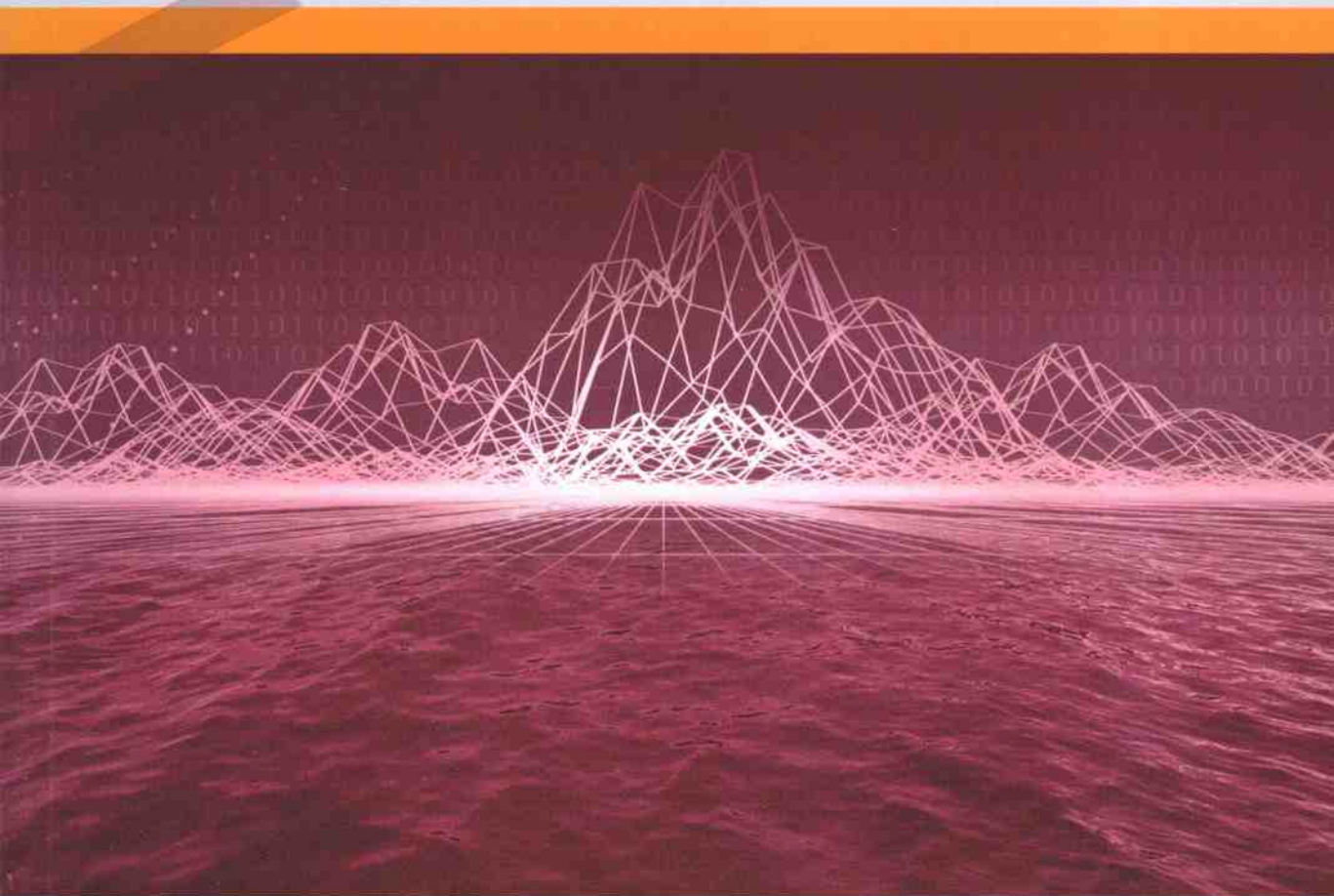


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology



数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 陈 豫 编著



 海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(7)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(7)

杨东方 陈 豫 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, 定量地展示生态系统中环境因子和生物因子的变化过程, 揭示了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, 培养定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其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. 7/杨东方等编著. —北京: 海洋出版社, 2010. 1
ISBN 978-7-5027-7611-4

I. ①数… II. ①杨… III. ①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(2009)第 218111 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 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 18.25

