



基于动态系泊软件的泊位敏感性分析及不可作业时间研究

肖 鑫，宋军营

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：以非洲某港为例，将影响船舶作业的风、浪、流等主要因素进行敏感性分析，找出各影响因素的特点及规律，确定典型工况计算数量，使用 MIKE21MA 软件进行系泊分析，将计算结果与控制标准进行比较，通过与波高、周期联合频率分布结合推算不可作业时间。结果表明：单考虑系泊条件，完全不稳定系泊时间占 9.41% (37 d)，瞬时不稳定性系泊时间占 41.4% (148 d)，完全稳定系泊时间占 49.19% (约 180 d)；本工程确定不可作业时间的方法可推广至类似的受长周期波影响的码头工程，敏感性分析可以在有限资源条件下，减少计算组次、提高计算效率。

关键词：长周期波；系泊分析；MIKE21MA

中图分类号：U652；P731.22

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2024)06-0058-05

Berth sensitivity analysis and non-operational time based on dynamic mooring software

XIAO Xin, SONG Junying

(CCCC Water Transportation Consultant Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Taking a port in Africa as an example, we conduct the sensitivity analysis on the main influencing factors such as wind, waves, and currents that affect ship operations, identify the characteristics and patterns of each influencing factor, and determine the calculation quantity of typical working conditions. Then we use MIKE21MA software for mooring analysis, compare the calculation results with control standards, and calculate the non-operational time by combining them with the joint frequency distribution of wave height and period. The results show that considering mooring conditions alone, the completely unstable mooring time accounts for 9.41% (37 days), instantaneous unstable mooring time accounts for 41.4% (148 days), and the completely stable mooring time accounts for 49.19% (approximately 180 days). The method for determining the non-operational time in this project can be extended to similar terminal projects affected by long period waves. Sensitivity analysis can reduce calculation groups and improve calculation efficiency under limited resource conditions.

Keywords: long-period wave; mooring analysis; MIKE21MA

受长周期波影响的码头计算不可作业时间的过程相对复杂，需要针对典型工况通过海洋、港航领域的多个数学模型、特征分析等进行一系列计算^[1]，典型工况的确定需要考虑船型、水位、波浪条件、流条件、风条件等因素的组合，计算量巨大。如何有效减少计算组次，在有限的时间内和计算机软硬件配置条件下得到不可作业时间

是本文的重点。

长周期波对码头的影响逐渐受到国内学者的关注，但大多专注于系泊稳定^[2]、施工措施^[3]、码头布置优化^[4]或针对港工结构物如防波堤的影响^[5]等方面，关于长周期波情况下不可作业时间的研究成果较少。

本文工程位于西部非洲海岸，拟建 1 个 5 万 DWT

收稿日期：2023-09-22

作者简介：肖鑫（1983—），女，硕士，高级工程师，从事水动力模拟工作。

开敞式散货泊位, 码头垂直于岸线布置, 码头为桩基结构, 采用蝶形布置, 包含1座码头平台及4个系缆墩。本文结合当地复杂的自然条件, 计算不可作业时间。

1 模拟软件

MIKE21MA是DHI公司开发的计算动态系泊响应的软件, 可高效模拟系泊船舶在风、浪、流作用下6个自由度的运动, 并可计算系缆和护舷的受力, 以及外部作用力和力矩^[6]。

计算模块主要输入条件为: 材料特性(缆绳、护舷、系船柱)、船型、缆绳、护舷、系船柱位置、受风浪流影响的环境条件等。

2 模型设置

2.1 船型

按照5万t散货船基本参数设置, 船长223 m、宽32.3 m、高17.9 m。

2.2 缆绳

缆绳采用钢缆, 破断拉力为1 580 kN, 最大系统力不得超过破断拉力的55%。用于连接琵琶头缆绳尾部约10 m的范围采用聚丙烯材质, 其破断拉力为1 975 kN, 最大系统力不得超过破断拉力的50%, 预张力100 kN。共设置12根缆绳, 包括2根艏缆、2根艉缆、4根倒缆和4根横缆4根。码头轴线为SW—NE向, 缆绳布置方式见图1。

