

基于 BDS 的可燃冰开采环境监测与评估系统设计

曹宇^{1,2}, 方会凌^{1,2}, 赵永旗³, 崔海朋⁴

- (1. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306;
2. 上海海洋可再生能源工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 中油管道物资装备有限公司, 河北 廊坊 065000;
4. 青岛杰瑞工控技术有限公司, 山东 青岛 266061)

摘 要: 天然气水合物 (NGH) 开发技术已成为当今世界科技创新的前沿. NGH 资源需要安全开发和环境保护并重, 为加快海底 NGH 商业化生产步伐, 亟需加强海底开采环境长期监测工作, 为此设计了一套基于北斗卫星导航系统 (BDS) 的 NGH 开采环境监测与评估系统. 通过展现大气、海水、海床、井下“四位一体”的 3D 可视化海洋立体空间场景, 实现 NGH 开采环境传感器的实时数据采集及远距离传输, 实现海底开采环境实时安全分析、跟踪及预警功能.

关键词: 天然气水合物 (NGH); 北斗卫星导航系统 (BDS); 环境监测; 评估系统

中图分类号: P228.49

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2021)01-0112-07

0 引 言

天然气水合物 (NGH), 俗称可燃冰, 在标准情况下, 1 m^3 的 NGH 能够释放出 164 m^3 的甲烷气体^[1], 是一种新型清洁替代能源. 随着传统化石能源的紧缺, NGH 以污染少、能量密度高、储藏量大等优点, 成为国家能源战略计划发展的重要目标^[2]. 由于贮藏条件和环境因素的制约, NGH 的开采尚未能进入商业化阶段, 而且在开采过程中, 有诸多不确定的风险因素, 容易造成甲烷气体的渗漏, 或产生严重的地质灾害如海底滑坡, 因此, 需要对水合物的开采过程建立稳定的监测机制, 包括开采前的环境基准监测、开采过程中环境变化监测、开采后环境恢复监测, 及时规避风险并且将对环境的影响降到最低.

目前, 对海底水合物开采主要采用现场原位监测技术, 这是由现代传感器和深水钻探技术的进步发展起来的, 但尚未能结合海底监测网和通信技术的发展, 开展深海的大范围、长时间实时监测. 未来的发展趋势是监测和评估 NGH 对海洋环境和海底工程的影响, 预测灾害趋势^[3]. 由于开采过程中甲烷泄露引起的环境风险识别, 监测与评估目前尚处于前期阶段, 因此建立稳定的开采

环境监测与评估可视化系统, 对安全生产、风险识别与防控具有非常重要的意义.

北斗卫星导航系统 (BDS) 以其独有的短报文通信功能, 成为全球首个通信一体化的导航定位系统, 在电力行业、海上作业、航空安全、燃气等领域应用十分广泛^[4]. 张丽珍等^[5]设计了一套基于 BDS 的虾塘投饵管控系统, 本文以 BDS 短报文通讯方式为基础, 设计了基于 BDS 的海底 NGH 开采环境监测与评估可视化系统, 利用海下布置的各类传感器, 将甲烷、二氧化碳、压力、温度、海流速度等参数通过 BDS 短报文功能传输到用户终端, 并根据转化的信息参数形成监测曲线与报警机制, 对水下开采环境进行实时监测与风险评估.

1 系统总体结构设计

NGH 开采环境监测与评估系统基于 Unity3D 技术开发方式, 采用跨平台的 Unity 场景展示引擎, 设计友好操作界面, 内建 NVIDIA PhysX 物理引擎、粒子系统, 并提供网络多线的共用功能. 本系统主要分为三部分: 服务器端、客户端和数据库. 其中, 服务器端主要实现数据分析、数据计算、数据通信等功能; 客户端负责数据库通信并利用 Unity3D 技术展现由服务器计算汇总后的传

收稿日期: 2020-11-06

资助项目: 上海市科学技术委员会资助项目 (19DZ2254800)

