

CQC 组合那些事儿

梁来弟（用户）

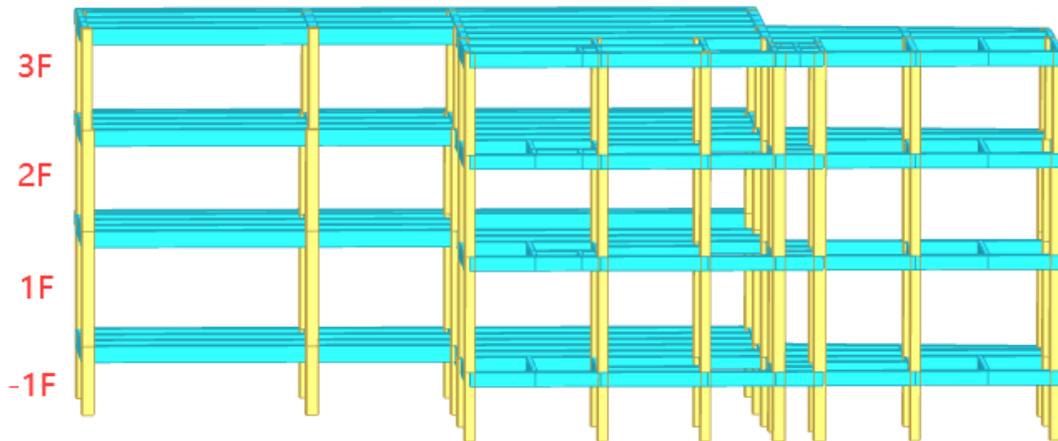
引言

YJK 按考虑扭转耦联的振型分解反应谱法计算地震作用并采用 CQC 组合计算地震作用效应。对于 CQC 组合，工程师经常不清楚 wzq 文本中的 F_x 、 V_x 及 M_x 如何得到。本文以一个实际工程案例来说明 F_x 、 V_x 及 M_x 的计算过程。

Floor	Tower	F_x (kN)	V_x (分塔剪重比) (kN)	M_x (kN-m)	Static F_x (kN)
4	1	190.08	190.08 (2.502%)	836.35	193.77
3	1	145.88	314.37 (2.080%)	2193.97	141.52
2	1	99.27	389.16 (1.803%)	4092.11	78.61
1	1	13.63	398.98 (1.371%)	5273.16	0.00

工程概况

本展览厅地上 3 层，采用框架结构，建筑高度 13.8m。抗震设防烈度 6 度（0.05g），设计地震分组第一组，II 类场地，场地特征周期 0.35s。



地震作用标准值及耦联系数的计算

根据《抗规》5.2.3 计算地震作用及耦联系数 ρ_{jk} 。

5.2.3 水平地震作用下，建筑结构的扭转耦联地震效应应符合下列要求：

2 按扭转耦联振型分解法计算时,各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度,并应按下列公式计算结构的地震作用和作用效应。确有依据时,尚可采用简化计算方法确定地震作用效应。

1) j 振型 i 层的水平地震作用标准值,应按下列公式确定:

$$\begin{aligned} F_{xji} &= \alpha_j \gamma_{ij} X_{ji} G_i \\ F_{yji} &= \alpha_j \gamma_{ij} Y_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \\ F_{\varphi_{ji}} &= \alpha_j \gamma_{ij} r_i^2 \varphi_{ji} G_i \end{aligned} \quad (5.2.3-1)$$

式中: F_{xji} 、 F_{yji} 、 $F_{\varphi_{ji}}$ ——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、 y 方向和转角方向的地震作用标准值;

X_{ji} 、 Y_{ji} ——分别为 j 振型 i 层质心在 x 、 y 方向的水平相对位移;

φ_{ji} —— j 振型 i 层的相对扭转角;

r_i —— i 层转动半径,可取 i 层绕质心的转动惯量除以该层质量的商的正二次方根;

γ_{ij} ——计入扭转的 j 振型的参与系数,可按下列公式确定:

当仅取 x 方向地震作用时

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 r_i^2) G_i} \quad (5.2.3-2)$$

