

# 多路水听器参数扫描测试分析设备的研究与设计

张波, 张朋坤, 王长江, 张文成, 王萍

(海军青岛雷达声纳修理厂, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 针对目前声纳多路水听器静态指标测试过程复杂, 测试效率低的现状, 设计实现了一种智能多路水听器参数扫描测试分析设备; 基于 Visual Studio 开发的多路水听器参数扫描测试分析软件运行在 PC 工控机上, 通过通信端口控制绝缘电阻与等效电容测试电路对水听器静态指标进行测试, 并实时显示测试数据; 同时将测试数据保存至数据库中, 可实现对测试数据的查询、复现、分析与生成测试报告等功能; 通过装备试用表明, 该设备测试过程简单、测量精度高、性能稳定, 有效提高多路水听器指标测试效率, 满足声纳装备保障实际需求, 具有良好的应用前景与推广价值。

**关键词:** 水听器; 绝缘电阻; 等效电容; 智能测试

## Development and Design of Parameters Scanning Test and Analysis Equipment of Multi-Channel Hydrophone

Zhang Bo, Zhang Pengkun, Wang Changjiang, Zhang Wencheng, Wang Ping

(Navy Qingdao Radio and Sonar Mending Factory, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** In view of the current problems that the test process of static indices in sonar hydrophone is complex and inefficiency, an intelligent multi-channel hydrophone parameters scanning test and analysis equipment is developed. The software of multi-channel hydrophones parameters scanning test and analysis equipment based on Visual Studio runs on industrial computer. It can control the test circuit of insulation resistance and equivalent capacitance with the communication port to test the static indices of hydrophones and the test data can be displayed in real time. At the same time, the test data can be saved in the database, which can query, reproduce, analyze and generate test reports. The trial process of the equipment has shown the several advantages of simple operation, high test precision and stable. It can effectively improve the test efficiency of multi-channel hydrophone index and meet the actual needs of sonar equipments maintenance. It has good application prospects and promotion value.

**Keywords:** hydrophone; insulation resistance; equivalent capacitance; intelligent measurement

### 0 引言

在现代水下作战体系中, 声纳作为主要水下探测手段, 担负着警戒、探测、侦察、通信等重要使命任务, 受到越来越多军事强国的重视。声纳水听器做为声纳装备采集水下声信号、进行声-电转换的重要传感器, 其性能好坏直接影响声纳装备的综合探测能力上限。由于声纳水听器所处水下环境较为恶劣, 因此为了监测声纳水听器技术状态, 保持其性能稳定, 需要对水听器进行定期检测与维护保养<sup>[1-2]</sup>。

绝缘电阻与等效电容是目前在外场环境中反映声纳水听器性能优劣的重要静态指标。传统测试方法需要人工使用通用兆欧表与电容表, 逐一测试声纳水听器, 而且通常需要一边测量, 一边记录。现代大型声纳通常由几十到几百路水听器基元组成阵列, 以提高目标探测精度与距离<sup>[3]</sup>。采用传统方法对这些水听器进行测试, 测量过程繁琐, 测

量精度低, 测试效率低下。

目前已有国内科研机构对水听器静态指标测试进行改进研究与探索: 文献 [4] 分析总结了声纳换能器的等效原理, 并以 DSP 单芯片为核心搭建数字处理电路, 通过控制绝缘电阻与电容测试电路对换能器进行测试; 文献 [5-6] 基于 STC 单片机分别改进设计绝缘电阻与等效电容自动测量电路, 并设计绝缘电阻量程切换与电容测试温度补偿电路。文献 [7] 研究设计了利用差动式直流充电法实现了对微小电容的高精度、低成本的测量。文献 [8] 基于 555 芯片与单片机设计实现了数字式电容测量仪。文献 [9] 基于 Lab-windows/CVI 开发换能器阻抗测试软件, 实现数据查询、显示、管理与分析, 并能够生成测试报告。文献 [10] 采用 ARM 架构的 LPC2136 芯片作为中控, 实现直流高压的数字化精细控制与量程自动切换。经过整理分析发现, 国内研发设备大多采用单片机实现测试控制与信号处理。

