

· 信息技术 ·



基于大数据分析的 AIS 虚拟航标布设技术

李 峰¹, 曾 乐¹, 刘 斌¹, 蔡 昊¹, 施 勤¹, 林治家², 郝江凌²

(1. 长江上海航道处, 上海 200080; 2. 大连海事大学, 辽宁 大连 116026)

摘要: 为了进一步改善长江下游重点航段的航标布设方案和航路航法, 完善通航环境, 探索一种基于大数据分析辅助船舶自动识别系统 (AIS) 虚拟航标布设优化的方法, 并以密集港区临港侧航道、深水复合航道和主航道到港口“最后一公里”航道为例进行应用分析。结果表明, 基于电子航道图, 针对船舶交通流的船舶轨迹回放、碰撞危险度分析、船舶轨迹线分析、航道门线分析和船舶航标间距分析等方法能够以可视化的手段有效地找到航标布设方案的薄弱位置, 为 AIS 虚拟航标的增设优化提供有力的数据支撑。

关键词: 船舶大数据; AIS; 虚拟航标布设; 船舶交通流分析

中图分类号: U644.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0173-07

Virtual navigation aid deployment technology by AIS based on big data analysis

LI Feng¹, ZENG Le¹, LIU Bin¹, CAI Hao¹, SHI Qin¹, LIN Zhiqia², HAO Jiangling²

(1. Changjiang Shanghai Waterway Division, Shanghai 200080, China;

2. Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: To further develop the navigation aid deployment plan and navigation route and method for key sections of the downstream of the Yangtze River, and improve the navigation environment, we explore a method to optimize the virtual navigation aid deployment by automatic identification system (AIS) based on big data analysis, and take the port side channel, deep-water composite channel and “last kilometer” channel from main channel to port as examples to conduct application analysis. The results show that based on the electronic nautical chart, the methods of ship trajectory playback, collision risk analysis, ship trajectory line analysis, channel gate line analysis and distance analysis between ship and buoy for ship traffic flow can effectively find the weak position of the navigation aid deployment scheme by visual means, and provide strong data support for the deployment and optimization of the virtual navigation aid by AIS.

Keywords: ship big data; AIS; virtual navigation aid deployment; ship traffic flow analysis

根据国际航标协会 (International Association of Lighthouse Authorities, IALA) 的定义, 虚拟航标是指物理上不存在, 但由授权的助航服务部门发布能在导航系统中显示的数字信息物标。虚拟航标是基于无线通信技术发展起来的, 现阶段通常利用船舶自动识别系统 (automatic identification system, AIS) 进行设置, 被称为 AIS 虚拟航标。AIS 虚拟航标具有设置快捷、不受水域状况影响、不

受交通与天气条件限制、成本低和不会出现标位漂移等优点, 已在世界范围内被许多海事和航道主管部门接受并试用。虽然, AIS 虚拟航标受岸基信号播放设施、船载接收和显示设备以及船员认知程度等方面的限制, 现阶段还不够成熟, 不足以全面替代实体航标。但在我国长江下游等条件较好水域开展的一系列试点应用效果表明, AIS 虚拟航标已受到越来越多船员的认可和欢迎。

