

我国内河智慧航道现状、问题与展望^{*}

洛佳男, 耿雄飞, 文 捷, 李春旭

(交通运输部水运科学研究院, 北京 100088)

摘要: 智慧航道是伴随智能航运发展而衍生出的新型航道信息化研究和建设方向, 相关研究和工程建设已在全国范围内迅速发展。为了厘清现阶段智慧航道发展所处的历史地位, 科学有效地推进智慧航道研究与建设, 通过全国范围的航道信息化调查研究, 以国家五年计划为主线, 将智慧航道发展划分为3个阶段, 分析各个阶段的主要成效, 指出目前智慧航道概念不明、缺少智能航行支持、电子航道图标准不统一、更新机制滞后、服务能力不足以及缺失信息共享机制等存在的问题, 并从智慧航道评价体系构建、智能航行支持、S-100标准应用以及多级内河航道网运行监测机制建设4个方面提出发展建议。

关键词: 内河航道; 智慧航道; 智能航行; 电子航道图; S-100

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)02-0123-06

Research status, problems, and prospects of smart channel for inland river in China

LUO Jia-nan, GENG Xiong-fei, WEN Jie, LI Chun-xu

(China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100088, China)

Abstract: The smart channel is a new information-based research and construction direction of channels, which is derived from the development of smart shipping. Relevant research and engineering construction have developed rapidly throughout the country. This study is to clarify the historical position of the development of smart channels at this stage and promote the research and construction of smart channels in a scientific and effective manner. Specifically, this paper divides the development of smart channels into three stages through nationwide information-based research on channels, taking the national five-year plan as the main line. Then, it analyzes the main results of each stage and points out the existing problems such as the unclear concept of the smart channel, lack of intelligent navigation support, the non-unified standard of the electronic navigation chart(ENC), the lagging update mechanism, insufficient service capability, and the absence of the information sharing mechanism. On this basis, it puts forward relevant suggestions from four aspects: the construction of the smart channel evaluation system, intelligent navigation support, application of the S-100 standard, and construction of the operation monitoring mechanism for multi-level inland waterway networks.

Keywords: inland waterway; smart channel; intelligent navigation; ENC; S-100

智慧航道是在现代信息技术、人工智能技术与航道业务的融合牵引下, 由数字航道演化而来的新一代航道信息化发展战略, 对提升内河航运安全性及航行效率具有重要的促进意义^[1]。智慧航道具有显著的阶段性特征, 在不同的科学技术

水平下具有不同的内涵、任务和内容。智慧航道与智能航道在业界通常代表相同含义, 但“智能”和“智慧”具有本质区别^[2], 在现有技术水平下仍难以实现生物学意义上的智慧, 因此, 智能航道更符合现阶段的发展形态。智能航道的定义是:

收稿日期: 2022-05-16

*基金项目: 绿色智能内河船舶创新专项; 交通运输部水运科学研究院基本科研项目(182212)

作者简介: 洛佳男(1986—), 男, 从事地理信息系统、智能航运、航海安全等方面的研究。

在数字航道基础上,利用智能传感器、物联网、自动控制、人工智能等技术,自动获取航道系统要素信息,通过融合处理与深度挖掘,动态发布航道有关信息,实现航道规划科学化、建养智能化、管理现代化,为航运企业运输决策、船舶航行安全、海事监管、政府水上应急等提供全方位、实时、精确、便捷的服务^[3],对现阶段航道信息化发展描述准确。

2019 年,交通运输部等 7 部门联合印发《智能航运发展指导意见》^[4],开启航运智能化发展的新篇章。意见明确“航道、船闸等基础设施与智能船舶自主航行、靠离码头、自动化装卸货的配套衔接水平…;加快推进物联网、云计算、大数据、人工智能等高新技术在航道等领域的创新应用…;加快电子海图和内河电子航道图标准化步伐,扩大覆盖范围,提高数据精度…”等主要任务,为智慧航道赋予了新的使命和建设目标。