通信作者: 方会凌 E-mail: 878451093@qq.com

感器数据;数据库采用MySQL关系型数据库管理系统,方便用户进行二次开发及维护。

海底可燃冰开采可视化监测仿真系统主要以大气、海水、海床、可燃冰开采平台及立管为背景模拟可燃冰开采过程中甲烷泄露对环境的全面影

响效果,通过展现大气、海水、海床、井下的各时间点传感器采集数值的变化,并根据预警级别标注显示,点击任意场景可显示对应的传感器数据分析曲线及受影响的灾害情况。系统总体结构设计图如图1所示。

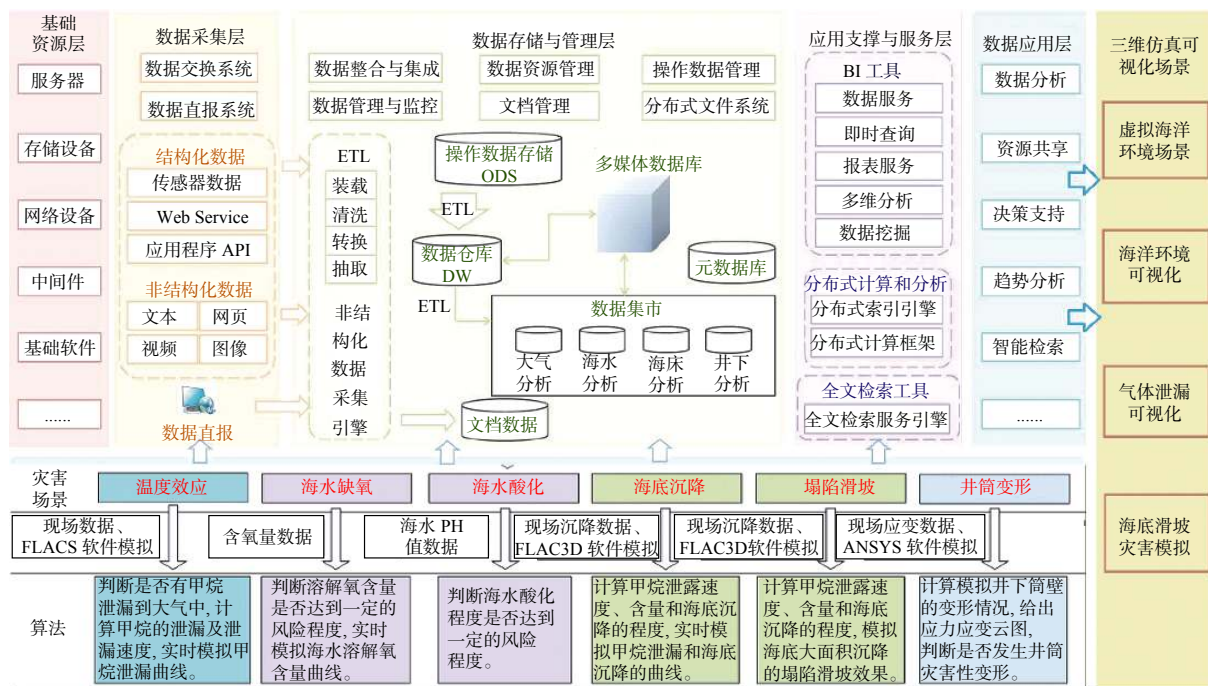


图1 海底可燃冰开采可视化监测仿真系统总体结构设计图

1) 数据采集层

主要包括数据导入、实时监测数据采集、数据组织与管理、生产管理等功能。

数据导入:数据导入功能是系统与其它系统实现数据交换的接口,具有开放性的特点。

实时监测数据采集:主要包括环境监测数据、设备状态数据和传感器设备信息等,对这些数据进行采集是系统实现可视化环境监控的基础。

数据组织与管理:系统的三维可视化和环境要素的三维直观展示、交互式表达、再现和趋势分析等数据服务功能都取决于数据模型和组织方式。

生产管理:提供生产过程中产生的实时信息(包括安全信息、设备状态等)的查询、统计和分析,输出各种统计分析报表,实时查询各种设备的状态,发布报警信息等。

2) 数据存储和管理层

数据存储层向数据存取层提供的接口是由定长页面组成的系统缓冲区。关系数据库管理系统利用系统缓冲区缓存数据,当数据存取层需要读取数据时,数据存储子系统首先到系统缓冲区中查找。其中缓冲区管理中主要算法是淘汰算法和

