华亚平, 李锐, 刘成, 等. 基于 GIS 的广西北海海岸带地质环境监测数据管理与服务系统的设计与实现[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(2): 66-78.

HUA Yaping, LI Rui, LIU Cheng, et al. GIS-based design and realization of management and service system for coastal zone geological environment monitoring data in Beihai, Guangxi[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(2): 66-78.

基于 GIS 的广西北海海岸带地质环境监测数据管理与服务系统的设计与实现

华亚平[1,2], 李锐[1,2*], 刘成[1,2], 严杰[1,2], 陈宏文[1,2]

（1 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 511458;
2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心, 广州 511458）

摘　要: 针对近年来广西北海市海岸带出现的地质环境问题, 基于 GIS 技术在空间数据管理和综合分析方面的优势, 开发设计了海岸带地质环境监测数据管理与服务系统。实现了北海市海岸带侵蚀淤积数据、海水入侵数据及生态地球化学数据的在线监测、综合管理和动态模拟。该系统在北海市取得了良好的应用, 为北海市海岸带地质环境问题的治理提供了有效决策支持, 为其他海岸带地质环境数据管理系统提供了参考。

关键词: 北海市; 海岸带; GIS; 地质环境监测; 侵蚀淤积; 海水入侵

中图分类号: P208　　**文献标识码:** A　　**DOI:** 10.16028/j.1009-2722.2022.252

0　引言

海岸带是海陆过渡区域, 拥有丰富的自然资源、优越的地理位置、舒适的居住环境, 同时, 海岸带也是生态环境脆弱、易被破坏的区域, 由于人类活动造成的生态退化和地质灾害问题更是海岸带发展过程中面临的严峻挑战。因此, 对海岸带的地质环境进行长周期、业务化的监测[1], 掌握其变化过程及活动规律的工作日益为国家和地方政府所重视, 在制定地区经济发展规划、合理利用海岸带资源、保持经济更快更好发展中显得尤为重要。

GIS 可以对地理空间数据进行有效的处理、分析、管理和应用, 并能够为相关的决策提供支持, 在更好地整合空间信息、属性信息及其间相互关系方面具有优越性[2]。在地质环境监测中, GIS 可以揭示地质环境问题的发生、演变及发展趋势, 提供分析问题发生机理的方法, 从而为地质环境保护、生态修复提供指导建议[3]。

2011 年, 中国地质调查局海岸带地质和大陆架地质研究中心编制的《我国“十二五”海岸带地质工作计划》[4] 明确提出把海岸带侵蚀与淤积、海水入侵、地面沉降、区域地壳稳定、生态地球化学等 5 项监测任务列为海岸带监测工作的主要内容。针对这 5 项监测任务, 中国相关单位和部门在海岸带地区开展了很多监测工作, 积累了大量经验。但是, 中国当前的监测工作大部分采用传统监测方法, 技术手段相对简单陈旧, 监测能力尚有待提高。广州海洋地质调查局承担的地质环境与灾害调查等项目, 对广西沿海海岸带侵蚀淤积和海水入侵状况进行监测研究, 取得了大量原始数据[5]。李少伟等[6] 针对辽河三角洲海岸带的海岸侵蚀与淤积、海水入侵等地质环境问题, 提出利用多种先进的监测技术方法和仪器设备, 如遥感、遥测、在线数据采集和处理、远程数据通讯等建立海岸带地质环境全面监测系统, 开展定期的海岸线和海岸剖面的观测, 建立以地质环境动态变化为主的监测网络和预警系统。李毅等[7] 利用广西第 1 次地理国情监测成果数据,

收稿日期: 2022-05-07

资助项目: 中国地质调查局项目(DD20191007, DD20190216, DD20221714)

作者简介: 华亚平(1993—), 女, 助理工程师, 主要从事地理信息系统建设工作. E-mail: 2272133181@qq.com

* **通讯作者:** 李锐(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事地理信息系统建设和海洋地质信息化工作. E-mail: lrui@mail.cgs.gov.cn

基于优于 2 m 的遥感影像数据和 GIS 数据, 开展广西北部湾海岸带开发利用变化监测, 深入分析了岸线的变迁、地表覆盖变化等规律, 为广西北部湾海岸线规划和地质环境保护提供了准确、全面的数据支撑。除此之外, 还有基于沿海地区的海岸带生态风险评价[8-9]、岸线变迁历程[10]、沉积环境演变[11]等开展的相关研究, 以及海岸带管理信息系统[12]、海岸带环境地质调查数据库建设[13]方面的研究。

北海市是广西重要的滨海城市, 20 多年来, 伴随着海湾开发、港口建设、养殖用海、旅游开发等一系列人类活动, 广西北海市海岸局部岸段侵蚀、海湾淤积、水源地海水入侵等问题日益严重[14]。本文以广西北海海岸为例, 将地质 GIS 平台的建设方法与海岸带在线监测技术要求相结合, 以该地区海水入侵、侵蚀淤积和生态地球化学等监测数据为基础, 构建集数据管理、动态分析与评价、在线监测为一体的海岸带地质环境监测数据管理与服务系统。实现对多源异构的海岸带地质环境监测数据的有效管理和分析应用, 为地质研究人员认识和研究海岸带环境的动态变化规律及地方政府的地下水开采、海岸带开发及环境保护提供数据保障和技术支撑, 并为社会大众了解海岸带环境提供可视化的窗口。

1　研究区概况

1.1　研究区范围

广西北海市海岸地处中国沿海西南端、大陆海岸线的最西端, 东边与广东省为邻, 西边与越南接壤, 南边濒临北部湾[15]; 海岸线较长, 滩涂宽广, 沙滩港湾众多且发育, 浅海辽阔。

本文研究的区域位于广西北海市海岸带(图 1),

图 1　研究区影像

Fig.1　Image of the study area

有南流江、大风江等多条河流入海, 还有北海港等港口, 监测井和站点主要分布于北海市海岸带及临海区域。近年来, 北海市大规模的围填海与重大工程项目使得环境负荷加大, 地质环境灾害频发, 主要表现在海水入侵、海岸侵蚀淤积等。随着自然和人为因素的影响, 北海重要水源地之一的禾塘水源地饱受地下水咸化的困扰, 以其为研究对象来探讨海水入侵问题。

1.2　数据分析

基于 GIS 的海岸带地质环境监测数据管理与服务系统所用的数据分为基础地理底图数据和业务数据。

基础地理底图数据分为矢量数据和栅格数据。矢量数据主要包括边滩线、监测工区、生态地球化学取样、海水入侵监测站点等矢量要素, 其中包括 9 口监测井坐标信息、4 个海岸带监测大小潮站点信息、20 个生态地球化学数据的点位坐标信息。地图底图采用国家基础地理信息中心建立的 1:5 万的比例尺地形图及数字地理底图, 在此基础上进行矢量化操作获得。栅格数据主要是 2014 年的海岸线遥感影像图, 在此基础上进行修正, 编制成 1:5 万的数字化地理底图, 格式为 MPJ 格式, 可以在 Map GIS 中进行编辑。

海岸带地质环境监测业务数据主要为广西北海市海岸带 2015—2017 年 3 年间的数据量, 这些数据用于支撑各个业务子系统的功能实现, 总体分为 3 类: ①海岸带侵蚀淤积数据共设置 4 个站位, 监测不同地区大小潮时的海流与悬浮泥沙数据, 数据包括: 侧扫声呐数据、定点海流及悬浮泥沙数据、高程及粒度数据、剖面数据; ②海水入侵数据, 共设置 3 组 9 口监测井, 即 9 个监测井站位对应的监测数据, 包括地下水测试报告、CTD 仪器在线监测数据、监测井水文地质柱状图、北海市遥感影像解译图数据、高密度电法解译专题图数据; ③生态地球化学数据, 共设置 20 个站位, 对于海洋水数据进行微量元素分析与化学元素因子分析, 数据包括海水及地表水监测数据、生态地球化学粒度分析数据、悬沙浓度数据。上述各个数据项具体的解释如表 1～3 所示。