收稿日期: 2020-09-23; 修回日期: 2020-11-05。

作者简介: 张波(1974-), 男, 山东安丘人, 硕士, 高级工程师, 主要从事海军舰船信息装备测试维修理论方向的研究。

引用格式: 张波, 张朋坤, 王长江, 等. 多路水听器参数扫描测试分析设备的研究与设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(5): 146-149, 158.

受限于单片机性能, 测试通道多为几路至十几路, 通道间切换误码率高, 处理数据速度慢, 存储数据容量小。针对国内研究现状, 设计开发一种基于 PC 工控机的智能多路水听器参数扫描测试分析设备。通过便携式工控机控制高速开关矩阵以及绝缘电阻、等效电容测试电路, 实现对多路声纳水听器静态指标的测试。同时可实时存储测试数据, 支持数据查询、复现、分析与生成测试报告等功能, 大大提高了测量精度与测试效率, 对声纳装备保障能力的提高具有指导意义。

## 1 设备结构与工作原理

### 1.1 设备结构组成

多路水听器参数扫描测试分析设备主要由嵌入式工控计算机、测试执行单元及附件、数据管理软件等三大部分组成。嵌入式工控计算机由基于 X86 框架的 Intel I7 3600 4 核工控主板和操作系统组成。测试执行单元及附件主要由多路通道矩阵开关控制模块、等效电容测试模块、绝缘电阻测试模块、温湿度测量模块等组成。数据管理软件由测试参数模块、设备库管理模块、数据管理模块和用户管理模块等 4 个模块组成。各模块由软、硬件平台调用执行控制指令, 完成对声纳水听器绝缘电阻与等效电容的测试和检测。设备结构组成如图 1 所示。

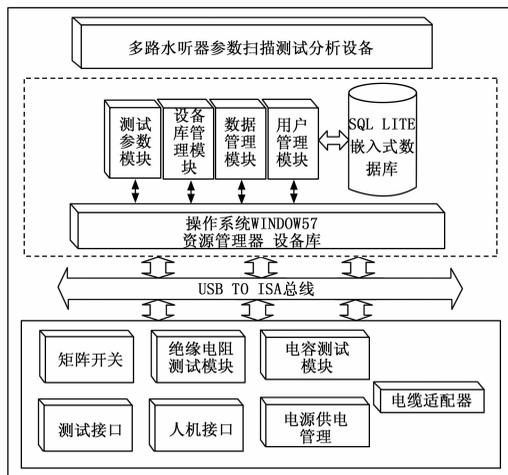


图 1 设备结构图

### 1.2 工作原理

用户根据测试任务需求, 通过人机交互接口以及数据管理软件, 将测试指令输送至嵌入式工控计算机分析解算。工控机依据预先存储的测试工程方案, 利用 PXI 通信总线控制多路通道矩阵开关控制模块选通待测通路, 并控制绝缘电阻以及等效电容测试电路对待测水听器进行指标测试。测试结束后, 测试数据返送至工控机, 完成数据存储、统计等处理, 并可依照存储格式, 生成水听器指标测试报告。温湿度模块可记录当前测试环境条件, 锂电池监控模块则实现对整机电量的分配与管理。

## 2 硬件设计方案

多路水听器参数扫描测试分析设备硬件系统组成如图 2

所示。

硬件系统主要由 PXI CPU 工控卡、多路通道矩阵开关控制模块、绝缘电阻测试模块、电容测试模块、锂电池监控管理模块、触摸液晶显示屏、总线背板、测试电缆接口、测试适配电缆及温湿度测量模块等部件组成。硬件系统采用高性能低功耗的 Intel ATOM x86 机构, 实现功能测试一体化、人机交互等功能。

