



智慧航道建设成效评价指标体系研究*

章稷修, 邱小建, 梁 粤, 李柏丹

(交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要: 航道是国家重要的公益性交通基础设施, 是内河航运高质量发展的基础。在新基建、数字交通等政策强力牵引下, 智慧航道的发展面临着重大机遇。目前大规模发展智慧航道工程, 但尚未建立专门针对智慧航道建设成效的评价指标体系。为规范智慧航道建设, 研究构建了智慧航道建设成效评价指标体系, 利用层次分析法构建建设成效得分评价模型, 提出智慧航道分级定义, 实现客观、量化地评估智慧航道工程建设效果, 扎实推进航道基础设施数字化、智能化转型升级。

关键词: 智慧航道; 建设效果; 评价指标体系; 层次分析法; 智慧航道分级

中图分类号: U612.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0197-07

Construction effect evaluation index system of smart channel

ZHANG Jixiu, DI Xiaojian, LIANG Yue, LI Baidan

(Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

Abstract: The waterway is an important public welfare transportation infrastructure for the country and the foundation of high-quality development of inland waterway shipping. Under the strong guidance of policies such as new infrastructure construction and digital transportation, the development of smart channels faces significant opportunities. Currently, large-scale smart waterway projects are about to start construction, but a specific evaluation index system for the effectiveness of smart waterway construction has not yet been established. To guide and standardize the construction of smart channels, the study has proposed an evaluation index system. The analytic hierarchy process is used to construct a score evaluation model for construction effectiveness. This study also proposed a classification definition for smart channels. The results can evaluate the effectiveness of smart waterway engineering construction objectively and quantitatively. It is conducive to promoting the digital and intelligent transformation and upgrading of waterway infrastructure.

Keywords: smart channel; construction effect; evaluation index system; analytic hierarchy process; smart channel classification

为加快交通强国建设, 中共中央国务院相继印发了《交通强国建设纲要》、《国家综合立体交通网规划纲要》, 提出加快构筑“四横四纵两网”高等级航道网, 到 2035 年高等级航道规模约达 2.5 万 km^[1]。大力发展智慧交通, 推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深

度融合, 推进数据资源赋能交通发展。预计在“十四五”期到本世纪中叶, 内河高等级航道基础设施及智慧航道建设将持续快速发展。

充分利用新一代信息技术, 深化航道基础设施数字转型、智能升级, 可以有效放大、倍增基础设施的服务能力。目前, 智慧航道领域开展大

收稿日期: 2023-09-21

*基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2020YFS0448)

作者简介: 章稷修(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事交通信息化研究工作。

通讯作者: 邱小建(1993—), 女, 硕士, 工程师, 从事交通信息化研究工作。E-mail: yy_dxj@126.com

量实践,对支撑流域经济社会发展发挥了重要作用。但各水系、各省区的智慧航道建设呈现出不均衡现象,对智慧航道的认识仍不统一,尚未形成全国统一的智慧航道评估标准,不利于实现全国内河智慧航道一体化协同发展^[2]。因此有必要进一步研究,参照 T/CPHA 9—2022《智慧港口等级评价指南集装箱码头》^[3]、JTS/T 105-4—2020《绿色港口等级评价指南》^[4]等,构建我国智慧航道评价指标体系,及时总结建设经验,准确掌握建设短板,以更好地指导智慧航道建设工作,推动全国各水系智慧航道由点及线、整体成网。

1 智慧航道评价指标构建导向及原则

1.1 问题分析

目前对于内河航道现代化、航道竞争力的评价研究较多,许多学者从畅通、高效、平安、绿色等角度对航道进行测度和评价^[5-7],但专门针对智慧航道建设成效的评价指标体系尚未建立,无法对智慧航道建设、使用、发展全过程进行指导。

除此以外,当前基于数字航道、智慧航道相关建设成果形成了多项行业标准,如《内河电子航道图技术规范》、《内河数字航道工程建设技术规范》、《内河数字航道建设工程质量检验标准》等,但大多更侧重于航道信息化建什么、怎么建,对于其应用和服务效果考虑不足。

