

基于水下声信号的非法采砂船自动识别监控系统分析

——以镇江非法采砂系统为例

曹荣¹ 王文强² 刘威² 李良图² 胡育诚²

1 镇江市水利局, 江苏 镇江 212000

2 江苏禹治流域管理技术研究院有限公司, 江苏 南京 210018

[摘要]就目前情况而言, 建筑领域的快速发展使得河砂市场出现供不应求的现象, 致使大量的非法河砂开采船只在河道内开采河砂导致水域生态环境的稳定性受到破坏。我国有关部门为了加强对非法采砂行为的打击力度, 建立了非法采砂船自动识别监控系统, 而文中主要分析的是镇江非法采砂船自动识别监控系统中的利用水下声信号建立的水下声纹检测子系统, 希望对相关人员有所启示。

[关键词]水下声信号; 非法采砂船; 自动识别监控; 水下拾音器; 声纹检测

DOI: 10.33142/hst.v4i5.4657

中图分类号: U665.2

文献标识码: A

Analysis of Automatic Identification And Monitoring System of Illegal Sand Dredger Based on Underwater Acoustic Signal

——Taking Zhenjiang Illegal Sand Mining System as an Example

CAO Rong¹, WANG Wenqiang², LIU Wei², LI Liangtu², HU Yucheng²

1 Zhenjiang Water Resources Bureau, Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

2 Jiangsu Yuzhi River Basin Management Technology Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210018, China

Abstract: At present, the rapid development of the construction field makes the river sand Market in short supply, resulting in a large number of illegal river sand mining vessels mining river sand in the river, resulting in the destruction of the stability of the ecological environment of the water area. In order to strengthen the crackdown on illegal sand mining, China's relevant departments have established an automatic identification and monitoring system for illegal sand mining vessels, and this paper mainly analyzes the underwater voiceprint detection subsystem established by using underwater acoustic signals in the automatic identification and monitoring system for illegal sand mining vessels in Zhenjiang, hoping to give some Enlightenment to relevant personnel.

Keywords: underwater acoustic signal; illegal sand dredgers; automatic identification and monitoring; underwater pickup; voiceprint detection

引言

镇江位于我国江苏省, 地处长江流域, 是对长江流域苏南运河监管的中心, 多年来, 长江流域河砂非法开采问题严重影响了长江流域生态系统的稳定性, 同时。河道结构、河床结构的破坏使得防洪灌溉工作难度增加。因此, 镇江市水上执法部门必须加强打击力度, 建立 24 小时的非法采砂船自动识别监控系统, 加强对非法采砂行为的监控, 严厉打击违法范围行为, 保护长江流域生态环境。

1 项目概述

1.1 项目背景

据笔者调查研究显示, 镇江市多年来的非法采砂行为导致长江流域的河床结构、河道结构受到了严重的破坏, 且非法采砂行为的非法采砂船多在夜晚出没, 加之镇江水上执法部门管辖流域较广, 非法采砂船进行非法采砂行为时难以及时发现, 致使非法采砂行为管理难度增加。因此, 为维护长江流域生态环境, 严厉打击非法采砂行为, 镇江市水上执法部门建立非法采砂船自动识别监控系统实施对管辖流域的 24 小时监控, 加强对无船名船号、无船籍港、无船舶证书的“三无船只”的治理。

1.2 建设目标

为加强对非法采砂船的治理, 镇江市水上执法部门建立了非法采砂船自动识别监控系统, 综合运用 VTS、视频监控、

水声监听、手机信令、遥感、GIS 等技术，针对长江河道采砂船动态监控、采砂现场管理、河道监控、日常业务管理、领导决策支持等需求，构建长江禁采监控与执法指挥系统，以视频监控声呐识别为主要技术手段，以采砂监管为核心，对非法采砂行为及时发现、跟踪、预警和执法调度，实现长江河道采砂运砂综合监管。该系统主要包括水上红外检测和水上声纹检测两个部分，水上红外进行主要利用热成像技术监控水面上异常的温度，判断流域是否存在非法采砂船。水下声纹检测主要获取水下声信号，并利用水下声信号判断是否存在采砂行为。

