

大型开敞式油气码头系统缆墩布置研究

张云峰¹, 孔令臣², 王琦²

(1. 曹妃甸新天液化天然气有限公司, 河北 唐山 063205; 2. 中交天津港湾工程设计院有限公司, 天津 300461)

摘要:随着我国经济的持续发展, 对原油及 LNG 的需求将不断增加, 大型开敞式油码头及 LNG 码头的建设也将迎来更加广阔的市场。系统缆墩布置是大型开敞式油气码头设计的重点和难点, 本文基于前辈们的相关经验, 总结出了针对大型开敞式油码头及 LNG 码头系统缆墩布置的一些基本规律, 同时分别提出了一个较有代表性的可供进行模型试验的初始布置方案, 以供参考。

关键词: 开敞式、液体散货码头、油码头、LNG 码头、系统缆墩、布置

中图分类号: U65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 05—0090—04

系统缆墩布置是大型开敞式油码头及 LNG 码头设计的重点和难点。合理的系统缆墩布置, 可以在不增加工程投资的前提下, 有效提高船舶系统缆安全性, 改善装卸作业条件。

目前, 虽然大型开敞式油码头及 LNG 码头的系统缆墩布置还需主要依赖模型试验进行最终确定, 但通过对其中一些基本规律的总结和提炼, 可以帮助设计人员快速发现问题, 降低试错次数, 更加高效地完成码头设计。本文依据若干前辈们的经验, 总结出了针对大型开敞式

油码头及 LNG 码头系统缆墩布置的一些基本规律, 同时分别提出了一个较有代表性的可供进行模型试验的初始布置方案, 以供后人参考。

1 国内外规范建议及基本规律分析

1.1 国内外规范建议的系统缆墩布置

指导开敞式油码头及 LNG 码头系统缆墩布置的常用规范有《海港总体设计规范》(JTS165-2013)、BS6349 及 OCIMF 等。对比其中规定如下。

利于消防人员主观灭火, 同时维护检修更加方便, 造价也更低, 更符合港口封闭煤场的消防需求。

(3) 团标港口封闭条形煤场设计规范(征求意见稿)指出, 应保证煤场内任意点均有一门水炮的水射流可到达, 每门水炮的流量不宜小于 20L/s, 火灾持续时间 1h。由于规范暂未颁布实施, 且与现行规范规定^[6]不一致, 能否照此设计, 还需要征求当地主管部门的同意。

(4) 现行规范对封闭煤场室内消火栓设计存有争议, 笔者认为封闭煤场应该设置室内消火栓, 但是室内消火栓的设计流量不宜过大, 可取 10L/s。港口工程封闭煤场室内消火栓能否按此设计还需要与当地消防主管部门进行沟通。

(5) 由于现行规范对港口工程大型封闭煤炭堆场的消防设计并没有明确的规定, 建议尽快出台相关的规范规定, 为设计提供依据。

参考文献:

- [1] 李玉玲, 张俊锋. 大型港口工程封闭煤场灭火系统设计研究[J]. 港工技术, 2017, 54(6): 70-74.
- [2] GB 50016-2014 建筑设计防火规范(2018版)[S].
- [3] GB 50084-2017 自动喷水灭火系统设计规范[S].
- [4] GB 50229-2019 火力发电厂与变电站设计防火标准[S].
- [5] 中国电力工程顾问集团有限公司. 电力工程设计手册[M]. 1版 北京 中国电力出版社, 2017.
- [6] GB 50338-2003 固定消防炮灭火系统设计规范[S].
- [7] GB 50974-2014 消防给水及消火栓系统设计规范[S].
- [8] GB 50810-2012 煤炭工业给水排水设计规范[S].

