

自组网的小尺度海域水动力分析

曹泽祥¹, 万隆君¹, 徐轶群²

(1. 集美大学轮机工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省船舶与海洋工程重点实验室, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了快速精确地监测小尺度海域水动力信息, 应用窄带物联网技术, 在一定尺度海域内构建无线自组网络, 设计基于 LoRa 无线通信机制, 带北斗定位功能的微型浮标和基站系统。结合水动力学建模结果, 在厦门湾海域内投放大量微型浮标, 采集该海域水动力学参数数据。借助海域动态监测大数据公共服务平台, 集中接收和处理数据。实验结果表明: 该方法可以有效地实现数据共享及小尺度海域水动力学数据监测。

[关键词] 窄带物联网; 微型浮标; 自组网; 海域动力监测; 厦门湾

[中图分类号] O 352

Research on Hydrodynamics of Small-scale Sea Areas Based on AdHoc Network

CAO Zexiang¹, WAN Longjun¹, XU Yiqun²

(1. School of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Naval Architecture and Ocean Engineering, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to quickly and accurately monitor hydrodynamic information in small-scale sea areas, a narrow-band IoT technology was applied to construct a wireless self-organizing network in certain scale sea areas. A system of micro-buoys and base stations with BDS positioning function based on LoRa wireless communication mechanism was designed. Combined with the results from hydrodynamic modeling, a large number of microbuoys were placed in the sea areas to collect hydrodynamic parameter data. Experimental results show that this method can effectively realize data sharing and small-scale hydrodynamic data monitoring.

Keywords: narrow band Internet of things; miniature buoys; AdHoc network; sea areas dynamic monitoring; Xiamen Bay

0 引言

随着海洋经济的发展, 人类的海洋活动日益频繁, 海洋环境保护、海洋的高效开发和利用, 以及海洋作业安全等需求日益迫切, 掌握海洋动力环境信息具有重要意义。目前, 对海域的动力监测方法包括利用数值模拟分析监测、物理模型分析监测、固定基站监测、浮标监测等。蔡梦楠等^[1]采用区域海洋数值模式 (ROMS), 对厦门湾及邻近海域的潮汐、潮流进行数值模拟; 温生辉等^[2]采用基于 Casulh 的三维浅水模型, 参考 POM 模型和 BOM 模型, 加入简化紊流闭合模型, 描述厦门海域浅滩三

[收稿日期] 2019-07-29

[基金项目] 福建省科技厅重点项目 (2016H0025)

[作者简介] 曹泽祥 (1992—), 男, 硕士生, 从事船舶与海洋工程技术研究。通信作者: 万隆君 (1966—), 女, 教授, 硕导, 从事机电一体化研究。

维潮流场；谢森扬等^[3]采用环境流体动力学模型研究九龙江口－厦门湾潮汐潮流和盐度场的时空变化过程。但面对千变万化的海域环境，数值模拟手段具有局限性，特别是在海流较弱的情况下，误差较大。陈家扬等^[4]采用都江堰卵石推移质模型研究泥沙运行规律。采用物理模型，需要大量人力、物力、财力，且模型只能适用于特定水域，无法适应水域环境的变化。张世民等^[5]根据收集的厦门湾实测潮流、海面风观测资料分析厦门湾潮流性质、运动形式，但潮流站位非同步观测，且使用观测资料无法在短时间内快速分析潮流特性。吴维等^[6]采用基于北斗系统的 Argo 浮标。采集海洋水文数据，但是 Argo 浮标体积较大，成本高，投放数量有限，主要用于大洋环流的观测。因此需要一种成本低、精度高、速度快、覆盖范围广的组网和实测方法，即使在海流较弱的小尺度海域也能较为精确的监测海域动力信息。

本文应用窄带物联网技术，在厦门湾海域投放大量微型浮标，利用微型浮标与基站，构建无线自组网络，用于采集该海域水动力学参数。构建海域动态监测大数据平台，集中接收和处理数据，实现数据共享及小尺度海域水动力学数据监测。