1.3　数据组织方式

系统建设需要基础空间数据、地下水在线监测数据、地球化学和地球物理监测数据、海洋水动力数据、空间信息数据、遥感数据等, 数据来源广、类

表 1 海岸带侵蚀淤积数据项解释

Table 1 Interpretation of coastal erosion and sedimentation data items

数据类别	数据解释
侧扫声呐数据	TIFF格式影像数据，带有投影，可精确测量海底地形及地貌，沿布置好的剖面测线探测，侧扫宽度约50 m，2015年完成191 km
定点海流数据	2015年冬季全潮水文观测数据，共4个站位，一个潮周期内分大小潮观测2次，总计8站次，存储为Excel格式，带有站点经纬度
悬浮泥沙数据	word格式，主要为4个站点大潮小潮时悬浮泥沙说明情况及水质检测报告，每个站点取26个样本数据
高程及粒度数据	Excel格式，用于分析剖面地形和海底高程、沉积物粒度的季节性变化特征。2组监测剖面，6条测线
剖面数据	记录2组监测剖面夏季和冬季的坐标信息

表 2 海水入侵数据项解释

Table 2 Interpretation of seawater intrusion data items

数据类别	数据解释
地下水测试报告	对地下水的元素含量进行测试分析所得的报告
CTD仪器在线监测数据	Excel格式，3组9口海水入侵监测井在线监测获得的地下水水位和水质情况数据，用于分析地下水咸化情况
监测井水文地质柱状图	Map GIS格式的监测井综合柱状图数据
北海市遥感影像解译图	JPG格式，2010、2013、2015、2017年的遥感影像数据，用于监测北海覆盖区、裸地、植被覆盖区、水塘变化情况
高密度电法解译专题图	.dat格式，用于海水入侵监测，确定水源地咸淡水界面位置。使用DUK-2A高密度电法测量系统进行剖面测量，为2015—2017年8条剖面的成果图数据

表 3 生态地球化学数据项解释

Table 3 Interpretation of ecological and geochemical data items

数据类别	数据解释
海水及地表水监测数据	研究区采样分析数据，海水包括水温、盐度、溶解氧等25项，地表水包含24项
生态地球化学粒度分析数据	研究区表层沉积物的粒度分析数据及20个站点的坐标信息
悬沙浓度数据	Excel格式，广西北海市海岸带海水监测站点的经纬度及夏季、冬季的悬沙浓度数据

型多、数据量大、关系复杂，要想有效地存储、管理和使用这些数据就必须首先对这些数据按各种方式进行科学组织分类(图 2)。按照使用方式和作用不同，纵向上将这些数据划分为不同的层，从下到上分为原始数据层、基础数据层、成果数据层，上层数据基于下层数据构建；横向上则参照专业分类和数据类型将本层数据进行分类。

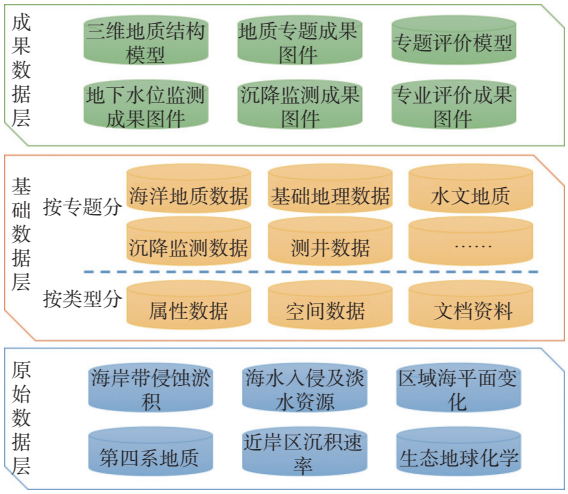

图 2 海岸带地质环境数据组织结构

Fig.2 Organization structure of geological environment data of coastal zone

对数据进行逻辑上的划分后，需要将其存入合适的物理数据库。按照数据类型划分有结构化数据、半结构化数据（属性表等关系数据）、非结构化数据(文档、多媒体等描述性资料)。对于结构化数据可采用关系型数据库实现统一管理，非结构化的描述数据以二进制数据包的形式存储在数据库中。本文选择 Oracle 关系型数据库作为数据库管理软件，它是目前最流行的适用于客户机/服务器(C/S)或浏览器/服务器(B/S)体系结构的数据库之一，具有完整的数据管理功能，可用于大数据量的应用，能轻松的实现数据仓库的操作[16]。使用 Oracle 软件进行数据存储的流程包括：①历史资料数字化，主要是基于 GIS、CAD 等软件，将采集的数据通过扫描、矢量化、编辑等方式进行数字化，并按照数据类型进行分类整理。②数据规范化处理，主要是对数字化后的地质资料数据进行数据的编辑整理、格式化、转换、概括等处理，例如地理坐标的统一、数据格式的标准化等。③数据入库，对于地理底图、遥感影像、基础地理空间数据可借助数据管理维护模块提供的 GIS 地图库、影像库功能导入数据库。对于地质图等矢量图形数据可借助数据管理维护模块提供的图件入库功能导入数据库。

2　系统需求分析及关键技术

2.1　系统需求

系统建设的总体需求为: 以地理信息技术为核心, 实现对广西北海市海岸带地区的海水入侵、海岸侵蚀淤积和生态地球化学等多源异构监测数据的地理空间匹配和空间转换, 开展数据融合处理与统一管理; 根据已有监测评价体系, 构建海岸带地质环境可视化监测预警平台。具体需求可概括为以下 6 个方面:

(1)实现对多源异构海岸带地质环境监测数据和其他基础地质环境数据的统一组织管理。

(2)实现监测站点、监测剖面地下水数据资料评价, 可视化展示地下咸淡水界面及区域海水入侵的动态变化, 并实现外界环境变化下海水入侵的可视化预测模拟。

(3)对海岸侵蚀淤积监测剖面的数据进行查询和统计, 从时空角度分析区域海岸侵蚀或淤积变化特征, 可视化模拟外界环境改变条件下侵蚀或淤积模拟预测。

(4)对海岸带沉积物、水体环境地球化学数据进行分析评价, 通过时间序列数据分析预测未来一段时间区域环境演化趋势, 实现在外界条件改变情况下, 区域环境变化的动态模拟。

(5)实现对海水入侵、海岸侵蚀淤积等地质环境数据的在线采集与监测、实时管理与分析。

(6)实现成果数据或信息的在线发布。

2.2　系统关键技术

(1) 多源异构数据自动识别技术

多源异构数据自动识别技术可以通过统一的数据结构和多源的数据输入插件实现多源异构数据的自动识别。可以实现不同数据格式和来源的数据的输入, 并实现多级别、多专题、多年度以及异构的空间数据和非空间数据的集成分类管理, 并提供统一的数据访问接口[17]。利用该技术可以很好地识别多源数据(原始监测数据、地质数据、地理空间数据以及其它数据)和异构数据(地理数据、文本数据、表格数据等)。

(2) 数据中心技术

针对系统在数据快速可视化方面的需求, 如监测数据查询、数据趋势图表、数据统计报表等, 应用数据中心技术, 设计快速存储引擎, 并提供统一的访问接口[18]。数据中心将多源异构的数据解析封装在了数据中心内部, 对外提供统一的数据访问接口, 屏蔽了不同数据间的差异。对不同的数据源, 例如本地或互联网云数据或局域网的数据等, 通过数据解析插件统一成标准的接口, 供所有业务子系统应用。各业务系统通过统一的数据访问接口直接操作访问数据, 不用关心数据的存储位置与格式, 同时数据中心通过权限控制功能实现不同的用户对数据的访问和操作的差异, 从而保证了整个数据的安全性。

(3) 微内核技术

微内核群技术是基于消息传送机制的操作系统, 不同于以往的操作系统, 它与内核集成在一起的系统服务层分离开来, 不涉及系统的具体功能, 能够保持相对的稳定, 不会随系统功能的变化而变化, 对系统进行升级, 只需用新模块替换旧模块, 不需要改变整个操作系统。地理空间信息应用服务微内核群主要包括微内核框架、GIS 内核、异构数据中间件、扩展中间件等[19], 其中 GIS 内核是对 GIS 软件系统核心功能的封装, 对外提供统一的调用接口。