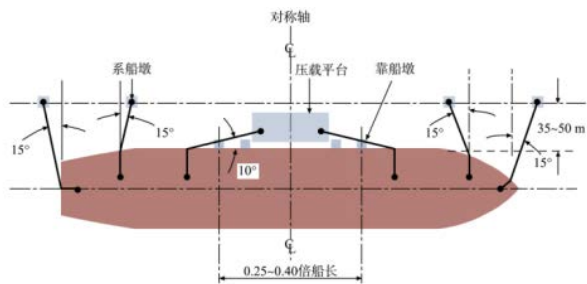


图1 OCIMF推荐系统墩布置图

表1 中外规范码头系统墩布置比较表

依据规范	缆绳	水平角	缆绳长度 (m)	垂直角
《海港总体设计规范》, 5.4.22.3	艀艀缆	45°~75° 纵向受力较大时可适当减小	35~60	<30°
	横缆	75°~105°	30~50	<30°
	倒缆	/	约30	<30°
BS6349-4-2014, 7.3.3; OCIMF, 2.4.1	横缆	见上图		<25°
	倒缆			<25°

1.2 艀艀缆墩布置基本规律分析

对比上表可以看出,国内外规范对于倒缆和横缆的功能定位和要求均是一致的;即倒缆主要承担纵向力,故希望它尽量平行于码头前沿线;横缆主要承担横向力,故希望它尽量垂直于码头前沿线。国内外规范的主要区别在于对艀艀缆的功能定位和要求上。BS6349及OCIMF对艀艀缆的功能定位与横缆基本相当,认为它应尽量垂直于码头前沿线去承担横向力。而《海港总体设计规范》对艀艀缆的考量更加全面些,它认为艀艀缆的功能应该与系泊环境相适应,若横向力为主导,则应取较大的系缆水平角,使其更多去分担横向力;反之则应减小其系缆水平角,使其更多去分担纵向力。

从平面布置角度,可以通过调整艀艀缆墩间距(除特殊说明,本文所指墩间距均为中心距,下同)和前后平移艀艀缆墩两种方法来改变艀艀缆的系缆水平角。由此,可以得到进行大型开敞式油气码头艀艀缆墩布置的一个重要规律,即艀艀缆墩的布置主要应根据系泊环境决定,横向力为主导时更宜采取一字型短泊位布置,以增大艀艀缆的系缆水平角,使艀艀缆可以帮助横缆分担较大的横向力,使整个系泊系统缆力分布更加均衡。反之,纵向力为主导时宜采取蝶形布置或适当增大艀艀缆墩间距,以减小艀艀缆的系缆水平角使其更多地分担纵向力。

至于何种风浪流环境会使得横向力或纵向力成为主导,对于油船和LNG船有所不同,对此将在下文分

别具体分析。

1.3 横缆墩布置基本原则分析

大型开敞式油气码头通常需布置内外两组横缆墩。对于横缆墩的布置,主要需确定布置间距及较码头前沿线的后移距离两个问题。对于布置间距,其需要循序如下的基本原则。

(1) 遵守《海港总体设计规范》、BS6349及OCIMF的建议,横缆的系缆水平角宜为75°~105°。

(2) 当需向下兼顾较小吨级船舶靠泊时,需要以外横缆墩作为艀艀缆墩,此时横缆墩的布置应满足上述分析的艀艀缆墩的功能定位和要求。

而对于横缆墩较码头前沿线的后移距离,通过吴澎等人进行过的模型试验可以得到如下结论。当横缆长度在35~65m范围内时,增加缆绳长度可以减少整个靠泊系统的刚度,从而降低横缆缆力,但却会使得船体的运动量进一步增加;反之亦然。吴澎等人建议,考虑波浪作用下船体对缆绳的冲击作用,宜使缆绳张力不超过破断力的40%^[1]。考虑到对于系统墩布置的评判,需由缆绳受力和船舶运动量两个指标均满足规范要求共同决定。因此可得到决定横缆墩较码头前沿线后移距离的基本规律,即应在船舶运动量满足规范要求的前提下,尽量后移横缆墩。

