



# 浙江LNG码头总平面布置试验研究

朱忠余<sup>1</sup>, 靳如刚<sup>1</sup>, 高峰<sup>2</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;

2. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300450)

**摘要:** 浙江LNG码头是我国目前最大的LNG码头之一, 所处环境相对复杂, 在项目设计过程中, 为确定合理的码头总平面布置方案、保证船舶安全系靠泊, 采用了物理模型试验的方法, 对3个不同的平面布置方案进行了比较, 通过试验得出不同方案下的船舶运动量及系缆力等参数, 通过分析试验结果最终明确了合理的总平面布置方案。

**关键词:** LNG码头; 总平面布置; OCIMF; LNG船舶; 安全靠泊; 物理模型试验

**中图分类号:** U 656.1<sup>+</sup>39

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2013)10-0102-05

## Model test research of general layout of Zhejiang LNG terminal

ZHU Zhong-yu<sup>1</sup>, JIN Ru-gang<sup>1</sup>, GAO Feng<sup>2</sup>

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

2. Tianjin Research Institute For Water Transport Engineering, Tianjin 300450, China)

**Abstract:** Zhejiang LNG Terminal is one of the largest terminal in China, the location's environment of which is relatively complicated. In the design process of Zhejiang LNG terminal project, in order to determine a reasonable general layout to ensure the safety of the berthing ship, a physical model test method is taken. Three different layout schemes are compared in the model test. Through analyzing the movements and mooring forces of the ships under different schemes, a reasonable general layout is determined to provide a basis for the design.

**Key words:** LNG(Liquid Natural Gas) Terminal; general layout; OCIMF; LNG ship; mooring safety; physical modeling test

浙江LNG码头位于浙江省宁波市北仑区郭巨镇穿山半岛北侧, 是继广东大鹏LNG、福建LNG和上海LNG建成后, 我国第4座LNG码头项目。浙江LNG码头处在岬角浅湾附近, 又受附近金塘岛水道、册子水道和螺头水道多通道地形的影响, 水流条件比较复杂。相对于装载其它货种的船舶, LNG船舶对码头平面布置的要求更高, 通常船东在停靠码头前都需对码头的平面布置及系靠设施进行评估, 本工程最大设计船型为266 000 m<sup>3</sup> LNG 船舶, 船型体积大, 水线上受风面积大, 水线下受流面积较油轮小, 受风力影响较大, 容易向下风漂移。为确保船舶系泊作业安全, 项目拟

通过物理模型试验测定船舶运动量等相关参数, 确定船舶对码头的作用力, 为码头总平面布置方案的最终确定提供依据。

### 1 LNG码头设计船型

表1为浙江LNG码头的设计船型, 仓容量80 000~266 000 m<sup>3</sup>, 船舶尺度基本涵盖了现役船舶等级<sup>[1]</sup>。

### 2 LNG码头总平面布置方案

LNG码头的平面布置形式根据建设规模、设计船型、装卸工艺和自然条件等确定, 一般采用

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 朱忠余(1969—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口及航道工程设计工作。

表1 LNG设计船型尺度

仓容量/m <sup>3</sup>	长度/m	型宽/m	型深/m	满载吃水/m
80 000	239.0	40.0	26.8	11.0
125 000	283.0	44.6	25.0	10.8
130 000	280.7	41.6	27.8	11.0
145 000	292.0	46.0	26.0	11.45
165 000	298.0	46.0	26.0	11.5
215 000	325.0	50.0	28.0	12.0
263 000	345.0	55.0	27.0	12.0
264 000	345.0	53.6	27.0	12.0
266 000	345.0	53.8	27.0	12.0

蝶形或“一”字形离岸墩式布置形式, 其中靠船墩间距、泊位长度等平面布置参数是LNG码头总平面布置的关键。

### 2.1 靠船墩间距

为安全起见, LNG船舶侧面通常设计成一个平面, 大部分LNG船东都要求在靠泊时, 应使至少3个靠船墩能够与船侧的平面部分可靠接触以充分吸收撞击能量。针对表1中的代表船型, 可以绘出LNG船舶靠泊示意图以确定靠船墩的合理位置(图1)。

