

水下工程测量

[英] P.H 米尔恩 著

海洋出版社



译 序

随着近海工程的飞跃发展,水下工程测量应运而生。与陆地相比,海洋深处环境恶劣,黑暗、寒冷、高压、腐蚀,不能直接把陆上工程测量的装备简单地移植到水下。现代水下工程测量工作有独特的方法和设备。自北海油田开发以来,英国的水下工程测量有很大发展,在世界上处于先进地位。作者P.H.米尔恩博士是大学教授,长期从事水下工程测量科研工作,有丰富的经验。本书较全面地介绍了水道测量、海底测量、照像和电视、各种运载器及接近海底结构物的方法、水下检查及维修和水下定位、导航,可供工程技术人员参考。

除陈德源译第一、二章外,均由肖士砾翻译。由李允武校。

李允武

一九八五年四月



4015010

序

在1964年我到格拉斯哥市斯特拉斯克赖德大学土木工程系就职的两星期内,我乘“斯特拉斯克赖德”号调查船沿苏格兰西海岸作了水道测量。后来在苏格兰沿海进行的海底取样调查证明,现场观察海底有很大好处,于是我从1966年开始潜水,1967年成为水下技术协会的创始人之一。那时,海底调查用的水下设备还非常简陋,1970年至1972年从科学院(S.R.C.)得到的研究基金很少,本书第六章所提到的曾成功地用于1972年设德兰海盗考察的MKI型平台和照准仪样机就是当时研制的。

斯特拉斯克赖德大学随后为近海工业所作的深海航行和测量的研究从1976年起也是科学院资助的,出自MASS计划(水下维修活动)的海洋技术基金。

我很高兴书局约我撰写这本参考书,供观测员、潜水员、近海工程人员以及其他参加水下调查的工程师,特别是从事近岸和近海结构的水下检查与维修的工程师用。本书尽量提供了参考用科学出版物,以供欲了解详情的读者查阅。惠赠报告、图和照片助作者成书的研究工作者、近海工程人员和设备制造人员不胜枚举。很多材料都是从访问、通信或水下调查工作中的私人接触中得到的。

作者感谢勃威桑德堡水下中心巴克斯少校对水下考古调查的指导、提供验收NDT设备的机会和对本书构思提出意见。感谢水下仪器公司的米尔斯的协助,并租给特殊设备。作者还感谢培斯黎的里德·凯尔学院的格兰特对研究工作中多次潜水活动给予的协助。

作者深深感激斯特拉斯克赖德大学土木工程系巴尔教授对作者出版研究成果的不断帮助和鼓励,并批准在水力学、水文学和海岸动力学实验室建立潜水试验水池。作者对在MASS计划中协助进行实验室工作和潜水试验的威廉和史密斯以及土木工程系的所有技术人员表示谢意。

作者对尊敬的《大洋水域》,《国际航海考古学》,《近海勤务》,《水下》和《水下系统设计》等杂志的编辑致谢,感谢他们惠允重版作者在他们杂志所发表的部分文章、图和照片。

最后,我衷心感谢我的妻子海仑为全稿打字,没有她全心全意地鼓励和支持,不可能完成这本书。我还感谢斯特拉斯克赖德大学机械工程、土木工程和化学工程制图室的辛普逊小姐为本书绘制插图,纳尔逊夫人代为作图,孟盖尔夫人代制照片。

P.H. 米尔恩

1979年5月

目 录

第一章 引言	(1)
参考文献	(5)
第二章 近海无线电定位系统	(6)
2.1 导航系统	(6)
2.2 勘探与水道测量	(12)
2.3 精确测量	(18)
参考文献	(24)
第三章 水下导航系统	(25)
3.1 航迹推算法的导航系统	(25)
3.2 水下声学导航系统	(27)
3.3 声学知识	(46)
3.4 精确度	(50)
参考文献	(53)
第四章 水道测量	(55)
4.1 引言	(55)
4.2 计划和准备	(57)
4.3 测深	(58)
4.4 测扫声呐	(61)
4.5 应用海洋学	(72)
4.6 数据处理	(76)
4.7 自动化测量	(76)
4.8 航空摄影	(86)
参考文献	(86)
第五章 海底测量	(90)
5.1 前言	(90)
5.2 海洋地震测量	(92)
5.3 海洋磁测量	(102)
5.4 重力测量	(107)
5.5 海底采样	(109)
参考文献	(111)
第六章 现场的基本水下测量	(113)
6.1 带尺测量	(113)
6.2 水下栅网	(115)

