

海岸工程中的 海浪推算方法

丰鉴章 李元智 孙书敏 董吉田 盛显纯 吴碧君 编

海洋出版社

153.085

海岸工程中的海浪推算方法

丰鉴章 李元智 孙书敏 编
董吉田 盛显纯 吴碧君

海 洋 出 版 社

1987 年·北京

内 容 简 介

本书综合国内外一些主要的海浪推算方法,从理论要点、公式、图表以及实施步骤等方面予以介绍,还列举了一些计算实例。

本书可供海岸及港口工程的研究、设计、施工等部门的技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

责任编辑:南 弓

责任校对:金玉筠

海 岸 工 程 中 的 海 浪 推 算 方 法

丰鉴章 李元智 孙书敏 编
董吉田 盛显纯 吴碧君

海洋出版社出版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 中国空间技术研究院印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20 $\frac{7}{8}$ 字数: 500千字 插页: 1

1987年3月第一版 1987年3月第一次印刷

印数: 1100

统一书号: 13193·0667 定价: 5.00元

前 言

海岸工程中的海浪推算方法，国外的研究成果和文献众多，散见各类书刊杂志。国内至今尚无系统阐述各种主要推算方法的专著。为满足从事海浪环境条件分析、推算人员的需要，我们综合了国内外主要的海浪推算方法，整理编汇了这本侧重于应用的资料。书中对各种推算方法的理论要点、公式、图表、实施步骤均作了程度不同的介绍，并尽可能列举一些计算实例。

全书分为八章：第一、二章概述了海浪研究对工程的意义，研究的内容、手段和海浪要素的基本概念；第三、四章阐述了关于海浪要素的统计分布规律及利用观测资料的统计分析方法和步骤；第五、六章介绍了海浪和台风浪的后报(或预报)方法，并给出相应的查算图表；第七章介绍了海浪传至近岸的各种变形的计算方法；第八章介绍了波浪对直立堤和孤立建筑物的作用。

本书经侯国本教授审阅，崔利和翟启娣同志绘图，在此深表谢意。由于我们经验不足，水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

1983年3月

符号使用说明

研究海浪的手段和推算方法很多,涉及的符号很广。同一符号在各种文献中代表不同的意义。为阅读方便、避免混淆起见,本书特作如下统一规定。如果有时另行借用,将在文中加注说明。

a	波振幅	β	波龄
a_{rms}	均方根振幅	d	水深
$\bar{a}$	平均波振幅	d_b	破碎水深
H	波高	f	频率
$\bar{H}$	平均波高	ω	圆频率
H_p	部分大波平均波高	$\bar{\omega}$	平均圆频率
$H_{\frac{1}{3}}$	有效波高	σ^2	方差(或均方差)
$\bar{H}_{\frac{1}{10}}$	十分之一大波的平均波高	σ	标准差
H_{rms}	均方根波高	S^2	子样方差
H_{max}	波列中的最大波高	C_r	离差系数
H_F	波列中累积率为 $F\%$ 的波高	C_b	偏差系数
H_0	深水波高	$f(x)$	概率密度函数
H'_0	计算深水波高	$F(x)$	累积概率函数
H_{pT}	重现期波高	$f(x, y)$	联合概率密度函数
T	波周期	$F(x, y)$	联合累积概率函数
$\bar{T}$	平均周期	$B(\tau)$	自相关函数
T_p	峰值周期	U	风速
T_2	上跨零点周期	U_g	地转风速
$T_{\frac{1}{3}}$	有效波周期	U_F	风区移动速度(或台风移动速度)
$T_{\frac{1}{10}}$	十分之一大波的平均周期	F	风区长度
T_{max}	最大波高对应的周期	F_{min}	最小风区长度
T_R	重现期	t	风时或时间
L	波长及长度	t_e	等效风时
$\bar{L}$	平均波长	t_{min}	最小风时
L_0	深水波长	t_D	涌浪的传时
C	波速	D	涌浪消阻距离或柱体直径
C_0	深水波速	B	风区宽度或防波堤口门宽度
k	波数	K_s	浅水系数
C_s	群速	K_r	折射系数
δ	波陡	K_d	绕射系数
		K_r	反射系数

