

风机塔架基础设计在盈建科软件（YJK-WTF）中的 高频问题解析

王晓可

盈建科风电机组塔架地基基础设计软件（YJK-WTF）自从去年2月推出以来，受到广大设计师朋友的关注，越来越多的设计师朋友们使用了这款软件，并提出了宝贵意见！针对广大设计师的高频问题，整理了今天这篇文章，希望能解答工程师们在风机基础设计工作中的疑惑，让设计工作更加顺畅。

一、厂家提供的风机荷载如何取值

在风机塔架基础设计中，设计师朋友们遇到的第一个问题是，如何读懂厂家提供的资料，在厂家提供的各种荷载表中，如何取用设计中需要的数值？

1. 厂家提供的荷载，取值时是否考虑安全系数？

一般厂家提供的极端荷载、正常运行工况荷载分别有含安全系数和不含安全系数两个表格（如下以正常运行工况荷载为例），设计中应该选用哪个表格呢？

3.2 正常运行工况下的极限荷载

表 3-2 风机正常运行工况下 **不包含安全系数** 的极限荷载

		载荷工况	Mx	My	Mxy	Mz	Fx	Fy	Fxy	Fz
			[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Mx	MAX	un13_20_s5c	21550	43617	48650	795	373	-181	414	-16796
Mx	MIN	un13_20_s2b	-9482	16429	18969	-826	59	104	120	-16772
My	MAX	un13_10_s2b	2064	84274	84300	1237	669	26	669	-16808
My	MIN	un13_4_s1c	373	2825	2849	-508	16	-8	18	-16771
Mxy	MAX	un13_10_s2b	2064	84274	84300	1237	669	26	669	-16808
Mxy	MIN	un13_4_s5c	1173	2683	2928	501	-2	-10	10	-16775
Mz	MAX	un13_18_s2a	-917	26192	26208	3533	42	77	88	-16813
Mz	MIN	un13_20_s3b	-834	37022	37032	-4027	369	37	371	-16748
Fx	MAX	un13_10_s6b	5667	85622	85809	1938	668	-24	668	-16820
Fx	MIN	un13_20_s4b	1830	386	1870	106	-77	33	84	-16785
Fy	MAX	un13_20_s3b	-8547	21896	23505	-963	155	142	210	-16738
Fy	MIN	un13_20_s4b	18597	41403	45388	-3044	469	-190	506	-16739
Fxy	MAX	un13_10_s6b	5667	85622	85809	1938	668	-24	668	-16820
Fxy	MIN	un13_20_s3a	5298	10833	12059	151	-7	-4	9	-16780
Fz	MAX	un13_20_s3c	317	28544	28546	-1557	231	52	236	-16693
Fz	MIN	un13_20_s1c	15650	40000	42952	4382	290	-102	308	-16848

表 3-3 正常运行工况下包含安全系数的极限载荷

		载荷工况	Mx	My	Mxy	Mz	Fx	Fy	Fxy	Fz	安全系数
			[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
Mx	MAX	un13_20_s5c	29092	58882	65677	1073	503	-244	559	-22674	1.35
Mx	MIN	un13_20_s2b	-12800	22179	25608	-1115	79	141	162	-22642	1.35
My	MAX	un13_10_s2b	2786	113770	113804	1670	903	36	904	-22691	1.35
My	MIN	un13_4_s1c	503	3814	3847	-686	21	-11	24	-22641	1.35
Mxy	MAX	un13_10_s2b	2786	113770	113804	1670	903	36	904	-22691	1.35
Mxy	MIN	un13_4_s5c	1583	3622	3953	676	-3	-13	13	-22646	1.35
Mz	MAX	un13_18_s2a	-1238	35360	35381	4769	57	105	119	-22697	1.35
Mz	MIN	un13_20_s3b	-1127	49980	49993	-5436	499	50	501	-22609	1.35
Fx	MAX	un13_10_s6b	7651	115589	115842	2616	902	-32	902	-22707	1.35
Fx	MIN	un13_20_s4b	2470	521	2524	143	-104	44	113	-22659	1.35
Fy	MAX	un13_20_s3b	-11538	29560	31732	-1300	209	192	284	-22596	1.35
Fy	MIN	un13_20_s4b	25107	55894	61274	-4110	633	-257	683	-22597	1.35
Fxy	MAX	un13_10_s6b	7651	115589	115842	2616	902	-32	902	-22707	1.35
Fxy	MIN	un13_20_s3a	7152	14625	16280	204	-10	-6	12	-22654	1.35
Fz	MAX	un13_20_s3c	428	38534	38537	-2102	312	70	319	-22535	1.35
Fz	MIN	un13_20_s1c	21127	54000	57986	5916	392	-138	415	-22745	1.35

风机基础设计时采用不含安全系数的极限荷载，在软件中考虑各系数（如重要性系数、分项系数等），以免重复考虑。

2. 在不包含安全系数的荷载表中，选择哪一组荷载进行计算？

厂家提供的荷载表中各内力包括分力（弯矩 M_x 、 M_y 、水平力 F_x 、 F_y ）、合力（弯矩 M_{xy} 、水平力 F_{xy} 、扭矩 F_z ）形式，并且分力、合力都提供了最大值 Max 和最小值 Min。以下面正常运行工况荷载为例，从下表格中可以看到，弯矩 M_{xy} 的数量级大于扭矩 F_z 、水平力 F_{xy} ，弯矩 M_{xy} 引起的压力远大于其他内力引起的压力，所以一般情况下建议以弯矩 M_{xy} 最大值为控制项，其对应的一组内力即为控制组合。

4.1 正常运行工况 d1c1.2 (未包含安全系数)

		Mx	My	Mxy	Mz	Fx	Fy	Fxy	Fz
		kNm	kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN	kN
Mx	Max	29475	73312	79015	-400	546	-203	583	-5523
Mx	Min	-4983	60385	60590	196	501	168	528	-5559
My	Max	5218	98155	98293	1373	991	51	992	-5586
My	Min	-39	616	617	679	24	2	24	-5460
Mxy	Max	5184	98870	99005	1374	997	52	999	-5595
Mxy	Min	158	697	715	-1256	44	-6	44	-5465
Mz	Max	11183	65088	66042	10159	492	-13	492	-5590
Mz	Min	8318	54547	55178	-7962	430	-20	431	-5406
Fx	Max	20016	97730	98759	84	984	-104	990	-5591
Fx	Min	-695	595	915	-1271	31	5	32	-5477
Fy	Max	-4634	63425	63594	567	599	160	620	-5520
Fy	Min	26237	35371	44040	884	313	-228	387	-5488
Fxy	Max	6952	96105	96357	4469	945	-10	945	-5607
Fxy	Min	-697	590	914	-1266	31	5	31	-5488
Fz	Max	3998	51962	52115	-5598	532	38	533	-5381
Fz	Min	2035	72704	72732	2497	592	81	597	-5679

3. 疲劳荷载的极限值如何取值?

厂家提供的疲劳荷载有两个表格，为各荷载分量的平均值和等效疲劳荷载。

疲劳荷载限值公式是：

疲劳荷载的上下限值=荷载均值±(等效疲劳荷载)/2

其中，等效疲劳荷载根据风机塔架的材料进行选择。在等效疲劳荷载表格中第一列 SN 是反向斜率，代表材料，其中 4 代表钢材、6 代表混凝土。

5 塔架底部疲劳载荷

5.1 各载荷分量的平均值

Tower Mx base [kNm]	Tower My base [kNm]	Tower Mz base [kNm]	Tower Fx base [kN]	Tower Fy base [kN]	Tower Fz base [kN]
3271	44621	417	420	-1	-5538

5.2 等效疲劳载荷

以 20 年循环 $1.0E+7$ 次计，安全系数为 1.0。

表 5.2 塔架底部等效疲劳载荷

Inverse SN Slope	Tower Mx base [kNm]	Tower My base [kNm]	Tower Mz base [kNm]	Tower Fx base [kN]	Tower Fy base [kN]	Tower Fz base [kN]
3	13798	32510	9269	517	228	208
4	13998	33954	8438	441	196	167
5	15292	37011	8415	439	193	153
6	16762	39936	8687	450	200	150
7	18535	44156	9056	474	218	150
8	20618	48843	9578	499	240	154
9	22462	52839	9957	537	270	158
10	24206	58907	10496	574	296	163
11	25945	62978	10888	607	323	168
12	27497	67549	11199	648	349	173