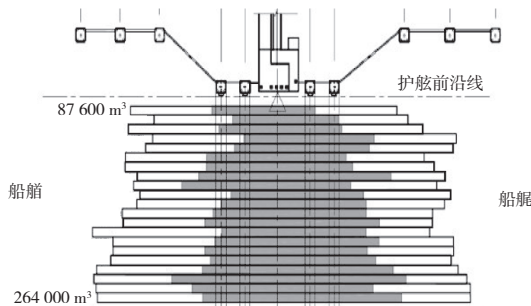


图1 LNG船舶靠泊示意图

图1中条形代表仓容由87 600~264 000 m<sup>3</sup>不等的LNG船舶, 其中阴影区域为船侧的平面部分, 而图中靠船墩的布置能够使得所有的阴影区域都能与至少3个靠船墩接触。经统计, 两个外侧靠船墩的中心间距为100 m时, 基本可满足大多数LNG船舶的安全靠泊要求。

我国规范与OCIMF(油气公司国际水运论坛)的Mooring Equipment Guidelines关于靠船墩间距的规定有一定的不同, 根据JTS 165-5-2009《液化天然气码头设计规范》5.4.5条规定, “墩式液化天然气码头宜设置两个靠船墩, 两墩中心间距可取设计船长的30%~45%<sup>[2]</sup>。当停靠船型

差别较大时, 可设置辅助靠船墩”。而Mooring Equipment Guidelines中规定两靠船墩间的中心间距应为设计船长的25%~40%<sup>[3]</sup>。取表1船舶中最大和最小的设计船长, 即239 m和345 m, 分别按中国规范和OCIMF指南计算而得的靠船墩中心间距见表2。

表2 靠船墩中心间距取值

船长/m	靠船墩中心距/m	
	中国规范	OCIMF
最小239	71.7~107.55	59.75~95.6
最大345	103.5~155.25	86.25~138

### 2.2 码头泊位长度

对于LNG码头泊位长度, 按照《开敞式码头设计与施工规范》要求, 码头泊位长度应取1.4~1.5倍的设计船长<sup>[4]</sup>, 而较迟颁布的《液化天然气码头设计规范》则明确要求LNG码头长度应通过模拟试验确定, 但不应小于1倍设计船长<sup>[2]</sup>。国际上通常采用建立数学模型的方式模拟风浪流等作用来确定LNG码头的长度, 通过大量的工程实践表明, 理想的LNG码头长度通常为设计船长的1.0~1.2倍, 但仍应根据码头所在区域的自然条件对码头的长度进行针对性研究。

### 2.3 码头总平面布置方案

浙江LNG码头平面布置形式为开敞式墩式码头, 拟采用蝶形布置, 具体由工作平台、靠船墩、人行便桥墩和系缆墩组成。根据以上分析, 试验前初步拟定了3个总平面方案进行物理模型试验, 3个方案泊位长度分别为440 m, 420 m和400 m, 即266 000 m<sup>3</sup>LNG船舶船长的1.275倍、1.217倍和1.159倍。为适应从80 000~266 000 m<sup>3</sup>的LNG船舶靠泊, 设置主靠船墩2个, 副靠船墩2个, 两主靠船墩中心间距为116 m, 为266 000 m<sup>3</sup>LNG船舶船长的33.6%, 两副靠船墩中心间距为74 m, 为80 000 m<sup>3</sup>LNG船舶船长的31.0%, 码头总平面布置方案见图2。

## 3 LNG码头总平面布置物理模型试验研究

### 3.1 模型试验边界条件

模型试验拟选取266 000 m<sup>3</sup>和217 300 m<sup>3</sup>LNG两艘船舶进行分析<sup>[5]</sup>。

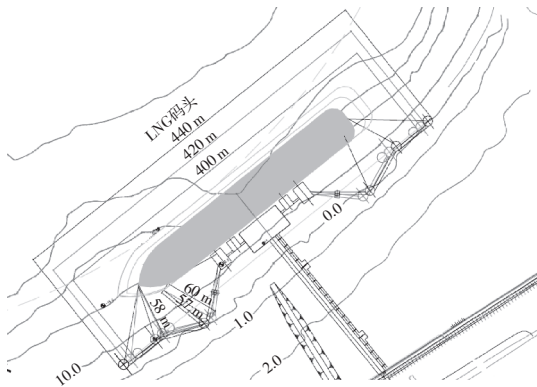


图2 总平面布置方案

3.1.1 水位 (当地理论最低潮面)