1.2 构建导向

《交通强国建设规划纲要》提出了“一流设施、一流技术、一流管理、一流服务”的交通强国建设目标。智慧航道将推进航道基础设施转型升级和高质量发展,全面赋能航道管理效能和服务质量提升,瞄准“四个一流”,为加快建设交通强国提供坚实支撑和有力保障。

1.2.1 一流设施

一流的航道基础设施是航道基础设施与新一代信息技术的叠加与融合,以数据化的形式实时反馈航道基础设施自身状态,对其进行自主感知和智慧分析。

鼓励构建陆水空天、泛在互联的航道运行监测网络。通过综合利用船舶自动识别系统、视频监控系統,航标遥测遥控、水位遥测遥报、自动化测量装备、桥梁防撞预警、船闸设备检测、无人机巡检、北斗技术、卫星遥感等监测监控手段,实现对航标、水位、水下地形、船舶、船闸、通航环境等航道相关要素的采集及数据融合。

引导建设深度融合、智能联动的航道数字孪生平台。促进航道基础设施 BIM 模型数据与 GIS 地理信息数据、各类 IoT(物联网)物联传感数据的多源信息融合,实现航道重要基础设施长期性能观测和评估分析。

深入推动北斗在内河航道领域应用推广,深化北斗系统高精度导航与位置服务应用。稳步推进通信设施与航道基础设施融合发展,协同建设船联网等无线通信技术应用。

积极完善船岸、船舶通信系统、智能导助航设施,增强船舶航行全过程船岸协同能力,支撑全天候复杂环境下的船舶智能辅助航行。

1.2.2 一流技术

《交通运输领域新型基础设施建设行动方案(2021—2025 年)》要求加快技术创新迭代,丰富拓展应用场景。一流的航道智能技术应在提升航道运行保障能力、航道协同监管能力、航道综合服务能力取得突破。

鼓励建立创新应用场景。面向行业痛点和服务需求,创新信息技术与航道运行监测、养护管理、安全监管、公共服务等核心业务的深度融合应用场景。

持续健全智慧航道可持续性发展的保障体系。从体制机制、人才、标准规范等方面为技术创新发展提供保障。

1.2.3 一流管理

一流的航道养护管理趋向利用数据、算力、算法对航道基础设施进行描述、分析、诊断,实现跨区域、跨部门、多主体在线高效协同管理,以及上下游、干支流航道一体协同运行。

应着力加强航道维护能力建设。丰富完善

水位分析预测、航道尺度合理性规划与预测、航道运行与维护科学调度等应用功能,促进内河高等级航道网运行管理模式的转变和管理效能提升。

引导加强航道及船闸通行优化调度。加强船闸实时调整优化能力,及时将诱导策略反馈给船舶以提升通航效率,实现化解航道紧张态势、缓解交通事件和提高内河航运整体效能。

1.2.4 一流服务

一流的航道公共服务通过智能分析不同服务场景需求,为船舶配载、智能导航、安全航行提供更优质便捷的服务,进一步提升服务对象的获得感、幸福感和安全感。

完善覆盖重点航道气象、水文、水深、航道助航设施等空中、水面、水下立体化的电子航道图数据,提高电子航道图覆盖航道里程,提升电子航道图生产更新速率,为航道监管及船舶智能航行等提供可靠的服务。

引导面向内河航运不同用户群体建立信息服务技术和综合信息服务体系,智能识别服务对象、服务地点,自动配置服务内容、服务时间、服务方式,形成差异化特色航道信息服务能力。

1.3 构建原则

1.3.1 导向性

科学量化和细化智慧航道基本要求,变虚为实、变抽象为具体,将智慧航道发展比较宏观的原则转化为可操作的具体标准,引导信息技术在航道建管养服各环节全面应用。

1.3.2 系统性

坚持全局意识、整体思维,将智慧航道视为一个系统问题。综合考虑不同水系、不同省份、不同类型内河航道的适用性,既考虑建设要求又考虑建设效果,保障评价指标体系的适用性、全面性及合理性。