为了科学有效地推进智慧航道研究与建设,更好地适应和服务未来航道管理、水上交通、船公司运营以及海事监管与应急等智能化衔接需要,本文通过全国各省及长江、珠江航道主管部门航道信息化建设情况调查研究,对当前我国智慧航道建设历程、主要成果和成效以及存在的问题进行分析与总结,提出促进智慧航道发展的若干建议,并对后续智慧航道发展愿景提出展望。

1 智慧航道发展历程及特征

1.1 数字航道起步与发展阶段

第 1 阶段(2001—2010 年),数字航道起步与发展阶段,地理信息系统(GIS)与电子航道图是该阶段的核心技术与研究建设内容,长江航道是数字航道研究和建设的主体。我国的数字化建设始于 2000 年,时任福建省省长的习近平同志率先提出建设“数字福建”的战略构想,并以创新的理念,跳出原有地理空间局限,全新定义信息化与数字化的内涵与外延、应用的领域与方式^[5]。

长江干线航道是该阶段数字航道建设的主体。长冮南京航道局从数字地图、数字地球角度提出

基于 3S 技术的数字长江航道建设思路^[6],研究了长江下游航道动态数字图形库建设涉及的技术与工具^[7]、基准与规范,并对比 S-57 标准电子海图提出“长江下游电子海图”的设想。在该阶段,行业专家系统性研究了数字航道的目标、原则、主要内容和关键技术,明确了以 GIS 为技术核心、由信息基础设施、空间数据基础设施和应用为主体的总体框架^[8-10]。

2003 年 1 月,交通运输部(原交通部)正式批复实施《长江干线航道发展规划》,计划到 2020 年完成从云南水富港至上海长江口(50 号灯船)全程 2 838 km 的航道建设。2004 年 11 月 8 日,《长江干线航道发展规划》正式实施。在此期间,长江干线航道测量设施及设备建设一期工程实施完成,对建设数字航道、逐步实现航道数字化测量和数字化管理有重要作用。2006 年 10 月,交通运输部正式批准在具有通江达海、经济发达等优越条件的长江下游南京—浏河口河段(396 km)建设我国第 1 段数字航道,并于 2008 年建成。2010 年启动长江干线电子航道图生产与服务系统建设工程,长江电子航道图 1.0 系统正式启动。

此外,在珠江、京杭大运河等流域也相继启动了以视频系统、航标遥测遥控系统、射频识别技术等应用为标志的数字航道研究与建设,从重点航段逐步向高等级航道扩展。

1.2 数字航道向智能化航道过渡阶段

第 2 阶段为“十二五”至“十三五”期间(2011—2020 年),由数字航道向智能航道过渡阶段,智能航道的概念首次提出,航道要素自动感知、电子航道图编绘、航道运行监测、一体化通信网络、航道信息服务以及标准体系编制是该阶段的主要技术特征。

2011 年 1 月 21 日,国务院正式颁发《关于加快长江等内河水运发展的意见》,要求利用 10 a 时间,建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系。此后,数字航道在长江、珠江、京杭大运河等水系范围全面开展。截至 2020 年,长江干线已完成 2 687.6 km 的数字航道建设,电子航

道图生产能力达2 000幅/a, 在航道感知基础设施、航道运行监测与预警、保障调度以及公共服务方面体系化、常规化和标准化, 先后编制了数字航道相关水运工程行业技术标准。广东、广西共同完成了珠江航运综合信息服务系统建设, 整合了珠江干线电子航道“一张图”, 编制了《珠江航运综合信息服务系统工程电子航道图建设技术标准》。京杭大运河在船闸智能化调度方面取得了诸多图谱, BIM与数字孪生技术在航道和船闸运行监测中进行了深度应用。

1.3 智能航道发展与智慧航道起步阶段

第3阶段以“十四五”为起点(2021年), 智能航道概念取代数字航道, 并向智能化方向深入探索, 目前仍处于智慧航道起步和规划阶段。2019年《交通强国建设纲要》与《智能航运发展指导意见》、2020年《内河航运发展纲要》以及2021年《国家综合立体交通网规划纲要》是引领和推动智慧航道建设的主要指导性文件。

