



# 超短基线软体排 深水水下定位检测系统设计思路

冯海暴<sup>1,2,3</sup>, 徐加峰<sup>1</sup>, 周良玉<sup>1</sup>, 冯好娣<sup>3</sup>, 刘国辉<sup>1</sup>, 韩帅<sup>3</sup>

(1. 中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100;  
3. 山东大学, 山东 济南 250101)

**摘要:** 结合长江南京以下12.5 m深水航道一期工程, 根据深水、大流速工况, 提出了超短基线软体排深水水下定位系统的设计思路, 经过系统开发、测试完成了设计, 通过应用实现了软体排在深水条件下铺设定位的可视化, 实时调整铺排船作业时的工作状态, 确保排体铺设准确。

**关键词:** 软体排; 超短基线软件; 水下定位; 系统

中图分类号: TV 36

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0126-05

## Design idea of ultra-short baseline soft mattress in deep underwater positioning detection system

FENG Hai-bao<sup>1,2,3</sup>, XU Jia-feng<sup>1</sup>, ZHOU Liang-yu<sup>1</sup>, FENG Hao-di<sup>3</sup>, LIU Guo-hui<sup>1</sup>, HAN Shuai<sup>3</sup>

(1. The Second Engineering Co., Ltd., of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China;  
2. Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Shandong University, Jinan 250101, China)

**Abstract:** Based on the first phase project of 12.5 m deepwater channel of the Yangtze River downstream Nanjing, this paper proposes the design ideas of laying technology for the soft mattress of ultra-short baseline (USBL) underwater positioning system according to the deep depth and large flow velocity conditions. Through the system development and system test, we complete the design and apply it to the actual laying work. We also achieve the laying and positioning visualization of soft mattress in deep depth conditions. The working state of the arrangement ship can be adjusted in real time to ensure the accurate laying of soft mattress.

**Key words:** soft mattress; ultra-short baseline software; underwater position; system

### 1 设计概况

#### 1.1 课题背景

长江南京以下12.5 m深水航道一期工程, 水流流速大且水深大, 在基床护底加固中, 需要铺设软体排护底, 在进行深水软体排铺设时, 传统的铺排施工采用人工吊锤的形式进行水下定位检测<sup>[1]</sup>。该方法受工况影响工作效率低、定位不准确, 无法实时采集相关的铺排位置的准确数据, 当工况、水流等工况条件稍差时, 就要停止排体检测或检测的数据无法反映真实的工程情况。深

水铺排铺设见图1。

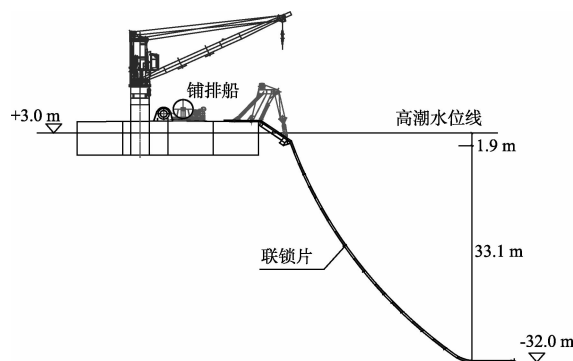


图1 软体排铺设

收稿日期: 2013-11-27

作者简介: 冯海暴 (1980—) 男, 硕士, 工程师, 从事港口、航道、路桥等工程施工及研究工作。

针对传统工艺排体检测中存在的工作效率低、排体定位不准确、无法实时采集相关的铺排位置的准确数据等问题进行分析, 结合信息技术, 设计超短基线软件排深水水下定位检测系统解决上述问题。

### 1.2 设计总体思路

通过计算机、卫星定位、声学仪器将排体的水下状态实时显示出来, 和实际的设计位置进行对比, 当排体铺设位置出现偏差时可通过动态的调整实现排体水下准确定位, 解决传统排体铺设中人工吊锤无法解决的问题, 达到预期的效果。

### 1.3 系统工作原理

系统主要的工作原理为: 在铺设排体两侧安装信标应答器, 铺排船上部安装收发器 (换能器), 船体通过 GPS 定位作为基准位置。收发器发射基阵发送询问声波信号, 水下信标接收到询问信号后返回应答声波信号, 根据每个基阵到水下

