



# 码头可作业率的全过程分析法

宋伟华，张军，张勇，覃杰

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司，广东广州 510230)

**摘要：**码头可作业率决定着码头建成后的通过能力，对工程设计至关重要。在国际工程中，业主和咨询工程师通常会对码头可作业率提出明确的要求。但是，国内项目对于码头可作业率的要求相对模糊。通过对国内码头可作业天数分析方法的调查，发现国内通常采用简单的统计叠加分析法，根据船舶作业标准的限值扣除不同因素(如：风、浪、流等)影响码头可作业的天数来计算码头可作业率。该方法不够精确。因此，结合国际实际工程，以液化天然气码头为例，介绍码头可作业率的全过程分析法，阐述全过程分析法及其重点和难点，为码头通过能力的核算提供参考。

**关键词：**码头；可作业率；统计叠加分析法；全过程分析法；作业标准

中图分类号：U 652.7

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)02-0044-04

## Overall process analysis method for berth operability

SONG Wei-hua, ZHANG Jun, ZHANG Yong, QIN Jie

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

**Abstract:** The berth operability determines the throughput capacity, thus it is very important for the engineering design. In international projects, owners and consulting engineers usually put forward clear requirements on the berth operability. However, the domestic project's requirements for the berth operability are relatively vague. Investigating the analysis method of the domestic berth operability days, we find that the domestic statistical superimposed analysis method is usually used to deduct different factors (such as wind, waves, currents, etc.) affecting the number of days that the berth can operate based on the operation standards. This method is relatively inaccurate. Then, in conjunction with international actual engineering, we take the LNG berth as an example to introduce the overall process analysis method for the berth operability and elaborate the overall process analysis method and its two major points, which provides a reference for the calculation of the berth's throughput capacity.

**Keywords:** berth; operability; statistical superimposed analysis method; overall process analysis method; operation standard

近年来，我国基建企业在海外市场的拓展空间越来越大。尤其是港口建设工程，作为一个国家对外交流的支点，成为发展中国家经济建设中最被看重的基建项目。我国经历了几十年的港口码头建设，积累了丰富的经验。但是，国际工程往往具有特殊性，与国内工程存在差异。

码头可作业率，作为评估码头性能特征的重要指标，在设计中至关重要。张素等<sup>[1]</sup>分析了码头处波浪因素，得到超过船舶作业标准对应的波

浪占比，从而得到码头可作业天数。但是，通常出现大风和强降雨时，会伴随着大浪和雷暴。因此，曹兵等<sup>[2]</sup>开展了针对多因素的联合统计分析，采用叠加法综合考虑各因素间的独立性和相关性，进而得到较为合理的分析结果。此外，刘望等<sup>[3]</sup>、商丹等<sup>[4]</sup>还探讨了液化天然气码头在选址决策中对码头可作业率的要求。

然而，在国际工程中，业主和咨询工程师会提出更为精细的要求来分析码头可作业率。本文

针对港口工程的码头可作业率进行研究, 对比国内外的不同分析方法, 并以液化天然气码头为例, 阐述码头可作业率的全过程分析法, 供港口工程设计人员参考。

## 1 码头可作业率

码头可作业率是设计船舶从进港到离港整个过程中, 各个自然因素均满足船舶操船、装卸要求所对应的总时间占比。码头可作业率是码头装卸能力计算的重要参数, 通常受不利的自然条件影响, 主要包括大风、大浪、强水流、大雾、强降雨、雷暴等因素影响, 在高纬度地区还需要考虑结冰的影响。国内通常采用码头可作业天数来评估码头的运营特性(即船舶是否能在泊位上进行装卸作业), 其与码头可作业率的主要区别在于计算方式和结果表达形式。

各国规范中对码头可作业率的要求不尽相同, 下面对中国规范以及国际常用的 *Port Designer's Handbook* 和英国规范进行比较分析。

### 1.1 中国规范

JTS 165—2013《海港总体设计规范》<sup>[5]</sup>只针对船舶装卸作业的允许波高和允许船舶运动量及风、雾、雨、冰等给出参考标准, 无码头可作业率的相关要求。

JTS 165-5—2016《液化天然气码头设计规范》<sup>[6]</sup>对码头可作业天数的分析方法和最长连续不可作业天数提出要求: 液化天然气码头全年可作业天数应根据设计船型, 综合分析液化天然气船舶进出港航行、靠泊、装卸、系泊和离泊全过程的有关气象、水文条件确定。海港液化天然气码头最长连续不可作业天数不宜超过 5 d。

