

# 框支墙梁的有限元分析及近似计算

龚 绍 熙

郑州工学院土木建筑工程系

**摘 要:** 本文采用四边形单元自动形成网格的平面问题计算程序对框支墙梁进行有限元法分析。通过按正交设计的9根无洞口框支墙梁和16根有门洞的框支墙梁的数值计算, 分析了其应力分布规律和受力特点。在此基础上给出了框支墙梁内力计算的近似公式及设计建议。

**关键词:** 框支墙梁, 有限元分析, 内力近似计算

在钢筋混凝土框架上砌筑墙体, 以承托框架和墙体自重及其上的楼盖、屋盖荷载。则墙与框架组成的组合构件, 称为框支墙梁。与多层框架相比, 能节约原材料, 降低造价, 缩短工期, 且施工更方便, 在商店——住宅等多层混合结构房屋中广泛应用。

本文采用有限元法对建筑工程中经常遇到的框支墙梁进行计算分析, 提出框支墙梁内力近似公式和设计建议。

## 1 计算课题与分析方法

本文采用四边形单元自动形成网格的平面问题有限元法计算程序<sup>[2]</sup>, 其粗框图见图1。本文目的不在于用该程序计算具体问题, 而是通过分析框支墙梁应力变化规律, 找出主要影响因素, 建立内力近似公式。采用正交设计方法确定各主要影响因素的搭配, 以使分析的构件减至最少。对无洞口框支墙梁(图2)选用正交表 $L_9(3^4)$ (表1); 对有门洞墙梁(图3)

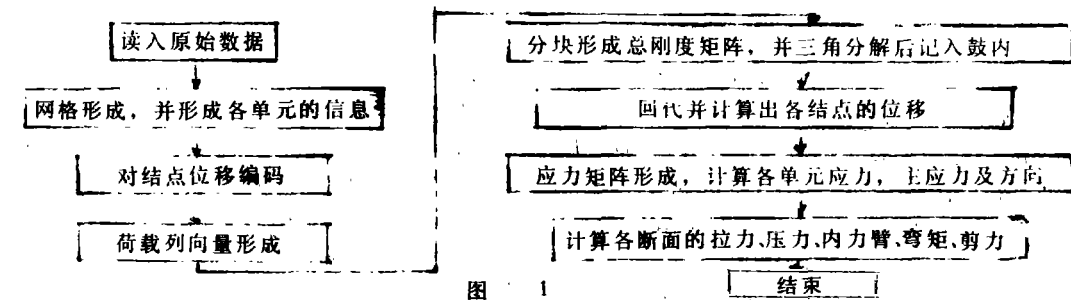


图 1

参加计算分析工作的还有洛阳有色金属加工设计研究院杨仲连, 郑州工学院陈列, 苏克俭, 吴承霞等。

选用正交表 $L_{16}(4^4 \times 2^3)$ (表2); 均不考虑各因素的相互影响。为了提高应力分析精度, 对框架的横梁、梁墙界面、洞口周围及支座附近区域的单元网格尽量划分的细些。

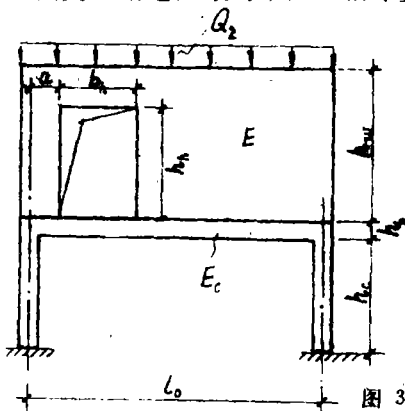
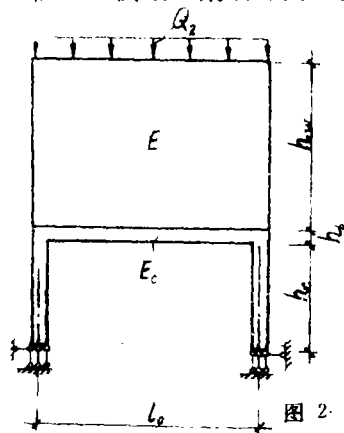


图2、图3 中符号涵义:

$Q_2$ —墙梁上均布荷载;

$b_h$ —洞宽;  $h_h$ —洞高;

$h_c$ —柱高;  $h_b$ —梁高;

$l_0$ —计算跨度;  $a$ —洞距;

$h_w$ —墙体计算高度;

$h$ —墙体厚度;

$E$ —砌体弹性模量;

$E_c$ —混凝土弹性模量。

无洞口框支墙梁正交设计表

表 1

因素 组数	A ( $h_w/l_0$ )	B ( $h_b/l_0$ )	C ( $E/E_c$ )	D ( $h_c/l_0$ )
1	1 (0.5)	1 (1/8)	1 (1/10)	1 (0.35)
2	1 (0.5)	2 (1/10)	2 (1/15)	2 (0.50)
3	1 (0.5)	3 (1/15)	3 (1/20)	3 (0.65)
4	2 (0.75)	1 (1/8)	2 (1/15)	3 (0.65)
5	2 (0.75)	2 (1/10)	3 (1/20)	1 (0.35)
6	2 (0.75)	3 (1/15)	1 (1/10)	2 (0.50)
7	3 (1.0)	1 (1/8)	3 (1/20)	2 (0.50)
8	3 (1.0)	2 (1/10)	1 (1/10)	3 (0.65)
9	3 (1.0)	3 (1/15)	2 (1/15)	1 (0.35)

