



自动系泊系统应用

曹凯平¹, 何俊峰², 浦伟庆¹

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 中国交通建设股份有限公司, 北京 100088)

摘要: 自动系泊系统作为一种新型的系泊方式在国外已取得了较多应用, 而在国内尚无实际应用。介绍自动系泊系统的特点及优缺点, 初步分析该系统对码头平面布置及经济性的影响。经分析, 自动系泊系统具有系泊和离泊作业速度快、安全可靠, 系泊期间运动量小等优势。同时, 采用该系统能够按码头类型减少码头长度; 在加固改造的情况下, 使用该系统可在仅对原有码头进行少量改造的情况下, 完成码头的升级, 无须加长码头。在码头单位造价偏高的情况下, 自动系泊系统可通过减少码头长度取得良好的经济性。

关键词: 自动系泊系统; 缆绳; 系泊; 码头平面布置

中图分类号: U 656.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)12-0044-05

DOI:10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20191202.009

Application of automated mooring system

CAO Kai-ping¹, HE Jun-feng², PU Wei-qing¹

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. China Communications Construction Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: As a new type of mooring system, automatic mooring system has been widely used abroad, but it has not been applied in China. The paper introduces the advantages and deficiencies of automatic mooring system and analyzes the effect on plane layout of wharf and economy. Through analysis, it can be concluded that the advantages of the system include faster and safer mooring and departure operation of ships, and small amount of motion during mooring. At the same time, the system can reduce the length of the wharf according to the type of the wharf; in the case of reinforcement and transformation, the system can complete the upgrading of the wharf without lengthening the wharf under the condition of only a few modifications to the original wharf. In the case of high unit cost of the wharf, the automatic mooring system can achieve good economy by reducing the length of the wharf.

Keywords: automated mooring system; mooring line; mooring operation; plane layout of wharf

系泊作业是码头使用过程中的一道重要工序。目前, 世界各港口主要使用的系泊方式仍是缆绳系泊。传统的缆绳系泊方式系泊作业难度大、耗时长, 系泊一条 5 万吨级船舶一般需要 12 根缆绳, 耗时 30~40 min, 对于更大型船舶, 缆绳数量更多、直径更大、系泊所需的时间更长。传统系泊作业过程中易发生意外事故, 据不完全统计, 每年发生在带缆作业时引发的人身伤亡事故案例高达数百起。同时, 通过缆绳系泊的船舶在风浪

作用下的运动量较大, 降低了装卸作业效率, 断缆事故时有发生。此外, 为了满足带缆角度需要, 泊位长度必须大于设计船型一定长度, 此部分码头的工程造价相当可观。而对于码头升级改造的情况, 一般需要对现有码头长度进行延伸, 有时受到相邻构筑物的影响, 无法对码头扩建, 导致码头等级无法提升。

21 世纪初, 一种新型的自动系泊系统问世, 经过多年的实践及完善, 已成为一种技术成熟的

收稿日期: 2019-05-21

作者简介: 曹凯平 (1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港航工程结构设计工作。

系泊方式。该系统无需缆绳, 可通过终端计算机或无线遥控器进行操作控制, 并对船舶系泊期间的情况进行实时的监测。此外, 采用自动系泊系统的码头能够系泊超出结构长度的船舶, 从而降低码头长度, 减少码头造价。此特点对于改建项目尤为有利, 不须延伸码头结构长度, 而仅增加一定数量的自动系泊设备来达到码头升级的目的。目前, 自动系泊系统在国外已有不少成功应用的案例, 英标 BS6349-4: 2014^[1] 也介绍了此系统。在国内尚无应用, 仅有部分介绍性文章^[2]。

本文主要对自动系泊系统的特点进行了介绍, 结合《中国海港总体设计规范》^[3] 等国内规范, 分析自动系泊系统对于码头平面布置的影响, 并针对特定情况进行了初步经济比较分析。

