ASSM-Ⅱ型声学悬浮泥沙观测系统*

任来法　凌鸿烈　刘守华　王志诚　曹　民

（中国科学院东海研究站　上海·200032）

本文介绍了一种新型的水文观测设备—“ASSM-Ⅱ型声学悬浮泥沙观测系统”，它可以自动、连续和长时间地实时观测水中悬浮泥沙浓度分布和动态变化过程。文中介绍了工作原理框图、技术参数、性能特点及海上现场观测结果。

关键词： 声背向散射　悬浮泥沙　动态观测

The new hydrographical observing instrument
——“ASSM-Ⅱ Acoustical Suspended Sediments Observing System”

REN Laifa　LING Honglie　LIU Shouhua　WANG Zhicheng　CAO Min

(Shanghai Acoustics Laboratory, Academiy Sinica Shanghai · 200032)

In this paper the new hydrographical observing instrument——“ASSM-Ⅱ Acoustical Suspended Sediments Observing System” is introduced. It is to be able to automatically and continually observe and estimate the real-time concentrations profiles of suspended sediments in water and dynamic changing process. The principle block-diagram. technology parameters main features and effects of real-time observing in coastal environments are given.

Key words: acoustical backscattering, suspended sediments, dynamic observing

1 概 述

地球上许多大河的河水中都夹带大量泥沙，这些水中的泥沙在河道、河口沉淀淤积，给航道、河口的通航带来阻碍和威胁。因此，在港工、航道、水利和近海岸的海洋工程建设中，水中悬浮泥沙及其运动过程的观测是一项长期而艰巨的任务。当今世界上许多发达国家都在积极开展对河口、港湾的泥沙综合治理。在我国，由于几条大河的泥沙迁移量相当惊人，对航道、河口的通航十分不利，港口、大型水库也面临泥沙问题的困扰。由此可见，研究水中悬浮泥沙含量及其运动变化就显得十分重要。

传统的观测水中悬浮泥沙的方法是“六点法”、“三点法”及“累积法”等，这些方法都是人工的，它只能得到几个给定深度上水中悬浮泥沙浓度的离散数据。以常规“六点法”水文观测为例，每小时可测量的数据为六个，且不能观测到水中悬浮泥沙含量动态变化过程。为此，“光学法”、“声学法”等观测水中悬浮泥沙的手段的研究就格外受到重视和发展[1,2]。“ASSM-Ⅱ型声学悬浮泥沙观测系统”是国内首次研制成功的观测水中悬浮泥沙的新一代水文观测设备，其特点是可以在不扰动现场环境情况下，自动、连续和长时间地实时观测水中悬浮泥沙浓度的垂向分布和随时间的变化过程。这种观测设备适合于在河口，航道、港湾、大型水库和近海区域对水中悬浮泥沙含量进行动态观测和研究，还能

* 国家自然科学基金资助项目（编号 49576271）

收稿日期：95-12-5

有效地用于近底层泥沙变化的动态观测和沉积动力学中有关问题的观测研究。

该观测设备每次观测 15 分钟，可以得到七条曲线和近 600 个定量数据。

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"经应用单位——上海航道勘察设计研究院和国家海洋局二所等多个航次的海上现场观测试验，并与常规"六点法"水文测验的含沙量数据作了定标和对比分析，两种观测数据的符合率达 80%，相对统计误差小于 20%。同时发展了一种以落憩、落急、涨憩、涨急等特征值作定标的方法，获得了成功。表明这种水中悬浮泥沙的声学观测方法可以有效地在实际工程勘测中应用，也为近底层泥沙动态变化及沉积动力学中有关问题的研究提供了新的观测手段。

2 工作原理和技术参数

2.1 工作原理

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"是根据声背向散射的原理研制成功的。这是一种船载悬挂式观测系统，可以方便地随船观测，其工作原理框图如图 1 所示；图 2 是"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"仪器照片；图 3 是"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"发射/接收共用换能器及其加重物照片。

