

---

# 中国大学生计算机设计大赛



作品编号： 2025004468

作品名称： 基于 WebGIS 的湖泊健康管理与动态预警

平台

作 者： 张嘉然、饶旭乾、李如卉、徐园东、李冠辉

版本编号： V1.0

填写日期： 2025 年 4 月 30 日

---

# 目录

- 第一章 需求分析.....1
  - 1.1 开发背景.....1
  - 1.2 项目目标.....1
  - 1.3 平台目标.....1
- 第二章 概要设计.....2
  - 2.1 用户需求分析结果.....2
  - 2.2 功能模块划分.....2
  - 2.3 系统体系架构.....4
- 第三章 详细设计.....6
  - 3.1 功能设计.....6
  - 3.2 系统界面设计.....10
  - 3.3 数据库设计.....10
  - 3.4 关键技术.....12
- 第四章 测试报告.....16
  - 4.1 系统性能需求.....16
  - 4.2 系统测试环境需求.....16
  - 4.3 测试报告.....17
- 第五章 安装及使用 .....19
  - 5.1 系统开发与运行环境.....19
  - 5.2 使用流程.....19
- 第六章 项目总结.....28
- 参考文献.....29

# 第一章 需求分析

## 1.1 开发背景

随着中国社会的不断发展，生态环境的质量逐渐成为影响人们生活幸福感的重要因素。湖泊作为水资源、生物资源以及环境资源的重要载体，在维护生态平衡的过程中发挥着重要作用，是人类赖以生存的重要基础。面对传统人工采样的低效与高成本，物联网的应用给湖泊的健康监测开辟了新的途径。通过传感器实时采集水质信息，并借助无线通信技术传输到云端，为湖泊的健康监测提供的重要的数据基础。然而，目前许多湖泊监测平台数据源单一，难以综合评估湖泊健康状况，且缺乏有效的健康预警功能。如何有效动员公众力量参与湖泊“四乱”现象的治理，降低治理成本，也成为了湖泊健康管理的核心问题之一。

针对上述问题，本平台集成了物联网、WebGIS、人工智能及深度学习等前沿技术，整合多源数据，采用熵权-优劣解距离法（EW-TOPSIS）对湖泊健康状况进行综合评价，并利用长短时记忆神经网络（LSTM）实现湖泊健康的动态预警。平台通过 DeepSeek 大语言模型构建湖泊健康数据知识库，为用户提供专业性的问题解答。平台还引入群众举报机制，动员公众参与湖泊治理，并进行湖泊文化宣传，最终开发出一款湖泊健康管理与动态预警平台。

## 1.2 项目目标

本项目可以结合实时水质数据与人工采样指标，构建湖泊健康状况的实时监测、动态预警与可视化展示平台，通过整合 AI 语言模型，平台能够针对用户问题提供精准解答，帮助湖泊管理部门全面掌握湖泊健康状况，优化湖泊保护资源配置。本项目还可以为公众提供湖泊治理现状的信息，通过举报机制提高群众在湖泊治理的参与度，并向大众进行湖泊的文化介绍，共同推动湖泊生态保护与可持续发展。

## 1.3 平台目标

平台能够融合物联网、WebGIS、人工智能及深度学习等先进技术，为湖泊综合治理提供了一套全面的解决方案，支持更广泛的湖泊健康保护需求。具体平台目标如下所示：

（1）平台可以实时接入物联网云端的湖泊数据，支持湖泊管理员对数据进行添加和修改，并基于高德地图服务与 AntV L7 地理可视化引擎对湖泊的信息进行地图展示；

（2）平台可以综合所有湖泊健康评价指标，采用 EW-TOPSIS 综合评价方法对湖泊进行综合健康评价得分，并通过 ECharts 动态图表对评价结果进行可视化；

（3）平台可以基于历史数据，采用 LSTM 模型对湖泊健康状况进行预测，并结合设定的健康预警阈值，实现湖泊健康风险的动态预警；

（4）用户可以通过集成 DeepSeek 的湖泊信息助手获取专业的湖泊健康状况信息。普通用户可通过举报机制参与湖泊治理，管理员则能够查看和回复举报信息。平台还可以宣传湖泊的自然风景和历史文化，进一步推动湖泊治理的可持续发展。

## 第二章 概要设计

### 2.1 用户需求分析结果

(1) 平台可以实时请求物联网云端的湖泊水文数据，湖泊管理人员可以对人工采样数据进行录入和查询；平台能基于 WebGIS 技术，通过高德地图服务与 AntV L7 地理可视化引擎实现湖泊信息查询和可视化，并借助 ECharts 对湖泊的健康和预警情况进行展示；

(2) 平台可基于 EW-TOPSIS 方法对湖泊健康状况进行综合评价，并利用历史数据训练 LSTM 模型，并对湖泊未来的健康状况进行预测。结合设定的预警阈值，平台可以实现湖泊健康状况的动态预警；

(3) 平台可以集成 DeepSeek R1 大语言模型，通过湖泊健康知识库为用户提供专业的湖泊健康状况解答；

(4) 平台可以提供用户举报、湖泊管理员负责的湖泊治理模式，普通用户可对湖泊治理乱象进行举报，平台自动将举报信息分配至对应湖泊管理人员，便于湖泊管理部门及时安排治理工作。

(5) 平台可以对湖泊进行自然风光和历史文化宣传并可以为用户提供湖泊旅游路径规划，促进湖泊的可持续发展。

### 2.2 功能模块划分

本平台主要分为五个主要功能，分别为湖泊信息可视化功能、湖泊健康综合评价功能、湖泊健康预警功能、湖泊“四乱”现象举报与治理功能和河湖文苑。详细的功能模块如图 1。

#### 2.2.1 湖泊信息管理与可视化功能

湖泊信息管理与可视化功能主要是对湖泊的相关数据进行录入和展示。该功能可细分为湖泊监测数据生成、湖泊信息录入、湖泊信息查询和湖泊信息可视化三个部分。湖泊监测数据的生成主要通过模拟传感器的水文数据采集过程来实现，系统搭建了物联网云端平台，对水文数据进行模拟，并将其集成到平台中，以支持实时监测和分析；湖泊信息录入功能是由湖泊管理员根据实测数据对湖泊的人工采样信息进行修改和更新；湖泊信息查询包括属性信息查询和空间信息查询，用户可以通过湖泊的属性信息进行筛选，或者通过点击地图上相应湖泊的位置进行空间信息查询；湖泊信息可视化主要是指通过地图和各类可视化图表将湖泊信息直观地展示出来。

#### 2.2.2 湖泊健康综合评价功能

湖泊健康综合评价功能主要是通过多个湖泊健康评价指标对湖泊的健康状况进行综合评估。该功能综合考虑湖泊水资源、水质和生态环境三个方面，共涵盖 10 个评价指标。采用熵权法(EW)根据数据的离散程度计算信息熵，对离散程度较大的数据赋予更高的权重。然后，使用优劣解距离法(TOPSIS)对每个指标进行评分，通过人为判断确定每个指标的最优解和最劣解，根据数据点在特征空间中与优/劣解的欧式距离，距离优解较近且远离劣解的样本得分较高。最终，将每个指标的得分与权重结合，计算出湖泊的综合健康得分，并基于该得分进行健康状况评价。

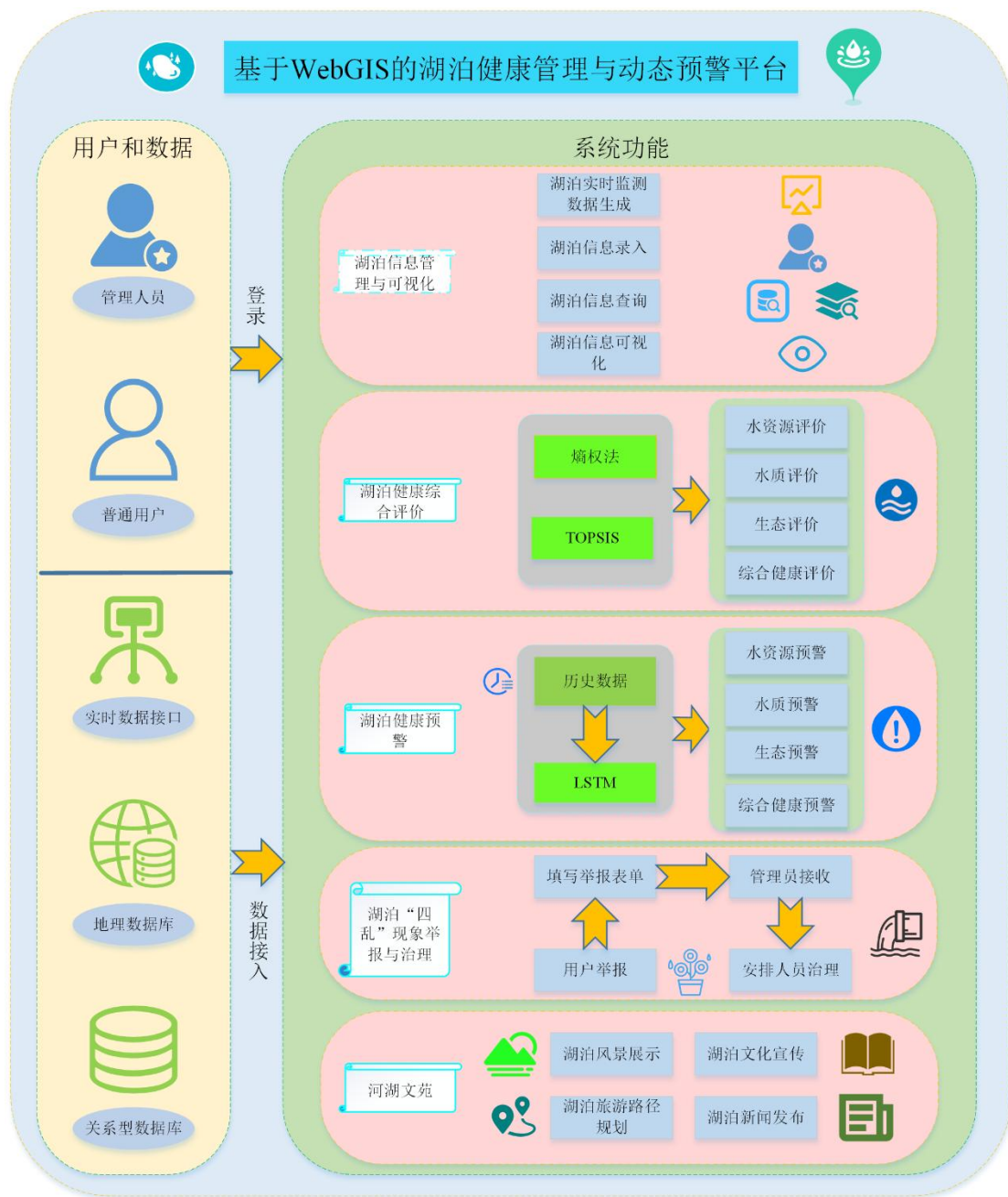


图1 系统功能结构图

### 2.2.3 湖泊四乱现象举报与治理功能

湖泊四乱现象举报与治理功能主要是普通用户可以对湖泊治理中的乱象进行举报，并将问题反馈给对应的湖泊管理员。用户通过提交表单的方式举报湖泊治理中的乱象，举报信息会直接传递给相关湖泊管理员，湖泊管理员接收举报后，可以安排人员对乱象进行处理和治理，从而鼓励公众积极参与湖泊治理，促进湖泊治理问题的及时解决。

