



高桩梁板码头起重机械 水平力作用效应计算方法

罗小红

(湖北省交通规划设计院水运工程分院, 湖北 武汉 430051)

摘要: 随着码头规模及装卸机械大型化的趋势, 起重机械水平力对码头横向排架的影响愈发明显。介绍高桩梁板式码头基于平面计算前提下横向排架及轨道梁在起重机械水平力作用下效应计算方法, 并对作用在横向排架上的装卸机械水平力简化取值提出建议。

关键词: 码头; 横向排架; 起重机械; 水平力; 竖向力; 作用效应; 计算方法

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)11-0081-04

Calculation method for action effect of horizontal force from hoisting machinery on high-piled wharf

LUO Xiao-hong

(Water Transport Engineering Branch of Hubei Provincial Communications Planning and Design Institute, Wuhan 430051, China)

Abstract: Accompanying the large-scale trend of wharf and enlargement of handling machinery, the effect of horizontal force of hoisting machinery on the lateral bent becomes more apparent. Based on the plane calculation under the effect of horizontal force of lateral bent and beam size of the crane, this paper introduces the calculation method of high piled beam slab, and gives a suggestion on the simplified calculation of the horizontal force on the lateral bent of handling machinery.

Keywords: wharf; lateral bent; hoisting machinery; horizontal force; vertical force; action effect; calculation method

高桩梁板式码头是软土地基上建造码头常用的一种结构形式, 起重机械荷载是码头结构的控制性荷载之一, 其竖向轮压力是轨道梁及桩基结构的控制性荷载。随着码头规模的扩大、专业化程度的提高以及装卸机械的大型化, 起重机械轮压力及水平力越来越大, 起重机械水平力对码头横向排架的影响变得十分明显, 对于部分大型码头, 其影响程度甚至超过了船舶系缆力、撞击力等水平荷载, 因此合理计算装卸机械水平力对码头结构的作用效应十分重要。

1 起重机械产生水平力的原因

在码头装卸机械刮风作业、机械制动启动和吊运货物的过程中都会产生水平向的力, 具体如下:

1) 运行水平惯性力: 起重机自身质量和起升质量在运行机构启动或制动时产生的水平方向惯性力;

2) 回转和变幅运动的水平力: 臂架式起重机回转和变幅机构运动时, 起升质量由于受到诸如包括风力、变幅和回转启制动时产生的惯性力和

收稿日期: 2015-04-17

作者简介: 罗小红 (1985—), 女, 工程师, 从事港口及修造船水工工程设计与咨询工作。

回转运动时的离心力、司机操作方法与熟练程度等多种因素影响,会产生悬挂物品的钢丝绳对铅垂线的偏斜,因而引起物品摆动,对金属结构有附加水平力的作用;

3) 起重机偏斜运行时的水平侧向力: 桥架类型起重机在大车运行过程中出现偏斜运行时,产生垂直于车轮轮缘或水平导向轮上的水平侧向力。

根据 JTS 144-1—2010《港口工程荷载规范》^[1],垂直和平行于轨道方向水平力标准值可按轮压标准值的 10% 估算。

2 码头纵梁计算方法

2.1 纵向梁连续梁计算模型

码头纵向梁系结构一般为连续梁,连续梁结构常规有刚性支承连续梁、弹性点支承连续梁、考虑支座宽度的弹性支承连续梁等几种计算方法^[2]。

由于码头横向排架在纵梁搁置部位具有明显的弹性属性,因此,目前水运行业设计规范已经不建议采用刚性支承连续梁进行计算。

下面对弹性支承的 2 种方法进行介绍。

1) 弹性点支承连续梁。

纵梁按弹性点支承在横向排架上的连续梁考虑; 支座竖向刚性系数为横向排架在纵梁搁置位置的刚性值,即该点发生单位竖向位移所需竖向作用力的标准值。

具体计算时,可在横向排架计算模型上对应纵梁位置加载竖向单位力 $P_V = 1 \text{ kN}$, 计算横向排架在纵梁位置对应的竖向位移值 δ , 竖向刚性系数 $K_V = 1/\delta$ 。

