

大国科研体系工程助推“智慧海洋”迈入新征程

——中国船舶工业系统工程研究院创新纪实

本报记者 马爱平



12月5日,会自主学习、能选择最优航线、提前发现事故隐患的全球首艘智能船舶“大智”轮在上海举行的中国国际海事展上正式发布,这表明我国在商船设计和建造方面走上了世界前列,为无人船研发打下坚实基础。

在“大智”轮正式亮相后,船上安装的由我国自主研发的全球首个会自主学习的船舶智能运行与维护系统(SOMS)备受关注。此前我国船舶“大脑”多从国外进口,而这套系统让船舶有了智慧和爱学习的“大脑”,敏锐的“五官”、通畅的“神经”、强劲的“心脏”,部分关键系统、设备在国际上属首次应用,技术性能全面达世界先进水平。

SOMS系统就是由中国船舶工业系统工程研究院自主研发的,这也是该研究院运用体系工程方法建设“智慧海洋”的重大成果之一。近年来,中国船舶工业系统工程研究院努力做“信息主导、体系建设”的践行者,为新时代中国海军梦凝聚强大力量。

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,作为最早以“系统工程”命名的军工科研单位,中国船舶工业系统工程研究院提出了“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,中国船舶工业系统工程研究院认为建设“智慧海洋”是一项典型的体系工程,需要体系工程方法的指导。

如今,中国船舶工业系统工程研究院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技术协同推进虚拟设计与实体空间建设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。

首倡“智慧海洋”

“智慧海洋”是海洋信息化发展必然趋势

中国船舶工业系统工程研究院院长张宏军说,随着航行经历增加、数据积累,“大智”会越来越智能,比如船舶里设备很多、非常复杂,“大智”通过特有的实时健康状态评价与预警分析工具,结合趋势预测模型,防微杜渐,能提前发现隐患,显示问题原因与关键变化参数,帮助船员高效排除安全隐患,达“近零故障”运行,并提供省时、省油、舒适和低综合成本的航线优化决策等。

在这其中,SOMS系统发挥了举足轻重的作用,该系统包含着110余个智能数据分析模型,拥有34项专利,不仅可以实现全船各系统及设备的信息融合及共享,还可以面向用户各项需求,低成本、快速响应地提供定制化个性化应用。

据测算,38800吨智能“大智”轮货船,与基础船型Green Dolphin 38800吨货船相比,推进效率可提高约3%,日均油耗可降低约4%。如此效果,就是中国船舶工业系统工程研究院运用体系工程方法建设“智慧海洋”的目标之一。

中国船舶工业系统工程研究院是“智慧海洋”工程的首倡者,为什么提出“智慧海洋”?

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。

张宏军说,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,其智能化发展,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”,也将成为海洋信息化发展的必然趋势。

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。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。

张宏军说,“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。

“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、互联网大数据和科学大数据技术对历史数据、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,达到智慧战略海洋的目的。

张宏军说,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。

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。

善用体系工程

使“智慧海洋”成为体系工程典范

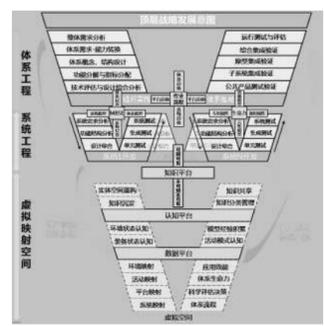
那么,“智慧海洋”应该如何建设呢?张宏军说,海洋信息化建设是一个典型的系统工程,不仅涉及信息采集、传输、分析处理、应用服务等各个领域,还面临内容复杂、目标多样、边界不确定、不断动态发展等挑战。

体系工程作为近年来在系统工程理论基础上深化发展,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,已被应用于军事装备体系建设领域,并取得了显著成效。

张宏军说,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。

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生命周期,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: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;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;体系概念的、功能的、物理的和临时



体系工程V++模型

边界的变化不会对体系的管理与运行带来负面影响;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。

张宏军说,建设“智慧海洋”是一项典型的体系工程,面临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力指导。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体系工程技术、平台与装备技术、数据挖掘技术三个方面。

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,中国船舶工业系统工程研究院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,张宏军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。

张宏军进一步解释,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,具体分为需求开发、功能分解、方案设计、仿真评估4个方面。

“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、互联互通、协调合作的新型海洋信息体系。”张宏军说。

中国船舶工业系统工程研究院在建设“智慧海洋”砥砺前行,“智慧海洋”建设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,中国船舶工业系统工程研究院高度重视并抓好自下而上的体系集成与验证工作,具体从原型系统集成与验证、区域示范集成与验证、体系整体集成与验证、效能评估与迭代优化4个方面开展,并取得了丰硕的成果。

对于未来,张宏军深有感触地说,“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,将在工程建设和运行过程中产生一系列不可知不可见的问题。

