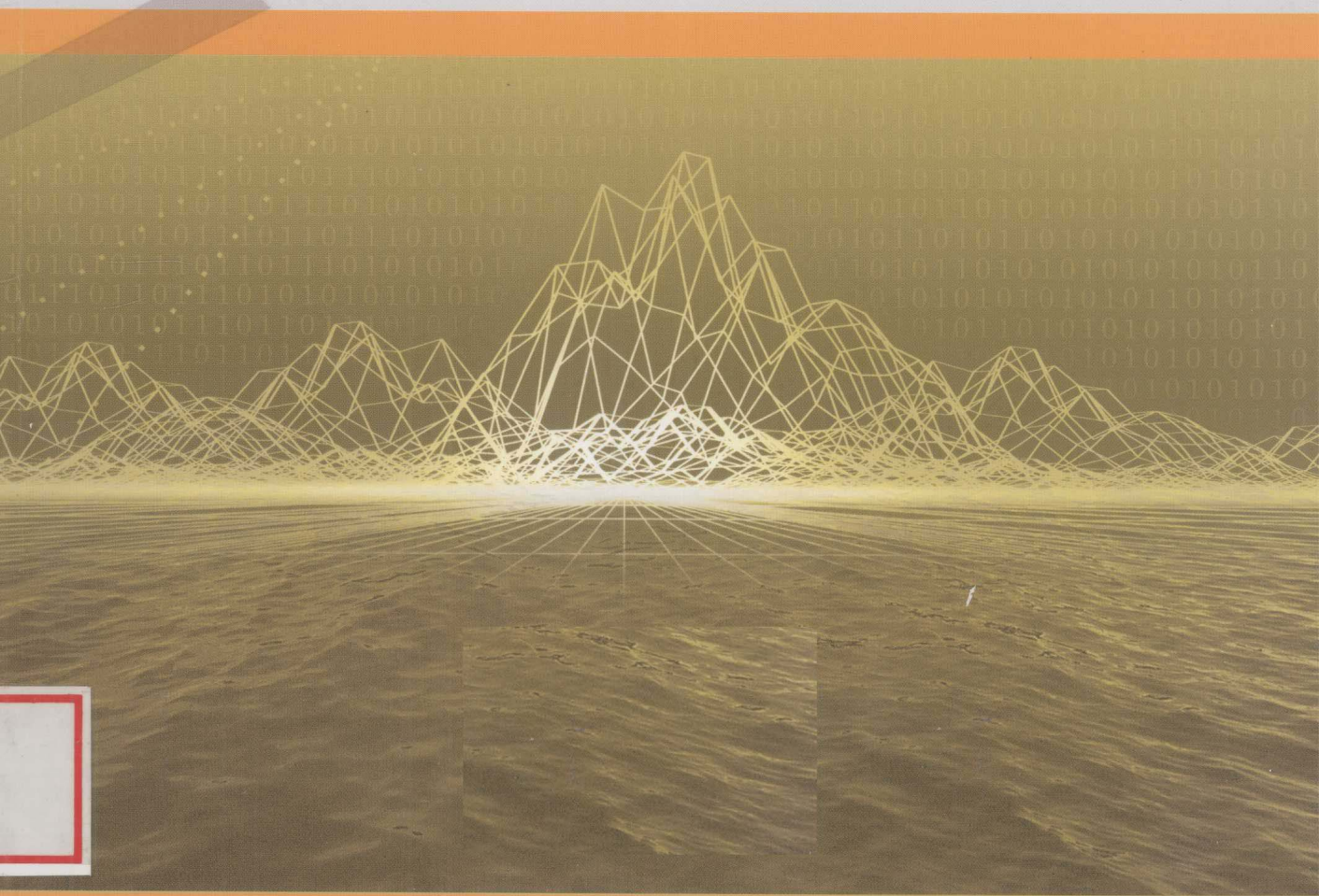


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology



数学模型在生态学 的应用 及 研究

杨东方 苗振清 编著



 海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(9)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(9)

杨东方 苗振清 编著

海洋出版社

2010年·北京

内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,定量化的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. 9/杨东方,苗振清编著.