1.3.3 典型性

指标应具有典型代表性,能够客观反映智慧化特征,避免出现指标数量过多过细、过于繁琐、相互重叠的情况。

1.3.4 实用性

评价指标应便于收集,为智慧航道建设提供明确的、具备实际操作条件的规定和指导意义。

1.3.5 开放性

坚持创新引领,指标设计时应充分考虑能反映智慧航道新技术、新业态、新模式的指标,积极塑造航运发展新动能新优势。

2 智慧航道建设成效评价指标体系

2.1 指标体系

依据《交通强国建设纲要》、《数字交通“十四五”发展规划》、《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》^[8]等纲领性文件,智慧航道的建设不仅要布局航道要素感知设备,更重要的是提升多维动态监测、科学运行管理、综合公共服务的能力。围绕《交通强国建设规划纲要》提出的“一流设施、一流技术、一流管理、一流服务”交通强国建设目标,根据智慧航道的特征,本研究从航道要素数字化、创新发展保障、智慧运行管理、智慧公共服务等4个方面选取指标,一级指标下设10项二级指标、33项三级指标。4项一级指标得分均为100分。通过问卷调查、专家咨询的方式,邀请行业内专家对二级、三级评价指标的重要程度进行评价和排序,进而确定每项二级指标和三级指标的得分权重。

2.1.1 航道要素数字化指标

该指标旨在引导和鼓励建设完备的航道感知网络,提高在线监测水平,提升航道运行保障能力,在指标构建过程中考虑从航道运行监测、内河电子航道图等两方面开展评价。

其中,航道运行监测主要从航标监测、水位监测、航道通行尺度监测、气象监测、水上过河/拦河/临河建筑物监测、通航净空尺度监测等角度进行评估。内河电子航道图主要对电子航道图覆盖率以及更新能力进行评估。

2.1.2 创新发展环境指标

主要包括创新应用、组织体系、规划制度、人才管理等4个方面,引导鼓励开展创新应用场

景的先进探索,实现航道基础设施从投资建设型发展向创新驱动型发展转变。调动相关资源,统筹推动智慧航道发展,营造智慧航道良好、可持续发展环境。

创新应用场景主要涉及在航道运行监测、养护管理、安全监管、公共服务等方面的先进应用场景创新能力。

组织体系主要评估负责智慧航道规划、组织、实施和运维等工作的管理机构完备性。

规划制度主要评估智慧航道发展规划、工作计划、标准规范体系建设的完备程度。

人才管理主要评估智慧航道专业人才获取、培养、使用机制的完备性。

2.1.3 智慧运行管理指标

重点考虑两个方面,一是维护管理,引导利用信息化技术对航道养护、管理等过程实现在线管理、智慧决策以及航道管养科学化、智能化、现代化。二是安全运行,一体布局 AIS(船舶自动识别系统)、雷达、CCTV、VHF(甚高频)等安全监管设施设备,提升航道安全预警和应急处置能力。

维护管理主要评估物资器材管理、生产调度、日常巡检、养护疏浚、工作船舶管理、通航设施管理、整治建筑物管理等应用功能的完备性、友好性、交互性程度。

安全运行主要评估安全监管设施布局合理性和安全监管设施设备的布局是否符合相关要求,以及对航道监测预警分析能力和应急联动能力的评估。

2.1.4 智慧公共服务指标

该指标主要针对航道公共服务体系不完备、服务手段不便捷、服务资源整合不充分等问题,引导提升服务内容丰富化、服务手段多元化、服务推送精准化,有效提高内河航道公共服务效率和服务质量,包括航道信息服务、过闸服务两方面。

