



长江智能航道关键技术分析*

郭 涛^{1,2}

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430063; 2. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 针对长江航道智能化的发展需求, 结合长江航道线长且点多、航道要素种类众多且变化频繁复杂的特点, 首先通过智能航道概念、物理框架、逻辑框架的提出, 完成其顶层设计, 并构建其数据资源规范体系以及航道业务模型; 其次, 通过航道水位预测预报、智能导助航等关键技术的研发, 解决制约智能航道发展的技术瓶颈; 最后, 通过示范工程的建设, 完成研究成果的转化, 并总结提炼出智能航道建设评估技术体系。

关键词: 智能航道; 多功能航标; 水位预测预报; 示范工程

中图分类号: U 612 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2016)01-0099-07

Key technology of Changjiang intelligent waterway

GUO Tao^{1,2}

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;
2. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: Based on the analysis of the development status of Changjiang digital waterway and intelligent waterway transportation system, the article proposes the system architecture of Changjiang intelligent waterway. Then, through the research of key technologies such as stage forecasting and intelligent navigation, we solve the bottleneck technology of Changjiang intelligent waterway. Finally, through the construction of the demonstration project, we complete the transformation of research results and provide the technical guidance for the development of inland intelligent waterways.

Keywords: intelligent waterway; multi-functional navigation aids; stage forecasting; demonstration project

长江干线航道是唯一横贯我国东、中、西部地区的水运主通道, 已连续 9 年保持内河货运量世界第一, 对沿江经济的发展和产业带的形成越来越重要。随着 2011 年《国务院关于加快长江等内河水运发展的意见》的出台, 利用智能化技术挖掘航道自然水深资源的利用潜力、提升内河航道公共服务能力、保障航道畅通与航运安全成为内河航道研究的热点, 也是当前研究的难点。

在航道智能化建设需求基础上, 长江航道局

提出“智能航道”^[1] (intelligent waterway) 的概念: 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, 实现航道规划科学化、建养智能化、管理现代化, 为水路运输高效、安全、节能提供实时、精确、便捷的航道服务。同时, 结合长江航道业务服务域的划分、长江航道业务模型和长江航道数据模型, 构建其整体架构 (图 1), 为长江航道信息化建设奠定了坚实的基础。

收稿日期: 2015-10-25
*基金项目: 交通运输部 2013 年信息化重大专项 (2013-364-548-200)
作者简介: 郭涛 (1981—), 男, 博士, 高级工程师, 从事水路交通信息化、数字航道和智能航道研究。