(4) 时态 GIS

传统的 GIS 处理的是无时间概念的数据, 只能是现实世界在某个时刻的“快照”[20]。当 GIS 描述的信息随时间连续变化时, 时间维必须作为与空间等量的因素加入到 GIS 中, 这时就产生了时态 GIS。时态 GIS 在环境变化、灾难预警等需要根据已有数据回溯过去某一时刻的情况或预测将来某一时刻的情况时应用更为重要。广西海岸带地质环境监测数据管理与服务系统将实现历史数据与现势数据的统一和多角度管理, 时态 GIS 的应用必将给系统展示提供更加完备的手段。

3　海岸带地质环境监测数据管理与服务系统设计

3.1　系统架构

基于 GIS 的海岸带地质环境监测数据管理与服务系统遵循“集中式”的总体架构, 系统按照集中的方式进行部署, 各应用系统分别维护各自的终端, 管理对应的网络资源, 并通过服务的方式进行调用和共享。

系统从结构上分为用户层、应用层、平台框架层、数据库层和支撑层(图 3)。用户层主要支持用

户分级和权限控制，根据用户的需求为其分配不同的功能权限，例如管理人员、业务工作人员、维护人员等，功能权限不同，数据权限也有差异。应用层主要用于业务实现，包括地质环境监测数据管理子系统、海水入侵模拟子系统、在线监测子系统，其中每个子系统又包含不同的应用模块，可以针对相应的数据实现对应的功能。平台框架层是基于数据中心技术架构进行开发，并通过空间数据引擎建立三维数据模型，主要包括业务数据基础访问服务、数据中心工具集、数据综合应用服务、对外的 COM 和 C++接口、OGC 和 REST 等服务接口、二次开发接口等。数据库层主要对数据进行集成管理，使用 Oracle 大型数据库，实现对基础空间数据、地下水在线监测数据、地球化学和地球物理监测数据、海洋水动力数据、空间信息数据、遥感数据等的统一管理。支撑层是系统正常且稳定运行的软硬件保障，主要包括企业专网、GPRS 无线网络、服务器集群、操作系统、数据库系统、安全防护软件等。

由于本文研究的系统面向多种不同类型的用户，从数据管理和系统使用效率出发，采用客户机/服务器（C/S）和浏览器/服务器（B/S）相结合的混合架构模式，2 种模式优势互补，能够使系统更加完善和实用。C/S 架构的系统模块主要实现用户对数据的修改、分析、维护和系统管理等功能，具有强大的数据操纵和事务处理能力，可以充分利用客户端的系统资源，完成大数据量的处理工作。但需安装客户端软件，操作和维护较复杂。B/S 构架的系统模块主要实现数据在线查询和展示等功能，能够方便实现跨平台应用，客户端采用标准的浏览器工具，无需安装和维护，交互性好，扩展性高。系统采用 C++语言，基于 Microsoft Visual Studio 2015 进行开发，同时预留接口，便于后续移植到其他平台。

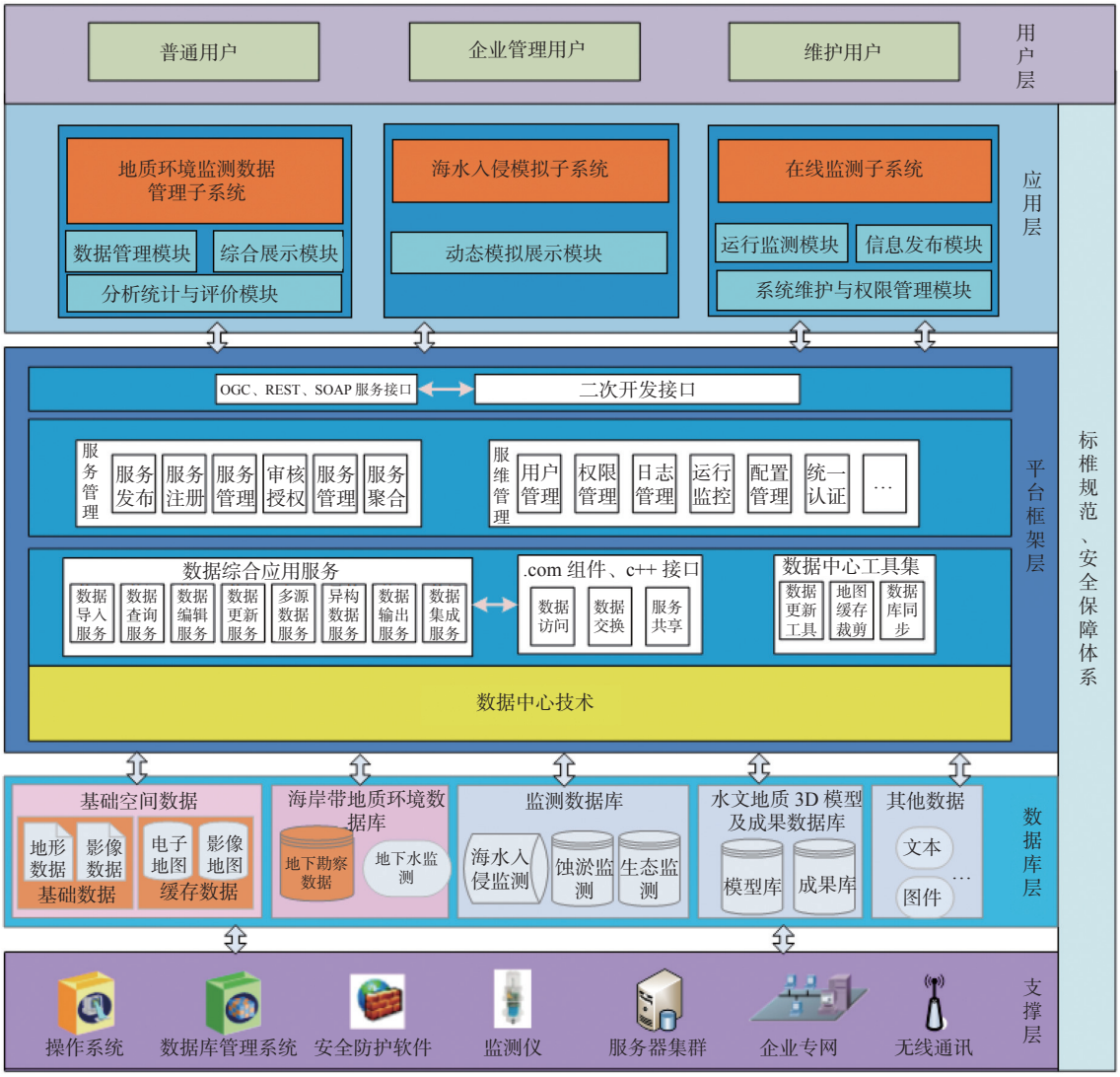

图 3 系统架构

Fig.3 System architecture diagram

3.2　功能模块设计

本研究系统分为地质环境监测数据管理子系统、海水入侵模拟子系统、在线监测子系统。每个子系统包含相应场景下的常见的功能。在线监测子系统采用 B/S 架构实现对野外数据的在线监测，实时传输采集的数据，便于获得最新的海岸带分布现状。地质环境监测数据管理子系统和海水入侵模拟子系统采用 C/S 架构，实现对获得的海岸带侵蚀淤积数据、海水入侵数据、生态地球化学数据的管理、分析、评价与动态模拟。

3.2.1　地质环境监测数据管理子系统

地质环境监测数据管理子系统主要是对海岸侵蚀淤积、海水入侵、生态地球化学等数据的统一管理，功能结构设计包括数据管理模块、综合展示模块、分析统计与评价模块(图 4)。

