

基于双向板计算的高层建筑填充墙抗风设计

徐春一¹,苑永胜¹,杨永生²,徐怡婷¹

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 沈阳建筑大学学报编辑部,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 研究高层建筑砌体填充墙的抗风设计,为砌体填充墙在高层建筑中的应用提供参考.方法 通过计算典型砌块(砖)砌体填充墙在四边固定、一边固定三边简支和上下端固定左右简支3种工况下,受风荷载作用下时产生的最大应力,并与砌体弯曲抗拉强度进行对比,分析支撑最不利工况下各种墙材填充墙受力情况.结果 在墙体厚度不变的条件下,墙体抗风承载力随着高宽比的减小而增大,且高宽比应控制大于0.5;通过对其高厚比限值的修正来考虑墙体上端为自由端或柔性连接时的影响,填充墙上端为自由端时的允许高厚比可提高30%,上端为柔性连接时的允许高厚比可提高15%.结论 填充墙体顶部采取固接的连接方式有助于提高墙体平面外承载力;在一边固定三边简支的工况下,混凝土砌块砌体填充墙不能满足平面外抗风设计要求,故不应采用混凝土砌块砌体作为高层建筑填充墙,其他俩工况墙材均满足要求.

关键词 高层建筑;填充墙;风荷载;抗风设计

中图分类号 TU312⁺.1

文献标志码 A

Wind-Resistance Design of Infilled Walls in High-Rise Buildings Based on Two-Way Slab Calculation

XU Chunyi¹, YUAN Yongsheng¹, YANG Yongsheng², XU Yiting

(1. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China 110168; 2. Editorial Department of Journal, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: The wind-resistant design of masonry infilled walls in high-rise buildings was studied to provide references for the application of masonry infilled walls in high-rise buildings. By calculating the maximum stress of typical masonry infilled walls under wind load under three support conditions of four-side fixed, one-side fixed three-side simply supported and the upper and lower fixed and the left and right supported, and comparing with the bending tensile strength of masonry values, the stress of various wall infilled walls under the most unfavorable supporting conditions is analyzed. The wind-resistant capacity of infilled wall increases with the decrease of depth-width ratio

收稿日期:2018-01-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51408373)

作者简介:徐春一(1983—),女,副教授,博士,主要从事现代砌体结构、新型混凝土结构和预制装配式结构方面研究.

under the condition that the wall thickness remains unchanged. And the depth-width ratio should be controlled to be greater than 0.5. The influence of the upper end of the wall on the free end or flexible connection is considered through the correction of the high thickness ratio limit. The allowable height-thickness ratio can be increased by 30% when the top of the wall is free and 15% when the top is flexible. The fixed connection at the top of the infilled wall is helpful to improve the out-of-plane bearing capacity of the wall. Under the condition that one-side fixed three-side simply supported, the concrete block masonry infilled wall cannot meet the requirements of the out-of-plane wind resistance design, so the concrete block masonry should not be used as the infilled wall of high-rise buildings, and the other wall materials in other working conditions all meet the requirements.

Key words: high-rise building; infilled walls; wind load; wind-resistance design

填充墙框架结构是我国应用最为广泛的一种结构形式,填充墙为非结构构件,主要为保温、隔热、空间围护等建筑使用功能^[1-6]. 近年来,随着新型墙体材料的广泛应用,逐渐出现了高层建筑填充墙体的裂缝问题^[7-9]. 墙体的开裂给人们的生产、生活带来极大的不便. 当然造成填充墙开裂的原因很复杂,国内外学者大多研究地震作用下对砌体填充墙开裂的影响^[10-19],然而风荷载也是重要的影响因素之一^[20],风荷载已成为高层、高耸结构的主要设计荷载. 笔者通过计算典型砌块(砖)砌体填充墙在不同支撑条件下的风荷载作用,并与《砌体结构设计规范》(GB50003—2011)中砌体弯曲抗拉强度进行对比,分析支撑最不利工况下各种墙材填充墙受力情况,为填充墙的设计、施工提供参考.

1 填充墙风荷载设计值计算

笔者以沈阳某办公楼为例,基本风压为 $w_0=0.55\text{ kPa}$,地面粗糙度为B类,建筑物总高度取120 m,层高为3 m. 根据《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)计算围护结构的风荷载标准值 w_k .

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0. \tag{1}$$

式中: β_{gz} 为高度 z 处的阵风系数; μ_{sl} 为风荷载局部体型系数; μ_z 为风压高度变化系数.

