



实用近海结构工程

中国船舶工业总公司
第七研究院 第七〇八研究所

本书原著者为T. H. Hsu。

本书的一个鲜明特点是：作者不仅清晰扼要地介绍了近海结构设计的理论，而且提供了大量可直接用于具体工程设计的实用公式、图表、曲线和有关规范、规定，并附有设计实例，对设计工作者将大有裨益。这一点也正是我们把本书推荐给读者的初衷。

本书开始部分描述了基本的风力和波浪力以及海浪谱概念；接着论述了近海结构的三个相关联的部分——上层建筑、导管架和桩基——的实际设计，均有实用的规范可作遵循；然后还给出一些有关平台制造、上驳和紧固、海上运输以及近海安装方面的现成资料和数据；最后叙述了近海结构的动力分析、地震分析和疲劳分析的先进技术。本书第一章给出基本单位的公制换算，此外书中还给出许多可供参考的API、AISC、ABS和DNV规范和规定。

参加本书翻译编辑工作的有：邬明川（译第一至五章、第九和十章），胡恺（译第七和八

章、第十一至十四章及附录)，刘秉穗（译第六章），由练淦校审全部译文；责任编辑为游统生，编辑为黄小燕。

本书虽经仔细译校审核，但难免有不当之处，请读者不吝赐教。需加说明的是，译文的计量单位全部沿用原著，旨在让我国技术人员对美国近海工程中所习用的计量单位有所了解。

译 者

1991年10月

目 次

译者序	
第一章	单位换算
第二章	风的作用力
第三章	波浪力
第四章	海浪的能量谱
第五章	船舶原理
第六章	近海平台的上层建筑
第七章	近海平台的导管架结构
第八章	近海平台的桩基
第九章	近海平台的海上作业
第十章	近海平台的制作和安装
第十一章	近海平台的地震分析
第十二章	近海平台的动力分析
第十三章	近海平台的疲劳分析
第十四章	系泊设计
附 录	

第一章 单位换算

国际单位制 (SI)

国际单位制是一套由国际计量大会制订的新的计量术语。它是从较早的十进制米制单位演变而来的,共包括7个基本单位。这些基本单位组成了与量纲有关的各种单位的核心,由此可导出其他各种计量单位。下述基本单位和导出单位是结构工程中经常使用的:

长度: m

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$$

质量: kg

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$$

力: N

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$$

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kgf}$$

$$= 9810 \text{ N}$$

力矩: N·m

能(功): J

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

压力: Pa

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$1 \text{ RPa} = 1000 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 1,000,000 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 1000 \text{ kPa}$$

速度: m/s

动力粘度: $\text{Pa} \cdot \text{s}$

运动粘度: m^2/s

质量密度: kg/m^3

长度、力、力矩和应力的换算因子示于表1—1中。表1—2为一些结构钢的屈服应力和允许应力值,单位为ksi和MPa。表1—3为A36钢 (K_1/r 直至120) 的允许压缩应力值,单位为MPa。表1—4为Fe'值 (K_1/r 直至200), 单位为MPa。

例1—1 一10米之拉力构件的截面积为 100cm^2 , 如受—100吨的轴向载荷, 试问其伸长为多少?

$$\delta = PL / (AE)$$

$$P = 100 \text{ t} = 980,700 \text{ N}$$

$$L = 10 \text{ m} = 10,000 \text{ mm}$$

$$A = 100 \text{ cm}^2 = 10,000 \text{ mm}^2$$

$$E = 30 \times 10^6 \text{ psi} = 30 \times 10^3 \text{ ksi} = 207,000 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})$$

$$\delta = 980,700 \times 10,000 / (10,000 \times 207,000) = 4.74 \text{ mm}$$

例1—2 抗剪弹性模量G与泊松比 ν 和弹性模量E之间存在下列关系:

$$G = E / [2(1 + \nu)]$$

试计算以MPa为单位的G值。

$$E = 30 \times 10^3 \text{ ksi} = 207,000 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$G = 207,000 / (2(1 + 0.3)) = 79,615 \text{ MPa}$$

