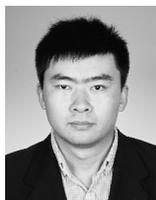


· 港口 ·



高桩码头轴向刚性系数对弯矩的影响

吴国茂^{1,2}, 李 达³, 戴志峰^{1,2}

(1. 中交第三航务工程局有限公司宁波分公司, 浙江 宁波 315200;

2. 中交上海港湾工程设计研究院有限公司, 上海 200070; 3. 宁波中交水运设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315040)

摘要: 为了研究轴向刚性系数对弯矩的影响, 根据不同的轴向刚性系数对应的弯矩不同, 引入无量纲支座相对系数 α , 系统地研究不同荷载分布形式下对应的 α 对弯矩的影响。通过分析得到: 轴向刚性系数主要影响 0~1.5 边跨范围内的弯矩, 悬臂越大影响越小; 弯矩与 $\alpha^{1/3}$ 、 $\alpha^{2/3}$ 存在线性关系; 通过线性拟合, 找到不同的荷载分布形式下 α 的变化对弯矩的影响, 进而让设计及研究者更加理解轴向刚性系数与弯矩之间的关系。

关键词: 轴向刚性系数; 支座相对系数; 弯矩; 高桩码头

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)05-0035-04

Influence of axial rigidity coefficient on bending moment of high-pile wharf

WU Guo-mao^{1,2}, LI Da³, DAI Zhi-feng^{1,2}

(1. Ningbo Branch of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Ningbo 315200, China;

2. CCCC Shanghai Harbor Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200070, China;

3. CCCC Ningbo Water Transport Design and Research Co., Ltd., Ningbo 315040, China)

Abstract: To study the influence of the axial rigidity coefficient on the bending moment of the high-pile wharf, according to the fact that different axial rigidity coefficients are corresponding to different bending moments, we introduce the dimensionless bearing relative coefficient α to research systematically the influence of α on the bending moment under different load distributions. It is concluded that the axial rigidity coefficient mainly influences the bending moments within the range of 0~1.5 side span, the longer the cantilever, the smaller the effect; there is a linear relation between $\alpha^{1/3}$ and $\alpha^{2/3}$ to the bending moment. By the linear fitting, we find the influences of α on the bending moment under different load distributions, and let the designers and researchers better understand the relationship between the bending moment and axial rigidity coefficient.

Keywords: axial rigidity coefficient; bearing's relative coefficient; bending moment; high-pile wharf

连续梁的支座主要有刚性支撑和弹性支撑, 根据《高桩码头施工与设计规范》^[1], 连续梁结构宜按弹性支撑计算, 一般采用弹性支座计算更符合实际情况。同一个码头不同的地理位置, 地质条件都有差异, 桩的轴向刚度 K 值也会不同, 同时也间接影响纵梁的弹簧系数值。 K 值是弹性支座处的主要参数, K 的取值不同, 弯矩也会产生差异。因此本文试图通过改变刚性系数 K 值, 发

现 K 值与弯矩之间是否存在一定的规律。

现阶段, 关于高桩码头的刚性系数对连续梁弯矩影响的研究较少, 多数利用具体的实例进行分析, 不易看出普遍性规律。刚性系数 K 对弯矩及剪力的影响, 理论基础为五弯矩方程, 方程中的角变位 δ 与 K 之间有一定的关系, 因而影响支座处弯矩, 但是如果从五弯矩方程推导出一个含 K 值的系数, 会让问题变得很复杂, 这里采用现

