

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

土木工程结构电算

刘爱荣 主 编

吴 轶 副主编

张俊平 舒宣武 主 审

中国建筑工业出版社

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

土木工程结构电算

刘爱荣 主 编

吴 轶 副主编

张俊平 舒宣武 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程结构电算/刘爱荣主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 12

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

ISBN 978-7-112-14989-6

I. ①土… II. ①刘… III. ①土木工程-工程结构-计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. ①TU311.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 311873 号

本书根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写, 以突出工程性与应用性、扩大专业面、弱化行业规范为切入点, 将重点放在基本概念、基本原理、基本方法的应用上, 将理论知识与工程实例有机结合起来, 汲取较为先进成熟的技术成果和典型工程实例, 使学生更好地适应“大土木”专业课程的学习。

本书分为上、下两篇, 上篇为建筑结构电算, 下篇为桥梁结构电算。上篇包括第 1~4 章, 其中第 1 章为建筑结构计算机辅助设计, 第 2 章为建筑结构整体模型创建, 第 3 章为多层及高层建筑结构三维分析与设计程序 SATWE, 第 4 章为钢筋混凝土剪力墙设计计算例; 下篇包括第 5~9 章, 其中第 5 章为有限元计算分析原理, 第 6 章为桥梁有限元计算模型, 第 7 章为桥梁静力计算分析, 第 8 章为桥梁动力计算分析, 第 9 章为连续梁桥数值分析算例。

本书可作为土木工程专业本科生的专业教材使用, 也可以供土木工程结构有限元计算分析初学者参考。

本书提供课件, 读者可发送邮件至: jiaocaikejian@sina.com 免费索取。

* * *

责任编辑: 王 跃 吉万旺 聂 伟

责任设计: 李志立

责任校对: 肖 剑 陈晶晶

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

土木工程结构电算

刘爱荣 主 编

吴 轶 副主编

张俊平 舒宣武 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23½ 字数: 570 千字

2014 年 1 月第一版 2014 年 1 月第一次印刷

定价: 43.00 元

ISBN 978-7-112-14989-6

(23096)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

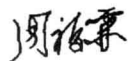
自 1952 年院系调整之后，我国的高等工科教育基本因袭了苏联的体制，即按行业设置院校和专业。工科高校调整成土建、水利、化工、矿冶、航空、地质、交通等专科学校，直接培养各行业需要的工程技术人才；同样的，教材也大都使用从苏联翻译过来的实用性教材，即训练学生按照行业规范进行工程设计，行业分工几乎直接“映射”到高等工程教育之中。应该说，这种过于僵化的模式，割裂了学科之间的渗透与交叉，并不利于高等工程教育的发展，也制约了创新性人才的培养。

作为传统工科专业之一的土木工程，在我国分散在房建、公路、铁路、港工、水工等行业，这些行业规范差异较大、强制性较强。受此影响，在教学过程中，普遍存在对行业规范依赖性过强，专业方向划分过细、交融不够等问题。1998 年教育部颁布新专业目录、按照“大土木”组织教学后，这种情况有所改观，但行业影响力依旧存在。相对而言，土木工程专业的基础课如建材、力学，专业课程如建筑结构设计、桥梁工程、道路工程、地下工程的问题要少一些，而介于二者之间的一些课程如结构设计原理、结构分析计算、施工技术等问题要突出一些。为此，根据全国土木工程专业教学指导委员会的有关精神，配合我校打通建筑工程、道桥工程、地下工程三个专业方向的教学改革，我校部分教师以突出工程性与应用性、扩大专业面、弱化行业规范为切入点，将重点放在基本概念、基本原理、基本方法的应用上，将理论知识与工程实例有机结合起来，汲取较为先进成熟的技术成果和典型工程实例，编写了《工程结构设计原理》、《基础工程》、《土木工程结构电算》、《土木工程抗震》、《土木工程试验与检测技术》、《土木工程施工》六本教材，使学生更好地适应“大土木”专业课程的学习。

