

运用体系工程思想推进“智慧海洋”建设

张宏军,何中文,程骏超

中国船舶工业系统工程研究院,北京 100094

摘要 为满足建设海洋强国、推进实施“21世纪海上丝绸之路”的迫切需求,急需大力加强海洋信息化建设,从“数字海洋”向“智慧海洋”迈进。本文分析了国外海洋信息化建设的成功经验及国内海洋信息化建设面临的主要问题,提出了全面提升中国海洋信息体系能力的“智慧海洋”构想,阐述了“智慧海洋”的内涵、体系组成、体系工程特征及关键技术,提出了运用体系工程方法建设“智慧海洋”的具体办法。

关键词 体系工程;海洋信息化;“数字海洋”;“智慧海洋”

2012年,党的十八大报告中提出提高海洋资源开发能力,发展海洋经济,保护海洋生态环境,坚决维护国家海洋权益,建设海洋强国。2013年10月,中国国家主席习近平在出访东南亚国家期间,提出共建“21世纪海上丝绸之路”的重大倡议。一内一外两大战略的提出,是中国首次将海洋战略上升至国家战略的高度,为中国海洋事业发展带来了前所未有的新机遇。

从当今世界海洋强国的发展历史来看,信息化水平和能力是各国制定海洋战略、发展海洋事业的主要参考依据,更是未来开发和利用海洋的核心要素^[1]。美国在第二次世界大战后随即启动其面向全球的海洋信息体系建设,无论是军用还是民用领域,均已构筑了大幅领先于其他国家的海上信息能力优势,以此不断夯实其作为海上霸主的地位。

当今信息技术智能化高速发展,海洋信息体系建设经历以数字化为目标的初期发展阶段后,其智慧化发展,形成从数据,到知识,到预测,再到最优决策的海洋发展模式,即“智慧海洋”,也将成为了海洋信息化发展的必然趋势。然而,海洋信息化建设是一个典型的系统工程,不仅涉及信息采集、传输、分析处理、应用服务等多个领域,还面临内容复杂、目标多样、边界不确定、不断动态发展等挑战。传统系统工程理论方法虽然能够有效应用于单一明确建设目标和建设内容的项目中,如卫星、火箭等复杂系统的研制、发射、运行,但无法应对更为复杂多变、不断演化等不确定性因素给项目建设带来的难题,需要寻求新的工程理论方法予以指导。

体系工程作为近年来在系统工程理论上深化发展,

应对解决多样性、边界模糊性及动态演化等复杂体系问题的新兴理论方法^[2],已被应用于军事装备体系建设领域,并取得了显著成效^[3]。考虑到“智慧海洋”同样具有上述复杂体系问题,将体系工程理论方法应用于“智慧海洋”建设中,不仅将有效推动其不断演化发展,也可将作为体系工程实践的一次有益尝试。

本文在总结国外海洋信息体系建设成功经验、分析国内海洋信息体系存在的差距和问题基础上,结合信息技术智能化发展趋势,提出“智慧海洋”发展构想,介绍其内涵、体系架构及其体系工程特征,提出运用体系工程建设“智慧海洋”的具体做法。

1 国内外海洋信息体系发展现状及对比

海洋具有面积辽阔、空间立体、目标分散、不断变化等特征,通过信息充分认识和了解海洋,是人类开展一切海洋活动的前提条件^[4]。近年来,为加快自身海洋事业发展,世界各沿海国家均开始高度重视海洋信息化工作,投入大量资源开展长期建设。

1.1 国外海洋信息体系建设的成功经验

美国通过70多年的持续投入,已形成了全球领先的海洋信息优势地位,通过对其成功经验的总结分析,将有利于进一步指导中国海洋信息化建设。

1.1.1 各部门相互协同开展体系化建设

美国海洋信息化建设一直秉承多部门协同、体系化推进的原则,军用、民用两大领域均为如此,且军民之间重叠交叉

收稿日期:2017-09-26;修回日期:2017-10-10

作者简介:张宏军,研究员,研究方向为体系工程、舰载航空理论,电子信箱:zhanghj@cssc.net.cn;程骏超(通信作者),工程师,研究方向为海洋信息体系、体系工程,电子信箱:junchaocheng@163.com

引用格式:张宏军,何中文,程骏超.运用体系工程思想推进“智慧海洋”建设[J].科技导报,2017,35(20):13-18;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.20.001

