

<<近岸水波的解析理论>>

图书基本信息

书名：<<近岸水波的解析理论>>

13位ISBN编号：9787030337122

10位ISBN编号：7030337123

出版时间：2012-3

出版时间：科学出版社

作者：余锡平

页数：250

字数：319000

版权说明：本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问：<http://www.tushu007.com>

## <<近岸水波的解析理论>>

### 内容概要

本书的内容涉及一维水波的描述；微幅波理论及微幅波的传播特征、频散特征、水质点运动特征、能量传播特征；造波理论；非线性长波的传播特征、非线性变形特征、间断拟合方法、以及溃坝理论；椭圆余弦波理论及孤立波理论；高阶Stokes波的理论及高阶非线性波的特征；线性波和各类结构物的相互作用；平面二维水波的描述；平面水波的圆柱绕射、椭圆柱绕射、半无限防波堤绕射、有限防波堤绕射、有限防波堤开口绕射；平面水波的几何折射和动力折射；港湾内水波的共振理论等。选取了一系列在海岸工程领域有重要应用背景的解析解，系统阐述了相关的理论，并选取文献中的实验结果进行验证。

# <<近岸水波的解析理论>>

## 书籍目录

### 前言

#### 第1章 引论

### 第一篇 一维水波

#### 第2章 一维水波的描述

- 2.1 一维水波的基本方程
- 2.2 规则水波的特征参数
- 2.3 规则水波的相对运动
- 2.4 规则水波的反函数描述
- 2.5 规则水波的复变函数描述
- 2.6 规则水波的积分量

#### 第3章 微幅波理论

- 3.1 微幅波的基本方程
- 3.2 简谐行波
- 3.3 微幅波的频散关系
- 3.4 深水波和浅水波
- 3.5 微幅波的流场特征
- 3.6 微幅波的能量及能量传播规律
- 3.7 驻波
- 3.8 波群
- 3.9 微幅波的一般解
- 3.10 造波理论

#### 第4章 浅水波理论

- 4.1 浅水波的基本方程
- 4.2 线性长波
- 4.3 单向非线性长波
- 4.4 双向非线性长波
- 4.5 KdV方程的周期解
- 4.6 KdV方程的孤立于解

.....

### 第二篇 二维水波

### 参考文献

### 名词索引

## &lt;&lt;近岸水波的解析理论&gt;&gt;

## 章节摘录

第1章 引论 在物理学中,我们把存在于液体和气体之间的稳定交界面称作自由液面。

因此,水动力学和流体力学中一般把水体和大气的交界面称为自由水面。

自然界中的水体通常都带有自由水面。

如果考虑问题的尺度远小于地球的半径,自由水面在静止和没有其他外部干扰的情况下可近似地被看作是一个平面,换句话说,水平状态通常可以被看成是自由水面在重力作用下的平衡状态。