根据《建筑结构荷载规范》(GB50009—

2012)中计算围护构件及其连接的风荷载时,应按照图1所示的封闭式矩形平面房屋的局部体型系数选取 μ_{sl} . 图中 E 应取 $2H$ 和迎风宽度 B 中较小者, H 为房屋高度, B 为房屋宽度, D 为房屋长度. 根据《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)中的规定,迎风面局部体形系数取1.0,侧面 $0\sim E/5$ (以下简称侧面)局部体形系数取 -1.4 . 根据式(1)计算得到的迎风面风荷载标准值 w_{k1} 和侧面风荷载标准值 w_{k2} (见表1).

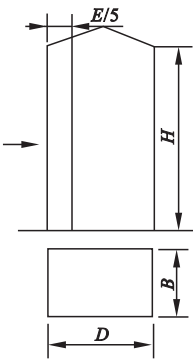


图1 封闭式矩形平面房屋墙面体型图

Fig. 1 Wall somatotype of enclosed rectangular house

表1 各高度风荷载标准值

Table 1 Standard values of wind loads at various heights

高度/m	w_{k1} /kPa	w_{k2} /kPa
100	1.65	-2.31
97	1.63	-2.29

由于风荷载的大小随高度的增大而增大,在同一楼层内,风荷载是一个梯形荷载,可视为均布荷载与倒三角荷载的叠加,为了简化计算,也可将每个楼层内的风荷载转化为该楼层半高处的均布荷载(见图 2)。

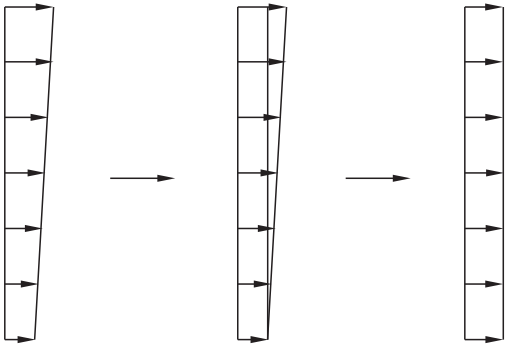


图 2 风荷载转化示意图

Fig. 2 Schematic diagram of wind load transformation
根据《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)得到围护结构的风荷载计算值 $w_{k,m}$ 。

$$w_{k,m} = \gamma_Q \gamma_L w_k \tag{2}$$

式中: γ_Q 为可变荷载分项系数; γ_L 为考虑设计使用年限的调整系数; w_k 为迎风面与侧面风荷载标准值。

w_k 与计算值 $w_{k,m}$ 如表 2 所示。

表 2 迎风面与侧面风荷载标准值与计算值

Table 2 Standard values and calculated values of wind loads on windward and side faces

w_k/kPa		$w_{k,m}/\text{kPa}$	
迎风面	侧面	迎风面	侧面
1.64	-2.30	2.06	-2.90

2 填充墙的受力计算

填充墙在地震和风荷载作用下的出平面稳定性能和其与框架的连接方式有很大关系,目前连接方式主要有两种:刚性连接和柔性连接。刚性连接是填充墙与周边框架进行可靠的连接,两侧用钢筋拉结,墙顶斜砌砌块与梁顶紧。柔性连接即是对填充墙与框架进行脱空处理,墙柱间缝隙用软材料填满,主要依靠拉结筋的变形保持墙体的出平面稳定,

这样处理可以基本消除填充墙的刚度效应。取墙高 l_{01} 为 2 800 mm,墙长 l_{02} 为 4 200 mm,墙厚 h 为 200 mm。由于 $l_{02}/l_{01} = 1.5 < 2$,因此可按双向板进行计算。笔者将按照填充墙四边固定、一边固定三边简支、上下固定左右简支 3 种工况进行验算分析,并与各类型砌块(砖)砌体的弯曲抗拉强度设计值进行对比。砂浆强度等级为 M7.5 时,各类型砌块(砖)砌体的弯曲抗拉强度设计值 f_{tm} 如表 3 所示。

表 3 各类型砌块(砖)砌体弯曲抗拉强度设计值

Table 3 Design value of bending tensile strength of various types of block (brick) MPa

f_{tm} (混凝土 多孔砖)	f_{tm} (蒸压粉 煤灰砖)	f_{tm} (混凝土 砌块)	f_{tm} (加气 混凝土)
0.29	0.20	0.09	0.11

