

多层及高层房屋结构设计

下册

DUO CENG JI GAO CENG FANG WU JIE GOU SHE JI



多层及高层房屋结构设计

(下 册)

同济大学《多层及高层房屋结构设计》编写组编

上海科学技术出版社

多层及高层房屋结构设计

(下 册)

同济大学《多层及高层房屋结构设计》编写组编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 418,000

1982 年 9 月第 1 版 1982 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1-41,100

统一书号: 15119·2201 定价: (科四) 1.65 元

内 容 提 要

本书分上、下两册出版。上册主要介绍多层框架体系的结构计算和结构构造。下册主要介绍高层房屋结构体系的结构计算、结构构造和基础设计等内容,包括框架-剪力墙体系、剪力墙体系的内力、位移计算,壁式框架的D值法解和考虑空间协同工作的源程序,剪力墙的结构设计与构造,条基、箱基和片筏基础的设计计算等九章。

本书可作为高校工业与民用建筑专业教学参考书,也可供建筑结构设计人员参考。

目 录

第十章 框架-剪力墙体系的内力和位移计算	1
第一节 基本假定和计算简图	1
第二节 总框架、总剪力墙和总连系梁的内力与位移的微分关系	4
第三节 框架-剪力墙体系的微分方程及内力、位移计算	15
第四节 剪力墙基础产生转动时的内力和位移计算	40
第五节 几个问题的讨论	44
第十一章 剪力墙体系的内力和位移计算	62
第一节 概述	62
第二节 整体墙和小开口整体墙的计算	63
第三节 双肢剪力墙的计算	66
第四节 多肢剪力墙的计算	73
第五节 剪力墙分类的判别式	78
第十二章 壁式框架在水平荷载作用下的近似计算(D 值法)	82
第一节 壁式框架的计算简图	82
第二节 用 D 值法计算壁式框架	83
第三节 小结及例题	88
第十三章 结构受扭时抗侧力结构的近似计算	102
第一节 刚度中心	102
第二节 抗侧力结构沿 x 、 y 方向布置时的水平荷载分配	104
第三节 抗侧力结构任意方向布置时的水平荷载分配	106
第四节 小结	110
第十四章 壁式框架体系在水平荷载作用下考虑空间协同工作的内力计算	112
第一节 结构空间协同工作的基本假定、整体位移和局部位移	112
第二节 空间协同工作平衡方程的建立	113
第三节 刚度矩阵	115
第四节 协调方程	117
第五节 小结	118
第十五章 壁式框架体系考虑空间协同工作的算法语言程序	119
第一节 概述	119
第二节 程序使用方法	123
第三节 程序过程说明与总框图	138
第四节 主要标识符说明和源程序	148
第十六章 剪力墙的截面计算与结构构造	171
第一节 剪力墙墙肢的截面强度计算	171
第二节 连系梁截面的强度计算	180
第三节 剪力墙墙肢和连系梁的构造要求	180
第四节 框架-剪力墙结构中周边有梁柱的现浇剪力墙	181

第五节	墙体与楼板、墙体与墙体之间的连接构造	182
第六节	楼面的构造要求	187
第十七章	条形基础计算	188
第一节	概述	188
第二节	倒梁法	188
第三节	地基系数法	191
第四节	有限差分法	218
第五节	链杆法	225
第六节	交叉条形基础	236
第七节	条形基础的结构构造及设计	240
第十八章	片筏基础和箱形基础计算	244
第一节	概述	244
第二节	片筏基础计算	245
第三节	箱形基础计算	264

第十章 框架-剪力墙体系的内力和位移计算

第一节 基本假定和计算简图

框架-剪力墙体系在水平荷载作用下的计算是一个高次超静定的空间问题。为了使计算简化,常把它作为平面结构来计算,即把各榀剪力墙和框架视作只能在自身平面内受力的竖向平面结构,并由这些竖向平面结构共同承担水平荷载。如果结构不发生扭转且所有竖向平面结构具有相同的抗侧力特性,例如全部为框架,则水平荷载在各竖向平面结构间的分配就比较简单,可直接根据其刚度按比例分配。但是在框架-剪力墙体系中(图 10-1-1),由于框架和剪力墙的抗侧力特性不同,荷载分配就要复杂得多。本章主要讨论这个问题。剪力墙体系在水平荷载作用下的计算,可作为框架-剪力墙体系的一个特例,在下章讨论。

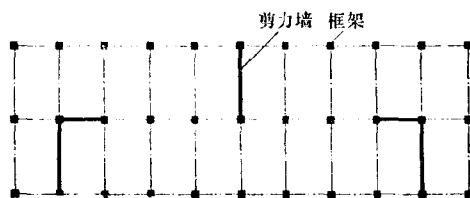


图 10-1-1

框架-剪力墙体系的竖向平面结构,一般由框架、剪力墙和连系梁三部分组成,并由楼盖在楼层处将它们联系起来(图 10-1-2a)。其中连系梁是指两端均与剪力墙连接的梁或一端与剪力墙、另一端与框架连接的梁。如果梁的两端均为框架,那就是框架梁,不是连系梁。

