

高层建筑结构 计算机计算原理 与程序应用

崔钦淑 编著

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

知识产权出版社

www.cnipr.com



1346



内容提要

本书按照最新的国家标准和行业规范,为适应相关教学和土木工程设计的需要编写而成。本书内容深入浅出,简明扼要,将程序中设计参数的取值与规范条文有机结合。

本书共分为8章,内容包括:高层建筑结构计算的计算机方法、高层建筑结构的设计程序介绍、特殊高层建筑结构分析与设计程序PMSAP、高层建筑结构空间有限元分析与设计程序SATWE、高层建筑结构三维分析与设计程序TAT、高层建筑弹性分析程序EPDA&PUSH、剪力墙绘图程序JLQ、高层混凝土剪力墙结构设计实例。

本书可供从事实际工程的建筑结构设计人员使用,也可供高等院校土木工程专业师生参考使用。

选题策划:阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip. sina. com; z_baolin@263. net

责任编辑:阳 淼 张宝林

文字编辑:张 冰

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构计算机计算原理与程序应用/崔钦淑编

著. —北京:中国水利水电出版社:知识产权出版社,

2009

ISBN 978-7-5084-6719-1

I. 高… II. 崔… III. 高层建筑-建筑结构-计算机辅助计算 IV. TU973-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第132699号

高层建筑结构计算机计算原理与程序应用

崔钦淑 编著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座;电话:010-68367658)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村1号;电话:010-82005070)

北京科水图书销售中心零售 (电话:010-88383994、63202643)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

184mm×260mm 16开本 18.5印张 439千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印数:0001—4000册

定价:36.00元

版权所有·侵权必究

如有印装质量问题,可由中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码100038,电子邮件:sales@waterpub.com.cn)

前 言

高层建筑结构的计算和设计是依靠程序、通过计算机来实现的。本书简要地介绍了高层建筑结构计算机计算的原理、高层建筑结构的设计程序，并重点介绍了中国建筑科学研究院的 PKPM 系列程序中的高层建筑结构设计程序。本书结合各种最新的设计规范及规程，详细地阐述了特殊高层建筑结构分析与设计程序 PMSAP、高层建筑结构空间有限元分析与设计程序 SATWE、高层建筑结构三维分析与设计程序 TAT、高层建筑弹塑性分析程序 EPDA&PUSH、剪力墙绘图程序 JLQ 及高层混凝土剪力墙结构工程设计实例。本书按 PKPM 系列程序 2005 版及现行规范编写，采用规范通用符号、计量单位和基本术语。

本书共分为 8 章，主要内容如下：

第 1 章“高层建筑结构计算的计算机方法”，主要介绍了杆件有限元计算方法及计算简化假定，计算机计算建筑结构的原理，分析模型的建立与使用，以及高层建筑结构的动力时程分析方法。

第 2 章“高层建筑结构的设计程序介绍”，简单介绍了结构分析通用程序以及高层建筑结构专用程序。

第 3 章“特殊高层建筑结构分析与设计程序 PMSAP”，详细介绍了 PMSAP 程序的分析功能与设计功能，PMSAP 前处理，以及结构整体分析与计算结果查看。

第 4 章“高层建筑结构空间有限元分析与设计程序 SATWE”，重点介绍了 SATWE 程序的基本功能、使用限制与规定，接 PMCAD 生成 SATWE 数据，结构整体分析与构件内力配筋计算，SATWE 分析结果图形与文本显示，以及 PMSAP、SATWE 前处理注意事项。

第 5 章“高层建筑结构三维分析与设计程序 TAT”，重点介绍了 TAT 程序的基本功能与应用范围，计算模型的合理简化，数据准备，结构分析与配筋计算，结构的弹性动力时程分析，以及计算结果正确性分析与判断。

第 6 章“高层建筑弹塑性分析程序 EPDA&PUSH”，简要介绍了弹塑性分析程序 EPDA&PUSH 及弹塑性分析程序 EPDA&PUSH 的功能实现。

第 7 章“剪力墙绘图程序 JLQ”，简要介绍了剪力墙绘图程序的功能；重点介绍了剪力墙程序的操作，以及剪力墙平面图、立面图及截面注写施工图

的绘制方法。

第8章“高层混凝土剪力墙结构设计实例”，通过工程实例给出了结构设计的全过程。

本书在编著过程中得到了结构学科老师及设计研究院同事的帮助，在此表示感谢。

限于作者水平，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者的 E-mail: cuiqinshu@163.com。