2.1 四边固定

工况 I 的填充墙支撑方式为四边固定。实际工程中,砌筑到墙顶 7 d 后,待下部墙体沉实,将普通砖切至合适大小,斜砌顶紧,水平拉结筋伸入柱和墙,并用砂浆填实,具体情况如图 3 所示。图中 m_1 为平行于 l_{01} 方向板中心点单位板宽的弯矩; m_2 为平行于 l_{02} 方向板中心点单位板宽的弯矩; m'_1 为固定边中点沿 l_{01} 方向单位板宽内的弯矩; m'_2 为固定边中点沿 l_{02} 方向单位板宽内的弯矩。

2.1.1 弯矩计算

内支座固定时在 $g + q/2$ 作用下的跨中弯矩值与内支座铰支时在 $q/2$ 作用下的跨中弯矩值之和,即为跨中最大弯矩。本例砌块的泊松比取 0.15,支座最大负弯矩为内支座固定时 $g + q$ 作用下的支座弯矩,忽略墙自重的影响。

$$m_1 = (0.033\ 5 + 0.15 \times 0.010\ 2)(g + q/2)l_{01}^2 + (0.072\ 3 + 0.15 \times 0.028\ 1) \times ql_{01}^2/2. \tag{3}$$

$$m_2 = (0.010\ 2 + 0.15 \times 0.033\ 5)(g + q/2)l_{01}^2 + (0.028\ 1 + 0.15 \times 0.072\ 3) \times ql_{01}^2/2. \tag{4}$$

$$m'_1 = -0.075\,4 \times (g + q) l_{01}^2. \tag{5}$$

$$m'_2 = -0.057\,0 \times (g + q) l_{01}^2. \tag{6}$$

此时按照式(3)~(6),分别计算填充墙弯矩设计值,计算结果如表 4 所示.

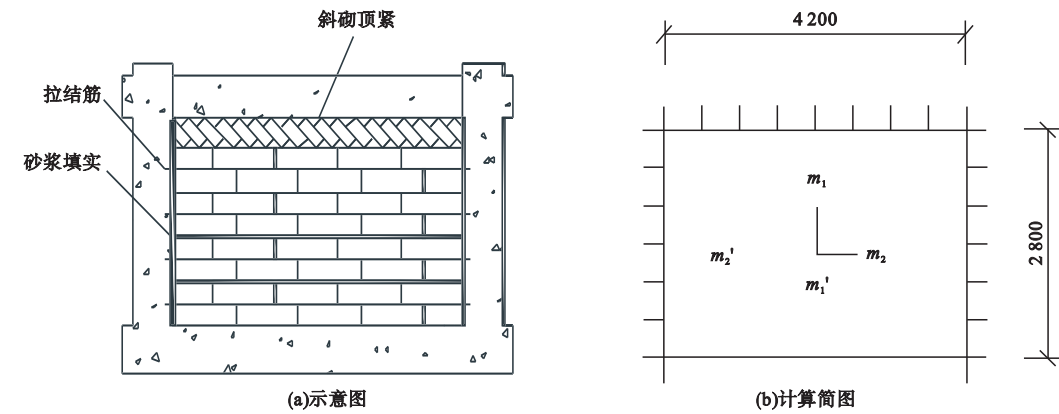


图 3 四边固定填充墙

Fig. 3 Infilled wall with four side fixed

表 4 填充墙弯矩计算值

Table 4 Calculation value of bending moment of filled wall kN·m

迎风面				侧面			
m_1	m_2	m'_1	m'_2	m_1	m_2	m'_1	m'_2
0.902	0.437	-1.218	-0.920	-1.268	-0.616	1.714	1.296

由表 4 可知,风荷载产生的弯矩在长边跨中支座处弯矩最大,迎风面弯矩值为 -1.218 kN·m,侧面为 1.714 kN·m.

2.1.2 荷载验算

通过式(7)及式(8),对填充墙荷载进行验算,对比风荷载产生的应力与砌块(砖)砌体的弯曲抗拉强度设计值,验证填充墙是否满足平面外抗风设计.

$$W = \frac{1}{6} l_{02} h^2. \tag{7}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}. \tag{8}$$

式中:W 为填充墙截面抵抗矩;σ 为填充墙截面正应力;M 为截面弯矩.