## 2 框支墙梁应力分析

无洞口框支墙梁水平正应力 $\sigma_x$ 分布(图4a)表明, 砌体大部受压且应力较小。框架梁中段上压下拉, 应力直线分布, 且中和轴靠近上边, 梁端截面上拉下压, 应力曲线分布。剪应力 $\tau_{xy}$ 竖向分布(图4b)表明, 墙体将分担部分剪力。竖向正应力 $\sigma_y$ 水平分布表明(图5),

有门洞框支墙梁正交设计表

表2 续

组数 \ 因素	A ( $h_w / l_0$ )	B ( $h_b / l_0$ )	C ( $h_c / l_0$ )	D ( $a / l_0$ )	E ( $E / l_0$ )	F ( $h_b / h^*$ )	G ( $b_b / l_0$ )
1	1 (0.50)	1 (1 / 8)	1 (0.35)	1 (0.05)	1 (1 / 20)	1 (2 / 3)	1 (1 / 4)
2	1 (0.50)	2 (1 / 10)	2 (0.5)	2 (0.15)	1 (1 / 20)	2 (3 / 6)	2 (1 / 6)
3	1 (0.50)	3 (1 / 12)	3 (0.65)	3 (0.25)	2 (1 / 10)	1 (2 / 3)	2 (1 / 6)
4	1 (0.50)	4 (1 / 15)	4 (0.8)	4 (0.4)	2 (1 / 10)	2 (5 / 6)	1 (1 / 4)
5	2 (0.75)	1 (1 / 8)	2 (0.5)	3 (0.25)	2 (1 / 10)	2 (5 / 6)	1 (1 / 4)
6	2 (0.75)	2 (1 / 10)	1 (0.35)	4 (0.4)	2 (1 / 10)	1 (2 / 3)	2 (1 / 6)
7	2 (0.75)	3 (1 / 12)	4 (0.8)	1 (0.05)	1 (1 / 20)	2 (5 / 6)	2 (1 / 6)
8	2 (0.75)	4 (1 / 15)	3 (0.65)	2 (0.15)	1 (1 / 20)	1 (2 / 3)	1 (1 / 4)
9	3 (1.0)	1 (1 / 8)	3 (0.65)	4 (0.4)	1 (1 / 20)	2 (5 / 6)	2 (1 / 6)
10	3 (1.0)	2 (1 / 10)	4 (0.8)	3 (0.25)	1 (1 / 20)	1 (2 / 3)	1 (1 / 4)
11	3 (1.0)	3 (1 / 12)	1 (0.35)	2 (0.15)	2 (1 / 10)	2 (5 / 6)	1 (1 / 4)
12	3 (1.0)	4 (1 / 15)	2 (0.50)	1 (0.05)	2 (1 / 10)	1 (2 / 3)	2 (1 / 6)
13	4 (0.333)	1 (1 / 8)	4 (0.8)	2 (0.15)	2 (1 / 10)	1 (2 / 3)	2 (1 / 6)
14	4 (0.333)	2 (1 / 10)	3 (0.65)	1 (0.05)	2 (1 / 10)	2 (5 / 6)	1 (1 / 4)
15	4 (0.333)	3 (1 / 12)	2 (0.50)	4 (0.4)	1 (1 / 20)	1 (2 / 3)	1 (1 / 4)
16	4 (0.333)	4 (1 / 15)	1 (0.35)	3 (0.25)	1 (1 / 20)	2 (5 / 6)	2 (1 / 6)

墙体上部均匀受压,靠近框架时应力向边缘集聚,形成较大压应力集中,平均峰值系数约为4.5。框架柱截面应力直线分布,柱上端内压外拉,柱下端全截面受压,外内内拉,截面应力分布见图6。

