

深海数字矿区设计构想

杨锦坤, 韩春花, 田先德, 郑兵

国家海洋信息中心, 中国大洋资料中心, 天津

收稿日期: 2021年11月15日; 录用日期: 2021年12月6日; 发布日期: 2021年12月16日

摘要

深入剖析深海数字矿区的概念和内涵, 借鉴陆地数字矿区相关建设经验, 总结分析深海数字矿区建设的必要性和可行性, 结合深海矿产勘探合同区工作实际需求, 提出深海数字矿区建设的总体架构。提出数据资源规划设计、数据资源池搭建、空间数据库构建、专题应用支撑系统和技术标准规范等为主的建设内容。分析了航次设计、海上现场调查、资源环境评价、采矿模拟演练、履行勘探合同等应用场景, 给出深海数字矿区建设总体技术路线, 对我国深海勘探合同区数字化、信息化、智能化建设具有重要参考意义。

关键词

数字矿区, 国际海域, 数据应用

Consideration on Construction of Deep-Sea Digital Mining Area

Jinkun Yang, Chunhua Han, Xiande Tian, Bing Zheng

China Ocean Mineral Resources Data Center, National Marine Data Information Center, Tianjin

Received: Nov. 15th, 2021; accepted: Dec. 6th, 2021; published: Dec. 16th, 2021

Abstract

The concept and connotation of deep-sea digital mining area are deeply analyzed, the construction experience of terrestrial digital mining area is analyzed, the necessity and feasibility of deep-sea digital mining area construction is summarized, and the overall structure of deep-sea digital mining area construction is proposed based on the actual needs of deep-sea mineral exploration contract area. This paper analyzes the application scenarios such as voyage design, marine voyage survey, resource and environment assessment, mining simulation drill and performance of ex-

ploration contract. It also gives the overall technical route for construction of deep-sea digital mining area. It has important reference significance on informationization and intelligent construction in China.

Keywords

Digital Mining Area, International Waters, Data Applications

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1998年,美国副总统戈尔提出了“数字地球——认识21世纪我们这颗星球”,第一次提出了“数字地球”的概念,得到世界范围内各国政府和相关部门的高度重视[1]。我国政府也提出了“数字中国”及一系列“数字”工程[2][3][4]。陆上矿山、石油等部门相继提出数字矿山、数字矿区、数字油田矿区的概念[5][6][7],分析了数字矿区与矿山的机遇、挑战和对策[8]-[15],提出数字矿区设计构想,开展数字矿区应用,取得了一系列研究成果[16][17][18]。我国是世界上第一个在国际海底区域拥有三种资源、五块矿区的国家,对深海数字矿区建设需求迫切,但在深海数字矿区的建设方面还未有相对成熟的研究成果。借鉴现有数字矿区有关理念,构建深海数字矿区,对履行矿区勘探合同具有重要意义,也可为未来深海矿区资源开发利用提供信息化、智能化信息技术支撑。

2. 深海数字矿区的概念

矿区是一种特殊的区域,其地理位置要素和社会经济要素内容广泛、综合、复杂、变化迅速,是一种复杂的、动态的、开放的社会经济区域[19]。数字矿区是对真实矿区的整体及其相关现象的统一性认识与数字化再现,体现了矿区的发展趋势,是数字地球发展的必然结果。

国际海域的深海矿区勘探与开发利用,涉及国际海域的水体环境、生物生态环境、海底环境等自然因素,同时还包括国际海域法律规则、矿产选冶加工、海上交通运输,甚至深海安全、权益主张等各种因素,是一个多学科、多专业、多领域相互配合、互相渗透、协同攻关的知识、技术密集型活动。它不仅包括海底区域,还包括上覆的巨大的动态的海水,以及将来矿产资源开发所能辐射到和影响到的区域,是一个复杂的大系统。因此,深海数字矿区系统的功能定位是在深海矿区勘探、开发利用等各个阶段,能够为矿区选划与评价、区域放弃、商业化开采等活动提供准确的数据资源、技术资源、模型算法资源和各种分析功能,提供智能化的辅助决策、风险评估等技术支持。

3. 建设深海数字矿区的必要性和可行性

3.1. 必要性

首先,数字矿区建设是我国深海矿产资源开发利用的迫切需求。开发深海矿产资源具有长远的战略意义,但相比陆地矿产资源而言,深海矿产资源在探测方式和开发利用上,调查难度较高、数据资料有限、精度低,迫切需要能够融合利用现有数据和进行智能分析的信息手段,提供服务决策、提高调查精度、减低开发风险。其次,数字矿区建设是履行我国勘探合同的重要技术手段。我国已经成为世界上第

