

# 考虑翼缘抗剪的框筒结构简化分析

陈伯望<sup>1,2</sup> 沈蒲生<sup>1</sup> 王海波<sup>1,2</sup>

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2 湖南城市学院, 湖南 益阳 413000)

**摘 要:** 将框筒结构在侧向荷载作用下的楼层变形划分为剪切变形和弯曲变形, 用 D 值法对剪切变形及内力进行分析, 考虑了翼缘框架的剪切刚度的影响, 并对 D 值法进行了简化, 用等效连续体法对弯曲变形及内力进行分析, 分析了影响框筒结构剪力滞的主要因素. 通过与空间框架分析程序的比较表明, 该方法思路简单, 计算结果可满足工程需要, 可供初步设计使用.

**关键词:** 框筒结构; D 值法; 等效连续体; 剪力滞

**中图分类号:** TU 973<sup>+</sup>. 17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7037(2005)02-0013-06

高层筒体结构的空作用较强, 应按空间受力结构进行分析, 但组成筒体的每榀框架和平面墙壁的平面外刚度远比平面内刚度小. 为使计算尽量简便, 又能达到工程设计要求的精度, 简化计算方法中常假设: 筒体中的平面框架和墙壁只在自身平面内具有抗侧力刚度, 而平面外的刚度忽略不计; 楼板在自身平面内刚度无限大, 而平面外的刚度忽略不计. 根据这些假设及筒体结构本身的受力特性, 国内外学者提出了一些简化方法, 主要包括两种: (1) 等效平面框架法, 包括翼缘展开法和等效角柱法. F. R. Khan<sup>[1]</sup>和崔鸿超<sup>[2]</sup>分别用两种方法计算了大量的框筒结构, 给出了内力系数曲线和等效截面系数, 以供没有计算机时初步设计之需. (2) 等效连续化法, 此法最早在桥梁中应用, 解决了集中荷载及均布荷载作用下简支梁和悬臂梁的剪力滞问题; 应用于框筒结构中则由 Coull A 和 Bose B<sup>[3]</sup>提出, 其思想是将离散杆件换算成等效连续体, 即把框筒中的腹板、翼缘框架和薄壁筒中的连系梁用等效的正交异性板来代替, 然后用能量法、有限条法、有限元线法、样条函数法及加权残值法等<sup>[4]</sup>对连续化后的薄板求解, 再由薄板的应力转化成框筒各梁柱内力. 其中, 能量变分法是应用较多的方法, 计算结构的内力和位移时, 先假定应力或位移作为基本未知量, 计算结构总的能量(应变余能或势能), 然后根据能量理论的应变余能(势能)的驻值条件得出求基本未知量的基本微分方程, 解基本微分方程并利用边

界条件, 最后求出其它内力和位移. 该方法最大的优点是可以得到解析解.

现有的两种简化计算方法可直接手算求解, 满足工程初步设计的需要; 两种方法均没有考虑翼缘框架及内柱(内柱承受竖向荷载)的整体抗剪作用. 当楼板与裙梁整体现浇, 存在内柱和竖向承重梁的情况下, 忽略该部分的整体抗剪作用产生的误差是较大的, 因为整体剪切变形一般占整体变形的 60% 以上, 较为合理地考虑其整体抗剪能力是必要的. 等效平面框架法将空间问题转化为平面问题, 降低了求解的维数, 但求解平面框架问题的 D 值法尚难直接应用.

本文采用了如下假定: a. 楼板平面内刚度无限大, 而平面外的刚度忽略不计; b. 各楼层梁柱均存在反弯点, 同楼层各柱的反弯点近似在同一高度; c. 反弯点高度处的倾覆力矩全部由各柱轴力产生的弯矩承担, 这样, 可将框筒结构在侧向荷载作用下的楼层变形划分为剪切型和弯曲型, 分别由 D 值法和等效连续体法来进行计算, 然后叠加; d. 考虑翼缘框架的抗剪参与, 整体弯曲变形及内力的计算中考虑剪力滞后的影响.

## 1 简化分析的前提条件

### 1.1 等效连续化法分析框筒剪力滞影响因素

用文献[5]中方法对剪力滞的影响因素进行分析. 用连续化方法计算框筒结构时, 每一面梁柱

收稿日期: 2004-11-12

作者简介: 陈伯望(1965-), 男, 副教授; 长沙, 湖南大学土木工程学院(410082).

基金项目: 高等学校博士点基金资助项目(20020532010).

