

...力  
...计  
...构设  
...也有  
...问题的  
...展这一  
...题的  
...昆  
...式

$$V_{cs} = \frac{1.66}{\lambda_{eq}^-}$$

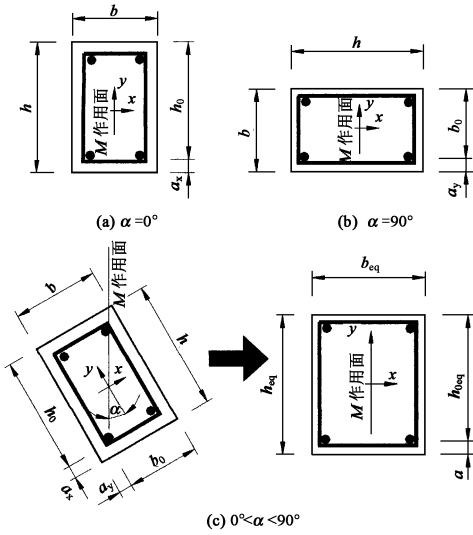


图1 双向受弯构件的等效截面

等效剪跨比  $\lambda_{eq} < 1.5$  时, 取  $\lambda_{eq} = 1.5$ , 当  $\lambda_{eq} > 3$  时, 取  $\lambda_{eq} = 3$ 。截面高度影响系数  $\eta = (800/h_{0eq})^{1/4}$ 。当  $h_{0eq} < 800\text{mm}$  时, 取  $h_{0eq} = 800\text{mm}$ ; 当  $h_{0eq} > 2000\text{mm}$  时, 取  $h_{0eq} = 2000\text{mm}$ 。

(1) 无腹筋双向受弯构件

均布荷载作用

$$V \leq V_c = 0.7 \eta f_t b_{eq} h_{0eq} \quad (4)$$

集中荷载作用

$$V \leq V_c = \frac{1.75}{\lambda_{eq} + 1} \eta f_t b_{eq} h_{0eq} \quad (5)$$

(2) 有腹筋双向受弯构件

均布荷载作用

$$V \leq V_{cs} = 0.7 f_t b_{eq} h_{0eq} + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0eq} \quad (6)$$

集中荷载作用

$$V \leq V_{cs} = \frac{1.75}{\lambda_{eq} + 1} f_t b_{eq} h_{0eq} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0eq} \quad (7)$$

2. 回归公式方法

为了与现行规范相适应, 采用规范方法公式的形式, 根据文[2]~[6]的试验数据和最小二乘法原理, 确定公式的待定参数。

(1) 无腹筋双向受弯构件

均布荷载作用

$$V_c = 1.24 \eta f_t b_{eq} h_{0eq} \quad (8)$$

集中荷载作用

$$V_c = \frac{0.83}{\lambda_{eq} - 1.01} \eta f_t b_{eq} h_{0eq} \quad (9)$$

(2) 有腹筋双向受弯构件

均布荷载作用

$$V_{cs} = 1.36 f_t b_{eq} h_{0eq} + 0.14 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0eq} \quad (10)$$

均布荷载作用下的无腹筋双向

$h_{0eq}$ (mm)	斜弯角 $\alpha(^{\circ})$	$f_{cu}$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	实				
5.68	8.0	18.8	1.75	67.585				
4.68	8.0	33.1	2.38	64.574				
3.82	8.0	45.6	2.84	135.858	84.1			
3.74	14.0	20.1	1.81	81.756	24.138			
3.00	14.0	33.1	2.38	71.972	24.138			
16.00	14.0	40.8	2.67	86.727	57.901	1.49		
19.26	26.6	20.1	1.81	109.476	57.031	1.920		
17.61	26.6	33.1	2.38	94.188	53.578	1.758	95	
14.67	26.6	45.6	2.84	61.227	38.942	1.572	69.11	
15.20	14.0	40.8	2.67	76.110	57.122	1.332	101.386	
16.00	14.0	40.8	2.67	87.511	58.071	1.507	103.071	0.8
158.02	8.0	18.8	1.75	38.413	37.719	1.018	66.947	0.574
159.56	8.0	20.1	1.81	107.810	39.936	2.700	70.883	1.521

