

## 沿海港口波、潮、流实时动态共享技术研发及应用平台建设

任务来源于天津市科技创新平台专项计划与中央公益性科研院所创新基金，是 GIS 在水运交通领域的典型应用，总研究经费 742.6 万元。

港口是航运事业发展不可再生的稀缺战略资源，十三五以来，港口资源的开发利用从以“建”为主的发展态势，逐步转变为“建管养用”协调均衡、长期可持续发展态势，以推进综合、智慧、绿色、平安为主旨的“四个交通”水运建设。

项目围绕港口航运实施专业技术研究，旨在推进科技创新以解决行业共性问题，服务地区与社会的综合发展。重点针对港口航道建管养用工作中出现的矛盾突出、资源效用不高、观测数据利用率低、水动力特征认识与研究不足等问题，以 WebGIS、互联网云端、北斗导航定位与通信、水下声学通信、声学多普勒观测流测波等先进技术为基础，研究建立水上水下空间立体化的数据采集、实时远程传输、动态处理、多数据形态即时响应为一体的集成共享技术体系，并以渤海湾为试点区域，开展潮汐模型的空间变化验证、动态电子水深图、水文动力短期精确预报等功能应用平台的建设，为港口建管养用的长效实施提供数据与技术支撑，满足了当前港口管理和养护的迫切需求。

项目研究解决了离岸潮位高精度遥测遥报、无网络海区航标实时监控、港口水文短期精确预报等行业难题，主要包括：1、构建了以声学多普勒测流波、离岸潮位观测、北斗导航通信、水下声学通信为主要手段的空间立体化波潮流数据采集与实时传输技术体系。2、自主

研制了集能源供给、传感器控制、数据接收、实时通信、位置追踪于一体的港口水文综合数据采集器。3、建立了天津港、黄骅港狭长航道的垂直基准空间模型，实现了高程基准、深度基准的无缝衔接，并开发了基于数据在线动态分析与 WebGIS 的港口潮波共享技术平台。4、基于水动力数值模拟技术，建立渤海海域港口航道潮汐潮流预报、动态水深图等模型，并嵌入信息系统平台，实现了潮汐潮流动态模拟与短期精确预报、航道实时水深动态化更新等功能应用。

项目发表论文 12 篇（含 SCI 1 篇），申请专利 6 项（含发明 1 项）、软著 7 项，培养正高 1 人、副高 5 人。研究成果具备工程、科研、经济、社会等多重效益，核心技术通过了天津市科委组织的科技成果鉴定，综合评定为“国际先进”。研究成果先后在黄骅港 20 万吨级航道引航、深中通道沉管隧道建设、青海湖公益性波浪调查、韩国“世越号”沉船打捞等重大项目中成功应用，近三年产业推广直接经济营收 4000 余万元。”

### 1、立项背景

本项目来源于天津市科技创新平台专项计划与中央公益性科研院所创新基金。旨在解决水运交通行业综合水文数据的综合集成自动观测、离岸潮位遥测遥报、港口水文精确预测预报难题，满足港口的基础研究、工程建设、运维管理、安全应急需求。

项目以 WebGIS、互联网云端、北斗导航定位与通信、水下声学通信、声学多普勒测流、加速度没波等先进技术为基础，研究建立水上水下空间立体化的数据采集、实时远程传输、动态处理、多数据形态即时响应为一体的集成共享技术体系，并以渤海湾为试点区域，开展

水文动力模型空间验证、电子水深图动态显示、潮汐潮流短期精确预报等功能应用平台的建设，为港口建管养用的长效实施提供数据与技术支撑，满足了当前港口管理和养护的迫切需求。

## 2、科技含量：

### （1）总体思路：

项目研究包括现场多源集成观测、水上水下实时数据传输、GIS信息系统开发三大部分。

现场多源集成观测要素包括波浪、潮流、潮位、海面风及其它辅助要素，观测系统由海床基观测平台、水面浮标平台、通信链路、数据中心共同组成。海床基观测平台、水面浮标平台分别搭载潮位、潮流、波浪等传感器完成数据自动采集，由声学通信机、北斗卫星通信分别实现水下、水上数据交互，数据中心自动接收各类观测数据并在线分析处理，实现数据管理、水文动力模拟、预测预报、水深图即时动态显示等功能。

### （2）技术方案与创新成果：

A、研究波浪/潮流/潮汐/海风等多要素的集成采集技术、水上水下综合数据传输技术，构建了“互联网+”、“北斗+”的空间立体化港口水文观测技术体系，并自主研发了适应复杂海洋环境的一体化综合数据采集器，科技成果鉴定为“国际先进”。