收稿日期: 2015-12-08

作者简介: 吴国茂 (1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事港口、航道设计与施工工作。

有的支座的相对系数 $\alpha = 6EI/(KL^3)$ 对弯矩进行分析会更便捷。

1 K 对应的 α 取值范围

对于桩, $E_p = 3.2 \times 10^7 \sim 3.8 \times 10^7$ kPa (对于钢管桩 $E_p = 2.1 \times 10^8$ kPa), 桩的直径一般在 0.8 ~ 1.5 m, 即面积 $A_p = 0.5 \sim 1.7$ m², 桩的承载力一般在 2 000 ~ 10 000 kN, 根据实际情况, 代入公式^[1] $1/K = L_0/(E_p A_p) + 1/C$, 可以得出桩顶的轴向刚性系数 K 的一般范围为 $2 \times 10^5 \sim 15 \times 10^5$ kN/m, K 值直接作用于排架计算。

对于纵梁, 刚性系数 K 是排架上纵梁的位置作用竖向单位力 P 除以对应力产生的竖向位移 Y , 通过大量的工程计算经验, 设单位力 $P = 1\ 000$ kN 时, 一般竖向位移 $Y = 0.5 \sim 4$ mm, 因此刚性系数 $K = P/Y$ 的范围为 $2 \times 10^5 \sim 20 \times 10^5$ kN/m。

支座的相对系数

$$\alpha = 6E_p I / (KL^3) \tag{1}$$

式中: I 为截面惯性矩; L 为跨度, 根据高桩码头常用的条件, 梁的跨度范围一般为 5 ~ 9 m。当 $E_p = 3.25 \times 10^7$ kPa、 $I = 0.5$ m⁴ 时, 代入 K 的取值范围, 得到表 1。

表 1 不同刚性系数、不同跨长下 α 的取值范围

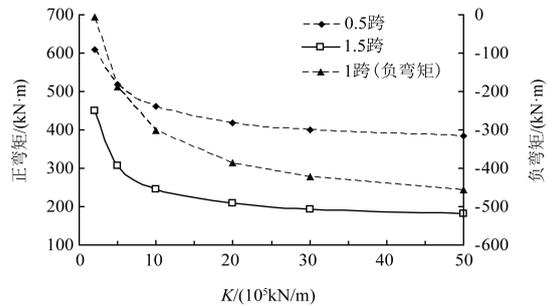
$K/$ (10^5 kN/m)	跨度/m				
	5	6	7	8	9
2	3.90	2.26	1.42	0.95	0.67
5	1.56	0.90	0.57	0.38	0.27
10	0.78	0.45	0.28	0.19	0.13
12	0.65	0.38	0.24	0.16	0.11
20	0.39	0.23	0.14	0.10	0.07

从表 1 可以看出, K 在 $2 \times 10^5 \sim 20 \times 10^5$ kN/m 时, α 取值范围为 0.07 ~ 3.90。根据文献[2], 当 $\alpha < 0.15$ 时, 采用弹性支座和刚性支座的弯矩相对差值在 5% 以内; 从本文分析来看, $\alpha < 0.15$ 时, 两者的差别并不一定小于 5%, 还和悬臂以及荷载的分布形式有关。 $\alpha < 0.05$ 时, K 值的变化对弯矩基本不影响; $\alpha > 2$ 的情况下比较少, 因此本文主要考虑 $\alpha = 0.05 \sim 2$ 时对弯矩的影响关系。

2 K 值对弯矩的影响

分析 K 值对弯矩的影响, 首先考虑单因素, 为了避免连续梁不等跨的影响, 仅分析等跨梁。

选择 5 等跨连续梁进行计算, 其中跨长 $L = 7$ m, 均载 $q = 100$ kN/m, 在不考虑悬臂影响情况下, 得到不同 K 值情况下的弯矩 (图 1)。



注: “0.5 跨” 为第 1 跨的跨中, “1 跨” 为第 2 个支座的弯矩, 1.5 跨为第 2 跨的跨中。

图 1 不同 K 值下弯矩的变化规律

从图 1 可以看出, 正 (负) 弯矩随着 K 值的增加而减小 (增加), 其减少 (增加) 的速率减慢。为了准确找到两者之间的规律, 下面对此进行研究。

3 系数 α 的验证

系数 α 中不只含有 K , 同时含有刚度系数 EI 、跨度 L , 为了验证选择 α 的正确性, 这里 K 为 5×10^5 kN/m 不变, 选择 $I = 0.2、0.7、1、2$ m⁴ 得到弯矩; $I = 0.5$ m⁴ 不变, $K = 1 \times 10^5、2 \times 10^5、5 \times 10^5、10 \times 10^5、20 \times 10^5、50 \times 10^5$ kN/m 时得到弯矩, 把这两组数据进行整合, 得到 0.5 跨的弯矩数据, 见图 2。

