

海洋建筑物 动力学

M·G·哈勒姆
〔英〕N·J·黑弗顿 著
L·R·伍顿

● 海洋出版社

P752.3
01

海洋建筑物动力学

[英] M.G.哈勒姆

N.J. 黑弗 著

L.R. 伍顿

侯国本
徐立论 译 校
钟礼英

海 洋 出 版 社

内 容 简 介

本书系统地介绍了波浪和流的作用对滨海固定建筑物所引起动力反应的计算方法。全书共八章，一开始介绍了动力荷载和动力反应的基本特征；第三章给出了影响动力学、质量、阻尼和刚度的结构性质的计算；第四章和第五章叙述了波浪气候、波浪力的计算以及涡旋引起的运动；最后三章讲述了各式各样建筑物的反应计算、疲劳计算以及物理模型的应用。

本书可供从事动力荷载和动力反应计算的海洋工程科技人员和高等院校师生参考。

DYNAMICS OF MARINE STRUCTURES

M.G.Hallam

N.J.Heaf

L.R.Wootton

海 洋 建 筑 物 动 力 学

〔英〕 M.G.哈勒姆

N.J.黑 弗 著

L.R.伍 顿

侯国本

徐立论 译校

钟礼英

海 洋 出 版 社 出 版

（北京东长安街81号）

西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1981年6月第一版 1981年6月第一次印刷

开本：787×1092 1/16 印张：19

字数：350,000 印数：1—1,126

统一书号：13193·0068 定价：3.00元

本书中的符号

A	横截面
a	振幅 (波振幅, 第四章)
a_0, a_r	福氏级数系数
b_r	福氏级数系数
C	单位速度的阻尼力
C_c	单位速度的临界阻尼力
C_D	时间平均的阻力系数
C_D'	脉动阻力系数
C_F	交叉流 (升力) 力系数
C_L'	脉动升力系数
C_h	流体动力阻尼系数
C_m	惯性系数
C_s	剪切波速
C_a	波列的能量速度
c	波速 (第四章)
c_0	深水波速
D	标准横截面尺寸; 圆柱直径
d	水深
d'	从表视固定基面到水面的有效深度
E	波浪能量 (第四章)
$\overline{E}$	无维波浪能量
E	杨氏弹性模数
F	风区长度 (第四章)
$\overline{F}$	无维风区 (第四章)
F	力
F_0	静力 (第二章)
F_D	阻尼力 (第二章), 稳定阻力 (第五章)
F_D'	脉动阻力
$F(t)$	随时间变化的力
$F(jf)$	复强迫力函数
F_K	弹性力
F_L'	脉动升力
f	频率
f_m	峰波能量的频率 ($f_m = 1/\overline{T}$)
f_w	波浪频率
f_L'	与涡旋对脱离相对应的脉动升力频率
G	刚性模数或剪切模数

g	重力加速度
$H(j\omega)$	复(圆频率)转换函数(2.30式)
$H(jf)$	复(频率)转换函数
$\bar{H}(jf)$	复(频率)共轭转换函数
H	滞后阻尼系数
H	峰到谷的波高
$H(t)$	时间变化函数
H	响应(receptance)矩阵
H_{ij}	响应矩阵的元素
H_s	有效波高
$\bar{H}$	峰波高的平均值
$H(f)$	作为频率函数的流体动力导纳
h	埋置深度
I	单位矩阵
I_n	对轴 n 的面积二阶矩
j	$\sqrt{-1}$
K	弹性刚度
K_c	Keulegan-Carpenter 数
k_d	深度参数(第五章)
k	波数
L	波长
L	由海底算起的结构物整个高度(第五章)
L_0	深水波长
l'	由表视固定基面算起的结构物整个高度
L_x	湍流的长度比尺
l	长度
l_a	表视固定长度
M	质量
M_{AM}	水的附加质量
M_n	第 n 次集中的质量
m	单位长度的质量
$\bar{m}$	单位长度的有效质量
$\bar{m}_e$	组合结构物和框架结构物的等效质量
m_k	谱密度函数的 k 阶矩
N	固有频率, 赫兹
P_v	作用在基础上的垂直力
$P(h)$	h 的概率分布函数
p	单位桩长的土壤阻力
P_u	极限土壤阻力
$p(h)$	h 的概率密度函数
Q	放大因子
R	土壤计算用的基础有效半径

