

海港工程设计中波浪引起不可作业时间分析方法

张军, 王科华

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要:以喀麦隆克里比深水港项目为例, 提出了结合船舶系泊试验、实测资料及波浪传播模型, 分析波浪引起船舶装卸不可作业时间的方法, 并与国外的研究结论进行对比, 一致性较好。同时指出了对于长周期波浪影响船舶装卸作业的分析方法, 以及将不可作业时间转换为不可作业天数时的注意事项。可供相关设计参考。

关键词:不可作业时间; 船舶系泊试验; 波浪数学模型; 波浪物理模型; 时间序列

中图分类号: U691.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2016)06-0011-04

doi: 10.7640/zggwjs201606003

Analysis on wave induced downtime in sea port design

ZHANG Jun, WANG Ke-hua

(CCCC-FHDI Engineering Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 510230, China)

Abstract: Based on the Kribi Deep Sea Port project, a method of analysis on wave induced downtime is proposed, combining the ship mooring study, wave measurement data and wave propagating model. The results are compared and validated with that performed by foreign institutes. A method to analyze the influence of long period wave on the downtime is proposed and precautions in transformation from downtime to unavailable days are also pointed out. The method can be made reference for similar projects.

Key words: downtime; ship mooring study; numerical wave study; physical wave study; time series

1 概况

海港工程平面布置需要综合考虑港口的功能、使用要求以及周边的环境条件。可进行装卸作业的时间往往是进行港口平面布置需要考虑的关键因素之一, 对可作业时间有影响的因素包括风、波浪、水流、冰凌、能见度、雷暴及港口维护等。一般来说, 新建港口的年可作业时间需要结合运量要求确定, 对于大多数种类的码头, 往往不低于 95%, 月可作业时间不低于 85%^[1]。

在上述诸多影响因素中, 对于大多数港口而言, 波浪则是影响船舶泊稳的关键因素。以下结合喀麦隆克里比深水港项目提出确定波浪引起不可作业时间的一种方法。

克里比深水港位于非洲大陆西海岸几内亚湾

内的喀麦隆沿岸, 喀麦隆周边与尼日利亚、乍德、中非共和国、刚果、加蓬以及赤道几内亚接壤, 工程位置及平面布置见图 1。

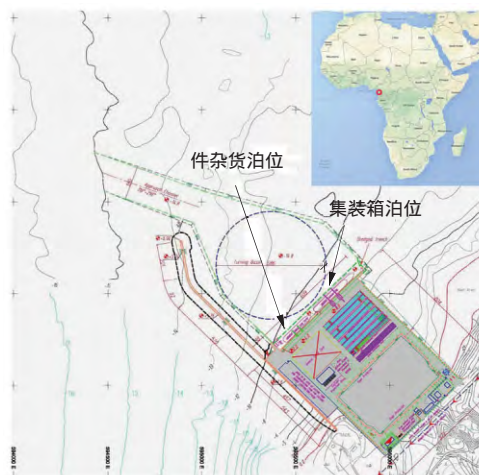


图 1 喀麦隆克里比深水港项目平面布置

Fig. 1 General layout of Kribi Deep Sea Port in Cameroon

收稿日期: 2016-02-03 修回日期: 2016-04-27

作者简介: 张军 (1982—), 男, 山西晋中人, 硕士, 工程师, 主要从事海岸工程水文泥沙研究。E-mail: zhangjun@fhdigz.com

项目一期工程建设 1 个 5 万吨级集装箱泊位, 1 个 4 万吨级多用途泊位。为给泊位提供装卸作业所需要的掩护条件, 需建设适当长度的防波堤, 另外还需建设和配备满足工程建成初期基本营运要求的设施和设备。

工程区域属于热带雨林气候, 平均温度为 25 ℃, 最低 23.4 ℃, 最高 32.5 ℃。最低出现在 10 月, 最高出现在 4 月。年均降雨量达 2 900 mm, 多年平均降雨天数为 204 d, 主要分布在雨季的 3—10 月, 旱季的 11—翌年 2 月则降雨较少。风力一般较弱, 平均风力约 2~3 m/s, 常风向为西南向, 频率约 85 %。飊线过境时, 极端风速可达到 25 m/s。工程区域为半日潮海区, 平均潮差约为 1.2 m, 参考英版海图 1 387, 克里比的特征潮位如下:

MHWS(平均大潮高潮位): 1.8 m;

MHWN(平均小潮高潮位): 1.5 m;

MLWN(平均小潮低潮位): 0.5 m;

