# **3 系统总体结构**

## 3.1 系统指标

### 3.1.1 系统目标

拖曳线阵水声探测系统（以下简称水声探测系统）的总体目标是实现具有自主知识产权的可持久连续工作的实用化拖曳式水听器线列阵（简称为拖缆），即设计并实现了一种通用型的水声探测数据采集与传输系统，可以支持主动式或被动式两种水声探测方式。

水声探测系统的应用受到两个方面的制约。第一不易维修，拖缆硬件系统庞大，而且是一个整体，下水以后出现任何问题都需要把系统整体回收，上岸维修，严重时甚至需要解剖维修；第二运营费用极高，必须使用勘探专用的船只，一次出海探测的费用可能在数十万。针对这两个制约因素，拖曳阵水声探测系统需要更高效更可靠，可以从以下几个方面考虑。

1. 系统的高可靠性

在某些情况下，如反潜作战，水声探测系统需要连续不间断的运行数月甚至数年，系统的高可靠性能减少系统维护工作量，是水声探测系统所有指标中的重中之重。

1. 对微弱信号的高分辨率

模数转换中，模数转换器的分辨率对微弱信号的检测有很直接的影响，分辨率越高，量化误差越小，越能检测出水下的微弱信号。

1. 各采集模块的高精度同步性

时间参数在四维时移水声探测测量中是反演出地形的重要因素，所以要保证每个模数转换器同时获取水所器信号，如果各个数据采样点之间存在较大的时间误差，则最终结果将缺乏有效性。

1. 大数据量的传输稳定性

水声探测拖缆的长度有几百米，有时甚至达到数千米，其中有大量的水听器基元；另外，为了更清晰的还原信号，需要有较大的采样率，这样也意味着需要釆集非常大量的数据。因此，大数据量的传输稳定性也是一个重要指标。

1. 大量数据的实时存储

为了记录水声探测线阵列采集的大量数据，需要有大容量的存储介质，同时为了配合数据的高速采集和传输，数据的存储也要有更高的实时性。

### 3.1.2 总体指标

系统总体指标如表2-1，涉及到采集系统的指标如表2-2，主要体现了模拟信号的指标及模拟信号转换为数字信号的转换指标。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

## 3.2 系统整体结构

图x：系统结构框图

水声探测系统工作的基本原理是：通过水下气枪发射声波传至海底，经过海地层反射至拖缆工作区域，再由拖缆系统的水所器接收信号，模拟信号经过采集系统调理并转换成数字信号，再通过拖缆系统传输至计算机磁盘或者其他存储备进行实时存储、显示、格式转换等。最后，由接收到的探测数据根据波束形成或者声援定位的算法可反演出地形地貌图。

水声探测系统结构如图2-1所示。从所处位置来看，整个水声探测系统可分为船上系统和水下系统西部分，水下系统的核心为水声探测探测拖缆，拖缆内包含等间隔排列的水听器、封装在水密性电子舱内的数字包、每个数字包包含的传输模块和采集模块，数字包之间用于通信的双绞线（命令下传通路、数据上传通路）等。船上主要为主控工作站，是水声探测数据录取系统的核心，用于实现人机交互和水下采集数据的实时存储与波形回显等功能。

本水声探测水下系统的作业过程：等间距的水听器阵列将声音信号转换为电信号，由数字包中的采集板对信号进行放大、滤波、采样后，按照固定的格式将采集板数据帧传输到传输板，传输板按照固定的数字帧格式将数据级联传输到湿端接口模块（与船上系统的接口），湿端接口模块收到数据后，把电信号转换成光信号经过单模光纤传输至计算机接口卡（与水下系统的接口），继而数据将进入了上位机，上位机一方面要对数据进行抽取、格式转换用于波形回显，一方面要把数据存储成固定的格式（如地震勘探SEG-Y格式文件），一方面要实现人机交互界面，接收用户的命令再将命令转发到水下系统。

### 3.2.1 船上系统



船上系统主要包括水声探测数据录取系统以及其他辅助部分（如电源系统、GPS/北斗时标定位系统和水下声源系统等）。如图2-2，水声探测数据录取系统是本文讨论的核心，由上位机（计算机）和线列阵接口组成。其中，线列阵接口由光纤和PCI采集卡组成，用于连接上位机和水下系统，实现光纤和PCI接口之间的数据转换，同时实现PCI接口的命令下发和数据上传。计算机完成功能如下：接收并转换PCI卡上传的数据，将数据存储为地震勘探格式的文件；控制水声探测系统的工作状态（启动、复位、停止、增加设置、参数配置等）；完成数据处理及波形回显等功能。

### 3.2.2 网关系统



### 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。