—北京:海洋出版社,2010. 5

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7719 - 7

I. ①数… II. ①杨… ②苗… 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(2010)第 072855 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 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:21.5

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(9)》编委会

主 编 杨东方 苗振清

副主编 陆建新 石 强 李文凤 陈 豫 徐焕志

编 委 (按姓氏笔画为序)

冯志纲 孙静亚 曲延峰 宋秀霞 李 龙

杨春茹 杨重阳 苏 艳 陈发荣 陈国光

殷月芬 郭军辉 高元森 曹 磊 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,尽可能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) 能够动态地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,把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、浮山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,祖国在心间。

杨东方 苗振清

2009年9月16日

目次

多波束测深系统的静态精度评估方法	(1)
多波束测深系统的相对精度评估方法	(4)
海水声速测量原理	(7)
气溶胶光学厚度	(10)
海洋工程系统的主成分风险分析	(12)
锚渗流的基本方程和边界条件	(14)
测量声学系统间信号干扰模型	(16)
桶形基础的水平承载力	(19)
水下拖体声学的卡尔曼滤波技术	(24)
海底混响的反射模型及信号归一化控制模型	(27)
FFT 波束形成的 BDI 算法	(29)
湍流切应力的处理方法	(31)
渤海赤潮藻类生态动力学模型	(34)
风浪及风浪谱的统计方法	(37)
航道外波浪集聚的数学模型	(39)
飘袋式捕沙器的输沙计算公式	(42)
多元数据处理的一般方法	(45)
CTD 剖面仪温度传感器的转换电路	(47)
回波信号分析的相关函数	(49)
声散射信号降噪的子波变换原理	(51)
海洋光学测量仪器保护框架强度的计算方程	(53)
海洋水色卫星遥感器的参数	(55)
激光双频相位法测距的基本原理	(57)
二维气动力分析	(59)
小水线面双体船设计的兴波能量	(63)
80 国际海水状态方程	(66)
水下图像传输系统的 Goertzel 算法	(69)
水声扩谱通信中的多普勒频移	(71)
光谱仪绝对辐亮度定标处理模型	(73)

水下系统的数学模型	(75)
释放器的静力分析模型	(77)
水声数字通信系统的仿真模型	(79)
pH 的定义与电位方法测量原理	(81)
立式泵固有频率模型	(83)
红外测温(表皮温度)的原理	(85)
水质评价标准指数模式	(88)
藻种和悬浮物光谱辨别算法模型	(90)
光谱仪测量离水辐射率	(92)
螺旋桨桨叶的参数方程	(95)
开关电容网络(SCN)节点电荷方程	(97)
风应力测量的公式	(100)
剖面仪/表面仪绝对辐射的标准输入	(104)
摆式波力电站的吸能原理和摆板动力	(108)
深水换能器的表观弹性法模型	(112)
多波束条带测深仪的动态测量误差估计公式	(115)
声学验潮仪潮高示值修正公式	(118)
海底载流管道壳体振动方程	(122)
海底载流管道周围土壤弹性动力方程	(124)
海底载流管道的耦合动力方程	(127)
河流丁坝冲刷坑公式	(130)
河口海岸凸体冲刷坑形态	(133)
载液船舶液舱流场控制方程及修正	(135)
Level-set 方法及其方程	(137)
Weis-Fogh 机构翼上产生的推力	(139)
翼上压力中心及动态流体力矩的变化	(142)
铰接塔平台力学模型	(144)
缆绳的相对变形计算公式	(148)
水面飘浮矩形箱速度势 $\Phi(m)$ 公式	(150)
两层黏性流体中圆柱体受迫振荡数值模拟	(153)
系缆平衡方程	(156)
CT-Spar 平台数值模拟	(160)
地震与波浪联合作用下海洋平台运动方程	(163)
复合加载下地基的破坏包络面方程	(166)

