

· 信息技术 ·



基于 AIS 大数据耦合分析的 沿海港口泊位利用率研究 *

姚海元^{1,2}, 倪瑞鸿¹, 陈 飞¹, 王达川¹, 张民辉¹, 齐 越¹

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 天津大学, 天津 300072)

摘要: 针对我国沿海港口能力供给水平数据跟踪方面长期存在的时效性差、人为统计过程中易出现错漏等诸多问题, 分析传统泊位通过能力统计失真的具体原因, 提出将泊位利用率作为评价港口服务水平的表征指标, 依托地理信息系统(GIS)平台和基于船舶自动识别系统(AIS)等数据耦合的空间拓扑分析, 综合考虑空间关系、航速特征、经留时间等影响因素, 研发基于 AIS 大数据的泊位利用率算法模型, 并以上海港 2019 年集装箱泊位利用率为例进行算法验证。结果表明, 所提出的泊位利用率算法模型是可信的; 提供了一种能够反映客观实际、定量分析判断港口服务水平的技术手段, 可为政府部门长期动态监测港口能力与运输需求互动平衡关系, 支撑政府部门决策港口发展重点和建设时序, 避免空间资源浪费、重复建设、能力过剩等问题提供技术支撑。

关键词: AIS; 沿海港口; 泊位利用率; 泊位通过能力

中图分类号: U651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0184-09

Berth utilization rate of coastal ports based on AIS big data coupling analysis

YAO Haiyuan^{1,2}, NI Ruihong¹, CHEN Fei¹, WANG Dachuan¹, ZHANG Minhui¹, QI Yue¹

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;

2. Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Aiming at the long-term problems such as timeliness poor, and frequent errors and omissions in the process of artificial statistics in the capability supply level data tracking of Chinese coastal ports, we analyze the specific reasons for the distortion of traditional berth passing capacity statistics, propose to use berth utilization rate as a representation index to evaluate port service level, and make spatial topological analysis based on geographic information system(GIS) platform and automatic identification system(AIS) data coupling. Then we develop a berth utilization algorithm model based on AIS big data by comprehensively considering the influencing factors such as spatial relationship, speed characteristics and length of stay, and verify the algorithm by taking the container berth utilization rate of Shanghai Port in 2019 as an example. The results show that the proposed berth utilization algorithm model is credible. The algorithm model can provide a technical means to reflect the objective reality and quantitatively analyze and judge the port service level. It can help government departments to dynamically monitor the interactive balance relationship between port capacity and transportation demand in the long term, support government departments to make decisions on port development priorities and construction timing, and provide technical support to avoid space resource waste, redundant construction, excess capacity and other problems.

Keywords: AIS; coastal port; berth utilization rate; berth passing capacity

收稿日期: 2023-09-19

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB2600700、2020YFE0201200)

作者简介: 姚海元(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口规划与战略政策、交通仿真及港航大数据研究。

通讯作者: 陈飞(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口规划与战略政策研究。E-mail: chenfei@tpri.org.cn

我国沿海港口是落实国家重大战略实施和参与国际物流供应链经贸竞争的基础性、先导性、枢纽性设施, 在保障国家重要物资运输安全、降低社会综合物流成本、创新发展现代物流业态等方面发挥着重要支撑和引领作用。同时, 港口也是反映国民经济发展和对外贸易水平的“晴雨表”, 市场化程度很高, 消费市场的变化易引起地方港口投资冲动, 需要政府部门管控资源、合理引导。交通运输部长期开展沿海港口运行及基础设施建设情况跟踪分析工作, 动态掌握港口货物吞吐量与港口通过能力的平衡匹配关系, 以把握沿海港口建设节奏和发展方向, 相应进行宏观行业管理决策。

港口通过能力是否很好地满足港口货物吞吐量的发展要求, 即港口生产运行的“量-能分析”, 是交通运输部等政府部门开展行业管理的核心内容。目前, 政府管理和行业研究中通常采用“能力适应度”(为港口通过能力与港口货物吞吐量之比)表征港口“量-能”平衡状态。如能力适应度远小于1, 即可能发生能力制约, 港口“超负荷”运行, 易出现安全隐患, 甚至影响原油、铁矿石、液化天然气(LNG)等关系国家经济安全的物流链稳定; 相反, 如能力适应度远大于1, 即可能造成稀缺港口资源浪费。

但关于“港口通过能力”的统计工作仍以地方按期上报统计数据的传统方式为主, 存在时效性差、人为统计过程中易出现错漏等问题, 导致“能力适应度”不能准确反映实际港口能力服务水平, 也难以直接有效支撑交通运输部进行港口岸线资源的精细化管理。