作者

2009年6月于杭州

目 录

前言

第 1 章	高层建筑结构计算的计算机方法	1
1.1	概述	1
1.2	杆件有限元计算方法及计算简化假定	1
1.3	分析模型的建立与使用	8
1.4	高层建筑结构的动力时程分析方法	27
第 2 章	高层建筑结构的设计程序介绍	30
2.1	结构分析通用程序	30
2.2	高层建筑结构专用程序	32
第 3 章	特殊高层建筑结构分析与设计程序 PMSAP	37
3.1	PMSAP 程序的分析功能与设计功能	37
3.2	PMCAD 前处理——数据准备	40
3.3	结构整体分析与计算结果查看	72
第 4 章	高层建筑结构空间有限元分析与设计程序 SATWE	96
4.1	SATWE 程序的基本功能、使用限制与规定	96
4.2	接 PMCAD 生成 SATWE 数据	99
4.3	结构整体分析与构件内力配筋计算	131
4.4	SATWE 分析结果图形与文本显示	133
4.5	PMSAP、SATWE 前处理注意事项	153
第 5 章	高层建筑结构三维分析与设计程序 TAT	158
5.1	TAT 程序的基本功能与应用范围	158
5.2	计算模型的合理简化	160
5.3	数据准备	166
5.4	结构分析与配筋计算	182
5.5	结构的弹性动力时程分析	196
5.6	计算结果正确性分析与判断	208
第 6 章	高层建筑弹塑性分析程序 EPDA&PUSH	212
6.1	EPDA&PUSH 程序简介	212
6.2	EPDA&PUSH 程序的功能实现	213
第 7 章	剪力墙绘图程序 JLQ	228
7.1	JLQ 程序功能简介	228
7.2	剪力墙配筋设计——生成配筋数据	232

7.3	剪力墙配筋设计——修改配筋量和边缘构件尺寸	234
7.4	画剪力墙立面图	251
7.5	截面注写施工图	257
第8章	高层混凝土剪力墙结构设计实例	262
8.1	高层住宅楼建筑施工图	262
8.2	结构整体模型的输入	269
8.3	结构整体空间受力分析 (SATWE)	278
参考文献		286

第 1 章 高层建筑结构计算的计算机方法

1.1 概述

高层建筑的形式不断发展变化,手算方法已与现代工程的建设速度不相适应,平面结构的假定也已不能满足现代结构计算的需要。此外,随着计算机技术的迅速发展和结构计算程序的不断更新,结构的空間计算方法已成为建筑结构计算方法的主体。

新一代结构工程师必须掌握最新的结构计算方法,熟练应用计算程序。但是,在此应当说明以下两点:

(1) 手算方法仍然是工程师的基本看家本领,它的概念清楚、结果简单明了。在力学规律的基本判断、计算机计算结果是否正确合理、结构布置是否合理以及结构体系的创新等方面,常常要靠工程师采用最简单的方法作出符合力学规律的判断与选择。

(2) 目前已有的计算程序多种多样,其计算模型及方法各异,计算结果的表达方式也各不相同。所以,在进行结构分析时,首先要选用可信度高、经过应用考验的计算程序;其次要判断程序采用的计算假定及结构计算简图是否符合所设计结构的实际情况,要了解其计算内容是否满足设计需要,其结果表达形式是否简明并便于后续各个设计步骤的执行。因此,了解设计程序,掌握其原理和计算方法,善于选择及运用程序,是结构工程师的又一个基本功。

1.2 杆件有限元计算方法及计算简化假定

目前的结构设计程序都是按照一定的计算模型,根据一定的结构设计原理,通过计算机语言来实现整个计算过程的。在应用每一个结构设计程序时,了解它的基本原理,对于更好地运用它是非常有必要的。

计算机计算建筑结构的方法大体上分为以下三种:

(1) 将结构离散为杆件单元,再将杆件单元集合成结构,采用杆件矩阵位移法计算整体结构(有时又称为杆件有限元方法)。

(2) 将结构离散为平面的连续单元,运用平面有限元方法计算整体结构。

(3) 将结构离散为平面或空间的连续条元,采用有限条元方法计算整体结构。

在上述这三种方法中,杆件矩阵位移法是目前工程中计算整体结构运用最为广泛的方法;有限条元方法也是一种较精确而可行的方法,但目前应用尚不普遍;平面有限元方法计算的单元太多、未知量太大,几乎不可能用于计算高层建筑整体结构,但是对某些不宜简化为杆件的局部结构,或在必须深入掌握其应力分布、应力集中等情况时,常常采用平面有限元方法做局部结构分析。