感潮水闸流量的三种计算模式	(168)
混合沙散射消光定律	(170)
海洋结构物最优失效准则	(172)
多传感器信息耦合算法	(175)
工程保险费率的厘定	(178)
衡量采集头载荷波动性的波动系数计算公式	(180)
改进的 JONSWAP 谱及随机波浪模型	(182)
波浪力时程模型	(185)
浅水潮滩底部边界层参数的计算模型	(188)
减摇鳍的形状阻力	(190)
零航速减摇鳍的附加质量力	(193)
Jelesnianski 模型风场和气压场	(197)
深海水泵与储料罐组合采矿硬管输送管道的参数	(199)
水下机器人主动升沉补偿系统	(202)
完全非线性波浪破碎模型	(206)
直立堤平均越浪量计算公式	(210)
AUV 在水中的浮力测定	(212)
应答器阵作用面积计算	(215)
X 波段雷达浪高测量数学模型	(218)
拖缆运动的动力学模型	(220)
测深仪声波在海底管道上的反射特征	(226)
多孔介质模型	(230)
海洋管道浮拖过程的力学	(233)
水流泥沙数学模型	(237)
第三代近岸海浪数值模式	(240)
垂向二维潮流数值模型	(244)
分层聚类分析模型	(249)
谱分析模型	(251)
Backhaus 三维斜压模型	(254)
Kalman 滤波模型	(257)
悬沙输运率计算公式	(259)
热传递系数计算公式	(261)
南海涌浪的计算公式	(263)
单因子评价模型	(266)

蒸发推算公式	(269)
小波分析模型	(271)
生物多样性各测度指标及相对重要值算式	(273)
光衰减规律数学模型的建立	(275)
热带气旋频数的计算模型	(278)
DAU 的基本理论模型	(280)
河口三维非线性斜压潮流盐度数学模型	(282)
海岸河口二维潮流可视化数学模型	(285)
西风指数计算公式	(287)
质体色素的含量	(288)
吸药量计算	(290)
振动特性参数计算	(292)
变色度	(294)
顺纹抗拉弹性模量和顺纹抗拉强度的测定	(296)
群落多样性指数和群落相似性	(298)
皮尔曲线的数学模型	(300)
半方差	(302)
匹配系数	(304)
梯度距离平方反比法	(306)
线性的多元回归模型	(308)
Thornley 模型	(310)
评价指标权重	(312)
蓄积指数	(314)
分形维数	(316)
防风指数	(318)
刺槐细根垂直分布模型	(320)
日蒸散量	(322)
物种多样性测度	(324)
种间竞争能力测定	(326)

多波束测深系统的静态精度评估方法

1 背景

多波束测深系统也称条带测深系统,它是利用声波在水下的传播特性来测量水深的。安装于水下的声基阵向船底及两侧(图1)发射超宽声波束,并接收海底反向散射回波信号,根据各角度声波到达的时间和相位,就可以得到海底多个点的水深值(图2)。随着测量船的前进,可以测得一条带上大量的水深数据,通过高精度的定位系统实时提供的测量船的坐标,最终利用成图软件得到测量海区各种用途的海图。多波束测深系统是由多传感器组成的复杂系统(图3),主要包括声呐基阵,姿态测量单元,定位单元,声速测量单元,信号处理单元,数据后处理及成图系统。因此,多波束测深系统的测量深度误差具有多源的特点,需要经过多层次的检测。目前大多利用相位和能量两种检测法。吴英姿等^[1]采用4种能量检测法,以尽量减小海底变化引起的误差,提高检测估计的精度,这里我们简单介绍一下最基本的静态精度评估方法。