一个拥有三种资源、五块矿区的国家，在履行矿区勘探合同的过程中，无论是航次设计、现场调查、资源环境评价、区域选划和放弃、技术经济评价、开采方案设计等，都离不开准确的基础数据和先进的信息技术支撑，亟待建设一个高效信息支撑服务平台，为更好地履行勘探合同提供技术支持。另外，数字矿区的建设将促进提升我国国际海域资源环境开发利用能力可以预见，在未来一段时间我国将面临的大量的矿区资源调查评价与开发利用工作。数字矿区的建设成果能够推广应用到国际上其他矿区，综合提升我国对国际海域资源环境开发利用能力。

3.2. 可行性

第一，我国已经开展了相当程度的深海大洋自主调查和研究。通过多年来大洋科学考察和海洋专项任务实施等途径，已经对深海大洋主要的矿产资源进行了大量的实地勘探，例如 CC 区锰结核资源、太平洋海山的富钴结壳资源、大西洋中脊的热液硫化物资源、稀土资源等，同时也开展了大量的地质条件、资源评价、环境评价、采矿装备和技术等方面的科学研究，为数字矿区的构建提供了详细的第一手数据和经验知识。

第二，目前已具备了相当的区域海洋数据积累和信息处理能力。通过全球多个国际组织/计划的实施，人们已经获取大区域的深海大洋的区域数据信息，如全球温盐流数据、水深地形数据、重磁数据、沉积物数据、卫星遥感数据等。信息处理能力也大幅度提升，具有多样的区域海洋环境背景场、实况分析和再分析等信息产品，为数字矿区的构建提供了全面的区域背景场信息。

同时，新型信息技术发展提供了成熟可靠、体系完备的技术保障。当前，云计算、大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术发展与社会经济各行业、各领域深度融合，理论建模、技术创新、软硬件升级等整体推进，正在引发链式突破，推动经济社会各领域向数字化、网络化、智能化加速跃升。海洋电子信息产业和海洋信息关键技术大力发展，信息技术体系架构不断完善，新技术在海洋大数据治理、自动分析研判和辅助决策中的支撑应用力度逐渐深化，为数字矿区系统建设提供了强有力的技术支撑保障。

最后，已启动的“数字”工程建设可为数字矿区提供技术参考。随着科学技术突飞猛进的发展，“3S”、大数据、云计算、虚拟现实、数字模型等信息技术逐步成熟并广泛应用。通信传输设备日益先进，计算机软硬件更新换代周期不断缩短，海洋数据的传输和存储有了保障。已启动的蛟龙探海、智慧海洋、海洋信息化等工程的设计框架和思路，将为数字矿区的建设提供了可借鉴的经验[20] [21] [22]。

4. 深海数字矿区的总体架构

4.1. 总体思路

深海数字矿区建设的总体目标是将我国深海勘探合同矿区打造成数字化、信息化、智能化的矿区。总体建设思路是，面向矿区的资源环境开发利用和权益维护需求，全面汇集区域各类环境背景、资源环境感知探测和人类活动等数据信息；开展各类数据的清洗提炼、空间信息提取和整合集成，建立基于空间化整合数据库；利用大数据智能分析和三维建模等先进技术，构建区域海底特征数据模型、水体三维动态模型、生态环境特征模型、海面气象条件模型和典型地质体特征模型，将相关模型数据集成到统一的 GIS 空间信息框架；研发基于三维 GIS 的一体化数字矿区平台，定制开发空间数据挖掘、大数据智能分析、可视分析、虚拟仿真等平台工具箱，实现基于数字矿区的勘探合同区资源勘探与评价、环境调查与影响评价、采矿技术研发与试验、选冶试验与评估、技术经济评价等专题应用分析与模拟演练。

4.2. 总体架构

总体上，深海数字矿区可按照“2+1+X”体系构建，即 2 个基础体系(数据资源体系、运行保障体系)+ 1 个空间数据库群(基于 GIS 的空间数据库)+ N 个专题应用(航次设计辅助决策、海上作业勘探、国

际义务履行、资源环境评价、深海采矿模拟等)。数据资源体系的内容包括在线/离线汇集国际公开共享、国内自主调查、海洋基础地理、海面交通、海底管线、船舶装备、网络舆情等各类信息资源,经标准化处理和质量评估、数据整合清洗等,设计分类分级数据资源总体架构,在此基础上搭建矿区基础信息库,形成数字矿区的数据库。对各类汇集的数据进行矢量空间化改造,提取与集成空间信息,构建基于GIS 矿区空间数据库。利用大数据、智能分析等技术,构建海面气象条件模型、水体动态模型、生态环境模型、海底特征模型、典型地质体模型等,形成空间一体化模型,实现从海面、水体到海底的空间数值模拟分析。在数据资源层和空间分析层的基础上,构建模块化的专题应用层,集成地质勘探、矿产资源评价、环境影响评价、采矿试验、选冶评估、技术经济评价等专题应用模型,提供资源量估算与定量评价、关键环境参数研究、开采保障条件分析、选冶利用技术分析以及资源经济指标评估等应用分析和辅助决策工具(图 1)。