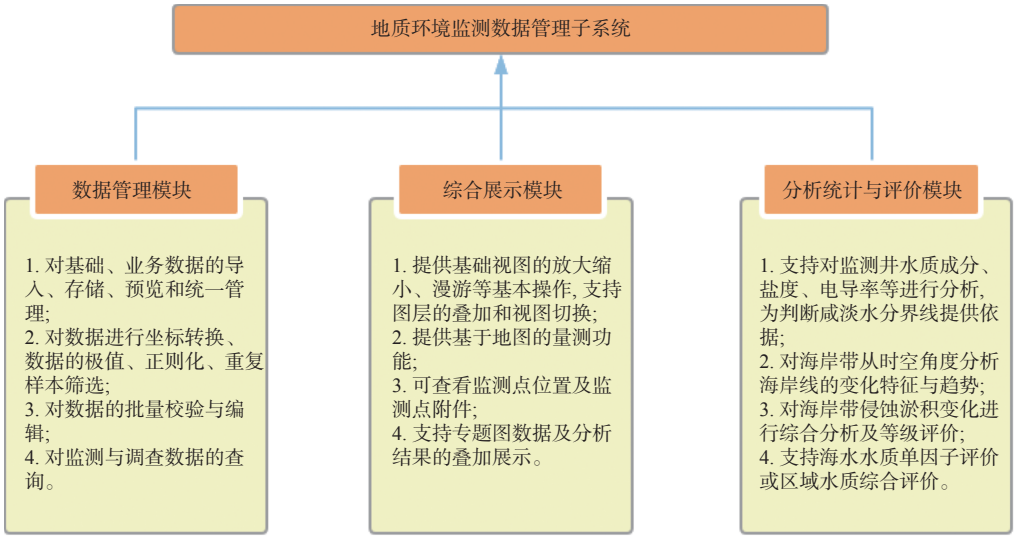

图 4　地质环境监测数据管理子系统功能模块

Fig.4　Function module of the data management subsystem of geological environment monitoring

数据管理模块用于实现海岸带侵蚀淤积数据、北海禾塘水源地海水入侵数据、生态地球化学数据等的统一管理，包括输入、查询、显示、预处理、展示、输出等；可对数据进行坐标转换、数据的极值、正则化、重复样本筛选及对数据的批量校验与编辑；实现对监测与调查数据的查询等，为数据管理提供技术支撑。综合展示模块提供基础视图的放大缩小、漫游等基本操作，支持图层的叠加和视图切换；可提供基于地图的量测功能及查看监测点位置及监测点附件；实现支持专题图数据及分析结果的叠加展示，满足用户的可视化需求。分析统计与评价模块用于对监测井水质成分、盐度、电导率等进行分析，为判断咸淡水分界线提供依据；可从时空角度分析海岸线的变化特征与趋势，并对海岸线侵蚀淤积变化进行综合分析与及等级评价，并可实现支持海水水质单因子评价或区域水质综合评价，满足技术人员业务工作需求。

3.2.2　海水入侵模拟子系统

海水入侵导致地下水变咸、土壤盐渍化、水田面积减少、旱田面积增加，对城市地下水资源安全造成严重威胁。对海水入侵区域地下水咸化规模和范围进行调查研究，找寻引发海水入侵主要因素，提出防控措施和建议，对地方经济的发展有着重要意义。海水入侵模拟子系统主要是对北海禾塘水源地水域变化情况进行分析与动态评价，以水位等值线的形式展示。功能结构设计包括动态模拟展示模块(图 5)。

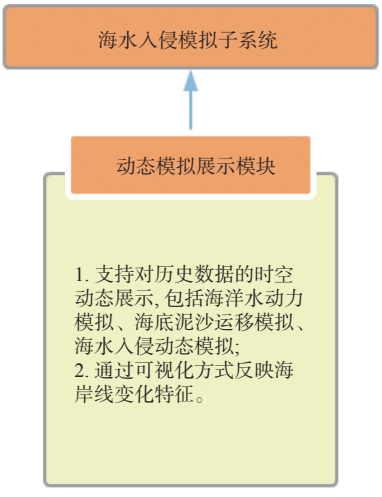

图 5　海水入侵模拟子系统功能模块

Fig.5　Function module of the simulation subsystem of seawater intrusion

动态模拟展示模块支持对历史数据的时空动态展示，包括海洋水动力模拟、海底泥沙运移模拟、海岸线时空变化、生态地球化学水体数据动态模拟、海水入侵动态模拟。可以通过可视化的方式反映海水入侵及海岸线变化特征，为地下水的合理开采提供有效依据。

3.2.3 在线监测子系统

在线监测子系统主要是通过接入在线监测设备传回的实时数据，实现对重点监测参数、海水入侵状态等进行实时监控，功能结构设计包括运行监测模块、信息发布模块、系统维护与权限管理模块（图 6）。

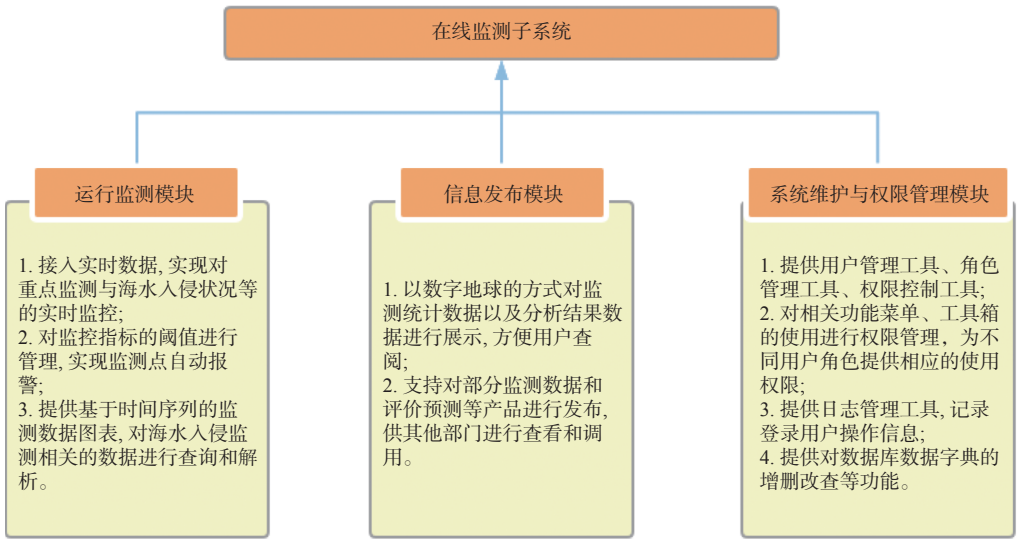

图 6 在线监测子系统功能模块

Fig.6 Function module of the on-line monitoring subsystem

运行监测模块是通过接入在线监测和采集的数据，实现对海岸侵蚀和海水入侵的实时监控；可对监测指标的阈值进行管理，实现监测点自动报警，并提供基于时间序列的监测数据图表，对海水入侵监测相关的数据进行查询和解析。信息发布模块是以数字地球的方式对监测统计数据以及分析结果数据进行展示，方便用户查阅；支持实现对部分监测数据和评价预测等产品进行发布，发布为标准的 web service 服务或者 wms 等 OGC 规范地图服务，供其他部门进行查看和调用。系统维护与权限管理模块提供用户管理工具、角色管理工具、权限控制工具；可对相关功能菜单、工具箱的使用进行权限管理，为不同用户角色提供相应的使用权限；并提供日志管理工具，记录所有登录用户操作信息及对数据库的数据字典的增删改查等功能。

4 系统实现

4.1 地质环境监测数据管理子系统

地质环境监测数据管理子系统实现的功能包括数据管理、数据展示、统计分析等（图 7）。

其中，开始菜单包括帮助文档、系统介绍、打印功能、退出系统等。数据管理包括对海岸带侵蚀数据、海水入侵数据、生态地球化学数据等业务数据的统一管理。数据展示包括对 wms 地图和本地影像图的加载及定点海流观测站、高程及粒度观测点、悬浮泥沙等值线、海水入侵监测井站位等内容以表格、柱形图、曲线图等多种强大的可视化方式进行展示，实现数据图表绘制和解析结果展示等功能。统计分析包括对海岸带侵蚀的粒度分析、悬沙浓度和蚀淤监测剖面数据的查询及统计分析。水质评价主要对地下水水质和海水水质根据相对应的质

