2013年1月 第1期 总第474期

三峡库区新型架空直立式码头结构模态分析



汪 霏¹,王多银^{1,2}

(1.重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2.重庆市航运中心,重庆 400074)

摘要:大桩径、大跨度的架空直立式码头结构将成为三峡成库后适应库区水文条件的新结构形式。以重庆主城港区纳 溪沟码头为例,采用有限元法对其码头结构建立三维有限元模型,并进行模态分析,初步探讨了该结构形式的动力特性, 评价码头结构的安全性。

关键词: 大桩径;大跨度;新结构形式;模态分析中图分类号: U 653.5文献标志码: A文章编号:

文章编号: 1002-4972(2013)01-0081-04

Modal analysis of new-style overhead vertical wharf in Three Gorges reservoir area WANG Fei¹ WANG Duo-yin^{1,2}

white ref, white but yill

(1. School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China ;

2. Waterway Shipping Research Center of Chongqing, Chongqing 400074, China)

Abstract: To adapting to the hydrological conditions in the Three Gorges reservoir area, the application of new-style overhead vertical wharf with large-diameter pile and span will be a tendency. Taking the Naxigou wharf in Chongqing district as an example, the 3D finite element model for the structure is built by finite element method and then a modal analysis on it is given to study preliminarily the dynamic property of this structure and evaluate the safety of the wharf structure.

Key words: large-diameter pile; large span; new-style structure; model analysis

三峡工程建成蓄水后,水深加大使川江中的 险滩、险段消失,江面拓宽,使得万吨船队可直 达重庆,极大地改善了库区航运条件。但是,三 峡水库蓄水至175 m后,三峡库区港口码头建设过 去一贯可以利用的枯水期低水位施工的优势工期 也已消失,面临的将是长时间的深水期和水位陡 涨陡落的洪水期,传统的枯水期不复存在,给库 区港口码头及其他水工建筑物建设带来极大的影 响。为解决传统的内河架空直立式码头在三峡成 库蓄水后,存在的有限的低水位时间内难以完成 大量桩基施工等问题,目前具有足够强度和刚度 的"大桩柱、大跨度"的架空直立式结构将是库区 码头的主要发展方向^[1]。以重庆主城港区纳溪沟码 头为例,该码头平台长度233.4 m,宽度41.75 m, 排架间距为11 m。与传统的架空直立式码头(以 寸滩码头一期工程为例)相比,如表1所示,其 排架间距增加了70%,这样不仅节约建材,同时 也减少了排架对水流的阻碍作用。且在每个横向 排架的水平联系梁上设置"人"字形斜梁,以增 加横向排架刚度,并减小横梁的计算跨度。该码 头水工建筑物采用墩柱框架码头结构形式,码头 平台前沿由6个靠船墩(兼系船)、16个直径3 m 的圆形支撑墩;平台中间采用22个直径3 m的圆形 支撑墩;平台后方采用16个直径3 m的圆形支撑墩 和6个方形支撑墩(长×宽=4.4 m×3.2 m的支撑 墩4个,长×宽=6.0 m×3.2 m的支撑墩2个)^[1]。

收稿日期: 2012-04-28 *基金项目: 重庆市重大科技专项——"交通基础设施"(CSTC,2009AA6029) 作者简介: 汪霏(1988—), 女, 硕士研究生, 主要从事港航方面设计工作。 第2和5个靠船墩为主靠船墩,其下的桩基是由2根 ϕ 1 800 mm和3根 ϕ 1 500 mm的钢筋混凝土嵌岩钻 孔桩组成,其后方的矩形支撑墩下的桩基则是采 用5根 ϕ 1 200 mm的钢筋混凝土嵌岩钻孔桩构成; 其余靠船墩下则是采用4根 ϕ 1 200 mm的钢筋混凝 土嵌岩钻孔桩;其余墩柱均采用钻孔灌注施工,直 接嵌入中风化基岩。该码头的结构形式见图1和2。 靠船墩的设置不仅有利于提高码头的排架间距, 而且在船舶靠泊过程中,船舶荷载主要作用在靠 船墩上,在保护了大桩柱同时也避免了其受船舶 的直接撞击,使结构更加安全。

表1 桩径与排架间距



这种大水位差、大桩径、大跨度的新型架 空直立式码头结构将会成为库区今后码头建设的 主要发展方向,与其他内河架空直立式码头结构 相比,其结构跨度较大,该结构的动力特性也就 显得尤为重要。本研究采用有限元法建立码头模 型,通过分析工程结构的模态特性,预测结构在 实际工作状态下的工作行为^[2]。

1 理论依据

1.1 模态分析简介

模态分析也被称为振型叠加法动力分析,是 线性结构系统动力分析中最常用而且最有效的方 法^[3],是用来揭示在自由振动情况下结构固有的动 力特性,它仅与结构本身的刚度、质量和阻尼有 关^[4]。其实质是一种坐标系统的变换,目的在于把 原来在物理坐标系统中描述的响应向量放到所谓 的"模态坐标系统"中描述^[5],这一坐标系统每一 个基向量恰好是振动系统的一个特征向量,利用 各特征向量之间的正交性,可使描述响应向量的 各个坐标互相独立而无耦合,于是,振动方程是 一组互无耦合的方程,各个坐标均可单独求解^[1]。

1.2 模态分析原理[6-8]

模态分析方法就是以无阻尼的各阶主振型 所对应的模态坐标代替物理坐标,使微分方程解 耦,变成各个独立的微分方程。一个N自由度线形 系统的运动微分方程,可表示为:

