



海洋地质信息化建设研究进展与展望

苏国辉, 魏合龙, 孙记红, 王 诏, 林文荣, 刘京鹏, 李 刚, 严 杰

Research progress and prospect of marine geological informatization construction

SU Guohui, WEI Helong, SUN Jihong, WANG Zhao, LIN Wenrong, LIU Jingpeng, LI Gang, and YAN Jie

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2023111301>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

科学计量：中国海洋地质40年发展历程与研究热点分析

Forty years development of marine geology in China: Evidence from scientometrics

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 1-14

海洋沉积物中金属依赖型甲烷厌氧氧化作用研究进展及展望

Research progress and prospects of metal-dependent anaerobic methane oxidation in marine sediments

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 58-66

中国东部陆架第四纪沉积环境演化研究进展与展望

Progress and prospects of research on the Quaternary sedimentary environment in the eastern shelf of China

海洋地质与第四纪地质. 2022, 42(5): 42-57

黄河流域全新世古洪水研究进展及展望

Research progress of the Holocene paleoflood in the Yellow River basin and a future prospect

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(6): 178-188

现代海洋甲烷循环过程观测及研究进展

Observation and research progress of modern oceanic methane cycle

海洋地质与第四纪地质. 2022, 42(6): 67-81

深海黏土定年研究进展

Research progress and prospects on the dating of pelagic clay

海洋地质与第四纪地质. 2024, 44(2): 183-198



关注微信公众号，获得更多资讯信息

苏国辉, 魏合龙, 孙记红, 等. 海洋地质信息化建设研究进展与展望[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(3): 71-81.

SU Guohui, WEI Helong, SUN Jihong, et al. Research progress and prospect of marine geological informatization construction[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(3): 71-81.

海洋地质信息化建设研究进展与展望

苏国辉^{1,2,3}, 魏合龙^{1,2}, 孙记红^{1,2}, 王诏^{1,2}, 林文荣^{1,2}, 刘京鹏^{1,2}, 李刚⁴, 严杰⁴

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237
2. 自然资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266237
3. 中国地质大学(武汉)国家地理信息系统工程技术研究中心, 武汉 430074
4. 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 440100

摘要: 回顾了海洋地质信息化建设历程, 介绍了海洋地质信息化的顶层设计框架, 归纳总结了 20 年来海洋地质信息化建设在海洋地质信息技术标准、网络体系、数据资源建设、数据共享与信息服务、海洋地质调查全流程信息化等方面取得的成果, 认为海洋地质信息化成果丰硕, 为海洋地质工作的现代化打下了坚实基础, 发挥了较好的支撑作用。分析了当前海洋地质信息化存在的人员融合力度不足、感知设备不足、对成果的快速产出支撑力度不足、大数据分析和人工智能技术应用不足等问题, 提出了海洋地质信息化工作今后应加强观念转变、落实行动促进人员深度融合、加强感知-计算-分析能力、拓展全流程软件生态、推进大数据分析、进一步加强人工智能在海洋地质调查研究的应用等。

关键词: 海洋地质信息化; 发展历程; 发展方向; 大数据

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2023111301

Research progress and prospect of marine geological informatization construction

SU Guohui^{1,2,3}, WEI Helong^{1,2}, SUN Jihong^{1,2}, WANG Zhao^{1,2}, LIN Wenrong^{1,2}, LIU Jingpeng^{1,2}, LI Gang⁴, YAN Jie⁴

1. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China
2. The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Qingdao 266071, China
3. China National Engineering Research Center for Geographic Information System, Wuhan 430074, China
4. Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 440100, China

Abstract: In this paper, we reviewed the process of marine geological informatization construction, introduced the top-level design framework for marine geological informatization, summarized the achievements of marine geological informatization construction in the past 20 years in terms of the technology standards, network systems, data resource construction, data sharing and information services, and the full process informatization of marine geological survey. It is believed that the achievements of marine geological informatization are abundant, which has laid a solid foundation for the modernization of marine geological work, played a good supporting role in transformation. In addition, we analyzed the problems of insufficient personnel integration, insufficient perception equipment, insufficient support for rapid output of results, and insufficient application of big data analysis technology and artificial intelligence technology in current marine geological informatization. At last, we proposed that in the future, marine geological informatization work shall strengthen concept transformation, implement actions to promote deep personnel integration, strengthen perception computing and analysis capabilities, expand the entire process system, promote big data analysis, and further strengthen the application of artificial intelligence in marine geological surveys.

Key words: marine geological informatization; development history; development direction; big data

海洋地质工作是海洋经济发展、海洋生态保护和海洋安全保障的基础性、公益性和先行性工作, 事关国家能源资源安全、生态文明建设和国家领土

安全。在世界海洋地质调查的“发展期”^[1], 计算机的使用使信息技术进入海洋地质工作领域, 在“成熟期”, 计算机的发展提升了海洋地质调查的效率

资助项目: 崂山实验室科技创新项目“基于数字孪生的全球深时地貌重塑与资源环境预测(LSKJ202204400); 国家重点研发计划重点专项课题“典型海区多场景海洋大数据综合服务与示范应用”(2021YFF0704000-5); 中国地质调查局地质调查二级项目(DD20221711, DD20221714)

作者简介: 苏国辉(1977—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要从事海洋地质信息化、数据库、地理信息系统研究, E-mail: sguohui@mail.cgs.gov.cn

收稿日期: 2023-11-13; **改回日期:** 2024-02-05. 文凤英编辑

和精度。近年来,随着物联网、云计算、大数据等新一代信息技术的快速发展,海洋地质信息化已成为海洋地质工作的重要组成部分,是海洋地质工作现代化的重要标志和谋求发展的重要抓手,它的发展状况直接影响着海洋地质工作的效率和质量。海洋地质信息化是以信息为核心,建立以海洋地质信息应用为驱动的海洋地质信息流通体系和更新体系,形成由海洋地质信息标准、数据传输与服务网络、数据资源、信息服务平台与应用软件、信息管理机制等构成的体系,实现海洋地质信息资源的科学化管理和多层次应用。本文将归纳总结我国海洋地质信息化建设的发展历程,总结以中国地质调查局青岛海洋地质研究所、广州海洋地质调查局为代表取得的海洋地质信息化进展与成果,提出海洋地质信息化建设的发展方向和趋势,以期更好地促进海洋地质工作现代化发展,切实发挥信息化在海洋地质调查研究中的支撑、改造、引领作用,为海洋地质工作高质量发展做出更大贡献。