二、最小动态水平刚度、最小动态旋转刚度

1. 最小动态水平刚度及最小动态旋转刚度，是否是设备厂家必须提供的参数？

在【基础常规参数输入】中，需要输入最小的动态旋转刚度和动态水平刚度。软件在【计算书】的【承载力复核】中，根据《陆上风电场工程风电机组基础设计规范 NB/10311-2019》（以下简称为《风机基础规范》）第 6.6 节中计算基础的动态旋转刚度、动态水平刚度并与填入的最小动态旋转刚度、动态水平刚度比较进行验算。

根据《风机基础规范》第 6.6 节的条文说明，动态刚度是由基础、塔筒、机舱和叶轮组成的整个系统确定的参数，不是基础一部分能确定的，需要厂家根据整个系统进行评估给出最低动态刚度。所以最小的动态旋转刚度、动态水平刚度，还是需要和厂家沟通，让厂家给出数值。故最小动态旋转刚度、最小动态水平刚度，只能由厂家提供。

基础常规参数输入

相关材料参数

参数类型	参数值
混凝土强度等级	C40
混凝土容重(kN/m ³)	25.000
底部混凝土保护层厚度(mm)	80.000
顶面/侧面混凝土保护层厚度(mm)	40.000
覆土重度(kN/m ³)	18.000
最小动态旋转刚度(10 ⁴ ·10N·m/rad)	4.000
最小动态水平刚度(10 ⁴ ·9N/m)	1.000
土层动态压缩模量(MPa)	124.000
水位埋深(m)	2.000
持力层泊松比μ	0.30
持力层内摩擦角φ(°)	26.00
持力层粘聚力c(kPa)	3.00

相关计算参数

参数类型	参数值
安全等级	一级
重要性系数	1.1
配筋计算	风机基础设计规范
配筋方式	径环向配筋
建基面类型	排水地基
塔筒与基础的连接类型	预应力锚栓
沉降允许值(mm)	100
倾斜允许值	0.003

新增混凝土
结构系数
确定
取消

承载力复核

对地基承载力修正

组合号	工况名称	pk (kPa)	fa (kPa)	结论	pkmax (kPa)	1.2*fa (kPa)	结论
1	正常工况	73.459	230.259	满足	115.981	294.311	满足
2	根锚工况	73.512	230.259	满足	151.623	294.311	满足
3	多遇地震工况	73.517	286.336	满足	120.254	343.604	满足
4	多遇地震工况	73.399	286.336	满足	120.200	343.604	满足
5	多遇地震工况	73.399	286.336	满足	111.608	343.604	满足
6	多遇地震工况	73.517	286.336	满足	111.702	343.604	满足

组合号	类型	工况名称	荷载组合	组合项
1	标准组合	正常工况	1.0恒+1.0正常Fak+1.0水浮力+1.0正常Fak+1.0正常Msk	
2	标准组合	根锚工况	1.0恒+1.0根锚Fak+1.0水浮力+1.0根锚Msk+1.0根锚Fsk	
3	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fak+1.0水浮力+1.0正常Fsk+1.0多遇Fsk_Msk+1.0多遇Fsk_Msk	
4	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fak+1.0水浮力+1.0正常Fsk+1.0正常Msk+1.0多遇Fsk_Msk+1.0多遇Fsk_Msk	
5	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fak+1.0水浮力+1.0正常Fsk+1.0正常Msk+1.0多遇Fsk_Msk+1.0多遇Fsk_Msk	
6	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fak+1.0水浮力+1.0正常Fsk+1.0正常Msk+1.0多遇Fsk_Msk+1.0多遇Fsk_Msk	

刚度类型	刚度计算值	规范要求最小值	结论
动态旋转刚度(10 ⁴ ·kN·m/rad)	1.7964+011	4.000E+010	满足
动态水平刚度(kN/m)	2.227E+009	1.000E+009	满足

6.6.1 风电机组基础的地基动态刚度应符合风电机组动力性能要求。

6.6.2 风电机组扩展基础和梁板基础的地基旋转动态刚度可按下式计算：

$$K_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{4(1-2\nu)}{3(1-\nu)^2} R_0^3 E_{s, \text{dyn}} \quad (6.6.2)$$

式中： $K_{\varphi, \text{dyn}}$ ——地基和基础之间的旋转动态刚度（N·m/rad）；

ν ——岩土体泊松比；

R_0 ——基础半径（m）；

$E_{s, \text{dyn}}$ ——基础底面土层土壤的动态压缩模量（MPa）。

6.6.3 扩展基础和筏板基础的地基水平动态刚度可采用下式计算：

$$K_{H, \text{dyn}} = 2 \frac{(1-2\nu)}{(1-\nu)^2} R E_{s, \text{dyn}} \quad (6.6.3)$$

式中： $K_{H, \text{dyn}}$ ——地基和基础之间的水平动态刚度（N/m）。

6.6 地基动态刚度验算

条文说明

6.6.1~6.6.4 风电机组结构需承受强大的动态应力。动态系统属性，特别是由基础、塔筒、机舱和叶轮组成的整个系统的固有频率，在确定适当的荷载时尤为重要。在风电机组设计评估过程中，基础和地基土壤均不视为刚性约束，但可使用等效弹簧（扭力和线性弹簧）进行近似建模，这些等效弹簧的参数取决于土壤的性质。鉴于此，基础设计时验证是否满足风电机组设计中假定的最低动态刚度量级。

本条参照 DNV GUIDELINES FOR DESIGN OF WIND TURBINE 制定，考虑到原公式中剪切模量 G 较难获得，用压缩模量 E_s 代替， $G = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} E_s$ ， E_s 由试验得到，或参考《工程地质手册（第五版）》（中国建筑工业出版社，2017）取值。

2. 土层动态压缩模量如何取值？

根据《风机基础规范》6.6节，动态压缩模量是基础底面土层土壤的动态压缩模量，是计算动态刚度时需要用的参数。由地勘提供，如果地勘不能提供，可以参考《工程地质手册》里面的经验数据。或者按软件建议的“建议取基础持力层压缩模量的9~10倍。”

6.6.1 风电机组基础的地基动态刚度应符合风电机组动力性能要求。

6.6.2 风电机组扩展基础和梁板基础的地基旋转动态刚度可按式计算：

$$K_{\varphi, \text{dyn}} = \frac{4(1-2\nu)}{3(1-\nu)^2} R_0^3 E_{s, \text{dyn}} \quad (6.6.2)$$

式中： $K_{\varphi, \text{dyn}}$ ——地基和基础之间的旋转动态刚度（N·m/rad）；

ν ——岩土体泊松比；

R_0 ——基础半径（m）；

$E_{s, \text{dyn}}$ ——基础底面土层土壤的动态压缩模量（MPa）。

6.6.3 扩展基础和筏板基础的地基水平动态刚度可采用式计算：

$$K_{H, \text{dyn}} = 2 \frac{(1-2\nu)}{(1-\nu)^2} R E_{s, \text{dyn}} \quad (6.6.3)$$

式中： $K_{H, \text{dyn}}$ ——地基和基础之间的水平动态刚度（N/m）。

基础常规参数输入

相关材料参数		相关计算参数	
参数类型	参数值	参数类型	参数值
混凝土强度等级	C40	安全等级	一级
混凝土容重(kN/m ³)	25.000	重要性系数	1.1
底部混凝土保护层厚度(mm)	80.000	配筋计算	风机基础设计规范
顶面/侧面混凝土保护层厚度(mm)	40.000	配筋方式	径环向配筋
覆土重度(kN/m ³)	18.000	建基面类型	排水地基
最小动态旋转刚度(10 ⁴ 10N·m/rad)	4.000	塔筒与基础的连接类型	预应力锚栓
最小动态水平刚度(10 ⁴ 9N/m)	1.000	沉降允许值(mm)	100
土层动态压缩模量(MPa)	124.000	倾斜允许值	0.003
水位埋深(m)	2.000		
持力层泊松比μ	0.30		
持力层内摩擦角φ(°)	26.00		
持力层粘聚力c(kPa)	3.00		