ρ 海水密度
 ρ' 空气密度
 g 重力加速度
 γ 海水容重
 $\zeta(t)$ 波面纵坐标或压力波面纵坐标
 R_N 法向作用力所致的能量传递率
 $\bar{R}_N$ 单位断面水柱内法向的平均能量传递率
 R_T 切向作用力所致的能量传递率
 $\bar{R}_T$ 单位断面水柱内切向的平均能量传递率
 R_μ 分子粘滞性引起的能量传递率
 μ 分子粘滞系数
 R_M 涡动作用引起的能量消耗率
 $\bar{R}_M$ 单位断面水柱内由涡动引起的平均能量消耗率
 M 涡动粘滞性系数
 R_F 水底摩擦引起的能量消耗率
 θ 波向
 φ 纬度
 θ_0 深水波向
 b_0 深水处两波向线间的距离
 b 计算点两波向线间的距离或直墙宽度

E 波浪能量
 $\begin{cases} S(f), S(\omega) \\ A^2(f), A^2(\omega) \end{cases}$ 一维谱密度函数
 $D(f, \theta), D(\omega, \theta)$ 二维谱密度函数
 ε, ν 谱宽度参数
 m_r 概率密度函数或谱密度函数的 r 阶原点矩
 μ_n 概率密度函数或谱密度函数的 n 阶中心矩
 R 单位长度墙身上或柱体上的总波力
 P_s 墙底面上波浪浮托力
 P_s 静水面上的波压强度
 P_d 海底的波压强度
 P_b 墙底面处的波压强度
 P_{max} 最大波压力强度
 M 力矩
 h_s 立波中线超出静水面的高度
 η 波面在静水面以上的高度
 η_{max} 波峰在静水面以上的高度
 P 气压、波浪压力强度、桩柱单位高度上的波浪力或垂直应力
 ΔP 气压差
 d_1 静止水面至基床上的水深
 d' 静止水面到沉箱底部的水深

目 录

第一章 绪论	(1)
一、海浪研究对工程的意义	(1)
二、海浪研究的内容及发展过程	(1)
三、海浪研究的手段、现状及展望	(3)
四、我国海浪研究的主要成果简介	(4)
第二章 海浪推算的基本概念	(5)
一、海水波动的分类	(5)
二、海浪要素术语	(6)
(一) 平均波高	(7)
(二) 有效波高	(7)
(三) 十分之一大波	(7)
(四) 最大波高	(8)
(五) 均方根波高	(8)
三、设计波要素	(9)
(一) 设计波高在波列中的累积频率	(9)
(二) 设计波浪的重现期	(9)
四、海浪谱	(9)
五、风浪的发生与成长	(13)
第三章 海浪要素的分布	(16)
一、概述	(16)
二、波高分布	(16)
(一) 深水波高的分布	(16)
(二) 浅水波高的分布	(21)
(三) 算例	(29)
三、关于海浪波面最大值问题	(29)
四、波高和周期的联合分布	(38)
五、波长和周期的分布	(45)
(一) 波长分布	(45)
(二) 周期分布	(46)
六、多年一遇设计波高的频率分析	(49)
(一) 选样方法	(49)
(二) Pearson III 型分布曲线的应用	(50)
(三) Gumbel 曲线的应用	(55)
(四) 关于特大波高的处理	(57)
(五) 复合极值分布的应用	(61)

第四章 海浪观测资料的统计分析和海浪要素的计算	(70)
一、海浪的谱分析方法	(70)
(一) 获取海浪谱的途径	(70)
(二) 利用波面记录进行谱分析的方法	(70)
(三) 利用谱计算海浪要素的方法	(74)
二、海浪要素的频率统计	(75)
(一) 波高累积率和出现率的计算	(76)
(二) 波要素绝对值概率分布图的绘制	(79)
三、波要素的简便计算方法	(83)
四、波浪要素玫瑰图的绘制	(86)
五、两地波浪要素的相关计算	(87)
第五章 由气象资料推算波浪的方法	(89)
一、概述	(89)
二、风要素的确定	(89)
(一) 风速的确定	(90)
(二) 风时的确定	(92)
(三) 风区的确定	(93)
三、深水风浪要素推算方法	(93)
(一) S-M方法	(93)
(二) Wilson 关于移动风区深水风浪的计算方法	(101)
(三) PNJ 方法	(103)
(四) 苏联的方法 (PKMCH) 与 Стрекалов 方法	(112)
(五) 会战法	(116)
四、浅水风浪要素推算方法	(122)
(一) 会战法	(122)
(二) Bretschneider 方法	(132)
五、涌浪要素的计算	(139)
(一) 会战法涌浪计算的理论基础	(139)
(二) 计算图解与查算步骤	(140)
六、小风区风浪要素计算方法	(142)
第六章 台风浪的推算方法	(145)
一、概述	(145)
二、台风的气压场模式及台风风场要素的计算	(145)
(一) 台风的气压场模式	(145)
(二) 台风区内最大风速的计算	(147)
(三) 最大风速带至台风中心距离的计算	(148)
三、台风区内的波浪推算	(149)
(一) Bretschneider (1957年) 的经验公式	(149)
(二) 宇野木早苗的公式	(150)
(三) 井岛武士方法	(151)
第七章 传入浅水的海浪	(154)