1 水面自组网络架构及装备

本文构建的水面自组网主要包括数据采集层、传输层、应用层，其架构图如图 1 所示。

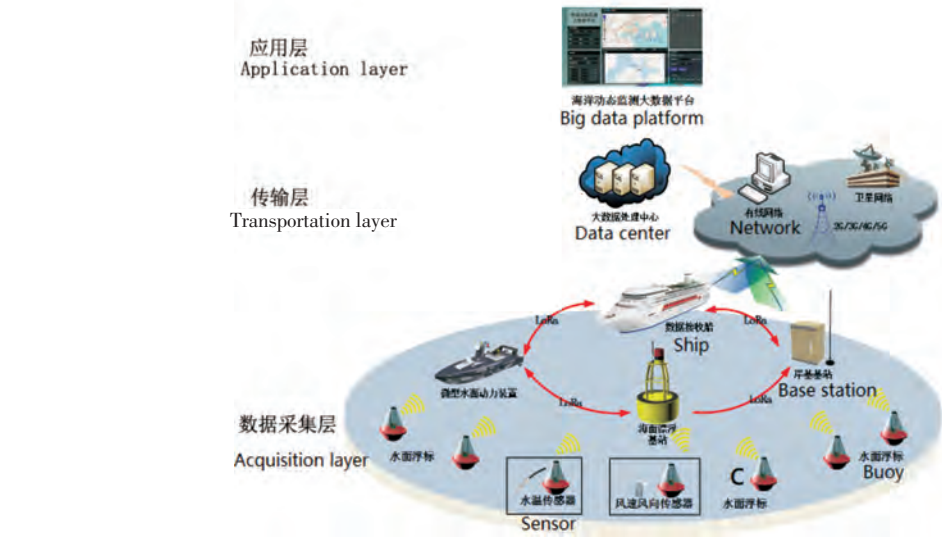


图 1 水面自组网架构图

Fig.1 Architecture of self-organizing network on the water surface

数据采集层：主要由微型浮标和基站组成，微型浮标可装配多种传感器，采集海域动力数据，通过 Mesh 组网可以构建覆盖半径 100 km 的海域无线网络。

传输层：海面传输设备由微型浮标、海上基站、微动力装置组成；陆地传输由岸基基站网络组成；空中由卫星网络组成。最终将采集到的数据传送到大数据处理中心。

应用层：通过海洋动态监测大数据平台，对数据进行深入分析及挖掘，应用于海漂垃圾追踪、泥沙沉积追踪、海洋渔业指导等方面。

通过 LoRa 窄带物联网设备及 Mesh 组网方式实现快速组网，利用自组网络实现数据海陆空无缝隙链接，达到 LoRa、卫星、网络的综合性广覆盖组网。通过多次在同一海域投放大量微型浮标，高密度采集该海域水动力学参数，结合大数据和模拟仿真，构建该海域水动力模型，实现一种精度高、速度快、覆盖范围广的组网方式。图 2 为自主研发的基于 LoRa 无线通信机制的微型浮标和岸基、船基基站。

微型浮标: 带北斗和 GPS 双模定位, 按设定周期将浮标的位置、航速、航向等数据主动发送到基站。带 485 通信接口, 可以连接海洋监测传感器, 用于监测海水温度、PH 值、盐度等。

岸基、船基基站: 侦听并接受微型浮标发送来的信息, 单一基站通信半径 20 km, 多基站之间通过 Mesh 组网, 可实现半径 100 km 数据传输。按 1 min 采集周期, 单一基站最多能够容纳 4 096 个微型浮标。