针对政府部门等缺乏定量、系统跟踪评价沿海港口通过能力技术手段的问题, 本文基于地理信息系统(GIS)平台开展船舶自动识别系统(AIS)等数据耦合的空间拓扑分析, 建立沿海港口设施利用率模型, 探究我国沿海港口能力供给体系特征, 实现长期动态监测港口能力与运输需求互动

平衡关系, 支撑政府部门决策港口发展重点和建设时序, 避免空间资源浪费、重复建设、能力过剩等问题, 促进沿海港口健康可持续发展, 更好地落实交通强国、海洋强国等国家重大战略要求, 更好地适应国民经济和社会发展的水运需求。

1 我国沿海港口资源利用面临的新形势

经过多年的发展与建设, 我国沿海港口已经逐渐成为我国交通市场化程度最高的领域。2022年, 沿海港口货物总吞吐量达到了101.3亿t, 是2000年的8.1倍; 其中煤炭、原油、金属矿石吞吐量分别达到18.3亿、6.6亿、16.3亿t, 集装箱货物吞吐量达到2.6亿标准箱, 分别达到2000年的5.6、5.5、13.7和12.7倍, 20万吨级集装箱码头、30万吨级原油码头、40万吨级矿石码头等一批超大型码头投产, 大型化、专业化发展水平也已位居全球前列。

与此同时, 关于我国沿海港口“能力过度超前、低水平重复建设、同质化竞争”等方面的质疑, 一直受到社会各方关注。港口建设过程中也出现了部分新港区开发大面积围填海、港城交通空间矛盾激化、个别面向同一腹地的区域内港口同质竞争严重、短时期内多地同时快速上马相同接卸功能码头工程从而造成供需失衡等问题, 例如2018年底, 我国北方地区天然气供应紧张、价格暴涨, 国内LNG市场价已超8000元/t, 全国各地码头企业则纷纷申请建设沿海LNG接卸码头, 市场主体逐利特点明显, 迫切需要国家宏观调控。

随着生态文明建设持续推进, 国务院于2018年印发《关于加强滨海湿地保护 严格管控围填海的通知》^[1], 提出除国家重大战略工程外, 全面停止新增围填海工程审批; 随后, 中共中央、国务院于2019年印发《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》^[2], 提出建立国土空间规划体

系并监督实施，强化国土空间规划对各专项规划的指导约束作用；生态环境部也提出严格倾倒区和海洋倾废活动监管，协同推进沿海地区海洋经济高质量发展和海洋生态环境高水平保护。从港口行业专业角度看，我国港口的资源禀赋决定了围填造陆、开挖航道通常是开展港口规模化建设的优化处理方式。由于上述用海资源、抛泥倾倒管控要求，沿海港口迫切需要改变盲目追求大建设的发展模式，准确把握发展需求，科学评判港口能力供给水平适应性。

贯彻“绿色发展理念”、践行资源节约和环境保护，在国土空间规划体系框架下，掌握我国沿海港口实际运行情况和利用效率，提出一种能够反映客观实际、定量分析判断港口泊位设施服务水平的评价指标和评价方法，科学管控港口岸线资源，实现港口可持续、高质量发展，是新时期我国沿海港口需要解答的新命题。

2 传统沿海港口泊位通过能力的基本定义与数据失真问题

2.1 泊位通过能力的规范定义

关于泊位通过能力，其取值通常指工程投产之初的泊位设计通过能力，或早期开展能力核查工作后的泊位核定通过能力。目前，交通运输部关于泊位通过能力的统计仍采用地方直传上报的方式，多沿用泊位设计通过能力。

JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[3]给出泊位设计通过能力的通用计算公式，为：

$$P_t = \frac{T\rho G}{t_z/(t_d - \sum t) + t_f/t_d} \quad (1)$$

$$t_z = G/P \quad (2)$$

式中： P_t 为泊位设计通过能力，t/a； T 为年日历时间，取 365 d； ρ 为泊位利用率，%； G 为船舶实际载货量，t； t_z 为装卸 1 艘船舶所需的时间，h； t_d 为 1 昼夜时间，取 24 h； $\sum t$ 为 1 昼夜非生产时间之

和，h； t_f 为辅助作业时间，h； P 为设计船时效率，t/h。

2.2 泊位通过能力的失真问题

由 2.1 节可知，泊位设计通过能力是可以根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》公式计算直接得到的理论值，不是实际营运通过能力。理论计算中各系数取值或已不能反映泊位的运行情况，可能造成泊位实际通过能力与设计通过能力产生偏差的因素及原因有以下 4 个方面^[4]。