一、水深变浅引起的波浪变形	(154)
(一) 概述	(154)
(二) 水深变浅引起的规则波变形	(155)
(三) 水深变浅引起的不规则波变形	(170)
二、波浪折射	(178)
(一) 概述	(178)
(二) 水深变化引起的波浪折射	(179)
(三) 绘制折射图的图解法	(179)
(四) 规则波折射的数值计算法	(183)
(五) 不规则波折射计算	(185)
(六) 水流引起的波浪折射	(190)
三、波浪破碎	(191)
(一) 概述	(191)
(二) 破碎波的类型	(192)
(三) 规则波的破碎波计算	(192)
(四) 不规则波的破碎波计算	(195)
四、波浪绕射	(201)
(一) 概述	(201)
(二) 规则波绕射	(202)
(三) 不规则波的绕射计算	(207)
五、波浪反射	(211)
(一) 概述	(211)
(二) 规则波的反射计算	(211)
(三) 不规则波的反射波波高计算	(215)
第八章 波浪对建筑物的作用	(222)
一、波浪对直墙式建筑物作用力的确定	(222)
(一) 概述	(222)
(二) 立波对直墙的作用力	(223)
(三) 破碎波对直墙的作用力	(241)
二、作用于孤立建筑物上的波浪力	(250)
(一) 作用在小直径桩柱上的波压力	(251)
(二) 用不规则波方法计算桩柱上的作用力	(263)
(三) 作用在大直径墩柱上的波浪力	(268)
附录	(274)
附表 1 由周期计算波长(米)表	(274)
附表 2 米/秒-海里/时对照表	(274)
附表 3 海里/时-米/秒对照表	(275)
附表 4 海里-公里对照表	(276)
附表 5 公里-海里对照表	(277)
附表 3-1 PearsonⅢ型曲线的模比系数 K , 值表	(277)
附表 3-2 PearsonⅢ型曲线的离均系数 ϕ , 值表	(283)

附表 3-3	三点法用表—— S_d 与 C_d 关系表	(286)
附表 3-4	三点法用表—— C_d 与有关 Φ_d 值的关系表	(288)
附表 3-5	Gumbel 极值分布中变量 Y 的均值 $\bar{Y}$ 与标准差 σ_d 值表	(289)
附表 3-6	Gumbel 极值分布律的 λ_{pn} 值表	(290)
附表 3-7	Poisson-Gumbel 复合极值分布表	(291)
附表 3-8	二项-对数正态复合极值分布表	(293)
附表 4-1	a_{rms}/H_1 和 a_{rms}/H_2 的查算表	(296)
附表 7-1	水深、周期、波长与波速表	(299)
附表 7-2	浅水的波高、波速和波长与相对水深的关系表	(304)
附图 7-1	半无限堤不规则波绕射系数 K_{dk} 的计算图	(312)
附图 7-2	开口防波堤不规则波绕射系数 K_{dk} 的计算图	(318)

第一章 绪 论

一、海浪研究对工程的意义

海浪是一种具有巨大能量的自然现象，到目前为止，它对人们的生产活动和军事活动所起的作用，弊大于利，尤其对海岸工程，更是如此。

强烈风暴造成的海浪，具有巨大的能量和冲击力。人们用“排山倒海之势，雷霆万钧之力”去描述它的威力并不过分。所以在设计水工建筑物时，如果对手浪的作用估计不足，往往会造成不堪设想的后果。在水工建筑物设计中，首先要充分估算海浪可能的最大尺度，因为这是考虑建筑物的强度和使用年限的重要指标。同时，海浪出现的方向特征（强浪向及常浪向）也很重要，因为它涉及到海工建筑物的平面布置及掩护效能的发挥。另外，海浪的出现频率及季节特点，均应予以全面考虑，以作为施工调度的依据。如果对于海浪特征缺乏了解就进行水工建筑物的设计、施工，就难免陷入被动。