当自由表面因受某种干扰偏离了其平衡状态时,作用于水体的重力就会使自由表面具备回复到其平衡状态的趋势,而且,这种趋势随着自由表面偏离其平衡状态幅度的增大而加强。

当作用于水体的外部干扰因环境变化而消失或者其强度被减弱时,自由水面就会因重力和惯性力的联合作用,在其平衡位置附近做起伏运动。

如果水体的周边条件合适,这种起伏运动就会向特定的方向乃至所有方向传播。

自由水面上扰动向某些方向或向四周传播的现象就是水波。

广义上的水波指的是自由水面的几何形状随时间变化的过程。

在相当普遍的情况下,这种变化过程表现为自由水面上的扰动以一定的速度向四周传播,相应的波动有时也称为行波。

在某些特殊情况下,自由水面随时间的变化过程也可能表现为其在某一平衡位置附近做周期性运动,这样的波动称为驻波。

水波是自然界中普遍存在的一种现象。

海洋上的滚滚浪涛,湖泊中的漾漾涟漪,江河内的浩浩洪流,都是水波的例子。

认识水波现象在很大程度上是人类认识自然的必然要求,探讨水波现象的基本规律也因此成为流体力学、海洋物理学、河流及海岸动力学等诸多学科领域的重要使命。

实际问题中的水波千姿百态,变化无穷。

为了研究上方便起见,常常从各种角度对水波进行分类。

根据自由水面的几何形状,可以区分规则波和不规则波。

规则波指的是这样的一类波:它以一定的速度传播,其几何形状在传播过程中保持不变。

由于这一特征,规则波有时也称为守恒波。

不规则波中,描述其过程的参数在时间和空间上均具有随机性并满足一定统计规律的,又称为随机波。

也可以根据传播形式对水波进行分类。

受地形作用传播方向不断发生变化的波称为折射波,在岸壁或建筑物的作用下传播方向被折反的波称为反射波,绕过固体建筑物的波则称为绕射波。

水波也可以根据扰动力进行分类。

因风而起的水面波称为风波,台风造成的水面波称为风暴潮,船舶运动引起的水面波称为行船波,海洋中由于地震造成的水面波称为海啸,起因于天体引力的水面波称为潮汐。

水波还可以根据回复力进行分类。

重力为主要回复力的水面波称为重力波,表面张力为主要回复力的水面波称为表面张力波。

水波理论是研究水波的传播及其变形规律的科学。

水波理论是流体力学的一个分支,它的基础就是流体运动所普遍遵循的力学原理,描述水波运动的基本方程也就是水动力学的基本方程,即以质量守恒原理为基础连续方程,以动量守恒原理或者说是Newton第二定律为基础的运动方程,以及以能量守恒原理或者说是热力学第一定律为基础的能量方程。

自由水面边界条件的处理在水波理论中具有特殊的重要性。

在数学上,严格的水波问题是一个带有可动边界的不确定域上的非线性偏微分方程定解问题,一般条件下求解难度大。

于是,有必要通过引入各种假设,在各种特定条件下使物理问题的数学表述得以简化,以至求解可能,从而得到水波运动的一些近似规律。

## &lt;&lt;近岸水波的解析理论&gt;&gt;

实际上, 众多的前辈学者在各种简化条件下, 针对各种形式的水波运动及变形情况, 求得了许多具有重要意义解析解, 或称为理论解, 并基于这些解揭示了诸多重要的物理现象, 解决了众多重要的科学与工程问题。

本书的主要目的就是把散见于各类文献的许多解析解进行甄选、分类、归纳和整理, 形成一个体系, 以便从理论上对近岸水波动力过程的若干典型现象, 包括微幅波运动、浅水波运动、高阶非线性波运动、结构物引起的波的反射和相应的透射、平面上结构物引起波的绕射、半封闭水域内水体的共振以及地形变化引起水波在平面上的折射等, 给出一个比较全面的描述。

同时, 我们还力求表明所涉及的解析解能够在一定程度上得到物理模型试验结果的验证。

水波理论在各类工程实践中有着广泛的应用。

在海岸及近海工程中, 准确估计作用在建筑物上的波浪力是合理设计建筑物的前提, 也是保证建筑物安全的需要; 在港口工程中, 波浪条件不仅是港址选择以及港工建筑物布置和设计的重要依据, 也在很大程度上决定了港口施工和运行的环境; 在船舶工程中, 无论是确定船体的稳定性, 还是探讨行船阻力, 水波的影响都不可忽视; 在海洋环境工程中, 水波是海域内物质和能量输移扩散的重要外力, 因此也是决定海洋环境质量的重要因素; 在水利工程中, 正确预报洪水波的演进过程是防洪减灾决策的基础。

本书在选择解析解的过程中也尽可能地体现这些工程领域的背景。

第2章 一维水波的描述 2.1 一维水波的基本方程 水波运动的基本方程就是带有自由水面的不可压缩流体运动的基本方程。

在研究水波运动时, 一般认为黏性对流场的作用同惯性相比可以忽略不计。

也就是说, 在水波理论中通常可将水假设为非黏性流体, 或称为理想流体。

这样, 在考虑如图2-1所示的一维水波引起的立面二维流动时, 若将坐标原点置于静止水面上, 同时选取波的传播方向为x轴正方向, 垂直向上方向为y轴正方向, 则描述水体运动的连续方程和运动方程可以写作  $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$  (2.1)  $\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$  (2.2)  $\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0$  (2.3) 其中, u和v分别是水平方向和垂直方向的流速分量; p是动水压强(即总压强减去静水压强 $p_0 = \rho g y$ );  $\rho$ 是水的密度; g是重力加速度; x和y分别是水平坐标和垂直坐标; t是时间。

运动方程(2.2)和(2.3)也称作Euler方程。

利用连续方程(2.1), 运动方程(2.2)和(2.3)还可以写成如下的守恒形式:  $\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$  (2.4)  $\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0$  (2.5) 理想流体的流动在大多数情况下都可以被认为是无旋的。

对于二维流动, 这一假设可写作  $\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial x}$  (2.6) 这样, 就可以定义速度势  $\phi$ , 使得  $u = \frac{\partial \phi}{\partial x}$

(2.7)  $v = \frac{\partial \phi}{\partial y}$  (2.8) 于是, 连续方程(2.1)可被转化为关于速度势的Laplace方程:  $\nabla^2 \phi = 0$  (2.9) 运动方程(2.2)和(2.3)则可被积分一次给出Bernoulli方程:  $\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 + p = 0$  (2.10) 在方程(2.10)中, 取积分常数为0。