$R_h(\tau)$	自相关函数
$R_{h_1 h_2}(\tau)$	互相关函数
$R_e\{X\}$	X函数的实部
R_e	雷诺数
S	Strouhal 数
S	泥线上 P 点的高度 (第四章)
$S_{FF}(f)$	作为频率函数的力谱密度
$S_{xx}(f)$	作为频率函数的任意量的谱密度
$S^D_{xx}(f)$	作为频率函数的任意量 x 的谱密度 (双侧)
$S_{x_1 x_2}(f)$	作为频率函数的任意量 x_1 和 x_2 的互谱密度
T	周期
$\bar{T}$	海浪的峰能量周期
T_R	重现期
T_s	有效波周期
t	时间
U	风区 (第四章)
U_{max}	垂直于构件的最大水质点速度
u	水平水质点速度
V	水质点合成速度
$\bar{V}$	入射流速
V_r	减缩速度
v	垂直的水质点速度
X_0, x_0	振幅
x	位移, 沿结构物长度的座标
$\dot{x}$	速度
$\ddot{x}$	加速度
x_c	临界深度 (第三章)
Φ	特征向量
$\sim y$	离开平均位置的位移
$y(x)$	模式形状
y	海面以上的高度 (第四章)
z	海底以上的质点位置
α	入射角
	波谱中的 Philips 常数
	内倾或外倾角 (第三章)
β	临界阻尼的百分比
γ	JONSWAP(Joint North Sea Wave Project)谱和 PM(Pierson-Moskowitz)谱的峰值比
Δx	x 的增量
δ	对数衰减
δx	x 的增量
δ_h	流体动力阻尼

ϵ	谱宽度
η	静水面以上的水面高度
η	振幅/直径 (第五章)
λ	特征值 (第二章)
λ	波长 (第五章)
μ_k	概率密度的 k 阶矩
ν	使高频部分与低频部分能量相等时的波谱频率
ν	运动粘性, 以雷诺数表示
ν	波桑比
ξ	50% 的最大应力时, 临界应变值的阻尼比
ρ	水的密度
σ	波谱峰的宽度
σ_x	x 量的标准差
τ	时间推移
ϕ	特征向量矩阵
φ	对于施加作用力倾斜角来说的运动振幅的位相角 (第五章)
Ω	频率比
ω	圆频率, 弧度/秒
∞	无限大

$\langle H(t) \rangle$ $H(t)$ 函数的时间平均值

黑体字 M, K, x 等表示矩阵

下标

ν	垂直 (第三章)
τ	水平 (第三章)
θ	摇摆 (第三章)
ψ	扭转 (第三章)
1	第一模式 (如在 N, T, ω 中)
2	第二模式
i, j	自由度求和数码
r, s	力的求和数码
q, p	构件求和数码 (第五章)

上标

T	转置矩阵
-----	------

目 录

本书中的符号	(1)
--------------	-----

第一章 绪 论

1.1 本书的目的	(2)
1.2 本书的应用	(2)

第二章 动力荷载和动力反应的基本特性

2.1 引 言	(5)
2.2 单一自由度系统	(6)
2.2.1 自由振动	(6)
2.2.2 简单谐波荷载的反应	(12)
2.2.3 冲击荷载的反应——时间过程的分析	(16)
2.2.4 转换函数	(17)
2.2.5 复杂周期荷载的反应	(18)
2.2.6 随机荷载的反应	(18)
2.2.7 随机荷载的实例	(23)
1. “白噪声”的反应	(23)
2. 桩柱对波浪力的反应	(24)
2.3 相关和谱的性质	(27)
2.3.1 自相关函数	(27)
2.3.2 互相关函数	(29)
2.3.3 随机信号的和	(30)
2.4 多自由度系统	(30)
2.4.1 两个自由度系统的自由振动	(31)
2.4.2 多自由度结构的自由振动	(33)
2.4.3 多自由度阻尼结构的强迫振动	(35)
2.4.4 正规模式方法	(36)
2.4.5 转换函数矩阵	(37)
2.5 滨海建筑物的谱分析方法——技术发展水平	(39)
2.6 随机荷载的概率性质	(39)
2.6.1 平均值	(39)
2.6.2 平方平均值	(40)
2.6.3 标准差	(40)
2.6.4 概率	(40)
2.6.5 概率密度函数	(41)
2.6.6 概率分布函数	(41)

