

浅地层剖面仪测量原理

主要内容

□浅地层剖面监测技术概述

□浅地层剖面监测技术应用现状

□浅地层剖面监测技术原理

□浅地层剖面仪的组成

一、浅地层剖面监测技术概述

- ◆ 浅地层剖面探测是一种基于水声学原理的连续走航式探测水下浅部地层结构和构造的地球物理方法。
- ◆ 浅地层剖面仪（Sub-bottom Profiler）又称浅地层地震剖面仪，是在超宽频海底剖面仪基础上的改进，是利用声波探测浅地层剖面结构和构造的仪器设备。
- ◆ 浅地层剖面探测以声学剖面图形反映浅地层组织结构，具有很高的分辨率，能够经济高效地探测海底浅地层剖面结构和构造。



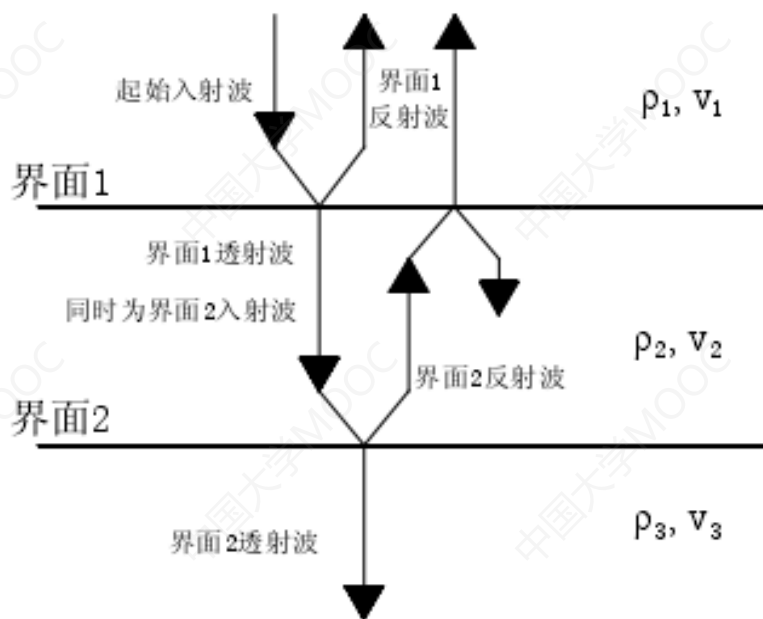
二、浅地层剖面监测技术应用现状

- ◆ 20世纪40年代国外推出原型的海底浅地层剖面仪，60-70年代出现商品设备。由于当时技术基础的限制，探测结果只能记录在不能长期保存的热敏纸带上。20世纪90年代以来，随着电子计算机技术的快速发展、数字信号处理等新技术促进新型浅地层剖面测量的问世。进入21世纪后，3D chirp浅地层剖面仪问世，可获取海底结构的三维图像，实现真正意义上的3D探测。
- ◆ 1965年美国加利福尼亚州的斯克里普斯海洋研究所利用浅地层剖面仪调查太平洋中央赤道处的深海沉积物，获沉积物厚度分布规律的宝贵资料。
- ◆ 20世纪70年代中国科学院和地矿系统开始研制浅地层剖面仪，“八五”期间交通部把研制穿透力强的中地层剖面仪列入国家攻关项目，在“十五”期间国家“863”计划已立项开始研制一种深拖式超宽频海底剖面仪。

三、浅地层剖面监测技术原理

- 浅地层剖面系统 (sub-bottom profiler system) , 简称浅剖, 是一种用于获知海床以下浅部地层信息的声学探测设备。
- 浅地层剖面的基本原理是声学原理。
- 声波是物质运动的一种形式, 由物质的机械运动而产生, 通过质点间的相互作用将振动由近及远地传播。
- 声波在不同类型的介质中具有不同的传播特征。
- 当岩土介质的成分、结构和密度等因素发生变化时, 声波的传播速度、能量衰减及频谱成分等也将发生相应变化。
- 声波在弹性性质不同的介质分界面上还会发生波的反射和透射。

三、浅地层剖面监测技术原理



本示意图中为垂直发射，为表达各种波将三种波分别画出，实际上三种波互相叠加，无法区分

把声波传播的介质看作一个水平层状的模型：海水作为第一种介质，它的密度为 ρ_1 ，声波在其中传播的速度为 v_1 ；海底以下的地层存在 n 个界面，它们的密度和速度分别为 ρ_2 、 v_2 ， ρ_3 、 v_3 ， $\dots$ ， ρ_n 、 v_n 。当声波向下传播时，一部分在分界面处发生反射，另一部分透射后继续向下传播，在下一分界面处再发生反射和透射，其反射波强度与地层的反射系数 R 有关：