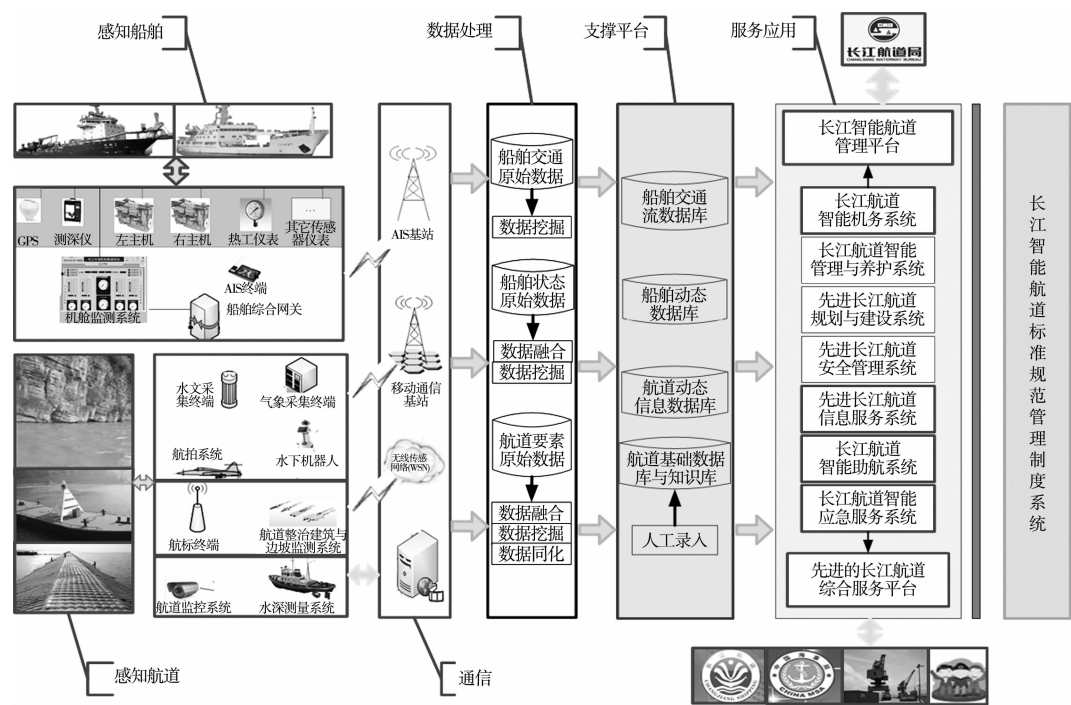


图1 长江智能航道整体框架

为不断丰富完善智能航道框架以及相关技术，本研究针对提升航道要素信息采集能力、完善航道公共服务体系等智能航道实际建设需求，结合长江航道水位变化频繁、通航环境复杂等特点，围绕制约长江航道公共服务能力提升的普遍性、关键性和前瞻性的技术问题进行研究，重点突破长江干线沿程航道水位感知与预测预报、智能导助航、航道数据交互技术，从关键技术、装备、软件系统等方面，为长江智能航道的工程建设扫清关键技术障碍。

1 智能航道关键技术^[2]

1.1 水位感知与预测技术

1.1.1 长江干线航道水位变化规律分析

受自然和人类活动双重影响，长江干线航道自上而下可分宜宾至宜昌段、宜昌至大通段、大通至浏河口段，各段航道水位变化规律为：宜宾至宜昌段又可分为天然河道、变动回水区及常年回水区3段。天然河道段具有典型山区河流水位变化特点，汛期水位陡涨陡落，枯期相对平稳（图2）；常年回水区段水位变化主要受坝前调度方式的制约；变动回水区同时兼有上述两段的特点（图3）。宜昌至大通段水位除具有平原河流的