水上水下综合通信、多源数据集成采集是空间立体化观测的两大主要关键技术。

针对沿海港口通信基站少、信号盲区大、水下无线通信困难等特

点，充分调研多种远程、近程通信与水下通信方法，构建了手机移动网络+北斗卫星通信的双通道远程通信、WIFI 局域网近程通信、水下声学通信组成的水上水下综合数据通信链路，实现了沿海港口复杂条件下的水上水下数据交互，解决了水下数据传输困难、海上传输可靠性差的行业难题。经三年的实际运行统计，水上水下综合传输数据有效获取率 95%以上。

基于多普勒测流、加速度测波、感压式测潮等国际领先技术手段，并综合行业的普遍需求，从结构、材质、功能、通信、供电、安全、维护、拓展与兼容等多方面统筹设计，自主研发一体化数据采集器。通过对数据协议、通信协议制订统一标准，实现了数据融合的标准化，提升了兼容性与功能拓展性能；通过嵌入式的通信指令设计，实现了数据中心-采集器、数据中心-底层传感器的双向交互式操控；通过自供电、自定位、自通信的设计，实现了采集器的独立化实时位置追踪，提升了海上设施的安全性，能确保设备的顺利回收。

技术体系与硬件产品的研发，为波、潮、流的集成观测提供了完整的技术方案与成套产品，解决了集成观测的实施难题，并实现了研究成果的产业转化。

B、研究狭长航道深度基准面的空间传递、垂直基准的无缝衔接相关理论，构建了港口垂直基准的理论模型，为数据管理与应用提供了统一的空间基准。

天津港、黄骅港港区深度基准面一直沿用多年前的经验数值，随着港口航运的不断发展，其局限性日益突出：一是当年在计算港区深

度基准面时，采有的数据精度有限、时间跨度有限，致使深度基准面计算精度有限；二是受围海造陆、港池航道疏浚等海洋工程影响，地形地貌及水动力环境有了较大变化，深度基准有所变化；三是随着航道等级不断提升，航道越来越长（天津港主航道长 47.5 公里，黄骅港主航道长 60.5 公里），港区深度基准面不足以代表整个航道实际情况，不利于精准乘潮、精细化疏浚的有效实施，也不利于航道水深资源的科学合理利用。开展狭长航道的深度基准面空间模型构建研究，实现陆地高程基准、海上深度基准的无缝衔接极为必要。

项目采用天津港港池和大沽灯塔 26 年的连续实测数据、黄骅港港池与航道连续 3 年的连续实测数据，计算深度基准面（当地理论最低潮面）与多年平均海平面、1985 国家高程基准关系，分析航道沿程深度基准面的空间差异，构建了天津港、黄骅港狭长航道深度基准面的空间模型，实现了陆地高程基准、海上深度基准的无缝衔接，解决了外海海域深度基准面不确定以及由陆地至外海的垂直基准面传递问题。

C、建立了海洋水文动力数学模型、精确预测预报模型，并通过 GPU 并行计算，实现了数学模型基于实时输入数据的自动修正，从而实现了预报数据的自动运算与快速响应，为 GIS 系统的应用功能开发提供了核心算法。

以黄渤海天文潮汐预报系统提供数值作为模型开边界条件，建立高分辨网格水动力数学模型，通过调和分析与水动力数值模拟技术，实现了基于风强度的增减水预报、潮流潮汐精确短期预报。

为拟合复杂岸线和航道、堤线等细致建筑物边界，潮流数学模型中采用三角形网格对计算域进行剖分，并在局部区域进行网格加密，尤其对渤海湾范围内的岸线和地形采用了最新的卫片和实测地形进行更新，使其能够清晰地刻画出天津港、黄骅港等多条航道。模型网格节点约 125000 个，网格单元约 245000 个，最小空间步长 30m 左右。模型在常规验证基础之上，根据实测风暴潮增水潮位过程对潮流数学模型开展进一步验证，模型计算时考虑了 NCEP 实测风场数据，空间分辨率为  $0.1^\circ$ ，由此计算得到渤海海域曹妃甸、黄骅、南港和塘沽四个测站的潮位过程。

为了保证预报数据时效性，对二维潮汐潮流数值预报程序进行了并行化改造，以高性能并行处理计算机为运算平台，将一次数值预报的运算时间由 3-5 天缩短为数小时，为潮流场数值模拟结果的及时发布提供了时间保障。同时，对并行处理计算机中的数值模拟程序设置了定时自动运算，数值模拟程序每天能够根据最新的输入条件，自动更新预报结果，从而实现了预报数据的后台自动运算。