2.2.1 有效作业时间

有效作业时间与泊位所在区域的自然条件（风、浪、流、雾等）有关，JTS 165—2013《海港总体设计规范》通常将出现不可作业因素的当天均视为不可作业时间，而实际影响时间可能仅数小时或数十分钟。因此，大多数港口的有效作业时间实际大于规范设计值，甚至达到 360 d 左右。

2.2.2 运输货类结构

运输货类结构的变化反映了港口行业高度市场化的特点，特别是一些通用泊位或散杂货泊位，以散货装卸为主的泊位能力是以杂货装卸为主的泊位能力的数倍，例如 5 万~7 万吨级通用散货泊位，很多批复的年设计通过能力 90 余万 t，而实际年吞吐量超 200 万 t。如果货类结构发生较大变化，相应的设备工艺、船型组合等也将随之相应变化。此外，运输货类结构可能是一个动态变化的影响因素，须开展定期动态核定方可相对准确掌握。

2.2.3 靠泊船型组合

靠泊船型组合除受货类结构变化影响外，船舶大型化发展趋势的影响也十分明显，包括大量减载靠泊现象的出现。大量泊位实际靠泊的主力船型早已不是当初设计船型，直接影响单船装载量、装箱效率等指标。此外，像集装箱泊位可能由于航线的变化，主力船型也随之改变，进而泊位通过能力也将随之变化。

2.2.4 装卸设备效率

装卸设备的配备情况直接决定了泊位的装卸效率, 即船时效率。港口企业会根据运输货物种类和规模、靠泊船型组合等因素, 综合经济成本等方面的考虑统筹配备。同时, 装卸设备本身也在不断地迭代升级, 装卸效率持续提升, 特别是自动化码头的快速发展, 也带动了装卸设备的持续创新、加速升级。

2.3 泊位通过能力的核定跟踪

为加强对沿海港口码头靠泊能力核查工作的管理, 原交通部先后印发了《关于加强港口码头靠泊能力核查管理工作的通知(交水发[2006]81号)》^[5]、《关于码头靠泊能力核查管理工作的通告(交通部2006年第5号)》^[6]、《关于进一步明确码头靠泊能力核查工作有关问题的通知(厅水字[2006]347号)》^[7]等, 组织开展了全国沿海主要港口管理部门和主要港口企业码头靠泊能力核查工作, 一定程度上对全国港口合理能力进行了核定。

但相关工作基本仍依托传统的数据统计、采集方式和非标准化的分析方法, 存在传导程序繁琐、时效性差, 人为统计和上报误差率高、可调整空间大, 缺乏持续跟踪和判断标准等诸多问题, 亟待采用大数据等更加先进的技术手段, 逐步建立一套能够更加及时、高效、简明、直观地反映我国港口运行状况和服务水平的技术方法和判读标准。

3 AIS 数据特点及在港航领域的应用价值

3.1 AIS 数据特点

港口是天然的大数据池, 其中 AIS 数据是国际海事组织等于 20 世纪 90 年代推广应用, 通过不间断发送和接收船舶航行动态报文数据, 以实现船舶之间、船舶与基站之间的高效通信和相关识别, 信号发送的最短间隔可达约 6 s。基于 AIS 数据兼具船舶自身属性(船舶类型、船舶吨级等静态信息)和时空信息(任一时刻所处空间位置等动态信息), 且能够保证数据来源的真实、客观,

AIS 数据已成为港航领域最基础、应用最广泛的大数据源。

基于 AIS 数据开展船舶航迹分析, 根据船舶与泊位的空间位置关系进行靠、离泊动作的判断, 进而完成泊位利用率计算的方法, 将为开展我国沿海港口服务水平评价提供一种全新的技术手段, 实现定期动态监测、定量分类分析。

3.2 AIS 数据在港航领域的应用

由于 AIS 数据能够真实、连续地反映船舶航行过程, 常被用于船舶状态、航行轨迹等相关研究。Zhu^[8]提出应用电子海图系统、数据库管理、数据仓库和数据挖掘技术, 将关联规则算法应用于船舶轨迹模式, 在海量 AIS 数据中挖掘隐藏的、有价值的信息; Zhang 等^[9]提出基于 AIS 数据自动推断船舶航线的算法, 通过简化轨迹方向的变化来识别关键的转折点, 得到最佳船舶航行路径; 侯海强等^[10]根据武汉长江大桥桥区航道船舶 AIS 数据及实测数据, 分析船舶尺寸分布规律等数据特征, 建立桥区航道船舶通过能力仿真模型; 黄显鑫^[11]利用海量的船舶 AIS 数据, 构建区域船舶到达数学模型; Ma 等^[12]提出一种基于 AIS 数据的船舶航行行为分析与多轨迹预测模型, 使用层次聚类算法来分析和提取多个轨迹的船舶航行行为; Gan 等^[13]应用 K-means 算法对 AIS 历史轨迹聚类, 并将速度作为变量构建人工神经网络, 以预测船舶轨迹。