特点外，受三峡水库泄流及江湖关系演变的影响较大（图4）。大通以下河段水位变化同时受上游来流及潮汐的双重影响。随着大型水利枢纽的蓄

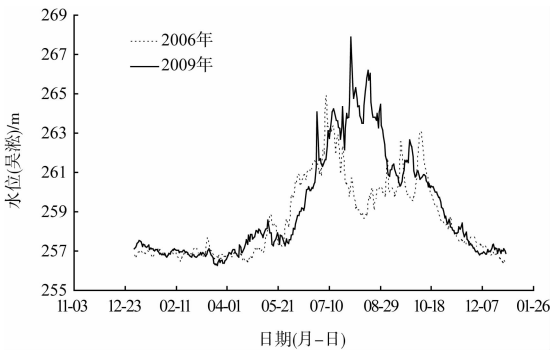


图2 李庄站水位变化

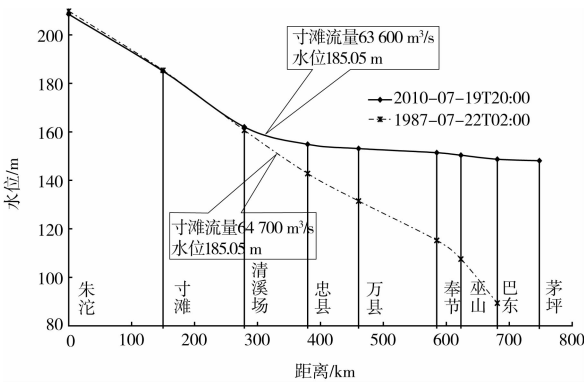


图3 库区水面线变化

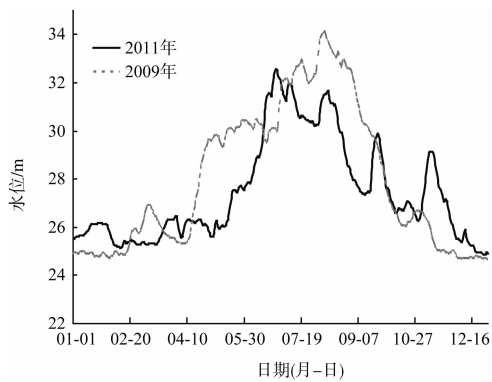


图 4 城陵矶水位变化

水运用，由于河道冲淤的发展及径流过程的变化，从较长时期来看，库区及坝下游河道的水位均随时间呈现持续上升或下降的变化趋势。

1.1.2 长江干线航道水位感知点布设方法

通过细致分析水位感知点数目、间距与水面线观测之间的精度关系（图 5、6），得到了以下认识：当水位感知点数目较少时，增设水位感知点可以大幅度减小水面线捕捉精度误差；当水位感知点数目增加到一定程度（水位感知点间距缩小至 20 km 以内），随着水位感知点的增加，水位感知点间距减小并不明显，对于水面线捕捉精度的提升影响较小。在此基础上，结合并依托长江干线 77 个航道处站码头及下游潮位站位置，提出了长江干线航道水位感知点布设的方法：共布置水尺 169 座，其中宜宾至宜昌 68 座，宜昌至南京段 88 座，南京至浏河口段 13 座，所布设水尺覆盖长江干线水位变化剧烈区域、分汇流口门、关键控制节点及重点险滩河段。

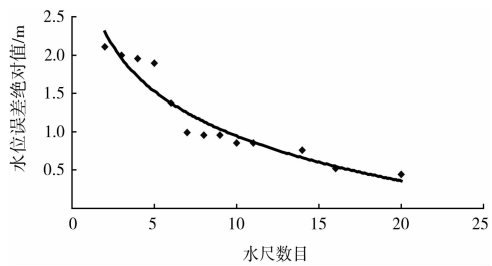


图 5 水位感知点数目与水面线误差关系

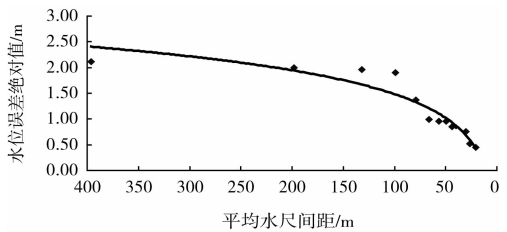


图 6 水位感知点平均间距与水面线误差关系

1.1.3 长江干线航道水位短期预测技术体系

考虑到长江航道水位变化特点及航道部门实际资料情况，构建了完整的长江干线航道“点、线、面”水位的短期预测技术体系^[2]。首先利用干线沿程关键测站（感知点）的水位历史信息，通过传统的水文预报的经验方法，获取关键测站（感知点）的水位短期预测信息；其次利用沿程感知点的水位相关性和一维模型，获取沿程各水位感知点的水位短期预测信息；最后通过平面二维模型，获取整个长江干线航道内的水位短期预测信息（图 7、8）。通过上述分层快速、高效的预测技术，实现了长江干线水位感知由点到线、由线到面的时空重构。

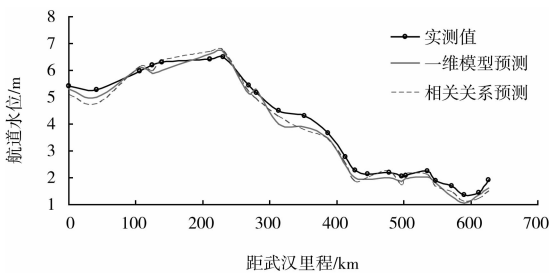


图 7 线水位预测成果

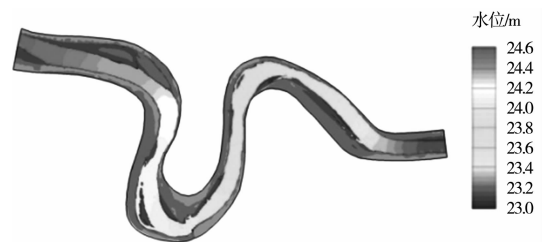


图 8 面水位预测成果

1.2 多功能航标技术

针对当前长江航道助航方式单一、航标功能单一、不能实时掌控航标灯的状态等问题，重点研究了浮标碰撞检测方法，基于 ZigBee 和 AIS 技术研制了系列航标遥测遥控终端，并配合长江电子航道图平台开发航标监控系统，转变了传统的人工巡查航标维护模式，提高了航标维护效率，推动了助航系统效率的发挥。