收稿日期: 2023-02-20

作者简介: 李峰 (1973—), 男, 高级工程师, 从事航道航标管理。

为了更好地发挥 AIS 虚拟航标的作用, 其相关研究也日益增多。李昱^[1]研究了一种基于冗余数据的 AIS 虚拟航标监测方法, 并在数字航道系统中设计虚拟航标播发、监测与报警一体化模块, 实现 AIS 虚拟航标播发的实时监测和主动报警; 王岩等^[2-3]通过研究 AIS 信号场强、AIS 基站网络结构与容量、AIS 基站可靠性检测, 从而给出合理的播发 AIS 虚拟航标基站的选址和布局方案; 李维运等^[4]通过研究 AIS 虚拟航标设置对 AIS 系统的信道容量及系统阻塞率的影响, 给出不同水域条件下合理设置虚拟 AIS 航标数量的建议; 邓良爱等^[5]结合虚拟航标和长江电子航道图的特点, 提出一套适用于长江电子航道图的虚拟航标符号显示方案; 宋成果等^[6]通过研究内河虚拟航标显示方案, 提出航行标志、信号标志、专用标志和通用标志等对应的“圆形标识”和“菱形标识”显示符号。可以看出, 目前许多研究集中在岸基 AIS 信号播发基站可靠性和 AIS 虚拟航标可视化等方面, 而在如何布设 AIS 虚拟航标方面的相关研究较少, 大多数的应用一方面将其作为临时性标志标示沉船等事故的危险点, 另一方面用于某些不便设置实体航标或者实体航标会明显限制利用水域的狭窄水域。例如在长江口南槽“航道套航道”场景中, 为了使深槽航道具有足够安全宽度保障双向通航能力, 形成了“中间深槽两侧虚拟航标+小船航道外侧实体浮标”交错的航标布设方案^[7]; 在曹妃甸港中区一港池 20 万吨级航道中, 由于一港池引导距离短, 采用 AIS 虚拟航标替代 8#、9-1#、10# 浮标的方案^[8]。除了指导性原则, 关于 AIS 虚拟航标的具体布设方案目前还没有很好的技术性指南。刘三林等^[9]针对内河桥区航段, 从航道水深、宽度和间距等因素进行分析, 建立一个虚拟航标布设的多目标优化模型, 但该模型受场景局限性较大而且没有考虑实际的船舶交通流影响; 代任等^[10]从引航员的角度出发, 分析长江下游江苏段航道和船舶航行特点, 提出利用 AIS 虚拟航标优化深水航路的设想, 但缺乏有力的数据和方法论支撑。

本文针对长江下游重点航道的船舶交通流特点, 探索一种基于船舶大数据分析的辅助方法, 以便更好地利用 AIS 虚拟航标优化深水航道现有航标配布体系、规范船舶的安全航行和提高水深资源的利用率。

1 长江下游重点航段航标布设优化需求

1.1 临港航道航标布设

长江下游船舶交通密集航段, 虽然主航道的航标配布和航路航法比较齐全, 然而在密集型港区, 临港侧实体航标会对船舶的航行和靠离泊造成较大影响, 然而在撤掉实体航标之后又会导致船舶偏离航道, 加大了港区附近的交通流密度和危险度。因此如何设置临港航道的航标, 既不影响进出港又能约束船舶不过于靠近港区或成为亟待解决的问题。

1.2 深水复合航道航标布设

长江下游许多区段航道条件优越, 主航道外有较大余量的可航水域可满足吃水较小船舶的通航, 实际上海事部门也会在主航道设置推荐航路, 没有推荐航路的也允许小型船舶紧邻通航分道外侧水域行驶。然而, 由于没有明确的航标标示, 有些规定并不易把握, 导致许多船舶远离航道外侧通行。利用航标标示出复合航道是解决这一问题的最佳措施, 既能最大化利用可航区域满足不同吃水船舶航行需求, 缓解主航道船舶流量密集和通航压力, 又能避免船舶偏离航道, 降低搁浅和干扰进出港风险。那么就需要利用不同的航标分别标示复合航道不同尺度的航道界限, 既起到助航作用又不减少可利用水域。

1.3 主航道到码头“最后一公里”航标配布

长江下游航道的航路航法以及航标的布设主要集中在主航道, 而从主航道到码头的“最后一公里”则往往被忽视, 没有明确的航标布设方案和航路航法, 不仅使得船舶航行安全难以得到充分的保障, 也导致船舶因指引不充分不敢满载运输货物。为了给船舶提供从泊位到泊位全方位的航行保障服务, 合理设置“最后一公里”的航标

可便于船舶识别引用又不影响进出港。

针对上述 3 种场景的航标布设优化, AIS 虚拟航标能够发挥非常重要的作用。本文将利用大数据分析的方法, 提出 3 种场景中利用 AIS 虚拟航标进行优化的方案。