在明确上述规律的前提下,对大型开敞式油码头及LNG码头的系统墩布置,分别研究如下。

2 大型开敞式油码头系统墩布置研究

2.1 系泊环境分析及艀艀缆墩布置

如前所述,进行大型开敞式油码头系统墩布置的重要工作之一,便是根据系泊环境确定横向力和纵向力的主导情况。通常情况下,船舶系泊于开敞式码头时的横风、横浪和横流对船舶的作用力是顺风、顺浪、顺流时的几倍甚至十几倍。所以绝大多数情况下,大型开敞式油码头靠泊的船舶均处在横向力主导的情况下。但当满载工况下船舶受到较高流速的小角度开流作用时,此时船舶将可能会处在纵向力主导情况下。

林尚飞等人利用模型试验分析了30万吨级油船在2.0m波高,6s周期的横浪作用下,从无流、到1.45m/s的6°开流,再到1.7m/s的6°开流三种情况下的受力变化。发现在1.7m/s+6°开流情况下,纵向力的作用程度已基本超过了横向力,成为了主导作用^[2]。张宏等人

利用模型试验对 30 万吨级油船进行了相似的试验,发现对满载工况,当 0° 顶流流速大于 1.5m/s 时,产生的纵向力将十分可观,接近 $1\text{万 kN}^{[3]}$ 。从上述试验可得,在满载工况下,若存在流速大于 1.0m/s 的 0° 流或大于 1.5m/s 的小角度开流,则应考虑艏艉缆墩采取蝶形布置或适当增大艏艉缆墩间距;反之,则为典型的横向力主导情况,采用短泊位一字型布置更加适宜。

此外,张宏等人利用物模试验,还分析了设计高水位压载 $+1.5\text{m/s}$ 横浪 $+0.91\text{m/s}$ 10° 开流 $+22\text{m/s}$ 开风工况下艏艉缆墩间距在 1.1 倍、1.2 倍及 1.3 倍船长 3 种布置方案下 30 万吨级油船的系缆情况。结果表明艏艉缆墩间距在 1.2 倍船长时缆力最均匀,船体运动量也最小^[3]。这是因为,1.1 倍船长方案因艏艉缆水平夹角较大,艏艉缆承担了更多的横向约束作用,加上本身还要分担一定纵向力,因此造成了艏艉缆缆力过大的情况;反之,1.3 倍船长方案中艏艉缆水平夹角较小,使得艏艉缆承担的横向约束作用较小,因此造成了横缆缆力过大的情况。

该试验工况是一个非常具有代表性的工况组合,考虑到作业条件的限制及合理布置码头轴线的作用,很多大型开敞式油码头都处于相似的工况中,所以该试验结果也有一定的广泛适用性。

综上所述,可以明确大型开敞式油码头艏艉缆墩布置的基本规律如下。若没有大于 1.0m/s 的 0° 流或 1.5m/s 的小角度开流存在,大型开敞式油码头宜采用短泊位一字型布置,艏艉缆墩的间距以 1.2 倍船长为宜。若存在上述情况,应调整为蝶形布置或适当增加泊位长度。

2.2 横缆墩布置

如前所述的横缆墩布置基本原则,横缆墩布置主要需分析设计船型的横缆出缆点位置、兼靠船型尺度及船舶缆力与运动量的平衡关系,通过总结工程经验,有如下建议。

(1) 横缆墩前沿线较码头前沿线后移距离建议首先取为 50m 。若模型试验反馈需进一步约束船体运动量,则宜以 5m 作为基准逐渐前移尝试。

(2) 外侧横缆墩的间距建议取为 318m 左右。一方面,对 VLCC 318m 的墩间距可将外侧横缆的系缆水平角控制在 105° , 另一方面, 318m 是 15 万吨级 /8 万吨级油船总长的 1.16 倍 /1.31 倍,基本满足作为艏艉缆兼靠 8~15 万吨级油船的需求。