1.2.1 杆件有限元方法计算高层结构的基本假定

矩阵位移计算方法的基本原理已在结构力学课程中学习过，此处不再赘述，其要点如下：

(1) 将结构离散为杆件单元，取节点位移为基本未知量，建立单元刚度方程，即单元杆端力与杆端位移关系方程，采用局部坐标，该关系方程可表示为

$$\{F\}^e = [k]^e \{\delta\}^e \quad (1.1)$$

式中 $\{F\}^e$ ——单元 e 的杆端力列阵；

$[k]^e$ ——单元 e 的刚度矩阵；

$\{\delta\}^e$ ——单元 e 的杆端位移列阵。

(2) 将单元集合成整体，使节点处满足位移连续条件和平衡条件，并将局部坐标转换成整体坐标，建立结构的整体刚度方程，即建立结构内力与外力平衡方程为

$$[K]\{\Delta\} = \{P\} \quad (1.2)$$

式中： $\{P\}$ ——结构的节点荷载列阵；

$[K]$ ——结构的整体刚度矩阵；

$\{\Delta\}$ ——结构的节点位移列阵。

(3) 代入支座条件及其他位移约束条件，并进一步简化式 (1.2)。

(4) 解式 (1.2)，求出节点位移，然后代回式 (1.1) 计算各杆端力。

采用矩阵位移法计算高层建筑结构时，基本假定有以下几方面。采用不同的假定，就形成不同类型的计算程序。

1. 平面结构和空间结构

房屋结构都是空间结构，因为结构都是由来自不同方向的杆件组成的，所以它能抵抗来自任意方向的力。但是在结构计算时，可以作出不同的假定，以简化计算。这里所说的平面结构和空间结构就是指计算假定。

(1) 平面结构。当把位于同一平面内的杆件组成的结构作为平面结构计算时，只考虑其在平面内的变形和受力，即假定结构只在其平面内具有刚度，不考虑结构平面外刚度，结构是二维的，每个节点有 3 个独立的位移 (u 、 w 、 θ)，即每个节点有 3 个自由度，如图 1.1 (a) 所示。

(2) 空间结构。当把结构看作空间结构时，杆件在平面内、平面外都具有刚度，成为空间杆件，结构是三维的，每个节点有 6 个独立的位移（沿 3 个轴的位移 u 、 v 、 w 及绕 3 个轴的转角 θ_x 、 θ_y 、 θ_z ），如图 1.1 (b) 所示，即每个节点有 6 个自由度，结构计算自由度将大大增加，但较符合实际。

2. 刚性楼板和弹性楼板

楼板的作用除了承受竖向荷载外（楼板产生竖向挠度和受弯），在水平荷载作用下，楼板把各个抗侧力结构联系在一起，共同受力。这里所说的刚性楼板和弹性楼板，是指在水平荷载作用下楼板在其自身平面内的性质，因此也是计算假定。

在水平荷载作用下，楼板相当于一个水平放置的梁，它具有有限刚度，会有水平方向的弯曲变形（楼板平面内），称为弹性楼板。在弹性楼板假定下，在同一楼板平面内的杆件两端有相对位移，节点的计算自由度（或未知量）都是独立的。

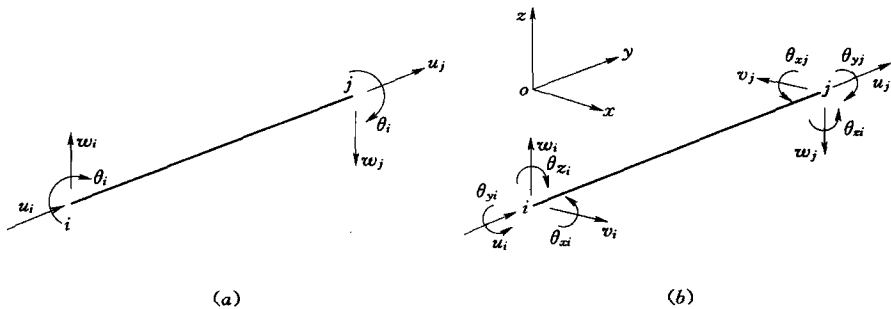


图 1.1 平面杆件与空间杆件

(a) 平面杆件; (b) 空间杆件

为了简化计算,通常把楼板看成在平面内无限刚性,楼板在其自身平面内没有任何变形,就称为刚性楼板假定。由于这个假定,在同一楼板平面内的杆件没有相对位移,即平移自由度不独立,可大大减少计算未知量。由于通常房屋的面积很大,楼板实际变形很小,这种假定是符合实际的。刚性楼板又有以下两种情况(见图 1.2):