M×*ü*+*C*×*ú*+*K*×*u* = *F*(*t*) (1)
式中:*M*为结构质量矩阵;*ü*为节点加速度矢量;
*C*为结构阻尼矩阵;*ú*为节点位移矢量;*F*(*t*)为随时间变化的荷载函数。

式(1)是一组耦合方程,而模态分析方法就 是使微分方程解耦,变成各个独立的微分方程。

结构的自由振动即结构在没有动力荷载作用 时发生的振动。因结构阻尼对模态频率及振型的 影响很小,可以忽略。故无阻尼自由振动方程的 矩阵表达式为:

$$\boldsymbol{M} \times \ddot{\boldsymbol{u}} + \boldsymbol{K} \times \boldsymbol{u} = 0 \tag{2}$$

假设机构振动为谐运动, 令 $u=|\varphi|\sin(\omega t+\varphi)$

则 $\ddot{u} = -\omega_2 | \varphi | \sin(\omega t + \varphi)$ 代人上式,可得结构振动的特征方程:

(3)

 $K - \omega^2 M \times |\varphi| = 0$

模态分析就是计算结构振动特征方程中的特 征值ω_i(即固有频率)和对应的特征向量lφ_il(即 固有振型)。

2 计算模型的建立

选取码头结构的一个分段(4跨5榀排架)建 立模型。斜向联系撑、横梁、纵梁、轨道梁、系 船梁等均采用弹性梁单元(Beam)建模;码头面 板采用壳单元(shell)建模。建模时取混凝土的 弹性模量为3.0×10⁷ kPa,泊松比为0.2,密度为 2 500 kg/m³;该码头桩基为嵌岩灌注桩,故模型均 将桩基嵌固点设置为固结,使其在各个方向的位 移均为0;计算时,重力加速度取9.8 m/s²,空间刚 架(考虑面板刚度)模型如图2所示。



3 模型计算及结果分析

3.1 计算结果

采用有限元软件ANSYS中的Subspace法(子 空间法)对该码头结构进行模态分析。由于 Subspace法(子空间法)多用于提取大模型的少数 阶模态(40阶以下),适合于较好的实体及壳单 元组成的模型,在进行计算时,需要定义自由度 的情形,因此在对该模型进行模态分析是采用该 方法是可行的。通过模型分析,得到结构前6阶的 固有频率、自振周期以及最大振幅如表2所示。

表2 码头各阶模态计算结果			
阶数	固有频率/Hz	自振周期/s	最大振幅/mm
Ι	1.109 7	0.901 1	0.270
П	1.184 1	0.844 5	0.255
Ш	1.357 5	0.736 6	0.402
IV	6.759 9	0.147 9	0.558
\mathbf{V}	7.017 0	0.142 5	0.624
VI	7.683 4	0.130 2	0.481

由表2可以看出,这种大桩柱、大跨度的架 空直立式码头的固有频率前3阶频率在1.1~1.4 Hz 区间内且变化不大,这表明该码头结构的刚度较 为均匀。该码头的固有频率在第Ⅲ阶模态和第Ⅳ 阶模态间呈明显跃升。而第Ⅳ~Ⅵ阶模态的固有频 率为6.759 9~7.683 4 Hz与前3阶相比较,频率变化 与低阶模态相比较相差偏大。对于其自振周期而 言,随着频率的增加,自振周期减小。随着模态 阶数的增加,该结构的最大振幅是逐渐增大的。 但是在第Ⅵ阶时结构的最大振幅变小,这是因为 高阶模态的位移贡献率较小,而低阶模态的位移 贡献率较大。这表明了并不是所有结构的"模态 阶数越高,其对应的位移响应衰减的越快"。各 阶模态振型见图4~9。



注:最大位移处发生在码头结构向Z方向(码头顺岸方向),发 生平动,码头顶部振幅达到最大值0.27 mm。 图4 码头结构第 | 阶模态振型

3.2 模型分析

由图4~9可知,在第 I 阶模态振型中,码头结 构向Z方向(码头顺岸方向)发生平动,码头顶部 振幅达到最大,且从上到下依次递减,且桩为码 头结构中最危险的受力构件;第 II 阶模态振型中,

· 83 ·



• 84 •

注:最大位移发生在码头结构向X方向(垂直于码头岸线方向) 发生平动,码头顶部振幅达到最大值0.255 mm。





注: 该码头结构在XZ平面内产生扭转,顶部扭转角最大,位移最 大值为0.402 mm。





注:最大位移处不再在码头顶面,最大位移发生在桩基上,其值为0.558 mm,且在X方向和Z方向都发生了振动。 图7 码头结构第Ⅳ阶模态振型



注:最大位移处发生在每榀排架的中排桩处,其值为0.624 mm。 图8 码头结构第V阶模态分析



注:最大位移处仍然在桩上,其值为0.481 mm。 图9 码头结构第 \/ 阶模态振型

码头结构向X方向(垂直于码头岸线方向)发生平 动,此时仍然是码头顶部振幅最大,且从上到下 依次传递,桩仍然为结构中最不利的受力构件; 第Ⅲ阶模态振型中,码头结构在XZ平面内产生 扭转,顶部扭转角最大,此时对码头结构的桩、 柱、纵横联系梁都不利;第Ⅳ阶模态振型中,此 时该码头结构在X方向和Z方向都发生了振动,在 X方向的位移较小,在Z方向上,每榀排架中的前 排桩和后排桩发生了以码头桩基为对称轴的反对 称弯曲,位移最大发生在桩处;第Ⅴ阶模态振型 中,该码头结构发生的仍然是方向相反的振动但 是位移最大处在每榀排架中的中排桩处;在第Ⅵ 阶模态振型中,在码头结构的第2层其上和以下的 构件都发生Z方向的振动但是方向相反。

(下转第113页)