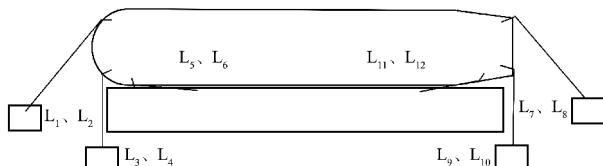


图1 缆绳布置

2.3 护舷

护舷采用鼓形护舷, 两鼓一板, 护舷的极限荷载为2 584 kN。设计压缩变形占52.5%时对应的反力为2 430 kN。

3 自然条件

3.1 风

根据短期1 a测风资料显示, 各月最大风速在7.6~12.3 m/s。从风向来看, 风向以S—SSW—SW方向为主, 频率为42%; 其次是E—ESE—SE方向的风出现频率也有41%。风向玫瑰图见图2。

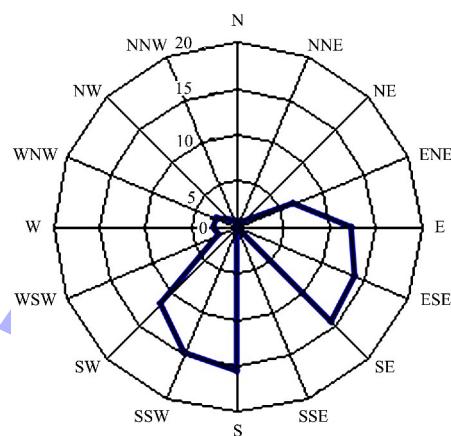
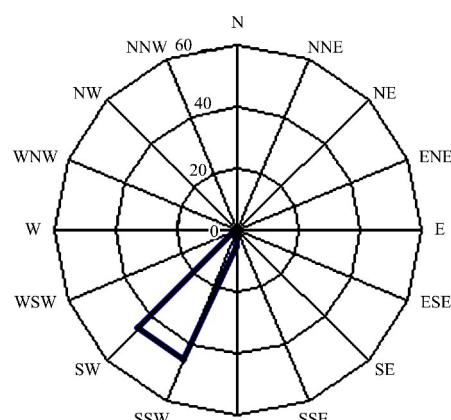


图2 风向频率玫瑰图(单位: %)

3.2 波浪

为获得当地长期波浪数据, 采用波浪后报模型计算出工程位置-14 m等高线处1992—2022年逐时波浪过程分析可知: 工程区外海常浪向以SW向为主, 占比达99.59%, 有效浪高介于1.0~1.2 m(约占45%), 谱峰周期集中于11~14 s(约占58%), 波向及波高玫瑰图见图3。



a) 波向出现频率(单位: %)

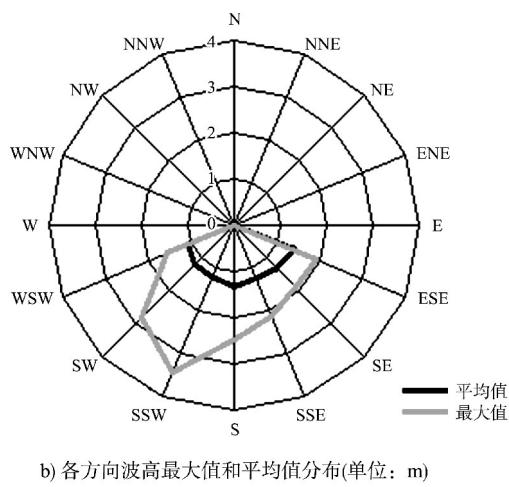


图 3 风向和波高玫瑰图

3.3 潮流

工程海域的潮汐类型属于规则半日潮。根据 10 a 潮汐数据分析可知,主流向 $330^\circ \sim 360^\circ$, 占 23.65%; 次流向为 $90^\circ \sim 120^\circ$, 占 25.83%, 流速小于 0.1 m/s 占 42.33%、 $0.1 \sim 0.2 \text{ m/s}$ 占 49.42%。另外,根据 2023 年短期实测数据,主导流向为 $150^\circ \sim 330^\circ$, 平均余流流速为 0.14 m/s (流速为潮流数值与余流之和,按照 0.34 m/s 考虑)。