的部门众多,充分体现军民融合共建思想。美国最大的跨部门海洋观测体系 IOOS^[5](Integrated Ocean Observing System) 由美国国务院、地质勘探局、海洋哺乳动物委员会、环境保护署、国家科学基金会、海洋能源监管和执法局、国家海洋和大气管理局、国家航空航天局、海军研究局、参谋长联席会议、陆军工程兵团、海岸警卫队 12 家单位共同建设,且建立了统一的海洋数据中心进行数据汇总、共享和发布。美国海军海洋信息体系则由 IOOS 中后 6 家单位,再加上海军天文台、舰队数值气象学与海洋学中心、侦察情报机构、陆战队/空军海洋机构、北约组织中海洋机构、英国气象管理局^[6]共同建设,数据由位于密西西比州的斯坦尼斯航天中心海军海洋学办公室统一管理和发布(图 1)。

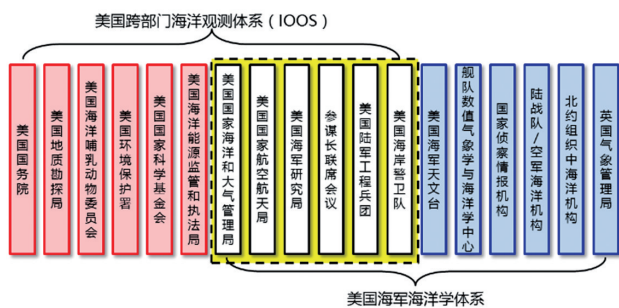


图 1 美国 IOOS 与海军海洋学体系成员单位

Fig. 1 Members of American Integrated Ocean Observing System and Naval Oceanography Program

1.1.2 各部门信息资源充分共享,有序发布

美国国家海洋和大气管理局(NOAA)建立了统一的国家海洋数据中心(National Oceanographic Data Center, NODC),用于向公众共享发布各渠道获取的海洋信息。以浮标数据为例,共发布了来自国际合作伙伴、IOOS(已集成了 12 家共建单位的数据)、气象部门、河口研究系统、石油产业、海啸预警系统等 9 个不同数据源,128 个数据所有者,共计 1351 个覆盖全球的海洋浮标数据(图 2)。数据内容以气象和水文为主,其中不乏来自欧盟、韩国、印度,以及各类科研机构的数据。这些数据以国际通行的格式标准,以未经加工处理的原始数据方式,按小时级延迟向所有互联网用户发布。

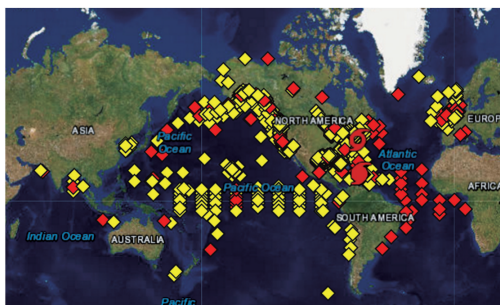


图 2 NODC 可发布的浮标信息站点情况

Fig. 2 Location information of buoys released by American National Oceanography Data Center

1.1.3 持续增强全球海洋数据获取能力

美国长期以来一直积极寻求多样化的海洋观测平台与设备,持续丰富其观测手段,增强全球范围海洋数据获取能力。1998 年,美国实施的全球 Argo 计划,为其积累了丰富的海洋气象与水文历史数据,为全球海洋演变模式的研究奠定了扎实的基础。2010 年,美国研制成功波浪滑翔器,并由 NOAA 和美国海军投入使用,为其提供了新的海洋数据采集渠道,实现了高自持、高自主、长续航、多功能等一系列远海观测的优势能力。2013 年 3 月,美国发布的《National ocean policy implementation plan》(《国家海洋政策行动计划》)进一步提出“海洋数据获取与信息提供能力增强计划”^[7],不断多样化的海洋数据获取手段,不断扩充的海洋数据来源渠道,支撑其成为全球海洋数据的霸主。

1.1.4 充分挖掘信息价值,支撑海洋活动

美国利用多年积累的海洋环境数据,以及对数据挖掘的深入探索,逐渐形成了“数据—预测—评估—决策”的海洋环境信息应用能力^[8](图 3)。利用历史环境数据和当前观测数据,对未来环境进行预测,再评估预测环境对舰船和海上活动将产生的影响,从而对于海上行动方针、传感器使用、资源配置、行动时机、量化风险进行优化决策。美国已将这一对环境信息的挖掘分析应用于海上军事行动、应急救援、环境保护等领域,取得了显著成果^[9]。