### 2.2.4 河湖文苑功能

河湖文苑功能旨在通过文化展示平台宣传湖泊及其文化、历史背景、生态保护等相关内容，通过发布与河湖保护、管理及相关活动的最新新闻、公告和政策，确保公众及时了解相关动态。河湖文苑平台还提供了丰富的教育资源，涵盖河湖生态、环境保护等方面的学习资料，帮助提高公众的湖泊环保意识。

五大模块通过“数据输入→算法评价→空间可视化→健康评价与预警→公众治理”的链

路紧密耦合，在技术层面以 MySQL 和 PostgreSQL 为数据存储中心、Spring Boot 和 Vue.js 为项目框架，共同支撑湖泊健康评价与预警的全生命周期闭环。

## 2.3 系统体系架构

为了确保湖泊健康信息和分析结果的可访问性，在设计平台时我们采用了 B/S 架构。考虑到系统结构模块化和便于分工，我们采用了前后端分离的设计，数据处理主要在服务器端进行，而处理后的结果则通过地图和可视化图表在 Web 端展示。用户只需通过网页即可查看和分析处理后的可视化结果，从而提升了平台的使用便捷性和效率。在体系架构方面，本系统采用分层架构设计，分为数据处理层、业务逻辑层和用户表现层。详细的系统体系架构如图 2 所示。

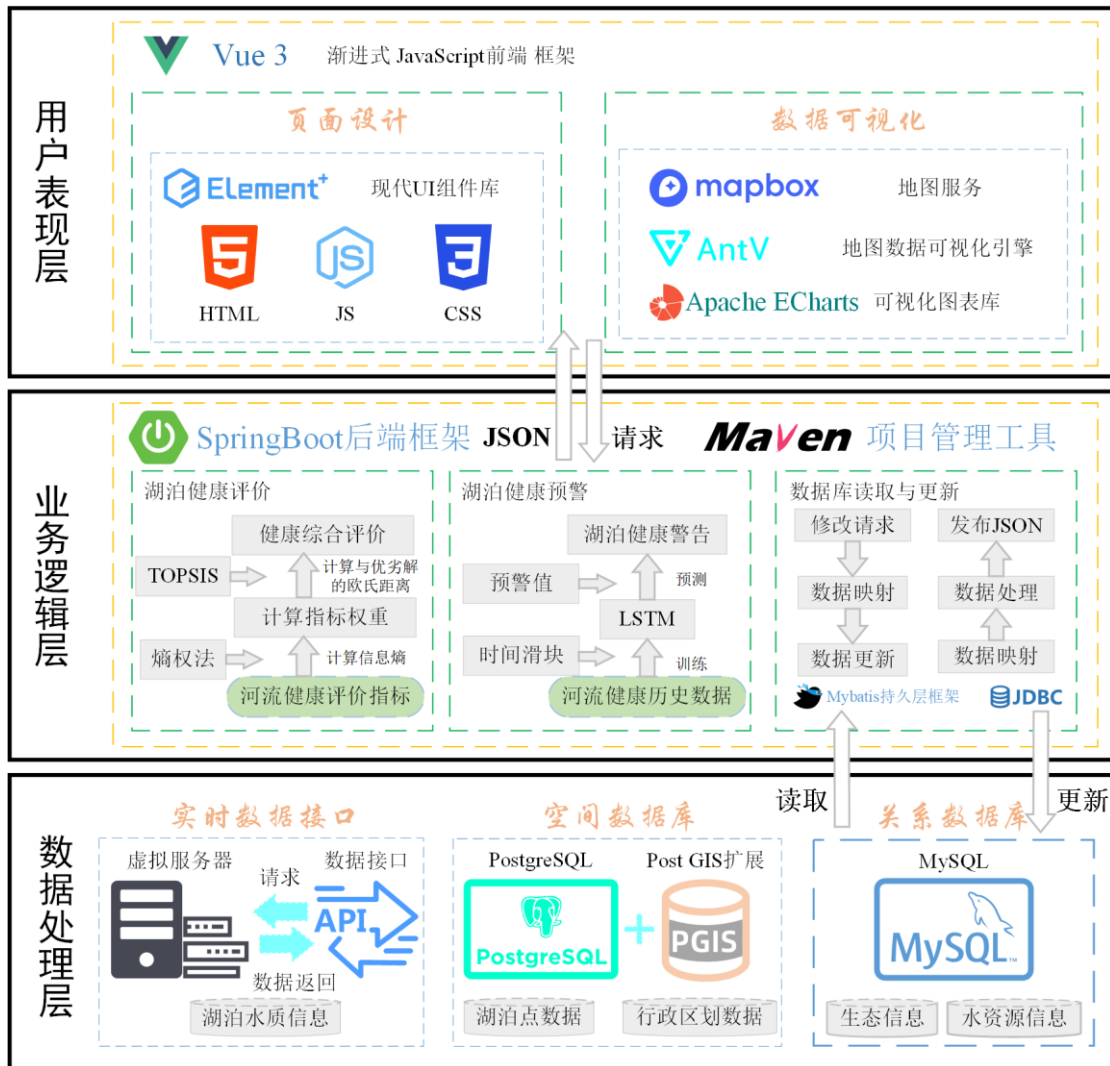


图 2 系统体系架构图

数据处理层主要负责实时数据的接收和数据的存储，实时数据的接收主要通过数据接口向虚拟服务器请求水质数据，并将返回的数据传递给后端进行处理。数据存储包括空间数据和属性数据的管理。空间数据主要存储在 PostgreSQL 中，并可通过 PostGIS 扩展实现基本的空间分析和空间查询；而属性数据则主要存储在 MySQL 关系型数据库中。

业务逻辑层主要由三个部分组成，分别为湖泊健康评价、湖泊健康预警和数据库读取与

更新。该层负责读取数据库数据并进行分析，实施湖泊健康的综合评价与预警功能。同时，通过 JSON 文件与前端进行数据交互，并通过 HTTP 请求响应前端的数据修改操作，确保数据库中的信息同步更新。

用户表现层基于 Vue 3 前端框架，使用 Element-plus 进行页面设计，利用高德地图服务展示湖泊的空间位置信息，并通过 AntV L7 实现地图的动态渲染，采用了 ECharts 图表展示湖泊的健康评价和预警结果等关键评价信息。

## 第三章 详细设计

### 3.1 功能设计

本平台主要包括五个功能，分别为湖泊信息管理与可视化功能、湖泊健康综合评价功能、湖泊健康预警功能、湖泊“四乱”现象举报与治理功能和河流文苑功能。功能模块划分在概要设计里面已具体介绍，在此便不再赘述，本处主要介绍各个功能的详细设计。

#### 3.1.1 湖泊信息管理与可视化功能

湖泊信息管理与可视化功能主要分为湖泊监测数据生成、湖泊信息录入、湖泊信息查询和湖泊信息可视化共四个部分。

湖泊监测数据生成主要是对水文传感器采集的各类水文信息进行实时模拟，并将生成的数据存储在数据库中，尽可能还原实际的数据生产和获取过程。本系统采用 ThreadLocalRandom 生成武汉市湖泊的监测数据，包括湖泊 ID、湖泊名称、湖泊所属区域等基本信息。平台结合对应湖泊的水质监测数据，生成如总磷、总氮、溶解氧、温度、pH 值等湖泊水文信息，模拟不同时间段的湖泊水质变化。湖泊的名称、区域和其他基本属性通过映射和随机数生成策略来保证其真实性和合理性，通过 resetGenerator 方法可以重置生成器，避免重复生成相同的湖泊数据。平台实时读取生成的湖泊数据，并通过 MyBatis 和 JDBC 将模拟生成的数据存储在 MySQL 数据库中，为后续研究提供数据支持。湖泊实时数据生成时序图见图 3。

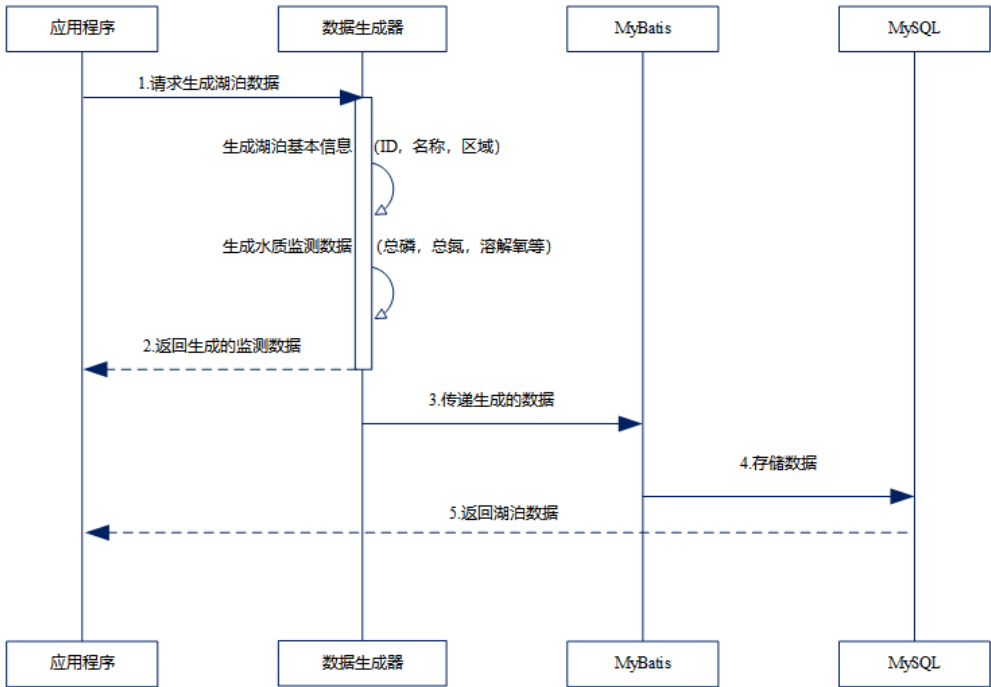


图 3 实时数据生成时序图

湖泊信息录入和湖泊信息查询主要是管理员可以查询、编辑和修改湖泊信息，同时支持将数据库中的数据导出为 Excel 表格，或将外部 Excel 表格数据导入到数据库中。具体技术实现如图 4，系统通过 Xlsx 库实现前端与外部表格数据的交互，支持表格数据的导入与导出。前端使用 Axios 发送 HTTP 的 PUT 请求，进行数据查询、修改或删除操作。后端基于