Figure 1. Overall architecture diagram of deep-sea digital mining area construction
图 1. 深海数字矿区建设总体架构图

5. 深海数字矿区建设内容

5.1. 数据资源规划

广泛汇集国内外与矿区密切相关的数据资源。国外方面,收集国际上的主要海洋国家(如美国、加拿大、英国、法国、日本、韩国、澳大利亚等)和国际组织/计划(如 Argo、WOD、DBCP、DSDP 等)公开发

布的温盐、海流、水位、气象、生物、化学、地质、地球物理、海底地形等海洋环境背景数据资料；国内方面，汇集我国大洋科考、海洋专项调查研究、海洋基础地理、海洋资源环境研究成果、人类活动、网络舆情等数据信息。针对矿区多源异构海洋数据，规划设计分类分级的海洋数据资源管理体系，按照不同类型(海洋水文、海洋气象、海洋生物、海洋化学、海洋地质、海洋地球物理、海洋声学、矿产资源、视频摄像等)、不同来源(国内历史专项调查、Argo 等国际公开共享以及海上目标、船舶航运等)、不同数据加工处理程度(原始数据、基础数据、综合数据等)等维度设计，并持续更新维护。

5.2. 数据资源池搭建

研发矿区实时在线数据传输系统、数据离线报送系统、国际资料收集系统和海洋热点舆情信息搜集系统，面向矿区现场勘探作业、国际资料收集以及互联网舆情等场景，形成矿区海洋数据和涉海资讯的汇集传输能力，不断提升矿区数据汇集效率和规范化水平，夯实矿区数据资源基础。形成矿区资源环境数据的预处理、标准化、质量控制、排重和订正等传统数据处理能力，发展多源异构多模态信息的提炼清洗、质量评估、不确定性分析和量质融合理解等大数据处理能力。重点攻关深海新型装备数据自动处理和质量控制技术、多波束回波强度识别多金属结核和富钴结壳覆盖率、基于机器学习的矿产资源分布特征、基于机器学习的矿产资源和生物体的自动识别技术、深海地质体三维模型构建等。

5.3. 空间数据库构建

基于空间地理信息技术，构建包含海洋基础地理信息、水体环境信息、海底环境信息、海底矿产资源信息等的矿区空间数据库，定制空间数据挖掘、拓扑分析、可视展示等模块，实现空间数据分类、空间信息量计算、网络分析、叠加分析等功能。构建面向多源属性融合集成的统一空间数据模型，以及知识与数据驱动协同的空间一体化建模技术体系，基于机器学习，耦合指向混合元的海底特征(区域构造、地形地貌、底质沉积物等)、水体环境(温、盐、流等)、气象条件(海面气象保障等)、生物生态环境(生物群落特征、海水化学环境等)、矿产资源(多金属结核丰度、品位、覆盖率等)等空间数据模型，构建基于泛三维地质体的可视化环境与操作平台，实现对空间信息的一体化融合表达。

5.4. 专题应用信息支撑

航次综合设计的“策划师”。面向矿区管理者提供航次设计辅助决策信息支撑。汇集合同区的多源(国内/国际)异构(结构化、非结构化)环境背景数据(水文、气象、生物、化学、地形地貌等)、现有资源勘查数据(丰度、品位、视频、摄像等)，提供基于三维 GIS 的空间分析、可视分析、网络分析、缓冲分析等功能，提供矿区内已有数据的综合分析评价(时间范围、空间范围、数据质量等)，指出矿区内数据空白区或低密度区，提出新增测站、测线部署建议等。

海上作业勘探的“处理器”。在调查船作业现场，面向现场调查作业人员提供数据和信息辅助支撑。集成各类数据采集和处理系统，与现场作业装备无缝衔接，实时接入各装备调查/观测导出数据，并实现解码、标准化、质量评估、视频图像数据的自动识别和快速成果等处理分析，同时可快速调用现有数据进行综合分析，为现场作业策略调整提供数据和信息支撑。