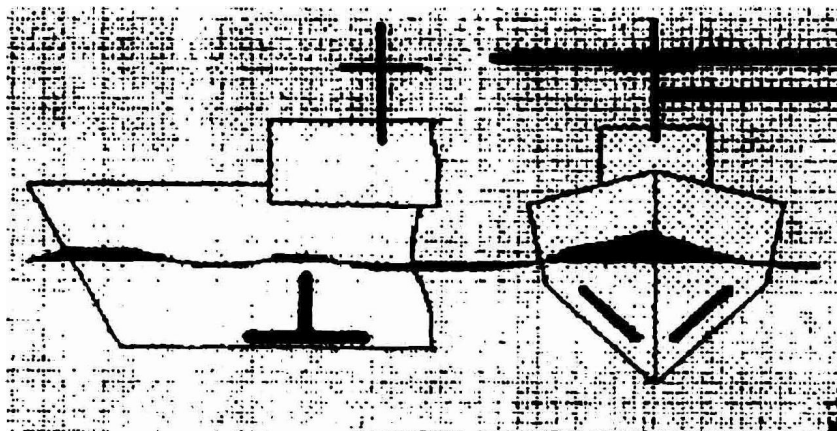


图1 系统声基阵的安装

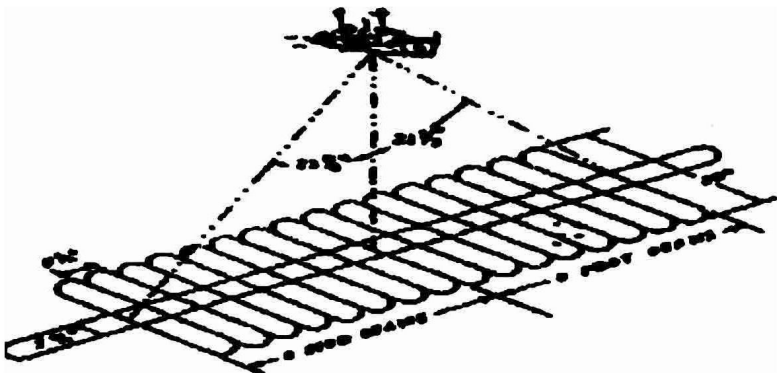


图2 系统的测深原理

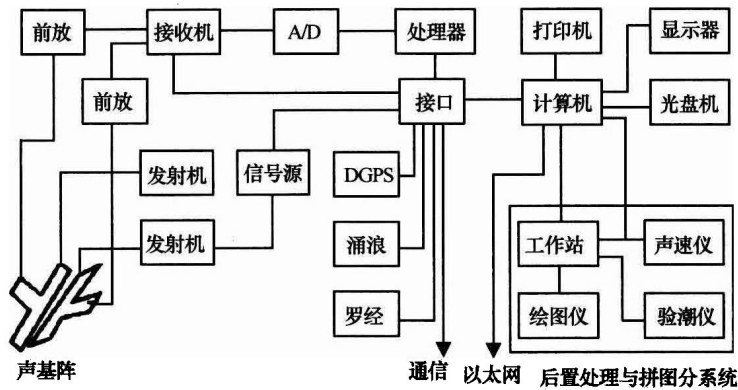


图3 多波束条带测深仪系统

2 公式

静态精度评估方法就是使系统的声呐基阵处于某点固定的静态状态,或在实验室水池中,或使测量船固定在水面上某一点,进行相同位置已知深度的多波束连续测量,对相同波束相同位置的水深数据做数学统计。它是评定精度的一种简单方法。在误差理论中,这符合同一测量条件下,对同一对象多次重复测量的误差统计条件,因此,可以采用常规误差统计分析理论。

设 $H_i(i=1,2,\cdots,n)$ 表示某波束的各次深度测量值,共测量 n 次; $\bar{H}$ 表示该波束深度的真值,那么:

$$\bar{H} \approx E[H_i] = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n} \quad n \rightarrow \infty \text{ 时}$$

$$\text{该波束的标准差为 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n}}$$

如果用相对误差 δ 来表示设备的设计指标,则有 $\delta = \frac{\sigma}{\bar{H}} \times 100\%$ 。接下来可以再在此基础上进行相对精度评估和绝对精度评估,从而进一步保证评估的可靠性和准确性。

3 意义

在分析多波束测深系统测量误差来源的基础上讨论了静态精度评估方法,本质上是一种系统稳定性的试验,从系统稳定性方面考核了由误差源的综合误差对系统精度的影响,是对多波束测深系统的全面评价,其结果反映了系统深度的重复测量精度,用来评价声呐测深系统本身的水深测量精度。但它无法暴露整个系统各误差源引起的水深和位置误差,因此它是有限项误差评估的方法。

参考文献

- [1] 吴英姿,徐新盛,乔力争. 多波束测深系统的精度评估方法研究. 海洋技术,2003,22 (3):65-69.

多波束测深系统的相对精度评估方法

1 背景

多波束测深系统是由多传感器组成的复杂系统,主要包括声呐基阵,姿态测量单元,定位单元,声速测量单元,信号处理单元,数据后处理及成图系统。因此,多波束测深系统的测量深度误差具有多源的特点。基阵的制造及安装偏差,可以通过多种测量手段获得,但并不能得到完全的补偿。如线阵声呐的基阵误差主要包括基元物理相位误差和相邻基元之间的制造间隔误差,通过在实验室水池测量各波束的实际角度,可以采用综合修正的方法基本消除由基阵误差引起的系统误差。其他的有关偏差,如安装引起的角度偏差,可以通过涌浪运动传感器综合反映在船的摇摆角度中,因此,吴英姿等^[1]在实验中选用了TSS335涌浪滤波器,对船的横摇、纵摇、升沉进行了实时补偿,以更加方便后面的精度评估。通过在多波束测深系统应用静态精度、相对精度和绝对精度的系统精度评估方法,从系统稳定性、自符合性和系统误差等方面考核了由所有误差源的综合误差对系统精度的影响,这里我们介绍相对精度评估方法。