Spring Web 框架接收请求，并通过 MyBatis 和 JDBC 将修改后的数据更新到 MySQL 数据库中。数据更新后，后端将数据库中的数据转化为 JSON 格式，前端通过 POST 请求展示修改后的数据。

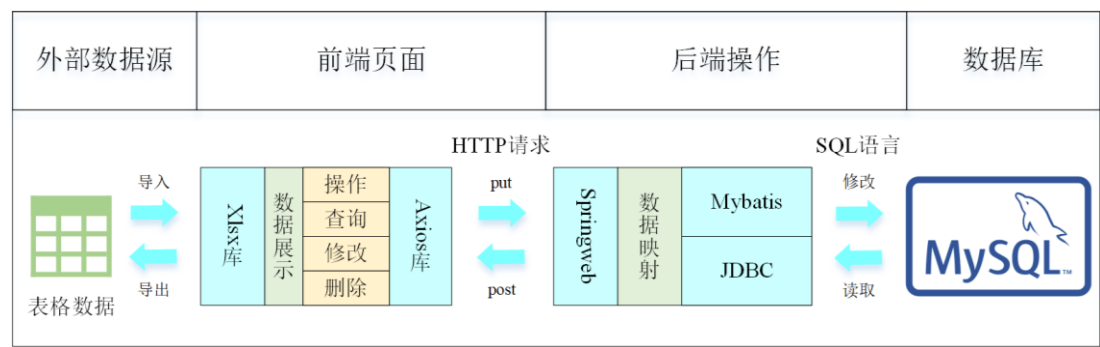


图 4 湖泊信息录入与查询功能

湖泊可视化功能主要包括属性信息展示和空间信息可视化。关于属性信息的展示，之前已做过详细说明，此处不再赘述。空间信息可视化则是通过后端从 PostgreSQL 数据库中读取湖泊的点位信息，并将其发布为 JSON 格式。前端通过发送 POST 请求获取数据，并利用高德地图服务和 AntV L7 对湖泊的空间信息进行可视化与渲染。

### 3.1.2 湖泊健康综合评价功能

湖泊健康综合管理功能旨在通过实时生成的湖泊数据，对湖泊的健康状况进行全面评估。该功能综合考虑水资源、水质和生态环境三个方面，包括了生态水位、湖泊面积萎缩、高锰酸盐指数、氨氮含量、总磷、总氮、含氧量、自然岸带比例、浮游生物多样性和鱼类生物多样性等十个湖泊健康指标。系统可以根据实时监测数据，对这些指标进行综合评价分析，动态评估湖泊的整体健康状况。

在评价过程中，本平台利用 EW-TOPSIS 方法对湖泊的综合健康情况进行评价。首先使用熵权法（EW）计算各项湖泊健康评价指标的离散程度，进而确定各个指标的权重。熵权法通过计算信息熵，给离散程度较大的数据赋予更高的权重，突出那些变化较大的指标。然后，运用优劣解距离法（TOPSIS）对每个指标进行评分。首先根据湖泊健康状况与指标之间的相关关系确定每个指标的最优解和最劣解，并依据每个湖泊在特征空间中与最优解和劣解的欧式距离确定湖泊健康得分，距离最优解较近且远离劣解的样本得分较高。最终，通过将各个指标的得分与其权重结合，从水资源、水质和生态环境三个方面计算湖泊的综合健康得分。湖泊综合健康得分可以反映湖泊的健康状况，帮助相关部门及时采取针对性的管理措施。湖泊健康综合评价功能时序图如图 5。

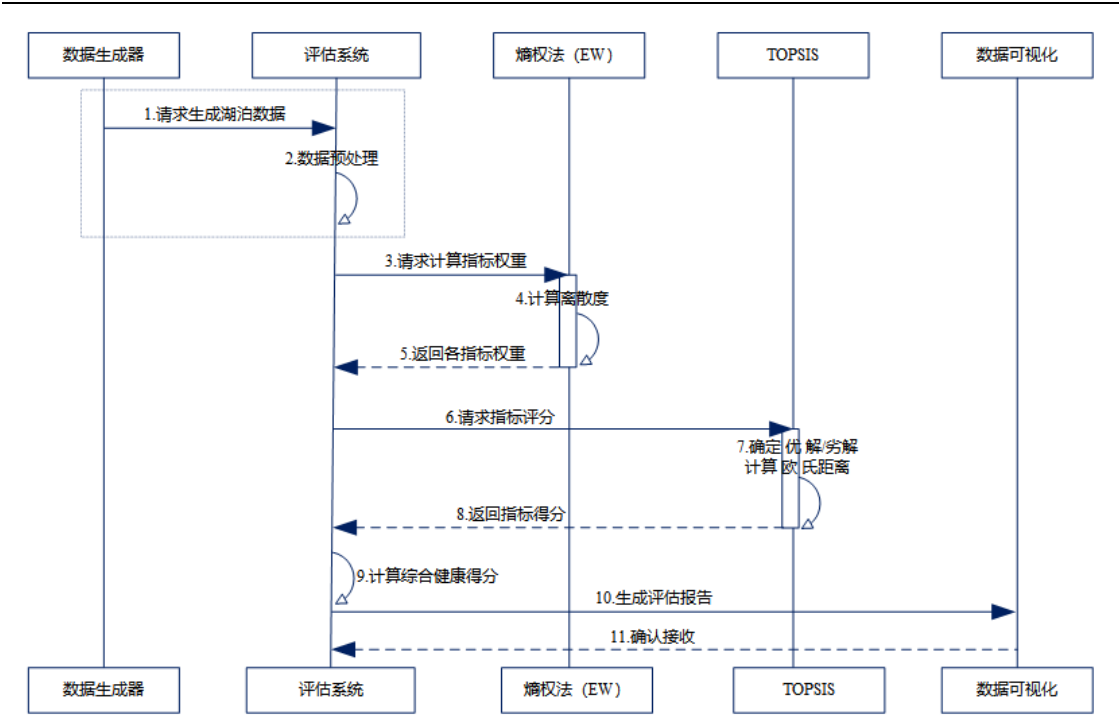


图 5 湖泊健康综合评价功能时序图

3.1.3 湖泊健康预警

湖泊健康预警功能主要通过湖泊健康历史评价数据预测湖泊未来的健康状况，并利用警戒线对湖泊健康进行预警。该功能构建了一种基于长短时记忆网络（LSTM）的湖泊水质时序预测模型。如图 6 为 LSTM 的单元网络结构图，该模型首先将湖泊评价数据转化为时间序列数据，并采用滑动窗口法以连续 3 个时间步长构建训练样本。模型采用双隐藏层 LSTM 架构，通过单元状态 $C_t$ 和隐藏状态 $h_t$ 的记忆机制捕获数据中的时序依赖关系。LSTM 的输入门、遗忘门和输出门共同调节信息流，使模型能够学习复杂的时序特征。训练过程中，模型采用 Adam 优化器结合均方误差损失函数，通过时序反向传播算法（BPTT）和小批量梯度下降进行参数优化，设定训练周期为 50 轮以确保模型收敛。模型输出层生成湖泊健康状况的预测值，系统随后将这些预测结果与健康阈值警戒线进行对比。通过综合分析近年来水资源、水质和水生态等多维时序数据，模型能够科学预测湖泊未来的健康演变趋势，当预测指标超过警戒阈值时，平台会发出湖泊健康预警，为湖泊生态保护与管理决策提供及时、准确的风险预判依据。

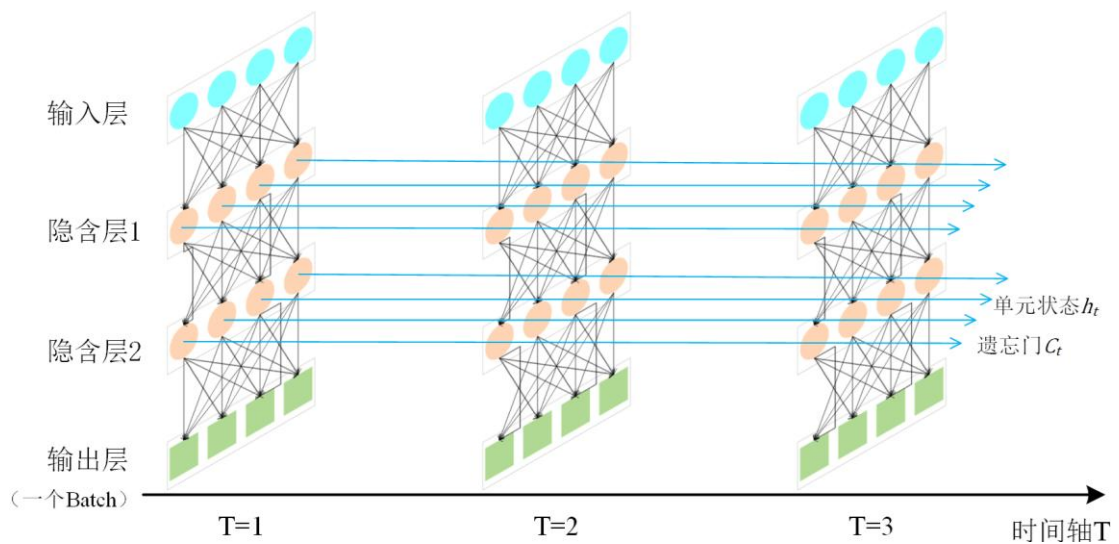


图 6 LSTM 神经网络结构图

3.1.4 河湖文苑功能

河湖文苑的功能旨在通过文化展示平台全面宣传湖泊及其丰富的文化、历史背景、生态保护等相关内容。该平台不仅展示各大河湖的自然景观和文化遗产，还积极发布与河湖保护、管理及相关活动的最新新闻、公告和政策，公众可以便捷地了解河湖的生态保护动态，参与环境保护行动，从而提高社会对水资源保护和可持续发展的关注与参与度，推动全民共同保护水域生态环境的意识。

3.1.5 湖泊四乱现象举报与治理功能

湖泊四乱现象的举报与治理功能允许普通用户将发现的湖泊四乱现象举报给湖泊管理员，湖泊管理员可以查看并处理这些举报信息，以便采取相应的治理措施。该功能允许普通用户通过前端提交湖泊四乱现象的举报表单，用户点击提交后，后端通过 PUT 请求接收表单数据，并通过数据映射将表单信息映射为数据库中的对应属性。在管理员端，后端使用 Mybatis 和 JDBC，通过封装后的 SQL 语句将举报信息存入数据库。同时，前端通过 POST 请求获取数据库中的举报信息，并通过 Element-plus 的 Table 控件将所有举报信息可视化展示，管理员还可以在前端页面对举报信息进行修改。湖泊四乱现象举报与治理功能技术实现如图 6 所示。