6.3	海底标桩	(117)
6.4	水准仪	(118)
6.5	三边测量装置	(119)
6.6	水下经纬仪	(120)
6.7	水下平板仪及照准仪	(120)
6.8	水下激光器	(130)
	参考文献	(131)
第七章	水下摄影与电视	(134)
7.1	水下摄影中的问题	(134)
7.2	静止摄影	(135)
7.3	摄影测量	(141)
7.4	电影	(144)
7.5	闭路电视	(145)
	参考文献	(155)
第八章	水下作业装置	(157)
8.1	空气潜水装置	(157)
8.2	缓冲潜水装置	(158)
8.3	饱和潜水装置	(158)
8.4	湿式载人潜水器	(158)
8.5	载人潜水器	(159)
8.6	可出舱潜水的载人潜水器	(160)
8.7	系绳的单人常压潜水服	(162)
8.8	系绳的潜水观察船	(163)
8.9	系绳无人潜水器	(165)
8.10	无人拖曳运载器	(177)
8.11	系绳海底运载器	(179)
8.12	水下工作能力的评价	(181)
	参考文献	(183)
第九章	实用水下测量	(185)
9.1	西索尔的海底管道测量	(185)
9.2	海底垃圾测量	(186)
9.3	考各纳克平台的安装	(188)
9.4	科尔莫兰特管道联接的测量	(190)
9.5	弗立格天然气管道联接	(191)
9.6	布伦特油田的 SPAR 断面测量	(193)
9.7	希泽尔平台腿的修理	(194)
	参考文献	(197)
第十章	水下检查和维修	(199)
10.1	水下设备的检查	(199)

10.2	检查管理	(200)
10.3	检查计划	(201)
10.4	使用中检查的类型	(202)
10.5	检查规划	(202)
10.6	检查用的手段、方法与设备	(203)
10.7	检查的执行	(207)
10.8	钢质平台的检查	(208)
10.9	混凝土平台的检查	(219)
10.10	海底管道的检查	(221)
10.11	水下检查的发展趋势	(224)
	参考文献	(225)

第一章 引 言

随着世界陆上不可再生自然资源蕴藏日益减少，人们对海底的兴趣与日俱增，经济地开发海底界面以上和以下的矿藏的需要使近海勘探工作在最近大大发展。在盛产油气的墨西哥湾和北海两个海域发展最快。从浅海开采的矿产还有沙、砾石、煤、金、铁矿、钻石、锰和镍。近海活动的突飞猛进对水下工程师提出了更多的设计、制造大型海底结构物的要求，设计基础的一个重要依据就是海底地质学和地层的资料。

虽然自从库克和达尔文那个时代就作了零星的海底调查，但是首次探查世界大洋底的海洋调查还是十九世纪七十年代英国的“挑战者”号进行的。后来有多次调查，本世纪五十年代又作了第二次“挑战者”号调查，除了如前测深和取样外，还进行地震调查，以探测海底以下岩石的结构。

观察世界海洋图的海底深度可以发现大部分大陆都以浅水台地，称为大陆架。非洲西岸宽度几乎为零，而在墨西哥湾则从路易斯安那州和得克萨斯州海岸线延伸出去1500公里。就是这个占陆地面积大约18%的大陆架海域，吸引了大部分近海勘探的注意力。

自从五十年代开始地震调查以来，已发明了很多种探测海深的地球物理勘探的新技术。甚至到了六十年代开发北海南部近海气田时对海底分层结构的了解还是非常肤浅的。而到了七十年代，近海石油公司开始认识到在建设任何近海工程以前，不管是平台的设置、油管的铺设或半潜式平台的锚定，调查海底界面以上和以下的情况都是非常重要的。一般这种调查的费用低于海底塌陷或井喷所造成的损失。

所有准备建造固定平台的地方都需要进行高精密度调查，以保证该处海底平坦，能使平台稳定，水下基础适于建造重达350 000吨的结构(图1.1和图1.2)。在北海，不止一次地发生这种情况，工程技术人员在最后一分钟才发现现场不合预想，由于观测资料一开始就不充分，不得不清除现场的泥砾，类似情况在建造基斯沙洲灯塔过程中就发生过 (Antonakis 1972)。这些情况表明，不仅需要精确的水下观测，而且需要良好的水下定位和导航技术。

海底管道和电缆也需要精密的水下观测。在对管道的几条可能的路线进行初步研究之后，应进行密切相关的海底深度和侧扫声呐观测，以了解地理位置。路线一旦选定，就应该作地理观测，了解海底地层的性质，以确定海底沉积对铺设管道的适应性。这类观测的另一用处，是为施工中驳船锚泊选择适当的海底。工程结束后，每年要用侧扫声呐和海底浅层剖面仪观测，以校核掩埋的深度。

上面列举的两个方面是永久设施，即使对于移动自升式钻机或半潜式平台的临时定位，水下观测也可以防止因选择不稳固的沉积层而出事故。海底重返井口和潜水器，也需要精密的水下观测；例如，1966年1月，在西班牙海岸附近的帕洛玛雷斯寻找失落在海上的原子弹，就进行了详细的水下观测 (Smith, 1967)。