体系的框架可以由一个等效均匀的正交平板来代替, 形成一个闭合的实体等效筒。由于楼板在其平面内的刚度很大, 能约束壁板的平面外变形, 因此壁板只需考虑平面内的作用。此法的关键是要使壁板的轴向刚度和剪切刚度与框架的轴向刚度和剪切刚度相同。

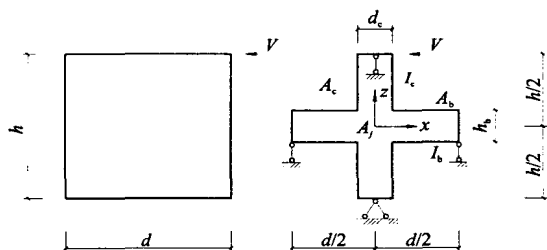


图1 等效单元

**a** 等效板的弹性模量 设  $A$  为每根柱的截面面积,  $E$  为材料弹性模量,  $d$  为柱距,  $t$  为等效板厚,  $E_c$  为等效板的竖向弹性模量, 由轴向刚度相等可得

$$A E = d t E_c; \quad (1)$$

$$E_c = (A / d t) E. \quad (2)$$

若等效板的截面面积等于柱截面面积, 则有

$$E_c = E. \quad (3)$$

**b** 等效板的剪切模量 当考虑杆件的弯曲和剪切变形, 同时考虑有限结点的剪切变形时, 有

$$G_{xz} = E / (t d c_{xz}); \quad (4)$$

$$c_{xz} = \frac{(h - h_b)^3}{12 h I_c} + \frac{h (d - d_c)^3}{12 d^3 I_b} + \frac{E}{G} \left[ \frac{h (d - d_c)}{d^2 A_b} + \frac{h - h_b}{h A_c} + \frac{h}{A_j h_b} \left( 1 - \frac{d_c}{d} - \frac{h_b}{h} \right)^2 \right], \quad (5)$$

式中,  $A_j$  为有限结点的截面面积;  $G$  为材料的剪切模量。在框筒结构中, 由于裙深梁的刚度并不是无限大, 导致截面变形不再符合初等梁理论的平截面假定。如图 2, 假定腹板的位移沿横向为三次抛物线分布, 翼缘的竖向位移沿横向为二次抛物线分布。设  $2b$  及  $2c$  分别为框筒沿  $x$  向宽度及  $y$  向长度, 水平荷载沿作用于框筒结构。腹板第  $i$  根柱的纵向位移为

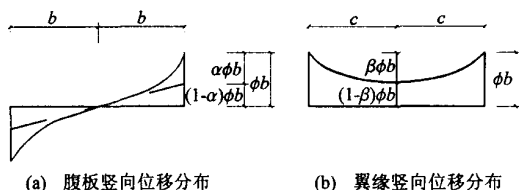


图2 腹板和翼缘的竖向位移分布

$$w_{wi} = \phi b \left[ (1 - \alpha) x_i / b + \alpha \left( x_i / b \right)^3 \right]; \quad (6)$$

翼缘第  $j$  根柱的纵向位移为

$$w_{tj} = \phi b \left[ (1 - \beta) + \beta \left( y_j / c \right)^2 \right], \quad (7)$$

式中,  $\alpha$  及  $\beta$  为分别为腹板、翼缘的剪滞系数;  $\phi$  为转角位移。假定  $\alpha$  及  $\beta$  可表达如下

$$\alpha = \alpha_1 \left[ 1 - \frac{z}{H} \right]^2 + \alpha_2 \left[ 2 \frac{z}{H} - \left( \frac{z}{H} \right)^2 \right]; \quad (8)$$

$$\beta = \beta_1 \left[ 1 - \frac{z}{H} \right]^2 + \beta_2 \left[ 2 \frac{z}{H} - \left( \frac{z}{H} \right)^2 \right], \quad (9)$$

式中,  $z/H$  为高度系数;  $H$  为结构总高。当  $z = 0$  时,  $\alpha = \alpha_1$ ,  $\beta = \beta_1$ ; 当  $z = H$  时,  $\alpha = \alpha_2$ ,  $\beta = \beta_2$ 。