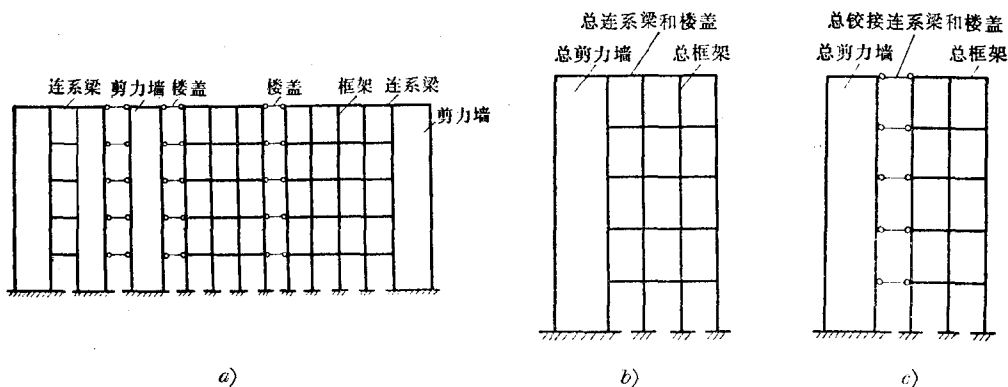


图 10-1-2

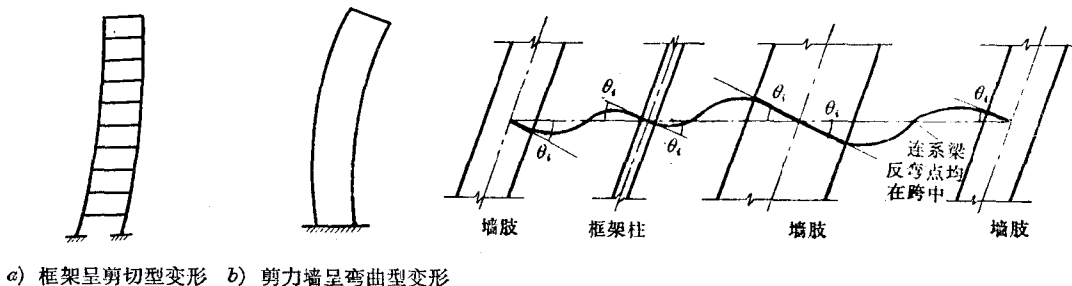


图 10-1-3

图 10-1-4

为了进一步简化框架-剪力墙体系在水平荷载作用下的内力和位移计算,可采用下列基本假定:

1. 不考虑整个结构绕竖轴的扭转。
2. 框架的变形呈剪切型(图 10-1-3a),只计入边柱轴向变形的影响;剪力墙的变形则呈弯曲型(图 10-1-3b),并考虑墙肢的剪切变形,同样也只计入边剪力墙的轴向变形影响。
3. 楼盖在其自身平面内刚度很大,变形可以忽略不计。
4. 所有连系梁两端的转角都相同,反弯点在连系梁的中点^①(图 10-1-4),并忽略连系梁轴向变形的影响。

根据基本假定 1、2 和 3,可把同一结构单元内的所有框架合并成总框架,并取其刚度等于所有框架刚度之总和;所有剪力墙也合并成总剪力墙,其刚度也为所有剪力墙刚度的总和;楼板则用水平铰结刚性链杆代替,使框架和剪力墙在同一楼层标高处具有相等的水平位移。根据基本假定 4,各层连系梁也可合并成一总连系梁,并取其刚度总和。这样,即可得到图 10-1-2b 所示的简图。在简图中,连接总框架和总剪力墙的链杆代表两部分,一部分为楼盖,另一部分为总连系梁。由于连系梁不仅具有对水平位移的约束,还具有对转动的约束,因此该链杆可作为水平刚结链杆处理,其抗弯刚度即为同层连系梁抗弯刚度之总和。当连系梁抗弯刚度较小时,它对转动的约束常可忽略不计,这时也可作为铰结刚性链杆处理(图 10-1-2c)。

以上得出的简图仍是一个多次超静定的平面结构。它的计算通常有两类方法,一类是用用法或位移法借电子计算机计算;另一类是通过进一步假定以得到适用于手算的实用算法。本章介绍的连续栅片法就属于后一类。

连续栅片法是沿结构的竖向采用连续化假定,即把链杆作为连续栅片。这个假定使总剪力墙与总框架不仅在每一楼层标高处具有相同的变形,而且沿整个高度都有相同的变形,从而使计算简化到能用二阶微分方程来求解。当层高相等且楼层数目较多时,这个假定不会带来很大的误差。

图 10-1-5a 表示一框架-剪力墙体系。当采用连续栅片代替链杆后,各链杆作用在总剪力墙与总框架间的集中力,集中力矩和剪力就成为连续分布力 q_f 、线力矩 m 和连续分布剪力,如图 10-1-5b 所示(连续分布剪力未在图中画出)。因此总剪力墙可视作下端固定、上端自由并承受水平荷载 q 以及框架、连系梁的弹性反力 q_f 、线力矩 m 的一个悬臂梁进行计算;总框架则承受 q_f ^②。图 10-1-5b 中分别绘出了总剪力墙和总框架的计算简图。