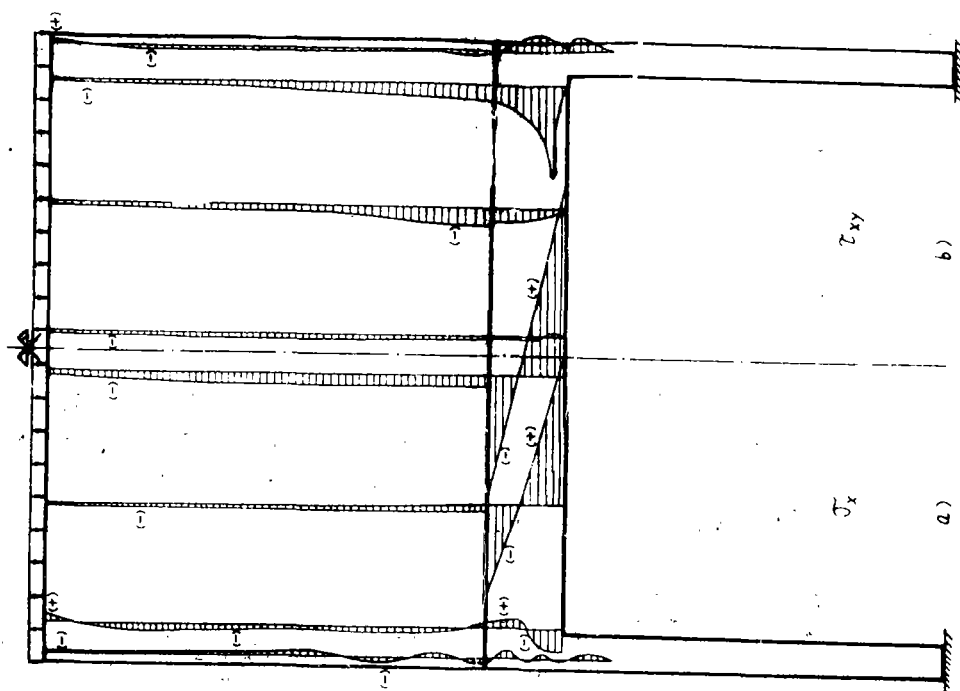


图 4

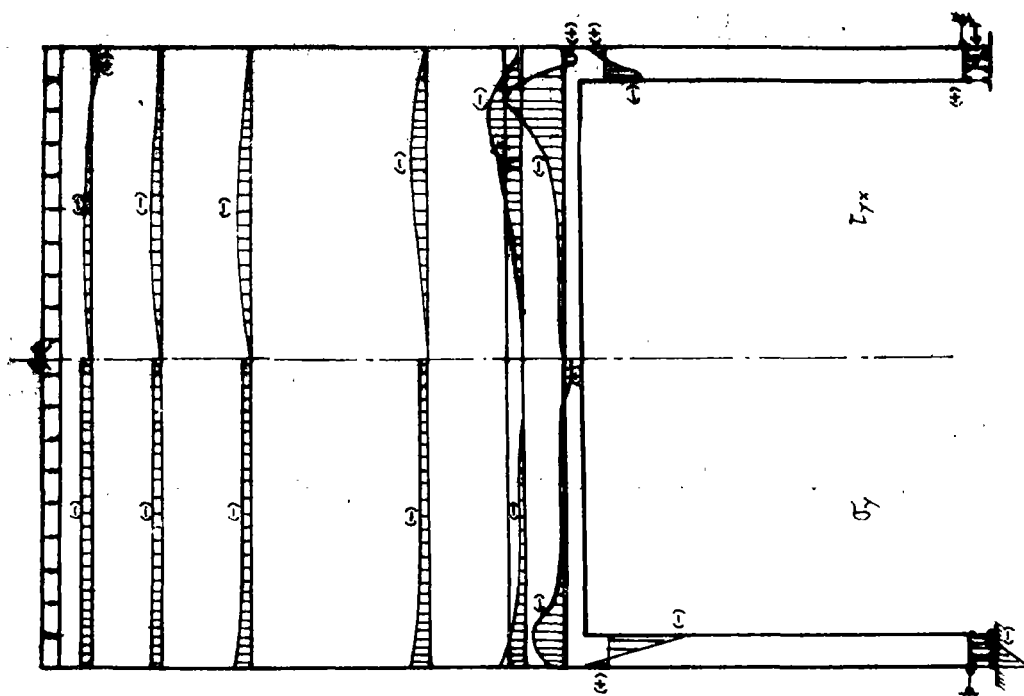
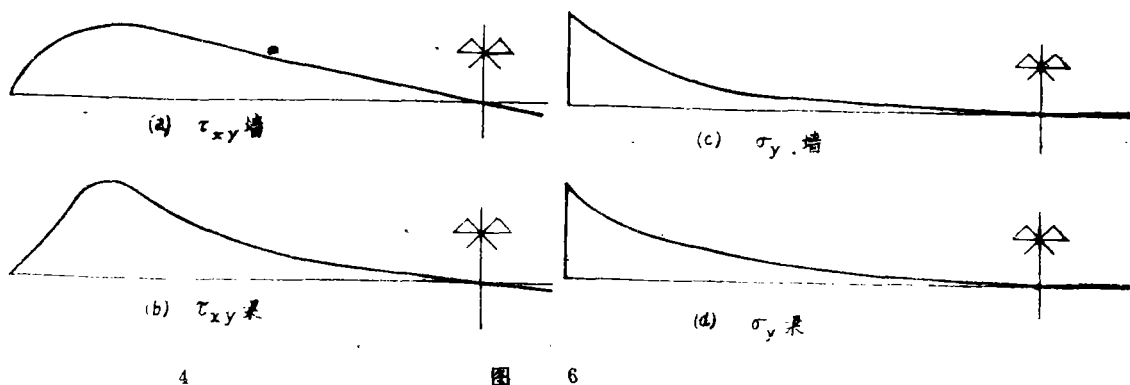
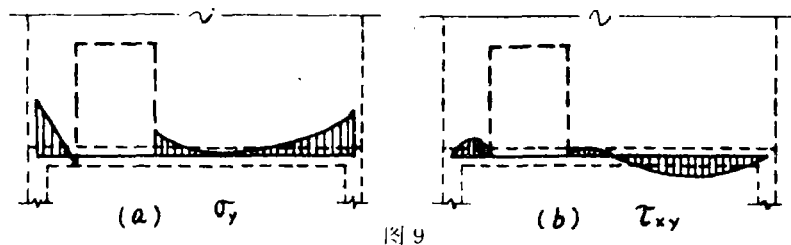
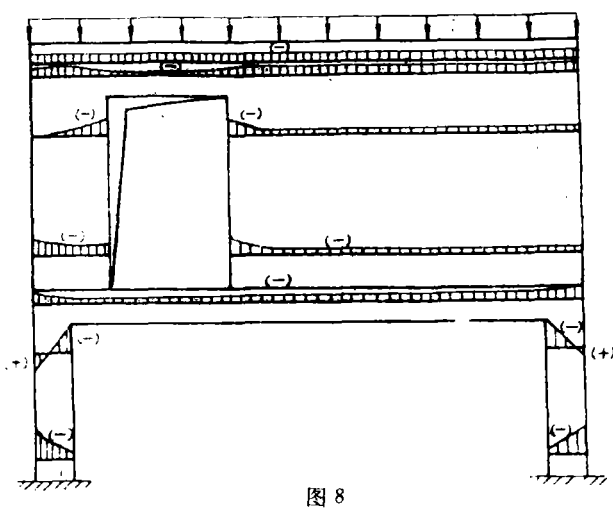
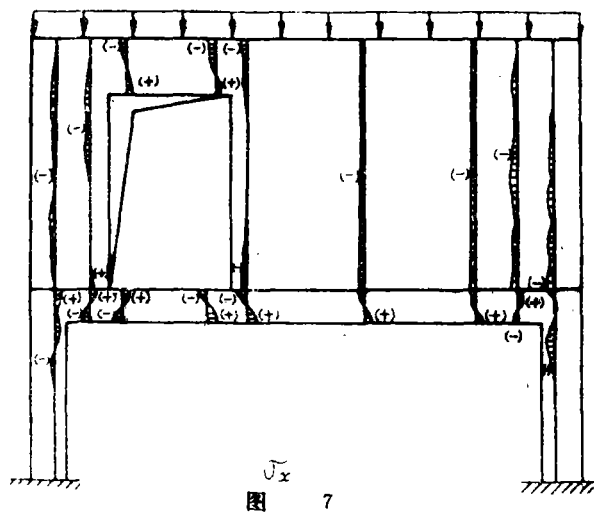