例1—3 一简支梁 (IPE 300) 的未支承长度为20英尺, 受—40吨的轴向载荷和—20吨·英尺的弯曲载荷。试计算其最大应

力和应力比。

$$A = 53.2 \text{ cm}^2$$

$$S = 557 \text{ cm}^3$$

表1—1 换算因子

长 度 换 算				
英 寸	英 尺	毫 米	厘 米	米
1.0	= 0.083	= 25.407	= 2.541	= 0.025
12.0	= 1.0	= 304.878	= 30.488	= 0.305
0.039	= 0.003	= 1.0	= 0.100	= 0.001
0.394	= 0.033	= 10.0	= 1.00	= 0.01
39.370	= 3.281	= 1000.0	= 100.0	= 1.0

力 的 换 算					
磅	千磅	短吨	牛	千牛	千克力 吨
1.0	=0.001	=0.0005	= 4,448	=0.0045	= 0.4536=0.00045
1000.0	=1.0	=0.50	=4448.0	=4.448	=453.592=0.4536
2000.0	=2.0	=1.0	=8896.0	=8.896	=907.184=0.9072
0.2248	=0.00022	=0.00011	= 1.0	=0.001	= 0.102=0.000102
224.81	=0.225	=0.1124	=1000.0	=1.0	=101.968=0.102
2.2046	=0.0022	=0.0011	= 9.807	=0.0098	=1.0=0.001
2204.6	=2.2046	=1.1023	=9807	=9.807	=1000=1.0

力 矩 换 算			
lb-ft	K-ft	Kg-m	N-m
1.0	= 0.001	= 0.138	= 1.356
1000.0	= 1.0	= 138.29	= 1356.11
7.233	= 0.0072	= 1.0	= 9.807
0.737	= 0.00074	= 0.102	= 1.0

续表1—1

应 力 换 算				
Psi	Ksi	Kgf/cm ²	KN/m ²	N/mm ²
1.0	= 0.001	= 0.0703	= 6.891	= 0.0069
1000.0	= 1.0	= 70.252	= 6890.62	= 6.8906
14,234	= 0.0142	= 1.0	= 98.084	= 0.0981
0.1451	= 0.000145	= 0.0102	= 1.0	= 0.001
145,125	= 0.1451	= 10.197	= 1000.0	= 1.0

表1—2 一些钢种的F_y值

结构钢板和型钢				
钢种	F _y		0.6F _y	
	(Ksi)	(Mpa)	(ksi)	(Mpa)
ASTM A36	36	250	21.6	149
ASTM A441	42-50	290-345	25.2-30	174-207
ASTM A572, 42级	42	290	25.2	174
ASTM A572, 50级	50	345	30	207
ASTM A588	50	345	30	207
API Spec 2H	42	290	25.2	174

结 构 钢 管				
钢种	F _y		0.6F _y	
	(ksi)	(Mpa)	(ksi)	(Mpa)
API 5L, B级	35	240	21	144
ASTM A53, B级	35	240	21	144
ASTM A135, E级	35	240	21	144
ASTM A139, B级	35	240	21	144
ASTM A501	36	250	21.6	149
API 5LX, X42级	42	290	25.2	174
API 5LX, X52级	52	360	31.2	216

表1—3 A36钢的允许压缩应力值

kl/r	F _a (MPa)	kl/r	F _a (MPa)	k ¹ /r	F _a (MPa)
1	148.56	41	131.69	81	105.02
2	148.29	42	131.14	82	104.26
3	148.02	43	130.58	83	103.50
4	147.74	44	129.96	84	102.68
5	147.40	45	129.41	85	101.92
6	147.12	46	128.86	86	101.09
7	146.78	47	128.24	87	100.33
8	146.43	48	127.69	88	99.51
9	146.16	49	127.07	89	98.68
10	145.81	50	126.45	90	97.85
11	145.40	51	125.83	91	97.78
12	145.06	52	125.21	92	96.27
13	144.71	53	124.59	93	95.37
14	144.37	54	123.97	94	94.54
15	143.95	55	123.35	95	93.72
16	143.54	56	122.73	96	92.89
17	143.19	57	122.04	97	91.99
18	142.78	58	121.42	98	91.17
19	142.37	59	120.80	99	90.27
20	141.95	60	120.11	100	89.45
21	141.54	61	119.42	101	88.55
22	141.13	62	118.80	102	87.65
23	140.65	63	118.11	103	86.76
24	140.23	64	117.42	104	85.93
25	139.75	65	116.73	105	84.97
26	139.34	66	116.04	106	84.07
27	138.85	67	115.36	107	83.17
28	138.37	68	114.67	108	82.28
29	137.89	69	113.91	109	81.38
30	137.41	70	113.22	110	80.42
31	136.92	71	112.53	111	79.52
32	136.44	72	111.77	112	78.56
33	135.96	73	111.08	113	77.59
34	135.41	74	110.32	114	76.70
35	134.93	75	109.57	115	75.73
36	134.37	76	108.81	116	74.77
37	133.82	77	108.12	117	73.80
38	133.34	78	107.36	118	72.84
39	132.79	79	106.60	119	71.87
40	132.24	80	105.85	120	70.84