另外，以构建的天津港、黄骅港深度基准面空间模型为基础，通过引入特征位置潮位、任意航道里程位置的潮位内插计算，实现了航道区域水下地貌的即时水深显示，以及随潮位变化的动态更新，实现了动态电子水深图等功能。

D、开发了基于 Web 和微信的波、潮、流信息系统与数据共享平台，并嵌入了深度基准模型、水文动力数学模型和预测预报模型，实现了港口水文的精确短期预测以及航道水深图即时动态显示等功能。

应用 MVC、C#、Fortran、JAVA、jQuery EasyUI、Highcharts、MySQL 等开发技术，自主开发了数据接收、水文数据管理、港口潮波综合信息动态共享等数据管理与计算系统，以及动态电子水深图等应用型地理信息系统。

### （3）实施效果：

本项目研究形成的空间立体化港口波潮流遥测遥报技术体系，能够实现全天候连续数据采集，获取恶劣海况条件下的大量极值数据，是传统人工观测手段无法替代的。在提升科研能力方面，能为港口泥沙基本特性、潮波水动力相互作用、港口减淤措施和航道整治、港口灾害预报与预警措施等专业研究提供极为重要的数据服务，能有效推动水运交通领域的专业发展；在服务重大工程方面，能为港口工程、重大海上交通工程、海上应急项目提供实时的数据服务与决策辅助。

项目研究形成的相关技术体系、一体化综合数据采集器、信息系统平台等成果，已经先后在黄骅港 20 万吨级航道引航、深中通道沉管隧道建设、青海湖公益性调查、韩国“世越号”沉船打捞等多个典型项目中得以推广应用，满足了相关项目的实时、稳定、高精度波潮流数据需求。

### 3、创新点：

（1）构建了以声学多普勒测流、加速度测波、离岸感压式验潮、北斗导航通信、水下声学通信为主要手段的空间立体化港口水文观测技术体系，并自主研发了一体化综合数据采集器，实现了海面、海底观测多要素数据的集成观测，解决了多源观测难以集成、水下通信困

难、海上通信不稳定的技术难题。

依托该创新技术，获批了《一种浮漂式潮流观测装置 ZL201821531141.6》、《一种近底泥沙观测仪器支架 ZL201620224183.X》、《一种近海海水温盐浊剖面测验数据自动采集遥报装置 ZL201821146526.0》、《一种近海海水温盐浊剖面测验数据自动采集遥报方法 201810796548X》、《测深仪吃水深度自动读取装置 ZL201720546008.7》等 5 项专利，发表了《浮标测流法在龙口流速测量中的应用》、《海洋水文观测实时共享技术与应用研究》、《黄骅港航道水文遥测系统研究》等多篇核心论文。

(2) 应用水下声学通信技术传输海底水压数据，实现了海底压力式验潮数据的实时采集和远程数传，填补了离岸压力式验潮实时遥测遥报的行业空白。获批了《狭长航道离岸潮位遥测遥报装置 (ZL201820608275.7)》。

离岸潮位的实时遥测遥报一直是水运工程行业多年以来的技术难题。

现行潮位观测方法主要有压力式、雷达式、超声波式、GNSS 卫星测高等方法。雷达或超声波观测潮位需将传感器安装在水面以上固定高度位置，对于离岸没有海上固定平台区域，无法进行实时的高程基面传递，因此无法实现离岸潮位遥测遥报；GNSS 卫星测高法是采用 GNSS 接收机直接测量水面的大地高并间接计算潮位的方法，该方法获得精确潮位的前提是 GNSS 高程的事后精密解算（采用精密星历进行 PPK 解算），也无法实时遥测遥报；压力式验潮是在水下安置精确



的压力传感器，通过精确测量压力并计算出水面至该固定位置的高度，继而推算出潮位，因无法实时将压力值从海底传输至岸基，也无法实现实时遥测遥报。

为解决狭长航道的离岸潮位观测水下数据传输问题，本项目对各类水下通信方法、粗差剔除与误差收敛方法进行了深入研究，并在天津港航道开展了大量的实际测试工作。最终通过提高水下声学通信效率、合理数据压缩、提升数据纠错能力，实现了基于水下声学通信的离岸压力式潮位实时遥测遥报。

(3) 通过构建精细的水文动力数学模型，将模型嵌入信息系统，开发了基于 WebGIS、微信平台的港口水文地理信息平台，并通过采用 GPU 并行计算，实现了港口水文信息管理以及潮位、潮流的精确短期预报，解决了传统计算方式时效性不强、预测预报和信息发布不及时难题。

