

数字深海“一张图”综合可视分析系统构建与运行

杨锦坤, 韩春花, 田先德, 韦广昊, 郑兵

(国家海洋信息中心 中国大洋资料中心 天津 300171)

摘要:经过多年建设发展,中国大洋资料中心基于深海大洋综合数据库,实现了对大洋航次调查数据和相关研究成果资料的综合管理。面向高效、可视、在线的“一张图”综合分析应用需求,以国内外多来源深海大洋数据资源为基础,面向深海空间数据管理和应用需求,紧密衔接综合数据库,对现有深海大洋数据进行必要的空间化矢量化改造,利用 Java+SpringBoot、基于 WebGL 的 Cesium 等技术,开发了基于 GIS 的深海空间数据管理系统、综合展示与可视分析系统,研发了深海空间数据资源地图、深海态势分析、工作规划部署、资源潜力评估、装备效能分析和数据评估检验等专题应用分析功能,架构起数字深海“一张图”综合可视分析系统。该系统已部署在国家海洋通信专网并投入业务化试运行,为我国深海大洋矿产资源勘探、环境影响评价和相关科学研究活动提供数据和信息技术支撑。

关键词:一张图;数字深海;综合展示;可视分析

中图分类号:P7

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2024)01-0079-07

Construction and Operation of Digital Deep Sea ‘One Map’ Comprehensive Visual Analysis System

YANG Jinkun, HAN Chunhua, TIAN Xiande, WEI Guanghao, ZHENG Bing

(National Marine Data and Information Service, China Ocean Mineral Resources Data Center of COMRA, Tianjin 300171, China)

Abstract: After years of construction and development, China Ocean Mineral Resources Data Center of COMRA has realized the comprehensive management of ocean survey data and related research results data based on the deep-sea ocean integrated database. For the requirement of efficient, visual and online comprehensive analysis in one map, based on multi-source deep ocean data resources at home and abroad, facing the management and application needs of deep ocean spatial data, the comprehensive database is closely connected to carry out necessary spatial vectorization transformation of the existing deep ocean data. Java language, SpringBoot, Cesium, and other technologies are used. Deep ocean spatial data management system based on GIS is de-

收稿日期:2023-04-13;修订日期:2023-12-05

基金项目:科技部“十四五”重点研发项目(2021YFC3101600);国家海洋信息中心青年基金项目“基于机器学习的极地典型海域底质类型划分”(202101002)。

作者简介:杨锦坤,研究员,硕士,研究方向为深海数据管理政策及大数据研究

通信作者:韩春花,正高级工程师,硕士,研究方向为深海大数据管理与研究

veloped and integrated display and visual analysis system, developed based on one map of deep sea map, deep sea situational analysis spatial data resources, work planning and deployment, resource potential evaluation, equipment performance analysis and assessment project applications such as data analysis function, to construct digital deep-sea one map based on the analysis of visual system. The system has been deployed in the national marine communication network and put into operational trial operation, providing data and information technology support for China's deep-sea ocean mineral resources exploration, environmental impact assessment and related scientific research activities.

Keywords: One map, Digital deep sea, Comprehensive display, Visual analysis

1 建设背景

深海作为人类活动的新空间,已成为当前各海洋强国竞相拓展的战略新疆域^[1]。深海“三部曲”(深海进入、深海探测和深海开发)是海洋强国建设的重要组成部分^[2]。经过 40 余年的努力,我国在深海大洋事业取得了跨越式发展。1992 年,中国大洋矿产资源研究开发协会成立后,先后组织了 70 余个航次的深海资源、环境和生物多样性的调查,获取了大量的数据资料。这些数据的特点十分鲜明,数据总量大,当前已超百 TB;数据结构多样,结构化、半结构化、非结构化并存;数据类型多,基本涵盖海洋环境和海洋资源各个学科,数据要素种类超百种^[3]。

自 2011 年起,中国大洋矿产资源研究开发协会办公室建设运行中国大洋资料中心,组织开展深海大洋数据资源汇集管理和共享服务。大洋资料中心搭建并业务化运行深海大洋综合数据库,采用元数据导航、目录清单、事务型数据库等技术手段对深海大洋调查数据进行了科学有效管理。但是,随着大洋调查研究成果不断累积,尤其是经过“十二五”至“十三五”期间,中国大洋事务管理局组织实施了 200 余个研究课题,在航次调查工作基础上,又产生了大量研究成果图件和成果报告。这些资料既是重要的项目研究成果,也是我国后续在深海活动的重要参考依据。其特点是空间属性特征强,传统的事务型数据库管理难以进一步发挥这类数据的价值,迫切需要在现有综合数据库的基础上,统一开展数据空间矢量化改造,对所有空间数据进行集成管理。