声波在介质中传播的动力学特性

$$A_r = R \times A_i$$

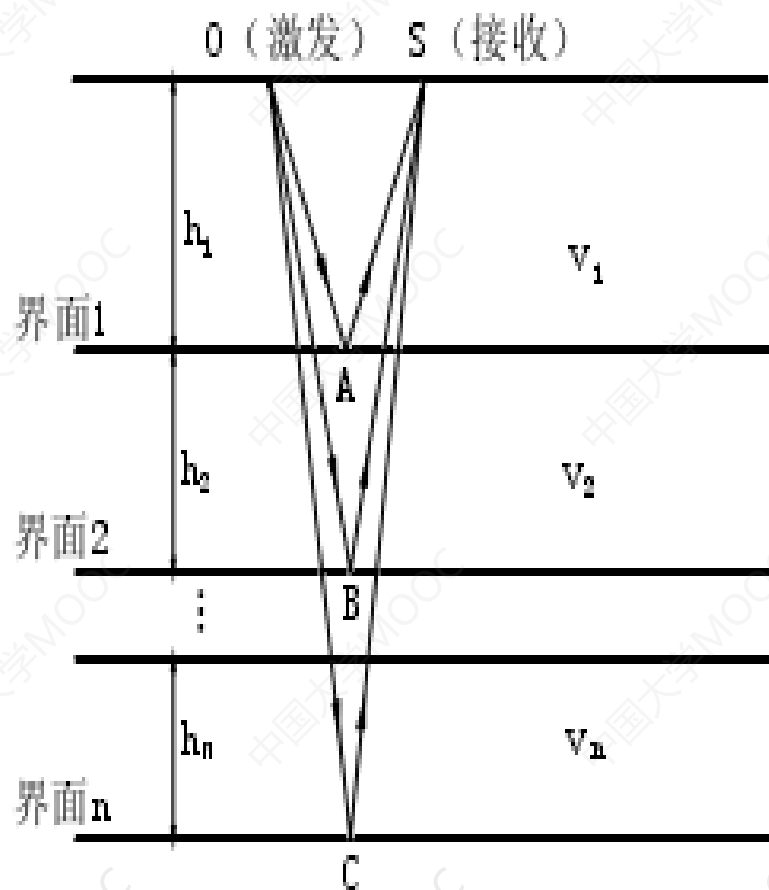
其中， A_i 是入射波的振幅， A_r 为反射波的振幅， R 为反射系数。

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}$$

式中， ρ_1 ， v_1 为界面上部介质的密度和声波在该介质中的传播速度； ρ_2 ， v_2 为界面下部介质的密度和声波在该介质中的传播速度；其中 $z = \rho v$ ，为介质的声阻抗。

当 $\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1$ 值很小，说明界面两侧的物质差异不大，声阻抗差很小，则产生的反射很弱甚至没有反射；相反，当 $\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1$ 值很大，就能得到较强的反射。因此，接收到的反射信号携带了海底地层的大量地质结构和构造信息，通过观测记录分析海底沉积物对于声波的反射，就可了解浅部地层的地质情况。