与此同时, 港口范围内的船舶 AIS 数据也被用于研究船舶进出港行为, 计算港口生产作业指标。周晓怡等^[14]提出利用 AIS 数据, 建立船舶统计模型, 并按类型、吨位累计船舶进出特定区域的频数、时间, 得到船舶平均装卸时间等指标; 陈伟杰等^[15]提出一种基于海量船舶 AIS 轨迹数据的港口服务效率计算框架, 采用滑动窗口算法等数据挖掘方法判断船舶在港内的状态, 估算出反映港口服务效率的 T_{AW}/T_{AS} (船舶平均等待时间与平均在港作业时间之比)指标, 从时间维度对港口

服务效率进行评价；朱吉双等^[16]应用 AIS 数据，分析洛杉矶港、长滩港在锚地停泊的集装箱船数量等指标，以反映港内船舶拥堵情况；李琼洁等^[17]基于船舶 AIS 数据，构建集装箱码头水域内航道通航繁忙度及港内锚地和泊位靠泊作业繁忙度评估模型，并分析码头水域船舶通行和作业区域的繁忙分布规律；江霞^[18]应用 AIS 数据计算集装箱港口内的船舶平均锚泊时长、靠离泊辅助作业平均时间、装卸效率、班轮航线密度、国际航线等指标，以评价港口服务水平；陈伟杰等^[19]建立 AIS 数据分析模型，对全球 20 个主要集装箱港口的船舶靠泊时间等指标进行测算；Chen 等^[20]构建基于 AIS 和全球定位系统(GPS)数据的船舶进出港模型，自动检测船舶靠泊和码头装卸事件，估算到港船舶数量、码头装卸作业效率等指标。

综上可见，部分学者已对基于 AIS 数据的通航航迹识别及风险规避、港内靠离泊行为、到港船舶数量及停留时间等开展了一些研究并取得了一定进展，但主要还面临着以下方面的问题：1) 数据源可靠度的问题，部分研究采用商业数据，数据缺失、错误问题仍不可避免；2) 港口设施属性信息、空间范围精准度问题，部分研究仅根据卫星遥感图片进行空间边界划定，存在精细度不足的问题；3) 船舶在泊时间的计算方法问题，部分学者对泊位利用率及泊位服务水平进行了探讨，未考虑剥离非运输船的时间投影影响，也未考虑船舶航速、滞留时间、空间范围等多因素的综合判定条件设置，尚须进一步研究例如泊位利用率的合理计算方法和分析手段。

4 基于 AIS 的泊位利用率计算

4.1 研究思路

依托 GIS 平台开展基于 AIS 等数据耦合的空

间拓扑分析，结合船舶实际靠泊行为特征，从空间关系、航速特征、经留时间等角度，计算得到实际泊位利用率。其中，AIS 可提供船舶全程时空信息。交通运输部已组织多次港口普查、岸线普查工作，掌握全国港口设施的空间地理信息，可提供泊位设施的精准自身属性信息和空间地理信息，为实现上述基于 AIS 的泊位利用率自动计算提供了数据基础，也为后续泊位服务水平的分析提供了分类条件。同时，交通运输部海事局自有 AIS 数据作为数据源，保证数据来源质量可靠、获得性好，本文开发了将海事局数据与其他商业 AIS 数据的融合算法，对数据进行了多源融合、比对校核及去重补全等工作。

在完成数据解析清洗、多源融合等整备工作后，可依托 GIS 平台，通过对泊位靠泊区域预设“电子围栏”，进而叠加 AIS 数据，根据船舶航迹判断其航行特征。如船舶驶进“电子围栏”(空间边界控制条件)范围，并且在一段时间内空间位置无变化(停泊时和航行速度控制条件)，即可将船舶进入“电子围栏”的时刻提取为靠泊初始时刻，类似地，当船舶驶出“电子围栏”范围时，可提取出船舶离泊时刻，进而可计算船舶在泊时间，得到实际泊位利用率，如图 1 所示。技术路线见图 2。

