# 1绪论

## 1.1课题背景与意义

随着现代化工业的迅速发展，能源已经成为现代化发展不可或缺的一部分，而石油在能源中又占领着举足轻重的地位。我国经济的处于高速发展，对石油的需求也越来越大，石油需求的缺口已经逐渐影响到我国常规能源结构的战略安全。为了缓解石油能源的紧缺，我国在积极寻找国外石油资源的同时，也加大了国内石油的勘测和开发。据2017年《国际石油经济》数据统计，自2000-2017年全世界新增加的油气中有70%以上来自海洋。另外，在深海区域中发现的油气占全世界新增能源的50%以上，这充分说明深海区域内的油气储藏量已经成为当下能源的主要承载者。

中国具有十分广阔的海域，也具有十分丰富的海洋油气资源储藏量，潜力巨大。在我国南海区域，有着被称为第二个波斯湾的海洋油气积聚区，与波斯湾，欧洲北海和墨西哥湾并称为世界四大海洋油气积聚区。然而，截至目前，主要的海洋油气勘测技术及设备依旧掌握在外国人手中，进口国外的海洋油气勘测设备需要支付高昂的费用。因此，研究具有自主知识产权的海洋油气勘测技术，生产具有自主知识产权的海洋油气勘测设备，打破国外海洋油气勘测技术垄断，实现我国在深海油气勘测技术领域的跨越式发展，具有重大意义。

迄今为止，人们发现的能在水中传播的能量主要是电磁波和声波，由于电磁波在水下衰减十分厉害，而声波根据频率的不同在水中远距离变化很大，例如自然地震产生的声波传输距离为100-5000km级别。因此，水声探测技术在海洋勘测技术领域中占有着非常重要的地位。地震勘探技术是水声探测技术的一种典型应用，也是目前海洋油气勘探的主流技术。海洋地震勘测设备主要由空气枪，拖曳线缆系统，电子控制系统组成。空气枪作为人工震源向海底发送声波，拖曳线缆系统种含有多个水听器及声波数据采集传输模块，电子控制系统负责拖曳线缆中水听器接收的声波数据的汇聚与记录。大型的海洋地震勘测设备中有数百个水听器，拖缆线阵的长度也是达到了数十千米。如何实现水听器数据的同步采集与传输是海洋地震勘测技术的关键。

所以在海洋油气勘测如此严峻的形势下，开发设计成熟、稳定、低成本的海洋地震勘测数据同步采集传输系统具有非常重要的工程价值。本文利用驱动编程技术，设计并开发了基于NXP ARM处理器的嵌入式同步数据采集传输系统，并设计出基于以太网协议修改的数据传输协议，实现了海洋地震勘测设备数据同步采集及高速传输功能。系统可靠，成本低，为实现大规模海洋油气勘测提供了可靠的解决方案，具有非常高的实用价值。

## 1.2海洋地震勘探简介

海洋地震勘探技术在原理和方法上，与陆地地震勘探技术相同，但由于海洋环境较陆地环境更为恶劣，海上地震勘探技术相比于陆地地震勘探技术有所区别，主要体现在导航定位系统、震源系统和地震波接受方法三个方面。由于海上情况的特殊性，必须选择高精度的导航定位系统。就目前而言，主要的导航定位技术可分为GPS卫星导航定位、激光定位和水声探测定位等。海上导航定位技术已经发展成为一整套成熟的技术可随时为海洋油气勘探提供船只、震源和水听器的准确位置，极大的提升了海洋油气勘探的定位精度，改善了勘探效率。

在海洋地震勘探技术中，震源也和陆地地震勘探技术也有所差别，海洋地震勘探并非炸药震源，而是采用空气枪、蒸汽枪、电火花等非炸药震源产生地震波，其中主要运用空气枪作为震源，运用比例占95%以上。

另外，在地震波的接收方式上，海洋地震勘探也与陆地地震勘探有所区别，海洋地震勘探采用船只拖着一条长拖缆（等浮电缆）的形式进行采集。船拖着等浮电缆在海上航行，等浮电缆上装置着一定数量的水鸟装置用于控制等浮电缆的深度，接收地震波的传感器以及数据采集传输节点按照指定的排列方式分布在等浮电缆中。

