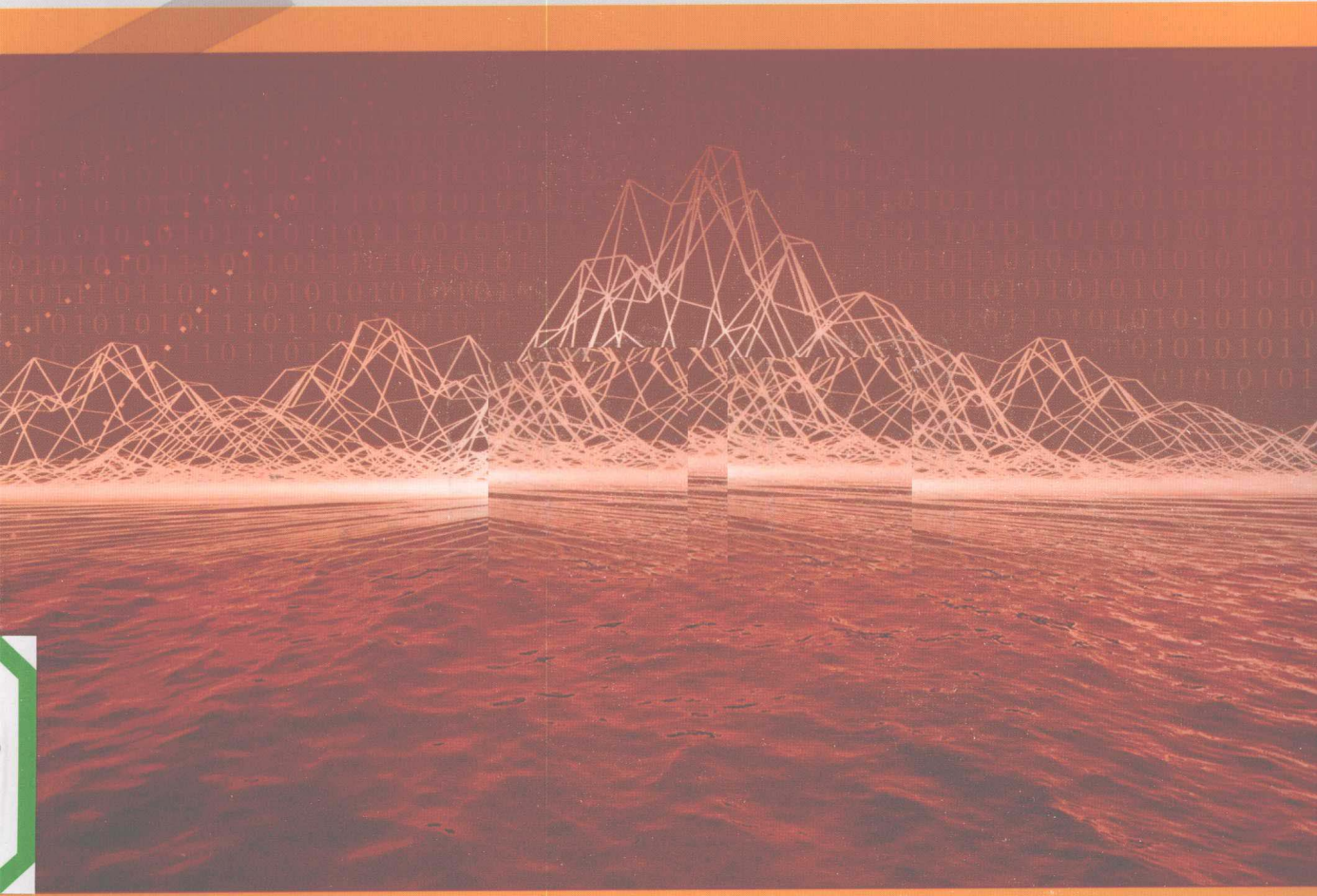


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

8

数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 苗振清 编著



海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(8)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(8)

杨东方 苗振清 编著

海洋出版社

2010年·北京

内 容 简 介

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,量化地展示生态系统中环境因子和生物因子的变化过程,揭示生态系统的规律和机制以及其稳定性、连续性的变化,使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天,通过该书的学习,可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程;分析不同领域、不同学科的各种各样生态数学模型;探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究;掌握建立数学模型的方法和技巧。此外,该书还有助于加深对生态系统的量理解,培养量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为:介绍各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 8/杨东方, 苗振清编著. —北京:海洋出版社, 2010. 4
ISBN 978 - 7 - 5027 - 7693 - 0

I. ①数 II. ①杨… ②苗… III. 数学模型 - 应用 - 生态学 - 研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 041234 号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京海洋印刷厂印刷 新华书店北京发行所经销

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:20.75

字数:580 千字 定价:60.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

数学是结果量化的工具

数学是思维方法的应用

数学是研究创新的钥匙

数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自《生态数学模型及其在海洋生态学应用》

《海洋科学》(2000),24(6):21-24.