声波在介质中传播的运动学特性



声波在水平层状介质模型中传播路线示意图

在O点激发，声波经过复杂的地下路径后在S点接收。在激发点与接收点距离很近时，可近似看作为自激自收，即法线入射。

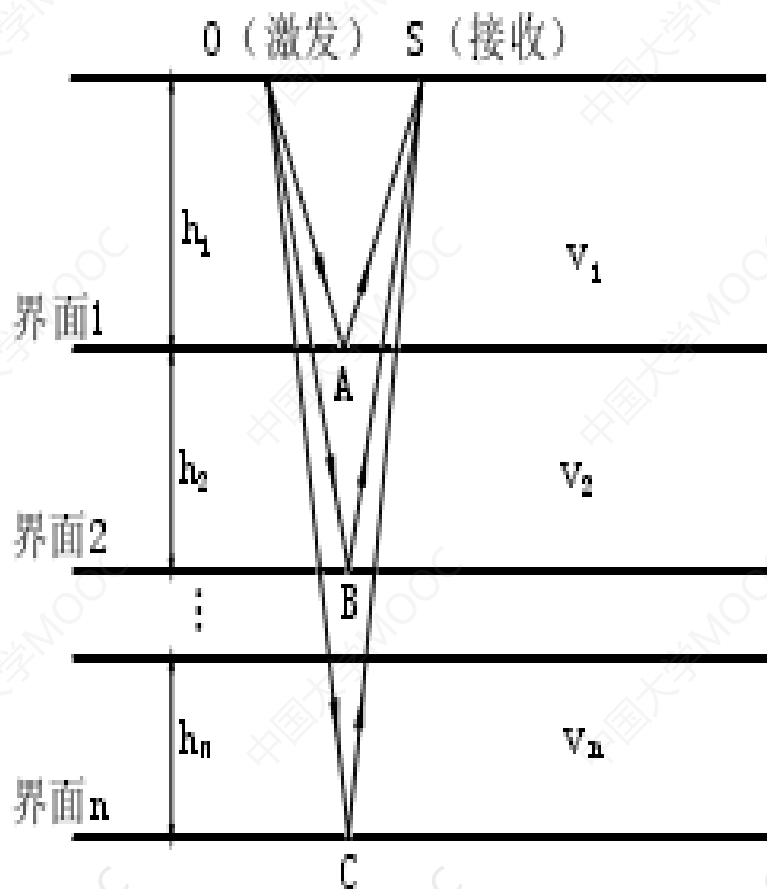
$$t_1 = \frac{2h_1}{v_1}$$

$$t_2 = \frac{2h_1}{v_1} + \frac{2h_2}{v_2}$$

$$t_n = \frac{2h_1}{v_1} + \frac{2h_2}{v_2} + \dots + \frac{2h_n}{v_n}$$

式中， $t_1, t_2, \dots, t_n$ 分别为声波经O-A-S、O-B-S、O-C-S的旅行时， $h_1, h_2, \dots, h_n$ 分别为各层介质的厚度， $v_1, v_2, \dots, v_n$ 分别为各层介质的声波速度。

声波在介质中传播的运动学特性