因此,本系统的建设目标就是紧密衔接大洋综合数据库,面向深海空间数据应用需求,构建基于地理信息系统(GIS)的深海空间数据管理和展示系统,实现深海基础地理底图、权益界线、海上构筑物、深海重要区域空间位置、深海工作程度、海底地形地貌、海洋重磁、海洋地质、海洋生物生态、海洋化学、深海矿产资源、海底地理实体、典型深海视频摄像等深海空间数据成果的综合集成,实现深海空间数据多样化查询检索、综合展示和可视分析应用,建成可复制可移植的数字深海“一张图”综合可视分析系统。

2 系统架构

2.1 总体架构

系统主要使用 Java 语言,Java 语言作为 C++ 语言的拓展与延伸,可以撰写跨平台应用程序的面向对象的程序设计语言,具有卓越的通用性、高效性、平台移植性和安全性,在计算机系统中被广泛应用^[4]。基于 Java 的 J2EE 框架,可以快速构建出可靠性高,扩展性好的 B/S 系统。系统以 J2EE 为开发平台的主流信息系统架构体系,实现具备跨平台部署能力的开放式 5 层架构,即应用层、表现层、服务层、数据层和硬件层。

在应用层,通过 B/S 程序设计,实现不同分辨率硬件显示匹配,使得系统可以在不同分辨率载体上进行前端的自适应展示。在表现层,通过 VueJs 和 Cesium(AGI 公司计算机图形开发小组 2011 年研发的三维地球和地图三维可视化开源 JavaScript 库)进行基础地理信息框架构建,通过 CSS3 进行样式适配^[5]。在服务层,通过 Nginx(高性能的 HTTP

和反向代理 Web 服务器,同时提供 IMAP/POP3/SMTP 服务)实现软件负载均衡^[6],对统计分析数据资源通过 Restful 接口服务形式(基于 HTTP,可以使用 XML 格式定义或 JASON 格式定义)对上层提供数据应用服务^[7],对空间数据通过 Geoserver 实现空间数据集的管理和发布。在数据层,采用自主可控的开源技术方案,数据库选用 Postgresql,支持大部分的结构化查询语言(SQL)标准并且提供了很多其他现代特征,如复杂查询、外键、触发器、视

图、事务完整性、多版本并发控制等^[8];缓存选用 Redis(一个开源的使用 ANSIC 语言编写、支持网络、可基于内存也可持久化的日志型、Key-Value 数据库,提供多种语言的 API),搭载文件系统进行空间数据文件存储、基础数据信息存储及常用缓存数据缓存^[9]。在硬件层,构建基于操作系统之上的软件程序,软件程序在 Windows/Linux 上具备跨平台特性,从而实现对硬件资源的合理、高效管理和利用。系统总体技术架构图如图 1 所示。