土层动态压缩模量
可参考地勘资料取值，如勘察单位未提供该参数，建议取基础持力层压缩模量的9~10倍。

新增混凝土 结构系数 确定 取消

三、软件能统计混凝土用量吗？在什么位置查看？

6.0.0 版本在施工图中的钢筋表中查看混凝土的体积。此处混凝土体积的统计考虑了对钢筋、孔洞的扣除。

钢筋表		数量	单构件钢筋量 (kg)	总钢筋量 (吨)	单构件混凝土量 (m ³)	总混凝土量 (m ³)
		1	72573.5	72.6	664.0	664.0

序号	钢筋形状	直径	数量	单根长度(mm)	总重量(kg)
①	8660	32	240	8660	13099.56
②		28	27	53110~81100	9025.33

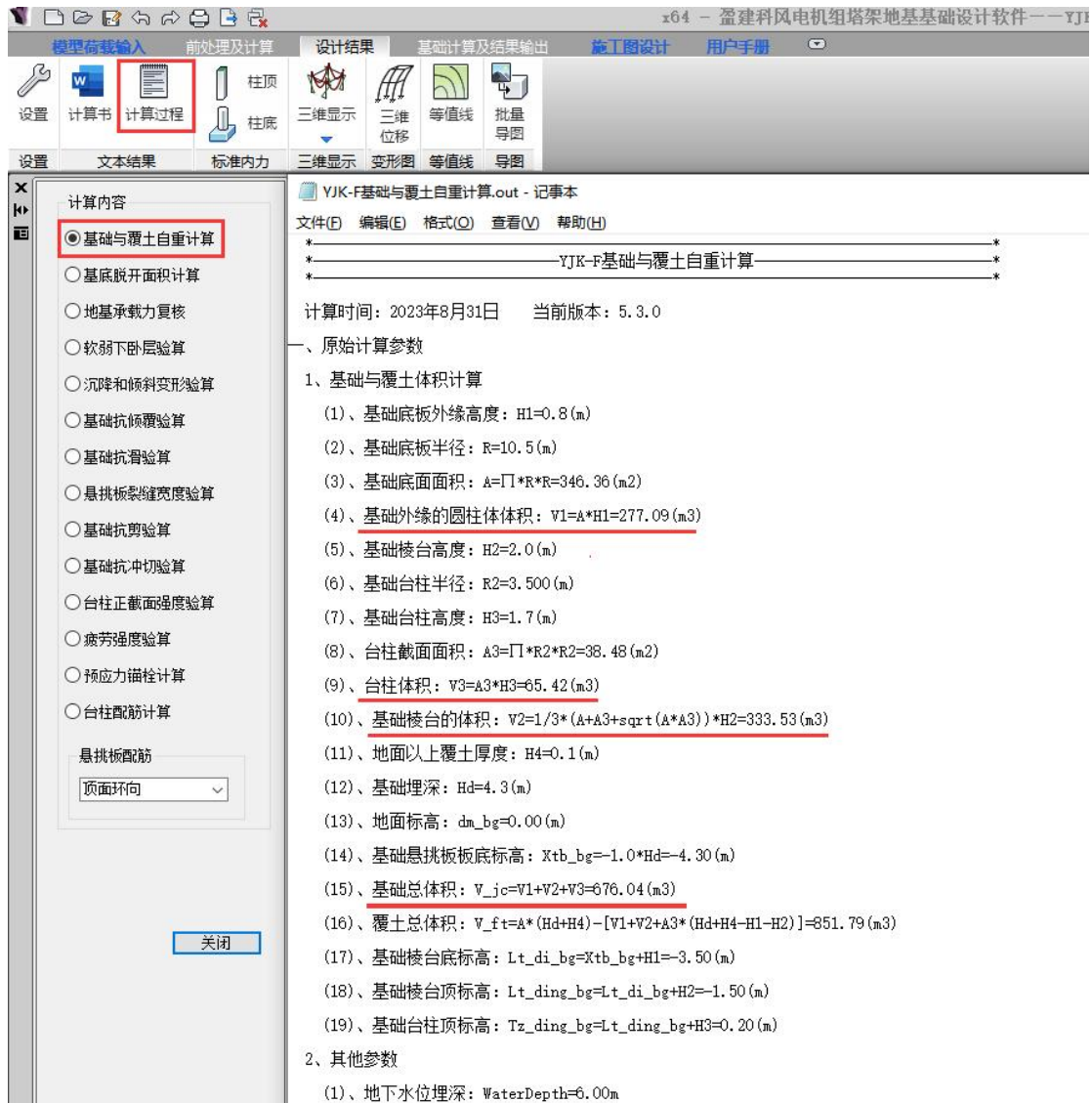
6.0.0 之前版本可以在【计算书】【上部结构传至塔筒底部的内力标准值】中查看，在【计算过程】中可以查看具体计算过程。但此处混凝土的体积没有考虑对钢筋、孔洞的扣除。

风电机组塔架地基基础计算书		地震惯性力			
地震类型	F _{rk} (kN)	F _{zk} (kN)	M _{rk} (kNm)	M _{zk} (kNm)	
多遇地震	44.300	97.400	3117.400	0.000	
罕遇地震	266.300	681.500	19962.500	0.000	

方量计算:	
基础混凝土水下体积:	0.000m ³ ;
基础混凝土水上体积:	676.045m ³ ;
基础覆土水下体积:	0.000m ³ ;
基础覆土水上体积:	821.003m ³ ;

计算工况为:正常运行荷载工况、极端荷载工况、多遇地震工况、罕遇地震工况、疲劳荷载工况(上限)、疲劳荷载工况(下限)、水浮力;

各工况下塔筒底部内力标准值				
地震类型	F _{rk} (kN)	F _{zk} (kN)	M _{rk} (kNm)	M _{zk} (kNm)
正常运行工况	671.080	6011.870	92637.800	1439.250
极端荷载工况	827.480	5883.920	115411.000	1385.910



四、基础底面脱开面积允许最大比值

1. 计算书中“基础底面脱开面积允许最大比值”为何与规范比值不同？

《风机基础规范》表 6.1.3 给出扩展基础或梁板基础基底允许脱开面积比例是基底脱开面积与基底面积的比值，根据不同的工况取值分别为 0 或 0.25。为方便进行比较，实际工程中对于零应力区都是换算为偏心距与底板半径的比值。故计算书中“基础底面脱开面积允许最大比值”输出的是偏心距与底板半径的比值，是通过公式将《风机基础规范》表 6.1.3 中的基底脱开面积与基底面积的比值进行换算。

基础底面脱开面积比					
基础底面脱开面积比					
组合号	工况名称	偏心距(m)	偏心距/底板半径	允许最大比值	结论
1	正常运行工况	2.540	0.242	0.250	满足
2	极端荷载工况	3.174	0.302	0.438	满足
3	多遇地震工况	2.621	0.250	0.438	满足
4	多遇地震工况	2.635	0.251	0.438	满足
5	多遇地震工况	2.458	0.234	0.438	满足
6	多遇地震工况	2.445	0.233	0.438	满足

6.1.3 扩展基础和梁板基础除应满足地基承载力、变形和稳定性要求外，扩展基础和梁板基础基底允许脱开面积还应符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 扩展基础和梁板基础基底允许脱开面积

计算工况	基底脱开面积 A_T /基底面积 A
正常运行工况	0
极端荷载工况	25%
多遇地震工况	

2. 计算书中“基础底面脱开面积允许最大比值”是如何求解的？

(1) 正常运行工况

《风机基础规范》表 6.1.3，正常运行工况脱开面积 0，即不允许出现脱开面积，基础底面最小压力为零， $P_{kmin}=0$ 。

根据《风机基础规范》公式（6.3.2-3）

$$P_{kmin}=(N_k+G_k)/A-M_k/W$$

其中 $M_k=(N_k+G_k)e$

$$W= \pi D^3/32, A= \pi D^2/4$$

故 $P_{kmin}=(N_k+G_k)/(\pi D^2/4)-(N_k+G_k)e/(\pi D^3/32)=0$,

则 $e=D/8=2R/8=R/4$ ，即 $e/R=1/4=0.25$ 。

2 圆形基础承受偏心荷载可按下列公式计算：

《风机基础规范》
$$p_{kmax} = \frac{N_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \quad (6.3.2-2)$$

$$p_{kmin} = \frac{N_k + G_k}{A} - \frac{M_k}{W} \quad (6.3.2-3)$$

$$M_k = M_{rk} + H_k h_d \quad (6.3.2-4)$$

(2) 极端荷载工况和多遇地震工况

《风机基础规范》图 6.3.3 给出了扩展基础在偏心荷载作用下基础底面脱开面积不大于 1/4 的基础底面示意图，在示意图中做辅助线连接圆心和脱开面积的两端点，另脱开面积对应的圆心角为 2α ，已知扩展基础底面半径为 R ，则脱开面积对应的圆心形成的三角形的高是 $R\cos\alpha$ ，底是 $2R\sin\alpha$ 。