表1  $\alpha$  和  $\beta$  的表达式

荷载	$\alpha$	$\beta$
顶部集中荷载	$\alpha = \frac{1.17m_w + 1.00}{m_w^2 + 2.67m_w + 0.57}$	$\beta = \frac{3.50m_t + 12.60}{m_t^2 + 11.20m_t + 10.08}$
均布荷载	$\alpha = \frac{0.29m_w + 1.00}{m_w^2 + 2.67m_w + 0.57}$	$\beta = \frac{0.88m_t + 12.60}{m_t^2 + 11.20m_t + 10.08}$
倒三角荷载	$\alpha = \frac{2.57m_w + 1.12}{m_w^2 + 2.94m_w + 0.64}$	$\beta = \frac{7.72m_t + 14.15}{m_t^2 + 12.35m_t + 11.32}$
角形荷载	$\alpha = \frac{0.03m_w + 1.12}{m_w^2 + 2.94m_w + 0.64}$	$\beta = \frac{0.08m_t + 14.15}{m_t^2 + 12.35m_t + 11.32}$
倒三角荷载	$\alpha = \frac{2.22m_w + 1.09}{m_w^2 + 2.86m_w + 0.62}$	$\beta = \frac{6.67m_t + 13.71}{m_t^2 + 12.01m_t + 10.97}$
角形荷载	$\alpha = \frac{0.10m_w + 1.09}{m_w^2 + 2.86m_w + 0.62}$	$\beta = \frac{0.29m_t + 13.71}{m_t^2 + 12.01m_t + 10.97}$

其中, 相对剪切刚度参数定义如下

$$m_w = G_w H^2 / (E_w b^2); \quad (10)$$

$$m_t = G_t H^2 / (E_t c^2). \quad (11)$$

通过式 (3)~(11) 以及表 1, 可以求出腹板剪力滞系数  $\alpha$  和翼缘剪力滞系数  $\beta$ 。影响剪力滞主要因素有: 开洞率  $\rho$ ; 结构高宽比  $H/B$ ; 层高与柱距之比  $h/d$ ; 中柱厚与裙梁厚度之比  $t_c/t_b$ ; 框筒截面长宽比和外荷载形式。以一个 40 层框筒结构为例, 定性分析上述各因素对剪滞系数的影响。

分析结果见图 3~8, 并得出以下规律:  $\beta$  值一般高于  $\alpha$  值, 且  $\alpha$  及  $\beta$  值在结构底部较大, 在结构顶部较小; 随着开洞率的减小、高宽比的增大、柱厚  $t_c$  与梁厚  $t_b$  的减小,  $\alpha$  及  $\beta$  值逐渐减小; 层高与柱距之比  $h/d = 1$  时,  $\alpha$  及  $\beta$  值为极小值, 以  $h/d = 1$  为界,  $h/d$  的增大或减小都将使  $\alpha$  及  $\beta$  值增大, 且小于 1 时比大于 1 时的增大幅度大; 随