在国家层面以及各省不同程度开展了具有针对性的研究工作, 规划了“十四五”期智慧航道的主要建设任务, 目前多项以智慧航道为题的建设工程已经启动建设。2021年交通运输部组织开展了智能航运先导应用试点工作, 鼓励智慧航道与自动驾驶领域的协同应用。交通运输部水运局指导开展了智慧航道研究与国家智慧航道平台建设方案编制, 对智慧航道的内涵、主要任务和建设内容进行了研究。长江拟利用更先进的智能感知、大数据和信息技术赋能航道业务, 进一步升级动态监测、养护管理、公共服务等基础体系, 逐步建成动态感知更快、维护管理更准、服务供给更精的“智慧大脑”。珠江、西江干线拟在“十四五”期间分期完成全流域高等级智慧航道建设, 目前广东省智慧航道一期项目已接近尾声, 航道管理和服务能力显著增强。京杭大运河流域以智慧航运建设思路为主线, 提出智慧航道建设总体框架, 重点开展智慧船闸、数字航道、服务决策与支撑平台建设^[11], 编制了《内河智慧航道建设导则(暂行)》等系列支撑标准, 部署实施了曹娥江

上虞段智慧航道工程建设, 计划2022年投入运行。黑龙江2021年启动智慧航道建设发展研究, 强调智慧航道发展要“量体裁衣”, 要以问题、目标、需求为导向深化研究^[12]。

总体来看, 目前智慧航道建设仍处于起步和摸索阶段, 是在数字航道基础上对航道网络化和智能化的补充和升级。本文认为, 在此阶段, 除了航道立体感知网络、人工智能(目标识别、数据挖掘等)、BIM与数字孪生等技术应用外, 支撑自主船舶航行的高精度电子航道图、港口、船闸无缝衔接技术、基于船岸协同的智能航行保障与风险识别技术^[13]、交通流精准预测与自适应调度等技术应作为这一阶段的主攻方向。

2 主要成果与成效

2.1 基本框架

根据3个阶段的发展和技术特点, 对智能航道的基本逻辑进行设计, 见图1, 并根据该框架对目前我国航道数字化和智能化建设的成果和成效进行分析和总结。

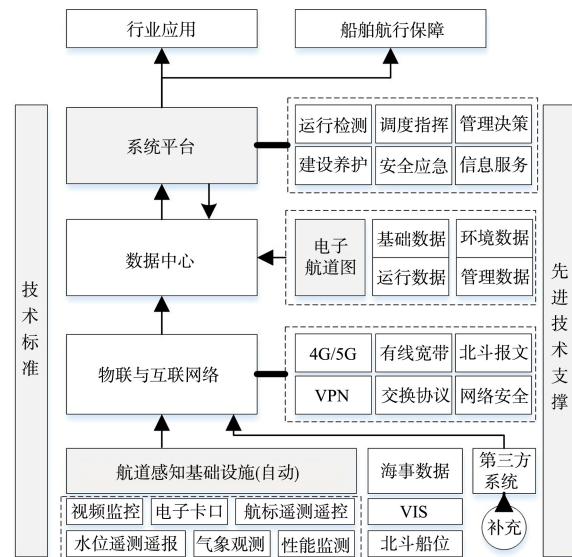


图1 智能航道基本逻辑框架

2.2 航道感知基础设施

航道感知基础设施是实现航道动态运行监测的基础数据源, 主要包括视频监控、电子卡口及航标遥测遥控、水位遥测遥报、气象观测以及性能监测(航道、通航建筑物、枢纽形变监测)等系统。目前,

长江、珠江和京杭大运河等水域及其他各通航水系均开展了不同程度的航道基础设施建设,以长江干线为例,航标遥测遥控系统已部署 5 000 余座、重点航段视频覆盖率达 80% 以上,水位和气象站观测数据支持船舶全干线航行需求。