我们知道，目前水工建筑物的造价是昂贵的，战略和经济意义是重要的，而且工程的每个环节和整个工程的全局是密切相关的，稍有疏忽，往往会造成不良的后果。当然，为使工程安全、稳妥、可靠，可从结构上增加工程的强度，但在经济上和物质上将造成浪费。假若在海浪的属性和特征研究透彻的基础上设计水工建筑物，将会达到安全稳妥、经济合理的目的。另一方面，如果对波浪状况分析不透，有时尽管花费巨额投资，加强工程的强度，但仍不免造成顾此失彼的结果。对于工程质量高低的要求，坚固程度仅是衡量的尺度之一，而对工程使用的经济，施工作业方便与否，均应在设计者考虑之列。而后两项均与波浪的属性和特征密切相关。由此看来，在水工建筑物的设计中，必须对波浪问题全面地、历史地、详尽地进行分析研究，才能做出合理的工程设计方案。

二、海浪研究的内容及发展过程

海浪学是一门内容相当广泛的学科，它涉及到海浪的生成、发展、消衰的过程，以及引起或影响这些过程的因素的相互关系；海浪要素自身的分布规律以及两个乃至数个波要素的联合分布规律；波浪要素在方向上的分布和随时间的变化规律；波浪要素极值的多年频率分布规律；海浪在传播过程中的变化及它与水工建筑物的相互作用等。

我们讨论的海浪，系指由于风的应力和压力引起、并由于重力而恢复的海水表面短周期起伏现象。无疑，这种海浪高度的大小、周期的长短，均与风的状态有着密切的关系。“风越大，浪越高”几乎是人人皆知的常识，但严格讲起来，海浪尺度的大小、周期的长短，不仅与风速的大小有关，而且还与风作用范围的大小、风作用时间的长短、水域的深度等，都有一定的关系。然而，它们之间并非完全成线性关系，而是存在着极其复杂的非线性关系。因此，研究这种极其复杂的关系，成了海浪研究和预报的主要内容。

在海面上出现的风浪，其波高大小不等，周期长短不一、位相杂乱无章。然而，海洋学家应用统计理论开创了海浪研究的新途径，并取得了十分卓越的成效。近三十年来，对波高分布函数与周期分布函数以及它们的联合分布函数的研究，无论从理论上还是从实验及观测资料的处理上，都取得了满意的结果。尤其对深水的波浪要素的分布规律，研究得更加充分。

在风的作用下形成的海浪，具有明显的方向性。这种方向性，与当地的气候特征及地形特征有着密切的关系，它们随地而异，很难从理论上找出一个统一的规律，只能依靠实地观测的记录统计分析，予以确定。

对于防护工程来说，更关心的是海浪要素的极限情况，对开敞港的管理使用问题，关心的是常波向的波浪要素。工程师们在考虑建筑物安全的重要程度和使用年限时，对多年一遇的最大波浪，应予以认真考虑，这就是海浪极值频率计算的意义所在。关于多年一遇最大波浪的分布规律问题，目前从理论上尚未得到真正解决。本书将国内外的一些不同的统计方法和结果提出来供参考。

一般说来，利用气象要素去预报和推算深海的波要素，比推算近岸或浅水波要素容易，其精度也比较高。但海洋工程和海岸工程却往往处于水深较浅和地形比较复杂的海区，这样就不能不考虑由于水深和地形变化而导致的波浪变形、消衰及方向的变化。

波浪由深水传入浅水，由于深度的变化不一致，从而导致同一波峰线上波速有差异，因而波浪在浅水域发生折射现象。由于折射的影响，在波能辐聚区域，波高变大；波能辐散区域，波高衰减。

由于水深的变化，除波浪发生折射外，能量传播速率的变化，引起浅水效应。

波浪在传播过程中，由于水深急剧变浅，波剖面发生明显的变化，波峰的前侧逐渐变陡，后侧逐渐变平缓，直到前侧变成铅直并向前卷倒，形成所谓破波。破波形成的机制，虽说不一，但破碎波高的一些计算方法，对工程上的应用基本上还是可以满足的。

地形和建筑物对波浪的影响，要从绕射的角度去考虑波浪的变形，按类似于光学上的原理来处理。绕射问题在理论上虽然无多大困难，但由于地形变化的复杂性，现场条件千差万别，所以绕射的计算较折射精度更差。目前多采用图解的方式求得绕射系数，由于受地形条件和图解精度的限制，多数情况需要由模拟实验去推求绕射系数。