图 5



偏开门洞框支墙梁 $\sigma_x$ 分布(图7)表明,无洞墙体受力状态类似无洞口框支墙梁,洞口上墙体上压下拉,框架梁上压下拉,大部分处于偏心受拉状态,以门洞内边截面最不利。 $\sigma_y$ 分布(图8)表明,愈靠近框架,应力愈向柱和门洞内边附近集聚,最大的应力集中发生在门洞偏向边的墙体,其峰值系数可达6.9。界面应力分布见图9。



由以上应力分析可以明显看出, 在顶面均布荷载作用下框支墙梁呈拱式受力特点。无洞口或门洞开在中部的框支墙梁的墙体如同变截面拱, 框架梁在界面分布压力及剪力作用下为偏心受拉的拉杆 (图10a、b)。偏开门洞的框支墙梁的洞口将影响主压应力的正常传递, 形成大拱套小拱的传力模式 (图10c)。由于小拱在门洞内边的压力, 框架梁的弯矩增大, 拉力减少。

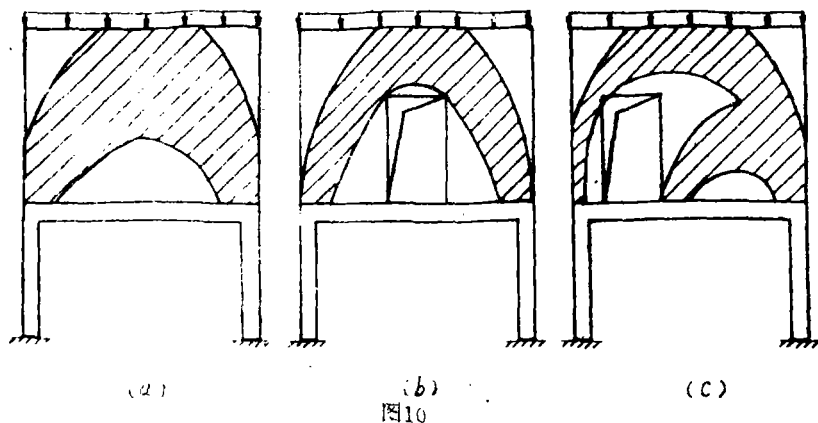


图10

### 3 无洞口框支墙梁内力的近似计算

根据有限元法数值计算结果, 对正交表进行直观分析及方差分析, 部分结果列入表3~5。由F判别各因素的显著性大小以确定主要因素。针对内力目标对主要因素进行回归综合分析, 最后获得内力近似计算公式。