均布荷载作用下的有腹筋双向受弯梁<sup>[5]</sup>

$b_{eq}$ (mm)	$f_{cu}$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	箍筋		实测 $V_t$ (kN)	规范公式法		回归
			配筋	$f_y$ (MPa)		$V_{cs}$ (kN)	$V_t/V_{cs}$	
149.98	35.31	2.47	Φ6.5@130	268	67.585	75.906	0.890	9
152.36	30.52	2.28	Φ6.5@150	268	64.574	67.838	0.952	9
152.80	27.43	2.15	Φ6.5@170	268	135.858	64.005	2.12	9
156.09	27.43	2.15	Φ6.5@150	268	81.756	66.156	1.23	9
156.62	35.31	2.47	Φ6.5@170	268	71.972	68.789	1.03	9
158.78	30.52	2.28	Φ6.5@130	268	86.727	73.79	1.17	9
164.73	30.52	2.28	Φ6.5@170	268	109.476	65.578	1.67	9
161.31	27.43	2.15	Φ6.5@130	268	94.188	65.578	1.43	9
160.89	35.31	2.47	Φ6.5@150	268	61.227	61.227	1.00	9

集中荷载作用下的有腹筋双向受弯梁(L1~L15)

梁号	$b_{eq}$ (mm)	$h_{0eq}$ (mm)	$f_{cu}$ (Pa)	$f_t$ (MPa)	剪跨 $a$ (mm)	箍筋	
						配筋	
L1	217	177.09	219.52	19	1.76	260	Φ6.5@130
L2	352	177.67	290.10	19	1.76	710	Φ6.5@130
L3	256	180.62	202.84	4.4	2.43	310	Φ6.5@130
L4	355	181.89	290.80	4.4	2.43	750	Φ6.5@130
L5	352	189.87	289.92	4.4	2.43	430	Φ6.5@130
L6	252	166.71	212.66	19	1.76		
L7	245	181.00	197.10	19	1.76		
L8	257	174.47	204.78	2.0	4.4	2.0	
L9	202	174.44	168.80	2.0	19		
L10	205	166.47	166.98	2.0	19		
L11	251	151.8	217.82	8	34		
L12	252	160	218.80	8	34		
L13	299	174	248.52	14			
L14	300	175	249.42	14			
L15	303	177	251.84	14			
L16	305	174.9	22.9				
L17	302	175.3	250.66	14			
L18	301	166.32	258.9	14			
L19	297	194	228.73	14			
L20	301	175	250.04	14			
L21	301	175	249.90	14			
L22	301	175	250.66	14			
L23	301	175	250.66	14			
L24	301	175	250.66	14			
L25	301	175	250.66	14			