信标的距离和相位差可计算出水下信标对应收发器的相对坐标, 然后根据电罗经实时提供的准确方位角和安装在船上的两台 RTK GPS 接收机, 定位北京 54 坐标, 进行坐标转换得到水下信标的准确实际位置。然后通过超短基线软件排水下定位软件, 使用计算机将 GPS 数据、排体水下位置、排体铺设的设计平面位置等数据实现可视化, 设备数据通过计算机串口通讯协议要求进行连接。当排体铺设至设计位置后, 通过计算机指令, 使得应答器通过超声信号自动脱离排体上浮, 实现软件排水下铺设准确定位和循环利用信标的效果。

该系统包括超短基线设备和水下排体定位的软件系统, 可精确地测定水下定位点的三维坐标, 从而能较好地解决排体验收检测困难、水下实时定位等传统工艺无法解决的问题, 超短基线软件排深水水下定位检测系统工作原理见图 2。

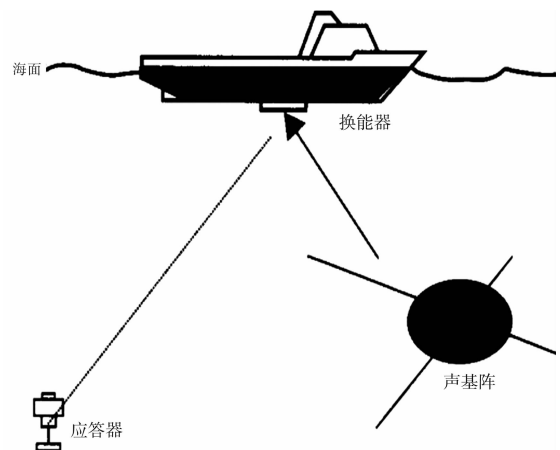
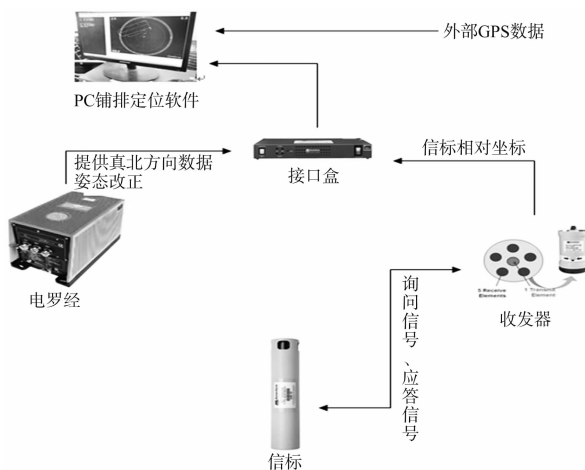


图 2 系统工作原理

## 2 设计技术与特点

深水铺排作业中, 数据的采集和管理非常重要, 直接决定后期工程的评定和质量, 对于数据的管理和应用, 应做到尽可能限制数据库中各个数据表的项目数, 使每个数据表内容清晰, 减少软件开发时读取数据限定条件。采用 VC++ 面向对象开发技术, 多种数据的实时采集和存储采用 Postgres 数据系统<sup>[2-3]</sup>, 可实现数据流程安全可靠。

而排体铺设过程中, 对工程平面的位置一般采用 CAD 图纸绘制, 导出数据多采用表格形式, 既可符合实际工程的简单便捷要求, 也可为

后期竣工验收整理节约时间。

因此, 在软件实现方面, 系统要实现可直接读入 CAD 图形数据和 Excel 电子表格数据, 和常用的工程设计图纸 (CAD 格式) 和坐标计算成果 (Excel 格式) 之间做到无缝对接。

## 3 需求分析思路

### 3.1 适用对象

结合系统的综合分析, 该软件系统适用于航道整治铺排作业, 工况条件结合长江南京以下 12.5 m 深水航道建设工程一期工程中软体排铺设

定位开发。系统可集成超短基线、RTK GPS、倾斜仪等设备，定位精度控制在 ±20 cm，适用于流速 2 m/s 及水深 35 m 等恶劣工况下的软体排铺设中自动采集数据和调整校核使用。可在类似的施工环境和条件下拓展使用。