引入平均速度，公式演变为：

$$t_n = \frac{2h_1}{v_1} + \frac{2h_2}{v_2} + \dots + \frac{2h_n}{v_n} = 2\left(\frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{\bar{v}}\right)$$

- ◆ 浅地层剖面仪就是根据声波传播的动力学特性和运动学特性研制的。
- ◆ 浅地层剖面仪记录的是时间，是声波传播的双程旅行时。
- ◆ 利用浅地层剖面记录推算反射界面的深度时，必须要经过时间与深度的换算，最为关键的参数是声波在地层中传播的速度，这个速度通常采用反射界面以上所有介质的平均速度，而不是某个地层的速度。

声波在水平层状介质模型中传播路线示意图

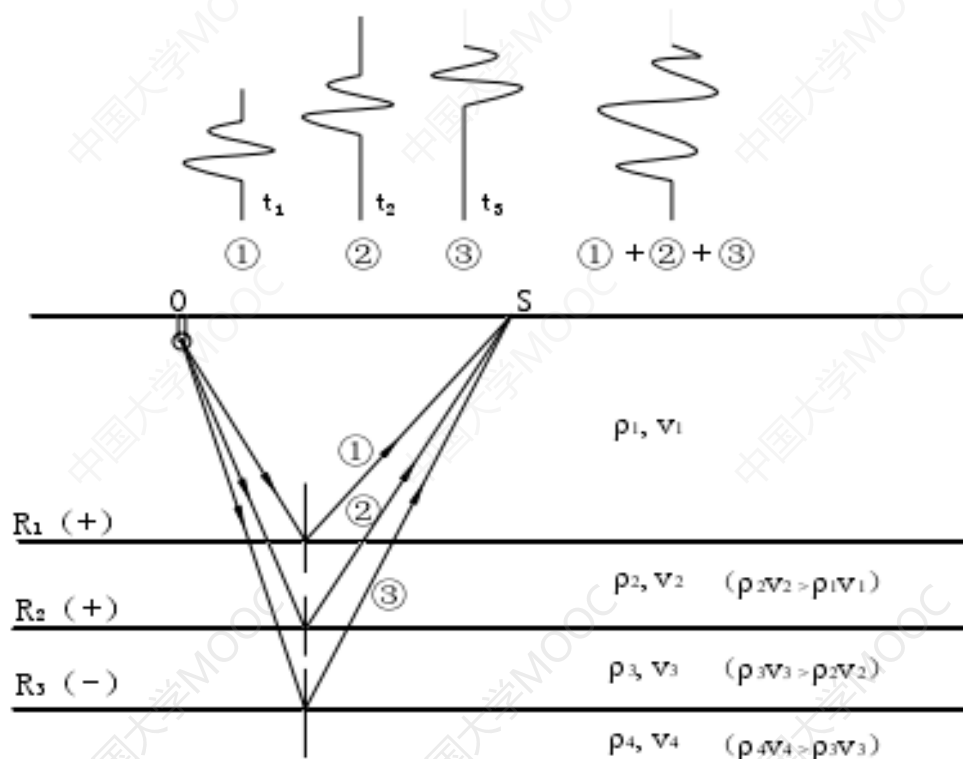
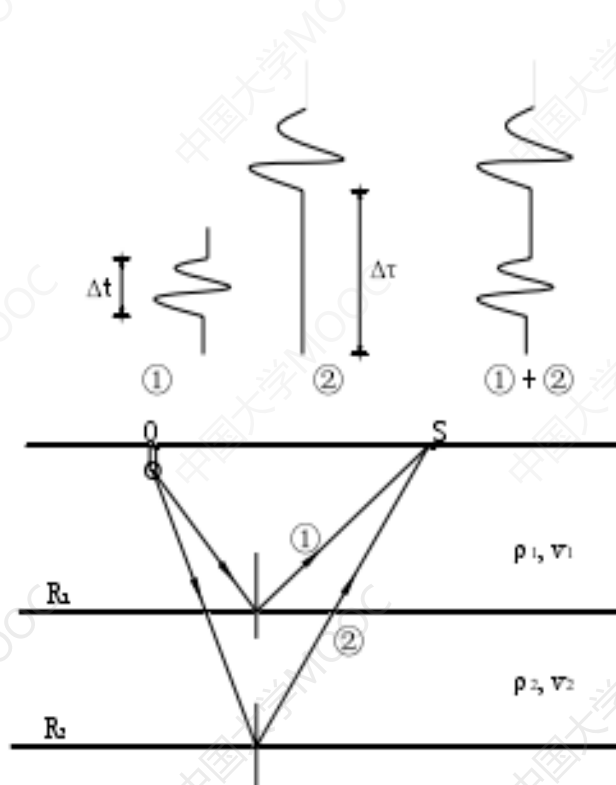
记录图谱的形成过程