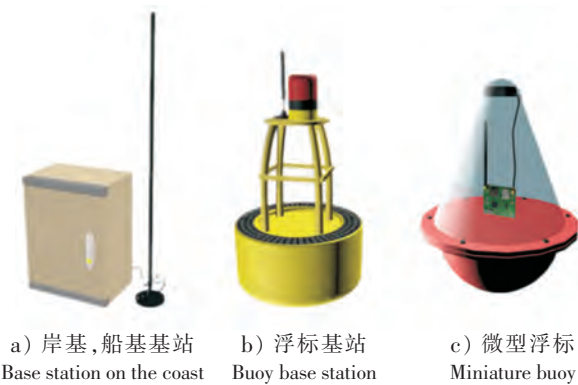


图 2 自组网装备

2 海域动态监测大数据公共服务平台的构建

自主研发的海域动态监测大数据公共服务平台如图 3 所示。

Fig.2 Equipments of a self-organizing network

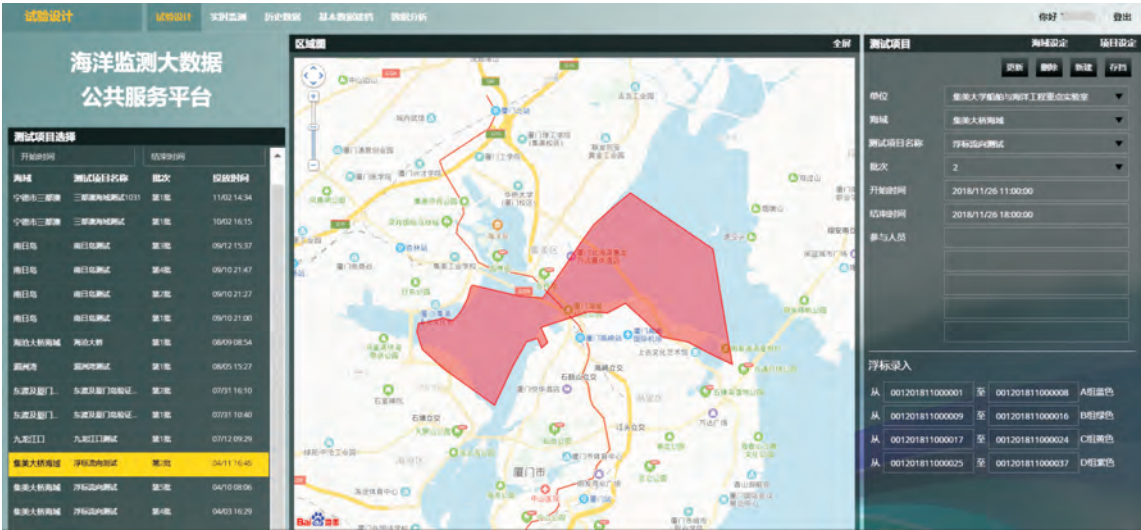


图 3 海域动态监测大数据公共服务平台

Fig.3 Big data public service platform for sea area dynamically monitoring

平台具有以下功能。

- 1) 试验设计: 用户根据试验需求, 录入海域、测试项目名称、微型浮标编号、批次、参与人员等信息。
- 2) 实时监测: 实时显示试验期间微型浮标位置、微型浮标航速和航向、基站位置信息, 且可随时刷新页面获取最新数据。
- 3) 基本数据建档: 通过设备管理、海域管理、测试项目管理、原始数据管理、人员管理 5 个菜单建立试验基本数据。
- 4) 历史数据查询: 用户通过选择海域、测试项目、批次、时间及微型浮标代号等信息查询选定项目历史数据。
- 5) 数据分析: 一是对采集的数据进行校验、纠错、插值、查询等处理, 同时平台数据可以输出 csv、txt 的格式文件; 二是将微型浮标数据统一传送到公共服务器, 不同用户通过统一入口登录, 完成数据分析和挖掘应用, 采用云储存技术, 将数据存放在由第三方托管的多台虚拟服务器, 实现资源共享, 最终通过大数据和对数据处理算法构建海域的精细化水动力学模型, 实现平台可视化展示。

3 海域水动力学建模

建立厦门湾海域水动力学模型，选取东经 117.892 915° ~ 118.290 756°；北纬 24.349 057° ~ 24.630 019°所覆盖的厦门湾海域为实验海域。

3.1 建模方法

利用美国新泽西罗格斯大学与加州大学洛杉矶分校共同研发的区域海洋动力模型建模方法构建 ROMS (regional ocean modeling system) 模型^[8]。ROMS 模型可以进行单独的海洋模式计算，也可以与大气模式等进行耦合计算。