当仅取 y 方向地震作用时

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 r_i^2) G_i} \quad (5.2.3-3)$$

当取与 x 方向斜交的地震作用时,

$$\gamma_{ij} = \gamma_{xj} \cos \theta + \gamma_{yj} \sin \theta \quad (5.2.3-4)$$

式中: γ_{xj} 、 γ_{yj} ——分别由式 (5.2.3-2)、式 (5.2.3-3) 求得的参与系数;

θ ——地震作用方向与 x 方向的夹角。

2) 单向水平地震作用下的扭转耦联效应,可按下列公式确定:

$$S_{Etk} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k} \quad (5.2.3-5)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (5.2.3-6)$$

式中: S_{Etk} ——地震作用标准值的扭转效应;

S_j 、 S_k ——分别为 j 、 k 振型地震作用标准值的效应,可取前 9~15 个振型;

ζ_j 、 ζ_k ——分别为 j 、 k 振型的阻尼比;

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦联系数;

λ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

每个振型 x 方向、 y 方向及转角方向的地震作用标准值 **wzq** 文本中直接给出。由于篇幅限制,本工程只取 6 个振型计算。如下:

仅考虑 X 向地震作用时的地震力
 Floor : 层号
 Tower : 塔号
 F-x-x : X 方向的耦联地震力在 X 方向的分量
 F-x-y : X 方向的耦联地震力在 Y 方向的分量
 F-x-t : X 方向的耦联地震力的扭矩

振型 1 的地震力

Floor	Tower	F-x-x (kN)	F-x-y (kN)	F-x-t (kN-m)
4	1	71.63	62.98	1014.16
3	1	53.21	48.40	740.34
2	1	26.77	27.48	422.19
1	1	3.03	1.88	34.27

振型 2 的地震力

Floor	Tower	F-x-x (kN)	F-x-y (kN)	F-x-t (kN-m)
4	1	94.13	-105.31	23.27
3	1	73.04	-82.02	3.30
2	1	38.64	-42.44	-2.79
1	1	4.51	-3.43	0.81

振型 3 的地震力

Floor	Tower	F-x-x (kN)	F-x-y (kN)	F-x-t (kN-m)
4	1	45.26	42.33	-1194.53
3	1	37.50	32.84	-920.32
2	1	21.56	13.82	-524.44
1	1	2.62	1.55	-43.09

振型 4 的地震力

Floor	Tower	F-x-x (kN)	F-x-y (kN)	F-x-t (kN-m)
4	1	-24.60	-23.57	-471.19
3	1	19.91	16.26	337.37
2	1	20.65	23.62	439.04
1	1	2.96	1.96	43.51

振型 5 的地震力

Floor	Tower	F-x-x (kN)	F-x-y (kN)	F-x-t (kN-m)
4	1	-46.76	45.62	34.58
3	1	32.22	-31.79	62.09
2	1	43.53	-43.46	-36.44
1	1	6.82	-4.59	-2.67

振型 6 的地震力

Floor	Tower	F-x-x (kN)	F-x-y (kN)	F-x-t (kN-m)
4	1	-21.40	-23.92	469.11
3	1	11.79	18.42	-290.53
2	1	23.38	19.52	-475.40
1	1	4.02	2.67	-51.46

根据《抗规》式 5.2.3-6 计算耦联系数 ρ_{jk} ， ρ_{12} 的详细计算过程及其他 ρ_{jk} 的结果如下：

$$\rho_{12} = \frac{8\sqrt{\zeta_1\zeta_2}(\zeta_1 + \lambda_{T21}\zeta_2)\lambda_{T21}^{1.5}}{(1 - \lambda_{T21}^2)^2 + 4\zeta_1\zeta_2(1 + \lambda_{T21}^2)\lambda_{T21} + 4(\zeta_1^2 + \zeta_2^2)\lambda_{T21}^2} = 0.679$$