前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的,要定性地研究,提出的问题是:“发生了什么?或者发生了没有?”,要定量地研究,提出的问题是“发生了多少?或者它如何发生的?”。前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2) 量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3) 能够动态的模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1) 建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量了解。(2)模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3)与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1) 模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测 1 年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚;(2) 模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数是说明尺度、大小、范围而已;(3) 模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题;(4) 解决生态问题时,所提出的观点,不仅从数学模型支持这一观点,还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程和生态数学模型预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书获得浙江海洋学院出版基金、浙江海洋学院承担的“舟山渔场渔业生态环境研究与污染控制技术开放”和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目、国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金—长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心崔文林主任和上海海洋大学的李家乐院长;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筭院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心头。

杨东方 苗振清

2009年8月7日

目 次

防波堤全寿命成本公式	(1)
破碎波数值模型	(3)
空间斥力位能计算公式	(5)
波束的传播路径及指向角误差计算公式	(8)
变量极值拟合模型	(10)
剪应力计算公式	(12)
景观生态结构研究模型	(15)
地热研究模型	(19)
过氧化氢酶活力的测定公式	(22)
净化效应及其价值估算公式	(24)
各水质参数之间的相互关系公式	(26)
吸附热计算公式	(28)
GSTA 模型	(30)
^{137}Cs 活度计算公式	(32)
溶血指数计算公式	(34)
沉积物的类型命名公式	(37)
非恒定流数学模型	(39)
分形几何模型	(42)
新型海面气压模型	(45)
遥感反射率计算公式	(49)
聚类指数增长模型	(51)
GM(1,1) 灰色模型	(54)
卫星高度计数据处理模型	(56)
一种数值模拟方法	(59)
悬沙动力特征模型	(61)
资源数量变动基本模型	(64)
海洋生态模型中的伴随同化方法	(65)
顶体酶活力计算公式	(68)
大气环流模型	(70)

RAPD 标记多态性的计算	(73)
光吸收系数的测定公式	(75)
上升流的数值模型	(77)
秩相关系数法	(80)
海岸线分维的量规法计算公式	(82)
水体流速与水体交换量计算公式	(84)
M ₂ 分潮的数值模拟	(86)
潜艇三维流场计算的数学模型	(89)
浅水模型	(93)
风险概率评价模型	(96)
多浮体运动的三维线性频域理论	(99)
0-1 混合边界元法	(103)
规则波在岸坡上的破碎指标	(106)
二维浅水流动方程	(108)
自适应有限元法数值计算模型	(110)
水下滑翔机器人定常滑翔运动分析	(114)
无舵翼水下机器人的运动模型	(117)
重锤的物理模型	(120)
导管架夹桩器受力分析	(124)
二阶非线性与色散的 Boussinesq 方程	(126)
波浪爬高折减系数计算方法	(128)
渔网结构的描述和建模	(130)
潮流定床模型水流运动	(133)
水下接收信号的处理流程	(135)
应用于管道自由振动的 Flügge 方程	(139)
环向表面裂纹管道功率流的求解公式	(142)
导管架下水运动过程中杆元排水体积及体积心计算	(147)
河口海岸三维水流模型之地形拟合坐标(σ 坐标)模式	(152)
CT-Spar 平台疲劳寿命分析	(157)
双层海底管道屈曲解析分析	(160)
多自由度线性系统的参数识别方法	(162)
水沙组合系数公式	(164)
河口的动力变化	(166)
河口的地貌适应性	(168)