目前国内港口行业专用计算软件一般可查看的位移值小数点后位数有限,从而可能导致计算出的支座弹性系数误差很大。为提高计算精度,建议计算纵梁支座弹性系数时,施加荷载值取 $P_V = 1\ 000$, 则支座刚性系数为 $K_V = 1\ 000/\delta$ 。

2) 考虑支座宽度的弹性支承连续梁。

纵梁按弹性支承在横向排架上的连续梁考虑, 支座可近似按支承宽度范围内均匀分布的弹簧考虑, 均匀分布弹簧的刚性系数 $k = K/B_2$, 其中 B_2 为

支座宽度,取下横梁或桩帽宽度。

根据 JTS 167-1—2010《高桩码头设计与施工规范》^[3]规定,按照支座的相对刚性系数 α 和相对宽度 β , 作为连续梁简化为弹性点支承连续梁计算参考依据。

$$\alpha = \frac{6EI}{KI^3} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{B_2}{l} \quad (2)$$

式中: E 为连续梁的弹性模量(MPa); I 为连续梁的截面惯性矩(m^4); K 为支座总刚性系数(kN/m), 取横梁或桩帽在支座中心处产生单位竖向位移时所需竖向作用力的数值; l 为横梁或桩帽中心距(m); B_2 为纵梁支座宽度(m)。

由于现在港口行业专用计算软件均能考虑宽支承弹性连续梁,可以免除点支撑连续梁计算后还需要削峰处理的工作量,计算模型也更符合实际受力情况,因此推荐采用宽支承弹性连续梁模型进行计算。

2.2 起重机械荷载作用效应包络值

纵梁计算模型选定后,对于轨道梁及起重机械荷载,还需要计算荷载最不利作用位置及作用效应包络值。荷载的不同作用效应值,如剪力、弯矩或支座反力,其对应的最不利作用位置也不一样。

在实际设计工作中,起重机械荷载按照移动荷载处理。

3 起重机械水平轮压力作用效应计算方法

3.1 计算模型

1) 空间模型。

按照空间模型计算高桩梁板式码头结构,起重机械水平力与竖向力加载方法类似,均施加在轨道梁上,仅仅是作用方向的区别。同时需考虑移动荷载属性,计算出作用效应包络值。

2) 平面计算模型。

由于空间模型在建模、加载、移动荷载处理及作用效应组合等方面较为繁琐,且针对我国港口设计规范的专用计算软件也还比较缺乏,目前

应用不是十分广泛。为简化计算,目前高桩梁板式码头设计常采用平面方法计算较多。纵梁连续梁结构宜按考虑支座宽度的弹性支承连续梁计算,横梁与桩基组成的横向排架按平面排架计算。

平面假定计算模型下,一般只考虑垂直轨道方向水平力,平行于轨道方向水平力可不计算。

如何在码头横向排架计算中考虑起重机械水平力,在实际设计工作中经常有以下 2 种处理方法:

① 将一个排架间距范围内门机荷载的所有竖向力累计,取其 10% 作为水平力施加在一个横向排架上。此方法没有考虑轨道梁、横向排架之间荷载传递的特点以及相邻排架之间的相互影响,计算结果可能偏大,偏于保守。

② 将轨道梁计算出的竖向支座反力,取 10% 作为水平力施加在一个横向排架上。此方法考虑了轨道梁、横向排架之间荷载传递特点,但没有考虑轨道梁计算模型中,水平向支座弹性系数与竖向弹性系数之间的差异,故其计算误差是否满足要求有待进一步分析。

根据高桩梁板式码头纵、梁之间连接及荷载传递特点,并参考纵梁在竖向荷载作用下计算模型,可以做如下假定:在垂直于轨道方向水平力作用下,轨道梁同样可以假定为弹性支承于码头横向排架上纵向连续梁,其与竖向力作用区别之处在于,其弹性系数为轨道梁在横向排架上搁置位置的水平弹性系数。