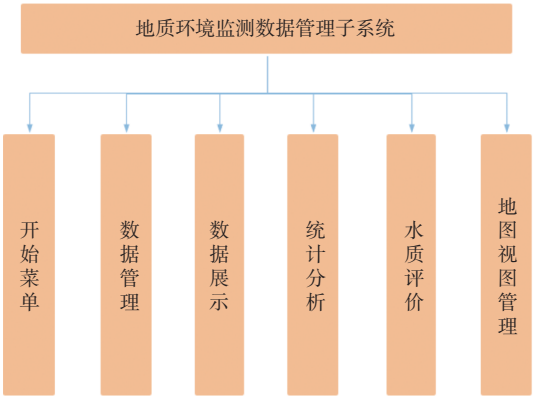

图 7 地质环境监测数据管理子系统功能结构

Fig.7 Function structure of the data management subsystem of geological environment monitoring

量标准以单因子评价或区域水质综合评价并对评价结果进行可视化展示。地图视图管理实现了对地图中的要素的操作和编辑及图层的添加和设置等功能。系统主界面如图 8 所示。

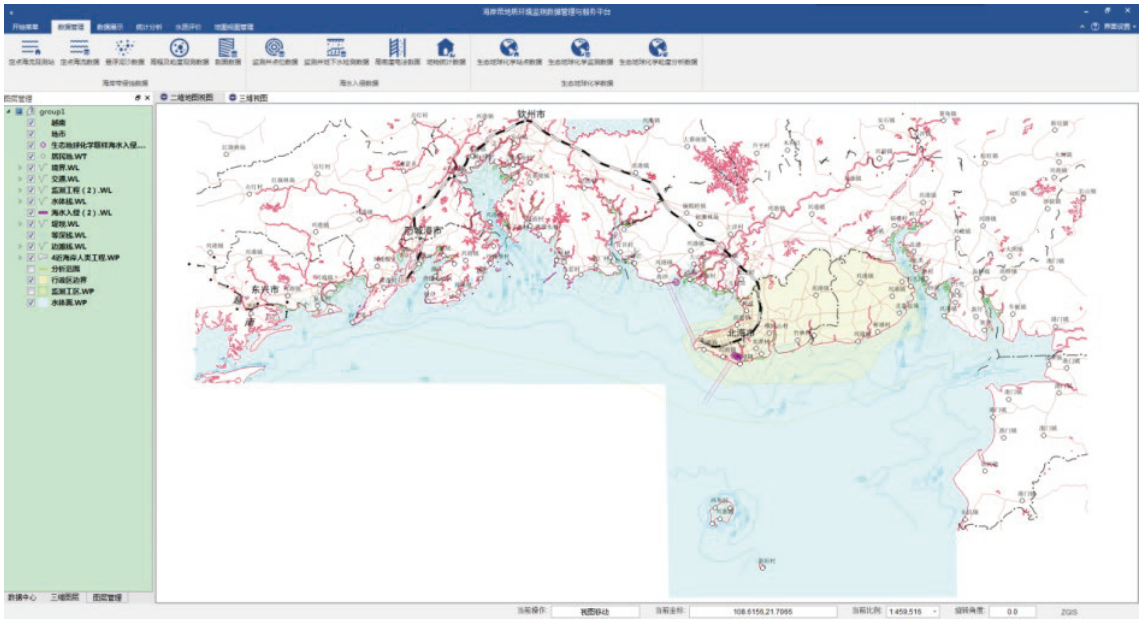

图 8　地质环境监测数据管理子系统主界面

Fig.8　Main interface of the data management subsystem of geological environment monitoring

以地下水综合组分水质评价功能为例, 对该功能的运行结果进行展示。地下水水质评价是根据地下水的主要物质成分及给定的地下水质量标准, 对地下水水质的时空分布状况进行分析, 具体包括水的性质、溶解的普通盐类、有毒成分及细菌成分等各类指标。以广西北海禾塘水源地的地下水为例进行水质评价, 在地质环境监测数据管理子系统中点击【水质评价】-【地下水水质评价】中的【地下水综合组分水质评价】, 系统自动进行评价, 并在“水质评价表查询”TAB 页中, 展示出评价结果(图 9)。

除此之外, 还可以选择某一种检测成分, 对其进行评价结果点分布与评价结果区分布的可视化展示。如图 10、11 所示为对该区域钠离子成分进行评价分析的结果。

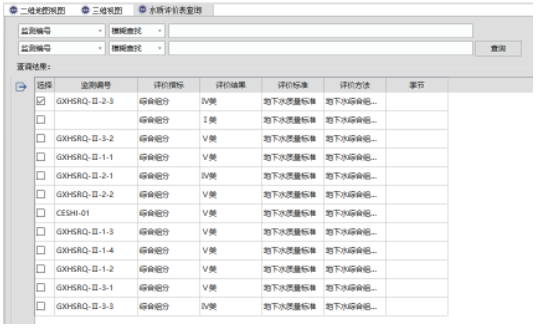

图 9　水质评价结果

Fig.9　Results of water quality evaluation

4.2　海水入侵模拟子系统

海水入侵模拟子系统(图 12)的功能包括开始菜单、运移参数设置、运移模拟、三维地质建模等。

工程设置主要是对栅格图、矢量图、比例尺地形图的加载和运移模拟参数的设置等功能。网格设置主要是通过建立矢量网格, 对网格的行或列或某个层次的网格进行选择, 以及拆分、合并和添加高程数据、批量导入运移参数等编辑操作达到对地图中的要素或图层进行高亮显示或修改的目的。运移参数模块主要对监测井或河流、定水头的增加或删除, 及对泥沙的渗透系数和补给强度和浓度进行设置。运移模拟主要对泥沙运移进行模拟操作, 首先设置输出时间, 并通过悬沙浓度分布图、水位等值线、动态模拟等对平面模型对运移结果进行展示。三维地质建模模块主要包括对三维体的空间参数设置及一般地质属性的查询及对地质体的常见的空间分析等操作, 如爆炸分析、开挖分析、平面剖切等, 可以直观展示三维体的运行和故障情况, 为相应的业务决策提供参考意见。三维运移模拟主要对污染物的扩散进行模拟, 进行污染物属性查询等基本操作, 还可以在污染物标准过滤的基础上