#### 3.1 框架梁跨中截面弯矩

$$M_{b,m} = \frac{Q_2 l_o^2}{24} \left( 19 \frac{h_b}{l_o} - 1 \right) \left( 1 - 6.4 \frac{E}{E_c} \right) \left( 1 - 0.333 \frac{h_w}{l_o} \right) \quad (1)$$

按 (1) 式计算值与电算值的比值的平均值系数  $\mu = 1.006$ , 变异系数  $\delta = 0.119$ 。

#### 3.2 框架梁跨中截面轴力 (拉力)。

$$N_{b,m} = \frac{Q_2 l_o}{15.3} \left( 2.64 + \frac{1}{h_w / l_o} \right) \quad (2)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.002$ ,  $\delta = 0.049$ 。

#### 3.3 框架梁柱边截面轴力 (拉力)

$$M_{b,s} = \frac{Q_2 l_o}{14.4} \left( -2.28 \frac{h_b}{l_o} \right) \quad (3)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.915$ ,  $\delta = 0.081$ 。

#### 3.4 框架梁柱边截面剪力

$$V_{b,s} = \frac{Q_2 l_o}{3.5} \left( 1 + 3.47 \frac{h_b}{l_o} \right) \left( 1 - 2.92 \frac{E}{E_c} \right) \quad (4)$$

表 3

无洞口框支墙梁方差分析表

运 算 项 目	$P = \frac{1}{9} \left( \sum_{i=1}^9 X_i \right)^2$	$Q_A = \frac{1}{3} (K_1^2 + K_2^2 + K_3^2)$	$Q_B$	$Q_C$	$Q_D$	$S_A$	$S_B$	$S_C$	$S_D$	$W = \sum_{i=1}^9 X_i^2$	$S = W - P$	$S_e = S - S_A - S_B - S_C - S_D$
梁 跨 中	228.72	229.22	294.94	242.96	231.12	0.5	66.22	14.24	2.4	312.08	83.37	0.01
梁 支 座	2309.76	2333.26	2312.47	2311.04	2310.08	23.5	2.71	1.28	0.32	2337.56	27.8	-0.01
柱 上	81.48	81.65	82.23	81.72	81.58	0.17	0.75	0.24	0.10	82.73	1.25	0
柱 下	2897.67	2997.82	2909.03	2904.9	2889.36	0.15	11.36	7.23	1.69	2918.10	20.43	0
界 面	107.81	108.06	108.77	109.82	108.36	0.25	0.96	2.01	0.55	111.57	3.76	-0.01
	9687.81	9695.14	9695.62	9695.59	9695.63	7.33	7.81	7.78	7.82	9718.55	30.74	0
	23.43	23.46	24.20	24.31	24.26	0.03	0.77	0.88	0.83	25.94	2.51	0
	8741.0	8747.14	8747.14	8748.38	8747.11	6.14	6.14	7.38	6.11	8766.75	25.75	-0.02
	2763.61	2766.63	2801.44	2767.79	2766.71	3.02	37.83	4.18	3.10	2811.76	48.1	0.02

无洞口框支墙梁跨中截面内力方差分析

表 4

内 力 方 差 项 目 来 源	平方和	自由度	均 方	F	显著性
M	$h_b / l_0$	2	33.11	129.84	• •
	$E / E_c$	2	7.12	27.92	•
	$h_c / l_0$	2	1.20	4.70	(••)
	$h_w / l_0$	2	0.255		
	误 差	0			
	总 和	8			
N	$h_w / l_0$	2	11.75	75.81	•
	$h_b / l_0$	2	1.355	8.74	(•••)
	$E / E_c$	2	0.64	4.13	(••)
	$h_c / l_0$	2	0.155		
	误 差	0			
	总 和	8			

无洞口框支墙梁柱上截面内力方差分析

表 5

内 力 方 差 项 目 来 源	平方和	自 由 度	均 方	F	显著性
M	$h_c / l_0$	2	0.275	2.29	
	$h_b / l_0$	2	0.48	4.0	(••)
	$E / E_c$	2	1.005	8.375	(•••)
	$h_c / l_0$	2	0.12		
	误 差	0			
	总 和	8			
N	$h_w / l_0$	2	0.265	7.57	(•••)
	$h_b / l_0$	2	0.12	3.43	(••)
	$E / E_c$	2	0.275	7.88	(•••)
	$h_c / l_0$	2	0.035		
	误 差	0			
	总 和	8			



与电算值比较,  $\mu = 1.001$ ,  $\delta = 0.04$ 。

### 3.5 框架柱上截面弯矩

$$V_{c,t} = \frac{Q_2 l_o^2}{2180} \left( 1 - 2.84 \frac{h_b}{l_o} \right) \left( 15.1 + \frac{1}{E/F_c} \right) \quad (5)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.046$ ,  $\delta = 0.091$ 。

