注册测绘师考试培训

海洋测绘

武汉大学测绘学院

内　容

按照大纲要求，本次培训内容分如下四个部分：

第一部分：海洋测绘内容

第二部分：水下地形测量

第三部分：垂直基准问题

第四部分：成果呈现

第一部分
海洋测绘的内容

大纲解读

大纲内容：根据工程要求按海洋测绘进行项目分类，依据项目分类，选择测量方法，制定测量方案。

解读：需要掌握海洋测绘的内容，其中包括海洋测量内容和海图绘制内容。其重点在于海洋测量，结合其内容和相应的规范，制定项目实施方案。

海洋测绘的主要内容有：

- 海洋大地测量；
- 海洋工程测量；
- 水深测量及水下地形测量；
- 障碍物探测；
- 水文要素调查；
- 海洋重力测量；
- 海洋磁力测量；
- 海洋专题测量和海区资料调查；
- 各种海图、海图集、海洋资料的编制和出版；
- 海洋地理信息的分析、处理及应用。

根据海洋测量工作的目的不同，可把海洋测量任务划分为科学性任务和实用性任务两大类：

1、科学性任务

一是为研究地球形状提供更多的数据资料。

二是为研究海底地质的构造运动提供必要的资料。

三是为海洋环境研究工作提供测绘保障。

2、实用性任务

关于海洋测量的实用性任务，主要指的是对各种不同的海洋开发工程，提供它们所需要的海洋测量服务工作。

主要包括：

- ✓ 海洋自然资源的勘探和离岸工程；
- ✓ 航运、
- ✓ 救援与航道；
- ✓ 近岸工程；
- ✓ 渔业捕捞；
- ✓ 其它海底工程 。

根据不同的工作内容，可将海洋测量分成如下8种：

- ✓ 海洋重力测量；
- ✓ 海洋磁力测量；
- ✓ 水文测量；
- ✓ 大地控制与海底控制测量；
- ✓ 定位；
- ✓ 测深；
- ✓ 海底地形勘测
- ✓ 制图等 。

海洋重力测量

海洋重力测量的目的在于研究地球的形状和内部构造、勘测海洋矿产资源和保证远程导弹发射提供海洋重力数据。

海洋重力测量可分为：

- ✓ 海底重力测量；
- ✓ 航海(船载、机载)重力测量；
- ✓ 卫星重力测量。

海洋磁力测量

海洋磁力测量是测定海上地磁要素的工作，是研究地球物理现象，海洋资源勘探以及海底宏观地质构造的有力手段之一。

海洋磁力测量的主要目的在于寻找与石油、天然气有关的地质构造和研究海底的大地构造。

- ✓ 在航磁力测量；
- ✓ 机载磁力测量
- ✓ 卫星磁力测量

海水面的测定

海水面的测定包括海面形态的测定和平均海水面的确定。前者对海洋测量和海洋科学的研究有着重要意义，而后者却对大地测量有着重要的意义。

大地控制和海底控制测量

大地控制测量与以往所用的理论和原理相同，而海底控制点的布设一般使用3个或4个一组的应答器通过声学测距的办法来建立海底控制。

定位

精确地确定海洋表面，海水中和海底各种标志的位置称为海洋定位。在海洋中对航行中的船舶的定位 主要采用GPS卫星定位的方法。

测深

一般采用回声测深仪测水体的深度。目前所用方法有：

- ✓ 船载在航水深测量；
- ✓ 机载激光系统；
- ✓ 卫星水深测量。

海底地形地貌及底质测量

海底地形测量是测量海底起伏形态和地物的工作。

特点是测量内容多，精度要求高，显示海底地物、地貌详细。

海底地质探测是对海底表面及浅层沉积物性质进行的测量。

海图绘制

海图以海洋及其毗邻的陆地为描绘对象的地图，其描绘对象的主体是海洋，海图的主要要素为海岸，海底地貌，航行障碍物，助航标志，水文及各种界线。

海图是通过海图编制完成的。作业过程通常分为编辑准备、原图编绘和出版准备三个阶段。

海洋地理信息系统（MGIS）

MGIS的研究对象包括海底、水体、海表面及大气及沿海人类活动5个层面。

一般GIS处理分析的对象大都是空间状态或有限时刻的空间状态的比较；MGIS则主要强调对时空过程的分析和处理，这是MGIS区别于一般GIS的最大特点。

第二部分
水下地形测量

大纲解读

大纲：

依据海道测量定位、测深原理和使用仪器的实际情况，分析水深定位方法的可行性及其对水深测量成果的影响。

解读：

- 水下地形测量过程；
- 仪器设备组成；
- 设备的性能、精度及对水下地形测量的影响；
- 掌握作业过程、数据处理过程及对水下地形测量的影响。

内容

按照大纲要求，该部分包括如下内容：

一．定位原理及设备

二．测深原理及设备

三．水下地形测量

四．水下地形测量误差源及精度评估

一、水上定位

海洋定位测量是海洋测量的一个重要分支。在海洋测量工程中无论测量某一几何量或物理量，如水深、重力、磁力等，都必须固定在某一种坐标系统相应的格网中。是海洋测绘和海洋工程的基础.

海洋定位手段包括：

- 天文定位
- 光学定位
- 陆基无线电定位
- 空基无线电定位
- 水声定位

鉴于GNSS在海上测量中的广泛应用，目前主要讲述GPS定位模式：

- GPS动态定位
- 动态定位的类型（方法）
- 常用的GPS动态定位精度

1、GPS动态定位

- ✓GPS动态定位（测量），是利用GPS信号，测定相对于地球运动的用户天线的状态参数，这些状态参数包括三维坐标、三维速度和时间等七个。
- ✓导航，是测得运动载体的状态参数，并导引运动载体准确的运动到预定的后续位置。







2、GPS动态定位的类型

- 定位原理划分
  - ✓ 单点动态定位
  - ✓ 相对动态定位
  - ✓ 差分动态定位
- 实时性划分
  - ✓ 实时动态定位
  - ✓ 后处理动态定位
- 定位的载体
  - ✓ 伪距动态定位
  - ✓ 载波相位动态定位

差分GPS技术

- 差分GPS
- 差分GPS的类型
- 各类差分GPS简介

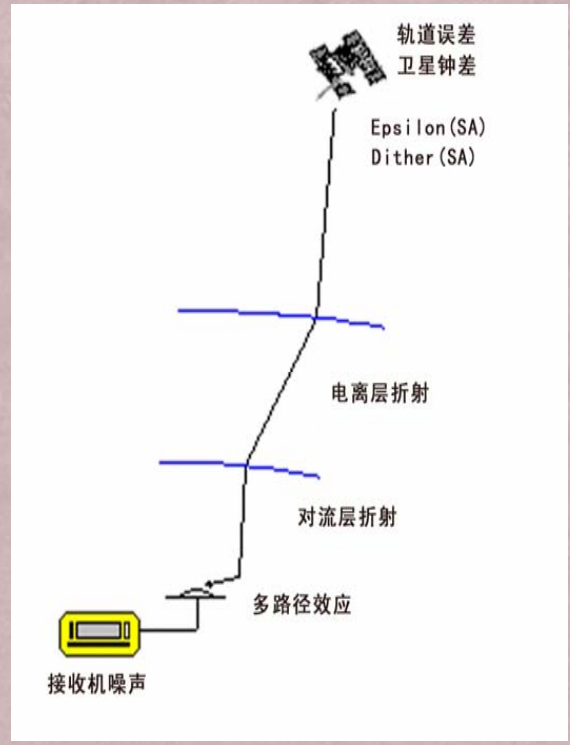
差分GPS (DGPS)

基本思路：

利用设于坐标已知的参考站，计算各类改正数、影响GPS测量定位的误差.