### 3.2 功能性需求

在传统铺排作业中，对于船舶的文件记录、轴线记录等参数记录需要大量的人工完成，在对接过程中由于工序繁琐，经常会出现记录数据错误，为后期的工作带来麻烦。在超短基线系统软件功能性需求设计中，为避免人工操作记录因工序繁琐造成的错误，设计工作根据工程中软体排铺设的实际情况和规范规定，在不同条件下，对工程应用中涉及的重要内容进行了调查，确定在软件排铺设系统中要做到工程名称船型文件、设计轴线文件、工程文件、通讯文件、启动工程、控制显示等项目组成，可全面满足工程要求。

### 3.3 系统用例

在系统用例中，主要为实现管理员对数据界面的个性化设计，适当调节界面的菜单设置，对注册用户资料和权限可以设定，做到有限授权<sup>[4-6]</sup>，系统管理员用例见图 3。

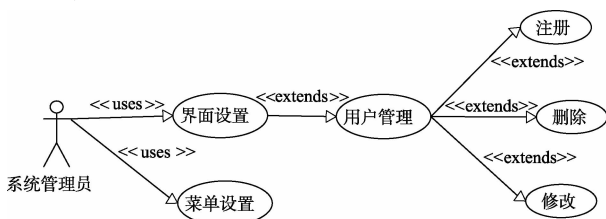


图 3 系统管理员用例

## 4 系统架构设计思路

### 4.1 架构使用范围

架构的使用范围限定在软件开发组范围之内，不仅包括软件开发阶段，同时也延伸至维护阶段，使整个系统的编制开发达到最终的使用目的和维护效果。

### 4.2 架构的目标和约束

众所周知，对于软件系统的开发，安全性和稳定性是重中之重，对于超短基线软体排深水水下定位系统设计，不仅要实现信息化可视化操作，同时也要解决数据保密的问题。该系统设计中要

解决工程问题，还要达到安全、保密、简洁等目标<sup>[6]</sup>。

架构设计从管理、系统、数据的安全性 3 个方面全面考虑和保障本系统数据的安全。考虑到后期的升级应用，从网络、硬件、软件及应用软件等全方面考虑，保证数据安全（指不丢失数据、不泄漏数据等，以达到预期的设计目的）。严格按照系统的管理权限进行数据管理，不允许管理员越权使用和系统管理授权外的应用系统访问。通过系统把复杂问题简单化是架构设计的一个重要目标，分清类以及类之间的职责关系。同时增加系统的可靠性，提供可靠性和可用性较高的系统，增强容错处理的能力。系统在进行设计时，充分考虑在未来组织结构等情况变化时，将因业务或者需求变更所带来的系统升级和改造工作量降至最低。

### 4.3 系统总体架构思路

系统的总体架构设计是至关重要的，在传统铺排工艺中，水下定位检测无法实现对精度的控制，检测效率低下，当作业条件风况、水流等工况条件稍差时，就要停止排体检测或检测的数据无法反映真实的工程情况。

本系统设计时，通过计算机将 GPS、超短基线<sup>[7]</sup>、应答器等设备连接在一起，通过软件实现设备之间的协同作业可视化管理，实时调整排体在铺设过程中出现的偏差，可实现提高精度、施工效率，且全天候工作等功能，为此需要对系统设计构架提出较高的要求。程序框架主要分为开始、读取系统数据、计算分析、保存数据等<sup>[3]</sup>。程序框架见图 4。

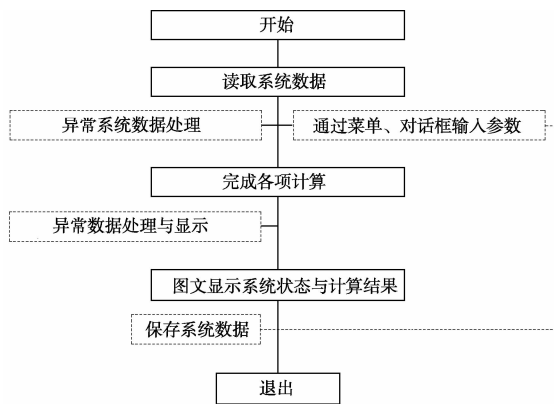


图 4 程序框架

该系统可实现在操作过程中实时显示数据、记录调整全过程数据, 加强安全实施存储, 保证数据不损失、不泄漏, 将各类数据统一记入数据库, 做到数据安全可靠, 还可便于对历史数据的查询、分析。