- (1) 楼板只能在其平面内发生刚体平移,即每个楼层平面只有 1 个自由度 x (或 y)。
- (2) 楼板在其平面内发生刚体转动,即在每个楼层平面有 3 个自由度 x 、 y 、 θ 。

通常都同时假定在水平荷载作用下,楼板平面外没有刚度。

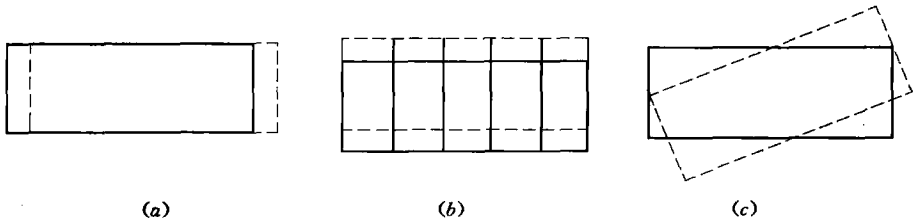


图 1.2 楼板平面内无限刚性假定

(a) 楼板 x 方向平移; (b) 楼板 y 方向平移; (c) 楼板 x 、 y 方向平移及绕 z 轴转动

3. 杆件的刚度

杆件具有轴向、弯曲、剪切和扭转刚度,对应于杆件的轴向、弯曲、剪切和扭转变形及相应内力,计算时必须输入杆件的有关刚度。

1.2.2 计算高层建筑结构的基本计算类型及适用范围

根据所采用的基本假定,计算高层建筑结构的程序大体上可分为四大类,其适用范围亦不相同。

1. 平面协同计算

平面协同计算采用平面结构假定、楼板平面内无限刚性假定,且楼板只能平移。构件为平面杆件,每个节点有 3 个自由度,两端为 6 个自由度,其单元刚度方程为 6×6 矩阵,即

$$[k]^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12i}{l^2} & -\frac{6i}{l} & 0 & -\frac{12i}{l^2} & -\frac{6i}{l} \\ 0 & -\frac{6i}{l} & 4i & 0 & \frac{6i}{l} & 2i \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12i}{l^2} & \frac{6i}{l} & 0 & \frac{12i}{l^2} & \frac{6i}{l} \\ 0 & -\frac{6i}{l} & 2i & 0 & \frac{6i}{l} & 4i \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

其中 $i = \frac{EI}{l}$

式中 i ——单元线刚度；

l ——杆件长度。

根据平面结构假定，将结构拆分为若干个平面结构，只考虑与水平荷载方向一致的平面结构共同抵抗水平荷载，它们通过楼板联系成整体结构，这些平面结构在同一楼层具有相同的侧移，即在水平荷载作用方向每个楼层只有一个侧移未知量，结构没有扭转，因此有 n 个楼层，就有 n 个基本未知量，如图 1.2 (a)、(b) 所示。两个方向的平面结构各自独立，分别计算。

这种方法与近似的手算方法类似，与荷载作用方向相垂直的杆件不受力。虽然它比手算方法略为精确一些，但是它不考虑扭转，不能计算平面复杂的结构，因此，这种简化较大的计算方法在工程设计中已基本不采用。

2. 空间协同计算

空间协同计算采用平面结构假定、楼板平面内无限刚性假定，楼板有扭转角，每个楼层有 3 个自由度。

与平面协同计算相同，空间协同计算将结构分为若干个平面子结构，杆件单元刚度矩阵同式 (1.3)。

空间协同计算的计算方法与平面协同计算的计算方法基本相同，不同之处在于空间协同计算时每个楼层有 3 个自由度，若有 n 个楼层，就有 $3n$ 个基本未知量。当第 j 个楼层有刚体位移 u_j 、 v_j 、 θ_j 时，坐标原点 o 点位移至 o' 点，且扭转一个角度，如图 1.3 所示，由几何关系可以得到各子结构 s 在该楼层的位移值如下（注意正负方向）：

$$\left. \begin{aligned} u_j^s &= u_j - y_s \theta_j \\ v_j^s &= v_j + x_s \theta_j \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