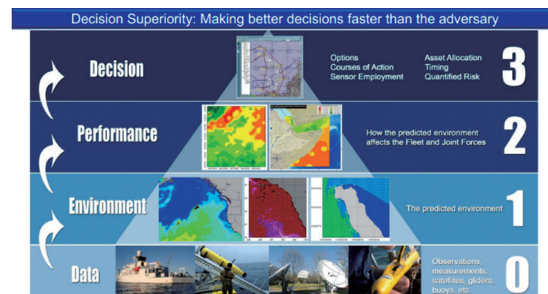


图 3 从数据到决策的应用模式^[8]

Fig. 3 Pattern from data to decision

1.2 中国海洋信息化发展现状

20 世纪 80 年代以前,中国通过对海洋调查和科考数据的抢救性保护等方式开展海洋信息化建设。“九五”至“十一五”期间,逐步完成了专题数据库建设和专业信息系统的软硬件平台建设,初步形成海洋信息体系基础^[10]。

1.2.1 “数字海洋”

1999 年,国内提出“数字海洋”相关构想,并与 2003 年正式启动数字海洋信息基础框架建设项目,这是国内首个全国性海洋信息化建设工程^[11]。2011 年该项目完成建设,取得良好成果,但在持续立体观测手段建设、远海信息获取,各部门信息交换与协同等方面仍有大量工作要完成^[12]。海洋数字化的核心在于将随时间、空间持续不断变化的温度、盐度、湿度、目标位置等信息进行采样、量化、编码,形成可被存储、运算、处理的数值。因此可以说,数字海洋是海洋信息化发展的基础。

1.2.2 “透明海洋”

“透明海洋”是指针对中国南海、西太平洋和东印度洋,实时或准实时地获取和评估不同空间尺寸海洋环境信息,研究多尺度变化及气候资源效应机制,进一步预测未来特定一段时间内海洋环境、气候及资源的时空变化,实现海洋状态透明、过程透明、变化透明,使其成为“透明海洋”^[13]。可见,“透明海洋”是在数字海洋的基础上,向海洋环境信息应用迈出的重要一步,以此大幅提升中国认知海洋的能力。然而,认知海洋只是基础,经略海洋才是目标,如何充分利用信息,提升经略海洋的能力才是未来发展的关键^[1]。

1.3 国内外海洋信息体系对比分析

中国海洋信息体系建设起步较晚,发展相对缓慢,在规划、建设、应用等方面缺乏相关经验的指导和支撑。通过对国内外海洋信息体系进行对比分析,将有利于找准差距,尽快赶超国外先进水平。

1.3.1 海洋信息体系完整性对比

总体来看,国内海洋信息化体系仍存在体系不完整、部分能力短板明显等差距。一是在信息获取方面,已基本解决了近海海域水面和低空范围内环境与目标信息的感知手段建设,但对于水下和远海方面,特别是目标信息的获取,仍存在明显能力短板;二是在信息分析处理方面,缺乏对于未来发展态势预测及环境对目标影响分析这两方面的空白,进而导致信息对海洋活动的支撑能力有限;三是在体系标准建设方面,缺乏能够有效统一汇总、开放共享各类环境和目标数据的标准规范,间接引起了海洋信息孤岛严重等问题。上述3个方面应成为中国海洋信息体系未来建设的重点方向。

1.3.2 数据资源开放共享方面的对比

目前,美国已建立了统一的国家海洋数据中心,实现政府、企业、科研机构三方所拥有海洋环境数据的汇总、共享与发布,全球的互联网用户均可通过其访问端口进行下载和使用,从而为海洋数据的分析处理和应用提供了良好的环境。而在国内,由于标准不统一、缺乏共享机制等原因,目前能够公开查阅和使用的数据非常有限,大量数据在各涉海管理部门、相关企业和科研院所内囤积,造成数据资源的浪费,也制约了数据的业务化应用。

