



波浪力荷载计算（公式法）技术规程

中国能源建设集团山西省电力勘测设计院有限公司

目录

1. 波浪参数计算	1
2. 波浪力计算	2
3. 波流力计算	4

1. 波浪参数计算

以 Nakwol 一期项目第 18 号机位为例，取水深为 15.5m，取最高高水位为 7.77m，则高水位时水深为 23.27m；有益波高为 6.9m，最大波高为 12.8m，波周期为 12.1s。

角频率 σ 为：

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{12.1} = 0.519 \text{ rad}$$

波数 k 为：

$$k = \frac{\sigma^2}{g} = \frac{0.519^2}{9.8} = 0.027 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

波长 L' 为：

$$L' = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{0.027} = 228.35 \text{ (m)}$$

修正后的 L 为：

$$L = \frac{e^{kd} - e^{-kd}}{e^{kd} + e^{-kd}} \times L' = 129.05 \text{ (m)}$$

计算角度为 0° 和 270°； C_D 和 C_M 系数取值分别为 1.2 和 2.0。

计算依据如下：

第二章 小振幅波（线性波）理论 2.1 常深度小振幅简单波动

○ 2.1.3 二维小振幅推进波的特性

— 波速和波长（弥散关系）

深水: $d/L > 0.5, \tanh kd = 1$	有限深度水深	浅水: $d/L < 0.05, \tanh kd = kd$
-------------------------------	--------	---------------------------------

$\omega^2 = gk$ $\omega^2 = gk \tanh kd$



 $c_0 = \frac{gT}{2\pi}$ $c = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd$ $c = \sqrt{gd}$

 $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$ $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd$ $L = T \sqrt{gd}$

2) 波形特征

自由面形状（波面方程）： $\eta = a \cos(kx - \sigma t)$

$$\text{波长: } L = \frac{2\pi}{k}$$

$$\text{周期: } T = \frac{2\pi}{\sigma}$$

$$\text{频率: } \sigma = \sqrt{kg}$$

$$\text{波数: } k = \frac{2\pi}{L}$$

$$\text{波速: } C = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \quad \text{深水波}$$

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{th}\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad \text{中等水深波}$$

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gh} \quad \text{浅水波}$$

2. 波浪力计算

依据《港口与航道水文规范 JTS 145-2015》中 10.3.1 节（Design of Offshore Wind (海上风机结构设计规范) OS-J101 中 4.5.4 节），用莫里森方程计算波浪力公式如下所示：

10.3.1 D/L 或 $b/L \leq 0.2$ 时为小尺度桩(柱)。对小尺度桩(柱), $H/d \leq 0.2$ 且 $d/L \geq 0.2$ 或 $H/d > 0.2$ 且 $d/L \geq 0.35$ 时, 作用于水底面以上高度 z 处(图 10.3.1) 柱体全断面上与波向平行的正向力速度分力和惯性分力, 可按下列公式计算:

$$p_D = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} C_D D u |u| \quad (10.3.1-1)$$

$$p_I = \frac{\gamma}{g} C_M A \frac{\partial u}{\partial t} \quad (10.3.1-2)$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \frac{2\pi z}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cos \omega t \quad (10.3.1-3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh \frac{2\pi z}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \sin \omega t \quad (10.3.1-4)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (10.3.1-5)$$

74

式中 D ——柱体的直径(m), 当为矩形断面时, D 改用 b (m);

L ——波长(m);

a, b ——矩形柱体断面平行和垂直于波向的宽度(m);

H ——建筑物所在处进行波波高(m);

d ——建筑物前水深(m);

z, z_1, z_2 ——计算点在水底面以上的高度(m);

p_D ——波浪力的速度分力(kN/m), 其最大值 $p_{D\max}$ 出现在 $\omega t = 0^\circ$ 的相位上;

γ ——水的重度(kN/m³);

g ——重力加速度(m/s²);

C_D ——速度力系数, 对圆形断面取 1.2, 对方形或 $a/b \leq 1.5$ 的矩形断面取 2.0;

u ——水质点轨道运动的水平速度(m/s);

p_I ——波浪力的惯性分力(kN/m), 其最大值 $p_{I\max}$ 出现在 $\omega t = 270^\circ$ 的相位上;

C_M ——惯性力系数, 对圆形断面取 2.0, 对方形或 $a/b \leq 1.5$ 的矩形断面取 2.2;

A ——柱体的断面积(m²);

$\frac{\partial u}{\partial t}$ ——水质点轨道运动的水平加速度(m/s²);

T ——波浪周期(s);

ω ——波浪运动的圆频率(s⁻¹);

t ——时间(s), 当波峰通过柱体中心线时 $t = 0$ 。

各参数带入后, 公式如下:

$$F_{D,max} = \frac{1}{2} \rho_w D_S C_D \frac{\pi^2 H_s^2}{T_s^2 \sinh^2(kS)} P_D(k, S, \eta) \quad (41)$$

$$M_{D,max} = \frac{1}{2} \rho_w D_S C_D \frac{\pi^2 H_s^2}{T_s^2 \sinh(kS)} Q_D(k, S, \eta) \quad (42)$$

$$P_D(k, S, \eta) = \frac{e^{2k(S+\eta)} - e^{-2k(S+\eta)}}{8k} + \frac{S + \eta}{2} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} Q_D(k, S, \eta) = & \left(\frac{S + \eta}{8k} - \frac{1}{16k^2} \right) e^{2k(S+\eta)} - \left(\frac{S + \eta}{8k} + \frac{1}{16k^2} \right) e^{-2k(S+\eta)} + \left(\frac{S + \eta}{2} \right)^2 \\ & + \frac{1}{8k^2} \end{aligned} \quad (44)$$