表1—4 Fe' 值

kl_b/r_b	F'_e (MPa)	kl_b/r_b	F'_e (MPa)	kl_b/r_b	F'_e (MPa)
22	2126.15	82	153.05	142	51.06
24	1786.56	84	145.81	144	49.62
26	1522.22	86	139.13	146	48.31
28	1312.53	88	132.86	148	47.00
30	1143.35	90	127.07	150	45.76
32	1004.91	92	121.56	152	44.52
34	890.18	94	116.46	154	43.4 ¹
36	793.98	96	111.63	156	42.31
38	712.67	98	107.16	158	41.2 ¹
40	643.14	100	102.88	160	40.17
42	583.32	102	98.89	162	39.21
44	531.50	104	95.16	164	38.25
46	486.30	106	91.58	166	37.35
48	446.61	108	88.20	168	36.45
50	411.60	110	85.03	170	35.63
52	380.59	112	82.00	172	34.80
54	352.89	114	79.18	174	33.97
56	328.15	116	76.49	176	33.2 ¹
58	305.89	118	73.87	178	32.46
60	285.84	120	71.46	180	31.77
62	267.72	122	69.12	182	31.08
64	251.25	124	66.91	184	30.39
66	236.22	126	64.84	186	29.77
68	222.51	128	62.78	188	29.15
70	210.04	130	60.92	190	28.53
72	198.53	132	59.06	192	27.91
74	187.92	134	57.33	194	27.36
76	178.13	136	55.61	196	26.81
78	169.11	138	54.03	198	26.25
80	160.77	140	52.51	200	25.70

$$r = 12.5\text{cm}$$

$$P = 4t = 35.58\text{kN}$$

$$M = 20t - ft = 54,244.4\text{N} \cdot \text{m}$$

$$f_a = P/A = 35.58/53.2 = 6.69\text{MPa}$$

$$f_b = M/S = 54,244.4 \times 100/557 = 97.39\text{MPa}$$

$$Kl/r = 609.76/12.5 = 48.87$$

$$F_a = 127.10\text{MPa} \text{ (按表1—3)}$$

$$f_a/F_a = 6.69/127.1 = 0.0526$$

$$f_b/F_b = 97.39/149 = 0.65$$

$$\text{应力比} = 0.0526 + 0.65 = 0.7026$$

参考文献

- [1] ANSI/ASTM E621-78, Standard Practice for the Use of Metric (SI) Units in Building Design and Construction, March 1978.
- [2] ASTM, Standard for Metric Practice, E380, 1976

第二章 风的作用力

空气的流动定义为风，它可以由重力引起，也可以由地球自转的偏转力或因风径曲度的离心力引起。风具有动能。如果一个结构物处于流动空气的途径上，使得风停止或偏离其原来的途径，那末风的全部或部分动能将会转化成为风压的势能。因此，风对任一结构物的作用力源自风的自由流动受阻而引起的压差，它是风速、方向、地区和结构物形状的函数。