航道信息服务主要评估航标、水情、航道尺度、电子航道图等服务的准确性、及时性、稳定性、便捷性。

过闸服务主要评估船舶调度计划、联合调度信息服务的水平。

智慧航道建设成效评价指标体系设置见图 1。

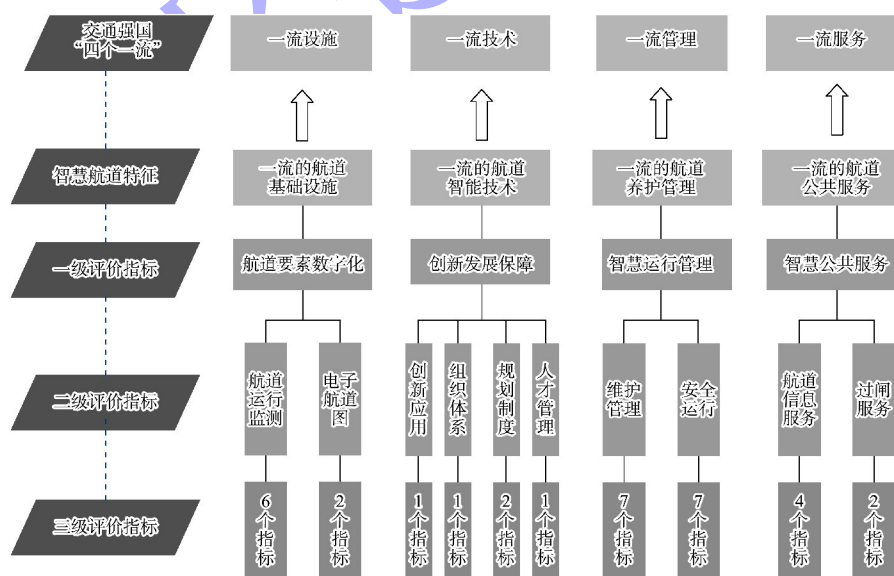


图 1 智慧航道建设成效评价指标体系

2.2 评价方法

根据广泛调研、征求意见、专家论证,智慧

航道建设成效评价指标体系各项分值设置及评价
规则见表1。

表1 智慧航道建设成效评价指标体系评价分值设置

一级 指标	二级 指标	三级 指标	分值		评价规则
			满分	分项分值	
航道要素 数字化 (F ₁)	航道运行 监测	航标监测	100	18	根据航标遥测遥控终端布设率、在线率、北斗技术应用情况进行评价
		水位监测		20	根据水位测报终端布设规划情况、布设密度、在线率等情况进行评价
		航道通行尺度监测		15	根据航道通行尺度监测情况、监测频率等情况进行评价
		气象监测		12	根据气象监测的布局规划、气象六要素的数据采集能力进行评价
		水上过河、拦河和临河建筑物监测		10	根据水上过河、拦河和临河建筑物的监测数据采集能力进行评价
		通航净空尺度监测		5	根据通航相对净高、相对净宽等实时监测能力进行评价
		电子航道图覆盖率		12	根据电子航道图的覆盖率进行评价
	电子航道图	电子航道图更新频率		8	根据电子航道图的更新频率进行评价
创新发展保障 (F ₂)	创新应用	先进技术应用场景	100	40	根据5G、无人机、无人船、人工智能、大数据、BIM、船岸协同等先进技术在航道监测、维护管理、安全监管、公共服务等方面取得创新应用效果进行评价
	组织体系	管理机构		14	根据管理机构的设置情况,人员数量及专兼职情况进行评价
	规划制度	发展规划		18	根据发展规划的制定情况及落实情况进行评价
		标准规范		15	根据标准规范的制定情况及执行情况进行评价
	人才管理	教育培训		13	根据人才培养的制度情况及年度技能培训交流情况进行评价
智慧运行管理 (F ₃)	维护管理	物资器材管理	100	6	根据物资器材管理功能完备性、友好性、交互性程度进行评价
		生产调度		10	根据生产计划制定管理、维修作业排班管理、维护生产任务指派等服务功能的完备性、友好性评价
		日常巡检		8	根据巡检任务管理、巡检状态管理、巡检任务研判等功能完备性、友好性评价
		养护疏浚		12	根据航道维护作业纪录、航道维护任务管理等服务的完备性、友好性评价
		工作船舶管理		10	根据船舶责任人、船舶技术指标、船舶技术状况、船舶装备情况、船舶机损事故、原始技术档案等资料的齐备性、友好性评价
		通航设施管理		10	根据通航设施基本信息的线上管理能力、设施运行状态的自动化监测能力的完备性、全面性进行评价
	安全运行	整治建筑物管理		5	根据整治建筑物电子资料库的在线管理能力进行评价
		划定重点安全监管区域		4	根据科学划定重点安全监管区域及点位情况及定期对外发布情况进行评价
		安全监管设施布局		5	根据安全监管设施布局的规划情况进行评价
		AIS		6	根据AIS的覆盖情况,设备完好率、在线率等情况进行评价
		雷达		5	根据雷达的覆盖情况,设备完好率、在线率等情况进行评价
		CCTV		8	根据CCTV的覆盖情况,设备完好率、在线率等情况进行评价
		安全通信		6	根据安全通信的覆盖情况及通信能力情况进行评价
		应急联动		5	根据常事件识别、评估、处置、调度等功能的完备性、友好性进行评价