海浪后报和推算，归根结底是为了了解波浪和建筑物的相互作用。海浪具有惊人的能量，它能推动数千吨的石块，并可激起高达数十米的水柱，推倒钢筋混凝土造的海工建筑物，海浪日久天长的冲刷，能使水工结构毁于一旦。另外，海浪的振动频率如与建筑物的固有振动频率“合拍”，即造成建筑物的共振而崩裂。所以，海浪的尺度和属性，已成为海洋工程和海岸工程设计中必须认真考虑的指标和依据。与此同时，水工建筑物对海浪的尺度和属性又有其反作用。例如，海浪在传播中，遇到直墙式海工建筑物会发生反射，反射波与入射波叠加形成驻波；波浪遇到斜坡式建筑物时，会发生波浪的爬高现象；海浪遇到孤立式建筑物时，会造成波浪的绕射现象等。这些现象的发生，都会导致波浪形态和尺度的改变，所以对波浪尺度的计算和波浪属性的运用，应将波浪与建筑物的相互作用予以通盘考虑。

海浪问题的研究，有文字记载的是开始于牛顿，但从我国和世界几千年的航海史和造船史上看，古代的航海家、造船师和港口建筑师，对于海浪的属性和尺度已有足够的重视，并有了足够的了解。十七世纪中叶至十九世纪末，一些杰出的数学力学家，对波动研究取得了卓越的成果，这些成果至今尚不失其应用价值。十九世纪中叶，Stevenson 工程师对港内

波浪绕射现象、浅水中波浪破碎深度、波浪对水工建筑物的作用力、波高与风区长度间的关系等与港口设计有关的问题,进行了广泛地、系统地观测研究。本世纪初至第二次世界大战前,无论是大洋上的波浪观测,还是近岸的波浪观测,都蓬勃开展起来,为后来海浪预报方法的研究积累了丰富的资料。本世纪四十至六十年代,可以说是海浪预报方法的全盛时期。在这期间,世界各国出现的经验或半经验半理论的海浪预报方法很多。这些方法在生产建设和军事应用上,都起到了一定的作用。其中有些方法至今仍为世界各国普遍采用。

特别应该提出的是,本世纪四十年代中期,Sverdrup 和 Munk 等人,利用早期的观测资料与液体波动理论的一部分结果,通过半理论半经验的方式,得到了有关风浪的成长、涌浪的传播及近岸波的变化规律,并且绘制了一套完整的预报风浪、涌浪的图解,使波浪的预报和推算工作具体化。这套预报方法,目前在一些国家仍在应用。其中提出的有效波概念,在以后的一些海浪预报理论及工程设计中,仍被广泛地采用。

另外,在五十年代初,出现了用谱的概念来描述海浪特性的方法,Pierson (1952) 参照无线电通讯中有关杂乱噪音的理论,将海浪作为一个过程用波谱表示出来,这不仅能描述海浪的内部结构,而且由波谱可得到海浪要素对外表现出来的分布规律,这一理论开辟了海浪研究的另一重要途径,并成为现在的主要研究方向。

在波谱研究中,中国海洋学家文圣常教授,基于谱中组成波的能量变化,导出一普遍性的谱,以描述风浪成长的过程,并根据绕射和涡动作用所导致的能量变化,得到涌浪谱,这些成果,对于我国的海浪研究和预报业务,都起到了主导作用。

随着海浪理论和现场观测方法的发展,室内模拟实验也在五十至六十年代得到了迅速的发展,尤其在最近十多年来,采用自动控制方式制造的不规则波的手段,使模拟实验更接近于现实中的海浪,对海浪理论的验证和现场观测的补充起了重要作用。

随着新技术的采用,海上立体观测体系的出现,全面综合性资料的积累,给海浪理论的研究开创了新的时期。近年来,许多海洋学家已不满足于对现实海浪现象本身的描述,而着手于探索海浪生成的物理机制。倘若这一问题得到彻底解决,将会使海浪研究工作的发展来一个大的突破,许多现存的海浪问题,将得到更完满的解决。

三、海浪研究的手段、现状及展望

研究海浪的手段,基本上可归纳为三种:数学力学的方法、模拟的方法和现场观测的方法。

一些数学力学家,应用牛顿力学理论,从流体运动方程和质量守恒方程出发,结合一定的边界条件,得到了一些经典的波浪运动的解,并用以解释了波浪运动的某些现象,计算了某些波浪要素。例如小振幅波理论、摆线波理论、孤立波理论等,这些理论模式,在一定条件下,做为一种近似,可以用于工程实际,事实上,在目前很多问题中仍用这些结果。