风对结构物的作用力是一个动力学问题，但是就结构设计而言，可以将其作为等效的静压来处理。对于理想流体，根据伯努利定理： $\rho V_0^2 / 2 + P_0 = \rho V^2 / 2 + P$

$$q_0 + p_0 = q + p$$

其中： ρ = 空气的质量密度，

p = 静压，

V_0 = 来流的速度，

p, V = 结构物上某一点处的静压和速度。

以 q 表示的 $V^2 / 2$ 项为一动压。在各点处，动压和静压之和为一常值。为方便起见，通常将风的作用力分解成水平的和垂向的分量，并采用无因次系数来表征作用力的大小，

$$F_D = C_D q A$$

$$F_L = C_L q A$$

其中： F_D, F_L = 分别为曳力分量和升力分量，

C_D = 曳力系数，

C_L = 升力系数，

A = 受风面积。

C_D 与 C_L 的大小取决于物体的形状及其在气流中的位置。

API 风力公式

美国石油学会 (API) 推荐用下式计算作用在近海结构物上的风力^[2]，

$$F = 0.00256 V^2 C_s A \text{ (英制单位) } (2-1)$$

$$F = 0.0473 V^2 C_s A \text{ (米制单位) }$$

式中：F = 风力，lb或N；

V = 水面以上10米处的持续风速，mph或km/h；

C_s = 结构物的形状系数；

A = 结构物的投影面积，ft²或m²。

API还推荐了如下的 C_s 值：

梁	1.5
建筑物的各个面	1.5
柱形截面	0.5
平台总的投影面积	1.0

API公式中还应引入高度系数 $(y/10)^x$ ，且：

$$V = V_{10} (y/10)^x$$

其中：V₁₀ = 水面以上10米处的风速；

y = 水面以上的高度，以米为单位；

x = 幂数，通常假设为1/13~1/7之间，且取决于海况、近海的相对距离以及设计风速的持续时间。

API建议：

对阵风 X = 1/13

对持续风 X = 1/8

图2—1为高度系数 $(y/10)^x$ 。

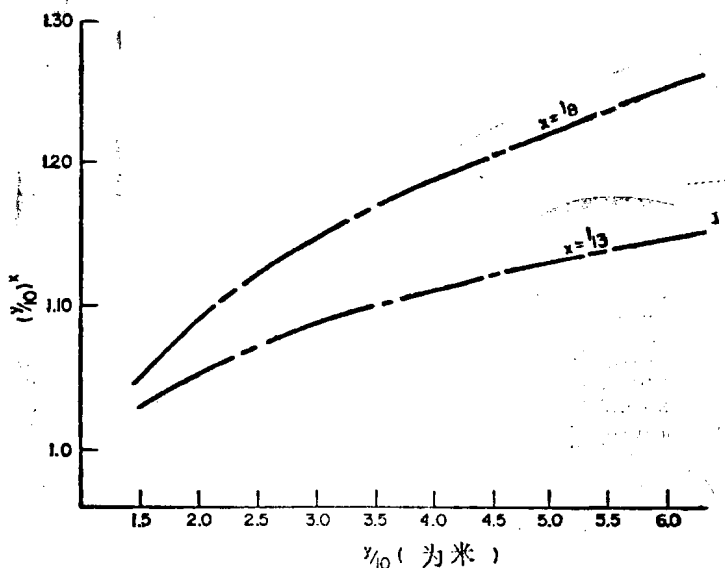


图2—1 高度系数

ABS 风力公式

美国船级社 (ABS) 规定用下式计算风的作用力^[3]:

$$F = 0.0623 V_K^2 C_h C_s A \text{ (米制单位) } (2-2)$$

$$F = 0.00338 V_K^2 C_h C_s A \text{ (英制单位) }$$

式中: F = 风力, kg 或 lb ;

V_K = 风速, m/s 或节;

C_h = 高度系数;

C_s = 形状系数;

A = 投影面积, m^2 或 ft^2 。

ABS规定了下列高度系数 (高度为距水面的距离):

0ft至50ft	1.00
50ft至100ft	1.10
100ft至150ft	1.20
150ft至200ft	1.30
200ft至250ft	1.37
250ft至300ft	1.43

至于形状系数，ABS推荐采用如下数值：

柱形体	0.5
本体（平面型）	1.0
甲板室	1.0
孤立的结构体	1.5
甲板以下部份	1.0
井架（每一面）	1.25

DNV 风力公式

挪威船级社（DNV）推荐用下式计算作用在构件上的风力^[4]，

$$F = \frac{\rho}{2} V_{yt}^2 C A \sin \alpha \quad (2-3)$$

式中： ρ = 空气的质量密度（干燥空气为 1.225 kg/m^3 ），

V_{yt} = 平均水面以上 y 米处，在 t 时间间隔内的平均风速，

C = 形状系数，

A = 构件在风向垂直平面上的投影面积，

α = 风向与构件轴线之间的夹角。

在DNV公式中， V_{yt} 为一时间、高度和阵风因子的函数，且可表达为：

• 原文误为 V_{yt} ，应为 V^2_{yt} 。——译者注

$$V_{y,t} = \alpha' V_{10} (y/10)^\beta$$

式中: α' = 阵风因子;