MLWS(平均大潮低潮位): 0.2 m。

相比几内亚湾的洋流, 潮流动力较弱, 最大流速一般不超过 0.5 m/s。

根据对收集到的波浪资料进行统计分析, 工程区波浪既包含周期较短的风浪, 也包含周期较长的涌浪, 且以涌浪控制为主。

波向以 S—SW 为主, 风浪波高在 0.5~2 m, 周期在 6 s 以内; 涌浪来自于南大西洋, 年平均波高在 1.5 m 左右, 波周期都较长, 在 10~16 s,

见图 2^[2]。因此在港口工程设计时要充分考虑所处海域的波浪特征。

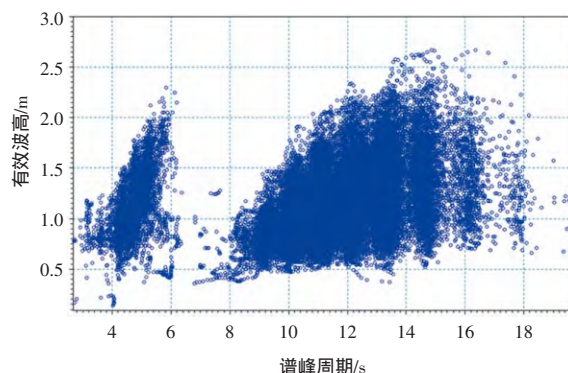


图 2 几内亚湾深水波高周期分布

Fig. 2 H_s vs T_p in deep sea area in Gulf of Guinea

2 船舶的系泊标准

船舶系泊标准主要包括:

- 1) 满足船舶装卸作业的运动量标准;
- 2) 缆绳的系缆力标准;
- 3) 护弦变形标准。

不同的船舶在装卸作业时, 能允许的船舶位移或转动不同。总体说来, 集装箱船装卸作业时对船舶运动量的要求较高, 杂货船、散货船要求较低。我国 JTS 165—2013《海港总体设计规范》及国际航运协会出版的《Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours》对船舶的运动量均有规定^[3]。喀麦隆克里比项目中涉及集装箱码头, 将我国规范中的要求列于表 1^[4]。

表 1 装卸作业允许的船舶运动量

Table 1 Ship movement limit during loading/unloading

船型	装卸设备	允许运动量					
		纵移/m	横移/m	升沉/m	回转/(°)	纵摇/(°)	横摇/(°)
集装箱船	100 %效率	1.0	0.6	0.8	1.0	1.0	3.0
	50 %效率	2.0	1.2	1.2	1.5	2.0	6.0

为了保证安全作业, 对缆绳、护弦等系统缆设备的受力或变形也有相应的要求。一般来说, 对于钢缆和尼龙缆, 允许的缆力分别是最大缆力的 55 %和 50 %^[5], 护弦的变形一般为最大变形的 50 %^[6], 设计时针对不同的产品, 需参考对应的性能曲线或技术规格书。

3 船舶作业所允许的波浪限值

在确定船舶的系泊标准后, 开展系泊试验 (Ship Mooring Study)。通过系泊试验来确定船舶

作业允许的波浪条件, 同时也可以优化系缆布置、带缆方式和护弦的设计等。系泊试验可以采用数学模型或物理模型的手段, 国内一般采用物模试验较多, 国外一般采用数模手段较多。

喀麦隆项目中采用系泊物理模型, 以 1:75 的比尺在试验水池中同时模拟了防波堤、泊位、集装箱船舶以及系缆设备和护弦。

试验中同时考虑了风和波浪的因素, 水流在港内较弱, 对系泊船舶的作用也较小, 故试验中

不予考虑。

根据物理模型试验, 满足船舶作业要求的波高随波周期的增大而减小, 船舶的横移量和系统力随波周期的增大而增大, 最大横摇出现在波周期 $T_p = 12$ s 时。不同周期时, 集装箱泊位处的最大允许波高见表 2^[7]。可将此波高与较低重现期的设计波高(1 a 一遇或 2 a 一遇)相比较, 可初步分析其出现频率。

表 2 通过船舶系泊物理模型试验确定的集装箱泊位前最大允许波高

Table 2 Wave threshold H_s derived by ship mooring study

波周期 T_p /s	集装箱码头前允许波高 H_s /m
≤ 12	0.76
$12 < T_p \leq 14$	0.65
$14 < T_p \leq 18$	0.59
> 18	0.43