《风机基础规范》表 6.1.3，极端荷载、多遇地震工况脱开面积/基底面积= $A_T/T=25%$ 。

脱开面积 $A_T=A_1-A_2=0.25 \pi R^2$

扇形面积 $A_1=2\alpha/2\pi * \pi R^2= \alpha R^2$

三角形面积 $A_2=R\cos\alpha * 2R\sin\alpha/2=R^2\sin\alpha\cos\alpha$

将 A_1 和 A_2 带入 A_T 得到： $0.25\pi R^2=\alpha R^2-R^2\sin\alpha\cos\alpha$ (1-1)

由《风机基础规范》图 6.3.3 可知 $R\cos\alpha=a_c-R$ 且《风机基础规范》公式（6.3.3-2） $a_c=\tau R$

故 $\alpha = \arccos[(a_c - R)/R] = \arccos(\tau - 1)$

(1-2)

由(1-1)、(1-2)得到 $\tau = 1.404$ 。

由《风机基础规范》表 6.3.3 插值，当 $\tau = 1.404$ 时， $e/R = 0.438$ 。

6.3.3 对扩展基础或梁板基础，在核心区外承受偏心荷载，基础底面部分脱开（图 6.3.3）且脱开面积不大于全部面积 1/4 的，风电机组圆形基础底面压力可按下列公式计算：

$$p_{kmax} = \frac{N_k + G_k}{\xi R^2} \quad (6.3.3-1)$$

$$a_c = \tau R \quad (6.3.3-2)$$

式中： τ 、 ξ ——基础底面最大压力计算系数，根据比值 e/R 按表 6.3.3 采用；

a_c ——基础底面受压宽度（m）。

6.3.4 地基受力范围内存在软弱下卧层的，宜按下列公式验算软弱下卧层的承载力：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{sz} \quad (6.3.4-1)$$

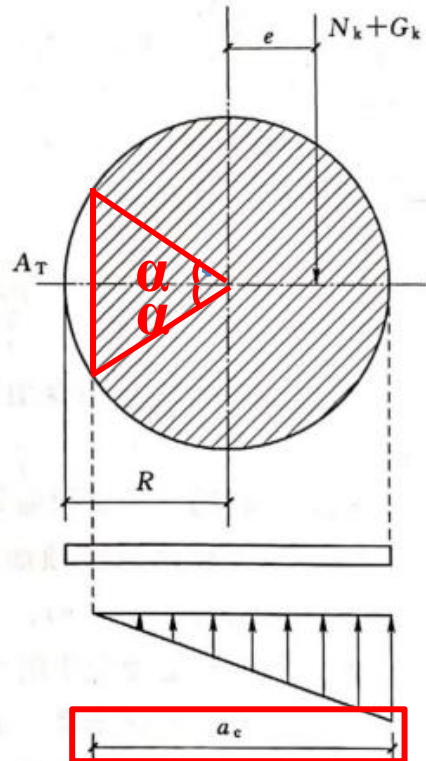


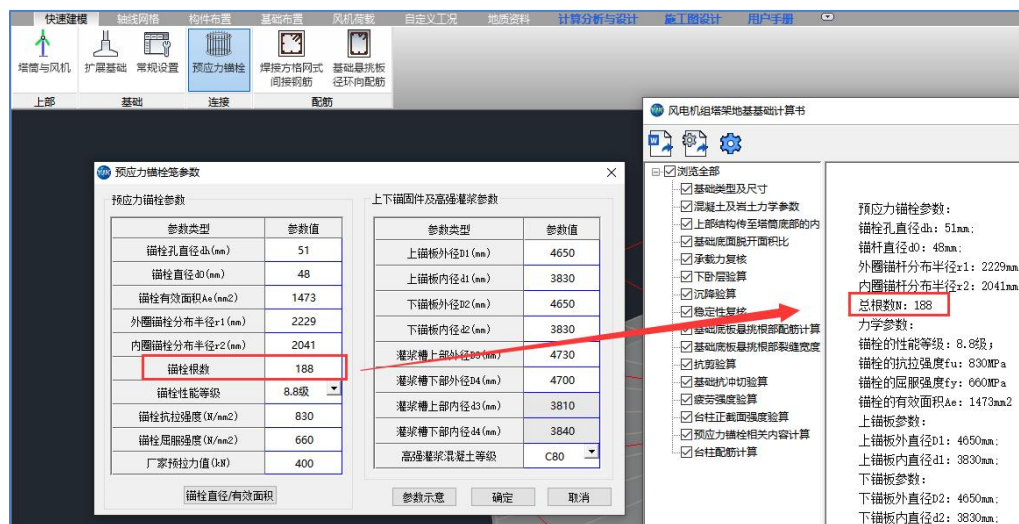
图 6.3.3 基础底面部分脱开地基示意图

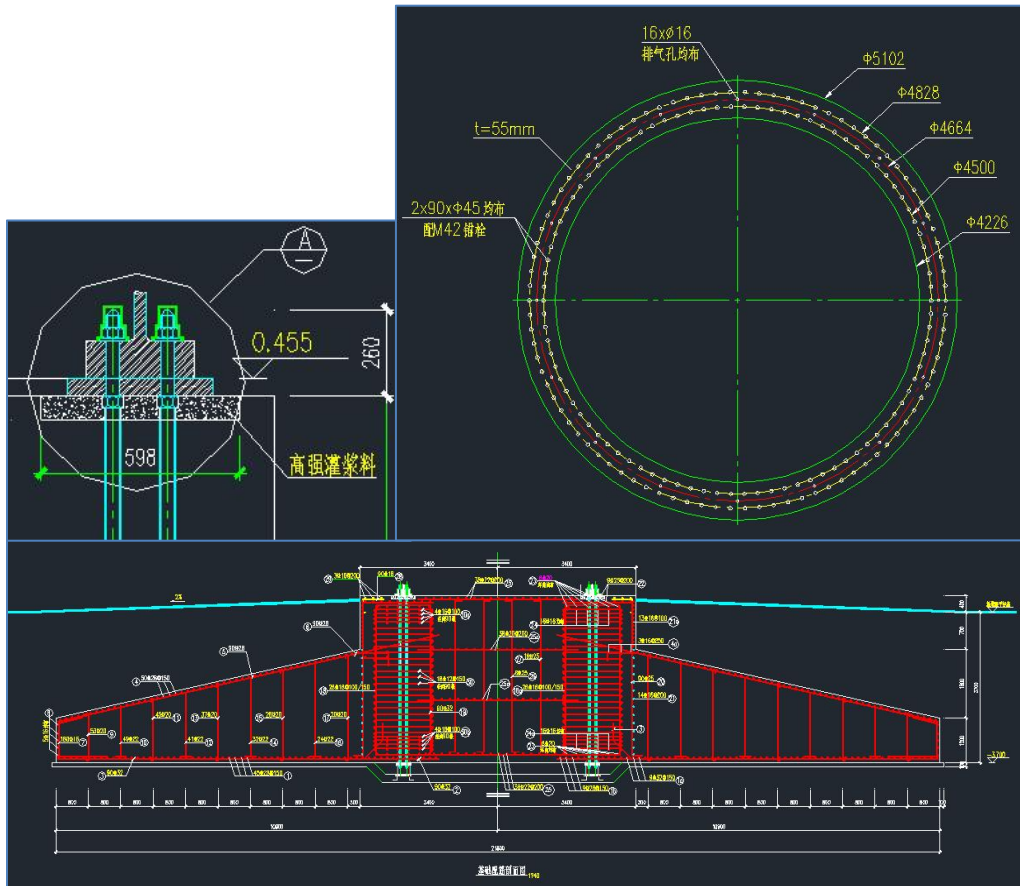
表 6.3.3 基础底面最大压力计算系数

e/R	τ	ξ	e/R	τ	ξ
0.25	2.000	1.571	0.39	1.541	1.170
0.26	1.960	1.539	0.40	1.513	1.143
0.27	1.924	1.509	0.41	1.484	1.116
0.28	1.889	1.480	0.42	1.455	1.090
0.29	1.854	1.450	0.43	1.427	1.063
0.30	1.820	1.421	0.44	1.399	1.037
0.31	1.787	1.392	0.45	1.371	1.010
0.32	1.755	1.364	0.46	1.343	0.984
0.33	1.723	1.335	0.47	1.316	0.959
0.34	1.692	1.307	0.48	1.288	0.933
0.35	1.661	1.279	0.49	1.261	0.908
0.36	1.630	1.252	0.50	1.234	0.883
0.37	1.601	1.224	0.51	1.208	0.858
0.38	1.571	1.197	0.52	1.181	0.833