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

《数学模型在生态学的应用及研究(7)》编委会

主 编 杨东方 陈 豫

副主编 苗振清 方淑波 郭军辉 张友麓 邓 婕

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁咨汝 冯志纲 石 强 孙静亚 李 龙

李文凤 杨重阳 杨春茹 杨端阳 范细秋

徐焕志 殷月芬 曹 磊 黄 宏 蔡惠文

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)定量化描述生态过程,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,它揭示内在的性质和本质的规律,来解释生态现象的机制和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、上海市临港新城海岸带的景观格局演变及环境效应(B-8201-08-0280)、黄海海岸带湿地景观格局变化及生态健康评价(B-8101-09-0022)和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国家海洋局北海环境监测中心高振会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,祖国在心间。

杨东方 陈 豫

2009年5月8日

目 次

海底声波的折射法模型	(1)
MODAS 的原理	(4)
主锚系的设计计算模型	(6)
海水水温预报模型	(9)
主成分分析的模型	(11)
波浪计算的 STWAVE 模型	(13)
影像图的计算公式	(16)
基于 WVD 的超声海流信号瞬时频率的计算公式	(19)
等效线性化动力分析的哈丁模型	(22)
一类水体的大气校正模型	(24)
散射问题的边界元方法模型	(27)
遥感海水盐度的原理	(30)
载人潜水器圆柱形耐压壳体的优化设计研究模型	(33)
波浪数学模型	(36)
单锚腿系泊系统动力计算的新方法	(38)
测量海水的 ORP 计算公式	(40)
总悬浮物散射特性模型	(42)
水动力与生态耦合的赤潮藻类生长模型	(44)
球形 TNT 药包爆炸时水冲击波压力公式	(47)
水下机器人—机械手系统模型	(49)
Spar 平台所受线性波浪力	(52)
低雷诺数下圆柱涡激振动的二维有限元数值模拟	(55)
GPS 定位系统的静态试验计算公式	(58)
FPSO 服务模式经济分析方法模型	(60)
回波的构成及分析	(64)
矢量阵接收信号模型及其统计模型	(67)
HPLC 系统中色素标准样品浓度计算公式	(70)
多元自适应样条回归预报浮游植物总量分析模型	(73)
海表面盐度遥感的计算公式	(76)

海面噪声环境下声压与质点振速的数学模型	(79)
小波变换应用与图像处理的基本原理	(82)
气溶胶光学特性反演的原理	(84)
盐场遥感图像模式识别方法模型	(87)
铰接塔-油轮系统的耦合运动方程	(90)
海底热流原位测量的计算公式	(95)
海上轻型高架索补给系统的力学分析模型	(97)
水下拖曳体深度轨迹控制系统的模型	(100)
烟气海水脱硫工艺排水对海域水质的影响预测模型	(103)
海水温度和压力光纤传感器测量原理	(105)
风暴潮预报模式	(107)
黄色物质吸收系数的光谱模型	(110)
海水入侵预测模型	(113)
Morlet 小波分离波浪模型	(116)
FPSO 纵摇运动的时间序列模型	(119)
海洋两层流体模型	(123)
Spar 平台系泊系统模型	(126)
Spar 平台运动方程	(130)
经典承载力计算公式换算	(134)
沙坝不稳定性理论分析	(137)
低速运动船只撞击埋置框架结构动力分析模型	(142)
二维圆柱涡激振动模型	(148)
多向聚焦波浪的产生方法	(151)
弯曲荷载作用下海底腐蚀管线破坏机理	(154)
港内不规则波传播数学模型	(157)
海洋平台张力腿简化模型	(162)
双 σ 坐标斜压水流数值模型	(165)
后台阶下游床面局部冲刷的数学模型	(169)
声波探测原理	(171)
适合于采矿作业的蚁群算法	(175)
矩形基础承载力上限分析	(178)
波浪域控制方程	(184)
线弹性土壤里埋设的悬跨管道计算模型	(186)
油气爆炸作用下海洋平台的动态响应	(189)

缩窄江道时河宽的确定	(191)
河口上游端垂向流速方程	(193)
压力式测波技术	(195)
软刚臂系泊系统的理论模型	(198)
软刚臂系泊系统静特性方程	(200)
重力式网箱浮架系统模型	(203)
海区 M_2 分潮变化成因数值模型	(207)
带缆遥控潜水器(TROV)系统空间运动模型	(209)
比例边界有限元法的数学模型	(212)
系泊系统系缆的计算分析模型	(218)
Spar 平台六自由度耦合运动方程	(222)
环境载荷计算公式	(224)
疲劳寿命评估方法	(226)
钻井隔水管运动方程	(229)
平台水平运动方程	(232)
半潜平台疲劳强度谱分析法的基本步骤	(234)
海洋平台的振动控制方程	(237)
磁流变阻尼器控制技术	(239)
水下机器人混合灵敏度 H_∞ 控制	(242)
基于黏性流模型的筒形基础防波堤波浪力数值分析	(245)
小波法损伤识别原理	(248)
深海取样绞车牵引卷筒上钢缆张力分析模型	(251)
海面反射率模型	(255)
系缆式剖面测量平台运动的条件	(258)
一种适合海洋环境温度测量的新模型	(260)
波浪沿斜面传播过程的数值模拟模型	(263)
海底沉积物调查超声无损测量模型	(267)
黄海海域大气波导过程分析模型	(270)
WWATCH 模式的基本原理	(273)
传真图上地转风和梯度风近似计算公式	(275)
基于数学形态学图像分割波向检测	(278)