填充墙荷载验算结果如表 5 所示.

表 5 填充墙荷载验算结果

Table 5 Load checking results of infilled wall

W/mm ³	σ/MPa	
	迎风面	侧面
28 × 10 ⁶	-0.043	-0.061

经验算可知:当填充墙按双向板四边固定考虑时,由风荷载在建筑物填充墙迎风面与侧面产生的应力均小于表 1 砌块(砖)砌体的弯曲抗拉强度设计值.因此该工况下各砌块(砖)砌体均满足平面外抗风要求.

2.2 一边固定三边简支

工况 II 的填充墙支撑方式为一边固定三边简支.填充墙顶部卡入设在梁底的卡口钢件内,填充墙顶与梁底留有 20 mm 宽的缝隙.同时每隔两皮砖设有水平拉结筋,填充墙两侧与柱留有 20 mm 宽的缝隙.通过设置缝隙,阻断墙、柱在地震作用中的相互挤压.地震作用时,保证填充墙不参与地震作用分配,进而消除填充墙的横向约束作用.具体连接情况如图 4 所示.图中 m_3 为平行于 l_{01} 方向板中心点单位板宽的弯矩; m_4 为平行于 l_{02} 方向板中心点单位板宽的弯矩; m'_3 为固定边中点沿 l_{01} 方向单位板宽内的弯矩; m'_4 为固定边中点沿 l_{02} 方向单位板宽内的弯矩.

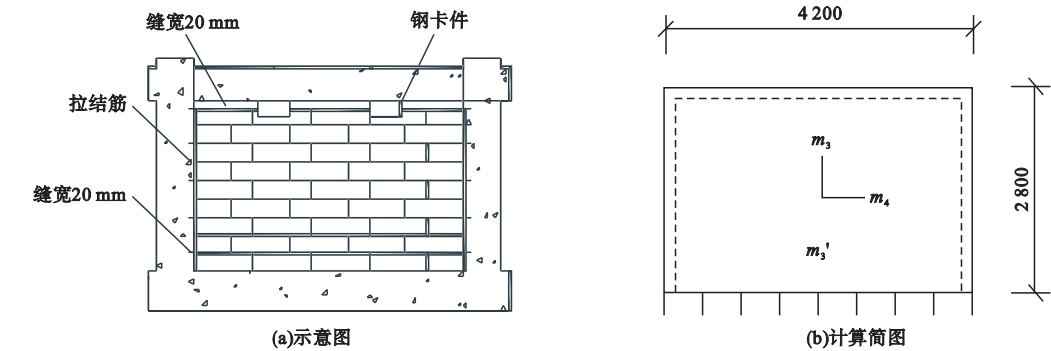


图 4 一边固定三边简支填充墙

Fig. 4 One side fixed three side simply supported infilled wall

2.2.1 弯矩计算

分别计算填充墙弯矩设计值。
$$m_3 = (0.05 + 0.15 \times 0.0135)(g + q/2)l_{01}^2 + (0.0723 + 0.15 \times 0.0281) \times ql_{01}^2/2. \tag{9}$$
$$m_4 = (0.0135 + 0.15 \times 0.05)(g + q/2)l_{01}^2 +$$

$$(0.0281 + 0.15 \times 0.0723) \times ql_{01}^2/2. \tag{10}$$

$$m_3' = -0.1109 \times (g + q)l_{01}^2. \tag{11}$$

$$m_4' = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}. \tag{12}$$

填充墙弯矩计设计值算结果见表 6.

表 6 填充墙弯矩计算值

Table 6 Calculation value of bending moment of filled wall kN·m

迎风面				侧面			
m_3	m_4	m_3'	m_4'	m_3	m_4	m_3'	m_4'
1.038	0.484	-1.791	0	-1.461	-0.681	2.521	0

2.2.2 荷载验算

对填充墙荷载进行验算,对比风荷载产生的应力与砌块(砖)砌体的弯曲抗拉强度设计值,验证填充墙是否满足平面外抗风设计.验算结果如表 7 所示.

表 7 填充墙荷载验算结果

Table 7 Load checking results of infilled wall

W/mm ³	σ/MPa	
	迎风面	侧面
28×10^6	-0.064	-0.090

经验算可知:当填充墙按双向板一边固定三边简支考虑时,由风荷载在填充墙迎风面以及侧面产生的应力等于表 1 中的混凝土砌块(砖)砌体弯曲抗拉强度设计值.在该工况下,混凝土砌块砌体填充墙不能满足平面外抗风设计要求,因此不应采用混凝土砌块砌体作为高层建筑填充墙.