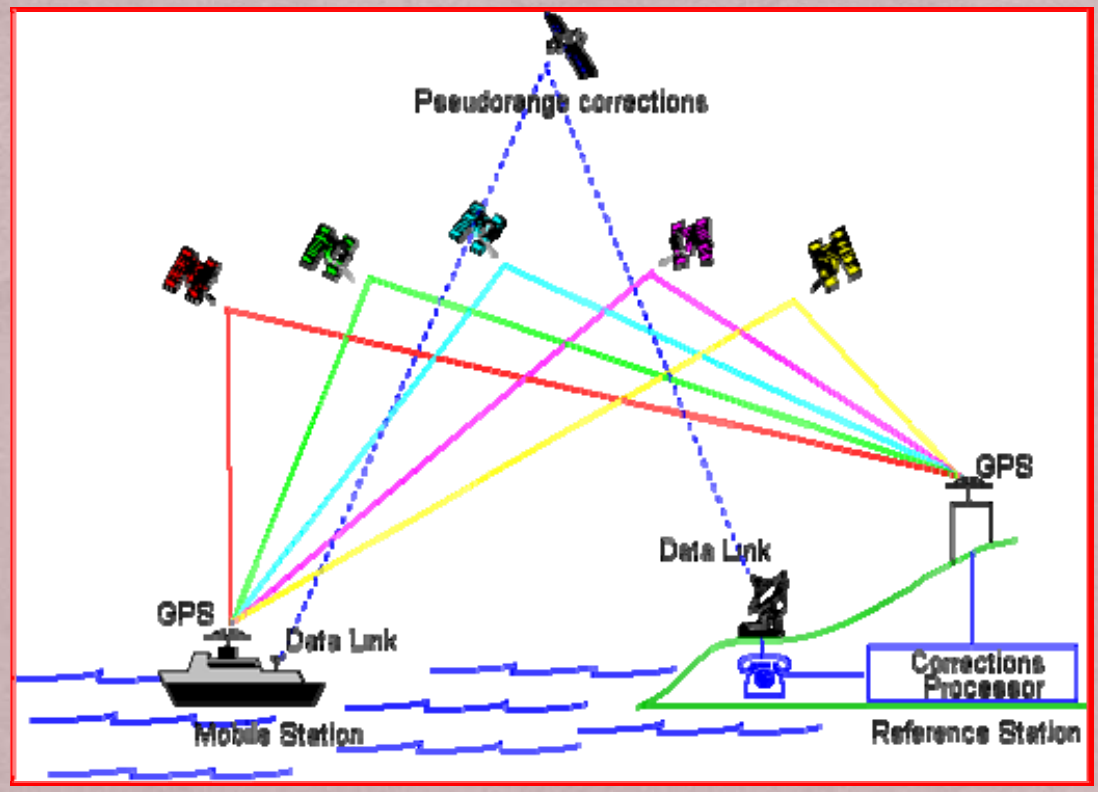
误差源及其特征：

- ✓ 卫星轨道误差：影响大小与测站位置有关，距离较近时，影响大小相近（误差的空间位置相关性）
- ✓ 卫星钟差：影响大小与测站无关（时间相关性）
- ✓ 大气折射（电离层、对流层折射）：影响具有空间位置相关性
- ✓ 多路径：与测站有关，测站间无关



差分GPS系统的构成

- ✓基准站（Reference/Base Station）
- ✓流动站（Mobile/Rover Station）
- ✓差分改正数

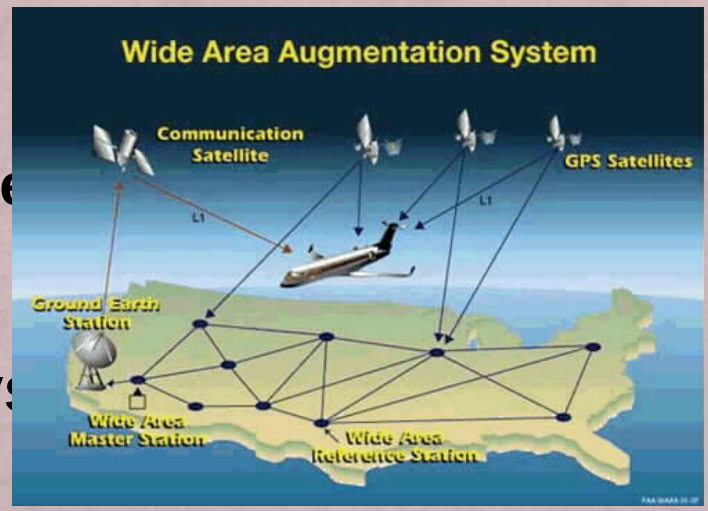


差分GPS的类型

- 位置（坐标）差分与距离（伪距）差分
  - 位置改正数
    - 位置改正数的确定
    - 缺陷 – 要求参考站和流动站所观测的卫星完全相同
  - 距离改正数
    - 距离改正数的确定：计算距离 – 观测距离

- 局域差分与广域差分
  - 局域差分GPS（LADGPS – Local Area DGPS）
    - ✓ 基准站作用距离：数百公里
    - ✓ 特点：计算出
  - 广域差分GPS（WADGPS – Wide Area DGPS）
    - ✓ 基准站作用距离：数千公里
    - ✓ 特点：将各项误差分离出来，建立误差与位置的关系
      - 分离出的误差：卫星轨道、卫星钟差
      - 建立误差与位置的关系模型：大气折射

- 增强型的差分GPS系统
  - 伪卫星（Pseudolites）
  - LAAS – 局域增强系统
    - ✓ Local Area Augmentation Syste
    - ✓ 应用领域：机场，着陆系统
  - WAAS – 广域增强系统
    - ✓ Wide Area Augmentation Sy



RTK－（实时动态差分）

- 系统构成
  - ✓参考站
  - ✓流动站
  - ✓数据链



- 特点

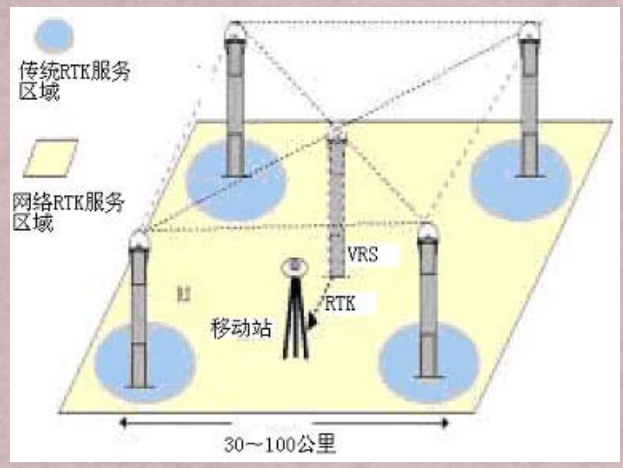
  高精度动态测量，提供厘米级的平面和垂直定位解
- 应用
  - ✓大比例尺水下地形测量
  - ✓无验潮模式下的水下地形测量
  - ✓GPS潮位等高精度测量。

PPK-事后动态差分

- 系统构成
  - ✓参考站
  - ✓流动站
- 特点

  高精度动态测量，事后提供厘米级的平面和垂直定位解
- 应用
  - ✓大比例尺水下地形测量
  - ✓无验潮模式下的水下地形测量
  - ✓GPS潮位等高精度测量。

网络RTK和传统RTK



传统RTK：RTK技术在应用中遇到的最大问题就是参考站校正数据的有效作用距离。

网络RTK特点：

线性衰减的单点GPS误差模型被区域型的GPS网络误差模型所取代，即用多个参考站组成的GPS网络来估计一个地区的GPS误差模型，并为网络覆盖地区的用户提供校正数据。

用户收到的不是某个实际参考站的观测数据，而是一个虚拟参考站的数据，和距离自己位置较近的某个参考网格的校正数据，这就是VRS技术。

VRS概念

虚拟参考站技术（VRS）是GPS网络RTK中一种比较成熟的、可实时提供高精度导航定位信息的技术。它主要是利用网络内所有基准站原始观测数据，在流动站附近实时模拟一组参考站数据，实现对“参考站数据的模拟和重建”。