希望这一尝试能够为跨越土建行业鸿沟，促进土木工程专业课程教学提供有益的帮助与探索。

是为序。

中国工程院院士



2012 年 1 月于广州大学

前言

1. 本书的目的

(1) 了解有限单元法的基本原理,不同类型单元的适用性和不同计算模型的优缺点。

(2) 掌握建筑结构和桥梁结构常用的计算分析软件,如 PKPM、Midas/Civil 软件。

(3) 熟悉建筑结构和桥梁结构计算分析的流程、方法,初步具备分析和解决简单工程实际计算问题的能力。

(4) 了解常见建筑结构和桥梁结构受力行为的特征,初步具备判断计算结果正确与否的能力。

2. 本书的特色

(1) 内容针对性强。本书主要针对常见建筑和桥梁空间杆系有限元计算流程和方法展开介绍,重点介绍多层和高层钢筋混凝土建筑和桥梁的计算分析。

(2) 浅显易懂,实用性强。用简单通俗的语言介绍常规多层和高层钢筋混凝土建筑结构和桥梁结构计算原理,并适当辅之以 PKPM 和 Midas/Civil 软件的使用功能,使结构分析、结构验算与专业软件高度融合,让单纯软件操作学习变得更加生动,以提高学生的学习兴趣,使其在学习计算软件的同时对计算分析原理有进一步的理解,建立读者对实际工程设计与软件操作之间的直观认识。

(3) 丰富的实践经验。作者从事建筑结构和桥梁结构的计算分析已十余年,曾对百余座建筑和桥梁进行仿真计算分析,其中建筑方面涉及的结构类型为:钢筋混凝土框架结构、钢结构、剪力墙结构等;桥梁方面涉及的桥型为:简支梁桥(板桥)、连续梁桥、连续刚构桥(包括 V 形刚构桥)、拱桥(上承式、下承式、中承式)、斜拉桥(包括矮塔斜拉桥)、悬索桥等,积累了丰富的计算分析经验。作者对这些计算经验进行了系统的梳理和归类,并针对本科生的特点,将其穿插于书中,以期对初学者有所帮助,少走弯路。

3. 本书的阅读对象

(1) 土木工程专业本科生

(2) 土木工程结构有限元计算分析初学者

4. 本书的主要内容及其分工

本书分为上、下两篇,上篇为建筑结构电算,下篇为桥梁结构电算。上篇包括第 1~4 章,其中第 1 章为建筑结构计算机辅助设计,第 2 章为建筑结构整体模型创建,第 3 章为多层及高层建筑结构三维分析与设计程序 SATWE,第 4 章为钢筋混凝土剪力墙设计算例,均由吴轶编写;下篇包括第 5~9 章,其中第 5 章为有限元计算分析原理,由邓江东编写;第 6 章为桥梁有限元计算模型,由刘爱荣和黄永辉共同编写,第 7 章为桥梁静力计算分析,由刘爱荣和饶瑞共同编写;第 8 章为桥梁动力计算分析,由黄友钦编写;第 9 章为连续梁桥数值分析算例,由刘爱荣和黄永辉共同编写。本书由刘爱荣任主编,吴轶任副主编。在本书的编写过程中,主审广州大学张俊平教授、华南理工大学建筑设计研究院苏

宣武高级工程师（教授级）提出了许多宝贵的意见，另外广州大学张雨超、邝钜滔、吴嘉欣、张俊文、黄照棉等为本书图表绘制以及校核付出了大量的劳动，在此表示衷心感谢。本书中带“*”章节为选修内容。

因水平所限，书中的错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

上篇 建筑结构电算

第 1 章 建筑结构计算机辅助设计	3
1.1 计算机辅助设计在土木工程中的应用	3
1.2 建筑结构计算机分析	4
1.2.1 结构计算分析基本原则	4
1.2.2 结构计算机分析模型	5
1.3 结构计算机分析软件介绍	13
1.3.1 PKPM 程序简介	13
1.3.2 TBSA 程序简介	14
1.3.3 广厦结构软件简介	15
1.3.4 ETABS 软件简介	16
1.3.5 MIDAS 程序简介	17
1.3.6 SAP2000 程序简介	18
1.3.7 国内部分建筑结构计算软件比较	18
第 2 章 建筑结构整体模型创建	23
2.1 结构整体模型的建立步骤	23
2.2 电算实例工程概况	24
2.3 框架梁、柱截面尺寸初估	35
2.3.1 框架梁截面尺寸初估	35
2.3.2 框架柱截面尺寸初估	36
2.4 楼板设计及荷载计算	38
2.4.1 板的分类	38
2.4.2 板厚取值	38
2.4.3 楼板荷载	38
2.5 楼梯设计及荷载计算	40
2.5.1 楼梯梯段斜板估算	40
2.5.2 荷载计算	42
2.6 梁上线荷载计算	44
2.7 模型建立与荷载输入	48
2.7.1 结构标准层及荷载标准层	48
2.7.2 PMCAD 工作界面	49
2.7.3 PKPM 的坐标输入方式	50