图 10-1-6 表示所采用的坐标系统及内力正负号的规定,图中所示内力均为正号。

由图 10-1-5c 所示的框架-剪力墙体系的计算简图,可建立下列静力平衡方程。

$$M_p = M_w + M \quad (10-1-1)$$

$$Q_p = Q_w + Q_f \quad (10-1-2)$$

$$q = q_w + q_f \quad (10-1-3)$$

① 国内曾做过一系列光弹性模型试验,都得到相同的结论。对于两个墙肢宽度之比为 1:4 的十层偏门洞的光弹性模型试验,反弯点也在梁中。国外曾做过墙肢宽度比为 1:15 的模型试验,也得出同样结论。

② 从理论上说,总框架还应承受与它连接的刚结连系梁传来的力矩。为了简化计算,这里假定这个力矩也作用在总剪力墙上。

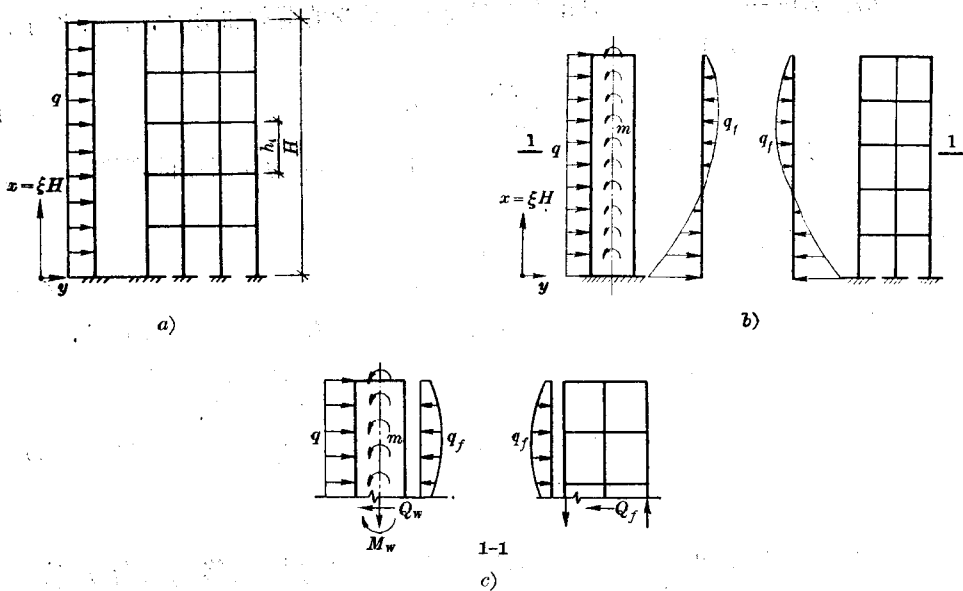


图 10-1-5

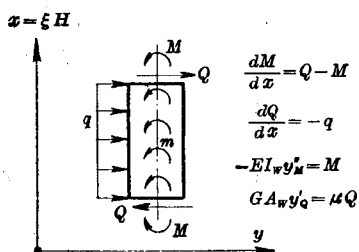


图 10-1-6

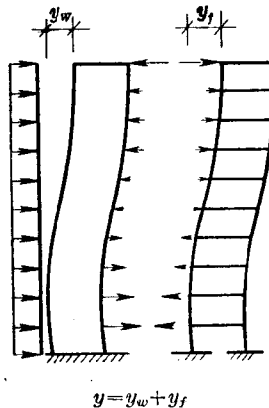


图 10-1-7

式中: q 、 Q_p 、 M_p ——分别为作用于框架-剪力墙体系 1-1 截面上的水平外荷载和由外荷载引起的剪力和弯矩。根据所采用的坐标系, 它们之间有以下关系

$$\frac{dM_p}{dx} = Q_p \quad (10-1-4)$$

$$\frac{d^2 M_p}{dx^2} = \frac{dQ_p}{dx} = -q \quad (10-1-5)$$

q_w 、 Q_w 、 M_w ——分别为总剪力墙在 1-1 截面上所承受的荷载、剪力和弯矩。根据总剪力墙的计算简图, 它们之间有以下关系:

$$\frac{dM_w}{dx} = Q_w - m \quad (10-1-6)$$

$$\frac{dQ_w}{dx} = -q_w \quad (10-1-7)$$

$$\frac{d^2 M_w}{dx^2} = -q_w - \frac{dm}{dx} \quad (10-1-8)$$

q_f 、 Q_f ——分别为总框架在 1-1 截面上所承受的荷载和剪力。它们之间有以下关系:

$$\frac{dQ_f}{dx} = -q_f \quad (10-1-9)$$

M ——由框架-剪力墙体系 1-1 截面上的轴向力所组成的弯矩和框架柱所承受的弯矩的总和。

另外,由计算简图还可得出下列变形条件

$$y = y_w = y_f \quad (10-1-10)$$

式中: y 、 y_w 、 y_f ——分别为框架-剪力墙体系、总剪力墙和总框架的侧移曲线。

这就是说框架-剪力墙体系、总剪力墙和总框架三者具有相同的侧移曲线(图 10-1-7)。因此在下面的推导中,就不必再对三者加以区分,可以一律用 y 来表示。

为了能够利用上述各关系式解出框架-剪力墙体系的内力,还必须对图 10-1-5b 所示的总剪力墙和总框架的计算简图作进一步的分析。

第二节 总框架、总剪力墙和总连系梁的内力与位移的微分关系

一、总 框 架

(一)总框架在水平荷载作用下的内力和位移的关系——不考虑轴向变形的影响

在第七章用 D 值法求框架内力时,曾经引入一个 D 值。它的物理意义是使框架柱两端产生单位相对侧移时所需的剪力(图 10-2-1)。对第 i 层第 j 根柱来说,其 D_{ij} ① 为

$$D_{ij} = \begin{cases} \alpha_{ij} \frac{12i_{ij}}{h_{ij}^2} & (\text{一般框架}) \\ \alpha_{ij} \frac{12\bar{i}_{ij}}{h_{ij}^2} & (\text{壁式框架}) \end{cases} \quad (7-2-5) \quad (12-2-37)$$

式中符号及其含义均见第七章和第十二章所述。关于 D_{ij} 值的计算可应用第七章及第十二章的有关公式,这里不再详述。对总框架来说, D 值应为同一层内所有框架柱的 D_{ij} 的总和,即

$$D = \sum D_{ij} \quad (10-2-1)$$

设总框架的剪切刚度 C_f 为使总框架在楼层间产生单位剪切变形 $\phi=1$ 时所需的水平剪力(图 10-2-2),则有

$$C_f = Dh \quad (10-2-2)$$

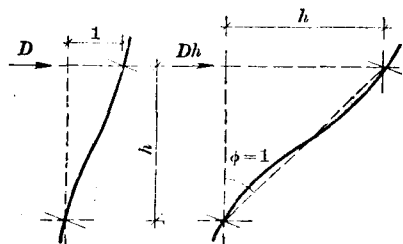


图 10-2-1

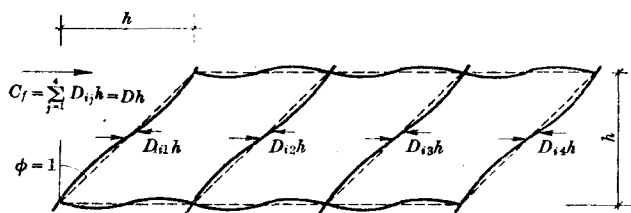


图 10-2-2

① 本章及下一章脚标 ij 的注法为, i 表示第 i 层, j 表示第 j 根,这个注法与一般书中采用的不一样,希予注意。

当各层 C_f 不相同, 计算中所用的 C_f 可近似地以各层的 C_{fi} 值按高度取其平均值, 即

$$C_f = \frac{C_{f1}h_1 + C_{f2}h_2 + \cdots + C_{fn}h_n}{h_1 + h_2 + \cdots + h_n} \quad (10-2-3)$$

这样, C_f 就成了与 x 无关的常数。

当为任意剪切变形 ϕ 时, 总框架所受的剪力为

$$Q_f = C_f \phi \quad (10-2-4)$$

由于沿结构的竖向采用连续化假定, 因此 ϕ 可近似地用

$$y'_0 = \frac{dy_0}{dx}$$

代替, y_0 为框架不考虑轴向变形时的侧移曲线。代入上式, 可得

$$Q_f = C_f y'_0 \quad (10-2-5)$$

因此总框架的荷载为

$$q_f = -\frac{dQ_f}{dx} = -C_f y''_0 \quad (10-2-6)$$

式(10-2-6)也可写成

$$y''_0 = -\frac{q_f}{C_f} \quad (10-2-7)$$

由式(10-2-7)可求得水平均布荷载作用下总框架的侧移为

$$y_0 = \frac{q_f x}{C_f} \left(H - \frac{x}{2} \right) \quad (10-2-8)$$

式中: H ——总框架的高度。

从上式可知总框架的侧移曲线和悬臂梁的挠度曲线不同(图 10-2-3), 其变形属剪切型, 曲率是负的。

(二) 轴向变形引起的内力和位移的关系

对框架-剪力墙体系的任一榀横向抗侧力结构来说, 边柱或边剪力墙的轴向力都远比中间的为大, 因此为了简化计算, 一般可只考虑边柱或边剪力墙轴向变形的影响。设第 k 榀横向抗侧力结构的边柱或边剪力墙有轴力 N_k (图 10-2-4), 则左、右边柱(墙)产生的相对竖向变位差 Δ_{Nk} 为

$$\Delta_{Nk} = \int_0^x N_k \left(\frac{1}{EA_{kLk}} + \frac{1}{EA_{kRk}} \right) dx \quad (10-2-9)$$