1 国外海洋地质信息化发展及现状

欧、美等西方发达国家均高度重视海洋信息化工作,在各类海洋信息的获取、传输、处理与应用等方面投入大量资源开展长期建设,促进本国海洋信息化水平不断提升^[2]。近年来,更是积极拥抱大数据浪潮,通过多个开放数据计划的实施和平台的推出,推进海洋地质数据在内的海量海洋、地质数据资源的共享与服务,信息服务内容正朝着科普化、社会化、多元化的方向发展。

美国在1961年就建立了国家海洋数据中心,逐步积累海洋相关信息^[3],其中包括大量海洋地质数据。自1994年起,美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)领导并实施了国家海岸带和海洋地质计划(USGS Coastal and Marine Geology Program, CMGP)^[4],进行从海岸线和河口至大陆架和深海的海洋资源研究,并通过互联网网站向资源管理者和决策者提供所需的地图、工具、产品、数据和其他信息,如CMGP的Global Map Search服务提供了海岸和海洋地质调查项目获取的所有已公布的地震(含单道和多道)、水深测量、侧扫声呐和激光雷达数据。此后,于2007年美国进一步启动综合海洋观测系统计划(Integrated Ocean Observing System, IOOS)^[5],在美国各地已经建立的成百个近海观测系统基础上,建设相互协调的全国主干系统和地区子系统,进行联合观测、数据统一管理。在

近50年的数据规模性积累后,美国为进一步加强数据价值的挖掘,于2013年启动海洋数据获取与信息提供能力增强计划,由此美国形成了一套覆盖全球的海洋观测、数据采集、数据处理与信息集成管理的体系。近年来,美国基于数据开放战略,向全国乃至全世界的用户提供海量的多门类调查监测数据,其中可提供海洋地质数据共享及信息服务的有美国国家地球物理数据中心(NGDC)、美国地质调查局(USGS)、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)等。USGS启动的大数据相关项目,重视数据工程应用而不是数据科学方法的研究,主要重视大数据分析算法和系统效率的提高,将它们的进展以地图、软件、新闻、图像、视频、多媒体等多样化产品形式提供在线公开检索,用户可通过基于文本、关键字、任务区域、数据源和科学家的搜索以及基于GIS的搜索机制发现公共数据集。

英国地质调查局(British Geological Survey, BGS)自20世纪90年代以来,已将其近200年来积累的海量地质数据进行了全方位的数字化,包括地质文本、图件、实体标本、实验测试和地质调查数据等,并通过其拥有的国家地球科学数据中心(National Geoscience Data Centre, NGDC)进行电子数据资源的收集和保存,并于2009年12月通过其数据共享与信息服务网站“开放地学”^[6](OpenGeoscience)提供免费检索、浏览和下载。“开放地学”提供了基于地图的数据集检索工具GeoIndex,它以地图作为检索基底,用户可自行在上添加“开放地学”上的各类数据集,其中海洋地质方面可引用数十个数据集,包括钻孔、地震、滑坡、化石、水文地质、海底样品、地球化学和地球物理等,数据每月都在更新。“开放地学”在线数据库中还包括海洋钻孔数据库(UKCS offshore hydrocarbon well collection),已拥有8000多口海洋油气井记录,13万张高分辨率岩芯照片。BGS还建立了全国性的三维地质模型LithoFrame,创建了一系列不同分辨率的模型以回答特定地质问题和地下结构问题。

加拿大地质调查局(Geological Survey of Canada, GSC)于1971年就开始了微型计算机的使用,随后广泛分布并与更强大的计算平台连接,为政府推进预测模型和系统模型提供服务。GSC的海洋地质信息系统是一个集中管理海洋地质数据的平台,它包括了加拿大东部和西部的各种海洋地质数据,如海底地形、沉积物、岩石、化石、海洋生物等。2017年后,GSC把大数据储存、分配和分析作为重点领域,在加拿大政府“开放数据”项目下提供的主

要数据产品类型有地图数据(栅格、矢量)、公开研究报告、出版物、数字产品、影像数据、科学调查报告、数据应用程序等。同时,还集中力量开发了适宜的决策支持工具和解决方案:一是能够保存、服务和保护“大数据”的数据服务器;二是生成大量各类小型数据集,用于特定的假说驱动型相关分析;三是利用 2D 或 3D 信息层组合,或者使用统计或其他方法进行计算^[7],通过研发各种可利用人工智能分析方式以及 3D 表征技术,将这些数据展示给更多用户。

澳大利亚可以提供海洋地质数据的机构有澳大利亚海洋科学研究所(Australian Institute of Marine Science, AIMS)和澳大利亚地球科学局(Geoscience Australia, GA)。AIMS 在 1996 年就建立了 MIS 管理信息系统,以代替已有的硬件,将纸本形式的管理转换成计算机、电子形式的系统。近年来,AIMS 聚焦大西洋、印度洋、地中海等海域开展研究,在其门户网站提供了科研数据、媒体和出版物查询阅览服务,其中科学数据方面重点提供了全球珊瑚专题数据、海水温度数据、监测调查数据、珊瑚白化、实时监测等内容服务,并以交互式网络地图为主进行展示。GA 是 2001 年由澳大利亚地质调查局、澳大利亚地质测绘和国土信息局合并成立的,近年来,GA 在大数据管理方面出台了一些国家层面的政策,如数据战略计划、2020 数字连续性政策等,在海洋与海岸专题下提供有关澳大利亚海岸和河口、海底测绘、水深测量、海床制图和南极洲等信息。GA 还结合高新技术研发便捷、实用的服务产品,包括多种网络查询系统、在线工具产品,产品操作简单且实用性强,如海洋空间信息系统、数据与出版物查询系统等具体应用,使用户可以快速查询到所需信息,直接获取运算或处理后的数据与图像,并提供交互式 3D 模型,帮助科学家和管理者更好地理解 and 诠释地质地貌等数据,帮助更广泛的公众和科学家沟通复杂的地理关系^[8]。

2 我国海洋地质信息化发展现状

2.1 海洋地质信息化建设主要历程

我国海洋地质工作从 20 世纪 60 年代起开始使用计算机,进入 80 年代后开始应用微型电子计算机对重磁资料进行正反演计算,随着 90 年代以来开展的“863”专项、国土资源大调查和国家“十一五”相关专项等一系列区域海洋地质地球物理调查

工作的大规模开展,海洋地质信息化工作进入了系统性建设阶段,其中中国地质调查局青岛海洋地质研究所(以下简称青岛所)、中国地质调查局广州海洋地质调查局(以下简称广海局),作为国家基础性、公益性地质调查和战略性矿产勘查工作的实施者,在系统性开展海洋地质调查研究的同时,积极推进海洋地质信息化工作,是我国海洋地质信息化建设的主要力量,本文以青岛所、广海局为例,展示最近 20 年我国海洋地质信息化的发展。

