



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20200139

数字出版日期: 2021-03-31; 数字出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1355.N.20210330.1447.004.html>

## 基于 WebGIS 天津沿海排污口监测预警系统的设计与实现

薛志泳, 郑小慎

(天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457)

**摘要:** 应用 WebGIS 技术, 针对陆源入海排污口环境监测需要, 结合地理信息系统的地图优势开发了基于 WebGIS 的天津沿海排污口监测预警系统. 系统在 WebGIS 空间分析模型的基础上建立了污染扩散范围计算模型, 进行污染物排放后污染范围的模拟计算并以地图的形式显示在地理底图上. 系统实现了用户管理、地图服务、监测数据管理和排污预警的功能, 并将结果以直观、可视化的形式显示在系统界面上, 可以从 Web 端管理监测到的排污数据, 同时对排放情况进行预警分析和扩散模拟, 对近海环境监测和评估起到重要作用.

**关键词:** WebGIS; 沿海排污口; 监测预警系统

中图分类号: X84 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2021)04-0032-07

## Design and Implementation of Monitoring and Warning System for Tianjin Coastal Sewage Outlet Based on WebGIS

XUE Zhiyong, ZHENG Xiaoshen

(College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Tianjin coastal sewage outlet monitoring and warning system based on WebGIS technology was developed for environmental monitoring of land-based sewage outlet into the sea combined with the map advantages of geographic information system. This system established the calculation model of pollution diffusion range on the basis of WebGIS spatial analysis model, conducted the simulation calculation of the pollution range after pollutant discharge, and displayed it on the geographic base map in the form of map. Accordingly, the system fulfilled the functions of user management, map service, monitoring data management and sewage warning, and resulted in the form of intuitionistic, visual displayed on the system interface. Thus, user can be detected from the Web management of pollution data. Simultaneously, the system conducted warning analysis on emissions and diffusion simulation, which plays an important role in offshore environmental monitoring and assessment.

**Key words:** WebGIS; coastal sewage outlets; monitoring and warning system

天津海域面积 3 000 km<sup>2</sup>, 其中大陆岸线长约 153.67 km, 岛屿岸线长约 0.47 km, 潮间带面积约 336 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 对天津海洋经济发展和京津冀地区出海口和海上贸易有重要的战略意义. 由于天津海域呈现半封闭式的地形, 使得水体的交换能力差, 自我调节功能较低, 加之随着天津近岸经济的飞速发展和填海造陆带来的海洋环境恶化, 陆源污染物大量输入, 使得天津近岸海域污染现状日趋严重<sup>[2]</sup>. 在众多导致

海洋环境污染状况恶化的因素中, 陆源入海排污是重要因素之一, 由于工业生产的发展所带来的工业废水的向海排放, 导致了天津沿岸水体的污染超标和水体的富营养化加重, 对海域的生态环境构成了一定的威胁<sup>[3]</sup>. 近几年入海排污排放的主要污染物浓度呈现增长趋势, 对于海洋环境的污染也随之加重<sup>[4-5]</sup>. 对于排污口污染物排放的监测管理和预警管理成为了海洋环境监测研究的重要途径之一.

收稿日期: 2020-08-13; 修回日期: 2020-10-28

基金项目: 国家科技重大专项项目(2017ZX07107)

作者简介: 薛志泳(1995—), 男, 山西广灵人, 硕士研究生; 通信作者: 郑小慎, 教授, zxs@tust.edu.cn

地理信息系统 (GIS) 由于其强大的空间数据可视化和分析能力, 在环境信息领域发挥着越来越重要的作用. 当前国内外有很多在水环境监测和信息管理中均应用到 GIS 技术, 前期主要针对在 Web 上的共享性和统一性进行环境监测的结合应用<sup>[6-7]</sup>, 主要是使用开放共享的标准和一些主流开发框架来构建监测系统. 目前的研究重点是在系统和环境模型上的结合<sup>[8-11]</sup>, 利用模型计算的结果进行后报显示的目的, 给出系统预警结果. 本文在前人研究的基础上, 利用基于 Web 的地理信息系统技术开发构建了天津沿海排污口监测预警系统, 以期能够对沿海各排污口的监测数据进行管理显示, 并对数据进行分析 and 模拟计算. 本系统主要是显示排放信息, 并对排放后的影响进行预测和预警, 从而对海洋环境污染的控制起到一定的作用.

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区域及排污口位置

天津沿海海域, 位于北纬 38°12'—39°14', 东经 117°34'—118°20' 之间. 海岸线北起涧河口, 南至岐口, 是一个三面环路的半封闭性海域<sup>[12]</sup>. 研究区域和排污口位置如图 1 所示.