VRS特点

- 覆盖范围更广
- 成本更低
- 精度和可靠性更高
- 应用范围更广
- 改进了OTF初始化时间

VRS工作原理图

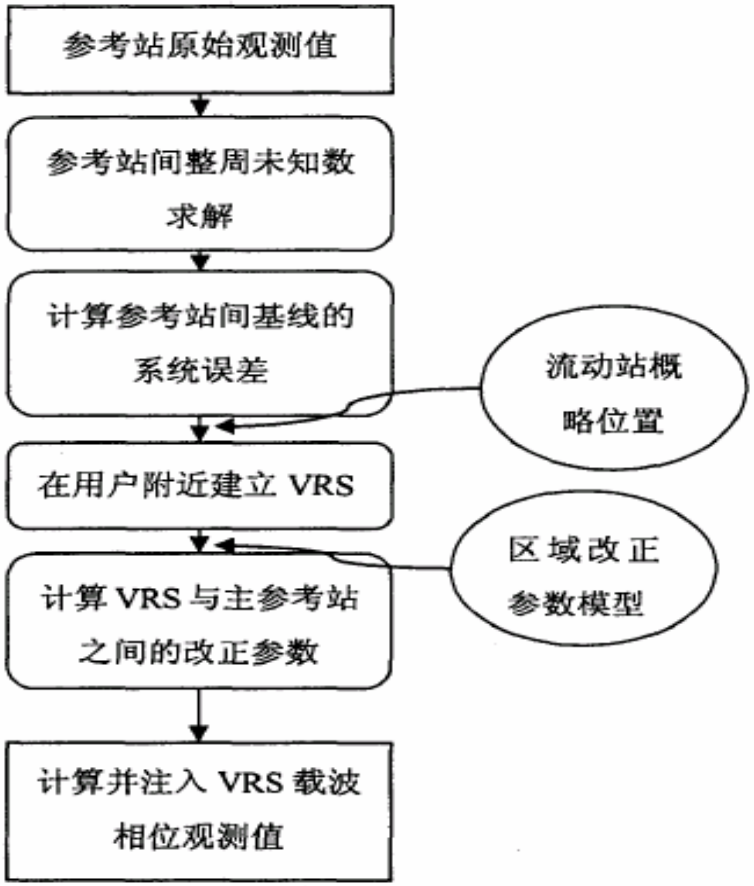


图　　虚拟参考站工作框图

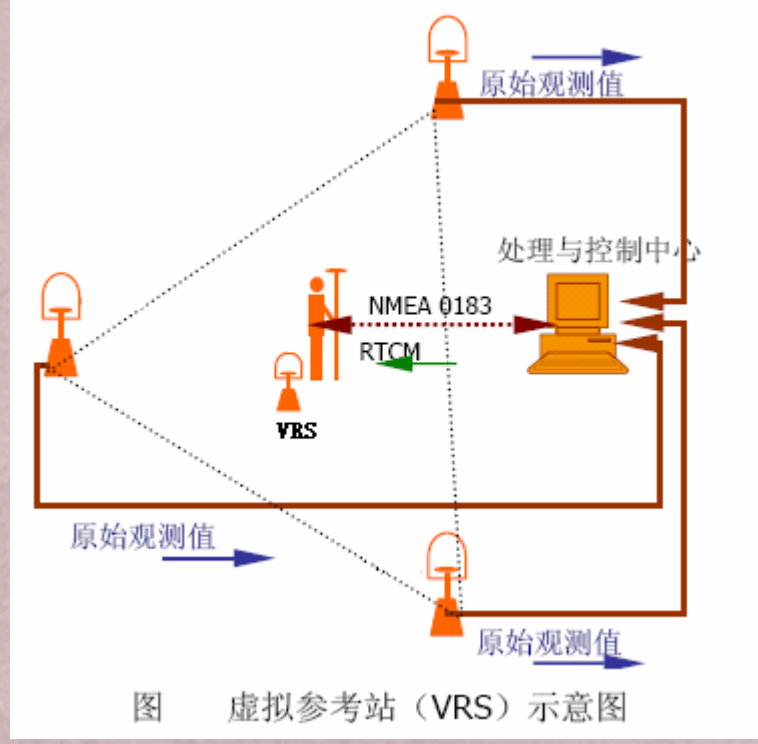


图　　虚拟参考站（VRS）示意图

- 参考站之间的模糊度解算（一般认为已知）；
- 参考站之间的改正数的解算，包括电离层和电离层；
- VRS改正数的生成，包括目前各种网络数据生成；
- 推导出VRS观测值；
- 流动站用户定位.

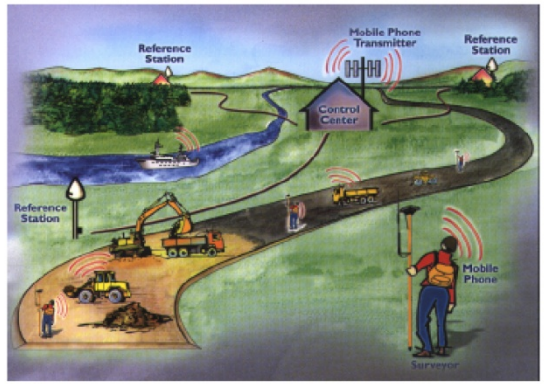
连续运行参考站（CORS）

+ **VRS – Virtual Reference Station**
  - 作业模型类似RTK
  - 原理

    利用基准站网计算出用户附近某点（虚拟参考站）各项误差改正，再将它们加到利用虚拟参考站坐标和卫星坐标所计算出的距离之上，得出虚拟参考站上的虚拟观测值，将其发送给用户，进行实时相对定位。
  - 特点

    ✓精度和可靠性高

    ✓属网络RTK



3、GPS动态定位的精度和应用

类型	精度	适合对象
GPS导航仪	30-50m	海上航行导航
信标GPS接收机	1-3m	中小比例尺水上测量
RTK、PPK	厘米级	大比例尺水下地形测量

2、海洋测深

+ 概述
+ 回声测深原理
+ 多波束测深系统
+ 高分辨率测深侧扫声纳
+ 基于水下机器人的水下地形测量
+ 机载激光测深（LIDAR）
+ 测线布设
+ 测深精度
+ 水位改正
+ 测量数据质量与管理

海底地形测量是测量海底起伏形态和地物的工作。是陆地地形测量在海域的延伸。按照测量区域可分为海岸带、大陆架和大洋三种海底地形。特点是测量内容多，精度要求高，显示内容详细。

水深测量经历了如下几个发展阶段：

测绳重锤测量（点测量）
单频单波束测深（点测量）
双频单波束测深（点测量）
多波束测深（面测量）
机载激光测深（面测量）

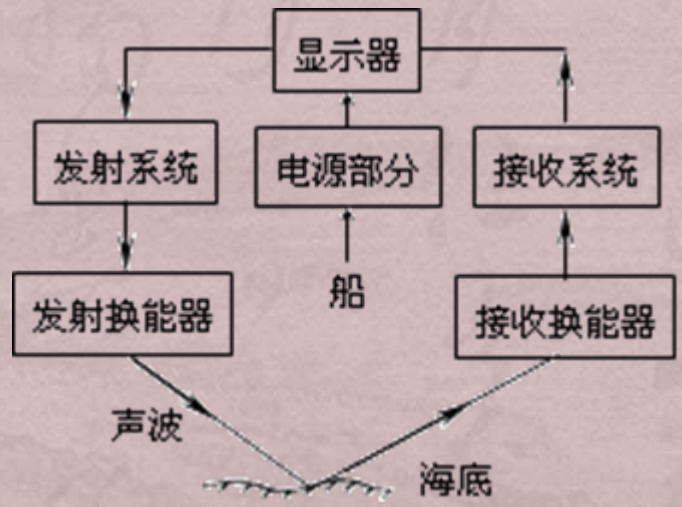
水下地形测量的发展与其测深手段的不断完善是紧密相关的。

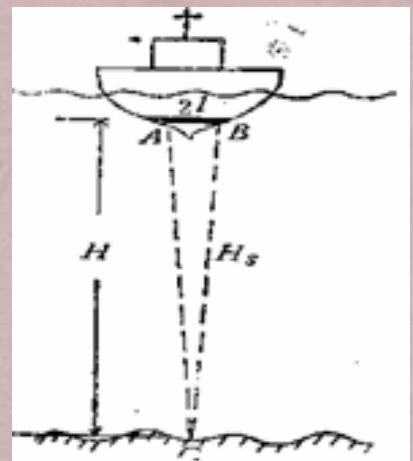
（1）回声测深原理

单频单波束测深（点测量）

安装在测量船下的发射机换能器，垂直向水下发射一定频率的声波脉冲，以声速C在水中传播到水底，经反射或散射返回，被接收机换能器所接收。设经历时间为t，换能器的吃水深度D，则换能器表面至水底的距离(水深)H为：

$$H = \frac{1}{2}Ct + D$$



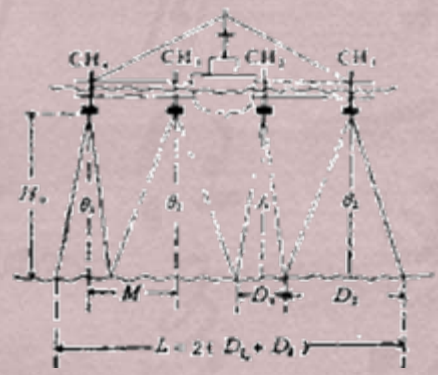


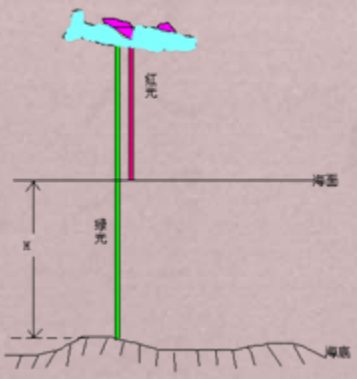
回声测深原理图

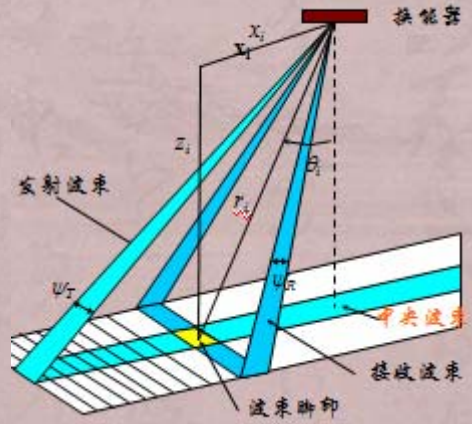
（2）测深系统

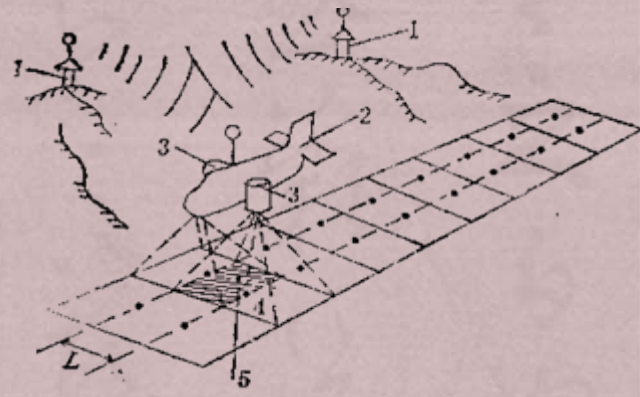
- 单波束测深系统
- 四波束扫海测深仪。
- 多波束测深系统
- 高分辨率测深侧扫声纳
- 水下机器人
- 激光测深