2002 年青岛所承担“区域海洋地质数据库建设”项目,开启了系统性开展海洋地质信息化工作的建设历程,并通过后期多个专项工作项目的实施,持续推进信息化工作,主要可划分为以下几个阶段:(1)整体筹划及基础建设阶段(2002—2005 年),完成总体建设规划,确立各阶段目标任务和建设思路;采购软硬件平台,搭建网络运行环境;开展数据分析,初步建立数据结构;组织人才队伍,学习技术方法等^[9]。(2)数据库及其标准建设阶段(2006—2015 年),以实测数据积累为主,建设思路是“统一标准、夯实基础”,目标任务是“充分利用 GIS 技术、数据库技术和 Web 技术,以标准和制度建设为基础,以建立专业、权威、统一的海洋地质数据库为目标”。主要开展数据积累、数据库技术标准研制、专题库建设三方面任务,为海洋地质信息服务打下坚实基础。(3)信息共享与服务阶段(2016—2021 年),以信息服务为主,建设思路是“开发产品、推进服务”,目标任务是“面向政府决策、地质调查发展、企业服务和社会公众需求,以盘活、活用数据资源为原则,以建立充分共享、有效服务的多层次产品服务体系为目标”。主要开展数据资源建设、共享技术标准研制、多领域信息产品和专题应用开发等工作,发挥信息化对海洋地质调查工作的支撑作用。前面三个阶段的工作部署和实施,是以信息技术人员为主来推动,基本完成了海洋地质信息化自身工作。(4)推进调查业务信息化阶段(2022—2030 年计划),当前正处于此阶段,以新技术应用促进调查主体业务为主,建设思路是“需求与技术双驱动、调查与研究双推进”,目标任务是“利用大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术促进海洋地质调查拓展领域并与其他学科相互交融,以实现升级发展海洋地质调查体系和研究范式,同时基于大数据形成精准服务的产品体系”。正在开展多圈层大数据资源池建设、数据挖掘与分析、加强新技术在地质调查全过程中的应用等工作,发挥信息化对海洋地质调查工作的改造、引领作用。

2.2 海洋地质信息化建设顶层设计框架

为实现各阶段目标,规范、有序开展实施信息化建设过程,海洋地质信息化从建设初期就重视总体谋划设计,并逐步确立了“1234”总体框架(图1):一套技术标准体系,包括用于规范化开展数据资源建设的调查数据内容与结构标准、成果图件标准、元数据标准、质量控制标准,用于促进共享的数据资源分类及接口服务标准等。两个专业数据中心节点,包括地处北方的青岛所节点和地处南方的广海局节点,每个节点内均形成全密级数据资源池和承载其运行的全密级网络。3个层级服务格局,面向政府决策及管理、地质调查、社会需求3个层级领域,建设多样化信息服务,形成覆盖管理信息化、调查信息化和服务信息化的服务格局。实现4个方面的“四化”任务:海洋地质信息的网络化,建设海洋地质数据采集与传输网络、存储管理和分发网络;海洋地质信息和业务的数字化,将历史与当前的、不同信息源的、不同载体的各类海洋地质信息进行处理,形成以海洋基础地质、地球物理、地球化学、地质环境、海洋资源等为主题的、统一的、标准的数据资源体系,同时将现代信息技术充分应用到地质调查和研究过程,实现海洋地质业务的数字化;决策支持类信息系统的业务化,开发和整合支撑海洋地质调查与研究、海洋资源管理与开发、海

洋生态环境保护、海洋权益划分和海洋安全决策的信息系统和产品,实现业务化运行;基础信息服务的社会化,研制面向社会、市场的基础性、公益性信息产品,实现社会共享。

“1234”框架包括了“技术标准、节点网络体系、节点数据资源池、服务体系、建设目标成效”的完整架构,以统一的制度标准为依据,以安全可靠的节点为保障,以持续丰富数据资源为核心,以多样化服务系统和产品为抓手,在实现“四化”任务同时发挥信息化对海洋地质从调查到服务全过程的“支撑、改造、引领”作用:①在调查前,通过提供研究区域的已有材料支撑工作部署,如以往调查工作程度、相关地质资料、相关研究成果、其他圈层的地球系统科学资料等,使区域定位和工作部署更科学、更高效。②在调查过程中,通过提供新软件系统和新硬件设备再造流程体系,如部分工作手段数据自动化采集和远程回传,采集同时进行质量控制和自动检查,归档同时自动完成入库等,实现调查时的高质量、高效率的数据采集、质控、入库等。③在研究过程中,通过提高可视化和准确度来辅助综合分析,使得研究成果表达更直观、空间分析评价更精准、综合分析验证更科学。④在创新过程中,引领发现数据潜在价值,促进第四科学范式,如通过大数据和深度学习发现问题和相关性,以及通过数据整合和再加工形成更大空间范围、更长时间