2.6.7 高斯或正态分布	(42)
2.6.8 瑞利分布	(44)
2.6.9 重现期	(44)
2.6.10 矩	(45)
2.6.11 谱密度的概率性质	(45)
2.6.12 极值	(46)
2.7 例	(48)
2A 灯塔的固有频率	(48)
2B 阳极(anode)固有频率的计算	(49)
2C 灯塔对单调波的反应	(49)
2D 阳极反应的计算	(49)
2E 灯塔对随机海浪的反应	(50)
2F 利用集中质量法求固有频率	(55)
2G 能量方法	(57)
2.8 总 结	(61)
2.8.1 单一自由度系统	(61)
2.8.2 多自由度系统	(65)

第三章 动力分析的物理性质

3.1 引 言	(68)
3.2 质 量	(68)
3.2.1 附加质量	(68)
3.2.2 海洋生物引起的质量变化	(71)
3.2.3 集中质量	(74)
3.2.4 信息需要量	(76)
3.3 刚 度	(77)
3.4 阻 尼	(80)
3.4.1 结构物的阻尼	(80)
3.4.2 流体动力阻尼	(84)
3.4.3 动力结构性质的测量	(84)
3.4.4 对结构物施加振动	(85)
3.5 土壤与结构物的相互作用——重力基础	(86)
3.5.1 利用集中模型研究土壤与结构物的相互作用	(87)
3.5.2 利用有限元法研究土壤与结构物的相互作用	(93)
3.6 土壤与结构物的相互作用——桩基	(95)
3.6.1 水平刚度——差分方程法	(96)
3.6.2 垂直刚度	(98)
3.6.3 群桩	(99)
3.6.4 水平刚度——有效埋置深度	(99)

第四章 作为外激发力的波浪

4.1 引言	(104)
4.2 波浪性质的计算	(104)
4.2.1 波浪要素	(104)
4.2.2 波浪的描述	(107)
4.2.3 波浪测量	(107)
4.2.4 设计波浪参量的计算	(108)
4.3 风浪的特征	(109)
4.3.1 波浪预报	(109)
4.3.2 有效波法或最大波法	(109)
4.3.3 波谱方法	(111)
4.3.4 预报技术	(115)
4.3.5 波浪生成后特征的变化	(118)
4.3.6 海底对波浪特征的影响	(119)
4.3.7 设计波高的规定	(121)
4.3.8 疲劳计算中波浪分布的规定	(123)
4.3.9 波谱的规定	(123)
4.3.10 大波波连的长度	(125)
4.4 方向的影响	(125)
4.5 波浪特征对滨海建筑物的应用	(126)
4.5.1 水质点速度和加速度的计算	(126)
4.5.2 线性波浪理论 (Airy波理论)	(126)
4.6 波浪力	(129)
4.6.1 Morison 方程	(129)
4.6.2 应用 Morison 方程的有关问题	(133)
4.6.3 建筑物与水的相互作用——(Morison方程的线性化)	(134)
4.6.4 波浪力计算的问题	(135)
4.6.5 大物体上的波浪力	(136)
4.6.6 波浪的反射	(136)
4.6.7 Stokes 高阶波理论	(137)
4.6.8 孤立 (Solitary)波理论	(138)
4.6.9 椭圆余弦 (cnoidal) 波理论	(140)
4.6.10 由波谱计算波浪力	(140)
4.6.11 用Morison 方程计算质点速度和加速度表	(141)
4.7 例	(151)
4A 作用于灯塔上的波浪荷载	(151)