空间协同计算可以计算不对称结构，也可以计算结构扭转，因此比平面协同计算方法

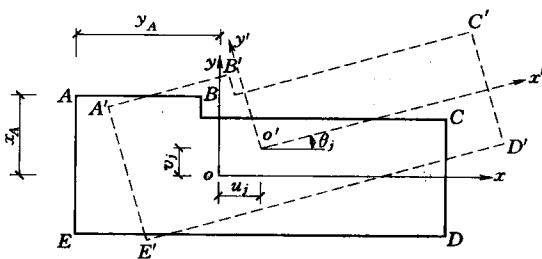


图 1.3 平面结构空间协同分析

的适用面更广。但是,由于空间协同计算采用了平面结构假定,必须把结构分解成许多榀平面结构,相互垂直的各个平面结构即使相交也互相独立,与水平荷载方向垂直的平面结构只参与抗扭,因此只在结构允许划分成平面结构时才可以应用该计算方法。

实际上,在许多情况下,结构无法分成明确的一个个平面,如果一定要分成平面结构,各平面结构相交处的竖向位移不相同,会造成计算误差。图 1.4 中的结构都不能做平面结构假定。以平面为三角形的结构为例,如果将三角形的 3 个边框架分成①、②、③三榀平面框架,则 A、B、C 三根柱子将各有 2 个不同的竖向位移,造成结构不连续,与实际不符合,计算结果误差较大。因此,在计算机能力极速发展的今天,这类结构完全可以采用更为精确的方法进行计算。下面将要介绍的空间结构计算方法,已成为目前在高层建筑结构计算中应用的主要方法。

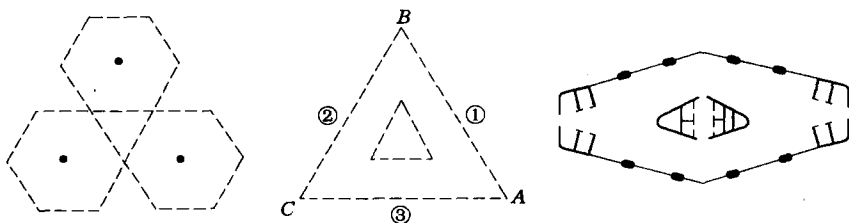


图 1.4 空间结构平面

3. 空间结构计算

空间结构计算(楼板平面内无限刚性)的杆件为空间杆件,每个节点有 6 个自由度,两端共有 12 个杆端位移及内力,构件单元刚度矩阵为 12×12 阶,其刚度矩阵如式(1.5a)所示。

由于假定楼板平面内无限刚性,每个楼层只有 3 个自由度(u 、 v 、 θ),梁、柱的独立自由度都减少,可大大减少计算自由度及未知量。

空间结构计算与空间协同计算不同,空间结构是整体计算的,凡是相交的各个杆件都互相关联,由于要求节点位移连续,在水平荷载作用下无论哪个方向的杆件在节点变形必须一致,杆端竖向位移也必须协调。不过,由于刚性楼板假定,在楼板平面内的杆件两端仍然没有相对位移,无法计算这些杆件的轴向变形和内力。

应当说明的是,在大多数建筑结构中,楼板平面内无限刚性假定是符合实际的,计算结果的误差很小,楼板平面内梁的轴向力也很小,可以忽略。这种空间结构计算应用十分广泛,基本符合实际,可以满足工程需要。只在以下两种情况下需要考虑更精确的弹性楼板假定的计算方法:

(1) 结构平面布置狭长,或因楼板开洞、局部凸出造成楼板有狭长部分,在水平荷载下楼板作为水平梁会有较大变形,如图 1.5 所示,这时必须采用弹性楼板假定进行计算。

(2) 结构中有转换层或有伸臂结构,必须得到转换层或伸臂结构上、下弦杆轴向力,而上、下弦杆都在楼板平面内,忽略其轴向变形将造成较大误差。对于这种情况,一种方法是不采用楼板平面内无限刚性假定,按完全空间结构进行计算,此时计算工作量将大大增加;另一种方法是在采用空间结构计算方法作整体计算后,再采用局部计算方法对转换层或伸臂结构做补充计算。