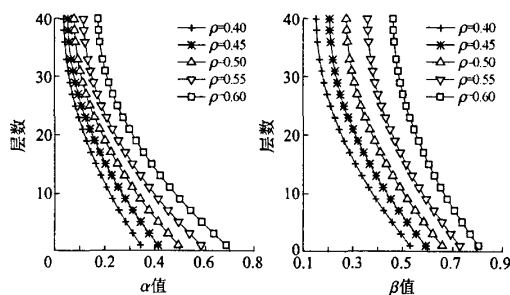


图3 开洞率  $\rho$  对  $\alpha$  及  $\beta$  值的影响

随着长宽比的增大,  $\beta$  值增大; 随着水平荷载作用中心位置高度的增大, 结构底部剪滞系数逐渐变小, 而顶部剪滞系数逐渐增大

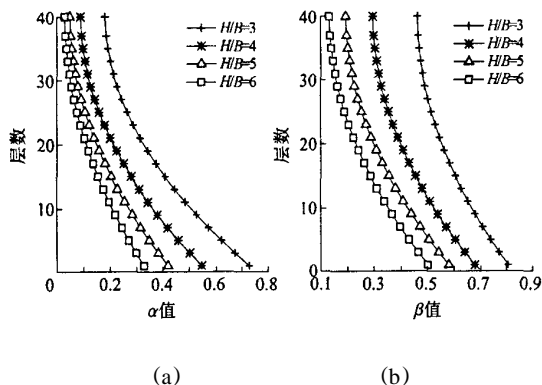


图 4 高宽比  $H/B$  对  $\alpha$  及  $\beta$  值的影响

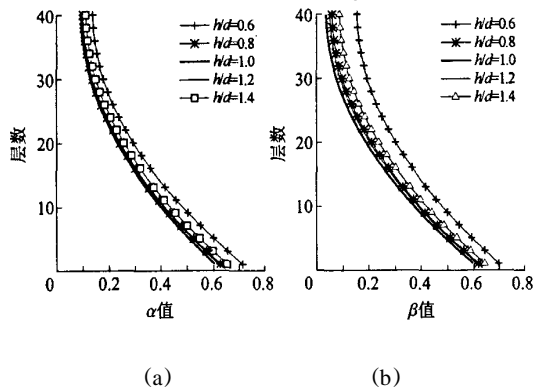


图 5 层高柱距比  $h/d$  对  $\alpha$  及  $\beta$  值的影响

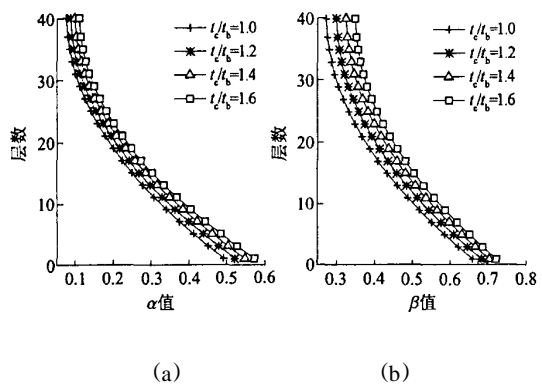


图 6 柱厚裙梁厚比  $t_c/t_b$  对  $\alpha$  及  $\beta$  值的影响

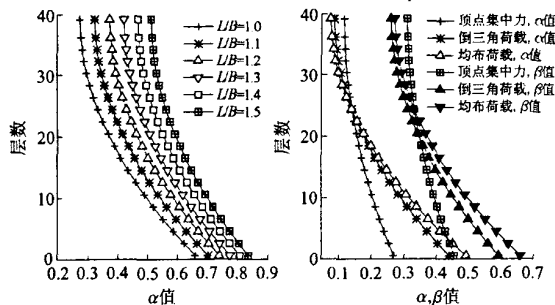


图 7  $L/B$  对  $\beta$  的影响 图 8 荷载形式对  $\alpha$  及  $\beta$  的影响

### 1.2 框架分析的 D 值法

采用带刚域杆件考虑剪切变形后的计算方法

a 带刚域杆件考虑剪切变形后的刚度系数和

$D$  值的修正<sup>[6,7]</sup>. 计算柱的  $D_{ci}$  值

$$D_{ci} = \alpha_c \cdot 12K_c/h^2 \quad (12)$$

刚度系数  $\alpha_c$  值的计算见表 2, 刚域长度的取值采用了文献[8]中表达式. 在求梁柱刚度比时, 考虑到与角柱相连的裙梁的反弯点不在中点以及整体弯曲变形的影响, 取折减系数 0.7.

表 2 整式框架的刚度系数

楼层	梁、柱修正刚度值	梁柱刚度比 $K$	$\alpha_c$
一般层	$k_2=c_2i_2$ $k_1=c_1i_1$ $k_2=c_2i_2$ $k_c = \frac{c+c'}{2}i_c$ $k_c = \frac{c+c'}{2}i_c$	$\textcircled{1} K = \frac{0.7(k_2+k_4)}{2k_c}$ $\textcircled{2} K = \frac{k_1+k_2+k_3+k_4}{2k_c}$	$\frac{K}{2+K}$
	$k_4=c_4i_4$ $k_3=c_3i_3$ $k_4=c_4i_4$		
底层	$k_2=c_2i_2$ $k_1=c_1i_1$ $k_2=c_2i_2$ $k_c = \frac{c+c'}{2}i_c$ $k_c = \frac{c+c'}{2}i_c$	$\textcircled{1} K = \frac{0.7k_2}{2k_c}$ $\textcircled{2} K = \frac{k_1+k_2}{2k_c}$	$\frac{0.5+K}{2+K}$

b 反弯点高度系数  $z_m$  的确定. 在计算腹板框架的柱端弯矩以及整体弯曲变形及各柱轴力时, 均用到了反弯点高度系数. 为简化计算, 在计算整体弯曲时, 第  $m$  层反弯点高度系数取值如下:  $m=1$  时,  $z_m=0.60$ ;  $1 < m < n$  时,  $z_m=0.50$ ;  $m=n$  时,  $z_m=0.45$ . 本文在计算柱端弯矩时, 只在上述基础上对底层进行修正, 角柱取 0.65, 中柱取 0.55. 在计算柱端弯矩时, 也可直接查表<sup>[6]</sup>.