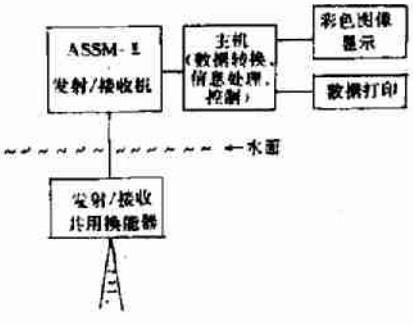

图 1 "ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"工作原理框图

图 2 "ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"仪器照片

图 3 "ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"发射/接收共用换能器及其加重物照片

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"由发射/接收共用换能器、发射/接收机、微机及彩色图像显示器和数据打印机组成，观测过程实现自动化。观测时，在计算机指令控制下，发射机定时产生填充频率为 500kHz 的强功率电脉冲，经发射/接收共用换能器转换为声脉冲，在水中以窄波束垂直向下辐射脉冲声波。当脉冲声波遇到水中悬浮泥沙时就会产生声背向散射信号，并返回发射/接收共用换能器，再由其转换为电信号后馈送给接收机进行信息处理。接收机对散射信号进行放大、滤波、包络检波、平滑滤波等处理后传送给微机，由 A/D 转换器转变为数字信号，然后一方面在屏幕上显示出在现场实时观测到的水中悬浮泥沙所产生的背向散射信号分布彩色图像；另一方面，现场观测的全部信息又储存在计算机的硬盘或软盘中，以便作定标和补偿处理、窗口统计平均处理，从而得到

水中悬浮泥沙绝对浓度垂向分布及动态变化的曲线和数据图表。

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"观测时，微机、彩色图像显示器、发射/接收机置于船舱内，而水下部分的发射/接收共用换能器则与加重物一起固定在一个铁架上，从测量船的舷侧悬挂于水中，再启动计算机，并选择所需的工作状态，打开发射/接收机的电源开关，键入工作指令，"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"就能自动进行现场观测。

2.2 主要技术参数及其特点

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"的主要技术参数如下：

1. 工作频率：$f_0=500kHz$；
2. 脉冲宽度：$\tau=40\mu s$；
3. 观测泥沙浓度范围：0.1～10kg/m³；
4. 观测深度量程：$H=10m$、20m；
5. 垂向深度分辨率：
   10cm(量程：$H=10m$ 时)；
   20cm(量程：$H=20m$ 时)；
6. 每次观测泥沙浓度垂向分布曲线：7条(也可少于7条)；
7. 时间分辨率：1.5s；
8. 盲区：0.4m；
9. 电源：交流 220V、50Hz、300W；
10. 探测起始深度：水表面下 3m；
11. 每次观测时间：15min。

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"的特点在于：

(1)在信息处理上，设置了深度-时间可变的二维窗口，根据观测现场不同情况，泥沙动态变化的不同速率，对所观测的水中悬浮泥沙数据，选择窗口作深度-时间统计平均，实时地反映水中悬浮泥沙的瞬时变化规律。

(2)以16种不同色彩，在现场作水中悬浮泥沙背向散射信号数据的彩色屏幕显示，实时地反映出水中悬浮泥沙沉积迁移动态变化过程。

(3)发展了一种声学法和常规"六点法"相结合的水文测验科学方法。以常规"六点法"落憩、落急、涨憩、涨急等特征值作定标的方法，可以给出水中悬浮泥沙浓度的绝对值随深度和时间变化的分布曲线，作出水中悬浮泥沙浓度在深度-时间上的定量表格，得到泥沙浓度定量观测结果；也可以在打印机上绘制成模拟灰阶图像

3 "ASSM-Ⅱ型声学悬浮泥沙观测系统"应用效果

本成果已经上海航道勘察设计研究院、国家海洋局二所9个航次成功的应用，取得了大量以往从未得到过的有关长江口牛皮礁、横沙及杭州湾等海域泥沙运动变化的宝贵资料，声学法观测和常规"六点法"水文测验良好符合率为80%，相对统计误差小于20%。现以1994年5月下旬至6月上旬，在长江口牛皮礁大潮、中潮、小潮3个潮汛期进行的完整周期的海上现场观测为例说明应用效果[7]。

该海区地处长江口，观测时浪高涌大，水流流场复杂多变，水中悬浮泥沙分布复杂。总的观测时间为80小时，观测数据经定标和补偿处理，声学观测法所得到的泥沙浓度与常规"六点法"水文测验泥沙浓度数据的对比分析结果如下：

大潮、中潮、小潮三个潮汛期统计良好符合率为85%，相对统计误差为18.7%。其中，大潮期27小时的良好符合率为85.1%，相对统计误差为18.4%；中潮期26小时的良好符合率为81%，相对统计误差为19.4%；小潮期27小时的良好符合率为87.9%，相对统计误差为18.3%。