- ◆ 声波透过海水向下传播过程中，遇到声阻抗界面就会发生反射和透射，最后从地下各个反射界面反射回来，这些反射回来的声波反射波在振幅上有大有小(主要取决于反射界面的反射系数的绝对值大小)，极性有正有负(取决于反射系数是正是负)，到达接收器的时间有先有后(取决于反射界面的深度和介质的声速)。
- ◆ 浅地层剖面记录的是声波返回的时间和强度。
- ◆ 影响浅地层剖面记录面貌的重要因素是地层的厚度。

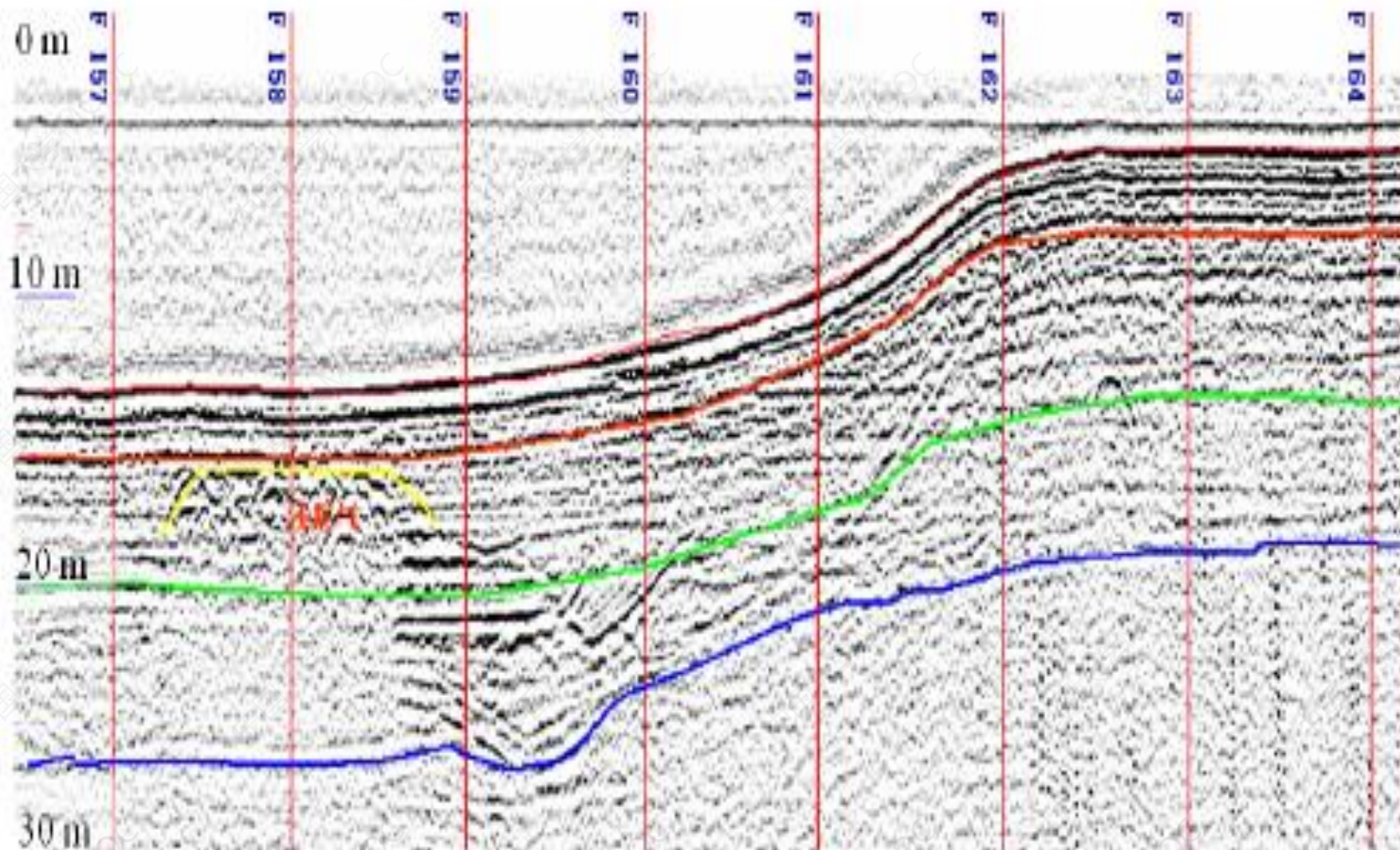
记录图谱的形成过程

假设声波的延续时间为 Δt ，而穿越介质的双程旅行时为 $\Delta \tau$ ，则：

- 当地层较厚，声波的双程旅行时小于声波的延续时间，即 $\Delta \tau < \Delta t$ ，同一接收点接收到的来自界面 R_1 和 R_2 的两个反射波可以分开而形成两个单波，保留着各自的波形特征。
- 当地层较薄，声波的双程旅行时大于声波的延续时间，即 $\Delta \tau > \Delta t$ ，来自相距很近的各反射界面的反射波到达同一个接收点时会互相叠加，形成复合波，很难区分出哪个是 R_1 的波形，哪个是 R_2 的波形，哪个是 R_3 的波形。



记录图谱的形成过程



典型浅地层剖面记录图谱(王方旗, 2010)

四、浅地层剖面仪的组成

浅地层剖面仪主要由发射系统和接收系统两大部分组成。发射系统包括发射机和发射换能器，接收系统由接收机、接收换能器和用于记录和处理用的计算机组成，此外还有电源、电缆、接线盒等其他配套设备。

- ◆ 声源：发射换能器。它是产生声源的装置，实现电能或化学能向声能的转化。根据海底的地层结构和探测目的不同而选择不同的发射功率。
- ◆ 根据声波的产生原理不同可分为以下几类：压电陶瓷式、电磁脉冲式、电火花声源、声参量阵式。
- ◆ 声参量阵式：利用差频原理，即在高压下同时向水底发射两个频率接近的高频声波信号（ F_1 ， F_2 ）作为主频，当声波作用于水体时，会产生一系列二次频率如 F_1 ， F_2 ， (F_1+F_2) ， (F_1-F_2) ， $2F_1$ ， $2F_2$ 等等。其中的 F_1 高频可用于探测水深，而 F_1 ， F_2 的频率非常接近，因此 (F_1-F_2) 频率很低，具有很强的穿透性，可以用来探测海底浅地层剖面。该种仪器具有换能器体积小、重量轻、波束角小、指向性好、分辨率高等特点，适合于浮泥、淤泥、沉积层等浅部地层的详细分层及目标探测，但缺点是穿透能力较差。

四、浅地层剖面仪的组成

- ◆ 水听器：即接收换能器，是将介质的质点振动(位移、加速度的变化)转化成电信号并输出的系统，是将机械能(声能)转化为电能的装置。水听器由密封在油管里的多个按照一定顺序排列起来的检波器组成，其性质与检波器的本身指标、排列间隔和数量有关。
- ◆ 记录和显示系统：记录声波反射波返回时间和强度并将其在计算机屏幕上显示出来的设备。随着计算机技术的快速发展，该系统越来越智能化，不但能将记录显示在操作员面前，更能进行完全存储，使得记录资料更为全面。