### 1.3 翼缘框架抗剪参与系数

如图 9, 假设第  $m$  层翼缘框架柱及内柱(有内柱时)的抗剪参与系数为

$$\zeta_y = D_m/D_m, \quad (13)$$

式中,  $D_m$  为第  $m$  层翼缘框架(不含角柱)及内柱有效抗剪刚度;  $D_m$  为第  $m$  层腹板框架(含角柱)抗剪刚度, 可用式(12)求出.  $\zeta_y$  主要与楼板及内梁的平面外刚度、框筒中柱的截面形状、角柱的尺寸、裙梁的抗扭刚度和内柱的截面尺寸等相关. 基本规律是: 楼板、内梁的平面外刚度及裙梁的抗扭刚度越大,  $\zeta_y$  越大; 内柱增多, 截面尺寸越大,  $\zeta_y$  越大; 框筒中柱截面越接近方形(长边沿筒壁方向布置), 角柱相对中柱截面尺寸越小,  $\zeta_y$  越大. 在等效平面框架法和等效连续体法中取  $\zeta_y=0$ , 是偏于保守的. 为求  $\zeta_y$ , 需求出  $D_m$ , 不考虑内柱及内梁的抗剪参与且各层层高均为  $h$  时, 简化计算为

$$D_1 = 2(n_y - 2) \cdot \frac{3EI_{\omega}}{h^3}; \quad (14)$$

$$D_m = 0.1D_1 \quad (m > 1), \quad (15)$$

式中,  $n_y$  为翼缘方向柱数(含角柱);  $I_{cy}$  为翼缘中柱沿  $y$  向的截面惯性矩; 系数  $Q_1$  为翼缘框架的有效抗剪系数. 根据空间框架分析与本文方法分析得到的框筒结构底层的作用效应等效求得式(14)中  $D_1$  系按底端固支上部自由的悬臂杆考虑翼缘框架(不含角柱)抗剪刚度, 未考虑梁板对底层柱的约束作用

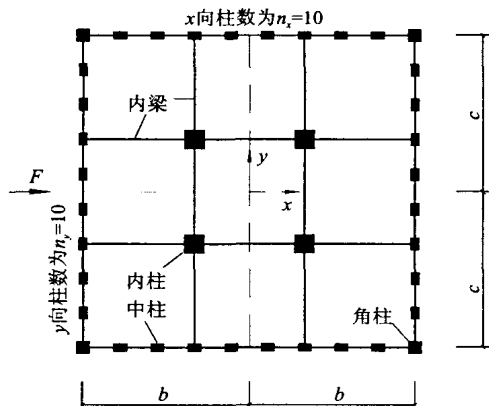


图9 框筒结构分析简图

## 2 水平荷载作用下的简化分析

设定框筒结构总层数为  $n$ , 以第  $m$  层为研究对象( $1 \leq m \leq n$ ), 外荷载作用在楼层部位

### 2.1 整体剪切变形及内力计算

假定各层反弯点高度系数为  $z_m$ , 则第  $m$  层第  $i$  根腹板柱受到的剪力为

$$V_{m,i} = \frac{1}{1 + \zeta_y} \cdot \frac{D_{m,i}}{D_m} V_m, \quad (16)$$

式中,  $D_{m,i}$  为第  $m$  层第  $i$  根柱的抗侧刚度;  $V_m$  为第  $m$  层结构受到的总剪力,  $V_m = \sum_{j=m}^n F_j$ ,  $F_j$  为作用于第  $j$  层的外部荷载;  $\zeta_y$  为第  $m$  层翼缘框架的抗剪参与系数. 当各中柱的截面尺寸相同, 各角柱的截面尺寸相同时, 有

$$D_m = 2(n_x - 2)D_{m,中柱} + 4D_{m,角柱}, \quad (17)$$

式中,  $D_{m,中柱}$  及  $D_{m,角柱}$  分别为第  $m$  层中柱和角柱的抗侧刚度, 可通过D值法中的式(12)求得

中柱和角柱受到的剪力分别为

$$V_{m,中柱} = \frac{1}{1 + \zeta_y} \cdot \frac{D_{m,中柱}}{D_m} V_m; \quad (18)$$

$$V_{m,角柱} = \frac{1}{1 + \zeta_y} \cdot \frac{D_{m,角柱}}{D_m} V_m. \quad (19)$$

得到各柱受到的剪力后, 将剪力乘反弯点到柱底的距离, 可得到柱底的弯矩; 将剪力乘反弯点到柱顶的距离, 可得到柱顶的弯矩. 利用节点弯矩平衡条件可求梁端弯矩. 第  $m$  层的整体剪切水平