应用数学力学方法研究海浪,有清楚的物理概念,明确的因果关系,并且具有代价小收效快的优点。但数学力学的方法只能对十分特殊的情况才能找出解析解。而自然界的条件是相当复杂的,一般情况很难找到问题的解析答案。用特殊情况下获得的答案去解释或计算普通的实际海浪现象,不能不产生较大的差异。近三十年来,数学力学的方法进展较缓慢,取得的成就较少,提出的一些理论问题,还未被得到普遍的承认。

模拟实验的方法,是在某种相似的原则下,把自然现象在实验室内进行复演,这种方法,克服了数学力学方法假设条件的狭隘性,并且不受线性条件的限制。同时,模拟的方法可以人工控制或调节,不受外界条件的影响,得到的结果一般较数学力学方法更接近于实际。但模拟的方法要花费较大的人力物力,受实验室的条件所限,模拟的范围也是有限的,得到的结果,与实际的自然现象仍有差异。目前,模拟的方法正逐步由物理方式向数学方式转化,在电子计算机上实现的部分越来越多,从而减少了实验费用和实验周期。

最可靠的方法是现场观测方法,把发生的自然现象用仪器如实地记录下来,采用数理统计的方法,将记录进行合理的分析,以了解现象的规律性及其因果关系。这种方法,虽然准确可靠,没有任何假设和虚拟,但也有它自己的缺点和不足。一方面,自然现象不能受人工的控制,人们不容易“捕捉”到最有利的时机,另一方面,现场观测实验要投入大量的人力、物力和现代化的精密仪器设备。一项规模较大的现场观测实验,往往需要几个单位甚至几个国家的协作配合才能完成。这就是为什么目前现场观测实验不够广泛和普遍的原因所在。目前的观测,逐步向观测自动化、记录磁带化、数据处理程序化发展。

综观海浪研究的这三种手段,各有其优缺点。只有把这三种手段有机地结合起来,互相补充,互相印证,取长补短,兴利除弊,才能有效地促进海浪研究工作的发展。在现代的海浪研究中,常常是理论和实验的成果交替出现的。

四、我国海浪研究的主要成果简介

六十年代初,“海浪原理”这本专著问世后,使我国的海浪研究和教学进一步系统化,并在我国的海浪研究和教学中一直起着指导作用。与此同时,华东水利学院等根据工程的需要,在“港口工程学”中也加进了海浪理论的内容,有力地促进了海浪学在工程中的实际应用。

为了解决国防和生产实践的实际问题,1965年由国家科委海洋组办公室组织了一次“海浪预报方法研究”的会战,提出了适合于我国实际情况的一套完整的海浪预报方法。经过十多年的使用实践,证明这一套方法是行之有效的,该方法已列入1978年出版的《港口工程技术规范》中。

1972年开始,交通部组织全国教学、科研和生产部门参加编写的“港口工程技术规范”,总结和集中了我国解放以来在海浪研究中的主要成果,吸收了国外一些可取的内容,在我国第一次统一了工程设计标准、依据和方法。使工程设计者在工作中有章可循,有据可依。

在理论研究工作逐步提高的同时,室内实验设备也得到了相应的发展。为海浪研究服务的模拟实验室先后在一些高等院校和科研单位建立起来。如华东水利学院、大连工学院、天津大学、山东海洋学院、南京水利科学研究所、交通部一航局、四航局设计研究院、天津水利科学研究所等。这些实验室各有侧重,解决了有关海浪理论和生产建设中提出的一些重大问题。

二十多年来,我国一些学者和专家,在海浪研究中取得了一些可喜的成果。如海浪谱的研究、海浪预报方法的研究、海浪要素分布规律的研究、海浪折射数值计算的研究、海浪绕射的研究、直墙式建筑物波压力的研究、孤立桩柱波压力的研究等。这些研究成果,在海浪理论研究和生产实践中,都解决了一些关键性问题。随着科学技术和“四化”建设的发展,对海浪理论和实验研究提出了更多的课题。相信在不久的将来,我国海浪研究工作,定会取得更加喜人的成果。