相应的转角 ϕ_{Nk} 为

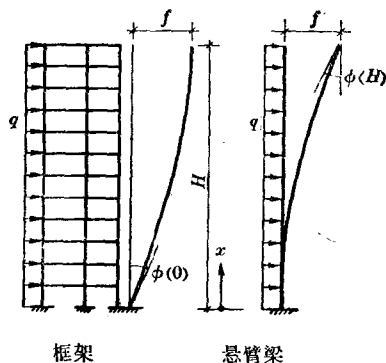


图 10-2-3

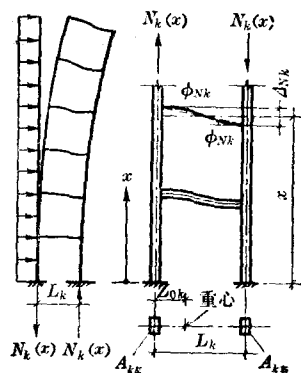


图 10-2-4

$$\phi_{Nk} = \frac{\Delta_{Nk}}{L_k} = \int_0^x \frac{N_k}{EI_k} \left(\frac{1}{A_{k左}} + \frac{1}{A_{k右}} \right) dx \quad (10-2-10)$$

式中: $A_{k左}$ 、 $A_{k右}$ ——第 k 榀横向抗侧力结构左、右边柱(墙)的截面积;

L_k ——第 k 榀横向抗侧力结构左边柱(墙)轴线到右边柱(墙)轴线间的距离。

若令 Z_{0k} 为把左、右边柱(墙)看作整体截面时的形心位置, 即

$$Z_{0k} = \frac{A_{k右} L_k}{A_{k左} + A_{k右}} \quad (10-2-11)$$

I_{0k} 为不考虑柱(墙)对自身形心轴的惯性矩时, 左、右边柱(墙)的整体惯性矩, 即

$$I_{0k} = A_{k左} Z_{0k}^2 + A_{k右} (L_k - Z_{0k})^2 = \frac{I_k^2}{\frac{1}{A_{k左}} + \frac{1}{A_{k右}}} \quad (10-2-12)$$

则式(10-2-10)可写成

$$y'_{Nk} = \phi_{Nk} = \int_0^x \frac{N_k L_k}{E I_{0k}} dx \quad (10-2-13)$$

对于每一榀横向抗侧力结构都可得到式(10-2-13)。假设所有的 y'_{Nk} 都是相同的, 都等于总体的 y'_N , 则可得

$$y'_N = \int_0^x \frac{\sum N_k L_k dx}{\sum E I_{0k}} \quad (10-2-14)$$

由式(10-1-1)可知, M 包括两部分, 一部分为框架柱的弯矩, 另一部分为轴向力所引起的弯矩。为了简化计算, 一般不计框架柱弯矩, 因此 M 即为轴向力引起的弯矩。这样, 由式(10-2-14)并注意到图 10-1-6 所示的符号规定, 可得

$$M = -\sum N_k L_k \quad (10-2-15)$$

若令

$$EI_0 = \sum E I_{0k} \quad (10-2-16)$$

则最后得

$$y'_N = -\int_0^x \frac{M}{EI_0} dx \quad (10-2-17)$$

及

$$y''_N = -\frac{M}{EI_0} \quad (10-2-18)$$

当各层的 EI_0 不相同时, 计算中所用的 EI_0 可近似地取各层的 EI_{0i} 按高度取平均值, 即

$$EI_0 = \frac{E_1 I_{01} h_1 + E_2 I_{02} h_2 + \cdots + E_n I_{0n} h_n}{h_1 + h_2 + \cdots + h_n} \quad (10-2-19)$$

这样, EI_0 就成了与 x 无关的常数。

由式(10-2-17)和(10-2-18)可知, 边柱(墙)轴向变形引起的角变位及曲率, 实际上相当于把左、右边柱(墙)看成一整体悬臂梁后, 由其弯矩引起的角变位及曲率。

(三)总框架的内力和位移的微分关系

考虑轴向变形影响后, 框架在水平荷载作用下的侧移应为:

$$y = y_Q + y_N \quad (10-2-20)$$

上式对 x 取导后得

$$y' = y'_Q + y'_N \quad (10-2-21)$$

$$y'' = y''_0 + y''_N \quad (10-2-22)$$

将式(10-2-5)、(10-2-17)和式(10-2-7)、(10-2-18)分别代入式(10-2-21)和(10-2-22),可得

$$y' = \frac{Q_f}{C_f} - \int_0^x \frac{M}{EI_0} dx \quad (10-2-23)$$

$$y'' = -\frac{q_f}{C_f} - \frac{M}{EI_0} \quad (10-2-24)$$

或

$$Q_f = C_f y' + C_f \int_0^x \frac{M}{EI_0} dx \quad (10-2-25)$$

$$q_f = -C_f y'' - \frac{C_f M}{EI_0} \quad (10-2-26)$$

当 q_f 为水平均布荷载时, 则有 $M = -0.5 q_f (H-x)^2$ 。代入式(10-2-24)并根据边界条件, $x=0$ 时:

$$y = 0$$

$$y' = \frac{q_f H}{C_f}$$

由此可得式(10-2-24)的解为

$$y = \frac{q_f H^2}{C_f} \left(\frac{x}{H} - \frac{1}{2} \frac{x^2}{H^2} \right) + \frac{q_f H^4}{EI_0} \left(\frac{1}{4} \frac{x^2}{H^2} - \frac{1}{6} \frac{x^3}{H^3} + \frac{1}{24} \frac{x^4}{H^4} \right) \quad (10-2-27)$$