图 1 为轨道梁竖向受力模型。

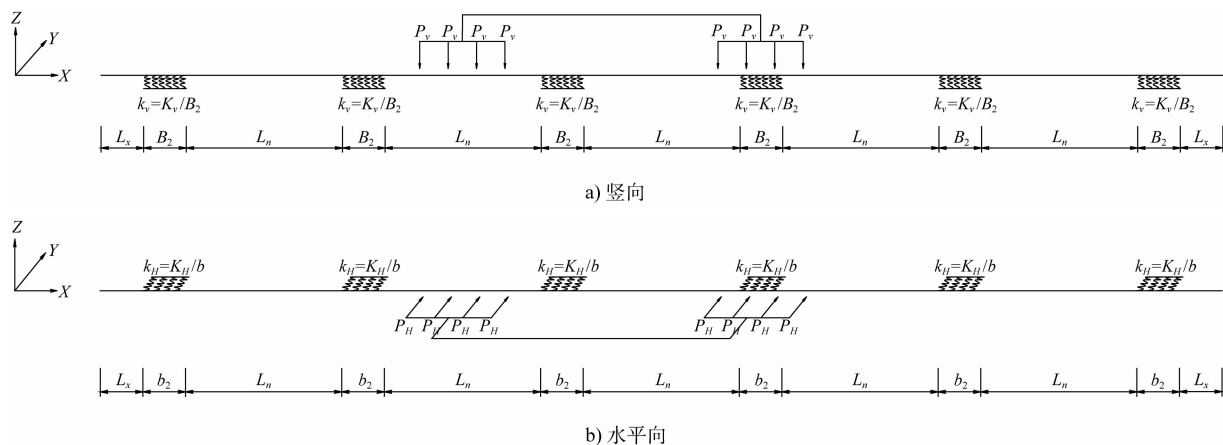


图 1 轨道梁竖向受力模型

3.2 计算步骤

根据以上模型假定计算起重机械水平力对码头结构的作用效应。步骤如下:

1) 根据码头横断面结构布置,建立横向排架计算模型。

2) 在横向排架上轨道梁搁置位置,分别施加水平荷载 $P_H = 1\ 000\ \text{kN}$,计算横向排架上轨道梁搁置点水平位移 δ ,则轨道梁水平支座刚性系数为 $K_H = 1\ 000 / \delta$ 。

3) 建立弹性宽支承连续梁计算模型,弹性支座宽度即为轨道梁搁置处横梁宽度 b 。需要注意的是,此处横梁宽度应为与轨道梁侧面接触的横梁宽度,一般为上横梁宽度,与竖向计算时接触宽

度为底部接触不一样。轨道梁在水平力作用下支座均匀分布弹性的水平刚性系数为 $k_H = K_H / b$ 。

4) 在水平向宽支承弹性连续梁上施加起重机械水平力,水平力标准值一般取竖向力的 10%;按照移动荷载计算其作用效应标准值,包含剪力、弯矩和支座反力等。

5) 将水平向支座反力标准值,与竖向支座反力标准值一同作为外部荷载,施加在码头横向排架上轨道梁搁置点位置,计算起重机械荷载在横向排架的作用效应值。

3.3 计算案例分析

长江下游某 3 万吨级通用码头,码头面宽度 25 m,横梁现浇纵梁预制叠合板结构,横向排架间距 7.0 m,

每榀排架下设 7 根 $\phi 800$ C 型 PHC 桩基, 排架下设 1 对“叉桩”及 2 对“半叉桩”, 码头断面见图 2。
码头装卸船设备选用 25 t 多用途门机, 荷载

代号 Mh-25-35, 8 轮/腿, 轮间距 0.85 m, 最大轮压 250 kN。根据 JTS 144-1—2010《港口工程荷载规范》, 水平力标准值取轮压标准值的 10%。