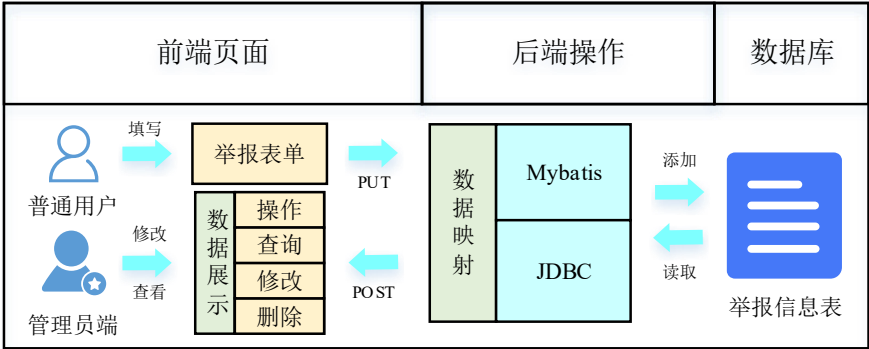


图 7 湖泊四乱现象举报与治理功能

## 3.2 系统界面设计



图 8 系统界面设计

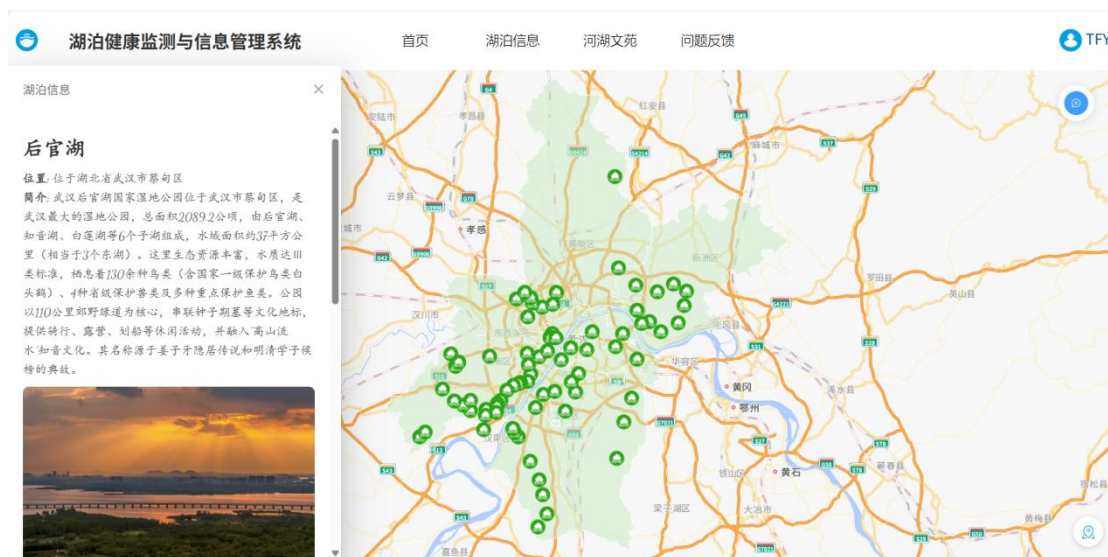


图 9 系统界面设计展示

## 3.3 数据库设计

为了实现任务分工的模块化，并增强平台在空间分析与查询方面的扩展能力，数据库设计中采用了 MySQL 和 PostgreSQL 两种数据库架构。其中，MySQL 数据库主要用于存储用户和湖泊的属性信息，而 PostgreSQL 数据库主要用于存储湖泊点的空间属性。这种设计将属性信息与空间信息进行分离，便于系统任务的模块化，并提升了系统在空间分析和查询功能方面的扩展能力。

### 3.3.1 MySQL 数据库设计

MySQL 关系型数据库主要用于存储用户及其属性信息，涵盖用户和湖泊这两个实体，并描述了用户与湖泊之间的“一对多”管理关系。数据库设计的实体关系图见图 10。

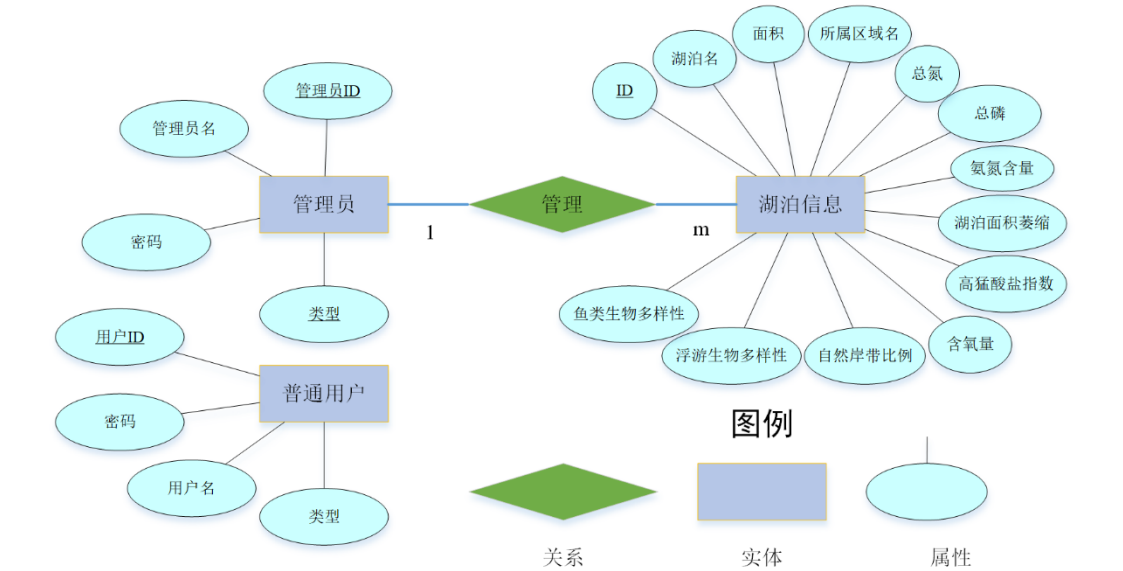


图 10 MySQL 数据库设计实体关系图

在数据库表的设计中，我们依据实体关系图将其转化为具体的关系模型，将实体和属性映射为关系表，设置主键、外键及其他约束条件，并确保转换后的数据库满足第三范式(3NF)，减少数据冗余。数据库表的设计见表 1。

表 1 MySQL 数据库表的设计

表名	数据项名	字段	数据类型	约束类型
管理员信息表	管理员 ID	M_ID	INT	Primary Key
	管理员名	M_NAME	VARCHAR(50)	NOT NULL
	密码	M_PASSWORD	VARCHAR (20)	NOT NULL
	类型	TYPE	VARCHAR (20)	NOT NULL
用户信息表	用户 ID	U_ID	INT	Primary Key
	用户名	U_NAME	VARCHAR(50)	NOT NULL
	密码	U_PASSWORD	VARCHAR (20)	NOT NULL
	类型	TYPE	VARCHAR (20)	NOT NULL
湖泊信息表	湖泊 ID	L_ID	INT	Primary Key
	管理员 ID	M_ID	INT	Foreign Key
	湖泊名	L_NAME	VARCHAR(50)	NOT NULL
	面积	AREA	FLOAT	NOT NULL
	所属区域名	REGION	VARCHAR(20)	NOT NULL
	总氮	TN	FLOAT	NOT NULL
	总磷	TP	FLOAT	NOT NULL
	氨氮含量	ANC	FLOAT	NOT NULL
	高锰酸盐指数	PI	FLOAT	NOT NULL
	含氧量	OC	FLOAT	NOT NULL
	湖泊面积萎缩	LAS	FLOAT	NOT NULL
	生态水位	W_LEVEL	FLOAT	NOT NULL
	自然岸带比例	NSR	FLOAT	NOT NULL



浮游生物多样性	PBD	FLOAT	NOT NULL
鱼类生物多样性	FD	FLOAT	NOT NULL

### 3.3.2 PostgreSQL 数据库设计

PostgreSQL 主要用于存储湖泊的空间信息及部分用于前端展示的静态数据，包括湖泊空间信息实体和其他相关属性。数据库表的设计如表 2 所示。

表 2 PostgreSQL 数据库表的设计

表名	数据项名	字段	数据类型	约束类型
湖泊空间信息表	湖泊 ID	L_ID	INT	Primary Key
	湖泊名	L_NAME	VARCHAR(50)	NOT NULL
	面积	AREA	FLOAT	NOT NULL
	所属区域名	REGION	VARCHAR(20)	NOT NULL
	空间位置	GEOMETRY	GEOMETRY	NOT NULL
	图片地址	PICTURE	VARCHAR(100)	NOT NULL
	文字描述	TEXT	VARCHAR(800)	NOT NULL

## 3.4 关键技术

### 3.4.1 SpringBoot

Spring Boot 是一个开源的 Java 框架，基于 Spring 构建，旨在简化企业级应用的开发。它继承了 Spring 的核心特性，提供了快速开发和部署微服务的能力，并支持标准的三层架构：表示层、业务逻辑层和数据访问层。通过这一架构，Spring Boot 有助于实现高内聚、低耦合的代码结构，简化应用的维护和扩展，特别适合大规模分布式系统和微服务的开发。

在本系统中，我们基于 Spring Boot 框架的三层结构对系统后端进行设计，后端通过数据访问层（Dao）与数据库进行交互，使用 MyBatis 框架执行数据库操作，并将查询到的数据传递给业务逻辑层（Service）。在业务逻辑层，进行算法处理和业务逻辑运行。最终，表现层（Controller）负责与前端 Vue 框架进行数据交互，将处理后的数据发送到前端进行展示与渲染。Spring Boot 的三层架构及每层结构类的设计如图 11 所示，其中 LakeInfo 相关类负责湖泊信息的处理，User 相关类主要处理用户数据，而 EW\_TOPSIS 和 LSTM 类则分别执行对应的算法。