式中 $\bar{i}_y, \bar{i}_z$ ——杆件截面绕 y 轴、 z 轴的线刚度。

式中 $\bar{i}_y, \bar{i}_z$ ——杆件截面绕 y 轴、 z 轴的线刚度。

如果考虑剪切变形, $\overline{i}_y$ 、 $\overline{i}_z$ 的表达式如下:

$$\overline{i}_y = \frac{EI_y}{(1 + \beta_y)l} \quad (1.5b)$$

其中

$$\overline{i}_z = \frac{EI_z}{(1 + \beta_z)l} \quad (1.5c)$$

$$\beta_y = \frac{12\mu EI_y}{GA l^2}$$

$$\beta_z = \frac{12\mu EI_z}{GA l^2}$$

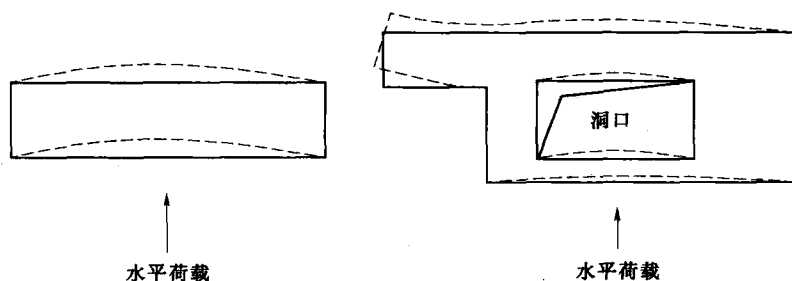


图 1.5 变形较大的楼板平面

4. 完全空间结构计算

完全空间结构计算(弹性楼板假定)的空间杆件,每个节点有独立的6个自由度,楼板在其平面内有变形。这种计算方法既可以得到梁、柱构件的所有变形和内力,又可以计算结构扭转和楼板变形,是相对更为精确的一种计算方法。但是,采用这种方法使计算自由度及未知量大大增加,因此这种计算方法并不是在所有商用程序中都有。

上述四类计算由简到繁,相对精确度也随之提高。但是在选择计算方法及计算程序时,不是愈精确愈好,精确是相对的,由于杆件有限元方法本身的局限,又对构件刚域及剪力墙都作了很多假定,即便是完全空间结构计算也不是绝对精确的,不可能没有误差。因此,在选择程序时,要看需要和可能,要看结构的实际情况,要看简化带来的误差多大、所花的代价是否值得。例如,楼板平面内无限刚性假定可以符合大多数高层建筑的实际情况,因此,凡是用空间结构计算可以满足要求时,建议采用空间结构计算,以减少计算工作量,而且可选择的计算程序也较多;又如,当建筑高度不大,平面布置符合平面结构假定时,采用空间协同计算也是很好的。

随着技术的进步,计算机的更新换代,计算技术、方法和程序也在日渐发展变化,例如,在20世纪80年代,高层建筑结构计算程序以空间协同计算为主,考虑楼板变形的计算程序根本不可能实现;进入20世纪90年代后,空间结构计算程序普遍代替了空间协同计算,除了一些简单规则的单层及多层建筑仍然采用平面或空间协同计算外,高层建筑结构的计算以假定楼板平面内无限刚性的空间结构计算方法为主,在需要时,复杂结构可以采用考虑楼板变形的完全空间结构计算程序进行分析。

1.3 分析模型的建立与使用

1.3.1 选取合理的单元模型

高层建筑是三维空间结构,构件类型多、数量大,受力复杂,而结构计算分析程序都有其适用条件,若使用不当,可能导致结构设计的不安全或是浪费。因此,进行结构分析时应结合结构的实际情况和所采用的计算分析程序的力学模型要求,对结构进行力学上的适当简化处理,使其既能比较正确地反映结构的受力性能,又能适应于所选用的计算分析程序的力学模型,从根本上保证分析结果的可靠性。

从目前广泛应用的一些分析程序来看,一般都是空间三维分析程序,以前采用的平面程序和空间协同程序在高层建筑结构的分析中已较少采用。计算分析程序一般都是建立在一个有限元分析内核上的,对不同的构件采用不同的单元。一般的分析程序,其梁、柱采用前面介绍的单元,两端点各有6个自由度,既可以描述构件的拉压和双向弯曲的性能,还可以反映单元的剪切变形,该单元比较成熟,各程序的差别不大。