当地震勘探船只在海上进行勘探作业时，拖着等浮电缆以一恒定速率沿着预先设定好的测试航线前行，根据测试航线上预先设定好的炮点开启震源发出地震波，一般设置两炮点之间间距相同。由于上船只在海上航行速率恒定，所以震源每次开启的事件也是等间隔的。另外，因为海洋上不像陆地上的情况会收到各种地形或者其它障碍物的影响，地震测试线路可以均匀分布，勘测过程就可以无间段的进行。用于接收水下采集的地震波数据的汇聚中心系统放置在船上，除此之外，地震船上还配备卫星导航定位系统，水鸟控制系统，分别用来进行船只的定位和等浮拖缆的深度控制。结合船上导航定位系统与水下等浮拖缆上的定位控制系统，可实现拖缆中不同数据通道的精确定位。

在处理流程上，海洋地震勘探与陆上地震勘探相同，主要也分为地震波数据的采集、传输、记录和解析四大环节。地震数据的采集就是震源发出地震波，水下采集传输系统接收地震波模拟信号，并对模拟信号进行放大、滤波和数字化处理；地震数据的传输是指按照一定的协议，将数据向上传输至船上的数据汇聚系统；数据的记录是指将数据汇聚系统接收到的数据包传至上位机，并按照一定格式存储在磁盘中；地震数据的解析就是将记录的地震波数据按照地震波相关原理解析成海底图纸结构剖面图等图像信息的形式，供富有经验的地质专家分析油气储藏情况。

采用拖缆式的海上油气地震勘探技术示意图如图1.x所示：

图1.x：海上油气地震勘探技术示意图

## 1.3国内外相关技术研究现状

从上个世纪70年代以来，水声探测技术广泛应用于水下目标检测，油气勘探，海洋资源开发等多个领域。在海洋油气勘探领域，存在着诸如电磁勘探，海底节点及海底电缆等技术，但是海底电缆由于其高精度的勘探水平，使得海洋地震勘探技术始终处于海洋油气勘探的主流地位。

### 1.3.1国外研究现状

从上世纪70年代起，海洋地震勘探技术陆续在国外兴起，经过几十年的发展，在全球范围内基本形成了以法国Schlumberger公司、serce1公司，美国ION公司、HTI公司为主导，其它公司依靠自身独特的优势寻找市场生存空间以及发展机遇的格局。

法国Schlumberger公司开发出的“Q-Marine”海上采集系统是目前世界上最先进的海洋地震勘测设备。该系统最多可同时拖曳20根等浮电缆，每根等浮电缆全长12km，以及配备4000多个水听器，总共可接收80000多个通道数据。同时，在水听器灵敏度、定位精确度、拖缆的可调节深度以及震源的强化控制成都等方面，大都处于当前全世界领先地位。该系统可提供质量无可比拟的海洋地震波数据。

美国ION公司，原名为美国I/O公司，在上世纪末，ION公司只能生产辅助型的海洋勘探设备，如今却已经成为世界第二大海洋地震勘探设备供应商。ION公司率先发明了当前最新的第六代海洋地震设备的核心技术——基于MEMs的全数字水听器。该公司之所以能够成功，与其都尖端的技术追求和产品性能多元化理念是分不开的。其生产的设备普遍用途广泛，可用于诸如油气勘探、环境监测等多个领域。

法国SERCEL公司也是目前全球领先的海洋地震勘探设备供应商之一，其最著名的海洋地震勘探设备以SEAL命名，SEAL系统主要包括由数据采集系统与设备通信接口组成的水下系统和由控制模块、显示模块组成的水上系统。SEAL系统的主要优势在于小型化，其水听器在拖缆上是线列排布的，拖缆缆体直径只有不到50mm，移动操作方便，系统结构灵活度高。目前SERCEL公司最新的SEAL系统设备型号是Seal428。

美国HTI公司提供的海洋油气勘探系统以SeaMUX命名，该系统采用22AWG双绞线信号传输线，并且其设计的拖缆为双向连接模型，方便的同时也增加了数据传输的鲁棒性。

除此此外，美国FairField，加拿大Geo-X等几家公司也推出了各具特色的相关产品。表1.1列出了4个主导公司的设备及相关的产品特点。

表1.1 部分国外公司产品

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 产品型号 | 最大通道数 | 产品特点 |
| Schlumberger | Q-Marine | 80,000（多缆） | 精确度高，可控性强 |
| ION | DigiSTREAMER | 19,200（多缆） | 精度高，用途广泛 |
| SERCEL | Sentinel | 1260 | 小型化，操作方便 |
| HTI | SealMUX | 960 | 强大的鲁棒性 |

### 1.3.2国内研究现状

我国海洋石油勘探技术起步较晚，在上世纪80年代，我国在海洋油气地震勘探领域实现从无到有的重大突破。1973年，我国引进了第一台海洋地震勘探设备——SN338B勘探仪。1999年，引进美国Fairfied公司的BOX海洋地震勘探数据采集传输系统。这是一套具备1800个水声通道的水下地震数据采集传输系统，在当时已经十分先进，但同时也付出了极为高昂的费用。