这样做是恰当的, 因为即使积分常数不为0, 也可以通过重新定义速度势  $\phi$  使得积分常数为0。

重新定义的速度势不过是在原速度势上加入一个仅与时间有关的函数。

考虑到速度势通常是待求变量, 而且在速度势中加上一个仅与时间有关的函数对速度场和压强场均无影响, 取积分常数为0不会使(2.10)式失去普遍性(Stoker, 1957)。

引入速度势之后, 水波问题的数学提法可以极大地简化。

因为这样做之后, 水波问题就无需联立求解连续方程和运动方程。

取而代之的是求解关于速度势的Laplace方程。

求得速度势之后, 再利用速度势的定义确定速度场、利用Bernoulli方程确定压强是很容易做到的。

Laplace方程是最常见的数学物理方程之一, 它的性质相对来说比较简单, 有效的求解方法也比较多。

下面讨论水波问题中速度势的边界约束条件。

在底面附近, 不透水性要求法向速度分量为0。

因此, 底面边界条件可写作  $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$  [ $y = h$ ] (2.11) 其中, n代表底面法向; h是当地水深, 一般情况下可以是随x变化的函数, 但规则波的形成往往要求h为一常数。

在自由水面上, 水面的连续条件, 即自由水面上的水质点在任何时刻都不离开自由水面, 给出一个运

## &lt;&lt;近岸水波的解析理论&gt;&gt;

动学关系： $\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0$  (2.12) 称为自由水面运动学条件，其中， $\eta$ 表示自由水面偏离静止水位的垂直位移，即自由水面相对于静止水位的高程，称为自由水面高程。

在忽略水的表面张力的前提下，自由水面附近的压强等于作用于水面上大气压。

依据这一物理事实，利用 Bernoulli 方程即可导出以下自由水面动力学条件： $\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} + g\eta = 0$  (2.13) 不透水底面边界条件(2.11)、自由水面运动学条件(2.12)和动力学条件(2.13)适用于绝大多数水波现象，通常构成水波定解问题的核心组成部分。

Luke(1967)的研究表明，速度势满足 Laplace 方程(2.9)，动水压强满足 Bernoulli 方程(2.10)，自由水面边界条件和底面边界条件分别满足条件(2.12)、(2.13)和(2.11)的水波定解问题等价于以下 Hamilton 变分原理： $\pm \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} L dx dt = 0$  (2.14) 其中， $\pm$ 表示变分； $[t_1; t_2]$ 是现象的时间范围； $[x_1; x_2]$ 是所考虑的空间范围；Lagrange 函数 L 定义如下： $L = \frac{1}{2} \mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} + g\eta \right) dy$  (2.15)

Zakharov(1968)、Broer(1974)和 Miles(1977)的研究表明，水波定解问题(2.9)、(2.10)、(2.12)、(2.13)和(2.11)也等价于以下 Hamilton 正则方程组： $\frac{\partial \phi}{\partial t} = \pm H \pm'$  (2.16)  $\frac{\partial \eta}{\partial t} = \mp H \pm 3$  (2.17) 其中，自由水面高程  $\eta$  和自由水面位置处的速度势函数  $\phi = \phi(t; x; y)$  是相应的对偶变量，Hamilton 函数 H 定义如下： $H = \int \frac{1}{2} \mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 + \mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} + g\eta dx$  (2.18) 也可以引入流函数  $\psi$  来描述水波作用下的水体运动。

流函数是通过以下关系式定义的： $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$  (2.19)  $v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$  (2.20) 显然，流函数的引入使得连续方程(2.1)得以自动满足。

只要将方程(2.19)和(2.20)代入流体运动的无旋性条件(2.6)就很容易地知道，流函数和速度势一样，也满足 Laplace 方程： $\nabla^2 \psi = 0$  (2.21) 用流函数来描述水波作用下水体运动的一个不便之处是，在一般条件下，压强和流函数之间没有一个类似于 Bernoulli 方程那样的简单关系。

因此，自由水面动力学条件也就无法简单地用流函数来表示。

但是，如果能够将所考虑的问题通过坐标变换转化为一个定常问题，则情况就变得完全不同。

利用流函数会使问题的数学提法得到显著的简化。

流函数有几个重要的性质。

首先，在流场内，流函数等于常数的任意曲线总对应于一条流线。

也就是说，该曲线上任意一点处的切线方向和流速方向一致。

其次，在二维流动问题中，通过两条流线间的流量是一常量，其值等于这两条流线所对应的流函数值之差。

此外，等流函数线(流线)与等速度势线(等势线)是两个相互正交的曲线族。

流函数的这几个性质都可以很容易地得到证明。

假设在曲线  $y(x)$  上流函数是一个常数。

那么，沿着这条曲线就有  $d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = 0$  (2.22) 考虑到流函数的定义，式(2.22)又可写为  $v dx + u dy = 0$  (2.23) 也就是说，沿着曲线  $y(x)$  有  $dy/dx = -v/u$  (2.24) 这表明曲线上任意一点的切线方向与该点处的流速方向一致，即流函数等于常数的任意曲线总对应于一条流线。