2 大数据分析方法和系统架构

2.1 大数据分析方法

航标布设优化的大数据分析方法主要是基于电子航道图开展船舶交通流分析, 可可视化地展现水域交通流特征, 并利用船舶轨迹和航标数据进行各种时空关系统计计算, 从叠加到电子航道图上的计算结果辅助判断现有航标体系中需要利用 AIS 虚拟航标优化的位置。

应用于航标配布优化的大数据分析方法包括船舶轨迹回放、船舶碰撞危险度、船舶轨迹线、航道门线统计和船舶航标间距分析法等。

2.1.1 船舶轨迹回放分析法

船舶轨迹回放分析法是把水域在一个时间段内的所有船舶轨迹点随时间变化情况在电子航道图上进行动态标绘, 从而反映船舶在航道内航行的规律以及船舶经过航标的行为特征。

通常为了实现船舶轨迹平滑回放, 必须对水域指定时间段内的所有船舶轨迹进行插值处理, 保证每一艘船舶在同样时间截上都有数据, 而且每一艘船舶的轨迹点间隔都一样。可采用指定时间截前后 2 个有轨迹数据时刻的船舶动态信息进行简单线性插值, 也可利用考虑前后更多轨迹点的平滑插值。

2.1.2 船舶碰撞危险度分析法

船舶碰撞危险度分析法是在船舶轨迹回放分析过程中进行船舶间碰撞危险度的计算, 同时将实时碰撞危险度以热力图显示, 以可视化的形式指出区域内具有高危险度的位置及其演化趋势, 在回放结束后统计出区域总的碰撞危险度和单船平均碰撞危险度。

D_{CPA} 及 T_{CPA} 是评判船舶碰撞危险度的 2 个重要参数, D_{CPA} 是两船会遇时的最近会遇距离,

T_{CPA} 是两船会遇时达到最近会遇的时间, 它们的含义如图 1 所示(v_a 为 a 船的速度, v_b 为 b 船的速度, D_{is} 为会遇距离, C 为两船相遇时最近的点)。

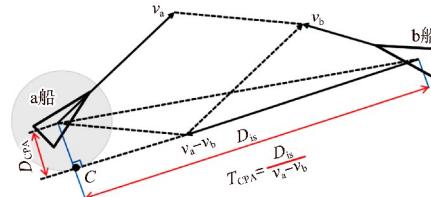


图 1 D_{CPA} 及 T_{CPA} 含义

D_{CPA} 与 T_{CPA} 从不同角度评判了船舶碰撞的危险度, 而单独地用 D_{CPA} 或 T_{CPA} 评判碰撞危险度都是不切实际的。因此本文采用 D_{CPA} 与 T_{CPA} 加权法计算船舶碰撞危险度, 公式为:

$$(aD_{\text{CPA}})^2 + \left(b \cdot \frac{T_{\text{CPA}}}{m}\right)^2 = \rho \quad (1)$$

式中: ρ 为危险度值, 值越小, 来船越危险; a 、 b 为加权值, 是由统计得到的试验数据, 一般情况下, 对于右舷来船 $a=5$ 、 $b=0.5$, 对于左舷来船 $a=5$, $b=1$; m 为常数, 表征 D_{CPA} 和 T_{CPA} 对危险度的不同重要程度, 来船在本船的 4 个象限时 m 分别取 1.4、1.2、1.1 和 1.3。

2.1.3 船舶轨迹线分析法

船舶轨迹线分析法是将船舶在某一时间段的位置按照时间先后顺序连接起来, 在电子航道图上以线的形式进行绘制显示, 如图 2 所示。通过船舶轨迹线的空间分布可以了解水域内船舶习惯航路、进出港方式和主要会遇点等交通流基本特征。