振型周期		振型阻尼比		振型周期比		耦联系数	
T ₁	1.0899	ζ_1	0.05	λ_{T11}	1.000	ρ_{11}	1.000
T ₂	1.0176	ζ_2	0.05	λ_{T21}	0.934	ρ_{12}	0.679
T ₃	0.9235	ζ_3	0.05	λ_{T31}	0.847	ρ_{13}	0.266
T ₄	0.3734	ζ_4	0.05	λ_{T41}	0.343	ρ_{14}	0.007
T ₅	0.326	ζ_5	0.05	λ_{T51}	0.299	ρ_{15}	0.005
T ₆	0.291	ζ_6	0.05	λ_{T61}	0.267	ρ_{16}	0.004
				λ_{T12}	1.071	ρ_{21}	0.679
				λ_{T22}	1.000	ρ_{22}	1.000
				λ_{T32}	0.908	ρ_{23}	0.514
				λ_{T42}	0.367	ρ_{24}	0.008
				λ_{T52}	0.320	ρ_{25}	0.006
				λ_{T62}	0.286	ρ_{26}	0.005
				λ_{T13}	1.180	ρ_{31}	0.266
				λ_{T23}	1.102	ρ_{32}	0.514
				λ_{T33}	1.000	ρ_{33}	1.000
				λ_{T43}	0.404	ρ_{34}	0.010
				λ_{T53}	0.353	ρ_{35}	0.007
				λ_{T63}	0.315	ρ_{36}	0.006
				λ_{T14}	2.919	ρ_{41}	0.007
				λ_{T24}	2.725	ρ_{42}	0.008
				λ_{T34}	2.473	ρ_{43}	0.010
				λ_{T44}	1.000	ρ_{44}	1.000
				λ_{T54}	0.873	ρ_{45}	0.351
				λ_{T64}	0.779	ρ_{46}	0.137
				λ_{T15}	3.343	ρ_{51}	0.005
				λ_{T25}	3.121	ρ_{52}	0.006
				λ_{T35}	2.833	ρ_{53}	0.007
				λ_{T45}	1.145	ρ_{54}	0.351
				λ_{T55}	1.000	ρ_{55}	1.000
				λ_{T65}	0.893	ρ_{56}	0.436
				λ_{T16}	3.745	ρ_{61}	0.004
				λ_{T26}	3.497	ρ_{62}	0.005
				λ_{T36}	3.174	ρ_{63}	0.006
				λ_{T46}	1.283	ρ_{64}	0.137
				λ_{T56}	1.120	ρ_{65}	0.436
				λ_{T66}	1.000	ρ_{66}	1.000

F_x 的计算

根据每个振型 x 方向的地震作用标准值（即 w_{zq} 文本中的 F-x-x）及耦联系数 ρ_{jk}，经 CQC 组合可求得 w_{zq} 文本中的 F_x。F_{x4} 的详细计算过程及其他楼层的 F_x 计算结果如下：

$$F_{X4} = \sqrt{\sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^6 \rho_{jk} F_{X4,j} F_{X4,k}}$$

$$= \text{sqrt}(\rho_{11}F_{X4,1}F_{X4,1} + \rho_{12}F_{X4,1}F_{X4,2} + \rho_{13}F_{X4,1}F_{X4,3} + \rho_{14}F_{X4,1}F_{X4,4} + \rho_{15}F_{X4,1}F_{X4,5} + \rho_{16}F_{X4,1}F_{X4,6} + \rho_{21}F_{X4,2}F_{X4,1} + \rho_{22}F_{X4,2}F_{X4,2} + \rho_{23}F_{X4,2}F_{X4,3} + \rho_{24}F_{X4,2}F_{X4,4} + \rho_{25}F_{X4,2}F_{X4,5} + \rho_{26}F_{X4,2}F_{X4,6} + \rho_{31}F_{X4,3}F_{X4,1} + \rho_{32}F_{X4,3}F_{X4,2} + \rho_{33}F_{X4,3}F_{X4,3} + \rho_{34}F_{X4,3}F_{X4,4} + \rho_{35}F_{X4,3}F_{X4,5} + \rho_{36}F_{X4,3}F_{X4,6} + \rho_{41}F_{X4,4}F_{X4,1} + \rho_{42}F_{X4,4}F_{X4,2} + \rho_{43}F_{X4,4}F_{X4,3} + \rho_{44}F_{X4,4}F_{X4,4} + \rho_{45}F_{X4,4}F_{X4,5} + \rho_{46}F_{X4,4}F_{X4,6} + \rho_{51}F_{X4,5}F_{X4,1} + \rho_{52}F_{X4,5}F_{X4,2} + \rho_{53}F_{X4,5}F_{X4,3} + \rho_{54}F_{X4,5}F_{X4,4} + \rho_{55}F_{X4,5}F_{X4,5} + \rho_{56}F_{X4,5}F_{X4,6} + \rho_{61}F_{X4,6}F_{X4,1} + \rho_{62}F_{X4,6}F_{X4,2} + \rho_{63}F_{X4,6}F_{X4,3} + \rho_{64}F_{X4,6}F_{X4,4} + \rho_{65}F_{X4,6}F_{X4,5} + \rho_{66}F_{X4,6}F_{X4,6})$$