1.3.3 信息应用服务方面的对比

美国在海洋军事、管控、开发等活动中,已建立了大量业务化信息服务系统,大范围使用甚至是依赖海洋相关信息开展活动,起到了良好的效果。反观国内,信息对各领域业务活动的支撑效果并不明显,虽然相关涉海部门、行业已初步建立信息系统,但大多仅停留在数字化办公和掌握基本情况的初级层面,对于信息自身价值的开发挖掘仍处于起步阶段,而这一价值主要体现在取代经验、对未来进行更准确的预测^[1]。

1.3.4 装备与技术支持方面的对比

海洋信息化建设必须以核心装备和技术为基础。2013年,中国海洋工程与科技发展战略研究结果表明^[14],仅有8%

的国产装备达到了国际先进水平,而22%的国产装备与国外先进水平存在5年差距,其余70%的装备差距在5~20年^[1]。尤其是在信息感知装备(如水下观测设备)方面,核心技术、关键零部件大部分依赖进口和国外配套,严重制约了中国海洋信息化的发展。

2 “智慧海洋”发展构想

“智慧海洋”是在海洋数字化、透明化的基础上,应用智能化信息技术和先进的海洋装备技术,发展而成的海洋智慧化高级形态。“智慧海洋”不仅将解决国内与国外海洋信息体系存在的差距和问题,更将进一步形成引领全球海洋事业发展的新优势。

2.1 “智慧海洋”的内涵

在“智慧地球”和“智慧城市”等智慧化概念的基础上^[15-16],结合海洋的自身特点,分析提出“智慧海洋”的内涵。“智慧海洋”是指以完善的海洋信息采集与传输体系为基础,以自主安全可控的海洋云环境为支撑,将海洋权益、管控、开发三大领域的环境、目标、活动数据进行集成、开放与共享,运用工业大数据^[17]、互联网大数据^[18]和科学大数据^[19]技术对历史数据、实时数据进行分析处理,并对未来发展趋势进行预测,形成面向军、政、民各类涉海用户的信息应用服务产品,指导海洋装备的使用与海洋活动的智慧开展,从而实现海洋资源共享、海洋活动协同,挖掘新需求,创造新价值,达到智慧经略海洋的目的。

2.2 “智慧海洋”的体系架构

参考“智慧城市”的体系架构,按照信息感知、传输、分析处理、应用的一般流程,以及相应的支撑保障功能,设计了“一顶一底五横两纵”的体系架构,如图4所示。

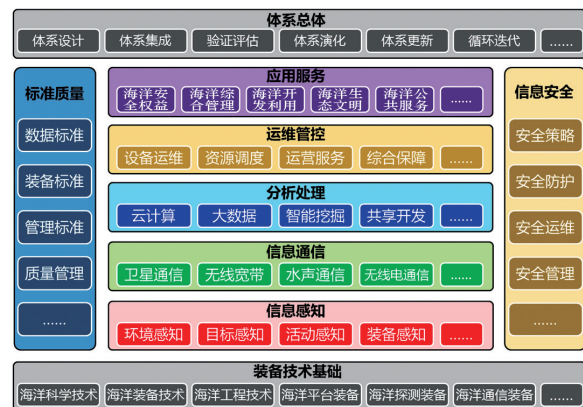


图4 “智慧海洋”的体系架构

Fig. 4 Framework of Smart Ocean

一顶是指面向整个“智慧海洋”的体系总体,基于当前与未来发展需求,按照体系工程的思想,开展体系设计、体系集成、验证评估、体系更新的循环迭代,推动整个体系的能力形成与提升;一底是指以海洋科学技术与装备为基础开展“智慧海洋”建设,必须加快推动科学研究、装备研发、工程技术的发展;五横是指以海洋环境、目标、活动和装备等信息的全

面立体感知为起点,以卫星、无线宽带、水声、无线电等多种海上通信手段为传输渠道,利用云计算、大数据等新一代信息技术,实现数据融合、价值挖掘、共享开发,进而形成智能化信息产品,在设备运维、资源调度、综合保障的运维管控体系的支撑下,实现对海洋安全权益、综合管理、资源开发、生态文明等活动的有效支撑。两纵则包括标准质量和信息安全两个保障体系,标准质量体系通过建立数据、装备、管理等方面的标准并实施质量监督和质量管理,实现整个“智慧海洋”的标准化运行和发展;信息安全体系则通过制定安全策略,建立安全防护机制、开展安全运维和管理,保障“智慧海洋”的运行安全。整个体系有机融合,相互衔接与合作,全面提升中国海洋信息体系能力与水平。