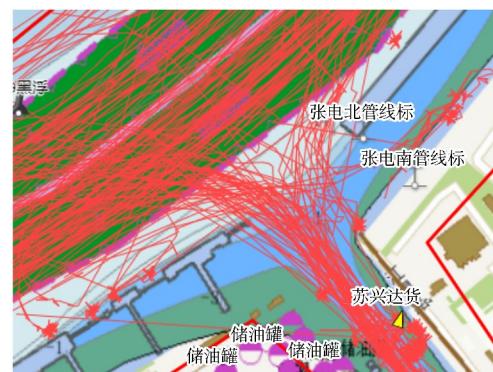


图 2 船舶轨迹线分析方法

为了更好地进行船舶轨迹线分析,需要对船舶 AIS 轨迹数据进行合理的清洗和插值,剔除明显的异常值,避免轨迹点间的连线出现乱飞和跨越陆地等不合理现象。

2.1.4 航道门线统计分析法

为了准确判断船舶在航道上的轨迹分布情况,需要在轨迹线基础上进行航道门线统计分析。

门线统计分析法是将航道截面(门线)分为多个宽度一致的断面,统计指定时间段内通过门线各个断面的船舶数量。门线统计分析的关键是门线位置的选择和断面长度的确定。门线位置的选择通常根据分析场景和船舶航迹线确定,断面长度值通常根据航道宽度确定。门线统计分析获得的断面统计结果,一般用直方图以断面为底进行展示,直方图宽度与断面宽度相等,直方图高度与该断面的统计数据关联,如图 3 所示。



a) 通过航道门线各断面的船舶数量直方图(单位: 艘)

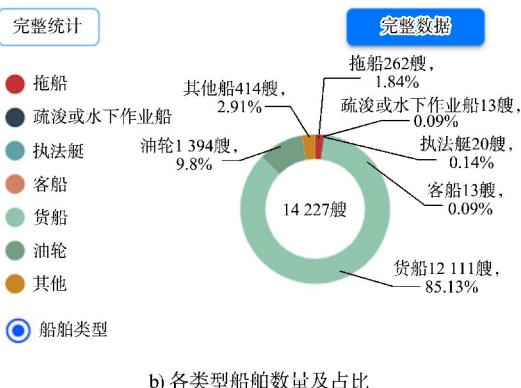


图 3 航道门线统计分析结果

通过门线统计分析可对通过该门线的船舶信息进行归类统计,包括船舶类型、船舶长度、船

舶速度和船舶吃水等,并利用百分比图进行可视化,便于快速分析通过航道各个断面的船舶特征。

2.1.5 船舶航标间距分析法

船舶航标间距分析是对所选航道区域在一段时间内所有船舶到某个航标通过距离的统计,可为船舶碰标风险评估提供数据支持。如近距离通过航标的船舶越多,则说明此位置上的实体航标存在更大的被船舶碰撞风险。

船舶航标间距分析是在船舶轨迹线分析的基础上进行,直接计算每艘船舶轨迹线与航标的垂直距离,或者取该船舶在航标周围所有轨迹点(经过插值加密后)中距离航标最近的进行近似。

2.2 大数据分析平台系统架构

为了实现上述各种大数据分析方法,基于电子航道图、非关系型数据库和时空索引等技术构建了大数据分析平台,其系统架构如图 4 所示。

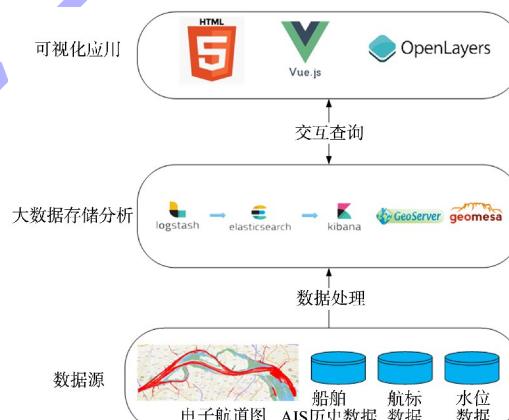


图 4 大数据分析平台系统架构

大数据分析平台采用基于浏览器/服务器(B/S)模式运行的 3 层架构。

数据层主要包括电子航道图、船舶 AIS 数据、航标和水位等数据,其中船舶 AIS 数据和航标数据具有明显的时空特征而且数据量巨大,因此采用 elastic search 非关系型数据库进行存储,而且为了加快数据检索和分析速度,将这部分海量数据的经纬度设置成 geo_point 类型、时间设置成 date 类型,构建时空索引。

