横风向风振典型问题解析

张月月

在工程领域，尤其是建筑结构设计中，风荷载的影响是不可忽视的重要因素之一。横风向风振作为风荷载中的一种特殊类型，对结构安全和稳定性有着显著的影响。本文旨在对横风向风振在实际工程中遇到的典型问题进行系统的解答，为工程师在实际项目运用中提供参考和指导。

问题 1：横风向风振影响如何考虑？横风向风振等效风荷载如何查看？

解答：在前处理计算参数——风荷载信息页勾选【考虑横向风振】后，软件按照《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）（后文简称《荷规》）第 8.5 节考虑横风向风振影响。计算横风向风振时，程序未自动判断结构截面形状，需指定结构截面形状为矩形或圆形。矩形截面结构横风向风振等效风荷载根据《荷规》的附录 H.2 计算。圆形截面结构横风向风振等效风荷载根据《荷规》的附录 H.1 计算。

图一

前处理——生成数据后，会自动形成一个名为“yjkwindforce.txt”的文件并存放在工程所在文件夹下，见图二。该文件中记录了本工程风荷载计算的各项数据和结果，横风向风振等效风荷载可在这里查看，如图三所示。

名称	修改日期	类型	大小
dts.yg	2024/12/3 17:28	YG 文件	7,232 KB
dts.ygt	2024/12/4 18:54	YGT 文件	12,352 KB
dts.yjb	2024/12/4 18:56	YJB 文件	27,200 KB
dts.yjk	2024/12/3 17:28	yjk文件	92,032 KB
dts.ymd	2024/12/4 18:56	ymd文件	5,156 KB
fea.dat	2024/12/4 18:56	DAT 文件	6,907 KB
fea.dat.job-data	2024/12/3 11:15	JOB-DATA 文件	1 KB
fea.dat-ERR.txt	2024/12/3 11:16	文本文档	15 KB
fea.dat-RESULT.DAT	2024/12/3 11:16	DAT 文件	1 KB
Jccad_0	2024/10/29 16:45	文件	2 KB
KF.dat	2024/12/3 11:16	DAT 文件	504 KB
KF.dat.md5	2024/12/3 11:16	MD5 文件	1 KB
SPara.par	2024/12/4 18:56	PAR 文件	30 KB
spretobase.dat	2024/12/4 18:56	DAT 文件	9 KB
spretobase2.dat	2024/12/4 18:56	DAT 文件	8 KB
spretoslab.dat	2024/12/4 18:56	DAT 文件	1 KB
sscs_default.ydb	2024/8/17 8:55	YDB 文件	908 KB
sscs_local.ydb	2024/1/18 14:03	YDB 文件	308 KB
YJKDisplayData.ydb	2024/12/3 11:18	YDB 文件	16 KB
yjkSPara.INI	2024/12/4 18:56	配置设置	1 KB
yjkTransLoad.sav	2024/11/28 17:34	SAV 文件	901 KB
yjkwindforce.txt	2024/12/4 18:56	文本文档	91 KB
工程名称_dts--建模版本号.txt	2024/12/4 18:55	文本文档	1 KB

图二

yjkwindforce.txt - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

```
    计算宽度(m)          10.754
    T(基本周期)          2.38692
    kw                  1
    x1                  16.9474
    R                   1.25692
    Φ(z)(弯剪公式)       1
    ρx                   0.965402
    ρz                   0.719688
    Bz                  0.553329
    βz                   1.62213
横风向等效风荷载wLk:
  X向风(横向为Y向):
    B(m)                30.3461
    D(m)                30.227
    角沿比例(b//B)       0
    T                   2.38692
    γCM                  0.191809
    CL'                 0.441161
    γCM                  0.191809
    vH                  41.7675
    TL1*                0.335233
    fL1*                0.304387
    ζa1                  0.000958046
    KL                  1.27273
    SFL                 8.94336e-05
    RL                  0.246351
    wlk(kN/m2)          1.23848
  Y向风(横向为X向):
    B(m)                30.227
    D(m)                30.3461
    角沿比例             0
    T                   1.7439
    γCM                  0.192189
    CL'                 0.442035
    γCM                  0.192189
    vH                  41.7675
    TL1*                0.245889
    fL1*                0.414987
    ζa1                  0.000661525
    KL                  1.27273
    SFL                 4.55169e-05
    RL                  0.175914
    wlk(kN/m2)          1.22341
风荷载F(kN):
  风向0      迎风面宽度   10.754
             F           94.2491
  风向180    迎风面宽度   10.754
             F           94.2491
  风向90     迎风面宽度   10.754
             F           96.4318
  风向270    迎风面宽度   10.754
             F           96.4318
  X向风横风                51.9426
  Y向风横风                51.3105
  X向风扭转风               0
  Y向风扭转风               0
```