由于厦门湾的水深较浅，水体性质垂向均匀，因此采用了 ROMS 中的二维模块进行模拟，即将问题简化为二维的浅水模式，其控制方程组如下。

垂向平均的动量方程组：

$$\partial U/\partial t + U\partial U/\partial x + V\partial U/\partial y - fV = -g\partial\eta/\partial x + A_m\partial^2 U/\partial x^2 + \tau_{bx}; \tag{1}$$

$$\partial V/\partial t + U\partial V/\partial x + V\partial V/\partial y + fU = -g\partial\eta/\partial y + A_m\partial^2 V/\partial y^2 + \tau_{by}。 \tag{2}$$

垂向平均的连续性方程为

$$\partial\eta/\partial t + \partial(DU)/\partial x + \partial(DV)/\partial y = 0。 \tag{3}$$

其中：U、V 分别为 x 与 y 方向的垂向平均海水流速分量；D = H + η，η 为水位，H 为平均水深，D 为总水深；f 为科氏参数；A_m 为水平方向的涡动粘滞系数；τ_b = -rU|U| 为底部摩擦应力，r 为摩擦系数；t 为时间。

3.2 厦门湾海域模型配置与模拟

建立厦门湾二维海流模型，对厦门湾的潮位和潮流进行模拟，模拟区域如图 4 所示。

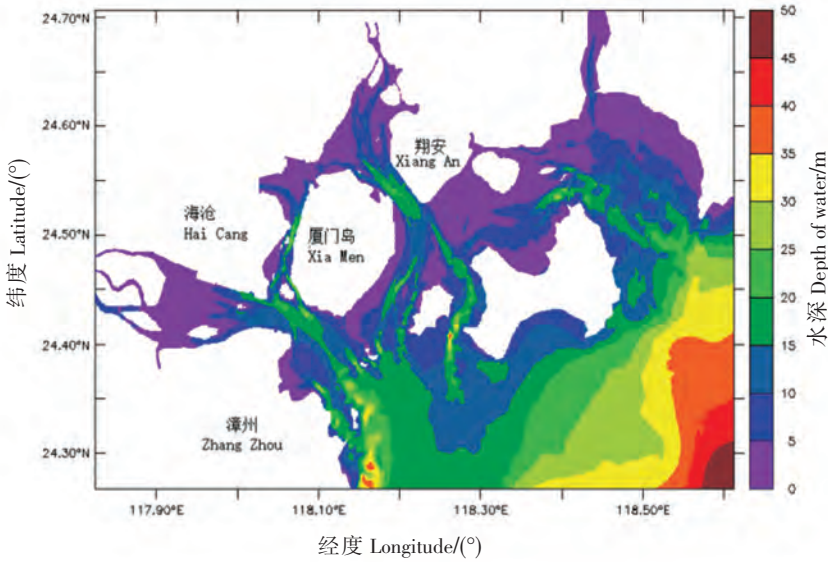


图 4 模型模拟区域及水深分布

Fig.4 Area model simulation and depth distribution of water

应用 ROMS 模型得出厦门湾海域流场分布和潮位变化图，如图 5 所示，图 5b 图中箭头代表水流方向。根据水动力学模型的计算结果，发现在厦门大桥附近海域存在海域水动力平衡区域，因此选取厦门大桥区域低平潮时刻（2018 年 11 月 26 日 11 时）作为起始时间，分别在厦门大桥两侧布放微型浮标。该时刻对应的潮高如图 5 中红色标记所示。