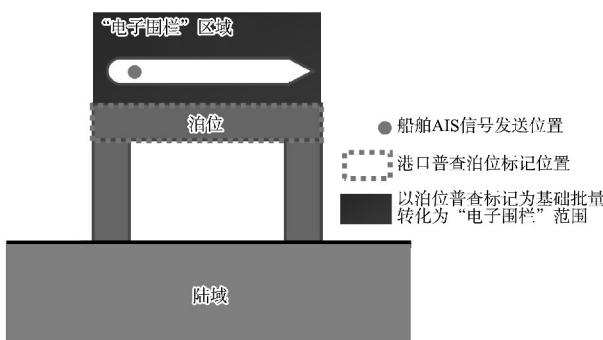


图 1 基于 AIS、港口设施 GIS 数据等大数据的空间特征分析

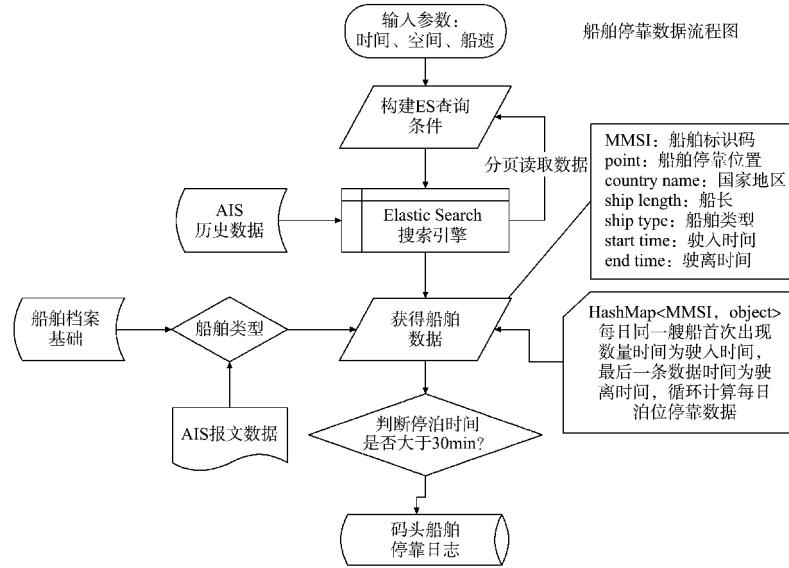


图2 技术路线

4.2 模型构建

4.2.1 船舶 AIS 数据模型

船舶 i 在 t 时刻的数据 $A_{i,t}$ 可以表示为:

$$A_{i,t} = (m_i, c_i, n_i, t_i, l_i, v_{i,t}, p_{i,t}) \quad (3)$$

式中: m_i 为船舶 i 的唯一标示 MMSI 编码, c_i 为船舶呼号, n_i 为船舶名称, t_i 为船舶类型, l_i 为船舶长度, $v_{i,t}$ 为 t 时刻的船舶速度, $p_{i,t}$ 为 t 时刻的船舶空间位置信息。

4.2.2 泊位数据模型

泊位 b 的数据模型 B_b 可以表示为:

$$B_b = (f_b, N_b, P_b) \quad (4)$$

式中: f_b 为泊位 b 在数据库中的编号, N_b 为泊位 b 的名称, P_b 为可表示为以多边形(由多个点组成)围成的泊位 b 的空间边界。

4.2.3 船舶抵达港口、泊位事件特征

定义特定船舶行驶进入特定港口、泊位边界为事件, 利用该事件特征提取船舶靠离泊时刻、抵港频次等。由于 AIS 会产生海量数据, 如果对每条船舶所有时刻的信息都进行存储与分析, 会导致数据冗余, 不仅浪费服务器的储存与计算性能, 还会降低数据分析的效率。为了更好地处理 AIS 矢量数据, 进而分析泊位利用率, 本文对历史采样的 AIS 数据进行抽稀, 在合理范围内减少数据点个数, 从而提取船舶的靠离泊事件。相关计

算参数说明为: ρ_b 为泊位 b 的年度利用率; T 为泊位 b 的年度可利用总时间, 根据港口运营情况, 一般取 365 d; ε 为判定航行状态的航速临界值, 其中 $v_{i,t} < \varepsilon$ 表示船舶 i 在 t 时刻航速小于航速临界值; $\text{contains}(p_{i,t}, P_b) \in [0, 1]$ 为判断在 t 时刻, 船舶 i 的位置 $p_{i,t}$ 是否在泊位的空间范围 P_b 内, 若 $\text{contains}(p_{i,t}, P_b) = 1$ 为船舶 i 在 t 时刻处于泊位 b 的水域范围内, $\text{contains}(p_{i,t}, P_b) = 0$ 反之; $\Delta t_{i,b}$ 为船舶 i 离开泊位 b 空间范围时刻与进入泊位 b 空间范围时刻之差; t_{limit} 为船舶在泊位空间范围内的最低停留时限, 当 $\Delta t_{i,b} = nt_{\text{limit}}$ 时, 认为此时船舶在泊位 b 的前沿水域范围内停留时间过短, 不能满足装卸作业的时间要求, 判断船舶只是经过该区域而非在对应泊位进行装卸作业; t_{thin} 为对船舶 AIS 数据进行抽稀的时间间隔, 一般来说 $\Delta t_{i,b} = nt_{\text{thin}}, n \in \mathbb{N}$ 。