4 泊位处波浪时间序列

通过收集外海的实测波浪资料或大范围数模后报的外海波浪时间序列, 采用波传播数学模型或物理模型的手段, 获得港内泊位处的波浪时间序列。

在喀麦隆项目中, 设计前期收集到了 Ocean Weather 公司利用 WANE 模型后报的连续 15 a 深水波浪数据, 数据点水深约 1 200 m, 距工程位置约 55 km^[2]。设计期间在工程海域开展了波浪周年观测, 观测期为 2011-12—2012-12, 测波站位于防波堤头外-20 m 水深处^[8]。

采用 MIKE21-SW 模型将深水波浪时间序列推导至-20 m 水深处^[8], 与实测资料进行对比验证, 波浪玫瑰图见图 3 及图 4。

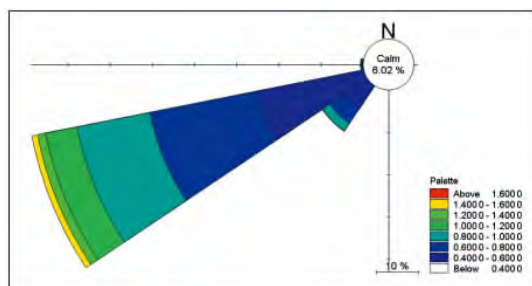


图 3 数模计算得到的-20 m 水深处波浪玫瑰图

Fig. 3 Wave rose (-20 m) derived by numerical model

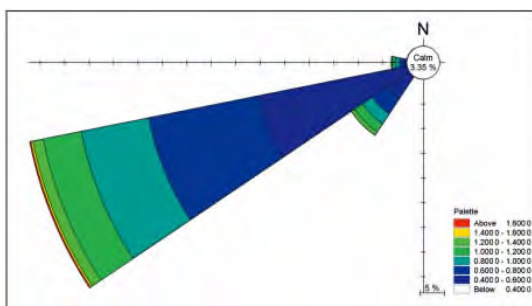


图 4 波浪周年观测得到的-20 m 水深处波浪玫瑰图

Fig. 4 Wave rose (-20 m) by observation

从波浪玫瑰图的对比来看, 模型的计算精度较好, 可满足工程需要。

从深水波浪时间序列中选择大浪出现较多的一年或多年(略保守的方法), 采用 MIKE21-SW 及 MIKE21-BW 模型联合计算方式, 将波浪的时间序列进一步推导至泊位处。MIKE21-SW 用于波浪从深水到近岸的传播, MIKE21-BW 用于波浪从近岸到港内的传播^[9]。类似的模型还可以采用 SWAN, DIVINE, SWASH 等。喀麦隆项目中选取了 2007 年的深水数据推导至港内, 两组时间序列如图 5 和图 6 所示。