发表了《Seabed deposition and erosion change and influence factors in the Yangshan Deepwater Port over the years》、《基于风要素的黄骅港余水位规律分析及预报研究》等 SCI 或核心论文多篇，获批了《港口潮波综合信息动态共享平台 2018SR558135》、《水文综合浮标观测站实时监控预警系统 2018SR364435》、《基于实时潮位的动态水深数据显示系统 2018SR814937》等软著 7 项。

4、保密方面：无。

5、国际比较：

美国、日本等发达国家采用地波雷达、ADCP 等多种手段相结合的

模式，实现了既能完整覆盖海岸线、又能对港口等局部重点区域进行高精度观测，并在海啸等短期预警与事故应急中发挥了关键作用。对于类似集成观测、实时远程传输、即时处理、短期精准预报等方面工作，我国目前在沿海港口还基本处于空白状态。

本项目研究围绕港口近岸水域高精度数据需求，克服了水上交通影响严重、浅水多重反射明显且噪声干扰严重等困难，构建了适合复杂海洋环境的空间立体化集成港口水文观测体系，并选取国际领先的传感器材研发了高度集成的数据采集器，结合水文动力专业理论实现了数据的动态模拟与精确预测预报。研究成果在天津港、黄骅港等典型港口以及深中通道、韩国“世越号”沉船打捞等重大项目中成功应用，经鉴定达到了国际先进水平，具备在我国其它港口及重大项目中推广使用的条件。

## ” 1、推广应用情况

项目研究形成的相关技术体系、一体化综合数据采集器、信息系统平台等成果，已经先后在黄骅港 20 万吨级航道引航、深中通道沉管隧道建设、青海湖公益性调查、韩国“世越号”沉船打捞等多个典型项目中得以推广应用，满足了相关项目的实时、稳定、高精度波潮流数据需求。典型应用如下：

1) 成功实施技术转移，建设黄骅港 20 万吨级航道潮位、潮流实时观测系统平台，促进当地水运交通的经济与安全发展

黄骅港位于环渤海经济圈中部，在实现京津冀协同发展、带动北方腹地发展中发挥着重要作用。黄骅港航道总长 60.5km，是世界最长

的海港人工航道，也是典型的乘潮航道。航道横流等水动力作用较强，深度基准面具有明显的空间差异，为合理利用航道有效水深、掌握潮流特性、保障通航安全、提升港区公共服务能力，河北海事局、沧州港务集团先后会同北海航海保障中心、沧州海事局、黄骅港引航站等单位共同研究，明确提出建设实时潮位潮流观测系统，为船舶乘潮进出港提供基础数据。

我院依托研究成果，建设了黄骅港 60 余公里狭长航道的离岸实时潮位、潮流观测系统，为黄骅港 20 万吨级航道的运营管理、港口平安交通智慧交通建设及当地水运事业发展做出了较大贡献，其具体表现为：①促进了航道维护性疏浚施工的科学规划及船舶合理调配，有效提升了船舶疏浚作业质量与效率，三年累计节约疏浚成本约 1.2 亿元。②依托航道沿程基准面研究成果，提高了航道承运能力，提升了航道水深资源利用率；保障了航道精准乘潮的实施，实现了 20 万吨级船舶满载进出港，服务了港口货运经济增量过亿元的快速发展。③服务六百余次引航工作，保障通航安全，提升航标管理效能，支撑了当地水运交通安全发展。

2016-2019 年度合同金额 1796 万元，已经完成验收，2019-2022 年度已经完成合同签订，合同金额 1278.6 万元，目前正在实施。

2) 继港珠澳大桥之后，助力深中通道隧道基槽回淤预警预报，服务水上重大交通工程

深中通道项目是国务院批复的《珠江三角洲地区改革发展规划纲要（2008~2020 年）》确定的建设开放的现代综合运输体系中的重大基

基础设施项目，其海底隧道工程预计 2023 年完成。

在海床上开挖基槽并埋设安装预制的巨型沉管是海底隧道的修建方式。基槽开挖后，槽底的平整度是沉管能否顺利下放安装的重要因素。而工程海域泥沙淤积规律研究与淤泥的预测预报，是了解和预测基槽泥沙现状、辅助决策沉管顺利下放的重要科学依据，沉管运往现场而因临时淤积无法下放将造成数千万的直接经济损失，工期也将重新调整。长期连续自动的水沙环境（主要为潮位、潮流、泥沙）监测，是开展深中通道泥沙淤积研究的基础，监测数据的完整性、有效性、可靠性直接影响研究结论，影响深中通道沉管工程的建设，因此工程海域水沙监测意义不言而喻。