查找算法,操作系统中的淘汰算法有先进先出算法(FIFO)、LRU等,查找算法用来确定所请求的页面是否在内存,可采用顺序扫描、折半查找、hash查找算法等。

3) 应用支撑与服务层

该层是将分散、异构的应用和信息资源进行整合,通过统一的访问入口,实现结构化数据资源、非结构化文档和互联网资源、各种应用系统跨数据库、跨系统平台的无缝接入和集成;提供一个支持信息访问、传递、以及协作的集成化环境,实现个性化业务应用的高效开发、集成、部署与管理;并根据每个用户的特点、喜好和角色的不同,为特定用户提供量身定做的访问关键业务信息的安全通道和个性化应用界面,使用户可以浏览到相互关联的数据,进行相关的事务处理。

4) 三维可视化与仿真监测模块

① 虚拟海洋环境场景

利用虚拟现实、并行计算和可视化等相关技术来仿真和模拟海洋现象的时空分布与运动。主要包含海空建模、海表建模、海洋目标物实现、海洋水体建模和海底地形实时绘制等。

② 海水环境状态可视化

海洋环境场可视化一般是利用离散的、数量较少的环境采样数据以三维的形式直观表现出海洋水体环境场景的分布情况,目的是为专业人员进行相关分析提供可靠的依据和直观的分析手段.海洋环境要素(海流速度、海温、盐度、压力、甲烷含量等)可视化以海洋环境场景作为载体,可以根据需求加载不同的海洋环境信息服务并集成.

③ 甲烷气体泄漏过程的水下可视化

甲烷气体泄漏过程的可视化表达需要以海洋水体为载体,同时要将海床、海底地形、各类实体模型等融合在同一场景中.海底地形以水深为基准,考虑到漫游和浏览的需要,可不考虑真光层深度.为了强调甲烷气体泄漏过程中空间分布的变化,用气泡升降与形状变化模拟甲烷气体运动轨迹及其与海水的动态交互过程,以此表达甲烷气体泄漏过程的分布特征.

④ 甲烷气体泄漏的水上可视化

为了增强演示效果来取得最佳的可视化场景展示,采用超现实的方法,利用虚拟手段来模拟甲烷气体泄漏过程.

⑤ 海底滑坡灾害模拟

构建典型海域海底地形地貌特征模型,将水合物储存区及海底地层视为一个系统,针对其平面失稳问题建立力学模型,运用势函数突变模型建立海底塌方、海底滑坡模拟算法,并进行海底塌方、滑坡和地层沉降情况的可视化模拟演示.

2 BDS在系统中的通信构成

BDS是由中国自主建设、独立运行,并与世界其它卫星导航系统兼容共用的全球卫星导航系统.BDS的主要功能有:定位、测速、单双向授时、短报文通信;服务区域:中国及部分亚太地区;定位精度:优于10 m;测速精度:优于0.2 m/s;授时精度:50 ns(双向10 ns);短报文通信容量:120个汉字/次.

BDS由空间星座、地面控制和用户终端三大部分组成,BDS集成了卫星无线电测定业务(RDSS)和卫星无线电导航业务(RNSS)两种业务体制,不但具有GPS等系统的RNSS功能,还具有短报文通信和位置报告服务的RDSS功能^[6].所谓RNSS与RDSS集成概念,是在卫星导航系统的卫星和运控系统中集成RNSS与RDSS两种业务,使用户既可以不用发射相应信号,自主完成连续定位、测定任务,又可根据需要进行RDSS方式的位

置报告,以及用户跟踪识别和短报文通信,在用户终端实现RNSS和RDSS的双模集成和国外GPS、GLONASS的应用集成.