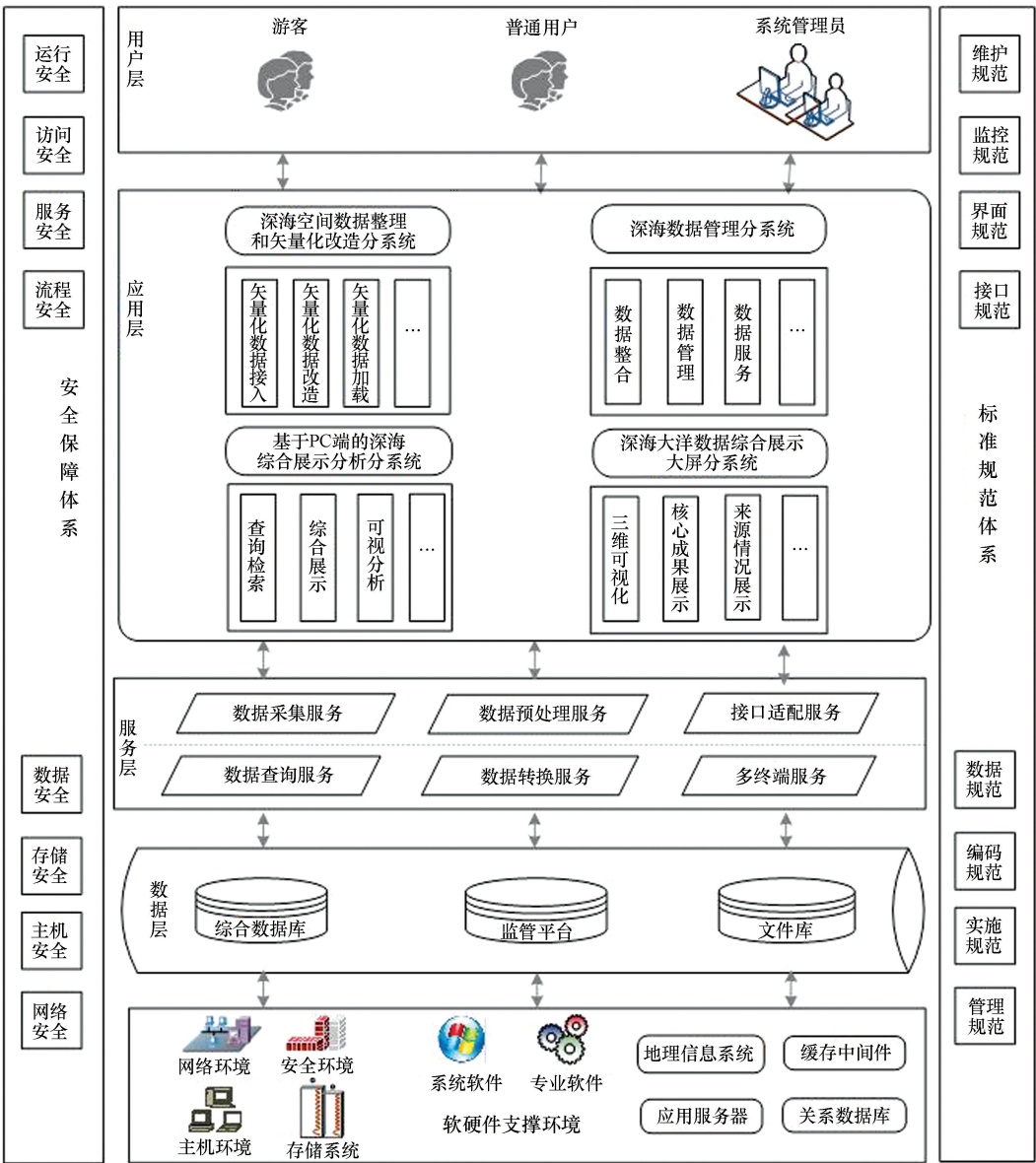


图 1 系统技术架构

Fig. 1 System technical architecture

2.2 功能架构

系统包括数据资源地图、深海态势分析、工作规划部署、资源潜力评估、数据评估检验、装备效能分析等功能模块。其中,数据资源地图功能模块的主要思路是实现包括基础地理底图、大洋科考调查原始数据、调查研究成果等在内的数据资源在“一张图”上综合集成展示与可视分析。其余 5 个模块均为专题应用功能模块,主要思路是基于数据资源“一张图”,提供定制化工具箱,以满足不同用户开展特定领域专题工作对数据和信息技术的需求。

数据资源地图功能模块。实现在“一张图”上对各类数据的空间查询、全量查询、多条件综合查询、数量统计和可视展示。数据的来源包括深海大洋综合数据库的结构化数据、国家海洋监管平台的接口服务数据,以及本地存储的多种格式的空间化矢量数据。

深海态势分析功能模块。面向管理者,提供深海地理空间格局(主要海洋国家、海上航运通道、海上贸易通道等)、深海地缘政治格局、深海矿产资源形势(多金属结核资源、富钴结壳资源、多金属硫化物资源、稀土资源、天然气水合物资源等)、海洋环境管理形势(环境保护区、生态保护区等)、深海感知现状(我国大洋科考情况、我国深海专项调查情况、全球深海钻探位置、全球浮标观测情况、海底热液探测位置、国际大洋中脊调查情况等),以及深海舆情专题报告,为全面掌握深海活动态势提供辅助决策信息。

工作规划部署模块。主要面向航次组织实施单位,实现全部调查数据在一张图上的综合展示,包括基础地理底图、矿产资源调查、地质地球物理、环境基线调查、海底视像调查等,提供调查船舶信息、装备信息、人员信息、单位信息、相关成果等,以此为基础,实现预定调查区新增测站、测线、航迹的位置设计、航时计算、作业有效率计算、成果图形导出等功能,为深海勘探工作部署提供数据和信息支撑。