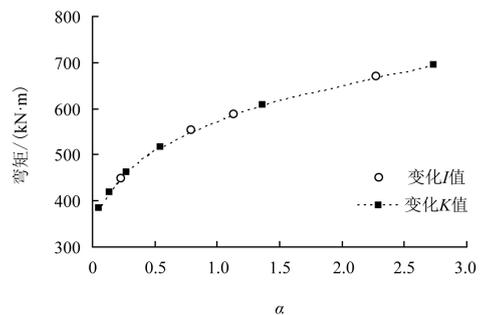


图 2 不同 $I、K$ 值下弯矩的变化规律

从图 2 可以看出, α 与弯矩之间仍存在较好的关系, 此外, E 或 L 保持不变, 变化 K 值来进行对比验算, 得到同样的结论, 说明采用相对系数 α 对弯矩进行分析是正确的。

4 α 对弯矩的影响

4.1 矩形均布荷载作用下不同跨度的弯矩

先不考虑悬臂影响, 本文分别对跨数为 2、3、4、5、6、7、8, $L_0=7$ m, 矩形均载 $q=100$ kN/m, $I=0.5$ m⁴ 进行了分析, 根据条件得到 K 值与 α 值的关系 (表 2)。

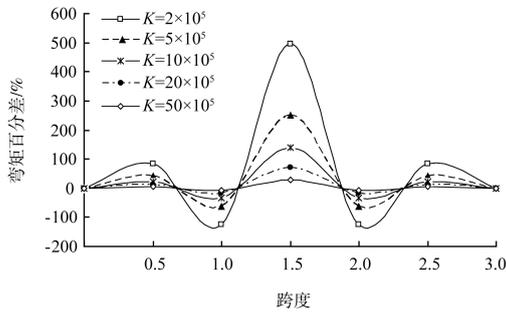
表 2 不同的 K 值下对应的 α 值

$K/(10^5 \text{ kN/m})$	2	5	10	20	50
α	1.368	0.547	0.274	0.137	0.055

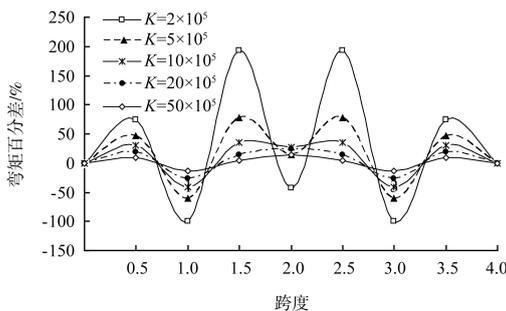
为了找到 α 对弯矩的影响, 先对不同 α 下的弯矩百分差 δ 进行分析:

$$\delta = (M - M_0) / M_0 \times 100\% \quad (2)$$

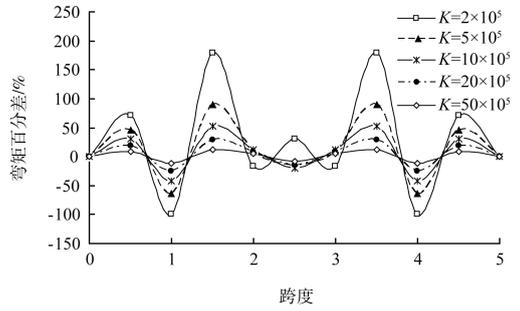
式中: M 为弹性支座下的弯矩; M_0 为刚性支座下的弯矩。这里列出 3、4、5、6 跨的弯矩百分差 (图 3)。



