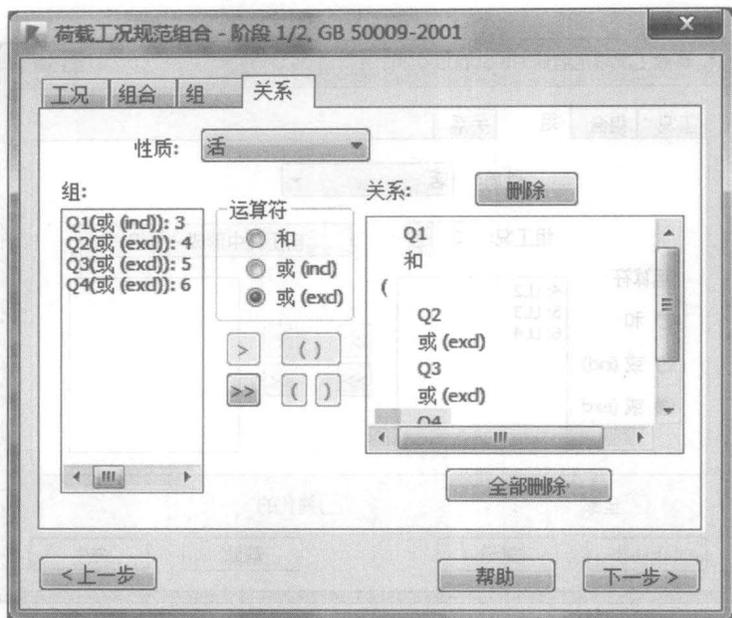


图 5-18 关系示意图

5.2 模型验证

完成一个模型的练习后，通过“分析”/“验算”打开结构验证对话框，如图 5-19 所示，报告中可能包含一些错误和警告。

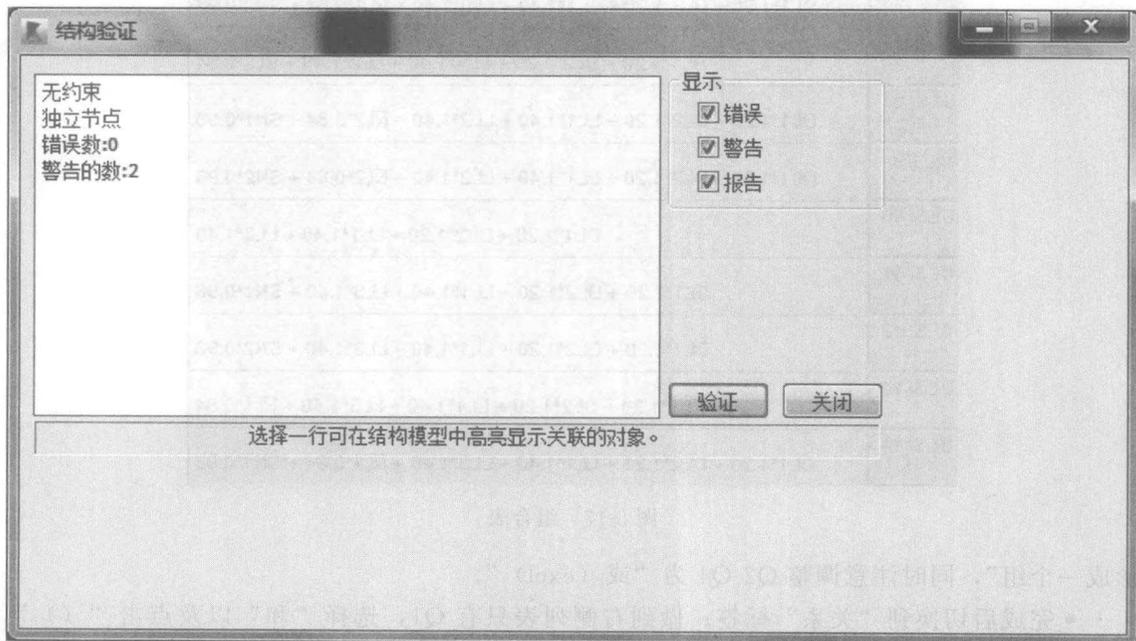


图 5-19 结构验证报告

可能遇到的警告之一是计算模型过期。而没有生成计算模型则验算不能完全进行，在 Robot 中物理模型是生成计算模型的基础。通过“分析”/“分析类型”打开分析类型对话框

框，选择“结构模型”标签，点击最下方的“计算模型的产生”来生成计算模型。

完成计算模型的产生，此时验证对话框中包括了该模型所有的警告和错误，示意图同样如图 5-19 所示。

这里有两个警告：①无约束；②存在独立节点。这些警告是很常见也是容易解决的，“没有约束”表示模型中某构件缺少约束，可以增加合适的约束；独立节点表示删除杆件时遗漏了某些节点或者有重复的节点存在。需要注意的是对话框下方有一行字：选择一行可在结构模型中高亮显示关联的对象（软件汉化时翻译比较直白）。意思就是在对话框中显示的警告或者错误，选择其中一行，则可以在视图模型中显示存在此问题的构件。

处理“独立的节点”这一警告，方法一是选择验证对话框中的独立节点一行，将显示出独立节点，然后点击键盘【Delete】键；另一种方法是选择一部分构件，点击界面上部标准工具栏的“在新窗口中编辑”按钮。

警告是常有的事情，Robot 也可以选择忽略，一般情况下警告影响不大，选择忽略可以将计算运行下去，当然可能造成结果无法特别精确。但是建议最好可以去尝试解决出现的警告，这样可以理解每个问题的来源，增强自己建模和设置参数的信心。

5.3 运行计算

我们已经了解完关于建立模型、约束、荷载、荷载工况组合，所以现在可以对模型运行计算。除非用户自行选择一种非线性分析或者添加一种需要非线性分析的构件，否则我们的所有计算将是线性静力的。运行计算，可以选择工具栏的计算按钮，或者通过“分析”/“计算”开始运行计算。

5.3.1 计算报告

可以通过“分析”/“计算注释”选择“简化报告”或者“完整报告”。报告信息包括计算日期、模型名称、结构类型（节点、杆件等的数目）以及其他信息。有些信息只在“完整报告”中，“简化报告”可以快速浏览模型信息和分析情况，选择“完整报告”查看详细的信息。这些报告也可以通过屏幕捕捉（下一章介绍）来转换成文件。简化报告部分示意图，如图 5-20 所示。

5.3.2 分析类型

5.3.2.1 分析模型对话框

分析类型对话框可以帮助用户浏览当前的工况和组合设置，通过“分析”/“分析类型”或者界面上方菜单栏的打开“分析类型对话框”，如图 5-21 所示。

① 工况与组合列表：所有荷载和手动定义的组合都将在此陈列，并且后面显示它们的组合类型。

② 参数：该项用于对工况进行分析类型的设置，对于静态的工况或组合，可以设置非线性或 P-Delta 分析。步骤是：首先选择一个荷载工况，点击参数打开对话框，勾选“二阶效应分析”或者“大位移分析”。

③ 工况列表：可以手动输入工况号，或者点击右侧省略号一次性选择多个工况及组合。用于④设置参数。

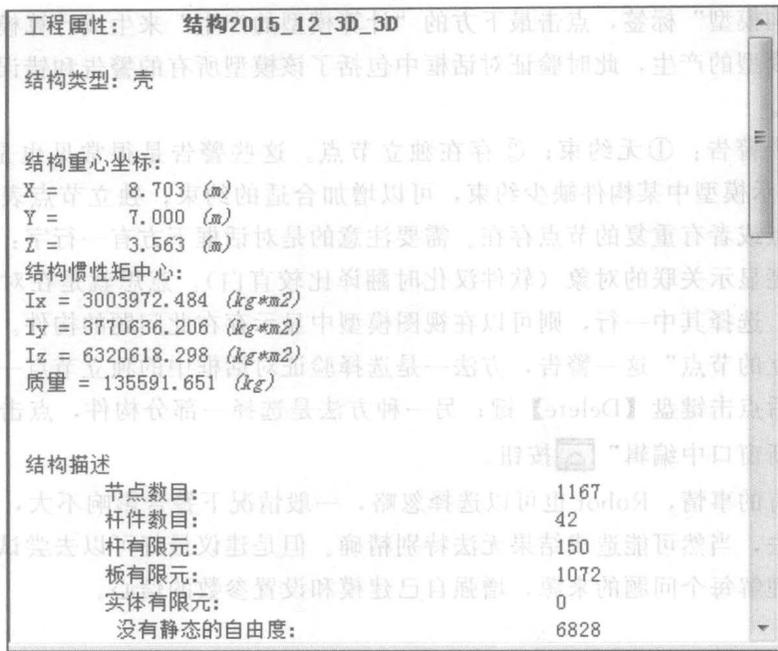


图 5-20 简化报告

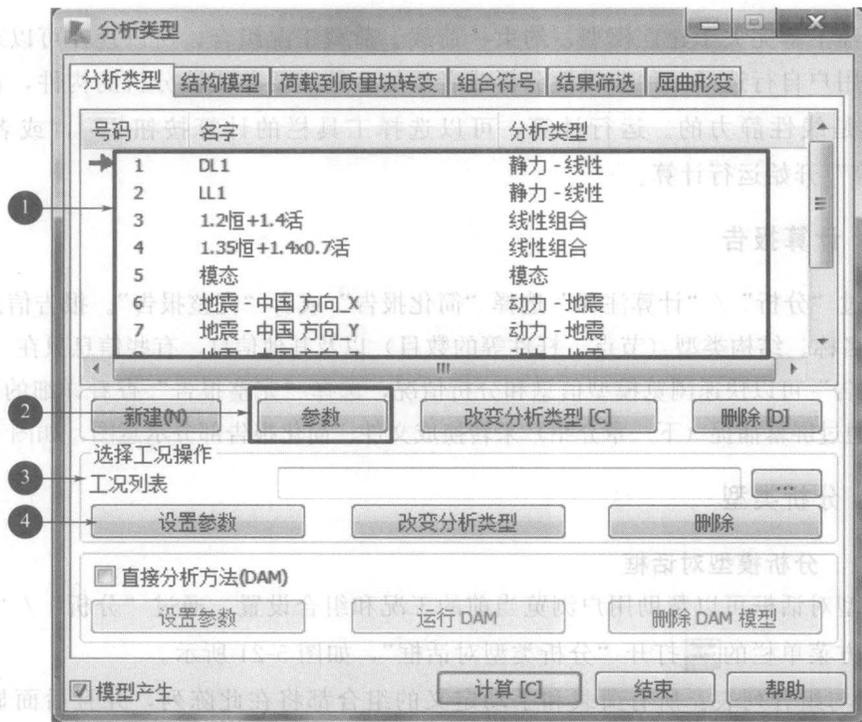


图 5-21 分析类型对话框

④ 设置参数：通过③工况列表的选择，点击后弹出“选择工况参数”对话框，对一系列工况进行“设置非线性分析参数”和“设置屈服分析参数”。

5.3.2.2 非线性分析

为了解释结构分析中的 P-Delta 效果，我们需要使用非线性分析选项。在分析类型对话

框中，点击参数即可打开“静力分析参数”对话框，如图 5-22 所示。

① 工况：显示所选工况的名称。
② 附加的工况：选择一个工况设置为附加，表示它将排除在计算之外。包含此工况的荷载工况和组合将不会有可用的计算结果。如果存在一些特殊需要针对的或者多次迭代区域，该选项可以作为一种工具，用来帮助用户减少时间。

③ 二阶效应：打开方程式的迭代解，这将使 Robot 采用牛顿-拉普森迭代法去评估方程式。这个选项一旦启用，则⑤非线性分析参数将进行具体的参数设置。

④ 大位移：该选项将不仅重置每个牛顿-拉普森迭代的所有刚度矩阵，而且包括变形几何的影响。如果选择该项，你会发现上一个选项同时被勾选。大位移分析需要用于更高级的 p-delta 分析。

⑤ 非线性分析参数：可以通过该项设置参数，进而控制牛顿-拉普森迭代法的运作。这些选项可以用于微调算法以便提高计算的效率或者调整牛顿-拉普森迭代法的收敛。

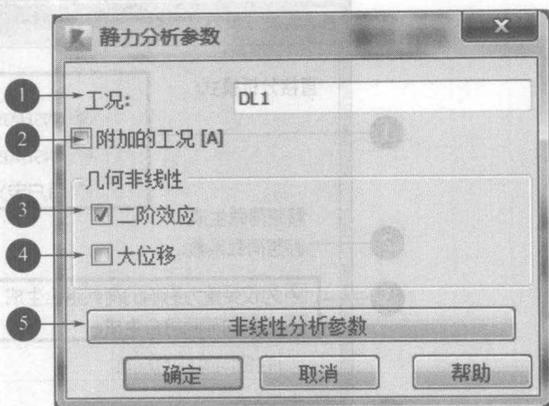


图 5-22 静力分析参数

5.4 直接分析法 (DAM)

自 Robot 2015 开始，它的一个新特点是对结构设计提供了一个完全直接分析模型的方法。这个直接分析方法组成部分如下：

① 施加名义上的荷载到结构，来评估结构的初始挠度。

② 完全的 P-Delta 分析 (包括 $P-\Delta$ 和 $P-\delta$)。

③ 考虑屈曲、剪切、轴向构件的变形。

④ 刚度折减来调整材料塑性区域的压力。

5.4.1 考虑剪切变形

为了执行一次完整的直接分析，需要考虑构件中的剪力。剪切变形可以通过“高级特性”对话框进行勾选考虑，通过“几何”/“附加属性”/“杆件高级特性”打开“高级特性”对话框，勾选“变形计算中考虑剪力”，在杆件列表中输出杆件号。完成这一步，则 P-Delta 分析将包含构件剪切变形。

5.4.2 设置 DAM 参数

对于已建完的模型，通过“分析”/“分析类型”打开分析类型对话框，勾选下方的“直接分析方法”选项，然后点击“设置参数”，弹出“直接分析方法参数”对话框，如图 5-23 所示。

① 直接分析模式：Robot 的直接分析方法是根据所运行的分析/设计为 AISC360-10LRFD 或者 ASD 设置的。用户也可以选择用户定义，设置假想荷载系数和钢构件刚度折

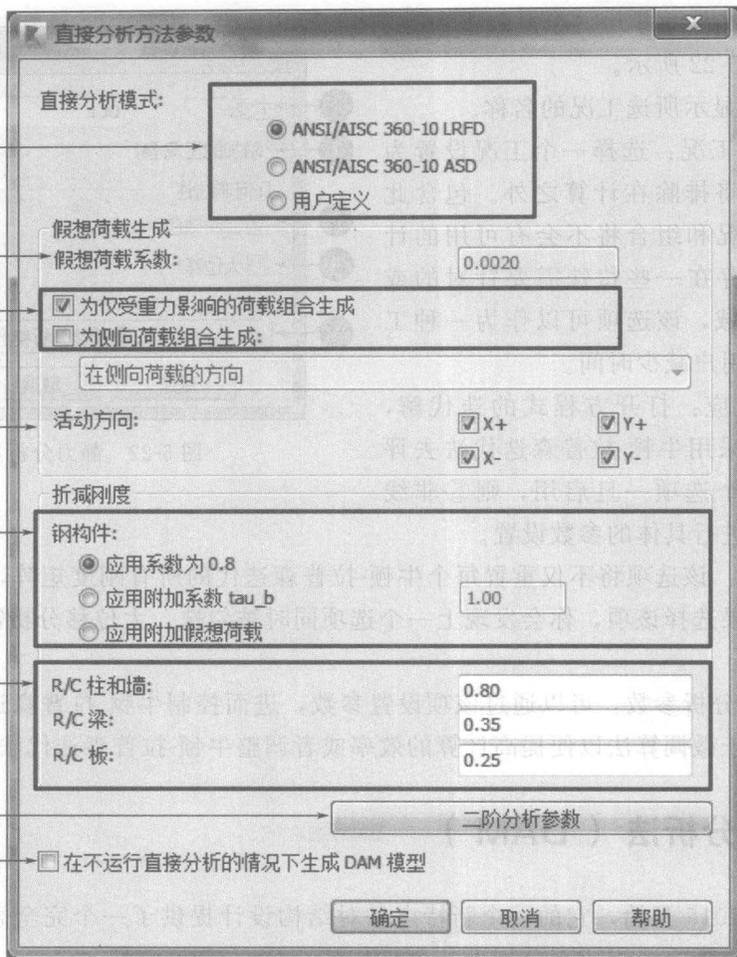


图 5-23 直接分析方法参数对话框

减。如果选择已设置完毕的选项，则 Robot 将会使用 0.0020 作为假想荷载系数。

② 假想荷载系数：该选项只有在“直接分析方法”中选择“用户定义”方可修改。

③ 荷载组合选项：Robot 可以控制何种荷载组合拥有假想荷载。当切换到 DAM 模式后，点击计算，完毕后点击界面左上角的“点击此按钮可以切换到 DAM 模型视图”，查看工况选择器，如图 5-24 所示。

④ 活动方向：这个选项用于设置结构假想荷载的施加方向，对于③中选择的每个组合类型，假想荷载的设置将施加到每个指定的活动方向。换种角度说，例如，一个作用于 X 正方向的侧向荷载组合，在 DAM 模式下，将拥有两个组合，一个假想荷载施加到 X 正方向，一个施加到 X 负方向。如果你的模型较大，这将增加计算时间，所以建议运行确定工况及方向的 DAM 计算。

⑤ 钢构件折减刚度：

a. 应用系数为 0.8：构件刚度折减的标准选项。

b. 应用附加系数 tau_b：这种方式施加系数 0.8 并附带

23 : ACC:SEI/3=1*1.00 + 4*1.30
 24 : ACC:SEI/4=1*1.00
 25 : ACC:SEI/5=1*1.20 + 5*1.30
 26 : ACC:SEI/6=1*1.00 + 5*1.30
 27 : ACC:SEI/7=1*1.20 + 6*1.30
 28 : ACC:SEI/8=1*1.00 + 6*1.30
 29 : ACC:SEI/9=1*1.20 + 4*1.30
 30 : ACC:SEI/10=1*1.00 + 4*1.30
 31 : ACC:SEI/11=1*1.20 + 5*1.30
 32 : ACC:SEI/12=1*1.00 + 5*1.30
 33 : ACC:SEI/13=1*1.20 + 6*1.30
 34 : ACC:SEI/14=1*1.00 + 6*1.30
 35 : NL X (DL1)
 36 : NL Y (DL1)
 37 : NL X (LL1)
 38 : NL Y (LL1)
 41 : DAM - ULS/1=1*1.20 + 2*1.40 + NL X+
 42 : DAM - ULS/1=1*1.20 + 2*1.40 + NL X-
 43 : DAM - ULS/1=1*1.20 + 2*1.40 + NL Y+
 44 : DAM - ULS/1=1*1.20 + 2*1.40 + NL Y-
 45 : DAM - ULS/2=1*1.20 + 2*1.40
 46 : DAM - ULS/2=1*1.20 + NL X+
 47 : DAM - ULS/2=1*1.20 + NL X-

图 5-24 含 DAM 的工况

τ_b 系数。

c. 应用附加假想荷载：这个选项将使假想荷载系数调为 0.0030。

⑥ 混凝土构件折减刚度：在 DAM 模式下，可以对混凝土构件进行刚度折减的设置。



提示

截面特性中也可进行混凝土构件的刚度折减，所以应注意避免两次应用折减。

⑦ 二阶分析参数：DAM 方式需要一套整体的 P-Delta 分析，该项将用于设置非线性分析的荷载步骤和收敛性判别准则。

⑧ 在不运行直接分析的情况下生成 DAM 模型：如果用户希望简单生成模型并研究荷载及荷载组合修改，可以勾选此项。也可运用此项初步分析主模型，来决定该模型操作情况过多或过少。当用户准备对钢结构运行 DAM，不要勾选这个选项并重新计算。

5.4.3 DAM 报告

当勾选 DAM 运行计算，就可得到 DAM 报告，当切换到直接分析模型时，也可通过“分析”/“计算注释”/“简化报告”打开直接分析报告，如图 5-25 所示。

直接分析报告		
分析参数：		
模式：	ANSI/AISC 360-10 LRFD	
假想荷载生成：		
仅用于包含重力荷载的组合	是	
假想荷载系数：	0.0020	
用于包含侧向荷载的组合	是	
在侧向荷载的方向		
假想荷载系数：	0.0020	
活动方向	X-X+Y-Y+	
折减刚度：		
钢构件	折减法	应用其他系数 τ_{au_b} $\tau_{au_b} = 1.00$
	折减刚度：	0.80
非钢构件的折减刚度	R/C 柱和墙：	0.80
	R/C 梁：	0.35
	R/C 板：	0.25
	其他：	0.80
DAM 模型：		
仅包含重力荷载的组合所生成的组合数量	40	
包含侧向荷载的组合所生成的组合数量	0	
非线性二阶效应分析	已完成	
二阶与一阶的最大位移比	3.99	
用于组合：	60/13	
Pr/Py 的最大比值	0.00	
对于图元编号/荷载工况编号	0 / 0	
需要 τ_{au_b} 值	0.00	

图 5-25 直接分析报告

一些关键信息将在直接分析报告中呈现，包括假想荷载系数、二阶与一阶的最大位移比、Pr/Py 的最大比值、需要的应用附加系数 τ_b 。在该报告中，选择了 0.8 的刚度折减，并且没有额外的 τ_b 系数，这份报告的值将帮助用户了解是否需要修正最初的柱子尺寸或通过修改 τ_b 值进行刚度的再折减。

第 6 章

结果初步预览及计算书输出

本章导读 >>>

本章将讲解初步的结果预览及计算书的输出，包括示意图和彩图，反映节点和结构层信息的表格，最后输出计算书。

学习目标 >>>

- 1. 熟悉示意图及彩图的参数设置。
- 2. 掌握反映节点以及结构层信息的表格，并且学会过滤信息。
- 3. 掌握对于不同形式下的屏幕捕捉。
- 4. 练习不同标签下的计算书输出。

6.1 示意图

当成功运行完计算后，可以进行结果的预览，包括内力、变形、应力、反力等。可以通过“结果”/“杆件示意图”或者布局选择器开始结果预览，如图 6-1 所示。

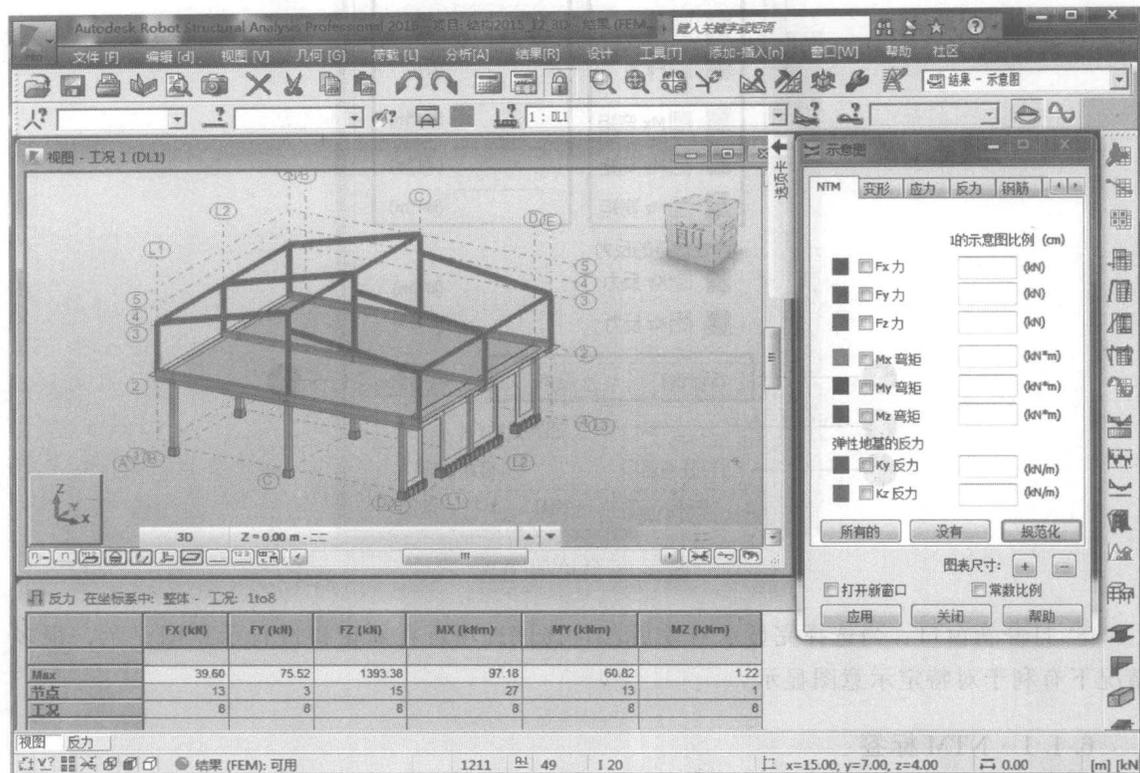


图 6-1 结果预览界面

通过布局选择器打开的结果-示意图，不仅包含示意图部分，也包含反力表。杆件结果-示意图对话框可以进行构件内力示意图、结构变形、反力及应力示意图的预览。如图 6-2 所示为结果示意图主要的选项。

① 选项卡：可以通过该选项卡快速选择结果类型标签，方法是将鼠标悬停在该项，依次显示 NTM、变形、应力、反力、钢筋、参数 6 个标签。

② 结果类型标签：选择不同标签进行不同示意图的展现，通过最右侧箭头可以选择未显示的标签。

③ 显示对象：通过对对象旁边的方框，勾选来显示所要的图像，勾选完毕后点击“规范化”或者“应用”方可显示示意图。

④ 示意图比例：使用“规范化”按钮，将自动决定合理的比例；当然，也可手动输入常用的比例来增大或减小示意图的尺寸，输入数字越小示意图越大，同理反之。

⑤ 所有的/没有：快速选择对话框中出现的所有对象或者全部不选择。

⑥ 规范化：点击后将显示该对话框下所选择的对象，并且会自动调整到合适的比例。

⑦ 图表尺寸：通过“+”或者“-”号来增大或减小显示比例，从而调整示意图的大小。

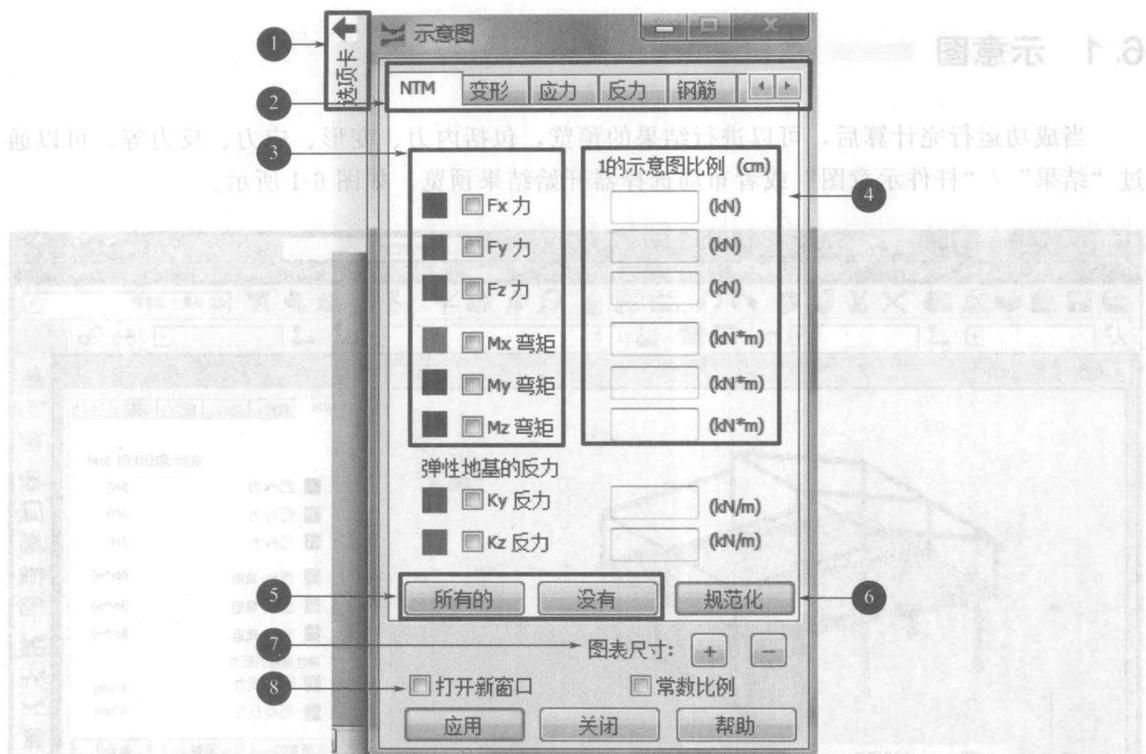


图 6-2 结果-示意图

⑧ 打开新窗口：当选择完显示对象后，勾选该选项可在新窗口进行示意图显示，很多情况下有利于对特定示意图显示。

6.1.1 NTM 标签

NTM 标签用于展示杆件的示意图，并且一般为主力构件的横截面示意图。所有的力都是通过如图 6-3 所示的局部坐标来确定方向的。如果弹性地基约束确定后，则可显示弹性地基反力 K_y 和 K_z 。

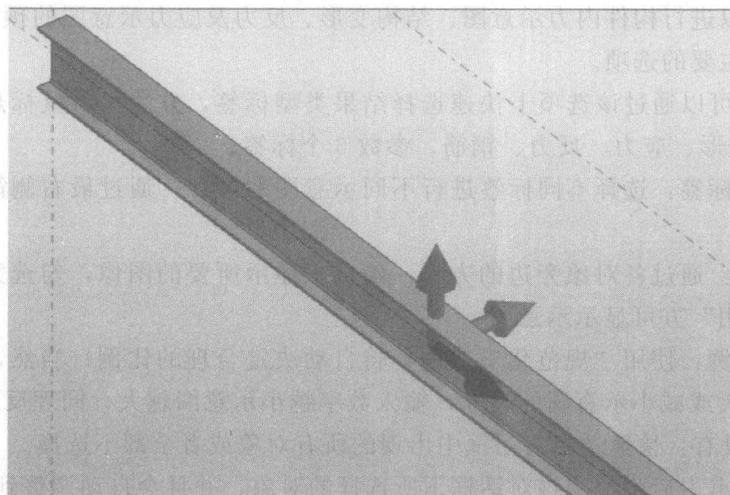


图 6-3 局部坐标

例如，对于某结构模型，运行完计算后，则可预览结果，选择 NTM 标签下的 My，点击“应用”或者“规范化”，显示的示意图如图 6-4 所示。

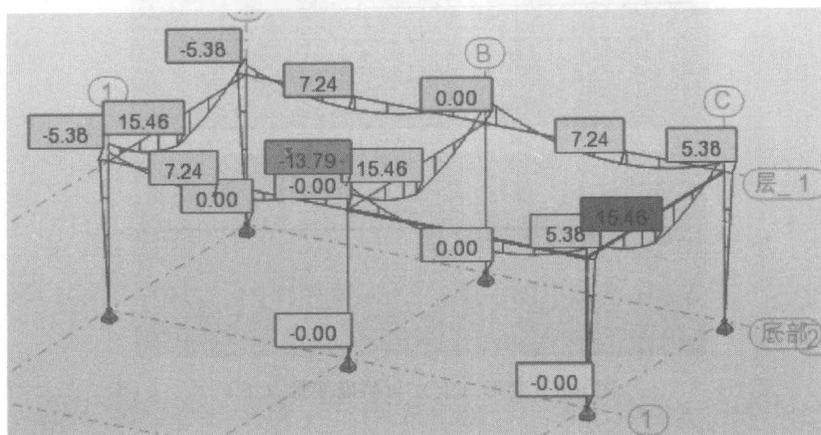


图 6-4 模型 My 图

6.1.2 变形标签

若模型分析运行完毕，变形标签不仅展示结构挠度，且可以反映结构的振型，也可运用动画绘制挠度形状来更好地显示模型的运行情况，变形标签如图 6-5 所示。

6.1.2.1 变形

这里存在两个选项——“变形”和“精确的变形”，这两者的主要不同在于所包含的用于计算变形的分布杆件力。若选择“变形”，则只有节点的位移和转动来决定杆件的变形形态；若选择“精确的变形”，则变形的形态将不是近似的，由节点的位移和转动以及内力来决定，这将使计算更加密集和精确。如图 6-6 所示为两者的差别。

对于上图显示的需要注意，荷载不是以计算节点进行施加的。如果以生成计算节点来施加荷载，则两个曲线几乎是一致的。

“规范化”按钮将提供一个恰当的比例，还可通过“图表尺寸”进行增大或缩小图形，注意点击“+”和“-”后，需要再次点击“应用”。

6.1.2.2 动画

浏览结构变形形态的动画，如图 6-7 所示，指定帧数和每秒的帧数来实现动画演示。

当帧数较大时，可以提供较为平滑的动画；每秒的帧数可以调整动画可视化的速度，即指定一个较小数字使动画变慢，指定较大数字加快动画。

设定完毕，点击开始按钮，Robot 将开始以动画形式演示变形。动画是一个 AVI 的文件，在动画重复播放期间，视图上方会出现如图 6-8 所示的对话框，该对话框对动画进行控制。