进入新世纪后，随着国务院对“908专项”的正式批准，我国掀起了海洋资源开发技术研究热潮，国内越来越多的高等院校及研究所开始进行海洋油气勘探设备——拖曳式水声探测系统的相关研究。包括水听器、数据传输速率以及传输距离等方面进行研究。在水听器方面，清华大学的廖延彪教授使用PGC光纤发明了干涉型水听器，该水听器相比于传统的压电式水听器具备灵敏度更高，探测范围更广的优点，能够实现对微弱海洋地震信号的检波；国防科技大学的胡永明教授使用滤波技术，实现光纤水听器的高混叠抵抗力[14]。在数据采集传输系统方面，中科大的宋克柱教授使用型数模转换器（ADC）和流水线式的结构优化了地震数据的传输距离以及天津大学的段发阶教授研发了基于LVDS的传输方式，实现了鲁棒却较高速的水声数据传输。除此之外，国内还有许多其它科研单位对水声探测技术进行研究，也取得非常不错的成果。但是，总的来说，我国的海洋水声探测技术依旧处于初步阶段，与国外大部分海洋油气勘探方面非常成熟的公司所生产的设备相比，在性能在还是存在很大的差距。

## 1.4课题研究内容

本文研究开了一个基于ARM架构的NXP LS1024处理器的海洋油气勘探数据采集传输系统。该系统实现了水下声学数据的实时采集、稳定高速的远距离传输和各种逻辑业务处理；研究及设计的内容主要可分为以下几个方面：

1. 研发基于以太网修改的自定义传输协议

为了获取高清晰度的海底地质情况，需要增加海洋地震声波的采样，这无疑会增加整个系统数据传输的负担，传统的百兆以太网传输协议已经不能满足需求，而千兆以太网需要传输的链路是百兆以太网的两倍，不利于系统小型化，基于此本文研究设计了基于以太网修改的自定义数据传输协议，在不增加数据传输链路的前提下，加快数据传输熟虑，完美的负载了高密度的水下声学数据传输。

2. 实现处理器与FPGA之间的高速通信

海洋水声采样数据通过RS485串口传至LS1024A处理器，这些大量的水声采样数据需要从处理器传至FPGA，再由FPGA的SerDES接口发送出去。为了实现LS1024A处理器与FPGA之间的高速数据通信，同时降低采集传输系统在LS1024A处理器与FPGA数据传输上的耗时，本文使用了PCIe技术、DMA技术以及Linux编程技术，并结合GPIO中断的异步通信机制，设计了处理器与FPGA之间的高速传输接口。实现处理器与FPGA之间规范且高速的数据传输。

3. 设计故障诊断系统

海洋油气勘探系统工程庞大，数据采集传输节点数量非常多，交付后需要打三防、封装，不利于硬件调试，且芯片使用久后容易出现老化损坏。针对这些问题，本论文设计故障诊断系统定位故障芯片、接口（板内线路），方便了节点交付前期的调试及后期故障诊断，极大的节省了人力成本。

## 1.5本文组织结构

本文的组织结构安排如下：

第一章：绪论。主要论述了基于NXP ARM处理器的海洋油气勘探数据传输系统的研究背景及意义。阐述了海洋地震勘探技术在油气勘探领域的应用，国内外研究现状及本论文研究内容和组织结构。

第二章：相关技术介绍。本章首先介绍了嵌入式处理器的相关概述，然后介绍了基于ARM架构的NXP LS系列处理器以及本系统所运用的LS1024A处理器；最后介绍了高速数据传输PCIe接口技术、内存直接访问DMA技术。

第三章：系统总体结构。本章首先介绍了本系统的目标及总体指标，然后介绍了系统整体结构，并将系统整体结构分成三个子系统：船上系统、网关系统和采集传输系统分别进行介绍。

第四章：系统总体设计。本章首先描述了本系统所基于的硬件平台框架。然后介绍了系统软件的概要设计。包括系统的模块划分、每个模块的功能以及整个系统的软件业务流程。

第五章：系统软件详细设计。本章首先介绍了本系统总体的软件框架，讨论了该框架下各个模块之间的任务通信、数据传输方式、任务组织形式。然后详细介绍了自定义协议的具体通信机制，CPU与FPGA数据传输的具体实现以及故障诊断系统内容，最后对本系统进行性能及功能测试，给出测试结果。

第六章：总结与展望。对本论文所研究的工作进行总结评价，分析了系统优缺点。并对本系统的进一步优化进行展望。