潮波运动控制方程及边界条件	(170)
河口海岸水动力二维数值模型	(173)
搭载平台下潜的过程运算	(176)
单位宽度上的波浪能量的计算公式	(179)
海洋平台磁流变阻尼器控制技术	(182)
海洋平台的振动控制方程	(185)
模糊控制器的设计	(187)
AUV 检测延时模型	(189)
AUV 定位的蒙特卡洛模拟	(192)
深水网箱抗风浪流性能的统计	(194)
Truss Spar 平台管节点疲劳寿命分析	(197)
饱和海床 - 管线动力相互作用的二维计算模型	(200)
单应答器导航的基本原理	(204)
湍流剖面仪系统动力学模型	(208)
SYA2-2 型实验室盐度计计算公式	(213)
实现恒定束宽波束形成器的窗函数法	(216)
水下滑翔器的运动模型	(219)
TMD - 海洋平台系统的振动方程	(222)
黄海西朝鲜湾的二维潮流泥沙模型	(225)
基于 DSP6711 的 OFDM 的基本原理	(227)
利用粗集理论的声呐图像平滑	(229)
拖曳系统的缆索数学模型	(232)
二类水体表观光学特性的剖面法	(235)
单点系泊船的漂移力计算模型	(238)
长江河口的时空数据模型	(240)
窄带混合高斯噪声模型	(243)
冰激振动下的冰力模型及动冰载荷	(246)
海面反射率和观测几何的波浪模型	(249)
远洋船舶定量风险评估模型	(252)
星载海洋高度计海面回波信号的统计	(255)
高分辨图像声呐目标模拟器的输出信号模型	(257)
波浪荷载的多元线性回归函数	(260)
水下球壳受激振动和声辐射的解析解基本公式	(263)
二类水体表观光学特性的水面之上法测量	(266)

高精度水下定位的坐标旋转变换算法模型	(269)
Boussinesq 方程的源函数数值造波模型	(272)
三维源汇分布法的波浪力计算模型	(275)
直接协方差法测量海气通量	(278)
声呐图像多区域分割的模糊聚类算法	(280)
港池中波浪折射、绕射的数值模拟方法	(283)
数字 ADCP 信号的处理系统原理	(288)
SAS 测量水体表观光学参数	(290)
赤潮藻类生长营养动力学模型	(293)
气溶胶的光学厚度与反射率比	(295)
线圈释放式温、盐、深探头运动特性的数值计算	(298)
红外辐射计的标定	(302)
冲击波时差法原理	(304)
海管管跨涡激振动可靠性与共振长度预测	(306)
星载微波辐射计(SSM/I)亮温反演海面风速的反演模式	(310)
大地电磁探测的麦克斯韦理论	(314)
Ⅱ类水体光学特性的剖面测量	(316)

防波堤全寿命成本公式

1 背景

随着人们对防波堤可靠性要求的不断提高,各种新型防波堤结构不断涌现,同时与之适应的防波堤设计方法和理念也得到长足发展。概率设计方法和风险分析是近年来防波堤设计理论研究和科学的前沿课题,风险分析既是可靠度设计方法研究的引申,又是向优化设计的拓展^[1]。

风险由两部分组成:一是不利事件出现(失效)的概率;二是失效后的损失大小和严重程度。将这两部分的量化指标综合,就是风险的表征。防波堤风险分析不仅更加全面地考察了各种不确定因素的存在特点,而且从工程实际效果和技术经济的角度界定了防波堤系统的工作目标和不利事件的后果量化及估计方法,同时对减少不利事件发生概率提出可行的解决方案。风险分析具体在防波堤工程中的运用包括以下内容:① 防波堤风险辨识:定义防波堤系统功能,描述各种失效模式,建立防波堤失效故障树。② 防波堤风险估计:描述和识别随机荷载的分布类型及参数,计算各种失效模式以及系统的失效概率,分别量化承载能力极限状态的可靠度和正常使用极限状态失效后果。③ 风险评估:优化设计方案;评判风险准则,并根据接受风险准则决定设计方案是否可行。④ 风险控制:依据风险评估采取降低风险的措施,并定量衡量其适用性和有效性。

防波堤风险分析的目标包括:明确和量化工程中存在的诸多不确定因素,对它们的性质、影响和后果作出分析,为权衡风险与成本提供充足信息。对设计方案进行改进,制定消除风险的措施或在不同方案中作出优选。对现役防波堤结构进行风险评估,实现管理优化。对防波堤系统进行风险分析,可令其安全水平具有可比性,从而可将防波堤风险的可接受性与其他工程项目的风险可接受性在相同的风险决策框架中加以评估。