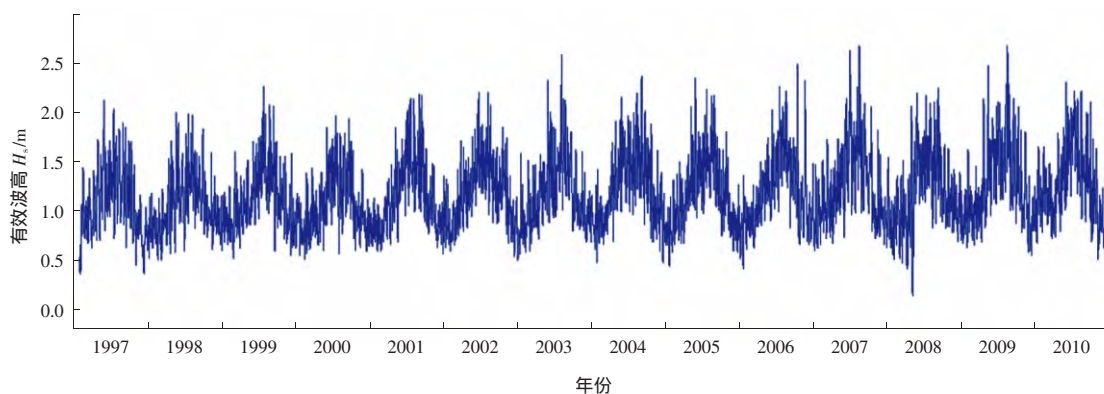


图 5 深水波浪时间序列

Fig. 5 Time series of offshore wave

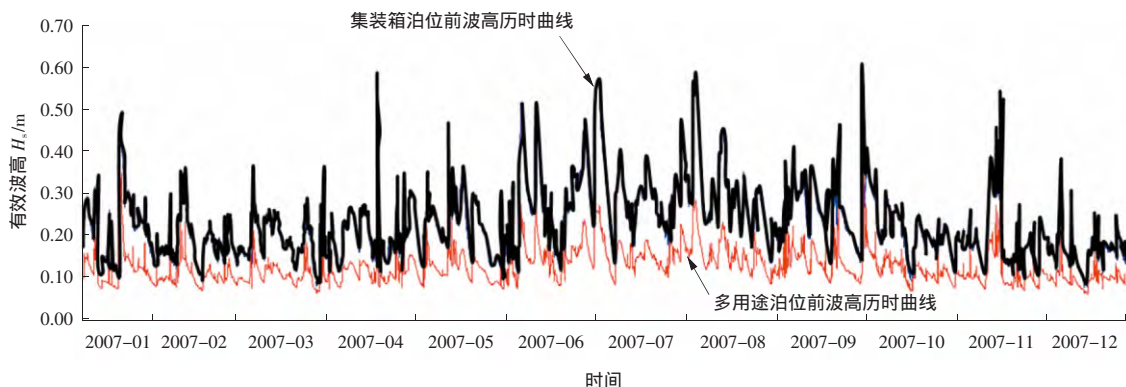


图6 两泊位处波浪时间序列

Fig. 6 Time series of waves at the berths

5 波浪引起的不可作业时间

在得到泊位处的波浪时间序列后,以之前通过船舶系泊试验确定的波浪限值为标准,分析波浪时间序列中高过此标准的出现频率,得到波浪引起不可作业时间(downtime)。

喀麦隆项目中,通过此方法分析得到的波浪引起不可作业时间为6 h/a,约合0.07%,见表3。本项目中,法国ARTELIA公司采用船舶系泊数学模型与波浪数学模型手段结合的方法,分析波浪引起不可作业时间,得到的结论小于0.1%^[10],与本文的结论基本一致。波浪对船舶装卸作业产生的影响很小。

表3 波浪引起的集装箱码头不可作业时间

Table 3 Wave induced downtime of a container berth

波周期 T_p/s	集装箱码头前允许波高 H_s/m	波浪引起不可作业时间/h
≤ 12	0.76	0
$12 < T_p \leq 14$	0.65	0
$14 < T_p \leq 18$	0.59	0
> 18	0.43	6

6 结语

本文通过喀麦隆克里比项目的实例分析,给出了一种分析波浪引起系泊船舶不可作业时间的方法,即通过船舶系泊试验确定码头前允许波浪标准,再结合码头前的波浪时间序列对不可作业时间进行统计分析。

对于周期在25 s以上的长周期波浪(long period waves, or infra-gravity waves),试验室中由于场地限制,难以模拟如此长周期且波高在十几

cm的波浪。但现实中长周期波浪影响系泊船舶作业的例子并不少见,如澳大利亚的Geraldton港,阿曼的Salalah港等。长周期波浪对系泊的影响和港内长周期波浪的分析只能依靠数模来完成。

不可作业时间与国内常用的不可作业天数是不同的概念,不可作业时间仅是1 a内不可作业时段的直接相加,但分析不可作业天数尚需要考虑不同货种装卸作业的可间断性及不可作业时间段的连续性,故不能将不可作业时间简单转换为不可作业天数。

参考文献:

- [1] CARL A THORESEN. Port designer's handbook[M]. 2nd edition. London: Thomas Telford Limited, 2010.
- [2] DHI. Evaluation of wave conditions at deep water port of Kribi, Cameroon[R]. Shanghai: Danish Hydraulic Institute (China), 2011.
- [3] PIANC. Criteria for movements of moored ships in harbors - A practical guide[M]. Brussels: PIANC General Secretariat, 1995.
- [4] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S]. JTS 165—2013, Design code of general layout for sea port[S].
- [5] OCIMF. Mooring equipment guidelines[M]. 3rd edition. United Kingdom: Witherby Seamanship International, 2008.
- [6] BS 6349-4, Code of practice for design of fendering and mooring systems[S]. London: British Standards Institution, 1994.
- [7] CCCC-TPEI. Report on physical model tests of ship mooring for phase I project of Kribi Deep Sea Port in Cameroon[R]. Tianjin: CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., 2012.
- [8] TIWTE. Measured data of wave, tide, wind statistics and analysis report [R]. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T., 2013.
- [9] DHI. Design wave study for deep water port of Kribi, Cameroon[R]. Shanghai: Danish Hydraulic Institute (China), 2012.
- [10] ARTELIA. Kribi port project downtime study report[R]. France: ARTELIA, 2012.