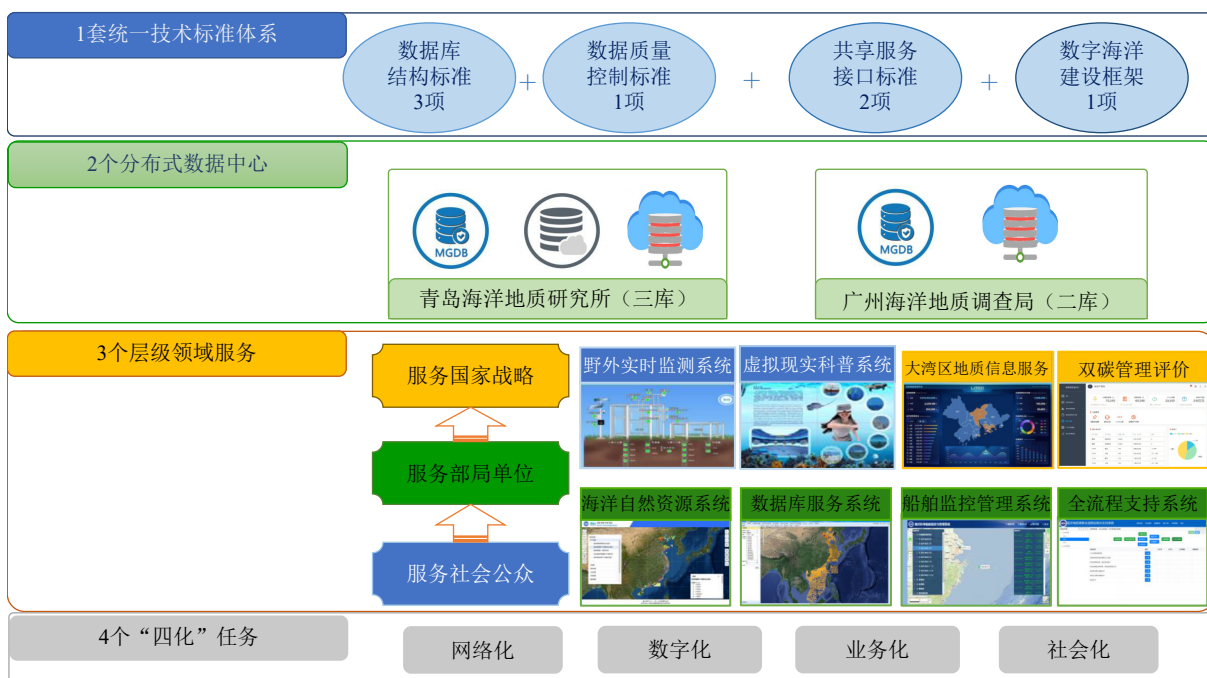


图1 海洋地质信息化设计框架

Fig.1 The top-level design framework of marine geological informatization

序列和多尺度的产品等。在以上作用实现过程中,还可实现海洋地质信息化自身能力的提高:对基础设施的安全稳定运行能力、对信息资源的掌控能力、对数据价值的深入挖掘能力、对产品的研发和可视化能力,对新技术的应用能力等。

2.3 海洋地质信息化建设的主要成果

近20年来,海洋地质信息化取得了丰硕成果,建立了青岛所、广海局两个专业数据中心节点,形成了信息化技术标准成果和遵照标准的海洋地质信息技术体系的各个层次成果:用于支撑数据实时回传和安全运行管理的网络设施层,整合多源数据并按标准形成的国家级数据资源,满足多领域用户需求的立体化信息服务体系,用于支撑海洋地质数据从采集到服务的全流程信息化系统,以及近两年为支撑海洋地质多维成果快速产出的探索等。

2.3.1 标准建设成果——统一的技术标准体系

信息化标准的建设是海洋地质信息化的重要支撑基石。建立统一的信息化技术标准,尤其是数据库标准,是实现规范数据资源、统一数据接口、信息共享的最根本要求。为此,在海洋地质信息化建设过程中非常重视标准建设,目前已建立6项标准,形成覆盖数据组织、存储、质控、共享的一套统一的技术标准体系,填补了多项海洋地质信息技术标准空白,为海洋地质数据资源建设和信息共享服务奠定了坚实基础。

在数据库建设阶段,为统一数据建库和质量控制,制定了4项标准:(1)《海洋地质数据库内容与结构》是中国地质调查局标准,标准明确了数据库命名、编码和编号、数据库内容、数据库结构等,规范了现有海洋地质调查各种工作手段获取的数据的结构,适用于海洋地质工作中的海洋区域地质、海岸带环境地质、海洋地球物理、海洋地球化学调查和研究的全过程资料整理、数据整编和数据库建设。(2)《海洋区域地质图数据库建设规范》是中国地质调查局标准,标准确立了数据库数据制图的方法途径、要素类划分、地图图层组织、采集与表达等,适用于1:50000及小于1:50000比例尺的海洋区域地质图数据库建设。(3)《海洋地质调查与研究元数据内容》标准规定了海洋地质调查与研究元数据的内容及XML元数据描述框架,适用于元数据的规范化描述、格式化存储、信息发布、信息交换及元数据库建设。(4)《海洋区域地质调查数据库数据处理与质量控制规程》确立了数据采集、处理与质量控制方法等,适用于海洋区域地质调查

数据的数字化采集、处理、数据生产过程质量检查、数据产品评价与验收等不同阶段。

在信息服务建设阶段,为推进信息共享,制定了2项技术标准:(1)《海洋地质信息资源分类规范》主要明确海洋地质信息资源的分类原则、分类方式、分类编码、资源类型、类型扩展和标签等,用于海洋地质信息资源识别、组织和标识。(2)《海洋地质信息资源服务接口规范》规定了海洋地质信息资源REST风格Web服务接口的设计原则、内容及要求等,可适用于任何规模与部署方式的海洋地质信息资源共享与互操作平台建设、服务和管理。

2.3.2 网络建设成果——覆盖互联网-业务网-内网-涉密网的全密级网络

安全稳定的网络体系是海洋地质信息化的重要支撑。目前在青岛所、广海局节点都形成了覆盖互联网-业务网-内网-涉密网的全密级网络体系,为不同级别数据的高效流通和安全稳定服务提供了基础运行环境 and 安全保障。其中公开网络可同时提供Web服务、应用服务、DNS服务、文件交换等不同形式服务,网络安全防护达到了等保三级要求,可全力支撑公开数据的互联网服务,通过积极利用“云计算”、“虚拟化”等新兴技术,实现了有效整合各种IT公用基础设施和相关服务资源、动态调度与管理计算资源,减少了IT管理与运行成本。其中涉密网络内已经部署了分布式大数据管理平台,支持大数据管理和存储。

此外,青岛所聚焦海岸带地下水和滨海湿地监测业务,在山东、江苏、辽宁等地区搭建了野外监测传输服务网络(图2),实现了海岸带地下水监测数据、滨海湿地多要素监测数据的实时传输、汇聚入库、分析统计和在线服务。该网络体系架构是:不同业务类型野外采集点(岸滩监测、地下水监测、湿地监测等)通过移动网络或卫星将数据传回服务中心的数据库,通过监控系统和海域自然资源信息系统等提供在线实时服务。该网络不仅实现了各级节点间的数据通讯和海岸带地下水监测、湿地监测数据和岸滩监测影像的实时采集、入库、管理和发布,更可以远程操控设备,如控制采样频率、给设备充电等,同时可以在线监督现场周边环境和采集设备运行状况^[10]。野外监测实时传输服务网络的建立,是信息化工作助力地质调查业务、海域自然资源管理的具体体现,该成果极大地提高了数据采集、服务效率,节省了人力及经济成本,具有一定的示范效应和经济效益:(1)改变了传统的野外监测数据的获取方式,使得科研人员在远程就能实