1.3 建设内容

本文主要研究的是非法采砂船自动识别监控系统的水下声纹检测。当非法采砂船开展非法采砂工作时，吸砂管将抽取降低的河砂，此时，将会引起水文的波动，水下声纹检测便利检测通过检测水纹判断是否存在异常信号，通过对异常信号的分析与处理判断是否存在吸沙管工作的现象，从而判断是否存在非法采砂船。

2 非法采砂船自动识别监控系统概述

非法采砂船自动识别监控系统主要分为三个模块，分别为智能杆及船舶监控平台、水下侦听器及非法采砂智能预警识别平台，其中水下侦听器负责检测水下声纹，当智能杆及船舶监控平台未能够监测到水面上存在非法采砂船时但水下侦听器检测到异常水文信号，水下侦听器便可将异常信号反馈给非法采砂智能预警识别平台，而此时智能杆及船舶监控平台也会根据反馈信号对目标点进行重新检测。非法采砂船自动识别监控系统通过对水纹监测、视频监控、红外线检测、AIS 检测（AIS 基站如图 1）实现对非法采砂船的自动检测，能够实现 24 小时对管辖区域的全方位监测，同时，卫星定位技术、智能传感技术的应用能够将非法采砂船的地理位置信息、经纬度信息反馈给非法采砂智能预警识别平台，当预警平台接收到信号后，会利用水上执法 APP 将摄像头拍照的图像信息、船只地理位置信息、船只经纬度信息、时间信息、船只信息等传递给执法人员，以便于执法人员开展下一步的工作。