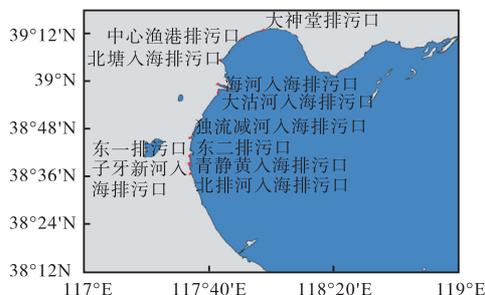


图 1 研究区域地理概况图

Fig. 1 Geographical profile of the study area

本系统根据天津市陆源入海排污口的地理分布选择了较为典型 11 个主要的陆源入海排污口进行系统开发.

### 1.2 污染扩散范围模型

系统针对天津沿海 11 个入海排污口进行地理位置 (表 1<sup>[4-5]</sup>) 和排放数据的监测控制, 并依据排放数据对排放污染物进行分析, 同时建立一个简单的污染扩散范围模型<sup>[13]</sup>评估其水污染扩散范围.

利用 WebGIS 空间分析模型<sup>[14]</sup>计算和显示扩散结果, 其中对于生态环境或者生态系统降解和海水湍动能的影响因数没有计算在模型方法中. 在模型计

算中考虑了岸线形状、风速和 Ekman 风生流等因数对于海表面扩散的影响.

表 1 监测的主要入海排污口地理位置

Tab. 1 The geographical location of the monitored main sewage outlet into the sea

排污口名称	经度	纬度
大神堂排污口	117°57'06"E	39°13'10"N
中心渔港排污口	117°50'30"E	39°11'00"N
北塘入海排污口	117°43'19"E	39°06'37"N
海河入海排污口	117°42'48"E	38°59'12"N
大沽河入海排污口	117°40'42"E	38°57'42"N
独流减河入海排污口	117°29'24"E	38°45'27"N
东二排污口	117°32'49"E	38°41'31"N
东一排污口	117°31'10"E	38°41'27"N
青静黄入海排污口	117°31'57"E	38°39'45"N
子牙新河入海排污口	117°32'15"E	38°39'17"N
北排河入海排污口	117°32'27"E	38°37'03"N

假定排污口附近海域是平静海面, 且海水流动只和风速有关, 建立空间分析计算模型如下式计算.

$$v = \omega f_{\omega} \quad (1)$$

$$\theta_i = \varphi_i + \psi_{\omega} + \Omega \quad (2)$$

$$x_i = y_0 + v \cdot t \cdot \cos \theta_i \cdot E_{\theta_i} \cdot L_{\theta_i} \quad (3)$$

$$y_i = y_0 + v \cdot t \cdot \sin \theta_i \cdot E_{\theta_i} \cdot L_{\theta_i} \quad (4)$$

式中:  $v$  为海水流速;  $\omega$  为海表面风速;  $f_{\omega}$  为风应力系数;  $\theta_i$  为水流在  $i$  方向上与水平向的夹角;  $\varphi_i$  为第  $i$  个方向角;  $\psi_{\omega}$  为海表面风速的主方向角;  $\Omega$  为海表面流速在地转偏向力的作用下偏离风速主方向的夹角;  $x_i$ 、 $y_i$  为污染物在  $i$  方向上  $t$  时刻后随海水扩散的坐标位置;  $x_0$ 、 $y_0$  为排污口坐标 (计算原点坐标);  $E_{\theta_i}$ 、 $L_{\theta_i}$  为在  $\theta_i$  方向上的水流权重和岸线系数.

将计算得到的经纬度坐标点添加到地图坐标上成为模型结果到地图显示的关键, 在 GIS 地图上是以投影坐标系显示地图的, 将地理坐标转换成投影坐标经过以下计算<sup>[15]</sup>.

$$X = A \cdot x \cdot \zeta \quad (5)$$

$$Y = B \cdot y \cdot \zeta \cdot \log \left[ \frac{1 + \sin(y \cdot \zeta)}{1 - \sin(y \cdot \zeta)} \right] \quad (6)$$

式中:  $X$ 、 $Y$  为转换后的投影坐标;  $x$ 、 $y$  为地理坐标;  $A$ 、 $B$ 、 $\zeta$  为常数参数,  $A = 6378137.0$ 、 $B = 3189068.5$ 、 $\zeta = 0.0174532925$ .