设计高水位 3.65 m, 设计低水位 0.37 m, 平均水位 2.02 m。

3.1.2 水流

水流条件见表3。

表3 试验流速流向模拟条件

水位	涨潮		落潮	
	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°N)	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°N)
平均水位	1.21	231	1.61	50
设计高水位	0.8	231		
设计低水位			1.02	50

3.1.3 波浪

不规则波试验模拟的谱型采用规范谱和 JONSWAP 谱两种谱形式, 试验波浪参数如下:

1) 作业波高: 横浪 $H_{4\%}=1.2$  m, 周期为7 s; 顺浪 $H_{4\%}=1.5$  m, 周期为6 s。

2) 系泊波高: 横浪 $H_{4\%}=1.5$  m, 周期为8 s; 顺浪 $H_{4\%}=2.0$  m, 周期为7 s。

3.1.4 风

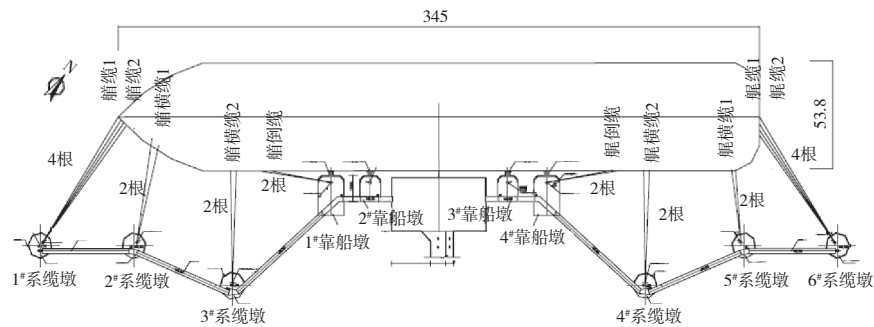
包括吹拢风、吹开风和45°斜吹开、吹拢风, 作业期间试验风速为15 m/s, 系泊状态试验风速为20 m/s。

3.1.5 船舶系缆方式

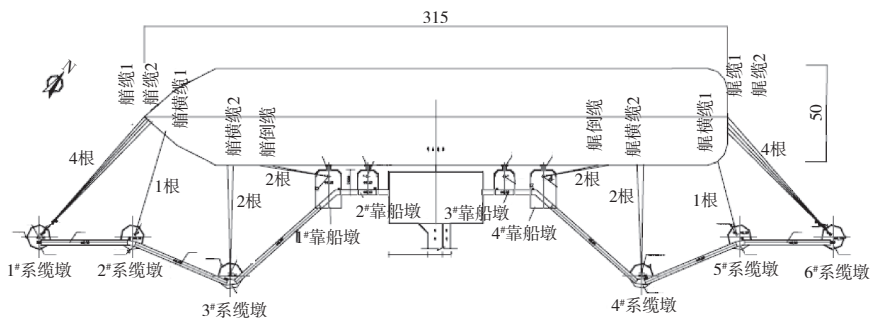
根据试验船舶的船型资料并结合码头平面布置, 266 000 m<sup>3</sup>LNG 船舶系缆布置方式 (图3) 为4:2:2:2。217 300 m<sup>3</sup>LNG 船舶系缆布置方式为4:1:2:2, 其中倒缆系在主靠船墩上。船舶系泊缆绳长度见表4。

3.1.6 系靠船设施

1) 1<sup>#</sup>, 6<sup>#</sup>系缆墩选用1 500 kN×4快速脱缆钩; 2<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>系缆墩选用1 500 kN×3快速脱缆钩;



a) 266 000 m<sup>3</sup>



b) 217 300 m<sup>3</sup>

图3 LNG 船舶系缆布置方式

表4 船舶系泊缆绳长度

LNG船舶仓容量/m <sup>3</sup>	船缆	船横缆	船倒缆	艀倒缆	艀横缆	艀缆
266 000	65 ~ 75	50 ~ 60	38 ~ 44	38 ~ 44	40 ~ 55	65 ~ 75
217 300	78 ~ 84	50 ~ 55	36 ~ 42	36 ~ 42	40 ~ 55	78 ~ 84