梁号	b (mm)	h (mm)	b <sub>eq</sub> (mm)	h <sub>0eq</sub> (mm)	斜弯角 α(°)	f <sub>cu</sub> (MPa)	f <sub>t</sub> (MPa)	剪跨 a (mm)	实测 V <sub>t</sub> (kN)	规范公式法		回归公式法	
										V <sub>c</sub> (kN)	V <sub>t</sub> /V <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> (kN)	V <sub>t</sub> /V <sub>c</sub>
L1	147	228	159.85	193.90	14	17.0	1.65	410	30.850	28.760	1.073	38.422	0.803
L2	155	232	166.93	197.79	14	17.0	1.65	410	37.850	31.050	1.219	42.533	0.890
L3	153	228	164.75	194.71	14	20.1	1.81	410	40.000	32.730	1.222	43.954	0.910
L4	150	149	149.38	134.03	26	14.7	1.52	250	27.500	18.641	1.475	29.601	0.929
L5	147	148	147.46	133.06	26	30.0	2.26	250	42.900	26.916	1.594	42.272	1.015
L6	151	150	150.80	135.45	26	40.0	2.64	250	47.500	33.208	1.430	53.606	0.886
L8	155	229	166.26	195.70	14	20.1	1.81	570	34.650	26.350	1.315	25.652	1.351
L9	151	227	162.82	193.66	14	20.1	1.81	220	94.500	39.966	2.365	96.824	0.976
L11	148	299	160.97	256.98	8	14.7	1.52	760	30.250	27.885	1.085	26.825	1.128
L12	148	300	161.16	257.89	8	14.7	1.52	550	40.350	35.392	1.140	46.786	0.862
L13	151	299	163.83	257.56	8	14.7	1.52	300	94.000	45.026	2.088	109.082	0.862
L14	158	227	177.65	186.26	26	30.0	2.26	410	39.750	40.821	0.974	51.964	0.765
L15	154	235	166.63	200.31	14	30.0	2.26	410	46.850	43.267	1.083	60.244	0.778
L16	156	226	162.25	198.05	8	30.0	2.26	410	52.650	41.334	1.274	56.713	0.928
L17	156	238	156.00	214.47	0	30.0	2.26	410	67.850	45.382	1.495	69.456	0.977
L18	146	150	146.40	134.55	14	30.0	2.26	250	42.600	27.220	1.565	43.485	0.980
L19	148	146	148.03	131.82	8	30.0	2.26	250	52.400	26.607	1.969	41.206	1.272
L20	151	150	151.01	135.17	8	14.7	1.52	320	25.650	16.171	1.586	19.000	1.350
L21	148	299	161.08	257.15	8	14.7	1.52	680	41.050	30.321	1.354	32.013	1.282
L22	146	366	165.95	312.08	8	14.7	1.52	850	40.350	37.102	1.088	38.171	1.057

试验实测值与两种方法计算值之比的统计表 表 5

受力与配筋类型	数据来源/试件数	规范公式法				回归公式法			
		平均值	最大值	最小值	均方差	平均值	最大值	最小值	均方差
无腹筋均布荷载	文[3]/13	1.775	3.387	0.997	0.626	1.000	1.908	0.562	0.353
无腹筋集中荷载	文[4]/20	1.420	2.365	0.974	0.359	1.000	1.351	0.765	0.180
有腹筋均布荷载	文[5]/9	1.258	2.123	0.867	0.388	1.000	1.665	0.666	0.301
有腹筋集中荷载	文[2],[6]/25	1.446	1.948	0.997	0.205	0.993	1.351	0.599	0.193

形式来分析:

$$\left( V_x / V_{ux} \right)^m + \left( V_y / V_{uy} \right)^n = 1 \quad (12)$$

若指数  $m = n = 2$ , 则正好为圆。根据表 1~ 4 的试验资料, 可得  $V_x / V_{ux}$  和  $V_y / V_{uy}$  的关系如图 2 所示。其中,  $V_x, V_y$  分别为实测值  $V_t$  在  $x$  轴和  $y$  轴方向受剪的分量,  $V_x = V_t \cos \alpha, V_y = V_t \sin \alpha$ 。  $V_{ux}, V_{uy}$  分别为按现行规范计算的构件在  $x, y$  轴方向的受剪承载力。

对于均布荷载作用的有腹筋受弯构件

$$\begin{cases} V_{ux} = 0.7f_t b h_0 + 1.25f_{yv} \frac{A_{svx}}{s} h_0 \\ V_{uy} = 0.7f_t h b_0 + 1.25f_{yv} \frac{A_{svy}}{s} b_0 \end{cases} \quad (13)$$

对于集中荷载作用的有腹筋受弯构件:

$$\begin{cases} V_{ux} = \frac{1.75}{\lambda_x + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{svx}}{s} h_0 \\ V_{uy} = \frac{1.75}{\lambda_y + 1} f_t h b_0 + f_{yv} \frac{A_{svy}}{s} b_0 \end{cases} \quad (14)$$

