



游艇码头拉簧式锚碇结构设计方法

赵一帆¹, 郑浩然², 顾津玮¹

(1. 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222;

2. 盘锦港航发展集团有限责任公司, 辽宁 盘锦 124221)

摘要: 我国现行规范中, 对游艇码头拉簧式锚碇结构没有提出明确的设计方法。简要介绍游艇码头拉簧锚碇结构形式及其原理, 对拉簧锚碇结构的优缺点进行分析; 结合游艇码头的使用要求, 提出一种拉簧锚碇系统的布置方式, 并对拉簧长度的计算提出要求。由于拉簧式锚碇系统结构计算的复杂性, 其难以简化为二维问题手算得出结论, 宜采用三维有限元分析方法。提出一种简化算法, 使拉簧式锚碇系统所受竖向荷载的计算实现自平衡。

关键词: 游艇码头; 浮桥; 拉簧式锚碇结构; 有限元

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0055-04

Design method of spring anchorage structure for marinas

ZHAO Yifan¹, ZHENG Haoran², GU Jinwei¹

(1. CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China;

2. Panjin Port and Channel Development Group Co., Ltd., Panjin 124221, China)

Abstract: In the current Chinese code, design methods are lacking in spring anchorage structures for marinas. We briefly introduce the style and principle of the spring anchorage structures and analyze their advantages and disadvantages. Based on the operating requirements of marinas, we propose a layout pattern of spring anchorage systems and raise the requirements for spring length calculation. Due to the complex structural calculation of the systems, it is difficult to simplify the calculation into a two-dimensional problem and draw conclusions by hand calculation. The 3D finite element method is appropriate. A simplified calculation method is proposed, which can realize the self-balance of vertical load calculation for spring anchorage systems.

Keywords: marina; pontoon; spring anchorage structure; finite element

游艇娱乐作为一种高端的休闲娱乐方式, 在我国有着庞大的市场需求和广阔的发展前景。游艇娱乐业的发展还会对当地的餐饮、交通、公共服务、维修保养及配备等行业起到明显的带动作用, 有助于优化海洋经济及滨海旅游业结构, 可提高当地发展水平、优化产业结构产生显著效果。

近年来, 在旅游业蓬勃飞速发展、个性化娱乐服务的兴起和环保要求逐渐提升的大背景下,

游艇旅游的发展得到了地方政府的支持和民间资本的不断投入。随着游艇旅游的蓬勃发展, 游艇码头设施建设仍有着巨大的市场需求。

为顺应国家政策方向及产业引导, 除旅游类的开发公司之外, 许多地方政府及建设单位转变思路, 从第二产业服务转向至第三产业服务, 对开发低碳、环保、高附加值的水上旅游项目等进行布局并逐步投入实施。作为游艇娱乐的必要载体, 游艇码头的建设需求呈现出明显的增长趋势。

收稿日期: 2023-02-22

作者简介: 赵一帆 (1993—), 男, 工程师, 从事港口工程水工结构和总体设计。

在游艇码头设计工程经验和相关研究中,对定位桩锚碇形式的研究较为完善,而对采用拉簧锚碇形式的游艇码头,经验和研究结果较少,规范中的相应内容也不完善^[1]。目前许多游艇码头工程实施过程中,拉簧锚碇结构的设计计算是由拉簧产品供应商完成,但供应商并不具备相关设计资质,须由设计单位复核后出具设计图纸。

本文结合工程实例,对于游艇码头拉簧锚碇设计进行讨论,提出一种拉簧布置方式,以及拉簧长度、内力计算的方法,并对拉簧锚碇结构的优缺点进行分析。

1 拉簧锚碇结构设计要点

1.1 拉簧锚碇结构形式

拉簧锚碇是一种近年来逐渐兴起的游艇码头锚碇方式,这种新型结构在国外有较多的工程应用实例,国内在青岛帆船中心、深圳大运会帆船基地等工程中都有过实践^[2]。

拉簧锚碇系统采用弹性拉簧代替传统的定位桩及抱桩器限制浮桥的水平位移。拉簧锚碇系统主要包括:拉簧、锚块及相关连接构件;弹性锚索一端与浮桥单元下侧的角端相连,另一端连接水下钢筋混凝土锚块,实现对游艇码头浮桥的柔性锚碇。