### 3.6 框架柱下截面弯矩

$$M_{c,b} = \frac{Q_2 l_o^2}{280} \left( 1 + \frac{1.25}{h_c/l_o} \right) \left( 1 - 4.45 \frac{h_b}{l_o} \right) \left( 1 - 53.6 \frac{E}{E_c} \right) \quad (6)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.01$ ,  $\delta = 0.107$ 。

### 3.7 框架柱轴力(压力)

$$N_c = 0.5 Q_2 L_o \quad (7)$$

### 3.8 界面竖向压应力及分布压力最大值

$$\sigma_{y\max} = 6.15 \left( 1 - 3.24 \frac{h_b}{l_o} \right) \frac{Q_2}{h} \quad (8)$$

$$p = 6.15 \left( 1 - 3.24 \frac{h_b}{l_o} \right) Q_2 \quad (9)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.016$ ,  $\delta = 0.069$ 。

## 4 有门洞框支墙梁内力的近似计算

图11表示在界面分布压力及水平力作用下框架梁的内力示意图。虚线表示无洞口框支墙梁, 实线表示有门洞框支墙梁。可以看出, 墙体开门洞将使轴力减少, 弯矩和剪力增加。综合16个有门洞框支墙梁电算结果进行方差分析及回归分析, 类似上节不赘, 同样可获得近似的内力公式。

### 4.1 框架梁最大弯矩(门洞内边截面)

$$M_{b,h} = \frac{Q_2 l_o^2}{652} \left( 120 \frac{h_b}{l_o} - 1 \right) \left( 1 - 1.4 \frac{a}{l_o} \right) \left( 1 + 8 \frac{b_h}{l_o} \right) \quad (10)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.007$ ,  $\delta = 0.155$ 。

### 4.2 框架梁最大拉力

$$N_{b,h} = \frac{Q_2 l_o^2}{5.9} \left( 1 - 27 \frac{h_w}{l_o} \right) \left( 1 + 4 \frac{a}{l_o} \right) \left( 1 - 2 \frac{h_b}{l_o} \right) \quad (11)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.074$ ,  $\delta = 0.282$ 。

### 4.3 框架梁最大剪力(柱边截面)

$$V_{b,h} = \frac{Q_2 l_o}{4.88} \left( 1 + 3 \frac{h_b}{l_o} \right) \left( 1 - 0.3 \frac{a}{l_o} \right) \left[ 1 - 0.077 \left( \frac{h_w}{l_o} \right)^2 \right] \times \left( 1 + 1.43 \frac{b_h}{l_o} \right) \quad (12)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.001$ ,  $\delta = 0.06$ 。

### 4.4 框架柱顶截面弯矩和轴力

$$M_{c,h} = \frac{Q_2 l_o}{113} \left( 1 - \frac{a}{l_o} \right) \left( 1 - 4.6 \frac{h_b}{l_o} \right) \left( 1 + 2.2 \frac{b_h}{l_o} \right) \left( \frac{1 + 1.69 \frac{h_b}{h_w}}{1 - 0.056 \frac{l_o}{h_w}} \right)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.034$ ,  $\delta = 0.109$ 。

$$N_{c,h} = 0.5 Q_2 l_0 \quad (14)$$

#### 4.5 界面竖向压应力及分布压力最大值

$$\sigma_{v,h \max} = 8.98 \left( 1 - 1.2 \frac{a}{l_0} \right) \left( 1 - 0.833 \frac{b_h}{l_0} \right) \left( 1 - 1.5 \frac{h_h}{l_0} \right) \frac{Q_2}{h} \quad (15)$$

$$P_h = 8.98 \left( 1 - 1.2 \frac{a}{l_0} \right) \left( 1 - 0.833 \frac{b_h}{l_0} \right) \left( 1 - 1.5 \frac{h_h}{l_0} \right) Q_2 \quad (16)$$