4 敏感性分析

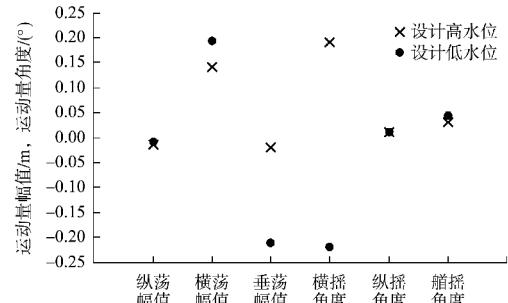
4.1 不同水位的敏感性分析

通常大型干散货船的干舷比较低,吃水较深,受横风面积小,受横流面积大,因此一般满载较压载系缆力和运动量更大,因此本工程按满载的不同水位进行对比。

典型船舶为 5 万 DWT 散货船,为满载条件,设计高水位、低水位分别为 1.89 、 0.40 m 。自然条件为:有效波高 1.2 m ,谱峰周期 12 s ,波向 SW,流速 0.34 m/s ,流向 330° ,平均风速 10 m/s ,风向 220° 。

5 万 DWT 散货船在不同水位下系泊时的船舶运动量和系缆力见图 4。由图 4a) 可看出,值都不大,运动量在设计低水位情况下相对较大一些;由图 4b) 可看出,除 L_1 、 L_2 缆绳外,其他缆绳力

在低水位情况下均比设计高水位大。因此,综合考虑,设计低水位为不利水位。



a) 船舶运动量

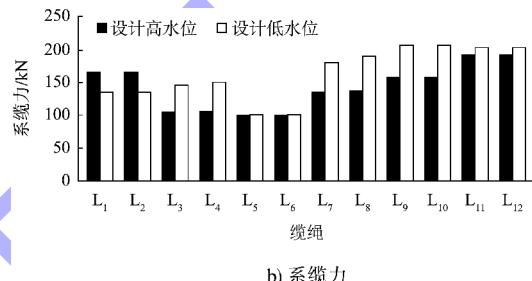
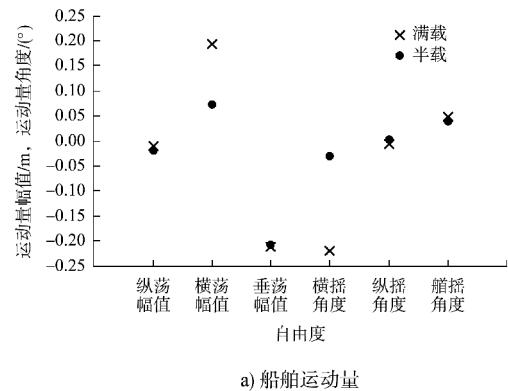


图 4 5 万 DWT 散货船在不同水位下系泊时的船舶运动量和系缆力

4.2 船舶装载状态的敏感性分析

典型船舶采用 5 万 DWT 散货船,水位统一采用设计低水位,满载吃水为 12.8 m ,半载吃水为 9.1 m ,空载吃水 2.69 m 。自然条件为:有效波高 1.2 m ,谱峰周期 12 s ,波向 SW,流速 0.34 m/s ,流向 330° ,平均风速 10 m/s ,风向 220° 。设计低水位下 5 万 DWT 散货船不同装载状态的船舶运动量和系缆力见图 5。图 5a) 没有明显的规律性;由图 5b) 可看出,满载情况更为不利。



a) 船舶运动量

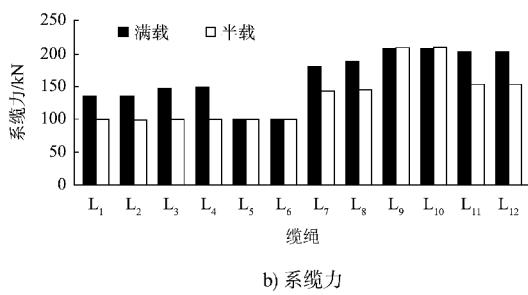
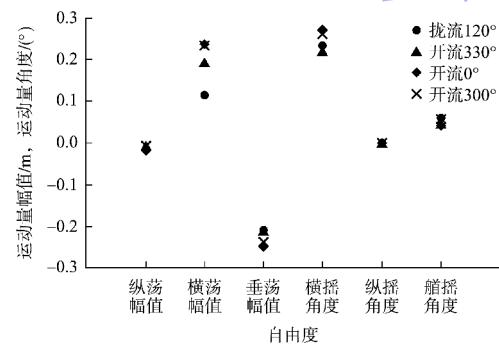


图 5 设计低水位下 5 万 DWT 散货船不同装载状态系泊时的船舶运动量和系缆力

4.3 泊位对流向的敏感性分析

典型船舶采用 5 万 DWT 散货船, 水位为设计低水位, 为满载条件。自然条件为: 有效波高 1.2 m, 谱峰周期 12 s, 波向 SW, 平均风速 10 m/s, 风向 220°。为了全面考虑流向的影响, 设置了 4 个流向: 开流方向 330°、300° 和 0°, 拢流方向 120°。流速为 0.34 m/s。