拉簧锚碇系统的作用原理为:当浮桥受到水平方向荷载产生位移时提供相应的恢复力,使浮桥漂移距离不超过许可范围,并且当外荷载消失时锚碇系统的恢复力可把浮桥拉回原位置。同时,拉簧式锚碇结构通过伸缩适应水位变化,使游艇码头浮桥在各种水位情况下都正常工作。

拉簧由两部分组成,即弹性段和非弹性段。弹性段称为弹性索,由高分子纤维和合成橡胶制成,最大伸长率一般可达 70%;非弹性段可用船用锚链等材料。拉簧弹性段的安全拉伸范围是 0%~70%,弹性索中会并联一根非弹性绳索,称为安全绳,长度是橡胶体原始长度的 1.7 倍。当弹性索拉伸率达到 70%后,若张力继续增加,则

新增的张力荷载由安全绳承担,弹性体的长度和受力不再增加,达到保护弹性构件和限制浮桥位移的目的。

拉簧锚碇系统的设计应根据使用条件和使用要求计算出合适的弹性锚索长度、弹性锚索内力、锚块质量、抛锚位置等。设计过程主要包含 2 个环节:1) 拉簧系统布置设计,即根据工程设计水位、设计底高程、浮桥结构布置等已知条件计算弹性锚索长度、弹性段及非弹性段长度、抛锚位置等;2) 力学设计,根据游艇码头荷载对弹性锚索内力、锚块质量等进行计算,并选用合适的产品。

1.2 拉簧式锚碇结构优缺点分析

位于海港的游艇码头锚碇结构一般采用定位桩或拉簧式锚碇结构。本文对拉簧式锚碇结构进行分析,其优缺点如下。

优点:1) 固定结构均位于水下,码头整体美观;2) 避免了海底打桩造成的海床生态破坏,更加环保;3) 施工期可能较短,需现场施工较少;4) 对于水位变化较小、掩护条件好、浮桥荷载较小的游艇码头工程适用性较强。

缺点:1) 正常工况下,在风、浪等不稳定荷载作用下,浮桥结构会产生较大的晃动,对码头的正常使用和游客的舒适性产生不利影响;2) 对于码头掩护条件较差的工程,浮桥整体可能出现较大的水平位移,在使用过程中,该位移可能超过浮桥上引桥结构以及水电等相关配套设施的最大允许位移;3) 拉簧锚碇结构的设计使用年限较短,其后期维护、更换周期短,费用可能较高。

1.3 拉簧式锚碇布置设计

锚碇系统布置的设计需考虑结构受力、锚绳与船舶位置关系及浮桥位移等因素。对于一般的游艇码头,提供一种布置方式:平面上,在每个支浮桥单元上布置 4 组弹性锚绳,自靠近角点位置向内侧对称拉伸;每个主浮桥单元布置 4 组弹性锚绳,由靠近角点位置向外侧对称拉伸,见图 1。

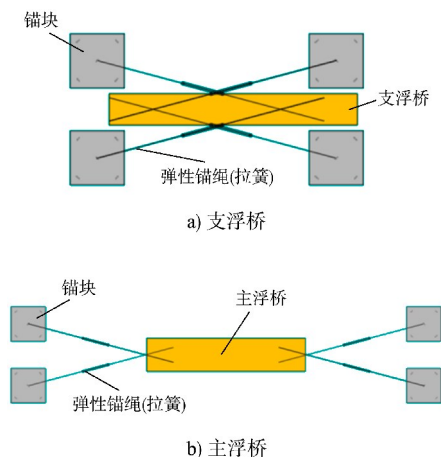


图 1 锚碇系统平面布置

拉簧结构布置设计参数的确定还应满足以下条件: 1) 在极端低水位工况下, 弹性索伸长率大于 0%, 即可提供浮桥漂移恢复力, 且锚块和锚索与船舶底部最小距离大于安全距离; 2) 在极端高水位且遇设计波浪的情况下, 弹性索伸长率不大于 70%, 避免游艇码头浮桥被淹没或水下锚块产生位移。