2.3 “智慧海洋”的体系工程特征分析

2.3.1 体系与体系工程

体系(system of systems, SoS)是由系统概念发展而来,是指在复杂多变、不断演化的背景下,面向任务,将一系列规模数量庞大、空间广阔离散分布、独立运作、独立管理的多个系统,以网络的形势进行集成,系统之间相互协作,实现单个系统所不具备的更高层次功能的有机整体^[20]。

体系工程是研究如何有效开展体系设计、开发、部署、运行和调整的学科,体系工程的相关活动跨越体系全寿命周期,主要解决独立系统的集成问题,确保以下4个方面得到实现^[21]。

- 1) 组成系统以自主方式独立开发、管理、运行,为体系提供合适的功能能力。
- 2) 在体系开发管理和运行过程中,考虑政治、经济、法律、社会和组织因素,包括投资方面的观点和关系。
- 3) 体系概念的、功能的、物理的和临时边界的变化不会对体系的管理与运行带来负面影响。
- 4) 体系的整体行为和与环境的动态交互能够满足或超出需要的能力。

2.3.2 建设“智慧海洋”是典型的体系工程

“智慧海洋”是面向国家甚至是全球海洋发展的高级形态,在将它作为目标开展工程建设的过程中,具备以下多方面的特征。

- 1) 体系庞大:包括了岸、海、空、天、潜各类海洋平台装备和传感器,以及信息从采集到使用的完整流程,是一个庞大的体系。
- 2) 涉及面广:从体系的建设、运行,到信息的应用,涉及了海洋安全、管理、经济、环境、人文等多个领域,覆盖面非常广泛。
- 3) 边界不确定:指工程建设、运行内容不完全确定,依据不同使用目标随时动态组合。
- 4) 动态演化:工程建设需求随整体宏观战略发展需求不断调整,体系组成与内容不断动态更新。
- 5) 空间分散:多个系统在不同地理空间上离散分布、独立运行。
- 6) 功能涌现:多个功能单一的系统集成为体系后,相互

协作从而实现更高层次的功能。

上述多个方面的特征与体系工程特征高度契合。因此,建设“智慧海洋”是一项典型的体系工程,也面临了体系工程的共性难题,如边界不确定、动态演化、不良功能涌现等,需要体系工程方法的有效指导。

2.4 “智慧海洋”的核心关键技术

建设“智慧海洋”需要大量相关技术的有力支撑,其中最为核心的技术包括以下3个方面。

1) 体系工程技术:站在“智慧海洋”的体系层面,有效利用系统网络分析技术、建模与模拟分析技术、设计与优化技术、集成与交互技术、测试与评估技术、分阶段演化规划技术等,有效支撑“智慧海洋”全周期建设,确保体系设计合理、运行顺畅,有效实现既定目标。

2) 平台与装备技术:海洋信息感知、通信体系建设是以平台和装备技术为基础的^[22],从第1.3.4节的对比分析来看,平台与装备技术的差距,特别是深远海平台装备的传感器与核心零部件是制约“智慧海洋”建设的主要瓶颈;因此,平台装备技术水平的提升也是“智慧海洋”建设的主要任务之一。

3) 数据挖掘技术:挖掘感知与通信层获取的数据,以此做出最优决策指导各类海洋活动,是“智慧海洋”的核心价值所在,当前我国对于海洋环境、目标、活动等多元数据的融合与挖掘技术研究刚刚起步^[23],随着“智慧海洋”建设的逐步推进,其重要性将进一步显现,具有广阔的发展前景。

3 运用体系工程方法推进“智慧海洋”建设

当前,国内针对体系工程方法的研究刚刚起步,相关理论基础尚处于研究探索阶段,尚未形成统一的学科基础。在指导建设“智慧海洋”这一迫切需求的牵引下,笔者基于自身多年在大型信息体系集成建设方面积累的成功经验,以及对体系工程发展的长期跟踪与深入思考,摸索形成了一套体系工程建设的经验方法,以此为基础,尝试提出推进“智慧海洋”建设的具体方法。

在深入分析“智慧海洋”体系特征的基础上,笔者认为需要从体系设计、集成验证、虚实共建3个方面按照体系工程方法推进建设工作,而具体装备的建设可按照现有系统工程方法开展工作。