位移为

$$u_{s,m} = \frac{1}{1 + \zeta_y} \cdot \frac{V_m}{D_m} + \sum_{i=1}^{m-1} u_{s,i}. \quad (20)$$

### 2.2 整体弯曲变形及其内力计算

按前述连续体法考虑剪力滞效应的影响. 如图9, 设  $2b$  及  $2c$  分别为框筒沿  $x$  向宽度及  $y$  向长度, 腹板、翼缘各柱的纵向位移函数为式(6)和式(7), 剪滞系数按式(8)和式(9)取值. 第  $m$  层结构承受的总弯矩为

$$M_m = F_m(1 - z_m)h_m + F_{m+1}[h_{m+1} + (1 - z_m)h_m] + \dots = \sum_{i=m}^n F_i \left[ \sum_{j=m+1}^i h_j + (1 - z_m)h_m \right], \quad (21)$$

式中,  $h_j$  为第  $j$  层的层高;  $F_i$  为作用于第  $i$  层的水平荷载;  $z_m$  为第  $m$  层反弯点高度系数. 当各层层高均为  $h$  时, 式(21)可简化为

$$M_m = \sum_{i=m}^n F_i [(i - m)h + (1 - z_m)h]. \quad (22)$$

设第  $m$  层的转角增量为  $\Delta\varnothing_m$ , 利用对称性取  $1/2$  框筒截面进行分析(如取  $1/4$  框筒截面进行分析, 需根据翼缘柱数的奇偶数分别处理), 有

$$M_m/2 = 2 \sum_{i=1}^{\frac{n_x+1}{2}} P_{w,m,i} \cdot x_i + \sum_{j=1}^{n_y-2} P_{f,m,j} \cdot b, \quad (23)$$

式中,  $P_{w,m,i}$  为腹板第  $i$  根柱(含角柱)分担的轴力;  $P_{f,m,j}$  为翼缘第  $j$  根柱分担的轴力. 即

$$M_m/2 = \Delta\varnothing_m \frac{Eb^2}{h_m} \left\{ 2 \sum_{i=1}^{\frac{n_x+1}{2}} A_i \left[ (1 - \alpha) \frac{x_i}{b} + \alpha \left( \frac{x_i}{b} \right)^3 \right] \frac{x_i}{b} + \sum_{j=1}^{n_y-2} A_j \left[ (1 - \beta) + \beta \left( \frac{y_j}{c} \right)^2 \right] \right\}. \quad (24)$$

设中柱截面积为  $A_m$ , 角柱截面积为  $A_c$ , 令框筒的抗弯刚度为  $K_{\varnothing m} = M_m h_m / \Delta\varnothing_m$ , 则有

$$K_{\varnothing m} = 2Eb^2A_m \left\{ 2 \sum_{i=1}^{\frac{n_x+1}{2}} \left[ (1 - \alpha) \left( \frac{x_i}{b} \right)^2 + \alpha \left( \frac{x_i}{b} \right)^4 \right] + \sum_{j=1}^{n_y-2} \left[ (1 - \beta) + \beta \left( \frac{y_j}{c} \right)^2 \right] \right\}. \quad (25)$$

式(23) ~ (25) 中的  $\frac{n_x+1}{2}$  及  $\frac{n_x-1}{2}$  取整数;  $n_x$  为单侧腹板柱数(含角柱);  $n_y$  为单侧翼缘柱数(含角柱).  $\Delta\varnothing_m = M_m h_m / K_{\varnothing m}$ .