(3) 内侧横缆墩的间距建议取为 220m 左右。对 VLCC 220m 的墩间距基本可使内侧横缆水平角为 75° , 且 220m 是 3 万吨级油船总长的 1.19 倍,基本满足作为艏艉缆兼靠 3 万吨级油船的需求。

2.3 倒缆墩布置

根据工程经验,大型开敞式油码头大多以主靠船墩兼做倒缆墩。主靠船墩布置以压载工况下至少有 2 个靠船墩可与船体平直段完全接触为原则,对靠泊 VLCC 的大型开敞式油码头可取为 $110\text{m}\sim 120\text{m}$ 。对大型开敞式油码头靠船墩的布置,可详见相关学术文献,在此不再赘述。

3 大型开敞式 LNG 码头系缆墩布置研究

区别于油船,因 LNG 船自重较轻,干舷较高,其对横向力非常敏感,靠泊系缆时几乎不会出现以纵向力为主导的情况。国内某 LNG 项目的试验资料表明,即便在纵向最不利荷载 (0° 2.32m/s 顶流、 30° 20m/s 风, 1.5m 波高 8s 周期波浪) 作用下,系泊船舶的横移量通常比纵移量还要大^[4]。因此,目前的研究成果和工程实践都更倾向于 LNG 码头采取短泊位一字型布置。

沈文君等人通过数模实验分析了单独 0.8m 波高、6~36s 周期横浪作用下的艏艉缆墩间距在 370m 、 390m 、 410m 、 430m 四个方案的 26.6 万 m^3 LNG 船的船体运动量和缆力,最后建议 LNG 码头艏艉缆墩间距在 $370\text{m}\sim 390\text{m}$ 之间布置是较为适宜的^[5]。蔡长泗通过物模实验分析了 1.5m 横浪、 20m/s 开风加 0.5m/s 顶流作用下不同泊位长度方案的 26.6 万 m^3 LNG 船运动量和缆力,最终推荐开敞式 LNG 码头的泊位长度为 1.1 倍设计船长 (折算艏艉缆墩间距约 370m)^[4]。考虑到舱容 $14.7\text{万}\sim 17.5\text{万 m}^3$ LNG 船是 LNG 运输的绝对主力船型^[6],耿宝磊等人以 17.2 万 m^3 LNG 船为试验对象,分析了多种风浪流组合作用工况,同样建议 LNG 码头艏艉缆墩间距在 $370\text{m}\sim 390\text{m}$ 之间选取^[7]。

综合上述分析,可以总结大型开敞式 LNG 码头艏艉缆墩布置的基本规律如下。宜采用短泊位一字型布置,艏艉缆墩间距宜在 $370\text{m}\sim 390\text{m}$ 之间选取,若靠泊工况存在较大顺 (顶) 流或模型试验出现艏艉缆力过大、倒缆力过大、船舶纵向运动量过大等情况应取大值,否则取小值。

对 LNG 码头,其横缆墩布置同样应遵循如前所述

的基本原则。通过调研诸多近年来已建成的大型开敞式 LNG 码头,发现大多数码头的艏艉缆墩及内外横缆墩均为等间距布置。据此,在缺乏详细 LNG 船出缆点位置资料的情况下,也可考虑采用等间距原则布置内外横缆墩,再根据模型试验反馈结果进行调整。据此,当 LNG 码头艏艉缆墩间距为 370m 时,其横缆墩间距为 295m, 220m; 为 390m 时,其横缆墩间距为 305m, 220m。

与油码头相同,大型开敞式 LNG 码头同样大多以主靠船墩兼做倒缆墩,对靠泊 10 万吨级及以上 LNG 船的大型开敞式 LNG 码头,其主靠船墩间距可取为 116m 左右^[8]。对此可详见相关学术文献,在此不再赘述。