1.4 拉簧式锚碇结构计算方法

为满足游艇码头的使用要求, 拉簧式锚碇结构需要满足浮桥结构可随水位变化一同升降, 并保持其吃水在合理范围内; 同时对浮桥受到的船舶荷载、波浪荷载、风荷载等水平外荷载提供水平反力, 控制水平位移在合理范围内。

对游艇码头浮桥的竖向位移和受力进行分析。当水位升高时, 浮桥位置也随之升高, 两侧拉簧拉力随拉簧长度的增加而增加, 其水平分力互相抵消, 浮桥受到向下的荷载增大。浮桥的吃水会随之有所增加, 浮力变大, 以满足受力平衡条件。拉簧式锚碇的浮桥结构竖向受力形成自动反馈的平衡状态。

在断面上, 对游艇码头浮桥受到一个方向水平荷载时的水平位移和受力进行分析。游艇受到水平外荷载作用, 浮桥结构会产生同方向的水平位移。断面上, 两侧的拉簧一侧缩短, 拉力减小; 另一侧伸长, 拉力增大。两侧拉簧拉力在水平方向分力不等, 形成的合力为浮桥提供水平外荷载的抗力。水平荷载作用下, 结构受力分析见图 2。

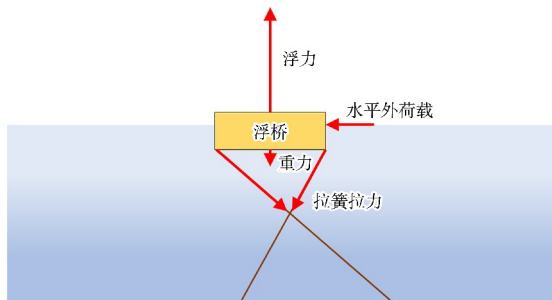


图 2 拉簧式锚碇结构受力分析

对于采用拉簧式锚碇结构的游艇码头, 其受力和计算是一个三维问题, 且模型建立过程中, 会面对拉簧锚碇系统的空间结构复杂、结构受力不均匀、拉簧的拉力特性为非线弹性、浮桥的浮力随水位变化等问题。拉簧式锚碇的计算难以简化为简单的二维问题进行计算, 适合采用三维空间模型。本文基于空间有限元计算方法进行研究, 并对拉簧锚碇结构计算的模型建立提出一种简化方法。

上述问题中, 对模型建立产生最大困难的是浮桥的浮力会随水位和水平荷载的变化而变化。若简单的给浮桥施加一个浮力, 其浮力的大小难以计算, 且在三维模型在水平力作用工况下难以收敛或会计算出不合理的结果。

针对此问题, 考虑拉簧锚碇系统在某一特定水位下进行计算。浮桥结构受水平荷载后, 水平位移随水平外荷载的变化而变化, 实现水平方向力的平衡; 竖直方向上, 浮力、重力和拉簧拉力的竖向分力自动平衡, 且浮桥的竖向位移较小, 在计算中可忽略不计。

根据此特性, 将浮桥在竖直方向的受力平衡条件转化为竖直方向位移为 0 mm 的约束条件。浮桥结构在竖直方向自动满足受力平衡, 无需对浮桥浮力建立模型, 且无需人工输入重力、浮力等参数, 仅对模型中浮桥结构施加水平外荷载, 即可计算拉簧锚碇结构的受力状态。

通过上述数值模型, 可获得拉簧锚碇系统的内力、位移及锚块处反力的结果。通过上述结果, 可进一步对拉簧的规格、锚块基础等进行计算, 在文中不再赘述。

2 算例分析

2.1 工程概况

本文以游艇码头的一种普遍布置形式为例,对游艇码头的拉簧结构锚碇计算进行对比研究。该布置形式包含 1 条长度为 69.5 m 主浮桥以及两侧为长度 12 m 和 18 m 的支浮桥,整体呈梳状布置,见图 3。