BDS对RNSS和RDSS集成功能应用方式为:

1)在地球同步轨道卫星(GEO)、倾斜地球同步轨道卫星(IGSO)上同时安排RDSS载荷和RNSS载荷,地面控制系统具有RNSS与RDSS信号及信息处理和运行控制能力;2)RNSS与RDSS的导航体制和信号格式统一在同一时间系统内;3)GEO卫星的RDSS出站信号和RNSS导航信号既可用于用户自主导航,又可用于位置报告和通信服务,即S频段信号可用于RNSS(所谓无源)定位,RNSS的L频段信号可用于通信服务;4)地面运控系统RDSS业务具有用户通信随机接入能力,可以处理短促突发信号,完成用户至中心控制系统的信息交换;5)用户入站信息可以携带用户位置实现位置报告,又可以不用携带用户位置进行信息交换,由RDSS直接从应答信号中处理出用户位置坐标,实现“无信息”传输的位置报告.

在NGH开采环境监测与评估系统中,利用BDS通信的大致流程为:通过海床上布置的水下甲烷传感器、水下二氧化碳传感器、ROV、侧扫声呐等装置;海水中布置的缆式剖面仪上搭载的多参数水质分析仪、单点海流计、多普勒流速剖面仪等传感器;以及海面上浮标搭载的甲烷传感器、二氧化碳传感器等装置在各时间点监测的数值变化,通过信号采集模块集中传输到开采平台控制端,开采平台控制端利用BDS的短报文通信功能,将信号传输到地面控制端,地面控制端进而把信号发送给用户终端并对信号进行解码,从而完成数据的传输与收集^[7-12].通信系统结构图如图2所示.

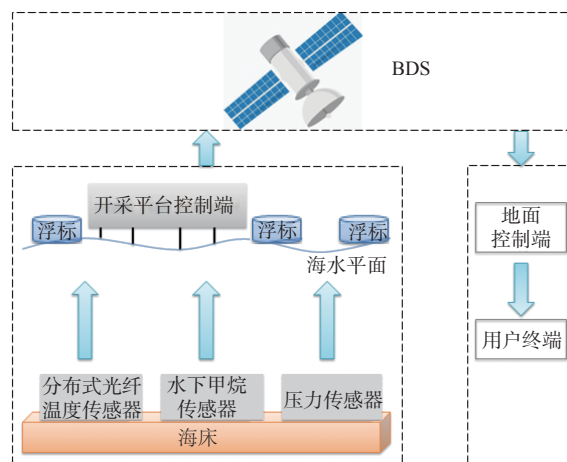


图2 通信系统结构图

3 BDS 在系统中的功能实现

3.1 客户端功能实现

1) 开采区多维空间可视化展示

以动态实时仿真模拟的方式构建可燃冰开采区内大气、海水、海床、井下“四位一体”的多维立体海洋空间场景,实现对多维空间的可视化展示.对可燃冰开采相关环境监测和安全应急辅助设备等进行高精度建模,并将其置于动态的多维空间场景中,支持全局光照、精细化的物理着色渲染以及超高面数的仿真模型渲染,实现细腻逼真的高精度画质渲染,对可燃冰开采区多维空间实现监测系统可视化仿真展示,具有空间浏览切换和场景漫游等功能.

2) 开采区环境状态监测数据展示

整合多种海洋信息资源,通过布设的海底地形监测设备、气体渗漏监测设备、各种不同类别环境传感器等采集的环境数据为支撑,综合运用大数据处理、智能化分析和信息化等技术,实现对可燃冰工作区内温度、压力、甲烷浓度及海底稳定性等环境状态的立体感知和实时动态监测,重点对海流速度、海温、盐度、压力(海床和井下)、甲烷含量(海水和大气)等环境要素进行三维直观展示和交互式表达、再现和趋势分析,实现多源环境数据接入动态可视化、交互式图表分析与空间分析,洞察工作区内环境信息价值,为可燃冰开采区范围内环境变化情况分析提供底层基础数据和不同专题的应用提供开放式软件支持.

3) 开采区安全预警与评估

基于布设相关传感器对开采区温度、压力、甲烷浓度及海底稳定性参数的实时监测数据,构建大气-海水-海床-井下一体化环境安全监测体系可视化视景和应急防控演示视景.