目前已有大量先进的装备和技术，用途越来越广，可供水下测量人员选用。海底可在已知精确位置的船上用测深仪、声波发生器、轰鸣器、火花声源、磁力仪以及侧扫声呐测量。

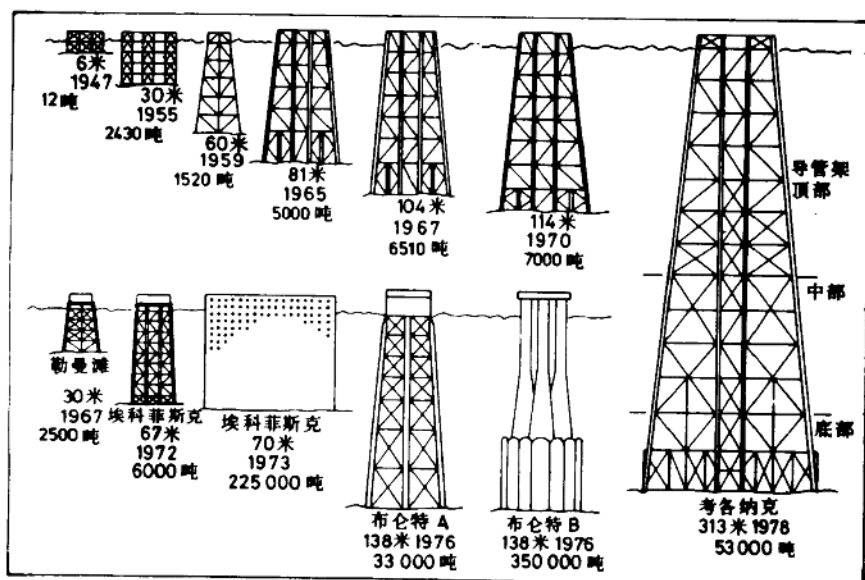


图1.1 上图：30年来墨西哥湾平台的发展 下图：10年来北海平台的发展

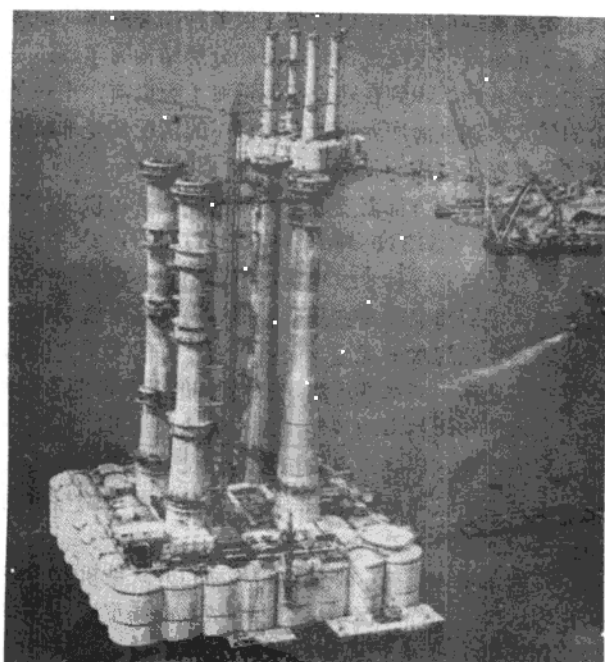


图1.2 前方为壳牌石油公司的科尔莫兰特油田A平台 (346500吨), 后方为布伦特C平台 (298 000吨), 在英国克莱德河口湾的阿尔戴恩平台正在建造中

除了海面工作外，还要直接取海底沉积物样品，以及由潜水员和潜水器（图1.3）用电视、照相机、电影机观察。水下观察需要精密的数据记录控制设备，以确保水下导航的准确性，不仅在水下建设和预先观测中需要，而且在相当长的时间内，对水下建筑物的检查和维修也同样需要。

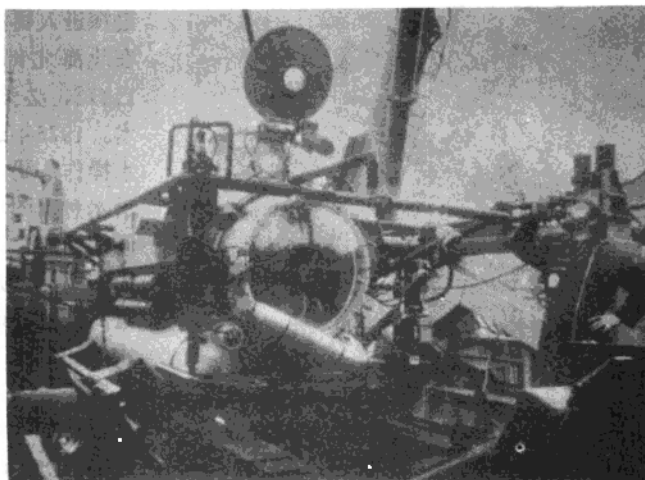


图1.3 PC-1204潜水器在北海供水下观测和检查

直到1975年8月，英国水域的水下检查还是在业主主持下进行的，一般只在出毛病的地方做修补工作，而不是防护。1975年8月29日，发生了供应船同AUK-A平台相碰的事故。

然而，自1975年8月31日起，英国水域的常规观测要按1974年近海设施建筑和测量管理法执行（S . I . No.289）。管理法规定，没有合格执照，就不能在英国水域建筑和维修平台。在下列六个授权机构办理执照：英国劳埃德船级协会、挪威船检局、美国船舶局、法国船检局、联邦德国劳埃德船级协会和英国近海工程验证局。前五个是船级协会，第六个机构是英国土木工程师联合协商的合格执照颁发单位。在上述名单中，挪威船检局是唯一训练自己的工程师潜水取代潜水承包商担任检查工作的。