图 6-5 变形标签

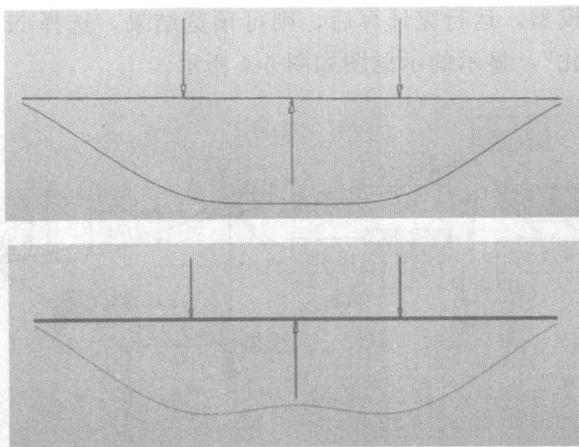


图 6-6 变形（上）与精确变形（下）



图 6-7 动画参数

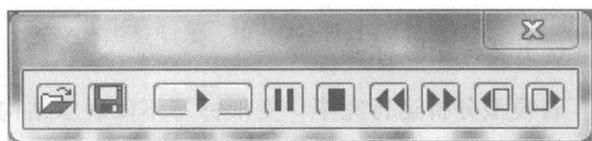


图 6-8 动画控制对话框

动画控制对话框从左至右依次为：

- ① 打开一个 AVI 动画文件；
- ② 保存当前动画为 AVI 文件；
- ③ 开始运行；
- ④ 暂停；
- ⑤ 停止；
- ⑥ 倒回；
- ⑦ 加快；
- ⑧ 上一帧；
- ⑨ 下一帧。

6.1.3 反力标签

这个标签的主要目的是显示约束反力，也可显示杆件内部力（残余力）以及地震荷载的伪稳态力。另外，线性约束的反力可以显示为示意图形式而不是单独的节点约束。

6.1.3.1 反力

选择反力标签下的力或者弯矩（FX, FY, FZ, MX, MY, MZ），将带箭头显示出约束的反力；选择对话框“描述”，可以显示反力值的大小，反力示意图如图 6-9 所示。

可以选择在局部坐标系统的反力，显示的是某个约束的反力，否则软件将显示在整体坐标下的全部约束反力。

6.1.3.2 残余力

这个是结构中每个节点所受力的总和。它们被用于检查结构的均衡，如果数值不为

“零”则代表结构中有问题。有时网格不合适，则离散化会引起节点力的不平衡，这些不平衡的残余力可以帮助用户确认模型中运行不畅的地方。对于平面构件，它可划分压力以寻找间断点。此标签中的“描述”对残余力依然有效。

6.1.3.3 伪稳态

伪稳态力指不直接施加于结构的荷载引起的节点力。例如，结构质量以一种谱的形式作用于自身；其他地震类型的分析；荷载作用于跨中（而不是节点处）等，这些都可产生伪稳态力。

6.1.4 参数标签

参数标签提供选项用于调整示意图的显示形式，参数标签如图 6-10 所示。

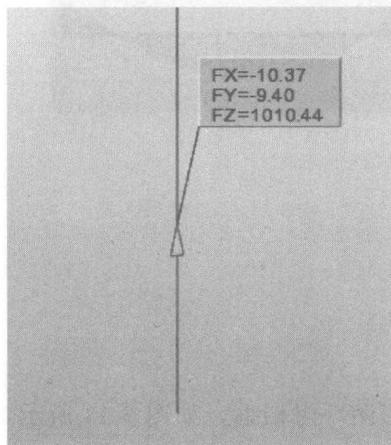


图 6-9 反力示意图



图 6-10 参数标签

(1) 示意图描述 该项分为三种情况：没有数值，标签形式，文本形式。三种形式的不同之处如图 6-11 所示，可以直观地表示。

(2) 正的和负的数值 分为分化的和不分化的，区别在于正负值显示的颜色不同，读者可通过软件自行体会。

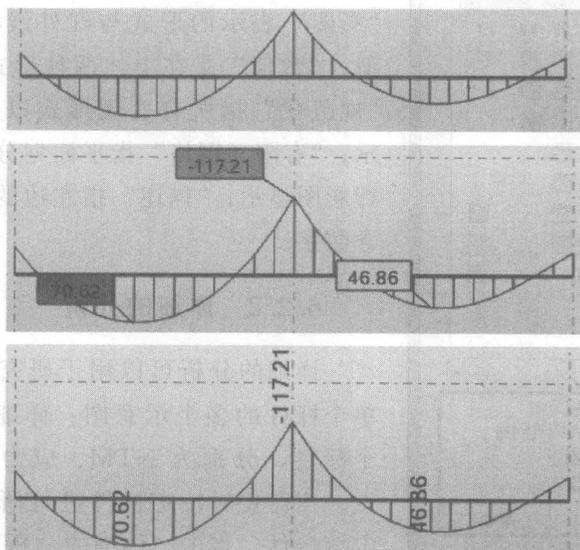


图 6-11 示意图描述

平(3) 充值 填充的形式分为栅栏和填充,如图 6-12 所示为二者的不同。

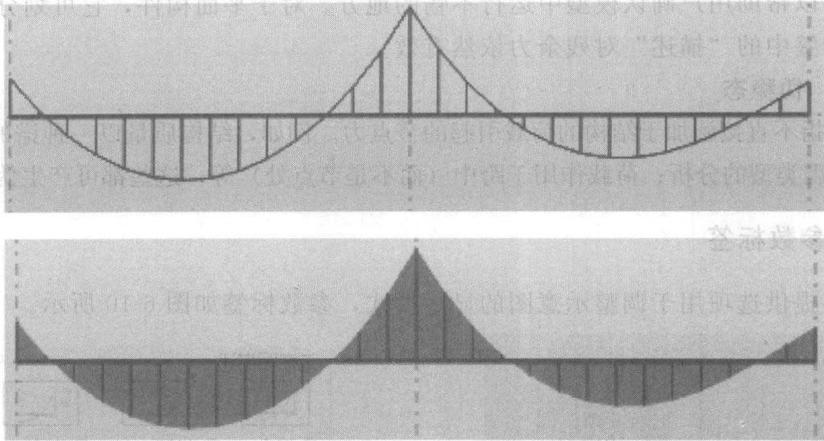


图 6-12 充值

6.2 彩图及详细的分析

6.2.1 彩图

通过布局选择器,选择“结果-彩图”,打开“彩图”对话框,如图 6-13 所示,与结果示意图类似,所以此处简要介绍其用处。



图 6-13 彩图对话框

彩图对话框共有 7 个标签,分别为详细的、主、复杂、参数、比例、形变、交叉。对话框的下方,如图 6-13 中方框中部分,有 6 个选项,其中左边 3 个每次只能选择一个,右边三个可同时任意选择多个。“等值线”表示的形式与地理中的等高线类似;“彩图”表示的形式与红外线测温度显示的形式类似;“数值”是在上述两种形式的基础上标上数字;“规范化”指所有变形式以合理的比例和形式显示;“有限元网格”指平面划分为无数个单元格后进行彩图显示;“描述”指左边的三种显示形式全部包含数字。

6.2.2 详细的分析

详细的分析可以用于研究单个杆件,同时显示单个杆件的多个示意图。详细的分析对话框拥有 5 个标签,分别为 NTM、应力、钢筋、参数、分割点。当需要对特定杆件进行研究其特性时,可以选定该构件,点击“详细的分析”,选择需要显示的示意图,将会在新窗口中同时呈现,如图 6-14 所示。

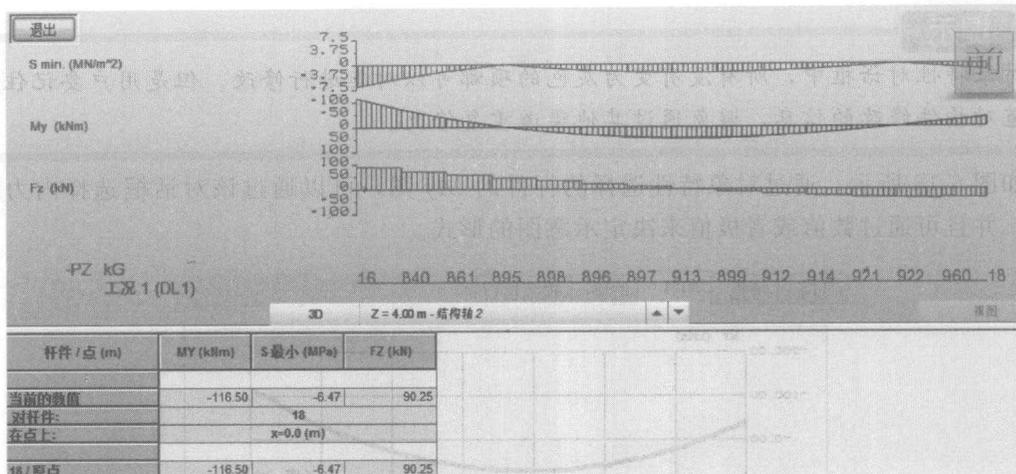


图 6-14 详细的分析

另外，点击左上角的退出将返回视图界面，可以重新选择其他构件，点击“打开新的窗口”在新的窗口呈现新构件的示意图，从而对不同构件进行研究。

6.2.3 对象特性

研究单一构件，还有另一种方法：即选中该构件，点击鼠标右键，在弹出的列表中选择最下方一栏的“对象特性”；或者通过“编辑”/“基础修改”/“对象特性”打开该构件的对象特性对话框，如图 6-15 所示。

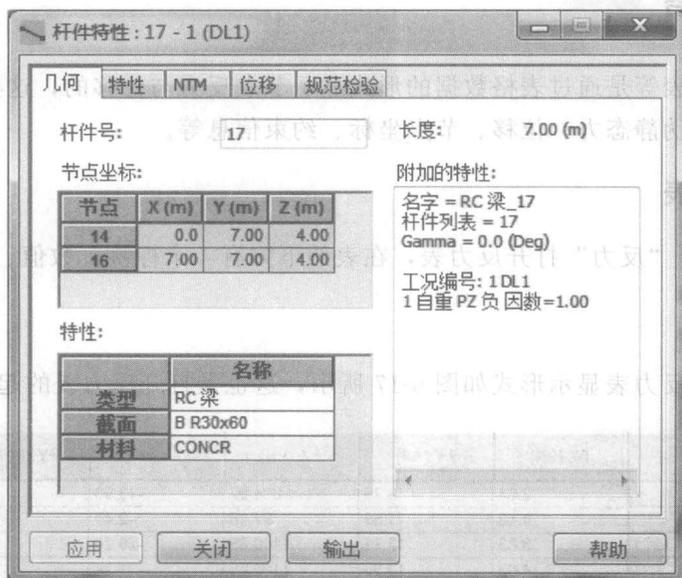


图 6-15 杆件特性

从图中可看出，对话框顶部拥有 5 个标签用于描述杆件的信息。“几何”与“特性”主要描述的是构件的物理信息。如果计算结果可用，则“NTM”标签和“位移”标签可以显示构件的内力和位移。



提示

对象特性对话框中，所有没有变为灰色的项都可以对其进行修改。但是用户要记住通过该渠道对构件修改的信息，避免通过其他渠道重复修改。

如图 6-16 所示，通过对象特性选择的杆件的 My 图，可以通过该对话框选择内力及位移图，并且可通过数值或者极值来决定示意图的形式。

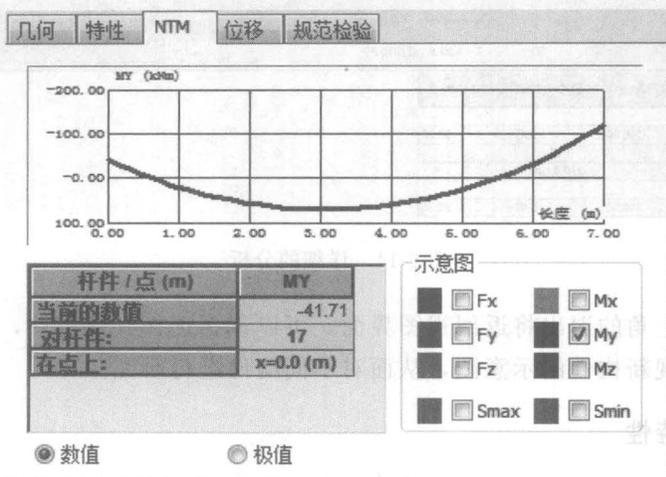


图 6-16 杆件的 My 图

6.3 节点表格

反力表和位移表等是通过表格数据的形式显示节点反力与位移的，这些表格都显示节点的结果——反力、伪静态力、位移、节点坐标、约束信息等。

6.3.1 反力表

通过“结果”/“反力”打开反力表，在表的下方有 4 个标签：数值、包络、整体极值、信息。

6.3.1.1 数值

在数值标签下反力表显示形式如图 6-17 所示，这也是打开反力表的起始状态。

节点/工况/类型	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ 1/	2.64	8.74	804.02	-13.93	4.72	-0.07
1/ 2/	0.48	1.59	97.16	-2.49	0.87	0.00
1/ 3/	3.83	12.71	1100.85	-20.20	6.88	-0.08
1/ 4/	4.03	13.35	1180.65	-21.24	7.22	-0.09

图 6-17 反力表数值标签

如上图所示，反力表用于显示每个约束节点的力与弯矩。表中最左边一栏显示的是“节点/工况”，即“1/3”表示的是“节点 1 工况 3”，手动组合和自动组合也会陈列在反力表格中。

对于数值标签，当查看时可以对某些内力进行排序，例如，当需要查看各节点在所有工况下的 My 值时，可以双击“My”，则表格按照 My 值由小到大排列，再次双击则由大到小排列。

6.3.1.2 包络标签

包络表格给出的是每种内力极大值和极小值对应的节点和工况，如图 6-18 所示。

节点/工况/类型	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ 6/ CQC	40.33>>	16.79	241.85	57.36	124.61	2.61
1/ 9/	-6.23<<	0.67	-27.18	-0.57	-16.83	0.89
1/ 7/ CQC	0.44	38.16>>	107.56	130.06	1.21	0.17
1/ 10/	1.49	-29.66<<	-59.89	91.59	1.22	-0.99
1/ 4/	4.03	13.35	1180.65>>	-21.24	7.22	-0.09
1/ 10/	1.49	-29.66	-59.89<<	91.59	1.22	-0.99
1/ 7/ CQC	0.44	38.16	107.56	130.06>>	1.21	0.17
1/ 4/	4.03	13.35	1180.65	-21.24<<	7.22	-0.09
1/ 6/ CQC	40.33	16.79	241.85	57.36	124.61>>	2.61
1/ 9/	-6.23	0.67	-27.18	-0.57	-16.83<<	0.89
1/ 6/ CQC	40.33	16.79	241.85	57.36	124.61	2.61>>
1/ 10/	1.49	-29.66	-59.89	91.59	1.22	-0.99<<
3/ 6/ CQC	40.72>>	23.26	226.72	67.88	127.81	2.65

图 6-18 反力表包络标签

由表中可以看出，与数值标签相比，包络标签是基于前者进行的过滤筛选。筛选出每一个节点力和弯矩的最大值和最小值，以白色背景底板显示并且附有“>”与“<”。例如，从表中读到节点 1 的 Fy 最大值为 38.16kN。

6.3.1.3 整体极值

整体极值是基于包络进行的再次过滤，筛选出各内力的最大值和最小值，并指示出对应的节点和工况。如图 6-19 所示，用于查看结构模型中内力的最值。通过该表可以快速查看结构中最不利内力的位置。

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Max	50.41	53.78	2288.96	155.57	146.53	2.68
节点	41	5	29	5	15	29
工况	6	7	4	7	6	6
类型	CQC	CQC		CQC	CQC	CQC
Min	-16.67	-37.19	-113.58	-31.04	-27.62	-0.99
节点	43	43	45	27	43	1
工况	4	10	10	4	4	10
类型						

图 6-19 反力表整体极值标签

6.3.1.4 信息

在节点结果的表格中，信息标签存在的意义在于可以快速显示被应用到表格中的过滤信息。包络标签和整体极值标签仅仅显示的是基于被选中的节点和工况范围内的极值和最值，所以信息标签很重要的一点就是可以帮助确认是否选择了所有的节点和工况。信息标签如图 6-20 所示，该标签中显示的是工况没有选择“5”。

过滤	节点	工况	类型
完整的列表	1to36 39to46 49	1to10	1to15
选择	1to35BY2 39to4	1to4 6to10	1to15 CQC
总数	3363	10	
选择地数	36	9	

图 6-20 反力表信息标签

6.3.2 位移表

位移表的表格形式与反力表类似，显示的为每一个节点的位移值，所以这一部分我们了解一下这类表格的一些辅助功能，例如过滤和表格栏等。

6.3.2.1 过滤

在查看表格时，我们经常感觉到表格信息太冗杂、繁多，所以可以通过过滤来筛选出我们所希望得到的信息。当打开表格后，可以注意视图界面上方的菜单栏，节点、杆件、工况选择器如图 6-21 所示。



图 6-21 节点、杆件、工况选择器

例如，我们需要查看节点 1 和节点 5 在工况 2 和工况 4 作用下的点位移情况，则通过选择器选择节点与工况，位移表将如图 6-22 所示。

节点/工况	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
1/ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1/ 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5/ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5/ 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

图 6-22 位移表



提示

Robot 的表格过滤适用于所有的标签和信息，这可能导致其他不必要的后果，所以要确定过滤的信息是自己所想要的，作者给出的一个建议是，可以保存一个完整的表，与过滤后的表进行对比来确定没有把有价值的最大与最小值过滤除去。

6.3.2.2 表格栏

将鼠标移动至反力表或者位移表，点击右键，选择“表格栏”一项，则弹出如图 6-23 所示“节点数值选择”对话框。

该对话框，通过设置参数来调整表格的显示形式。共分为 10 个标签。这里简单介绍其中几个标签。

- (1) 一般标签 一个节点全部的信息可以包含在表格中，包括坐标、层、邻接的杆等信息。
- (2) 位移标签 通过位移标签可以选择显示各方向的平移值以及转角。

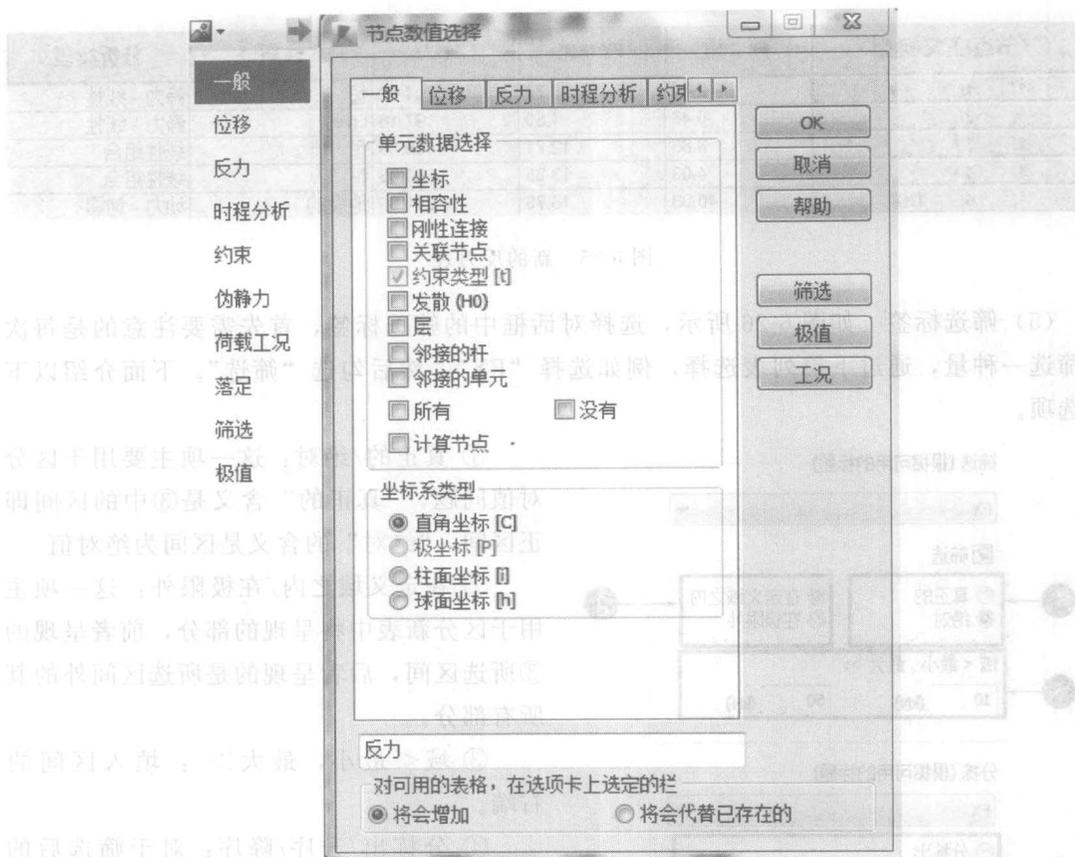


图 6-23 “节点数值选择”对话框



提示

反力表时软件只计算拥有反力的节点，自动过滤无反力的节点，所以当选择位移表时注意查看位移表的信息标签以确定所有节点全部选择。

(3) 反力标签 通过反力标签可以选择需要显示的反力，另外如果需要可以将位移与反力呈现在同一个表中，方法就是通过表格栏进行选择（如果是通过位移表打开表格栏，则选择反力，反之亦然）。效果如图 6-24 所示。

节点/工况类型	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	U (mm)	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
1/ 1/	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.64	8.74	804.02
1/ 2/	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.48	1.59	97.16
1/ 3/	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.83	12.71	1100.85
1/ 4/	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.03	13.35	1180.65
1/ 6/ CQC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	40.33	16.79	241.85
1/ 7/ CQC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.44	38.16	107.56
1/ 8/ CQC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.04	0.20	1.61

图 6-24 反力与位移表

(4) 荷载工况标签 可以通过该标签选择更多的信息，陈列在表格中。例如在荷载工况标签中勾选“性质”、“分析类型”，则表格示意图如图 6-25 所示。

节点/工况/类型	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	性质	分析类型
1/ 1/	2.64	8.74	804.02	恒	静力-线性
1/ 2/	0.48	1.59	97.16	Live 1	静力-线性
1/ 3/	3.83	12.71	1100.85	恒	线性组合
1/ 4/	4.03	13.35	1180.65	恒	线性组合
1/ 6/ CQC	40.33	16.79	241.85	地震的	动力-地震

图 6-25 新的反力表

(5) 筛选标签 如图 6-26 所示, 选择对话框中的筛选标签, 首先需要注意的是每次只能筛选一种量, 通过下拉列表选择, 例如选择“FX”, 然后勾选“筛选”。下面介绍以下几个选项。

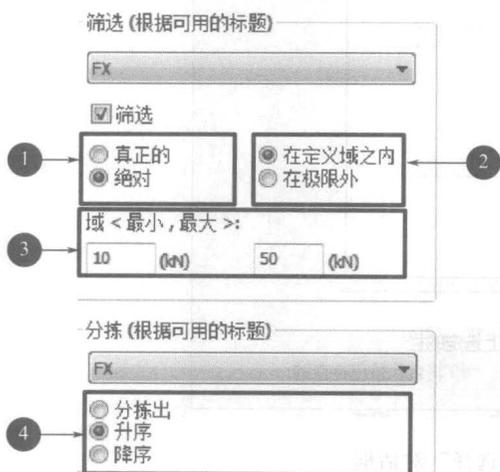


图 6-26 筛选标签

① 真正的/绝对: 这一项主要用于区分绝对值问题, “真正的”含义是③中的区间即真正区间, “绝对”的含义是区间为绝对值。

② 在定义域之内/在极限外: 这一项主要用于区分新表中将呈现的部分, 前者呈现的是③所选区间, 后者呈现的是所选区间外的其他所有部分。

③ 域 < 最小, 最大 > : 填入区间的左右端。

④ 分拣出/升序/降序: 对于筛选后的信息, 选择何种方式进行呈现。“分拣出”即简单地筛选出符合要求的数值进行呈现, “降序/升序”则将对筛选出的数值进行再排序后显示。

例如, 按照上图中显示的信息进行筛选, 绝对的区间为 $[10, 50]$, 进行升序排列。筛选后结果如图 6-27 所示。

(6) 极值标签 极值标签对话框如图 6-28 所示, 注意该对话框内的参数设置只对包络和极值标签起作用。

节点/工况/类型	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	性质
33/ 4/	-10.90	16.37	1644.25	恒
21/ 1/	-10.37	-9.40	1010.44	恒
33/ 3/	-10.34	16.05	1551.42	恒
43/ 1/	-10.21	6.69	1092.99	恒
5/ 1/	10.20	6.77	1090.65	恒
7/ 1/	10.38	-9.36	1009.45	恒
23/ 4/	10.45	16.34	1799.06	恒
7/ 3/	15.21	-13.66	1366.93	恒
7/ 4/	15.94	-14.34	1471.67	恒
5/ 3/	16.37	9.65	1530.82	恒
5/ 4/	16.66	10.20	1627.80	恒
69/ 6/ CQC	25.86	5.34	20.10	地震的
57/ 6/ CQC	25.86	5.13	19.29	地震的

图 6-27 筛选结果示意图

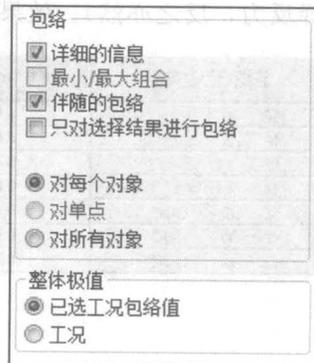


图 6-28 极值标签

其中，“伴随的包络”是否勾选，主要区别是显示某一种内力极值时是否会同时显示其他内力值。“只对选择结果进行包络”勾选后，将在右侧出现“包络”，进而设置需要进行包络的内力对象（例如仅仅选择 FX，其他不选）。

6.4 层表格

上一节介绍的是反映节点信息的表格，挠度表与力表同样是这类表格，这四种表都可通过“结果”菜单找到，这一节介绍各工况作用下，结构每层的信息以及结构整体的信息。

6.4.1 作用力表

结构计算完毕后，通过“结果”/“层表”打开“层表”，该表下方含有 5 个标签，分别为：层、数值、位移、简化的力、合计。层与数值主要记录了结构整体的信息，包括结构的尺寸、结构的质量、质心、刚心这类信息。切换到简化的力标签后，通过工况选择器选择某种工况，就可显示该工况作用下结构各层的信息。选择 X 向风荷载工况时，“简化的力”标签显示的信息见图 6-29。

工况层	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)	FX 到柱 (kN)	FX 到墙 (kN)	FY 到柱 (kN)	FY 到墙 (kN)
9/ 1	20.10 7.18 2.79	172.06	-6.46	46.54	172.06	0.00	-6.46	-0.00
9/ 2	20.06 7.19 6.71	142.64	-4.39	18.92	149.84	-7.21	-4.59	0.20
9/ 3	20.06 7.19 10.3	110.81	-1.91	18.24	118.20	-7.39	-1.84	-0.08
9/ 4	20.06 7.19 13.9	80.70	-0.03	20.49	88.09	-7.39	0.13	-0.16
9/ 5	20.06 7.19 17.5	49.41	1.32	19.31	57.50	-8.09	1.51	-0.20
9/ 6	20.10 7.04 21.1	19.56	1.49	11.23	27.61	-8.05	1.84	-0.34

图 6-29 层表-简化的力

6.4.2 层位移表

Robot 中通过“结果”/“层表”/“位移”可以查看不同工况或者作用下，楼层的节点和层间位移情况，如图 6-30 所示，X 与 Y 向地震作用下的楼层位移值见图 6-30。

工况层	UX (mm)	UY (mm)	dr UX (mm)	dr UY (mm)	d UX	d UY	Max UX (mm)	Max UY (mm)	Min UX (mm)	Min UY (mm)
7/ 1	0.02	2.46	0.02	2.46	0.0000	0.0005	0.04	2.43	0.0000	0.0000
7/ 2	0.03	4.61	0.01	2.15	0.0000	0.0006	0.07	4.66	0.02	2.38
7/ 3	0.04	6.49	0.01	1.87	0.0000	0.0005	0.10	6.56	0.03	4.50
7/ 4	0.04	8.02	0.01	1.53	0.0000	0.0004	0.12	8.12	0.05	6.34
7/ 5	0.05	9.15	0.01	1.13	0.0000	0.0003	0.13	9.26	0.06	7.85
7/ 6	0.05	9.83	0.00	0.68	0.0000	0.0002	0.13	9.97	0.07	8.96

工况层	UX (mm)	UY (mm)	dr UX (mm)	dr UY (mm)	d UX	d UY	Max UX (mm)	Max UY (mm)	Min UX (mm)	Min UY (mm)
6/ 1	2.27	0.57	2.27	0.57	0.0005	0.0001	2.42	1.82	0.0000	0.0000
6/ 2	4.09	1.06	1.81	0.50	0.0005	0.0001	4.42	3.45	1.71	0.06
6/ 3	5.65	1.51	1.56	0.44	0.0004	0.0001	6.14	4.88	3.07	0.08
6/ 4	6.90	1.87	1.26	0.36	0.0003	0.0001	7.54	6.05	4.22	0.10
6/ 5	7.81	2.13	0.90	0.26	0.0003	0.0001	8.54	6.90	5.15	0.11
6/ 6	8.30	2.32	0.49	0.19	0.0001	0.0001	9.13	7.40	5.82	0.10

图 6-30 X、Y 向地震作用下位移值

其示图中各符号代表的意义依次如下。

① UX (mm): X 向地震作用下楼层竖向构件的平均水平位移 (或层平均位移节点平均位移), 单位是毫米。

② dr UX (mm): X 向地震作用下的层间平均位移。

③ d UX: X 向地震作用下层间位移角, 即层间位移与层高的比值。

④ Max UX (mm): X 向地震作用下的楼层最大水平位移 (或节点最大水平位移)。

6.5 屏幕捕捉

屏幕捕捉在生成 Robot 文件时是十分重要的, 所以先来介绍一下“屏幕捕捉”。当考虑生成 Robot 文件时, 一般需要包括结构模型的图片, 选择一些可视化的内容等。屏幕捕捉不仅可以截取可视化的模型图片, 也可以截取表格图片。

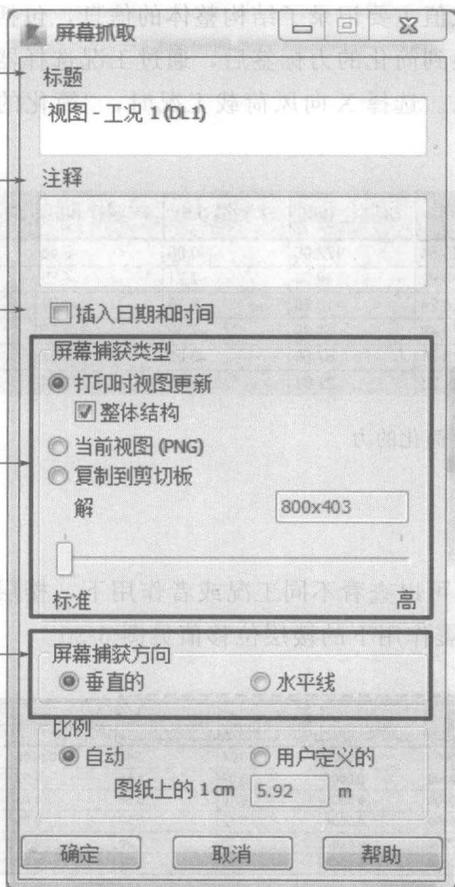


图 6-31 模型视图屏幕捕捉对话框

6.5.1 模型视图捕捉

在视图界面, 点击上方菜单栏的屏幕捕捉按钮 , 打开屏幕捕捉对话框, 如图 6-31 所示。

① 标题: 系统会自动根据所处界面进行标题命名, 当然, 用户可以进行自定义命名。

② 注释: 另一个信息储存的地方, 会随着计算报告其他信息一起出现。可以通过该项对图片进行描述。

③ 插入日期: 勾选该项后, 拥有另一个可视化验证, 屏幕捕捉的结果会随着其他文件一起生成。如果选择“打印时视图更新”, 则时间会显示计算书生成的时间; 如果选择“当前视图”, 则时间显示该截图的时间。

④ 屏幕捕获类型

a. 打印时视图更新: 无论预览或者打印, 该项帮助 Robot 高效地再生成含有最新信息的屏幕捕捉。如果不选择此项进行屏幕捕捉, 则将获得一个静态的 JPG 文件, 一个静态的图像; 如果选择此项进行屏幕捕捉,