2 公式

Van Gelder^[2]为优化防波堤设计方案,引入防波堤全寿命成本的概念:

$$(Cost_{lifetime}) = \text{初始成本}(I_0) + \text{建造成本}(I(\bar{x})) + \text{全寿命风险成本}(R_{lifetime}) \quad (1)$$

第一部分是与整个工程相关的初始成本 I_0 ,包括设计、可行性研究和现场勘察(钻探,

测量等)的费用。第二部分是建造成本 $I(\vec{x})$ 。以直立堤上部结构为例,建造成本 $I(\vec{x})$ 正比于混凝土和填料的体积,而两者又是由防波堤断面几何尺寸决定的,所以建造成本可表示为断面设计变量的函数 $I(\vec{x})$ 。第三部分为全寿命风险成本(R_{lifetime}),定义为:

$$R_{\text{lifetime}} \vec{x} = \sum_{n=1}^N \frac{R_{\text{year}} \vec{x}}{(1 + r' - g)^n} \quad (2)$$

式中: n 为使用年数; r' 为内部收益率; g 为通货膨胀率; R_{year} 为年度风险成本,其定义为:

$$R_{\text{year}}(\vec{x}) = 365 P_{f,\text{SLS}}(\vec{x}) C_{\text{SLS}} + P_{f,\text{ULS}}(\vec{x}) C_{\text{ULS}}(\vec{x}) \quad (3)$$

由式(2)可以看出,防波堤结构的全寿命风险是将各年风险累积,同时考虑了利率、通货膨胀和经济增长等因素。式(3)中承载力极限状态失效后果 C_{ULS} 是防波堤破坏后的维修费用,与结构的几何尺寸相关,以年计。正常使用极限状态失效后果 C_{SLS} 包括港内设施停工费用,船舶、码头破坏损失费用,船舶营运损失,违约金损失以及对牵连相关行业所造成的损失,与防波堤结构尺寸无关,以日计。 $P_{f,\text{ULS}}$ 是承载力极限状态失效概率, $P_{f,\text{SLS}}$ 是正常使用极限状态失效概率。

3 意义

通过本研究表明:防波堤风险分析贯穿于项目的可行性研究、工程方案设计、可靠性等级评价和安全管理的全过程,风险分析其目的是对可能产生的风险进行系统的分析和评价,以确定风险产生的可能方式和途径,为风险决策提供必要的信息和数据^[3]。为此需要建立科学完善的风险分析理论与方法。同时,由于风险是客观存在的,因此风险的概念和风险的描述方法必须客观真实地反映风险的客观特征。而风险的可接受性属于主观价值观念与判断的范畴,在风险可接受性决策过程中建立系统结构化的决策分析模式与程序是非常重要的。

参考文献

- [1] 王素芬,李万红. 水力学有关研究热点的认识. 西北水资源与水工程, 2003, 14(1): 9-12.
- [2] PHAJM Van Gelder, Vrijling J K. Risk-averse reliability-based optimization of sea defenses. Risk-Based Decision Making in Water Resources, 1997: 61-76.
- [3] 李炎保,马青山,蒋学炼. 防波堤风险分析研究框架. 海洋通报, 2006, 25(1): 16-23.

破碎波数值模型

1 背景

防波堤是海岸、港口工程的重要建筑物。堤前的波浪形态可分为立波、远破波和近破波。不同波浪作用下都可能引起防波堤前海床的冲刷,进而危及建筑物的安全。破碎波引起堤前海床冲刷对建筑物的安全更具威胁,尤以远破波为甚^[1]。Oumeraci^[2]列举了因破碎波引起堤脚冲刷导致防波堤严重损坏的实例。远破波作用下的堤前冲刷,因引起波浪破碎的机理至今尚无满意的解释,更由于破碎波作用下堤前泥沙运动引起海床冲淤本身的复杂性,还有待进一步研究。高学平等^[1,3-4]基于波浪水槽试验研究了远破波作用下直立堤前海床冲淤问题,归纳了堤前冲淤形态;分析了冲淤形成过程;提出了冲淤形态判别准则等。但是,由于对堤前波浪速度场缺乏较为系统的研究,其冲淤形成过程的分析还有待进一步完善。为完善冲淤机理,高学平等^[5]利用数值波浪水槽重点研究了远破波作用下堤前波浪速度场,进一步分析远破波作用下冲淤的形成过程。

2 公式

根据连续方程、雷诺方程和 $k-\varepsilon$ 紊流模型建立破碎波数值模型^[6],按 VOF 法追踪波浪自由表面,采用源造波法造波,采用阻尼消波与 Sommerfeld 条件相结合的方法处理开边界^[7],控制方程式如下。