$$= 190.09kN$$

振型1的地震力			耦联系数		Floor	F _x
Floor	Tower	F-x-x	ρ ₁₁	1.000	4	190.09
4	1	71.63	ρ ₁₂	0.679	3	145.89
3	1	53.21	ρ ₁₃	0.266	2	99.27
2	1	26.77	ρ ₁₄	0.007	1	13.63
1	1	3.03	ρ ₁₅	0.005		
振型2的地震力			ρ ₁₆	0.004		
Floor	Tower	F-x-x	ρ ₂₁	0.679		
4	1	94.13	ρ ₂₂	1.000		
3	1	73.04	ρ ₂₃	0.514		
2	1	38.64	ρ ₂₄	0.008		
1	1	4.51	ρ ₂₅	0.006		
振型3的地震力			ρ ₂₆	0.005		
Floor	Tower	F-x-x	ρ ₃₁	0.266		
4	1	45.26	ρ ₃₂	0.514		
3	1	37.5	ρ ₃₃	1.000		
2	1	21.56	ρ ₃₄	0.010		
1	1	2.62	ρ ₃₅	0.007		
振型4的地震力			ρ ₃₆	0.006		
Floor	Tower	F-x-x	ρ ₄₁	0.007		
4	1	-24.6	ρ ₄₂	0.008		
3	1	19.91	ρ ₄₃	0.010		
2	1	20.65	ρ ₄₄	1.000		
1	1	2.96	ρ ₄₅	0.351		
振型5的地震力			ρ ₄₆	0.137		
Floor	Tower	F-x-x	ρ ₅₁	0.005		
4	1	-46.76	ρ ₅₂	0.006		
3	1	32.22	ρ ₅₃	0.007		
2	1	43.53	ρ ₅₄	0.351		
1	1	6.82	ρ ₅₅	1.000		
振型6的地震力			ρ ₅₆	0.436		
Floor	Tower	F-x-x	ρ ₆₁	0.004		
4	1	-21.4	ρ ₆₂	0.005		
3	1	11.79	ρ ₆₃	0.006		
2	1	23.38	ρ ₆₄	0.137		
1	1	4.02	ρ ₆₅	0.436		
			ρ ₆₆	1.000		

可见手算的计算结果与 wzc 的输出结果一致。

Floor	Tower	Fx (kN)	Vx (分塔剪重比) (kN)	Mx (kN-m)	Static Fx (kN)
4	1	190.08	190.08 (2.502%)	836.35	193.77
3	1	145.88	314.37 (2.080%)	2193.97	141.52
2	1	99.27	389.16 (1.803%)	4092.11	78.61
1	1	13.63	398.98 (1.371%)	5273.16	0.00

V_x 的计算

首先根据每个振型 x 方向的地震作用标准值（即 wzc 文本中的 F-x-x）计算每个振型的剪力 V-x-x，然后根据每个振型的剪力 V-x-x 及耦联系数 ρ_{jk}，经 CQC 组合可求得 wzc 文本中的 V_x。每个振型的剪力 V-x-x、CQC 组合 V_{x4} 的详细计算过程及其他楼层的 V_x 计算结果如下：