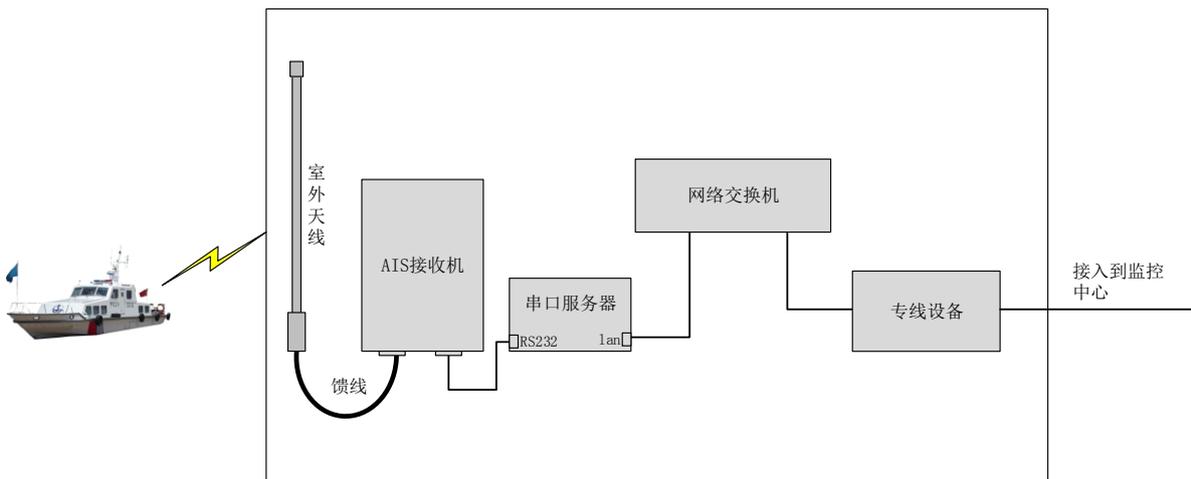


图 1 AIS 基站

2.1 非法采砂船自动识别监控系统建设的重要作用

多年来，非法采砂行为难以治理，致使长江河势稳定、防洪、通航安全以及生态环境难以得到保障，采砂行为破坏了长江流域的河床及河道结构，同时，非法采砂行为开采的河砂涌入市场后，会导致市场环境被破坏，正规单位的经济效益会受到损坏，这并不利于市场经济的发展。一直以来，镇江市非法采砂组织昼伏夜出、流动作案，非法采砂打击工作难度大，利用一些“三无船只”盗采，且非法采砂船监管力度不足，当非法采砂船进行盗采时难以及时发现，这就使得在实际终止盗采行为时，非法采砂组织有时间逃窜，抓捕工作难度大，甚至部分不法分子毁灭了关键证据，致使执法难度增加。同时，正规采砂企业采砂船上均会安装 AIS，但 AIS 采砂船只能够在规定的时间内在允许采砂的区域进行采砂作业，部分单位为了获取更大的经济效益，选择在盗采时关闭 AIS 系统或更改 AIS 信息，从而逃避追查。因此，建立非法采砂船自动识别监控系统是十分有必要的，利用非法采砂船自动识别监控系统实现对管辖流域的 24 小时监控，当发现非法采砂船时将实现自动预警，利用声光联动报警装置将信息传递给相关工作人员，从而提升监管能效，提高管理水平，实现严厉打击非法盗采行为，采砂船监听识别示意图如图 2。

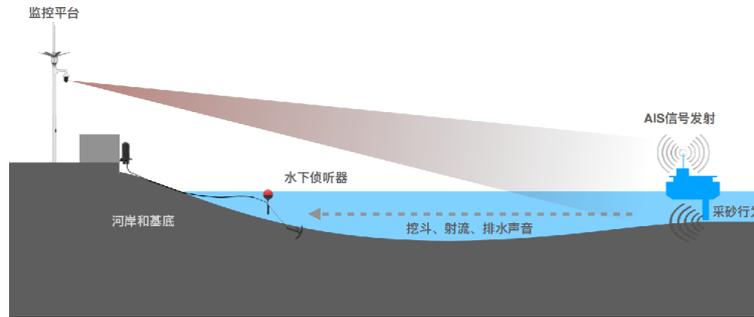


图2 采沙船监听识别示意图

2.2 非法采砂船自动识别监控系统中水下声纹检测子系统研究

镇江市非法采砂船自动识别监控系统中水下声纹检测子系统主要包括四个组成部分，分别为网关、电池板、浮球和固定锚。其中，水下侦听器安装于浮球之上，浮球的主要功能是标记水下声纹检测子系统的位置，保证各子系统的监听面积能够满足对非法采砂船自动识别监控系统对监管范围的需求。水下监听器主要负责监听水下的声信号，数据信息来源于网关，网关的功能是实现对相关数据信息的收集，如水纹、水波、声波等。电池板为太阳能电池板，一方面，利用太阳能供电能够减少能源消耗，另一方面也能够实现无线监测，节省了建设成本。固定锚的主要作用是固定悬浮球的位置，并保证悬浮球的稳定性。

水下声纹检测子系统分为两个部分，分别为水上部分和水下部分，水上部分主要由太阳能电池板、GPS 模组组成，是保证水下声纹检测子系统能够正常运转的基础。水下部分包括倾角冲击传感器、浸没传感器及水下拾音器，倾角冲击传感器及浸没传感器的主要作用是确定水下侦听器的水平位置并保证水下侦听器能够完全的浸泡在水中，而水下拾音器是水下侦听器的重要组成部分，其功能便是对网关传输的信号进行分析与处理，从而确定水下声信号。

3 基于水下声信号的非法采砂船自动识别监控系统分析

3.1 水下声纹检测子系统设计研究

水下声纹检测子系统利用倾角冲击传感器、浸没传感器及水下拾音器获取水下声纹信息，并通过声纹信息判断是否存在可疑目标，若发现可疑目标，则需要将信息反馈给非法采砂智能预警识别平台。该系统网关为 DITING1010，水下侦听器为 DITING1701，水下侦听器与网关以电缆连接，悬浮球为树脂浮球，内填充发泡材料。