2.3 上下固定,左右简支

工况Ⅲ的填充墙支撑方式为上下固定左右简支.该工况下填充墙与梁采用斜砌顶紧的方式刚性连接,与柱的柔性连接采用每隔两皮砖设有水平拉结筋,填充墙两侧与柱留有 20 mm 宽的缝隙,用软材料填满.具体连接方式如图 5 所示.图中 m_5 为平行于 l_{01} 方向板中心点单位板宽的弯矩; m_6 为平行于 l_{02} 方向板中心点单位板宽的弯矩; m_5' 为固定边中点沿 l_{01} 方向单位板宽内的弯矩; m_6' 为固定边中点沿 l_{02} 方向单位板宽内的弯矩.

2.3.1 弯矩计算

分别计算填充墙弯矩设计值,计算结果见表 8.

$$m_5 = (0.0387 + 0.15 \times 0.0063)(g + q/2)l_{01}^2 + (0.0723 + 0.15 \times 0.0281) \times ql_{01}^2/2. \tag{13}$$
$$m_6 = (0.0063 + 0.15 \times 0.0387)(g + q/2)l_{02}^2 + (0.0281 + 0.15 \times 0.0723) \times ql_{02}^2/2.$$

$$2) l_{01}^2 + (0.028\ 1 + 0.15 \times 0.072\ 3) \times q l_{01}^2 / 2.$$

(14)

$$m_5' = -0.083\ 1 \times (g + q) l_{01}^2.$$

(15)

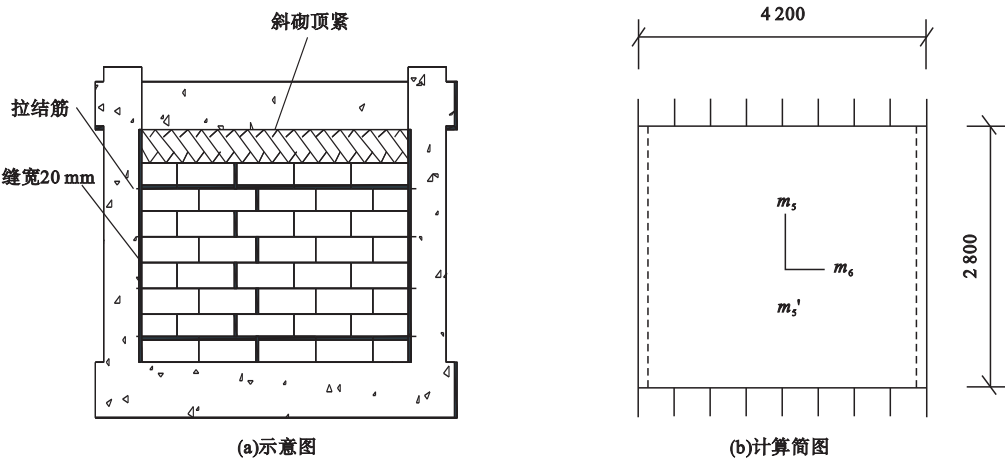


图 5 上下固定左右简支填充墙

Fig. 5 The upper and lower fixed and the left and right supported infilled wall

表 8 填充墙弯矩计算值

Table 8 Calculation value of bending moment of filled wall

迎风面				侧面				kN·m
m_5	m_6	m_5'	m_6'	m_5	m_6	m_5'	m_6'	
0.983	0.412	-1.342	0	-1.321	-0.580	1.889	0	

2.3.2 荷载验算

根据式(7)和式(8),对填充墙荷载进行验算,对比风荷载产生的应力与砌块(砖)砌体的弯曲抗拉强度设计值,验证填充墙是否满足平面外抗风设计. 验算结果如表 9 所示.

表 9 填充墙荷载验算结果

Table 9 Load checking results of infilled wall

W/mm ³	σ/MPa	
	迎风面	侧面
28 × 10 ⁶	-0.048	-0.067

经计算可知:当填充墙按双向板上下固定左右简支考虑时,由风荷载在填充墙迎风面以及侧面产生的应力均小于表 1 中的砌块(砖)砌体弯曲抗拉强度. 因此该工况下各砌

块(砖)砌体均满足平面外抗风要求.