## 2 系统的设计

### 2.1 系统结构设计

基于 WebGIS 的天津沿海排污口监测预警系统

的逻辑结构是基于 B/S 三层结构搭建的<sup>[16]</sup>, 分为数据层、服务层和显示层, 如图 2 所示。

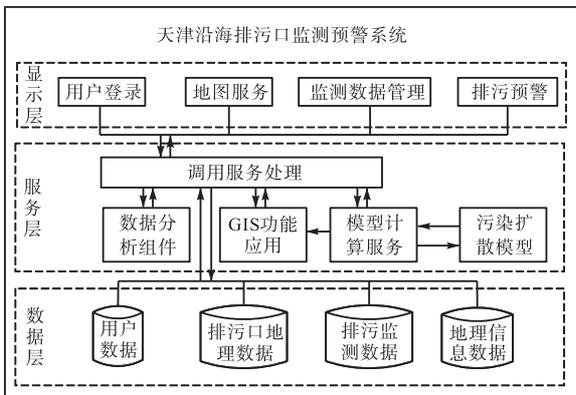


图 2 排污口监测预警系统设计结构图

Fig. 2 Design structure of sewage outlet monitoring and warning system

### 2.1.1 数据层

系统的数据层为系统数据提供存储空间, 是系统运算的基础。系统数据主要包括用户数据、排污口信息数据、排污口监测数据以及地理信息数据。用户数据包括了系统允许登录的用户信息。入海排污口信息数据包括了排污口地理位置信息、排污口简介信息及排放监测信息等。排污口监测数据包括了每个排污口监测的时间、排放污染物和相关排放污染物的监测浓度数据。地理信息数据包括系统界面的基础地理背景数据, 如基础地理地图、排污口点状地图和排放污染物扩散地图等。排污口地理位置数据和排污口监测数据是属性数据, 通过属性文件存放在系统数据库中。地理信息数据通过 ArcGIS 控件实现数据的调用和显示。本系统以大神堂排污口监测的数据为例开发。

### 2.1.2 服务层

系统的服务层是在系统运行过程中为 Web 端的请求提供逻辑运算并且返回处理结果, 是系统的核心部分。系统的逻辑服务主要包括数据的调用服务、模型计算服务和 GIS 应用服务。数据的调用服务是对于 Web 端发来的数据库调用请求进行判断响应, 然后进一步调用需要执行的应用服务, 并且将处理结果发送回 Web 端。模型计算服务是对于扩散模型的逻辑计算并且将计算结果以 GIS 的形式显示在界面。GIS 应用服务是对于地图的功能响应, 包括一些基本地理操作功能、空间分析功能和 GIS 函数的调用功能。

### 2.1.3 显示层

系统的显示层通过功能模块以及工具按钮等显

示提供面向用户的界面, 是系统对于用户的功能显示, 也是系统最直观的界面浏览。本系统的主要界面显示分为 4 个界面: 登录界面、系统主界面、监测数据管理界面和排污预警界面。登录界面是系统的初始窗口, 主要实现登录用户的识别和新用户注册等功能, 用于提高系统内容的保密性。系统主界面是用户登录后显示的界面, 分为系统名称栏、地图显示窗口、功能菜单栏和版权信息栏。监测数据管理界面是监测数据管理模块的显示界面, 包括了排污口信息查询窗口和历史监测数据的查询。排污预警界面是排污预警模块的显示界面, 包括了监测数据的水质分析预警和排放污染物的扩散模拟预警。

本系统软件结构由 ArcGIS Server 服务器和 Web 服务器组成。ArcGIS Server 服务器负责系统中地图数据的访问和空间数据的处理。Web 服务器基于 JavaScript 开发, 负责系统中数据的调用处理, 数据库交互和浏览器端请求的接受和响应。整体采用 MVC(model view controller) 的响应模式, 其主要关系如图 3 所示。

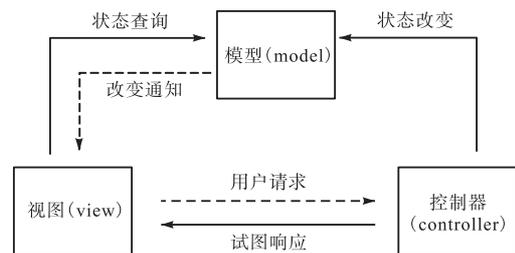


图 3 MVC 模式关系图

Fig. 3 Relationship diagram of MVC pattern

## 2.2 系统功能设计

基于 WebGIS 天津沿海排污口监测预警系统的功能可以划分为地图管理功能和信息管理功能两大类, 系统的功能模块分为用户登录模块、地图服务模块、监测数据管理模块和排污预警模块。系统的功能结构如图 4 所示。