### 1.2 Port Designer's Handbook

*Port Designer's Handbook*<sup>[7]</sup>要求, 码头年作业率不少于 90%~95%, 其中单月作业率不少于 85%。油码头和气体码头的年不可作业率不超过 10%。

### 1.3 英国规范

英标 BS 6349-1-1: 2013 *Maritime works-Part 1-1: General-Code of Practice for Planning and Design for Operations*<sup>[8]</sup>对于开敞式油码头的年不可作

业率的要求是不超过 5%~10%, 且全年 5%不可作业天数不能集中在 3 个月内。

通过上述规范的对比可知, 油气码头可作业率都有较为明确的要求。

## 2 统计叠加分析法

我国交通运输部于 2009 年发布的《港口建设项目预可行研究报告和工程可行性研究报告编制办法》要求对作业天数分析, “说明港口作业所允许的风、降水、雾、波浪、冰况等要素的标准, 综合分析各自然要素对港口作业的影响, 并参考附近类似码头作业情况, 确定本工程年作业天数”。此要求的基本思路是分析各影响因素引起的不可作业天数, 然后扣除可能存在的各因素间重复计算的天数, 得到最终的不可作业天数。上述方法只是针对船舶在泊位进行装卸作业的分析, 未全面考虑船舶从进港、港内回旋、靠系泊、装卸作业、离泊离港整个过程。因此, 笔者结合参与的国际项目, 介绍码头可作业率的全过程分析法。

## 3 全过程分析法

全过程分析法是基于业主和咨询工程师的要求, 采用的一种较为全面反映码头可作业情况的分析方法, 其中包括:

- 1) 码头可作业率应考虑船舶进港、港内回旋、靠泊、装卸作业、离泊及离港整个过程中的要求;
- 2) 须提供船舶在整个过程中不同阶段的作业标准(主要是风、波浪和流速);
- 3) 为保证分析的可靠性, 应该针对至少 30 a 时间序列开展研究, 考虑 24 h 作业, 最小时间分析单元为小时。

上述要求的核心是, 假设船舶在时间分析单元  $T$  开始进港, 针对船舶从进港到离港整个过程进行分析, 只要在某个时间分析单元内出现超出作业标准的自然因素, 则判别整个过程不具有可作业性, 即时间分析单元  $T$  为不可作业时间。例如: 假定船舶从进港到离港的整个过程需要 7 h, 包括进港 1 h、港内回旋 1 h、靠系泊 1 h、装卸作业 2 h、离泊 1 h、离港 1 h(表 1)。

表 1 码头可作业率示例分析

时间 序列	第 1 种作业方式						第 2 种作业方式						判别 结果
	进港	港内回旋	靠系泊	装卸作业	离泊	离港	进港	港内回旋	靠系泊	装卸作业	离泊	离港	
$T_1$	满足	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	满足
$T_2$	-	满足	-	-	-	-	满足	-	-	-	-	-	不满足
$T_3$	-	-	满足	-	-	-	-	满足	-	-	-	-	-
$T_4$	-	-	-	满足	-	-	-	-	满足	-	-	-	-
$T_5$	-	-	-	满足	-	-	-	-	-	满足	-	-	-
$T_6$	-	-	-	-	满足	-	-	-	-	-	不满足	-	-
$T_7$	-	-	-	-	-	满足	-	-	-	-	满足	-	-
$T_8$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	满足	-

1) 如果船舶从时间分析单元  $T_1$  开始进港,  $T_7$  完成离港。期间, 在每个时间分析单元, 对比此时的自然因素和作业标准, 发现自然因素均未超出作业标准。因此, 判定整个过程具有可作业性, 即将  $T_1$  统计为可作业时间。

2) 如船舶从时间分析单元  $T_2$  开始进港,  $T_8$  完成离港。期间, 在每个时间分析单元, 对比此时的自然因素和作业标准, 发现在  $T_6$  存在自然因素超出作业标准的情况。因此, 判定整个过程不具有可作业性, 即将  $T_2$  统计为不可作业时间。

按照上述过程, 对全部的时间序列进行分析统计, 得到满足要求的时间分析单元数, 然后除

以总的时间分析单元数, 求出码头可作业率。

#### 4 全过程分析法的重点和难点

全过程分析法考虑因素众多, 能更精确地模拟和评估码头可作业率。分析的重点和难点主要为船舶整个作业过程的时间评估和船舶各阶段作业标准的确定。

##### 4.1 作业过程的时间评估

以某海外项目中液化天然气码头为例, 典型的船舶作业过程包括进港、港内回旋、靠系泊、装卸作业、离泊、离港。其中, 装卸作业环节又包括装卸准备、装卸作业和后续处理, 见表 2。