2.4 各高度处填充墙受力计算

通过对不同高度处的填充墙最大应力进行计算,对比分析在相同风荷载的作用下,各工况填充墙迎风面与侧面的最大应力,给出最优工况. 计算结果见表 10.

从表 10 可知,在 3 种工况中,当填充墙按双向板四边固接时,在相同风荷载作用下产生应力最小,按上下固定、左右简支的约束条件次之. 对比约束条件为一边固定三边简支和上下固定左右简支的两种工况,可得出填充墙与梁顶固接时的抗风能力要高于与梁顶柔性连接,因此可知填充墙体顶部采取固接的连接方式有助于提高墙体平面外承载力.

表 10 距地面不同高度处填充墙产生的最大应力

Table 10 Maximum stress produced by infilled wall at different heights from the ground									
高度/m	基本风压/kPa	风荷载设计值/ kPa		工况Ⅰ最大应力/ MPa		工况Ⅱ最大应力/ MPa		工况Ⅲ最大应力/ MPa	
		迎风面	侧面	迎风面	侧面	迎风面	侧面	迎风面	侧面
10	0.55	1.16	-1.63	-0.024 5	0.034 4	-0.036 0	0.050 6	-0.027 0	0.037 9
20	0.55	1.36	-1.91	-0.028 7	0.040 3	-0.042 2	0.059 3	-0.031 6	0.044 4
30	0.55	1.51	-2.11	-0.031 9	0.044 5	-0.046 8	0.065 5	-0.035 1	0.049 1
40	0.55	1.64	-2.30	-0.034 6	0.048 6	-0.050 9	0.071 4	-0.038 2	0.053 5
50	0.55	1.73	-2.42	-0.036 5	0.051 1	-0.053 7	0.075 1	-0.040 2	0.056 3
60	0.55	1.81	-2.53	-0.038 2	0.053 4	-0.056 2	0.078 6	-0.042 1	0.058 9
70	0.55	1.88	-2.63	-0.039 7	0.055 5	-0.058 4	0.081 7	-0.043 7	0.061 2
80	0.55	1.95	-2.73	-0.041 2	0.057 6	-0.060 6	0.084 8	-0.045 4	0.063 5
90	0.55	2.00	-2.80	-0.042 2	0.059 1	-0.062 1	0.086 9	-0.046 5	0.065 2
100	0.55	2.06	-2.90	-0.043 5	0.061 2	-0.063 9	0.090 1	-0.047 9	0.067 5

3 高宽比对抗风性能的影响

高宽比是高层建筑结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制指标.

通过改变填充墙的高宽比,对比分析高宽比对填充墙最大应力以及抗风性能的影响,不同尺寸墙受风荷载作用的应力如表 11 所示.

表 11 不同尺寸墙受风荷载作用产生的应力

Table 11 Stress induced by wind load on different size wall							
计算方法	墙片尺寸/mm	l_{o1}/l_{o2}	σ /MPa				上部为自由端
			工况Ⅰ	工况Ⅱ	工况Ⅲ		
按双向板计算	4 200×3 200×200	0.76	0.073 6	0.120 8	0.086 2		—
	4 200×3 000×200	0.71	0.067 9	0.107 7	0.077 6		—
	4 200×2 800×200	0.67	0.061 2	0.090 0	0.067 5		—
	5 000×2 800×200	0.56	0.055 8	0.081 4	0.057 8		—
按单向板计算	6 000×2 800×200	0.47	-0.047 1	-0.039 9	—		-0.284
	6 600×2 800×200	0.42	-0.042 8	-0.036 1	—		-0.258

对比按双向板计算的填充墙可知,在墙体厚度不变的条件下,高宽比对填充墙承载力的影响是显著的,随着高度降低,墙体产生的最大应力逐渐减小,亦随着高宽比的减小,墙体的抗风承载力逐渐增大;对比按单向板计算的填充墙可知,在墙体高度不变的情况下,随着宽度的增大,墙体产生的最大应力逐渐减小,亦随着高宽比的减小,墙体在平面外抗风承载力逐渐增大.当高宽比小于 0.5 时,按单向板进行填充墙计算不经济,故高宽比应控制大于 0.5.

