# 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 |
| 节点数 | 80个 |
| 节点通道数 | 16 |
| 节点间距 | 50米 |
| 水听器间距 | 3.125米 |
| 节点尺寸 | 长度≤80mm，宽度≤16mm，高度≤9mm |
| 工作电压 | 6～15V |
| 节点功耗 | ≤3.5W |
| 采样频率 | 12K |
| ADC分辨率 | 16 |
| 系统增益 | 0-60Db，最小可调刻度6dB |
| 支线数据线 | ≤2根 |
| 干线数据线 | ≤4根 |
| 支线传输距离 | ≥50米 |
| 干线传输距离 | ≥90米 |
| 工作温度 | -10℃～50℃ |
| 存储温度 | -40℃～70℃ |
| 可承受最大静压力 | 4.5Mpa |

## 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。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。

图3.1：系统整体结构框图

### 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 采集传输系统

采集传输系统，也叫水下系统。主要包括在等浮拖缆内等间隔分布的采集传输节点和水听器。水听器是一种声学传感器，负责接收海洋声学模拟信号；采集传输节点由采集模板和传输板组成，采集板负责采集水听器获取的模拟信号，进行信号调理和数模转换后，将数字信号传输给传输板，由传输板整理后形成传输码流。采集传输节点采用级联方式的物理链路分布在拖缆中。

作为水声探测系统的模拟前端，采集板性能的好坏直接决定了采集数据的质量和可靠性。其构成主要包括滤波模块、增益模块和模数转换模块。滤波模块主要负责滤除海底的高频噪声，提高数据信噪比；放大模块可放大微弱的声学信号，使模拟数据在采样后不至于失真；模数转换模块按照一定的采样频率，对滤波放大后的模拟信号进行采集，ADC的采样基准时钟来自于主节点产生的高精度的板间同步时钟以及自身的锁相环，转换成数字信号发送给传输板。由此可见，采样频率的高低将直接影响到数据的精确性。为了获得更加清晰的地震声波数据，本论文研究设计的系统采样频率由最初的6kHz提升为12kHz。

在数据传输方面，本系统的传输通道可分为上行通道和下行通道两个部分，上行通道主要用来实现水声数据、状态信息、命令响应的逐级上传，下行通道的主要任务则是传递水上系统下达的命令信息。由于数据传输距离与传输的带宽基本成反比关系，综合考虑总线型拓扑结构、星型拓扑结构、环形拓扑结构和混合型拓扑结构，本系统采用由环形拓扑结构演变而来的级联式拓扑结构，每一个采集传输节点在采集发送自己的数据包的同时，也充当来自其它节点数据包的中继，这样即可实现数据的高速传输，又兼顾了传输距离。

另外，为了增加传输系统的稳定性，本系统引入了双环路传输机制，即对采样的数据进行奇偶划分，奇数标签的数据包往左传输，偶数标签的数据包往右传输，最后由数据汇聚系统进行统一整理。如果发送一遍链路中断的情况，则系统自动改变成所有数据往另一边链路传输至数据汇聚系统。

本采集传输系统的拓扑结构如下图所示：

图3.4 采集传输系统拓扑结构图

综上，本采集传输系统的工作流程如下：水听器通过测量由于声波能量变化引起的声学传感器形变获取信号幅值，产生水声模拟信号；数据采集板对水听器采集的水声模拟信号进行过滤、放大以及按照一定频率进行AD采样后，转换成水声数字信号传输给传输板。传输板在通过传输系统下行通道接收到来自上位机的开始采样命令时，打开传输接口RS485，获取地震声波数字信号，并对数据进行整理，贴标签，并根据标签号，链路通断情况，将数据包发出，上传至数据汇聚系统，最后由数据汇聚系统完成所有节点的数据整理，传输至上位机进行实时显示及存储记录等操作。

根据本水声探测系统指标，本水声探测系统应该具有80个采集传输节点，每个节点16个通道，也就是总共需要1280个水听器，同时根据指标要求，采样频率为更高的12KHz，且每个通道必须使用16位的模数转换器。由此可计算本水声探测系统至少需要的传输带宽为：



如式3.x所示，随着水声探测系统采样频率的增加及系统规模的扩大（采集传输节点个数增加伴随的水听器规模快速增长），导致水声探测系统的数据量数倍增长，由原先的数十兆比特每秒的数量级已经变为如今的最低带宽245.76Mbps，已经远远超过百兆以太网的极限，如果使用千兆以太网，数据传输链路将会增大一倍，不利于系统的小型化。且由于之前的系统已经按照以太网设计，所有的业务逻辑，命令格式都已经按照以太网协议设计，重新设计一套包含采集、传输和所有业务逻辑规则的水声探测系统任务量太过庞大，且不利于系统的稳定，工程上最怕的就是失控。鉴于此，本论文提出并设计了一种基于以太网修改的自定义传输协议，在所有涉及IP协议层以上的逻辑不变的前提下，自主研发数据链路层通信协议，结合FPGA的SerDES接口，设计并实现数据链路数及顶层业务逻辑不变的前提下，满足本系统传输熟虑指标的通信传输协议。

另外，为了更加完善的达成系统指标，本论文还提出并设计了系统诊断模块，为系统的前期调试和后期维护，节省了大量的人力财力成本。

## 3.3 本章小结

本章首先重点介绍了本论文研究的海洋油气勘探水声探测系统的具体系统指标。其次概要地介绍了整个水声探测系统的具体框架，然后将整个系统分成上位机系统、数据汇聚系统和采集传输系统三个部分进行了说明，为后续章节研究提供了整体框架，并更具指标要求引出本论文研究核心：自定义协议及系统诊断模块。