连续方程和雷诺方程:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}^m}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \quad (2)$$

式(2)中, $\partial \overline{u'_i u'_j} = -2v_t \overline{\sigma_{ij}} + \frac{2}{3} k \delta_{ij}$ 。

改进的 $k-\varepsilon$ 模型:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{v_t}{\sigma_k} + v \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - 2v_t \overline{\sigma_{ij}} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{v_i}{\sigma_\varepsilon} + v \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2v_i \overline{\sigma_{ij}} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

式中:“-”表示时均量,上标“’”表示脉动量; x_i 为笛卡儿坐标; u_i 为*i*方向的速度分量; ρ 为密度; p 为压力; g_i 为*i*方向的重力加速度; τ_{ij}^m 为分子黏性应力张量,对于牛顿流体 $\tau_{ij}^m = 2\mu\sigma_{ij}$,其中 μ 为分子黏性系数, $\sigma_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ 为应变张量; $k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$ 为紊动能; δ_{ij} 为Kronecker 函数; ε 为紊动能耗散率; $\nu = \mu/\rho$ 为运动黏滞系数, ν_i 为紊动黏性系数,近似为 $\nu_i = C_d \frac{k^2}{\varepsilon}$;经验系数取值分别为 $C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_d = 0.09$ 。

3 意义

堤前远破波运动的数值模拟表明^[5],堤前远破波在一个波周期内可分为向堤波和离堤波,波浪在距堤约 $L/2$ 处破碎后向堤冲击并沿堤面爬升,称为向堤波;波浪从堤面最高处回落与向堤波相遇并破碎,称为离堤波。床面点的速度在一个波浪周期内随时间呈向堤和离堤变化,堤前远破波的前半个周期的向堤波流速场大于后半个周期的离堤波速度场,且在前半个周期距堤约 $L/4$ 及距堤约 $3L/4$ 处速度最大。向堤运动的泥沙总量和离堤运动的泥沙总量的相互关系决定着堤前的冲淤形态。远破波作用下,直立堤前海床的冲淤形态,随泥沙相对粒径的不同,可形成 DSD 型、SDSD 型和 DSDS 型三种典型形态。

参考文献

- [1] 高学平. 远破波作用下堤前冲淤形态及冲淤机理. 水动力学研究与进展, 1996, 11(1): 9-13.
- [2] Oumeraci H. Scour in front of vertical breakwaters (Review of problems). Proc First Workshop MAST2 - Project MCS Project, Madrid, 1993: 1-26.
- [3] 高学平, 赵子丹. 直立堤前海床的冲刷. 水利学报, 1994(6): 44-48.
- [4] Gao Xueping, Inouchi Kunimitsu. The characteristics of scouring and depositions in front of vertical breakwaters by broken clapotis. Coastal Engineering Journal, 1998(1): 99-113.
- [5] 高学平, 李昌良, 张尚华. 堤前远破波运动与冲淤形态. 海洋通报, 2006, 25(1): 24-29.
- [6] Pengzhi Lin, Philip L-F Liu. Internal Wave-Maker for Navier-Stokes Equations Models. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, 1999.
- [7] 高学平, 曾广冬, 张亚. 不规则波浪数值水槽的造波和阻尼消波. 海洋学报, 2002, 24(2): 127-132.

空间斥力位能计算公式

1 背景

河口海岸水域环境中细颗粒泥沙的絮凝沉降是引起河口、海岸泥沙沉积的主要原因之一。由于受径流和潮流的相互作用及盐淡水交汇等的影响,河口区细颗粒泥沙可发生絮凝(吸附)—沉降—再悬浮—解絮(解吸)—扩散—沉积等复杂的变化。特别是絮凝作用,在河口沉积过程中对泥沙的聚集和输移、河槽和浅滩的发育演变有很大的影响;并且在河口生物地球化学过程中对许多重金属元素和有机物的化学行为、迁移和归宿也有显著影响。因此,河口区细颗粒泥沙的絮凝研究,对揭示河口“过滤器”本质和阐明河口沉积动力学过程具有重大的科学意义,因而引起了广泛关注。目前国内各河口的絮凝研究主要集中在外部环境方面,如物质成分(矿物成分、粒度成分、含沙浓度、泥沙颗粒表面电荷)^[1-3]、介质条件(盐度、温度、黏度、pH 值)^[4-5]和动力条件(流速、紊动强度)^[6-10]等,而对其内在因素及其絮凝机理的探讨较少,而且这些研究主要集中在无机离子对絮凝影响方面,但河口悬沙中具有丰富的有机质,因此,研究有机质对泥沙絮凝的影响,对悬浮颗粒复杂的河口变化过程的认识是十分有意义的。自 1963 年 Riley^[11]在美国长岛海峡发现淡黄色的由细菌、淤泥颗粒、藻类等组成的天然有机絮凝体之后,各国科学家运用扫描电子显微镜、水下摄影等多种手段研究其形成机理,变化规律以及对悬浮颗粒沉降的影响等。刘启贞等^[12]就目前有机絮凝研究现状及其絮凝机理进行了综合评述。