为了符合管理法，大检查间隔不超过5年，另外，每年检查一次以发现损坏，它可做为连续检查的一部分。这样，每年建筑物的检查记录保持在20%左右，5年组成大检查。怀疑建筑物损坏时，必须报告能源部和船检局（Street, 1977a, b），并须增加检查。执照的有效期限决定于平台满足预期目的的期限。

英国能源部指南（1977）规定首次或以后的大检查包括：

- （1）建筑物水上和水下部分全部作外观检查；
- （2）焊接部位和有记载的修理部位作详细外观检查；
- （3）检查者认为必要时作接近检查；
- （4）对损伤疑点的附加检查要求；
- （5）海底高程检查，特别对冲刷情况检查；
- （6）阴极保护电位的测量与检查。

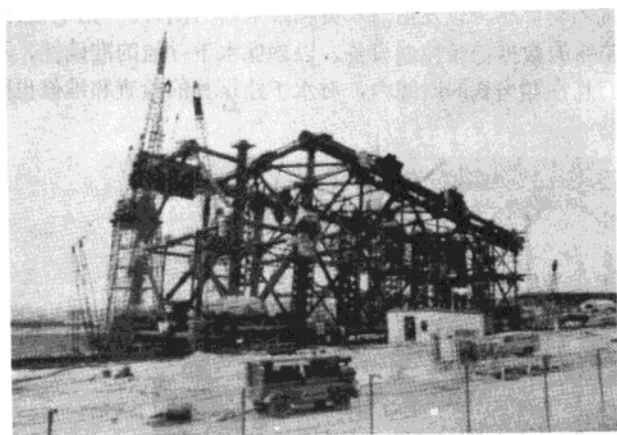
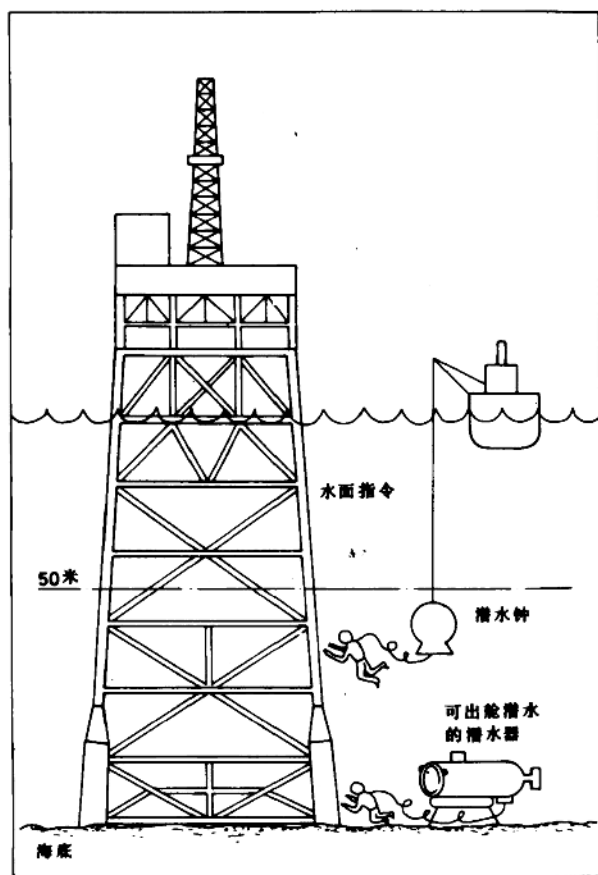


图1.4 1974年6月英国石油公司福梯斯油田平台，由高原制造公司在尼格湾造船厂建造



诸如港口、防波堤和北海南部的天然气平台等浅海建筑物，一般工作水深在50米以内，可使用水面指令潜水员。但是，勘探进入更深水域时〔例如，在北海北部的石油平台（图1.4）〕，必须研究新的潜水技术。1975年近海设施规范（潜水操作）要求在50米以深使用潜水钟（图1.5）。随着减压时间的增加，饱和潜水已成为必需的手段。为了克服减压问题，近海工业界研制出各种大气潜水服和供水下观察检查用的载人和不载人潜水器。复杂的支持设备如“约翰叔父”号（图1.6）已设计出来辅助这项工作。