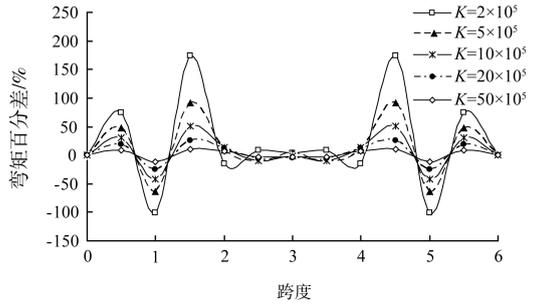
a) 3跨



b) 4跨



c) 5跨



d) 6跨

图 3 不同跨度下的弯矩百分差

从图 3 可以看出, K 值主要影响左右第 0~1.5 跨之间的弯矩, 而对中间跨度影响较小。因此本文主要研究第 1.5 跨的范围, 通常设计计算所需的弯矩最大值一般在跨中和支座处, 因此主要考虑 0.5、1、1.5 跨处即可。其中图 3c) 即对应图 1 中的 0.5、1、1.5 跨处。

设 $\Delta M = M_1 - M_2$ (M_1 、 M_2 分别为 α_1 、 α_2 下的弯矩), 对不同 $\Delta\alpha$, 与弯矩差 ΔM 进行拟合, 得到下式:

当跨数 ≥ 4 时

$$\begin{cases} \Delta M = 0.065qL_0^2 \Delta\alpha^{1/3} & (0.5 \text{ 跨}) \\ \Delta M = -0.13qL_0^2 \Delta\alpha^{1/3} & (1 \text{ 跨}) \\ \Delta M = 0.053qL_0^2 \Delta\alpha^{2/3} & (1.5 \text{ 跨}) \end{cases} \quad (3)$$

当跨数 = 3 时

$$\begin{cases} \Delta M = 0.074 qL_0^2 \Delta\alpha^{1/3} & (0.5 \text{ 跨}) \\ \Delta M = -0.149qL_0^2 \Delta\alpha^{1/3} & (1 \text{ 跨}) \\ \Delta M = 0.108qL_0^2 \Delta\alpha^{2/3} & (1.5 \text{ 跨}) \end{cases} \quad (4)$$

0.5、1 跨的位置, ΔM 与 $\alpha^{1/3}$ 成线性关系, 1.5 跨时 ΔM 与 $\alpha^{2/3}$ 成线性关系, 且拟合相关性较高。其中

$$\Delta\alpha^{1/3} = (\alpha_1^{1/3} - \alpha_2^{1/3}) = (6EI)^{1/3} [L_0(1/K_1 - 1/K_2)]^{1/3} \quad (5)$$

4.2 悬臂荷载对各跨弯矩的影响

当有悬臂影响时，需要考虑悬臂梁对弯矩的影响，在实际码头中的横梁和纵梁悬臂一般在1~3 m，从计算的数据分析来看，相同的均载情况下，悬臂的长度越大，弯矩受K值的影响就越小。这里为了容易研究，将悬臂上的力对支座的作用简化为支座处的弯矩和一个竖向的力(图4)。