1# ~ 4#靠船墩选用1 500 kN × 2快速脱缆钩。

2) 主靠船墩 (1#, 4#靠船墩): SUC2000H (标准反力型) 二鼓一板; 副靠船墩 (2#, 3#靠船墩): SUC2000H (标准反力型) 一鼓一板。

3.2 试验结果

试验中分别模拟了3种泊位长度, 区别主要是两侧系缆墩位置的不同, 而主副靠船墩和工作平台未发生变化, 因此对于系泊状态而言, 改变的是部分缆绳的长度与角度, 440 m 和420 m 泊位长度相比, 后者的船艀缆、船艀横缆1 的长度减小约5% ~ 10%, 相应系缆角度 (与码头轴线夹角) 增大约9% ~ 13%, 400 m 泊位长度时船、艀缆进一步缩短, 系泊缆绳角度进一步增大。

在试验中, 船舶作为刚体在水中

对周围的流体产生扰动, 改变了周围流体的速度场和压力场, 波面起伏改变了船体水下形状和体积, 导致浮力大小与作用点随之改变, 船体受到扰动后围绕其初始平衡位置做6个自由度的振荡运动, 见图4。

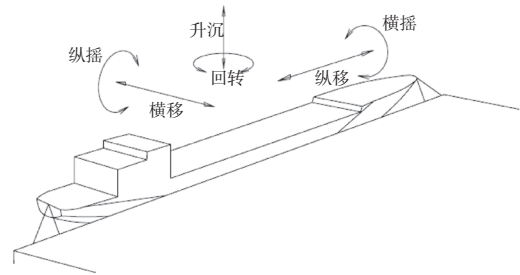


图4 船舶的6个自由度运动量

3个方案各运动量、系缆墩系缆力及靠船墩撞击能量最大值见表5<sup>[6]</sup>。

表5 3个方案运动量、系缆力及撞击能量最大值

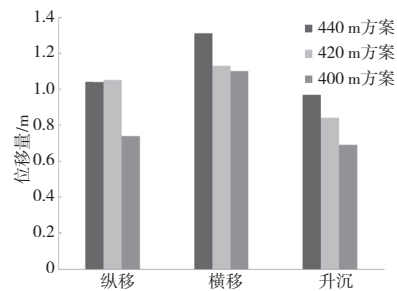
方案	运动量						系缆力/kN	撞击能量/kJ
	纵移/m	横移/m	升沉/m	纵摇/(°)	横摇/(°)	回转/(°)		
400 m方案	0.83	1.1	0.69	0.65	3.33	0.39	1 497	1 200
420 m方案	1.05	1.13	0.84	0.63	3.5	0.41	1 563	1 208
440 m方案	1.04	1.31	0.97	0.66	3.85	0.57	1 421	1 258

3.3 试验结果分析

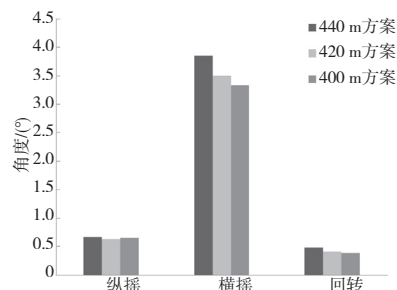
试验结果显示, 各运动量中以升沉、纵摇和横摇最为明显, 特别是在船舶相对较轻的压载期间。由于船体固有周期较大, 特别是满载时横摇周期均在15 s 以上, 纵摇也在11 s 以上, 与试验波浪周期 (8 s) 差距较大, 故其摇角运动量反而较小, 而当船舶本身固有周期相对较为接近波浪扰动力周期时 (如压载时), 更易接近运动谐振, 此时船舶的高频运动 (升沉、纵摇和横摇) 值则相对增大。