表 2 整个作业过程的时间评估

阶段	作业内容	评估方法	评估值/h
进港	LNG 船从引航员登船点到进入泊位	通过操船试验获取时间	1
港内回旋	从进入泊位到进入泊位		1
靠泊	从船舶进入泊位到所有系缆完成		2
装卸准备	系缆完成后, 按流程连接装卸臂和 LNG 船管汇、氮气清管、管道预冷	通过设备性能和作业流程要求结合当地港口调研进行评估	3
装卸作业	准备工作完成后, 按流程开始装卸作业, 包括流量从 0 达到设计值, 再从设计值降到 0	通过设备性能和作业流程要求进行评估 1) 通常考虑流量加注开始后从 0 达到设计值和加注结束前从设计值降到 0 的时间为 3 h(小船)和 6 h(大船)。本项目以 22 万 m <sup>3</sup> LNG 船为例, 按 6 h 考虑, 即从 0 达到设计值需 3 h, 再从设计值降到 0 需 3 h; 2) 通常设计流量受制于船舶本身的最大通过能力和装卸臂的通过能力。以 22 万 m <sup>3</sup> LNG 船为例, 仓容为 22 万 m <sup>3</sup> 。根据实船资料, 船舶本身管汇的设计流量为 1.4 万 m <sup>3</sup> /h, 并考虑流量从 0 达到设计值和从设计值降到 0 的过程是线性的	$\frac{22}{1.4} + \frac{6}{2} = 18.7$
后续处理	装卸完成后, 按流程进行氮气清管、断开装卸臂和 LNG 船管汇	通过设备性能和作业流程要求结合当地港口调研进行评估	2
离泊	装卸臂断开后, 按流程解开所有缆绳, 拖轮协助 LNG 船离开泊位		0.5
离港	离开泊位后, 在拖轮协助下出港, 到天然水深位置	通过操船试验获取时间	1
时间总计			向上取整: 30

## 4.2 各阶段作业标准的确定

通过数值模型计算, 可以获得港内外风、波浪和流的 30 a 时间序列作为自然因素条件, 这种

方法相对简单。而各阶段作业标准的确定需要通过操船试验和系泊试验的分析来获取, 主要确定思路见表 3。

表 3 各阶段作业标准的确定思路

阶段	作业标准的确定思路
进港	
港内回旋	通过操船试验来模拟在不同风、波浪和流的组合条件下船舶进港靠泊情况, 从而找出临界的多组风、波浪和流的组合条件。作业标准的选取指标是船舶在拖轮协助下进港靠泊的可操作性和安全性等
靠系泊	
装卸准备	
装卸作业	通过系泊试验来模拟在不同风、波浪和流的组合条件下船舶的系泊情况, 从而找出临界的多组风、波浪和流的组合条件。作业标准的选取指标是船舶(管汇)位移、系缆力和护舷变形等满足合同和规范要求
后续处理	
离泊	通过操船试验来模拟在不同风、波浪和流的组合条件下船舶离泊离港情况, 从而找出临界的多组风、波浪和流的组合条件。
离港	作业标准的选取指标是船舶在拖轮协助下离泊离港的可操作性和安全性等

## 5 结语

1) 全过程分析法需要注意的 2 个关键点是船舶整个作业过程的时间评估和船舶各阶段作业标准的确定。

2) 典型的船舶作业过程包括进港、港内回旋、靠系泊、装卸作业、离泊、离港。

3) 各阶段作业标准的确定需要通过操船试验和系泊试验的分析来获取。

## 参考文献:

- [1] 张素, 王亥索. 海港码头波浪影响作业天数统计方法探讨[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(8): 190-192, 194.
- [2] 曹兵, 杨华, 徐新华, 等. 临港新城港区码头作业天数分析论证[C]//中国海洋学会 2013 年学术年会第 14 分会场海洋装备与海洋开发保障技术发展研讨会论文集.

- 北京: 中国海洋学会, 2013: 32-38.
- [3] 刘堃, 覃杰, 宏宝勇. LNG 码头选址探讨[J]. 水运工程, 2012(7): 77-81.
- [4] 商丹, 张勇. 液化天然气码头选址关键因素[J]. 水运工程, 2014(2): 96-99.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [6] 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: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.
- [7] CARL A. THORESEN. Port designer's handbook [M]. 3rd ed. London: ICE publishing, 2014: 139-140.
- [8] British Standards Institution. Code of practice for planning and design for operations: BS 6349-1-1: 2013[S]. British: BSI Standards Limited, 2013.

(本文编辑 郭雪珍)

## 著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。