$$\begin{aligned}
 V_{X4} &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^6 \rho_{jk} V_{X4,j} V_{X4,k}} \\
 &= \text{sqr}t(\rho_{11} V_{X4,1} V_{X4,1} + \rho_{12} V_{X4,1} V_{X4,2} + \rho_{13} V_{X4,1} V_{X4,3} + \rho_{14} V_{X4,1} V_{X4,4} + \rho_{15} V_{X4,1} V_{X4,5} + \rho_{16} V_{X4,1} V_{X4,6} \\
 &\quad + \rho_{21} V_{X4,2} V_{X4,1} + \rho_{22} V_{X4,2} V_{X4,2} + \rho_{23} V_{X4,2} V_{X4,3} + \rho_{24} V_{X4,2} V_{X4,4} + \rho_{25} V_{X4,2} V_{X4,5} + \rho_{26} V_{X4,2} V_{X4,6} \\
 &\quad + \rho_{31} V_{X4,3} V_{X4,1} + \rho_{32} V_{X4,3} V_{X4,2} + \rho_{33} V_{X4,3} V_{X4,3} + \rho_{34} V_{X4,3} V_{X4,4} + \rho_{35} V_{X4,3} V_{X4,5} + \rho_{36} V_{X4,3} V_{X4,6} \\
 &\quad + \rho_{41} V_{X4,4} V_{X4,1} + \rho_{42} V_{X4,4} V_{X4,2} + \rho_{43} V_{X4,4} V_{X4,3} + \rho_{44} V_{X4,4} V_{X4,4} + \rho_{45} V_{X4,4} V_{X4,5} + \rho_{46} V_{X4,4} V_{X4,6} \\
 &\quad + \rho_{51} V_{X4,5} V_{X4,1} + \rho_{52} V_{X4,5} V_{X4,2} + \rho_{53} V_{X4,5} V_{X4,3} + \rho_{54} V_{X4,5} V_{X4,4} + \rho_{55} V_{X4,5} V_{X4,5} + \rho_{56} V_{X4,5} V_{X4,6} \\
 &\quad + \rho_{61} V_{X4,6} V_{X4,1} + \rho_{62} V_{X4,6} V_{X4,2} + \rho_{63} V_{X4,6} V_{X4,3} + \rho_{64} V_{X4,6} V_{X4,4} + \rho_{65} V_{X4,6} V_{X4,5} + \rho_{66} V_{X4,6} V_{X4,6}) \\
 &= 190.09 \text{kN}
 \end{aligned}$$

振型1的地震力			耦联系数			Floor	V _x
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	ρ ₁₁	1.000	4	190.09
4	1	71.63	71.63	ρ ₁₂	0.679	3	314.38
3	1	53.21	124.84	ρ ₁₃	0.266	2	389.18
2	1	26.77	151.61	ρ ₁₄	0.007	1	398.99
1	1	3.03	154.64	ρ ₁₅	0.005		
振型2的地震力				ρ ₁₆	0.004		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	ρ ₂₁	0.679		
4	1	94.13	94.13	ρ ₂₂	1.000		
3	1	73.04	167.17	ρ ₂₃	0.514		
2	1	38.64	205.81	ρ ₂₄	0.008		
1	1	4.51	210.32	ρ ₂₅	0.006		
振型3的地震力				ρ ₂₆	0.005		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	ρ ₃₁	0.266		
4	1	45.26	45.26	ρ ₃₂	0.514		
3	1	37.5	82.76	ρ ₃₃	1.000		
2	1	21.56	104.32	ρ ₃₄	0.010		
1	1	2.62	106.94	ρ ₃₅	0.007		
振型4的地震力				ρ ₃₆	0.006		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	ρ ₄₁	0.007		
4	1	-24.6	-24.6	ρ ₄₂	0.008		
3	1	19.91	-4.69	ρ ₄₃	0.010		
2	1	20.65	15.96	ρ ₄₄	1.000		
1	1	2.96	18.92	ρ ₄₅	0.351		
振型5的地震力				ρ ₄₆	0.137		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	ρ ₅₁	0.005		
4	1	-46.76	-46.76	ρ ₅₂	0.006		
3	1	32.22	-14.54	ρ ₅₃	0.007		
2	1	43.53	28.99	ρ ₅₄	0.351		
1	1	6.82	35.81	ρ ₅₅	1.000		
振型6的地震力				ρ ₅₆	0.436		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	ρ ₆₁	0.004		
4	1	-21.4	-21.4	ρ ₆₂	0.005		
3	1	11.79	-9.61	ρ ₆₃	0.006		
2	1	23.38	13.77	ρ ₆₄	0.137		
1	1	4.02	17.79	ρ ₆₅	0.436		
				ρ ₆₆	1.000		