业务层的 geoserver 地图服务器连接电子航道

图和 elastic search 数据库, 实现电子航道图、船舶轨迹点和轨迹线的发布。基于 spring boot 开发的分析模块负责进行各种时空查询和分析计算, 并将结果通过 RESTful 接口返回给前端可视化应用层。

前端可视化应用层以 open layers 地图引擎 + Vue+H5 为基础开发, 基于浏览器运行, 实现电子航道图和航标的绘制, 根据业务层返回的数据结果进行轨迹回放、轨迹线绘制、门线分析、距离分析和交通流特征参数计算, 并将分析结果可视化叠加到电子航道图上, 此外还完成各种参数设置、地图操作和回放操作等交互, 形成完整平台功能。

3 基于大数据分析的航标布设优化建议

3.1 密集港区临港侧航道

以福姜沙北水道为例进行密集港区临港侧航道航标布设优化分析。

首先对临港航道区域轨迹线分析, 从电子航道图上轨迹线空间分布可以看出, 临港航道尤其是缺乏 FB7[#]和 FB8[#]实体航标的区间(图 5 中菱形图标为原 FB7[#]和原 FB8[#]的位置), 许多上水船舶选择靠近港区沿岸航行。

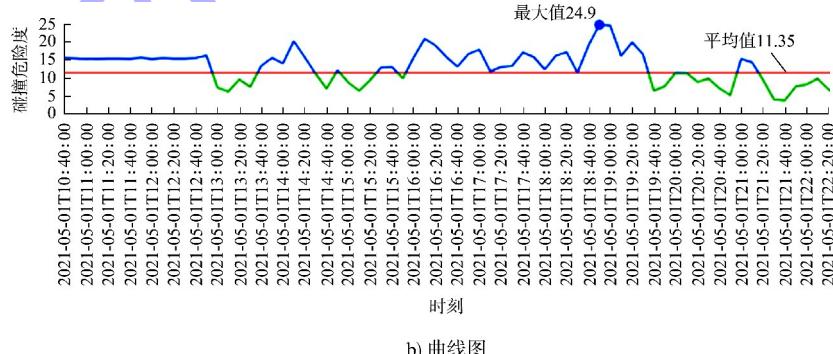


图 6 福姜沙北水道碰撞危险度分析结果

在缺乏 FB7[#]和 FB8[#]实体航标区间选择截面进行门线分析, 结果如图 7 所示。可以看出, 主航道外临港航行的船舶占半数以上, 主要是吃水小于 4 m 的小型船舶。

从上述的大数据分析可以看出 FB7[#]和 FB8[#]实

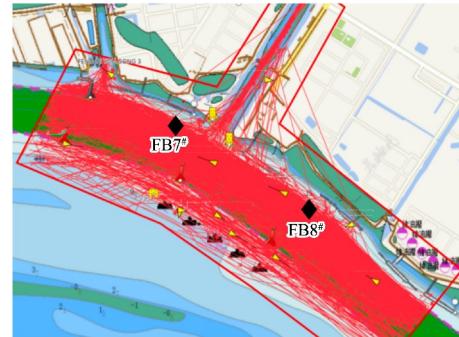
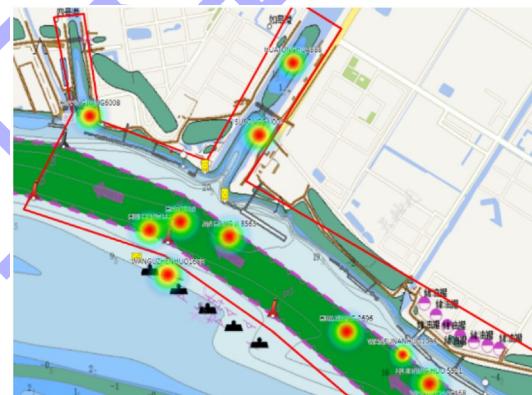
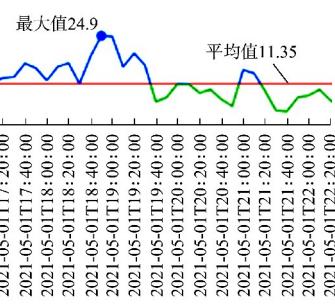