1.2.1 浮标碰撞检测技术

实时监控航标位置与状态信息是掌控航标运行状况、科学决策航标维护活动的依据，特别是

对于浮标,现实中由于过往船舶碰撞等原因,导致难以及时正常发挥助航效能。浮标碰撞实时自动检测方法成为迫切需要,而浮标受撞击的运动状态较难准确地用模型来描述,因此,只能从浮标位置漂移入手。假设浮标高度为 H_1 ,倾角为 θ , h 为链条全长, H 为设置航标处航道图水深,考虑 GPS 的测量误差 r_3 和基准点的位置误差 r_4 ,则:在极限的情况下,浮标位置数据偏离基准点的误差将为

$$r = 0.8 \sqrt{h^2 - H^2} + H_1 \sin \theta + r_3 + r_4 \quad (1)$$

通过获得 GPS 定位坐标和航标 GPS 基准点坐标就可以计算出两点距离,当距离大于 r 时,判定浮标位置漂移,发出位置漂移报警信息。基于这一判别方法,采用以 GPS 测量浮标的速度和用三维加速度传感器测量的浮标加速度来联合判断,提出了三维加速度传感器与 GPS 信息融合的航标船碰撞监测算法,通过设计两个滑窗来对测量的速度和加速度进行滤波处理,当浮标的速度和加速度均超过设定的门限时,判定浮标被撞击,发出撞击报警信息。

1.2.2 多传感器集成

基于航标的多传感器集成系统是指在重点控制河段,以岸标、浮标为载体,集成采集航道及其环境信息的传感器,如水深、水流、能见度,并结合 AIS/GPRS/ZigBee 无线网络传输技术和航标遥测遥控技术,实现航道要素信息实时动态监测、航标功能进一步拓展的多功能航标系统。

通过在航标上安装溢油识别、能见度、风速、风向、湿度、温度、大气压强、降雨量、水流速度、水深等传感器以及 AIS 应答器、GPS 和多功能航标终端,采集了溢油、气象和水文信息及航标位置信息并进行初步信息处理;通过 GPRS、ZigBee 或专网实现集成了多传感器的航标和监控中心的信息交互,通过 AIS 和 GPRS 实现监控中心和周围船舶的信息交互。

1.2.3 航标动态监控系统

基于 ZigBee 和 AIS 的系列化内河航标遥测遥控系统,该系统网络由航标终端、岸基中心、AIS

基站、管理中心等节点构成。其中航标终端间采用 ZigBee 无线网络进行数据交换,将航标灯及航道气象水文信息通过航标节点构成的无线传感网路传到岸基上,再由岸基通过电子航道图服务发布,对航标与航道工作任务船进行综合管理,提高助航系统维护能力。系统可远程进行航标状态信息采集与管理,对航标船的位置监控和碰撞报警提醒。同时,可以查询与追踪航标周围船舶信息,为航标船碰撞追责提供数据。此外,系统可监测航标工作船位置信息,实现航标工作船动态调度,提升航道维护服务能力。主界面见图 9。

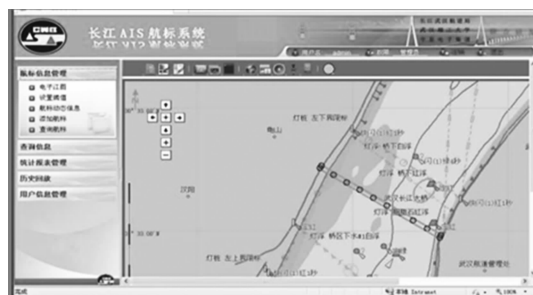


图9 长江航道局航标监控系统

1.3 数据交互技术

长江智能航道是一个庞大的信息系统集成体系,其数据采集的密集性、数据集成的复杂性、信息交换的多样性以及应用的广泛性都是水运行业中前所未有的。因此,必须建立相应的技术标准,以规范各层次的系统与信息网络平台建设,保证整个体系中各系统之间数据信息的有效交换^[3]。