与电算值比较,  $\mu = 1.005$ ,  $\delta = 0.107$ 。

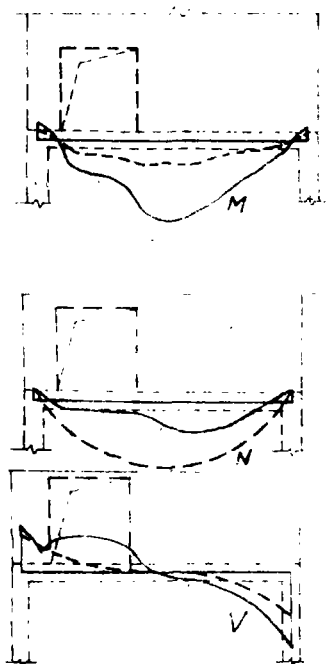


图 11

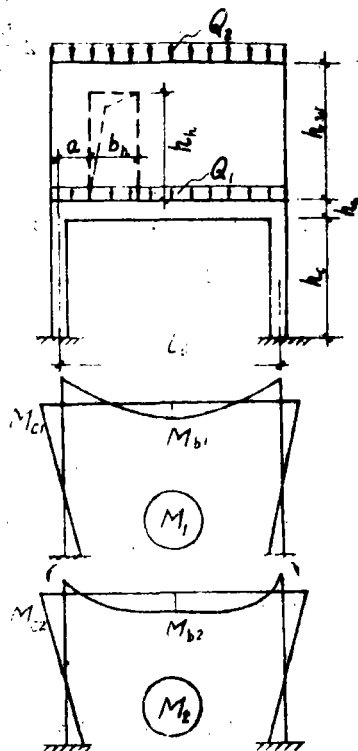


图 12

### 5 框支墙梁内力公式的简化

上述由正交设计构件的电算结果通过方差分析而回归分析得到的无洞口及有门洞框支墙梁内力的两套公式应用不便。分析工程中常用框支墙梁的尺寸和材料,  $\frac{h_b}{l_0} = \frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}$ ,  $\frac{h_w}{l_0} = 0.4$

$\sim 1.0$ ; 砖常用 MU7.5 和 MU10 级, 砂浆常用 M2.5 和 M5 级, 混凝土常用 C15  $\sim$  C30 级, 则

$E = E_c = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 。将这些数据代入上述两套公式并加以比较, 偏于安全地获得框支墙梁内力的简化公式。

#### 5.1 框架梁中段最大弯矩

$$M_{b2} = \frac{Q l_0}{50} \left( 20 \frac{h_b}{l_0} - 1 \right) \psi_m \quad (17)$$

式中,  $\psi_m$  洞口对框架梁弯矩的影响系数, 无洞口时,  $\psi_m = 1$ ; 有洞口时, 按下式计算

$$\psi = \left(1 - 1.4 \frac{a}{l_0}\right) \left(1 + 8 \frac{b_h}{l_0}\right) \quad (18)$$

$Q_2$ —作用在框支墙梁顶面的均布荷载设计值。

### 5.2 框架梁中段最大拉力

$$N_{bt2} = \frac{Q_2 l_0}{15} \left(2.6 + \frac{l_0}{h\omega}\right) \psi_t \quad (19)$$

式中,  $\psi_t$ —洞口对框架梁轴力的影响系数, 无洞口时,  $\psi_t = 1$ ; 有洞口时, 按下式计算

$$\psi_t = \frac{1}{2.8} \left(1 + 4 \frac{a}{l_0}\right) \left(1 - 2 \frac{b_h}{l_0}\right) \quad (21)$$

### 5.3 框架梁柱边最大剪力

$$V_{b2} = \frac{Q_2 l_0}{5} \left(1 + 3.5 \frac{h_b}{l_0}\right) \psi_v \quad (20)$$

式中,  $\psi_v$ —洞口对框架梁剪力的影响系数, 无洞口时,  $\psi_v = 1$ ; 有洞口时, 按下式计算

$$\psi_v = \left(1 - 0.3 \frac{a}{l_0}\right) \left(1 + 1.4 \frac{b_h}{l_0}\right) \quad (22)$$

### 5.4 框架柱顶最大弯矩

$$M_{c2} = \frac{Q_2 l_0^2}{72} \left(1 - 2.8 \frac{h_b}{l_0}\right) \psi_e \quad (23)$$

式中,  $\psi_e$ —洞口对框架柱弯矩影响系数; 无洞口时,  $\psi_e = 1$ ; 有洞口时, 按下式计算

$$\psi_e = \left(1 - 0.6 \frac{a}{l_0}\right) \left(1 + 2.2 \frac{b_h}{l_0}\right) \quad (24)$$

### 5.5 界面最大分布压力

$$P = 6.15 \left(1 - 3.2 \frac{h_b}{l_0}\right) Q_2 \psi_p \quad (25)$$

式中,  $\psi_p$ —洞口对界面压力影响系数, 无洞口时,  $\psi_p = 1$ ; 有洞口时, 按下式计算

$$\psi_p = 1.8 \left(1 - 1.2 \frac{a}{l_0}\right) \left(1 - 0.8 \frac{b_h}{l_0}\right) \quad (26)$$

## 6 框支墙梁设计建议

6.1 荷载和内力: 作用在框支墙梁上的荷载可分为两部分, 如图12所示。

6.1.1 直接作用在框架顶面上的荷载设计值 $Q_1$ ,  $F_1$ ; 在框架梁中产生的弯矩和剪力设计值分别为:  $M_{b1}$ 、 $V_{b1}$ ; 在框架柱中产生的弯矩和轴力设计值分别为:  $M_{c1}$ 、 $N_{c1}$ 。

6.1.2 作用在框支墙梁顶面上的荷载设计值 $Q_2$ ; 在框架梁中产生的弯矩、轴力和剪力设计值分别为:  $M_{b2}$ 、 $N_{bt2}$ 、 $V_{b2}$ ; 在框架柱中产生的弯矩和轴力设计值分别为:  $M_{c2}$ 、 $N_{c2}$ 。