设计低水位下 5 万 DWT 散货船在 4 种流况作用下船舶运动量和系缆力见图 6。由图 6a) 可看出, 开流 0° 时运动量最大; 由图 6b) 可看出, 开流 0° 时 L₁₁ 和 L₁₂ 系缆力最大, 相比其他方向更为不利。



a) 船舶运动量

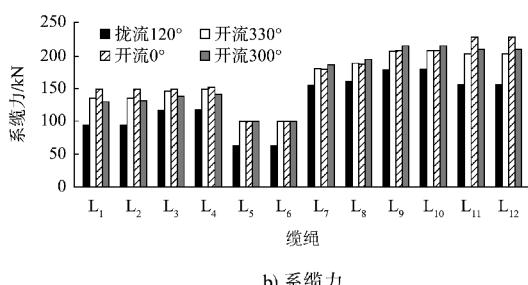


图 6 设计低水位下 5 万 DWT 散货船在 4 种流况作用下船舶运动量和系缆力

4.4 泊位对风的敏感性分析

典型船舶采用 5 万 DWT 散货船, 水位为设计低水位, 为满载条件。自然条件为: 有效波高 1.2 m, 谱峰周期 12 s, 波向 SW, 流速 0.34 m/s, 流向 330°, 平均风速 10 m/s。针对风向的敏感性, 选取 220°、225°、135° 3 个风向分别进行研究。风敏感性分析的运动量和最大系缆力见图 7。可以看出, 风向对船舶运动量和系缆力的影响较小。

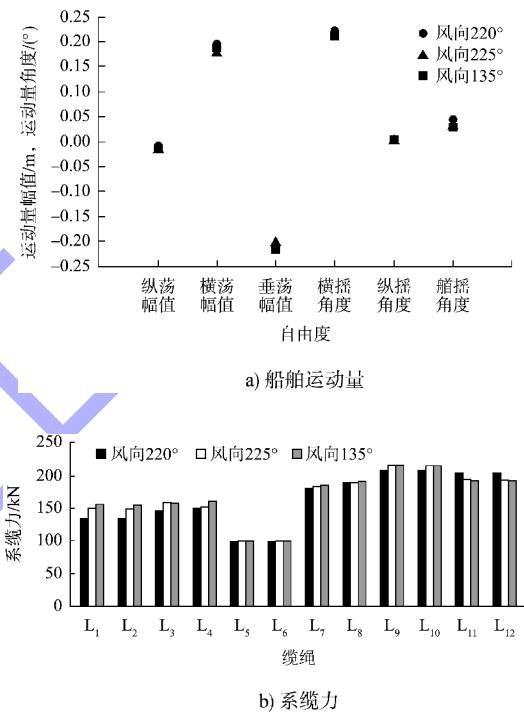


图 7 设计低水位下 5 万 DWT 散货船在不同风向下系泊时的船舶运动量和系缆力

4.5 泊位对波向的敏感性分析

典型船舶采用 5 万 DWT 散货船, 水位为设计低水位, 为满载条件。自然条件为: 有效波高 1.2 m, 谱峰周期 12 s, 流速 0.4 m/s, 流向 330°, 平均风速 10 m/s, 风向 220°。为了找到最不利波向, 考虑 225°(SW)、236.25° 及 213.75° 3 种波向。设计低水位下 5 万 DWT 散货船在 3 种波向作用下的船舶运动量和系缆力见图 8。可以看出, 船舶运动量和系缆力在波向 213.75° 情况下都是最大, 因此波向 213.75° 为最不利情况。