可见手算的计算结果与 w_{zq} 的输出结果一致。

Floor	Tower	F _x (kN)	V _x (分塔剪重比) (kN)	M _x (kN-m)	Static F _x (kN)
4	1	190.08	190.08 (2.502%)	836.35	193.77
3	1	145.88	314.37 (2.080%)	2193.97	141.52
2	1	99.27	389.16 (1.803%)	4092.11	78.61
1	1	13.63	398.98 (1.371%)	5273.16	0.00

M_x 的计算

首先根据上方计算出的 V-x-x 并按《抗规》6.1.3 条文说明中的公式 ($M_C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij} h_i$) 计算每个振型的倾覆弯矩 M-x-x, 然后根据每个振型的倾覆弯矩 M-x-x 及耦系数 ρ_{jk} , 经 CQC 组合可求得 wzc 文本中的 M_x。每个振型的倾覆弯矩 M-x-x、CQC 组合 M_{x4} 的详细计算过程及其他楼层的 M_x 计算结果如下:

$$M_{X4} = \sqrt{\sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^6 \rho_{jk} M_{X4,j} M_{X4,k}}$$

$$= \text{sqrt}(\rho_{11} M_{X4,1} M_{X4,1} + \rho_{12} M_{X4,1} M_{X4,2} + \rho_{13} M_{X4,1} M_{X4,3} + \rho_{14} M_{X4,1} M_{X4,4} + \rho_{15} M_{X4,1} M_{X4,5} + \rho_{16} M_{X4,1} M_{X4,6} + \rho_{21} M_{X4,2} M_{X4,1} + \rho_{22} M_{X4,2} M_{X4,2} + \rho_{23} M_{X4,2} M_{X4,3} + \rho_{24} M_{X4,2} M_{X4,4} + \rho_{25} M_{X4,2} M_{X4,5} + \rho_{26} M_{X4,2} M_{X4,6} + \rho_{31} M_{X4,3} M_{X4,1} + \rho_{32} M_{X4,3} M_{X4,2} + \rho_{33} M_{X4,3} M_{X4,3} + \rho_{34} M_{X4,3} M_{X4,4} + \rho_{35} M_{X4,3} M_{X4,5} + \rho_{36} M_{X4,3} M_{X4,6} + \rho_{41} M_{X4,4} M_{X4,1} + \rho_{42} M_{X4,4} M_{X4,2} + \rho_{43} M_{X4,4} M_{X4,3} + \rho_{44} M_{X4,4} M_{X4,4} + \rho_{45} M_{X4,4} M_{X4,5} + \rho_{46} M_{X4,4} M_{X4,6} + \rho_{51} M_{X4,5} M_{X4,1} + \rho_{52} M_{X4,5} M_{X4,2} + \rho_{53} M_{X4,5} M_{X4,3} + \rho_{54} M_{X4,5} M_{X4,4} + \rho_{55} M_{X4,5} M_{X4,5} + \rho_{56} M_{X4,5} M_{X4,6} + \rho_{61} M_{X4,6} M_{X4,1} + \rho_{62} M_{X4,6} M_{X4,2} + \rho_{63} M_{X4,6} M_{X4,3} + \rho_{64} M_{X4,6} M_{X4,4} + \rho_{65} M_{X4,6} M_{X4,5} + \rho_{66} M_{X4,6} M_{X4,6}) = 836.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