将 $x=H$ 代入上式即得总框架的顶点位移 f :

$$f = \frac{q_f H^2}{2C_f} + \frac{q_f H^4}{8EI_0} = \frac{q_f H^2}{2C_f} \left(1 + \frac{\lambda_f^2}{4} \right) \quad (10-2-28)$$

式中: λ_f ——考虑柱子轴向变形影响时的框架刚度特征值,按下式计算。

$$\lambda_f = H \sqrt{\frac{C_f}{EI_0}} \quad (10-2-29)$$

式(10-2-27)和(10-2-28)的第一项即为不考虑轴向变形时的位移;它呈剪切型变形,柱上反弯点在各层柱中。第二项为轴向变形引起的位移,呈弯曲型变形,柱上无反弯点。显然当 λ_f 较小、即房屋的宽度 b 与高度 H 的比值 $\frac{b}{H}$ 较大时,第二项的数值相应减少,框架的变形以剪切型为主。一般当 $\lambda_f < 0.6$ 时,柱轴向变形对框架位移的影响不大,其值不超过第一项引起的位移的 10%。当房屋宽高比 $\frac{b}{H} \geq \frac{1}{4}$ 时,柱轴向变形引起的位移不到第一项引起的位移的 10~20%。

二、总剪力墙和总连系梁

(一)总连系梁

1. 总连系梁的刚度系数 C_L

由于连系梁进入墙的部分刚度很大,可视为无穷大,因此连系梁应作为带刚域的梁进行分析(图 10-2-5a),关于带刚域杆件考虑剪切变形的分析将在第十二章中讨论,这里先应用其结果。

根据第一节中的基本假定 4, 连系梁两端的转角 θ 应相同。由第十二章式(12-2-33)和

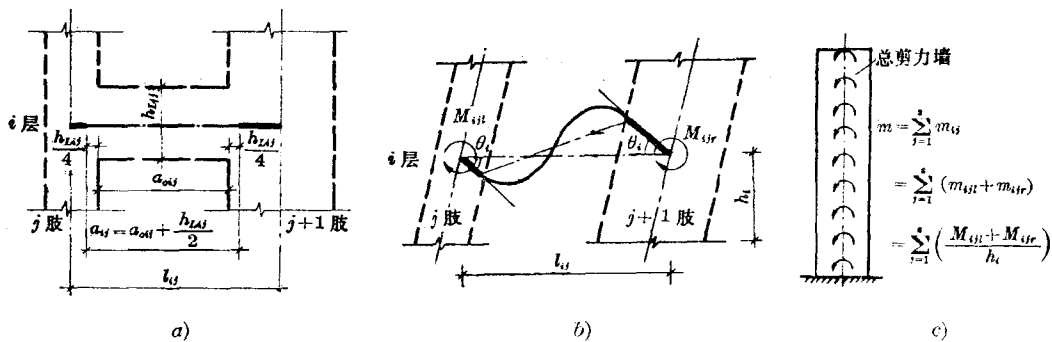


图 10-2-5

(12-2-34)可得第 i 层第 j 根连系梁(图 10-2-5b)的左端弯矩 M_{ijl} 和右端弯矩 M_{ijr} 分别为

$$M_{ijl} = \frac{6EI_{Lij}}{l_{ij}} d_{ijl} \theta \quad (10-2-30)$$

$$M_{ijr} = \frac{6EI_{Lij}}{l_{ij}} d_{ijr} \theta \quad (10-2-31)$$

式中: I_{Lij} 、 l_{ij} ——第 i 层第 j 根连系梁的截面惯性矩和跨度;

d_{ijl} 、 d_{ijr} ——第 i 层第 j 根连系梁左、右端的刚度修正系数, 其值可根据第十二章的式 (12-2-25)、(12-2-27) 计算。

根据连续化的假定, 应将 M_{ijl} 和 M_{ijr} 化为沿层高均布的线弯矩 m_{ijl} 和 m_{ijr} , 其值为

$$m_{ijl} = \frac{M_{ijl}}{h_i} = \frac{6EI_{Lij}}{l_{ij}} \frac{d_{ijl}}{h_i} \theta$$

$$m_{ijr} = \frac{M_{ijr}}{h_i} = \frac{6EI_{Lij}}{l_{ij}} \frac{d_{ijr}}{h_i} \theta$$

以上两式也可写成

$$m_{ijl} = C_{ijl} \theta \quad (10-2-32)$$

$$m_{ijr} = C_{ijr} \theta \quad (10-2-33)$$

式中: C_{ijl} 、 C_{ijr} ——第 i 层第 j 根连系梁左端和右端的线约束弯矩系数, 由下式计算,

$$C_{ijl} = \frac{6EI_{Lij}}{l_{ij}} \frac{d_{ijl}}{h_i} \quad (10-2-34)$$

$$C_{ijr} = \frac{6EI_{Lij}}{l_{ij}} \frac{d_{ijr}}{h_i} \quad (10-2-35)$$

h_i ——第 i 层层高。

第 i 层第 j 根连系梁的总线约束弯矩 m_{ij} 应为左、右端线弯矩之和, 即

$$m_{ij} = m_{ijl} + m_{ijr} = (C_{ijl} + C_{ijr}) \theta \quad (10-2-36)$$

当同一层内有 S 根刚接连系梁时, 总连系梁的线约束弯矩应为

$$m = \sum_{j=1}^S m_{ij} = \sum_{j=1}^S (C_{ijl} + C_{ijr}) \theta \quad (10-2-37)$$