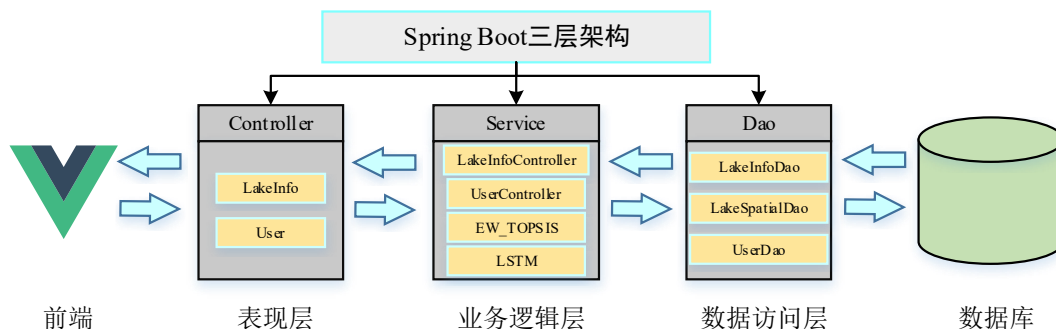


图 11 SpringBoot 后端框架

3.4.2 Vue.js

本系统的前端采用 Vue.js 框架，利用其组件化、响应式数据绑定以及轻量级特性，构建了系统的网页界面。通过与 SpringBoot 后端 API 进行数据交互，系统实现了高效的异步通信与动态数据更新。系统还集成了高德地图 API 与 ECharts 图表库，借助 Vue.js 的动态渲染能力，呈现了具有交互性的湖泊空间信息和数据分析图表，提升了系统的信息表达能力与可视化效果，Vue.js 前端架构如图 12。前端通过后端提供 API 接口进行数据交互，基于 Node.js 进行组件库的安装，并在 package.json 文件中记录相关信息。页面组件的设计在 Component 文件夹中完成，并通过 Router 进行路由配置，实现页面的组织与管理，通过代码实现登录、数据操作和前端交互等业务逻辑，最终将项目编译成 HTML、JS 和 CSS 文件，在浏览器中进行加载与展示。



图 12 Vue 前端架构

3.4.3 WebGIS 技术

本系统的 WebGIS 技术集成了多种前沿技术和框架，旨在实现高效、动态的地理信息系统和数据可视化。系统采用 PostgreSQL 作为空间数据库，利用 PostGIS 强大的扩展能力，提高了数据库在空间分析和查询方面的扩展能力。前端采用 Vue 3 与 Element-Plus 组件化开发，优化了页面设计与渲染，提升了页面的灵活性和响应速度。地理信息可视化方面，系统采用高德地图 API 和 AntV L7 地理数据可视化引擎对湖泊的点位数据进行动态渲染和可视化展示，使得地理数据的展示更为直观生动。系统还采用 ECharts 图表，通过动态图表展示后端分析的数据，增强了数据可视化的互动性和信息表达的清晰度。

3.4.4 EW-TOPSIS

EW-TOPSIS 是一种结合熵权法与优劣解距离法的改进方法，平台通过融合这两种方法

对湖泊健康状况进行综合评价。熵权法是一种常用于多指标综合评价中的权重确定方法。其核心思想是通过信息熵来衡量每个指标的信息量，从而确定各个指标的权重。差距越大的数据信息量往往越大，其权重越大。以下为熵权法的具体步骤和原理。

# 输入：i 个湖泊的 j 个指标。

# 输出：j 个指标的权重。

# (1) 数据标准化

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

# (2) 计算比例值

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (2)$$

# (3) 计算信息熵

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \log p_{ij} \quad (3)$$

# (4) 计算 k 值

$$k = \frac{1}{\log n} \quad (4)$$

# (5) 计算冗余度

$$d_j = 1 - E_j \quad (5)$$

# (6) 计算权重

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (6)$$

其中， $x_{ij}$  为第 i 个湖泊在第 j 个湖泊健康评价指标，熵权法通过分析各个湖泊的健康评价指标的离散程度确定指标权重。 $x'_{ij}$  是标准化后的数据， $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  第 j 个指标的最小值和最大值。 $p_{ij}$  是第 i 个湖泊在第 j 个指标下的比例值， $n$  是湖泊数。 $E_j$  是第 j 个指标的信息熵， $k$  用于标准化信息熵值，使其范围在 [0,1] 之间。 $d_j$  是第 j 个指标的冗余度。 $w_j$  是第 j 个指标的权重， $m$  是指标数。

优劣解距离法是一种综合评价方法，通过比较各个湖泊指标与理想解和负理想解之间的距离，来评估每个湖泊指标的优劣。以下是优劣解距离法的具体步骤与原理。

# 输入：标准化后的湖泊健康评价指标  $x_i$ 。

# 输出：第 i 个湖泊的第 j 个指标与第 j 个指标的正负理想解的相对接近度  $C_{ij}$ ，可用于表示湖泊在该指标的得分。

# (1) 确定正理想解

$$x_j^+ = \begin{cases} x_{j\max} & x \text{ 为正向指标} \\ x_{j\min} & x \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (7)$$

# (2) 确定负理想解

$$x_j^- = \begin{cases} x_{j\min} & x \text{ 为正向指标} \\ x_{j\max} & x \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (8)$$

# (3) 计算与理想解的距离

$$d_{ij}^+ = |x_{ij} - x_j^+| \quad (9)$$

# (4) 计算与负理想解的距离

$$d_{ij}^- = |x_{ij} - x_j^-| \quad (10)$$

# (5) 计算相对接近度

$$C_{ij} = \frac{d_{ij}^-}{d_{ij}^+ + d_{ij}^-} \quad (11)$$

其中， $x_j^+$  和  $x_j^-$  为第 j 个指标正理想解和负理想解， $x_{j\max}$  和  $x_{j\min}$  为第 j 个指标的最大值和最小值， $x_{ij}$  为第 i 个湖泊的第 j 个指标， $d_{ij}^+$  和  $d_{ij}^-$  为第 i 个湖泊的第 j 个指标特征与正负理想解的距离， $C_{ij}$  为第 i 个湖泊第 j 个指标与正负理想解的相对接近度。

综合熵权法确定的指标权重  $w_j$  和优劣解距离法  $C_{ij}$  对湖泊健康进行综合评价，利用公式 12 得到第 i 湖泊的健康综合评分  $S_i$ 。

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j C_{ij} \quad (12)$$



### 3.4.5 LSTM 长短时记忆网络

LSTM（长短期记忆网络）是基于改进的循环神经网络，可以很好地捕捉到数据复杂的时序特征，并对数据的未来状况进行预测。LSTM 通过引入输入门（Input Gate）、遗忘门（Forget Gate）和输出门（Output Gate）和一个单元状态（Cell State），有效地解决了传统 RNN 在处理长期依赖时常见的梯度消失和梯度爆炸问题。LSTM 的网络单元结构如图 13 所示。

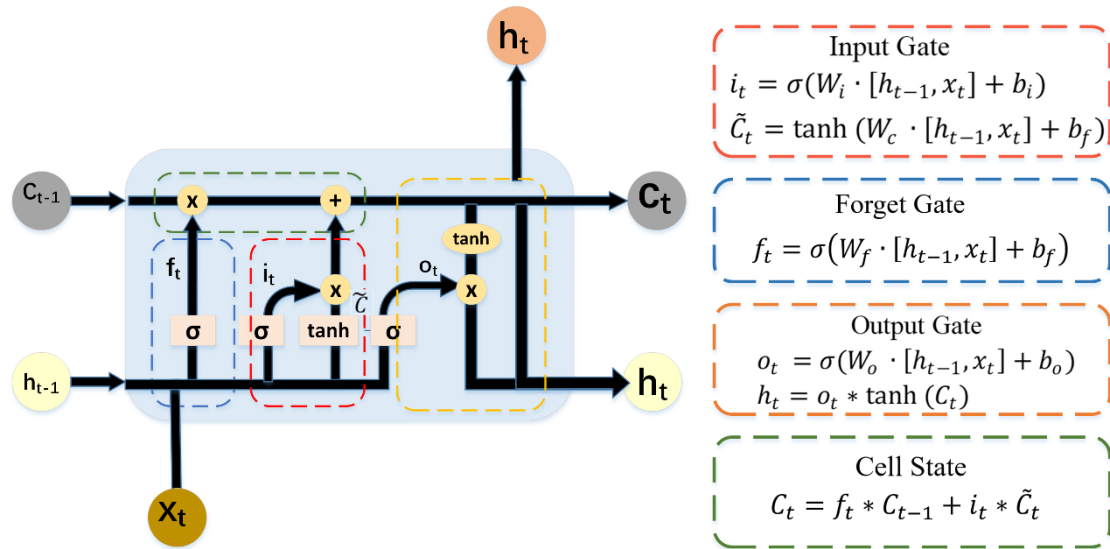


图 13 LSTM 单元结构

其中， $i_t$ 、 $f_t$ 、 $o_t$ 分别代表 LSTM 单元结构的输入门、遗忘门和输入门， $[h_{t-1}, x_t]$ 表示前一时刻的隐藏状态， $h_{t-1}$ 和当前时刻的输入 $x_t$ 进行连接， $C_t$ 和 $C_{t-1}$ 分别为 $t$ 时刻和 $t-1$ 时刻的单元状态值； $\tilde{C}_t$ 表示的是候选变量； $W$ 和 $b$ 分别表示权重矩阵和偏置参数矩阵； $\sigma$ 表示 sigmoid 函数， $\tanh$ 表示双曲正切函数。本系统利用历史湖泊健康评价数据作为 LSTM 模型的输入，通过模型训练预测下一个时刻的湖泊健康状况，并与预警线进行对比，从而实现湖泊健康的预警功能。

## 第四章 测试报告

### 4.1 系统性能需求

#### 4.1.1 系统实时性

系统具有实时请求和分析数据的能力，可以实时请求 JavaFaker 生成的虚拟数据，将请求数据存储在数据库中，并进行实时分析，然后通过前端界面进行可视化展示，数据请求、处理和可视化延迟控制在毫秒范围。

#### 4.1.2 系统可扩展性

本系统采用模块化设计理念，降低了数据在存储、计算、分析和可视化等各个模块之间的耦合程度，提高了模块的内聚性，使各模块间的依赖性降低，各层级间影响较小。在系统增加新功能时，这种设计可以减少新增功能对其他模块产生影响，提高了系统的可扩展性。

#### 4.1.3 系统易用性

系统的可视化界面采用简洁美观的设计风格，整体主题鲜明。数据展示直观，运用多种图表形式，便于用户轻松读取数据变化趋势。系统还设置了人机交互效果，增加用户在系统使用过程中的沉浸感。

#### 4.1.4 系统可维护性

系统在开发过程中使用一致的代码风格且拥有详细的代码注释，并严格按照统一规范进行接口设置。系统还拥有较全的文档说明，并确保文档与系统的实际版本保持同步，提高了系统的可维护性。

#### 4.1.5 系统安全性

在系统设计阶段，我们考虑了不同用户的访问权限，将用户分为两类，湖泊管理员可以查看和修改湖泊数据，而普通用户仅拥有查看权限。在架构设计层面，系统采用前后端分离技术，数据存储在后端数据库，避免数据直接暴露于前端，保障了系统的安全性。