振型1的地震力					耦系数			Floor	Mx
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	层高	M-x-x	ρ_{11}	1.000	4	836.38
4	1	71.63	71.63	4.4	315.17	ρ_{12}	0.679	3	2194.04
3	1	53.21	124.84	4.4	864.47	ρ_{13}	0.266	2	4092.24
2	1	26.77	151.61	5	1622.52	ρ_{14}	0.007	1	5273.33
1	1	3.03	154.64	3	2086.44	ρ_{15}	0.005		
振型2的地震力						ρ_{16}	0.004		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	层高	M-x-x	ρ_{21}	0.679		
4	1	94.13	94.13	4.4	414.17	ρ_{22}	1.000		
3	1	73.04	167.17	4.4	1149.72	ρ_{23}	0.514		
2	1	38.64	205.81	5	2178.77	ρ_{24}	0.008		
1	1	4.51	210.32	3	2809.73	ρ_{25}	0.006		
振型3的地震力						ρ_{26}	0.005		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	层高	M-x-x	ρ_{31}	0.266		
4	1	45.26	45.26	4.4	199.14	ρ_{32}	0.514		
3	1	37.5	82.76	4.4	563.29	ρ_{33}	1.000		
2	1	21.56	104.32	5	1084.89	ρ_{34}	0.010		
1	1	2.62	106.94	3	1405.71	ρ_{35}	0.007		
振型4的地震力						ρ_{36}	0.006		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	层高	M-x-x	ρ_{41}	0.007		
4	1	-24.6	-24.6	4.4	-108.24	ρ_{42}	0.008		
3	1	19.91	-4.69	4.4	-128.88	ρ_{43}	0.010		
2	1	20.65	15.96	5	-49.08	ρ_{44}	1.000		
1	1	2.96	18.92	3	7.68	ρ_{45}	0.351		
振型5的地震力						ρ_{46}	0.137		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	层高	M-x-x	ρ_{51}	0.005		
4	1	-46.76	-46.76	4.4	-205.74	ρ_{52}	0.006		
3	1	32.22	-14.54	4.4	-269.72	ρ_{53}	0.007		
2	1	43.53	28.99	5	-124.77	ρ_{54}	0.351		
1	1	6.82	35.81	3	-17.34	ρ_{55}	1.000		
振型6的地震力						ρ_{56}	0.436		
Floor	Tower	F-x-x	V-x-x	层高	M-x-x	ρ_{61}	0.004		
4	1	-21.4	-21.4	4.4	-94.16	ρ_{62}	0.005		
3	1	11.79	-9.61	4.4	-136.44	ρ_{63}	0.006		
2	1	23.38	13.77	5	-67.59	ρ_{64}	0.137		
1	1	4.02	17.79	3	-14.22	ρ_{65}	0.436		
						ρ_{66}	1.000		

可见手算的计算结果与 wzc 的输出结果一致。

Floor	Tower	Fx (kN)	Vx (分塔剪重比) (kN)	Mx (kN-m)	Static Fx (kN)
4	1	190.08	190.08 (2.502%)	836.35	193.77
3	1	145.88	314.37 (2.080%)	2193.97	141.52
2	1	99.27	389.16 (1.803%)	4092.11	78.61
1	1	13.63	398.98 (1.371%)	5273.16	0.00

常见问题

一些工程师经常直接用 Fx 来计算 Vx，如： $V_3=190.08+145.88=335.96\text{kN}\neq 314.37\text{kN}$ ，此求法可理解为：先 CQC 组合每个振型的 Fx，再求剪力；根据规范正确的求法为：先求每个振型的剪力，再 CQC 组合每个振型的剪力。由于前者求解的顺序不对，最终导致计算结果的错误。

Floor	Tower	Fx (kN)	Vx (分塔剪重比) (kN)	Mx (kN-m)	Static Fx (kN)
4	1	190.08	190.08 (2.502%)	836.35	193.77
3	1	145.88	314.37 (2.080%)	2193.97	141.52
2	1	99.27	389.16 (1.803%)	4092.11	78.61
1	1	13.63	398.98 (1.371%)	5273.16	0.00

结论

1. YJK 软件 wzq 文本中输出的 Fx、Vx 及 Mx 与手算结果一致。
2. 倾覆弯矩 Mx 的计算方法为《抗规》6.1.3 条文说明中的公式。
3. 在手算 Vx 及 Mx 时，应注意求解顺序，应先求每个振型的效应，再 CQC 组合每个振型的效应。