(3) 测深数据处理

为了求得实际正确的水深而对回声测深仪实测的深度数据施加的改正数称为回声测深仪总改正数。

回声测深仪总改正数的求取方法主要有水文资料法和校对法。前者适用于水深大于20米的水深测量，后者适用于小于20米的水深测量。

水文资料法改正包括：

- 吃水改正ΔH_b、
- 转速改正ΔH_n
- 声速改正ΔH_c。

- 声速改正数对总改正数ΔH影响最大

3、水下地形测量

(1) 测线布设

为能够采集到海区内足够的海底地形测量数据，以能够反映海底地形地貌起伏状况，提高发现海底特殊目标的能力以及考虑到测量仪器载体的机动性和测量的效率、费用、安全等因素，在海底地形测量之前需要设计和布设测线。

测线是测量仪器及其载体的探测路线，分为计划测线和实际测线。海底地形测量测线一般布设为直线。海上测线又称测深线。测深线分为主测深线和检查线两大类。

确定测线布设的主要考虑因素是测线间隔和测线方向。

（2）测深线的间隔

测深线的间隔是主要根据对所测海区的需求、海区的水深、底质、地貌起伏的状况，以及测深仪器的覆盖范围而定的。总之，以满足需要又经济为原则。

国内外具体处理方法一般有两种，一种是规定图上主测深线的间隔为10毫米的情况下，根据上述原则确定海区的测图比例尺；另一种是根据上述原则先确定实地上主测深线的间隔，再取其图上相应的间隔，如6、8、10毫米，最后确定测图比例尺。我国采用前者。

（3）测深线方向

测深线方向是测深线布设所要考虑的另一个重要因素，测线方向选取的优劣会直接影响测量仪器的探测质量。选择测深线布设方向的基本原则如下：

- 有利于完善地显示海底地貌。
- 有利于发现航行障碍物。
- 有利于工作。

以上测线布设方向的基本原则大都是针对单波束测深而言的，对多波束测深、侧扫声纳、激光测深和其他扫海系统还要考虑测量载体的机动性、安全性、最小的测量时间等问题，同时参照上述原则，选择最佳的测线方向。

4、水位改正

水位改正是将测得的瞬时深度转化为一定基准上的较为稳定数据的过程，其目的是尽可能消除测深数据中的海洋潮汐影响，将测深数据转化为以当地深度基准面为基准的水深数据。

水位观测过程中采用以“点”带“面”的水位改正方法，水位改正方法主要有单站水位改正法、线性内插法、水位分带法、时差法和参数法等。

(1) 单站水位改正法

为求得不同时刻的水位改正数，一般采用图解法和解析法。

图解法就是绘制水位曲线图，横坐标表示时间，纵坐标表示水位改正数。

解析法就是利用计算机以观测数据为采样点进行多项式内插来求得测量时间段内任意时刻的水位改正数的方法。

(2) 线性内插法

线性内插法的假设前提是两站之间的瞬时海面为直线形态。此法也同样适应三站的情况，其基本数学模型为：

$$Z_x = Z_A + \frac{Z_B - Z_A}{S}$$

（两站水位改正数模）

$$\begin{vmatrix} x - x_A & y - y_A & z_x(t) - z_A(t) \\ x_B - x_A & y_B - y_A & z_B(t) - z_A(t) \\ x_C - x_A & y_C - y_A & z_C(t) - z_A(t) \end{vmatrix} = 0$$

（三站水位改正数模）

(3) 水位分带改正法(分带法)

水位分带改正法分为两站水位分带改正、三站水位分带改正(又称三角分带)。

以两站水位分带改正法为例来介绍。

水位分带的实质就是利用内插法求得不同区的水位改正数，与线性内插法不同，分带所依据的假设条件是两站之间潮波传播均匀，潮高和潮时变化与距离成比例。

✓分带的基本原则：

分带的界线方向与潮波传播方向垂直。

✓分带数：

$$K=\frac{\Delta\zeta}{\delta_z}$$

式中：K为分带数；δz为测深精度；Δζ为两站同时刻最大水位差。

三站水位带改正法(又称三角分带法)分带原则、条件、假设与两站水位分带改正法基本相同，其主要是为了加强潮波传播垂直方向的控制，需采用三站水位分带改正法。

(4) 时差法

时差法水位改正是水位分带改正法的合理改进和补充。其所依赖的假设条件是两验潮站之间的潮波传播均匀，潮高和潮时的变化与其距离成比例。

时差法是运用数字信号处理技术中互相关函数的变化特性，将两个验潮站A、B的水位视作信号，这样研究A、B站的水位曲线问题就转化为研究两信号的波形问题，通过对两信号波形的研究求得两信号之间的时差，进而求得两个验潮站的潮时差，以及待求点相对于验潮站的时差，并通过时间归化，最后求出待求点的水位改正值。