如图 2-2 所示，假设流场中有两条流线，它们所对应的流函数值分别为  $\psi_1$  和  $\psi_2$ 。

通过这两条流线之间任意断面 AB 的流量可以按下式计算： $q = \int_{A \rightarrow B} \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} ds = \int_{A \rightarrow B} (u dy - v dx)$  (2.25) 其中， $\mathbf{u}$  是 AB 上任意点处的流速向量； $\mathbf{n}$  是该点处 AB 曲线的单位法向量。

利用流函数的定义，可以从式(2.25)推导出  $q = \int_{A \rightarrow B} \mu \left( \frac{\partial \psi}{\partial y} dy + \frac{\partial \psi}{\partial x} dx \right) = \psi_B - \psi_A = \psi_2 - \psi_1$  (2.26) 这说明通过 AB 间的流量就是过 A、B 两点的流线所对应的流函数值之差。

证明流线与等势线的正交性只需要证明流线与等势线在交点处斜率之积等于 -1 即可。

假设流场内的任意一条流线为  $y_s(x)$ ，任意一条等势线为  $y_p(x)$ 。

由于  $y_s(x)$  上任意一点的切线方向与该点的流速方向一致，有  $dy_s/dx = -v/u$  (2.27) 另一方面，沿着  $y_p(x)$  有以下关系式成立： $d\phi = \frac{\partial \phi}{\partial x} dx + \frac{\partial \phi}{\partial y} dy = 0$  (2.28) 代入速度势的定义即有  $u dx + v dy = 0$  (2.29) 或  $d\phi/dx = -v/u$  (2.30) 于是  $dy_s/dx \cdot d\phi/dx = 1$  (2.31) 这说明  $y_s(x)$  和  $y_p(x)$  是正交的。

考虑到  $u = \frac{\partial \phi}{\partial y}$  (2.32)  $v = -\frac{\partial \phi}{\partial x}$  (2.33) 可以看出，速度势和流函数之间满足 Cauchy-Riemann 条件。

也就是说，在复平面  $z = x + iy$  上，以  $\phi$  为实部、 $\psi$  为虚部的复变函数  $F = \phi + i\psi$  (2.34) 是一个解析函数，称

## &lt;&lt;近岸水波的解析理论&gt;&gt;

为复势。

由复变函数的求导法则可知，复势 $F$ 对 $z$ 的导数与流场的速度分量之间有如下关系： $W = dF/dz = u - iv$  (2.35)  $W$ 称为复速度。

因为任意解析函数的实部和虚部都是调和函数，即它们都满足Laplace方程，因此，在复平面上求解水波问题实际上就是构造满足边界条件的解析函数。

2.2规则水波的特征参数 规则水波作用下某一时刻自由水面的形状 $\zeta(x)$ 如图2-3所示，称为水波在该时刻的空间波形，简称波形。

波形遵照其固有的规律，以某一速度沿着某一方向传播。

波形的传播速度称为波速，通常用 $C$ 表示。

波形中在波的传播方向上水位递减的部分称为波前，在波的传播方向上水位递增的部分称为波后。

波形的最高点称为波峰，最低点称为波谷，波峰和波谷之间的垂直距离称为波高，通常用 $H$ 表示。

相邻波峰或相邻波谷之间的水平距离称为波长，通常用 $L$ 表示。

水波传播经过某断面时自由水面随时间变化的过程 $\zeta(t)$ 如图2-4所示，称为该位置处的水位变化过程，简称水位过程。

显然，水位过程的最高点所对应的时刻就是波峰通过的时刻，最低点所对应的时刻就是波谷通过的时刻。

水位过程的变化幅度就是波高。

水位在一个周期内的平均位置称为该断面处的平均水位。

波峰通过时水位偏离平均水位的最大高度称为波峰高度，用 $A_c$ 表示。

波谷通过时水位偏离平均水位的最大深度称为波谷深度，用 $A_t$ 表示。

显然， $A_c + A_t = H$ 。

相邻波峰或波谷通过某一位置的时间差称为波的周期，通常用 $T$ 表示。

一个周期内水位变化保持在平均水位以上的历时称为波峰历时，用 $T_c$ 表示。

水位保持在平均水位以下的历时称为波谷历时，用 $T_t$ 表示。

波峰历时与波谷历时之和就是波的周期。

水位过程中随时间上升的部分称为涨水过程，涨水过程的历时称为涨水历时；水位随时

<<近岸水波的解析理论>>

版权说明

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问:<http://www.tushu007.com>