2.7.4	PKPM 常用快捷键	51
2.7.5	轴线输入	51
2.7.6	网格生成	54
2.7.7	楼层定义	56
2.7.8	选择/添加标准层	75
2.7.9	楼面荷载输入	75
2.7.10	设计参数	84
2.7.11	楼层组装	87
2.7.12	保存、退出	90
2.8	平面荷载显示校核	92
2.9	画结构平面图	95
2.9.1	绘新图	95
2.9.2	计算参数	96
2.9.3	绘图参数	96
2.9.4	楼板计算	97
2.9.5	预制楼板	100
2.9.6	楼板钢筋	100
2.9.7	钢筋表	102
2.9.8	楼板剖面	103
第 3 章	多层及高层建筑结构三维分析与设计程序 SATWE	104
3.1	SATWE 基本功能和应用范围	104
3.1.1	SATWE 基本功能	104
3.1.2	SATWE 应用范围	104
3.2	参数的合理选取及数据准备	105
3.2.1	分析与设计参数补充定义 (必须执行)	105
3.2.2	特殊构件定义	125
3.2.3	温度荷载定义	130
3.2.4	弹性支座/支座位移定义	131
3.2.5	特殊风荷载定义	132
3.2.6	多塔结构补充定义	133
3.2.7	用户指定 0.2V ₀ 调整系数	134
3.2.8	生成 SATWE 数据文件及数据检查 (必须执行)	135
3.2.9	修改构件计算长度系数	136
3.2.10	水平风荷载查询/修改	136
3.2.11	查看数检报告文件 (CHECK. OUT)	137
3.2.12	图形检查	137
3.3	结构分析与配筋计算	140
3.3.1	SATWE 结构内力与配筋计算	140
3.3.2	PM 次梁内力与配筋计算	141
3.4	分析结果图形和文本显示	142
3.4.1	图形文件输出	142

3.4.2 文本输出	152
3.5 计算结果合理性判断及设计调整	154
3.5.1 自振周期	154
3.5.2 振型曲线	155
3.5.3 剪重比	155
3.5.4 周期比	157
3.5.5 层间受剪承载力比	159
3.5.6 刚重比	160
3.5.7 位移比与层间位移角	161
3.5.8 刚度比	164
3.5.9 轴压比	165
3.5.10 参与振动质量比	166
第4章 钢筋混凝土剪力墙设计算例	167
4.1 工程设计资料	167
4.1.1 工程概况	167
4.1.2 设计资料	167
4.1.3 结构平面布置	167
4.1.4 荷载计算	174
4.1.5 楼梯构件截面估算和荷载计算	176
4.2 PMCAD 建模	181
4.2.1 轴网布置	181
4.2.2 建立标准层	188
4.2.3 荷载输入	192
4.2.4 设计参数输入	195
4.2.5 楼层组装	197
4.2.6 退出	197
4.3 SATWE 部分	197
4.3.1 分析与设计参数补充定义	198
4.3.2 生成 SATWE 数据文件及数据检查	199
4.3.3 结构内力、配筋	200
4.3.4 文本显示与分析结果图形	200
4.4 绘制施工图	211
4.4.1 绘制梁平法施工图	211
4.4.2 绘制剪力墙施工图	211