### 4.2 系统测试环境需求

#### 4.2.1 软件需求

本系统开发所需的工具软件如表 3 所示，其中 IntelliJ Idea 主要用于 SpringBoot 后端框架和代码编写，Visual Studio Code 主要用于 Vue.js 前端框架搭建，Navicat Premium 主要用于数据库中表的创建和展示，PostgreGIS 主要用于存储湖泊的经纬度等地理信息。

表 3 系统开发所需软件列表

工具名	版本号
IntelliJ Idea	2023.3.7
Visual Studio Code	1.98.2
Navicat Premium 17	17.2.3
PostgreGIS	16.8

#### 4.2.2 硬件需求

表 4 系统部署所需的硬件配置列表

名称	配置
CPU	6 核 12 线程及以上
内存	32G 及以上
硬盘	128G 及以上
网卡	1Gbps 及以上

### 4.3 测试报告

在本次功能测试中，我们设计了多个测试用例对系统功能进行测试。测试功能包括湖泊信息管理与可视化、湖泊健康综合评价、湖泊健康预警、湖泊四乱现象举报与治理功能以及河湖文苑功能。平台的功能模块测试结果如表 5 所示。

表 5 功能模块测试结果表

一级模块	二级模块	主要功能	是否通过
湖泊信息管理与可视化	湖泊监测数据生成	平台可以实时生成和请求湖泊水质模拟数据，并将数据存储到 MySQL 数据库中	是
	湖泊信息录入	管理员可修改、增加和删去湖泊信息，平台支持与外部数据源进行交互	是
	湖泊信息查询	平台支持对湖泊数据进行空间查询和属性查询	是
	湖泊信息可视化	平台可以通过可视化图表和地理要素对湖泊空间和属性数据进行可视化	是
湖泊健康综合评价功能	数据预处理	平台可以对湖泊健康评价指标数据进行标准化	是
	指标权重计算	平台可以利用熵权法，根据指标的离散程度进行指标的权重计算	是
	单个指标评分计算	平台可以运用优劣解距离法，依据每个湖泊指标与优劣解的欧氏距离进行评分	是
	湖泊综合评价	平台可以计算各个指标的加权得分和，从水资源，水质和水生态三个方面湖泊的健康状态	是

表 5 功能模块测试结果表（续表）

一级模块	二级模块	主要功能	是否通过
湖泊健康预警	LSTM 模型训练	平台可以使用湖泊历史数据对长短时记忆神经网络（LSTM）进行训练	是
	湖泊健康预测	平台能可以从水资源、水质和水生态三个方面进行湖泊健康预测	是
	湖泊健康预警	平台可以结合湖泊健康的警戒线对湖泊的健康状况进行预警	是
湖泊四乱现象 举报与治理	用户举报提交	用户可以通过前端提交湖泊四乱现象举报表单	是
	举报信息存储	平台可以将用户提交的举报信息存储在数据库中	是
	举报信息展示与管理	湖泊管理员能在前端对查看举报信息和举报类型	是
河流文苑	湖泊风景展示	通过轮播动画展示湖泊及其周边的风景照片	是
	湖泊文化宣传	通过图片和本文介绍湖泊的历史文化	是
	湖泊旅游路径规划	用户输入起点和终点，平台可以通过规划旅行路线并显示路线摘要信息	是
	湖泊新闻发布	平台可以发布有关湖泊的资讯和新闻，确保公众可以第一时间知悉其动态变化	是

# 第五章 安装及使用

## 5.1 系统开发与运行环境

本系统运行所需的软件、组件以及数据库如表 6 所示。由于部分组件的不满足向下对版本兼容，因此可能出现版本问题。表中的版本为实际开发测试过程中具体需要应用版本。

表 6 系统运行所需软件列表

工具名	版本号
Java	17
Spring Boot	3.4.3
MyBatis	3.0.4
Maven	3.9.5
Oracle OpenJDK	23.0.2
MySQL	9.1.0
Vue	3.2.47
Axios	1.7.9

## 5.2 使用流程

我们的湖泊健康管理与动态预警平台主要分为普通用户端和湖泊管理员端。普通用户可以查看湖泊的基本信息和健康状况，感受“河湖文苑”的湖泊文旅气息，并通过举报通道参与湖泊"四乱"现象监督治理。湖泊管理员端在普通用户基础上增加了湖泊管理功能和举报反馈管理功能，可以对湖泊信息进行增删改查，并对群众的举报进行受理，构建起公众参与、专人管理相结合的湖泊健康保护协同治理体系。

### 5.2.1 普通用户端

用户首次访问本平台注册账号。如图 14 所示，点击“注册账号”按钮，在弹出的注册界面中设置用户名与密码并确认提交。完成注册后，用户可在登录窗口输入已创建的账号信息，点击登录即可访问本平台的各个功能。



图 14 普通用户账号注册与登录

用户完成身份验证后首先进入平台的首页（图 15）。该界面基于 WebGIS 技术，利用高德地图 API 和 AntV L7 地理可视化引擎实现了湖泊地理数据的动态渲染，并集成 DeepSeek 人工智能驱动的“湖泊信息助手”，为用户呈现沉浸式人机交互体验。

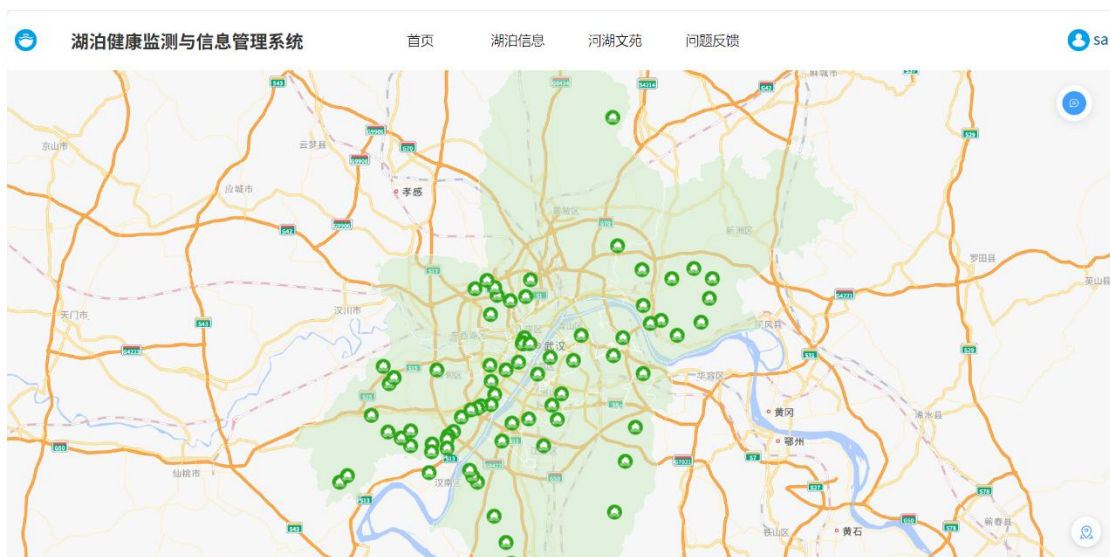


图 15 平台主页面

点击左上角悬浮球即可调用湖泊信息助手。该助手以 DeepSeek R1 大型语言模型为推理引擎，结合定制化的湖泊专业知识库，可以为用户提供专业的湖泊信息检索与知识服务。如图 16 所示，用户输入有关湖泊健康的问题，该助手可以为用户提供专业化的湖泊问题分析和回答。点击右下角地图样式切换按钮，用户可以实现多样化的地图样式切换，该功能提供五种地图样式进行选择，可以满足用户的个性化的视觉偏好需求。

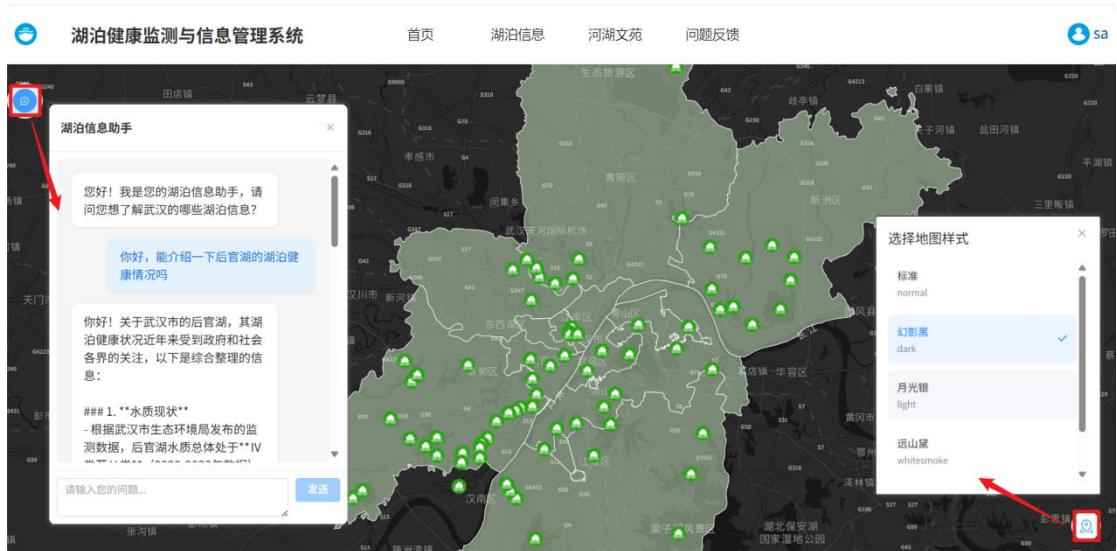


图 16 基于 DeepSeek 的湖泊信息助手

在首页地图界面中，用户可通过点击湖泊图标获取其基本信息，包括地理位置和文字描述。信息面板还可以展示湖泊健康的多维度评价数据，采用雷达图形式呈现水质、生态、综合健康和水资源四大评价指标并可以与武汉的平均水平进行对比；健康趋势折线图提供了湖泊综合健康状态的时间序列分析和预测，支持用户对湖泊健康状况的动态监测与评估。如图 17 展示了后官湖的相关信息 and 健康状况。后官湖的健康指标显著高于武汉市平均水平，其综合健康评分呈现逐期上升趋势。预测结果显示，后官湖的健康得分已超过 80 分，反映出其生态状况的持续改善。