五、预应力锚栓参数中的锚栓根数是一圈的，还是全部？

预应力锚栓在台柱上沿着圆周分布，共两圈，在预应力锚栓参数中输入的是全部锚栓数量。

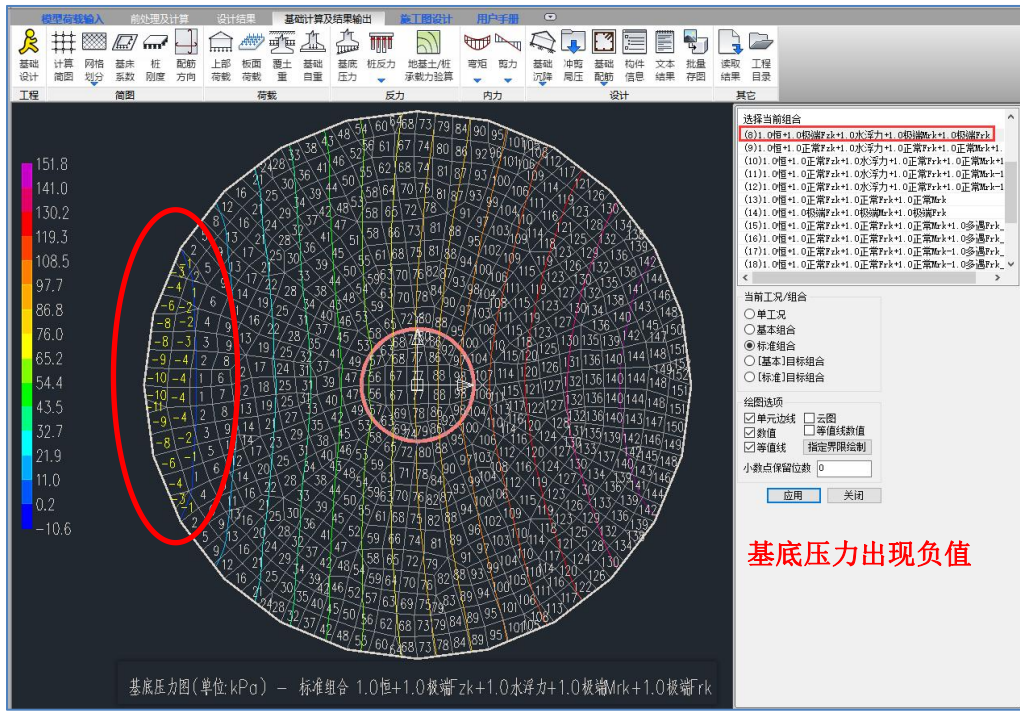




六、基底压力出现负值

1. 基底压力出现负值，如何处理？

土只能受压不能受拉，基底压力出现负值时，表示基底出现脱开区域，此时应把出现负值的荷载组合的计算方法由线性改为非线性。在【风机荷载】【荷载组合表】中进行修改。修改后基底压力无负值，出现零应力脱开区域。



基底压力出现负值

快速建模 轴线网格 构件布置 基础布置 **风机荷载**

分项系数 荷载组合表 地震参数 地震力 荷载数据 施加荷载

设置 荷载

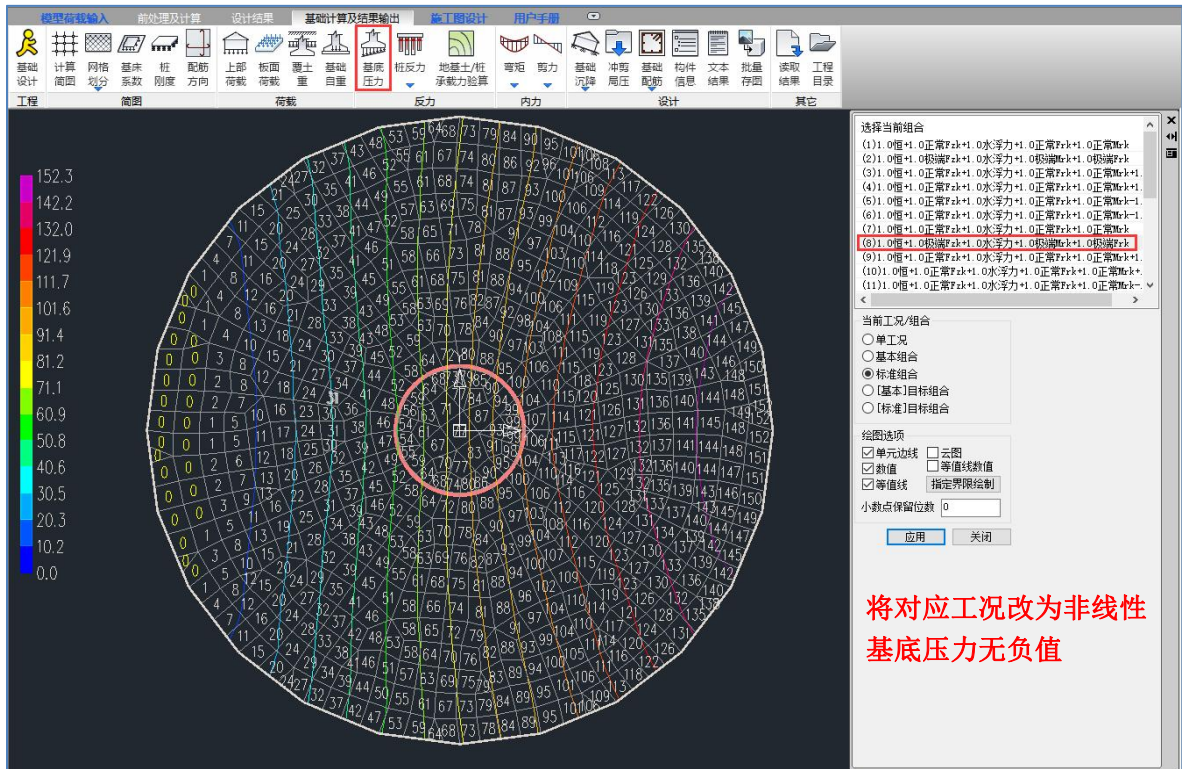
荷载组合

序号	名称	类型	重力荷载	非地震分项不利	非地震分项有利	地震分项不利	地震分项有利	非地震组合值	地震组合值	频遇值	准永久值	墙柱折减	折减系数	楼面折减	备注
1	水浮力	恒载	1												
2	正常Fzk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
3	极值Fzk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
4	漂浮上Fzk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
5	漂浮下Fzk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
6	正常Fzk	活载	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	0	1	0	1	0	1

工况组合

组合号	分析方法	恒载	水浮力	正常Fzk	极值Fzk	正常Mk	极值Mk	多遇Fk_Mk	多遇Mk_Mk	计算内容	荷载工况类型
1	线性	1								地基承...	正常运行工况
2	线性	1	1							地基承...	极端荷载工况
3	线性	1	1							地基承...	多遇地震工况
4	线性	1	1							地基承...	多遇地震工况
5	线性	1	1							地基承...	多遇地震工况
6	线性	1	1							地基承...	多遇地震工况
7	线性	1	1							较弱下...	正常运行工况
8	线性	1	1		1		1			较弱下...	极端荷载工况
9	线性	1	1			1			1	较弱下...	多遇地震工况
10	线性	1	1			1			-1	较弱下...	多遇地震工况
11	线性	1	1			1			-1	较弱下...	多遇地震工况
12	线性	1	1			1			1	较弱下...	多遇地震工况
13	线性	1					1			抗震...	正常运行工况
14	线性	1					1			抗震...	极端荷载工况
15	线性	1			1				1	抗震...	多遇地震工况
16	线性	1				1			-1	抗震...	多遇地震工况
17	线性	1				1			-1	抗震...	多遇地震工况