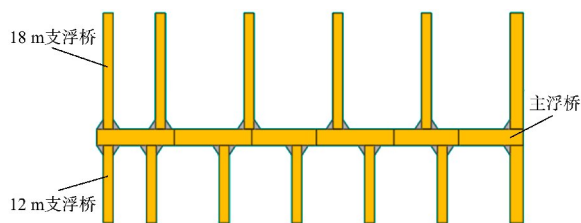


图 3 游艇码头布置

2.2 游艇码头荷载

游艇码头浮桥承受的水平外荷载主要有浮桥结构的水平波浪荷载、船舶荷载、风荷载和水流荷载。

在游艇码头设计方法的研究中,对浮桥结构的水平外荷载计算已有了较为深入的研究^[3-6],本文采用顾津玮建议的计算方法。本文实例中的游艇码头浮桥的水平外荷载为:风荷载 0.293 kN/m,波浪荷载 3.681 kN/m,水流荷载 0.075 kN/m。船舶荷载见表 1。

表 1 游艇码头船舶荷载

游艇长度/m	风荷载/kN	水流荷载/kN
12	14.172	4.800
18	31.276	9.720

2.3 弹性锚索的拉力特性曲线

由于现有的弹性拉索供应厂商较少,且各厂商产品特性有较大区别,故设计中应在确定供应商后对锚碇结构进行详细计算。本文算例中所采用的弹性拉索特性曲线见图 4。

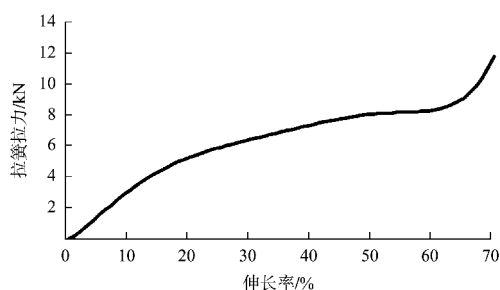


图 4 单组弹性拉索的特性曲线

2.4 计算结果

采用本文提出的拉簧锚碇布置形式和简化计算方法,使用有限元软件 ABAQUS 建立三维模型,对该游艇码头拉簧锚碇系统进行计算。模型见图 5。

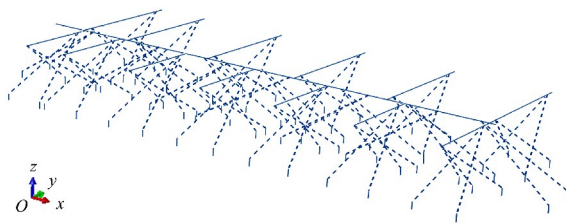


图 5 拉簧式锚碇系统模型

由于单个节点的拉簧一般由多根弹性拉索组成,在模型计算过程中,需要根据计算结果对弹性拉索的参数进行调整。由于计算中浮桥结构所受外荷载较大,经试算确定,须采用 8 根弹性锚索作为单个节点的拉簧结构。

首先对无水平荷载的模型进行计算。该工况下,拉簧长度随着水位升高而伸长,弹簧拉力随之提高。在极端高水位,拉簧拉力即达到 62.45 kN。

在此基础上,对浮桥结构施加水平荷载,即风荷载、水流力、波浪荷载以及船舶荷载,并对各方向的荷载进行合理的组合。经计算,拉簧拉力最大值达到 88.63 kN,出现在极端高水位工况。浮桥在各水位水平荷载下的水平位移计算结果为:极端高水位、设计高水位、设计低水位、极端低水位下分别为 0.368 1、0.653 9、0.226 4、0.291 2 m。

计算结果表明,在设计高水位出现了最大的水平位移,为 0.653 9 m。在设计游艇码头时,码头上部设置的联系桥,以及水电等配套设施的管线等需要对浮桥的水平位移予以充分考虑。

3 结论

1) 游艇码头每个浮桥单元布置 4 组弹性锚绳,可根据位置呈内八字或外八字形式布置。

2) 在最低最高设计水位,拉簧锚碇系统应均能提供恢复力并不超过最大伸长率。

3) 拉簧式锚碇结构的三维有限元模型,可通过对浮桥竖向位移施加约束简化其受力计算。

(下转第 64 页)