续表1

一级 指标	二级 指标	三级 指标	分值		评价规则
			满分	分项分值	
智慧公 共服务 (F ₄)	航道 信息 服务	航标服务	100	22	根据航标信息服务的发布方式、发布内容、发布频率等进行评价
		水情服务		20	根据水情信息服务的发布方式、发布内容、发布频率等进行评价
		航道尺度服务		16	根据航道尺度信息服务的发布方式、发布内容、发布频率等进行评价
		电子航道图服务		18	根据电子航道图信息的丰富程度、更新频率等进行评价
	过闸 服务	过闸计划		10	根据过闸计划发布渠道的丰富性、信息发布的及时性等进行评价
		联合调度		14	根据过闸船舶统一登记、统一调度、统一管理、统一服务的功能完备性、友好性进行评价

利用层次分析法(AHP)确定一级评价指标权重,主要步骤如下:

1) 建立判断矩阵并赋值,根据两两要素 α_i 、 α_j 的重要程度,建立判断矩阵 A 。根据判断矩阵的准则按1~9对重要程度赋值:

$$A=(\alpha_{ij})_{n\times n}=\begin{bmatrix}\alpha_{11}&\cdots&\alpha_{1n}\\\vdots&&\vdots\\\alpha_{n1}&\cdots&\alpha_{nn}\end{bmatrix}\quad(1)$$

式中: α_i 和 α_j 为被评价因素, α_{ij} 为判断矩阵的元素, $i,j=1,2,\cdots,n$, n 为指标个数。

2) 确定判断矩阵的权重系数。

$$w_i=\frac{\left(\prod_{j=1}^n\alpha_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n\left(\prod_{j=1}^n\alpha_{kj}\right)^{\frac{1}{n}}}\quad(2)$$

式中: w_i 代表归一化后的指标权重。

3) 一致性检验,如下式:

$$\lambda_{\max}=\sum_{i=1}^n\frac{(Aw_i)}{(nw_i)_j}\quad(3)$$

$$I_c=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}\quad(4)$$

$$R_c=\frac{I_c}{I_R}\quad(5)$$

式中: $\lambda_{\max}$ 为最大特征值, I_c 为一致性指标, I_R 为随机一致性指标, R_c 为一致性比例。

通过以上步骤确定的判断矩阵和权重系数见表2。

表2 判断矩阵和权重系数

一级指标	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	w _i
F ₁	1	2	6/5	7/6	0.309 2
F ₂	1/2	1	5/6	3/4	0.179 4
F ₃	5/6	6/5	1	6/5	0.251 7
F ₄	7/6	4/3	5/6	1	0.259 7

根据公式(3)~(5),计算得到 $\lambda_{\max}=4.117$, $I_c=0.039$, $I_R=0.9$, $R_c=0.043$,随机一致性指标 $R_c<0.100$,通过一致性检验。

经多次征求意见,超过50%的行业专家认为应强化智慧航道创新发展保障,着力加强航道管理与服务智慧化新场景广泛应用,适当调增创新发展保障权重。因此,智慧航道建设成效一级指标最终权重设置见表3。