改为非线性



2. 将对应工况改为非线性，基底压力还是负值？

地基承载力是标准组合下的验算，需要修改标准组合下对应工况。荷载组合表中，工况改为非线性还是负值，是因为修改的是基本组合，而出现基底压力负值的是标准组合下的第8工况。注意，荷载组合表打开后默认的是基本组合，而地基承载力是标准组合下，不要改错。

荷载组合															
工况															
原号	名称	类型	重力荷载	非地震分项不利	非地震分项有利	地震分项不利	地震分项有利	非地震组合值	地震组合值	标准值	准永久值	墙柱折减	折减系数	楼面折减	备注
1	水浮力	恒载	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	
2	正常Frk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
3	极端Frk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
4	疲劳上Frk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
5	疲劳下Frk	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
6	正常Mrk	活载	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	0	1	0	1	0	1
7	非标准组合	恒载	1	1.3	1	1.3	1	1	1	0	1	0	1	0	1
8	非标准组合	恒载	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
9	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
10	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
11	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
12	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
13	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
14	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
15	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
16	非标准组合	恒载	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1
17	偶然组合	活载	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	1	0	1	0	1

荷载工况类型: 全部 | 荷载组合: 标准组合

七、计算书荷载组合中的 1.0 多遇 Frk_Mrk、1.0 多遇 Fzk_Mzk 含义是什么？

查看承载力复核计算书时，其对应的荷载组合中，组合3多遇地震工况中含有“1.0多遇 Frk_Mrk+1.0多遇 Fzk_Mzk”，这里面的1.0多遇 Frk_Mrk+1.0多遇 Fzk_Mzk是缩写，完整的表达方式是：1.0多遇 Frk+1.0多遇 Mrk+1.0多遇 Fzk+1.0多遇 Mzk；

其中，Mzk按《风机基础规范》表5.3.3考虑，即只有基本组合的抗滑稳定计算、疲劳验算和偶然组合的抗滑稳定验算考虑。

承载力复核

地基承载力复核

组合号	工况名称	pk (kPa)	fa (kPa)	结论	Pkmax (kPa)	1.2*fa (kPa)	结论
1	正常工况	73.451	220.259	满足	116.079	264.311	满足
2	极端工况	73.505	220.259	满足	151.808	264.311	满足
3	多遇地震工况	73.510	286.336	满足	120.462	343.604	满足
4	多遇地震工况	73.392	286.336	满足	120.368	343.604	满足
5	多遇地震工况	73.392	286.336	满足	111.695	343.604	满足
6	多遇地震工况	73.510	286.336	满足	111.789	343.604	满足

荷载组合

组合号	类型	工况名称	组合项
1	标准组合	正常工况	1.0恒+1.0正常Fzk+1.0水浮力+1.0正常Frk+1.0正常Mrk
2	标准组合	极端工况	1.0恒+1.0极端Fzk+1.0水浮力+1.0极端Mrk+1.0极端Frk
3	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fzk+1.0水浮力+1.0正常Frk+1.0正常Mrk+1.0多遇Frk_Mrk+1.0多遇Fzk_Mzk
4	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fzk+1.0水浮力+1.0正常Frk+1.0正常Mrk+1.0多遇Frk_Mrk-1.0多遇Fzk_Mzk
5	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fzk+1.0水浮力+1.0正常Frk+1.0正常Mrk-1.0多遇Frk_Mrk-1.0多遇Fzk_Mzk
6	标准组合	多遇地震工况	1.0恒+1.0正常Fzk+1.0水浮力+1.0正常Frk+1.0正常Mrk-1.0多遇Frk_Mrk+1.0多遇Fzk_Mzk

表 5.3.3 风电机组基础设计极限状态、设计状况、荷载效应组合、计算内容、荷载工况及主要荷载

极限状态	设计状况	荷载效应组合	计算内容	荷载工况					主要荷载								
				正常运行工况	极端荷载工况	疲劳工况	多遇地震工况	罕遇地震工况	F _{ik}	M _{ik}	F _{sk}	M _{sk}	G ₁	G ₂	F _{s1}	F _{s2}	
承载力极限状态	持久设计状况	基本组合	截面抗弯计算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	√	√	*	-
			截面抗剪计算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	-	-	*	-
			截面抗冲切计算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	-	-	*	-
			抗滑稳定计算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	√	√	√	*	-
			抗倾覆稳定计算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	√	√	*	-
			疲劳验算	-	-	√	-	-	-	√	√	√	√	√	√	-	-
偶然设计状况	偶然组合	抗滑稳定验算	-	-	-	-	-	√	√	√	√	√	√	√	-	√	
		抗倾覆稳定验算	-	-	-	-	-	√	√	√	-	√	√	-	√		
正常使用极限状态	持久设计状况	标准组合	地基承载力验算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	√	√	-	-
			地基软弱下卧层承载力复核	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	√	√	*	-
			抗裂或限裂验算	√	-	-	-	-	√	√	√	-	√	√	*	-	
			变形计算	√	√	-	*	*	-	√	√	√	-	√	√	*	-

注：*为多遇地震工况应考虑风电机组正常运行荷载；**为当多遇地震工况为基础设计的控制荷载工况时才进行该项验算。

八、扩展基础台柱计算是否考虑了预应力锚栓？

台柱计算考虑了锚栓的预应力。在锚栓预拉力作用下，台柱混凝土压应力考虑了锚栓作用，有预压力。当混凝土拉应力小于压应力，构造配筋。

在详细计算书中查看台柱配筋计算，混凝土压应力为 $\sigma_c = (F_z + MS_n \cdot P \cdot \gamma_z) / A$ 。混凝土压应力有两部分构成，一部分是塔筒底部的风机竖向合力 F_z ，另一部分是锚栓预拉力产生的压力 $MS_n \cdot P \cdot \gamma_z$ ，其中 MS_n 是预应力锚栓数量， P 为锚杆预拉力， γ_z 是分项系数。

台柱配筋计算

台柱边缘受弯矩作用时，锚栓预拉力作用下，台柱混凝土处于受压状态不开裂，按平面假定计算抗弯。

将混凝土的压应力与拉应力进行比较，若压应力 σ_c >拉应力 σ_t ，则台柱边缘只需配构造钢筋，反之，则需调整预拉力锚栓结构尺寸或数量、基础台柱尺寸，使混凝土的压应力大于混凝土的拉应力。

具体各个组合下计算结果如下：

台柱配筋计算

组合号	工况名称	混凝土拉应力 σ_t (kPa)	混凝土压应力 σ_c (kPa)	结论
63	正常运行工况	3851.432	5246.325	$\sigma_c > \sigma_t$
64	极端荷载工况	4798.232	5242.335	$\sigma_c > \sigma_t$
65	多遇地震工况	3971.781	5247.590	$\sigma_c > \sigma_t$
66	多遇地震工况	3971.781	5245.059	$\sigma_c > \sigma_t$
67	多遇地震工况	3731.083	5247.590	$\sigma_c > \sigma_t$
68	多遇地震工况	3731.083	5245.059	$\sigma_c > \sigma_t$

台柱配筋验算-荷载组合

组合号	类型	工况名称	组合项
63	基本组合	正常运行工况	1.2正常Fzk+1.4正常Mrk
64	基本组合	极端荷载工况	1.2极端Fzk+1.4极端Mrk
65	基本组合	多遇地震工况	1.2正常Fzk+1.4正常Mrk+1.3多遇Frk_Mrk+0.5多遇Fzk_Mzk
66	基本组合	多遇地震工况	1.2正常Fzk+1.4正常Mrk+1.3多遇Frk_Mrk+(-0.50)多遇Fzk_Mzk
67	基本组合	多遇地震工况	1.2正常Fzk+1.4正常Mrk+(-1.30)多遇Frk_Mrk+0.5多遇Fzk_Mzk
68	基本组合	多遇地震工况	1.2正常Fzk+1.4正常Mrk+(-1.30)多遇Frk_Mrk+(-0.50)多遇Fzk_Mzk