四、浅地层剖面仪的组成



SES-2000系统仪器运输箱

四、浅地层剖面仪的组成

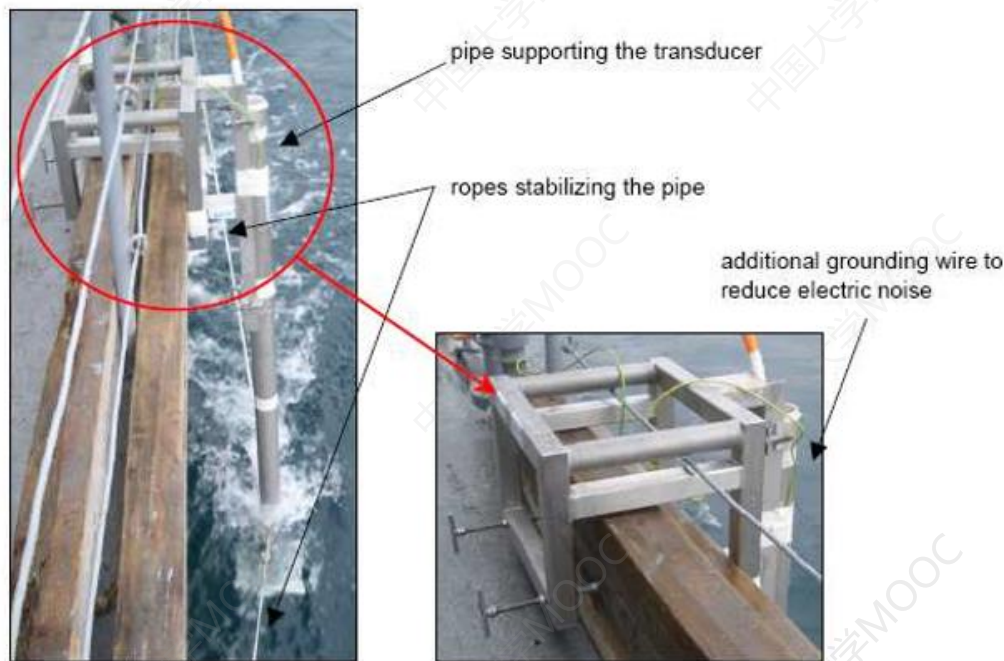
参量阵型浅地层剖面仪，其中最具有代表性的是德国Innomar生产的SES-2000。