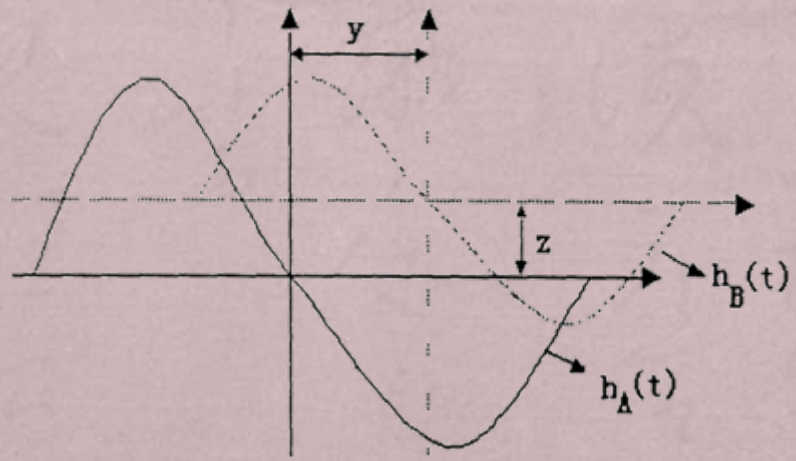
(5) 参数法

参数法直接从潮汐水位曲线的整体变化入手，采用最小二乘拟合逼近技术，不仅求出两验潮站的潮时差，还求出了两验潮站的潮差比和基准面偏差。

基本原理：

$$h_B = x h_A(t+y) + z$$

其中，x为垂直比例系数，表示两站间的潮差比(潮高比)；y为水平延迟系数，表示两站间的潮时差；z为基准面偏差。



5、测深精度

（1）测深等级

依测量精度要求、覆盖率不同、定义了四种测量等级。

一级测量：适用海道测量部门明确规定的重要海区；要求测线间距要小、100％的海底覆盖率。

二级测量：适用于其港口、入口航道、一般的沿岸和内陆航道，限于水深小于l00米的海区使用。

三级测量：适用于水深浅于200米且不被一、二级测量覆盖的海区。

四级测量：四级海道测量适用于水深超过200米且不被一、二、三级海道测量所覆盖的其它所有海区。

（2）影响测深精度的因素

水深精度应理解为改正后水深的精度。水深精度主要受系统误差和随机误差影响。

包括：

① 与声信号传播路径(包括声速剖面)有关的声速误差；

② 测深与定位仪器自身的系统误差；

③ 潮汐测量和模型误差；

④ 船只航向与船摇误差；

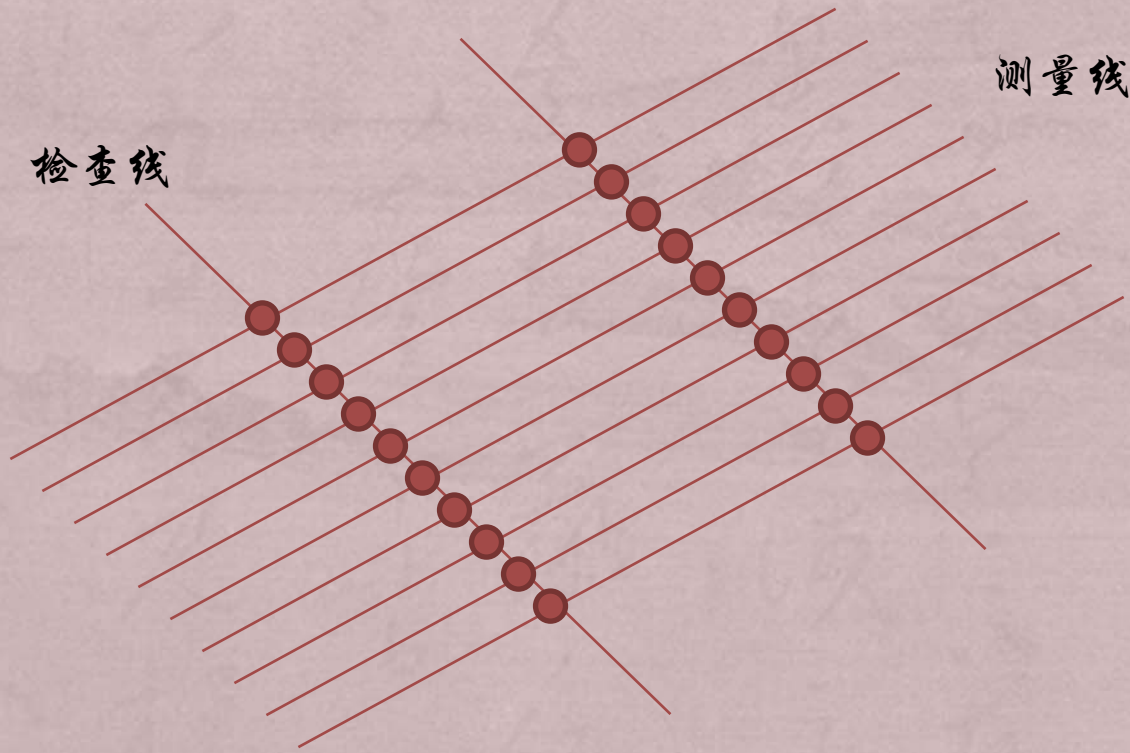
⑤ 由于换能器安装不正确引起的定位误差；

⑥ 船只运动传感器的精度引起的误差，如纵横摇的精度、动态吃水误差；

⑦ 数据处理误差等等。

（3）精度评估

根据交叉点两次测量的不符值统计结果来评价系统水下地形测量的精度。



6、海底地形成图

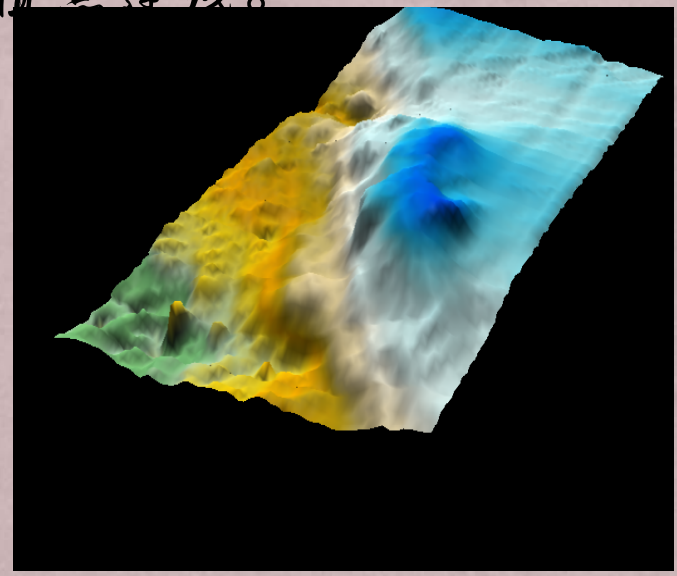
（1）绘制海底地形图

海底地形图的表现形式一般可分为二维等深线图和三维海底地形立体图。自动绘制等深图常用方法主要有两种，一是三角形法，二是网格法。

网格法绘制等深线分为在网格边上求出等值点，追踪等值点和连接并光滑等值点连线。

（2）自动绘制海底地形立体图

海底地形立体图是指海底地形立体透视图。绘制海底地形立体图，通常采用透视变换原理的连续断面法来绘制。



第三部分

海洋垂直基准

大纲解读

大纲：

根据测区已有深度基准面资料情况，确定深度基准面联测和传递方案；

依据潮汐理论和测区潮汐变化情况，分析潮波传播规律；

分析各相关因素对数据采集质量的影响、分析数据处理和数据检查方法对成果质量及判断的影响。

内 容



一．潮汐观测

二．潮汐、潮流分析

三．垂直基准

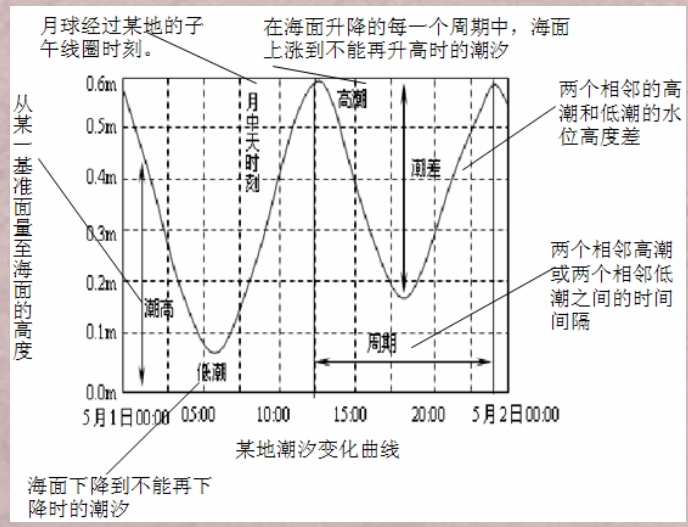
四．基准传递与推估

五．影响成果质量的因素分析

1、潮汐及潮汐观测

（1）潮汐

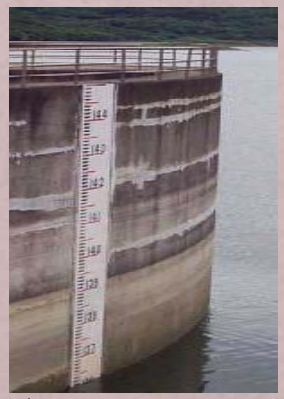
一种海水规律涨落的自然显现。潮汐现象产生的源动力是日月引力，其中月球引力占主要成分。



（2）潮汐观测

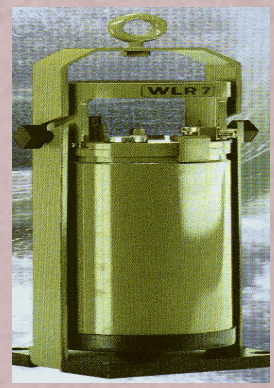
采用如下手段进行潮汐观测：

- ✓ 水尺验潮
- ✓ 井式验潮
- ✓ 超声波验潮
- ✓ 压力式验潮
- ✓ GPS潮位



水尺





(3) 潮汐分类

正规半日潮：一个太阴日（约24小时50分）内，有两次高潮和两次低潮，相邻的高低潮之间的潮差几乎相等，此类潮汐称为正规半日潮。

不正规半日潮：一个太阴日内，也有两次高潮和两次低潮，但相邻的高低潮之间的潮差不等，涨落潮时间也不等，且是变化的。

不正规日潮：一个朔望月内出现的一日一次高潮和一次低潮的日潮类型。

正规日潮：一个朔望月内大多数天是日潮的性质，少数天发生不正规半日潮。

……：……

2、 潮汐、潮流分析

（1）潮汐分析

将潮位变化看作是许多分潮余弦振动之和，根据最小二乘或波谱分析原理由实测数据计算出各分潮平均振幅和迟角的过程，即潮汐调和分析过程。

根据观测时间的长短，一般可将调和分析分为

- ✓ 短期
- ✓ 中期和
- ✓ 长期三类。

方法有：

- 经典：Darwin分析法、Doodson分析法；
- 现代：最小二乘分析法、傅立叶分析法和波谱分析法等。

要将理论潮高满足实际海洋潮汐，则必须经过一些订正。实际海水的涨落总可以表示为一些已知频率的振动及非潮汐因素的扰动之和，则实际潮汐部分的潮高h

$$h_t = S_0 + \sum_i^m (fH)_i \cos(q_i t + G(v_{0i} + u_i) - g_i) + \gamma(t) \qquad (5\text{-}10)$$

- ✓ S_0为长期平均水位高度，
- ✓ f_i为分潮i的交点因子，
- ✓ Hi为分潮i的平均振幅
- ✓ q_i为分潮i的角速率，
- ✓ v_{0i}为分潮i的格林威治零时天文初相角。
- ✓ u_i为分潮i点订正角。
- ✓ g_i为分潮i的区时专用迟角，
- ✓ γ为扰动项。
- ✓ t为时间。

Hi、gi为调和常数，

日潮 $\dfrac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}}>2.0$

半日潮 $\dfrac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}}<0.5$

混合潮 $0.5<\dfrac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}}<2.0$

（2）潮流分析

潮流同潮汐一样，起因于日月引力，可表示为许多分潮流之和的形式。为了分析和预报方便，一般将流速w分解为北分量u和东分量v；流向记为θ。

$$\begin{cases} u = w\cos\theta \\ v = w\sin\theta \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} u = U_i\cos(v_i - \xi_i) = u_i'\cos\sigma_i t + u_i''\sin(\sigma_i t) \\ v = V_i\cos(v_i - \eta_i) = v_i'\cos\sigma_i t + v_i''\sin(\sigma_i t) \end{cases}$$

上式为一个椭圆方程，即由分量u、v矢量的矢端画出的轨迹是一个椭圆。

潮流调和分析同上述潮汐分析一样，即利用上式计算各分潮流的调和常数U_i、ξ_i、V_i、η_i。

根据分析的结果进行潮流预报、潮流性质的分析以及潮流椭圆的绘制。

潮流特点：

- 潮流的速度和方向都有周期性的变化，
- 在近岸和狭窄航道以及海峡，海流大体上分两个方向流动，即往复流；
- 在外海，潮流的速度和方向不断的发生变化，即回转流。
- 以半日为周期的称谓半日潮流，以全日为周期的称为全日潮流；
- 从低潮到高潮的潮流称为涨潮流，反之称为落潮流。
- 潮流可采用潮流图来表示；