求得转角位移增量后, 可得第  $m$  层各柱的轴力. 腹板中柱轴力为

$$P_{m,i} = EA_m b \frac{\Delta\varnothing_m}{h_m} \left[ (1 - \alpha) \frac{x_i}{b} + \alpha \left( \frac{x_i}{b} \right)^3 \right].$$

角柱轴力为

$$P_{mc} = EA_c b \frac{\Delta \varnothing_m}{h_m};$$

翼缘中柱轴力为

$$P_{mj} = EA_m b \frac{\Delta \varnothing_m}{h_m} \left[ (1 - \beta) + \beta \left( \frac{y_j}{c} \right)^2 \right].$$

第  $m$  层整体弯曲水平位移为

$$u_{b,m} = u_{b,m-1} + \varnothing_{m-1} h_m + \Delta \varnothing_m h_m / 2 \quad (26)$$

由式(20) 和式(26) 可得各层总水平位移为

$$u_m = u_{s,m} + u_{b,m}.$$

### 3 算例分析

选用空间带刚域框架分析程序作为简化分析的对比, 其刚域长度取值及剪切变形的考虑与简化分析方法相同 取洞口高宽比与层高柱距比相等,  $E = 3.0 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ , 泊松比为 0.2

**算例 1** 某 24 层框筒, 层高 3m, 开洞率  $\rho = 58.78\%$ , 长宽比  $L/B = 1$ , 高宽比  $H/B = 3$ ,  $x$  及  $y$  方向柱数  $n_x = n_y = 9$ , 层高柱距比  $h/d = 1$ , 柱厚梁厚比  $t_c/t_b = 1$ , 各梁柱截面尺寸为  $700\text{mm} \times 700\text{mm}$ , 承受水平均布荷载作用  $q = 33.3\text{kN/m}$  (图 10).

**算例 2** 某 50 层框筒, 层高 3.3m,  $\rho = 52.89\%$ ,  $L/B = 1.2$ , 高宽比  $H/B = 5$ ,  $x$  及  $y$  方向柱数分别为  $n_x = 11, n_y = 13, h/d = 1, t_c/t_b = 1.2$ , 中柱截面尺寸均为  $600\text{mm} \times 900\text{mm}$ , 角柱截面尺寸均为  $900\text{mm} \times 900\text{mm}$ , 裙梁截面尺寸为  $500\text{mm} \times 900\text{mm}$ , 承受倒三角形荷载作用  $q = 50\text{kN/m}$  (图 11).

在空间框架分析结果中, 腹板框架中邻近角柱的中柱分担的剪力和弯矩最小, 而中间的中柱分担的弯矩最大, 因而只列出了该两根柱的受力情况 由图 10 和 11 可知, 本文简化计算方法与空间框架分析结果较为近似, 顶点位移计算误差为 4.3% 和 7.2%, 弯矩和剪力结果接近 由于本文选用的等效连续体法未考虑负剪力滞的影响, 不能模拟角柱在结构上部出现负应变的情况, 但总体变化趋势是一致的 而且本文方法可直接分析出弯曲变形和剪切变形占结构整体变形中的比例

由图 7 可知, 不考虑翼缘参与抗剪时, 会使计算位移和二层以上腹板各柱内力偏大, 偏大幅度较小; 但在结构底层, 由于翼缘抗剪参与系数较大, 一般在 0.15~0.30 之间, 不考虑翼缘抗剪引起的误差较大 由于翼缘框架的抗剪参与, 致使底层腹板各中柱承担的剪力和弯矩比第二、三层小,