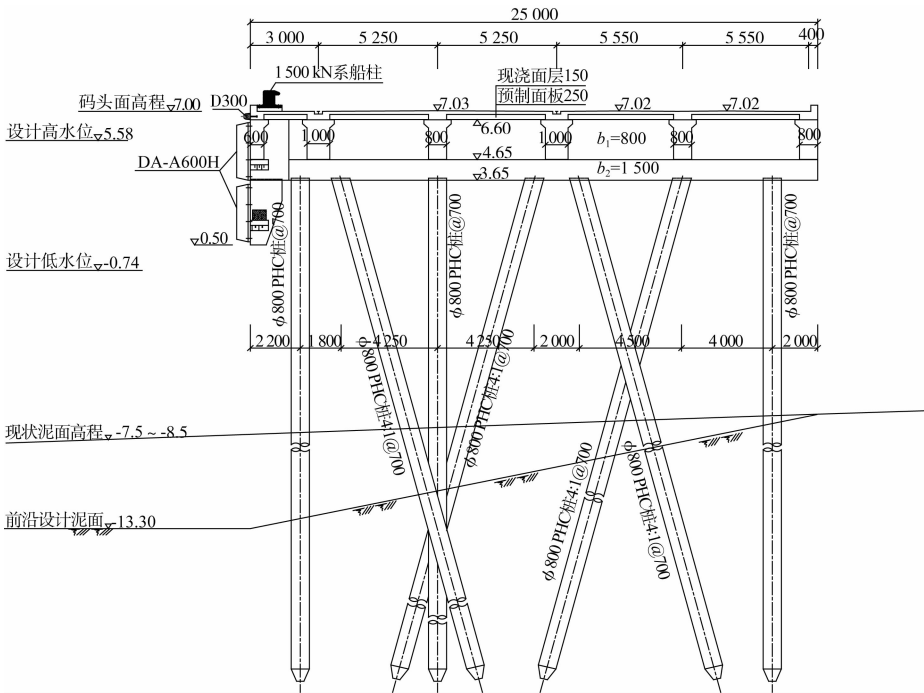


图 2 计算案例码头断面 (高程: m; 尺寸: mm)

码头横向排架按平面排架计算, 轨道梁按弹性宽支承连续梁计算。按 4.2 计算步骤, 采用《PJFX 排架综合分析系统》、《KZZGDL 宽支座轨道梁计算系统》等专业软件进行计算, 门机荷载作用下, 轨道梁在横梁搁置部位支座反力标准值计算结果见表 1。

表 1 轨道梁支座反力计算结果				
荷载方向	前轨支座弹性系数/ (kN·m ⁻¹)	前轨支座反力/kN	后轨支座弹性系数/ (kN·m ⁻¹)	后轨支座反力/kN
竖向	609 750	1 557(↓)	1 165 500	1 576(↓)
水平向	56 830	160(←)	57 200	160(←)

为对比分析码头横向刚度对装卸机械水平力计算的影响, 在不考虑结构合理性的前提下, 将上述案例排架下全部桩基改为直桩, 减小码头横向刚度。门机荷载作用下, 支座反力标准值计算结果见表 2。

表 2 轨道梁支座反力对比计算结果				
荷载方向	前轨支座弹性系数/ (kN·m ⁻¹)	前轨支座反力/kN	后轨支座弹性系数/ (kN·m ⁻¹)	后轨支座反力/kN
竖向	668 000	1 554(↓)	1 242 200	1 580(↓)
水平向	3 876	150(←)	3 876	150(←)

根据表 1、表 2 计算结果对比, 并采用其它多个算例进行验算, 得到如下基本规律:

- 1) 在弹性支承连续梁计算模型下, 尽管码头横向排架水平向刚度与竖向刚度之间差异很大, 装卸机械水平力与竖向轮压在横向排架上产生的支座反力, 基本上跟水平轮压与竖向轮压之比保持一致。
- 2) 即使码头横向排架水平刚度减小很多, 装卸机械水平力在横向排架上产生的水平力变化很小。
- 3) 算例计算结果表明, 上述变化规律仅针对轨道梁支座反力, 弯矩、剪力等作用效应值不存在上述之间对应关系。

(下转第 88 页)