图三

问题 2：T 型截面建筑横风向风振等效风荷载是怎么计算的？程序计算应该怎么输入参数？

解答：依据《荷规》附录 H，对于有凹角或削角的矩形截面结构，在计算横风向风振所需的横风向风力系数 CL'和横风向共振因子 RL 时，需要考虑角沿修正系数 Cm 和 Csm（见图四）。T 型截面可以看作是有凹角的矩形截面，可以在图形上手工测量建筑凹角尺寸后，将数值输入软件对应的选项中，程序将自动计算角沿比例 b/B，如图五所示。

《荷规》

$$f_{L1}^{*} = f_{L1}B/v_H \qquad (H.2.4\text{-}5)$$

式中：f_{L1}——结构横风向第 1 阶振型的频率（Hz）。

H.2.5 角沿修正系数 C_m 和 C_{sm} 可按下列规定确定：

1 对于横截面为标准方形或矩形的高层建筑，C_m 和 C_{sm} 取 1.0；

2 对于图 H.2.5 所示的削角或凹角矩形截面，横风向风力系数的角沿修正系数 C_m 可按下式计算：

$$C_m = \begin{cases} 1.00 - 81.6\left(\dfrac{b}{B}\right)^{1.5} + 301\left(\dfrac{b}{B}\right)^{2} - 290\left(\dfrac{b}{B}\right)^{2.5} \\ 0.05 \leqslant b/B \leqslant 0.2 \quad \text{凹角} \\ 1.00 - 2.05\left(\dfrac{b}{B}\right)^{0.5} + 24\left(\dfrac{b}{B}\right)^{1.5} - 36.8\left(\dfrac{b}{B}\right)^{2} \\ 0.05 \leqslant b/B \leqslant 0.2 \quad \text{削角} \end{cases} \qquad (H.2.5)$$

式中：b——削角或凹角修正尺寸（m）（图 H.2.5）。

图 H.2.5 截面削角和凹角示意图

3 对于图 H.2.5 所示的削角或凹角矩形截面，横风向广义风力功率谱的角沿修正系数 C_{sm} 可按表 H.2.5 取值。

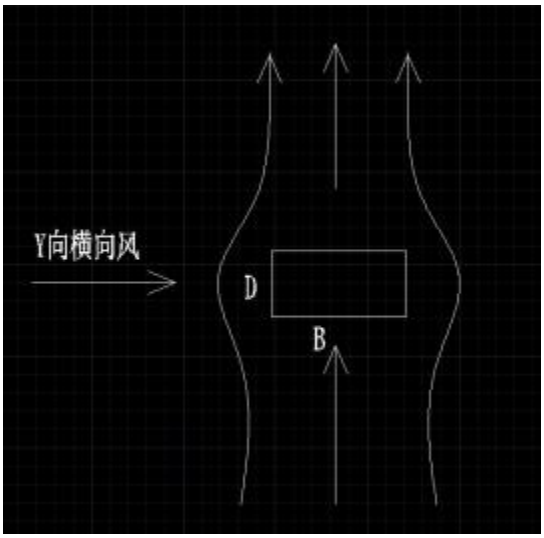
图四

横风向等效风荷载wLk:

X向风(横向为Y向):	
B(m)	43.2
D(m)	55.2
角沿比例(b//B)	2
T	0.2
Cm	0.553796
γCM	0.225806
CL'	0.280113
γCM	0.225806
Cm	0.553796
Csm	0.4
vH	13.2061
TL1*	0.00623869
fL1*	16.3561
ζa1	1.56022e-05
KL	2.36262
SFL	3.92428e-09
RL	0.00164271
wlk(kN/m2)	0.0763309