第五章 流引起的振动

5.1 围绕固定圆柱的流	(157)
--------------------	-------

5.2	建筑物对于涡旋产生振动的反应*	(161)
5.3	涡旋产生振动的准则	(162)
5.3.1	顺流向振动	(162)
5.3.2	横向振动	(163)
5.3.3	流速	(166)
5.4	倾斜的影响	(166)
5.5	涡旋诱导桩列的振动	(167)
5.5.1	无联结的桩列	(167)
5.5.2	联结的桩列	(168)
5.5.3	流体动力学阻尼	(168)
5.5.4	框架建筑物	(169)
5.6	波浪作用时的涡旋脱离	(171)
5.6.1	引言	(171)
5.6.2	升力频率	(172)
5.6.3	升力系数	(172)
5.7	防止涡旋诱导振动的方法	(175)
5.7.1	$\bar{V}/ND$ 的控制	(175)
5.7.2	质量和阻尼	(175)
5.7.3	器具和扰流器	(177)
5.8	湍流引起的运动	(177)
5.8.1	湍流	(177)
5.8.2	湍流引起的荷载	(179)
5.9	超驰振动 (Gallopings)	(180)
5.9.1	超驰振动的条件	(180)
5.9.2	振动的振幅	(181)
5.9.3	超驰振动的电缆	(182)
5.10	控制闸的不稳定性	(183)
5.10.1	设计中存在的问题及补救方法	(183)
5.10.2	边界层的分离	(184)
5.10.3	流对插板式闸门所诱导的力的性质	(185)
5.11	例	(185)
5A	受涡旋诱导的灯塔运动	(185)

第六章 典型建筑物动力反应的计算

6.1	单根桩柱及一维结构物	(190)
6.1.1	具有或没有末端质量的单桩	(190)
6.1.2	顶端受约束的单桩	(192)
6.1.3	顶端具有约束和质量的单桩	(194)

• 采用课文中的标题——译注

例	(198)
6A 悬臂桩	(198)
6B 顶端具有约束和质量的单桩	(200)
6.2 排架和二维结构物	(202)
6.2.1 排架的二维运动	(202)
6.2.2 排架的手算方法	(203)
6.2.3 排架的计算机方法	(208)
例	(208)
6C 排架二维振动的手算法	(208)
6D 用计算机计算的排架二维振动	(211)
6E 排架二维振动的计算机方法和手算方法的比较	(212)
6.2.4 排架的多维运动	(214)
例	(216)
6F 排架的多维运动	(216)
6.3 墩桩、栈桥和其他的简单三维结构物	(217)
6.3.1 三维频率分析的手算法	(218)
6.3.2 与固有频率有关的有效质量	(223)
6.3.3 频率分析的计算机方法	(224)
例	(225)
6G 三维频率分析	(225)
6.4 大的三维建筑物的动力分析	(227)
6.4.1 钢框架结构物的简化计算	(228)
例	(232)
6H	(232)
6.4.2 钢的框架结构物——计算机分析的详述	(235)
6.4.3 混凝土重力式结构物	(239)
例	(239)
6I 混凝土重力式平台对于波浪荷载的反应	(239)
6.5 通用结构元件的固有频率	(247)

第七章 结构物振动的影响

7.1 疲劳分析的方法	(251)
7.1.1 S-N 曲线	(251)
7.1.2 Goodman图	(252)
7.1.3 Palmgren-Miner定律	(253)
7.1.4 断裂力学	(253)
7.2 钢结构物	(253)
7.2.1 钢结构物的疲劳分析方法	(253)
7.2.2 钢结构物初步设计的简化方法	(255)
7.3 钢筋混凝土和预应力混凝土的疲劳分析	(256)
7.4 人员活动对振动的影响	(256)

第八章 应用模型实验确定动力荷载和结构物的反应

8.1 引言	(259)
8.2 设备	(259)
8.3 动力荷载模拟的量纲分析	(262)
8.4 动力相似, 动力模型	(266)
8.5 模型实验的类型	(267)
8.5.1 滨海重力平台的波浪荷载	(271)
8.5.2 波浪中的涡旋脱离	(272)
8.5.3 栈桥引起的涡旋运动	(273)
8.5.4 遮蔽堰 (visor weir gate) 水闸	(274)
通用数据表	(278)
参考文献	(280)
语汇注释	(290)