海底声波的折射法模型

1 背景

海底沉积层是影响声波传播的重要因素,它关系到水声设备作用距离的远近,也对潜艇着底有重要的影响。随着海洋水声调查业务的展开,特别是提出“军事海洋学”和“透明海洋”以来,海底沉积层的研究也越来越被人们所重视,人们已经不满足知道海底沉积层声学参数的综合效果即沉积层的反射系数和散射系数,而需要明确了解沉积层的各项声学参数,为了解决过去机械式的测量方法带来的海上作业不便和深海测量的难度,发展了声呐技术,利用声学方法遥测海底沉积层的声学参数,在接收设备上使用了水平线阵和垂直线阵两种线阵,温明明等^[1]曾介绍利用垂直线阵使用折射法进行海底沉积层速度和厚度测量的方法。

2 公式

折射法测量见图 1。使用折射法需要明确的物理量: c_0 为水中的平均声速; h_s 为声源距离海底高度; h_r 为接收水听器距离海底高度; x 为声源距离垂直线阵的水平距离。

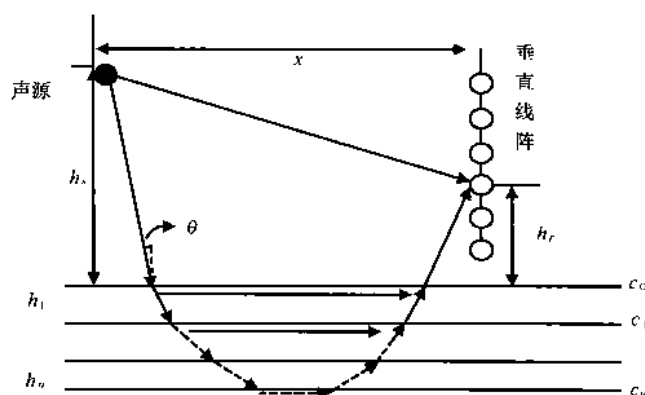


图 1 折射法测量示意图

当声源发射信号时,直达声传播到接收线阵的时间为:

$$t_0 = \frac{\sqrt{x^2 + (\bar{h}_r - \bar{h}_s)^2}}{c_0} \quad (1)$$

沿着第一层沉积层传播的折射波到达水听器的时间为:

$$t_1 = \frac{h_s}{c_0 \cos \theta} + \frac{h_r}{c_0 \cos \theta} + \frac{x - h_s \tan \theta - h_r \tan \theta}{c_1} \quad (2)$$

考虑折射法测量的原理,根据斯奈尔定理,可以得到下面这个重要的关系式:

$$\sin \theta = \frac{c_0}{c_1} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)得到声波沿第一层沉积层传播的时间为:

$$t_1 = \frac{x}{c_1} + (h_s + h_r) \frac{\sqrt{c_1^2 - c_0^2}}{c_1 c_0}$$

按照上面的方法可以推导出声波沿第 n 层传播的时间为:

$$t_n = \frac{x}{c_n} + (h_s + h_r) \frac{\sqrt{c_n^2 - c_0^2}}{c_n c_0} + \sum_{k=1}^{n-1} 2h_k \frac{\sqrt{c_n^2 - c_k^2}}{c_n c_k} \quad (4)$$