1 自动系泊系统

1.1 组成

自动系泊系统主要包含以下构件: 1) 真空吸盘; 2) 机械连杆装置; 3) 垂直传动装置; 4) 控制系统。

真空吸盘的主要原理是通过真空泵抽空吸盘内的空气, 使吸盘内产生负压, 将物体吸附住。真空吸盘与船体接触, 边缘由橡胶密封, 吸盘通过接管与真空泵设备连接, 见图 1。

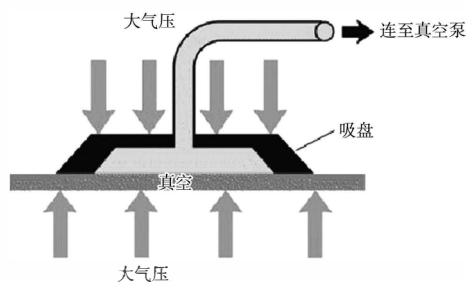


图 1 真空吸盘吸附原理

自动系泊系统利用吸附力代替缆绳拉力限制船舶位移。吸盘吸力按大小分成几个等级, 以适应不同类型和等级的船舶。需要注意的是真空吸盘需要作用在船壳平面部分, 船体两端弧面、下方弧面及表面有明显凸起的部分无法被吸附。吸盘的吸附效果与船壳情况有关, 对于船壳严重锈蚀的情况, 会影响吸盘与船体的紧密贴合, 吸附

力因泄露而无法长时间维持。此时, 可以增加真空泵工作频率或者真空泵持续工作, 以保证吸盘的吸附力能够满足系泊要求。

机械连杆控制真空吸盘在水平方向的移动, 包含纵向和横向的运动, 进而控制系泊船舶的纵移、横移和回转共 3 个方向的运动量。

垂直传动设施一般采用轨道, 主要针对船舶垂直位置变化较大而船体无足够的空间供吸盘吸附的情况, 如潮差变化很大的码头和船闸等。对于系泊船体垂直运动量较大, 但船体侧面的平面区域有足够空间供吸盘吸附的情况, 自动系泊系统可根据水位变化自行调整吸附高度, 通过逐个调节真空吸盘的位置来达到调整垂直高度的目的。如船体上方已无空间供吸盘吸附, 则需要配置轨道设施, 吸盘通过在轨道上的运动来调节垂直高度。

自动系泊系统通过一套控制系统来操纵船舶的系泊及离泊作业, 仅需一名经过训练的人员即可完成大型船舶的系泊及离泊。同时, 系统能够在船舶系泊期间进行监测。自动系泊系统耐久性与工作环境相关, 一般维护周期在 5~7 a。

1.2 优点

1) 系泊、离泊时间短。据目前国外项目使用经验, 一般系泊作业的时间在 30 s 左右, 离泊作业的时间在 10 s 左右, 相比传统缆绳系泊, 系泊及离泊的时间大大减少, 增加了船舶作业时间。

2) 系泊作业由系统控制, 仅需一名人员完成, 不再需要系缆工人进行作业, 消除了系缆作业可能存在的对船员和码头带缆工人的危险事故。

3) 有效降低船舶系泊期间的运动量, 提高了装卸作业效率。采用传统缆绳系泊时, 船舶在外力作用下运动量较大, 降低了装卸效率, 尤其对集装箱的装卸影响较大。采用自动化系泊系统可使船舶吸附在码头上, 船舶运动量小, 从而提高了装卸效率。

4) 可根据潮差变化自动或调整利用轨道调整船舶的垂直位置。采用传统缆绳系泊, 在潮差大的地区, 需要及时根据潮位变化调整缆绳, 否则

极易引起事故。而自动系泊系统可自动完成这一工作,提高了船舶系泊期间的安全性。

5) 自动系泊系统可能发生的故障主要为突发断电。自动系泊设备的控制系统会持续监测设备状况,一旦发现故障,系统会发出警报。一般在采用自动系泊设备时会要求在码头上设置备用电源,以应对突发断电。自动系泊系统自身在没有外部电源的情况下,根据船壳的状况及吸盘密封效果,能维持 15~900 min,如密封效果好,时间会更长。期间可启用电源并解决故障。