SES-2000轻便型设备是一套参量阵窄波浅地层剖面(SBP, Sub-bottom Profiler)系统，它还集成了测深仪功能。

设备主要组成部分包括：换能器、安装支架、主机单元等。



Innomar公司备有小型测量船上通用的安装支架可供用户可选择。

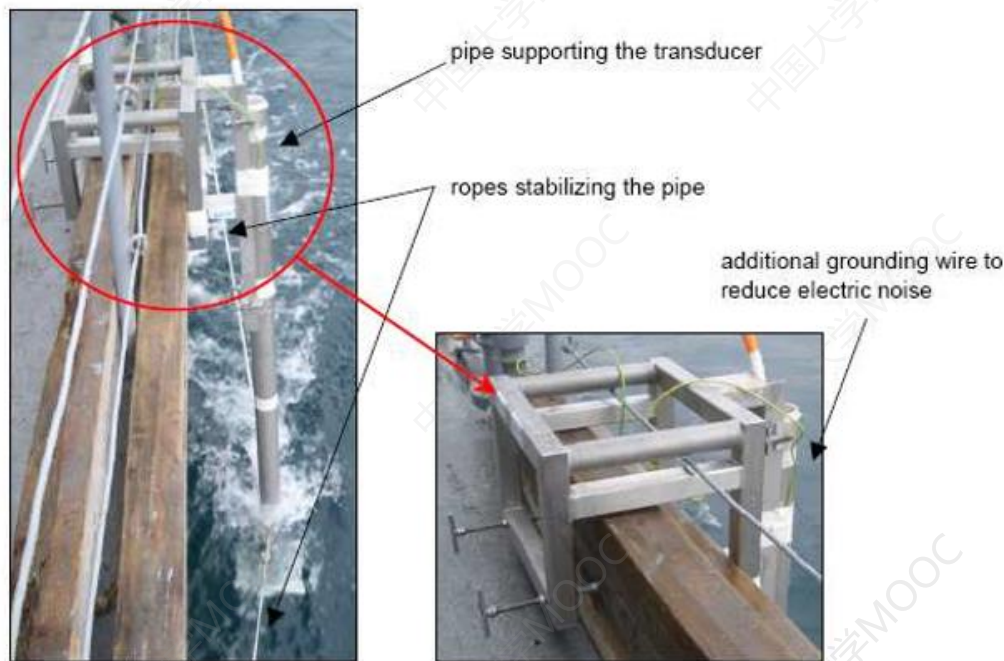


四、浅地层剖面仪的组成

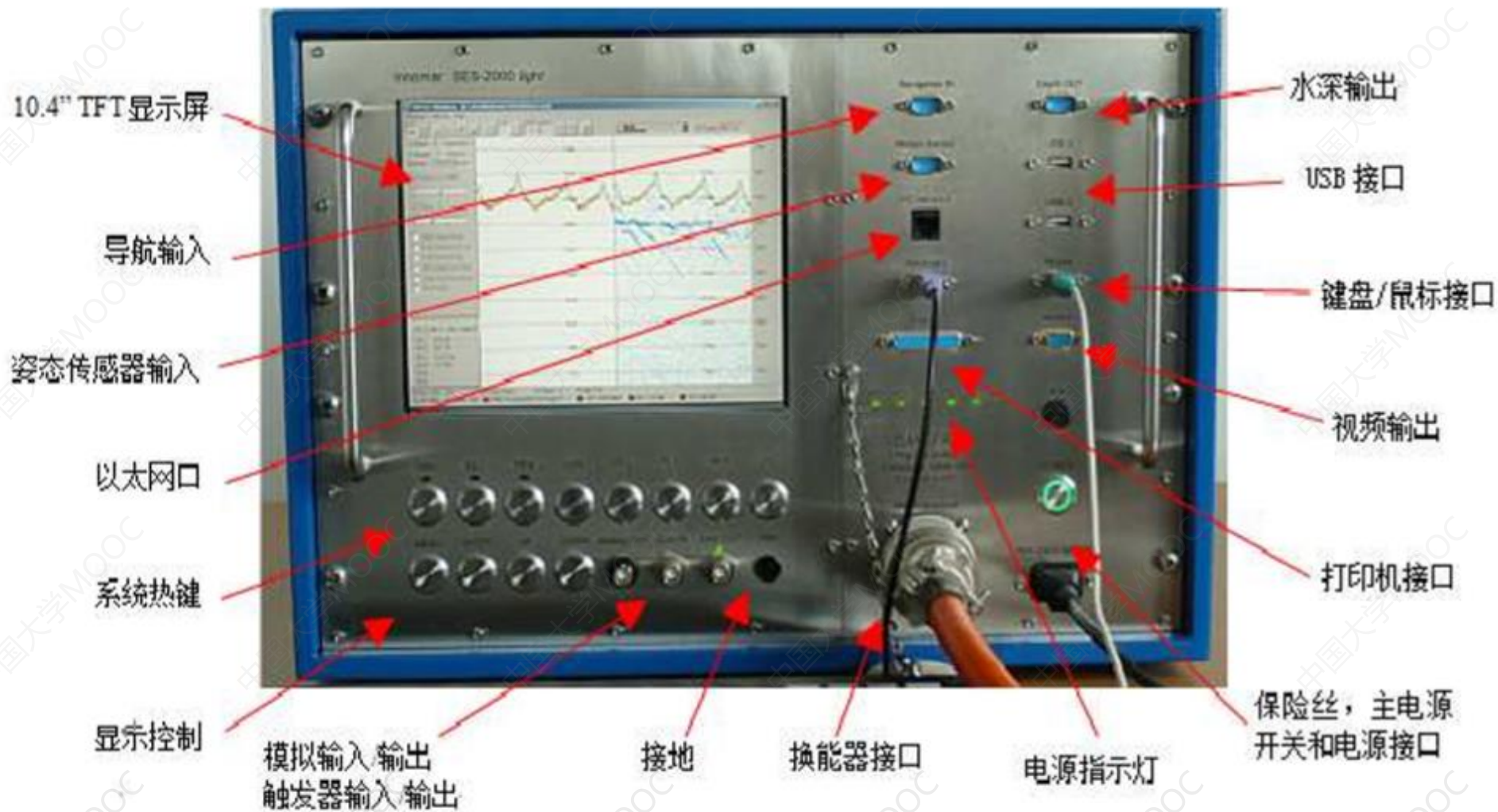
一个浅地层剖面(SBP)换能器阵列，用于发射和接收信号。换能器外壳顶部有箭头标识其安装指示方向。换能器电缆与换能器为一体化结构，不能拔插。



Innomar公司备有小型测量船上通用的安装支架可供用户可选择。

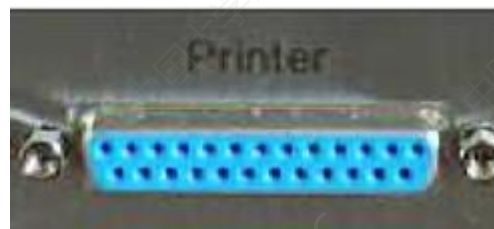
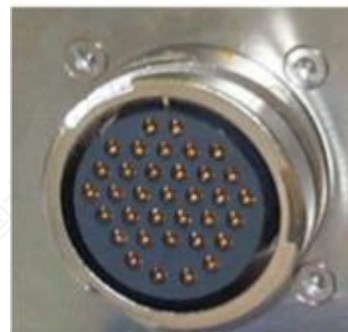