资源潜力评估功能模块。将我国多金属结核、富钴结壳和多金属硫化物五块合同区以及全球海域资源评价和潜力评估相关数据与成果预置在系

统内,同时预置证据权、多源逻辑斯蒂回归、随机森林、神经网络、机器学习等多种评价算法,实现基于不同评价因子、不同算法的可视化快速资源评价,为深海矿产资源矿区区域放弃、开发利用等活动提供数据和技术支撑。

装备效能分析功能模块。深海调查采用了非常多的新型装备/设备。按照潜水器(“蛟龙”号、“深海勇士”号、“潜龙一”号、“潜龙二”号、“翼龙”号、“海马”号等)、滑翔机、有缆遥控水下机器人(ROV)、声学 and 光学拖体、地球物理调查设备(重力仪、磁力仪、超短基线、电法、海底地震仪等)、生物调查设备(浮游生物拖网、Lander 诱捕器、深海微生物原位富集装置等)、地质取样设备(抓斗、拖网、重力取样器、浅钻、中深钻等)、海底热液探测异常装备浊度仪(RBR)、化学传感器、甲烷异常传感器(METS)、便携自容式海水热液柱自动检测仪(MARP)等装备或设备类型,将各种装备或设备所获取的数据在一张图上进行展示,进一步实现装备效能情况的分析。

数据评估检验功能模块。多角度统计深海大洋数据量情况,包括特定时间段、空间范围内的数量、不同来源数量对比、海区数据占比、观测仪器数据量占比、学科数据量占比、测线长度等。多维度评估深海大洋数据质量情况,包括质量密度分析、气候态分析。综合评估深海大洋数据的接收与质量情况,检定各类数据误差和精度。综合展示各类数据的接收情况评价、质量评价、精度检验结果。

2.3 系统接口

系统接口包括外部数据接口和内部功能接口(图 2)。系统的外部接口包括国家海洋综合数据库、深海大洋空间矢量数据库、天地图和国家海洋综合监管平台等。通过国家海洋综合数据库系统,接入我国大洋科考调查与研究、国际合作与交换、涉深海专项等来源数据,服务方式为数据文件和事务型数据库。通过深海大洋空间矢量数据库,直接接入各类本地的空间矢量数据文件。通过天地图,接入统一标准的海洋基础地理底图,服务方式为数据服务接口。通过国家海洋综合监管平台,接入深海大洋区域范围内的油气平台、台风路径、管道电

缆、潮汐潮流等数据资源,数据多以处理后的空间矢量化图层为主,服务方式为数据接口服务。形成多源异构的深海数据资源体系。内部接口包括菜单展示接口、区域列表接口、文件类型接口、主题列