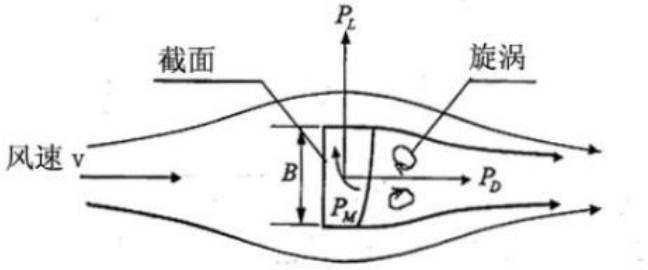
图五

问题 3：Y 向横风向风振等效荷载风力计算时，图六计算作用面宽度应按 B 还是 D 计算？



图六

解答：风流经任意截面物体所产生的力都可以分为三个方向的分量，如图七所示，产生顺风向风振 P_D、横风向风振 P_L 和扭转风振 P_M。



图七

无论顺风向还是横风向，按《荷载规范》第 8.5.6 条公式，风力计算所用的都是迎风面宽度 B。图六中所示的风速方向是沿整体坐标系 Y 向，风力计算所用的计算作用面宽度也应该是迎风面宽度 B。

8.5.6 顺风向风荷载、横风向风振及扭转风振等效风荷载宜按表 8.5.6 考虑风荷载组合工况。表 8.5.6 中的单位高度风力 F_{Dk}、F_{Lk} 及扭矩 T_{Tk} 标准值应按下列公式计算：

$$F_{Dk} = (w_{k1} - w_{k2})B \quad (8.5.6\text{-}1)$$

$$F_{Lk} = w_{Lk}B \quad (8.5.6\text{-}2)$$

$$T_{Tk} = w_{Tk}B^2 \quad (8.5.6\text{-}3)$$

式中：F_{Dk} ——顺风向单位高度风力标准值（kN/m）；

F_{Lk} ——横风向单位高度风力标准值（kN/m）；

T_{Tk} ——单位高度风致扭矩标准值（kN·m/m）；

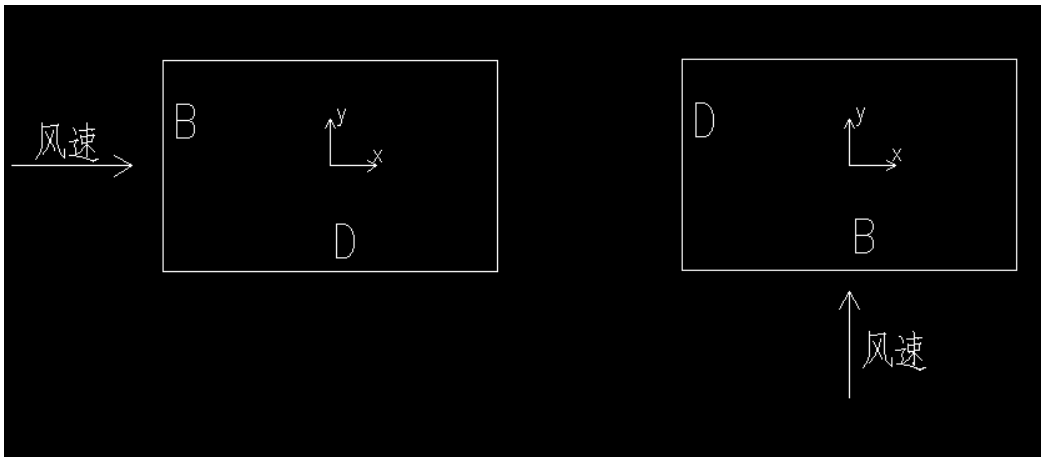
w_{k1}、w_{k2} ——迎风面、背风面风荷载标准值（kN/m^2）；

w_{Lk}、w_{Tk} ——横风向风振和扭转风振等效风荷载标准值（kN/m^2）；

B ——迎风面宽度（m）。

图八

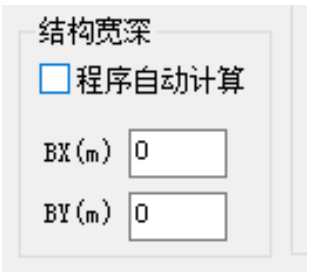
需要注意的是，迎风面宽度 B 和顺风向进深 D 是相对风向而言的，随着风向变化，计算所用的宽度和进深也要随之变化，如图九所示。



