# **3 系统总体结构**

## 3.1 系统指标

海洋油气勘探水声探测系统（以下简称水声探测系统）的指标非常苛刻，这是由于水声探测系统的不易维修性和高运营费用所决定的。等浮拖缆硬件系统十分庞大，通常在水下作业时如果出现问题，需要将整条拖缆通过绞车收回至船上，并带至岸上维修，每一次维护都及其不方便；再加上勘探作业需要专用的船只，每一次出航作业所耗费的人力财力都在数十万级别。鉴于此，指定水声探测系统的指标必须兼顾以下几点：

1. 整体系统的可靠性

船只出海作业时，有时候可能会连续数月在海上进行勘探，再加上海上环境的不稳定性，时常会有较大风浪等外界因素，强可靠性的系统能够节省很多不必要的人力财力开销，同时也能够省去系统维护的工作量，在所有指标中，这点是重中之重；

1. 数据传输的稳定性、高速性

等浮拖缆的长度由几百米至数千米不等，一般情况下每一个传输节点在拖缆上的间隔都有几十米，同时为了能够更加清晰的还原声学信号，往往需要较大的采样率，大的采样率也意味着大的数据量，所以数据传输的高速性是也系统的一个重要指标。但是高速的传输一般会伴随着稳定性的降低，传输丢包，导致一部分信息没采集到，其带来的影响往往大于低采样率的影响。所以，应先保证数据传输稳定，再兼顾高速；

1. 数据采集的同步性

水声探测系统属于四维探测，保证所有的采集模块在相同时间采集水听器数据是数据最终能不能反应出真实地貌的先决条件。如果各个采集模块并不能同步的采集水听器数据，甚至偏差较大，那么采集的数据无疑是无效的；

1. 数据的采样率

为了能够更加清晰的还原水声数据，解析出更加真实的海底地质形态，必须具备非常高的数据采样率，同时，更高采样率的采样率也更能够捕捉到微弱的水声信号；

综合考虑以上4点，制定系统的总体指标如表3.1所示：

表3.1 海洋油气勘探水声探测系统指标

|  |  |
| --- | --- |
| 指标名 | 参数 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

## 3.2 系统整体结构

水声探测系统的基本原理为：水下空气枪震源向海底发送地震声波，声波经过海底不同地质的反射至等浮拖缆监控区域，并由拖缆内部的水听器接收；接收的声波模拟信号被采集板以一定的采样频率采集转换成数字信号，声波数字信号经过一定的处理后经传输系统传至数据汇集系统（网关），并由网关系统对一定时间内拖缆上采集节点传输上来的数据进行整理，传输至上位机系统，上位机系统对接收到的数据进行实时的显示、存储。最后将探测的数据经过相关算法及定位解析反演出所勘探海域地形地貌图。

水声探测系统的整体系统框图如下图3.1所示。

图3.1：系统整体结构框图

从图3.1可知，整个水声探测系统大致可分为上位机系统、数据汇聚系统和采集传输系统三个部分。上位机系统为显示控制工作站，主要用于实现人机交互和采集数据的实时显示与存储。数据汇聚系统主要起到对水下采集数据的汇聚整理功能，并实现协议的逆转换，通过以太网将整理后的数据传输至上位机；采集传输系统为整个水声探测系统的核心，等浮拖缆内包含均匀分布的水听器，以及封装在水密性电子舱内的数据采集模块，每个数据采集模块之间通过双绞线实现数据、命令的传输，以及采样时钟的同步。

### 3.2.1 上位机系统

上位机系统，是水声探测系统的船上部分，是人机交互的核心。从功能上讲，可以将上位机系统划分为两个部分：一部分负责数据接收、显示及记录的录取平台；另一部分为控制系统。其结构框图如下图3.2所示：

图3.2：上位机系统示意图

上位机系统主要需要实现以下功能：

* 实现人机交互，接收来自操作人员的命令信息，向水下发送命令流，通过网关系统同步分发至水下数据采集系统，控制系统工作状态（采集/停止采集、增益等）；
* 接收来自数据汇聚系统的海洋地震波数据，将接收到的数据存储至系统磁盘中，并对接收的海洋地震数据进行实时的显示或者部分显示；
* 震源控制系统，实时控制震源发出地震波；
* 导航控制系统，明确每一部分地震数据来源；
* 水鸟控制系统，实时控制等浮拖缆在海洋的深度。

除上述几点主要功能外，上位机系统还具备磁盘数据回放、日期信息显示、震源炮号记录显示、清晰的帮助文档等简易后期操作的辅助功能。

### 3.2.2 数据汇聚系统

数据汇聚系统负责采集水下采集传输系统的数据接收、预处理、打包整理和传输至上位机系统。因此，数据汇聚系统的性能直接影响到整个水声探测系统的性能。如果数据汇聚系统的设计不合理，将导致系统的性能不足，使其带宽不能负载采集传输系统上传的数据量，导致系统瘫痪。