用户登录模块包括了注册和登录两个功能。注册是在新用户初次访问时进行用户信息的注册, 填写必要的登录信息。用户登录是系统对访问此系统的人员信息的识别, 在识别确认可登录用户后会开放系统界面。系统中运行流程如图 5 所示。

地图服务模块包括了加载地理底图和对地图的基本操作的功能。本系统加载了中国区域的地理地图, 对地图的基本操作包括了平移、放大、缩小、全图、视图切换和鹰眼等功能。系统中运行流程如图 6 所示。

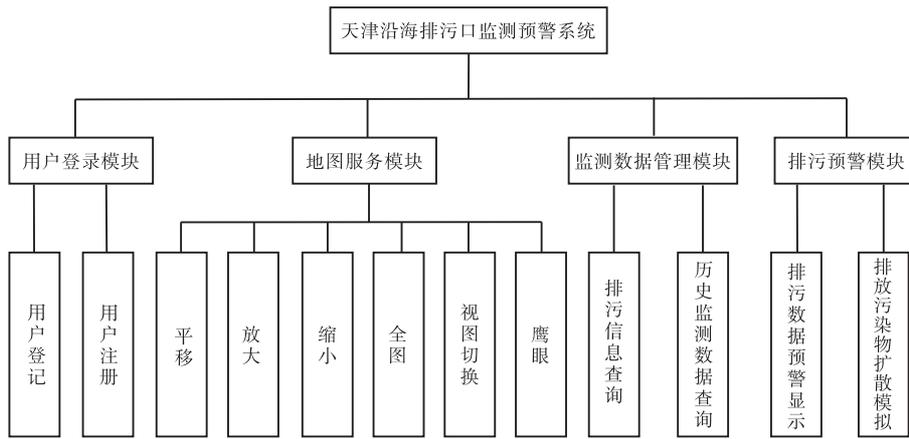


图4 排污口监测预警系统功能结构图

Fig. 4 Functional structure diagram of sewage outlet monitoring and warning system

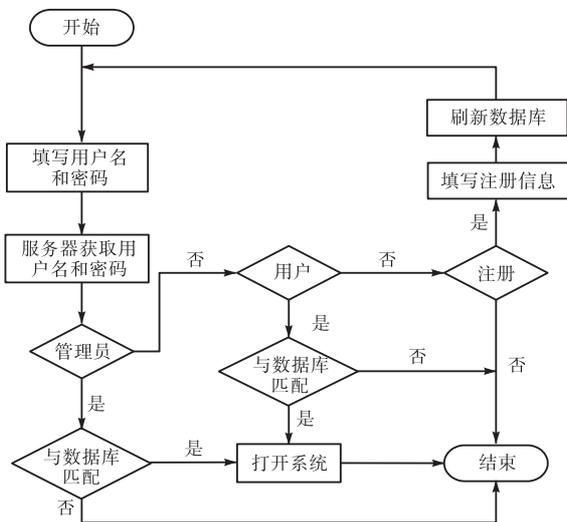


图5 用户登录模块运行流程设计

Fig. 5 Design of operation flow of the user login module

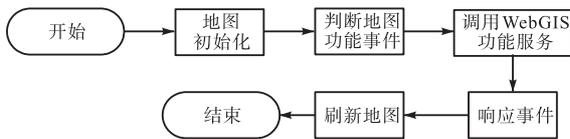
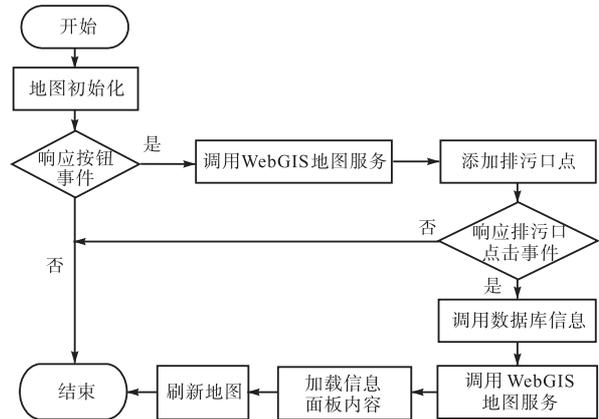


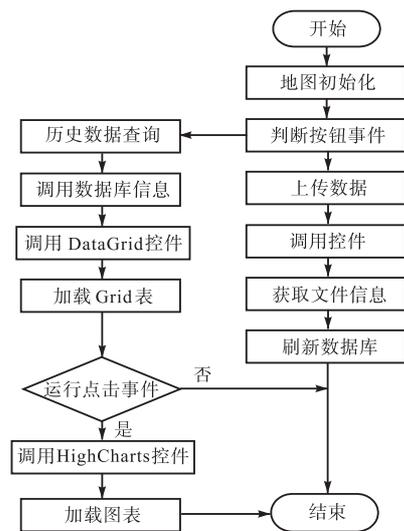
图6 地图服务模块运行流程设计

Fig. 6 Design of operation flow of map service module

监测的时间、数据种类以及相关数据的监测值. 系统中运行流程如图7所示.