另外, 通过各试验工况对比, 横浪 + 吹拢 (开) 风时的横摇、横移的运动量相对较大; 而浪、流同向的组合时 (如顺浪 + 涨潮流), 纵移运动量相对较大。压载由于船体较轻, 虽然吃水相对较浅, 受浪流影响会小些, 但水面上受风面积增加, 表现为运动量整体略大于满载情况, 特别是横摇特征量的结果更为明显。

3个方案各运动量极值对比见图5。



a) 纵移、横移、升沉



b) 纵摇、横摇、回转

图5 3个方案各运动量极值对比



结果表明,从船舶运动量结果对比,整体而言440 m 结果最大,而400 m 长度下的运动量与420 m 结果接近,比440 m 相对略小。各方案中,码头较短方案个别特征量还略有增加,增减幅度量值均有限。泊位长度缩短反映在船舶运动量变化上为轻微减小的趋势。

从3个泊位长度方案系缆力和撞击力的试验成果看:440,420和400 m 方案最大系缆力均出现在横缆墩,分别为1 421,1 563和1 497 kN。440 m 方案系缆力略小,但相差不大。3个方案单根最大系缆力均小于破断力1 021 kN,但安全系数不大,通常缆绳控制强度参考为缆绳破断强度的55%。对于撞击力和撞击能量,1#靠船墩护舷和4#靠船墩护舷受力最大,横浪大于顺浪,船舶压载和满载在不同水位条件下相差不大。440,420和400 m 方案最大船舶撞击能分别为1 258,1 208和1 200 kJ,3个方案结果相差不大。

泊位长度440 m 方案最大系缆力略小于其他两个方案,但均在同一个量级,撞击能量基本相同。因此,出于防止缆绳破断的角度考虑码头长度可取440 m。

#### 4 结论

1) 试验选取的码头泊位长度在1.15L ~ 1.27L 试验结果表明,较小的泊位长度使缆绳与码头水平夹角增大,船舶运动特别是横向运动受到更大约束(如横摇、横移),整体船舶运动特征值随着泊位长度缩短有减小趋势,特别是船体较轻的压载情况最为明显。但总体而言,泊位长度差别所导致的运动量变化幅度有限且均在国际航运协会PIANC(1995)推荐标准内。

2) 不同泊位长度时船舶撞击力和撞击能量基本相同,而最大系缆力则略有不同,但均在同一个量级,440 m 长码头相比之下最大系缆力略小,对船舶缆绳的保护较好。

3) 从LNG 船舶港内作业期间的安全角度考虑,其船体相对于码头的位移是影响装卸臂正常工作与否的控制因素,也是系泊作业期间最容易引起泄漏的关键,因此对于LNG 码头一般情况如果系缆和护舷没有超出设计承载力前提下,运动量较小的方案将更为理想。但考虑到本海区海流较大,艏艉缆对船舶靠泊定位帮助较大,同时为最大限度避免LNG船舶发生断缆可能产生的危害,经研究比较,浙江LNG码头长度最终确定为440 m。

4) 通过试验测定的船舶运动量、系缆力及船舶对码头的撞击能量验证了浙江LNG码头总平面布置的合理性。

目前,无论是国内规范还是国际通用的设计指南,并没有对LNG码头的平面布置进行强制性的规定,因而,秉着科学的态度,采取数学或物理模型试验对码头的总平面布置进行研究在大型LNG码头设计中是非常必要的。浙江LNG目前已进入试运营阶段,码头良好的运转情况验证了码头平面布置的合理性。

#### 参考文献:

- [1] 蔡长泗. LNG港接卸工程[C]// 2005年中国港口工程建设新发展交流会港口工程分会技术交流文集. 北京: 中国土木工程协会, 2005.
- [2] OCIMF. Mooring Equipment Guidelines [M]. 3rd ed. Livingston: Witherby Seamanship International, 2008.
- [3] JTS 165-5—2009 液化天然气码头设计规范[S].
- [4] JTJ 295—2000 开敞式码头设计与施工技术规范[S].
- [5] 交第三航务工程勘察设计院有限公司. 浙江省引进液化天然气(LNG)及应用工程项目港口工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2009.
- [6] 交通部天津水运工程科学研究所. 浙江LNG接收站项目LNG船舶系泊试验研究报告[R]. 天津: 交通部天津水运工程科学研究所, 2009.

(本文编辑 武亚庆)