### 6.2 框架梁设计

6.2.1 按钢筋混凝土偏心受拉构件计算正截面抗拉弯承载力, 内力采用:

$$M_b = M_{b1} + M_{b2} \quad (27)$$

$$N_{bt} = N_{bt2} \quad (28)$$

6.2.2 按钢筋混凝土受弯构件计算斜截面抗剪承载力, 采用内力为:

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} \quad (29)$$

6.3 框架柱设计

按钢筋混凝土偏心受压构件计算正截面抗压弯承载力, 采用的内力为:

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} \quad (30)$$

$$N_c = N_{c1} + N_{c2} \quad (31)$$

6.4 墙体承载力验算

6.4.1 墙体斜截面抗剪承载力验算可按简支墙梁的相应公式进行。

6.4.2 框架端部上方墙体局部受压承载力验算可按简支墙梁的相应公式进行。也可按下式

$$\xi P \leq \alpha h f \quad (32)$$

式中,  $P$ —压力峰值, 按 (25) 式计算,

$\alpha$ —砌体局部受压承载力提高系数, 可取 1.0 ~ 1.5, 按  $\frac{a}{l_0} = 0.05 \sim 0.4$  线性变化,

$$\xi = \frac{1}{1 + 0.25 b_f / h} \quad (33)$$

式中,  $b_f$ —翼墙计算宽度, 取窗间墙宽度, 或横墙间距的 2/3 且不大于 7h 和 1/3  $l_0$ ,  
h—墙体厚度。


6.5 简化设计方法

框架梁与墙体形成的组合梁的刚度比框架柱的刚度大得多, 因此在设计框支墙梁时也可近似将柱看作组合梁的简支支座, 按简支墙梁的计算公式进行。但在设计框架柱时则必须考虑框架在  $Q_1$  作用下在柱顶产生的弯矩  $M_{c1}$ , 以及框支墙梁在  $Q_2$  作用下在柱顶产生的弯矩  $M_{c2}$ 。前者通过一般框架内力分析可以很方便地求得, 后者应按 (23) 式计算。

对承重墙梁, 规范要求满足  $b_b / l_0 \geq \frac{1}{12}$ ,  $a / l_0 \geq 0.075$ ,  $b_h / l_0 \leq 0.3$ , 当取  $b_b / l_0 = \frac{1}{8} \sim \frac{1}{15}$ ,  $a / l_0 = 0.075$ ,  $b_h / l_0 = 0.3$ , 获得的得各种  $b_b / l_0$  取值下开洞框支墙梁  $M_{c2}$  的最大值。如表 6 所示。故可偏于安全地获得  $M_{c2}$  简化公式。

框支墙梁柱顶弯矩  $M_{c2} = \alpha Q_2 l_0$

表 6

	1/8	1/10	1/12	1/15
不开洞	$\frac{1}{110.8}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{93.9}$	$\frac{1}{88.5}$
开门洞	$\frac{1}{69.9}$	$\frac{1}{63.1}$	$\frac{1}{59.2}$	$\frac{1}{55.8}$

对无洞口框支墙梁,

$$M_{r2} = \frac{1}{90} Q_2 l_0^2 \quad (34)$$

对有门洞框支墙梁,

$$M_{k2} = \frac{1}{60} Q_2 l_0^2 \quad (35)$$

也可进一步简化, 统一按 (35) 式计算。

### 参 考 文 献

- [1] 墙梁专题组“墙梁研究专题综合报告”1984年3月
- [2] 冶金部墙梁规程编制小组“墙梁有限元程序”
- [3] 龙驭球“有限元法概论”人民教育出版社 1978年
- [4] 华东水利学院“弹性力学问题的有限单元法” 水利电力出版社1974年
- [5] 中国科学院数学研究所统计组“常用数理统计方法” 科学出版社1979年
- [6] 龚绍熙 杨仲连 吴承儒 “不开洞框架墙梁的有限元分析及其近似计算” 郑州工学院  
洛阳有色金属加工设计研究院 1984年2月
- [7] 龚绍熙 杨仲连 陈列 “有门洞框架墙梁组合结构有限元分析及近似计算” 郑州  
工学院 洛阳有色金属加工设计研究院 1984年2月
- [8] 龚绍熙 苏克俭 “双跨连续墙梁的有限元分析及近似计算” 郑州工学院土建系  
1983年11月

## Finite Element Analysis And Approximate Calculated Formulas For Walls Supported On Rigid Frames

Gong Shaoxi

(Department of civil Engineering and Architecture)

**Abstract** In this paper the finite element analysis for the walls supported on rigid frames is carried on using the computer programs of plane problem with quadrilateral elements and automatic becoming element-nets. the distribution of stress and the behaviour of the wall-frames are analysed by means of the numerical calculations of the 9 wall-frames without opening and 16 wall-frames with door opening, which are arranged according to the orthogonal design rules the approximate calculated formulas of the internal forces and design suggestions are given for the wall-frames based on above works.

**Keywords:** wall-frames, finite element analysis, approximate calculation.