也就是说, 当事件同时满足 $\text{contains}(p_{i,t}, P_b) = 1, v_{i,t} < \varepsilon, \Delta t_{i,b} \geq t_{\text{limit}}$ 条件时, 判断船舶 i 在泊位 b 完成靠泊并进行了装卸作业, 此时 $\Delta t_{i,b}$ 可以作为船舶 i 对泊位 b 的利用时间, 纳入到数据统计中, 进而通过下式计算泊位 b 的年度利用率:

$$\rho_b = \sum_{i=1}^m \Delta t_{i,b} / T \quad (5)$$

式中: m 为某年度在泊位 b 进行装卸作业的船舶总数量。

以此类推,通过将船舶AIS数据集合 $A_{i,t}$ 、泊位 b 的数据模型 B_b 与泊位利用率计算相关参数进行存储,构建船舶靠离泊事件数据库,可以对数据库中的所有泊位进行利用率计算。

4.3 模型验证

以2019年上海港集装箱泊位为例,进行泊位利用率试算,将基于AIS数据计算的泊位利用率数据与港口集团实际统计记录进行了对比,偏差率(计算利用率-统计利用率)绝对值均小于5%(图3),说明本文提出的计算方法可以较好地反映出泊位实际利用情况,试算结果见表1、2。

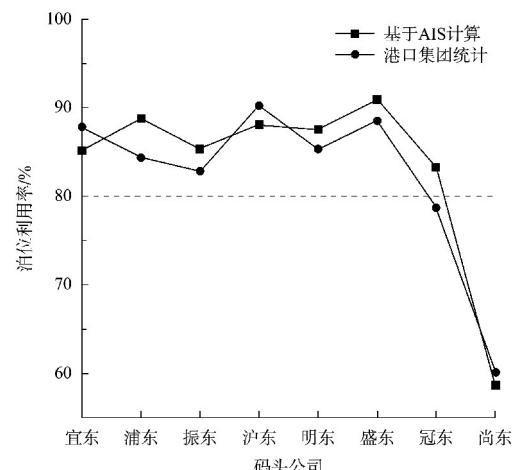


图3 泊位利用率计算值与实际统计值对比

表1 2019年上海港集装箱泊位计算结果

码头公司	泊位名称	靠泊船舶总数量/艘	平均每日靠泊船舶数量/艘	泊位占用总时间/d	泊位占用总时间/h	泊位平均占用时间/h	泊位利用率/%
宜东	张华浜1#泊位	1 739	4.8	344.2	8 261	4.8	94.0
	张华浜2#泊位	3 138	8.6	342.0	8 208	2.6	93.4
	张华浜3#泊位	2 934	8.0	353.5	8 485	2.9	96.6
	军工路1#泊位	1 344	3.7	322.5	7 740	5.8	88.1
	军工路2#泊位	1 715	4.7	318.4	7 641	4.5	87.0
	军工路3#泊位	1 510	4.1	328.5	7 884	5.2	89.8
	军工路4#泊位	2 645	7.3	322.4	7 737	2.9	88.1
浦东	外高桥1#泊位	1 581	4.3	326.8	7 842	5.0	89.3
	外高桥2#泊位	2 972	8.1	331.5	7 955	2.7	90.6
	外高桥3#泊位	2 068	5.7	326.3	7 832	3.8	89.2
振东	1#泊位	1 124	3.1	327.3	7 856	7.0	89.4
	2#泊位	769	2.1	330.4	7 930	10.3	90.3
	3#泊位	763	2.1	323.1	7 754	10.2	88.3
	4#泊位	962	2.6	294.1	7 058	7.3	80.4
	5#泊位	1 196	3.3	293.5	7 043	5.9	80.2
	三海码头1#泊位	3 644	10.0	336.2	8 068	2.2	91.8
	三海码头2#泊位	4 411	12.1	328.6	7 886	1.8	89.8
	三海码头3#泊位	3 370	9.2	334.1	8 018	2.4	91.3
	三海码头4#泊位	139	0.4	157.1	3 771	27.1	42.9
	三海码头5#泊位	80	0.2	57.6	1 382	17.3	15.7
沪东	三海码头6#泊位	60	0.2	19.0	456	7.6	5.2
	三海码头7#泊位	48	0.1	67.7	1 624	33.8	18.5
	三海码头8#泊位	206	0.6	164.9	3 957	19.2	45.0
	(外四期)1#泊位	2 325	6.4	330.0	7 921	3.4	90.2
	(外四期)2#泊位	1 861	5.1	323.3	7 760	4.2	88.3
	(外四期)3#泊位	1 384	3.8	316.0	7 583	5.5	86.3
	(外四期)4#泊位	1 599	4.4	332.5	7 980	5.0	90.8