表接口、数据查询通用接口、文件服务接口、批量压缩下载接口、数据集服务接口、数据服务接口、算法服务接口和默认值接口等。

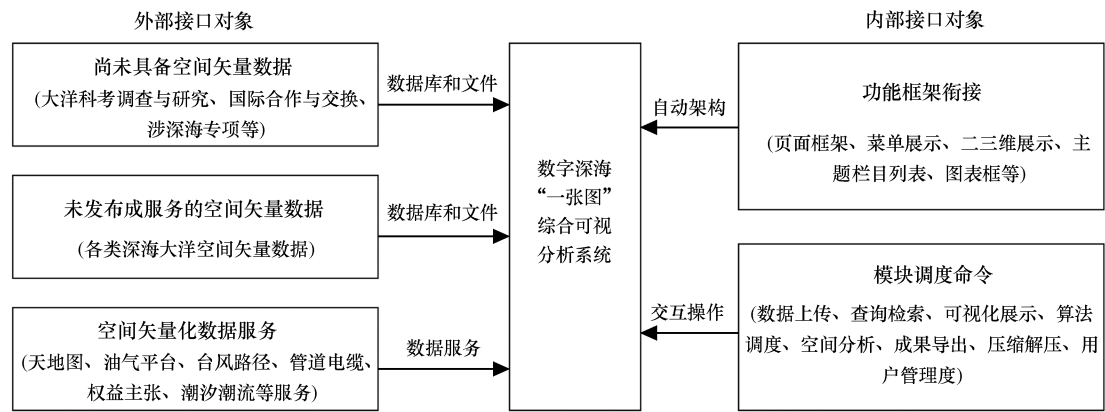


图 2 系统接口
Fig.2 System interface diagram

2.4 技术路径

数据空间化矢量化改造。主要基于 Java + Spring 框架及 python 等环境搭建。Spring 是空间数据整理和改造的主程序框架,负责读取配置好的待改造文件列表模板,并依据模板中的属性获取列表中的各类型源文件,获取文件后根据预先配置好的规则调用后台不同的 python 脚本,对输入的源文件进行格式转换,生成统一格式的矢量文件,在数据库中入库相应的关联记录及日志。

空间数据资源管理。前端采用 Vue 框架,适用于所有菜单页面,具有轻量高效、双向数据绑定、组件化开发、虚拟 DOM 的优点,也能够为复杂的单页应用提供驱动。后端采用 SpringBoot 框架, Spring-Boot 框架的開箱即用 (Outofbox) 功能使开发人员摆脱了复杂的配置工作以及依赖的管理工作,更加专注于业务逻辑。约定优于配置,虽降低了部分灵活性,增加了 BUG 定位的复杂性,但减少了开发人员需要做出决定的数量,同时减少了大量的 XML 配置,并且可以将代码编译、测试和打包等工作自动化。

空间数据综合展示。按照不同的数据种类进行划分,提供多种类组合的条件查询检索功能,并通过多种形式将这些数据资料进行综合展示与分

析。调用天地图的各类服务获取显示底图,并将采集、本地上传的原始数据、信息产品和成果资料按照设定的规则存储到数据库及文件库,后台根据文件特性分类处理,部分数据量较大的数据自动发布成 GEOServer 服务,系统调用各类 GEOServer 服务进行展示,数据量较小的数据则以文件流的形式直接被系统读取展示。

3 关键技术

- (1)大体量结构化数据处理技术。系统需要调用的国家海洋综合数据库表中数据量非常大,采用常规的查询方式,查询时间长。针对这种现象,系统通过异步处理等方式在后台定时对大数据量的业务数据依据需求合并统计开展预处理并生成格式化的结果,然后将统计结果存储到缓存中,以便在实时查询时能够快速返回查询结果。
- (2)矢量化数据处理技术。大体积的矢量化 .shp和.tif 等格式数据前端加载时通常会出现卡顿或崩溃的情景。针对大体积数据加载异常的情况,对数据进行了分类处理,并设定了处理规范。特别大的数据通过接口在 GEOSERVER 中用高效发布模式进行服务发布,数据会在服务端进行处理,减小了浏览器端加载的压力^[10];若可以抽稀的大体量

数据,按照一定的规则进行抽稀处理;展现形式包含 10 万级以上点的业务,对点数据进行预处理,通过格点密度形式展示。

(3)多源数据模板化批量转换技术。将多种待加载数据按照 EXCEL 模板格式进行填报,然后在服务端运行数据转换工具,后台系统会分别针对需要上传的文件进行内容校验、内容编码、坐标系校验等操作,针对、、、 等不同类型的数 据,统一转换为.shp 和.tif 格式的矢量化数据;针对.jpg 和.mp4 等非结构化数据,赋予矢量化属性。

(4)基于 WEBGL 的 Cesium。系统加载的海洋要素数据格式多样,数据量大处理困难。传统数据表达方式(文本、简单数据等)已经不能满足现阶段海洋要素数据表达的需求。为了更加丰富、完整和合理地表达海洋要素数据信息,基于 WebGL 技术的海洋要素可视化表达采用更多更实用的方式,如图像、视频等,从各个方向和多个角度全面显示海洋环境要素的地理空间信息特征。WebGL 技术很好地弥补客户端与服务端交互性不强的问题,基于 WebGL 技术的海洋数据可视化表达交互方式具有动态性,用户可以通过鼠标,键盘甚至手指动态地与地图进行交互,交互结果也会实时得到反馈,可用性和用户体验都能达到一个较高的提升。基于

WebGL 技术的海洋环境要素数据的可视化与传统可视化表达相比,最大区别在于具有更明显的空间特征,它可以突出海洋信息的空间特征,同时可将海洋环境要素信息的主体与地理空间特征更紧密结合^[11]。