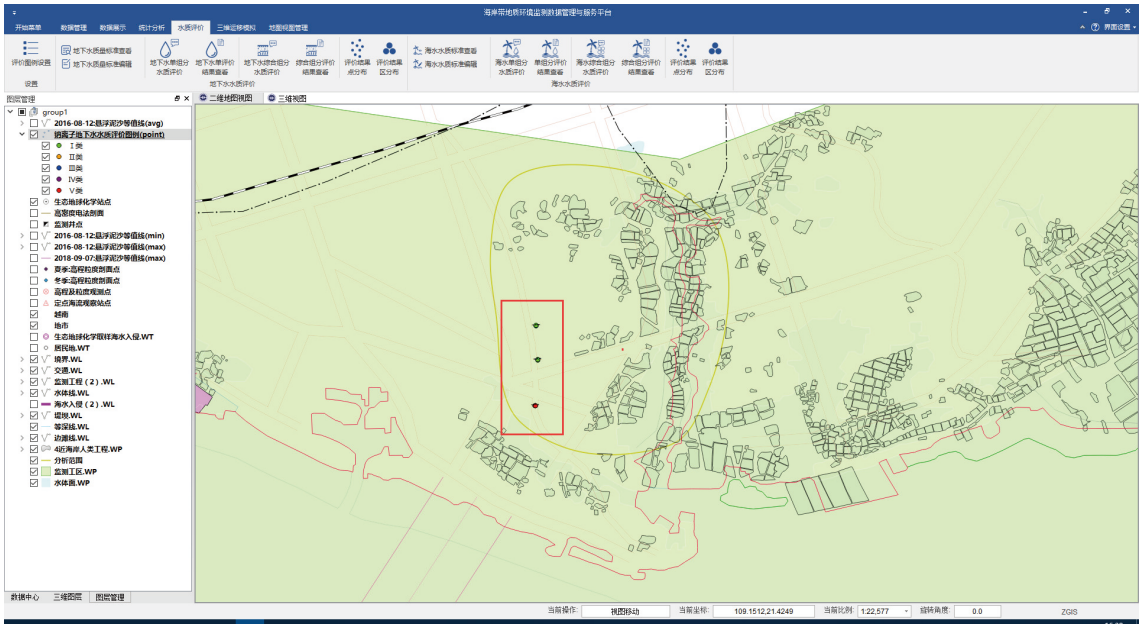

图 10 水质评价结果点分布

Fig.10 Point distribution of water quality evaluation

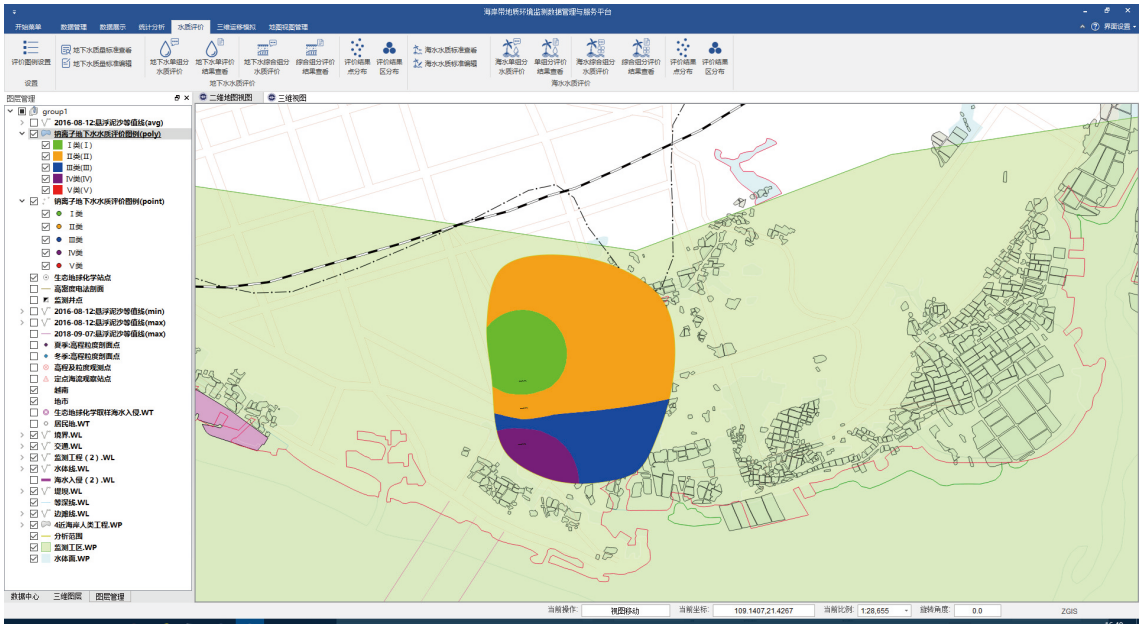

图 11 水质评价结果区分布

Fig.11 Regional distribution of water quality evaluation

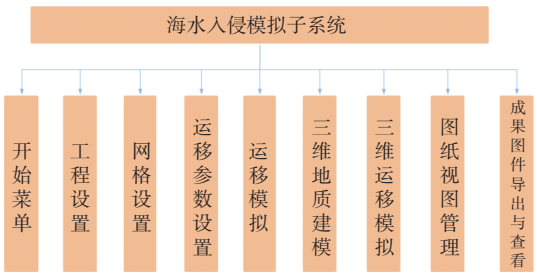

图 12 海水入侵模拟子系统功能结构

Fig.12 Function structure of the seawater intrusion simulation subsystem

对污染物的深度和广度进行计算。图纸视图管理包括对地图视图中的要素的放大缩小等基本操作、图形的复制粘贴和几何量算等功能以及地图的修饰和格式设置等。成果图件导出与查看主要包括对产生的不同格式的地图的导出和打印参数的设置。系统主界面如图 13 所示。

以三维运移模拟下的污染物模拟为例, 对系统运行结果进行展示。污染物模拟主要对污染物在时间、空间分布上的污染范围、运移情况进行模拟

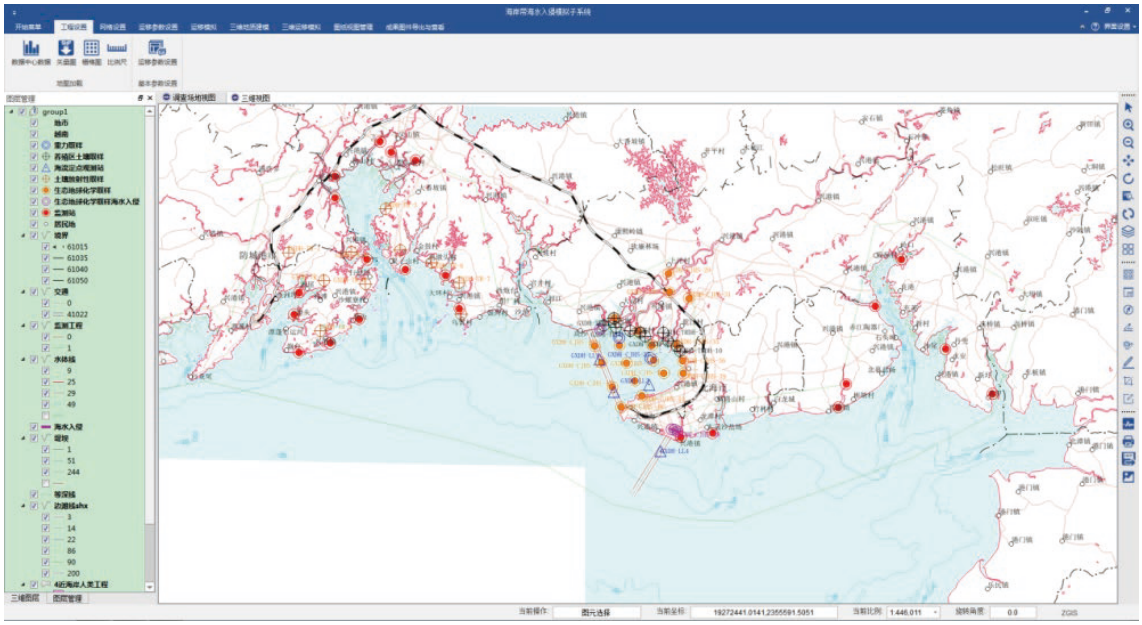

图 13　海水入侵模拟子系统主界面

Fig.13　Main interface of seawater intrusion simulation subsystem

及三维展示。首先需要对污染物进行建模, 点击【三维运移模拟】-【三维模拟】中的【污染物建模】, 在弹出的“请选择条目”对话框中, 选择污染物类别和步长, 设置好污染物种类及污染范围。然后在弹出的“选择插值类型”和“网络划分精度”对话框中, 选择插值类型和网格属性, 并设置好重分类信息, 系统自动根据污染浓度和类别进行分类。图 14 是以氯(cl)元素为污染物指标获得的氯污染物三维模型, 设置步长 1 000, 以最近邻法插值为插值类型, 网格精度为 x: 200, y: 200, z: 1。也可以对污染标准进行过滤, 模拟出高于筛选值的污染物范围, 如图 15。