图 5 福姜沙北水道局部区域船舶轨迹线

进行轨迹可视化回放, 并在回放过程中进行碰撞危险度分析, 如图 6 所示。可以看出, 临港区域在较长时间内维持较高碰撞危险度, 通航环境需要优化完善。



a) 热力图

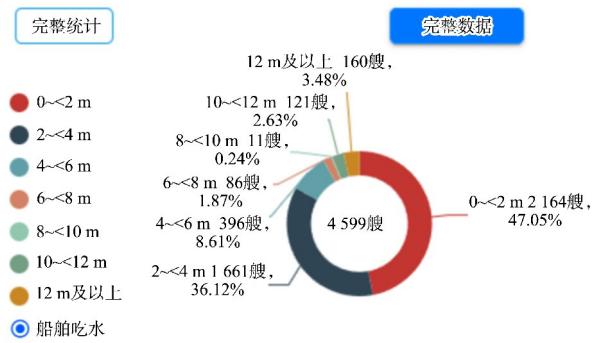


b) 曲线图

体航标的撤除虽然降低了对进出港船舶的阻碍, 但也导致部分小型船舶严重偏离航道边缘, 造成临港侧航行风险提升。因此十分有必要增设 FB7[#]和 FB8[#] AIS 虚拟航标, 即能清晰标示航道, 又不影响可利用水域。



a) 通过门线各断面的船舶数量直方图(单位: 艘)



b) 各吃水区间的船舶数量及占比

图 7 福姜沙北水道门线分析结果

3.2 深水航道的复合航道

以福姜沙南水道为例进行复合航道航标布设优化分析。

为了避免影响进出港船舶, 福姜沙南水道同样撤掉了大部分临港侧实体航标, 通过临港侧航道的大数据分析, 建议在缺失实体标的位置对位增设 AIS 虚拟航标。福姜沙南水道的轨迹线如图 8 所示。可以看出, FN10[#] 黑浮—FN12[#] 黑浮间的航道外侧有许多通航船舶, 并与北侧锚泊船舶形成较大碰撞风险。从准确的测量数据和电子航道图可知该区域具有 10.5 m 水深资源, 门线分析结果(图 9)显示其中不乏较大吃水的大型船舶。为了有效利用水深资源又不让通航船舶干扰北边的锚泊船舶, 有必要用清晰的航标标示出推荐航路。因此, 结合水深资源和船舶交通流特征, 建议沿着此区域 10.5 m 等深线南侧密集设置 AIS 虚拟航

标标示推荐航路, 如图 10 所示, 与主航道形成复合航道, 既清晰标示水深界限规范航行, 又不减少可利用水域。

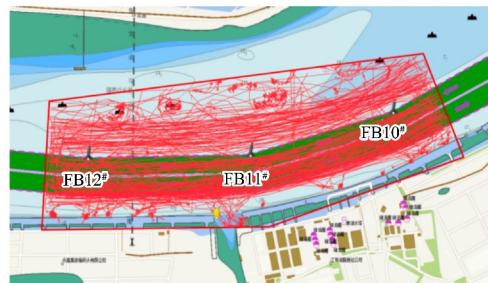


图 8 福姜沙南水道轨迹线



图 9 福姜沙南水道门线各断面船舶数量直方图 (单位: 艘)

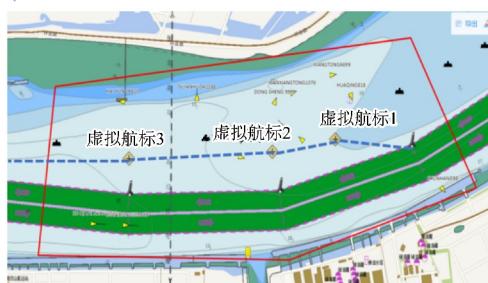


图 10 福姜沙南水道复合航道标示方案

3.3 主航道到港口的“最后一公里”航道

以安宁港前区域为例进行“最后一公里”航道航标布设优化分析。

安宁港前区域的船舶轨迹线和轨迹回放危险度分析结果见图 11。可以看出, 港区的船舶交通流密集, 不仅影响船舶进出港, 还形成了较大碰撞风险。因此十分有必要形成“最后一公里”的航标标示, 指引船舶进港, 并限制上水船舶沿岸航行。