“系统工程本身是正向设计,是支撑技术创新的最重要的设计方法之一。我们以前理论层面上的创新少,大多是具体的某个工程技术上的创新。但是当下,系统工程理论在系统工程研究院已经掀起了一股高潮。在国家重要战略和具体工程的牵引下,在系统工程理论的指导下,我相信未来的创新会有更大、更快的发展。”张宏军说,中国船舶工业系统工程研究院已吹响系统工程理论向体系工程发展的号角,也有自信肩负起这项使命,扛起这面旗帜。

铸基江河 为水库大坝打造地下生命线

——中国电力建设集团有限公司总工程师宗敦峰研究团队砥砺攻关纪实

赵明华 本报记者 马爱平



云南红石岩8.03地地震震石堰塞体整治防渗墙,难度世界罕见,前所未有

1959年水利部为解决北京密云水库坝基渗漏问题,基础总队应运而生,即现在的中国水电基础局有限公司。水库大坝的基础部分,在水库运行时承担的水头远远大于地上部分,是水库运行的安全屏障。

几代人,几十年,只为做一件事——为水库大坝建造坚实的基础,铸基江河。

上世纪70年代以来,中国水电基础局有限公司与中国水利水电科学研究院、清华大学等科研院所合作,一起开展了地基与基础工程领域的“六五”“七五”“八五”科技攻关,为我国地基与基础处理工程技术的发展奠定了基础。

驻守工程一线 构筑世纪工程的水下生命线

上世纪90年代,三峡工程作为水电行业的世纪工程,它的建设面临诸多世界级技术难题。其中的大江截流后上游围堰防渗墙工程,面临着地质条件复杂、深度大、工期紧、技术要求高的压力,被当时三峡工程专家组成员潘家铮院士称作是命脉工程,是三峡工程建设的地下生命线,综合技术难度世界罕见。

技术的挑战,却吸引了1983年毕业于水利水电工程专业的清华才子宗敦峰投入到了工程建设一线。他身上流淌着沸腾的热血,给人的感觉却如迎面扑来儒雅之风的谦谨学者。当时,他担任中国水电基础局有限公司三峡项目部现场的第一负责人,吃住在施工第一线,与现场技术人员和工人共同研究解决技术难题,摆脱复杂地质、狭窄施工场地等条件的束缚,以严谨务实的科学精神,百分之百的精力投入,不断解决一道道技术难题。

长江在三峡段河床覆盖层内含有大量的漂石,且两岸岩坡陡峭,这些都对传统工艺造成挑战,项目组针对三峡工程的具体情况,快马加鞭地对国产设备进行改进及全新的研制,对工艺技术进行大胆创新,最终形成了

“新钻劈法”“钻爆法”“铣砸爆法”“铣抓钻法”等系列新型工程技术。

当时国内引进了第一台德国生产的液压铣槽机用于三峡防渗墙工程,项目部设立了专项机构,挑选精兵强将,配备管理、专业技术人员,由宗敦峰同志亲自领导,分岗设人,各负其责,组成创新机组,完善系统,简化工艺,对主要消耗性材料进行国产化试验。

国内首次使用这种大型设备,在没有外方人员保驾的情况下,充分发挥了大型设备的作用。BC30液压铣于1997、1998年两次被评为三峡工程“先进设备”,受到三峡总公司的表彰,同时被当时的国家电力公司评为“青年文明号”机组。

千里之堤,溃于蚁穴,施工质量是防渗工程的关键,宗敦峰带领团队始终“如履薄冰、如临深渊”,不敢对工程质量有丝毫的掉以轻心。

1998年长江发生特大洪水,当时三峡上游围堰防渗墙深槽段下游墙正处汛期施工,参战团队的每一个成员以战天斗地的精神,克服了极端的气象条件和恶劣的地质条件,于8月6日胜利竣工。防渗墙当年经历了12次特大洪峰考验而稳如泰山。1998年9月2日基坑水抽干后,防渗墙的各项指标均达到了设计标准。标志着我国混凝土防渗墙工程技术的综合施工能力已达当时的世界领先水平,“长江三峡二期上游围堰防渗墙施工技术研究与工程实践”获得2004年国家科学技术进步二等奖。

前瞻立项攻关 提升我国防渗墙施工技术水平

进入21世纪,我国水电工程的开发重点逐步向西部地区转移,向长江、黄河、澜沧江、雅鲁藏布、大渡河等大江大河中上游发展,西部地区大型水利工程建设步伐也将大大加快。



宗敦峰(右六)在施工现场

时任中国水电基础工程局局长的宗敦峰敏锐地意识到这一趋势,针对西部地区水利水电工程大多地处高原、山高谷深、覆盖层深厚、气候恶劣,工程建设面临众多技术难题这一现实,提前谋划,前瞻性地立项课题立项和科技攻关。