## 5 系统详细设计思路

### 5.1 Postgre SQL 数据库设计

系统采用 VC++ 编程语言, 数据库采用开放的 Postgre SQL 系统<sup>[4]</sup>, 为了便于识别数据库, 将数据库名称固定为 PPDB, 默认数据库设定密码为 123456, 数据库登陆工作由软件系统自动完成, 共设 27 个数据表, 分别为七参数、串口配置、临时信息、仪器类型、图表、图表类型、坐标系、坐标系统属性、坐标转换、多点校正、投影、数据记录、椭球、测点记录、系统状态、计算结果、项目信息。每个数据表根据不同的情况包含属性、统计量、依赖性、附属关系等 27 项, 主要数据表名称及存储内容设定为 10 项, 见表 1。

### 5.2 界面详细设计思路

用户界面设计主要依据工程施工操作等<sup>[5]</sup>, 能够明确操作程序, 达到设备定位准确、实时反馈数据、时刻通过 GPS 进行校对、出现异常报警的功能, 且操作简单、使用方便。包括菜单区、快捷图标(工具)区、工程项目详细结构及设备位置和设备数据信息显示区、传感器实时数据显示区、系统状态和错误显示区等, 该设计解决了传统技术中排体点式检测中的问题, 还实现了铺

排船实际位置准确显示, 可将铺排船作为一个固定主体, 通过动态核对信息, 达到软件排铺设的实时状态。

表 1 主要数据表的名称及存储内容

数据表名称	内容
项目信息	项目基本信息
坐标系统	工程坐标系统、坐标系统转换参数、椭球、投影等参数的名称
七参数	坐标转换 7 参数
投影	投影参数
椭球	椭球参数
图表类型	导入到软件系统的各种图标的类型
仪器类型	采用设备的类型
最新数据	来自设备的最新数据
串口配置	串口配置参数
设备	所有采用的设备的名称和类型

在系统完成后, 可在可视化的状态下完成以下操作: 汇总、查看、存档、打印等记录, 生成完整的项目信息; 实现排体定位、数据输出、输入, 实现整个工程数据定位, 以实现项目工程中的关键工序; 实现排体的平面校核修正; 动态采集设备的最新数据, 实现实时动态数据记录存储, 掌握工程的实际运行情况。

## 6 系统的实现与测试

### 6.1 主界面显示

系统主界面采用 Windows 风格, 功能区以类封装, 数据传递通过 Psotgres 数据库, 主界面有定时器刷新, 时间间隔为 0.2 s, 满足视觉连续性要求<sup>[6]</sup>。实现界面见图 5。

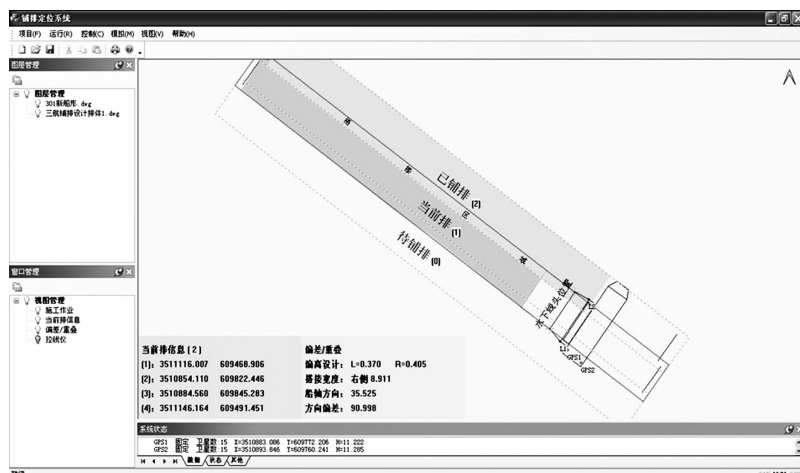


图 5 超短基线软件排深水水下定位检测系统界面

## 6.2 系统测试

系统测试主要为了验证系统与设备连接正确性、数据计算正确性、软件运行稳定性等。运行环境要求 PC 内存 2 G, 500 G 硬盘, 操作系统是 Windows XP; RTK GPS, 2 套, 超短基线声纳设备 1 套, 带 2 个信标。在“南京以下长江航道整治工程一期”项目标段进行现场测试, 信标安装及超短基线工作状态见图 6。