实践证明自动系泊系统是一套可靠的设备,据统计,该系统自开始使用至今已完成超过 33 万次的系泊作业,成功率达 100%。

1.3 不足

相比传统系船柱,自动系泊系统的价格偏高。因此,在不进行码头平面优化的情况下,采用自动系泊会较大地增加码头造价。目前,国内对自动系泊系统的应用尚未有充分的研究,相应的内容尚未被纳入有关规范。

综上分析可以看出,自动系泊系统适用于波浪较大、潮差变化大等不利的自然条件,并且能够有效提升船舶系泊期间的安全性和作业效率。在以上环境中,自动系泊系统相较传统缆绳系泊具有明显优势。同时,由于自动系泊设备的价格偏高,对于其应用的研究应加快进行,以便在码头设计中综合考虑平面布置、环境条件等各方面因素,以发挥其优势并充分考虑经济性。

2 自动系泊系统对泊位长度的影响

2.1 缆绳系泊对于泊位长度的要求

目前,世界各港口规范中,对于泊位长度的

定义一般为设计船长加上两端富裕长度,富裕长度通常由船舶所受系缆力和艏艉缆的水平系缆角和垂直系缆角等因素决定。

根据《海港总体设计规范》,单个泊位的泊位长度 L_b 按式(1)计算,连续泊位的泊位长度 L_b 按式(2)、(3)计算。

$$\text{单个泊位: } L_b = L + 2d \quad (1)$$

$$\text{中间泊位: } L_b = L + d \quad (2)$$

$$\text{端部泊位: } L_b = L + 1.5d \quad (3)$$

式中: L 为船长; d 为船舶富裕长度。根据规范说明,富裕长度 d 的取值按船舶靠离泊作业和系缆布置要求确定,取决于艏艉缆的系缆长度和系缆角度。

在采用了自动系泊系统后,可不再考虑缆绳布置的需要。自动系泊系统作用于船侧水平段,其长度一般约为 1/2 船长。根据数值分析及实践检验,此布置可满足系泊要求,即采用自动系泊系统后,码头长度按大约 1/2 的船长布置即可满足系泊要求。