(a) 排污口信息查询流程



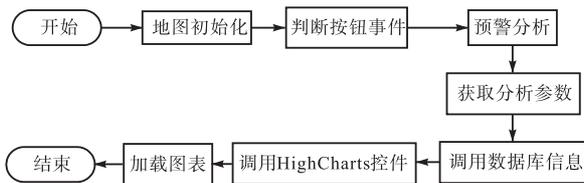
(b) 历史监测数据查询流程

图7 监测数据管理模块运行流程设计

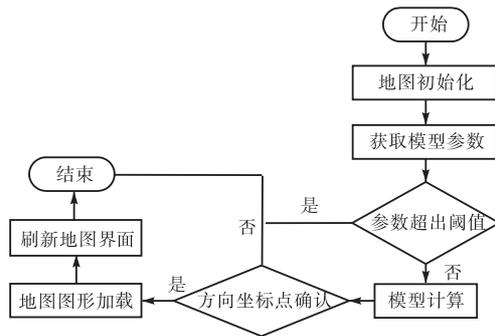
Fig. 7 Design of operation flow of monitoring data management module

监测数据管理模块包括排污口信息查询功能和历史监测数据查询功能. 点击菜单栏中排污口按钮后使排污口的地理位置以点状图形的方式加载在地理底图上, 并且单击地图上的点状图形或者查询按钮后在相应排污口的地理位置上弹出该排污口的相关信息, 包括了地理坐标、排放时间和排放的污染物总类等信息, 从而实现排污口信息查询. 历史监测数据查询是对排放污染物历史数据的阅览, 点击监测数据查询后显示存储的排放污染物的监测相关信息, 包括

排污预警模块主要包括历史监测数据预警分析功能和污染物扩散预警模拟功能。历史监测数据预警分析是对污染物监测数据的水质分析,利用数据的折线分析进行排污预警管理。污染物扩散预警模拟是对排放后污染预警,包括了扩散参数的设置和扩散范围的显示功能。参数的设置是对排污口位置、扩散时间、风速和风向等的参数规定,从而代入模型中计算海水的流向和流速,得到模拟的范围。在确定参数后单击扩散按钮后会在地图上显示设定时间的扩散范围。系统中运行流程如图8所示。



(a) 排污口预警显示流程



(b) 排放污染物扩散模拟预警显示流程

图8 排污预警模块运行流程设计

Fig. 8 Design of operation flow of warning display module

### 2.3 数据库设计

系统的数据库 E-R 图如图9所示。

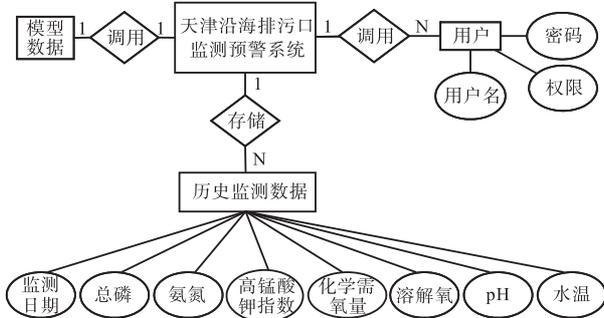


图9 系统数据库 E-R 图

Fig. 9 E-R diagram of system database

本系统在运行和计算上需要调用基础数据,所以建立的数据库包括用户数据、排污口监测数据和模型

运行数据。在基础数据的基础上,本系统的数据库概念设计以 E-R 图的形式来表示。一个调用任务可以对应多个数据对象,一个数据对象也可以属于多项任务。

## 3 系统的实现

### 3.1 系统开发环境

考虑到环境监测的多用户性和实时性,所以天津沿海排污口监测预警系统是在 B/S 架构下的 Web 端系统。

系统的排污口监测数据和一些非空间性数据通过 Microsoft Access 2013 管理,空间性数据和地图数据通过 ArcSDE 管理。系统利用 ArcGIS Server 10 发布这些地图数据<sup>[17-18]</sup>,从而可以从 Web 端调用地图数据。