4 系统部署运行

目前,数字深海“一张图”综合可视分析系统作为中国大洋资料中心业务运行重要的信息技术手段,已在海洋信息专网部署试运行,系统集成海洋基础地理底图、重要区域空间位置、海底地理实体命名、物理海洋、海洋气象、海洋生物生态、海洋化学、海洋地质、海洋地球物理、海底地形地貌、海底视频摄像、多金属结核资源、富钴结壳资源、多金属硫化物资源、稀土资源、报告文档、工作程度、信息产品等 18 大类数据集、131 类数据子集、3 926 个非结构化数据资源,接入国家海洋综合数据库 61.2 亿条数据、国家海洋综合监管平台 7 大类 100 余个数据资源。下一步,中国大洋资料中心还将进一步结合深海大洋活动的应用需求,持续汇集多源数据,不断完善应用系统功能,为我国深海大洋科考和相关科学研究活动提供海量的数据资源和有力的信息技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 刘峰,刘予,宋成兵,等.中国深海大洋事业跨越发展的三十年[J].中国有色金属学报,2021,31(10):2613—2623.
LIU Feng, LIU Yu, SONG Chengbing, et al. Thirty years of leapfrog development in China's deep-sea and ocean industry [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31 (10): 2613—2623.
- [2] 史先鹏,邬长斌.基于海洋命运共同体理念的深海战略新疆域建设[J].海洋开发与管理,2020,37(4):17—22.
SHI Xianpeng, WU Changbin. Deep sea strategic Xinjiang region construction based on the concept of a community with a shared future in the ocean [J]. Ocean Development and Management, 2020, 37 (4): 17—22.
- [3] 杨锦坤,韩春花,田先德.我国深海大洋数据资源管理实践与未来发展探索[J].海洋信息,2018,33(4):10—14.
YANG Jinkun, HAN Chunhua, TIAN Xiande. Practice and future development exploration of deep sea ocean data resource management in China [J]. Marine Information, 2018, 33 (4): 10—14.
- [4] 袁蕾.Java 语言在计算机软件开发的应用[J].网络安全技术与应用,2020(4):79—80.
YUAN Lei. Application of Java language in computer software development [J]. Network Security Technology and Applications, 2020 (4): 79—80.
- [5] 时明.Web 主流前端开发框架研究[J].信息记录材料,2020,21(5):215—216.
SHI Ming. Research on web mainstream front-end development development framework [J]. Information Record Materials, 2020, 21 (5): 215—216.
- [6] 刘佳祎,崔建明,智春.基于 Nginx 服务器的动态负载均衡策略[J].桂林理工大学学报,2020,40(2):403—408.

- LIU Jiayi, CUI Jianming, ZHI Chun. A dynamic load balancing strategy based on nginx server [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2020, 40 (2): 403—408.
- [7] 郭昌松,常奋华,程丽平.气象服务 API 的设计与实现[J].福建电脑,2020,36(7):116—117.
- GUO Changsong, CHANG Fenhua, CHENG Liping. Design and implementation of meteorological service API [J]. Journal of Fujian Computer, 2020, 36 (7): 116—117.
- [8] 蔡佳作,欧尔格力.基于 PostgreSQL 的地理空间数据存储管理方法研究[J].青海师范大学学报:自然科学版,2016(2):21—23.
- CAI Jiazuo, Ou'er GeLi. Research on the storage and management method of geospatial data based on PostgreSQL [J]. Journal of Qinghai Normal University: Natural Science Edition, 2016 (2): 21—23.
- [9] 赵学作.Redis 数据库的安装与配置[J].网络安全和信息化,2020(3):108—110.
- ZHAO Xuezu. Installation and configuration of Redis database [J]. Network Security and Information Technology, 2020 (3): 108—110.
- [10] 戴瑶,段增强,艾东.基于 GeoServer 的国土空间规划野外调查辅助平台搭建与应用[J].测绘通报,2021(1):121—123.
- DAI Yao, DUAN Zengqiang, AI Dong. Construction and application of GeoServer based field survey assistance platform for land spatial planning [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021 (1): 121—123.
- [11] 乐世华,张煦,张尚弘,等.基于 Cesium 的 WebGIS 流域虚拟场景搭建[J].水利水电技术,2018,49(5):90—96.
- YUE Shihua, ZHANG Xu, ZHANG Shanghong, et al. WebGIS watershed virtual scene construction based on Cesium [J]. Water Resources and Hydropower Technology, 2018, 49 (5): 90—96.