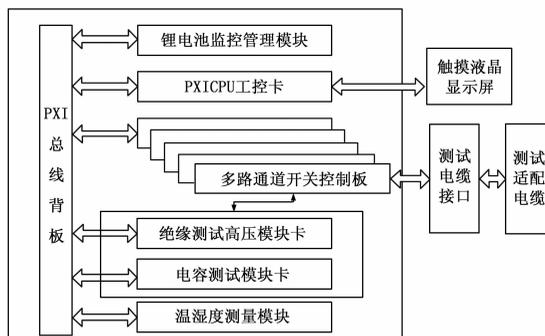


图 2 硬件组成图

### 2.1 PXI 总线背板

PXI 总线是新型测控仪器总线标准, 是 CPCI 在仪器领域的扩展, 是一种先进的模块化仪器系统。PXI 总线系统具有数据传输速率高、与工业计算机软件兼容等特性。该 PXI 总线背板采用结构紧凑、环境适应能力强的 3U、8 槽 PXI 结构模式, 可将 PXI CPU 工控卡、多路通道矩阵开关控制板、绝缘电阻测试模块、等效电容测试模块以及锂电池监控管理模块等集合于 PXI 板槽中, 构成具有多块主控和外设板卡的 PXI 架构测试装置。PXI 总线背板为各功能板卡提供高速率总线工作频率及板卡模块间通讯协议, 有序协调系统数据通讯及控制逻辑。

### 2.2 PXI CPU 工控卡

PXI CPU 工控卡是该设备的核心部件, 是整个硬件、软件平台和测试诊断策略运行的载体。工控卡采用 Intel I7 3600 4 核处理器, 工作频率可达 3.4GHz, 在板表贴 4GB DDR III SDRAM, 同时具备 HDMI、USB、SATA、以太网、AUDIO 等多种接口。可装载 Windows7 操作系统, 能够流畅运行基于 WINDOWS 开发的各类软件。工控卡可完成绝缘电阻测试、电容测试等模块的控制与数据采集、锂电池监控管理模块的监控管理、触摸液晶显示屏的操控界面管理等任务; 自动协调其他各模块工作时序, 完成多路水听器静态指标的测试任务, 并通过触摸液晶显示屏实时显示测试结果。

### 2.3 多路通道矩阵开关控制板

多路通道矩阵开关控制卡由 128 路通道矩阵开关组成。在系统控制下, 灵活建立测试线缆接口总线与被测水听器电缆节点映射关系, 建立并记忆测试工程, 透明处理各种类型、不同型号、不同封装的水听器指标测试。一次建立映射关系, 即可记忆正确映射关系, 待再次进行同一种水听器测试时即可直接快速接入相应的水听器进行测试。图 3