系统是以 Visual Studio 2012 作为站点的发布和开发平台,利用 JavaScript 和 C# 开发语言构建服务器运行脚本,为事件的处理和调用提供支持。

系统浏览器平台的展示,采用 HTML5、CSS3 等主流技术进行界面设计和显示,采用 JavaScript 技术进行调用和交互处理。地图功能控件是通过 ArcGIS API for JavaScript<sup>[15]</sup>实现的,是 ESRI 提供的一组 JavaScript API 用于构建轻量级的、高性能的、浏览器端的 GIS 开发接口控件。采用 HighCharts 图表控件进行数据的分析,提供直方图、折线图的展示。

本系统开发平台及工具见表2。

表2 系统开发工具及语言

Tab. 2 System development tools and languages

项目	名称
操作系统	Windows 操作系统
网络协议	HTTP、TCP/IP 协议
数据库	Microsoft Access 2013
数据分析组件	HighCharts
矢量地图处理软件	ArcGIS Desktop 10
矢量数据服务器	ArcGIS Server 10
开发平台	Visual Studio 2012
客户端	Firefox
服务器开发语言	JavaScript、C#、SQL
Web 端地图访问接口	ArcGIS API for JavaScript
前端开发语言	JavaScript、CSS、Html

### 3.2 用户登录模块

该模块使用主流的网页开发技术 Html + CSS + JavaScript,为系统设计开发了用户登录界面,如图10所示。当用户输入用户名和密码,单击“登录”按钮后,系统会自动将账号、密码同数据库中的记录对象

进行依次比对, 只有当提交的用户名和密码与数据库中的同一条记录中的用户名和密码分别对应相同时, 系统才能通过验证, 允许用户登录系统.



图 10 系统用户登录界面  
Fig. 10 System user login interface

### 3.3 地图服务模块

该模块基于 JavaScript 的开发技术, 引入了 ArcGIS 的 JavaScript 框架, 为用户提供了基本的 GIS 功能, 如图 11 所示. 地图服务模块实现了基于 GIS 的一些操作显示和鹰眼展示, 其中包括了拉框放大、拉框缩小、平移、上一视图、下一视图和漫游功能.



图 11 GIS 界面  
Fig. 11 GIS interface

### 3.4 监测数据管理模块

排污口点和信息面板是通过 WebGIS 控件开发事件函数, 经过地图处理后将结果返回用户. 图 12 显示了大神堂排污口信息查询后的结果, 包括了该排污口的位置信息、数据的存储时间和监测的污染物等信息. 对历史监测的污染物数据的查询是该系统的核心模块之一, 实现了对监测数据的统计分析和显示, 如图 13 所示, 系统进行历史监测污染物的表格显示和某一天监测数据的图表显示. 在点击监测污染查询后会弹出排污口监测污染物的信息表, 单击表中任意一天的监测数据会以直方图的形式显示该天

的监测信息, 给出直观的查询显示.



图 12 排污口信息显示  
Fig. 12 Sewage outlet information display

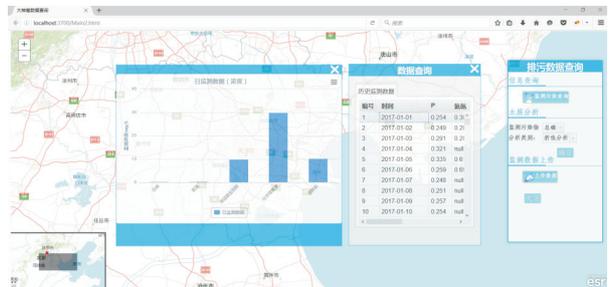


图 13 监测数据查询结果  
Fig. 13 Monitor data query results

### 3.5 排污预警模块

排污预警模块是对历史监测数据进行分析给出参考排污预警, 并且对污染扩散进行模拟计算实现对排放污染物的后预警, 也是本系统的核心模块之一.

数据预警分析针对单一排放污染物的历史监测数据进行分析, 为排放监测和环境的辅助控制提供科学的依据, 从而进行预警显示. 历史数据查询和污染物水质分析界面如图 14 所示. 该折线图上显示了污染物排放浓度的长时间变化和该污染物的标准排放浓度, 通过该折线图的长时间的变化趋势可以推测该排污口的排污超标范围, 给出环境治理的预警显示, 从而可以有效控制排放力度. 例如在图中总磷的排放浓度逐渐上升, 可以预期未来几天排放将会上升, 应适当控制污染排放.