*YJK-F台柱配筋计算.out - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

3、锚索参数

(1)、预拉力锚栓数量：MS_n=208

4、计算说明

(1)、台柱边缘受弯矩作用时，锚栓预拉力作用下，台柱混凝土处于受压状态不开裂，按平面假定计算抗弯

二、计算结果

1、正常运行工况

(1)、荷载组合63-计算结果

1)、组合类型：基本组合

2)、组合值：1.2正常Fzk+1.4正常Mrk，其中竖向力的分项系数 γ_z 为：1.20

3)、塔筒底部的风机水平力合力矩：Mr=129692.92(kNm)

4)、塔筒底部的风机竖向合力：Fz=7214.24(kN)

5)、塔筒荷载作用下锚杆的预拉力(计算过程见锚栓计算书)：P=780.00(kN)

6)、混凝土拉应力： $\sigma_t = Mr * R2 / I = 3851.43$ (kPa)

预拉力锚栓作用

7)、混凝土压应力： $\sigma_c = (Fz + MS_n * P * \gamma_z) / A = 5246.32$ (kPa)

8)、抗弯计算结论： σ_t 不大于 σ_c ，台柱边缘需配置构造钢筋

九、基础底部顶面径向配筋

1. 修改风机荷载，顶面径向配筋不变？

有用户发现修改模型的风机荷载，风机计算书中“顶面径向配筋”的弯矩设计值、单位弧长计算面积都不变。即使荷载输入0，弯矩为0，顶面径向钢筋也不变（如下图）？

塔筒底部荷载

各工况下的塔筒底部内力标准值

工况名称	Frk (kN)	Fzk (kN)	Mrk (kNm)	Mzk (kNm)
正常运行工况	0.000	0.000	0.000	0.000
极端荷载工况	0.000	0.000	0.000	0.000
多遇地震工况	0.000	0.000	0.000	0.000
罕遇地震工况	0.000	0.000	0.000	0.000
疲劳荷载工况(上限)	0.000	0.000	0.000	0.000
疲劳荷载工况(下限)	0.000	0.000	0.000	0.000

参数说明：
本界面用于输入厂家提供正常运行、极端荷载、疲劳等工况下的荷载标准值。
荷载全部按0

合力表示 查看坐标系

风电机组塔架地基基础计算书

基础底板悬挑根部配筋计算

组合号	工况名称	弯矩设计值 (kNm)	单位弧长计算面积 (mm ²)	单位弧长要求面积 (mm ²)	单位弧长实配面积 (mm ²)
1	正常运行工况	0.0	0.0	3750.0	8400.0
2	正常运行	0.0	0.0	3750.0	8400.0
22	基本组合 多遇地震工况	1.00恒+1.00正常Fzk+1.40正常Mrk+1.40正常Frk+1.30多遇Frk_Mrk+(-0.50)多遇Fzk_Mzk	0.0	3750.0	8400.0
23	基本组合 多遇地震工况	1.00恒+1.00正常Fzk+1.40正常Mrk+1.40正常Frk+(-1.30)多遇Frk_Mrk+(-0.50)多遇Fzk_Mzk	0.0	3750.0	8400.0
24	基本组合 多遇地震工况	1.00恒+1.00正常Fzk+1.40正常Mrk+1.40正常Frk+(-1.30)多遇Frk_Mrk+0.50多遇Fzk_Mzk	0.0	3750.0	8400.0
		表 22 顶面径向配筋	0.0	3750.0	8400.0
弯矩设计值 (kNm)	单位弧长计算面积 (mm ²)	单位弧长要求面积 (mm ²)	单位弧长实配面积 (mm ²)	配筋率 (%)	
4910.6	6407.8	6407.8	10971.4	0.4568	
		表 23 底面径向配筋	0.0	3750.0	8400.0
9	多遇地震工况	0.0	0.0	3750.0	8400.0
10	多遇地震工况	0.0	0.0	3750.0	8400.0
11	多遇地震工况	0.0	0.0	3750.0	8400.0

荷载都按0输入之后，顶面径向弯矩配筋不会变

首先看一下规范上基础底板底面径向钢筋配筋弯矩的计算公式。根据《风机基础规范》7.2.8 条 2、3 款，基础底板顶面配筋弯矩可按承受均布荷载的悬臂构件计算。其中悬臂构件的均布荷载 q 是基础底板顶面近似均布荷载，由 7.2.8 条条文说明可知， q 是基础悬挑板自重和覆土重产生的等效均布荷载。

故根据 7.2.8 条及条文说明，底板单位宽度径向配筋弯矩 M 通过下列公式求得：

$$M = \frac{2}{3} M_{dh}$$

$$M_{dh} = \frac{q(2R + r_1)(R - r_1)}{6r_1}$$

$$q = \frac{1}{2}(\gamma_1 h_1 + \gamma_1 h_2 + \gamma_2 h_1' + \gamma_2 h_2')$$

其中：

q ——基础底部顶面近似均布荷载；

γ_1 、 γ_2 ——分别为基础底板和覆土的重度；

h_1 、 h_2 ——悬挑板端部和根部厚度；

h_1' 、 h_2' ——悬挑板端部和根部覆土厚度。

从以上公式可以看出，底板顶面径向配筋弯矩只与基础底板顶面近似均布荷载 q 、底板

半径 R 、台柱半径 r_1 有关，与风机荷载无关。由于基础底板顶面近似荷载 q 是一个固定数值（基础悬挑板自重和覆土重产生的等效均布荷载），故基础底板底面径向钢筋配筋弯矩是一个定值，与风机荷载无关，所以风机荷载变化，底板顶面径向配筋面积不变。

7.2.8 基础底板的配筋应按抗弯计算确定，并符合下列规定：

1 基础底板底面配筋的弯矩值可按承受均布荷载的悬臂构件进行计算，基础台柱半径 r_1 处单位弧长的弯矩设计值，可根据地基净反力分布（图 7.2.8）按下式计算：

$$M_{dh} = \frac{p(2R+r_1)(R-r_1)^2}{6r_1} \quad (7.2.8-1)$$

式中： M_{dh} ——荷载效应基本组合下基础底板单位弧长的弯矩设计值（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

R ——基础底板半径（ m ）。

2 基础底板顶面配筋的弯矩值可按承受均布荷载的悬臂构件进行计算，且基础台柱半径 r_1 处单位弧长的上部弯矩设计值可按下式计算：

$$M_{dh} = \frac{q(2R+r_1)(R-r_1)^2}{6r_1} \quad (7.2.8-2)$$

式中： q ——基础底板顶面近似均布荷载（ kPa ）。

3 圆形基础底板宜按径环向配筋取变截面位置进行计算。单位宽度径向配筋弯矩可取 $2/3M_{dh}$ ，单位宽度环向配筋弯矩可取 $1/3M_{dh}$ 。配筋计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

7.2.8 风电机组扩展基础尺寸比例不满足烟囱基础规范的比例，因此，环径向配筋公式不能直接使用。底板下部配筋弯矩取在变阶面高度单宽扇形单元承受均布地基反力，按悬臂构件进行计算；底板上部配筋弯矩取在变阶面高度单宽扇形单元承受均布荷载 q ，按悬臂构件进行计算，均布荷载 q 可以按下式近似计算。底板上表面近似均布荷载计算尺寸示意图见图 7-1。

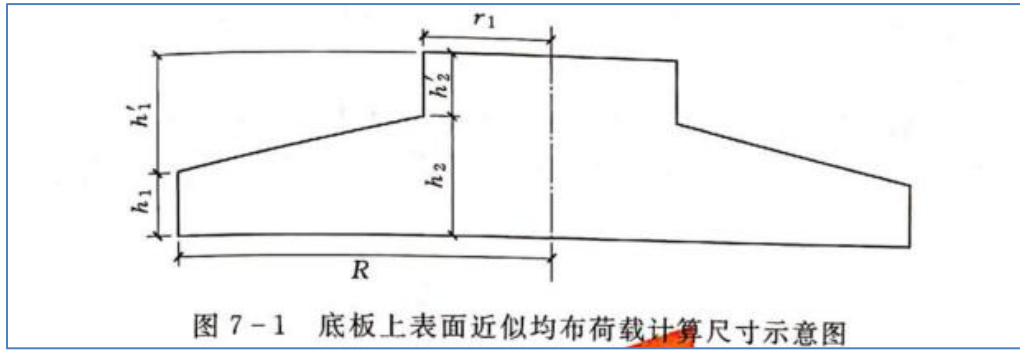
$$q = \frac{1}{2} (r_1 \cdot h_1 + r_1 \cdot h_2 + r_2 \cdot h'_1 + r_2 \cdot h'_2) \quad (7-1)$$