3.1.1 DITING1010 网关

- (1) 安装于岸边的控制单元。
- (2) 通过电缆连接 DITING1701 水下侦听器，供电并采集它的数据。
- (3) 内置嵌入式处理器，采集、记录、分析、比对获取的音频信号。
- (4) 内置 GNSS 定位模块，定时并提供设备所处的位置。
- (5) 内置通信模块，可以通过 4G 方式和云平台通信，上报报警信息。
- (6) 内置充电电池组，并具有太阳能电池板接入能力，可完全依靠太阳能供电。
- (7) 内置倾角、振动、冲击传感器，当发生未授权的拆卸、移动等事件时报警并上传位置信息。
- (8) 抗冲击工程塑料外壳，IP67 防水等级
- (9) 工作温度 $-30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。
- (10) 整体功耗低于 1 瓦。



图3 设备实物图

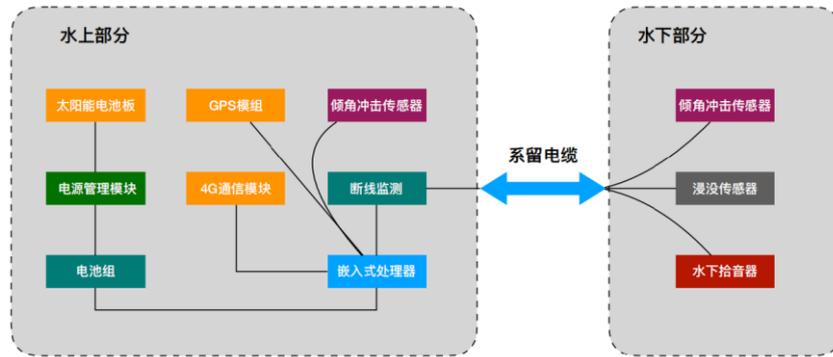


图 4 设备拓扑图

3.1.2 DITING1701 水下侦听器

- (1) 系留式潜水侦听器，工作在水下 0.2~2 米深度。
- (2) 坚固不锈钢密封结构，IP68，可达 400 米水压。
- (3) 音频采集范围 0.1Hz~20KHz。
- (4) 灵敏度-211 dB re 1V/mPa，侦听范围 3Km
- (5) 全向音频采集。
- (7) 工作温度-30° ~80°



图 5 网关示意图

当网关接收到水声通信模块传递的信号时，网关内置的嵌入式处理器将对信息水下声信号进行采集、记录、分析与对比获得音频信号，4G 通信模块将信息传递给非法采砂智能预警识别平台，上报报警信息。同时，当倾角冲击传感器、水下引起、浸没传感器发生授权的拆卸、移动等事件时报警并上传位置信息。

3.2 水下拾音器选型

水下声纹检测子系统中的时尚拾音器为飞碟防水拾音器，该拾音器由金属外壳保护且进行镀锌防腐处理，防水等级 IP 68。咪头灵敏度高、噪音低，能够很好的接受网关传输而来的信号，且自带降噪系统，能够有效的防止信号失真和衰弱。

3.3 水声通信模块设计

从水下声纹检测子系统对水声通信模块需求的角度来分析。应非法采砂船自动识别监控系统要求，水下声纹检测子系统应当实现自动识别及信息数据的实时传输，但由于水下声信号的传输需要实现无线采集、无线传输，且在采集与传输的过程中还需要保证信号的真实性与准确性，同时考虑水下声纹检测子系统对通信模块小巧外形的需求，并考虑性价比，本次设计的水声通信模块将采用 4G 通信模块。该系统的水声通信模块能够实现信号的自动调制与解调，当

系统接收到水下声信号时，PWM 通信模块对信号进行调制，经过信号一级放大、二级放大后，将信号传递给水声信道，水下声信号在水声信道中传输，并经过带通滤波后进行信号的解调，以此来避免信号失真的问题。