$$F_I,max = \frac{1}{2} \rho_w C_m D_S^2 \frac{\pi^3 H_s}{T_s^2 \sinh(kS)} P_I(k, S, \eta) \quad (45)$$

$$M_{I,max} = \frac{1}{2} \rho_w C_m D_S^2 \frac{\pi^3 H_s}{T_s^2 \sinh(kS)} Q_I(k, S, \eta) \quad (46)$$

$$P_I(k, S, \eta) = \frac{\sinh(k(S + \eta))}{k} \quad (47)$$

$$Q_I(k, S, \eta) = \left(\frac{S + \eta}{2k} - \frac{1}{2k^2} \right) e^{k(S+\eta)} - \left(\frac{S + \eta}{2k} + \frac{1}{2k^2} \right) e^{-k(S+\eta)} + \frac{1}{k^2} \quad (48)$$

注意：雍高取 $0.5H_{s1}$ 。

3. 波流力计算

依据《NB/T10105-2018 海上风电场工程风电机组基础设计规范》波流力计算如下（J101 没有明确的流力计算公式）：

5.5.2 圆形构件单位长度上的海流荷载可按下式计算：

$$f_w = \frac{1}{2} \rho_w C_w A V^2 \quad (5.5.2)$$

式中： f_w ——海流荷载（N/m）；

ρ_w ——海水密度（kg/m³）；

C_w ——阻力系数，圆形构件取 0.73，其他形状的结构可按现行行业标准《港口工程荷载规范》JTS 144-1 的有关规定取值；

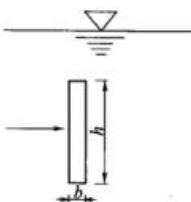
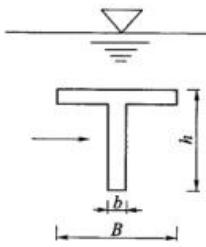
A ——单位长度构件垂直于海流方向的投影面积（m²/m）；

V ——设计海流速度（m/s）。

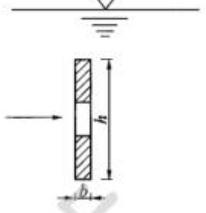
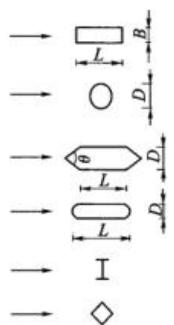
依据《NB/T10105-2018 海上风电场工程风电机组基础设计规范》中 13.0.3 节，波流力计算如下：

13.0.3 水流阻力系数可按表 13.0.3-1 选用,并根据下列规定进行修正。

表 13.0.3-1

名称	简图	水流阻力系数 C_w								
矩形梁		2.32								
T 形梁		<table border="1" data-bbox="643 696 1103 819"> <tr> <td>$\frac{B}{h}$</td> <td>0.5</td> <td>0.7</td> <td>≥ 0.9</td> </tr> <tr> <td>C_w</td> <td>2.28</td> <td>2.12</td> <td>1.92</td> </tr> </table> <p>注: $\frac{B}{h} < 0.5$ 时,采用矩形梁 C_w 值</p>	$\frac{B}{h}$	0.5	0.7	≥ 0.9	C_w	2.28	2.12	1.92
$\frac{B}{h}$	0.5	0.7	≥ 0.9							
C_w	2.28	2.12	1.92							

34

名称	简图	水流阻力系数 C_w																												
腹板开孔梁		$C_w = 2.32(\mu - 0.15)$ <p>注:①适用于 $\mu = 0.70 \sim 0.97$; ②μ—挡水面积系数,为挡水面积与轮廓面积之比; ③计算水流力时,应采用轮廓面积</p>																												
平面桁架		<table border="1" data-bbox="595 1403 1040 1482"> <tr> <td>μ</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>C_w</td> <td>2.27</td> <td>2.19</td> <td>1.99</td> </tr> </table> <p>注:μ—挡水面积系数,为挡水面积与轮廓面积之比</p>	μ	0.1	0.2	0.3	C_w	2.27	2.19	1.99																				
μ	0.1	0.2	0.3																											
C_w	2.27	2.19	1.99																											
墩柱		<table border="1" data-bbox="595 1572 1159 1695"> <tr> <td>$\frac{L}{B}$</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>≤ 3.0</td> </tr> <tr> <td>C_w</td> <td>1.50</td> <td>1.45</td> <td>1.30</td> <td>1.10</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="674 1695 1008 1740"> <tr> <td colspan="3">0.73</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="674 1740 1008 1819"> <tr> <td>$\theta(^{\circ})$</td> <td>90</td> <td>≤ 60</td> </tr> <tr> <td>C_w</td> <td>0.80</td> <td>0.65</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="674 1819 881 1852"> <tr> <td colspan="3">0.52</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="674 1852 881 1886"> <tr> <td colspan="3">2.07</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="674 1886 881 1920"> <tr> <td colspan="3">1.55</td> </tr> </table>	$\frac{L}{B}$	1.0	1.5	2.0	≤ 3.0	C_w	1.50	1.45	1.30	1.10	0.73			$\theta(^{\circ})$	90	≤ 60	C_w	0.80	0.65	0.52			2.07			1.55		
$\frac{L}{B}$	1.0	1.5	2.0	≤ 3.0																										
C_w	1.50	1.45	1.30	1.10																										
0.73																														
$\theta(^{\circ})$	90	≤ 60																												
C_w	0.80	0.65																												
0.52																														
2.07																														
1.55																														