污染扩散是在设定的模拟环境下, 污染物在相应时间后的扩散范围显示, 模型环境设定包括了时间范围、风速、风向和排放量, 这里设定的时间模拟范围是 1h、2h 和 3h 后的扩散范围, 风速大小默认 3.5 m/s, 风向默认正北方向. 点击“污染扩散范围”, 系统服务器中的 js 文件开始读取界面参数并进行计

算,js 文件中保存有岸线的坐标点.当计算得到的坐标点超过岸线阈值时将会以岸线点代替,然后通过 WebGIS 中的 GP 服务将计算后的坐标范围返回给界面,在地理地图上会显示设定时间的扩散范围,如图 15 所示,显示调用时间平均不超过 100 ms.其中由内向外依次是污染物在 1h、2h 和 3h 后的扩散范围,可以判读其污染程度.

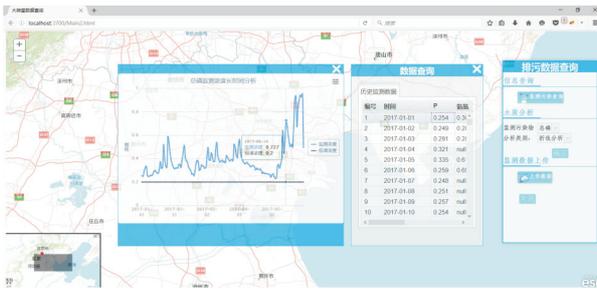


图 14 污染物水质分析结果

Fig. 14 Results of pollutant water quality analysis

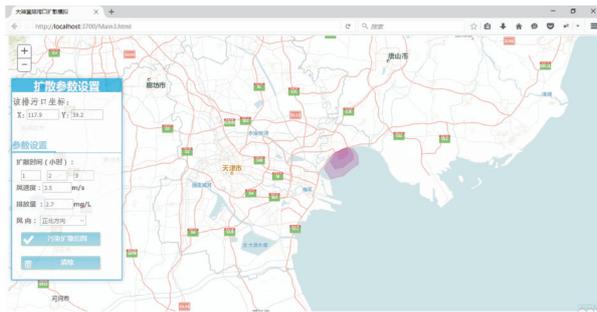


图 15 污染扩散模拟结果图

Fig. 15 Simulation results of pollution diffusion

### 4 结 语

以 11 个典型的陆源入海排污口监测预警为例,基于环境监测需要,开发了基于 WebGIS 天津沿海排污口监测预警系统的功能模块.系统结合了 GIS 开发技术,应用了基于 Web 的地理信息系统开发控件,以 JavaScript 为主要开发技术,开发了轻量级的 Web 端系统,实现了排污口监测数据的多用户浏览和快速发布利用.在系统中不仅实现了地理地图的可视化和地图操作,使排污口监测更具地理特征,而且结合 GIS 在地理处理上的优势,建立空间数据分析,实现了对排污口基本信息的查询、显示等功能.结合监测的污染物数据,利用第三方 HighCharts 开发控件,实现了监测数据的水质分析,可以直观地为用户提供排放浓度的变化趋势.除此之外,系统利用 WebGIS 空间分析模型,建立了污染扩散范围模型,实现了污染

物排放后扩散范围的模拟计算和地图显示,为污染控制和环境治理在实施范围和经费预算上提供了科学依据.

对于排污监测需要,下一步将利用系统的可扩展性,建立监测设备和系统之间的传输功能,进一步规范和优化系统对于实时数据的处理应用,完善系统功能.由于系统的扩散模拟功能是初步开发,接下来会增加测站数据,完善模型参数.

### 参考文献:

- [1] 刘书明,李潇,张健,等.天津市海洋环境风险综合评价研究[J].环境科学与管理,2016,41(11):167-171.
- [2] 杨一,李维尊,张景凯,等.渤海湾天津海域海洋环境污染防治策略探讨[J].海洋环境科学,2016,35(1):49-54.
- [3] 林坚.陆源排污对天津近岸海域水质的影响[J].天津建设科技,2001(4):27-28.
- [4] 王秋璐,路文海,杨翼,等.天津陆源入海污染状况及变化趋势研究[J].海洋开发与管理,2015,32(12):86-89.
- [5] 李文雯,刘克明,王娜,等.2016年天津主要陆源入海排污口排污状况综合评价[J].河北渔业,2019(9):43-50.
- [6] FENG M, LIU S, EULISS J N H, et al. Prototyping an online wetland ecosystem services model using open model sharing standards[J]. Environmental modelling & software, 2011, 26(4):458-468.
- [7] KOLIOS S, STYLIOS C, PETUNIN A. A WebGIS platform to monitor environmental conditions in ports and their surroundings in South Eastern Europe[J]. Environmental monitoring and assessment, 2015, 187(9):574.
- [8] KUNAPO J, BURNS M J, FLETCHER T D, et al. A Web-GIS based integrated climate adaptation model[C]// Proceedings of 9th International Conference NOVATECH. Lyon: GRAIE, 2016.
- [9] HU Y, AI H H, ODMAN M T, et al. Development of a WebGIS-based analysis tool for human health protection from the impacts of prescribed fire smoke in southeastern USA[J]. International journal of environmental research and public health, 2019, 16(11):1981.
- [10] 葛腾,万鲁河,刘硕.基于 WebGIS 的松花江哈尔滨段水质监测与评价系统[J].高技术通讯,2016,26(10/11):908-914.