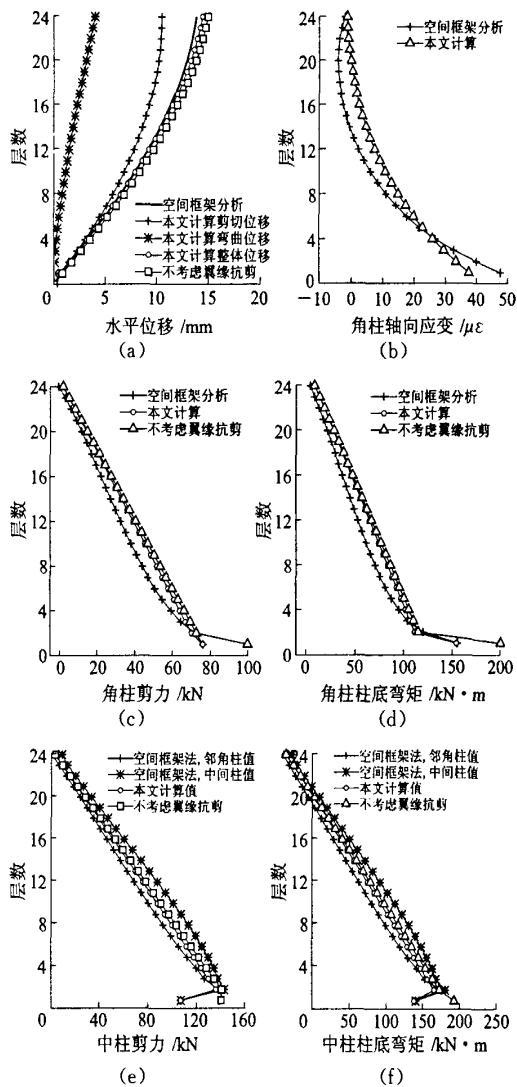


图 10 算例 1 的分析结果

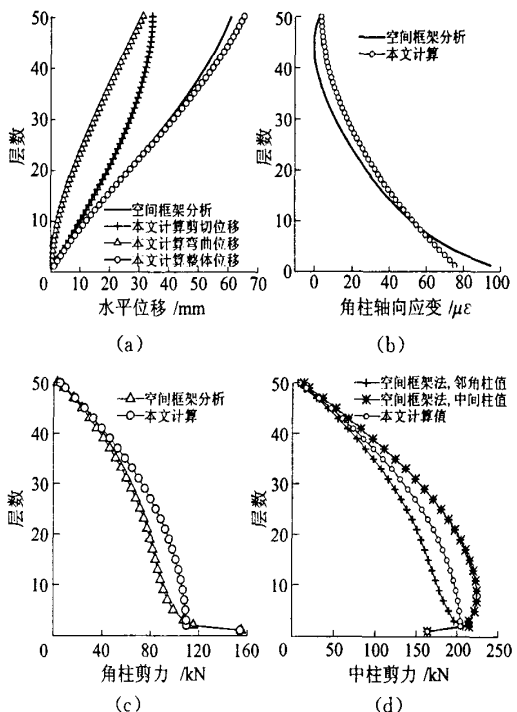


图 11 算例 2 的分析结果

这与文献[9]中筒中筒结构振动台试验及本文所做的筒中筒结构拟动力试验中的外框筒破坏最严重的部位不在底层而在第二、三层的结论一致

## 4 结论

a 通过采用等效连续体法分析影响剪力滞后的因素,可以得出,减小框筒开洞率,增大高宽比,减小柱厚与裙梁厚度比,层高与柱距比接近1,长宽比接近1,有利于减小剪力滞后的影响,提高框筒空间作用效率

b 采用简化的 $D$ 值与等效连续体法相结合的层模型对框筒结构在水平荷载作用下的内力和位移进行分析,其结果可供初步设计使用

c 考虑了翼缘框架参与抗剪,得出腹板框架中柱承担剪力和弯矩最大的楼层在第二层,而不是在底层

### 参 考 文 献

[1] Khan F R, Amin N R. Analysis and design of fra-

me tube structures for tall concrete buildings[J]. Struct Eng, 1973, 51(3): 85-92

[2] 崔鸿超. 框筒(筒中筒)结构的简化计算方法[J]. 建筑结构学报, 1982, (3): 38-50

[3] Coull A, Bose B. Simplified analysis of frame-tube structures[J]. J. Struct Div., ASCE, 1975, 110(11): 2223-2240

[4] 王荫长. 高层建筑筒体结构的计算[M]. 北京: 科学出版社, 1988

[5] Kwan A K H. Simple method for approximate analysis of frame tube structure[J]. J. Struct Engrg., ASCE, 1994, 120(4): 1221-1239

[6] 沈蒲生. 高层建筑结构疑难释义[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003

[7] 包世华. 新编高层建筑结构[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001

[8] JGJ 3-2002, 高层建筑混凝土结构技术规程[S]

[9] 沈聚敏, 周锡元, 高小旺, 等. 抗震工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000

## Simplified Analysis Considering Shear Stiffness of Flange Panels for Framed-Tube Structures

CHEN Borwang<sup>1,2</sup> SHEN Pu-sheng<sup>1</sup> WANG Hai-bo<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Eng., Hunan Univ., Changsha 410082, China;

2. College of Hunan City, Yiyang 413000, China)

**Abstract:** The inter-storey deformation of framed-tube structures under lateral loads is divided into shear deformation and flexural deformation. The shear deformation and forces can be calculated by simplified mandatory contraflexure point method, in which the shear stiffness of flange panels is taken into account. The flexural deformation and forces can be calculated by the equivalent continuous system method, in which the main influencing parameters of shear lag are discussed. Contrasting with space-frame analysis programs, the simplicity and accuracy of the proposed method are demonstrated through the analysis of two framed-tube structures. This method is suitable for preliminary design purposes.

**Key words:** framed-tube structures; mandatory contraflexure point method; equivalent continuous system; shear lag