图2 野外监测传输服务网络

Fig.2 The service network for field monitoring transmission

时查看野外现场状况,在线获取监测数据及站点周围环境,和以往相比极大地提高了工作效率,缩短了数据更新周期,节省了经济成本;(2)通过远程控制设备采样频率、利用太阳能板对设备充电,利用摄像设备监控周边环境等,提高了对监测设备掌控、补给和安全可控能力;(3)通过采集、传输、入库和发布的自动化过程的实现,支撑形成了海洋地质大数据汇聚模式,标志着信息化为地质调查服务的能力又上新台阶。

2.3.3 数据资源建设成果——国家级海洋地质数据库

构建完整的数据资源体系是海洋地质信息化建设的核心。青岛所、广海局以“两库”(海洋地质调查数据库、全球海洋地质信息库)建设为主线,已建立了专业、权威、统一的国家级海洋地质数据资源体系,支撑海洋地质调查和研究工作。

立足我国管辖海域,以地调局近40年生产的海洋地质调查数据为主,遵照海洋地质技术标准建立了国家级海洋地质调查数据库,该库采用逻辑上全局集中统一,物理上在青岛所、广海局2个节点分布式部署,各节点采用统一的数据库结构、编码规则和技术规范。涵盖海洋基础地质调查、海洋油气资源调查、天然气水合物资源勘查、海洋固体矿产资源调查、海岸带综合地质调查、环境与灾害等专业的调查数据、分析测试数据、成果图件及成果报告等资料。覆盖调查手段包括海底取样、钻探、重

力、磁力、浅剖、多道、多波束、侧扫、深拖、OBS、实时监测等。空间覆盖范围主要为我国管辖及临近海域、我国海岸带地区,近几年覆盖西太平洋、北印度洋的部分海域。该库紧跟我国海洋地质调查工作步伐实施同步更新,持续保障了数据库的完整性和时效性,已成为我国目前资料最多、种类最全、时效最新的海洋地质专业数据库。

近几年,为了更好支撑全球尺度地球系统科学研究和海洋地质工作部署,以收集全球海域地质数据及信息为主,初步建立了全球海洋地质信息库,涵盖海洋基础地质、海洋地球物理、海洋地球化学、海洋油气、天然气水合物、海洋固体矿产、大洋钻探、海洋水文、海洋气象、海洋灾害和海洋基础地理12个专题大类及其59个专题小类,其配套信息服务系统提供了三维球体、二维平面、空间查询、属性查询、可控动态化展示和动态模拟等功能,实现了全球-区域-局部3个尺度海洋地质空间数据的二三维可视化表达和信息检索。

2.3.4 信息服务建设成果——满足多领域需求的信息服务体系

通过定制开发和主动服务,面向政府决策及管理、地质调查、社会需求3个层级领域,已构建了全方位、立体化的应用服务系统,提供海洋地质信息的决策支持服务、专业化服务和社会化服务,显著提升了海洋地质信息服务水平。面向政府决策及

管理方面,海域划界、应用地质等专题服务系统面向特定用户需求提供技术支持和重要信息;海洋地质船舶监控管理系统为部局管理部门提供科考船的实时调查作业信息和调查航迹;海洋自然资源信息服务系统(图 3)为部局管理部门提供海洋矿产资源、水资源、湿地资源、土地资源、生物资源、旅游资源、空间资源、海洋地质环境等 8 大门类海洋自然资源的动态更新,以及滨海湿地生态健康动态评价、海洋牧场适宜性评价、碳通量计算等在线工具,为我国海域自然资源开发利用和生态环境保护提供基础支撑。面向地质调查方面,海洋油气钻井信息支持系统为海洋油气科研人员提供了海洋油气钻探的实时动态和集成化展示;海岸带灾害专题服务信息系统实现了海岸带科研人员快速识别海岸带海岸侵蚀灾害与海水富营养化灾害;海洋地质三维可视化系统综合应用了空间三维技术与 GIS 技术,对海底地层分布特征、滨浅海区地质灾害、海底地形地貌实现多视角、多层次的三维显示,同时实现了地形模型与用户的交互访问^[11]。面向国内外社会公众,2016 年 10 月通过海洋地质信息网,首次实现调查数据、研究报告、成果图件、综合产品等海洋地质成果的在线服务^[12],该网站经过整合后,近几年通过“地质云”平台^[13],以元数据、报告、数据包、地图、专题软件系统、多媒体等产品形式,持续提供海洋地质调查成果在线服务;通过海洋虚拟现实科普系统以全景式、互动方式展示了海底地形地貌、海洋环境、海洋灾害、矿产资源、海洋调查装备、调查技术方法六大板块的 23 个立体交

互场景,将海洋地学科普带向沉浸式体验新阶段。

2.3.5 赋能地质调查成果——全流程协同软件生态体系

在海洋地质调查中已应用多种调查仪器进行数据采集,但是过去对班报的记录还是手工记录方式,且班报内容常因施工机构和人员不同存在格式不一致和记录不规范问题,同时为满足现场实施过程中的语音识别、影像实时记录、样品图片拍摄与样品自动关联、班报记录与仪器记录文件自动关联、数据能直接符合入库标准和归档要求、入库后可高效支撑地质编图、工作部署等需求,青岛所遵照《海洋地质数据库内容与结构》标准对信息采集体系进行了扩展,研制了海洋地质调查全流程信息化支持系统(以下简称“全流程系统”)(图 4),实现了班报的智能化、电子化采集,影像及照片的实时采集,数据的标准化和自动化入库,数据直接辅助实施地质图件编制工作和支撑新区域科学工作部署等,提高了从数据采集到入库的工作效率,打通了海洋地质数据野外采集、验收、归档、入库、服务的全链条环节,实现了部分采集过程节点的自动化、智能化,推进了海洋地质工作现代化。

全流程系统以海洋地质“数据”的全生命周期过程为主线,是“全流程衔接、跨部门使用、多学科融合”的协同软件生态体系,包含海洋地质调查数据采集端、浏览器客户端和服务端三个部分,其中采集端是全流程系统外业信息采集的主体,有 Pad 版和 PC 版两种模式,主要为项目组及外业采集人员提供单波束测深、多波束测深、侧扫声呐测