对于无腹筋构件, 则取式(13)和(14)中的箍筋项为零, 混凝土项乘以系数  $\lambda_0$

图 2  $V_x / V_{ux}$  和  $V_y / V_{uy}$  的关系

从图中可以看出, 在全部 67 个试件中, 只有 3 个有腹筋梁在均布荷载作用下的数据落在圆弧之内。假如对式(12)中的  $V_{ux}, V_{uy}$  都做相应的试验, 并取实测值, 则必将有更多的数据落在圆弧之内, 直接用于工程将使得构件的可靠度偏低。因此式(12)中的指数是否可取  $m = n = 2$  还有待进一步探讨, 初步分析表明, 它与构件的配筋率等许多因素有关。

### 六、结语

(1) 采用等效截面, 将双向受弯构件的斜截面受剪承载力计算转化为单向受弯构件计算是可行的, “规范公式法”用于双向受弯构件仍属于斜截面受剪承载力偏小值的计算公式, 符合现行规范受剪计算公式原则。

(2) 根据试验研究分析, 双向受弯构件的斜截面承载力与纵筋配筋率等众多因素有关, 而且各因素之间的影响相互关联。而规范公式的形式未能考虑纵筋配筋率等的影响, 因此, “规范公式法”和“回归公式法”的

(下转第 64 页)

物理模型对湍动能  $K$  的影响是不一样的。

在模拟上海久事大厦时,采用的是 P III550, 768M 内存配置, 计算时以  $10^{-3}$  为收敛标准, 用 RNG  $K-\epsilon$  和雷诺应力模型分别花费 1 小时 57 分和 7 小时 33 分。综合起来看, 在一般机器的配置情况下, 如果仅考虑建筑物表面的平均压力分布, 建议可采用 RNG  $K-\epsilon$  模型; 如果机器配置较高, 且需要获得较准确的风流场和湍动能分布, 建议可采用雷诺应力模型。目前计算机硬件发展飞快, 若采用 P IV2.4G, 1~2G 内存配置进行计算, 雷诺应力模型所需时间至多 1h 左右, 这样对于模拟平均风环境和建筑物表面平均风压分布就不存在时间问题, 当然若选用大涡模型模拟瞬态风速和瞬态风压时, 则需要大容量的计算机才行。

## 六、结语

(1) 通过上海久事大厦表面平均风压的数值模拟和风洞试验结果比较可以看出, 两者是一致的, 说明应用数值风洞方法模拟高层建筑结构平均风场在实际中是可行的, 尤其在初步设计阶段, 更显示出它的优越性。

(2) 通过该大厦风环境的预测和干扰分析, 可看出数值模拟方法预测风流场方便、直观。随着城市建设的发展, 对小区风环境的研究与应用需求增加, 例如城市近地步行风等, 数值模拟方法具有重要的实用价值。

(3) 一般地, 除建筑物少数风流动剧烈的部位, 不同湍流物理模型下平均风压的结果相差甚微, 虽然不同湍流物理模型对湍动能  $K$  的影响较大, 但建筑工程中不直接采用湍动能  $K$ , 建议在初步设计时可选用

RNG  $K-\epsilon$  等花费机时较少的模型。而在施工图设计时, 建议选用雷诺应力模型计算结果更精确。

上述内容是上海现代设计(集团)有限公司基金项目的一部分, 项目还进行了上海金茂大厦等超高层建筑风工程的数值模拟, 目的是想通过本项目的研究, 逐步实现数值风洞方法在实际工程中的应用。成果显示, 数值风洞方法在确定高层建筑的平均风荷载, 特别是在初步设计阶段的应用是完全可行的, 具有成本低、速度快、效果良好等优点。