4.3　在线监测子系统

在线监测子系统主体界面分为左侧菜单栏、右侧数据图层及中间的地图显示区。左侧菜单栏功能包括数据查询、在线监测、信息发布等(图 16)。

数据查询可以对监测井进行查询, 也可以对地

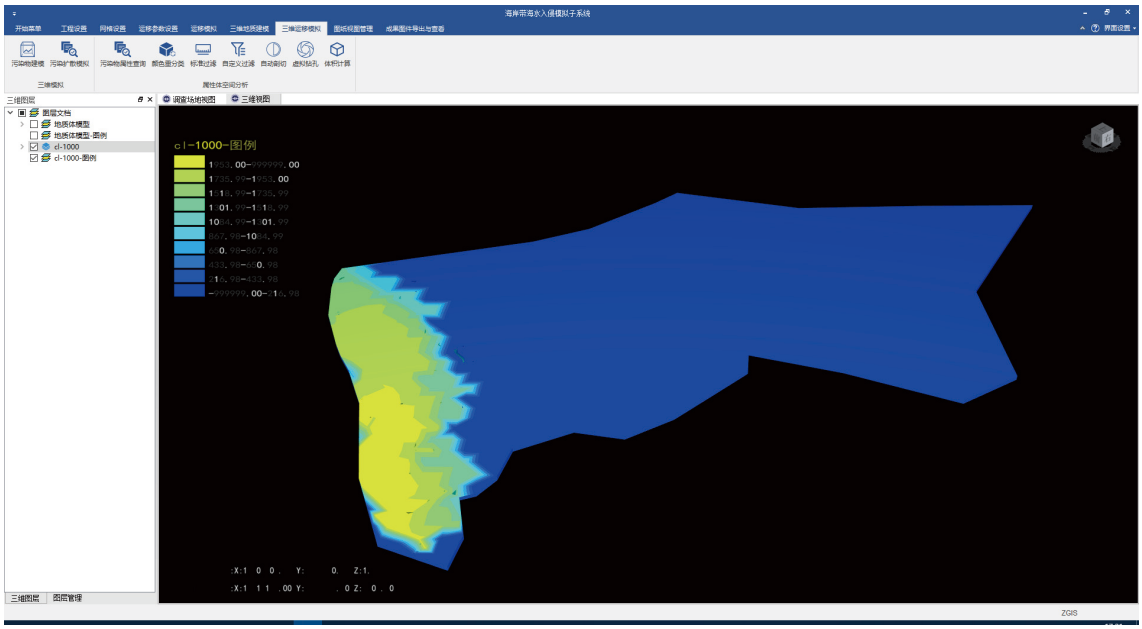

图 14　氯污染物三维模型

Fig.14　Three-dimensional model of chlorine pollutants

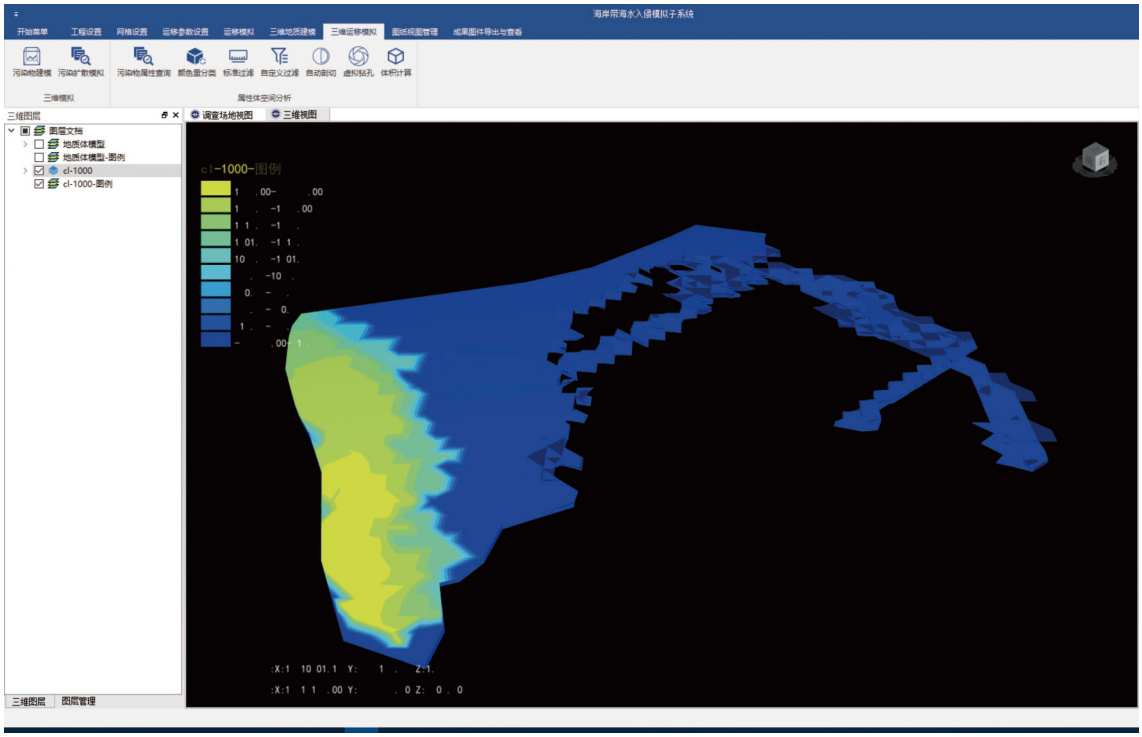

图 15 标准过滤后的氯污染物三维模型

Fig.15 Three-dimensional model of chlorine contaminants after standard filtration

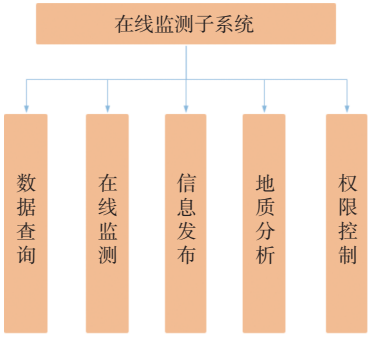

图 16 在线监测子系统功能结构

Fig.16 Function structure of the on-line monitoring subsystem

下水监测点进行查询，可以查询到相应的监测井的位置、属性及元素浓度信息。在线监测可以接入监测仪器采集和传输的实时数据，并可导出相应的数据。也可以对采集到的不同时刻的水体的水位、水温和电导率做统计分析，以折线图的形式进行展示，并对超过阈值的监测指标进行管理，实现监测点（在海水入侵状态下）自动预警功能，并在底图上以动态警告的形式展示，同时以邮件或新媒体通讯等技术将报警信息传递到相关人员处。信息发布可以对海岸线时空变化展示情况进行发布，以及对海水入侵情况和生态地球信息进行发布，以 wms 地图或 web service 的形式展示，服务于政府单位、社会公众、企事业单位、高校科研机构等。根据受众对象不同，可对发布的内容进行审核，保障数据准确和安全。地质分析是对三维地质体和海水入侵模型的建模，并可以进行场景设置、距离量算、剖切分析、开挖分析、爆炸分析等。权限控制是对系统管理的部门、用户和角色进行设置。通过部门->用户->角色的设置，为其赋予不同的权限，将系统所拥有的地理资源、海岸带数据及功能服务按不同用户、不同权限展示出来，用户可以在浏览器、移动终端访问该资源中心，获取最新的海岸带监控信息。系统主界面如图 17 所示。

以信息发布下的海岸线时空变化展示功能为例，对系统运行结果进行展示。海岸线时空变化展示是通过将不同时间段的海岸线范围的地图发布成服务，通过展示发布的服务，使用户直观的看到海岸线的时空变化情况。点击界面左侧菜单栏的【信息发布】-【海岸线时空变化展示】，弹出“海岸线时空变化展示”对话框，输入环境条件和展示方式，如“开采方式”和“曲线图”。系统动态展示海岸线的时空变化情况（图 18）。