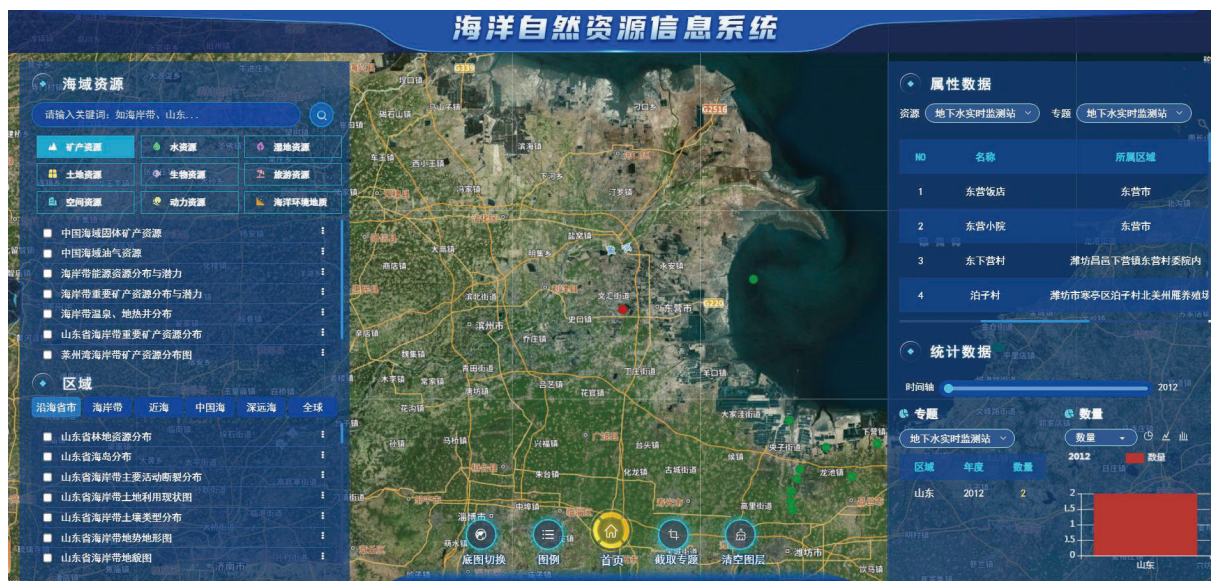


图 3 海洋自然资源信息系统

Fig.3 The marine natural resources information system

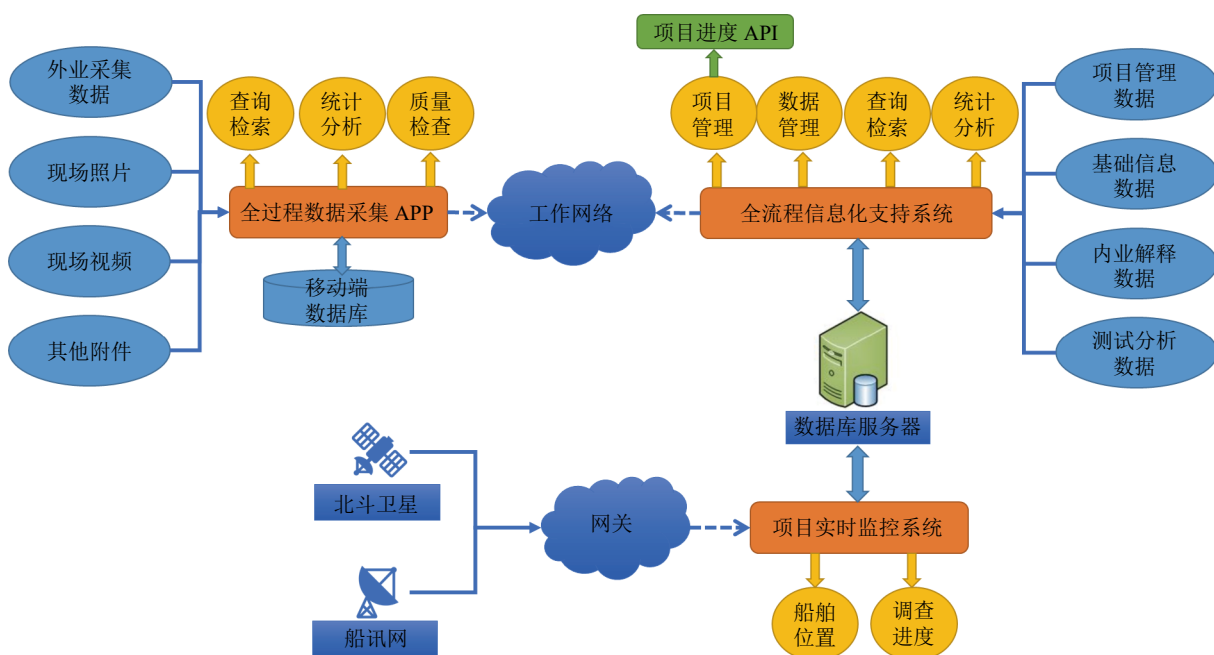


图4 全流程信息化支持系统的总体架构

Fig.4 The structure of support system for the whole-process informatization

量、浅地层剖面测量、单道地震测量、多道地震测量、海洋重力测量、海洋磁力测量、海底热流测量、底质取样、钻孔取样等 25 种主要调查手段外业施工作业基本信息、现场记录、作业班报等信息的填报,提供标准化、规范化满足数据库建设的数据采集表单和模板,支持表单的灵活配置,同时具备调查海区历史资料的集成和查询、电子班报等信息的导出功能,并提供标准、规范的外业采集信息数据库文件。浏览器客户端为项目组处理解释及测试分析人员提供底质样品分析、钻孔样品分析等内业测试分析数据,多波束测深、侧扫声呐测量、浅地层剖面测量、单道地震测量、多道地震测量、海洋重力测量、海洋磁力测量等地球物理处理解释数据以及成果图件数据和全部过程文档资料的上传,同时提供采集端数据库文件的导入。服务器端是全流程系统的基础,为海洋地质调查数据采集端和浏览器客户端提供操作系统、网络、数据库、地理信息系统等基础运行环境,保障海洋地质调查全流程数据汇聚装置安全、稳定运行^[14]。

目前全流程系统已在青岛所全部海洋地质调查项目和广海局的 2 个航次中进行了实际应用,从使用效果来看,全流程系统应用成效显著,主要体现在:①提高外业数据采集和入库效率,由前期的“采集-验收-归档-处理-入库”5 个节点流程,缩短为“采集-验收-入库”3 个节点流程,数据入库时间周期缩短 3—6 个月。②严格遵循海洋地质调查项目全生命周期业务流程,强化了海洋地质调查数据采

集过程控制与管理,直接支撑地质调查项目满足信息化验收要求。③集成海洋地质调查历史资料,支撑服务海洋地质调查施工现场决策和成果图集编制。④快速完成外业调查数据、测试分析数据和处理解释数据及成果数据入库,及时提供数据查询、申请、下载等服务,大大缩短调查与服务的周期,提高了数据服务的时效性。⑤实现地质调查项目电子资料归档“在线化”,提高了电子资料归档效率,支撑档案管理信息化建设。