本书试图为近海水下工作者——不管他是观测人员、潜水员，还是工程师——介绍岸边和近海建筑物的设计、建造和水下检查和维护等多方面所需的水下测量工作。

图1.5 潜水员水下测量和检查示意图。50米以浅可用水面指令潜水，50米以深必须用潜水钟，或者可出舱潜水的潜水器

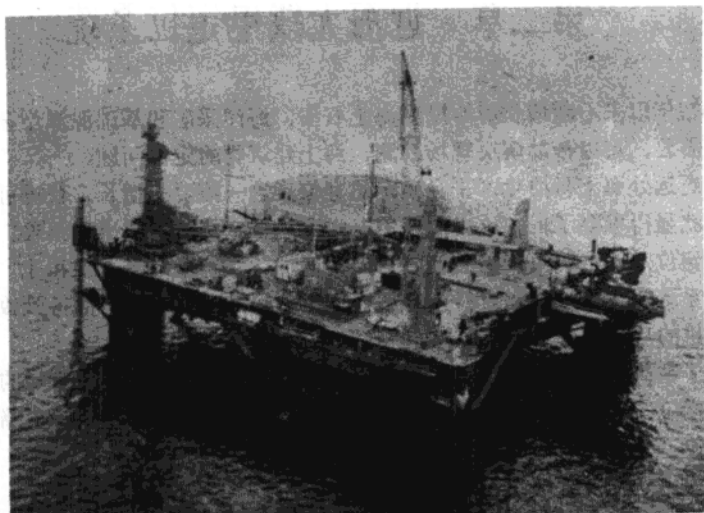


图1.6 半潜式辅助平台“约翰叔父”号正为壳牌石油公司工作

参 考 文 献

- Antonakis, C. J. (1972). 'A problem of designing and building for a structure at sea'. *Proc. Inst. Civil Eng.* **52** (1), 95-126.
- Department of Energy (1977). *Offshore Installations: Guidance on Design and Construction*. H.M.S.O., London.
- Goodfellow, R. (1977). *Underwater Engineering*. Petroleum Publishing Company, Tulsa.
- Milne, P. H. (1978). 'Underwater Inspection of Offshore Structures'. *Proc. Royal Society of Edinburgh* **76B**, 181-91.
- Smith, R. J. (1967). Graphic accounting of Spanish recovery operations. *Proc. Conf. Civil Engineering in the Oceans, ASCE*, San Francisco, California, 6-8 September, pp. 891-926.
- Street, R. (1977a). 'Department of Energy Requirements for the Inspection and Maintenance of Steel Offshore Structures for Oil and Gas'. *Proc. Soc. Underwater Technol. Conf. Underwater Maintenance of Steel Platforms*, London, pp. 3-6.
- Street, R. (1977b). 'Legislation and Maintenance: Present Acts and their Implications'. *Proc. R & M 77 Conf. Planning for the Future - Day 2 - Below Water Line Aspects*, Brighton, pp. 71-6.

第二章 近海无线电定位系统

自从1975年以来不断增长着的探测海上石油、海洋采矿和基础海洋学研究已有了对电子定位系统的需要,用以帮助解决现场勘测、海上建筑物的定位问题。

随着给更远处海上石油生产平台确定适宜位置这一需要的增长,获得可重复性精度以确定地理坐标就显得重要了。在过去,使用老式无线电定位装置常出现困难。这一问题通常是用增加大量定位装置来解决,因而使成本大大增加。尽管增多了装置和生产者,一些操作员还感到定位系统的可重复性和对昼夜的适应性还不够好。然而有可能得到改进和最值得注意的是微处理机的应用。

即使有了精确的水面导航,还是不可能确定水下装备、运载器或管道的相对位置。水下导航需要声学定位装置(下章再讨论)。而应用这样的水下声学导航系统也需要用无线电基准系统预先定位。

近海无线电定位系统按用途可以简便地分成三类(Powell, 1973):

- (1) 导航: 包括卫星和岸用的双曲线点阵。
- (2) 勘探和水道测量: 基本上是双曲线的,但也可采用“环形”工作。
- (3) 精密测量: 由海岸站操作的高精度的距离测量系统。

2.1 导航系统

2.1.1 卫星导航系统

像美国海军导航卫星(NNSS)[以前人们熟知的名字是“Transit”]之类的卫星导航系统自从1967年以来已投入商业应用。虽然最初意图是为舰船导航,而如今已在近海地球物理勘探、工程场址勘测、电缆铺设、深海采矿和海洋学研究等方面起更大作用。当Navstar卫星定位系统在1980年投入使用之后,所涉及的范围还可望增加。

NNSS系统由高度在700到1100公里之间的按极间轨道运行的6个卫星组成,卫星轨道彼此间在经度上互差 60° 。每个卫星连续地发送399 968兆赫超高频波段和149 988兆赫甚高频波段(如表2.1所示)的两种频率信号,如表2.1所示。每一卫星的轨道信息发送时间为2分钟,因而可以使用船载的接收机每2分钟确定一次卫星的位置(图2.1)。一般来讲,多数的测量接收机在这2分钟内每30秒钟内插一次卫星位置,这样就提供了更好的接收机的位置计算值。每一可用的卫星可见时间为15—20分钟,给出理论上最大倾角为 40° ,然而实际上只能取 20° — 30° (图2.2)。

卫星定位的信号规定每小时标出一次。尽管如此,由于卫星轨道的变动,两次定位之间可能有2—3小时。因此卫星导航可以最好地总结为:不受气候影响的全球范围的间歇的地理定位系统,一次测量的均方根误差(σ 值)为12—28米(Jarvis, 1977)。定位的精确度决定