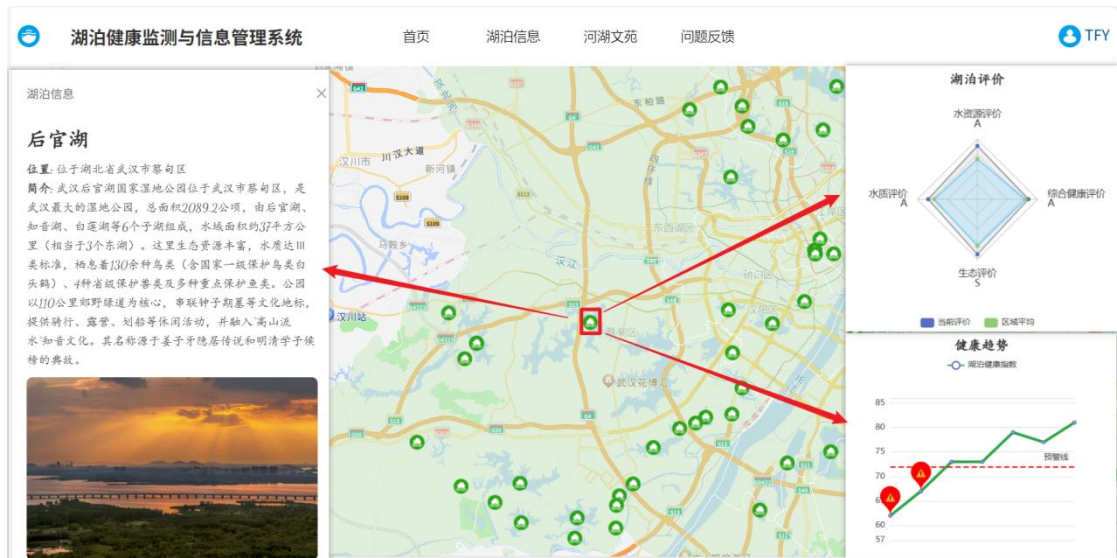


图 17 湖泊健康情况评价与预警展示

如图 18 所示，湖泊信息页面展现了湖泊健康管理 with 动态预警的可视化大屏。中央地图展示湖泊警告点数据，用户可以点击湖泊点获取具体警告信息。地图上方区域提供武汉市湖泊平均水资源、水质及水生态评分的仪表展示。左侧面板列出了各区县湖泊健康排行榜及“四乱”现象的举报统计。右上角显示湖泊健康排行榜，右侧面板中部允许用户选择展示的湖泊健康警告类型，以切换不同的警告图层。右下角则为湖泊健康预测图，提供未来健康趋势的可视化分析。





图 18 湖泊健康管理与动态预警可视化大屏

河湖文苑功能主要分为主页、湖光掠影、岸语拾遗、交通路线、相关新闻以及友情链接，对湖泊的自然风光、历史文化、游玩路线和最新湖泊资讯进行展示。

湖泊主页（图 19）采用轮播展示效果，呈现东湖、后官湖等知名湖泊的自然风光。该轮播图自动播放，为用户带来动态的视觉享受，展现了湖泊的自然之美。



图 19 河湖文苑主页面

湖光掠影模块（图 20）设计了丰富的动态鼠标交互效果，展示了东湖、后官湖、鲢子湖和梁子湖的自然与人文景观。当用户将鼠标悬停在特定位置时，界面会呈现出丰富的动态效果，增强了视觉体验与互动性。



## 湖光掠影



图 20 湖光掠影功能区展示

岸语拾遗模块（如图 21 所示）通过图文结合的方式，生动宣传各湖泊的历史文化，揭示其深厚的历史底蕴。此模块为用户提供了一个便捷的窗口，帮助他们深入了解湖泊的历史演变与文化遗产。

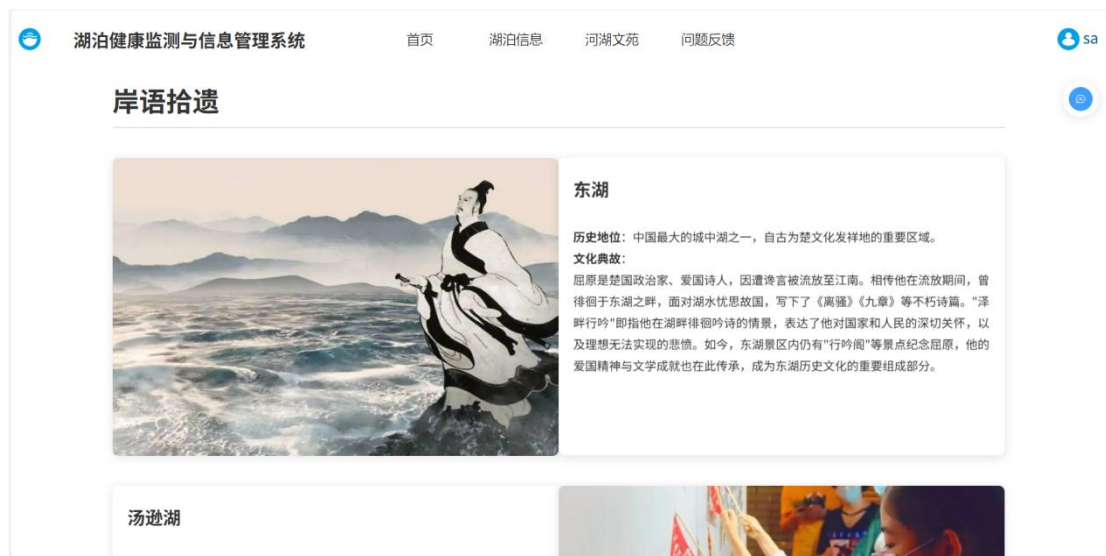


图 21 岸语拾遗功能区

交通路线功能模块（图 22）集成了高德地图 API 的导航功能，可以为湖泊旅游路线进行设计。用户只需输入起点和终点，点击“规划路线”即可启动路径导航。在设计过程中，特别注重界面的美观性和功能的易用性。通过导航按钮巧妙隐藏路径规划输入框，避免遮挡页面视图。同时，模块调用高德的关键字搜索功能，为用户输入的地名提供智能提示，并在右侧面板详细介绍导航功能，提升用户体验。

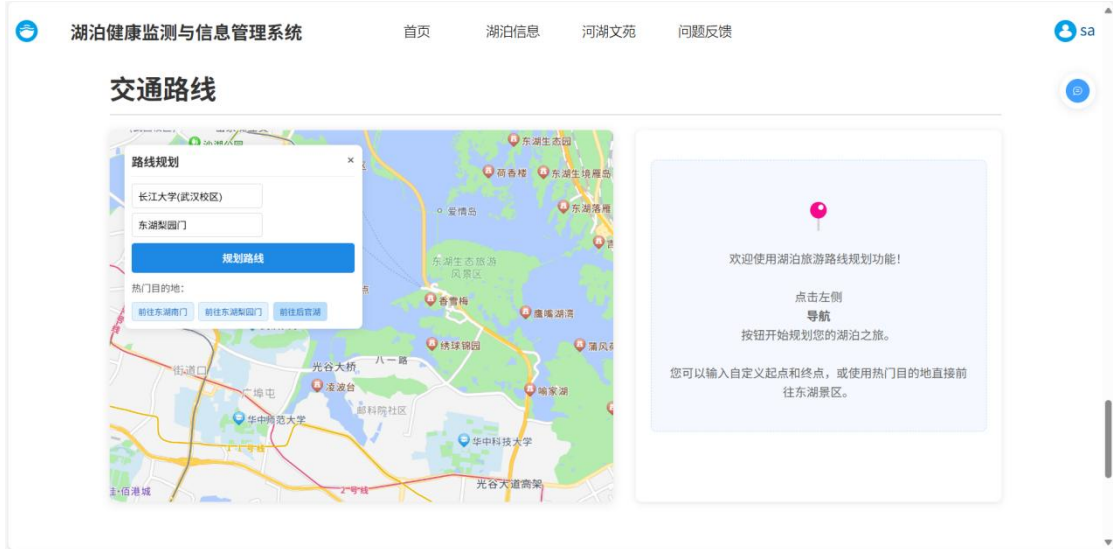


图 22 交通路线规划功能区

点击“路线规划”后，平台将调用高德地图的路径规划功能，为湖泊的交通路线提供详细规划。在右侧面板中，用户可以查看路径的总距离、预计行程时间，以及每段路程的详细摘要信息，为用户的湖泊旅游路线提供参考，如图 23 所示。

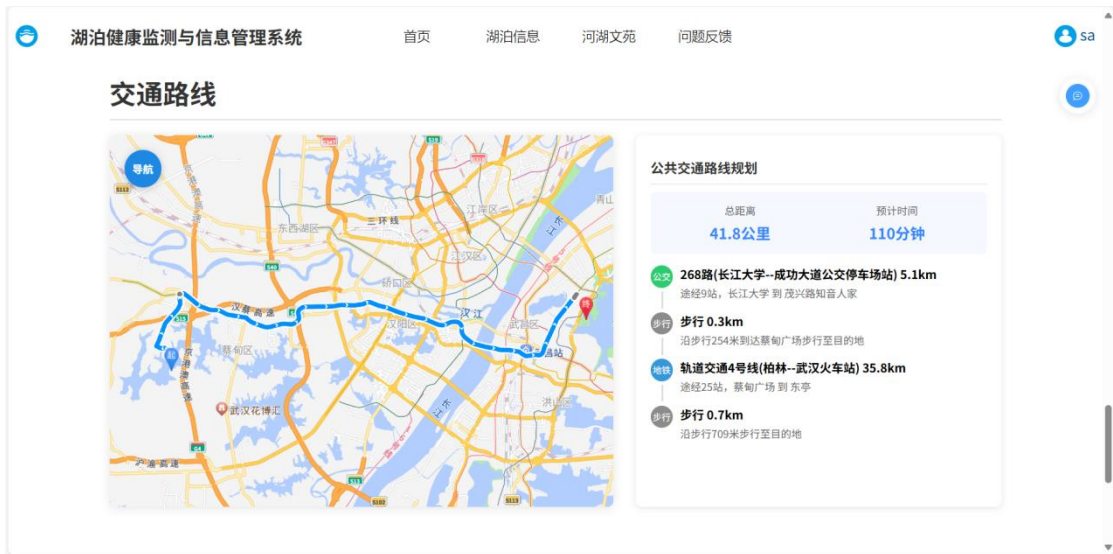


图 23 路径规划地图及摘要信息展示

相关新闻模块（图 24）为用户呈现湖泊的最新动态资讯，帮助用户及时了解近期相关湖泊活动。此外，模块底部还提供了友好网站链接，便于用户获取更多类似的湖泊文旅信息资源。



图 24 相关新闻及友情链接模块

湖泊问题反馈功能为用户提供了一个便捷的渠道来报告湖泊问题。用户在发现问题后，可在前端填写举报表单，包括举报类型、标题、湖泊名称、问题描述及联系方式等信息。提交反馈后，举报信息将被存入数据库，相关湖泊管理员能够查看并处理具体的举报内容，有效促进了湖泊治理的公众参与，推动了湖泊的全民共治。如图 25 所示，我们提交了一个名为后官湖存在乱占现象的举报表单。