采用自动系泊系统后,泊位长度可不再考虑系缆的影响,但还需要考虑其他因素对于泊位长度的影响。

2.2 船型对泊位长度的影响

各种类型的船舶装卸工艺不同,工艺设备作业时所需要的结构长度也不同,按单泊位进行分析比较。

2.2.1 集装箱船

集装箱船载货范围大,一般除船首的小部分区域外,其余部分均可装载集装箱,见图 2。因此,对于集装箱码头,工艺设备需要沿船舶全长运行,码头长度应不小于船长。

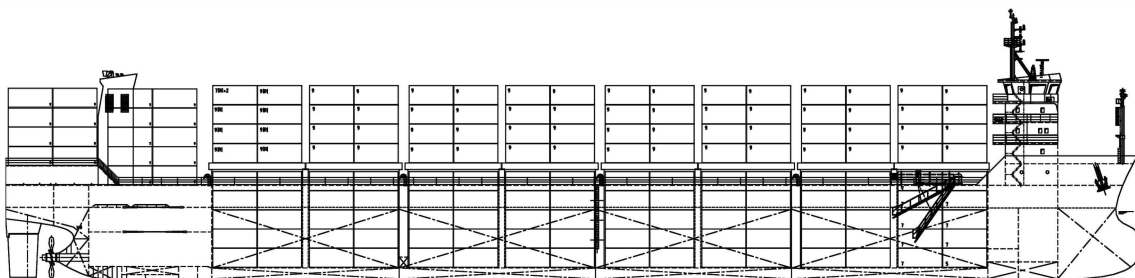


图 2 集装箱船典型侧面图

2.2.2 散货船

散货船的货舱位于船体中部, 约占船长的 4/5,

见图 3。因此, 对于散货码头, 工艺设备需要沿船舶中部 4/5 的范围运行, 即码头长度应不小于船长 4/5。

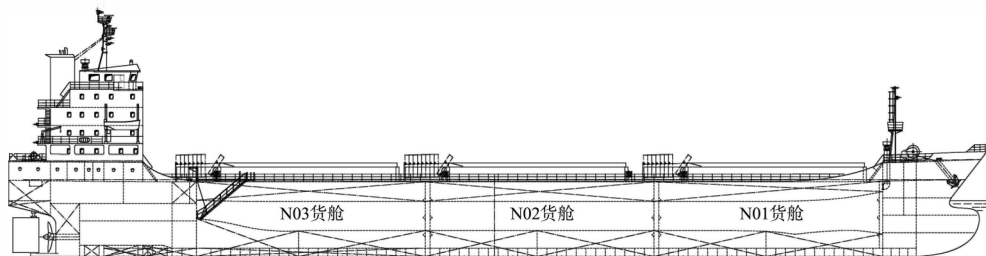


图 3 散货船典型侧面图

2.2.3 油船

油船的装卸作业一般通过固定工艺设备完成, 装卸区位置相对船舶一般位于中部, 作业区的范围较小, 见图 4。油船码头一般采用墩式结构, 包

括工作平台、靠船墩、系缆墩等, 通过钢便桥连接。采用自动系泊系统后, 可以对平面进行优化, 通过在工作平台及靠船墩上布置自动系泊系统, 兼顾系泊作用, 从而减少系缆墩的数量。

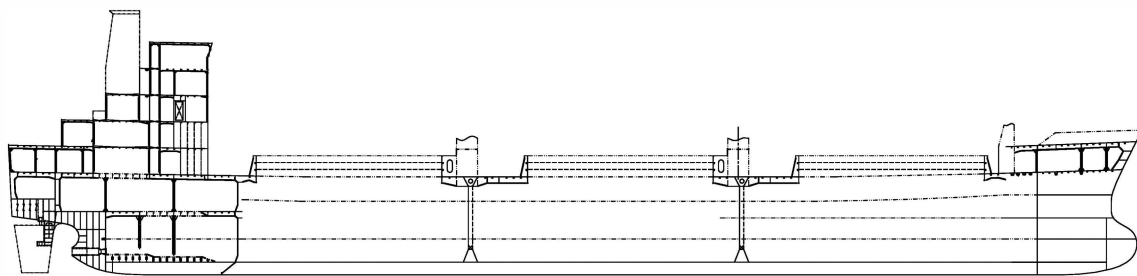


图 4 液体船典型侧面图

2.2.4 LNG 船

LNG 船码头的装卸作业模式、水工平面布置模式及能够降低的码头尺度与油船类似。

关于 LNG 码头, 除了码头尺度外, 还需要注意 LNG 码头对于附属设施的特殊要求。根据《液化天然气码头规范》^[4], 液化天然气码头应设置缆绳张力监测系统, 并应设置快速脱缆钩。缆绳张力监测系统的主要作用是对液化天然气船舶系泊时所有缆绳的受力情况进行实时监测, 并且应具有缆绳张力超限报警功能。布置快速脱缆钩的主要作用是使船舶能够在紧急情况下快速离开码头。

自动系泊系统具有监测系统, 可以实时监测船舶系泊时的情况。同时, 自动系泊系统可以在 10 s 时间内完成对船舶的放松, 使得船舶能够在紧急情况及时离开码头。可见, 自动系泊系统能够较好地满足 LNG 码头对于附属设施的要求, 具

有良好的适应性, 未来可以考虑在 LNG 码头采用自动系泊系统来替代快速脱缆钩, 具体比较还需要进行更深入的分析。

2.2.5 升级改造的要求

对于需要提升靠泊船型等级的升级改造项目, 新的设计船型尺度要大于原设计船型。如采用传统系缆模式, 需要对现有码头长度进行延伸, 以适应更大船型的系缆要求, 此部分改造工程量较大、投入较高, 同时对原码头作业的影响很大, 需要原码头较长时间的停止作业。此外, 尚存在码头受到相邻构筑物或者其他因素的影响无法对码头进行延伸的情况, 导致码头无法进行升级。

如采用自动系泊系统, 仅须具备下列要求:

- 1) 现有码头长度满足自动系泊系统的安装要求;
- 2) 泊位长度满足升级后设计船型靠泊的空间要求。

通过在原码头安装满足设计要求的数量和规格的自动系泊设备即可解决船舶的系泊问题,一般无须对码头进行延伸,仅须对原码头进行少量改造,工作量小、工期短、对于码头运营影响小。

综上所述,对于单泊位码头,采用自动系泊系统设施可以有效减小码头长度,降低的比例与码头类型有关,液货码头节省的泊位长度最多,集装箱码头需要基本维持船长。而对于多泊位码头,因为船舶操纵需要及工艺设备在不同泊位间移动的需要,自动系泊设施可以降低的泊位长度较少。而对于升级改造项目,采用自动系泊项目具有较大优势。

3 自动系泊系统的经济性分析

采用自动系泊系统可以有效减少码头长度,同时,自动系泊系统强大的吸附力可以保证船舶抵御更大的外力,提高船舶在系泊期间的抗风浪能力,对于为改善港区作业条件而修建的防波堤,采用自动系泊系统有可能减少防波堤长度。同时,自动系泊系统改善了船舶的泊稳条件,提高装卸设备的工作效率。此外,自动系泊系统减少了系泊、离泊作业时间,对于大型船舶可减少 1 h 以上,进一步提高了泊位利用率,也会带来较大的经济利益。此部分内容还需要未来进行更深入的分析比较,本文仅考虑采用自动系泊设备增加的投入与降低的码头造价的比较。

3.1 集装箱码头

阿曼某港口 6 号泊位,最大靠泊船型 13 万 DWT 集装箱船,船长约 350 m。当地涌浪较大,约 2 m。为提高船舶系泊期间承受涌浪的能力,安装了 4 台自动系泊设备(每台系泊能力 600 kN)。

按照常规布置,该码头的长度应不小于 430 m。采用自动系泊设施后,按上文分析,码头长度可减小至 350 m,节省码头长度 80 m。一般集装箱码头造价约 80 万元/延米,即可节省码头造价 6 400 万元。一台大型自动系泊设备的价格约 500 万元,4 台共 2 000 万元。工程总投资可

节省 4 400 万元。

3.2 散货码头

澳大利亚某码头泊位长 270 m,设计靠泊船型 5 万 DWT 散货船,船长 200 m。现场流速达 1.03 m/s,潮位变化幅度 7 m。

拟对码头进行升级,将最大靠泊船型提升为 13.5 万 DWT 散货船,船长 295 m。按常规布置,需要对现有码头进行改造,将码头长度增加至 360 m,增加码头长度 90 m,一般散货码头造价约 40 万元/延米,需投入 3 600 万元,此外还需要考虑升级期间原码头停工的损失。

实际采用了自动系泊系统,共安装了 14 台自动系泊设备(每台系泊能力 200 kN)。每台设备按 200 万元计,共花费 2 800 万元。原有码头仅进行了少量结构改造,可在短期内完成。本项目在没有增加码头长度、没有长时间影响码头运营的情况下完成了码头升级。

3.3 油码头

澳大利亚某油码头,设计靠泊船型 6 万 DWT。现场风速达 23.2 m/s,涌浪高度 1 m。

按常规布置,需要配备不少于 4 个系缆墩。实际采用了自动系泊系统,建造两个系缆墩,每个系缆墩上安装 2 套自动系泊设备(系泊能力 200 kN),2 个靠船墩上各安装 2 套设备,共 8 台设备,节省 2 座系缆墩。1 个系缆墩的造价约 800 万元,共节省 1 600 万元;每台设备按 200 万元计,共花费 1 600 万元,投资基本持平。

通过上述分析可知,采用自动系泊系统能够降低工程造价,尤其是对于环境、地质、建设条件较差,码头单位造价偏高的情况,采用自动系泊系统的经济性更为明显。

4 结论

1) 自动系泊系统作为一种新型的系泊系统,具有多种优势,包括系泊、离泊作业速度快,安全可靠,系泊效果好,船舶系泊期间运动量小等。

(下转第 54 页)