续表1

码头公司	泊位名称	靠泊船舶总数量/艘	平均每日靠泊船舶数量/艘	泊位占用总时间/d	泊位占用总时间/h	泊位平均占用时间/h	泊位利用率/%
明东	(外五期)1#泊位	1 393	3.8	332.9	7 989	5.7	90.9
	(外五期)2#泊位	1 372	3.8	326.5	7 835	5.7	89.2
	(外五期)3#泊位	1 485	4.1	295.3	7 086	4.8	80.7
	(外五期)4#泊位	1 364	3.7	291.0	6 985	5.1	79.5
	(外六期)1#泊位	2 469	6.8	347.5	8 341	3.4	95.0
	(外六期)2#泊位	2 110	5.8	334.4	8 025	3.8	91.4
	(外六期)3#泊位	3 257	8.9	342.7	8 224	2.5	93.6
盛东	1#泊位	1 468	4.0	333.7	8 008	5.5	91.2
	2#泊位	1 680	4.6	321.0	7 703	4.6	87.7
	3#泊位	1 644	4.5	337.5	8 101	4.9	92.2
	4#泊位	1 599	4.4	315.3	7 568	4.7	86.2
	7#泊位	1 231	3.4	321.8	7 723	6.3	87.9
	9#泊位	1 502	4.1	335.3	8 048	5.4	91.6
冠东	3#码头1#泊位	537	1.5	276.6	6 639	12.4	75.6
	3#码头2#泊位	549	1.5	222.3	5 336	9.7	60.7
	3#码头3#泊位	820	2.3	318.0	7 631	9.3	86.9
	3#码头4#泊位	1 922	5.3	339.0	8 136	4.2	92.6
	4#码头1#泊位	1 383	3.8	334.3	8 023	5.8	91.3
	4#码头2#泊位	844	2.3	322.1	7 730	9.2	88.0
	4#码头3#泊位	744	2.0	327.4	7 857	10.6	89.4
尚东	洋山四期工程1#泊位	318	0.9	180.7	4 336	13.6	49.4
	洋山四期工程2#泊位	347	1.0	236.0	5 663	16.3	64.5
	洋山四期工程3#泊位	353	1.0	215.5	5 173	14.7	58.9
	洋山四期工程4#泊位	52	0.1	17.5	420	8.1	4.8
	洋山四期工程5#泊位	1 765	4.8	292.5	7 020	4.0	79.9

表2 泊位利用率结果对比

码头公司	基于AIS 计算的泊 位利用率/ %	港口集团 统计的泊 位利用率/ %	偏差/ %
	%	%	
上港集团宜东集装箱码头分公司	85.13	87.80	-2.67
上海浦东国际集装箱码头有限公司	88.74	84.30	4.44
上港集团振东集装箱码头分公司	85.32	82.80	2.52
上海沪东集装箱码头公司	88.06	90.20	-2.15
上海明东集装箱码头公司	87.54	85.30	2.24
上海盛东国际集装箱码头有限公司	90.90	88.53	2.37
上海冠东国际集装箱码头有限公司	83.30	78.70	4.60
上港集团尚东集装箱码头分公司	58.70	60.10	-1.40

泊位利用率通常根据运量、泊位装卸效率、泊位数、船舶在港费用、港口投资及营运费用等

港口实际情况和各类因素综合考虑，并以港航整体经济效益为目标确定。

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》，泊位利用率是指一年中船舶实际占用泊位的时间与年日历时间之比，泊位有效利用率是指一年中船舶实际占用泊位的时间与泊位年可营运时间之比，可见一般情况下泊位利用率要小于泊位有效利用率。同时，规划也给出集装箱码头的泊位有效利用率的推荐值，可取 50%~70%，泊位数少时宜取低值，泊位数多及泊位连续布置时宜取高值。