则打印时无论先前的信息被更新过多少次, 都将以最新信息进行打印。该项也是最常用的方式。

整体结构: “打印时视图更新”下方的“整体结构”, 当选择该项时, 若屏幕捕捉完成后有新的构件添加到结构中, 则会自动更新到捕获信息中; 若未选择, 则屏幕捕捉完成后新添加的构件将不能被更新到屏幕捕获文件中。

b. 当前视图：选择该项，则捕获生成的文件将是 PNG 格式，可以对图片选择屏幕分辨率；若不选择此项，则屏幕捕获信息将不会自动更新。

c. 复制到剪切板：如果需要将屏幕捕获信息放到其他文件或者报告中，则可以选择该项，将信息复制到剪切板；选择此项亦可以调整分辨率。

⑤ 屏幕捕获方向：该选项用于确定图片打印时的位置方向。

6.5.2 表格视图捕捉

表格视图切换至“数值”标签时，依然可以使用屏幕捕获。之前已经介绍过，表格可以通过多种设置来显示多样的信息。对表格进行屏幕捕捉如图 6-32 所示。

其中各选项与模型视图屏幕捕捉类似，这里不再赘述其功能。

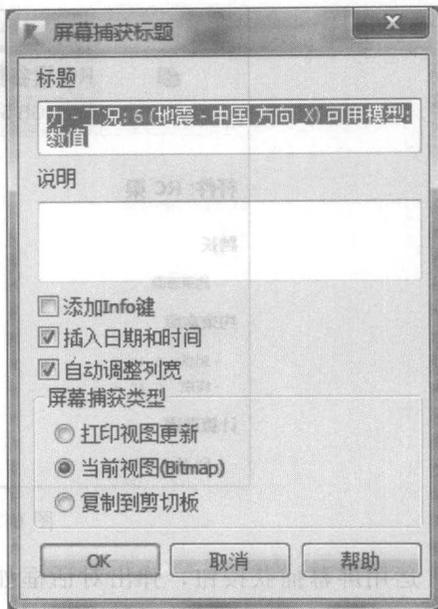


图 6-32 表格视图屏幕捕捉对话框

注意

对表格视图进行屏幕捕捉时，只能在“数值”标签或者“信息”标签进行截图，在“编辑”则不可使用。例如，在“荷载表”中，当切换到“文本编辑”标签或者“表编辑”标签时，点击鼠标右键，发现“屏幕捕捉”变为灰色不可使用。

快捷键：屏幕捕捉【Ctrl + Alt + Q】。

6.5.3 其他形式捕捉

Robot 中有很多其他信息需要呈现在报告中，所以可以通过屏幕捕捉对多种信息进行截取，下面简单介绍几种。

6.5.3.1 计算注释

通过“分析”/“计算注”/“简化报告”打开简化报告，当浏览计算注释（也称计算报告或计算书）的时候，注意查看一下文本的文件菜单，通过“文件”的下拉列表会发现“屏幕捕捉”，点击后弹出对话框。对其进行标识命名，它将包含在最终输出的计算报告中。该对话框没有“复制到剪切板”一项，所无论选择“当前的”或者“更新”，都将得到一个静态的复制品。

6.5.3.2 配筋规范参数

混凝土的设计将在后面的章节详细讲解，这里简单介绍关于计算报告的部分。通过“设计”/“混凝土梁柱配筋-选项”/“规范参数”打开 R/C 构件类型对话框，选择其中某项，例如 RC 梁，双击打开“构件类型定义”对话框。

在对话框中选择左下角的“报告”，则会弹出一份 HEML-文本，如图 6-33 所示。在此文本的左下角存在四个按钮，即 。四个按钮的作用从左至右依次为：编辑，屏幕捕捉，输出到 MS Word，输出到 MS Excel。

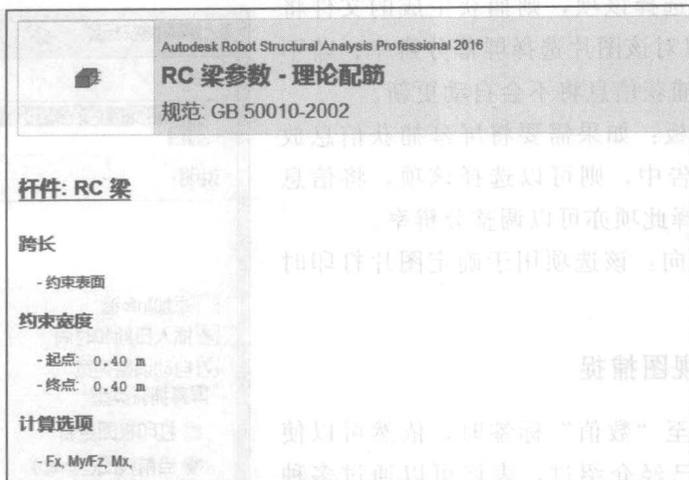


图 6-33 配筋规范参数报告

运用屏幕捕获按钮，弹出对话框如图 6-34 所示。由于捕获的报告不能自动更新，所以要注意在“标识”中添加时间。

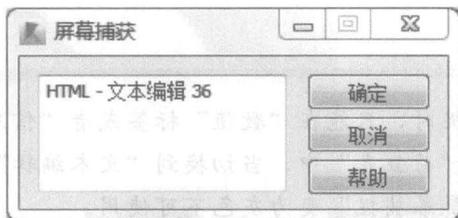


图 6-34 计算报告屏幕捕获

6.6 输出计算书

这里主要有两种方式打开“输出计算书-向导”对话框，方式一，通过“文件”/“输出计算书”打开对话框；方式二，通过上方菜单栏的按钮打开对话框。如图 6-35 所示，如果先前没有屏幕捕捉，则打开后默认的标签为“模板”标签。

① 向导选项：该对话框提供了四种标签，通过不同的标签选项对计算书进行设置。

- a. 标准：通过预定义的典型组成部分进行选择，例如节点表、杆件表。
- b. 屏幕捕获：陈列之前所有的屏幕捕获对象。
- c. 模板：对设定的模板进行选择。
- d. 简单输出：相当于报告生成器，通过过滤快速选择标准组成部分。

② 可用报告书组成：这里陈列了不同标签下的选项，这些选项将被有选择地添加到⑤输出计算书列表中。

③ 添加/所有的：完成②中的选择后，通过该项移动到⑤中，如果希望②中所有选项都进行移动，则可选择“所有的”。

④ 计算书配置栏：通过该项对⑤中的组合部分进行调整，可以删除单个选项、删除所有选项、上下移动选项、打开或者关闭打印、浏览选项等。

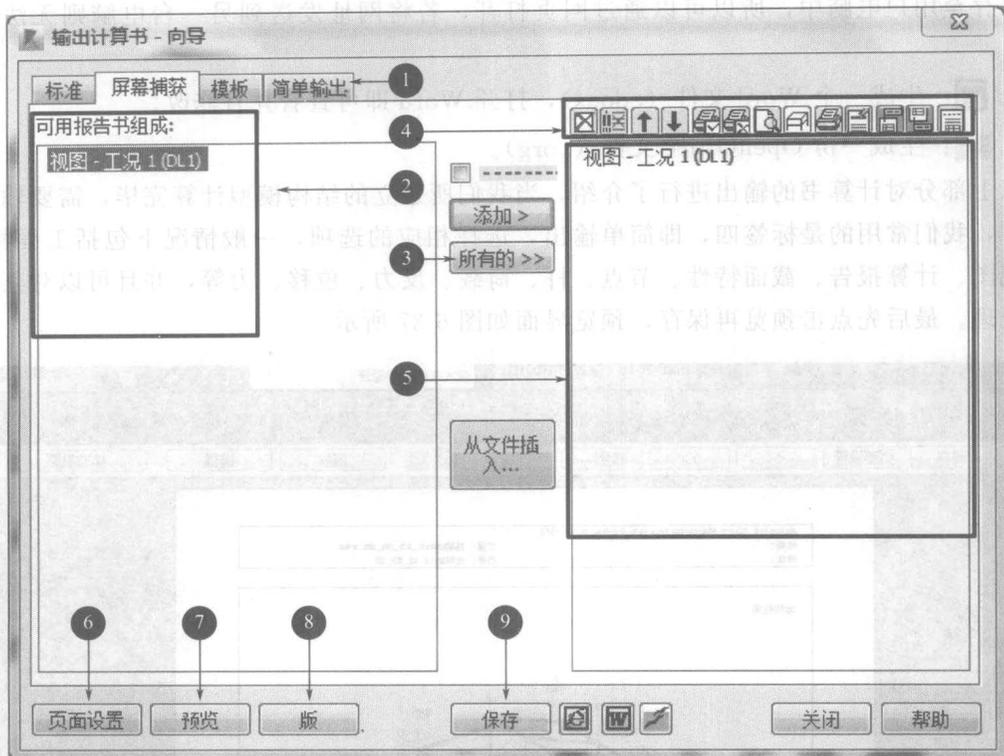


图 6-35 输出计算书-向导对话框

- ⑤ 输出计算书列表：所有被添加的计算书选项都将在此陈列。
- ⑥ 页面设置：点击它将弹出如图 6-36 所示对话框。

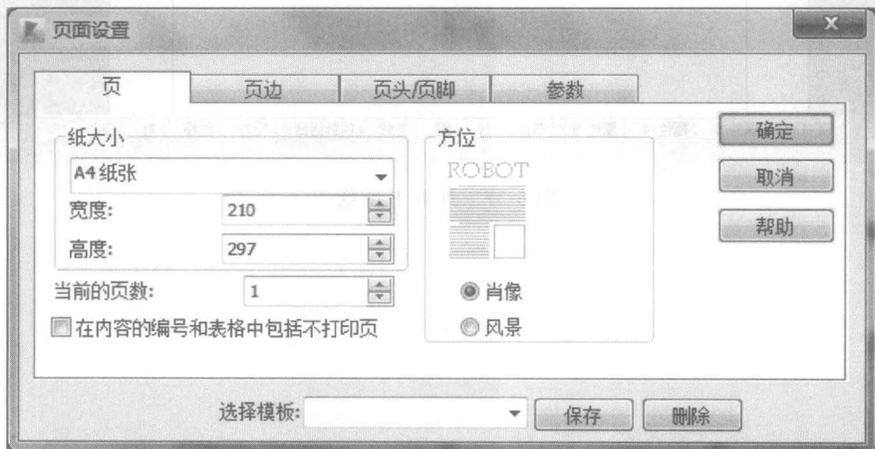


图 6-36 页面设置对话框

页面设置可以通过页、页边、页头/页脚、参数进行设置，从而控制计算书输出的样式。

⑦ 预览：选择某项进行预览，也可以选择全部进行预览，从而确定是否需要修改。

⑧ 打印：发送计算书到打印机。

⑨ 保存：保存按钮将该计算书保存为 RTF 格式。

a. ：生成一份 HTM 文件，打开浏览器可以预览该 HTM 文件。当然，Robot 将计

算书保存至用户电脑中，所以可以通过网页打开，若将网址发送到另一台电脑则无法正常使用。

- b. : 生成一个 Word 文件 (. docx)，打开 Word 即可查看并且修改。
- c. : 生成一份 OpenOffice 文件 (. org)。

以上部分对计算书的输出进行了介绍，当我们所建立的结构模型计算完毕，需要输出计算书时，我们常用的是标签四，即简单输出，选择相应的选项，一般情况下包括工程特性、结构视图、计算报告、截面特性、节点、杆、荷载、反力、位移、力等，并且可以对其进行过滤处理。最后先点击预览再保存，预览界面如图 6-37 所示。

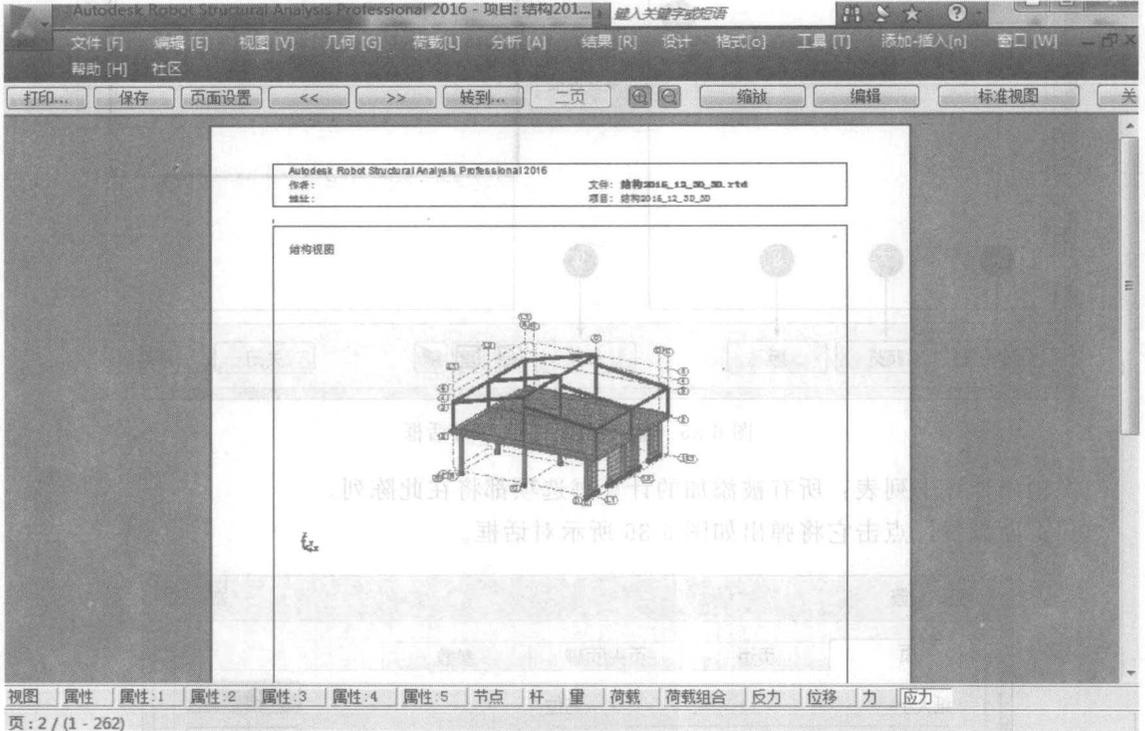


图 6-37 计算书预览

第 7 章

基本地震及风荷载分析

本章导读 >>>

本章将讲解基本的地震分析和风荷载分析，地震分析主要两种分析方法，等效侧力法和模态分析法。

学习目标 >>>

- 1. 熟悉地震分析的工作流程。
- 2. 熟练运用等效侧力法和模态分析法进行地震分析。
- 3. 掌握风模拟分析方法。

了解学习基本的等效侧力法，自动生成并施加地震荷载到结构中。这不需要模态分析并且是最基本的方法来加载地震荷载。通过建筑的模式分析，Robot 可以提供更加先进的地震分析能力。

7.1 地震等效侧力法

7.1.1 生成地震荷载

通过地震等效侧力法生成地震荷载，首先打开“分析类型”对话框，通过“分析”/“分析类型...”或者点击上方工具栏中的按钮打开对话框；对话框中，点击“新建(N)”，弹出“新的工况定义”对话框，如图 7-1 所示。



图 7-1 新的工况定义对话框



提示

对话框中任何需要模态分析的分析类型都是灰暗的。如果需要添加一个更高级的模态分析类型，首先需要在前面添一个新的模态分析类型，然后点击“新的”，弹出上述对话框，发现灰暗的类型变为可以选择。

上述对话框中，我们选择“地震（等效侧力法）”并点击“确定”。然后弹出“地震分析”对话框，如图 7-2 所示。

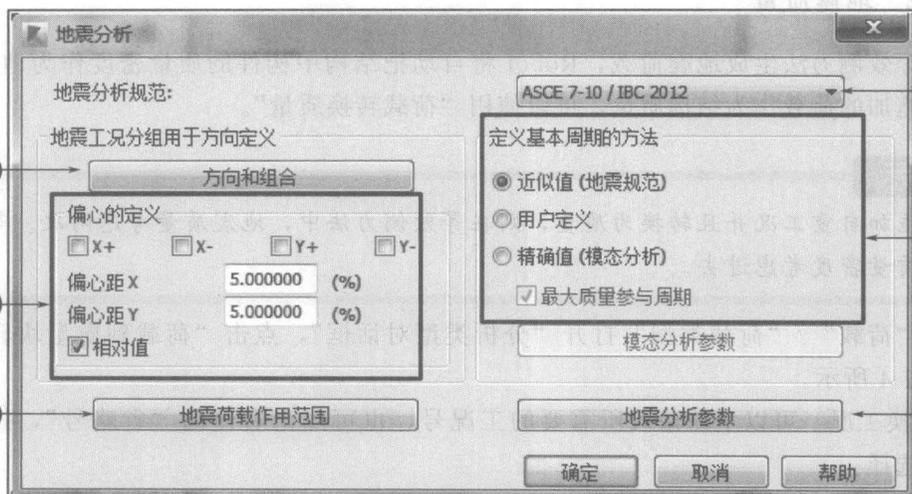


图 7-2 地震分析对话框

① 地震分析规范：此项 Robot 软件不能选择中国规范，因为此处陈列了很少量的等效侧力规范，美国工程选择 ASCE 7-10/IBC 2012。

② 方向和组合：Robot 将自动对荷载组合的 X、Y 方向进行配置，所以等效侧力法中不需要注意该项。

③ 偏心的定义：除了 X 与 Y 荷载工况外，Robot 可以自动生成偏心荷载并且可以结合到荷载组合中。选择所需的偏心并且选定偏心的形式、百分率形式（勾选“相对值”）或者绝对的距离（不勾选“相对值”）。

④ 第一基本周期的计算方法

a. 近似值：数值根据由规范定义的公式计算。

b. 用户定义：数值由用户手动输入。

c. 精确值：此方法生成模态工况，点击“模态分析参数”按钮打开对话框，对模态分析设置。

⑤ 地震荷载作用范围：可以打开对话框，设定“底层”和“顶层”的位置，也可以选择“自动”。

⑥ 地震分析参数：这个设置是等效侧力所选规范的参数设置。填入 S1 和 Ss，Robot 会自动选择 Fa 和 Fv 并计算出 SDs 和 SD1。

完成上述参数的设置，点击“地震分析对话框”的“确定”，则 Robot 会基于规范自动生成指定的地震荷载，如图 7-3 所示。

号码	名字	分析类型
→ 1	DL1	静力-线性
2	ASCE 7-10 / IBC 2012 方向_X	静态-地震
3	ASCE 7-10 / IBC 2012 方向_Y	静态-地震
4	ASCE 7-10 / IBC 2012 Ecc X+方...	静态-地震
5	ASCE 7-10 / IBC 2012 Ecc X+方...	静态-地震
6	ASCE 7-10 / IBC 2012 Ecc Y+方...	静态-地震
7	ASCE 7-10 / IBC 2012 Ecc Y+方...	静态-地震

图 7-3 地震荷载

7.1.2 地震质量

通过等效侧力法生成地震荷载，Robot 将自动把结构中构件的质量密度作为地震质量，如果考虑施加的荷载作为结构质量，可以使用“荷载转换质量”。

提示

如果施加自重工况并且转换为质量，则在等效侧力法中，地震质量考虑两次。等效侧力法已经将质量密度考虑进去。

通过“荷载”/“荷载类型”打开“分析类型对话框”，点击“荷载到质量块转变”标签，如图 7-4 所示。

① 转换工况：可以手动输入所需要的工况号，也可点击右侧的“省略号”，打开选择器，进行选择。

② 转变方向：必须选择荷载施加的方向，例如，需要一个荷载工况包括竖向，但又包括横向或者牵引荷载，则可以运用该选择器进行转换。只有在被选择方向上的荷载才能转换为质量。如果有的荷载被施加到两个不同方向，则需要添加两次转换。

③ 系数：指被用于地震荷载计算的荷载所占的比例，可以用该系数进行衡量。

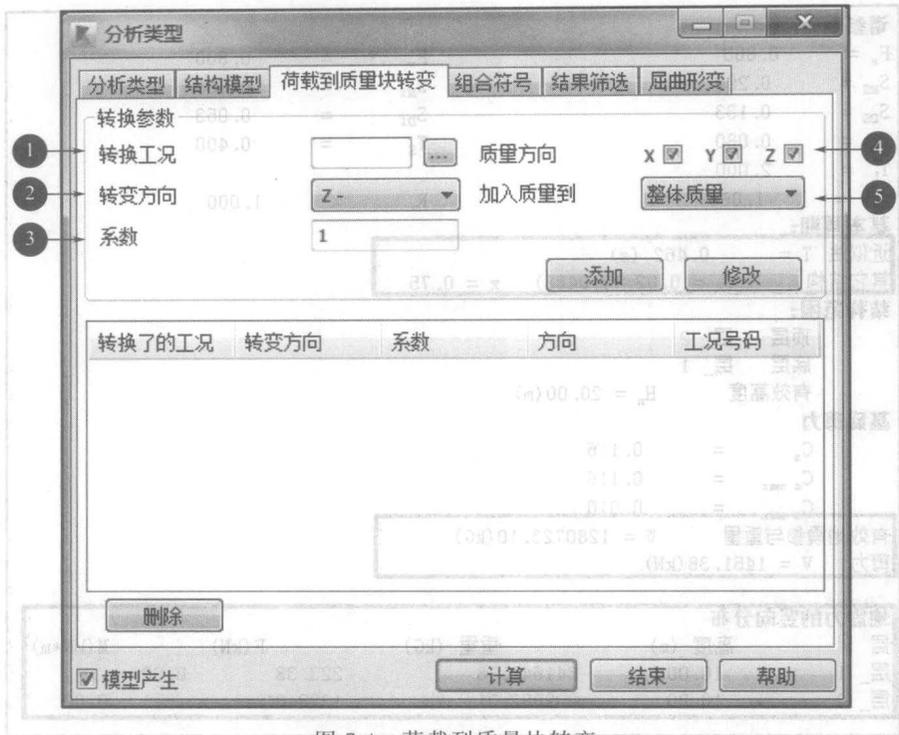


图 7-4 荷载到质量块转变

④ 质量方向：除非此处存在特殊的情况，否则质量方向应该在 X、Y、Z 三个方向。

⑤ 加入质量到：可以选择“整体质量”和“动态的质量”。

整体质量——在所有荷载工况下包括动态静态（例如惯性力、离心力等）转换的质量。

动态的质量——只包括在动态情况下转换的质量。

质量类型和进行质量转换的荷载被分配到模态分析类型，而不是分配到谱/地震荷载工况。先于地震分析的模态荷载工况，将用于后面的谱/地震荷载工况。可以添加多样的模态分析并结合谱分析来研究不同的效果。

7.1.3 研究地震分析加载

我们已经对结构添加了自动生成的地震荷载，可以回顾一下加载，有利于理解对结构产生的影响。

7.1.3.1 计算注释

首先检查计算注释的信息，包括总的地震质量和基底剪力。通过“分析”/“计算注释”/“完整报告”打开“完整报告”，一个简单模型的等效侧力法分析后的完整报告如图 7-5 所示。

上述对话框所示的完整报告中，我们需要留意以下几项：近似基本周期、有效地震参与质量、基底剪力、地震力竖向分布。

7.1.3.2 伪稳态反力

接下来，我们将查看 Robot 自动生成施加到结构上的荷载。通过“结果”/“杆件示意图”打开示意图对话框，切换到“反力”标签下，选择“伪稳态”并勾选所有力和弯矩，如图 7-6 所示。

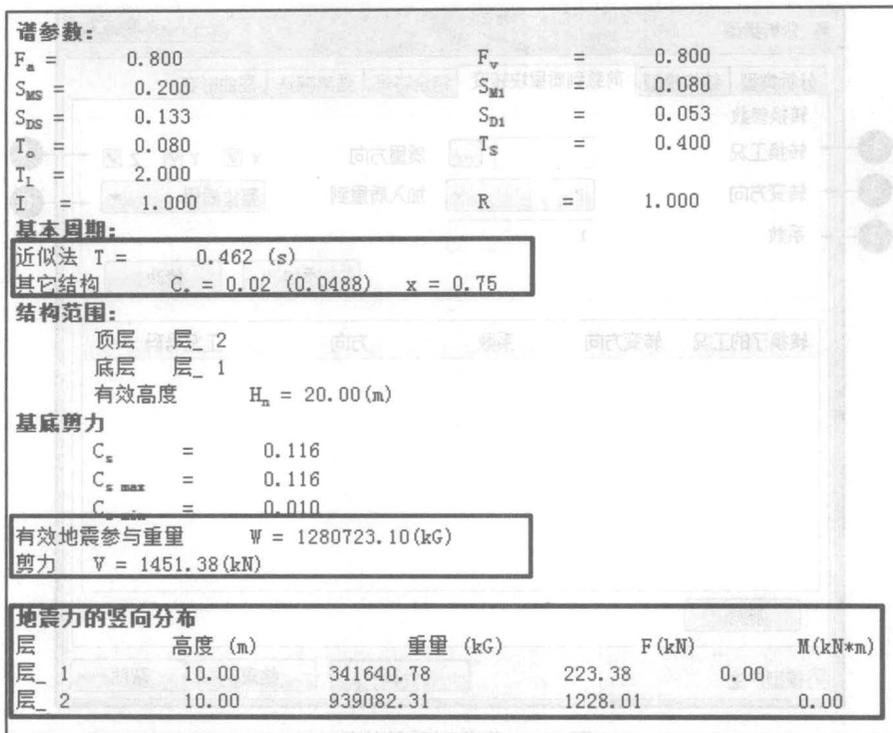


图 7-5 完整报告

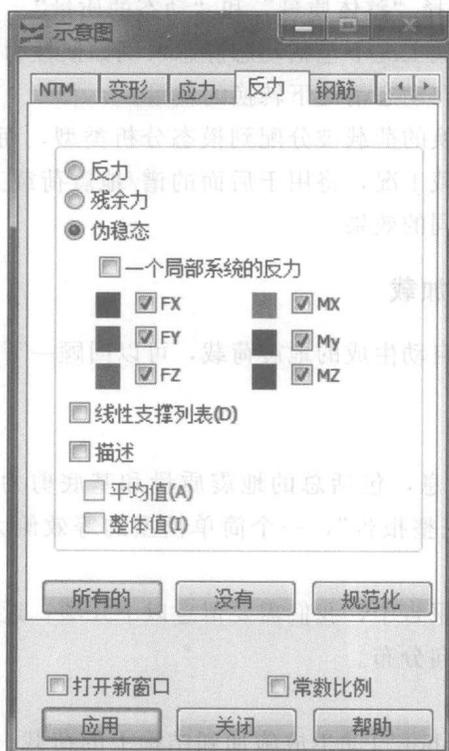


图 7-6 反力

每个节点都已施加过一个生成的荷载，会显示如图 7-7 所示，大小量级在下方的表格中可以查到。



图 7-7 示意图

7.1.3.3 层表

层表以表格形式记录了位移和荷载值，通过“结果”/“层”打开层表，如图 7-8 所示，可以查看位移、简化的力、合计。

工况/层	G(x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)	FX到柱 (kN)	FY到柱 (kN)
10/ 4	13.50 8.40 13.1	-0.44	79.36	-2.57	-0.03	
10/ 5	13.50 8.40 16.6	-0.10	48.16	-3.20	-0.10	
10/ 6	13.50 8.40 20.1	0.34	19.21	-1.41	-0.00	
12/ 1	13.50 8.40 2.72	2926.68	0.0	-0.00	1.42	
12/ 2	13.50 8.40 6.15	2796.59	0.0	-0.00	275.90	
12/ 3	13.50 8.40 9.65	2516.93	0.0	-0.00	318.02	
层/数值/位移/简化的力/合计						

图 7-8 层表

注意

运用等效侧力法时，读者需要注意，第一不能选用中国规范，第二所见模型需要层定义，并且不能留有多余层，否则计算会出现错误，提示“楼层平面内没有节点，无法在静态地震分析工况中添加荷载”（即如果出现上述提示错误，解决方法就是删除多余层）。

7.2 地震模态分析法

7.2.1 地震计算流程

7.2.1.1 定义模态分析荷载工况

首先通过“分析”/“分析类型”打开分析类型对话框，选择“新建”，弹出新的工况定义对话框，此处我们选择“模态”，点击“确定”，如图 7-9 所示。

7.2.1.2 定义模态分析参数

上述点击确定后，弹出模态分析参数对话框，如图 7-10 所示。模态分析法运用迭代法进行计算，对话框中，“参与的数”可自行设定，其他参数一般按照 Robot 自动给出的即可，可点击“高级参数”进行设置。设置完成后，点击“确定”。

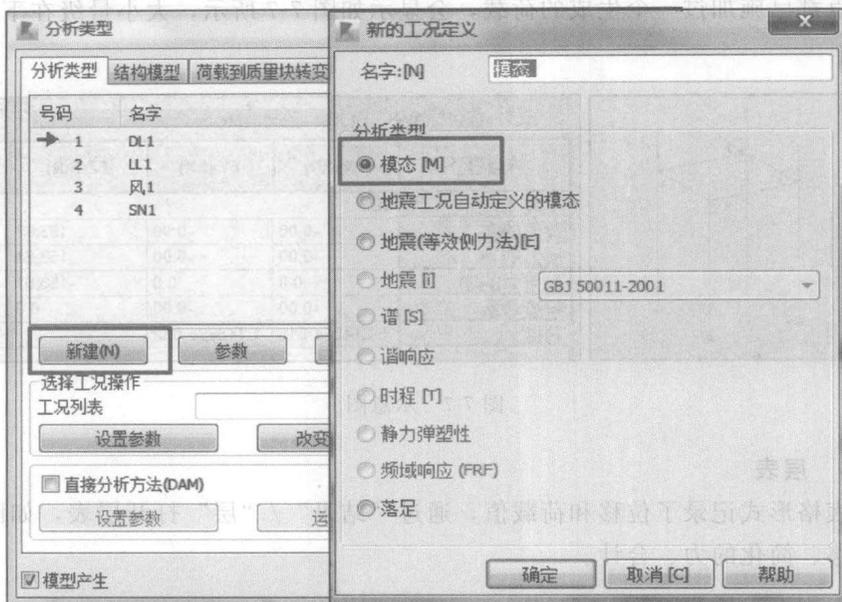


图 7-9 流程示意图

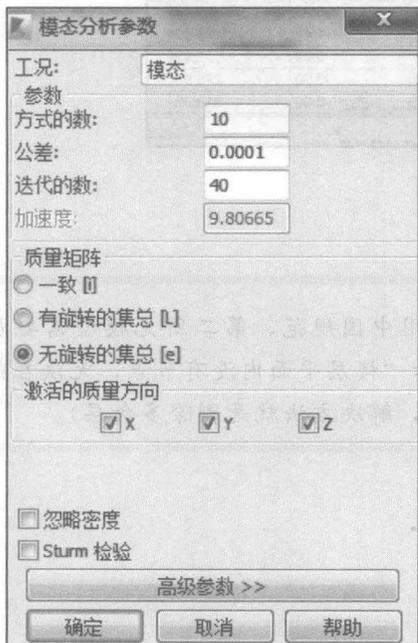


图 7-10 “模态分析参数”对话框

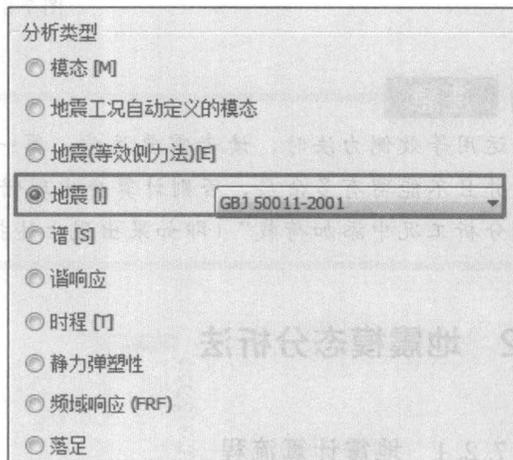


图 7-11 地震规范

7.2.1.3 定义地震规范

再次打开荷载类型对话框，点击“新的”，然后选择“地震”，如图 7-11 所示，选择地震规范（Robot 未能及时更新中国规范），然后点击“确定”。

7.2.1.4 定义规范参数

上述点击“确定”后，弹出规范参数对话框，如图 7-12 所示，在此对话框中，参数包

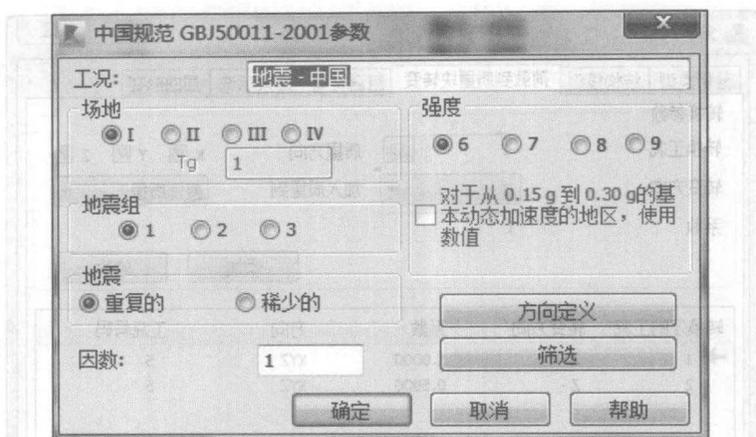


图 7-12 规范参数

括场地类型、地震级别、方向定义以及筛选。这由工程自身所处的环境决定，设定完毕后点击“确定”。

7.2.1.5 定义组合符号

完成规范参数定义，回到分析类型对话框，查看上部标签栏，选择“组合符号”标签，这里展示了我们刚刚定义的中国地震工况，分为横向地震荷载（X，Y 方向）和纵向地震荷载（Z 方向），如图 7-13 所示，工况系统自动识别，各方向的主方式根据需要输入，通过点击“集合”完成输入。