2.3 电子航道图

内河电子航道图是支撑数字航道系统平台的基础数据,基于“一张图”实现业务管理已成为交通运输行业基本模式。据统计,截至 2020 年 12 月,全国各省累计建设电子航道图里程约 1.6 万 km,其中长江干线航道完成 2 813 km 建设,涵盖重庆市及四川、湖北、湖南、安徽、江苏省部分航道,珠江水系通过拼接广西和广东省 900 余幅电子航道图,完成 2082.3 km 电子航道图建设(图 2)。浙江和广东省、广西壮族自治区、上海市基本已实现高等级航道电子航道图全覆盖。

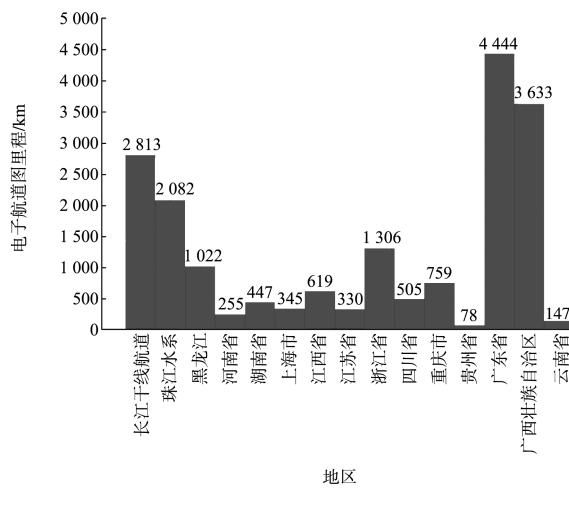


图 2 电子航道图建设里程

2.4 系统平台

航道相关业务系统平台是体现数字航道建设成效的重要参考指标,可直观反映数字航道各部

件协同运行状态。系统平台按照对象可以分对内的航道监管养运业务应用以及对外的航道信息服务 2 个方面。对内系统平台主要实现内河航道动态运行监测(基础设施监测、通航环境监测、交通流监测等)、调度指挥(船闸调度、泊位码头调度、港口调度等)、管理决策、安全应急;对外系统主要以辅助船舶安全航行的航道信息服务发布为主,如电子航道图服务、水位预报、安全预警、气象预报、航道通告等。

从调查数据分析,通过系统平台与网络系统建设,长江干线航道各省、珠江水系、京杭运河及浙江、福建省第 2 阶段基本实现了航道综合服务与航运各层次应用业务的有效融合,可以满足港航管理、船舶航行、航道科研、海事监管、公众出行等多用户、多层级、多模式的航道信息综合服务及规模化应用,提升了航道资源的利用水平。在航道养护调度、航道日常管理等业务方面推进多层级、多用户、分布式在线协同式便捷应用。

2.5 标准化建设

全国各省区交通运输部主管部门以及航道业务管理部门已在航道信息化建设、电子航道图、公共服务等方面进行了大量研究,部分标准已形成交通运输行业标准,《内河电子航道图工程技术标准》已申请国家标准,相关标准制定情况见表 1。

相关标准化建设有效指导了航道基础设施、电子航道图、通信以及智慧航道工程建设,统一了相关数据与技术标准,提高了标准范围内系统建设、数据处理以及运行效率,减少了生产成本。其中《内河电子航道图技术规范》在我国 10 余个省进行推广应用,为国家推动内河航道空间基础设施和“一张图”建设奠定了良好基础。

表 1 数字航道标准化编制情况

技术类型	标准名称	标准类型	牵头/归口单位	编制状态
智慧航道建设技术标准	《内河数字航道工程建设技术规范》	行业标准	长江航道局	编制中
	《内河智慧航道建设导则(暂行)》	地方标准	浙江省交通运输厅	发布
	《内河智慧水运建设指南》	地方标准	河北省交通运输厅	编制中
感知基础设施	《遥测遥控 LED 桥梁实时净高显示标志技术要求》	地方标准	广东省交通运输厅	发布
	《江苏省智慧航道外场感知设施建设技术指南》	地方标准	江苏省交通运输厅	试行
	《广东省航道感知终端与通讯服务平台通讯协议》	地方标准	广东省交通运输厅	试行