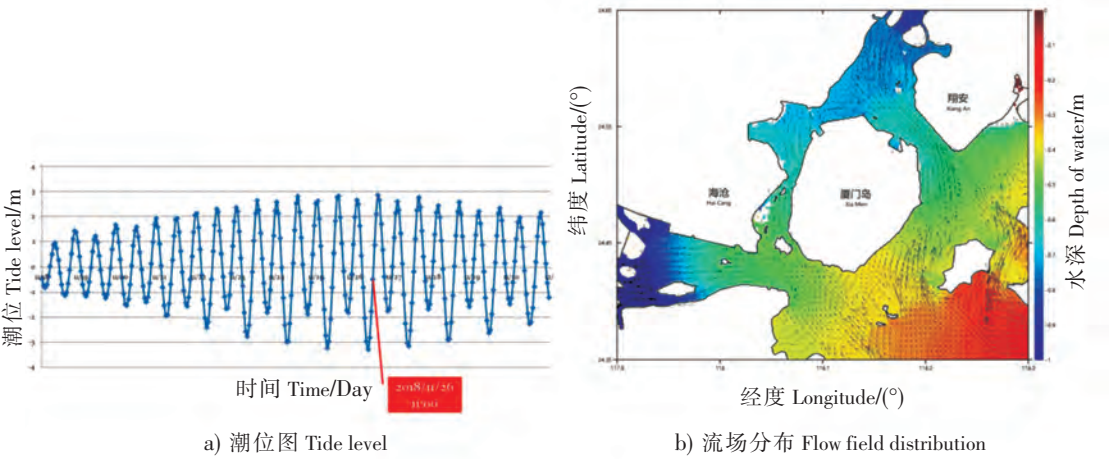


图 5 厦门海域流场分布及潮位图

Fig.5 Distribution of flow field and tidal level in Xiamen sea area

4 厦门湾水动力学试验与分析

4.1 水动力学数据采集试验

首先，根据基站通讯半径以及厦门湾地形，构建厦门湾海域无线自组网络，基站位置如图 6 所示（圈中为基站覆盖范围）。微型浮标通过自组网系统，按 1 min 采集周期，向基站发送位置和速度数据。

依据图 5，试验时间段选择 2018 年 11 月 26 日11 时至 15 时，并于 1 时，分别在厦门大桥东、西两侧各投放 6 个微型浮标，如图 7a 所示。15 时平潮，微型浮标位置如图 7b 所示。



图 6 基站位置图

Fig.6 Location of base stations



图 7 微型浮标位置图

Fig.7 Positions of miniature buoys

4.2 试验结果分析

4.2.1 微型浮标轨迹分析

浮标轨迹及速度如图 8 所示。11 时在厦门大桥两侧分别放置微型浮标，待涨潮时，左侧微型浮标由静止开始做加速运动，最大速度达到 0.667 m/s；1 h 后微型浮标到达距离杏林大桥 2.0 km 的位

置，然后开始减速；1 h 后微型浮标到达距离杏林大桥 0.37 km（位置①）处，然后开始转向，之后先加速后减速，最大速度 0.116 m/s，最终到达距离杏林大桥 1.0 km 的位置。右侧微型浮标在涨潮时先加速后减速，最大速度 0.196 m/s；2 h 后到达距离厦门大桥 2.3 km（位置②）处，然后开始转向；40 min 后加速，最大速度达到 0.625 m/s，1 h 后到达岸边。值得一提的是，厦门大桥两侧布放的微型浮标虽经过了涨潮但并未相遇。



图 8 微型浮标轨迹及速度变化图

Fig.8 Tack of miniature buoys and variation diagram of speed

通过试验发现，投放在厦门大桥两侧的微型浮标均未穿越厦门大桥下海域，可知杏林大桥与厦门大桥之间存在图 8 中红圈所示的海水潮汐动力平衡区域，与模拟结果吻合。该平衡区域产生的主要原因是，由于厦门东、西海域的潮波在此处汇潮，海水的辐聚使得其势能增加，动能减小，形成“动力堤”，正是由于“动力堤”的存在，阻碍了厦门大桥两侧海水的交换。

4.2.2 汇潮区表层水体扩散系数及尺度计算

平衡区的海水无明显的对流交换过程，区域的海水交换依赖于弱的湍流扩散过程。为深入探究该区域动力学特征，本文进一步计算了表层水体扩散系数及其尺度^[9]，若表层水体扩散系数与其尺度越大，则海水交换能力越强。为了解流场混合特性的演变，从微型浮标轨迹数据中估算出表层水体扩散系数，当微型浮标到达平衡区域附近时，表层水体扩散系数为： $\bar{x} = \sum_{i=1}^N x_i(t)/N$ ； $\bar{y} = \sum_{i=1}^N y_i(t)/N$ 。其中： $x_i(t)$ 和 $y_i(t)$ 是第 i 个微型浮标在时刻 t 上的水平位置， t 为时间； N 为微型浮标的数量。