3.4 水下声学特征监控子系统

根据水听器监听情况，结合声纹库中存储的查扣船舶的发动机声纹特征进行比对、监控进出禁采区船舶是否属于重点疑似目标。

4 施工方案

采砂船作业监测系统主要由三个部分组成：后端服务平台、EV4103 岸边监控平台、DITING1701 系留式水下侦听器。DITING1701 系留式水下侦听器放置在靠近河岸的水中，监控 3000 米范围内的各种水下音频，进行频谱分析后和预先设定的采砂作业音频特征比对，如果匹配上，则立刻通过 4G 通信发送报警信号到后端服务平台。后端服务平台同时接收多个水下传感器的信息。当收到报警信息时，通过水下传感器发来的位置信息、报警状态，可以自动或人工的切换到 EV4103 岸边监控平台的摄像机视。通过人工识别判断是否虚警。如果是则安排行政干预。



图 6 长江镇江段水下监听布设位置示意图

为提高系统运行稳定性，本工程前端站点供电采用 AC220V 市电供电，以方便就近取电，同时在 EV4103 顶端设置太阳能帆板，实现太阳能供电，降低用电量。

为了保护用电设备的使用安全，前端站点配置电源防雷保护器进行用电设备保护，防止浪涌、感应雷击等恶劣环境对设备和人员造成影响。

4.1 配套工程

4.1.1 供电

为提高系统运行稳定性，本工程前端站点供电采用 AC220V 市电供电，以方便就近取电，同时在 EV4103 顶端设置太阳能帆板，实现太阳能供电，降低用电量。

为了保护用电设备的使用安全，前端站点配置电源防雷保护器进行用电设备保护，防止浪涌、感应雷击等恶劣环境对设备和人员造成影响。

4.1.2 安装基础

本项目前端新建站点所包括：雷达子系统、AIS 子系统、CCTV 子系统、船舶尺度检测子系统、水听器子系统。

为达到理想的监管效果，前端各类信息采集系统的安装位置的选择尤为重要，设备到监管水域要求无遮挡，保证扫描和视频抓拍无遮挡和障碍，确保系统实现效果。

4.1.3 防雷接地

系统配置相应的安全防范措施，系统的防雷接地与安全防护设计应符合《安全防范工程技术规范》GB50348 和《YY 系统助航设施防雷技术规范》的规定。

安装摄像机的安装基础应具有良好的建筑防雷设施, 监控点的摄像机和馈线应位于避雷针的保护角范围之内, 安装在建筑制高点的摄像机, 需安装避雷针, 并良好接地, 接地装置的接地电阻应不大于 $10\ \Omega$ 。

电子监管站配置网络防雷保护器和电源防雷器对站点设备进行防雷保护。

5 结论

综上所述, 非法采砂船自动识别监控系统的水下声纹检测子系统主要是利用分析水下声信号的方法判断是否存在非法盗采行为, 从而加强对非法采砂船的监管。水下声纹检测子系统中最重要的便是对拾音器的设计和水声通信模块的设计, 镇江市水上执法部门设计的非法采砂船自动识别监控系统中水上拾音器主要是飞碟防水拾音器, 水声通信模块是 4G 通信模块。

[参考文献]

- [1] 汤明, 高和来, 周成龙. 省(市)际边界水域采砂联动执法现状、问题及对策研究——以江西省九江市为例[J]. 水利发展研究, 2021, 21(1): 46-49.
- [2] 陈松平. 长江上的护砂猎人——长江河道采砂管理执法见闻录[A]. 《大江文艺》杂志社. 大江文艺(2019年第3期 总第180期) [C]. 中国: 中国水利作家协会, 2019.
- [3] 杨增青. 长江内河非法采砂船舶现状分析及治理研究——以湖南省“三无”船舶为例[J]. 长江技术经济, 2019, 3(2): 47-51.

作者简介: 曹荣 (1971. 11-), 男, 中央党校研究生, 2016 年任职镇江市水利局副调研员, 现任四级调研员。