潮波特点：

是海洋中以全日或半日为周期的的波动，是海洋中典型的长波。是由于日月引力引起的大洋振动，并向附属海区传播，在在地球自主偏向力的作用下，有的形成

- ✓ 旋转潮波系统；
- ✓ 沿着一个方向传播的潮波称为前进波；
- ✓ 经大陆反射、入射波和反射波相互作用，形成驻波；

潮波特点可利用潮波图，即同潮图，来表示，同潮图是表示一个分潮潮波的潮时、潮差的分布和变化的图。

- ✓ 同时发生高潮的点连接成线，即同潮时线
- ✓ 潮时差相等的点连接成线，即等潮差线

3、垂直基准

（1）海洋垂直基准分类

- **高程基准**

高程基准是陆地高程的起算面，它通常取为某一特定验潮站长期观测水位的平均值——长期平均海面，即定义该面的高程为零，因此具有参考面的意义。

- **深度基准**

海洋测量中常采用深度基准面。

深度基准面是海洋测量中的深度起算面。

不同的国家地区及不同的用途采用不同的深度基准面。

（2）平均海面

➢ 平均海面的定义与算法

平均海面亦称海平面。

某一海域一定时期内海水面的平均位置。是大地测量中的高程起算面，由相应期间逐时潮位观测资料获得，高度一般由当地验潮站零点起算。

$$MSL_n = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} h_i$$

➢ 平均海面的稳定性

由于所取的观测时间长度不可能刚好为各分潮的整周期，因此，平均海面受剩余潮汐成分的影响，而且短期平均海面还包含着长周期分潮的贡献。

另外，非潮汐因素（如气象）在不同的时间长度内表现为不同的性质，在足够长的时间内可视为噪声，而短时间内则表现为信号。这使得不同时间长度的平均海面稳定性不同。

观测时间	1月	3月	半年	1年	2年	5年
平均海面与多年平均海面的最大偏差(cm)	60	40	25	10	8	5

验潮站	威海	乳山口	连云港	营口	秦皇岛	塘沽
所需年数(年)	18	16	17	50	28	118

➢ 国家高程基准

目前，世界各国或地区均以一个或几个验潮站的长期平均海面定义高程基准。

我国采用1954年黄海平均海面基准和1985年黄海高程系

(3) 海图深度基准面

- **海图深度基准面确定的基本原则**

①长期平均海面具有良好的稳定性

②需考虑航道的利用率

- **深度基准面保证率:**

是在一定时间内，高于深度基准面的低潮次数与总次数之比的百分数。

$$\text{海图深度基准面航海保证率}=\frac{\text{高于基准面的低潮次数}}{\text{低潮总次数}}\times 100\%$$

我国航海图采用的深度基准面—理论最低潮面，其保证率为95%左右。

➢ 深度基准面的计算

世界各沿海国家根据海区潮汐性质的不同采用不同的计算模型。这些模型主要有：

① 平均大潮低潮面： $L=H_{M2}+H_{S2}$

② 平均低潮面

③ 平均低低潮面： $H_{M2}+(H_{K1}+H_{O1})\cos 45^\circ$

④ 略最低低潮面： $H_{M2}+H_{S2}+H_{K1}+H_{O1}$

⑤ 观测的最低潮面： $1.2(H_{M2}+H_{S2}+H_{K2})$

理论深度基准面又称理论上可能最低潮面，其计算方法是由弗拉基米尔斯基提出的。由

- ✓ M_2、S_2、N_2、K_2、K_1、O_1、P_1、Q_1这八个分潮叠加计算相对于长期平均海面可能出现的最低水位，
- ✓ 并附加考虑浅海分潮M_4、M_{S4}和M_6
- ✓ 及长周期分潮S_a和S_{Sa}的贡献。

将该潮高表示的最低潮位置作为深度基准面L值，即定义：

$$L = -\min\left[\sum_{i=1}^{8} f_i H_i \cos(\sigma_i t + V_{0i} + u_i - g_i)\right]$$

4、基准传递与推估

（1）短期验潮站平均海面的确定

➢水准联测法

若长期验潮站和短期验潮站的水准点均连接在国家水准网中，或两站水准点间可直接进行水准观测

➢同步改正法

同在短时间内，两验潮站短期平均海面与长期平均海面的距平一致，其依据是两验潮站的水位对气象作用的平均效应及长周期分潮贡献相同，一定时间长度的平均海面已基本消除了主要潮汐成分的作用，所以潮汐性质的不同对传递精度的影响不大。

➢ 线性关系最小二乘拟合法

上面的同步改正法假定两验潮站的平均海面短期距平相等，下面认为两站的平均海面短期距平具有比例关系：

$$\Delta MSL_B = k\Delta MSL_A$$

则有：

$$MSL_{BS} = kMSL_{AS} + MSL_{BL} - kMSL_{AL}$$

令：

$$MSL_{BL} = kMSL_{AL} + C$$

则短期平均海面有如下关系：

$$MSL_{BS} = kMSL_{AS} + C$$

即两站的长期平均海面与短期平均海面有相同的线性关系，常数C的意义是两站水尺零点偏差。

➢ 多站传递推估数据的处理

两个以上同步观测的长期验潮站可以用于平均海面传递，此时可用每个验潮站实现传递获得多组短期验潮站平均海面估计，然后根据短期站与长期站的空间分布或单纯以距离倒数加权得最后结果。

（2）深度基准面传递与推估

海图深度基准面传递的主要方法是潮差比法，因为深度基准面数值等效于最大半潮差，可以假定两站的短期潮差比与两站的理想最大潮差比相等，即有：

$$\frac{R_B}{R_A}=\frac{L_B}{L_A}=r$$

因此，由同步观测时间的潮差比r可以获得短期站深度基准值：

$$L_B=rL_A$$

由短期站的平均海面高度获得深度基准面在水尺零点上的高度：

$$H_{LB}=MSL_B-L_B$$

在有多个已知长期验潮站时通常采用深度基准值的直接内插推估方法，如采用距离倒数加权内插法：

$$L=\sum_{i=1}^{n}\frac{L_i}{S_i}/\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{S_i}$$

或在长期站和短期站调和常数已知时，以略最低潮面值为中介，即按如下方法推估：

$$L=\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{L_i}{(H_{M_2}+H_{S_2}+H_{K_1}+H_{O_1})_i}\right](H_{M_2}+H_{S_2}+H_{K_1}+H_{O_1})$$