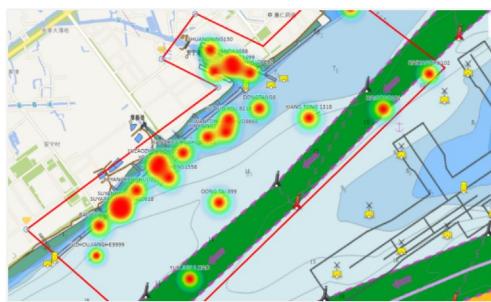


图 11 安宁港前区域的碰撞危险度热力图

根据图 12 的安宁港区前水深条件和门线分析结果, 形成如图 13 所示的增设 AIS 虚拟航标进行航标布设优化的方案, 即清晰标定水深界限指引船舶进出港, 又同时划分出推荐航路, 减轻临港侧的通航压力。

图 12 安宁港前区域的门线各断面船舶数量直方图
(单位: 艘)

图 13 安宁港“最后一公里”航标布设方案

4 结语

1) 基于电子航道图, 针对船舶交通流的船舶轨迹回放、碰撞危险度分析、船舶轨迹线分析、航道门线分析和船舶航标间距分析等大数据分析

方法能够以可视化的手段有效地找到航标布设方案的薄弱点, 为 AIS 虚拟航标的增设优化提供有力的数据支撑和依据。

2) 在福姜沙水道的分析结果表明, 福姜沙北水道临港侧、福姜沙南水道 10.5m 等深线南侧以及在安宁港前等处存在明显薄弱位置, 提出的 AIS 虚拟航标增设优化方案可更好地利用深水航道的水深资源和降低船舶航行风险。

参考文献:

- [1] 李昱. 基于冗余数据的 AIS 虚拟航标监测方法[J]. 世界海运, 2017, 40(6): 20-23.
- [2] 王岩, 孙小军. 长江镇江段 AIS 虚拟航标应用实例及基站选址分析[J]. 中国水运. 航道科技, 2019(6) : 18-23.
- [3] 王岩, 方向, 李术元, 等. AIS 虚拟航标基站完好性监测方案及实现方法[J]. 中国水运. 航道科技, 2020 (1) : 22-27.
- [4] 李维运, 刘畅, 李金浩, 等. AIS 虚拟航标的合理设置[J]. 水运工程, 2021(11): 165-170.
- [5] 邓良爱, 王当利, 陈璐. 长江电子航道图虚拟航标的类别与显示研究[J]. 中国水运, 2020(4) : 58-61.
- [6] 宋成果, 李昕, 郭涛. 我国内河虚拟航标显示符号研究[J]. 水运工程, 2018(1): 166-170.
- [7] 沈益骥. AIS 虚拟航标在复杂航道中的应用与探索[C]//第十三届中国智能交通年会学术委员会. 第十三届中国智能交通年会大会论文集. 北京: 电子工业出版社, 2018: 636-640.
- [8] 谭丽丽, 刘俊刚, 吕英龙. 港池航道通航水域虚拟 AIS 航标应用[J]. 中国海事, 2022(3): 53-55.
- [9] 刘三林, 陈先桥, 高原. 针对桥区虚拟航标优化布设的方法研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2015, 37(1) : 47-50.
- [10] 代任, 许浩, 赵润程. 基于 AIS 虚拟浮标优化长江江苏段航道的可行性探讨[C]//中国航海学会内河海事专业委员会. 中国航海学会内河海事专业委员会 2021 年学术年会优秀论文集. 武汉: 中国航海学会内河海事专业委员会, 2021: 93-96.

(本文编辑 王璁)