图九

问题 4：程序如何确定结构宽深？

解答：根据《荷规》计算横风向风振等效风荷载及扭转风振等效风荷载时，需要确定结构截面的统一高度和宽度。软件默认的【程序自动计算】是按照所有楼层平面尺寸的平均值计算结构高宽，对于某些工程，按照软件默认处理可能误差较大，比如底盘尺寸较大的结构，此时建议手工输入高宽值，使计算结果更符合规范规定。



图十

问题 5：WX 和 WXH 是两个不同方向的弯矩，为什么能直接组合呢？WXH 的正负号分项系数是什么意思？

六、各组合分项系数

组合号	DL	LL	LL1	LL2	+WX	+WXH	-WX	-WXH	+WY	+WYH	-WY	-WYH
1	1.30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.30	1.05	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.30	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	1.00	1.05	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	1.00	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	1.30	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
9	1.30	--	--	--	0.90	1.50	--	--	--	--	--	--
9	1.30	--	--	--	0.90	-1.50	--	--	--	--	--	--
10	1.30	--	--	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--
10	1.30	--	--	--	--	--	0.90	1.50	--	--	--	--
10	1.30	--	--	--	--	--	0.90	-1.50	--	--	--	--
11	1.30	--	--	--	--	--	--	--	1.50	--	--	--
11	1.30	--	--	--	--	--	--	--	0.90	1.50	--	--
11	1.30	--	--	--	--	--	--	--	0.90	-1.50	--	--
12	1.30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.50	--
12	1.30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.90	1.50
12	1.30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.90	-1.50
13	1.30	1.50	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--
13	1.30	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--
13	1.30	1.50	--	--	0.54	0.90	--	--	--	--	--	--
13	1.30	--	--	--	0.54	0.90	--	--	--	--	--	--
13	1.30	1.50	--	--	0.54	-0.90	--	--	--	--	--	--
13	1.30	--	--	--	0.54	-0.90	--	--	--	--	--	--
14	1.30	1.50	--	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--
14	1.30	--	--	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--
14	1.30	1.50	--	--	--	--	0.54	0.90	--	--	--	--
14	1.30	--	--	--	--	--	0.54	0.90	--	--	--	--
14	1.30	1.50	--	--	--	--	0.54	-0.90	--	--	--	--
14	1.30	--	--	--	--	--	0.54	-0.90	--	--	--	--

图十一

解答：WX 和 WXH 是两个不同的风工况，分别表示 X 方向风荷载作用下的标准内力和 X 方向风荷载作用下横风向风振的标准内力。

二、标准内力信息

+WX -- +X方向风荷载作用下的标准内力
+WXH -- +X方向风荷载作用下横风向风振的标准内力
-WX -- -X方向风荷载作用下的标准内力
-WXH -- -X方向风荷载作用下横风向风振的标准内力
+WY -- +Y方向风荷载作用下的标准内力
+WYH -- +Y方向风荷载作用下横风向风振的标准内力
-WY -- -Y方向风荷载作用下的标准内力
-WYH -- -Y方向风荷载作用下横风向风振的标准内力
SOIL -- 土压力作用下的标准内力
DL -- 恒载作用下的标准内力
LL -- 活载作用下的标准内力
LL1 -- 考虑活载随机作用时梁负弯矩包络的标准内力
LL2 -- 考虑活载随机作用时梁正弯矩包络的标准内力

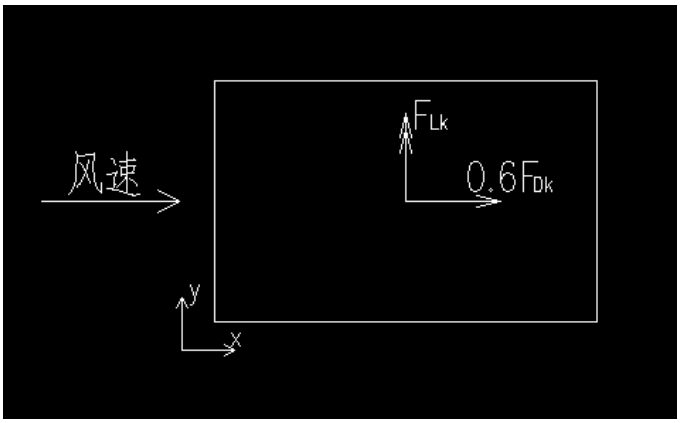
图十二

《荷规》表 8.5.6 给出了风荷载的三种组合工况。其中第二种组合的是“0.6 倍顺风向荷载+1.0 倍横风向荷载”，风力作用可简单以图形表示，见图十四。需要注意的是，这里的 F_{Dk} 和 F_{Lk} 是风外力而不是风内力，每个风外力作用下都会在构件中产生 x、y 方向的内力，如图十五所示，线性组合中的 WX+WXH 实际上是这些同方向内力效应的组合。