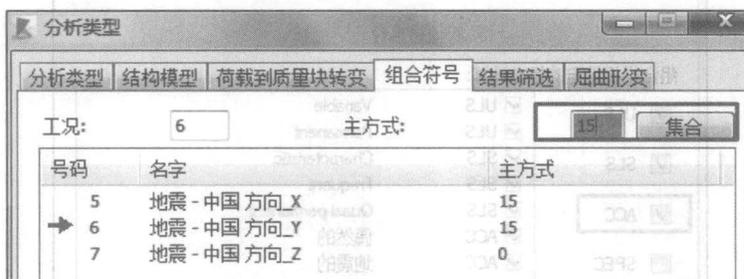


图 7-13 组合符号

注意

如果主方式为“0”，则组合符号将按照 CQC 或者 SRSS 的公式进行计算。

7.2.1.6 重力荷载代表值

进行结构抗震设计时所考虑的重力荷载代表值，应该考虑结构总的自重标准值和各可变荷载组合值之和。其中恒载的系数为 1，活载的系数为 0.5。打开荷载类型对话框，切换到“荷载到质量块转变”，如图 7-14 所示。

将恒载 DL1 转变方向为 Z-，系数为 1.0，加入到整体质量；将活载 LL1 系数为 0.5 进行添加。

7.2.1.7 荷载组合

运用模态分析，需要进行至少 ULS 荷载组合，所以无论手动组合还是自动组合，都要进行。如果自动组合，需要勾选 ACC 方式，如图 7-15 所示。

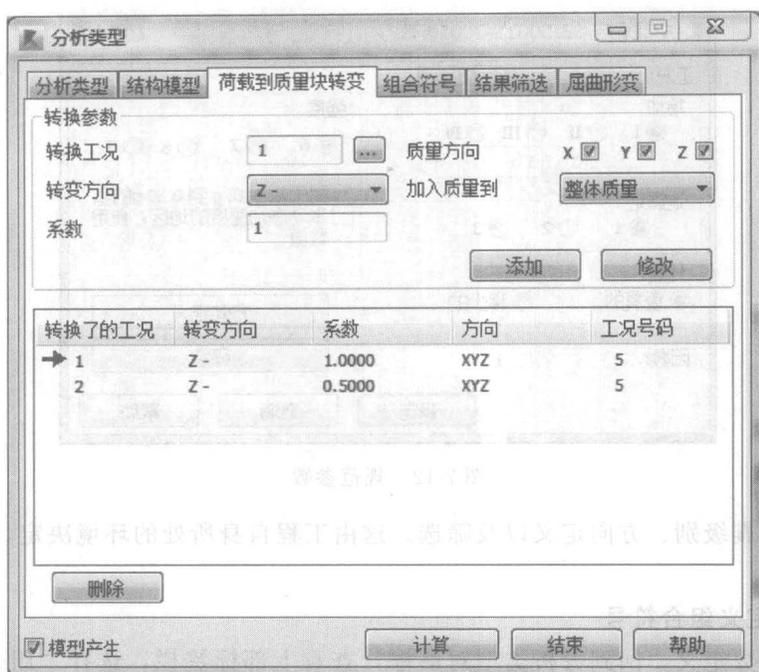


图 7-14 重力荷载代表值

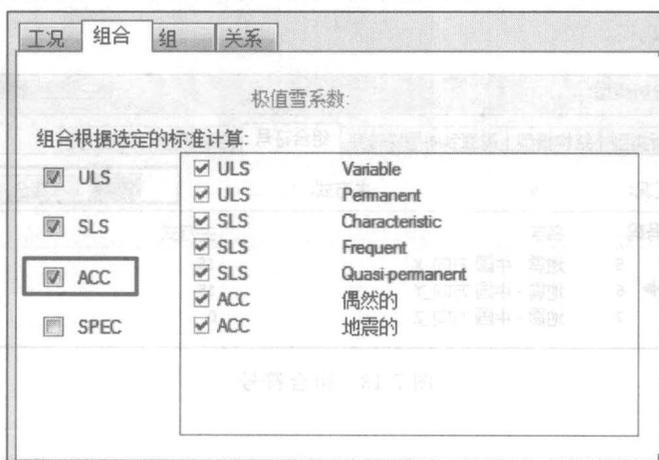


图 7-15 荷载组合

7.2.1.8 运行计算

完成上述设置，则点击荷载类型对话框中的“计算”，即可运行计算。

7.2.2 地震结果分析

7.2.2.1 水平地震作用力分析

通过“结果”/“层表”/“简化的力”/“工况地震”来查看 Robot 中 X、Y 方向地震作用力及剪力，截图如图 7-16 所示。

Robot 采用的模态分析法中，考虑地震作用的方式不同，采用不同的组合方式，当为平面振动的多质点弹性体系时，可以用 SRSS 法，它是基于假定输入地震为平稳随机过程，各

工况层	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)
7/ 1	20.10 7.07 3.00	6.45	1305.57	240.00
7/ 2	20.03 7.07 6.84	5.91	1185.01	172.29
7/ 3	20.03 7.07 10.4	5.15	1035.79	149.03
7/ 4	20.03 7.07 14.0	4.25	870.28	120.67
7/ 5	20.03 7.07 17.6	3.10	659.56	84.80
7/ 6	20.10 7.07 21.2	1.61	357.41	47.82

工况层	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)
6/ 1	20.10 7.07 3.00	1343.39	6.45	6570.28
6/ 2	20.03 7.07 6.84	1221.47	5.86	6027.67
6/ 3	20.03 7.07 10.4	1066.03	5.19	5259.12
6/ 4	20.03 7.07 14.0	885.26	4.33	4322.87
6/ 5	20.03 7.07 17.6	656.89	3.26	3140.16
6/ 6	20.10 7.07 21.2	345.54	1.92	1571.37

图 7-16 水平地震作用力 (上 X 下 Y)

振型反应之间相互独立而推导得到的, 对于考虑平-扭耦连效应的多质点弹性体系, 采用 CQC 法。

CQC (complete quadratic combination, 即完全二次项组合方法) 方式, 其不光考虑到各个主振型的平方项, 而且还考虑到耦合项, 对于比较复杂的结构比如考虑平扭耦连效应的结构使用完全二次项组合的结果比较精确。

7.2.2.2 水平地震作用下的结构位移

Robot 中通过“结果”/“层表”/“位移”可以查看不同工况或者作用下, 楼层的节点和层间位移情况, 地震作用下的位移情况如图 7-17 所示。

工况层	UX (mm)	UY (mm)	dr UX (mm)	dr UY (mm)	d UX	d UY	Max UX (mm)	Max UY (mm)	Min UX (mm)	Min UY (mm)
6/ 1	2.27	0.57	2.27	0.57	0.0005	0.0001	2.42	1.82	0.0000	0.0000
6/ 2	4.09	1.06	1.81	0.50	0.0005	0.0001	4.42	3.45	1.71	0.06
6/ 3	5.65	1.51	1.56	0.44	0.0004	0.0001	6.14	4.88	3.07	0.08
6/ 4	6.90	1.87	1.26	0.36	0.0003	0.0001	7.54	6.05	4.22	0.10
6/ 5	7.81	2.13	0.90	0.26	0.0003	0.0001	8.54	6.90	5.15	0.11
6/ 6	8.30	2.32	0.49	0.19	0.0001	0.0001	9.13	7.40	5.82	0.10

图 7-17 X 向水平地震作用下的位移

表格中, 顶部各项代表的含义如下。

① UX (mm): X 向地震作用下楼层竖向构件的平均水平位移 (或层平均位移、节点平均位移), 单位是毫米。

② dr UX (mm): X 向地震作用下的层间平均位移。

③ d UX: X 向地震作用下层间位移角, 即层间位移与层高的比值。

④ Max UX (mm): X 向地震作用下的楼层最大水平位移 (或节点最大水平位移)。

《高层建筑混凝土结构技术规程》3.4.5 规定, 楼层竖向构件最大位移 (也称节点最大位移) 与最大层间位移, 它们与各自的平均值之比应该小于 1.2, 同时《建筑抗震设计规范》5.5.1 规定, 多遇地震作用下楼层内最大层间位移角限值, 对于钢筋混凝土框架, 应该小于等于 1/550 (即 0.00182)。

例如对模结构统计计算位移比和层间位移角, 见表 7-1。

表 7-1 位移比与层间位移角

层	Robot			
	X 方向		Y 方向	
	位移比	位移角	位移比	位移角
6	1.07	0.0001	1.01	0.0002
5	1.08	0.0003	1.01	0.0003
4	1.09	0.0003	1.01	0.0004
3	1.09	0.0004	1.01	0.0005
2	1.09	0.0005	1.01	0.0006
1	1.10	0.0005	1.01	0.0006

通过表格对比发现，位移角限值小于 1/500，即 0.00182，位移比限值最大为 1.1，符合要求。

7.2.2.3 周期

通过“结果”/“高级”/“模态分析”打开周期表，如图 7-18 所示。

工况类型	频率 (赫兹)	周期 (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Cur.mas.UX (%)	Cur.mas.UY (%)	Cur.mas.UZ (%)
6/ 1	1.0116	0.9886	0.0012	86.5988	0.0001	0.0012	86.5988	0.0001
6/ 2	1.1014	0.9079	70.7286	86.6042	0.0001	70.7274	0.0054	0.0000
6/ 3	1.1892	0.8409	87.7850	86.6093	0.0001	17.0564	0.0051	0.0000
6/ 4	3.1970	0.3128	87.7851	96.0592	0.0009	0.0001	9.4499	0.0008
6/ 5	3.4588	0.2891	95.3210	96.0596	0.0009	7.5359	0.0004	0.0000
6/ 6	3.7408	0.2673	96.6244	96.0601	0.0009	1.3034	0.0005	0.0000
6/ 7	5.8401	0.1712	96.6245	98.6538	0.0017	0.0000	2.5937	0.0008
6/ 8	6.2535	0.1599	98.7194	98.6538	0.0017	2.0949	0.0001	0.0000
6/ 9	6.8021	0.1470	98.9203	98.6539	0.0017	0.2009	0.0001	0.0000
6/ 10	8.8732	0.1127	98.9204	99.5236	0.0023	0.0000	0.8697	0.0006
6/ 11	9.0159	0.1109	98.9204	99.5301	21.4816	0.0000	0.0065	21.4793
6/ 12	9.2135	0.1085	98.9210	99.5497	28.3600	0.0006	0.0196	6.8784
6/ 13	9.2282	0.1084	98.9276	99.5525	28.3953	0.0066	0.0028	0.0353
6/ 14	9.2795	0.1078	98.9282	99.5539	45.1317	0.0006	0.0014	16.7364
6/ 15	9.4425	0.1059	99.6401	99.5539	45.1376	0.7119	0.0000	0.0059

图 7-18 周期表

在 Robot 中设定的计算振型个数为 15，而检验振型数是否足够，通过检查有效质量系数即可，若达到 90% 的质量参与百分比（即有效质量系数），则合格。Robot 的周期表中，顶部的 Cur. mas（Current massed participation factor）指当前振型方式下有效质量系数；Rel. mas（Relative sum of mass participation factor）指到该振型方式为止有效质量系数。

采用刚性楼板假定时，T 周期最长的振型为主振型；非刚性楼板时，参与质量最大的振型是主振型。如图 7-18 可知，例如第一主振型周期为 0.99s，Y 方向有效质量系数为 86.60%；第二主振型周期为 0.91s，X 方向有效质量系数为 70.73%。

对于周期的对比，验证 Robot 对于地震进行模态分析时，只要将荷载转化为质量时的系数调整好，是可用而且有效的。

7.3 风荷载分析

通过“荷载”/“风荷载模拟”/“生成风荷载”打开“风模拟”对话框，如图 7-19 所示，分为两个标签——常规和风配置。

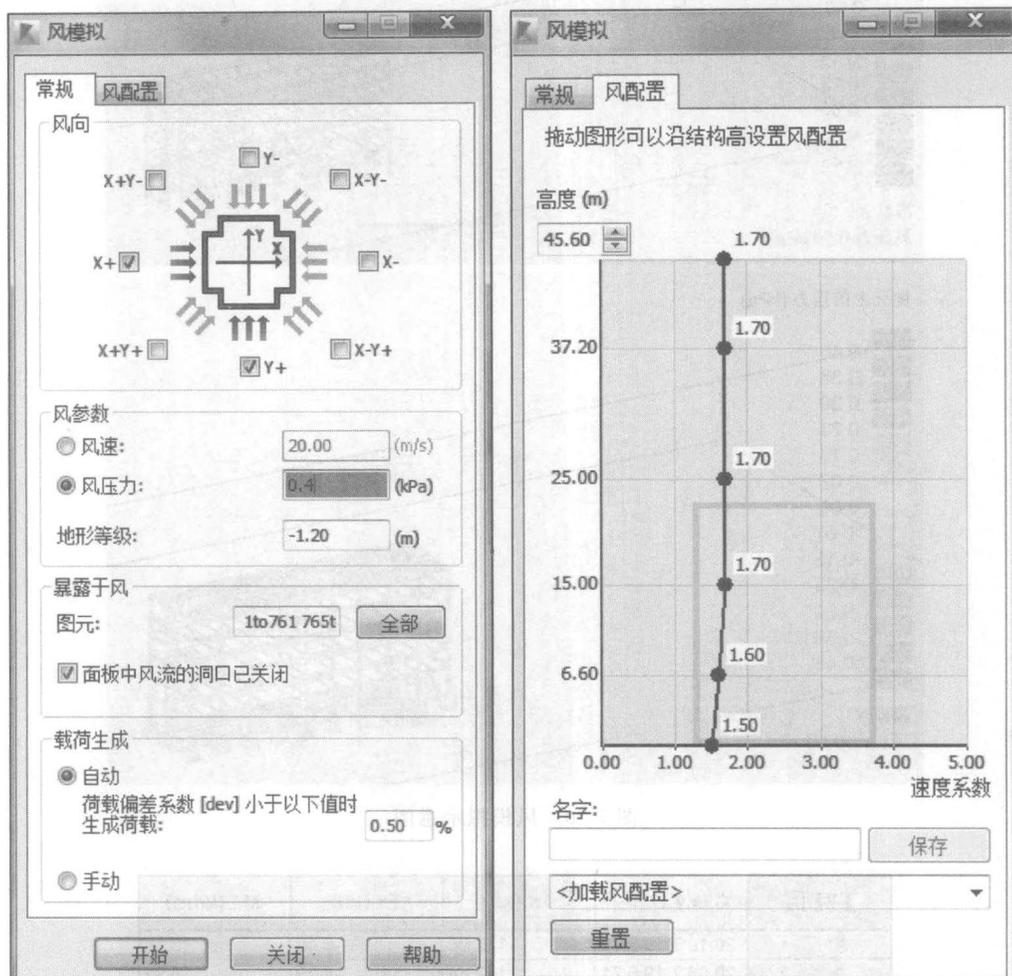


图 7-19 “风模拟”对话框

常规标签下可以选择“风向”、“风参数”；其中“风参数”有两种标准，“风速”或者“风压力”。风配置标签是根据不同高度设置不同的风速系数。

设置完毕，点击“开始”后，将首先生成网格，然后进行风模拟，由于选择两个方向，将进行两个方向的风模拟，如图 7-20 所示。模拟完毕后将自动生成风荷载。

Robot 风荷载，采用的方式是模拟生成，类似风洞实验，将建筑整体放入风洞，设定风速或者基本风压，进行模拟生成。

Robot 中的风荷载形成的剪力，通过“结果”/“层表”/“简化的力”查看，选择相应工况查看相应的力，截图如图 7-21 所示。

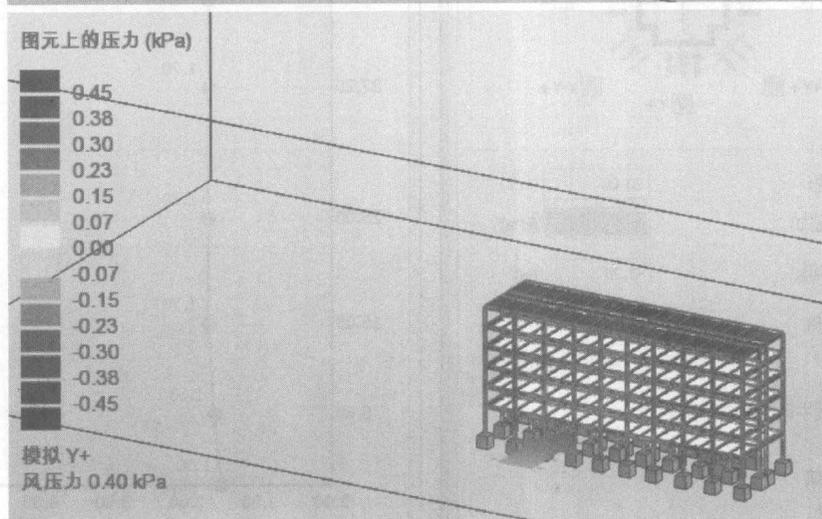
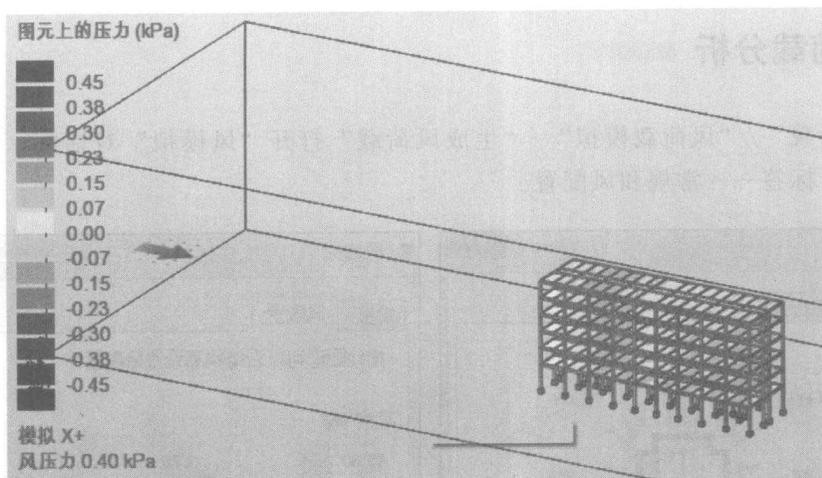


图 7-20 风模拟示意图

工况/层	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)
9/ 1	20.10 7.18 2.79	172.06	-6.46	46.54
9/ 2	20.06 7.19 6.71	142.64	-4.39	18.92
9/ 3	20.06 7.19 10.3	110.81	-1.91	18.24
9/ 4	20.06 7.19 13.9	80.70	-0.03	20.49
9/ 5	20.06 7.19 17.5	49.41	1.32	19.31
9/ 6	20.10 7.04 21.1	19.56	1.49	11.23

工况/层	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)
10/ 1	20.10 7.18 2.79	-5.15	962.96	25.84
10/ 2	20.06 7.19 6.71	-1.50	740.64	65.17
10/ 3	20.06 7.19 10.3	-1.58	569.59	46.13
10/ 4	20.06 7.19 13.9	-1.53	405.07	29.65
10/ 5	20.06 7.19 17.5	-1.47	247.26	15.36
10/ 6	20.10 7.04 21.1	-1.15	99.46	0.41

图 7-21 风荷载水平作用力截图

第 8 章

基本钢结构设计

本章导读 >>>

本章将讲解钢结构的基本设计，包括钢结构设计规范参数，钢结构构件设计，钢节点连接设计。

学习目标 >>>

- 1. 熟悉钢结构设计规范各参数的含义。
- 2. 掌握钢构件设计及修改。
- 3. 掌握钢节点连接的工作流程。
- 4. 练习钢结构的设计。

8.1 规范参数

通过“设计”/“钢构件设计-选项”/“规范参数”打开构件定义-参数对话框，如图8-1所示。

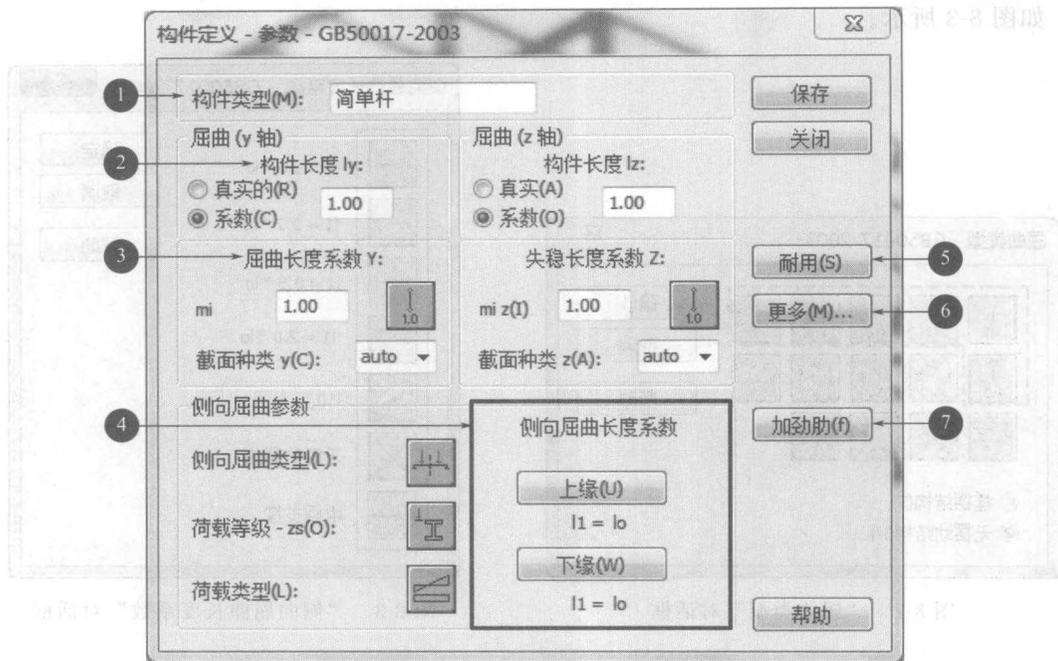


图 8-1 构件定义-参数对话框

① 构件类型：由于上述对话框是由“构件类型”对话框打开，所以“构件类型”对话框起始默认只有三种类型，分别为梁、柱、简单杆。当然也可以用户自定义名称，点击保存后将自动陈列在“构件类型”对话框中。

② 构件长度：压力作用下的基本构件长度（Y轴此处代表强轴屈曲，Z轴此处代表弱轴屈曲）。指定真实的长度或者指定一个系数来确定构件长度。计算屈曲时是一种无支撑的构件长度，并且可以在“屈曲长度系数”中进行修改。



提示

除非确定在设计过程中长度不变，否则在构件长度中指定一个真实的数值将会变得麻烦，原因是如果构件长度增大或者支撑节点之间的距离变大将会导致设计不稳定。所以建议最好选择系数为 1.0 即可。

③ 屈曲长度系数：根据不同约束条件（固接、铰接、自由等），通过该系数对基本构件长度进行调整。点击系数按钮将弹出“屈曲类型”对话框，如图 8-2 所示。

该对话框可以快速指定常见约束条件的屈曲系数。

- 虚线圈中的部分：可快速选择标准屈曲系数。
- 、：对桁架单元提供标准的屈曲系数。
- ：在设计和构件检验方面清除该轴的屈曲，计算时将忽略该轴的屈曲。

d. : 自动或手动设置支撑数量及长度, 将在后面的内容中再介绍。

e. 剩下的部分, 提供手动配置系数或者根据相邻构件自动计算屈曲长度。其中, 使用  可根据相邻构件自动计算, 使用    可手动进行设置。

④ 侧向屈曲长度系数 (包括上缘和下缘): Robot 计算压翼缘的侧向屈曲, 所以用户可以指定约束条件和上下翼缘的支撑长度。点击“上缘”按钮, 将弹出侧向屈曲长度系数对话框, 如图 8-3 所示。

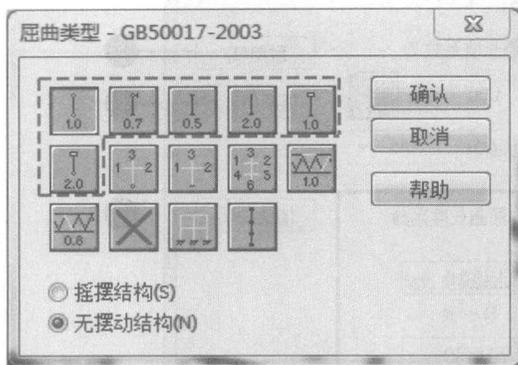


图 8-2 “屈曲类型”对话框

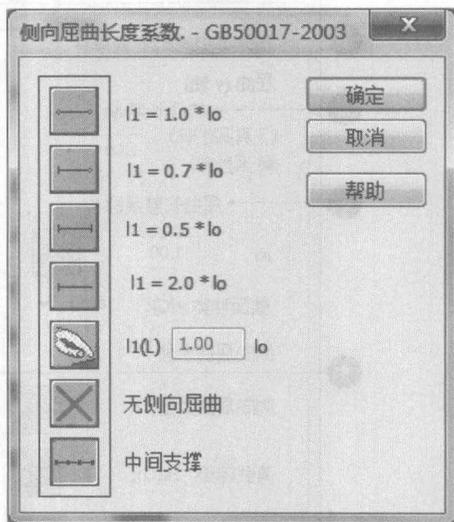


图 8-3 “侧向屈曲长度系数”对话框

a. 前四个选项, 如果翼缘沿长度无摇摆, 则可通过前四个选项进行标准设置。

b. 第五个选项, 可填入自定义值。

c. 选择第六个选项“无侧向屈曲”, 则可忽略该翼缘的侧向屈曲计算。

d. 点击最后一项打开内部拉杆对话框, 与图 8-2 中最后一项打开的对话框为同一对话框的不同标签, 将在后面的内容讲解。

⑤ 耐用: 该选项用于设置适用位移值, 可以设置构件挠度和节点位移。

⑥ 更多: 点击该按钮, 将弹出“构件定义-附加参数”对话框, 通过该项, 可降低螺栓孔区有效截面面积与毛截面面积的比率和剪力滞系数, 还可以设置角钢的连接方式。

⑦ 加劲肋: 点击“加劲肋”将弹出如图 8-4 所示“横向加强杆的位置”对话框, 沿着梁长度方向可以设置加劲肋, “相对的”即填入系数, “真实的”需要填入真正的长度。

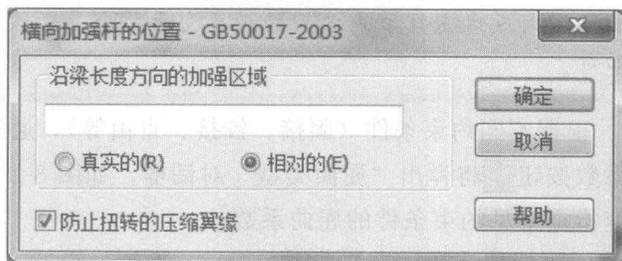


图 8-4 “横向加强杆位置”对话框

对于上述对话框，读者可以根据专业知识以及工程实际进行练习。下面介绍一下先前提到的内部拉杆对话框，如图 8-5 所示。

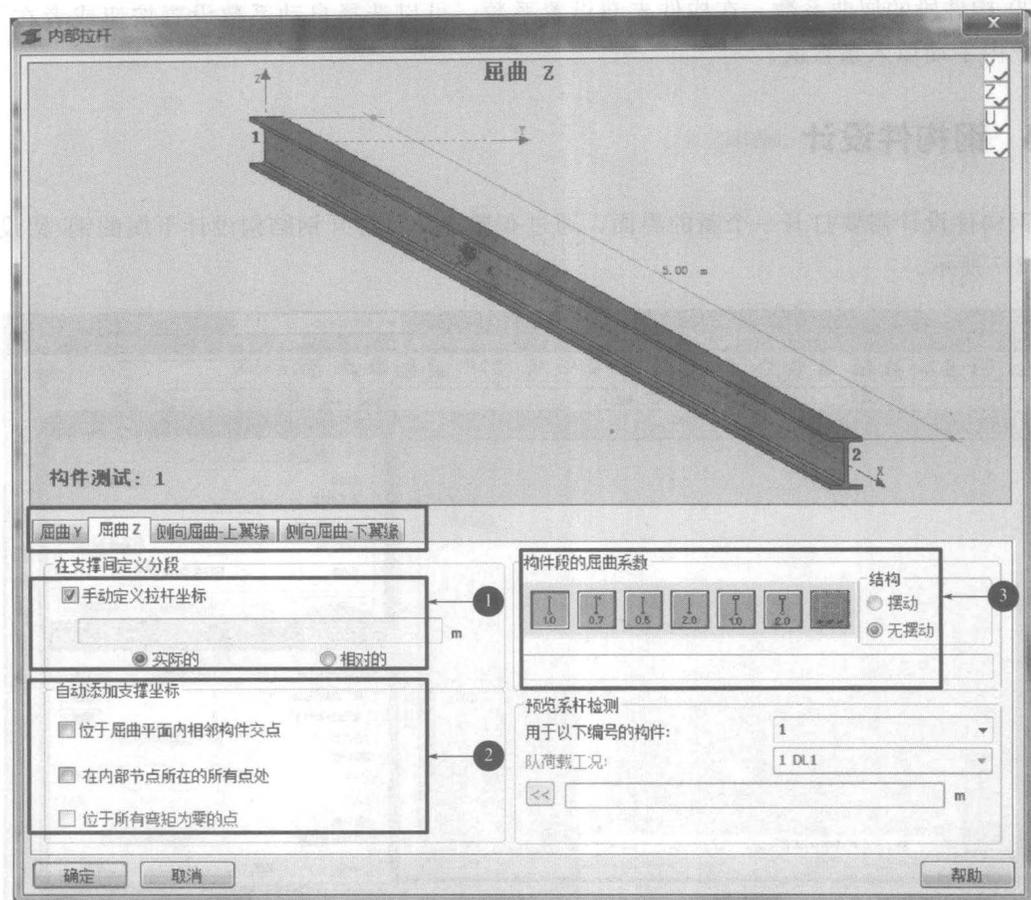


图 8-5 内部拉杆对话框

该对话框有 4 个标签，屈曲 Y、屈曲 Z、侧向屈曲-上翼缘、侧向屈曲-下翼缘。分别对应着图 8-1 参数对话框中的屈曲长度系数 Y、失稳长度系数 Z、侧向屈曲长度系数-上缘、侧向屈曲长度系数-下缘四个选项。

① 手动定义拉杆坐标：手动根据自定义填入拉杆坐标，如图 8-6 所示。

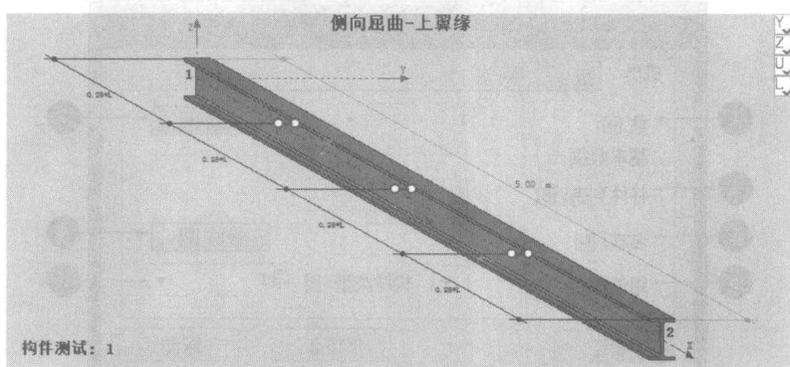


图 8-6 手动定义拉杆坐标

② 自动添加支撑坐标：选择分为三种方式，将自动添加支撑坐标，分别为位于屈曲平面内相邻构件交点、在内部节点所在的所有点处、位于所有弯矩为零的点。

③ 构件段的屈曲系数：在构件末端设置系数，可以选择自动系数设置按钮或者在下方的方框内手动填入系数值。

8.2 钢构件设计

钢构件设计需要打开一个新的界面，通过布置选择器打开钢结构设计下属的钢/铝设计，如图 8-7 所示。



图 8-7 钢构件设计界面

8.2.1 定义成员与组

在钢构件设计界面，首先介绍一下“定义”对话框，如图 8-8 所示。



图 8-8 “定义”对话框

通过定义对话框，可以快速修改构件的特性类型，也可将同一类型的构件生成一个组。

8.2.1.1 成员标签

① 数：通过该项可以选择任何一项已经在结构中定义过的构件。下面的“基本数据”将陈列该构件的信息。

② 杆件列表：对于单一构件该项是灰暗不可编辑的。如果遇到超级构件需要重新定义，点击⑦新建，则该项将可以编辑进行多个杆件的选择。

③ 名字：Robot 默认的名字与“① 数”相一致，用户可自定义名字，该名字将用于钢构件验算和规范组设计的结果表格中。有时 Robot 会重新排列先前的构件号，所以用户注意查看是否发生改变。

④ 参数：点击该按钮将打开第 1 节中讲的参数对话框，可以进行再次设置。

⑤ 组=规范组：为了便于构件设计，Robot 需要将同一规范下的某些构件统一放在一个组中，而生成一个新组需要切换到“组标签”下进行。

⑥ 构件类型：该项中所陈列的各构件类型，来源于通过规范参数设置的构件类型。

⑦ 新建：使用新建选项，可以生成包含多个杆件的超级构件。

8.2.1.2 组标签

所有构件的设计以构件组来运行，Robot 中称之为“规范组”。在该标签下，单独的构件不能进行设计，除非将单一构件生成一个组。目的是将相类似的构件进行设计，该标签将在计算时十分有用，尤其“规范组验证”和“规范组设计”。