表2.1 近海无线电 - 定位系统诸例

分 类	符 号	频 率	波 长	仪 表	工作频率	最大范围	精 确 度	用 途
甚低频	V L F	10—30千赫	30000—10000米	Omega Loran C	10—14千赫 100千赫	8000公里 20000公里	1.5—3公里 70—200米	全球导航 全球导航
低 频	L F	30—300千赫	10000—1000米	Decca Navigator Pulse / 8 Lam bda Raydist Hi-Fix / 6 Sea-Fix Toran Hydrotrac	70—130千赫 100千赫 100千赫 1500—4500千赫 1600—3000千赫 1600—3000千赫 1600—3800千赫 1600—2000千赫 1689—1810千赫 1889—1810千赫 34.3—68.6千赫 300兆赫	500公里 500公里 400—800公里 120—400公里 180—360公里 50公里 50—750公里 400公里 400—740公里 400—740公里 5公里 450公里	±50米 ±50米 10—20米 ±3米 ±1.5米 ±1米 5—15米 ±2米 ±10米 ±1.5米 1/1000 50—100米	导航和水道测量 水道测量 管线和桥梁定位
中 频	M F	300—3000千赫	1000—100米	Argo DM-50 Argo DM-54 Ralog 10 Shoran	150和400兆赫	全球的	±15米	全球导航
高 频	H F	3—30兆赫	100—10米	NNSS (Satellite) Syledis	420—450兆赫	100—200米	2—4米	精密测量
甚高频	V H F	30—300兆赫	10—1.0米	Navstar (Satellite)	1227和 1575吉赫 2.9—3.1吉赫 3吉赫	全球的	±5米	全球导航
超高频	U H F	300—3000兆赫	1.0—0.1米	Autotape DM-40 Tellurometer MRB201 Tellurometer MR D 1 Mini-Ranger III Trisponder Artemis MK III	3吉赫 3吉赫 3吉赫 5.4—5.6吉赫 9吉赫 9.2—9.3吉赫	100公里 50公里 100公里 6.4公里 75公里 30米	±0.5米 ±1.5米 ±1米 ±3米 ±3米 ±1.5米	精密测量
超高频	S H F	3—30吉赫	0.1—0.01米	(S-波段)				

于信号频率和工作距离（如表2.1所示）。频率越高，分辨率也越精细。

如果接收机在固定的时间周期内停在某一地点（比如说停在勘探的钻机上去决定井口的精确位置），这一精度还可提高。由正确高度的天线所接收的单个卫星定位的有效精度为12—28米（RMS值）。假定由每天在15—75度（允许的倾角限度）之间通过的16个卫星定位取一平均值，由贾维斯（1977）给出可能达到的每天精确度如下所示：

天数	定位次数	RMS精确度（米）
1	16	3—7
2	32	2.12—4.95
3	48	1.73—4.04
4	64	1.46—3.50
5	80	1.34—3.13



图2.1 Tracor卫星导航接收机

- (a) 它提供了正确的天线高度的数据。
- (b) 它能重新计算卫星数据（如果天线高度有误差时）。
- (c) 当以正确的天线高度重新计算定位结果时，它减少了一个 σ 值及期望误差值。
- (d) 它改变了最终平均位置界限。

单个三维定位使用两个二维定位，一个向东，一个向西，以得到正确的天线高度。而用二维定位时，重要的是接收等量的东来的、西来的和北来的信号，以确保数据的对称性和消除任何小偏差的出现。

应用卫星导航的静态模式，如今已是海上石油工业中极平常的事了。可在经常调查研究的一个地区建立大陆架的公共测量基准。这样的系统能使所有的定位公司工作在同一基准上，特别是在规定了岸用无线电定位站的绝对地理坐标时。

人们承认许多这样的系统有“可重复性”，但这与相对于共同基准的绝对地理精确度是不

通常近海操作者只对二维卫星坐标感兴趣，即对经度和纬度感兴趣。这种型式的坐标常用于动态环境中，像水道测量船、铺缆船或水力钻井船。为了精确地确定地球坐标，在球体（数学上的地球形状）上的高度是要求的第三个坐标分量。操作员可以测出这第三个分量，方法是测出天线在平均海平面以上的高度，再通过大地水准面地图来确定（Stansell, 1968）。如果天线高度不能准确地知道，除一次定位经度的均方根误差外，还要加上6倍天线高度误差。

三维定位不只计算纬度和经度，还要计算出球体的天线高度。三维定位比二维定位有以下优点：

同的，此基准主要为确定界限和中线用（Hothorn 等人，1978）。如今 NNSS 已在全球范围内供商业应用了，用它检查预先由岸基的双曲线或测距系统定位的近海平台的位置。多数情况下，使用 NNSS 鉴定位置的地方发现有某些矛盾。这归因于三方面：

（1）岸站位置不是使用 NNSS 确定的；

（2）在海上，定标没有如今使用的精确标准；

（3）传播状况和传播系数有难以预测的变化。

所有上述问题如今都已解决，因而精确的地理定位系统可以用在陆上或海上。

平台安装之前，必须进行广泛的水道测量和台址适用性的勘测。许多现代卫星系统的方法可用来帮助动态水文学的和地球物理的勘测。在这里，因为离卫星的斜距是随时间而变的，故必须精确地知道船的速度和航向（图 2.3）。