数据汇聚系统内部按功能划分主要可分为5个模块，分别为命令管理模块、数据处理模块、水下数据/命令收发模块、超时控制模块和水上数据收发模块。其模块关系图如下图3.3所示。

图3.3 数据汇聚系统内部模块结构图

命令管理模块：主要负责转发上位机参数配置和水下系统工作状态控制等命令，接收水下系统的命令回应给上位机。同时向数据处理模块发送相关控制信息。

数据处理模块：按照需求定义将数据收发模块接收到的数据整理成一定格式，并响应超时控制模块信息，如果发现丢包情况则做填0处理；

水下数据/命令收发模块：接收等浮拖缆内采集传输系统上传的海洋地震数据，完成数据接收的同步，在开始接收时，通知触发控制器开始计时，结束时触发信号通知数据处理模块开始整理，并按照自定义协议解析出采样的数据，发送给数据处理模块。

超时控制模块：计时每个数据接收周期，如果发现接收超时的情况，则发送触发信息通知数据处理模块未收到指定标签的数据包；

水上数据收发模块：将整理完成的海洋地震数据，通过以太网发送至上位机系统；

### 3.2.3 数据采集系统



水下系统（也叫做拖缆），主要包括在拖缆内等距分布的水听器基元、数字包、水下声源以及拖曳收放系统等。水所器是直接拾取水下声学信号的声学传感器，数字包是水下电路的节点，每个数字包由采集模块和传输模块组成，可以对水声信号进行信号调理、模数转换并形成传输码流，数字包采用级联方式形成水下水声探测探测拖缆的物理链路；根据不同的探测应用，可以随意调整数字包的个数，水下系统的最前端与船上系统进行双向通信的数字包也被称为湿端接口模块。水下声源仅用于主动探测方式，目前常见的是高压水下气枪阵列，用于激发具有较高瞬间能量的水下声波。拖缆由高强度聚氨酯加工而成的透声性能良好的线列阵外壳、钛合金材质的数字包外壳、以及各种水密性接插件组成。拖曳收放系统主要用于控制拖缆姿态，有水鸟[]、尾部浮标（简称尾标）等，这些辅助设备能保障拖曳阵水声探测系统在探测作业中处于恒定的工作状态，如水鸟会实时调控每段拖缆使其保持在水下固定深度，尾标可以保证拖缆处于直线状态，尾部不会下沉。

水声探测采集系统是由数字包中的来集模块完成信号的数据采集，其中主要由水听器（基元）、滤波模块、放大模块、ADC组成，它是水声探测系统的数据来源，该模拟前端将决定着系统数掘结果的质量和有效性。

水所器通过测量声能量在水中传播时引起的传感器压力变化来获取信号幅值，由子线列阵中均匀分布多个通道的水听器，因此水听器的分布式信号调理电路信噪比和采集电路各通道间定时精度决定了系统对水声信号的测量精度[22]。

拖曳阵的数据采集流程如下：水听器线列阵将水中的声音信号转换成电信号，由信号调理电路进行信号的滤波放大，再经过型模数转换器（ADC）进行时间和空间的等间隔采样，ADC采样的基准时钟取自采集板本地的锁相环以及高精度的本地4KHz同步时钟脉冲，将ADC采样完成的标志位同4KHz基准源通过锁相环同步，可保证在本地工作的每个ADC及每个通道的定时精度。由子ADC输出转换完数据的时间点与基准时钟4KHz一致，而锁相环完成锁定需要一定的时间（可能需要几秒甚至更长），频繁的锁相将会降低效率，所以可以上电即使得采集板开始采集工作以便完成锁相。而采样数据是否进入传输板级联信道，取决于拖缆系统是否收到上位机下传的开始采集命令，一旦收到此命令，采样数据将会按照一定的帧格式，继而传输到水上系统，进行实时数据的处理、存储及波形显示。

* 水听器信号调理电路设计

合理的水听器信号调理电路是采集板提供有效采集数据的关键。压电式和光纤式水听器目前广泛应用于海洋探测。本文采用压电水听器，压电水听器的原理是基于压电介质的压电效应而成的。压电水听器动态范围很大，上限和下限相差以上，为了保证下信号进入ADC之前保证同等的信号幅值，所以要在进入ADC之前加入增益可调的放大电路来调节信号幅值。为了避免ADC输入信号饱和，水听器的输出信号经过放大之后进入ADC的幅值应该小于其电源电压，根据水听器指标，信号调理电路的放大模块要实现54dB~90dB可调节的电压增益。为了实现可调电压增益，在本文的设计中设计了前置放大、固定増益放大、程控增益放大三级放大电路。前置放大器选取的依据为低频噪声功率密度低的片，主要是实现低通滤波放大的功能：固定増益芯片选取的依据是带反馈电阻、放大增益稳定；程控放大实现了增益可调，选择放大倍数与水听器指标匹配的放大器。放大器的设计同时还要考虑带内增益起伏和带外倍频程衰减的要求。右弧型ADC是唯一分辨率达到24位的转换器[23]，所以不予考虑积分型等其他类型的ADC。这种ADC可完成8个通道的模数转换过程，考虑到数字包之间的传输距离及每个数字包的体积限制，每个数字包中包含2个ADC芯片，可同时转换16道水听器基元的数据。此外，采集模块还有自检功能，在每次作业前可测得谐波抑制比，直流偏移，通道一致性，串扰等各方面指标，保证勘探作业高质量的完成。