1.3.1 交换数据分类

根据实际应用现状,为了便于系统的扩展和运行维护的方便,将所交换的数据分为管理数据流和业务数据流,并进行分离。

1) 管理数据流。

包括终端的详细信息(例如工作电压电流、电池信息等)、周围环境相关信息(例如温度、湿度等)及通讯相关信息内容(例如通讯设备状况、通讯信号强度等)。管理数据将提供至通讯管理和设备维护等专业人员使用,以确保业务数据传输的稳定性及可靠性。

2) 业务数据流。

业务数据流作为航道业务数据的专用传输数据流，将承载航道用户所需的航道专业业务数据，这些数据将最终提供专业的行业用户使用及对外服务发布。

将管理数据流和业务数据流分离后，将大为简化日常维护管理作业。设备专业维护人员仅需要处理和设备相关的管理数据流，以确保设备的正常运行；而航道专业技术人员将对业务数据进行分析等操作，无需关心设备的运行状态。这将使得一个设备专业维护人员可以维护包括航标、水位、雾情等不同类型的设备，为智能航道建成后对维护人员的要求进行最大程度的简化。

1.3.2 数据交换传输模式

围绕两种数据流，根据航道的具体应用形成两种传输模式：管理流-业务流并行模式和管理流-业务流分离模式。

1) 管理流-业务流并行模式。

航道信息业务数据流及终端数据管理数据流都由终端发送给数据交换平台，由数据平台统一处理，再由数据平台转发给应用平台，各层业务管理人员通过应用平台获得具体的业务数据。其优点在于业务数据流由数据平台统一管理，可以较好地汇聚航道业务数据，统一管理数据交换，对应用平台的业务服务更为方便、直观。它主要运用于航灯业务数据、水位和雾情等气象信息的采集、服务管理。

2) 管理流-业务流分离模式。

终端管理数据流同样由终端发送给数据交换平台，由数据平台统一处理，不同于管理流-业务流并行模式，航道业务数据流不经过数据交换平台而直接与应用平台进行数据交换。其优点是航道业务数据可快速准确地发送至应用平台，数据实时性高。它主要适用于桥区视频监控信息的应用，以及区域内船舶信息的实时监测、调度。

1.3.3 通讯数据格式

借鉴国内通讯行业的 M2M 先进技术，采用 ASN1 标准中的 BER-TLV 格式编码对数据格式进行统一规范，并利用 TLV 的 TAG 值对长江航道数据交换中航道要素数据进行分类。

通讯协议采用请求应答的同步方式进行报文交互。报文结构由报文头和报文体构成。内容体由固定参数部分和可变 TLV 部分组成。其中 T 为 TAG，表示该数据结构的标签；L 为 LENGTH，表示该 TLV 扩展的有效数据或参数 V 的长度；V 为 VALUE，用于存储有效数据的数值。航标、水位等终端的业务数据均存储于 TLV 结构中。

2 智能航道示范工程构建

2.1 示范工程实施方案

按照长江智能航道框架体系，提出了以长江干线（兰家沱—鳊鱼溪段）数字航道建设工程、长江干线（鳊鱼溪—大埠街段）数字航道建设工程、长江航道测量设备建设方案等工程建设内容为基础，利用航道信息化基础设施设备层、航道数据资源层、航道服务业务层等的分层整合、完善相关标准规范与运维管理体系构建智能航道的方法（图 10），制定了长江兰家沱—大埠街河段智能航道示范工程实施方案。长江兰家沱—大埠街河段智能航道总体上由 2 大感知平台、2 个管理中心、4 大服务应用领域组成（长江航道规划与建设服务、长江航道安全管理服务 2 大服务通过新建解决）^[4]。技术标准规范体系除国际、国家、行业相关标准规范外，主要由长江航道信息数据采集、储存、传输、应用相关标准以及长江智能航道运行维护管理的技术标准和规范，另外特别增加了工程建设廉政保障相关措施。