下篇 桥梁结构电算

第5章 有限元计算分析原理	219
5.1 有限元法	219
5.2 节点与单元	219
5.3 梁单元分析	220

5.3.1	不考虑剪切变形的梁单元	220
5.3.2	考虑剪切变形的梁单元	224
5.4	单元整体分析	226
5.4.1	坐标转换矩阵	226
5.4.2	整体坐标系下的平衡方程	227
5.5	荷载及边界条件的处理	228
5.5.1	等效节点荷载	228
5.5.2	边界条件	229
5.5.3	单元间铰接节点	229
5.6	方程的数值求解及结果分析	230
5.6.1	方程的数值求解	230
5.6.2	结果分析	230
5.7	有限元分析流程	230
5.8	有限元计算的误差	230
第 6 章	桥梁有限元计算模型	233
6.1	Midas 软件介绍	233
6.2	常规桥梁计算内容与流程	233
6.3	桥梁结构有限元模型类型	235
6.3.1	计算模型类型	235
6.3.2	计算模型比较	237
6.4	梁单元的离散方法	238
6.4.1	结构的离散化原则	238
6.4.2	单元建立	239
6.4.3	单元划分实例	239
6.5	桥梁结构截面特性计算	240
6.5.1	截面特性的计算方法	241
6.5.2	组合截面	243
6.5.3	截面的有效分布宽度	244
6.5.4	Midas/Civil 截面特性的定义方法	245
6.6	桥梁结构常用材料	246
6.6.1	材料特性	246
6.6.2	定义材料特性的方法	247
6.7	桥梁结构边界条件模拟	248
6.7.1	一般支撑	248
6.7.2	一般弹性支撑	248
6.7.3	刚性连接	249
6.7.4	铰的模拟	250
6.7.5	梁式桥支座边界的模拟	250
6.8	定义组	252

第7章 桥梁静力计算分析

254

7.1 恒载效应

254

7.1.1 自重

254

7.1.2 二期恒载

256

7.2 活载效应

256

7.2.1 影响线

256

7.2.2 汽车荷载类型

258

7.2.3 汽车冲击系数

260

7.2.4 汽车离心力

261

7.2.5 荷载横向分布系数

261

7.2.6 活载内力计算

263

* 7.3 混凝土徐变收缩效应

264

7.3.1 混凝土的徐变

264

7.3.2 混凝土的收缩

266

7.3.3 混凝土的徐变和收缩次内力

267

* 7.4 预应力效应

267

7.4.1 预应力筋的特性值

268

7.4.2 预应力筋布置

268

7.4.3 预应力损失计算

269

7.4.4 预应力损失组合

275

7.4.5 预应力等效荷载计算

275

* 7.5 温度效应

277

7.5.1 整体温度升降作用下的温度应力

277

7.5.2 日照温差作用下的温度自应力

277

* 7.6 基础不均匀沉降效应

278

7.7 桥梁正常使用极限状态验算

279

7.7.1 桥梁正常使用极限状态设计荷载组合

279

7.7.2 桥梁正常使用极限状态验算

280

7.7.3 验算流程

282

7.8 桥梁承载能力极限状态验算

283

7.8.1 承载能力极限状态设计荷载组合

283

7.8.2 持久状况承载能力极限状态验算

284

7.8.3 验算流程

289

* 第8章 桥梁动力计算分析

290

8.1 结构动力方程

290

8.1.1 动力方程的建立

290

8.1.2 质量矩阵

291

* 标注章节为选修内容。

8.1.3 阻尼矩阵	292
8.2 结构的自振特性	293
8.3 特征值问题的数值解法	294
8.3.1 广义雅可比法	294
8.3.2 逆迭代法	296
8.3.3 子空间迭代法	297
8.4 结构动力响应的求解	298
8.4.1 振型叠加法	299
8.4.2 逐步积分法	300
8.5 自振特性计算实例	301
8.5.1 Midas 自振特性分析过程	302
8.5.2 简支梁桥计算实例	303
8.5.3 连续梁桥计算实例	305
8.5.4 拱桥计算实例	306
8.5.5 斜拉桥计算实例	308
第 9 章 连续梁桥数值分析算例	311
9.1 工程概况	311
9.1.1 结构设计参数	311
9.1.2 结构施工过程	315
9.1.3 结构验算依据	317
9.2 建立有限元模型	317
9.2.1 设定建模环境	317
9.2.2 定义材料和截面	317
9.2.3 输入 PSC 截面钢筋	322
9.2.4 建立结构模型及结构组群	323
9.2.5 定义边界条件及边界组群	329
9.2.6 定义荷载及荷载组群	331
9.2.7 定义并建立施工阶段	342
9.2.8 运行计算	343
9.2.9 PSC 设计	348
9.3 计算结果	349
9.3.1 施工过程计算分析结果	349
9.3.2 活载效应计算分析结果	352
9.3.3 温度效应计算分析结果	354
9.3.4 不均匀沉降计算分析结果	354
9.3.5 荷载工况组合	355
9.4 结构验算	357
9.4.1 承载能力极限状态验算	357
9.4.2 正常使用极限状态验算	359
参考文献	362

上篇 建筑结构电算

第 1 章 建筑结构计算机辅助设计

1.1 计算机辅助设计在土木工程中的应用

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD) 技术广泛应用于各大行业。在土木工程领域, 土木工程 CAD 的应用主要包含以下方面:

(1) 建筑与规划设计: 用于绘制建筑、规划类图纸, 如建筑施工图、效果图, 规划效果图, 桥梁的造型设计等。其软件主要有天正建筑软件、中国建筑科学研究院的 APM (PKPM 的建筑模块)、QXCAD (一种桥型设计软件)、3DMAX、MAYA、Photoshop 等。

(2) 结构设计: 用于结构计算、构造设计、绘制施工图等。结构计算是对结构进行静力、动力、线性、非线性等力学分析, 按规范要求进行内力组合, 并进行截面和构件的强度设计; 构造设计是根据结构计算的结果, 完成构件和截面的选择和配筋的构造设计; 绘制施工图是用 CAD 取代传统的手绘, 完成施工图纸的绘制。

(3) 给水排水设计: 用于给水、排水方面的计算与绘图。

(4) 暖通设计: 用于采暖与通风方面的设计。

(5) 电气设计: 强、弱电方面的辅助设计。

(6) 施工组织与设计: 用于施工项目的项目管理、施工工艺的流程设计与优化、施工现场布置等。

(7) 工程项目的预决算: 从广义上说, 这也是 CAD 在土木工程上的一个应用。

(8) 其他方面: 如家庭装修等。

以上只是 CAD 技术在土木工程上应用的主要方面, 在实际工程中, 还有很多边缘的、交叉的、新兴的应用技术在不断得到开发和利用。

建筑结构计算机辅助设计主要包括三部分: 前处理 (建立计算分析模型)、中间计算 (计算分析)、后处理 (施工图设计), 如图 1-1 所示。

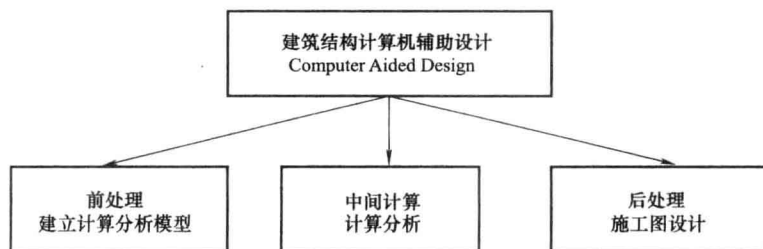


图 1-1 建筑结构计算机辅助设计

1.2 建筑结构计算机分析

1.2.1 结构计算分析基本原则

建筑结构进行计算分析时，应遵循以下原则：

(1) 选择合理的结构计算分析方法和力学模型。

计算分析时，应根据结构实际情况确定建筑结构分析模型，所选取的分析模型应能较准确地反映结构中各构件的实际受力状况。

高层建筑结构分析，可选择平面结构空间协同、空间杆系、空间杆-薄壁杆系、空间杆-墙板元及其他组合有限元等计算模型（参见《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2002（以下简称为《高规》）第 5.1.4 条）。

(2) 楼板刚度的选择应符合实际情况。

在进行高层建筑内力与位移计算时，可假定楼板在其自身平面内为无限刚性，设计时应采取相应的措施保证楼板平面内的整体刚度。

当楼板可能产生较明显的面内变形时，计算时应考虑楼板的面内变形影响或对采用楼板面内无限刚性假定计算方法的计算结果进行适当调整（参见《高规》第 5.1.5 条）。

(3) 对于复杂结构应选用合适的力学模型进行分析。

复杂平面和立面的剪力墙结构，应采用合适的计算模型进行分析。当采用有限元模型时，应在截面变化处合理地选择和划分单元；当采用杆系模型计算时，对错洞墙、叠合错洞墙可采取适当的模型化处理，并应在整体计算的基础上对结构局部进行更细致的补充计算分析（参见《高规》第 5.3.6 条）。

复杂高层建筑结构的计算分析应符合《高规》第 5 章的相关规定，并按规定进行截面承载力设计与配筋构造。对于复杂高层建筑结构，必要时，对其中某些受力复杂部位尚宜采用有限元法等方法进行详细的应力分析，了解应力分布情况，并按应力进行配筋校核（参见《高规》第 10.1.5 条）。

(4) 对于复杂结构，必要时应采用两种或两种以上不同力学模型的结构分析软件进行整体计算。

体型复杂、结构布置复杂以及 B 级高度高层建筑结构的受力情况复杂，应采用两种或两种以上不同力学模型的结构分析软件进行整体计算，可以相互比较和分析，以保证结构力学分析的可靠性（参见《高规》第 5.1.12 条）。