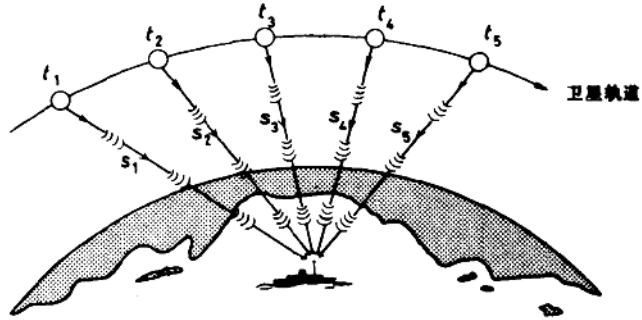


图 2.2 卫星通过的几何图解。时间 t_i 时距离 S_i 的变化使接收到的卫星信号产生多普勒频移，按它计算出定位坐标

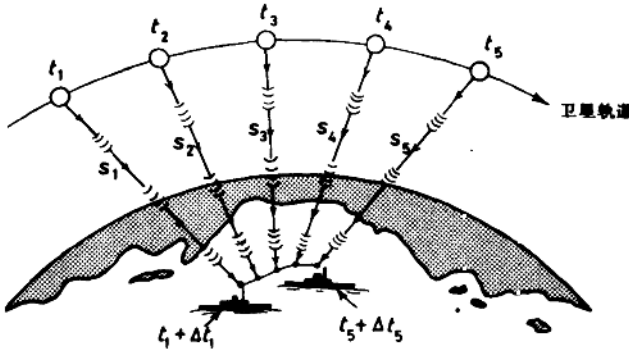


图 2.3 在航行中，必须精确地由被测的在时间 t_i 的斜距 S_i 的变化下，预知船的速度与方向

自从 1975 年以来，NNSS 已成功地与所有大的无线电定位系统结合起来了，并且也和其他导航系统结合了，如声呐、多普勒、声学应答器系统以及惯性导航平台等。因为卫星导航系统一般都配有微计算机或微处理机（Sonnenberg, 1978），它提供了作数据记录和用计算机控制的水下测量的良好基础。以微处理机为基础的实例有马格纳渥克斯公司的

MX 1107 和 MX 1502 卫星测量系统（图 2.4 和图 2.5）以及台卡测量卫星定位系统（Decca, 1978）。

如今 NNSS 或 Transit 系统还需改进，一旦新型的被称为 Discos 卫星工作时，一次定位总误差将会减少到 7—9 米，从而改进了从 Transit 得到的地理的精确度。

卫星导航的 Navstar 全球定位系统不迟于 1985 年就可投入运行（Booda, 1977）。在它开始试验时，Navstar 将有 6 个卫星在准同步的 12 小时环形轨道的单轨道平面中，位于 16 000 公里的高度上工作着。当全部工作时，卫星系统准同步地在三个轨道平面运行，相隔 120 度，倾角 63 度，每条环有八个卫星，即总数为 24 个卫星。由于卫星的数目增加了，这一新的卫星导航系统将能连续地作三维定位。水平和垂直轴向定位精确度分别为 7.6 米和 10.8 米（Sonnenberg,

1978)。Navstar接收机设计成袖珍便携式的。在开动后，用户机器会自动地选中最为适宜于测定的4个卫星，跟踪它们的导航信号，并计算到每一个卫星的近似距离，然后构成4个四元联立方程式，单元是用户位置的三维坐标和时间偏差因子（Cross，1979）。在接收机内的小型计算机随即解这几个方程，得出用户实际的位置和时间，如果用户在动态模式下，还能定出速度（Fried，1977）。

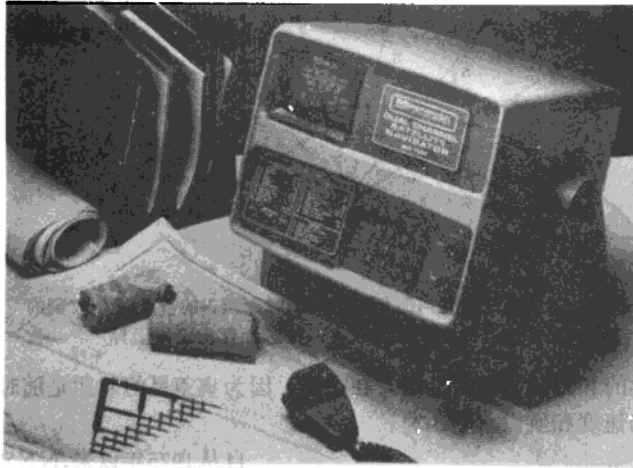


图2.4 马格纳渥克斯公司 MX1107双通道卫星导航仪

2.1.2 双曲线导航系统

双曲线导航系统是因为它画出的定位线是双曲线因而得名的，有别于测量距离和方位的圆形与辐射线系统（将在2.3节中讨论它）。双曲线网络法与测量方位的岸基系统相比，具有将精确度和量程很好地结合起来之优点，而无线电信号只限于供给岸站（Powell，1973）。这一方法，早先用低频，作导航用（如表2.1所示），其代表为欧米伽，劳兰C和台卡导航仪。