（3）平均海面和深度基准面的综合传递

平均海面与深度基准面综合传递法可采用曲线比较法和平均海平面序列与高、低潮序列综合推估法。

曲线比较法是假设长期验潮站利短期验潮站的水位序列分别可表示为$C(i)$、$D(i)$，二者的关系可用数学模型表示为：

$$D(i) = xC(i+y) + z$$

第四部分
成果呈现——海图绘制

大纲解读

根据实际情况，提出提供成果的形式和要求（即需要制定海图编绘的方案或者大纲）；

按照制图原理，结合海图实际确定制图原则（即需要确定海图制图采用的数学基础、分幅编号、制图综合、符号、印色和更新等方面的原则）。

内容

一．海图的内容、形式和类别

二．海图的数学基础

三．海图坐标系及分幅

四．海图符号及要素表示

五．制图综合

六．海图制作与生产

海图是海洋调查研究的成果，同时又是服务于海洋开发利用的工具。海图是地图中的一个门类，区别于其它地图的三个基本特点是：

- 有特定的数学基础
- 利用特殊的符号系统
- 对制图现象的取舍和概括

海图的内容可归结为六大要素：

- ✓ 海岸
- ✓ 海底地貌
- ✓ 航行障碍物
- ✓ 助航标志
- ✓ 水文
- ✓ 及各种界线

海图的基本功能表现为：

① 海图是海洋区域的空间模型。

② 海图是海洋信息的载体。

③ 海图是海洋信息的传输工具。

④ 海图是海洋分析的依据。

海图主要服务于：

① 航海

② 渔业

③ 海洋工程

④ 国际交往

⑤ 国防事业

⑥ 海图历史研究等。

海图的内容和形式

海图的内容划分为数学要素、图形要素和辅助要素三大类。

数学要素

数学要素是建立海图空间模型的数学基础，是海图内容中非常重要的要素，包括海图投影及与之有关的坐标网、基准面、比例尺及大地控制网。

图形要素

海图图形要素是借助专门制定的海图符号系统和注记来表达的。

辅助要素

辅助要素是帮助读者读图和用图的要素。

海图图形要素分为：

① 海域要素

② 陆地要素

海图主要有：

① 纸质海图

② 电子海图

3、海图的类别划分

世界各国对海图的分类虽存在着较大的差异，但其共性主要表现为：

① 分类要有统一的分类标志。

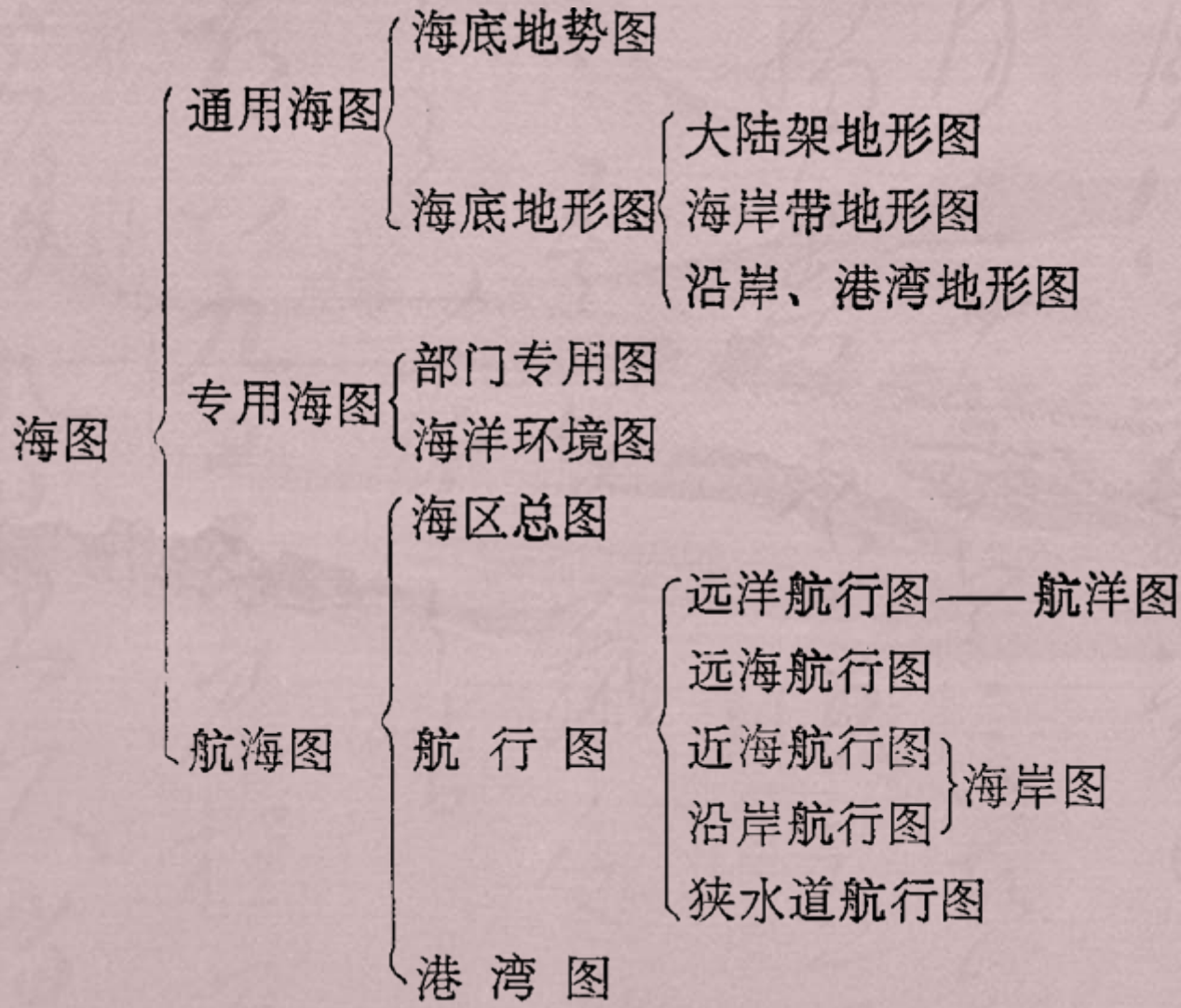
② 分类要由总概念向分概念逐级过渡。

③ 分概念的总和应等于总概念。

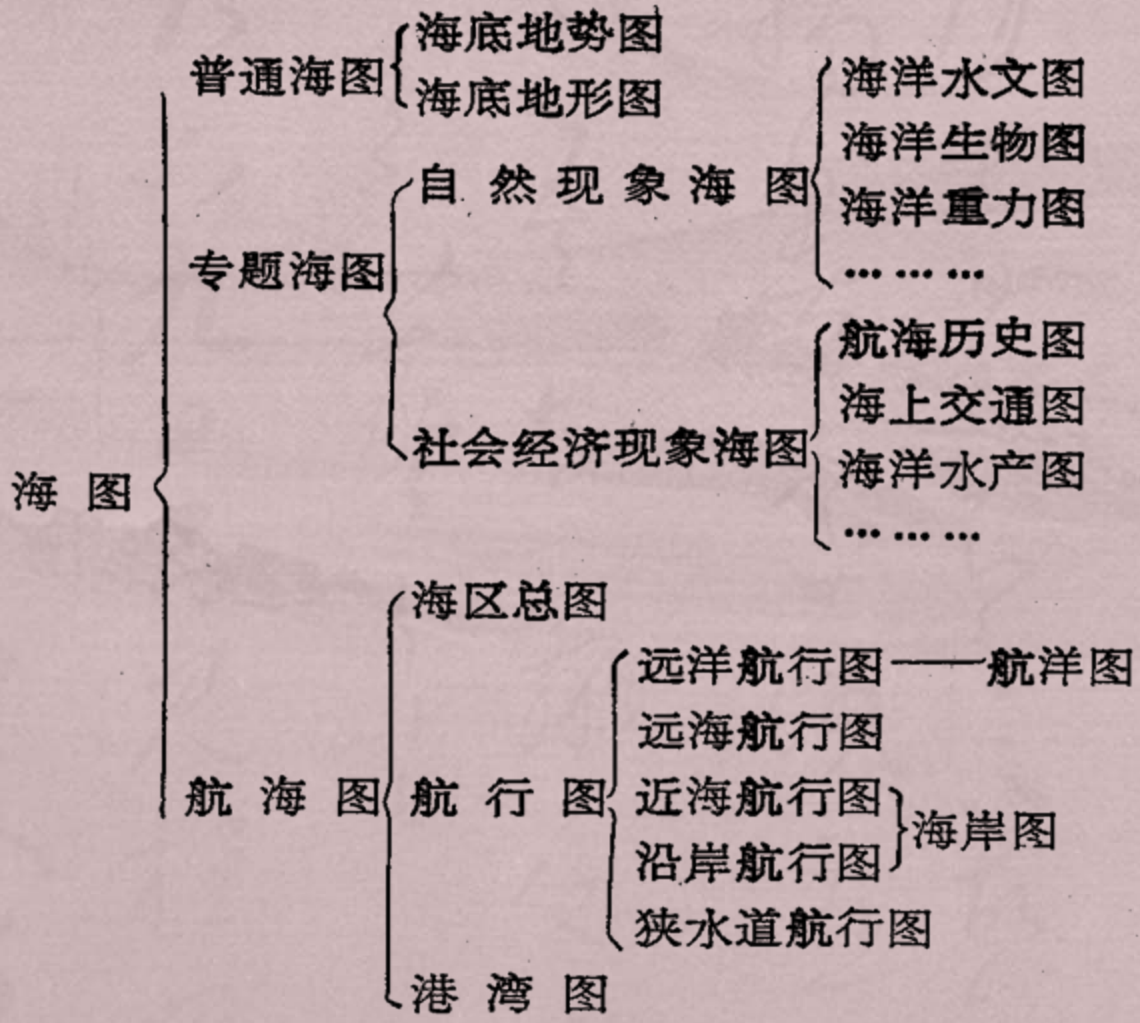
④ 每一分类等级彼此间应能明显区分。

⑤ 分类应考虑到稳定性，可扩展性。

海图按用途分：通用海图、专用海图和航海图三大类。



海图按内容可分为：普通海图、专题海图和航海图三大类。



4、海图的数学基础

（1）海图数学基础

海图数学基础指海图的

- 投影
- 比例尺
- 坐标系统
- 高程系统（基准面）
- 制图网及分幅编号等内容。

海图数学基础中最重要，也是最复杂的问题是海图投影的问题。地图投影的理论完全适用于海图投影，但对于某些海图，由于其特殊用途和使用要求，需采用特定的投影。

（2）地图投影的一般概念

（3）投影的分类

地图投影的种类很多，通常以投影的变形性质、正常位置下经纬线形状或投影面与地球椭球的相关位置不同为标志进行分类。

按变形性质分类：

- ✓ 等角投影
- ✓ 任意投影
- ✓ 等面积投影
- ✓ 任意投影

按正常位置下经纬线形状分类

- ✓ 圆锥投影
- ✓ 圆柱投影
- ✓ 方位投影

按照辅助面与地球椭球位置的不同，分为：

- ✓ 正轴、横轴、斜轴圆锥投影，
- ✓ 圆柱投影
- ✓ 正横斜方位投影

上述情况按照变形均分为等角、等面积和等距离投影。

有些投影不设某种几何辅助面，而设一些假定的条件，如：

- ✓ 伪圆锥投影
- ✓ 伪圆柱投影
- ✓ 伪方位投影
- ✓ 多圆锥投影等。

(4) 投影的选择

投影选择的一般原则是：

① 充分考虑各种投影的变形特征，所选择投影的变形要尽可能小，并符合地图的用途；

② 单幅图选择投影时，要考虑与之配合使用的图的投影尽可能一致。

③ 在保证上述要求的前提下，尽可能选择经纬网图形简单的投影，以便计算、展绘、作业和使用。

④ 新编图的投影与基本资料图的投影尽可能一致或接近，以便作业、投影转换和保证成图精度。

海图通常选择：

① 墨卡托投影

② 高斯—克吕格投影

③ 日晷投影

根据上述原则，给出各种海图的投影选择。

- 航海图的投影选择

船舶航行时通常保持分段等角航行，因此，航海图的投影必须是等角的，墨卡托投影（等角正圆柱投影）是国际海道测量组织IHO要求的海图投影。

普通海图的投影选择

普通海图包括海底地势图（海区形势图）和海底地形图。

海底地势图

此类图一般比例尺较小，包含的地理区域较大。为便于指挥联络，海底地势图与航海图采用统一的投影是合适的。同时，考虑到地势图对投影的变形要求不高，因此，各国出版的海底地势图，绝大多数采用墨卡托投影。