(下转第 46 页)

- metal ions onto activated carbons[J]. Applied surface science, 2004, 228(1): 84-92.
- [18] WU L, SITAMRAJU S, XIAO J, et al. Effect of liquid-phase O<sub>3</sub> oxidation of activated carbon on the adsorption of thiophene[J]. Chemical engineering journal, 2014, 242: 211-219.
- [19] 刘超, 于荟, 于清跃. 活性炭改性方法的研究进展[J]. 化学工程与装备, 2018(2): 253-254.
- [20] 张荣, 裴学良, 席先锋, 等. 臭氧改性碳纤维/聚酰亚胺复合材料的制备与性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2019(3): 21-25.
- [21] JIN Z, ZHANG Z, MENG L. Effects of ozone method treating carbon fibers on mechanical properties of carbon/carbon composites[J]. Materials chemistry & physics, 2006, 97(1): 167-172.
- [22] MEDELLIN-CASTILLO N A, OCAMPO-PEREZ R, LEYVA-RAMOS R, et al. Removal of diethyl phthalate from water solution by adsorption, photo-oxidation, ozonation and advanced oxidation process(UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>/activated carbon) [J]. Science of the total environment, 2013, 442: 26-35.
- [23] 姚晶晶, 陈森林, 孔浩辉, 等. 活性炭的孔隙结构和表面酸性对其香料吸附性的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 72-77.
- [24] RIVERA-UTRILLA J, SÁNCHEZ-POLO M. Adsorption of Cr(III) on ozonised activated carbon. Importance of C $\pi$ -cation interactions[J]. Water research, 2003, 37(14): 3335-3340.
- [25] 邱介山, 王艳斌. 几种活性炭表面酸性基团的测定及其对吸附性能的影响[J]. 炭素技术, 1996(4): 11-17.
- [26] 余其昌, 黄菲, 陈森林, 等. 臭氧改性对活性炭表面性能的影响及在卷烟中的应用[J]. 烟草科技, 2017, 50(11): 27-32.
- [27] 刘文宏, 范必威, 周崇松. 银在活性炭上的吸附与表征[J]. 贵金属, 2004, 25(1): 1-6.
- [28] 赵清风, 陈介南, 张林, 等. AgNO<sub>3</sub> 对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌作用及机制[J]. 生物加工过程, 2011, 9(3): 52-56.

责任编辑: 周建军

---

(上接第 38 页)

- [11] 吴迪军, 陈建国, 黄全义, 等. 水污染扩散的二维数值模拟及其可视化[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(3): 296-300.
- [12] 张雪, 郑小慎. 基于 BP 神经网络渤海湾表层叶绿素浓度反演方法探讨[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(6): 79-87.
- [13] 柳林, 李万武, 毛坤德. 地理信息系统二次开发及案例分析[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2015.
- [14] 冷辉辉. 基于 Web 的地理信息空间分析服务研究与实现[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [15] 刘光, 曾敬文, 曾庆丰. WebGIS 从基础到开发实践: 基于 ArcGIS API for JavaScript[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [16] ZHANG Y, LI J, LI Z, et al. Real-time flood forecasting system based on B/S mode[C]//Proceedings of International Conference on Management & Service Science. Wuhan: IEEE, 2009.
- [17] HOWELL R G, PETERSEN S L, BALZOTTI C S, et al. Using WebGIS to develop a spatial bibliography for organizing, mapping, and disseminating research information: a case study of quaking aspen[J]. Rangelands, 2019, 41(6): 244-247.
- [18] COSTANTINO D, ANGELINI M G, ALFIO V S, et al. Implementation of a system WebGIS open-source for the protection and sustainable management of rural heritage[J]. Applied geomatics, 2020, 12(1): 41-54.

责任编辑: 周建军