3.1 持续不断的体系设计与深化

考虑到“智慧海洋”具有体系复杂、规模庞大、涉及面广、空间分散、动态演化等特征,需要在工程建设之初就强化其体系总体设计并不断深化,具体分为以下4个方面。

1) 需求开发:紧跟国家海洋发展战略,长期分析研究整体战略对“智慧海洋”提出的能力需求,不断对能力需求进行动态更新调整,以此作为“智慧海洋”的体系设计与体系优化的输入条件。

2) 功能分解:依据体系整体能力需求,在“智慧海洋”体系架构的基础上,设计体系的组成要素,统筹考虑各要素之间的相互关系,进行体系功能分解,明确各要素在体系中需要实现的能力。

3) 方案设计:在功能分解的基础上,综合评估国内装备与技术水平,进一步量化各要素的技术指标,设计各要素的地理空间布局,并梳理形成整个体系有机运行的流程,形成具备可操作性的实施方案。

4) 仿真评估:构建全数字化的计算机仿真环境,按照实施方案建立“智慧海洋”数字化模型,依据运行流程开展动态仿真,评估各要素之间是否有效衔接,运行是否流畅,整个体系能力是否实现。再将评估结果反馈至功能分解与方案设计环节中,进一步优化设计方案。

只有通过持续不断的体系设计与深化,才能确保建设内容的完整性、协调性和匹配性,使各系统形成相互协作的有机整体,打破原有海洋信息资源一盘散沙的局面,形成基础共用、资源共享、互融互通、协调合作的新型海洋信息体系。

3.2 多层次的体系集成与验证

建设“智慧海洋”涉及成百上千个不同型号的系统和设备,为确保其能够按照设计方案形成有机整体,实现既定目标,必须高度重视并抓好自下而上的体系集成与验证工作,具体从以下4个方面开展。

1) 原型系统集成与验证:构建滨海试验场,将逐步完成的各型设备在试验场中进行集成联调,形成涵盖“智慧海洋”全要素的原型试验系统,在真实环境中验证各型设备的运行效果。

2) 区域示范集成与验证:在各沿海省市选取需求迫切、条件成熟的海域进行区域性试点示范,逐步扩大建设规模,不断集成验证,总结经验,形成面向区域的成功示范样板。

3) 体系整体集成与验证:在黄海、东海、南海开展大规模建设与体系整体集成,通过运维管控中心监控体系集成运行情况,在实际运行过程中验证体系功能实现情况^[24]。

4) 效能评估与迭代优化:在上述3个层次的集成验证过程中,分析评估体系中各要素的体系贡献率^[25],发现体系运行中出现的短板,并将评估结果反馈至设计方案进行迭代优化。

集成与验证是确保“智慧海洋”建设形成能力的关键环节,是对整个建设过程进行闭环控制的有效手段,是应对边界不确定、动态演化、空间分散等难题的有效途径。

3.3 虚拟空间与实体空间协同推进建设

“智慧海洋”不仅是中国海洋信息体系的深化建设,更是在智能化技术发展的历史趋势下,利用数据深刻地理解过去与现在,智慧地预测未来。与此同时,考虑到“智慧海洋”体系规模庞大,内容复杂,功能涌现等特点,将在工程的建设和运行过程中产生一系列不可知不可见的问题。实现海洋事业的智慧运营和发展,解决不可知不可见问题,迫切需要在实体空间(各型设备)建设的同时,利用信息物理系统技术(cyber physical system, CPS)^[17]协同推进“智慧海洋”虚拟空间建设,并强化虚实之间的互动。

CPS技术是实现海洋智慧的有效途径。类似人类通过“记忆、认知、总结、决策、行动”的模式体现智慧,CPS技术在虚拟空间中建立了人、机、物、环境、信息等要素与实体空间

的相互映射,数据为载体,实现历史积累(记忆)、信息提取(认知)、知识转化(经验总结)、预测决策,形成“数据-信息-知识-价值”的智慧化核心能力,从而以最优的方案指导开展各类海洋活动。

CPS技术是解决“智慧海洋”不可知不可见问题的重要手段。“智慧海洋”体系中成百上千套设备同时运行,将存在大量不可知不可见因素,产生不良涌现问题^[26],从而给体系正常运行带来风险。在CPS技术构建的“智慧海洋”虚拟空间中,利用数据对体系、系统、设备的运行状态进行实时监控,根据历史数据的经验知识对当前状态进行判断,对未来发展趋势进行推演预测,可将实体空间中不可知不可见问题转化为虚拟空间中的可知可见问题,有效解决不良涌现带来的运行风险。