4 结论

通过上述分析,本文得到如下结论可供今后进行大型开敞式油气码头设计时参考,或作为初始的模型试验计算模型使用。

(1) 对大型开敞式油气码头,其艏艉缆墩的布置主要由系泊环境决定,横向力为主导时更宜采取一字型短泊位布置,以增大艏艉缆的系缆水平角,使艏艉缆可以帮助横缆分担较大的横向力,使整个系泊系统缆力分布更加均衡。反之,纵向力为主导时宜采取蝶形布置或适当增大艏艉缆墩间距,以减小艏艉缆的系缆水平角使其更多地分担纵向力。

(2) 对大型开敞式油气码头,其横缆墩的布置应遵循三项基本原则,即:①使得横缆的系缆水平角位于规范建议的范围内;②满足向下兼顾较小吨级船舶靠泊时作为艏艉缆墩的需求;③使得船舶横缆力与船体运动量均能满足规范要求并尽量减小船舶横缆力。

(3) 增加横缆的缆绳长度可以减少整个靠泊系统的刚度,从而降低横缆缆力,但却会使得船体的运动量进一步增加;反之亦然。对大型开敞式油气码头,其横缆墩前沿线较码头前沿线后移距离建议首先取为 50m。若模型试验反馈需进一步约束船体运动量,则宜以 5m 作为基准逐渐前移尝试。

(4) 对大型开敞式油码头,满载工况下,若存在流速大于 1.0m/s 的 0° 流或 1.5m/s 的小角度开流,则应考虑艏艉缆墩采取蝶形布置或适当增大艏艉缆墩间距;反之,则为典型的横向力主导情况,采用短泊位一字型布置更加适宜。

(5) 一般情况下,大型开敞式油码头,艏艉缆墩的间距以 1.2 倍船长为宜。横缆墩的间距建议取为外侧 318m 左右,内侧 220m 左右。在此基础上可根据模型试验反馈结果进一步调整。

(6) 大型开敞式 LNG 码头普遍适宜短泊位一字型布置。艏艉缆墩间距宜在 370m~390m 之间选取,若靠泊工况存在较大顺(顶)流或模型试验出现艏艉缆力过大、倒缆力过大、船舶纵向运动量过大等情况应取大值,否则取小值。可考虑采用等间距原则布置 LNG 码头内外横缆墩,当 LNG 码头艏艉缆墩间距为 370m 时,其横缆墩间距为 295m, 220m; 为 390m 时,其横缆墩间距为 305m, 220m。

(7) 大型开敞式油气码头大多以主靠船墩兼做倒缆墩,对靠泊 VLCC 的大型开敞式油码头主靠船墩间距可取为 110~120m,对靠泊 10 万吨级及以上 LNG 船的大型开敞式 LNG 码头主靠船墩间距可取为 116m。

参考文献:

- [1] 吴澎,姜俊杰,张廷辉等.开敞式蝶形码头墩位平面布置的优化研究[J].水运工程,2009(1):175-182.
- [2] 林尚飞,陈国平,严士常等.开敞式油品码头平面布置优化研究[A].第十六届中国海洋(岸)工程学术讨论论文集[C].中国海洋工程学会,2013.08,581-591.
- [3] 张宏,沈秋安,杨越.30万吨级开敞式原油码头系泊要素分析[J].港工技术,2019(6):7-10,141.
- [4] 蔡长泗.蝶形短泊位系泊效果[J].水运工程,2009(4):80-82.
- [5] 沈文君,高峰,谭忠华.LNG 船舶位长度优化分析[J].船海工程,2016(3):177-179,184.
- [6] 董炎赫,马林,杨学斌.开敞式液化天然气泊位平面布置优化[J].中国港湾建设,2020(12):29-34.
- [7] 耿宝磊,李伟迁,李焱等.不同泊位长度对 LNG 船系泊的影响[J].水运工程,2019(6):39-45.
- [8] 朱忠余,靳如刚,高峰.浙江 LNG 码头总平面布置试验研究[J].水运工程,2013(10):102-106.