第二章 海浪推算的基本概念

一、海水波动的分类

引起海面波动的原因有以下几种：风、气压、天体引力以及地震等。为了对海水波动有一个总的概念，首先介绍一下海水波动的类型。

通常根据波动的属性、成因及受力情况等进行分类。按其波动的周期（或频率）可分为长波和短波；按成因可分为风浪、潮波、地震波、气压波等；按受力情况可分为自由波和强制波；按恢复力可分为毛细波和重力波；按进行状态可分为前进波和驻波；还有按外观形状又可分为规则波和不规则波。各种波的周期和频率范围如表 2.2-1 所列。

表 2.2-1

波动名称	周期范围(秒)	频率范围(秒 ⁻¹)
毛细波	$0 - 1 \times 10^{-1}$	$0 - 1 \times 10$
次重力波	$1 \times 10^{-1} - 1$	$1 \times 10 - 1$
重力波	$1 - 3 \times 10$	$1 - 3.33 \times 10^{-2}$
超重力波	$3 \times 10 - 3 \times 10^2$ (5 分钟)	$3.33 \times 10^{-2} - 3.33 \times 10^{-3}$
长周期波	$3 \times 10^2 - 8.64 \times 10^4$ (24 小时)	$3.33 \times 10^{-3} - 1.16 \times 10^{-5}$
长周期潮波	$8.64 \times 10^4 - \infty$	$1.16 \times 10^{-5} - 0$

本书所讨论的对象是指由风产生的海水波动现象，人们统称这种波动为海浪，其中包括风浪、涌浪和近岸波。

风浪系在风的作用下，在海面产生的一种波动。它的外形杂乱无章，背风面较迎风面陡，有时伴有浪花和泡沫，波峰较短，具有明显的三维性质，波浪传播方向多与风向一致。

风浪离开风的作用区域后，传播到风力甚小或无风区域的现象称为涌。涌浪外形比较规则，波面平缓、光滑且对称，一般波峰线较长，二维性质明显。

混合浪系在同一海域风浪和涌浪并存且叠加而成的海浪。

海浪的运动及其形态，因所处的水深不同而不同。因此，海浪又有深水波和浅水波之分。

水深大于波长之半的海域称为深水区。在深水区传播的波浪，水分子以二分之一波高为半径做圆运动，其回旋的周期和波浪周期相等。因为海底摩擦影响甚微，故传播行程甚远，在到达浅海之前，波浪形态基本上不发生变化。这种海浪称为深水波。

关于浅水区的划分有两种意见。一种是将水深小于波长之半的海域统称为浅水区。另一种是将水深小于半波长的海域分成两段，其中，把水深小于半波长而大于二十五分之一波长的水域称作浅水区，水深小于二十五分之一波长的水域，称作极浅水区（也有人称上述两段为过

渡区和浅水区)。但是,在讨论具体问题时,一般将两段水域统称浅水区。然而,对水深小于半波长而大于二十五分之一波长的水域中的波浪称为浅水波。浅水波由于受海底摩擦的影响,水分子作椭圆运动。

波浪在浅水区传播时,由于受水深、地形或建筑物的影响,产生波浪折射、绕射、反射或破碎等现象。因而波浪的形态、属性、尺度及其统计性质比深水波复杂得多。

二、海浪要素术语

用来描述海浪特征的量,如波高、周期、波速和波长等,统称为海浪要素。为便于描述,首先介绍从规则波定义的海浪要素,图2.2-1为简谐波动的波形。

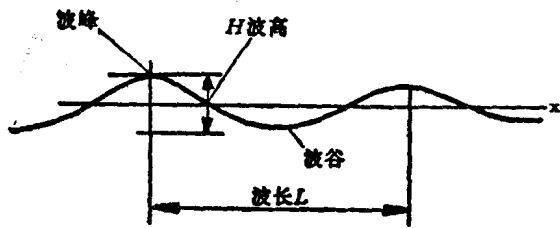


图2.2-1 波形图

图中 x 轴与静水面重合,波面的最高点称为波峰,最低点称为波谷,两个相邻的波峰(或波谷)相继越过一固定点所经历的时间称为周期(以 T 表示),两个相邻的波峰(或波谷)间的水平距离称为波长(以 L 表示),波面离开静止水面的最大铅直位移称为振幅(以 a 表示),振幅的两倍称为波高(即波峰到波谷的垂直距离,以 H 表示),波峰(或波谷)在单位时间内的水平位移称为波速(以 C 表示)。