式中： q ——基础底板顶面近似均布荷载（ kPa ）；

h'_1 ——基础外边缘土体高度（ m ）； **《风机基础规范》**

h'_2 ——变截面土体高度（ m ）。 **条文说明**

根据《风电机组地基基础设计规定（试行）》FD 003—2007 中条文说明第 9.2.2 条，并依据有限元计算结果，扩展基



2. 基础底板顶面径向配筋面积如何计算？

以下截图中扩展基础为例，求解基础底板顶面径向配筋面积。

扩展基础尺寸信息输入

参数类型	参数值
台柱半径R2 (m)	3.500
底板半径R (m)	9.750
台柱高度H3 (m)	1.600
底板楼台高度H2 (m)	1.550
底板外缘高度H1 (m)	0.950
基础埋深Hd (m)	3.600
垫层厚度H5 (mm)	100
覆土厚度H4 (m)	3.700

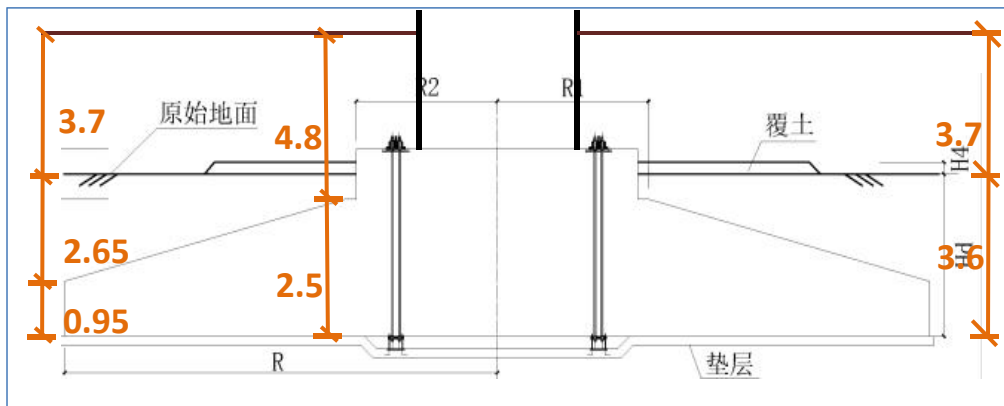
参数说明：
 1、基础整体高度H宜控制在轮毂高度1/40~1/25范围内。
 2、基础圆台坡度不宜大于1:4。

参数示意 确定 取消

扩展基础参数示意

关闭

根据扩展基础的尺寸参数信息，将覆土厚度、基础高度整理到基础剖面图中。



基础底部顶面近似均布荷载，由《风机基础规范》7.2.8 条条文说明公式（7-1）：
 $q=0.5 \times (25 \times 0.95 + 25 \times 2.5 + 18 \times 6.35 + 18 \times 4.8) \times 1.2 = 143.75 \times 1.2 = 172.17 \text{ kN/m}^2$

单位弧长弯矩，根据公式（7.2.8-2）：

$$Mdb = q(2R + r1)(R - r1)2 / 6r1 = 172.17 \times (2 \times 9.75 + 3.5) \times (9.75 - 3.5)^2 / 6 / 3.5 = 7365.9 \text{ kN.m}$$

单位宽度径向配筋弯矩，由 7.2.8 条 3 款：

$$M = 2Mdb / 3 = 2 \times 7365.9 / 3 = 4910.6 \text{ kN.m}$$

按截面宽度 1000mm 截面高度 2500mm（1000x2500）的单筋矩形截面梁计算配筋面积。

有效高度 h_0 = 悬挑板根部截面高度 - 顶面保护层厚度 - 顶面径向钢筋直径 / 2 - 顶面环向钢筋直径；即， $h_0 = 2500 - 50 - 32 / 2 - 32 = 2402 \text{ mm}$

根据《混规》6.2.10 条：

$$\alpha_s = \gamma_0 M / (\alpha_1 f_c b h_0^2) = 1.1 \times 4910.6 \times 10^6 / (1 \times 16.7 \times 1000 \times 2402^2) = 0.056 \quad (0.049)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \alpha_s} = 0.0577 \quad (0.0503)$$

$$A_s = \alpha_1 f_c b h_0 \xi / f_y = 1.0 \times 16.7 \times 1000 \times 2402 \times 0.0577 / 360 = 6429 \text{ mm}^2 \quad (6407) > \text{构造配筋面积}$$

$$A_{s\min} = 0.15\% \times 1000 \times 2500 = 3750 \text{ mm}^2$$

括号中红色字为软件详细计算书的数据，两者误差： $(6429-6407)/6429=0.3\%$ ，由于软件内部计算混凝土的强度不是按规范表格，是按公式得到，所以手算与软件计算结果有一定的误差。

<p>2、自重</p> <p>(1)、覆土重度: SoilW=18.00 (kN/m3)</p> <p>(2)、基础混凝土重度: ConctW=25.0 (kN/m3)</p> <p>(3)、覆土自重: S_G=26678.01 (kN)</p> <p>(4)、基础自重: B_G=14371.64 (kN)</p>	<p>3、基础尺寸</p> <p>(1)、基础底板外缘高度: H1=0.9 (m)</p> <p>(2)、基础棱台高度: H2=1.6 (m)</p> <p>(3)、基础台柱高度: H3=1.6 (m)</p> <p>(4)、地面上覆土厚度: H4=3.7 (m)</p> <p>(5)、基础埋深: Hd=3.6 (m)</p> <p>(6)、基础底板半径: R=9.8 (m)</p> <p>(7)、基础台柱半径: R2=3.500 (m)</p> <p>(8)、塔筒底部风机荷载作用点与台柱顶的竖向距离: W1=0.1 (m)</p>
<p>二、计算结果</p> <p>1、顶面径向配筋</p> <p>(1)、重要性系数: $\gamma_0=1.1$</p> <p>(2)、自重作为恒载，其分项系数 $\gamma_z=1.20$</p> <p>(3)、基础外缘混凝土高度: $h1=H1=0.95$ (m)</p> <p>(4)、基础外缘土体高度: $h1'=Hd+H4-H1=6.35$ (m)</p> <p>(5)、变截面混凝土高度: $h2=H1+H2=2.50$ (m)</p> <p>(6)、变截面土体高度: $h2'=Hd+H4-h2=4.80$ (m)</p> <p>(7)、<u>基础顶面近似均布荷载</u>: $q=0.5 \times (\text{ConctW} \times h1 + \text{ConctW} \times h2 + \text{SoilW} \times h1' + \text{SoilW} \times h2') \times \gamma_z = 172.17$ (kPa)</p> <p>(8)、<u>基础顶面单位弧长的弯矩设计</u>: $M_Tdh = q \times (2R+R2) \times (R-R2) \times (R-R2) / 6 / R2 = 7365.90$ (kNm)</p> <p>(9)、<u>顶面径向配筋弯矩</u>: $M_TRad = 2/3 \times M_Tdh = 4910.60$ (kNm)</p> <p>(10)、计算系数 $\alpha_s = 1000000 \times M_TRad \times \gamma_0 / \alpha_1 / f_c / 1000 / TRadh0 / TRadh0 = 0.0490$</p> <p>(11)、计算系数 $\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \alpha_s} = 0.0503$</p> <p>(12)、<u>配筋计算面积</u>: $A_{s\text{Cal}} = f_c \times \xi \times 1000 \times TRadh0 / TRadfy = 6407$ (mm²)</p> <p>(13)、构造配筋面积: $A_{s\text{GZ}} = 0.0015 \times 1000 \times TRadH = 3750$ (mm²)</p> <p>(14)、<u>要求配筋面积(取计算面积与构造面积的大值)</u>: $A_{s\text{Req}} = 6407$ (mm²)</p>	

以上就是风机塔架基础设计在盈建科软件中的高频问题解析的全部内容，相信通过这篇文章，设计师们对盈建科风机基础软件有了更进一步的了解，对风机基础设计更加清晰明确！希望对设计师们在风机基础设计上有帮助！