4 高厚比对抗风性能的影响

填充墙除了需满足强度计算外,还需进行高厚比验算.砌体结构房屋墙体高厚比的验算是保证房屋正常使用的重要构造措施之一.根据《砌体结构设计规范》(GB50003—2011),在确定墙体的计算高度时,需分析参数横墙间距,横墙对墙体提供平面外支承作用,规范中的横墙间距实质为墙体平面外支承间距,框架结构中柔性连接填充墙是通过配置横向拉结筋的方式,实现与框架主体结构

件连接,以提供支承约束作用,故确定填充墙的计算高度时,横墙间距实取框架柱间距.受压构件的计算高度,应根据房屋类别和构件的支承条件取值,对填充墙可取墙体的实际高度.

根据《砌体结构设计规范》(GB50003—2011)中墙体高厚比验算其高厚比.

$$\beta = \frac{H_0}{h} \leq \mu_1 \mu_2 [\beta]. \quad (16)$$

式中: H_0 为墙的计算高度; h 为墙厚; μ_1 为自承重墙允许高厚比的修正系数; μ_2 为有门窗洞口墙允许高厚比的修正系数; $[\beta]$ 为墙的允许高厚比.

根据《砌体结构设计规范》(GB50003—2011)的规定,当墙厚为90 mm时, μ_1 取1.5;墙厚为240 mm时, μ_1 取1.2;当墙厚小于240 mm且大于90 mm时, μ_1 按插入法取值;根据条件允许高厚比 $[\beta]$ 取26.笔者在表11中列出的各工况不同尺寸的填充墙均满足高厚比要求.

当填充墙周边支撑或拉接条件不同时,其计算高度也不同,但由于现行砌体结构设计规范对此内容并没有具体规定,因此笔者对四边固定、一边固定三边简支和上下端固定左右简支3种工况下填充墙的墙体计算高度统一取墙体的实际高度,通过对其高厚比限值的修正来考虑墙体上端为自由端或柔性连接时的影响,上端为自由端时的允许高厚比可提高30%,上端为柔性连接时的允许高厚比可提高15%.

5 结 论

(1)当填充墙按双向板四边固接时,在相同风荷载作用下产生的应力最小,按上下固定、左右简支的约束条件次之.对比约束条件为一边固定三边简支和上下固定左右简支的两种工况,填充墙与梁顶固接时的抗风能力要高于与梁顶柔性连接,因此可知填充墙体顶部采取固接的连接方式有助于提高墙体

平面外承载力.

(2)当填充墙按双向板计算时,高宽比对填充墙承载力的影响是显著的,在墙体厚度不变的条件下,随着高度降低,墙体产生的最大应力逐渐减小,亦随着高宽比的减小,墙体的抗风承载力逐渐增大.当高宽比小于0.5时,按单向板进行填充墙计算不经济,故高宽比应控制大于0.5.

(3)当填充墙周边支撑或拉接条件不同时,其计算高度也不同,但由于现行砌体结构设计规范对此内容并没有具体规定,因此笔者对四边固定、一边固定三边简支和上下端固定左右简支3种工况下填充墙的墙体计算高度统一取墙体的实际高度,通过对其高厚比限值的修正来考虑墙体上端为自由端或柔性连接时的影响,填充墙上端为自由端时的允许高厚比可提高30%,上端为柔性连接时的允许高厚比可提高15%.

参考文献

- [1] 叶列平,陆新征,赵世春,等.框架结构抗地震倒塌能力的研究:汶川地震极震区几个框架结构震害案例分析[J].建筑结构学报,2009,30(6):67-76.
(YE Lieping, LU Xinzhen, ZHAO Shichun, et al. Seismic collapse resistance of RC frame structures: case studies on seismic damages of several RC frame structures under extreme ground motion in Wenchuan earthquake[J]. Journal of building structures, 2009, 30(6): 67-76.)
- [2] 王永民,陈建华,葛东晓.汶川地震中某3层砖混结构地震反应分析[J].国防交通工程与技术,2009(6):46-48.
(WANG Yongmin, CHEN Jianhua, GE Dongxiao. Earthquake-response analysis of a three-storey brick-concrete composite structure in wenchuan earthquake[J]. Traffic engineering and technology for national defence, 2009(6):46-48.)
- [3] 陈章彦,邓雪松,童博,等.填充墙平面外受力性能研究的回顾与展望[J].工程抗震与加固改造,2016,38(2):1-16.
(CHEN Zhangyan, DENG Xuesong, TONG Bo, et al. Retrospect and prospect in study of out-of-plane mechanical behavior of masonry wall[J]. Earthquake resistant engineering and retrofitting, 2016, 38(2): 1-16.)
- [4] 范学伟,徐国彬,黄雨.工程结构的风灾破坏