对于剪力墙单元,目前各程序有较大差别,既有从杆系结构出发进行改进的薄壁杆件模型,也有从壳元出发的模型。

薄壁杆件模型是将连在一起的几个墙肢看作一个薄壁杆,除具备一般梁柱单元的6个自由度外,每端增加1个翘曲自由度,描述端截面不是平截面变形的情况。薄壁杆件模型在薄壁柱较高、沿竖向截面形式变化不大的情况下,精度是较高的,但在低矮的墙体分析中不够准确,对墙体沿高度变化的情况,如框支结构,在连接点不能保证各节点协调,传力不够准确。

基于壳元的剪力墙模型是近年来开发的有限元模型,为保证墙与梁、柱连接时转角的协调,专门增加了节点转角自由度,描述墙体受力情况比较准确,但计算量较大,结果会受单元划分质量的影响。如果因开洞等原因造成细长单元,计算精度会受影响。如果是人工划分单元,要注意单元划分时最长边与短边的比不宜大于3;如果是程序自动划分单元,应注意检查单元划分的情况。

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)第5.1.12条要求:对于体型复杂、结构布置复杂的高层建筑,应采用至少两个不同力学模型的结构分析程序进行整体计算,以保证力学分析的可靠性。

1.3.2 正确确定计算参数

所谓计算参数,是指进行结构计算分析时,与计算分析方法、计算分析模型相关的参数,包括几何参数、物理参数以及对所采用计算模型所得计算结果的修正系数等。下面主要讨论采用线弹性方法分析结构时,与结构整体分析和构件计算内力调整有关的计算参数。

1. 连梁刚度折减

在承载能力极限状态和正常使用极限状态设计中,高层建筑结构构件均采用弹性刚度参与整体分析。但框架-剪力墙或剪力墙结构中的连梁刚度相对墙体刚度较小,而承受的

弯矩和剪力往往较大,截面配筋设计困难。因此,抗震设计时,可考虑在不影响其承受竖向荷载能力的前提下,允许其适当开裂(降低刚度)而把内力转移到墙体上。通常,抗震设防烈度低时,连梁刚度可少折减一些(6、7度时可取0.7);抗震设防烈度高时,连梁刚度可多折减一些(8、9度时可取0.5)。连梁刚度折减系数不宜小于0.5,以保证连梁承受竖向荷载的能力和正常使用极限状态的性能。

在进行风荷载等非地震荷载作用下结构承载力设计和位移计算时,不应进行连梁刚度折减。

对框架-剪力墙结构中一端与柱连接、一端与墙连接的梁以及剪力墙结构中的某些连梁,如果跨高比较大(如跨高比大于5)、重力作用效应比水平风荷载或水平地震作用效应更为明显,此时应慎重考虑连梁刚度的折减,折减幅度不宜过大;必要时可不进行连梁刚度折减,以控制正常使用阶段梁裂缝的发生和发展。

2. 现浇楼板的面外刚度

高层建筑一般采用现浇楼面或装配整体式楼面,楼板作为梁的有效翼缘形成T形或I形截面梁,提高了楼面梁的刚度,从而也提高了结构整体的侧向刚度,因此结构整体计算时应予考虑。作为梁翼缘的楼板宽度取值,与楼板的厚度、跨度、边界条件以及配筋构造有关,一般梁每侧翼缘宽度可取为楼板厚度的6倍左右。当近似以梁刚度放大系数考虑时,应根据梁翼缘尺寸与梁截面尺寸的比例予以确定。通常,现浇楼面的边框梁的刚度放大系数可取1.5,中框架梁的可取2.0;有现浇面层的装配式楼面梁的刚度放大系数可适当减小。当框架梁截面较小而楼板较厚或者梁截面较大而楼板较薄时,梁刚度放大系数可能会超出1.5~2.0的范围。

一般情况下,现浇楼板作为楼面梁的有效翼缘,仅在结构整体计算时和正常使用极限状态时考虑,在承载力极限状态时往往不予考虑,而作为结构的安全储备。

提示:一般高层建筑结构的计算往往不必整体考虑楼板的面外刚度,以免过高地估计结构的整体刚度。事实上,一般结构的楼板厚度相对于楼面梁是比较小的,其面外刚度对结构的整体刚度贡献不能估计过高。