四、浅地层剖面仪的组成

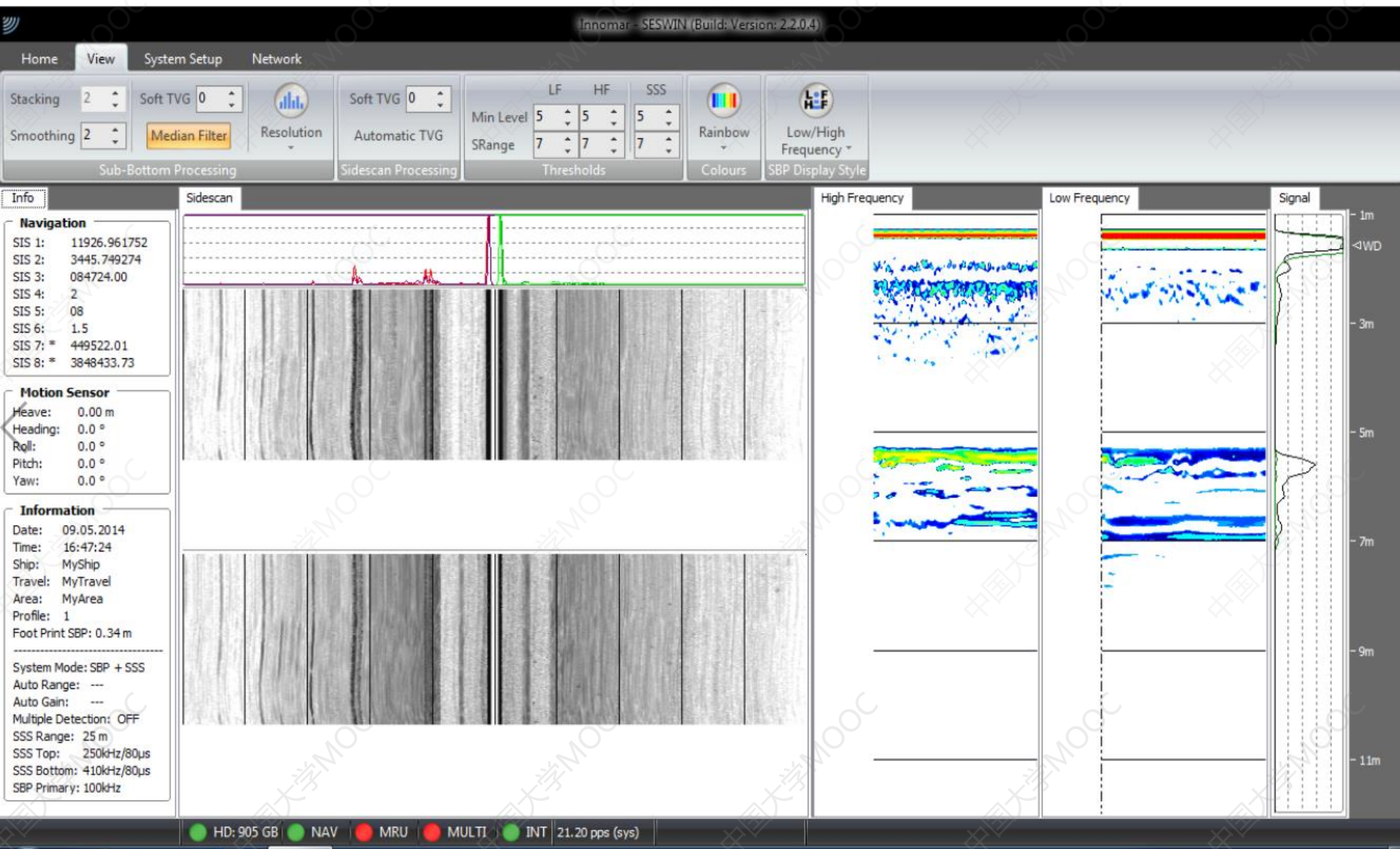


四、浅地层剖面仪的组成

一个甲板单元，带收发单元、信号处理单元、数据采集工作站。接口包括：鼠标和键盘、外接传感器（GPS、姿态仪）、USB、网络、作为从属设备时的触发输入端口、作为主导设备时的测深仪触发输出端口。



- ◆ SES-2000系统的控制软件为SES for Windows (简称SESWIN), 已经预装在SES-2000的系统主机中。为保证系统正常运行, 禁止修改主机BIOS设置, 禁止在主机电脑中安装其他软件或设备驱动。



四、浅地层剖面仪的组成

主要技术参数	描述
SBP主频(PHF)	约100kHz(90-115 kHz)
SBP主能量水平	大于236dB// μ Pa re 1m
SBP低频(SLF)	5, 6, 8, 10, 12, 15 kHz (中央频率, 用户可选)
SBP SLF 脉冲宽度	0.07-1ms (CW, 用户可选); 1.3ms (chirp)
SBP SLF 脉冲类型	CW, Ricker
SBP SLF 带宽	2-22kHz
SBP 波束角	约4度
SBP 升沉/横摇/纵摇	Yes/No/No
SBP 水深范围	1-400 m
SBP 沉积物穿透	最大40m
SBP 层分辨率	最小5 cm
脉冲频率	最大50 Ping
数据采集	数字包络 或 全波形
供电	100-240 V AC/50-60 Hz
功率	< 500W

感谢聆听！