(1) 工作流程

- a. 点击“新建(N)”，生成一个新组。
- b. 通过  快速选择杆件至“杆件列表”中。
- c. 使用截面按钮，打开“截面选择”对话框进行设置，该设置需要根据设计的目的进行。
- d. 自定义一个组名。
- e. 选择用于设计的构件材料。
- f. 点击“保存”即可完成一个组的建立。

(2) 组标签对话框 定义对话框切换至组标签，如图 8-9 所示。

组标签与成员标签有很多类似的地方，不再赘述，这里介绍一下“截面”和“参数化截面”。截面选择对话框如图 8-10 所示。

在该对话框中，首先通过最上面的“标准”截面进行过滤，例如选择工字梁；第二步选择数据库，国内工程选择 CHINA，其他可根据下路列表选择；第三步选择截面族，例如“BH 族”。选择完毕后，下方的“截面”列表将陈列所有 BH 类型的截面，Robot 默认地将所有该族的截面都设定为“选定截面”；如果用户不喜欢该族的某个截面，例如“BH 1200×400×3”，则选中该截面，点击左侧的“删除所选”即可删除。

参数化截面，Robot 将通过改变截面特性或者改变构件深度，对参数逐渐增大的截面进行最佳化设计。通过该项打开的对话框可以设置参数，进而限制设计出现的问题。

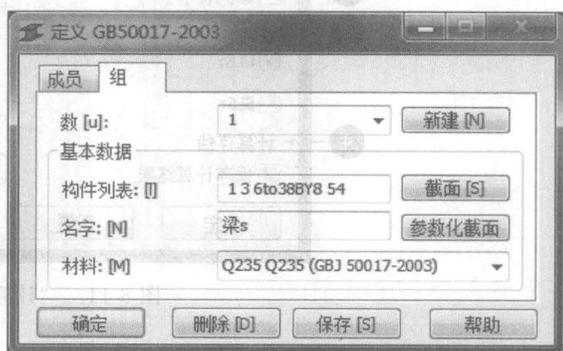


图 8-9 组标签对话框



图 8-10 截面选择对话框

8.2.2 运行计算

计算对话框是构件设计和验算的核心。所以对该对话框，用户一定要仔细学习并掌握。

“计算”对话框如图 8-11 所示，对话框中包含三个主要选项：构件验证、规范组验证、规范组设计，每个选项的右侧是通过“目录”编辑选择相应的构件或者规范组。再往下，考虑荷载情况 ULS 和 SLS，右侧列表可以帮助用户选择与设计相关的荷载或者荷载组合。

① 验证选项

a. 构件验证：对于被选择的构件，该选项将逐一进行计算。

b. 规范组验证：通过目录选择需要验证的规范组，该项逐一对其进行计算验证。

c. 规范组设计：在每一个规范组，存在一个构件的某截面上的力是最大的，则这个构件将代表该规范组的所有构件。

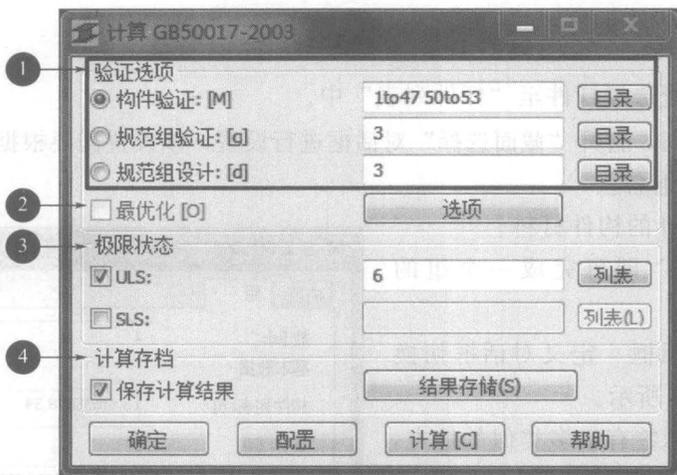


图 8-11 “计算”对话框

注意

1. 选择规范组验证和规范组设计时，二者每次只能选择一个，并且下方的极限状态只能单选一个，建议选择“ULS”。
2. 规范组验证与规范组设计时，每次只能选择一个规范组，所以用户需要重复几次，才能将所有规范组进行验证和设计。

② 最优化：该选项只有在规范组设计时才能运行。除非选择该项，否则，规范组设计中许可的截面将逐一被检验，直至第一个符合极限状态的截面出现，Robot 不会再进行检验

是否存在符合标准的更优截面。最优化右侧的选项，点击后弹出如图 8-12 所示。

在该对话框中，用户可以设置标准来引导最优化。对话框中的各选项意思都比较直白，最后一项“对截面的整个集合的计算”，若选择该项而没有选择其他选项，则 Robot 不会在搜索到第一个符合标准的截面时停止，而是继续搜索最优的截面。

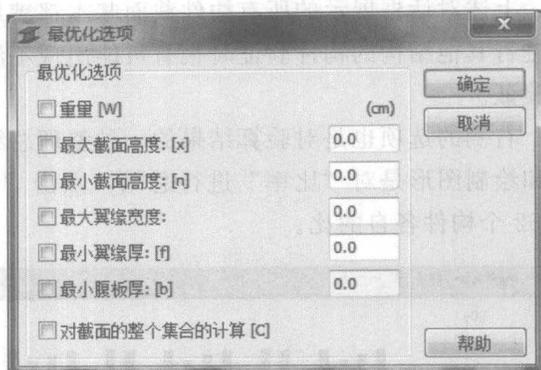


图 8-12 最优化选项

③ 极限状态：用于计算的极限状态 ULS、SLS。通过右侧的列表选择相应的荷载组合。

④ 计算存档：勾选该项，保存运行计算的结果。右侧的“结果储存”，可以查询前期保存过的计算结果或者通过屏幕捕获将其列入计算书中。

以上是对计算对话框的简要介绍，下面对运行钢构件设计计算过程中主要用到的三个选项进行介绍。

8.2.2.1 构件验证

当设置完各个选项，检查完规范参数，则可以运行计算进行构件验证。构件验证的构件框内选择需要验证的构件，然后点击下方的计算。Robot 将对列表内的所有构件逐一进行检验，验算结果如图 8-13 所示。

构件	截面	材料	L _{Ay}	L _{Az}	比	工况
36 柱1_36	LH 500x200x2	Q235	20.62	107.46	0.07	6 ULS
37 柱1_37	LH 500x200x2	Q235	22.48	118.20	0.56	6 ULS
38 梁1_38	BH 350x250x	Q235	60.81	166.03	0.56	6 ULS
39 简单杆_39	CCHS 219x4	Q235	78.91	78.91	0.89	6 ULS
40 简单杆_40	CCHS 219x4	Q235	78.91	78.91	0.92	6 ULS
41 简单杆_41	CCHS 219x4	Q235	78.91	78.91	0.80	6 ULS
42 简单杆_42	CCHS 219x4	Q235	78.91	78.91	0.92	6 ULS
43 简单杆_43	CCHS 219x4	Q235	78.91	78.91	0.94	6 ULS
44 简单杆_44	118	Q235	110.46	407.07	0.55	6 ULS
45 简单杆_45	118	Q235	110.46	407.07	0.37	6 ULS
46 简单杆_46	118	Q235	106.00	390.61	0.36	6 ULS
47 简单杆_47	118	Q235	106.00	390.61	0.20	6 ULS
50 简单杆_50	118	Q235	106.05	390.81	0.00	6 ULS
51 简单杆_51	118	Q235	106.05	390.81	0.09	6 ULS
52 简单杆_52	118	Q235	106.05	390.81	0.05	6 ULS
53 简单杆_53	118	Q235	106.05	390.81	0.01	6 ULS

图 8-13 构件验算结果

该对话框中分为两个标签，即结果标签和消息标签，在结果标签中，注意查看截面栏，通过截面左侧的符号可以判断该截面是否符合标准。常见的符号如下。

☑：截面符合规范标准。

✘：截面不符合规范标准。

⚠：不稳定的截面。

上述对话框展示的所有构件截面基本都满足了承载力极限状态和正常使用极限状态，用户进行其他结构的构件验证时很有可能出现不满足的结果，这些构件需要返回重新设计并在此验证。

右侧的选项也是对验算结果的一种整理总结，计算报告对构件信息以文本形式总结，分析和绘制图形是对“比率”进行总结，点击“分析”后给出的图形，如图 8-14 所示，总结了 52 个构件各自的比。

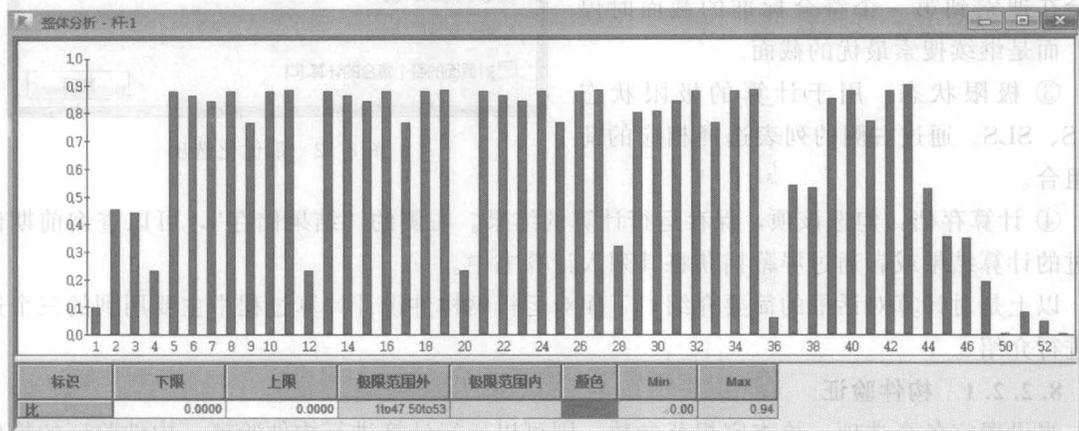


图 8-14 比

返回构件验算结果对话框，选择单独的某个构件，将打开其详细结果对话框，如图 8-15 所示。

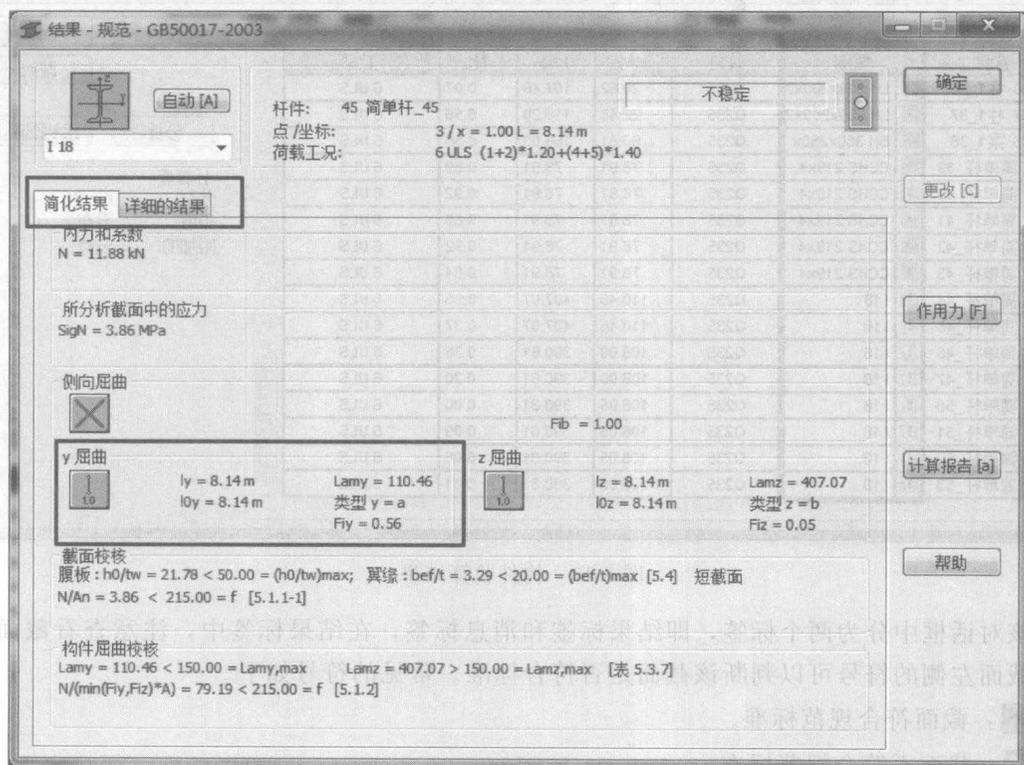


图 8-15 “结果-规范”对话框

该对话框帮助用户快速查看详细的设计以及规范检验信息，也可以查看一下内力、应力等信息。屈曲信息中，例如 y 屈曲，各字母代表的含义如下。

l_y : 构件的理论长度。

l_{oy} : 屈曲长度。

λ_{my} : 绕交叉截面的 y 轴的长细比。

Φ_y : 屈曲系数。

最后一项是计算报告，该计算报告也可以添加至前面讲过的计算书中，钢结构某构件的详细计算报告如图 8-16 所示。

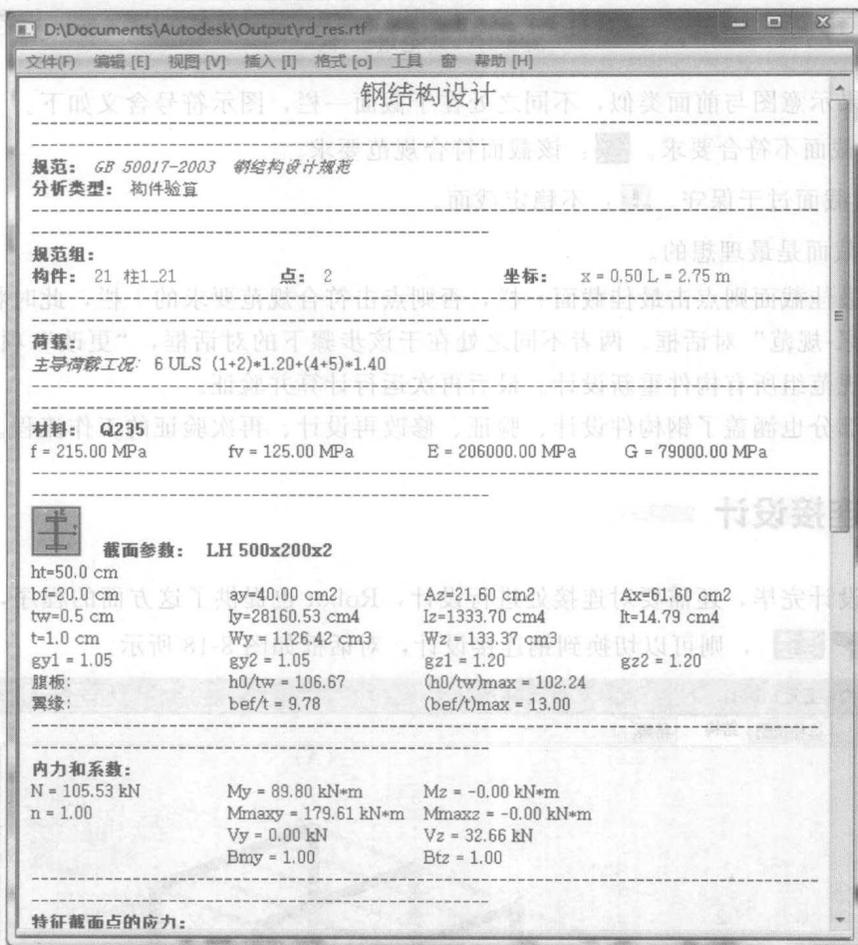


图 8-16 钢构件计算报告

8.2.2.2 规范组验证

对于单个构件验证，很多时候构件数量太多，进行单个构件验算费时，并且若出现截面不符合标准的情况，一般与该构件同一截面类型的许多构件也不符合，对重新设计不利。所以可以将类似的构件组成一个规范组，进行检验，系统将选择一个最不利的作为代表。验算结果界面与单个构件的验算类似，可以查看其信息。

8.2.2.3 规范组设计

前面进行了构件验证和规范组验证，都是查看验证结果是否满足要求，若不满足，则进入规范组设计对构件进行重新设计。

选择规范组，勾选最优化，点击“计算”，计算后弹出对话框，如图 8-17 所示。

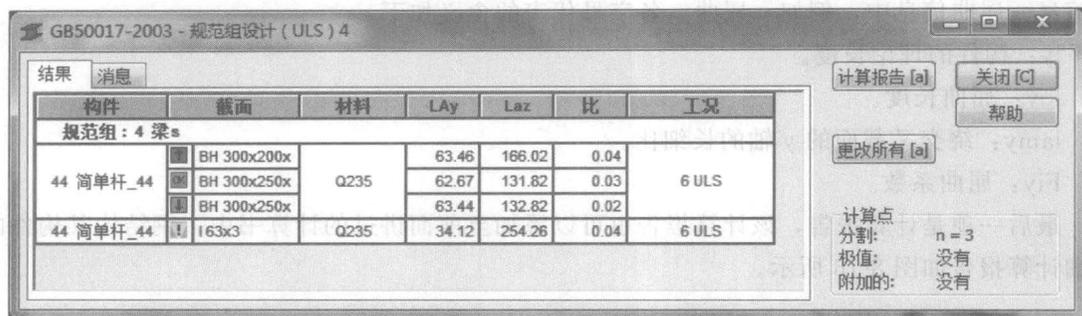


图 8-17 规范组设计

计算结果示意图与前面类似，不同之处在于截面一栏，图示符号含义如下。

❌: 该截面不符合要求。✅: 该截面符合规范要求。

⬇️: 该截面过于保守。⚠️: 不稳定截面。

🏆: 该截面是最理想的。

若出现最佳截面则点击最佳截面一栏，否则点击符合规范要求的一栏，此时将弹出类似 8-15 的“结果-规范”对话框。两者不同之处在于该步骤下的对话框，“更改”项可以使用，点击后则该规范组所有构件重新设计。最后再次运行计算并验证。

以上各部分也涵盖了钢构件设计、验证、修改再设计、再次验证的工作流程。

8.3 钢连接设计

钢构件设计完毕，还需要对连接处进行设计，Robot 也提供了这方面的程序，通过布置选择器选择 **连接**，则可以切换到钢连接设计，对话框如图 8-18 所示。

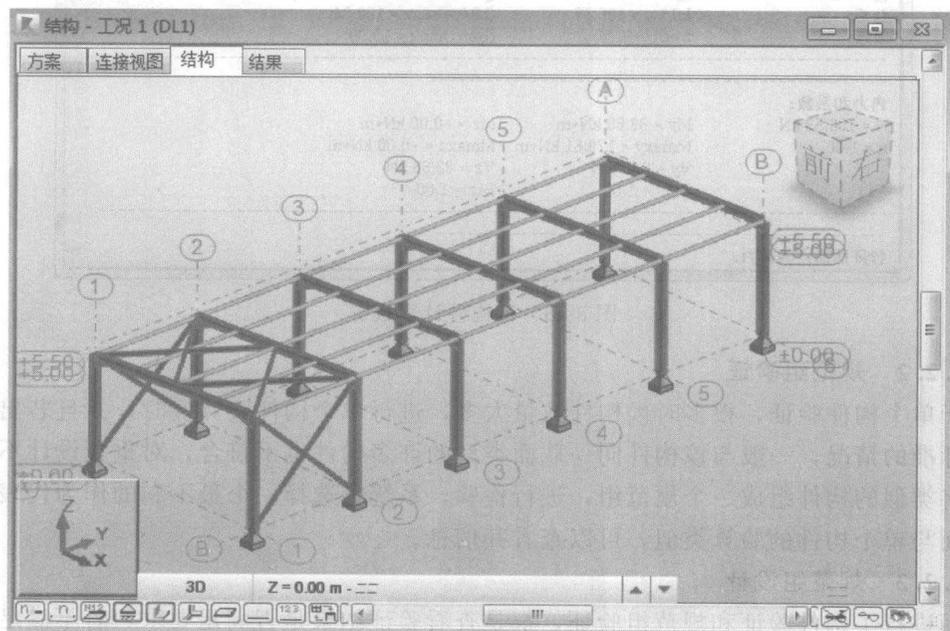


图 8-18 钢连接设计对话框

该对话框中含有四个标签：方案，连接视图，结构，结果。

(1) 结构 结构标签，显示的是用户建立的结构模型，如图 8-19 所示，选择两个杆件，点击界面上方的“对于选定杆建立新连接”按钮.

(2) 方案 点击后，将弹出“连接节点定义”对话框，如图 8-20 所示，该对话框是进行钢节点连接的关键部分。

用于钢连接设计的对话框含有 7 个选项（螺栓连接情况下），分别是几何、板、支架、螺栓、加劲板、焊缝、规范参数。选择焊缝连接，则缺少板和螺栓选项。

几何选项，可以设置连接节点类型，螺栓连接或者焊缝连接；其他关于梁柱的几何信息已经设定完毕，当前不可编辑。

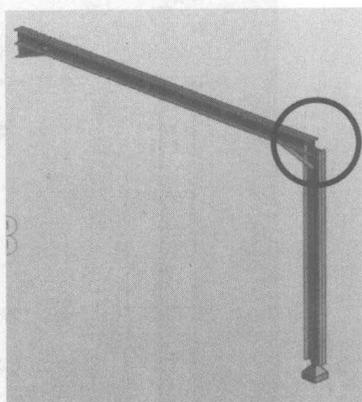


图 8-19 选择节点

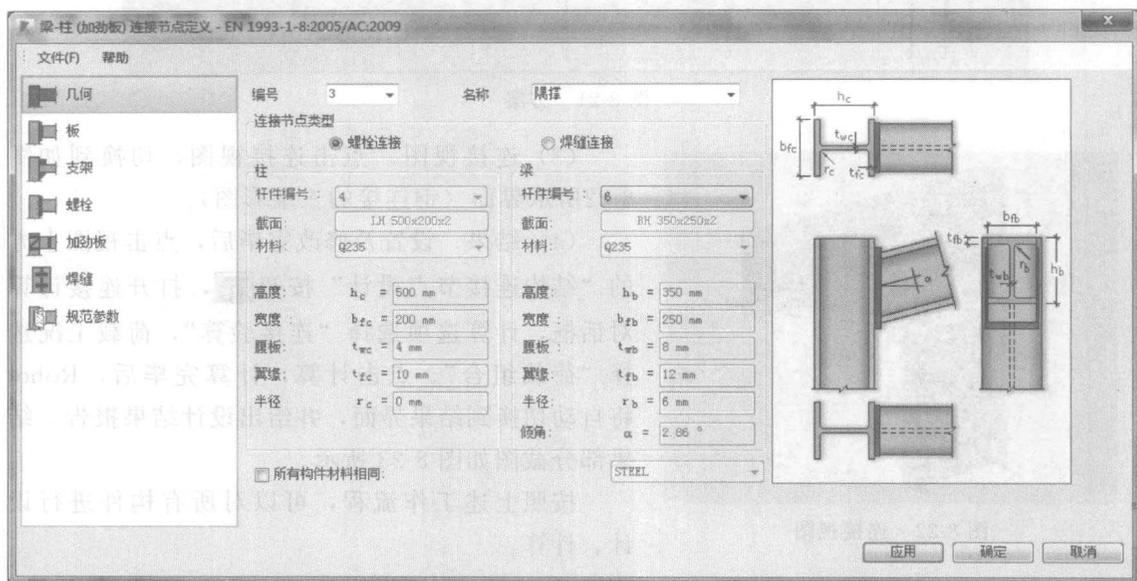


图 8-20 钢节点连接定义对话框

板选项，可以设置端板的信息参数，主要为端板几何信息；如果需要在端板另一侧设置支架，则可以勾选“柱翼缘上、下部支架”进行参数设置。

支架选项，此支架为竖向支架，下部竖向支架为必选项，上部竖向支架为可选项，通过下拉列表选择不同类型的上部竖向支架。若支架支撑力不够，可继续选择加劲板。

螺栓选项，此选项为螺栓连接的重点部分，设置螺栓的直径与等级、螺栓的剪切面是否为螺纹部分、连接时的排列方式以及螺栓的间距等。

加劲板选项，也称加劲肋，柱水平加劲肋为必选项，进行几何信息的设置；梁的竖向加劲肋为可选项。

焊缝选项，设置焊缝尺寸，包括梁焊缝、支架焊缝。

以上的所有设置，都可以在方案中呈现，方案对话框如图 8-21 所示。

用户可以参照方案的变化，边设置边查看，设置完毕进入下一个标签。

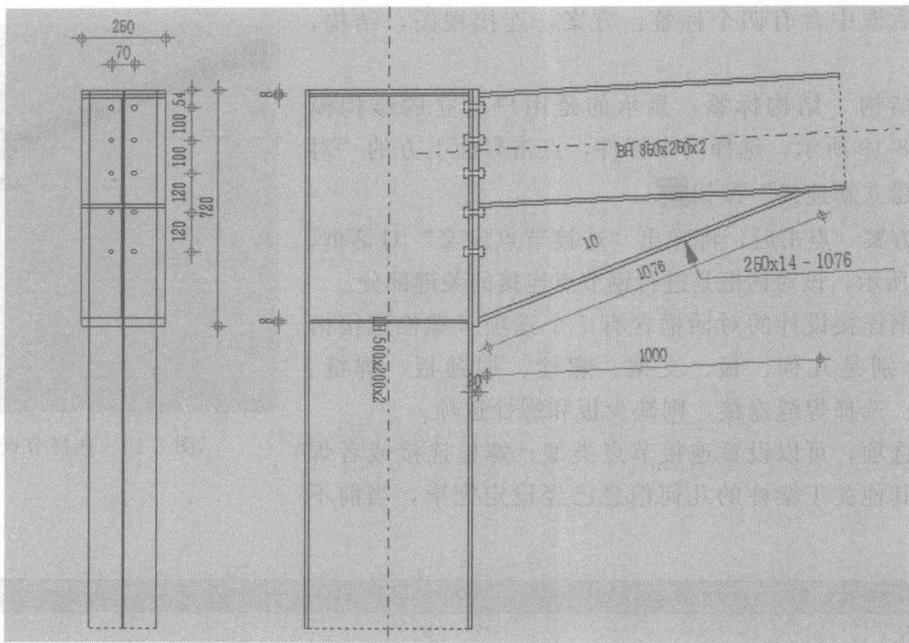


图 8-21 方案

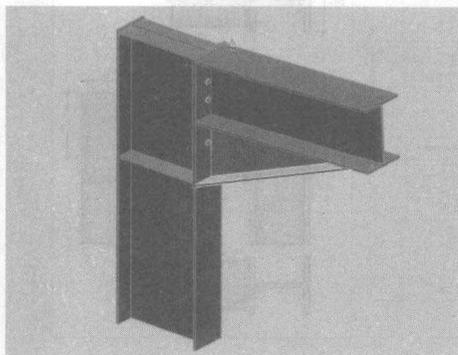


图 8-22 连接视图

(3) 连接视图 点击连接视图，切换到如图 8-22 所示界面（钢连接的三维彩图）。

(4) 结果 设置及修改完毕后，点击视图上方的“结构连接节点设计”按钮 ，打开连接计算对话框，计算选项选择“连接验算”，荷载工况选择“荷载组合”。点击计算，计算完毕后，Robot 将自动切换到结果界面，并给出设计结果报告。结果部分截图如图 8-23 所示。

按照上述工作流程，可以对所有构件进行设计、计算。

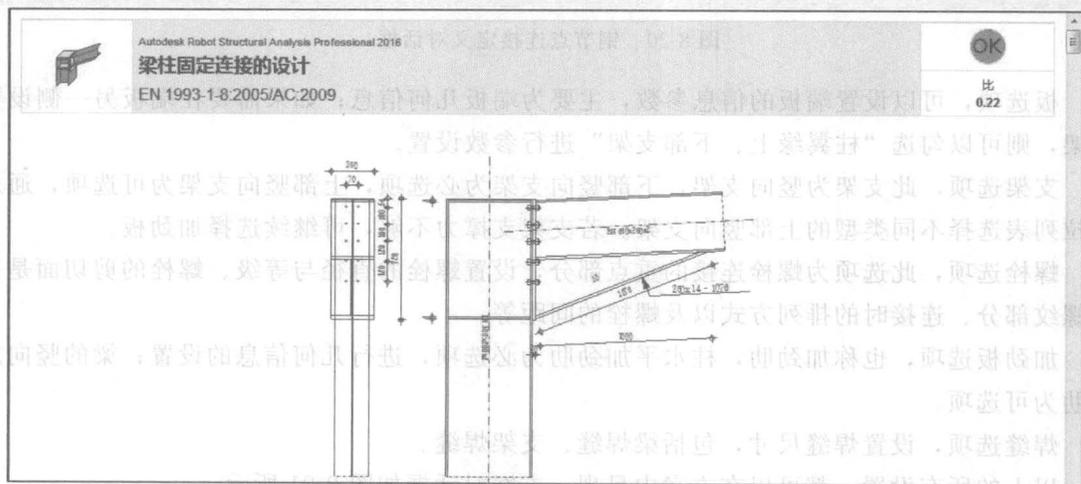


图 8-23 钢连接结果

8.4 练习

8.4.1 建立钢结构模型

• 打开 Robot，选框架 3D 设计 ；进入界面后，打开左下角的结构视图管理对话框，选择 3D。

• 布置结构轴网

① X 轴：重复的编号填入“1”，距离填入“10”，编号选择“A, B, C…”。

② Y 轴：重复的编号填入“5”，距离填入“6”，编号选择“1, 2, 3…”。

③ Z 轴：位置分别填入“0”，“5”，“5.5”；每次输出一个数值点击添加。编号选择“数值”。

设置完毕后，点击“应用”，关闭对话框。视图将呈现三维轴网。

• 选择右侧工具栏的“杆” ，弹出杆对话框，杆件类型为简单杆，截面通过右侧省略号选择“BH 350×250×1”，分别绘制杆件 (0, 30, 0) 与 (0, 30, 5)、(10, 30, 0) 与 (10, 30, 5.5)。

选择“BH 300×200×1”，绘制杆件 (0, 30, 5) 与 (10, 30, 5.5)。

• 使用【Ctrl+A】选中当前所有杆件，点击编辑菜单下的移动/复制命令 ，平移向量 (0, -6, 0)。然后重新选择，同时选中两个梁，使用编辑菜单下的分割命令 ，弹出“分割”对话框，修改对话框中“段的数”为“4”，点击运行，关闭对话框。打开左下角的节点号 ，此时的示意图如图 8-24 所示。

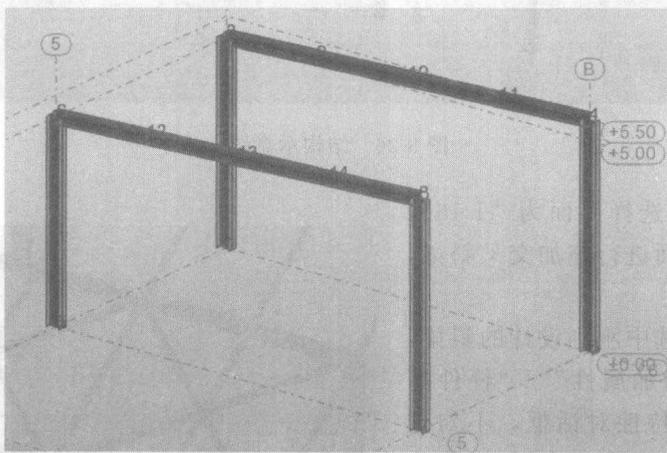


图 8-24 分割示意图

• 选择杆，截面选择槽钢“QC 20×1”，作为次梁，分别布置于上图各相对节点处，关闭对话框。

• 打开截面形状。选择显示按钮 ，打开对话框；依次选择“颜色标记”/截面-用颜色标识。

• 通过“几何”/“释放”，打开释放对话框，选择“铰接-铰接”，施加到先前定义的次梁，即 QC 20×1，关闭对话框。

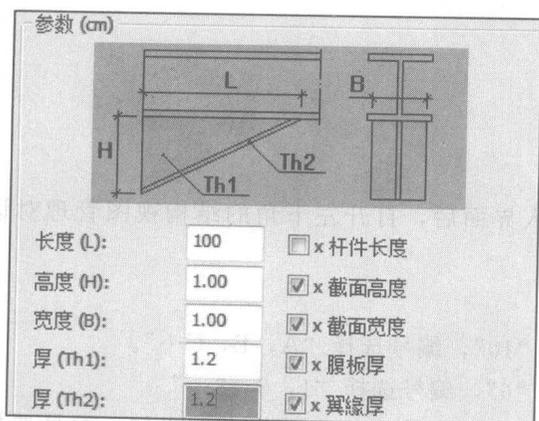


图 8-25 肘板参数设置

- 通过“几何”/“附加属性”/“肘板”，打开肘板对话框，双击“斜撑_0.1×1”，弹出新的肘板对话框，参数设置如图 8-25 所示，其他不变，点击“添加”，关闭对话框。应用到主梁，点击主梁两端即可施加，同理应用到另一根主梁。