其次是从不规则波来定义波要素。这种波的特点是大小和形状不等的波的随机交替。在自然界中,实际的海浪属于不规则波。不规则波采用上跨零线相交法定义波浪要素。图2.2-2表示在固定点用波浪自记录仪记录到的波动过程曲线,称为波剖面,以 $\zeta(t)$ 表示。这时的横轴代表时间(如果平均波浪状态是定常的,则横轴不论是距离还是时间,不规则波形的性质是相同的),图中 $0t$ 线与波动的静水面相当,称为零线。

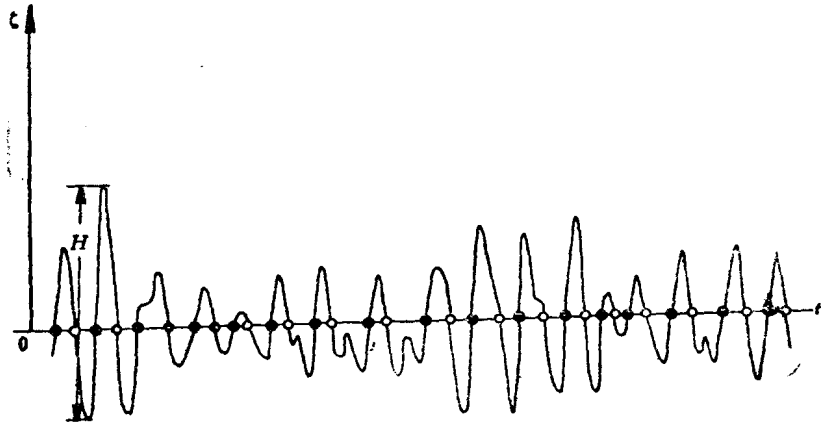


图2.2-2

波形曲线由下向上跨过零线的交点,称为上跨零点(如图中 $\cdot$)。由上向下跨过零线的交点,称为下跨零点(如图中 $\circ$)。相邻的上跨零点和下跨零点间,曲线的最高点称为峰。最低点称为谷。由图中可见,在两个相邻上跨零点(或下跨零点)之间,可能不只出现一个极值,

采用上跨零线相交法定义波要素时, 则规定不和零线相交的中间小波动不予考虑。由此可以定义, 两相邻上跨 (或下跨) 零点间的时间间隔称为周期, 其平均值称为平均周期, 即

$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$ 。如果横轴代表位置, 则两个上 (下) 跨零点之间的距离称为波长。波速表示单位时间内波动传播的距离, 它与周期、波长的关系, 可表示为 $C = L/T$ 。波高的定义为两个相邻上跨零点之间, 波峰顶和波谷底的铅直距离, 以 H 表示。波高与波长之比 H/L 称为波陡, 以 δ 表示。周期与波速之比称为波龄, 以 β 表示。

海面存有高低不同的波浪, 就波高而言, 研究者出于不同的使用目的, 提出几种代表意义不同的波高, 其定义如下:

(一) 平均波高

把连续观测到的大小不等的波高逐个相加, 再除以波的总个数, 这样得到的波高称做平均波高, 以 $\bar{H}$ 表示。

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (2.2-1)$$

或用加权平均值

$$\bar{H} = \frac{n_1 H_1 + n_2 H_2 + \cdots + n_j H_j}{n_1 + n_2 + \cdots + n_j} = \sum_{i=1}^j H_i \frac{n_i}{N} \quad (2.2-2)$$

式中 n_i 为对应于波高 H_i 的出现次数, $N = \sum_{i=1}^j n_i$ 为所取波的总个数, H_i 为第 i 个波高。

(二) 有效波高

把连续观测的波高, 按由大到小的顺序排列, 从最大的一个起, 将前 $\frac{N}{3}$ 个大波进行平均, 这样求得的波高就称为 $\frac{1}{3}$ -大波的平均波高, 即通常所谓的有效波高, 以 $H_{\frac{1}{3}}$ 表示。

$$H_{\frac{1}{3}} = \frac{3}{N} \sum_{r=1}^{N/3} H_r \quad (2.2-3)$$

式中 H_r 为递减序列中第 r 个波高值。

(三) 十分之一大波

类似于有效波高。把连续测得的波高值, 按由大到小的顺序排列起来, 从最大的一个起, 将前 $N/10$ 个大波进行平均, 即为十分之一大波的平均波高, 以 $H_{\frac{1}{10}}$ 表示。

$$H_{\frac{1}{10}} = \frac{10}{N} \sum_{r=1}^{N/10} H_r \quad (2.2-4)$$

属于这一类的统计特征波高还有 $H_{\frac{1}{100}}$ 、 $H_{\frac{5}{100}}$ 等等。