在信息化人员与业务人员共同打造全流程系统,并取得初步成效后,为进一步丰富海洋地质调查全流程的软件生态体系,自 2023 年来更加注重了多专业人员联合协作,进一步利用数据资源来直接赋能海洋地质多维成果的快速产出。如面对海洋地质编图工作和三维模型立体表达的需求,形成一些初步成果,包括海洋地质智能编图软件,基于数据集成融合和利用人工智能技术来支持海洋地质成果图件的高效绘制,减少业务人员编图过程中手动工作,做到部分环节的自动化、智能化成图;基于多源数据整合构建“数字海洋”多功能一体化平台,支持海洋全空间框架和海底多尺度三维地质模型的可视化及空间分析,探索如何进行四维时空信息表达等,以数字生态助力“透视海底”。

3 我国海洋地质信息化存在的问题

当前海洋地质信息化建设为海洋地质工作的

现代化打下了坚实基础,做出了重要贡献,发挥了较好的支撑作用和一定的改造作用,但是尚未发挥出引领作用,结合当前地球科学发展、数字化转型和海洋地质工作现代化的新需求,在守正的基础上还需要创新,还有很多不足和需要完善的空间。主要表现在:(1)从实现改造升级业务模式的目标来看,迫切需要信息技术人员与地质业务人员的深度融合,目前的融合广度和力度不够,业务人员参与度明显不足,信息人员对需求的把握也还不充分,导致还未能从系统性角度来改造业务流程以解决业务痛点。(2)当前虽然涉及了海洋地质数据采集、传输、管理到服务等环节,但是支撑力度还未完全满足需求,需要进一步释放服务能力,更要加强对数据的感知、计算、关联分析和数据挖掘的支撑能力。(3)目前“全流程系统”还主要在支撑信息采集和流通方面,对快速产出成果的支撑还只是刚刚起步,还需要进一步完善海洋地质全流程软件生态体系。(4)从支撑地球系统科学研究来说,收录的水圈、大气圈和生物圈的数据还比较匮乏,且需要持续加强岩石圈数据的积累。(5)目前从大数据中提取有效特征和知识发现的能力明显不足,需要进一步优化大数据可视化表达,加强关联分析、空间分析和智能解释分析,进而形成新产品和新结论。(6)目前人工智能在海洋地质调查研究的应用只是刚刚起步,需要进一步加强人工智能和海洋地质调查的深度融合,以提供更适用于支持非线性和经验性问题的新技术和新方法。

4 我国海洋地质信息化发展展望

当前正处在全球信息化发展与数字化转型的历史时期,海洋地质信息化工作需要在今后一段时间内既要做到信息化的持续发展,还要做到向数字化阶段转型,需要通过信息化的降本增效和数字化的业务创新,来共同推动实现海洋地质工作现代化。为此,需要做好以下6个方面工作。

4.1 转变观念,达成一致认识

首先要清醒认识到当今时代数字技术、数字经济是世界科技革命和产业革命的一个先机,要想实现海洋地质工作现代化,需要在做好信息化发展基础上,做好数字化。其次要理解海洋地质信息化与数字化的联系及区别。两者的联系是:海洋地质数字化是海洋地质信息化的高级发展阶段。两者明显区别包括:①对海洋地质调查研究业务模式的影

响不同。信息化是不改变业务模式的,只是工具、是支撑,是实现电子化;数字化是要改变升级业务模式的,从数据到业务达到重塑新模式的效果。②侧重点不同。信息化是侧重系统建设和管理;数字化侧重成果产品形成和调用,关注业务。③视角不同。信息化更偏向流程管理,是管理视角;数字化更偏业务赋能,是业务视角。④数据分析方式不同。信息化是数据统计型,只是增强了人的记忆和统计能力;数字化是算法型,通过建立最优的输入输出模型,增强人的分析和决策能力。⑤目的不同。信息化是为了降本增效,以人为主,机器为辅;数字化是为了创新,以机器为主,以人为辅。⑥实施的主体人员不同。信息化以信息技术人员为主;数字化以业务专家为主。⑦主线不同。信息化,系统建设是主线,强调信息系统建设与应用;数字化,强调技术与业务的融合发展,用数据将业务整合形成闭环。最后在以上理解基础上达成共识:数字化是业务自身升级和创新,需要跨学科团队协作作战。

4.2 落实行动,达到真正融合

首先要打破专业限制,搭建包含海洋地质业务人员和信息技术人员的联合跨学科团队,开展深度融合,包括认识到信息与业务融合的本质:任何信息技术建设都是为了实现海洋地质战略、业务和管理的目标,则融合要以业务驱动为核心;面对业务痛点和改造需求,从业务视角共同制定规划和建设方案;信息技术人员要主动了解业务,知道信息技术如何为业务服务,业务人员要把信息化考虑在其业务变革中,理解软件开发;在前面基础上,双方多了解对方的“语言”,实现有效沟通;双方理清在实现目标过程中各自的职责和任务等。其次是加强培养复合型人才,要采取各种措施,加快人才培养的速度。加强国内外跨学科的培养和培训,造就一批适应现代海洋地质科学与信息技术体系的学科带头人。在实际工作中,要鼓励年轻科技人员担任地质调查项目的负责人或担任科研项目的首席科学家,鼓励他们更多地参加国际合作,开拓国际视野。此外,要充分发挥好老专家在学术研究和人才培养方面的作用,适当邀请外部富有业务及信息技术两种知识的专家。

4.3 加强感知-计算-分析软硬件,增强条件保障能力

首先,需要进一步加强海洋立体感知能力,加强多要素长期监测网络体系建设,以实现多要素数

据自动采样和数据处理;针对海水及海底,组建联合跨学科团队自主研制智能传感器及智能水下机器人、无人船等;针对海表,可以通过购买或合作共享等方式利用大量的观测、监测设备数据,通过开发软件系统以实现海洋活动和目标监测的智能识别。其次,加强对大数据的计算、挖掘分析的支撑能力。依据业务实际需求和数据资源实际情况,加强大数据计算及分析相关的软硬件建设,其中面向非敏感数据,可以通过利用商业化的高性能计算平台及其提供的服务开展大数据计算、分析和挖掘;对于敏感数据,可搭建一定规模的高性能计算平台,购置或定制支持海洋地质大数据分析的软件。