根据第一节中的基本假定 4 可知各连系梁的转角 θ 均应相等, 因此最后可得总连系梁的线约束弯矩为

$$m = C_L \theta \quad (10-2-38)$$

式中: C_L ——总连系梁的刚度系数

$$C_L = \sum_{j=1}^s (C_{ijl} + C_{ijr}) \quad (10-2-39)$$

需要指出,在总剪力墙上也受到一个相反方向的线约束弯矩 m 的作用,根据图 10-2-5b 可以看出线约束弯矩 m 应作用在总剪力墙的轴线上,如图 10-2-5c 所示。这样, C_L 的物理意义就是当 $\theta=1$ 时,总连系梁在总剪力墙轴线上产生的线约束弯矩。 C_L 愈大表示总连系梁的刚度愈大,对总剪力墙的约束作用也愈大。

当各层总连系梁的刚度系数不相同,计算中用的 C_L 可近似地以各层的 C_{Li} 按高度取平均值,即

$$C_L = \frac{C_{L1}h_1 + C_{L2}h_2 + \cdots + C_{Ln}h_n}{h_1 + h_2 + \cdots + h_n} \quad (10-2-40)$$

这样, C_L 就成了与 x 无关的常数。

2. 总连系梁的内力和位移的微分关系

在式(10-2-38)中,梁端转角 θ 一般由两部分组成。一部分为剪力墙弯曲和剪切变形所引起的 y'_M ①(图 10-2-6a),另一部分为轴向变形引起的 y'_N (图 10-2-6b),因此式(10-2-38)可写成

$$m = C_L y'_M - C_L y'_N \quad (10-2-41) \text{ ②}$$

式中 y'_N 前采用负号是因为 y'_N 为正时,引起的 m 为负。 y'_N 可由式(10-2-17)代入。这样,可得

$$m = C_L y'_M + C_L \int_0^x \frac{M}{EI_0} dx \quad (10-2-42)$$

$$m' = C_L y''_M + \frac{C_L M}{EI_0} \quad (10-2-43)$$

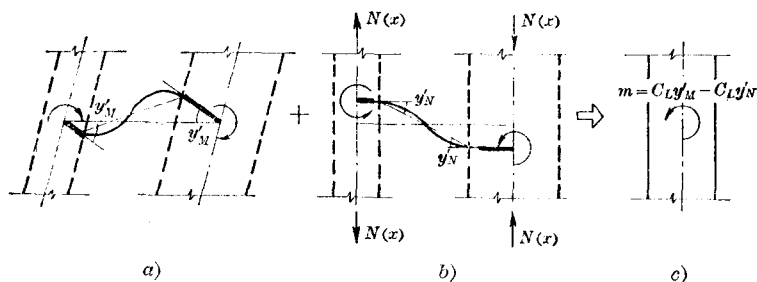


图 10-2-6

(二)总剪力墙

1. 总剪力墙的抗弯刚度 EI_w 和剪切刚度 $\frac{GA_w}{\mu}$

根据房屋的平面布置情况,剪力墙可以是实体的和带洞口的。本章所述方法主要适用于实体剪力墙。当带洞口的剪力墙符合下述条件时,经过处理,也可应用本章的计算方法。

(1) 开洞较小,当洞口系数 P 为:

① 由于剪力墙下端固定,用虚位移原理可以证明剪力墙的剪切变形并不产生剪力墙截面的转动,因此也不会引起连系梁梁端转角。

② 式(10-2-41)中, y'_N 项前的刚度系数不一定总是 C_L ,这里近似采用 C_L ,以简化公式的推导。

$$P = \sqrt{\frac{F_d}{F_0}} \leq 0.4 \quad (10-2-44)$$

且洞间净距及洞口至墙边的净距大于洞口长边尺寸时,可作为实体墙。

此时剪力墙的抗弯刚度 EI_w 应取有洞与无洞截面沿竖向的平均值,如各层的 E 不完全相等,还应考虑 E 的变化,即

$$EI_w = \frac{\sum EI_i h_{si}}{\sum h_{si}} \quad (10-2-45)$$

式(10-2-44)、(10-2-45)中: F_d ——总的洞口立面面积;

F_0 ——剪力墙的全立面面积,不扣除洞口面积;

h_{si} ——各段相应高度;

I_i ——竖向各段剪力墙的惯性矩,有洞口时,扣除洞口的影响。

剪力墙的截面积 A 和剪切刚度 (GA/μ) 应取无洞口削弱时的数值乘以洞口削弱系数 γ_0

$$\gamma_0 = 1 - 1.25P \quad (10-2-46)$$

剪切刚度中的 μ 为截面剪应力分布不均匀系数, G 为材料的剪切模量。

(2) 当 $P > 0.4$ 且洞口有规律地成列布置时,根据第一节的基本假定 2、3 和 4,可将其分解为各列(肢)剪力墙及连系梁^①,然后合并入总剪力墙及总连系梁。