是多路通道开关控制板的结构图。

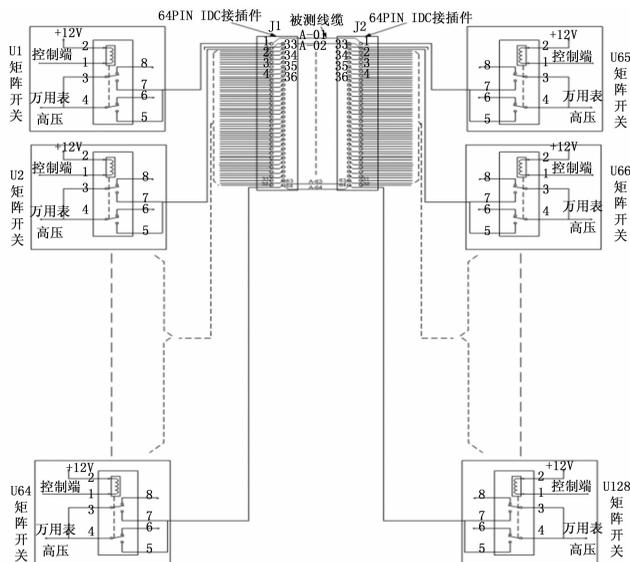


图 3 多路通道矩阵开关控制模块结构图

### 2.4 绝缘电阻测试模块

绝缘电阻常用的测量方法有：电流电压法、电容充电法和惠斯登电桥法。由于电流电压法测试原理简单，容易实现，再加上本系统采取了适当的修正参数，故在此使用电流电压法进行绝缘电阻测试。图 4 为电流电压法原理图，图中  $U_i$  为电源电势， $R_1, R_2$  为高压取样内阻， $R_f$  为采样电阻， $R_x$  表示被测水听器的绝缘电阻。通过整个测量回路，电流在采样电阻  $R_f$  上产生的压降为  $U_f$ ，依据欧姆定律以及电路分析可以推导出绝缘电阻  $R_x$  的计算公式为： $R_x = \frac{(V_i - V_f)}{(\frac{U_f}{R_f})}$ ，代入已知数值即可得到被测水听器的绝缘阻值，从而可以判断出水听器的绝缘性能。该设备设计绝缘电阻测试范围及测量精度分别为  $100 \text{ k}\Omega \sim 500 \text{ M}\Omega \pm 5\%$  ( $\geq 100 \text{ V}$ )； $500 \text{ M}\Omega \sim 1\,000 \text{ M}\Omega \pm 10\%$  ( $\geq 1\,000 \text{ V}$ )。

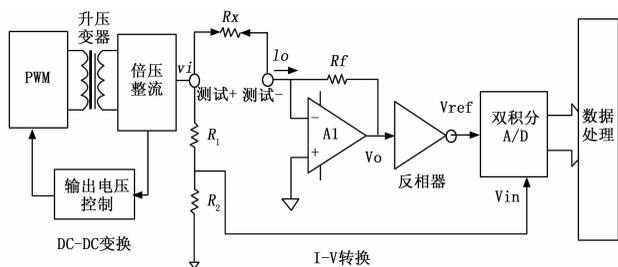


图 4 电流电压法原理图

水听器绝缘测试时，由设备内部可编程高压电源模块产生设定的电压，信号通过多路通道开关控制板的开关矩阵输入到每一路水听器的线缆芯线，然后进行绝缘电阻测试并得出相应测试值，通过软件自动判别绝缘值是否在设定范围内；若在范围内，则判定被测水听器绝缘指标为合格；若超出设定范围值则认为水听器的绝缘参数为不合格。

为保证测量回路输出的测试信号不会超过采样电压值的范围，必须采用精密电阻网络和其他相关元器件构成分压电路。

### 2.5 电容测试模块

电容测试模块具有自动化测试电容的功能，在系统控制下，实时加载于被测水听器的芯线间，完成对水听器电容量的测试，电容测试范围： $10 \text{ pF} \sim 100 \mu\text{F}$  ( $\pm 5\%$ )。图 5 为电容测试的原理图。

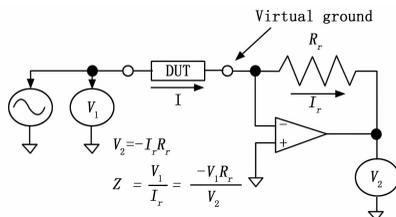


图 5 电容测试原理图

### 3 软件设计方案

数据管理软件系统基于 Windows7 操作系统开发，围绕实现多路水听器参数扫描测试分析设备主要功能，采用面向对象程序设计思路，其中主要包括测试参数模块、设备库管理模块、数据管理模块和用户管理模块等 4 个模块。

#### 3.1 软件开发环境

Visual Studio 是微软公司研发的一款高效、集成且可扩展的软件开发平台，其中 Visual Studio 2015 以 C++ 语言为基础，提供方便快捷的 Windows 应用程序开发环境，并且由于 C++ 语言良好的开放性与可靠性，使其易于与底层硬件交互控制。存储设备信息采用 SQLite 数据库，用于保存软件系统配置，设备的详细配置信息以 XML 文件形式保存。软件开发环境清单如表 1 所示。