5 结语

当前，中国海岸带面临的总体形势为经济快速发展、人口急速增加、大规模围填海与重大工程项

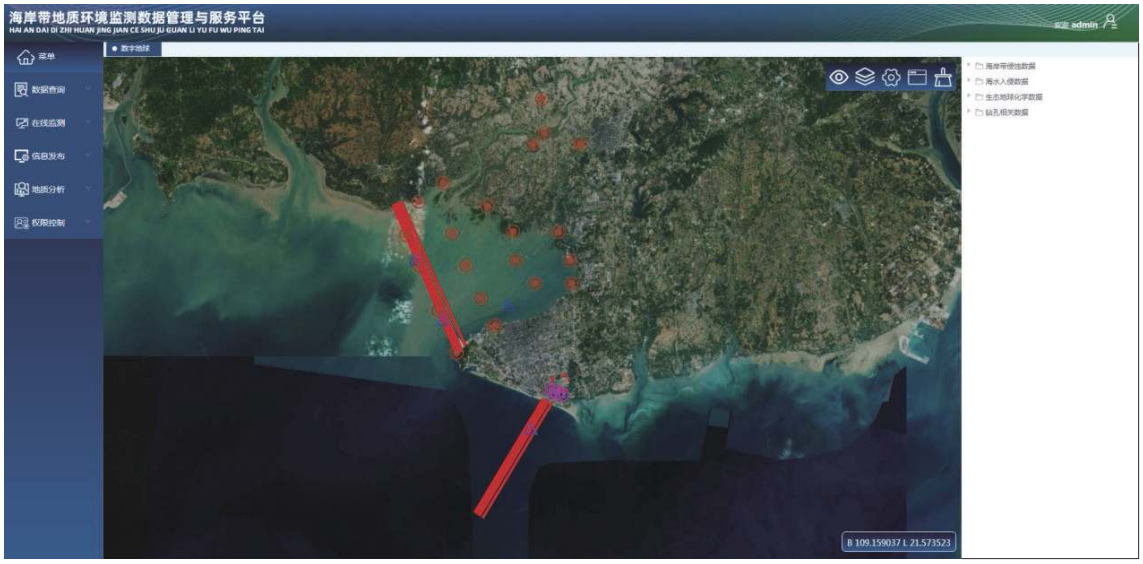

图 17　在线监测子系统主界面

Fig.17　Main interface of the on-line monitoring subsystem

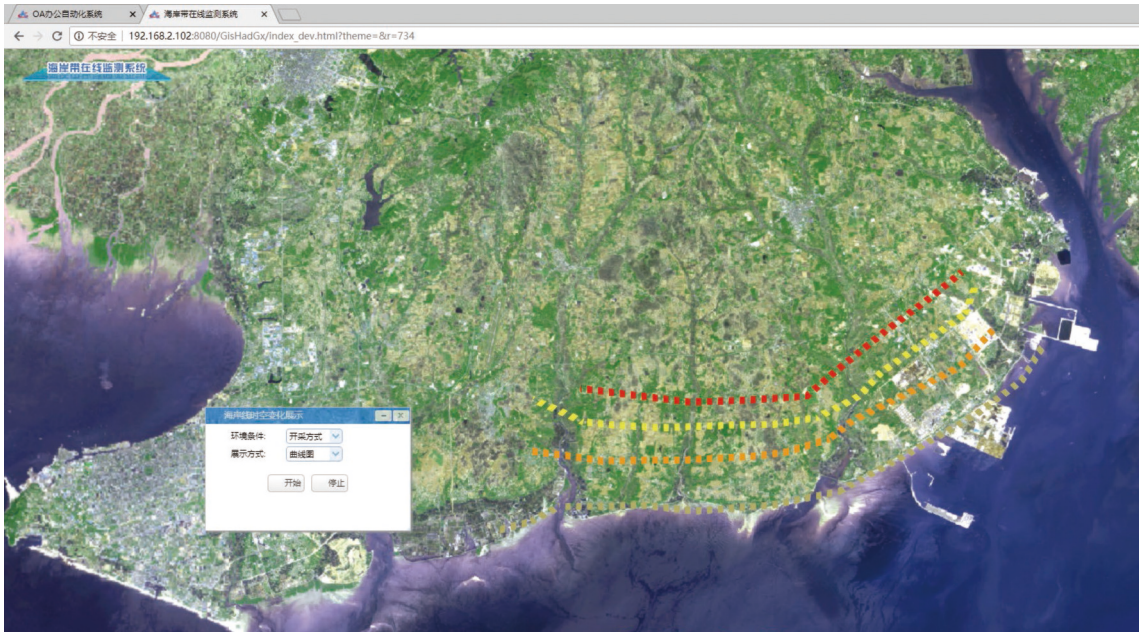

图 18　海岸线时空变化

Fig.18　Temporal and spatial changes coastline of Beihai City

目投入巨大, 经济可持续发展及环境保护面临巨大的挑战。将原始资料与成果资料进行系统整合及开发, 达到高度集成的信息化将助力地质环境监测工作。通过地理信息技术的理论和方法, 对广西北海市海岸带地质环境监测的数据进行统一管理和分析研究, 掌握地下水质量状况、海岸带泥沙堆积情况、海水微生物元素浓度, 以期为海岸带地质环境治理提供更加有效的手段。

(1)对广西北海市海岸带海水入侵、海岸带侵蚀、生态地球化学数据进行入库管理, 并对相关的数据进行评价分析、可视化展示和信息发布。

(2)针对现有的数据进行海水入侵动态模拟, 确定了海水咸化范围及海水入侵影响指标, 分析了监测井水位、水温和电导率的长周期变化趋势。

(3)通过海水取样分析, 对比了冬夏两季海岸带微量元素及一些污染物的含量及海水泥沙悬浮物、砂等粒度的分布情况, 模拟了海底泥沙运移等动态变化情况。

(4)本系统为海底、海面、海岸带数据的一体化管理与分析奠定了基础, 但监测站位相对较少, 基于此进行的模型计算精准度有限, 后续会增加监测站点的设置, 使得基于数据的分析和评价结果更精准。

参考文献:

[1] 张训华, 鲁静, 印萍, 等. 我国海岸带地质工作面临的形势与任务[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(1): 1-7, 41.

[2] 刘湘南, 黄方, 王平. GIS空间分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[3] CHEN G B.GIS method and its application for harmonious evaluation of urban construction land and geological environment[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2019, 12(20): 16-17.

[4] 崔振昂, 林进清. 我国海岸带地质环境监测技术及应用现状[J]. 海洋地质, 2012(4): 1-11.

[5] 张亮, 崔振昂, 滕德强. 广西北海海岸带典型监测剖面的蚀淤特征[J]. 河南科学, 2019, 37(11): 1833-1840.

[6] 李少伟, 缪雄谊, 丁喜桂, 等. 辽河三角洲海岸带环境地质与调查研究[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(9): 37-44.

[7] 李毅, 任建福. 基于地理国情普查的广西北部湾海岸带开发利用变化监测研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(9): 93-99.

[8] 许妍, 曹可, 李冕, 等. 海岸带生态风险评价研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 31(2): 137-146.

[9] BASTAMI K D. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 81(1): 262-267.

[10] 张晓祥, 王伟玮, 严长清, 等. 南宋以来江苏海岸带历史海岸线时空演变研究[J]. 地理科学, 2014, 34(3): 344-351.

[11] 李贞, 李珍, 张卫国, 等. 广西钦州湾海岸带孢粉组合和沉积环境演变[J]. 第四纪研究, 2010, 30(3): 598-608.

[12] 张震, 马安青, 李福建, 等. 基于ArcEngine的我国海岸带地质灾害信息管理系统的设计与研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(4): 533-537.

[13] 戴勤奋, 张兆代, 刘健, 等. 海岸带环境地质调查数据库数据模型[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(8): 35-41.

[14] 姚子恒, 高伟, 高珊, 等. 广西北海涠洲岛海岸侵蚀特征[J]. 海岸工程, 2013, 32(4): 31-40.

[15] 钟喆. 基于3S技术的广西海岸带生态风险评价研究[D]. 桂林: 广西师范学院, 2017.

[16] 何明. Oracle数据库管理从入门到精通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2018: 1-564.

[17] 马倩, 曹宝香, 马兆丰, 等. 基于构件的多源异构数据集成技术研究[J]. 山东科学, 2011, 24(5): 63-66.

[18] 简仲瑜. 基于云技术的数据中心技术研究分析[J]. 信息通信, 2014(6): 141-141.

[19] 孟庆余. 微内核技术[J]. 微型机与应用, 1998, 17(9): 9.

[20] 吴信才, 曹志月. 时态GIS的基本概念、功能及实现方法[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 27(3): 241-245.

GIS-based design and realization of management and service system for coastal zone geological environment monitoring data in Beihai, Guangxi

HUA Yaping[1,2], LI Rui[1,2*], LIU Cheng[1,2], YAN Jie[1,2], CHEN Hongwen[1,2]

（1 Key Laboratory of Marine Mineral Resoures, Ministry of Natural Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 511458, China; 2 National Engineering Research Center for Gas Hydrate Exploration and Development, Guangzhou 511458, China）

Abstract: Aiming at the geological environment problems encountered in the coastal zone of Beihai City, Guangxi in recent years, based on the advantages of GIS technology in spatial data management and analysis, an online management and service system of geological environment monitoring data in coastal zone was developed and designed. The online monitoring, integrated management, and dynamic simulation of erosion and deposition data, saline intrusion data, and ecological geochemical data in the coastal zone of Beihai City were realized. The system was applied in the city and has achieved good results. This system provided an effective decision support for the solution of geological environment problems in coastal zones of Beihai City, and offered a reference for other management systems of geological environment data in coastal zone.

Key words: Beihai City; coastal zone; GIS; geological environment monitoring; erosion and deposition; saline intrusion