资源环境评价的“分析师”。集成矿产资源评价、环境影响评价和技术经济评价等技术方法体系、算法、参数和模型，同时建立水体动力环境模型(三维温盐流)、生物生态环境模型(生物类型、物种、化学条件)、海底特征模型(海底地形地貌、海底电缆等)、舆情信息(国际金属价格、地缘政治、公海保护区等)等，面向矿区内多金属结核资源量估算、沉积环境/生物环境/化学环境影响评价和技术经济评价提供信息技术支撑。

深海采矿演练的“模拟器”。利用人工智能、虚拟现实、三维仿真、云计算等信息技术，面向矿区矿产资源商业开采需求，综合利用气象条件模型、水体动态模型、生态环境模型、海底特征模型提供的算法、结果，集成深海采矿模型(集矿、扬矿、采矿船运动升沉等)，实现从海上运输、采矿过程的动态模拟演练，评估采矿风险，对比推荐最优采矿方案。

履行勘探合同的“数据管家”。面向勘探合同区履行国际义务需求，充分发挥平台数据综合管理和智能分析作用。实现年度先驱矿区的调查数据规整、在线提交，以及对国际海底管理局(ISA)其他承包者各类数据的分析挖掘、舆情分析等功能，提升我承包者在ISA的话语权和地位。

5.5. 技术标准规范体系

研制数据采集、传输、处理、存储、管理和应用等技术标准规范和资料管理规定，为数字矿区系统运行提供制度和规范保障。管理制度内容应包括勘探矿区航次管理规定(包括开展航次设计、航次组织实施、航次现场作业、航次报告编制、航次验收等环节管理规定)、航次资料和样品管理规定、数字矿区系统运行管理规定等。技术标准内容应包括现场数据采集技术标准、现场数据质量控制技术标准、数据资源存储规范、数据处理技术标准、数据库建设技术标准等。

6. 实施路线

深海数字矿区建设的总体实施路线以“需求调研分析→总体设计→关键技术攻关→专题应用系统研发→平台部署和运行→系统和功能完善”为主线，在广泛调研基础上，开展全链条设计、一体化实施。(图2)。

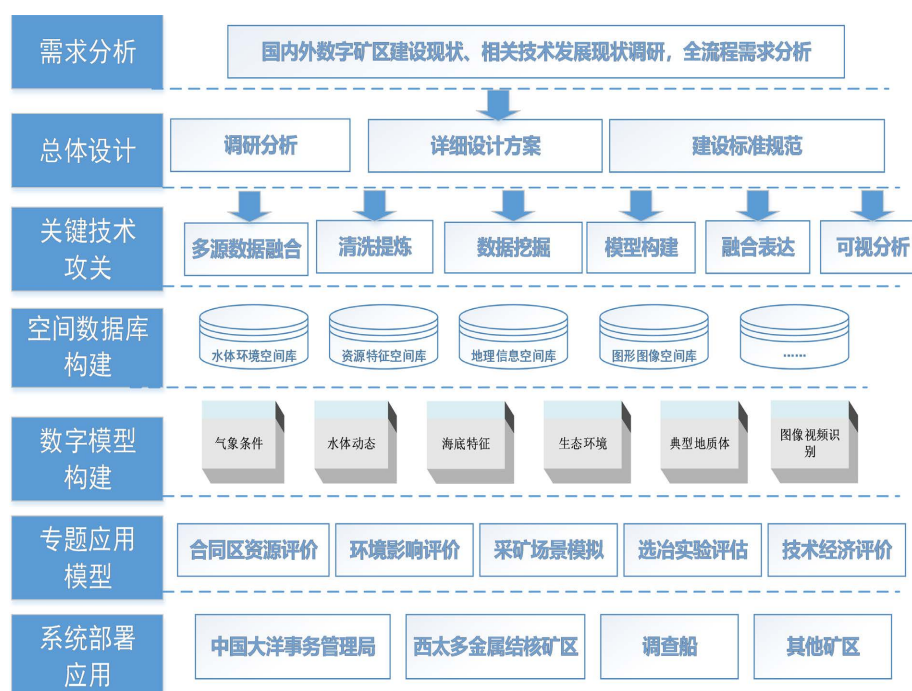


Figure 2. General roadmap for construction deep-sea digital mining area

图2. 深海数字矿区建设总体技术路线

深入调研国内外数字矿区建设现状、相关技术发展现状等，在深海大洋矿产资源及相关领域内开展广泛深入的需求调研和分析。以此为基础，开展深海数字矿区总体设计，分别形成总体建设方案、详细