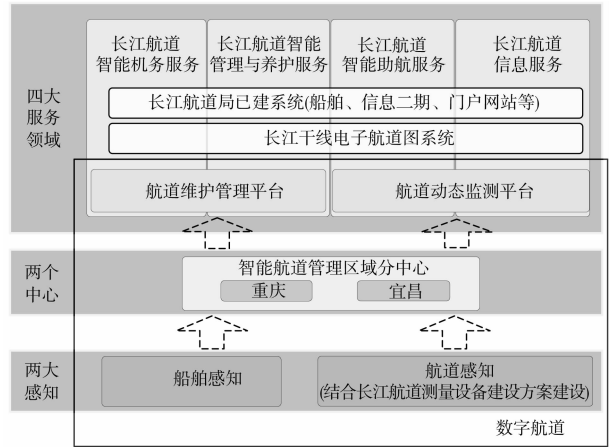


图 10 长江兰家沱至大埠街河段智能航道示范工程
总体整合框架

2.2 关键技术应用

利用长江干线沿程感知点的水位实测信息、构建的覆盖长江干线的航道水位预测模型获取沿程各水位感知点的水位短期预测信息。针对航道业务各服务域用户主体的需求,设计并研发了长江干线航道水位(潮位)预测预报数据管理系统(长江干线江阴以下潮位),见图 11。将目前分散的水位采集、水位拟合、服务与应用系统整合集成,形成了从航道水位信息感知到预测再到实时发布的综合系统,并通过长江航道局及各区域局门户网站、长江电子航道图、长江航道在线等多种途径对社会公开发布(图 12)。

2.3 建设评估体系

为全面检验长江智能航道顶层设计的可行性、完整性、先进性,组织开展了系统评价长江兰家沱一大埠街河段智能航道示范工程建设成效的研究工作。研究采用了事后评估的模式,鉴于智能航道建设同其他信息化项目一样具有建设成本不确定性、项目效益复杂多样性等共性,又具有派生性、服务性、公益性等特点^[5]。因此,结合了基于主观满意度和基于客观标准两类评价方法的优势,按照定性与定量、直接与间接、对内与对外、有形与无形、行业内与行业外、短期与长期相结合的原则,综合运用平衡记分卡法、层次分析法、模糊综合评估法,在航道动态监测基础设

施及设备、通讯传输网络设施及设备、航道维护设施及设备、航道日常管理设施及设备、航道信息服务设施及设备、技术标准规范及运维管理体系等方面建设成果梳理的基础上,结合航道数据资源和航道业务,从航道感知能力、航道服务质量、航道养护效率、航运安全保障水平 4 个方面构建了评估指标,完成了评估计算(图 13)。