## 参 考 文 献

1. Murakami S. Current status and future trends in computational wind engineering. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1997, (67&68): 3-34.
2. Kim S E, Boysan F. Application of CFD to environmental flows. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1999, (81): 145-158.
3. 黄本才. 结构抗风分析原理及应用. 同济大学出版社, 2001.
4. 张 维, 汤广发. 风对建筑绕流流动的数值方法. 空气动力学学报, 1990, 8(4).
5. Zhu P G etc. Comparison of numerical simulation of wind on tall buildings by the digital wind-tunnel with the test of aerodynamic wind-tunnel. International Conference on ACFD, Beijing, 2000.
6. Windtech Wind Engineers PTY LTD. Cladding pressure study for Jiushi mansion Shanghai. Sydney, Australia, 2000.
7. Meroney B N, Leit B M, Rafailidis S. Wind-tunnel numerical modeling of flow and dispersion about several building shapes. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1999, (81): 333-345.
8. CFX5 Manual's Guide. AEA Technology PLC, U K, 2001.

(上接第 75 页)

统计结果离散性都较大。要解决这一难题, 还有待于进一步的大量试验研究。

## 参 考 文 献

1. 混凝土结构设计规范 (GB50010—2002). 中国建筑工业出版社, 2002.
2. 曾庆响. 钢筋混凝土双向受弯构件抗剪强度试验研究. 硕士学位论文, 南昌大学, 1993.
3. 刘德佐. 均布荷载作用下矩形截面无腹筋双向受弯梁抗剪性能的试验研究. 学位论文, 南昌大学, 1996.
4. 熊进刚. 矩形截面无腹筋双向受弯梁抗剪性能的试验研究. 学位论文, 南昌大学, 1995.
5. 张功新. 钢筋混凝土双向受弯构件抗剪强度的试验研究. 学位论文, 南昌大学, 1996.
6. 伍卫秀. 钢筋混凝土双向受弯约束梁抗剪强度的试验研究. 学位论文, 南昌大学, 1998.
7. 曾庆响, 何高勳, 虞锦晖. 钢筋混凝土双向受弯构件抗剪强度计算. 南昌大学学报(工科版), 1993, 15(3), (4).
8. 曾庆响, 何高勳, 虞锦晖. 钢筋混凝土双向受弯构件抗剪性能试验研究. 南昌大学学报(工程技术版), 1995, 17(3).
9. 曾庆响, 何高勳, 虞锦晖. 混凝土双向受弯构件的抗剪强度. 工程力学(增刊), 1996.
10. 曾庆响, 何高勳, 虞锦晖. 钢筋混凝土双向受弯筒支梁抗剪强度

简化计算. 工程力学(增刊), 1997.

11. 肖芝兰, 曾庆响. 双向受弯钢筋混凝土筒支梁抗剪性能试验研究. 建筑科学, 2001, 17(4).
12. 曾庆响, 肖芝兰. 钢筋混凝土双向受弯构件抗剪影响因素分析. 五邑大学学报(自然科学版), 2002, 16(4).
13. Cheng-Tzu Thomas Hsu. Reinforced concrete members subject to combined biaxial bending and tension. ACI, January-February, 1986: 137-144.
14. Li Yanbo, Liu Zhigang. Researches on bearing capacity of cross-section of reinforced concrete members with L-shaped section subject to combined biaxial bending and tension. Transaction of Tianjin University, 2000, 6(1): 36-40.
15. Liu Chao, Chen Yunxia. Experimental and theoretical research on bearing capacity of cross-section of R. C. members with L-shaped cross section subject to combined biaxial bending and compression. Engineering Mechanics, 1995: 512-518.
16. Thirugnasuntharan A, et al. Flexural behavior of externally prestressed beams with large eccentricities. Trans. Jpn. Concr. Inst., 1998, 20: 165-170.
17. Soroushian P. Analysis of dowel bars acting against concrete cover. ACI Journal, 1986, (4).
18. Belarbi A. Stirrup stress in reinforced concrete beams. ACI Journal, 1990, 4.
19. 张开敬. 混凝土筒支梁斜截面抗剪强度统一表达式的研究. 西南交通大学学报, 2000, 35(1).