4 结论

因在体系化建设、信息共享开发、持续增强海洋观测能力和信息充分有效利用等方面的先进理念和长期投入,美国已建立了全球领先的海洋信息体系。中国经过多年建设,已在该领域打下了坚实的基础,但仍在体系完整性、数据开放性、信息应用的广泛性和有效性、装备技术先进性等方面存在较大差距。此外,海洋信息化标准、顶层规划设计方面的不足也是急需解决的问题。

顺应信息技术智能化发展的趋势,为尽快缩小国内外海洋信息体系差距,支撑国家海洋战略,提出了“智慧海洋”的发展构想,在深入理解其内涵的基础上,设计了涵盖顶层设计、装备技术、感知、通信、数据分析、运维管控、应用服务、标准规范、信息安全的“一顶一底五横两纵”体系架构。从“智慧海洋”的规模庞大、体系复杂、边界不确定、动态演化、功能涌现等一系列特点出发,笔者认为建设“智慧海洋”是一项典型的体系工程,需要体系工程方法的有力指导。

基于多年大型信息体系集成建设工作摸索形成了一套体系工程建设经验方法,提出了持续不断的体系设计与深化、多层次的体系集成与验证、运用CPS技术协同推进虚拟空间与实体空间建设3个方面的实施建议与具体做法,以求有效推动“智慧海洋”建设。

参考文献(References)

- [1] 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):46-51.
Cheng Junchao, He Zhongwen. Analysis and expectation of China's maritime informatization status[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(2): 46-51.
- [2] 游光荣,张英朝.关于体系与体系工程的若干认识和思考[J].军事运筹与系统工程,2010,24(2):13-20.
You Guangrong, Zhang Yingchao. Research on Systems-of-Systems and SoS engineering[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2010, 24(2): 13-20.
- [3] 陈文英,张兵志,谭跃进,等.基于体系工程的武器装备体系需求论证[J].系统工程与电子技术,2012,34(12):2479-2484.
Chen Wenying, Zhang Bingzhi, Tan Yuejin, et al. Requirement demonstration of armament system of systems based on system of systems engineering[J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(12): 2479-