如果将测量的结果以 h_r 为横坐标、传播时间为纵坐标进行绘图,由于每个水听器都将收到直达波信号、海底反射波信号、 n 层沉积层的折射波信号,所以在不考虑直达波和海底反射波的情况下将得到 n 条直线段,这些直线段的斜率就是式(4)所代表的直线的斜率,即

$$S_n = \frac{\sqrt{c_n^2 - c_0^2}}{c_n c_0} \quad (5)$$

通过描点法求出这 n 条直线的斜率(图2)。由式(5)就可以求出各沉积层的声速,进而由式(4)求出沉积层的厚度。

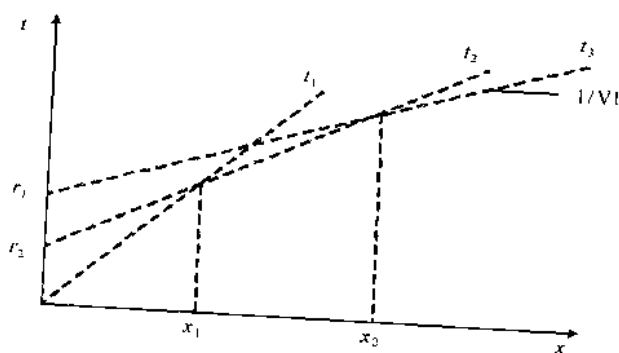


图2 折射法声波传播时间距离曲线

3 意义

用声学方法直接测量海底声学特性过程简单可行,并且垂直阵测量海底声学参数在地球物理学方面存在潜在的应用,只要采用合适的数据分析方法,将会得到较精确的海底声学参数,而且还可以利用垂直阵与浮标结合的方式,提高操作的方便性。由于折射信号经过传播、反射(不考虑散射的影响)和多次折射,信号的能量大大减弱,在多层沉积层信号的提取和识别时有很大难度,而且由于各层速度的差异,使得达到水听器的信号不一定按照直达声、反射声、折射声的顺序,增加了折射信号识别的难度,但这种方法测量的精度比较高。

参考文献

- [1] 温明明,肖波,崔华义.海底沉积层声学特性测量方法研究.海洋技术,2006,25(1):124-126.

MODAS 的原理

1 背景

对于海军目前拥有的舰载高科技武器,发挥它的最大性能的关键通常是在于对操作环境的了解程度。准确地预报海洋环境是能否利用探测系统发现目标,并且使用武器打击目标的关键因素。例如,水下声呐探测是全世界海军用来观察和跟踪水下目标的主要方法。如果事先掌握了海洋温度和盐度的分布情况,声速剖面就可以被计算出来。由于海洋热结构在空间和时间上的随意性,水声的传播就显得非常的无规律。如果作战人员能够测定海洋的热结构,从而准确地预报出声场,那么他们就可以利用这些知识来获得一种战术上的优势,一种类似于地面部队夺取到制高点的情况。模块化海洋数据同化系统(MODAS)发展于 20 世纪 90 年代中期,目前是美国海军描绘海洋三维热结构和三维声场的主要工具。它能够产生水平分辨率从 $1/2$ 度到 $1/8$ 度近岸区域可达 $1/32$ 度的三维网格温盐场,利用这些数据场还可以导出其他相关的海洋数据场,例如密度、声速、混合层深度等。MODAS 产品,通过战术辅助决策系统可以直接转换为海军作战指挥人员的战术指导信息。MODAS 在描绘海洋热结构的过程中同化了通过卫星海洋遥感测得的海面温度(SST)和海面高度传统(SSH)的静态气候态,吴振华等^[1]分析了 MODAS 的应用价值和构建思想,展现了 MODAS 带来的优势。

2 公式

为了产生 MODAS 的动态气候态,首先把近两个月内温度和盐度的静态气候态进行网格化,作为初始估计场,然后把通过观测获得的资料进行网格化,使其产生一个二维的 SST 和 SSH 数据场。该数据场是通过在场内的规则空间格点上,利用最优插值法和插值而得到的。最优插值是一种通过相邻数据的相互关系,把初始估计场与观测数据结合在一起的插值方法,以温度的插值为例,解析场的温度值是通过网格点上的初始估计温度值加上温度偏差来计算的,求解公式为:

$$T_{j,k}^a = T_{i,k}^f + \sum_{j=1}^N \alpha_{i,j} (T_{j,k}^o - T_{j,k}^f)$$

式中: $T_{j,k}^a$ 表示在深度为 k 、位置为 j 处的温度解析值, $T_{i,k}^f$ 表示在解析时间内,深度为 k 、位置

为 j 处的温度的初始估计值, $T_{j,k}^o$ 表示在深度为 k 、位置为 j 处的温度观测数据, $T_{j,k}^f$ 表示在深度为 k 、位置为 j 处的温度初始估计值。 $\alpha_{i,j}$ 表示权重系数, N 表示满足深度为 k 、位置为 j 处的温度插值条件的观测数据的数量。