当结构整体计算模型中考虑了现浇楼板的面外刚度时,梁单元计算中不应再考虑额外的刚度增大。

对于无现浇面层的装配式结构,虽然有现浇板缝等构造做法,楼板在一定程度上也可起到梁的翼缘作用,但作用效果有限,且不同的构造做法差异较大,因此整体计算时可不考虑楼面翼缘的刚度贡献。

3. 框架梁弯矩调幅

工程设计中,在竖向荷载作用下,框架梁端负弯矩往往很大,配筋困难,不便于施工;同时,超静定钢筋混凝土结构在达到承载力极限状态之前,总会产生不同程度的塑性内力重分布,其最终内力分布取决于构件的截面设计情况和节点构造情况。因此,允许主动考虑塑性变形内力重分布对梁端负弯矩进行适当调幅,达到调整配筋分布、节约材料、方便施工的目的。但是钢筋混凝土构件的塑性变形能力总体上是有限的,其塑性转动能力与梁端节点的配筋构造设计密切相关,为保证正常使用状态下的性能和结构安全,梁端弯矩调幅的幅度必须加以限制。一般情况下,装配整体式框架梁端负弯矩调幅系数可取

为 $0.7 \sim 0.8$ ，现浇框架梁端负弯矩调幅系数可取为 $0.8 \sim 0.9$ 。同时，框架梁端负弯矩减小后，梁跨中弯矩应按平衡条件相应增大。

截面设计时，为保证框架梁跨中截面底部钢筋不至于过少，其正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩之半。

计算截面设计内力时，应先对竖向荷载作用下框架梁的弯矩进行调幅，再与水平作用产生的框架梁弯矩进行组合，即仅对竖向荷载产生的弯矩进行梁端弯矩调幅，其余荷载或作用产生的弯矩不调幅，以保证梁正截面抗弯设计的安全度。

4. 楼面梁的扭矩

高层建筑结构楼面梁受楼板（有时还有次梁）的约束作用，无约束的独立梁极少，其受力性能与无楼板的独立梁完全不同。当结构计算中未考虑楼盖对梁扭转的约束作用时，梁的扭转变形和扭矩计算值过大，往往与实际不符，造成抗扭截面设计比较困难，因此可对梁的计算扭矩予以适当折减。计算分析表明，梁的扭矩折减系数与楼盖（楼板和梁）的约束作用和梁的位置密切相关，边梁、中梁、有次梁支承或无次梁支承等的梁扭矩折减系数的变化幅度较大，其取值范围为 $0 \sim 1.0$ 。因此，应根据具体情况确定楼面梁的扭矩折减。考虑到问题的复杂性，相关规程并未给出确定的梁扭矩折减系数值，而由设计人员根据具体情况合理确定。在没有充分计算依据或参考依据的情况下，建议梁的扭矩折减系数不宜小于 0.4 ，以避免抗扭强度不足而造成裂缝等工程事故。

1.3.3 计算简图处理

结构计算简图应根据结构的实际形状和尺寸、构件的连接构造、支承条件和边界条件以及构件的受力和变形特点等合理地确定，既要符合工程实际，又要抓住主要矛盾和矛盾的主要方面，弃繁就简，满足工程设计精度要求，保证设计安全。计算简图的确定是结构分析的基础，是工程设计不可或缺的一个阶段。

1. 构件偏心

实际工程中往往存在以下三种构件偏心：

- (1) 柱变截面处上柱齐下柱一边或两边造成上、下柱偏心，边柱和角柱常常如此。
- (2) 剪力墙上、下形状不同或变截面造成的偏心。
- (3) 楼面梁布置与柱形心不重合造成梁、柱偏心。

上述构件偏心，对结构构件的内力与位移计算结果会产生不利影响，计算中应加以考虑。楼面梁与柱子的偏心一般可按实际情况参与整体计算；当偏心不大时，也可采用柱端附加偏心弯矩的方法予以近似考虑。

2. 密肋楼盖和无梁楼盖

密肋楼盖和无梁楼盖宜按实际情况参与整体计算。无梁楼盖必须考虑其面外刚度，因此宜选用可考虑楼盖面外刚度的程序进行计算。

当密肋梁较多时，如果程序的计算容量有限，也可采用简化方法计算，此时可将密肋梁均匀等效为柱上框架梁参与整体计算。等效框架梁的截面宽度可取被等效的密肋梁截面宽度之和，等效框架梁的截面高度可取被等效的密肋梁的截面高度，钢筋混凝土构件的计算配筋可均匀分配给各密肋梁。