2 公式

由于有机裹层影响了泥沙的表面性质,进而影响到泥沙的絮凝。这主要是因为当两个带吸附层的泥沙颗粒相互靠拢时,由于吸附在颗粒表面的有机质的相互作用而产生“空间斥力位能” $-\Delta G_R$ 。

Meier 理论^[13]认为:“空间斥力位能”包括两种类型的排斥力,一种是由于链节密度很高且吸附覆盖度很大,发生了吸附层压缩的斥力位能 ΔG_{VR} ,也称“体积限制效应”。通常“体积限制效应”发生于分子量相对较低且具有支链的有机质吸附层的情况。另一种是有机质分子量较大,吸附层链节密度降低以及覆盖率较小,吸附层相互渗透,从而产生斥力位能变化 ΔG_M ,称为“混合效应”。两种效应产生的斥力能共同构成有机质的“空间斥力位

能”:

$$\Delta G_R = \Delta G_{VR} + \Delta G_M$$

HVO 理论^[13]将计算 ΔG_R 的模型推广到多个链段被吸附的有机质分子体系中,并认为这些分子由垂悬到溶液中的许多环节相连接,当相同数目的覆盖率(每单位面积分子链的环数或尾数)的两个界面相互接近时,由于“体积限制效应”引起的自由能变化为:

$$\Delta G_{VR} = -4vKT(1 - 12d^2/il^2)\exp(-6d^2/il^2)$$

由于“混合效应”产生的斥力位能变化为:

$$\Delta G_M = 2(2\pi/9)^{3/2}v^2KT(a^2 - 1)(il^2)M(i, D)$$

式中: v 为单位面积分子链节数目; d 是相隔距离; i 是分子链中的链段数; l 是链的长度; a 是链膨胀参数; $M(i, D)$ 为混合效应函数。

当最小自由能小于颗粒的热能时, $S\Delta G_{\min} < KT$, 颗粒可以自由运动,因而分散系保持稳定;反之,颗粒将相互附着,体系会不可逆地絮凝。

3 意义

细颗粒泥沙作为有机质的载体,其赋存状态及行为与水体生物地球化学过程密切相关。河口及邻近水域受到陆海相互作用的显著制约,水体生化过程时空变化复杂。系统研究河口与邻近水域生化过程对有机质的影响,进而研究细颗粒泥沙的絮凝行为,对于揭示河口细颗粒泥沙行为的内在机制至关重要^[14]。为此,需要进行以下几方面的研究:①水体有机质种类、数量和结构的确定以及各组分对细颗粒泥沙絮凝的影响。②河口生化过程及水体环境要素的改变对水体有机质组成的影响。③水体溶解态有机质和颗粒态有机质的转化规律的研究及其对细颗粒泥沙絮凝行为的影响。④细颗粒泥沙主要成分、结构特性的研究及其与有机质的相互作用等。

由于河口区细颗粒泥沙的絮凝受到水动力和生物地球化学过程以及细颗粒泥沙本身特性等诸多因素的共同影响,单一的有机絮凝研究并不能完全揭示河口细颗粒泥沙的絮凝机理,因而,尽快开展多因素耦合作用研究对于确切把握河口细颗粒泥沙行为显得尤为迫切。另外,细颗粒泥沙的表面组分和界面化学特征变化是絮凝的本质因素,它们与体系的稳定性及絮凝过程密切相关。

参考文献

- [1] Shen H T, Li J F, Zhu H F, et al. Transport of the Suspended Sediments in the Changjiang Estuary//Proceeding of International Symposium on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. Beijing: China Ocean Press, 1983: 389 - 399.