权重系数是通过插值网格点与观测网格点数值之间的方差最小化计算中获得的。求解公式为

$$\sum_{j=1}^N (\eta_{kj} + \delta_{kj} \lambda_k^o) \alpha_{i,j} = \eta_{ij}$$

式中: η_{ij} 表示解析值位置 j 和观测数据位置 j 之间的空间和时间的自相关数, $i = 1, 2, \dots, N$; λ_k^o 表示在深度 k 处的观察数据的信噪比。 η_{kj} 表示在深度为 k 、位置为 j 处的观测数据的自相关函数。

为了简化这个等式, 自相关函数 η_{ki} , 以下面的简单形式给出

$$\eta_{kj} = \exp(-A_k^2 \Delta x_{i,j}^2 - B_k^2 \Delta y_{i,j}^2 - C_k^2 \Delta t_{i,j}^2)$$

式中: $\Delta x_{i,j}$, $\Delta y_{i,j}$, $\Delta t_{i,j}$ 分别表示从解析值位置 i 到观测数据位置 j 处的东西、南北方向以及时间上的差值。系数 A_k^{-1} , B_k^{-1} 和 C_k^{-1} 表示东西、南北方向和时间的抗相关率。

3 意义

MODAS 是通过同化卫星遥感测得的海面温度和海面高度, 产生一种动态气候态, 能够更接近地预报出海洋的真实状况, 在应用过程中远胜于静态气候态。它还能增强对操作环境的了解程度, 使海军拥有的舰载高科技武器发挥它的最大性能, 有助于作战人员测定海洋的热结构, 从而准确地预报出声场。总之 MODAS 提供了一种通过使用动态气候态构造“人造 BT”来解决数据稀少问题的方法有非常重大的应用价值。随着海军向网络化组织形式的发展, 海洋预报模式的可分发性和可应用性就变得非常关键。大力研发类似这样的工具, 以便能够提供准确、实时、持续的环境资料, 从而满足作战人员的需要。

参考文献

- [1] 吴振华, 骆永军. 模块化海洋数据同化系统 MODAS 研究. 海洋技术, 2007, 26(4): 62-65.

主锚系的设计计算模型

1 背景

海洋浮标是一种现代化的海洋观测设施。它具有全天候、全天时稳定可靠的收集海洋环境资料的能力,并能实现数据的自动采集、自动标示和自动发送。海洋浮标与卫星、飞机、调查船、潜水器及声波探测设备一起,组成了探测海洋奥秘的主体监测系统。我国于20世纪60年代中期就已开始海洋资料浮标的研制工作,浮标技术的发展已趋完善、成熟。目前,我国已能生产大、中、小三大类型海洋资料浮标和部分专用海洋浮标。海洋资料浮标是岸基监测系统向海洋方面的延伸,对海洋环境进行长期测量,对海洋环境监测和灾害预警报的作用是巨大的和不可缺少的。海洋资料浮标有大型浮标,主要用于恶劣条件下的海洋科学试验;中型浮标主要用于几百米水深的海域,小型浮标主要用于近海或湖泊及河口的监测。这些资料浮标系统普遍采用了高可靠性的低功耗微处理机作为数据采集控制的核心,应用卫星传输测量数据。其特点主要表现在能够增加传感器,扩大浮标的功能,采用先进的数据采集和通信系统浮标采用钢、铝、泡沫塑料或玻璃钢混合结构,重量轻、布放回收方便,均采用太阳能电池和蓄电池组合供电^[1]。海洋资料浮标有船形、球形、圆盘形、椭圆形、柱形等几种。目前,我国海洋环境监测浮标技术与国外发达国家基本处于同等水平,但有其显著的特点。我国根据国情执行了自己的国家或行业标准,保持有一支稳定的技术队伍以及具有良好的技术和经济环境保障,因此我国海洋环境监测浮标系统技术及产品在性能价格比、操作使用和技术维护上更具优势。水面浮标采用新型三锚系留系统,增强抗恶劣环境的能力,减少了浮标的旋转和摇摆角度,从而保证了海上系统良好的通信姿态;同时,三锚系留限制了水面浮标的多圈转动,可避免水下的信号电缆与锚链的缠绕^[2]。

2 公式

主锚系水平力的估算,水面浮标主锚系的受力,主要来自于水面浮标所受的风($F_{\text{风}}$)、浪($F_{\text{浪}}$)、流($F_{\text{流}}$)水平方向的作用力,该作用力通过浮标与浮筒之间的副锚系作用于系留的浮筒上。同时,浮筒在海洋环境中同样也受到风、浪、流的作用,两者所受作用力的合力