设计方案及相关建设技术标准。在总体方案的指导下,从多源数据融合、数据清洗提炼、大数据挖掘、数据模型构建、图像自动识别、可视分析等方面开展深海数字矿区关键技术研究攻关。构建基于三维 GIS 的深海空间数据库和三维数字模型,实现深海水体环境、资源特征、空间地理信息、图形图像等数据的空间可视化表达。集成勘探合同区资源预测与评估、合同区环境影响评价、采矿场景模拟、选冶试验评估、技术经济评价等专题应用分析系统,构建满足矿区业务运行的应用系统平台。通过在深海矿区合同承包者、调查船作业现场等多场景部署运行,并不断补充实测数据进行系统验证,集成相关领域研究成果,持续完善系统功能。

7. 结束语

中国的深海大洋事业已经走过了 30 个年头,我国的深海事业从世界的边缘,迈入国际舞台的中央,深海[23]。深海数字矿区的建设是大势所趋,具有重要意义,也必然将与与时俱进。本文提出的深海数字矿区建设内容是基于深海数据资源现状,紧密结合当前和未来一段时期深海矿区工作需求而建立的,仅对数字矿区的建设总体思路和建设内容做了很初步的研究,还需要在未来的具体建设过程中不断地探索和完善。

基金项目

深海调查研究开发基础能力保障与大洋事务管理项目资助。

参考文献

- [1] 杜培军,郭达志. 数字地球的应用与矿区可持续发展决策支持[J]. 地矿测绘, 2002, 18(2): 36-40.
- [2] 吴立新. 数字地球、数字中国与数字矿区[J]. 矿山测量, 2000(1): 6-9.
- [3] 宁永香,安润莲. 建立数字城市、数字矿区和地理信息系统[J]. 测绘与空间地理信息, 2002, 25(2): 42-43.
- [4] 张雷. 建立数字城市、数字矿区和地理信息系统核心研究[J]. 商品与质量, 2020(8): 46.
- [5] 汪云甲. 数字矿山与矿区资源绿色开发[J]. 科技导报, 2004(6): 42-45.
- [6] 张波,陈晨,徐小明,等. 数字石油矿区的设计构想[J]. 油气田环境保护, 2004, 14(4): 19-22.
- [7] 燕亚娟. 现代数字石油矿区的构建与创新[J]. 数字技术与应用, 2010(5): 55-57.
- [8] 周兴东,赵华亮,李博,等. 数字矿区与矿山测量的机遇、挑战和对策[J]. 煤炭学报, 2002, 27(5): 454-457.
- [9] 何东. 数字矿区与矿山测量的机遇、挑战和对策[J]. 中国高新科技(中旬刊), 2014(4): 31-32.
- [10] 安立宝. 浅谈数字矿区与矿山测量的机遇困难及应对策略[J]. 科技与企业, 2015(7): 38.
- [11] 郭建鹏. 探究数字矿区与矿山测量的机遇、挑战和对策[J]. 科学时代, 2015(2): 123.
- [12] 姜维,杜晓东,张振,等. 数字矿区与矿山测量的机遇、挑战和对策研究[J]. 科学中国人, 2016(9): 32.
- [13] 程诗广. 数字矿区与矿山测量的机遇、挑战和对策[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(15): 11-12.
- [14] 郑天明. 数字矿区与矿山测量的机遇与挑战以及相应的对策[J]. 科技资讯, 2018, 16(5): 77+79.
- [15] 王振华. 浅析数字矿区与矿山测量的机遇挑战和对策[J]. 中国化工贸易, 2020, 12(20): 248+250.
- [16] 朱大明,秦德先,方源敏. 基于 GIS 的数字矿区与矿产资源预测方法研究[J]. 地矿测绘, 2003, 19(4): 5-7.
- [17] 梁文君,夏士雄,于丽香. 基于信息集成技术的数字矿区研究[J]. 现代计算机, 2003(3): 35-38.
- [18] 王树东,刘惠德,陈宝政,等. 基于 MapInfo 的数字矿区设计及实现[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2004, 21(3): 62-64.
- [19] 肖寒,宋金玲,吴侃. 数字矿区的设计构想[J]. 地矿测绘, 2003, 19(2): 18-20.
- [20] “十三五”我国将实施“蛟龙探海”工程[J]. 创新时代, 2017(6): 99.
- [21] 姜晓轶,潘德炉. 谈谈我国智慧海洋发展的建议[J]. 海洋信息, 2018, 33(1): 1-6.

- [22] 周雪, 郭艺峰, 韩泽欣, 等. 国家海洋信息通信网建设与规划研究[J]. 科技导报, 2018, 36(14): 63-74.
- [23] 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/OL]. 中国有色金属学报: 1-12. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1238.TG.20210901.1032.002.html>, 2021-09-01.