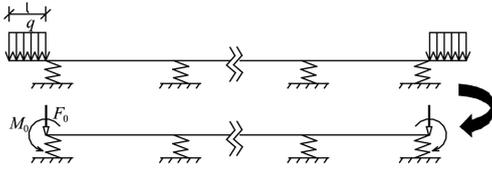


图4 对悬臂上的力进行转化

通过图4方法，将悬臂荷载分解为仅有弯矩和仅有集中力作用于支座处，然后再进行组合得到对各跨弯矩的影响。

1) 仅有弯矩作用。

在端部支座仅作用弯矩 \$M=M_0\$ (左侧逆时针为正)，对于矩形均载，\$M_0=ql^2/2\$。

2) 仅有集中力作用。

在端部支座仅作用集中力 \$F=F_0\$ (向下为正)，对于矩形均载，\$F=ql\$ (l为悬臂长度)。

当1)、2)两种条件都有时，可将两者进行组合，得到如下关系：

$$\begin{cases} M = (-0.3M_0 - 0.08F_0L_0) \Delta\alpha^{1/3} & (0.5 \text{ 跨}) \\ M = (-0.6M_0 - 0.16F_0L_0) \Delta\alpha^{1/3} & (1 \text{ 跨}) \\ M = (-0.15M_0 - 0.078F_0L_0) \Delta\alpha^{2/3} & (1.5 \text{ 跨}) \end{cases} \quad (6)$$

对于矩形均载，\$M_0=F_0l/2\$，l为悬臂的长度，式(6)变为：

$$\begin{cases} \Delta M = (-0.3 - 0.16L_0/l) M_0 \Delta\alpha^{1/3} & (0.5 \text{ 跨}) \\ \Delta M = (-0.6 - 0.32L_0/l) M_0 \Delta\alpha^{1/3} & (1 \text{ 跨}) \\ \Delta M = (-0.15 - 0.156L_0/l) M_0 \Delta\alpha^{2/3} & (1.5 \text{ 跨}) \end{cases} \quad (7)$$

对于矩形均载的情况，将式(3)、(7)进行组合，得到有悬臂作用的公式：

$$\begin{cases} \Delta M = [0.065 - 0.15(l/L_0)^2 - 0.08l/L_0] qL_0^2 \Delta\alpha^{1/3} & (0.5 \text{ 跨}) \\ \Delta M = -[0.13 - 0.3(l/L_0)^2 - 0.16l/L_0] qL_0^2 \Delta\alpha^{1/3} & (1 \text{ 跨}) \\ \Delta M = [0.053 - 0.075(l/L_0)^2 - 0.078l/L_0] qL_0^2 \Delta\alpha^{2/3} & (1.5 \text{ 跨}) \end{cases} \quad (8)$$

4.3 均布荷载下的包络线

当没有悬臂影响时，设等跨连续梁受梯形均布荷载作用，a为梯形分布中矩形荷载的长度，即矩形荷载占梯形荷载中的比例为 \$\eta = a/L_0\$ (\$0 \le \eta \le 1\$)，见图5。

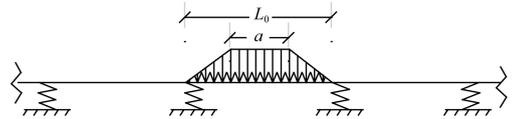


图5 梯形荷载的分布形式

通过分析得到，弯矩影响最大的是0.5跨和1.5跨处，而其他跨中、支座处影响较小，通过分析拟合得到式(9)：

$$\begin{cases} \Delta M = (0.0286\eta + 0.0272) qL_0^2 \Delta\alpha^{2/3} & (0.5 \text{ 跨}) \\ \Delta M = (0.04\eta + 0.0435) qL_0^2 \Delta\alpha^{2/3} & (1 \text{ 跨}) \end{cases} \quad (9)$$

而当有悬臂影响时，通过与没有悬臂的对比分析得到，0.5、1.5跨处仍可用式(9)计算，悬臂主要影响1跨(支座)处，其他影响较小，因此可通过公式

$$\Delta M = (-0.6M_0 - 0.16F_0L_0) \Delta\alpha^{1/3} \quad (10)$$

对弯矩进行分析。

4.4 移动荷载

这里主要将距离均等间距不大的移动集中力(荷载)近似转换为移动均载来计算，即 \$NF=qa\$，见图6。

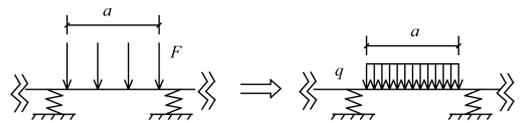


图6 移动荷载的近似转换