

# 一种基于设备提升的重力式码头结构加固方法

刘胜

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

**摘要:** 针对某内河码头固定吊机设备提升, 提出在固定吊基础后方设置桩基、对重力式码头结构进行局部加固的方案。通过分析, 得出了一种适合的码头改造后抗倾覆、抗滑、整体稳定性、基底应力等验算的简化公式, 方案中桩基对原有重力式结构的抗倾覆作用明显, 对码头整体稳定性也有一定积极作用, 加固方法可为类似工程改造设计参考。

**关键词:** 重力式码头; 桩基; 结构改造; 固定吊

**中图分类号:** U656.1+11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006—7973 (2022) 01—0136—02

## 1 引言

由于我国可利用建港的岸线资源已近枯竭, 为提升水运运力, 码头升级改造工程将是未来发展水运工程基础建设的重点。增加码头通过能力, 提升码头靠泊能力以及提高港机工作效率是未来的发展方向。

结构加固改造形式根据码头自身现有环境限制和满足使用功能的要求, 量体裁衣, 现有码头结构改造形式也是多种多样的。仅针对码头固定吊机设备提升, 提出在固定吊基础后方设置桩基、对重力式码头结构进行局部加固的方案。

## 2 加固方案

浙江地区某内河码头为提升码头装卸效率, 对原有固定吊进行升级改造, 改造后的固定吊最大弯矩提升至 1500kN·m, 竖向作用力达到 100kN。为满足固定吊使用安全, 需对原有结构进行加固改造。加固设计方案: 在码头墙体后方打设 6 根直径 400mm、长 20m 的 PHC 管桩, 通过对既有码头混凝土顶面进行凿毛、植筋, 浇筑混凝土承台, 将桩基与原有基座墙体连接成为一体。如图 1 所示。

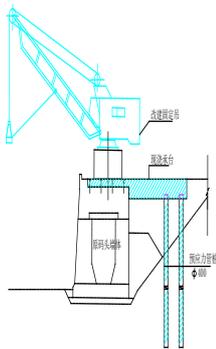


图 1 某工程固定吊改造加固方案

## 3 加固方案简化验算方法

鉴于码头改造项目前期缺少基础资料的特点, 建议码头加固方案按以下情况进行简化验算:

(1) 一般情况下, 采用下式进行验算:

$$\Delta S' \leq (C - S) + \Delta C' \quad (1)$$

——原结构作用效应设计值;

$\Delta S'$ ——新增加作用效应设计值;

$C$ ——原结构抗力效应限值;

$\Delta C'$ ——新增加抗力效应限值;

公式 (1) 成立, 则验算满足要求。

(2) 当  $C-S$  不明确时, 在检测评估认定码头目前使用状态稳定的情况下, 不考虑原有码头富裕量, 可按下式进行简化验算:

$$\Delta S' \leq \Delta C' \quad (2)$$

## 4 稳定性分析

### 4.1 抗滑稳定性分析

该码头面荷载未发生变化, 在桩基承台分担码头面荷载的情况下, 可变土压力与原码头实际减小很多。由于承台混凝土的存在, 减小了墙后填土高度, 因而, 主动土压力也是减小的。因此,  $\Delta S < 0$ 。

固定吊机自重增加, 对抗滑稳定有利,  $\Delta C' > 0$ 。

因此, 根据公式 (2)  $\Delta S < \Delta C'$ , 可判定改造后码头抗滑稳定。

### 4.2 抗倾覆稳定性分析

考虑固定吊向海侧与码头前沿线垂直作业的最大作用效应工况。

由 4.1 条分析, 可知墙后土压力减小, 土压力的倾覆作用效应减小, 不考虑这部分有利因素。左端存在向海侧倾覆力矩  $\gamma_0 \gamma_q \Delta M_{左}$ , 右侧增加了后方改造后的扩大基础、承台、桩基的自重以及桩基抗拔力作用产生的稳定力矩  $\frac{1}{\gamma_d} \sum \gamma_i \Delta M_{右}$ 。

实际上仅新增混凝土承台提供的抗倾覆力矩即足以抵抗增加的倾覆力矩, 经验算:

$\Delta S' < 1.5 \times 1500 \text{ kN} \cdot \text{m} < 4430 \text{ kN} \cdot \text{m} < \Delta C'$ , 其中  $4430 \text{ kN} \cdot \text{m}$  仅为新增混凝土承台提供的抗倾覆力矩, 显然, 结构加固满

足抗倾验算要求。

#### 4.3 整体稳定性分析

因为桩基承台承担了上部荷载向下传递的作用效应,其他荷载工况下加固方案明显有利。因此,只需验算固定吊向岸侧与码头前沿线垂直作业的最大作用效应状态。

文献<sup>[2]</sup>中作用于危险滑动面上的滑动力矩的设计值计算公式为:

$$M_{sd} = \gamma_s \left[ \sum (h_i - z_R)(W_{ki} + q_{ki}b)h_i' + M_p \right]$$