续表1

技术类型	标准名称	标准类型	牵头/归口单位	编制状态
电子航道图	《内河电子航道图工程技术标准》	国家标准	长江航道局	编制中
	《内河电子航道图技术规范》	行业标准	长江航道局	发布
	《长江电子航道图制作规范》	行业标准	长江航道局	发布
	《通航水域内河电子行动图制作规程》	地方标准	河南省交通运输厅	试行
	《湖南省电子江图制作规范》	地方标准	湖南省交通运输厅	试行
	江苏内河电子航道图制作相关标准	地方标准	江苏省交通运输厅	试行
	长江电子航道图生产与服务系列标准	自建技术标准	长江航道局	编制中
	内河航道地理信息与数据资源系列标准	自建技术标准	广东省航道事务中心	编制中

3 问题分析与对策建议

3.1 问题分析

尽管我国内河航道数字化和智能化建设已取得显著成效, 但面对新的技术发展趋势和航运业发展新形势, 也存在诸多问题亟待解决和落实。

一是智慧航道的“智慧”本质和特征不明确, 缺少统一的评价标准, 无论是国家层面、流域还是省级范围, 航道的组成运行、组网监测、组网调度、信息共享、系统衔接及对外服务均存在不对等效应, 这一效应在信息化深化过程中的影响会进一步扩大。

二是缺少对船舶智能航行的支持。航道智能化建设的本质目标是为船舶提供“物理空间、规则空间和赛博空间”^[14]的场景支持, 保障船舶航行安全与效率^[15]和提高内河航道经济增长是建设智慧航道的根本动因。随着智能船舶进入测试运行和立法范围界定阶段, 未来几年智能航行船舶将成为内河交通的重要主体, 船岸协同的船舶智能航行亟需智慧航道提供完善的航行环境、科学的航行规则以及及时可信的决策信息支持。

三是电子航道图标准不统一且更新能力不足。如表1所示, 广东、江苏、河南、湖南省以及长江、珠江航道主管部门均基于IHO S-57标准^[16]制定了不同的内河电子航道图技术标准, 具体技术内容存在差异。标准的不统一导致数据难以进行融合和拼接, 难以形成支撑国家统筹决策的内河航道网运行统一监测能力, 同时也给水陆一体化空间数据基础设施、江海联运船舶、设备型式认

证等发展带来阻力。另外, 多个地区的电子航道图在基础测量和制图后, 长期无法进行更新, 数据无法反映真实的航道环境变化^[17], 一定程度上给船舶航行带来了安全风险。目前以IHO S-57为基础的电子航道图生产和服务方式已无法满足船舶航行和航道管理需要。

四是航道对外服务能力仍有待提高。航道智能化包括对内管理的智能化和对外服务的智能化, 目前智慧航道发展多侧重于航道本身管理的效率提升, 对于船舶、航运公司、海事、渔业、自然资源、旅游等方面的服务手段和模式仍有待加强。

五是信息共享机制尚未建立。由于机构改革, 目前航道涉及的航道建设养护、船闸管理调度、海事管理等各个职能分散在不同的部门, 职能分散且管理协同度不高是目前智慧航道建设的一个痛点。同时, 随着内河水资源的紧张, 亟需水运与水利部门通过信息化层面的共享实现水资源的有效调度与保障。

3.2 对策建议

针对上述问题, 本文提出如下3点建议:

一是研究构建基于现有科学技术手段和水运行业发展态势的智慧航道评价体系, 厘清可预见的未来5~10 a的智慧航道边界和特征, 对涉及的理论方法和关键技术进行重点突破, 关注智慧航道建设重点指标, 响应航道用户重点关切需求。

二是在不断完善航道物理空间和规则空间的基础上, 关注赛博空间的理论和技术突破。基于人工智能技术、航道感知与认知技术、时空地理

信息技术以及高带宽无线通信等先进技术，在3个空间建立起支撑船舶智能航行的能力，实现港口、航道、船闸、通航建筑物调度信息的无缝衔接，建立水上交通安全风险辨识与自适应防控机制。