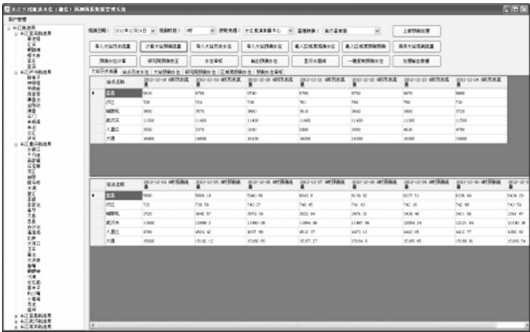


图 11 长江干线航道水位(潮位)预测预报数据管理系统

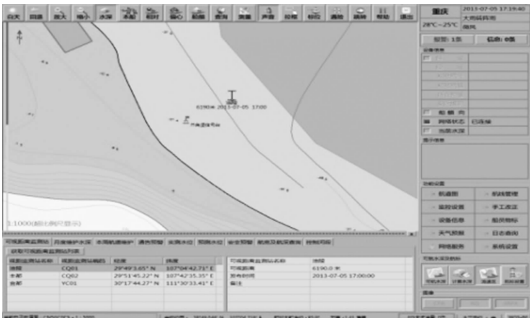


图 12 长江电子航道图船舶终端

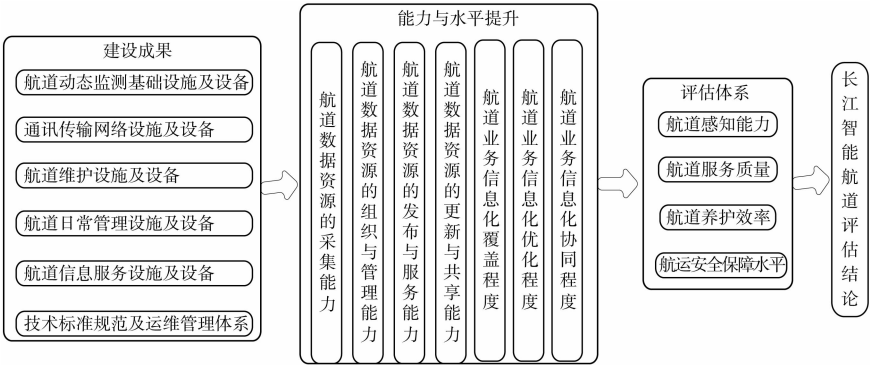


图 13 长江兰家沱一大埠街河段智能航道示范工程建设成效评估流程

3 结语

1) 长江干线沿程水位复杂多变,通过分析长江干线航道水位变化规律,提出适应长江干线的

水位站布设方案;应用统计学、数学模型等技术手段,研究并开发了长江沿程干线水位预测预报系统,实现了长江干线水位感知由点到线、由线

到面的时空重构。

2) 结合浮标碰撞检测、ZigBee 以及 AIS 等技术,研制了航标遥测遥控终端,并基于长江电子航道图平台开发航标监控系统,实现航标的远程监管,转变了传统的人工巡查航标维护模式,提高了航标维护效率。

3) 针对外场采集的海量航道要素信息,结合长江航道数据交互实际需要,建立相应的技术标准,以规范各层次的系统与信息网络平台建设,保证整个体系中各系统之间数据信息的有效交换。

4) 按照长江智能航道框架体系,提出基于数字航道建设内容构建智能航道的分层整合方法以及实施方案,并建立评估体系,为长江智能航道

的工程建设扫清关键技术障碍。

参考文献：

[1] 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.

[2] 刘怀汉,李学祥,杨品福,等. 长江智能航道关键技术体系研究[J]. 水运工程,2014(12): 6-9.

[3] 杨品福,陆英,徐志远,等. 长江航道局“十二五”数字航道建设实施方案的编制及思考[J]. 航道科技,2013(1): 14-17.

[4] 吕永祥. 长江干线航道要素状态感知与交互技术分析[J]. 水运工程,2012(9): 153-158.

[5] 余青容,刘林,李学祥. 长江航道信息化项目建设效益评估指标体系研究[J]. 水运工程,2014(12): 140-145.

(本文编辑 武亚庆)

~~~~~  
(上接第 92 页)

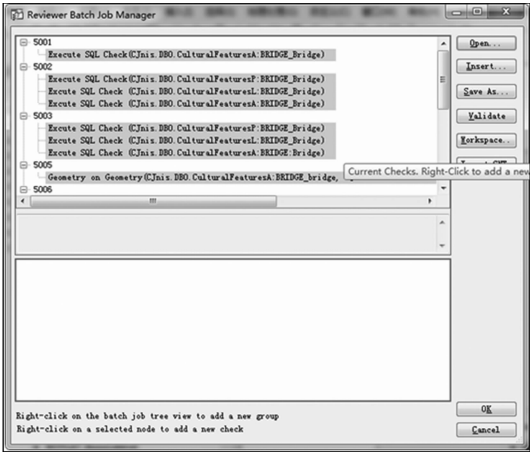


图 4 长江电子航道图部分质量检查规则

根据对质量检查总表中的分类,分别对源数据和产品数据中的规则进行合并。由于源数据是产品数据的数据源,因此在该过程中数据关系会发生变化,故此部分数据质量检查规则需要在 2 个阶段都进行相应的检查。

5 结语

1) 设计与扩充的 CJ-58 质检规则符合长江电子

航道图新增要素和属性实际情况和 IHO S-58 的质量控制标准。

2) 源数据与产品数据分层处理提高了长江电子航道图数据准确性和处理效率,基于 RBJ 文件方式的数据质量控制方法便于规则的灵活处理。

3) 考虑到内河的特点以及未来发展需要,规则中的部分内容会发生改变,因此需要在本研究方案基础上构建一种可自定义实现的数据质量控制方法,以配置文件形式保存物标和属性验证规则。

参考文献：

[1] 王斌. 基于 S-58 长江电子航道图有效性检验系统的设计与实现[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.

[2] IHO S-57 IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data[S].

[3] 李邵喜,李超,郝江凌,等. 长江电子航道图制作的关键技术[J]. 大连海事大学学报,2010,36(2): 35-38.

[4] 张国平. 对制定内河电子航道图技术规范的思考[J]. 交通科技,2015(3): 176-179.

(本文编辑 郭雪珍)