由该式可得,码头改造后,该式增加 $\Delta M_p = \Delta$ 吊机倾覆力矩+ $\Delta$ 新增混凝土承台自重效应。

码头加固后危险滑动面抗滑力矩,由桩基竖向承载力提供的 $\Delta M_{RK}$ 抵抗 $\Delta M_p$ 。

根据公式(2),只要桩基竖向承载力作用效应 $\Delta M_{RK} \geq \Delta M_p \cdot \gamma_R$ ,则可认为改造后整体稳定性满足要求,桩基竖向承载力与结构自重作用差值与固定吊向岸方向最大倾覆弯矩形成力矩平衡。依据力矩平衡,桩基竖向承载力设计值需满足:

$$Q_d \geq \Delta M_p \cdot \gamma_R / D \cdot N \quad (3)$$

D——桩基到固定吊中心距;N——桩基数量。

可根据公式(3)进行桩基设计。

由公式(2)验算:

经验算: $\Delta S' < 1.65 \times 1500 \text{ kN} \cdot \text{m} < 3440 \text{ kN} \cdot \text{m} < \Delta C'$ ,其中 $3440 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 仅为新增混凝土承台提供的抗倾覆力矩,显然,结构加固满足抗倾验算要求。

#### 4.4 基床与地基承载力分析

文献<sup>[1]</sup>中第2.5.3条 $\sigma_{\max} = \frac{V_k}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$ 与 $e = \frac{B}{2} - \xi$ 式,经整理得:

$$\sigma_{\max} = \frac{V_k}{B} \left( 4 - \frac{6\xi}{B} \right) \quad (3)$$

由4.2节可知,桩基的抗倾覆力矩大于固定吊最大工作力矩,能够实现自我平衡,所以固定吊在基座底部不会产生扭矩。故而该处仅有固定吊最大的竖向力荷载F(单宽)作用。

由公式(3),可推得新增基床顶面最大应力为:

$$\Delta \sigma_{\max} = \frac{F}{B} \left( 4 - \frac{6x}{B} \right) \quad (4)$$

由于公式(4)中,固定吊基础中心位置距离前趾距离 $x = \frac{2}{3}B$ ,则 $\Delta \sigma_{\max} = 0$ 。所以,改造后基床顶面最大应力不发生变化,根据文献<sup>[1]</sup>中2.5.2条,基床承载力满足要求。

同理,根据文献<sup>[1]</sup>中2.5.6条及2.5.7条,验算地基承载力也满足要求。

## 5 桩基在重力式码头改造应用中的作用效应分析

### 5.1 桩基对抗滑稳定作用效应

桩基与重力式墙体二者共同作用的机理尚未明确。当重力式墙体发生位移时,也就是说墙体从静态变成动态、再由动态变成静态重新平衡,这一过程中的惯性力无法确定,重新平衡位移的大小也不好确定,因而桩基水平承载力能够达到的作用效果不好掌握。

另外,桩基水平承载力是因位移产生的。基底摩擦界面剪切产生的位移很小,虽然足以使墙后土压力充分发挥,但使桩基产生水平力的作用并不大。能够充分发挥桩基水平承载力的位移,只能建立在重力式墙体发生滑移或倾覆失稳的基础上,然而这种伴随土压力作用下的重力式墙体位移是不可逆的。也就是说,即使在桩基水平承载力作用下达到了平衡稳定,那么桩基也将会长期处于水平受力的疲劳状态,对其耐久性显然是不利的。

因此,针对桩基改造方案,不宜考虑桩基水平承载力对抗滑的作用。

### 5.2 桩基对结构抗倾覆稳定性效应

在抗倾覆稳定性验算中,图1的桩基加固方案,桩基以其稳定的竖向承载力明显增加了对原有结构的抗倾覆稳定作用效应,在这一点上结构受力显然是明确的。

向海侧抗倾覆稳定力矩增加量为: $M_{\text{承台}} + M_{\text{桩抗拔}}$ 。

### 5.3 桩基对结构整体稳定性作用效应

由3.1条,同样不建议考虑桩基的抗滑作用。

根据文献<sup>[2]</sup>中6.3节公式,桩基可以提供抗倾覆作用,进而减小土条顶面可变作用的不利效应。

### 5.4 桩基对重力式墙体基床与地基承载力作用效应

根据文献<sup>[1]</sup>中2.5.3条,在墙底宽度不变的情况下,基底应力受竖向合力标准值 $V_k$ 、稳定力矩与倾覆力矩差值 $M_R - M_o$ 影响。

由3.2节,可知桩基改造形式,可以有效缩小 $M_R - M_o$ ,减小偏心距,使基床顶面最大应力标准值降低。

## 6 结论与建议

(1)采用在吊机承台后方增加桩基的加固方案,对提升吊机荷载的效果明显。桩基在类似重力式码头改造中对改善结构抗倾覆、整体稳定性以及基底和基床应力的作用明显。

(2)文中提出的码头改造的结构、地基应力等验算简化公式,可作为同类项目在前期缺少资料时承载力方案阶段的估算参考。

参考文献:

[1] JTS167-2018, 码头结构设计规范 [S].

[2] JTS147-2017, 水运工程地基设计规范 [S].