总剪力墙的抗弯刚度 EI_w 和剪切刚度 $\frac{GA_w}{\mu}$ 即为同层内所有各列(肢)剪力墙的抗弯刚度和剪切刚度的总和,即

$$EI_w = \sum E_j I_j \quad (10-2-47)$$

$$\frac{GA_w}{\mu} = \sum \frac{G_j A_j}{\mu_j} \quad (10-2-48)$$

当各层的 EI_w 和 $\frac{GA_w}{\mu}$ 不相同,计算中所用的 EI_w 和 $\frac{GA_w}{\mu}$ 可近似地以各层的 $E_i I_i$ 和 $\frac{G_i A_i}{\mu_i}$ 按高度取其平均值,即

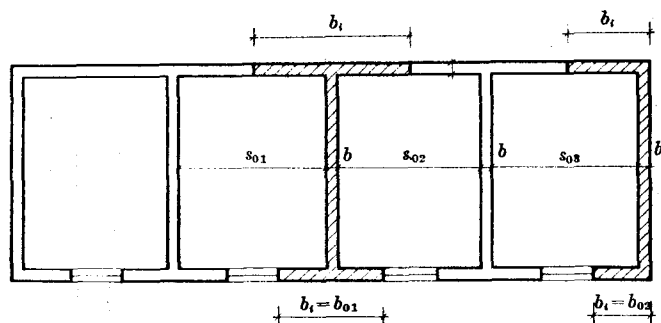
$$EI_w = \frac{E_1 I_1 h_1 + E_2 I_2 h_2 + \dots + E_n I_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (10-2-49)$$

$$\frac{GA_w}{\mu} = \frac{\frac{G_1 A_1}{\mu_1} h_1 + \frac{G_2 A_2}{\mu_2} h_2 + \dots + \frac{G_n A_n}{\mu_n} h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (10-2-50)$$

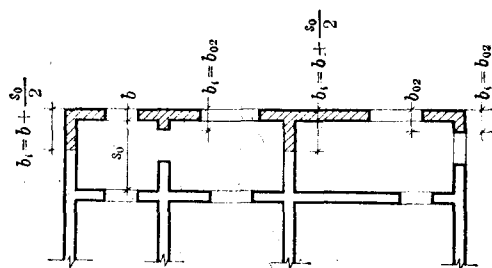
这样, EI_w 和 $\frac{GA_w}{\mu}$ 就成了与 x 无关的常数。

当纵横两个方向的剪力墙连在一起时(图 10-2-7),剪力墙的截面惯性矩和截面面积的计算应考虑纵横墙的共同工作。纵墙的一部分可作为横墙的有效翼缘;横墙的一部分也可作为纵墙的有效翼缘。现浇剪力墙翼缘的有效宽度 b_i 可按表 10-1 所列各项中的最小值取用;装配式整体剪力墙的翼缘有效宽度宜适当减小。

① 有些墙肢可能应分解为壁式框架柱而合并入总框架内。关于墙肢应作为剪力墙还是应作为壁式框架柱的判别条件,详见第十一章、第五节、二。



a) 纵墙作为横墙的翼缘



b) 横墙作为纵墙的翼缘

图 10-2-7

剪力墙翼缘的有效宽度 b_1

表 10-1

项 次	所 考 虑 的 情 况	T 形截面翼缘有效宽度	L 形截面翼缘有效宽度
1	按剪力墙间距 s_0 考虑	$\left(b + \frac{s_{01}}{2} + \frac{s_{02}}{2}\right)\varphi$	$\left(b + \frac{s_{02}}{2}\right)\varphi$
2	按翼缘厚度 h_i 考虑	$b + 12h_i$	$b + 6h_i$
3	按门窗洞净距 b_0 考虑	$b_{01}\varphi$	$b_{02}\varphi$

表中, φ 为翼缘宽度修正系数, 按下式取值:

当 $a/H \leq 0.1$ 时 $\varphi = 1$

当 $a/H > 0.1$ 时 $\varphi = 1 - 2.4\left(\frac{a}{H}\right)^2$

式中: H ——剪力墙的高度;

a ——当按剪力墙间距 s_0 考虑时, 取此间距的一半; 当按门窗洞口净距 b_0 考虑时, 取 $a = \frac{b_{01}}{2}$ 或 b_{02} 。

2. 总剪力墙内力和位移的微分关系

当同时考虑弯曲变形和剪切变形时, 剪力墙的侧移 y (图 10-2-8) 应为

$$y = y_M + y_Q \quad (10-2-51)$$

式中: y_M 、 y_Q ——由弯曲应变和剪切应变产生的侧移。

将式 (10-2-51) 对 x 求导可得

$$y' = y'_M + y'_Q \quad (10-2-52)$$

$$y'' = y''_M + y''_Q \quad (10-2-53)$$

根据材料力学中的有关公式可得