- 和抗风设计[J]. 中国安全科学学报, 2001, 11(5): 73-76.
(FAN Xuewei, XU Guobin, HUANG Yu. Disaster caused by wind and wind-resistant design of engineering structure[J]. China safety science journal, 2001, 11(5): 73-76.)
- [5] 周云, 汪大洋, 陈小兵. 基于性能的结构抗风设计理论框架[J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(3): 244-251.
(ZHOU Yun, WANG Dayang, CHEN Xiaobing. Framework on performance-based wind-resistant design theory[J]. Journal of disaster prevention and mitigation engineering, 2009, 29(3): 244-251.)
- [6] 王本兴, 王艳晗, 朱杰克. 框架填充墙结构体系抗震性能评价[J]. 中国科技信息, 2007(1): 47-48.
(WANG Benxing, WANG Yanhan, ZHU Jieke. Seismic property estimate of infilled frame structures[J]. China science and technology information, 2007(1): 47-48.)
- [7] 赵元. 论如何控制高层建筑填充墙的裂缝[J]. 科技与创新, 2014(19): 72-74.
(ZHAO Yuan. Theory of how to control the high-rise building filler wall crack[J]. Science and technology & innovation, 2014(19): 72-74.)
- [8] 杨帆, 蒋飞, 余川. 浅谈高层住宅外墙渗漏原因分析及预防措施[J]. 四川建材, 2016, 42(2): 242-243.
(YANG Fan, JIANG Fei, YU Chuan. Causes analysis and preventive measures for leakage of external walls of high-rise residential buildings[J]. Sichuan building materials, 2016, 42(2): 242-243.)
- [9] 范小鹏. 高层住宅填充墙裂缝的分析和预防[J]. 建筑施工, 2015, 37(7): 819-820.
(FAN Xiaopeng. Analysis and prevention of filler wall cracks in high-rise residential building[J]. Building construction, 2015, 37(7): 819-820.)
- [10] MEHRABI A B, SHING P B. Finite element modeling of masonry-infilled RC frames[J]. Journal of structural engineering, 1997, 123(5): 604-613.
- [11] DAFNIS A, KOLSCH H, REIMERDES N, et al. Arching in masonry walls subjected to earthquake motions[J]. Journal of structural engineering, 2002, 128(12): 153-159.
- [12] HUANG Q, GUO Z, KUANG J S. Designing infilled reinforced concrete frames with the strong frame-weak infill principle[J]. Engineering structures, 2016, 123: 341-353.
- [13] EMERGENCY F, AGENCY M. Prestadard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings[R]. Washington DC: Federal emergency management agency, 2000.
- [14] CHIOU Y J, TZENG J C, LIOU Y W. Experimental and analytical study of masonry infilled frames[J]. Journal of structural engineering, 1999, 125(10): 1109-1117.
- [15] AMDE A M, GHOSH A K. Finite element analysis of infilled frames[J]. Journal of structural engineering, 2002, 128(7): 881-889.
- [16] LOTH H R, SHING P B. Interface model applied to fracture of masonry structure[J]. Journal of structures engineering, 1994, 120(1): 63-80.
- [17] MALLICK D V, SEVERN R T. The Behaviour of Infilled Frames under Static Loading[J]. Proceedings of the institution of civil engineering, 2015, 38(4): 639-656.
- [18] 孙丽娟. 填充墙平面内及平面外受力性能研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009.
(SUN Lijuan. Study on the performance of infilled subjected to in-plane and out-of-plane loading[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2009.)
- [19] 史庆轩, 童岳生, 钱国芳. 砖填充墙钢筋混凝土框架的地震反应分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 1996, 28(4): 423-427.
(SHI Qingxuan, TONG Yuesheng, QIAN Guofang. Earthquake response analysis for reinforced concrete frames with masonry filler walls[J]. Journal of Xi'an university of architecture & technology, 1996, 28(4): 423-427.)
- [20] 王腾飞, 邹良浩, 孙艳. 高层住宅建筑风荷载特性及风致响应[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(4): 164-168.
(WANG Tengfei, ZOU Lianghao, SUN Yan. Wind Load Characteristics Wind-induced Response of Tall Residential Buildings[J]. Journal of civil engineering and management, 2018, 35(4): 164-168.)