图4和图5分别是1994.10.07.8：00大潮时现场观测所得到的水中悬浮泥沙背向散射信号分布彩色图像和对应的经定标、补偿处理后所得到的水中悬浮泥沙浓度分布彩色图像(图中右半部分为左半部分底部2.2m放大5倍的结果)。图6是对应于图5的水中悬浮泥沙浓度的分布曲线。

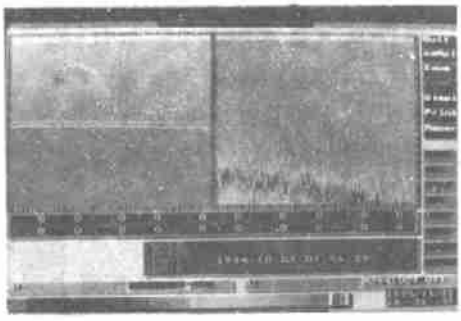

图 4　长江口牛皮礁 1994.10.07.8：00 大潮时现场观测水中悬浮泥沙背向散射信号分布彩色图像

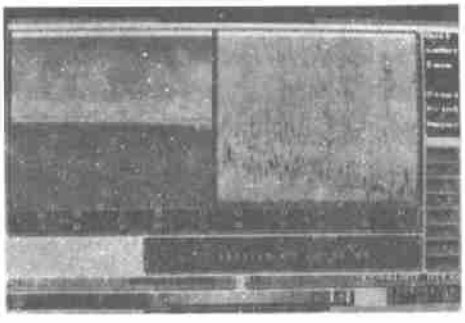

图 5　对应于图 4 的长江口牛皮礁 1994.10.07.8：00 大潮观测经定标、补偿处理后水中悬浮泥沙浓度分布彩色图像

4　结束语

"ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统"经上海市科学技术情报研究所国际联机检索结果表明：该项研究工作成果总体上达到了国际先进水平。该成果于 1994 年 9 月 16 日由上海市科学技术委员会和中国科学院联合召开鉴定会，会议评审组一致认为：该系统及其方法研究成果填补了国内空白，达到了同类设备的国际先进水平。该系统可以广泛应用于长江口和类似水域以及近岸工程等方面的泥沙监测。

实践应用表明，水中悬浮泥沙的声学观测与常规"六点法"水文测验相结合，并以常规"六点法"落憩、落急、涨憩、涨急等特征值作定标的科学方法，适合于在实际工程勘测中应用，可以自动、连续和长时间地实时观测