船上接收机按测量时间差值（同步信号从一对岸站到达船上的时间差）获得双曲线定位线，而到达两个站的距离差

为一常数的点的轨迹（图2.6）按定义即是双曲线。这种线可预先印在图表上，也可存储进一

应用到：

（a）陆上、海上、空中和空间的导航。

（b）空中拍摄地图。

（c）大地测量。

（d）指挥陆、海、空的作战。

（e）空中和水面的交通管理。

（f）测距仪器。

由于Navstar的精确度高（Smale-Adams和Jackson，1978），近海矿业公司也可望成为它的主要用户。

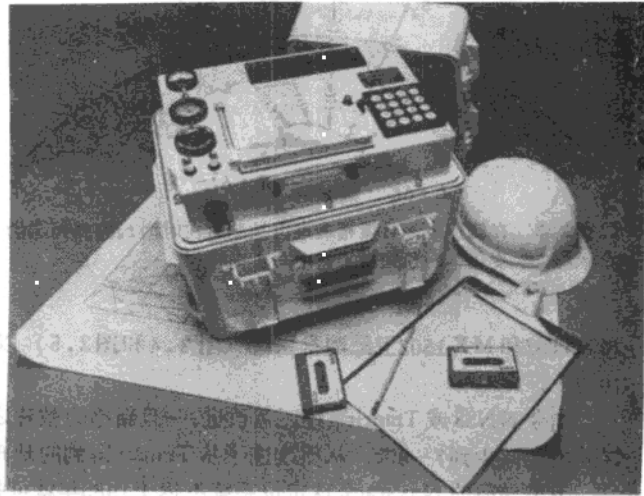


图2.5 马格纳渥克斯公司的MX1502地球卫星测地仪。这是一台便携式装置，在近海测量时作大地测量指挥用

个与之相连的计算机中，计算机再将固定形式的两个或更多的定位线转换成经度和纬度。

由船上接收机测量时间差可以用两种不同的方法：一是直接测量从几个站来的短脉冲信号到达时间的差值，这种情况下示值读数与地图方格线都以微秒为单位刻划；二是用比较连续波信号的相位来得到。这两种系统，用脉冲和连续波，各有其优缺点，至少有一个装置（劳兰C）二者皆可用。在用相位比较得到的双曲线定位线中，测量的基本单位是带（Lane），它对应于一周的相位差，因为在相位差测量中无法考虑整个周期，带这个单位本身有模糊性，这就要求依赖某些带的计算或积分运算，以导出和保存带的总数，或是依赖外来的导航数据。包威尔（1973）建议在系统中加上带辨识装置，其中的附加发送可减小或解决模糊性问题。

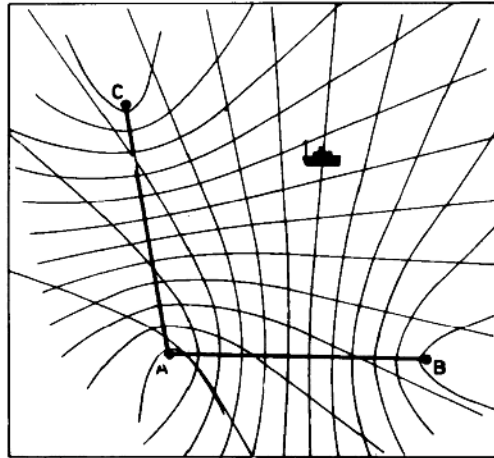


图 2.6 由一个主台 A 和两个从台 B 和 C 收集的双曲线图形

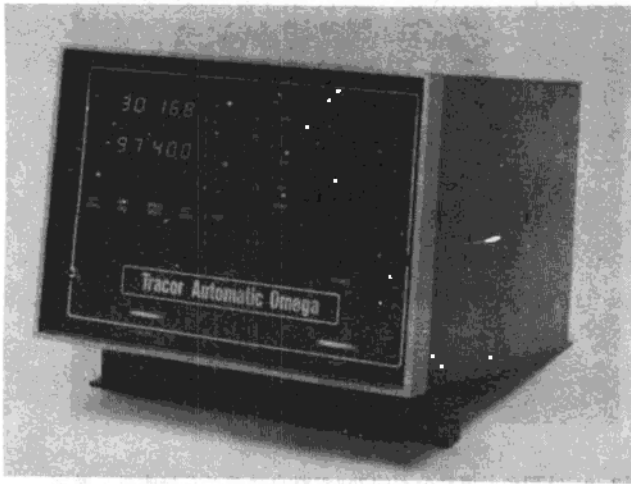


图 2.7 Tracor自动欧米伽接收机，能得到连续显示的经度和纬度值到接近800米的精确度（Bourguoin, 1978）。

还可使用劳兰C代替劳兰A，得到更好的分辨率，它工作频率稍高。劳兰C（图2.9）用地波信号，此信号会受地面和海面导电性的影响。因为有这种影响，需要精确定位时，必须对使用本系统的每一地理区作校准。已出版的海图指出了最新可用的校准数据。如今有8条站链，多数是在北半球，即：地中海、挪威海、北大西洋、美国东海岸、北太平洋、中太平洋、西北太平洋、东南亚。劳兰C航线图覆盖着这些地区，是由美国海军海洋局提供的。定

最大范围的全球导航，精确度较低，如欧米伽系统（图2.7）所代表的那样，如表2.1所示，使用非常低的频率段，白天分辨率为 ± 1.5 公里，夜里为3公里（Sonnenberg, 1978）。完整的欧米伽系统要用8个发送站，分别设在挪威、利比利亚、夏威夷、北达科他、留尼汪岛、阿根廷、特立尼达和日本，能作到全球覆盖及定位（图2.8）。其精确度在使用改进型欧米伽系统时还可进一步提高。这包括了除去船上接收机外还使用岸用监视器，以得