而根据港口企业对实际泊位利用率的统计，除冠东、尚东公司外，其余各公司的泊位利用率均超过 80%，如加入非营运时间因素，已经超过

JTS 165—2013《海港总体设计规范》推荐的上限，例如沪东公司的泊位利用率甚至已高达约 90%。

因此，综合考虑上海港的管理水平、运营实际和港航整体经济效益等因素，建议泊位利用率标准可以适当提高。

5 结语

1) 未来，可利用本文所提出的基于 AIS 数据的泊位利用率算法，可进一步建立港口持续跟踪机制，基于长期数据演变特征，以规范为基础，结合各港具体特点，同时系统性考虑港口配套的航道、锚地服务水平，探索基于泊位利用率的港口设施建设需求“触发点”机制，供港口企业及政府审批部门决策参考。

2) 同时建立我国沿海港口集装箱、铁矿石、原油、LNG 等重要运输系统专业化泊位利用率的定期跟踪机制，作为规范计算泊位通过能力的重要补充，抓住重点，以点带面，真实掌握我国港口总体服务水平和重点货类保障韧性。

参考文献：

- [1] 国务院. 关于加强滨海湿地保护 严格管控围填海的通知[A]. 北京: 国务院, 2019.
- [2] 中共中央, 国务院. 关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[A]. 北京: 国务院, 2019.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [4] 姚海元, 王达川, 张民辉, 等. 关于泊位通过能力失真的原因剖析及合理评估泊位服务水平的建议[J]. 水运工程, 2023(3): 61-64, 78.
- [5] 交通部. 关于加强港口码头靠泊能力核查管理工作的通知(交水发[2006]81号)[A]. 北京: 交通部, 2006.
- [6] 交通部. 关于码头靠泊能力核查管理工作的通告(交通部 2006 年第 5 号)[A]. 北京: 交通部, 2006.
- [7] 交通部. 关于进一步明确码头靠泊能力核查工作有关问题的通知(厅水字[2006]347号)[A]. 北京: 交通部, 2006.
- [8] ZHU F X. Mining ship spatial trajectory patterns from AIS database for maritime surveillance[C]//IEEE. Proceedings of 2011 2nd IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences. New York: IEEE, 2011: 772-775.
- [9] ZHANG S K, SHI G Y, LIU Z J, et al. Data-driven based automatic maritime routing from massive AIS trajectories in the face of disparity[J]. Ocean engineering, 2018, 155: 240-250.
- [10] 侯海强, 余玉欢, 严新平, 等. 桥区航道船舶通过能力仿真[J]. 大连海事大学学报, 2015, 41(1): 27-31.
- [11] 黄显鑫. 基于 AIS 数据挖掘的区域船舶到达模型研究[D]. 厦门: 集美大学, 2014.
- [12] MA H, ZUO Y, LI T S. Vessel navigation behavior analysis and multiple-trajectory prediction model based on AIS data [J]. Journal of advanced transportation, 2022: 6622862.
- [13] GAN S J, LIANG S, LI K, et al. Ship trajectory prediction for intelligent traffic management using clustering and ANN [C]//United Kingdom Automatic Control Council. Proceedings of UKACC 11th International Conference on Control. International Conference on Control, Belfast: UKACC, 2016: 1-6.
- [14] 周晓怡, 胡勤友, 向哲. 利用 AIS 数据连续观测港口泊位服务水平的方法[J]. 中国水运(下半月), 2015, 15(3): 61-64, 66.
- [15] 陈伟杰, 赵楠, 张婕姝, 等. AIS 数据在集装箱港口服务水平效率的应用研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(1): 153-164.
- [16] 朱吉双, 马昊, 唐天雨. 洛杉矶和长滩港口拥堵分析及对我国港口发展的启示[J]. 综合运输, 2022, 44(3): 119-125.
- [17] 李琼洁, 赵楠, 陈伟杰, 等. 基于 AIS 数据的集装箱码头水域繁忙度分析[J]. 中国航海, 2021, 44(3): 44-50.
- [18] 江霞. 沿海港口服务评价指数发布 沪深甬列前三[J]. 江南论坛, 2016(1): 26.
- [19] 陈伟杰, 赵楠, 张婕姝, 等. AIS 数据在集装箱港口服务水平效率的应用研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(1): 153-164.
- [20] CHEN L B, ZHANG D Q, MA X J, et al. Container port performance measurement and comparison leveraging ship GPS traces and maritime open data [J]. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2016, 17(5): 1227-1242.

(本文编辑 王璁)