表 8.5.6　风荷载组合工况

工况	顺风向风荷载	横风向风振等效风荷载	扭转风振等效风荷载
1	F_{Dk}	—	—
2	$0.6F_{Dk}$	F_{Lk}	—
3	—	—	T_{Tk}

图十三



图十四

(iCase)	Shear-X	Shear-Y	Axial	Mx-Btm	My-Btm	Mx-Top	My-Top
*(+WX)	8.8	-0.8	-7.6	1.1	13.4	-1.4	-14.2
(+WX)	8.8	-0.8	-7.6	1.1	13.4	-1.4	-14.2
*(+WXH)	0.4	5.5	25.8	-8.4	0.6	8.9	-0.6
(+WXH)	0.4	5.5	25.8	-8.4	0.6	8.9	-0.6
*(-WX)	-8.8	0.8	7.6	-1.1	-13.4	1.4	14.2
(-WX)	-8.8	0.8	7.6	-1.1	-13.4	1.4	14.2
*(-WXH)	0.4	5.5	25.8	-8.4	0.6	8.9	-0.6
(-WXH)	0.4	5.5	25.8	-8.4	0.6	8.9	-0.6
*(+WY)	0.6	8.3	38.7	-12.6	0.9	13.4	-0.9
(+WY)	0.6	8.3	38.7	-12.6	0.9	13.4	-0.9
*(+WYH)	-5.7	0.5	4.8	-0.7	-8.6	0.9	9.2
(+WYH)	-5.7	0.5	4.8	-0.7	-8.6	0.9	9.2
*(-WY)	-0.6	-8.3	-38.7	12.6	-0.9	-13.4	0.9
(-WY)	-0.6	-8.3	-38.7	12.6	-0.9	-13.4	0.9
*(-WYH)	-5.7	0.5	4.8	-0.7	-8.6	0.9	9.2
(-WYH)	-5.7	0.5	4.8	-0.7	-8.6	0.9	9.2
*(SOIL)	-0.0	0.0	-0.1	-0.0	-0.0	0.0	0.1
(SOIL)	-0.0	0.0	-0.1	-0.0	-0.0	0.0	0.1
*(DL)	-25.7	-68.9	-1730.1	100.5	-37.2	-116.4	43.8
(DL)	-25.7	-68.9	-1730.1	100.5	-37.2	-116.4	43.8
*(LL)	-3.8	-16.3	-266.4	23.7	-5.4	-27.8	6.4
(LL)	-2.8	-12.3	-199.8	17.8	-4.0	-20.9	4.8

图十五

风沿一个方向吹时，产生的横风向风力是正、反两个方向上的，组合时都需要考虑。例如：当风沿着 x 轴正向吹时，并与恒载共同参与基本组合时，需要考虑“1.3**DL**+1.5**+WX**（顺风向荷载单独作用）”、“1.3**DL**+1.5*0.6**+WX**（0.6 倍顺风向荷载）+1.5**+WXH**（+Y 向上的横风向荷载）”、“1.3**DL**+1.5*0.6**+WX**（0.6 倍顺风向荷载）-1.5**+WXH**（-Y 向上的横风向荷载）”3 种风荷载组合工况。

问题 6：为什么横风外力、剪力和倾覆弯矩输出的都是 0？

解答：常见的有两种情况：

1，用户在计算参数——风荷载计算信息采用了【精细计算方式】。因为精细风是加在结构外围的，目前

不确定横风向风振的机理加在外围是否合适，所以程序**仅支持**选【一般计算方式】时考虑横风向风振影响。如果选了其他方式，尽管风荷载文件中可能有横风向风振等效荷载计算数值，横风外力及其相关内力计算和统计也会是 0。

2 参数选择的是【一般计算方式】，但建筑是圆形，计算还是可能为 0。因为软件依据荷载规范附录 H.1 节计算圆形建筑横风向等效风荷载。当按附录 H 公式 H.1.1-2 计算出的 H1>H 时，查表 H.1.1 得 λ_j 为 0，相应的 ω_{Lkj} 也为 0.