海底地形图

此类图比例尺相对较大，要求有较高的量测精度。这类图可供选择的投影较多，各个国家常常根据本国的地图位置、区域形状、投影使用习惯，以及与陆地地形图协调一致等来选择投影。

专题海图的投影选择

专题海图的内容很广泛，表示方法也很多。综合各国经验，与航海有关的各种专题海图，即航海参考图，应采用墨卡托投影编制。各种非航海用的专题海图，如只作为参考用，对限制投影变形没有特定要求时，也应尽可能采用墨卡托投影。

从目前出版的多数海图集来看，其主要投影仍然还是墨卡托投影。大致有下列情形：

- 航海图集或航海参考图集。这类海图集均采用墨卡托，投影。
- 各种专题海图集和综合性海图集。它们虽然不是航海图集，或者主要不是供航海参考用，但其中的大部分图集或图集中的大部分图幅均采用墨卡托投影。
- 某些图集中的部分序图，如世界海洋图、大洋图等小比例尺形势图，可采用习惯的其它常用投影，如伪圆柱投影、多圆锥投影等。

(5) 墨卡托投影

墨卡托投影是等角正圆柱投影，具有如下特点：

①经线为一组垂直的等距离平行线，两线间隔与相应的经差值成正比；

②纬线为一组水平的等距离平行线，与经线正交，两相邻纬线间距不等，右赤道到两极逐渐伸长，极地处无穷大；

③圆柱面与地球面相切（相割）处的纬线称为“基准纬线”，其变形为零，无角度变形，投影点处的长度比在任何点处相等。

④不同纬度上的点产生的长度比不同，长度和面积变形与纬度有关，与经度无关；

⑤等角航向为直线。

5、 海图坐标系及分幅编号

(1) 海图坐标系

确定坐标系包括两个方面的内容：

① 确定把大地水准面上的测量成果化算到椭球面上计算工作中所用的椭球的大小；

② 确定椭球体与大地体的相关位置，这项工作称为椭球体的定向。

我国目前采用1954北京坐标系和1980年坐标系。

（2）海图的分幅和编号

海图分幅是海图编制的第一道工序，是海图编辑设计的重要环节。海图分幅质量的优劣，直接影响海图的使用价值。海图的分幅一共有：

① 挂图的分幅

② 海底地形图的分幅

③ 航海图的分幅

① 挂图的分幅

常用于编制海底地势图、形势图、辖区图和战区图等，。遵循以下原则：

- ✓ 一般采用墨卡托投影。采用区域中纬为整套图的基准纬线。
- ✓ 图幅数不宜过多，图积不宜过大。考虑悬挂的可能性。
- ✓ 要保持区域的完整性。
- ✓ 在充分考虑全图使用价值的前提下，尽可能照顾到其中单幅图的独立使用价值，或其中某几幅相邻图构成的新挂图的使用价值。

② 海底地形图的分幅

- ✓ 海底地形图的分幅是陆地地形图分幅在海洋中的延伸。
- ✓ 我国和世界上许多国家都按世界地图织组确定的国际百万分一的分幅原则对陆地地形图进行分幅。
- ✓ 有的国家海底地形图的分幅与相同比例尺的陆地地形图完全一致。其优点是陆海地形图成为一个系列，便于编制、保管，也便于海岸带开发时拼接使用。
- ✓ 其基本形式是同比例尺成套出版分幅时从海岸线向外海延伸，在保证海岸线完整的前提下，陆地面积尽可能小，海洋区域为图幅的主体。

③ 航海图的分幅

航海图分幅要遵循的原则为：

- ✓ 保持海岸线、航线和区域的完整性；
- ✓ 航行目标应包含在相应的航海图上；
- ✓ 遇复杂地形和障碍物时，不可通航水域不占过大的图面；
- ✓ 可通航水域不应被复杂地形、障碍物及图廓线封堵；
- ✓ 孤立的、危险性大的碍航物，应置于较大比例尺的图幅内，不应置于同比例尺成套图的叠幅处；
- ✓ 同比例尺系列成套航行图的邻幅之间要有叠幅，且叠幅不应处于复杂海区，叠幅处要有足够的航行目标；
- ✓ 尽量减少图幅数量。

6、海图符号及要素表示

（1）海图符号的概念及分类

海图把海域及沿海陆地的各种信息依靠海图符号表达给用户，海图符号是海图作为信息传递工具所不可缺少的媒介。具有：

① 能对客观事物进行不同程度的抽象、概括和简化。

② 赋予海图极大的表现能力。

③ 提高海图的应用效果。

按分布范围，海图符号可分为：

① 点状符号

② 线状符号

③ 面状符号

按符号的尺寸与海图比例尺的关系，海图符号可分为：

① 依比例尺符号

② 半依比例尺符号

③ 不依比例尺符号

（2）海图图式

世界各国航海图的生产都对海图符号有统一的的规定，即《海图图式》，它包含了绘制航海图的全部符号和缩写，也是绘制其它海图的基本符号。

（3）海底地貌的表示方法

海底地貌表示法亦称海底地形表示法。常用的方法有：

①符号法

②深度注记法

③等深线法

④明暗等深线法

⑤分层设色法

⑥晕渲法和晕滃法

⑦晕滃法

⑧写景法

（4）专题要素的表示方法

专题海图上表示的专题要素方法主要有：

①个体符号法

②线状符号法

③质地法

④等值线法

⑤范围法

⑥点值法

⑦定点图表法

⑧分区统计图表法

⑨分级统计图法

⑩动线法

（5）海图注记

海图注记系指海图上的各种文字和数字。其主要功能是沟通制图工作者和用图者，实现信息传输。海图注记以文字和数字来表达。

文字注记可分

- ✓地名注记
- ✓专门地物注记
- ✓说明注记
- ✓及其它注记。

数字注记则主要包括

- ✓图廓的经纬度注记、
- ✓各种高度的注记及
- ✓各种编号注记等。

7、制图综合

海图内容的压缩、化简和图形关系处理的制图技术，称为制图综合。

任务是在海图用途比例尺、制图资料和制图区域地理特点等条件下，按照特定的原则和方法解决海图内容的详细性与清晰性、几何精确性与地理适应性的对立统一问题，实现海图符号和图形的有效建立。

（1）内容的选取

根据海图的用途、比例尺和区域特点，选取主要的要素，舍弃次要的要素，即确定要素的

- ✓ 数量指标
- ✓ 质量指标。

确定数量和质量指标的方法，主要有

- ✓ 资格法、
- ✓ 定额法及
- ✓ 平方根定律法等。

（2）形状的化简

主要用于呈线状与面状分布的要素以及表示地貌的等高线（等深线）等。形状简化的主要方法有

- ✓ 删除、
- ✓ 合并和
- ✓ 夸大。

（3）数量特征的概括

是制图物体的数量特征在图上的显示趋向概略，数量特征概括的具体方法有

- ✓ 分级合并、
- ✓ 取消低等级别和
- ✓ 用概括数字代替精确数字三类。

（4）质量特征的概括

质量特征是指决定制图物体性质的所有特征。质量特征在图上的显示，同数量特征一样，受海图用途和比例尺的限制，随着比例尺的缩小，质量特征在图上的显示趋于概略和简单，这种方法即称为质量特征的概括。

（5）制图物体的移位

通过移位来突出反映制图物体的主要特征，解决由于比例尺缩小而出现的地理适应性问题。通常有两种情况：

- ✓ 制图物体形状概括产生的移位
- ✓ 处理相邻物体间的关系所产生的移位

8、海图生产

海图的生产过程指根据海洋测量和调查获取的海洋地理信息以及其它资料编制成海图出版原图，并复制成若干份成品的整个过程。分为：

1. 海图的编辑设计
2. 海图编绘
3. 海图的复制出版

（1）海图的编辑设计

是海图编绘前的编辑工作。

包括：

① 确定图的性质、特点和制图范围；

② 确定数学基础及精度要求；

③ 确定海图分幅、图面配置；

④ 广泛搜集、分析、评价资料，确定资料使用程度和方法；

⑤ 确定表示内容，制订表示方法，确定选取指标和概括原则；

⑥ 制订图例符号，确定制图工艺和程序；

⑦ 制订作业计划和组织实施；

⑧ 编写指导海图编绘和印刷前准备工作的技术设计书.

（2）海图编绘

是制作海图和出版原图的过程。按照海图编绘规范、编图大纲和编图计划等编辑设计文件规定进行编图作业，是整个海图生产过程中的核心环节。一般包括下列工作：

① 展绘数学基础；

② 资料加工处理；

③ 各要素按综合原则、方法和指标进行内容取舍和图形概括，并按规定的图例符号和色彩进行编绘；

④ 处理各种图面问题，包括资料拼接，与邻图接边、接幅，图面配置等。

编辑方法有：

① 编稿法

② 连编带绘（刻）法

③ 计算机辅助编绘法

（3）海图的复制出版

多数海图复制一般由专门的印刷厂印刷，不是海图编制部门的任务，不作为海图成图的一个阶段。

海图印刷阶段包括：

- ✓ 印刷工艺方案的制订，
- ✓ 印刷原图的复照、翻版、分涂和修版、晒制印刷版

以上称制版，

- ✓ 打印清样、
- ✓ 上车胶印，
- ✓ 成品检验等工序。

全称海图制版印刷，简称海图制印。

谢谢各位

武汉大学测绘学院