β = 表征高度系数的幂数;

y = 平均水面以上的高度, 以米计;

V_{10} = 平均水面以上10米处处在1小时内的平均风速。

对于 α 和 β , DNV建议采用如下数值:

对1小时时间间隔, $\alpha' = 1.00$, $\beta = 1.50$;

对10分钟时间间隔, $\alpha' = 1.18$, $\beta = 0.113$;

对3秒的阵风, $\alpha' = 1.33$, $\beta = 0.100$ 。

图2—2为高度系数与高度比的关系。

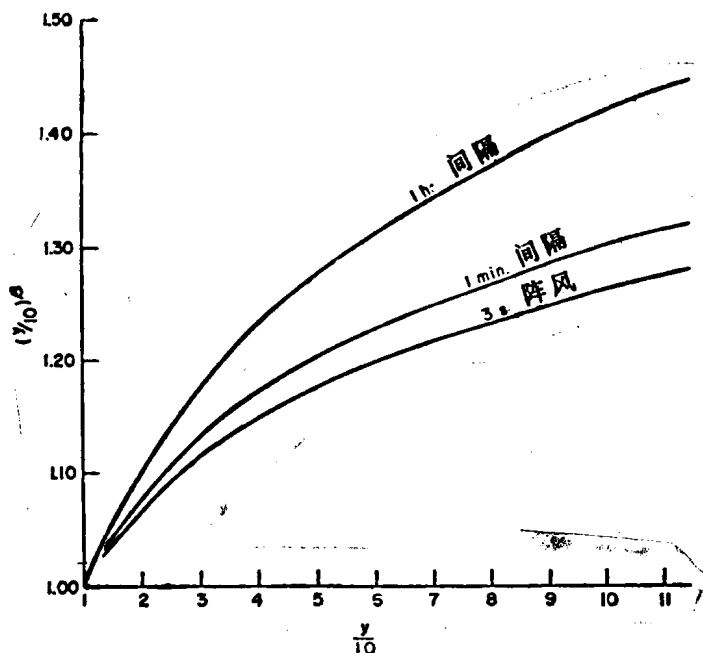


图2—2 DNV高度系数

有限长度的构件形状系数定义为:

$$C = kC'$$

其中：k = 折减因子；

C' = 无限长度构件的形状系数。

k和C'的值给出在参考文献〔4〕的附录B中，在确定形状系数C时可以参阅。

DNV还以密实度比值 ϕ 和有效形状系数C_e的形式考虑了平面桁架或系列柱的密实度影响。此时，风力可改按下式计算：

$$F_s = 0.5 \rho V_z^2 C_e A \phi \sin \alpha$$

C_e和 ϕ 同样给出在DNV规范的附录B中。

构件间的遮蔽影响也应加以考虑；为此，按式（2—3）算得的风力须乘以一个遮蔽因子 η 。不同间距比时的遮蔽因子值也给出在DNV规范的附录B中。

不定常风的作用力

细长的或较柔的近海结构物，诸如井架或火炬臂，如果阻尼很小，可能会因风的作用而产生大幅值和高应力的振荡，尤其是当该结构物或构件能以弯曲和扭转方式同时作自由振荡的话。在不多几个振荡周期之后，这种形式的运动可能会变得十分剧烈，并达到灾害性的幅值。当柱形体遇到高风速，且雷诺数很高，那就会出现旋涡，形成与风向相垂直的周期力，从而引起结构物的振动。泄涡（vortex shedding）的频率f可由以下关系式确定：

$$f = S_N V / D$$

其中：V = 风速；

D = 直径；

S_N = 斯特罗哈尔数。

当雷诺数 $R_n < 6 \times 10^5$ 时，圆形构件S_N的平均值为0.2；当 $R_n > 6 \times 10^5$ 后，S_N的平均值为0.4。对圆形构件来说，泄涡主要取