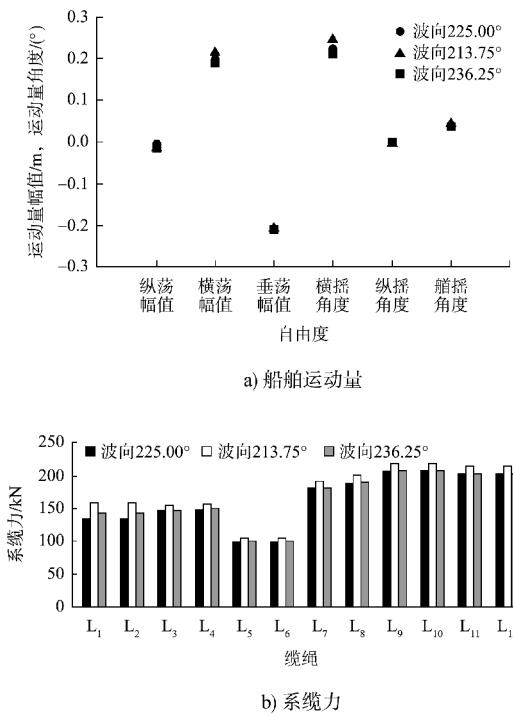


图 8 设计低水位下 5 万 DWT 散货船在 3 种波向作用下系泊时的船舶运动量和系缆力

5 不可作业时间

根据敏感性分析确定最不利组合为：设计低水位+满载+流（开流 0°，流速 0.4 m/s）+风（风速 10 m/s，风向 220°）+波浪（波向 213.75°）+钢缆。通过-14 m 等高线处 1992—2022 年逐时波浪过程得到波高周期联合频率分布，将联合频率分布表中每个分级的波高周期作为典型的波浪条件分别代入系泊模型，计算工况为：设计高水位，满载条件，开流 0°，流速 0.4 m/s，风速 10 m/s，风向 220°，波向 213.75°，波高 0.8~2.6 m，波周期 8~20 s。通过数值模拟得到 5 万 DWT 散货船每一个波浪条件的可作业情况，见图 9，再映射回波高周期联合频率分布得到可作业时间。图 9 中完全不稳定系泊的情况主要由于缆绳断缆，但运动量没有超标；瞬时不稳定系泊的情况主要是 L₂~L₈ 缆绳系统力瞬时超过最大系统力的 55%。

根据计算结果，完全不稳定系泊时间占 9.41%（37 d），瞬时不稳定系泊时间占 41.4%（148 d），完全稳定系泊时间为 49.19%（约 180 d）。

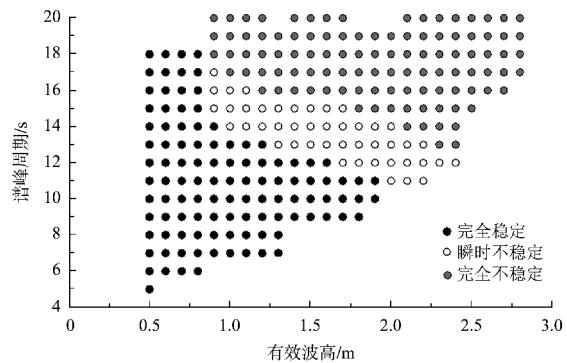


图 9 5 万 DWT 散货船允许系泊作业条件分布

6 结论

1) 通过对港口案例进行多个数学模型、特征分析等一系列计算分析，得出系泊作业时间为：完全不稳定系泊时间占 9.41%（37 d），瞬时不稳定系泊时间占 41.4%（148 d），完全稳定系泊时间为 49.19%（约 180 d）。验证了该方法的科学性和可操作性。

2) 敏感性分析可以在有限资源条件下，减少计算组次、提高计算效率。可作为敏感性分析的要素为：设计水位、荷载、波向、流向等。

3) 本工程确定不可作业时间的方法可推广至类似的受长周期波影响的码头工程，在初期进行定量分析，从而降低运营风险。

参考文献：

- [1] 肖鑫, 卢昭, 郭延祥, 等. 长周期波海域泊位作业效率计算方法[J]. 水运工程, 2021(10): 131-135, 142.
- [2] 宋伟华, 谷文强, 周惊慧. 长周期波浪对船舶系泊稳定性的影响[J]. 水运工程, 2019(5): 21-26.
- [3] 岳新兴, 江群龙. 长周期波浅覆盖层无掩护海域离岸码头施工关键技术[J]. 中国港湾建设, 2023, 43 (1): 61-65.
- [4] 张志, 孔友南, 程培军. 长周期波浪影响下连片式码头系泊布置优化[J]. 水运工程, 2020(4): 47-52.
- [5] 谭忠华, 陈汉宝, 杨会利, 等. 抛石堤长周期波浪透浪作用及对码头系泊条件的影响[J]. 水运工程, 2019(7): 59-65, 104.
- [6] DHI. MIKE 21 mooring analysis [R]. Copenhagen: DHI, 2020.

(本文编辑 王璁)