表 1 软件开发环境清单

软件名称	版本	厂家
Visual Studio 2015	3.0	Microsoft
SQLite	3.7.3	Microsoft
Windows 7	32 位	Microsoft

#### 3.2 软件系统架构

软件采用面向对象的编程开发方法，围绕软件设计功能作为基本元素进行软件设计与研发。软件系统可分三层逻辑结构，从下到上分别是硬件模块驱动层、硬件管理及应用功能层、其它终端或者测试仪层。如图 6 所示。

#### 3.3 软件功能结构

软件系统总体功能结构树图如图 7 所示。软件系统结构可分成系统设置、工程连接器数据管理、测试及运行日志、开关高压等硬件控制、分布式网路、脚本编写和运行环境共 6 个功能结构。工程连接器数据管理模块调用底层数据库，实现数据的增、删、改、查等功能；测试和运行日志模块是系统的主逻辑模块，选择测试项目、查询日志

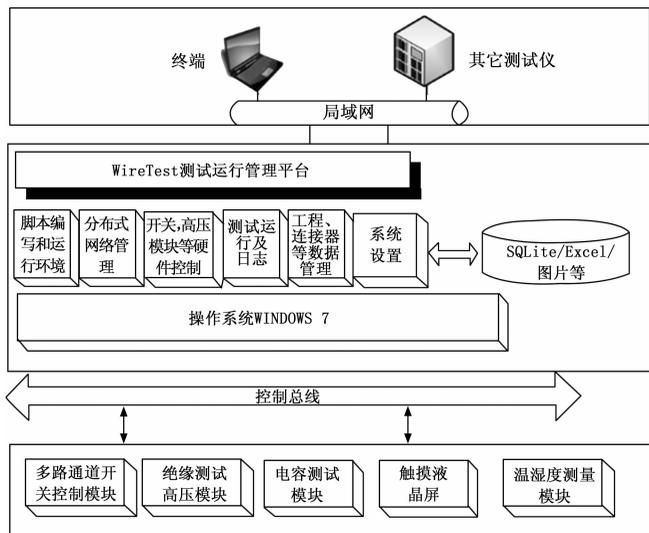


图 6 软件系统架构

记录以及打印测试报告均由该模块完成; 系统设置完成用户名、操作使用等全局参数及系统自测校准等参数设置; 硬件控制模块完成对多通道开关、绝缘电阻测试模块及电容测试模块等硬件电路的控制; 分布式网络实现各模块之间信息传输, 同时能够实现多终端之间通信; 脚本编辑和运行模块实现自定义脚本设置与执行功能, 用户可通过自定义脚本实现自定义功能设计。

### 3.4 软件类结构

为了提高软件内部可重用性以及模块之间的低耦合性, 方便后期软件维护和扩展, 该系统采用面向对象的设计方法。面向对象设计是一种软件设计方法, 是一种工程化规范。面向对象设计模式解决的是类与相互通信的对象之间的组织关系, 包括它们的角色、职责、协作方式几个方面。