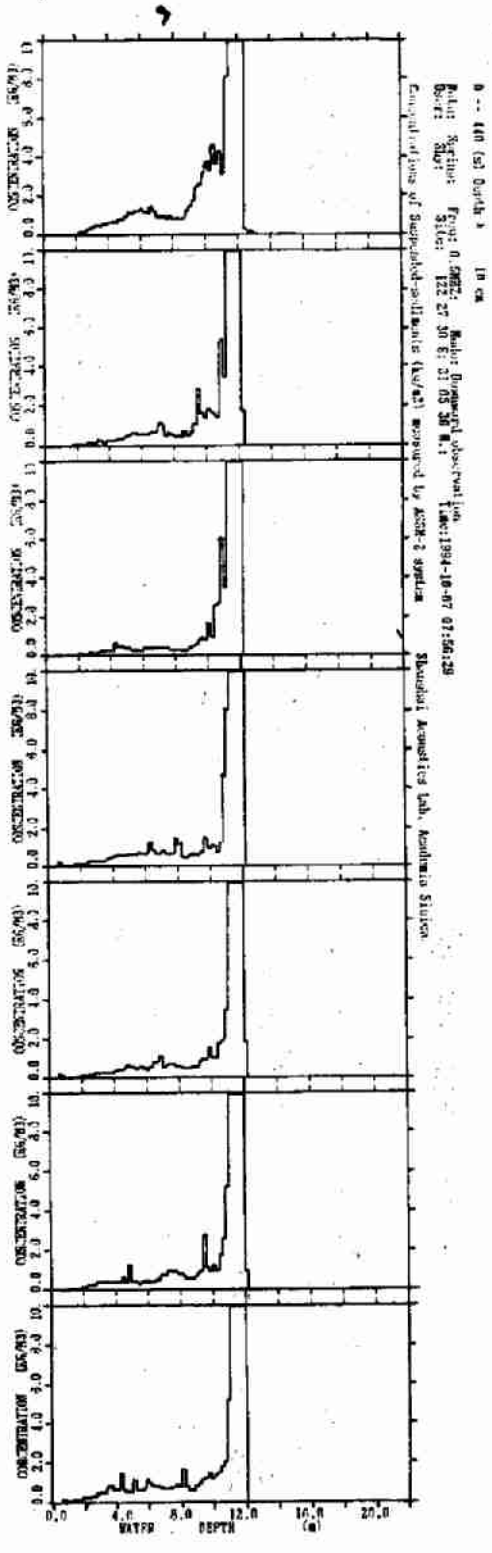

图 6　对应于图 5 的水中悬浮泥沙浓度分布曲线及数据表格

水中悬浮泥沙浓度的垂向分布和随时间的变化过程，得到动态变化数据、曲线和图像，并可遥测近底层泥沙动态变化。

华东师范大学河口海岸研究所和河口海岸国家重点实验室利用中国科学院东海研究站研制的“ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统”及其在长江口取得的一批观测资料，成功地开拓了长江口近底边界层沉积动力学这一个国际前沿课题的研究工作，获得了近底高浓度悬浮泥沙时-空连续分布及运动变化过程图像，并得出了大、中、小潮汛时段高浓度含沙水体、流动浮泥层、固定浮泥层及粘性淤泥质底床3个不连续面的判别指标。这些成果对泥沙再悬浮、近底泥沙输移、浮泥形成与消散，底沙与悬沙交换等问题的深入研究开创了新途径。

由于水表面层的水中含有大量气泡，声学观测时也会产生声背向散射信号，将带来很大误差，但在水表面3m以下，水中所含气泡很少，影响很小，可以忽略。因此“ASSM-Ⅰ型声学悬浮泥沙观测系统”的发射/接收共用换能器应置于水表面下3m左右，从水表面下3m左右开始观测。

该系统的方案设计者为张叔英教授，对他的指导和帮助谨致谢意；对协作单位：国家海洋局海洋技术研究所李允武教授、张嫦娥高级工程师、吴世海工程师谨致谢意；对应用单位：上海航道勘察设计研究院在海上观测作出的努力和合作深表感谢。

参考文献

1 P. D. Thorne, C. E. Vincent, P. J. Hardcastle, S. Rehman and N. Pearson. Measuring suspended sediment concentration using acoustic backscatter devices. Marine Geology 1991; 98: 7～16.

2 Libicki, C., Bedford, K. W. and Lynch, J. F. The interpretation and evaluation of a 3MHz acoustic backscatter device for measuring benthic boundary layer sediment dynamics. J. Acoust. Soc. Am, 1989; 85(4): 1501～1511.

1994年《声学技术》论文被引用情况

中国科技信息研究所于1995年完成了对中国科技人员1994年在国内外发表论文的数量和论文被引用情况的统计和分析。现将该所提供的《声学技术》1994年所刊登的论文被引用的统计资料转载如下：

被引刊名：声学技术

被引总次数 N=16

字段说明：

引用刊名，作者，年卷期=KM，ZZ，YVN；被引作者，年期页=YZZ，YN，YQ，YY.

Record #	ZZ	KM	YVN	YZZ	YN	YQ	YY
1	张叔英	声学学报	941905	陈克棠	89	3	28
2	任廷荣	流体机械	942209	吕广庆	89	0	44
3	刘镇清	应用声学	941301	朱士明	90	3	36
4	刘镇清	仪器仪表学报	941501	朱士明	90	3	36
5	尚志远	压电与声学	941601	邵志常	91	1	48
6	冯　若	声学技术	941302	丁　东	92	3	41
7	郑殿春	哈尔滨电工学院学报	941701	凌鸿烈	92	4	35
8	林书玉	声学技术	941303	凌鸣烈	92	4	35
9	刘镇清	电子测量与仪器学报	940803	刘镇清	92	4	14
10	杨瑞科	声学技术	941301	杨瑞科	92	4	32
11	冯　若	中国超声医学杂志	941001	冯绍松	93	1	42
12	贺加添	声学技术	941302	贺加添	93	4	20
13	贺加添	声学技术	941303	贺加添	93	4	2
14	赵逸云	化学通报	940008	丘泰球	93	1	15
15	汪源源	复旦学报	943305	汪源源	93	2	14
16	章奎生	噪声与振动控制	940003	章奎生	94	1	0