图 6 信标安装及超短基线水下定位系统工作状态

## 6.3 测试结果

经测试证明软件运行状态平稳, 操作功能正常, 显示内容无误, 数据记录完整。

与 RTK GPS 流动设备定位结果比较检测数据共 12 组, 平均偏差为:  $dX = 1.098 \text{ m}$ ;  $dY = -0.263 \text{ m}$ ; 标准差为:  $\sigma_x = 0.232 \text{ m}$ ;  $\sigma_y = 0.092 \text{ m}$ 。

检测数据表明, 平均偏差  $X$  分量达到  $1.098 \text{ m}$ , 但  $X$  分量的标准差为  $0.232 \text{ m}$ 。可以认为声纳设备的数据离散度在  $0.23 \text{ m}$  左右, 本次测试时, 系统没有较好地消除系统性偏差, 导致检测数据的平均偏差较大。结合工程的实际情况, 在铺排测试结果中, 去除声纳设备的离散度  $0.23 \text{ m}$  后, 实际检测数据的标准层即为  $0.002 \text{ m}^{[7-8]}$ , 该偏差完全在系统的偏差范围之内, 由此可以说明, 软件计算正确性没有问题, 该套软件的设计与实现是成功的。

## 7 结论

1) 针对传统工艺排体检测中存在的难题, 结合信息技术, 提出了超短基线软体排深水水下定位检测系统的设计总思路, 得出了该系统的工作原理。

2) 系统设计采用了 VC++ 面向对象开发技术, 多种数据的实时采集和存储采用 Postgres 数据库系统, 实现了系统数据流程安全可靠, 减少软件开发时读取数据限定条件。系统可直接读入 CAD 图形数据和 Excel 电子表格数据, 与工程施工文件

实现了无缝对接。

3) 在需求分析方面, 针对实际工程的工况, 提出了系统适用范围, 并进行了功能性需求分析, 进行了系统管理员用例图设计, 对注册用户资料和权限可以设定, 做到了有限授权。

4) 提出了系统架构设计思路, 实现了操作过程中实时显示数据、记录调整全过程数据, 加强安全实施存储, 确保数据不损失、不泄漏, 做到数据安全可靠, 兼具便于对历史数据的查询、分析功能。

5) 进行了系统详细设计, 实现了项目工程中的关键工序操作可视化, 动态采集设备的最新数据, 实现实时动态数据记录存储, 掌握工程的实际运行情况。

6) 通过测试和应用, 系统运行状态平稳, 操作功能正常, 显示内容无误, 数据记录完整。

该系统的开发、实现及应用, 解决了传统排体铺设过程中位置无法实时显示、铺设检测困难、定位不准确、受工况影响大、无法全天候进行检测作业等难题。但对浮标固定方面还存在一些的问题, 有时也会出现信标被卡的现象, 在以后的工作中需要进一步完善和深化。

## 参考文献:

- [1] 吴永亭, 周兴华, 杨龙. 水下声学定位系统及其应用[J]. 海洋测绘, 2003(4): 18-21.
- [2] 赵雯. 基于 Struts, Hibernate 和 Spring 架构的互联网游戏财物交易平台设计与实现[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [3] 王少锋. 面向对象技术 UML 教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] Herb Sutter. Exceptional C++ 47 个 C++ 工程难题、编程问题和解决方案[M]. 聂雪军, 译. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [5] 谭庆, 岳小静. C++ 语言中引用的使用探讨[J]. 福建电脑, 2007(10): 190-191.
- [6] Hector Garcia-Molina, Jeffrey D Ullman, Jennifer Widom. 数据库系统实现[M]. 杨冬青, 吴俞青, 包小源, 译. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [7] 吴学文, 包更生, 陶春辉, 等. 超短基线水下声学定位数据处理[J]. 杭州电子科技大学学报, 2011(4): 20-21.
- [8] 焦永强, 田维新, 潘贤亮. 超短基线测量技术在铺排施工中的应用[J]. 中国港湾建设, 2013(3): 60-62.

(本文编辑 武亚庆)