各频率间相关性对频率相似修正有很大的指导作用。

根据各阶频率样本, 计算样本的前 8 阶频率两两 Pearson 相关系数表 6 所示, 从表 6 可以看出, 低阶频率(前三阶)之间高强度相关, 低阶频率与高阶频率仅中等强度相关, 线性关系较弱。其原因是前三阶频率为整体指标, 四阶及以上频率是以单桩振动为主的局部振型。

表 6 不同阶频率间的相关性系数

频率阶次	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F1	1.000	0.733	0.893	0.484	0.484	0.497	0.498	0.543
F2	0.733	1.000	0.570	0.527	0.523	0.535	0.53	0.565
F3	0.893	0.570	1.000	0.371	0.369	0.399	0.397	0.455
F4	0.484	0.527	0.371	1.000	0.999	0.993	0.994	0.970
F5	0.484	0.523	0.369	0.999	1.000	0.991	0.992	0.967
F6	0.497	0.535	0.399	0.993	0.991	1.000	0.999	0.985
F7	0.498	0.530	0.397	0.994	0.992	0.999	1.000	0.983
F8	0.543	0.565	0.455	0.970	0.967	0.985	0.983	1.000

3 结论

1) 高桩码头整体动力特性(前三阶动力特性)对土体参数、桩有效截面面积(碳化程度)以及部分桩的弹性模量(损伤)均较为敏感, 但对上部结构的横梁和纵梁的损伤不敏感。

2) 自动系泊系统能够减少码头长度, 具体减少的长度与码头类型有关。

3) 在加固改造的情况下, 在岸线或码头受限而无法进行延伸的情况下, 通过采用自动系泊系统, 可以在仅对原有码头进行少量改造的情况下, 完成码头的升级, 具有较大优势。

4) 自动系泊系统在环境、地质、建设条件较差, 码头平均造价偏高的情况下, 具有良好的经济性。此外, 自动系泊降低了船舶运动量, 提升了工艺效率。

5) 自动系泊系统减少了系泊、离泊作业时间, 对于大型船舶可减少 1 h, 提高了泊位利用率。

2) 高桩码头一阶自振频率对除第 5 排桩外各排桩损伤均敏感, 二阶、三阶自振频率对部分排桩损伤敏感, 而对其他排桩的损伤不明显, 四阶以上频率仅对局部单桩损伤敏感。码头前三阶自振频率的变化可以作为反映整体损伤的指标, 针对不同参数的高桩码头可以选择不同结构的动力特性参数进行损伤识别。

3) 高桩码头前三阶频率间相关性强, 而四阶以上频率与前三阶频率相关性仅中等强度。

参考文献:

- [1] 孙熙平, 王元战, 赵炳皓. 环境激励下高桩码头模态参数识别及损伤诊断 [J]. 海洋工程, 2013, 31(5): 62-68.
- [2] 杨志明, 朱瑞虎, 陈橙. 高桩码头结构损伤动力特性研究 [C] //中国海洋(岸)工程学会. 第十六届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集, 北京: 中国海洋(岸)工程学会, 2013: 215-219.
- [3] 张迅, 李决龙, 邢建春, 等. 基于曲率模态和小波变换的码头排架损伤识别方法 [J]. 水运工程, 2016(6): 55-60.
- [4] 李肖, 苏静波, 吉同元, 等. 高桩码头桩基动力损伤识别方法 [J]. 水运工程, 2015(10): 57-62.
- [5] 苏静波, 邵国建, 刘宁. 基于 $P-Y$ 曲线法的水平受荷桩非线性有限元分析 [J]. 岩土力学, 2006(10): 1781-1785.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 48 页)

参考文献:

- [1] BSI. BSI Standards publication code of practice for design of fendering and mooring systems BS 6349-4: 2014 [S]. 3rd ed. London: BSI, 2014.
- [2] 齐立平. 码头自动化系泊系统及其适用性分析 [J]. 天津航海, 2012(2): 3-5.
- [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, 2014.
- [4] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 液化天然气码头设计规范: JTS 165-5—2016 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2016.

(本文编辑 武亚庆)