带加强层的高层建筑结构、带转换层的高层建筑结构、错层结构、连体和立面开洞结构、多塔楼结构、立面较大收进结构等，属于体型复杂的高层建筑结构，其竖向刚度和承载力变化大，受力复杂，易形成薄弱部位；混合结构以及 B 级高度的高层建筑结构的房屋高度大、工程经验不多，因此整体计算分析应从严要求。在抗震设计时，尚应符合下列规定：宜考虑平扭耦联计算结构的扭转效应，振型数不应小于 15，对多塔楼结构的振型数不应小于塔楼数的 9 倍，且计算振型数应使各振型参与质量之和不小于总质量的 90%；应采用弹性时程分析法进行补充计算；宜采用弹塑性静力或弹塑性动力分析方法补充计算（参见《高规》第 5.1.13 条）。

(5) 正确选取结构嵌固部位。

高层建筑结构整体计算中,当地下室顶板作为上部结构嵌固部位时,地下一层与首层侧向刚度比不宜小于2(参见《高规》第5.3.7条)。另外,《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010(以下简称为《抗规》)第6.1.3-3条规定地下室作为上部结构嵌固部位时应满足的要求,第6.1.10条规定剪力墙底部加强部位的确定与嵌固端有关。

(6) 必要时应进行竖向荷载作用下施工模拟的结构分析。

高层建筑结构是逐层施工完成的,其竖向刚度和竖向荷载(如自重和施工荷载)也是逐层形成的。这种情况与结构刚度一次形成、竖向荷载一次施加的计算方法存在较大差异。因此对于层数较多的高层建筑,其重力荷载作用效应分析时,柱、墙轴向变形宜考虑施工过程的影响。施工过程的模拟可根据需要采用适当的方法考虑,如结构竖向刚度和竖向荷载逐层形成、逐层计算的方法等。对于复杂高层建筑及房屋高度大于150m的其他高层建筑结构,应考虑施工过程的影响(参见《高规》第5.1.9条)。

(7) 正确选取结构调整参数,弥补弹性计算的缺陷。

在高层建筑结构计算时,应按要求对剪力墙连梁刚度、楼面梁刚度、竖向荷载作用下的梁端负弯矩调幅系数,以及在梁周围楼盖约束情况下的梁扭矩折减系数等参数进行调整(参见《高规》第5.2节)。

(8) 正确、全面地考虑各种荷载工况及计算内容。

高层建筑结构应根据实际情况进行重力荷载、风荷载和(或)地震作用效应分析,并按《高规》第5.6节的规定进行荷载效应和作用效应计算(参见《高规》第5.1.7条)。

(9) 必要时应采用有限元分析方法对局部结构进行应力分析。

对于复杂高层建筑结构,必要时,对其中某些受力复杂部位尚宜采用有限元法等方法进行详细的应力分析,了解应力分布情况,并按应力进行配筋校核(参见《高规》第10.1.5条文说明)。

1.2.2 结构计算机分析模型

1.2.2.1 竖向抗侧力体系分析模型

结构计算分析时,可根据结构的特点选择平面分析模型(包括平面结构平面协同分析模型及平面结构空间协同分析模型)和空间三维结构分析模型(包括空间杆-薄壁杆系、空间杆-墙板元及其他组合有限元等)。

1. 平面结构平面协同分析方法

当采用简化方法进行建筑结构的内力与位移计算时,可将结构沿两个正交主轴方向划分为若干榀平面抗侧力结构,然后分别对作用在这两个方向上的水平荷载进行分析。每一个方向上的水平荷载,仅由该方向上的平面抗侧力结构承受,垂直于水平荷载方向的抗侧力结构不参加抵抗水平荷载的工作,这就是平面抗侧力结构假定。当建筑物没有扭转或不考虑扭转时,同水平荷载方向平行的各榀抗侧力结构所承受的水平力,按结构侧移刚度进行分配。

应当指出,平面抗侧力结构假定,适用于平面规则的框架或剪力墙结构(如图1-2所示),结构(布置、刚度、质量等)对 x 、 y 轴是对称的,同时荷载也对 x 、 y 轴对称的情况。此时,结构不会产生绕竖轴的扭转,楼板只有刚性的平移,各片平面抗侧力结构在同