2 公式

相对精度评估方法是通过一定的规划测线的测量,确定系统水深测量精度的方法。这种方法是多波束测深系统自身的测量数据间进行的精度评估,可以确定除了系统偏差外的综合误差,它是一种多波束测量水深精度的有效评估方法。由于多波束测深系统的一些传感器误差对测量水深的影​​响自中央波束向边缘波束增加,即中央波束精度明显高于边缘波束精度,因此,进行中央波束与两侧其他波束水深偏差的对比统计是反映影响波束水深精度各项因素综合误差的有效方法。

一般选择海况良好的天气,试验海区没有突变地形,坡度较缓。测线规划原则是布设几条平行的主测线,关键是测线间距要达到条带宽度的50%重叠。也就是让相邻测线的边缘波束与中央波束更接近,再布设两条左右的检查线与主测线垂直。如图1所示,测量后进行数据后处理及成图。

(1)选取同测点不同主测线的数据组进行水深的误差统计。设 $m_i, n_i (i=1, 2, 3, \dots, k)$ 分别表示两主测线各自的水深,并取 k 个测点, $\Delta\bar{H}_{mn}$ 和 σ_{mn} 分别表示两测线水深的平均偏差

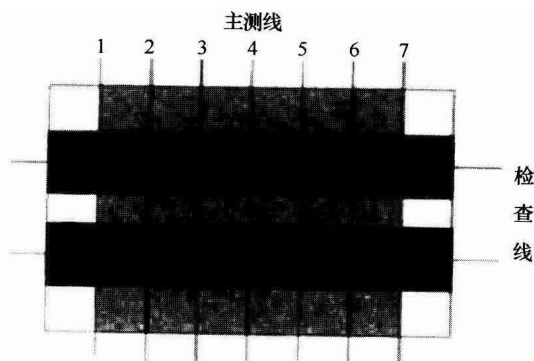


图1 相对精度评估法的交叉重叠的测线布设

和标准差估计,根据方差估计的 Bessel 公式,有:

$$\Delta \bar{H}_{mn} = E[m_i - n_i] = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - n_i)}{k}$$

$$\hat{\sigma}_{mn} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \Delta \bar{H}_{mn}^2}{2k}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (m_i - n_i)^2}{2k}}$$

(2) 选取同测点主、检测线的数据组进行水深的误差统计。设 $m_i, c_i (i=1, 2, 3, \dots, l)$ 分别表示主、检测线各自的水深,并取 l 个测点, $\Delta \bar{H}_{mc}$ 和 σ_{mc} 分别表示两测线水深的平均偏差和标准差估计,同上原理,根据方差估计的 Bessel 公式,有:

$$\Delta \bar{H}_{mc} = E[m_i - c_i] = \frac{\sum_{i=1}^l (m_i - c_i)}{l}$$

$$\hat{\sigma}_{mc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l \Delta \bar{H}_{mc}^2}{2l}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l (m_i - c_i)^2}{2l}}$$

(3) 选取同测点所有水深数据进行水深均值的误差统计。设 h_{ij} , 其中 $i=1, 2, 3, \dots, l$, 表示测点数, $j=1, 2, 3, \dots$ 表示同测点的水深数据数目, $\bar{H}_i$ 表示某测点的水深均值,有 $\bar{H}_i \approx$

$$E[h_{ij}] = \frac{\sum_{j=1}^l ij}{j-1}。$$

设 $\bar{H}_{\max}, \bar{H}_{\min}$ 分别为同测点水深数据均值的最大值和最小值,有:

$$\bar{H}_{\max} = \max(\bar{H}_1, \bar{H}_2, \bar{H}_3, \dots, \bar{H}_l)$$

$$\bar{H}_{\min} = \min(\bar{H}_1, \bar{H}_2, \bar{H}_3, \dots, \bar{H}_l)$$