采用最新的虚拟现实仿真技术,综合利用传感器现场实时采集数据、海洋地理信息、三维空间分析信息等,通过现场全景再现、现场三维重现等方式,对可燃冰开采过程中可能出现的甲烷泄漏事故、海底滑坡事故等实时灾害快速模拟展示,为实现快速科学应急指挥、灾害救援和预案快速实施以及装备保障模拟等突发状况处理提供依据.图 3 为客户端架构图,图 4 为客户端功能图,图 5 为客户端体系结构图.

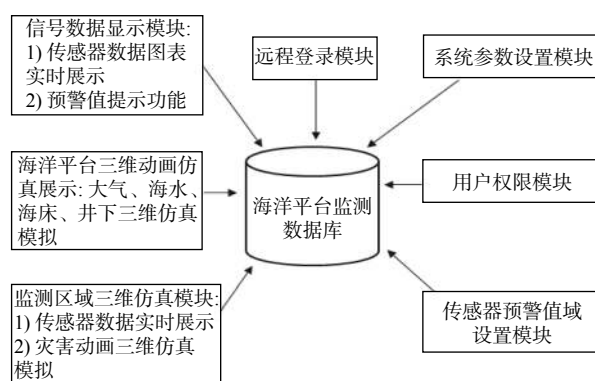


图 3 客户端架构图

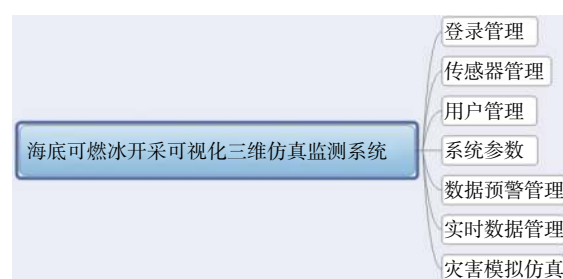


图 4 客户端功能图

3.2 通信协议设计

利用 BDS 的短报文功能, BDS 的 RDSS 模式下的短报文功能单次报文容量最大为 300 B, 报文频率为 1 min/次, RDSS 模式具备的定位加双向短报文的特点以及性价比高、安全可靠等优点是本设计选择 BDS 的原因,但 RDSS 模式下报文容量有限,所以需要合理地设计通信协议,在不超出容量的同时,尽可能地保证通信质量,得到最优的通信数据^[13].根据上述限制与要求,制定了一套简易的短报文传输协议,如表 1 所示.

4 BDS 在系统中的实际应用

NGH 开采环境监测与评估可视化软件主界面如图 6 所示,此软件是基于 Unity3D 虚拟融合技术,借助 C#语言编写的能与 BDS 地面控制部分进行直接通信的三维可视化软件.

通过 BDS 传输的传感器监测数据可以展示在用户界面上,在用户端中,各时间点传感器数据可以实现对大气、海水、海床、井下四个层面的实时监控.通过对甲烷和二氧化碳含量的实时监控,如图 7 所示,对甲烷和二氧化碳的监测状态进行预警分析,及时监测异常状态,以防气体渗漏造成环境污染,这说明 BDS 在 NGH 开采环境监测与评估系统设计中的应用是有效的.