1 等效风荷载标准值 $w_{1k,j}$（kN/m²）可按下式计算：

$$w_{1k,j} = |\lambda_j| v_{cr}^2 \phi_j(z)/12800\zeta_j \qquad (H.1.1\text{-}1)$$

2 临界风速起始点高度 H_1 可按下式计算：

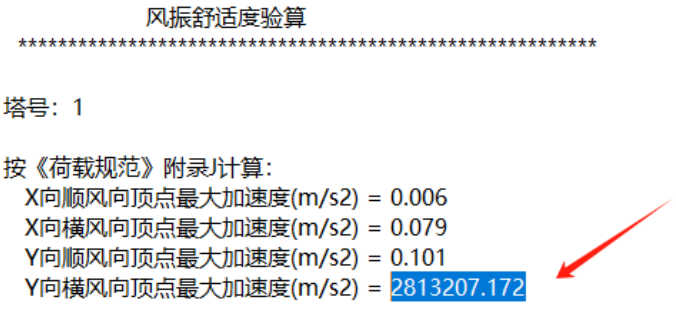
$$H_1 = H \times \left(\frac{v_{cr}}{1.2v_H}\right)^{1/\alpha} \qquad (H.1.1\text{-}2)$$

表 H.1.1 λ_j 计算用表

结构类型	振型序号	H_1/H										
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
高耸结构	1	1.56	1.55	1.54	1.49	1.42	1.31	1.15	0.94	0.68	0.37	0
	2	0.83	0.82	0.76	0.60	0.37	0.09	−0.16	−0.33	−0.38	−0.27	0
	3	0.52	0.48	0.32	0.06	−0.19	−0.30	−0.21	0.00	0.20	0.23	0
	4	0.30	0.33	0.02	−0.20	−0.23	0.03	0.16	0.15	−0.05	−0.18	0
高层建筑	1	1.56	1.56	1.54	1.49	1.41	1.28	1.12	0.91	0.65	0.35	0
	2	0.73	0.72	0.63	0.45	0.19	−0.11	−0.36	−0.52	−0.53	−0.36	0

图十六

问题 7：横风振舒适度计算结果很大，横风向风振加速度是怎么计算的？



图十七

解答：软件依据《荷载规范》附录 J 公式 J.2.1 计算横风向风振加速度。需要注意的是，按《荷规》公式计算的横向风振，只有在符合《荷规》附录 H.2.1 规定的适用条件下计算结果才是有意义的。

H.2　矩形截面结构横风向风振等效风荷载

H.2.1　矩形截面高层建筑当满足下列条件时，可按本节的规定确定其横风向风振等效风荷载：

《荷规》

1　建筑的平面形状和质量在整个高度范围内基本相同；

2　高宽比 $H/\sqrt{BD}$ 在 4～8 之间，深宽比 D/B 在 0.5～2 之间，其中 B 为结构的迎风面宽度，D 为结构平面的进深（顺风向尺寸）；

3　$v_H T_{L1}/\sqrt{BD} \leqslant 10$，$T_{L1}$ 为结构横风向第 1 阶自振周期，v_H 为结构顶部风速。

图十八

目前程序并不对结构进行规范适用性的判断，且无论是否勾选考虑横风向风振，默认都会输出风振舒适度验算中横风向顶点最大加速度，当不满足附录 H.2.1 的要求时，也是套用附录 J 计算出的结果，此时横向风风振加速度结果可能会异常。

以下是手动复核用户发来工程的高宽比：

在计算参数——风荷载信息中，勾选考虑横风向风振且自动计算宽深，在工程目录下的 yjkwindforce.txt 中输出塔楼总高 H=8m、深度 D 和宽度 B 分别为 22.7m 和 3.55m。高宽比、深宽比计算如下：

横风向等效风荷载wLk:

X向风(横向为Y向):	
B(m)	3.55
D(m)	22.7
角沿比例(b//B)	0
T	0.669775
γCM	0.210829
CL'	0.484908
γCM	0.210829
vH	23.6643
TL1*	0.455584
fL1*	0.223978
ξa1	0.00146451
KL	1.27273
SFL	0.0356807
RL	4.45463
wlk(kN/m2)	1.93711
Y向风(横向为X向):	
B(m)	22.7
D(m)	3.55
角沿比例	0
T	0.685873
γCM	-1.90482
CL'	-4.38109
γCM	-1.90482
vH	23.6643

yjkwindforce.txt - 记事本

文件(F)　编辑(E)　格式(O)　查看(V)　帮助(H)

[第1层]

第1塔

基本风压(kN/m2)	0.35
地面粗糙度	B
塔总高(m)	8.00
计算高度(m)	8.00
μz	1
阻尼比	0.05
顺风向风振系数βz:	
风向0度:	
底部宽度(m)	22.7
顶部宽度(m)	22.7
计算宽度(m)	3.55
T(基本周期)	0.685873
kw	1
x1	73.9339
R	0.770927
Φ(z)(弯剪公式)	1
ρx	0.988305
ρz	0.893028
Bz	0.872386
βz	1.77107

图十九

H/ $\sqrt{BD}$= 8.0/ $\sqrt{22.7*3.55}$=0.89<4

横向为 Y 向：D/B=22.7/3.55=6.39>2

横向为 X 向：D/B=3.55/22.7=0.156<0.5

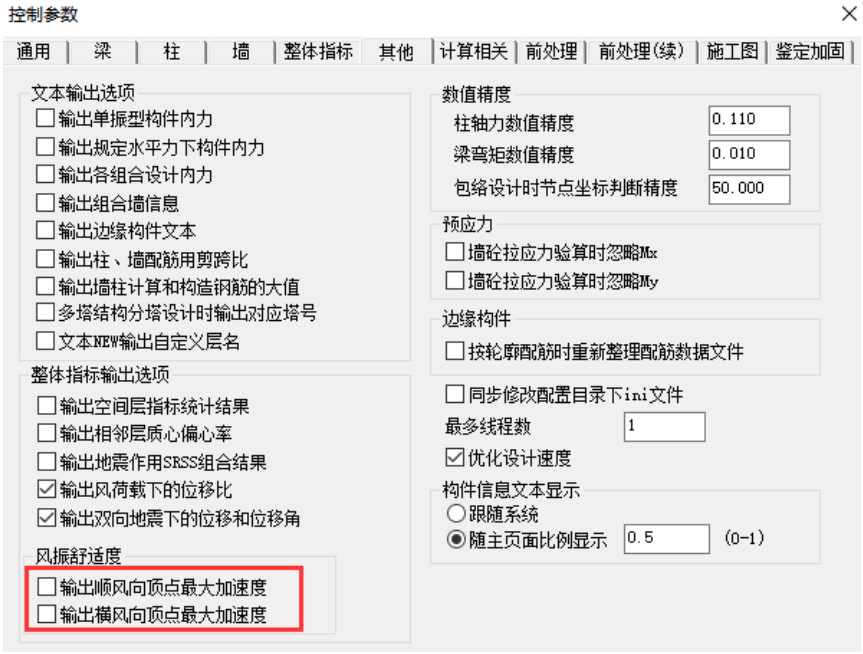
不满足《荷规》H.2.1 条要求，不符合套用规范要求，超出范围后应慎用结果。《荷规》第 8.5.2、8.5.3 条条文说明也提出超出适用限值时不宜采用附录 H.2 的结果，建议进行风洞试验研究。

大量研究结果表明，当建筑截面深宽比大于2时，分离气流将在侧面发生再附，横风向风力的基本特征变化较大；当设计折算风速大于10或高宽比大于8，可能发生不利并且难以准确估算的气动弹性现象，不宜采用附录H．2计算方法，建议进行专门的风洞试验研究。

图二十

如果是体型特殊的结构，当认为软件默认判断的宽、深数值误差较大时，建议手工输入高宽数值，具体见问题 4 解答。

另外，从 5.3 版本开始 YJK 程序可由高级选项控制是否输出该项结果，如果不想输出，取消勾选即可：



图二十一

本文通过对横风向风振典型问题的分析总结，提供了一些解答和建议，旨在帮助工程师更好地理解和应用规范，从而在实际工程中做出更加科学和合理的决策。