深中通道隧道基槽水沙环境监测，是我院继港珠澳大桥沉管隧道基槽回淤监测项目之后的典型服务国家重大交通工程项目，监测费用 1000 万元。

此次水沙环境监测变革了港珠澳大桥项目的传统人工观测方式，依据本项目的多源数据集成观测技术体系与一体化综合数据采集器，实现了深中通道水沙环境的长期自动监测。自 2019 年 9 月开始运行至今，系统运行稳定，将持续运行 4-5 年直至隧道工程建设完成。

### 3) 开展青海湖公益性波浪特征调查，支撑高原交通事业发展

青藏高原海拔较高，空气稀薄，昼夜温差较大，风力较大，短期风力在青海湖生成的风浪对旅游船只停泊安全造成影响，波浪较大时还会对景区内码头建筑物造成破坏。青海湖历来缺少波浪资料，为支持青海交通运输事业，我院成立援青项目组，于 2018 年 8-10 月在青海

湖开展了水文波浪实时遥报观测，向当地海事部门实时提供水文波浪数据，为当地湖上旅游决策提供重要的数据与信息服务。青海省地方海事局对我院的水文波浪观测援青工作给予了高度评价，感谢了我院在青海交通运输事业做出的贡献。

#### 4) 技术成果在海上沉船打捞与应急救援领域应用广泛

多源数据集成观测与实时遥测遥报技术成果已经在我院参与的韩国“世越号”沉船整体打捞、渤海“碧海行动”、“桑吉轮”应急救援、新喀里多尼亚“KEA TRADER”沉船打捞等多个项目成功应用，为现场工作实施提供了详细的海洋水文数据服务，得到了业主单位和施工单位的一致好评。

## 2、社会评价

1) 核心技术作为“大吨位沉船打捞过程中测绘技术的研究与应用”项目的主要创新点之一，通过了天津市科委组织的科技成果鉴定，综合评定为“国际先进”。

2) 沧州海事局、黄骅港引航站、黄骅航标管理站、沧州港务集团有限公司、交通运输部天津水运工程科学研究所等单位，对本项目研究成果在保障通航安全、提高引航安全与效率、提升航标管理效能、提高航道利用效率、服务国家重大海上交通工程等方面的贡献给予了高度评价，并出具了成果应用证明。

智慧交通建设是《交通强国建设纲要》的重要内容，也是交通运输部当前和今后一个时期的重要战略任务之一。本项目是 GIS 技术在智慧交通领域的典型应用，不仅能促进水运交通相关基础性、前瞻

性技术研究，而且能为港口航运的防灾减灾、安全应急与预警、生态保护与修复、海上重大工程等多个方面提供数据信息与技术支撑，助力现场实施、指挥决策等各个执行或管理阶段，服务综合、绿色、智慧、平安四个交通建设。”项目围绕港口航运的行业共性问题实施专业技术研究，符合《交通强国建设纲要》与交通运输部的“四个交通”发展方向。

项目研究了波浪/潮流/潮汐/海风等多要素的集成采集技术、水上水下综合数据传输技术，构建了空间立体化潮波数据自动采集、实时传输体系，并研发了性能先进、适应复杂海洋环境的一体化综合数据采集器；研究了深度基准面的空间传递、垂直基准的无缝衔接、即时响应自动处理、海洋水文动力数学模型与精确预测预报模型等相关理论，开发了基于 Web 和微信的波、潮、流信息系统与数据共享平台，实现了数据实时在线处理与动态共享，通过嵌入水文动力数学模型、深度基准模型，也实现了渤海海域的短期精确港口水文预测预报以及航道水深即时动态显示。取得了狭长航道离岸潮位遥测遥报等五项新技术，以及发明专利、SCI 论文等多项知识产权。

核心技术通过了天津市科委组织的科技成果鉴定，综合评定为“国际先进”。先后在黄骅港 20 万吨级航道引航、深中通道沉管隧道建设、青海湖公益性波浪调查、韩国“世越号”沉船打捞等重大项目中成功应用，为完成单位创造了 4000 余万元的直接经济收入。研究成果不仅能促进水运交通相关基础性、前瞻性技术研究，而且能为港口航运的防灾减灾、安全应急与预警、生态保护与修复、海上重大工程等多

个方面提供数据信息与技术支撑，具备显著的工程、科研、经济与社会效益。

推荐本项目申报地理信息科技进步特等奖。

”