- 施加约束，选中四根柱，点击约束 ，施加铰接约束。

- 除去最外侧的那跨筒支梁，其他构件全部选中，进行复制平移，复制平移 4 次，平移量依然为 (0, -6, 0)。复制平移完的示意图如图 8-26 所示。

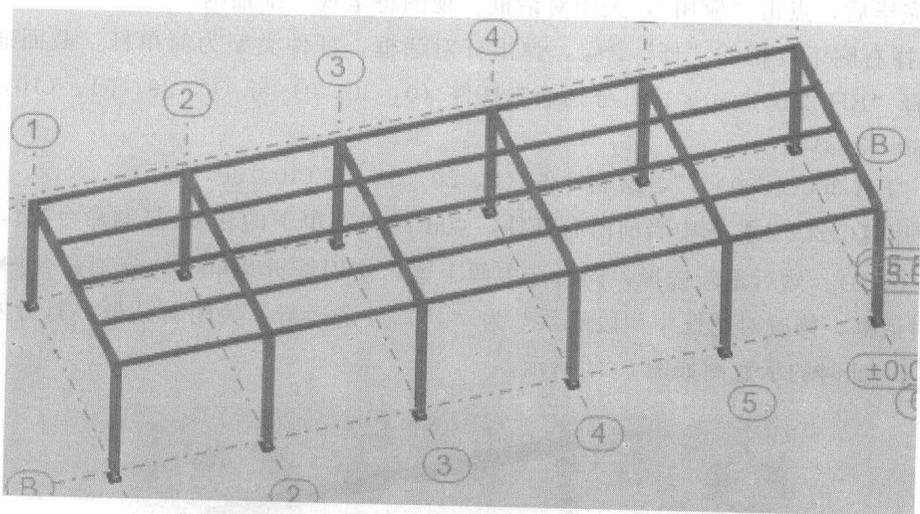


图 8-26 结构示意图

- 添加斜梁，选择界面为“I 16”，在结构的左端，三面进行施加交叉斜梁，如图 8-27 所示。

设置完毕后，选中刚刚设计的斜梁，通过“几何”/“附加属性”/“杆件高级特性”打开高级特性对话框，不勾选“受拉/受压杆件”，点击“应用”，即将其变为桁架。

8.4.2 施加荷载及初步分析

- 打开荷载类型对话框，添加 DL1、DL2、风 1、SN1。

- 打开手动荷载组合，组合类型“ULS”，命名为“ULS”，组成为“1.2×

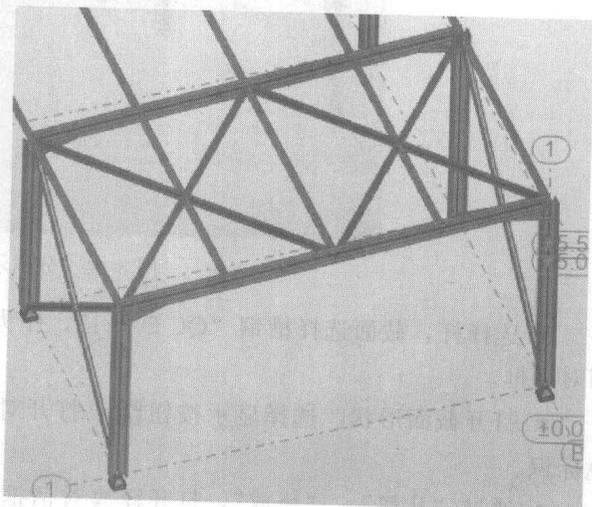


图 8-27 斜梁示意图

(DL1+DL2) +1.4 (风 1+SN1)”，点击“应用”。然后点击“新的”，新建一个组合，组合类型选为“SLS”，命名为“SLS”，系数为自动，点击“应用”。

• 通过“几何/覆板”打开覆板对话框，选择矩形，对结构模型三面分别添加覆板。示意图如图 8-28 所示。

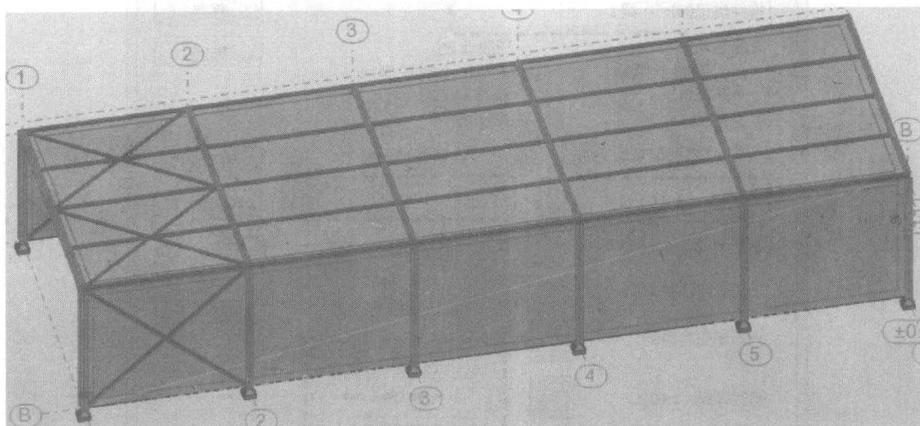


图 8-28 覆板示意图

• 荷载选择 DL2，打开荷载定义对话框，选择均布平面荷载，Z 输入“-0.25”，施加到三个平面。荷载选择 SN1，均布面荷载，Z 输入“-1.50”，施加到顶部平面。荷载选择风 1，X 输入“0.3”。关闭对话框。

• 点击计算。

8.4.3 结果初步预览

• 打开结果界面，选择 My 弯矩，显示示意图如图 8-29 所示。

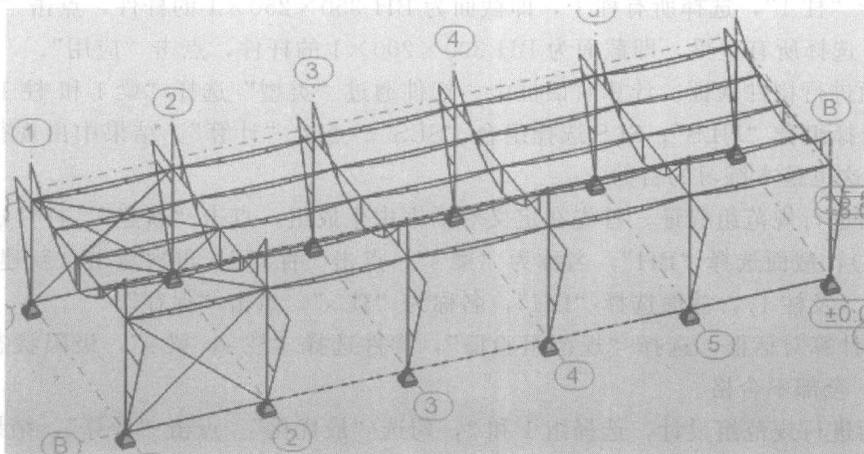


图 8-29 My 示意图

还可以预览反力、应力、变形等，此处简单介绍。

8.4.4 钢构件设计

• 通过布置选择器，打开钢结构设计的“钢/铝设计”。进入界面后，点击右侧工具

栏的“钢/铝构件类型”，打开构件类型对话框，选择新的，弹出如图 8-30 所示对话框。

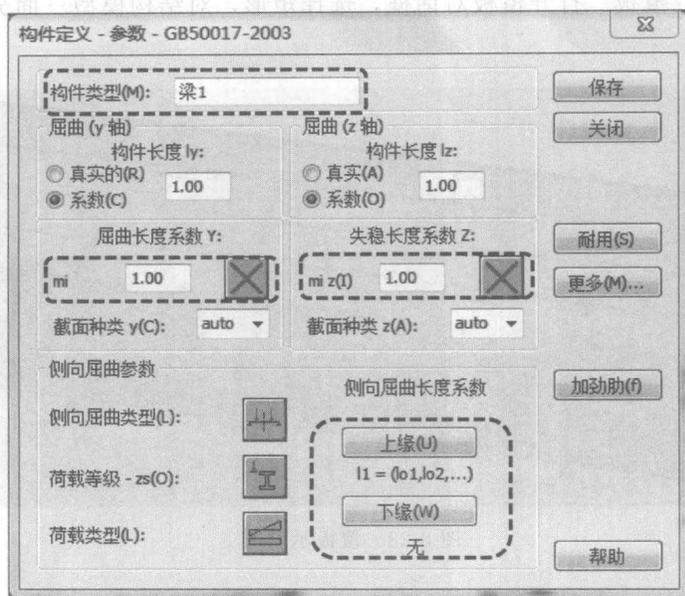


图 8-30 构件定义

更改的地方已经框出，名称为“梁 1”；两个方向的长度系数选择无；侧向屈曲长度系数，“上缘”选择中间支撑，手动定义拉杆相对坐标“0.25, 0.5, 0.75”，“下缘”选择无侧向屈曲，点击“保存”。

再次修改，名称为“柱 1”，屈曲长度系数两个方向都选择“1.0”，其他不变，点击“保存”。则构件类型列表与开始相比，多出“梁 1，柱 1”。

- 对于“柱 1”，选择所有柱子，即截面为 BH 350×250×1 的杆件，点击“应用”；对于“梁 1”，选择所有主梁，即截面为 BH 300×200×1 的杆件，点击“应用”。

- 下面进行构件验证。计算对话框中，杆件通过“类型”选择“梁 1 和 柱 1”。极限状态，ULS 选择组合“ULS”；SLS 选择组合“SLS”。点击“计算”。结果中出现很多截面不符合标准，这也是本练习的目的。

- 下面进行规范组验证。首先在定义对话框中生成组，点击“新建”，杆件选择所有主梁（即梁 1），截面选择“BH”，名称为“梁 s”，点击“保存”。再次点击“新建”，杆件选择所有柱子（及柱 1），截面选择“BH”，名称为“柱 s”，点击“保存”。

切换到计算对话框，选择“规范组验证”，构件选择“柱 s，梁 s”，极限状态不变，点击“计算”，全部不合格。

- 下面进行规范组设计，选择组 1 和 2，勾选“最优化”。点击“计算”，结果示意图如图 8-31 所示。

选择截面 OK 的截面，点击更改。再次返回“构件验证”和“规范验证”，点击“计算”，则发现结果通过。示意图如图 8-32 所示。

8.4.5 钢连接设计

- 布置选择器选择“连接”，切换到钢连接界面，在“结构”标签下选择某根柱和相

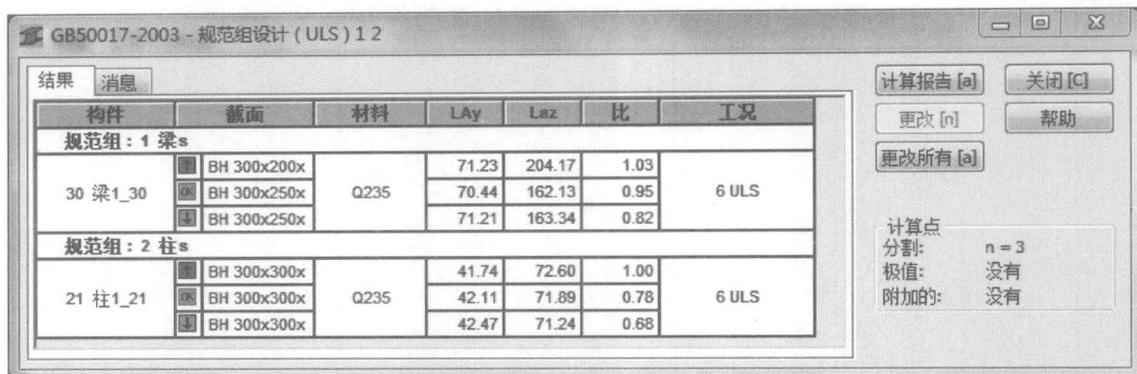


图 8-31 规范设计结果

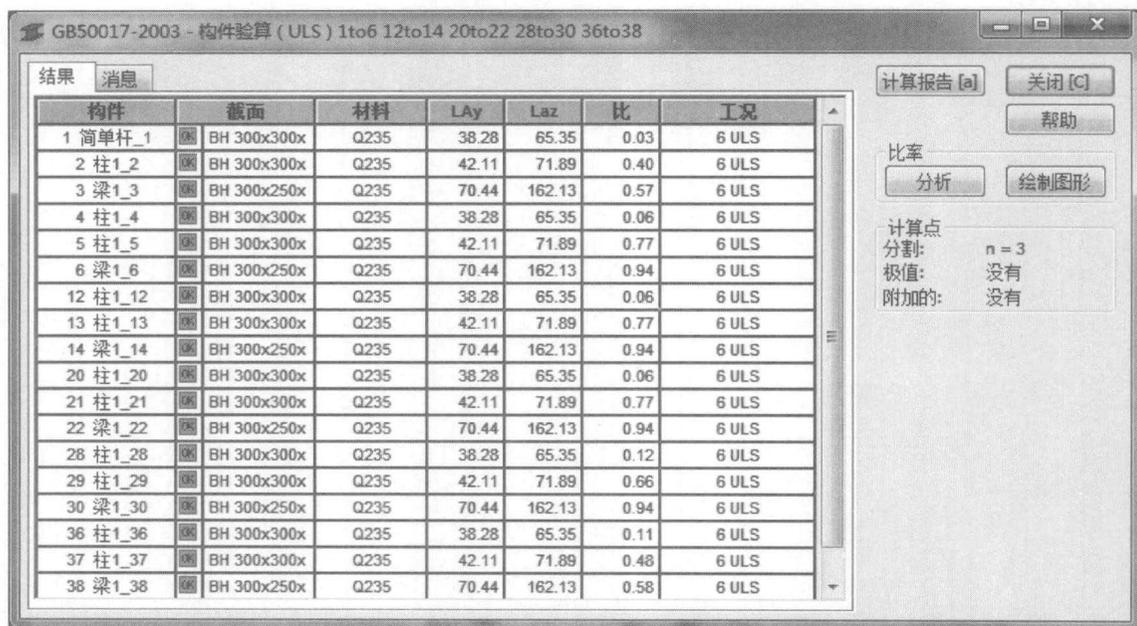


图 8-32 修改后的结果示意图

连接的主梁，点击“为选定的结构杆建立新的连接”按钮，弹出连接点定义对话框，修改参数，例如选择“螺栓”选项，竖向间距改为“100, 100, 140, 100 mm”，点击“应用”。点击视图上方的“结构连接节点设计”按钮，将自动切换“结果”标签，查看是否合格。

第 9 章

基本钢筋混凝土设计

本章导读 >>>

本章将讲解基本的钢筋混凝土设计，Robot 软件与 Revit 软件模型数据信息互导，学习本章最重要的两种钢筋计算方法——所需钢筋面积计算，提供钢筋面积计算。

学习目标 >>>

- 1. 了解两种配筋方式的工作流程。
- 2. 掌握两种配筋对话框相关参数的含义以及配筋操作。
- 3. 熟练 Robot 软件与 Revit 软件的信息数据互导。

9.1 弹性位移

需要我们注意，弹性分析模型中的挠度计算，是基于混凝土截面的总转动惯量；也可以基于折算惯性矩（类似于破解转动惯量）来进行计算，这个折算惯性矩可以通过在梁的截面特性添加一个折减因数实现。

对于混凝土构件的截面特性，可以选择使用所需要的因数来折算惯性矩。打开截面对话框（通过“几何” / “特性” / “截面” 打开）进行混凝土的设置，选择左上角“新的截面定义” ，弹出“新截面”对话框，如图 9-1 所示。



图 9-1 新截面

上述对话框，在底部的截面类型中可以选择“RC 梁，RC 柱”。另一突出部分为“惯性矩的折算”，如果选择该项，则需要设置惯性矩的折算因数。也可以在特性表中进行设置，首先通过“视图” / “表” / “特性” 打开“特性表”，然后对特性表点击右键，选择“表格栏”，勾选“惯性矩的减少”，则会打开包含折算因数的特性表，如图 9-2 所示。

截面名字	杆件列表	AX [cm ²]	ay [cm ²]	AZ [cm ²]	Ix [cm ⁴]	Iy [cm ⁴]	Iz [cm ⁴]	Red. Ix	Red. Iy	Red. Iz
B R25x50	6 8 9	1250.00	1041.67	1041.67	178659.93	260416.67	65104.17	0.0	0.0	0.0
C R30x30	67BY2	900.00	750.00	750.00	113872.30	67500.00	67500.00	0.0	0.0	0.0

图 9-2 特性表

注意

后面我们将讲到“直接分析方法 DAM”，如果结合“直接分析方法 DAM”进行惯性矩折算，则任何在 DAM 中指定的折算在截面定义中变为最大值，所以，如果在 DAM 中应用折算，将因数设为 1.0。

9.2 所需钢筋面积计算

9.2.1 概述

Robot 提供两种不同的混凝土设计方法：所需钢筋和提供钢筋。“所需钢筋”推荐用于计算混凝土弯曲和剪切配筋，“提供钢筋”是一个独立模块，需要转化构件到该模块来运行设计，即它是对单一构件进行详细配筋。

“所需钢筋”模块是为混凝土选择钢筋这一设计过程中的一部分，这其中有些许瑕疵，但是可以提供一个适于输出的表，这个表可以帮助设计更加流畅。“所需钢筋”的工作流程包括首先对每个构件建立并设定构件类型标签，然后建立并设定计算选项标签。一旦完成上述两项，则可开始从计算对话框中选择相应构件进行计算。Robot 会根据沿构件长度的钢筋截面面积来计算配筋。“所需钢筋”模块的优点是快速，简便的结果包括给出所需钢筋的数量图，一个易于输出的结果表。



注意

下列选项 Robot 将不进行检验：

- ① 构件锚固长度；
- ② 最小表面和直径；
- ③ 最大和最小钢筋间距；
- ④ 几何构件数值。



9.2.2 类型参数

通过“设计”/“混凝土梁柱配筋-选项”/“规范参数”打开混凝土构件类型对话框，也称“R/C 构件类型”。该对话框与其他管理类标签对话框相似，标签里包含了将施加到构件上的参数设置。点击左上角  按钮或者双击任意一个已存在的类型选项，将打开“构件类型定义”对话框，如图 9-3 所示。

① 梁/柱：该对话框与之前的不同之处是可以对两种类型的构件进行编辑，只需切换梁/柱标签即可。

② 构件：若通过双击已存在的类型选项打开对话框，则“构件”可以在原有名称基础上进行修改；若通过建立新构件打开该对话框，则用户可以手动输入构件名称，从而生成一个新的类型。

③ 跨度：用于定义梁的计算长度，有以下三种方法。

- a. 在约束面：两个约束面之间的距离选定为计算（或设计）长度。
- b. 在轴：以构件实际长度来选定为跨度，忽略了约束的宽度。
- c. 系数：指定一个长度的百分数来确定为有效长度。

④ 约束宽度：该选项用来定义约束的宽度，有两种方法。

- a. 手动输入：可以手动输入所需要的值定义约束宽度。
- b. 自动选定：也可由 Robot 软件自动选定，选择“根据几何结构”。

⑤ 容许的挠度：根据混凝土设计规范定义计算时梁的容许最大挠度，有以下两种方式定义。



图 9-3 “构件类型定义”对话框

a. 绝对挠度：输入一个需要的值即可。

b. 相对挠度：挠度根据杆件长度来定义（比如 $L/200$ ），如果超出容许值，则在计算结果报告中会显示。

⑥ T型梁：勾选该项后，T型梁中的选项则可以编辑。编辑区的 b_1 和 b_2 可以指定最大板宽度值；若选择“几何验证”，Robot 计算时会检验 b_1 和 b_2 的值是否超过限度值（即超过跨度值的一半）。如果 T 型梁位于板所在的平面，那梁的定义不需要偏移。如果构件不在板平面内，则假定有效板宽为零。

⑦ 计算选项：通过该项可以选择在构件设计及计算时所需要考虑的内力。但是至少应该选择 M_y/F_z （主轴弯曲和剪切内力），表示软件会自动选择，无法删除；还可选择短轴弯曲和剪切内力 M_z/F_y ，轴向力 F_x ，扭矩 M_x 。



注意

如果需要检验挠度，则不能同时选择 M_y/F_z ， M_z/F_y ；挠度标准仅包含 M_y/F_z 的设计内力。

⑧ 附加的参数：该选项可进行编辑的前提是“⑤容许的挠度”被选择，该选项可以指定 Robot 如何处理挠度计算中的混凝土单元刚度，可以使用最小值或者平均值。

9.2.3 计算参数

在按所需面积计算配筋的工作流程中，计算参数里将配置钢筋牌号、首选钢筋型号及其他关于面积计算的操作。

通过“设计”/“混凝土梁柱配筋-选项”/“计算参数”打开计算参数对话框，点击左上角  按钮或者双击任意一个已存在的类型选项，弹出“计算参数定义”对话框，该对话框

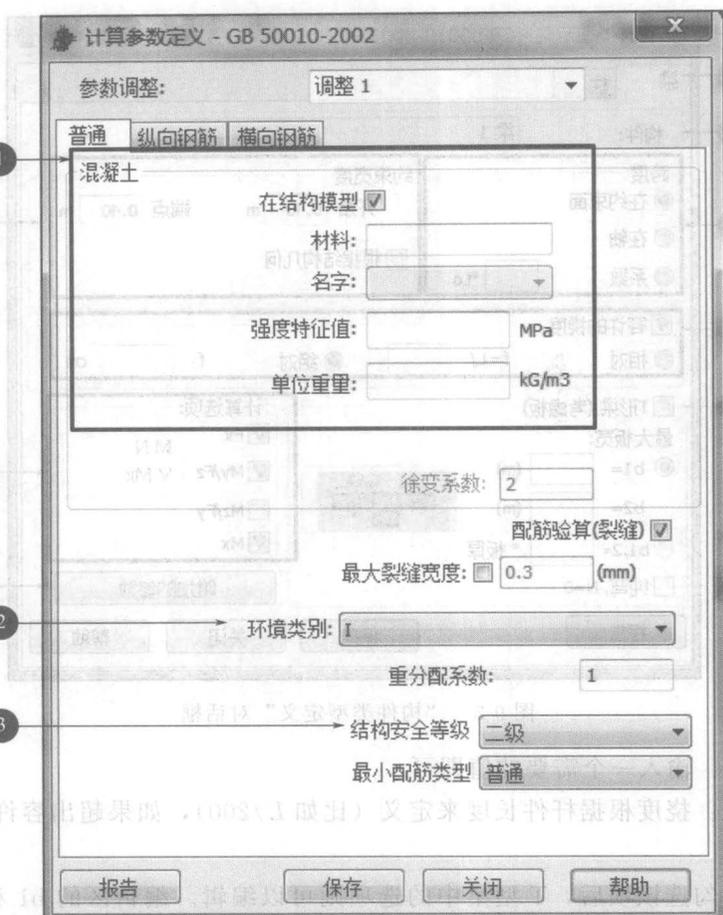


图 9-4 “计算参数” / “普通” 标签对话框

框包含三个标签项：普通、纵向钢筋、横向钢筋。如图 9-4 所示为“普通”标签对话框。

① 混凝土：当勾选“在结构模型”，则参数将在模型中定义，其下方的材料、名字、强度特征值等都无法在此处进行编辑定义。

② 环境类别：混凝土环境类别共分为五类，其中二、三类又细分为 a、b 类。可根据所处地域、外界环境而定，如表 9-1 所示。

表 9-1 混凝土结构环境类别

环境类别	条 件
一类	室内干燥环境,永久的无侵蚀性静水浸没环境
二 a 类	室内潮湿环境,非严寒和非寒冷地区的露天环境;非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土直接接触的环境;寒冷和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土直接接触的环境
二 b 类	干湿交替环境;水位频繁变动区环境;严寒和寒冷地区的露天环境;寒冷和寒冷地区冰冻线以上与无侵蚀性的水或土直接接触的环境
三 a 类	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境;受除冰盐影响环境;海风环境
三 b 类	盐渍土环境;受除冰盐作用环境;海岸环境
四类	海洋环境
五类	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

③ 结构安全等级：现行中国标准将其划分为三个等级：一级，重要的建筑物；二级，大量的一般建筑物；三级，次要的建筑物。

切换到“纵向钢筋”标签，如图 9-5 所示。



图 9-5 纵向钢筋

① 钢筋：根据中国规范，现行的为四个级别钢筋。而 Robot 软件目前的规范为 GB 50010—2002，所以仍然保留了 HRB235 型号的钢筋。热轧带肋钢筋的俗称是螺纹钢，分为 HRB335（老牌号为 20MnSi）、HRB400（老牌号为 20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi）、HRB500 三个牌号。现在工程中一般至少为 HRB400，国家也正在推行使用高级别钢。

② 钢筋直径：梁的配筋一般在直径 14~25mm 之间，主要为 18mm、20mm、22mm 三种。

③ 保护层：新规范规定，混凝土保护层厚度是指混凝土结构构件中受力钢筋中最外层钢筋的外边缘至混凝土表面的距离。而各构件的最小保护层厚度也受环境类别影响。各环境类型中不同构件最小保护层厚度见表 9-2。

表 9-2 最小保护层厚度

单位：mm

环境类别	板、墙、壳	梁、柱、杆
一	15	20
二 a	20	25
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

切换到“横向钢筋”标签，如图 9-6 所示。

① 钢筋：与“纵向钢筋”标签里的一致。

② 一般箍筋：此项只能选择“一般箍筋”，不能选择“螺旋箍筋”。

③ 钢筋直径：选择箍筋类型用于模型计算，只有钢筋类型会决定受剪配筋的间距。



图 9-6 横向钢筋

④ 肢数：箍筋的肢数是看梁同一剖面内高度方向箍筋的根数，箍筋一般均匀对称布置。受指定的箍筋直径影响，肢数一般可以确定。

9.2.4 运行计算

当完成上述的类型参数和规范参数的设置，则可以准备进入计算配筋。通过“设计”/“混凝土梁柱理论配筋”或者通过布置选择器“混凝土结构设计”/“RC 构件-所需的钢筋”

打开对话框，如图 9-7 所示。

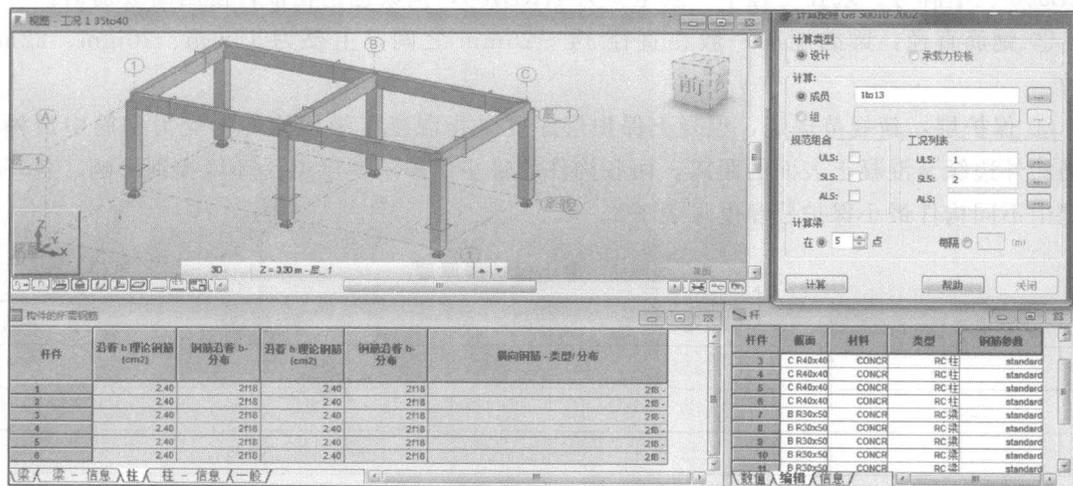


图 9-7 按需配筋计算界面

上述界面由四部分组成，分别是视图-工况、计算选项、构件所需的钢筋表和杆件表。需要注意的是上述界面中，各对话框不能简单地通过点击<X>来关闭。

(1) 下面进行逐一说明，首先单独打开计算选项对话框，如图 9-8 所示。

① 计算类型：能且只能选择“设计”。

② 计算：组合此处不能使用，选择需要运行设计计算的构件号，只有被选择的构件可



图 9-8 计算选项对话框

以进行设计配筋。可以运用右侧省略号进行选择。

③ 规范组合：只有 ULS 和 SLS 工况组合可以用于构件设计，要仔细选择荷载或者组合，因为 Robot 会忽略不在列表中的荷载和组合，可以使用右侧省略号进行快速选择。

④ 计算梁：该项用于确定梁的设计计算截面数量，建议可以取值稍大一些，计算点不同，如图 9-9 所示。

杆件位置 (m)	顶部理论钢筋 (My) (cm ²)	顶部钢筋 - 分布 (My)	杆件位置 (m)	顶部理论钢筋 (My) (cm ²)	顶部钢筋 - 分布 (My)
5			5		
5/ 0.30	4.99	2#8	5/ 0.30	4.99	2#8
5/ 3.15	0.0	-	5/ 6.00	0.0	-
5/ 6.00	0.0	-	5/ 11.70	4.99	2#8
5/ 8.85	0.0	-	6		
5/ 11.70	4.99	2#8	6/ 0.30	4.99	2#8

图 9-9 计算点不同示意图

设置完成点击“计算”，Robot 将对选择的构件进行设计计算，来决定配筋区的配筋情况，计算完成后，将显示构件计算报告，如图 9-10 所示。计算报告里陈列了所选构件的计算准确性、警告以及错误。

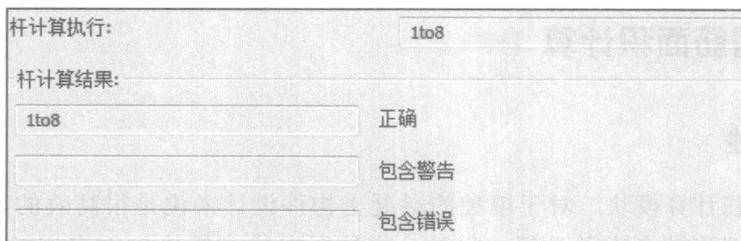


图 9-10 构件计算报告

如果显示警告或错误，一般挠度计算通不过，可以使用“改变钢筋”对话框来调整配筋，以降低梁挠度。

(2) 构件所需钢筋表如图 9-11 所示。

构件位置 (m)	顶部理论钢筋 (My) (cm ²)	顶部钢筋 - 分布 (My)	底部理论钢筋 (My) (cm ²)	底部钢筋 - 分布 (My)	横向钢筋 - 类型 / 分布
5					
5/ 0.30	4.99	2#8	0.0	-	
5/ 1.65	0.0	-	4.99	2#8	
5/ 3.00	0.0	-	4.99	2#8	
5/ 4.35	0.0	-	4.99	2#8	
5/ 5.70	4.99	2#8	0.0	-	
6					
6/ 0.30	4.99	2#8	0.0	-	

图 9-11 构件所需钢筋表

梁柱的计算结果以表格的形式记录在所需钢筋表内，之前指定的梁的计算点，在钢筋表中也加以显示。点击右键，选择“表格栏”，弹出对话框，可以选择要显示的项目，也可使用筛选和分拣进行设置。

所需面积配筋就介绍到这里，后面会通过实例进行讲解，包括配筋计算以及梁柱的钢筋表、钢筋图。

注意

在计算选项对话框中，需要对 ULS 或者 SLS 进行工况选择，否则计算将会出现错误，如图 9-12 所示。

构件位置 (m)	顶部理论钢筋 (My) (cm ²)	顶部钢筋 - 分布 (My)	底部理论钢筋 (My) (cm ²)	底部钢筋 - 分布 (My)
8				
8/ 0.40				错误
8/ 1.70				错误
8/ 3.00				错误
8/ 4.30				错误
8/ 5.60				错误

图 9-12 “错误”示意图

9.3 提供钢筋面积计算

9.3.1 概述

提供钢筋面积计算模块，对于单独的混凝土构件设计来说是很高效的，构件的钢筋分布、间距、锚固都将被考虑并计算。另外，构件图在这一模块也很有用，包含全 3D 可视化、钢筋绘画、构件计算报告等。

提供钢筋面积计算模块是一个分离出来的模块，起初它是一个独立的工具，用于基于构件尺寸、跨度、输入荷载等用户设置对独立构件进行设计。这一模块也可以直接从模型中读取构件信息，包括构件内力、荷载组合、跨度和构件尺寸等。

最难的部分应该是理解怎样将结构件转化到这一模块中，我们将了解转化的过程。

9.3.2 转化构件到提供钢筋模块

前期我们进行混凝土结构的建模、分析以及进行了理论配筋计算，来查看模型尺寸等是否可以正常运行。现在我们可以将这些构件（包括计算的结果）转化到提供钢筋模块。



提示

由于 Robot 现在不能进行基于中国混凝土结构设计规范 GB 50010 的钢筋计算，所以用美国或者欧洲规范替代。此处我们从“工程首选项”的 RC 设计规范中选择规范“EN 1992-1-1: 2004 AC: 2008”。

如图 9-13 所示，用户建立一个混凝土模型，我们通过结合例子进行这一节的讲解。模型需要施加荷载并进行计算。

选择 8 号杆件，点击右侧工具栏提供钢筋按钮 ，弹出界面如图 9-14 所示，这将开启转化构件到提供钢筋模块的进程，当然也可以选择多个构件，比如 6 号柱、8 号梁一起选择。

① 计算方法选择：选择简单工况后，则③中陈列的是添加的普通的荷载工况，通过它们决定构件设计的内力；选择手动组合，则③中陈列的是进行过荷载组合的工况，通过选择它们中的选项来决定构件设计的内力。