图 25 问题反馈页面

### 5.2.2 湖泊管理员端

管理员端除却上述普通用户端提及的三大功能页面外，还包括湖泊管理和反馈管理页面。首先需要登录湖泊管理员账号，由于湖泊管理员的特殊性，在前端没有设计注册页面，只能由数据库直接录入，然后与数据库进行身份验证，如图 26 所示，输入湖泊管理员的账号与密码，点击登录，进入管理员端平台。



图 26 湖泊管理员登陆界面

在湖泊信息管理页面，湖泊管理员可以灵活地增删湖泊信息，并通过湖泊名称或所在区域进行精准检索，修改相关属性字段。平台还支持将湖泊数据导入或导出为 Excel 格式，极大地方便了数据的批量处理与管理，如图 27 所示。

湖泊健康监测与信息管理系统

首页湖泊管理湖泊信息河湖文苑反馈管理

Admin1

按湖泊名称查询

按所属区域查询

查询

重置

导出数据

导入数据

<input type="checkbox"/>	ID	湖泊名称	所属区域	湖泊面积	生态水位	湖泊面积萎缩	高锰酸盐指数	氨氮含量	总磷	总氮	含氧量	操作
<input type="checkbox"/>	1	鲢子湖	江岸区	5	16.41	0.22	5.46	0.12	0.05	1.81	6.14	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	2	塔子湖	江岸区	9.23	19.33	0.21	4.81	0.18	0.12	1.37	8.65	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	3	后襄河	江岸区	9.68	17.21	0.27	4.17	0.53	0.07	1.53	12.98	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	4	机器湾子	江汉区	7.16	17.69	0.15	4.39	1.01	0.14	0.66	8.21	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	5	江汉北湖	江汉区	6.88	16.05	0.18	9.92	0.19	0.06	1.53	14.17	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	6	江汉西湖	江汉区	4.09	15.16	0.08	5.76	0.3	0.02	1.04	7.53	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	7	菱角湖	江汉区	3.59	15.75	0.25	4.9	0.14	0.02	1.14	7.71	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	8	小南湖	江汉区	1.62	17.53	0.25	4.51	1.05	0.04	1.26	8.58	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	9	张半湖	硚口区	2.58	17.41	0.08	4.55	0.08	0.14	1.34	14.16	<div>编辑删除</div>
<input type="checkbox"/>	10	竹叶海	硚口区	3.88	18.99	0.03	5.11	1.13	0.08	0.74	5.75	<div>编辑删除</div>

Total 14

10/page

<12>

Go to1

图 27 湖泊管理界面

在举报信息反馈页面，湖泊管理员能够查看公众提交的举报信息，并进行相应的回复和删除操作。如图 28 所示，关于后官湖乱占现象的举报表单已提交至管理员端。管理员可以根据该信息采取措施治理湖泊乱象，并提供反馈，确保湖泊管理的有效性和透明度。

湖泊健康监测与信息管理系统

Admin1

首页

湖泊管理

湖泊信息

河湖文苑

反馈管理

类型	标题	湖泊名称	描述	联系方式	提交时间	操作
乱建	乱建（围垦养殖）	后襄河	村民私自筑坝围湖养殖鱼类，水域面积缩减30%，原生沉水植物群落消失。	15327171347	2025/03/28 09:30:34	<div>回复删除</div>
乱占	乱占（违规建设）	晴湖	湖畔存在未经审批的私人码头和度假别墅，侵占湖岸线约200米，破坏湿地生态，阻碍行洪通道。	15327171347	2025/03/28 12:14:34	<div>回复删除</div>
乱采	乱采（非法采砂）	金龙湖	夜间盗采砂石现象频发，导致湖床下陷、水质浑浊，周边农田因水土流失出现塌陷。	15327171347	2025/04/16 18:02:06	<div>回复删除</div>
乱堆	乱堆（垃圾倾倒）	野芷湖	北岸长期被附近工厂倾倒工业废渣，形成约5亩垃圾带，重金属渗漏威胁水生生物。	15327171347	2025/04/16 18:03:19	<div>回复删除</div>
乱占	后官湖存在乱占现象	后官湖	2025年4月23日下午3点在后官湖东南侧发现一处填湖造田现象	18347659087	2025/04/22 11:40:25	<div>回复删除</div>

图 28 举报反馈管理界面

## 第六章 项目总结

本项目构建了一个基于 WebGIS 的湖泊健康管理与动态预警平台，融合多种湖泊健康评价指标，对湖泊健康状况进行综合评估和动态预警，同时借助群众举报机制推动公众参与湖泊治理，并向大众展示湖泊的文化底蕴，提高群众的湖泊保护意识。本项目的主要工作如下：

（1）平台采用 B/S 架构，湖泊数据管理和分析在客户端进行，并将处理结果通过浏览器展示，实现了前后端分离和功能模块化。平台利用 MySQL 和 PostgreSQL 进行静态数据存储，并利用 Spring Boot 和 Vue.js 为核心技术搭建系统的整体框架，完成了基于 WebGIS 的湖泊健康管理与动态预警平台的开发；

（2）平台融合了物联网、WebGIS、人工智能和深度学习等前沿技术，支持湖泊健康的综合评价、预测及用户动态交互。通过结合熵权法（EW）与优劣解距离法（TOPSIS），系统能够基于客观数据对湖泊健康状况进行全面评价。平台利用长短时记忆神经网络（LSTM），能够预测湖泊健康趋势，并结合预警线进行健康预警，提升湖泊管理的响应速度。平台还集成了 DeepSeek 语言模型，通过湖泊健康情况知识库为用户提供专业的解答服务；

（3）平台构建了功能丰富且交互友好的可视化界面。借助高德地图服务和 AntV L7 地理可视化引擎，实现湖泊空间信息的展示和动态渲染；利用 ECharts 动态图表呈现湖泊属性信息、健康评价结果和预警情况等关键信息。平台还设计了湖泊四乱现象举报与治理功能模块和河湖文苑功能模块，让大众也参与到湖泊的治理活动中来，感受湖泊所带来的文化底蕴。

经过 6 个多月的辛苦努力，由我们小组独立设计与研发了于 2025 年 4 月 20 日圆满完成基于 WebGIS 的湖泊健康管理与动态预警平台，经过六个月的学习和搭建功能，思考以及编写代码，其中有很多困难，让我们止步，不过慢慢的解决之后发现其实学习和解决困难的过程是很值得回味的。一开始我们为选题所困扰着，没有方向，没有目标，一切都那样茫然，眼看时间一天天过去，却还没迈开那万事难的第一步，但凭借心中那股坚定的信念，带着那份无悔的执着，我们小组不断自我反馈，结合专业知识联系日常生活、国民经济、武汉市湖泊的发展，于是我们把基于 WebGIS 的湖泊健康管理与动态预警平台作为我们的设计项目。有了方向新的困难也随之而来，面对如何去理解湖泊的治理，我们对湖泊水质监测做了许多的文献查找，为了更好地完善体系结构，我们小组经常一起讨论一整天。成功从来就是坎坎坷坷的，但凭借那股信心，决心，恒心我们不断克服，走出重重关头。在探讨中我们明确自己任务，一起不断地去攻克，完善，没有真正想过会怎么样但却不断努力去做。只要有信心，只要有目标，只要有毅力，什么难题都可能攻克，正验证了那句老话，世上无难事只怕有心人，听起来简单但没有真正的实践是不会体会到它附于外表下的那真正的内涵。在此，我要感谢中国大学生计算机设计大赛组委会给我们提供了这样一个平台，给我们锻炼的机会，使我们可以满载而归；感谢我们的刘少华老师对我们的指导，他给了我们很大支持与专业上的指导，也让我们有一个良好的开发环境。还有很多支持我们的老师和同学们。在这个赛事的备战中，我们学到的不仅仅是系统开发上的了解，更多的是对克服困难，挑战极限，与大家一起努力奋斗，一起走向成功。



## 参考文献

- [1] 赵彬洁, 袁赛波, 雷晶, 等. 武汉市湖泊健康评估及保护修复初探[J]. 生物资源, 2023, 45(06): 551-563.
- [2] 秦红. 长三角绿色一体化发展示范区湖泊健康状况调查与评价[J]. 水资源开发与管理, 2025, 11(01): 3-11.
- [3] 孟定华, 毛劲乔, 李伟峰, 等. 融合多源信息的大型湖泊营养状态遥感评估[J]. 水力发电学报, 2024, 43(05): 13-23.
- [4] Zhao Z, Wei F, Wu H, et al. A framework to comprehensively assess lake health from a perspective of ecosystem integrity and services[J]. Ecological Indicators, 2025, 1711, 13169-113169.
- [5] 宋为威, 鞠茂森. 基于层次分析法-熵权法的河湖健康评估——以无锡蠡湖为例[J]. 江苏水利, 2024, (01): 39-42.
- [6] Wang X, Cheng Y, et al. Urban Lake Health Assessment Based on the Synergistic Perspective of Water Environment and Social Service Functions[J]. Global Challenges, 2024, 8(10): 2400144-2400144.
- [7] 樊才睿, 郑慧, 张雯颖, 等. 基于AHP-熵权法的岱海湖泊健康评价指标体系研究[J]. 内蒙古水利, 2023, (07): 9-11.
- [8] 勾芒芒, 冯雪瑶, 李建茹, 等. 基于层次分析-熵权法的乌梁素海湖泊生态系统健康评价[J]. 灌溉排水学报, 2025, 44(02): 93-100.
- [9] 推动实施长江流域重点湖泊生态健康评估[J]. 民主, 2022, (10): 21-22.
- [10] 王海根, 王庆同, 杨鹏, 等. 基于熵权优劣解距离模型 (TOPSIS) 的海洋资源环境承载力评价——以潍坊市为例[J]. 海岸工程, 2023, 42(03): 288-300.
- [11] Deng W, Li X, Guo Y, et al. Ecological Assessment of Water Environment in Huizhou Region of China Based on DPSIR Theory and Entropy Weight TOPSIS Model[J]. Water, 2024, 16(18): 2579-2579.
- [12] 游旭, 陈会娟, 余昭旭. 基于LOF- EEMD- LSTM模型的污水水质预测研究[J]. 自动化仪表, 2025, 46(02): 51-56.
- [13] 胡悦, 李泽, 邱佳华, 等. 基于改进聚类的LSTM水质预测模型研究[J]. 计算机仿真, 2025, 42(01): 473-484.
- [14] Zhu Y. Application of a QPSO-optimized CNN-LSTM model in water quality prediction[J]. Discover Water, 2024, 4(1): 100-100.
- [15] Yanfei C, Yuru D, Yongxi S, et al. Typical lake area is accurately predicted and assessed based on deep learning algorithms and associated physical mechanisms[J]. Earth Science Informatics, 2024, 17(3): 2317-2330.