第一章 绪 论

1.1 本书的目的

本书可以帮助海洋环境方面的土木工程结构设计师用来估算动力荷载以及所引起的值得重视的动力反应。它不应看作是一本结构设计手册，而全书讨论的都是输入的作用力。设计师可应用此书确定易受动力荷载影响的结构物的一些普遍型式，并可确定一个特殊的结构物是否需要进行详细的动力分析。书中略述了动力分析的方法，指出了对特殊情况最适合的分析实例。这里所讨论的是固定结构物，它所有的构件可以承受拉力和压力的荷载，结构物的一部分连接到地基上。我们不直接讨论漂浮结构物，尽管某些章节与此有关。

本书是在 CIRIA 举办的关于“风感应结构物的近代设计”讨论会之后出版的，在很多方面本书与这一讨论会有共同的论题和目的。由于这一原因，尽管风荷载是一个不可忽略的动力荷载，但本书不讨论这一问题。

由于要求在深水、急流、恶劣的波浪条件下建造经济的建筑物，于是便需要进行海洋建筑物的动力分析。首先要求得到设计荷载的临界估算。当建筑物建造在深水时，其固有频率减小了，更容易被水流和波浪所激发。当在最适宜的河口地点建造的栈桥和建筑物达到饱和状态时，便需要在急流中进行建造，而涡旋脱离可以产生显著的振动反应。在滨海地区考虑波浪作用时存在着相似的情况。例如，在北海的北部由于燃料资源开发的需要，在波浪条件下建造建筑物，几年以前认为是不可思议的。

对于各式各样的现代建筑物，用一个等效静力来表示实际动力荷载是不适当的，而这一方法在土木工程中是惯用的。因为即使共振不发生而建筑物对动力荷载的反应也可以是显著的。需要强调的是本书提供一个初步的计算，它不涉及到更加详细的分析方法，因为其中许多内容仍然是研究的课题。

1.2 本书的应用

本书的作者意识到从头到尾读完本书，一般不大可能，所以绘出的纲要草图可以帮助读者花最小的力气来找寻资料。在某些章的末尾有计算实例可以帮助读者应用课文的内容。

第二章略述了动力荷载和结构物反应的基本特性。这一章打算给读者一个入门，关于动力学的某些知识是被省略了。第二章所提出的概念全书都用到，但其中所讨论的问题很少能够直接地应用到实际建筑物。

第三章提出了计算三个重要的结构物性质——质量、刚度和阻尼的方法，这些重要

的性质支配着动力反应。质量计算通常是相当简单的，而刚度可由类似于在静力分析应用中的方法来求出。结构的阻尼项和其他的阻尼项通常只能利用简接的方法来估算。

3.5 和 3.6 节讨论了基础影响的几个问题。

波浪是作用在海洋建筑物上最重要的动力荷载。（第四章）

这里研究的是从波浪性质计算到建筑物所受动力计算的所有阶段。所叙述的很多方法基本上类似于等效静力设计所应用的方法。如果给定地点的波浪性质已知，那么 4.1 和 4.2 节可以略去。波浪水质点速度在 4.5 节进行计算，在 4.6 节可计算出波浪作用力。学习了第五章和第六章并计算出固有频率和其他动力性质之后，便可计算出动力反应。

第五章讨论了潮流和波流中涡旋引起的作用力。为了完整起见，这里还讨论了减小或消除涡旋脱离的动力影响的方法。本章中尽管内容很少，但还考虑了激发的机制。

第六章中给出与特殊型式结构物有关的计算。孤立桩柱的结构物型式对于计算来说是最简单的类型，由它可直接得到顶端约束和底部约束的连接桩柱的结果。这一章继续讨论更复杂的建筑物，如栈桥和码头以及深水石油和天然气的生产平台。