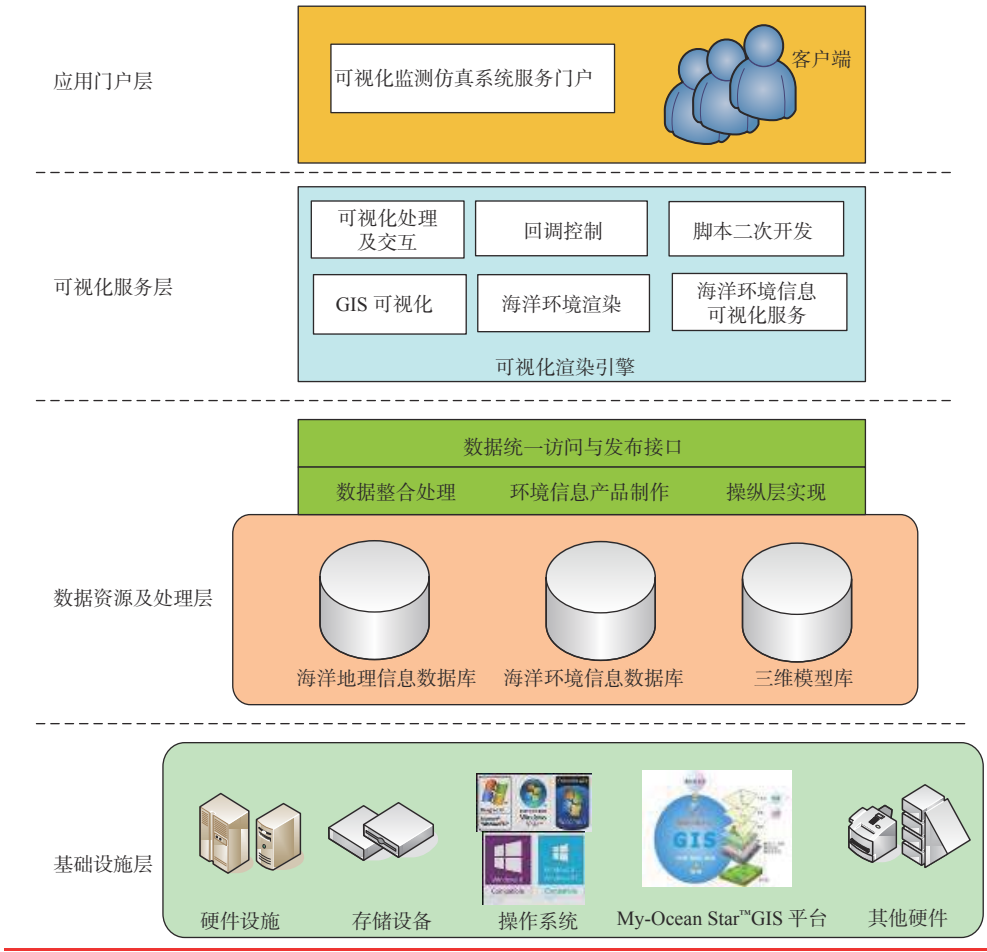


图 5 客户端体系结构图

表 1 BDS 卫星 RDSS 短报文数据传输协议

名称	字节/B	说明	备注
系统状态	10	系统状态监测	放大100倍
ID	15	系统ID	
甲烷	25~40	水中甲烷浓度	放大10倍
二氧化碳	25~40	水中二氧化碳浓度	放大10倍
压力	20~35	井下压力	放大10倍
温度	20~35	井下温度	放大10倍
海流速度	20	海水的流速	放大10倍
溶解氧	15	水中溶解氧的含量	放大10倍
叶绿素	18	水中叶绿素的含量	放大10倍
PH	18	水中酸碱度	放大10倍
盐度	15	水中盐度	放大10倍
浊度	15	水中浊度	放大10倍
指令	50~80	用户控制指令	放大100倍



图6 系统主界面

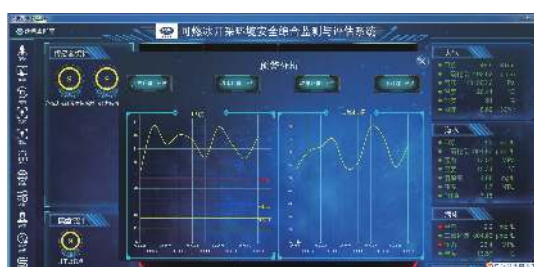


图7 甲烷二氧化碳监测曲线图

5 结束语

本文基于BDS通信设计的NGH开采环境监测与评估系统实现了对可燃冰开采环境风险的监测与评估,利用BDS的短报文通信功能,实时监测各时间点的传感器数值变化,对开采环境进行了风险评估和分析,提高了水下NGH开采的安全性.通过布置传感器,开展大气环境、海水环境、海床环境、井下环境参数的有效监测,分析开采可燃冰对环境的影响,建立开采环境监测与评估可视化系统,对可燃冰开采过程的安全评价具有重要的理论和现实意义.