防渗墙作为覆盖层坝基防渗处理最经济可靠的措施,本世纪初我国不具备100m以上防渗墙工程的施工能力,特别是150—200m超深与复杂地质条件防渗墙施工,国内外没有施工先例,面临诸多世界级难题。当时国外在深厚覆盖层上建造防渗墙的深度纪录是加拿大马尼克-3号心墙土石坝,防渗墙深度130.4m,而地质条件相对单一。

而我国西部的河流覆盖层地质条件极其复杂。这主要是我国幅员辽阔,气候条件、气象条件、地形地质条件差别巨大。尤其是最新的喜马拉雅造山运动形成的青藏高原受海平面升降的影响,在其周缘地带形成深切河谷。造成我国西南高山峡谷区形成冲洪积、崩坡积、冰水堆积混合型深厚覆盖层和高寒高原区冰积、冲洪积混合型深厚覆盖层。我国西部地区的地质条件决定了防渗墙建造技术的世界级难度。坝基渗漏及渗流控制是超深覆盖层上高坝建设的关键,这一技术若不攻克,根本无法在深厚覆盖层上建坝。

国内外许多大坝失事,大都是防渗体系失效或遭到破坏。放眼未来,我国将有一大

批高坝需要在百米以上超深复杂地质条件覆盖层地基上建设,最大覆盖层已探深度达567米,地基处理难度在世界前所未有。不通过科技攻关加以突破,将严重制约我国高坝建设的发展,相关损失是不可估量的。

围绕研究目标和主要内容,研发团队紧扣新设备机具研制与改造、施工新技术研究、新型成槽工艺研究和新材料研发四条主线展开攻关。

从2001年在四川冷勒水电站进行了100m深防渗墙施工试验开始,开展了设备性能适应性、配套施工工艺、接头技术等储备性研究。2002年在新疆下坂地水利枢纽工程中开展了100m深防渗墙施工试验,包括重型冲击式钻机、接头管墙段连接技术研究等。持续的研究,不断突破了各种技术瓶颈,一路过关斩将。

2005年在四川狮子坪水电站成功实施了深度101.8m的坝基防渗墙生产性施工,2008年泸定水电站坝基防渗墙施工深度达到125m,到2014年在西藏旁多水利枢纽工程中坝基防渗墙深度创造了201m的世界纪录。

研究形成了200m级超深防渗墙成套成槽设备与机具、防渗墙成套造孔挖槽工法技术体系、新型固壁浆液技术、超深防渗墙接头管接头技术与成墙技术、复杂恶劣地质条件下防渗墙施工技术五大关键技术,实现了防渗墙施工技术的重大创新,全面提升

了我国防渗墙施工技术的水平。以旁多工程成槽最大深度201m、在建新疆大河沿工程最大深度186.15m为标志,我国具备了200m级复杂地质条件防渗墙施工水平。

视困难为担当 解决复杂地质条件下建坝瓶颈

十余年的坎坎坷坷,十余年的磨难曲折,宗敦峰研究团队把困难视作担当,夯实了在复杂地质条件下超深覆盖层上建坝的牢固基础,这些创新成果,像初春的田野,微风拂过,到处生机勃勃。

超深与复杂地质条件混凝土防渗墙关键技术研究依托一大批高难度防渗墙工程,历时十三年,采用边研究、边应用、边改进的方式开展研究,取得了一大批科技成果。其中获得发明专利8项,实用新型专利13项;主编行业标准2项,形成国家级工法6项,省部级工法9项,出版专著11部,发表论文39篇,并培养了一大批硕士、博士、施工专家和专业技术人才,为全面超越和领先世界下连续墙(防渗墙)施工技术水平做出了实质性的突破。

这些成果不仅解决了在复杂地质条件下建坝的技术瓶颈,而且其应用范围还不断向交通、建筑、矿山、环保等领域拓展。项目研究成果已在10多个高难度依托工程和众多其他建设项目广泛应用,在江苏润扬大桥、武汉阳逻大桥、京沪高铁、深圳地铁、郑州龙湖新区人工湖、阳江核电站、马来西亚地铁等国



西藏旁多工程,创造混凝土防渗墙201m深的世界纪录

内外等其他基础设施行业的工程中得到应用,社会效益显著。

可以预见,通过复杂地质条件高难度病险库除险加固工程应用,将为我国病险库加固除险工程作出积极贡献;技术应用于大型围堰防渗墙施工,将为我国西部地区大型水利水电导流工程提供技术支持;技术应用于建筑、桥梁等地基,可有效减少基础的空间占用和抬高基础的可靠性;技术应用于矿山尾矿坝和垃圾填埋场的垂直防渗,可有效控制污染物扩散等环境问题。

项目的成套技术中废废水、废浆、废渣处理技术具有明显先进性,也十分有利于环境保护;研究改进的设备机具与工法技术大幅提高了施工效率,节能减排效果明显,显著提高了防渗墙技术的绿色施工水平。同时,通过项目研究成果在相关行业和国际工程的应用,为行业企业拓展经营领域,实施“走出去战略”,也将提供有利技术支撑。