三是采用国际海道测量组织(IHO)发布的S-100数据模型作为内河航道空间数据和航道动态信息建模、建库、制图以及服务的基础标准，取代现有基于S-57的电子航道图标准。S-100规定了符合国际标准化委员会(ISO)19000地理信息标准的水运空间数据模型，可以为电子航道图、动态水位、流速流向、天气与气象、冰信息、航行通警告、水上安全信息等提供统一的数据标准。国际内河电子航道图协调组(IEHG)依据S-100制定了S-401内河电子航道图标准，将作为未来内河电子航道图制作的国际标准。海上电子海图已进入S-57与S-100并行发展阶段，S-100在内河航道中的采用将全面实现全国“一张图”建设，为多式联运、江海联运提供无缝空间信息支持，彻底消除S-57标准存在的技术局限性。同时可以进一步提升电子航道图动态要素服务能力，结合群体感知/众包技术，解决电子航道图标准不统一、更新能力不足问题，基于S-100数据产品体系以及信息交换机制提升航道对外服务手段和模式。

四是上至下、从机制到技术、从政策到标准建立起水运、海事、水利、渔政等内河航运相关部门之间的信息协同共享模式，以国家综合交通运输信息化建设、物流货运保通保畅为契机，构建起以国家、流域/省和中央事权机构多级协同响应与协调管控的内河航道网运行监测机制，解决职能分散且管理协同度不高的痛点问题。

4 结论与展望

本文将智慧航道发展划分为3个阶段，对每个阶段的主要特征进行分析，对数字航道的建设成果和成效进行总结，提出智慧航道发展面临的主要问题和相应的对策建议，主要结论和下一步

重点研究方向包括：

1)数字航道基本覆盖了全国内河重点通航水域，基础架构、功能与技术体系以及运行方式，在业界已形成共识，在感知基础设施、电子航道图、系统平台以及标准方面取得了显著成效，具备了开展智慧航道研究和建设的基础条件。

2)支持船舶自主航行是智慧航道区别于数字航道、智能航道的基本特征，赛博空间的高精度、动态和可信决策信息支持是智慧航道的重点研究和技术突破方向。

3)S-100数据模型与群体感知技术的应用是解决目前电子航道图发展困境的有效手段，推动S-100标准逐步取代S-57标准符合我国内河航道信息化发展趋势，应作为近期智慧航道建设的重点任务之一。

参考文献：

- [1] 严新平,柳晨光.智能航运系统的发展现状与趋势[J].智能系统学报,2016,11(6):807-817.
- [2] 全国权.知识转化成力量的中介:智力·智能·智慧——命题“知识就是力量”的反思[J].延边大学学报(哲学社会科学版),1994(4):103-105.
- [3] 郭涛,刘怀汉,万大斌,等.长江“智能航道”系统架构与关键技术[J].水运工程,2012(6):140-145.
- [4] 张宝晨.航运,向智能迈进[J].中国远洋海运,2019(7):30-33.
- [5] 从“数字福建”到“数字中国”习近平擘画科技发展战略.人民网 [DB/OL].(2016-04-26) [2022-04-25].<http://politics.people.com.cn/n1/2016/0426/c1001-28305918.html>.
- [6] 叶光中,唐琳.长江下游航道动态数字图形库的建立及应用前景[J].水运工程,2002(5):58-62.
- [7] 王军,陈昕.内河航道数字地图的设计与制作:以长江航道南京段为例[J].地图,1999(4):5-8.
- [8] 万大斌,李国祥,颜昌平.建设长江“数字航道”的构想[J].水运工程,2004(11):22-24.
- [9] 陈彭令.建设数字化航道,促进长江经济发展[C]//中国测绘学会.经天纬地:全国测绘科技信息网中南分网第十九次学术交流会优秀论文选编.长沙:湖南地图出版社,2005:229-230.

(下转第140页)