表3 智慧航道建设成效评价一级指标权重

一级指标	航道要素数字化	创新发展保障	智慧运行管理	智慧公共服务
权重	0.30	0.20	0.25	0.25

智慧航道建设成效评价综合得分按下式计算:

$$S=\sum_{i=1}^4P_i\cdot w_i\quad(6)$$

式中: S 为智慧航道建设成效评价的综合得分,

P_i 为第 i 项一级指标的得分, w_i 为第 i 项一级指标 P_i 的权重,所有一级指标的权重之和等于1。

2.3 分级定义

智慧港口、绿色港口的评价分级体系以及国

际海事组织、各大船级社等机构对智能船舶开展的分级划分^[9],为智慧航道发展划分等级提供了有益参照。本研究建立智慧航道建设成效评价综合得分与智慧航道分级的对应关系,将智慧航道建设等级分为 L_0 、 L_1 、 L_2 、 L_3 等 4 个等级,各等级对应分值区间见表 4。

表 4 智慧航道分级评价等级及其对应分值

智慧航道等级	L_0	L_1	L_2	L_3
综合得分/分	$S < 60$	$60 \leq S < 75$	$75 \leq S < 85$	$85 \leq S \leq 100$

2.3.1 智慧航道 L_0

L_0 级智慧航道为满足船舶通航基本要求的传统型航道。在航道要素数字化、运行管理、公共服务方面大多采用人工、传统方式。尚未形成面向智慧航道的创新发展环境。

2.3.2 智慧航道 L_1

L_1 级智慧航道代表航道智慧化应用在典型场景下形成部分点状突破,智慧航道正处于规范发展进程中。

航道要素信息初步实现感知和数字化处理,航道设施数字化率 50% 以上;依托信息系统实现航道运行管理在线化;通过电子航道图、短信、网站、AIS 消息等方式对外提供航道基础静态信息为主;先进技术在智慧航道领域形成个别典型应用示范场景。

2.3.3 智慧航道 L_2

L_2 级智慧航道代表航道智慧化发展全面提速,应用服务在干支之间、流域之间形成一定程度的面上推广。

以流域、区域航道管理为目标,航道要素信息实现一体化采集,航道设施数字化率 80% 以上,并实现航道关键基础设施长期性能健康预测预警;航道业务实现流域、区域内在线协同管理,以数据流为驱动提供航道运行管理辅助分析能力;航道信息服务以用户需求为导向,提供个性化、精准化服务;先进技术在智慧航道领域实现规模化

成熟应用,配套形成与智慧航道发展相适应的体制、机制、模式、标准等。

2.3.4 智慧航道 L_3

L_3 级智慧航道则代表智慧航道发展的最高阶段,智慧航道新技术、新业态、新模式对全国内河高等级航道网管理及服务实现整体赋能。

利用各种智能感知技术,实现航道系统全息智慧感知,全网航道要素实时动态复刻,航道设施数字化率 100%;通过一体化的运行管理平台,实现航道数据的深层次智能分析。基于 BIM、数字孪生等技术,实现远程航道信息再现,为航道远程维护、应急指挥提供便利,为航道部门规划和管理提供可靠的辅助决策功能;基于全息航行场景图、数字孪生航道,实现对航道、护岸、桥梁、助航标志、服务区、码头、船舶等通航环境要素的视觉增强显示,达到提升航道管理、辅助船舶安全航行等目标;先进技术全面深度应用智慧航道领域,形成丰富健全的体制机制,有效应对智慧航道发展进程中的机制调整、技术迭代、网络安全防范等挑战。

3 结语

1) 以一流的航道基础设施、一流的航道智能技术、一流的航道养护管理、一流的航道公共服务为智慧航道发展导向,构建智慧航道建设成效评价指标体系。研究认为指标体系应涵盖航道要素数字化、创新发展保障、智慧运行管理、智慧公共服务等 4 个维度,具体包括 10 项二级指标和 33 项三级指标。

2) 利用层次分析法确定评价指标权重,构建智慧航道建设成效评价模型,量化评价智慧航道建设效果,为下一步智慧航道项目提供发展方向。

3) 研究提出智慧航道的分级定义,可直观体现智慧航道在不同发展阶段所具备的特征。

(下转第 233 页)