4.4 扩展全流程软件生态,助力调查向数字化转型

首先,进一步完善全流程系统,包括紧跟调查工作新手段,持续完善采集端,加强支持更多手段、更多类型数据的采集;根据数据入库管理和归档、汇交等的最新管理要求,支持数据的流转更顺畅,满足相关格式转换。其次,进一步拓展全流程软件生态体系,更加侧重支撑成果产品的形成和调用。基于数据、编图知识和信息技术来自动化辅助海洋地质编图工作,实现快速产出成果图件产品。通过提供草图,辅助提高专业化图件的制作效率;通过个性化定制,支撑产出更加通俗易懂的图件产品。基于数据、资料 and 自然语言生成技术,快速自动形成报告类产品等。未来,进一步推动建模从静态(3D)向动态(4D)发展。

4.5 推进大数据建设及分析,打通从数据到决策链条

为进一步支撑地球系统科学研究和支撑地质调查走向区域化、全球化,首先要持续建设海洋地质大数据,不断加强海洋地质调查数据、监测数据、观测数据的积累,并依据需求尽可能汇聚其他圈层数据,如水圈、大气圈和生物圈数据。其次,加强数据整合和相关性分析、空间分析和智能解释分析,从海量、多源、异构的大数据中汲取所需的信息和知识,得到新发现。然后,以“数字海洋”典型应用建设为契机,加强信息产品设计和可视化表达,开发出内容更实用、表达更丰富的信息服务产品,如三维地质模型产品、海洋数字孪生的虚拟模型产品等,并在数据和信息整合基础上,开展知识库建设,探索实现数据-信息-知识-决策链条的贯通,充分挖掘数据更深层次的价值。

4.6 充分应用人工智能,创立新技术方法

针对海洋地质学科许多问题具有经验性和多解性的特点,应充分利用人工智能算法在图像、时间序列、大数据处理方面具有的优势,创立学科交叉的海洋地质研究新技术方法。首先,可利用已有成熟的深度学习模型或对模型进行扩展来解决实际问题,如利用卷积神经网络,基于侧扫声纳图像对海底沉积物类型和海底地形地貌进行识别。其次,应结合海洋地质领域问题的特点,在现有机器学习模型基础上,业务专家与信息专家联合,进一步开发适合解决专属问题的新模型。然后,进一步在数字与智能技术的支持下,建立决策机制的自动化模型。

参考文献 (References)

- [1] 秦旭文,石显耀,杨胜雄,等.世界海洋地质调查发展历程与启示[J].海洋地质前沿,2020,36(1): 1-6. [QIN Xuwen, SHI Xianyao, YANG Shengxiong, et al. The history and enlightenment of the world marine geological survey[J]. Marine Geology Frontiers, 2020, 36(1): 1-6.]
- [2] 程骏超,何中文.我国海洋信息化发展现状分析及展望[J].海洋开发与管理,2017,34(2): 46-57. [CHENG Junchao, HE Zhongwen. Analysis and Expectation of China's Maritime Informatization Status[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(2): 46-57.]
- [3] National Ocean and Atmospheric Administration. About the national oceanographic data center [EB/OI]. (2015-11-21). <http://www.nodc.noaa.gov/about/index.html>.
- [4] 杜晓敏,周平,常勇,等.美国海岸带综合地质调查进展及其对中国海岸带研究的启示[J].地质通报,2020,39(2/3): 414-423. [DU Xiaomin, ZHOU Ping, CHANG Yong, et al. A review on Coastal and Marine Geology Program of U. S. Geological Survey and some suggestions on coastal studies in China[J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(2/3): 414-423.]
- [5] 王祚,高艳波,齐连明,等.我国业务化海洋观测发展研究:借鉴美国综合海眼观测系统[J].海洋技术学报,2014,33(6): 34-39. [WANG Yi, GAO Yanbo, QI Lianming, et al. Research on the Development of Operational Ocean Observation in China by Using the U. S. IOOS for Reference[J]. Journal of Ocean Technology, 2014, 33(6): 34-39.]
- [6] 张明超,丁克永,姚晓洁,等.英国地质调查局数据产品服务概况[J].中国矿业,2017,26(2): 406-411. [ZHANG Mingchao, DING Keyong, YAO Xiaojie, et al. Overview of the data products resources and services of British geological survey[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(2): 406-411.]
- [7] 余韵,杨建锋.加拿大地质调查发展态势浅析[J].国土资源情报,2021(03): 36-44. [YU Yun, YANG Jianfeng. A Brief Analysis of the Development Trend of Geological Survey in Canada[J]. Natural Resources Information, 2021(03): 36-44.]
- [8] 孙海雪,陈建平,郑啸.澳大利亚地球科学局地质信息服务新进展

- [J]. 中国矿业, 2018, 35(4): 40-44,49. [SUN Haixue, CHEN Jianping, ZHENG Xiao. New advances of geological information services of Geosciences Australian[J]. China Mining Magazine, 2018, 35(4): 40-44,49.]
- [9] 苏国辉, 魏合龙, 戴勤奋, 等. 海洋地质数据库建设现状及经验 [J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(12): 10-16. [SU Guohui, WEI Helong, DAI Qinfen, et al. Current status of marine geology database construction and experiences[J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(12): 10-16.]
- [10] 苏国辉, 林峰, 刘京鹏, 等. 基于 CDMA 的海岸带地下水自动监测系统 [J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(12): 66-71. [SU Guohui, LIN Feng, LIU Jingpeng, et al. An automatic coastal groundwater monitoring system based on CDMA[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(12): 66-71.]
- [11] 何书锋, 魏合龙, 林文荣, 等. 基于 Skyline 的海洋地质三维可视化系统开发与实现 [J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(03): 54-63. [HE Shufeng, WEI Helong, LIN Wenrong, et al. Development and implementation of the 3D visualization system for marine geology based on Skyline platform[J]. Marine Geology Frontiers, 2018, 34(03): 54-63.]
- [12] 魏合龙, 孙记红, 苏国辉, 等. 数字海洋地质工程建设进展 [J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(03): 01-07. [WEI Helong, SUN Jihong, SU Guohui, et al. Construction progress of digital marine geological project[J]. Marine Geology Frontiers, 2018, 34(03): 01-07.]
- [13] 高振记. “地质云 3.0”——国家地球科学大数据共享服务平台简介 [J]. 中国地质, 2022, 49(1): 02. [GAO Zhenji. ‘GeoCloud 3.0’——Introduction to the National Geoscience Big Data Sharing Service Platform[J]. Geology in China, 2022, 49(1): 02.]
- [14] 孙记红, 魏合龙, 林文荣, 等. 海洋地质调查全流程信息化支持系统的设计与实现 [J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(2): 49-55. [SUN Jihong, WEI Helong, LIN Wenrong, et al. Design and running of supporting system to the whole-process informatization of marine geological survey[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(2): 49-55.]