参考文献

- [1] 鲁晓兵,张旭辉,王淑云.天然气水合物开采相关的安全性研究进展[J].中国科学(物理学 力学 天文学),2019,49(3): 3-33.
- [2] 张旭辉,鲁晓兵,李鹏.天然气水合物开采方法的研究综

述[J].中国科学(物理学 力学 天文学),2019,49(3): 34-55.

- [3] 刘杰,高伟,李萍,等.深海滑坡研究进展及我国南海海底稳定性研究的现状与思考[J].工程地质学报,2018,26(增刊): 120-127.
- [4] 罗晶心,郭承军.北斗卫星导航系统现状及通信中的应用[C]//第十一届中国卫星导航年会论文集——S01 卫星导航行业应用: 中科北斗汇(北京)科技有限公司,2020: 5.
- [5] 张丽珍,杨加庆,邵祺,等.基于北斗定位系统的虾塘投饵管控系统的设计和实现[J].全球定位系统,2017,42(2): 83-87.
- [6] 唐金元.北斗卫星导航区域系统发展应用综述[J].全球定位系统,2013,38(5): 47-52.
- [7] 崔秀芳,石福孝,李培培,等.BDS在仿生机器鱼中的应用研究[J].全球定位系统,2019,44(6): 70-74.
- [8] 陈莹,曹守启,陈成明,等.北斗卫星系统在远洋渔业冷链物流中的应用[J].全球定位系统,2017,42(2): 88-92.
- [9] 王永鼎,程湘裕.基于BDS的混合动力船舶节能研究[J].全球定位系统,2020,45(2): 112-118.
- [10] 郭英起,张贺,高延平,等.基于BDS海洋上冰山踪迹监测方案设计[J].全球定位系统,2014,39(6): 69-72.
- [11] 蒋超,周培平,朱书阁,等.基于北斗的地质灾害实时监测系统[C]//卫星导航定位与北斗系统应用2019——北斗服务全球 融合创新应用,中国卫星导航定位协会会议论文集,2019: 7.
- [12] 崔秀芳,程晗,蔡陈玉.基于北斗系统的远洋渔船机舱在线监测设计[J].全球定位系统,2017,42(2): 102-105.
- [13] 王世明,王家之,李泽宇,等.BDS在浮式自供电消波堤通信中的应用[J].全球定位系统,2019,44(2): 110-115.

作者简介

曹宇 (1982—),男,硕士生导师,副教授,研究方向为海洋工程装备设计及安全性分析.

方会凌 (1993—),女,硕士,研究方向为水下油气开采井筒结构安全性分析.

赵永旗 (1980—),男,高级工程师,研究方向为工业互联网智能制造及虚拟仿真可视化设计.

Design of environment monitoring and assessment system for natural gas hydrate exploitation based on BDS

CAO Yu^{1,2}, FANG Huiling^{1,2}, ZHAO Yongqi³, CUI Haipeng⁴

(1. *College of Engineering Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *Shanghai Engineering Research Center of Marine Renewable Energy, Shanghai 201306, China;*

3. *CNOOC material and equipment Co., Ltd., Langfang 202450, China;*

4. *QingDao Jari Industry Control Technology Co., Ltd., Qingdao 266061, China)*

Abstract: Natural Gas Hydrate (NGH) development technology has become the frontier of scientific and technological innovation in the world. In the development of NGH resources, both safety development and environmental protection should be paid equal attention, in order to accelerate the commercialization of NGH production in the seabed, it is urgent to strengthen the long-term environment monitoring of seabed exploitation. This paper designs an environment monitoring and assessment system for NGH exploitation based on BeiDou Navigation Satellite System (BDS). By displaying the atmosphere, sea water, seabed and underground well of 'four in one' 3D visualization marine stereoscopic space scene, we can obtain the real-time data acquisition and remote transmission of NGH exploitation environment sensors, and realize the real-time safety analysis, tracking and warning function of exploitation environment in the seabed.

Keywords: NGH; BDS; environmental monitoring; assessment system