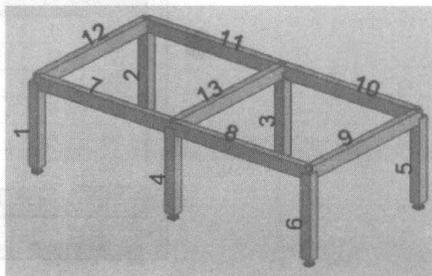


图 9-13 混凝土结构模型

② 分组类型

a. 对于梁。根据层：基于结构几何，结构被分成 n 多层，梁将根据分配的层进行单独设计。

b. 对于柱

(a) 根据层：基于结构几何，结构被分成 n 多层，柱将根据分配的层进行单独设计。

(b) 根据几何：这一个选项只适用于柱。构件拥有相同几何和约束的将被组合在一起并设计。柱子将按照最不利情况进行设计并配筋。

(c) Column Chain：当下柱的上节点和上柱的下节点是同一个的时候，选择一个就会选中这一列立柱。

③ 工况选择：在该项可以选择荷载及组合用于构件的设计计算。在梁中，此选项还可选择约束。

9.3.3 提供钢筋界面

完成构件到这一模块的转化，我们首先浏览一下这一模块的界面，记住这一模块用于设计独立的构件。当完后模块的转化后，界面如图 9-15 所示。

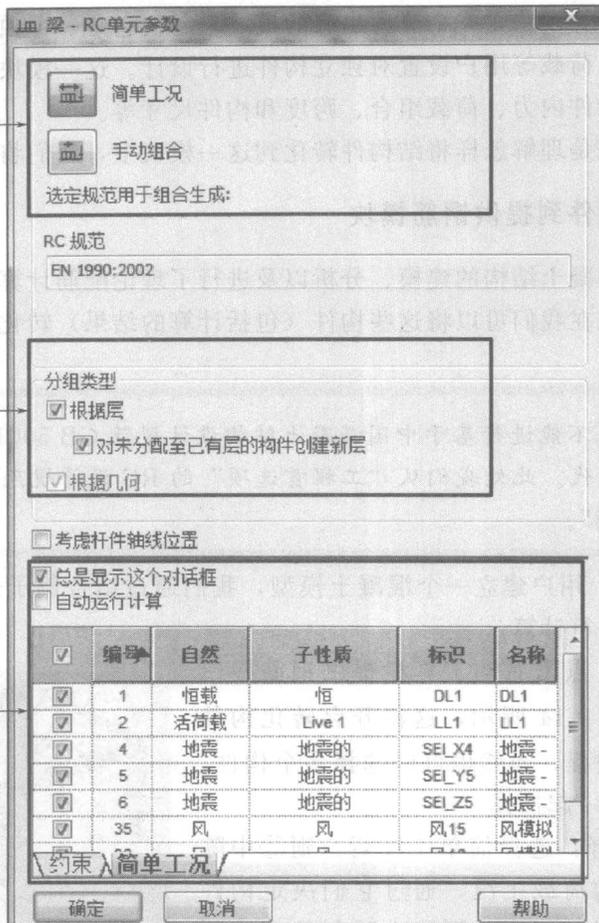


图 9-14 “梁-RC 单元参数”对话框

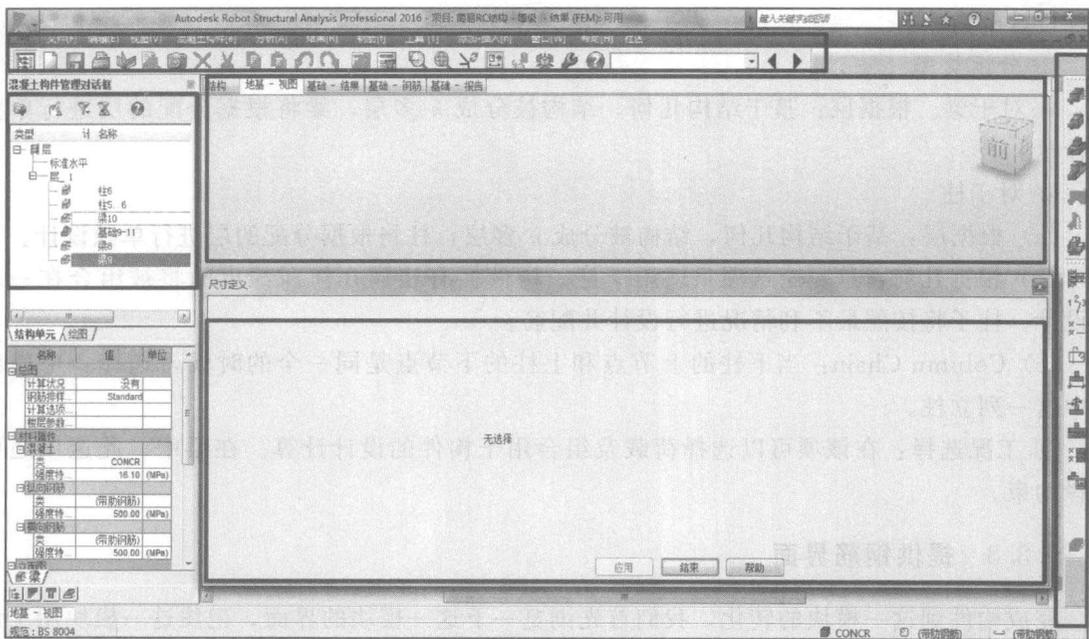


图 9-15 模块界面

对于上述界面，可以大体分为五大部分：第一部分为构件浏览器，第二部分为菜单栏，第三部分为陈列显示区，第四部分为信息或设置区域，第五部分为工具栏。

首先第一部分，构件浏览器，详细如图 9-16 所示。

每个已经完成转化的构件，都将在构件浏览器中陈列，并且如果先前已经生成绘图，则可以点击“绘图”标签加以显示。

第二部分，菜单栏，与 Robot 标准的菜单栏有所不同，此处菜单上的标签主要为 RC 构件设计。

第三部分，陈列显示区，这一部分也是最重要的，通过这一部分上方的标签可以看出，包括了以下几部分。

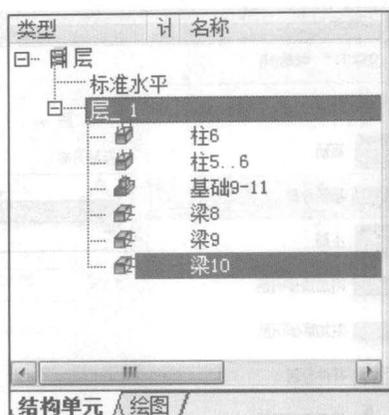


图 9-16 构件浏览器

(1) 结构 可以浏览结构模型，此标签主要用于选择其他构件进行设计和浏览弯矩、剪力图。

(2) 结构-视图 主要用于显示所选择的单独的构件（左侧构件浏览器中双击所需要的构件即可打开）。

(3) 结构-示意图 该标签专用于显示弯矩、剪力图表等。如图 9-17 所示，某梁的示意图中显示的弯矩图。

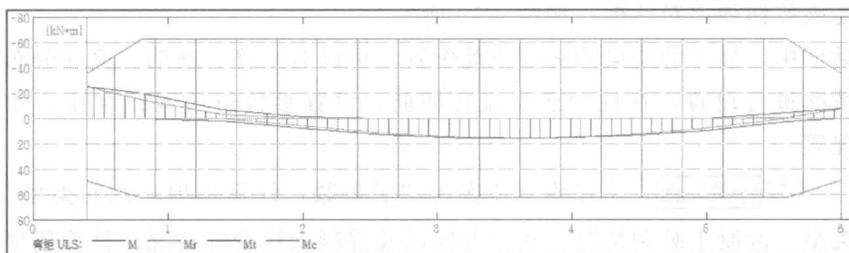


图 9-17 结构-示意图

(4) 结构-钢筋 当计算已经运行完毕，则该标签下会显示 3D 效果的配筋，如图 9-18 所示为某梁的钢筋。

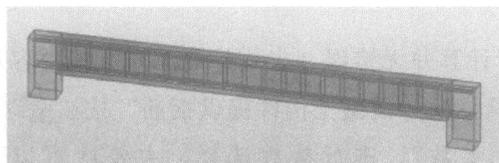


图 9-18 梁-钢筋

第四部分为信息或设置区，这一部分主要用于显示前面所选择标签的信息。

第五部分为工具栏，所有的按钮都是用来快速打开命令，因为这些命令在菜单栏中可以找到。下面介绍一下工具栏。

① 上部工具栏 。从左至右依次为“新建柱、新建梁、新建基础、新建连续基础、新建深梁、新建墙、新建节点”，用于添加新的独立构件。不过如果已经完成构件的模块转化，则不需要这些命令。若用户需要独立于 Robot 模型之外，进行独立的构件设计，则在“提供钢筋模块”中打开一个新的工程，并添加所需的构件。

② 标准钢筋按钮 。该按钮运行的是一个独立的构件配筋操作，当完成构件的计算后，可以使用此命令对钢筋进行设置，配置为所需的标准模式，并且可以浏览 3D 钢筋视图以及

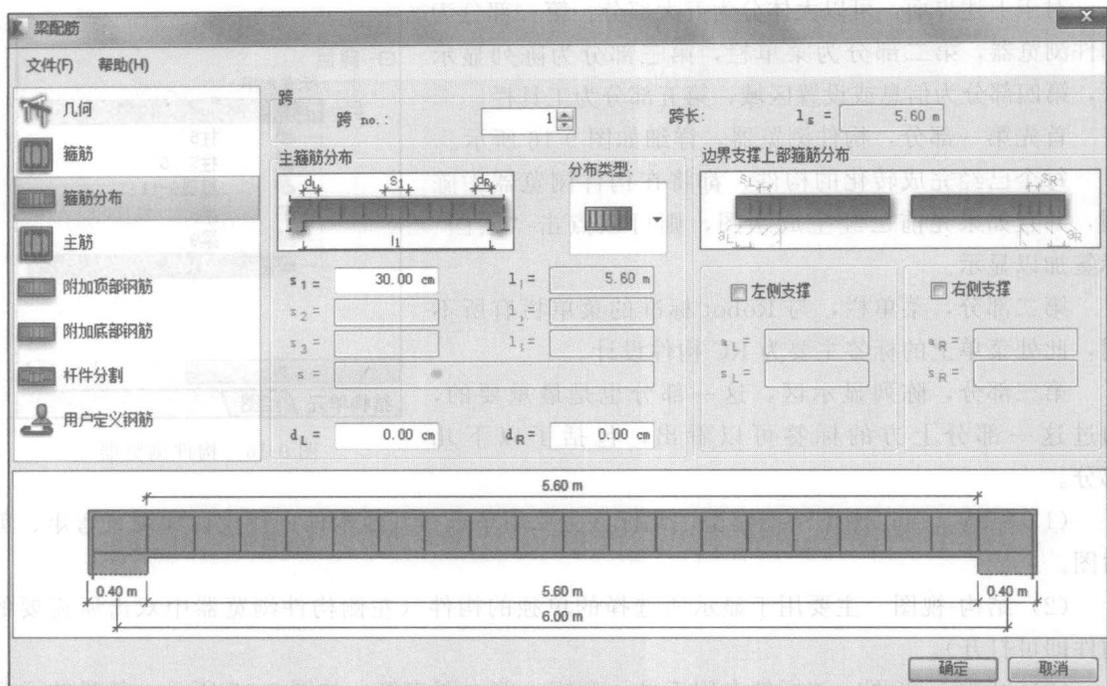


图 9-19 配筋设置

配筋表。点击该按钮弹出对话框，如图 9-19 所示。

上述对话框中，显示的是梁的标准钢筋配置，可以对主筋、箍筋、箍筋分布、附加顶部及底部钢筋情况进行设置，在柱中还可设置插筋，设置参数包括钢筋直径、材料、钢筋形式、弯钩情况等。

③ 余下工具栏 。从左到右依次为“层参数，计算选项，钢筋类型”。层参数可以设置环境类型、混凝土龄期情况、相对湿度以及混凝土徐变等情况。计算选项可以设置最小保护层厚度、混凝土材料的参数（例如强度特征值、容重、骨料粒径等）、主筋的延性等级和强度特征值等。钢筋类型可以设置主筋的间距和直径、底部及顶部钢筋类型等。读者可自行打开软件点击不同命令进行了解。

9.3.4 提供钢筋计算工作流程

- ① RC 模型建立，荷载施加，荷载组合，运行计算并无错误（主要是前面几章的内容）。
- ② 选择所需设计及计算的构件，点击右侧工具栏的“混凝土构件提供钢筋”按钮 。
- ③ 弹出“柱-RC 单元参数”和“梁-RC 单元参数”，进行参数选择，主要注意以下几点：
 - a. 简单工况/手动组合的选择，一般选择手动组合。
 - b. 分组类型，对于柱选择“根据层，根据几何，Column Chain”，对于梁，只选择“根据层”。
 - c. 梁中还需要检查约束。
 - d. 完成后点击确定，进入模块转化进程。
- ④ 选择构件浏览器中的构件，双击进入界面，选择右侧工具栏的“计算选项”命令

图 9-19。进入“计算选项”对话框，对混凝土、钢筋（纵向、横向和附加的）的参数进行修改。完成修改后，可以自定义一个名字，即点击对话框右侧的“另存为”，输入新名字，创建新的计算选项，最后点击 OK。

⑤ 选择右侧工具栏“钢筋类型”命令 ，弹出“钢筋类型”对话框，对话框中包含六个标签，如图 9-20 所示。

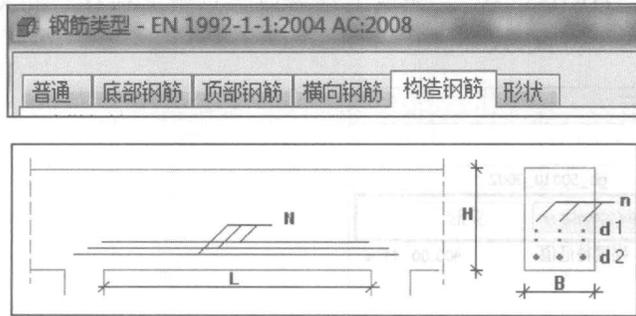


图 9-20 钢筋类型

对于每个标签，读者可点击分别查看并操作来详细了解。此处仅简单介绍一下，普通标签下可以设置钢筋的段数，主钢筋的最小直径、最小与最大钢筋间距，弯杆的设置；底部钢筋可以设置钢筋的列数、钢筋层数、钢筋直径；顶部钢筋可设置钢筋层数与直径；横向钢筋设置排列类型（一般选择“不变段的间距”）、最大箍筋位置和截面；构造钢筋设置安装钢筋直径及杆件延长，约束上部钢筋，抗收缩钢筋和平移钢筋；主要设置各类型钢筋的左右弯钩。

⑥ 完成“⑤⑥”的设置后，点击  “开始计算”。

⑦ 计算完成后，则提供钢筋计算基本完成，通过之前讲的，浏览 5 种标签“结构，结构-视图，结构-示意图，结构-钢筋，结构-报告”。

⑧ 最后可以点击右侧工具栏 ，查看结构的钢筋图纸。

9.4 练习

下面我们通过图 9-21 所示的模型进行简单的钢筋混凝土设计练习。

(1) 所需钢筋练习

- 打开图 9-13 的模型，要求柱子尺寸 CR30×30，高度为 3.3 米；梁的尺寸为 BR30×50，长度为 6 米。

- 施加荷载，图中 9、12、13 号梁施加“ -4kN/m^2 ”的均布杆荷载，工况恒载 DL1；所有梁施加“ -2kN/m^2 ”的均布杆荷载，工况活载 LL1。加载完毕的示意图如图 9-21 所示。

- 点击上方的计算按钮 ，运行完毕后，读者可查看结果示意图、弯矩、剪力、反力、位移等，此处主要进行配筋练习，所以不过多叙述（地震及风荷载未施加）。

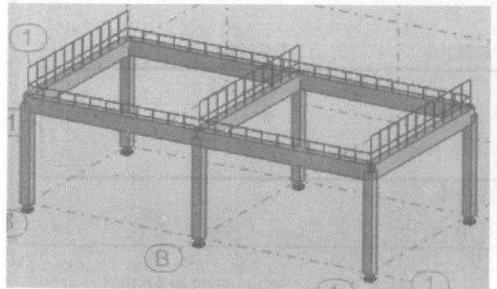


图 9-21 模型加载示意图

• 通过“设计” / “混凝土梁柱配筋-选项” / “计算参数”打开计算参数对话框，单击  新建一个参数“调整 1”，弹出“计算参数定义对话框”，如图 9-22 为对话框一部分。

上述对话框显示的为“纵向钢筋”下的参数，需要修改的已经框选，等级需要选择“HRB400 级”钢筋；钢筋直径选择“18mm”；保护层按照现行《混凝土结构设计规范》(GB 50009—2010) 取值“20mm”。“横向钢筋”下修改箍筋直径为“8mm”；等级由于没有 HPB300 级所以选择“HRB335 级”。完成上述修改，点击“保存”并关闭对话框。则计算参数对话框呈现如图 9-23 所示效果。

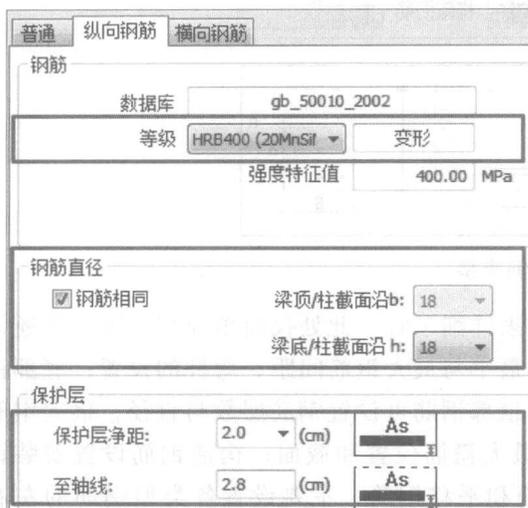


图 9-22 计算参数定义对话框



图 9-23 计算参数对话框

• 通过“设计” / “混凝土梁柱理论配筋”，弹出界面与前面讲过的 9-7 所示界面相同。首先对计算选项对话框进行设置：成员为“All”或者填入所有杆件号，ULS 选填“1”荷载工况，SLS 选填“2”荷载工况。调整完对话框如图 9-24 所示。

• 杆件表进行“钢筋参数的修改”，选中右下角“杆”表的“钢筋参数”整列，单击右键，弹出菜单，选择第四行“特别填入”，弹出对话框，如图 9-25 所示。

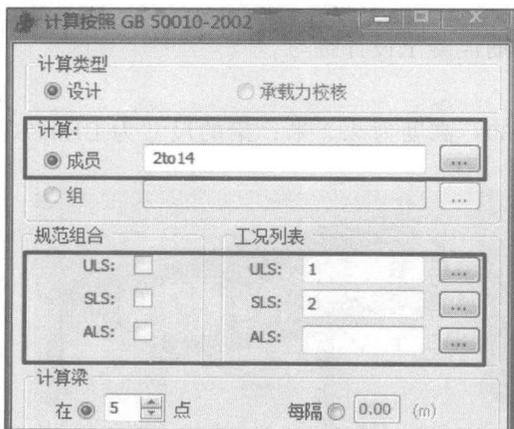


图 9-24 计算选项调整结果



图 9-25 插入列对话框

点击下拉菜单，选择“调整1”，点击“OK”。

• 完成上述的设置以及修改，点击计算选项的“计算”，计算完成后给出的计算报告应该是无警告和错误的。图 9-26 显示的则是所需钢筋计算的结果。

杆件位置 (m)	顶部理论钢筋 (My) (cm ²)	顶部钢筋-分布 (My)	底部理论钢筋 (My) (cm ²)	底部钢筋-分布 (My)	横向钢筋-类型/分布
8					2f8 7*28.0+7*28.0+7*28.0
8/ 0.40	4.50	2f18	4.50	2f18	
8/ 1.70	4.50	2f18	4.50	2f18	
8/ 3.00	4.50	2f18	4.50	2f18	
8/ 4.30	4.50	2f18	4.50	2f18	
8/ 5.60	4.50	2f18	4.50	2f18	
9					2f8 7*28.0+7*28.0+7*28.0

图 9-26 所需钢筋计算结果

(2) 提供钢筋计算 由于提供的钢筋计算中，中国规范无法正常使用，所以我们需要修改规范。

• 切换到“几何”。通过“工具”/“工程首选项”/“设计规范”对 RC 规范进行添加，点击“更多”进入，选择欧洲规范 EN 1992-1-1; 2004 AC: 2008。

• 通过“荷载”/“自动组合”打开对话框，选择“手动组合-生成”，勾选全部组合工况，点击“产生”。

• 进行计算，点击计算按钮，计算结果应该没有警告和错误。

• 选择杆件 13 号梁和 4 号柱，点击右侧工具栏的 RC 梁设计按钮。进入前面图 9-14 所示的对话框，选择“简单工况”，点击“确定”，对于梁依然进行相同操作。

• 在之前讲过的构件浏览器选择“柱”，双击。点击上方计算按钮，开始计算，弹出对话框如图 9-27 所示。可以勾选第一个生成图纸，点击“计算”。

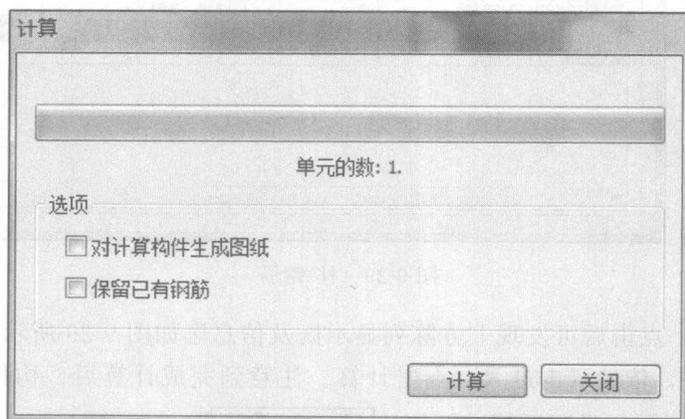


图 9-27 计算对话框

如果之前已经勾选“对计算构件生成图纸”，则完成计算后，柱的配筋图纸界面如图 9-28 所示。

点击右侧工具栏的钢筋按钮，界面会回到之前图 9-15 所示的模块界面，上方的五个标签，依次为“结构，柱-视图，柱-结果，柱-钢筋，柱-报告”，可以分别点击查看。此处先

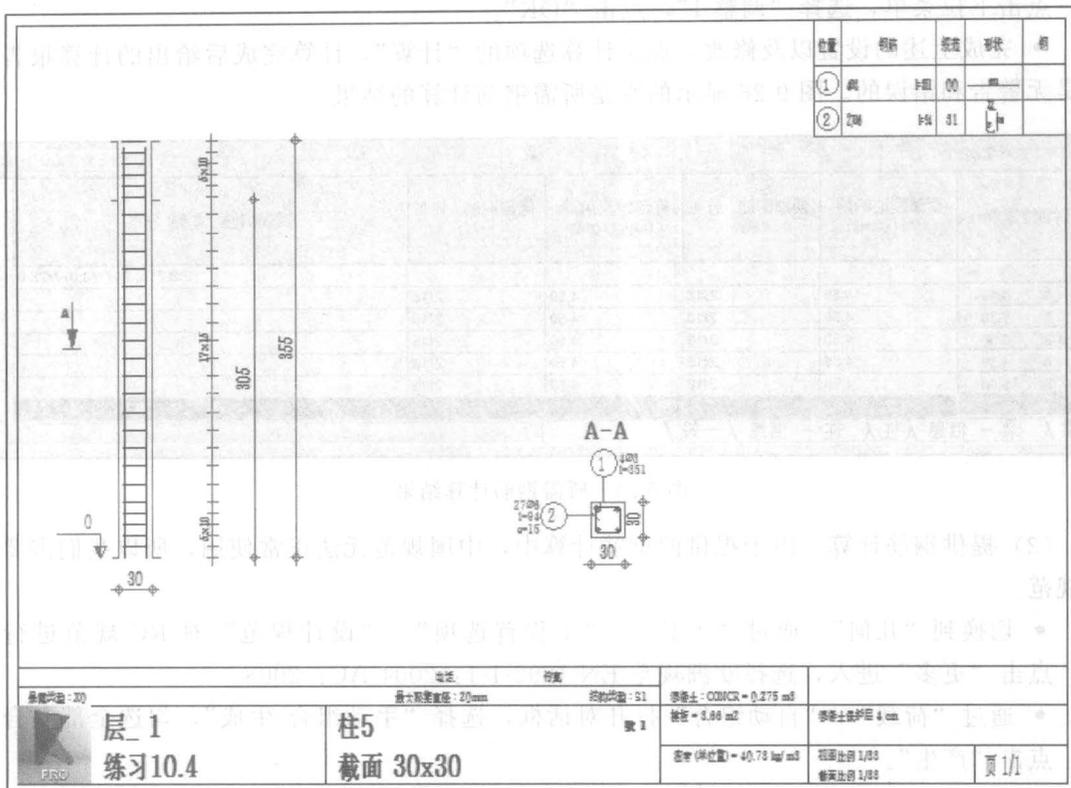


图 9-28 柱钢筋图

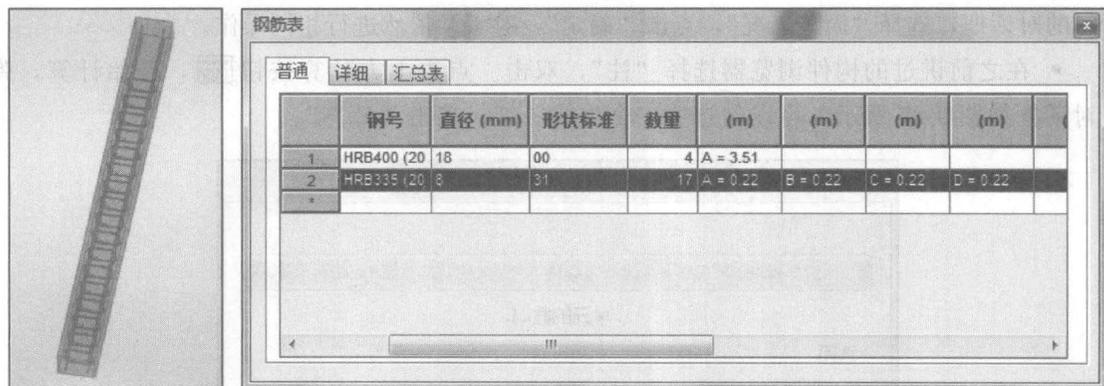


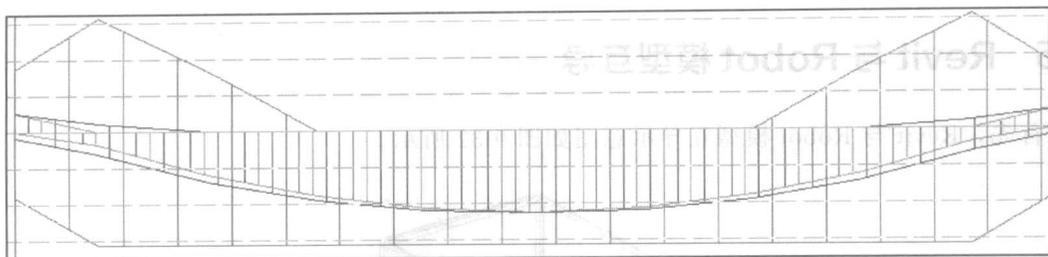
图 9-29 柱-钢筋

只查看“柱-钢筋”，点击后可发现上方陈列显示区及信息区如图 9-29 所示。

- 选择梁构件，依然双击进入，点击计算。注意到完成计算后，构件浏览器中的构件前方会出现绿色的对号，说明可用，例如“ 梁9”。

- 点击梁-示意图，则出现界面如图 9-30 所示。

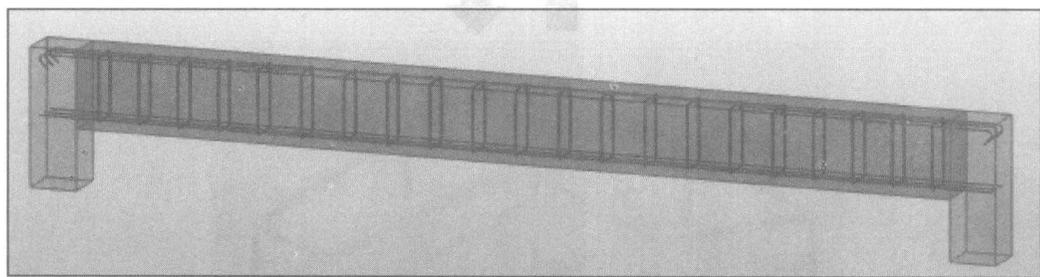
我们现在已经知道 Robot 第二种钢筋计算——提供钢筋计算，是对单独构件进行设计，所以通过该练习已经发现是对单个构件进行逐一的计算，梁-示意图标签可以显示梁的任意一处的内力大小，以及通过下方的信息表可以选择“三种组合工况（ULS，SLS，ALS）以及钢筋、挠度、简单工况”进行显示。



结果	ULS	SLS	ALS	钢筋	挠度	简单工况			
图表	左支撑	右支撑	跨	X = 0.30(m)	X = 0.75(m)	X = 1.35(m)	X = 1.95(m)	X = 2.55(m)	X = 3.15(m)
M (kN ² m)	-10.17	-10.17	45.30	0.00	6.80	23.64	35.67	42.89	45.30
Mr (kN ² m)	-10.17	-10.17	45.30	-10.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mt (kN ² m)	-10.17	-10.17	45.30	3.06	12.48	27.70	38.11	43.70	45.30
Mc (kN ² m)	36.24	36.24	62.51	36.24	62.46	62.48	62.51	62.51	62.51

图 9-30 梁-示意图

- 点击“梁-钢筋”，则显示的界面与柱类似，如图 9-31 所示。



钢筋表								
普通 详细 汇总表 间距与面积								
	编号	钢筋类型	钢号	直径 (mm)	形状标准	数量	(m)	(m)
1	1	主顶		12	00	6	A = 1.65	
2	2	主底		12	00	3	A = 6.22	
3	3	装配顶		8	00	2	A = 4.87	
4	4	横向主要部分		6	31	21	A = 0.22	B = 0.42

图 9-31 梁-钢筋

钢筋的直径及型号可以进行修改，选择右侧工具栏的“标准钢筋”按钮，对主筋、箍筋等进行修改，达到最终的要求，修改完毕后，点击“确定”。则钢筋和钢筋表将自动替换为刚刚所修改的型号。

9.5 Revit 与 Robot 模型互导

首先, Revit 与 Robot 模型互导示意图如图 9-32 所示。

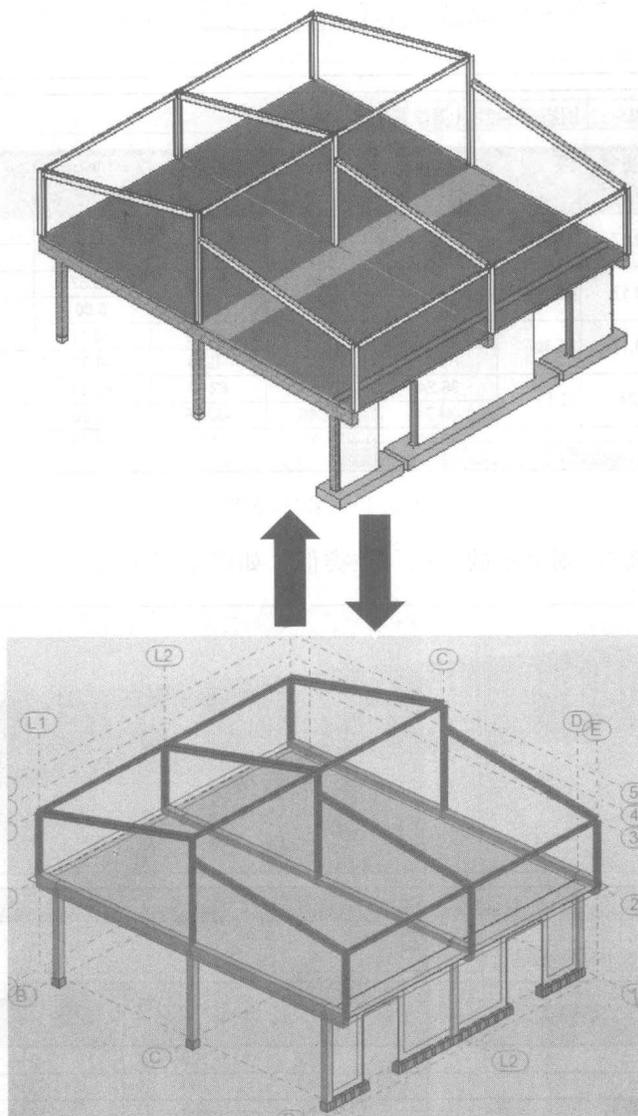


图 9-32 Revit 模型与 Robot 模型互导示意图

Revit 在创建完结构的物理模型和分析模型, 并且对结构模型进行适当的编辑与检查后, 可以将 Revit 模型导入到结构分析软件 Robot 中进行结构分析。首先用户需要确保已经在电脑上安装有同一版的 Revit 软件和 Robot 软件, 并且 Revit 需要安装速博插件。本书使用的是 2016 版本的软件, 所以其他版本可能稍有出入。