随着水听器线列阵规模的扩大（如512基元的水听器阵列可达数千米长）和信号带宽的上升，拖曳阵水声探测系统的数据传输量会迅速增加，可能会达到十兆百兆的数量级。因此合理的传输系统、拓扑结构设计、实时存储技术是研究的关键。传输系统的总体设计目标是实现水听器线列阵数据及命令的稳定传输，以及健壮的传输协议，包括命令信号、同步信号以及数据帧的发送、转发和接收等各个环节。根据所处位置，可以将传输系统分为拖曳阵水下传输系统（水下系统）以及拖曳阵与船载上位机之间的通信系统（船海系统）。

拓扑结构是网络中各站点间的连接形式，主要的拓扑结构有：总线型拓扑、星型拓扑、环型拓扑、树型拓扑、混合型拓扑等[24]，通过分析和比较各类拓扑形式的特点，水下系统使用级联式拓扑结构如图2-3所示，级联拓扑结构是由环形拓扑发展而来，将每个数字包逐次连接形成拖缆系统。

在数据传输方面，传输信道可以分为上行和下行两个部分，上行信道主要任务是数字包数据和状态信息的逐级实时上传，下行信道主要任务是解析并转发各种命令。由于上行数据率远大于下行数据率，如果采用上行和下行共用同一个信种命令。由于上行数据率远大于下行数据率，如果采用上行和下行共用同一个信双工的传输系统，这个传输系统是不对称的。水下拖缆系统由每个相同的数字包级联成流水线结构。由于传输距离和传输速率成反比关系，这种流水线型的传输将減少数字包之间的传输距高，更容易实现高速率的传输。

在通讯协议方面，本论文设计了速率可变的远距商数据传输协议。基于网络通信系统的基本参考模型，建立了适合拖曳线阵列传输特点的分层传输信道体系结构。本系统中的拖曳阵类似于服务器，上位机类似于客户端，当上位机发起采集指令时，处于客户端模式，而拖曳阵处于服务器工作模式；当上位机停止采集时，客户端不再访问服务器，通信停止。

船海传输系统主要任务是实现水下拖缆系统与船上系统上位机之间的通信。船海传输系统和船上系统组成了水声探测数据录取系统。水下拖缆的数字包设计大体一致，唯一区别的是与船上系统最近的数字包，也叫做湿端模块，湿端模块只包含供级联传输使用的传输板，不包含采集板。湿端模块与上位机的通信介质是2根单模光纤。光纤有通信容量大、中继距离长、体积小、重量轻、便于维护的优点，而湿端距离上位机距离较远且不固定，所以光线是船海传输介质的首选。

船海传输系统是水声探测数据传输至上位机的最后一个环节，是水下系统所有传输数据的累积，所以船海传输系统是整个水声探测系统有效数据率最高的环节。船海传输系统的性能将直接关系整个水声探测系统的带道能力和扩展能力，根据某军工项目的指标，本水声探测系统应该具有实时接收和处理512个水听器的数据量的能力[34]，具体地来说，本拖曳阵水声探测水下系统至少包含32个数字包，且每个数字包可供16个通道的信号采集。同时根据指标要求，每个通道的模数转换器采用24位型ADC，信号采样率最高可达4KHz。因此，本水声探测系统总的净数据率Vt为：

Vt=32X16X24X4000=49.152Mbps （2-1

根据第2.4.l小节中介绍的本项目自定义的传输协议，每个数据包将采集模块每个时刻采集的 l 6道数据组成一个数掘帧后向上一级数字包传输。该数据帧由80字节组成，每个字节为8bit。具体组成如图2-5所示。

帧头标识了数字包号及数据帧的帧类型、帧编号、时间戳、增益值及后期系统展时预留空问等信息，数据段用于存储16个水听器某一时刻采集的数据，每个通道某一时刻采集的数据存储为4个字节，也就是32位[34]。为了减小信号衰减和实现信号的远距离传输，采用8b-10b直流平衡码进行编码后进行传输。因此，水声探测数据录取系统的传输速率心为：

Vm=32X（16X4十l4十2）X4000X10=102.4Mbps （2-2

因此，为了满足水声探测系统的要求，本数据录取系统必须具有强大的实时数据交换，数据传输和数据处理能力。

## 3.3 本章小结

本章在绪论的基础上对声吶总体系统日标进行介绍，说明了声口内系统的组模块及其工作流程，重点分析了系统的传输系统及其设计指标，为后续章节提供研究的基础，后续章节将以传输系统日标为中心进行探讨。