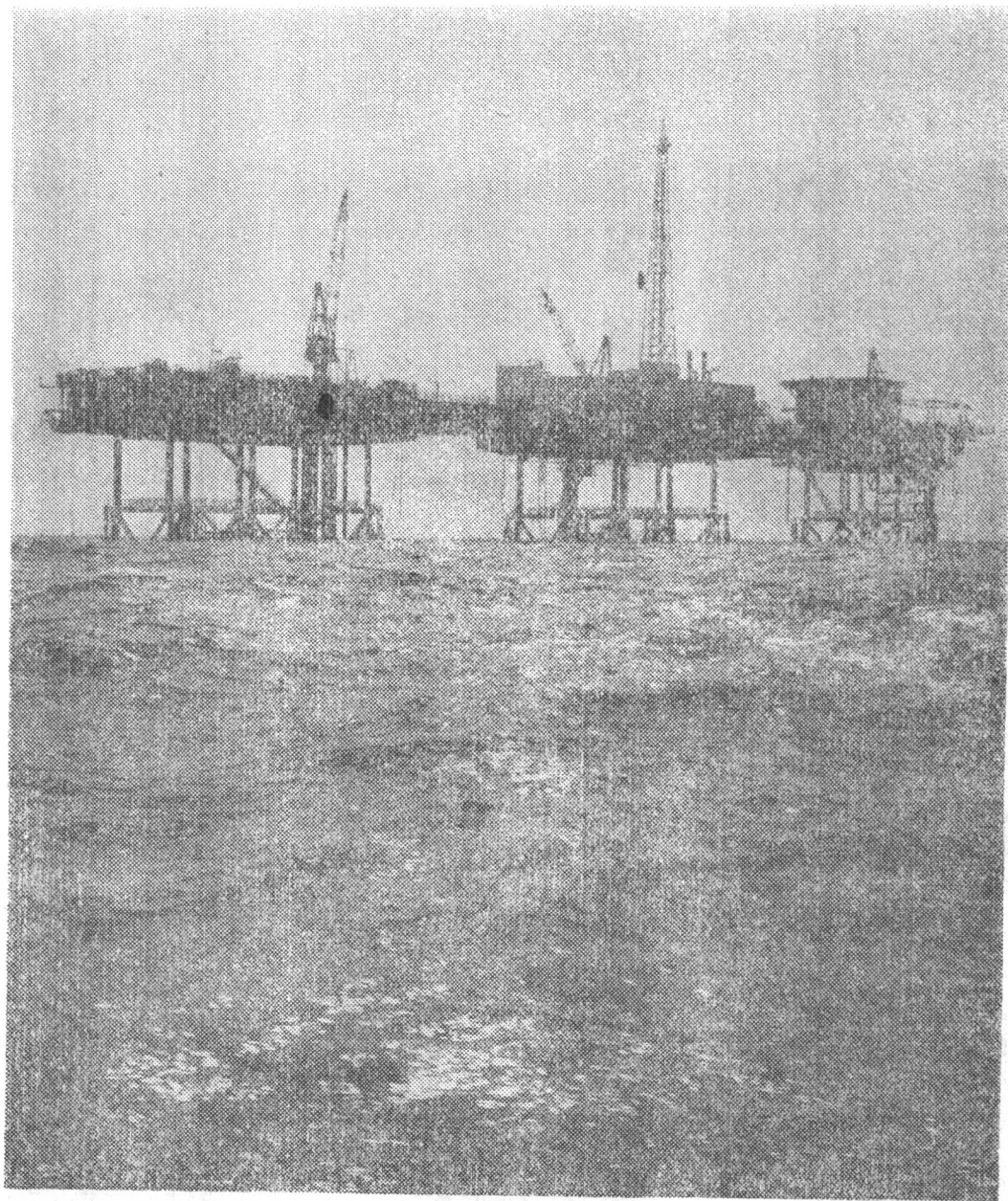
第七章叙述了判断反应的标准，并提出了一个对疲劳也可参考的标准。

最后，第八章讨论了用物理模型实验确定动力反应的价值。

需要强调的是这里引用的常数值、参考值和数值在写书的时间认为是最适用的，然而这可根据将来的研究进行替换，更多的专家可以根据需要采用不同的值。



由英国海务局管理的最好灯塔建筑物



CONOCO/NCB 北欧“A”气体生产平台 (照片由 CONOCO 赠)