9.5.1 Revit 模型发送至 Robot

9.5.1.1 速博插件

下面简单介绍一下速博插件 Extensions, 对于 Revit 起到很大作用, Revit 的特点是建

立模型很有优势，但是缺乏分析功能，速博插件对这一缺点进行了弥补。用户下载完毕 Revit 并安装成功后，需要继续下载与 Revit 相同版本的速博插件，点击“安装”，速博插件将直接自动寻找 Revit 目录进行安装。

两者安装完毕后，点击启动 Revit，进入界面注意最上方的菜单栏，发现多出一个选项 **管理 Extensions 修改**，介于管理和修改菜单之间，点击速博 Extensions，展开子菜单如图 9-33 所示。



图 9-33 速博插件 Extensions

9.5.1.2 发送前数据检查

打开 Revit 实例模型，此处随便举一个例子，如图 9-34 所示。

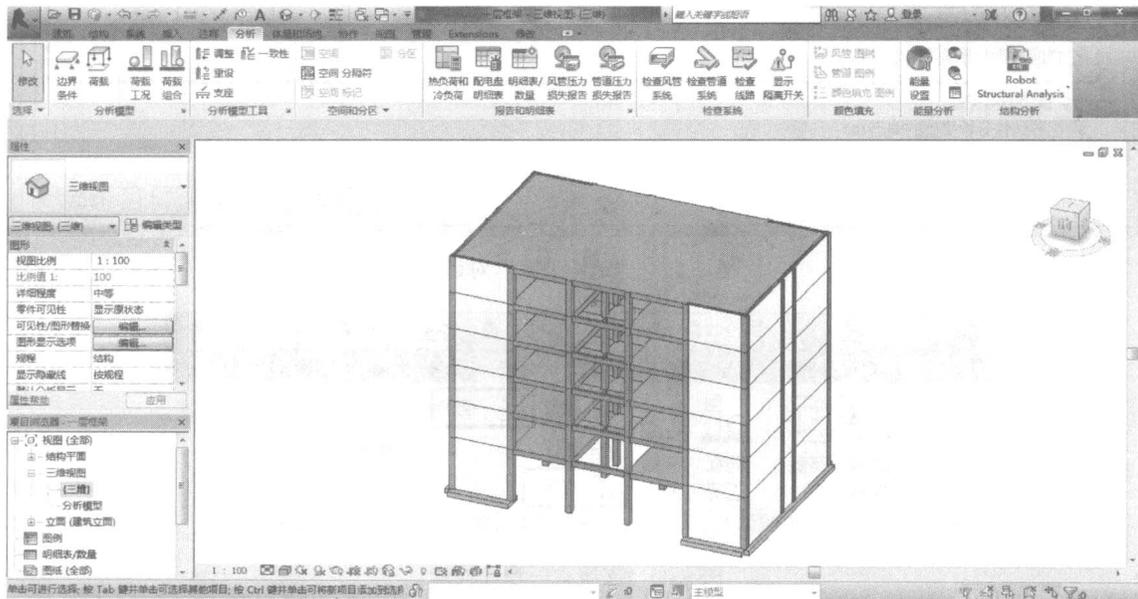


图 9-34 Revit 模型

(1) 设置允差、模型一致性检查 模型传输之前需要进行数据检查，首先是设置允差、模型一致性检查。Revit 功能面板，通过“分析”/“分析模型”打开结构模型对话框，如图 9-35 所示，切换到“分析模型设置”标签。

允差选项，用户可根据自己所需设置合适的允差数值，以满足工程需要。分析/物理模型一致性检查勾选的选项也根据用户自定义，建议全部勾选。

(2) 支座、一致性检查 需要分别进行支座和一致性检查，在功能面板“分析”菜单下的“分析模型工具”框内存在“支座”与“一致性”选项，如图 9-36 所示。

首先点击“支座”进行检查，检查完毕后在界面右下方将给出检查报告，如图 9-37 所示。在警告对话框右侧，单击“展开警告对话框”将弹出如图 9-38 所示的详细警告报告，根据警告内容对模型进行修改。

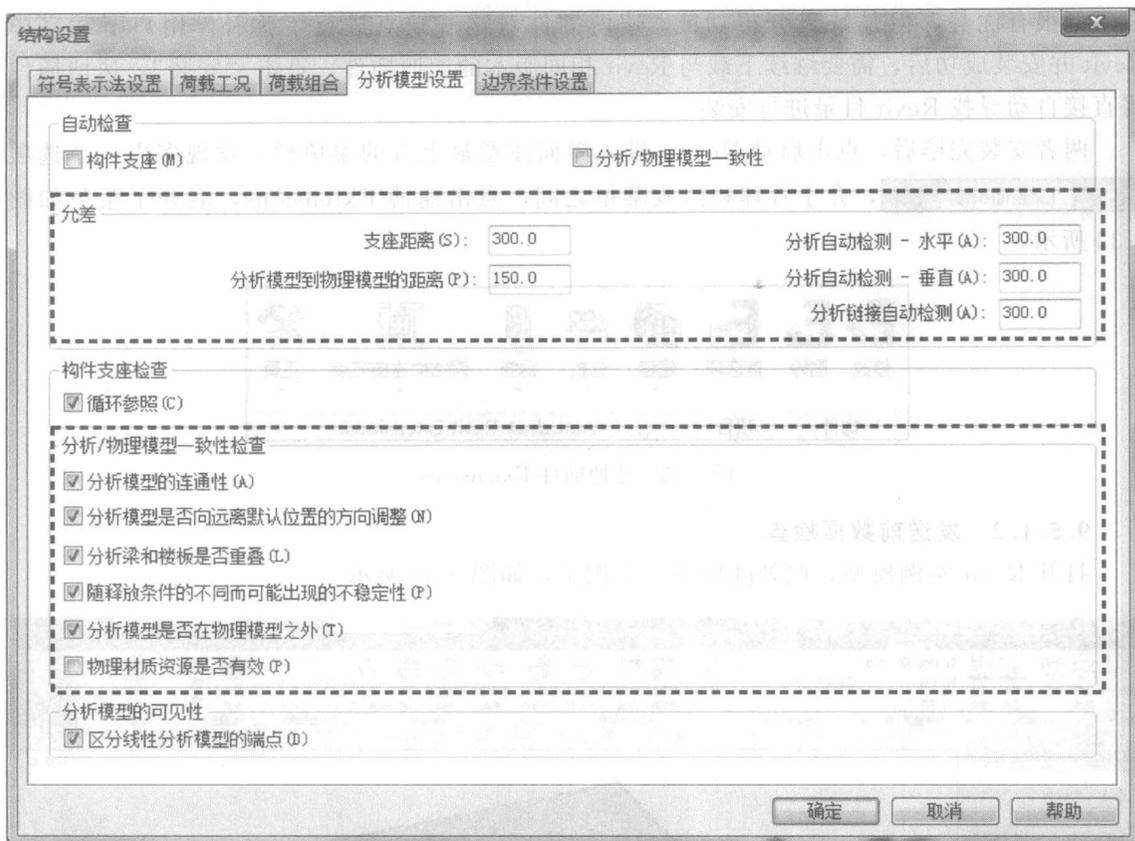


图 9-35 “结构设置”对话框

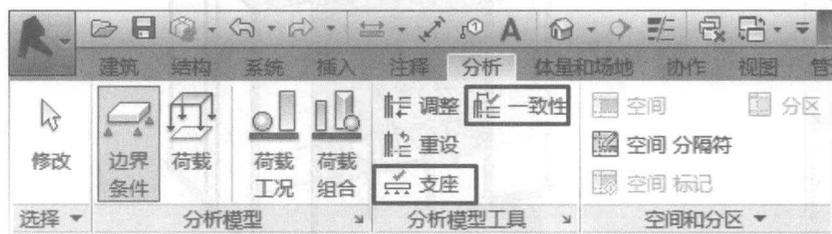


图 9-36 支座、一致性检查

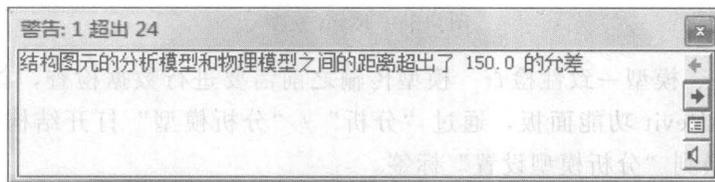


图 9-37 警告报告

然后点击“一致性”进行检查，检查完毕后依然会给出警告报告，与上述报告类似，根据报告内容进行修改即可。

(3) 荷载传递检查 模型导入前需要进行检查，荷载传递的检查很重要，通过速博插件提供的分析模块，进入到荷载传递界面，检查结构的几何、约束、荷载工况和组合等基本结构分析模型设置，这有利于减少传递过程中出现重大错误。

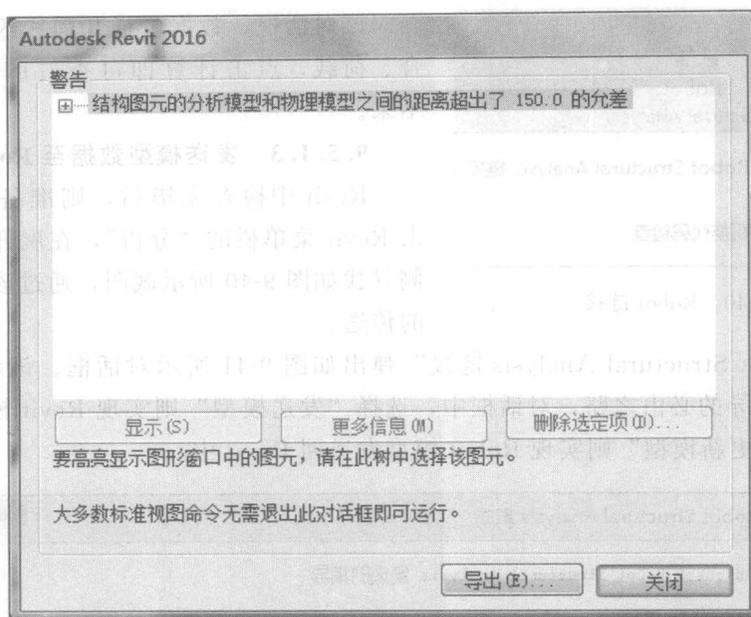


图 9-38 警告详细报告

例如，选择结构模型中某榀框架，点击 Extensions，选择分析中的“框架静态分析”，弹出框架静定计算对话框，指定包含自重的工况，选择“DL1”即可，点击“确定”，则弹出如图 9-39 所示的界面。

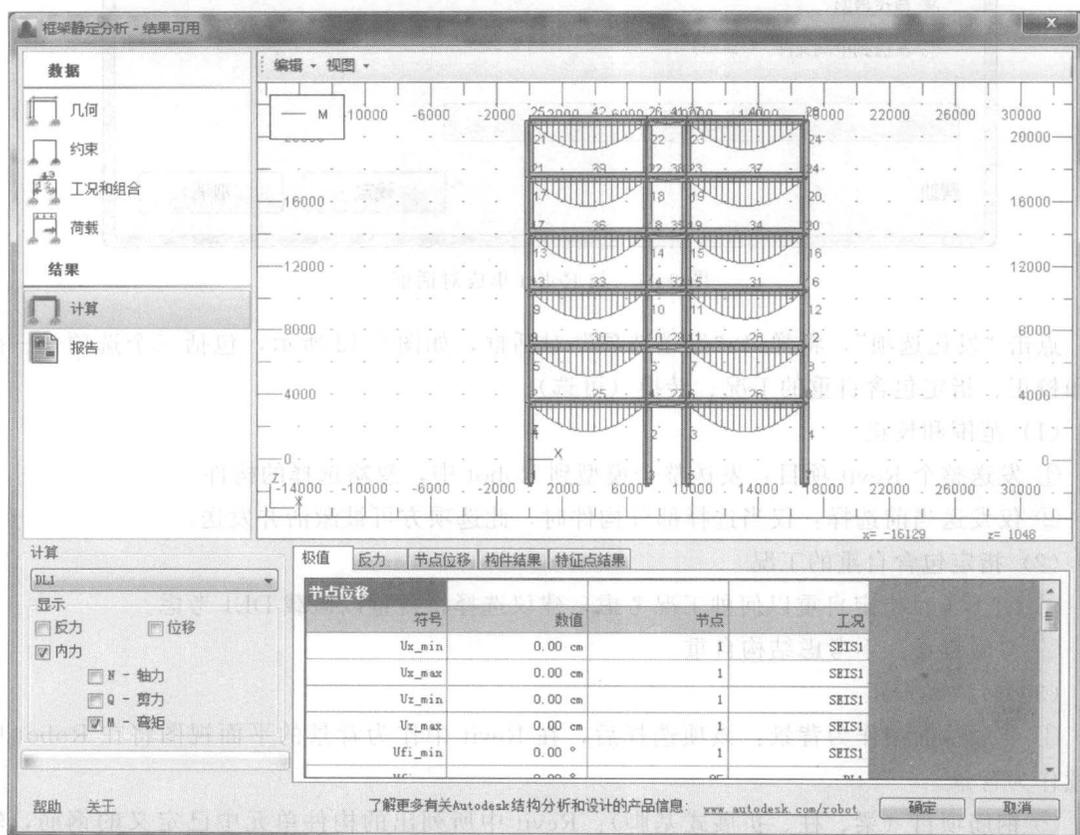


图 9-39 框架静定分析

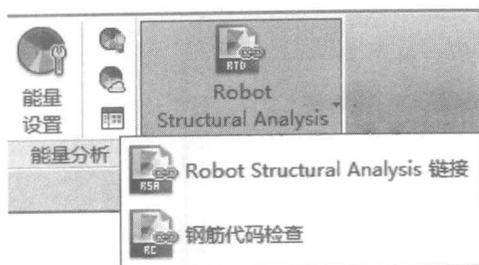


图 9-40 Robot 链接

该对话框，数据包括几何、约束、工况和组合、荷载，点击计算即可查看所选结构的计算结果。

9.5.1.3 发送模型数据至 Robot 中

Revit 中检查完毕后，则准备发送模型，点击 Revit 菜单栏的“分析”，在展开的子菜单最右侧寻找如图 9-40 所示截图，通过该截图进行数据的传送。

点击“Robot Structural Analysis 链接”弹出如图 9-41 所示对话框。该对话框是 Revit 与 Robot 模型互导的必由之路，对话框中，选择“发送模型”则实现 Revit 模型导入 Robot 软件；若选择“更新模型”则实现 Robot 模型发送回 Revit 中。

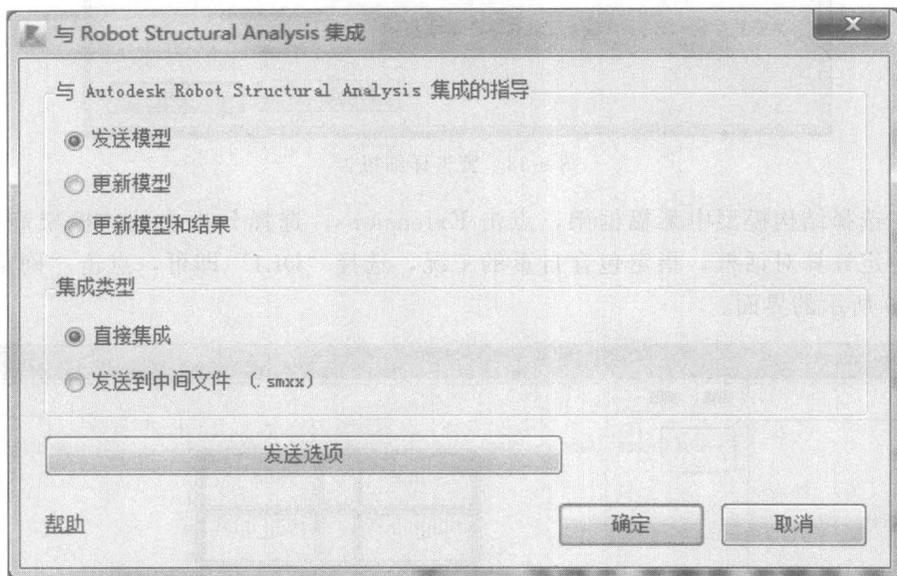


图 9-41 与 Robot 集成对话框

点击“发送选项”，将弹出“发送选项”对话框，如图 9-42 所示，包括三个选项——范围和校正、指定包含自重的工况、转换（可选）。

(1) 范围和校正

- ① 发送整个 Revit 项目：发送整个模型到 Robot 中，忽略选择的构件。
- ② 仅发送当前选择：仅当选择部分构件时，此选项方可被激活并发送。

(2) 指定包含自重的工况

- ① DL1 等：指定自重以何种工况考虑，建议选择将自重以恒载 DL1 考虑。
- ② 忽略自重：不考虑结构自重。

(3) 转换和校正

① 使用平面图作为背景：该项选择后，在 Revit 中作为背景的平面视图将在 Robot 中继续作为背景。

② 钢筋项目（梁、柱、扩展式基脚）：Revit 中所列出的构件单元中已定义的钢筋，转移到 Robot 的混凝土设计模块中。

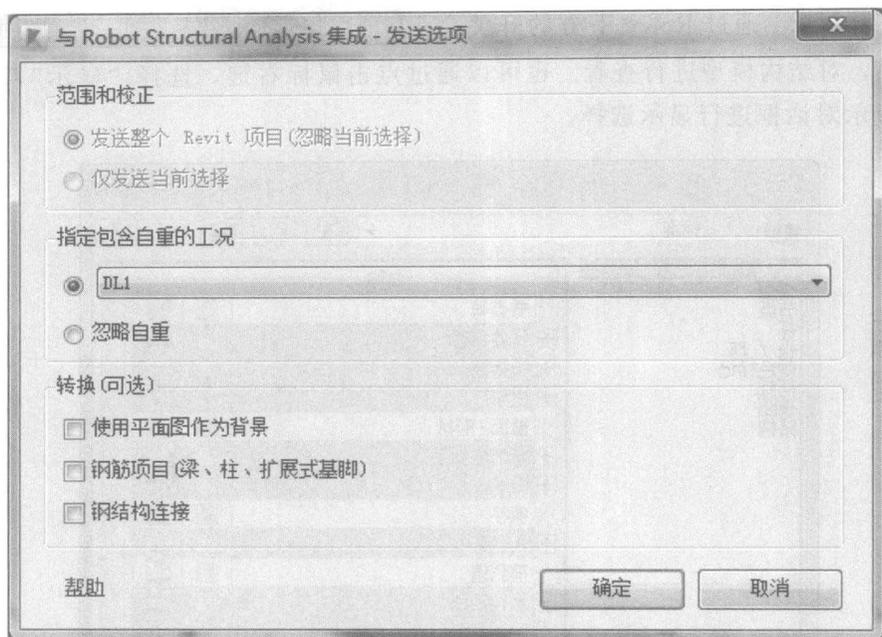


图 9-42 “发送选项”对话框

③ 钢连接：Revit 中定义的钢连接将发送到 Robot 中的钢连接设计模块。

完成上述所有参数设置后，点击集成对话框的“确定”，等待几分钟，进度条如图 9-43 所示。模型由 Revit 发送到 Robot 中，发送完毕后，会指示是否查看发送报告，若没有错误则用户可选择不查看。



图 9-43 模型发送进度

9.5.1.4 发送后结构调整及分析

模型发送完毕后，如图 9-44 所示。

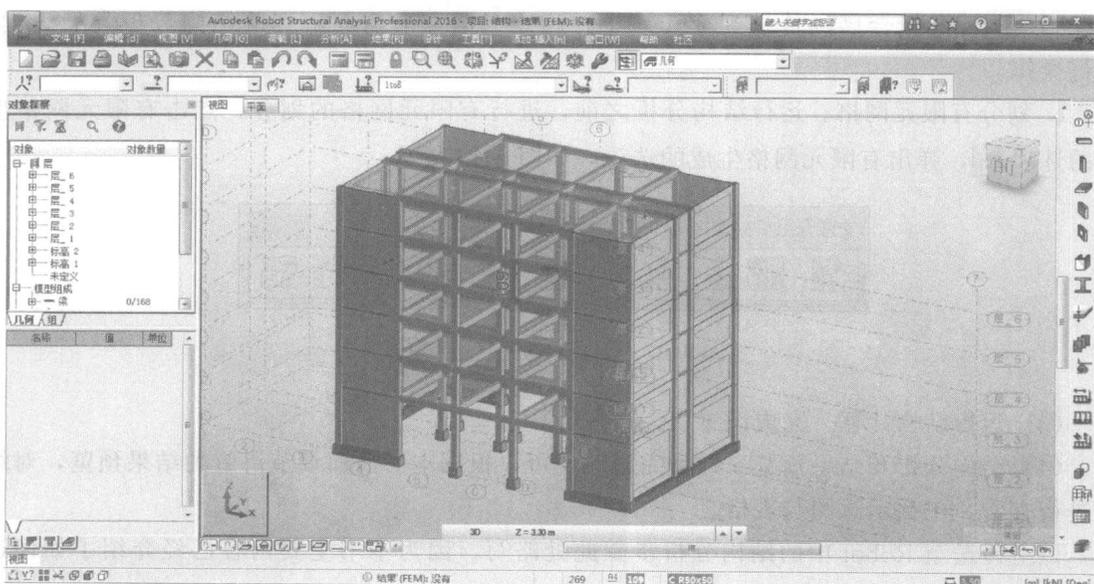


图 9-44 模型发送至 Robot

(1) 模型查看 通过 Robot 下方的开关命令 ，打开或关闭各选项，对结构模型进行查看。也可以通过点击鼠标右键，选择“显示”，弹出如图 9-45 所示显示对话框进行显示选择。

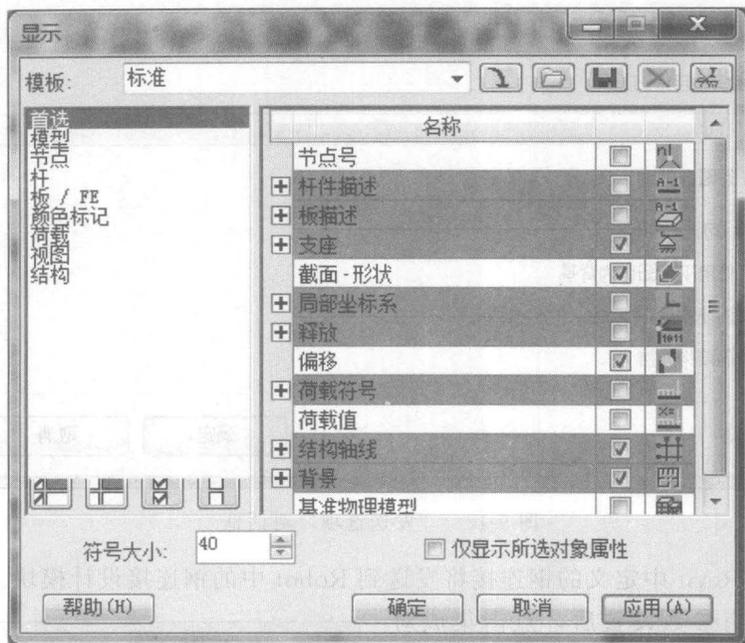


图 9-45 显示对话框

(2) 结构分析设置

a. 工程首选项设置。通过“工具”/“工作首选项选择”打开首选项对话框，进行基本设置，包括单位、精确度、规范等的选择。

b. 分析类型设置。通过“分析”/“分析类型”打开分析类型对话框，Revit 中的荷载工况和荷载工况组合已经传送到 Robot 中，此处根据本书前面讲到的结构分析类型设置，进行操作。

c. 划分有限元网格。运行结构分析之前，进行有限元网格的划分，点击有限元网格生成的选项 ，弹出有限元网格生成的选项，如图 9-46 所示。



图 9-46 有限元网格生成的选项

(3) 运行结构计算 完成设置后，运行计算。

(4) 结构分析及结果预览 计算完毕后，可以根据本书前面章节讲解的结果预览，对结果进行查看，包括示意图与表格。

以上传送至 Robot 中的结构分析步骤此处略写，因为本书主要内容已经介绍了如何进行结构分析。

9.5.2 Robot 模型更新回 Revit

Revit 模型导入 Robot 进行计算与分析后，可以再次更新回 Revit 中，或者 Robot 直接建立模型并结算后仍可以发送到 Revit 中进行再整理。

由于本书使用的 2016 版本的 Robot 第二种配筋方式，中国规范无法执行，并且存在某些钢筋需要修改等。基于以上原因，可以将分析完毕的模型及数据导回 Revit 中，通过 Revit 的速博插件进行再次配筋。

更新方法主要有以下两种。

方法一：打开 Revit 结构分析菜单，在 Robot 链接中选择“更新模型”，这与开始的“发送模型”类似，数据进行导回，等待数分钟完毕后，Revit 中出现模型。对于此模型，进行钢筋的绘制等再编辑。

方法二：在 Robot 中，选择最上方的菜单栏，点击“添加-插入”菜单，选择第一个子菜单“集成”，然后选择“Autodesk Revit Structure”即可将 Robot 中的模型数据更新回 Revit 中。

利用速博插件，可以快速绘制钢筋，但是选择“自动生成钢筋”后发现，不符合规范要求，需要进行钢筋模板的用户自定义，然后自动生成配筋。所以可以选择一榀框架或者一层进行配筋，或者单一构件，例如选择需要配筋的梁或柱，进行分别配置，对话框如图 9-47 所示。

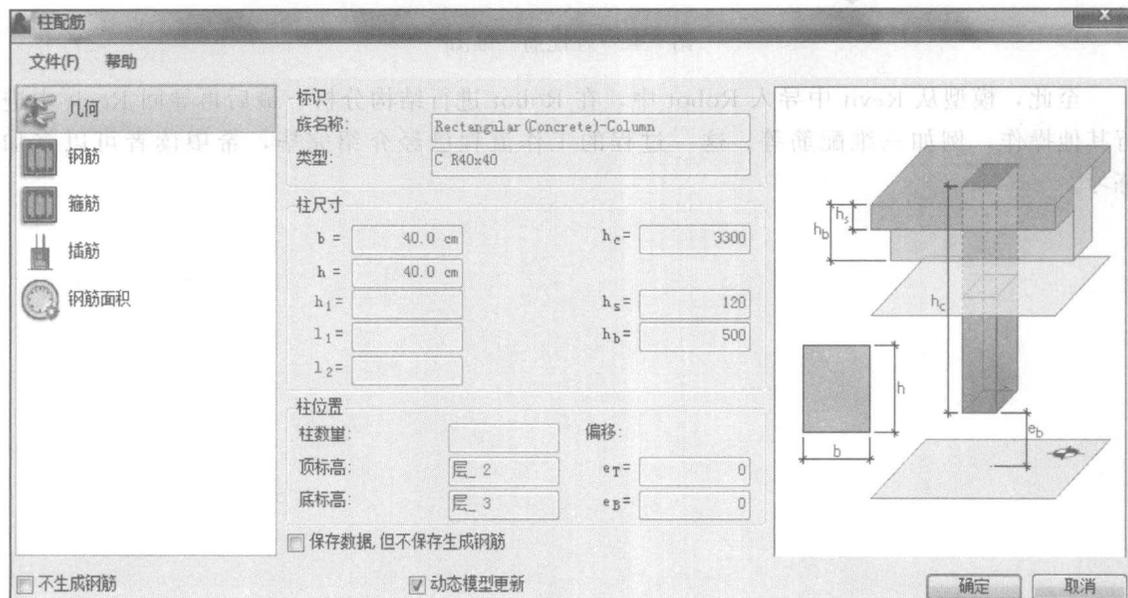


图 9-47 柱钢筋设置

对话框有两个最主要的标签，即“钢筋”和“箍筋”，钢筋标签下，可以设定主筋的直径、数量、型号等参数，“箍筋”可以设置直径、放置方法、加密区长度及加密间距等参数。

设置完成后点击“确定”，则刚才选择的构件已经完成配筋。柱钢筋三维模型图如图 9-48 所示。由于显示钢筋型号和直径将使模型图混乱，所以不加以显示。

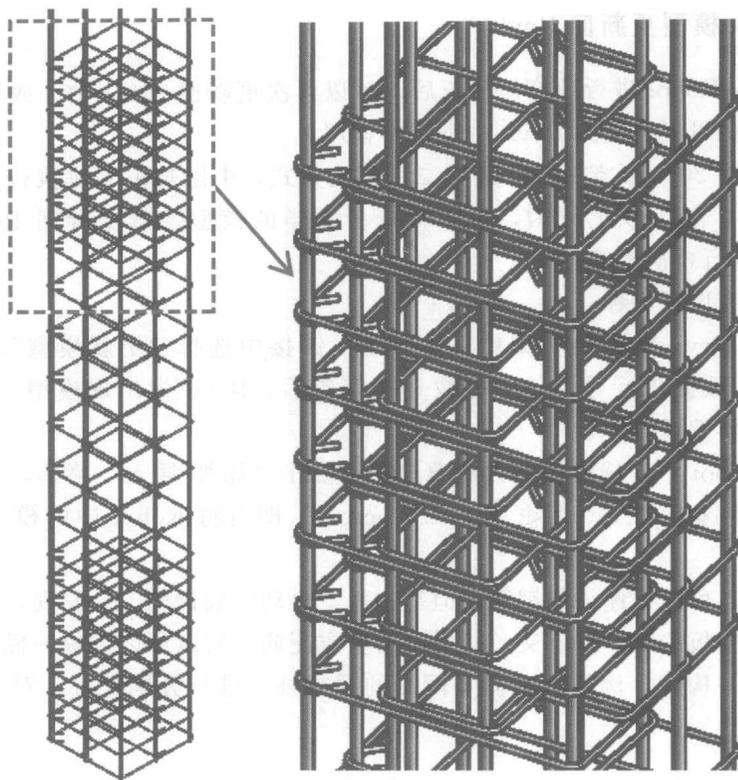


图 9-48 柱配筋三维图

至此，模型从 Revit 中导入 Robot 中，在 Robot 进行结构分析，最后再导回 Revit 中进行其他操作，例如三维配筋等。这一过程的工作流程已经介绍完毕，希望读者可以多加练习。

附录 快捷键列表

功能	快捷键
全选	Ctrl + A
复制	Ctrl + C
打开新的工程	Ctrl + N
打开工程	Ctrl + O
打印	Ctrl + P
保存(当前)工程	Ctrl + S
剪切文本或图片	Ctrl + X
重复上一步操作	Ctrl + Y
粘贴文本或图片	Ctrl + V
撤销上一步操作	Ctrl + Z
以 3D 视角显示	Ctrl + 0
在 XZ 平面工作	Ctrl + 1
在 XY 平面工作	Ctrl + 2
在 YZ 平面工作	Ctrl + 3
放大屏幕上的视图	Ctrl + Alt + A
缩小屏幕上的视图	Ctrl + Alt + R
将视图完整显示于界面中央	Ctrl + Alt + D
结构节点拓展开关	Ctrl + Alt + E
截面形状开关	Ctrl + Alt + P
截面符号开关	Ctrl + Alt + S
屏幕捕获	Ctrl + Alt + Q
连续绕 X 轴旋转	Ctrl + Alt + X
连续绕 Y 轴旋转	Ctrl + Alt + Y
连续绕 Z 轴旋转	Ctrl + Alt + Z
删除	Delete
调用当前项的帮助系统	F1
调用文本编辑	F9
缩小结构的特性比例(约束大小、荷载比例等)	PgDn
放大结构的特性比例(约束大小、荷载比例等)	PgUp

参考文献

- [1] 岳杰. BIM 技术及其在建筑设计中的应用 [J]. 四川建材, 2011, (5): 270-271.
- [2] 王加峰. 建筑工程 BIM 结构分析与设计方法研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013: 2.
- [3] 杰里·莱瑟琳, 王新. BIM 的历史 [J]. 建筑创作, 2010, (6): 149-150.
- [4] 秦岭. 基于 BIM 的建筑设计 with 结构分析集成方法研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [5] 王勇, 王建平, 王鹏翔. 建筑结构设计中的模型自动转化方法 [J]. 建筑科学与工程学报, 2012, (4): 53-58.
- [6] 李艳妮. 基于 BIM 的建筑结构模型的研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
- [7] Ken Marsh. Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015: Essentials [M]. Marsh API LLC, 2014: 431.
- [8] 混凝土结构设计规范 (GB 50010—2010) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [9] 建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010) [s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [10] 高层建筑混凝土结构技术规程 (JGJ 3—2010) [s]. 北京: 2010.
- [11] Sham Tickoo. Exploring Autodesk Revit Structure 2016, 6th Edition [M]. CADCIM Technologies, 2015.
- [12] 欧特克软件 (中国) 有限公司构件开发组. Autodesk® Revit® Structure 2012 应用宝典. 上海: 同济大学出版社, 2012.
- [13] 黄亚斌, 徐钦. Autodesk Revit Structure 实例详解. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.



BIM结构

—Autodesk Robot Structural Analysis
在土木工程中的应用



www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网

ISBN 978-7-122-28769-4



9 787122 287694 >

销售分类建议: BIM Autodesk Robot Structural Analysis

定价: 48.00 元