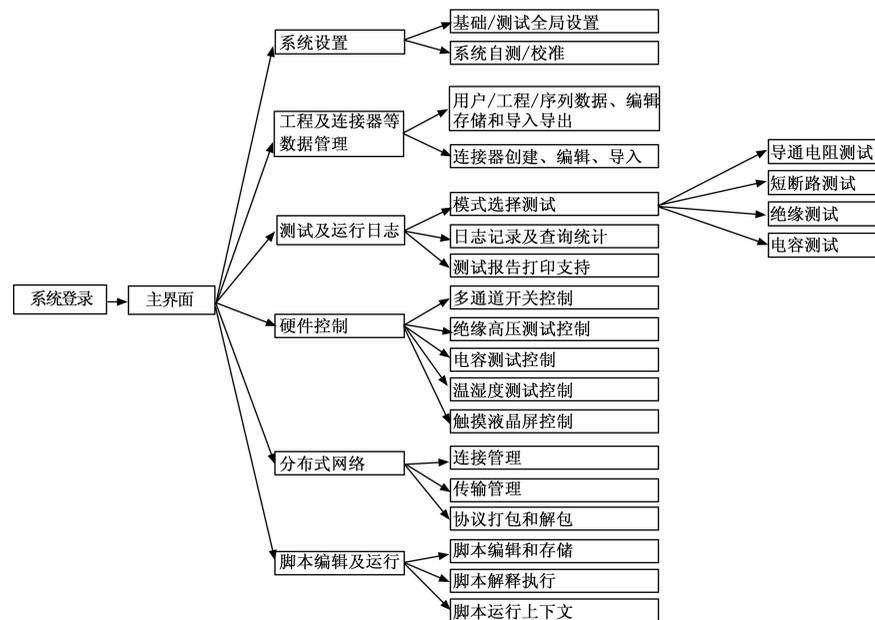


图 7 软件功能结构树图

图 8 展示了该系统主要设计类及之间的关系, 每个模块都设计了相应的接口, 模块之间以接口的形式调用, 对于不同的测试逻辑采用多态的形式来实现。

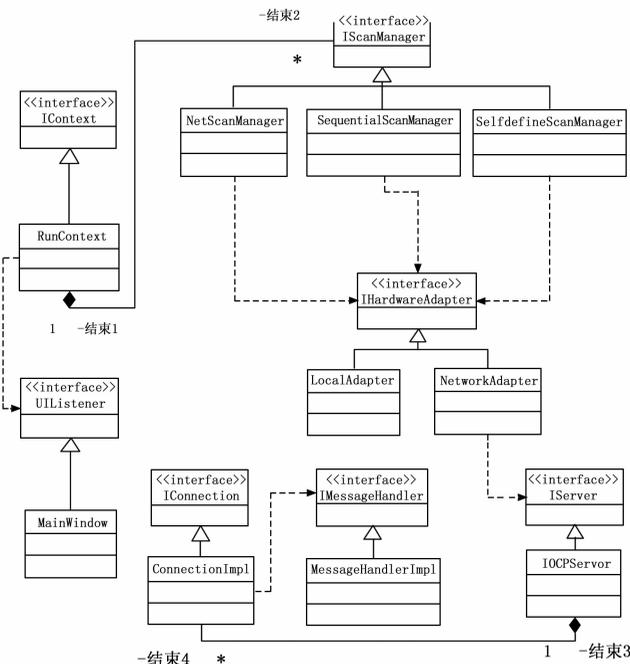


图 8 软件类 UML 图

### 4 试用结果分析

在完成设备研制后, 对某型声纳进行试用检测, 并将测试结果与使用传统方法的测试结果进行比对。图 9 为测试过程部分软件界面。

测试结果如表 2 所示。

分析数据可知, 使用多路水听器参数扫描测试分析设备测试水听器等效电容, 测试结果最大相对误差仅为 1.8%, 满足电容测试最大相对误差不大于 ±5% 的精度指标要求。在绝缘电阻测试过程中, 由于使用 100 V 绝缘摇表进行人工读数, 存在比较大的观测误差, 因此无法进行准确的误差精度计算。但通过分析测试数据依然可以看出, 使用测试分析设备测试绝缘电阻, 测试结果最大相对误差为 4.4%, 依然满足最大相对误差不大于 ±5% 的精度指标要求, 表明该设备能够非常准确地反应水听器绝缘电阻指标变化, 从而准确地反应水听器性能变化趋势。

通过试用表明, 采用传统方式测量, 某型声纳换能器约 200 组数据通常需要 3 人协同、2 小时才能完成的测试工作, 使用该设备只需要一人、10 分钟即可完成同等工作量的测试工作, 大大提高了测试

(下转第 158 页)