- 2484.
- [4] 陈义, 程言. 天文导航的历史发展、现状及前景[J]. 中国水运(理论版), 2006, 4(6): 26-29.
Chen Yi, Cheng Yan. The development history, present situation and Prospect of celestial navigation[J]. China Water Transport (Theory Edition), 2006, 4(6): 26-29.
- [5] 王祎, 高艳波, 齐连明, 等. 我国业务化海洋观测发展研究——借鉴美国综合海洋观测系统[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] Naval Oceanographic Office. USA fleet forces naval oceanography overview[EB/OL]. [2013- 04- 30]. <https://publicintelligence.net/u-s-fleet-forces-naval-oceanography-overviews.pdf>.
- [7] National Ocean Council. National ocean policy implementation plan[EB/OL]. [2013- 04- 30]. https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/national_ocean_policy_implementation_plan.pdf.
- [8] Naval Oceanographic Office. One team, one goal[EB/OL]. [2017- 06- 30]. https://www.lib.noaa.gov/about/news/titley_10052012.pdf.
- [9] 夏立平, 苏平. 美国海洋管理制度研究——兼析奥巴马政府的海洋政策[J]. 美国研究, 2011(4): 77-93.
Xia Liping, Su Ping. Research on American marine management system: Analysis of Obama administration's marine policy[J]. American Studies Quarterly, 2011(4): 77-93.
- [10] 何广顺. 海洋信息化现状与主要任务[J]. 海洋信息, 2008(3): 1-4.
He Guangshun. Present situation and main tasks of marine informatization[J]. Marine Information, 2008(3): 1-4.
- [11] 崔爱菊, 曲媛媛, 韩京云. 浅谈“908专项”档案整理工作[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(12): 46-48.
Cui Aiju, Qu Yuanyuan, Han Jingyun. Discussion on the filing work of "908 special items"[J]. Ocean Development and Management, 2013, 30(12): 46-48.
- [12] 姜晓轶, 石绥祥, 胡恩和, 等. 我国数字海洋建设中几个问题的思考[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(3): 14-17.
Jiang Xiaotie, Shi Luoxiang, Hu Enhe, et al. Reflections on several problems of digital marine construction in China[J]. Ocean Development and Management, 2013, 30(3): 14-17.
- [13] 吴立新. 努力将海洋变成“透明海洋”[N]. 经济日报, 2015-05-05(011).
Wu Lixin. Try to turn the ocean into a transparent ocean[N]. Economic Daily News, 2015-05-05(011).
- [14] 金翔龙. 中国海洋工程与科技发展战略研究: 海洋探测与装备卷[M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
Jin Xianglong. China Ocean Engineering and science and technology development strategy research: Ocean exploration and equipment roll [M]. Beijing: Ocean Press, 2013.
- [15] 许晔, 郭铁成. IBM“智慧地球”战略的实施及对我国的影响[J]. 中国科技论坛, 2014(3): 148-153.
Xu Ye, Guo Tiecheng. The influence of IBM "Smarter Planet" on China[J]. Forum on Science and Technology in China, 2014(3): 148-153.
- [16] 熊璋. 智慧城市[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
Xiong Zhang. Smart city[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [17] 李杰. 工业大数据: 工业4.0时代的工业转型与价值创造[M]. 邱伯华, 译. 北京: 机械工业出版社, 2015.
Jay Lee. Industrial big data: The revolutionary transformation and value creation in Industry 4.0 Era[M]. Qiu Bohua, trans. Beijing: Machinery Industry Press.
- [18] 陶彩霞, 谢晓军, 陈康, 等. 基于云计算的移动互联网大数据用户行为分析引擎设计[J]. 电信科学, 2013, 29(3): 27-31.
Tao Caixia, Xie Xiaojun, Chen Kang, et al. Design of mobile internet big data user behavior analysis engine based on cloud computing[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(3): 27-31.
- [19] 王辉, 刘娜, 逢仁波, 等. 全球海洋预报与科学大数据[J]. 科学通报, 2015, 60(5/6): 479-484.
Wang Hui, Liu Na, Pang Renbo, et al. Global ocean forecasting and scientific big data[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(5/6): 479-484.
- [20] 阳东升, 张维明, 张英朝, 等. 体系工程原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
Yang Dongsheng, Zhang Weiming, Zhang Yingchao, et al. The principle and technology of system engineering[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.
- [21] DeLaurentis D. Understanding transpotation as a system of systems design problem[C]//43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. New York: AIAA, 2005: 10-13.
- [22] 陈小龙, 关键, 黄勇, 等. 雷达低可观测目标探测技术[J]. 科技导报, 2017, 35(11): 30-38.
Chen Xiaolong, Guan Jian, Huang Yong, et al. Radar low-observable target detection[J]. Science & Technology Review, 2017, 35(11): 30-38.
- [23] 何友, 黄勇, 关键, 等. 海杂波中的雷达目标检测技术综述[J]. 现代雷达, 2014, 36(12): 1-9.
He You, Huang Yong, Guan Jian, et al. An overview on radar target detection in sea clutter[J]. Modern Radar, 2014, 36(12): 1-9.
- [24] Royce W W. Managing the development of large software system[C]// Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1987: 328-338.
- [25] 吕惠文, 武庆春, 张炜. 基于灰色证据理论的装备体系贡献率评估[J]. 军事交通学院学报, 2017, 19(5): 22-27.
Lv Huiwen, Wu Qingchun, Zhang Yi. The assessment rate of equipment system grey evidence theory based on contribution[J]. Journal of Military Transportation University, 2017, 19(5): 22-27.

Construction of smart ocean based on the systems engineering

ZHANG Hongjun, HE Zhongwen, CHENG Junchao

China Shipbuilding Industry Systems Engineering Research Institute, Beijing 100094, China

Abstract In order to meet the urgent requirements of building a maritime power for China, and promoting the implementation of "the 21st Century Maritime Silk", it is necessary to turn the marine information, from the "digital ocean" to the "mart ocean". This paper analyzes the successful experience of the foreign marine information construction and the main problems of our country. The concept of the "smart ocean" and its connotation and system composition are proposed, to comprehensively enhance the capability of China's marine information system. The smart ocean is to be constructed based on the systems engineering, This paper proposes the direction for the deep integration of the marine informatization and industrialization in China.

Keywords system of systems engineering; marine informatization; smart ocean; integration of informatization and industrialization

(责任编辑 刘志远)