利用质心位置，计算微型浮标沿其两个主轴的水平方差： $\sigma_x^2(t) = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N [x_i(t) - \bar{x}(t)]^2$ ； $\sigma_y^2(t) = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N [y_i(t) - \bar{y}(t)]^2$ 。

由微型浮标沿其两个主轴的水平标准偏差 σ_x 和 σ_y ，可得： $\sigma_{rc}^2 = 2 \sigma_x \sigma_y$ 。 σ_{rc} 是质心扩散粒子的均方半径^[9]。

k_a 为表层水体扩散系数， l 为扩散尺度，则 $k_a = \sigma_{rc}^2/(4t)$ ， $l = 3 \sigma_{rc}$ 。

通过计算分析得知，图 8 位置①处表层水体扩散系数 k_a 为 0.753 1 ~ 1.086 2 m²/s，扩散尺度 l 为 40.249 2 ~ 48.433 1 m；位置②处表层水体扩散系数 k_a 为 0.682 3 ~ 1.094 5 m²/s，扩散尺度 l 为

40.249 2 ~ 48.433 1 m; 位置③处表层水体扩散系数 k_a 为 50.219 8 ~ 66.083 3 m^2/s , 扩散尺度 l 为 658.710 3 ~ 755.618 8 m; 位置④处表层水体扩散系数 k_a 为 48.812 5 ~ 65.156 3 m^2/s , 扩散尺度 l 为 649.415 1 ~ 750.300 2 m。通过对比发现位置③、④流速较快,其表层水体扩散系数及扩散尺度明显大于处于海水潮汐动力平衡区域处的位置①、②,说明位置③、④处海水交换能力强于位置①、②处,这与试验结果吻合。

5 结论

应用窄带物联网技术,构建一定海域的无线自组网络,通过投放大量微型浮标,高密度采集一定海域水动力学参数,并与模拟仿真相结合,可以获得该海域精细化水动力学模型。在厦门湾海域进行试验,结果表明,利用无线自组网微型浮标采集海域水动力学参数的方法是行之有效的,与传统方法相比,该方法成本低廉、组网速度快、精度高、覆盖范围广,可应对快速变化的海域环境,尤其适合对近海海流较弱的小尺度海域进行实时有效监测。

[参考文献]

[1] 綦梦楠. 厦门湾及邻近海域潮汐潮流数值模拟与预报研究 [D]. 青岛:中国海洋大学,2014.

[2] 温生辉,蔡启富,汤军健,等. 厦门海域浅水三维潮流场动力学模型 [J]. 海洋学报(中文版),2003(2):1-17.

[3] 谢森扬,王翠,王金坑,等. 基于 EFDC 的九龙江口-厦门湾三维潮流及盐度数值模拟研究 [J]. 水动力学研究与进展 A 辑,2016,31(1):63-75.

[4] 陈家扬. 都江堰卵石推移质模型试验的几点经验 [J]. 泥沙研究,1983(3):53-60.

[5] 张世民,李少伟,邓兆青,等. 厦门湾潮流动力特征研究 [J]. 海域预报,2018,35(1):19-28.

[6] 吴维,齐久成,张静,等. 基于北斗系统的 ARGO 浮标设计 [J]. 气象科技,2013,41(3):459-463.

[7] 邱国强,王海黎,邢小罡. BGC-Argo 浮标观测在海洋生物地球化学中的应用 [J]. 厦门大学学报(自然科学版),2018,57(6):827-840.

[8] 周立佳,党振中,董慧超,等. 气象强迫场时间频率对 ROMS 模式高分辨率数值模拟的影响分析 [J]. 海洋技术学报,2017,36(2):83-88.

[9] WHILDEN K A, SOCOLOFSKY S A, CHANG K A, et al. Using surface drifter observations to measure tidal vortices and relative diffusion at Aransas Pass, Texas [J]. Environmental Fluid Mechanics, 2014, 14(5): 1147-1172.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)